건설교통부

도로설계편람

2000.

작성·관리기관 / 한국건설기술연구원
KICT KOREA INSTITUTE OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY

제 1 편 총 칙

목 차

101 일반사항

101.1 목적 ····· 101-1
101.2 적용 범위 ····· 101-1
101.3 용어의 정의 ····· 101-1
101.4 관련 기준 ····· 101-2
101.5 편람의 구성 ····· 101-2
101.6 개정 ····· 101-3

102 도로 설계 절차

102.1 도로 계획 및 설계 과정 ····· 102-1
102.2 단계별 업무 내용 ····· 102-4
2.1 타당성조사 ····· 102-4
2.2 기본설계 ····· 102-4
2.3 실시설계 ····· 102-5
2.4 설계단계의 통합수행 ····· 102-6
102.3 성과품 ····· 102-7
3.1 성과품 작성의 특기사항 ····· 102-7
3.2 보고서 성과품 내용 ····· 102-12
3.3 도로설계 성과품의 검토 ····· 102-12

103 도로 관련 조직 및 관계 법령

103.1 행정조직 ····· 103-1
103.2 연구기관 ····· 103-2
103.3 도로 관계 법령 ····· 103-4

참고문헌 ····· 104-1
부록 ····· 105-1
색인 ····· 106-1

표 목 차

102 도로설계 절차

<표 102.1> 도로사업 단계별 세부업무내용 ····· 102-3
<표 102.2> 타당성조사 보고서 성과품 내용 ····· 102-13
<표 102.3> 기본설계 보고서 성과품 내용 ····· 102-14
<표 102.4> 실시설계 보고서 성과품 내용 ····· 102-15

103 도로 관련 조직 및 관계 법령

<표 103.1> 도로 관계 법령 현황 ····· 103-4

그 림 목 차

101 일반사항

<그림 101.1> 도로설계편람의 구성 및 활용 개념 ····· 101-3

102 도로 설계 절차

<그림 102.1> 도로 설계의 흐름도 ····· 102-2

103 도로 관련 조직 및 관계 법령

<그림 103.1> 건설교통부 조직도 ····· 103-1
<그림 103.2> 도로 관련법의 체계 ····· 103-5

101
일반 사항

101.1 목적

본 편람은 도로의 계획에서부터 설계의 전과정과 도로설계와 관련된 종합적 업무 내용을 체계적이고 일관되게 정립한 것으로서, 관련 기술자들이 이를 쉽게 적용하여 효율적인 업무수행을 할 수 있도록 한 것이다.

101.2 적용 범위

본 편람은 도로의 계획, 조사, 설계 단계의 업무 절차 및 내용에 관하여 일반적이고 표준적인 기준 및 실무 활용 방안을 제시한 것으로, 각 도로관리 기관에서는 본 편람을 토대로 도로의 기능, 도로 조건, 교통 조건 및 지역 조건, 지형 조건 등을 고려하여 해당 업무를 수행한다.

본 편람은 도로설계를 위한 설계기준, 지침보다는 하위의, 기술지도서나 요령보다는 상위의 위계를 갖는 도로설계 참고도서이다.

본 편람의 적용 대상 도로는 도로법 제11조(도로의 종류와 등급)에 규정된 도로인 고속국도, 일반국도, 지방도, 군도 등과 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제3조(도로의 구분)에 열거된 지방지역의 고속도로와 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로 등이다. 도시부 도로 및 비법정 도로에 대해서도 관련 사항을 준용할 수 있다.

101.3 용어의 정의

본 편람이 적용되는 도로 계획 및 설계의 세부 업무에 관한 용어 정의는 다음과 같다.

【예비타당성조사】

국민경제·국토개발 차원에서 사업시행의 필요성 등 거시적 측면에서의 검토와 다른 공공사업과의 연관성, 사업위치의 적합성 및 개략적인 비용 등을 종합적으로 검토하여 타당성조사의 필요성 여부를 제시하는 업무를 말한다.

【타당성조사】

도로사업의 기본 구상을 토대로 사업의 목표와 이를 위한 수단을 설정하고 기술적 타당성, 사회 및 환경적 타당성, 경제적 타당성을 종합적으로 검토하여 사업시행의 타당성을 분석하는 업무를 말한다. 이 단계에서는 도로 노선대의 여러 대안을 비교·검토하여 최적 노선대를 계획하고, 그에 대한 사업의 주요 계획을 작성하며 다음 단계의 설계업무에 기본이 되는 기술자료를 작성한다.

【기본설계】

타당성조사에서 결정된 최적 노선대에서 최적노선을 결정하고 주요 구조물의 규모, 배치, 형태, 공사 방법 및 기간, 소요비용 등에 있어 일반적인 조사 및 분석, 비교·검토를 거쳐 최

적안을 계획하는 업무를 말한다. 이 단계에서는 주요 시설물에 대한 예비설계를 수행하며, 설계기준 및 조건 등 실시설계 업무에 필요한 기술자료를 작성한다.

【실시설계】

기본설계를 통해 결정된 노선상의 모든 시설물의 규모, 배치, 형태, 공사 방법 및 기간, 소요비용, 유지관리 방안 등에 관하여 세부조사 및 분석, 비교·검토를 통하여 최적안을 계획하고 상세설계를 수행하며 시공 및 유지관리에 필요한 기술자료를 작성하는 업무를 말한다.

101.4 관련 기준

- 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 1999
- 건설교통부, 국도의 노선계획·설계지침, 1999
- 건설교통부, 도로포장 유지보수 실무편람, 1999
- 건설부, 도로용량편람, 1992
- 경제기획원, 투자심사편람(수송부문), 1982
- 건설교통부, 교통영향평가지침, 1999
- 건설교통부, 표준도-도로부대시설, 1998
- 건설교통부, 건설공사 설계도서 작성기준, 1998
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-과속방지턱 편·미끄럼방지포장 편, 1997
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-방호울타리편, 1996
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-시선유도시설 편, 1995
- 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-중앙분리대편·충격흡수시설 편, 1998
- 건설교통부, 환경 친화적 도로 건설 요령, 1998
- 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
- 경찰청, 교통안전시설 실무편람, 1996

101.5 편람의 구성

본 편람에는 도로의 계획, 조사, 설계와 관련한 기준 및 지침, 특별한 작업과 관련되지 않아 이들 기준에 기술되기 곤란한 사항, 효율적 업무수행을 위하여 필요한 사항들이 기술되어 있다. 또한 선진 기술과 도로이용자 중심의 안전 개념 및 환경친화적 도로건설을 지향하는 새로운 개념을 도입하여 도로 건설 기술과 도로 설계의 질을 향상시키고자 한 것이다.

전체적인 도로설계편람의 구성 및 활용 개념은 <그림 101.1>과 같이 다양한 도로 계획과 설계에 영향을 미치는 여러 가지 요소들을 고려하여 본 편람을 구성함으로써 적용시 제 기능을 발휘할 수 있는 도로를 건설할 수 있도록 한 것이다.

도로계획 및 설계 업무의 단계는 타당성조사, 기본설계, 실시설계로 구분되며 본 편람은 이들 모든 단계에서 적용할 수 있다.

편람은 아래와 같이 전체 9 편으로 구성되었다.

제 1 편 총칙
제 2 편 도로계획
제 3 편 도로 기하구조
제 4 편 토공 및 배수 시설
제 5 편 교량

제 6 편 터널
제 7 편 포장
제 8 편 안전시설
제 9 편 부대시설

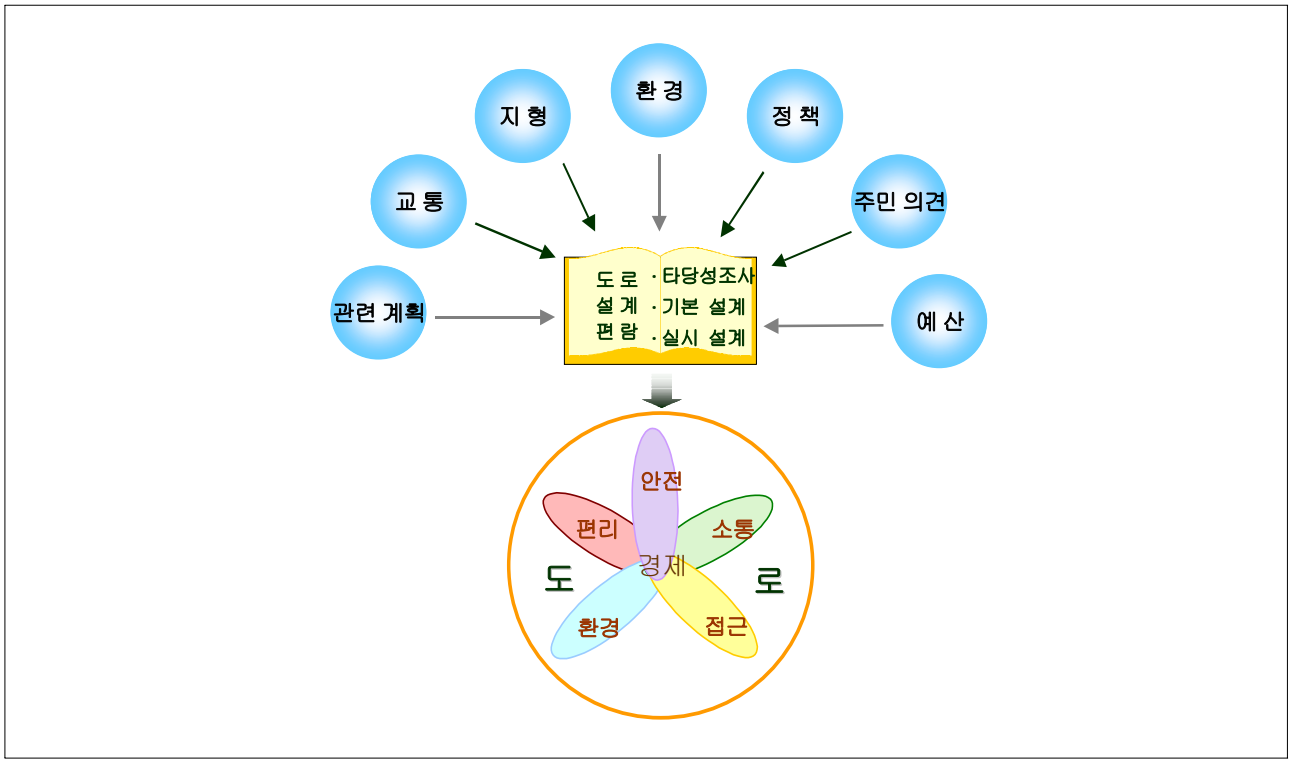
도로 계획 및 설계 업무의 전반적인 수행 과정과 내용은 본 편에 기술하였다.

타당성조사와 기본설계에 관련된 사항은 주로 제2편에서 다루고 있으며, 특히 각 업무단계에서 공통적으로 수행되는 주요 사항에 대해서는 별도의 장으로 하여 제2편에 제시되어 있다. 그외 대부분의 편들은 실시설계와 관련한 사항들을 기술하고 있다.

101.6 개정

본 편람은 관련 기준 및 지침을 토대로 하여 일반적인 도로 계획 및 설계 방법을 정형화한 것이므로 관련 규정, 시방, 지침, 편람 등의 변경에 따라 이와 관련된 내용을 수정하여 적용할 수 있도록 한다.

또한 편람은 도로교통 환경의 변화와 도로기술 발전에 따라 보완되어야 하며, 이를 위하여 관련 항목에 대한 지속적 연구 수행과 이들 결과에 대한 심의 과정을 거쳐 주기적으로 개정 해 나간다.



<그림 101.1> 도로설계편람의 구성 및 활용 개념

102
도로 설계 절차

102.1 도로 계획 및 설계 과정

도로는 계획 단계를 거쳐 사용되기까지 많은 시간(5~10년)이 소요된다. 도로사업을 시행하는 도중에 시행 착오를 범한다면 도로사업 추진에 차질을 빚게 되고 사업 지연으로 인해 개통이 늦어지면 사회적 비용을 추가로 부담하게 되어 국가적 경제 손실을 초래하게 된다.

도로사업을 효율적으로 추진하고 시행착오를 예방하기 위해서는 <그림 102.1>과 같이 타당성 조사(공간적 범위가 50~100km 정도), 기본설계(공간적 범위가 30~50km 정도), 실시설계(공간적 범위가 10km 정도)의 세 단계를 개별적으로 거치고, 각 단계마다 검증과 협의 과정을 거쳐 도로건설을 추진하는 것이 표준적인 과정이지만, 과업 대상 구간이 길지 않고 계획 연장이 동일한 경우에는 이들 각 단계별 업무를 통합하여 수행할 수도 있다.

도로관리자가 용역 계약에 의해 계획 과업을 수행할 때에는 노선의 규모에 따라 타당성조사와 기본설계를 동시에 추진하고 실시설계를 분리 수행하는 방법, 타당성조사를 별도로 시행하고 기본설계와 실시설계를 동시에 묶어서 시행하는 방법, 또는 세 단계를 통합해서 발주하는 방법 등이 있다. 어떤 발주형식을 따르든지 기본적으로 도로계획의 흐름도 상에 제시된 모든 과정을 거쳐야 되고 생략할 수 없는 점을 고려할 때 설계 기간의 결정과 과업 수행 방법 등에 세심한 주의를 기울일 필요가 있다.

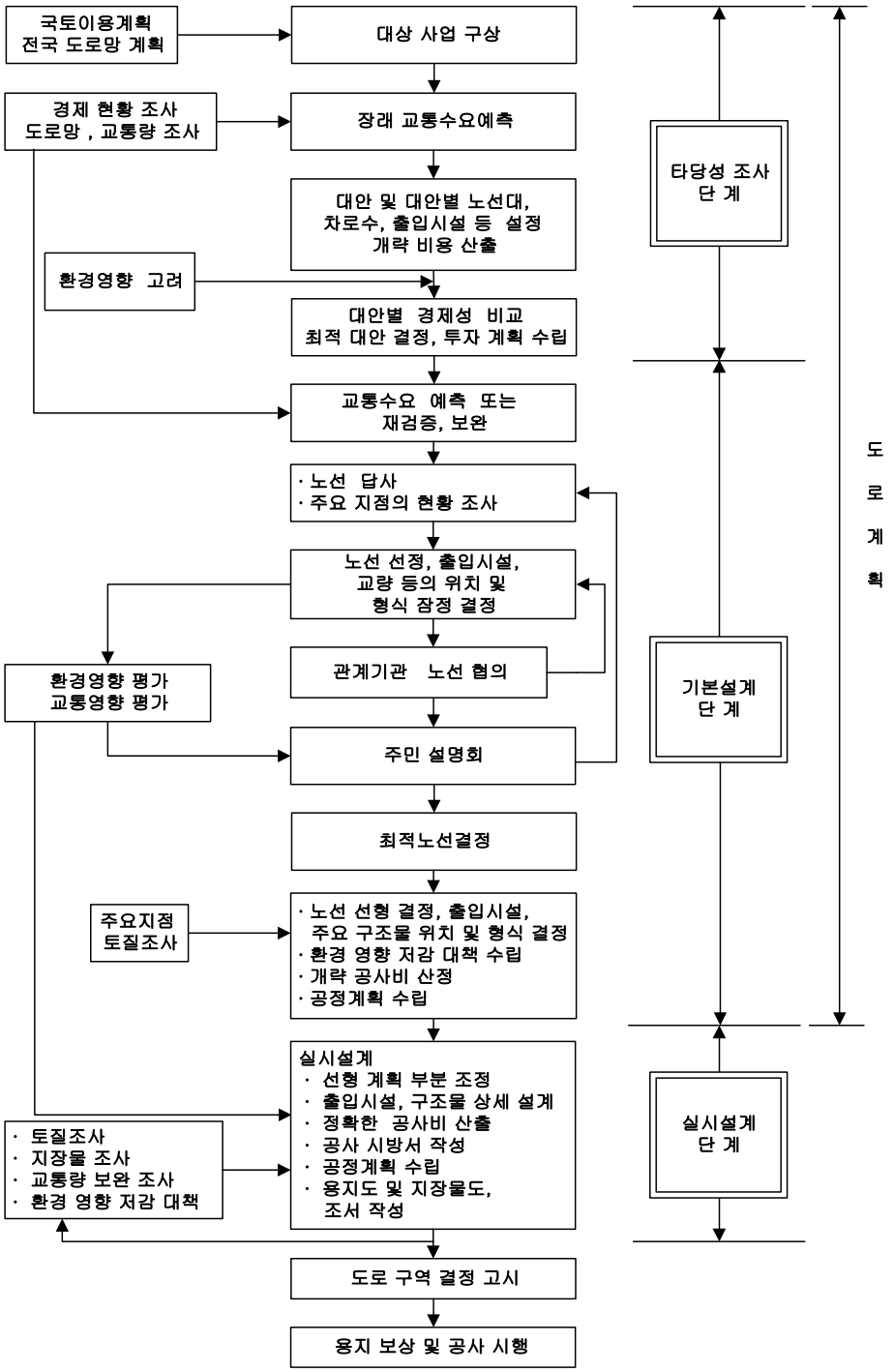
도로의 개량 사업이라든지 단순 확장공사와 같은 경우에는 타당성 조사를 생략하고 실시설계를 곧 바로 시행할 수 있는 경우도 있으나 <그림 102.1> 도로 설계의 흐름도 상에 나타낸 바와 같이 기본설계 과정의 공정을 포함해서 시행한다.

거시적인 측면에서 사업시행의 필요성과 미시적인 측면에서 개략적인 수요·비용 등을 종합적으로 검토하여 타당성조사 시행여부를 결정하는 예비타당성조사도 수행할 수 있다. 예비타당성조사에 대한 내용은 본 편람에서 제외하였으나 향후 이 부분에 대한 구체적인 분석기법이 정립되면 내용을 추가할 예정이다.

타당성조사, 기본설계, 실시설계 세 단계의 도로사업에 대한 세부업무와 각 세부업무에 대한 정밀도에 있어 차이가 있기 때문에 각 단계마다 세부업무의 내용을 개념적으로 나타내면 <표 102.1>과 같다.

<표 102.1>에서는 관계기관 협의가 기본설계에 수행되는 것으로 나타나 있지만, 필요에 따라 타당성조사 및 실시설계에서도 수행할 수 있다.

업무 수행 중 자문회의는 착수단계, 중간단계, 마무리단계의 3단계에 걸쳐 수행할 수 있다. 착수단계인 선형결정 후(착수 후 3개월)에는 선형, 계획고, 노폭 등 선형에 대해 자문을 실시한다. 중간단계인 관련 조사 완료 후(착수



<그림 102.1> 도로 설계의 흐름도

후 6개월)에는 교량의 기본형식, 공법 등을 검토한다. 마무리단계인 설계도서 완료 후(준공 1 내지 2개월 전)에는 설계성과품에 대한 내용을 최종 검토한다.

건설비용을 최소화할 수 있도록 각 설계단계에서 조직적이고 계획적인 개선을 통해 설계 VE(Value Engineering) 활동을 지속적으로 전개해야 한다.

<표 102.1> 도로 사업 단계별 세부업무내용

구 분			타당성조사	기본설계	실시설계	비 고
조사업무	1. 관련계획 조사 및 검토		○	△	△	
	2. 현지조사/답사		○	○	○	
	3. 교통량 및 교통시설조사		○	△	△	
	4. 수자원	1) 수리, 수문조사	○	○		
		2) 기상, 해상조사	○	△		
		3) 선박운항조사	○	△		
	5. 환경영향조사		△	○	△	
	6. 측량			○	○	
	7. 지질, 지반조사			○	○	
	8. 지장물, 구조물조사			○	○	
	9. 토취장, 골재원, 사토장조사			△	○	
	10. 용지조사			△	○	
계획업무	1. 전 단계 성과검토			○	○	
	2. 교통분석 및 평가		○	○	△	
	3. 환경영향 검토 및 평가		△	○	△	
	4. 경제성, 재무분석		○	△		
	5. 노선선정	1) 노선대 결정	○			
		2) 노선결정	△	○		
		3) 출입시설	△	○	○	
	6. 수리, 수문검토		△	○	△	
	7. 구조물 계획	1) 교량	△	○	○	
		2) 터널		○	○	
	8. 설계기준작성			○	○	
	9. 관계기관 협의		○	○	○	
설계업무	개 략 설 계		○			
	예 비 설 계			○		
	상 세 설 계				○	

○ : 수행하는 업무 △ : 필요시 수행하는 업무

102.2 단계별 업무 내용

2.1 타당성 조사

타당성조사는 장래 교통수요를 예측하여 대상 도로의 기능을 설정하고 기술적, 경제적 및 사회·환경적 타당성을 입증하며 타 사업과 비교하여 투자의 우선순위를 결정하기 위해 시행하는 것이다.

이 단계에서는 최적 노선대와 노선의 설계속도, 출입시설이나 교차로의 설치 여부, 차로수, 표준 횡단면 등 도로의 기능을 개략적으로 결정하고 계획 노선의 경제적 타당성을 평가한다.

노선대 계획시에는 1/25,000 ~ 1/50,000 지형도를 이용하여 후보노선대를 설정하고 노선대별로 검토한 후 최적노선대를 선정한다.

자세한 토질 조사나 측량은 이 단계에서 실시하지 않는다. 타당성조사와 실시설계의 시행시기의 차이 때문에 이 단계에서 결정한 노선은 지반 조건이나 사회적 여건의 변동에 따라 기본설계나 실시설계 단계에서 좌우로 200 ~ 300m 정도, 때로는 1 ~ 2km 까지 조정되는 경우가 있을 수 있다.

경제성을 판단하기 위하여 편익/비용비, 순현재가치, 내부 수익률, 개통 초기 년도 편익 또는 개통 초기 년도 수익률 등 경제적 평가지표를 산출한다. 계획 노선의 개통시 관련 도로망에서의 총 주행 비용과 계획 노선을 건설하지 않을 경우 관련 도로망에서의 총 주행 비용의 차이가 편익이다.

장래 교통 수요를 예측하고 주행비를 산정하기 위해 실시하는 교통량 조사 및 사회·경제지표 조사는 타당성조사 단계에서 가장 심도있게 다루어야 할 부분이다.

2.2 기본설계

기본설계는 타당성조사에서 제시된 도로 기능과 경제성 지표를 재검증하고 제안된 노선대에서 최적 노선을 결정하며, 교차로, 출입시설, 주요 교량, 터널 등 주요 시설의 위치 및 형식에 대해 일반적인 조사와 대안의 비교 분석을 통하여 최적안을 계획하는 것이다.

이 단계에서는 실시설계에 필요한 설계기준, 공사기간, 건설비용 등의 기술 자료를 작성하고 1/5,000 축척의 지형도상에 도로의 선형과 부대시설 등에 대한 기본 골격을 잠정적으로 결정한다.

주요 구조물 지점에는 개략 토질 조사를 실시하고 답사를 통해 도로의 기본선형과 교차로, 출입시설이나 주요 구조물의 위치 및 형식 등을 결정한다. 이 과정에서 직접 세부측량을 실시하지 않고 1/5,000 지형도를 이용하여 기본설계를 시행하는 것을 원칙으로 한다. 이 경우에는 각 시설의 평면상의 위치와 표고가 정확할 수는 없을 것이다. 그러나 이 경우 도로기술자는 실시설계시에 시설물의 위치가 과다하게 변경되는 일이 없도록 주의해야 한다. 또한 기본설계에서 산출한 개략 공사비와 실시설계에서 산출한 공사비의 차이가 크지 않도록 충분한 현지답사와 필요하다면 보링 등 지반조사를 시행하는 등 정확도를 높이는 노력을 기울인다.

국립지리원의 1/5,000 지형도는 항공측량에 의해서 제작된 것이다. 거의 전 국토에 걸쳐서 지도가 제작되어 있으며, 지형정보를 3차원 수치정보로 디스켓이나 CD-ROM으로도 제공하고 있다. 따라서 국내에서 사용하고 있는 국내외의 도로 설계용 컴퓨터 소프트웨어를 사용하면 타당성조사나 기본설계를 수행할 때 아주

편리하다. 기본설계의 도면은 1/1,000~1/1,200을 원칙으로 하지만 필요시 1/5,000을 사용할 수도 있다. 발주처에서 현황도를 제시할 경우에는 이를 따른다.

도로 노선은 기본설계 단계에서 결정되고 실시설계 단계에서는 평면선형과 종단선형의 조정이 극히 제한되기 때문에 도로의 선형은 기본설계 단계에서 결정된다고 생각해야 한다. 따라서 기본설계 단계에서의 노선 결정 작업은 도로의 기능과 기본 골격을 결정하는 가장 중요한 것이 된다.

또한 이 단계에서는 도로계획의 흐름도에 나타낸 바와 같이 지역 주민의 의견 수렴, 관계기관과의 국토 이용계획에 대한 협의, 환경영향 평가에 따른 환경 영향 저감 대책 수립 등도 중요하다.

2.3 실시설계

실시설계는 기본설계에서 결정된 모든 시설물의 위치, 형식, 규격, 재료 등에 대한 상세한 설계를 시행하는 것이다. 이 단계에서는 기본설계에서 제시된 최적노선에 대한 재검토와 교량, 터널, 교차로와 출입시설, 휴게소, 정류장, 포장, 배수시설 등 모든 시설에 대한 재검토를 실시한 후에 공사 시행에 필요한 모든 설계도서를 작성한다.

기본설계를 실시한 후에 실시설계를 수행하는 경우에는 기본설계에서 선정한 최적 노선에 대하여 평면과 종단선형 조정작업을 실시한다.

노선 선형조정시 고려해야 할 사항은 기본설계의 경우와 거의 같다. 다만 이 과정에서는 기본설계에서 결정한 노선의 선형을 조정하기 때문에 극히 제한된 범위에서 이루어지는 것이 다르다.

컴퓨터를 이용한 도로의 전산설계는 도로설계의 정밀도를 높이고 수작업에 의한 반복작업을 최소화하여 업무의 효율을 높일 수 있다. 일반적인 도로의 전산설계 과정은 다음과 같다.

【1단계】

과업의 준비과정으로, 과업대상지역의 지형을 전산 데이터화하는 공정으로 전술한 항공측량외에 지도를 스캐닝하고 이미지화된 지도를 벡터라이징하는 방법이 있는데 항공측량에 비해 비용이 저렴하며, 제작기간이 짧기 때문에 많이 활용된다. 이 기간동안 설계 담당기술자는 현장답사, 관련자료조사 등의 업무를 동시에 수행할 수 있다.

완성된 지형데이터는 사용할 도로 설계 전용 프로그램에서 요구하는 형태로 변형(삼각망 혹은 격자형 3차원 모델)되며 설계에 필요한 지반고, 횡단모양을 추출하는데 활용된다.

【2단계】

준비된 지형의 범위내에서 측점이나 구조물의 일반적 자료를 입력하게 되면 계획평면, 좌표전개도, 종평면도, 횡단도, 토공 물량 및 유토곡선에 대한 도면을 바로 출력할 수 있다. 물론 다수의 평면 및 종단 비교선형을 동시에 처리할 수 있다.

【3단계】

세부설계 및 공사비 산출은 실측으로 조사된 지형을 기존의 지형모델에 통합함으로써 정밀성을 높일 수 있다.

각종 구조물의 해석이나 설치 등에는 많은 프로그램들이 활용되어지고 있으며, 특히 작업량이 많이 소요되는 도면 작성을 위해 CAD

프로그램이 널리 사용된다.

설계도서는 모든 시설물에 대한 기하구조 도면, 공사 및 재료 시방서, 공정계획, 구조 및 수리계산서, 공사비 내역서와 실시설계 보고서 등이다. 실시설계 보고서에는 실시설계 과정, 비교노선 검토내용, 공법 선정 이유, 관련 기관 협의 내용, 주민 의견 수렴내용 등과 유지관리 지침을 수록한다.

기본설계 단계까지 조사된 환경 영향 저감대책에 대한 상세 설계도 포함해야 하며 점용되는 용지에 대한 용지도와 지장물 조서도 작성한다. 설계당시 조사가 불충분하여 공사 도중에 공법이 변경되거나 민원제기에 따라 공사비와 공사기간이 증가되는 일이 없도록 철저한 지반 조사와 지장물 조사를 실시한다.

2.4 설계단계의 통합수행

설계의 통합수행은 타당성조사와 기본설계 또는 기본설계와 실시설계가 동시에 시행되는 방법이다. 예를 들어 타당성조사는 주요 도시 및 주요 경유지를 연결하는 50~100km 정도의 공간적 범위를 대상으로 시행하고, 기본설계는 타당성조사가 완료된 후 최적노선을 30~50km 정도로 구간 분할하여 시행하며, 실시설계는 기본설계의 최적노선을 공사수행이 용이하게 10km 전후로 재분할하여 상세설계를 시행하는 것이 일반적이지만, 만약 대상구간이 길지 않고 계획연장이 동일한 경우라면 업무구분을 하지 않고 중복하여 시행할 수 있다.

업무내용은 앞서 언급한 단계별 내용과 같으나 중복되어 수행하여야 할 업무내용에 대하여는 과업수행 중 진행되는 공정에 따라 그 정도를 조절해야 한다. 즉 교통수요 예측 등의 성과는 기본설계를 목표로 한 성과가 얻어질 수 있도록 타당성조사시 기본자료의 구축이 이루어져야 할 것이며, 타당성조사와 기본설계가 통합수행되는 과정에서는 측량 등의 성과는 실시설계를 목표로 한 성과가 얻어질 수 있도록 기본설계시 수행되어야 할 것이다.

그러므로 설계의 통합수행에서도 각 단계별로 수행되어지는 설계과정의 업무내용을 단계별로 수행하여야 하며 단지 통합수행의 최종단계의 과정에서 요구되는 정도를 목표로 한 성과품이 생산될 수 있도록 각 단계에서 주의를 기울여야 한다.

(1) 타당성 조사와 기본설계의 통합수행

도로의 기능을 결정하고 최적노선대의 도출 및 최적노선대에서 제시될 수 있는 모든 노선에 대한 기술적, 경제적 평가를 통하여 최적노선을 선정하고 선정된 노선에 대한 기본설계를 수행하는 과정이 순차적으로 진행되어야 한다.

노선대의 도출과정은 1/25,000 ~ 1/50,000 지형도를 이용하게 되며 최적노선대에서 최적노선을 도출하기 위한 과정은 1/5,000 지형도로 대안들의 비교분석을 통하여 이루어지게 된다.

(2) 기본설계와 실시설계의 통합수행

타당성조사에서 제시된 자료들에 대한 검증을 실시하고 1/5,000 상에서 대안을 설정하여 비교평가하여 최적노선을 도출하게 되며 최적노선에 대한 기본설계와 실시설계를 순차적으로 진행하게 된다.

기본설계와 실시설계의 업무내용 및 그 과정은 앞서 언급한 단계별 설계내용과 같으며 단계별로 중복되는 과정은 최종단계인 실시설계를 목표로 진행되어야 한다.

최적노선이 도출되어 검증이 완료되면

1/1,200 ~ 1/1,000의 측량성과를 이용하여 기본설계를 수행하며 토질조사 등도 실시설계를 수행함에 지장이 없도록 기본설계시 정도를 높여 시행하는 것이 설계의 효율성을 증대시킬 수 있을 것이다.

102.3 성과품

3.1 성과품 작성의 특기사항

각 설계단계의 성과품 작성시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

3.1.1 타당성조사

(1) 보고서

① 각종 조사자료는 본 보고서의 항목에 포함하여 수록하는 것을 원칙으로 하되, 그 양이 과대하여 별도의 보고서를 작성하는 것이 적절한 경우에는 발주청과 협의 후 작성하며, 본 보고서에는 요약분을 수록한다.

② 건설기술심의 및 자문내용, 각종 업무 협의 사항에 대한 조치결과는 부록에 수록한다.

③ 타당성조사 용역의 실명화를 위해 참여한 연구진, 기술자, 관계 공무원 등과 참여 범위를 기록한다.

④ 수급인은 사업 추진에 유리한 공사발주 형태(턴키, 대안, 기타공사 등)의 장·단점을 검토·분석한다.

(2) 기타

① 도면의 크기는 KSA5201의 A0-A6에 준하는 것을 원칙으로 한다.

② 모든 보고서는 A4 크기 용지에 작성하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 관련도면, 집계표 등을 위해 A3 크기 또는 적절한 크기의 용지를 사용할 수 있다.

③ 모든 보고서 도면을 비롯한 성과품은 CD-ROM 또는 전산디스켓에 저장하여 발주청에게 1set를 제출한다.

④ CD-ROM 또는 전산디스켓의 파일명 및 번호체계는 발주청의 지침에 따른다.

3.1.2 기본설계

(1) 설계보고서

① 발주청이 본 보고서를 요약한 요약보고서를 요구하는 경우에는 발주청의 지시에 따라 소요 부수, 수록 내용 등을 결정하여 제출한다.

② 토질조사는 본 보고서에 한 항목으로 수록하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 조사량이 과대하여 별도 보고서를 작성하는 것이 적절한 경우에는 발주청과 협의 후 작성하며, 본 보고서에는 요약분을 수록한다.

③ 토질조사 보고서에는 조사, 시험결과로 얻어지는 각종 지반의 물성치를 기재하여야 하며 계획지역의 지반구성 상태, 연약지반 현황, 예상되는 구조물 기초의 종류(직접기초, 말뚝기초, 우물통기초 등)에 따른 적합성 여부, 허용지지력 등을 수록한다.

④ 건설기술심의 내용 및 자문, 업무협의 사항에 대한 조치결과는 부록에 수록한다.

⑤ 설계 실명화를 위해 과업 참여 기술자 및 참여 범위를 기록한다.

(2) 주요 구조 및 수리계산서

① 구조계산서는 계산된 모든 것을 정확하게 수록하여 손쉽게 검토할 수 있도록 한다.

② 각종 계산에 사용된 전산 프로그램명과 이를 이용하여 설계한 사항을 기재한다.

③ 국제적으로 공인된 구조계산용(SAP90,

GTSTRUDL, NASTRAN, ADINA 등) 또는 터널 계산용 프로그램이 아닌 경우에는 적정성이 확인된 프로그램을 사용한다.

④ 전산 프로그램을 사용하여 계산한 경우, 구조계산서에는 정확한 모든 입력자료와 출력자료를 정리하여 기록해야 한다.

⑤ 모든 전산 프로그램의 출력자료는 구조계산서의 부록으로 하고, 그 양이 과대한 경우에는 별책으로 작성하여 최소 소요 부수만 제출한다. 그러나 정리된 형태로 입출력 자료가 인쇄된 것은 본 구조계산서 해당 항목에 수록한다.

⑥ 구조계산서 각 부분별 첫 쪽마다 우측상단에 작성자와 검토자가 적정 여부를 확인한 후 서명하도록 한다.

⑦ 구조계산시 주요 설계계수가 가정 값인 경우에는 반드시 가정 값임을 명시한다.

⑧ 수리계산서는 계산된 모든 것을 정리하여 수록하고 손쉽게 검토할 수 있도록 한다.

⑨ 수리계산서에서 설계자의 소견이 필요할 때는 그 내용 및 대책을 명확히 하여 배수구조물 설계도면 및 사용상에 하자가 없도록 한다.

(3) 기본설계 예산서

① 설계예산서는 설계내역서, 단가산출서, 수량산출서로 구별한다.

② 설계예산서에는 총공사비와 공사개요를 기재하며, 설계내역서에는 제 경비에 따른 비용이 포함되어야 한다.

③ 설계예산서 작성은 설계용역 완료 ○○일 전 해당 월을 기준으로 작성한다.

④ 단가산출서의 단가는 예비단가로 하며 예비단가 산출방법은 발주청과 협의한다.

⑤ 수량산출서는 설계내역서 및 단가산출서의 항목과 일치하게 공종별 기본수량을 산출한다.

⑥ 설계예산서는 회계예규 원가계산에 의한 예정가격 작성준칙에 의거 작성한다.

(4) 기본설계 도면

① 설계도면은 이해가 쉽도록 상세히 작성한다.

② 모든 설계도면은 도면 작성자, 검토자, 책임기술자의 서명 또는 날인이 있어야 한다.

③ 설계도면에는 주석란을 만들어 구조물 설계방법, 재료의 종류, 강도 등과 같은 주요 설계조건과 시공시에 유의해야 할 사항 등 해당 도면 공사 내용에 대한 특기 사항을 수록해야 한다.

④ 설계도면에는 관련 도면란을 만들어 해당 도면의 내용과 밀접한 관계가 있는 도면의 번호를 수록해야 한다.

⑤ 설계도면은 KS A0005(제도통칙)과 KS F1001(토목제도통칙)에 따라 작성한다.

⑥ 도면 하단의 표제란의 형식은 발주청과 협의하여 결정한다.

⑦ 모든 도면은 CAD 시스템을 이용하여 작성하는 것을 원칙으로 한다.

⑧ 설계도면에 작성되는 단위는 C.G.S를 원칙으로 하며, 특수 단위가 필요할 때는 발주청과 협의한 후 사용한다.

⑨ 도면의 맨 앞에는 전체 도면의 목차를 작성한다.

(5) 기타

① 도면의 크기는 KS A5201의 A0-A6에 준하는 것을 원칙으로 한다.

② 모든 보고서, 계산서, 지침 등은 A4 크기 용지에 작성하는 것을 원칙으로 한다. 그러나, 도면, 집계표 등을 위해 A3 크기 또는 적절한

크기의 용지를 사용할 수 있다.

3.1.3 실시설계

(1) 설계보고서

① 발주청이 본 보고서를 요약한 요약보고서를 요구하는 경우에는 발주청의 지시에 따라 소요 부수, 수록 내용 등을 결정하여 제출한다.

② 지질 및 지반조사 보고서는 별도로 작성하고 본 보고서에는 요약본을 수록하는 것을 원칙으로 하나 지반조사의 내용이 적을 경우에는 발주청과 협의 후 본 보고서의 한 항목으로 하고 시추주상도, 시험결과 등은 부록에 수록한다.

③ 건설기술심의 내용 및 자문, 업무협의 사항에 대한 조치결과는 부록에 수록한다.

④ 설계 실명화를 위해 과업 참여 기술자 및 참여 범위를 기록한다.

(2) 지질 및 지반조사 보고서

① 지질 및 지반조사 보고서에는 조사개요, 조사항목, 조사위치, 조사방법, 조사내용, 각종 시험 내용 및 결과, 시추주상도가 수록(교량은 교량 기초 전체)되어야 하며, 시험결과로 얻어지는 각종 지반의 물성치 계획지역의 지반 구성 상태, 연약지반 현황 및 대책, 예상되는 구조물 기초의 종류에 따른 적합성 여부, 허용지지력 검토 등이 포함되어야 한다.

② 또한, 대절토부 및 대성토부는 별도의 사면 안전 검토를 실시한 후 그 내용을 수록하고 적정 비탈경사를 제시해야 한다.

(3) 구조 및 수리계산서

① 구조계산서는 계산된 모든 것을 정확하게 수록하여 손쉽게 검토할 수 있도록 한다.

② 각종 계산에 사용한 전산 프로그램명과 이를 이용하여 설계한 사항을 기재한다.

③ 국제적으로 공인된 구조 계산용(SAP90, GTSTRUDL NASTRAN, ADINA 등) 또는 터널 해석용 범용프로그램이 아닌 경우에는 적정성이 확인된 프로그램을 사용한다.

④ 전산 프로그램을 사용하여 계산한 경우, 구조계산서에는 정확한 모든 입력자료가 정리되어야 한다. 또한 그에 대한 출력자료 역시 정리되어 있어야 한다.

⑤ 모든 전산 프로그램의 출력자료는 구조계산서의 부록으로 하고, 그 양이 과대한 경우에는 별책으로 작성하여 최소 소요 부수만 제출한다. 그러나 정리된 형태로 입출력 자료가 인쇄된 것은 본 구조계산서 해당 항목에 수록한다.

⑥ 구조계산서 각 부분의 첫 쪽마다 우측 상단에 작성자와 검토자가 적정 여부를 확인한 후 서명한다.

⑦ 구조 계산시 주요 설계변수가 가정 값인 경우에는 반드시 가정 값임을 명시하도록 한다.

⑧ 수리 계산서는 계산된 모든 것을 정확하게 정리하여 수록하고 손쉽게 검토할 수 있도록 한다.

⑨ 수리계산서에서 설계자의 소견이 필요할 때에는 그 내용 및 대책을 명확히 하여 배수구조물 설계도면 및 사용상에 하자가 없도록 한다.

(4) 설계예산서

① 설계예산서는 설계설명서, 설계내역서, 단가산출서, 수량산출서로 구별하고 단가산출서, 수량산출서는 별책으로 작성한다.

② 설계예산서에는 총 공사비와 공사개요를 기재하며, 총괄 내역서에는 제경비 및 시공상

세도면 작성, 추가 지반조사 비용이 포함되어야 한다.

③ 설계예산서 작성은 설계용역완료 ○○일 전 해당 월을 기준으로 작성한다.

④ 노임기준은 당해년도 시중 공사 노임단가(대한건설협회)를 기준으로 한다.

⑤ 재료비는 「정부구매물자 가격정보」를 우선으로 하며 가격정보에 없는 재료는 2개 이상의 물가정보지를 참조하여 산출한다.

⑥ 품셈은 당해년도 「건설공사 표준품셈」에 준한다.

⑦ 중기손료 작성시의 외환환율은 당해년도 1월3일 외환은행 전신환매도율을 기준으로 하나 외환환율의 변동이 클 경우는 발주청과 협의 후 결정한다.

⑧ 공사비 산출을 위한 견적서는 3개 업체 이상의 것을 기준으로 하되, 부득이한 경우에는 발주청과 협의하여 1개 또는 2개 업체의 견적서를 기준으로 한다.

⑨ 설계예산서는 회계예규 원가계산에 의한 예정가격 작성 준칙에 의거 작성한다.

⑩ 수량산출서 작성시 자재할증, 손율, 고재처리 등은 건설공사 표준 품셈에 준한다.

(5) 설계도면

① 설계도면은 이해가 쉽도록 상세히 작성한다(특히 주요 상부 구조물도는 시공 상세도 첨부).

② 실시설계의 구조물 도면에는 설계방법(허용응력 설계법 또는 강도설계법)에 대하여 표시해야 한다.

③ 모든 설계도면에는 도면작성자, 검토자, 책임기술자의 서면 또는 날인이 있어야 한다.

④ 설계도면에는 주석란을 만들어 구조물 설계방법, 재료의 종류, 강도 등과 같은 주요 설계조건과 시공시에 유의하여야 할 사항 등 해당도면 공사 내용에 대한 특기사항을 수록한다.

⑤ 설계도면에는 관련 도면란을 만들어 해당 도면의 내용과 밀접한 관계가 있는 도면의 번호를 수록한다.

⑥ 설계도면 개정란을 만들어 도면의 history를 기록한다.

⑦ 설계도면은 KS A0005(제도통칙)과 KS F1001(토목제도통칙)에 따라 작성한다.

⑧ 도면 하단의 표제란의 형식은 발주청과 협의하여 결정한다.

⑨ 주요 설계계수가 가정 값인 경우 현장시공에 앞서 확인이 필요하면 도면 주석란에 이러한 사실을 명시해야 한다.

⑩ 모든 도면은 CAD 시스템을 이용하여 작성하는 것을 원칙으로 한다.

⑪ 설계도면에 작성되는 단위는 C.G.S를 원칙으로 하며, 특수 단위가 필요할 때는 발주청과 협의한 후 사용한다.

⑫ 도면의 맨 앞에는 전체 도면의 목록을 작성한다.

(6) 공사시방서

① 공사시방서, 해당공사일반시방서, 특별시방서, 단가설명서 등은 공사계약문서의 일부분으로 시설물 또는 구조물의 품질, 기능, 구조, 재료 등과 시공절차, 방법, 기타 시공 및 유지관리에 필요한 요구사항 등을 규정한 것으로, 해당 표준시방서 및 전문시방서 관련법규 등을 근간으로 발주청 및 설계자의 설계의도가 정확히 반영될 수 있도록 한다.

② 공사시방서는 다음과 같은 사항을 포함하며 건설교통부 발행 건설 공사시방서 작성기준을 참고하여 작성한다.

- 적용범위, 용어의 정의, 설계도서의 적용

우선순위, 설계도서 검사 의무 등에 관한 상세사항
- 해당 건설공사 표준시방서 및 전문시방서, 관련 법규 및 지침, 제 기준의 명칭
- 계약문서의 계약조건 이외의 필요한 계약조건에 관한 사항
- 관련 법규에 따른 요구사항 및 조건에 관한 상세사항
- 수급인이 작성해야 할 시공상세도 목록
- 수급인이 제출할 각종 보고서 및 서류 등에 관한 방법, 시기 및 절차 등에 관한 세부사항
- 발주청과 수급인 사이의 책임범위 및 한계
- 공사관리, 공정관리, 품질관리, 안전관리, 환경관리 등에 대한 상세사항
- 주요 공종별 시공방법 및 절차, 시험방법, 허용오차, 사용자재, 사용장비, 소요인원 등에 대한 상세한 규정
- 공사전반에 관한 주의 사항 및 절차
- 기타 주요공사 사항

③ 공사시방서 작성시 유의사항
- 공사시방서는 전문용어를 사용하고, 정확하고 완전하며 간단 명료하게 작성하여 해석에 이견이 없도록 한다.
- 계약상 필요한 모든 사항이 포함되도록 작성한다.
- 표준 양식을 작성하도록 하고, 되도록 작성형식의 일관성을 유지한다.
- 공법 및 공종에 맞는 자재, 장비, 인원을 선정한다.
- 공종 전반에 대해 기술하며, 목차는 가능한 한 공사 순서대로 작성한다.
- 현실적으로 가능한 방법 및 내용으로 작성한다.
- 공사기성에 관련된 사항을 이해가 명확하도록 한다.
- 발주청의 의도를 정확히 파악하고, 발주청의 감독, 수급인, 감리자 등이 직면할 수 있는 어려움을 감안하여 신중히 작성한다.
- 정확한 문법을 준수하고 오자, 오기 등이 없도록 작성한다.

④ 단가설명서
- 단가 구성내역과 범위를 확정하고 완전하며 간단 명료하게 작성하여 해석에 이견이 없도록 한다.

(7) 용지도 및 용지 조서의 작성

① 용지도는 지적기사 자격소지자가 용지도 작성 및 확인, 날인하여야 하며, 용지도상에는 도로부지경계선 및 중심선을 표시하고, 행정구역, 지번, 지목, 축척 등을 기입하고, 중요물건(가옥, 분묘, 전주, 지하매설물)을 표시한다.

② 용지조서에는 지번, 지적, 지목, 소유자의 주소, 성명이 표시되어야 하며, 지적에는 당초 지적과 계획도로로 분할된 지적을 구분하여 작성한다.

③ 소유권 이외의 권리(저당권, 지상권, 지역권 등)가 설정되어 있거나 예고등기, 가등기 등이 설정되어 있는 경우는 그 내용을 기입하고 공유물일 경우는 공유지분을 기입한다.

④ 지적도 상의 토지 중 등기가 되어 있지 않거나, 토지대장에도 미등록된 토지는 소유자란에 별도 기제한다.

⑤ 용지조서 작성에 사용한 지적도, 임야도, 토지대장, 등기부등본 등은 성과품 납품시에 함께 제출한다.

(8) 보상대상 및 지장물조서의 작성

과업용지내 보상대상 물건 및 지장물은 종류별로 상세하게 조사 기입한다.

(9) 기 타

① 도면의 크기는 KSA5201의 A0-A6에 준하는 것을 원칙으로 한다.

② 모든 보고서, 계산서, 시방서, 지침 등은 A4 크기 용지에 작성하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 도면, 집계표 등을 위해 A3 크기 또는 적절한 크기의 용지를 사용할 수 있다.

3.2 보고서 성과품 내용

각 단계의 도로설계 보고서의 작성은 “건설공사의 설계도서 작성 기준(건설교통부, 1998)”을 참고한다.

<표 102.2>, <표 102.3>, <표 102.4>는 성과품의 내용을 정리한 것이다.

3.3 도로설계 성과품의 검토

도로설계 성과품에 대한 검토사항을 점검할 수 있도록 부록에 설계 검토 점검표를 수록하였다.

본 점검표의 검토내용은 기본설계 및 실시설계에 해당하는 일반적인 내용의 작성 사례이며, 도로사업의 특성에 따라 해당 점검표를 작성하여 활용한다.

<표 102.2> 타당성 조사 보고서 성과품 내용

항 목	내 용
1. 표지	
2. 제출문	• 용역업체의 대표이사 명의의 제출서
3. 참여 기술자	• 참여자 명단 및 인적사항, 업무 내용
4. 목차	• 보고서 목차
5. 위치도	• 전 노선을 한 장으로 표기할 수 있는 축척
6. 과업의 개요	• 목적, 범위, 내용, 과업수행방법 등
7. 조사	• 관련계획조사 • 현지조사 및 답사 • 교통량 및 교통시설조사 • 수리, 수문조사 • 기상, 해상조사 • 선박운항조사 • 환경영향조사 • 지역개발 현황 • 문화재, 유적지 등 주요 지장물 조사 • 광업권 및 폐광조사
8. 계획	• 교통분석 • 경제성분석 및 재무분석
9. 노선대 검토	• 후보노선대 설정 및 검토, 평가 • 최적노선대 선정 및 노선계획 • 최적노선대의 주요 구조물
10. 개략 공사비 산출	• 추정 공사량 • 추정 공사비, 용지비, 기타
11. 결론 및 종합	• 타당성 조사 업무 수행 결과
12. 부록	• 기술 심의 및 자문사항 • 관계기관 업무협의 및 지시사항 등

<표 102.3> 기본설계 보고서 성과품 내용

항 목	내 용
1. 표지	
2. 제출문	• 용역업체의 대표이사 명의의 제출서
3. 참여 기술자	• 참여자 명단 및 인적사항, 업무 내용
4. 목차	• 보고서 목차
5. 위치도	• 전 노선을 1장으로 표기할 수 있는 축척
6. 공사 개요	• 목적, 범위, 내용, 과업수행방법 등
7. 조사	• 현지조사 및 답사 • 수리, 수문조사 • 환경영향조사 • 예비측량 • 지질 및 지반조사 • 지장물 및 구조물 조사 • 토취장, 골재원, 사토장 조사 • 사회·경제 특성조사 및 분석 • 통행특성 및 통행실태 분석 • 교통시설 운영 현황 및 교통량 • 기상, 기후 생태계 조사 • 기타
8. 계획	• 전 단계 성과 검토 • 교통분석 및 평가 • 환경영향 검토 • 노선계획 • 수리, 수문검토 • 구조물 계획 • 설계기준 작성 • 관련기관 협의 • 기타
9. 기본설계	• 선형 • 토공, 교량공, 터널공, 포장공 • 출입시설, 부대시설
10. 기본사업비	• 공사비와 보상비로 구성
11. 부록	• 각종 조사자료, 선형계산서 • 기술 검토 사항 • 기술심의 및 자문사항 • 업무협의 및 지시사항 • 관계기관 협의자료

<표 102.4> 실시설계 보고서 성과품 내용

항 목	내 용
1. 표지	
2. 제출문	• 용역업체의 대표이사 명의의 제출서
3. 참여 기술자	• 참여자 명단 및 인적사항, 업무 내용
4. 목차	• 보고서 목차
5. 위치도	• 1/25,000 ~1/50,000
6. 공사 개요	• 목적, 범위, 내용, 기간, 과업수행방법, 금액 등
7. 조사	• 현지조사 및 답사 • 측량 • 지질 및 지반조사 • 지장물 및 구조물 조사 • 용지조사 • 기존도로 현황조사 • 토취장, 골재원, 사토장 조사 • 수문조사 • 용수로 및 농로조사 • 지하매설물 조사 • 도시계획 현황조사 • 기타
8. 계획	• 전 단계 성과 검토 • 노선계획 • 구조물 계획 • 설계기준 및 기타 • 관계기관 협의 • 기타
9. 상세설계	• 설계기준/조건 • 선형 • 토공 • 용·배수공 • 구조물공 • 포장공 • 출입시설 • 부대시설, 안전시설 • 기타
10. 사업비 분석	• 공사개요 • 공사비 산출 • 사업비 분석 • 용지 및 지장물 보상비
11. 부록	• 각종 조사자료 • 선형계산서 • 기술심의 및 자문사항 • 업무협의 및 지시사항 • 관계기관 협의자료 • 민원 추진사항 등

103

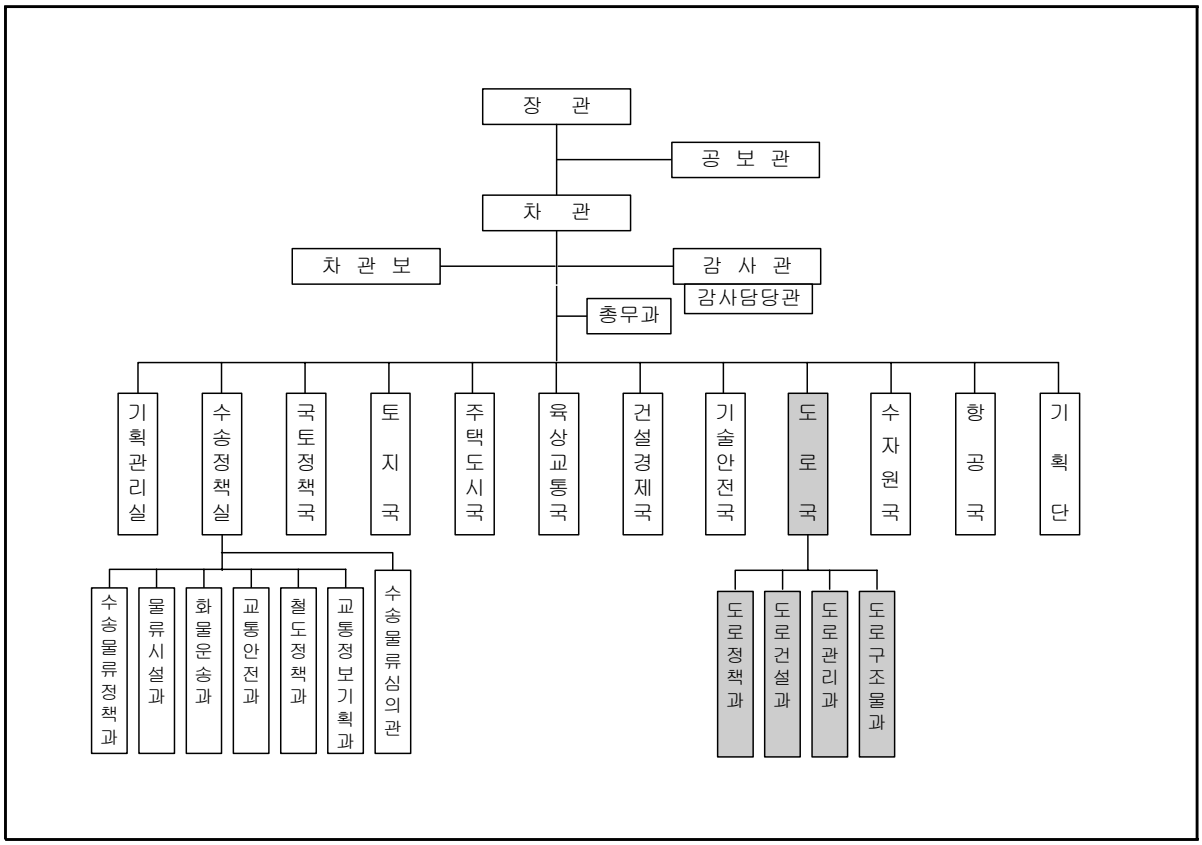
도로 관련 조직 및 관계 법령

103.1 행정조직

(1) 중앙정부

건설교통부의 도로 관련 주요 부서는 <그림 103.1>과 같다.

* 인터넷 홈페이지 http://www.moct.go.kr



<그림 103.1> 건설교통부 조직도

(2) 지방자치단체

지방자치 단체의 도로관련 기구로 특별시·광역시 및 도에는 건설국 도로과가 있으며, 시 및 군에는 건설과가 있다. 시장은 고속국도를 제외한 시 구역 내의 도로를 건설 및 관리하며, 도지사는 지방도, 군수는 군도를 건설하고 관리한다.

(3) 한국도로공사

한국도로공사는 고속도로의 신설·확장 및 유지관리, 부대 및 편의시설의 설치와 관리, 고속도로 연접지역 개발사업, 관련업무 연구 및 기술개발 등의 업무를 수행한다.

103.2 연구기관

(1) 한국건설기술연구원

한국건설기술연구원은 건설 산업 기술을 전문적, 체계적, 종합적으로 연구 개발하고 선진 기술을 도입, 연구, 보급함으로써 토목, 건축 및 건설 관련 기술의 향상 발전에 기여함을 목적으로 설립되었다.

토목연구부 도로시설연구그룹에서는 쾌적한 도로 환경의 조성과 도로 투자의 효율성을 증대시키기 위하여 도로시설에 대한 합리적인 설계 기법을 개발하고 이들을 체계적으로 운영하고 유지·관리하기 위한 조사·실험 및 이론 연구를 하고 있다.

- 도로설계의 합리화
- 포장재료의 평가 및 실험
- 도로의 효율적 유지관리
- 도로용량 및 안전의 평가

또한 교량, 터널, 지반, 첨단도로시스템 등은 관련 그룹에서 해당 연구를 수행하고 있다.

* 인터넷 홈페이지: http://www.kict.re.kr

(2) 국토연구원

국토연구원은 국토자원의 효율적 이용, 개발, 보전에 관한 정책을 종합적으로 연구 발전시켜 각급 국토계획의 수립에 기여함을 목적으로 설립되었다.

교통과 관련하여 국토 전체의 골격을 형성하는 간선 교통망을 비롯하여 대도시에서 소도시에 이르는 도시 교통 체계에 대한 계획, 운영 등을 연구하고 있다.

- 국토계획 등 관련 계획 지원
- 도로 등 교통시설 관련 정책
- 도시교통계획 및 운영 정책
- 교통부문 행정·재정 및 관련 제도

* 인터넷 홈페이지: http://www.krihs.re.kr

(3) 교통개발연구원

도로 관련 교통계획 및 교통정책의 수립·시행에 관한 조사·연구와 교통기술의 연구·개발을 하고 있다.

- 국가 기간 교통망 수립을 위한 고속도로, 고속철도 중장기 계획에 관한 연구
- 체계적 교통안전 계획 및 운영에 관한 연구
- 첨단교통체계(ITS) 구축에 관한 연구
- 지리정보시스템(GIS)의 교통부문 응용을 위한 연구

* 인터넷 홈페이지: http://www.koti.re.kr

(4) 한국도로공사 도로연구소

한국도로공사 도로연구소는 국가 산업의 대동맥인 고속도로의 필요성이 증대되고, 이에 따른 고속도로의 신속성, 안전성, 쾌적성에 바탕을 둔 도로건설이 요구됨에 따라 고속도로에 관한 연구 및 품질관리 업무, 시공 평가 및 기술 정보 수집 등의 업무를 수행하고 있다.

- 도로기술 선진화를 위한 연구 개발
- 건설 공사 부실 시공 방지 기능
- 신공법, 신기술의 기술 이전, 유지관리체계 구축
- 전문 도로 기술 인력 양성

* 인터넷 홈페이지: http://www.freeway.co.kr

(5) 교통안전공단 연구소

교통안전법에 의하여 교통사고의 예방을 위한 사업을 시행함으로써, 교통안전 관리의 효율화를 도모하고 국민의 생명, 신체 및 재산의 보호에 기여할 수 있는 연구를 하고 있다.

- 교통안전에 대한 교육・계몽・홍보
- 교통안전 기술의 개발・보급・지원 및 외국 기술의 도입
- 교통안전 정보의 수집・조사 연구 및 국제 협력
- 자동차의 성능 및 안전도에 관한 시험・연구

* 인터넷 홈페이지: http://www.kotsa.or.kr

(6) 도로교통안전관리공단 교통과학연구원

도로교통의 위해 방지를 위하여 교통안전 의식을 함양하고, 교통안전에 관한 기술을 개발함으로써 교통 질서 확립과 안전성 제고에 기여할 수 있는 연구를 수행하고 있다.

- 교통안전 대책에 관한 조사・연구
- 교통안전 기술의 연구, 개발 보급 및 기술 지원
- 교통안전에 관한 교육 홍보, 자료수집 및 발간

* 인터넷 홈페이지: http://www.rtsa.or.kr

103.3 도로 관계 법령

도로와 관련한 법령은 국회의 "대한민국 현행 법령"에 분야별로 전문이 올라와 있으므로 이를 참고한다.

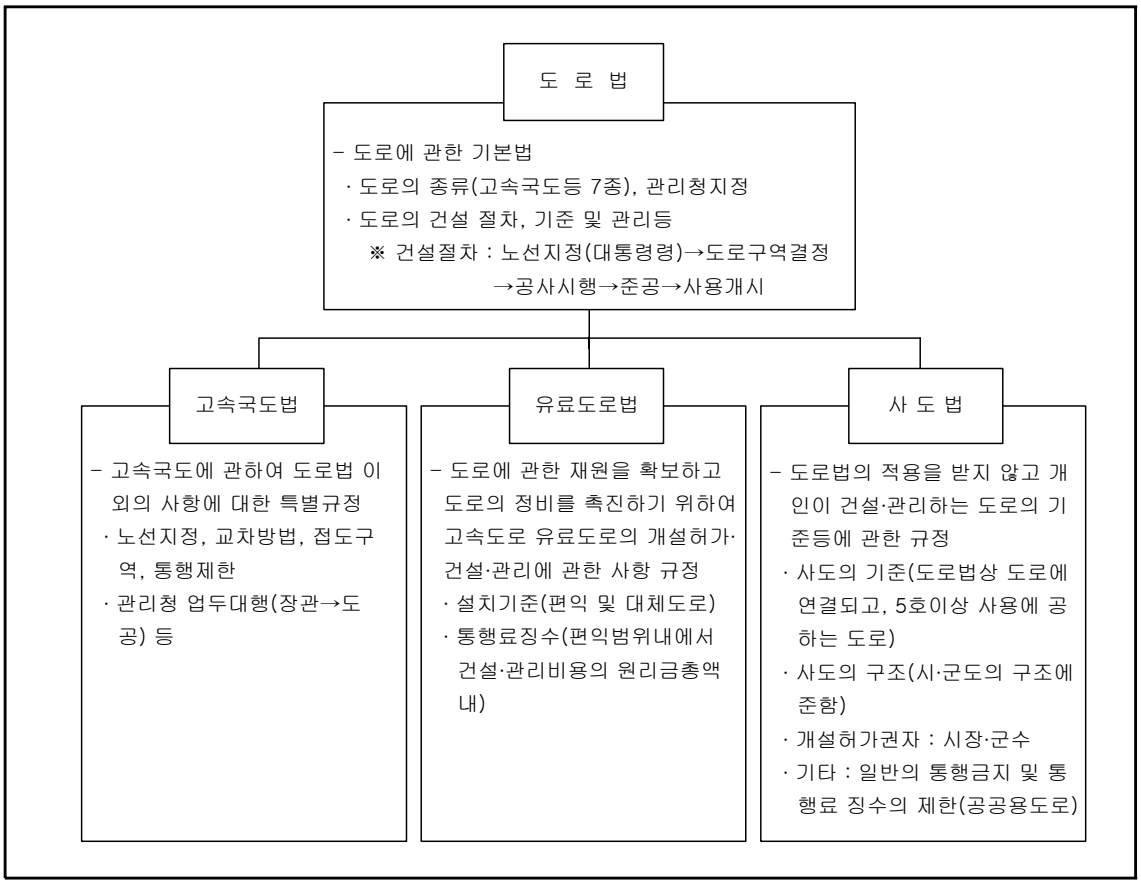
* 인터넷 홈페이지 :
http://f40.assembly.go.kr:8000/law/index2.htm

(1) 현황

<표 103.1> 도로 관계 법령 현황

법 률	대 통 령 령	부 령	훈 령
1. 도로법	1. 도로법시행령	1. 도로법시행규칙	1. 도로관리심의회 설치운영규정
		2. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙	
		3. 도로유지보수운영규칙	2. 국도유지보수 운영규정
		4. 도로연결관리규칙	
		5. 도로표지규칙	
	2. 일반국도노선지정령		
	3. 국가지방지원도노선지정령		
2. 고속 국도법	4. 고속국도법시행령		
	5. 고속국도노선지정령		
3. 유료 도로법	6. 유료도로법시행령	6. 유료도로법시행규칙	
	7. 유료도로관리등록령	7. 유료도로관리권 등록령시행규칙	
4. 사도법	8. 사도법시행령	8. 사도법시행규칙	
5. 한국 도로공사법	9. 한국도로공사법시행령		
6. 교통시설 특별회계법		9. 교통시설특별회계법 시행규칙	

(2) 도로관련법의 체계



<그림 103.2> 도로 관련법의 체계

참고문헌

【101 일반사항】

1. 건설교통부, 건설공사의 설계도서 작성기준, 1998
2. 건설교통부, 업무현황, 1999
3. 건설교통부, 도로정비 기본계획 1998~2011, 1998

【102 도로 설계 절차】

1. 건설교통부, 건설공사의 설계도서 작성기준, 1998
2. 두산엔지니어링(주), 설계도서 작성 내실화 및 설계수준 향상 방안, 건설도서, 1999

【103 도로 관련 조직 및 관계 법령】

1. 건설교통부, 업무현황, 1999
2. 건설교통부, 한국의 길, 1998

부 록

설계 검토 점검표

주) ★는 기본설계 및 실시설계에서 검토하는 항목이며, 그 외에는 실시설계시에만 검토하는 항목임

1. 일반사항

검 토 내 용	점검결과		비고
	적합	부적합	
1. 과업참여 인원은 기술제안서 및 착공계의 참여인원 계획표와 일치하며 공종별로 적정인원을 투입하고 있는가?			★
2. 공정 추진은 착공계의 예정공정표와 일치하며 공정보고는 규정된 일시에 시행하고 있는가?			★
3. 과업지시서의 내용을 충분히 숙지하고 있는가?			★
4. 기본설계에 관한 사항을 충분히 검토하였는가?			★
5. 보안관리를 위한 대책은 수립되어 있는가?			★
6. 관련 사업에 관한 협의는 이루어지고 있는가?			★
7. 필요한 시방서, 규정 및 관련서적 등은 준비되어 있는가?			★
8. 공종별 설계기준 변경 및 설계업무 개선사항은 설계에 반영하였는가?			★
9. 전년도 연구결과 및 신기술·신재료의 실용화 항목을 설계 반영하였는가?			★
10. 부실 공사 방지 실천방안에 따른 제반 지시사항은 반영하였는가?			★
11. 과업구간내 제반 지장물, 군사시설, 도시계획 등 사업 저해 요인은 파악하고 있는가?			★
12. 설계용역의 계약 이행 완료 2개월 전에 요청하였는가?			★
13. 기본설계와 실시설계를 구분하여 발주하는 경우, 기본설계에 대하여 심의 요청하였는가?			★
14. 신기술을 설계에 반영하였는가?			★
15. 설계용역에 참가할 수 있는 설계용역업자를 엔지니어링협회에서 매반기별로 지정한 업체로 제한하였는가?			★

검 토 내 용	점검결과		비고
	적합	부적합	
16. 기본계획 수립에 소요되는 비용과 기간을 충분히 확보하였는가?			★
17. 설계용역비와 사전조사비를 기준대로 반영하였는가?			★
18. 설계용역기간은 충분히 주었는가?			★
19. 설계감리를 실시하였는가?			
20. 설계 용역업자의 선정을 건설기술관리법에서 규정하는 사업수행능력평가에 의하여 시행하였는가?			★
21. 시설의 유지관리에 필요한 부대시설과 유지관리방법을 제시하였는가?			★
22. 굴착이 수반되는 경우 굴착공사 시 지하매설물의 안전 관리에 관한 사항은 충분히 검토, 반영되었는가?			
23. 태풍, 혹서, 혹한 등으로 인한 작업불능일수를 감안하여 적정한 공사기간을 부여하였는가?			
24. 교량 등 구조물 설계 시 도면 상단에 설계방법을 명시하였는가?			
25. 건설업자 또는 주택건설 등록업자가 공사진행 단계별로 작성하는 시공상세도면의 목록을 특별시방서에 명시하였는지와 이에 대한 비용을 계상하였는가?			
26. 최종용역보고서에 참여기술자의 성명, 담당업무, 참여기간을 구체적으로 기재하였으며, 설계도면에 참여자 확인 날인을 하였는가?			★
27. 기본설계 작성전에 집행기본계획서(입찰방법)에 대한 심의를 받았는가?			

2. 교통 및 기하구조

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
교통	1. 도로의 구분은 적절한가?			★
	2. 설계속도는 적정하게 산정되었는가?			★
	3. 교통량 및 도로용량분석을 정확하게 실시하였는가? (방향별 설계기준 교통량: DDHV 기준)			★
	4. 차로수는 적정하게 계획되었는가?			★
	5. 도로용량분석 결과 용량에 미치지 못하는 구간에 대한 대책을 적절한가?			★
본선	1. 공구별 시종점의 좌표 및 종단계획고는 일치하는가?			★
	2. 인접도로와 접속부의 좌표는 일치하는가?			★
	3. 평면곡선반경은 지형조건 및 경제성을 고려하여 비교하여 제기준에 맞게 계획하였는가?			★
	4. 구조물(특히 장대교 및 터널) 구간에는 가능한 한 평면을 직선으로 하고, 종곡선이 배제되도록 하였는가?			★
	5. 종단경사 선정시 지형조건 및 경제성을 비교하여 제 기준에 맞도록 계획하였는가?			★
	6. 평면곡선 및 완화곡선의 연장은 기준에 적합한가?			★
	7. 횡단의 구성(차도폭, 길어깨, 중앙분리대, 측대 등)은 적절한가?			★
	8. 종단곡선은 기준에 적합한가?			
	9. 최적노선 선정을 위해 기본설계 노선에 대한 비교노선을 경제성 측면에서 충분히 검토하였는가?			★
	10. 분리 도로계획시 선형계획은 적절한가?			
	11. 편경사는 곡선반경에 따라 적절하게 계획되었는가?			
	12. 편경사 변화구간에서 완화구간의 연장 및 편경사 값은 적절하게 계획되었는가?			
	13. 최대 편경사의 값은 기준치 이하인가?			

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
인터체인지	1. 인터체인지의 배치는 기준에 적합한가?			★
	2. 인터체인지의 형식은 지형조건 및 교통량에 따른 영향을 검토하였는가?			★
	3. 인터체인지 연결로의 설계속도는 적절하게 계획되었는가?			★
	4. 선형은 본선의 선형과 잘 접속되는가?			
	5. 인터체인지 계획위치의 본선 선형은 기준에 적합한가?			
	6. 노즈부의 선형(접속각 및 곡선반경)은 기준에 적합한가?			
	7. 연결로 차로수는 도로용량과 비교하여 적절하게 계획되었는가?			
	8. 연결로 횡단구성은 적절한가?			
	9. 가·감속차로의 기하구조 및 연장은 기준에 적합한가?			★
	10. 인터체인지 접속부 지형조건, 교통량 등을 감안하여 평면교차 및 입체처리를 계획하였는가?			★
	11. 접속부 평면교차시 좌회전 전용차로(폭 및 연장)는 기준에 맞게 처리하였는가?			★
오르막차로	1. 종단경사가 5% 이상의 구간에 대해서는 오르막차로 설치 여부를 검토하였는가?			
	2. 종단경사를 완화하는 것과 오르막차로를 설치하는 것에 대한 경제성을 비교하였는가?(교통량 및 교통용량 비교검토)			
	3. 오르막 성능곡선은 작성하였는가?			
	4. 편경사는 기준과 일치하는가?			
	5. 시·종점부 테이퍼의 연장은 적합한가?			
	6. 차로폭 및 측대폭은 기준에 적합한가?			

3. 토공

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
계획 및 설계	1. 절성토의 균형이 맞도록 계획하였는가?			
	2. 대절토부에 대한 토질조사 및 시험은 적정하며, 사면 안정 해석은 실시하였는가?			
	3. 사면경사는 기준과 일치하였는가?			
	4. 암반의 절리방향을 고려하여 사면경사를 설정하였는가?			
	5. 소단의 계획은 적절한가?			
	6. 고성토부의 사면안정 해석은 실시하였는가?			
	7. 절토부의 흙은 노체 및 노상 재료의 기준에 적합한지 여부를 시험한 후 결정하였는가?			
	8. 암 분류는 적절하게 계획되었는가?			
	9. 주변환경을 고려한 암발파 공법을 선정하였는가?			
	10. 기존 구조물 철거를 위한 현장조사는 세밀히 시행하였는가?			
	11. 비탈면 녹화 공법은 토질 특성을 고려하여 선정되었는가?			
	12. 환경훼손 및 유지관리를 고려하여 대절토부 혹은 고성토부를 구조물 처리하는 방안과 비교검토하였는가?			
	13. 토사 다이크는 주변여건에 맞도록 규격을 결정하였는가?			
	14. 토적곡선은 운반거리가 최소가 되도록 계획하였는가?			
	15. 사토 및 순성토는 토사를 우선적으로 고려하였는가?			
	16. 인터체인지내 녹지계획은 적절한가?			

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
계획 및 설계	17. 법면처리는 적절한 공법을 채택하였는가?			
	18. 인근 공사현장과 협조(단지조성, 택지조성지구 토사유용 여부)는 고려하였는가?			
	19. 연약지반 ① 연약지반의 처리공법 선정을 위한 조사 및 시험에 필요한 자연시료는 적절하게 채취하였는가? ② 조사 및 시험결과를 이용하여 적절한 처리 공법을 선정하였는가? ③ 시공관리 및 침하관리를 위한 계획은 적절한가? ④ 공법선정을 위한 현장시험 및 실내시험을 적절히 시행하였는가? ⑤ 안전성 검토를 시행하였는가? ⑥ 한계 성토고는 적절하게 검토하였는가?			
	20. 골재원 및 토취장의 사용 가능량 및 재료의 적합성 여부는 검토하였는가?			
	21. 토공 운반거리 산출(운반거리 산출시 터널이 있는 경우 우회도로 운반거리로 산출)은 적정하게 이루어졌는가?			

4. 배수공

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
계획	1. 유출량 산출을 위한 유역면적의 적용은 적절한가?			★
	2. 수리계산은 적절하며 계산 결과치와 기준수로 단면을 비교하였는가?			
	3. 계획 강우 강도 및 홍수량 산정은 적합한가?			
	4. 배수계획은 주변 농경지 및 가옥 등에 피해가 없도록 최종적으로 큰수로까지 연결되도록 계획하였는가?			
	5. 기존 수로가 형성된 곳의 가배수계획은 수립하였는가?			
	6. 유속에 따른 수로 차단부의 처리는 설계기준에 맞도록 계획하였는가?			
통·수로암거	1. 통·수로 암거는 충분한 현장조사 및 관련 계획 등을 고려하여 계획하였는가?			★
	2. 통로 암거의 위치 및 규격은 현장 여건, 지역 계획 등에 부합되도록 계획하였는가?			★
	3. 우회가 가능한 소로 등에 불필요한 통로 암거용 강재동바리를 계획하지 않았는가?			★
	4. 수로 암거의 단면은 배수관과 비교한 후 결정하였으며, 기존 수로단면과 비교하여 적정하게 계획하였는가?			
	5. 수로 암거의 배수경사 및 유속은 적정하게 계획되었는가?			
배수시설물	1. 배수구조물의 설치방향은 적절하게 계획되었는가?			★
	2. 산마루 측구의 규격 결정을 위한 유역면적 산출은 적정한가?			
	3. 산마루 측구는 지형조건, 유수방향, 집수면적 등을 종합적으로 고려하여 불필요한 곳의 설치를 배제하였는가?			
	4. 성·절토부의 비탈면 배수시설과 노면배수시설은 연속성이 있게 계획되었는가?			
	5. 절토부 구간에서 부분적으로 성토가 되는 구간의 배수처리계획은 수립하였는가?			
	6. 집수정의 위치, 간격, 규격은 적절한가?			
	7. L형 측구의 형식은 절토법면의 지질조건과 경제성 등을 감안하여 계획하였는가?			
	8. 중분대 집수정 및 횡단 배수관의 간격 및 경사는 적절하며, 성토부 도수로 등 연결배수시설과의 접속은 원활한가?			
	9. 맹암거의 위치 및 형식은 설치기준에 부합되도록 계획하였는가?			
	10. 종배수관의 설치위치는 포장두께, 연결집수정의 규격 등을 감안하여 계획하였으며 터파기 수량은 적정하게 산출하였는가?			

5. 교량공

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
계획	1. 도로선형은 교량계획을 고려하여 결정하였는가?			★
	2. 교량의 좌표는 도로선형과 일치하는가?			★
	3. 토공과 교량과의 경제성은 비교, 분석하였는가?			★
	4. 경제적인 교량형식 선정을 검토하였는가?			
	5. 미관을 위한 교량설계를 고려하였는가?			
	6. 교대설치 위치는 지형, 지질조건 등을 고려하였으며 시공성은 적절한가?			
	7. 관계기관과 사전협의는 하였는가?			★
	8. 하천개수계획, 계획 홍수량, 계획 홍수위에 대하여 충분히 고려하였는가?			★
	9. 수심, 유속, 유수 방향에 대한 조사는 충분한가?			
	10. 기초지반 조건, 기초 공사비, 상부 공사비를 연계하여 검토하였는가?			
	11. 교량의 경사는 유수방향과 일치하도록 계획되었는가?			
	12. 세굴방지를 위한 공법검토 및 설계반영은 적절하였는가?			
	13. 도로나 철도의 장래 확장계획을 고려하였는가?			★
	14. 형하 공간은 충분히 확보하였는가?			★
	15. 도로나 철도의 장래 확장계획을 고려하였는가?			★
	16. 기초의 위치 결정시 지하 매설물 현황을 조사하였는가?			★
	17. 시공중 교통처리는 가능한가?			★
	18. 장래 도로확장계획은 고려하였는가?			★
	19. 도로의 시거 확보 및 미관에 대하여 검토하였는가?			★
	20. 교량의 설계등급은 적절한가?			★
	21. 횡단육교 접속도로의 확장계획을 고려하였는가?			★
설계	1. 기초형식 선정과정은 적절한가?			★
	2. 하천의 경우, 시공방법, 시공가능기간, 수질오염방지 대책 등에 대하여 검토하였는가?			★
	3. 파일의 규격, 재질, 간격 및 개수는 적절한가?			
	4. 시공시 소음, 진동 등의 환경조건에 대하여 검토하였는가?			

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
설계	5. 하부 구조 설계			
	① 인접 구조물에 대한 악영향에 대하여 검토하였는가?			
	② 기초의 세굴에 대하여 검토하였는가?			
	③ 가시설은 충분히 반영되었는가?			
	④ 기초의 깊이는 보링 조사결과에 맞도록 계획하였는가?			
	⑤ 연약지반 구간에서 교대 수평변위에 대한 대책은 검토되었는가?			
	⑥ 기초침하에 대한 안전 검토는 하였는가?			
	⑦ 하부구조 형식은 교량의 전체적인 미관과 조화되는가?			
	⑧ 가설공법 선정과정은 적절한가?			
	⑨ 가시설은 충분히 반영되었는가?			
	⑩ 교각 보호시설에 대하여 검토하였는가?			
	⑪ 교각 형식과 시거에 대하여 검토하였는가?			
	6. 상부 구조 설계			
	① 하부 공사비와 연계하여 경제성을 검토하였는가?			
	② 시공성에 대하여 충분히 검토하였는가?			
	③ 국내 설계 기술 수준과 시공 기술 수준은 충분한가?			
	④ 설계기간은 충분한가?			
	⑤ 주변환경과 조화되는 구조형식인가?			
	7. 상세설계 단계			
	① 설계방법(강도설계법, 허용응력 설계법) 선택은 적절한가?			
	② 사용재료 및 물리상수는 기준과 일치하는가?			
	③ 전산 입력자료에 대하여 충분히 검토하였는가?			
	④ 전산출력 결과는 적절한가?			
	⑤ 하중 조건은 충분히 고려하였는가?			★
	⑥ 교좌장치 및 신축이음 장치는 계산값과 비교하여 적절한가?			
	⑦ 우각부 보강철근의 배치는 적절한가?			
	⑧ I.L.M 교량에서 수평력에 대한 검토는 되었는가?			
	⑨ 고정단의 위치설정은 적절한가?			
	⑩ 해사 사용시 사용가능 여부에 대한 검토는 충분히 하였는가?			
	⑪ 교량 배수구 간격 및 규격은 차로수와 지역여건 등을 감안하여 계획하였는가?			

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
설계	8. 설계상세도의 작성			
	① 교량 슈의 이동량 및 내하력을 검토 후 도면에 표기하였는가?			★
	② 설계법(W.S.D, U.S.D)을 구조물 도면 우측 상단에 표기하였는가?			★
	③ 연속슬래브 콘크리트 타설 시공순서 및 시공법 등을 도면상에 명기하였는가?			
	④ 시공이음, 신·수축 이음부의 위치, 간격, 설치방법 및 사용재료(채움재) 등에 대한 상세설계 도면과 시공법을 작성, 표기하였는가?			
	⑤ 철근 겹이음 길이는 철근 콘크리트 시방규정에 따라 충분한 이음 길이를 두었으며 동일단면에 집중되지 않도록 겹이음 길이, 겹이음 위치 등의 도면을 작성하였는가?			
	⑥ 철근의 이음부는 구조상 약점이 되는 곳이므로 최대 응력이 작용하는 곳에 이음이 되지 않도록 하였는가?			
	⑦ 철근 배근도에는 정·부 철근 등의 유효 간격 유지 및 철근 피복두께(측저면) 유지용 스페이서 및 체어바의 위치, 설치방법, 재료 및 가공을 위한 상세도면을 작성하였는가?			

6. 터널공

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
계획	1. 터널의 계획시 터널이 건설되는 지역의 여건, 터널의 규모, 설계개념, 시공방법 등을 충분히 검토하였는가?			★
	2. 터널건설에 영향을 미치는 주변환경이나 관련 법규 등에 대한 조사는 충분히 하였는가?			
	3. 터널의 위치는 터널의 연장, 시공의 난이도, 부대설비, 환경보전 등에 대해 종합적으로 검토하여 결정하였는가?			
	4. 피토고가 적은 경우 절토 처리 혹은 개굴식 공법과 시공성, 경제성을 비교 검토하였는가?			
	5. 입·출구측의 종단개량으로 터널 연장을 축소하거나 절토처리하는 방안을 검토하였는가?			
	6. 터널과 인터체인지 혹은 버스정류장, 영업소 등과의 이격거리는 기준에 맞는가?			
	7. 병설터널의 상호 중심간격에 대해서는 현지여건, 토질조건 등을 감안하여 충분히 하였는가?			
선형	1. 터널내의 평면 선형은 지형 및 지질조건, 시공성, 경제성 등을 충분히 고려하여 결정하였는가?			★
	2. 터널의 평면선형은 가급적 직선 혹은 큰 반경의 곡선으로 계획되었는가?			★
	3. 평면선형이 곡선인 구간은 편경사를 고려하여 시설한계를 설정하였는가?			
	4. 터널의 종단선형은 주행의 안전성, 환기, 방재설비, 배수 및 시공성을 고려하여 계획하였는가?			
	5. 터널내의 종단경사는 최소종단경사(0.3%)이상, 최대종단경사(2%)이하로 계획하였는가?			

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
내공 단면 결정	1. 소요환기량 및 환기방식에 대해 검토하였으며 시설관리부서와 협의하였는가?			
	2. 공동구 규격에 대해서는 충분히 검토하였으며 배수구 단면은 적절한가?			
	3. 터널의 내공단면은 도로규격에 따른 소요의 도로폭원과 시설한계를 만족하고, 환기, 방재, 내장 등 시설대 공간을 확보하도록 계획하였는가?			★
	4. 터널내 배수에 대해서는 충분히 검토하였으며 배수구 단면은 적절한가?			
단면 해석	1. 단면해석시 암석의 공학적 특성치는 적절하게 작용하였는가?			★
	2. 단면해석은 적절한 위치를 선정하여 수행하였는가?			★
	3. 단면해석 프로그램은 공인을 득한 것인가?			★
	4. 단면해석시 요소망 배열의 요소수는 적정한가?			★
굴착 및 지보	1. 굴착방법 및 발파패턴은 적절한가?			
	2. 발파패턴은 여굴을 줄일 수 있도록 저항선 등의 발파요소가 적정하게 설계되었는지 검토하였는가?			
	3. 굴착공법의 선정은 시공성, 경제성, 민원발생 여부 등을 충분히 검토하였는가?			
	4. 터널의 시공법은 발파굴착과 기계굴착 공법 등을 지반조건, 시공성, 안전성 및 경제성 측면에서 충분히 고려하여 계획하였는가?			
	5. 표준 지보패턴의 적용은 토질조사 결과와 비교하여 적절한가?			
	6. 1차 지보재(숏크리트, 강지보, 록볼트 등)는 기준에 맞게 설치하였는가?			
	7. 숏크리트 시공은 습식으로 검토되었는가?			
	8. 보강공법(Pre-Grouting, Fore-Poling, Pipe-Root 등)을 검토하여 설계에 반영하였는가?			

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
갱문 및 기타	1. 터널의 갱구는 지반조건에 영향을 받지 않는 안정지반에 위치하도록 계획하였는가?			
	2. 갱구의 형식은 지형과 잘 조화되도록 계획하였는가?			
	3. 터널의 갱구부 배수처리 계획은 적절히 되었는가?			
	4. 장대터널의 비상주차대 지점의 라이닝 두께는 구조검토 하였는가?			
	5. 터널내 계측은 현장의 특성을 감안하여 계획하였는가?			
	6. 여굴 및 리바운드량의 기준은 적절한가?			
	7. 임시 환기시설은 검토하였으며 설계에 반영하였는가?			
	8. 전구간 타일 붙임과 입·출구부 도장 면적은 기준에 맞도록 계산되었는가?			

7. 포장공

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
	1. 포장형식은 교통조건, 토질조건(지형, 지질) 및 환경조건(기상, 기후, 동결, 융해) 등을 감안하여 선정하였는가?			
	2. 콘크리트 포장의 경우 무근과 연속철근 콘크리트에 대한 제반 사용을 비교 검토하였는가?			
	3. 연약지반의 포장공법에 대하여 검토하였는가?			
	4. AASHTO 설계법의 적용시 '82, '86 개정지침서의 적용계수들은 우리나라 실정에 맞도록 검토되었는가?			
	5. 포장두께 설계법은 충분히 비교 분석하여 적용하였는가?			
	6. 포장단면 결정시 공용년도에 대하여 고려하였는가?			
	7. 포장단면 결정을 위한 노상토의 조사는 충분히 시행하였는가?			
	8. 설계교통량에 대한 축환산 교통량은 정확하게 계산하였는가?			
	9. 동결심도에 대한 설계법의 채택은 적절한가?			
	10. 동결심도에 대한 검토시 계획도로의 높이 및 동결지수의 산정은 적정한가?			
	11. 18kips 단축하중 환산계수의 적용은 적절한가?			
	12. 축환산계수 산정시 차로수에 대한 고려를 하였는가?			
	13. 각 포장층의 상대강도계수는 적절한가?			
	14. 포장 각층 재료의 재질 및 수급 등에 대한 충분한 검토를 하였는가?			
	15. 아스콘포장의 경우 단계건설에 대하여 검토하였는가?			
	16. 인터체인지 연결로 내측 길어깨 포장 보강은 검토하였는가?			
	17. 노즈부 포장 보강은 검토하였는가?			
	18. 줄눈의 위치 및 규격은 적절하게 계획되었는가?			
	19. 포장용 콘크리트 및 아스콘 생산시 배치 플랜트 용량에 대한 검토는 하였는가?			
	20. 포장장비에 대한 검토를 시행하였는가?			
	21. 교면포장에 대한 검토를 시행하였는가?			

8. 부대 시설공

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
간이휴게소(필요시)	1. 타시설과의 간격은 적정한가?			★
	2. 휴게소 설치계획은 장기계획에 맞도록 관련 부처와 협의하였는가?			
	3. 휴게소 배치는 기준에 적합한가?			
	4. 주변환경이 수려하고 전망이 좋아 이용객의 휴식공간 확보에 적정한가?			
	5. 본선과 주차장 사이에 분리녹지대 폭을 적정히 두어 장래 확장 또는 차음둑 설치가 가능하도록 계획하였는가?			
	6. 본선 차량에 대한 휴게소 이용차량의 산정대수는 적절한가?			
	7. 이용차량을 감안한 적정 주차장 규모와 주차면수는 확보하였는가?			
	8. 장래 시공될 시설물(건물)에 대하여 관련 기관과 협의하였는가?			
	9. 장래 시공될 시설물(휴게소, 주유소, 화장실)의 부지 규모는 적정히 확보하였는가?			
	10. 휴식공간 도입을 위한 주차장내 녹지 공간은 충분히 확보하였는가?			
	11. 주차장과 시설물 사이의 적정 동선 검토는 하였는가?			
	12. 업무용 및 직원용 주차장은 별도 배치하였는가?			
	13. 상·하행선에 휴게소 동시 설치시 연결로는 계획하였는가?			
	14. 주차장내 배수경사와 배수시설물 설치를 위한 수리검토는 충분히 하였는가?			
	15. 연결로 및 가감속 차로의 기하구조 및 연장은 기준에 적합한가?			
버스정류장	1. 버스정류장을 이용하는 노선버스의 유무 및 운행간격, 이용 인구 조사 등 설치 목적에 부합되는 기본조사는 실시하였는가?			★
	2. 배치계획 위치 및 간격은 기준에 적합한가?			
	3. 이용주민의 접근도로는 적합하게 계획되었는가?			
	4. 상·하행을 동시에 이용할 수 있도록 통로는 계획되어 있는가?			
	5. 선형은 본선의 선형과 잘 접속되었는가?			
	6. 노즈부의 선형(접속각 및 곡선반경)은 기준에 적합한가?			
	7. 횡단구성은 기준에 적합한가?			
	8. 가·감속차로의 기하구조 및 연장은 기준에 적합한가?			

구분	검 토 내 용	점검결과		비고
		적합	부적합	
기	1. 표지의 설치위치 및 규격은 적절한가?			★
	2. 문형식 표지의 설치에 관하여 검토하였는가?			
	3. 인접도로에 설치할 도로안내표지는 계획하였는가?			
	4. 시선유도시설의 목적물별 위치 및 간격은 적절한가?			
	5. 인터체인지, 버스정류장 등의 노즈부에 대한 노면표시 계획은 수립하였는가?			
	6. 인터체인지 접속부의 노면표시 계획은 적절한가?			
	7. 차선도색 수량산출시 가열형과 상온형은 구분하여 계획하였는가?			
	8. 가도에 대한 차선도색은 수량에 반영하였는가?			
	9. 확장공사에서 차로변경에 따른 차선테이프 수량을 반영하였는가?			
	10. 방호울타리의 설치위치는 적절한가?			
	11. 방호울타리의 형식, 구조, 재료는 적정한가?			
	12. 중앙분리대 개구부의 위치, 연장 및 간격은 적절한가?			
	13. 차광망의 설치는 연속성 있는 구조로 되었는가?			
	14. 중앙분리대 개구부 구간에도 차광막을 설치하였는가?			
	15. 낙석방지울타리의 설치위치 및 높이는 적절한가?			
	16. 방음벽 설치 위치에 대한 검토를 수행하였는가?(높이, 연장 포함)			
	17. 방음벽 연장에 따른 출입문 설치는 계획하였는가?			
	18. 방음벽 형식(흡음형, 반사형)은 지형에 맞게 계획되었는가?			
	19. 접도구역 및 용지경계 표주의 간격은 기준에 맞게 계획되었는가?			
타	20. 도시계획 구간내에서 접도구역 표주 설치는 제외되었는가?			
	21. 가도의 설치 위치별 연장, 폭원 등의 계획은 적절하며 가배수관 계획을 수립하였는가?			
	22. 확장 공사시 암거 및 교량 확장부에 대한 가시설은 반영하였는가?			
	23. 장대교 및 장대터널의 경비초소는 계획하였는가?			
	24. 현장사무실, 배치 플랜트장, 크랏셔장 등의 계획위치는 적절한가?			
	25. 가설 사무실의 규격은 규정에 맞는가?			
	26. 안전관리비의 계상은 현실에 맞도록 계획하였는가?			
	27. 크랏셔장의 골재 혼합방지 칸막이 시설은 계획하였는가?			
	28. 통신관로 수량(교량 등)은 반영되었는가?			

색 인

(ㄱ)

개정 101-3
관련 기준 101-2
기본설계 101-1, 102-4

(ㄷ)

단계별 업무내용 102-4
도로계획 및 설계과정 102-1
도로 관계 법령 103-4

(ㅅ)

설계단계의 통합수행 102-6
성과품 102-7
실시설계 101-1, 102-5

(ㅇ)

연구기관 103-2
예비타당성조사 101-1

(ㅌ)

타당성조사 101-1, 102-4

(ㅍ)

편람의 구성 101-2

(ㅎ)

행정조직 103-1

제 2 편 도 로 계 획

목 차

201 총 론

201.1 도로계획의 정의 ····· 201-1
201.2 용어의 정의 ····· 201-1
201.3 도로계획편의 구성 ····· 201-1

202 도로의 기능 및 구분

202.1 개요 ····· 202-1
202.2 도로의 기능 ····· 202-1
202.3 도로의 구분 ····· 202-2
3.1 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙의 도로 구분 ····· 202-2
3.2 지방지역 도로의 구분 ····· 202-3
3.3 도시지역 도로의 구분 ····· 202-4
3.4 기타 법령에서의 도로의 구분 ····· 202-5
202.4 일반국도의 구분 ····· 202-7
4.1 일반국도의 기능별 분류 ····· 202-7
4.2 일반국도의 기능별 시설기준 ····· 202-7

203 도로설계 관련계획

203.1 개요 ····· 203-1
203.2 상위계획 ····· 203-1
203.3 지역 관련 계획 ····· 203-1
203.4 교통 관련 계획 ····· 203-3
203.5 기타 관련 계획 ····· 203-4
203.6 단계별 시행사항 ····· 203-5

204 도로계획과 교통수요예측

204.1 개요 ····· 204-1
204.2 교통 조사 ····· 204-3
2.1 교통권역 설정 ····· 204-3
2.2 교통량조사 ····· 204-3

2.3 기·종점(O-D) 조사 ····· 204-3
2.4 전수화 과정 ····· 204-5
204.3 사회·경제지표 조사 및 예측 ····· 204-7
3.1 사회·경제 지표의 조사 ····· 204-7
3.2 사회·경제 지표의 예측 ····· 204-8
204.4 교통수요 예측 기법 ····· 204-11
4.1 단순·직접 수요예측 ····· 204-12
4.2 종합·체계적 수요예측 ····· 204-15
204.5 4단계 교통수요 예측 ····· 204-18
5.1 통행발생 ····· 204-18
5.2 통행분포 ····· 204-22
5.3 수단선택 ····· 204-26
5.4 통행배분 ····· 204-28
204.6 교통수요예측 프로그램 ····· 204-32
6.1 개요 ····· 204-32
6.2 수요예측 패키지의 종류 ····· 204-32
6.3 EMME/2 와 TRANPLAN ····· 204-34

205 도로용량과 서비스수준

205.1 개론 ····· 205-1
1.1 도로 용량 분석의 목적 ····· 205-1
1.2 도로용량 분석의 구분 ····· 205-1
205.2 정의 및 개념 ····· 205-1
2.1 용량 ····· 205-1
2.2 설계 서비스수준 ····· 205-1
2.3 효과척도 ····· 205-3
205.3 도로운영 분석 ····· 205-4
3.1 고속도로 기본구간 ····· 205-4
3.2 다차로도로 ····· 205-8
3.3 2차로도로 ····· 205-14
205.4 도로계획 및 설계 분석 ····· 205-18
4.1 고속도로 차로수 산정 ····· 205-18
4.2 다차로도로의 차로수 산정 ····· 205-22

206 경제성분석

206.1 개요 ····· **206-1**
206.2 경제성 분석 기법 ····· **206-2**
2.1 순현재가치 방법 ····· 206-2
2.2 편익/비용 비율 방법 ····· 206-2
2.3 내부수익률 방법 ····· 206-3
2.4 초기 년도 수익률 방법 ····· 206-3
2.5 경제성분석 기법의 비교 ····· 206-3
2.6 할인율 ····· 206-5
206.3 비용과 편익 ····· **206-6**
3.1 비용 산출 ····· 206-6
3.2 편익 산출 ····· 206-7
206.4 민감도 분석 ····· **206-10**
206.5 경제성분석 절차 예 ····· **206-12**
206.6 재무분석 ····· **206-17**
206.7 투자 우선 순위 ····· **206-20**
206.8 최적투자시기 결정 ····· **206-21**
206.9 종합 평가 ····· **206-22**
206.10 생애주기비용 분석 ····· **206-23**
10.1 LCC의 개념 ····· 206-23
10.2 LCC의 진행 절차 ····· 206-24

207 환경친화적 도로건설

207.1 개요 ····· **207-1**
207.2 도로가 자연에 미치는 영향 ····· **207-1**
2.1 식물에 대한 직접적인 영향 ····· 207-1
2.2 동물에 대한 직접적인 영향 ····· 207-1
2.3 각 환경요소에 따른 영향 ····· 207-1
2.4 생태계 전체로의 영향 확대 ····· 207-2
207.3 도로 사업 절차에 따른 환경도로 고려사항 ····· **207-4**
3.1 타당성조사 단계 ····· 207-4
3.2 기본설계 단계 ····· 207-4
3.3 실시설계 단계 ····· 207-4
3.4 시공 단계 ····· 207-4

3.5 유지 및 관리 단계 ····· 207-4
207.4 환경도로 건설 기법 ····· 207-5
4.1 도로 구조의 형태와 형식 ····· 207-5
4.2 동물의 이동 경로 확보 ····· 207-5
4.3 동물 침입 방지를 위한 배려 ····· 207-9
4.4 측구 등에 대한 배려 ····· 207-11
4.5 도로조명, 전조등의 영향 저감을 위한 배려 ····· 207-11
4.6 대체 서식지 정비 ····· 207-11
4.7 표토의 복원 활용 ····· 207-12
4.8 이식 ····· 207-12
4.9 사면 구배 완화와 고목(高木) 식재 ····· 207-12
4.10 방어 식재 ····· 207-12

208 타당성조사

208.1 개요 ····· 208-1
208.2 관련 계획 조사 및 검토 ····· 208-2
2.1 관련 계획 검토의 목적 ····· 208-2
2.2 관련계획의 분류 ····· 208-2
2.3 계획의 검토와 반영 방법 ····· 208-2
208.3 현황 조사 ····· 208-3
3.1 현지 조사 및 답사 ····· 208-3
3.2 수리, 수문 조사 ····· 208-4
3.3 기상 및 해상 조사 ····· 208-4
3.4 선박 운항 조사 ····· 208-4
3.5 환경 영향 조사 ····· 208-4
3.6 기타 조사 ····· 208-7
208.4 교통분석 및 평가 ····· 208-7
4.1 교통 현황 분석 ····· 208-7
4.2 장래 교통여건 전망 ····· 208-7
208.5 경제성분석 및 재무분석 ····· 208-8
208.6 노선 계획 ····· 208-9
6.1 노선 계획의 정의 ····· 208-9
6.2 노선 계획의 구분 및 고려사항 ····· 208-9
6.3 노선 선정 영향 요소 ····· 208-12
6.4 노선 위치 결정 방법과 절차 ····· 208-14

6.5 가능 노선대 선정 ····· 208-15
6.6 최적 노선대 선정 ····· 208-16

209 기본설계

209.1 개요 ····· 209-1
209.2 설계 요소의 기준 설정 ····· 209-2
2.1 계획 목표 년도 ····· 209-2
2.2 설계기준 자동차 ····· 209-2
2.3 교통량 ····· 209-3
2.4 설계속도 ····· 209-3
2.5 설계구간 ····· 209-3
2.6 설계서비스수준 ····· 209-5
209.3 현황 조사 및 검토 ····· 209-6
3.1 현지조사 및 답사 ····· 209-6
3.2 수리, 수문 조사 ····· 209-6
3.3 환경영향조사 ····· 209-6
3.4 측량(예비측량) ····· 209-6
3.5 지질 및 지반조사(예비조사) ····· 209-7
3.6 지장물 및 구조물 조사 ····· 209-7
3.7 토취장, 골재원, 재료원, 사토장 조사 ····· 209-8
3.8 기타 조사 ····· 209-8
209.4 계획업무 ····· 209-8
4.1 전단계 성과 검토 ····· 209-8
4.2 환경영향검토 ····· 209-8
4.3 노선계획(노선 및 선형결정) ····· 209-8
4.4 수리·수문 검토 ····· 209-9
4.5 주요 구조물 계획 ····· 209-9
4.6 관계기관 협의 및 주민의견 수렴 ····· 209-10
209.5 노선 계획 ····· 209-11
5.1 최적노선 선정 ····· 209-11
5.2 노선선정시 기술적 요소 ····· 209-14
209.6 도로 횡단면 계획 ····· 209-18
6.1 일반적 고려사항 ····· 209-18
6.2 차도 및 차로 ····· 209-20
6.3 중앙분리대 ····· 209-21

6.4 길어깨 ····· 209-22
6.5 환경시설대 ····· 209-25
6.6 식수대 ····· 209-26
6.7 측도 ····· 209-26
6.8 정차대 ····· 209-27
6.9 자전거도로 ····· 209-28
6.10 보도 ····· 209-30
209.7 토질 및 재료원 조사 ····· 209-31
7.1 토질조사 ····· 209-31
7.2 재료원 조사 ····· 209-33
7.3 사토장 조사 ····· 209-34
7.4 광업권 조사 ····· 209-34
7.5 실내시험 ····· 209-34
209.8 토공 계획 ····· 209-35
8.1 토공계획의 흐름 ····· 209-35
8.2 토공계획의 일반사항 ····· 209-35
209.9 배수 계획 ····· 209-38
9.1 도로 배수시설의 목적 ····· 209-38
9.2 수문조사 및 분석 ····· 209-38
9.3 배수시설 ····· 209-39
209.10 도로 구조물 계획 ····· 209-41
10.1 교량 계획 ····· 209-41
10.2 터널 계획 ····· 209-42
209.11 포장 계획 ····· 209-45
11.1 아스팔트 포장 ····· 209-45
11.2 콘크리트 포장 ····· 209-45
11.3 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 비교 ····· 209-46
11.4 포장 형식의 선정 기준 ····· 209-48
209.12 출입 시설 계획 ····· 209-49
12.1 출입시설의 구분 ····· 209-49
12.2 출입시설의 설치 계획 ····· 209-49
12.3 출입시설의 배치 ····· 209-50
209.13 설계업무 ····· 209-51
13.1 선형 설계 ····· 209-51
13.2 토공 설계 ····· 209-51

13.3 구조물공 설계 ····· 209-51
13.4 포장공 설계 ····· 209-51
13.5 출입시설의 설계 ····· 209-52
13.6 부대시설의 설계 ····· 209-52
13.7 예비수량 및 예비공사비 산출 ····· 209-52

210 도로건설에 따른 교통영향평가

210.1 개요 ····· 210-1
210.2 교통영향평가의 내용 ····· 210-1
2.1 교통영향평가 대상 및 과정 ····· 210-1
2.2 교통영향평가서의 내용 ····· 210-2
210.3 교통현황조사 ····· 210-4
3.1 주변의 토지 이용 ····· 210-4
3.2 사회·경제지표 현황 ····· 210-4
3.3 도로 시설 현황 ····· 210-4
3.4 개발계획 현황 ····· 210-4
3.5 가로망 현황 ····· 210-4
3.6 교통시설 이용 현황 ····· 210-4
3.7 교통안전시설 및 교통사고 발생 현황 ····· 210-5
3.8 교차로 기하구조 및 신호운영 체계 현황 ····· 210-5
3.9 교통량 현황 ····· 210-5
210.4 교통분석 ····· 210-5
4.1 고속도로 ····· 210-5
4.2 교차로 ····· 210-5
4.3 2차로 도로 ····· 210-6
4.4 도시 및 교외간선도로 ····· 210-6
210.5 교통수요 예측 ····· 210-6
5.1 사업 미시행시 교통수요 예측 ····· 210-6
5.2 사업 시행시 교통수요 예측 ····· 210-7
210.6 사업시행에 따른 교통영향 및 문제점 ····· 210-7
6.1 주변지역의 문제점 ····· 210-7
6.2 사업 대상 노선 문제점 ····· 210-8
210.7 개선 방안 ····· 210-11
7.1 주변지역 개선 방안 ····· 210-12
7.2 사업 대상 노선 개선 방안 ····· 210-15

7.3 교통개선대책 종합 및 개선효과 분석 ····· 210-15
210.8 개선안의 시행계획 ····· 210-17
8.1 개선안의 시행계획 수립 ····· 210-17
8.2 공사 중 교통처리 방안 ····· 210-17

211 도로건설에 따른 환경영향평가

211.1 개요 ····· 211-1
211.2 환경영향평가의 내용 ····· 211-2
2.1 환경영향평가 대상 및 과정 ····· 211-2
2.2 환경영향평가서의 내용 ····· 211-3
211.3 환경영향조사 ····· 211-4
3.1 환경영향 평가대상지역의 설정 ····· 211-4
3.2 환경영향 평가항목의 설정 ····· 211-6
3.3 조사방법 ····· 211-7
211.4 환경영향예측 및 평가 ····· 211-13
4.1 자연환경 ····· 211-13
4.2 생활환경 ····· 211-15
211.5 환경영향의 저감방안 ····· 211-27
5.1 자연환경 ····· 211-27
5.2 생활환경 ····· 211-28

212 도로계획 관련 기타 고려사항

212.1 개요 ····· 212-1
212.2 단계건설 계획 ····· 212-1
2.1 단계건설의 기본 조건 ····· 212-1
2.2 단계건설의 경제적 조건 ····· 212-1
2.3 구간별 단계건설 계획 ····· 212-2
212.3 국도 확충 계획 ····· 212-3
3.1 신설 ····· 212-3
3.2 확장 ····· 212-3
3.3 신설, 확장 결정을 위한 고려사항 ····· 212-3
3.4 사업 우선순위 결정 ····· 212-3
212.4 공사구간의 계획 ····· 212-5
4.1 공사구간의 교통관리 원칙 ····· 212-5

4.2 공사구간 교통관리 기법 ····· 212-6
4.3 교통관리 대안의 평가 ····· 212-8
4.4 교통관리구간의 설정 ····· 212-10
4.5 공사구간 교통처리 예 ····· 212-11
212.5 도로 포장의 유지관리 계획 ····· 212-13
5.1 포장의 유지관리 개념 ····· 212-13
5.2 아스팔트 포장의 유지보수 ····· 212-14
5.3 콘크리트 포장의 유지보수 ····· 212-16
212.6 민간 투자 유치 계획 ····· 212-18
6.1 민자유치 대상사업 선정 ····· 212-18
6.2 민자유치 방식의 종류 ····· 212-18
6.3 민자유치 사업의 추진 절차 ····· 212-19
212.7 폐도 활용 계획 ····· 212-20
7.1 폐도의 형태 ····· 212-20
7.2 폐도의 활용방안 ····· 212-21

참고문헌 ····· 213-1
색인 ····· 214-1

표 목 차

202 도로의 기능 및 구분

<표 202.1> 도로의 구분 ····· 202-2
<표 202.2> 지방지역 도로의 기능별 구분 지침 ····· 202-4
<표 202.3> 도시지역 도로의 기능별 구분 지침 ····· 202-5
<표 202.4> 도로의 규모에 따른 분류 ····· 202-6
<표 202.5> 일반국도의 기능별 시설기준 ····· 202-8

203 도로설계 관련 계획

<표 203.1> 도로설계 관련 상위계획 ····· 203-2
<표 203.2> 지역 관련 계획 ····· 203-2
<표 203.3> 교통 관련 계획 ····· 203-3
<표 202.4> 기타 관련 계획 ····· 203-4

204 도로계획과 교통수요예측

<표 204.1> 교통수요에 영향을 주는 사회·경제지표 ····· 204-7
<표 204.2> 교통수요 예측방법의 구분 ····· 204-11
<표 204.3> 추상수단모형 ····· 204-13
<표 204.4> 통행수요모형 ····· 204-14
<표 204.5> 원단위법에 의한 추정 절차 ····· 204-18
<표 204.6> 회귀분석법의 수행절차 ····· 204-20
<표 204.7> 카테고리 분석법 ····· 204-21
<표 204.8> 수단선택 영향 요인 ····· 204-26
<표 204.9> 프로빗모형과 로짓모형 비교 ····· 204-27
<표 204.10> 이용자 평형배분법과 사용자 평형배분법 비교 ····· 204-29
<표 204.11> 확률적 통행 배분 모형 ····· 204-30
<표 204.12> EMME/2의 장·단점 ····· 204-35

205 도로용량과 서비스수준

<표 205.1> 도로종류별 서비스수준 ····· 205-2
<표 205.2> 설계서비스수준 ····· 205-3

<표 205.3> 효과척도 ····· 205-3
<표 205.4> 고속도로 기본구간의 서비스수준 ····· 205-6
<표 205.5> 고속도로 기본구간의 차로폭 및 측방여유폭 보정계수 ····· 205-6
<표 205.6> 고속도로 기본구간 일반지형의 승용차환산계수 ····· 205-6
<표 205.7> 고속도로 기본구간 특정 경사구간의 승용차환산계수 ····· 205-7
<표 205.8> 이상조건의 평균최대통행속도 ····· 205-11
<표 205.9> 다차로도로의 중앙분리대 보정계수 ····· 205-11
<표 205.10> 다차로도로의 차로폭 보정계수 ····· 205-11
<표 205.11> 다차로도로의 측방여유폭 보정계수 ····· 205-11
<표 205.12> 다차로도로의 유출입 지점수 보정계수 ····· 205-11
<표 205.13> 다차로도로 일반지형의 승용차환산계수 ····· 205-12
<표 205.14> 다차로도로의 서비스수준 ····· 205-12
<표 205.15> 다차로도로 특정구배구간의 승용차환산계수 ····· 205-13
<표 205.16> 2차로도로 일반지형의 서비스수준 ····· 205-17
<표 205.17> 2차로도로 일반지형의 방향별 분포 보정계수 ····· 205-17
<표 205.18> 2차로도로 일반지형의 차로폭 및 측방여유폭 보정계수 ····· 205-17
<표 205.19> 2차로도로 일반지형의 승용차환산계수 ····· 205-17

206 경제성분석

<표 206.1> 경제성 분석기법의 장·단점 비교 ····· 206-4
<표 206.2> 국제원조기관(은행)의 할인율 ····· 206-5
<표 206.3> 도로사업의 편익 항목 ····· 206-9
<표 206.4> 민감도 분석 결과 예 ····· 206-11
<표 206.5> 연도별 구간별 사업비 산정 표 ····· 206-13
<표 206.6> km당 유지·관리비 실적 표 ····· 206-13
<표 206.7> 연간 유지관리비 표 ····· 206-14
<표 206.8> 차종별 속도별 차량운행비 표 ····· 206-14
<표 206.9> 교통수단별 시간가치 표 ····· 206-15
<표 206.10> 연도별 차량운행 km 및 차량시간 추정 표 ····· 206-15
<표 206.11> 계획노선 건설에 따른 편익 산출 표 ····· 206-16
<표 206.12> 경제성분석 결과 표 ····· 206-16
<표 206.13> 재무분석기법의 종류 ····· 206-18
<표 206.14> 재무분석과 경제성분석의 비교 ····· 206-18
<표 206.15> 투자우선순위 결정 기법의 적용 ····· 206-20
<표 206.16> 구간별 투자우선 순위 결정 표 ····· 206-20

<표 206.17> 최적투자시기 결정 예(FYRR이용) ····· 206-21

208 타당성조사

<표 208.1> 각 단계별 업무 범위 ····· 208-1
<표 208.2> 타당성조사 관련 계획 ····· 208-3
<표 208.3> 수리조사 내용 ····· 208-5
<표 208.4> 노선계획에 필요한 기상조사 ····· 208-5
<표 208.5> 현황조사를 위한 환경요소의 설정기준 ····· 208-6
<표 208.6> 환경 영향 요소 ····· 208-6
<표 208.7> 노선대의 세부 평가 항목 ····· 208-15

209 기본설계

<표 209.1> 각 단계별 업무 범위 ····· 209-1
<표 209.2> 설계기준자동차의 차종별 제원 ····· 209-2
<표 209.3> 도로의 구분에 따른 설계속도 ····· 209-4
<표 209.4> 설계구간 길이의 개략적인 지침 ····· 209-4
<표 209.5> 설계서비스수준 ····· 209-5
<표 209.6> 노선선정시 고려요소 ····· 209-12
<표 209.7> 기본설계에서의 비교 노선 평가 예 ····· 209-13
<표 209.8> 차도의 기능 구분 ····· 209-20
<표 209.9> 설계속도에 따른 차로폭의 최소치 ····· 209-20
<표 209.10> 중앙분리대 최소폭 ····· 209-21
<표 209.11> 길어깨의 기능 ····· 209-22
<표 209.12> 오른쪽 길어깨의 최소폭 ····· 209-23
<표 209.13> 왼쪽 길어깨의 최소폭 ····· 209-23
<표 209.14> 도로 기능별 최소 보도 폭 ····· 209-30
<표 209.15> 토질조사 및 시험 항목 ····· 209-33
<표 209.16> 실내시험 ····· 209-34
<표 209.17> 토공설계시 착안점 ····· 209-36
<표 209.18> 공사용 도로의 구분 ····· 209-37
<표 209.19> 포장 구조의 비교 ····· 209-46
<표 209.20> 아스팔트 포장과 시멘트 포장의 주요 특성 비교 ····· 209-47
<표 209.21> 출입시설의 계획 과정 ····· 209-50

210 도로건설에 따른 교통영향평가

<표 210.1> 교통영향평가 대상 신설도로의 규모 ····· 210-1
<표 210.2> 교통영향평가서의 주요 내용 ····· 210-3
<표 210.3> 주변 도로 분석 표 ····· 210-8
<표 210.4> 교차로 분석 표 ····· 210-8
<표 210.5> 진·출입 형식 검토 예 ····· 210-9
<표 210.6> 폐쇄식 및 개방식 영업체계의 장·단점 ····· 210-10
<표 210.7> 신호기 설치기준(최소 차량 교통량) ····· 210-13
<표 210.8> 신호기 설치기준(부도로 교통량) ····· 210-13
<표 210.9> 신호기 설치기준(보행자 교통량) ····· 210-13
<표 210.10> 교통사고 원인별 개선 대책 ····· 210-16

211 도로건설에 따른 환경영향평가

<표 211.1> 환경영향평가서의 주요 내용 ····· 211-3
<표 211.2> 평가 대상 항목 ····· 211-6
<표 211.3> 동물조사 방법 ····· 211-8
<표 211.4> 식생조사 방법 ····· 211-9
<표 211.5> 주요 지점의 예 ····· 211-12
<표 211.6> 경관을 규정하는 요소 ····· 211-12
<표 211.7> 지형, 지질, 식물, 동물 및 경관 등에 관한 환경보전 목표 ····· 211-14
<표 211.8> 대기환경 기준 ····· 211-16
<표 211.9> 방류수 수질 기준 ····· 211-18
<표 211.10> 방류수의 수질 기준 ····· 211-19
<표 211.11> 소음 환경 기준 ····· 211-22
<표 211.12> 교통진동의 한도 ····· 211-24
<표 211.13> 경관 예측 기법 ····· 211-25
<표 211.14> 자동차 공해 대책 ····· 211-29

212 도로계획 관련 기타 고려사항

<표 212.1> 단계건설 검토 표 ····· 212-2
<표 212.2> 도로 확충을 위한 신설과 확장의 비교 ····· 212-4
<표 212.3> 우선순위 결정을 위한 평가지표(국도대체 우회도로의 경우) ····· 212-4
<표 212.4> 아스팔트 포장의 파손 유형과 보수공법 ····· 212-15
<표 212.5> 콘크리트 포장의 파손 유형과 보수공법 ····· 212-17
<표 212.6> 폐도의 형태 ····· 212-20

그 림 목 차

201 총론

<그림 201.1> 도로계획 관련 기준 ····· 201-4

202 도로의 기능 및 구분

<그림 202.1> 도로의 기능적 특성과 교통특성과의 관계 ····· 202-1

204 도로계획과 교통수요예측

<그림 204.1> 도로계획과 교통수요예측 ····· 204-2
<그림 204.2> 사람통행량조사 전수화 과정도 ····· 204-6
<그림 204.3> 4단계 예측기법 개념도 ····· 204-16
<그림 204.4> 단계적 교통수요 추정 과정 ····· 204-17

205 도로용량과 서비스수준

<그림 205.1> 다차로도로의 속도와 교통량 곡선 ····· 205-9
<그림 205.2> 차로수 산정 과정 ····· 205-18

206 경제성 분석

<그림 206.1> 경제성 분석 과정 ····· 206-1

207 환경 친화적 도로건설

<그림 207.1> 도로가 자연환경에 미치는 영향 ····· 207-3
<그림 207.2> 박스 칼버트 구조 ····· 207-6
<그림 207.3> 파이프 칼버트의 설치 위치 ····· 207-7
<그림 207.4> 파이프 칼버트의 크기와 구조 ····· 207-7
<그림 207.5> 오버브릿지 설치 위치 ····· 207-8
<그림 207.6> 조류를 위한 횡단 유도 식재 구조 ····· 207-8
<그림 207.7> 침입방지 울타리 예 ····· 207-10
<그림 207.8> 소동물이 자력으로 탈출할 수 있는 측구 구조 ····· 207-11
<그림 207.9> 사면 식재 예 ····· 207-12

<그림 207.10> 도로와 인접해 있는 방어군락 구조 ····· 207-13
<그림 207.11> 방어군락 형성을 촉진시키는 도로건설 방법 ····· 207-13

208 타당성 조사

<그림 208.1> 최적노선대 선정과정 ····· 208-16

209 기본 설계

<그림 209.1> 최적노선 선정 과정 ····· 209-12
<그림 209.2> 횡단면 구성요소와 조합 ····· 209-19
<그림 209.3> 적설지역 도로의 횡단구성 ····· 209-24
<그림 209.4> 환경시설대가 설치된 도로의 횡단면 ····· 209-25
<그림 209.5> 측도 설치의 예 ····· 209-27
<그림 209.6> 정차대 ····· 209-28
<그림 209.7> 자전거도로의 종류 ····· 209-29
<그림 209.8> 토질조사의 과정 ····· 209-31
<그림 209.9> 토질조사의 내용 ····· 209-32
<그림 209.10> 배수시설의 명칭 및 구분 ····· 209-40
<그림 209.11> 교량형식의 선정 절차 ····· 209-41
<그림 209.12> 터널의 계획과정 ····· 209-42
<그림 209.13> 터널 설계의 흐름도 ····· 209-44

210 도로 건설에 따른 교통영향평가

<그림 210.1> 도로 사업에 따른 교통영향평가 과정 ····· 210-2
<그림 210.2> 개선안 작성 과정 ····· 210-11

211 도로 건설에 따른 환경영향평가

<그림 211.1> 환경영향평가 과정 ····· 211-2
<그림 211.2> 환경영향요소의 추출 모식도 ····· 211-5
<그림 211.3> 작업순서의 흐름도 ····· 211-17
<그림 211.4> 소음예측 모의실험 작업의 흐름도 ····· 211-20

212 도로계획 관련 기타 고려사항

<그림 212.1> 공사구간 교통통제 계획의 평가과정 ····· 212-9
<그림 212.2> 2차로도로 공사구간의 교통 처리 계획 예 ····· 212-11

<그림 212.3> 4차로도로 공사구간의 교통 처리 계획 예 ····· 212-12
<그림 212.4> 포장의 유지관리 흐름도 ····· 212-13
<그림 212.5> 포장의 생애주기(Life Cycle) 개념 ····· 212-14
<그림 212.6> 민자사업의 추진 절차 ····· 212-19
<그림 212.7> 간이주차장 및 간이휴게소 활용 예 ····· 212-21
<그림 212.8> 관광안내시설 활용 예(폐도부지 활용) ····· 212-22
<그림 212.9> 농산물 집하장 및 직매장 활용 예 ····· 212-23
<그림 212.10> 농촌 공동 건조장 활용 예 ····· 212-23

201
총 론

201.1 도로계획의 정의

도로계획은 국토종합개발계획 및 각종 상위 개발계획 등에서 세워진 중장기 도로망 계획을 토대로 대상 사업의 노선을 선정한 후 해당 노선의 기술적, 사회·환경적, 경제적 타당성을 검토하는 타당성조사에서부터 최적의 노선을 결정하고 계획도로의 주요시설에 대한 위치나 형식을 선정하는 기본설계까지의 설계업무를 다루는 도로건설을 위한 사전 의사 결정 과정이다.

201.2 용어의 정의

【교통수요예측】

현재의 인구, 경제, 토지이용과 관련하여 교통체계를 조사·분석하고 이를 바탕으로 장래의 인구, 경제, 토지이용 변화를 예측하여 이에 따른 교통수요의 변화를 예측하는 과정이다.

【도로용량분석】

도로시설이 주어진 조건하에서 처리할 수 있는 최대 교통량(용량)을 산정하여 도로교통수요에 따른 서비스수준을 분석하거나 장래 도로시설의 규모를 결정하는 작업이다.

【경제성분석】

평가 대상이 되는 사업이나 비교 대안에 대한 사회적 편익과 사회적 비용을 비교하여, 투자여부를 판단하고 정책결정자의 의사 결정을 돕는 작업이다.

【교통영향평가】

대량의 교통수요를 유발하거나 유발할 우려가 있는 사업을 시행하거나 시설을 설치할 경우, 발생교통이 주변지역 교통환경과 마찰을 일으켜 생길 수 있는 제반 교통 문제점을 분석하고 그 악영향을 제거하거나 최소화할 수 있는 대책을 마련하여 교통여건을 개선하는 작업이다.

【환경영향평가】

대상 사업의 사업계획을 수립함에 있어 해당 사업의 시행으로 인하여 환경에 미치는 영향을 미리 예측하고 분석하여 환경에 대한 악영향을 저감시킬 수 있는 방안을 강구하는 작업이다.

201.3 도로계획편의 구성

일반적으로 도로사업은 상위계획 검토, 타당성조사, 기본설계, 실시설계, 용지매수, 건설, 도로의 사용 및 유지관리 등의 일련의 과정을 거친다.

그 중에서 도로계획은 투자 사업의 전반부에 위치하며, 상위 계획 검토와 타당성조사를 통해 노선을 선정하는 부분과 기본설계가 해당된다. 이를 토대로 실시설계가 이루어진다. 본 편에서 다루는 도로계획은 타당성조사의 대부분의 내용, 그리고 기본설계에서의 도로계획과 관련한 업무 내용에 관한 것으로, 도로설계 실무자들이 도로계획의 전반적인 내용을 쉽게 파악하고 이해할 수 있도록 한 것이다.

본 편에는 실제의 업무수행 흐름에 따라 타당성조사, 기본설계, 교통 및 환경영향평가, 기타 고려사항들을 순서대로 장(章)으로 구성하였다. 한편 위의 각 장들에서 중복되거나 도로계획의 중요한 기본 사항이 되는 교통계획, 용량분석, 경제성 분석 등은 별도의 장으로 구분하여 앞부분에 두어 그 내용이 도로계획 과정의 업무 내용과 연계될 수 있도록 하였다.

각 장별 주요 기술내용은 다음과 같다.

【202 도로의 기능 및 구분】

- 다양한 형태로 분류되는 도로의 기능 및 구분을 정리하여 도로설계 측면에서 합리적으로 적용할 수 있는 도로의 구분을 제시
- 일반국도를 기능별로 국도 Ⅰ, 국도 Ⅱ, 국도 Ⅲ으로 새롭게 구분

【203 도로설계 관련 계획】

- 효과적인 도로계획을 위해 해당 사업과 관련된 계획의 검토 사항 및 세부 내용
- 각종 관련 계획들이 도로계획의 각 항목에 어떻게 반영될 수 있는가를 파악

【204 도로계획과 교통수요예측】

- 교통수요예측 과정의 전반적인 흐름을 알기 쉽게 정리·기술
- 교통수요 예측 작업은 광범위하므로 이에 관한 전문적 업무 수행 내용보다는 설계 실무자의 이해도를 높이도록 함
- 교통계획 모형을 구분하고 각 모형별 개념과 적용성, 장·단점을 기술
- 실무에서 사용되는 수요예측 프로그램을 정리하여 소개하고, 가장 많이 쓰이는 EMME/2와 TRANPLAN에 대해서는 자세히 설명

【205 도로용량과 서비스 수준】

- 도로용량과 관련한 주요 항목의 정의 및 개념 기술
- 기존의 용량분석이 운영분석에 치중되어 있는 반면, 본 편람에서는 도로의 계획 및 설계분석에 관련된 내용을 자세히 설명하여 설계자들로 하여금 도로용량분석기법을 다양하게 활용할 수 있도록 유도
- 설계시간 교통량 및 차로수 산정 기법
- 설계 및 계획 분석을 위한 예제 제시

【206 경제성 분석】

- 경제성 분석 방법 및 주요 지표 기술
- 경제성 분석의 절차 예
- 민감도분석, 재무분석, 최적투자시기 결정 등의 내용도 별도로 기술하여 도로설계와 관련된 경제적 고려사항에 대한 전반적인 이해를 높임
- 생애주기(LCC) 분석 개념 소개

【207 환경 친화적 도로건설】

- 도로가 자연 환경에 미치는 영향 기술
- 환경에 대한 영향을 최소화하기 위한 환경도로 건설기법

【208 타당성조사】

- 기본설계와 업무 중복을 방지하기 위해 타당성조사 및 기본계획에서만 다루어지는 내용을 구체적으로 취급
- 노선계획 부분을 중점적으로 설명
- 최적 노선대 선정을 위해 필요한 조사, 검토사항, 고려사항 등을 자세히 기술
- 교통수요예측, 경제성분석, 환경영향 등의 다른 장과 중복되는 내용은 해당 장의 내용을 참고할 수 있도록 하고 간단하게 개략적인 설명만 추가

【209 기본설계】

- 기본설계에서 다루어져야 할 업무를 세분하여 기술
- 도로설계요소, 도로의 횡단면 구성요소 등을 설명하여 설계의 기초 분야를 강조
- 노선계획 중 기본설계에서 다루어져야 할 노선설계 부분 기술
- 각 공종별 고려사항 및 계획 내용
- 주민의견 수렴

【210 도로건설에 따른 교통영향평가】

- 도로건설에 따른 교통영향평가의 항목별 고려사항 및 착안사항
- 평가서에 포함해야 할 내용
- 도로건설에 따른 영향 및 문제점, 대책

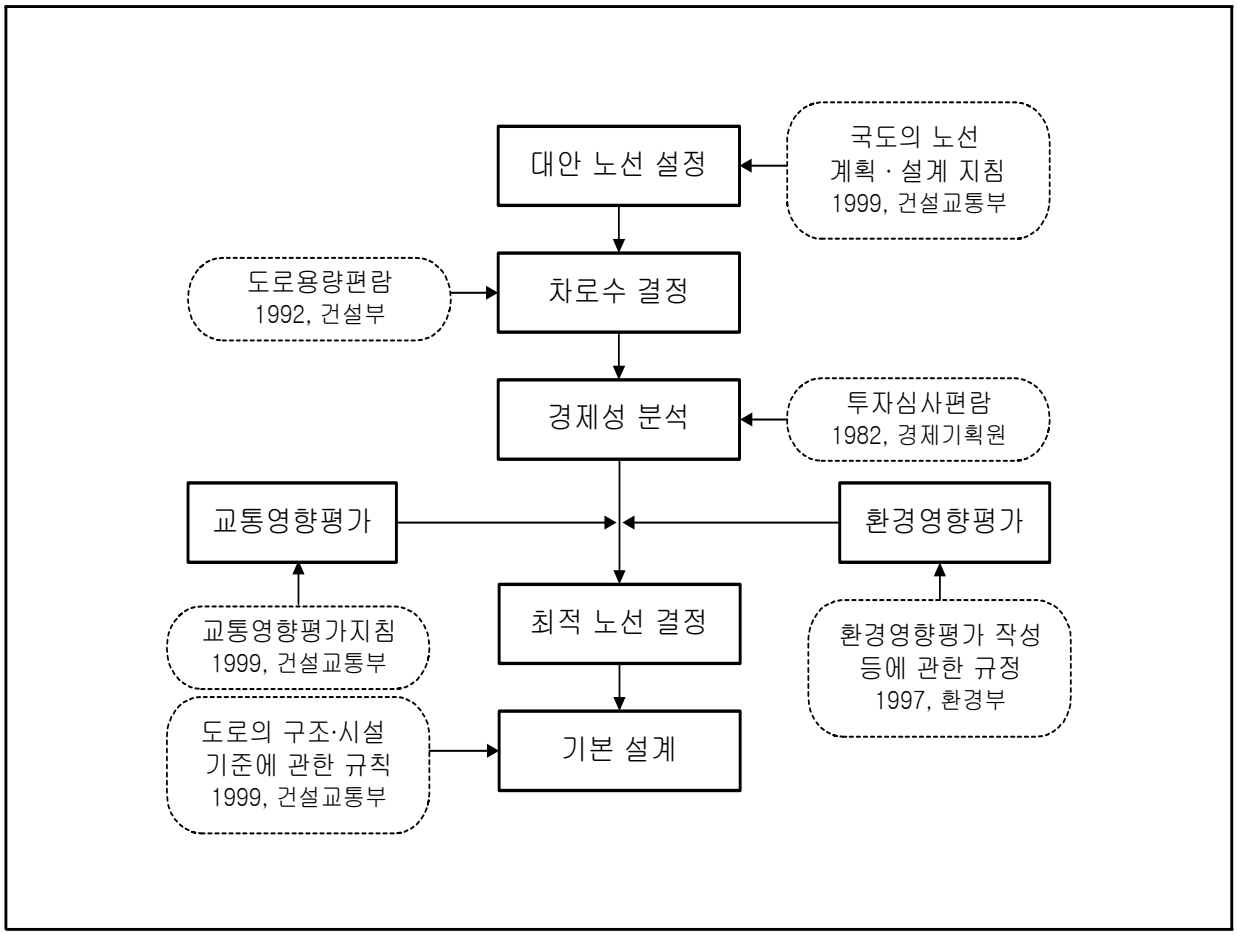
【211 도로건설에 따른 환경영향평가】

- 도로 건설에 따른 환경 영향
- 환경영향요인 파악, 영향 예측기법
- 예측된 환경영향의 평가와 저감방안 기술

【212 도로계획 관련 기타 고려사항】

- 단계건설 계획
- 국도 확충 계획
- 공사구간의 계획
- 민자유치 사업 계획
- 폐도 활용 계획

<그림 201.1>은 사업대상 노선에 대한 교통수요의 예측작업이 완료된 이후의 도로계획과정에서 참조되어야 할 관련 기준들을 나타낸 것이다.



<그림 201.1> 도로계획 관련 기준

202
도로의 기능 및 구분

202.1 개요

계획하고자 하는 도로의 기능이 어떠한 것인가를 파악하는 것은 대단히 중요한 과정이다. 해당 도로의 기능이 이동성을 중요시하는 도로인지, 아니면 접근성을 우선시하는 도로인지를 구분해야 한다. 주변의 도로망을 검토하고 인접 영향권 내에서 해당 도로가 수행하게 될 도로의 기능을 명확히 구분해야 한다. 만약 타 도로와의 기능이 중복되거나 도로의 위계가 고려되지 않은 도로를 신설할 경우 불필요한 교통의 집중이나 분산으로 인해 효율적인 역할 수행에 지장을 초래할 수 있기 때문이다.

202.2 도로의 기능

도로는 국토의 기능을 증진시키는 전국 규모의 간선도로망에서 지역 개발과 주변의 토지 이용을 활성화시키는 지역내 도로망에 이르기까지 각각의 도로망이 연결되어 상호간에 기능을 보완하면서 국토발전의 기반과 생활기반의 정비, 생활환경의 개선에 큰 역할을 한다. 도로의 기능은 크게 토지이용시설물에 접근할 수 있는 기능인 접근성과 시종점을 얼마나 빨리 연계할 수 있는가 하는 이동성의 두 가지로 나눌 수 있다.

도로가 상위 위계의 기능을 갖는 경우에는 이동성을 주기능으로 하고, 반면에 하위의 위계 기능을 수행할 때에는 접근성을 주기능으로 한다.

도로가 수행하는 이동성과 접근성의 두 가지 기능적 특성과 교통 특성과의 관계는 <그림 202.1>과 같다. 주간선 및 보조간선도로는 주기능이 이동성이고 반대로 국지도로는 주기능이 접근성이며 집산도로는 그 중간에 위치한다.

기능적 특성	도로의 구분	도로 교통의 특성		
		교통량	이동거리	통행속도
이동기능	주간선도로	많다	길다	크다
	보조간선도로	↕	↕	↕
	집산도로	↕	↕	↕
접근기능	국지도로	적다	짧다	작다

<그림 202.1> 도로의 기능적 특성과 교통특성과의 관계

202.3 도로의 구분

도로를 구분하는 기준은 도로를 구분하는 법규에 따라 다르지만, 본 편람에서는 도로 기하구조 설계의 기준이 되는 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에서 구분하는 도로 구분을 기준으로 하고, 기타 다른 법규에서 구분하는 도로의 구분은 참고로 한다.

3.1 도로의 구조□시설 기준에 관한 규칙의 도로 구분

도로의 구분은 도로가 제공하는 또는 이용자가 기대하는 기능, 도로가 존재하는 지역 및 지형의 상황과 계획 교통량에 따라 동일한 설계기준을 적용해야 하는 구간을 도로의 구조와 시설 기준이라는 관점에서 분류하여 구분한 것이다.

"도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에서는 도로를 크게 고속도로와 일반도로로 구분하며, 고속도로의 경우 소재 지역에 따라 고속도로와 도시고속도로로, 일반도로의 경우 그 기능에 따라 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로로 구분하고 있다.

<표 202.1>에서와 같이 우선 도로를 지방지역과 도시지역으로 구분하였는데, 일반적으로 도시지역이라 함은 현재 시가지를 형성하고 있는 지역 또는 그 지역의 발전 추세로 보아 시가지로 형성될 가능성이 있는 지역을 말한다. 지방지역은 도시지역 이외의 지역을 지칭한다. 도시지역과 지방지역을 구체적으로 구분하고자 할 때 가장 많이 사용되는 지표는 인구의 규모로서 도시지역은 인구 5,000명 이상이 거주하는 지역을 대상으로 하며 도시지역의 경계선 밖의 지역을 지방지역으로 한다.

지방지역도로와 도시지역도로의 구분과 기능별 특성은 3.2와 3.3에서 설명한다.

<표 202.1> 도로의 구분

구 분	지 방 지 역		도 시 지 역	
고 속 도 로	고속도로		도시고속도로	
일 반 도 로	주간선도로	국도	주간선도로	광로, 대로
	보조간선도로	국도 또는 지방도	보조간선도로	대로, 중로
	집산도로	지방도 또는 군도	집산도로	중로
	국지도로	군도	국지도로	소로
구 분	기능별 분류	관할권에 의한 분류	기능별분류	도시계획 도로 분류 기준

3.2 지방지역 도로의 구분

3.2.1 고속도로

- 자동차 전용도로로서 대량의 교통을 가장 빠른 시간내에 안전하게 효율적으로 이동시키기 위하여 출입제한의 기능을 갖추면서 가장 설계 기준이 높은 도로
- 4차로 이상의 도로

3.2.2 주간선도로

- 전국 도로망의 주골격을 형성하는 주요 도로
- 도(道) 상호간의 주요 도시를 연결하는 도로로서 주로 인구 5만~2.5만명의 도시를 연결하는 도로
- 지역간 이동의 골격을 형성하는 도로로서 통행거리가 비교적 길고 통행밀도도 비교적 높은 도로
- 지역간의 통과교통을 위주로 하며 궁극적으로 4차로 이상의 도로 확장이 요구되는 도로
- 일반국도의 대부분이 해당됨

3.2.3 보조간선도로

- 주간선도로를 보완하는 도로로 주간선도로에 비해 비교적 연장이 짧고 광역간선 기능이 약한 도로
- 군(郡) 상호간의 주요 지점을 연결하는 도로로서 일반국도의 일부분과 지방도의 대부분이 해당됨

3.2.4 집산도로

- 군(郡) 상호간의 광역기능을 갖는 도로를 보완하는 도로로 군 내부의 주요 지점을 연결하는 도로
- 군(郡) 내부의 주거 단위에서 발생되는 교통을 흡수하여 간선도로에 연계시키거나 간선도로에서 유입되는 교통을 주거단위로 배분하는 기능을 갖는 도로

3.2.5 국지도로

- 군(郡) 내의 주거 단위에서 접근하기 위해 제공된 도로
- 통행거리가 가장 짧고 기능상 최하위의 도로
- 군도의 일부

지방지역 도로의 기능별 특성, 관할권에 의한 분류와의 연계, 도로의 기하구조 특성, 교통류의 특성에 기초하여 고속도로를 제외한 지방지역 도로의 기능별 구분 지침을 일반적으로 제시하면 <표 202.2>와 같다.

<표 202.2> 지방지역 도로의 기능별 구분 지침

구 분	주간선도로	보조간선도로	집산도로	국지도로
도로의 종류 및 등급	국도	국도 또는 지방도	지방도 또는 군도	군도
평균통행거리	5km 이상	5km 미만	3km 미만	1km 미만
평균주행속도 (km/시)	60	50	40	30
유출입지점간 평균 간격(m)	700	500	300	100
동일 기능 도로간의 평균 간격(m)	3,000	1,500	500	100
계획교통량 (대/일)	10,000 이상	2,000～10,000	500～2,000	500 미만

3.3 도시지역 도로의 구분

3.3.1 도시고속도로

- 자동차 전용도로로서 도시지역에 존재하는 고속도로
- 출입제한의 기능을 갖추면서 대량의 교통을 신속하게 수송하기 위해 높은 설계기준을 적용

3.2.2 주간선도로

- 도시지역 도로망의 주 골격을 형성하는 주요 도로
- 도시내 주요 경제, 사회, 문화, 유통, 업무시설 지점을 연계하여 다량의 교통량과 통행길이가 비교적 긴 통행을 흡수하며 도시내 광역 수송 기능을 담당
- 지역간 간선도로의 도시내 통과 역할을 담당함으로서 지방지역과 도시지역에서 간선도로의 연속성을 유지

3.3.3 보조간선도로

- 주간선도로보다는 통행량과 통행길이가 짧고 통행의 지역적 담당 기능을 수행
- 지구내에서 집산도로를 통해 유출입되는 교통을 흡수하여 간선도로에 연계하는 기능을 수행
- 접근성보다는 이동성이 상대적으로 높음

3.3.4 집산도로

- 지구내의 교통을 주로 담당하며 보조간선도로에 비해 지구내의 주거지역까지를 연계
- 지구내에서 국지도로를 통해 유출입되는 교통을 모으거나 분산시켜 간선도로와 연계하는 기능을 담당
- 간선도로에 비하여 상대적으로 이동성보다는 접근성이 높음

3.3.5 국지도로

- 지구내의 주거 단위에 직접 접근되는 도로
- 접근성이 가장 높은 도로로서 통과 교통을 배제
- 보행자 통행이 차량보다 우선권을 갖는 도로

도시지역 도로의 기능별 특성, 도시계획 도로 분류 기준, 도로의 기하구조 특성, 교통류의 특성에 기초하여 도시고속도로를 제외한 도시지역 도로의 기능별 구분 지침을 제시하면 <표 202.3>과 같다.

3.4 기타 법령에서의 도로의 구분

3.4.1 도로법의 도로 분류

도로법 제11조(도로의 종류와 등급)에서는 도로의 종류를 소재 지역과 기능에 따라 일곱 가지로 구분하고 있으며 이 순서에 따라 등급을 정하고 있다.

① 고속국도
② 일반국도
③ 특별시도·광역시도
④ 지방도
⑤ 시도
⑥ 군도
⑦ 구도

<표 202.3> 도시지역 도로의 기능별 구분 지침

구 분	주간선도로	보조간선도로	집산도로	국지도로
도시계획 도로분류기준	광로, 대로	대로, 중로	중로	소로
평균통행거리	3km 이상	3km 미만	1km 미만	500m 미만
평균주행속도 (km/시)	50	40	30	20
유출입지점간 평균 간격(m)	500	300	150	50
동일 기능 도로간의 평균 간격(m)	1,000	500	250	100
계획교통량 (대/일)	20,000 이상	5,000～20,000	2,000～5,000	2,000 미만

3.4.2 도시 계획 시설 기준에 관한 규칙의 도로 분류

도시 계획 시설 기준에 관한 규칙 제2장 교통운수시설 제8조(도로의 종류)에서는 도로를 세 가지 기준에 따라 구분하고 있다. 첫째는 도로의 사용 및 형태에 따라 구분하고 있고, 둘째는 도로의 규모에 따라, 셋째는 기능에 따라 구분하고 있다.

(1) 도로의 사용 및 형태별 구분

① 일반도로
② 자동차 전용도로
③ 보행자 전용도로
④ 자전거 전용도로
⑤ 고가도로
⑥ 지하도로

(2) 도로의 규모별 구분

도로의 규모별 구분은 <표 202.4>와 같다.

<표 202.4> 도로의 규모에 따른 분류

구 분	세분류	폭원(m)
광 로	1 류	70이상
	2 류	50～70
	3 류	40～50
대 로	1 류	35～40
	2 류	30～35
	3 류	25～30
중 로	1 류	20～25
	2 류	15～20
	3 류	12～15
소 로	1 류	10～12
	2 류	8～10
	3 류	8m미만

(3) 도로의 기능에 따른 구분

① 주간선도로
② 보조간선도로
③ 집산도로
④ 국지도로
⑤ 도시고속도로
⑥ 특수도로

3.4.3 표층재료에 의한 분류

도로는 노면에 사용하는 표층 재료에 의해 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 토사도 : 자연의 흙으로 된 도로 또는 흙의 입도를 조성하여 개량한 도로
② 자갈도 : 자연의 흙 위에 자갈을 표층으로 사용한 도로로서, 지방도 및 군도에 많이 존재함
③ 블록 포장 도로
④ 아스팔트 콘크리트 포장 도로
⑤ 시멘트 콘크리트 포장 도로

3.4.4 이용 목적에 따른 분류

도로는 사람이나 차량의 통행을 위한 시설로서, 이용하는 목적에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 자동차 전용도로
② 보행자 전용도로
③ 자전거 전용도로
④ 자동차 보행자 겸용도로
⑤ 자전거 보행자 겸용도로
⑥ 자전거 자동차 겸용도로
⑦ 녹도
⑧ 공원도로
⑨ 군용도로
⑩ 경작로
⑪ 산림도
⑫ 산업도로

202.4 일반국도의 구분

4.1 일반국도의 기능별 분류

일반국도는 고속국도와 함께 주요 도시 및 지역간의 장거리 대용량 교통수요를 처리하는 간선도로로서의 기능을 수행한다. 지방부 도로망에서 일반국도는 기·종점 및 주요 경유지의 사회·경제적 특성을 반영하여 주간선 또는 보조간선도로로 구분하고 있으며, 그에 적합한 설계 기준들이 관계 규정에 정하여져 있다.

그러나, 일반국도의 노선신설이나 확장하는 경우에 있어서 도로설계자가 해당 노선이나 구간의 기능을 주간선 또는 보조간선으로 명확하게 판단하기가 어려워 도로설계수준을 정하는 데에 혼란을 가져올 수 있다.

즉, 제한된 도로정비 관련 예산을 효율적으로 집행하여 최대한의 효율을 창출하기 위해서는 해당 구간이 수행하게될 기능에 적합한 도로설계가 필요하나, 기능구분을 명확하게 판단하기 어려운 경우에는 과다 또는 과소 설계의 우려가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전국 도로망 체계를 검토하여 국도의 구간별 수행기능을 국도 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ으로 구분하였다.

여기에서 국도 Ⅰ, Ⅱ는 기존의 주간선도로에 해당되고, 국도 Ⅲ은 보조간선도로에 해당되는데, 국도 Ⅰ, Ⅱ는 세부적인 설계기준의 차이로 인해 구분된다.

국도 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 구분은 다음의 판단기준에 의한다.

4.1.1 국도 Ⅰ

7×9 장기 간선망을 보완하여 국토의 간선축을 형성하며, 주로 장거리 통행을 담당하는 국도로서 교통수요가 높아 매우 양호한 시설수준을 요하는 도로

4.1.2 국도 Ⅱ

장거리 통행비율이 국도 Ⅰ에 비해서 낮으나 주요 도시를 연결하며, 산업단지, 국립공원 등의 연결기능과 항만·공항·물류단지 등 타 교통시설간의 연계수송기능을 담당하는 국도로서 교통수요가 비교적 높아 보통 수준의 시설을 요하는 국도

4.1.3 국도 Ⅲ

국도 Ⅰ, 국도 Ⅱ를 연계·보완하며 통과교통량의 비율이 적고 지역내 통행을 주로 담당하는 국도로서, 기존 혹은 공사·계획중인 고속도로 노선과 인접하여 동일 방향의 교통을 담당하지만 장래에도 교통수요의 증가가 크지 않을 것으로 예상되는 국도와 관광·휴양지의 접근성을 주기능으로 하는 국도

4.2 일반국도의 기능별 시설기준

3가지로 분류된 국도는 각각의 기능에 부합되는 일관된 설계기준을 적용할 수 있도록 설계속도와 관련 시설의 기준이 필요하다. 이러한 관점에서 기능별 구분에 의한 일반국도의 시설기준은 <표 202.5>와 같다.

자세한 내용은 “국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구(건설교통부, 1999)”을 참고한다.

<표 202.5> 일반국도의 기능별 시설기준

구 분		국도 Ⅰ	국도 Ⅱ	국도 Ⅲ
설계속도 (km/시)	평 지	80	80	70
	산 지	60	60	50
목표여행속도[1] (km/시)	평 지	80	70	60
	산 지	60	50	50
부속시설 정비기준	중앙분리대	전구간 설치	가능한 설치	부분 설치
	입체교차	설치	필요시 설치	설치 최소화
	입체횡단시설 (통로Box 포함)	설치	설치 최소화	설치 최소화
	진출입연결로, 측도	설치	설치 최소화	설치 최소화
	평면교차로 밀도 (개소/km)	0.3 이하	0.5 이하	1.0 이하

주) 1. 서비스수준 B 이상(1,000대/차로/시간)인 상황에서 평균여행속도(Average Travel Speed) 목표값

203
도로 설계 관련 계획

203.1 개요

도로 사업을 효과적으로 수행하기 위해서는 기존의 관련계획 및 현재 시행 중인 사업들을 충분히 검토, 분석하고 이미 정책으로 입안된 계획에 대해서도 시행 가능성을 검토하여 반영한다.

관련계획의 검토 범위는 계획의 주체, 사업의 시행시기 및 기간, 사업목적 및 정책 대안으로서의 채택 여부 등을 종합적으로 판단해야 한다. 각 계획안들의 통상적인 계획 취지 등을 나타내는 추상적인 표현보다 구체적 사업을 주 분석 대상으로 해야 하며 특히 직접 영향권 내의 계획안들에 대해서는 집중적인 검토가 필요하다. 따라서, 사업의 추진 상황 및 관련도면, 자료 등에 대한 세부조사를 실시한다.

【관련계획 검토의 목적】

- 상위계획이 지향하는 전략에 부합되도록 기본방향 설정
- 정부시책에 따른 국토이용 및 개발방향과 연계성 검토
- 타 관련사업 시행계획을 종합 검토하여 적용
- 사전조사 수행내용의 종합적인 분석 및 과업 활용성 제고

203.2 상위계획

상위계획은 전국계획과 권역계획으로 구분되는데 각각 국토종합개발계획, 권역별 종합개발계획 등이 해당된다. 각 계획별 분석 대상은 <표 203.1>과 같다.

203.3 지역 관련 계획

지역관련계획은 대부분 상위계획에서 설정된 개발의 목표, 방향, 지표를 근간으로 전략화된 지역의 계획을 수립하는 것으로서 광역권 개발계획, 각 시·도별 종합개발계획 및 도시계획 등이 포함된다. 각 계획별 분석대상은 <표 203.2>와 같다.

<표 203.1> 도로설계 관련 상위계획

관 련 계 획	시행기관	주요 분석 대상
국토종합개발계획 (4차 : 2000～2020)	건설교통부 (1999)	• 전국도로망 구축계획 (고속교통망 및 지역간 도로망) • 교통투자 우선순위 • 지역별 개발방향 및 목표
권역별 종합개발계획	건설교통부	• 동남권 종합개발계획(1985) • 중부권 종합개발계획(1987) • 서해안 개발사업 사전조사(1989) • 서남권 종합개발계획(1990) • 수도권 정비 기본계획(1991)

<표 203.2> 지역 관련 계획

관련계획	자료수집 및 협의 대상 기관	주요 분석 대상	비고
광역권 개발계획	관할 시·도 행정기관	부산·경남권, 아산만권, 대구·포항권, 광주·목포권, 군산·장항권, 광양만권, 대전·청주권	광역권은 건교부 지정
시·도 종합개발계획	관할 시·도 행정기관	• 개발방향 및 목표 • 교통관련 개발계획	
지역 및 도시계획	관할 시·도 행정기관	• 장기발전계획 및 목표 • 도시기본계획 • 교통관련계획	
단지개발 및 조성계획	건설교통부 한국토지공사 관할 시·도·군 행정기관	• 개발방향 및 목표 • 물동량 예측치 • 유통경로 계획	
기타	관할 시·도·군 행정기관 민간단체 등	• 위락시설계획 • 대단위 공장시설 부지계획 등	

203.4 교통 관련 계획

교통 관련 계획에서는 상위계획 및 지역관련 계획 중 투자우선순위에 따라 구체적인 교통 관련 사업, 즉, 도로, 철도, 항만, 공항 등의 건설계획을 포함한다.

교통 관련 계획은 <표 203.3>과 같다.

<표 203.3> 교통 관련 계획

관련계획	자료수집 및 협의 대상기관	주요 분석 대상	비고
전국도로망 체계 재정비계획 (1993.11)	건설교통부 국토연구원	• 국도 기능의 재정립계획 및 개편 방향 • 국도 노선 조정 계획 • 교통수요분석 결과 • 도로개선사업 우선 순위 분석결과	
국도 및 국가지원지방도 관련 계획	건설교통부 해당 지방국토관리청 설계용역사	• 국도 확장·포장 사업 • 도시간 우회도로 건설계획 • 국가지원 지방도 건설계획 • 교통 애로구간 개량계획	장·단기계획 및 실시설계 시행구간, 시공 중 기관으로 구분
시·도·군 교통관련계획	관할 시·군 행정기관 설계용역사	• 지방도 확장·포장 사업 • 시·군도 개설 및 개량사업	
공항·항만 관련 계획	건설교통부 해당 지방해양수산청 및 항공청	• 공항 건설계획 • 항만 건설계획 • 수송 수단간 연계계획	
철도 관련 계획	건설교통부 철도청 및 고속철도공단	• 장·단기 철도건설 및 복선화 계획 • 고속철도 건설계획	

203.5 기타 관련 계획

기타 관련계획은 교통 관련 계획의 범위 밖의 기간시설(통신, 전기, 가스 등)이나 농지, 산림, 하천 등의 관련계획을 포함한다.

기타 관련 계획은 <표 203.4>와 같다.

<표 203.4> 기타 관련 계획

관련 계획		자료수집 및 협의 대상 기관	주요 분석 대상	비고
기간시설계획	통신	• 한국통신공사 운영국	• 통신시설 현황 및 계획	• 사업 시행자 • 시행 및 기간 • 사업용도 • 사업비 • 추진상황 • 관련도면 • 자료 등 세부 조사와 필요시 현장조사 시행
	전기	• 한국전력공사 송전부	• 송전시설 현황 및 계획	
	가스	• 한국가스공사 시설부	• 가스관 매설 현황 및 계획	
	송유관	• 대한송유관공사 시설부	• 송유관 매설 현황 및 계획	
	용수로	• 농지개량조합 시설과	• 농업 용수로 현황 및 계획	
	광역 상수도	• 한국수자원공사 지역본부	• 상수관로 현황 및 계획	
	군사시설	• 국방부 및 해당 군부대	• 군사시설 현황 및 계획	
농지관련계획		• 농림부 농업정책과 • 농지개량조합 사업과	• 대단위 농업정리 사업계획 • 절대 농지지역의 확인	
산림관련계획		• 산림청 정책과 지역영림소 • 경영과	• 산림보호구역(등급별) 현황 • 특정보호림 지정현황 • 국유림 실태조사	
하천관련계획		• 건설교통부 수자원 정책과 • 지방국토관리청 하천국 • 관할 시·도·군 행정기관	• 하천 정비 기본계획 수립 여부 • 수리·수문 자료 • 하천관리 현황	
광업관련계획		• 산업자원부 광업등록사무소	• 광업권, 광산 관련 자료	
기 타				

203.6 단계별 시행사항

관련계획의 조사 및 검토 과정을 단계별로 나타내면 다음과 같다.

【1단계】 관련계획의 파악, 자료수집 및 현지조사

【2단계】 과업과의 직접 관련 사항 분석

【3단계】 1차 관계기관 방문협의 및 세부조사

【4단계】 계획 내용의 세부 검토 및 수용 여부 분석

【5단계】 2차 관계기관 방문협의(공문서 지참)

【6단계】 관계기관 의견 수용여부 판단

관련기관과의 협의시 필요하다고 판단되는 경우에 감독관과 동행할 수 있으며 기간 및 단계를 조정할 수 있다.

각 단계별로 근거자료를 명시하고 보존해야 하며 사전·사후 보고를 철저히 한다.

204
도로계획과 교통수요예측

204.1 개요

계획도로의 적정 규모를 판단하고 그 도로에 대한 투자 사업의 경제적 타당성 검토를 위해서 교통수요예측은 대단히 중요하다. 교통수요의 예측 결과에 따라 대상 도로 사업의 실시 여부가 결정될 정도로 수요예측은 도로계획의 중요한 부분이다.

교통수요는 교통서비스나 교통시설 등 교통체계를 이용하는 규모 혹은 정도로 정의할 수 있으며 교통수요는 통행량으로 정량화된다. 교통수요는 일반적으로 통행량으로 나타나는데 이 통행량은 도로의 차량대수나 버스의 승객일 수도 있고 화물의 물동량 등의 형태로 표현할 수도 있다.

교통수요의 예측은 장래 교통체계에서 발생될 수요를 현재의 시점에서 예측하는 작업이다. 장래의 교통수요는 장래의 교통체계에서 어떤 문제가 발생되는가를 사전에 진단할 수 있기 때문에 교통문제의 심각성을 파악할 수 있고, 어느 지점 어느 구간에 교통시설 개선이 요구되며 어느 지역에 새로운 교통시설이 필요한 가를 예측할 수 있는 토대를 마련해 준다.

계획도로를 이용하게 될 장래의 교통수요는 도로계획에서 가장 중요한 설계 요소 중의 하나이다. 장래의 교통수요는 기존 도로망을 이용하는 현재의 교통수요와 장래의 사회·경제적 지표를 바탕으로 예측할 수 있다.

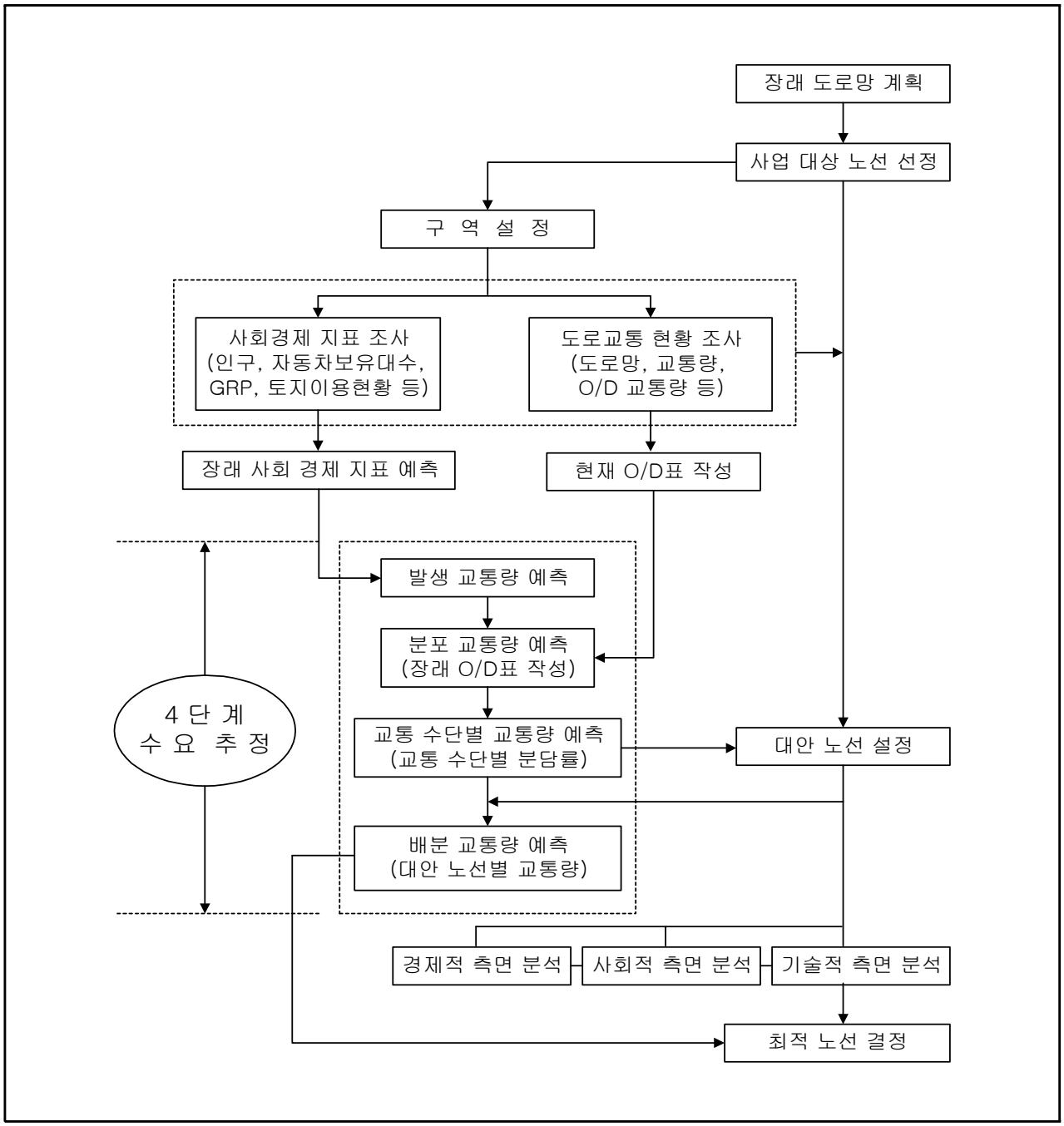
예측된 교통수요는 타당성조사와 기본설계 및 각종 영향평가의 기본자료로 사용된다. 연평균일교통량, 설계시간교통량으로 전환되어 용량분석을 통해 계획도로의 차로수, 서비스수준 등을 구한다. 구해진 차로수를 이용하여 도로의 시설규모를 결정하게 되고, 이를 바탕으로 계획도로의 타당성을 경제적으로 검토할 수 있다.

도로계획시 수행하는 교통수요예측의 주요 목적은 다음과 같다.

- 구간별 소요 차로수 결정을 위한 기초 자료 확보
- 투자 우선 순위 결정을 위한 기초 자료 확보
- 도로망 신설 및 확장의 적정시기 판단을 위한 기초 자료 확보
- 연도별, 구간별, 차종별 이용 교통량 예측을 통한 편익 계산을 위한 기초 자료 확보
- 환경영향 및 교통영향 평가를 위한 기초 자료 확보
- 포장구조설계의 기초 자료 확보

도로계획 과정에서 교통수요예측 단계는 <그림 204.1>과 같다.

본 장은 도로설계자의 교통수요예측에 관한 기본적 이해를 도모하고자 교통수요예측 이론과 현재 많이 사용되고 있는 프로그램에 관하여 소개를 한 것이다. 종합적인 교통수요 예측 등은 교통기술자에 의해 이루어진다.



<그림 204.1> 도로계획과 교통수요예측

204.2 교통 조사

2.1 교통권역 설정

대상 지역의 교통현황을 파악하고 장래 교통수요를 예측하기 위하여 대상 지역을 교통 권역으로 세분한다. 교통죤은 지역간 교통을 체계적으로 파악하고 지역특성에 따른 교통 유발 및 분포, 장래 교통 수요 추정 등 교통에 관련된 정보를 죤 단위로 파악하기 위한 것이다. 일반적으로 교통죤은 개발 배후지의 사회·경제적 잠재력을 고려하여 지형, 지세 및 자연조건 뿐만 아니라 토지 이용과 같은 인위적인 조건 등도 고려하여 설정한다.

설정된 권역의 안쪽을 조사 대상지역으로 하고 그 범위를 나타내는 선을 경계선이라 부른다.

【경계선 설정시 고려 사항】

① 경계선을 횡단하는 도로는 가능한 적어야 한다. 이 때문에 가능한 한 하천이나 철도 또는 능선을 경계선으로 이용한다.

② 행정 구역의 경계선과 가능한 한 일치시킨다. 이 경우 각종 자료의 수집이 쉽다.

③ 매우 큰 규모의 주거 지역이 경계선 바깥에 있으면 이를 될수록 경계선 안에 포함시킨다.

이와 같이 하여 조사 대상 지역이 정해지면 이를 다시 작게 분할하는 권역설정(Zoning) 작업을 한다. 이때 가능한 한 여러 개의 죤(Zone)으로 나누는 것이 바람직하지만 사실상 기술적으로나 경제적으로 많은 제약을 받는다.

【권역설정의 원칙】

① 죤 내부의 사회·경제적 특성이 균일해야 한다.

② 죤 내부의 통행이 적어야 한다(죤 내부에 하나의 중심만 가지도록 한다).

③ 가능한 한 지형적이거나 행정적인 경계선을 사용해야 한다.

④ 죤 안에 다른 죤이 포함되지 않아야 한다.

⑤ 각 죤의 가구수, 인구 및 통행량이 비슷한 것이 좋다.

2.2 교통량조사

교통량조사에서는 계획 지역 인근의 도로망을 조사하고 주요 교차점의 교통량을 시간별, 방향별, 차종별로 조사한다. 그 밖에 도로 형태, 교차로 시설, 대중교통시설, 병목구간, 교통유발시설 등을 조사한다.

2.3 기□종점(O-D) 조사

기·종점 조사는 과업 대상 노선의 장래 교통수요를 예측하는데 가장 중요한 조사이다. 이 조사는 개인의 통행이 언제(발생시기), 어디서(기·종점), 어떻게(수단선택), 왜(통행목적) 이루어지는가를 조사하는 것이다. 뿐만 아니라 통행인의 사회·경제적인 특성, 통행 기·종점의 토지 이용형태가 무엇인지를 파악한다. 화물 유통에 대해서는 화주 및 적하 서비스의 여러 가지 특성과 화물의 종류를 파악한다.

일반적으로 도로설계에서 O-D조사는 자동차 통행조사를 지칭하고 있으나 각종 수송기관이 발달한 도시에서는 복잡한 교통의 실태를 파악

하기 위해 사람을 대상으로 하는 사람통행조사도 실시하고 있다.

O-D조사는 출발지, 목적지 외에 통행목적, 통행노선 등을 조사하는 것에 따라 자동차교통의 내용을 분석할 수 있고 인구경제지표와 관련하여 장래교통량을 예측하는데 사용한다.

O-D조사의 종류로는 노측면접조사, 우편반송조사, 가정방문조사, 차량소유자설문우편반송조사, 차량번호판조사, 취업자설문조사, 대량수송기관조사, 숙박자조사, 영업자방문조사 등이 있다.

(1) 방문조사(차량소유자 면접조사)

① 가정방문조사

대상지역내 가정을 조사원이 직접 방문하여 1일 통행에 관해서 목적, 교통수단, OD, 시간 등을 질문하고 직접조사표에 기입하는 방식으로 가장 규모가 큰 조사이다. 대상가정을 표본추출할 때 표본설정에 특히 유의해야 하며 자동차통행조사에서는 자동차보유자 및 사용자의 범위를 미리 선정하는 것이 효율적이다. 이 조사는 광역적인 교통상황을 파악하기 위해 실시하는 종합적인 조사이지만, 자주 실시하지는 않는다.

② 영업자 방문조사

영업자 방문조사에서는 택시, 버스, 수송업, 화물차의 통행특성을 충분히 파악할 수 없기 때문에 이를 보완하기 위해 관련된 영업주체를 방문하고 영업차량의 통행 행태를 별도로 조사한다. 조사방식은 가정방문 조사방식과 같지만 질문사항에 영업차량의 특성이 포함된다.

가정방문조사와 영업자 방문조사는 동일시기에 실시하여야 더욱 정밀한 OD특성을 파악할 수 있다. 조사대상이 중복 계산될 수 있기 때문에 보정이 필요한 경우가 있다는 점에 유의해야 한다.

(2) 노측 인터뷰(면접) 조사

노측의 조사지점에서 통행하는 차량을 정지시켜 조사원이 운전자에게 출발지 및 목적지, 통행목적, 시간, 승차인원, 적재품목 등에 대해서 질문하여 조사표에 기입하는 방식이다. 조사 대상 지역 내에서 시행하는 경우에 대상지역의 교통상황을 정확하게 파악할 수 있으므로 조사지점의 선정이 대단히 중요하다. 경계선상의 경계지점(cordon station)에서 시행하는 것을 특히 경계지점 면접조사라고 부르며, 조사지점 선정이 부적절한 경우에는 가정방문조사에 비해서 결과의 정확도가 떨어진다. 고속도로 등 접근이 통제되는 도로의 경우에는 출입구에서 실시하는 것이 가장 효과적인 방법이다.

(3) 우편 반송 조사

인력과 경비의 제약으로 조사원에 의한 직접 면접조사가 불가능한 경우 사용하는 대체 방법으로 조사표를 배포하고 작성 후 회답하도록 우편 의뢰하는 방법이다. 가정방문조사 때에 각 가정에 의뢰하는 방법과 노측조사에서 운전자에게 의뢰하는 방법이 있다. 높은 추출율을 기대할 수 있으나 현실적으로 회수율이 낮기 때문에 질문형식은 단순하게, 질문수는 적게 해야 하는 것(통상 5~7항목)이 바람직하다.

(4) 차량번호조사

주요지점에 관측 지점을 설치하고 통행차량의 차량번호를 판독하여 관측후 각 지점의 결과를 조합하는 것으로, 통행차량의 통과노선을 파악하는 것을 목적으로 하고 있다. 판독은 차

종별로 통상 5분마다 통행차량의 등록번호 4자리(경우에 따라 3자리)를 기록하고 교통량이 많은 곳에서 조사자가 기록하기 힘든 경우에는 비디오로 촬영해 놓고 후에 이 자료를 정리해서 사용한다.

이 조사는 성격상 관측 시간에 전수조사가 필요하기 때문에 관측이 용이하고 가능한 한 주행속도가 낮은 지점에서 관측하는 것이 효과적이다.

2.4 전수화 과정

<그림 204.2>는 사람통행실태조사의 전수화 과정 사례를 나타낸 것이다. 작업순서의 사례를 약술하면 다음과 같다.

① 가구실태조사를 통하여, 가구특성, 개인통행특성 및 비통행특성을 파악한 후, 통행자와 비통행자분석을 한다.

② 통행자분석을 기준으로 하여, 목적통행과 수단통행의 총량을 카테고리(category) 분석으로 추정한다.

③ 외생지표(인구, 고용자, 학생, 건물상면적)의 특성에 따라 죤별, 목적별 통행 발생량을 전수화한다. 전수화의 방법으로 회귀분석을 이용한다.

④ 죤별 시간거리표와 조사된 표본통행표를 기준으로 중력모형을 이용하여 목적별 O-D를 전수화한다.

⑤ 수단분담모형에 의하여 전수화된 목적 O-D를 기준으로 수단통행이 분석된다.

⑥ 전수화 통행량은 대중교통(버스, 택시, 지하철 등) O-D조사와 노측설문조사결과로 보정되기도 하며, 대중교통 환승분석을 한다.

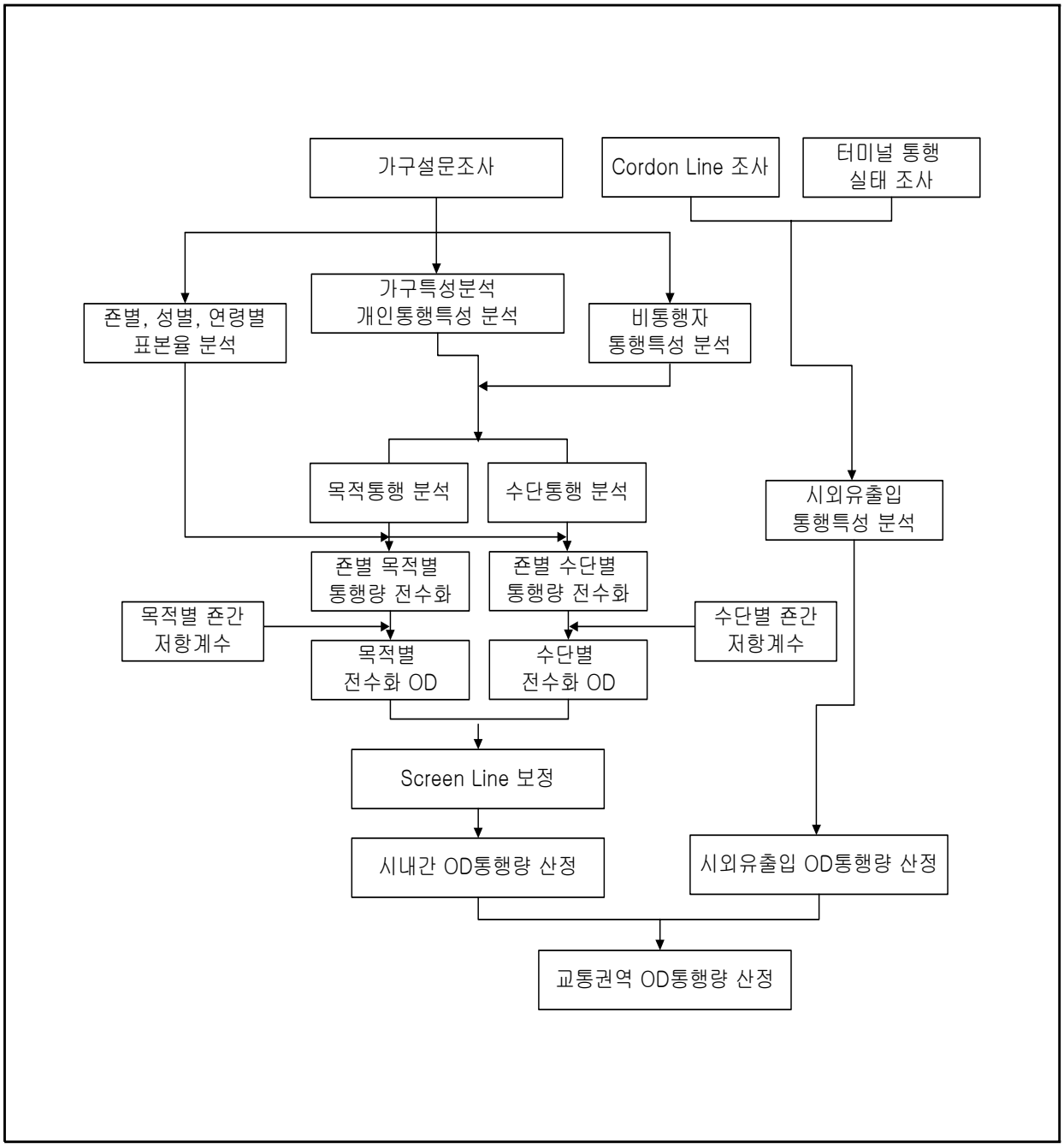
⑦ 추정된 수단통행의 총량으로 전수화된 수단O-D를 조정한다.

⑧ 전수화 목적별, 수단별 O-D를 검토하여 시내간 통행 O-D표를 만든다. 여기에서 검토과정은 O-D표의 죤간 통행량이 모형에 의한 추정치이므로, 현실적인 수치와 비교 검토하는 것이다. 그러나, 현실적인 수치는 미지의 모수이므로 이러한 비교는 교통계획가 또는 계획참여가의 경험에 의존하게 된다.

⑨ 시외유출입 조사와 터미널 이용객 조사에 의하여 시외유출입 통행을 분석한 후 그 O-D표를 만든다.

⑩ 시내간 통행 O-D표와 시외유출입통행 O-D표를 합하여야만 완전한 도시통행 O-D표가 작성된다.

⑪ 장기적이고 계획적인 교통계획을 위해서 O-D조사 및 분석은 최소 5년마다 수행되어져야 하고 중간년도는 외생지표에 의해 개정 보완된다.



<그림 204.2> 사람통행량조사 전수화 과정도

204.3 사회□경제지표 조사 및 예측

교통수요 예측은 장래의 교통체계에서 발생될 수요를 현재의 시점에서 예측하는 작업이다. 장래의 교통수요는 장래의 교통체계에서 어떠한 문제가 발생되는가를 미리 진단할 수 있기 때문에 교통 문제의 심각도를 예측할 수 있고, 어느 지점 또는 어느 구간에 시설의 개선 및 확충이 요구되는가를 예측할 수 있는 기초 자료를 제공해 준다. 수요 예측의 핵심은 장래의 토지이용 패턴에 따른 교통 시설을 설계하는 것이므로 신뢰성 있는 장래의 지표들을 예측하는 것은 매우 중요하다.

3.1 사회□경제 지표의 조사

3.1.1 조사기준

정부, 국책연구기관, 지방자치단체, 정부투자기관, 민간단체 등 공식적으로 인정되는 자료를 우선하여 교통지구별로 구분하여 분석·정리한다. 해당년도 자료를 기준으로 하되, 해당년도 자료가 없을 때에는 가장 최근 자료를 기준으로 한다.

조사분석의 자료수집 단계에서 얻은 대부분의 정보는 교통과 관련되는 그 지역의 여건을 한눈에 알아 볼 수 있게 정리되어야 한다.

3.1.2 지표의 조사 방법

사업 시행자, 목적, 시행시기, 사업추진상황, 관련 도면 및 자료 등 6하 원칙에 따라 자세히 조사하며 교통지구별로 구분하여 분석·정리한다. 제시된 수치 및 전망은 근거자료를 명시한다.

3.1.3 조사 항목

교통시설의 수요와 관련되는 사회·경제지표들은 <표 204.1>과 같다.

<표 204.1> 교통수요에 영향을 주는 사회·경제지표

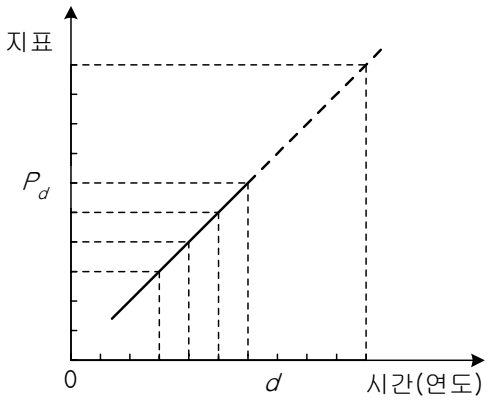
- 인구 변화 추세
- 평균소득 변화 추세
- 자동차 보유대수의 변화 추세
- 대중교통 이용과 수입의 변화 추세
- 차량통행 변화 추세
- 고용의 구성비
- 항공승객의 변화 추세
- 항공화물 운송의 변화 추세
- 지역내 철도승객량과 수입 현황
- 철도를 이용하는 주요 화물 현황
- 해운을 이용하는 주요 화물 현황
- 지역내 개인통행량(인·km)의 수단분담율 변화 추세
- 지역내 화물통행량(톤·km)의 수단분담율 변화 추세

3.2 사회□경제 지표의 예측

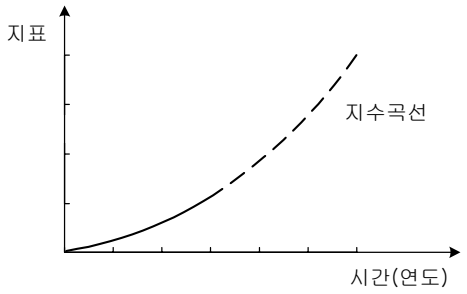
목표년도의 교통수요는 과거 자료를 토대로 현시점에서 도출한 모형에 장래의 사회·경제 지표를 각각의 변수에 삽입하여 예측한다.

3.2.1 직선모형

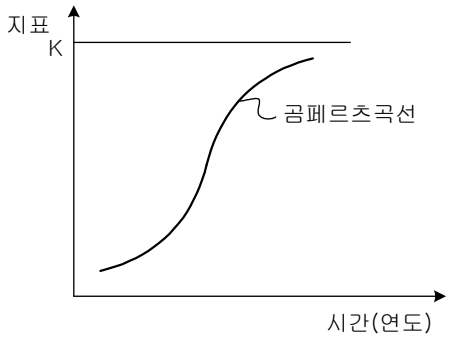
교통수요예측의 전단계로는 장래의 교통수요에 영향을 줄 것으로 판단되는 각종 사회·경제지표의 예측이 선행되어야 한다. 이를 위해서 직선모형, 지수성장모형, 곰페르츠모형, 로지스틱모형이 사용된다.

<table>
<tr><td>개 념</td><td colspan="2">직선모형은 예측 대상 지표가 매년 혹은 특정 시간단위 동안 거의 일정한 증가 경향을 보이고 앞으로도 이러한 패턴이 계속될 것으로 가정한다.</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="5">모 형</td><td colspan="3">$P_{t+n}=P_t+b(n)$</td></tr>
<tr><td>P_t</td><td colspan="2">시점 t의 지표</td></tr>
<tr><td>P_{t+n}</td><td colspan="2">시점 t로부터 n시간 단위 후의 지표</td></tr>
<tr><td>n</td><td colspan="2">시간 단위의 수</td></tr>
<tr><td>b</td><td colspan="2">시간 단위당 평균 지표 증가량
$b=\frac{\sum_{t=2}^{d}(P_t-P_{t-1})}{m}$
m=시간 단위당 평균 지표 증가량이 계산되는 시간 단위간격의 수
d=가장 최근의 지표 자료의 시점</td></tr>
<tr><td colspan="4">직선모형은 기존 지역에 있어서 안정된 증가율을 보이고 있으며, 향후 급격한 변동이 없을 것이라고 판단되는 경우에 효과적인 모형이다. 단순하고 적용이 쉬워 단기예측(5년 정도)에 적합</td></tr>
</table>

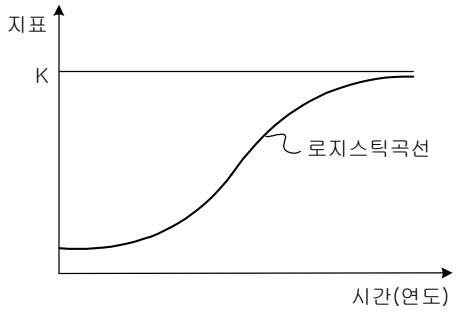
3.2.2 지수성장모형

<table>
<tr><td>개 념</td><td colspan="2">이 모형은 예측 대상 지표가 기하급수적으로 증가하는 경향이 있음을 가정하고 장래의 지표를 예측한다</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="5">모 형</td><td colspan="3">$P_{t+n}=P_t(1+r)^n \fallingdotseq P_t \cdot e^{rn}$</td></tr>
<tr><td>P_t</td><td colspan="2">시점 t의 지표</td></tr>
<tr><td>P_{t+n}</td><td colspan="2">시점 t로부터 n시간 단위 후의 지표</td></tr>
<tr><td>n</td><td colspan="2">시간 단위의 수</td></tr>
<tr><td>r</td><td colspan="2">시간 단위당 평균 지표 증가량
$r=\frac{1}{m}\sum_{t=2}^{d}\frac{P_t-P_{t-1}}{P_{t-1}}$
m=시간 단위당 평균 지표 증가량이 계산되는 시간 단위간격의 수
d=가장 최근의 지표 자료의 시점</td></tr>
<tr><td colspan="4">지수성장모형은 복리계산공식을 원용한 것으로서, 단기간에 급속히 팽창하고 있는 지역이나 팽창할 것으로 예상되는 지역에 적합한 모형이다.
장기예측의 경우에는 과도한 예측 값이 산출될 수 있는 단점이 있다. 성장률이 일정할 때 사용된다.</td></tr>
</table>

3.2.3 곰페르츠모형

<table>
<tr><td>개 념</td><td colspan="2">이 모형은 예측 대상 지표의 상한선(K)이 있을 것으로 가정하고 S자형의 곰페르츠 곡선을 이용하여 장래의 지표를 예측한다. 대상지역의 지표가 처음에는 완만하게 증가하다가 어느 시점을 지나면서 급격히 증가하다가 다시 완만하게 증가하는 것으로 가정한다.</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">모 형</td><td colspan="3">$P_{T+N=} K_{a}^{bn}$</td></tr>
<tr><td>a, b</td><td colspan="2">상수</td></tr>
<tr><td colspan="4">곰페르츠모형은 대상지역에서 예상되는 지표의 최대 값을 상정해야 한다. 인구, 경제, 자동차 보유대수 추정에 적용된다.</td></tr>
</table>

3.2.4 로지스틱모형

<table>
<tr><td>개 념</td><td colspan="2">이 모형은 예측 대상 지표의 상한선(K)이 있을 것으로 가정하고 S자형의 로지스틱 곡선을 이용하여 장래의 지표를 예측한다. 곰페르츠 곡선은 비대칭곡선인 반면에 로지스틱곡선은 대칭곡선이다.</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">모 형</td><td colspan="3">$P_{t+n} = \frac{K}{1+e^{a+bn}}$</td></tr>
<tr><td>a, b</td><td colspan="2">상수</td></tr>
<tr><td colspan="4">로지스틱 모형을 이용해서 장래의 지표를 예측하기 위해서는 먼저 상수 a, b의 값을 추정해야 하는데, 과거 자료를 바탕으로 회귀분석을 하면 구할 수 있다. 인구, 경제, 자동차보유대수, GRP 등의 추정에 적용된다.</td></tr>
</table>

204.4 교통수요 예측 기법

수요예측 기법은 단순·직접적 예측법과 종합·체계적 예측기법으로 나눌 수 있다.

<표 204.2>에서 설명한 바와 같이 단순/직접적인 방법과 종합/체계적인 방법은 각각 다른 적용범위와 장·단점을 가지고 있으므로 대상 과업의 성격과 특성을 명확히 파악해서 적용해야 한다.

<표 204.2> 교통수요 예측 방법의 구분

구 분 \ 예측방법	단순·직접적 예측	종합·체계적 예측
개 념	계획 노선이 통과하는 지역의 경제, 사회적 여건의 변화를 분석하여 장래 수요를 예측	계획 노선의 영향권 전체에 대한 도로망을 체계화하고 경제, 사회적 여건의 변화를 반영하여 단계적으로 장래 교통 수요를 예측
적용범위	• 단기적인 교통계획이나 지구와 같은 소규모 지역 • 단구간의 도로 등 구체적이고 미시적인 분석이 필요하지 않은 경우	• 장기적인 교통계획이나 국가의 도로망 골격 구축과 같은 대규모 사업 • 대상지역내 교통체계가 복잡하고 관련여건의 변화가 심한 경우
장·단점	• 자료수집이 용이 • 시간 및 비용의 절약	• 상세한 분석이 가능 • 자료수집 및 예측에 소요되는 시간 및 비용이 큼 • 신뢰성있는 예측을 위해서는 정확한 O/D 자료가 필요
기 법	• 과거추세연장법 • 수요탄력성법 • 직접수요모형 (추상수단모형, 통행수요모형)	• 4단계 추정법

4.1 단순□직접 수요예측

4.1.1 과거추세 연장법

과거추세 연장법은 과거의 연도별 교통수요를 토대로 하여 도면상에서 미래의 목표연도까지 연장시켜 수요를 추정하는 간단한 방법이다.

예측가의 주관적인 관점이나 가치관에 따라서 과거의 추세가 임의적으로 연장되어 추정되기 때문에 수요예측이 예측가마다 달라질 수 있다. 예를 들어 어떤 분석가는 S곡선이나 로지스틱 곡선을 적용하는가 하면 어떤 분석가는 직선을 적용할 수도 있기 때문이다. 단점으로는 수요에 미치는 영향을 변수에 내재시킬 수 없다는 것이다.

4.1.2 수요 탄력성법

수요탄력성법에서는 교통수요에 긍정적 혹은 부정적인 영향을 미치는 사항을 변수에 내재시켜 분석할 수 있는 장점이 있다. 따라서 이 방법은 과거추세연장법보다는 정밀화된 수요추정 방법이라고 하겠다.

수요탄력성의 단위추정식은 다음과 같이 표시되며 교통체계의 변수 변화에 따른 수요 민감성을 추정하는 단위로서 나타낼 수 있다.

$$\mu = \frac{\frac{\partial V}{V_0}}{\frac{\partial P}{P_0}}$$

여기서 ($\partial V/\partial P$)는 P에 대한 V의 편미분으로 V는 수요를 의미하고 P는 수요에 영향을 미치는 변수를 의미한다. 이 수요 탄력치는 한 점에 대한 수치이므로 수요곡선상의 각 점마다 탄력치가 다르게 된다. 따라서 교통체계의 한 변수의 1% 변화에 따른 수요의 퍼센티지 변화율을 나타내는 현탄력성법(arc elasticity)이 수요 추정에 보다 광범위하게 적용된다. 현탄력성은 다음과 같다

$$\mu = \frac{\frac{\Delta V}{V_0}}{\frac{\Delta P}{P_0}}$$

4.1.3 직접수요모형

직접수요모형은 통행발생, 통행분포, 수단선택의 세 과정을 하나의 수학적 공식에 의해 동시에 추정하는 방법이다. 직접수요모형의 대표적인 모형에는 추상수단모형과 통행수요모형 두 가지가 있다.

(1) 추상수단모형

이 모형의 특징은 몇 가지 설명 변수에 의해 통행발생, 통행분포, 수단선택을 추정하는 방법이다. 이 모형은 최적 교통수단의 속성을 기준으로 설정하고, 고찰하고자 하는 교통수단의 속성을 상대적인 관점에서 비교·분석하는 것이다.

<표 204.3>의 모형은 존 *i, j*간의 통행량과 선택한 교통수단 뿐만 아니라 설명변수들이 교통수단 및 교통수단간에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 추상수단모형의 장·단점은 다음과 같다.

<표 204.3> 추상수단모형

$T_{ijm} = a\ P_i^b\ P_j^c\ Q_i^d\ Q_j^e\ f(t_{ijm})\ f(c_{ijm})\ f(h_{ijm})$	
T_{ijm}	존 i와 존 j간의 수단 m을 이용하는 통행량
$P,\ Q$	존 i와 존 j간의 교류의 정도(예: 인구, 고용등)
t_{ijm}	수단 m을 이용하는 존 i, j간 통행의 상대적인 통행시간
c_{ijm}	수단 m을 이용하는 존 i, j간 통행의 상대적인 통행비용
t_{ijm}	수단 m을 이용하는 존 i, j간 통행의 상대적인 주기(배차간격, 통행횟수의 주기등)와 신뢰성
$a,\ b,\ c,\ d,\ e$	상수

【장점】

- 교통수단의 함수로서 총 교통수요가 구해질 수 있다.
- 새로운 서비스 특성을 구할 수 있으므로 새로운 교통수단(현재 존재하지 않는)의 수요를 추정할 수 있어 장래 교통 대안을 평가할 수 있는 자료를 제공할 수 있다.

【단점】

- 모든 교통수단의 속성이 고려되지 않아 최적교통수단 이외의 다른 교통수단의 여건 변화가 분석하고자 하는 교통수단의 수요에 영향을 미칠 수 없다
- 집단화된 자료를 사용하므로 통행자의 개별적·행태적 측면의 고찰이 미흡하다

(2) 통행수요모형

이 모형은 t시간대에 교통 목적 P를 위해 교통 수단 m을 이용하여 존 i와 존 j간의 왕복통행량을 구하는 모형이다. 교통수요는 유출존과 유입존의 인구, 고용, 건물상면적과 같은 사회·경제변수와 소득, 자동차보유, 가구규모 등과 같은 개인 특성에 관련된 변수를 독립변수로 하여 예측한다.

또한 교통수요는 분석대상의 교통수단 m과 대안적인 교통수단의 통행시간, 통행비용, 서비스수준과 같은 통행저항에 의해 결정된다. 통행수요 모형의 기본구조는 <표 204.4>와 같다.

<표 204.4> 통행수요모형

$T(i, j/p_o, m_o)=f\{S(i/p_o), A(j/p_o), t(i, j/p_o, m_o), C(i, j/p_o, m_o)$ $t(i, j/p_o, m_a), C(i, j/p_o, m_a)\}$	
$T(i, j/p_o, m_o)$	수단 m_o를 이용하여 목적 p_o를 수행하기 위한 존 i, j 간의 왕복 통행량
$S(i/p_o)$	존 i에 거주하는 통행자의 통행목적과 관련된 사회경제변수
$A(j/p_o)$	유입존 j의 사회경제 및 토지이용변수
$t(i, j/p_o, m_o)$	교통수단 m_o를 이용하여 목적 p_o를 수행하기 위한 존 i, j 간의 왕복통행시간 변수
$C(i, j/p_o, m_o)$	교통수단 m_o를 이용하여 목적 p_o를 수행하기 위한 존 i, j 간의 왕복통행비용 변수
$t(i, j/p_o, m_a)$	대안적 교통수단(a=1,2,3,…,n)을 이용하여 목적 p_o를 수행하기 위한 존 i, j 간의 왕복통행의 통행시간 요소
$C(i, j/p_o, m_a)$	대안적 교통수단(a=1,2,3,…,n)을 이용하여 목적 p_o를 수행하기 위한 존 i, j 간의 왕복통행의 통행비용 요소

4.2 종합□체계적 수요예측 (4단계 추정법)

4.2.1 4단계 수요예측 개념

교통수요예측에서 전통적으로 가장 많이 사용되어온 방법은 다음 그림과 같이 통행발생, 통행분포, 교통수단선택, 통행배분의 4단계로 나누어 순서적으로 통행량을 구하는 방법이다.

우선 인구, 사회경제적 지표, 토지이용계획 등의 장래 지표에 의해 대상지역의 죤별 통행유출량과 통행유입량을 구하게 되는데, 통행유출량과 통행유입량이 바로 통행발생이다.

통행발생량이 산출되면 통행의 출발지와 목적지를 연결시켜 주는 통행분포의 단계로서 교통죤간을 이동하는 통행을 밝혀내는 과정이다. 통행분포가 된 후에는 교통수단 선택 단계에 이르는데 교통수단 선택은 배분된 교통을 이용하는 교통수단으로 분류시키는 것이다. 교통수단 선택이 수행된 다음에는 4단계 추정 방법의 마지막 단계인 통행배정단계에 이른다. 통행배정은 교통수단별 통행량을 각 죤간의 개개의 노선에 부합시키는 작업이다. 각 단계별 교통수요 추정 방법은 다음 절에서 구체적으로 기술된다.

4단계 기법의 장점으로는 각 단계별로 도출되는 분석결과에 대한 적절성을 검증하면서 순서적으로 추정해 가는 장점을 지니고 있다. 반면에 단점으로는 다음과 같은 것들이 있다.

① 과거의 일정한 시점을 기초로 수집한 자료로서 모형화하기 때문에 장래를 추정하는데 경직성을 드러낸다. 즉 어느 시점의 고정적인 모형으로 그 모형의 구조가 시간에 따라 변하지 않는다는 가정을 토대로 한다.

② 어느 시점의 자료를 토대로 하여 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배분의 작업을 별개로 거치게 되므로 4단계를 거치는 동안 계획가나 분석가의 주관이 강하게 반영될 수 있다.

③ 총체적 자료에 의존하기 때문에 통행자의 총체적·평균적 특성만 산출될 뿐 형태적 측면은 거의 반영되지 않는다.

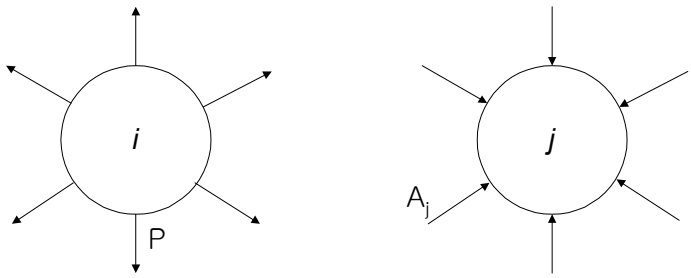
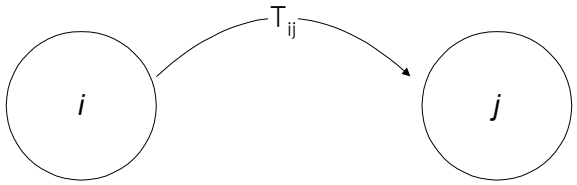
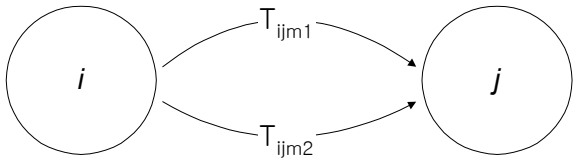
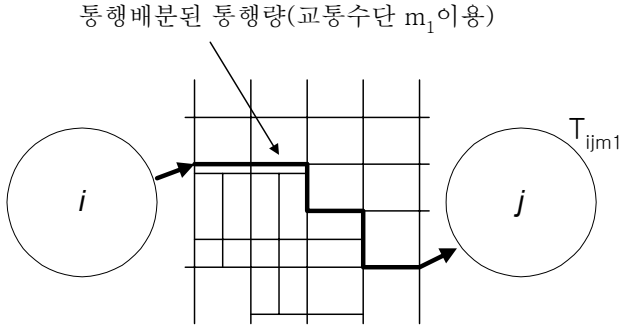
4단계 예측법의 개념도는 <그림 204.3>과 같다.

4.2.2 수요예측 과정

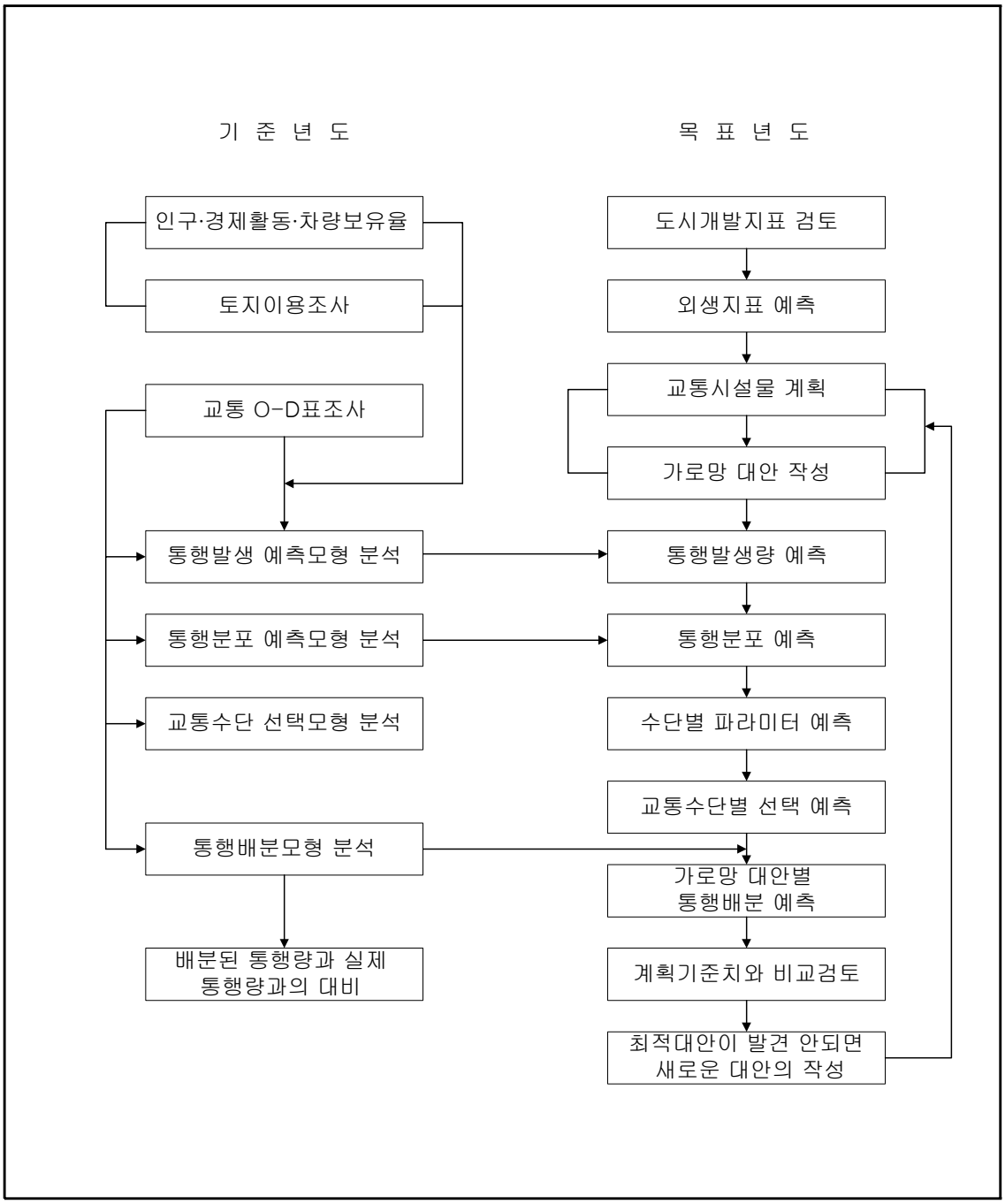
4단계 예측기법의 교통수요 추정과정은 <그림 204.4>와 같이 도표화할 수 있다. 왼쪽의 기준년도, 즉 현재의 통행패턴을 현실과 가장 가깝게 그려내는 단계로서 현재의 토지이용과 교통체계를 토대로 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정의 모형을 적용하여 현재의 통행패턴을 가장 잘 묘사할 수 있는 모형을 개발하는 단계이다. 이 모형 개발의 단계를 일반적으로 정산(calibration)이라 한다.

정산단계를 거쳐 가장 현실적인 모형이 구축되면 이 모형들을 일단 선정하여 장래 교통수요예측의 모체가 되는 모형으로 삼는다. 모체가 되는 모형이 설정되면 목표년도의 교통수요예측 단계로 넘어간다. 목표년도의 교통수요추정은 기준년도에서 개발한 모형의 변수에 예측된 장래의 토지이용과 인구, 자동차 보유대수, 지역총생산(GRP) 등의 사회경제적 지표들을 대입하여 산출한다.

일단 모형이 도출되면 이 모형이 얼마나 현실을 잘 반영하는가를 검증한다.

구 분	개 념 도	추 정 법
통행발생	 각 죤에서 유출되는 통행과 각 죤으로 유입되는 통행을 예측	• 증감율법 • 원단위법 • 회귀분석법 • 카테고리 분석법
통행분포	 기종점 O/D통행을 추정하는 단계로서 통행의 출발지와 목적지를 연결시켜 주는 단계	• 성장률법 • 중력모형 • 엔트로피모형 • 기회모형
교통수단 선택	 기종점상에서 선택 가능한 교통수단(승용차, 버스, 택시 등) 중 통행자가 각 교통수단을 이용할 비율을 추정하는 단계	• 집단모형 • 개별행태모형
통행배분	 교통수단별 O/D 통행을 구체적으로 도로망상의 하나의 노선에 배분하는 단계	• 정태적모형 • 확률적모형 • 동태적모형

<그림 204.3> 4단계 예측기법 개념도



<그림 204.4> 단계적 교통수요 추정 과정

204.5 4단계 교통수요 예측

5.1 통행발생

발생교통량 예측단계에서는 각 죤에서 만들어지는 유출교통량과 각 죤으로 들어오는 유입교통량을 예측하는 단계이다. 유출교통량이 발생하는 대표적인 예로는 주거지역을 들 수 있으며, 유입교통량이 발생하는 대표적인 예로는 업무지역과 학교 등을 들 수 있다. 발생교통의 예측에 사용되는 주요 기법은 다음과 같다.

(1) 원단위법

원단위법은 용도별 토지이용면적 또는 건설면적당, 인구당, 출하액당 발생하는 교통량을 원단위로 하여 이를 장래의 면적, 인구, 출하액 등에 곱하여 장래의 발생교통량을 구하는 방법이다.

<표 204.5> 원단위법에 의한 추정 절차

(1단계) 현재의 통행유출·유입량 산출
해당 지역 각 죤의 통행유출·유입량을 인구, 통행인구, 토지이용면적, 가구규모, 승용차 보유대수 등의 지표로 나누어 통행목적, 통행일별로 산출한다
(2단계) 원단위 값 산출
각 죤의 분석결과를 해당지역 전 죤에 걸쳐 통행목적, 통행일별로 집계하여 지역의 교통죤을 반영하는 평균 원단위 값을 구한다
(3단계) 지표의 예측치 산출
토지이용계획, 장래 자동차 보유대수, 장래 인구 등의 장래 예측치로부터 죤의 장래 인구, 장래 토지이용면적, 장래 자동차 보유대수 등의 예측치를 구한다
(4단계) 장래의 통행유출·유입량 예측
(2단계)에서 구한 평균 원단위에 (3단계)의 죤별 장래 예측치를 곱하여 통행목적별, 일별의 통행유출·유입량을 구한다.

(2) 증감률법

<table>
<tr><td>개 념</td><td colspan="2">현재의 통행유출·유입량에 장래의 인구, 자동차 보유대수 등 사회경제적 지표의 증감률을 곱하여 장래의 통행유출·유입량을 구하는 방법이다</td></tr>
<tr><td>전 제</td><td colspan="2">해당 지역의 성장이나 발전의 정도에 따라 통행량이 비례하여 증감하는 것을 전제로 한다</td></tr>
<tr><td rowspan="9">일 반 식</td><td colspan="2">$t'_i = t_i \cdot F_i$
$F_i = (P'_i / P_i)$또는(M'_i / M_i)
$F_i = (P'_i / P_i) \times (M'_i / M_i)$</td></tr>
<tr><td>t'_i</td><td>장래 통행량</td></tr>
<tr><td>t_i</td><td>현재 통행량</td></tr>
<tr><td>P'_i</td><td>장래 인구</td></tr>
<tr><td>P_i</td><td>현재 인구</td></tr>
<tr><td>M'_i</td><td>장래 자동차보유 대수</td></tr>
<tr><td>M_i</td><td>현재 자동차보유 대수</td></tr>
<tr><td>F_i</td><td>증감률</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>장 점</td><td colspan="2">매우 간단하다</td></tr>
<tr><td>단 점</td><td colspan="2">현재의 토지 이용과 장래의 토지이용이 크게 달라지는 지역(대규모의 개발이 이루어지는 지역 등)에는 적용하기 어렵다</td></tr>
</table>

(3) 회귀분석법

개 념	종속변수(발생교통량)가 하나 혹은 여러 개의 독립변수(사회·경제지표)와 어떻게 연관되어 있는가를 밝히는 통계적인 방법이다		
전 제	현재와 장래 사이에는 독립변수와 종속변수의 구조적인 관계에 변화가 없다		
일반식	$Y=\alpha+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_4X_4+\cdots\cdots+\beta_kX_k+\varepsilon$		
	Y	종속변수(발생교통량)	
	X	독립변수	
		경제사회적 변수	승용차 보유수준, 소득수준, 가구원수, 가구당 취업자수, 직업, 운전면허자수, 연령 등
		입지변수	인구밀도, 주거환경, 주요 활동지역과의 거리 등
		접근도 변수	대중교통수단 또는 주요 활동에 대한 접근도 등
	α	회귀상수	
	β	회귀계수	
	ε	오차항	
장 점	독립변수와 종속변수간의 상관관계를 쉽게 파악할 수 있다 회귀모형식의 정도를 명확히 알 수 있다		

회귀분석법은 <표 204.6>의 절차에 의해 수행된다.

<표 204.6> 회귀분석법의 수행절차

(1단계) 회귀식 도출
존별로 조사된 인구, 자동차보유대수, 건물의 연면적 등의 독립변수와 통행목적별로 구분하여 조사된 통행유출·유입량을 관계시켜 해당지역 전체의 회귀식을 구한다
(2단계) 장래의 사회·경제지표 추정
존별 인구, 자동차, 건물연면적 등의 장래 변화와 상위계획 등을 감안하여 장래(목표년도)의 존별 인구, 자동차 보유대수, 건물연면적 등을 추정한다
(3단계) 장래의 통행유출·유입량 예측
(2단계)에서 구한 장래 지표를 (1단계)의 회귀식에 대입하여 통행목적별, 시간대별의 통행유출·유입량을 구한다.

최종적으로 도출된 회귀식은 다음과 같은 고려사항을 검토하여 회귀식이 잘 정립되었는지를 확인한다.

① R^2의 크기는 만족할 만큼 유의한가?

② 회귀계수의 부호가 현실과 부합되며 또 그 값이 합리적인가?

③ 회귀계수가 통계적으로 유의한가?
주어진 유의수준에 대한 t-검정을 통하여 유의 여부를 결정한다.

④ 상수항(절편)의 크기가 합리적인가?
독립변수의 값이 모두 매우 작은 값을 가질 때 상수항으로 인해 종속변수의 값이 과대평가되는 경우가 없는지 판단하거나 혹은 t-검정을 실시한다.

⑤ 회귀식에 포함된 독립변수가 종속변수와 논리적으로 인과관계가 있는가?

⑥ 각 독립변수의 회귀계수가 예측의 대상이 되는 계획년도에도 변함이 없을 것인가?

(4) 카테고리 분석법

카테고리 분석법은 일명 교차분류분석법이라고도 하며 토지이용 및 사회경제변수의 변화에 따른 통행량의 변화를 측정하는 기법이다. 카테고리 분석법의 개념 및 장·단점은 <표 204.7>과 같다.

<표 204.7> 카테고리 분석법

개념	가구당 통행발생량과 같은 종속변수를 소득이나 자동차 보유대수 등의 독립변수들에 의해 교차분류시켜 도출하는 방법이다
장점	· 독립변수의 중요성을 파악하기 쉽다 · 독립변수와 종속변수간의 선형성에 대한 가정이 필요 없다
단점	· 총 변동량 중에서 독립변수에 의해 설명되는 변동량을 알 수 없다 · 선택된 독립변수들의 통계적 유의성을 검정할 수 없다

5.2 통행분포

통행분포의 예측은 통행발생단계에서 예측되어진 각 존의 통행유출과 통행유입을 연결하여 각 존간의 통행량을 예측하는 것이다.

예측 목표년도의 시종점(O/D) 교통량의 유형이 현재의 통행 유형과 큰 차이가 없다는 가정하에 발생교통량예측 단계에서 구한 교통량과 현재의 시종점표를 이용하여 장래(계획 목표년도)의 시종점표를 만드는 것이다.

(1) 성장률법

현재의 시종점표 상의 각 요소에 일정한 값을 곱하여 장래의 시종점표를 만드는 것이다.

성장률법에는 평균성장률법, 균일성장률법, 프라타(Fratar) 법 등이 있다.

① 평균성장률법

개 념	각 존마다 통행유출량, 통행유입량에 대한 성장률을 각각 구하여 현재의 각 존별 유출량, 유입량에 이 성장률을 곱하여 장래의 통행분포량을 구한다	
일 반 식	$t'_{ij} = t_{ij} \times \frac{(E_i + F_j)}{2}$ $E_i = \frac{P_i}{p_i} \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$ $F_j = \frac{A_j}{a_j} \quad (j = 1, 2, \cdots, n)$	
	P_i	존 i의 장래 통행유출량
	p_i	존 i의 현재 통행유출량
	A_j	존 j의 장래 통행유입량
	a_j	존 j의 현재 통행유입량
	E_i	유출량의 성장률
	F_j	유입량의 성장률

② 균일성장률법

개 념	예측된 장래의 통행량을 현재의 통행량으로 나눈 값, 즉 균일성장률을 현재의 통행량에 곱하여 장래의 통행 분포량을 추정한다	
일 반 식	$t'_{ij} = t_{ij} \times F$	
	t'_{ij}	장래의 존 i와 존 j간의 통행량
	t_{ij}	현재의 존 i와 존 j간의 통행량
	F	평균성장률

③ 프라타(Fratar)법

개 념	원리는 존 i와 존 j 사이의 통행량은 E_i와 F_j에 비례하여 증가한다는 것이다. 현재 통행량을 이와 같은 두 개의 성장률로 곱하면 존 i에서 유출되는 통행량이 장래추정량보다 많아지므로 이를 보정하는 항을 모형에 포함시킨다	
일 반 식	$t_{ij}^{(n+1)} = t_{ij}^{(n)} \times GP_i^{(n)} \times GA_j^{(n)} \times \frac{(P_i^{(n)} + A_j^{(n)})}{2}$ $P_i^{(n)} = \frac{\sum_x t_{ix}^{(n)}}{\sum_x [t_{ix}^{(n)} \times GA_x^{(n)}]}$ $A_j^{(n)} = \frac{\sum_x t_{xj}^{(n)}}{\sum_x [t_{xj}^{(n)} \times GP_x^{(n)}]}$	
	$t_{ij}^{(n+1)}$	$(n+1)$회째 계산할 때의 i와 j간의 교통량
	$GP_i^{(n)}$	n회 반복 계산한 후 존 i의 유출 교통량 성장률
	$GA_j^{(n)}$	n회 반복 계산한 후 존 j의 유입 교통량 성장률
	$P_i^{(n)}$	존 i의 유출 교통량
	$A_j^{(n)}$	존 j의 유입 교통량
	N	존 수
	n	반복 횟수
용 도	이 방법은 근래에 광범위한 분포모형으로는 거의 사용되지 않고 있으나, 조사지역의 외부지점을 연결하는 외부-외부통행을 다룰 때 효과적인 것으로 알려져있다	

(2) 중력모형

개 념	뉴톤의 만유인력법칙이 교통 발생의 원리와 같다는 가정하에 정립된 모형이다. 즉, 두 존간의 교통량은 두 존간의 교통활동에 비례하고 거리에 반비례한다는 것이다	
일 반 식	$T_{ij}=\frac{k\,(G_iA_j)^{\,a}}{(D_{ij})^{\,b}}$	
	T_{ij}	i와 j존 간의 교통량
	G_i	존 i의 발생 교통량
	A_j	존 j의 유입 교통량
	D_{ij}	존 i, j 간의 거리
	k,a,b	상수

(3) 엔트로피 모형

개 념	시종점표에서의 통행분포를 확률적인 현상으로 보아 각 통행이 생기는 확률이 동시에 최대가 되도록 시종점 분포를 구하는 방법이다	
일 반 식	$T=\sum_{i=1}^{n}G_i=\sum_{j=1}^{n}A_j \qquad G_i=\sum_{j=1}^{n}T_{ij}\ ,\ \ A_j=\sum_{i=1}^{n}T_{ij}$ $T_{ij}=G_iP_{ij} \qquad g_i=\frac{G_i}{T}\ ,\ \ a_j=\frac{A_j}{T}$	
	T	총 교통량
	G_i	존 i의 유출 교통량
	A_j	존 j의 유입 교통량
	T_{ij}	존 i와 존 j 간의 교통량
	P_{ij}	천이 확률
	g_i	존 i의 상대적 교통 유출력
	a_j	존 j의 상대적 교통 유입력

(4) 기회모형

개 념	확률적인 개념에 근거한 모형으로 출발 존에서의 발생 교통량 G_i가 도착존 1~n에 분포되는 것은 각각의 목적지를 찾을 확률에 의해 정해진다	
일 반 식	$T_{ij} = \frac{G_i}{1 - e^{-LV}}$	
	T_{ij}	i, j 존간의 교통량
	G_i	존 i의 유출 교통량
	L	상수 (각 존에 통행이 유입될 확률을 표현하는 상수로서 조사에 의한 실측 시종점표와 모형에 의한 추정 시종점표의 평균통행거리가 일치하도록 반복 계산하여 구해진다)
	V_j	함수값 (각 출발존별로 목적존까지의 기회를 거리, 통행시간, 일반화된 통행비용의 변수로 서열화시킨 후, 기회를 모든 목적 존에 걸쳐 누적시킨 함수)

5.3 수단선택

4단계 예측모형 중에서 교통수단을 선택하는 단계이다. 수단선택 단계는 통행에 이용되는 각 교통수단들의 이용 분담률을 예측하는 것이다. 수단선택에 영향을 미치는 요인은 <표 204.8>과 같다.

<표 204.8> 수단선택 영향 요인

장소적 특성	지형 주거지의 위치 인구밀도 주차장의 유무 목적지까지의 거리 승용차 합승이 가능한 지역의 여부 각 교통수단으로서의 접근성
개인적 특성	나이 성별 소득 직업 자가용 보유여부 운전면허증 소유 여부
교통수단의 서비스 속성	각 수단의 통행시간 및 통행비용 도로거리 대중교통노선거리 편리성 안전성 쾌적성 신뢰성

교통수단별 교통량을 예측하는 단계에서 이용되는 모형은 크게 집단모형과 개별행태모형으로 나눌 수 있다.

집단모형은 개별 단위로 조사된 자료를 존 단위로 통합하고, 통합된 자료를 이용하여 교통수단별 교통량을 구하는 모형이다.

개별행태모형은 통행이 개인 통행자에 의해 발생된다는 기본적인 사실에 토대를 두고 한 가구 또는 한 개인을 분석 단위로 하여 교통 수단별로 교통량을 예측하는 모형이다. 개별행태모형의 대표적인 예로는 로짓모형(logit model)과 프로빗모형(probit model)이 있다. 이 모형의 이론적 배경은 개인의 선택행위에 근거하고 있으며, 개인의 선택행동을 확률효용함수를 이용하여 설명한다. 비집계모형의 구체적인 형식은 아래의 오차항 ε의 확률분포를 어떻게 가정하느냐에 달려 있다. <표 204.9>에 로짓모형과 프로빗모형을 비교・설명하였다.

일반적으로 수단선택의 단계는 다음과 같은 네 가지 각기 다른 단계에서 적용이 가능하다.

- 통행발생단계에서 함께 사용
- 교통발생과 통행분포단계 사이에 사용 (통행단모형)
- 통행분포단계에서 함께 사용 (중력모형・통행교차모형)
- 통행분포와 통행배분단계 사이에 사용 (통행교차모형)

여기서는 실무에서 주로 사용되는 통행분포와 통행배분 단계 사이에서 적용하는 통행교차모형에 대해서만 간단히 설명한다.

통행교차모형을 이용한 방법은 존 간의 교차통행량을 예측하는 통행분포 이후에 수단분담을 실시하기 때문에 통행교차 수단분담모형이라고 한다. 또한 통행분포 이후에 통행비용과 통행의 서비스수준을 수단분담의 기준으로 사

용할 수 있기 때문에 교통계획조사에서 가장 많이 사용되는 방법이다.

이 방법은 통행분포 이후에 수단분담을 하기 때문에 선택통행의 수단선택기준이 교통시스템의 서비스의 질을 고려할 수 있어 선택통행의 수단분담을 예측하는데 적절하다.

<표 204.9> 프로빗 모형과 로짓모형 비교

개인 i가 대안 ℓ을 선택했을 때 얻어지는 효용	개인 i가 대안 m을 선택했을 때 얻어지는 효용
$U_{i\ell}=V_{i\ell}+\varepsilon_{i\ell}$	$U_{im}=V_{im}+\varepsilon_{im}$
개인 i가 대안 ℓ을 선택할 확률	

$$P_{i\ell} = Prob[U_{i\ell} > U_{im}]$$
$$= Prob[(V_{i\ell}+\varepsilon_{i\ell}) > (V_{im}+\varepsilon_{im})]$$
$$= Prob[(V_{i\ell}-V_{im}) > (\varepsilon_{im}-\varepsilon_{i\ell})]$$

프로빗 모형	로짓 모형
$\varepsilon_{im}, \varepsilon_{i\ell}$가 서로 독립적인 정규분포를 따를 때	$\varepsilon_{im}, \varepsilon_{i\ell}$가 서로 독립적인 로지스틱 분포를 따를 때
$P_{il}=\int_{-\infty}^{V_{il}-V_{im}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{(-\frac{1}{2})u^2} \cdot du$	$P_{il}=\frac{e^{V_{il}}}{e^{V_{il}}+e^{V_{im}}}$

5.4 통행배분

통행배분은 4단계 교통 수요예측의 마지막 단계로서 이 단계에서는 통행발생, 통행분포, 수단선택과정을 통해서 도출된 시간대별, 교통수단별, 통행목적별 기종점간 교통수요(O-D Matrix)를 구체적인 교통망에 배분하는 것이다. 통행배분과정의 주요 목적은 다음과 같다.

- 도로의 구간 교통량과 교차로의 회전 교통량 예측
- 기종점간 교통량의 통행비용추정

통행배분 모형은 그 분류척도에 따라 다양하게 구분될 수 있다. 일반적으로 통행배분모형은 크게 다음과 같이 분류한다.

- 도로의 용량 고려 여부
- 모형의 형태적 측면에서 정태적 모형, 동태적 모형, 확률모형에 의한 구분

도로의 용량을 고려하는 통행배분모형은 교통량 배정 결과가 교통량 증가에 따라 변화된 링크의 통행비용에 의해서 영향을 받지만, 링크의 용량을 고려하지 않은 모형에서는 초기에 검색된 존간 최소비용경로에 존간 통행량의 전량 또는 일부를 배정한다.

정태적 모형은 통행비용을 최소화하는 방향으로 교통량을 배정하지만 모든 통행자에 의해서 인식된 통행비용이 동일하다는 가정을 전제로 하며, 시간대별 교통량의 변화는 고려하지 않는다. 이에 비해 확률모형은 인식된 통행비용이 모든 통행자에게 있어서 동일하지 않음을 가정하고 있다.

동태적 모형은 시간의 변화에 따른 그때 그때의 교통량의 변화를 고려하여 통행배분을 수행한다.

(1) 정태적모형

① 전량배분법(All-or-Nothing)

링크의 용량을 고려하지 않은 정태적 모형으로서 기종점간의 통행량의 전량을 최소비용의 경로에 배정하는 기법이다.

이 통행배정 모형은 도로의 용량을 고려하지 않기 때문에 개별 링크에 대한 저항함수가 필요없다.

ⅰ) 장점

- 이론이 단순하기 때문에 이해하기 쉬워 통행배분의 개념을 쉽게 파악할 수 있다.

ⅱ) 단점

- 도로의 최대 허용용량을 고려하지 않고 통행량을 부하 시키므로 실질적인 도로 용량을 초과하는 경우가 발생된다.
- 통행자는 항상 최소비용의 경로만 선택하는 것이 아니고 다른 대안의 노선도 이용하므로 이러한 통행자의 행태적인 측면에 대한 고려가 미흡하다.
- 통행자는 통행시간의 길고 짧음에 따라 수시로 경로를 변경시킬 수 있기 때문에 통행자의 수요가 일정한 경로에 고정되어 있는 이 모형은 현실성이 약하다.
- 통행의 기종점을 연결하는 다수의 대안적 경로 가운데 통행비용의 차이가 무시할 정도로 작은 경우에도 단일 경로에 통행량의 전부를 배정하기 때문에 통행배분 결과가 링크비용에 대해서 매우 민감하다.

② 반복배분법

이 방법은 링크의 한정된 용량을 고려하기 때문에 단순용량제약법이라고도 한다.

이 모형은 전량배분의 기법에 의한 통행배분과 배분된 교통량을 통한 비용 산정과정을 반

복 수행한 후, 배분된 교통량의 평균을 구함으로써 최종적 통행배분 결과를 도출한다.

③ 분할배분법

분할배분법은 최소비용경로에 따라 존간 통행량의 일정량을 우선 배분한 후, 이를 기초로 하여 통행시간(통행비용)을 구하여 존 간 새로운 수형도를 구축하고 다시 일정한 양의 통행량을 배분하는 방법이다.

④ 평형배분법

최적화조건(평형조건)과 관련한 워드롭의 가정에 의해 이용자 평형배분법과 시스템 평형배분법의 두 가지가 있다.

워드롭은 이용자 균형상태의 경우 교통망 내 모든 이용자가 경로 이용에 대해서 주체적으로 인식한다는 가정 하에서 출발하여 노선선택 과정에서 이용자 형태와 관련하여 두 가지 원칙을 제시하였다.

<표 204.10> 이용자 평형배분법과 사용자 평형배분법 비교

구 분	이용자 평형배분법	시스템 평형배분법
가 정	◦이용자 최적조건 운전자는 본인이 가고자 하는 노선의 교통상태에 비추어 최선이라고 생각하는 노선을 독립적으로 선택한다.	◦시스템 최적조건 운전자는 노선 선택에 있어서 일반적으로 사회적 차원에서의 비용 최소화 선택행위를 한다.
일반식	$\min \sum_a \int_0^{V_a} C_a(x)dx$ $s.t. \quad V_a = \sum_i \sum_j \sum_r P_{ijr} S^a_{ijr} T$ $OD_{ij} = \sum_r T^r_{ij}$ $T^r_{ij} \geq 0, \ \forall \ r,i,j$	$\min C = \min \sum_{ij} \sum_{ijr} V_{ijr} \ C_{ijr}$ $s.t. \quad V_a = \sum_i \sum_j \sum_r P_{ijr} S^a_{ijr} T$ $OD_{ij} = \sum_r T^r_{ij}$ $T^r_{ij} \geq 0, \ \forall \ r,i,j$
	$C_a(V_a)$ = 링크 a의 비용함수 P_{ijr} = 기점 존 i에서 종점 존 j를 향하는 통행중에서 경로 r을 이용하는 통행 S_{ijr}^a = 존 i와 j를 연결하는 경로 r상의 링크라면 1, 그 외에는 0 T = 총통행수	C = 교통망의 총 통행비용 V_{ijr} = 경로 r을 이용하여 존 i에서 존 j로 향하는 교통량 C_{ijr} = 경로 r의 통행비용
개 념	평균통행비용을 같게 함으로써 해를 도출한다	총통행비용을 최소화하는 관점에서 한계통행비용이 0이 되는 점에서 해를 도출한다

- 두 존을 연결하는 다수의 경로 가운데 이용되는 경로상에서의 통행 비용은 이용되지 않는 경로상에서 인식되는 비용보다 같거나 작다.
- 이용되는 모든 경로상의 평균 통행 비용은 가능한 한 최소 값이다.

(2) 확률적 통행배분모형

확률적 통행배정 모형은 교통망내 기종점을 연결하는 다수의 경로에 교통량을 분산 배정한다.

① 용도

링크의 통행비용과 교통량이 상호 독립적임을 가정하기 때문에 지방부 또는 비첨두시와 같은 비체증 교통상황에 적용하기에 적합하다.

② 개념

경제학적 효용이론이 모형의 이론적 토대이며 모형의 대부분은 이산 선택 모형에서 유래했다.

<표 204.11> 확률적 통행 배분 모형

비 용	$C_r = (a_1 \times t_r)+(a_2 \times d_r)$ C_r = 노선 r의 통행비용 t_r = 노선 r의 차내통행시간 d_r = 노선 r의 거리 a_1, a_2 = 계수
효 용	$U_{rt} = V_{rt}+\varepsilon_{rt}$ U_{rt} = 통행자 t가 노선 r에 대해서 인식하는 효용 V_{rt} = 통행자 t가 노선 r에서 인식하는 측정 가능한 효용 ε_{rt} = 통행자 t가 노선 r에 대해서 인식하는 측정 불가능한 효용 $V_{rt} = \sum_{l=0}^{L} (a_l \times X_{rtl})$ V_{rt} = 통행자 t가 노선 r에 대해서 인식하는 측정 가능 효용 a_l = 계수 X_{rtl} = 노선 r의 특성변수(통행시간, 거리 등) 또는 통행자 속성변수
노 선 선 택 확 률	$Pr(R) = Pr\{U_{rt} > U_{st} , s \in M(t)\}$ $= Pr\{V_{rt}+\varepsilon_{rt} > V_{st}+\varepsilon_{st} , s \in M(t)\}$ $= Pr\{V_{rt}-V_{st} > \varepsilon_{rt} -\varepsilon_{st} , s \in M(t)\}$ M(r) = 가용 노선 집합 t = 통행자 r = 노선

가) 이항 노선선택 모형

이 모형은 기점 쪈과 종점 쪈을 연결하는 다수의 경로 가운데 통행비용이 가장 적은 두 개의 경로를 선택한 후에 두 개에의 노선간의 효용을 통해서 노선의 선택확률을 산정하고 산정결과를 토대로 통행량을 배분하는 모형이다. 이항 노선선택의 대표적 형태로는 전환곡선법을 들 수 있다. 전환곡선이라 함은 노선선택 모형에서 통행자들이 체증이 발생되는 노선에서 덜 혼잡한 노선이나, 통행속도가 빠른 노선으로 전환되는 비율을 가리키는 곡선을 전환곡선이라 한다. 이 외에도 이항 노선선택 모형에는 노선에 대한 인식비용의 분포에 따라서 다음과 같이 구분할 수 있다.

• 이항 유니폼 모형
노선에 대한 인식비용이 균일분포를 따른다고 가정할 경우
• 이항 프로빗 모형
노선에 대한 인식비용이 정규분포를 따른다고 가정할 경우
• 이항 로짓 모형
웨이블 분포를 따른다고 가정할 경우

나) 다중경로 노선선택 모형

다중경로 노선선택 모형은 수용 가능한 노선에 대한 정의, 범위, 평가방법 등에 있어서 기존의 이항모형과 상이하다. 이항모형의 경우 최단경로와 함께 제2의 대안경로만을 선정하여 통행배분을 수행하기 때문에 사실상 대안노선 선정에 어려움이 없다. 그러나 다중경로를 대상으로 통행배분을 수행하기 위해서는 무수히 많은 대안 경로를 대상으로 하기 때문에 어떠한 기준을 통해서 대안 경로의 수를 제약해야 할 뿐만 아니라 대안 노선의 선택방법에 따라서도 서로 다른 노선이 선정된다. 이 같은 다중 경로 선택모형으로는 다항 로짓 모형, 다이알 모형과 시뮬레이션 기법 등이 활용된다.

다) 확률적 이용자 평형배분법

이용자 평형배분 모형은 “모든 운전자는 각자 독립적으로 통행비용을 인식한다”라는 워드롭의 가정에 근거한다. 따라서 평형배분 모형에서는 원칙적으로 통행자의 노선 변경을 허용하지 않는다. 이는 이용자 최적 상태에서 통행자가 노선을 변경하게 되면 통행비용이 증가하기 때문이다. 이 경우에 모든 통행자는 주어진 선택 가능한 노선에 대하여 완벽한 정보를 지니고 있다는 가정을 전제로 한다.

(3) 동태적 통행배분모형

이 모형은 교통혼잡이 발생하는 교통망에서 시간에 따라 변화하는 교통패턴을 예측하여 교통망내 시간대별 변화를 정확히 반영하기 위해 개발된 모형이다.

교통망내 모든 운전자는 매 순간의 교통상황에 대한 정확한 정보를 갖고 있으며 새로운 정보를 연속적으로 얻음으로써 통행비용을 최소화하려고 한다는 가정을 바탕으로 한다. 기존의 모형에는 시간의 동적인 개념이 존재하지 않았으나 동태적 모형에서는 교통량, 속도, 점유율 등의 교통상황의 변화에 따라서 유동적이기 때문에 시간에 따라서 변화된 최적 경로를 도출하게 된다. 동태적 모형개발을 위한 접근방법으로는 컴퓨터 시뮬레이션기법, 수학적 프로그래밍기법, 최적화 제어 이론 기법(이용자 최적화기법, 체계 최적화기법)등이 있다.

204.6 교통수요예측 프로그램

6.1 개요

통행수요 분석 컴퓨터 프로그램은 대부분 전통적인 4단계 방식에 의거하고 있으며 통행발생, 통행분포, 수단선택 및 통행배분의 4단계별로 각각의 모형을 적용, 장래 통행수요를 예측한다.

교통체계는 단순화된 링크와 노드의 네트워크로 처리되며, 통행발생 결정인자로서는 교통지구별 인구와 산업별 고용인구 분포에 따른 토지이용 모델이 이용된다.

통행발생 단계에서는 교통계획 전용 프로그램(EMME/2, TRANPLAN 등)의 하부모형을 이용하기도 하나 대부분 적용이 편리한 Worksheet(excel, lotus 등) 및 통계전용 프로그램(SPSS, SAS 등)을 사용하여 다양한 방법으로 분석이 가능하다.

통행분포 단계에서는 각 업체별로 개발한 자체 프로그램이나 교통계획 전용 프로그램(EMME/2, TRANPLAN 등)의 하부 모형들을 이용하여 각 모형별로 분석이 가능하다.

통행배분 단계에서는 교통수요예측시 가장 계산이 복잡하고 일관된 절차 및 방법을 적용해야만 하므로 각각의 적용 프로그램 및 절차에 대한 지침이 요구된다.

6.2 수요예측 패키지의 종류

교통수요예측을 위한 프로그램은 퍼스널 컴퓨터의 용량증대 및 기능향상과 더불어 주로 메인 프레임에 의존하던 교통계획 S/W들이 PC용으로 개발되고 있다. 많은 PC용 교통계획 S/W들 중 실제 이용상황과 전문가들의 견해를 종합할 때, 다음 9가지의 S/W가 대표적인 것이라 할 수 있다.

(1) EMME/2

Canada의 INRO Consultants Inc.에서 개발한 것으로, 최대 40,000개 링크, 12,500개 노드, 40,000개 회전, 2,000개 죤을 처리할 수 있으며, 대중교통의 경우 2,000개 노선에 50,000개 정거장이 최대 용량이다. 또한, 최대 30개까지 모든 수단(model)이 한 네트워크내에서 상호작용하에 분석될 수 있다. EMME/2는 어떤 분석 모델에서도 특별히 지정된 Default Setting이 없어 이용자(Modeler)가 자기의 모델을 구성해야 하는 대신, 어떤 형태의 모델이라도 사용할 수 있다는 장점이 있다. H/W에 있어서는, 80386 이상의 IBM 또는 그 호환기종에서 MS-DOS와 함께 사용된다.

(2) TRANPLAN

미국을 비롯한 여러 나라에서 널리 쓰이는 프로그램의 하나로서, 미국 주정부에서 공식적인 수요예측 결과를 얻고자 할 경우 흔히 이용되는 프로그램이다. 개선된 노선배정 절차를 위한 여러 가지 버전이 있지만, 어느 것이나 전통적인 4단계 교통수요 추정과정을 따르고 있다. TRANPLAN의 처리 가능한 최대규모는 3,000개 죤, 링크와 노드는 각각 32,000, 16,000개이다. DOS에 의한 IMB PC 및 그의 호환 기종인 경우, 최대 1,500개 죤, 10,000개 노드, 12,000개 도로링크 및 10,000개의 대중교통노선, 그리고 8개의 교통수단을 처리할 수 있다. 또한 OS/2, UNIX 및 VMS 버전인 경우는 최대 9,000개 죤, 16,000개 노드, 64,000개 도로링크, 32,000개 대중교통노선, 그리고 30개의 교

통수단의 분석이 가능하다.

TRANPLAN은 도로시스템, 대중교통 및 기타 이용자가 규정하는 수단에 대한 분석이 가능하며, 도로의 경우 특정 링크 및 작은 규모의 지역을 분석하는 기능을 갖고 있으며 TRANPLAN의 특성은 다음과 같다.

- 종합적인 출력 프로그램을 갖고 있으며, interactive graphic 프로그램인 NIS (Network Information System)와 함께 사용할 수 있다.
- 메모리 및 디스크 용량을 절약하기 위해 모든 자료파일을 압축형태로 보존한다.
- 다양한 유형의 여러 컴퓨터 하드웨어에 잘 적응할 수 있다.
- ANSI FORTRAN-77로 프로그램 되어 있어 원하는 경우 source program도 구입할 수 있다.

(3) TransCAD

Caliper Corp.에 의해 개발, 보급되고 있는 것이다. 이 프로그램은 광범위한 내용과 기능을 갖고 있는 GIS 프로그램으로서, UTP 모델이 그 일부로 결합되어 있는 셈이다. 또한 최초로 완전한 메뉴 기능을 도입한 프로그램으로서 어떤 지역 레벨, 어떤 교통수단에도 사용할 수 있다. 처리 가능한 링크와 노드의 수는 각각 200,000개 이상, 100,000개 이상으로서 네트워크 용량은 사실상 무제한이라고 볼 수 있다. 분석모델에 있어서도 표준화된 거의 모든 모델을 이용할 수 있다.

(4) MINUTP

개발회사인 COMSIS가 전문적 프로그래머보다는 자사의 교통계획 전문가 팀을 동원하여 수년에 걸쳐 점진적으로 개발한 프로그램으로서 이 회사가 축적한 여러 가지 UTP 관련 모델들, 특히 주요 정책과제에 대한 모델들이 이 프로그램에 포함되어 있는 것이 이 프로그램의 강점이라고 한다. HOV차로 효과분석 모델, 통행수요관리(TDM ; Travel Demand Management) 평가모델 등이 그러한 예이며, 주요 분석영역은 수요예측, 대안평가, 환경영향평가, 지구 영향분석 등이다.

도로분석은 최대 16,300개의 노드, 32,700개의 링크, 2,000개의 죤까지 처리할 수 있다. 대중교통의 경우는 500개의 노선, 10개의 교통수단, 그리고 6개 접근수단까지 가능하다.

(5) SYSTEM Ⅱ

JHK & Associates가 개발한 교통 모델링 및 정보체제 프로그램으로서, 최근 발표한 상업용 버전은 이 분야에서 가장 새로운 것으로 평가되고 있다.

JHK & A 자료에 의하면, SYSTEM Ⅱ는 크게 지역정보시스템(Regional Information Sys--tem)과 지역분석시스템(Subarea Analysis Pro--cess)으로 구성되어 있다. 데이터베이스인 RIS는 1900～2150년간의 각 연도에 대하여 65,000링크, 32,000노드, 32,000죤에 대한 데이터를 수록, 처리할 수 있으며, 지역분석시스템은 최대 32,000링크, 32,000노드, 2,000죤을 처리할 수 있다. 대중교통에 대한 분석용량은 16개 수단, 각 수단당 4,000개 노선, 그리고 노선당 500노드이다. 훌륭한 GIS 기능과 완전한 메뉴방식을 갖고 있으며, 다른 프로그램 또는 GIS와의 접속도 가능하다.

(6) TRIPS

영국 MVA에서 개발한 프로그램으로 유럽에서 많이 이용되고 있다. 위에 언급된 S/W들과

거의 비슷한 기능 및 성능을 갖고 있는데, 특히 우수한 동적 통행배정 알고리즘을 이용하고 있어 혼잡도가 높거나 교통량이 거의 포화상태인 경우의 모델링에 효과적이라는 평을 받고 있다.

(7) THE(The Highway Emulator)

초기에 개발된 비교적 낮은 수준의 프로그램으로서, 그래픽 기능이 없으며, 최대 처리용량은 3,000링크, 2,000노드, 300개 존이다. 프로그램이 단순하여 특별한 교육이나 훈련이 필요없다.

본래의 목적은 한 개 지점(예; 단일 교차로)에 대한 교통분석이지만, 소규모 도시 또는 교외지역의 교통분석에도 이용된다.

(8) QRS(Quick Response System) Ⅱ

NCHRP Report 187에 근거하여, 소규모 도시지역이나 농촌지역의 개략계획 수립이나 지구 영향분석을 위해 FHWA가 개발한 프로그램이다. 최초의 버전에 비해 상당히 용량이 커졌으며 수록된 모델도 매우 충실한 반면, 싼 가격에 공급받을 수 있으므로 소규모 프로젝트 또는 교육용으로 매우 경제적인 S/W라 할 수 있다.

(9) TMODEL 2

초기에 개발된 프로그램의 하나로서, 현재는 용량과 기능이 크게 향상되었다. 네트워크 처리용량은 10,000링크, 2,500노드, 1,000존이지만, 옵션에 따라 더 크게 할 수 있다. 훌륭한 메뉴방식과 그래픽 기능을 갖고 있으며, 전환곡선(Diversion Curve) 방식에만 의존하는 교통수단선택을 제외한다면 수록된 모델도 충실하다. 교통수단선택이 통행분포보다 먼저 이루어져, 각 수단별로 네트워크를 처리하게 되어 있는 것이 특색이다.

6.3 EMME/2 와 TRANPLAN

앞에서 설명한 교통수요예측 프로그램 중에서 현재 실무에서 가장 많이 쓰이고 있는 EMME/2와 TRANPLAN에 대해 보다 세부적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

6.3.1 EMME/2

(1) EMME/2의 특징 및 기본구조

① "Equilibre Multimodal Multimodal Equilibrium"의 약어로 네트워크 균형측면에서 Multi - Modal 통행예측모형을 적용한다는 것을 의미한다.

② EMME/2는 도시 및 지역교통시스템 계획을 수행할 수 있도록 50여 개의 모듈로 구성된 종합적인 패키지이며, 특히 그래픽 기능이 우수하다.

③ EMME/2는 4단계 기법 중 통행분포와 통행배분만 가능한 것처럼 보이나, 매트릭스 연산과 기존의 모듈을 이용하여 통행발생과 수단분담도 수행한다. 실제로 TRANPLAN에서는 통행발생을 위한 별도의 모듈을 제공하지만 EMME/2에서는 별도의 모듈을 제공하지 않는다.

④ 통행배정 단계수행시 속도지체함수를 자유로이 조작할 수 있어 HCM의 BPR함수 등을 적용할 수 있다. 이는 TRANPLAN에서 Source File을 변형하여 Compile해야 하는 것에 비해 큰 장점이다.

⑤ EMME/2의 장점 및 단점은 <표 204.12>와 같다.

<표 204.12> EMME/2의 장·단점

장 점	단 점
① 그래픽 표현기능이 뛰어남 → 네트워크 수정 작업이 수월 ② 메뉴 사용방식으로 이용자 접근이 용이 ③ 매트릭스 연산, 함수기능을 사용하여 어떤 형태의 모델도 응용 가능	① 초기도입 및 유지보수비가 비교적 고가 ② 한번 설정된 작업 Bank의 크기는 고정적이어서 작업영역의 수정이 불가능하여 확장성이 없음

⑥ 기본 교통량이 구축되면 EMME/2나 기타 프로그램으로 구해진 차종별 O/D를 준비하여 통행량 배정을 할 수 있다.

⑦ EMME/2에서 link 및 node에 지정할 수 있는 함수 종류는 다음과 같다.

- 통행량과 지체도
- 통행수요
- 회전제약
- 사용자가 정의한 데이터

⑧ 기본 교통망과 함수값들, 통행배분량(O/D)으로 통행량 배정을 마치면 EMME/2의 가장 큰 장점중의 하나인 강력한 그래픽 기능으로 그 결과를 분석할 수 있다.

⑨ 통행 배정은 평형배정 모형을 사용하고 있으나 반복횟수 및 O/D량을 조절함으로써 전량배정이나 점진적 노선배정기법의 수행도 가능하다.

⑩ EMME/2로 교통계획을 수행하기 위해서는 우선 기본교통량을 구축해야 하는데 이 기본 교통량은 다음과 같이 구성됨.

- 차종관련 Data 준비
- node와 centroid
- link data 작성
- 회전제약에 관련된 자료입력

⑪ EMME/2에서 도출되는 결과는 사용자의 능력에 따라 여러 각도로 재조명 될 수 있는데, 이는 EMME/2 내에 강력한 연산기능이 있고 그 결과를 그래픽 기능에 연결하여 볼 수 있으며, punchout도 가능하기 때문이다. EMME/2의 또 다른 장점은 통행배정이 끝난 두 개의 서로 다른 대안을 비교 평가할 수 있다는 것이다.

(2) EMME/2의 구성요소

① EMME/2 분석의 기본단위는 Bank이며, Bank의 구성요소는 Network-Data, Matrices, Functions의 세 가지로 구성된다.

② EMME/2의 Module은 크게 6가지로 구분해 볼 수 있으며, 전체적으로 Auto와 Transit으로 구분된다.

- UTILITIES
- NETWORK EDITOR
- MATRIX EDITOR
- FUNCTION EDITOR
- ASSIGNMENT PROCEDURES
- RESULTS

6.3.2 TRANPLAN

(1) TRANPLAN의 특징 및 기본구조

① TRANPLAN(TRANsportation PLANning Modelling Software)은 DeLEUW CATHER에서 개발된 교통계획 전용 Package로서 교통계획상 필요한 각종 분석단계(function)를 구분하고 분리(modulation)하여 구성되어 있다.

② 컴퓨터의 기억용량과 처리속도를 충분히 활용할 수 있도록 Dynamic Central Memory Allocation 기법을 사용함으로써 대규모 교통관련 자료를 소형 컴퓨터에서 손쉽게 처리할 수 있다.

③ 360kb 용량의 40개의 실행파일로 구성된 TRANPLAN은 크게 교통망 구성, 통행발생, 통행분포 및 수단분담, 통행배정, 결과 출력, plotting 등의 기능으로 구분되는데, 40개의 실행 파일 중 사용자가 필요한 모듈만을 선택하여 입력파일을 구축한 후 최종적으로 각 가로에 배분된 교통량을 얻을 수 있는 종합 교통 패키지이다.

④ TRANPLAN은 URBAN/SYS의 한 부분으로써 교통계획용 소프트웨어이며 이는 토지이용과 네트워크 대안을 평가하는 데에 사용되는 도구로써 정책결정에 사용된다.

⑤ 최근에 와서는 TRANPLAN의 단점을 보완하기 위하여 NIS(Network Information System)를 도입하여 그래픽 기능을 추가함으로써 배정교통량, 회전 교통량, 거리, 시간 등의 출력결과를 가시적으로 확인하는 기능이 개발되어 이용되고 있다.

⑥ TRANPLAN은 40개 이상의 모듈을 가지고 있으며 이는 함수로써도 표현된다.

⑦ 여기에서는 전통적인 4단계 수요모형인 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정을 고속도로 네트워크와 대중교통 시스템에 사용될 수 있으며 기능, Coding, 분석기법에 있어서 UTPS(U.S. Department of Transportation's Urban Transportation Planning System)와 유사하다.

⑧ 주요 입력자료

- 존별 토지이용 자료와 통행발생률
- 각 존들의 사회경제적인 특징
  (세대수, 고용자수 등)
- 토지이용에 의한 통행 발생수 및 그 형태
- 모델화 되는 지역의 특징에 의해서 영향을 받는 통행발생률

(2) TRANPLAN 모듈별 구성 및 기능

① TRANPLAN은 크게 가로교통(HIGHWAY)과 대중교통(TRANSIT) 부문을 분석할 수 있도록 구성되어 있으며 기능별로는 통행발생, 통행배분 및 수단선택, 네트워크 구성, 최단경로 탐색, 노선배분, Trip Table 등의 행렬조작, 결과의 출력 및 Plotting 등의 기능으로 크게 구분된다.

② TRANPLAN은 기능별로 다음과 같은 모듈들로 구성되어 있으며, 각 모듈은 각각 Edit 프로그램상에서 약속된 입력양식에 따라 파라메터 및 데이터를 기입하는 방식으로 사용된다.

- DISTRIBUTION/MODAL CHOICE MODELS
- NETWORKS
- PATHS
- LOADING
- MATRIX UTILITIES
- PLOTTING
- REPORTING
- TRIP GENERATION

205
도로용량과 서비스수준

205.1 개요

도로용량은 현재 도로의 운영 현황을 분석하고 이를 토대로 기존 도로의 개선작업에 활용할 수 있으며, 도로계획 단계에서는 차로수, 오르막 차로의 설치 여부 판정, 엇갈림 구간의 길이 산정 등 기하 구조의 결정에 활용된다.

도로의 운영 상태, 즉 서비스수준은 교통 조건에 따라 달라지며 동일한 조건에서는 도로 조건에 따라 변한다. 따라서 주어진 설계 교통량에 대해서 주어진 서비스수준으로 운영토록 하기 위해서는 설계교통량을 수용할 수 있는 용량을 가질 수 있도록 설계한다.

도로용량과 서비스수준 분석의 상세한 업무 수행 방법 및 내용은 "도로용량편람(건설부, 1992)"을 참고한다.

1.1 도로용량 분석의 목적

도로용량 분석의 목적은 주어진 시설물이 수용할 수 있는 최대의 교통량(용량)을 산정하여 교통 수요에 따른 서비스수준을 분석하는데 있다. 도로를 계획하고 설계하는 경우 이러한 최대 교통량은 기본적으로 파악되어야 하며 여기에 장래의 교통량 증가에 대비하여 각종 설계와 계획의 기준을 결정한다. 따라서, 용량은 도로 시설의 계획과 설계를 위한 중요한 기준이 된다.

1.2 도로용량 분석의 구분

【운영분석】

도로 조건과 교통 조건 및 교통 운영 조건이 주어졌을 때 그 교통류의 서비스수준이나 기타 교통류의 특성을 분석

【계획 및 설계분석】

예상되는 교통 조건과 계획하는 서비스수준이 주어진 경우, 그 서비스수준을 유지하는데 필요한 교통시설의 규모를 결정

205.2 정의 및 개념

2.1 용량

도로의 용량은 주어진 시간 동안, 주어진 도로 및 교통 조건하에서 도로나 차로의 일정 구간 또는 지점을 승용차가 통행하리라 예상되는 최대 교통류율을 의미한다. 용량은 15분 교통량을 시간당 교통량으로 환산하여 나타내는데 이는 안정된 교통흐름을 유지할 수 있는 최소 시간을 15분으로 보기 때문이다.

2.2 설계 서비스수준

설계 서비스수준이란 도로의 개통 후 대상 도로의 혼잡도 상태를 어느 정도까지 허용할

것인가를 결정할 때 기본이 되는 척도로서 도로의 운행상태를 설명하는 개념이다. 서비스수준은 A~F까지 6등급으로 나눌 수 있으며, A수준은 가장 좋은 상태, F수준은 가장 나쁜 상태를 나타낸다. 일반적으로 E수준과 F수준의 경계가 용량이다.

【서비스수준 A-자유 교통류】

사용자 개개인들은 교통류 내의 다른 사용자의 출현에 실질적으로 영향을 받지 않는다. 교통류 내에서 원하는 속도 선택 및 방향 조작 자유도는 아주 높고, 운전자와 승객이 느끼는 안락감이 매우 우수하다.

【서비스수준 B-안정 교통류】

교통류 내에서 다른 사용자가 나타나면 주의를 기울이게 된다. 원하는 속도 선택의 자유도는 비교적 높으나 통행 자유도는 서비스 수준 A보다 어느 정도 떨어진다. 이는 교통류 내의 다른 차량의 출현으로 각 개인의 행동이 다소 영향을 받기 때문이다.

【서비스수준 C-안정 교통류】

교통류 내의 다른 차량과의 상호 작용으로 인하여 통행에 상당히 영향을 받기 시작한다. 속도의 선택도 다른 차량의 출현에 영향을 받으며, 교통류 내의 운전도 운전자가 주의를 기울여야 한다. 이 수준에서 안락감은 상당히 떨어진다.

【서비스수준 D-안정 교통류/높은 밀도】

속도 및 방향 조작 자유도 모두 상당히 제한되며, 운전자가 느끼는 안락감은 일반적으로 나쁜 수준으로 떨어진다. 이 수준에서는 교통량이 조금만 증가하거나 작은 혼란이 발생하여도 운전 상태에 문제가 발생한다.

【서비스수준 E-용량상태/불안정 교통류】

교통류 내의 방향 조작 자유도는 매우 제한되며, 방향을 바꾸기 위해서는 차량이 길을 양보하는 강제적인 방법을 필요로 한다. 교통량이 조금 증가하거나 작은 혼란이 발생하여도 와해 상태가 발생한다.

【서비스수준 F-강제류/와해상태】

도착 교통량이 그 지점 또는 구간 용량을 넘어선 상태이다. 이러한 상태에서 차량은 자주 멈추며 도로의 기능은 거의 상실된 상태이다.

서비스수준은 교통량 대 용량비(V/C)로 나타낼 수 있으며, 이 수치를 계획도로의 차로수 산정에 적용한다. 설계된 구간의 도로 및 교통조건 하에서 설계 서비스수준 i에 대한 차로당 서비스 교통량을 계산할 때 서비스수준 i에서의 교통량 대 용량비, (V/C)i를 이용한다.

지방지역 고속도로의 경우 설계 서비스수준으로 C를 사용하고 도시지역 고속도로 또는 일반국도의 경우 설계 서비스수준으로 D를 사용한다. 도로의 종류별 설계 서비스수준은 <표 205.1>과 같다.

<표 205.1> 도로종류별 서비스수준

지역구분 / 도로구분	지방지역	도시지역
고속도로	C	D
일반도로	D	D

【지방지역 도로】

지역간 교통의 특성인 장래 교통량 변화가 심하고 운전자들이 높은 이동성을 요구하는 점을 감안하여 높은 설계 서비스수준을 적용하여 차로수를 산정한다

【도시지역 도로】

설계서비스수준을 낮게 설정하여 도시교통의 특성인 장래 교통량 변화가 심하지 않고 운전자들이 교통혼잡에 비교적 민감하지 않다는 점을 반영한다.

2.3 효과척도

각 도로 교통 시설의 활용 정도를 설명하고 결정하는 척도를 말한다. 서비스수준을 평가하는 효과 척도는 통행 속도, 통행 시간, 교통 밀도, 운행 비용, 지체도 등 여러 가지가 있는데, 각 도로별 서비스수준을 나타내는 효과척도로는 <표 205.3>과 같다.

효과척도로는 각 도로별 교통 특성을 잘 반영하고 측정하기 쉬워야 하며 또 다른 효과척도를 대표할 수 있는 것이어야 한다.

<표 205.2> 설계서비스 수준

구 분		교통량 대 용량비(V/C)				
		설계속도(km/시)				
		120	100	90	80	70
설계 서비스수준	C	0.60～0.77	0.53～0.70			
	D	0.78～0.93	0.71～0.86	0.65～0.82	0.63～0.81	0.56～0.75

<표 205.3> 효과 척도

구 분		효과 척도
고속도로	기본구간	밀도, 평균 통행 속도, 교통량 대 용량비
	엇갈림구간	평균 통행 속도
	연결로와 접속부	교통류율
다차로 도로		밀도, 평균 통행 속도, 교통량 대 용량비
2차로 도로	일반 지형	지체 차량 백분율
		교통량 대 용량비
		평균 통행 속도
	특정 경사 구간	평균 오르막 속도
신호교차로		평균 정지 지체
비신호교차로		평균 총 지체

205.3 도로운영 분석

도로의 운영분석은 현재 도로의 운영상 문제점을 파악하고 개선방안을 찾기 위해 수행되는 작업으로서 서비스수준을 분석하는 과정이다.

이들 내용은 도로의 계획 및 설계분석에도 적용된다.

3.1 고속도로 기본구간

고속도로 기본구간의 서비스수준 산정을 위한 운영분석은 다음과 같은 절차로 수행된다.

【1단계】 도로조건 및 교통조건 자료정리

(1) 도로조건
- ① 차로폭 및 측방여유폭(m)
- ② 설계속도(km/시)
- ③ 경사 및 경사길이
- ④ 지형
- ⑤ 도로구간의 길이(km)

(2) 교통조건
- ① 교통량(대/시)
- ② 1시간 환산 교통량
- ③ 첨두시간계수
- ④ 차량구성비율

【2단계】 서비스 수준에 대한 각종 보정 계수 적용

① $(V/C)_i$= 교통량 대 용량비(<표 205.4>)

② f_w=차로폭 및 측방여유폭 보정계수 (<표 205.5>)

③ f_{HV}= 중차량 보정계수

- 일반지형인 경우: 도로의 전반적인 특성만을 고려하여, 평지, 구릉지 및 산지를 나누어 적용하는 일반적인 방법

$f_{HV}=1/[1+P_T(E_T-1)+P_B(E_B-1)]$……(평지)

$=1/[1+P_{HV}(E_{HV}-1)]$……(구릉지, 산지)

여기서,

P_T, P_B : 트럭 및 버스의 구성비(%)

E_T, E_B : 트럭 및 버스의 승용차 환산계수

P_{HV}: 중차량 구성비(%)

E_{HV}: 중차량의 승용차 환산계수(<표 205.7>)

- 특정경사구간일 경우(종단경사 3% 이상이며 경사길이가 500m를 넘는 경우)

$f_{HV}=1/[1+P_{HV}(E_{HV}-1)]$

【3단계】 서비스수준별 서비스 교통량(SF_i) 계산

$SF_i=2{,}200\times(V/C)i\times N\times fw\times f_{HV}$

N : 고속도로 한 방향 차로수

【4단계】 현재 또는 장래 교통량을 첨두시간 환산교통량으로 환산

V_p (첨두시간 환산 교통량(대/시))

= 교통량/첨두시간계수

【5단계】 서비스수준 결정

【4단계】에서 환산한 교통량과 【3단계】의 서비스 교통량을 비교하여 서비스수준을 결정한다(<표 205.4>).

(예제) 설계속도 100km/시, 일방향 첨두시간 교통량 2,000대/시/차로, 트럭 구성비 20%, 첨두시간계수(PHF)=0.95, 차로폭 3.25m, 중앙분리대 및 도로변에 장애물이 포장 끝에 바로 위치되어 있으며 지형은 구릉지이다. 이 한 방향 2차로 지방지역 고속도로의 서비스수준을 산정하라

방법1: 위의 5단계 절차를 따르는 방법

(1단계) 자료정리

도로조건:
- 차로폭: 3.25m, 측방여유폭: 0.0m
- 설계속도: 100km/시
- 지형: 일반지형(구릉지)
- 차로수: 2

교통조건:
- 교통량: 2,000대/시
- 첨두시간계수: 0.95
- 차량구성비율: 트럭 20%

(2단계) 보정계수 적용

① $(V/C)_A$: 0.34 $(V/C)_B$: 0.52 $(V/C)_C$: 0.70 $(V/C)_D$: 0.86 $(V/C)_E$: 1.00 (<표 205.4>)

② fw: <표 205.5>의 보정계수표를 이용하면 0.79

③ f_{HV}: 일반지형중 구릉지

$f_{HV}=1/[1+P_{HV}(E_{HV}-1)]=1/[1+0.2(3.0-1)]=0.71$

여기서 E_{HV}는 <표 205.6>이용

(3단계)서비스수준별 서비스교통량(SF_i) 계산

SF_A = 2,200×0.34×2×0.79×0.71 = 840대/시

SF_B = 2,200×0.52×2×0.79×0.71 = 1,284대/시

SF_c = 2,200×0.70×2×0.79×0.71 = 1,728대/시

SF_D = 2,200×0.86×2×0.79×0.71 = 2,123대/시

SF_E = 2,200×1.00×2×0.79×0.71 = 2,468대/시

(4단계) 첨두시간 교통량으로 환산

V_p = 2,000/0.95 = 2,106대/시

(5단계) 서비스수준 결정

SF_C(1,728) 〈 2,106 〈 SF_D(2,123)

그러므로 서비스수준은 D

방법2: 교통량을 SF_E 즉, 용량으로 나누어 V/C를 바로 계산하여 <표 205.4>의 값과 비교하여 서비스 수준을 결정한다.

용량 C = 2,200×(1)×0.79×0.71 = 2468

첨두시간환산교통량 V_p = 2000/0.95 = 2106

$V/C = V_P/C$ = 2106/2468 = 0.85

$(V/C)c = 0.70 〈 0.85 〈 (V/C)_D = 0.86$

따라서 서비스수준은 D

<표 205.4> 고속도로 기본구간의 서비스수준

서비스 수 준 (LOS)	밀 도 (승용차/㎞/차선)	설계속도(120㎞/시)			설계속도(100㎞/시)		
		평 균 통행속도 (㎞/시)	교통량 대 용량비 (V/C)	교통량 (승용차/시/차선)	평 균 통행속도 (㎞/시)	교통량대 용량비 (V/C)	교 통 량 (승용차/시/차선)
A	≤ 8	≥ 105	≤ 0.39	≤ 850	≥ 95	≤ 0.34	≤ 750
B	≤ 13	≥ 100	≤ 0.59	≤ 1,300	≥ 90	≤ 0.52	≤ 1,150
C	≤ 19	≥ 90	≤ 0.77	≤ 1,700	≥ 82	≤ 0.70	≤ 1,550
D	≤ 27	≥ 76	≤ 0.93	≤ 2,050	≥ 70	≤ 0.86	≤ 1,900
E	≤ 44	≥ 50	≤ 1.00	≤ 2,200	≥ 50	≤ 1.00	≤ 2,200
F	〉 44	〈 50	-	-	〈 50	-	-

주) 교통량은 50단위로 조정한 것임

<표 205.5> 고속도로 기본구간의 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

장애물 까지의 거리(m)	한 쪽에만 장애물이 있을 때				양 쪽에 장애물이 있을 때*			
	차 로 폭 (m)							
	3.50	3.25	3.00	2.75	3.50	3.25	3.00	2.75
	4차로(편도 2차로)고속도로							
≥ 1.5	1.00	0.96	0.90	0.80	0.99	0.96	0.90	0.80
1.0	0.98	0.95	0.89	0.79	0.96	0.93	0.87	0.77
0.5	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
0.0	0.90	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
	6차로이상(편도 3차로 이상)인 고속도로							
≥ 1.5	1.00	0.95	0.88	0.77	0.99	0.95	0.88	0.77
1.0	0.98	0.94	0.87	0.76	0.97	0.93	0.86	0.76
0.5	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
0.0	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.70

주) 양쪽에 장애물이 있는 경우, 장애물까지의 거리는 양 장애물 거리의 평균값으로 한다.

<표 205.6> 고속도로 기본구간 일반지형의 승용차환산계수

차 량 구 분	지 형		
	평 지	구 릉 지	산 지
트 럭	1.5	3.0	5.0
버 스	1.3		

<표 205.7> 고속도로 기본구간 특정경사구간의 승용차환산계수

경 사 (%)	경사길이 (km)	중 차 량 구 성 비 (%)				
		5	10	20	30	40
2	0.5	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5
	1.0	2.2	1.8	1.5	1.5	1.5
	1.5	2.9	2.2	1.8	1.6	1.5
	2.0	3.1	2.4	2.0	1.7	1.5
	2.5	3.3	2.6	2.1	1.8	1.6
	3.0	3.4	2.7	2.2	1.9	1.7
3	0.5	3.0	2.3	1.9	1.6	1.5
	1.0	4.0	3.1	2.6	2.2	1.9
	1.5	4.5	3.5	2.8	2.5	2.2
	2.0	4.6	3.6	2.9	2.6	2.3
	2.5	4.7	3.6	2.9	2.6	2.4
	3.0	4.7	3.6	2.9	2.6	2.4
4	0.5	4.1	3.2	2.6	2.2	1.9
	1.0	4.6	3.7	3.0	2.5	2.2
	1.5	4.7	3.7	3.0	2.7	2.3
	2.0	4.8	3.7	3.0	2.7	2.4
	2.5	4.8	3.7	3.0	2.7	2.4
	3.0	4.8	3.7	3.0	2.7	2.4
5	0.5	5.0	3.9	3.1	2.8	2.7
	1.0	5.1	4.0	3.2	2.9	2.8
	1.5	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
	2.0	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
	2.5	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
	3.0	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
6	0.5	5.9	4.6	3.6	3.3	3.2
	1.0	6.4	4.9	3.9	3.4	3.6
	1.5	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
	2.0	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
	2.5	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
	3.0	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
7	0.5	7.3	5.5	4.4	4.2	4.2
	1.0	7.6	5.8	4.7	4.5	4.5
	1.5	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
	2.0	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
	2.5	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
	3.0	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
8	0.5	8.7	6.7	5.5	5.5	5.5
	1.0	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	1.5	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	2.0	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	2.5	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	3.0	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7

3.2 다차로 도로

다차로도로는 고속도로와 도시간선도로 사이를 연결하는 도로로서 방향별로 분리되어 있지 않거나 완전한 유출입 통제가 되지 않은 도로이기 때문에 고속도로와 별도로 분류된다. 또한 다차로도로는 신호기 간격이 3km보다 크고 회전 차량으로 인한 지체가 거의 없는 도로이므로 신호기의 영향을 많이 받는 도시 및 교외 간선도로와도 구별된다.

다차로도로의 형태는 일반적으로 주변 환경 및 도로조건에 따라 기본적으로 다음과 같은 네 가지 범주로 나눌 수 있다.

- 지방지역 분리도로
- 지방지역 비분리도로
- 도시지역 분리도로
- 도시지역 비분리도로

다차로도로와 고속도로의 주요 차이점은 유출입 통제, 주변 환경과의 분리 정도, 신호등 유무, 중앙분리대 유무 등이 있으며, 이러한 차이는 평균최대통행속도(free flow speed)의 산정시 반영하도록 되어있다.

다차로도로의 이상적인 조건은 다음과 같다.

① 평지구간
② 차로폭 : 3.5m 이상
③ 좌우 측방여유폭의 합 : 3.6m 이상
④ 유출입 지점수 : 0
⑤ 설계속도 : 60km/시 이상
⑥ 중앙분리대가 설치된 곳
⑦ 승용차만으로 구성된 교통류

다차로도로의 효과척도는 고속도로의 기본구간과 같이 밀도, 평균통행속도, 교통량 대 용량비가 이용된다.

다차로도로의 서비스수준 산정을 위한 운영분석은 다음과 같은 절차로 수행된다.

【1단계】 분석대상 다차로도로 구간의 도로 및 교통조건 조사

(1)도로조건:
① 설계속도
② 차로폭
③ 측방여유폭
④ 경사
⑤ 구간길이
⑥ 유·출입 지점수
⑦ 분리/비분리

(2) 교통조건:
① 방향별 15분 교통량
② 중차량 구성비
③ 첨두시간계수

【2단계】 평균최대통행속도 결정

평균최대통행속도는 현장에서 직접 실측하거나 다음 식에 의해 구한다.

$FFS = FFS_I - F_M - F_{LW} - F_{LC} - F_A$

FFS= 평균최대통행속도(km/시)

FFS_I= 이상 조건에서 평균최대통행속도(<표 205.8>)

F_M = 중앙분리대 보정계수(<표 205.9>)

F_{LW}= 차로폭 보정계수(<표 205.10>)

F_{LC}= 측방여유폭 보정계수(<표 205.11>)

F_A = 유출입 지점수 보정계수(<표 205.12>)

【3단계】 차로당 승용차 서비스 교통량 산정

차로당 승용차 서비스 교통량은 다음 식에 의해 계산된다.

$PSF = V/(N \times PHF \times f_{HV})$

PSF = 첨두 승용차 서비스 교통량 (승용차/시/차로)

V=방향별 교통량(대/시)

N=차로수

f_{HV}=중차량 보정계수

- $f_{HV}=1/[1+P_T(E_T-1)+P_B(E_B-1)]$ (평지)(<표205.13>)
- $f_{HV}=1/[1+P_{HV}(E_{HV}-1)]$ (구릉지, 산지, 특정경사구간)

E_T, E_B, E_{HV}=트럭, 버스, 중차량의 승용차환산계수(<표 205.15>)

P_T, P_B, P_{HV}=트럭, 버스, 중차량의 혼합율

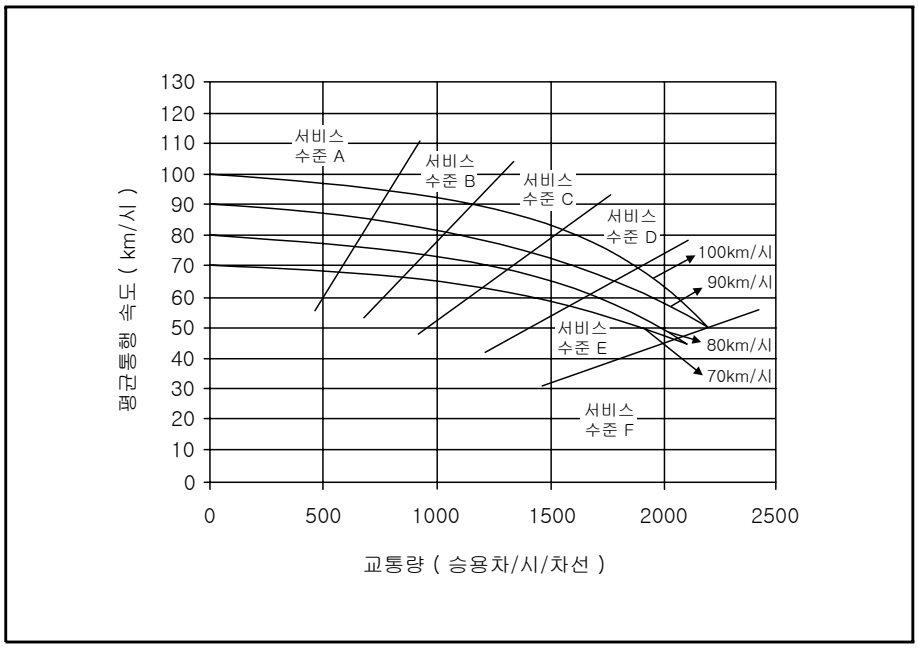
【4단계】 속도·교통량 곡선 작성

<그림 205.1>을 이용하여 (1단계)에서 계산된 평균최대통행속도에 적합한 속도와 교통량 곡선을 그린다.

【5단계】 서비스수준 산정

【3단계】에서 그려진 평균최대통행속도 곡선에서 【2단계】의 차로당 승용차 서비스 교통량에 해당하는 속도를 찾는다.

(밀도=교통량/속도) 식을 이용하여 밀도를 구하고, <표 205.14>를 이용하여 서비스수준을 산정한다.



<그림 205.1> 다차로도로의 속도와 교통량 곡선

(예제) 도로 조건 및 교통 조건이 다음과 같은 다차로도로가 있다. 이 구간의 평균속도, 밀도를 구하고 서비스수준을 산정하라.

- 도로 조건 : 설계속도 80km/시, 차로폭 3.3m, 좌측 측방여유폭 1.8m, 우측 측방여유폭 1.2m, 경사 3%, 구간길이 0.5km, 유·출입 지점수 14개, 비분리 4차로도로
- 교통 조건 : 방향별 교통량 1,700대, 트럭 8%, 버스 2%, 첨두시간계수 0.90

(풀이)

【1단계】 도로 및 교통조건

예제에 주어져 있음

【2단계】 평균최대통행속도 결정

평균최대통행속도를 다음 식에 의해 구한다.

$FFS = FFS_I - F_M - F_{LW} - F_{LC} - F_A$ FFS_I = 90km/시(<표 205.8>)

F_M = 4km/시(<표 205.9>) F_{LW} = 4km/시(<표 205.10>)

F_{LC} = 1km/시(<표 205.11>) F_A = 9km/시(<표 205.12>)

FFS = 90-4-4-1-9 = 72km/시

【3단계】 차로당 승용차 서비스 교통량 산정

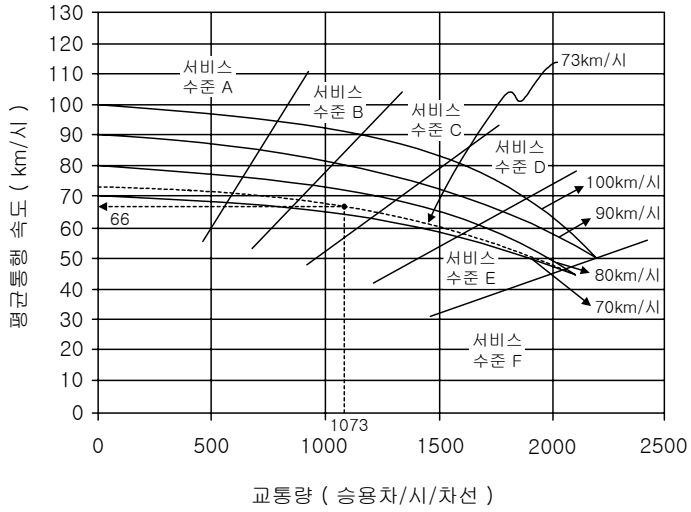
$PSF = V/(N \times PHF \times f_{HV})$ E_{HV} = 2.3(<표 205.15>)

$f_{HV} = 1/[1+P_{HV}(E_{Hv}-1)] = 1/[1+0.1(2.3-1)] = 0.88$

PSF = 1,700/(2×0.9×0.88) = 1,073 승용차/시/차로

【4단계】 속도·교통량 곡선 작성

평균최대통행속도가 73km/시인 곡선을 작성한다.



【5단계】 서비스수준 산정

작성된 그림에서 교통량 1,073km/시에 해당하는 속도는 66km/시

밀도 = 교통량/속도 = 1,073/66 = 16.3승용차/시/차로

따라서, 서비스수준은 C이다(<표 205.14>).

<표 205.8> 이상조건의 평균최대통행속도

설계속도(km/시)	평균최대통행속도(km/시)
60	75
70	85
80	90
90 이상	100

<표 205.9> 다차로도로의 중앙분리대 보정계수(F_M)

중앙분리대	평균최대통행속도 감소(km/시)
유	0
무	4

<표 205.10> 다차로도로의 차로폭 보정계수(F_{LM})

차선폭(m)	평균최대통행속도 감소(km/시)
3.5	0
3.3	4
3.0	10

<표 205.11> 다차로도로의 측방여유폭 보정계수(F_{LC})

측방여유폭 (m)	4 차 선	6 차 선 이 상
	평균최대통행속도 감소(km/시)	평균최대통행속도 감소(km/시)
3.6	0	0
3.0	1	1
2.4	2	1
1.8	3	2
1.2	4	3
0.6	7	5
0.0	10	7

<표 205.12> 다차로도로의 유출입 지점수 보정계수(F_A)

유출입 지점수/km	평균최대통행속도 감소(km/시)
0	0
≤10	3
≤20	6
〉20	9

<표 205.13> 다차로도로 일반지형의 승용차환산계수

차 량 구 분	지 형		
	평 지	구 릉 지	산 지
트 럭	1.5	3.0	5.0
버 스	1.3		

주) 구릉지, 산지는 중차량의 승용차환산계수임

<표 205.14> 다차로도로의 서비스 수준

서비스 수 준	평 균 최 대 통 행 속 도							
	100km/시				90km/시			
	밀도(승용차/㎞/차로)	평균통행속도(㎞/시)	교통량 대용량비(V/C)	교통량(승용차/시/차로)	밀도(승용차/㎞/차로)	평균통행속도(㎞/시)	교통량 대용량비(V/C)	교통량(승용차/시/차로)
A	≤ 8	≥95	≤0.34	≤ 750	≤ 8	≥85	≤0.32	≤ 700
B	≤13	≥90	≤0.52	≤1,150	≤13	≥80	≤0.48	≤1,050
C	≤19	≥82	≤0.70	≤1,550	≤19	≥75	≤0.64	≤1,400
D	≤27	≥70	≤0.86	≤1,900	≤27	≥65	≤0.82	≤1,800
E	≤44	≥50	≤1.00	≤2,200	≤44	≥50	≤1.00	≤2,200
F	〉44	〈50	-	-	〉44	〈50	-	-
서비스 수준	평 균 최 대 통 행 속 도							
	80km/시				70km/시			
	밀도(승용차/㎞/차로)	평균통행속도(㎞/시)	교통량 대용량비(V/C)	교통량(승용차/시/차로)	밀도(승용차/㎞/차로)	평균통행속도(㎞/시)	교통량 대용량비(V/C)	교통량(승용차/시/차로)
A	≤ 8	≥75	≤0.30	≤ 600	≤ 8	≥68	≤0.28	≤ 550
B	≤13	≥73	≤0.45	≤ 950	≤13	≥66	≤0.43	≤ 850
C	≤19	≥68	≤0.62	≤1,300	≤19	≥62	≤0.55	≤1,100
D	≤28	≥60	≤0.81	≤1,700	≤30	≥55	≤0.75	≤1,650
E	≤46	≥45	≤1.00	≤2,100	≤46	≥45	≤1.00	≤2,100
F	〉46	〈45	-	-	〉46	〈45	-	-

주) 교통량은 50단위로 조정한 것임

<표 205.15> 다차로도로 특정경사구간의 승용차환산계수

경 사 (%)	경사길이 (km)	중 차 량 구 성 비 (%)				
		5	10	20	30	40
2	0.5	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5
	1.0	2.2	1.8	1.5	1.5	1.5
	1.5	2.9	2.2	1.8	1.6	1.5
	2.0	3.1	2.4	2.0	1.7	1.5
	2.5	3.3	2.6	2.1	1.8	1.6
	3.0	3.4	2.7	2.2	1.9	1.7
3	0.5	3.0	2.3	1.9	1.6	1.5
	1.0	4.0	3.1	2.6	2.2	1.9
	1.5	4.5	3.5	2.8	2.5	2.2
	2.0	4.6	3.6	2.9	2.6	2.3
	2.5	4.7	3.6	2.9	2.6	2.4
	3.0	4.7	3.6	2.9	2.6	2.4
4	0.5	4.1	3.2	2.6	2.2	1.9
	1.0	4.6	3.7	3.0	2.5	2.2
	1.5	4.7	3.7	3.0	2.7	2.3
	2.0	4.8	3.7	3.0	2.7	2.4
	2.5	4.8	3.7	3.0	2.7	2.4
	3.0	4.8	3.7	3.0	2.7	2.4
5	0.5	5.0	3.9	3.1	2.8	2.7
	1.0	5.1	4.0	3.2	2.9	2.8
	1.5	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
	2.0	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
	2.5	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
	3.0	5.2	4.1	3.3	3.0	2.8
6	0.5	5.9	4.6	3.6	3.3	3.2
	1.0	6.4	4.9	3.9	3.6	3.6
	1.5	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
	2.0	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
	2.5	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
	3.0	6.5	4.9	4.0	3.7	3.6
7	0.5	7.3	5.5	4.4	4.2	4.2
	1.0	7.6	5.8	4.7	4.5	4.5
	1.5	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
	2.0	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
	2.5	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
	3.0	7.7	5.8	4.7	4.5	4.5
8	0.5	8.7	6.7	5.5	5.5	5.5
	1.0	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	1.5	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	2.0	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	2.5	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7
	3.0	8.9	6.8	5.7	5.7	5.7

3.3 2차로 도로

2차로 도로는 중앙선을 기준으로 각 방향별로 한 차로씩 차량이 운행되는 도로를 말한다. 그러므로 2차로 도로에서는 고속차량이 저속차량에 의해 통행이 지연되는 경우, 대향 차로를 이용할 수 있는 시거와 대향차량과의 간격이 확보되어야만 추월을 할 수 있으므로, 단순히 옆 차로를 이용해서 추월할 수 있는 다차로도로보다 교통량 처리 능력이 상당히 떨어진다.

2차로 도로의 효율적인 운영을 위해서는 턴아웃(turnout), 양보차로, 오르막차로 등의 부가차로와 회전 차량을 위한 회전차로를 적절하게 배치하여 제 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

2차로 도로의 운행특성을 분석하기 위한 효과척도에는 지체차량비율, 평균 통행속도, 교통량 대 용량비(V/C) 등 세 가지가 있으며, 도로 운행상태를 나타내는 서비스수준 기준을 결정하는데 이러한 효과척도를 이용한다. 일반지형의 경우, 서비스수준 기준은 일차적인 효과척도로 지체차량비율(전체 차량 중에서 저속차량으로 인하여 형성된 차량군 내에서 운전하는 차량이 차지하는 비율)을 이용하고, 이차적인 효과척도로 평균통행속도와 교통량 대 용량비를 이용한다. 그리고 특정경사구간에서는 평균 오르막속도를 효과척도로 이용한다.

2차로 도로의 운영분석은 일반지형 또는 특정경사구간에 대한 기존 교통량 또는 계획교통량의 서비스수준 결정과, 해당 서비스수준에서 2차로 도로가 수용할 수 있는 최대 교통량을 산출하는데 이용된다.

2차로 도로의 이상 조건은 다음과 같다.

① 설계속도 : 80km/시 이상
② 차로폭 : 3.5m 이상
③ 측방여유폭 : 1.5m 이상
④ 추월 가능 구간이 100% 이상인 도로(추월가능구간 : 추월가능 표시가 되어있는 구간이나 추월시거가 450m 이상인 도로 구간)
⑤ 승용차만으로 구성된 교통류
⑥ 방향별 교통량 분포가 균등한 도로(방향별 분포 50/50)
⑦ 교통 통제 또는 회전 차량으로 인하여 직진 차량이 방해받지 않는 도로
⑧ 평지

2차로 도로의 용량은 다차로도로 2개 차로의 용량보다 작다. 이상적인 조건에서 2차로도로의 용량은 양방향을 합하여 3,200승용차/시/방향이다.

서비스수준을 판별하는 효과척도로는 지체차량비율(전체 차량 중에서 저속차량으로 인하여 형성된 차량군 내에서 운전하는 차량이 차지하는 비율), 평균통행속도, 교통량 대 용량비(V/C)가 있다.

2차로 도로의 분석은 일반지형과 특정경사구간으로 나눌 수 있으나, 본 절에서는 일반지형에 대한 분석만 설명한다.

2차로도로의 일반지형에 대한 운영분석은 다음의 절차를 따른다.

【1단계】 도로 조건 및 교통 조건 자료 정리

(1) 도로 조건
① 차로폭 및 교통 조건 자료 정리
② 설계속도(km/시)
③ 추월가능구간 백분율(%)
④ 지형구분(평지, 구릉지, 산지, 특정경사구간)
⑤ 도로 구간의 길이(km)

(2) 교통 조건
① 양방향 교통량
② 교통류율
③ 첨두시간계수(PHF)
④ 방향별 교통량 분포
⑤ 차종별 구성비

【2단계】 서비스수준에 대한 각종 보정계수 적용

① $(V/C)_i$: (<표 205.16>)
② f_d : 방향별 교통량 분포 보정계수 (<표 205.17>)
③ f_w : 차로폭 및 측방여유폭 보정계수 (<표 205.18>)
④ f_{HV} : 중차량 보정계수

$$f_{HV}=1/[1+P_T(E_T-1)+P_B(E_B-1)]$$

여기서,

E_T, E_B : 트럭, 버스의 승용차 환산계수 (<표 205.19>)

P_T, P_B : 트럭, 버스의 구성비(%)

【3단계】 서비스 교통량(SF_i) 계산

$$SF_i=3,200\times(V/C)_i\times f_d\times f_w\times f_{HV}$$

【4단계】 현재 또는 장래 교통량을 첨두시간 환산교통량으로 환산

V_p=교통량/첨두시간계수

여기서,

V_p : 첨두시간 환산교통량(대/시)

【4단계】에서 구한 환산교통량(V_p)과 【3단계】의 서비스 교통량(SF_i)을 비교하여 서비스수준을 판정한다.

(예제) 지방지역 2차로도로의 첨두 1시간 교통량이 300대/시(양방향)이고, 도로 및 교통조건이 다음과 같을 때 첨두시간 동안 운행되는 교통류의 서비스 수준을 구하라

- 도로조건 : 설계속도 80km/시, 차로폭 3.5m, 측방여유폭 1.5m, 구간길이 8km, 산지
- 교통조건 : 방향별 교통량 분포 60/40, 트럭 30%, 버스 5%

(풀이) 서비스수준의 평가는 각 서비스수준에 따라 계산된 보정용량과 실제 주어진 교통량을 비교하여 수행한다.

【1단계】 도로 및 교통조건

예제에 주어져 있음

【2단계】 서비스수준에 대한 각종 보정계수 적용

$f_{HV}=1/[1+P_{HV}(E_{HV}-1)]$: 구릉지/산지

$=1/[1+0.35(5.5-1)]=0.39$

서비스 수준	$(V/C)_i$	f_d	f_w	f_{HV}	E_{HV}	SF_i
A	0.12	0.94	1.00	0.39	5.5	151
B	0.21	0.94	1.00	0.39	5.5	247
C	0.33	0.94	1.00	0.39	5.5	387
D	0.52	0.94	1.00	0.39	5.5	610
E	0.80	0.94	1.00	0.39	5.5	938
표	<표 205.16>	<표 205.17>	<표 205.18>	위식	<표 205.19>	아래식

【3단계】 서비스 교통량(SFi) 산정

$SF_i = 3,200\times(V/C)_i\times f_d\times f_w\times f_{HV}$ (위 표 참조)

【4단계】 실제 교통량을 첨두시간 교통량으로 환산

V_p = 교통량/첨두시간계수 = 300/0.83 = 361

【5단계】 서비스수준 산정

LOS B(247) 〈 361 〈 LOS C(387) 이므로,

서비스수준은 C

<표 205.16> 2차로도로 일반지형의 서비스수준

서비스 수준	지체 차량 비율 (%)	평균 통행 속도* (km/시)	교통량 대 용량비(V/C)							
			평지						구릉지	산지
			추월가능구간 백분율(%)							
			0	20	40	60	80	100		
A	≤35	≥90	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.13	0.12
B	≤50	≥85	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26	0.27	0.22	0.21
C	≤65	≥80	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.36	0.33
D	≤80	≥70	0.61	0.63	0.65	0.66	0.68	0.70	0.57	0.52
E	〈100	≥50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.80
F	100	〈50	-	-	-	-	-	-	-	-

주) 1. 평균통행속도는 "5" 단위로 조정한 것임.
2. 일반국도에서는 교통량 대 용량비(V/C)만 적용할 것.

<표 205.17> 2차로도로 일반지형의 방향별 분포 보정계수

방향별 분포	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10	100/0
보정계수	1.00	0.94	0.88	0.81	0.75	0.69

<표 205.18> 2차로도로 일반지형의 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

측방여유폭 (m)		차로폭(m)							
		≥ 3.50		≥ 3.25		≥ 3.00		≥ 2.75	
고속도로	일반국도	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
≥ 1.5	-	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
≥ 1.0	≥ 1.5	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
≥ 0.5	≥ 1.0	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
≥ 0.0	≥ 0.0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

<표 205.19> 2차로도로 일반지형의 승용차 환산계수

차량구분	지형		
	평지	구릉지	산지
트럭	1.9	3.5	5.5
버스	1.6		

주) 구릉지, 산지는 중차량(트럭과 버스)의 승용차 환산계수임

205.4 도로계획 및 설계 분석

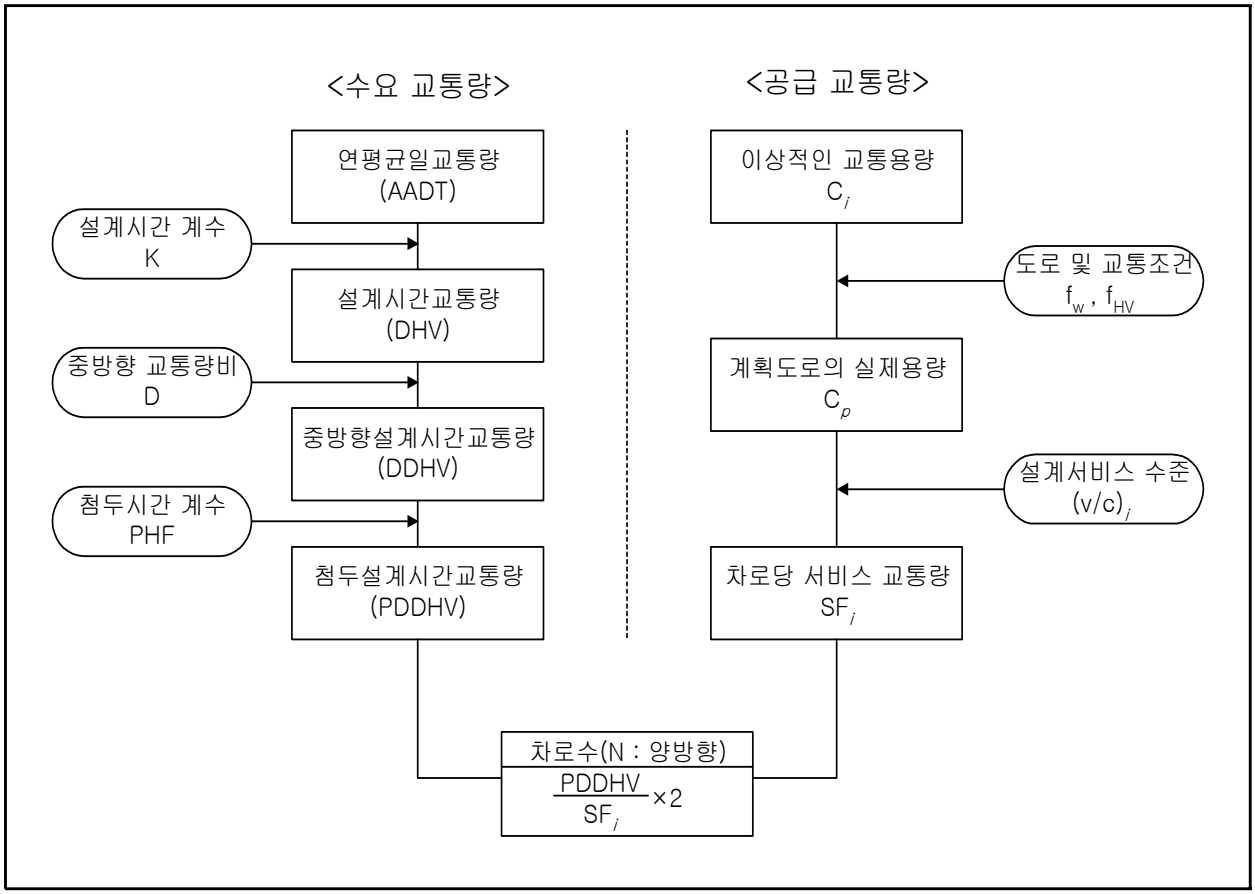
용량분석기법은 차로수, 차로폭, 길어깨 등의 횡단면 구성요소의 설계에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 설계요구 서비스수준에 맞는 종단경사의 설치, 연결로의 접속형태 결정에도 적용이 가능하다. 일반적으로 도로계획 및 설계 단계의 분석에 필요한 자료들은 다음과 같다.

- 횡단면 및 종단선형
- 인터체인지의 개략적인 위치와 접속 방법
- 예측 교통량
- 예측된 교통특성(교통류 내의 트럭, 버스, 위락 차량의 비율, 첨두시간계수 등)

4.1 고속도로 차로수 산정

교통수요예측을 통해 각 고속도로 기본구간에 대해 배정된 교통량을 설계 요구 서비스수준에서 처리하기 위해 적정한 차로수를 산정한다. 이 경우 차로수가 필요 이상으로 많거나 적게 되지 않도록 장래의 교통수요에 대해 합리적인 차로수 산정이 필요하다.

기본 개념은 수요와 공급의 균형원칙을 반영한 것으로서 예측된 교통수요를 원활하게 처리하기 위해 차로를 공급하는 것이다. 예측된 수요교통량을 설계될 기본 구간의 차로당 공급서비스 교통량으로 나누어서 차로수를 산정한다.



<그림 205.2> 차로수 산정 과정

4.1.1 수요교통량(PDDHV) 계산

계획 목표년도의 연평균 일교통량(AADT)을 예측한 후 이 목표년도에 설계된 도로를 통과할 것으로 예상되는 한시간 교통량, 즉 설계시간교통량(DHV)으로 전환한다. AADT 자체로는 하루 중의 교통량 패턴, 특히 첨두시간의 교통특성을 나타내지 못하기 때문에 교통량 전환을 위해서는 다음 사항을 고려하여 계산한다.

① 설계시간계수(K)

연평균 일교통량(AADT)에 대한 설계시간교통량(DHV)의 비율(백분율)을 설계시간계수(K)라 하며, 이 계수는 하루 교통량 중 어느 정도의 교통량을 시간 교통량으로 볼 것인가를 결정해주는 것이다. 일반적으로 대상 도로구간의 상시교통량 조사에서 나타난 1년간의 시간 교통량을 순서대로 나열하여 각 시간 교통량을 나타내는 점들을 완만한 곡선으로 연결한 후 곡선의 기울기가 급격히 변하는 지점의 교통량을 설계시간교통량으로 정할 수 있다. 설계시간계수(K)는 기울기가 급격히 변하는 지점의 시간 교통량을 AADT로 나누어 얻은 값이다.

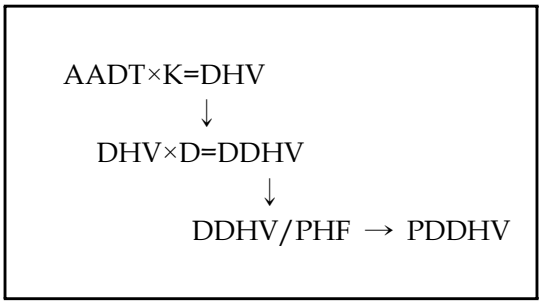
② 양방향 교통량에 대한 중방향 교통량의 비(D)

도로설계시 교통량의 방향별 분포를 고려하여 뚜렷하게 교통량의 차이가 나타나는 경우에 교통량이 많은 방향을 특별히 고려하여 교통혼잡의 발생을 사전에 방지해 주어야 한다. 이를 위해 중방향 교통량비(D)를 반영한다. 중방향 교통량비(D)는 양방향교통량에 대한 중방향교통량의 비율로 정의한다.

③ 첨두시간대의 교통특성 반영

첨두시간대의 교통특성을 설계시간 교통량에 반영하기 위해 첨두시간계수(PHF)로 나누어 중방향 설계시간 교통량의 첨두시간 교통류율을 계산한다.

예측된 AADT에서 도로설계시 사용되는 설계 목표년도의 첨두시간 설계교통량(PDDHV)을 구하는 방법을 요약하면 다음과 같다.



AADT = 연평균 일교통량(대/일)
K = 설계시간계수
DHV = 설계시간교통량(대/시)
DDHV = 중방향설계시간교통량(대/시)
D = 중방향교통량비
PHF = 첨두시간계수
PDDHV = 첨두시간 설계 교통량(대/시)

4.1.2 공급서비스교통량(SF_i) 계산

설계될 대상구간의 차로당 서비스되어질 수 있는 교통량(SF_i)을 계산한다. 계산식은 다음과 같다.

$$SF_i = C_{용량} \times (v/c)_i \times f_W \times f_{HV}$$

SF_i=설계된 구간의 도로 및 교통 조건하에서 설계요구 서비스수준 i에 대한 차로당 서비스 교통량(vph)

$C_{용량}$=이상적인 조건하에서의 최대 통과 교통량

$(V/C)_i$=서비스수준 i에서의 교통량 대 용량비

f_w=차로 및 측방여유폭 보정계수

f_{HV}=중차량보정계수

여기서,

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1)}$$

P_T = 트럭의 구성비(%/100)

P_B = 버스의 구성비(%/100)

E_T = 트럭의 승용차 환산계수

E_B = 버스의 승용차 환산계수

대상 구간의 최대서비스교통량은 이상적인 조건하에서의 용량에 도로조건(f_W)과 교통조건($(V/C)_i$, f_{HV})을 반영한 보정계수를 곱하여 구한다.

4.1.3 필요 차로수(N) 계산

차로수는 앞에서 계산된 첨두시간 설계교통량(PDDHV)을 서비스교통량(SF_i)으로 나누어 계산한다.

$$\frac{\text{설계대상 구간의 예측된 수요교통량}}{\text{설계대상 구간의 차로당 공급교통량}} = \frac{PDDHV}{SF_i} = \frac{(AADT \times K \times D)/PHF}{C_{용량} \times (v/c)_i \times f_w \times f_{HV}} = N(\text{차로수})$$

계산된 차로수(N)는 대부분 소수로 표시되는데 N보다 큰 정수로 반올림하여 사용한다. 위 식으로 결정된 차로수는 중방향 보정계수(D)를 반영하여 얻어진 값이므로 양방향 전체차로수는 N×2가 된다. 이와 같은 방법으로 얻어진 차로수는 고속도로 기본구간의 차로수이며, 이를 적용할 때에는 엇갈림구간, 연결로 및 접속부와의 조합과 차로수 균형을 고려하여 고속도로 전체를 체계적이며 종합적으로 접근하여 교통소통 및 안전에 위배되지 않도록 계획하여야 한다.

아래 예제에서 10차로의 고속도로가 필요한 것으로 분석되었다. 그러나 고속도로를 10차로로 설계할 경우 도로 기하구조 설계의 어려움과 배수체계, 사고발생시 영향, 차로별 이용 효율성 감소 등 용량 이외의 다른 요소를 고려해야 한다. 따라서 실제 설계에서는 급격한 서비스수준의 저하가 예상되는 구간에 대해서만 10차로로 설계하고 나머지 구간에 대해서는 운행상태 분석에 따라 8차로로 설계하는 방안도 고려할 수 있다. 이때 구간별 교통수요와 균형을 고려해야 한다.

(예제) 도시 순환고속도로를 계획하고자 한다. 목표연도에 예상되는 연평균 일교통량(AADT)은 100,000대이며 트럭 구성비는 대략 15% 정도이고 버스는 거의 없다. 그리고 PHF는 0.90으로 예상되며, 도로가 통과하는 지역의 전반적인 지형은 구릉지이다. 운행 서비스수준 C를 유지하기 위해 필요한 차로수를 결정하라.

(풀이)

(1단계) AADT를 첨두시간 설계교통량으로 환산

DDHV = AADT×D×K K = 0.09(도시지역), D = 0.60(도시지역)

= 100,000×0.09×0.60 = 5,400대/시

첨두시간 설계교통량(PDDHV) = DDHV/PHF = 5,400/0.90 = 6,000대/시

(2단계) 공급 서비스 교통량 산정

트럭구성비 15%인 상태에서 서비스수준 C로 운행될 때 차로당 서비스 교통량을 산정한다.

$SF_C = [C_j \times (V/C) \times f_W \times f_{HV}]$

C_j = 2200 승용차/시/차로

$(V/C)_C$ = 0.70(서비스수준 C일 때)

f_W = 1.00(측방여유폭은 충분한 것으로 봄)

E_T = 3.0(<표 205.6>, 구릉지 일 때)

f_{HV} = 1/[1+0.15(3.0-1)] = 0.77

SF_C = 2200×0.70×1.00×0.77 = 1,186대/시

(3단계) 차로수 N 결정

차로수 N = PDDHV/SF_C = 6,000/1,186 ≒ 5.0 차로 → 양방향 10차로

4.2 다차로도로의 차로수 산정

장래의 예측 교통량과 교통특성에 따라 요구되는 서비스수준에 적절한 다차로도로의 필요한 차로수를 결정한다.

【1단계】 설계하고자 하는 도로 조건을 가정한다

평균최대통행속도의 보정계수를 산출하기 위해 설계하고자 하는 도로의 차로폭, 좌·우 측방여유폭, 중앙분리대폭을 가정한다.

【2단계】 평균최대통행속도를 구한다.

$$FFS = FFS_I - F_M - F_{LW} - F_{LC} - F_A$$

FFS = 평균최대통행속도(km/시)
FFS_I = 이상 조건에서 평균최대통행속도(km/시)
F_M = 중앙분리대 보정계수
F_{LW} = 차로폭 보정계수
F_{LC} = 측방여유폭 보정계수
F_A = 유출입 지점수 보정계수

【3단계】 최대 승용차 서비스 교통량(SFi)을 구한다.

【2단계】에서 구해진 평균최대통행속도에 적합한 속도와 교통량 곡선을 그림(<그림 205.1> 참조)에 표시한 후 원하는 서비스수준에 맞는 최대승용차 서비스 교통량을 구한다.

【4단계】 DDHV를 계산하여 첨두 승용차 교통량(PDDHV)으로 환산

$$PDDHV = \frac{AADT \times K \times D}{PHF}$$

【5단계】 SF_i와 PDDHV를 이용하여 한방향 차로수를 산정한다.

$$\text{차로수 } N = \frac{PDDHV}{SF_i}$$

(예제) 하루 평균 60,000대를 통과시키는 3km 분리 다차로도로를 서비스수준 D로 설계하고자 한다. 다음을 가정하고 필요한 차로수 및 기하구조 폭을 구하라.

10% 트럭, 구릉지, PHF=0.9, K=0.1, D=0.55, 설계속도 80km/시, 유출입지점수 30개

(풀이)

【1단계】 도로 조건 가정

차로폭 3.5m, 좌·우 측방여유폭 합 3.0m, 중앙분리대 폭을 3.0m로 가정

【2단계】 평균최대통행속도 결정

평균최대통행속도를 다음식에 의해 구한다.

$FFS = FFS_I - F_M - F_{LW} - F_{LC} - F_A$ FFS_I = 90km/시(<표205.8>)

F_M = 0km/시 F_{LW} = 0km/시 F_{LC} = 1km/시

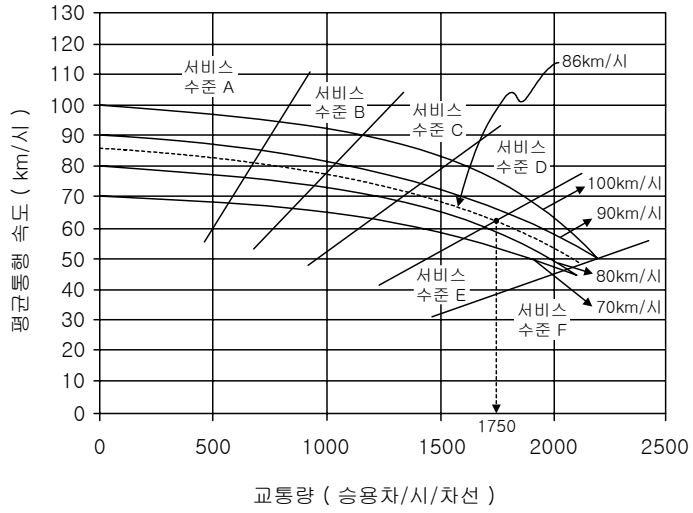
F_A = 3km/시(유출입 지점수 10개/km)

FFS = 90-0-0-1-3 = 86km/시

【3단계】 최대 승용차 서비스 교통량 산정

【2단계】에서 구한 평균최대통행속도에 적합한 속도와 교통량 곡선을 그림에 표시한 후 원하는 서비스수준(D)에 맞는 최대승용차 서비스 교통량을 구한다.

SF_D = 1,750 승용차/시/방향



【4단계】PDDHV 계산

$PDDHV = (AADT \times K \times D)/(PHF \times f_{HV})$

$f_{HV} = 1/[1+P_{HV}(E_{HV}-1)] = 1/[1+0.2(3.0-1)] = 0.70$

$PDDHV = (60{,}000 \times 0.1 \times 0.55)/(0.9 \times 0.7) = 5{,}239$ 승용차/시/방향

【5단계】차로수 산정

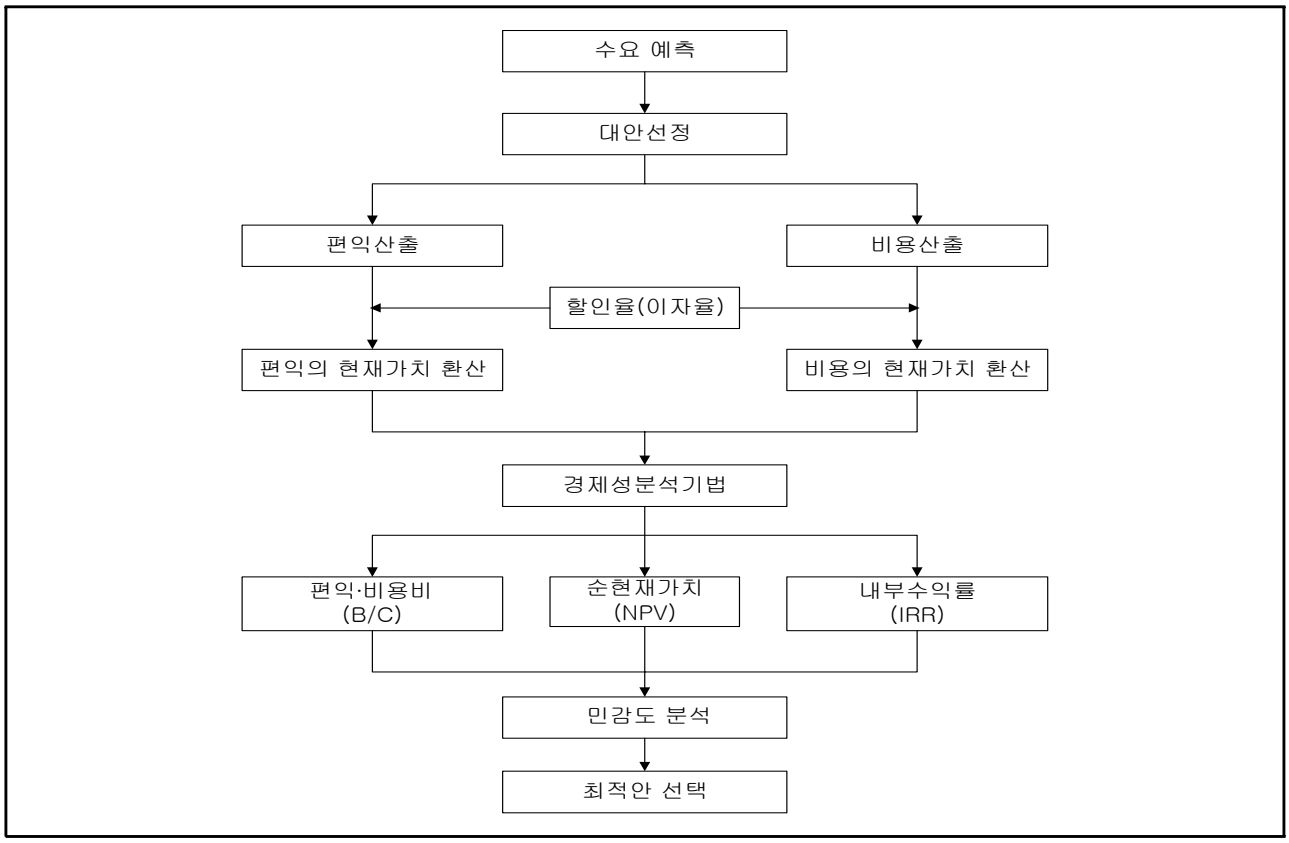
차로수 $N = PDDHV/SF_D = 5{,}239/1{,}750 = 2.9$ 따라서, 적정 차로수는 3차로 (양방향 6차로)

206
경제성 분석

206.1 개요

도로사업과 같은 대규모 공공 투자는 국가 경제 정책 전반에 걸쳐 매우 중요하다. 대규모 투자 사업은 기업이나 소비자의 입지선택에 영향을 주어 도시나 지역 경제에 미치는 영향이 크기 때문에, 보다 포괄적인 분석을 통한 투자 사업이 수행되어야 한다. 뿐만 아니라, 제한된 예산을 효율적으로 집행하기 위해서 경제성이 검증된 사업에 대한 투자 우선 순위를 결정하는 것도 매우 중요한 문제이다.

사업의 우선 순위를 선정하기 위해서는 객관적인 평가가 수행되어야 하는데, 그 기법으로 경제성 분석을 사용한다. 경제성 분석은 평가 대상이 되는 사업이나 비교 대안에 대한 사회적 편익과 사회적 비용을 비교하여, 투자 여부를 판단하고 정책 결정자의 의사 결정을 돕는 기법이다.



<그림 206.1> 경제성 분석과정

도로의 경제성 분석은 도로건설(또는 확폭 등) 사업에 대한 총편익과 총비용을 비교 분석하여 사업의 경제적 효율성 및 투자의 타당성을 가늠해 보기 위한 과정이다. 경제성 분석의 목적은 다음과 같다.

- 사업의 타당성 검토
- 사업의 우선 순위 검토
- 사업의 최적투자시기 결정

경제성 분석의 상세한 업무 수행 방법 및 내용은 "투자심사편람(경제기획원, 1982)"을 참고한다.

206.2 경제성 분석 기법

2.1 순현재가치 방법

순현재가치(Net Present Value : NPV) 방법은 평가 대상 기간의 모든 비용과 편익을 현재 가치로 환산하여, 총 편익에서 총 비용을 뺀 값을 바탕으로 사업의 경제적 타당성을 평가하는 기법이다.

순현재가치 (NPV)

$$= \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$= (B_0 - C_0) + \frac{(B_1 - C_1)}{(1+r)^1} + \frac{(B_2 - C_2)}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{(B_n - C_n)}{(1+r)^n}$$

B_t = t년도의 편익

C_t = t년도의 비용

r = 사회적 할인율(이자율)

n = 교통사업의 평가기간

순현재가치가 양(+)의 값이면 편익이 비용을 초과하는 것으로 그 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 평가되며, 음(-)의 값을 나타내면 투입된 비용보다 편익이 적어 그 사업은 경제적으로 타당하다고 할 수 없다.

2.2 편익/비용 비율 방법

편익/비용 비율(B/C ratio)은 평가 기간 동안에 발생하는 총 편익을 총 비용으로 나눈 비율이 가장 큰 대안을 최적 대안으로 선택하는 방법이다. 편익/비용 비율이 1을 넘어서면 사업으로 인해 얻는 편익이 투입된 비용보다 많다는 것으로, 그 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 평가한다. 여기서 매년 발생되는 비용과 편익은 할인율을 적용하여 현재 가치로 환산하여 사용한다.

$$B/C = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} \Big/ \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$= \frac{\text{총 편익의 현재가치}}{\text{총 비용의 현재가치}}$$

편익/비용 비율은 비용과 편익이 발생하는 시간을 고려할 수 있고, 다른 평가 기준보다 이해가 쉬워 경제성 평가에 가장 많이 사용되는 방법이다. 그러나 현재 가치로 환산하기 위해 할인율을 사용하고 있어, 적정 할인율을 적용하는 것이 올바른 평가의 주요 관건이다.

편익/비용 비율 방법에서 문제가 되는 것은 비교 대안의 성격이 상호 배타적일 경우에 발생된다. 여기서 상호 배타적인 사업은 상호 경쟁적 사업으로 사업의 규모나 사업시기를 결정

할 때, 어느 한 대안을 선택하면 나머지 대안은 자동적으로 고려 대상에서 제외되어 버리는 사업을 말한다. 이런 경우 편익/비용 비율 방법은 사업 비용 1단위당 편익이 얼마만큼 발생하는가를 나타내므로, 소규모 사업이 대규모 사업보다 높은 편익/비용 비율을 갖게될 가능성이 크다.

2.3 내부수익률 방법

내부수익률(Internal Rate of Return : IRR) 방법은 투자사업이 원만히 진행될 경우 기대되는 예상 수익률로서, 평가 기간에 걸쳐 발생되는 총 편익의 현재 가치와 총 비용의 현재 가치가 같아지는 할인율을 말한다. 즉, 순현재가치가 "0"이 되는 할인율이란, 건설비와 운영비를 포함한 총 비용을 사업 평가기간 동안에 모두 회수함과 동시에 수익을 창출할 수 있는 비용의 가득력을 의미한다. 그러므로 그 사업에 투자된 비용의 수익성(내부수익률)이 다른 사업에 투자함으로써 얻을 수 있는 최대 수익인 자본의 기회 비용(사회적 할인율)보다 클 경우, 그 사업은 경제적 수익성이 있다고 본다.

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

2.4 초기년도 수익률 방법

초기년도 수익률(First-Year Rate of Return : FYRR)이란 첫 편익이 발생한 연도까지 소요된 총 비용으로 첫해 발생한 편익을 나눈 값을 말한다. 이는 편익이 발생한 첫 연도가 나머지 연도들에 대하여 대표성을 가진다는 전제를 바탕으로 한다. 그렇기 위해서는 초기년도에 많은 편익이 창출되고 그 이후 연도부터는 일정 수준의 편익이 발생되는 사업의 평가에는 적합하다.

그러나 대부분 교통 사업은 사업 후에 수요가 증가하므로 해가 갈수록 편익이 증가하는 경우가 많아 이 방법은 적합하지 않다고 할 수 있다.

그렇기 때문에 초기년도 수익률은 사업의 타당성 평가보다는 사업을 언제 집행할 때 수익률이 가장 높은가를 평가하는 사업의 최적 집행시기를 결정하는데 주로 이용된다.

2.5 경제성 분석 기법의 비교

도로사업의 타당성을 평가하기 위해서는 해당 사업의 성격에 맞는 특성을 지닌 적절한 경제성 분석 기법을 적용해야 한다. 앞에서 설명한 기법들의 장·단점을 소개하면 <표 206.1>과 같다.

<표 206.1> 경제성 분석기법의 장·단점 비교

기 법	장 점	단 점
순현재가치 (NPV)	• 대안선택에 있어서 정확한 기준을 제시한다 • 편익의 현재가치를 제시해 준다 • 한계순현재가치를 고려하여 여러 가지를 분석할 수 있다	• 할인율 또는 자본의 기회비용을 알아야 한다 • 비용·편익비와 같이 이해하기 쉽지 않다 • 상대적 기준이 아니므로 대안의 우선순위 결정에 있어서 애매한 결정이 가능하다
비용·편익비 (B/C Ratio)	• 이해하기 쉽다 • 사업의 규모를 고려할 수 있다 • 비용·편익이 발생하는 시간을 고려할 수 있다	• 비용과 편익, 즉 분모와 분자를 명료하게 구분하기 힘들다 • 대안이 상호 배타적일 때는 대안선택에 오류가 있을 수 있다 • 할인율을 반드시 알아야 한다 • 배타적인 대안들이 있을 때 최적안 선택이 복잡하다.
내부수익률 (IRR)	• 사업의 수익성을 측정할 수 있다 • 평가과정과 결과를 이해하기 쉽다 • 다른 대안과 비교하기 쉽다	• 사업의 절대적인 규모를 고려하지 못한다 • 몇개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성이 있다 • 배타적인 대안들이 있을 때 최적안 선택이 복잡하다.
초기년도 수익률 (FYRR)	• 계산이 쉽다 • 이해하기 쉽다 • 사업의 최적집행시기 결정에 주로 이용	• 초기년도를 정하기 어렵다 • 편익과 비용이 발생하는 시간을 고려하지 못한다 • 할인율(자본의 사회적 비용)을 고려하지 않는다

2.6 할인율

할인율이란 각기 다른 시기에 발생하는 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 비교할 수 있도록 하기 위한 율(rate)이다.

할인율은 자본의 기회비용(opportunity cost of capital)을 토대로 하여 설정된다. 자본의 기회비용이란 같은 금액의 자본을 다른 기회에 투자하였을 때의 수익률을 말한다. 현재의 소비와 장래의 소비간의 한계대체율에 의한 할인율은 현실적으로 산정하기 힘들기 때문에 일반적으로 자본의 기회비용은 은행의 이자율을 할인율로 이용하는 경우가 대부분이다.

세계은행을 비롯한 국제 원조를 담당하는 은행이 개발도상국 등의 사회간접자본 건설에 참여시 설정한 이자율은 <표 206.2>와 같다.

도로설계시 적용 할인율은 "투자심사편람(현재 작업 중)"의 관계 비용 및 사업 계획의 방침에 따른다.

<표 206.2> 국제원조기관(은행)의 할인율

기관명	할 인 율	할인율 근거	할인율 설정 방법
IBRD	12% 국제원조기관(은행)의 할인율	자본 기회비용	기본 SOC사업의 내부수익률(IRR) 중 최저치
ADB	8% 8~12% 8%(GNP성장률 6% 미만) 12%(GNP성장률 6% 이상)	자본 기회비용 자본 기회비용	ADB와 IBRD간의 평균이자율
UNIDO		소비자 이율	・CRI= e・GR+PTP e : 소비의 효용탄력치(0.5~2.0) GR : 소비성장률 PTP : 순수선호율(2%~8%)

IBRD(International Bank for Reconstruction and Development): 국제개발부흥은행
ADB(Asian Development Bank): 아시아개발은행
UNIDO(United Nations Industrial Development Organization): 유엔공업개발기구

206.3 비용과 편익

도로 투자 사업에 소요되는 비용과, 그로 인하여 국가 사회적으로 얻게 되는 각종 편익을 비교하여 투자의 효율성을 판단한다. 도로 투자 사업의 주요 비용 항목에는 건설비, 도로 유지 관리비 등이 있으며, 편익 항목에는 이용자 편익과 비이용자 편익이 있다.

3.1 비용 산출

(1) 도로 건설비

도로의 건설비는 투자의 대부분을 차지하는 부분으로 사업의 평가에서 가장 중요한 비중을 차지한다. 따라서 가능한 한 정확하게 추정해야 한다. 그러나 건설 공사비를 정확하게 산출하기 위해서는 실시설계를 수행해 보아야 알 수 있지만, 많은 비용과 시간이 소요되고 사업의 시행여부가 결정되기 전에 실시설계를 수행하는 것은 불필요한 낭비이므로, 타당성 조사 단계에서는 기본설계(예비설계)에 의해 공사비를 산정하는 것이 일반적이다.

도로의 건설비는 크게 공사비, 용지 보상비 및 부대 경비(설계 및 관리비)로 나누어지며, 공사비는 다시 토공, 배수공, 구조물공, 부대시설공 등으로 세분하여 공사 물량과 공사비를 추정하는 것이 관례이다.

건설비는 사업을 구상하는 단계에서부터 투자를 완성하는 단계까지 항상 관심의 대상이 되는 것으로서 다음과 같은 단계를 거쳐 산출한다.

【1단계】 초기 계획시에 개략적으로 추정하는 건설비

【2단계】 기본설계에 의해 산출한 건설비

【3단계】 실시설계를 하여 산출한 공사 예정가격

【4단계】 공사 입찰 또는 계약 협의 후 결정된 도급 공사비

【5단계】 공사 완료 후 정산한 실제 투자비

(2) 유지관리비

도로의 유지관리란 건설된 도로의 기능을 보전하고 이용 차량과 보행자의 편리와 안전을 도모하기 위해 기존 시설물을 정비하고 손상된 부분을 원상 복구하며 추가로 시설을 보완하는 것이다. 유지관리 비용은 투자 자산으로 남지 않으므로 경비로 분류된다. 도로의 유지관리 비용은 다음과 같다.

- 유지관리 행정 인건비
- 포장 보수(표면처리, 덧씌우기 등) 비용
- 구조물 보수(교량, 터널, 암거, 배수관 등) 비용
- 비탈면 보수비용
- 재해 및 훼손 시설의 보수 비용
- 안전시설 정비비
- 기타 제설, 노면 청소 비용 등

도로의 유지관리 비용은 교통량, 지형 조건, 공용 기간에 따라 다르며 도로의 중요도에 따른 서비스수준 유지 정도에 따라 다르다.

일반적으로 비용의 산출은 건교부 또는 지방

자치단체의 유지관리 실적 자료의 분석과 비포장 도로 및 포장 도로에 대한 교통량 자료를 토대로 이루어진다.

3.2 편익 산출

도로 관련 투자사업은 투입된 경제적 비용을 초과하는 수준의 편익을 기대할 수 있는 경우에 경제적 타당성이 있다고 할 수 있다. 편익이란 투자 사업을 시행함으로써 발생될 수 있는 여러 효과 중 수송비용 또는 국가 경제적 비용의 절약이나 만족감의 증대와 같은 이익으로 표현될 수 있다.

도로 사업의 효과에는 국가 경제적으로 이익이 되는 양(陽)의 편익만 있는 것은 아니고 음(陰)의 편익도 나타나므로 이를 뺀 것을 순편익이라 한다. 이와 같은 순편익을 정확하게 측정하여 비용과 비교 가능한 형태로 계량화하는 과정이 경제성 분석의 가장 핵심적인 요소이며, 기회 비용을 나타내는 잠재 가격으로 화폐가치화 함으로써 타당성 여부를 판단할 수 있다.

수송 부문 투자 사업의 편익을 측정하는 것은 비용을 산출하는 과정보다 복잡하고 어려운데, 그 이유는 다음과 같다.

- 투자 사업의 편익은 장기간에 걸쳐 여러 계층의 사람들에게 영향을 미치므로 장기 예측이 필요하며, 따라서 불확실성을 내포하게 된다.
- 사업으로 파생되는 편익 중에는 계량화가 거의 불가능한 항목이 있다.
- 수송 체계는 다른 경제 체계와 타부분과는 깊은 관련성이 있어 간접 효과를 파악하기 어렵다.

따라서, 편익 항목의 산출과 측정 과정에서는 편익의 창출 과정과 수혜 대상, 편익의 정도(질 또는 양) 및 가치의 측정, 불확실성과의 연관도 등을 면밀하게 검토해야 한다. 투자 사업의 편익을 측정하는 기본 원칙은 다음과 같다.

- 투자 사업의 총 편익(사회적 편익)은 그 사업으로 인하여 영향을 받는 사회 구성원 개개인의 편익 합계이다.
- 사회 구성원 개개인의 편익은 그 사업에 대한 개인의 지불 의사로 표현된다. 즉, 공공 사업의 시행으로 인해 발생되는 편익은 이윤 추구가 기본 목표인 사기업의 경우와는 달리 여러 방면에 걸쳐 나타나며, 편익의 총 가치는 직접 수혜자뿐만 아니라 간접 수혜자에 대한 영향도 포함한 편익(즉, 사회적 편익)임을 의미한다.

(1) 직접 편익과 간접 편익

① 직접 편익

수송 비용의 절감, 수송 시간의 단축, 수송 서비스의 향상 등으로 인한 편리성, 쾌적성, 안전도 등이다.

② 간접 편익

교통망의 개선으로 인한 지역 개발의 촉진, 지역 산업 구조의 개편, 고용 증대, 지역 소득 증대, 시장권의 확대 등 사회, 경제, 환경에 미치는 영향과 소음, 오염, 경관 등 생활 환경에 미치는 영향 등이 있으나 계량화가 쉽지 않다.

(2) 이용자 편익과 비 이용자 편익

① 이용자 편익

개선된 도로시설을 직접 이용하는 계층이 얻는 편익으로 운행비의 절감, 시간단축, 피로경감 및 주행 쾌적도의 증대, 교통사고 감소 등

도로서비스의 향상이라고 할 수 있다.

② 비 이용자 편익

개선된 도로를 이용하지 않는 계층이 얻을 수 있는 것으로 위에서 설명한 간접편익이 대부분 해당된다.

(3) 차량 운행비 절감

도로 사업 투자의 가장 직접적인 편익은 차량 운행비의 절감으로 이는 다른 항목에 비해 쉽게 화폐가치로 산출할 수 있다. 도로 투자 사업과 관련하여 교통량은 성격별로 정상 교통, 전환 교통, 유발 교통으로 분류되며, 이들 교통특성별 운행비 절감에 의한 편익은 다음과 같다.

① 정상 교통량

투자가 이루어지지 않았다 하더라도 자연 추세에 따라 증감하게 될 기존 교통량이다. 이 정상 교통량이 받을 편익은 시설 투자를 하지 않았을 때와 할 때의 차량 운행비의 차이로 산정한다. 한 가지 주의할 것은 시설 투자를 한 경우와 하지 않은 경우의 시점은 동일하다는 것이다. 즉, 시설 투자를 하지 않을 경우라도 교통수요가 증가 추세에 있는 당분간은 대부분의 정상교통량은 늘어날 것이며, 이때 늘어난 교통에 의해 평균 운행비는 증가되지만 시설 투자가 있을 경우 동일한 시점의 교통량에 대해, 개선된 교통여건에 따른 저렴한 운행비를 지불할 수 있기 때문이다.

② 전환 교통량

다른 교통수단에서 또는 같은 교통수단의 다른 노선에서 새로이 투자된 시설로 전환되어 오는 교통수요를 말한다. 전환 교통량의 편익은 기존 시설 이용에 따른 전환비용과 투자된 시설을 이용할 때 비용의 차이를 측정함으로 구한다. 이 편익을 측정하기 위해서는 두 가지 사항을 고려한다.

첫째, 관련 비용은 두 수송 시설에서의 평균 수송비용이 아니고 절감된 수송비용이다. 예를 들어, 철도로부터 고속도로로 일부 교통수요(교통량)가 전환되는 경우, 그 편익을 알기 위해서는 새로운 도로 수송비용을 철도 요금 또는 철도의 평균 수송비용과 비교해서는 안되고 철도로부터 전환된 교통량을 수송하기 위한 철도의 한계비용과 비교해야 한다. 전환된 교통량이 철도의 총 교통량 중 매우 작은 부분이고 철도가 잉여 시설을 가지고 있다면 실제 절약되는 비용은 평균 비용과 비교하였을 때, 나타나는 것보다 적을 것이다. 한계 비용을 정확하게 산출하는 것은 매우 어려운 과정이기는 하지만 획득 가능한 자료를 가장 효율적으로 이용하기 위해서도 이와 같은 개념의 정확한 이해가 필요하다.

둘째, 수송 수단간의 서비스내용이 다르기 때문에 발생하는 문제가 있다. 중요한 것은 수송비용 자체가 아니라 총 배달비용이다. 예를 들면, 고속도로로 전환된 철도 수송 교통량의 비용을 측정하기 위해서는 수송비용 뿐만 아니라 승하차 비용, 파손 비용, 시간의 지연 등과 같은 추가 비용을 감안해야 한다.

③ 유발 교통량

도로 투자를 하기 전에 발생하지 않던 교통수요(교통량)가 시설이 새로이 생기면서 수송비용이 절감됨으로 인해 유발되는 교통량을 의미한다.

따라서, 편익 측정에 있어서 절감된 운행비용 전체를 적용하는 것은 유발교통량이 그러한 비용의 절감 없이는 발생하지 않을 것이기 때문에 타당하지 않으며, 일반적으로 절감된 운행비의 1/2을 편익으로 계산한다.

(4) 계량화 가능 편익과 계량화 불가능 편익

수송 시설의 개선에 의한 편익은 우선 계량화가 가능해야 하며, 화폐 가치로 표현할 수 있어야 경제성 분석이 가능하다.

그러나 편익에는 계량화는 할 수 있으나 화폐가치로 표현할 수 없는 것도 있으며, 또 계량화 및 화폐가치로 전혀 표현할 수 없는 편익도 있다. 예를 들면, 비용의 절약 효과는 간단히 화폐 가치로 표현할 수 있으나, 소음의 감소 효과는 데시벨로 계량화할 수는 있지만 화폐가치로 환산할 수 없다. 또한 여행의 편의도 증진과 같은 항목은 계량화가 불가능하다.

(5) 편익의 계측

도로 사업에 대한 각 편익의 세부 항목은 <표 206.3>과 같으며, 편익을 계측할 때에는 편익이 서로 중복되지 않도록 유의해야 한다.

<표 206.3> 도로사업의 편익 항목

편익 구분	편익 항목	계량화 방법	화폐가치화 방법
이용자 편익	차량 운행비 절감	운행 비용(원)	운행 비용
	운행 시간 단축	운행 시간(시간)	시간의 화폐 가치화
	교통 사고의 감소	재물 피해액(원) 부상 및 사망(인)	재산 피해액 보상비
	통행 안락감 증대	불가능	불가능
비이용자 편익	지역 개발 효과	소득의 증대(원) 지가의 상승(원)	소득 지가
	대기 오염	오염물의 배출량	지가*
	소음	데시벨(db)	지가*

주) *표를 한 항목은 화폐가치화 벙법의 예를 제시한 것으로, 절대적이 아님.

206.4 민감도 분석

(1) 민감도 분석의 목적

공공시설을 운영하는 과정에는 예기치 못한 변동 상황이 발생하며 각종 위험 요소들이 존재한다. 따라서 사업의 타당성을 사전에 평가할 때 이와 같은 변동 상황을 미리 고려하여 이것이 공공 사업의 성패에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하고 그 결과를 최종 결정권자에게 제시하는 것이 중요하다. 이와 같이 장래에 발생 가능한 다양한 변동 상황이 사업에 어떤 영향을 미치는가를 분석하는 것을 민감도분석이라고 한다.

비용·편익 분석은 장래에 발생하게 될 비용과 편익을 사전에 예측하는 것이므로 여기에는 예측상의 오차가 생기기 마련이다. 만약 두 개의 사업 대안이 있다고 할 때, 한 사업의 순현재가치가 다른 사업의 순현재가치보다 상당히 크면서 오차는 매우 작다면 최종 결정권자는 확신을 가지고 이 대안을 선택하게 된다. 그러나 사업의 순현재가치가 아무리 크더라도 오차 역시 크다면 결정권자는 합리적인 결정에 큰 어려움을 겪게 된다.

따라서 민감도 분석을 통하여 사업에 영향을 미치는 주요 변수들이 불확실한 장래 여건의 변화가 분석 결과에 어떤 영향을 미치는가를 분석한다. 일반적으로 민감도 분석에서 고려되는 주요 변수들은 건설비, 교통수요, 사회적 할인율, 기타 관련사업의 변화 등이 있다.

(2) 민감도 분석과 위험도 분석

투자사업의 경제성 분석은 미래에 대한 예측을 근거로 하기 때문에 비용과 편익의 추정은 어느 정도의 오차를 수반한다. 이때 현재 또는 미래의 상황을 적절한 확률분포로 표현할 수 있는 상황을 위험도라 하며, 확률로도 나타낼 수 없는 경우를 불확실성이라고 한다.

경제성 분석에서는 이와 같은 주요 변수의 불확실한 여건의 변동이 분석 결과에 어떠한 영향을 미치는가를 검토하는 것을 민감도 분석이라고 하고, 여건의 변동을 확률 분포로 표현하여 기대치 분석을 하는 경우를 위험도 분석이라고 한다.

예를 들면 어떤 투자 사업의 건설비가 100원이라고 할 때 민감도 분석은 미래의 불확실성을 고려하여 건설비를 80원 혹은 120원이라고 가정하고 이에 대해 다시 내부수익률, 순현재가치를 산출함으로써 경제성 평가결과에 미치는 영향을 검토하는 것이다. 위험도 분석의 경우에는 건설비가 80원이 될 확률이 0.20, 90원이 될 확률이 0.25, 100원이 될 확률이 0.45, 110원이 될 확률이 0.10이라고 할 때 먼저 건설비의 기대치(80×0.20+90×0.25+100×0.45+110×0.10=94.50)를 구하고 이 94.50원에 대하여 다시 내부수익률, 순현재가치를 산출하여 경제성 평가 결과에 미치는 영향을 검토하는 것이다.

민감도 분석과 위험도 분석의 주요 대상은 다음과 같다.

- 공사비
- 유지관리비
- 차량운행비
- 교통량 또는 편익
- 공사시기

이들 변수의 변화는 단독으로 또는 여러 변수의 조합으로 나타날 수도 있으므로, 민감도 분석과 위험도 분석은 사업의 특성에 따라 이들 변수의 중요성 그리고 내포된 불확실성과

<표 206.4> 민감도 분석 결과 예

구분	공사비 증감				교통수요 증감			
	-20%	-10%	+10%	+20%	-20%	-10%	+10%	+20%
총할인비용								
총할인편익								
편익/비용								
NPV								
IRR								

위험도를 감안하여 적절한 대상에 대해 수행해야 할 것이다.

(3) 민감도 분석의 접근 방법

① 주관적 예측

주관적 예측이란 장래에 발생할지도 모르는 변동 상황을 주관적인 느낌으로 예측하고 판단하는 것으로 가장 신속하고 간편한 접근 방법이다. 이 방법은 분석 전문가의 경험과 감각에 의존하는 경우가 많다. 예로서 사업의 비용·편익 분석에 의해 산정된 순현재가치 또는 내부수익률에 ±10%의 오차가 발생할 수 있다고 지적하는 경우이다.

다른 예로는 측정된 순현재가치가 나중의 실제 순현재가치와 10% 이상 차이가 날 확률은 0.05(5%) 이하라고 지적하는 것 등이 이에 해당된다. 주관적 예측 방법은 오차의 예상이 공식적인 계산 과정을 통해 도출되는 것이 아니라 순전히 주관적·경험적 판단에 의해 도출되는 것이다.

② 선택적 민감도 분석

앞에서 설명한 주관적 방법이 순전히 주관적 판단에 맡기는 것이라면, 선택적 민감도 분석이란 객관적인 검토 과정을 거쳐 이루어지는 것으로 여러 가지 가능성 있는 변동상황 가운데서 중요한 상황들을 선택하고 이들의 변화가 사업의 순현재가치와 내부수익률에 어떻게 영향을 미치는가를 밝혀 내는 방법을 말한다. 특히 다음과 같은 상황에 대해서 심층 분석이 이루어져야 한다.

- 산출물의 가격과 산출량이 예상과 달리 변동되었을 때 사업의 타당성은 어떻게 변할 것인가?
- 투입물의 가격과 투입량이 당초 계획과 달리 변동되었을 때 사업의 타당성은 어떻게 변할 것인가?
- 시설의 가동률이 당초 계획과 달라진다면 이것이 사업의 비용과 편익 흐름에 어떠한 영향을 주게 될 것인가?
- 공사 기간이라든가 혹은 시설 가동률을 목표 수준까지 끌어올리는 데 소요되는 시간 등이 예상보다 길어질 경우 이것이 사업의 타당성에 어떠한 영향을 줄 것인가?

③ 일반적 민감도 분석

일반적 민감도 분석은 사업의 순현재가치 또는 내부수익률에 영향을 미칠 수 있는 주요 변수들의 변화가 실제로 발생할 수 있는 가능성을 모두 나열하고 이 가능성 하나 하나에 대하여 확률을 부여함으로써 장래에 발생하는 여러 가지 상황을 종합적으로 정리·분석하는 방법을 뜻한다.

예컨대 선택적 민감도 분석에서는 몇 가지 선택된 주요 변수들의 변화 상황으로 범위를 제한하고 이에 대한 민감도를 계산하는 것이라면, 일반적으로 민감도 분석에서는 주요 변수가 10개이고 변화될 수 있는 상황이 3가지라면 총 310(=59,049) 가지의 변화 상황을 모두 고려하여 이의 효과 및 이에 상응하는 확률을 계산하는 접근 방법을 택한다.

따라서 일반적 민감도 분석은 사업효과에 대한 확률분석이라고 할 수 있으며, 일종의 위험도분석이라고도 할 수 있다.

206.5 경제성 분석 절차 예

본 절에서는 우회도로 건설에 따른 경제성 분석의 과정을 예로 설명한다. 구체적인 수치는 생략하였고, 각 단계별 주요 사항에 대한 설명과 분석표를 추가하였다.

> 본 사례의 대상은 시점인 ○○도 ○○군 ○○면에서 종점인 ○○도 ○○시 ○○동까지의 구간으로 도시부 통과 구간에 대한 대체 우회도로의 건설에 따른 경제성 분석을 수행하는 것이다. 계획 노선은 연장이 39.0km인 4차로도로이다. 계획도로의 목표년도는 개통 후 20년이다.

(1) 평가항목의 구분

도로건설에 따른 효과는 통행시간 단축, 운행비 절감, 교통사고 감소 등의 직접적인 효과와 주변지역 개발, 지역 경제의 활성화 등에 대한 간접효과로 구분할 수 있다. 본 사례에서는 계량화가 쉽고 중복 계산의 위험성이 적은 직접효과만을 다루기로 한다.

- 편익 : 통행시간 단축, 운행비의 절감
- 비용 : 건설비, 유지관리비

(2) 비용의 산출

① 건설비

공사비와 용지보상비를 사업 시행기간인 5년에 대해 산출하였다.

<표 206.5> 연도별 구간별 사업비 산정 표

구 분		1구간	2구간	3구간	4구간	합 계
보상비						
공사비	2000년					
	2001년					
	2002년					
	2003년					
	2004년					
합계						

② 유지관리비

유지관리비는 도로를 최적의 상태로 유지·관리하는데 소요되는 비용이다.

- 유지·관리 행정인건비
- 포장도 보수(표면처리, 덧씌우기, 지포장)
- 구조물 보수(교량, 소음, 배수관 보수)
- 경사면 보수
- 재해 및 훼손 시설의 정비
- 안전시설 정비
- 제설, 노면 청소
- 기타

본 사례에서의 유지관리비용은 3개 노선의 과거 10년간의 보수 실적에 대한 자료의 평균을 적용하였다.

<표 206.6> km당 유지·관리비 실적 표

(단위: 천원/km/년)

연 도	A노선 (km)	B노선 (km)	C노선 (km)	비 고
1990				4차로
1991				4차로
1992				4차로
1993				4차로
1994				4차로
1995				4차로
1996				4차로
1997				4차로
1998				4차로
1999				4차로
차로·km				
차로·km 단가				
평균값				

<표 206.7> 연간 유지관리비 표

구분	1구간	2구간	3구간	4구간	합계
차로수					
차로·km					
적용값 (백만원/차로·km)					
유지관리비 (백만원/년)					

(3) 편익의 산출

① 차량 운행비 절감

차량운행비는 도로의 경제성을 평가하기 위한 편익 산출의 가장 중요한 요소로서 크게 변동비와 고정비로 구분된다.

- 변동비 : 연료비, 윤활유비, 타이어 마모비, 차량의 유지비 및 정비비
- 고정비 : 운전기사와 조수의 임금, 보험료, 차량의 감가상각비

차량운행비의 산출방식은 먼저 도로 및 교통여건의 영향을 고려하지 않고 이상적인 도로상태에서의 운행비용을 산정하고, 다음에 각 도로구간별로 도로조건 및 교통조건에 의한 주행속도를 기준으로 추가비용을 산출한다.

<표 206.8> 차종별 속도별 차량운행비 표

(단위 : 원/대·km)

속도 (km/시)	승용차	소형버스	보통버스	소형화물차	보통화물차	대형화물차
8						
16						
24						
32						
40						
48						
56						
64						
72						
80						
88						
96						

② 시간비용의 절감

통행시간의 화폐가치화에 있어서 일반적으로 사용되는 방법은 한계임금률방법과 한계교환율 방법의 두 가지가 있다.

• 한계임금률방법

시행자의 임금수준 측면을 고려한 것으로서 평균임금을 산출하여 월평균 근무일수, 일평균 근무시간에 의거하여 시간가치를 계량화하는 방법이다.

• 한계교환율방법

여행자 개개인에 대한 통행 행태의 분석과정을 이용하여 시간가치를 추정하는 방법이다.

본 사례에서는 한계임금률법을 이용하여 시간가치를 분석한다.

<표 206.9> 교통수단별 시간가치 표

구 분	소득수준 (만원/인・월)	평균승차인원 (인/대)	시간가치 (원/대・시간)	비 고
승용차				
버스				
트럭				

시간비용의 절감액은 차량운행비 절감편익과 동일한 방법에 의해 차량의 총 운행비용을 산정한다.

여기서 구한 총 차량 운행시간을 여객 수단별 시간가치를 적용하여 총 시간가치 비용으로 산출한 후 사업시행시와 미시행시의 차이로부터 산출한다.

<표 206.10> 연도별 차량운행 km 및 차량시간 추정 표

연 도	계획노선 미 건설시			계획노선 건설시			시 행 효 과		
	속도 (km/시)	차량km (천대km)	차량hr (천대시)	속도 (km/시)	차량km (천대km)	차량hr (천대시)	속도 (km/시)	차량km (천대km)	차량hr (천대시)
2005년									
2010년									
2015년									
2020년									
2025년									

<표 206.11> 계획 노선 건설에 따른 편익 산출 표

구 분	2005년	2010년	2015년	2020년	2025년	계
운행비절감						
시간가치절감						
합계						

(4) 경제성 평가

계획 노선의 건설에 따른 편익 및 비용항목을 이용하여 할인율에 따른 경제성 분석을 수행한다.

<표 206.12> 경제성 분석 결과 표

(단위 : 백만원)

구 분	할인율(%)	총할인비율	총할인편익	편익/비용	NPV	IRR(%)
시간가치 포함	11					
	12					
	13					
	14					
	15					
시간가치 미 포함	11					
	12					
	13					
	14					
	15					

206.6 재무분석

도로부분 투자 사업의 사업주체는 일반적으로 중앙정부 및 지방자치단체, 도로공사 등의 정부투자기관 또는 민간단체 등의 3가지로 구분할 수 있다. 중앙정부 및 지방자치단체가 도로투자사업을 시행할 경우에는 정부가 해당 투자에 대하여 수입을 기대하는 것이 아니므로 기업의 회계와 같은 재무적 타당성 검토는 필요하지 않으며 도로공사 등의 정부투자 기관이 사업의 주체가 되는 경우에도 도로 사업의 공공성에 비추어 일반 기업과 같이 영리성이 주목적이 아닌 경우에 재무분석은 필요하지 않을 수도 있다.

다만, 시설의 유료화 계획을 검토할 경우에는 재무적 타당성 검토가 필요할 수도 있다. 민간단체가 도로투자사업의 주체가 되는 경우에는 재무적 타당성 검토가 필수적이지만 도로 및 교량의 통행료를 징수하는 것에 대해 이견이 많으며, 통행료 수준이 영리성보다 공공성에 치중하여 결정되므로 재무적 타당성을 입증할 수 있을 만큼 충분한 수준이 되는 경우가 거의 없는 것이 사실이다.

(1) 재무분석의 정의

기업의 현재와 과거의 재무상태나 경영실적을 파악하여 미래의 경영정책을 위한 의사결정에 필요한 기초자료를 제공하는 기법이다.

(2) 재무분석의 목적

재무분석과정은 사업의 재무적 타당성을 따져 보는 일련의 과정이다. 재무분석의 목적과 용도는 다음과 같다.

【목적】

- 사업의 장래 비용과 수입의 측정
- 사업의 수익성(채산성) 평가
- 사업의 자금 운용의 평가

【용도】

- 사업의 재무적 상대 및 절대 평가
- 사업 실행에 따른 장래의 회계상 상황판단
- 사업 실행에 필요한 자금 조달 계획의 수립

(3) 재무분석의 방법

재무분석은 기업단위의 자금운용상태를 평가하는 방법과 도로건설 등 개별투자사업별 수익성을 평가하는 방법으로 대별되는데, 도로건설사업 등은 개별투자사업으로 보아 수익성 분석을 통한 재무적 타당성을 검토하는 것을 원칙으로 한다.

보편적으로 활용하는 재무적 타당성 분석의 기법은 <표 206.13>과 같다.

(4) 재무분석과 경제성 분석의 비교

재무분석의 특성을 경제성 분석과 비교하여 설명하면 <표 206.14>와 같다.

<표 206.13> 재무분석 기법의 종류

구 분		분 석 방 법
재무제표로 기업측면을 평가	대차대조표 분 석	• 기업의 자산, 부채, 자본항목을 투자사업 전·후로 비교하여 부채비율 등 경영지표를 평가
	손익계산서 분 석	• 일정기간(주로 1년) 동안의 투자사업 운영결과를 수입·비용 명세서로 작성하여 당기순이익을 산출하고 매출가격의 적정성 등을 평가
개별투자사업의 평 가	재무상태 변동분석 (현금흐름분석)	• 투자사업 수행을 통한 운영실적, 대차대조표상의 현금변화, 연간 자본비용의 소요 및 조달 가능성을 판단하기 위해 자금의 유입·유출을 파악하는 자금운용계획
	손 익 분 석	• 수입(운영수입과 부대수입)과 비용(운영비, 자본비용)으로 투자사업의 손익상태를 분석
	수익성 분석	• 투자사업으로부터 기대되는 미래의 수익성을 측정 • 재무적 내부수익률(FIRR)법과 순현재가치(NPV)법으로 분석

<표 206.14> 재무분석과 경제성 분석의 비교

재 무 분 석	경 제 성 분 석
• 선정된 최적대안의 사업성 검토시 사용 • 재원조달계획이 추가됨 • 수익성 중요 • 유료 도로 건설시 사용	• 대안간의 비교에 주로 사용 • 공공 사업과 같이 수익성을 고려할 필요가 없는 경우

(5) 도로시설의 유료화

① 시설 유료화의 필요성

도로 등 수송부문의 투자는 수송 그 자체에 목적이 있는 것이 아니고 원활한 수송수단의 제공에 따른 산업생산의 증대 및 지역개발 증가 등 관련 타부문의 효과를 증대시키고 활동을 원활히 하는데 그 목적이 있으므로 사회, 경제적인 측면에서 계측되는 편익으로 그 가치가 평가된다. 이러한 편익은 국민 모두가 개선된 시설을 최대한으로 이용할 때 극대화된다고 볼 수 있으며 이용 증진을 위해서는 시설이 항상 개방되어 있어야 한다.

그러나, 투자사업이 국가 경제적으로는 충분히 가치가 있다고 판단되더라도 재원의 부족으로 인하여 시행을 못할 경우와 기존 시설의 기능 유지를 위한 유지보수비 등의 재원 조달 방법으로 시설의 유료화를 검토할 수 있다.

② 시설 유료화 검토사항

도로의 유료화는 대상 시설의 투자비와 운영 유지비 중 일부 또는 전부를 시설의 이용자에게 부담시키기 위한 방법으로 먼저 이용자가 부담해야 할 비용을 연도별로 예측하고, 통행료 수입을 추정하여 투자비 상환계획을 통한 재무적 타당성을 평가하는 과정으로 검토된다.

③ 비용의 추정

가. 시설 유료화 검토의 대상 비용 항목은 건설비, 유지관리비, 영업비이며 이들 비용은 각종 세금을 포함한 실제 거래비용으로 적용된다.

나. 건설비

건설비는 투자시설의 세부 실시설계 금액(또는 시설이 완공되었을 경우 정산금액)을 공종별 사용기간에 따라 정액법(定額法) 또는 정률법(定率法)으로 연도별 감가상각비를 산출한다.

다. 유지관리비

유지관리비는 일상적인 시설의 운영 유지에 소요되는 비용이며, 교통량 증가로 인한 비용의 증가를 감안해야 한다.

라. 운영비

운영비는 유료화를 위한 시설(톨게이트, 영업사무소 등)의 투자비와 유지비, 인건비 등이며 연도별 비용의 순증가는 도로 유지관리비와 같은 방법으로 적용한다.

④ 수입의 추정

통행료의 수입은 이용자수(교통량)와 통행요금 수준에 의하여 추정되며, 통행요금 수준은 이용자가 유료시설을 이용하여 얻을 수 있는 편익의 범위 내에서 관리자의 서비스 제공에 필요한 적정 원가를 보상하는 수준에서 결정한다.

수입의 추정은 통행료 징수방법(개방식 방법과 폐쇄식 방법)에 따라 다르며 다음과 같이 개략적으로 추정할 수도 있다.

가. 폐쇄식 요금 징수방법인 경우

연간 통행료 수입(원)=
연평균일교통량(차종별, 대/일)×
통행요금(차종별, 원/대・km)×
도로연장(km)×365일

나. 개방식 요금징수방법일 경우

연간 통행료 수입(원)=
톨게이트 통과차량 대수(대/일)×
해당통행요금(원/대)×
요금징수소 수×365

수입추정을 위한 교통량 자료는 계획사업의 수요추정 결과를 이용하고 통행요금은 유사한 기존 유료시설의 요금수준을 적용하거나 특별한 경우 별도의 가정에 의하여 추정한다.

⑤ 투자비 상환계획

투자비의 상환은 연간 수입액에서 같은 해에 발생한 비용을 제외한 금액 즉, 상환 가용액으로 감가상각액에 의하여 결정된 매년도의 건설비 회수액을 상환한다.

206.7 투자 우선 순위

선정된 대안의 NPV가 0보다 크고, B/C가 1보다 크며, IRR이 적용 할인율보다 크면 그 대안은 타당성이 있다. 그러나 현실적으로 제한된 가용 재원을 더 효율적으로 사용하기 위해서는 상호 배타적이 아닌 사업의 경우에는 투자 우선 순위를 정할 필요가 있고, 상호 배타적인 사업인 경우에는 단계적 건설을 고려할 필요가 있다.

따라서 과업 구간을 몇 개의 구간으로 구분한 후 구간별로 경제성 분석을 수행하여 투자의 우선 순위를 결정하는 것이 가용 재원의 효율적인 사용 방법이 될 수 있다.

도로투자 사업에서 구간별 투자 우선 순위를 결정하는 것은 가용한 재원에 한계가 있으며, 구간별로 상호 배타적인 사업이 아니므로 투자 우선 순위는 IRR과 B/C 값에 의하여 결정하되, IRR 값을 우선으로 하여 결정한다.

<표 206.15> 투자우선순위 결정 기법의 적용

구 분	적 용	비 고
편익비용비(B/C)	• 구간별 경제성 분석의 지표	• 평가 척도가 동일하여 구간별 경제적 타당성 기준이 될 수 없음
내부수익율(IRR)	• 상호배타적이 아닌 대부분의 사업	• 비용과 편익을 서로 같게 하여 지표의 유용성 제고

<표 206.16> 구간별 투자우선 순위 결정 표

구 간	총할인비용	총할인편익	편익/비용	IRR(%)	투자우선순위
1구간					
2구간					
3구간					

206.8 최적투자시기 결정

경제적 타당성이 인정되고 우선 순위가 높은 사업이라 하더라도 그 사업을 연기하여 건설하는 경우 더 유리한 결과가 나타나는 경우가 많다. 일반적으로 경제성 분석은 사업을 시행하는 경우와 시행하지 않은 경우를 비교하는 것이다. 그러나 특정사업을 예를 들면 5년이라는 시차를 둔 후에 건설하는 대안을 검토하면 당장 시작하는 것이 더 유리하다는 결과가 나올 가능성이 있을 수도 있으므로 사업 투자 시기의 검토가 필요하다.

최적 투자 시기를 결정하는 두 가지 방법을 소개하면 다음과 같다.

사업의 시행을 1년씩 연기시켜 가며 검토하여 순현재가치(NPV)가 최대가 되는 시기를 찾는 방법과 사업 시행을 1년씩 늦추어 가며 초기 연도 수익률(FYRR)이 적용 할인율을 초과하는 연도를 찾아내는 방법이다. 건설을 연기할 경우 건설비를 그 동안 다른 용도로 이용할 수 있으므로 기회 비용에 해당하는 만큼의 건설비가 절감되며, 반면에 연기된 기간 동안의 편익이 감소하게 될 것이다. 따라서 건설을 1년씩 연기시키는 데에 따른 건설비의 절감분과 편익의 감소분을 비교하여 후자가 크면 사업을 연기하고, 전자가 크면 사업을 연기하지 않는 것이 타당하다.

<표 206.17> 최적투자시기 결정 예(FYRR이용)

연 도	건 설 비		편 익	개통초기 연도 수익률(B/A)
	불변가	할인가(12%)		
1	4,000	5,620	-	-
2	30,000	37,632	-	-
3	30,000	33,600	-	-
4	-	-	4,100	5.3
5	-	-	5,600	7.3
6	-	-	7,600	9.9
7	-	-	10,900	14.2
8	-	-	13,200	17.2
9	-	-	16,700	21.7
10	-	-	21,300	21.7
계	64,000	76,852(A)		

(분석) 건설기간이 3년일 경우 제4차 연도가 사용 첫해가 되며 그 후 각 연도별 편익(B)을 건설비(A)로 나누어 개통 연도 수익률(FYRR)을 구한다. 사업의 수익률이 12% 이상이어야 경제성이 있다고 한다면 이 사업은 제4차 연도에 착공하여 제7차 연도부터 개통함이 초기 연도 수익률로 보아 타당하다.

206.9 종합 평가

국가의 공공 투자 사업은 사기업의 경우와 달리 지향하는 목적이 다양하므로 평가의 기준도 다양하다. 앞에서 설명한 경제성 분석은 사업에 소요되는 사회적 비용과 사업으로 인하여 발생할 사회적 편익을 비교·분석하는 것이므로 사업의 효과에 대한 분석에 불과하다고 말할 수 있다. 즉, 국가는 그 사업으로 인하여 민간 부문에 미칠 다양한 효과에 대하여도 책임이 있으므로 투자사업의 종합평가에는 다음과 같은 사항을 추가로 검토하여 정책 결정을 유도해야 한다.

① 경제성 분석의 결과는 일반적 분석 지표인 순현재가치, 편익·비용비 또는 내부수익률로 나타나는데, 여기서 평가가 끝나는 것은 아니다. 경제성 분석에는 화폐가치화할 수 없는 항목이 제외되며, 소득의 배분에 대하여 분석할 수 없으므로, 경제성 분석의 결과에는 반드시 이와 같은 한계점에 대해 충분히 기술하여 정책 결정시 참고가 되도록 해야 한다.

일반적으로 도로 투자사업의 경제성 분석은 운행비의 감소나 시간의 단축 효과만이 손쉽게 화폐가치화할 수 있으므로, 계량화와 화폐가치화할 수 없는 간접효과, 즉 지역개발 효과나 환경에 미치는 영향 등이 제외되는 경우가 많으므로 이와 같은 효과에 대해서도 객관적으로 검토해야 한다.

뿐만 아니라 이 같은 효과들이 어떤 부류의 사람들에게, 어떤 지역에, 또한 어떤 산업부문에 어느 정도의 영향을 미치게 될 것인가에 대하여도 검토해야 한다.

경제성 평가는 대체로 장기적 미래 예측에 근거를 두고 있으므로 미래의 각종 불확실성에 대한 검토도 빼놓을 수 없다. 이에 대비하여 민감도분석을 하므로, 이 분석결과와 함께 미래의 불확실성이 개재된 변수에 대하여도 종합적으로 기술해야 한다.

예를 들면 비용·편익비가 1.0 이하라도 경제성 분석에서 제외된 간접효과가 상당 부분 예상되거나, 그 효과가 사회복지에 크게 이바지할 것으로 나타난다면 그 사업은 채택될 수도 있다. 반면에 비용·편익비가 1.0 이상이라 하여도 미래의 변수에 많은 불확실성이 개재되어 있고 계량화할 수 없는 부정적인 요소들이 많다면 그 사업은 보류될 수도 있다.

② 재무분석이나 재원의 조달 방안은 경제성 분석과는 별개의 문제이나 사업의 주체에 따라서는 중요한 평가기준이 될 수도 있다. 경제성 분석은 재원조달이 일차적으로 가능하다는 전제 아래 검토되는 것이며, 주어진 재원의 한계 내에서 최적화 방안을 찾는 것이라기보다는 설정된 몇 개의 대안 중에서 최적대안을 선정하는 것이므로 재무 여건 즉, 재원 이용의 효율성 및 자금조달방안 등을 포괄적으로 나타내주지는 못한다.

따라서 경제성 분석과 별도로 재무분석이나 재원조달 방안의 검토가 필요할 수 있으며, 유료도로의 경우에 도로통행료수입 예상액은 부채 상환 능력과 직결되므로 평가항목의 하나가 된다.

③ 공공사업이 환경에 미치는 영향에 대한 국민의 관심이 높아지고 있을 뿐만 아니라 환경영향평가도 법으로 실시하게 되어 있으므로 환경에 미치는 영향도 충분히 고려해야 한다.

환경영향평가는 해당 공공사업이 경제, 사회 및 자연환경의 전반적인 부분에 미치는 영향을 각 부문별 및 항목별로 세분하여 개별적으로 사업의 영향을 분석하는 것으로 사업의 시행

전에 수행하면 경제성 분석 결과와 함께 종합 평가에서 참고로 할 수 있다.

이상에서 기술한 바와 같이 공공사업의 평가란 매우 힘들고 평가자의 주관에 의하여 좌우될 수 있는 여지가 많다. 따라서 평가는 해당 사업부문의 전문가가 수행해야 하며, 앞에서 언급한 사항들에 대하여 가능한 한 객관적이고 종합적인 입장에서 비교·검토함으로써 정책결정자에게 충분한 정보를 제공해 줄 수 있도록 해야 한다.

206.10 생애주기비용 분석

설계단계에서부터 건설 공사비 및 도로의 수명기간 전체에 걸친 유지·관리비용까지 포괄하는 개념을 도입한 생애주기비용(Life Cycle Cost ; LCC)의 분석이 필요하다. 건설비는 비교적 저렴하지만 유지관리비용이 높은 도로가 건설되어 국가의 예산이 낭비될 수 있기 때문이다.

LCC의 시행으로 인한 기대효과로는 건설사업의 타당성 평가에 요구되는 비용정보를 제공하기 때문에 제안된 사업의 실행여부를 결정하거나 대안비교 및 자산관리에 유용하게 적용할 수 있다.

비용항목의 정의가 어느 정도 가능한 설계단계에서 LCC분석이 가장 많이 활용되며 설계가치공학 도입시 여러 개의 설계 대안 중 최적대안을 선정하는 수단으로 활용한다.

LCC의 구체적인 내용은 향후 관련제도의 도입 및 기술개발에 따라 보완하도록 하고, 여기에서는 기본 개념만 소개하였다.

10.1 LCC의 개념

(1) LCC 분석의 정의

각각의 도로설계 대안에 대하여 각종 주요 비용을 경제수명의 범위에 걸쳐 등가 환산한 값으로 각 대안에 대한 경제성을 평가하는 분석 기법이다.

LCC기법에 중요한 포인트는 각 대안의 경제성을 평가할 때 시간적 등가를 환산하는 것이다.

(2) 주요 비용 요소

① 도로관리 기관의 건설 및 유지관리비용

- 포장, 보도, 자전거도로, 배수, 구조물 표지판, 신호기 등의 유지관리비용
- 도로신설, 복구, 설계, 개선비용 : 계획, 설계, 조달, 건설자체의 비용 그리고 감독관 관리 측면을 모두 포함

② 도로이용자비용

차량운영비용, 시간지체비용(혼잡과 도로공사에 기인한 지체 포함), 교통사고비용 등

③ 기타

- 환경비용, 제도적인 비용, 도로설비에 관련된 비용 등
- 농업, 산업 혹은 개발 이익 등

10.2 LCC의 진행절차

(1) LCC의 분석

① 기존 시설물에 대한 자료를 근거로 시설물 사용시 발생하는 실제 비용을 계산한다.

② 신규 시설물 설계시 비용절감 방안을 결정한다.

(2) LCC의 계획

① 시설물 시공시 소요될 총 비용을 계산한다.

② 초기 공사비와 유지관리비를 계산하여 상호 비교한 후 최적안을 선택한다.

(3) LCC의 관리

① LCC 분석에 의해 계산된 유지관리비 절감방법을 고찰한다.

② LCC 분석에 의해 사용중인 시설물의 유지관리비를 절감하고 다음 과업에 효과적인 LCC 기법을 적용한다.

207
환경 친화적 도로건설

207.1 개요

자연 환경 보전에 대한 관심이 갈수록 고조되고 있으며 생태계를 잘 보전하려는 노력이 계속되고 있다. 도로를 건설할 때에는 자연과의 조화를 중요한 목표로 인식하고, 도로 주변의 자연 파괴를 최소화해야 한다.

자연과의 조화를 위한 환경도로를 건설하기 위해서는 도로계획과 설계에 관련된 모든 사람이 자연을 충분히 이해하고, 자연환경을 보전·창출하기 위한 구체적인 방법을 마련하기 위한 노력을 계속해야 한다.

207.2 도로가 자연에 미치는 영향

2.1 식물에 대한 직접적인 영향

도로를 건설할 때에는 그 규모에 따라 차이는 있지만 일정량 이상의 토지가 필요하다. 이는 도로 용지 뿐만 아니라 도로건설에 필요한 자재 적재를 위한 것도 있다. 이 때 이들 토지에 자라고 있던 식물들은 공사와 더불어 제거하게 된다.

2.2 동물에 대한 직접적인 영향

동물의 생활·행동권 내에 도로 시설이 출현했을 경우, 생활권과 행동권이 분단되어 물과 먹이 환경, 번식지 등에 접근하기 어려워 진다. 도로의 건설로 서식지를 분단당한 동물은 생활을 유지하기 위해 새로운 서식지를 찾아 어쩔 수 없이 이동하거나, 또는 위험을 무릅쓰고 도로를 횡단하려 한다. 동물이 도로를 횡단할 경우 자동차와의 충돌사고를 일으킬 가능성이 높으며, 이때 동물이 죽게되는 경우가 대부분이다.

2.3 각 환경요소에 대한 영향

(1) 대기 및 기상

도로가 건설되면 일조 조건이 변화하거나 바람의 흐름이 변화하여 영향 지역 내의 기온·습도 등 기후의 변화와 대기오염물질(아황산가스, 질소산화물)의 증가로 도로와 접한 수목의 고사와 2차적으로 임연(林緣) 군락의 변화를 초래한다.

(2) 수자원 환경

도로 시설이 출현하면 수맥이 단절되거나 지하 수위가 변화하는 등, 수자원 환경이 변화할 수 있다. 모든 생명체는 물에 의존하여 생활하고 있으므로 수자원 환경이 심하게 변화할 경우, 기존의 생명체가 멸종되거나 일부 동물이 다른 지역으로 생활권을 이동해야 하는 상황이 발생될 수도 있다. 특히 산간 지역에 도로가 건설될 경우 그 주변의 작은 습지 등에서 이러한 영향은 심화된다.

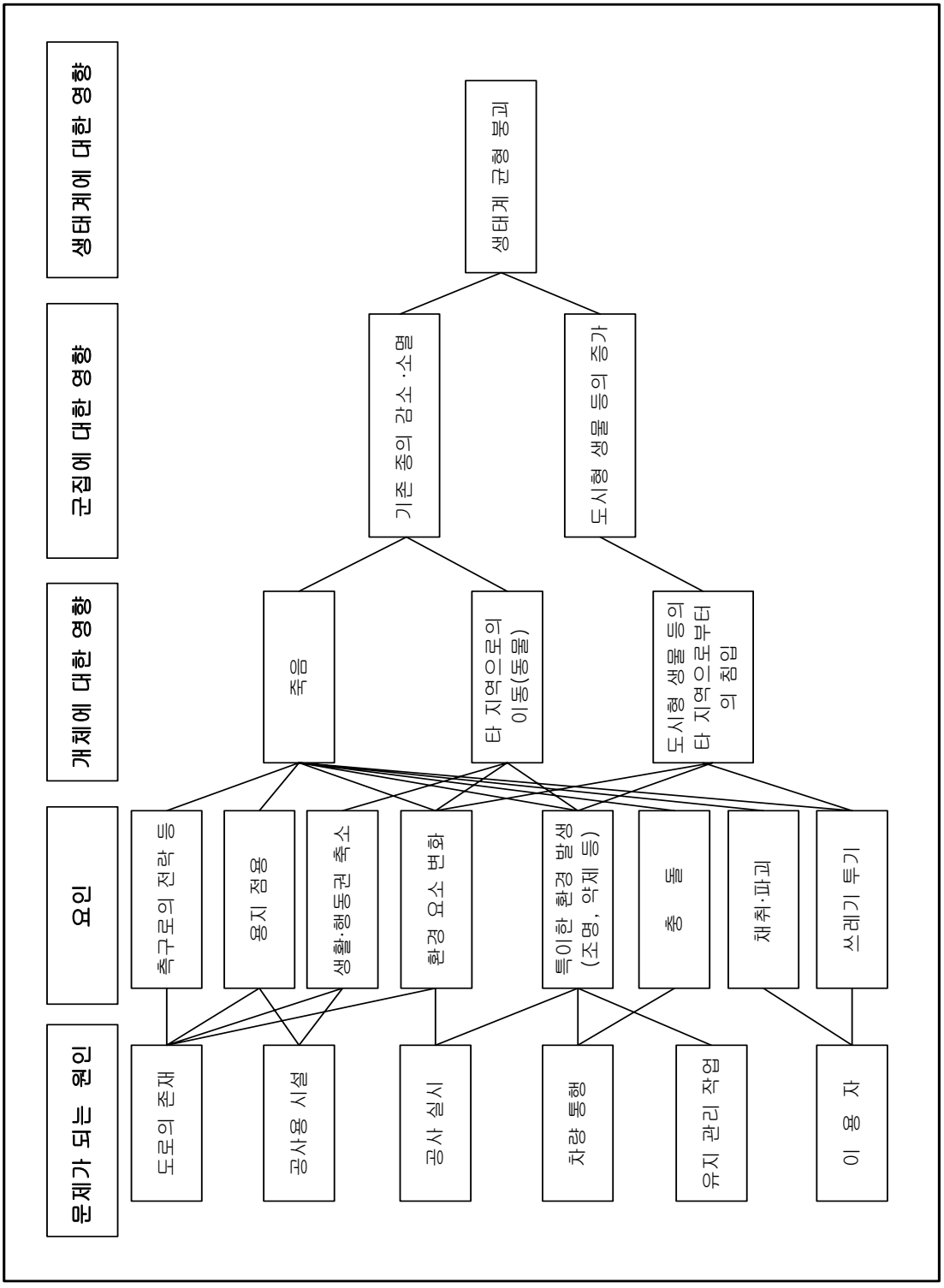
(3) 토양

도로건설시 제거된 표토의 부적절한 관리는 유실에 따른 주변 하천의 오염을 유발하여 결국 수서생물의 서식에 영향을 초래한다. 또한, 심각한 영향은 아니나 타 지역에서 유입된 성토재(토양)는 이질의 식물 종자나 토양미생물을 포함하고 있어 그 지역에 평형을 이루던 생태계의 균형을 변화시킬 수 있다.

2.4 생태계 전체로의 영향 확대

앞에서 살펴본 몇 가지 영향은 단기적이고, 미시적인 것으로, 자연의 일부에 해당하는 영향이었다. 그러나 생태계 전체를 고려했을 때, 그 일부의 문제가 다른 생명체 전체에 영향을 미치고, 결국에는 생태계 전체에까지 영향을 주게 된다.

도로의 건설로 환경에 미치게 될 영향은 직접적으로는 식물의 경우 고사, 동물의 경우 충돌사나 타 지역으로의 이동을 생각할 수 있다. 개체에 대한 영향이 거듭되면 종군에 영향을 미치고, 전체적으로 종을 유지할 수 없을 정도로 개체수가 감소하면 그 생물종은 그 지역에서 생존할 수 없게 된다. 한 종이 그 지역에서 소멸되면 거기에 의존하여 생활했던 생명체에도 영향을 미친다. 그리고 먹이사슬로 연결되어 있는 생명체에게로 점차 영향을 미쳐 시간이 지나면서 점차 그 영향이 확대된다. 이때 도로 주변의 열악한 환경 속에서도 생존할 수 있는 새로운 종의 침입이 시작되어 기존에 서식하고 있던 생명체의 수는 감소하고, 새로운 종이 증가하는 현상이 발생한다. 그 결과 생태계의 균형이 파괴된다. <그림 207.1>은 도로가 자연 환경에 미치는 영향을 각 단계별로 나타낸 것이다.



<그림 207.1> 도로가 자연환경에 미치는 영향

207.3 도로 사업 절차에 따른 환경도로 고려사항

환경도로란 주변 자연 환경과 공존·조화를 이루도록 배려한 도로를 말한다. 도로 정비에는 타당성조사, 기본설계, 실시설계, 시공, 유지 및 관리 단계가 있기 때문에 각 단계별로 조사, 대책을 검토할 필요가 있다.

3.1 타당성조사 단계

이 단계는 최적 노선대를 선정하는 단계로서 법률 등에 근거한 지정지역과 희귀종·중요종의 생육지·서식지를 문헌 조사 등을 통해 명확히 파악하고, 이러한 지역의 노선 통과는 가능한 피하도록 한다.

3.2 기본설계 단계

이 단계는 최적 노선을 선정하는 단계로서 현지 조사 등을 통해 지역의 자연 환경을 잘 파악해야 한다. 또한 노선을 계획할 때 보전지를 피하도록 하고, 부득이하게 통과해야 하는 구간에서는 선형과 도로 구조를 달리 할 필요가 있다.

3.3 실시설계 단계

이 단계는 시공을 위한 구체적인 도로구조를 결정하는 단계로서 자연 보전 대책을 검토하기 위한 조사와 그 결과에 따른 구체적인 내용 그리고 구조 검토가 필요하다. 구체적으로는 도로구조 형태의 형식고려, 동물의 이동 경로 확보, 동물의 침입을 방지하기 위한 배려, 측구 등에 대한 배려, 도로조명과 전조등으로 인한 영향저하를 위한 배려, 대체 서식지 정비, 표토의 복원 활용, 이식, 기존 종을 이용한 식재, 사면 경사완화에 따른 고목(高木) 식재 등을 들 수 있다. 자연환경을 조성하는 방법을 검토하는 것도 이 단계이다.

3.4 시공단계

시공단계에서는 지금까지의 설계 내용에 따라 현지 건설 공사를 위한 구체적인 작업을 하게 된다.

따라서, 이 단계에서는 주변의 자연환경에 영향을 미치지 않도록 오·탁수의 유출방지 대책과 폐기물의 자연환경 유입을 적극적으로 차단하고, 공기, 공정 등의 조절을 통해 야생동물의 서식에 부정적 영향을 줄이도록 한다. 예를 들어 인근 수림에 서식하는 양서·파충류 및 포유류의 산란이나 분만에 영향을 끼치지 않도록 한다. 또한, 일시적으로 개설된 공사용 도로는 수목을 이용하여 녹화·복원을 실시한다.

3.5 유지 및 관리 단계

유지 및 관리 단계는 도로의 공용 후 구조물이 확실히 제 기능을 발휘하도록 보수·개선하는 단계로서 이 단계에서는 자연 환경을 배려한 유지 관리를 실시함과 동시에 보전·창출 효과와 영향을 조사·확인하고, 문제가 발생했을 경우를 위한 새로운 대응책을 검토할 필요가 있다.

207.4 환경도로 건설 기법

4.1 도로 구조의 형태와 형식

도로 구조의 세부사항을 검토할 때는 자연환경에 미치는 영향에 대해 배려하고, 가능한 변화가 적은 형태·형식을 채택한다.

설계단계에서는 선정된 노선을 조사·측량하여 구체적인 선형, 도로 구조를 설계하게 되는데, 이 단계에서 종단 경사와 구조를 고려한다면 가능한 자연을 적게 훼손할 수 있다. 예를 들면 변화량을 줄이기 위한 종단 경사를 채택하거나, 절토와 성토 폭을 짧게 하기 위해 옹벽 등의 구조물을 채택하는 것 등을 들 수 있다.

장대 성토사면으로 인한 주변의 환경 변화를 피하는 방법으로는 사면 경사를 급하게 하여 지형의 변화를 억제할 수 있는 보강토 옹벽 등을 채택하는 방법과 식생의 복원을 촉진시키기 위해 콘크리트 블록 대신 사면을 계단 모양으로 녹화하거나 녹화 블록으로 녹화하는 등의 대책을 생각할 수 있다. 경우에 따라서는 경사를 완만하게 하여 키가 큰 나무를 심거나 절토사면을 라운딩하여 자연 식생을 회복하는 대책도 생각할 수 있으며, 지형과 지역 등에 따라 종합적으로 검토한다.

4.2 동물의 이동 경로 확보

도로는 선(線)적으로 연속된 구조체이므로 한 지점에 많은 변화가 없더라도 결과적으로는 동물의 생활권을 축소시킬 수 있다. 특히 이동범위가 비교적 넓은 중형 이상의 포유동물이 저성토로 연속된 도로를 횡단하기 위해서는 도로 내로 침투하지 않을 수 없다.

동물류의 이동 경로 특성 중 하나로 물가와 숲을 잇는 이동을 들 수 있다. 이것은 일반적으로 등고선과 직교하는 방향의 움직임이다. 일반적으로 도로는 등고선을 따라 횡방향으로 건설되는 경우가 대부분이므로 이 경우 결과적으로 도로가 동물의 이동을 방해하게 된다.

따라서, 도로가 자연환경이 양호한 지역을 통과할 경우 동물류의 이동을 확보할 것을 염두에 두고 도로구조를 검토할 필요가 있다. 이를 위해서는 사전에 동물의 이동 경로 현황에 대하여 조사해야 한다. 이 조사를 토대로 습지는 가능한 교량을 통과시키거나 박스형 칼버트 혹은 관거(管渠) 등을 가능한 많이 설치하는 등의 대책을 채택한다.

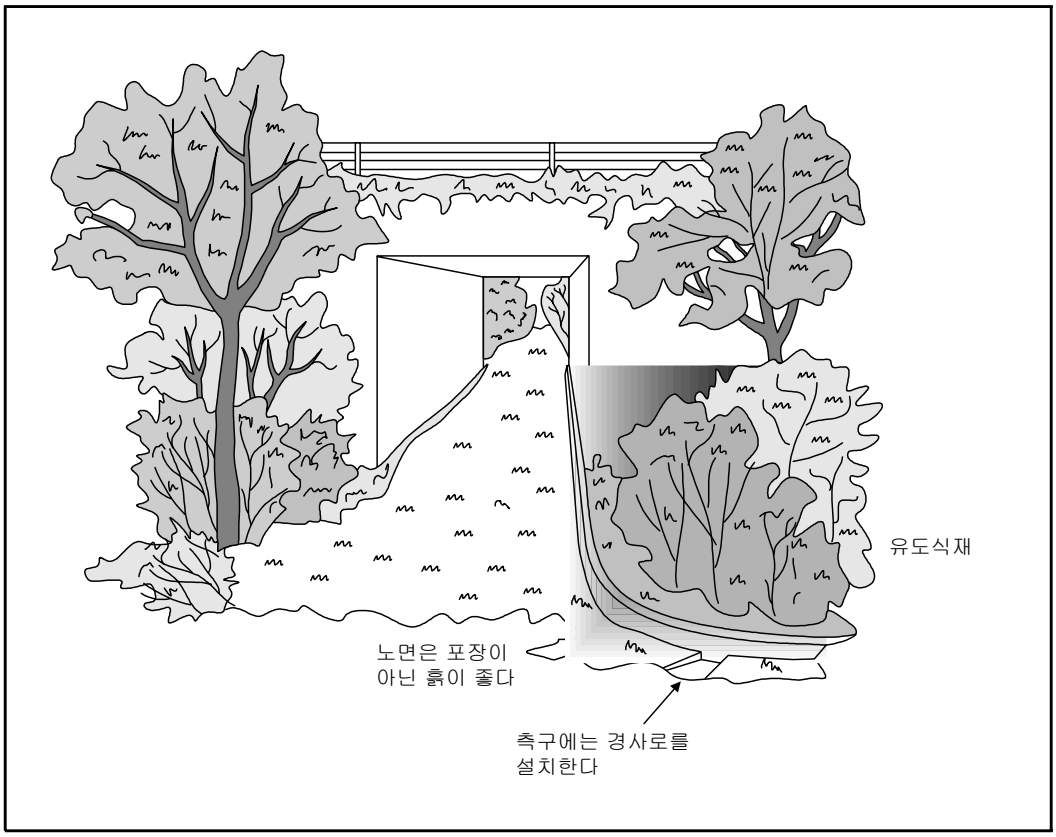
동물의 이동 통로를 확보하기 위한 방법으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 박스 칼버트
- 파이프 칼버트
- 소동물을 위한 횡단 유도로
- 교량 구조
- 오버브릿지
- 조류를 위한 횡단 유도 식재

4.2.1 박스 칼버트

도로가 수로나 작은 도로와 교차할 때에 설치하는 박스 칼버트(박스형 지하도)는 본래의 역할에 그치지 않고 너구리, 족제비, 담비, 야생 토끼 등 중형 포유류의 이동에 자주 이용되는 것으로 알려져 있다. 환경도로를 건설할 때에는 원래의 역할과 더불어 주변에 서식하는 동물의 이동을 고려한 박스 칼버트를 적당한 곳에 설치하는 것이 바람직하다.

<그림 207.2>는 박스 칼버트의 구조를 나타낸 것이다.



<그림 207.2> 박스 칼버트 구조

(1) 설치위치

박스 칼버트는 야생동물이 이용했을 것으로 여겨지는 동물용 길을 연결시키는 형태로 설치하는 것이 가장 이상적이다.

(2) 설치시 유의 사항

① 도로 주변의 숲과 박스 칼버트의 거리를 짧게 하여 동물이 마음놓고 이용할 수 있도록 인접 사면에 유도 식재를 한다.

② 사슴과 멧돼지가 이용할 수 있도록 하기 위해서는 폭, 높이 모두 4m 이상 필요하다.

③ 노면은 흙이 좋다.

④ 너구리와 족제비 등은 박스 칼버트에 병설된 측구를 자주 이용하기 때문에 경사로를 설치하여 이들 동물의 이동이 수월하도록 배려한다.

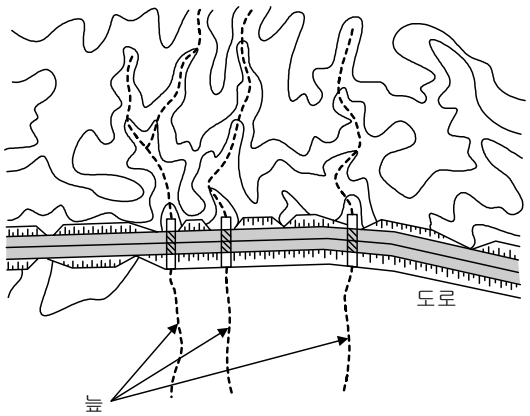
⑤ 측구내 수량이 많지 않을 경우에는 동물이 다리를 적시지 않고 통행할 수 있도록 측구 바닥에 작은 단을 설치하는 방법도 효과적이다.

4.2.2 파이프 칼버트

배수형 파이프 칼버트는 너구리, 담비, 족제비 등 중소형 동물의 이용로로 이용되고 있다고 한다. 박스 칼버트와 함께 동물의 이동을 고려하여 적당한 장소에 설치하는 것이 바람직하다.

(1) 설치위치

작은 규모의 늪을 따라 연결시키면 효과적이다.



늪을 따라 이동 경로를 설치하는 경우가 많으므로 이들이 연결되도록 설치한다.

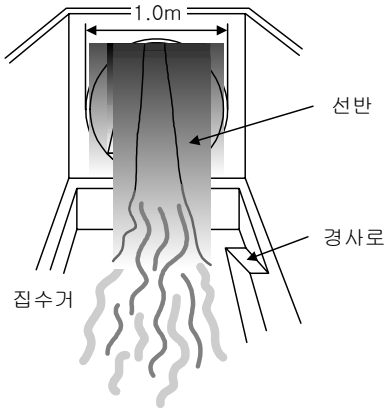
<그림 207.3> 파이프 칼버트의 설치 위치

(2) 설치시 유의사항

① 배수 겸용일 경우에는 파이프 속에 선반을 설치하여 동물이 다리를 적시지 않고도 통과할 수 있도록 한다.

② 파이프의 출입구가 되는 집수구에는 동물이 이용하기 쉽게 계단 모양의 선반이나 슬로프를 설치할 필요가 있다.

③ 크기는 파이프의 길이에 따라 다른데, 너구리 등 중형 표유류의 이용까지 고려한다면 최저 직경 1m 이상이 필요하다.



너구리, 족제비, 담비, 거북이류, 개구리류 등을 대상으로 한 파이프 칼버트

<그림 207.4> 파이프 칼버트의 크기와 구조

4.2.3 교량 구조

일반적으로 야생 동물은 이동하기 쉽고 수중생활의 역할도 수행하는 늪과 계곡지형을 이동경로로 즐겨 활용한다. 따라서 노선이 늪이나 계곡지형 등을 통과할 때에는 교량 구조를 채택함으로써 이러한 자연 환경을 가능한 보전하는 것이 바람직하다.

4.2.4 오버브릿지

보행자용 횡단교도 원숭이, 너구리, 여우, 야생 토끼 등이 이용하는 것으로 확인되어, 야생동물이 이용할 것도 고려하여 횡단교를 적절한 장소에 설치하는 것이 바람직하다.

(1) 설치위치

박스 칼버트가 주로 계곡 부분이나 저지대의 동물용 길로 이용되는데 반해 오버브릿지는 능선이나 대지(臺地) 등의 동물용 길로 이용된다.

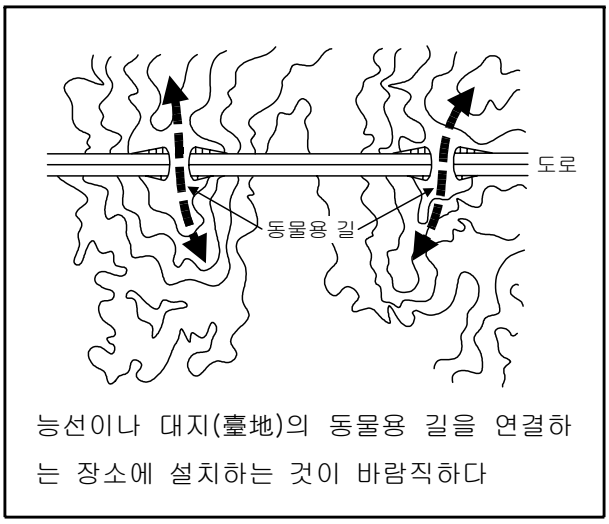
(2) 설치시 유의사항

① 오버브릿지의 크기는 동물 전용인 경우, 대상 종(種)의 크기를 고려하여 측면을 안심하고 이용할 수 있도록 벽구조를 취하는 것이 좋다.

② 노면은 흙이 좋다.

③ 주변이 트여 있어 전망이 좋은 장소에는 동물이 안심하고 오버브릿지를 이용할 수 있도록 주위에 유도 식재를 심는다.

④ 보행자 겸용인 경우에는 측구 및 식재 용지를 두어 식재지를 확보할 수 있다.



<그림 207.5> 오버브릿지 설치 위치

4.2.5 조류를 위한 횡단 유도 식재

생활 고도가 낮은 조류나 초지 환경을 좋아하는 조류는 도로 사면의 초지 환경을 즐겨 찾기 때문에 충돌 사고를 일으키기 쉽다. 또한 수림지대를 벌채한 도로 중 전망이 좋지 못한 곳에서는 비둘기류나 꿩 무리 등이 저공 비행하거나 지상 이동을 하면서 조류가 사고를 당하기 쉽다. 조류가 도로를 횡단할 고도는 주위 환경과 고도에 따라 다른데 고도가 낮은 종이 충돌사고를 일으키기 쉬우므로, 이러한 사고를 피하기 위하여 안전하게 횡단할 수 있는 장소에 차 높이보다 높은 고도로 횡단할 수 있도록 유도 식재를 설치할 필요가 있다.

(1) 설치위치

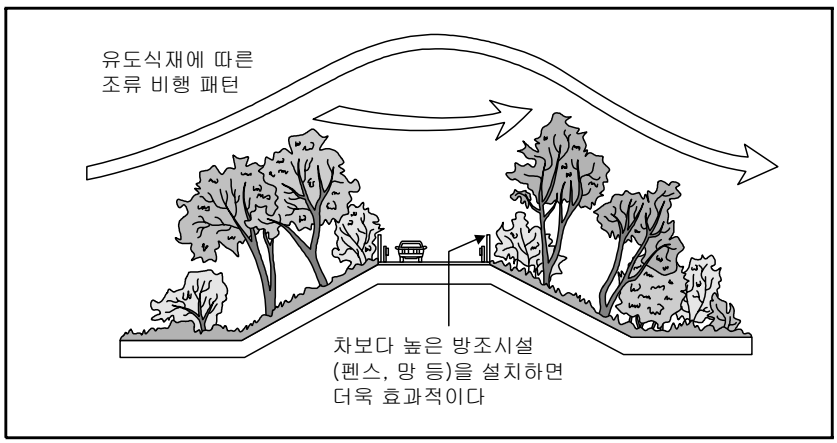
조류의 경우도 포유류와 마찬가지로 이전부터 빈번하게 이동했던 장소 또는 수림대가 근접했던 장소를 선택하여 유도 식재를 한다.

(2) 설치시 유의사항

① 유도식재는 길어깨 부위까지 나무를 심도록 하고, 식재 밀도를 높일 필요가 있다.

이 때, 키가 큰 나무를 심어 높은 위치에서 비행하도록 유도함으로써 충돌을 방지할 수 있다.

② 수종은 원칙적으로 기존의 종을 사용한다.



<그림 207.6> 조류를 위한 횡단 유도 식재 구조

4.3 동물 침입 방지를 위한 배려

동물이 도로에 침입하여 충돌사고를 일으킬 위험이 있는 곳에 침투 방지 울타리를 설치하는 것을 검토한다.

숲에 서식하는 동물류가 도로에 침입할 가능성이 있는 구간에서는 사슴, 너구리, 여우, 거북이류 등의 야생동물이 도로로 들어오지 못하도록 울타리를 설치하는 것이 바람직하다.

또한 거북이류나 도마뱀류와 같이 산란을 위해 습지를 찾는 성질이 강한 종의 경우, 침입을 방지하기 위한 배려와 동시에 이동경로의 확보에 대해 고려할 필요가 있다.

4.3.1 침입방지 울타리

침입방지 울타리를 설치할 때에는 충돌이 자주 발생할 가능성이 있는 지역을 선정하고, 대상 종(種)에 맞는 울타리를 설치한다. 침입방지 울타리와 함께 대상 종이 도로를 횡단할 수 있는 동물에 대해서는 특별한 대책이 필요하다.

(1) 대형동물을 대상으로 한 경우(사슴, 노루 등)

① 유의사항

사슴 등과 같은 동물은 도약력이 뛰어나므로 2.5m 이상 높이의 울타리가 필요하다. 지방에 따라서는 눈이 쌓여 울타리가 묻힐 가능성도 고려해야 한다.

② 설치위치

고속도로의 성토부에서는 일반적으로 출입방지 울타리를 사면의 끝에 설치하는데, 대부분의 동물은 사면 환경을 적극적으로 이용하고자 하기 때문에 경우에 따라서는 경사가 시작되는 부분에 설치하는 것도 검토한다.

(2) 중형 동물을 대상으로 했을 경우(멧돼지, 너구리 등)

① 유의사항

멧돼지, 너구리, 야생 토끼 등과 같은 중형 포유류는 1.5m 정도로 침입을 방지할 수 있다. 그러나, 지면을 파고 잠입하는 경우가 있기 때문에 울타리 밑부분의 간격을 5cm 이하로 하거나, 접지면을 콘크리트로 하는 것이 바람직하다.

② 설치위치

대형 포유류를 대상으로 했을 경우에 준한다.

(3) 소형 동물을 대상으로 했을 경우

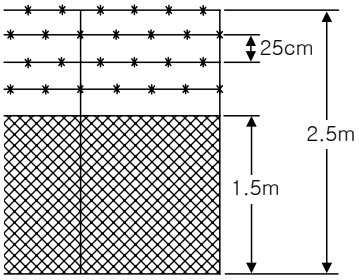
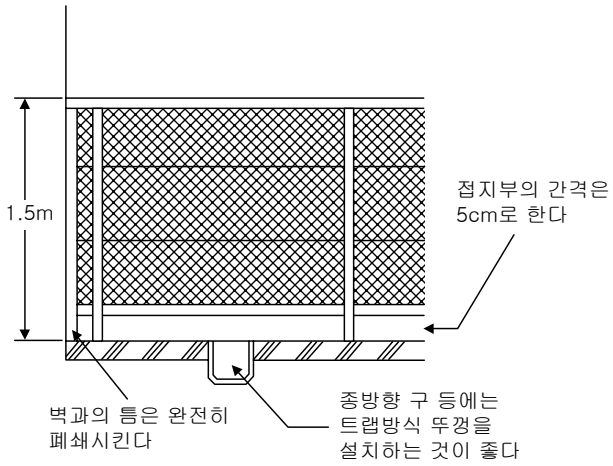
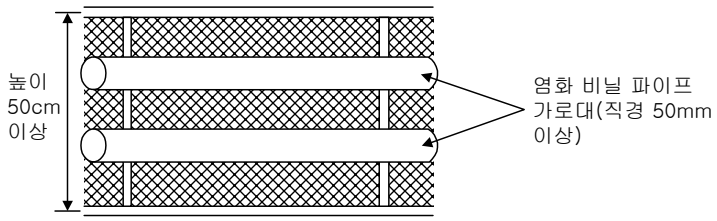
(다람쥐류, 족제비, 거북이류, 개구리류 등)

① 유의사항

다람쥐류나 족제비, 거북이류, 개구리류 등의 소형 동물은 다른 동물을 대상으로 한 침입방지책의 밑부분에 가로대를 댄 잔망과 판 등을 사용하는 것이 좋다.

다람쥐류나 족제비 등과 같은 소형 포유류에 대해서는 철망으로 된 잔 그물을 설치하고, 도중에 직경 50mm 이상의 염화비닐로 된 파이프 가로대를 2개 이상 설치하여 기어오르지 못하도록 한다.

거북이류나 개구리류 등의 경우 망 크기를 30mm 이하로 하고, 윗 부분에 직경 30mm 이상의 염화비닐로 된 파이프로 가로대를 만들어 기어오르지 못하도록 한다. 높이는 모두 50cm 이상이 적당하다.

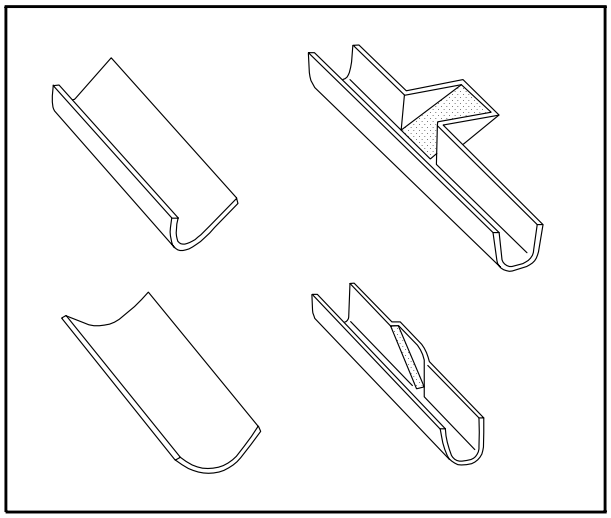
대형동물 대상 울타리	
중형동물 대상 울타리	
소형동물 대상 울타리	

<그림 207.7> 침입방지 울타리 예

4.4 측구 등에 대한 배려

측구 등의 구조를 검토할 때는 가능한 소형 동물이 낙하하지 않는 구조로 하거나 낙하해도 쉽게 탈출할 수 있는 구조를 채택한다.

도로 가장자리에 설치되는 측구와 집수거 등의 부대 설비로 두더지류나 도마뱀 등 소동물이 낙하하여 탈출할 수 없어 폐사하는 경우가 있다. 이러한 동물보호를 목적으로 뚜껑을 덮는 방안과 떨어져도 자력으로 탈출할 수 있는 구조를 검토하는 것이 바람직하다. <그림207.8>에 나타낸 슬로프 부착형 측구에서는 슬로프 각도를 일반적으로 35~40。 정도 주고 있다. 또한, 슬로프에 요철을 두면 탈출하기가 더 쉬울 것이다.



<그림 207.8> 소동물이 자력으로 탈출할 수 있는 측구 구조

4.5 도로조명, 전조등의 영향 저감을 위한 배려

주변의 자연 환경 상황에 따라서는 도로 조명이나 전조등 빛이 도로 바깥으로 새어 나와 동물에게 영향을 끼치는 경우가 있다. 이 경우, 빛이 도로 바깥으로 새어 나오지 않는 등구를 사용하거나 유인이 적은 조명을 채택하고, 차광벽을 설치할 것을 검토한다.

4.6 대체 서식지 정비

습지와 그 인근 및 산림을 서식지로 하는 양서·파충류는 도로용지나 공사용지로 인해 그 번식지를 상실하게 되면, 이동성이 낮은 이들 동물들은 매우 치명적이 될 수 있다. 그러므로 이러한 종이 서식하는 지역을 부득이하게 도로가 통과해야 하는 경우에는 대체 서식환경을 정비하는 것이 바람직하다. 양서류, 파충류 뿐만 아니라 기타 종에도 이러한 문제가 있을 경우 같은 배려를 할 수 있다.

대체 서식지를 정비할 때에는 대상 동물의 서식환경을 충분히 검토하여 그 동물이 서식하는데 필요한 환경 요소나 먹이 등에 관련된 생명체의 상황도 포함하여 가능한 원래의 서식지에 가까운 상태로 만드는 것이 중요하다. 기복이 심한 지형, 일조조건, 수심, 식생 등을 폭넓게 고려하여 안정적인 서식지를 만들 필요가 있다. 또 이전할 곳의 주변환경에 큰 변화가 없도록 배려할 필요도 있다.

생명체의 서식 환경은 아직 알려지지 않은 점도 많으므로, 대체 서식지를 정비할 때는 이상과 같은 점까지도 고려하여 세심하게 대응해야 한다.

4.7 표토의 복원 활용

표토는 물리적으로는 생명체가 살아가는 데 필요한 통기성과 보습성이 풍부하고, 화학적으로는 생물에게 필요한 유기질과 기타 유효 성분을 포함하며, 생물적으로는 지역 특유의 토양 동물, 식물의 종자, 동물의 알 등을 많이 포함하고 있어야 한다. 그러므로 현지의 환경을 보전하는데 있어 표토의 기능이 중요하며, 사면 등에 현지의 표토를 복원 활용하는 것이 바람직하다.

4.8 이식

희귀종이나 주요 종은 도로 구조 등을 검토하여 가능한 한 현 상태대로 보전하도록 최선을 다하는 것이 바람직한데, 부득이하게 그 지역이 도로 건설지로 결정되었다면 가능한 이식하여 그 종을 보호·보전하는 것이 바람직하다. 이 경우 이식 대상 종이 성장하는데 필요한 환경조건을 충분히 고려하여 전문가의 지도하에 세심한 배려를 하도록 한다. 아울러 이식한 후의 유지·관리도 중요하므로 주의할 필요가 있다.

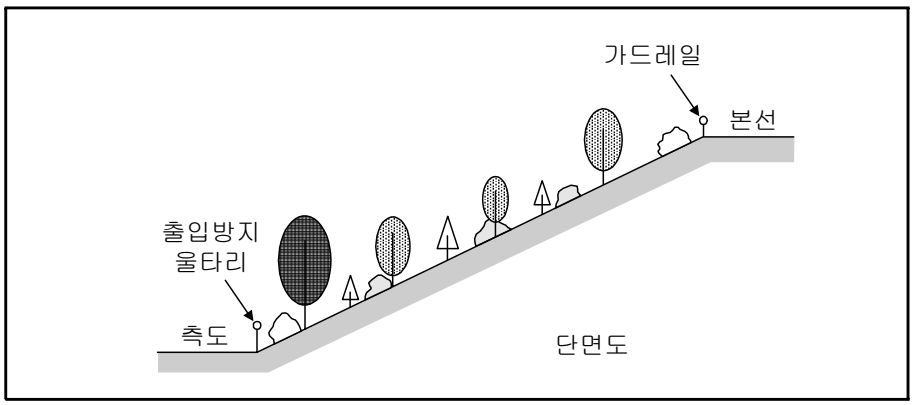
4.9 사면 경사 완화와 고목(高木) 식재

주변의 식생을 가능한 파괴시키지 않으려면 도로의 사면을 가능한 짧게 하는 공법을 채택하게 되는데, 이 경우에는 사면의 경사가 급하여 고목을 심을 수가 없다. 경우에 따라서는 사면의 폭을 확대시켜서라도 경사를 완화시켜 입목(立木)을 심을 수 있게 하고, 주변환경과 잘 조화를 이루도록 하는 것이 바람직하다.

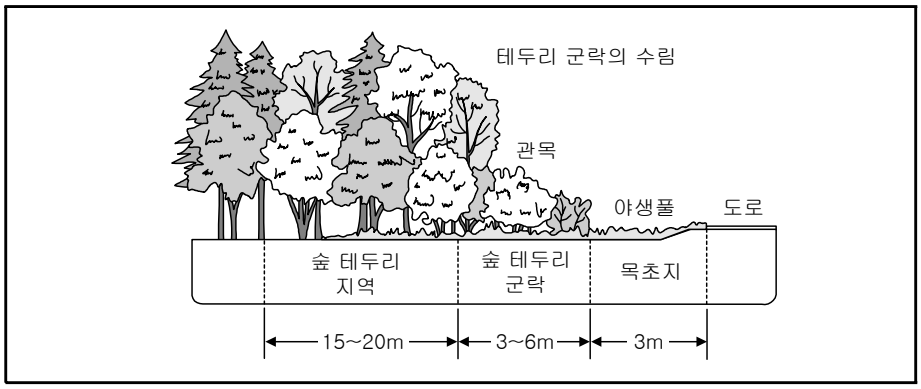
식재는 자연림이 이루는 계층을 고려하여 고·중·저 세 단계의 높이를 섞어 심는 것이 좋다.

4.10 방어 식재

도로를 건설하여 숲이 벌채되면 기후(기온, 습도, 일조 등)가 변화하고, 폐쇄되었던 임관(林冠)이 개방되어 임내(林內)에 강한 태양광선이나 바람의 영향이 미친다. 따라서 수목의 고사나 임상식생(林床植生)의 변화가 일어난다. 이는 동물에 있어서도 서식환경의 변화를 초래한다.



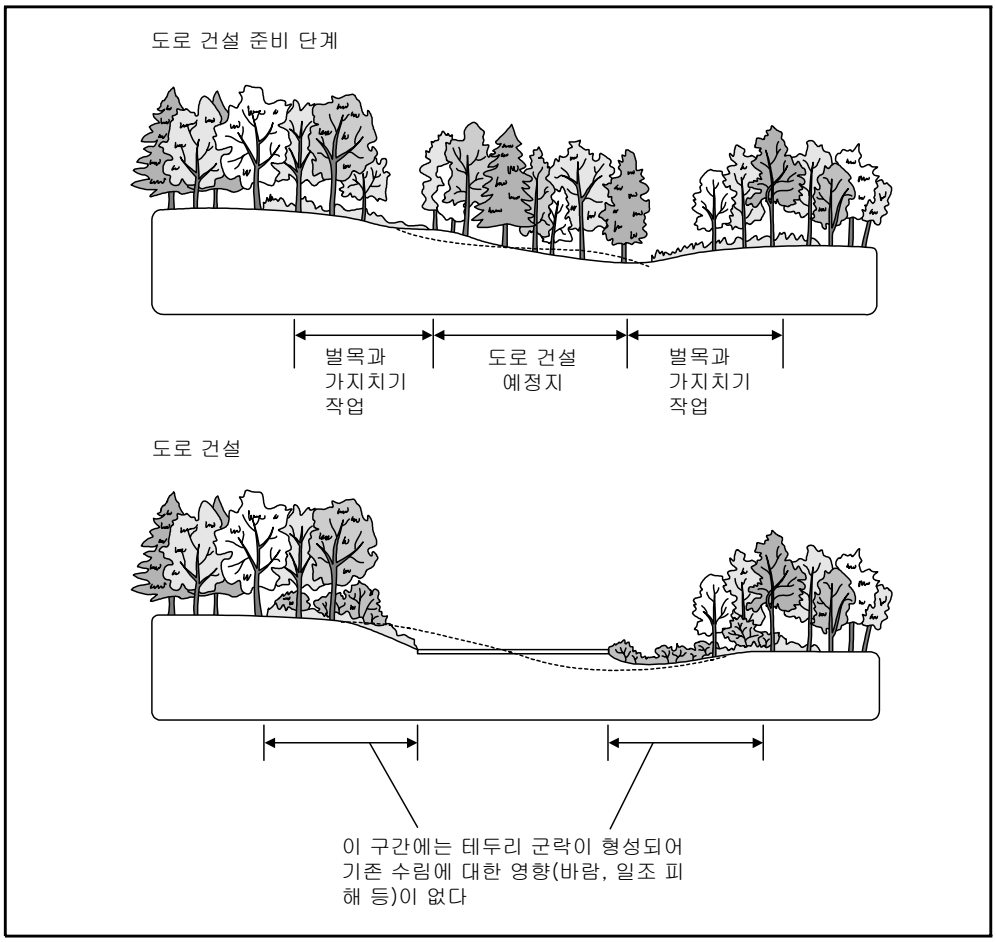
<그림 207.9> 사면 식재 예



<그림 207.10> 도로와 인접해 있는 방어군락 구조

이러한 변화로부터 식물군락의 영향을 줄이기 위해서는 도로변으로 성장속도가 빠른 오리나무과, 자작나무과, 버드나무과 등의 수목을 식재하여 벌개(伐開)된 임연(林緣)을 덮는다.

또한, 공사전에 단계적으로 노선부분의 산림을 벌채하여 향후 도로에 접할 부분에 임연식생의 생장을 촉진시키는 방법도 있다.



<그림 207.11> 방어군락 형성을 촉진시키는 도로건설 방법

208
타당성조사

208.1 개요

사업의 기본 구상을 토대로 사업의 목표와 이를 위한 수단을 설정하여 경제적 타당성, 기술적 타당성, 사회 및 환경적 타당성을 종합적으로 검토함으로써 사업시행의 타당성을 판단한다. 아울러 도로 노선대의 여러 대안을 비교·검토하여 최적 노선대를 계획하고, 그에 대한 사업의 주요계획을 작성하며, 다음 단계 설계용역에 기본이 되는 기술자료를 작성하는 단계이다.

지역 및 도시계획 등 관련 계획의 검토, 기존 교통 여건, 토지 이용 현황, 통행 실태 등을 파악하는 현황조사가 포함되며, 현황조사를 토대로 비교 노선대를 설정한다. 계획 구간별 장래 교통량을 예측하여 분석한 후, 1/25,000~1/50,000 정도의 지도 위에 최적 노선대를 설정한다. 타당성 조사에서 다루어야 할 각 단계별 주요 업무는 <표 208.1>과 같다.

<표 208.1> 각 단계별 업무 범위

구 분	업 무 범 위
조사 업무	• 관련계획 조사 및 검토 • 현지조사/답사 • 교통량 및 교통시설조사 • 수자원(①수리,수문 ②기상,해상 ③선박운항) 조사 • 환경영향조사*
계획 업무	• 교통분석 • 환경영향 검토 • 경제성 분석, 재무분석 • 노선선정(①노선대 결정 ②노선 결정*, ③출입시설 위치 결정*) • 수리, 수문 검토* • 구조물계획(교량*) • 관계기관 협의
설계 업무	• 개략 설계

주) 필요시 수행하는 업무

타당성조사의 과업 개요 부분에서 다루어져야 할 내용들은 과업의 목적, 범위, 수행방법 등이다.

• 과업의 목적

대상 도로 사업의 경제적, 기술적, 사회·환경적 요인을 검토·분석하여 과업의 타당성을 평가한다.

• 과업의 범위

- 과업 대상 구간의 시점, 종점, 연장
- 과업 기간
- 시간적 범위(기준년도, 목표년도)

• 과업의 수행 절차

전반적인 과업의 수행 흐름과 각 단계별 조사 항목의 조사 방법, 분석 항목의 분석 방법, 기술 검토내용 및 기타 검토된 사항 등에 대해 구체적으로 기술하여 과업이 어떠한 방법으로 수행되었는지를 쉽게 알 수 있도록 설명한다.

과업수행의 기본 방향 및 목표, 고려사항, 기본전략, 추진계획, 과업수행 흐름도 등을 기술한다.

208.2 관련 계획 조사 및 검토

2.1 관련 계획 검토의 목적

상위계획 검토를 통해 국토 이용의 효율적 추진 전략에 따른 상위계획의 내용을 반영한다.

과업 노선과 관련하여 직접 또는 간접적으로 관련되어 있는 주변 지역의 기존 계획 및 현재 추진중인 사업들을 세밀히 분석하여 해당 과업에 반영시킴으로써 주변 지역 개발 여건을 수용하여 해당 과업을 분석하는 것이 목적이다.

2.2 관련 계획의 분류

효과적인 과업수행을 위해 검토해야 할 계획들은 <표 208.2>와 같다.

2.3 계획의 검토와 반영 방법

관련 계획을 타당성조사 및 기본계획 단계에서 효과적으로 검토하여 반영하기 위해서는 대상 도로 사업과 관련된 모든 계획을 나열하고 각각의 계획에 있어 어떤 계획의 어떤 내용을 어떤 부분에 어떻게 반영할 수 있는가를 구체적으로 고려해야 한다.

<표 208.2> 타당성조사 관련 계획

구 분	관 련 계 획
상위계획	• 국토종합개발계획 • 광역개발계획
지역개발계획	• 광역시 및 도 종합개발계획 • 도시기본계획 및 재정비계획 • 도시계획
산업시설계획	• 국가공단 및 지방공단계획 • 신항만, 공항, 댐 등의 건설계획
교통관련계획	• 전국도로망체계 재정비 계획 • 광역종합교통계획 • 고속국도, 국도, 지방도 등 도로건설 및 확충계획 • 기타 주변도로계획
기타 교통 유발 시설계획	• 관광지, 국립공원, 물류시설, 컨벤션센터 개발계획

208.3 현황 조사

3.1 현지 조사 및 답사

두 지점을 연결하는 신설 노선을 선정하기 위해 우선적으로 수행해야 할 작업은 지형도에 몇 개의 후보 노선을 기입한 답사도를 만드는 것이다. 이때 가장 많이 사용되는 것은 1/50,000 지형도이다. 이 답사도에 노선을 기입할 때는 건설비, 유지비가 최소가 되도록 하며 가능한 한 평탄한 장소로 선정해야 한다. 이와 같이 만들어진 답사도를 가지고 현장을 답사하여 과연 현지 여건이 지도상에서 추정한 것과 같이 여러 가지 고려요소들을 만족시키는가를 조사하는 동시에 다른 대안 노선은 없는가를 조사한다.

현지 답사에서 노선의 우열을 판단하기 곤란한 경우에는 여러 개의 노선을 선정한다. 이때 거리는 목측, 보측 또는 테이프 등에 의하여 약측하고 또 방향은 나침반에 의하여 정하며 고저차는 핸드레벨, 기압계 등으로 측정한다. 쌍안경과 폴 등도 조사에 필요한 장비이다.

조사자는 예정 노선의 해당 계획 지역에서의 지형, 지물, 식생, 용배수, 토지이용상황 및 문화재를 파악·확인한다. 또 측량, 지질조사 등을 실시하는 경우 조사자는 조사계획을 작성하여 발주자에게 제출한다. 현지 답사를 하여 계획 지역의 지형, 지물, 각종 시설물, 식생, 토지이용 상황, 폐광 등의 정확한 현황을 파악하고 사진이나 비디오 등을 이용하여 과업 수행에 유용한 자료를 작성한다.

3.2 수리, 수문 조사

계획 지역 하천의 상태, 정비 계획, 유역면적, 주변 개발 상황 등을 주로 기존 자료를 이용하여 조사한다. 하천에 가설되는 교량의 계획높이, 경사도 및 교각의 수, 교각부의 위치는 하천 현황 및 개수계획에 의한 하천 관리자와의 협의에 따라 주로 하천 관리자 측의 판단에 의해 결정하는 것이 일반적이다. 따라서 주요 하천에 관해 계획고 수유량(水流量)과 계획고 수위, 축제계획 등을 자세히 조사한 후 교량설치 지점을 신중하게 선정하는 것이 필요하다. 이밖에 하천 주변의 저수지와 하천의 합류지점 등이 보이는 홍수지역에는 물이 넘치는 것을 막기 위해 교량을 계획하는 것이 필요하고, 이런 지역에는 수리조사를 실시한다. <표 208.3>은 이러한 하천, 수리조사에 필요한 조사내용을 나타낸 것이다.

3.3 기상 및 해상 조사

(1) 기상조사

지역이 해상인 경우에는 기상자료(천기일수, 강우량, 강설량, 기온, 풍속 등)를 조사한다.

도로를 둘러싼 기상 조건이 도로 설계와 공사의 시공, 개통 후의 유지, 관리, 교통 안전과 소통 등에 미치는 영향은 대단히 중요하다. 비, 눈, 얼음, 안개 등의 기상 조건은 차량 주행의 장애 요소가 되며, 사고의 위험을 증대시키는 요인이 될 수 있다. 특히 산지부의 노선 선정은 기상 조건에 좌우되는 경우가 많다. 어떤 표고 이상이 되면 안개의 발생이 잦아지고 또 노면이 얼어버릴 수 있다.

따라서, 노선 계획 초기 단계부터 오랜 기간에 걸쳐 구축된 기상 관계 자료를 조사, 분석해서 가능한 한 기상 조건이 나쁜 지역을 피하여 노선을 계획하는 것이 바람직하다.

기상 조사 실시시 기존 자료를 활용하는 것이 가장 확실하고 경제적이다. 이러한 기존 자료는 계획 도로 노선상의 기상대, 측후소 등 기상청 관계 기관의 기상 관측 자료와 기타 국가 기관의 기상 관측 기록 등에서 얻을 수 있다. <표 208.4>에 노선 계획에 필요한 주요 기상 조사를 나타냈다. 특히 눈이 많이 오는 지역에서는 눈사태 등의 장애 요인에 대해 노선 계획 후에도 별도의 상세한 조사가 필요하다.

(2) 해상조사

지역이 해상인 경우에는 기상자료 이외에 조류, 조석, 파랑 등의 해상자료를 조사한다.

3.4 선박 운항 조사

계획시설이 해상에 설치되는 경우, 통행하는 선박의 종류, 크기, 횟수 등을 조사한다. 계획 지역 인근의 부두시설, 선착장 등의 위치, 규모 등을 조사한다.

3.5 환경 영향 조사

도로 건설로 인해 생활권의 분리, 자연환경 훼손, 소음·대기오염 등이 초래되고 이로 인해 환경오염 및 민원문제를 발생시킬 수 있으므로 도로의 계획 단계에서부터 철저한 조사와 대책 마련이 필요하다.

노선대에 대한 문화재 분포, 생태계 보존 필요성 등을 관련 자료 또는 현지 답사를 통해 조사한다.

<표 208.3> 수리 조사 내용

조 사 항 목	조 사 내 용
침수 지구에 관해서	• 기존의 침수빈도, 침수시 강우 기록, 침수시간, 수위 및 침수의 형태 • 유역면적, 수리 모식도 • 지반조사(대개 연약지반임) • 기타
유수지의 영향을 받는 지역에 관해서	• 유수지구의 수위 - 빈도기록, 이 때의 강우기록과 하천의 유수량과의 관계 • 하천의 유역면적 • 침수시간 • 기타
하천 개수 계획	• 계획 홍수위, 계획 하폭, 계획 경사 • 도로와의 교차각의 허용 한계와 하천 길이의 허용 한계 • 기타

<표 208.4> 노선계획에 필요한 기상조사

조 사 항 목	조 사 사 항
강적설 조사	• 연간 최대 적설 높이 • 연간 제설 일수 • 적설 기간
강우 조사	• 현지 답사 및 탐문 조사에 의한 산사태 정도, 발생 빈도 등 • 연간 맑게 개인 일수
한냉 조사	• 동절기 평균 기온 • 동절기 강우 일수
농무 조사	• 안개 발생 빈도 및 농도
강풍 조사	• 연간 강풍 발생 빈도 분포
산사태 발생 지구 조사	• 현지 답사 및 탐문 조사에 의한 산사태 정도, 발생 빈도 등

환경에 대한 영향을 파악하기 위한 조사항목은 크게 자연환경, 생활환경, 사회경제환경의 세 가지로 나눌 수 있다. 현황조사를 위한 환경요소 설정기준은 <표 208.5>와 같다.

도로건설에 따른 환경영향요소는 크게 자연환경 요소와 생활환경 요소로 나누어 볼 수 있으며 세부항목은 <표 208.6>과 같다.

<표 208.5> 현황 조사를 위한 환경 요소의 설정기준

환경요소	선 정 기 준
대기오염	도시계획법에 의거 용도지역으로 지정된 지역(용도지역이외에는 신시가지 주택단지 등의 개발사업이 예정된 지역이나 기존 집락을 포함)이나 이들의 근접지역을 통과하는 경우
수질오염	휴게소, 주차 구역 등에서 오수를 공공수역에 배수할 경우, 또는 수질오염에 영향을 줄 우려가 있는 공사를 실시하는 경우
소음·진동	환경정책기본법의 소음환경기준 적용대상 지역으로 명시되어 있는 지역 또는 장래의 토지이용계획상 신시가지 택지 등의 개발지구로 예정되어 있는 지역과 기존 밀집주거지를 계획노선이 통과하거나 이들과 인접하여 통과하는 경우
지반 침하	연약 지반 지대에 위치하여 공사시 지하 수맥이 차단될 우려가 있는 경우
지형·지질	자연환경보전법, 자연공원법, 도시공원법 등의 자연환경의 보전을 목적으로 하는 법령에 따라 지정된 지역 및 기존 자료의 수집 등에 의해 중요하다고 인정되는 지역을 통과하는 경우
식물	지형·지질과 동일
동물	지형·지질과 동일
경관	지형·지질과 동일

<표 208.6> 환경 영향 요소

자 연 환 경	생 활 환 경
• 기상변화 • 지형 및 지질 : 절토·성토로 붕괴, 산사태, 침식 • 생태계 : 대기, 지형변경, 소음, 진동으로 발생되는 동식물 분포 변화	• 토지이용 : 토지의 용도 변경, 개발밀도 변화 • 대기질 : 건설시 중장비 가스, 분진 • 수질오염 : 교량시공시 수질오염 • 토양오염 : 차량배출가스, 엔진오일 • 소음 및 진동 • 경관 파괴

3.6 기타 조사

① 지역개발 현황
② 문화재, 유적지 등 주요 지장물 조사
③ 광업권 및 폐광 조사

208.4 교통분석 및 평가

노선계획 단계에서 최적 노선이 선정되면 장래 이 노선을 이용하게 될 교통량을 예측한다.

예측된 교통량은 노선의 시설규모(차로수) 산정과 경제성 분석 등에 기초자료로 사용된다.

교통수요예측 관련 세부 사항은 본 편람의 204장을 참고한다.

4.1 교통현황 분석

① 교통계획에 필요한 모든 자료를 합리적으로 분석하기 위해 교통조사 대상지역을 구분하고 교통지구를 설정한다.

② 조사분석에 포함된 일반사항으로는 인구, 토지이용 및 건물면적, 자동차 보유대수 등을 포함하여 교통지구 단위별로 정리·분석한다.

③ 대중교통 운행실태, 주요 가로 및 교차로의 소통실태, 주요 교통시설의 이용실태를 조사 분석한 후 차량 O/D를 이용하여 추정된 교통량과 조사된 교통량을 비교 분석한다.

4.2 장래 교통여건 전망

① 장래 교통여건 분석시 필요한 관련 계획을 검토하여 분석대상 도시의 교통수요 예측에 반영한다.

② 대상지역 및 주변지역에 대해 인구, 자동차 보유대수, 토지이용 및 건물면적을 교통지구 단위별로 전망·분석한다.

③ 장래 교통수요 전망에서는 대상지역 및 주변지역에 대해 사람 및 화물통행량, 지구별 발생·도착 교통량, 기·종점 통행량의 각 세부사항과 주요 가로 및 교차로의 소통여건에

관한 사항을 수록한다.

④ 교통수요예측은 원칙적으로 4단계 방법을 사용하되 다른 절차를 사용할 경우 선택된 사유를 제시한다.

⑤ 장래 교통수요는 노선 대안별 시행 여부에 따른 교통체계 변화를 파악할 수 있도록 예측한다.

208.5 경제성 분석 및 재무분석

도로의 건설로 인한 해당 지역의 경제적 파급효과는 대단히 크므로 체계적이고 종합적인 경제성 분석이 필요하다.

경제성 분석은 타당성조사에서 가장 중요한 부분 중의 하나이다.

경제성 분석 관련 세부 사항은 본 편람의 206장을 참고한다.

(1) 차량운행비

현재 국내에서 운행중인 차량에 대한 구입가격, 부품비, 유류비, 유지관리비, 인건비 등 최근의 자료를 이용하여 조사한 후 차량의 구성비에 의한 차종별 단위 운행비를 산출한다.

(2) 유지관리비

기존 도로의 아스팔트포장과 콘크리트포장의 차로별 유지관리비를 분석하여 적용한다.

(3) 경제성 분석기법

도로건설비 및 유지관리비와 이용자 편익을 비교하여 편익비용비(B/C), 초기연도수익률(FYRR), 내부수익율(IRR) 및 순현재가치(NPV), 최적개통시기 등을 산정하며, 이때 시간편익을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 구분하여 분석한다.

(4) 단계건설

경제성 분석은 전구간을 동시에 건설할 경우와 교통량예측 및 발주청의 재정전망을 고려하여 단계별로 건설하는 경우로 구분 분석한다. 단계건설시 구간별 투자 우선 순위를 제시한다.

(5) 민감도 분석

건설비, 차량운행비, 교통량, 공사기간 등 경제성 분석시 사용한 제 요인이 변경될 경우 경제성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 민감도 분석을 수행한다.

(6) 민자사업

사업대상노선을 민자사업으로 추진할 경우 제반 사항을 포함하여 검토한다.

(7) 채산성 검토

유료도로의 경우 개통 이후의 추정 교통량에 따른 통행료 수입 및 영업비용을 1년 단위로 산출하여 영업의 채산성을 검토한다.

(8) 통행료 징수

통행료 징수체계에 대하여 경제적, 재무적 측면과 이용객 입장에서 객관적으로 비교하여 선정한다.

208.6 노선 계획

6.1 노선 계획의 정의

노선 계획은 도로 계획 중에서 도로망 계획, 경제 조사, 교통 조사 및 기술 조사 등의 제 조사, 노선의 개략 계획, 노선 선정 등의 계획 업무를 말한다.

노선 계획은 도로 계획 및 설계의 일련의 과정을 통하여 그 골격이 갖추어 진다. 그러므로 노선 계획의 검토시 경제 조사, 교통량 추계 등의 교통 조사와 토질 조사 등의 기술적 조사 등, 도로 계획상의 기본적인 조사를 정확히 수행해야 한다. 또, 노선 계획에 있어서 도로의 중심선, 선형의 기본 도로 구조 등이 개략적으로 결정됨과 동시에, 도로의 연장, 건설비의 경제성과 안전성 등도 이 단계에서 대체로 결정되기 때문에 신중한 검토가 요망된다.

6.2 노선 계획의 구분 및 고려사항

타당성 조사에서의 노선계획은 1/25,000 ~ 1/50,000 지형도를 이용하여 후보노선대를 설정하고 노선대별로 검토한 후 최적노선대를 선정하는 것이다. 노선을 계획할 때에는 다음의 사항을 고려한다.

(1) 노선의 기능 설정

계획 노선의 경우 전국 도로망 정비계획 등 국가 및 지역차원의 도로 정비계획과의 연계성, 도로용량, 교통특성, 도로간 간격 등을 면밀히 분석하여 그 노선의 기능을 먼저 설정한 다음, 지역 및 지형여건 등을 고려하여 노선을 선정한다.

(2) 비교 노선대 선정

계획노선은 현지 여건과 노선이 통과하게 될 지역의 도시계획, 토지이용계획 등 각종 관련 계획을 종합적으로 검토하여 우선 2~3개의 비교 노선대를 선정하고 선정된 각 노선에 대한 사회적, 경제적, 기술적 타당성 및 교통·환경적 고려사항 등을 종합적으로 비교, 검토한 후 최적 노선을 선정한다.

(3) 현지 답사

비교노선을 검토할 때에는 각 노선에 대한 현지답사를 실시하여 도상에서 알기 어려운 종단경사·주변 여건 등의 조사를 면밀히 실시하고, 도면에 표시되어 있지 않은 밀집가옥, 공장 등 대형 시설물, 기타 장애물 등을 도면에 표기하여 이를 충분히 고려한다.

(4) 우회도로 노선 계획

① 도시지역에서 간선 기능을 갖는 도로를 확보할 필요가 있는 경우, 해당 도시의 도시기본계획 밖이나 취락지역을 우회하는 노선으로 계획하는 것을 원칙으로 한다. 다만 도시기본계획 구역 안으로 노선을 계획할 경우에는 장래의 도시발전 축을 피하여 시가화가 어려운 산이나 하천 등의 도시 외곽지역으로 노선을 계획한다. 장래의 도시발전 여건이 취약하고 도시 성장 속도가 느리며 교통량의 증가 추이도 완만하여 우회 노선 계획의 타당성이 없는 경우에는 기존 도로를 확장하는 노선도 우선 검토하되, 교통소통과 교통안전을 위해 통과교통과 지역내 교통이 분리될 수 있는 도로의 구조로 계획한다.

② 도시지역을 우회하는 노선이 현재는 도시기본계획 구역밖에 설치된다 하더라도 장래 도시세가 확장되어 도시지역으로 개발될 가능성이 큰 평지부를 통과하는 경우에는, 주택 및 공업단지 등 각종 개발에 따른 가로망 등의 임의 접속을 방지할 수 있는 구조로 계획한다.

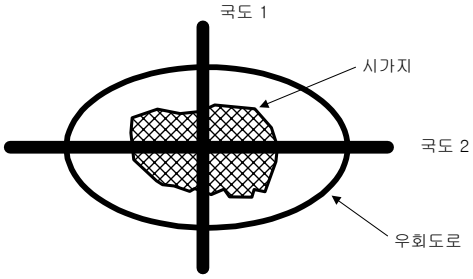
③ 국도의 간선기능 확보를 위하여 우회도로 시·종점부는 시가지내 도로와의 직접 연결을 피하여 계획한다.

④ 국도와 국도, 국도와 교통량이 많은 주요 지방도가 시가지나 취락지역 안에서 만나는 경우에는 ①항과 다음의 기준에 따라 우회도로를 계획한다.

가. 장기적으로 환상형 순환도로 건설이 바람직한 계획노선의 시·종점부 선형은 우선 전체적인 환상형 순환도로 계획선을 구상한 다음 동 계획선과 일치하는 선형으로 실시설계 도로 선형을 결정한다.

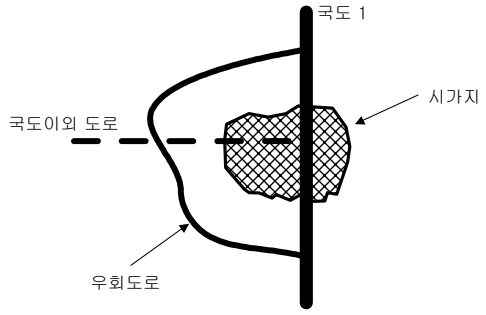
나. 우회도로는 국도간 연결을 원칙으로 하되 국도가 아닌 지방도로의 통과 교통량이 많을 경우에는 그 도로까지 연결한다. 다만 국도와 국도가 아닌 도로와의 간격이 너무 길어 건설비가 지나치게 소요되는 경우에는 우회도로 전체계획을 고려하여 국도간의 우회도로만을 계획한다.

다. 4지 교차시

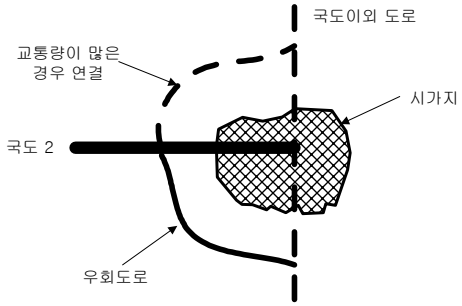


라. 3지 교차시

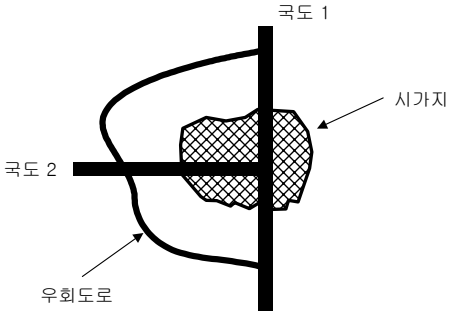
(경우1)



(경우2)



(경우3)



※ 국도1의 통과 교통이 많은 경우에는 전구간 우회도로 건설

※ 국도1과 국도2에 통과 교통량이 많은 경우에는 교통량이 많은 국도에 우선 우회도로를 건설하되, 장래 전구간 우회도로 건설을 고려하여 노선을 선정

(5) 확장

지방부의 국도 4차로 확장은 관련 도로정비계획, 지역 및 지형여건, 기존도로 주변여건 등을 면밀히 검토하여 가능한 한 기존 도로를 활용하여 경제적인 설계가 되도록 한다.

(6) 문화재

계획노선 주변의 중요한 유적, 문화재 등에 대한 현황을 면밀히 조사하여 이들이 훼손되지 않도록 노선을 계획해야 하며 도로에 편입이 불가피한 경우에는 관계기관과 미리 충분한 협의를 거쳐야 한다.

(7) 환경

계획노선은 자연환경과 잘 어울리고 환경훼손이 최소화되도록 선정하고, 절·성토량이 지나치게 많은 구간은 가급적 교량·터널 등으로 처리하는 등 환경을 고려한 도로를 계획한다.

(8) 상수원 보호

계획노선은 상수원 보호구역을 가급적 우회하도록 하고, 상수원 보호구역 통과가 불가피한 경우에는 교량난간 보강 등 차량 추락 방지를 위한 별도의 안전조치를 강구해야 한다.

(9) 주민생활

계획노선은 가급적 주민 생활권을 분리하지 않도록 계획한다.

(10) 농경지

계획노선은 가급적 농업 진흥 지역이나 경지정리가 완료된 우량 농경지를 지나지 않도록 하되, 불가피한 경우 농경지 편입을 최소화하도록 한다.

(11) 홍수

계획 노선은 과거 홍수이력 등을 면밀히 조사하여 홍수 발생의 경우 도로 침수를 예방할 수 있는 노선으로 계획한다.

6.3 노선 선정 영향 요소

노선을 선정하고, 평가하는 방법은 다음의 세 가지 측면으로 나누어 생각할 수 있다.

- 사회적 측면
- 기술적 측면
- 경제적 측면

노선 선정의 타당성은 이들 세 가지 측면을 고려한 평가를 통해 이루어지며, 노선선정은 도로 계획의 각 단계 중에서 가장 큰 영향을 주는 것으로, 노선 선정이 잘못되면 설계와 시공 단계에서 돌이키는 것은 불가능에 가깝다.

(1) 사회적 측면

사회적 측면은 도로 교통망의 개선을 통해 지역 사회에 가져오는 의의를 평가하는 것으로, 다른 개발 계획과 연계하여, 지역의 개발에 가져오는 효과를 평가한다. 노선 선정 단계에서는 도시계획과 관련하여, 그 노선 위치가 도시의 용도 지역 계획인 주택 지역과 공업 지역의 배치 등에 적합한지, 지역의 장래 발전에 맞는 것인지 등을, 특히 인터체인지의 위치와 관련하여 평가한다. 노선을 도시의 어느 쪽으로 통과시킬까 등이 도시의 장래 발전과 관련하여 중요한 문제가 될 수 있다. 또, 도로 사업이 지역 사회에 대해 긍정적인 영향을 주는 반면에 기존의 질서를 변경하는 것에 따른 여러 가지 부정적인 영향을 주는 점도 고려해야 한다. 이것은 노선 선정 단계에서 뿐만 아니라 도로 설계 단계에서도 세심한 배려가 필요한 부분이다.

- 도시 집락, 촌락과의 관계(노선 통과에 따른 분석)
- 학교, 병원, 주택 등과의 관계(접근에 의한 소음, 진동, 대기 오염 등의 피해, 일조, 지역 분단, 경관 저해 등의 환경 문제)
- 유적, 매장 문화재, 절, 묘지 등 민족 유산과의 관계(통과에 의한 파괴)
- 자연 경관, 자연 생태와의 관계(자연 환경의 훼손)
- 자연 조건의 변화(수리, 기상의 변화에 따른 수해, 냉해 등)

이런 기존 질서의 변경과 문화적, 자연적 유산의 파괴에 따른 부정적인 효과는 간단히 그것을 회피하거나 그 파괴를 방치하는 것이 아니라 관련 사업(도시 계획, 토지 개량 등 농업 구조 개선 계획, 치수 계획)을 동시에 실시함으로써 새로운 질서를 부여하는 것이 중요하다.

이들 사회적 요인에 대해서는 특히 사전 조사에 의해 충분한 정보를 입수하여 관련 기관과 협의 조정을 하여 지역 주민이 납득할 수 있도록 노력해야 한다. 도로 계획이 지역 주민의 반대에 부딪히는 경우도 있지만, 이것은 앞의 사회적 여러 요인에 대한 평가가 불충분하기 때문에 발생하는 경우가 많다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 특히 사전 조사와 지역 행정 단체와의 협의, 조정이 필요하다.

(2) 기술적 측면

도로계획에서 기술적 측면의 평가는 자동차 교통의 흐름을 처리하는 교통 기술적 요인과

그것을 자연 조건과 대응시켜 구조적으로 정착시키기 위한 구조 기술적 요인으로 나누어 생각할 수 있다.

① 교통 기술적 요인

도로의 본래 목적인 교통을 안전하고, 원활하게 소통시킨다는 측면의 평가를 말한다. 채택된 설계속도, 그 설계속도에 어울리는 평면선형과 종단선형을 계획하였지만 계획도로의 통행패턴상 교통 사고의 발생이 예상되는 부적당한 선형의 조합이 없는지, 주행의 쾌적성에 대해 바람직한 효과를 주고 있는지 등 교통 서비스 관점에서 평가한다.

개략 계획 단계에서는 설계 속도를 어느 정도로 할 것인지를 평가하는 정도이지만, 노선 선정 단계에서는 선형의 기본이 분명하게 되어 그에 따라 교통 기술적인 서비스의 정도를 평가할 수 있으며, 평가 결과는 주행 편익 등의 경제성 평가 부문에도 이용한다. 인터체인지의 위치도 경제성을 평가할 때 뿐만 아니라 접속도로의 교통 혼잡에 대한 영향 등 교통 기술적 관점에서 검토한다. 휴게소 등의 휴게 시설의 계획도 이 단계에서 검토한다.

② 구조 기술적 요인

구조 기술에 대해서 시공상의 가능성과 안전성 및 유지, 방재 상의 안전성 및 확실성이 문제가 된다. 구조 기술적인 처리는 경제성을 무시할 수는 없지만 특별히 유익한 면이 있다면 기술적 어려움을 이겨나가는 경우도 많다. 그러나 특히 지질과 기상상의 문제로 시공단계와 완공 후의 유지 단계에서 재해 발생의 위험이 많은 계획은 노선 선정의 단계에서 되도록 피하도록 한다. 단층과 파쇄대에 평행한 터널, 낭떠러지의 큰 절토, 눈사태 지대에 접한 절토 비탈면 등은 피해야 안전하다.

이 외에 연약 지반을 통과하거나 깊은 골짜기에 교량을 설치하는 경우 등은 생각지 못한 공사비가 필요할 수 있다. 또, 터널의 유지 관리 측면에서 조명 및 환기를 위해서는 많은 비용이 필요하다는 것이 잘 알려져 있지만, 길고 큰 터널에서는 경사가 환기량에 커다란 영향을 미치고, 환기 설비의 설치 및 유지관리비가 증가하는 것도 고려해야 한다.

(3) 경제적 측면

경제적 측면에서는 도로 건설의 타당성 여부를 건설비와 유지 관리비 등의 투자 측면과 그 투자에 따른 경제적인 편익에 대해서 평가하고, 계획의 타당성을 검토한다. 건설비는 노선 위치에 따라 변화가 크므로 계획의 타당성에 큰 영향을 미친다.

① 개략 계획 단계에서 경제적 검토

노선 전체 또는 일정 구간에 대해서 건설비와 편익을 비교 평가하여 경제적 타당성을 검토한다. 편익으로는 교통량, 노선 거리와 설계속도, 오르막 구간 등에서 구해지는 주행 비용, 주행 시간, 사고 감소 등의 직접적인 편익 이외에 영향 지역에 대한 간접적인 편익도 평가한다.

② 노선 계획 단계에서 경제적 검토

한 노선의 일부분에 대해 비교 노선이 있는지를 검토할 때, 인터체인지의 위치를 비교하거나 증설의 가부를 검토할 때 경제적 평가를 수행한다.

노선 계획 단계에서 비교 노선은, 과업 구간 길이가 50㎞ 정도로 2~3개의 인터체인지를 포함하는 장거리 노선과, 수 킬로미터로 인터체

인지를 포함하지 않는 단거리 노선이 있다. 장거리 비교 노선은 개략 계획 단계에서 검토해야 하고, 단거리 비교 노선은 선형 설계 단계에서 검토한다.

비교 노선이 장거리이고 인터체인지의 위치가 노선에 따라 다를 경우 각각의 노선에 대한 교통량이 다르므로 이를 고려하여 평가한다. 특히, 장거리 노선의 통과 위치가 다를 때에는 개략 계획에서와 마찬가지로 간접 편익과 그 외의 사회적 효과도 고려해야 한다.

비교적 짧은 비교 노선으로 인터체인지의 위치(주로 도시지역 경우)가 변하지 않는 경우에는 교통량은 변하지 않는다고 생각해도 되고, 직접 효과만 비교하면 된다.

6.4 노선 위치 결정 방법과 절차

노선 위치의 결정은 우선 개략 계획에 의해 노선 계획의 범위(노선대)를 정하고, 다음으로 노선 선정 단계에서 노선 위치의 기본을 정하며, 마지막으로 선형 설계에 의해 최종적으로 노선을 확정한다. 이 중 노선 위치의 결정에 가장 큰 영향을 미치는 것이 노선 선정 작업이다.

본 절에서는 노선 선정 단계를 주로 취급하고, 노선 위치 결정의 순서와 방법에 대해 기술한다. 노선 선정 작업은 노선의 설치 목적에 따라 결정되는 통과 지역 중에서 사회적, 자연적 제약 조건 아래에서 기술적으로, 경제적으로 바람직한 선형을 골라가는 작업이다. 이 경우, 일반적으로 평지부에서는 주로 사회적인 조건이 큰 제약 조건이 되고, 산지부에서는 지형, 지질, 기상 등의 자연 조건이 주요 제약 조건이 되며, 구릉지에서는 양자 모두 주요 제약 조건이 된다. 노선 선정 작업은 다음과 같은 순서로 한다.

① 도로 설계의 기초가 되는 설계속도를 결정한다. 설계속도는 노선의 성격과 중요도, 교통량 등 공급자와 수요자 측면의 필요 요소와 지역, 지형 등 건설비를 좌우하는 요소를 종합적으로 판단하여 결정한다. 하나의 설계속도를 보유하는 구간을 설계구간이라고 하며 설계 구간의 길이가 너무 짧아서는 안되며, 20～30km 이상으로 하는 것이 보통이다. 설계속도 및 설계구간은 개략 계획에서 그 대략을 정하고, 노선 선정 때 설계하면서 차례로 조정하여 결정한다.

② 노선 위치를 결정할 때는 지형과 지물의 상황, 인터체인지 등 노선이 통과해야만 하는 지점 또는 피해야만 하는 지점이 있다. 이것을 통제점이라고 한다. 노선 선정 작업이란 통제점을 확인해 가면서 가능한 한 최단 거리로 지형에 적합한 좋은 선형을 선정하여 연결하는 과정이다.

③ 인터체인지와 중요한 휴게 시설의 위치를 본선 위치와 관련시켜 결정한다. 도로는 인터체인지 사이를 적절한 선형으로 연결한다.

본선의 선형이 아무리 좋다 하더라도 사용하기 어려운 위치에 인터체인지가 있으면 효과적인 통행이 이루어질 수 없다. 따라서, 인터체인지의 위치는 중요한 설계 고려 사항이므로 인터체인지 전후의 본선 선형과 관련시키면서 선정해야 한다. 또, 본선의 선형 결정시에는 주변의 대규모 휴게 시설이나 아름다운 자연 경관을 갖추고 있는 지점을 고려해야 한다.

6.5 가능 노선대 선정

1/50,000 지형도 상에서 노선대를 선정한다.

노선대를 선정하는 이유는 대부분의 도로신설 사업의 경우 분석대상 범위가 광범위하여 영향권 전체를 대상으로 지형지세, 토질, 지장물, 기존 교통 시설물, 교통량, 환경요소 등 필요항목을 조사 분석하면 시간과 경비가 필요 이상으로 소요되기 때문에 설정된 공간에 대해서만 집중 분석하여 효율성을 높인다.

가능한 노선대안을 선정한 후 각 대안의 지형, 지세, 지역개발, 교통흐름, 환경적 영향 등 정성적인 평가를 실시한다. 정성적인 평가 후 채택된 대안에 대해 세부 평가를 실시한다. 세부 평가에서는 가능노선대 선정에서 시행한 정성적인 분석 외에 접근도나 개략적인 공사비를 포함하는 정량적인 분석을 추가하여 실시한다.

대안별 비교 평가에서는 <표 208.7>의 세부 항목을 고려한다.

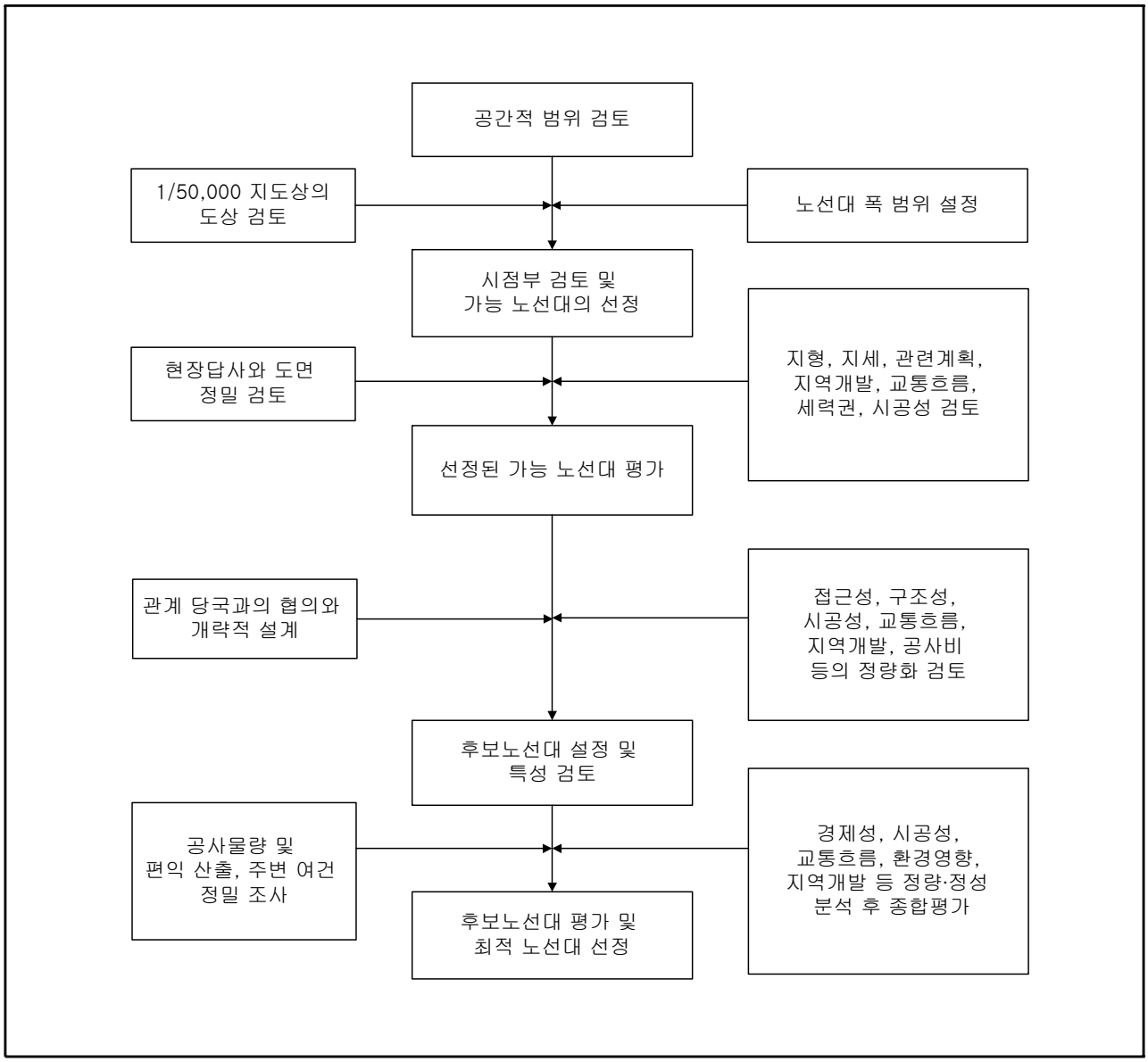
<표 208.7> 노선대의 세부 평가 항목

평 가 항 목	평 가 내 용
접근성 측면	사업 시행에 따른 영향권 지역의 접근성을 평가
시공성 측면	건설시 터널, 교량, 지장물 등 공사의 난이도를 평가
지역개발 측면	대안별 지역개발 수준을 영향권의 대소에 따라 평가하여 지자체의 의견을 반영
기존계획과의 관련성 측면	도로 및 철도 등 교통망 확충계획과 도시기본계획 및 도시재정비계획 등 관련 계획과 적합성 평가
교통흐름 측면	기존 도로의 통행량 전환 관계 및 소통 측면 반영
환경 측면	자연환경 및 생활환경에 대한 주요 영향의 조사 평가
공사비 측면	개략 공사비를 산정하여 대안별 비교

6.6 최적 노선대 선정

노선대는 사업의 목적과 부합되는 수준에서 설정함이 바람직하며, 지나치게 넓게 설정할 경우에는 시간 및 경비가 추가될 뿐만 아니라 분석 대상 지역의 핵심이 흐려질 수 있다.

반대로 지나치게 좁을 경우에는 주요 경유 지역이 초기에 제외되는 문제점이 발생할 수도 있다. 최적 노선대 선정 과정은 <그림 208.1>과 같다.



<그림 208.1> 최적노선대 선정과정

209
기본설계

209.1 개요

기본설계 단계에서는 타당성조사를 토대로 결정된 최적노선대에서 최적노선을 결정한다. 주요 구조물의 규모, 배치, 형태, 공사방법 및 기간, 소요비 등에 대해 일반적인 조사 및 분석, 비교·검토를 실시하여 최적안을 계획하고 주요 시설물에 대해서 예비설계를 수행한다.

기본설계는 설계기준 및 조건 등 실시설계에 필요한 기술적 자료를 작성하는 단계이다.

기본설계 단계에서 다루어야 할 각 단계별 주요 업무는 <표 209.1>과 같다.

<표 209.1> 각 단계별 업무 범위

구 분	업 무 범 위	
조사 업무	• 관련계획 조사 및 검토* • 현지조사/답사 • 교통량 및 교통시설조사* • 수자원 (①수리, 수문 ②기상, 해상* ③선박운항*) • 환경영향조사	• 측량 • 토질 및 지반 조사 • 지장물, 구조물 조사 • 토취장, 골재원, 사토장 조사* • 용지조사*
계획 업무	• 전 단계 성과 검토 • 교통분석 및 평가 • 환경영향 검토 및 평가 • 경제성, 재무분석* • 노선 결정 • 출입시설 결정	• 수리, 수문 검토 • 구조물계획(①교량 ②터널) • 설계기준 작성 • 관련기관 협의
설계 업무	• 예비 설계	

주) : 필요시 수행하는 업무

209.2 설계 요소의 기준 설정

2.1 계획 목표년도

도로의 계획 목표년도는 일반적으로 지방지역 도로에 대해서는 장기계획으로 20년, 도시지역에 대해서는 도시교통의 변화 가능성이 많으므로 노선의 성격과 중요성을 고려하여 10년으로 할 수 있다. 도로의 계획목표년도는 계획당시를 기준으로 하며 도로의 소재 지역과 기능에 따라 달리 규정한다.

도로의 계획 목표년도의 설정에서는 여러 가지 정책적인 문제가 관련되어 있어 목표년도를 쉽게 결정할 수 없지만, 너무 멀리 내다보고 건설할 경우 신뢰성이 결여될 수 있고 과대한 계획이 되기 쉽다.

2.2 설계기준 자동차

도로설계시 해당 도로의 구분에 따라 소형 및 대형차가 원활하게 통행할 수 있도록 설계한다. 차량의 치수, 성능 등은 도로의 폭원, 곡선부의 확폭, 교차로의 설계, 종단경사, 시거 등에 큰 영향을 미친다. 소형자동차는 폭원, 시거 등의 기준을 정하기 위해 필요하며 대형자동차 및 세미트레일러연결차는 폭원, 곡선부의 확폭, 교차로의 설계, 종단경사 등을 결정하기 위해 필요하다.

<표 209.2> 설계기준 자동차의 차종별 제원

제원(m) / 차종	길이	폭	높이	축간 거리	앞내민 길이	뒷내민 길이	최소회전 반경
소형자동차	4.7	1.7	2.0	2.7	0.8	1.2	6.0
대형자동차	13.0	2.5	4.0	6.5	2.5	4.0	12.0
세미 트레일러 연결차	16.7	2.5	4.0	앞축간거리 4.2 뒤축간거리 9.0	1.3	2.2	12.0

주) 1. 축간거리 : 앞바퀴 차축의 중심으로부터 뒷바퀴 차축의 중심까지의 길이
2. 앞내민 길이 : 자동차의 앞면으로부터 앞바퀴 차축의 중심까지의 길이
3. 뒷내민 길이 : 뒷바퀴 차축의 중심으로부터 자동차의 뒷면까지의 길이

2.3 교통량

(1) 계획교통량

계획·설계를 시행하는 도로의 계획 목표년도에 통행할 것으로 예상되는 자동차의 연 평균 일일교통량(Annual Average Daily Traffic ; AADT)을 계획 교통량이라고 한다. 이 계획 교통량은 건설할 도로의 규모를 결정하는 것이기 때문에 매우 중요하며, 당해 도로의 발전 동향, 장래의 자동차 교통상황 등을 감안해서 결정한다.

계획교통량을 추정하는 계획 목표년도를 몇 년으로 하느냐 하는 문제는 그 계획도로의 기능이나 위치에 따라 다르다. 그 외에도 하나의 노선만을 대상으로 하는 것이 아니라 노선이 통과하는 지역에 대해서 도시발전의 경향, 시가화의 상황, 특히 어떤 법정상의 토지이용계획이나 대규모 주택단지, 공업단지의 계획 등을 고려하여 계획교통량을 결정한다.

(2) 설계시간 교통량

설계시간 교통량은 도로의 계획 목표년도에 그 도로를 통행할 시간당 자동차의 대수이다.

도로의 기하구조 설계를 위한 설계시간 교통량으로는 첨두시간 교통량이 주로 쓰인다. 이것은 설계목표년도의 첨두시간 예상 교통량으로 이를 설계시간 교통량(Design Hourly Volume ; DHV)이라고 한다.

2.4 설계속도

설계속도는 선형설계를 하는데 있어서 기본이 되는 속도이다. 이 속도에 따라 구체적인 선형요소, 즉 평면 곡선반경, 평면 곡선의 길이, 평면 곡선부의 확폭, 시거, 종단경사, 오르막차로 등이 결정된다. 또한 차로 및 길어깨의 폭도 설계속도와 밀접한 관계가 있다.

도로의 구분에 따른 설계속도는 <표 209.3>과 같다. 다만 지역상황 및 경제성 등을 고려하여 필요한 경우 표의 속도에서 시속 20km 범위 안의 속도를 뺀 속도를 설계속도로 할 수 있다.

2.5 설계구간

설계구간이란 도로가 존재하는 지역 및 지형의 상황과 계획교통량에 따라 동일 설계기준을 적용할 수 있는 구간이며 동일한 도로구분을 적용하는 구간이다.

단구간에서 지나치게 설계구간을 변화시키거나 혹은 운전자가 예기치 못한 장소에서 설계구간을 변경시킨다는 것은 운전자를 혼란시켜 교통안전 측면에서도 좋지 않으며 또한 쾌적성도 떨어진다.

노선의 기하구조는 가능한 한 연속적인 것이 바람직하므로 설계구간을 설정하는 경우에는 그 길이나 변형점의 선정방법 등에 대해 신중한 배려가 필요하다.

도로의 설계구간은 노선의 성격이나 중요성, 교통량, 지형 및 지역이 대략 비슷한 구간에서는 동일한 설계구간으로 함이 바람직하다. 그러므로 하나의 설계구간은 도로의 기하구조가 짧은 구간마다 변화하게 되면 운전자를 혼란시켜 교통 안전상으로도 좋지 않으므로 가능한 한 길게 설정함이 바람직하다.

설계구간의 길이에 대한 명확한 근거를 찾아내기는 어려운 문제이지만 경험상 최소설계구간 길이의 개략적인 지침은 <표 209.4>와 같다.

<표 209.3> 도로의 구분에 따른 설계속도

도 로 구 분		설 계 속 도(km/시)		
		지 방 지 역		도 시 지 역
		평지	산지	
고속도로		120	100	100
일반도로	주간선도로	80	60	80
	보조간선도로	70	50	60
	집산도로	60	40	50
	국지도로	50	40	40

<표 209.4> 설계구간 길이의 개략적인 지침

도로의 구분	설계구간의 표준적인 연장	부득이한 경우에 설계속도만을 떨어뜨리는 최소구간의 길이
자동차전용도로, 지방지역 간선도로	30～20km	5km
지방지역 기타 도로	15～10km	2km
도시지역 일반도로	주요 교차점의 간격	

2.6 설계 서비스수준

설계 서비스수준이란 계획도로의 설계에서 장래 도로의 혼잡 상태를 어느 수준까지 허용할 것인가를 결정하는 기준이 되는 서비스수준이다.

도로는 통행하는 운전자가 쾌적하고 안전하게 주행할 수 있도록 설계 서비스수준을 설정해야 하지만, 당해 도로에 투자할 수 있는 비용에 한계가 있으므로 사회적, 경제적 측면에서 타당한 서비스수준을 산정하여 이에 맞는 수준으로 설계해야 한다. 즉 도로설계시 도로에서 얻어지는 효과와 이를 위하여 필요로 하는 투자를 충분히 검토하여 이용 교통에 대한 서비스의 질적 수준을 적절하게 선택해야 한다.

설계 서비스수준의 또 다른 의의는 도로의 어떤 구간에 대하여 가능한 한 일정한 주행상태가 확보되도록 서비스의 질을 유지하는 것이다. 짧은 구간에서 서비스 수준이 급격히 변하거나 통일성이 결여되는 경우 이용 교통의 안전성이나 쾌적성이 크게 손상된다. 따라서 일정 설계구간에 대해서는 동종의 서비스의 질을 확보할수 있도록 설계 서비스수준을 정할 필요가 있다.

도시지역 도로의 경우 설계 서비스수준을 낮게 잡아 운전자들이 교통혼잡에 비교적 민감하지 않은 점을 반영할 수 있으며, 지방지역 도로의 경우 지역에 따라 교통량 변화가 심하고 장거리 통행이 많은 지역간 교통특성을 감안하여 높은 서비스수준으로 설계한다. <표 209.5>는 일반적으로 적용되는 설계 서비스수준이다.

<표 209.5> 설계서비스수준

지역 구분 / 도로구분	지방지역	도시지역
고속도로	C	D
일반도로	D	D

209.3 현황 조사 및 검토

3.1 현지조사 및 답사

① 예정 노선의 해당 계획 지역에서 지형, 지장물, 식생, 용배수, 토지이용현황 및 문화재를 조사·확인한다. 측량, 토질조사 등을 실시하는 경우에는 조사계획서를 작성하여 발주자에게 보고한다.

② 현지 답사를 하여 계획지역의 지형, 지물, 각종 시설물, 식생, 토지이용 상황 등의 정확한 현황을 파악하고 사진 또는 비디오 등을 이용하여 과업수행에 유용한 자료를 작성한다.

3.2 수리, 수문 조사

① 계획지역 하천의 상태, 정비계획, 주변개발 상황 등을 조사한다.

② 계획지역 하천의 유역면적, 유로 연장, 하폭, 하상 경사, 제방 및 호안 현황, 지류 등을 조사한다.

③ 계획 지역 인근의 배수로 및 용수로를 조사한다.

④ 타당성조사 및 기본계획의 계획 홍수량과 계획 홍수위 등이 적정하게 산정되었는지를 검토한다.

⑤ 계획 시설물 설치에 따른 홍수위의 상승, 기존 제방에 미치는 영향 등을 검토하며, 특히 물의 흐름의 변화로 인한 침식 및 퇴적 등에 대하여 검토한다.

⑥ 홍수시 기초지반의 세굴, 하부구조에 미치는 영향 등을 검토한다.

3.3 환경영향조사

① 계획도로의 건설이 인근 주민에 미치는 각종 영향을 조사한다.

② 계획도로가 계획지역의 동·식물의 식생에 미치는 영향을 조사한다.

③ 계획도로의 건설로 발생되는 소음·진동으로 주민 생활의 불편을 초래하게 될 것으로 예상되는 곳에서는 시설물 설치 전의 소음·진동 현황을 조사한다.

3.4 측량(예비측량)

① 기본설계에서의 중심선 측량을 예비측량이라고 하며, 평지부, 구릉지, 산지부 등 지역특성에 따라 40~100m 간격으로 측량을 실시한다. 이때 도상의 중심선 표정은 1:5,000 지형도를 확대한 현황도를 이용하여 업무를 수행할 수 있다.

② 필요시 수준측량, 골조측량 등을 수행할 수 있다.

③ 측량을 실시하기 전에 측량 작업계획서를 작성하여 제출한다.

④ 측량은 측량법과 공공 측량 작업규정에 관한 기준에 의거하여 시행하도록 한다.

⑤ 측량기기는 조사에 적정한 것을 사용하여야 하며, 관계 규정에 의거 점검 및 보정을 받은 것이어야 한다.

3.5 지질 및 지반조사(예비조사)

① 노선에 대한 전반적인 지질 및 지반 특성은 기 제작된 지질도와 지표 지질조사를 수행하여 확인·파악한다.

② 지질 및 지반조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 지질구조, 암질, 토질, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 개괄적으로 파악하여 본 조사를 실시할 때 기본자료로 활용한다.

③ 지표지질조사를 통하여 단층, 습곡, 절리 등 지질구조도를 작성하고 암석의 분포상태나 특성을 파악하여 지질재해 등의 가능성을 검토한다.

④ 지표지질 조사 내용은 다음과 같다.

- 표층지반
- 암질
- 지질구조
- 암반거동
- 지표수 및 지하수

⑤ 지반조사의 범위 및 내용은 발주자와 협의하여 결정하지만, 적어도 주요 구조물인 터널 및 장대교는 각 구조물당 1개소 이상, 연약지반 및 20m 이상 대절토부는 각 구간당 1개소 이상의 시추조사를 수행하여 구조물 및 토공계획에 반영한다.

⑥ 구조물 계획 및 형식을 고려하여 조사위치, 조사방법 등을 선정한다.

⑦ 조사심도는 예상되는 기초 하부 지지층으로부터 최소 기초 깊이 이상이 되도록 하며, 석회암 지역과 같이 지층에 공동이 예상되는 곳에서는 조사 심도를 충분히 깊게 하여 조사한다.

⑧ 기초지반의 각종 물성치 및 특성을 파악할 수 있도록 조사한다.

⑨ 설계자는 지반조사 착수 전에 지반조사 계획서를 제출하여 발주자의 승인을 받아야 하며 계획서에는 조사범위, 방법, 위치, 수량 등을 기재한다.

⑩ 지반조사시에는 안전사고 및 재해, 환경오염, 교통혼잡, 민원 등의 발생에 유의해야 한다.

3.6 지장물 및 구조물 조사

① 계획시설물의 설계 및 시공에 영향을 미치는 각종 지하매설물과 지상 시설물 및 장애물을 조사한다.

② 지하매설물조사 : 사업노선에 저촉되는 고압송유관, 광케이블, 기타 통신시설, 가스, 상·하수도 및 농어촌 지역에 분포되어 있는 관정 등에 대한 사항을 조사한다. 조사 내용을 기초로 관계기관과 협의하여 이설 및 보상계획을 수립한다.

③ 지장물(지상 지장물 및 전기, 통신, 송유관, 상·하수도, 가스 등의 지하 매설물)은 관계기관과 협의를 거쳐 이설 및 보상 계획을 수립한다.

④ 계획 도로 인근의 각종 구조물과 수리시설, 문화재를 비롯한 중요 시설물에 대한 조사를 한다.

⑤ 주요시설(군사시설, 산업시설, 저수지 등) 및 문화재는 가급적 우회하는 방향으로 노선을 계획하고 부득이한 경우 관계기관과 협의하여 대책을 수립한다.

⑥ 계획도로의 시공으로 구조적 변형, 손상 등 영향을 받을 수 있는 구조물을 조사한다.

3.7 토취장, 골재원, 재료원, 사토장 조사

① 기존 골재원의 위치, 종류, 골재 생산 추이 등을 조사한다.

② 계획지역 인근에 기존 골재원이 없는 경우 골재원으로 개발할 수 있는 지역, 생산 가능량 등을 조사한다.

③ 토취장 및 사토장의 위치, 규모 등을 조사한다.

④ 해당 지방자치단체에서 수행하고 있거나 또는 추진 예정중인 각종 공사장에서 발생할 토공량, 암굴착량, 사토량 등을 조사한다.

⑤ 실시설계 및 공사까지 상당한 사업기간이 소요되므로 토취장, 골재원, 재료원, 사토장은 매장량, 생산 가능량, 향후 추이 등을 집중 검토하여 공사기간까지 사용할 수 있는 후보지를 선정 제시한다.

⑥ 공사시 시공성 및 경제성을 갖도록 토취장, 골재원, 재료원, 사토장 후보지는 노선 시점에서 종점까지 고르게 분포되어야 한다.

3.8 기타 조사

① 사회·경제 특성조사 및 분석
② 통행특성 및 통행실태 분석
③ 교통시설 운영 현황 및 교통량
④ 기상, 기후, 생태계 조사
⑤ 광업권 조사

209.4 계획업무

4.1 전단계 성과 검토

타당성조사 및 기본계획의 성과품을 검토, 분석하여 조사, 계획, 설계업무의 각 결과치를 기본설계에 최대한 활용하며, 만일 재검토가 필요한 경우에는 발주자의 승인을 받아 다시 실시하도록 한다.

4.2 환경영향검토

① 후보노선별로 환경적 측면에서 분석이 필요하며, 지자체 및 관계기관과 협의한다.

② 계획도로의 건설로 인한 소음, 진동 등을 분석하여 계획지역 인근주민, 주변 시설물 및 동식물에 미치는 영향을 검토한다.

③ 주변시설과 계획 시설의 조화, 주변상권에 미치는 영향을 검토한다.

④ 방음시설과 방진시설을 검토한다.

4.3 노선계획(노선 및 선형결정)

(1) 최적노선 결정

① 타당성조사 및 기본계획에서 결정된 최적노선대 안에서 각 비교노선의 경제성, 시공성, 환경성 등을 평가하여 최적노선을 선정한다.

② 실시설계에서 노선이 변경되지 않도록 지장물 등을 충분히 조사하여 최적노선을 선정한다.

③ 최적노선을 1/5,000 지형도에 표정한 후 현지조사를 통해 최적노선을 확정한다. 필요시 1/1,000 도면도 사용 가능하다.

(2) 선형(노선) 결정

선형계획시 주요 구조물 및 주요 도로시설물의 위치, 규모, 형식과의 연계성을 검토한다.

① 도로 표준 횡단 구성의 결정

- 단위 차로폭을 검토·계획한다.
- 차로, 보도, 중앙분리대, 측대 등의 폭원을 검토·계획한다.

② 선형계획

- 설계속도에 따른 평면선형 및 종단선형을 비교·검토한다.
- 주위의 지형, 경관 등을 고려하여 최적의 선형을 계획한다.
- 평면 및 종단선형이 잘 조화되도록 한다.
- 설계기준, 시방서, 지침에 따라 합리적으로 계획한다.
- 홍수위의 상승, 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로 등)에 따른 적정 형하고를 검토하여 계획한다.

③ 진출입부

- 계획시설물에서의 진출입시 운전자가 혼동을 일으키지 않도록 계획한다.
- 진출입부 및 연결도로상에서 필요한 가감속차로, 오르막차로 등을 검토·계획한다.
- 최대 교통량 발생시(첨두시간)에 교통혼잡이 최소가 될 수 있도록 검토·계획한다.

4.4 수리□수문 검토

① 조사업무에서 결정된 계획홍수량과 계획홍수위 등이 적정하게 산정되었는가를 검토한다.

② 계획시설물 설치에 따른 홍수위의 상승, 기존 제방에 미치는 영향 등을 검토하며, 특히 물의 흐름의 변화로 인한 침식 및 퇴적 등에 대하여 검토한다.

③ 홍수시 기초지반의 세굴, 하부구조에 미치는 영향 등을 검토한다.

4.5 주요 구조물 계획

(1) 교량, 입체교차시설

구조물계획은 주요 구조물을 위주로 다음과 같은 요소를 비교·검토하여 수행한다.

- 경제성
- 시공성
- 안전성
- 미관성
- 장·단점

① 구조물 형식

가. 지간 구성

- 상부구조형식, 사용재료 등을 고려하여 적정한 지간을 계획한다.
- 하상 또는 해저면까지 수심, 지형 등과 기초지반의 상태를 고려하여 지간을 계획한다.
- 계획홍수위 및 홍수량 등을 고려하여 적정 지간을 계획하고, 홍수시 수위 상승으로 기존 제방에 미치는 영향을 최소화한다.
- 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로 등)들이 갖는 적정폭을 고려하여 지간을 계획한다.
- 지장물 및 기타 장애물을 고려하여 지간을 구성한다.

나. 상부구조 형식

- 하중의 종류, 크기, 하부 구조에 미치는 영향 등을 고려하여 계획한다.
- 운전자의 승차감을 고려하여 가능한 연속

구조로 계획한다.

- 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로 등)을 고려하여 적정 형하고를 유지할 수 있는 상부구조를 계획한다.
- 제작, 가설방법 등을 고려하여 적정한 구조형식을 계획한다.
- 내구성과 유지관리 등을 고려하여 적정한 구조형식을 계획한다.

다. 하부구조 및 기초형식

- 상부구조 형식, 폭, 사용재료, 하중의 크기 등을 고려하여 하부구조 및 기초의 형식을 계획한다.
- 내진 설계를 고려하여 상·하부구조 연결부(내진받침, 면진받침, 강결구조 등)를 검토한다.
- 지지층까지 심도, 지반의 상태 등을 고려하여 기초의 형식을 계획한다.
- 하부구조는 하천 흐름에 방해가 되지 않도록 한다.
- 공사자재 및 장비 등의 운반 및 진입, 공사방법 등을 고려하여 적정한 구조형식을 계획한다.
- 홍수 또는 파랑에 의한 세굴, 손상 등을 고려하여 적정한 구조형식을 계획한다.
- 교량받침은 하중의 크기, 상부구조 형식, 지간구성 등을 고려하여 선정한다.

② 공법

- 계획시설물의 규모, 위치 및 지형지질, 동원가능 장비의 능력 및 수효, 가설 제작장 설치 가능 여부, 공사소요기간 및 가설공사비 등을 비교·검토하여 계획한다.
- 주변시설 및 인근 주민에 미치는 소음, 진동과 교통의 혼잡을 최소화할 수 있는 공법을 검토한다.
- 하천 또는 해상공사비 토사유출 등으로 주변이 오염되지 않도록 한다.

(2) 터널

개략적인 굴착 방법을 선정하고 각 공법별로 비교, 분석하는 작업을 실시한다. 굴착 공법의 선정은 유사현장 지반조건 및 인접지형, 지질상태를 파악하여 비교·검토 해야 한다. 이때 다음과 같은 사항들을 고려한다.

- 경제성
- 시공성
- 안전성
- 미관성
- 장·단점

(3) 휴게소, 정류장

휴게소, 버스정류장 등의 주요 도로시설물은 위치, 규모, 형식을 비교하여 최적노선에 부합되게 선정한다.

비교안은 복수 이상으로 경제적, 기술적, 환경적인 측면에서 검토가 이루어져야 한다. 구조물 및 도로시설물 계획시 지자체, 관계기관과 협의하고 지역 주민들의 민원사항이 반영되어야 한다.

4.6 관계기관 협의 및 주민의견 수렴

노선 선정 과정에서 지역주민, 지자체, 관계기관 등의 의견을 수렴하고, 그 의견이 타당하다고 인정되는 때에는 이를 반영하여 공사 시행 중 노선이 변경되는 일이 없도록 한다. 다만, 도로의 기능 유지와 지형 및 교통특성 등

에 따라 의견 반영이 곤란한 경우에는 미리 이러한 내용을 충분히 설명하여 공사 시행 중 민원 발생을 예방하도록 한다.

- 계획 노선의 건설에 따라 주변에 미치는 영향을 파악하고 민원 발생의 소지가 있는 부분에 대해서는 이를 최소화할 수 있는 대안을 검토한다.
- 행정절차법에 의거 주민 설명회 또는 공청회를 개최하여 주민 의견을 최대한 수렴한 후 최적 노선을 선정한다.
- 주민의 의견 수렴시 관계기관도 함께 참석하도록 하여 회의를 진행하고 토론 및 결론 사항에 대한 모든 과정을 문서로 기록하고 보전한다.
- 농림부, 환경부, 문화재 관리국 등 도로설계 관련 기관과 충분한 협의를 수행한다.

209.5 노선 계획

5.1 최적노선 선정

(1) 선정 과정

1/50,000 지형도상에서 선정된 최적노선대의 범위 내에서 도로 등급에 부응할 수 있는 설계기준을 설정하고 현지답사를 거쳐 1/5,000 지형도상에 비교 노선 대안을 도출한다. 이 비교 노선 대안을 경제적, 기술적, 환경적 측면에서 비교 평가하여 최적 노선을 선정한다.

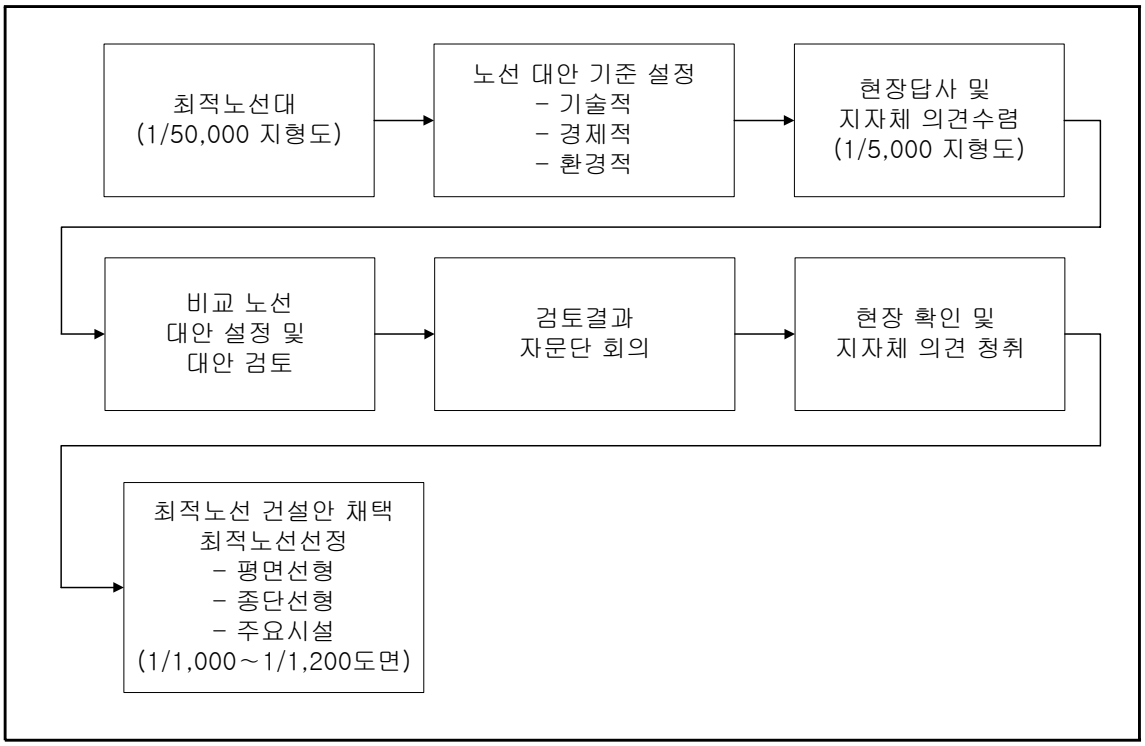
최적노선 선정에서는 1/1,000~1/1,200 도면을 원칙적으로 사용하며, 필요시 1/5,000을 사용할 수 있다.

현장을 답사하여 현장여건을 감안하고 지자체 관계자와 협의 후 의견을 수렴하여 대안을 설정한다.

(2) 선정 기준

최적노선의 선정과정은 <그림 209.1>과 같으며, 최적노선을 선정하기 위한 기준의 기술적, 경제적, 환경적 고려 요소는 <표 209.6>과 같다.

<표 209.7>은 기본설계에서의 비교 노선 평가 사례를 예로 제시한 것이다.



<그림 209.1> 최적노선 선정 과정

<표 209.6> 노선선정시 고려요소

구분	고려요소
기술적 측면	• 주요 경유지를 통과하되 기존 도로 노선과의 중복을 피한다 • 평면선형과 종단선형의 조화를 고려한다 • 교차시설의 설치가 용이한 노선을 선정한다 • 적설이 많은 지역은 가능한 남향 노선을 택한다 • 가급적 연약지반은 피한다
경제적 측면	• 공사비 및 유지보수비가 경제적이 되도록 한다 • 공사비의 최소화로 경제적 편익이 최대가 되도록 한다
환경적 측면	• 도시계획구역의 저촉여부를 판단한다 • 소부락 생활권의 피해여부를 파악한다 • 공동묘지, 공원묘지, 철탑 등의 저촉 여부 • 농경지 잠식 정도 • 문화재, 천연기념물 저촉 여부 • 자연환경의 훼손 정도 • 민원소지여부

<표 209.7> 기본설계에서의 비교 노선 평가 예

구 분		제 1 안	제 2 안
노선 선정 배경		• 최적노선대 선정시 A지역에 대한 접근성을 고려하고 B, C에 접근하며, 향후 D 지역 개발 계획을 고려한 최적안으로서 현재 마을 및 지형을 고려하여 2개의 비교안이 선정되었다.	
노선 개요		• "가"군 "나"면, 하천 N, M을 통과하여 K면 F리 터널을 통과하는 안과 U 마을을 동쪽으로 순회하는 안	
연장(km)		6.000	6.056
기하 구조	평면곡선 반경(m)	R=3,000	R=1,200 A=600
	종단 경사(%)	1.800	1.130
주요 구조물	교량 (개소/m)	7/280	9/320
	터널 (개소/m)	1/600	-
농경지 편입 (m^2)		174,000	291,000
사업비	공사비	350억원	305억원
	보상비	88억원	116억원
	계	438억원	421억원
노선특성		• 기존마을 인접통과 구간 터널 설치로 민원 해소 • 터널 설치(차로 분리) • 평면선형(R=3,000) 양호 • 공사비 다소 고가	• 기존 마을 생활권 분리로 민원 야기 • 농경지 편입면적 과다 (약 4만평) • 평면선형(R=1,200)이 1안 보다 불리 • 공사비 저렴
채택안		○	

5.2 노선선정시 기술적 요소

(1) 평면선형의 기본 사항

평면선형에는 직선, 원곡선, 완화곡선(클로소이드 곡선)의 3종류가 사용되며 이들을 조합하여 노선이 계획된다.

① 직선

직선을 적용할 때는 특히 지형과의 관계에 유의하고, 그 길이는 일정범위를 넘지 않는 범위에서 다음과 같은 구간에 적용한다.

- 평지 및 산과 산사이에 펼쳐져 있는 넓은 골짜기
- 시가지 또는 그 근교 지대로서 가로망 등이 직선적인 구성을 이루고 있는 지역
- 장대교 혹은 긴 고가 구간
- 터널구간

② 곡선

- 원곡선 적용시는 지형에 적응시키되 가능한 큰 곡선반경을 쓰도록 한다.
- 곡선부에서는 종단경사와의 관계를 고려하여 작은 반경의 원곡선과 급경사가 겹치지 않도록 한다.
  - 단 곡 선
  - 복합곡선 : 평면교차로, 입체교차로의 연결로, 혹은 지형이 험한 곳의 도로에서 자동차의 주행이 자연스럽게 이루어지게 하기 위해 사용
  - 배향곡선 : 두 원곡선이 서로 반대방향으로 진행하며 연결되어 있는 것

③ 클로소이드 곡선

- 자동차가 일정한 속도로 주행할 때 일정한 각속도로 핸들을 회전시킨 경우의 주행궤적과 일치한다.
- 곡선반경(R)은 클로소이드 시점으로부터 거리(L)에 반비례한다(L × R = A2).
  - 기본형 : 직선 - 클로소이드 - 원곡선 순으로 조합된 형. 클로소이드 - 원곡선 - 클로소이드와 같이 연속하는 경우 각 곡선의 길이는 대략 1:2:1이 바람직함
  - S 형 : 배향하는 두 원곡선을 클로소이드로 연결한 형은 고속도로에서 많이 사용된다. S형 선형에서는 연속하는 원곡선과 클로소이드의 각 곡선길이를 동일하게 함이 바람직함
  - 계란형 : 두 개의 같은 방향으로 꺾어지는 원곡선을 하나의 클로소이드로 연결한 것

(2) 종단선형의 기본 사항

- 매끄럽고 쾌적한 선형을 확보하기 위해서는 종단곡선 반경의 최소치보다 2배정도 이상의 값을 확보하도록 노력함이 바람직하다.
- 종단곡선과 평면선형이 조화를 이루기 위해서는 평면곡선 반경의 크기에 대응하여 종단곡선 반경도 크게 할 필요가 있다. 경험적인 수치로서 아래 수치 이상이 바람직하다.
  - 볼록형 종단곡선반경
    → 평면곡선반경 ×10배이상
  - 오목형 종단곡선반경
    → 평면곡선반경 × 6배이상
- 선형은 지형에 적합한 원활한 것이어야 한다.
- 앞과 뒤만 보이고 중간이 푹 패여 잘 보이지 않는 선형은 피해야 한다.

- 급한 상향경사 앞에 하향경사를 설치하여 오르막구간에서 트럭의 주행속도가 허용 최저속도 이하로 떨어지지 않도록 할 때 하향경사를 너무 급하게 하거나, 길게 해서는 안된다.
- 같은 방향으로 굴곡하는 두 종단곡선 사이에 짧은 직선구간을 두는 것은 피한다.
- 길이가 긴 경사 구간에는 상향경사가 끝나는 정상부근에서 경사를 비교적 완만하게 하는 편이 좋다.
- 경사변화가 작을 때의 종단곡선 변화비율은 될 수 있는 데로 크게 한다.
- 상향경사가 크고 경사길이가 긴 경우에는 트럭의 속도저하, 교통량 등을 감안해서 필요에 따라 오르막차선의 설치를 고려한다.
- 최소 종단경사는 노면의 배수를 고려하여 0.3% 이상으로 한다.
- 종단곡선의 오목부가 땅 깍기부에 생길 경우 배수에 문제가 생기므로 이를 피한다.

(3) 선형 설계시 유의사항

- 평면선형은 연속적으로 균형을 이루도록 하며, 긴 직선 혹은 매우 큰 원곡선의 앞에 접속하는 작은 원곡선은 선형의 조화와 사고방지 등을 고려하여 표준치 이상을 적용한다.
- 평면선형과 종단선형의 조합은 항상 평면선형이 완전히 종단곡선과 겹쳐지는 것이 바람직하다.
- 평면선형의 S커브의 변곡점(KA) 부근에 종단곡선의 정점(Crest)이 일치하면 종단경사, 편경사가 0% 가까이 되어 노면배수 기능을 잃어, 사고를 일으키기 쉬운 위험한 곳이 되므로 이러한 선형의 조합은 피한다.
- 평면선형의 S커브의 변곡점(KA) 부근에 종단곡선의 저부(Sag)가 일치되면 바람직하지 않다.
- 같은 방향으로 굴곡하는 원곡선의 사이에 짧은 직선구간은 시각적으로 바람직하지 않으므로 피한다.
- 긴 직선의 평면선형(약 2km 이상)은 단조롭게 되기 쉬우므로 기준점 등의 관계로 허용되는 경우는 큰 곡선을 사용함이 바람직하다.
- 종단경사는 노면의 배수기능 확보를 위해 0.3%～0.5% 이상 확보함이 좋으며, 우리나라와 같이 강우강도가 비교적 큰 나라에서는 0.5% 이상이 바람직하다.
- 과거의 사고율 등의 데이터로부터 보면 평면곡선반경이 R=500m 이하가 되면 사고율이 급격히 증가하는 경향이 있고, 종단경사가 하향 3% 이상이 되면 급격하게 증가하는 경향이 있으므로 이보다 불리한 선형을 사용하는 경우는 신중히 검토한다.
- 산지부 등에 표고차가 있는 것과 같은 지형의 경우 최고점을 낮추고 최저점은 높이도록 노력해야 한다.
- 1/5,000 지형도에서 선정한 노선을 1/25,000～1/50,000 지형도에 기입하여 노선의 타당성에 관해서 검토함이 필요하다.

(4) 도로의 구조물과 선형

① 터널의 선정

도로에 있어 터널은 건설비 및 유지관리비가 다른 구조에 비해 매우 커지게 되므로 교통 운용상 문제가 있다.

터널은 비용이 많이 들기 때문에 그 폭원은 토공부에 비해 좁으며, 전체가 열악한 구조로 되어 있으므로 쾌적한 운전이 불가능하며 병목

구간이 되기 쉽다. 또 사고와 화재 등이 발생하면 대형사고가 되기 쉽다. 또 사고와 화재 등이 발생하면 대형사고가 되기 쉽다. 노선계획에 있어서 터널구조로 할 것인가, 혹은 피할 것인가의 검토가 필요해지는 것은 다음의 두가지 경우가 많다.

- 평면적으로 산을 우회하여 터널을 피하는 경우
  - 노선연장은 길어지지만 산을 우회하여 토공 처리함으로써 건설비가 적게 들고, 종단경사도 완만해진다.
  - 이 경우 평면곡선이 작아지므로 교통안전상의 배려가 필요하다.
  - 이러한 점 때문에 터널로 할 경우 건설비, 유지관리비가 약간 높아져도 노선연장이 짧아지면 편익상은 유리하게 되는 장점이 있다.
- 종단을 높게 하여 터널을 피할 경우
  - 이 경우는 종단경사가 급해진다.
  - 대절토가 된다.
  - 성토가 되지 않은 채 교량이 되거나 경우에 따라서는 고교각이 된다.
  - 토공량 불균형으로 사토량이 많아지는 등의 결점이 생기게 된다.
- 이것에 대해 종단을 낮춰 터널을 넣으면 전술한 결점이 해소되는 이점이 생기는 경우가 있다.
- 터널은 많은 결점을 갖고 있으나, 그것을 피한 경우의 불이익을 상쇄시키는 경우가 많으므로 잘 검토해야 한다.

② 터널의 위치선정

- 터널 계획시 토질, 지질조사 등의 데이터에 의해 지질이 양호한 장소를 선택하고 경제적이며 시공상 문제가 되지 않도록 한다.
- 터널의 갱구는 되도록 등고선과 직교하는 위치가 바람직한다.
- 터널연장을 짧게 하기 위해 골짜기를 따라 종단에 갱구를 설치하는 경우가 있으나, 지형상 약점이 되는 경우가 많으므로 충분히 주의할 필요가 있다.

③ 터널의 선형

- 터널은 폭원이 좁고 주위가 단조로우며, 터널밖과 안의 밝기의 차가 크고, 차의 배기에 의해 시계가 나빠지는 등 교통조건이 좋지 않으므로 될 수 있는 한 평면 및 종단선형은 크게 함이 바람직하다.
- 평면선형은 원칙적으로 직선으로 해야하며, 갱구에 부득이 곡선을 넣은 경우 700m 이상 될 수 있으면 1,000m 이상의 반경을 사용토록 한다.
- 터널안의 종단경사는 시공상, 용수의 자연유하가 가능토록 0.5% 이상을 확보할 필요가 있다.
- 터널의 급경사는 시공시 재료운반 등의 효율을 저하시키며, 공용후 교통용량이나 차량의 속도차 등에 의한 사고가 증대될 위험이 있다.
- 또 급경사가 되면, 자동차의 배기가스에 의한 매연농도가 급격히 증가한다. 소요환기량은 상향경사 3%에서는 평탄부에 비해 약 2배에 달한다. 따라서 터널연장이 긴 경우는 상향경사 3% 될 수 있으며 2% 이하로 한다.

- 터널은 지형상 상향경사의 정상부근에 설치되는 경우가 많으나, 터널 진입 전에 주행속도가 회복될 수 있도록 완만한 경사구간을 설치하여 오르막차로 구간이 터널 내에 들어가지 않도록 한다.
- 터널은 2차로 정도의 단면굴착이 일반적이다. 4차로의 경우, 2개의 터널이 설치되므로 평면적으로 어느 정도의 이격거리를 확보해야 한다.
- 이격거리는 중심간격에서 터널 굴착폭의 2배, 점토 등 연약한 지질에서는 5배 정도를 목표로 하지만, 특수한 사정이 없는 한 표준간격은 30m로 하고 있다.

④ 교량의 선정

- 노선 선정시 교량의 선정에 문제되는 것은 특히 골짜기 부근의 횡단에 있어서, 높은 고성토로 가능한 경우는 전후의 절토량이 증가해도 경제적으로 될 경우가 많다.
- 그러나 이 경우는 횡단구조물(암거 등)의 연장이 길어져서 단면도 크게 되어 성토의 토압에 의해 예상 밖의 공사비가 들 수 있다.

⑤ 교량의 선형

- 교량의 선형은 설계, 시공상의 난이도 및 공사비에 다소 영향을 준다.
- 일반적으로는 최단거리에서 건너는 경우가 바람직하며 이러한 교차는 직각으로 해야 하지만 교대, 교각의 위치 등을 선정하여 약간 이동하는 것이 전체적으로 바람직하다.
- 경제성 및 시공성은 직선교가 바람직하다. 그러나 경사가 있는 사교를 무리하게 피하려면 곡선교 특히 S자형의 교량이 될 경우가 많다. 이 경우는 공사비가 직교에 비해 10%～25% 증가한다.
- 이러한 점 때문에 산지부에서 교장이 300m 이상, 평지부에서 500m 이상인 경우는 교량부분을 최대한 직선으로 한다.
- 선형설계와 교량계획은 약간의 중심선 이동에 의해 연장이 짧아지거나 구조형식이 단순하게 될 경우가 있으므로 1/1,200 지형도에 의해 상세한 검토를 통해 최종선형을 확보한다.

⑥ 기타 부속시설에서의 선형

- I.C, 휴게소 등 부속시설이 예정되는 경우의 전후 선형은 되도록 완만하게 함이 필요하다.
- 곡선반경이 작은 경우 시거불량 및 곡선부 외측에 큰 편경사가 형성되어 경사차로 인해 주행상 위험하다. 따라서 본선의 편경사가 3% 이하가 되도록 한다.
- 종단경사에 대해서 유출입자의 가·감속을 고려하여 되도록 2% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- I.C, 휴게소 등은 넓은 면적을 필요로 하기 때문에 주변의 토지이용, 지형 등을 종합적으로 검토하여 선형을 결정한다. 또, 가능한 한 전후 2km 이내에는 터널을 설치하지 않도록 한다.

209.6 도로 횡단면 계획

6.1 일반적 고려사항

도로의 횡단구성은 교통안전, 교통용량 및 사업비에 큰 영향을 미치기 때문에 도로설계에 있어서 횡단면의 구성요소 편성과 각 요소의 폭원은 도로의 종류, 성격 및 도로 주변상황 등을 고려하여 결정한다. 도로의 횡단면 구성 시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

① 계획도로의 기능에 따라 횡단면을 구성하며 설계속도가 높고, 계획교통량이 많은 노선에 대해서는 높은 규격의 횡단구성요소를 갖춘다.

② 계획목표년도에 대한 교통수요와 요구되는 계획수준에 적응할 수 있는 교통처리 능력을 가져야 한다.

③ 교통의 안전성과 효율성을 검토하여 구성한다.

④ 교통상황을 감안하고 필요에 따라서는 자전거 및 보행자를 분리한다.

⑤ 출입제한 방식, 교차 접속부의 교통처리 능력, 교통처리 방식도 연관하여 검토한다.

⑥ 인접지역의 토지 이용 실태 및 계획을 충분히 감안하여 연도에 대한 양호한 생활환경 보전에 노력한다.

⑦ 도로의 횡단구성 표준화를 도모하여 도로의 유지관리, 양호한 도시 경관확보, 유연한 도로기능을 확보한다.

⑧ 해당노선의 기능과 차량 교통량, 설계속도, 보행자, 자전거 및 경운기 교통량 등 교통상황에 따라 결정해야 한다.

(1) 횡단구성 계획

넓은 폭의 횡단구성은 교통량을 증가시키고, 자동차 통행에 있어서 쾌적성을 향상시킬 수 있다. 차도부의 횡단구성 요소의 폭을 크게 하면 자동차 통행에 있어서 쾌적성이 향상되기는 하지만 소형차량이 동일 차로 내에서 2대가 통행하려 할 경우에는 안전성에 있어서 문제가 되는 경우도 있다. 따라서 횡단 구성 요소를 결정하는 데 있어서 해당노선의 기능 및 교통상황을 충분히 감안하여 교통의 안전성과 효율성을 고려해야 한다.

(2) 일반도로의 계획과 설계

① 교통의 안전과 원활한 처리를 위해서는 보행자 및 자전거 등 기타 교통에도 충분한 안전을 고려하고, 필요에 따라서 자동차 교통과 분리시킬 필요가 있다.

② 도시지역이나 도로주변에 자전거 이용자나 보행자가 있는 지방지역은 식수대, 보도 등을 설치하여 자동차 교통으로부터 분리시켜 안전성과 쾌적성 향상을 도모할 필요가 있다.

③ 자전거 이용자가 많은 도시지역 등에서는 보도와 자전거도를 설치하여 보행자와 자전거를 분리시키는 것이 바람직하다. 그러나 지방지역 등과 같이 보행자와 자전거 이용자가 거의 없는 경우에는 분리대를 설치할 필요 없이 혼합교통으로 처리할 수 있다. 도로의 횡단 폭원은 도로의 연속성 확보가 매우 중요하다.

(3) 도로의 교통처리 능력과 안전성

지방지역 도로보다 도시지역 도로에서의 교차는 교통소통 능력과 안전성이 문제가 된다. 교차로의 용량과 안전성은 교차로 이외의 구간과 조화가 이루어지는 것이 이상적이다. 따라서 일반적인 횡단구성을 검토할 경우에도 항상

교차접속방식, 즉 출입제한 방식을 함께 고려할 필요가 있다.

(4) 환경보호

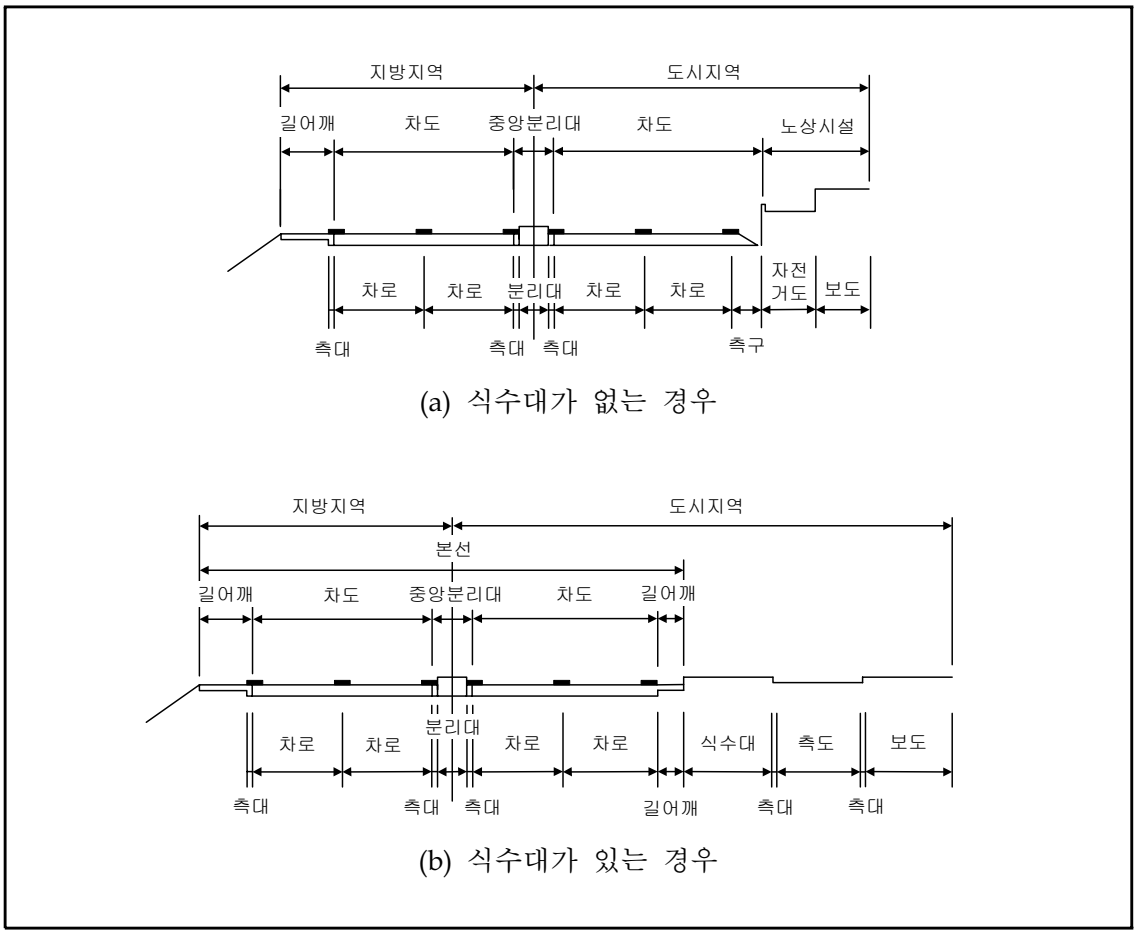
도로주변 상황과 장래 토지 이용계획 등을 감안하여 좋은 생활환경을 유지할 필요가 있는 지역에 대해서는 식수대나 환경 시설대를 설치하여 소음, 진동, 대기오염 등의 도로교통으로 기인되는 환경요소적 악영향을 경감시킬 필요가 있다.

특히 식수대의 경우 국토가 좁은 우리나라에서는 토지이용을 감안하여 경관이 수려한 지역이나 특수한 목적 이외에는 설치하지 않는 것이 일반적이다.

(5) 횡단면 구성 요소

횡단면의 구성요소는 다음과 같다.

차도, 중앙분리대, 길어깨, 정차대(차도의 일부), 자전거도, 자전거 보행자도, 보도



<그림 209.2> 횡단면 구성요소와 조합

6.2 차도 및 차로

(1) 차도구성

차도는 차량통행을 목적으로 설치된 도로의 부분으로 차로로 구별되고 직진차로, 회전차로, 변속(가감속)차로, 오르막차로, 양보차로 등이 있다.

차도를 기능별로 분리하면 <표 209.8>과 같다.

(2) 차로폭

① 차로의 폭은 차량의 추월 또는 주행에 대하여 충분한 여유를 가져야 한다. 그러나 극단적으로 넓은 차로폭을 사용하면 차량이 차로에서 일렬로 주행하지 않을 가능성이 있기 때문에 교통사고의 원인이 될 수 있다.

② 차로폭 결정시 고려할 사항은 다음과 같다.

- 평균주행속도(설계속도)
- 서비스수준
- 교통량 및 대형차 혼입율

「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서 제시하는 설계속도에 따른 차로폭은 <표 209.9>와 같다.

<표 209.8> 차도의 기능 구분

기 능	차 도
자동차가 안전하고 원활하게 주행할 수 있도록 차선에 의하여 구분되어진 차도의 부분	본선차로, 오르막차로, 회전차로, 가감속차로
차량의 정차, 비상주차를 위하여 설치된 도로부분	정차대(주차장)에 있어서 정차 및 주차의 수요를 위한 기능을 가진 부분
기 타	교차로, 중앙분리대 개구부, 부가차로 구간, 차로수 증감 또는 도로가 접속되는 구간

<표 209.9> 설계속도에 따른 차로폭의 최소치

도로의 구분	설계속도 (km/시)	차로의 최소 폭(m)	
		지방지역	도시지역
고속도로	-	3.50	3.50
일반도로	80 이상	3.50	3.25
	70 이상	3.25	3.25
	60 이상	3.25	3.00
	60 미만	3.00	3.00

주) 1. 회전차로의 폭은 3.0m 이상을 원칙으로 하되, 필요하다고 인정되는 경우에는 2.75m 이상으로 할 수 있다.

2. 최소차로의 폭은 차량의 통행에 필요한 최소한의 값이며, 바람직한 값은 아니므로 도로관리자의 판단에 따라 적절하게 최소폭을 조정하여 설계하는 것이 바람직하다.

6.3 중앙분리대

(1) 중앙분리대의 기능

중앙분리대는 자동차 전용도로나 설계속도가 높은 도로 등에서 특히 필요하며, 기타 도로에는 경제성이나 용지 문제 등을 고려하여 설치 여부를 판단한다. 그러나 4차로 이상의 일반도로에도 중앙분리대의 기능과 교통상황, 연도상황 등으로 미루어 안전하고 원할한 교통을 확보하기 위하여 필요하다고 판단될 때에는 중앙분리대를 설치하는 것이 바람직하다. 중앙분리대의 주요 기능은 다음과 같다.

① 왕복교통류를 분리함으로써 차량의 중앙선 침범에 의한 치명적인 정면충돌 사고를 방지한다.

② 비분리 다차로 도로에 있어서 대향차로의 오인을 방지한다.

③ 필요에 따라 유턴 등을 방지하여 교통류의 혼잡을 피함으로써 안전성을 높인다.

④ 도로표지 및 교통 관제시설 등을 설치할 수 있는 장소로 제공된다.

⑤ 평면교차로가 있는z 도로에서는 폭이 충분할 때 좌회전 차로로 전용할 수 있어 교통처리에 유용하다.

⑥ 보행자에 대한 안전섬이 될 수 있다.

⑦ 폭이 넓은 중앙분리대를 설치하면 야간 주행시 전조등의 불빛을 차광할 수 있다. 폭이 좁더라도 식수나 차광망을 설치하면 전조등의 불빛을 차광할 수 있다.

⑧ 도로 중심선 측의 교통저항을 감소시켜 교통용량을 증대시킨다.

(2) 중앙분리대의 구성

중앙분리대는 분리대와 측대로 구성되며 분리대의 양측에 설치되는 측대의 기능은 다음과 같다.

① 본선포장의 바깥쪽 부분이 차량의 통행으로 인해 파손되는 것을 막는다.

② 차도의 외측을 일정 폭으로 명확하게 나타내어 운전자의 시선을 유도하고 운전에 대한 안전성을 증대시킨다.

③ 주행상 필요한 측방 여유폭의 일부를 확보하여 차도의 효율성을 높인다.

중앙분리대 등의 분리대에 노상 시설을 설치하는 경우에는 시설 한계를 고려하여 결정해야 한다. 차로를 왕복으로 방향별로 분리하기 위해서 노면표시를 하는 경우는 각 노면표시의 중심간의 간격은 0.5m 이상으로 한다.

(3) 중앙분리대의 폭

중앙분리대의 폭은 각 도로별로 <표 209.10>의 폭 이상으로 한다.

<표 209.10> 중앙분리대 최소폭

구 분	중앙분리대의 최소폭(m)	
	지방지역	도시지역
고 속 도 로	3.0	2.0
일 반 도 로	1.5	1.0

6.4 길어깨

길어깨란 유사시 정차하는 차량 및 긴급차량에게 편의를 제공하고, 차도 포장부의 구조적 기능을 보호하기 위해 본선 차로에 접하여 설치되는 도로 횡단구성의 일부분으로 정의할 수 있다.

길어깨는 기능상 자동차 하중을 견딜 수 있어야 하고 일반도로일지라도 보행자, 자전거, 경운기 등이 쉽게 통행할 수 있도록 포장하는 것이 바람직하다.

(1) 길어깨의 기능

길어깨의 기능은 크게 구조적 기능, 교통기능 및 공간기능으로 구분할 수 있으며 세부 항목은 <표 209.11>과 같다.

(2) 길어깨의 폭

① 오른쪽 길어깨

차도 오른쪽에 설치하는 길어깨의 폭은 사고 또는 고장 등을 일으킨 차량이 주차할 수 있는 폭을 확보하는 것이 이상적이나 교통량에 따라서는 반드시 완전 주차할 필요는 없으며, 또 지형에 따라 현저하게 비경제적으로 되는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 주행에 필요한 최소한도의 측방여유만 확보하고, 긴급주차를 위해서는 적당한 간격으로 비상주차대를 설치할 수도 있다. 차도 오른쪽에 설치되는 길어깨의 폭은 설계속도 및 도로의 구분에 따라 <표 209.12>의 값 이상으로 해야 한다.

터널, 교량, 고가도로, 지하차도에서의 길어깨의 폭은 고속도로의 경우 1.0m 이상으로, 일반도로의 경우 0.5m 이상으로 할 수 있다. 다만, 길이 1,000m 이상의 터널에서 오른쪽 길어깨의 폭을 2.0m 미만으로 할 경우에는 최소 750m 간격으로 비상주차대를 설치해야 한다.

<표 209.11> 길어깨의 기능

구 분	기 능
구조적 기능	• 차도부에 접속하여 보조기층, 기층 및 표층 등 본선의 포장 구조를 보호
교통 기능	• 긴급구난시 비상도로로 활용 • 고장차 등을 본선차도에서 대피시켜 교통혼잡을 방지하고 교통용량을 증대 • 차량운행 중 운전자가 필요시 일시정차 가능 • 측방여유폭 확보로 교통용량 증대
공간 기능	• 노상시설 설치장소로 제공 • 유지보수 작업공간 및 지하 매설물 설치 장소로 제공 • 절토부 등에서 길어깨로 인한 시거 확보로 교통의 안전성을 증대 • 보도가 없는 도로에서 보행자의 통행도로로 이용 • 제설작업시 퇴설 공간 제공 • 우천시 노면 배수공간 제공

② 왼쪽 길어깨

차도가 분리된 도로 또는 일방통행 도로에서는 주행에 필요한 측방여유를 확보하기 위하여 차도의 왼쪽에 길어깨를 설치한다. 왼쪽 길어깨는 오른쪽 길어깨와는 달리 긴급차량의 통행에 이용되기보다는 측방여유를 확보한다는데 의미가 있으므로 오른쪽 길어깨의 폭보다 좁은 폭으로도 이러한 효용을 다할 수 있다. 왼쪽 길어깨의 폭은 설계속도와 도로의 구분에 따라 <표 209.13>의 값 이상으로 한다.

<표 209.12> 오른쪽 길어깨의 최소폭

도로의 구분	설계속도(km/시)	차도 오른쪽 길어깨의 최소폭(m)	
		지방지역	도시지역
고속도로	-	3.00	2.00
일반도로	80이상	2.00	1.50
	60이상 80미만	1.50	1.00
	60미만	1.00	0.75

<표 209.13> 왼쪽 길어깨의 최소폭

도로의 구분	설계속도(km/시)	차도 왼쪽 길어깨의 최소폭(m)
고속도로	-	1.00
일반도로	80이상	0.75
	80미만	0.50

(3) 적설지역의 측방 여유폭

① 적설지역

적설지역이란 최근 5년 이상의 최대 적설 깊이의 평균이 50cm 이상인 지역 또는 이에 준하는 지역을 말한다. 적설지역에서는 강설시에 원활한 교통소통을 위하여 일반적으로 기계를 이용한 제설 작업이 시행된다. 적설지역의 도로 횡단구성은 <그림 209.3>과 같다.

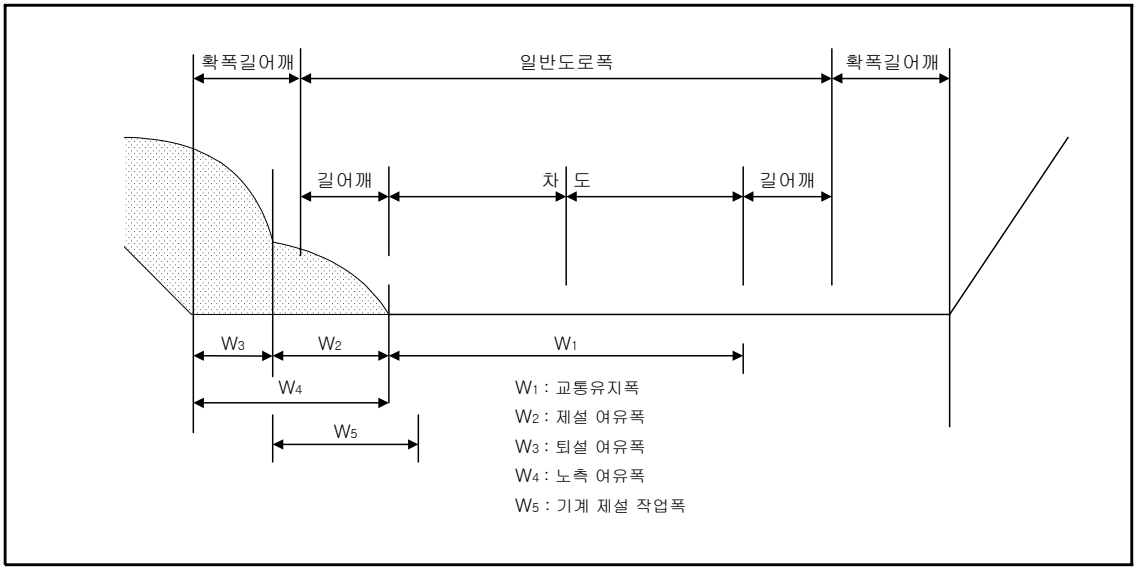
② 측방 여유폭

도로의 제설은 보통 기계로 하는데, 눈이 조금 내렸을 때는 일반적으로 제설기를 이용하여 노면에 쌓인 눈을 길어깨 방향으로 제설(1차 제설)한다.

이와 같이 임시로 노면의 눈을 퇴설하기 위한 장소를 제설 여유폭이라고 한다.

이렇게 제설된 눈을 다음에 내릴 눈에 대비하여 제설차로 측방으로 확폭 제설(2차 제설)한다. 이와 같이 확폭제설에 필요한 퇴설장소를 퇴설 여유폭이라고 한다. 눈이 많이 내렸을 경우에는 트럭에 실어 퇴설장으로 운반(운반제설)한다.

눈이 많은 지역에는 필요에 따라 제설 여유폭과 퇴설여유폭을 설치할 수 있으며, 이 두 부분을 합하여 적설지역 측방 여유폭이라 한다.



<그림 209.3> 적설지역 도로의 횡단구성

6.5 환경시설대

환경시설대는 교통량이 많은 도로 주변지역의 환경을 보전하기 위하여 도로 바깥쪽에 설치된다.

(1) 환경시설대의 설치 요건

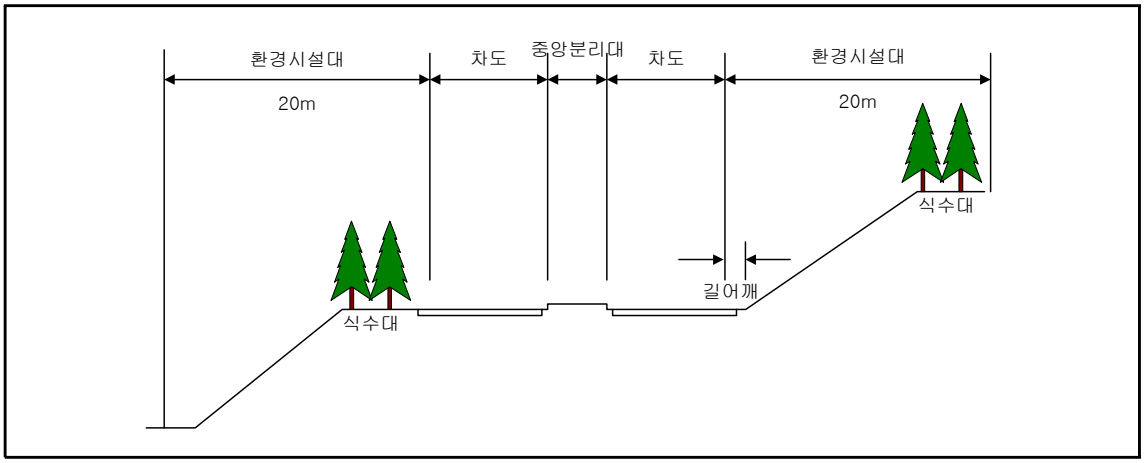
① 양호한 도로 환경을 제공하기 위하여 4차로 이상의 도로에는 환경시설대의 설치를 고려한다.

② 도로 주변지역이 주거를 목적으로 한 지역이어서 양호한 주거환경을 확보할 필요가 있을 경우, 환경시설대의 설치를 고려한다.

(2) 환경시설대의 폭

① 고속도로의 경우 차도의 양끝에서 폭 20m 정도의 환경시설대를 설치한다. 단, 연도 건물이 높게 지어져 있어서 차음 효과가 있거나, 도시지역으로서 용지 취득이 어렵거나, 땅값이 비싸서 20m의 폭을 확보하는 것이 비경제적이고 불합리할 때는 환경시설대의 폭을 10m 정도로 줄여서 확보할 수 있다.

② 하천, 철도 등의 지형상황 때문에 10m 또는 20m 폭의 환경시설대를 설치하기가 곤란한 경우에는 지형여건을 고려하여 필요한 폭을 적절히 확보한다.



<그림 209.4> 환경시설대가 설치된 도로의 횡단면

6.6 식수대

(1) 식수대의 기능

식수대의 기능은 양호한 도로교통 환경제공과 도로주변 지역의 쾌적한 생활환경 유지의 두 가지로 대별할 수 있다.

① 양호한 도로 교통환경 제공

- 운전자의 시선을 유도한다.
- 도로 이용자에게 불쾌, 부조화한 느낌을 차단하고 현광을 방지한다.
- 운전 잘못으로 길에서 벗어난 자동차의 충격을 완화시킨다.
- 도로 주변 경관과의 조화를 도모하고, 지역 전체의 미관을 향상시킨다.

② 도로 주변지역의 쾌적한 생활환경 유지

- 자동차의 배출가스, 먼지, 매연 등을 흡착, 침전시켜 대기를 정화시킨다.
- 도로 교통소음을 경감시킨다.
- 자동차의 교통을 시각적으로 차단한다.
- 노면의 복사열을 차단함과 동시에 수목에서의 수분 증발에 의해 주변 온도의 상승을 완화시킨다.

(2) 식수대의 폭

- 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서는 1.5m를 식수대의 표준 폭으로 제시하고 있는데, 나무의 종류와 배치 그리고 횡단면 구성요소와의 균형을 고려하여 1.0m 이상 폭으로 할 수 있도록 융통성을 부여하고 있다.

6.7 측도

자동차의 출입이 특정지역에 국한되는 고속도로의 경우, 도로 주변의 토지 이용도를 높이기 위해 본선의 차도와 평행하게 측도(frontage road)를 설치하는데, 외국의 경우 주로 일방통행으로 운용하여 자동차의 고속주행과 함께 토지의 이용 효율을 높이고 있다. 특히, 자동차 전용도로가 도시지역을 통과할 때는 교통의 분류와 합류를 목적으로 측도설치를 권장하고 있다.

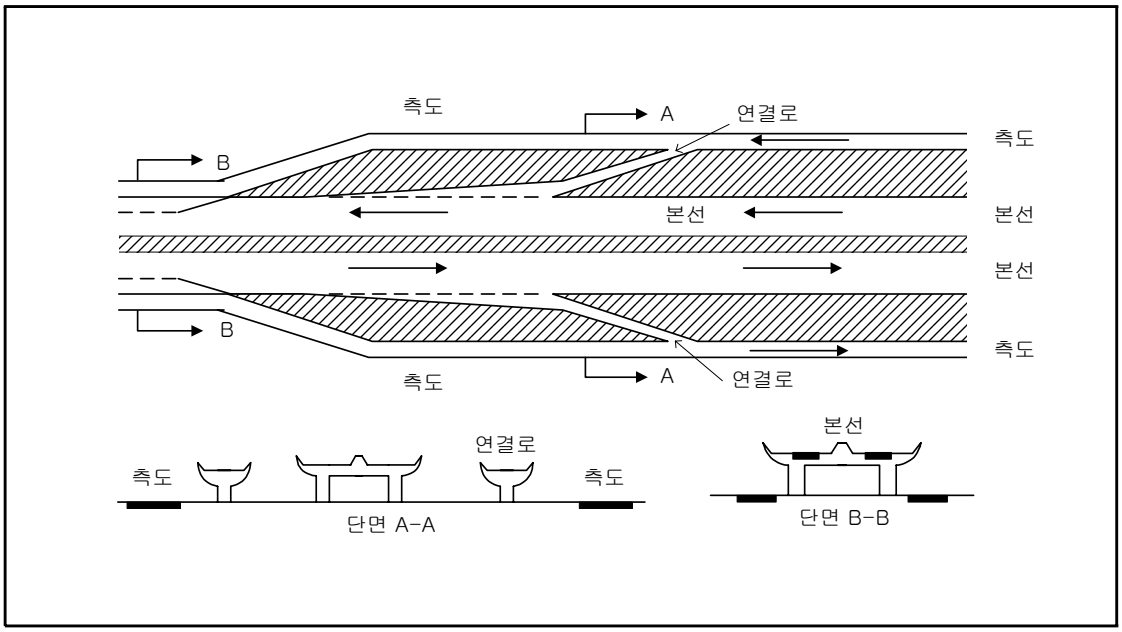
(1) 측도의 설치 기준

① 측도는 본선의 차로수가 4차로 이상인 지방지역 또는 도시지역 도로에서 연도의 자동차 출입이 본선의 자동차 통행에 지장을 주는 경우에 설치된다. 측도는 일반적으로 선형, 경사 등이 제한된 높은 규격의 도로에서 필요하므로, 계획 교통량이 비교적 많은 4차로 이상의 자동차 전용도로 또는 간선도로에 필요에 따라 설치한다.

② 도로 주변지역에서 본선 도로로의 출입을 확보하는 방법으로는 측도 설치 이외에 다른 도로를 이용하게 하는 방법이 있을 수 있으므로 측도의 설치는 출입이 방해되는 정도와 도로 주변 지역의 교통 수요 등을 고려하여 설치 여부를 검토한다.

(2) 측도의 횡단면 구성

측도의 차로 폭은 3.0m를 표준으로 하되 자동차의 안전과 원활한 통행이 확보될 수 있도록 폭을 넓힐 수 있다. 접속부는 안전하고 원활한 교통이 보장되도록 적절한 접속 위치, 선형, 폭 등을 고려해야 한다.



<그림 209.5> 측도 설치의 예

6.8 정차대

도시간 도로 및 도시내 도로에서는 출입제한의 유무에 상관없이 도로상의 정차수요는 항상 존재한다. 도시지역 도로에서는 도시내의 가로망을 형성하므로 그 성격상 지방지역 도로에 비해서 주정차의 수요가 많다. 도시지역 간선도로 및 집산도로에 있어서는 정차로 인한 본선교통의 지체가 커서 정차대의 효과가 크므로 정차대를 설치하는 것이 바람직하다.

(1) 정차대의 폭과 구조

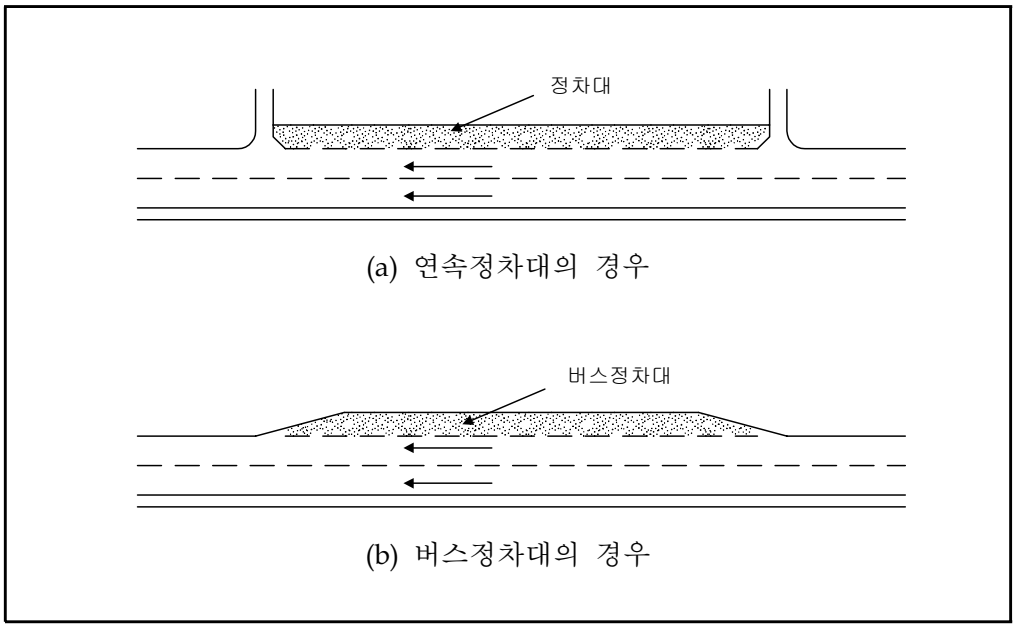
정차대의 최소 폭은 2.5m이며 이것은 대형차의 정차를 고려한 폭으로 소형 자동차를 대상으로 할 경우에는 2.0m까지 줄일 수 있다.

① 정차대 : 블록에 연속으로 설치하는 것으로 측구는 정차대에 포함시킨다.

② 버스정차대(bus bay) : 정차대를 설치하지 않는 구간에서 버스정차에 의한 장애를 경감하기 위해 본선차도에서 분리하여 설치하는 지대를 말한다.

(2) 정차대의 운용

정차대는 도로 본선의 주행차량의 일시적인 정차용으로 사용되나 상황에 따라 여러 가지 운용으로 생각할 수 있다. 주차를 금지시켜 일시적인 정차만으로 사용하는 방법은 자전거, 원동기 등이 정차대를 이용할 수 있는 장점이 있다. 교차로 부근에서는 주차는 물론 정차 행위가 교통소통에 지장을 주므로 교차로 유입부와 유출부에서는 정차대 폭을 고려하여 부가차로를 설치하는 것이 바람직하다.



<그림 209.6> 정차대

6.9 자전거도로

자동차, 자전거, 보행자의 복잡한 혼합교통을 배제하기 위하여 자전거 및 보행자가 안전하게 통행할 수 있도록 하는 것과 이에 따라 교통안전에 기여하도록 하는 것이 자전거도로의 설치 목적이다.

(1) 자전거 전용 도로

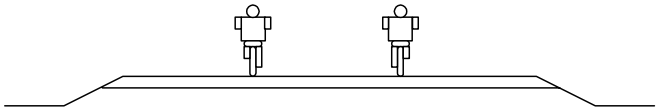
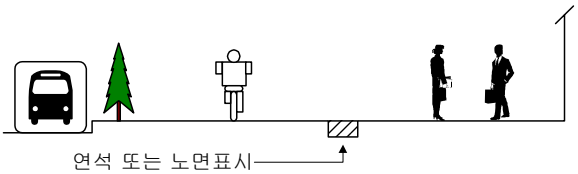
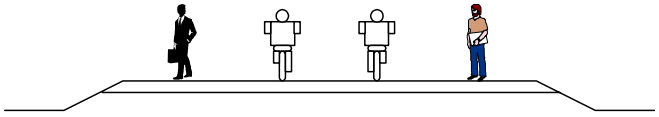
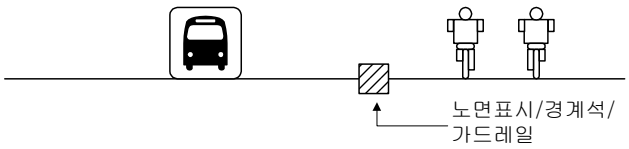
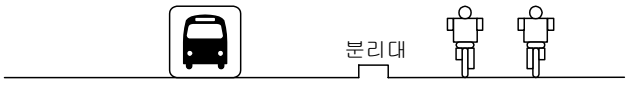
자전거의 통행을 위해 자동차와 보행자를 완전히 분리시켜 독자적으로 자전거도로를 구축하는 방식으로 자전거 전용 도로에서는 독립적인 자전거의 통행권을 확립시켜 준다.

(2) 자전거 자동차 겸용 도로

자전거와 자동차가 혼합하여 주행하는 도로이다. 대부분의 경우 자전거 통행의 안전을 위하여 기존 차도의 일부를 할애하여 노면표시 등으로 자전거도로를 표시한다.

(3) 자전거 보행자 겸용 도로

자전거 통행을 자동차와는 분리시키되 자전거와 보행자가 통행권을 공유하는 도로를 말한다.

유 형	설 치 방 법	비고
자전거 전용도로		• 공원, 하천 등의 둔치
자전거 · 보행자 겸용도로		• 자전거와 보행자가 부분적으로 혼용
		• 하천, 공원 등의 둔치
자전거 · 자동차 겸용도로		• 주로 자전거 통행에 이용
		• 자전거만의 통행에 이용

<그림 209.7> 자전거도로의 종류

6.10 보도

보도는 오직 보행자의 통행에 사용하기 위하여 연석 또는 울타리 및 이와 유사한 공작물로 구획하여 설치하는 도로의 일부분이다.

안전하고 원활한 보행 교통을 확보하기 위하여 도로(고속도로, 도시고속도로 제외)에 보도를 설치한다. 보도의 폭은 <표 209.14> 이상으로 한다. 다만, 보행자 교통량이 적거나 지형상황 등으로 인하여 부득이 한 경우에는 보도의 폭을 1m 까지 줄일 수 있다 .

간선도로에서 교통량이 많으며 상업중심지, 공장, 학교 운동장 등으로 보행자가 특별히 많고 간선도로의 기능을 보호하기 위하여 필요한 경우에는 보도육교 또는 지하보도를 설치하여 보행자와 차량을 분리한다.

일반국도의 경우 시가지 이외의 구간에서는 보도대신 길어깨로 설계하는 것이 일반적이지만 버스정차대를 설치하는 경우에는 보행자의 안전을 고려하여 일정구간의 보도설치를 검토할 필요가 있다.

<표 209.14> 도로 기능별 최소 보도 폭

구 분		보도의 최소폭(m)
지 방 지 역		1.50
도시지역	간선도로	3.00
	집산도로	2.25
	국지도로	1.50

209.7 토질 및 재료원 조사

도로 설계시 도로구조와 구조물을 지지하는 토질에 대한 종합적이고 체계적인 조사는 탄탄하고 영구적인 도로를 건설하기 위한 필수적인 단계이다. 특히 도로의 경제적, 기술적, 환경적 타당성을 확보하기 위해서는 토질조건에 적합한 도로설계가 필요하다.

7.1 토질조사

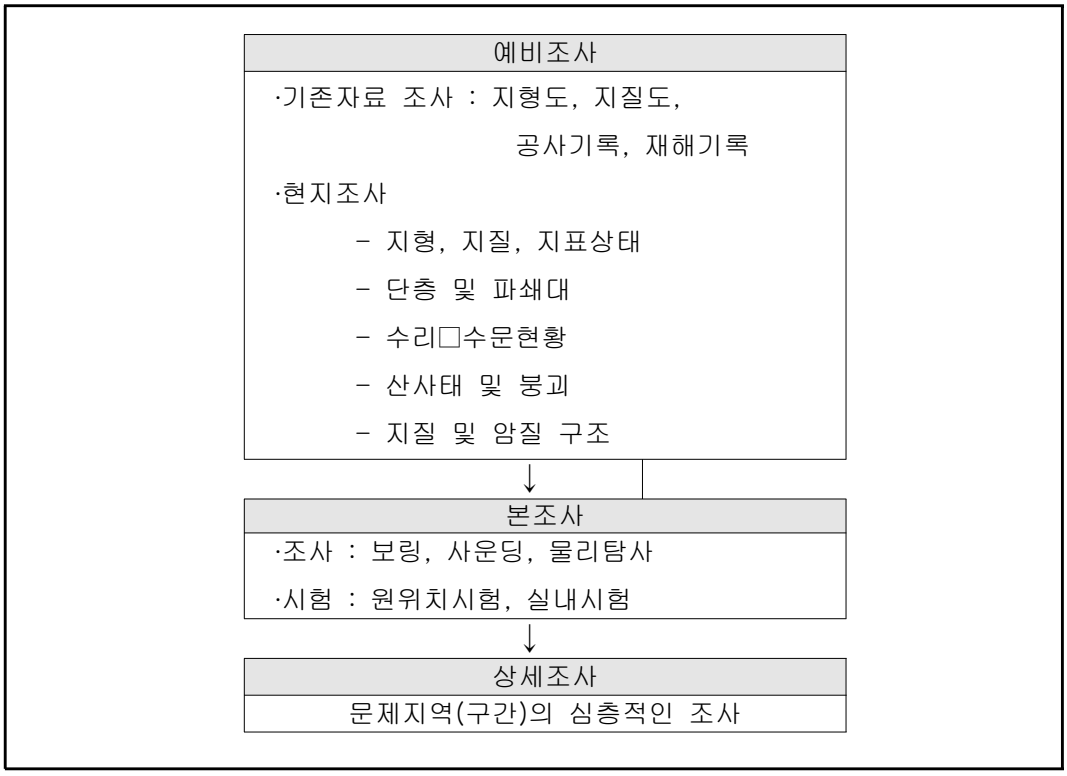
(1) 토질조사의 목적

토질조사 및 시험의 목적은 다음과 같다.

- 성토재료의 적부 판단
- 성토부 자연지반의 성상 파악
- 절토부 사면경사 선정과 토공량 산정
- 연약지반 설계
- 교량기초 및 형식 결정
- 터널 위치 타당성과 단면해석 설계
- 포장 두께 설계
- 골재원과 토취장 사용 가능량
- 재료의 적정성 판단

(2) 토질조사의 과정

토질조사는 일반적으로 <그림 209.8>과 같이 예비조사, 본조사, 상세조사의 3단계로 실시하며 단계별로 토질조사 계획서를 수립하여 엄격하게 시행되도록 관리한다.

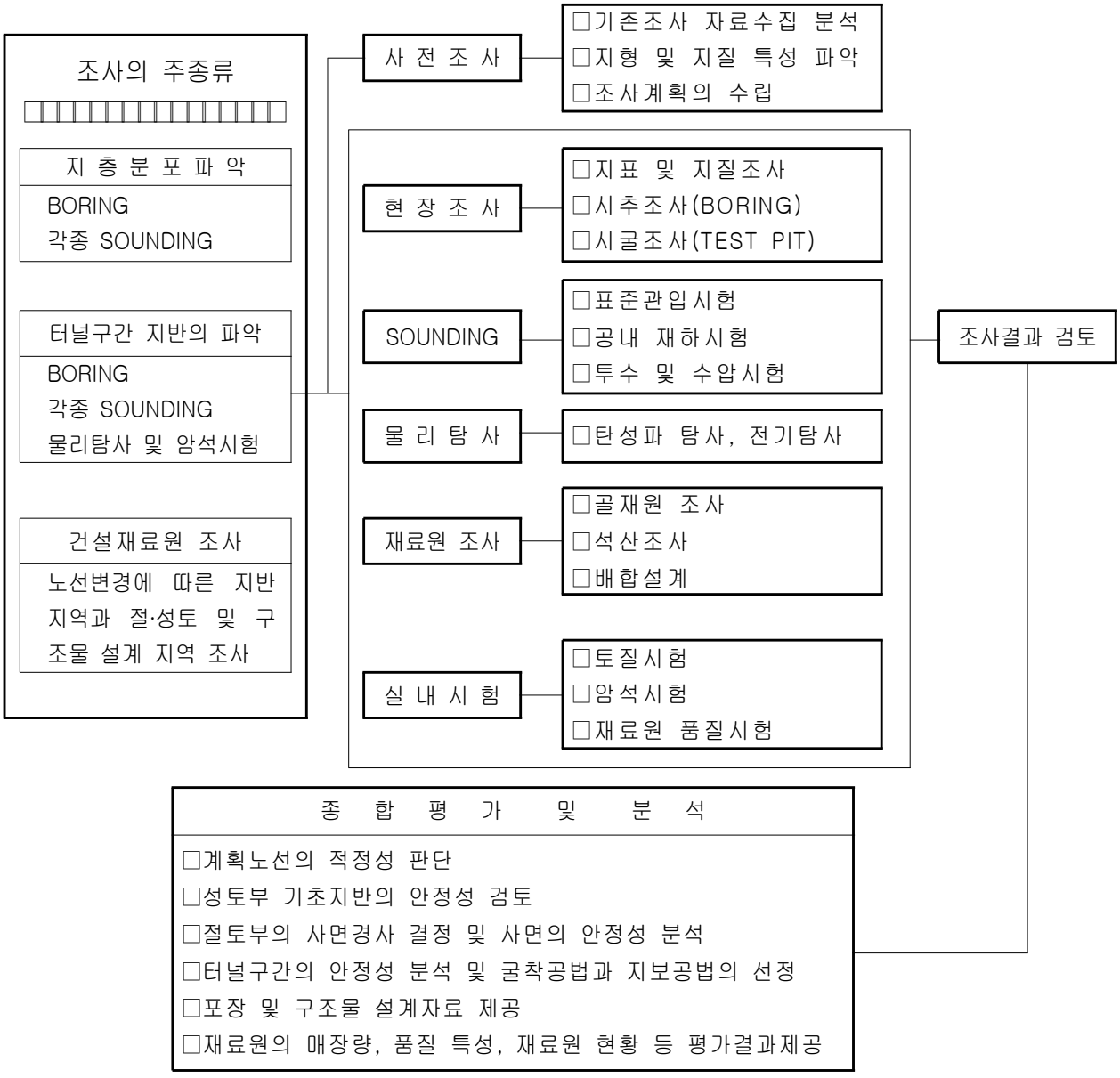


<그림 209.8> 토질조사의 과정

(3) 조사내용 및 시험항목

토질조사는 "구조물 기초설계기준(건설부, 1986)"의 제2장에 따라 실시하여야 하며, 현장답사 전에 토질조사 계획서를 발주처에 제출하여 승인을 득한 후 토질조사를 시행한다.

조사 및 시험항목은 <그림 209.9>와 같으며, 토질조사 및 시험항목은 <표 209.15>와 같이 성토 및 노상부, 절토부, 구조물 기초 및 터널부로 나누어 시행된다.



<그림 209.9> 토질조사의 내용

<표 209.15> 토질조사 및 시험 항목

구분	조 사 내 용	시 험 항 목
성토 및 노상	• 성토부 기존지반의 안정성 • 비탈면 경사 결정 • 압밀 침하	• HAB와 TP : 조사위치는 토질변화구간 5km 이내 TP는 1~2m, HAB는 1~5m 범위 • SCPT : 간격은 1km 정도, 연약지반 300m, 깊이 5m • 평판재하 : 지반지지력계수(K) • Vane Test : 흙의 전단(φ,c), 예민비측정 • 현장 CBR : 노상지지력의 판단, 포장설계자료로 활용 • 시료채취 및 실내시험 : 지반안전성 검토, 연약지반 처리방법, 노반지지력 및 처리방법
절토부	• 발생 토사 • 암의 유용 여부 • 절토량, 절토의 처리 • 파쇄 정도 • 암층 심도	• 탄성파 시험 : 암층심도 및 파쇄 정도(지반동탄성계수, 전단계수 등) • 보링 : 지층상태 파악, SPT • 시료채취 및 실내시험 : 재료 사용 적부 판정, 법면경사결정, 포장설계자료
구조물 기초 및 터널	• 기초 지반 • 터널 지층 • 암층 강도	• 보링, SPT, 탄성파시험 : 기초지반확인, 터널지층형태, 암층강도 • 시료채취 및 실내시험 : 구조물 형식 결정, 터널형식 결정, 굴착시공 방법, 응집력, 탄성률, 포아송비, 비중, 압축강도, 암층경사 및 방향

7.2 재료원 조사

(1) 토취장

① TP 및 보링 : 사방 50~120m 간격, 매장량 확인

② 시료 채취 및 실내시험 : 재료 적부 판정, 토성시험, 수침 CBR, 다짐, 토질분류시험

(2) 골재원

① TP 및 HAB : 매장량 확인

② 시료채취 및 실내시험 : 재료 적부, 배합설계→입도분석, 비중 및 흡수율, 다짐, CBR, 안정성 시험

(3) 석산

① 보링 : 매장량 확인

② 시료채취 및 실내시험 : 재료적부, 배합설계→압축강도, 비중, 안정성, 마모

7.3 사토장 조사

사토장 선정시는 관계 시·군의 인허가 가능여부 및 토지소유자의 동의여부를 확인하여 근거서류를 제출하여야 하며, 민원이 발생치 않는 장소를 선정한다.

사토장은 최소 2개소 이상 선정하고, 종·평면 및 횡단도를 작성하여 사토 가능량을 명시한다.

7.4 광업권 조사

과업구간 내에 공사 시행시 지장이 예상되는 광업권 등에 대해 다음과 같은 사항을 조사한다.

- 광업권자의 주소, 성명
- 광업권 종류, 수량, 채광 현황, 광업권 등록번호
- 관련법에 의한 협의를 위한 광구도 등 협의에 필요한 모든 자료(광구도 포함)

7.5 실내시험

(1) 토성시험 : 단위중량, 함수량, 비중, 밀도, 흡수, 마모, 안정

(2) 지지력 특성시험

실내시험의 내용 및 항목은 <표 209.16>과 같다.

<표 209.16> 실내시험

내 용	항 목
토성시험	단위중량, 함수량, 비중, 밀도, 흡수, 마모, 안정
지지력 특성시험	다짐시험, CBR 곡선, 노반동탄성계수
역학적 성질 시험	• 1축, 3축 압축시험 : 안정성, 배수강도, 민감도 • 전단강도 :ϕ,c, 안정성(Sliding) • 암질 : 연약층 침하량, 침하속도, 압밀특성 • 우수 : 침투수량, 투수계수
배합설계	• 아스팔트배합설계 : 아스팔트 혼합물 종류결정→사용재료선정·시험→입도 범위에 속한 배합비 결정→공시체 제작→밀도, 마샬안정도, 흐름치 측정→공극률, 포화도 계산→도표작성→도표로부터 기준치에 만족하는 아스팔트량의 범위계산 • 콘크리트 배합설계 : 구조물용 1종(□=270kg/㎠), 2종(□=240kg/㎠), 3종(□=210kg/㎠), PC콘크리트 등

209.8 토공 계획

토공 계획에서는 도로건설의 흐름을 충분히 고려하여 합리적인 설계가 되도록 한다. 토공 설계의 기본사항은 계획 및 조사단계에서 거의 결정되기 때문에 충분한 검토가 필요하다.

8.1 토공 계획의 흐름

기본설계 단계에서는 미리 시행되는 경제조사 및 교통량조사 등에 근거하여 가능한 노선을 몇 개 선정하고 이들의 사회, 경제적인 타당성, 교통운영상의 적합성 및 절성토량의 균형과 그밖에 시공성 등을 비교 검토하여 최적의 노선을 선정한다. 토공설계의 기본적인 사항은 대부분 이 시점에서 결정되므로 설계에서는 특히 세심한 검토가 필요하다.

기본설계시 고려되어야 할 토공설계의 착안점은 <표 209.17>과 같다.

8.2 토공 계획의 일반사항

① 노선선정

앞에서 기술한 바와 같이 토공설계의 기본적인 사항은 노선선정시 대부분 결정된다.

노선계획시에는 경제성, 비용 편익, 주행 안전성, 환경보전, 시공 및 유지관리 등을 포괄적으로 검토한 후 최적의 노선을 선정한다.

토공계획에서는 지형, 지질 및 기후 등의 자연조건과 도로, 철도, 하천 및 문화재 등의 사회적 조건을 충분히 고려한다.

② 토량의 배분

토량의 배분은 땅깎기나 흙쌓기 계획의 기본이 되기 때문에 지형, 지질, 현지의 상황, 경제성, 시공성 등을 충분히 고려한다.

땅깎기나 흙쌓기의 설계에서는 교량, 터널 등의 구조물과의 관련을 고려한 후 가능한 한 절성토량이 균형을 이루도록 한다.

③ 공사용 도로 계획

공사용 도로는 토공공사에서 토사 운반 및 기자재의 반입·반출, 교량 상부공 공사를 위한 보(beam)의 운반 및 가설장비(트럭, 크레인 등)의 반입·반출, 포장공사의 기자재 반입·반출 등을 주목적으로 한다.

공사용 도로계획의 여부에 따라 공사 전체의 공정, 시공성, 경제성이 크게 좌우되기 때문에 노선, 노선수 등을 여러 가지 산정하여 비교 검토한 후 결정하는 것이 중요하다. 특히, 산악부나 도시부의 도로는 그 영향이 크기 때문에 충분히 검토되어야 한다. 공사용 도로의 산정 순서로는 현장내 공사용 도로, 기존도로, 신설도로의 순으로 관련 공사의 공정을 고려하여 검토하는 것을 원칙으로 한다.

④ 토취장 계획

토취장을 선정할 때는 필요 토량에 맞도록 복수의 토취장을 후보지로 하여 각각에 대해 지형, 채취 가능 토량, 방재대책, 매립 문화재, 흙 운반로, 보상관계, 주위의 환경, 토지 이용 등의 여러 조건에 대해 조사하고 충분히 검토한 후 최적의 토취장을 선정하는 것이 중요하다.

<표 209.17> 토공설계시 착안점

설계 항목	착 안 점
설 계 내 용	• 비교노선을 검토한 후 최적 노선의 선정 • 지형도(1/5,000)
흙 쌓 기	① 흙쌓기 기초지반으로서 지형 지반의 파악 • 연약지반의 규모, 분포 • 산사태 지형 • 절벽, 붕괴지형, 부채골 땅(용수, 돌 흐름) • 대상이 되는 토질로 과거 흙쌓기 높이의 실태 파악
땅 깎 기	① 주목해야 할 지형, 지질의 파악 • 산사태 지형 • 절벽붕낙 발생, 낙석 이력 • 경사계곡(돌 흐름) • 부채꼴땅 • 지질도(1/250,000) 위 검고 굵은 구조선(단층파쇄대) • 제3기의 녹색계 암석(그린터프, 사문암) ② 기상에 관한 정보의 파악 • 눈사태 많은 지대, 적설지역 • 안개의 발생지역 ③ 지하수포함 저수지에 관한 정보의 파악 • 용수원과 물 이용 형태(용암대지, 강가 언덕) ④ 법령지정 구역 등의 파악 • 공원, 사방, 산사태지, 보안지, 국유림, 문화재 ⑤ 항공사진의 효율적 이용
시 공 계 획	① 시공법 • 터널, 교량의 조정(종단경사) • 장대 비탈면, 고성토의 규모 ② 흙 운반, 공사용 도로 • 가파른 산지에서의 공사용 도로 • 민가 연결지구의 대응 ③ 기타 • 개발계획 등의 조정 • 규제구역(광업권, 조수보호구역)

<표 209.18> 공사용 도로의 구분

<table>
<tr><td>현장 내 공사용 도로</td><td colspan="2">본선 및 부체 도로의 사용</td></tr>
<tr><td rowspan="3">현장 외 공사용 도로</td><td rowspan="2">기존 도로의 사용</td><td>그대로 이용</td></tr>
<tr><td>개량하여 이용</td></tr>
<tr><td colspan="2">신설하여 사용</td></tr>
</table>

⑤ 사토장 계획

땅깎기 등에서 발생하는 잔토 및 불량토를 사토하는 경우는 가능 사토량, 토사 유출 및 붕괴를 방지하기 위한 방재대책, 법적규제, 흙운반로, 토지이용계획, 용지보상 등을 고려하여 후보지를 여러 곳 선정하여 비교 검토한 후 가장 유리한 사토장을 선정토록 한다.

사토장은 가능한 한 도로의 부근에 선정한다. 이것은 운반작업을 공사 현장 내에서 끝낼 수 있고, 잔토의 경우 미리 흙쌓기를 병행하여 작업을 진행시킬 수도 있기 때문이다.

209.9 배수계획

도로의 배수시설은 측구, 도수로, 집수정, 배수관 및 배수암거 등으로 구성되며, 도로 구조의 보존을 확고히 하는데 중요한 시설이므로 신속한 노면배수와 침투수의 차단, 침투된 물의 지하배수, 도로 인접지로부터의 적절한 배수처리가 요구된다.

9.1 도로 배수시설의 목적

도로의 배수시설은 아래와 같은 목적으로 설치한다.

- 도로 본체 및 도로 구조의 기능 보존
- 표면수 침투나 지하수 유입에 따른 지반 지지력 약화 방지
- 표면수 침투로 인한 포장파손의 방지
- 표면배수 불량으로 인해 수막현상이 일어나 차량의 미끄러짐 현상을 사전에 예방

배수시설이 갖추어야 할 구비조건은 다음과 같다.

- 유량을 통과시키기 위해 충분한 통수 단면을 가질 것
- 청소 및 보수가 용이한 구조물일 것
- 내구성 및 안전성을 가질 것
- 민원의 소지가 없는 최적의 시설이 되어야 한다.

9.2 수문조사 및 분석

(1) 유역면적

유역면적의 산출은 배수시설의 규모, 특성, 중요도 및 설계의 단계에 따라 보다 정밀한 유역면적의 산출이 필요한 경우 적정한 축척의 지형도를 이용하여 구한다.

(2) 설계발생빈도

설계발생빈도는 배수시설의 중요도, 설계유량 이상의 유출량이 생겼을 때의 위험도, 경제성 등을 생각해서 정해야 하며 구조물별 설계발생 빈도의 적용은 다음과 같다. 단, 중요한 배수시설물은 관계부서 및 감독관과의 협의후 설계발생빈도를 정해야 한다.

- 교량 : 소교량→50년,
  장대교(L≥100m)→100년
- 암거 및 배수관 : 25년
- 측구 : 5년
- 노면 및 비탈배수면 : 3년

(3) 강우도달 시간

주어진 강우지역의 최소도달시간은 유역면적내 우수가 내려 배수시설까지 도달하는 시간을 말하며 강우지속시간이라고 한다. 최소강우지속시간은 10분(0.166hr)을 적용한다.

$$T_c = 0.95[\frac{(L/1000)^3}{H}]^{0.385}$$

Tc = 강우지속시간(hour)

L = 유달거리(m)

H = 표고차(m)

(4) 강우강도

① 노면 배수시설 및 일반 구조물의 유출량 산출에 사용되는 강우도표는 건설교통부(1988)에서 제시한 개정 I.D.F 곡선(Intensity Duration Frequency, 강우강도-지속시간-생기빈도곡선)을 사용한다.

② 측후소가 있는 지역은 지점별 강우강도표를 적용하고 측후소가 없는 지역은 최인접 측후소의 강우강도표를 사용하되, 계획 대상지점의 확률 강우량도를 이용하여 강우강도표를 작성한 값과 최인접 측후소의 확률 강우도표와 비교 후 큰 값을 적용한다. 단, 중요한 배수시설물은 관계부서 및 감독관과 협의 후 설계강우강도를 적용한다.

(5) 계획홍수량 산정

계획홍수량은 유역면적이 4㎢ 미만이거나 유역 또는 하도의 저류 효과를 기대할 수 없는 소하천에서는 합리식을 적용하고 일반적으로 수문자료가 미흡한 40㎢ 미만의 중소하천에는 표준유출법을 쓰며 40㎢ 이상 장대하천에서는 수문곡선 추적법을 적용한다.

9.3 배수시설

(1) 횡단배수

도로 인접지역에 내린 우수 등을 배수할 목적으로 도로를 횡단하는 하천, 수로 등에 설치한다. 하천 및 수로 상류지역의 유역면적을 정확히 파악하고, 장래개발 계획 등을 반영하여 도로 인접지역의 호우피해예방 및 도로의 기능보전을 위하여 설치하며 충분한 통수단면을 확보해야 한다.

• 배수시설
- 교량
- 암거
- 배수관 등

(2) 노면배수

주로 도로 부지내(노면 및 비탈면)에 내린 우수를 원활히 처리하기 위해 설치한다. 노면의 배수를 신속히 처리하여 강우시 교통안전을 도모한다.

• 배수시설
- 측구(L형, 덮개있는 U형 측구 등)
- 성토부 다이크
- 집수정(L형 측구 하단, 중분대 집수정 등)
- 배수관(종배수관, 중분대 배수관 등)
- 배수구(우수받이 맨홀 등)

(3) 비탈면 배수

도로 비탈면에 내린 우수 및 비탈면으로 유입되는 우수(노면배수, 도로인접지 우수 등)를 배수처리하기 위해 설치한다. 땅깎기부와 흙쌓기부 비탈면 및 비탈면 끝에 설치되는 배수시설로 우수를 기존 배수로 또는 하천·수로로 배수하기 위한 시설이다.

• 배수시설
- 측구(산마루측구, 소단측구, 토사측구, V형 측구 등)
- 도수로(흙깎기부·흙쌓기부 도수로, 집수거, 방수거 등)
- 집수정
- 소단배수시설 등

(4) 지하배수

지하수위가 높아져 노상, 노체 등에 침투수로 인한 지지력 약화, 포장파손 등을 방지한다. 지하 수위를 낮추고 침투수를 배수하기 위해 설치한다.

• 배수시설
- 맹암거
- 유공배수관
- 배수층 등

(5) 측도배수

공사용도로, 부체도로, 접속도로 등의 노면 및 비탈면과 측도에 접해있는 배수 구역의 배수를 위해 설치한다.

• 배수시설

집수정, 배수구, 배수관 등

(6) 도로 인접지 배수

도로의 보전, 교통안전을 위해 도로 인접지의 배수구역에 내린 빗물을 배수하기 위해 설치한다.

• 배수시설

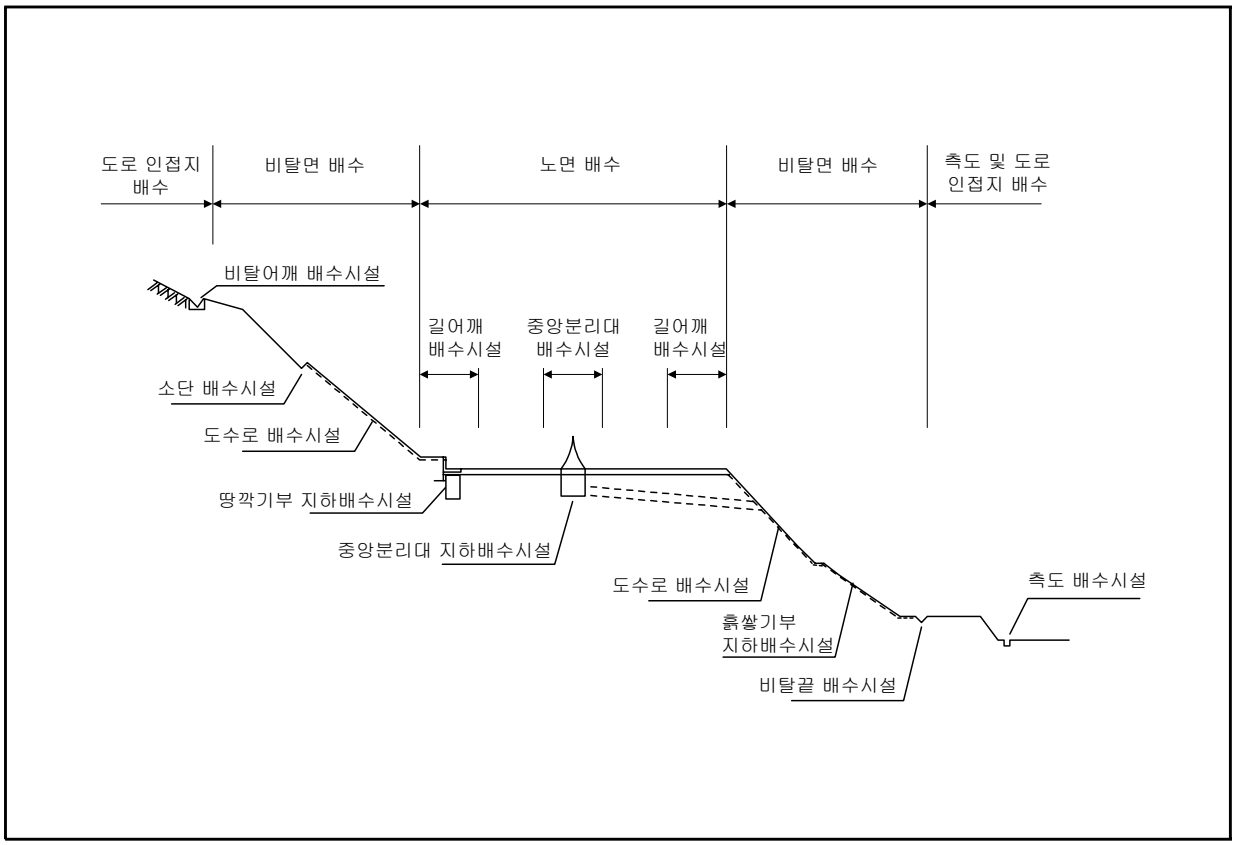
산마루 측구, 집수정, 배수구, 맨홀 등

(7) 구조물 배수

강수, 지하수 등이 구조물의 배면에 모이거나 구조물 내로 흐르게 되면 구조물의 안전성이 저하되어 구조물의 파손을 일으킬 우려가 있으므로 이를 방지하기 위해 설치한다.

• 배수시설

교량 및 고가구조물의 배수, 터널의 배수, 지하차도 배수, 옹벽 배면 배수시설 등



<그림 209.10> 배수시설의 명칭 및 구분

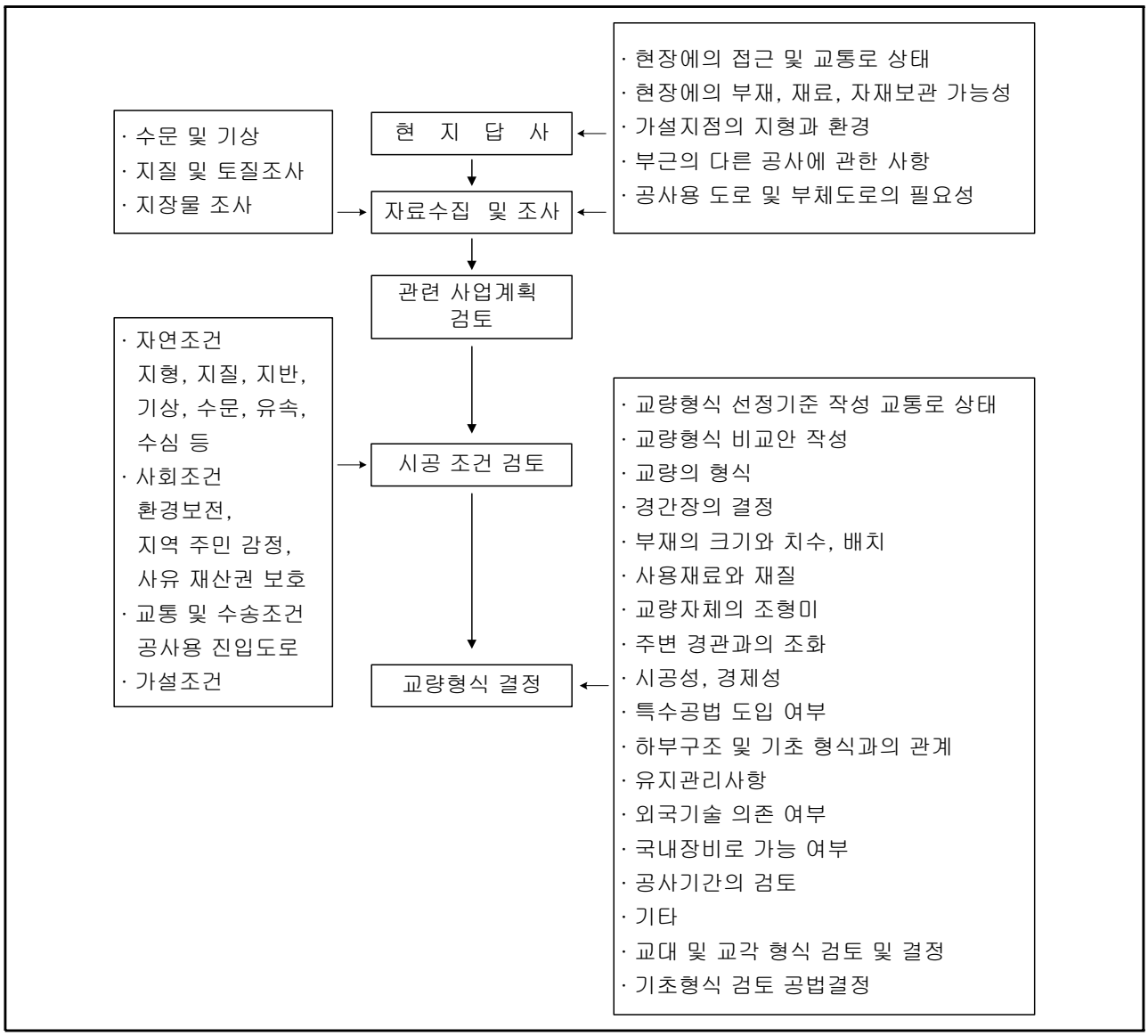
209.10 도로 구조물 계획

10.1 교량 계획

(1) 교량의 형식 선정

교량계획에서는 시공성 및 경제성, 주변경관과의 조화 등 제반 여건을 동시에 고려해야 한다. 교량의 형식 선정시 고려 사항은 다음과 같다.

- 주변 기존 도로 및 시설과의 연결성을 충분히 고려
- 교차 시설물 교통류의 원활한 소통을 위한 공간 확보
- 교량의 경간, 구조형식이 일정하도록 계획
- 주변 지장물과의 장애 최소화
- 환경 친화적 계획



<그림 209.11> 교량 형식의 선정 절차

- 설계, 제작, 설치 및 유지 관리의 표준화로 효율성 증대
- 건설 공사비, 유지관리비, 보상비, 편익 등 제 비용의 최소화

교량 형식의 선정 절차는 <그림 209.11>과 같다.

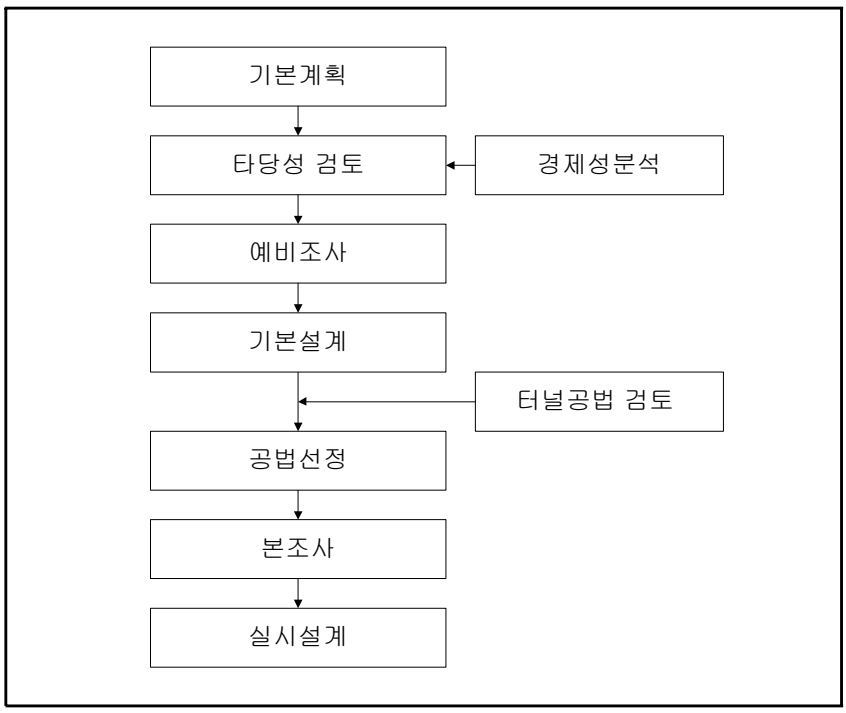
10.2 터널 계획

터널계획은 터널건설의 목적 및 기능의 적합성, 공사의 안전성 및 시공성, 공법의 적용성을 우선하여 수립하되 건설비 및 유지관리비를 포함하여 경제성이 있도록 하여야 한다. 터널은 공사비 및 유지관리비가 크므로 터널의 계획시에는 신중한 조사와 분석이 필요하다.

터널은 주행거리가 단축되는 긍정적인 효과도 있지만 환경훼손, 교통사고 위험 등 부정적인 영향도 고려해야 한다. 그러므로 터널의 계획시에는 터널을 계획하는 대안과 터널을 건설하지 않고 우회도로를 개설하는 대안을 충분히 검토해야 한다. 터널계획시 일반적 검토 사항은 다음과 같다.

- 평면선형상에서 우회도로와 터널계획을 비교한다.
- 급한 종단경사의 처리방안을 찾는다.
- 터널 대신 교량구조물 설치시에 높은 교각 설치에 따른 비용을 터널과 비교한다.
- 절성토량을 비교한다.
- 환경측면에서 영향의 정도를 파악한다.

터널의 계획과정은 <그림 209.12>와 같다.



<그림 209.12> 터널의 계획과정

(1) 기본계획

기본계획에서 다루어지는 내용은 다음과 같다.

- 각종 설계 기준의 작성
- 터널의 위치 선정(지형, 지질, 갱구부, 터널연장, 기준계획)
- 선형요소의 검토
- 단면계획

(2) 타당성 검토

- 경제적 사항 : 비용/편익분석, 대절토 구간에 터널시공 및 개착식공법 검토
- 기술적 사항 : 현장조사, 구조해석, 설계, 계측 등 검토
- 자연·환경적 사항 : 환경파괴, 자연과의 조화, 안전성 유지 등 검토

(3) 조사 및 시험

터널계획시 수행되어야 할 조사 및 시험은 터널건설에 영향을 미치거나 터널건설로 영향을 받는 사항에 대한 조사인 입지환경조사와 터널건설의 기본계획 및 노선선정을 위한 예비조사, 터널노선의 결정이후 공사착공까지의 설계 및 시공계획을 위한 본조사로 구분되는 지반조사 및 시험이 있다. 터널계획시의 조사 및 시험에 관한 세부항목은 본 편람 「602 조사 및 시험」에 언급한 바와 같다.

(4) 단면형상 및 굴착공법의 선정

터널의 단면형상 및 굴착공법은 지반조건에 따른 굴착방법 및 경제성 등을 비교 검토하여 선정한다.

(5) 터널 굴착공법의 종류

터널의 시공법은 발파 굴착 공법과 기계굴착 공법으로 대별되며 지반조건, 시공성, 안전성 및 경제성을 고려하여 적절한 공법을 선정해야 한다.

① 발파 굴착 공법

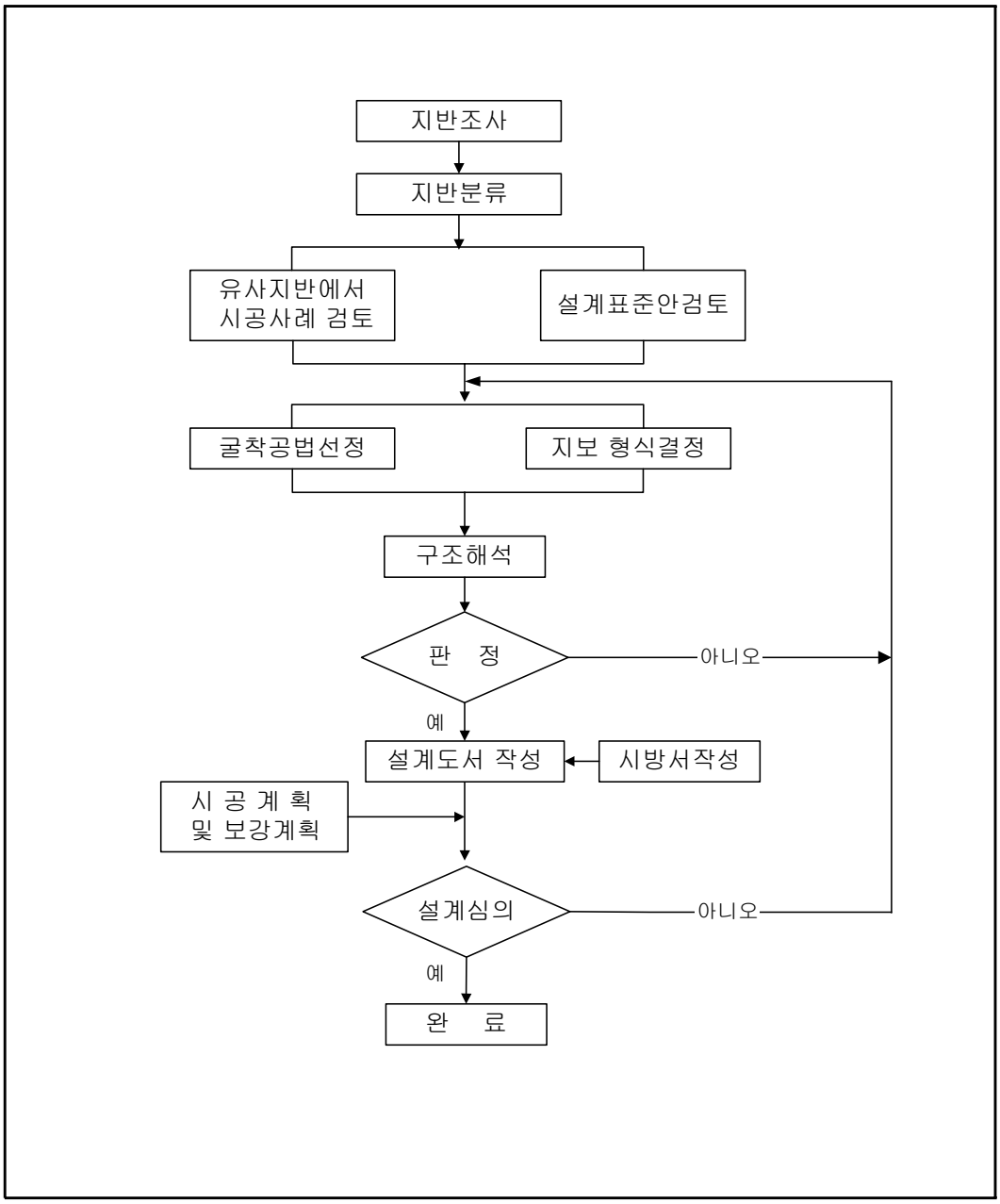
터널의 발파 굴착 공법으로는 지반 자체의 지보능력을 적극적으로 활용하여 굴착기 및 발파에 의해 터널을 뚫고 록볼트와 숏크리트로 벽면을 보강하여 시공하는 NATM(New Aust--rian Tunneling Method)과 지반 자체가 지보능력이 없어서 굴착과 동시에 강재 지보재를 설치하여 터널에 작용하는 하중을 지지시키는 재래식 공법(American Steel Support Method : ASSM)이 있다. 현재 국내 터널공법은 지반이 터널을 형성하는데 주된 역할을 하는 NATM 공법을 적용하고 있다.

② 기계 굴착 공법

기계에 의한 굴착공법은 완전 기계화된 굴착기를 이용하는 TBM(Tunnel Boring Machine) 공법과 쉴드공법(Shield Method)이 있다. 여기서 TBM공법은 원추형의 커터가 회전, 굴착하고 굴착 버력을 컨베이어로 반출시키면서 시공하는 공법이다. 쉴드공법은 쉴드를 지중에 추진시켜 토사의 붕괴를 방지하면서 그 내부에서 안전하게 굴착작업을 수행하고 세그먼트를 조립하며 터널을 구축하는 공법이다.

(6) 터널의 설계 절차

터널 설계를 위한 전반적인 절차는 <그림 209.13>과 같다.



<그림 209.13> 터널 설계의 흐름도

209.11 포장 계획

포장의 공법은 각 포장의 특성을 파악한 후, 건설 시공성 뿐만 아니라 유지보수를 고려하여 장기적인 측면에서 선정해야 하며 형식 선정 시 사용된 인자들은 반드시 명시되어야 한다.

일반적으로 도로포장을 크게 나누면 아스팔트계의 표층을 갖는 아스팔트 콘크리트 포장(이하 아스팔트 포장이라고 함)과 콘크리트슬래브의 표층을 갖는 시멘트 콘크리트 포장(이하 콘크리트 포장이라고 함)으로 나눌 수 있다.

11.1 아스팔트 포장

아스팔트 포장은 골재를 역청재로 결합하여 만든 표층을 사용하는 포장을 의미하며, 일반적으로 표층, 중간층, 기층 및 보조기층으로 이루어진다. 아스팔트 포장에서는 하중 재하에 의해서 생기는 응력이 포장을 구성하는 각 층에 분포되어 하층으로 갈수록 점차 넓은 면적에 분산시키므로 각 층의 구성과 두께는 역학적 균형을 유지하여 교통하중에 충분히 견딜 수 있어야 한다. 포장의 역학적 거동 특성에 초점을 두어 아스팔트 포장을 가요성 포장으로 부르기도 한다.

(1) 노상
- 노상은 포장층의 기초로서 노면에 작용하는 하중을 최종적으로 지지하는 부분이다.
- 포장구조 설계시 차량의 하중이 노상까지 전달되도록 설계한다.

(2) 보조기층
- 보조기층은 기층으로부터 전달되는 차량 하중을 노상으로 전달하는 기능을 수행한다.
- 보조기층은 입도 조절이 된 쇄석골재를 사용한다.

(3) 기층
- 차량 하중을 지지하고 차량 하중을 밑으로 전달한다.
- 두꺼운 층의 기층이 요구될 때는 상층보조기층과 하층보조기층으로 나눈다.

(4) 표층
- 주행의 쾌적성과 노면의 평탄성을 확보해 주기 위해 필요하다.
- 차량 하중을 지지하면서 하중을 아래로 전달한다.

(5) 마모층
- 중차량 등의 타이어에 의한 마모 방지를 위해 설치한다.
- 평탄성을 유지시켜 주고 표면의 미끄럼을 방지해 준다.
- 포장 두께에서 이 부분은 제외된다.

11.2 콘크리트 포장

강성포장의 대표적인 것으로 시멘트 콘크리트 슬래브가 교통 하중으로 인한 전단이나 휨에 저항하여 그 슬래브 작용으로 하중을 기초에 넓게 전달한다. 일반적으로 표층 및 중간층, 보조기층으로 구성되어 있다. 표층은 시멘트콘크리트층을 말하며, 철근의 유무에 따라 JCP와 JRCP, CRCP로 구분한다. 보조기층의 역할은 슬래브에 균등한 지지력을 주고 투수층으로 동상(凍上) 현상을 방지하고 시멘트 콘크리트 슬래브를 타설하기 위한 안전한 작업지반을 조성하는 데 있다.

11.3 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 비교

포장의 구조를 두 가지 포장 형식별로 비교하면 <표 209.19>와 같다.

아스팔트 포장과 콘크리트 포장을 주요 특성별로 비교하면 <표 209.20>과 같다.

<표 209.19> 포장 구조의 비교

구 분	아스팔트 포장	콘크리트 포장
하중전달	• 교통하중을 표층→기층→보조기층→노상으로 분산시켜 하중을 경감하는 형식	• 교통 하중을 콘크리트 슬래브가 직접 지지하는 형식
표층	• 교통 하중을 일부 지지하며 하부층으로 전달 • 표면수의 침입을 방지하여 하부층 보호	• 슬래브 자체가 빔(beam)으로 작용하여 교통 하중에 의해 발생되는 응력을 휨 저항으로지지
기층	• 입도조정 처리 재료 또는 아스팔트 혼합물로 구성 • 표층과 일체가 되어 교통 하중에 의한 전단에 저항하여 하중을 분산시켜 보조기층에 전달	
보조기층	• 입상재료 또는 토사 안정처리 재료 등으로 구성 • 상부층에서 전달된 교통 하중을 지지하며 노상으로 전달 • 포장층 내 배수 기능 전담 역할	• 빈배합 콘크리트 또는 시멘트 및 아스팔트 안정처리 재료로 구성 • 콘크리트 슬래브에 대한 균일한 지지력 확보 • 줄눈부 및 균열 부근의 우수 침투 방지 및 펌핑 현상 방지

<표 209.20> 아스팔트 포장과 시멘트 포장의 주요 특성 비교

기준	아스팔트 포장	콘크리트 포장
내구성	• 중차량에 대한 내구성 약함 • 수명은 10~20년	• 중차량에 대한 내구성이 강함 • 수명은 20~30년
시공성	• 시공경험 기술축적 • 단계별 시공가능	• 콘크리트 품질 관리, 양생, 평탄성 등 시공이 까다로움
주행성	• 소음, 진동이 적음 • 평탄성으로 승차감 향상	• 소음, 진동이 발생 • 승차감 저하
토질적응성	• 토질에 대한 적응성이 강함 • 연약지반에 적응성 우수	• 불균질 토질에서는 시공이 불리 • 연약지반에서는 부등침하 발생
양생기간	• 양생기간이 짧음	• 양생기간이 김
현지 재료 구득성	• 기층 재료의 구득이 곤란한 경우 불리	• 기층 재료 구득에 별로 영향 받지 않음
미끄럼 저항성	• 마찰계수가 콘크리트에 비해 낮음	• 초기에는 아스팔트에 비해 마찰계수가 높음
적용 대상	• 신설되는 도로 또는 확장도로 • 교량, 암거 등 구조물이 많은 구간에 적절	• 신설도로, 중차량이 많은 구간 • 절토, 성토 연결부가 많은 곳에 불리
공사기간	• 공사기간이 짧음	• 공사기간이 상대적으로 길다
유지 보수비	• 잦은 유지보수로 유지비가 많이 소요됨 • 유가 변동에 민감한 영향을 받음	• 유지보수비가 적게 소요됨 • 보수작업이 까다로움 • 시멘트 수급상황에 따라 영향을 받음

11.4 포장 형식의 선정 기준

일반적으로 포장 형식은 주어진 환경, 교통, 토질 조건 등에 따라 여러 가지 형태로 생각할 수 있으나 어떤 절대적인 판단기준은 없다. 대체로 경제성, 시공성, 유지 관리비, 유지관리의 난이도, 지하 매설물의 여부 등에 따라 결정한다. 그러나 각 포장 공법이 상대적인 특성을 갖고 있어 모든 요소를 비교적인 측면에서 평가하여 정량화시키는 작업이 매우 어려우므로 일반적으로는 교통 특성, 경제성, 시공성 등 기술적인 사항과 정책적인 사항을 동시에 고려하여 선정한다. 포장의 형식 선정시 고려해야 할 기술적 고려사항은 다음과 같다.

(1) 환경 및 교통량

도로상에 놓여진 포장은 온도 및 습도와 같은 환경요인과 중차량 혼입량 등과 같은 교통량에 따라 포장의 상태가 변화된다. 예를 들어 중차량이 많이 통과하고 해당지역의 온도가 높은 지역에서는 강성포장이 유리하다. 그러므로 포장의 형식을 결정하기 위해서는 해당지역의 환경 및 교통량을 충분히 고려해야 한다.

(2) 토질 특성

불규칙적으로 토질 특성은 도로 구간에 따라 일정하게 변한다. 그 변화 폭이 크고 침하의 우려 및 체적 변화가 예상될 경우에는 단계건설을 고려한다. 가요성 포장은 연약지반에 대한 적응성이 양호하나, 강성포장은 침하량이 크고 부등침하 발생에 따른 조기 파손이 우려되므로 충분한 검토가 필요하다.

(3) 기상

눈이 많이 오는 지역에 대해서는 제설 장비가 포장을 손상시키지 않도록 운용할 수 있는 포장 형식을 택한다. 또한 미끄럼과 마모를 막기 위해 표층 위에 마모층을 두는 경우도 있으나 적설지역의 도로에는 내마모성을 중시한 포장 형식을 선정한다.

(4) 시공성

단계건설 여부, 시공 속도, 시공 중 교통소통 등에 따라 적절한 포장 형식을 선정한다.

(5) 경제성 및 유지보수

특별히 포장 형식을 결정할 근거가 없는 경우에는 공사비의 비교가 중요하다. 일차적으로 초기 투자비를 비교한 다음 유지 관리비 및 잔존가치를 포함한 경제성을 비교하여 포장 형식을 결정한다.

(6) 기타 고려사항

- 계획 노선 부근의 다른 노선에 대한 포장 설계 시공 및 관리에 따른 경험
- 주변의 기존 포장에 대한 검토
- 골재원 등의 재료확보 및 운반
- 시공 경험 및 장비 확보
- 교통안전 및 작업자의 안전 측면
- 기술 향상을 도모하기 위한 정책적인 고려
- 재료는 시공회사가 임의로 선정할 수 있도록 하는 것이 경쟁력 확보에 유리
- 시멘트, 아스팔트 등의 사용 및 확보에 대한 국가적인 측면 고려
- 해당 지역 재료의 적합성
- 계약자의 능력
- 경험으로 얻은 여러 가지 특징
- 포장상태나 보수공법 결정시 중앙분리대, 배수시설, 측방 여유폭 등과 같이 영향을 미칠 것으로 생각되는 요소

209.12 출입 시설 계획

출입시설이란 도로의 진입과 진출을 목적으로 설치되는 시설로서, 평면교차 시설과 입체교차 시설이 있다. 고속도로의 경우 출입에서는 고속으로 주행하는 차량의 출입이 원활하도록 입체교차시설로 하는 것을 원칙으로 한다. 평면교차 시설은 연결로와 접속도로의 교차부에서 이용 교통량 등을 고려하여 해당 교차로의 중요도가 낮다고 판단되는 경우에 설치한다. 입체교차 시설에는 연결로가 없이 단순히 고가 또는 지하차도 형식으로 입체교차 되는 단순 입체교차 시설과 연결로를 통하여 교차도로간에 차량 통행이 가능한 인터체인지가 있다. 단순 입체교차는 완전 출입제한으로 운용되는 도로가 다른 도로와 교차할 때 또는 불완전 출입제한으로 운용되는 도로가 그다지 중요하지 않은 도로와 교차할 때 지형상의 제약 등으로 인해 연결로가 없이 입체교차되는 경우를 말한다.

12.1 출입시설의 구분

(1) 입체교차 시설

① 교차 접속하는 도로의 종류에 따른 구분

입체교차시설은 교차 접속하는 두 도로의 종별 및 이용형태에 따라 분기점(JC)과 인터체인지(IC)로 구분된다.

• 분기점(JUNCTION)

고속도로가 서로 교차 접속하는 곳의 입체교차 시설을 의미한다. 분기점은 높은 교통 서비스 수준으로 설계할 필요가 있으므로 완전 입체교차 형식으로 설계한다.

• 인터체인지(INTERCHANGE)

분기점 이외의 입체 교차시설을 인터체인지라고 한다. 인터체인지는 일반적으로 영업소를 설치해야 하므로 영업소의 설치에 적합한 형식과 기준을 적용하여 설계한다.

② 동선 처리 방법에 따른 구분

분·합류를 행하는 차량의 동선을 어떻게 처리하는가에 따라 입체교차 형식을 완전 입체교차 형식과 불완전 입체교차 형식, 엇갈림 형식으로 구분할 수 있다.

③ 연결로 형식에 따른 구분

연결로는 접속 형식에 따라 직결형, 루프형, 준직결형이 있다.

(2) 평면교차 시설

평면교차 시설에는 신호등이 설치된 신호 교차로와 신호등이 설치되지 않은 비신호 교차로가 있다.

12.2 출입시설의 설치 계획

출입시설의 위치를 계획할 때에는 출입시설의 배치 기준과 여러 가지 조사를 통해 개략적인 설치 지역을 선정하고, 이렇게 산정된 지역의 세부적인 조사를 통해 적절한 설치 위치를 결정한다. 교통 안전과 교통용량 그리고 경제성 평가 등을 거쳐서 출입시설의 형식을 결정한다.

<표 209.21> 출입시설의 계획 과정

구 분		자 료	검 토 내 용	성과 도면
계획	배치 계획	1/50,000 지형도, O/D조사 자료, 경제조사, 입지조사, 기타	개략적인 설치 위치	1/50,000
	위치 선정	1/50,000 또는 1/25,000 지형도, 1/50,000 지질도, 부근도로현황도, 도시계획도, 기타 토지 이용계획을 나타내는 도면, 교통 조사 자료	본선의 노선 선정과 관련된 개략계획, 설치계획에 대한 추가 또는 삭제에 관한 검토, 개략적인 출입교통량의 추정 및 교통량 배분계획	1/25,000 1/50,000
	형식 결정	앞 단계 자료, 지질, 토질, 기상, 문화재 조사 자료, 상세한 시종점 해석자료	접속도로의 결정, 구체적인 설치 위치의 수정, 출입시설 이용 교통량의 상세한 추정, 출입시설 형식 검토 및 개략적인 사업비 산출	1/5,000
설계	기본 설계	계획단계에서 사용한 것보다 더 상세한 자료	기본 선형 결정, 시설배치 계획, 사업비, 접속도로의 정비계획, 용지경계 결정	1/5,000 ~1/3,000 평면도 및 종단면도
	실시 설계	1/1,200 지형도 및 기본설계에서 사용한 것보다 더 상세한 자료	토공, 배수, 구조물, 포장, 교통관리시설, 조경, 건축시설 등의 설계	1/1,200 및 상세도

12.3 출입시설의 배치

출입시설의 배치는 교통 조건, 사회경제 조건, 자연환경 조건, 국토종합개발계획 및 지역개발계획 등을 종합적으로 감안하여 계획해야 한다. 개략적인 배치 기준은 다음과 같다.

(1) 국도 등 주요 도로와 교차하거나 가까운 지점

(2) 인구가 3만명 이상인 도시 부근이나 출입시설의 세력권 인구가 5만~15만 명 정도가 되도록 배치

(3) 중요한 항만, 비행장, 유통시설 또는 국제관광상 중요한 지역을 통과하는 주요 도로와 교차하거나 가까운 지점

(4) 출입시설의 출입 교통량이 30,000대/일 이하가 되도록 배치

(5) 출입시설간의 간격이 최소 2km, 최대 30km가 되도록 배치

(6) 도로 본선과 출입시설에 걸리는 총 비용대 편익비가 최대가 되도록 배치

209.13 설계업무

13.1 선형 설계

① 노선검토에서 이루어진 최적노선을 기본으로 평면선형, 종단선형을 설계한다.

② 평면선형의 곡선반경과 종단선형의 경사 및 종단곡선 길이는 기준치 이상의 값을 적용한다.

③ 평면선형의 곡선부는 충분한 완화구간을 설치한다.

④ 종단선형의 요철부는 기준치 이상의 종단곡선을 삽입하여 시거를 확보해야 한다.

⑤ 선형설계시 측점은 100m를 원칙으로 하고 부득이한 경우 축소 또는 확대할 수 있다. 이에 대한 설계지침은 발주처의 방침에 따른다.

13.2 토공 설계

① 절토 및 성토부의 법면은 표준법면경사를 원칙으로 하고 토질조사 결과 사면 안정 검토가 요구되는 구간은 사면 안정 검토 결과를 반영한다.

② 연약지반의 예상되는 구간은 토질조사 결과를 반영하여 대책 및 보완 방법을 강구한다.

13.3 구조물공 설계

① 교량의 구조계산은 교량을 형식별로 취합하고 각 형식에 대해 대표적인 교량에 대해서만 수행한다.

② 구조계산은 상부구조는 주부재, 하부구조는 교대 및 교각 각 1개소에 대해 주부재에 대해서 수행한다.

③ 설계 등급은 충분히 고려되어야 하며 하중조합은 가장 불리한 조건이 되도록 한다.

13.4 포장공 설계

일반적으로 포장은 아스팔트 포장과 콘크리트 포장으로 구분한다.

포장의 설계는 아스팔트 포장과 콘크리트 포장설계가 있으며 모두 AASHO(American Association of State Highway Officials) 도로시험을 토대로 얻어진 경험식과 이론식을 보충한 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 설계법의 적용을 원칙으로 한다.

노상 동적 탄성계수 M_R 산정 등에 어려움이 있을 때, 아스팔트포장의 경우에는 1972년 AASHTO 설계법 잠정지침을 적용하고, 콘크리트 포장의 경우에는 1981년 AASHTO 설계법 잠정지침을 따른다.

한편, 교통량이 적은 경우나 관련 설계 입력변수 산정에 어려움이 있거나 개략적 구조 설계를 필요로 하는 경우에는 아스팔트포장요강과 콘크리트포장요강을 기준으로 한다.

① 포장공법은 시멘트 콘크리트 포장과 아스팔트 콘크리트 포장을 비교·검토하여 경제적이며 지형 및 기후조건에 맞는 공법 및 구조가 되도록 설계하며 구조의 개략적인 계산근거를 제시한다.

② 시멘트 콘크리트 포장은 무근 콘크리트(J.C.P)와 연속 철근 콘크리트(C.R.C.P) 등을 비교 검토하여 설계한다.

③ 포장층의 포장두께와 동결심도 등의 계산은 대표적인 지역 및 토질에 대해서만 실시한

다. 사업노선의 연장이 긴 경우는 구간을 구분하여 포장구조를 선정할 수 있다.

13.5 출입시설의 설계

① 출입시설의 위치, 형식, 연결로의 차로수 등을 확정하고 기본적인 평면 및 종단선형을 계획한다.

② 출입시설은 장래 확장을 고려하여 영업시설의 위치, 연결도로와의 충분한 이격거리가 검토되어야 한다.

③ 연결도로 접속부 처리 방법은 연결도로의 성격, 교차점의 교통량, 접속지점의 지형조건, 연결도로의 개량유무 및 건설비 등 경제성을 종합적으로 검토하여 관계기관과 협의를 거친 후 결정한다.

13.6 부대시설의 설계

① 휴게시설, 교차로, 버스정류장 등의 주요 도로시설물은 도로구조가 허용하는 한 이용객의 편의가 우선되도록 설계한다.

② 주요 도로시설물의 설계시 장래 확장, 주변여건의 변화 등을 고려하여 충분한 사용기간을 갖도록 해야 하며 제원, 구조, 기본선형 등을 설계한다.

③ 출입시설, 터널 등으로 전기, 건축, 기계 등의 설비가 필요한 경우에는 이를 개략 검토하고 보고서에 수록한다.

13.7 예비수량 및 예비공사비 산출

① 기본설계의 공사비 산출은 구조물별 또는 시설물별의 표준단면에서 산출되는 주요 재료의 수량을 기준하고, 계획시설물과 동일 또는 유사한 시설물에 대한 최신 기존 설계 예산서 또는 관련자료를 토대로 산출한다.

② 유사한 시설물에 대한 설계 예산서 또는 관련 자료가 없는 경우에는 해당 공종의 전문 시공업체, 또는 제작자의 견적서를 기준으로 산출한다.

210

도로 건설에 따른 교통영향평가

210.1 개요

교통영향평가의 개념은 대량의 교통수요를 유발하거나 유발할 우려가 있는 사업을 시행하거나 시설을 설치할 경우, 교통수요가 주변 지역 교통 환경과 마찰을 일으켜 생길 수 있는 제반 교통 문제점을 분석하고 그 악영향을 제거하거나 최소화할 수 있는 대책을 마련하여 교통여건을 개선하는 것이다.

210.2 교통영향평가의 내용

2.1 교통영향평가 대상 및 과정

교통영향평가는 도시교통정비촉진법 및 시행령, 시행규칙, 교통영향평가 지침에 근거하여 수행된다.

교통영향평가의 대상이 되는 신설 도로의 규모는 <표 210.1>과 같다.

<표 210.1> 교통영향평가 대상 신설 도로의 규모

구 분		중앙교통영향 심의위원회 심의 대상	지방 교통영향 심의위원회 심의 대상	
			도시교통정비 지역 내	도시교통정비 지역 외
• 도로법 제11조의 규정에 의한 도로	고속국도	총연장 30km 이상 신설 노선 중 인터체인지 분기점 및 타 간선도로와의 접속부	총연장 20km 이상 신설 노선 중 인터체인지 분기점 및 타 간선도로와의 접속부	좌 동
	일반도로	총연장 30km 이상 신설 노선 중 인터체인지·교차로 및 타 간선도로와의 접속부	총연장 20km 이상 신설 노선 중 인터체인지·교차로 및 타 간선도로와의 접속부	-
	지방도	-	총연장 10km 이상 신설 노선 중 인터체인지 교차로 및 타 간선도로와의 접속부	좌 동
• 도시계획법 제2조 제1항 제5호의 도시계획 사업 등 (도로 건설)		총연장 30km 이상 신설노선 중 인터체인지 교차로 및 접속부	총연장 5km 이상 신설 노선 중 인터체인지 교차로 및 타 간선도로와의 접속부	좌 동

기존 사업을 확장하는 경우에는 확장 부분을 포함한 사업 규모를 기준으로 규정을 적용한다. 다음과 같은 경우는 이 규정에서 제외된다.

• 교통영향평가를 받은 사업을 확장하는 경우

이 규정에 의한 최저 규모(최저 규모가 없는 경우에는 최근 교통영향평가 당시의 규모)의 20% 범위 안에서 확장하는 경우

• 평가를 받지 않은 사업을 확장하는 경우

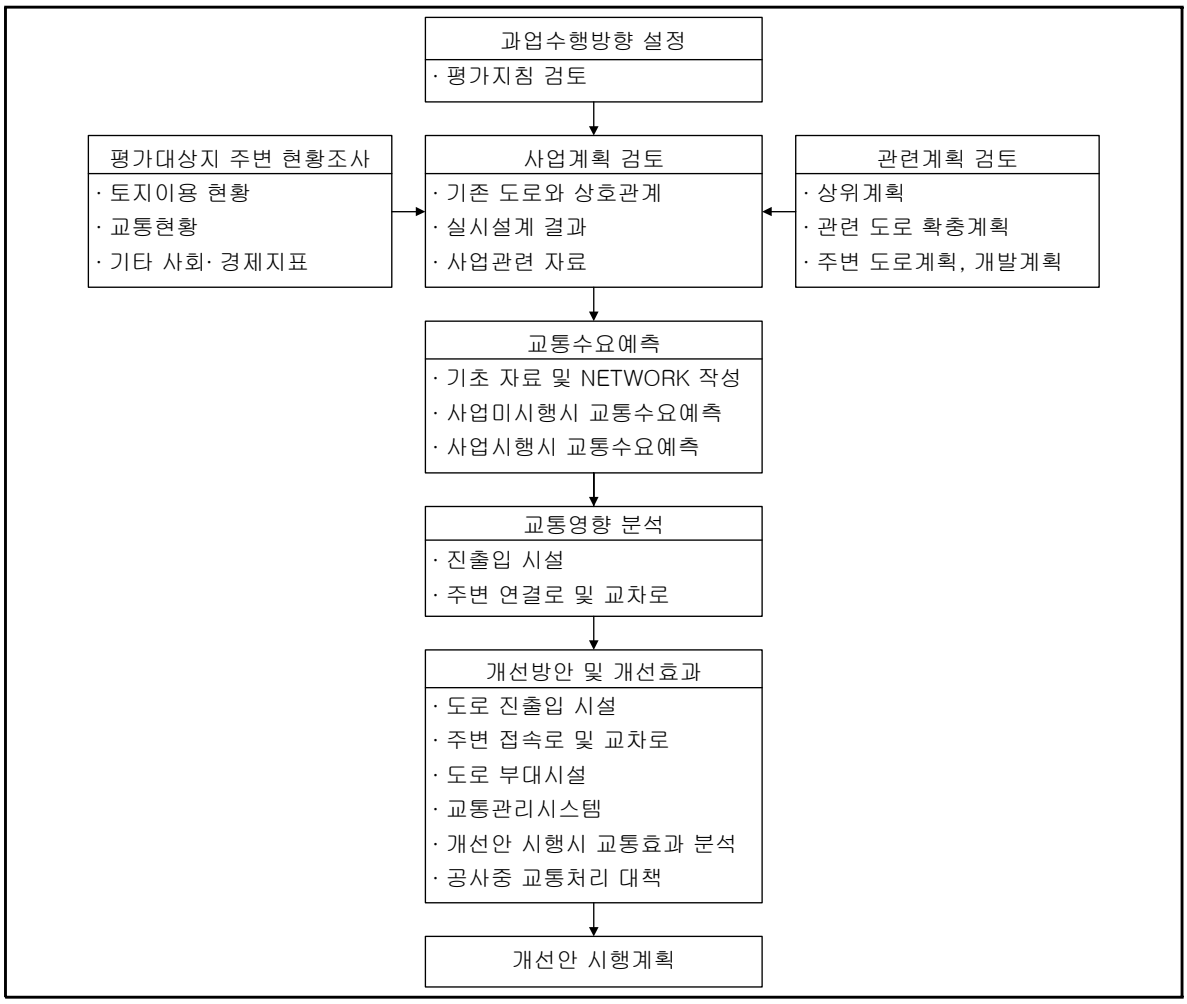
이 규정에 의한 최저 규모(최저 규모가 없는 경우에는 확장 당시의 규모)의 5% 범위 안에서 확장하는 경우를 제외한다.

도로 사업에 대한 교통영향평가 과정은 <그림 210.1>과 같다.

2.2 교통영향평가서의 내용

교통영향평가서의 내용은 계획 도로 주변의 토지 이용 및 도로 교통 현황조사, 관련 계획 검토, 장래 교통 수요 예측, 사업 시행에 따른 교통 영향과 문제점 및 개선 방안 등으로 구성된다.

평가서의 주요 내용은 <표 210.2>와 같다.



<그림 210.1> 도로 사업에 따른 교통영향평가 과정

<표 210.2> 교통영향평가서의 주요 내용

항 목	세 부 내 용
1. 서론	• 사업의 개요 • 평가사유 및 평가시기의 적정성 • 평가범위(시간적 · 공간적 · 내용적 범위 및 중점항목평가) • 평가결과 요약 - 중점평가항목별 평가 결과 - 교통영향 및 문제점 - 종합개선안
2. 교통환경조사 분석	• 교통시설 및 교통소통 현황 • 토지이용현황 · 토지이용계획 및 주변지역개발계획 • 교통시설 설치계획 및 교통관련계획
3. 사업지 및 주변지역의 장래 교통수요	• 사업 미시행시 수요예측 • 사업 시행시 수요예측 • 주차수요예측
4. 사업시행으로 인한 문제점 및 개선방안	• 사업시행으로 인한 문제점 - 가로 및 교차로 소통 - 진 · 출입 동선 - 대중교통 및 보행 - 주차시설의 공급과 운영 - 교통안전 - 기타 • 개선방안(수요예측분석과의 연계) - 사업지내 개선방안 - 주변지역 개선방안 • 개선효과(계량분석)
5. 개선안의 시행계획	• 시행주체 및 시행시기 • 공사중 교통처리 방안
6. 참고자료	• 교통량 조사자료 • 원단위 조사자료 • 기타 교통영향평가서 내용의 근거가 되는 자료

210.3 교통현황조사

3.1 주변의 토지 이용

토지이용 현황 조사에서는 주거지역, 상업지역, 공업지역 등 개괄적인 토지이용 현황보다는 사업지 주변을 쉽게 이해할 수 있는 더 세밀한 토지이용 현황을 조사한다.

3.2 사회□경제지표 현황

(1) 인구

인구지표는 현재 및 장래의 교통량 및 교통특성을 판단·추정하기 위한 가장 기초적인 자료로서, 인구규모와 증가율 등은 계획 수립을 위한 정량적 모형의 입력자료, 지역간 교통 특성의 비교·분석 지표로 쓰인다.

(2) 경제 및 산업 구조

산업별 고용자수의 특성은 산업별 교통유발계수와 함께 고려할 때 그 지역의 교통특성과 교통수요를 추정하는 중요한 지표로 이용할 수 있다.

(3) 자동차 보유현황

자동차 등록대수의 추이를 이용하여 장래 교통량의 증가 추이를 파악하고 예측하는데 큰 도움이 된다.

3.3 도로 시설 현황

주변 지역 도로망의 차로수, 연장, 포장 상태를 파악한다.

3.4 개발계획 현황

해당 도로사업을 시행하고자 하는 지역 주변의 지역개발 정책방향과 관련 교통계획 및 토지 이용의 활용도를 사전에 검토해야 하며, 대규모 투자 사업의 경우에는 전반적인 사회·경제여건의 변화까지 고려해야 한다. 따라서, 장래 주변 여건 변화를 파악하고 그 결과를 평가에 반영하기 위해서 사업 영향권 내의 여러 계획 중 계획안이 이미 확정되었거나 목표 연도까지 유효한 관련 계획 안에 대해 세밀하게 검토한다.

3.5 가로망 현황

사업 노선과 접속되거나 인접해 있어 노선의 신설시 영향을 받게 될 고속도로 및 국도, 지방도의 연장, 차로수, 교통량 등을 조사한다.

3.6 교통시설 이용현황

사업 대상 노선 주변 교통시설의 위치와 규모 등에 대해 조사해야 하며 조사 대상은 다음과 같다.

- 버스정류장(좌석, 일반, 시외, 시내 등)
- 신호기
- 택시정류장
- 육교
- 철도

3.7 교통안전시설 및 교통사고 발생 현황

사업 대상 노선 주변에서 발생한 교통사고 현황을 사고 원인별로 유형화하여 파악하고 가급적 교통안전시설 및 신호체계 등과 관련시켜 분석한다.

3.8 교차로 기하구조 및 신호 운영체계 현황

교차로의 구조는 1/1,200 도면을 기준으로 또는 실측을 토대로 차로, 경사, 정지선, 신호기의 위치 등을 파악한다. 신호체계는 교차로의 통제방식과 신호현시와 주기 등을 파악한다. 사업 대상이 고속도로인 경우 사업 노선의 I.C.로부터 영향구간을 설정하여 분석 대상 교차로를 선정한다.

3.9 교통량 현황

교통량은 주변 지역의 소통상태를 파악하기 위해 조사한다. 교통량은 계절별, 요일별로 변화가 심하며 이러한 교통량을 예측하기 위해 단위 사업에 대해 1년 내내 교통량을 조사하는 것은 비경제적이므로 사업구간의 교통특성을 잘 반영할 수 있는 요일과 시간을 결정하여 조사한다.

210.4 교통분석

4.1 고속도로

도로용량편람에서 제시하는 용량 분석기법을 이용하여 서비스수준을 산정한다. 고속도로의 서비스수준 평가시 주로 사용하는 효과척도로는 밀도, 평균통행속도, 교통량 대 용량비 등이 있다.

4.2 교차로

(1) 신호교차로

신호교차로 용량분석은 1시간 동안 계속 녹색신호를 받는다는 가정하에서 포화교통류율을 산정하고, 여기서 각 접근부의 방향별 유효 녹색 시간비를 곱하여 분석 대상 이동류의 용량을 산정하여 교차로 전체의 임계 포화도를 파악한다. 이러한 용량분석과정을 수행한 후 주요 효과척도인 지체를 계산하고 이를 이용하여 서비스수준을 평가한다.

(2) 비신호교차로

비신호교차로 부분에 대해서는 국내 도로용량편람이 개선 연구 중에 있으며, 작업이 완료되면 용량편람에서 제시하는 비신호교차로에 대한 분석 방법에 따라 서비스수준을 평가한다. 미국 용량편람의 분석방법론의 기본 구조는 다음과 같다.

① 분석대상 교차로에 대해 현재의 기하구조와 운영조건을 정의한다.

② 부도로의 각 이동류와 주도로의 좌회전이 교차하는 상충 이동류를 결정한다.

③ 각 이동류내의 차량이 상충교통류를 교차

하기 위해 필요한 차간시간을 결정한다.

④ 이러한 차간시간을 이용하는 이동류들을 수용할 수 있는 주 이동류 내의 차간시간의 용량을 계산한다.

⑤ 계산된 용량을 통행저항과 공유차로의 이용을 감안하여 보정한다.

⑥ 대상 이동류 각각에 대해 평균총지체를 추정하고, 각 이동류와 교차로 전체에 대한 서비스수준을 결정한다.

4.3 2차로 도로

2차로 도로에서는 고속차량이 저속차량에 의해 통행이 지연되는 경우, 대향 차로를 이용하여 앞지를 수 있는 시거와 대향 차량과의 간격이 확보되어야 앞지를 수 있다. 따라서, 단순히 인접 차로를 이용하여 추월할 수 있는 다차로 도로보다 교통량 처리 능력이 상당히 떨어진다. 2차로 도로의 서비스수준 산정을 위한 주요 효과척도로는 지체차량비율, 평균통행속도, 교통량 대 용량비 등이 있다.

4.4 도시 및 교외간선도로

도시 및 교외간선도로의 서비스수준 분석의 효과척도로는 대상 구간의 평균통행속도가 사용된다. 구간길이, 순행시간, 교차로 총접근 지체를 이용하여 평균통행속도를 산출한다.

210.5 교통수요 예측

교통수요예측은 평가 대상사업에 대한 분석 목표년도를 기준으로 사업을 시행하였을 경우와 사업을 시행하지 않았을 경우를 비교하여 어느 정도의 영향을 미치게 되는가를 파악하는데 쓰인다. 따라서 사업을 시행하지 않는 경우와 시행할 경우의 두 가지로 나누어 수요를 예측한다.

5.1 사업 미시행시 교통수요 예측

(1) 사업 미시행시 교통수요분석은 사업을 시행하지 않았을 경우 목표년도에 대한 주변지역의 통행수요를 예측하는 것으로 현재 수요 예측에 사용되는 방법은 주로 증가율에 의한 방법, 교통 계획관련 연구의 예측 자료를 이용하는 방법, 4단계 수요 예측 방법 등이 있다.

(2) 증가율에 의한 방법을 사용할 경우에는 교통계획 관련 연구에서 제시된 지역 전체 교통량의 연평균 증가율을 적용한다. 분석 대상 지역의 현재 및 장래 교통수요가 제시되어 있는 경우에는 주요 노선별 연평균 증가율을 적용하는 것이 일반적이다. 전자의 경우 인용된 자료의 출처를 명확히 밝히고, 후자와 같이 노선별 증가율을 사용할 경우에는 교통량의 추정식도 함께 제시한다.

(3) 증가율을 보정하는 경우에는 보정의 필요성과 보정시 참고자료, 보정값의 산출과정 등을 명확히 밝힌다.

(4) 사업지 주변 관련계획과 여건 분석에 따른 수요추정도 관련계획의 시행시와 미시행시 그리고 준공연도에 따라 수요가 변할 것이므로 이들 관련계획을 세밀히 고려하여 사업 미시행

시의 목표년도에 대한 수요를 추정해야 한다.

(5) 4단계 교통수요추정 방법은 대규모 사업이나 시설에 대한 평가시 많이 활용되며 주로 이용되고 있는 분석 프로그램의 대표적인 것으로는 TRANPLAN과 EMME/2등이 있다.

5.2 사업 시행시 교통수요 예측

(1) 사업 시행시 교통수요는 사업의 시행으로 인해 예상되는 활동인구를 토대로 분석 목표년도에 대한 통행발생, 통행분포, 수단분담, 노선배정 등의 일련의 수요예측 과정을 거쳐 산출한다.

(2) 이 같은 과정에 의해 추정 목표년도의 교통량을 토대로 사업 미시행시와 비교하여 어느 정도의 영향을 미치게 되며 그 결과 주변 교통에 어떠한 변화가 발생하는가를 사전에 파악한다.

210.6 사업시행에 따른 교통영향 및 문제점

평가 대상 사업의 시행으로 인해 나타나는 교통영향 정도와 그에 따른 문제점으로는 다음과 같은 사항들이 있다.

- 인접 도로나 교차로의 교통량 및 지체시간의 변화
- 방향별 교통량의 변화에 따른 동선 및 차로 운영 방법의 변화
- 대중 교통서비스의 변화
- 교통사고의 변화

6.1 주변지역의 문제점

(1) 주변가로 및 교차로 소통상의 문제점

① 주변가로

사업 대상 노선 주변의 주요 노선 및 본선 구간에 접속되는 주변가로는 사업시행으로 교통여건이 변화한다. 단기, 중기, 장기로 구분하여 사업 시행시와 미시행시 용량과 서비스수준을 산출하여 교통영향을 계량화한다. 주변 도로 서비스수준 분석의 예는 <표 210.3>과 같다.

② 교차로

사업시행 전·후에 따른 교차로의 서비스 수준 변화를 파악한다. 분석 대상 교차로의 도로조건(도로의 기능, 차로수, 경사, 폭원, 곡선 반경)과 교통조건(교통량, 중차량 비율, 방향별 교통량, 시간대별 교통 변화, 버스 정류장 및 주·정차, 횡단보도 활동) 및 운영조건(신호주기, 현시, 옵셋) 등을 고려하여 용량을 산정한 후 서비스수준의 변화를 파악한다. 교차로의 분석 예는 <표 210.4>와 같다.

<표 210.3> 주변 도로 분석 표

도로명	도로구간	현 재		단 기		중 기		장 기	
		V/C	LOS	미시행시	시행시	미시행시	시행시	미시행시	시행시
				V/C	LOS	V/C	LOS	V/C	LOS

<표 210.4> 교차로 분석 표

교차로명	현 재		단 기		중 기		장 기	
	지체도	LOS	미시행시	시행시	미시행시	시행시	미시행시	시행시
			지체도	LOS	지체도	LOS	지체도	LOS

6.2 사업 대상 노선 문제점

(1) 본선구간

과업의 목적에 맞는 도로의 설계를 위해 노선의 설계기준이 적절한지 검토해야 한다. 잘못된 기준에 의한 설계는 본선과 주요 교차로 및 주변 지역 도로의 소통에 악영향을 줄 뿐만 아니라 교통사고의 직접적인 원인이 될 수 있다.

- 설계속도의 검토
- 폭원구성 및 횡단경사 검토
- 설계기준 및 기하구조 기준 검토

검토한 설계 기준에 따라 도로를 만들어 개통된 후 교통량과 용량을 비교하여 본 노선의 장래 교통용량의 한계점을 찾는다.

(2) 연결로 구간

과업 구간내의 연결로의 설계기준을 검토하여 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에서 제시하는 기준과 비교한다. 문제점이 없을 경우 설계된 기하구조 요건에 따른 서비스수준 분석과 적정 차로수를 산정한다.

연결로 접속부의 서비스 수준을 평가하기 위한 효과척도는 연결로 접속차로 교통량으로 하며, 이를 바탕으로 접속부의 용량과 서비스수준을 판단한다.

(3) 진·출입 동선 체계

I.C 및 J.C의 진출입 형식에 따른 출입 차량의 동선과 본선에 접속되는 가로에 대한 소통영향을 검토하여 원활하고 안전한 진·출입 체계를 만든다. <표 210.5>는 진·출입시설의 형식을 검토한 예이다.

<표 210.5> 진·출입 형식 검토 예

구 분			기본 설계 안	비교 안
위 치			A 고속도로 a기점 53.9km	A 고속도로 a기점 53.9km
형 식			트럼펫 형	직결형
공 사 량	토공	절토	-	-
		성토	32만㎥	47만㎥
	교량	장대교	3개소/135m	4개소/220m
		소교량	19만㎡	27만㎡
선 형	최소곡선반경		R(min)=60m	R(min)=150m
	최급종단경사		S=4.0%	S=2.8%
사 업 비	계		120억원	160억원
	공사비		93억원	127억원
	용지비		27억원	33억원
장 단 점			• 교통량에 따른 적정 시설 규모(목표 년도 "B" 수준) • 환경피해 최소 • 공사 중 교통처리 용이 • 사업비 저렴	• 교통안전상 타당 • 선형 양호 : 교통용량증대 및 안전상 확보 • 민원 발생 예방 가능
검 토 의 견			직결형은 교통 안전측면에서 고속도로상 타당한 교차형식으로 사업비가 다소 고가이며, 트럼펫 형은 루프형 연결로의 교통 안전상 위험성을 내포하고 있어 고속도로간 교차형식으로 미흡하므로 (비교안)을 건의한다.	
선 정 안				○

(5) 영업소 운영상의 문제점

고속도로의 요금 징수 목적은 다음과 같다.

- 도로의 건설비, 시설비 및 유지 관리비의 일부를 충당할 수 있다.
- 고속도로를 이용하지 않아도 되는 단거리 일반 이용객의 통행을 억제시킬 수 있으므로 도로용량을 최대한 활용할 수 있다.

고속도로의 유료화 체계는 요금징수 방법에 따라 폐쇄식과 개방식이 있으며, 이 두 가지 방식은 교통 특성, 노선의 위치, 지역의 경제 및 재정적인 측면, 이용자의 입장 등에 따라 장단점이 있다.

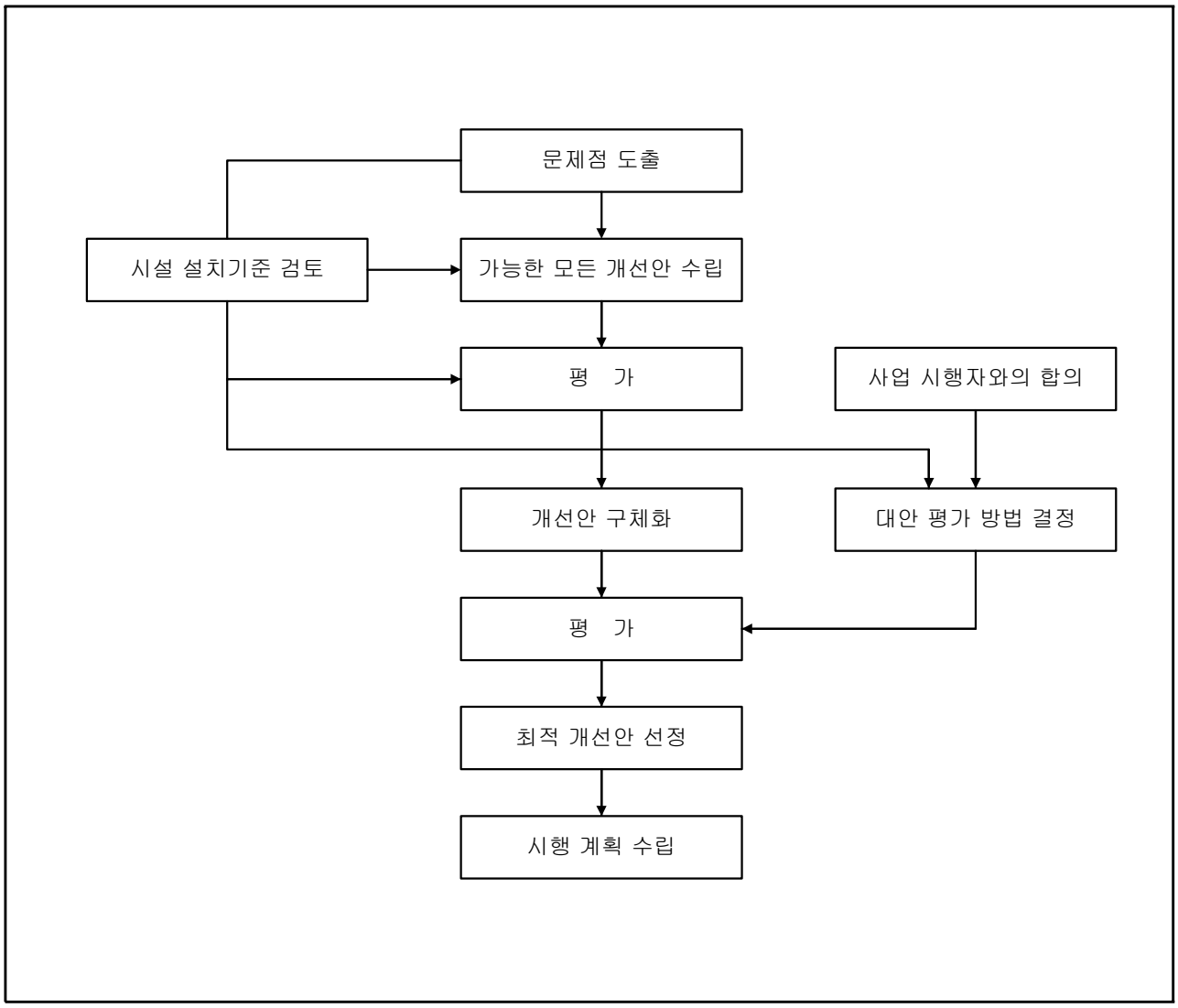
<표 210.6> 폐쇄식 및 개방식 영업체계의 장·단점

구 분		폐 쇄 식	개 방 식
사회·경제적 측면	영업시설 투자소요 및 영업비	사업비가 과대 소요되고 연간 영업비가 많음.	시설비 및 영업비가 적게 소요됨
	전환교통량 발생으로 인한 운행비 손실	전환이 많고 운행비 손실이 큼	전환차량 및 운행비 손실이 적음
	지역 개발 효과	단거리 차량 이용도가 낮음	높음
관리·재정적 측면	통행료 징수 범위	이용 차량 100% 징수	이용 차량 40~70% 징수
	혼잡시 통제 기능	조절이 가능함	조절이 불가능
	영업부정 행위 단속	비교적 가능함	곤란함
	운행제한 차량 통제	가능함	곤란함
이용자 측면	통행료 부과 대상 차량	모든 통행 차량에 부과함(공평)	영업소 지점 통과 차량에만 부과함(불공평)
	거리별 통행 요금	주행거리에 따라 책정함(공평)	평균주행거리에 따라 동일 요금을 부과함(불공평)
기타	영업소 차량 처리 능력	처리능력이 적다	처리 능력이 비교적 많다
	교통량 통제	O/D 교통량 및 각종 통계 작성이 쉬움	O/D 교통량 파악 불가능

210.7 개선 방안

사업시행 후 나타나는 교통 측면의 제반 교통상의 문제점을 분석시기별로 사업지 내부와 주변지역으로 구분하여 개선방안을 작성하고 이에 따른 개선효과를 제시한다.

일반적인 개선안 작성과정은 <그림 210.2>와 같다.



<그림 210.2> 개선안 작성 과정

7.1 주변지역 개선 방안

7.1.1 교차로 운영 개선 방안

(1) 비신호 교차로 신호기 설치

사업 노선의 주변 교차로 중 비신호로 운영되는 교차로의 장래 서비스수준을 분석하여 적정년도에 신호기를 설치 운영하여 교차로의 지체를 해소하는 방안을 검토한다. 신호기 설치 기준은 다음과 같다.

① 최소 차량 교통량 기준

평일의 교통량이 <표 210.7>의 기준을 초과하는 시간이 모두 8시간 이상일 때 신호기를 설치한다.

② 부도로의 교통량 확보 기준

주도로의 교통량이 많아 부도로 교통의 통행권 확보가 어려울 경우에 적용하는 기준이다. 하루 8시간 이상의 교통량이 <표 210.8>의 조건을 만족시킬 때 신호기를 설치하여 교차로를 운영한다.

③ 횡단 보행자 기준

평일 8시간 중 주도로의 양방향 교통량이 600대/시 이상이고 같은 8시간 동안 횡단 보도의 보행자 수(자전거 포함)가 시간당 150명 이상인 경우에 신호기를 설치한다.

④ 통학로 교통량 기준

어린이 보호 구역 내 초등학교 또는 유치원의 주 출입문과 가장 가까운 거리에 위치한 횡단보도에 설치하며, 기타의 경우 보호구역내 횡단보도는 차량 교통량이 60대/시간(양방향) 이상일 때 신호기를 설치한다.

⑤ 교통사고 기준

신호기 예정 설치 장소로부터 50m이내의 구간에서 교통사고가 연간 5회 이상 발생하여 신호기의 설치로 사고를 방지할 수 있다고 인정되는 경우에 신호기를 설치한다.

⑥ 기타 기준

미국의 교통통제시설편람(MUTCD)에는 이상의 기준 이외에 4시간 교통량 기준, 첨두시 지체 기준, 첨두시 교통량 기준 등이 있다.

(2) 신호 교차로 신호 운영 개선

기존에 신호기가 설치되어 있는 교차로 중 신호시간 개선이 필요한 교차로를 대상으로 장래 통행패턴의 변화, 교통량의 증가 및 주변 도로의 확장 등을 고려하여 신호 시간을 최적화 한다.

(3) 교차로 기하구조 개선 방안

교차로의 기하구조 개선은 용량분석 및 서비스 수준 분석을 통해 도출된 문제점을 개선하는 방안으로, 개선안 시행시의 주변 여건 등을 고려하여 종합적인 개선안이 되도록 한다.

- 교차로 면적의 최소화를 유도한다.
- 평면교차로는 4지 이하로 구성되도록 유도한다.
- 교차로의 신호 현시를 줄이는 방향으로 개선방안을 검토한다.
- 엇갈림 교차로는 +자형 또는 T자형이 되도록 도로선형을 개선하거나 교통규제를 실시하고 신호현시를 개선한다.
- 변칙 교차로에서는 주 교통의 진행 방향이 명확히 되도록 도로의 선형을 개선하되 지형여건상 도로선형의 개선이 불가능할 경우 주 교통방향의 교통수요에 맞추어 교차로 부근의 차로수 증가나 해당 방향의 녹색신호시간을 증가시킨다.
- 예각교차로(X형 또는 Y형)는 교차각이 직각에 가깝도록 개선하여 +자형 또는 T자형으로 하되 교차각 개선은 원칙적으로 부도로를 대상으로 한다.

<표 210.7> 신호기 설치 기준(최소 차량 교통량)

접근로 차로수		주도로 교통량(양방향) (대/시)	부도로 교통량(교통량이 많은 쪽) (대/시)
주도로	부도로		
1	1	500	150
2이상	1	600	150
2 이상	2 이상	600	200
1	2 이상	500	200

<표 210.8> 신호기 설치 기준(부도로 교통량)

접근로 차로수		주도로 교통량(양방향) (대/시)	부도로 교통량(교통량이 많은 쪽) (대/시)
주도로	부도로		
1	1	750	75
2이상	1	900	75
2 이상	2 이상	900	100
1	2 이상	750	100

<표 210.9> 신호기 설치 기준(보행자 교통량)

차량 교통량(양방향)	횡단 보행자(자전거 포함)
600대/시	150명/시

- 교차로의 유입부와 유출부의 차로수는 원칙적으로 교통수요를 고려하되 가급적 다음의 관계가 충족되도록한다.
  (유입부 차로수) ≤ (유출부 차로수)
- 대로 이상의 주간선도로가 교차로에 접속되는 경우에는 우회전 차량의 감속을 위한 우회전 차로를 설치한다.
- 교차로의 유입부에서 좌회전 교통이 있는 경우에는 가능한 한 좌회전 차로를 설치한다.
- 좌회전 차로를 설치할 때 직진 차량이 회전 차로에 진입하지 않도록 다른 차로와 독립된 부가차로를 설치하되, 좌회전 교통이 주 교통류이거나 2차로 이상의 좌회전 차로의 설치가 필요한 경우에는 전방의 충분한 거리에서 차로마다 방향표시를 한다.
- 좌회전 차로는 중앙선의 선형 변경 및 차로 폭원 축소, 중앙분리대의 삭제, 정차대의 삭제 등 최대한 도로 폭원을 활용하여 설치한다.
- 교차로 내에서 주행위치 파악, 교차로 면

적의 축소, 횡단보행자의 편의 도모 등과 교차로의 형태를 명확히 하기 위하여 교통섬이나 도류대를 설치한다.

- 교통섬은 주행궤적에 맞추되 운전자가 인식하기 쉽도록 7㎡ 이상으로 설치한다.
- 교차로에서 차량의 정지선은 좌·우회전 차량의 주행에 지장을 초래하지 않는 위치에 설치하되, 원칙적으로 주행궤적에 따라 도로 중심선에 직각으로 설치한다.
- 교차로에 설치된 횡단보도는 우회전 차량의 대기가 후속차량에 미치는 영향, 운전자의 보행자 식별정도, 보행자의 동선체계 등을 고려하여 설치위치를 결정하되 가급적 차도에 직각으로 설치한다.

(4) 가로 개선 방안

- 사업노선의 개통시기를 고려하여 고속도로의 경우 I.C와 연결되는 주변도로의 확장 필요성을 검토한다.
- 주변도로에서 사업 노선으로 출입하는 진입 및 진출 교통량의 원활한 처리를 위해 부가차로 설치를 검토한다.

(5) 보행자 교통에 관한 개선대책

보행자 교통에 관한 개선대책을 강구할 때에는 다음의 사항들을 고려한다.

- 가로 및 교차로의 보·차도 분리 여부
- 보행자 전용도로 개설 필요 여부
- 교통광장 설치 필요 여부
- 보행동선체계 구축 필요 여부
- 보행자 신호 설치 필요 여부
- 도로횡단시설의 설치 필요 및 적정 시설 : 횡단보도, 육교, 지하보도 등
- 기존 횡단시설 유무 및 전후 횡단시설과의 관계

(6) 대중 교통에 관한 교통개선 대책

- 버스 정류장은 교차로의 유출부 쪽에 설치하는 것을 원칙으로 하고 가급적 베이 방식으로 유도한다.
- 주변 교차로와 이격 정도 및 사업지의 지형 여건 등을 고려한 버스 베이 설치 위치의 적정성 여부
- 버스 정류소의 위치 변경에 따른 타 교통수단과 합류 및 상충정도 비교 분석
- 버스베이의 적정 규모 산정은 대중 교통 수요가 밀집될 가능성이 있는 지점을 예측하고 버스 정차대 및 택시 정차대 설치 방안을 마련한다.
- 택시 베이 위치 및 규모의 적정성 여부
- 지하철 또는 경전철 등 대중 교통과의 환승시설 설치를 통한 대중 교통 이용 유도
- 지하철 또는 경전철 등과 환승 편의를 도모하기 위한 대중 교통 노선망 구축
- 버스전용차로제 도입 가능성 검토
- 노선버스의 운행회수, 본선 차로수, 이용인구 수

(7) 교통안전에 관한 개선 대책

① 사고다발지점에 대한 사고 원인별 개선대책의 강구

교통사고의 원인별 개선 대책을 정리하면 <표 210.10>과 같다.

② 도로 평면선형의 안전성

곡선반경, 곡선길이, 곡선부 편경사와 확폭, 완화구간, 시거, 반사경의 설치 등

③ 도로 종단선형의 안전성

경사, 경사길이, 시거 등

④ 도로 횡단면의 안전성

차로폭, 횡단경사, 부가차로, 길어깨 폭, 중앙분리대폭 등

⑤ 교차부의 안전성

최소시거, 회전차로 또는 변속차로의 변이구간 적정성 등

⑥ 기타 안전대책

교통안전표지, 교통신호기 유무, 조명시설 밝기 정도에 따른 안전성 여부 검토 등

7.2 사업 대상 노선 개선 방안

(1) 가로 및 교차로 소통

사업 대상 노선의 서비스 수준분석 및 용량 도달 시점을 분석한다. 용량 초과 이전에 확정 또는 대체 노선의 개발 등을 검토한다.

(2) I.C 및 J.C 진출입상의 문제점

교차로의 기하구조 개선, 영업소 출입 차로수 조정

(3) 도로 사업 시행에 따른 지역 분리 극복 방안

사업시행으로 인하여 발생하는 지역분리를 극복하기 위해 기존 농로 및 교차지점에 통로 암거나 교량의 설치와 부체도로의 설치를 검토한다.

7.3 교통개선대책 종합 및 개선효과 분석

(1) 개선대책의 효과 분석은 각 대책별 분석과 종합분석으로 구분한다.

(2) 대책별 분석은 종합개선안에 제시된 교통개선대책의 이행 전·후 서비스 수준 변화정도를 적정한 효과 척도를 이용하여 비교·제시하고 교통처리 용량의 변화를 계량분석한다.

(3) 종합 분석은 주변 교통에 미치는 영향과 교통개선 기여도에 대하여 단계별로 실시한다.

(4) 종합 개선안에는 교통개선 대책을 요약, 정리하여 수록한다.

<표 210.10> 교통사고 원인별 개선 대책

원 인	대 책
교통조건에 부적합한 도로구조	• 차로폭의 재조정 • 노면표시 설치 또는 개량 • 오르막차로 설치 • 중앙분리대 설치 • 노상주차 등의 장애요인 제거 • 도로 표지 설치 등
선형 불량	• 노면시설에 의한 선형 표시 • 곡선부 예고표지 설치 • 시선유도표지 설치 • 도로의 재설계 등
시거불량	• 장애물 제거 • 예고표지 설치 • 시선유도표지 설치 등
노면의 미끄러움	• 노면 재포장 • 미끄럼 방지 포장 • 배수시설의 재조정 • 미끄럼주의 표지 설치 등
안전시설의 미비	• 가드레일, 방호울타리, 안전지대 등 안전시설 설치 또는 보완 등
보행자 무단 횡단 또는 보행자 장애	• 횡단보도 위치의 재조정 또는 개량 • 횡단보도 노면표시 신설 또는 개량 • 보행자 안전지대 설치 • 입체 횡단 시설의 설치 또는 위치 조정 등
야간사고	• 시선유도표지 설치 또는 개량 • 가로조명시설 신설 또는 증설 등
기타 원인	• 버스정차대 위치 및 규모 조정 • 철도 건널목의 입체교차 시설 설치 • 도로 부속 구조물의 위치 및 규모 조정 등

210.8 개선안의 시행계획

8.1 개선안의 시행계획 수립

(1) 사업 대상 노선 외부의 개선안에 대해서는 사전에 해당 교통시설 관리청(도로관리청)과 협의해야 한다.

(2) 개선안의 시행계획을 협의하는 경우 교통개선대책의 시행에 소요되는 비용은 교통문제를 유발하는 자가 부담하되, 다수의 이행 의무자가 발생하는 경우에는 원인 유발정도를 각 이행 의무자별로 정량화하여 각각의 이행 분담율을 명시하여 협의한다. 이 경우 통과교통 또는 자연적인 수요 증가 등 원인이 불명확한 경우에는 해당 지방자치단체의 의무로 본다. 다만, 이행 분담율에 대하여 모든 이행 의무자가 미리 합의한 경우에는 정량분석을 하지 않을 수도 있다.

(3) 협의 요청을 받은 교통시설관리청은 교통유발 정도를 감안하여 사업시행자와 합리적으로 협의해야 하며, 공공의 이익을 현저하게 증진시키는 교통개선대책에 대하여는 적극적으로 지원해야 한다.

(4) 개선안의 시행계획 중 준수사항(사업 대상 노선 외부의 교통개선 대책중 교통시설 관리청과 비용분담에 대하여 합의된 교통개선 대책과 사업 대상 노선 내부의 교통개선 대책을 의미한다)에 대하여는 개선 대책의 내용, 개선 규모, 시행주체, 비용부담자, 시행시기를 구체적으로 명시한다.

(5) 개선안의 시행계획 중 건의사항(사업 대상 노선 외부의 교통개선 대책 중 교통시설 관리청과 비용부담에 대한 합의가 이루어지지 않은 개선안을 의미한다)은 해당 교통시설관리청과 사전 협의한 사항을 구체적으로 수록한다.

8.2 공사 중 교통처리 방안

(1) 공사 중 교통처리 방안은 사업 또는 시설의 공사로 인한 교통 소통 장애 요인 및 주변 지역에 미치는 파급효과를 분석하고, 이에 대한 대책을 각 요인별로 구체적으로 제시한다.

(2) 공사기간이 6개월 이상 장기간에 걸쳐 추진되는 사업의 경우에는 대중교통 수단 등 각 교통수단의 우회 처리 방안, 공사차량의 임시 교통소통대책, 공사중 도로점용면적·도로 점용 적정시간대 및 기간 등에 대한 대책을 마련한다. 아울러 그 내용을 사업 대상 노선 외부 교통 현황도면에 표시하여 일반인에게 알릴 수 있는 방안을 수립한다. 이 경우 교통수단의 우회 처리 방안 및 공사차량의 임시 교통소통대책 등 필요한 교통처리 대책에 대해서는 도로관리청과 협의한다.

211
도로건설에 따른 환경영향평가

211.1 개요

도로사업의 시행에 있어 기술적·경제적 요인 뿐만 아니라 사업시행에 따른 환경적 요인도 고려해야 한다. 환경적 악영향을 최소화하여 도로사업 시행에 따른 긍정적 이익과 환경보전의 측면이 고려된 환경친화적 도로 사업이 되도록 해야 한다.

환경영향평가는 대상사업의 사업계획을 수립함에 있어 당해 사업의 시행으로 인하여 환경에 미치는 영향을 미리 예측하고 분석하여 환경영향을 줄일 수 있는 방안을 강구하는 것이다.

환경영향평가제도는 환경에 미치는 오염을 예방하는 제도로써 각종 사업의 수립 및 시행에 있어 당해 사업의 경제성·기술성 뿐만 아니라 환경적 요인도 비교·검토하여 최적의 사업계획안을 모색하는 과정이다. 따라서 환경영향평가서의 작성 목적은 각종 도로 사업으로 인한 환경오염문제를 사전에 파악하고 그 해결책을 제시함으로써 궁극적으로는 환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발이 되도록 하는 것이다.

환경영향평가의 주요 목적은 다음과 같다.

- 제안된 도로사업으로 인하여 환경에 미치는 결과를 도출하여 정책 결정자 및 일반인에게 위험성을 알린다.

- 도로의 계획 및 설계 과정에서 작성하여 건설에 따른 실제적 문제가 발생하기 이전에 그 영향을 문서화한다.

- 제안된 사업에 대해 환경적으로 좋은 영향과 나쁜 영향을 모두 밝혀 계획과정에서 이를 반영한 설계가 되도록 한다.

- 평가서 자체가 환경관리의 수단으로 활용될 수 있도록 한다.

환경영향평가는 교통영향평가와 마찬가지로 타당성 조사, 기본설계와 연계하여 실시하는 것이 합리적이다.

본 장에서는 도로사업과 관련한 환경영향평가의 전반적인 내용을 기술하였다. 환경영향은 자연환경, 생활환경, 사회·경제환경으로 구분된다. 이중 사회·경제환경의 내용은 교통영향평가의 내용과 중복되어 본 장에서는 생략하였다.

211.2 환경영향평가의 내용

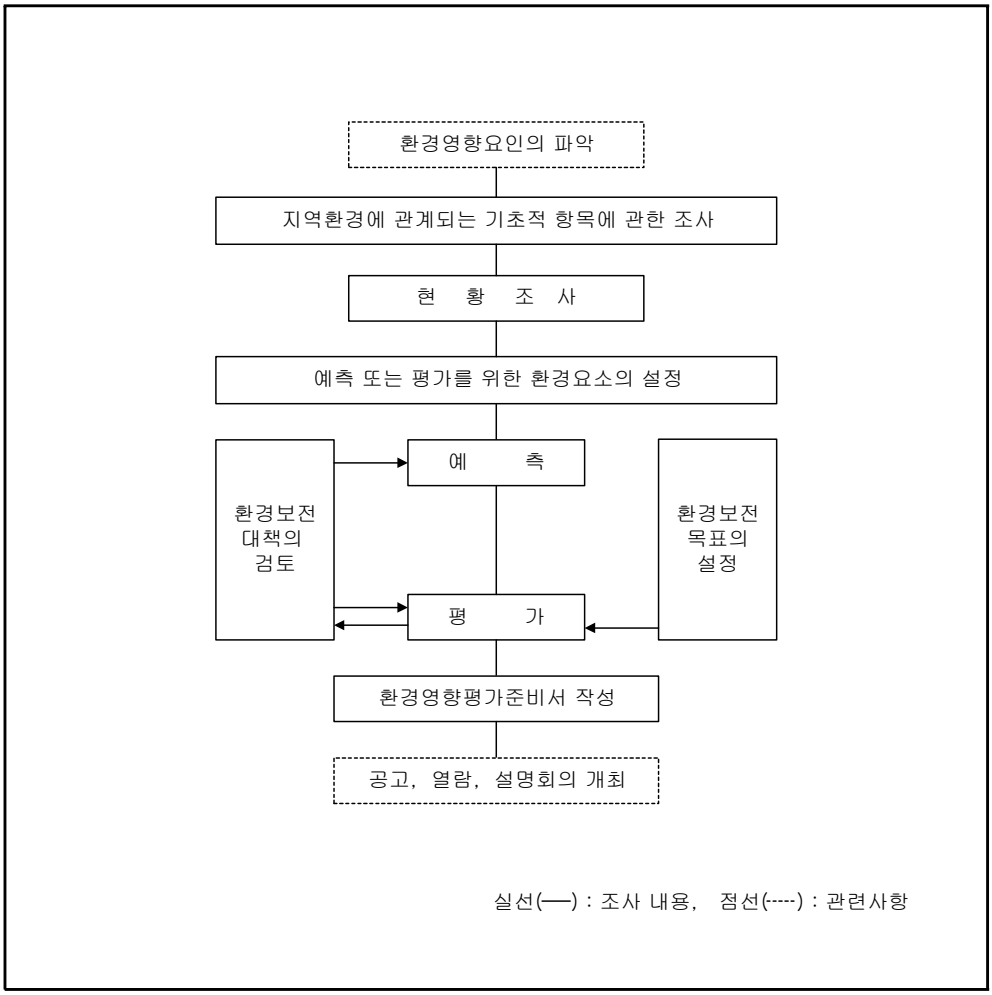
2.1 환경영향평가 대상 및 과정

"환경영향평가법 시행령 제2조"에 규정된 환경영향평가의 대상이 되는 신설도로의 규모는 다음과 같다.

① 도로법 제2조 또는 10조의 규정에 의한 고속국도, 일반국도, 지방도 등 4km 이상의 도로 신설 및 2차로 이상으로 10km 이상의 도로 확장 사업

② 도시계획법 제2조 제1항 제5호의 규정에 의한 도시계획구역 안에서는 폭 25m 이상으로서 도로구역안에 동법 제17조 제1항 제4호의 규정에 의한 녹지지역이 3만㎡ 이상 포함되는 경우에 실시한다. 다만, 동법 시행령 제3조 제1항의 규정에 의한 자동차 전용도로, 고속도로 및 지하도로의 경우는 제외된다.

환경영향평가의 과정은 <그림 211.1>과 같다.



<그림 211.1> 환경영향평가 과정

2.2 환경영향평가서의 내용

평가서의 주요 내용은 <표 211.1>과 같다.

<표 211.1> 환경영향평가서의 주요 내용

항 목	세부 내용
1. 요약문	• 사업의 내용 • 환경에 미칠 주요 영향 • 환경영향 저감방안 • 사후 환경영향 조사계획 • 대안 • 결론
2. 사업의 개요	• 사업의 배경 및 목적 • 환경영향평가 실시 근거 • 사업의 추진 경위 • 사업내용
3. 환경영향평가 대상지역의 설정	• 평가대상지역 • 환경영향 예측·분석기법
4. 지역개황	• 토지이용현황 • 환경관련지구·지역 지정 현황 • 환경기준 및 녹지자연도 • 특정 야생동·식물 지정 현황 • 환경피해유발시설 • 주요 보호대상 시설물
5. 평가항목의 설정	• 환경영향요소 추출 • 중점평가항목의 설정 • 환경영향요소 및 평가항목간 행렬식 대조표
6. 주민의견 수렴	
7. 환경현황조사, 예측 평가, 저감방안 및 사후환경영향조사	• 현황조사 • 영향예측 및 평가 • 저감방안
8. 환경에 미치는 영향 저감방안	• 자연환경, 생활환경, 사회·경제환경으로 구분하여 제시
9. 불가피한 환경영향	• 환경영향의 저감방안이 현실적으로 불가능한 경우 항목별로 구분하여 제시
10. 사후환경조사계획	• 조사계획 • 관리기구 구성계획 • 소요예산 및 재원
11. 대안설정 및 평가	
12. 종합평가 및 결론	
13. 부록	• 평가대행자 등의 인적사항 • 사업관련 상위계획 및 인적사항 • 용어해설 • 인용문헌 및 참고자료 • 기타

211.3 환경영향조사

3.1 환경영향평가 대상지역의 설정

3.1.1 대상지역의 설정

도로건설 사업에 따른 환경영향평가를 시행함에 있어서 먼저 환경영향이 우려되는 대상지역을 설정한다.

대상지역의 설정은 도로건설사업을 시행함에 있어, 사업시행으로 인한 환경적인 영향이 미칠 것으로 예상되는 계획노선 주변지역의 자연환경과 생활환경 및 사회·경제환경 등 제반 환경상에 미치는 영향을 객관적이고 과학적인 방법에 의거 정량분석을 실시하고, 정량분석이 곤란한 분야에 대해서는 기존 자료를 토대로 객관성 있는 정성분석을 실시한다.

한편, 대상지역 설정시는 대상노선 인근의 환경현황 파악을 위해 광역대상지역을 설정하고, 사업시행에 따라 직접적인 영향이 우려되는 지역을 중심으로 중점대상지역(노선 인접 주거지역, 축사, 학교 등)을 설정한다.

또한, 사업 대상지역의 공간적인 특성과 입지적 범위, 시간적 범위를 충분히 고려하여 주요 항목별로 다음과 같이 환경영향평가 대상지역을 설정한다.

① 사업의 입지적, 공간적 범위

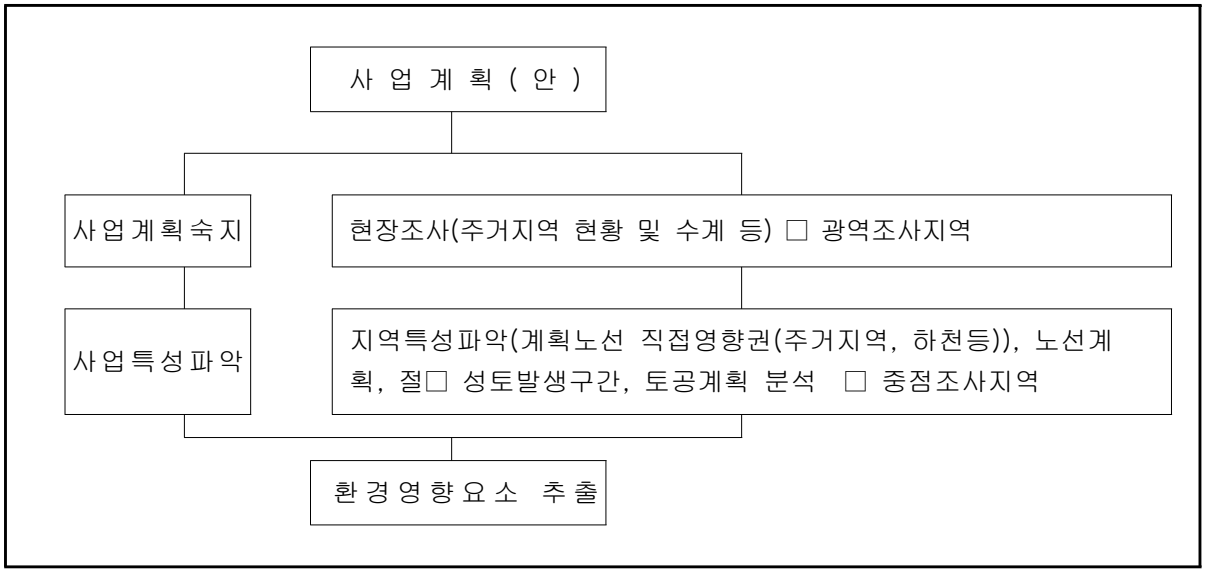
사업의 입지적, 공간적 범위는 당해 건설사업이 시행되는 지역과 그 인접지역으로 환경적인 피해가 우려되는 지역을 설정하고, 환경관련시설(하수처리장, 폐기물매립장 등), 보호대상시설(문화재, 상수원보호구역, 생태계보전지역 등)의 유무, 환경피해유발 시설물(공장, 도로, 공항, 철도 등)의 분포여부를 파악하는 등 주변 여건을 조사한다.

② 사업의 시간적 범위

시간적 범위의 설정은 당해 사업의 공사시기와 운영단계로 구분하여 환경피해가 가장 심각할 것으로 우려되는 시점을 설정한다.

3.1.2 환경영향요소 추출

도로건설사업 시행에 따른 환경영향요소의 추출은 도로건설 사업계획 및 현장조사, 사업특성, 지역특성을 감안 공사단계와 운영단계로 구분하여 추출한다.



<그림 211.2> 환경영향요소의 추출 모식도

(1) 공사단계

① 자연형질의 변경

- 삼림벌채
- 하천개수 및 변경
- 육상지형의 변형

② 자재채취 및 운반

- 골재 채취 및 운반
- 토사운반
- 기자재 운송(육상)

③ 시설공사(건설공사)

- 절·성토, 굴삭, 항타
- 콘크리트공사
- 배수공사
- 공사인부 투입

(2) 운영단계

① 구조물의 이용

- 도로, 교량, BOX

② 운행시

- 차량운행
- 소음·진동 발생
- 배기가스 발생

3.2 환경영향 평가항목의 설정

도로건설사업의 환경영향평가에 대한 평가항목의 설정은 환경부고시 제 1997-95호『환경영향평가서 작성 등에 관한 규정, 1997. 10. 25』에 제시된 도로건설사업의 주요 평가항목과 환경영향요소를 비교·검토하여 지형·지질, 대기질, 동·식물상, 소음·진동, 교통 등 중점평가항목을 설정하여 분석한다.

또한, 중점평가 항목 이외의 항목에 대해서는 도로건설 사업의 시행에 따른 영향 정도를 파악하여 평가의 효율성을 감안 현황조사 항목과 제외항목으로 구분하여 설정한다.

평가되는 항목으로는 <표 211.2>와 같은데, 이 중 사회·경제환경 항목의 대부분은 본 편람의 "210 도로건설에 따른 교통영향평가"에서 자세히 기술되었으므로 본 장에서는 생략하였다.

사회·경제환경의 항목 중 문화재와 관련된 조사는 문화재 보호법 개정에 의거하여 15만 m^2 이상의 개발사업인 경우 문화재청장과 사전 협의를, 3만m^2 이상의 건설사업(4차로 도로 약 1km 이상)인 경우 문화재 지표를 조사한다.

<표 211.2> 평가 대상 항목

자 연 환 경	생 활 환 경	사회·경제환경
지형·지질, 동물, 식물, 기상, 수리·수문, 해양환경	대기질, 수질, 소음, 진동, 위락, 경관, 토지이용, 폐기물, 토양, 악취, 전파장해, 일조장해, 위생·공중보건	교통, 인구 및 주거, 산업, 문화재, 공공시설, 교육

3.3 조사방법

환경조사는 예측 및 평가의 시행여부 결정을 위한 자료 수집과 예측 및 평가가 시행될 경우 기본 데이터를 정리하기 위하여 시행하는 것이다.

원칙적으로 국가나 지방 공공단체 등 공공기관이 공표한 자료를 수집·정리하고 자료수집과 병행하여 현지조사를 통해 보완한다.

3.3.1 현황조사의 조사항목과 조사내용

각 환경요소마다 현황조사의 조사항목 및 조사내용은 지금까지의 과학적 방법, 실적 등을 고려하여 도로계획시 환경적인 피해가 우려되는 항목과 내용을 정한다.

3.3.2 현황조사의 대상지역

현황조사 대상지역은 해당 도로 사업이 주변지역에 어느 정도 이상으로 환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 범위를 포함한 지역으로 한다.(예 : 도로를 중심으로 200m, 500m, 2km 권역, 방류수역 등)

3.3.3 자연환경조사

(1) 지형·지질

지형, 지질의 조사는 원칙적으로 기존의 문헌 또는 자료에 의해 행한다. 단 문헌 또는 자료가 없는 경우나 준비되지 못한 경우는 현지조사에 의하고 이러한 경우는 주로 특수한 지형, 지질의 분포상황에 대해서 현지답사에 의해 실시한다.

① 기존자료

- 뛰어난 자연도
- 후생자연환경 보전지역, 자연환경 보전지역, 자연공원 등에 관한 조사자료
- 관계 각 시, 군, 읍, 면에 있어서의 조사자료 등

② 현지조사방법

현지조사방법은 희귀한 생육 서식 종 및 생육서식환경에 대해서 주로 설문조사 또는 현지답사에 의해 실시한다. 도로사업의 경우에는 동물의 이동로의 단절이 예상되는 주요 임맥 단절지역, 지역차단지역, 대절·성토 지역을 중심으로 서식반경을 고려한 주변지역에 대해 실시한다.

(2) 동물

동물의 생육 서식 종 현황조사는 현지조사(탐문)를 위주로 기존의 문헌 또는 자료에 따라 실시한다.

또한 주요 생육 서식 종의 분포상황에 대해서는 원칙적으로 기존의 문헌 또는 자료에 의해 실시하되 문헌 또는 자료가 없는 경우나 미비한 경우는 현지 조사에 따라 보완한다.

<표 211.3> 동물 조사 방법

동물의 종류		조사법	개 요
포유류	중·대형 포유류	흔적법 (Field sign)	생식지에 남겨진 족적, 분뇨, 먹은 흔적, 발톱자국, 서식처등에 의해 생육서식종, 생육서식범위가 파악된다.
	소형 포유류	포획법 (Trapping)	생포를 목적으로 하는 경우는 바구니 함정(라이프트랩) 기타의 경우는 걸림망(스냅트랩)을 밤에 설치하여 다음날 아침 회수하는 방법으로 2~3일 되풀이 한다. 쥐, 두더지 등 흔적이 남기 어려운 소형 동물에 적합하고 걸림망 배치 방법에 의해 개체 수나 행동구역이 추정된다.
조 류		노측 센서스법 (Roadside census)	일반적으로 기존 도로(등산로, 임도, 산기슭 기타 조용한 길)를 조사 루트로 하고 조류의 활동이 가장 활발한 시기에 조사 루트를 천천히 걸어 그 사이에 출현하는 모든 개체수와 종류를 기록하는 방법으로 조류의 조사에 가장 일반적이다.
		정점법 (Point census)	해안, 호수가에서는 시계 가능한 범위를 조사구로 하고 일정한 시각에 그 곳에 있는 모든 종류와 개체수를 기록하는 방법으로 간사(干瀉) 등의 조사에 적합하다.
곤충류		임의채취법	포충망에 의해 수목의 잎을 줍거나 비행 중인 곤충을 채집하는 스위핑 채집이나 흰 천의 보자기를 수목의 지엽 밑에 펼쳐 지엽을 두드려 낙하하는 곤충을 채집하는 망 채집(피팅법)이 있다. 특히 초원 등에서 일정한 회수로 같은 규격의 포충망을 휘둘러 집계하면 타지점의 개체 수와 비교가 된다.
		함정(트랩)에 의한 채집법	먹이(베이트)를 넣은 채집병을 흙 속에 묻어 먹이를 구하러 모이는 보행성의 곤충을 낙하시켜 채집하는 먹이 함정법이나 다양한 식생이 인접한 장소에 배포를 깔아 각종의 광원을 놓고 야간 광에 모이는 곤충을 채집하는 라이트트랩법(Right trap method)이 있다.
어류, 패류		채집법	투망, 정치망, 낚시, 잠수 등 어패류를 대상으로 하는 물밑 지형에 적절한 방법으로 채집하는 것이다. 해당 수역에서 실제로 사용하고 있는 어구를 우선하여 사용하는 것이 좋다.

(3) 식물

식물의 현황조사는 현지조사를 원칙으로 기존의 문헌 또는 자료와 병행하여 실시한다. 단 문헌 또는 자료가 없을 경우나 준비되지 못한 경우는 현지조사(탐문조사 포함)를 실시한다. 현지조사에서는 희귀 군락 또는 희귀종이 있는 경우로서 예측 및 평가에 있어 특히 필요하다고 생각되는 경우에 관계 전문가 등의 의견을 참고로 하여 상세한 조사를 한다. 현지조사는 사업시행시 수목훼손 등 직·간접적인 식물상의 영향이 예상되는 지역을 중심으로 수행한다.

희귀종이 있고 예측 및 평가에 있어 특히 필요하다고 생각되는 경우는 관계 전문가 등의 의견을 참고로 상세한 조사를 한다.

조사시기는 동물의 분포상황이 파악되는 시기로 하며 포유류는 연1회 이상(5～9월), 양서·파충류는 연2회 이상(5～9월), 조류의 경우는 활동시기(계절적 변동 고려, 연3회 이상)를 고려하여 실시한다.

<표 211.4> 식생조사 방법

조사 방법	개 요
콰드라트법 (Quardrat Method)	일정면적을 갖는 표본추출 단위를 통상 콰드라트라 부르고, 이를 사용하는 조사방법을 말한다. 식물상 현황조사는 방현구(25m×25m)를 권장하며 작은 격자(10m×10m)를 사용할 경우는 다수지점을 선정하여 조사한다.
접선법	군락 내에 일정한 길이의 선을 몇 개 설치하여 그 편측 1cm(양측에서 0.5cm) 이내에 출현하는 식물에 대해서 측정하는 방법이다.
포인트법 (Point Method)	틀에 붙인 핀을 45。 또는 90。의 각도로 지표면에 내려서 접촉한 식물을 기록하는 방법(높이가 낮은 식물 군락에서만 사용가능)
간격법	2개의 식물 개체간에 거리 또는 임의의 점과 개체간의 거리를 측정함으로써 구성종 또는 군락 전체의 양적(주로 밀도) 관계를 추정하는 방법(높은 나무)

3.3.4 생활환경조사

(1) 대기오염

대기오염의 현황조사나 기상조사는 원칙적으로 국가나 지방공공단체 등의 공식자료를 이용하고, 자료나 문헌이 없는 경우나 미비한 경우는 현지조사에 의해 이를 보충한다.

① 대상지역 선정

- 도로건설에 따른 대기질에 미치는 영향은 대부분 비산먼지에 의한 영향으로 비산먼지에 의한 영향이 우려되는 지역을 중심으로 현황조사 대상지역 및 현황조사를 실시한다.
- 현황조사 대상지역은 사업노선이 입지하는 주변지역을 광역대상으로 하여 대기오염시설의 분포상황 등을 파악하고, 사업노선을 중심으로 한 노선인접지역(약 500m권)을 중점대상지역으로 하여 주거지역 분포상황 및 축사, 학교 등 정온시설분포를 조사한다.
- 정온시설 분포상황을 조사할 때는 주거지역의 가구수, 가축사육 현황, 지역주민의견 등을 파악함으로서 저감대책 수립시 참고한다.
- 또한, 비산먼지로 인해 농작물, 유실수, 특히 특용작물 등의 피해가 우려될 수 있기 때문에 이들의 재배 분포상황을 파악한다.

② 현황조사

- 대상지역(정온시설)을 파악한 후 대상지역 전지역 또는 대표지점을 선정하여 대기질 현황을 조사한다.
- 대기질 현황조사는 현지현황측정을 원칙으로 하고, 대기오염공정시험방법에 의거하여 가능한 4계절, 3일 이상을 측정한다.
- 대기질 측정시 측정지역의 국지기상을 조사함으로서 대기질예측시 기상청의 기상자료와 사업지역의 기상상태를 비교·분석한다.
- 또한, 현황측정 후 인근에 자동측정망에 의한 측정치 또는 기 조사된 자료가 있을 경우 이들과 비교·분석함으로서 측정시의 신뢰성을 확보한다.

(2) 수질오염

수질오염은 현지 측정 조사를 실시하되, 하천의 유황상태를 고려, 오염도 변화를 충분히 파악할 수 있는 기간을 조사하고 기존 자료와의 적합성 여부를 비교·분석한다.

① 대상지역 선정

- 하천의 현황조사는 계획노선이 통과하는 수계를 광역대상지역으로 조사하고 상수보호구역, 교량설치지역, 절·성토지역, B/P장 및 현장사무소 주변지역, 터널설치지역, 휴게소 설치지역, 휴게소 및 관리사무소 오수처리장 방류 수계 등은 중점대상지역으로 선정한다.

② 현황조사

- 광역과 중점대상지역을 파악한 후 전 대상지역 또는 대표지점을 선정하여 수질 현황 및 오염원, 수자원 분포 현황 등을 조사한다.
- 수질 현황조사는 현지 현황측정을 원칙으로 하고, 수질오염공정시험방법에 의거하여 가능한 유황별(갈수기, 평수기, 저수기, 풍수기) 수질을 대표할 수 있는 시기를 중심으로 하천수질을 분석한다.
- 지하수는 터널설치지역, B/P장 및 현장사무소 주변지역, 휴게소 및 관리사무소 등 주변에 분포한 지하수를 중심으로 현재 이

용 상태 및 지하수질을 분석하고, 분석방법은 「먹는물 관리법」에 의거 분석한다.

(3) 소음・진동

소음의 현황조사는 원칙적으로 소음진동공정시험방법에서 규정하는 현지조사를 실시한다. 단, 현재의 지형적인 여건상 현지조사가 어려울 경우 등은 인근 지역의 조사자료나 유사사례의 조사(측정)자료를 이용할 수 있다. 또한 상기 각 경우를 막론하고 조사대상 구역 내에 국가나 지자체 또는 공공단체 등이 실시한(하고 있는) 소음측정자료가 있을 경우에는 이를 조사하여 현지조사자료 등을 보완・검증한다.

① 대상지역 선정

- 도로건설시 발생되는 소음·진동은 장비가동, 발파, 차량운행 등에 의한 것으로서 이들 영향에 의한 피해가 우려되는 지역을 중심으로 현황조사 대상지역 및 현황조사를 실시한다.
- 현황조사 대상지역은 사업노선이 입지하는 주변지역을 광역대상으로 하여 도로, 철도, 공장, 공사장 등 소음·진동 발생시설의 분포상황 등을 파악하고, 사업노선을 중심으로 한 노선인접지역(약 200m권)을 중점대상지역으로 하여 주거지역 분포상황 및 축사, 학교 등 정온시설분포를 조사한다.
- 정온시설 분포상황을 조사할 때는 주거지역의 가구수, 가축사육 현황, 지역주민의견 등을 파악함으로서 사업시행에 따른 저감대책 수립시 참고한다.
- 현황조사과 더불어 소음·진동유발시설물이 존재할 경우 유발시설물의 소음·진동상황을 파악하며, 계획도로와 정온시설물과의 지형적인 특성(절토, 성토, 평탄, 고가) 등을 조사한다.

② 현황조사

- 대상지역(정온시설)을 파악한 후 대상지역 전지역 또는 대표지점을 선정하여 소음·진동 현황을 조사한다.
- 소음·진동 현황조사는 현지현황측정을 원칙으로 하고, 소음·진동공정시험방법에 의거하여 가능한 해당지역의 소음·진동을 대표할 수 있는 지점을 선정하여 2~3차례에 걸쳐 소음의 경우는 주간 4회, 야간 2회, 진동의 경우는 주간 2회, 야간 1회 측정한다.
- 현황측정 후에는 소음환경기준치와 비교·분석함으로서 도로가 건설되기 전의 소음·진동 분포상태를 파악한다.

(4) 위락

① 대상지역

계획노선을 중심으로 좌・우측 1km를 조사지역으로 설정

② 현황조사

조사대상지역내의 주요 위락시설분포현황, 이용실태 등을 조사한다.

(5) 경관

경관이란 보는 주체인 사람과 보이는 대상인 환경과의 시각적 관계라고 본다. 이와 같은 경관을 규정하는 요소는 <표 211.6>과 같다.

<표 211.5> 주요 지점의 예

주요 지점	추출의 기준
전망지	지형도 및 지방 공공단체의 관광편람 자료에 전망지, 전망대, 전망시설로 들고 있는 곳
고개	지형도에 기재되어 있고 전망이 좋은 곳
관광도로	관광도로상에서 전망이 좋은 주차장 등
집락, 절	집락 주변의 전망이 좋은 지점, 지역에 밀접한 시점으로 조망이 좋은 절 등
야외활동시설	캠프장, 하이킹코스, 자연보도 등의 야외활동시설로 전망이 좋은 지점
일반도로	일반도로에서 충격을 강하게 느낄 수 있는 구간(큰 절토 경사면 등)이 가까운 거리나 대상구간의 조망이 좋은 지점

<표 211.6> 경관을 규정하는 요소

환경	공간	대상(장)과 시점(장)과의 공간관계
	시간	계절, 시각, 기상
인간	의식	

경관의 현황조사 조사항목 및 조사내용은 주요 경관지의 분포상황, 주요 전망점에서의 전망 상황 및 자연환경 보전상 특히 필요한 야외레크리에이션 부지의 상황에 대해 조사한다.

(6) 토지이용

① 조사항목

• 용도별(용도지역 및 용도지구), 지목별 토지이용현황

• 사업지역 및 주변지역의 토지이용 규제여부

② 조사범위

원칙적으로 사업대상지역의 사업 시행전 상황을 범위로 설정하되 평가자가 주변 인접지역에 영향이 미친다고 판단되는 경우 이를 조사범위에 포함한다.

③ 조사방법

기존 자료조사를 주로 실시하고 필요시 현지조사를 실시한다.

(7) 폐기물

① 조사항목

• 공사시

- 투입인부에 의한 생활폐기물 및 분뇨
- 투입장비에 의한 폐유
- 지장물 철거시 건설폐기물(특히 철거시 액체성 폐기물)
- 임목폐기물(훼손수목)

• 운영시

휴게소 운영에 따른 폐기물 발생

211.4 환경영향예측 및 평가

4.1 자연환경

4.1.1 지형□지질

(1) 예측항목

직접적인 것으로는 지형 변형의 유무, 변형의 양(길이, 면적 등), 대상의 변형 지역의 비율 등이다. 또 간접적인 것으로는 토공 등에 수반하여 생기는 이차적 영향에 의해 지하수의 수위 등의 변동에 의해 그 부근에 있는 지하수 등을 구성요소로 하는 특수한 지형, 지질에 영향을 미치는 등을 고려할 수 있으므로 현황조사 결과 등도 충분히 검토, 고려하는 것으로 한다. 또 필요에 따라 전문가의 의견을 참고한다.

(2) 대상지역

예측의 대상지역은 학술적 가치가 높은 것, 천연기념물로 지정된 것 등이 분포된 지역으로 현황조사의 결과를 기초로 설정한다. 기존의 사례에서는 노선의 중심으로부터 각 0.5km 정도로 한 예가 있다. 그러나 그 범위는 각각의 상황에 따라 판단한다.

(3) 예측방법

지하수 변동에 의한 지형, 지질에의 영향에 대해서는 유사 예를 참고로 한다. 지하수 변동에 의한 영향에 대해서는 일반적으로 지하수가 지형, 지질의 주된 요인으로서 관여되는 것으로 예를 들어 지하수를 수원으로 하고 있는 용수지 등의 영향이 고려된다. 특히 터널 굴착에 있어서는 지하수 수위에의 영향이 고려되어야 하며 기존 문헌, 유사한 사례 등에서 과학적인

견해를 기초로 예측해야 한다.

(4) 평가

평가에 있어서는 토공 등에 따르는 특수한 지형, 지질의 변형이나 지하수 등의 변동이 특수한 지형, 지질에 미치는 영향에 대해서 현황조사, 예측 결과 및 환경보전 대책을 검토하여 그 정도를 평가한다. 평가의 판단은 자연 환경보전법이나 문화재 보호법 등의 제 선정 기준을 참고로 한다.

지형, 지질, 식물, 동물 및 경관 등에 관한 환경보전 목표는 <표 211.7>과 같다.

<표 211.7> 지형, 지질, 식물, 동물 및 경관 등에 관한 환경보전 목표

구 분	보전목표
전국적 가치에 해당하는 것	환경요소를 적극 보전한다.
도, 시, 군적 가치에 해당하는 것	환경요소를 상당 정도 보전한다.
군, 읍, 면적 가치에 해당하는 것	환경 요소로의 영향을 적극 최소화한다.

4.1.2 동물

(1) 예측항목 및 대상지역

동물의 예측 항목은 사업의 실시로 인해 희귀한 동물 및 그의 생육서식 환경의 소멸 유무 또는 변화의 정도를 예측한다. 또한 예측의 대상 지역은 학술적 가치가 높은 곳, 천연기념물로 지정되어 있는 것 등이 분포하는 지역으로 하고 필요에 따라 관계전문가 등의 의견을 참고로 설정한다.

(2) 예측방법

예측에 관해서는 과학적으로 제기되어 있는 기준이나 방법이 확립되어 있지 않고 있으므로 생육 서식 환경 또는 먹이 동식물의 변화, 공간적 거리, 위치 관계, 주변 지형 등을 고려하여 정성적, 종합적으로 고찰한다.

(3) 평가

토공 등에 의해 동물의 생육서식 환경의 소멸 유무나 변화의 정도에 대해서는 현황조사, 예측결과 및 환경보전 대책에 따라 평가한다. 평가의 착안 사항으로는 자연환경 보전법이나 문화재 보호법, 전국「그린네트워크화」구상 등의 제 선정기준을 참고로 한다.

4.1.3 식물

(1) 예측항목 및 대상지역

식물의 예측항목은 토공 등에 의한 수목훼손 및 희귀종 또는 희귀 군락의 변화량 및 도로개설에 따른 희귀한 식물에 미치는 영향으로 한다.

대상지역은 현황조사 결과에 의해 학술적 가치가 높은 것, 천연기념물로 지정된 것 등이 분포하는 지역으로 하고 필요에 따라 관계전문가 등의 의견을 참고로 한다.

(2) 예측방법

직접적인 변화정도에 대해서는 토지의 직접적 변화범위를 구해서 식생의 현황조사 결과를 대비시켜 그 규모를 정량적으로 파악할 수 있다.

직접적인 변화 등에 따라 생기는 2차적인 영향에 관해서는 자연환경이 갖는 다양성, 완충성 때문에 영향의 과정이나 정도 등은 충분히 판명되었다고 볼 수 없는 상황이므로 정량적으

로 예측하는 것은 곤란하다. 그래서 영향에 관한 항목을 충분히 검토하여 유사한 사례나 지금까지 얻은 식견, 전문가나 지방유지 등의 의견을 참고로 정성적으로 파악한다.

(3) 평가

토공 등에 의한 식물의 훼손량이나 도로의 개설에 따르는 영향에 대하여는 현황조사, 예측 결과 및 환경 보전 대책을 거쳐서 그 정도를 평가한다. 평가의 판단 기준으로는 자연환경보전법이나 문화재 보호법 등의 제반 선정기준을 참고로 한다.

환경보전 대책으로는 당해 지역에 있어서의 기존 수목, 기존 표토의 재이용, 가이식장소의 선정, 기존 수종에 의한 식재, 식수대, 비탈면의 녹화 등이 고려되어야 한다.

4.2 생활환경

4.2.1 대기질

(1) 예측항목

- 대기환경보전법에 의하면 사람의 건강 또는 생활환경에 피해를 줄 수 있는 자동차 배출가스로는 질소산화물, 입자상 물질 및 매연, 일산화탄소, 탄화수소 등이 있다.
- 환경정책기본법 제10조에 의하여 대기오염에 관한 환경기준은 아황산가스, 일산화탄소, 먼지, 이산화질소, 오존 및 납 등 6가지 물질에 대해서 설정되어 있다.
- 대기환경보전법 제36조의 규정에 의한 운행 자동차 배기가스의 배출 허용기준은 일산화탄소, 배기관탄화수소, 매연(경유자동차에 한함)의 세 가지 물질로 한다.

일산화탄소와 질소산화물은 자동차 배출가스에 포함된 양이 파악되어 있어 정량적인 예측이 가능하며, 자동차에서의 배출량이 일반 대기 중에 배출되는 총량 중에서 차지하는 비율이 크다.

(2)예측 대상지역 설정

대기오염의 예측은 도로주변에 주거, 학교, 병원 등의 시설이 존재하는 지역에서 실시된다.

"시설의 이용에 따라 대기환경의 상태가 일정정도 이상 변화하는 범위"란 대상으로 하는 도로로부터의 농도의 기여 분이 연 평균치가 배경농도에 대하여 일정정도 이상의 비율로 되는 범위를 의미한다.

(3) 예측방법

① 확산식을 이용한 방법

확산식에 의한 예측방법은 다음의 식을 이용하여 계산한다.

(확산식 예-유풍시 : 풍속이 1m/s를 넘는 경우)

$$C(x,y,z)=\frac{Q}{2\pi\cdot u\cdot\sigma_y\cdot\sigma_z}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_z^2}\right)\left[\exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

여기서,

C(x,y,z) : (x,y,z) 지점에 있어서 농도(ppm)

Q : 배출강도(cc/s)

u : 평균풍속(m)

H : 배출원의 높이(m)

σ_y, σ_z : 수평(y), 연직(z) 방향의 확산폭(m)

x : 풍향에 연한 풍하거리(m)

y : x축에 직각인 수평거리(m)

Z : x축에 직각인 연직거리(m)

확산식에 의한 예측방법은 이론에 근거를 둔 계산으로 구하는 것이 아니고, 몇 가지 가정이 필요하며, 확산계수는 실측치나 실험자료로부터 통계적인 방법을 이용하여 구한다.

② 통계적인 방법

이 방법에서는 장기간에 걸친 실측 결과로부터 회귀분석이나 다변량 해석 등의 통계적인 처리를 이용하여 예측식을 도출한다. 회귀모델은 도로조건이 유사한 경우에 쓸 수 있고 장기간에 걸친 도로변 지역의 실측조사와 함께 기상 조건 등의 조건별로 회귀식을 구한다. 회귀모델은 간단하고 사용하기 쉬운 특징이 있으나 위의 각종 조건이 맞아야 하므로 적용시에는 충분한 주의가 필요하다.

③ 모형실험

모형실험에 의한 예측 방법은 모형을 이용하여 확산 실험을 하는 것으로 크게 나누어 유체로서 공기를 사용하는 풍동 실험과 물을 사용하는 수조 실험이 있다. 실험은 자동차 배출가스 대신 풍동에서는 에틸렌 가스, 수조에서는 염수 등을 트레이서(tracer)로 사용하며, 예측대상 위치에서 채취한 시료의 농도를 분석한다. 모형 실험에서는 복잡한 지형이나 도로변 건물 등을 실험실 내에 재현해서 이들이 대기오염에 미치는 영향을 함께 검토할 수 있다.

(4) 평가

대기오염의 평가는 예측결과를 환경 보전 목표와 비교하여 실시한다. 환경정책기본법 제10조의 규정에 의거한 대기환경기준은 <표 211.8>과 같다.

<표 211.8> 대기 환경 기준

항 목		기 준
아황산가스(SO_2)		연 간 평균치 0.03ppm 이하 24시간 평균치 0.14ppm 이하 1시간 평균치 0.25ppm 이하
일산화탄소(CO_2)		8시간 평균치 9ppm 이하 1시간 평균치 25ppm 이하
이산화질소(NO_2)		연 간 평균치 0.05ppm 이하 24시간 평균치 0.08ppm 이하 1시간 평균치 0.15ppm 이하
먼 지	총 먼 지(TSP)	연 간 평균치 150㎍/m^3 이하 24시간 평균치 300㎍/m^3 이하
	미세먼지(PM-10)	연 간 평균치 80㎍/m^3 이하 24시간 평균치 150㎍/m^3 이하
오 존(O_3)		8시간 평균치 0.06ppm 이하 1시간 평균치 0.1 ppm 이하
납(Pb)		3개월 평균치 1.5 ㎍/m^3 이하

주) 1. 1시간 및 24시간 평균치는 연간 3회 이상 그 기준을 초과해서는 안된다.
2. 미세 먼지는 입자의 크기가 10㎛ 이하인 것을 말한다.

4.2.2 수질

(1) 예측항목 및 대상지역

① 수질오염의 예측 항목

- 생물 화학적 산소 요구량(BOD)
- 부유물질량(SS)
- 화학적 산소 요구량(COD)

② 예측의 대상 지역

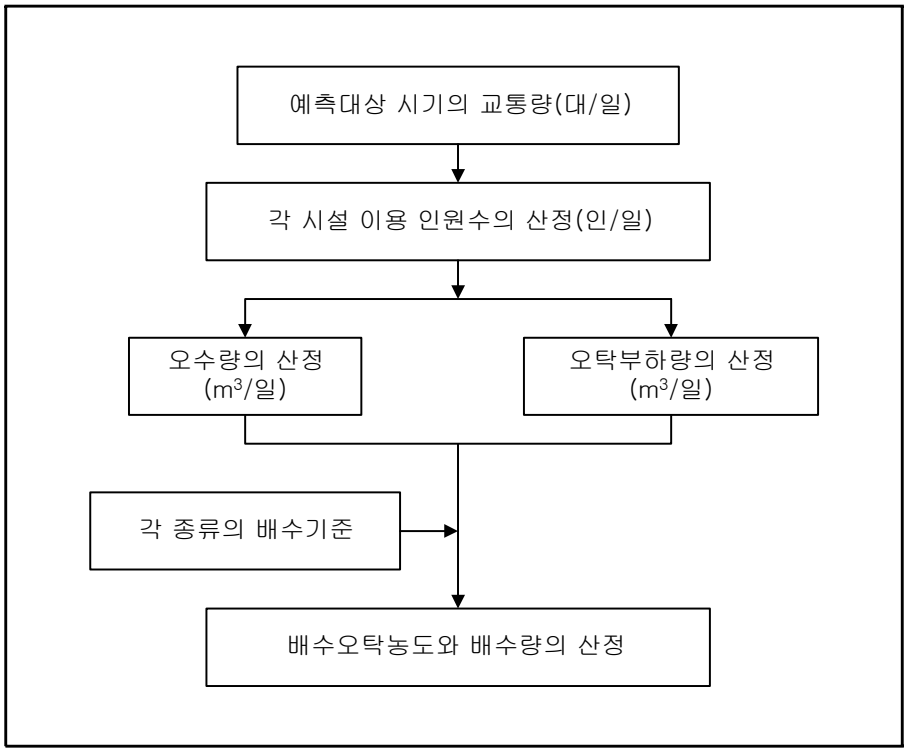
- 시설의 공용에 관한 것 : 배출 예정인 공공용 수역
- 공사실시에 의한 것 : 큰 오염 부하가 걸릴 염려가 있는 지역

(2) 예측방법

수질오염의 예측은 휴게시설 및 주차 시설 등에서의 잡배수, 분뇨처리수 등에 의한 부하량 등을 검토함으로써 실시된다.

휴게시설 및 주차시설에서 발생하는 오염부하는 식당 등의 잡배수 및 공중변소의 분뇨에 기인하나, 일반적으로 이들을 합쳐서 정화 처리하여, 각각의 배수 기준을 만족시키는 상태로 하여 공공 수역에 배수(방류)한다.

수질오염의 예측을 위한 작업 순서는 <그림 211.3>과 같다.



<그림 211.3> 작업순서의 흐름도

(3) 평가

수질오염의 평가에 있어 환경보전 목표의 만족 여부 판단은 배수기준이 정해져 있는 경우에는 그 기준에 따르고, 정해져 있지 않은 경우에는 필요에 따라 환경보전을 위한 조치를 답습하여 오염 부하량을 구하는 등, 과학적 기법에 의해 검토하고 수질에 미치는 영향을 검토한다.

【배수기준】

배출수의 오염 농도 등에 대해서는 수질환경보전법을 위시해서 관련 법령에 의해 각종 기준이 설정되어 있으며 이것을 크게 나누면 다음과 같다.

- 수질 환경보전법에서 규제하는 배수 기준(제 52조 관련)은 <표 211.9>와 같다.

- 오수 정화 시설 및 합병 정화조 및 오수 정화시설의 방류 수질 : 수질 환경보전법 시행규칙 별표11 방류수 수질 기준에 대하여 규제하는 배수기준은 <표 211.10>과 같다.

<표 211.9> 방류수 수질 기준

구 분	하수종말 처리시설	폐수종말처리시설 (농・공단지 오・폐수종말처리시설을 포함)
생물학적 산소요구량 (BOD, mg/ℓ)	20 이하	30 이하
화학적 산소요구량 (COD, mg/ℓ)	40 이하	40 이하
부유물질량 (SS, mg/ℓ)	20 이하	30 이하
기타(mg/ℓ)	총질소 : 60이하 총인 : 8이하	

<표 211.10> 방류수의 수질 기준

지역	구 분 항 목	단독정화조	합병정화조	오수정화조
특정지역	생물화학적 산소요구량 제거율(%)	65 이상	-	-
	생물화학적 산소요구량(mg/ℓ)	100이하	20 이하	20 이하
	부유물질량(mg/ℓ)	-	20 이하	20 이하
기타지역	생물화학적 산소요구량 제거율(%)	50 이상	-	-
	생물화학적 산소요구량(mg/ℓ)	-	20 이하	20 이하
	부유물질량(mg/ℓ)	-	20 이하	20 이하

주) 1. 토양침투처리 방법에 의한 단독 정화조의 방류수질 기준은 1차 처리장치에 의한 부유물질이 50% 이상 제거되고, 1차 처리장치를 거쳐 토양 침투 시킬 때 방류수의 부유물질량이 250gmg/ℓ 이하로 한다.

2. 골프장 및 스키장에 설치된 오수정화시설의 방류수질 기준은 생물화학적 산소요구량 10mg/ℓ 이하, 부유물질량 10mg/ℓ 이하로 한다.

공사시설에 의한 수질 오염은 부유물질량(SS) 농도의 증가에 의할 때가 많으며, 일반적으로 침사지, 오염 확산 방지 넷트 등의 보전대책 강구에 의해, 그 영향을 경감시킨다.

따라서 공사의 실시에 의한 부하의 산정에 있어서는, 기존 사례를 참고하고, 각 보전 대책의 효과를 기초로 하여 실시한다.

4.2.3 소음

(1) 예측항목 및 대상구역

소음의 예측 항목은 환경정책기본법상의 소음 환경기준의 채용단위인 등가소음도(Leq dB(A))로 한다.

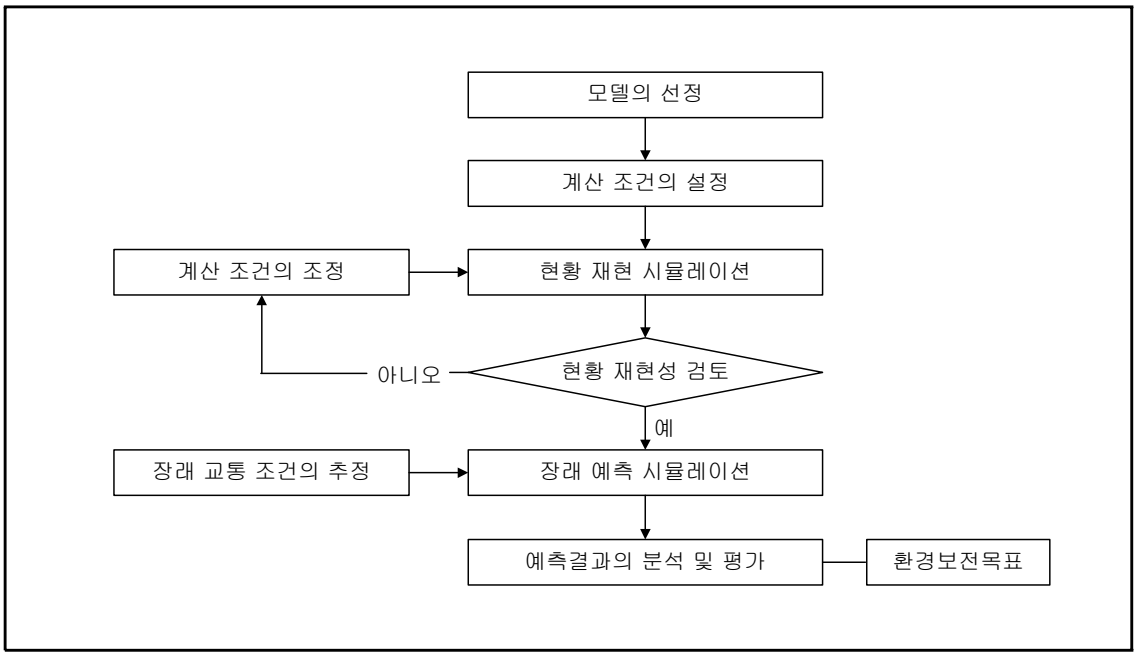
소음의 현황조사는 도로사업의 시행으로 인하여 일정정도 변화하여 소음의 영향을 받을 것으로 예상되는 범위를 고려해야 하므로 이는 원칙적으로 계획도로 및 토취장 이용도로의 끝으로부터 영향 범위 내에 위치한 주거지역, 학교, 병원 등으로 하되 도로구조에 의한 영향, 인가의 밀집도, 토지 이용 상황 등을 종합적으로 고려할 필요가 있다고 판단될 때에는 그 이상의 범위도 대상 구역에 포함되도록 배려해야 하고 대상구역내 조사지점수의 선정은 상기의 내용을 토대로 장래예측지점과의 연관성을 고려하여 적절하게 선정한다.

(2) 예측방법

공사시 소음의 경우는 장비 가동시와 발파작업시 등으로 구분하여 가능한 최악의 조건을 고려하여 실시한다.

운영시 차량에 의한 소음예측은 예측항목에 적합한 소음전파모델을 선택하여 시뮬레이션을 하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 제반 여건의 미비로 인하여 시뮬레이션 하기가 어려울 경우에는 유사사례의 인용 및 해석에 의해 예측할 수 있다.

자주 쓰이는 소음전파모델에는 환경부 제시 모델, HW-NOISE 모델(주로 고속도로 소음예측시 사용) 등이 있으나 각각의 예측모델은 많은 조건이 수반되므로 해당 지역과 유사한 지역을 대상으로 조사하여 선정한 예측모델을 검정한 후 적용하는 노력이 필요하다.



<그림 211.4> 소음예측 모의실험 작업의 흐름도

또한 소음예측에 사용하는 교통량 및 차종구성은 예측 목표년도 즉, 해당 사업에서 설정한 목표년도의 연평균일교통량(주·야간 첨두시 교통량 적용) 및 차종구성과 이를 바탕으로 첨두시간대의 교통량 및 차종 구성을 사용한다.

(3) 평가

소음에 관한 평가의 지표는 우선적으로 소음환경기준에서 정하는 소음도 이하로 한다. 또한 아직까지 지역구분이 되지 않은 지역은 향후 토지이용계획 등을 고려해서 그 용도에 적합한 지역구분을 적용하여 평가한다.

소음환경기준의 적용은 주거지역·병원·휴양시설 등의 시설은 낮시간대 및 밤시간대 모두의 기준을 적용하고, 상업지역·학교·도서관 등 주로 낮 시간대에 이용되는 시설은 낮시간대의 기준을 적용한다.

환경정책기본법에서 규정하고 있는 소음환경기준은 <표 211.11>과 같다.

<표 211.11> 소음 환경 기준

(단위 : Leq dB(A))

지역구분	적용대상지역	기 준	
		낮(06:00～22:00)	밤(22:00～06:00)
일반지역	"가" 지역	50	40
	"나" 지역	55	45
	"다" 지역	65	55
	"라" 지역	70	65
도로변지역	"가" 및 "나" 지역	65	55
	"다" 지역	70	60
	"라" 지역	75	70

주) 1. "가"지역

- 국토이용계획관리법 제6조의 규정에 의한 자연환경보전지역, 관광휴양지역 및 취락지역 중 주거지역
- 도시계획법 제17조의 규정에 의한 녹지지역
- 도시계획법 시행령 제15조의 규정에 의한 전용 주거지역
- 의료법 제3조의 규정에 의한 종합병원의 부지 경계선에서 50m이내의 지역
- 교육법 제81조의 규정에 의한 학교의 부지 경계선에서 50m이내의 지역

2. "나"지역

- 국토이용관리법 제6조의 규정에 의한 취락지역 중 주거지역 이외의 지구
- 도시계획법 시행령 제15조의 규정에 의한 주거지역 및 준주거지역

3. "다"지역

- 도시계획법 제17조의 규정에 의한 상업지역
- 도시계획법 시행령 제15조의 규정에 의한 준공업지역

4. "라"지역

- 도시계획법 시행령 제15조의 규정에 의한 일반공업지역 및 전용공업지역
- 국토이용관리법 제6조의 규정에 의한 공업지역

4.2.4 진동

(1) 예측항목

도로교통항목은 시간마다 그 값이 불규칙적이고 큰 폭으로 변동한다. 이로 인해 진동의 평가는 지반진동에 연직 진동 감각 보정을 한 진동레벨의 80% 범위의 상한치 L10으로 실시하는 것으로 한다. 즉, 예측항목은 진동레벨의 80%의 상한치로 한다.

(2) 대상지역

대상지역은 계획노선 주변에 주거지 등이 있어 진동에 의해 영향을 받을 것으로 예상되는 지역으로 한다.

도로변 좌·우측으로는 진동레벨이 거리 감쇠에 의해 점차 작아지는 것을 고려해서 일반적으로 도로 끝에서 부터 100m 정도 이내의 지역으로 한다.

(3) 예측방법

진동의 예측은 소음과 같이 공사시와 운영시로 구분하되, 공사시는 장비가동, 발파진동에 대해 진동 전파 특성을 고려한다.

도로교통진동의 예측은 기본적으로 예측식(전파모델)에 의한다. 예측식은 평면도로, 성토도로, 절토도로, 수로형 도로 및 고가도로의 예측기준에서 멀리 이격된 곳의 진동레벨을 예측하는 것이다. 도로교통진동에 영향을 미치는 주요 인자로는 교통량, 차로, 차로수, 노면평탄성, 지반조건, 도로구조 및 도로에서의 거리를 들 수 있다.

$$L10 = a\log 10(\log 10Q^*) + b\log 10M + d + \alpha_\sigma + \alpha_f + \alpha_s + \alpha_1$$

L10 : 500초간의 1차로당 등가 교통량

(대 / 5 0 0 초 / 차 로)

Q^* : $\frac{500}{3,600} \times \frac{1}{M} \times (Q_1 + 12Q_2)$

Q_1 : 소형차 시간 교통량(대/시)

Q_2 : 대형차 시간 교통량(대/시)

V : 평균주행속도(km/시)

M : 차로수(상하행선 합계)

α_σ: 노면의 평탄성에 의한 보정치(dB)

α_f : 지반 탁월진동수에 의한 보정치(dB)

α_s : 도로구조에 의한 보정치(dB)

α_1 : 거리감쇠치(dB)

a,b,c,d : 상수

(4) 평가

진동의 평가는 예측결과를 환경보전목표에 맞추어서 실시한다. 진동의 환경보전목표는 소음진동규제법에서 교통소음 진동 규제지역으로 지정하여 규정하는 「교통소음진동의 한도」로 하되, 해당 지역의 특성을 고려하여 이보다 더 강화된 환경보전목표를 별도로 정하는 경우에는 이를 적용한다. 소음진동규제법에서 규정하는 교통진동의 한도는 <표 211.12>와 같다.

<표 211.12> 교통진동의 한도

대 상 지 역	구 분	한 도	
		주간 (06:00～22:00)	야간 (22:00～06:00)
주거지의 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지 경계선으로부터 50m 이내 지역	진동 (dB(V))	65	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농장지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미고시지역	진동 (dB(V))	70	65

4.2.5 위락

공사시 및 운영시 도로의 개설로 인한 주변 위락시설 이용의 용이성을 예측하는 것 뿐만 아니라 위락시설의 경우 사업시행으로 인해 도입되는 도로 휴게소 및 요구되는 시설에 대해서도 검토·예측한다.

4.2.6 경관

(1) 예측항목 및 대상지역

경관의 예측항목은 주요 전망점에서 전망 및 자연환경의 보전상 특히 필요한 야외 레크리에이션 부지에 주는 영향으로 한다.

예측의 대상지역은 계획시설이 조망되는 범위 중 영향을 받는다고 예상되는 지역 및 자연환경의 보전상 특히 필요한 야외 레크리에이션 부지로 하고 필요에 따라 학자, 경험자 등의 의견을 참고로 한다.

(2) 예측방법

주요한 예측 방법의 종류는 <표 211.13>과 같다.

(3) 평가

평가는 사업에 의해 주요 조망점 등에서 조망점에 주는 영향에 대해서 그 정도를 평가하는 것으로서 환경보전대책을 거쳐 실시한다. 환경보전 목표는 지형·지질 환경 보전 목표와 동일하다.

<표 211.13> 경관 예측 기법

종 류	내 용
① 컴퓨터 시뮬레이션법	주요 조망점 등에서 촬영한 사진 상에 완성 예상도를 합성하거나 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 경관의 변화를 예측하는 기법. 가장 일반적으로 사용되는 수법으로 재현성은 비교적 높고 적용범위도 넓다. 간략한 방법으로는 윤곽선 만을 사진상에 표현하는 방법도 있다.
② 투시도법	주요 조망점 등에서의 완성 예상도를 투시도법에 의해 그리는 것으로 사진몽타주법과 다른 점은 배경도를 전부 그릴 필요가 없으므로 경관의 현황, 시야는 자유로이 설정할 수 있다.
③ 모형에 의한 방법	주변지역을 포함하여 완성 모형을 작성하고 모형상의 주요 조망점 등에서의 사진에 의해 경관의 변화를 예측하는 기법이다. ①이나 ②는 주요 조망점마다 작업할 필요가 있으나 이 방법은 모형이 만들어지면 주요 전망점이 여러개 있어도 작업량은 크게 증가하지 않는다. 대상 범위가 한정되어 있어 주요 조망점 등의 수가 많은 때에 좋은 방법이다
④ 비디오에 의한 방법	비디오 화면상에 완성 예상도를 합성하여 경관의 변화를 예측하는 기법으로 시야가 연속적으로 변화하는 경우(파노라마 경관 등)에 의해 유효하다.
⑤ 컴퓨터 그래픽에 의한 방법	컴퓨터를 사용하여 수치 지형모델을 작성하여 완성 예상도 및 주변 지형 등을 그리는 방법이다. 입력량이 방대한 점 외에는 계산처리만으로 끝낼 수 있어 슈미레이션이 용이하나 현시점에서는 수치지형의 데이터 베이스가 거의 없어 이용이 어렵다.

4.2.7 토지이용

(1) 예측항목 및 대상지역

국토이용관리법, 도시계획법 등에서 계획된 주변 지역의 토지이용계획 내용과 사업 대상 지역의 토지이용계획의 연계성 유무를 파악한다.

사업시행으로 인한 주변 지역의 토지이용의 변화에 따른 영향을 파악한다.

대상 지역은 현황조사 범위에 준한 사업 대상 지역 및 주변 인접 지역으로 한다.

(2) 예측방법

기존 문헌 및 유사사례를 참고로 하는 방법, 토지이용모델을 이용하는 방법, 원격탐사 및 지리정보체계 활용기법 등에 의해 예측한다.

(3) 평가

상위법규 및 계획과의 관련성을 검토하여 이에 의거 평가한다.

사업의 시행으로 인해 예상되는 토지 이용의 변화가 상위법규 또는 상위계획 내용과의 위배 여부를 평가하고 주변 토지이용계획과의 관련성을 검토하여 평가한다.

4.2.8 폐기물

(1) 예측항목

① 공사시

• 투입인부에 의한 생활폐기물 및 분뇨

건설공사시 건설현장내 작업인부 투입에 따른 생활폐기물 및 분뇨 발생이 예상된다.

• 투입장비에 의한 폐유

공사시 각종 건설장비의 가동에 따른 오일교체 및 장비의 고장수리과정에서 폐유가 발생되며, 무단적치시 토양오염 등 2차적인 환경오염이 유발된다.

• 지장물 철거시 건설폐기물(특히 철거시 액체성 폐기물)

노선대에 편입되는 지장물이 존재할 경우 지장물 철거시 해체건설폐기물이 발생되며, 수세식 및 재래식 화장실에 분뇨 등 액체성 폐기물이 발생된다.

• 임목폐기물(훼손수목)

임야지역 절토시 수목훼손이 예상된다.

② 운영시

• 휴게소 운영에 따른 폐기물 발생

휴게소 운영시(특히 고속도로) 이용객에 의한 폐기물 발생이 예상된다.

(2) 예측방법 및 평가

① 공사시

• 생활폐기물 및 분뇨

투입인부수 예측후 평균 작업시간을 고려하여 발생량을 예측한다

• 투입장비에 의한 폐유

투입장비 선정후 장비별 오일탱크용량, 오일교체시기, 작업시간 등을 감안한 폐유발생량을 산정한다.

• 건설폐기물

건축물의 철거시 지장물의 이용특성을 고려한 발생원단위 적용후 발생량을 산정한다.

• 임목폐기물

수종별 기관 분배비를 적용하여 임목폐기물량을 산정한다.

② 운영시

• 휴게소 폐기물 발생량

폐기물량과 이용객수를 고려한 선형회귀식을 이용하여 평일, 휴일의 발생량을 예측한다.

211.5 환경영향의 저감방안

5.1 자연환경

5.1.1 지형□지질

(1) 노선선정시 환경보전 목표에 맞추어 선정한다.

(2) 사적·명승지·천연기념물 등이 있는 곳을 피하여 노선을 계획한다. 학술적 가치가 높은 장소, 천연기념물 등이 있는 지역을 통과할 때 토공으로 지형, 지질의 변형을 가져오게 된다. 따라서 이러한 구역을 피해 노선을 선정하는 것이 최상의 방법이지만 거점간을 연결하는 도로망 계획상 불가피한 경우도 발생한다. 이때 변형된 지형을 최대로 복원하게 되며 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

① 자연지질의 보전

기존 토양은 생물의 생존에 기초가 되는 통기성, 보수성을 갖고 생물이 자라는데 적합한 유기물 등의 유효성분을 갖고 있으므로 도로공사시 발생한 유효토는 별도로 보관하였다가 복원토로 활용한다.

② 도로 식재

지형복원에 사용할 수종은 자생수종을 최대한 활용하고 부족한 양은 향토수종으로 대체하여 지형에 어울리도록 한다.

③ 도로구조

지형의 변형이 최소화 되도록 노선을 계획하고 현존 지형과 조화되는 구조로 설계한다.

5.1.2 동물에 미치는 영향 저감방안

(1) 동물 이동 통로(Eco-Corridor; Eco Bridge) 설치

산간지대는 생물 다양성의 원천지역이며 특히 야생동물의 서식 장소로서 보호되어야 할 지역이다. 가급적 이러한 서식지가 도로 및 건축물 등에 의해 단절되지 않게 도로선형 계획시 충분히 고려해야 하겠지만 피치 못할 경우 동물(양서류포함)의 이동통로를 설치하여 생활의 근거지를 보호하는 것이다.

① 기존 및 신규도로 야생동물 이동통로 유형

- 터널형, 육교형, 박스형
- 가드레일을 부분적으로 제거

② 신설도로 건설시 생태적 단절 방지 고려사항

- 생태적 단절 방지를 우선하고 필요시 야생동물 이동통로를 설치
- 이를 위해 도로건설계획에 생태적 요인을 적극 강화하는 것이 필요함
- 생태적 단절 방지 방법

- 중요 산간 능선은 절개 방식이 아닌 터널 방식으로 건설
- 자연보전지역이나 국립공원지역 등에 있어 도로의 이용 수요는 크지 않지만 동물의 이동, 생태계의 연속성 유지 등 보전 필요성이 높은 산간 도로는 가급적 비포장화하고 사면을 자연스럽게 정리
- 소형 포유류 및 양서류, 파충류의 이동을 위해 소형 관거를 도로 밑으로 설치하고 또한 관거의 밑면을 콘크리트화하기 보다는 자연계곡의 특성에 맞게 조성
- 굴곡이 심한 계곡에 다리 등을 건설하여 그 밑으로 동물이 이동할 수 있도록 함
- 많이 훼손된 지역의 경우에는 원래의 식생에 가까운 인공 식생을 조성함

- 숲 속의 나지를 그대로 방치하여 동물이 이용할 수 있도록 함.
- 실제 동물 이동이 예상되고 인간의 간섭이 적은 기존 통로, 수로박스를 활용

(2) 현광 방지 식재, 차광벽 설치, 방음벽 설치

(3) 동물의 도로침입 방지 울타리

(4) 수로, 산란장소(어류), 조류 및 소동물의 서식 공간(Biotop) 조성

바이오톱(Biotop)은 야생동물이 서식하고 이동하는데 도움이 되는 소면적의 공간단위를 말하는데 숲, 가로수, 습지, 하천, 화단 등이 다양한 규모와 질의 생물서식공간이 될 수 있다. 바이오톱은 공동체로서 생물의 서식장소를 의미하는 것으로 높은 균질성과 지리적으로 최소공간을 구성하는 것이 특징이다.

(5) 야생동물 금렵구역 설정

(6) 멸종 위기 야생동물, 보호 야생동물 보호대책

- 공사 인부들에 대한 불법 포획 금지교육 및 홍보
- 작업장내 안내표지판 설치(포획금지 경고문, 안내문)
- 출현시 관계기관 통보 등 적절한 보호대책 수립

5.1.3 식물에 미치는 영향 저감방안

(1) 기존수목 이식 재활용

(2) 표토의 재 이용

(3) 기존 향토수종의 식재

(4) 방재기능 식수대 설치

도로건설에 따라 발생되는 각종 환경 저해요인을 수목 식재 기법으로서 최소화하는 방법이다.

(5) 비탈면 녹화방안

비탈면의 녹화는 사면안전(토사유출)을 위한 1차적인 식생도입 방안으로 지피식물류를 식재하는 것이 원칙으로 하되, 필요한 경우 기존 자연식생의 파괴를 최소화하는 범위 내에 만경류(덩굴성 식물)를 교호식재 한다.

5.2 생활환경

5.2.1 대기질

(1) 공사시 대책

① 가설도로의 선포장

② 주기적인 살수 및 세륜·세차시설의 설치

③ 차량적재함에 덮개 설치 및 차량속도 제한

④ 인근에 영향지역이 있을 경우에는 방진막 설치

(2) 이용시의 대책

① 교통수요의 적절한 배분

교통이 집중하는 구간에는 우회도로를 설치하고, 도시주변에서는 환상도로를 설치하여 교통을 안전하고 원활하게 흐르게 함으로써 차량정체로 인한 대기오염의 심화를 방지한다.

② 효율적인 교통운영 대책

- 교통신호제어의 고도화
- 주차장 규제
- 도로교통정보 서비스
- 고속도로에의 유입제한
- 공공 교통기관의 정비

③ 도로환경시설대의 설치

환경시설대란 식수대(植樹帶), 길어깨, 보도, 부도 등의 조합으로 이루어지는 도로의 일부를 말하는 것으로, 이를 확보함으로써 오염물질의 확산을 줄일 수 있고, 식수(植樹)에 의해 대기오염물질의 농도감소효과를 가져올 수 있다.

④도로선형 설계의 합리화

급격한 경사 및 급커브에서의 자동차 주행시 급가속 및 급감속에 따른 오염물질의 배출을 저감시키기 위한 선형을 설계한다.

- 평면곡선 반경이 가능한 한 완만하게 되도록 한다.
- 종단곡선 반경은 가급적 크게 하여 안전시거를 확보하고 차량 주행시 불쾌감을 최대한 줄여 안전한 차량 주행이 되도록 한다.

⑤ 자동차 공해대책

자동차로 인해 발생되는 공해의 대책을 두가지로 분류하여 설명하면 <표 211.14>와 같다.

<표 211.14> 자동차 공해 대책

대 분 류	소 분 류	구 체 적 내 용
자동차 자체 오염 부하절감	• 자동차 구조의 개선 • 자동차 배출가스 농도의 저감 • 연료의 양질화 • 저공해 차량으로 전환	• 자동차 배출가스 규제 및 단속 • 가스배출 관련 항목의 점검 장비 • 전기 자동차의 기술개발 및 보급 촉진 • 저유황 경유의 공급
주행조건의 개선	• 주행상태의 개선 • 특정 차량의 통행제한 • 우회통로의 건설	• 양호한 종단 평탄선 유지 • 속도제한 • 과적재 방지 • 난폭운전방지 • 특정 지역을 우회시키는 교통로 건설

5.2.2 수질오염 저감방안

(1) 도로관리시 동절기 해빙제 살포 방법 개선(염화칼슘 사용량 최소화)

(2) 오수 정화시설에 있어서 정비, 점검, 청소 철저로 최적 처리 효율 유지, 관리자 지정 및 운영일지, 방류수질 기록 관리

(3) 차량관련 폐수는 폐윤활유 및 폐부동액을 적정 관리하고 세차 폐수 및 주차장 배수는 유수 분리 후 적정처리

(4) 상수원 보호구역으로 지정된 취수원, 하천, 댐, 호수 등에 연하여 통과하는 도로 중 유류, 유독물 등의 운송차량이 전복 및 추락하여 상수원을 오염시킬 우려가 있는 구간에는 도로안전시설 설치 등의 대책수립

5.2.3 소음 저감방안

(1) 노선계획의 적정화 유지

① 노선선정시 영향지점과 노선과의 이격거리를 가능한 한 멀리 유지한 선형 선택

② 교통이 집중화 되는 구간의 우회도로화

③ 회절감쇠가 큰 도로구조 채택

(2) 도로시설의 적정화 유지

교통시설물 설치의 적합화, 교통신호의 계통화 유지에 따른 속도 감소 효과 도모, 노면 평탄성 유지 철저

(3) 방음시설 설치

노선과 영향지점 사이에 방음시설(방음벽·방음림·방음둑·방음터널 등) 설치. 방음시설의 설치는 환경부 고시 제96-85호(1996.7.2) "방음시설의 성능 및 설치기준"에 적합하도록 계획

(4) 토지이용의 합리화

도로변에 환경친화적인 녹지공간 조성 및 배분

(5) 수음자 대책

① 도로변에는 완충건축물(상가·저장시설·주차장)을 배치

② 건축선 유지 및 건축물의 방음화

③ 남향 배치, 일조장애의 문제점이 없는 상황에서의 도로와 건축물의 직각 배치

④ 녹지 공간의 최대확보

5.2.4 진동 저감방안

도로교통진동은 도로교통소음과 밀접한 관계를 갖는다. 따라서 도로교통 진동의 대책은 도로교통소음의 대책과 병행하여 수립하는 것이 바람직하다.

(1) 노면평탄성의 개량·개선

일반적으로 연약지반이 아닌 지반상의 도로에 있어 양호한 시공을 실시한 경우, 노면의 요철을 최소화함으로서 유발될 수 있는 도로교통진동을 대부분 저감할 수 있다.

(2) 성토구조의 유지

상대적인 개념이겠으나 도로를 성토구조로 하는 것은 평면도로를 하는 것에 비하여 도로법면 하단부에서의 진동도는 낮아진다. 이는 일반적으로 단단한 성토 본체의 강성은 지반의 강성보다 높은 경우가 많아, 발생하는 진동 그 자체가 작게 되고 차로에서 도로 법면 하단부까지의 거리가 평면도로에 비하여 길게 되므로 거리 감쇠의 효과도 도모할 수 있다.

(3) 지반개량의 실시

지반개량은 지반이 연약지반일 경우 실시하

는 도로교통진동대책이다.

(4) 교통규제 실시

속도제한, 주행 차로의 제한 및 중량제한 등의 교통규제를 통하여 상당한 진동의 저감을 꾀할 수 있다.

(5) 환경시설대의 설치

도로변에 환경 시설대를 계획·설치하는 것은 진동원(차량)에서의 이격거리가 멀어진다는 개념에서 거리 감쇠량의 증가로 도로교통진동을 경감시킬 수 있다.

(6) 방진홈·방진벽

방진홈을 진동 전파 경로 상에 설치하면 방진홈을 설치하지 않은 경우에 비하여 가속도가 작아진다. 이때 가속도의 감소 정도는 방진홈의 깊이에 비례한다. 방진벽의 경우는 그 재질이 무엇이냐에 따라 진동 저감 효과는 달라진다.

5.2.5 위락에 미치는 영향 저감방안

본 노선변의 위락시설 분포에 따른 진입도로, 부체도로, 이동통로 등의 설치를 계획한다.

5.2.6 경관에 미치는 영향 저감방안

도로 경관 계획시 기본적으로 도로의 성격에 따라 계획과 설계의 원칙을 지켜야 한다. 도로경관의 계획과 설계에서 다음의 5가지 원칙을 고려해야 한다.

(1) 도로의 성격에 맞는 설계

① 경승지의 도로

경승지의 도로는 조망성의 확보에 노력해야 하며, 적당한 곡선을 도입하여 선형을 정해야 하고, 주행하는 주변의 경관을 효과적으로 바라볼 수 있도록 배려한다. 지역의 아름다운 자연을 훼손하지 않도록 해야 하며, 긴 절토 사면이나 높은 성토 등으로 지형을 변화시키지 않도록 해야 한다.

② 전원지대 도로

넓은 전원지대를 통과하는 도로는 개방적인 조망이 도로경관의 특징이다. 따라서 도로의 시계를 저해하는 식재 등을 피하는 것이 바람직하다.

③ 산지도로

산지도로는 지형의 기복이 많으므로 변화가 있는 쾌적한 도로경관이 기대된다. 가능한 한 선형 계획시 수림을 통과하여 파노라믹한 경관과 다이나믹한 경관의 변화를 주도록 한다.

④ 일반도로

일반도로는 개성이 있는 경관형성이 곤란한 경우가 많다. 안내표지판을 정리, 통합하고 도로변의 광고물과 토지 이용의 규제 등으로 양호한 도로경관을 유지한다.

(2) 도로 이용자와 지역주민을 고려한 설계

도로 이용자는 물론 도로의 주변 지역주민들이 쾌적하게 이용하도록 해야 한다. 특히 도로의 경관은 도로 주변지역의 이미지에 큰 영향을 준다.

(3) 도로공간 전체의 균형을 고려한 설계

교량, 옹벽, 도로 횡단구조물 등은 구조적 안전을 확보할 뿐만 아니라 도로의 미관을 높이고 도로 전체의 균형과 연속성을 갖도록 형태의 크기를 결정해야 한다.

(4) 통일과 변화를 고려한 설계

도로경관은 도로 부지 내와 인도의 제 시설,

토지이용 등이 균형을 이루도록 경관적 배려를 해야 한다. 그러나 공간적인 통일이 과하면 획일적인 도로경관이 될 수 있으므로 교차점, 교량, 도로옆의 광장, 도로선형과 구조의 변환점을 이용하여 경관에 변화를 주는 것이 바람직하다.

(5) 시간의 흐름에 따라 경관을 바꾸는 설계

경관은 시간과 계절에 따라 변화한다. 긴 시간이 경과하면 소재는 낡게 되고 식물은 크게 자란다. 즉, 자연적인 요인과 힘이 경관을 변화시키고 성숙시킨다. 또한 토지이용의 변화, 건물의 건축 등에 따라 변화한다. 즉, 인위적인 요인에 의해 변화, 성숙된다.

설계자는 자연과 인위적인 요인을 활용하여 시간이 지남에 따라 아름다움을 증가시킬 수 있도록 한다. 이를 위해 자연재료(수목, 자연색 등)를 도입하고, 자연의 지물을 도로에서 바라볼 수 있도록 계획하고 도로 주변 주민의 협력을 얻을 수 있도록 노력해야 한다.

5.2.7 토지이용에 미치는 영향 저감방안

계획 도로의 건설 또는 확장으로 인해 편입되는 용지에 대해서는 감정된 지가를 기준으로 적절한 보상방안을 수립한다.

가옥 등에 대해서도 보상대책을 수립하여 편입용지 및 지장물 철거에 따른 민원을 최소화한다.

5.2.8 폐기물 저감방안

(1) 공사시

① 생활폐기물과 분뇨의 무단투기 및 관리소홀로 인한 영향을 최소화하기 위하여 분리수거용기 및 간이화장실을 설치하여 분리수거후 위탁처리한다.

② 폐유

- 발생량 감소를 위하여 건설현장내 각종 오일교체를 금지하며 오일교체는 선정된 지정정비업소에서 실시한다. “폐기물 관리법 시행규칙 제6조(폐기물의 수집·운반·보관·처리에 관한 구체적 기준 및 방법)”에 의거하여 위탁 처리한다.

③ 건설폐기물

- “건설폐재배출사업자의 재활용지침(환경부 고시 제1997-12호, 1997. 2. 25)”에 의거하여 건설폐재, 금속류, 기타 폐기물로 분리수거 및 재활용이 가능한 건설폐재는 현장여건을 고려하여 재활용한다.
- 현장에서 재활용 불가능한 폐기물은 위탁처리함으로서 무단적치 및 불법투기 금지한다.
- 수세 및 재래식 화장실에 분뇨 등 액체성 유기물이 존재할 경우 사업시행전 조사후 전량 위탁처리함으로서 토양오염, 지하수 오염, 악취 등의 영향을 제거한다.

④ 임목폐기물

- 수목이식을 통한 재활용 : 사업시행전 이식가능지역에서의 이식 후 활착률, 주변경관과의 조화, 경제성 등을 고려하여 이식보전가치가 있고 생육상태가 양호하여 이식시 2차적인 피해발생이 적을 것으로 예상되는 유목(幼木)을 중심으로 재활용한다
- 실수요자(조경업자 및 목재가공업자) 수거에 의한 재활용 : 사업시행전 실수요자로 하여금 수목으로 활용가치가 있다고 판단되는 수목을 중심으로 하여 공사전에 우선적으로 굴취토록 한다.

(2) 운영시(휴게소 발생폐기물 처리)

① 재활용

발생폐기물 중 재활용이 가능한 폐기물은 분리수거 및 재활용품 보관창고에 일정 기간 보관 후 한국자원재생공사 또는 재생처리업체에 연계처리한다.

② 음식물 감량화 시설 설치 운영

휴게소내 주요 발생시설물을 중심으로 잔반통을 설치하여 음식물류를 분리수거토록 하며 음식물 감량화 시설을 설치토록 한다.

③ 소각 처리

재활용이 불가능한 가연성 폐기물은 전량 수거하여 소각장에서 소각하여 처리한다.

④ 최종처리

불가피하게 발생되는 매립폐기물(불연성폐기물 + 소각잔재물)은 위탁처리한다.

212

도로계획 관련 기타 고려사항

212.1 개요

본 장은 설계자가 도로계획시에 고려해야 할 기타 사항으로서 단계건설 계획, 공사구간의 계획, 도로의 유지관리 계획, 민자유치 계획, 폐도 활용 계획 등에 관한 사항들이다.

212.2 단계건설 계획

도로가 건설되어 통행이 개시된 후 초기에는 교통량이 많지 않은 구간이 있으므로, 이러한 구간에 대해서는 단계건설 여부를 검토하여 투자의 효율성을 높이는 것이 바람직하다.

2.1 단계건설의 기본 조건

단계건설이 채택되는 기본적인 조건은 다음과 같다.

① 경제성

단계건설이 경제적이기 위해서는 단계건설의 비용 편익비가 완성 시공의 비용편익비보다 크도록 단계건설을 계획한다.

② 안전 및 교통 소통

횡단면 구성 폭, 부가차로의 설치, 잠정 설계속도 등을 목적에 맞게 적절하게 설계한다.

③ 지형 및 도로구조

단계건설에 적합한 지형조건과 도로 구조일 경우에, 건설비의 현재가치가 적게 되는 도로구조이어야 한다. 즉, 초기 건설비가 적을 것, 2차 시공시 재시공이 적을 것, 2차 시공시에 교통에 지장을 주지 않을 구조로 할 것 등이다.

2.2 단계건설의 경제적 조건

단계건설의 경우, 추가 시공시의 재시공 비용, 교통안전 대책 비용 등의 부가 공사비가 필요하므로, 건설비의 총액은 동시시공보다 크다. 그러나 추가 시공이 어느 정도 늦어져 현재가치로 환산한 건설비의 총액이 동시시공의 경우보다 적게될 때에는 경제적이라고 말할 수 있다. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$C > S_1 + S_2 \frac{1}{(1+i)^n}$$

여기서,

C : 동시시공시의 건설비

S_1 : 단계건설의 경우 초기 시공분의 건설비(초기 시공 건설비)

S_2 : 단계건설의 경우 추가 시공분의 건설비(추가 시공 건설비)

i : 이자율

n : 초기 시공 연도와 추가 시공 연도의 차이

2.3 구간별 단계건설 계획

공사기간이 장기화 될 수 있는 노선에 대해 전구간의 동시시행과 일부구간의 선시행을 검토할 필요가 있다.

검토시에는 전구간 동시 개통시의 비용 및 편익과 단계적 교통개방에 따른 비용 및 편익을 비교·분석해야 한다. 또한, 해당 도로의 개통시기와 인접 도로 구간의 용량 도달시기에 대한 비교·분석도 병행해야 한다.

<표 212.1>은 단계건설 검토 양식의 예를 나타낸 것이다. 이와 같은 검토를 거쳐 일부 구간을 먼저 시공하는 단계건설이 타당한지 여부를 판단한다.

<표 212.1> 단계건설 검토 표

구 분		전구간 동시시공	일부구간 선시공
건설 기본계획		전구간의 동시 개통으로 원활한 교통소통을 유도	구간별 공사기간의 차이에 따른 단계적 교통개방을 통한 편익 도모
노선 개요도			
주요 검토 내용	공사기간		
	도로 및 교통 측면		
	사회 및 경제 측면		
	환경 및 시공 측면		
경제성 분석	공사비		
	유지관리비		
	IRR		
	B/C		
	NPV		
검 토 결 과			

212.3 국도 확충 계획

기존 국도의 용량이 포화상태에 이르게 되어 국도가 주 기능인 이동성을 제대로 수행하지 못하고 있는 실정이다. 최근 국도를 신설 및 확장하여 설계수준을 대폭 강화하여 국도가 지역간 승객 및 화물수송을 위한 주요 사회 기반 시설로서의 역할을 담당할 수 있도록 하고 있다.

기능확보를 위한 방안은 크게 두 가지이다. 첫째는 기존의 도로를 확장하는 방안이며, 둘째는 새로운 신설 노선을 계획하는 것이다.

3.1 신설

시가지 통과 노선의 경우 도로를 신설하여 우회하는 방안이 바람직하다. 도심지에서는 지역간 도로에 비해 상대적인 토지이용 고밀도로 유출입차량, 노상주차, 횡단보도 등의 과다 설치로 교통혼잡이 심화된다. 또한 안전적인 측면에서도 이동성을 우선시하는 지역간 통행과 접근성이 위주인 지역내 통행의 이질성으로 교통류의 속도편차가 심해 사고발생의 위험이 높아진다.

3.2 확장

지역간 노선의 경우에 우선적으로 확장을 고려해 볼 수 있다. 도시내 통과 구간과는 달리 토지이용 밀도가 낮고, 용지에 대한 보상비도 상대적으로 적어 기존도로를 확장하는 것이 유리하다. 이 경우에는 원활한 교통소통과 안전을 위해 효과적인 공사 중 교통처리 계획의 수립이 중요하다.

지역간 노선일지라도 불량한 선형으로 인한 교통사고 다발지점에 대해서는 기존 도로를 마을 진입로나 측도로 사용하고, 노선을 신설하여 선형을 개량하는 방안도 고려할 필요가 있다.

3.3 신설, 확장 결정을 위한 고려사항

신설의 경우 도심지 우회시, 확장의 경우에는 지역간 연결을 위한 방안이라는 전제하에 대안 결정을 위해 다음과 같은 고려사항을 검토한다.

① 노선이 통과하는 도시의 골격 및 가로망 형태
② 도시내 도로 이용 통과 교통량
③ 도시 내부 교통량
④ 주행속도
⑤ 처리용량

도로 확충을 위한 신설과 확장의 두가지 대안에 대한 장·단점은 <표 212.2>와 같다.

3.4 사업 우선순위 결정

도로의 확충을 위해서는 구간별로 우선순위를 결정해야 한다. 우선순위 결정을 위한 평가지표를 중요도에 따라 가중치를 항목별로 구분해야 하는데 적용 예는 <표 212.3>과 같다. 본 예는 건설교통부의 업무현황 자료를 참고한 것으로서 국도대체 우회도로에 대한 것이다.

<표 212.2> 도로 확충을 위한 신설과 확장의 비교

구분	신설(도시 우회)	확장(지역간 연결)
장점	• 지역간 교통과 도시내 교통을 분리 처리하여 도시교통난 완화 • 쾌적하고 안전한 주행여건 제공 • 고속도로 단거리 통행의 국도 흡수와 중장거리 이동성 확보	• 기존 선형 활용을 시공성 양호 • 편입부지 최소화 • 사업비 저렴 • 기존도로 활용으로 토지이용효율 극대화
단점	• 편입부지 과다에 따른 집단민원 발생 • 사업비 과다	• 평면 및 종단선형 보통

<표 212.3> 우선순위 결정을 위한 평가지표 예(국도대체 우회도로의 경우)

구 분	평 가 항 목	평 가 지 표	가중치
경제성 (70)	국도소통능력	우회도로 전환 교통량(대/일)	25
	혼잡도	기존 국도 V/C	15
	물류비 저감효과	화물차량 총주행시간 단축(시/일)	15
	사업투자 효율성	총사업비당 우회통행량(대/총사업비)	15
지역균형 개발측면 (25)	주요 개발사업 지원	공업단지, 항만 등 주요 간선도로 연계성	10
	도로 밀도	거주 인구 당 국도연장(km/인)	10
	도 건의순위	도별 건의 우선순위	5
국도 간선기능 (5)	국도 확충사업과 연계성	기·종점부 국도 확충사업 여부, 각종 개발계획	5
계			100

212.4 공사구간의 계획

기존 도로의 확장이나 개량을 위한 도로사업을 수행할 때에는 공사구간에 대한 계획 수립이 필요하다.

도로의 공사는 도로를 차단하고 수행하는 업무이므로, 운전자와 시공자의 안전을 위해서는 효과적인 교통관리가 필수적이다. 사용중인 도로에서 공사를 하기 위한 점용 허가를 비롯한 제반 행정 업무 절차는 도로법 및 도로교통법의 해당 내용을 참고한다.

공사구간 계획의 핵심은 공사로 인해 발생되는 교통안전 문제와 소통문제를 최소화하는 것이다. 공사구간의 교통관리 계획에 대한 세부사항은 "도로 공사장 교통관리 지침(건설교통부, 1996)" 및 발주기관의 관련 지침에 따른다.

4.1 공사 구간 교통관리 원칙

(1) 교통안전

교통사고의 발생건수와 심각도를 최소화해야 한다. 교통안전이 모든 작업 단계의 관리 원칙에서 가장 우선권을 갖는다.

① 사전 안내를 충분히 하여 모든 통행자가 전방의 도로공사에 대해 인지하고 준비할 수 있는 자세를 갖도록 한다.

② 시인성이 좋은 교통통제 시설을 사용하며 조명, 반사시설, 경고등, 노면표시 등으로 야간의 시인성을 높인다.

③ 고정된 시설물로 인한 위험을 최소화하며, 설치시설을 지지하기 위해 모래 주머니를 바닥에 놓아 시설물이 충격으로 튕겨 나가지 않도록 한다.

④ 테이퍼와 완화구간을 적합하게 설치하여 공사 구역 내부와 공사구간으로 접근하는 통행경로의 기하구조를 급격하게 변경하거나 축소하지 않도록 한다.

⑤ 작업활동과 차량으로부터 보행자를 분리한다.

⑥ 공사장비나 자재 등은 안전한 복구 구간 바깥에 둔다.

⑦ 작업자의 안전과 작업 관련 자동차들의 안전한 출입을 도모한다.

⑧ 공사 시작에 앞서 경찰서와 소방서, 응급서비스센터와 같은 응급 구호 조직에 통보한다.

(2) 교통소통

통행 차로 근처나 내부에서 이루어지는 공사는 정상적인 교통 흐름을 방해한다. 이러한 방해는 일반적으로 도로용량 확보문제 및 그로 인한 지체문제와 밀접한 관련이 있다.

다음 사항들은 지체를 최소화하여 교통 소통을 증진시키는 원칙들이다.

① 차단해야 하는 차로만 차단하고, 가능한 빨리 최대 도로 용량을 유지할 수 있게 다시 복구한다.

② 출퇴근시나 휴가철 등 교통 첨두시에는 작업 일정을 잡지 않는다.

③ 급격한 감속이 생기지 않도록 한다.

④ 가장 짧고 안전한 경로, 안전한 시야, 최소 경사, 계단, 연석 등을 제공하여 보행자나 자전거 이용자의 불편을 줄인다.

4.2 공사구간 교통관리 기법

공사현장의 구체적인 교통관리를 위한 기법에는 차로 또는 길어깨 차단, 전체 전환 또는 부분 전환(우회, 역방향 통행), 속도 통제, 추월 금지, 차로 변화(협소 차로, 차로 재설정, 차로 부가), 일방통행 운영(교대통행, 가변 차로) 등이 있다.

(1) 차로차단

차로차단 기법은 교통수요와 차단 후의 용량의 관계에 따라 적용여부를 가린다. 교통수요가 차로차단 이후의 용량보다 적으면 큰 문제가 없지만, 많은 경우에는 다른 대안을 고려해야 한다.

차로차단시에는 어느 차로가 얼마만큼 전방에서 차단되는가를 명확히 알려주는 것이 중요하다. 차단되는 차로의 주행 자동차가 인근 차로의 교통류에 원활하게 합류하도록 관련 표지와 테이퍼를 설치해야 한다. 제한 속도도 일정 수준까지 감소시켜야 하며, 감소폭은 최소로 한다.

(2) 전환(전체 또는 부분)

① 우회(Detours)

공사시 다른 도로로 교통의 전체 또는 일부를 전환시키는 것은 해당 공사구간에 대해서는 가장 안전한 대책이 될 수 있으나, 우회되는 도로의 서비스 상태는 악화되는 문제점이 있다. 따라서, 이 기법은 주변 도로망의 교통량이 많아 우회 처리 교통량을 감당하기 어려운 도시부에는 적용하기 어렵다.

보통 이하의 교통량을 갖는 도로의 짧은 구간에서 단기 공사가 시행되는 경우에는 임시 우회로를 건설하는 경우도 있는데, 이 임시 우회로는 기존의 노선과 일관성을 갖는 수준의 설계 및 운영 조건에서 유지되어야 한다. 다른 대안들이 더 이상 없을 때 전체 이용 가능 차로수를 유지하기 위하여 설치하는 우회로는 장기 공사에 한해 설치한다.

② 역방향 통행(Contra-flow)

양방 통행 분리도로의 한 방향 차도를 공사구간으로 쓸 경우 역방향 통행 시스템을 이용하여 남은 차도를 양방 통행으로 처리한다. 이를 위해서는 임시 개구부나 기존 개구부를 통해 중앙분리대를 넘어야 한다.

부분 역방향 통행은 교통의 일부분이 대향 차도로 전환되고 나머지 교통은 해당 차도를 계속 이용하는 방식이며, 전체 역방향 통행 방식은 모든 교통이 인접 대향 차도로 전환되는 방식인데, 이 경우 차로가 좁아지거나 좁은 길어깨를 이용하는 경우가 많다. 보통 부분 역방향 통행은 차종을 분리시켜 통행시키는 경우(승용차만 역방향 통행을 시킴)도 있지만, 전체 역방향 통행은 분리시키지 않는다.

(3) 속도 통제

속도를 제한하는 것은 가장 안전한 교통처리 방식으로 차로 차단이나 역방향 통행 전략 등에 따르는 위험과 문제들을 줄이는 방법이다.

공사구간에 설치되는 감속표지는 운전자로 하여금 공사구간을 통과할 때 다소 나빠진 운전조건에 대해 주행속도를 조정할 수 있도록 안내하는 법적 의미를 갖는다.

① 제한속도의 설정

제한속도가 제대로 지켜지기 위해서는 운전자의 입장에서 어느 정도 합리적이어야 한다. 영향을 미칠만한 거리, 잠재된 위험, 방호울타리 존재 여부 등을 고려해야 한다.

제한속도는 가능한 한 기존의 제한속도에 가

깝게 설정해야 한다. 낮게 설정된 제한속도가 긴 구간에 걸쳐 계속 이어져서는 안되며, 가능한한 빨리 정상속도로 복귀되어야 한다.

② 감속 방법

속도를 줄이기 위해 가장 많이 쓰이는 방안은 적정 표지판을 설치하는 방안과 교통경찰을 배치하는 방안이 있다.

(4) 추월 금지

차로차단, 한 차로 운영, 교대 통행 등과 같은 교통관리기법을 적용하기 위해서는 추월금지가 요구된다. 이 기법은 특히, 중앙분리대가 없는 도로에서 서비스수준을 더욱 심각하게 악화시킬 수 있는 요인들 중의 하나이다. 따라서, 추월금지 기법은 공사구간 표지를 설치하는 모든 곳에 적용하는 것이 아니라 기술적으로 적절하다고 판단된 곳에 한정하여 사용한다.

(5) 차로 변경

① 협소차로

공사구간의 범위가 설정된 후 잔여 공간은 차로수의 감소 없이 단순히 차로를 좁게하여 (협소차로) 동일한 제한속도로 사용하거나 포장된 길어깨를 임시로 이용함으로써 이용을 최대화할 수 있다.

② 차로 재설정

공사구간의 교통을 차도의 다른 부분으로 변경 처리하기 위해 기존의 차로 표시 형태를 바꾸어야 하는 곳에서는, 정상적인 설계에 사용되는 동일한 기준으로 임시 차로가 유도될 속도에 비례하는 곡선반경 또는 테이퍼가 제공되어야 한다.

③ 차로 부가

차로수를 유지하기 위하여 포장된 길어깨를 사용하거나 차도를 임시로 확장하는 방법도 고려할 수 있다. 두 경우 모두 대형차에 대비하여 적정 수준의 포장 지지력을 확보해야 한다.

(6) 한 개 차로 교대통행 운영 및 가변차로 운영

① 교대 통행

2차로도로에서 공사활동으로 인해 한 차로를 점유하여 양방통행이 불가능할 때, 교통량이 적은 경우에 적용할 수 있는 전형적인 교통관리 기법이 교대통행 방식이다. 임시 우회나 차로 변경과 같은 양방통행을 허용하는 다른 관리 기법이 더 나은지를 비용 측면에서 비교해 볼 필요가 있는데, 대부분의 경우 교통수요에 따라 통행방식이 결정된다.

② 가변차로

공사구간에서의 가변차로는 안전상의 문제로 적용시 특별한 주의가 필요하다. 공사구간의 교통수요를 처리할 만한 대안이 없고 대규모 정체가 예상될 경우 주간에만 사용할 수 있다.

교통에 대응하기 위해 시점과 종점에 통제수를 배치하고 작업자 등이 단시간에 교통콘 등의 시설을 이동 배치하는 방식을 사용한다.

4.3 교통관리 대안의 평가

해당 공사구간에 대해 수립된 교통관리 전략의 대안을 수립하고 이에 대한 평가를 통하여 최적 대안을 마련한다. 이와 같은 평가과정은 다음과 같다.

【1단계】 자료 수집
시행할 공사 내용을 기술하고 필요한 자료를 제공

【2단계】 도로 점유 범위 결정
도로용량에 대한 일차적인 평가

【3단계】 가능 대안 설정
해당 공사 유형에 적합한 모든 가능 전략 설정

【4단계】 용량 분석
용량제약 요소, 대기행렬 길이, 지체도에 관한 세부분석

【5단계】 용량 증대 방안 검토
용량상의 문제가 있을 경우 지체나 정체를 줄일 수 있는 방안 검토

【6단계】 대안 규정
실제적이고 실행할 수 있는 대안 규정

【7단계】 영향 분석
규정된 여러 대안들에 대한 비용·효과 분석적 접근

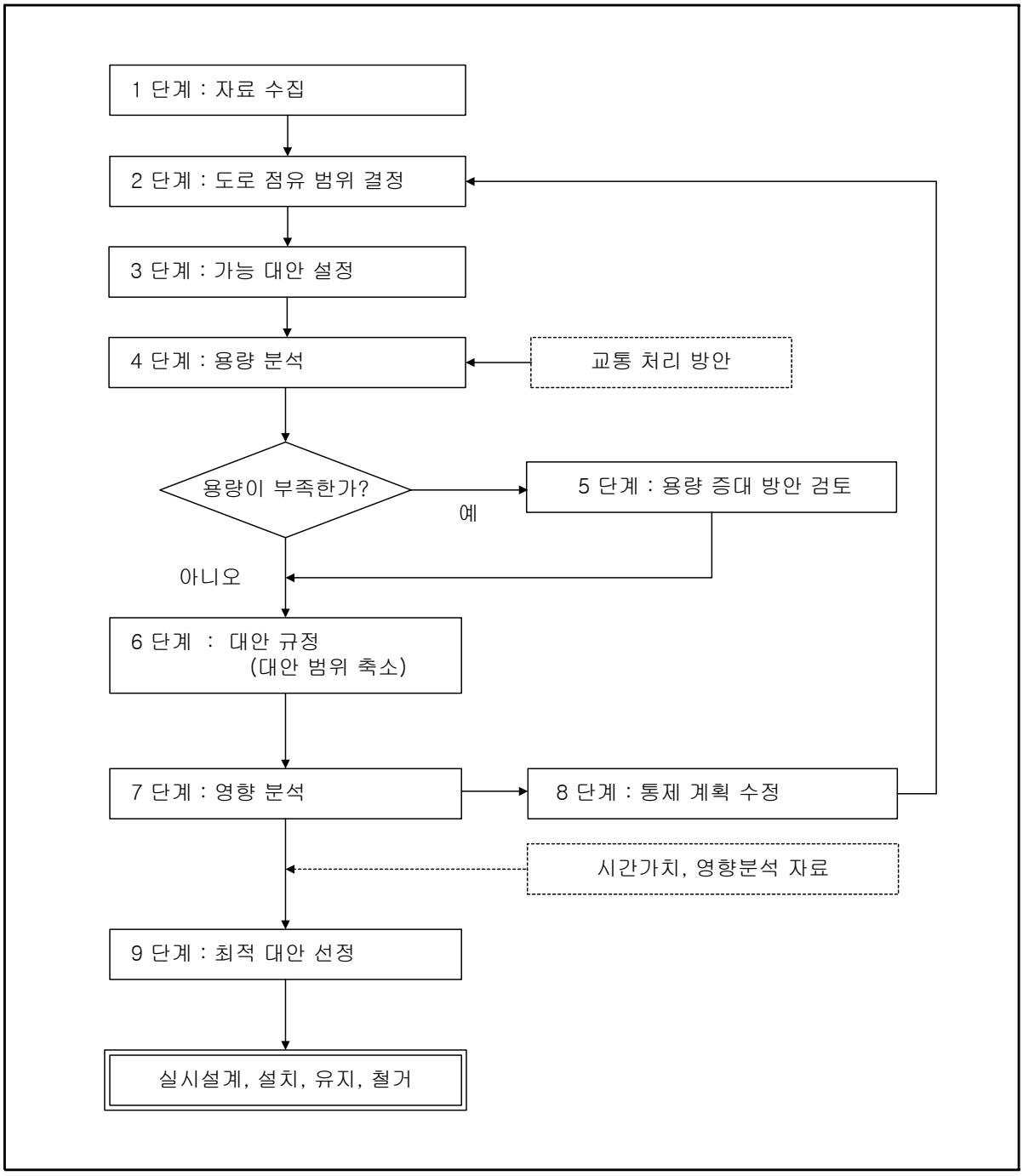
【8단계】 공사구간 통제 계획 수정
필요할 경우 문제를 수행할 수 있게 과업설계나 공정 계획을 수정

【9단계】 최적 대안 선정
실행계획서 작성

최적 대안을 선정하는 기준은 어느 대안이 해당 공사로 인한 영향을 최소로 하는가에 있다. 공사로 인한 영향으로는 지체, 사고 증가, 연료소모와 대기오염 등을 들 수 있으며, 대안 평가는 주로 이 영향을 비용으로 환산하여 대안별로 편익 대 비용의 비(B/C)를 계산한 결과를 토대로 한다.

앞의 평가과정은 주로 대규모로 시행되는 중장기 공사에 적용될 수 있는 평가과정이다. 실제로는 공사의 영향을 정량화할 수 없는 항목들이 많고 정량화가 가능한 항목이라도 해당 공사 여건상 정량화가 불가능할 수 있다는 점 때문에 관리 전략을 평가하는 이러한 세부 과정은 대안별 용량 비교와 같이 종종 간단한 평가로 그치기도 한다.

<그림 212.1>은 공사구간의 교통통제 계획에 대한 평가 과정을 흐름도로 나타낸 것이다.



<그림 212.1> 공사구간 교통통제 계획의 평가과정

4.4 교통관리구간의 설정

교통통제를 위한 교통관리구간은 주의구간, 완화구간, 완충구간, 작업구간, 종결구간 등 5개 구간으로 세분한다.

① 주의구간

운전자들이 전방의 교통상황 변화를 사전에 인식할 수 있도록 확보하는 구간

② 완화구간(도류화 구간)

진행중인 차로를 변화시키는 구간으로 공사중인 해당 차로의 전방으로부터 일정거리를 두어 주행차로를 차단하는 구간

③ 완충구간

운전자가 주의표지를 보지 못했거나 차로 변경을 하지 못한 경우 공사장 충돌을 방지하기 위한 구간(교통 및 작업자 보호)

④ 작업구간

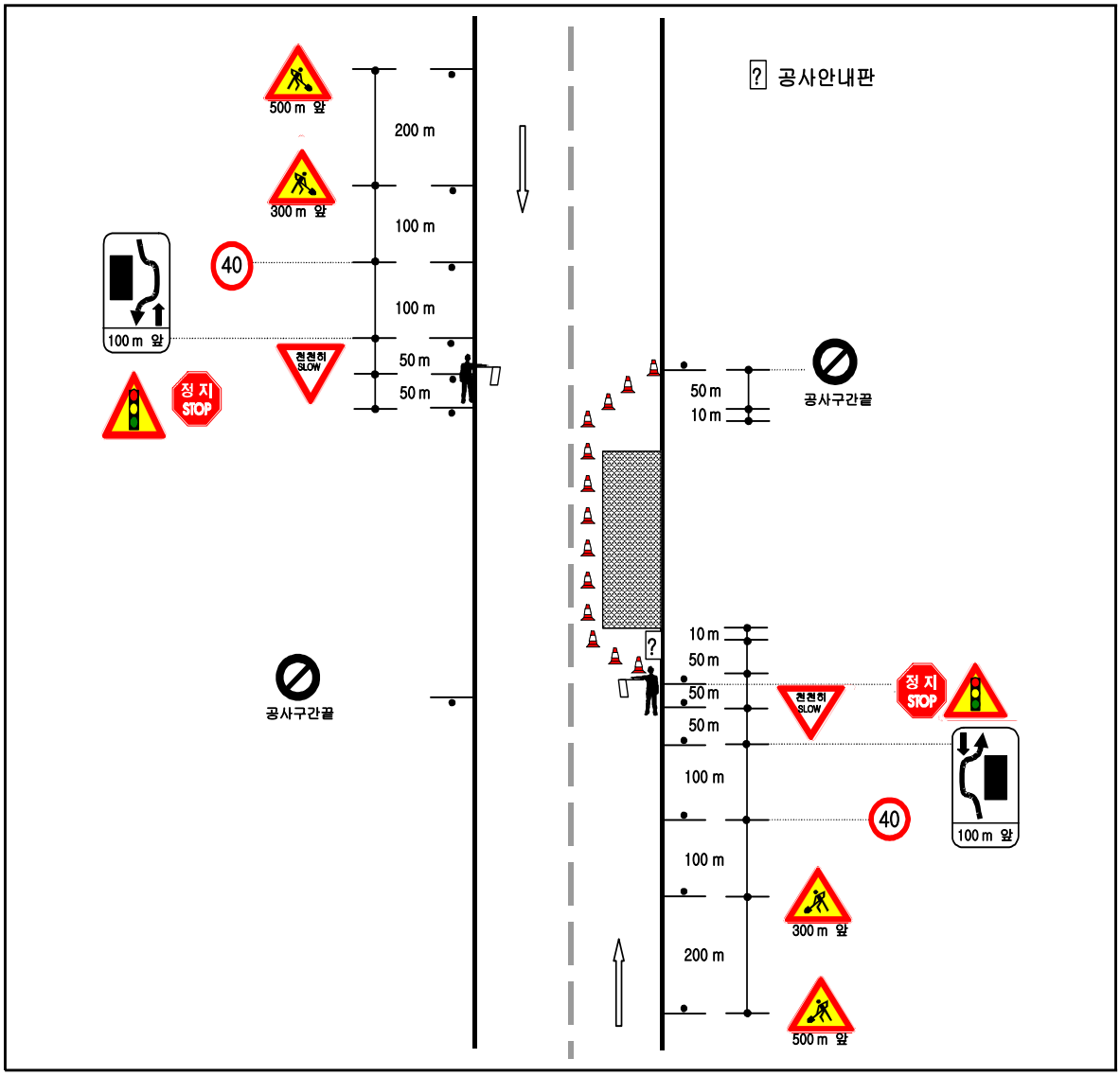
공사(작업)가 이루어지는 해당 구간(완충구간과 작업구간을 합쳐서 활동구간이라고도 함)

⑤ 종결구간(도류화 구간)

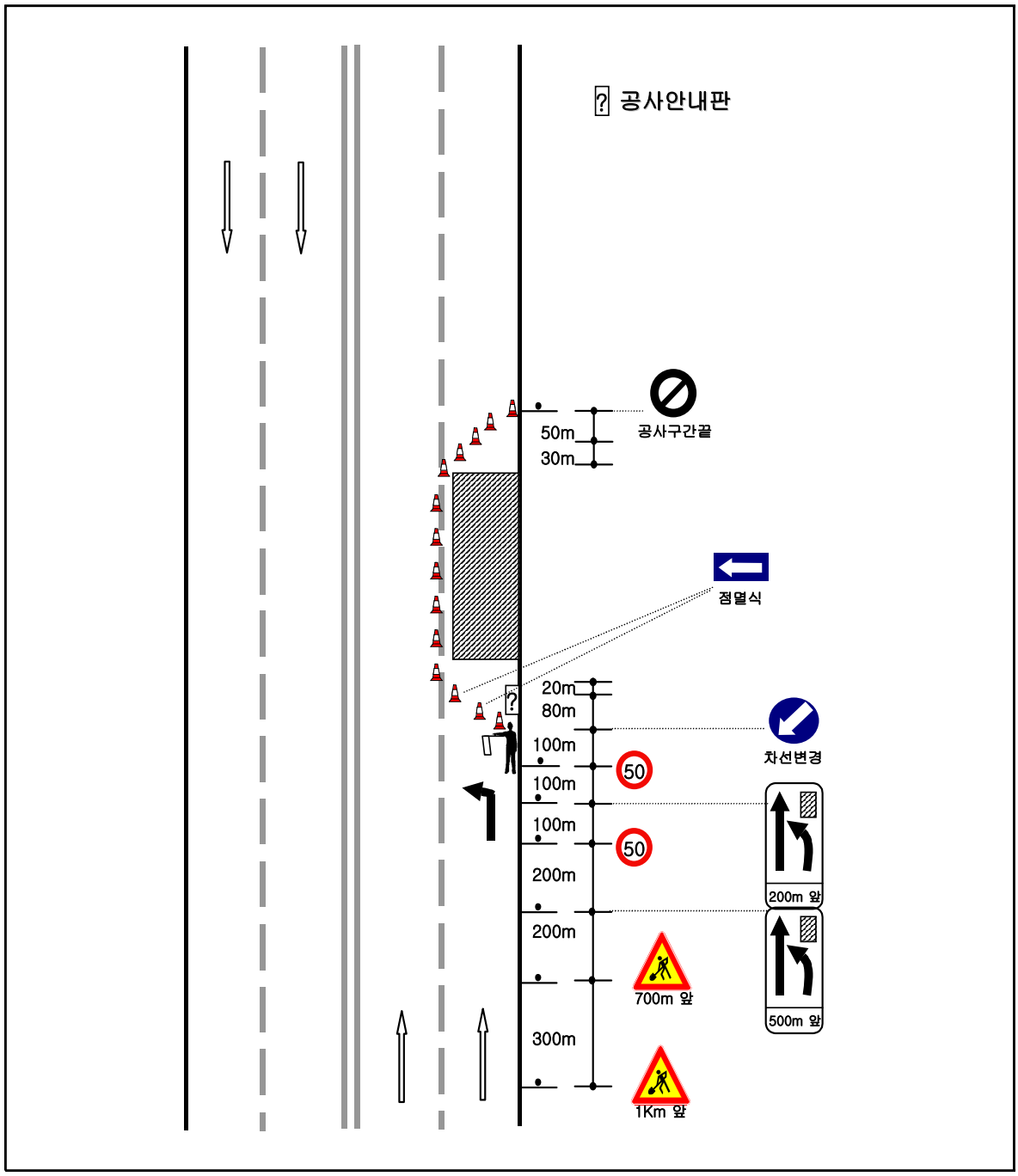
작업구간을 통과하여 공사 이전의 정상적인 주행 차로로 복귀하는데 소요되는 구간

4.5 공사구간 교통처리 예

2차로 도로 및 4차로 도로의 공사구간에 대한 교통 처리 계획의 예는 <그림 212.2> 및 <그림 212.3>와 같다.



<그림 212.2> 2차로 도로 공사구간의 교통 처리 계획 예



<그림 212.3> 4차로 도로 공사구간의 교통 처리 계획 예

212.5 도로 포장의 유지관리계획

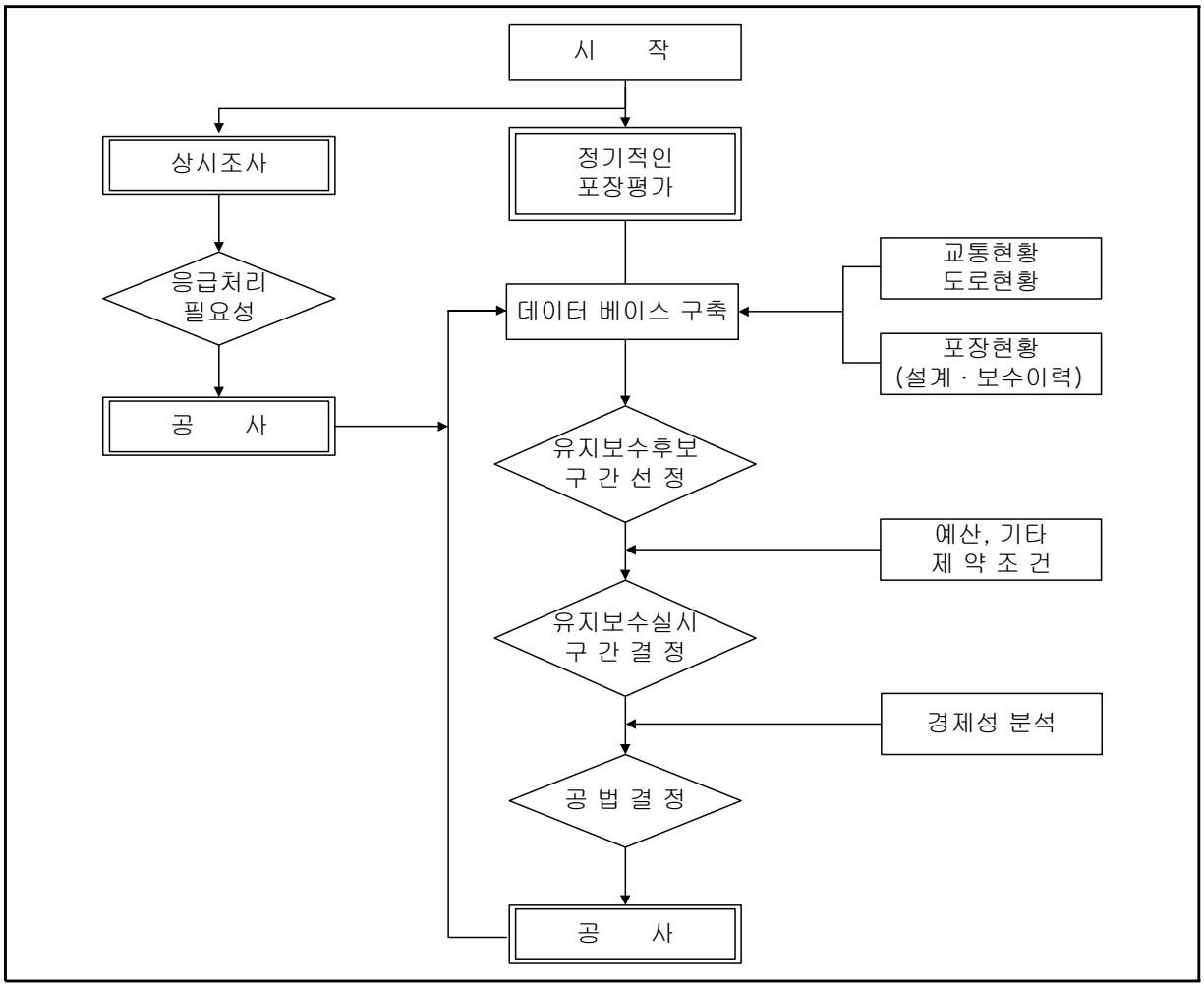
5.1 포장의 유지관리 개념

일반적으로 포장 구조물은 시간이 지남에 따라 파손의 진전이 촉진된다. 그러므로 적절한 시기에 보수를 해야 한다.

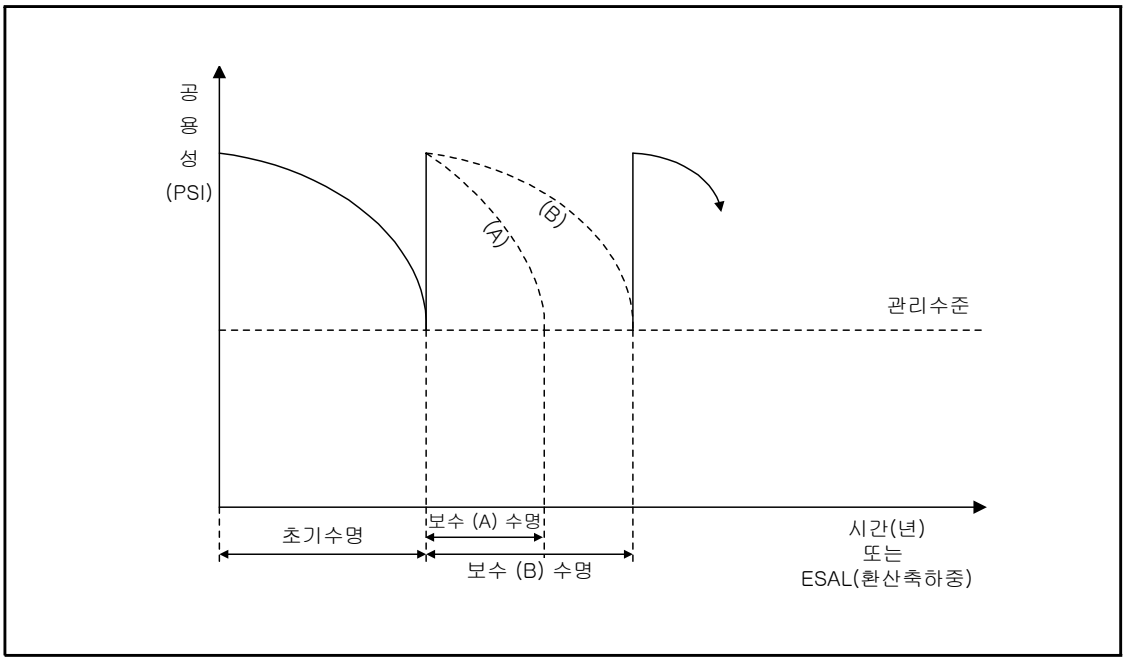
도로계획시 필요에 따라 장기적인 도로포장의 유지관리 계획을 수립한다.

일반적인 포장의 유지관리 순서는 <그림 212.4>와 같다. 포장의 유지관리를 체계적으로 실시하기 위해서는 포장유지관리 시스템(Pavement Management System ; PMS)을 도입하여 운영해야 하며, 포장유지관리 시스템에서 구축된 자료를 향후 설계에 반영될 수 있도록 해야 한다.

포장의 큰 특징 중의 하나가 <그림 212.5>와 같이 도로의 개통 시점에서부터 점차 공용성이 낮아져 어느 정도의 수준에 도달하면 보수를 해야 한다.



<그림 212.4> 포장의 유지관리 흐름도



<그림 212.5> 포장의 생애주기(Life Cycle) 개념

5.2 아스팔트 포장의 유지보수

아스팔트 포장은 위로부터 표층, 기층, 보조기층으로 구성된다. 표층의 기능은 안전하고 평탄한 노면을 제공하는 것이므로 미끄럼 저항성을 갖고 있어야 하며, 자동차 하중과 환경하중에 저항해야 하고 소성변형에도 저항할 수 있어야 한다. 따라서 표층은 아스팔트 혼합물의 배합 설계와 두께 설계 및 시공시 다짐 관리와 온도 관리가 중요하다. 기층과 보조 기층은 제한된 포장 두께로 하중을 분산시키기 위하여 상대적으로 두껍게 설계되어 피로에 저항하고 강성을 높여 줌으로써 포장의 하중지지 능력을 증가시켜 주기 위해 사용된다. 물론 입상 재료일 경우 배수가 원활해야 하고 동결 융해에 저항성이 있어야 한다.

아스팔트포장의 파손원인은 내적요인, 외적요인 그리고 시공요인으로 구분할 수 있다.

내적요인은 층별 재료의 부적절한 배합설계나 층두께의 부족 등이다. 외적요인은 과도한 중차량의 도로 사용, 고온다습 등이 원인이다. 시공요인으로는 조기교통개방, 다짐불량, 우기중 시공 등이 있다. 이들 원인으로 인해 아스팔트 포장의 파손은 전반적 또는 국부적으로 나타난다.

아스팔트 포장에 발생하는 파손 형태를 균열, 변형, 탈리, 미끄럼 저항 감소로 크게 분류하였으며, 이들 항목에 포함되는 각 파손의 유형 및 추천되는 보수 공법을 정리하면 <표212.4>와 같다. 보수공법에 대한 세부 내용은 "도로포장 유지보수 실무편람(건설교통부, 1999)"을 따른다.

<표 212.4> 아스팔트 포장의 파손 유형과 보수공법

구 분	파 손 유 형	보 수 공 법
균 열	(1) 거북등 균열	소파 보수덧씌우기 재포장
	(2) 단부 균열	소파 보수 길어깨 확장
	(3) 차로와 길어깨 줄눈 파손	균열 실링 보수 소파 보수
	(4) 시공 균열	균열 실링 보수
	(5) 반사 균열	균열 실링 보수 소파 보수 슬러리시일
	(6) 밀림 균열	소파 보수
	(7) 세로 방향 균열	균열 실링 보수
변 형	(1) 러 팅	절삭, 절삭 덧씌우기
	(2) 코루게이션과 쇼빙	절삭 덧씌우기 소파 보수
	(3) 함 몰	소파 보수
	(4) 공공 시설물 설치부 함몰	소파 보수
탈 리	(1) 포트홀	소파 보수
	(2) 라벨링	표면 처리
미끄럼 저항 감소	(1) 블리딩 또는 플러싱	가열 골재를 이용한 보수
	(2) 골재 마모	표면 처리

5.3 콘크리트 포장의 유지보수

콘크리트 포장의 설계는 표면에 가해지는 하중을 콘크리트 슬래브의 휨 저항으로 지지하고 보조 기층은 균일한 지지력을 제공하거나 펌핑을 방지한다는 개념에서 슬래브와 보조 기층의 두께를 결정하는 것을 말한다. 또한 콘크리트는 경화할 때 온도와 습도 변화에 따라 수축과 팽창을 반복하게 되며 이로 인해 균열이 발생하게 된다.

균열이 임의적으로 발생하면 보수가 어렵고 2차적인 파손이 발생하기 때문에 콘크리트가 경화되면서 균열이 발생하기 전에 슬래브 두께의 ¼ 또는 ⅓ 깊이로 홈을 형성하는 줄눈(joint)을 설치하여 균열을 유도하게 된다. 따라서 줄눈은 의도적으로 형성된 균열을 말한다. 즉, 콘크리트 포장의 설계에서 교통 하중은 콘크리트 슬래브의 두께로 대응하고 환경 하중은 줄눈으로 대응한다는 개념이다.

환경 하중에 대응하기 위해 줄눈을 설치하였지만 줄눈부는 구조적인 취약부가 된다. 따라서 줄눈이 환경 하중을 담당하는 본래의 기능을 유지하면서 하중 전달의 불연속성을 줄이기 위하여 다우웰바(dowel bar)를 슬래브의 중앙에 설치하게 된다. 다우웰바는 변위를 허용하는 횡방향 줄눈에 설치되어 하중전달 기능을 한다.

타이바(tie bar)는 종방향 줄눈에 설치하며 슬래브가 종방향 줄눈부에서 과도하게 벌어지는 것을 막아주는 작용을 한다.

줄눈은 수축 줄눈과 팽창 줄눈으로 크게 구분된다. 팽창 줄눈은 온도의 변화에 따라 슬래브가 수축하고 팽창할 경우 이를 수용하기 위해 슬래브 전 단면을 분리시켜 놓는 것을 말하며 다우웰바가 함께 설치된다. 이를 설치하지 않을 경우 슬래브의 팽창으로 인하여 슬래브가 파쇄되고 슬래브가 들어 올려지는 블로우업(blow-up)이 발생할 수도 있다.

줄눈은 구조적인 파손이 발생하기 쉽고, 줄눈이 제 기능을 다하지 못할 경우에도 줄눈부에 파손이 발생하게 된다. 따라서 콘크리트 포장의 유지보수를 실시할 경우에는 각 줄눈의 기능을 명확히 이해하고 줄눈을 관리해야 하며 보수시에도 줄눈이 제대로 기능을 하도록 보수하는 것이 중요하다.

콘크리트 포장의 파손 원인은 다우웰바의 부적절한 배치, 온도 변화에 의한 수축과 팽창 등 콘크리트 슬래브 자체의 결함과 우각부 균열, 펌핑, 단차 등 포장체의 구조적 결함으로 크게 구분할 수 있으며, 동결 융해, 알카리-골재 반응, 제설용 염화칼슘의 사용 등도 부과적인 원인이 될 수 있다.

본 편람에서는 콘크리트 포장에 발생하는 파손 형태를 줄눈의 파손과 균열, 변형, 탈리 그리고 미끄럼 저항 감소 등으로 크게 분류하였으며, 이들 항목에 포함되는 각 파손의 분류 및 보수 공법을 <표 212.5>에 정리하였다.

<표 212.5> 콘크리트 포장의 파손 유형과 보수 공법

구 분	파 손 유 형	보 수 공 법
줄눈과 균열	(1) 줄눈재 파손	균열 실링
	(2) 우각부 균열	균열 실링, 전 단면 보수
	(3) 대각선 균열	균열 실링, 전 단면 보수
	(4) 세로 균열	균열 실링, 전 단면 보수
	(5) 가로 균열	균열 실링, 전 단면 보수
변 형	(1) 단 차	그라인딩
	(2) 펌 핑	서브 실링
탈 리	(1) 블로우업	전 단면 보수
	(2) 스케일링	표면처리
	(3) 스폴링	부분 단면 보수
미끄럼 저항 감소	(1) 골재 마모	그루빙

212.6 민간 투자 유치 계획

민간자본에 의한 도로사업은 민간이 공공의 인가를 받아 도로를 민간자본으로 건설하고 운영하여 일정기간에 그 이용요금으로 투자자금을 회수한 후 공공으로 그 시설을 이관하는 사업 방식이다. 따라서 도로시설의 확충에 필요한 재원이 부족한 경우에는 민간자본의 투자유치가 필요하다.

6.1 민자유치 대상사업 선정

대상사업의 선정을 위한 기본 방향은 다음과 같다.

- 민자유치 대상 도로사업 규모의 적정화로 민간부담 경감
- 수익성 있는 사업을 적극 발굴하여 민간투자 유인

【선정기준】

- 교통량이 많은 도시주변에 신설되는 국도대체우회도로 중 중기계획(2002～2016)에 포함된 사업
- 기존 국도에 비하여 통행거리, 시간을 크게 단축시켜 교통수요가 많은 것으로 예상되는 국도
- 민간의 창의성과 효율성을 발휘할 수 있도록 교량, 터널구간을 중점 선정

6.2 민자유치 방식의 종류

① BOT(Build Operate and Transfer)

민간사업자가 재원을 조달하여 시설을 건설하고 운영한 후 소유권을 정부에 이양하는 방식이다.

② BT(Build and Transfer)

민간사업자가 재원을 조달하여 건설하고, 완공 후 정부 혹은 관련 기관에 소유권을 이양하는 방식으로서 이때 정부는 투자비와 적정수입을 지급한다. 이 방식은 전략적인 이유로 시설운영을 정부만이 하여야 한다.

③ BOO(Build Own and Operate)

민간사업자가 재원을 조달하여 시설을 건설한 후 소유권을 갖고 무한정 운영하는 방식으로서, 국가경제개발청의 투자조정위원회의 추천에 따라 대통령의 승인을 얻는 사업에 한정하여 사용하는 방식이다.

④ BLT(Build Lease and Transfer)

민간사업자가 재원조달을 하여 건설하고, 완공 후 정부 혹은 관련기관에 소유권을 이양하는 방식이다. 다만 민간사업자는 임대계약으로 시설운영권을 갖게 된다.

⑤ BTO(Build Transfer and Operate)

민간사업자가 재원을 조달하여 턴키방식으로 건설하는 방식이다. 이에 따라 사업비 추가 발생, 사업지연, 기타 관련된 위험을 민간사업자가 부담하게 된다. 시설이 완공된 후에는 정부 혹은 관련 기관에 소유권이 이양되고 민간사업자는 운영권을 갖게 된다.

⑥ CAO(Contact Add and Operate)

정부소유의 기존 시설에 민간사업자가 시설을 추가하여 건설하고 일정기간 운영권을 갖는 방식이다.

⑦ DOT(Develop Operate and Transfer)

민간사업자가 연관사업을 개발하여 운영한 후 소유권을 정부에 이전하는 방식이다.

⑧ ROT(Rehabilitate Operate and Transfer)

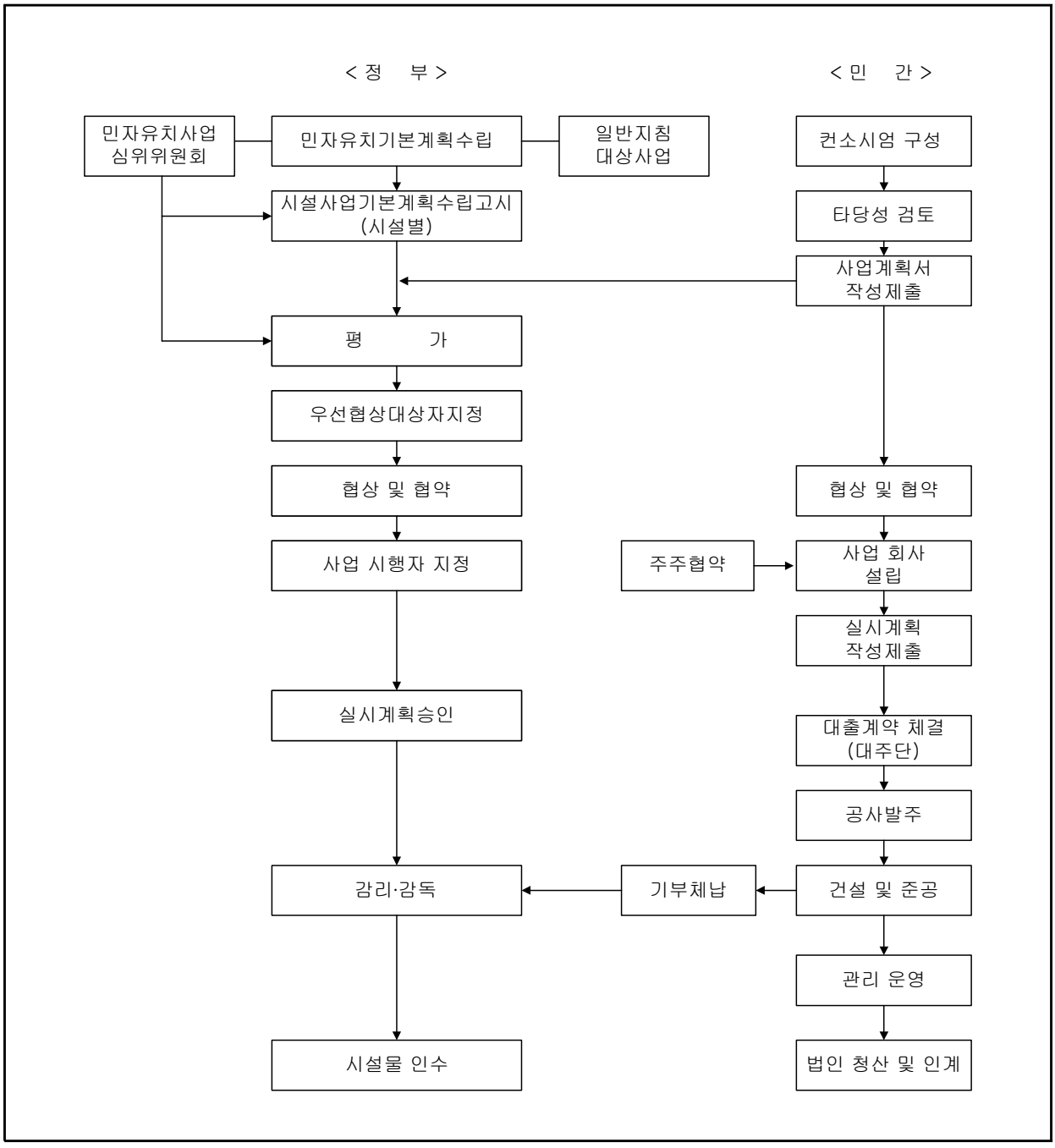
민간사업자가 정부 소유의 기존시설을 정비하고 일정기간 운영권을 갖는 방식이다.

⑨ ROO(Rehabilitate Own and Operate)

민간사업자가 정부소유의 기존 시설을 정비한 후 무한정 운영권을 갖는 방식이다.

6.3 민자유치 사업의 추진 절차

민자유치 사업의 추진 절차는 <그림 212.6>과 같다.



<그림 212.6> 민자사업의 추진 절차

212.7 폐도 활용 계획

선형 개량으로 인해 폐도가 되는 기존 도로의 활용은 도로 이용자 및 연도 주민의 편익을 증대시켜 효용을 극대화하는 방안이다.

7.1 폐도의 형태

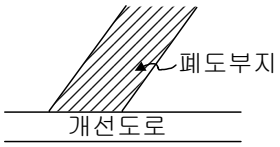
기존 도로의 선형개량 등에 의해 발생하는 폐도의 형태는 연접형, 활형, T형의 세 가지로 구분할 수 있으며 <표 212.6>과 같다.

연접형은 도로의 계획 및 설계시 흔히 발생하는 형태는 아니지만, 발생된 후에는 향후 도로의 확장이나 기타 용도로 가장 활용하기 용이한 형태이다.

활형은 가장 많이 발생하는 형태로서 그 연장이나 신·구도로 사이 잔유지를 포함한 면적이 다양하며 그 활용 또는 처리에 상당히 숙련된 기술과 경험이 필요하다. 따라서 방치되기 쉬운 특징을 가지고 있다.

T형은 활형의 연장이 길고 신설도로와의 사이(이하 잔류지라 칭함)가 대개 시가지로 형성된 경우인데, 대부분 시가지 진입도로 등으로 존속한다.

<표 212.6> 폐도의 형태

구 분	형 태	발 생 원 인	특 징
연접형		• 도로계획시 향후 확장을 예상하여 선형을 계획 • 도로선형 계획의 미숙	• 도로확장시 이용 • 도로부대시설, 편익시설 등에 활용
활형		• 평면선형 개량	• 연장이나 면적이 다양하여 활용에 고도의 기술과 경험이 요구됨 • 기술, 경험, 예산 부족으로 방치되기 쉬움
		• 평면 또는 종단선형 개량	
T형		• 평면 또는 종단선형 개량 • 시가지 우회도로 개설	• 시가지 진입도로 존속 • 진입도로 위치가 불량한 경우 이설 후 폐기 • 지역 여유 공간을 활용

7.2 폐도의 활용방안

도로개선 사업의 선형개량 과정에서 발생되는 폐도에 대해서 설계내용에 폐도의 활용방안을 포함시켜야 한다.

7.2.1 폐도를 하급도로로 전용(轉用)

기존도로가 시가지를 통과하여 우회도로를 신설할 경우, 선형은 개량되었으나 기존도로가 마을의 진입로로 계속 존립해야 하는 경우 등에 있어서 폐도화된 기존도로를 신설 도로와 시가지를 연결하는 도로로 기능을 낮추어 활용한다.

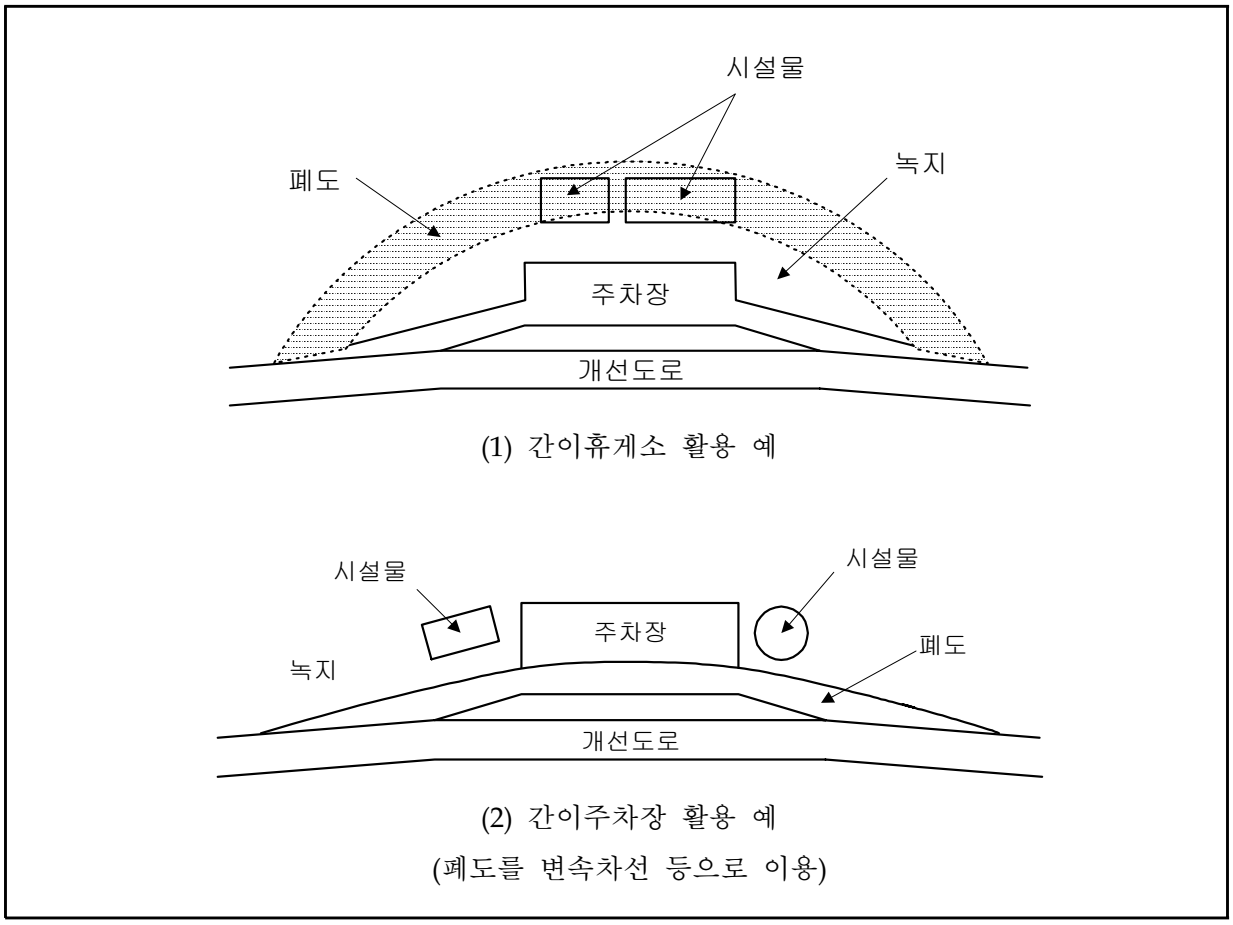
7.2.2 폐도부지의 활용

폐도의 부지를 활용하는 방안으로는 도로 이용자 편익을 위한 휴식공간, 관광안내시설공간, 연도주민을 위한 생활공간, 도로안전을 위한 관리시설공간, 기타로 구분할 수 있다.

(1) 간이주차장, 간이휴게소

간이주차장은 간이매점, 화장실, 주차공간, 녹지 등으로 구성되며, 차량의 점검시설이 겸비되면 더욱 좋다.

간이휴게소는 상기 시설 외에 식사, 급유, 차량정비 등의 편의시설을 갖추는 것이 바람직하다. 활용 예는 <그림 212.7>과 같다.



(1) 간이휴게소 활용 예

(2) 간이주차장 활용 예
(폐도를 변속차선 등으로 이용)

<그림 212.7> 간이주차장 및 간이휴게소 활용 예

(2) 산책로

지방지역의 산지부에 폐도가 발생하는 경우 경관이 수려하고 연장이 적절할 때에는 폐도를 도로 이용자 및 주민들의 산책로로 활용하는 방안을 검토한다.

개선도로와의 접속부를 원활히 처리하고 이용에 대한 안내 간판을 설치한다. 주차는 폐도측의 일정구간을 적절히 이용한다.

폐도의 산책로 활용시에는 산책로의 교통처리를 가능한 한 일방통행으로 하는 것이 바람직하다.

(3) 도로 소공원

폐도부지의 발생형태를 그대로 활용하는 방안으로서 교통운용상의 문제만 없다면 적극 활용한다. 폐도를 그대로 주차공간으로 이용하고 조경시설만 설치하는 방안이 투자도 적어 가장 많이 채택되고 있다.

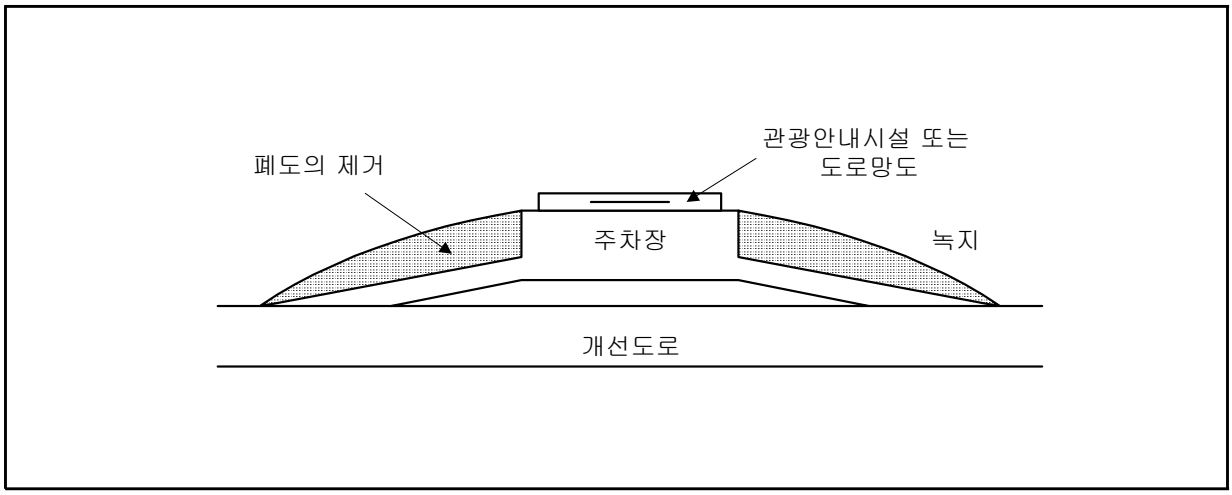
(4) 관광안내시설

유명 관광지 부근이나 도로분기점 전방에 폐도가 발생한 경우에는 그 부지에 관광지를 소개하거나 도로망을 안내하는 시설물(안내도, 안내실)을 설치하여 도로 이용자의 편의를 도모한다. 관광안내시설 활용 예는 <그림212.8>과 같다.

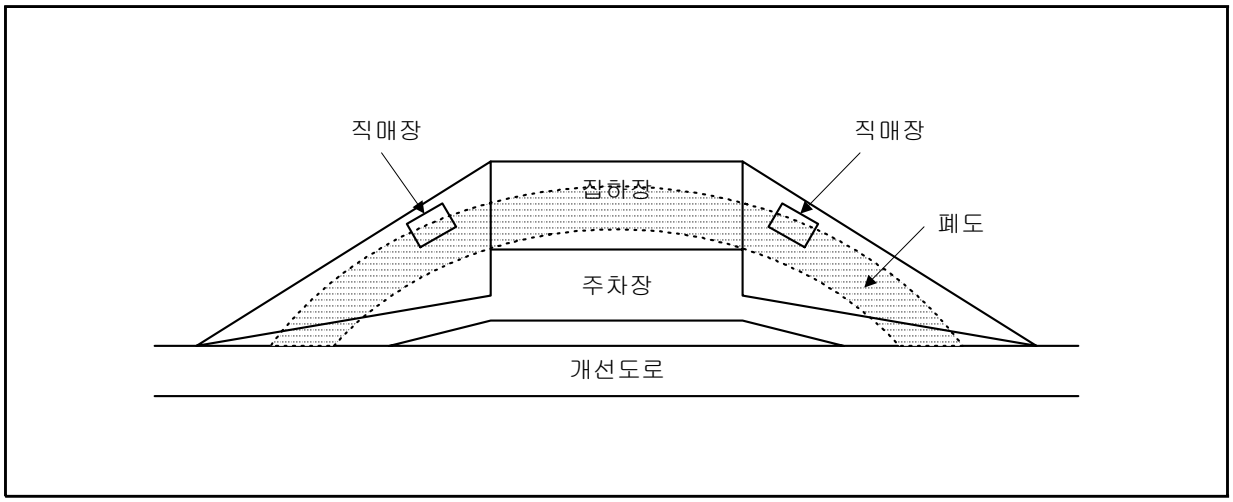
(5) 농산물 집하장 및 직매장

농촌에서 농산물을 출하할 때 도로이용에 대한 편의를 도모하기 위해 농산물 집하장을 설치한다. 직매장은 도로이용자에게 산지가로 판매하는 시설공간을 의미한다. 집하장은 고속도로의 경우에 효용 가치가 크고, 직매장은 어느 도로에서나 연도 주민의 소득증대 측면에서 설치 효과가 크다.

지역적 여건을 검토 후 설치에 대한 타당성이 인정되면 폐도 부지의 정지예산이 다소 소요되더라도 과감한 투자가 필요하다. 농산물 집하장 및 직매장 활용 예는 <그림 212.9>와 같다.



<그림 212.8> 관광안내시설 활용 예(폐도부지 활용)

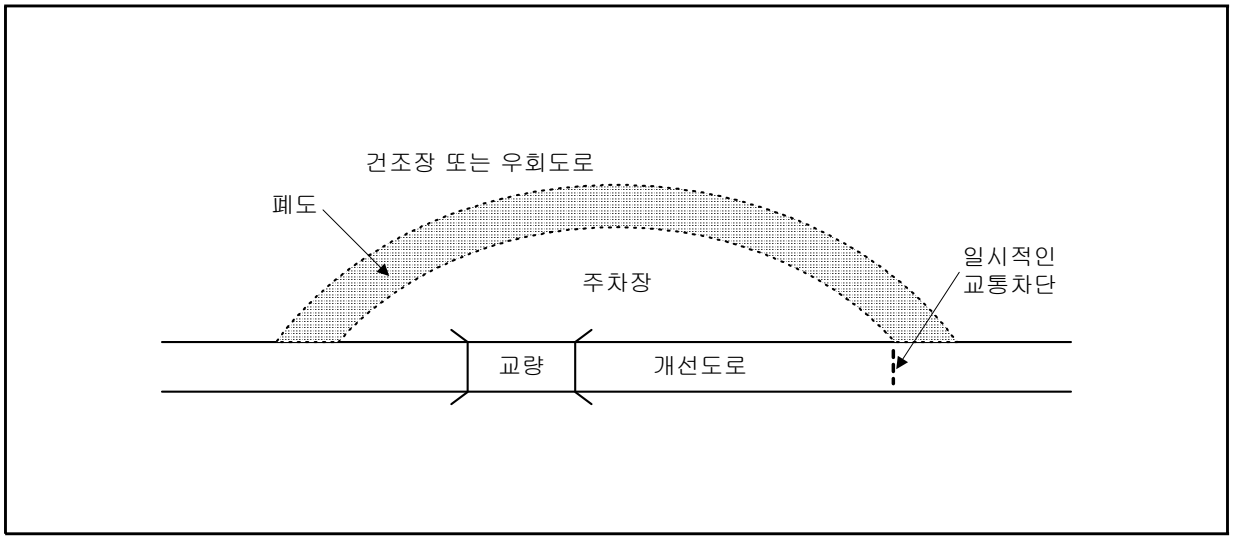


<그림 212.9> 농산물 집하장 및 직매장 활용 예

(6) 농촌 공동 건조장

폐도의 기존 포장면을 이용하여 주변 농가에서 생산하는 농산물을 건조시키거나 야적 또는 가공하는 공간으로 활용한다. 개선도로에 중요 교량 등 구조물이 설치될 경우에는 비상시 우회도로로 대체 사용하여 개선도로의 기능을 보완한다.

주로 지방도 이하의 저급도로에서 적용되며 개수도로와의 접속부에는 일시적인 차단시설을 설치하여 안전을 도모한다. 활용 예는 <그림 212.10>과 같다.



<그림 212.10> 농촌 공동 건조장 활용 예

(7) 버스정차대

도로 이용자 뿐만 아니라 연도의 주민에게도 편의를 제공하기 위해 위치와 규모를 고려하여 버스정차대로 활용하는 방안을 검토한다.

(8) 적사장

적설지역에서 차량의 안전주행(미끄럼 방지)을 위하여 적설시 사용할 모래 등을 쌓아 놓을 장소로서 필요한 구간에는 여러 곳으로 분산시키는 것이 이용에 편리하다. 따라서 폐도부지가 적설지역에 위치할 경우 적사장으로서의 활용여부를 검토한다.

(9) 기타

폐도부지를 산악지대의 하향급경사가 연속된 곳에 간이긴급제동시설로도 활용할 수 있다. 또한 상향경사에서는 설치규정이나 규격에는 벗어나더라도 간이오르막차로로서의 활용여부를 검토할 필요가 있다.

7.2.3 폐도의 처리

폐도를 하급도로로 전용하는 경우나 폐도부지를 활용하는데 대한 분석결과 타당성이 없다고 판정되면 도로설계시에 폐도를 철거하여 성토재로 유용하도록 공사에 반영하고 부지는 다음과 같이 처리한다.

(1) 묘포장 또는 잔디식재장 활용

도로관리기관에서 도로유지관리를 위한 묘포장 또는 잔디식재장으로 활용한다.

(2) 농토 등으로 전환

폐도 부지를 농토로 전환하여 그 소유가 사유지일 경우에는 소유주에게 반환하고, 국유지일 경우에는 개인에게 불하, 임대, 또는 개수도로 편입용지 소유주에게 대토한다.

참고문헌

【201 총 론】

1. 건설부, 도로용량편람, 1992
2. 건설교통부, 국도의 노선계획・설계지침, 1999
3. 건설교통부, 교통영향평가지침, 1999
4. 경제기획원, 투자심사편람, 1982
5. 환경부, 환경영향평가 관계 규정집, 1997
6. 대한토목학회, 토목용어사전, 1998

【202 도로의 기능 및 구분】

1. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙, 1999
2. 건설교통부, 국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구, 1999
3. 강재수, 도로계획과 설계, 엔지니어즈, 1998

【203 도로설계 관련 계획】

1. 한국도로공사, 타당성조사 및 기본설계 실무편람, 1998

【204 도로계획과 교통수요예측】

1. 건설부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙, 1999
2. 한국도로공사, 도로설계요령-제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
3. 원제무, 도시교통론, 박영사, 1998
4. 도철웅, 교통공학 원론(하), 청문각, 1998
5. 임강원, 도시 교통 계획(이론과 모형), 서울대학교 출판부, 1986
6. 윤대식, 윤성순, 도시모형론, 홍문사, 1998
7. C.S. Papacostas, P.D. Prevedouros, Transportation Engineering and Planning, Prentice-Hall, 1993
8. ITE, Transportation Planning Handbook, Prentice-Hall, 1992
9. INRO, EMME/2 Release9, 1999

【205 도로용량과 서비스 수준】

1. 건설부, 도로용량편람, 1992
2. 도철웅, 교통공학 원론(상), 청문각, 1995
3. 원제무・최재성, 교통공학, 박영사, 1998
4. TRB, Special Report 209, Highway Capacity Manual, 1994
5. C.S.Papacostas, P.D. Prevedouros, Transportation Engineering and Planning, Prentice Hall, 1993

【206 경제성 분석】

1. 경제기획원, 투자심사편람(수송부문), 1982
2. 한국도로공사, 도로설계요령-제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
3. 서울시정개발연구원, 도로투자 우선순위 결정 기법, 1993
4. 강재수, 도로 계획과 설계, 엔지니어즈, 1998
5. 원제무, 도시계량분석, 박영사, 1998
6. 도철웅, 교통공학원론(하), 청문각, 1998
7. 김동건, 비용・편익 분석, 1997
8. 日本道路投資の評價に關する指針檢討委員

會, 道路投刺の評價に關する指針檢討, 1998
9. AUSTROADS, Benefit Cost Analysis Manual, 1996
10. Robley Winfrey, Economic Analysis for Highways, International Textbook Company, 1969

【207 환경 친화적 도로건설】

1. 건설교통부, 환경친화적 도로 건설 요령, 1998
2. 주수영, 신보균 공편, 환경영향평가 실무, 동화기술, 1998
3. 한상옥, 환경영향평가제도, 동화기술, 1998
4. 道路環境研究所(日), 自然との共生そめざす道づくり『エコロド・ハンドづク』, 1995

【208 타당성 조사】

1. 건설교통부, 국도의 노선계획・설계지침, 1999
2. 건설교통부, 건설 공사의 설계도서 작성기준, 1998
3. 건설교통부, 환경 친화적 도로 건설 요령, 1998
4. 한국도로공사, 도로설계요령-제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
5. 원제무, 도로공학의 이해, 보성각, 1998
6. 강재수, 도로계획과 설계, 엔지니어즈, 1998
7. 권준오, 노선공학, 형설출판사, 1997
8. 河島恒 등, 高速道路の計劃と設計,1981
9. ITE, Manual of Transportation Engineering Studies, Prentice Hall, 1994
10. J.G. Shoon, Geometric Design Projects for Highways-An Introduction, 1993

【209 기본설계】

1. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙, 1999
2. 건설교통부, 도로부대시설(배수시설・안전시설 편), 1998
3. 건설교통부, 건설공사의 설계도서 작성기준, 1998
4. 내무부, 자전거 이용시설 정비 기준, 1997
5. 한국도로공사, 도로설계요령-제2권 토공 및 배수, 1992
6. 한국도로공사, 도로설계요령-제3권 교량, 1992
7. 한국도로공사, 도로설계요령-제4권 터널, 1992
8. 한국도로교통협회, 아스팔트포장 설계・시공요령, 1997
9. 원제무, 도로공학의 이해, 보성각, 1998
10. 강재수, 도로계획과 설계, 엔지니어즈, 1998

【210 도로건설에 따른 교통영향평가】

1. 교통부, 교통영향평가편람, 1993
2. 건설교통부, 교통영향평가지침, 1997
3. 경찰청, 교통안전시설실무편람, 1996
4. 도철웅, 교통공학 원론(상・하), 청문각, 1998
5. 영국 교통부, Design Manual for Roads and Bridges : Vol. 12a, Traffic Appraisal of Road Schemes, 1996

【211 도로건설에 따른 환경영향평가】

1. 환경부, 환경영향평가법 관계 규정집, 1997
2. 건설교통부, 환경친화적 도로 건설 요령, 1998
3. 주수영, 신보균 공편, 환경영향평가 실무,

동화기술, 1998
4. 한상옥, 환경영향평가제도, 동화기술, 1998
5. 성현찬, 한상욱 공역, 미국의 환경영향평가, 동화기술, 1995
6. 道路環境研究所(日), 自然との共生そめざす道づくり『エコロド・ハンドづク』, 1995

【212 도로계획시 기타 고려사항】

1. 건설교통부, 건설공사의 설계도서 작성기준, 1998
2. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-중앙분리대 편, 1998
3. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-방호울타리 편, 1997
4. 건설교통부, 도로표지관련규정집, 1997
5. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-시선유도시설 편, 1995
6. 건설교통부, 도로포장 유지보수 실무편람, 1999
7. 건설교통부, 도로공사장 교통관리지침, 1996
8. 건설교통부, 도로백서, 1997
9. 건설교통부 도로국, 업무현황, 1999
10. 한국도로공사, 도로설계요령-제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
11. 한규정・정화용, 폐도활용・처리지침 연구, 도로 및 공항, 1999

색 인

(ㄱ)

가능노선대 선정 208-15
개선안의 시행계획 210-17
경제성분석 201-1, 206-1, 208-8
계획목표년도 209-2
고속도로 기본구간 205-4
고속도로 차로수 산정 205-18
곰페르츠모형 204-10
공사구간의 계획 212-5
공사중 교통처리방안 210-17
과거추세연장법 204-12
관계기관 협의 209-10
교통 관련 계획 203-3
교통권역 설정 204-3
교통량 209-3
교통량 조사 204-3
교통분석 210-5
교통분석 및 평가 208-7
교통수요예측 201-1, 210-6
교통수요예측기법 204-11
교통영향평가 201-1, 210-1
교통영향평가의 내용 210-1
교통조사 204-3
교통현황조사 210-4
국도확충계획 212-3
균일성장률법 204-23
기본설계 209-1
기상 및 해상조사 208-4
기종점조사 204-3
기회모형 204-25
길어깨 209-22

(ㄴ)

내부수익률 방법 206-3
노선계획 208-9, 209-8, 209-11
노선선정시 기술적 요소 209-14
노선위치 결정방법과 절차 208-14
노측인터뷰(면접) 조사 204-4

(ㄷ)

다중경로 노선선택 모형 204-31
다차로 도로 205-8
다차로 도로의 차로수 산정 205-22
단계건설 계획 212-1
대체 서식지 정비 207-11
도로 구조물 계획 209-41
도로 횡단면 계획 209-18
도로계획 201-1
도로용량분석 201-1, 205-1
도로운영분석 205-4
도로의 구분 202-2
도로의 기능 202-1
도로포장의 유지관리 계획 212-13
동태적 통행배분 모형 204-31

(ㄹ)

로지스틱모형 204-10
로짓모형(Logit model) 204-26

(ㅁ)

MINUTP 204-33
민간투자 유치계획 212-18
민감도분석 206-10

(ㅂ)

반복배분법 204-28
방문조사 204-4
방어식재 207-12
배수계획 209-38
보도 209-30
분할배분법 204-29
비용과 편익 206-6

(ㅅ)

4단계 교통수요 예측 204-18
사면경사 완화와 고목식재 207-12
사업대상노선 개선방안 210-15
사회·경제지표의 예측 204-8
사회·경제지표의 조사 204-7
상위계획 203-1
생애주기비용 206-23
선박운항조사 208-4
설계구간 209-3
설계기준자동차 209-2
설계서비스수준 205-1, 209-5
설계속도 209-3
설계업무 209-51
성장률법 204-22
수단선택 204-26
수리·수문조사 208-4, 209-6
수요탄력성법 204-12
순현재가치 방법 206-2
SYSTEM Ⅱ 204-33
식수대 209-26

(ㅇ)

아스팔트 포장 209-45
엔트로피모형 204-24
EMME/2 204-32, 204-34
용량 205-1
우편 반송 조사 204-4
원단위법 204-18
이차로 도로 205-14
이항노선 선택모형 204-31
일반국도의 구분 202-7

(ㅈ)

자전거도로 209-28
재료원 조사 209-33
재무분석 206-17, 208-8
전량배분법 204-28
전수화 과정 204-5
정차대 209-27
주민의견 수렴 209-10
주변지역 개선방안 210-12
중력모형 204-24
중앙분리대 209-21
증감률법 204-19
지수성장모형 204-9

지역 관련 계획 203-1
지장물 및 구조물조사 209-7
지질 및 지반조사 209-7
직선모형 204-8
직접수요모형 204-12

(ㅊ)

차도 및 차로 209-20
차량번호 조사 204-4
초기년도 수익률 방법 206-3
최적노선대 선정 208-16
최적투자시기 결정 206-21
추상수단모형 204-12
출입시설계획 209-49
측도 209-26
측량(예비측량) 209-6

(ㅋ)

카테고리분석법 204-21
콘크리트 포장 209-45
QRS(Quick Response System) Ⅱ 204-34

(ㅌ)

타당성조사 208-1
토공계획 209-35
토질 및 재료원 조사 209-31
토질조사 209-31
통행발생 204-18
통행배분 204-28
통행분포 204-22
통행수요모형 204-13
투자우선순위 206-20
THE(The Highway Emulator) 204-34
TRANPLAN 204-32, 204-36
TransCAD 204-33
TRIPS 204-33
TMODEL2 204-34

(ㅍ)

편익/비용 비율 방법 206-2
평균성장률법 204-22
평형배분법 204-29
폐도활용계획 212-20
포장계획 209-45
포장형식의 선정 기준 209-48
표토의 복원 활용 207-12
프라타(Fratar)법 204-23
프로빗모형 204-26

(ㅎ)

할인율 206-5
현지조사 및 답사 208-3, 209-6
현황조사 208-3
확률적 이용자 평형배분법 204-31
확률적 통행배분 모형 204-30
환경도로 건설기법 207-5
환경시설대 209-25
환경영향예측 및 평가 211-13
환경영향의 저감방안 211-27
환경영향조사 208-4, 209-6
211-4
환경영향평가 201-1, 211-1
환경영향평가의 내용 211-2
환경영향평가 항목의 설정 211-6

회귀분석법 204-20
효과척도 205-3

제 3 편 기 하 구 조

목 차

301 총론

301.1 개요 ····· **301-1**
301.2 용어의 정의 ····· **301-2**
301.3 기하구조 설계의 과정 ····· **301-6**
3.1 기하구조 설계 절차 및 구성 ····· 301-6
3.2 설계의 기본 개념 ····· 301-9

302 설계 기본 사항

302.1 개요 ····· **302-1**
302.2 도로의 구분 ····· **302-1**
302.3 목표 연도 ····· **302-4**
302.4 설계속도 ····· **302-5**
302.5 설계구간 ····· **302-5**
5.1 설계구간의 길이 ····· 302-6
5.2 설계구간 변경점의 처리 ····· 302-6
302.6 설계기준 자동차 ····· **302-6**
6.1 설계기준 자동차 종류 및 치수 ····· 302-6
6.2 설계기준 자동차의 최소 회전 반경 ····· 302-8
302.7 교통량과 도로용량 ····· **302-12**
7.1 설계시간 교통량 ····· 302-13
7.2 도로용량 ····· 302-15
7.3 설계서비스 교통량 ····· 302-15
302.8 도로 이용자의 특성 ····· **302-16**
8.1 운전자의 일반적 특성 ····· 302-16
8.2 보행자의 일반적 특성 ····· 302-18
302.9 시설한계 ····· **302-19**
9.1 차도부의 시설한계 ····· 302-19
9.2 보도, 자전거 및 자전거·보행자도로의 시설한계 ····· 302-19
302.10 접근관리 ····· **302-21**

303 횡단 구성

303.1 개요 ····· 303-1
1.1 일반적 고려사항 ····· 303-1
1.2 횡단 구성 계획 ····· 303-1
1.3 횡단 구성 요소 ····· 303-2
303.2 차도 및 차로 ····· 303-4
2.1 차도의 구성 ····· 303-4
2.2 차로 폭 ····· 303-4
2.3 차도 구성시 고려사항 ····· 303-4
2.4 차로 수의 조화 ····· 303-5
303.3 평면곡선부의 확폭 ····· 303-6
3.1 확폭량의 산정 ····· 303-6
3.2 적용시 주의사항 ····· 303-6
3.3 확폭의 설치 ····· 303-7
303.4 중앙분리대 ····· 303-8
4.1 중앙분리대의 구성 ····· 303-8
4.2 중앙분리대의 폭 ····· 303-8
4.3 중앙분리대 형식과 구조 ····· 303-9
4.4 중앙분리대의 설치 ····· 303-12
4.5 중앙분리대 개구부 ····· 303-13
303.5 길어깨 ····· 303-15
5.1 길어깨의 구성 및 분류 ····· 303-15
5.2 길어깨의 폭 ····· 303-15
5.3 길어깨의 설치 ····· 303-17
5.4 적설 지역에 있는 도로의 중앙 분리대 및 길어깨 폭 ····· 303-20
303.6 주·정차대 ····· 303-21
6.1 주·정차대의 설치 ····· 303-21
6.2 주·정차대 폭과 구조 ····· 303-21
6.3 주·정차대 운용 ····· 303-22
6.4 비상 주차대 ····· 303-23

303.7 보도 ····· 303-25
7.1 개요 ····· 303-25
7.2 보도의 폭 ····· 303-25
7.3 보도의 횡단 구성 ····· 303-26
7.4 횡단보도 및 육교 ····· 303-27
7.5 연석 ····· 303-27
303.8 자전거도로 ····· 303-29
8.1 개요 ····· 303-29
8.2 자전거도로 등의 설치 기준 ····· 303-29
303.9 환경시설대 ····· 303-32
9.1 환경시설대의 설치 ····· 303-32
9.2 식수대의 설치 ····· 303-34
303.10 측도 ····· 303-35
10.1 개요 ····· 303-35
10.2 측도의 설치 ····· 303-35
10.3 측도의 구조 ····· 303-36
303.11 도로의 표준 횡단면도 ····· 303-37

304 도로 선형

304.1 개요 ····· 304-1
304.2 시거 ····· 304-1
2.1 일반적 고려사항 ····· 304-1
2.2 정지 시거 ····· 304-1
2.3 앞지르기 시거 ····· 304-3
2.4 교차로 시거 ····· 304-4
304.3 평면선형 ····· 304-4
3.1 직선 ····· 304-4
3.2 원곡선 ····· 304-6
3.3 완화곡선 및 완화구간 ····· 304-12
3.4 횡단경사 및 편경사 ····· 304-16
3.5 설계 고려사항 ····· 304-40
304.4 종단선형 ····· 304-44
4.1 종단경사 ····· 304-44
4.2 종단곡선 ····· 304-44
4.3 설계 고려사항 ····· 304-54

304.5 부가 차로의 설치 ····· 304-55
5.1 오르막 차로 ····· 304-55
5.2 양보 차로 ····· 304-63
5.3 변속 차로 ····· 304-67
5.4 회전 차로 ····· 304-67
304.6 선형설계의 운용 ····· 304-68
6.1 선형설계의 기본 방침 ····· 304-68
6.2 평면선형의 설계 방법 ····· 304-69
6.3 종단선형의 설계 방법 ····· 304-72
6.4 선형결정의 단계별 작업 예 ····· 304-72
6.5 평면선형과 종단선형의 설계와 조합 ····· 304-74
6.6 선형 설계시 미적, 환경친화적 고려사항(도로경관 설계) ····· 304-79
6.7 산지부 도로의 설계 ····· 304-82

305 도로 기능별 설계 특기사항

305.1 고속도로 ····· 305-1
1.1 개요 ····· 305-1
1.2 일반적 설계 고려사항 ····· 305-1
1.3 저상(底床)형 고속도로 ····· 305-2
1.4 고가형 고속도로 ····· 305-5
305.2 간선도로 ····· 305-8
2.1 일반적 설계 고려사항 ····· 305-8
2.2 비분리 간선도로 ····· 305-9
2.3 분리 간선도로 ····· 305-9
2.4 교차로 ····· 305-11
2.5 접근관리 ····· 305-11
2.6 자전거 도로 및 보행자 ····· 305-11
305.3 집산도로 ····· 305-11
305.4 국지도로 ····· 305-12

306 평면교차

306.1 개요 ····· 306-1
306.2 일반적 고려사항 ····· 306-1
2.1 기본적 설계 고려사항 ····· 306-2
2.2 평면교차 계획시 고려요소 ····· 306-3
2.3 평면교차의 형태 ····· 306-4
2.4 평면교차의 상충 ····· 306-5
2.5 교차 갈래수 ····· 306-7
306.3 평면교차 계획 ····· 306-7
3.1 교통관제 ····· 306-7
3.2 설치 위치 ····· 306-9
3.3 평면교차로 간의 간격 ····· 306-11
3.4 단순 접속도로의 설치 ····· 306-13
3.5 차로 계획 ····· 306-16
306.4 평면교차 설계 ····· 306-18
4.1 설계절차 ····· 306-18
4.2 설계의 기본 원칙 ····· 306-20
4.3 평면교차의 형상 ····· 306-20
4.4 평면교차의 시거 ····· 306-25
4.5 평면교차로의 선형 ····· 306-30
4.6 안전시설 및 운영 ····· 306-30
306.5 세부설계기법 ····· 306-39
5.1 도류화 ····· 306-39
5.2 좌회전 차로 ····· 306-49
5.3 도류로 및 변속차로 ····· 306-57
5.4 교차로 가각부의 처리 ····· 306-60
5.5 도류 시설물의 설치 ····· 306-61
5.6 다른 도로와의 연결 ····· 306-67
306.6 교차로의 개선 ····· 306-73
6.1 세 갈래 교차로의 개선 ····· 306-73
6.2 여러 갈래 교차로의 개선 ····· 306-76

307 입체교차

307.1 개요 ····· 307-1
1.1 설계 절차 ····· 307-1
1.2 설계의 기본 원칙 ····· 307-3
307.2 일반적 설계 고려사항 ····· 307-5
2.1 교통량과 입체교차의 관계 ····· 307-5
307.3 단순 입체교차 ····· 307-6
3.1 단순 입체교차의 형식 ····· 307-6
3.2 단순 입체교차의 본선 ····· 307-6
3.3 단순 입체교차의 측도 ····· 307-8
3.4 입체화 계획 ····· 307-8
3.5 입체교차 유출입부 ····· 307-8
307.4 인터체인지의 계획 ····· 307-10
4.1 인터체인지의 배치 ····· 307-10
4.2 인터체인지의 위치 선정 ····· 307-12
307.5 인터체인지의 형식 ····· 307-15
5.1 인터체인지의 구성 ····· 307-15
5.2 인터체인지의 형식과 적용 ····· 307-21
307.6 인터체인지의 설계 ····· 307-36
6.1 인터체인지의 기하구조 설계 ····· 307-36
6.2 연결로 접속부 설계 ····· 307-52
6.3 변속차로 설계 ····· 307-56
307.7 분기점의 설계 ····· 307-76
7.1 개요 ····· 307-76
7.2 본선의 성격과 교통량 ····· 307-76
7.3 다른 시설과의 거리 ····· 307-76
7.4 교통 특성 ····· 307-77
7.5 연결로의 기하구조 ····· 307-77

308 기타

308.1 개요 ····· 308-1
308.2 버스정류장 ····· 308-1
2.1 버스정류장의 설계 기준 ····· 308-1
2.2 버스정류장의 설치 위치 ····· 308-2
2.3 자동차 전용도로의 버스정류장 구조 ····· 308-2
2.4 일반도로의 버스정류장 구조 ····· 308-4
2.5 간이 버스정류장 ····· 308-5
308.3 영업소 ····· 308-6
3.1 영업소의 종류 ····· 308-6
3.2 영업소의 차로 수 산정 및 왕복 공용 차로 수 ····· 308-6
3.3 영업소 광장부 설치 기준 ····· 308-6
3.4 영업소 광장의 포장 ····· 308-6
3.5 영업소 부지 설계 기준 ····· 308-8
308.4 철도와의 교차 ····· 308-9
4.1 교차의 기준 ····· 308-9
4.2 교차부 구조상 유의사항 ····· 308-9
4.3 교차각 ····· 308-12
4.4 접속구간의 평면선형 및 종단선형 ····· 308-12
4.5 시거의 확보 ····· 308-12
4.6 건널목의 폭 ····· 308-13
308.5 기타 도로와의 교차 ····· 308-14
5.1 구조물 설치 기준 ····· 308-14
5.2 농어촌 도로의 표준 횡단 구성 ····· 308-15
5.3 농어촌 도로의 선형 기준 ····· 308-16
5.4 통과 높이 ····· 308-16

참고문헌 ····· **309-1**

부록 ····· **310-1**

1. 전산 선형 설계 ····· **310-1**

(1) 개요 ····· 310-1

(2) 국내·외 소프트웨어의 비교 ····· 310-2

2. 선진 외국의 도로설계편람 관련 홈페이지 ····· **310-4**

(1) 캘리포니아 주의 도로설계편람 ····· 310-4

(2) Federal Highway Administration 산하 Western Federal Lands Highway Division의 Project Development 설계편람 ····· 310-4

(3) 아리조나 주의 도로설계편람 ····· 310-4

(4) 미시간 주의 도로설계편람 ····· 310-4

(5) 워싱턴 주의 도로설계편람 ····· 310-4

색인 ····· **311-1**

표 목 차

302 설계 기본 사항

<표 302.1> 일본의 도로분류 ····· 302-1
<표 302.2> 미국의 도로분류 ····· 302-2
<표 302.3> 영국의 도로분류 ····· 302-2
<표 302.4> 독일의 도로분류 ····· 302-2
<표 302.5> 도로별 목표 연도 ····· 302-4
<표 302.6> 설계속도 기준 ····· 302-5
<표 302.7> 설계구간 길이 ····· 302-6
<표 302.8> 설계기준 자동차의 적용과 형태 ····· 302-7
<표 302.9> 설계기준 자동차의 종류별 제원 ····· 302-8
<표 302.10> 미국 설계기준 자동차의 종류별 제원 ····· 302-8
<표 302.11> 도로형태별 설계 서비스 수준 ····· 302-15
<표 302.12> 미국의 설계 서비스 수준 선택 지침 ····· 302-15
<표 302.13> 보행자 밀도와 이동성 ····· 302-18

303 횡단 구성

<표 303.1> 도로 횡단면 설계요소 ····· 303-1
<표 303.2> 도로의 구분에 따른 차로폭 ····· 303-4
<표 303.3> 평면곡선부에서의 확폭 ····· 303-6
<표 303.4> 중앙분리대의 표준폭 ····· 303-9
<표 303.5> 중앙분리대의 형식과 구조 ····· 303-10
<표 303.6> 중앙분리대의 폭원 구성 예 ····· 303-11
<표 303.7> 길어깨의 기능상 분류 ····· 303-15
<표 303.8> 우측 길어깨의 최소폭 ····· 303-15
<표 303.9> 좌측 길어깨의 최소폭 ····· 303-16
<표 303.10> 길어깨 여유폭 ····· 303-20
<표 303.11> 비상 주차대의 길이 ····· 303-24
<표 303.12> 보도의 최소폭 ····· 303-25
<표 303.13> 연석의 특징과 사용위치 ····· 303-28
<표 303.14> 자전거 도로의 설계속도 ····· 303-31
<표 303.15> 자전거 도로의 정지 시거와 곡선반경 ····· 303-31
<표 303.16> 자전거 도로의 종단경사 제한길이 ····· 303-31
<표 303.17> 도로 횡단 구성면의 표준폭원 ····· 303-37

304 도로 선형

<표 304.1> 도로조건에 따른 설계속도별 정지시거 ····· 304-2
<표 304.2> 설계속도별 앞지르기 시거 ····· 304-3
<표 304.3> 앞지르기 시거 확보구간의 존재율 ····· 304-3
<표 304.4> 동일 종단경사 내에서 직선 구간의 제한 길이 ····· 304-5
<표 304.5> 설계속도에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수 ····· 304-8
<표 304.6> 설계속도별 최소 평면곡선반경 ····· 304-9
<표 304.7> 설계속도별 최소 평면곡선길이 ····· 304-11
<표 304.8> 완화곡선 및 완화구간의 길이 ····· 304-13
<표 304.9> 완화곡선을 생략할 수 있는 곡선반경 ····· 304-15
<표 304.10> 차도부의 횡단경사 ····· 304-16
<표 304.11> 길어깨의 횡단경사 ····· 304-18
<표 304.12> 본선과 길어깨 편경사 조합 ····· 304-18
<표 304.13> 적용 최대 편경사 ····· 304-19
<표 304.14> 도시지역 도로에서 편경사를 생략할 수 있는 최소 곡선반경 ····· 304-19
<표 304.15> 평면곡선반경에 따른 편경사(최대 편경사 = 6%) ····· 304-22
<표 304.16> 평면곡선반경에 따른 편경사(최대 편경사 = 7%) ····· 304-22
<표 304.17> 평면곡선반경에 따른 편경사(최대 편경사 = 8%) ····· 304-22
<표 304.18> 도시지역 도로의 편경사와 평면곡선반경의 관계 ····· 304-23
<표 304.19> 편경사의 접속 설치율 ····· 304-23
<표 304.20> 차로수에 따른 편경사 접속설치 길이의 보정계수 ····· 304-24
<표 304.21> 편경사의 구간별 구성 ····· 304-26
<표 304.22> 최대 종단경사 ····· 304-44
<표 304.23> 볼록 종단곡선 길이의 계산 ····· 304-45
<표 304.24> 전조등 야간 투시를 고려한 오목 종단곡선 길이의 계산 ····· 304-46
<표 304.25> 지하차도의 오목 종단곡선 길이 계산 ····· 304-47
<표 304.26> 설계속도별 최소 종단곡선 변화비율 및 최소길이 ····· 304-48
<표 304.27> 최소 종단경사 ····· 304-54
<표 304.28> 차로수에 따른 오르막 차로의 검토사항 ····· 304-55
<표 304.29> 오르막 차로 설치구간 산정의 전제 조건 ····· 304-57
<표 304.30> 추월 기회 백분율과 소통 상태와의 관계 ····· 304-64
<표 304.31> 양보차로의 길이 ····· 304-65
<표 304.32> 도로경관의 세부 구성요소 ····· 304-81
<표 304.33> 산을 통과하고 계곡을 횡단하는 도로의 특징 ····· 304-83

306 평면 교차

<표 306.1> 교차로별 상충의 수 ····· 306-5
<표 306.2> 부도로의 용량 ····· 306-8
<표 306.3> 경사완화 구간 길이의 산정 ····· 306-10
<표 306.4> 영국 교차로의 최소간격(도시지역) ····· 306-11
<표 306.5> 판단 및 운행 거리 ····· 306-14
<표 306.6> 신호교차로의 최소시거 ····· 306-27
<표 306.7> 비신호 교차로의 최소시거 ····· 306-27
<표 306.8> 3초 동안 이동한 거리 ····· 306-29
<표 306.9> 신호등 설치기준-교통량 ····· 306-38
<표 306.10> 좌회전 차로의 감속길이(l) ····· 306-54
<표 306.11> 설계속도에 따른 테이퍼 비율 ····· 306-55
<표 306.12> 도류로의 폭 ····· 306-58
<표 306.13> 가감속차로의 길이 ····· 306-59
<표 306.14> 평면 교차부 가각 길이 ····· 306-60
<표 306.15> 노즈 오프셋(nose offset) 및 셋백(set back)의 최소값 ····· 306-64
<표 306.16> 선단의 최소 곡선 변경 ····· 306-64
<표 306.17> 곡선구간의 곡선반경 및 장애물까지의 최소거리 ····· 306-68
<표 306.18> 교차로 주변의 연결로 등의 설치 제한거리 ····· 306-68
<표 306.19> 변속차로의 최소길이 ····· 306-69

307 입체 교차

<표 307.1> 입체교차 시설 계획의 설계절차와 주요 내용 ····· 307-2
<표 307.2> 인터체인지 배치 기준 ····· 307-11
<표 307.3> 인터체인지 표준 설치수 ····· 307-11
<표 307.4> 타시설과의 간격 ····· 307-12
<표 307.5> 요금 제도별 특징 ····· 307-14
<표 307.6> 연결로의 형식과 특징 ····· 307-18
<표 307.7> 루프연결로 설계속도 증가에 따른 추가 이동거리 ····· 307-35
<표 307.8> 인터체인지 구간의 평면곡선반경 ····· 307-36
<표 307.9> 볼록형 종단곡선의 최소 종단곡선 변화 비율 ····· 307-36
<표 307.10> 오목형 종단곡선의 최소 종단곡선 변화 비율 ····· 307-37
<표 307.11> 인터체인지 구간의 최대 종단경사 ····· 307-37
<표 307.12> 연결로의 설계속도 ····· 307-39

<표 307.13> 연결로의 폭원 및 도로 등급별 적용기준 ····· 307-41
<표 307.14> 1방향 1차로 연결로의 확폭 ····· 307-47
<표 307.15> 1방향 2차로 및 양방향 2차로 연결로의 확폭 (고속도로) ····· 307-48
<표 307.16> 1방향 2차로 및 양방향 2차로 연결로의 확폭
(일반도로 또는 고속도로의 C 기준) ····· 307-49
<표 307.17> A규격 연결로의 횡단면 기준과 적용 ····· 307-50
<표 307.18> 접속부 설계의 유의사항 ····· 307-52
<표 307.19> 유출 연결로 노즈 끝에서의 최소 평면곡선반경 ····· 307-53
<표 307.20> 유출 연결로 노즈 부근의 클로소이드 최소 파라미터 ····· 307-53
<표 307.21> 유출 연결로 노즈 부근의 종단곡선 ····· 307-53
<표 307.22> 유출 노즈부의 최소 평면곡선반경 계산 ····· 307-54
<표 307.23> 감속차로의 최소길이 기준 ····· 307-59
<표 307.24> 감속차로의 길이 보정률 ····· 307-59
<표 307.25> 한 차로의 차로 변경에 필요한 거리로 계산한 변이구간 길이 ····· 307-61
<표 307.26> S형 주행 궤적을 배향 곡선으로 계산한 변이구간 길이 ····· 307-61
<표 307.27> 가속차로의 최소길이 기준 ····· 307-63
<표 307.28> 가속차로의 길이 보정률 ····· 307-63
<표 307.29> 연결로 접속부의 차로 변환선에서 횡단경사의 최대 대수적 차이 ····· 307-71
<표 307.30> 유출연결로 노즈 끝에서의 최소 평면곡선반경 ····· 307-72

308 기타

<표 308.1> 버스정류장의 제원(고속도로) ····· 308-3
<표 308.2> 버스 정류장의 제원(일반도로) ····· 308-4
<표 308.3> IC 영업소의 기하구조 기준 ····· 308-7
<표 308.4> 도로의 신설 개량시 입체교차화의 기준 ····· 308-9
<표 308.5> 속도별 가시거리 ····· 308-12
<표 308.6> 면도와 리도의 횡단구성 제원 ····· 308-14
<표 308.7> 농로 구조물 규격과 적용기준 ····· 308-15
<표 308.8> 각 도로별 설계속도 및 최소 곡선반경 ····· 308-16

그 림 목 차

301 총론

<그림 301.1> 도로 설계 과정 개념도 ····· 301-6
<그림 301.2> 기하구조 설계의 흐름도 ····· 301-7
<그림 301.3> 독일의 도로 선형 설계 과정(RAS-L) ····· 301-8

302 설계 기본 사항

<그림 302.1> 도로의 구분과 각 도로 간의 관계 ····· 302-3
<그림 302.2> 미국 설계기준 자동차 P의 회전 궤적 ····· 302-9
<그림 302.3> 미국 설계기준 자동차 SU의 회전 궤적 ····· 302-10
<그림 302.4> 미국 설계기준 자동차 WB-12의 회전 궤적 ····· 302-11
<그림 302.5> 차로 수 결정 과정 ····· 302-12
<그림 302.6> 지방부 간선도로에서 첨두시간과 ADT의 관계 ····· 302-14
<그림 302.7> 운전자의 시계 ····· 302-17
<그림 302.8> 차도부의 시설한계 ····· 302-20
<그림 302.9> 보도 및 자전거도로의 시설한계 ····· 302-20
<그림 302.10> 일반적인 측도의 배열 ····· 302-21
<그림 302.11> 불규칙적인 측도 유형 ····· 302-22
<그림 302.12> 진출입 연결로에서 한 개의 측도를 가지는 도로 유형 ····· 302-22
<그림 302.13> 진출입 연결로에서 두 개의 측도를 가지는 도로 유형 ····· 302-22
<그림 302.14> 도로의 출입 형태 ····· 302-23
<그림 302.15> 지방부 간선도로에 대한 접근관리의 장기 전략 개념도 ····· 302-25

303 횡단 구성

<그림 303.1> 도로의 횡단 구성 계획도 ····· 303-2
<그림 303.2> 지방지역 도로의 횡단면 요소 ····· 303-3
<그림 303.3> 횡단 구성 요소와 조합의 예 ····· 303-3
<그림 303.4> 차로수 균형의 기본 원칙 ····· 303-5
<그림 303.5> 기본 차로수와 차로 균형 원칙의 조화 ····· 303-5
<그림 303.6> 중앙분리대의 구성 ····· 303-8
<그림 303.7> 중앙분리대의 접속 설치 ····· 303-12
<그림 303.8> 중앙분리대 개구부의 설계도면 ····· 303-14

<그림 303.9> 길어깨의 구성 및 분류 ····· 303-16
<그림 303.10> 길어깨 측방여유폭의 확보 ····· 303-16
<그림 303.11> 흙쌓기와 흙깎기 구간의 길어깨 ····· 303-17
<그림 303.12> 적설지역 도로의 횡단구성 ····· 303-20
<그림 303.13> 유형별 버스 정차대의 설치 형태 ····· 303-22
<그림 303.14> 비상 주차대의 평면도 ····· 303-24
<그림 303.15> 보도의 횡단 구성 ····· 303-26
<그림 303.16> 자전거 점유폭 ····· 303-31
<그림 303.17> 환경 시설대의 예 ····· 303-33
<그림 303.18> 식수대 단면 ····· 303-34
<그림 303.19> 도로 주변에 설치되는 측도의 예 ····· 303-35
<그림 303.20> 고가도로와 연결된 부분의 측도 예 ····· 303-36
<그림 303.21> 지방지역 도로의 표준 횡단면도 ····· 303-38

304 도로 선형

<그림 304.1> 도로의 조건에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수 ····· 304-7
<그림 304.2> 완화곡선의 이정량 ····· 304-13
<그림 304.3> 평면곡선반경과 클로소이드 파라미터의 관계 ····· 304-14
<그림 304.4> 2종류의 직선경사를 조합하는 경우의 횡단경사 ····· 304-17
<그림 304.5> 횡단경사 설치방법 ····· 304-17
<그림 304.6> 차도와 길어깨의 경사차 ····· 304-18
<그림 304.7> 설계속도에 따른 편경사와 평면곡선반경의 관계 ····· 304-21
<그림 304.8> 설계속도에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수와 평면곡선반경의 관계 ····· 304-21
<그림 304.9> 비분리 도로와 분리 도로의 편경사 설치방법 ····· 304-25
<그림 304.10> 일반적인 편경사의 설치도 ····· 304-27
<그림 304.11> 평면곡선부에서 내측 차로 중심에서부터 시거 장애물까지의 측방 여유폭 ····· 304-41
<그림 304.12> 평면곡선에서 정지시거를 제공하기 위한 곡선반경 · 차도 중심부와의 거리(M)간의 관계식(상한값의 범위, AASHTO 1994) ····· 304-42
<그림 304.13> 평면곡선에서 정지시거를 제공하기 위한 곡선반경 · 차도 중심부와의 거리(M)간의 관계식(하한값의 범위, AASHTO 1994) ····· 304-43
<그림 304.14> 종단곡선의 크기 표시 ····· 304-44
<그림 304.15> 볼록 종단곡선에서의 시거 ····· 304-45
<그림 304.16> 오목 종단곡선에서의 시거(전조등 야간투시의 경우) ····· 304-46
<그림 304.17> 오목 종단곡선에서의 시거(지하차도의 경우) ····· 304-47
<그림 304.18> 종단곡선의 중간값 산정도 ····· 304-49

<그림 304.19> 경사 길이에 따른 속도 변화 (200 lb/hp 표준트럭 : 감속인 경우) ····· 304-51
<그림 304.20> 경사 길이에 따른 속도 변화 (200 lb/hp 표준트럭 : 가속인 경우) ····· 304-52
<그림 304.21> 경사 길이에 따른 속도 변화 (150 lb/hp 표준트럭 : 감속인 경우) ····· 304-53
<그림 304.22> 경사 길이에 따른 속도 변화 (150 lb/hp 표준트럭 : 가속인 경우) ····· 304-53
<그림 304.23> 오르막 차로 설치 방법 ① ····· 304-60
<그림 304.24> 오르막 차로 설치 방법 ② ····· 304-60
<그림 304.25> 오르막 차로 설치 방법 ③ ····· 304-60
<그림 304.26> 속도-경사도에 따른 오르막 차로의 설치(예) ····· 304-61
<그림 304.27> 양보 차로의 설치 예 ····· 304-63
<그림 304.28> 추월기회가 80%일 때 교통량과 자동차군 길이와의 관계 ····· 304-65
<그림 304.29> 2차로 도로의 턴아웃 최소 길이와 설치예 ····· 304-67
<그림 304.30> 평면선형 결정 방법 ····· 304-68
<그림 304.31> 인접한 두 원곡선 반경의 조화 ····· 304-70
<그림 304.32> S형인 경우에 원의 각 요소 ····· 304-71
<그림 304.33> 평면선형 결정을 위한 단계별 수행 내용 ····· 304-73
<그림 304.34> 도로설계에서 평면선형과 종단선형과의 관계 ····· 304-75～78
<그림 304.35> 도로 경관의 구분 ····· 304-80
<그림 304.36> 단일 단면과 복단면 도로의 횡단 비교 ····· 304-83

305 도로 기능별 설계 특기사항

<그림 305.1> 저상형 고속도로의 일반적인 횡단면 ····· 305-3
<그림 305.2> 저상형 고속도로의 제한적인 횡단면 ····· 305-3
<그림 305.3> 미국의 저상형 고속도로 예 ····· 305-4
<그림 305.4> 연결로가 없는 고가형 고속도로의 표준 횡단면 ····· 305-5
<그림 305.5> 성토부 상에서 고가형 고속도로의 표준 횡단면 ····· 305-6
<그림 305.6> 미국의 고가형 고속도로 예 ····· 305-6
<그림 305.7> 미국의 성토부 상에서의 고속도로 예 ····· 305-7
<그림 305.8> 바람직한 최소 도로용지를 가지는 2차로 간선도로 횡단면 ····· 305-9
<그림 305.9> 분리 간선도로에서의 횡단면과 도로용지 ····· 305-10

306 평면 교차

<그림 306.1> 평면교차의 형태 ····· 306-4
<그림 306.2> 상충의 유형 ····· 306-6
<그림 306.3> 네갈래 교차로의 상충 ····· 306-6
<그림 306.4> 평면선형을 고려한 설치 위치 ····· 306-9
<그림 306.5> 종단선형을 고려한 설치 위치 ····· 306-9
<그림 306.6> 교차로에서 부도로의 경사 조정 ····· 306-10
<그림 306.7> 간선도로 교차로에 인접한 부도로의 처리 ····· 306-11
<그림 306.8> 교차로의 기능적 영향권을 구성하는 요소 ····· 306-14
<그림 306.9> 교차로에 인접한 부도로의 최소 설치 간격 ····· 306-15
<그림 306.10> 교차로의 확폭 및 차로 증설 ····· 306-17
<그림 306.11> 차로 수의 균형 ····· 306-17
<그림 306.12> 교차로의 설계 흐름도 ····· 306-19
<그림 306.13> Y형 교차로 ····· 306-21
<그림 306.14> 네 갈래 교차로 ····· 306-21
<그림 306.15> 변형교차 및 변칙교차의 예 ····· 306-22
<그림 306.16> 엇갈림 교차로 ····· 306-23
<그림 306.17> 도로선형의 개선 ····· 306-24
<그림 306.18> 교차로에서의 시거 ····· 306-25
<그림 306.19> 최소 시거 삼각형을 가지는 교차로 시거 ····· 306-29
<그림 306.20> 신호등의 설치 위치 ····· 306-31
<그림 306.21> 육교의 설치 위치 ····· 306-31
<그림 306.22> 정지선의 설치 예 ····· 306-33
<그림 306.23> 횡단보도와 교통섬의 관계 ····· 306-33
<그림 306.24> 횡단보도의 설치 위치 ····· 306-34
<그림 306.25> 횡단보도 주변의 개선 ····· 306-35
<그림 306.26> 통행규제의 예 ····· 306-36
<그림 306.27> 금지된 방향의 진로를 막는 예 ····· 306-40
<그림 306.28> 주행 경로를 명확히 한 예 ····· 306-41
<그림 306.29> 바람직한 자동차 속도를 유지하는 예 ····· 306-42
<그림 306.30> 상충 지점의 분리 예 ····· 306-43
<그림 306.31> 교통류의 교차 예 ····· 306-44
<그림 306.32> 주교통을 우선적으로 처리한 예 ····· 306-45
<그림 306.33> 기하구조와 교통관제 ····· 306-46
<그림 306.34> 교통류 분리 ····· 306-47

<그림 306.35> 비자동차 이용자를 위한 대피장소 ····· 306-48
<그림 306.36> 차로 통행 방법의 예 ····· 306-49
<그림 306.37> 차로 중앙선의 변경 ····· 306-50
<그림 306.38> 중앙분리대의제거 ····· 306-51
<그림 306.39> 정차대의 제거 ····· 306-51
<그림 306.40> 파행적인 진행금지 ····· 306-52
<그림 306.41> 좌회전 차로의 구성 ····· 306-53
<그림 306.42> 좌회전 차로 설치 예 ····· 306-56
<그림 306.43> 교통섬과 사선(zebra)표시 ····· 306-62
<그림 306.44> 교통섬의 구성 ····· 306-64
<그림 306.45> 분리대의 형태 및 제원 ····· 306-65
<그림 306.46> 교차로 주변의 영향권 및 설치제한거리 ····· 306-68
<그림 306.47> 직접식 변속차로 설치 ····· 306-72
<그림 306.48> 평행식 변속차로 설치 ····· 306-72
<그림 306.49> 교차로 개선 예 ····· 306-73
<그림 306.50> T형 교차로 개선 예 ····· 306-74
<그림 306.51> Y형 교차로 개선 예 ····· 306-75
<그림 306.52> 도로선형 개선 ····· 306-77
<그림 306.58> 교차로 분할 ····· 306-78

307 입체 교차

<그림 307.1> 인터체인지 설계 흐름도 ····· 307-4
<그림 307.2> 네갈래 교차로의 용량 관계 ····· 307-5
<그림 307.3> 단순 입체교차의 형식 ····· 307-7
<그림 307.4> 입체교차 평면에서의 좌회전차로 경우 ····· 307-8
<그림 307.5> 입체교차 유출입부의 접속 ····· 307-9
<그림 307.6> 터널과 인터체인지의 분리 방법 사례 ····· 307-13
<그림 307.7> 인터체인지의 구성 ····· 307-15
<그림 307.8> 기본동선 결합의 분류 ····· 307-16
<그림 307.9> 연결로 결합의 분류 ····· 307-17
<그림 307.10> 좌회전 연결로 결합의 분류와 조합 ····· 307-19
<그림 307.11> 접속단 결합의 분류 ····· 307-20
<그림 307.12> 입체교차의 형식 평가 요소 ····· 307-21

<그림 307.13> 다이아몬드형 입체교차의 형태 ····· 307-23
<그림 307.14> U-턴을 갖는 변형다이아몬드형 ····· 307-25
<그림 307.15> 다이아몬드형 인터체인지의 요금소 ····· 307-25
<그림 307.16> 불완전 클로버형 ····· 307-26
<그림 307.17> 요금소를 설치하는 위치 결정 ····· 307-27
<그림 307.18> 버스정류장에서 인터체인지로의 이행 경우 ····· 307-27
<그림 307.19> 트럼펫형+평면교차 인터체인지(네갈래 교차) ····· 307-28
<그림 307.20> 본선상에 평면교차를 허용한 입체교차 방식 ····· 307-28
<그림 307.21> 직결 Y형 ····· 307-28
<그림 307.22> 로터리형 ····· 307-29
<그림 307.23> 직결 Y형 및 준직결 Y형 ····· 307-30
<그림 307.24> 직결형 인터체인지(네갈래)의 예 ····· 307-31
<그림 307.25> 트럼펫형의 루프 형식 ····· 307-32
<그림 307.26> 트럼펫형 입체교차 유형비교 ····· 307-33
<그림 307.27> 클로버형 및 변형 클로버형 ····· 307-34
<그림 307.28> 연결로의 시설한계 ····· 307-42
<그림 307.29> A기준 연결로의 횡단면 구성 ····· 307-43
<그림 307.30> B기준 연결로의 횡단면 구성 ····· 307-44
<그림 307.31> C기준 연결로의 횡단면 구성 ····· 307-45
<그림 307.32> 접속단 간의 최소 이격거리 ····· 307-55
<그림 307.33> 집산로를 설치한 입체교차 ····· 307-55
<그림 307.34> 평행식과 직접식의 감속차로 ····· 307-56
<그림 307.35> 직접식 감속차로의 접속 방법 ····· 307-57
<그림 307.36> 연결로 접속부에서 본선의 차로수가 변화할 경우 접속방법 ····· 307-57
<그림 307.37> 가속차로의 형상 ····· 307-58
<그림 307.38> 노즈 끝의 요소 ····· 307-62
<그림 307.39> 편경사의 표시 예 ····· 307-64
<그림 307.40> 편경사의 접속설치 위치 ····· 307-64
<그림 307.41> 편경사의 접속설치 방법(본선이 직선 또는 곡선 안쪽 변속차로 접속) ····· 307-65
<그림 307.42> 편경사의 접속설치 방법(본선이 곡선이고 그 바깥쪽 변속차로 접속) ····· 307-66
<그림 307.43> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-1 ····· 307-67
<그림 307.44> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-2 ····· 307-68
<그림 307.45> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-3 ····· 307-69
<그림 307.46> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-4 ····· 307-70
<그림 307.47> 감속차로의 설계 ····· 307-71

<그림 307.48> 변속차로에 적용되는 안전지대 ····· 307-71
<그림 307.49> 감속차로내에서 차로수를 증가시키는 경우 ····· 307-72
<그림 307.50> 본선의 차로수가 축소 및 2차로 연결로 ····· 307-72
<그림 307.51> 연결로내에서의 분류 ····· 307-73
<그림 307.52> 연결로 2차로, 가속차로 1차로의 경우 ····· 307-73
<그림 307.53> 연결로 2차로 유입시 본선의 차로 증가 ····· 307-74
<그림 307.54> 이중 유입 차로 ····· 307-74
<그림 307.55> 유입부의 접근시거를 위한 바람직한 시야와 최소 시야 ····· 307-75

308 기타

<그림 308.1> 버스정차로 설치위치 ····· 308-2
<그림 308.2> 고속도로 버스정류장의 평면 및 횡단면도 ····· 308-3
<그림 308.3> 간이버스 정류장 예 ····· 308-5
<그림 308.4> 영업소 부지 설계 도면 ····· 308-8
<그림 308.5> 철도의 시설한계 ····· 308-11
<그림 308.6> 건널목에서 자동차의 소요통과거리 ····· 308-12
<그림 308.7> 건널목 지점의 열차속도에 대한 가시거리 ····· 308-13
<그림 308.8> 보도 유무에 따른 횡단구성 ····· 308-15

부록

<그림 부록-1> 도로설계 전산 통합시스템 ····· 310-2
<그림 부록-2> 미시간 주의 도로설계편람 초기화면 ····· 310-5
<그림 부록-3> 미시간 주의 도로설계편람 목차 ····· 310-5
<그림 부록-4> 미시간 주의 도로설계편람의 개정 내용 ····· 310-6

301
총 론

301.1 개요

도로의 구조는 도로를 이용하는 보행자나 운전자(차량)의 편리성과 주행 안전성에 직접적인 영향을 미친다. 도로의 구조를 구성하는 요소에는 도로선형, 교량, 터널, 포장 등으로 나눌 수 있다. 이들 구조를 포괄적이고 선결적으로 규정하는 요소가 기하구조이다. 이 기하구조를 어떻게 정하느냐에 따라 다른 요소들이 정해지고 이에 따라 해당 도로의 안전성과 편리성이 결정될 수 있기 때문이다.

도로의 기하구조 설계 기준과 관련된 국내의 도로의 구조와 시설 기준은 대부분 초기에는 일본의 기준을 따르다가, 후기에는 여기에 미국의 기준을 조합하여 설정, 변천되어 왔는데, 그 개략은 다음과 같다.

- 도로 구조령 (제정, 1965년 7월 19일, 대통령령 제 2177호) : 일본의 도로 구조령을 그대로 받아들여 처음으로 제정
- 도로 구조령 (전면 개정, 1979년 11월 17일, 대통령령 제 9664호) : 자동차 시대에 대비하여 일본의 도로 구조령을 대부분 참조하여 전면 개정
- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정 (1990년 5월 4일, 대통령령 제 13001호) : 차량 성능 변화, 도로 교통 여건 변화에 따라 국내 여건에 부합되도록 도로 구조·시설 기준 정립 시도
- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 (1999년 8월 9일, 건설교통부령 제206호) : 도로법의 개정(1999년 2월 8일, 법률 제 5894호)으로 대통령령인 종전 규정의 내용을 개선·보완하여 건설교통부령인 규칙으로 제정

도로의 기하구조 기준은 차량과 운전자의 안전을 위해 그 원리와 조건들에 대한 충분한 연구와 검토를 거쳐 결정 적용되어야 한다. 그럼에도 검토 대상 항목의 방대함과 연구의 시간 및 예산 제약으로 이론적 근거를 뒷받침할 현장 조사나 시험 등을 거치지 못하였기 때문에 일련의 도로 기하구조 설계기준에 관한 개정 작업도 주로 외국의 문헌 조사 분석에 의존해 온 것이 현실이다.

따라서 본 편람에서는 기존 관련 문헌과 연구 자료들을 집대성하고 일부 주요한 기하구조 항목별 연구를 수행하여 기존의 기준을 보완하고 업무에 참고할 수 있는 내용을 추가하였다. 또 편람에서 정하는 기준은 그 도로의 특성, 지형 및 지역 조건 등에 따른 적정한 값을 적용하도록 하여 도로가 모든 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 하였다.

301.2 용어의 정의

【자동차】

도로교통법 제2조 제14호의 규정에 의한 자동차(이륜 자동차를 제외한다)를 말한다.

【설계기준 자동차】

도로설계시 기초가 되는 자동차를 말한다. 설계자동차의 종별로는 소형 자동차, 대형 자동차, 세미트레일러가 있다.

【세미트레일러】

앞 차축이 없는 피견인차와 견인차의 결합체로서 피견인차와 적재물 중량의 상당한 부분이 견인차에 의하여 지지되도록 연결되어 있는 자동차를 말한다.

【고속도로】

도로법 제12조 규정에 의한 고속국도와 자동차에 한하여 이용이 가능한 도로로서 중앙분리대에 의하여 양방향이 분리되고 입체교차를 원칙으로 하며 설계속도가 시속 80km/h 이상인 도로를 말한다.

【일반도로】

도로법에 의한 도로(고속도로를 제외한다)로서 그 기능에 따라 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로 및 국지도로로 구분되는 도로를 말한다.

【계획 목표 년도】

도로의 계획 및 설계시, 예측된 교통량에 따라 도로를 건설하여 적절하게 유지·관리하는 경우 적정한 수준 이상의 기능이 유지될 수 있을 것으로 보는 기간(도로 계획 또는 설계시를 시점으로 한다)의 범위를 말한다.

【설계 서비스 수준】

도로를 계획하거나 설계하는 때의 기준으로서 도로의 통행속도, 교통량과 도로 용량의 비율, 교통 밀도와 교통량 등에 따른 도로 운행 상태의 질을 해당 설계 수준에 따라 정한 것을 말한다.

【계획 교통량】

도로의 계획 목표 년도에 그 도로를 통행할 것으로 예상되는 자동차의 연평균 일일 교통량을 말한다.

이 계획 교통량은 일반적으로 지방지역의 도로에 대해서는 장기 계획으로서 계획 시점으로부터 최대 20년 동안을 대상으로 한다. 도시지역에 대해서는 도시교통의 여러 가지 상황에 따라 변화가능성이 많으므로 노선의 성격과 중요성을 고려하여 10년 동안으로 할 수도 있다.

【설계 시간 교통량】

도로의 계획 목표 년도에 그 도로를 통행할 시간당 자동차의 대수이며, 시간대별 교통량의 변화를 반영한, 도로설계의 기초가 되는 교통량이다.

도로의 시설 규모를 설계하기 위한 설계 시간교통량으로는 1년중 30~50번째 큰 시간 교통량이 널리 사용되고 있다. 이것은 설계 목표 년도의 첨두시간 예상 교통량이며, 이를 설계 시간 교통량(DHV ; Design Hourly Volume)이라고 부른다.

【도로 교통용량】

주어진 도로 조건, 교통 조건 및 교통 관제 특성 하에서 한 시간 동안 동일한 특성을 갖는 한 도로 구간을 무리 없이 통과할 것으로 기대되는 최대 교통량(자동차 또는 보행자)을 말한다.

【도시지역】

시가지로 형성된 지역이나 그 지역의 발전 추세로 보아 시가지로 형성될 가능성이 높은 지역을 말한다.

【지방지역】

도시지역 외의 지역을 말한다.

도시지역과 지방지역을 단순하게 구분하는 것이 곤란할 경우 지역의 상황이나 도로의 연계성 등을 감안해야 한다.

【설계속도】

도로설계의 기초가 되는 자동차의 속도를 말한다. 설계속도는 설계 구간 내에서 도로 조건, 기후 등이 양호한 상태에서 승용차가 안전하게 달릴 수 있는 최고 속도이다.

【설계 구간】

도로가 통과하는 지역 및 지역의 상황과 계획 교통량에 따라 동일한 설계 기준을 적용하는 구간을 말한다.

【출입제한】

도로의 구조상 완전 또는 부분적으로 도로의 유출입을 특정 지점으로 제한하는 것을 의미한다.

도로에 자동차 교통을 우선시키기 위하여 다른 도로나 철도 등과는 입체교차시키는 한편 특정한 지점에 연결된 도로로만 정해진 차량 출입을 허용하는 완전 출입제한과 해당 도로의 자동차 교통을 방해하지 않는 범위에서 다른 도로와 상호 평면교차되거나 또는 접속되는 지점에서 차량 출입을 허용하는 불완전출입제한이 있다.

【차도】

자동차의 통행에 사용되는 차로로 구성된 도로의 부분을 말한다.

【차로】

자동차가 한 줄로 안전하고 원활하게 주행할 수 있도록 차선에 의하여 구분되는 차도의 부분을 말한다. 차도 중에서 차로 폭은 노면표시의 중심과 중심 사이이다.

【차선】

차로와 차로를 구분하기 위하여 그 경계 지점에 표시하는 선을 말한다.

【오르막 차로】

오르막 구간에서 저속 자동차를 다른 자동차와 분리하여 통행시키기 위하여 설치하는 차로를 말한다.

【회전 차로】

자동차가 우회전, 좌회전 또는 유턴을 할 수 있도록 직진하는 차로와 분리하여 설치하는 차로를 말한다.

【변속 차로】

자동차를 가속시키거나 감속시키기 위하여 설치하는 차로를 말하며, 전자를 가속 차로, 후자를 감속 차로라 한다.

【측대】

운전자의 시선을 유도하고 옆부분의 여유를 확보하기 위하여, 중앙분리대 또는 길어깨에 차도와 동일한 횡단 경사와 구조로 차도에 접속하여 설치하는 부분을 말한다.

【분리대】

차도를 통행의 방향에 따라 분리하거나, 같은 방향으로 진행하지만 성질이 다른 교통류를 분리하기 위하여 설치하는 도로의 부분이나 시설물을 말한다.

【중앙분리대】

차도를 통행의 방향에 따라 분리하고 옆부분의 여유를 확보하기 위하여 도로의 중앙에 설치하는 분리대와 측대를 말한다.

【길어깨】

도로를 보호하고 비상시에 이용하기 위하여 차도에 접속하여 설치하는 도로의 부분을 말한다.

【다이크】

빗물 등이 길어깨로 흘러 비탈면이 유실되는 것을 막기 위해 흙, 떼, 아스팔트 콘크리트, 시멘트 콘크리트 등으로 한 물막이 시설임.

【보도】

보도는 사람의 통행에만 사용하는 목적으로 설치되는 도로의 일부분이며, 차도 등 다른 부분과 연석이나 울타리 등의 공작물을 이용하여 물리적으로 분리시킨 부분 또는 노면표시로 평면적으로 차도와 분리한 부분을 말한다.

【자전거 도로】

자전거 도로라 함은 차도와 구별하여 자전거의 통행에 사용하기 위하여 연석, 노면표시 및 이와 유사한 공작물로 설치되는 도로의 부분을 말한다.

【자전거·보행자 도로】

자전거·보행자도로는 자전거와 및 보행자의 혼합 교통 통행에 사용하기 위한 도로로서 연석 또는 울타리 등의 공작물로 차도와 구획 분리되는 도로의 부분을 말한다.

【주·정차대】

자동차의 주차 또는 정차에 이용하기 위하여 도로에 접속하여 설치하는 부분을 말한다.

【노상 시설】

보도·자전거도로·중앙분리대·길어깨 또는 환경시설대 등에 설치하는 표지 및 방호울타리 등의 노상에 설치되는 도로 부속물을 말한다.

【환경시설대】

도로 주변 지역의 환경 보전을 위하여 길어깨의 바깥쪽으로 설치하는 녹지대 등이 설치된 지역을 말한다.

【시설 한계】

자동차나 보행자 등의 교통안전을 확보하기 위하여 일정한 폭과 높이 안쪽에는 시설물을 설치하지 못하게 하는 도로 상에 공간 확보의 한계를 말한다.

【완화곡선】

직선부와 평면곡선 사이 또는 평면곡선과 평면곡선 사이에서 자동차의 원활한 주행을 위하여 설치하는 곡선으로서 곡선상의 위치에 따라 곡선반경이 변하는 곡선을 말한다

【횡단경사】

도로의 진행 방향에 직각으로 설치하는 경사로서 도로의 배수를 원활하게 하기 위하여 설치하는 경사와 평면 곡선부에 설치하는 편경사를 말한다.

【편경사】

평면 곡선부에서 자동차가 원심력에 저항할 수 있도록 하기 위하여 설치하는 횡단경사를 말한다.

【종단경사】

도로 진행 방향 중심선의 길이에 대한 높이의 변화 비율을 말한다.

【정지 시거】

운전자가 같은 차로상에 고장차 등의 장애물을 인지하고 안전하게 정지하기 위하여 필요한 거리로서 차로 중심선상 1m 높이에서 그 차로의 중심선에 있는 높이 0.15m의 물체의 맨 윗부분을 볼 수 있는 거리를 그 차로의 중심선에 따라 측정한 길이를 말한다.

【앞지르기 시거】

2차로 도로에서 저속 자동차를 안전하게 앞지를 수 있는 거리로서 차로의 중심선상 1m의 높이에서 반대쪽 차로의 중심선에 있는 높이 1.2m의 반대쪽 자동차를 인지하고 앞차를 안전하게 앞지를 수 있는 거리를 도로 중심선에 따라 측정한 길이를 말한다.

【교통섬】

자동차가 안전하고 원활하게 교통처리나 보행자가 안전하게 도로를 횡단하기 위하여 교차로 또는 차도의 분기점 등에 설치하는 섬 모양의 시설을 말한다.

【입체교차】

도로가 상호 교차하거나 접속할 경우 전부 또는 일부 교통이 동일 평면에서 교차하지 않도록 설치한 도로의 부분을 말한다.

【연결로】

도로가 서로 입체 교차할 때 2개의 도로를 진출입시킬 목적으로 서로 연결하는 도로로서, 입체교차로에서 서로 교차하는 도로를 연결하거나 서로 높이가 서로 다른 도로를 연결하여 주는 도로를 말한다.

【도로안전시설】

도로안전시설이라 함은 도로의 안전도를 높이고, 운전자를 보호하기 위하여 설치하는 방호 울타리, 중앙분리대, 충격흡수시설 등을 말한다.

【흙쌓기[盛土]】

원 지반으로부터 노상면까지 흙을 쌓아 올린 부분을 말한다.

【흙깎기[切土]】

원지반으로부터 노상면까지 흙을 깎아낸 부분을 말한다.

【비탈면】

흙쌓기와 흙깎기에 의해서 형성된 사면을 각각 흙쌓기 비탈면 및 흙깍기 비탈면이라 한다.

【옹벽】

흙쌓기와 흙깎기로 자연 비탈면을 유지할 수 없는 경우 흙 또는 기타 재료의 안정성을 확보하기 위해 이용되는 구조물로 지표면이 급경사 또는 수직 단차를 이룰 때 설치한다.

301.3 기하구조 설계의 과정

도로 기하구조의 설계는 전체 도로의 틀을 결정하는 뼈대가 된 도로 기하구조 설계 절차 및 구성을 이해하고 이들 요소들의 특성을 잘 반영하여 경제적, 합리적 설계를 도모한다.

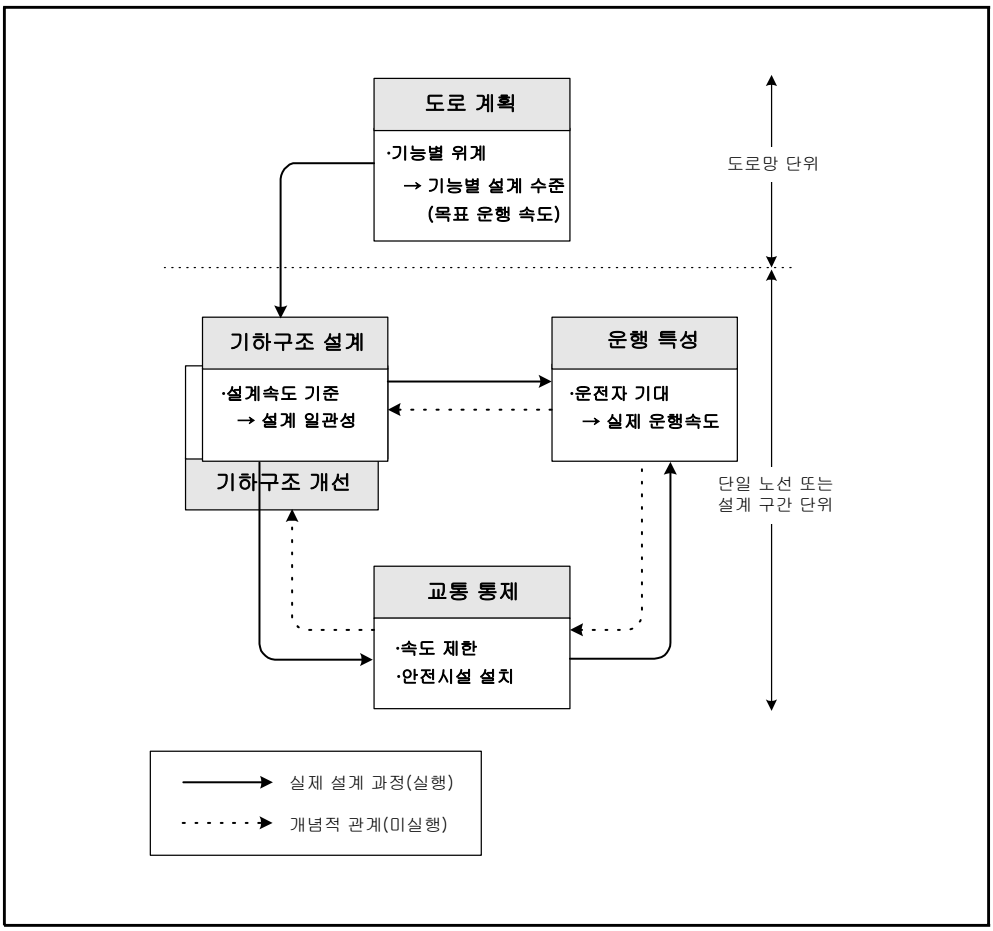
3.1 기하구조 설계 절차 및 구성

도로의 설계 과정은 계획→설계→시공→운영 및 유지관리라는 일련의 도로 사업 절차의 한 부분으로 고려해야 한다.

설계 기준은 설계를 중심으로 이러한 개별 사업 시행시 의사 결정의 기준이 된다는 점에서 그 적정성을 검토한다.

기하구조 설계는 설계속도를 바탕으로 하는 개별 설계 기준을 적용하고, 이를 연속구간에서 점검하는 것을 주 내용으로 한다.

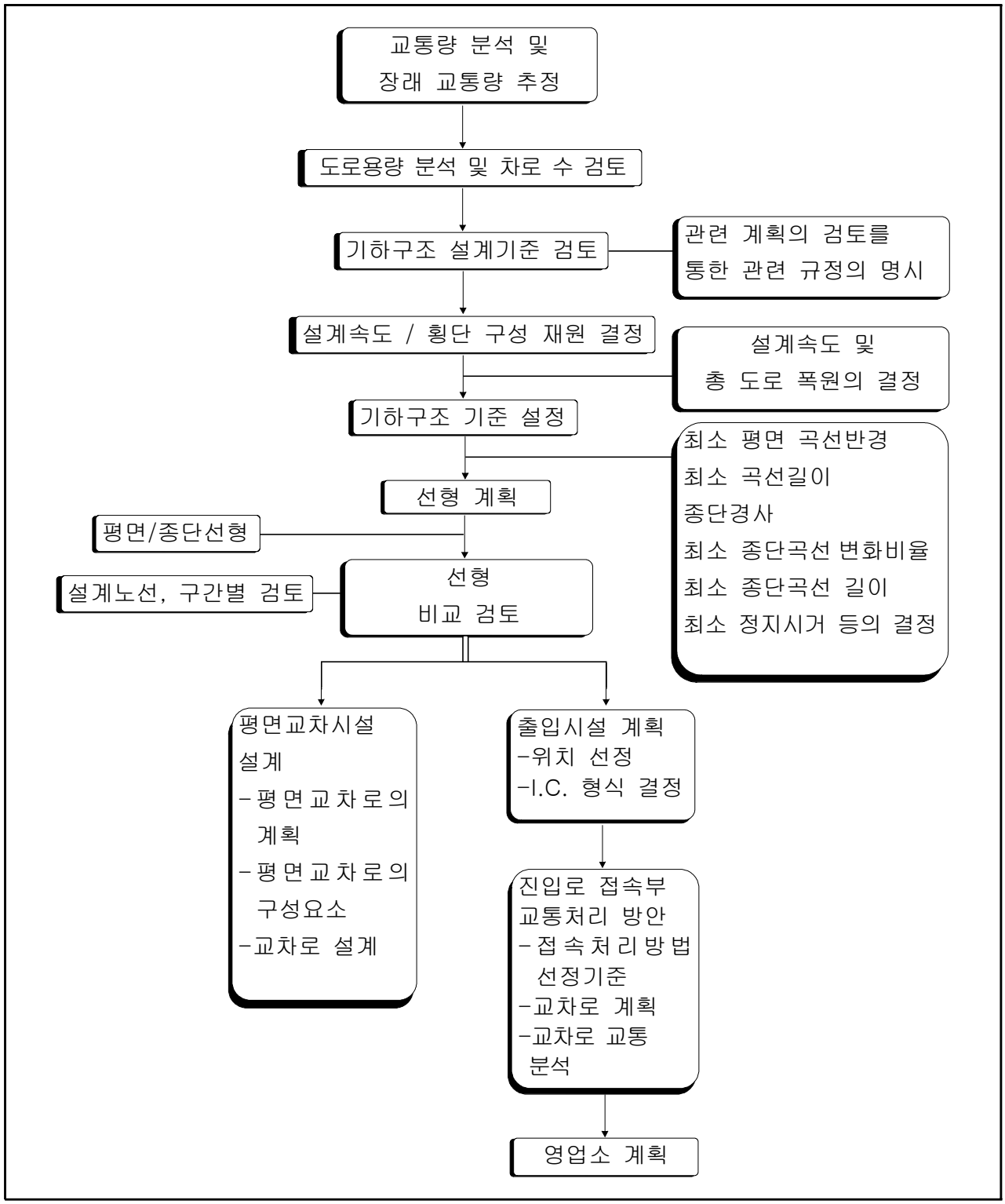
<그림 301.1>은 도로 설계와 관련된 기본 요소들 간의 관계를 나타낸 것으로, 이들 관계는 상호 영향을 미치는 순환적 구조를 가지며, 실선은 설계절차에서 적용되고 있는 것이며, 점선은 개념적 정의만 되어 있는 부분이다.



<그림 301.1> 도로 설계 과정 개념도

도로 기하구조 설계의 기본적인 흐름도는 <그림 301.2>와 같다.

이와 같은 설계 절차를 통해 계획하는 도로의 일관성 및 적정 시설 수준을 제공한다.

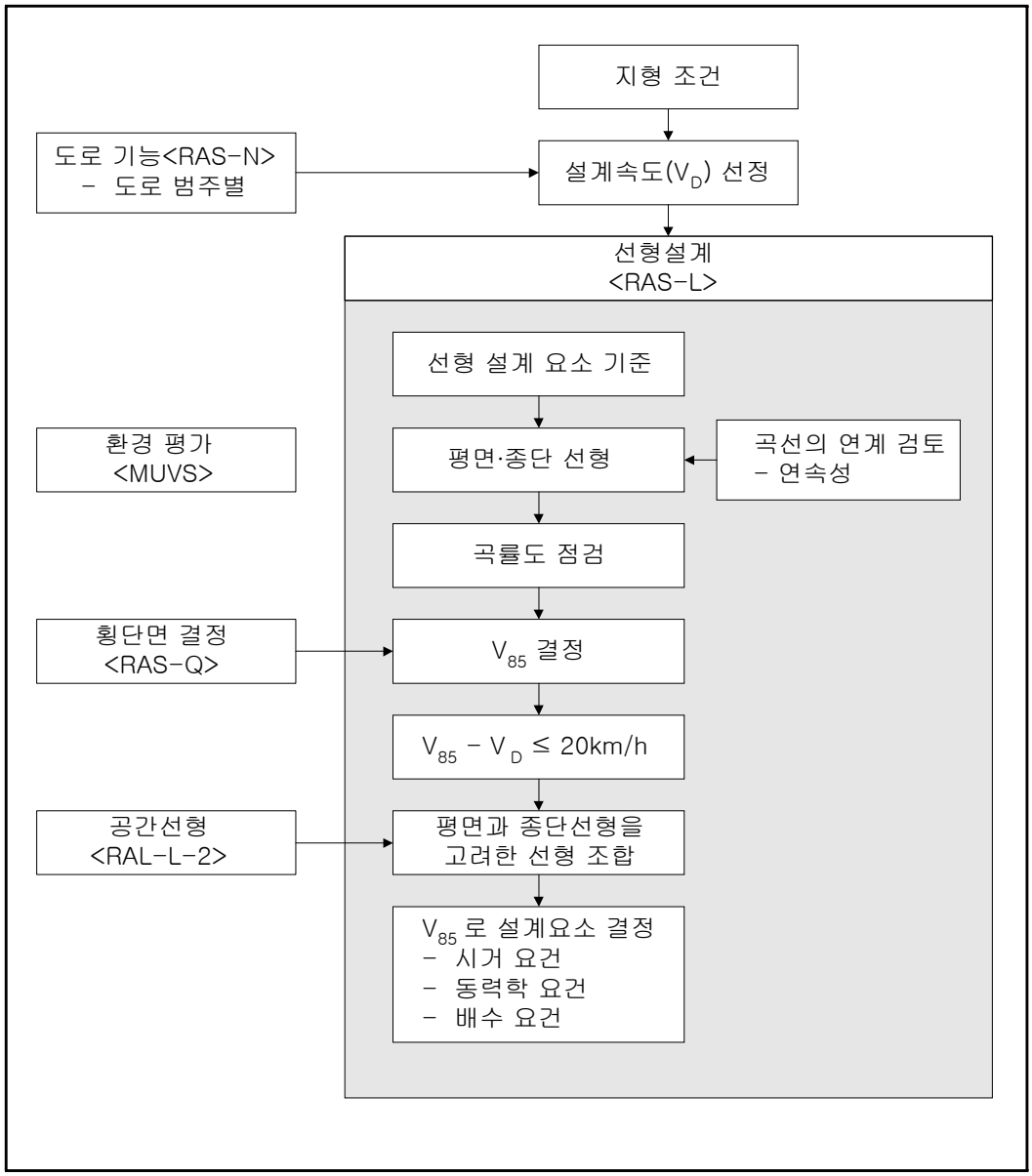


<그림 301.2> 기하구조 설계의 흐름도

<그림 301.1>과 <그림 301.2>를 토대로 한 기하구조 설계 절차는 다음과 같다.

- 설계할 노선 또는 구간의 성격 결정 : 도로의 기능(수준), 지역 구분(지방부, 도시부)
- 설계속도 결정(도로의 기능과 지역 구분에 따라 정해져 있음)
- 정해진 설계속도에 따라 관련 설계 요소의 값 결정
- 정해진 설계 값들을 실제 조사된 현장 여건에 맞게 적용하여 설계

독일의 경우는 <그림 301.3>과 같이 실제 운행 특성을 설계에 반영하는 체계를 갖고 있다. 선형 설계 절차에 운행속도의 85백분위 속도(V_{85}) 개념을 포함시키고 있다.



<그림 301.3> 독일의 도로 선형 설계 과정 <RAS-L>

이 85백분위 속도는 설계 단계의 도로에는 설계속도보다 얼마씩 높은 속도를 적용하도록 하고 있고, 사용 중인 도로에는 현장 조사치의 85백분위 속도를 적용하도록 하고 있다. 물론, 완공 후 실제로 나타난 운행속도가 설계시에 예상한 속도보다 높을 때에는 제한속도를 완화하기보다는 운행속도를 줄일 수 있는 대안을 찾아 노출된 과속 문제를 보완한다. 이 외에도 도로 선형의 연속성 확보를 위한 방안(곡선반경, 선형 조합, 공간선형 등)도 포함시키고 있다.

3.2 설계의 기본 개념

기하구조 설계는 도로의 평면선형과 종단선형 및 횡단면 설계 등을 포함하는데, 도로의 기본 모양을 만드는 과정이다. 시공 작업이 최종 성과물의 질을 결정하는 가장 중요한 과정이지만, 근본적으로 설계에 따라 사업비 규모나 최종 성과물(도로)의 양호한 정도가 좌우되므로 기하구조 설계가 우선적으로 중요성이 강조된다.

이를 위한 도로의 기준은 그 도로에 요구되는 기능 또는 등급에 따라 정해진다. 이러한 기준들은 다음과 같은 특성을 고려한다.

- 거시적으로 국가의 도로 정책의 틀에 따라 좌우될 수 있다. 도로 부문 또는 더 넓게 사회간접자본의 예산 규모와 시설 수요에 대해 결정한 공급 물량과 수준에 따라 큰 틀에서 그 기준이 정해질 수 있다.
- 시설을 공급하는 쪽이 유지하려는 시설의 수준과 세부 기준 등에 좌우된다. 그 다음으로 예산 제약 조건에 의해 기준이 정해진다.
- 도로를 지나가는 개별 차량의 특성과 이들이 함께 모여 흐르는 교통류의 특성에 관련되어 있다.
- 해당 시설을 이용하는 이용자(운전자)의 이용 행태와도 관련되어 있다.

기하구조 설계 과정에서 '안전' 조건은 모든 설계 조건을 규정하는 제1 기준이다. 안전한 설계 기준은 자동차와 도로의 역학적인 특성과 운전자의 특성(운전 습관, 반응 행태)에 좌우된다. 결국 운전자나 자동차의 특성을 설계 기준이나 실제 기하구조 설계 과정에 얼마만큼 충실하게 반영하느냐에 따라 도로 안전이나 설계의 적정성 여부가 결정된다.

도로설계시 도로의 폭원 구성과 선형 결정에 있어서 설계 기본 방침은 다음과 같다.

- 도로의 폭원 구성

도로의 폭원 구성은 그 도로의 용지 폭을 결정하고, 건설 비용에 큰 영향을 주기 때문에, 그 도로의 중요도 및 도로망 전체 중에서 부과되는 역할 등을 충분히 감안하여 결정한다. 일반적으로 도로의 폭원 구성은 도로의 종류, 성격, 기능 및 그 도로를 통행하는 자동차, 자전거, 보행자 등의 교통량에 따라 결정된다. 제한된 건설비로 어떻게 하면 효과적인 도로망 체계를 더 빨리 형성할 수 있을 것인지를 고려한다면, 경제 효과와 건설비에 따라 어떤 일정한 폭원으로 규정할 수밖에 없다.

지방부 도로에서는 도로가 정비됨에 따라 도로변 개발이 진행되는 경우가 많은데, 장래 교통량을 추정할 때는 충분히 주의를 할 필요가 있다. 또, 보도 등에 대해서도 어느 정도 사전에 정비를 진행해 두는 것이 바람직하다.

도시부의 도로에서는 교통을 처리하는 기능 외에 양호한 도시 경관과 가로 구획 형성이라는 목적도 있어 이러한 사항들을 배려하여 폭원을 정한다.

- 선형의 결정

노선 선정 과정에서 노선의 대략적인 위치가 결정되면, 지형과 지물의 상황 및 그 노선의 기능과 중요성을 감안하면서 실제 선형을 결정하는데, 가장 중요한 인자는 그 도로의 설계속도이다. 설계속도는 해당 도로의 종류(고속도로, 일반도로), 그 도로의 기능, 계획 교통량, 지형(평지, 구릉지, 산지) 등에 따라 다르게 정한다.

선형에는 평면선형과 종단선형이 있는데, 모두 설계속도 관점에서 매우 중요하다. 고규격인 도로에서는 쾌적한 주행이 되도록 선형의 조합에 대하여 충분히 배려한다.

설계속도가 결정되면 선형의 각 요소의 최소치, 최대치는 계산에 따라 구하는데 여기서 설계속도가 낮은 경우(60km/h 미만)에는 운전자는 반드시 설계속도로만 주행한다고 한정할 수 없으며, 선형이 좋고 시거가 양호하며 교통량이 적은 경우에는 설계속도보다도 높은 속도로 주행하는 경우가 많다. 따라서, 구체적으로 선형 요소를 결정하는 경우에는 현실의 주행 특성을 배려하고, 예상되는 주행 상태에도 유의해야 한다.

302
설계 기본 사항

302.1 개요

본 장은 다양한 기능의 도로 설계에 있어서 최상의 활용 또는 개선을 위한 기준으로 적용되는 운전자, 자동차, 도로·환경 및 교통 특성을 논의하고 있다.

302.2 도로의 구분

도로의 구분은 도로가 제공하고 이용자가 기대하는 기능과 도로가 소재하는 지역 및 지형의 상황과 계획 교통량에 따라 동일한 설계기준을 적용해야 하는 구간을 도로의 구조와 시설 기준이라는 관점에서 분류하여 체계 있게 구분 한 것이다.

도로를 구분할 때 현 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(이하 '규칙'이라고 함)은 고속도로와 일반도로로 대별하고 있다.

고속도로란 도로법 제12조 규정에 의한 고속국도와 보행자 및 자전거 등의 통행이 금지되고 자동차만 이용하는 도로로서, 중앙분리대가 있고 입체교차 되며 설계속도가 80km/h 이상인 자동차 전용의 도로를 말한다.

자동차 전용도로는 일반도로와 달리 출입이 완전 또는 일부 제한된 유출입구를 통해서만 다른 도로와의 연계가 가능하다.

일반도로는 그 기능에 따라 주 간선도로, 보조 간선도로, 집산도로, 국지도로로 구분되며 순서대로 통행상의 중요도를 갖는다. 이러한 통행상의 위계가 도로의 설계에 적절히 반영되지 못하면 도로의 기능이 원활히 수행되지 못함으로써 결과적으로 도로의 효율성과 안전성에 문제를 야기 시킨다.

도로의 구분과 관련된 자세한 내용은 본 편람 '제2편 도로계획'의 '202 도로의 기능 및 구분'장에 설명되어 있다. <표 302.1~4>는 외국의 도로 분류에 관한 표이다.

<표 302.1> 일본의 도로 분류

도로의 종별	구 분	사업 주체
고속자동차국도	유 료	일본도로공단
도시고속도로		수도고속도로공단, 한신(阪神)고속도로공단
혼슈 시코쿠 연락도로		혼슈 시코쿠(本州-四國) 연락교 공단
일반 유료도로		지방도로공사 등
일반국도	무 료	건설성 등
도도부현(都道府縣)도	무 료	도도부현(都道府縣) 등
시정촌(市町村)도	무 료	시정촌(市町村)

<표 302.2> 미국의 도로 분류

분 류 별	도로의 종별	
보 조 유무별	연방 보조 (federal-aid)	국가 도로 체계 (national highway system)
		주간(州間) 고속도로 (interstate)
		기타 도로 (other)
	비 연방 보조 (non-federal aid)	
기능별	주 간선도로 (principal arterial roads)	
	보조 간선도로 (minor arterial roads)	
	주 집산 도로 (major collector roads)	
	보조 집산 도로 (minor collector roads)	
관 리 주체별	주도 (under state control roads)	
	군도 (county roads)	
	타운·타운쉽 도 (town and township roads)	
	기타 지방도 (other roads)	
	연방 관리도 (under federal control roads)	

<표 302.3> 영국의 도로 분류

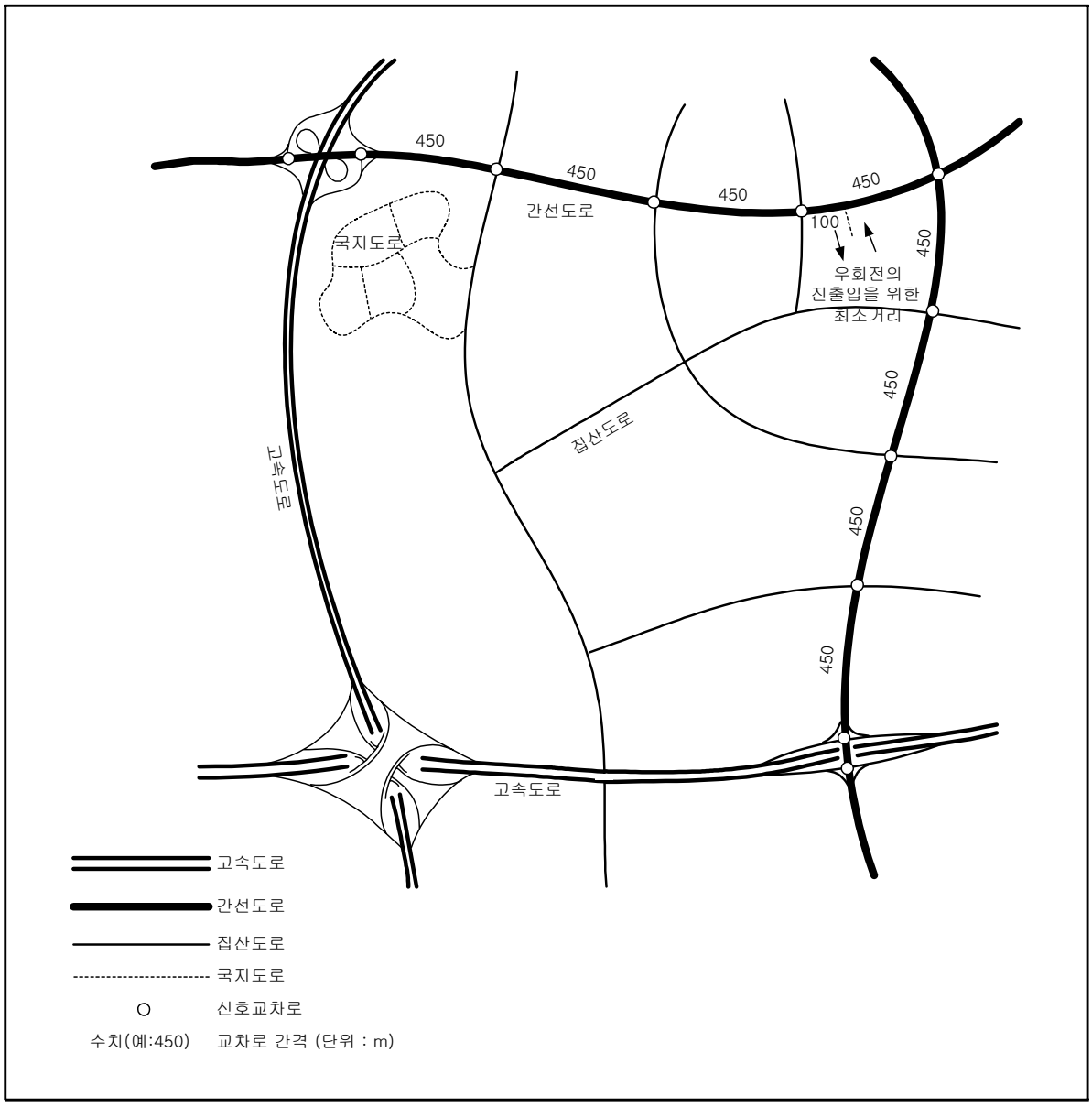
도로의 종별	구분	도로 호칭
간선도로 (trunk roads)	고속국도 (trunk motorways)	M ○ ○ 호
	일반국도 (non-motorway trunk roads)	A ○ ○ 호 B ○ ○ 호 C ○ ○ 호
주요 도로 (principal roads)	지방자치단체 자동차 전용도로 (local authority motorways)	
	주요 지방도 (other principal roads)	
기타 도로		

<표 302.4> 독일의 도로 분류

간선도로	시정촌도	농림도로
연방 장거리 도로	지역 내	농도
연방 아우토반	주요 도로	주요 농도
연방 도로	일반 도로	경작도
	집합 도로	
주도(州道)	지선 도로	임도
		주요 임도
군도(郡道)	지역 외	진입로
	연락 도로	퇴출로
읍면간 도로	기타 역외 도로	
	지역간 연락 도로	기타

주) <표 302.1~4>의 내용은 2000년 5월 29일 갱신된 일본 고속도로조사회 (http://www.express-highway.or.jp/)의 자료임

<그림 302.1>은 도로의 구분과 각 도로 간의 관계를 예시한 것이다.



주) Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads(Roads and Transportation Association of Canada, 1986)

<그림 302.1> 도로의 구분과 각 도로 간의 관계

302.3 목표 연도

도로를 계획하거나 설계하는 때에는 예측된 교통량에 맞추어 도로를 적절하게 유지·관리함으로써 도로의 기능이 원활하게 유지되도록 도로의 계획 목표 연도를 설정한다.

목표 연도의 설정 기준은 다음과 같다.

- 교통량 예측의 정확성을 신뢰할 수 있는 범위
- 자본의 효율적 투자 측면 (경제성)
- 도로의 등급에 따른 구분
- 도로의 시설 종류별 구분
- 계획 도로의 위치(지역 여건)
- 사회·경제 계획 및 도시계획 등 다른 계획과의 관계

도로 사업의 목표 연도는 계획 및 설계 당시를 기준으로 20년을 넘지 않는 범위 내에서 목표 연도 설정 기준을 고려하여 정하며, 가급적 사회·경제 5개년 계획의 5년 단위 목표 연도와 일치하도록 한다.

<표 302.5>은 도로별 목표 연도를 개략 제시한 것이다.

<표 302.5> 도로별 목표 연도

시설 구분	도시 지역	지방 지역
고속도로	15～20년	20년
간선도로	10～20년	15～20년
집산도로	10～15년	10～15년
국지도로	5～10년	10～15년

<표 302.5>를 적용하는 방법은 다음과 같다.

- 터널, 교량 등으로 확장이 어려운 노선은 목표 연도를 크게 하고, 토공 등으로 확장이 용이한 노선은 작은 값을 적용함
- 토지이용 변화가 심한 곳은 작은 값을 적용함
- 광역 계획에 포함된 노선일 경우는 광역 계획상의 목표 연도를 적용함
- 도시계획 등 제약을 받을 경우 도시계획상의 목표 연도를 적용하며, 필요시 도시계획 변경을 고려함
- 단계건설일 경우 경제성 분석 후 결정함
- 도로의 부분 개량일 경우 작은 값을 적용함

302.4 설계속도

도로의 구조 측면에서 설계속도는 자동차의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호 관련시키기 위한 속도이고, 자동차의 주행 측면에서는 도로 설계요소 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건에서 운전자가 도로의 어느 구간에서 쾌적성을 잃지 않고 유지할 수 있는 최고 속도이다. '규칙'에서는 설계속도를 도로설계의 기초가 되는 자동차의 속도로 정의하고, 도로의 구분에 따라 <표 302.6>의 속도 이상으로 정하고 있다. 다만, 지형 상황 및 경제성 등을 고려하여 필요한 경우에는 다음 표의 속도에서 20km/h 범위 안의 속도를 뺀 속도를 설계속도로 할 수 있다.

<표 302.6> 설계속도 기준

도로 구분		설계속도(km/h)		
		지방 지역		도시 지역
		평지	산지	
고속도로		120	100	100
일반 도로	주간선도로	80	60	80
	보조간선도로	70	50	60
	집산도로	60	40	50
	국지도로	50	40	40

미국 AASHTO(1994)는 설계속도에 대해 여러 상황이 양호하여 도로의 설계 특징이 통제될 수 있을 경우 도로의 특정 구간에서 유지될 수 있는 최대 안전 속도로 정의하고 있다. 또, 추정 설계속도는 지형, 인접 토지 사용, 도로의 기능적 분류에 대한 논리적 속도이다.

속도 규제가 의도적으로 빈번하게 시행되는 국지도로를 제외하고는 환경 조건, 경제성, 미적·사회적 및 정치적 영향의 제약하에서 원하는 수준의 안전성, 이동성, 효율성을 획득할 수 있는 가능한한 높은 설계속도를 얻기 위한 모든 노력을 기울인다.

동일한 기능의 연속된 도로에서는 같은 설계속도를 적용하나, 산지부나 도시 지역을 통과하는 경우 지형의 복잡성 및 고도의 토지이용 등에 의한 막대한 건설비 소요 및 환경 문제 등으로 사업이 불가능한 경우가 있을 수 있다. 이와 같은 구간에 대해서는 예외적으로 단구간에 한하여 설계속도를 20km/h 또는 10km/h 정도 축소할 수 있도록 하고 있다. 그러나 이러한 규정을 설정하고는 있지만 안전한 교통처리 측면에서는 바람직하지 못하므로 설계구간에 대해서는 충분한 검토와 함께 신중한 적용이 필요하다.

302.5 설계구간

설계구간이란 노선의 성격이나 중요성, 도로가 위치하는 지역 및 지형의 상황과 계획 교통량에 따라 동일 설계기준과 설계속도를 적용할 수 있는 구간이며, 동일한 도로 구분을 적용하는 구간이다. 지나치게 짧은 구간에서 설계구간을 변화시키거나 운전자가 예기치 못한 장소에서 설계구간을 변경시키는 것은 운전자를 혼란시켜 교통 안전상으로도 좋지 못하며 쾌적성도 해치게 된다.

노선의 기하구조는 가능한 연속적인 것이 바람직하므로 설계구간을 설정하는 경우에는 그 길이나 변형점의 선정 방법 등에 대해 신중한 배려가 필요하다.

5.1 설계구간의 길이

경험적인 최소 설계구간 길이는 개략적으로 <표 302.7>과 같다.

<표 302.7> 설계구간 길이

도로구분	설계구간의 표준적인 길이	부득이한 경우에 설계속도만을 떨어뜨리는 최소 구간 길이
고속도로/ 지방 지역 간선도로	20～30km	5km
지방 지역 기타 도로	10～15km	2km
도시 지역 일반도로	주요 교차점의 간격	

<표 302.7>에서 우측의 값들은 부득이하여 짧은 구간에서 설계속도를 떨어뜨려야 하는 경우의 최소 구간 길이이다. 이는 지형 여건 등으로 부득이한 경우에 설계속도를 10km 내지 20km 축소한 구간이 하나의 설계구간 중에 1～2개소 정도라면 허용할 수 있다는 취지이다.

5.2 설계구간 변경점의 처리

설계속도의 차이가 20km/h를 넘는 연속된 설계구간을 직접 접속시키는 것은 노선의 기하구조 환경을 급격히 변화시키므로 안전 측면에서 바람직하지 않다.

설계속도를 20km/h 정도 감소할 필요가 있는 경우에는 10km/h씩 단계적으로 줄인다.

설계속도의 변화로 횡단면도 부득이 하게 변경할 필요가 있는 경우에는 횡단면의 변이구간을 테이퍼로 연결하되, 지방 지역에서는 20 : 1 이상, 도시 지역에서는 10 : 1 이상을 유지한다.

설계속도가 변하는 구간에 대해서는 도로 및 교통 안전시설의 설치에 만전을 기한다.

지방 지역의 간선도로와 도시 지역의 국지도로를 직접 접속시키는 것은 피한다.

설계구간의 변경점은 지형, 지역, 주요 교차점, 인터체인지 등 교통수요가 변하는 지점, 장대교와 같은 구조물이 있는 지점 등 운전자가 무의식적으로 상황의 변화를 감지할 수 있는 지점을 택한다.

302.6 설계기준 자동차

설계기준 자동차는 도로상에서 볼 수 있는 모든 형태의 자동차들을 대표할 수 있도록 몇 개의 대표 자동차를 정한 것으로서 설계기준 자동차의 중량, 제원 및 성능 등은 해당 도로의 기하구조를 결정하는 데 기초가 된다.

6.1 설계기준 자동차 종류 및 치수

각 설계기준 자동차의 관련 기준에 대한 적용과 형태는 <표 302.8>과 같다.

다만, 우회할 수 있는 도로(당해 도로의 기능 이상의 도로에 제한)가 있는 경우, 도로의 구분에 관계없이 대형 자동차 또는 소형 자동차를 설계기준 자동차로 할 수 있다.

현 '규칙'에서는 소형 자동차, 대형 자동차, 세미트레일러 등의 세 가지 설계기준 자동차를 규정하고 있다.

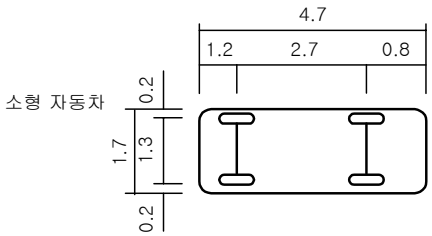
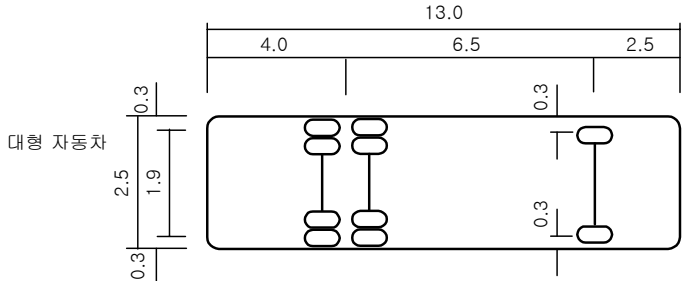
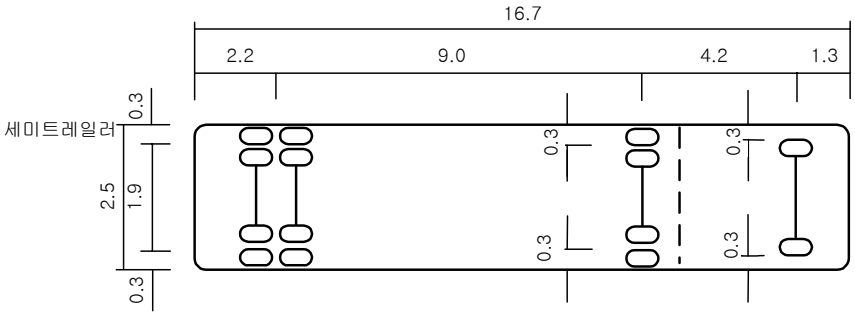
특정한 도로구간을 설계할 경우 설계기준 자동차의 선정은 그 도로를 상당한 빈도로 이용할 것으로 예상되는 자동차 중에 가장 큰 규격의 자동차로 한다.

도로 설계시 활용되는 설계기준 자동차의 적용은 평면 곡선반경, 확폭, 횡단구성, 교차로 등 기하구조를 결정하는데 중요한 요소이며, 하중에 따른 포장구조 결정 및 교통량에 의한 도로시설 규모 산정에 적용된다.

시거, 오르막 차로, 종단곡선, 포장 설계 등에 있어서 별도로 설계기준 자동차를 규정하는 경우에는 그 기준 자동차를 적용한다.

우리나라 설계기준 자동차의 종류별 제원은 <표 302.9>이며, <표 302.10>은 미국의 설계기준 자동차의 종류별 제원이다.

<표 302.8> 설계기준 자동차의 적용과 형태

설계기준 자동차	적 용	설계기준 자동차의 제원 (단위 : m)
소형 자동차 (승용차)	시거	
대형 자동차 (뒷부분이 2축인 트럭)	폭원 결정, 곡선부의 확폭, 교차로의 설계, 종단경사	
세미트레일러 (4축을 갖는 자동차)		

6.2 설계기준 자동차의 최소 회전반경

설계기준자동차의 최소 회전반경은 속도 15km/h 이하에서 측정한 값으로 바퀴 내측 반경과 바퀴 외측 반경이 다르다.

'규칙'에서 정의한 최소 회전반경은 외측 바퀴의 회전반경을 말한다. 소형 승용차의 최소 회전반경은 현재 운행중에 있거나 장래에 운행하리라고 예상되는 승용차의 회전반경 중 최대치도 포함되도록 정한 것이다.

<표 302.9> 설계기준 자동차의 종류별 제원

(단위:m)

자동차별 / 제원	소형 자동차	대형 자동차	세미트레일러
폭	1.7	2.5	2.5
높이	2.0	4.0	4.0
길이	4.7	13.0	16.7
축간거리	2.7	6.5	앞 축간거리 4.2 뒷 축간거리 9.0
앞내민거리	0.8	2.5	1.3
뒷내민거리	1.2	4.0	2.2
최소 회전반경	6.0	12.0	12.0

주)

1. 축간거리 : 앞바퀴 차축의 중심으로부터 뒷바퀴 차축의 중심까지의 길이
2. 앞내민길이 : 자동차의 앞면으로부터 앞바퀴 차축의 중심까지의 길이
3. 뒷내민길이 : 뒷바퀴 차축의 중심으로부터 자동차의 뒷면까지의 길이

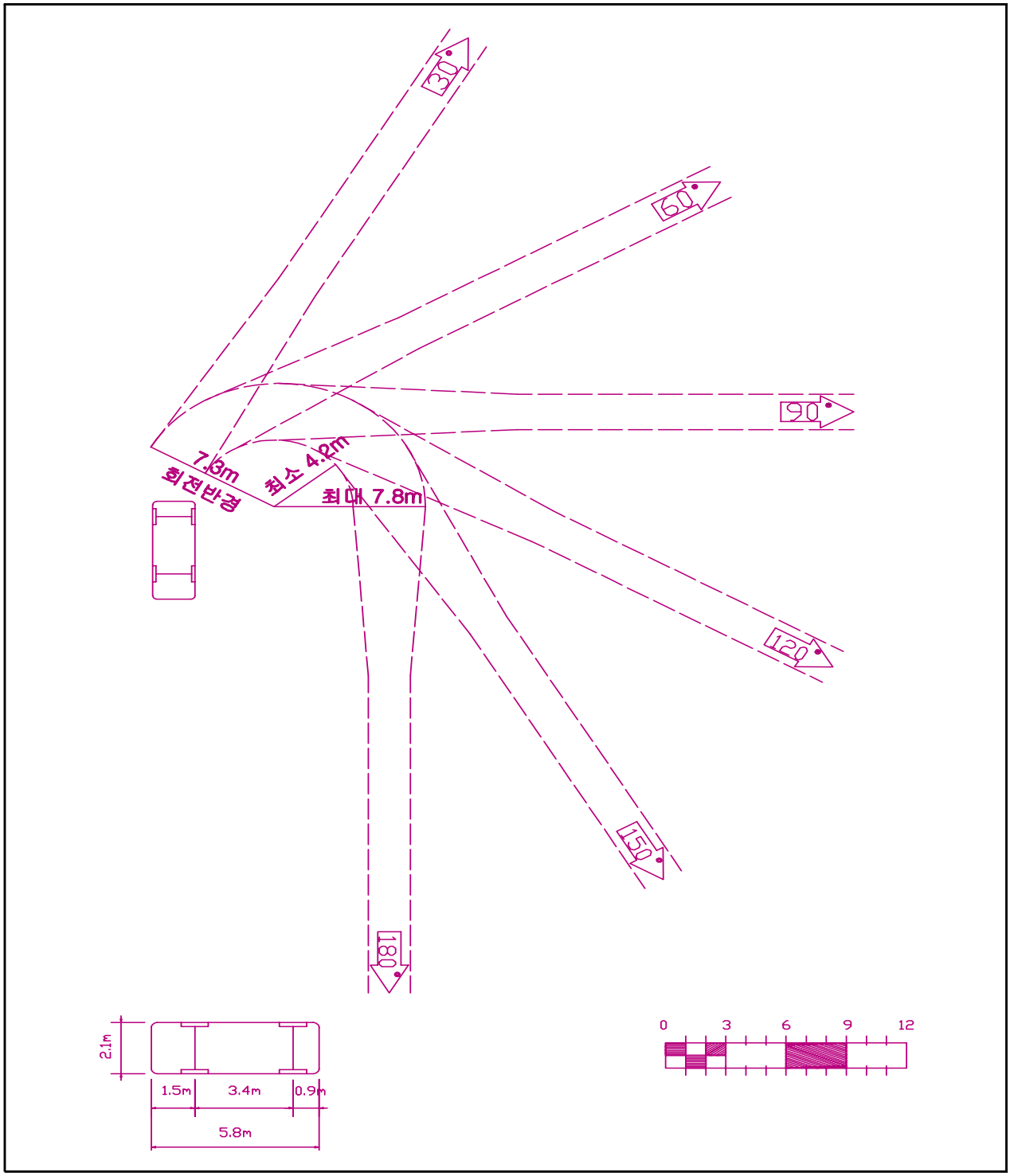
<표 302.10> 미국 설계기준 자동차의 종류별 제원

(단위:m)

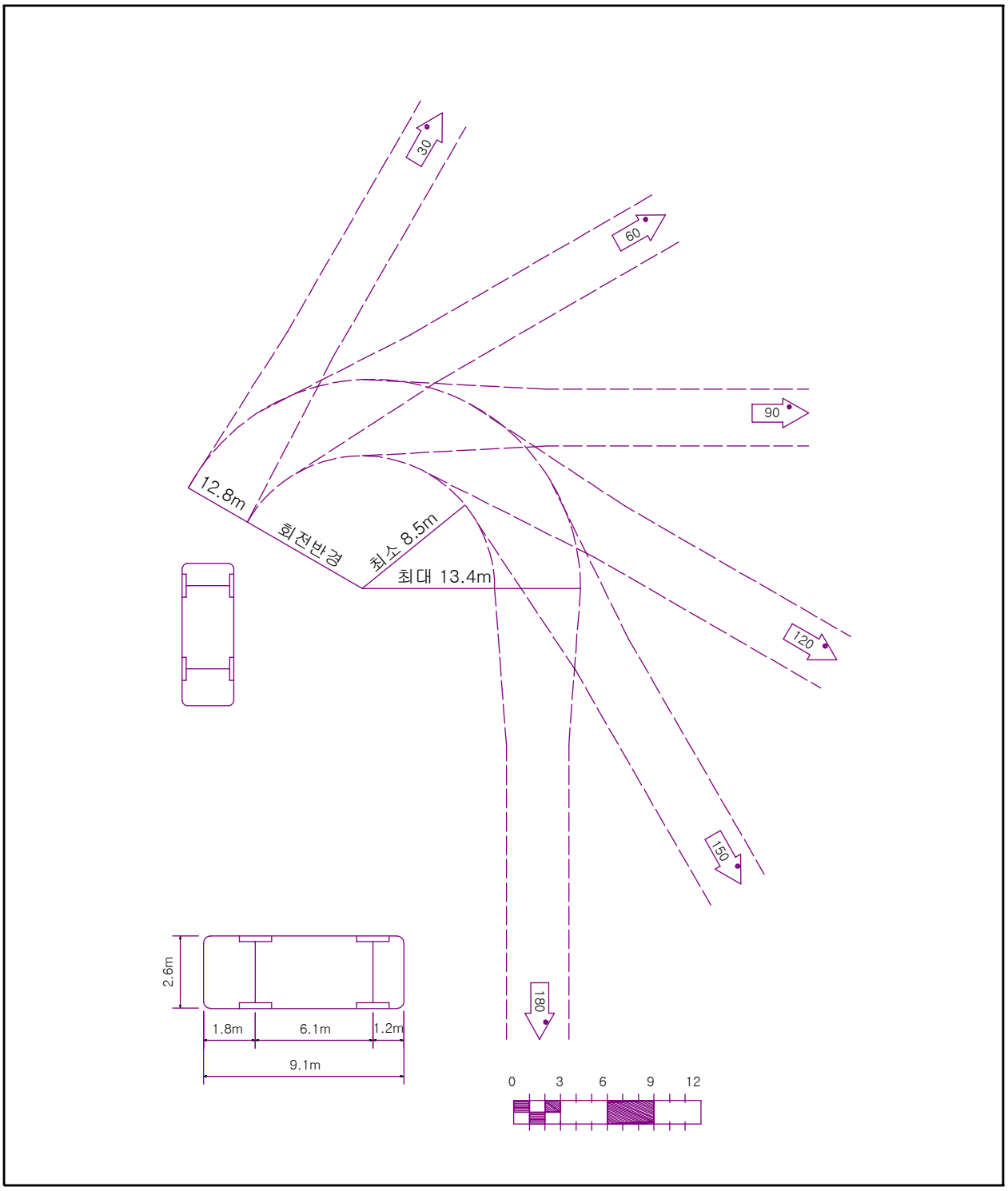
자동차 별 / 제원	P (승용차)	SU (단일 트럭)	WB-12 (조합 트럭)
폭	2.1	2.6	2.6
높이	1.3	4.1	4.1
길이	5.8	9.1	15.2
축간거리	3.4	6.1	앞 축간거리 4.0 뒷 축간거리 8.2
앞내민거리	0.9	1.2	1.2
뒷내민거리	1.5	1.8	1.8
최소 설계 회전반경	7.3	12.8	12.2

주) 자료의 출처는 AASHTO(1994)이며, 우리나라 설계 기준 자동차와 비교하여 유사한 미국의 설계 기준 자동차중에서 passenger car(P), single unit truck(SU), combination trucks중에서 intermediate semitrailer(WB-12)만을 언급

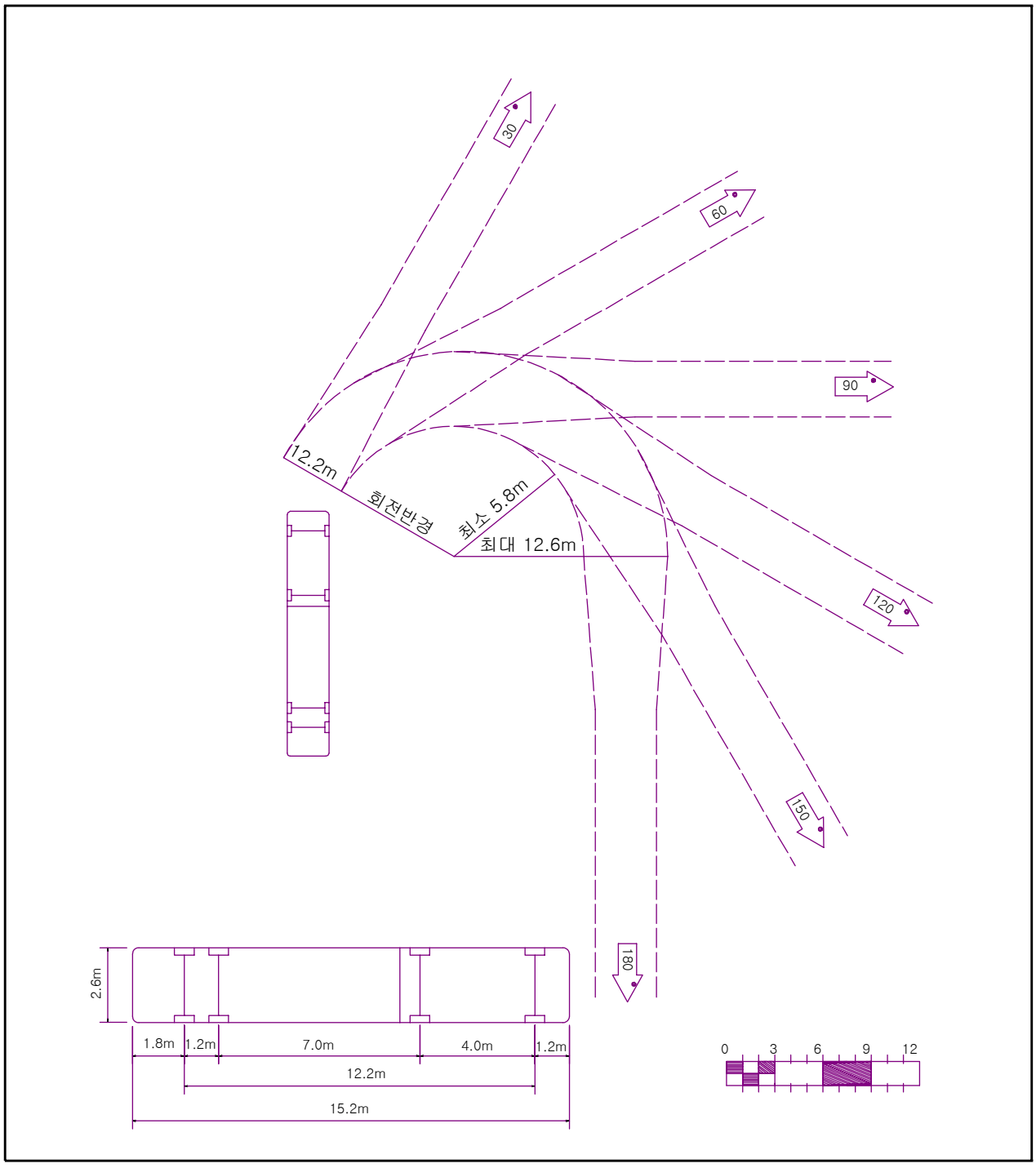
<그림 302.2>, <그림 302.3>, <그림 302.4>의 자동차 회전 회전 템플릿(templete)은 AASHTO(1994)기준으로 각각 설계 기준 자동차 P(승용차), SU(단일 트럭), WB-12(조합 트럭)의 회전 경로를 보여준다. 해당 경로는 좌측 앞바퀴 앞내민 끝 부분과 바깥쪽 뒷바퀴 궤적에 대한 그림이다. 좌측 앞바퀴의 궤적 경로도 원곡선을 나타내나, 본 그림에서는 표시하지 않았다.



<그림 302.2> 미국 설계기준 자동차 P의 회전 궤적



<그림 302.3> 미국 설계기준 자동차 SU의 회전 궤적



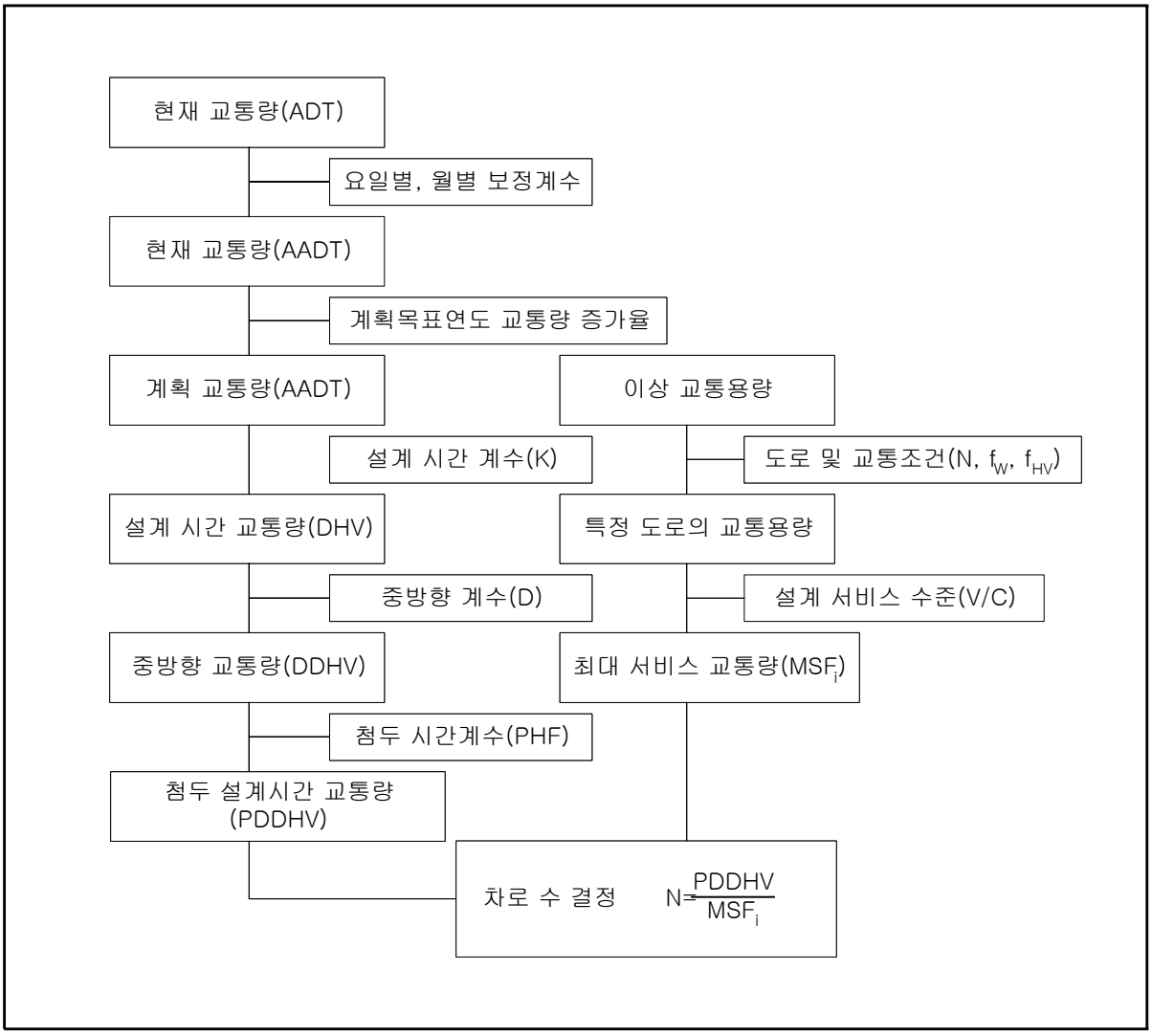
<그림 302.4> 미국 설계기준 자동차 WB-12의 회전 궤적

302.7 교통량과 도로용량

교통량과 도로용량의 기본 요소에 관한 내용은 기하구조의 횡단구성 중 차로 수의 산정에 적용되며 설계 요구 서비스 수준에 맞는 차로 폭 및 길어깨 설계, 종단 경사의 설치, 연결로의 접속 형태 결정 등에 적용한다.

본 항의 내용 이외에 보다 자세한 사항은 본 편람 '제2편 도로계획'의 '205 도로용량과 서비스 수준'장을 참고한다.

<그림 302.5>는 본 항의 내용을 토대로 수행하는 차로 수의 결정 작업 과정을 도식화한 것이다.



<그림 302.5> 차로 수 결정 과정

7.1 설계시간 교통량

설계시간 교통량(DHV ; Design Hourly Volume)은 도로의 계획 목표 연도에 그 도로구간을 통과 또는 이용할 것으로 예상되는 한 시간당 자동차 통과 대수를 말한다.

대상 도로구간의 교통량 변화 특성을 반영하기 위한 연평균 일교통량(AADT ; Annual Average Daily Traffic)에 대한 비율인 K값을 결정하고, 이 값으로 설계시간 교통량을 산출한다.

도로시설물의 설계시에는 매일 반복되는 첨두시간 교통량을 설계에 반영하기 위해 설계시간교통량을 적용하며, 일반적으로 다음과 같은 과정을 따른다.

① 대상 도로구간의 상시 교통량 조사에 나타난 한 시간당 교통량을 높은 교통량에서부터 시작하여 가장 낮은 교통량을 나타낼 때까지 순서대로 배열한다.

② 각 시간당 교통량을 나타내는 점들을 연결하는 매끄러운 곡선을 그린다.

③ 상기 절차에서 작성된 곡선을 살펴보아 곡선의 기울기가 급격히 변화하는 지점을 결정한 후 그 지점에 해당하는 교통량의 연평균 일교통량에 대한 백분율을 산출한다.

④ ③에서 선택한 30번째 시간 교통량(30HV)을 연평균 일교통량에 대한 백분율로 결정한다.

이 백분율을 K_{30}이라고 나타내는데 일반적인 특성은 다음과 같다.

- 연평균 일교통량의 증가와 함께 그 대상 도로구간의 K_{30}은 일반적으로 감소함
- K_{30}이 높을수록 교통량 변화가 심함
- 대상 도로구간 인접 지역의 개발이 많이 이루어질수록 K_{30}은 감소함
- K_{30}은 일반적으로 관광도로에서 가장 높은 값을 나타내며 지방지역도로, 도시외곽도로, 도시내 도로 순으로 낮아짐

지방지역 도로의 경우 일반적으로 K_{30}은 12%~18%를 나타내며 도시지역 도로에서는 8%~12%를 나타낸다. K_{30}은 도로의 효율성면에서 상당히 중요한 변수로서 K_{30}을 너무 높게 산출하게 되면 설계시간 교통량이 과다히 산출되어 비경제적인 도로건설을 초래할 우려가 있다. 반대로 K_{30}을 너무 낮게 산출하면 설계시 기준으로 했던 교통량보다 높은 교통량을 기록하는 시간대가 자주 발생하여 잦은 교통혼잡을 유발하게 된다.

이러한 관점에서 볼 때 도로를 건설할 때는 교통계획 단계에서 산출되는 연평균 일교통량의 정확한 산출과 함께 K_{30}의 합리적인 산출이 반드시 필요하다.

<그림 302.6>는 미국의 지방부 간선도로에서 가장 높은 시간교통량의 수치와 ADT 사이의 관계를 보여준다. 평균 지방부 간선도로상에서 30HV는 AADT의 약 15%이며 최대 시간당 교통량은 AADT의 약 25%이다. 대부분의 위치에 대한 30HV는 AADT의 12~18%의 범위에 있다. 이와 같이 동일한 도로 분류에 대한 최대 시간당 교통량의 범위는 AADT의 약 16~32%까지 다양하다.

한편 첨두 시간과 같이 교통량의 방향별 분포가 뚜렷한 차이를 나타내는 경우 교통량이 많은 방향을 도로의 설계대상 방향으로 설정한다.

일단 대상 도로구간의 K_{30}이 결정되고 나면 다음 식에 의해 설계시간 교통량을 정한다.

$$DHV = AADT \times \frac{K_{30}}{100}$$

여기서,

DHV = 설계시간 교통량(양방향 · 대/시)

AADT = 연평균 일교통량(양방향 · 대/일)

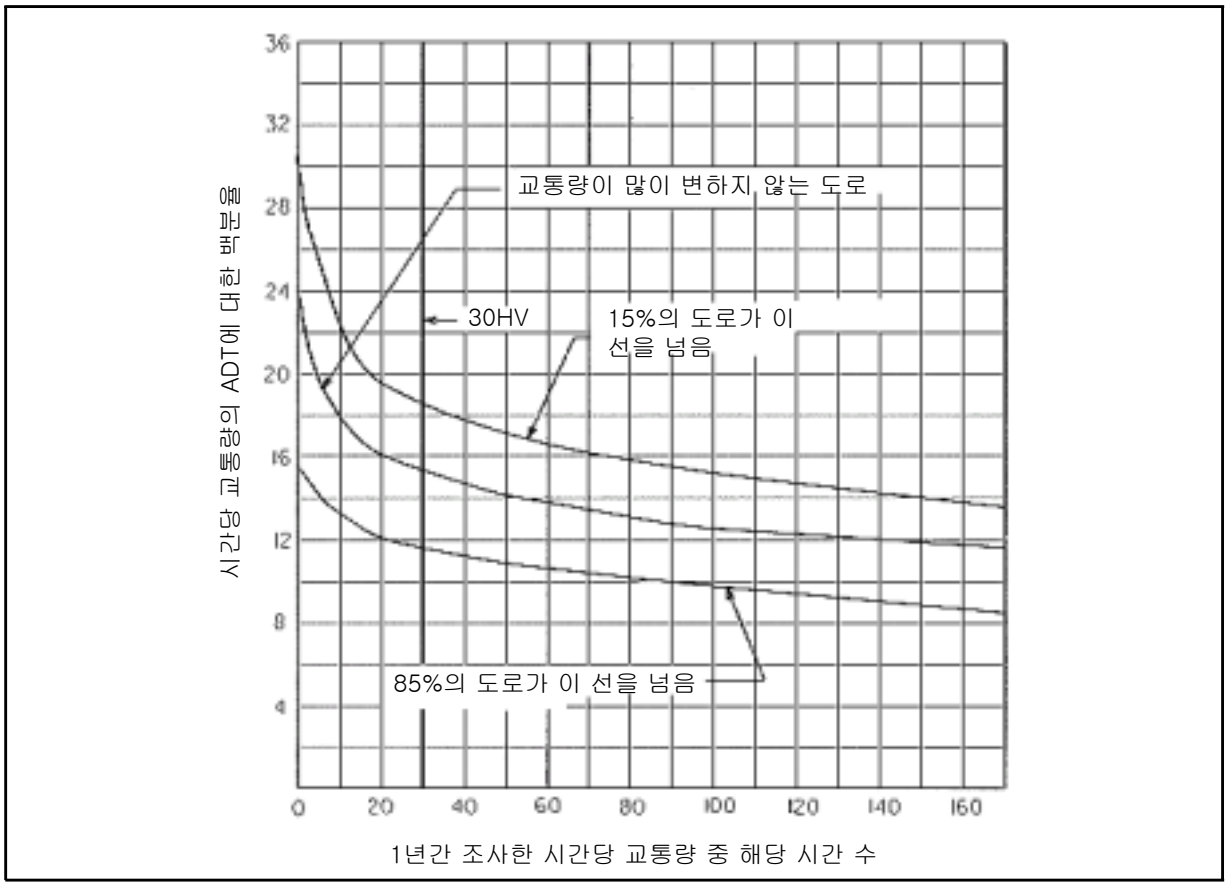
방향별 분포를 고려했을 경우에 설계시간 교통량을 산출하는 식은 다음과 같다.

$$DDHV = AADT \times \frac{K_{30}}{100} \times \frac{D}{100}$$

여기서,

DDHV = 방향별 설계시간 교통량(대/시)

D = 양방향 교통량에 대한 중방향 교통량의 백분율(%)



<그림 302.6> 지방부 간선도로에서 첨두시간과 ADT의 관계

7.2 도로 용량

본 내용에 관해서는 본 편람 '제2편 도로계획'의 '205 도로용량과 서비스 수준' 장을 참고한다.

7.3 설계서비스 교통량

설계서비스 교통량은 서비스 수준 A~F 중에서 어느 서비스 수준을 선택해서 해당 도로의 기준을 정할 것인가를 결정한 후 그 서비스 수준에서 결정된 교통량을 말한다.

서비스 수준에 대한 일반적 운영 조건은 다음과 같다.

- A : 교통량이 적고 고속, 자유 흐름
- B : 어느 정도 자유 흐름이지만 교통조건 때문에 속도에 제한을 받기 시작함
- C : 안정된 흐름 영역이지만 대부분의 운전자들이 마음대로 속도를 내지 못함
- D : 불안정한 흐름이며 접근한 대부분의 운전자들은 거의 마음대로 하기 힘듬
- E : 불안정한 흐름, 거의 정지 상태

설계 서비스 수준을 결정할 때 도로설계자는 가능한 한 가장 좋은 서비스 수준을 설계 서비스 수준으로 해야 하지만, 도로의 기능, 지역조건 및 특성 등을 고려한 현실적인 조건에 따라 적정 서비스 수준을 선택한다.

'규칙'의 해설 및 지침에 제시되어 있는 일반적인 설계 서비스 수준은 <표 302.11>과 같다.

<표 302.12>는 미국의 자료로, 도로의 종류와 지역 및 지역 조건에 따라 적당한 서비스 수준을 선택할 수 있도록 한 지침이다.

서비스 교통량, 서비스 수준, 관련 효과척도 등에 관한 구체적인 내용은 본 편람 '제2편 도로계획'의 '205 도로용량과 서비스 수준' 장을 참고한다.

<표 302.11> 도로형태별 설계 서비스 수준

도로 구분	지 역 구 분	
	지방 지역	도시 지역
고속도로	C	D
일반도로	D	D

<표 302.12> 미국의 설계 서비스 수준 선택 지침

도로 종류	서비스 수준			
	지방지역			도시지역 및 도시근교
	평지	구릉지	산지	
고속도로	B	B	C	C
간선도로	B	B	C	C
집산도로	C	C	D	D
국지도로	D	D	D	D

302.8 도로 이용자의 특성

도로 이용자에는 자동차 운전자, 보행자, 자전거 이용자 등이 포함되며, 이들은 상호간에 매우 복잡하게 작용하여 차량 흐름을 만들어 내므로 도로설계에 있어서는 그 상호간의 작용을 분석하여 적정 설계가 이루어지도록 한다.

8.1 운전자의 일반적 특성

운전자의 특성을 이해한다는 것은 본질적으로 인간의 특성을 이해하는 것이며, 이는 매우 어려운 과제이다. 그러므로 운전자의 특성을 고려할 때 도로상을 주행하는 모든 자동차 운전자들의 개별적 특성을 빠짐없이 반영하는 것이 아니라, 대표적 운전자 특성만을 반영하여 공학적 기법에 적용한다.

8.1.1 운전자의 반응 시간

도로를 주행하는 운전자는 눈과 귀를 통해 끊임없이 교통상황에 관한 정보를 습득하여 주행경로를 확인하고 안전성을 점검한다. 운전자가 주행 도중에 나타나는 위험한 물체나 도로표지 등의 정보를 인식하여 주행조작에 활용하는 과정은 다음과 같은 4가지 단계로 표시할 수 있다.

- 인지(Perception) : 필요한 교통정보를 목격하고 인식함
- 확인(Intellection) : 필요한 교통정보의 특성을 알아차림
- 판단(Emotion) : 적절한 행동을 판단하여 결정함
- 반응(Volition) : 결정한 대로 실행에 옮김

이러한 4가지 단계에 소요되는 시간을 운전자의 인지-반응시간이라고 하며 이 값은 교통설계나 운영분야에서 매우 중요하게 사용된다. 인지-반응시간은 대체로 장애물로부터의 거리, 운전자의 시야, 운전자의 개인 특성, 도로의 기하구조, 도로의 형태 및 상태, 장애물의 형태 및 색깔 등 다양한 조건에 의해 영향을 받으며 자동차의 속도와 도로의 주변환경 역시 이에 영향을 준다.

일반적으로 속도가 높아지게 되면 인지-반응시간이 짧아진다. 도시 내에서 주행하는 운전자들의 인지-반응시간은 주차차량, 접속도로, 횡단보도 등의 수많은 장애물을 의식하기 때문에, 이러한 조건이 거의 나타나지 않는 지방부 도로 운전자들의 인지-반응시간에 비하여 상당히 짧다.

외국의 연구를 토대로 살펴볼 때 최소 인지-반응시간은 1.64초 정도인 것으로 확인되었다. 즉 매우 조심스러운 상태에서 소요되는 인지-반응시간인 0.64초와 예상치 못한 교통신호등이 갑자기 나타나는 경우에 대한 시간 1.0초를 더한 시간이 필요한 것이다. 그러나 이러한 결론을 얻게 된 연구자료의 대부분이 아주 단순한 형식으로 운영되는 교통신호등을 대상으로 했고, 심지어 이런 단순한 형식에서조차 어떤 운전자들은 3.5초나 되는 인지-반응시간을 필요로 했기 때문에 도로조건의 다양성 및 복잡성을 고려할 때 1.6초보다 긴 최소 인지-반응시간이 도로설계에 사용되어야 함을 알 수 있다.

또한 운전자 및 도로 사용자에 대한 최대한의 안전성을 확보하기 위해서는 여러 가지 형태의 도로를 사용하는 운전자들의 절대 다수를 고려하여 인지-반응시간을 결정해야 하므로, 일반적으로 도로설계에서는 2.5초를 인지-반응시간으로 택하고 있다.

기하구조 관련 설계시 운전자들이 반응하는 횟수를 최소화하고 동일한 시점에서 운전자들이 처리해야 할 주행상의 조작을 최소화시킴으로써 이른바 '한번에 한 가지의 조작'을 고려한 설계가 되도록 해야 한다.

8.1.2 운전자의 광각 및 시각 능력

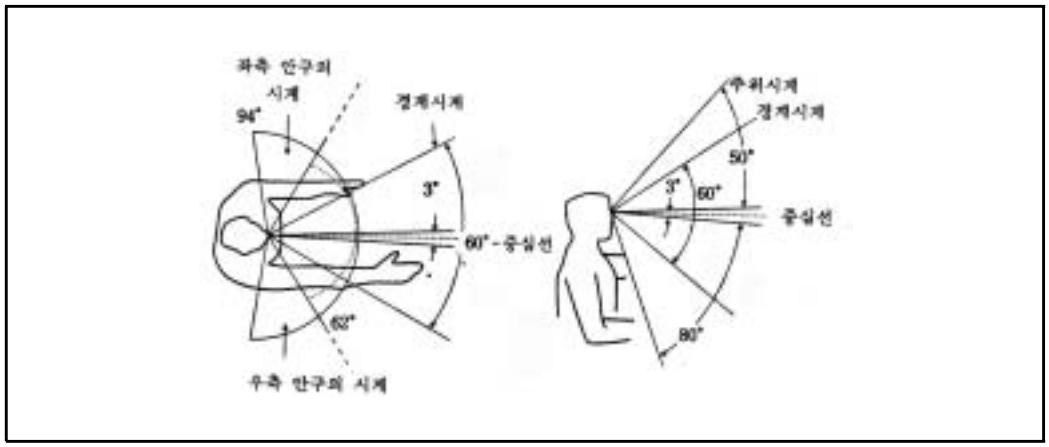
도로를 주행하는 운전자는 인접 자동차, 장애물, 교통관제시설 및 주변 도로상황을 끊임없이 인식하면서 이들에 대한 적절한 운전상의 조작을 취하고 있다. 운전자의 광안성(acuity)은 운전자가 물체를 볼 때의 분명성을 일컫는 용어이다. 이와 같은 시각능력은 운전자의 시지각 활동과 밀접한 관계가 있는 것으로 <그림 302.7>과 같은 운전자 시계 등을 감안한 도로시설의 설계가 필요하다.

8.1.3 청각 등 기타 사항

청각 등, 기타 운전자 특성이 운전에 미치는 영향은 크게 중요하지 않은 것으로 알려져 있다. 청각장애인의 자동차 면허 제한을 가하는 나라는 없고 또한 청각 장애인들의 교통사고 기록이 정상인에 비해 높다는 결과가 발표된 적도 없다.

신체 장애인들을 위한 자동차가 필요하고 교통 설계시 배려가 필요한 점은 있으나 이들이 정상인과 다른 운전자 형태를 보이는 경우는 없다.

최근 외국에서는 당뇨병 등 만성질환에 시달리는 환자들이 도로 주행 중 쇼크로 인해 교통사고 등으로 이어지는 경우가 보도되고 있으며, 그 위험성에 대해 우려하는 여론이 점차 높아지고 있기는 하나 아직 운전에 제한을 가하지는 않고 있다. 그러나 이러한 장애인들은 아무래도 신체기능이 정상인에 비해 뒤떨어지므로 교통전문가의 입장에서는 최대한 유연성 있는 교통시스템이 되도록 검토한다.



<그림 302.7> 운전자의 시계

8.2 보행자의 일반적 특성

모든 통행은 보행 거리를 반드시 포함하게 되는데, 아주 어린아이들이나 신체장애인을 제외한 대부분의 사람들은 보행자적 입장에 놓이게 된다. 따라서 기하구조 설계시 보행자의 안전과 효율성을 보장하는 것은 필수적인 사항이다.

8.2.1 보행자의 제원

보행자 시설을 계획하는 단계에서 가장 필요한 것은 성인 기준의 어른의 크기와 폭이다. 이를 고려한 보행자 밀도와 이동성을 나타내면 <표 302.13>과 같다.

8.2.2 횡단 차간 간격

보행자의 안전과 교통신호 시간의 결정 등 주요한 시설물 운영계획을 수립할 때 보행자의 속도를 잘 이해하고 교통류의 흐름 사이에 존재하는 차간 간격(gap)이 어느 정도 될 때 보행자들은 횡단을 시도할 것인지에 대해 세밀히 파악하는 것은 중요한 사항이 된다.

8.2.3 보행 속도

일반적으로 보행 속도는 각 개인의 신체적 조건과 정신적 여유에 따라 변화하며 보행 속도를 누계 백분율로 표시했을 때 90%에 해당하는 보행속도는 약 4.3km/h(1.2m/s)로 나타났다.

보행속도는 주로 신호등 시간 결정에서 사용되는데 대개의 경우 보행자 이동은 자동차 이동과 같이 이루어지기 때문에 횡단에 필요한 최소시간이 곧 해당 신호시간의 최소값으로 설정된다. 또한 보행이 시작되기 전에 최소한 7초의 출발 지체시간을 적용하여 보행자 안전성을 확보한다.

<표 302.13> 보행자 밀도와 이동성

보행	보행자 밀도 (인/m^2)	정지상태 및 대기열을 이룬 상태
	8.0	움직이는 것이 불가능함
	7.0	
	6.0	최대 정지 밀도
	5.0	
	4.0	
	3.0	편안한 상태의 대기상태이나 그룹을 지어 움직이지 않으면 움직이기 어려움
보행류의 용량상태로서 속도는 제한되고 자주 서게 되며 앞사람을 앞지를 수 없음		
	2.0	편안한 상태의 대기상태이나 이곳저곳 돌아다니게 되면 남에게 불쾌감을 주게 됨
	1.5	
보행속도는 대부분 제한받게 됨	1.0	편안한 상태의 대기상태임
	0.9	
	0.8	편안한 상태에서 대기열을 이루는 상태임
보행속도는 다소 제한받기 시작함	0.7	
	0.6	
통상 보행속도를 유지하며 반대 방향 보행자나 횡단 보행자와 다소 상충됨	0.5	
	0.4	
자유로운 보행	0.3	

302.9 시설한계

시설한계는 도로 위에서 자동차나 보행자의 교통안전을 확보하기 위하여 어느 일정한 폭, 일정한 높이 범위 내에서는 장애가 될 만한 시설물을 설치하지 못하게 하는 공간 확보의 한계이다.

따라서 시설한계에서는 교각이나 교대는 물론 조명시설, 방호울타리, 신호기, 도로표지, 가로수, 전주 등의 어떠한 시설도 설치할 수 없다. 폭 구성을 결정할 경우에는 각종 시설의 설치 계획에 대해서도 충분히 검토한다.

시설한계는 상한선을 노면과 평행하게 잡는다. 횡단경사를 갖는 구간에서는 연직으로 하고, 편경사를 갖는 구간에서는 노면에 직각으로 잡는다.

9.1 차도부의 시설한계

차도부의 시설한계는 <그림 302.8>과 같다. 이 경우 도로의 종단경사 및 횡단경사를 고려하여 확보되어야 한다.

통과 높이(H)는 4.5m로 하나, 집산도로 또는 국지도로에 있어서 지형 상황 등으로 인하여 부득이한 경우에는 4.2m, 대형 자동차의 교통량이 현저히 적고, 그 도로의 부근에 대형 자동차가 우회할 수 있는 도로가 있는 경우에는 3.0m로 할 수 있다. 이들 경우에는 도로표지 설치와 관련한 문제점을 분석해야 한다.

적설에 의한 통과 높이의 감소 또는 포장 덧씌우기 등이 예상되는 경우에는 4.7m 이상으로 하는 것이 바람직하다.

길어깨 등에 있어서는 구조물의 설계, 시공상 필요에 따라 제일 높은 높이를 4.0m로 하여 헌치(hunch) 절취부를 두고 있다.(<그림 302.8>에서 H=4.0m인 경우는 헌치를 두지 않는다(b=0).) 시설한계 폭은 차도와 길어깨 등과의 폭을 합친 것이지만 길어깨 등에서는 다음 사항을 따른다.

① 길어깨를 설치하는 도로

도로는 원칙적으로 양측에 길어깨를 설치하게 되어 있으나 길어깨를 설치하는 도로는 길어깨 중 외측 부분에 표지 등의 노상 시설을 설치할 수 있다. 이 경우 길어깨 폭은 노상시설 폭만큼 가산되어 결정되며 모든 노상시설은 길어깨에 설치할 수 있으나 이는 시설한계 밖에 설치되는 것이다.

② 길어깨를 설치하지 않는 도로

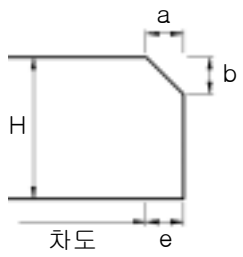
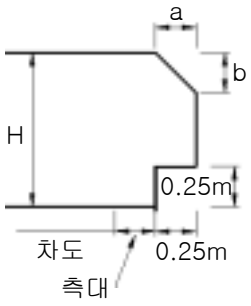
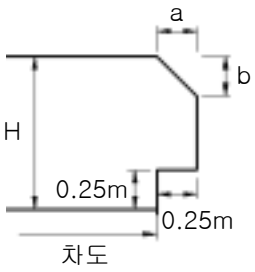
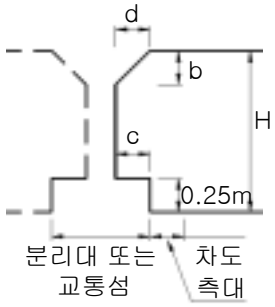
정차대 또는 중앙분리대가 설치되는 경우, 혹은 보도, 자전거 도로 또는 자전거·보행자 겸용도로가 설치된 경우는 길어깨폭을 축소하거나 설치하지 않으며, 길어깨가 없는 도로는 차도의 외측에 0.25m의 턱을 형성할 수 있도록 한다.

③ 중앙분리대 또는 교통섬을 설치하는 도로

<그림 302.8>과 같으며, 특히 c 값에 대해서는 중앙분리대 또는 교통섬의 설치시 턱을 둘 수 있도록 한다.

9.2 보도, 자전거 및 자전거□보행자 도로의 시설한계

보도 및 자전거 도로의 시설한계는 <그림 302.9>와 같다. 노상시설을 설치않는 경우는 차도의 시설한계가 보도의 시설한계와 0.25m만큼 겹치는 경우도 있지만 실제는 차도의 외측에 0.25~0.50m의 길어깨를 설치하는 것이 보통이므로 일반적으로 이런 경우는 생기지 않는다.

차도에 접속하여 길어깨가 있는 도로		차도에 접속한 길어깨가 설치되지 않은 도로	차도 중간 또는 중앙분리대 안에 분리대 또는 교통섬이 있는 도로
터널 및 100m 이상인 교량을 제외한 도로의 차도	터널 및 100m 이상인 교량의 차도		
			

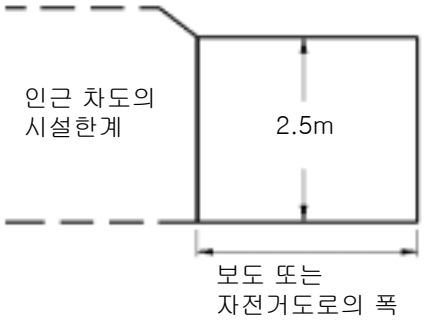
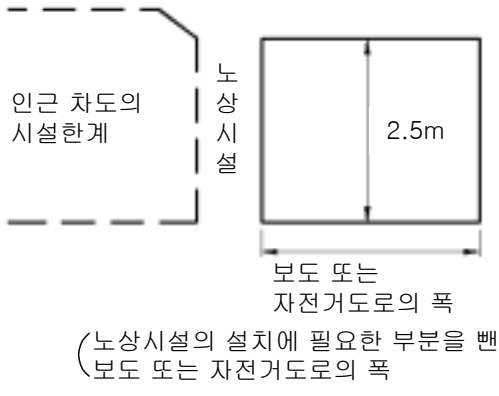
a 및 e : 차도에 접속하는 길어깨의 폭 (a가 1.0m를 초과하는 경우에는 1.0m로 함)

b : 통과높이 H(4.0m 미만인 경우에는 4.0m)에서 4.0m를 뺀 값

c 및 d : 분리대와 관계가 있는 것에 있어서는 도로의 구분에 따라 각각 다음 표에 정하는 값으로 하고, 교통섬과 관계가 있는 것에 있어서는 c는 0.25m, d는 0.5m로 함

구 분	c	d
고 속 도 로	0.25m이상 0.5m이하	0.75m 이상 1.0m 이하
도시고속도로	0.25m	0.75m
일 반 도 로	0.25m	0.5m

<그림 302.8> 차도부의 시설한계

노상시설을 설치하지 아니한 보도 및 자전거도로	노상시설을 설치하는 보도 및 자전거도로
	

<그림 302.9> 보도 및 자전거도로의 시설한계

302.10 접근관리

도로의 접근관리의 기본개념은 안전, 용량, 속도 등으로 대변될 수 있는 교통 흐름을 보존함과 동시에 인접 지역으로 접근을 적절히 제공하는 것이다. 즉, 도로의 기능을 보존하고 이용자에게 균형 있는 서비스(이동과 접근)를 제공하기 위해 접근로, 중앙 분리대와 개구부, 교차로, 신호등, 인터체인지 등의 간격과 위치, 설계 등을 조정하고 규제하는 것이다.

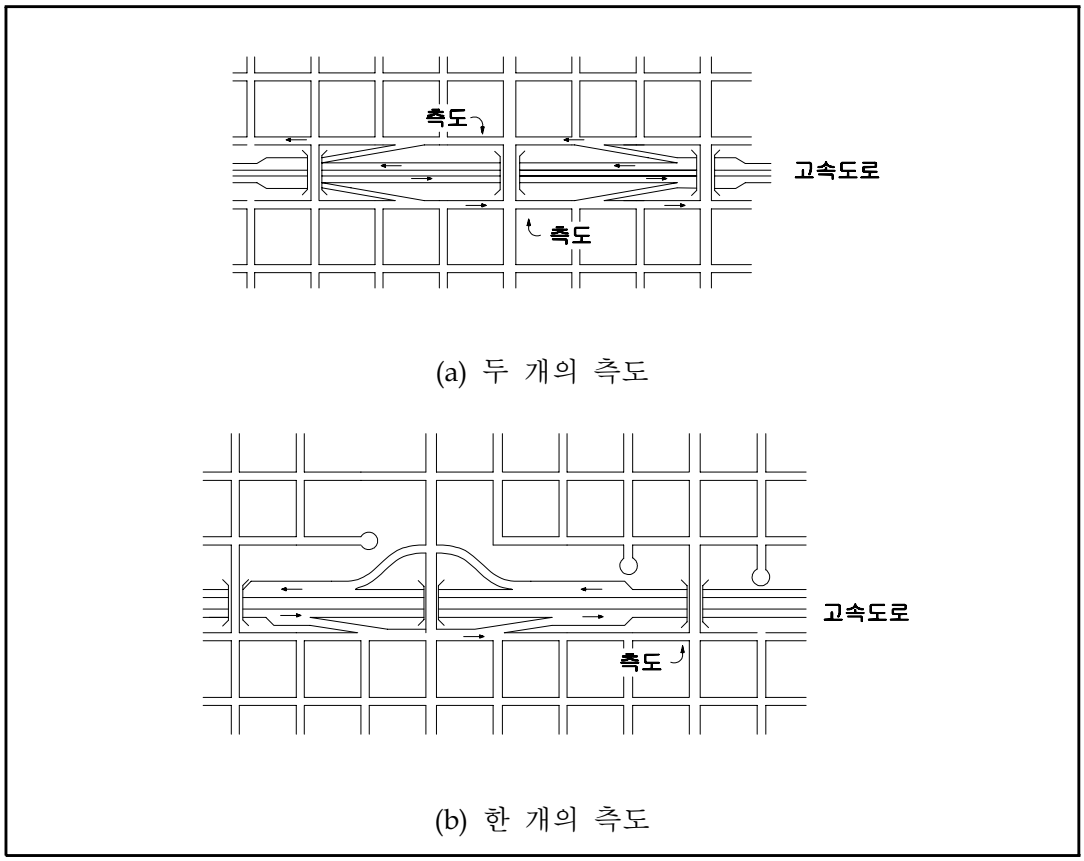
도로관리자가 조정이나 규제와 같은 공권력 행사를 하기 위해서는 타당성 있는 사회 윤리적인 근거가 뒷받침이 되어야 하는데, 그 논리의 근거는 다음과 같이 크게 세 가지로 요약된다.

- 도로를 주행하는 운전자는 다수의 이익이 특정 부지에 접근하고자 하는 소수의 이익에 앞선다.
- 도로변 부지의 소유자는 부지로 접근할 권리를 가지나, 특정한 방식으로 접근할 권리는 부여되지 않는다.
- 공익을 위해 도로관리자는 노변 부지로의 접근을 다소 제한할 수 있다.

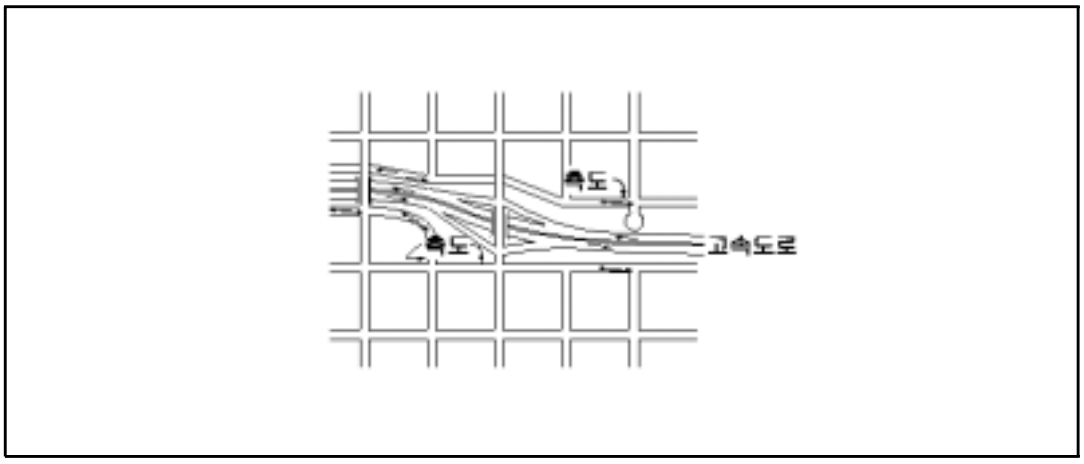
도로의 접근관리는 출입제한의 정도에 따라 결정된다.

출입 자유는 출입 제한에 대립되는 개념으로 볼 수 있으며 출입이 자유로울수록 접근성이 높아지고 이동성은 떨어진다.

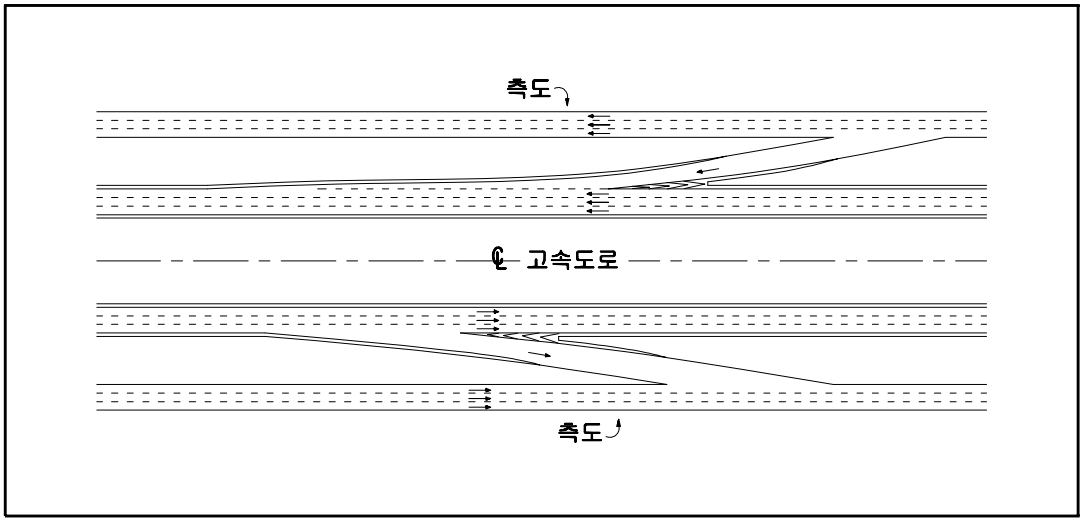
<그림 302.10～13>은 측도의 형태에 따른 배열을 보여주고 있다.



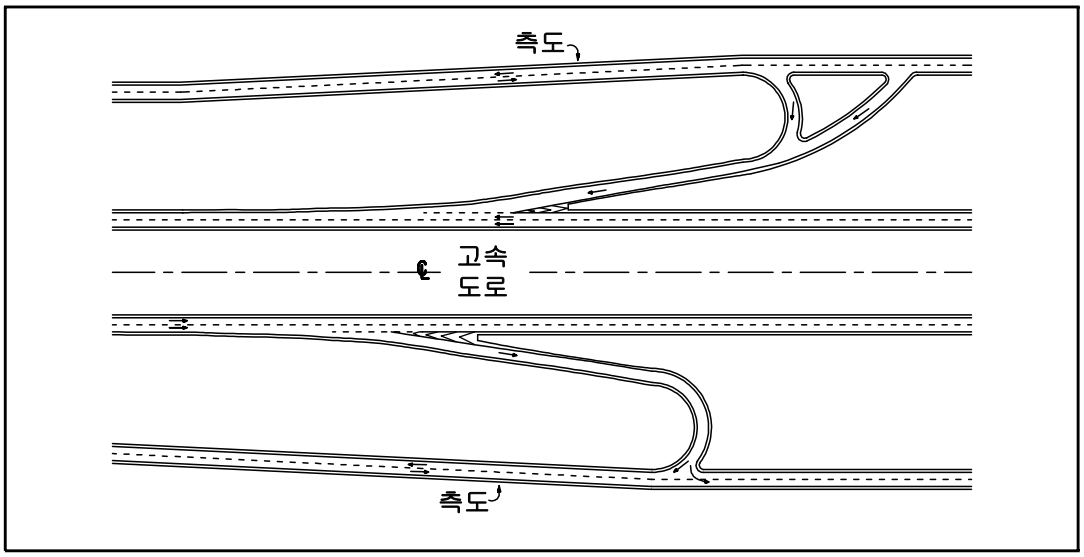
<그림 302.10> 일반적인 측도의 배열



<그림 302.11> 불규칙적인 측도 유형



<그림 302.12> 진출입 연결로에서 한 개의 측도를 가지는 도로 유형

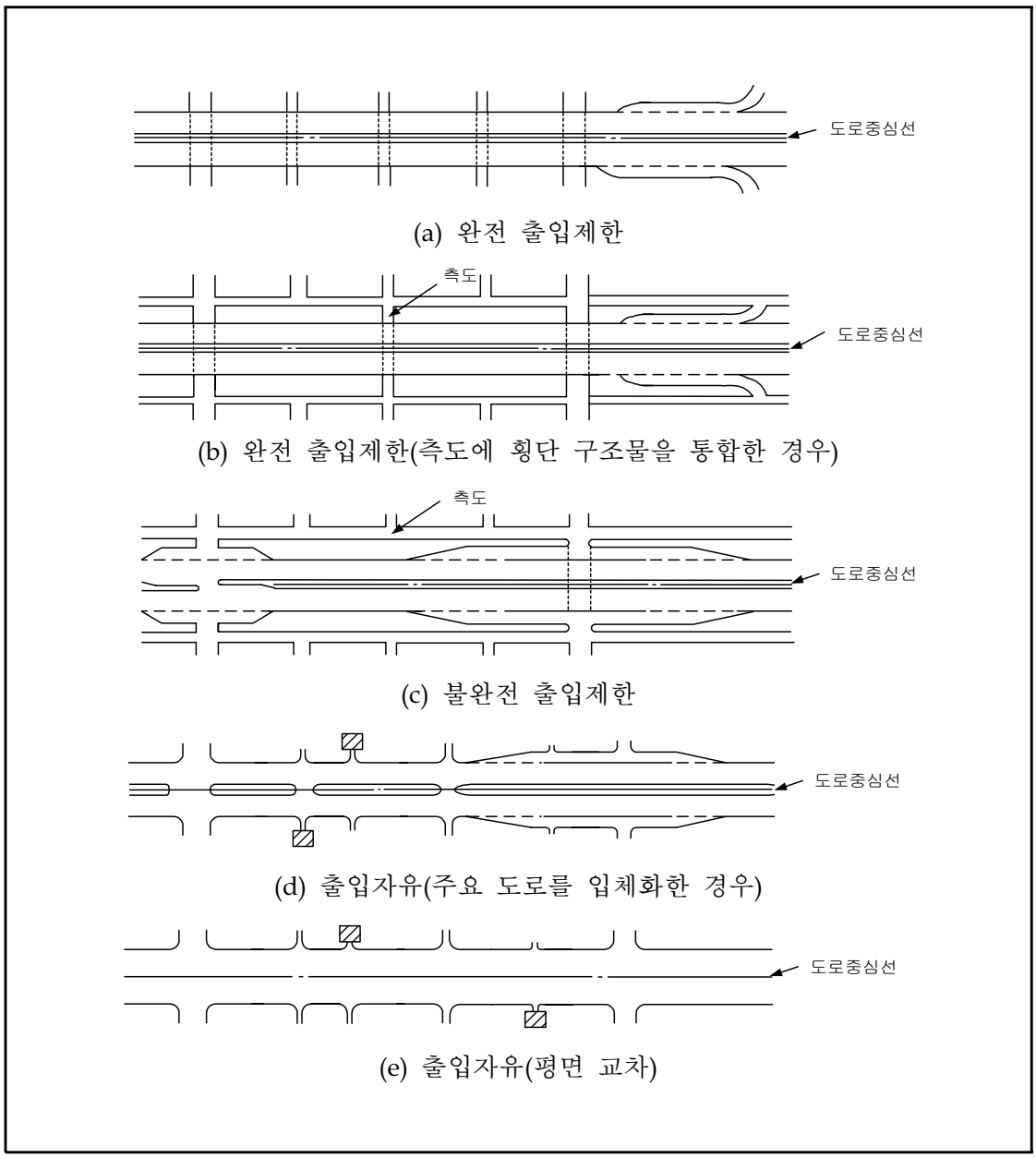


<그림 302.13> 진출입 연결로에서 두 개의 측도를 가지는 도로 유형

<그림 302.14>는 도로의 출입형태로 출입제한과 출입자유를 나타낸 것이다.

출입제한에는 완전 출입제한과 불완전 출입제한의 두 종류가 있다. 완전 출입제한은 통과교통을 우선적으로 처리하기 위해, 특정의 공공 도로에만 출입로를 설치하고, 평면교차 또는 인접 차도의 직접 접속을 금지하도록 출입제한권한이 행사되는 것이다. 불완전 출입제한이란 특정의 공공도로에 출입로를 설치한다는 것 이외에 약간의 평면교차 및 인접도로의 접속을 허용하는 정도로 출입을 제한하는 권한이 행사되는 것을 의미한다.

(a), (b)는 완전 출입제한으로 다른 모든 도로와는 입체교차하고 본선의 출입은 한정된 출입로를 이용한다. (a), (b)는 기능적으로는 아무것도 다른 것이 없지만 (b)에서는 측도를 설치



<그림 302.14> 도로의 출입 형태

하여 도로로 분단된 연도에의 서비스 횡단 구조물의 집약을 도모하고 있다.

(c)는 (a)와 (b)에 부분적으로 평면교차를 허용한 불완전 출입제한 도로이다. 이 경우에도 측도를 가지는 것과 가지지 않는 것의 두 종류를 생각할 수 있다. 측도는 연도 서비스나 횡단 구조물의 통합 외에 연도 지역으로부터의 통행을 지정된 출입구로 유도하는 목적을 갖고 있다.

따라서 간선도로에 기능이 낮은 집산도로 이하의 도로가 좁은 간격으로 접속되는 경우에는 측도를 설치하여 이러한 도로의 출입 통행을 집산시켜 간선도로에 접속되게 하는 조치가 필요하다.

(d)와 (e)는 출입제한이 없는 도로로서 기존 도로는 물론 인접 사도(私道)의 평면 접속도 거의 무제한으로 허용된다. 주요 교차로는 (d)에 나타낸 바와 같이 다이아몬드형 입체 교차로로 입체화하는 것도 있다.

도시고속도로에 대해서는 도시부의 대량 교통량을 원활하게 처리하는 것을 최대의 목적으로 하고 있으므로 완전 출입제한을 원칙으로 한다. 다만, 노선의 성격과 자동차 교통량 등의 상황에 따라 불완전 출입제한으로 할 수도 있다.

출입제한을 실시하기 위한 일반적인 요건으로는 다음과 같은 것을 생각할 수 있지만 요컨대 교통량이 많은 주요 간선도로라고 하는 데에 귀착된다.

따라서 계획상 판단 기준이 되는 것은 다음과 같다.

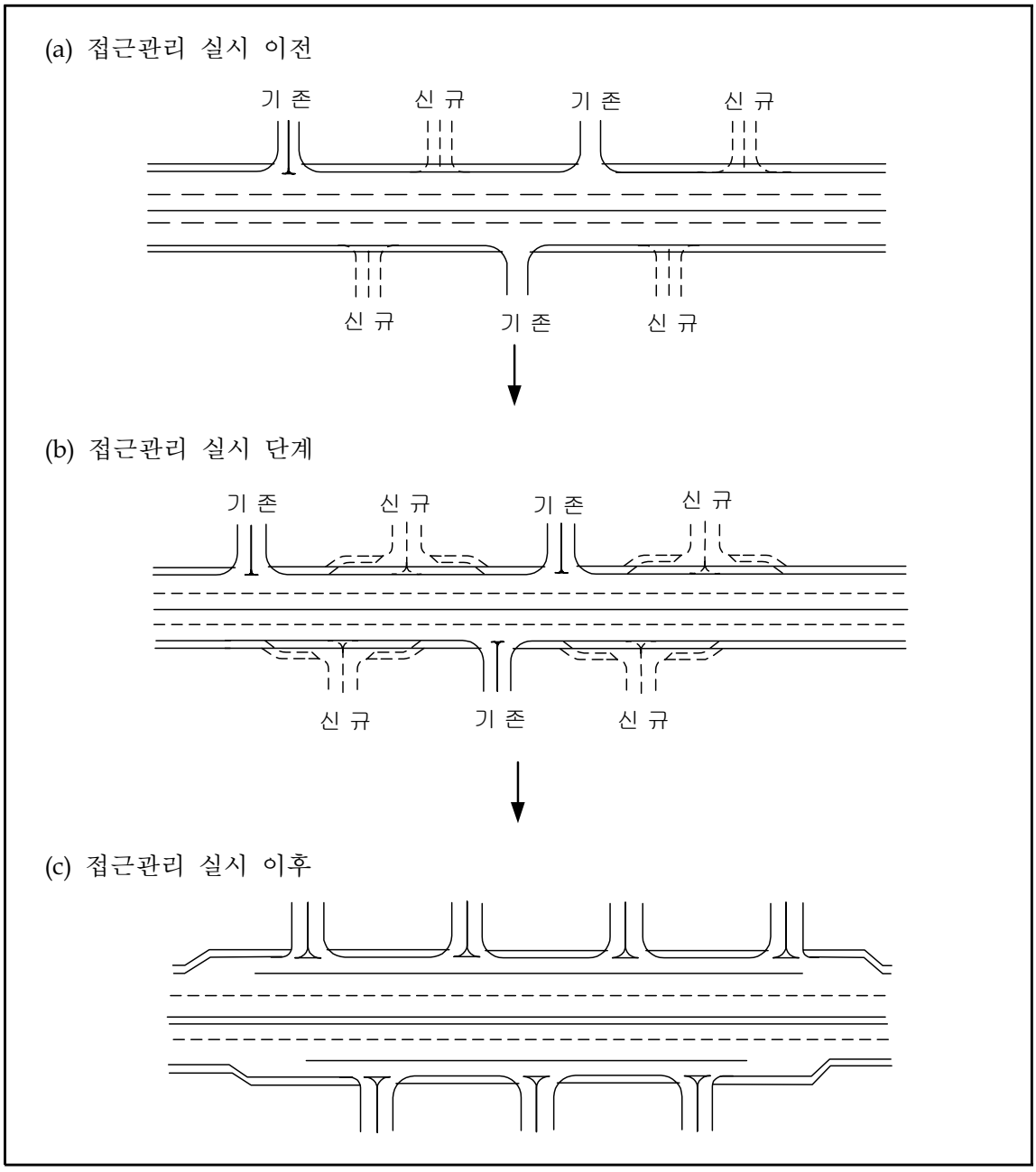
- 계획 교통량이 많을 것
- 평균 통행 길이가 길 것(장거리 교통이 차지하는 비율이 클 것)
- 계획된 노선의 길이가 길 것

대도시 주변부와 같이 주변 지역 개발로 출입을 제한하기 어려운 간선도로는 도로주변의 무질서한 개발, 무제한 출입 허용으로 인한 마찰 증대와 주행속도 저하, 교통사고 증가, 도로주변 공해 및 연변 경관 파괴 등의 문제가 발생하여 간선도로의 본래 기능을 상실하는 경우가 많다. 이와 같은 장애와 기능 상실의 최대 원인은 통과 교통 처리를 주 목적으로 하는 간선도로에 무제한 직접 출입이 허용되기 때문이다.

이 경우 간선도로의 기능 회복을 위한 방법으로 다음과 같은 사항을 고려할 수 있다.

- 출입제한 도로로 정비
- 측도의 설치
- 도로 주변의 토지 취득
- 토지 이용 제한
- 도로 주변 개발권의 취득
- 도로 주변 시가 발전의 제한

<그림 302.15>는 지방부 간선도로의 체계적이고 장기적인 접근관리를 통해 얻을 수 있는 목표점을 보여주는 접근관리의 장기 전략 개념도이다.



<그림 302.15> 지방부 간선도로에 대한 접근관리의 장기 전략 개념도

303
횡 단 구 성

303.1 개요

도로의 횡단면이란 자동차의 진행 방향에 직각이 되도록 절단했을 때 나타나는 절단면으로서 기하구조에서 고려해야 할 요소로 차로, 길어깨 및 중앙분리대 등 다양한 요소가 포함된다.

1.1 일반적 고려사항

도로 횡단면 설계를 위한 일반적 고려사항은 다음과 같다.

- 계획도로의 기능에 따라 그 시설 수준에 부합하는 횡단면을 구성
- 계획 목표연도에 대한 교통수요와 요구되는 계획 수준에 적응할 수 있는 교통처리 능력을 가질 것
- 교통의 안전성과 효율성을 검토하여 구성
- 교통상황을 감안하고 필요에 따라서는 자전거 및 보행자 도로를 분리
- 출입제한 방식, 교차 접속부의 교통처리 능력, 교통처리 방식도 연관하여 검토
- 인접지역의 토지이용 실태 및 계획을 충분히 감안하여 도로주변에 대한 양호한 생활환경 보전에 노력
- 도로의 횡단구성 표준화를 도모하여 도로의 유지관리, 양호한 도시경관 확보, 유연한 도로기능을 확보

1.2 횡단 구성 계획

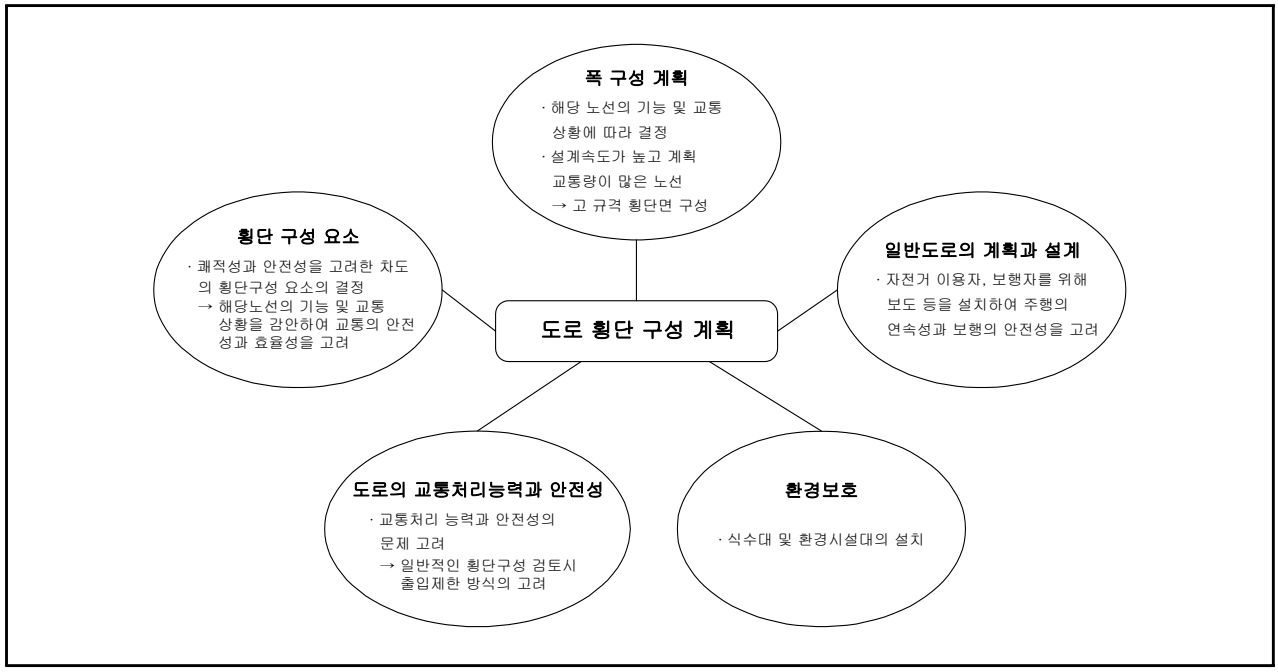
도로 횡단면의 설계요소의 모양이나 크기는 그 도로의 용도에 따라 다르다. 높은 설계 교통량을 가진 도로는 많은 차로를 필요로 하거나 충분한 길어깨와 고규격의 중앙분리대 또는 출입제한을 필요로 한다.

도로 횡단면의 설계요소는 크게 다음 세 가지로 나누어진다.

<표 303.1> 도로 횡단면의 설계요소

구분	설계요소
차도	자동차가 통행하는 부분
노변지역	길어깨, 배수시설, 기타 노변 시설
교통 분리시설	중앙분리대, 측도

도로 횡단 구성 계획의 기본사항 구상은 <그림 303.1>과 같다.



<그림 303.1> 도로의 횡단 구성 계획도

1.3 횡단 구성 요소

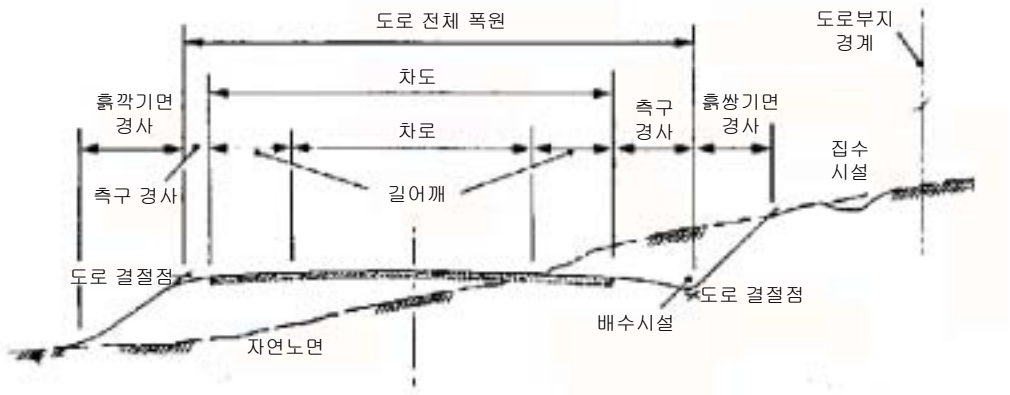
횡단구성 요소는 다음과 같다.

- 차도 및 차로
- 중앙분리대
- 길어깨
- 주·정차대
- 보도
- 자전거도로
- 식수대(환경시설대)
- 측도

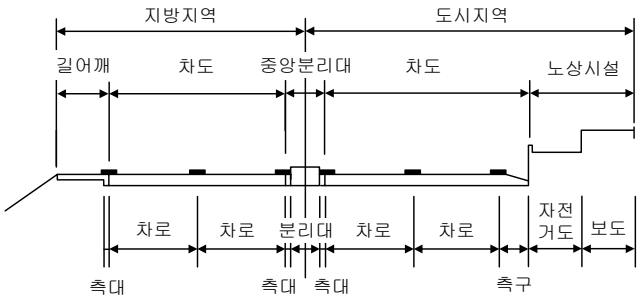
주·정차대, 식수대, 중앙분리대 등은 지역적인 특성이나 도로의 성격에 따라 횡단구성 요소가 달라질 수 있으며 반드시 안전성이나 주행성을 고려한다.

자전거전용도로, 자전거·보행자 겸용도로 및 보도는 각각의 통행량을 고려하여 설치하거나 최소값 이상으로 하여야 하며 차도부와는 별도로 설치한다.

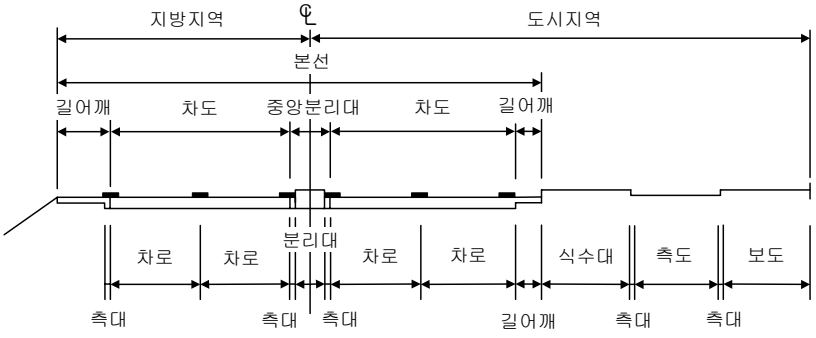
<그림 303.2>는 지방지역 도로의 횡단면 요소이며, <그림 303.3>은 식수대의 유무에 따른 횡단면의 구성요소에 대한 조합의 예이다.



<그림 303.2> 지방지역 도로의 횡단면 요소



(a) 식수대가 없는 경우



(b) 식수대가 있는 경우

<그림 303.3> 횡단 구성 요소와 조합의 예

303.2 차도 및 차로

2.1 차도의 구성

차도는 자동차 통행에 이용하려는 목적으로 설치된 도로의 부분(자전거 전용도로 제외)이며, 다음과 같이 구분된다.

- 직진차로
- 회전차로
- 변속차로
- 오르막차로
- 양보차로

2.2 차로 폭

차로의 폭은 차선의 중심선에서 인접한 차선의 중심선까지로 하며, 도로 구분, 설계속도 및 지역에 따라 <표 303.2>의 폭 이상으로 한다.

또한, 도로에는 도로교통법 제13조의2의 규정에 의하여 자동차의 종류 등에 따른 전용 차로를 설치할 수 있다.

<표 303.2> 도로의 구분에 따른 차로 폭

(단위 : m)

도로의 구분			차로의 최소폭	
			지방지역	도시지역
고속도로			3.50	3.50
일반도로	설계속도	80km/h이상	3.50	3.25
		70km/h이상	3.25	3.25
		60km/h이상	3.25	3.00
		60km/h미만	3.00	3.00

주) 회전차로의 폭은 3m 이상을 원칙으로 하되, 필요한 경우에는 2.75m 이상으로 할 수 있음.

2.3 차도 구성시 고려사항

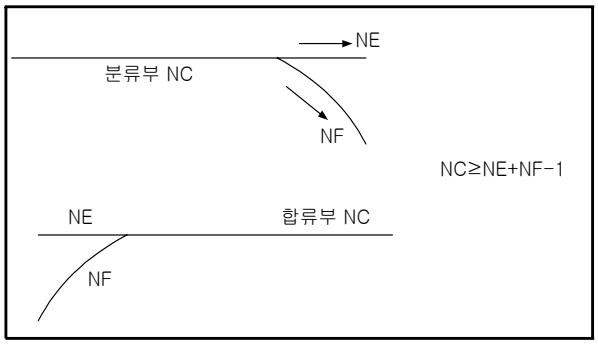
- 차로 폭을 줄이는 것은 공사비 측면에서 경제적일 수도 있으나 좁은 차로 폭에서 바퀴의 집중현상에 의한 포장의 파손과 길어깨의 잦은 보수와 도로용량의 감소 측면을 고려하면 적절한 차로 폭을 갖는 것이 타당
- 노선버스가 많은 도시부나 중차량이 많은 도로에서는 외측 차로 폭을 내측 차로 폭보다 넓게 계획해야 하며 특히 버스 전용 차로 등에 대한 적절한 계획 및 설계 필요
- 가속차로, 감속차로의 경우에는 본선과 차로 폭을 같게 하거나 최소 3.0m까지 줄일 수 있음
- 회전차로(좌회전 차로, 우회전 차로)의 경우에는 3.0m를 표준으로 하되 용지의 제약 등으로 부득이한 경우에는 2.75m까지 줄일 수 있음

2.4 차로 수의 조화

자동차전용도로 및 간선도로의 역할을 하는 도로는 일관성을 유지하기 위해 기본 차로 수가 제공되어야 한다.

기본 차로 수란 교통량의 과다에 관계없이 도로의 상당한 거리에 걸쳐 유지되어야할 최소 차로 수를 말하며, 부가차로는 기본 차로 수에 포함되지 않는다. 기본 차로 수는 설계교통량과 교통용량 및 서비스수준의 설정을 통해 정해진다.

차로 수 균형의 기본원칙은 <그림 303.4>에서 나타내는 바와 같다.



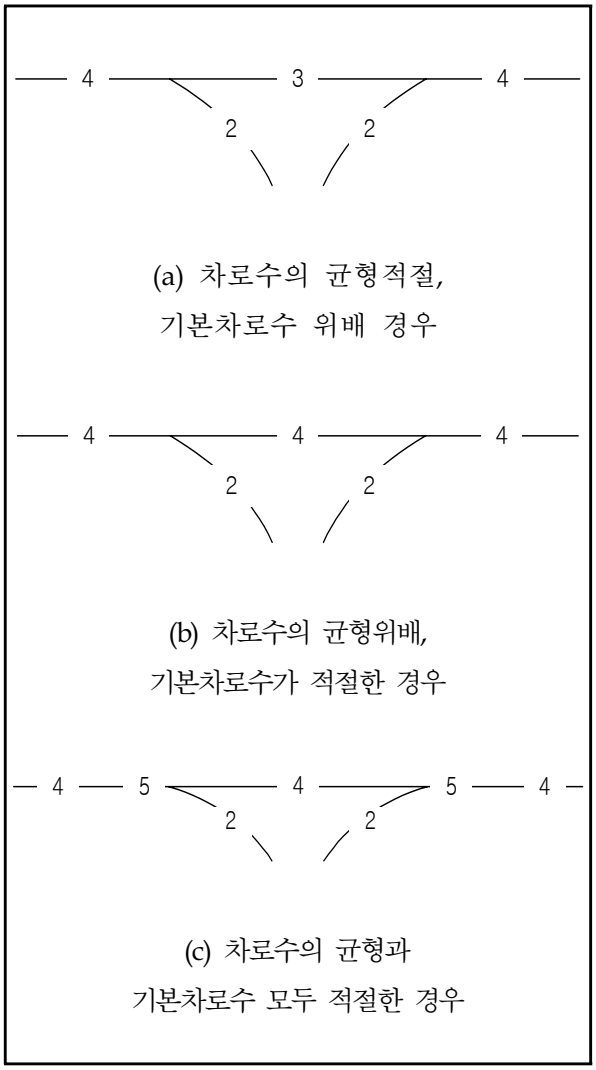
<그림 303.4> 차로 수 균형의 기본 원칙

주) 지형 상황 등으로 부득이한 경우, 합류 후의 차로 수는 합류 전의 차로수의 합보다 한 개 적은 차로 수로 할 수 있음

이 개념은 엇갈림 구간에서는 엇갈림에 필요한 차로 변경 수를 최소화하고, 연결로 유출입부에서는 균형있는 차로 제공을 통해 구조적인 용량 감소 요인을 제거하기 위한 설계 개념이다.

입체교차시설의 유출입 연결로나 엇갈림 구간 설계에서 차로 균형 개념을 적용하지 않을 경우, 이 구간의 운행 특성상 다른 구간보다 많은 혼란을 야기시켜 상시적인 병목 구간이 될 수 있으므로 유의한다.

<그림 303.5>는 기본 차로수와 차로 수의 균형원칙이 함께 만족되어야 하는 상황을 보여주고 있다.



<그림 303.5> 기본 차로수와 차로 균형 원칙의 조화

303.3 평면곡선부의 확폭

도로의 차로 폭은 도로의 구분, 설계속도 및 그 도로의 설계기준 자동차에 따라 결정하게 되나, 평면 곡선반경이 작은 곡선부에서 설계기준 자동차의 회전에 따라 궤적이 그 차로를 넘어서는 경우가 발생하게 되어 교통안전에 영향을 미치게 된다. 그러므로 이러한 구간에서는 설계기준 자동차의 궤적이 정하여진 차로로 통행할 수 있도록 차로의 폭을 넓혀야 한다.

설계기준 자동차는 세미트레일러와 대형 자동차를 대상으로 하며 소형 자동차가 설계기준 자동차일 때는 확폭을 고려하지 않는다.

3.1 확폭량의 산정

차로의 폭은 자동차의 최대폭 2.5m에 설계속도에 따라 어느 정도의 여유폭을 더한 폭으로 정하고 있는데, 평면곡선부에서는 자동차의 앞바퀴와 뒷바퀴는 서로 다른 궤적을 그리기 때문에 작은 평면 곡선반경의 구간에서는 직선부의 폭보다도 넓은 차로 폭이 필요하다.

평면곡선부 주행의 경우도 자동차는 앞면의 중심점이 항상 차로의 중심선상에 있도록 자동차의 안쪽과 바깥쪽에 여유 폭을 주어 확폭량을 정한다.

차도 평면 곡선부의 각 차로는 평면 곡선반경 및 설계기준 자동차에 따라 <표 303.3>의 폭 이상으로 확폭한다.

<표 303.3> 평면 곡선부에서의 확폭

(단위 : m)

세미트레일러 평면곡선반경	대형자동차 평면곡선반경	최소 확폭량
150 이상 280 미만	110 이상 200 미만	0.25
90 이상 150 미만	65 이상 110 미만	0.50
65 이상 90 미만	45 이상 65 미만	0.75
50 이상 65 미만	35 이상 45 미만	1.00
40 이상 50 미만	25 이상 35 미만	1.25
35 이상 40 미만	20 이상 25 미만	1.50
30 이상 35 미만	18 이상 20 미만	1.75
20 이상 30 미만	15 이상 18 미만	2.00

또 확폭을 필요로 하는 최소의 평면곡선반경은 계산으로 구한 확폭량이 0.20m 이상이 되는 평면곡선반경을 기준으로 하여, 그보다 큰 평면곡선반경의 경우에는 확폭하지 않는다.

3.2 적용시 주의사항

자동차가 평면곡선부를 주행하는 경우에는 뒷바퀴가 앞바퀴의 안쪽을 통과하게 되므로 원칙적으로 확폭을 차로의 안쪽으로 설치하며, 다른 차로를 침범하지 않도록 하기 위하여 차로마다 확폭을 한다.

차로별 확폭량은 차로의 평면곡선반경에 따라 서로 다른 값이므로 차로 중심의 평면곡선반경에 따라 확폭량을 0.25m단위로 규정한 것이나, 평면선형 결정시 차로의 평면곡선반경을 각각 구하여 확폭량을 결정하는 수고를 덜기 위해, 도로중심선(또는 차도중심선)의 평면곡선반경이 35m 이상인 경우에는 원칙적으로 도로중심선에 의하여 차로의 확폭량을 구하는 것으로 한다.

(1) 도로중심선의 평면곡선반경이 작은 경우의 확폭

도로 중심선의 평면곡선반경이 35m 미만의 경우로 특히 차로 수가 많은 때에는 도로 중심선에 의해서 구한 확폭량이 각각의 차로에 필요한 확폭량과 크게 다를 경우가 있으므로, 차로마다 확폭량을 구하는 것으로 한다.

(2) 도시지역의 도로의 확폭

도시지역의 일반도로에서 도시계획이나 주변의 지장물 등으로 인하여 부득이한 경우에는 확폭량을 축소하거나 생략할 수 있으며, 이와 같은 경우에도 대형 자동차의 교통이 예상되는 도로에 대해서는 차로폭을 대형 자동차의 폭(B=2.5m)에 산정된 확폭량을 더한 폭 이하로 해서는 안된다.

3.3 확폭의 설치

평면곡선부에 확폭을 하는 경우에 이를 편경사의 설치와 같은 변화비율을 갖추어 반드시 완화곡선의 전 길이에 걸쳐서 확폭할 필요는 없다. 본래 확폭을 필요로 하는 것은 작은 평면 곡선반경부이므로 큰 완화곡선은 거의 사용되지 않는다. 그러므로 원칙적으로는 완화곡선 전 길이에 걸쳐서 설치되도록 한다.

확폭을 설치하는 경우에 그 접속 설치의 형상은 완화곡선의 설치 여부에 따라 달라진다. 여기에서는 완화곡선으로 구성된 구간의 확폭 설치와 완화절선으로 구성된 완화구간에서의 설치의 두 가지로 나누어서 설명하기로 한다.

(1) 완화곡선에서의 확폭 설치

도로 중심선에 완화곡선이 설치되어 있는 경우, 확폭의 설치는 다음과 같은 방법을 사용한다.

① 완화곡선 구간에서 같은 평면선형으로 설치하는 방법
② 접속설치 지점이 원활하게 되도록 고차의 포물선을 사용하는 방법
③ 차도 끝단에도 확폭의 변화를 위한 완화곡선을 삽입하는 방법

설계속도가 60km/h 이하의 비교적 저규격의 도로 혹은 인터체인지의 연결로 등에서 확폭의 설치는 ①의 방법으로 하되, ①의 방법에 의한 확폭의 설치시 접속설치 지점이 원활하지 않은 경우에는 ②의 방법을 사용한다. 또 확폭량은 차로 또는 차도 중심선에 대한 접선의 수직 방향으로 취한다.

설계속도가 60km/h를 초과하는 고규격 도로에서는 차도끝 확폭에 따른 완화곡선을 삽입하는 ③의 방법이 자동차의 주행에 바람직하다.

(2) 저규격 도로에서 완화곡선을 설치하지 아니하는 경우의 완화절선에 의한 설치

자동차는 차도상의 임의의 지점을 주행하므로 차도의 형상이 완전한 완화곡선이 아니더라도 저규격 도로에서는 무방하다고 생각하여, 평면곡선의 중심으로 차도의 폭을 확폭하여 그에 따른 원곡선을 선정한 후, 확폭량의 변화를 직선식으로 비례 배분하여 직선부에 설치한다(이 직선을 완화절선이라 함).

303.4 중앙분리대

도로에는 차로를 통행의 방향별로 분리하기 위하여 분리대를 설치하거나 노면표시를 한다. 중앙분리대의 분리대는 연석 기타 이와 유사한 공작물로 도로의 다른 부분과 구분되도록 설치한다.

차로 수가 4차로 이상인 고속도로에 대해서는 반드시 중앙분리대를 설치한다. 차로 수가 4차로 이상인 기타 도로인 경우, 중앙분리대의 기능과 교통상황, 도로 주변 상황 등을 검토하여 필요한 경우에 설치한다.

중앙분리대의 기능은 다음과 같다.

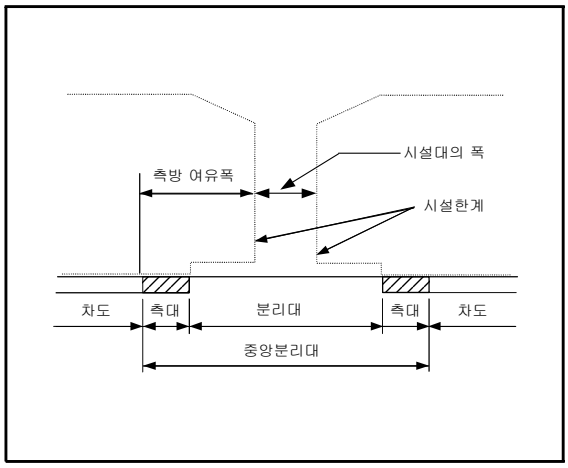
- 왕복의 교통류를 분리함으로써 자동차의 중앙선 침범에 의한 치명적인 정면충돌 사고를 방지하고, 동시에 도로 중심선의 교통마찰을 감소시켜 교통용량을 증대
- 광폭분리대일 경우 사고 및 고장 자동차가 정지할 수 있는 여유공간 제공
- 비분리 다차로 도로인 경우, 대향차로의 오인 방지
- 필요에 따라 유턴(U-turn)등을 방지하여 교통류의 혼잡을 피하여 안전성 증대
- 도로표지 기타 교통관제시설 등을 설치할 수 있는 장소 제공
- 특히, 평면교차로가 있는 도로에서는 폭이 충분할 때 좌회전 차로로 활용할 수가 있어 교통처리 유리
- 보행자에 대한 안전섬 역할로 횡단시 안전
- 폭이 넓은 중앙분리대를 설치하면 야간주행시 대향차의 전조등에 의한 눈부심을 방지. 폭이 좁더라도 식수나 현광방지시설을 설치하여 대향차 전조등의 불빛 차단

4.1 중앙분리대의 구성

중앙분리대는 분리대와 측대로 구성되며 <그림 303.6>과 같다. 분리대는 중앙분리대 중 측대 이외의 부분을 말한다. 분리대에는 왕복교통을 확실하게 분리해야 하기 때문에 분리대용 방호시설 등을 설치하거나 또는 측대에 접속하여 연석을 설치한다.

측대의 기능은 다음과 같다.

- 차도 외측을 일정 폭으로 명확하게 나타내어 운전자의 시선을 유도하고 운전자에 대한 안정성 증진
- 주행상 필요한 측방여유폭의 일부를 확보하여 차도의 효율성을 높임(이 때 측대의 포장은 본선 포장과 같게 함)



<그림 303.6> 중앙분리대의 구성

4.2 중앙분리대의 폭

중앙분리대는 폭이 넓을수록 그 기능이 높아진다. 예를 들면 자동차가 이탈하여 중앙분리대로 진입할 경우 폭이 크면 회복할 여지가 크므로 대형사고를 방지할 수 있고 유지관리 작업시 기계화 작업에도 편리하다.

그러나 우리나라와 같은 경우 도로용지의 취득이 어렵고, 지형, 토지 이용상황으로 보아 도로 건설비가 높기 때문에 중앙분리대 폭을 넓게만 하는 것은 문제가 있다. 따라서 일반적으로 폭을 적게 하고 차도면보다 높게 분리대를 설치하는 것을 기본으로 하고 있다. 그러나 근래에 와서는 자동차 전용도로에서 중앙분리대를 차도면과 같이 하여 중앙부에 분리용 방호시설 등을 설치하여 측대를 여유있게 두는 형식의 분리대를 채용하고 있다.

중앙분리대의 표준 폭은 도로의 구분 및 지역에 따라 <표 303.4>의 값 이상으로 한다.

<표 303.4> 중앙분리대의 표준 폭

(단위 : m)

도로의 구분		표준 폭
고속도로		3.0
도시고속도로		2.0
일반도로	지방부	1.5
	도시부	1.0
교차로에서 중앙분리대를 좌회전 차로로 활용할 경우		최소 3.5 권장 4.0
광폭 분리대		12 이상 최소 10
식재를 고려한 광폭 분리대 (이때의 분리대 횡단경사는 1:4 이상)		18

중앙분리대에는 측대를 설치하는데, 측대의 폭은 설계속도가 80km/h 이상인 경우는 0.5m 이상으로, 80km/h 미만인 경우는 0.25m 이상으로 한다.

중앙분리대의 분리대에 노상시설을 설치하는 경우 중앙분리대의 폭은 시설한계가 확보되도록 정해야 한다.

차로를 왕복방향별로 분리하기 위하여 노면표시를 하는 경우 각 노면표시의 중심 간의 간격은 0.5m 이상으로 한다.

4.3 중앙분리대 형식과 구조

중앙분리대의 형식과 구조는 <표 303.5>와 같이 연석의 형상, 분리대 표면의 형상, 분리대 표면의 처리방식에 따라 구분된다.

우리나라는 중앙분리대를 넓게 확보하는 것이 어렵기 때문에 연석으로 형성된 볼록형(凸型) 분리대나 잔디분리대를 많이 사용하여 왔다. 그러나 진행방향을 이탈하여 분리대에 진입함으로써 대형사고가 되거나 잔디나 수목관리의 유지가 어렵기 때문에 측대를 여유있게 활용할 수 있는 시설물을 이용한 중앙분리대 쪽으로 전향되고 있다. 그러나 시가지 도로에서는 도시의 감각과 지형의 조화를 고려하여 연석을 사용한 잔디분리대를 사용하고 있다.

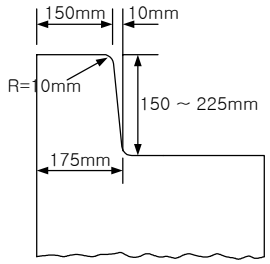
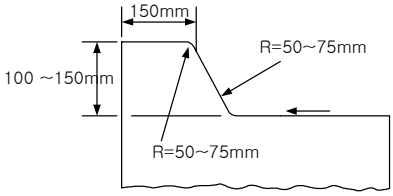
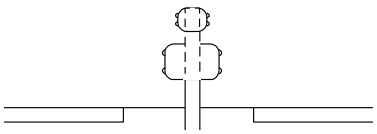
분리대의 형식이나 구조는 설계속도, 시가화의 정도, 경제성, 도로의 구분 등에 따라 적합한 형식과 구조를 선택한다.

중앙분리대의 분리대로서 연석을 사용할 경우 자동차의 전복을 방지하기 위해서는 자동차가 넘어갈 수 있는 형식으로 설치하는 것이 바람직하다. 그러나 60km/h 이하의 도로에서는 넘어갈 수 없는 형식도 적당하다.

터널의 접속부에서 터널을 분리하기 위하여 넓은 폭의 차도 분리가 생기는 경우 등에 적용되며, 이러한 설계는 (e), (f)형 분리대를 적용한다.

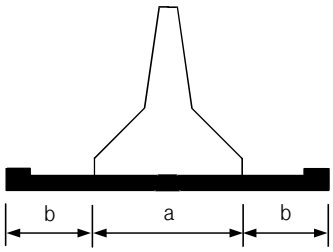
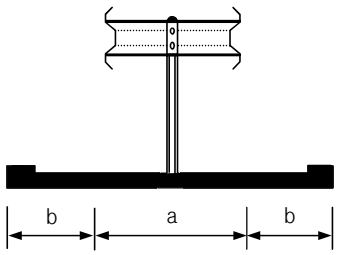
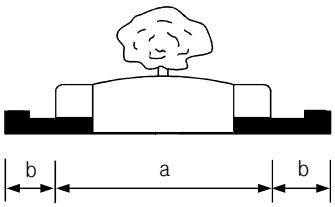
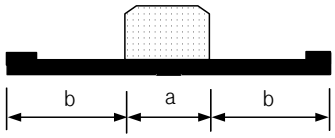
<표 303.6>은 중앙분리대의 폭원 구성 예를 나타낸 것이다. 분리대 내에 설치되는 다양한 차량 방호 안전시설의 형식 및 설치에 관한 사항은 건설교통부 발행 관련 지침을 참고한다.

<표 303.5> 중앙분리대의 형식과 구조

구분 방법	중앙분리대 설계의 기본요소 및 종류	특징 및 사용 용도	연석 및 중앙분리대 형식(예)
연석 형식	(a) 수직형 (barrier curbs)	- 좁은 중앙분리대 - 도시 지역에서 사용	
	(b) 경사형 (mountable curbs)	- 넓은 중앙분리대	
분리대 표면 형식	(c) 볼록형 중앙분리대 (연석설치)	- 좁은 중앙분리대에 사용 - 자동차가 넘어갈 수 없는 연석을 사용하며 주로 도시 지역에서 사용됨	
	(d) 오목형 중앙분리대 (연석설치)	- 배수를 위한 넓은 중앙분리대에 사용되며, 일반적으로 자동차가 넘어갈 수 있는 연석을 사용함	
분리대 표면 처리 방식	(e) 시설물의 중앙분리대 : 연석을 설치하지 않은 중앙분리대로 고규격 국도나 자동차 전용도로에 이용	- 분리대의 표면처리 : 잔디, 포장 - 넓은 분리대 : 잔디 좁은 분리대 : 포장 - 잔디는 좁은 분리대에서 위험성 높음	
	(f) 광폭 분리 구조 : 미국과 같이 용지가 넓은 나라의 중앙분리대 구조	- 잔디는 미관상 좋고 차도와 색상 조화도 좋으나 유지관리에 비용이 많이 소요	

<표 303.6> 중앙분리대의 폭원 구성 예

(단위 : m)

형 식	형 상	중앙분리대		비 고
		분리대(a)	길어깨(b) (측대 포함)	
콘크리트방호벽		0.60	1.20 0.70 0.50	고속도로 도시고속도로 자동차전용도로
가드레일		0.60	1.20 0.70 0.50	고속도로 도시고속도로 자동차전용도로
녹지대		2.00 이상 1.00 이상 1.00 이상 1.00 이상	0.50 0.50 0.50 0.25	고속도로 도시고속도로 자동차전용도로 주간선도로이하
콘크리트연석		1.00 0.50 0.30	1.00 0.50 0.35	고속도로 연결로 주간선도로 보조간선도로

4.4 중앙분리대의 설치

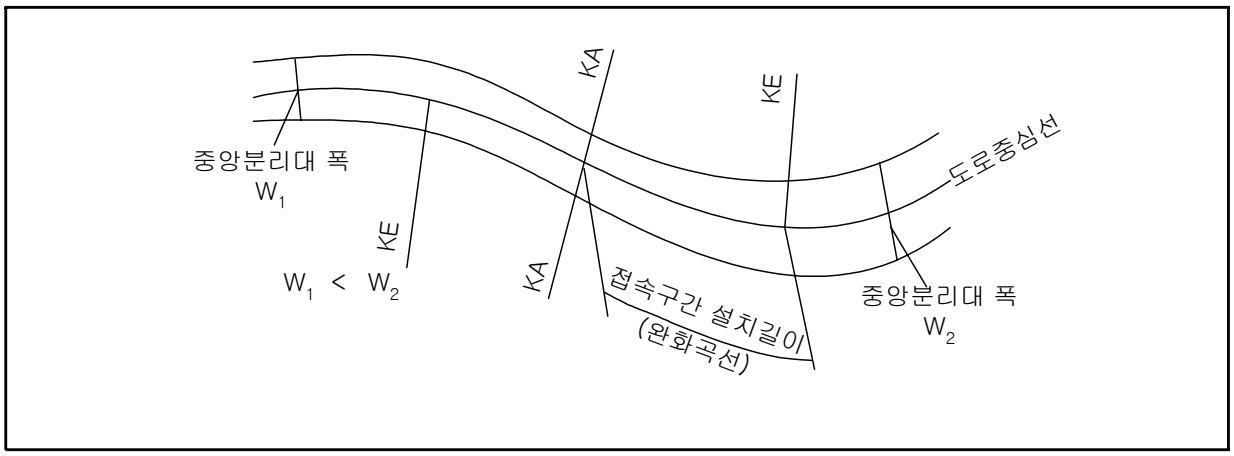
중앙분리대 설치시 고려사항은 다음과 같다.

- 분리대는 도로관리나 긴급자동차의 출동을 위하여 필요한 경우 외에는 중단되어서는 안 되며 연속적으로 설치함
- 교차로의 바로 가운데서 중앙분리대를 끊어 놓으면 교통류가 혼잡하게 될 가능성이 있으므로 위험함
- 평면교차가 많은 가로에서는 중앙분리대를 설치하는 대신 노면표시 등으로 분리하는 것이 기능면에서 유리함

중앙분리대의 접속 설치는 중앙분리대의 폭이 변하거나 분리대가 확폭되는 경우에 하며, 이러한 접속 설치는 상하행선이 분리된 터널과 같은 곳에서 자주 발생한다.

도로 중심선의 선형을 원활하게 보이게 하기 위하여 중앙분리대 폭의 접속 설치는 완화구간에서 하는 것이 좋다. 접속 설치 구간의 길이는 원칙적으로 완화곡선 길이(KA～KE 사이)로 하고, 접속설치율은 일정하게 유지시킨다.

단, 중앙분리대 폭의 차가 커서 위와 같은 방법으로 원활하게 접속 설치를 할 수 없는 경우 분리대의 양단에 클로소이드 곡선을 쓰는 등 별도의 선형계획에 의한 접속설치 방법을 고려한다.



<그림 303.7> 중앙분리대의 접속 설치

4.5 중앙분리대 개구부

(1) 설치 위치

자동차 전용도로 등에서 보수공사와 기타 도로관리에 필요한 경우, 교통처리를 목적으로 중앙분리대에 개구부를 둔다. 중앙분리대 개구부의 위치 선정시, 원곡선 반경이 작은 곳을 피하여 시야가 가려지는 일이 없도록 한다.

중앙분리대 개구부의 설치 위치는 원칙적으로 다음과 같다.

- 평면곡선 반경이 600m 이상이고, 시거가 양호한 토공부에 설치
- 터널, 인터체인지, 버스정류장, 휴게소, 장대교(L=100m 이상)의 앞·뒤에 반드시 설치
- 설치간격은 1.5~2km를 표준으로 함

(2) 개구부의 치수

중앙분리대 개구부의 치수를 구하기 위해서 가정한 사항들은 다음과 같다.

- 자동차는 진행 방향의 중앙분리대 측 차로 중심선에서 개구부를 지나 대향 방향의 중앙분리대 측 차로 중심선으로 진행경로를 바꾸어 진행
- 개구부 부근에서 자동차의 속도는 다음과 같다.

설계속도(km/h)	통과속도(km/h)
120	60
100	50
80	40
70 이하	30

- 수평 방향의 이동 속도는 1.0m/sec (3.6km/h)로 함

이와 같은 가정하에 개구부의 길이를 구하는 식은 다음과 같다.

$$L = (V_P/3.6) \cdot (B/H)$$

여기서, L : 개구부의 길이 (m)

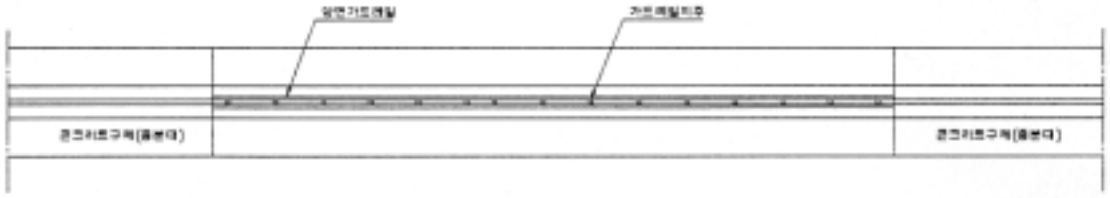
V_P : 개구부의 통과속도 (km/h)

B : 수평 이동거리

H : 수평 이동속도 (1.0m/sec)

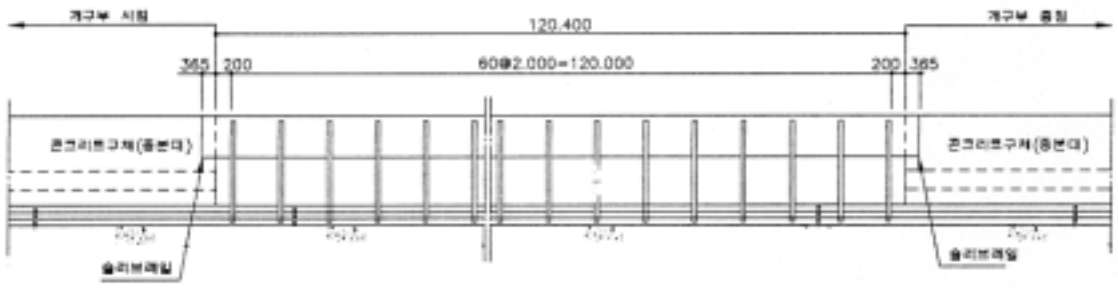
개구부의 종류로는 긴급용 개구부, 제설 작업용 개구부 등이 있다. <그림 303.8>의 중앙분리대 개구부의 설계도면이다.

평 면 도

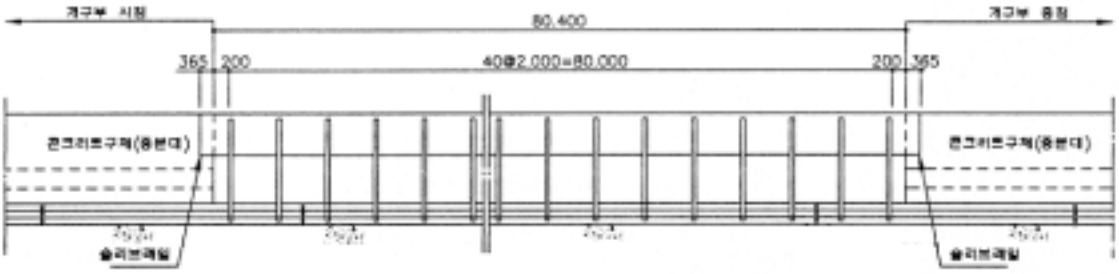


정 면 도

(1) 양방향 6차로 이상



(2) 양방향 4차로



<그림 303.8> 중앙분리대 개구부의 설계도면

303.5 길어깨

도로에는 차도와 접속하여 길어깨를 설치한다. 다만, 보도 또는 주정차대가 설치되어 있는 경우에는 설치하지 않을 수 있다.

길어깨의 기능 및 필요성은 아래와 같다.

- 차도, 보도, 자전거·보행자도로에 접속하여 도로의 주요 구조부 보호
- 고장차가 본선 차도로부터 대피할 수가 있어 사고시 교통의 혼잡 방지
- 측방 여유폭을 가지므로 교통의 안전성과 쾌적성에 기여
- 유지관리 작업장이나 또는 지하 매설물에 대한 장소로 제공
- 절토부 등에서는 곡선부의 시거가 증대되기 때문에 교통 안전성 증대
- 길어깨에서 집수를 하면 포장끝단에서 집수하는 것보다 차도 포장 내부로의 우수 침투가 적으므로 배수 및 안전 주행 측면 유리
- 도로 미관을 증대
- 보도 등이 없는 도로에서는 보행자 등의 통행 장소로 제공

5.1 길어깨의 구성 및 분류

길어깨는 <그림 303.9>와 같이 구성되며, 일반적인 길어깨와 보호 길어깨로 나누어진다. 길어깨는 기능상 <표 303.7>과 같이 분류된다.

<표 303.7> 길어깨의 기능상 분류

종류	폭원 (m)	정의
전폭 길어깨	2.50~3.25	모든 자동차가 일시 정지 가능
반폭 길어깨	1.25~1.75	자동차의 주행에 있어 큰 지장을 주지 않는 측방여유폭이 확보됨 (승용차 정차 가능)
협폭 길어깨	0.50~0.75	주행상 필요한 최소한의 측방 여유폭이 확보됨

보호 길어깨는 노체를 보호하고 노상시설 중 방호울타리, 도로표지 등을 도로 끝에 설치하기 위한 장소가 되며 보도, 자전거도로 또는 자전거·보행자도로를 설치할 경우 이를 보호할 수 있으며, 시설한계 내에는 포함되지 않는다.

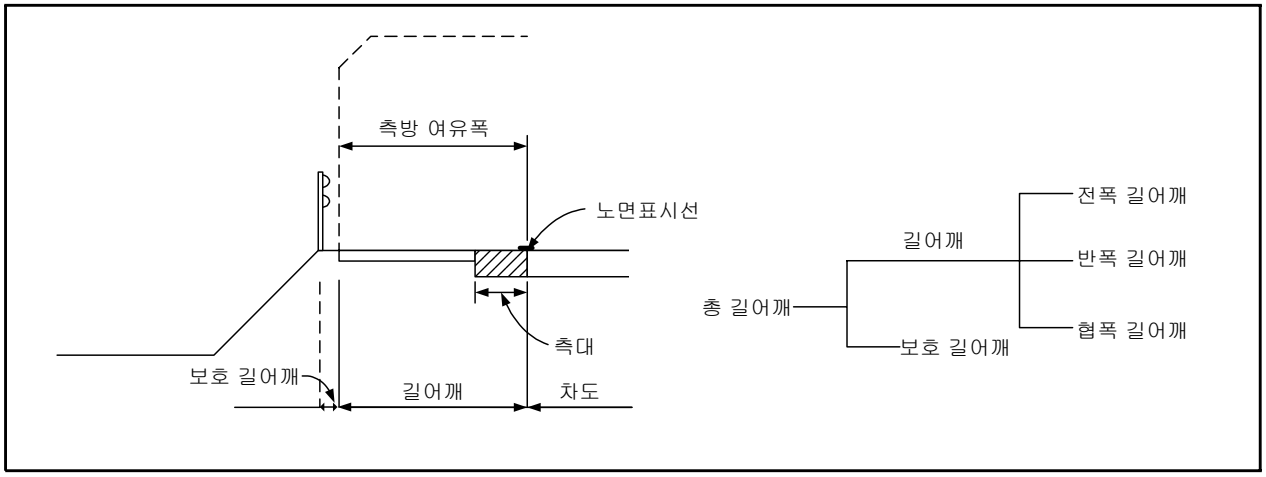
5.2 길어깨의 폭

차도의 우측에 설치하는 길어깨의 폭은 도로의 구분과 설계속도에 따라 <표 303.8>의 폭 이상으로 한다. 단, 오르막 차로 또는 변속 차로 등의 차로와 길어깨가 접속되는 구간에서는 0.5m 이상으로 할 수 있다.

<표 303.8> 우측 길어깨의 최소 폭

(단위 : m)

도로의 구분			우측 길어깨의 최소 폭	
			지 방 지 역	도 시 지 역
고 속 도 로			3.00	2.00
일반도로	설계속도 (km/h)	80 이상	2.00	1.50
		60~80	1.50	1.00
		60 미만	1.00	0.75



<그림 303.9> 길어깨의 구성 및 분류

길어깨의 폭은 최소치를 말하며 보호 길어깨를 제외한 유효 길어깨를 의미한다.

바람직한 길어깨의 폭은 고장차가 최소한 차도에서 0.3m 떨어져 본선 교통소통에 지장을 주지 말아야 하므로 3.0m 정도가 적당할 것이다. 길어깨의 기능은 매우 중요하므로 고장차의 정차시에 본선 침범이 1.0m 미만이 되도록 하기 위하여는 길어깨의 폭은 1.5m 이상이 요구된다.

터널, 교량, 고가도로 또는 지하차도의 길어깨의 폭은 고속도로의 경우에는 1m 이상으로, 일반도로의 경우에는 0.5m 이상으로 할 수 있다. 다만 길이 1,000m 이상의 터널에서 우측 길어깨의 폭을 2m 미만으로 하는 경우에는 최소 750m의 간격으로 비상주차대를 설치하여야 한다.

일방통행도로 등 분리도로의 차도 좌측에 설치하는 길어깨의 폭은 도로의 구분과 설계속도에 따라 <표 303.9>의 폭 이상으로 한다.

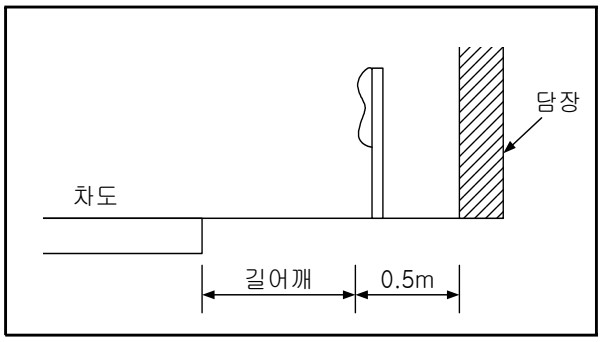
길어깨에는 측대를 설치하여야 한다. 이 경우 측대의 폭은 설계속도가 80km/h 이상인 경우에는 0.5m 이상으로, 80km/h 미만인 경우에는 0.25m 이상으로 한다.

<표 303.9> 좌측 길어깨의 최소폭

(단위 : m)

도로의 구분			좌측 길어깨의 최소 폭
고 속 도 로			1.00
일 반 도 로	설계 속도 (km/h)	80 이상	0.75
		80 미만	0.50

길어깨에 접하여 담장 등의 수직 구조물이 설치될 경우, 유효 길어깨에서 0.5m 이상의 측방 여유를 확보하여 가드 레일의 휨에 대한 공간을 확보해야 한다(<그림 303.10> 참고).



<그림 303.10> 길어깨 측방 여유폭의 확보

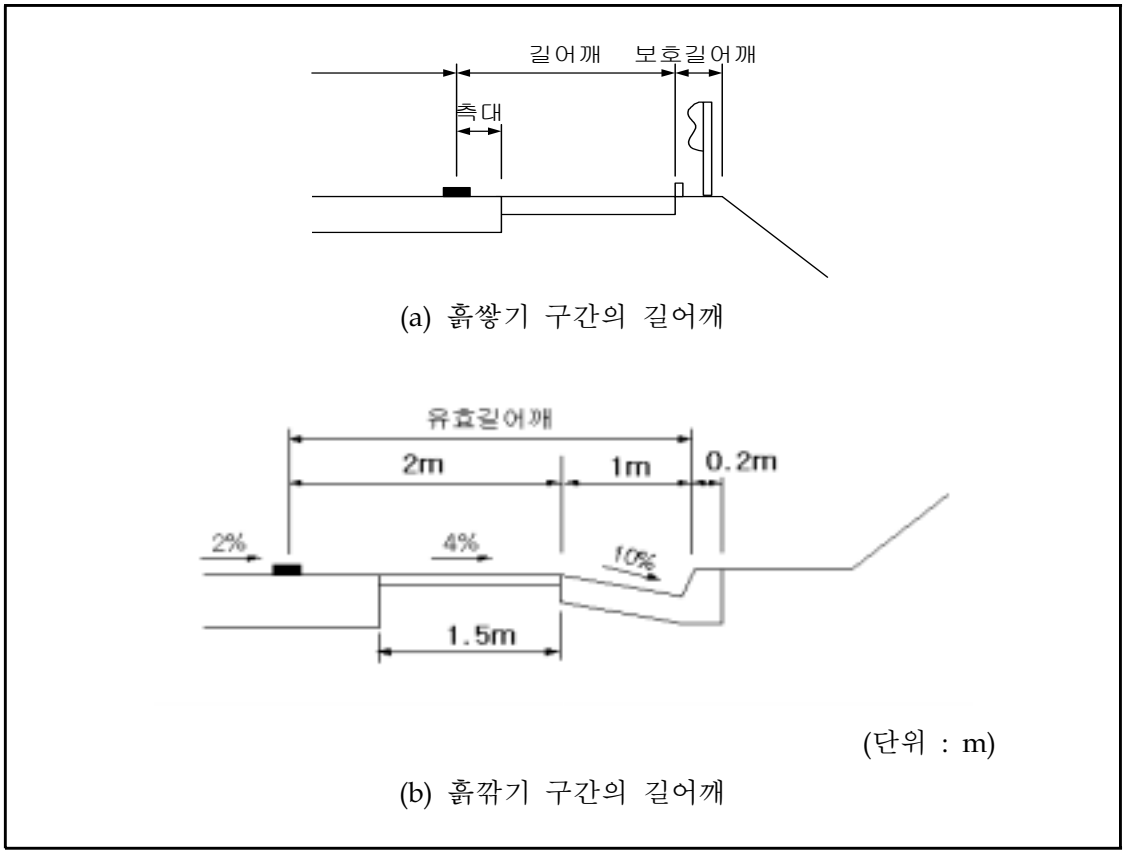
5.3 길어깨의 설치

(1) 좌측 길어깨

차도가 분리된 분리도로 또는 일방통행도로에서는 주행에 필요한 측방 여유를 확보하기 위해 차도의 좌측에 길어깨를 설치한다. 좌측 길어깨는 우측 길어깨와는 달리 긴급자동차의 통행이나 고장차의 대피에 이용되기보다는 측방여유를 확보하는 데 의미가 있으므로 우측 길어깨보다 좁은 폭으로도 충분하다. 일반적으로 중앙분리대가 설치되어 있는 도로에서는 원칙적으로 좌측 길어깨는 필요치 않으며 중앙분리대 내에 측대만 확보하는 것으로 한다. 그러나 8차로 이상의 교통량이 많은 도로에서는 중앙분리대 측에서 발생하는 고장차의 대피 또는 도로의 유지관리를 위하여 중앙분리대 측에 좌측 길어깨를 설치할 수 있다. 특히 8차로 이상의 고속도로에서는 중앙분리대 측에 2.0m 폭 정도의 좌측 길어깨를 확보하여 고장차의 대피 및 유지관리에 대비해야 할 필요가 있다.

(2) 길어깨의 확폭

흙깎기 구간에 L형 측구를 설치할 경우, L형 측구의 저판 폭도 길어깨에 포함시키도록 규정하였다. 그러나 L형 측구 저판폭의 횡단경사가 일반적으로 10%로, 길어깨의 횡단경사와 일치하지 않아 비상 자동차의 주행시 안전에 문제가 있다(<그림 303.11> 참고).



(a) 흙쌓기 구간의 길어깨

(b) 흙깎기 구간의 길어깨

<그림 303.11> 흙쌓기와 흙깎기 구간의 길어깨

L형 옹벽 설치로 시거가 부족한 경우가 있으므로, 흙깎기 구간의 곡선부에서는 길어깨의 폭을 넓히는 것을 신중히 검토하여야 한다. 특히, 터널과 장대교의 전후 l00m 구간에는 고장차의 비상주차를 위한 공간확보를 위하여 길어깨의 폭을 넓히는 것이 바람직하다.

현재, 고속도로 건설공사에서 L형 측구 저판을 길어깨 유효 폭원에서 제외하는 구간은 다음과 같다.

① 터널 전후 구간(설치 연장 : 100m)
② 장대교(100m 이상) 전후 구간(설치 연장 : 100m)
③ 절토부 곡선 내측 구간

설계속도	곡선반경
100km/h	R ≤ 1,000m
120km/h	R ≤ 1,500m

④ 완화곡선부의 곡선반경 미확보 구간도 L형 측구 저판폭을 길어깨 유효폭에서 제외

(3) 길어깨 폭의 접속 설치

길어깨 폭이 변하는 곳에서는 원활한 길어깨 폭의 접속 설치를 위해 접속 설치율을 1/30이하로 하는 것을 원칙으로 한다. 다만 주변 여건 등이 여의치 않을 경우, 최대 접속설치율로서 도시지역은 1/10, 지방지역은 1/20로 한다.

(4) 길어깨의 생략 또는 축소

다음의 경우에는 우측 길어깨를 축소, 생략할 수 있다.

- 도시지역의 시가지 도로에 정차대 설치시
- 일반도로 또는 시가지 가로에 보도 등을 설치하는 경우
- 장대교량 또는 터널에서 공사비 관계로 길어깨를 줄이는 경우가 많으나 용량감소에 따른 교통정체, 교통안전 등을 고려해야 하며, 특히 고속도로에서는 길어깨 폭을 줄이는 것에 신중을 기해야 함

길어깨를 생략하는 경우, 최소 측대 폭을 0.5m 정도 확보하는 것이 바람직하다.

(5) 길어깨의 구조

길어깨는 보호 길어깨 이외에는 기능상 자동차 하중은 견딜 수 있도록 하고 일반도로일지라도 보행자, 자전거, 경운기 등이 쉽게 통행할 수 있도록 포장하는 것이 바람직하다.

길어깨는 원칙적으로 차도면과 높이가 같거나 조금 낮게 설치하지만 보도가 없는 터널이나 장대교(l00m 이상) 또는 고가도로에서는 그 일부(보호 길어깨)를 한 단계 높은 구조로 하여 턱을 두는 것이 보통이다.

길어깨의 폭이 넓거나 보행자 또는 자전거 통행이 많을 경우에는 반드시 길어깨 포장을 한다. 따라서 4차로 이상의 도로에서는 반드시 길어깨 포장을 하며 연석 또는 다이크에 의한 노면 배수가 되도록 한다.

만일 2차로 지방도, 군도 등에서 길어깨 포장을 하지 않을 경우 포장 대신에 길어깨에 잔디 식재를 하여 길어깨를 보호하는 방법도 고려해 볼 수 있다.

도시부에서 길어깨가 좁을 경우 길어깨를 포함한 차도 전체를 같은 표층의 두께로 동시 포설하는 방법도 고려할 수 있다.

교통량이 많은 도로의 곡선부 내측에서 중차량 등이 길어깨를 타게 되고 특히 인터체인지의 루프 내측에는 실제로 자동차들이 길어깨를 많이 이용하는 경향이 있다. 이런 경우 곡선부 내측의 길어깨 포장을 차도 포장과 같게 하는 방법도 고려하여야 할 것이다.

길어깨의 포장색깔을 차도와 구분하여 다른 색깔로 하는 것이 바람직하다. 이런 경우 차도와 길어깨가 식별이 용이하고 특히 야간이나 일기가 나쁠 경우 교통안전에 도움이 된다. 시멘트 콘크리트 차도 포장에 아스팔트 길어깨 등은 좋은 대조가 된다.

아스팔트 차도 포장일 경우 길어깨를 유색 아스팔트 포장으로 하는 것도 고려할 수 있다.

(6) 길어깨의 측대

길어깨 측대의 기능은 다음과 같다.

- 차도와의 경계를 노면표시 등으로 일정 폭만큼 명확하게 나타내고 운전자의 시선을 유도하여 운전시 안전성 증대
- 주행상 필요한 바퀴의 측방 여유폭의 일부를 확보함으로써 차도의 효용 유지
- 차로를 이탈한 자동차, 특히 속도가 높은 경우에 안전성 향상
- 차도와 같은 강도의 포장 구조로 차도를 보호

측대는 모든 구간에 걸쳐 차도와 동일 평면에 일정한 폭으로 설치하는 것이 필요하고 또한 차도와 동일한 강도를 가져야 한다.

그러나 터널구간에서 길어깨 측대 내에 배수구조물의 설치가 불가피할 경우에는 배수 구조물의 강도는 자동차의 주행에 충분히 안전하도록 한다.

외국 여러 나라에는 표면에 콘크리트 벽돌(또는 돌)을 표면에 튀어 나오게 하거나 반사체를 설치하여 빛이나 소리로 운전자에게 주의를 주고 있다.

우리나라에서는 차도와 동일한 구조로 하며 차도 바깥쪽에 차선으로만 표시하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.

(7) 보호 길어깨

보호 길어깨는 도로의 제일 바깥쪽에 있는데, 도로 시설물, 포장구조 및 노체를 보호하며 시설한계에는 포함되지 않는다. 보호 길어깨는 노상시설물을 위한 장소로서 설치하는 것과 보도 등에 접속하여 도로 끝에 설치하는 것의 2종류가 있다. 보호 길어깨의 폭은 0.5m를 표준으로 한다.

5.4 적설 지역에 있는 도로의 중앙 분리대 및 길어깨폭

적설지역 도로의 중앙분리대 및 길어깨의 폭은 제설작업을 고려하여 정하여야 한다.

적설지역이라고 함은 최근 5년 이상의 최대 적설 깊이의 평균이 50cm 이상인 지역 또는 이에 준하는 지역을 말한다. 적설지역에 있어서는 강설시 도로 교통을 유지하기 위하여 일반적으로 기계에 의하여 제설작업이 이루어진다.

기계제설 작업을 감안한 적설지역의 도로 폭 구성 개념은 <그림 303.12>와 같으며, 이를 위한 길어깨 여유 폭은 <표 303.10>을 따른다.

눈사태 방지시설 등의 설계는 연중 사용하는 것이 아니고 동절기에 한하여 사용하므로 비용을 고려하여 적절하게 계획되어야 한다.

선진 여러 나라에서는 30년 재현확률의 최적 적설 깊이를 설계치로 채택하고 있다.

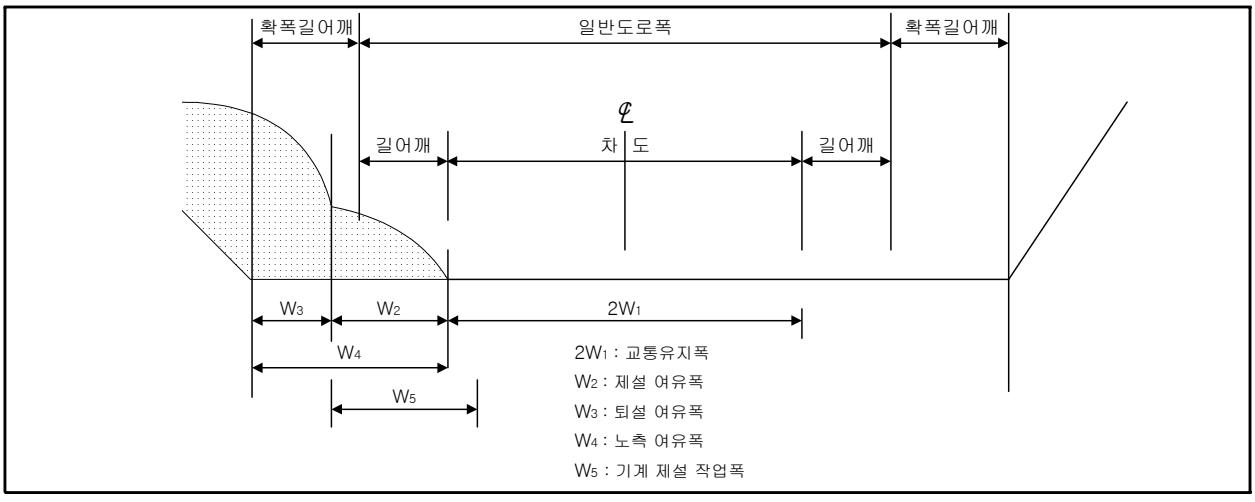
현재 설계 최대 적설깊이는 10년 재현확률치를 기준으로 한다. 그러나 교통량이 적은 도로 등에 대해서는 노선의 성격, 교통량, 경제성 등을 감안하여 적절하게 판단하여 설계한다.

길어깨에 여유 폭을 취하는 것이 일반적인 방법이지만, 도시지역에 있어서 그것이 적절하지 않을 경우에는 중앙분리대를 확폭하여 여유폭을 취할 수가 있다.

<표 303.10> 길어깨 여유 폭

(단위 : m)

최대 적설 깊이	제설 여유 폭	퇴설 여유 폭	노측 여유 폭
0.5미만	1.5	-	1.5
0.5～1.0 미만	1.5	1.0	2.5
1.0～2.0 미만	1.5	2.0	3.5
2.0～3.0 미만	1.5	2.5	4.0
3.0이상	1.5	3.0	4.5



<그림 303.12> 적설지역 도로의 횡단구성

303.6 주□정차대

6.1 주□정차대의 설치

도로상의 주·정차수요는 항상 존재한다. 도시내 도로는 주로 연도에 접근하기 위한 정차이며 정차 목적도 도로의 분류에 따라 다르다.

모든 고속도로 또는 지방지역의 간선도로, 집산도로, 국지도로에서는 길어깨에 비상시 정차하는 것만 허용하도록 하여야 할 것이다. 또한 도시지역이나 지방지역의 간선도로에서는 간선도로의 기능이 통과교통을 위한 것이며 가로의 소통능력이 중요하므로 정차나 주차를 허용해서는 안될 것이다.

그러나 도시지역의 보조간선도로 이하에서는 주변의 토지이용에 따라 정차대의 필요성이 증가하게 된다. 지방지역에서도 마을이 운집해 있는 곳에서는 도시지역과 마찬가지로 정차대가 필요한 곳도 있다. 간혹 도시 간선도로에서 정차대를 설치하거나 주·정차를 허용하는 곳을 볼 수 있는데 도로용량을 키우기 위해서는 향후 정차대를 제거해야 한다.

특히, 도시지역 집산도로에 있어서는 정차로 인한 본선 교통의 지체가 크기 때문에 정차대의 효과가 높다. 그러므로 정차대를 별도로 설치하는 것이 바람직하다.

또 정차대를 설치하지 않는 경우에는 버스나 택시의 정차로 인하여 통과자동차의 장애가 예상되기 때문에 버스정차대나 택시정차대를 설치 할 필요가 있다. 일반도로에 대해서도 마을앞이나 노선시외버스 정류장에는 가능하면 버스정차대를 두는 것이 바람직하다.

6.2 주□정차대 폭과 구조

주·정차대의 표준폭은 2.5m로 한다. 그러나 통과교통량이 많을 경우 안전을 고려하여 3.0m 이상이 바람직하다. 이는 주차 자동차의 폭인 2.5m와 통과 자동차와 주차 자동차와의 여유폭인 0.3m을 주차차량 바퀴의 연석으로부터 떨어진 거리(0.15~0.3m) 만큼을 고려한 것이다.

승용차만을 대상으로 할 경우 도시지역의 구획도로에서는 주정차대 폭을 2.0m 까지 줄일 수 있도록 하였다. 그러나 이 경우도 안전을 고려한다면 3.0m 이상이 바람직하다.

- 주·정차대 : 블록에 연속적으로 설치하는 것으로 측구는 정차대에 포함
- 버스정차대 : 정차대를 설치하지 않는 도로구간에서 버스정차에 의한 장애를 줄이기 위하여 본선 차도에서 분리하여 설치하는 지대를 말함

버스정차대를 설치할 경우 건축선의 굴절 및 보도폭의 연속성 등의 문제를 고려하여야 한다. 주·정차대의 구조는 차도면과 동일평면으로 하며, 측구는 정차대에 포함한다.

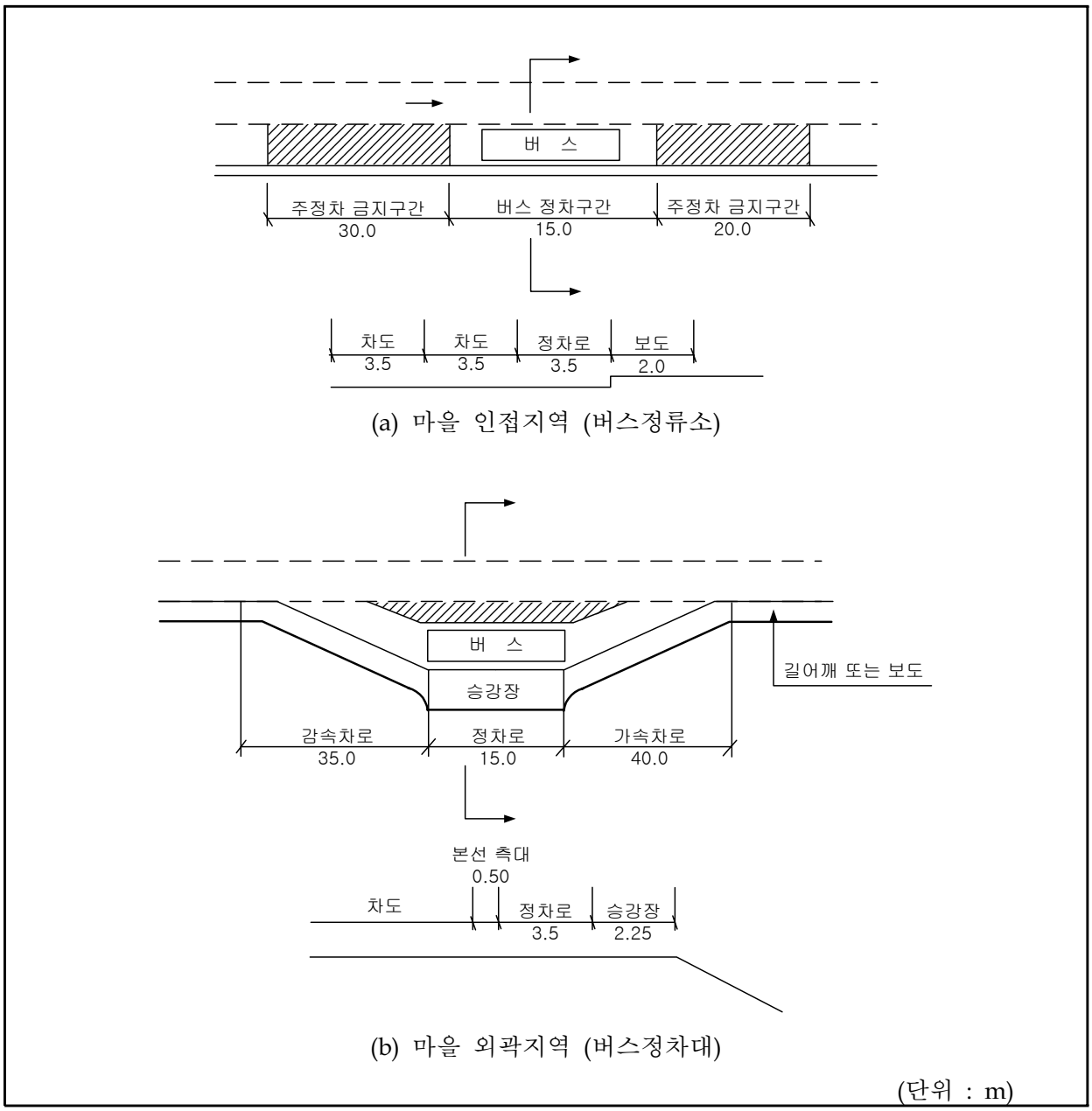
주·정차대를 설치할 경우 다음 그림에서와 같이 교차로 부근에는 주·정차대를 설치하지 말아야 하며 부가차로로 이용할 수 있다.

6.3 주□정차대 운용

주·정차대의 본래의 목적은 일시적인 정차용이며, 상황에 따라 여러 가지 운용이 가능하다. 주차를 금지시켜 일시적인 정차만으로 사용할 때에는 자전거, 원동기 등이 이 정차대를 이용할 수 있는 이점도 있다.

교차로 부근에서는 주차는 물론 정차행위가 교통소통에 지장을 주므로 교차로 유출부에서는 정차대 폭을 이용하여 부가차선을 설치하는 것이 좋다.

<그림 303.13>은 지방지역 도로의 유형별 버스 정차대 설치 형태에 따른 그림이다.



<그림 303.13> 유형별 버스 정차대의 설치 형태

6.4 비상 주차대

(1) 비상 주차대의 설치

비상 주차대의 설치 간격은 도로 규격 및 구분에 따라 우측 길어깨의 폭원이 2.5m 미만인 고속도로와 우측 길어깨의 폭원이 2.0m 미만인 도시고속도로 및 주간선도로에 대해 비상 주차대를 설치하며 고속도로 및 지방지역 일반도로 모두 750m를 설치 간격 기준으로 한다.

기타 지방지역의 일반도로에서 교통량이 많아 필요하다고 인정되는 경우에는 비상 주차대를 설치한다.

설치 장소 선정시에는 토공 구간에서는 표준 설치 간격에 따라 용지 취득이 용이한 곳으로 하되, 편성·편절 구간이나 구조물 설치 구간은 피하는 것이 좋다.

장대교, 터널 등에서는 길어깨 폭이 2m 미만이면서, 구조물의 길이가 1km 미만일 때는 구조물 전후의 토공구간에 비상 주차대를 설치해도 좋으나 구조물 길이가 그 이상일 경우에는 구조물 중간에 최소 750m 간격으로 비상 주차대를 설치한다.

신설된 고속도로에서는 현재 3.0m 이상으로 설치하고 있으므로 비상 주차대의 설치는 일부 구조물을 제외하고 특별히 고려할 필요가 없다.

(2) 비상 주차대의 구조

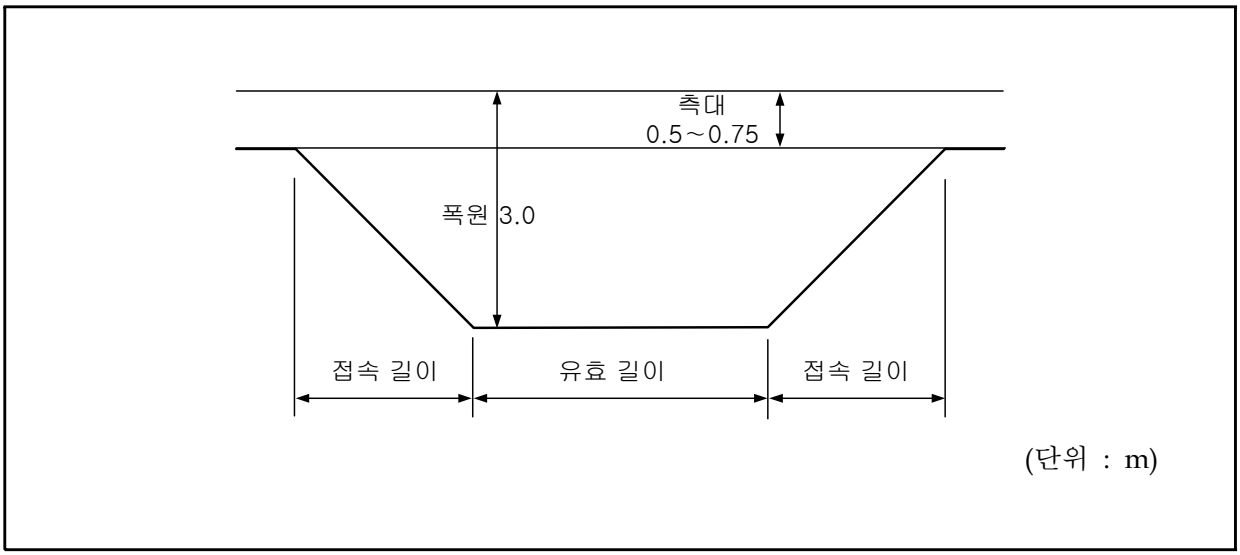
비상 주차대의 유효 길이 및 접속 길이는 도로의 구분에 따라 <표 303.11> 및 <그림 303.14>와 같다. 접속 길이는 일본의 중앙고속도로에서 행한 주행시험 결과에 의하면 비상 주차대에의 진입 속도를 60km/h로 한 경우 본선과 평행이 되는 데까지 약 20m가 필요하였다. 진입 속도가 낮은 경우는 진입 각도를 급하게 할 수 있으므로 접속 길이가 20m면 충분하나, 설계속도가 높은 도로 등에서는 30m로 하고, 보조 간선도로 이하의 도로에서는 설계속도가 낮으므로 10m로 한다.

비상 주차대의 폭원은 3.0m로 하고 측대가 있는 경우에는 측대를 포함한 폭원으로 한다.

<표 303.11> 비상 주차대의 길이

(단위 : m)

도로 구분	접속 길이	유효 길이
고속도로	20～30	20～30
도시 고속도로	20	20
주 간선도로	20	20
보조 간선도로 이하	10	15



<그림 303.14> 비상 주차대의 평면도

303.7 보도

7.1 개 요

보행자의 안전과 자동차 등의 원활한 통행을 위하여 보도를 설치한다. 이 경우 보도는 연석이나 방호울타리 등의 시설물을 이용하여 차도와 분리하고, 장애인·노인·임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률에 의한 편의시설이 필요한 곳에는 이를 설치한다.

보도는 대체로 보행자 수 150인/일 이상, 자동차 교통량 2,000대/일일 때의 경제적, 효율적 조건, 교통 안전시설 정비사업의 실시상황 등을 고려하여 설치한다.

그러나 보행자의 수가 적더라도 자동차 교통량이 아주 많거나, 아동들(학생, 유치원생)의 통로가 되는 경우, 인구밀집지구 등 국부적으로 보행자가 많은 곳에는 보행자의 안전과 교통원활을 위하여 보도 등을 설치하여 보행자를 분리하는 것이 필요하다.

보도는 도로의 양측에 설치하는 것이 일반적이다. 장소에 따라서는 도로의 편측에만 설치하든가 또는 보행자를 다른 도로로 우회시켜 본선은 보행자의 통행을 금지하는 경우도 있다.

7.2 보도의 폭

보도의 폭은 주로 다음 요건을 구비하도록 결정한다.

- 보행자가 안전하고 원활한 통행을 확보하기 위하여 충분한 폭을 가질 것
- 도시지역의 도로에서는 도시시설이므로 필요한 폭, 즉 노상시설대의 폭, 가로의 미관, 연도 환경과의 조화, 연도 서비스를 위한 지하매설물의 수용 등을 도모하기 위하여 필요한 폭을 가질 것
- 보행자가 일반적으로 여유를 가지고 엇갈려 지나갈 수 있는 1.5m를 최소 폭으로 할 것
- 교차로 간격이 조밀한 도시지역의 도로에서는 보행자의 통행이라고 하는 본래의 목적 이외에 교차도로에서 시거를 증대시켜 교통의 안전성에 기여하게 하는 등 부차적인 효과가 있을 것

보행자 수와 보도 폭과의 관계는 다음과 같다.

$$P = 3{,}600 \cdot D_p \cdot V \cdot W$$

여기서, P(인/시간) = 보행자 수
W(m) = 보도 폭
V(m/sec) = 보행자의 속도
D_p(인/m^2) = 보행자 밀도

보도 폭의 최소치는 보행자 1인의 점유 폭을 0.75m를 기준으로 하여 도로의 구분에 따라 각각 보행자 2~4인이 동시에 나란히 통행할 수 있는 폭으로 하고 있다. <표 303.12>는 보도의 최소 폭에 관한 기준이다.

<표 303.12> 보도의 최소 폭

(단위 : m)

구 분		보도의 최소 폭
지방지역의 도로		1.50
도시지역	간선도로	3.00
	집산도로	2.25
	국지도로	1.50

보도에 노상시설을 설치하는 경우 보도의 폭은 결정한 보도의 폭에 다음 폭을 더한 값으로 한다.

- 노상시설이 가로수인 경우 : 1m
- 노상시설이 가로수 외의 시설인 경우 : 0.5m

다만, 도시계획이나 주변 지장물 등으로 인하여 부득이하다고 인정되는 경우는 예외로 한다.

7.3 보도의 횡단구성

보도는 연석, 방호울타리 기타 이와 비슷한 공작물에 의하여 차도로부터 반드시 분리하는 것으로 한다. 또 보도면을 연석에 의하여 차도면보다 높게 하는 것이 바람직하다.

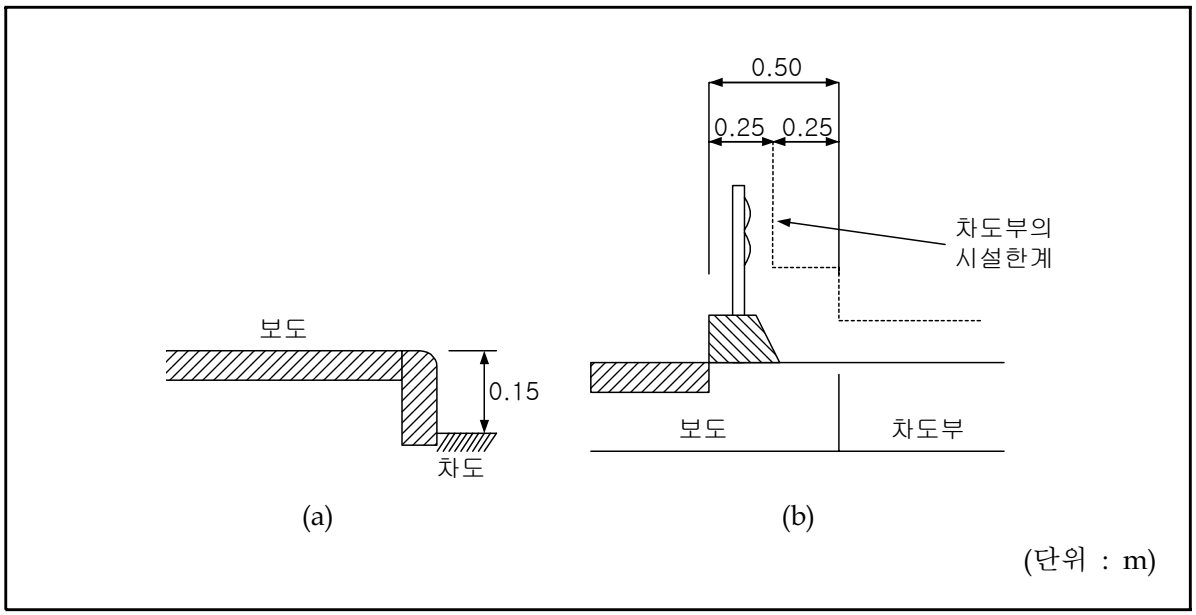
차도와 보도를 구분하는 경우에는 다음 기준에 의한다.

- 차도에 접하여 연석을 설치하는 경우 그 높이는 0.25m 이하로 할 것
- 연석의 앞면은 적절한 기울기를 유지하며, 윗면과 곡선으로 접속 처리가 될 것
- 횡단보도에 접한 구간으로서 필요하다고 인정되는 지역에는 장애인·노인·임신부 등의 편의 증진 보장에 관한 법률에 의한 편의시설을 설치하여야 하며, 자전거도로에 접한 구간은 자전거의 통행에 불편이 없도록 할 것

<그림 303.15>에서 보는 바와 같이 차도면보다 0.1~0.2m 높은 구조로 하든가 방호울타리에 의하는 것이 일반적이다.

방호울타리에 의한 방법은 시설물 설치 부분(보통 0.5m)만큼 폭이 증가한다. 보도 폭이 좁고 차도의 양측에 여유가 부족한 경우에 보도면의 높이를 <그림 303.15>와 같이 0.15m 정도로 하는 것이 바람직하다.

도로에 노상시설을 설치하는 경우에는 보행자를 위한 필요 폭에 노상시설에 필요한 폭을 더한 것으로 한다.



<그림 303.15> 보도의 횡단 구성

7.4 횡단보도 및 육교

간선도로에서 교통량이 많으며 상업중심지, 공장, 학교 운동장 등으로 보행자가 특별히 많고 간선도로의 기능을 보호하기 위하여 필요한 경우에는 보도육교 또는 지하보도를 설치하여 보행자를 자동차와 분리한다.

보도육교나 지하보도를 설치할 경우 계단은 경사 1:17 정도의 연결로를 병행하여 설치하는 것이 바람직하나, 인근에 장애자가 안전하게 횡단할 수 있는 횡단보도 또는 연결로 시설이 있다면 계단으로만 구성하여도 무방하다.

보도육교 등을 설치할 경우 무단횡단을 방지하기 위하여 보도육교 부근에는 차도와 보도 사이에 핸드레일 또는 펜스를 설치할 수 있다.

보도육교를 설치할 경우 보도육교에서 차도 쪽으로 이물질 등을 투하하지 못하도록 펜스를 설치하는 것이 바람직하다.

7.5 연석

연석의 형식과 위치에 따라 운전자가 영향을 받게 되고 안전에도 관계가 된다.

연석은 주로 노면 배수, 시선 유도, 도로용지의 한계, 미관, 유지관리 및 청소 등의 편리를 위하여 사용된다.

연석은 도시부 도로에서는 거의 필수적으로 사용되지만 설계속도가 높은 지방부 도로에서는 사용에 신중을 기하여야 한다. 지방부 도로에서 일반적으로 설계속도 80km/h 이상인 도로에서는 경사형의 연석을 사용하는 것이 바람직하다.

연석의 일반적 형식 분류는 다음과 같다.

- 수직형 (barrier curb)
- 경사형 (mountable curb)

이들의 특징은 <표 303.13>과 같다.

수직형 또는 경사형이든 간에 일반적으로 L형의 측구를 형성하는 것이 대부분이다.

연석의 재질로는 화강석과 콘크리트가 있는데, 눈이 많이 오는 지역에서 제설시 염화칼슘을 많이 사용할 경우 화강석을 사용하는 편이 좋다.

<표 303.13> 연석의 특징과 사용 위치

연석의 형식	특징	사용위치
수직형 (barrier curbs)	- 높고, 전면에 경사가 있으나 수직상태임 - 자동차의 이탈을 방지(저속일 때) - 고속주행시 바퀴가 연석에 충돌하면 자동차가 전복되므로 고속도로에는 부적합 - 저속주행에도 자동차의 이탈을 방지할 목적으로 사용할 경우에는 가드레일과 병행하여 설치 요망 - 가드레일과 병행하여 설치시, 연석의 전면은 가드레일의 전면과 일치시키거나 연석을 가드레일보다 약간 후면에 설치하는 것이 바람직함 - 차도에 접하여 옹벽이 설치되거나 터널 내부에서 충분한 길어깨가 확보되지 못할 경우 연석을 설치하여 운전자로 하여금 경각심 제고 - 수직형을 사용할 경우에도 연석의 앞면은 적절한 기울기를 갖도록 하여야 하며 연석의 높이는 25cm 이하가 되도록 함	- 도시부에서 자동차속도가 저속이고 보도로 구분될 경우 수직형을 사용함 - 연석과 잔디로 구성되는 중앙분리대에 설치할 경우는 경사형으로 함 - 평면교차로나 입체교차로에서 도류섬 또는 분리대에 설치되는 연석은 경사형으로 함 - 자전거도로가 연석으로 차도와 분리될 경우에는 낮은 경사형을 사용함 - 차도에 접속하여 충분한 길어깨가 설치되고 길어깨 바깥쪽에 연석을 설치할 경우에는 경사형을 사용함
경사형 (mountable curbs)	- 경사형은 필요시 자동차의 바퀴가 연석 위로 올라갈 수 있도록 함 - 연석 전면의 경사가 1:1보다 급하면 포장면으로부터의 높이는 10cm 이하가 됨 - 전면의 경사가 1:1~1:1.2이면 포장면으로부터의 높이는 15cm 이하가 됨	

303.8 자전거도로

8.1 개 요

안전하고 원활한 교통의 확보를 위하여 자전거와 자동차 및 보행자의 통행을 분리할 필요가 있는 경우에 자전거도로를 설치한다.

자전거도로의 설치 목적은 다음과 같다.

- 자동차, 자전거, 보행자 등의 복잡한 혼합교통을 배제
- 자전거 및 보행자의 안전한 통행을 위한 교통안전에 기여
- 보행자와 자전거의 안전한 통행 공간을 제공
- 자동차 교통의 안전성과 원활성을 제고
- 도로 주변의 통풍, 채광 등의 공간을 확대
- 생활환경의 보전 및 공공적인 점유 시설을 수용하는 장소로 도시기능의 유지에 도움

자전거도로는 다음과 같이 3가지로 구분된다.

(1) 자전거 전용도로 : 자전거만이 통행할 수 있도록 분리대·연석, 기타 이와 유사한 시설물로 차도 및 보도와 구분하여 설치되는 자전거도로

(2) 자전거·보행자 겸용도로 : 자전거 외에 보행자도 통행할 수 있도록 분리대·연석, 기타 이와 유사한 시설물로 차도와 구분하거나 별도로 설치되는 자전거도로

(3) 자전거·자동차 겸용도로 : 자전거 외에 자동차도 일시 통행할 수 있도록 차도에 노면표시로 구분하여 설치되는 자전거도로

자전거 도로의 설계에 관한 구체적인 내용은 '자전거 이용 시설의 구조·시설 기준에 관한 규칙'을 참고한다.

8.2 자전거도로 등의 설치 기준

8.2.1 자전거도로의 분리

자전거 교통의 분리 여부는 자전거의 교통량, 자동차의 교통량 및 주행속도 이 세 가지를 고려하여 판단한다.

일반적으로는 자전거의 주행속도는 5~30km/h 범위이므로 평균 17~18km/h로 고려한다. 자동차의 주행속도가 50km/h를 초과하는 도로에서는 비교적 적은 자전거 교통량에 대해서도 자전거 교통을 분리할 수 있다.

독일의 경우는 자동차 교통량이 3,000대/일 이상이고, 자전거 교통량이 200대/일 이상 또는 자동차 교통량이 2,000대/일 이상이고, 자전거 교통량이 500대/일 이상일 경우를 기준으로 하고 있다.

자동차 주행시 운전자 눈에 항상 자전거가 보이는 상태에서는 분명히 자동차 교통에 장애를 준다고 보면 자전거의 평균 차두간격(L) 500m, 자전거의 평균속도(V) 20km/h로 하면 편측 1시간당 자전거 교통량(N=1000V/L)은 40대/시임을 알 수 있다.

따라서 양측 자전거 교통량은 80대/시가 되며, 자전거 교통량이 80대/시(약 700대/일) 이상이라면 자동차 주행에 장애를 줄 뿐 아니라 자전거 교통도 위험한 상태가 될 수 있다. 또한 이 정도로 교통량을 초과하게 되면 보행자와도 알력이 예상되므로 보행자와 분리하는 것도 필요하게 된다.

이러한 점을 고려하여 자전거교통량이 500~700대/일을 분리의 판단기준으로 한다. 또한 도시지역의 자전거도로 계획시 단순히 한 구간 자전거 교통처리만이 아니고 자전거 통행경로 전체에 대하여 안전성을 도모할 수 있도록 자전거 교통의 동선을 배려하여 자전거도로망이 형성되도록 한다.

8.2.2 자전거□보행자 겸용도로

자전거도로는 자전거의 교통량이 어느 정도 이상 많은 경우에 필요하다. 자전거 교통량이 적은 경우에는 자전거·보행자도의 설치가 효과적이다. 자전거와 보행자가 동일한 차선을 이용할 경우도 있으나 자전거의 교통량이 적을 경우에는 적절한 폭을 취함으로써 위험성을 상당히 피할 수가 있다 자전거·보행자 겸용도로는 자전거 통행에 안전을 도모하기 위하여 자동차의 교통량이 많을 경우에 필요성이 높다.

자전거 및 보행자를 자동차 교통으로부터 분리하는 판단 기준은 자동차 교통량이 500대/일 이상일 때를 기준으로 자전거, 보행자의 교통량을 감안하여 필요한 경우에 자전거 보행자도를 설치한다. 또한 자전거가 매우 적을 경우에는 보도로서 계획하는 것이 현실적이지만 이 경우에도 자전거의 교통안전이 도모되도록 유의해야 한다.

자전거·보행자 겸용도로를 검토하는 데 있어서는 자전거 교통과 보행자 교통과의 마찰이 생기지 않도록 적절한 폭을 확보한다.

8.2.3 자전거도로 등의 형상

자건거도로 등의 기능으로서는 자전거의 주행 쾌적성 외에 자전거가 차도에 뛰어들 위험이 없고 자전거 교통에 대한 안전성의 확보가 요구된다.

자전거도로 등의 형상은 차도와 거의 같은 높이로 차도와의 사이에 분리시설을 설치하는 것과 자전거도로 등을 차도보다 높이는 것이 있다. 차도보다 높일 경우에는 다음과 같은 점을 주의한다.

- 자전거도로 등의 포장면은 교차도로와의 사이에 턱이 생기지 않게 접속되도록 한다. 이때 접속 경사는 5~10%로 함
- 자전거가 흔들렸을 때 차도에 뛰어들지 않도록 하는 것이 요구됨
- 자전거도로 등이 차도보다 20cm 이상 높은 경우에는 발이 닿도록 하고 또 가장자리로 쏠리지 않도록 방호울타리를 둔다. 자전거의 발판이 부딪치지 않는 범위에서 자전거도로 등이 노면보다 5cm 정도 높고 폭이 넓은 연석을 설치하는 것이 안함 (이러한 형식은 폭이 좁은 터널이나 교량 등에 있어서 특히 필요함)

자전거도로 등을 차도로부터 분리시키기 위한 시설을 설치하는 경우에는 자동차와 자전거도로 등의 시설한계를 감안할 필요가 있다. 시설한계를 그려보아 시설을 설치할 공간이 없을 경우에는 여기에 필요한 폭을 확보해야 한다. 외측 분리대의 폭은 25cm 이상으로 하는 것이 바람직하다.

8.2.4 자전거도로 등의 시설 기준

'자전거 이용 시설의 구조·시설 기준에 관한 규칙'(제정 1995년 1월 5일, 법령 제4870호)의 주요 사항은 다음과 같다.

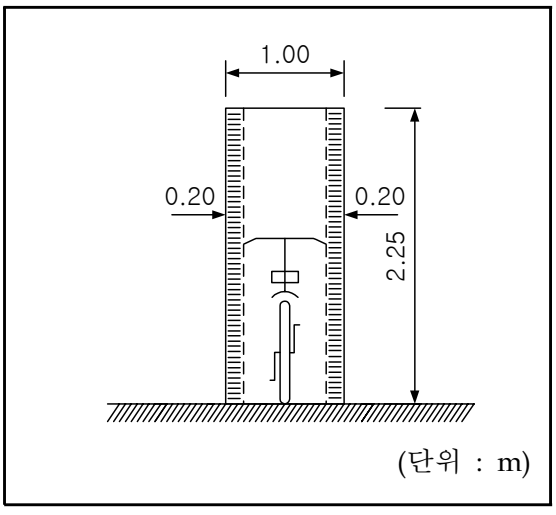
(1) 자전거 도로의 설계속도 및 폭원

자전거 도로의 구분에 따라 <표 303.14>의 속도 이상으로 한다.

<표 303.14> 자전거 도로의 설계속도

구 분	설계속도(km/h)
자전거 전용도로	30
자전거·보행자 겸용도로	20
자전거·자동차 겸용도로	20

자전거 도로의 폭은 1.1m 이상으로 하며, 연장 100m 미만의 터널, 교량 등의 경우에는 0.9m 이상으로 할 수 있다. 자전거 점유 폭은 <그림 303.16>과 같다.



<그림 303.16> 자전거 점유폭

(2) 자전거 도로의 선형

자전거 도로는 설계속도에 따라 <표 303.15>와 같이 해당 거리 이상의 정지시거와 곡선반경을 확보해야 한다.

<표 303.15> 자전거 도로의 정지시거와 곡선 반경

설계속도 (km/h)	정지시거 (m)	곡선 반경 (m)
30 이상	30	24
20 이상	15	17
10 이상	10	10

자전거 도로의 종단경사에 따른 제한 길이는 <표 303.16>과 같다. 다만, 지형상황 등으로 부득이한 경우는 그러하지 아니하다.

<표 303.16> 자전거 도로의 종단경사 제한 길이

종단경사(%)	제한 길이(m)
7 이상	90 이하
6 이상	120 이하
5 이상	160 이하
4 이상	220 이하
3 이하	제한 없음

(3) 도로·철도와의 평면교차

- 일반도로와의 평면교차시 교차각은 45도 이상으로 하고 교차점으로부터 자전거 도로 각 양측의 10m 이상 구간은 시야 장애가 없도록 해야 한다.

- 교차지점에서 10m 이상 구간의 시야를 확보하지 못하거나 자전거 도로의 종단경사가 3% 이상인 경우에는 교차가 시작되기 전 3m 이상의 지점에 자전거 과속방지용 안전시설을 설치한다.
- 철도와 평면교차시 교차각은 45도 이상으로 하고 건널목 양측(철도 받침대 끝을 말함)에서 각각 10m 이내의 구간에는 직선으로 하며 그 구간 내의 종단경사는 3% 이하로 해야 한다.
- 건널목 양측으로부터 10m 구간을 직선으로 확보하지 못하거나 종단경사가 3% 이상인 경우에는 교차가 시작되기 전 3m 이상의 지점에 자전거 과속방지용 안전시설을 설치한다.

(4) 자전거 도로 관련 기타시설

자전거 이용자의 휴식과 편의를 위하여 필요한 곳에는 간이화장실, 음료대, 벤치, 공중전화 및 자전거 주차장 등의 편의시설을 설치하며, 자전거 도로(자전거·자동차 겸용도로는 제외)에 자동차, 손수레 등의 진입이 예상되는 장소에는 진입방지시설을 설치한다.

303.9 환경시설대

교통량이 많은 도로 주변의 주거지역, 정숙을 요하는 시설이나 공공시설 등이 위치한 지역 및 환경의 보존을 위하여 필요한 지역에는 도로의 바깥쪽에 환경시설대 또는 방음시설을 설치한다.

9.1 환경시설대의 설치

(1) 설치의 요건

도로교통이 연도 생활 환경에 미치는 영향은 해당 도로의 성격, 교통상황(교통량, 대형차 혼입율, 주행속도 등)과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 이러한 것을 고려하여 다음에 해당하는 4차로 이상 도로가 대상이 된다.

- 고속도로
- 일반국도 또는 지방도(시도 포함)
- 자동차 전용도로 또는 간선도로(주로 통과 교통에 한함)

연도 토지 이용에 대해서는 계획 시점에는 택지 예정지가 아니더라도 장래 택지로서 양호한 주거환경 보전의 필요가 인정되는 지역이면 아래 지역을 대상으로 한다.

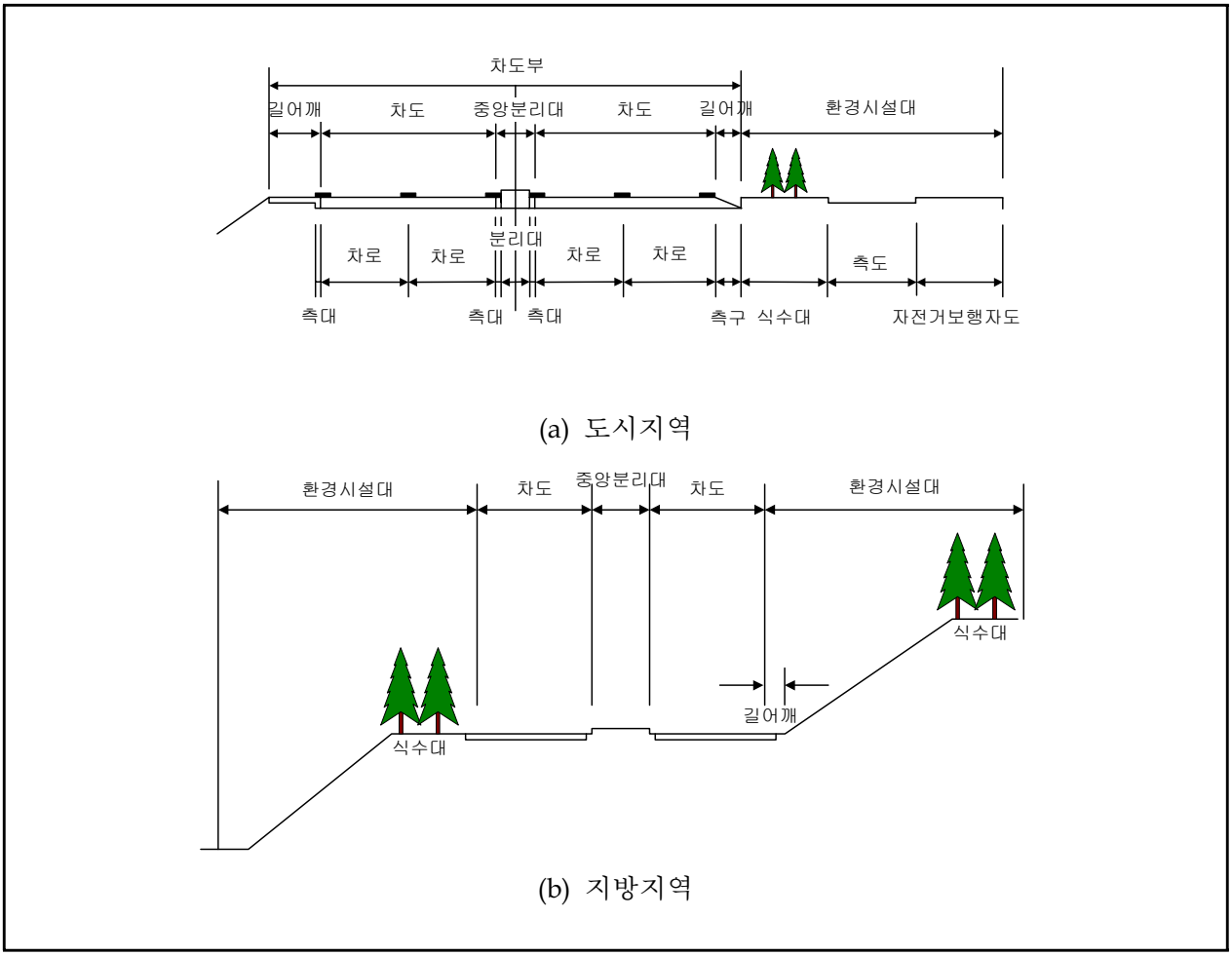
- 주거 전용지역
- 기타지역으로 연도주택의 입지상황, 기타 토지이용의 설정을 감안하여 양호한 주거환경을 보전할 필요가 있는 지역

(2) 환경시설대의 구성

교통량이 많은 도로에서 도로연변에 미치는 소음 등의 피해를 감소시키거나 공공시설 등의 환경보존을 위하여 도로 외측에 식수대, 둑, 방음벽 등의 환경시설대를 설치한다.

환경시설대에는 길어깨, 식수대, 측도, 방음벽, 보도 등이 포함된다.

<그림 303.17>은 환경시설대 구성을 예로 나타낸 것이다.



<그림 303.17> 환경 시설대의 예

(3) 환경시설대의 폭

- 일반 평면도로 및 고가도로에서는 연도의 생활 환경을 보전하기 위하여 차도와의 거리를 두고 거리 감쇄 효과를 고려하여 도로의 차도 양측 각 끝에서 폭 10m 정도의 환경시설대를 설치
- 자동차 전용도로에서 도로의 구조가 흙쌓기, 흙깎기 또는 다른 도로의 위로 설치되는 고가구조이며 야간에 많은 교통이 있는 경우에는 교통상황에 따라 차음벽 등의 시설대 설치 폭을 고려하여 도로의 양측 차도 끝에서부터 폭 20m의 환경시설대를 설치한다.

단, 연도 건축물이 높게 지어져 차음 효과가 있거나 아니면 도시지역으로서 용지 취득이 어렵거나 지가가 높아 경제성을 고려할 경우에는 환경시설대의 폭을 10m 정도로 축소할 수 있다.

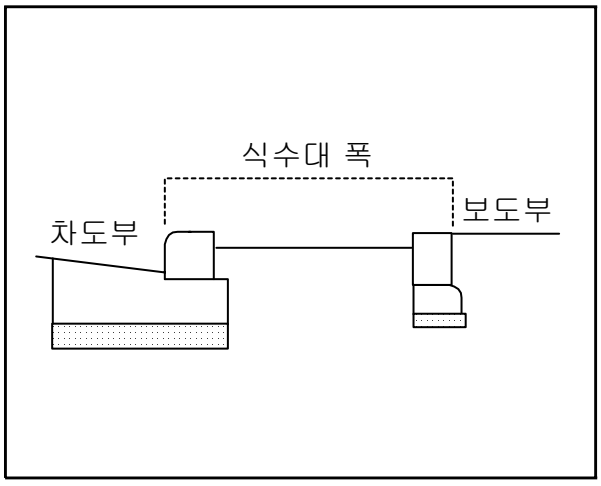
- 하천, 철도 등의 지형 상황 때문에 10m 또는 20m를 설치하기가 매우 곤란한 경우에는 흙까기, 흙쌓기 등의 경사면을 이용하여 적절한 폭을 취할 수 있다.

9.2 식수대의 설치

식수대는 양호한 도로 교통환경의 정비와 연도에 대한 양호한 생활환경 확보를 위하여 설치된다.

(1) 식수대의 구조

식수대는 <그림 303.18>과 같은 단면을 형성한다. 식수대의 폭은 1.5m를 표준으로 하나 1.0m까지 줄일 수 있다. 식수대의 폭을 결정하는 데는 나무의 종류, 배치 및 기타 횡단구성요소와 균형 등을 고려한다.



<그림 303.18> 식수대 단면

단, 장래에 차로 추가계획이 있을 경우 또는 경관지 식수대의 경우 그 폭을 3m 이상으로 할 수 있다.

특별한 목적으로 식수대를 설치할 경우에는 별도의 검토를 통하여 폭을 결정한다.

(2) 도심부의 식수대

도시지역 간선도로의 식수대는 안전과 쾌적한 통행 환경을 확보함은 물론 양호한 경관을 형성하므로 그 역할이 중요하다. 따라서 식수대 폭, 식재 등도 취지에 맞추어 설치한다.

(3) 경관지의 식수대

명소, 유적지 등의 풍경을 배경으로 하는 지역의 간선도로에 식수대 설치시 주변지역과의 경관과 조화가 이루어지도록 특히 고려한다.

(4) 주거지역의 식수대

도로교통으로 인한 소음, 대기오염, 진동의 경감을 도모하기 위하여서는 자동차 구조의 개선, 도로구조의 개선, 적절한 교통규제, 교통관제의 강화, 연도 토지이용의 적정화 등 각종 시책을 종합적으로 고려할 필요가 있다.

도로 구조 검토시 광폭의 식수대를 설치하여 차도와 연도 가옥을 격리할 수 있는 차음벽 등을 설치하던가 또는 수목을 빽빽하게 심는 방법을 검토한다.

303.10 측도

10.1 개 요

측도는 일반도로 또는 도시지역 도로에 있어서 그 도로의 구조가 흙쌓기와 흙깎기로 이루어져 있어서 연도와 고저차가 있어 자동차가 연도와의 출입이 불가능한 경우 또는 환경대책상 차음벽을 연속하여 설치할 필요가 있기 때문에 연도로의 자유로운 출입이 불가능한 경우에 자동차가 연도에 출입할 수 있도록 본선차도에 병행하여 설치하는 도로이다.

고속도로의 경우에는 유출입이 특정지역에 제한되므로 도로 연변의 토지 이용을 높이기 위해서 측도를 설치와 더불어 일방통행으로 운영하여 자동차의 고속 주행과 함께 토지 이용도를 높이는 효과를 추진하는 것이 외국의 경향이다. 특히 고속도로가 도시지역을 통과할 경우에는 교통의 분산이나 합류의 목적으로 측도를 권장하고 있다.

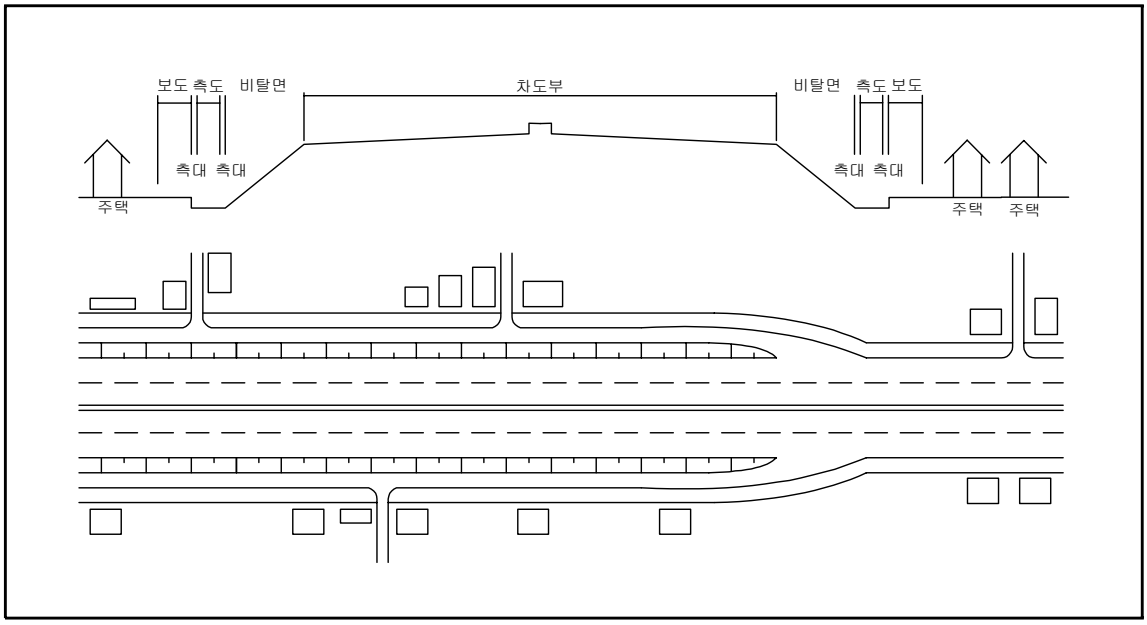
10.2 측도의 설치

측도는 일반적으로 선형, 경사 등이 제한된 높은 규격의 도로에 필요한 경우가 많으므로 계획교통량이 비교적 많은 4차로 이상의 고속도로 또는 간선도로에 필요에 따라 설치한다.

2차로 도로에 있어서도 철도입체, 교량의 접속 등에는 필요에 따라 측도를 설치한다.

측도의 필요성은 출입이 방해되는 정도(고저차, 구간 연장 등)에 따라 연도의 교통수요 및 자동차의 연도 출입을 확보하기 위한 다른 방법 등을 종합적으로 감안하여 판단한다.

도로 주변에 설치되는 측도의 예는 <그림 303.19>, 고가도로와 연결되는 부분의 측도 설치 예는 <그림 303.20>과 같다.



<그림 303.19> 도로 주변에 설치되는 측도의 예

10.3 측도의 구조

10.3.1 측도의 폭

측도의 폭은 원칙적으로 4.0m 이상을 표준으로 하되 자동차의 안전과 원활한 통행이 가능하도록 고려한다. 측도의 폭은 정차 수요, 대형차의 통행 교통 현황 등을 충분히 고려하여 결정한다.

10.3.2 측도의 길어깨

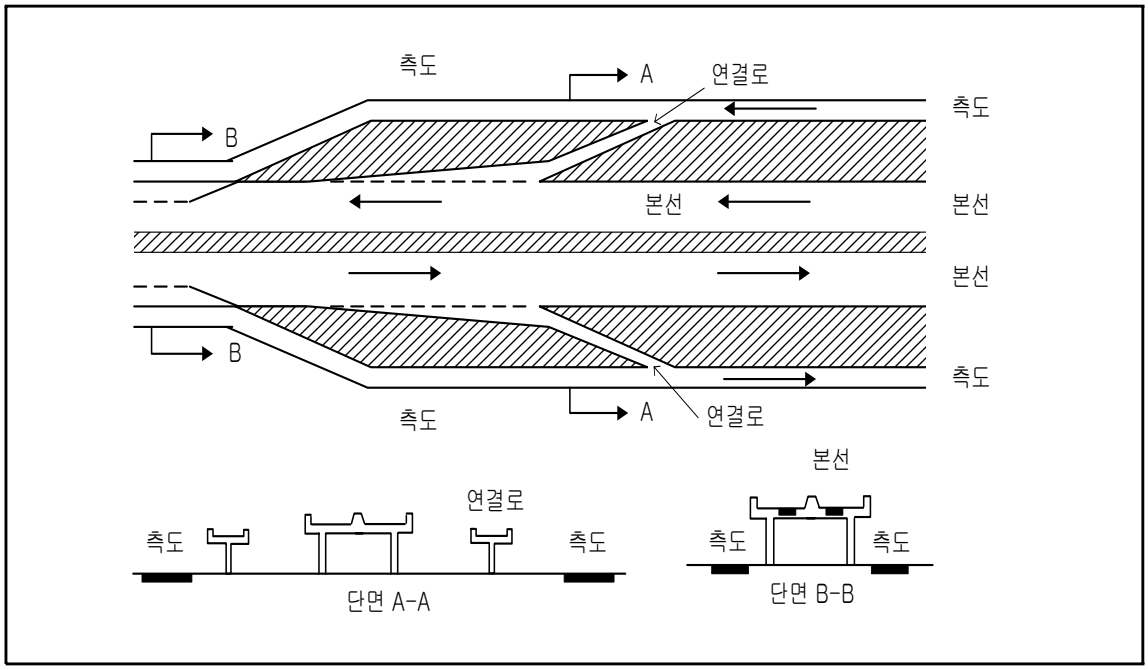
차도와 접속하여 우측에 설치할 길어깨 폭에 대해서는 설계속도에 따라 일반 도로의 기준을 적용한다.

그러나 측도는 주로 도시지역에서 고려되므로 길어깨를 설치할 경우와 보도를 설치할 경우에 대해서는 당해 도로의 필요에 따라 정할 필요가 있다.

10.3.3 기타 구조의 기준

측도의 설계속도는 20~60km/h 범위이므로 이에 따라 선형과 경사 등을 고려하여 원활한 본선과의 접속으로 안전과 통행이 원활하도록 고려해야 한다.

접속부는 안전하고 원활한 교통이 보장되도록 적절한 접속 위치, 선형, 폭 등을 고려한다. 측도에 대한 시설한계 역시 관련 규정에 따른다.



<그림 303.20> 고가도로와 연결된 부분의 측도 예

303.11 도로의 표준 횡단면도

도로 기하구조의 기술적 기준을 규정한 목적은 안전하고 원활한 교통을 확보하기 위하여 도로로서 구비해야 할 요건을 갖는 것은 물론 전국의 도로에 대하여 공통으로 구비해야 할 요건을 나타내기 위해 최소치를 선택하는 경우가 많다.

중앙분리대, 길어깨, 보도 등과 관련된 모든 규정이 여기에 해당하며 최소 폭을 명시하고, 이 수치를 넘는 것에 대해서는 도로관리자의 판단으로 적절하게 운용한다는 것을 전제로 한다. 또 이러한 최소 폭은 해당 기준에 대한 최소값 일뿐 항상 바람직한 값을 표시하는 것은 아니다.

도로의 전폭, 횡단면 구성요소의 조합 및 횡단구성요소의 폭 등이 도로기술자, 도로관리자에 의해서 다종 다양하게 구성되는 경향이 있으므로 도로관리의 합리화와 양호한 도시경관의 확보라는 관점에서 도로 폭원의 표준화가 필요하다.

이러한 이유로 도로기능에 따라 표준적인 횡단구성 및 폭원을 정하여 가능한 도로구분에 따라 그 기준을 준용하는 것이 여러 가지 측면에서 합리적이다.

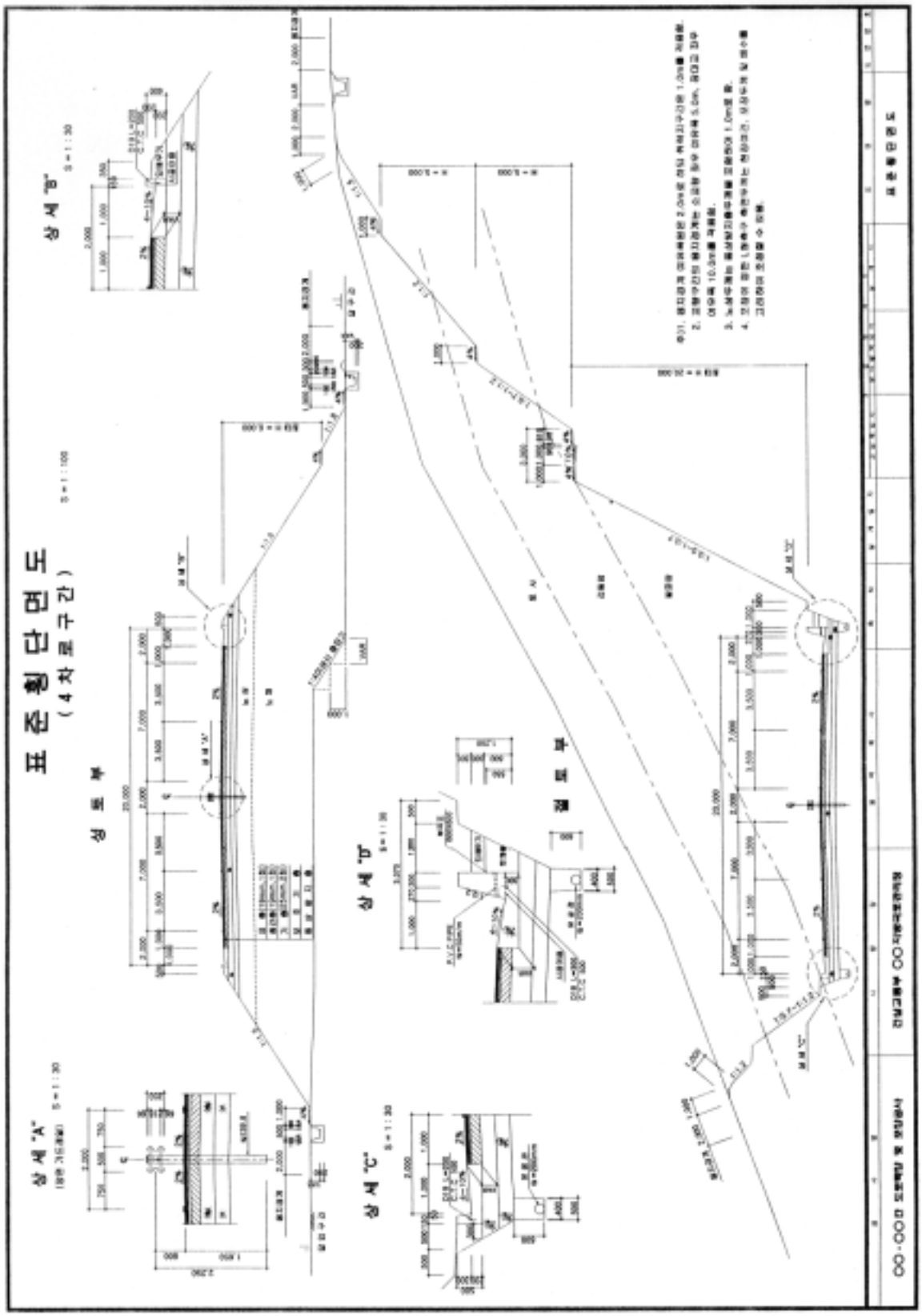
<표 303.17>의 횡단면 구성요소의 표준 폭원은 구조·시설 기준에 관한 규칙에서 정한 최소치만은 아니며 바람직한 값이 확보되도록 정한 것이다.

도로의 총 폭원에 대해서는 도로관리의 합리화, 양호한 도시경관이 확보되도록 도로분류 및 지역구분에 따라 정량화하는 것이 좋다.

지방부 도로의 표준 횡단면도의 예를 나타내면 <그림 303.21>과 같다.

<표 303.17> 도로 횡단 구성면의 표준폭원

도로 구분		해당 도로	설계 속도 (km/h)	차로 폭 (m)	중앙 분리대	길어깨 (m)		측대 (m)
						우측	좌측	
지방지역	고속도로	고속도로	100 ~ 120	3.5~3.6	3.0	3.0	1.0	0.5
	주간선도로	국도	60 ~ 80	3.25 ~ 3.5	1.5~2.0	2.0	0.75	0.5
	보조간선도로	국도, 지방도	50 ~ 70	3.0 ~ 3.25		1.5	0.5	0.5
	집 산도로	지방도, 군도	50 ~ 60	3.0		1.25	0.5	0.25
	국지 도로	군도	40 ~ 50	3.0		1.0	0.5	0.25
도시지역	도시 고속도로		80 ~ 100	3.5	2.0	2.0	1.0	0.5
	주간선도로		80	3.25 ~ 3.5	1.0~2.0	1.5	0.75	0.5
	보조간선도로		60	3.0 ~ 3.25		1.0	0.5	0.25
	집산도로		50	3.0		0.5	0.5	0.25
	국지 도로		40	3.0		0.5	0.5	0.25



<그림 303.21> 지방지역 도로의 표준 횡단면도

304
도로 선형

304.1 개요

도로 선형은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 연속된 형상으로서 평면적으로 본 도로중심선의 형상을 평면선형, 종단면으로 본 도로중심선의 형상을 종단선형이라 한다. 도로의 선형은 해당 도로의 설계속도에 주로 좌우된다.

도로의 선형 설계는 안전성, 효율성을 기준으로 운전자, 자동차, 교통 및 도로환경 등을 고려하여 최적 수준의 설계안이 확보되도록 하는 것이다. 공사비가 가장 적게 소요되는 선형 설계는 당연히 지형에 따라 자연스럽게 설계하는 것이지만 자동차의 안전 주행을 위해서는 시거를 포함하여 설계속도에 따른 최소 설계기준을 만족시켜야 하므로 지형을 그대로 따르는 것은 현실적으로 곤란하다.

따라서 도로의 선형 설계는 도로의 기능성, 안전성, 효율성, 환경성 및 경제성 등이 종합적으로 고려될 수 있도록 한다.

304.2 시거

2.1 일반적 고려사항

시거란 운전자가 주행 중에 전방을 볼 수 있는 거리이다. 전방을 보는 능력은 도로상에서 자동차의 안전하고 효율적인 운행을 위해 가장 중요하다. 도로상의 자동차 경로와 속도는 운전자의 통제력에 의존하며 이러한 운전자의 능력, 훈련, 경험은 상당히 다양하다.

주행중에 운전자는 최소 정지시거를 확보해야 설계속도로 주행한다고 가정했을 때 갑자기 나타난 장애물과 충돌하지 않고 정지할 수 있게 된다. 물론 시거가 많이 확보되면 운전자는 좋겠지만 예산상의 제약 등으로 무한정 길게만 할 수는 없으며, 도로를 설계할 때 평균적인 운전기술을 가진 운전자가 안전하게 정지할 수 있는 최소한의 거리를 설계 요소로 하고 있다.

시거에는 도로의 설계속도에 따라 안전상 필요한 길이를 전구간에 걸쳐서 확보해야 하는 정지시거와 양방향 2차로 도로에서 효율적인 도로운영을 위해 앞지르기를 허용하는 구간을 둘 때 고려하는 앞지르기시거, 도로시설의 정보 인식을 도모하기 위한 판단시거, 교차로에서 확보되어야 하는 교차로시거가 있다.

2.2 정지 시거

정지시거는 운전자가 같은 차로상에 있는 고장차 등의 장애물 또는 위험요소를 알아차리고 제동을 걸어서 안전하게 정지하거나 혹은 장애물을 피해서 주행하기 위해 필요한 길이이다.

정지시거는 운전자의 위치를 진행하는 차로의 중심선상으로 하고 운전자의 눈높이를 도로표면으로부터 1m로 하여, 장애물 이나 물체의 크기를 0.15m 높이로 볼 수 있는 거리를 같은 차로의 중심선상에서 측정한 거리로써 그 이상의 거리를 모든 종류의 도로와 모든 구간에서 확보해야 되는 설계요소이다.

정지시거는 아래의 식으로 산정되며, 설계속도별 정지시거는 <표 304.1>과 같다.

$$D = 0.694V + \frac{V^2}{254f}$$

여기서,

D = 정지시거 (m)

V = 자동차의 속도 (km/h)

f = 노면상태에 따른 종방향 미끄럼 마찰계수

정지시거는 운전자에게 큰 영향을 미치므로 충분히 안전한 값을 취해야 한다. 일반적인 설계에서는 종방향 미끄럼 마찰계수를 노면 습윤 상태로 고려함과 동시에 자동차의 주행속도를 설계속도로 하여 산정한다.

노면이 결빙한 경우에는 마찰계수 값이 감소하게 되므로(f=0.15) 운전자는 스노우 타이어 또는 체인을 장착하거나, 설계속도보다 어느 정도 감소된 속도로 주행하게 된다. 그러므로 이를 고려하여 정지시거를 계산한다.

장대 터널구간에서는 노면 습윤상태의 마찰계수를 적용하는 일반구간(토공구간, 교량구간)과는 달리 실제 상황이 노면이 건조된 상태가 대부분이므로 터널 내에서의 정지시거는 마찰계수를 노면 건조 상태의 값으로 적용한다.

그러나 연장이 짧은 터널의 경우와 터널 갱문으로부터 일정한 구간은 노면 습윤 상태가 일반 구간과 동일하므로 노면 습윤 상태의 정지시거를 적용한다.

양방향 2차로 도로에서는 대향하는 자동차가 서로 상대를 확인한 후 제동하여 정지하기 위해서는 <표 304.1>의 두 배 값에 해당하는 거리가 필요하다.

도로의 종단경사를 고려할 때는 아래의 식으로 정지시거를 산출한다.

$$D = 0.694V + \frac{V^2}{254(f \pm s/100)}$$

여기서,

s = 종단경사(%)

<표 304.1> 도로조건에 따른 설계속도별 정지시거

설계속도 (km/h)	노면 습윤 상태		노면 건조 상태		노면 동결 상태	
	f	정지시거(m)	f	정지시거(m)	f	정지시거(m)
120	0.28	280	0.54	190		
110	0.28	250	0.55	165		
100	0.29	200	0.56	140		
90	0.30	170	0.57	120		
80	0.30	140	0.58	100		
70	0.31	110	0.59	85	0.15	140
60	0.32	85	0.60	70	0.15	105
50	0.34	65	0.61	55	0.15	70
40	0.37	45	0.63	40	0.15	45
30	0.44	30	0.64	30	0.15	25
20	0.44	20	0.65	20	0.15	25

2.3 앞지르기 시거

양방향 2차로 도로에서는 저속 자동차가 주행하는 경우, 뒤따르는 자동차가 저속 자동차를 앞지르기를 하려 해도 실제로 반대방향 차로의 교통량이 많거나 도로의 선형이 불량하면 앞지르기가 불가능한 경우가 많아 비효율적으로 운영되거나, 무리한 앞지르기 시도에 의해 사고를 유발하기도 한다.

따라서 양방향 2차로 도로에서는 고속 자동차가 저속 자동차를 안전하게 앞지를 수 있도록 충분한 시거가 확보되는 구간을 적정한 간격으로 둔다.

앞지르기 시거는 양방향 2차로, 설계속도 80km/h 이하의 도로에서만 적용하며 앞지르기 시거의 규정치는 <표 304.2>와 같다.

<표 304.2> 설계속도별 앞지르기 시거

설계속도(km/h)	앞지르기 시거(m)
80	540
70	480
60	400
50	350
40	280
30	200
20	150

앞지르기 구간의 설치는 지형, 설계속도, 공사비 등을 고려하고 운전자가 극도로 불쾌하지 않고 운영 효율을 높일 수 있도록 앞지르기 구간의 길이와 빈도가 적절히 제공되도록 한다.

앞지르기 구간이 그 도로의 전 구간에 걸쳐 얼마만큼 존재하는가를 나타낸 것이 앞지르기 시거 확보구간의 존재율이다.

일본의 경우는 양방향 2차선 도로에서 최저 1분간 주행하는 사이에 1회, 또는 부득이한 경우에도 3분간 주행하는 사이에 1회의 앞지르기 구간을 확보하도록 하고 있다. 이를 앞지르기 시거 확보구간의 존재율로 나타내면 일반적인 경우 30% 이상, 부득이한 경우에도 10% 이상의 구간을 확보토록 하고 있다.

노선 중 앞지르기시거가 확보된 구간이 한 지역에 편중되지 않고 <표 304.3>의 비율로 노선 전체에 균등하게 분포되어 있도록 설계한다.

<표 304.3> 앞지르기시거 확보구간의 존재율

설계속도 (km/h)	1분간 주행거리 (m)	앞지르기 거리 (m)	1분간에 1회 (%)	3분간에 1회 (%)
80	1,480	550	28	13
60	1,000	350	35	12
50	830	250	30	10
40	630	200	30	10
30	530	150	30	10

2.4 교차로 시거

교차로 시거는 교차하는 다른 자동차와의 충돌을 피하기 위해 필요한 시거로 두 접근부에서 교차로로 진입하는 두 자동차의 운전자가 서로 인지한 후 안전하게 정지하기 위해 요구되는 거리이다.

이 거리는 접근 자동차의 속도와 운전자의 반응시간 등에 영향을 받게 된다.

접근속도가 40km/h인 교차로를 예를 들면, 5초간의 공주거리와 감속거리를 합한 것으로 교차로 시인 거리는 70m이다. 또한 이때의 교차로 시거는 감속 2.5m/sec^{2}를 고려하여 감속 후의 속도 32.4km/h에서 정지에 필요한 거리 15m를 교차로 시거로 한다.

보다 자세한 내용은 본 편의 '306 평면교차' 부분에서 다룬다.

304.3 평면선형

도로의 평면선형은 주행의 안전성, 쾌적성, 연속성과 환경성, 경제성 등을 고려하여 설계되어야 한다. 평면선형은 도로의 설계속도에 따라 직선, 원곡선, 완화곡선으로 구성된다. 이 세 가지 요소는 적절한 길이 및 크기로 연속적이며 일관성 있는 흐름을 갖도록 해야 한다. 특히 평면곡선부인 원곡선과 완화곡선 구간에서는 설계속도와 평면곡선반경의 관계는 물론 횡방향 미끄럼 마찰계수, 편경사, 확폭 등의 설계요소들이 조화를 이루어야 한다.

3.1 직선

직선은 어느 구간을 최단 거리로 연결할 수 있고, 설계 등의 작업에 편리하다는 장점으로 선형 설계의 우선적인 도입 요소가 되고 있다.

한편, 직선은 일반적으로 융통성이 없는 기하학적 형태이기 때문에 딱딱하며 선형의 조화가 잘 이루어지지 않는 결점을 갖고 있으며, 더욱이 지형의 변화에 대하여 순응하기 어렵기 때문에 자연히 제약이 있다. 그리고 직선구간이 꽤 길게 연결되면 운전자는 도로의 단조로운 연속성에 권태를 느끼고, 주의력을 집중하기가 어려워져서, 결국에 운전자의 지각반응이 저하를 일으켜 사고발생의 원인이 된다.

따라서, 직선을 적용할 때에는 특히 지형과의 관계에 유의하고, 그 연장이 적당한 길이를 넘지 않는 범위에서 다음과 같은 구간에서 직선을 사용하는 것이 좋다.

- 평탄지 및 산과 산 사이에 존재하는 넓은 골짜기
- 시가지 또는 그 근교지대로서 가로망 등이 직선적인 구성을 이루고 있는 지역
- 장대교 혹은 긴 고가구간
- 터널구간

지형의 제약이 전혀 없는 평탄지에서는 긴 직선의 적용이 가능하다. 통상 이러한 구간에서는 성토 구간이 직선적으로 연속되는 형태가 되므로, 도로환경의 단조로움을 피하도록 운전자의 주의를 끌 수 있는 목표물인 건축물, 수목 등을 시계에 들어오도록 배려하는 것이 좋다. 산과 산 사이를 통과하는 지역에서 경관의 변화가 수반되는 경우에도 긴 직선의 적용이 가능하다. 이 경우에는 지형에 알맞은 경제적인 종단선형을 적절히 설계하여 상당히 긴 내리막 경사를 두지 않도록 한다.

그리고 시가지 등과 같이 토지이용의 구성단위가 직선형으로 구획되어 있는 지역에서는, 그 곳을 통과하는 도로자체도 직선으로 설계하지 않으면 연도의 토지이용의 효율을 저하시키게 될 뿐만 아니라, 인공적인 경관과의 조화를 이루지 못한다.

장대교 및 긴 고가교 구간과 같이 건설비가 고가인 구조물이 연결되는 경우는 시공상의 용이성도 고려하고, 경제적으로도 유리한 직선으로 하는 것이 좋다.

터널구간은 지형, 경관과의 적응관계는 고려할 필요가 없으므로 시공상의 편리와 경제성 및 지질 등과의 관계를 고려하여 가능하다면 직선을 활용해야 할 것이다.

참고로 터널구간에 연결되는 전후의 곡선, 특히 출구 직후의 곡선은 운전자가 예측할 수 없는 것이므로 가능한 한 피해야 하며, 곡선을 설치하여야 할 경우에는 터널과 원곡선과의 직접 연결을 피하고 완화곡선을 충분히 두어 원곡선과 접속할 수 있도록 한다.

직선 적용의 일반적 한계 길이는 주로 운전자의 심리적인 부담 한계와 자동차 전조등 불빛에 의해 결정되며, 최대 길이는 동일 종단경사 내에서 설계속도의 20배, 최소 길이는 동일 종단경사 내에서 직선이 반대방향 곡선 사이에 있을 때 설계속도의 2배, 같은 방향의 곡선 사이에 있을 때 설계속도의 6배이다. <표 304.4>는 동일 종단경사 내에서 설계속도에 따른 직선 구간의 제한 길이를 나타낸 것이다.

동일 종단경사 내에서 직선의 최대길이로 규정된 길이는 설계속도로 주행하는 자동차가 약 70초 정도의 주행하는 거리를 산정하여 주어진 것이다. 이들 값은 어디까지나 경험을 바탕으로한 일종의 가늠으로 주어진 것이므로 지형, 지물의 상황, 경관의 변화 등에 따라 적절하게 설계자의 판단에 의하여 정하는 것이 중요하다.

<표 304.4> 동일 종단경사 내에서 직선 구간의 제한 길이

설계속도(km/h)	120	100	80	60	50
직선의 최대 길이	2,400m	2,000m	1,600m	1,200m	1,000m
반대 방향으로 굴곡하는 평면곡선 사이에 삽입되는 직선의 최소 길이	240m	200m	160m	120m	100m
같은 방향으로 굴곡하는 평면곡선 사이에 삽입되는 직선의 최소 길이	720m	600m	480m	360m	300m

3.2 원곡선

자동차가 평면곡선부를 주행할 때에는 원심력에 의해 자동차는 곡선 바깥쪽으로 힘을 받게 된다. 이때 자동차의 속도 및 중량, 평면 곡선반경, 타이어와 포장면의 횡방향 마찰력 및 편경사 등에 의해 원심력이 작용하게 된다.

이와 같이 평면곡선부를 주행하는 자동차에 작용하는 힘의 요소들에 대하여 횡방향 미끄럼 마찰계수와 편경사의 값을 결정하고 설계속도에 따른 최소 평면곡선반경을 산정한다.

3.2.1 횡방향 미끄럼 마찰계수

자동차가 평면 곡선부를 주행할 때 포장면에 작용하는 수직력이 타이어와 포장면 사이에 발생하는 횡방향 마찰력으로 변환되는 정도를 나타내는 것이 횡방향 미끄럼 마찰계수이다. 횡방향 미끄럼 마찰계수는 자동차의 속도, 타이어와 포장면의 형태 및 조건에 따라 달라진다. 횡방향 미끄럼 마찰계수의 특징은 다음과 같다.

① 속도가 증가하면 횡방향 미끄럼 마찰계수의 값은 감소한다.
② 습윤, 빙설 상태의 포장면에서 횡방향 미끄럼 마찰계수 값은 감소한다.
③ 타이어의 마모 정도에 따라 횡방향 미끄럼 마찰계수 값은 감소한다.

이러한 성질의 횡방향 미끄럼 마찰계수 적용값을 정하는 데 있어서, 노면과 타이어 간의 마찰저항 값을 어느 정도 적용하는 것이 안전할 것인지를 고려해야 한다. 이러한 값은 실측하여 구한 값에 사람이 자동차 주행 중에 느낄 수 있는 쾌적성을 고려하여 결정하게 된다.

• 실측 값

자동차가 평면곡선부를 주행할 때 횡방향력이 작용하게 되며, 이때 바퀴의 회전방향과 자동차의 진행방향이 일치하지 않기 때문에 두 방향이 각을 이루게 되는데 이 각을 횡방향 미끄럼각이라 한다. 횡방향력에 따라 횡방향 미끄럼각이 증가할 때 횡방향 미끄럼 마찰계수도 증가하게 되며, 횡방향 미끄럼 마찰계수가 최대값을 가질 때, 이 값을 노면의 재질에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수 값으로 정하고 있다.

횡방향 미끄럼 마찰계수의 실측치는 조사연구자료에 의하면 노면의 재질 및 상태에 따라 다음과 같은 값을 나타내고 있다.

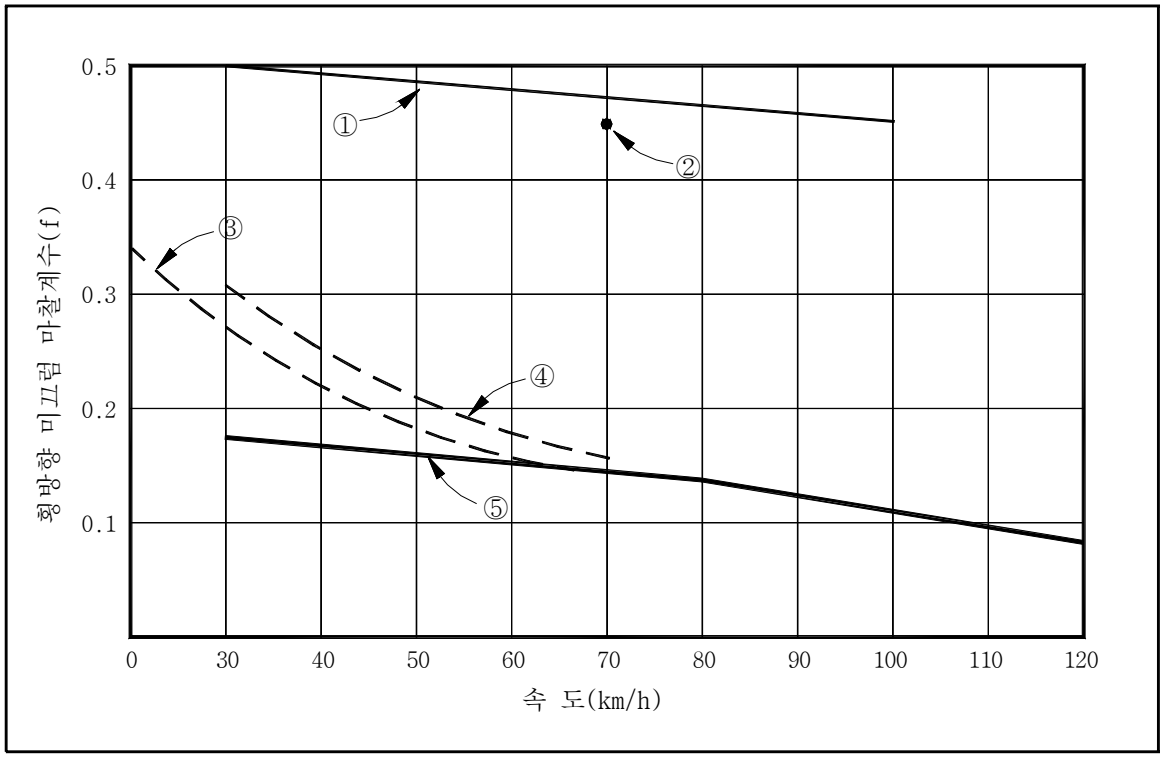
- 아스팔트 콘크리트 포장 : 0.4～0.8
- 시멘트 콘크리트 포장 : 0.4～0.6
- 노면이 결빙된 경우 : 0.2～0.3

<그림 304.1>은 미국(AASHTO, 1994)의 각 조건에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수 값에 대한 기준이다.

• 쾌적성을 고려한 값

평면곡선부를 주행할 때 운전자는 안전하고 쾌적한 주행을 위하여 요철이 심한 곳에서는 속도를 낮추고, 평면곡선반경이 작은 구간에서는 가능한 한 크게 회전하려고 한다.

이와 같은 운전자의 조작에 따른 자동차의 적응능력 및 기동성으로 보아 도로에서는 철도에서 요구하고 있는 횡방향 가속도의 범위인 0.3～0.6m/sec^{2}보다 큰 값이 종래부터 허용되고 있다. 횡방향 미끄럼 마찰계수의 값은 운전자가 충분히 안전하고, 동시에 쾌적한 주행감을 느낄 수 있도록 결정되어야 한다.



<그림 304.1> 도로의 조건에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수

주)

① 습윤상태의 콘크리트 포장과 새 타이어 간의 횡방향미끄럼마찰계수

② 습윤상태의 콘크리트 포장과 사용한 타이어 간의 최대 횡방향미끄럼마찰계수

③ 방향전환을 위한 도로의 설계에 적용하는 횡방향미끄럼마찰계수의 가정치

④ 도시부의 낮은 설계속도의 도로에 적용하는 횡방향미끄럼마찰계수의 가정치

⑤ 지방부의 모든 도로와 도시부의 높은 설계속도의 도로에 적용하는 횡방향미끄럼마찰계수의 가정치

이러한 횡방향 미끄럼 마찰계수의 한계값에 대한 많은 조사연구에 의하면, 대체적으로 쾌적성을 고려할 경우 그 값은 속도에 따라 0.1~0.16 정도가 타당한 것으로 알려져 있다.

- 설계에 적용되는 값

횡방향 미끄럼 마찰계수의 값은 주행의 안전과 쾌적을 동시에 만족하는 값이므로 주어진 조건의 최대치가 아닌 허용할 수 있는 범위 내에서의 최대치를 적용해야 한다.

횡방향 미끄럼 마찰계수는 속도에 따라 주행의 쾌적을 고려하여 0.1~0.16을 적용한다. 해당 값은 실측값과 안전 측면에서도 충분한 값이므로 횡방향 미끄럼 마찰계수는 설계속도별로 <표 304.5>와 같이 적용한다.

<표 304.5> 설계속도에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수

설계속도(km/h)	횡방향 미끄럼 마찰계수
120	0.10
110	0.10
100	0.11
90	0.11
80	0.12
70	0.13
60	0.14
50	0.16
40	0.16
30	0.16
20	0.16

3.2.2 편경사

자동차가 평면곡선부를 주행할 때 작용하는 원심력에 저항하는 힘은 횡방향 마찰력과 설치된 편경사에 의하여 포장면에 수직으로 작용하는 분력으로서, 원심력 가운데 운전자에 불쾌감을 주는 횡방향력을 작게 하기 위해서는 가능한 편경사를 크게 하여야 한다. 그러나 편경사가 너무 클 경우 저속 주행 자동차의 운전자는 횡방향으로 미끄러짐을 벗어나기 위해 부자연스러운 핸들 조작을 해야 하며, 포장면이 결빙되었을 때 자동차의 정지 및 출발시 횡방향으로 미끄러질 우려가 있어 최대 편경사를 제한하고 있다.

최대 편경사를 결정하는 데 있어서 고려하여야 할 요소는 다음과 같다.

- 주행의 쾌적 및 안전
- 적설, 결빙 등의 기상조건
- 지역구분
- 저속 주행 자동차의 빈도
- 시공성 및 유지관리

이러한 요소들을 고려할 때 모든 도로에 획일적으로 최대 편경사를 적용하는 것은 비합리적이므로 그 도로가 갖는 조건들을 감안하여 최대 편경사를 6~8%로 결정한다.

도시부 도로에서는 교차로의 접속, 횡단보도, 연도 이용 및 자동차의 빈번한 정지 등을 고려하여 편경사를 설치하지 않거나 작은 편경사를 두도록 한다.

구체적인 편경사의 적용에 관한 내용은 별도의 항에서 다룬다.

3.2.3 평면 곡선반경

(1) 최소 평면곡선반경의 산정

평면곡선부를 주행하는 운전자의 안전과 쾌적함을 확보하기 위하여 설계속도에 따른 최소 평면곡선반경을 규정한다. 최소 평면곡선반경은 평면곡선부를 주행할 때 발생하는 원심력으로 인하여 곡선부의 바깥쪽으로 미끄러지거나 전도할 위험을 방지할 수 있도록 타이어와 포장면 사이의 횡방향 마찰력이 원심력보다 크도록, 동시에 주행의 쾌적성을 확보할 수 있도록 하여 크기를 산정한다.

일반적으로 원심력에 의해 자동차는 횡방향 미끄럼의 영향을 먼저 받게 되므로 횡방향 미끄럼 마찰계수 한계치에 대한 평면곡선반경을 최소 평면곡선반경으로 결정하게 된다.

평면 곡선부를 주행하는 자동차가 횡방향으로 미끄러지지 않을 조건의 평면 곡선반경, 설계속도, 횡방향 미끄럼 마찰계수 및 편경사의 관련식은 다음과 같다.

$$R = \frac{V^2}{127(i+f)}$$

여기서,

i = 편경사(%/100)

f = 횡방향 미끄럼 마찰계수
V = 자동차의 속도 (km/h)
R = 곡선반경 (m)

위의 식에 따라 제시된 설계속도와 최대 편경사별 최소 평면곡선반경은 <표 304.6>과 같다.

(2) 평면곡선반경의 적용

최소 평면곡선반경의 규정값은 평면곡선부를 주행하는 운전자의 안전과 쾌적을 확보하기 위한 최소한의 값이며, 각 차로의 중심선에 적용되는 값이다. 설계속도 60km/h이상의 도로나 6차로 이상의 다차로 도로에서 평면선형을 차도 중심선을 따라 설계할 경우, 최소 평면곡선반경의 적용구간에서는 곡선의 안쪽 차도에 대한 평면곡선반경에 세심한 주의를 기울여야 한다.

또한, 평면선형 설계시 최소 평면곡선반경의 규정값에 얽매이지 말고 지형상, 상당히 여유있는 평면곡선반경을 적용할 수 있을 시에는 그 구간 앞뒤의 조건과 균형을 고려하여 지형조건에 순응할 수 있는 평면곡선반경을 적용한다.

① 지방지역 도로의 경우

어떠한 설계속도에 규정된 최소 평면곡선반경을 적용시, 토공 등의 공사비 증가로 인하여 사실상 공사 시행이 불가능하게 되는 경우에는 설계속도를 한 단계 낮추어 설계하는 것이 타당할 것이다.

설계속도를 낮춤으로써 도로에서 얻어지는 편익이 다소 낮아진다 하더라도 경제적 측면에서는 합리적이라 할 수 있다.

<표 304.6> 설계속도별 최소 평면곡선반경

설계속도 (km/h)	횡방향미끄럼 마찰계수	최소 평면곡선반경 (m)		
		최대 편경사 6%	최대 편경사 7%	최대 편경사 8%
120	0.10	710	670	630
110	0.10	600	560	530
100	0.11	460	440	420
90	0.11	380	360	340
80	0.12	280	265	250
70	0.13	200	190	180
60	0.14	140	135	130
50	0.16	90	85	80
40	0.16	60	55	50
30	0.16	30	30	30
20	0.16	15	15	15

그러나 극히 한정된 구간에 대해서만 낮은 설계속도를 적용하는 방법은 피하여야 한다. 운전자가 갑자기 속도를 낮출 경우, 사고를 일으키기 쉬워 좋지 못하므로 적당한 구간에 걸쳐서 설계속도를 떨어뜨리게 하여 운전자가 자연스럽게 속도를 조정할 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다.

또한 선형의 계획 단계에서 서서히 평면곡선반경을 작게 해 간다든지, 급한 평면곡선부를 운전자가 알아챌 수 있도록 평면곡선반경을 배치하도록 하는 것이 바람직하며, 이러한 평면곡선반경의 앞뒤에는 교통안전표지로써 경고하도록 함과 아울러 방호울타리 등 충분한 안전시설을 설치한다.

② 도시지역 도로의 경우

도시지역 도로에서는 주변 여건으로 인하여 편경사를 붙일 수 없는 경우가 많다. 이 경우, 평면곡선반경의 최소값은 직선부의 횡단경사를 편경사로 설정하고 횡방향 미끄럼 마찰계수의 값은 설계속도에 따라 0.14~0.15까지 적용하여 산정한다.

이보다 더 작은 최소 평면곡선반경을 쓰는 경우는 원심력의 증가분에 대하여는 약간의 편경사만을 설치하여 안전에 만전을 기한다.

3.2.4 평면 곡선의 길이

(1) 일반사항

평면 곡선부를 주행할 때 곡선의 길이가 짧으면 운전자는 곡선방향으로 핸들을 조작하였다가 직선부로 진입하기 위하여 즉시 핸들을 반대 방향으로 조작하여야 하기 때문에 운전자는 횡방향 힘을 받게 되어 불쾌감과 고속 주행시 안전에 나쁜 영향을 준다.

또한, 평면곡선의 길이가 짧으면서 도로 교각마저 작은 경우는 운전자에게는 평면곡선의 길이가 더욱 더 짧아 보이거나, 심한 경우 도로가 꺾여 있는 것처럼 보인다. 평면 곡선반경이 실제 크기보다 작게 느껴져 운전자는 속도를 줄이게 되고, 속도를 줄이지 않는 경우에는 크게 곡선부를 회전하려 하는 운전자의 경향으로 인하여 자동차의 주행 궤적이 다른 차로로 넘어갈 우려가 있어 사고의 위험이 있다.

그러므로 평면곡선의 최소 길이는 다음의 조건을 고려하여 결정한다.

① 운전자가 핸들 조작에 곤란을 느끼지 않을 것

② 도로 교각이 작은 경우에는 평면곡선반경이 실제의 크기보다 작게 보이는 착각을 피할 수 있도록 할 것

(2) 최소 평면곡선길이의 산정

- 운전자가 핸들 조작에 곤란을 느끼지 않을 길이

평면곡선부를 주행하는 운전자가 핸들 조작에 곤란을 느끼지 않고 그 구간을 통과하기 위해서는 경험적으로 한쪽 방향으로 핸들조작을 할 때 2~3초가 필요하다. 평면 곡선길이는 보다 안전하고 쾌적한 주행을 위하여 경험적인 값의 2배인 약 4~6초간 주행할 수 있는 길이 이상을 확보하는 것이 좋으며, 규칙에서는 최소 평면곡선길이를 4초간 주행할 수 있는 길이 이상으로 확보하고 있다.

최소 평면곡선길이는 다음 식에 의해 산정되고, 설계속도별 그 길이는 <표 304.7>과 같다.

$$L = \frac{t}{3.6} \cdot V$$

여기서, L : 평면곡선 길이(m)
t : 주행시간(4 초)
V : 자동차 속도(km/h)

• 도로 교각이 5°미만인 경우의 길이

도로 교각이 매우 작은 경우에는 평면곡선의 길이가 실제보다 작게 보이므로 도로가 급하게 꺾어져 있는 착각을 일으키며 이 현상은 교각이 작을수록 현저하다.

따라서 교각이 작을수록 긴 평면 곡선부를 삽입하여 운전자들에게 도로가 완만히 돌아가고 있는 것처럼 느끼게 해야 한다.

도로교각이 작은 구간에서 운전자가 평면곡선부를 주행하여야 한다는 것을 인식하기 위해서 완화곡선을 클로소이드로 생각하고 도로 교각이 5°미만인 경우의 외선장과 도로 교각이 5°인 경우의 외선장이 같은 값이 되는 평면곡선길이를 최소 평면곡선길이로 한다.

완화곡선 구간에서 규정하고 있는 최소 완화곡선길이를 이용하여 도로교각 5°일 때의 외선장을 통해 구한 최소 평면 곡선길이는 <표 304.7>과 같다.

(3) 적용시 주의사항

규정된 최소 평면 곡선길이는 최소 완화곡선길이의 2배로 되어 있다. 즉, 완화곡선만으로도 최소 평면곡선길이를 만족할 수 있으나, 핸들 조작에 곤란을 느끼지 않을 길이를 만족하고 있다 하여도 운전자가 반경이 가장 작은 도로에서는 핸들을 급히 되돌리지 않으면 안되기 때문에 원활한 핸들 조작이라고 할 수는 없다.

<표 304.7> 설계속도별 최소 평면곡선 길이

설계속도(km/h)	최소평면곡선길이(m)	
	도로의 교각이 5°미만인 경우	도로의 교각이 5°이상인 경우
120	700/θ	140
110	650/θ	130
100	550/θ	110
90	500/θ	100
80	450/θ	90
70	400/θ	80
60	350/θ	70
50	300/θ	60
40	250/θ	50
30	200/θ	40
20	150/θ	30

주) θ는 도로 교각의 값(°)이며, 2°미만인 경우에는 2°로 한다.

또한 편경사의 설치에 불충분한 곳에서는 선형이 절곡되어 운전자에게 원활한 느낌을 주지 못한다. 따라서 이 두 완화곡선 사이에 어느 정도 길이의 원곡선을 삽입하는 것이 바람직하다. 이 원곡선의 길이는 설계속도에서 약 4초간 주행할 수 있는 길이 이상을 삽입한다.

도로 교각의 크기, 지형 및 지장물 등의 주변 여건에 따라 운전자의 핸들 조작시간, 편경사 등을 고려하여 원곡선과 완화곡선의 길이를 적절히 설치한다.

3.3 완화곡선 및 완화구간

3.3.1 일반사항

완화곡선은 곡선과 직선부 사이 혹은 곡선반경이 현저히 다른 두 개의 서로 인접한 곡선 사이에 설치하는 곡선이다. 완화곡선을 사용하게 되면 주행시 원심력의 증감을 적절히 조절할 수 있으므로 보편적으로 활용되고 있는 추세이며, 이 완화곡선은 대부분의 경우 원곡선의 진·출입부에서 사용된다.

완화곡선의 설치 목적은 다음과 같다.

① 곡선반경이 큰 곡선에서 작은 곡선(또는 직선 구간에서 원곡선 구간)으로의 완화구간 확보(곡선 반경의 변이)

② 곡선부 편경사끼리 혹은 곡선부 편경사와 직선부 횡단경사와의 접속 설치를 위한 거리 확보(횡단경사의 변이)

③ 곡선부에서 확폭된 폭과 표준폭 등과의 접속설치를 위한 완화구간(폭원의 변이)

설계속도 60km/h 이상의 고속주행을 요구하는 도로에서는 핸들조작의 아주 사소한 착오라도, 될 수 있는 한 빨리 원상복귀시킬 수 있는 주행시간의 길이만큼 반드시 완화곡선을 설치하여 운전자의 시선 및 주행 궤적을 자연스럽게 유도할 수 있어야 한다. 설계속도 60km/h 미만의 도로에서 완화곡선을 설치하지 않을 경우에는, 평면곡선부의 편경사 및 확폭을 접속설치할 수 있도록 직선부와 원곡선부 사이에 완화구간을 설치하여 직접 연결한다.

완화곡선의 종류로는 클로소이드(clothoid), 3차 포물선 등이 있는데, 클로소이드는 자동차의 완화 주행 궤적과 가장 비슷하여 대표적인 완화곡선으로서 도로설계에서 많이 사용된다.

3.3.2 완화곡선 및 완화구간의 길이

완화곡선 길이 내에서 변이가 일어나는 것이 원칙이므로, 앞의 설치 목적에서 ①, ②가 완화곡선 최소 길이를 결정하는 주요 요인이다.

(1) 곡선반경의 변이에 필요한 길이

원심가속도의 변화율을 적정 수치 이하로 억제하거나 완화곡선 주행에 필요한 최소 운전대 조작 시간을 고려하여 필요한 길이를 산정한다.

완화곡선의 최소 길이는 보통 'Shortt의 식'이라고 불리는 1909년에 개발된 다음 식에 의해 결정된다.

$$L = \frac{0.0702V^3}{RC}$$

여기서,

L = 완화곡선의 최소 길이 (m)

V = 속도 (km/h)

R = 곡선반경 (m)

C = 원심력의 가속도 변화율 (m/sec^3)

클로소이드 곡선의 길이 L을 결정하기 위해서는 이 곡선의 특성을 이해해야 한다. 즉, L과 단곡선 반경 R, 그리고 클로소이드 곡선의 파라메터 A간에는 다음 관계가 성립하며 이를 클로소이드의 기본식이라 한다.

$$A^2 = R \cdot L$$

핸들 조작에 곤란을 느끼지 않을 주행 시간을 2초로 하여 다음 식에 따라 완화곡선 및 완화구간의 최소 설치 길이를 산정하면 <표 304.8>와 같다.

$$L = \frac{V}{3.6} \times t$$

여기서, L : 완화곡선 길이(m)
t : 주행시간(2초)
V : 주행속도(km/h)

<표 304.8> 완화곡선 및 완화구간의 길이

설계속도 (km/h)	규정값(m)	종류
120	70	완화곡선
110	65	
100	60	
90	55	
80	50	
70	40	
60	35	
50	30	완화곡선 / 완화구간
40	25	
30	20	
20	15	

(2) 횡단경사의 변이에 필요한 길이

회전 각속도를 적정 수치 이하로 하여 주행하면서 불쾌감을 제거하기 위한 또는, 상대적 경사를 적정 수치 이하로 하여 외관을 고려하여 필요한 길이를 구한다.

앞에서 언급한 편경사 설치를 위한 완화구간의 길이와 동일하며 그 식은 다음과 같다.

$$L_s = \frac{B \times \Delta i}{q}$$

여기서,

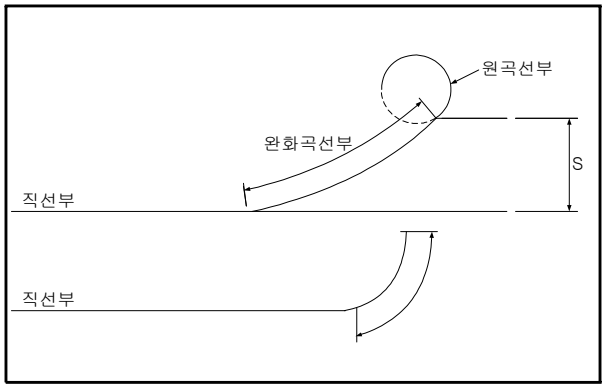
Ls = 완화곡선 길이(m)

B = 도로중심선에서 포장단까지의 폭(m)

q = 편경사 접속 설치 비율

3.3.3 완화곡선의 생략

설계속도가 높은 도로에서는 운전자의 원활한 주행을 확보하는 의미에서도 될 수 있는 대로 평면곡선부에 완화곡선을 설치하는 것이 바람직하다. 그러나 원곡선이 상당히 크다면 완화곡선을 생략할 수 있으며, 완화곡선을 생략할 수 있는 평면곡선반경의 한계는 다음과 같이 산정한다.



<그림 304.2> 완화곡선의 이정량

즉, <그림 304.2>과 같이 직선과 원곡선 사이에 완화곡선을 설치할 경우에는, 직선과 원곡선을 직접 접속하는 경우에 비하여 S만큼 이정량이 생기게 되는데, 이 이정량이 차로 폭에 포함된 여유 폭에 비하여 매우 작은 경우에는 직선과 원곡선을 직접 접속시켜도 실제의 주행은 직선부에서도 완화곡선의 주행 궤적의 형태로 주행할 수 있다.

완화곡선 설치 여부의 한계 이정량은 0.2m정도이면 물리적으로 충분하므로, 완화곡선이 클로소이드라고 할 때, 산정된 이정량이 0.2m 이상되는 경우에 대해서만 완화곡선을 설치한다.

완화곡선 이정량을 구하는 식을 통해 다음 식이 도출된다.

$$R = 0.064 \times V^2$$

여기서,

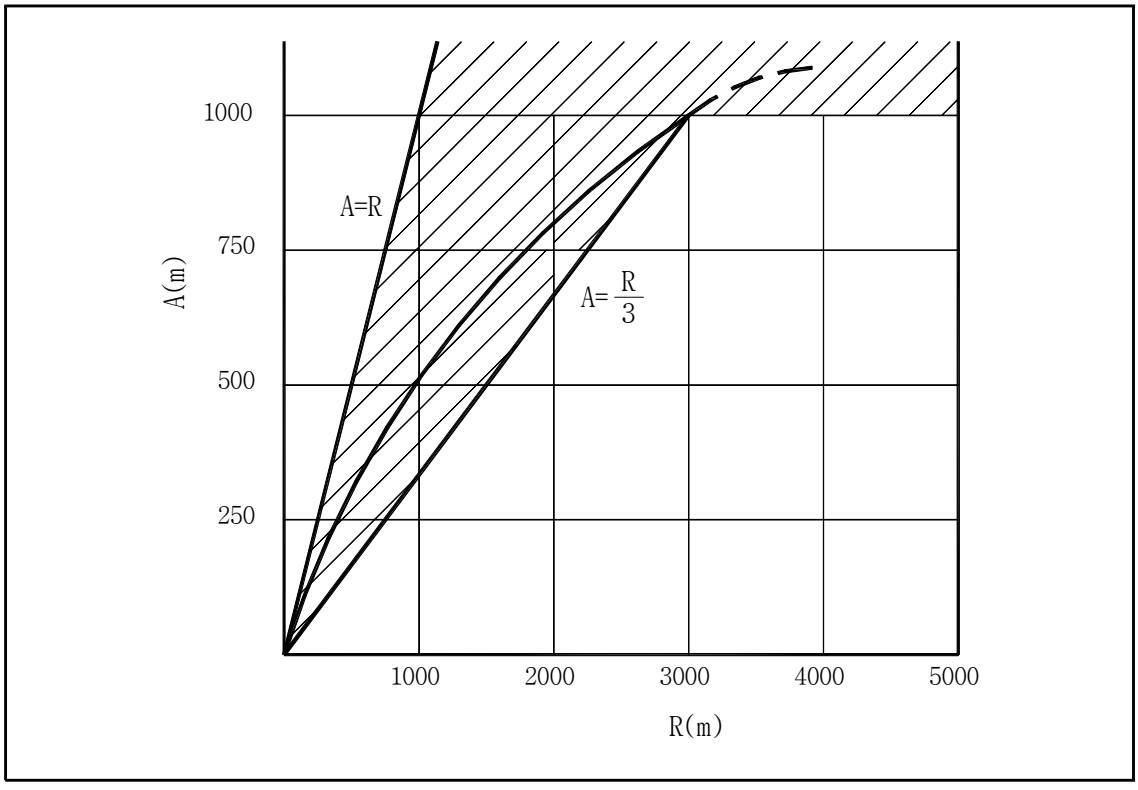
R = 곡선 반경(m)

V = 설계속도(km/h)

앞의 식을 통해 설계속도에 따라 완화곡선을 설치하여야 할 한계 평면곡선반경을 구하면 <표 304.9>와 같다.

그러나 계산값은 완화구간의 길이를 최소로 하여 계산된 것이므로 약간의 여유가 필요하며 시각적으로나 주행상으로나 또는 운전자의 쾌적성을 손상시키지 않기 위하여는 계산값에 3배 정도까지는 완화곡선을 생략하지 않는 편이 바람직한 것으로 <표 304.9>에 적용값을 제시하였다.

경험에 의하면 완화곡선을 클로소이드로 쓰는 경우, 그 크기는 접속하는 원곡선에 대하여 완화곡선의 파라미터를 A라 할 때 다음의 범위에 들어가도록 권장하고 있다.



<그림 304.3> 평면곡선반경과 클로소이드 파라미터의 관계

$$\frac{R}{3} \leqq A \leqq R \quad (R \geq 1{,}500m)$$

$$\frac{R}{2} \leqq A \leqq R \quad (R < 1{,}500m)$$

이와 같은 관계에 있을 때, 원곡선과 완화곡선의 조화가 이루어지고 시각적으로도 원활한 평면선형이 기대된다는 것이 경험적으로 알려져 있다.

<표 304.9> 완화곡선을 생략할 수 있는 곡선반경

설계속도 (km/h)	계산값(m)	적용값(m)
120	921.6	3,000
100	640.0	2,000
80	409.6	1,300
70	313.6	1,000
60	230.4	700

다만 이 원칙이 적용되는 것은 접속하는 원곡선 반경이 어느 범위에 들어가 있을 때이므로, 원곡선 반경 R이 작게 되면 A는 그 반경보다 커지고 원곡선반경 R이 크면 A는 R/3보다 작게 되므로 부득이한 경우 도로 교각의 크기, 지형 및 지장물 등을 고려하여 원곡선과 완화곡선의 길이가 적절히 조화되도록 설치한다.

3.4 횡단경사 및 편경사

3.4.1 횡단경사

노면의 횡단경사는 도로 중심선에서부터 노면 끝단까지의 횡단면 경사로서, 노면 위의 우수를 측구 등으로 배수시키기 위해 필요하다. 그 횡단경사는 노면 배수에 충분하며 자동차의 주행에 안전하고 지장이 없는 값이어야 한다.

(1) 차도부의 횡단경사

도로노면의 횡단경사는 노면에 물이 고이지 않게 배수시키기 위해서는 일정 한도 내에서 경사가 클수록 유리하지만, 자동차 주행상의 안전 및 쾌적성을 고려할 때는 횡단경사가 작은 것이 바람직하다.

직선구간에서 차도의 횡단경사가 2% 이상되면 자동차의 핸들이 한쪽으로 쏠리는 느낌이 들고, 결빙이나 습기 있는 노면에서는 횡방향으로 미끄러질 우려가 있으며, 급제동시에는 건조한 노면에서도 같은 현상이 일어날 수가 있다.

또 양방향 2차로 도로에서는 추월하려는 자동차가 횡단경사가 상반되는 대향차선을 주행하기 때문에 추월시에 횡단방향의 경사가 급격히 변화한다. 이 이유로 고속일수록 또 중심이 높은 자동차일수록 핸들 조작이 곤란하여 위험하게 될 경우가 있다. <표 304.10>에 나타난 횡단경사의 값은 이와 같은 영향을 고려하여 정한 것이다.

<표 304.10> 차도부의 횡단경사

노면의 종류	횡단경사(%)
아스팔트 및 시멘트 포장도로	1.5 이상 2.0 이하
간이포장도로	2.0 이상 4.0 이하
비포장도로	3.0 이상 6.0 이하

횡단경사의 값을 결정함에 있어서는 통행 자동차 종류, 기상, 도로 선형, 종단경사 및 노면 종류 등을 고려해야 하나 표준치는 배수에 가장 영향이 큰 노면의 종류와 차로 수에 따라 정하였다.

차도 및 측대의 횡단경사 형상에는 직선경사, 곡선경사 및 직선과 곡선이 조합된 경사가 있으며 일반적으로 도로중심을 정점(頂點)으로 하여 양측으로 내리막경사가 되도록 설치한다.

- 직선경사 : 포장의 기계화 시공에 적합하기 때문에 현재 가장 일반적으로 쓰이고 있는 경사. 편경사 설치 및 교차로에서의 접속 설치가 용이
- 곡선 경사 및 곡선과 직선이 조합된 경사 : 경사가 외측(外測)차로에서 커지므로 배수상으로는 이상적이며 도로 폭이 넓은 도로에 적합하나 기계화 시공이 어려움

따라서 넓은 폭의 도로에서 외측 차로의 횡단경사를 강화할 필요가 있는 경우에는 <그림 304.4>와 같이 2종류의 직선경사를 조합하는 방법을 사용할 수 있다.

이때, 노면 정점 부근의 횡단형상을 원활하게 하고 각각의 차로 경사의 차이를 1% 정도로 제한하여 추월 자동차의 충격을 완화시켜야 한다.

차도가 왕복 분리되어 있지 않은 경우에는 일반적으로 차도 중앙을 노면의 정점으로 하여 양측으로 내리막경사를 설치한다.

차도가 왕복 분리되어 있는 경우에는 <그림 304.5>과 같이 2종류의 단면이 고려된다. (a)는 가장 일반적인 단면이다. 설계 및 시공이 용이하고 노면 배수도 (b)에 비하여 간단하다.

(b)는 강우시에 노면의 유로 연장이 단축되고 따라서 강설시 노면의 결빙을 최소화할 수 있으며 노면의 고저차가 적으므로 편경사의 설치가 용이하다.

그러나 중앙분리대에는 종방향 배수구를 설치할 필요가 있으며, 교차로에서의 접속 설치가 매우 어렵다는 단점이 있다. 따라서 (b)는 강우가 많은 지역 및 강설이 있는 지역이나 편도 3차로 이상의 도로에 적합하다.

3차로 이상의 다차로 도로의 경우 바깥 차로를 안쪽 차로보다 한 차선당 0.5% 정도씩 증가시켜 설치한다. 장차 차로 수를 증가시킬 예정인 도로에서는 최초 설계시에 미리 이에 대비해 놓아야 한다.

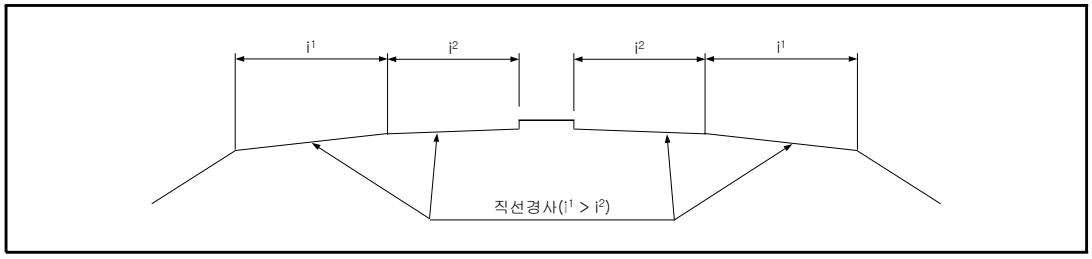
(2) 길어깨의 횡단경사

길어깨에도 배수의 목적으로 충분한 횡단경사를 두어야 하나 자동차 주행시 위험을 느끼지 않도록 해야 한다. 길어깨 횡단경사의 표준은 길어깨 노면의 종류에 따라 <표 304.11>에 나타낸 횡단경사를 적용한다.

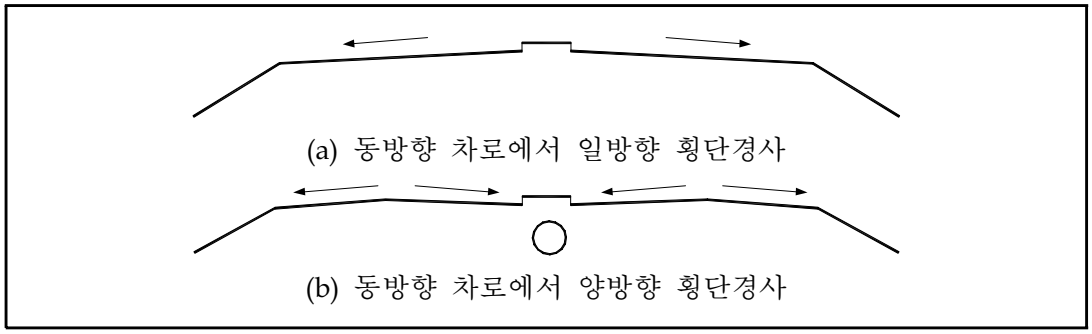
평면 곡선부에서 편경사가 설치된 노면의 외측 길어깨는 자동차를 운전하는 입장에서는 차도면과 동일한 경사가 바람직하나 강우시 배수를 고려하여 <그림 304.6>과 같이 차도의 경사와 반대로 횡단경사를 설치할 수 있다.

이 경우 차도면과의 경사차를 시공성, 경제성 및 교통 안전을 고려하여 8% 이하로 하며, 곡선부의 편경사 설치시 차도의 편경사에 따라 길어깨의 횡단경사는 <그림 304.6>과 같이 한다.

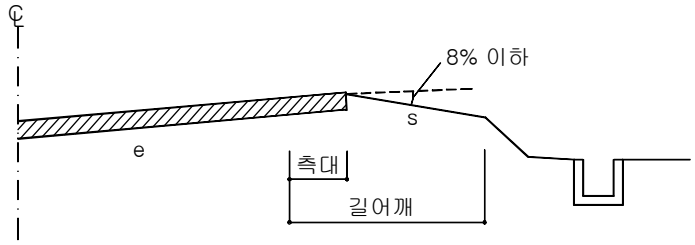
단, 본선 최대 편경사가 6% 이하인 경우는 <표 304.12>와 같이 차도와 길어깨의 경사차를 7%로 하며, 편경사가 6%를 초과할 경우는 절대대수차 8%를 적용한다.



<그림 304.4> 2종류의 직선경사를 조합하는 경우의 횡단경사



<그림 304.5> 횡단경사 설치방법



횡단경사(%)	
e	s
←8	0
←7	1→
←6	2→
←5	3→
←4	4→
←3	4→
←2	4→
←1	4→
0	4→

<그림 304.6> 차도와 길어깨의 경사차

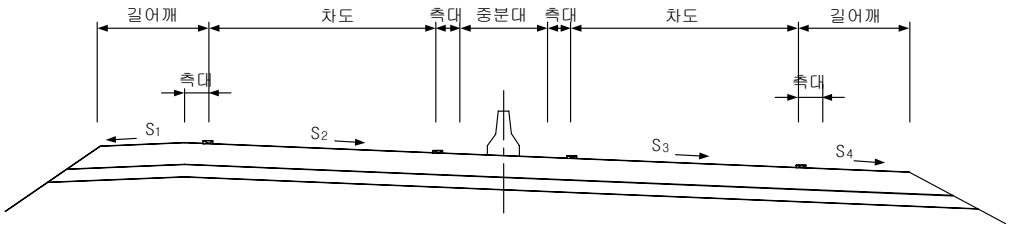
주) 화살표는 경사방향, 길어깨의 표준횡단경사를 4%로 할 경우

<표 304.11> 길어깨의 횡단경사

노면의 종류	횡단경사
아스팔트 및 시멘트 콘크리트 포장 길어깨 및 간이 포장 길어깨	4%

<표 304.12> 본선과 길어깨 편경사 조합

(본선 최대 편경사가 6%인 경우)



길어깨(S_1)	본선 차도(S_2)	본선 차도(S_3)	길어깨(S_4)
-4	-2	-2	-4
-4	+2	-3	-4
-4	+3	-4	-4
-3	+4	-5	-5
-2	+5	-6	-6
-1	+6		

그러나 <그림 304.6>에서 길어깨에 측대 및 측구를 설치하고 남는 폭이 협소(예: 1.0m 미만)하여 길어깨 포장 시공성과 편경사 적용이 곤란한 경우에는 차도부 편경사와 동일하게 적용한다.

교량, 터널 내부 등과 같이 차도와 길어깨를 동등한 포장 구조로 하는 경우 및 측구와 차도 사이의 좁은 길어깨(2.0m 이하)에는 시공성을 고려하여 차도의 횡단경사와 동일한 경사로 한다.

교량 혹은 고가 사이의 토공 구간에서 토공 구간의 평면선형이 곡선이고 구간의 길이가 100m 미만인 경우, 또는 500m 이상을 단위로 한 구간에 있어서 구조물 길이가 대략 60% 이상인 경우(예: 교량 350m + 토공 150m)에는 차도의 횡단경사와 동일한 경사를 길어깨에 적용할 수 있다.

(3) 보도 및 기타

보도, 자전거도로 및 자전거·보행자도로의 횡단경사 값은 4% 정도가 적당하지만, 노면의 미끄럼 정도에 따라 적당한 값을 취한다. 일반적인 경우 4% 이상의 경사는 보행이나 자전거 운행시 불편하며 미끄러지기 쉬우므로 특별한 경우를 제외하고는 4% 이하로 설치한다. 보도 등의 횡단경사는 원칙적으로 도로 중심으로 향하여 직선의 내리막경사가 되도록 설치한다.

3.4.2 편경사

(1) 최대 편경사

차도의 평면 곡선부에는 도로가 위치하는 지역, 적설 정도, 설계속도, 평면 곡선반경 및 지역 상황에 따라 <표 304.13> 비율 이하의 최대 편경사를 둔다.

<표 304.13> 적용 최대 편경사

설계속도(km/h)		최대 편경사(%)
지방지역	적설 지역	6
	기타 지역	8
도시지역		6
연 결 로		8

그러나 다음의 경우에는 편경사를 두지 않는다.

- 평면 곡선 반경을 고려하여 편경사가 필요없는 경우
- 설계속도가 60km/h 이하인 도시지역의 도로에서 도로 주변과의 접근과 다른 도로와의 접속을 위하여 편경사 설치가 곤란한 경우

도시지역 도로에서 편경사를 생략할 수 있는 최소 곡선 반경은 <표 304.14>와 같다.

<표 304.14> 도시지역 도로에서 편경사를 생략할 수 있는 최소 곡선반경

설계속도 (km/h)	최소 곡선반경 (m)
20	25
30	55
40	90
50	155
60	240

주) 1. 횡방향 미끄럼 마찰계수(f) 0.15 적용
2. 편경사(i)는 2% 적용

(2) 평면 곡선반경과 편경사

평면 곡선반경의 크기가 결정되면 곡선부의 원심력에 대하여 운전자가 불쾌감을 느끼지 않고 안전하게 주행하도록 하기 위하여 설계속도와 평면 곡선반경에 따른 적절한 편경사를 결정한다.

① 편경사와 횡방향 미끄럼 마찰계수의 분배

- **방법 1** : 편경사와 횡방향마찰력을 평면곡선반경의 곡률(1/R)에 직선 비례로 증가시키는 방법(평면곡선반경에 반비례)
- **방법 2** : 자동차가 설계속도로 주행할 때, 먼저 횡방향 미끄럼 마찰계수를 평면곡선반경의 곡률에 직선 비례하여 최대 횡방향 미끄럼 마찰력까지 증가시키고 난 후, 편경사를 평면곡선반경의 곡률에 직선비례로 증가시키는 방법
- **방법 3** : 자동차가 설계속도로 주행할 때, 먼저 편경사를 평면곡선반경의 곡률에 직선비례로 최대 편경사까지 증가시킨 후, 횡방향 미끄럼 마찰계수를 평면곡선반경의 곡률에 직선비례로 증가시키는 방법
- **방법 4** : 방법 3에서 설계속도를 평균 주행속도로 적용하는 방법
- **방법 5** : 방법 1과 방법 3에서 얻어진 값들을 이용하여 포물선 식으로 편경사와 횡방향 미끄럼 마찰계수를 결정하는 방법

각 방법에 있어서 설계속도에 따른 편경사 및 횡방향 미끄럼 마찰계수와 평면 곡선반경과의 관계는 <그림 304.7> 및 <그림 304.8>과 같다.

각 방법의 자세한 설명은 규칙의 해설 및 지침 '5-1-4 평면곡선부의 편경사' 항을 참고한다.

여기서, 방법 5는 운전자가 평면곡선반경의 크기에 따라 속도를 다양하게 변화시킨다. 횡방향마찰계수와 편경사의 직선적인 변화는 운전자의 행태와는 조화되지 않으므로 설계속도에 대응하는 횡방향력을 편경사가 받도록 하는 방법으로는 평면곡선반경이 작아짐에 따라 서서히 편경사와 횡방향 마찰계수를 포물선으로 변화시키는 방법이 있다. 편경사와 횡방향 마찰력을 가장 합리적으로 만족시킬 수 있다.

② 편경사의 계산

편경사와 횡방향 미끄럼 마찰계수의 분배는 방법 5에 의하며 이것으로 설계속도, 평면곡선반경에 적당한 편경사를 다음과 같은 순서로 산정한다.

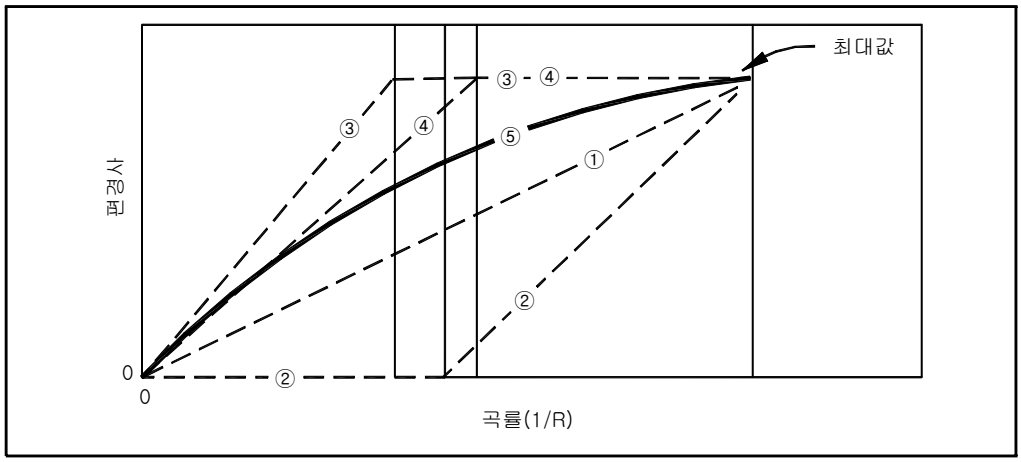
[단계 1] 포물선 식의 산정 : 방법 3의 직선식에서 유추한 포물선 식으로 평면 곡선반경에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수 산정

[단계 2] (i+f)의 산정 : 방법 1에서 그 평면곡선반경에 따른 원심력에 대응할 수 있는 편경사와 횡방향 미끄럼 마찰계수의 전체값 (i+f)을 산정

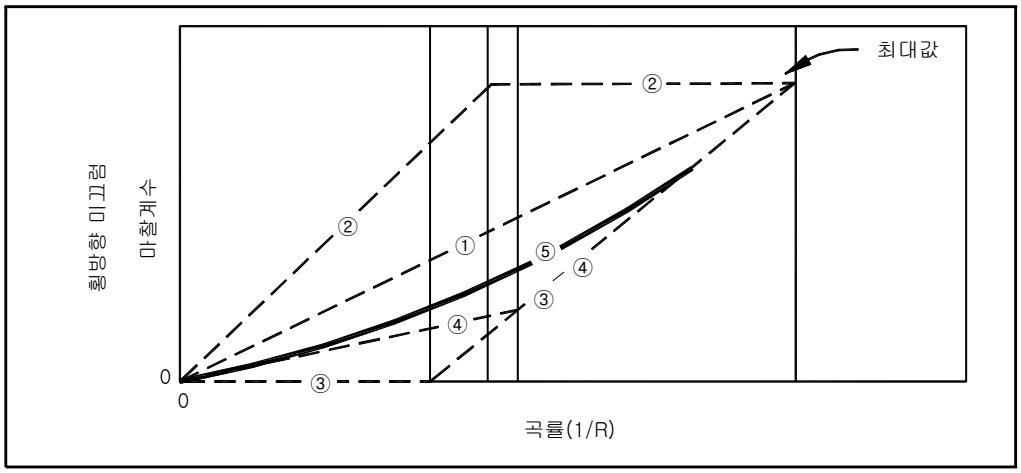
[단계 3] 편경사 산정 : 방법 1의 (i+f)에서 방법 3의 횡방향 미끄럼 마찰계수 f의 값을 감한 값을 그 평면 곡선반경에 필요한 편경사로 결정

위의 방법에 의하여 산정한 평면 곡선반경에 따른 편경사의 값은 <표 304.15~17>과 같다.

각 표에서 NC는 편경사를 생략하고 표준 횡단경사를 적용할 수 있는 평면 곡선반경을 나타낸 것이다. 이 때의 횡방향 미끄럼 마찰계수의 값은 f = 0.034~0.0368의 범위로서 원심력에 대항하여 주행의 안전성과 쾌적성을 충분히 확보할 수 있다.



<그림 304.7> 설계속도에 따른 편경사와 평면곡선반경의 관계



<그림 304.8> 설계속도에 따른 횡방향 미끄럼 마찰계수와 평면곡선반경의 관계

도시지역 내 도로에서는 <그림 304.7> ②의 방법으로 편경사를 설치하되 편경사를 생략할 수 있는 평면곡선반경으로 설계하는 것이 바람직하다. 이때 횡방향 미끄럼 마찰계수는 설계속도 60km/h이상인 도로에서는 0.14, 설계속도 60km/h미만 도로에서는 0.15를 넘지 않도록 한다.

그러나 도시고속도로, 도시내 우회도로 등 설계속도가 70km/h이상인 도로, 입체교차 구간 및 도로의 주변상황에 제약조건이 없는 경우에는 지방지역 도로의 기준으로 편경사를 붙인다.

도시지역 도로의 편경사와 평면곡선반경의 관계는 <표 304.18>와 같다.

따라서 편경사를 줄이는 경우에는 <표 304.18>의 관계를 적용토록 하며 편경사를 생략할 수 있는 평면곡선반경은 표준횡단경사(NC)를 적용하면 된다.

<표 304.15> 평면곡선반경에 따른 편경사 (최대 편경사 = 6%)

설계속도(km/h)	NC	2%	3%	4%	5%	6%
120	6,900 이상	6,900～3,840	3,840～2,470	2,470～1,610	1,610～1,050	1,050～710
110	5,800 이상	5,800～3,230	3,230～2,070	2,070～1,360	1,360～880	880～600
100	4,800 이상	4,800～2,650	2,650～1,690	1,690～1,070	1,070～690	690～460
90	3,900 이상	3,900～2,150	2,150～1,370	1,370～880	880～560	560～380
80	3,100 이상	3,100～1,680	1,680～1,060	1,060～670	670～420	420～280
70	2,300 이상	2,300～1,280	1,280～800	800～490	490～310	310～200
60	1,700 이상	1,700～940	940～580	580～350	350～220	220～140
50	1,200 이상	1,200～650	650～400	400～230	230～140	140～90
40	800 이상	800～420	420～260	260～150	150～90	90～60
30	400 이상	400～240	240～150	150～85	85～50	50～30
20	200 이상	200～110	110～65	65～35	35～25	25～15

주) NC는 표준 횡단경사 적용(편경사 생략)이며, 단위는 m임.

<표 304.16> 평면곡선반경에 따른 편경사 (최대 편경사 = 7%)

설계속도(km/h)	NC	2%	3%	4%	5%	6%	7%
120	7,100 이상	7,100～4,000	4,000～2,660	2,660～1,890	1,890～1,340	1,340～940	940～670
110	5,900 이상	5,900～3,360	3,360～2,240	2,240～1,590	1,590～1,130	1,130～790	790～560
100	4,900 이상	4,900～2,760	2,760～1,830	1,830～1,280	1,280～900	900～630	630～440
90	4,000 이상	4,000～2,240	2,240～1,480	1,480～1,040	1,040～730	730～480	480～360
80	3,100 이상	3,100～1,760	1,760～1,160	1,160～810	810～560	560～380	380～265
70	2,400 이상	2,400～1,340	1,340～880	880～610	610～410	410～280	280～190
60	1,800 이상	1,800～980	980～640	640～440	440～290	290～200	200～135
50	1,200 이상	1,200～680	680～440	440～290	290～190	190～130	130～85
40	800 이상	800～440	440～280	280～190	190～130	130～80	80～55
30	450 이상	450～250	250～160	160～110	110～70	70～45	45～30
20	200 이상	200～110	110～70	70～45	45～30	30～20	20～15

주) NC는 표준 횡단경사 적용(편경사 생략)이며, 단위는 m임.

<표 304.17> 평면곡선반경에 따른 편경사 (최대 편경사 = 8%)

설계속도(km/h)	NC	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
120	7,200 이상	7,200～4,110	4,110～2,790	2,790～2,040	2,040～1,540	1,540～1,160	1,160～860	860～630
110	6,000 이상	6,000～3,450	3,450～2,340	2,340～1,710	1,710～1,290	1,290～980	980～720	720～530
100	5,000 이상	5,000～2,840	2,840～1,920	1,920～1,400	1,400～1,040	1,040～780	780～570	570～420
90	4,000 이상	4,000～2,300	2,300～1,560	1,560～1,130	1,130～850	850～630	630～460	460～340
80	3,200 이상	3,200～1,810	1,810～1,220	1,220～880	880～650	650～480	480～350	350～250
70	2,400 이상	2,400～1,380	1,380～930	930～670	670～490	490～360	360～260	260～180
60	1,800 이상	1,800～1,010	1,010～680	680～490	490～350	350～260	260～180	180～130
50	1,200 이상	1,200～700	700～470	470～330	330～240	240～170	170～120	120～80
40	800 이상	800～450	450～300	300～210	210～150	150～110	110～75	75～50
30	500 이상	500～250	250～170	170～120	120～90	85～60	60～40	40～30
20	200 이상	200～120	120～75	75～55	55～40	40～25	25～20	20～15

주) NC는 표준 횡단경사 적용(편경사 생략)이며, 단위는 m임.

(3) 편경사의 접속 설치

① 편경사의 접속 설치율

완화구간의 길이는 운전자가 편경사 설치부분으로 주행해 갈 때 불쾌감이나 위험을 전혀 느끼지 않도록 주행쾌적성을 확보하기 위해 마련된다. (완화구간의 최소길이는 운전대 조작을 위한 2초간 주행거리임.)

따라서 주행 쾌적성 확보 관점에서 자동차가 곡선방향 횡방향으로 들려 올라가는 비율이 중요하며, 이를 편경사 접속 설치율이라고 한다. 이 값은 설계속도에 따라 결정되며 우리 나라에서 사용되는 값과 다른 나라와의 비교는 <표 304.19>와 같다.

<표 304.18> 도시지역 도로의 편경사와 평면곡선반경의 관계

편경사의 값 (%)	평 면 곡 선 반 경 (m)				
	60km/h	50km/h	40km/h	30km/h	20km/h
6	140 이상 145 미만	90 이상 95 미만	60 이상 63 미만	30 이상 32 미만	15 이상 16 미만
5	145 이상 155 미만	95 이상 100 미만	63 이상 65 미만	32 이상 35 미만	16 이상 17 미만
4	155 이상 165 미만	100 이상 110 미만	65 이상 70 미만	35 이상 38 미만	17 이상 18 미만
3	165 이상 175 미만	110 이상 115 미만	70 이상 75 미만	38 이상 40 미만	18 이상 19 미만
2	175 이상 240 미만	115 이상 155 미만	75 이상 90 미만	40 이상 55 미만	19 이상 25 미만
NC	240 이상	155 이상	90 이상	55 이상	25 이상

주) NC는 표준횡단경사 적용 (편경사 생략)

<표 304.19> 편경사의 접속 설치율

설계속도 (km/h) / 국별	120	110	100	90	80	70	60	50
AASHTO (1994)	1/250	1/238	1/222	1/210	1/200	1/182	1/167	1/150
일본	1/200	-	1/175	-	1/150	-	1/125	1/115
우리나라 적용기준	1/200	1/185	1/175	1/160	1/150	1/135	1/125	1/115

② 편경사의 설치 길이

편경사의 설치는 원칙적으로 완화곡선 전 길이에 걸쳐서 행하여야 한다. 즉, 완화곡선 길이는 편경사를 완전하게 변화시킬 수 있는 길이 이상이어야 하며 그 길이는 다음 식에 의해 결정된다.

$$L_s = \frac{B \times \Delta i}{q}$$

여기서,

Ls = 편경사의 설치 길이(m)

B = 기준선에서 편경사가 설치되는 곳까지의 폭(m)

Δi = 횡단경사 값의 변화량(%/100)

q = 편경사 접속 설치율(m/m)

필요한 완화구간의 길이는 편경사 설치를 위한 길이와 밀접한 관계가 있으므로 편경사 접속 설치 길이와 최소 완화구간 길이를 비교하여 큰 쪽으로 정한다.

③ 차로 수에 따른 편경사 접속 설치 길이의 보정

편경사 접속 설치율은 편경사의 설치 기준점인 회전축으로부터 편경사가 설치되어야 하는 차로 수가 2차로 이하인 경우로, 편경사 설치 차로가 2차로를 넘는 경우는 2차로인 경우의 편경사 접속 설치 길이에 <표 304.20>에 주어진 보정계수를 곱한 길이 이상이 되도록 한다.

<표 304.20> 차로 수에 따른 편경사 접속 설치 길이의 보정계수

편경사가 설치되는 차로 수	접속설치 길이의 보정계수
3	1.25
4	1.50
5	1.75
6	2.00

(4) 편경사 설치 방법

도로상에 편경사를 설치하기 위해서는 다음 네 가지 방법이 사용되고 있다.

방법 1 : 도로중심선 표고를 기준으로 양측 차로 표고를 결정하는 방법

방법 2 : 안쪽 차로를 기준으로 도로 전체 표고를 결정하는 방법

방법 3 : 바깥쪽 차로를 기준으로 도로 전체 표고를 결정하는 방법

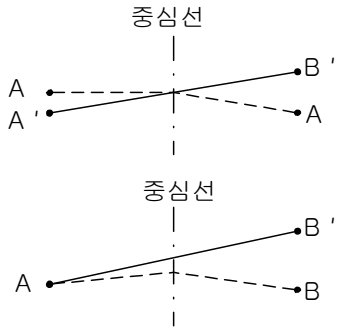
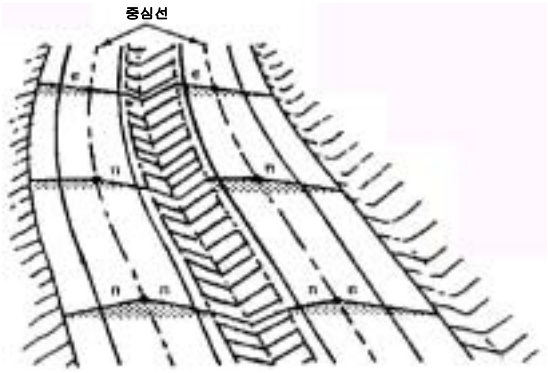
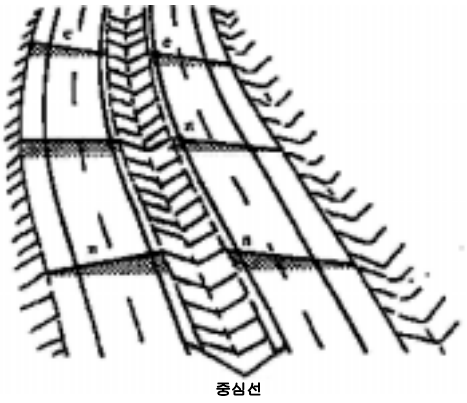
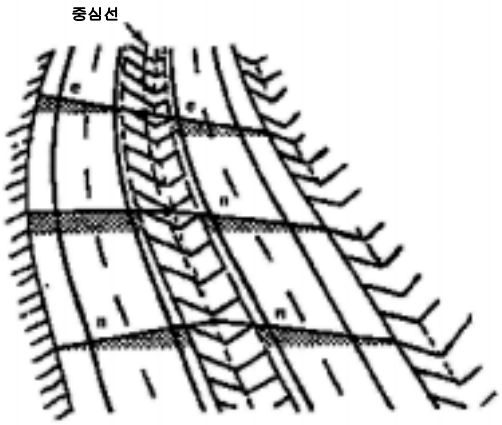
방법 4 : 한쪽 방향으로만 횡단경사가 설치된 도로의 바깥 차로를 기준으로 도로 전체 표고를 결정하는 방법

- 4차로 이하의 도로

<그림 304.9>은 비분리 도로와 오목형 중앙분리대(depressed median)가 설치된 도로의 편경사 설치 방법에 대한 그림 및 설명이다.

- 6차로 이상의 도로

노면 배수를 위하여 차도 끝단 방향으로 단일 경사로 구성하거나 또는 중앙분리대를 중심으로 하여 좌우대칭으로 도로 중심선을 따라 횡단경사로 구성하기도 한다. 이러한 6차로 이상의 다차로 도로에서는 단일 경사 및 복합 경사 적용을 효율성과 시공성을 함께 고려하여 장단점을 확인한 후 적용한다.

	(a) 비분리 도로에서 도로의 중심선을 회전축으로 잡은 경우 (b) 비분리 도로에서 차도 끝단을 회전축으로 잡은 경우
	(c) 오목형 중앙분리대를 가지는 도로에서 상하행 차도의 중심을 회전축으로 잡은 경우
	(d) 오목형 중앙분리대를 가지는 도로에서 중앙분리대 양 끝단을 회전축으로 잡은 경우 (폭이 좁거나 지형이 평탄한 경우에 시공성 측면에서 유리함)
	(e) 오목형 중앙분리대를 가지는 도로에서 중앙분리대의 중심을 따라 회전축으로 잡은 경우

<그림 304.9> 비분리 도로와 분리 도로의 편경사 설치방법

<표 304.21>는 편경사의 구간별 구성을 설명하고 있다.

편경사를 설치하는 방법은 평면곡선부의 구성 조건에 따라 달라지나, 일반적으로 다음의 순서로 설치한다.

① 설계속도와 평면곡선반경에 따른 편경사(i)의 크기 선정

② 설계속도에 따른 편경사 접속 설치율(q) 선정

③ 편경사 접속 설치 구간(TL)의 산정

TL = 표준 횡단 경사 변화 구간 ＋편경사 변화구간(L)

④ 편경사 변화구간(L)의 산정

⑤ 변화 길이 전체에 설치될 최대의 편경사를 보간법으로 변화시켜 편경사를 작성하고 측점별 편경사도 산출

이때, 설계 및 시공상의 편의를 위하여, 편경사 접속 설치 변화구간의 변곡점은 정수(예: 5m단위)가 되는 측점으로 한다.

위의 순서에 의하여 편경사를 평면곡선부에 설치하게 되나, 평면곡선부의 구성조건에 따라 그 특성에 맞도록 하며, 교통안전과 노면배수가 고려하여 설계해야 한다.

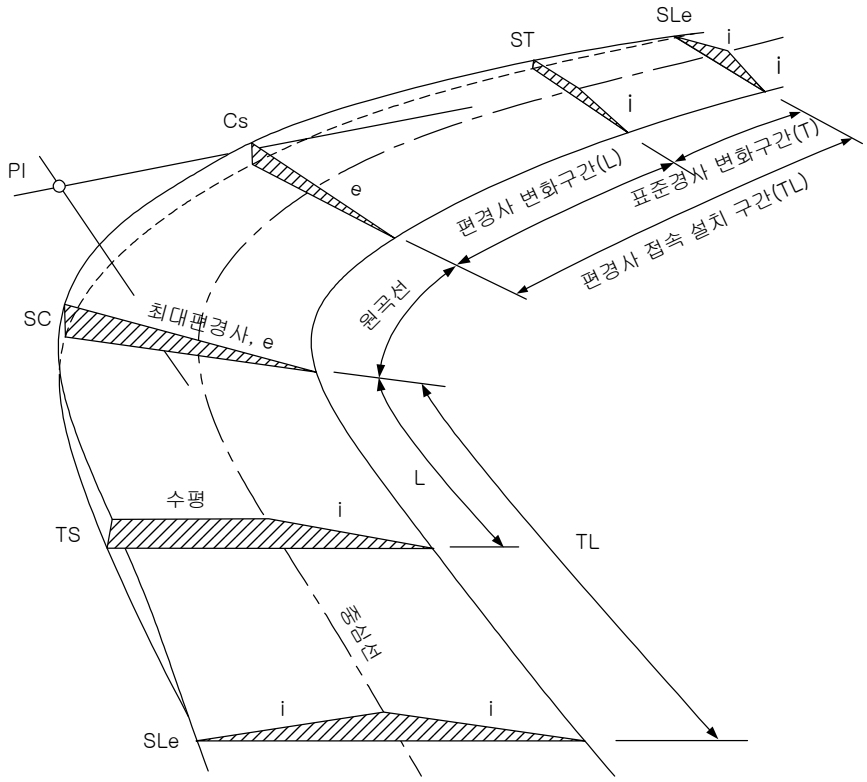
완화곡선의 길이가 상당히 길어질 경우, 편경사의 변화속도가 낮아 경사가 작은 구간(표준 횡단경사 구간 ~ 역 표준 횡단경사 구간)은 노면 배수가 원활치 못하므로, 그 구간의 편경사 변화 속도를 높여야 한다. 즉 그 구간의 편경사 접속 설치율이 1/250 이하이면 그 구간의 편경사 접속 설치율을 1/250으로 높여야 한다.

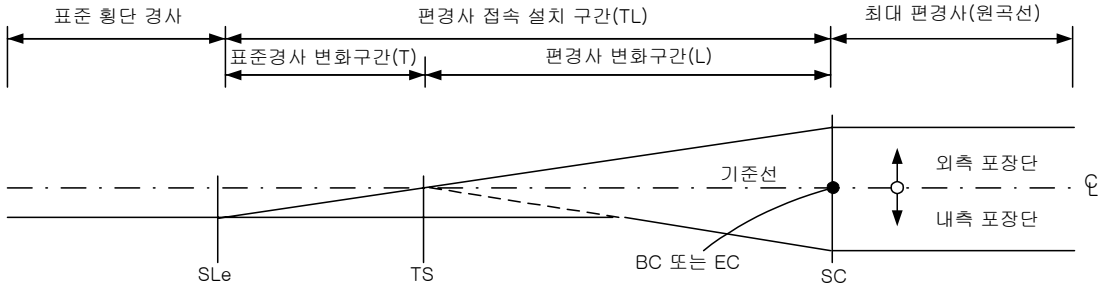
이때, 배수를 고려하여 편경사 접속설치율을 1/250으로 한 편경사 접속설치 길이를 TL' 이라 표기한다.

<그림 304.10>은 일반적인 편경사의 설치 방법을 그림으로 나타낸 것이다.

<표 304.21> 편경사의 구간별 구성

구간		편경사의 구성별 과정
직선구간		표준 횡단경사만을 갖는 직선부
편경사 접속 설치구간 (TL)	표준경사 변화구간 (T)	도로의 직선부 표준 횡단경사의 바깥쪽 차로 횡단경사를 어느 정도 길이로 내어서 0으로 함
	편경사 변화구간(L)	안쪽 차로는 도로의 정상 횡단경사를 유지하고 바깥쪽 차로는 계속 기울기를 높여 정상 횡단경사 유지
		바깥 차로와 안쪽 차로의 횡단경사가 모두 정상 횡단경사가 된 후 계속해서 경사를 높여 최대 편경사 유지
평면곡선구간		최대 편경사가 유지되는 곡선부





주)

PI : 두 직선부 도로 중심선의 교차점

TS/ST : 직선구간과 완화곡선 구간의 전이 시점

SC/CS : 완화곡선 구간과 곡선부의 전이 시점(BC 또는 EC)

SLe : 편경사 접속설치 구간의 시점 TL : 편경사 접속 설치 구간

T : 표준경사 변화구간 i : 표준횡단경사(%)

L : 편경사 변화구간 e : 편경사(%)

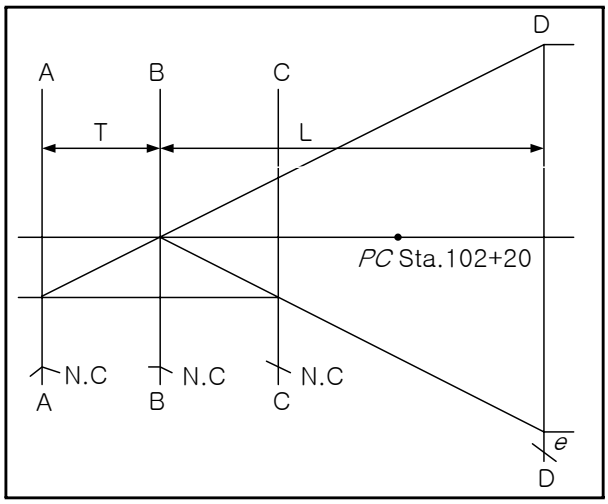
<그림 304.10> 일반적인 편경사의 설치도

평면선형이 직선, 원곡선, 완화곡선의 접속형태에 따라 편경사 접속설치 방법을 아래에 예를 들어 설명하였다.

편경사 접속설치 구간의 각 요소(지점)에서 표고를 구하는 방법의 예는 아래와 같다.

사례의 도로는 2차로이며, 설계속도 80km/h, 차로 폭 3.5m, 종단경사 0%, 표준 횡단경사 2%, 최대 편경사 6%, 편경사 접속설치율 1/150이다.

AA의 표고는 100.00m, PC = Sta. 102+20일 때 아래 그림의 편경사 접속 설치 구간에서 지점 AA, BB, CC, DD의 표고를 산정한다.



주어진 조건에 의해 편경사 설치 비율이 1/150이므로

$$\frac{0.06\times3.5}{L}=\frac{1}{150} \quad \therefore\ L=32\text{m}$$

$$\frac{0.02\times3.5}{L}=\frac{1}{150} \quad \therefore\ L=11\text{m}$$

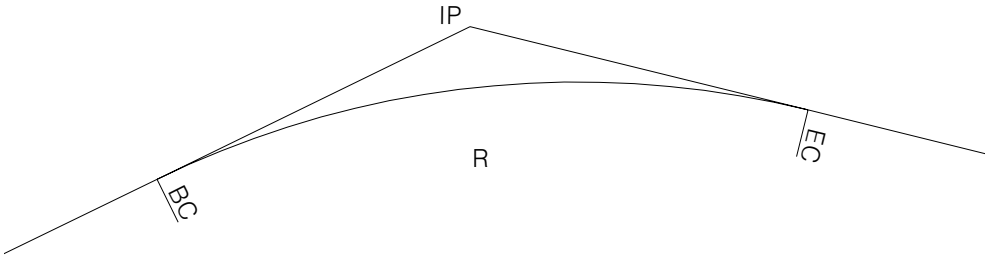
따라서 각 지점의 표고는 다음과 같이 산출된다.

지점	포장 좌단의 표고(m)	포장 우단의 표고(m)
AA	100-(3.5×0.02)=99.93	100-(3.5×0.02)=99.93
BB	100-(3.5×0.0)=100.00	100-(3.5×0.02)=99.93
CC	100+(0.06×3.5×11/32) =100.07	100-(0.06×3.5×11/32) =99.93
PC	100+(0.06×3.5×2/3) =100.14	100-(0.06×3.5×2/3) =99.86
DD	100+(0.06×3.5)=100.21	100-(0.06×3.5)=99.79

주) PC는 BB로부터 (2/3)L 되는 지점에 설치

<사례 1> 직선-원곡선-직선의 경우 편경사 설치

- **평 면 선 형**



- **편경사 설치도**

[예제1] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R=1,800m이며, 평면곡선 길이 300m 일 때 편경사 설치 방법

ⅰ) 해당 노선에 적용될 최대 편경사를 6%로 한다.

ⅱ) <표 304.15>에서 설치될 최대 편경사는 2%이다.

ⅲ) 편경사 접속설치율 q=1/150 적용

ⅳ) 편경사 접속설치구간 산정

- 편경사 설치폭 : B=7.75m
- 횡단경사의 변화량 : △i=4%
- 편경사 접속 설치를 위한 변화구간 총길이 (TL)

$$TL = \frac{W \cdot \triangle i}{q} = 7.75 \times 0.04 \div \frac{1}{150} = 46.5 \fallingdotseq 47m$$

ⅳ) 편경사 변화구간 길이 산정(L)

- 편경사 변화 크기 : △i=2%
- 편경사 변화구간

$$L = \frac{B \cdot \triangle i}{q} = 7.75 \times 0.02 \div \frac{1}{150} = 23.25 \fallingdotseq 24\,m$$

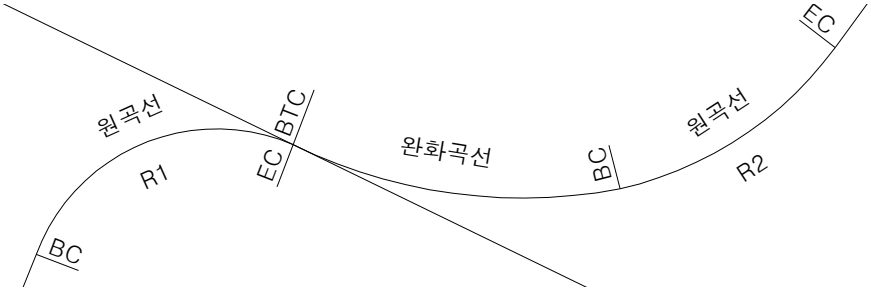
- 평면곡선 내의 편경사 접속설치구간

L/3=24÷3=8m

ⅴ) 편경사 접속 설치 길이는 직선구간에서 39m, 평면곡선부에서 8m로 총 47m로 하되 보간법에 의하여 일률적으로 편경사 설치

<사례 2> 원곡선-완화곡선이 배향인 경우

- **평 면 선 형**



- **편경사 설치도**

[예제2] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R=1,500m이며, 원곡선구간과 R=500m인 원곡선의 시점에 설치된 완화곡선이 배향하는 경우 편경사 설치방법

i) 설치될 최대편경사는 <표 304.15>에 의해 다음과 같다.
R_1=1,500m일 때 : 3%
R_2=500m일 때 : 5%

ii) 편경사 접속설치율 q=1/150 적용

iii) 편경사 접속 설치구간 산정
- 편경사 설치폭 : B=7.75m
- 횡단경사의 변화량 : △i=8%
- 편경사 접속설치 필요구간

$$L = i_1 + i_2 \times B \times \frac{1}{q} = (0.03+0.05) \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 93\text{m}$$

iv) 곡선의 편경사 변화구간 길이(L)의 1/3인 a값 계산

$$a = \frac{1}{3} \times \frac{B\triangle i}{q} = \frac{1}{3} \times 7.75 \times 0.03 \div \frac{1}{150} = 11.6 \fallingdotseq 12\text{m}$$

• 곡선의 시점에 평면곡선반경 R=500m, 길이 90m인 완화곡선이 설치된 경우

v) a+b=102m로 편경사 접속설치 필요구간(L=93m)보다 크므로 편경사 접속설치길이는 R_1=1,500m 원곡선구간에서 12m 완화곡선구간에서 90m, 총 102m로 하되 보간법에 의하여 일률적으로 편경사 설치

• 곡선의 시점에 평면곡선반경 R_2=500m, 길이 70m의 완화곡선이 설치된 경우

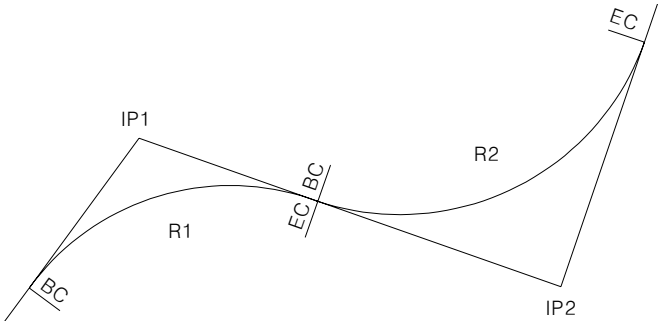
vi) a+b=82m로 편경사 접속설치 필요구간(L=93m)보다 짧으므로 R_1=1,500m인 원곡선부와 R_2=500m인 원곡선부에 편경사 접속설치를 위한 길이의 부족분(c)을 확보한다.

$$C = \frac{(L-(a+b))}{2} = \frac{(93-82)}{2} = 5.5 \fallingdotseq 6\text{m}$$

vii) 편경사 접속설치 길이는 R_1=1,500m인 원곡선구간에 18m(12+6m), 완화곡선구간에 70m, R_2=500m인 원곡선구간에 6m를 합한 총 94m구간으로 하되 보간법에 의하여 일률적으로 편경사 설치

<사례 3> 원곡선-원곡선이 배향인 경우

- **평 면 선 형**



- **편경사 설치도**

[예제3] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R_1=1,500m인 곡선과 R_2=1,000m인 곡선이 배향하는 경우 편경사 설치 방법

i) 설치될 최대편경사는 <표 304.15>에 의해 다음과 같다.

R_1=1,500m일 때 : 3%

R_2=1,000m일 때 : 4%

ii) 편경사 접속 설치율 q=1/150 적용

iii) 편경사 접속 설치구간 산정

- 편경사 설치 폭 : B=7.75m

- R_1=1,500일 때의 $L_1 = 0.03 \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 34.9 \fallingdotseq 35\text{m}$

- R_2=1,000일 때의 $L_2 = 0.04 \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 46.5 \fallingdotseq 47\text{m}$

- $L = (0.03 + 0.04) \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 81.4 \fallingdotseq 82\text{m}$

iv) 편경사 접속설치 길이는 R_1=1,500m인 곡선측에 35m, R_2=1,000m인 곡선 측에 47m를 합한 총 82m로 하되, 보간법에 의하여 일률적으로 편경사 설치

<사례 4> 원곡선-원곡선이 복합곡선인 경우

- **평 면 선 형**

- **편경사 설치도**

[예제4] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R_1=1,500m인 곡선과 R_2=1,000m인 곡선이 복합하는 경우 편경사 설치방법

ⅰ) 설치될 최대 편경사는 <표 304.15>에 의해 다음과 같다.

R_1=1,500m일 때 : 3%

R_2=1,000m일 때 : 4%

ⅱ) 편경사 접속 설치율 q=1/150 적용

ⅲ) 편경사 접속 설치구간 산정

- 편경사 설치 폭 : B=7.75m

- R_1=1,500일 때의 $L_1 = \frac{0.03}{0.07} \times 0.01 \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 4.9 \fallingdotseq 5\text{m}$

- R_2=1,000일 때의 $L_2 = \frac{0.04}{0.07} \times 0.01 \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 6.6 \fallingdotseq 7\text{m}$

- $L = (0.04 - 0.03) \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 11.6 \fallingdotseq 12\text{m}$

ⅳ) 편경사 접속설치 길이는 R_1=1,500m인 곡선측에 5m, R_2=1,000m인 곡선측 7m를 합한 총 12m로 하되, 보간법에 의하여 일률적으로 편경사 설치

<사례 5> 직선-완화곡선-원곡선인 경우 편경사 설치

- **평 면 선 형**

- **편경사 설치도 (TL≦완화곡선 길이≦TL′ 인 경우)**

- TL : 필요한 편경사 접속설치 길이
- TL′ : 배수를 고려한 편경사 접속설치 길이 (편경사 접속설치율 1/250)

[예제5-1] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R=400m이며 원곡선의 시종점부에 길이가 120m인 완화곡선의 설치된 경우 편경사 설치방법

ⅰ) 최대편경사를 6%로 한다.

ⅱ) 편경사 접속 설치율 q=1/150 적용

ⅲ) 편경사 접속설치 구간 산정

- 편경사 설치 폭 : B=7.0+0.5+0.25=7.75m
- 횡단경사의 변화량 : -2%→6%이므로 △i=8%
- 편경사 접속설치를 위한 변화구간 총길이 (TL)

$$TL = \frac{B \cdot \triangle i}{q} = 7.75 \times 0.08 \div \frac{1}{150} = 93m$$

- 배수를 고려한 편경사 접속 설치율(1/250)에 의한 변화구간 총길이(TL′)

$$TL' = \frac{B \cdot \triangle i}{q} = 7.75 \times 0.08 \div \frac{1}{250} = 155m$$

완화곡선의 길이가 120m로서 편경사 접속 설치율 1/150과 1/250에 의한 길이 사이에 있으므로 편경사를 완화곡선부 전 구간에 걸쳐 일률적으로 설치한다.

ⅳ) 완화곡선의 시종점부에서부터 횡단경사를 변화시켜 원곡선의 시종점부에서 최대편경사가 되도록 설치한다.

- **편경사 설치도 (완화곡선 길이≧TL′인 경우)**

[예제5-2] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R=1,000m, 완화곡선 길이가 180m 일 때의 편경사 설치방법

ⅰ) 최대편경사를 4%로 한다.

ⅱ) 편경사 접속설치율 q=1/150 적용

ⅲ) 편경사 접속설치 구간 산정

- 편경사 설치 폭 : B=7.75m
- 횡단경사의 변화량 : △i=6%
- 완화곡선 전길이에 걸쳐 일률적으로 편경사를 설치할 경우의 편경사 접속 설치율

$$q = \frac{B \cdot \triangle i}{TL} = \frac{7.75 \times 0.06}{180} = 1/387$$

- 배수를 고려할 때 낮은 경사구간(표준 횡단경사에서 역표준 횡단경사까지)의 편경사 접속 설치율에 대한 보정이 필요함.

ⅳ) 낮은 경사구간의 편경사 변화길이를 80m로 제한하여 변화시킨다.

ⅴ) 나머지 100m 구간에서 역표준 횡단경사에서 최대 편경사까지 일률적으로 변화시키도록 한다.

- **편경사 설치도 (완화곡선 길이≦TL인 경우)**

주) a = TL-완화곡선 길이

[예제5-3] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R=400m, 원곡선의 시종점부에 길이가 80m인 완화곡선이 설치된 경우 편경사 설치 방법

ⅰ) 최대편경사를 6%로 한다.

ⅱ) 편경사 접속 설치율 q=1/150 적용

ⅲ) 편경사 접속설치 구간 산정

- 편경사 설치 폭 : B=7.75m
- 횡단경사의 변화량 : △i=8%
- 편경사 접속설치를 위한 변화구간의 총길이 (TL)

$$TL = \frac{B \cdot \triangle i}{q} = 7.75 \times 0.08 \div \frac{1}{150} = 93m$$

완화곡선길이가 80m이므로 편경사 접속 설치율을 직선부에서도 확보하여야 한다.

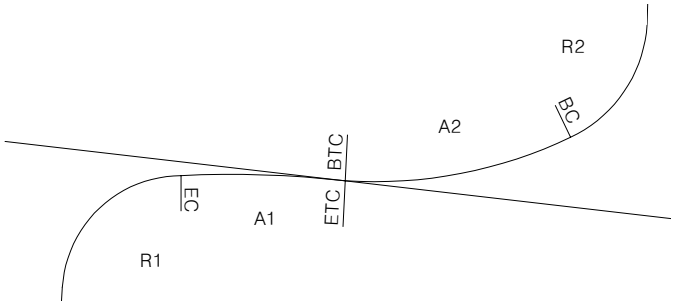
- 편경사 변화구간 길이 (L)

$$L = \frac{B \cdot \triangle i}{q} = 7.75 \times 0.06 \div \frac{1}{150} = 70m$$

ⅳ) 완화곡선의 길이가 TL보다 작고 L보다는 크므로, 횡단경사 변화량에 대한 접속설치의 총 변화구간 길이(TL)가 부족한 만큼 직선구간에 확보하여 편경사를 설치하여야 한다.

<사례 6> 완화곡선-완화곡선이 배향인 경우

- **평 면 선 형**



- **편경사 설치도**

[예제6] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R_1=750m, 원곡선 종점에 설치된 완화곡선과 R_2=500m인 원곡선 시점에 설치된 완화곡선이 배향하는 경우 편경사 설치방법

i) 최대편경사는 다음과 같다.

- R_1=750m일 때 : 4%
- R_2=500m일 때 : 5%

ii) 편경사 접속 설치율 q=1/150 적용

iii) 편경사 접속설치 구간 산정

- 편경사 설치 폭 : B=7.75m, - 횡단경사의 변화량 : △i=9%
- 편경사 접속 설치 필요구간

$$L = i_1 + i_2 \times B \times \frac{1}{q} = (0.04 + 0.05) \times 7.75 \div \frac{1}{150} = 105\text{m}$$

iv) A_1, A_2 두완화곡선길이는 105m를 초과하여야 하며 이 때 두 완화곡선 길이를 편경사 접속 설치구간으로 하되, 보간법에 의하여 일률적으로 편경사 설치

<사례 7> 완화곡선-완화곡선이 복합곡선인 경우

- **평 면 선 형**

[예제7] 설계속도 80km/h의 4차로 도로로서 평면곡선반경 R_1=750m인 원곡선 종점에 설치된 완화곡선과 R_2=500m인 곡선시점에 설치된 완화곡선이 복합곡선인 경우 편경사 설치방법

i) 최대편경사는 다음과 같다.

R_1=750m일 때 : 4%

R_2=500m일 때 : 5%

ii) 편경사 접속 설치율 q=1/150 적용

iii) 편경사 접속설치 구간 산정

- 편경사 설치 폭 : B=7.75m
- 횡단경사의 변화량 : △i=9%
- 편경사 접속설치 필요구간

R_1=750일 때의 $L_1 = \frac{0.04}{0.09} \times 0.01 \times 7.75 \div \frac{1}{250} = 8.6 \fallingdotseq 9\text{m}$

R_2=500일 때의 $L_2 = \frac{0.05}{0.09} \times 0.01 \times 7.75 \div \frac{1}{250} = 10.8 \fallingdotseq 11\text{m}$

$L = (0.05 - 0.04) \times 7.75 \div \frac{1}{250} = 19.5 \fallingdotseq 20\text{m}$

iv) 편경사 접속설치 길이는 R_1=750m인 곡선측에 9m, R_2=500m인 곡선측 11m를 합한 총 20m로 하되, 보간법에 의하여 일률적으로 편경사 설치

<사례 8> 연결로 노즈(nose)부 배향인 경우

- **평 면 선 형**

- **편경사 설치도**

주)

1. 연결로의 변속차로는 평행식으로 할 것
2. 변속차로 구간은 본선 선형과 같게 하고 연결로의 선형은 최소한 노즈부까지는 직선으로 할 것

<사례 9> 연결로 노즈(nose)부 복합곡선인 경우

- **평 면 선 형**

- **편경사 설치도**

3.5 설계 고려사항

3.5.1 일반적 고려사항

도로설계시 작은 곡선반경은 되도록 피해야 한다. 작은 교각 때문에 평면곡선이 비틀어져 보이는 현상을 피하고, 심미적으로 만족스러운 선형을 공급하기 위해서는 충분히 길어야 한다.

긴 직선구간의 끝에 급한 평면 곡선은 피해야 한다. 점차적으로 곡선반경이 감소하는 변이 지역은 운전자들로 하여금 새로운 상태의 운행속도를 적응할 수 있게 해준다. 이런 선형은 운전자들의 주행 진로를 벗어나는 운전을 감소시키며, 운행속도의 감소에 대해 놀라지 않고 적응할 수 있게 한다. 또한, 도로상의 노변시설이 없으면 운전자들에게 곡선반경의 정도를 예측하는 데 어려움을 주고 새로운 환경에 적응하지 못하게 한다.

곡선 반경이 서로 다른 2개의 원곡선을 복합시킬 때는 완화곡선을 쓰는 것이 바람직하다. 그러나 두 곡선 사이에 완화곡선이 없는 복합곡선에서 큰 곡선반경이 작은 곡선반경과 비교했을 때 1.5배를 넘어서는 안 된다.

선형에서 불합리한 배향곡선은 피한다. 배향곡선이 너무 근접해 있으면 적정한 편경사를 주기가 어려우며 위험하고 실수를 유발하는 운전의 원인이 된다. 또한 배향곡선은 편경사 변화구간을 제공하기 위해 두 곡선 간에 충분한 완화구간이 포함되도록 설계한다.

동일 방향에서 두 곡선 간에 짧은 직선으로 구성된 곡선의 상태(broken back arrangement)는 피해야 한다. 이런 상황에서는 일정한 곡선반경을 제공하는 완화곡선 또는 복합곡선이 바람직하다.

부드럽고 점진적인 테이퍼를 제공하기 위해 분리대와 길어깨 폭원의 변화가 필요한 곳에서는 직선보다 곡선식의 테이퍼를 사용한다.

- 안전

사고율은 일반적으로 평면곡선부에서 발생하는데, 평면곡선과 선형의 조화가 안될 때 증가한다. 이러한 지점에는 고규격 안전 시설물을 통해 안전성을 확보한다.

일반적으로 앞지르기시거에서 설계속도 50km/h 이상이면서 곡선 길이가 300m 이하인 구간에 대해서는 앞지르기시거가 가능한 한 주어진 시거 이상 확보되여야 한다.

- 도로 선형

선형은 가급적 방향에 따라 정해져야 하지만, 지형과 개발된 재산권 및 사회적 가치를 보존할 수 있어야 한다. 보통 자연적 등고선에 일치하는 흐름의 선형이 지형을 깎아낸 긴 직선 구간보다 바람직하다.

또한 도로 선형의 비일관성을 피하기 위해, 종단면도와 더불어 평면선형과의 조화를 이루어야 한다.

3.5.2 평면선형에서의 시거

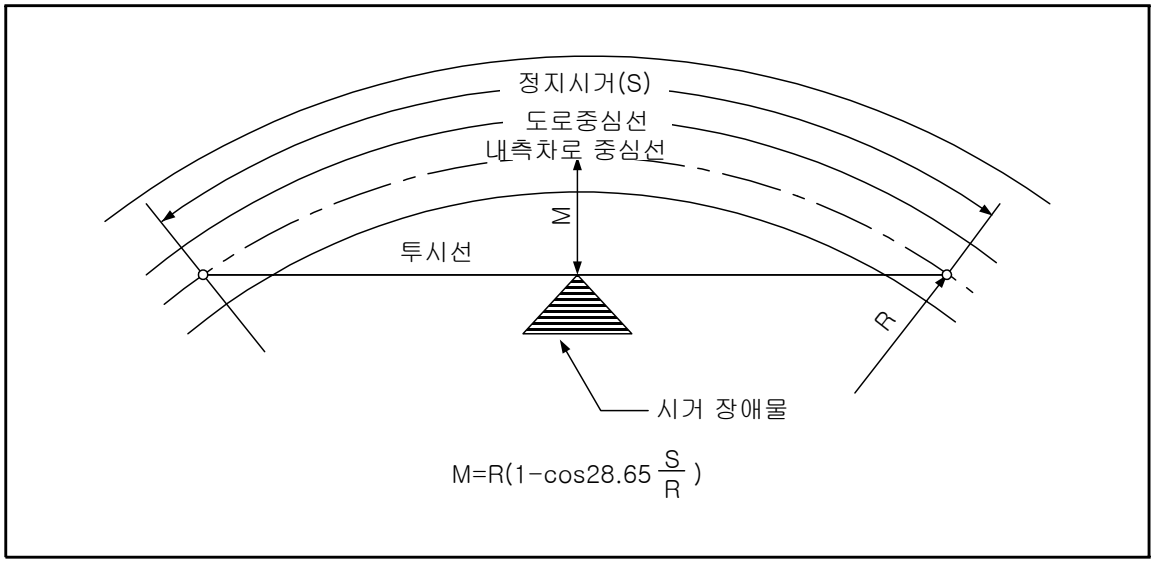
평면선형에서 운전자가 전방을 볼 수 있는 거리는 장애물의 위치, 흙깎기부 위치 및 기타 시야를 방해하는 물체에 의해 결정된다.

평면곡선부에서 시거를 측정하기 위한 기준은 운전자의 눈과 내측 차로의 중심선에서 보이는 물체이다. 시거는 차로의 중심을 따라서 관측되고, 중앙지점에서 이에 상응하는 최소 측방 여유 폭이 계산된다.

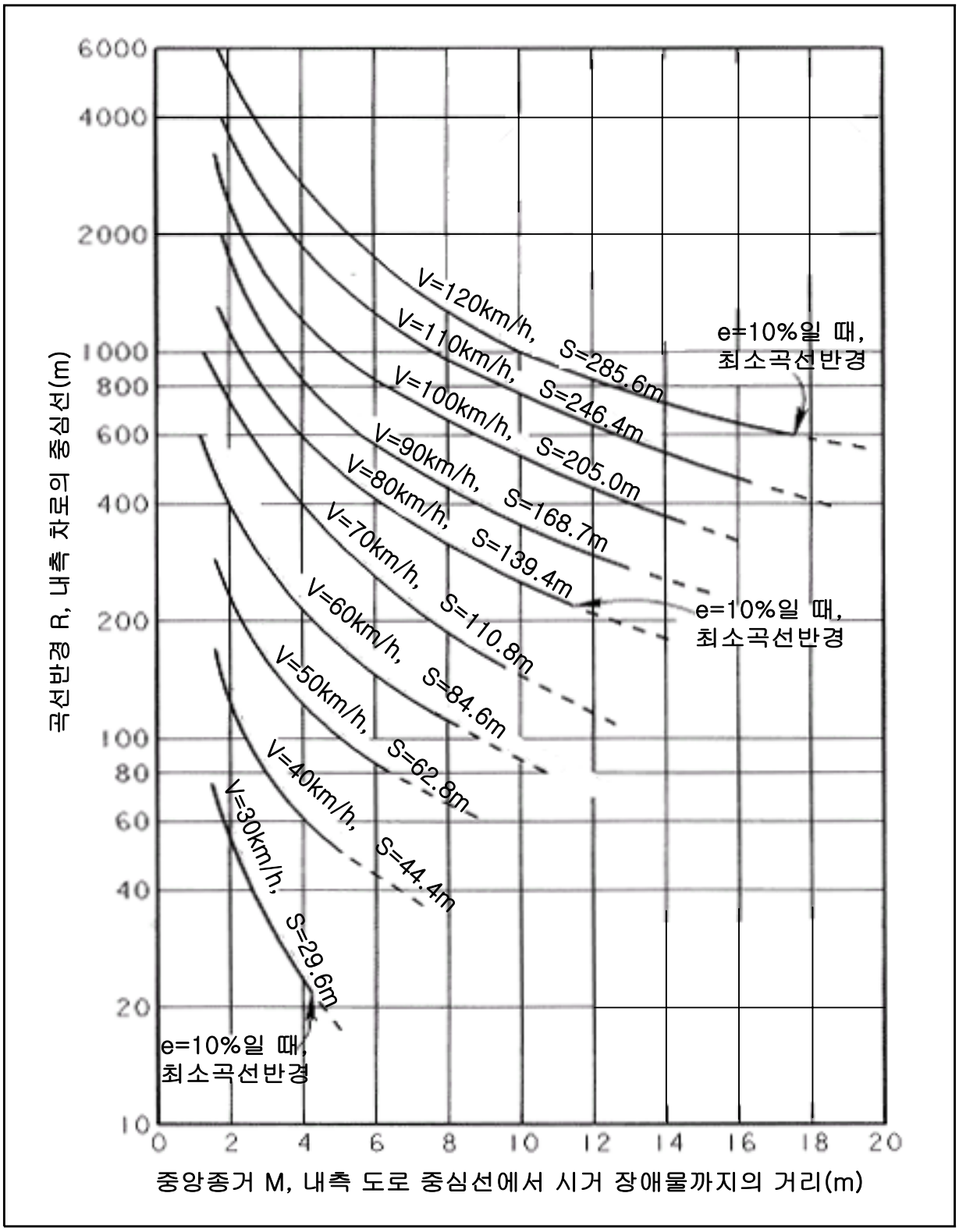
현광 방지 시설을 포함한 중앙분리대 높이와 흙깎기부에 대한 일반적인 횡단면에서 최소 정지시거는 최소 곡선반경을 고려하며, 시거 제약에 대한 추가적인 조치가 필요할 수 있다. 고가 연결로에서 건물과 난간에 근접해 있거나 지하 차도에서 교량의 교대에 근접한 경우는 선형의 재조정이 요구된다.

최소 정지시거는 도로의 전구간에 걸쳐 확보되어야 한다. 그러나 너무 많은 비용이 소요되거나 정상적인 운영 상태에서 최소 정지시거 구간의 감소가 유효한 구간에서는 예외구간으로 고려할 수 있다.

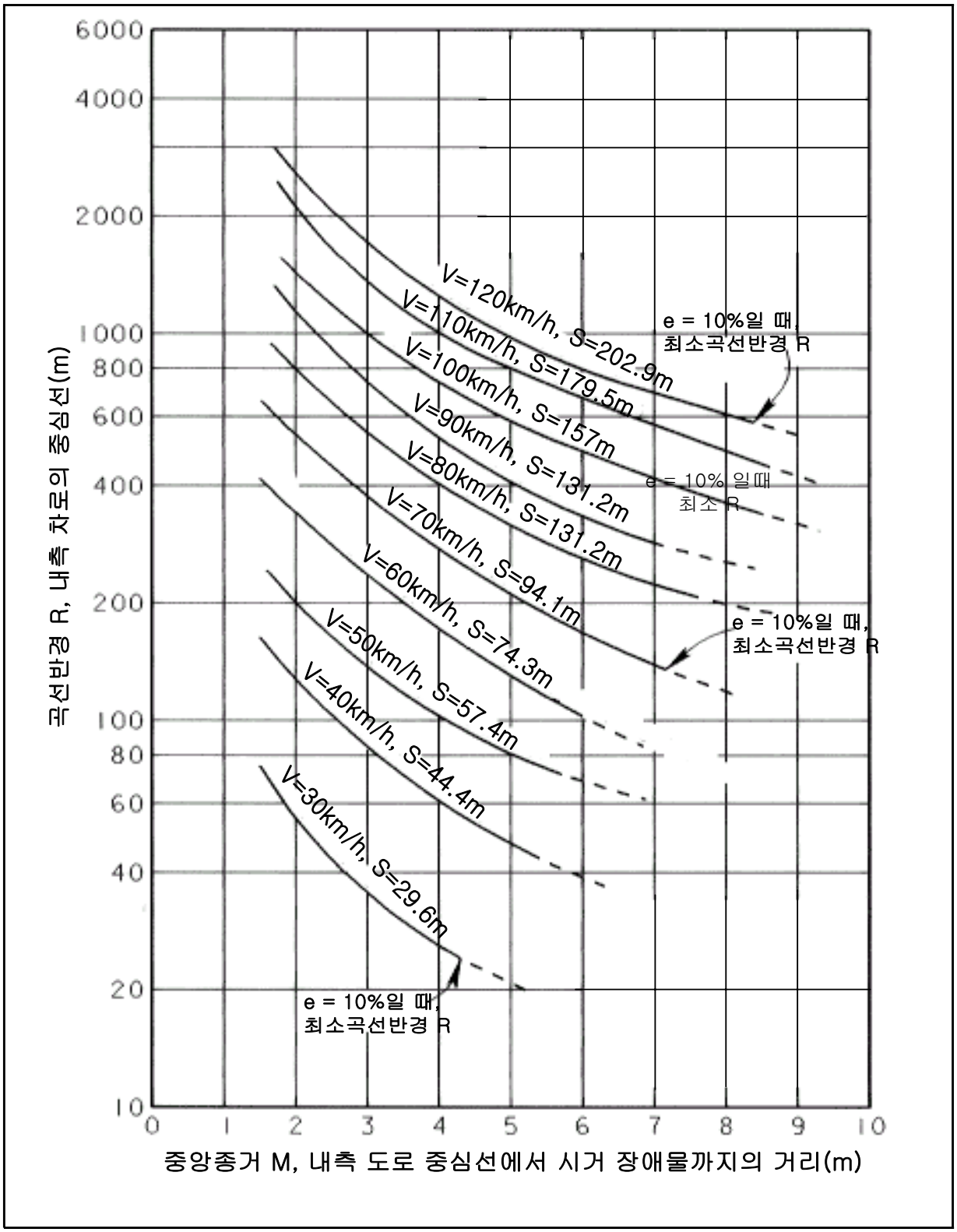
미국 AASHTO(1994)에서는 평면곡선부의 최소 정지시거를 구할 때, '조건에 대한 가정속도'로 평균 주행속도의 개념을 가지고 최소 정지시거에 대한 범위를 설정한다. 최소 정지시거의 상한값은 설계속도를 통해 계산한 값이며 하한값은 평균 주행속도를 통해 계산한 값이다. 이를 토대로 <그림 304.12>와 <그림 304.13>은 평면곡선부에서 최소 정지시거를 고려하기 위한 곡선반경·내측 차로 중심에서 시거 장애물까지의 측방 여유폭(M)간의 관계식(<그림 304.11> 참고)을 토대로 구한 상한값과 하한값의 범위를 나타내는 그림이다.



<그림 304.11> 평면곡선부에서 내측 차로 중심에서부터 시거 장애물까지의 측방 여유폭



<그림 304.12> 평면곡선에서 정지시거를 제공하기 위한 곡선반경·차도 중심부와의 거리(M)간의 관계식 (상한값의 범위, AASHTO 1994)



<그림 304.13> 평면곡선에서 정지시거를 제공하기 위한 곡선반경·차도 중심부와의 거리(M)간의 관계식 (하한값의 범위, AASHTO 1994)

304.4 종단선형

도로의 종단선형은 자동차의 진행방향에 따라 도로를 절단하였을 때 나타나는 도로표면의 형상으로 직선과 곡선으로 구성되며, 설계요소로는 종단경사와 종단곡선이 있다.

4.1 종단경사

종단경사의 값은 환경적, 경제적 측면에서 허용할 수 있는 범위 내에서 가능한 한 속도저하가 작아지도록 하여 교통용량의 감소 및 안전성 저하를 방지하도록 결정한다. 설계속도별 도로 구분과 지형 조건에 따라 종단경사의 적용 값은 <표 304.22>와 같다.

평지부에서도 지하차도, 고가도로 등과 주변 상황 등으로 부득이한 경우에는 산지부의 값을 적용할 수 있다. 또한 지형상황, 주변 지장물 및 경제성을 고려하여 불가피한 경우에는 종단경사 기준 값에서 1% 포인트를 더하여 적용할 수 있다.

<표 304.22> 최대 종단경사

(단위 : %)

설계속도 (km/h)	고속도로		간선도로		집산도로 연결로		국지도로	
	평지	산지	평지	산지	평지	산지	평지	산지
120	3	4						
110	3	5						
100	3	5	3	6				
90	4	6	4	6				
80	4	6	4	7	6	9		
70			5	7	7	10		
60			5	8	7	10	7	13
50			5	8	7	10	7	14
40			6	9	7	11	7	15
30					7	12	8	16
20							8	16

4.2 종단곡선

두개의 다른 종단경사가 접속될 때는 접속지점을 통과하는 자동차의 운동량 변화에 따른 충격의 완화와 정지시거를 확보할 수 있도록 서로 다른 두 종단경사를 적당한 변화율로 접속시키며, 형태에 따라 볼록형과 오목형으로 구분한다. 종단곡선은 일반적으로 포물선으로 설치하며, 충분한 범위 내에서 주행의 안전성과 쾌적성을 확보하고, 도로의 배수를 원활히 할 수 있도록 설치한다.

4.2.1 종단곡선의 크기 표시 방법

종단곡선의 크기는 종단곡선 변화비율로 나타낸다. 종단곡선 변화비율은 접속되는 두 종단경사의 대수차가 1% 변화하는 데 확보하여야 하는 수평거리로 다음의 식으로 산정된다. <그림 304.14>은 이를 나타낸 것이다.

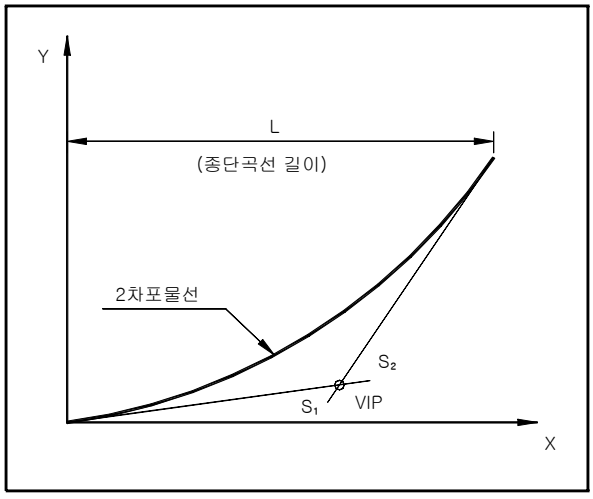
$$K = \frac{K_r}{100} = \frac{L}{(|s_2 - s_1|)\times 100} = \frac{L}{S}$$

여기서,

K : 종단곡선 변화비율(m/%)

L : 종단곡선 길이(m)

S : 종단경사의 대수차($|s_2-s_1|$)(%)



<그림 304.14> 종단곡선의 크기 표시

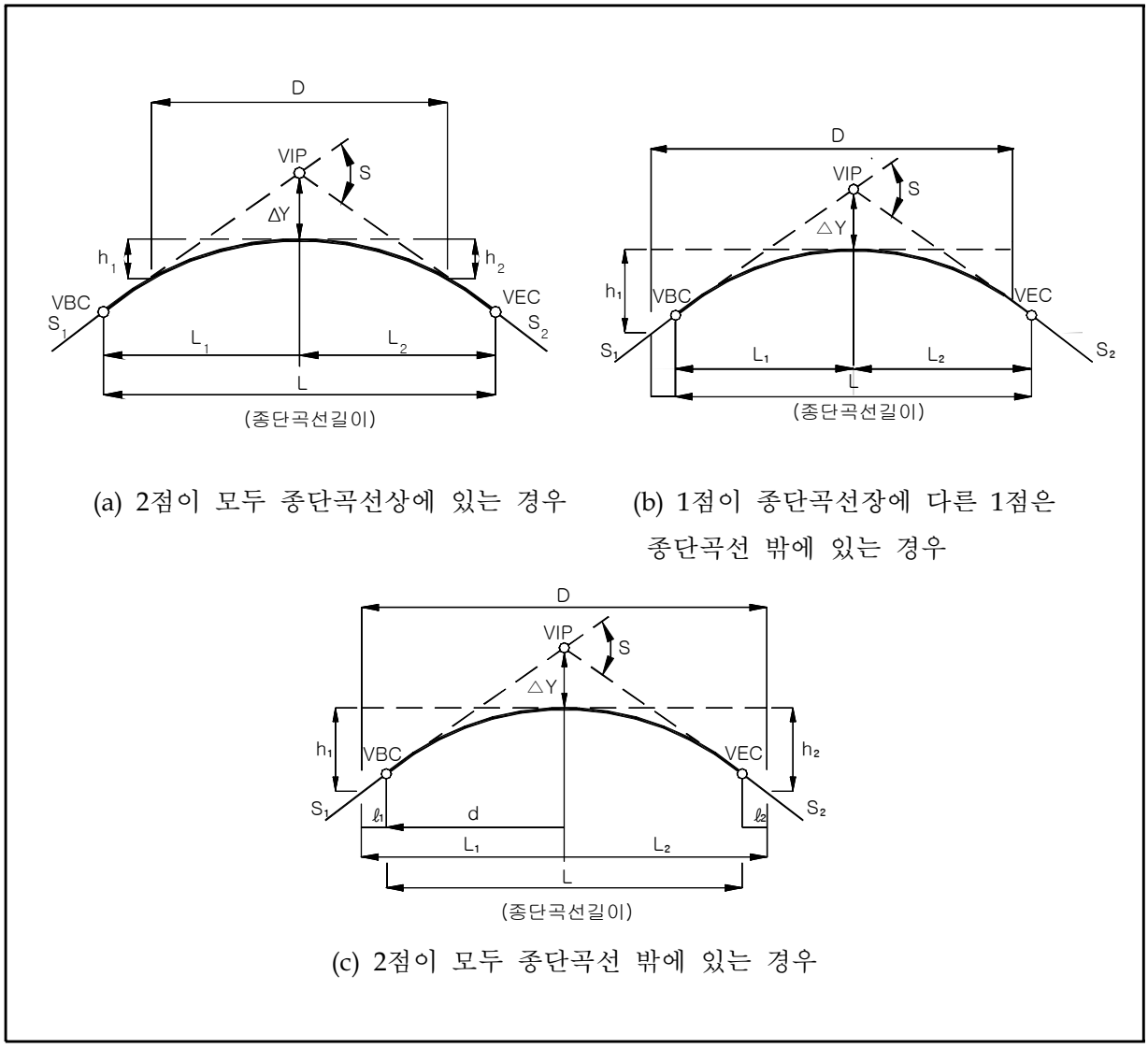
4.2.2 볼록 종단곡선 길이의 계산

볼록 종단곡선의 최소 길이는 통상 소요 시거에 따라 결정된다. 운전자는 곡선상에 있는 물체를 소요 시거보다 더 멀리서 볼 수 있어야 한다. 종단곡선 길이 L과 종단경사 차 S, 두 지점간의 투시거리 D에 대한 방정식을 유도하기 위해서 L과 D는 수평거리로 나타낸다.

<표 304.23>은 정지 시거와 앞지르기 시거에 대한 눈높이와 물체 높이 기준과 볼록 종단곡선의 길이를 보여준다.

<표 304.23> 볼록 종단곡선 길이의 계산

파라메터	정지시거 고려시	앞지르기시거 고려시
눈높이 (h_1)	1.0m	1.0m
물체높이 (h_2)	0.15m	1.25m
D>L 경우	$L = 2D - \frac{385}{S}$	$L = 2D - \frac{897}{S}$
D<L 경우	$L = \frac{S \cdot D^2}{385}$	$L = \frac{S \cdot D^2}{897}$



(a) 2점이 모두 종단곡선상에 있는 경우

(b) 1점이 종단곡선장에 다른 1점은 종단곡선 밖에 있는 경우

(c) 2점이 모두 종단곡선 밖에 있는 경우

<그림 304.15> 볼록 종단곡선에서의 시거

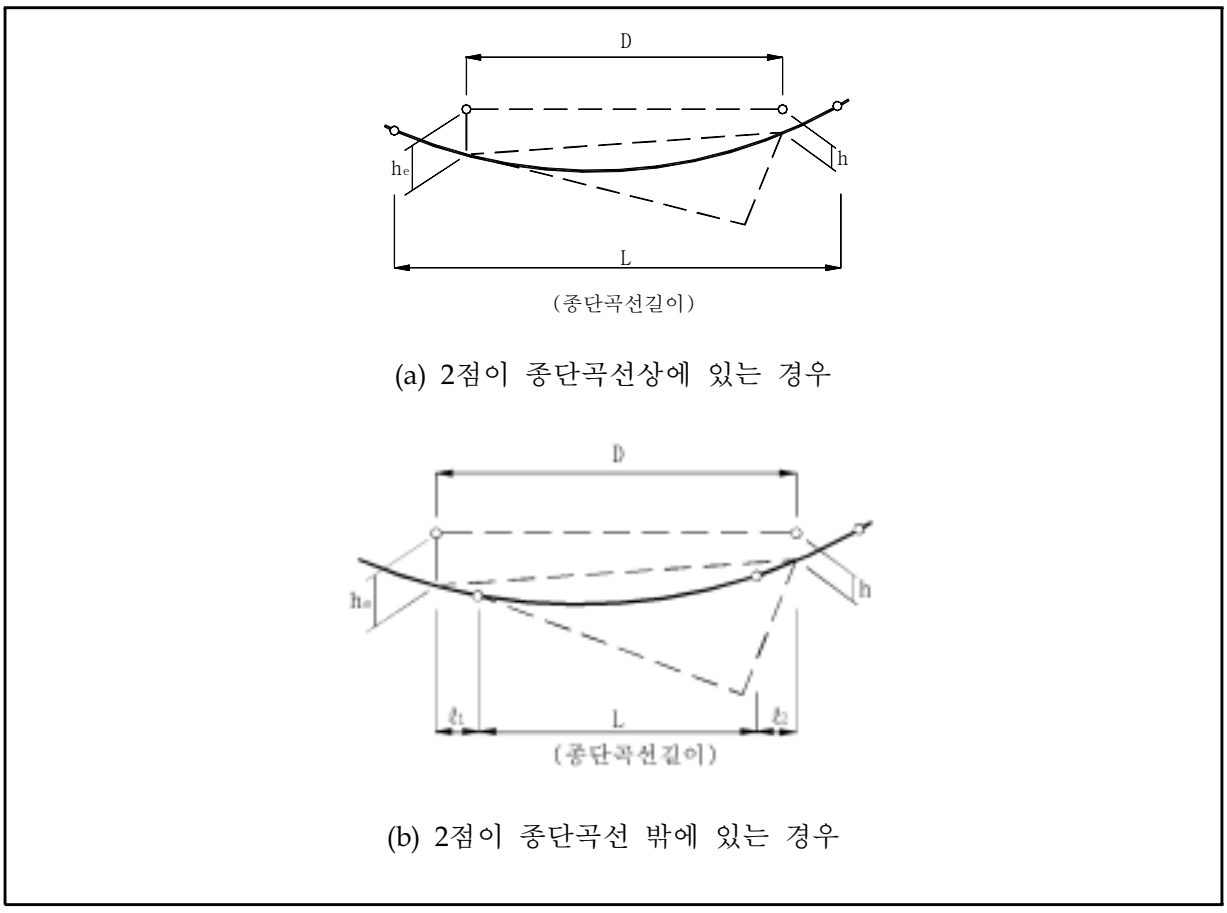
4.2.3 오목 종단곡선 길이의 계산

오목 종단곡선의 길이를 결정하는 데 고려해야 할 사항은 전조등 시거, 승차감, 배수 등이며, 이 중에서 전조등 시거와 지하차도의 시거 확보가 중요하다.

자동차가 밤에 오목 종단곡선을 운행할 때 운전자가 볼 수 있는 범위는 전조등이 밝히는 범위에 국한된다. <표 304.24>와 <그림 304.16>은 오목 종단곡선의 최소 길이 L을 구하기 위하여 자동차로부터 전조등이 밝히는 거리 D, 전조등 높이 h, 전조등의 조명각 θ의 관계를 나타낸다.

<표 304.24> 전조등 야간 투시를 고려한 오목 종단곡선 길이 계산

파라메터	전조등 야간투시 고려시
전조등 높이(h_1)	1.0m
전조등 조명각 (θ)	1°
D>L 경우	$L = 2D - \frac{120 + 3.5D}{S}$
D<L 경우	$L = \frac{S \cdot D^2}{120 + 3.5D}$



(a) 2점이 종단곡선상에 있는 경우

(b) 2점이 종단곡선 밖에 있는 경우

<그림 304.16> 오목 종단곡선에서의 시거(전조등 야간투시의 경우)

지하차도의 오목 종단곡선에서는 상부구조물에 의해서 시계가 차단되고 시거가 어느 정도 짧아진다. 이와 같은 적절한 시거와 시설한계에 필요한 오목 종단곡선의 길이는 <표 304.25>와 <그림 304.17>과 같이 계산한다.

<표 304.25> 지하차도의 오목 종단곡선 길이 계산

파라메터	지하차도 시거 고려시
D>L 경우	$L = 2D - \frac{800}{S}(C - \frac{h_1 + h_2}{2})$
D<L 경우	$L = \frac{S \cdot D^2}{800}(C - \frac{h_1 + h_2}{2})^{-1}$

주) 이 방정식은 (C+E)가 60m이하일 경우에만 유효

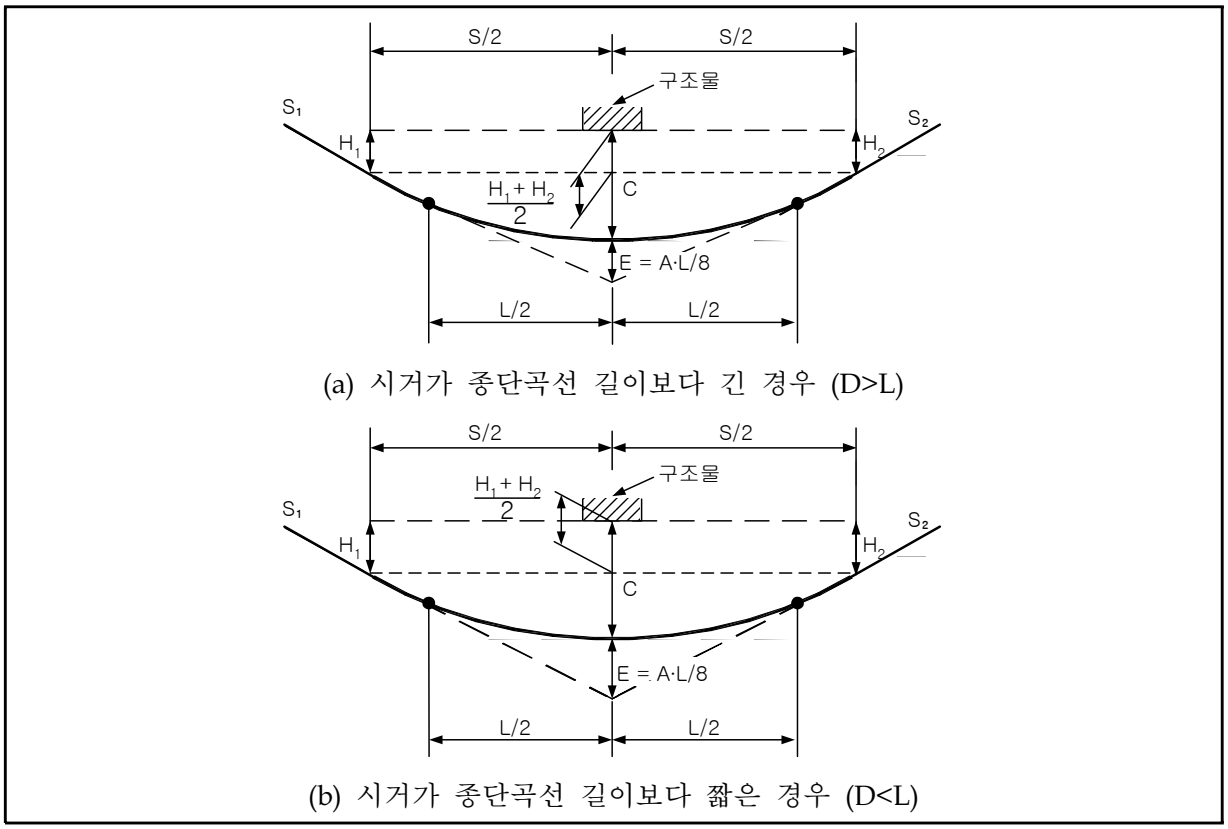
<표 304.25>에서,

D : 시거(m)

L : 종단곡선 길이(m)

S : 종단경사의 대수차($|s_1-s_2|$)(%)

C : 수직 시설한계(m)



(a) 시거가 종단곡선 길이보다 긴 경우 (D>L)

(b) 시거가 종단곡선 길이보다 짧은 경우 (D<L)

<그림 304.17> 오목 종단곡선에서의 시거(지하차도 시거의 경우)

4.2.4 종단곡선의 적용 기준

종단곡선의 길이는 앞 항에서 기술한 계산방법에 따라 산정한 종단곡선 최소 변화비율(①)에 의하여 산정한 길이와 종단곡선의 최소 길이(②)의 길이 중 큰 값의 길이 이상이어야 한다.

<표 304.26> 설계속도별 최소 종단곡선 변화비율 및 최소길이

설계속도 (km/h)	종단곡선의 형태	① 종단곡선 최소변화 비율 (m/%)	② 종단곡선 최소 길이 (m)
120	볼록곡선	200	100
	오목곡선	70	
110	볼록곡선	160	90
	오목곡선	60	
100	볼록곡선	100	85
	오목곡선	50	
90	볼록곡선	75	75
	오목곡선	40	
80	볼록곡선	50	70
	오목곡선	35	
70	볼록곡선	30	60
	오목곡선	25	
60	볼록곡선	20	50
	오목곡선	20	
50	볼록곡선	10	40
	오목곡선	12	
40	볼록곡선	5	35
	오목곡선	7	
30	볼록곡선	3	25
	오목곡선	4	
20	볼록곡선	1	20
	오목곡선	2	

4.2.5 종단곡선의 중간값 계산

<그림 304.18>에서 종단경사 s_1과 s_2의 경사 변이점에서 종단곡선의 시종점을 VBC 및 VEC라 할 때 종단곡선의 길이는 VBC, VEC 간의 수평거리 L과 같다고 본다. 이 경우, 종단 변곡점 VIP로부터 곡선까지의 거리와 종단곡선의 중간값은 다음 식으로 계산된다.

종단 변곡점 VIP로 부터 곡선까지의 거리 △는,

$$\triangle Y = \frac{|s_1 - s_2|}{800} L$$

여기서,

s_1 : VBC상의 종단경사(%)

s_2 : VEC상의 종단경사(%)

L : 종단곡선 길이(m)

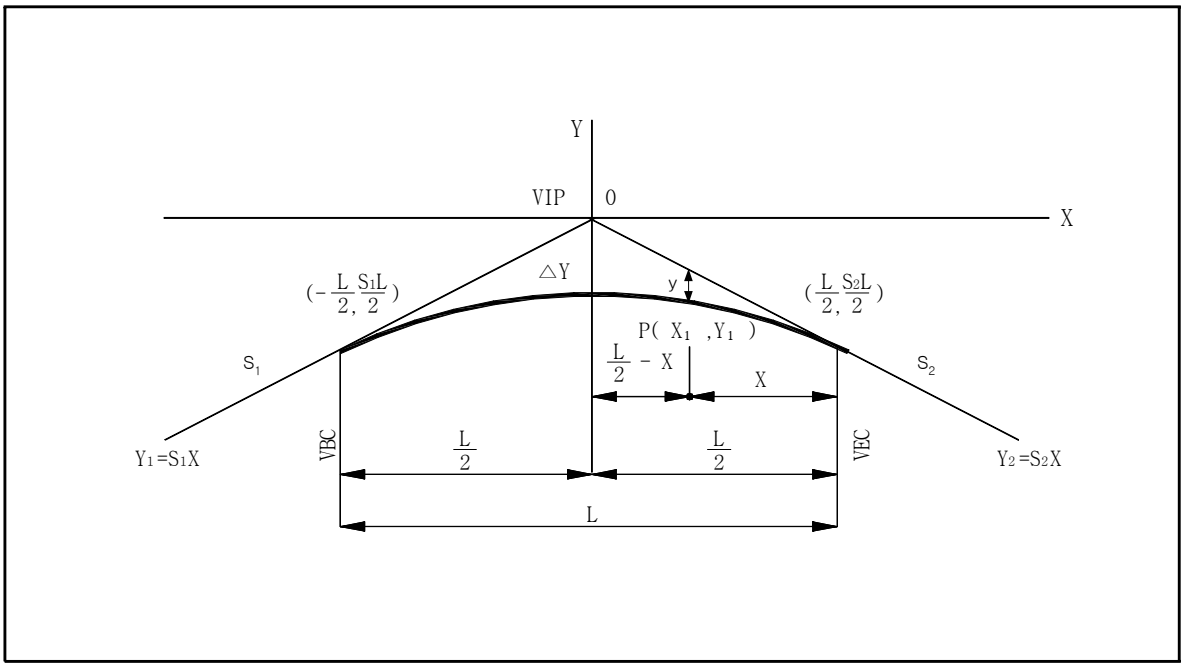
종단곡선 중간의 임의의 점 $P(X_1, Y_1)$에서의 이정량 y는,

$$y = \frac{|s_1 - s_2|}{200L} X^2$$

여기서,

y : VBC 혹은 VEC에서 X의 거리에 있는 점의 종단곡선까지의 이정량(m)

X : VBC 혹은 VEC에서 임의의 점 P까지의 수평 거리(m)



<그림 304.18> 종단곡선의 중간값 산정도

4.2.6 종단경사 구간의 제한 길이

종단경사의 제한 길이는 트럭이 오르막구간에 진입하여, 허용된 최저속도까지 유지하며 주행할 수 있는 구간의 최대 길이이다.

설계된 오르막 구간의 길이가 제한 길이를 초과할 경우에는 표준 트럭이 허용된 최저 속도로 주행할 수 있도록 종단경사를 조정하거나 고속으로 주행하는 다른 자동차와 분리할 수 있도록 오르막차로의 설치를 검토하여야 한다.

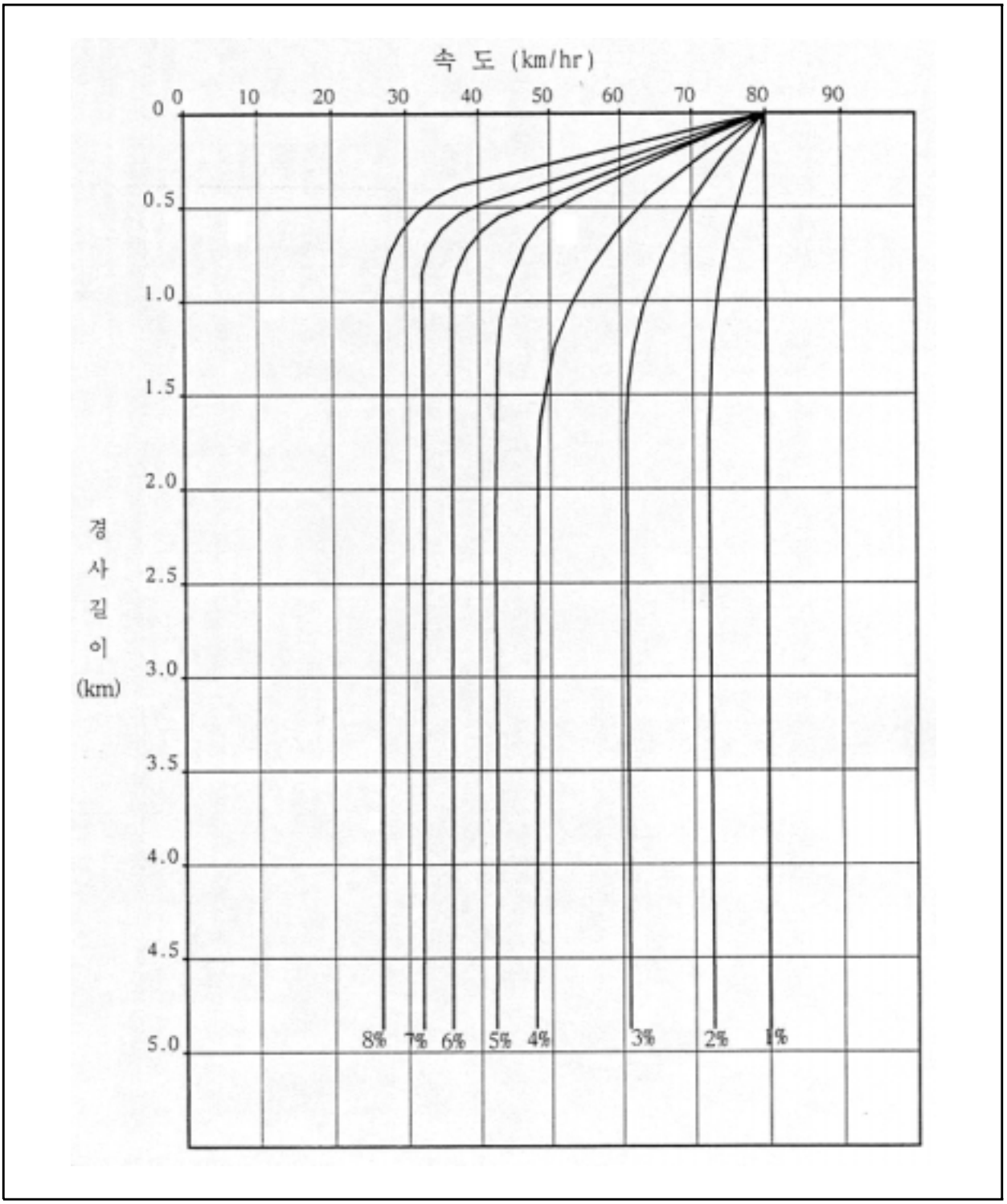
종단경사 구간의 제한 길이는 중량/마력비를 주어진 조건에 따라 200lb/hp인 트럭을 표준으로 하여, 다음과 같은 가정하에 <그림 304.19>의 경사 길이에 따른 속도변화의 감속인 경우에 의거하여 산정한다.

① 오르막 구간의 진입 속도는 다음 두 속도 중 작은 값을 적용한다.
- 설계속도가 80km/h 이상인 경우는 모두 80km/h로 하며 설계속도가 80km/h 미만인 경우는 설계속도와 같은 속도
- 앞쪽 경사의 영향에 따른 오르막 구간의 진입속도

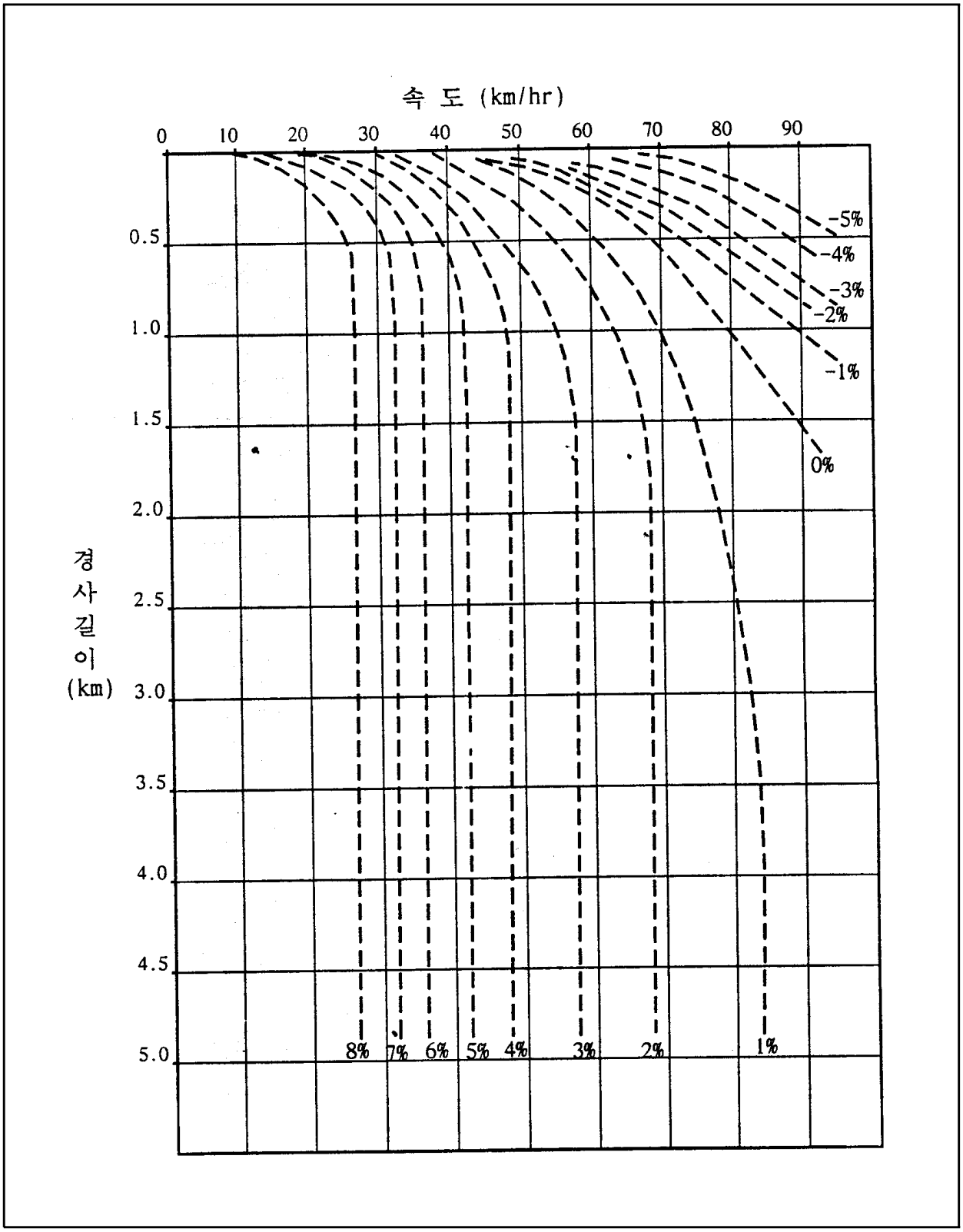
② 오르막 구간의 정점에서의 속도는 오르막 구간의 진입속도에서 20km/h을 감한 값 이상의 속도를 유지하도록 한다.
- 설계속도 80km/h 이상인 경우 : 60km/h
- 설계속도 80km/h 미만인 경우 : 설계속도 - 20km/h

경사 구간에서의 감속에 반하여 경사구간의 가속의 정도는 <그림 304.20>의 속도-경사 길이에 따른 가속의 경우에 의하여 산정한다.

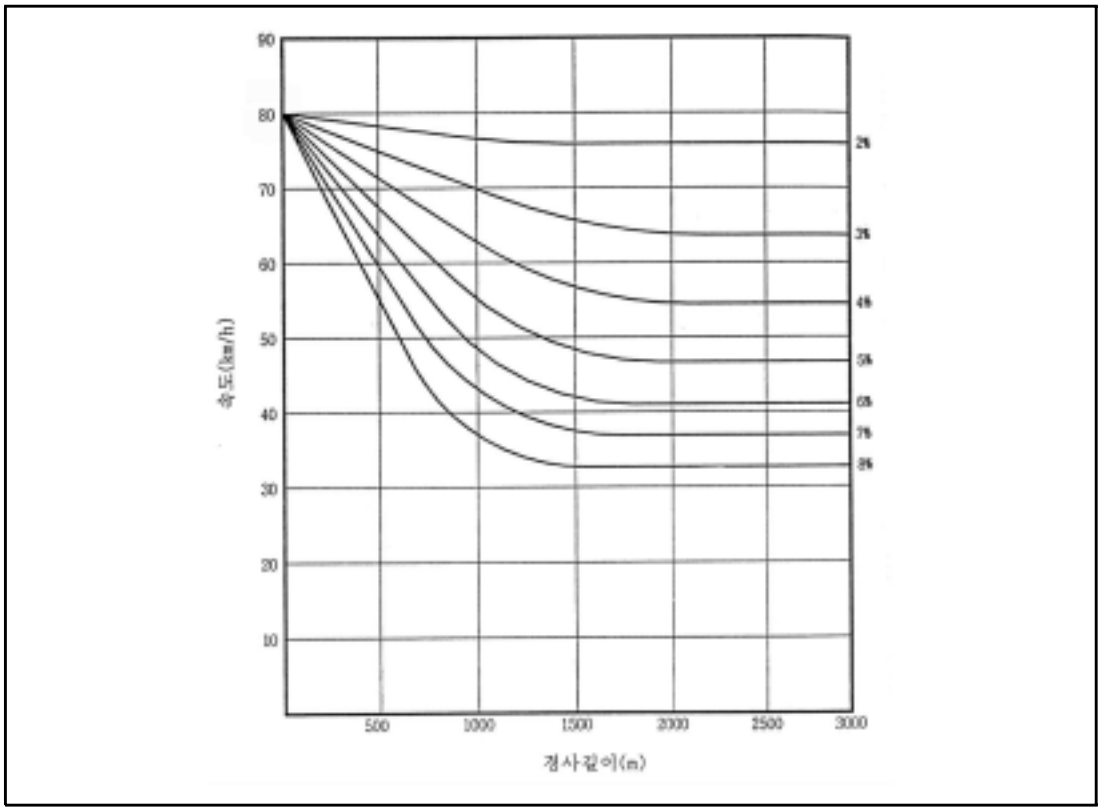
<그림 304.21>와 <그림 304.22>는 중량/마력비가 150lb/hp인 트럭을 표준으로 할 때 감·가속 자동차 성능 곡선이다.



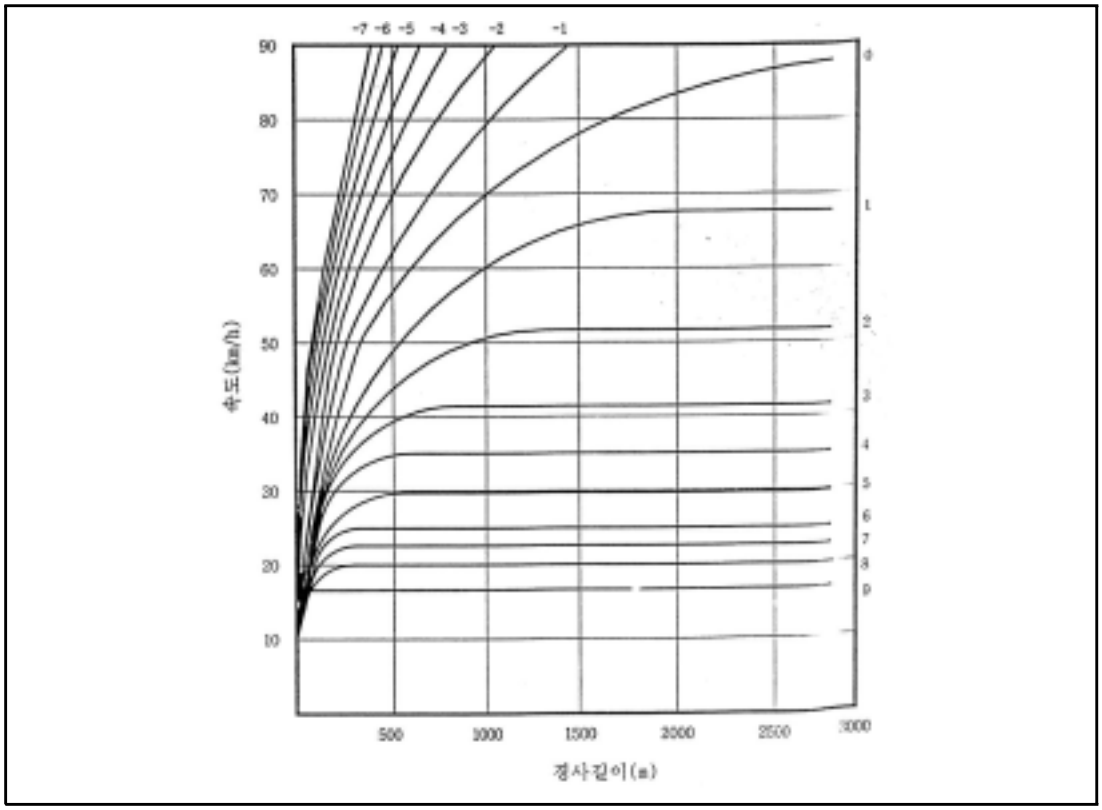
<그림 304.19> 경사 길이에 따른 속도 변화 (200lb/hp 표준트럭 : 감속인 경우)



<그림 304.20> 경사 길이에 따른 속도 변화 (200lb/hp 표준트럭 : 가속인 경우)



<그림 304.21> 경사 길이에 따른 속도 변화 (150lb/hp 표준트럭 : 감속인 경우)



<그림 304.22> 경사 길이에 따른 속도 변화 (150lb/hp 표준트럭 : 가속인 경우)

4.3 설계 고려사항

경사 길이가 짧고 단절이 많은 선형보다 지형 및 도로 종류에 맞추어, 변화가 점차적인 부드러운 종단경사 선형을 형성한다.

특히, 오목 종단곡선 부분에서 동일 진행 방향으로 2개의 종단곡선이 짧은 구간의 직선에 의해 분리되어 나타나는 현상(broken-back)은 바람직하지 않다. 일반적으로 바람직하지 않은 종단면의 예는 오래된 도로나 도시 지역 도로에 많이 있다. 이는 미관적으로도 좋지 않고 운전하기도 어렵다.

긴 종단경사를 가지는 경우, 바닥 부분에 급한 경사를 두거나 정상부의 경사를 낮추는 것이 바람직하며 또는 허용 최대 경사 이하의 지속적인 경사 대신에 그보다 더 낮은 경사를 짧은 간격으로 단절시키는 것이 바람직하다.

절토부의 오목곡선은 적절한 배수 시설이 없다면 절토부의 오목 종단 곡선부는 피해야 한다.

- 교차로

종단경사가 급한 도로 부분에 교차로가 있을 경우, 교차로 부근의 경사를 감소시키거나 교차로를 이동하는 것이 바람직하다. 이러한 조치는 회전 교통류의 안전성 증대와 잠재적인 위험을 감소시킨다.

- 안전

오르막 종단 경사에서 저속 자동차로 인하여 교통류의 속도분포가 넓어지면 잠재적인 안전상의 위험 요소가 내포된다.

이런 상황은 볼록, 오목 종단곡선에서 나타나는 시거의 제약에 의해 더욱 심각하므로, 안전을 고려한 종단면 설계를 해야 한다.

- 최소 종단경사

도로의 표준 최소 종단경사는 <표 304.27>과 같다. 이 값들은 경험에 기초한 것이며, 실무 적용에도 적합하다.

연석이 없는 도로의 경우, 적설로 인한 노면 배수에 영향이 없는 곳에서 배수도랑의 경사가 충분하다면 도로의 종단경사는 0.3%이다.

연석이 있는 도로에서 배수는 연석에 인접해 있으며 종단경사는 포장면 위로 물이 넘치는 것을 피하기 위해 조정된다. <표 304.27>에서 종단경사는 강우와 배수구 간격이 정상적인 상태에서 적합하다.

<표 304.27> 최소 종단경사

설계 요소	종단경사	
	바람직한 최소치	절대 최소치
연석이 있는 도로	0.5%	0.35%
충분한 횡단경사를 가지는 연석이 없는 도로	0.5%	0.3%

304.5 부가 차로의 설치

5.1 오르막 차로

종단경사가 있는 구간에서 자동차의 오르막 능력 등을 검토하여 다음과 같은 사항에 대해 오르막 차로를 설치한다.

- 오르막 구간에서 속도 감소가 큰 대형차의 혼입률이 커 교통용량의 감소가 크게 예상되는 경우
- 대형 자동차가 허용된 최저속도 이상으로 주행할 수 있도록 해야 하는데 도로의 노선 선정 및 구조적 형상 면에서 경제성이 없거나 불합리한 경우
- 고속 자동차의 안전하고 원활한 주행을 확보시켜 주어야 하는 경우

오르막 차로의 설치시 검토 사항은 다음과 같다.

① 교통용량
- 교통용량과 교통량의 관계
- 고속 자동차와 저속 자동차의 구성비

② 경제성
- 오르막 경사를 낮추는 것과 오르막 차로 설치에 대한 경제성의 비교
- 고속 주행에 따른 편의 및 쾌적성 향상과 사업비 절감에 따른 경제성

③ 교통안전
- 오르막 차로 설치에 따른 교통사고 예방 효과

산지부가 많은 지역적 조건을 감안하여, 설계속도 40km/h 이하의 도로에서는 설계속도와 주행속도의 차가 심하지 않으므로 그 필요성을 검토하여 설치하지 않을 수 있다. <표 304.28>은 차로 수에 따른 오르막 차로의 검토사항이다.

<표 304.28> 차로 수에 따른 오르막 차로의 검토사항

양방향 2차로 도로	앞지르기 시거 확보 정도 및 긴 오르막 구간에 대한 속도저하 및 경제성을 검토하여 오르막 차로 설치 검토
4차로 도로	4차로 도로에서 오르막 차로 설치시 양방향 2차로 도로에서 보다 다음과 같은 이유로 신중한 검토가 필요함 - 동일방향의 다른 차로를 이용하므로 교통 안전 측면에서 유리 - 교통량이 많은 시간대 외에는 이용이 많지 않음 - 도로는 통상 20년 후의 예상 교통량을 기준으로 설계하므로 양방향 2차로 도로는 확장 시기를 고려하여 교통 용량 측면에서 오르막 차로의 단계 건설을 검토
6차로 이상 도로	공간적인 차로 여유가 많으므로 오르막 차로를 설치하지 않을 수 있음

5.1.1 외국의 오르막 차로 설계기준

(1) 트럭의 초기 진입속도

가. 미국

트럭 주행속도가 15km/h 정도의 감속시보다 25km/h의 감속시 사고율이 2.5배 증가하며 트럭 감속이 15km/h를 초과할 경우 사고율이 상당히 증가한다. 이러한 이유에서 15km/h의 속도 감소는 서비스 수준과 안전성의 관점에서 얻을 수 있는 가장 실용적인 감소치이다. 일반적으로 15km/h의 감소는 오르막 차로를 시작하는 위치를 결정하는 허용 기준이다.

나. 일본

오르막 경사 구간의 진입 속도는 설계속도 80km/h 이상인 경우는 모두 80km/h로 하며 설계속도 80km/h 미만인 경우에는 설계속도와 같은 속도로 한다.

다. 독일

오르막 차로의 시점은 설계속도가 100km/h 이상인 구간에서는 트럭의 주행속도가 70km/h, 설계속도가 80km/h 미만인 구간에서는 트럭의 주행속도가 60km/h가 되는 지점으로한다.

오르막 차로의 종점은 트럭의 주행속도가 60km/h에 도달하는 지점이다.

(2) 2차로와 다차로에서 오르막차로 설치 기준

가. 미국

① 2차로 도로에서의 오르막차로

- 오르막 경사 구간의 시간당 교통량이 200대를 초과하는 구간
- 오르막 경사 구간의 시간당 트럭교통량이 20대를 초과하는 구간
- 표준 트럭의 속도가 오르막 구간에서 15km/h 이상으로 속도저하가 되는 구간
- 오르막 경사에서 서비스 수준이 E 또는 F인 경우
- 오르막 경사 구간으로 이동할 경우 두 단계 이상 서비스 수준의 감소가 이루어지는 구간

② 고속도로 및 다차로 도로에서의 오르막차로

- 2차로 도로에서처럼 느리게 이동하는 앞 차량을 추월하려는 경향이 별로 없기 때문에 2차로 도로에서만큼은 오르막 차로가 필요한 근거가 없음
- 표준 트럭이 오르막 구간에서 15km/h 이상 속도저하가 발생하는 구간
- 4차로 도로에서 트럭 백분율과는 관계없이 한방향 1,000대 이하의 교통량 미만이면 오르막차로를 설치하지 않음
- 4차로 도로에서 오르막 방향의 교통량이 정상적인 트럭 비율을 가지는 도로의 두 개 차로에서 서비스 수준이 D이거나 이보다 높을 때는 오르막 차로를 설치하지 않음
- 오르막차로의 시점부 테이퍼는 오르막 차로 폭의 25배의 비율로 하되 최소 50m의 길이로 설치하여야 하며, 종점부 테이퍼는 오르막차로 폭의 50배의 비율로 기준하되 최소 60m 이상임

나. 일본 : 동일하게 적용함

다. 독일

① 2차로 도로에서의 오르막 차로

- 표준트럭의 기존 구간 속도가 70km/h 이하로 떨어지지 않거나 전구간의 설계속도보다 10km/h 이하로 떨어지지 않을 경우, 설치하지 않음
- 2차로 도로의 오르막 차로의 길이는 500m 미만이 되어서는 안된다.
- 두 개의 오르막 차로의 상호 간격이 800m 이하일 경우 교통안전상 이 두 개의 오르막 차로를 연결해야 한다.

② 4차로 도로에서의 오르막차로

- 표준트럭의 오르막 구간 속도가 30km/h 이하이거나 2차로 도로일 경우에 20km/h 이하로 감소된다면 교통량과 무관하게 안전상의 이유(트럭과 승용차 간의 큰 속도 차이)로 오르막차로를 설치하는 것이 바람직함
- 오르막 차로의 시, 종점부와 무관하게 4차로 도로의 오르막 차로의 길이는 1,500m로 한다.
- 오르막 차로의 최소 설치 간격은 4차로 도로에서 연속되는 오르막차로의 간격이 2,500m 이하일 경우 교통안전상 이 두 개의 오르막차로를 연결해야 함
- 여러 개의 오르막차로가 연결되어야 할 경우 오르막차로를 모두 연결하는 것보다 오르막차로간의 간격을 확장하는 것이 바람직함

5.1.2 오르막 차로의 설치구간 설정

오르막 차로의 설치 구간은 오르막 구간을 주행해야 하는 대형 자동차에 대하여 전제 조건에 따라 속도-경사도를 작성하고 허용 최저속도보다 낮은 속도의 주행 구간을 오르막 차로의 설치 구간으로 정한다.

(1) 설치구간 산정의 전제 조건

오르막 차로 설치 구간의 산정은 <표 304.31>와 같은 가정에서 분석을 한다.

<표 304.31> 오르막 차로 설치구간 산정의 전제조건

대형자동차의 오르막 능력	200lb/hp	
오르막 구간의 적용 진입속도	설계속도 80km/h 이상	80km/h
	설계속도 80km/h 미만	설계속도와 동일
오르막 구간의 허용 최저속도	설계속도 80km/h 이상	60km/h
	설계속도 80km/h 미만	설계속도-20km/h

(2) 속도-경사도의 작성

종단경사 구간에서 경사 길이에 대한 대형 자동차의 속도의 변화는 감속인 경우에는 <그림 304.19>와 <그림 304.21>을, 가속인 경우에는 <그림 304.20>과 <그림 304.22>를 이용하여 속도-경사도(<그림 304.26>의 예 참고)를 작성하고 허용 최저속도보다 낮은 속도의 주행구간을 오르막 차로의 설치구간으로 정한다.

속도-경사도의 작성시 종단곡선 구간은 다음과 같이 직선경사 구간이 연속된 것으로 가정한다.

- 종단곡선 길이가 200m 미만인 경우, 종단곡선 길이를 반으로 나누어 앞 뒤의 경사로 정함
- 종단곡선 길이가 200m 이상이며 앞뒤의 경사차가 0.5% 미만인 경우에는 종단곡선 길이를 반으로 나누어 앞뒤의 경사로 정함
- 종단곡선 길이가 200m 이상이며 경사차가 0.5% 이상인 경우는 종단곡선 길이를 4등분하여, 양끝의 1/4 구간은 앞뒤 경사로 하고, 가운데 1/2 구간은 앞뒤 경사의 평균값으로 가정

(3) 2차로와 다차로에서 오르막차로 설치기준

가. 2차로 도로에서의 오르막차로

오르막 구간의 속도저하 및 경제성을 검토하여 오르막 차로의 설치 여부를 결정하여야 하나, 설치가 필요한 경우라 할지라도 오르막 구간의 교통 용량을 검토하여 교통 용량의 현저한 저하를 초래하지 않을 경우에는 설치하지 않을 수도 있음

나. 고속도로 및 다차로 도로에서의 오르막차로

- 양방향 2차로 도로에서는 고속 자동차가 저속 자동차를 앞지르기할 경우 반대편 방향의 차로를 이용하여야 하나, 다차로 도로에서는 같은 방향의 다른 차로를 이용하게 되어 교통 안전 측면에서 유리함
- 양방향 2차로 도로의 오르막차로는 항시 이용되나 다차로 도로에서는 교통량이 많은 시간대 외에는 이용이 많지 않음
- 도로는 통상 20년의 장래 교통량을 이용하여 설계하므로 양방향 2차로 도로에서는 확장 시기를 고려하여 교통 용량면에서 오르막 차로을 단계적으로 건설하는 방법을 검토해야 함

5.1.3 오르막 차로의 설치

속도-경사도를 작성하여 허용 최저속도 이하 구간이 500m 이상이 되는 경우에는 도로의 교통특성 및 지역 여건에 따라 다음의 방법을 비교하여 오르막 차로를 설치한다. 그 구간이 500m 미만이 되는 경우에는 오르막 차로를 설치하지 않는다.

오르막 차로는 오르막 차로의 본선 길이와 그 시종점부에 변이 구간의 길이로 구성된다. 오르막 차로의 본선 길이는 대형 자동차의 속도가 허용 최저속도 이하로 되는 구간부터 허용 최저속도로 복귀되는 길이까지로 한다.

(1) 오르막 차로를 주행차로에 변이구간으로 접속시키는 방법

저속 자동차가 차로를 바꾸도록 유도하여 저속 자동차와 고속 자동차를 분리시키는 형태로 오르막 차로를 설치하는 것으로, 종래 사용되던 방법이다.

<그림 304.23>과 같이 속도-경사도에서 산정된 오르막 차로를 본선에 접속한다. 원활한 차로 변경을 위한 변이율은 다음과 같다.

- 시점부 : 1/15~1/25
- 종점부 : 1/20~1/30

주행 차로의 변이구간 접속부에는 특별히 평면곡선을 설치하지 않아도 된다.

이 방법은 고속자동차의 연속된 주행을 확보할 수 있어 일방향 2차로 이상인 도로에서 효과적이나, 양방향 2차로의 도로에서는 운전자의 주행 특성상 불리한 점이 있다.

(2) 오르막 차로를 주행 차로와 연속하여 접속시키는 방법

<그림 304.24>은 저속 자동차가 주행하던 차로를 그대로 이용하도록 하고 고속 자동차가 변이구간을 통과하여 저속 자동차를 앞지를 수 있도록 한 방법으로 변이구간은 다음의 방법으로 그 길이를 산정하여 도로의 교통특성과 주변 지역 여건에 맞도록 설치한다.

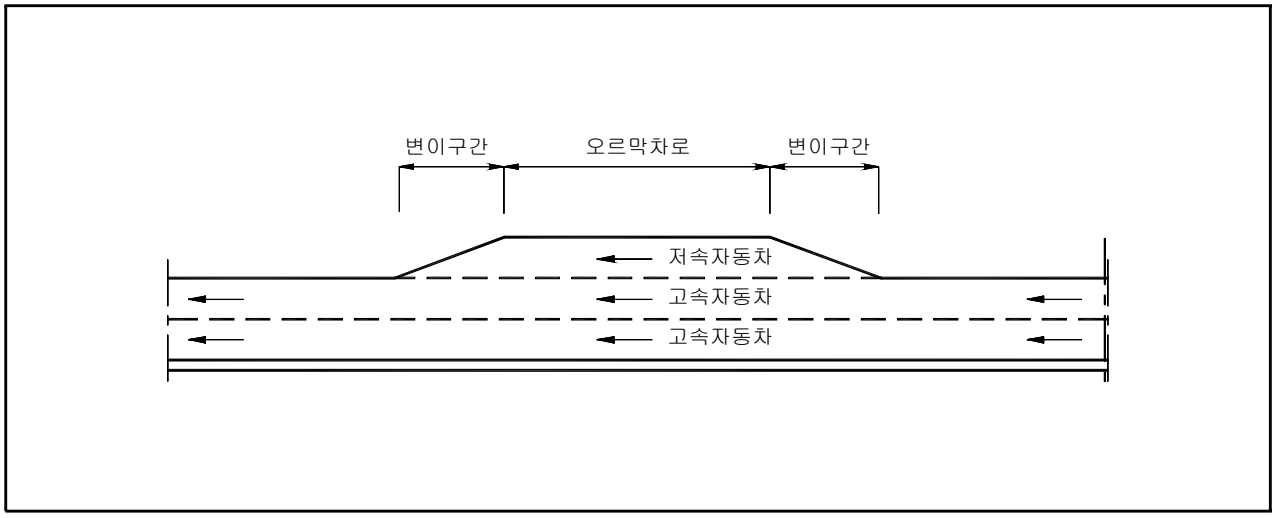
- 시점부 변이구간 변이율 : 1/15~1/25
- 종점부 변이구간 변이율 : 1/20~1/30
- 변이구간의 변이율에 따른 도로교각 산정
- 변이구간과 주행 차로 및 오르막 차로의 접속을 위한 평면곡선 설치

아직까지 운전자가 방법①에 의해 설치된 오르막 차로에 익숙하므로, 방법②는 고속 자동차가 오르막차로의 시종점부에서 변이구간의 통과에 따른 세심한 배려가 필요하다. 이 방법은 양방향 2차로인 도로에서 사용할 때 그 효과가 충분히 발휘될 수 있다.

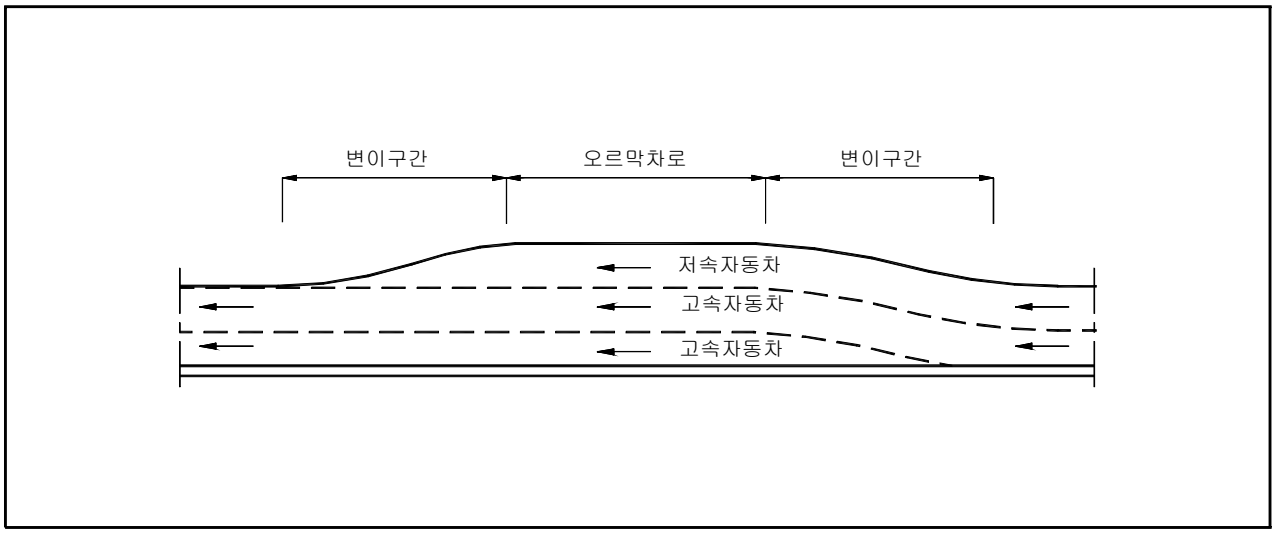
(3) 오르막 차로를 주행 차로와 연속하여 접속시키는 방법

<그림 304.25>와 같이 모든 차량이 우측으로 일단 이동한 후, 속도가 빠른 차량이 오르막 차로를 주행하는 저속 차량을 추월하기 위하여 본선 차로를 이용할 수 있도록 하는 형식이다.

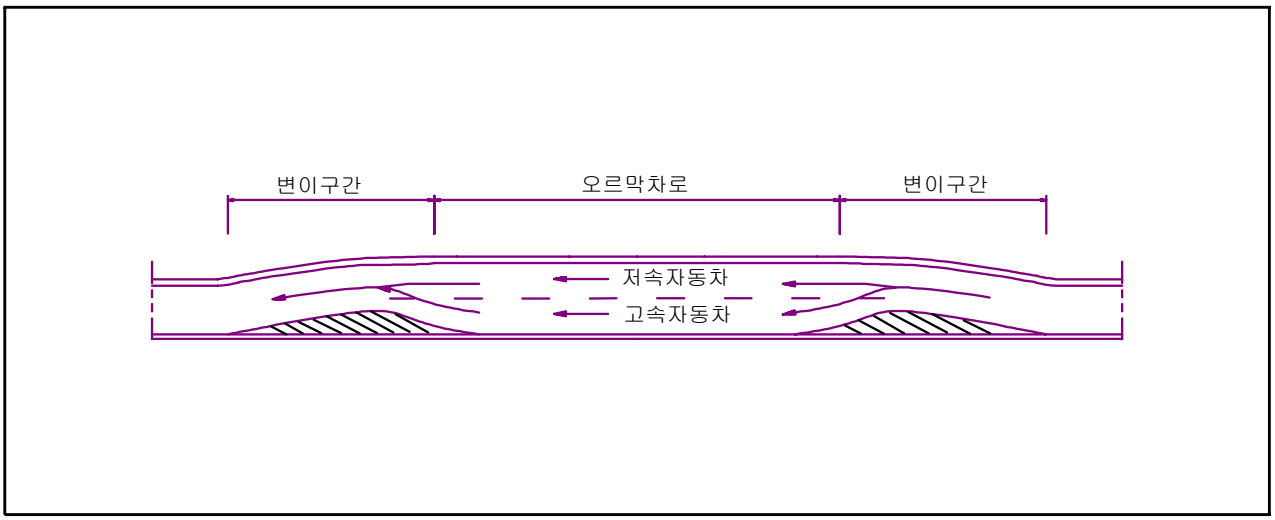
장점으로는 모든 차량이 우측으로 이동하기 때문에 본선차로를 이용하는 차량들은 지체없이 원활한 소통을 할 수 있으며 단점으로는 본선의 용량이 줄어들며 합류시 많은 상충이 발생한다는 점이다.



<그림 304.23> 오르막 차로 설치 방법 ①



<그림 304.24> 오르막 차로 설치 방법 ②



<그림 304.25> 오르막 차로의 설치 방법 ③

5.1.4 오르막 차로 설치 검토 예제

(1) 종단경사에 따른 오르막 차로 설치 검토

▶ 도로조건

- 설계속도 : 100km/h
- 차로 수 : 왕복 4차로
- 종단경사 : <그림 304.26>와 같음

ⅰ) 속도-경사도 작성은 표준트럭(200ℓb/hp)이 80km/h의 속도를 유지하는 지점부터 작성

ⅱ) <그림 304.19>와 <그림 304.20>을 이용하여 종단경사와 연장에 따른 속도 산정

ⅲ) 산정된 속도를 연결하여 속도-경사도 완성

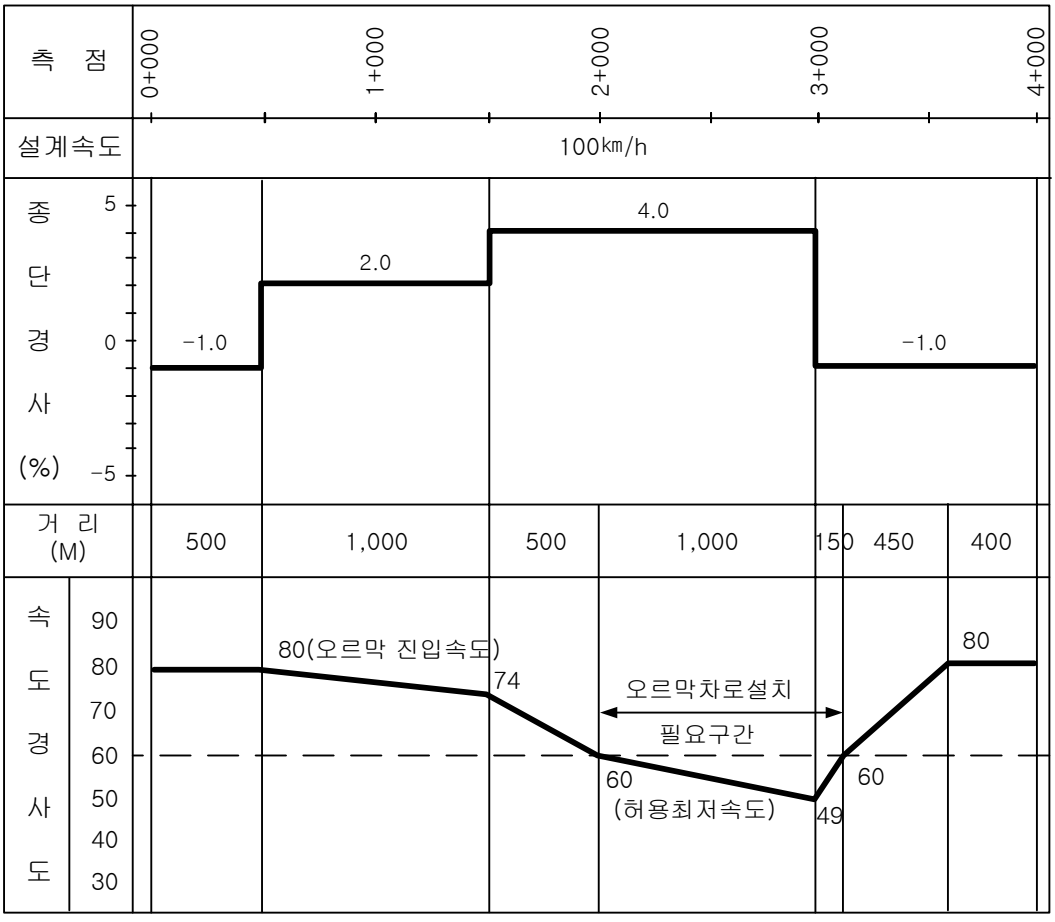
ⅳ) 완성된 속도-경사도에서 속도가 60km/h 이하가 되는 구간에 오르막 차로 설치

(2) 교통용량에 따른 오르막 차로 설치 검토

① 오르막 차로 설치가 필요한 경우

▶ 도로조건

- 설계속도 : 100km/h
- 차로 수 : 왕복 4차로
- 종단경사 : 예제(1)과 동일
- 교 통 량 : 목표년도 설계시간 교통량 4,000대/시
  중방향계수(D) 55%
  중차량 구성비 40%
- 지 역 : 지방부[서비스 수준 C (V/C≤0.7) 기준]



<그림 304.26> 속도-경사도에 따른 오르막 차로의 설치(예)

ⅰ) 중방향 설계시간 교통량 산정

DDHV = 4,000대/시×0.55

= 2,200대/시/일방향

ⅱ) 승용차 환산교통량 산정

- 중차량보정계수,

특정경사구간(4%, L=1.5km)

f_{hv} = 1 / [1 + 0.4(2.3-1)] = 0.658

- 승용차 환산교통량

2,200(대/시/일방향)÷0.658

= 3,343승용차/시/일방향

- 서비스 수준산정(1차로 용량 2,200승용차/시/차로)

V/C = 3,343 ÷ 4,400

= 0.76(서비스수준 D)

ⅲ) 교통용량 저하로 오르막 차로를 설치하여 용량을 증대함이 타당

V/C = 3,343÷6,600

= 0.51 (서비스수준 B)

② 오르막 차로 설치가 필요하지 않은 경우

▶ 도로 조건

- 설계속도 : 100km/h
- 차로 수 : 왕복 4차로
- 종단경사 : 예제(1)과 동일
- 교 통 량 : 목표년도 설계시간 교통량 3,500대/시

중방향계수(D) 55%

중차량 구성비 30%

- 지 역 : 지방부[서비스수준 C (V/C≤0.7) 기준]

ⅰ) 중방향 설계시간 교통량 산정

DDHV = 3,500대/시×0.55

= 1,925대/시/일방향

ⅱ) 승용차 환산교통량 산정

- 중차량보정계수

특정 경사 구간(4%, L=1.5km)

f_{hv} = 1 / [1 + 0.3(2.7-1)]

= 0.662

- 승용차 환산교통량

1,925(대/시/일방향)÷0.662

= 2,908승용차/시/일방향

- 서비스 수준산정(1차로 용량 2,200승용차/시/차로)

V/C = 2,908 ÷ 4,400

= 0.66(서비스수준 C)

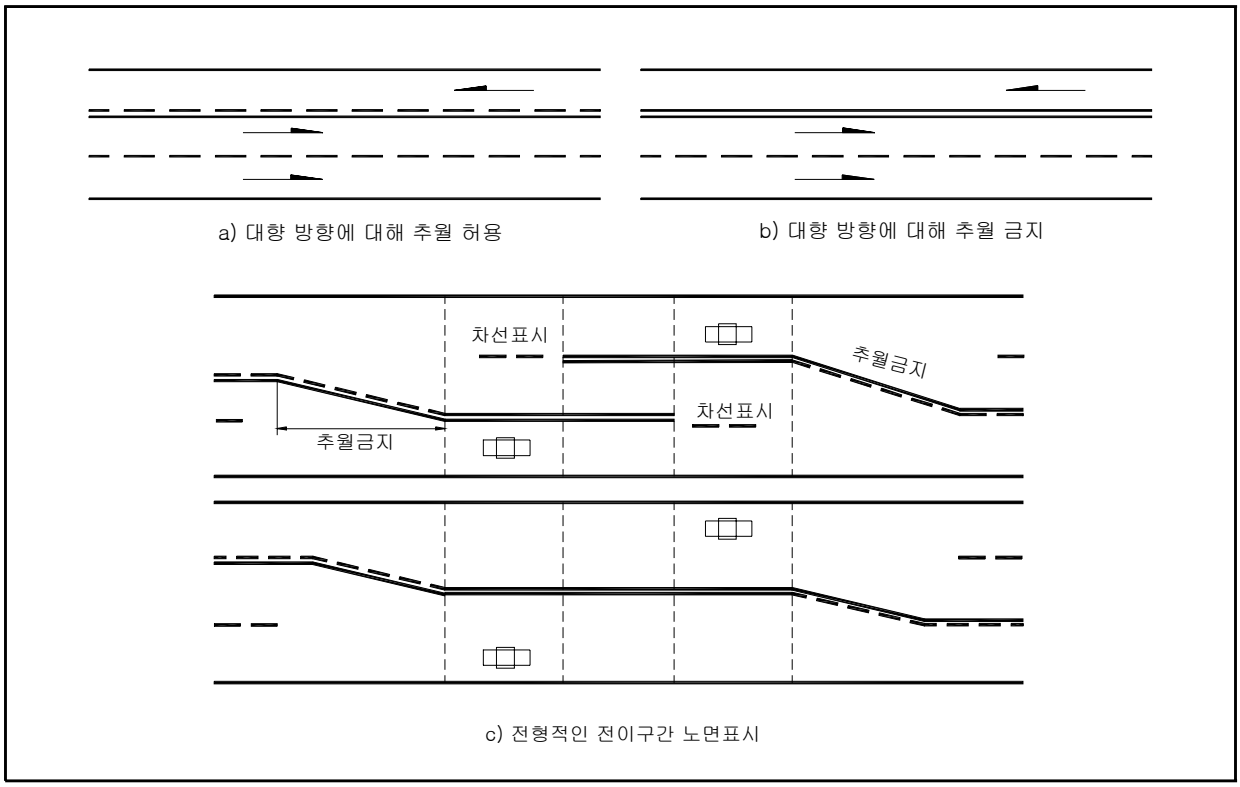
ⅲ) 이러한 경우 중차량으로 인한 교통혼잡이 적으므로 오르막 차로를 설치하지 않아도 된다.

5.2 양보 차로

양보 차로란 양방향 2차로의 추월금지 구간에서 자동차의 원활한 소통을 도모하고, 동시에 도로 안전성을 제고하기 위해 길어깨 쪽으로 설치하는 저속 자동차의 주행 차로를 말한다.

2차로 도로에서는 서비스 수준이 추월 거리의 확보 유무에 지대한 영향을 받는데 앞지르기 시거가 확보되지 않는 경우 적정한 양보 차로를 설치할 것을 권장하고 있다. 양보 차로를 설치하는 방법은 차로 수를 3차로로 하여 가운데 차로를 양방향 교통류에 어느 구간만큼씩 할당하는 것이다.

이렇게 상당한 길이에 걸쳐서 반복적으로 양방향에 양보 차로를 할당할 경우, 두가지 차로 운용 방법이 있는 바, <그림 304.27> (a), (b)와 같이 1차로 방향에서도 앞지르기시거가 확보되는 구간에 추월을 허용하는 방법과 일차로 방향에서는 추월을 허용하지 않는 방법이 있을 수 있다. AADT가 3,000대를 넘을 경우 1차로 방향에서의 추월을 금지하도록 권장되고 있다. 이렇게 양보 차로를 연속적으로 설치하는 방법 외에 지형에 따라 간헐적으로 3차로를 설치하여 운용할 수도 있다.



<그림 304.27> 양보 차로의 설치 예

5.2.1 양보 차로 설치구간의 선정

(1) 앞지르기 요구 횟수의 산정 방법

양보 차로의 설계에 고려되는 사항들은 주로 저속 자동차에 의해 지체되는 시간과 대기열의 크기이다. 따라서 저속 자동차에 의해 어느 정도의 시간 동안 지속적으로 지체되었거나 대기열의 크기가 어느 정도 이상으로 되면 고속 자동차들은 앞지르기 금지구간에서도 중앙선을 넘어 추월하는 등의 비정상적인 움직임을 보이게 되므로 교통류의 도착률, 도로의 시설 현황, 최대 지체가능 시간 및 대기열의 크기를 관련시켜 추월 요구 횟수를 분석해야 한다.

(2) 앞지르기 기회의 산정

일반적으로 앞지르기 기회는 앞지르기 금지구간 백분율에 의해 표시되나 이는 반대편 교통량의 영향을 무시하기 때문에 실제적으로는 앞지르기 기회의 산출은 앞지르기 시거와 반대편 차로의 교통량을 고려해야 한다.

자동차군 맨앞 자동차의 속도가 낮으면 앞지르기 시거 확보구간이 비록 작다 하더라도 어느 정도의 추월이 이루어지지만 속도가 높으면 앞지르기 시거 확보구간이 커야만 추월이 이루어진다.

또한 앞지르기 시거가 충분히 확보되더라도 자동차 속도가 높으면 거의 추월하지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 실제로 도로상에서 발생하는 상황을 매우 적절히 설명하는 것으로 추월 기회의 산정에 이론적 근거가 될 수 있다.

이와 같은 사항을 통해 볼 때 추월 가능 구간을 아무리 많이 확보한다고 하더라도 실제 운전자들은 반대편 차로에서 진행하는 교통량들을 인식하기 때문에 어느 정도 추월에 지장을 받게 된다. 따라서 도로공학적 입장에서는 추월 가능 구간의 확충보다는 양보 차로를 설치하여 저속 자동차로 인해 발생하는 교통 운영의 비효율성을 줄이는 것이 더욱 바람직하다.

<표 304.32>는 추월 기회 백분율과 소통 상태와의 관계를 나타낸 것이다.

<표 304.32> 추월기회 백분율과 소통 상태와의 관계

소통 상태	추월기회 백분율(%)	AADT (대/일)		
		5[a]	10	20
매우 양호	70 - 100	5,670	5,000	4,330
양 호	30 - 70	4,530	4,000	3,470
보 통	10 - 30	3,330	3,000	2,670
부분 제한	5 - 10	2,270	2,000	1,730
제 한	0 - 5	1,530	1,330	1,130
완전 제한	0	930	800	670

주) a는 중형차 혼입률

(3) 설치 대상 구간의 선정

이상과 같이 검토한 추월요구 횟수 및 추월기회 등을 고려한 결과, 추월기회 백분율이 적정 수준에 미달되면 양보 차로를 설치한다.

2차로 도로에서 추월기회의 백분율이 30%가 확보되지 않는 도로구간은 양보 차로를 설치하는 것이 적절하다.

5.2.2 양보 차로 설치구간에서의 설계

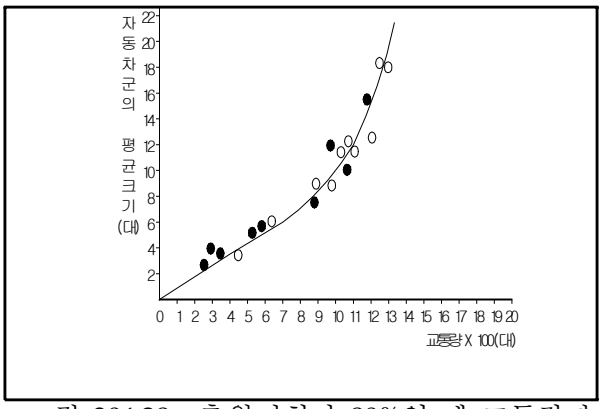
(1) 양보 차로의 위치

양보 차로의 결정에 가장 중요한 것은 추월금지구간으로부터 어느 정도 거리를 지나면 추월요구 횟수가 한계에 이르는지를 분석하는 것이다. 이외에도 운전자들이 느끼는 위치의 타당성과 양보 차로 설치에 소요되는 공사비, 그리고 전후의 도로상황 등이 고려되어야 한다.

이론적으로 볼 때는 저속 자동차에 의해 지체되는 교통류의 지연 시간을 양보 차로를 설치함으로써 최대한 감소시킨다는 점이 중요하다.

이러한 관점에서 양보 차로의 위치를 선정하기 위해서는 우선 자동차군의 최대 길이를 결정해야 한다. 자동차군의 최대 길이를 결정하면 추월금지구간의 시점으로부터 최대 길이를 형성하기까지 소요된 시간을 알 수 있게 되므로 자동차군의 평균주행속도를 기준으로 해서 그곳의 위치를 산정할 수 있게 된다.

자동차군의 최대 길이는 일반적으로 도로시설의 수준과 교통량에 따라 변화한다. <그림 304.28>는 추월 기회가 80%일 때 교통량에 대한 자동차군의 평균 크기를 도시한 미국의 예이다. 이는 2차로 도로의 용량에 기준한 것으로 볼 수 있으며 일반적으로 추월 기회가 극도로 제한되어 있을 때를 고려한 것이다.



<그림 304.28> 추월기회가 80%일 때 교통량과 자동차군 길이와의 관계

(2) 양보 차로의 길이

양보 차로는 원칙적으로 자동차군을 형성하고 있는 자동차들이 모두 지나갈 수 있는 만큼의 길이를 갖도록 설계되어야 한다. 그러나 2차로 도로에서 너무 긴 구간을 양보 차로로 설치하는 경우, 운전자들은 양보 차로를 4차로 도로로 착각하여 교통사고 발생의 위험을 유발시키게 되므로 적정한 길이로 설치하는 것이 매우 중요하다.

이와 같은 관점을 고려하여 실무자들이 적용할 수 있는 양보 차로의 설치 길이는 <표 304.33>와 같다.

<표 304.33> 양보 차로의 길이

한 방향당 교통량 (대/시간)	양보 차로의 길이 (m)
100	800
200	800～1,200
400	1,200～1,600
700	1,600～2,000

(3) 양보 차로의 설치 간격

양보 차로의 설치간격을 결정할 때 중요한 것은 교통류의 원활한 소통을 이루기 위해 필요한 개선의 정도이다. 일반적으로 양보 차로를 설치하게 되면 5~13km 정도는 자동차군 크기가 감소하게 되며 감소의 정도는 교통량과 추월 기회의 크기에 따라 정해지게 된다.

저속 자동차에 의한 교통류의 지연 시간이 많지 않은 경우 양보 차로 간격을 16~24km 정도로 크게 하는 것이 바람직하나 운전자들의 조급한 마음을 완화시키기 위한 방법으로 다음 양보 차로의 위치를 표지에 의해 표시할 수도 있다. 한편 교통량이 많고 추월기회가 확보되지 않는 경우에는 양보 차로 설치 간격을 5~8km까지 감소시킬 수 있다.

(4) 양보 차로의 테이퍼

양보 차로의 테이퍼는 차로 폭과 길어깨 폭을 고려하여 결정하며 일반적으로 차로의 증감시 사용하는 테이퍼 기준을 그대로 적용하는 것이 좋다. 양보 차로의 시작 부분에 대한 테이퍼는 양보 차로의 끝부분에 대한 테이퍼의 약 2/3 정도를 사용한다.

양보 차로를 설치했다 할지라도 많은 자동차들이 양보 차로를 사용치 않는다면 양보 차로 설치 효과는 감소하게 되므로 양보 차로의 시작부분에 충분한 시거를 확보하고 그 외에도 주변 시설을 확충하여 저속 자동차로 하여금 양보 차로를 많이 이용하도록 유도해야 한다.

5.2.3 양보 차로 설치 구간의 표지 설치

양보 차로를 설치할 경우 양보 차로 진입 전에 운전자들이 충분히 인지할 수 있도록 표지를 설치하여야 하며, 그 규격 및 설치 위치는 건설교통부 발행 「도로표지규칙」에 따른다.

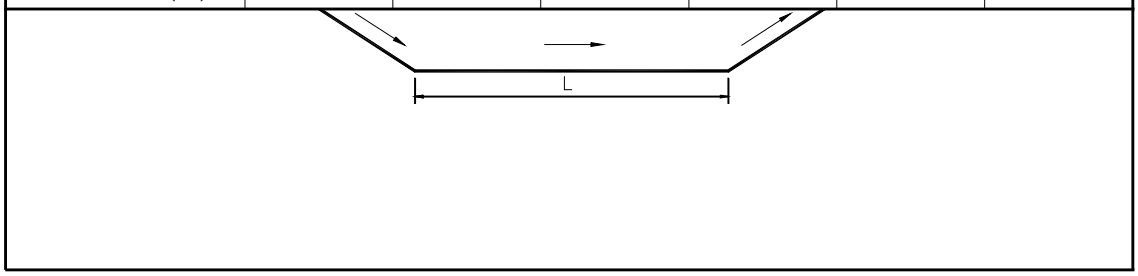
5.2.4 턴아웃

산지부 도로에서는 2차로 도로에서의 서비스 수준을 향상시키기 위해 추월금지 구간에서 양보 차로의 일종인 턴아웃(turnout)을 사용한다. 턴아웃은 2차로 도로의 한쪽 차로에 설치하여 저속 자동차의 양보를 유도하기 위한 시설물로서 오르막 경사 및 내리막 경사는 물론 평지에서도 교통류의 서비스 수준을 높이기 위해 설치된다.

이 방법을 적절히 사용하는 경우 자동차 지체 시간이 상당히 감소되며 이에 대한 안전성도 인정되고 있다.

턴아웃의 최소 길이 L은 접근 속도에 따라 달라진다. <그림 304.29>는 미국의 도로 교통용량편람에 의한 자료이며, 하단부의 그림은 턴아웃의 설치 예이다.

접근 속도(km/h)	40	50	60	70	80	90
최소 길이(m)	60	75	90	100	120	150



<그림 304.29> 2차로 도로의 턴아웃 최소 길이와 설치 예

5.3 변속 차로

본 내용은 편람 '제3편 기하구조'의 '306 평면교차, 307 입체교차' 항을 참고한다.

5.4 회전 차로

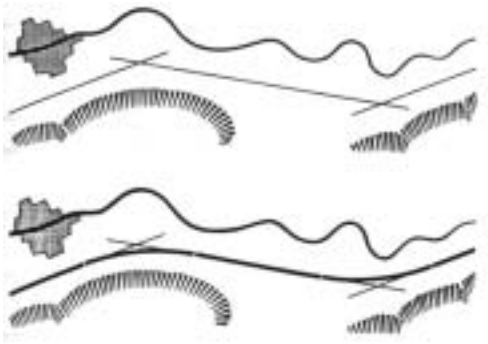
본 내용은 편람 '제3편 기하구조'의 '306 평면교차' 항을 참고한다.

304.6 선형설계의 운용

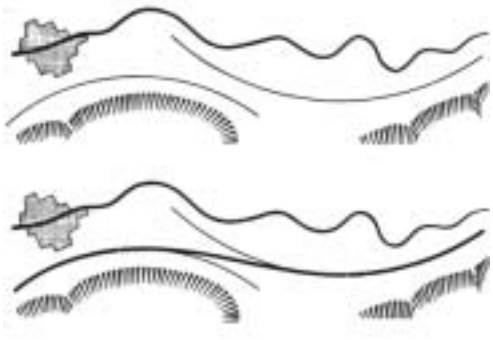
6.1 선형설계의 기본 방침

도로의 선형설계에서 가장 중요한 사항은 첫째, 일정 구간의 도로선형은 갑작스런 변화를 주지 않기 위해 일관성 있는 기준에 의해 설계되어야 한다는 점이며 둘째, 평면선형과 종단선형은 서로 보완할 수 있도록 입체적인 형상이 안전하고 효율적으로 구성되어야 한다.

도로 구조의 기본 골격이 되는 평면선형의 설계에 있어서, 전통적인 설계수법은 도로선형의 직선을 먼저 설정하고, 이를 원호로 연결하는 <그림 304.30>의 ① 방법이 사용되어 왔다. 그러나 물흐르는 듯한 연속적인 곡선형의 선형설계가 바람직한 것으로, <그림 304.30>의 ② 방법과 같이 주어진 지형 조건 등에서 먼저 기본이 되는 원곡선을 실용상 가능한 범위에서 완만한 평면 곡선반경으로 선정하고 이들 원곡선 간을 적절한 클로소이드 곡선으로 연결한다.



① 평면도상에 적당한 접선을 긋고, 그것들을 곡선으로 연결한다.



② 평면도상에 적당한 원호를 그리고 그 사이에 완화곡선을 넣는다.

<그림 304.30> 평면선형 결정 방법

6.2 평면선형의 설계방법

6.2.1 평면선형 설계의 고려사항

평면선형의 설계시, 다음에 기술하는 사항에 따라 연속적이고 원활한 선형이 얻어질 수 있도록 노력해야 하며, 동시에 주변 경관과의 조화가 이루어지도록 해야 한다. 평면선형 설계의 일반적 고려사항은 다음과 같다.

- 선형은 주변 지형과 조화를 이루어야 한다.
- 선형은 연속적인 것이어야 한다.
- 앞뒤의 선형은 좋은데 일부 구간에서 급한 평면곡선반경을 사용하는 일은 피해야 한다.
- 도로 교각이 작은 경우에는 곡선반경이 실제보다 작게 보이는 착각을 방지하기 위해 충분한 곡선반경을 확보해야 한다.
- 높은 성토가 연속되는 구간에는 곡선반경을 될 수 있는 대로 크게 한다.
- 직선, 원곡선, 완화곡선 간의 조화로운 관계를 유지하며, 또한 클로소이드-원곡선-클로소이드의 선형 구성인 경우에 두 클로소이드의 파라미터를 반드시 같게 할 필요는 없고 지형조건 등에 따라서 비대칭의 곡선형으로 하여도 좋다.
- 직선을 낀 두 평면곡선부가 반대방향으로 설치하기 위하여 어쩔수 없이 짧은 직선부를 두 곡선 사이에 설치하여야 할 때에는 직선의 길이를 다음 조건에 만족하도록 하여야 한다.

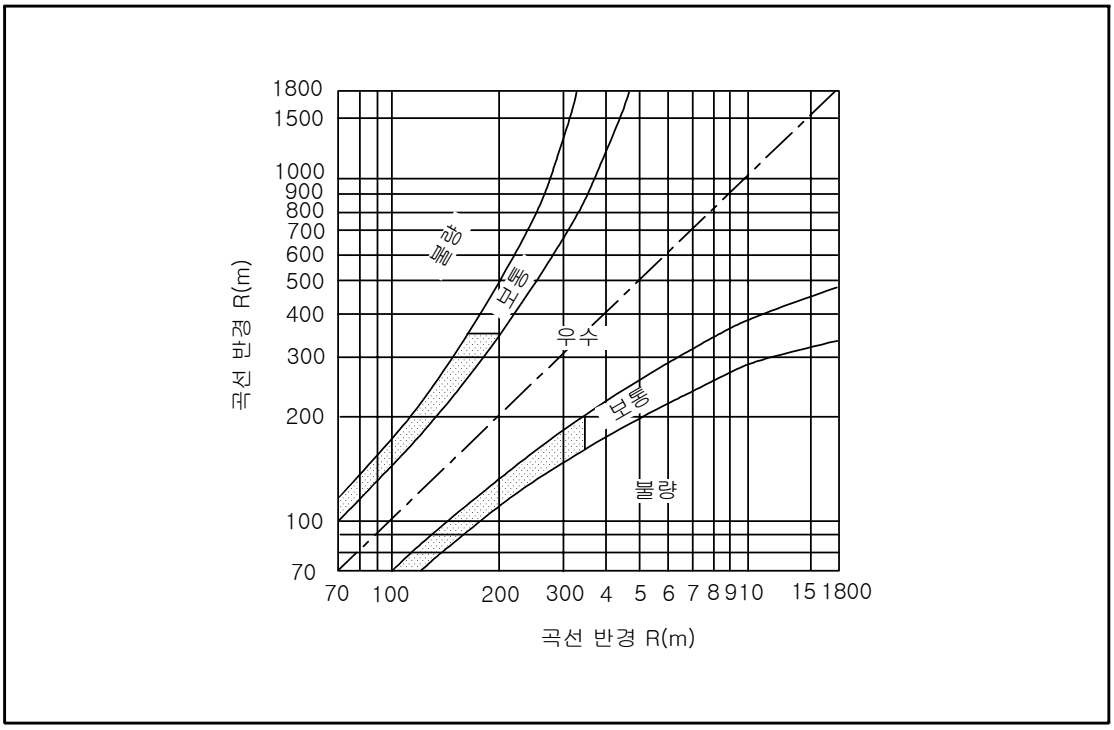
$$l \leq \frac{A_1 + A_2}{40}$$

여기서, l : 두 평면곡선 사이의 직선 길이(m)

A_1, A_2 : 클로소이드의 파라미터

- 두 원곡선을 같은 방향으로 복합시킬 경우에는 큰 원의 반경이 작은 원의 반경에 1.5배 이하가 되도록 하는 것이 좋다.

<그림 304.31>은 독일 'RAS-L-1'에서 제시하는 두 원곡선 간의 반경 비율이다. '우수', '보통', '불량'의 영역으로 구분되어 있으며 우리나라 자동차 전용도로의 경우 '우수', '보통'에 해당하는 기준을 추천한다.



<그림 304.31> 인접한 두 원곡선 반경의 조화

6.2.2 평면선형의 설계 방법

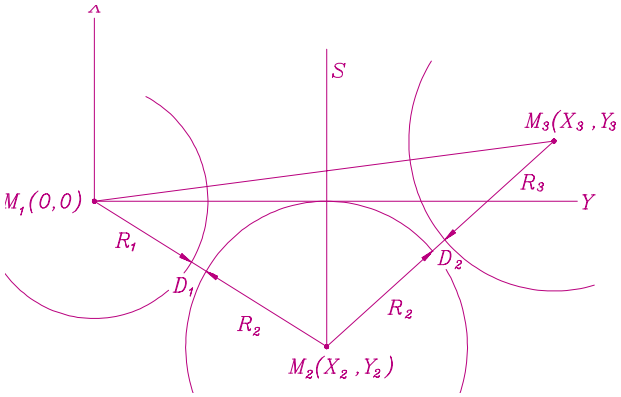
평면선형 설계란 기본 설계시 선정된 기본 선형에 근거를 두고 정밀도가 높은 1/1,200 지형도에 지형 지물에 대한 선형의 적합, 기준점(control point)에 대한 대책 등을 기본적으로 검토하고, 도로 중심선을 최종 결정하는 작업으로 그 순서와 방법은 다음과 같다.

① 1/5,000 지형도의 기본 선형을 기초로 하고, 항공사진을 도면화한 1/1,200 지형도상에 원곡선 정규와 클로소이드 정규를 사용해서 도해법으로 선형을 기입한다.

② 이 중심선에 대응하는 개략 종단면도를 작성하고 절토, 성토, 교량, 터널 및 수로 등을 기입해서 개략적인 평면도를 작성한다.

③ 평면도 상에서, 철도 등의 시설과의 교차방법이나 대체도로 등의 설치방법이 타당한가와 기준점 저촉의 유무를 검사하고, 필요하면 선형을 수정하며, 도해법에 따른 최종적인 중심선을 결정한다. 또한 이 작업에 선행하여 험준한 지형에서 항공사진을 도면화한 지형도가 실제 지형과 오차가 지나치게 크리라고 우려되는 경우에는 현지에서 실제 측량을 시행하여 지형도를 수정한다.

④ 중심선을 최종 결정하기 위해 좌표 계산을 한다. 계산 방법은 도해법과 마찬가지로 기준점에 가까운 두 개의 원곡선(<그림 304.32>참고) R1, R3을 고정된 것으로 하며 그 사이에 끼워진 원곡선 R2의 중심점 좌표를 구하고, 이어서 원과 클로소이드 곡선의 접속점인 주요 점(KA, KE 등)의 좌표를 단위 클로소이드 표를 이용해서 구한다. 그리고 최종적으로 이들 좌표에 근거해서 주요점을 전술한 1/1,200 지형도에 구상하고 이것을 곡선자로 연결해서 도상의 도로 중심선을 결정한다.



S : M_1, M_3 사이의 거리

D1 : M_1, M_2 원주 사이의 거리

D2 : M_2, M_3 원주 사이의 거리

d : 방위각, θ : M_1 중심각

<그림 304.32> S형인 경우에 원의 각 요소

6.3 종단선형의 설계 방법

6.3.1 종단선형 설계의 고려 사항

종단선형 설계시, 다음의 설계 고려사항에 따라서 건설에 따른 경제성을 고려하면서 안전하고 쾌적한 자동차의 주행성을 고려하여야 하며, 평면선형과의 관련에 있어서 시각적으로 연속적이면서 원활한 선형으로 설계한다.

- 종단경사에 따라서 주행속도는 크게 달라지며 도로용량도 영향을 받으므로 자동차 성능을 고려함이 중요하다.
- 내리막 경사는 사고로 연결되기 쉽다. 그리고 오르막 경사는 트럭 등의 중차량의 속도저하가 현저하여 원활한 교통 흐름을 저해하므로 오르막 경사가 있는 곳은 오르막 차로를 설치해야 한다.
- 종단선형의 양부(良否)는 평면선형과 관련하여 결정되는 경우가 많으므로 평면선형과의 관계를 고려하고, 입체 선형으로서 양호하게 한다.
- 장대터널에서 환기 설비가 필요한 환기설비의 비용을 절감시키는 데는 터널 내의 오르막 경사를 완만하게 하여 자동차의 톱 기어 주행을 가능토록 해서 배기가스량을 최소로 할 필요가 있다. 이를 위해, 장대 터널에는 최대 오르막 경사를 2%로 하고 특별한 경우에도 3%를 넘지 않도록 하나, 지형상 특별한 사유로 더 급한 오르막 경사를 적용한 경우는 자동차의 배기 가스 제거에 지장이 없도록 충분한 환기시설을 설치한다.

6.3.2 종단선형의 설계 방법

종단선형을 결정하는 순서는 다음과 같다.

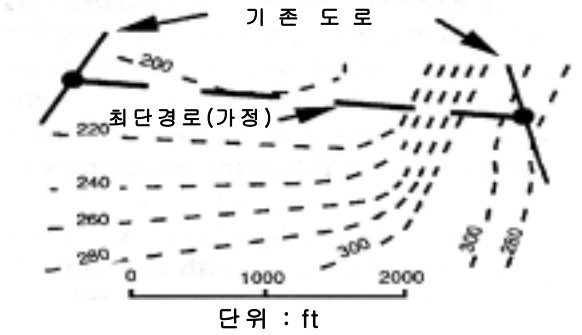
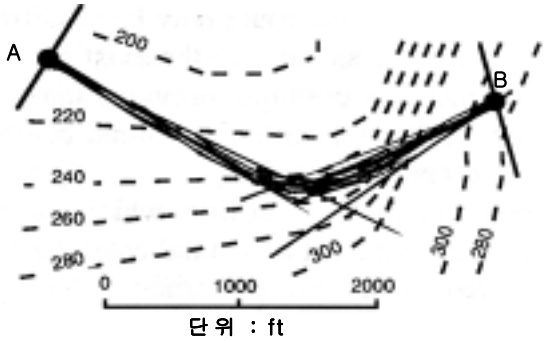
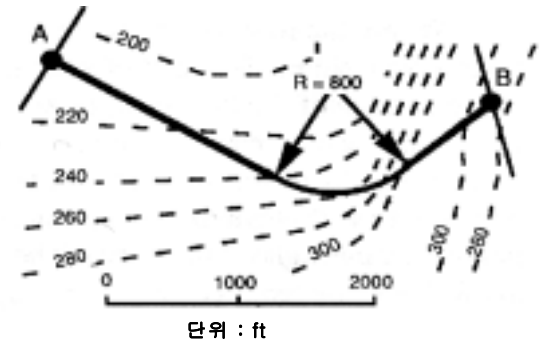
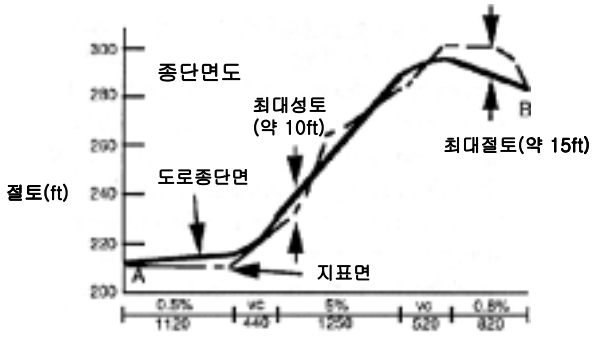
① 지형의 변화에 따른 요철에 맞추어서 기준점이나 흙깎기·흙쌓기의 균형 등의 조건으로 종단경사를 설정
② 종단경사를 연결하는 직선의 기본형을 결정
③ 기본형에 따라 종단경사의 변화점에 종단곡선을 적절한 길이로 삽입
④ 일련의 작업을 시행착오적으로 반복하여 자동차의 주행조건과 건설비의 관계를 조정해서 최종적으로 결정

위의 작업 과정에서 유의사항은 다음과 같다.

- 종단곡선의 변화비율은 자동차의 주행에 대해서 충격 완화에 필요한 최소한의 길이로 하여 역학적으로 계산하거나 정지시거 확보에 필요한 최소 길이로 규정한다.
- 위의 충격 완화와 시거에 의해 만족된 것이라도 운전자에 대한 심리적 쾌적성이 확보되어야 한다.
- 인간의 시각은 본래 경사 그 자체를 인지하기에는 그다지 민감하지는 않으나 경사차의 인식은 민감한 특성이 있다.
- 시각적 원활성을 얻기 위해 기준치 이상의 종단곡선 길이를 확보하는 것은 설계 및 시공에서 어렵기는 하나, 연속적으로 물 흐르는 듯한 인상을 주어 쾌적한 주행을 보장한다. 그러나 배수의 문제가 유발될 수 있으므로 유의한다.

6.4 선형결정의 단계별 작업 예

<그림 304.33>는 '평면선형 결정을 위한 단계별 수행 내용'을 예제를 통해 설명하고 있다. (출처 : J. G. Schoon(ASCE) , GEOMETRIC DESIGN PROJECTS FOR HIGHWAYS An Introduction, 1993)

예제 : 최대 종단경사 6%, 최소 횡단경사(배수 목적) 0.5%, 최소 평면곡선 반경 800ft, 최소 종단곡선 길이 400ft, 최대 절토 및 성토 깊이가 20ft인 도로로 A와 B를 연결하라.	
제1단계 : 최단 경로를 따라 지형을 검토하고, 경로를 따라 가장 급한 종단경사를 개략 산출한다. 가장 급한 경사는 X점과 Y점 사이(등고선에 의한 고도 차이의 검토)이며 15% 이상의 경사로 인해 수평거리 800ft에 약 125ft가 증가된다. 이는 허용 경사보다 2배 넘게 가파른 것이고 절토 및 성토 깊이가 과다하다. 따라서 덜 가파른 대안 경로를 구한다.	
제2단계 : 종단경사가 감소되는 새로운 시험 선형을 스케치한다. 여기에 나타낸 것은 손으로 그린 것이며 곡선부를 포함하고 있는데, 반경은 대략 최소 평면곡선 반경보다 같거나 크다. 제2단계의 평면 선형이 등고선을 따라 우회하므로 제1단계보다 덜 가파르게 될 것이다.	
제3단계 : 곡선부를 만들고 측정하기 위해 컴퍼스와 템플릿으로 재어서 제2단계의 스케치를 치수가 있는 직선 및 원호로 변환한다. 또한 제안된 도로와 기존 도로의 교차로가 운전자 시거 필요조건을 돕기 위해 90°에서 약 ±15°이내가 되도록 한다.	
제4단계 : 6% 종단경사와 20ft 절토 및 성토 깊이 조건에 만족하는 도로의 종단면을 그리고 절토 및 성토의 균형을 맞추기 위해서도 이용된다. 위의 제3단계 선형에 대하여 수용 가능한(비록 유일한 것은 아니지만) 종단면을 보여준다. 또한 기존 도로와 교차하는 제안된 도로 부근의 종단경사는 시거 요구조건에 도움이 되도록 최대 2% 정도가 되도록 하는 게 바람직하다. 최소 횡단경사 요구조건 0.5%에도 적합해야 한다.	

<그림 304.33> 평면선형 결정을 위한 단계별 수행 내용

6.5 평면선형과 종단선형의 설계와 조합

곡선부에서의 시계는 안전운행에 큰 영향을 미친다. 만약, 평면선형과 종단선형이 따로 설계되거나 적절히 조화를 이루지 못하면 아주 부적절한 꼴이 되어 운전자에게 미치는 역효과가 크다.

평면선형과 종단경사의 결합은 도로의 주요 구간과 연결로나 교차로 등 방향 전환을 하는 곳에서도 균형과 조화를 이루어 설치되어야 한다. 속도를 줄일 필요가 있으면서 평면곡선과 종단곡선이 연결되는 곳에는 이 평면 곡선부를 오르막길에 설치하는 것이 좋다.

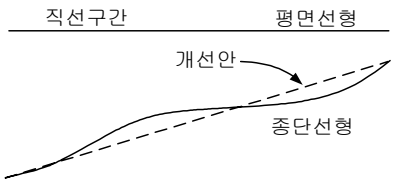
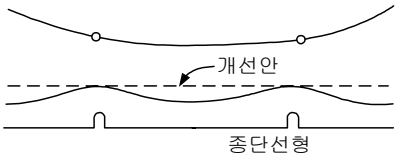
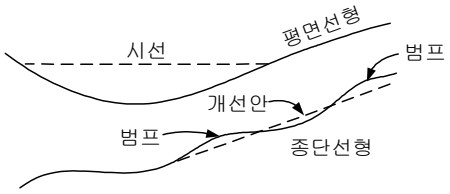
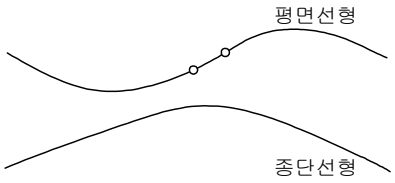
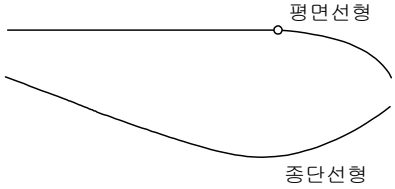
어떤 경우이든 충분한 시거가 확보되어야 하며 특히 곡선부가 시작되는 부분을 멀리서 잘 볼 수 있도록 하는 것이 안전 측면에서 대단히 중요하다. 연결로의 끝 부분에 곡선부가 설치된다면 이러한 모양이 눈에 잘 띄어야 되며 또 적절한 감속 거리가 반드시 필요하다. 급한 평면곡선이 볼록 곡선의 정상 부근이나 오목곡선의 하단부에 설치되면 매우 위험하다.

적절한 배수를 위하여 배수로 경사와 배수공 등을 포함한 배수의 흐름을 충분히 검토하여야 한다. 인터체인지와 같은 다소 복잡한 곳에서는 도로구간 전체에 대한 등고선을 그려 적절한 배수 시설을 설계하는 것이 좋다. 연석이 설치된 도로에 편경사를 설치할 경우 노면 배수를 반드시 고려해야 한다. 특히, 연석으로 된 중앙분리대가 연속으로 설치되어 있으면 배수 문제는 더욱 까다롭다.

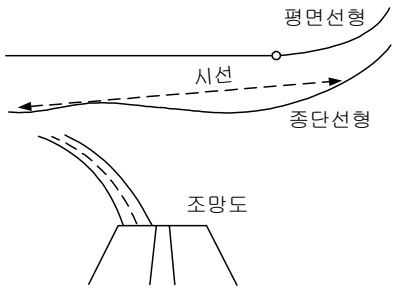
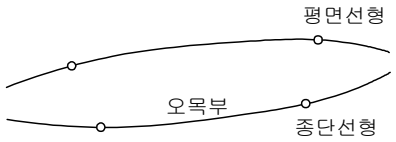
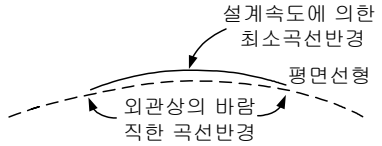
다음은 선형 조화를 위한 일반적 방침이다.

- 선형의 시각적 연속성의 확보
- 선형의 시각적, 심리적 균형의 확보
- 도로 환경과의 조화 고려

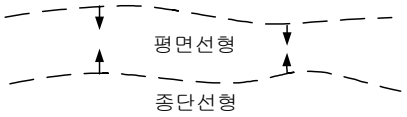
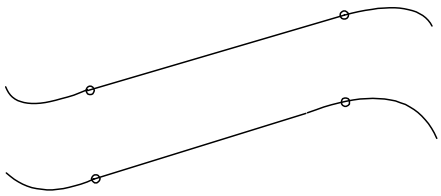
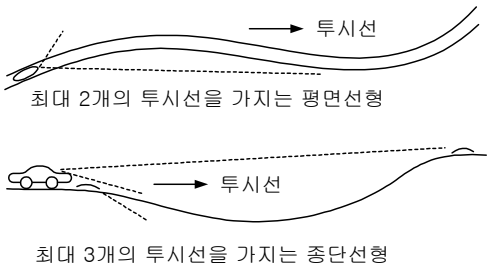
<그림 304.34>은 평면선형과 종단선형의 조합을 관계 그림으로 도식화한 것이다.

그림1 길고 일정한 경사가 지속되는 구간에 중간이 푹 패어 보이는 선형 설계는 피해야 한다. 이러한 것들은 흙깎기와 흙쌓기의 균형을 맞춰 토공량을 감소시키고자 하는 노력이 지나쳐서 초래된다.	
그림2 곡선 경사구간에서 짧은 돌출부가 나타나는 설계는 피해야 한다.	
그림3 긴 경사구간을 갖는 직선 선형의 시선상에서 종단곡선이 반복되는 굴곡은 피한다.	
그림4 : 두 개의 평면 곡선부 사이의 정점에 위치한 짧은 직선구간 두 곡선 사이의 직선이 너무 짧고, 종단면의 정점부에서 발생하므로 열악한 선형이 된다.	
그림5 : 가파른 경사를 가진 것처럼 보이는 외형 급한 경사를 가진 것처럼 보이므로 좋지 않다.	

<그림 304.34> 도로설계에서 평면선형과 종단선형과의 관계

그림6 : 분절의 영향 선형으로 인해 운전자가 평면곡선의 시작부를 볼 수 없는 경우가 발생하며 연속적인 곡선 선형은 중간 정점 이후에서 볼 수 있게 된다.	
그림7 : 평면곡선과 종단곡선의 결합 평면 및 종단선형 곡선이 같은 구간에 위치할 때 매우 만족스러운 외형이 나오게 된다.	
그림8 : 평면곡선과 종단곡선이 반대되는 곡선 평면곡선과 종단곡선이 반대되는 경우에도 매우 만족스러운 외형이 나오게 된다.	
그림9 : 종단선형과 관계없이 작은 중심각을 갖는 적합한 완만한 평면곡선 설계속도에 의해 제한받지 않을 정도의 매우 긴 완만한 곡선부라도 중심각이 매우 작을 때, 만족할 만한 외형이 나오게 된다.	
그림10 : 정점 부분에서의 평면곡선과 종단곡선의 결합 평면곡선과 종단곡선이 동시에 발생하는 전형적인 사례 선형의 경우로, 효과적인 3차원 S-곡선을 구현하며 볼록하고 오목한 나선으로 구성된다.	

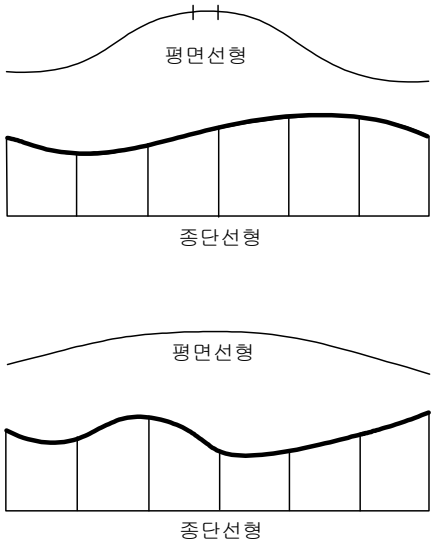
<그림 304.34> 도로설계에서 평면선형과 종단선형과의 관계 (계속)

그림11 : 한 단계 건너뛴 정점 부분에서 곡선 간의 결합 평면곡선에서 한 단계 건너뛰지만 정점 부분에서 동시에 발생한다. 평면선형에서 긴 직선부분은 종단곡선의 곡률에 의해 부드러운 느낌을 준다.	
그림12 : 평면선형과 종단선형과의 열악한 조정 종단면의 정상이 평면선형의 변곡점에서 일치되므로 열악한 선형을 보여준다. 이런 경우 편경사는 볼록부분과 오목부분에서 발생되며, 볼록과 오목부분은 표준 횡단경사 구간에서 형성된다.	
그림13 : 평면선형에서의 균형 우측 첫 번째 그림은 선형이 짧은 곡선부를 가지는 긴 직선으로 구성되어 있기 때문에 잘못된 설계의 사례이다. 반면에 우측 두번째 그림은 선형에서 곡선과 직선간의 조화를 이루는 바람직한 설계이다.	
그림14 : 평면선형과 종단선형의 양호한 조합	

<그림 304.34> 도로설계에서 평면선형과 종단선형과의 관계 (계속)

그림15 : 평면선형과 종단선형의 부조화

브로큰 백 현상으로 인하여 시각적으로 열악한 선형이 된다.



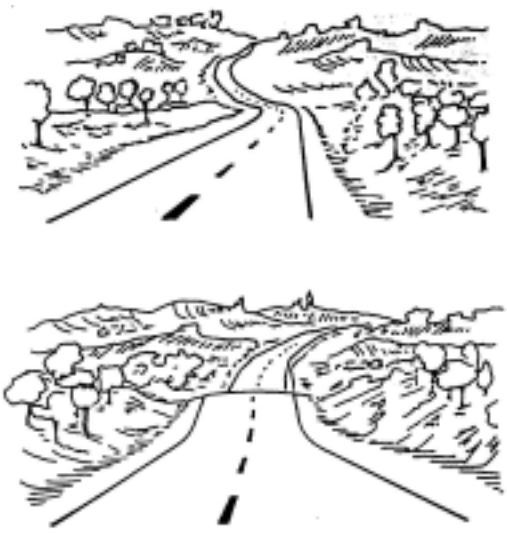
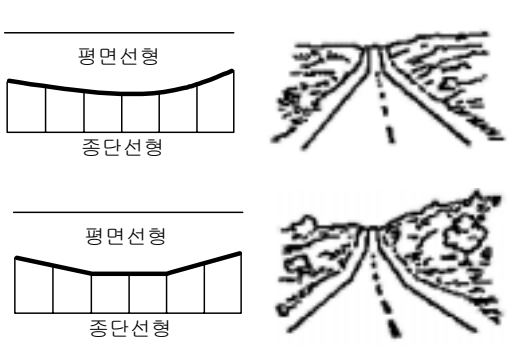
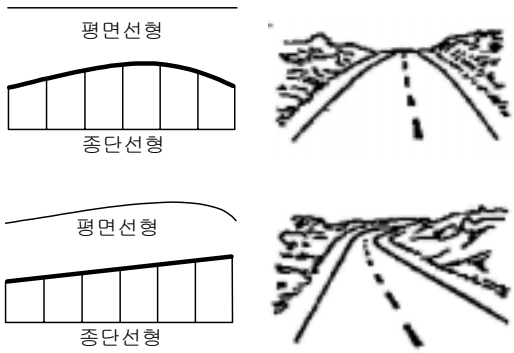


그림16 :

긴 평면선형이나 완만한 종단선형을 가지는 구간에서 급변하는 짧은 구간의 삽입은 피한다.





<그림 304.34> 도로설계에서 평면선형과 종단선형과의 관계

6.6 선형 설계시 미적, 환경친화적 고려사항 (도로경관설계)

6.6.1 도로경관설계의 개념 및 주요 관점

(1) 목적

환경, 문화자원의 보전 및 인류의 쾌적한 생활환경에 대한 연구 및 그것을 실현하는데 있다. 그리고 지금까지 행해진 토지이용, 교통계획 등의 기능적인 측면을 중시한 계획과는 달리 도로, 건축, 광장, 녹지의 구성요소 형태와 사용자의 생활 스타일을 중시한 설계 과정을 통해 효과적인 계획을 실행하는 데 있다.

(2) 주요 관점

도로 경관설계는 해당 도로의 기능, 성격, 속도, 통과지역의 특성 등에 따라 설계 주안점 및 기법을 달리하며, 내부경관 및 외부경관이 만족될 수 있도록, 도로 자체만의 설계뿐만 아니라 연도 지역의 건물이나 토지이용, 자연환경과 이루는 경관적 측면의 검토를 수행한다.

① 도로 선형의 조화 : 최근의 컴퓨터를 이용한 도로 전산 설계가 수행되고 있으며, 투시도 기법(perspective drawing)에 의한 선형 검토 또는 모형 분석 등으로 발전
② 입체 교차 시설의 설치 : 인터체인지 내의 남는 공간에 자연 늪지를 재생시키는 등 자연 환경의 유지로 경관의 조성과 생태학적 환경을 보존토록 설계
③ 평면 교차로 개선 : 교차로의 선형 개량과 도류화 등을 수행
④ 보행자 도로의 설치 : 지방부에서 주민의 보행 통행 또는 자전거, 경운기 통행을 위한 설치와 신체장애자 및 노약자 시설에 대한 환경개선
⑤ 도로 비탈면 대책 : 자연 경관 및 보호 측면은 식생이 바람직하며 구조물 처리시에는 무늬거푸집을 사용하는 것 등, 세심한 설계 수행
⑥ 포장 : 경관을 중시하는 지역에서는 착색 포장 등의 고려하여 환경 개선 도모
⑦ 구조물에 대한 경관 : 교량 또는 터널 구조물을 설치하여 최대한 자연 지형을 보존
⑧ 폐도 부지의 활용 : 도로 소공원, 농산물 집하 및 직매장, 비상주차대 등 다각적 활용방안을 검토하여 경관 조성을 도모

(3) 대상

경관의 중심이 되는 사물과 그 주변환경으로 나눈다. 전자를 특히, '주대상'이라고 부르며, 경관의 주대상이 무엇이고 또한, 그 주변과의 관계를 통해 경관은 구별된다.

경관의 주대상(중심으로 보이는 것)이 도시 건축물이 되면 '도시경관', 밭이나 논이 된다면 '전원경관'이라 부른다.

6.6.2 도로경관설계의 특징 및 구성요소

(1) 도로경관의 특징

- 도로 내·외에 시점이 있고, 그 위치의 변화에 의해 경관이 달라지는 것
- 도로 내의 시점은 이동하므로 시점의 위치와 이동속도에 의해 각각 경관이 달라지는 것 등이며, 이러한 시점의 특성으로 도로경관은 <그림 304.35>과 같이 구분된다.

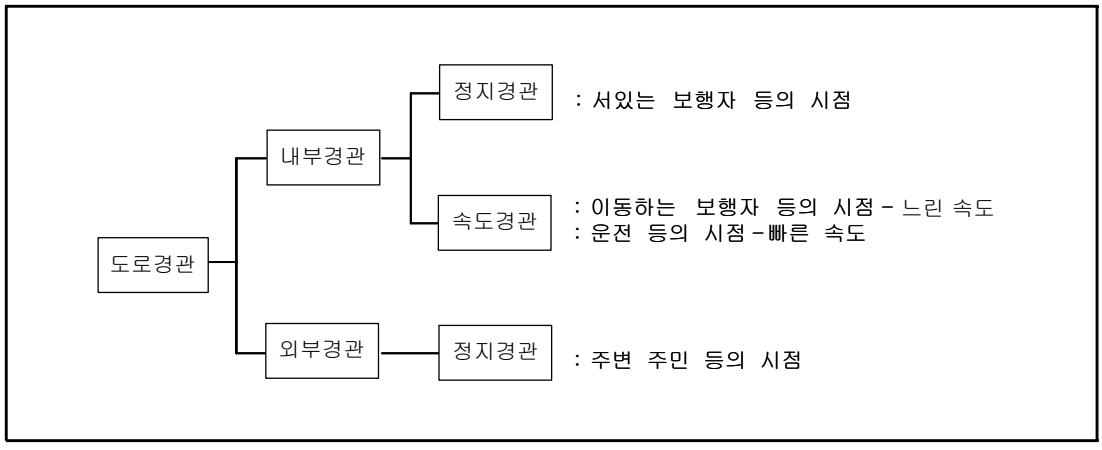
(2) 도로경관설계의 중심

- 도로 내의 시점에서는 도로 내의 구성 요소인 횡단구성, 포장면, 도로부속물 시설이 중심이 됨
- 도로의 시점에서는 교량과 경사면 등의 측면적 계획이 중심이 됨
- 시점의 이동속도가 빠른 경우에는 도로본체와 부속 전체 형상의 균형 등이 중심이 됨
- 고정된 시점 또는 이동속도가 비교적 느린 시점에서는 도로의 포장과 부속물의 재질, 형상 등 상세부분이 경관의 중심이 됨

(3) 도로경관의 구성요소

도로경관의 대상은 도로요소, 도로주변요소, 원경요소 등으로 구성되어 있고 이 요소들이 조화를 통해 좋은 경관이 될 수 있다.

<표 304.34>는 도로경관의 세부 구성요소이다.



<그림 304.35> 도로경관의 구분

6.6.3 도로경관설계의 시각화 방법

경관 검토를 진행함에 있어서 경관 대상자가 장래에 어떤 상황으로 변할 것인지, 현 대상지가 경관 안에서 어떻게 변화할 것인지, 주변 환경에 어떠한 영향을 미칠 것인지, 이용자의 입장에서 어떻게 보여지고 이러한 경관 검토를 계획할 경우 단지 형태, 색채 검토, 전체적인 대상지에 대한 합리성 추구와 주변의 자연, 역사적 건축물, 경관 환경에 어떠한 영향을 미치는지, 어떤 부분을 어떻게 살려야 할 것인지를 확실히 인식한 뒤에 진행한다.

다음은 대표적인 시각화 방법들이다.

① 와이어 프레임 (wire frame)
② 이미지 스케치 (image sketch)
③ 칼라 투시도
④ 간이 포토 몽타쥬
⑤ 포토 몽타쥬
⑥ 2차원 C.G. 시뮬레이션
⑦ 3차원 C.G. 시뮬레이션
⑧ 모형

<표 304.34> 도로경관의 세부 구성요소

구성요소	주요 요소	
도로요소	도로 전체	도로구조, 횡단 형태
	부속물	가드레일, 도로 식재, 도로조명 등
	점용물	간판류, 전주 등
주변요소	주변시설	저・고층 주택 상점 공장, 창고 자동차 관련 산업 자동차 판매업 주유소 휴게시설
		밭, 논, 숲, 지형, 수계 등
원경시설	자연요소	해안, 호수, 산, 산림
	인공요소	탑, 성, 대형 구조물, 고압선 등

6.7 산지부 도로의 설계

6.7.1 개요

전 국토의 70%가 산악지로 구성되어 있는 지형상의 특성으로 인해 산지부 도로 건설이 많아 산지부 도로 설계시에는 일반도로와는 다른 설계 및 시공에 대한 관심이 점차 증가되는 추세에 있다. 본 절에서는 산지부 도로 설계시 주요사항에 대하여 설명한다.

6.6.2 설계시 고려사항

산지부 도로의 건설시, 특성상 일반도로와는 다른 몇 가지 사항은 다음과 같다.

- 복단면 도로
- 산마루 및 협곡의 통과
- 기존 도로의 개량
- 절토고의 규제
- 슬라이딩 및 사면 붕괴지의 통과

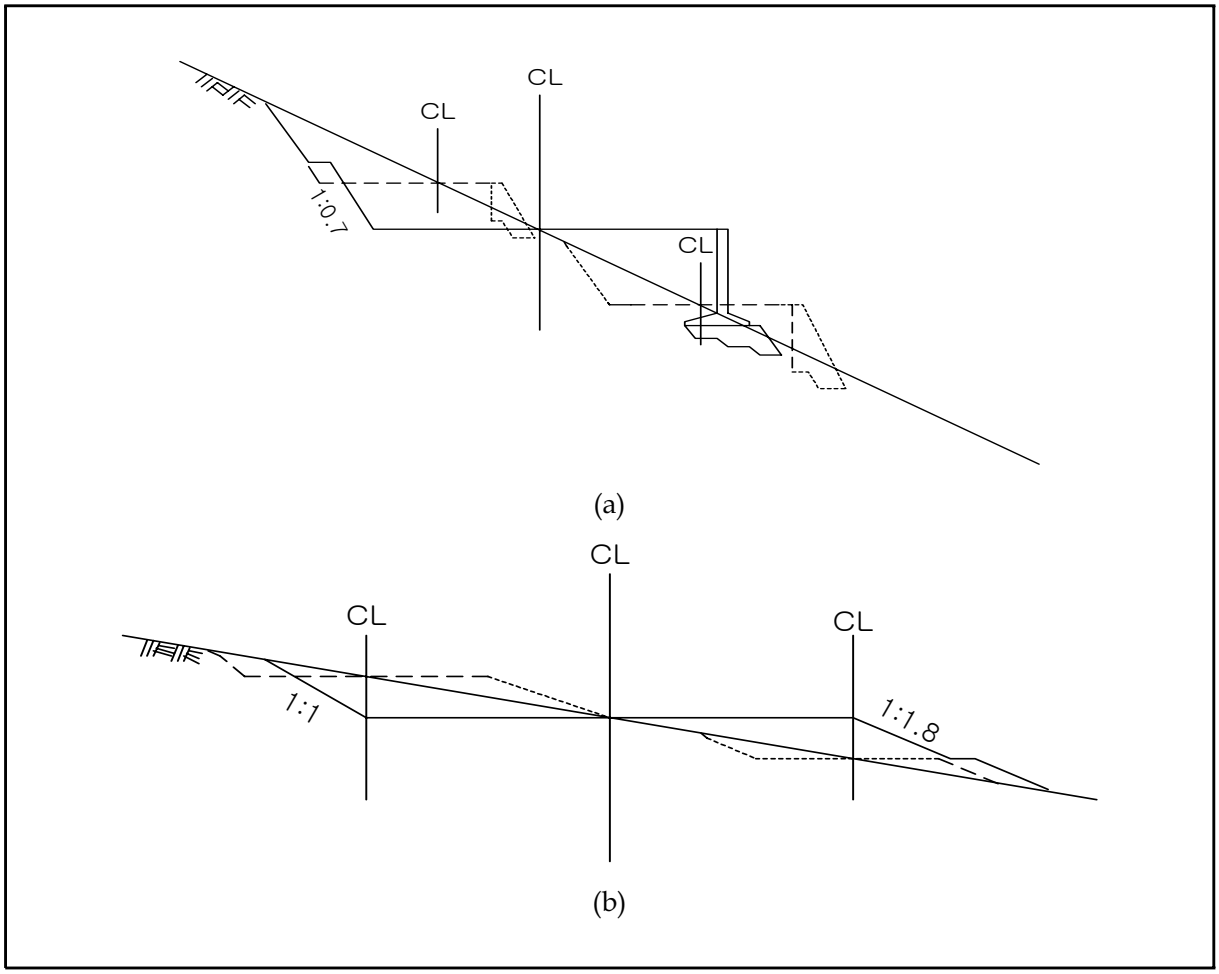
(1) 복단면 도로

- 단일단면의 횡단에 비하여 흙깎기·흙쌓기량 감소 (<그림 304.36> 참조)
- 상·하행선을 근접시키면 옹벽 등으로 인한 공사비의 증가가 우려됨
- 분리 도로는 중앙분리대 등 방호시설 비용이 경감
- 단일 단면 도로를 2차로씩 단계별 시공시, 다차로의 동시 시공에 비하여 공사비가 증가되는 것이 보통이므로 오히려 분리도로가 유리한 경우가 많음
- 분리도로의 장점
  - 각각의 진행방향에 대하여 양호한 종단경사 적용이 가능
  - 유적 등 기타 지장물을 피하기가 용이함
  - 일방향 도로로 우선 건설하고 공용이 가능
  - 단계 시공시에 사용중인 도로에 교통장애가 없음
  - 대향차에 주는 현광, 소음 등이 경감
  - 중앙분리대를 넘는 충돌사고의 감소
  - 중앙분리대의 폭이나 높이의 변화에 의하여 운전자의 시각을 안전하고 쾌적하게 할 수 있음
  - 경관이나 환경의 파괴를 최소한으로 하는 노선 선정이 가능

(2) 산마루 및 협곡의 통과

산마루를 통과하는데 절취 또는 터널의 결정과 깊은 협곡을 통과할 때 교량 규모와 연결도로의 결정, 그리고 산마루와 협곡에 도달하기까지 산자락, 산 중간에서의 토공, 교량, 터널의 선택은 산지부 도로 설계시 중요한 요소이다.

- 산마루를 터널로 통과하는 노선은 고도가 낮아짐으로 종단경사가 완화되어 지형의 험난함을 극복
- 터널을 없애면 보다 고도가 높은 지점을 통과해야 하기 때문에 노선 연장이 길어지고 지형의 관계에서 계곡을 통과하는 교량이나 급경사에 통과하는 기회가 많아져 경우에 따라 사업비가 증가하는 경우가 있으며, 흙깎기를 흙쌓기에 이용하지 못하여 극히 토공 균형이 나쁜 계획이 되고 고가의 사토 처리비가 발생
- 깊은 계곡을 통과하는 경우도 교량의 규모를 적게 하는 것에 집착하면 위와 같은 맹점에 빠질 수 있음(<표 304.35> 참조)



<그림 304.36> 단일 단면과 복단면 도로의 횡단 비교

<표 304.35> 산을 통과하고 계곡을 횡단하는 도로의 특징

지 형	중요구조물	접속도로	비 고
산마루를 통과하는 경우	장대 터널	하천, 계곡 쪽으로 상향 제한경사를 초과하지 않는 곳까지로 도로 연장이 짧아진다.	산이 험한 경우, 교통량이 많은 경우에 유리
	산마루 터널	하천, 계곡 쪽으로 상향 제한경사를 초과하지 않는 곳에서 접속도로를 헤어핀 선형으로 하여 상행한다.	교통량이 적고 저규격 도로에 이용
협곡을 통과하는 경우	장대교 고교각	우회하지 않는 형태로 적당한 경사를 취한 범위에서 연장이 최소화된다.	계곡이 깊은 경우, 교통량이 많은 경우에 유리
	중·소교 일반교	양단에서 계곡의 상류부를 향하고 때에 따라 헤어핀 선형도 사용하여 제한 경사 이내로 적당한 교량이 될 때까지 조정	교통량이 극히 적은 저규격 도로에 이용

- 산지부 계곡에 인접한 노선은 산자락의 돌출부, 습지의 절토부, 산허리의 급경사면 등에서 선형과 지형과의 상충을 해결하기 위해 터널 또는 교량으로 통과할 것인가의 판단이 곤란할 경우가 많으나, 이러한 판단에는 확실한 기준이 없으며 각각의 경우에 따라 제반 사정을 감안하여 선정한다.
- 터널과 교량을 비교하면 일반적으로 터널은 주행상의 단점 외에 조명 또는 기계환기 등으로 많은 유지비가 소요되므로 저급 도로에서는 교량이 제1안으로 검토되는 경우가 많으나, 산지부 계곡에 인접한 노선의 교량은 비교적 고교각으로 되므로 공사비 측면에서 터널보다 불리한 경우가 있다.

  교량 교각이 30m 이상이 되면 오히려 터널보다 공사비가 증가되며 구조상의 안정성도 고려해야 한다. .
- 반면에 터널은 주행상의 단점이 있지만 경우에 따라서는 터널 자체가 주행에 변화를 줄 수 있는 랜드마크로 그 가치를 발휘할 수 있다.

  또한, 적설지에서는 겨울철 교통에 유리한 지형·지질 조건이나 주행조건 등 많은 대안을 비교하여 종합적으로 판단하고 합리적으로 보다 좋은 대안을 채택한다.

(3) 기존 도로의 개량

산지부에서의 도로 정비는 취락지역의 경우 교통안전 및 환경보전 측면에서 우회도로의 개념으로, 기타지역에서는 기존도로를 개축한다는 개념이 도로망적인 수요상에서 적절하다고 할 수 있다.

기존도로 개량은 완공 구간마다 공용할 수 있기 때문에 투자 효율이 높은 매력이 있지만 공사의 과정에서 다음에 설명하는 바와 같이 손실이 나타날 수 있다.

- 기존도로를 파손하면서 도로를 개축하게 되므로 선형, 경사등도 기존 도로에 영향을 받아 구조 수준이 크게 개선되기 어렵다.(예 : 부분적으로 신설도로를 개량하여도 기존 도로와의 교차 지점에서는 교통소통을 원활하게 하기 위해 계획고를 기존 도로에 접속할 필요가 생기게 된다.)
- 공사 기간 중에는 통과하는 교통류 전체가 많은 지장과 손실을 감수하는 것을 간과 하여서는 안된다. 이러한 손실은 교통량이 적었던 시절에는 문제가 없었지만 교통량이 많은 도로에서는 무시할 수 없다. 완공 후 주행비를 건설비와 함께 고려하여 검토해야 한다.

(4) 절토고의 규제

도로의 적절한 설계는 선형과 도로구조가 조화를 이루어야 한다. 도로의 선형이 좋아지면 무리한 법면 규모, 특히 절토 법면 규모에 영향을 주므로 법면 규모를 엄격히 억제하게 될 경우 선형이 나빠지게 되는 이유가 될 수 있다. 이러한 관계는 도로가 산지부에 위치할수록 현저하게 나타난다.

그러나 대부분의 도로설계시 지형보다는 선형을 우선적으로 고려하므로 시공 단계에서 문제가 발생되는 경우가 많다.

토질 법면의 절취고는 토사에서 10m, 자갈이 혼합된 사질토에서는 15m까지는 표준경사를 사용하고 이상을 초과할 경우에는 토질을 조사한 후 사면 안정 검토를 시행하여 법면 경사를

결정하는 것이 좋으나, 절토법면의 안정 계산은 성토의 경우에 어려운 경우가 많다. 이와 같은 경우의 높은 법면은 각종 검토를 통하여 정하여도 위험에 대하여 불안한 경우가 많으므로 신중한 검토가 필요하다.

위와 같은 경우, 절토고의 엄격한 규정과 법면경사의 값은 경험적인 판단에서 허용되는 15m, 즉 7m 3단까지 적용하는 것이 적절하다.

절취법면의 규모를 최고 3단으로 하면 그 이하에서 선형이 검토되므로 기하구조의 조화도 이루어지게 된다. 즉, 절취법면이 2단을 초과하는 곳에서는 곡선반경을 적게 하거나, 심한 경우 터널이나 구조물로 대치하여, 이러한 것이 경제적으로 부적절하면 절취 규모를 면밀하게 검토한다. 특히, 구조가 불안하면 설계속도를 한 단계 하향 조정하여 균형이 취해지고 정당한 설계가 되도록 한다.

이러한 내용은 노선의 계획 설계 단계에서 하나의 규정으로 설정되어 반영되야 할 것이다.

(5) 슬라이딩 사면붕괴지의 통과

노선 선정에서 중요한 것은 슬라이딩이나 법면 붕괴에 의한 피해에 대한 고려이다. 최근 각종 도로의 재해가 속출하는 것은 지질이 불량하고 예기치 않은 호우와 도로 건설상에서도 원인이 있다.

최근의 노선은 토지가격의 급격한 변화나 주민의 민원 등으로 과거처럼 지형적으로 안전한 장소를 선정하는 것이 어렵게 되었다.

재해의 발생 원인은 위험한 구릉이나 산허리에 종전보다 큰 폭원과 선형의 도로가 조성되는 것과 토공 기계의 발달이 단시간에 대규모의 토공을 가능해짐에 따라 대단히 큰 법면의 설치가 용이하게 됨으로써 비바람에 대해 충분한 안정이 확보되기 전에 빨리 공용되어지는 것 등에 있다. 그리고 사회적 배경의 변화로 도로에 교통량이 이전에 비하여 많이 증가하여 통행인 및 차량이 재해를 입을 가능성이 증가하고 있다는 것이다.

산지부 도로는 지형, 지질의 특성상 재해가 전혀 없도록 만드는 것은 거의 불가능하며 안전한 교통운행을 위한 사전 규제도 필요하지만 노선 선정시에 위험 요소를 최대한 배제해야 한다.

① 슬라이딩 지형의 특징

슬라이딩이 일어나는 지형은 어느 특정 지질의 장소에서 집중하여 발생하는 것으로 그 중에서도 제3기층과 삼파천계의 변성암 지대에서 가장 많이 나타난다. 다음으로 고대 3기층, 중생대층에서 많이 발생하고 있다.

슬라이딩의 발생은 과거 붕괴 또는 슬라이딩에 의해 생긴 지형에서 다시 이동을 개시하는 것이 대부분으로, 특별한 발생요인이 없는 한 슬라이딩 지형이 아닌 곳에서 새로운 활동이 이루어지는 것은 극히 드물다.

슬라이딩 지대를 확인하는 것은 경험의 축적과 전국의 지질 개요를 어느 정도 알고 있으므로, 지형을 보기만 해도 슬라이딩의 유무를 판단하게 된다. 조사시, 유의할 슬라이딩 지형의 특징은 다음과 같다.

- 경사가 주변보다 다소 원만하고 주변지역에 산림이 있지만 완경사지에는 밭이 개간 되어 있다.
- 천수답이 개간되어 있는 경우, 아래쪽에서 위쪽을 올려다 보면 지반이 요철을 이루고 있으며 상당히 흐트러져 있다.

- 천수답 하나마다의 면적이 상당히 좁다. 이것은 관개용수를 논 바닥의 미세한 요철이나 경사에 대응시키기 위해서는 논두렁을 다수 만들어야 하기 때문이다. 이렇게 되면 논두렁 부분이 점유하는 면적 분합이 비 슬라이딩 지대에 대비하여 커진다.
- 천수답에서는 소규모의 저수지가 상당히 많다. 이것은 슬라이딩에 의한 함몰지를 이용하여 쉽게 만들 수 있어서이다.
- 슬라이딩 구역 내의 각 개소에는 여러 가지의 낭떠러지가 보이며 특히 지역의 두부에는 대규모의 미끄러운 낭떠러지 벼랑이 있다.
- 지형도에서는 등고선의 간격이 성기며, 모양이 불규칙하게 되어 있다.
- 특히 제3기층 슬라이딩 지구에서는 부동점이라고 하는 이동하지 않는 지괴가 있고 그 주변에는 암반이 노출되어 있다. 부동점은 인가의 부지에 이용되고 있는 경우가 많다.
- 지형도에 슬라이딩의 범위를 표시하면 그 윤곽은 말발굽형이 되는 것이 보통이다.
- 슬리이딩 지구의 꼭대기 부분에서 아래쪽으로 지형을 보면 파형을 이루고 있는 경우가 많다. 이 파형상 지면은 가공될 경우 계단 모양이 된다.

② 슬라이딩 지대의 노선 선정

항공사진을 판독하고 과거에 슬라이딩 재해를 일으킨 경력을 충분히 조사하며 지형, 지질을 자세히 조사할 필요가 있다. 슬라이딩은 거시적으로 보면 그 지질에 따른 자연 사면의 평형 운동이므로 그 운동이 종식 상태에 이르기까지 계속 중복된다고 보아야 한다.

어느 정도의 방지공을 시공하면 되는지, 노선을 변경하여 어느 정도 피할 수 있는지, 이 경우 선형의 정도는 어떠한지 등을 충분히 검토해야 한다.

같은 노선 설계상의 교훈으로서 살려 나가야 할 것이다.

노선 선정시 슬라이딩에 대한 대책 판단으로서 크게 다음과 같이 제시되는 것이 있다.

- 폭이 30m 이하이고 길이가 폭의 1~2배의 것은 두께가 5~10m의 슬라이딩으로서 대책공을 시행하면 안정할 수 가 있다.
- 폭이 30~50m이고 길이가 폭의 1~2배의 것은 두께가 10~15m의 것이 많아서 대책공에 의해 안정시킬 수가 있다.
- 폭이 50~100m이고 길이가 폭의 1~2배의 것은, 두께가 15~20m 정도인, 대규모의 절토나 압성도에 쓰이는 말뚝 삽입공을 병용하여 안정시킬 수 있다.
- 길이가 폭의 2배 이상이고 폭이 30m 이상이 되면 회피하는 편이 좋고 폭이 50~100m가 되면 당연히 피해야 한다.
- 폭이 100m 이상이 되면 규모가 커서, 안정화의 계획은 적당하지 않다.

이상과 같이 슬라이딩 붕괴지대라 할지라도 대책공을 시공하면 안정되는 규모의 것도 있다. 그러나 될 수 있으면 피하도록 하고 부득이 통과해야 하는 경우에는 그것에 직각으로 향하는 것이 좋으며, 산기슭의 사면에 따라 노선을 계획하는 것은 가장 나쁘다.

305
도로 기능별 설계 특기사항

305.1 고속도로

1.1 개요

최상급 간선도로인 고속도로는 완전 출입제한 도로로 정의된다. 출입제한은 도로로 진입할 수 있는 인접 토지의 소유자 또는 사용자의 권리가 완전히 또는 부분적으로 공공 기관에 의해 통제되는 경우를 의미한다.

출입제한의 주요 장점은 도로의 용량, 보다 높은 속도, 도로 사용자를 위한 향상된 안전성을 제공하는 것이며, 출입제한 도로는 모든 도로 및 철로와 입체교차한다.

본 장에서는 앞 장에서 언급하지 않은 지방지역 고속도로의 다양한 종류, 강조되는 선택적 특징 및 이들 고속도로 종류의 독특한 세부적인 설계 특징들에 대해 설명한다.

1.2 일반적 설계 고려사항

(1) 설계속도

고속도로의 설계속도는 비첨두 시간 동안에 안전한 운행 속도를 반영해야 한다. 첨두 시간 동안 많은 교통량을 수용하기 위해 높은 설계속도를 적용하는 것은 공도 용지 확보의 경제성 및 사회 경제적 비용 한계를 초과하지 않도록 신중을 기한다.

(2) 설계 교통량

적정한 도로 설계에 대한 목표연도 및 설계교통량에 대한 일반적인 내용은 '302 설계기본사항'에서 다루고 있다. 지방지역의 고속도로는 일반적으로 20년 동안의 예상 계획교통량을 수용할 수 있도록 설계된다.

(3) 노면

방향별 이동을 위해 최소 2차로 이상으로 한다. 포장면은 적당한 미끄럼 저항을 가지는 상급의 노면을 가져야 하며, 높은 수준의 구조적 적합성을 제공한다.

적설량이 많은 지역에서, 노면 배수가 각 이동 차로의 양방향으로 이루어져서 중앙분리대에 치워진 눈이 녹아 차로로 배수되지 않도록 하거나, 이러한 현상을 방지할 수 있는 중앙분리대를 설계한다.

1.3 저상(低床)형 고속도로 (depressed freeway)

저상(低床)형 고속도로(depressed freeway)는 인접지역에 대한 도로의 영향을 감소시키는 점에 있어서 바람직하다. 이것은 평면 또는 고가형 고속도로에 비해 시각적으로 덜 두드러지며, 경사 없이 저상형 고속도로의 횡단이 가능하고, 고속도로 소음을 감소시키는 특징이 있다.

차로에 인접하여 위치한 저상형 고속도로와 옹벽을 가로지르는 구조물에는 통과 자동차로 물건이 떨어지는 것을 방지하기 위한 방호 시설물을 설치해야 한다.

(1) 사면과 옹벽

저상형 고속도로의 사면은 제한 폭이 쉽게 제어된다는 점을 제외하고는 절토부 사면과 같은 방식으로 설계한다.

사면과 옹벽 설계시 시거를 확인한다. 곡선부에서 사면, 벽, 기타 측면 장애물은 장애물에 가까운 차로에서 자동차가 필요한 정지시거를 제공하기 위한 충분한 거리만큼 떨어지도록 한다.

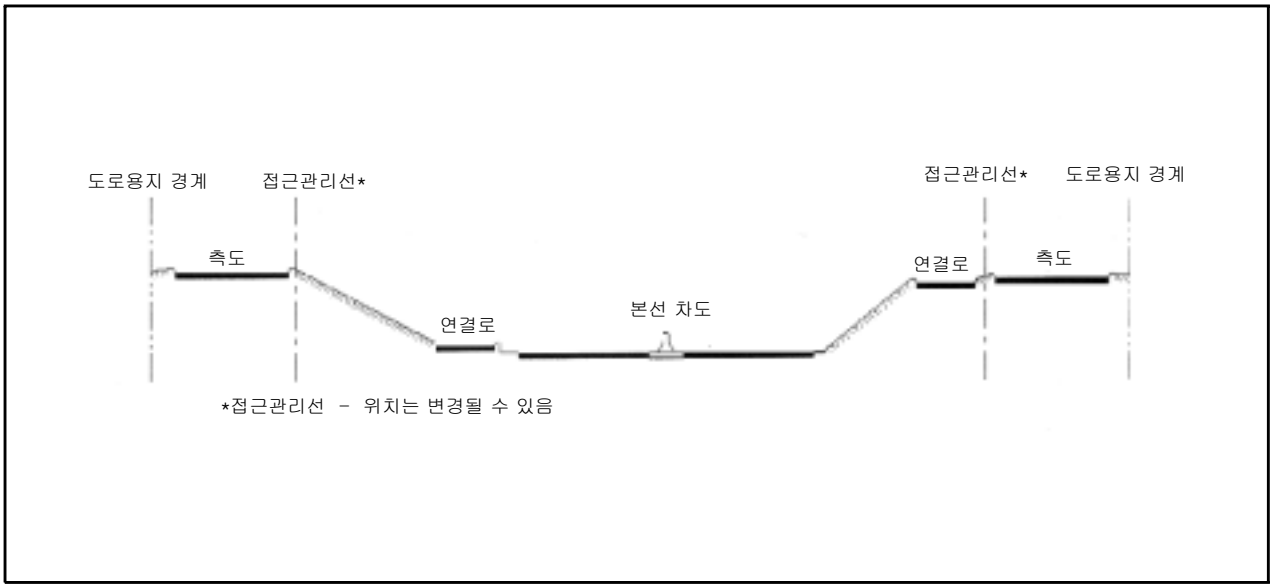
(2) 표준 횡단면

저상형 고속도로의 단면은 지방지역과 도시지역에서 상당히 다양하다. 단면은 주로 요구되는 차로 수에 의해 영향을 받지만 중요한 요인은 도로 용지의 이용 가능성으로 이는 지역개발의 가치, 지형, 토양 및 배수 조건, 필요한 교차로의 빈도와 종류와 같은 요인에 의존한다.

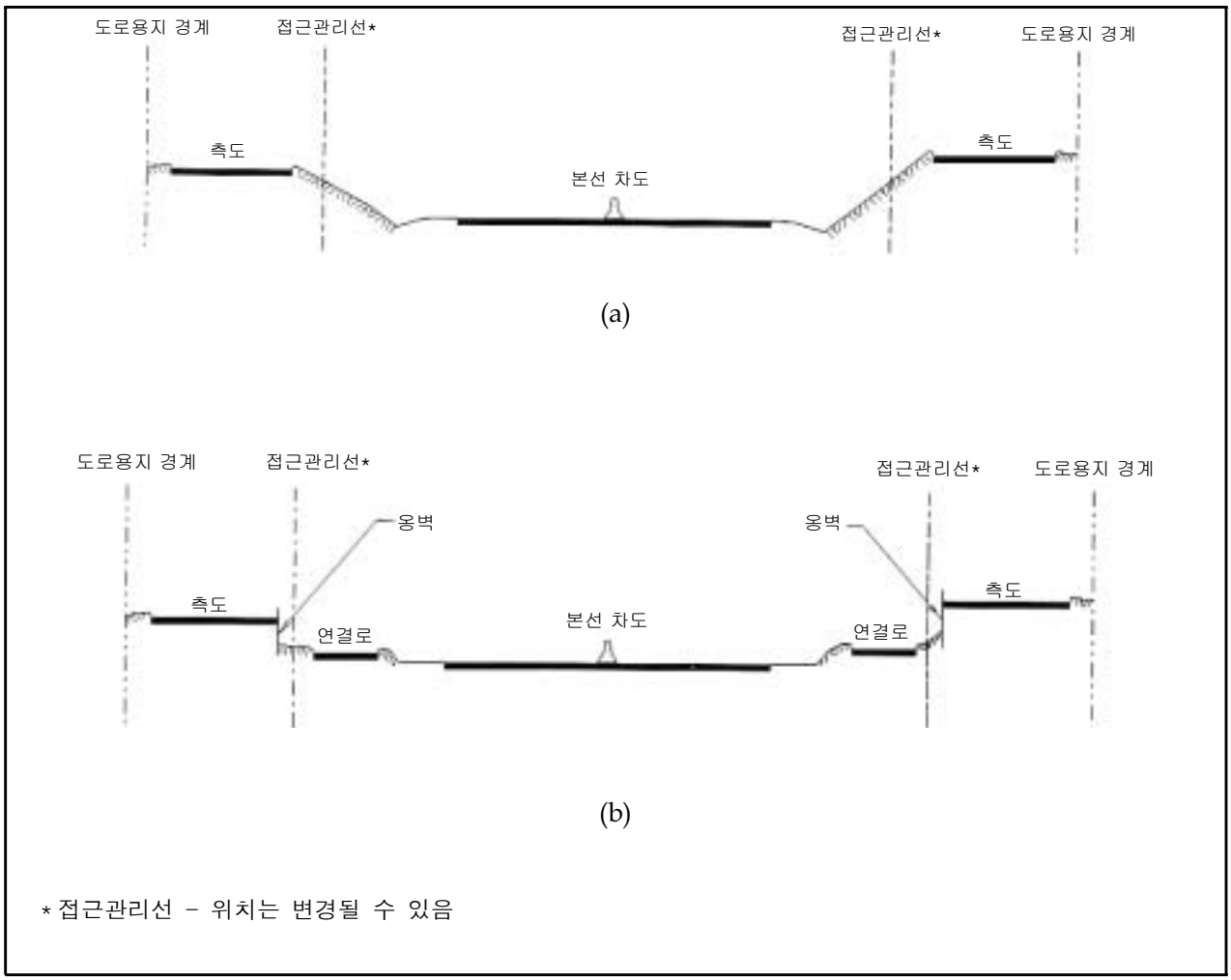
<그림 305.1>은 미국의 저상형 고속도로에 대한 일반적인 평면도와 단면을 보여준다. 3.0~6.6m의 중앙분리대폭, 3.6m의 차로폭, 측도와 경계부지 폭을 위한 15m가 제공된다.

(3) 제한된 표준 횡단면

<그림 305.2>는 12m의 측도 및 경계 부지 폭, 3.6m의 차로 폭, 3.0~6.6m의 중앙분리대 폭을 포함하고 있으며, <그림 305.2>(a)는 연결로는 없으나 연결로를 보유할 필요성이 있는 위치의 저상 구간에서 토공이 가능한 제한된 표준 횡단면을 보여준다. <그림 305.2>(b)는 동일한 도로 용지 내에서 연결로를 가지는 저상 구간을 보여준다.



<그림 305.1> 저상형 고속도로의 일반적인 횡단면



<그림 305.2> 저상형 고속도로의 제한적인 횡단면

<그림 305.3> 미국의 저상형 고속도로 예

1.4 고가형 고속도로 (elevated freeway)

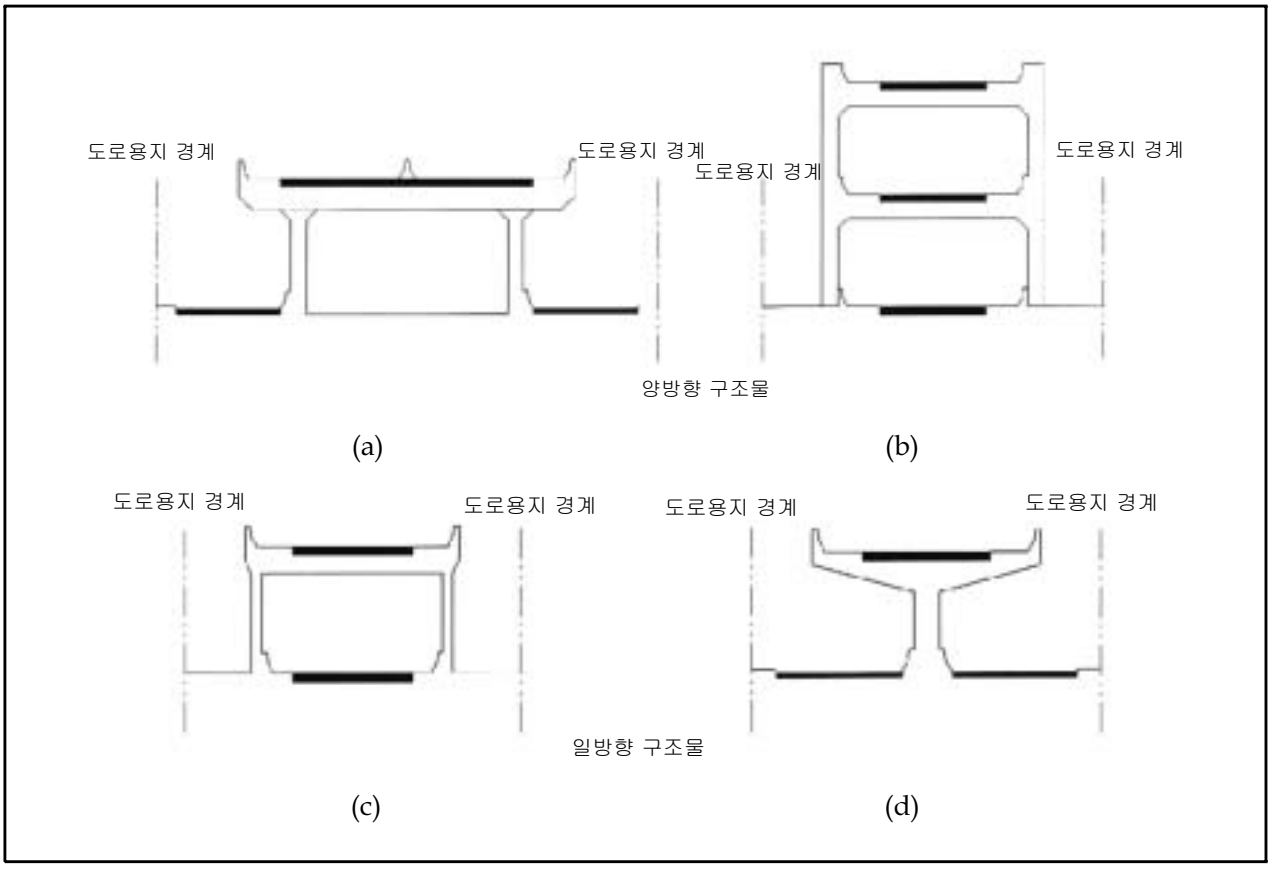
고가형 고속도로(elevated freeway)는 고가도로나 성토부 위에 건설된다. 연속적인 고가형 고속도로는 제한된 도로용지, 높은 지하수면, 대규모 지하 시설이 있거나 저상형 도로 건설이 바람직하지 않거나 비경제적인 상황일 때 적합하다.

여러 종류의 구조물이 고가형 고속도로에 사용된다. 이러한 고가도로의 설계는 교통조건, 도로용지, 지형, 지반 환경, 지역개발 특성, 입체교차의 설치 조건, 구조물 재료의 이용가능성, 경제적인 고려사항 등에 의해 영향을 받는다. 고가도로는 환경과 조화를 이루기가 가장 어려운 고속도로의 형태이다.

<그림 305.4>는 연결로가 없는 고가형 고속도로의 표준 횡단면이며 차로 폭은 3.6m, 난간 폭은 0.6m, 4차로에 대한 길어깨 폭은 우측 3.0m, 좌측 1.2m(6차로와 8차로의 길어깨 폭은 좌우측 모두 3.0m임), 중앙분리대 폭은 4차로에서 3.0m(6차로와 8차로는 6.6m), 구조물과 건물선 사이의 최소 측방 여유폭은 4.5m이다.(<그림 305.4> (b)에서는 6.0m임.)

<그림 305.5>는 성토부 상의 고가형 고속도로의 횡단면이다.

<그림 305.6>과 <그림 305.7>은 미국의 고가형 고속도로와 성토부 상의 고가형 고속도로 사진이다.



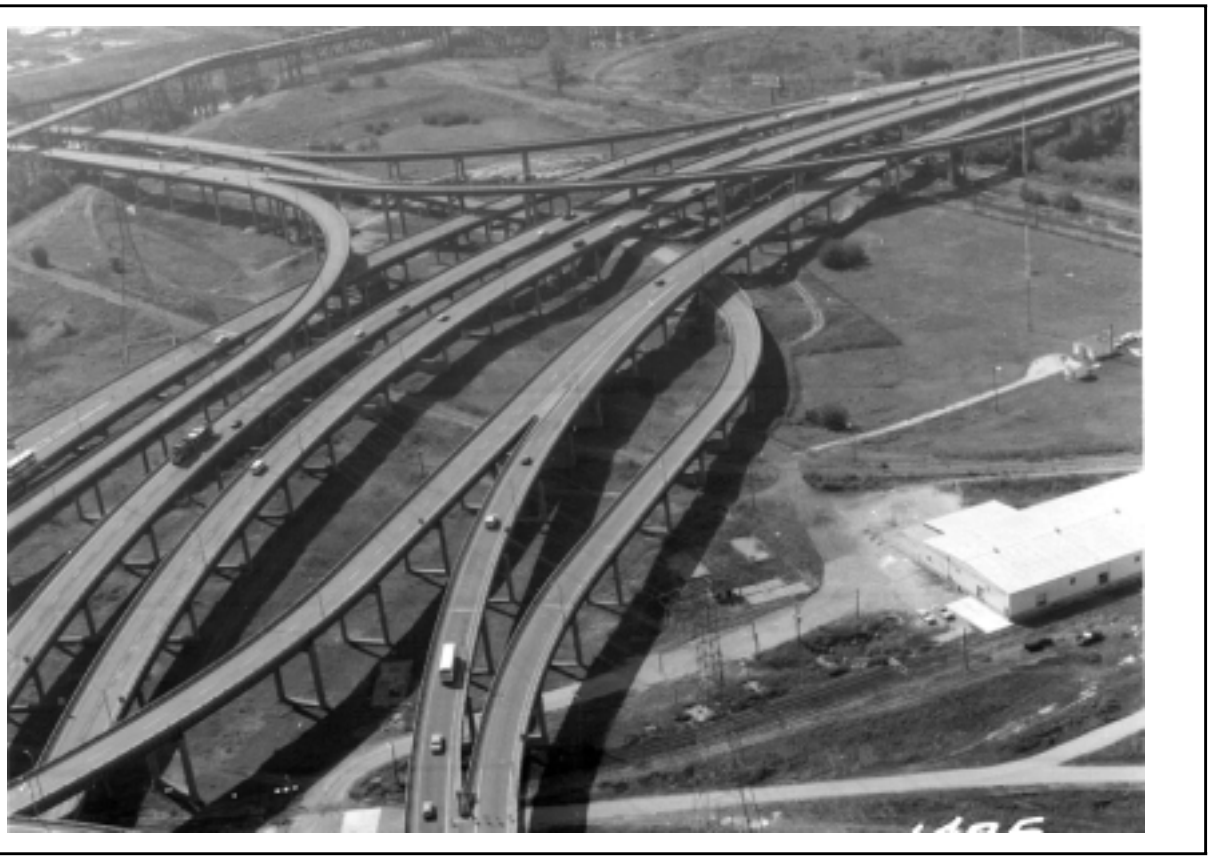
<그림 305.4> 연결로가 없는 고가형 고속도로의 표준 횡단면

(a) 옹벽이 없는 경우

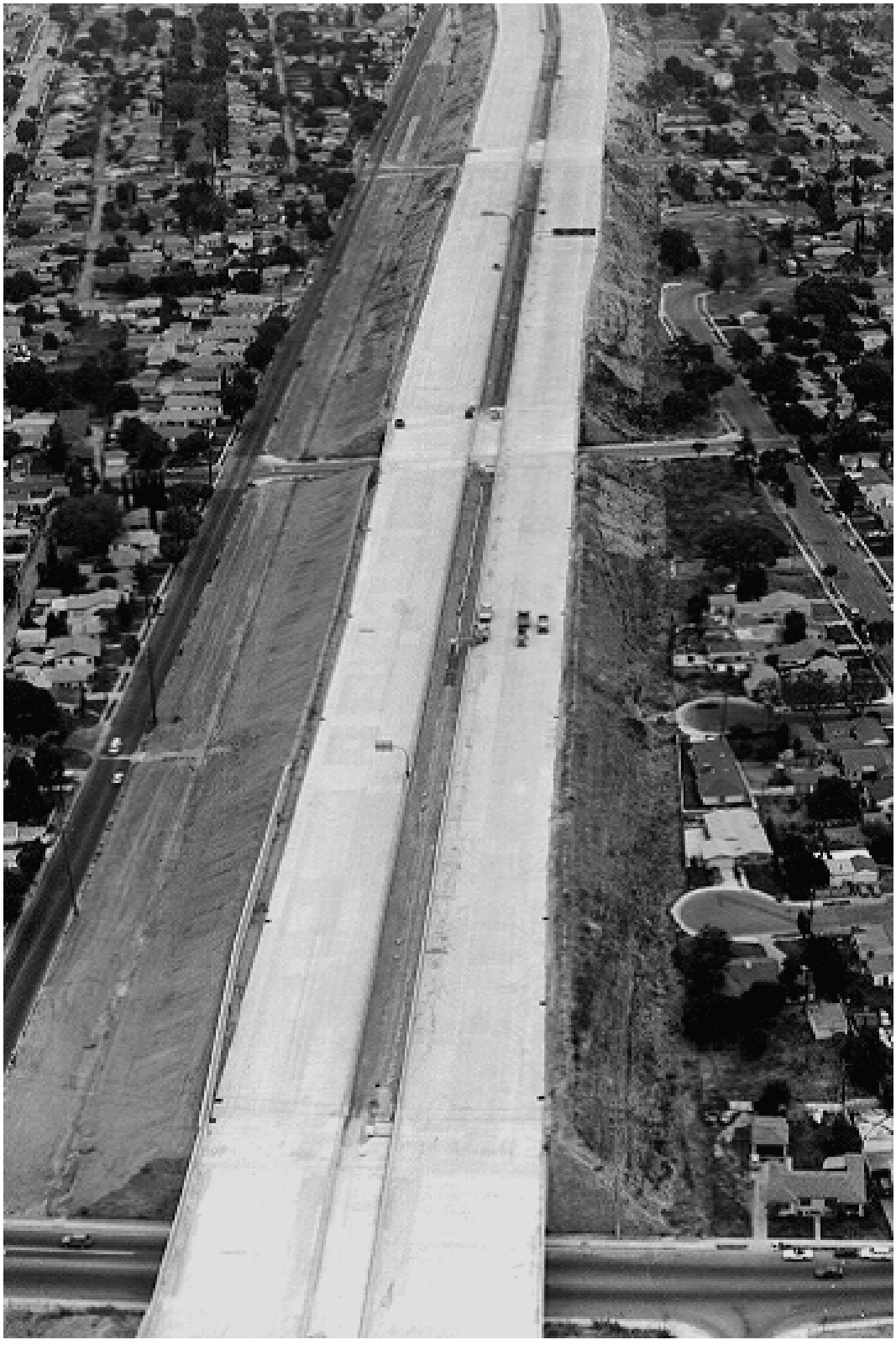
(b) 옹벽이 있는 경우

* 접근관리선 – 위치는 변경될 수 있음

<그림 305.5> 성토부 상에서 고가형 고속도로의 표준 횡단면



<그림 305.6> 미국의 고가형 고속도로 예



<그림 305.7> 미국의 성토부 상에서의 고속도로 예

305.2 간선도로

간선도로는 지방지역과 도시지역의 주요 지점간 이동을 위해 높은 속도, 많은 교통량을 위한 교통망을 제공한다. 본 장에서는 간선도로 설계 기초를 확립하는 데 필요한 일반적인 정보를 제공한다.

간선도로의 설계는 2차로에서 다차로까지의 광범위한 도로를 포함하며, 특수한 또는 제한된 상황에서 높은 수준의 운행 제공이 요구된다.

2.1 일반적 설계 고려사항

지방지역 교통망의 주요 부분은 간선도로로 구성되어 있으며, 이는 2차로에서 완전 출입제한된 다차로에 이르기까지 다양한 범위에 있다. 본 장에서는 새로운 지방 간선도로와 기존 간선도로의 재건설 설계에 관한 것이다. 이들 도로는 교통량을 토대로 관련 기준에 의거하여 건설된다.

다음은 지방지역 간선도로의 일반적 설계 고려사항이다.

(1) 설계속도

지방지역 간선도로의 설계속도는 일반적으로 지형, 운전자의 기대, 설계가 새로운 위치에 건설 또는 기존 시설의 재건설에 관한 것인지에 따라 50～80km/h의 설계속도를 갖는다.

높은 범위의 설계속도는 일반적으로 평지의 지형에 사용되며, 50～60km/h의 설계속도는 산악 지형에 사용된다('302.3 설계속도' 참고).

(2) 설계 교통량

지방지역에서 간선도로를 개선할 경우, 관측 교통량과 새로운 위치의 건설일 경우는 예측 교통량이 필요하다. 이들 교통량은 평균 일일 교통량(ADT)으로 나타나며, 이 수치는 30번째 시간 교통량(30HV)을 통해 ADT의 10～15% 정도인 설계시간 교통량(DHV)을 도출한다.

(3) 시거

시거는 지방지역 간선도로의 서비스 수준에 상당한 영향을 주는 설계속도를 결정하는 주요 요소이다. 최소 정지시거는 안전의 필요조건으로 반드시 제공되야 한다.

지방지역 간선도로에서 높은 속도와 높은 교통량을 만족시키기 위한 적정 시거의 제공은 복잡하다. 시거에 대한 간선도로 설계를 위해서는 '304.2 시거'를 참고한다.

(4) 선형

원할한 흐름을 위한 선형이 바람직하다. 평면 및 종단선형의 변화는 점진적이어서 운전자가 변화에 당황하지 않도록 한다. 교통량이 많은 교차로와 같은 위치와 도로 폭 또는 차로수의 변화 구간에서 적당한 판단 시거를 제공하기 위한 특별한 고려가 선행되야 한다.

적절한 선형은 신호 또는 도로 표지에 의한 통제보다도 더 안전하고 효과적이다.

(5) 횡단면 및 도로용지

지방지역 간선도로의 차도부 횡단면 요소는 일반적으로 교통량과 차종 구성비에 따라 선택된다. 도로용지는 모든 횡단면 구성요소를 포함하기 위해 충분히 넓어야 한다. <그림 305.8>은 2차로 간선도로의 도로용지를 결정할 때 고려해야 할 횡단면 요소를 나타내고 있다.

또한, 배수와 제설과 같은 지역적 특성도 도로용지 폭을 결정할 때 고려한다.

2.2 비분리 간선도로

각각의 교통 차로가 일방향 교통류에 의해 사용되도록 의도된 가장 좁은 간선도로이며, 추월은 반대편 차로 교통량의 정도에 따라 이루어 진다.

교통량이 많고 속도가 높은 경향이 있는 지방지역에서 다차로 간선도로의 건설은 되도록 반대편 교통류와 분리되어야 한다. 특히, 기존 2차로 간선도로에서 다차로 간선도로로의 개선 시, 가급적 중앙분리대를 포함해야 한다.

2.3. 분리 간선도로

분리 간선도로는 반대 방향의 교통류에 대해 분리된 차로를 갖는 도로이다. 중앙분리대의 폭은 다양하며 주로 지역, 지형 특성, 교차로 처리, 경제성에 의해 좌우된다.

다차로 간선도로 분리의 장점은 증가된 안전성과 편안함 및 운행의 용이함 등이 있다.

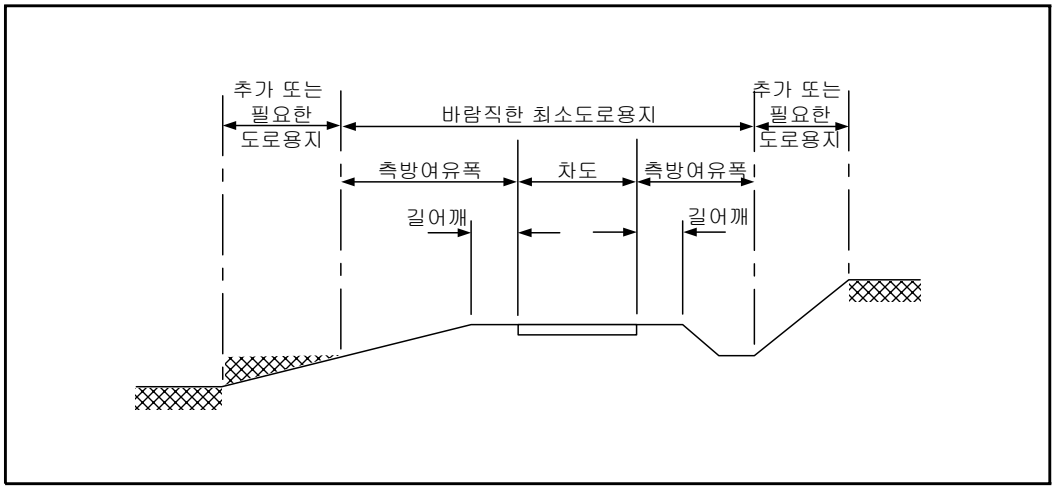
(1) 선형

분리 간선도로는 일반적으로 많은 교통량과 높은 속도의 처리가 가능한 선형이 제공되어야 한다. 분리 간선도로는 두 개의 분리된 차로로 구성되기 때문에 중앙분리대 폭과 차로 높이가 특별한 조건에서 다양할 수 있다.

(2) 편경사

곡선 구간에서 안전한 운행, 심미적인 형상, 경제성 등을 확보하기 위해 편경사를 설치한다.

분리 간선도로 편경사 설치의 일반적인 방법은 다음과 같다('304 도로선형 3.4.2 편경사' 부분 참고).



<그림 305.8> 바람직한 최소 도로용지를 가지는 2차로 간선도로 횡단면

① 분리대를 포함한 차로 전체를 중심으로 편경사를 설치
② 분리대의 가장자리를 중심으로 편경사 설치
③ 분리된 차로의 중심선을 중심으로 편경사 설치

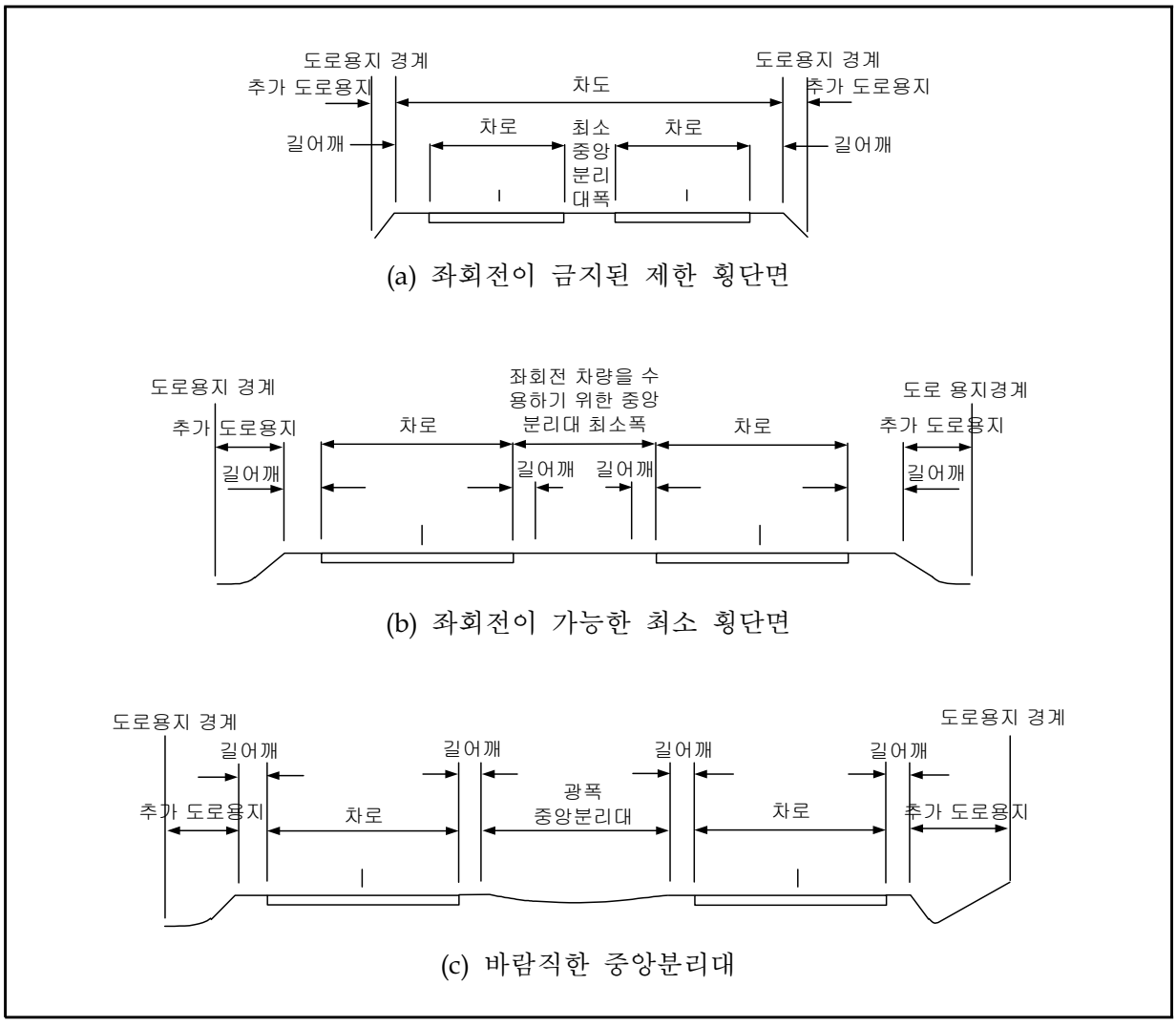
(3) 중앙분리대

중앙분리대에 관한 세부 내용은 '303.4 중앙분리대'를 참고하며, 지방지역 간선도로에서는 사용될 수 있는 다양한 중앙분리대를 검토하여 적용한다.

(4) 횡단면 및 도로용지

분리 간선도로의 횡단면 요소인 이동 경로, 길어깨, 중앙분리대, 사면 및 배수로 폭과 세부사항 등이 포함된 복합적인 간선도로의 횡단면은 <그림 305.9>에서 설명되어 있다.

<그림 305.9> (c)는 넓은 도로용지 폭의 확보가 가능한 경우, 상급 도로를 위한 바람직한 횡단면이다.



<그림 305.9> 분리 간선도로에서의 횡단면과 도로용지

2.4 교차로

교차하는 주요 간선도로는 입체교차로 처리해야 한다. 또 가능한 한 자유로운 흐름을 보장하는 적합한 설계가 선택되어야 한다.

입체교차와 평면교차가 혼재될 경우, 진입 교통량이 자유롭게 운행되도록 적절한 간격이 제공되야 한다. 자세한 내용은 '306 평면교차, 307 입체교차'를 참고한다.

2.5 접근관리

지방지역 간선도로는 집산 도로 등에서 필요하거나 이용 가능한 것보다 상급의 서비스를 제공한다는 개념으로 설계, 건설해야 한다. 간선도로가 다수의 차로를 필요로 하지 않을 수도 있지만, 많은 교통량을 수송하는 능력은 일반적인 교차로 인한 간섭과 측면의 마찰 정도와 관계가 있다.

간선도로의 개발에서 가장 중요한 고려 사항 중의 하나는 출입제한의 정도이다. 이것은 간선도로의 안전과 용량에 직접적으로 관계된다.

진출입 지점에 대한 적절하고 일관된 최소 간격은 교차로에서 매우 중요하며, 시거와 중요한 교차로에 대한 진입 지점의 위치가 고려되어야 한다.

2.6 자전거 도로 및 보행자

지방지역의 간선도로는 사람들이 이동하고자 하는 위치 사이에 존재하는 유일한 연결로이다. 학교, 공원 및 지방지역 개발은 일반적으로 자동차에 의해 직접적인 진입이 가능하도록 위치를 잡는다.

보행자와 자전거 이용자들도 동일 목적 지점까지 이동하기를 원하므로 설계자는 간선도로의 안전과 운행의 쾌적성을 고려하여 자전거 도로 및 보행자 시설을 설치한다.

305.3 집산도로

집산도로는 간선도로와 국지도로의 중간 위계로 간선도로와 국지도로 사이의 교통 이동을 수행하며 국지도로 내의 통과 교통을 수용하며, 간선도로와 동일한 토지 이용 지역 또는 주변 지역을 연결한다.

집산도로의 대부분은 2차로로 구성되며 교통량과 지형에 부합되는 가장 높은 실행 가능한 기준이 수용되도록 설계한다. 집산도로를 설계하기 위한 기본 정보는 안전, 교통량, 지형 및 선형 등이 포함된다.

다음은 지방지역의 집산도로에 대한 일반적 설계 고려사항이다.

(1) 설계 속도

기하학적 설계 특징은 상황에 적합한 설계속도에 부합해야 한다. 낮은 설계속도는 일반적으로 산악지형의 곡선 선형을 갖거나 환경 조건에 의해 필요한 경우에 적용된다. 높은 설계속도는 일반적으로 완만한 지형 또는 기타 환경 조건이 양호한 경우에 적용된다. 중간의 설계속도는 지형과 기타 환경 조건이 높은 설계속도와 낮은 설계속도에 기술된 조건의 조합일 경우에 해당한다.

(2) 선형

앞에서 언급한 바와 같이 평면 및 종단선형은 상호 보완되어야 하며 협력적으로 고려해야 한다. 또한 지형, 교통량 및 분포, 도로 용지 조건 등의 제어 특징들을 고려한다.

평면선형의 급작스런 변경은 피해야 하며, 또한 종단곡선은 설계속도에 대한 시거 기준을 만족시켜야 한다.

(3) 편경사

지방부의 집산도로에서 많은 곡선부를 가지므로 설계속도에 부합하는 편경사율을 가져야 한다. 지방 집산도로에서 최대 편경사는 12%를 초과해서는 안되며, 눈과 얼음 상태가 요인이 되는 경우, 편경사는 8%를 초과해서는 안된다.

(4) 도로용지 폭

도로의 건설, 적당한 배수로 및 적절한 관리를 위한 도로용지 폭의 공급은 전체 설계에 있어서 매우 중요한 일부이다. 넓은 도로용지는 완만한 사면의 건설을 할 수 있도록 하여 운전자들에게 보다 많은 안전성을 주고, 보다 용이하고 경제적인 관리를 할 수 있도록 한다. 초기 개선시의 충분한 도로용지 조달은 교통량이 증가함에 따라 차로 확장 및 기능강화를 경제성에 입각하여 가능하도록 한다.

개발된 지역에서는 도로용지 너비를 제한하는 것이 필요해질 수 있다. 그러나 공도 용지 폭은 설계 횡단면과 해당 경계 지역의 전체 요소에 필요한 수치보다 적어서는 안된다.

305.4 국지도로

국지도로는 기본적으로 주거지, 농장, 사업, 또는 기타 인접 소유지로의 진입로 역할을 하며 보다 높은 기능의 주요 도로와 연결된다.

비교적 적은 교통량과 광범위한 전체 연장 길이로 인해 국지도로의 설계기준은 실용성 측면에서 비교적 낮은 등급이다. 그러나 건설·관리·운영에서 기본적인 경제성과 함께 요구되는 이동성과 안전성을 제공하기 위해서 예측 가능한 교통 운행에 적합하도록 계획, 위치 선정 및 설계가 수행되고 도로용지에 인접한 개발 및 지역사회의 문화와도 일치해야 한다.

안전은 모든 도로 개선안에서 가장 중요한 요소이다. 장애물이 없는 길어깨를 얻는 것이 실용 가능하지 않을 수도 있으나, 가능한 범위까지는 장애물이 없는 길어깨를 제공하도록 노력해야 한다. 이는 속도가 증가할수록 더욱 중요한 것이다. 보다 완만한 경사, 방호 울타리 및 경고 신호(시선 유도 시설, 노면 요철대)는 노변 안전성을 달성하는 데 도움이 된다.

306
평면교차

306.1 개요

교차로(intersection)란 2개 이상의 도로가 교차, 접속되는 공간 및 그 내부의 교통시설물로, 교차로의 기하구조, 운영방법 등에 따라 운전자가 경로를 선정하는 의사결정 지점이다. 따라서 교차로는 정상적인 교통의 진행뿐만 아니라 횡단, 회전 등이 발생하므로 도로의 다른 부분보다 복잡한 운행으로 사고 및 교통정체가 일어나기 쉽다.

그러므로 교통류를 안전하고 원활하게 처리하기 위하여는 교차로를 어떻게 적절히 계획, 설계, 운영할 것인가 하는 것이 매우 중요한 과제이다. 특히, 평면교차로의 경우 기존도로에 새로운 도로가 접속되어 자연 발생적으로 형성되는 경우가 많으며 정형화된 설계방법이 있는 것이 아니므로 기본 요소와 기본 원칙에 최대한 충실하면서 주변 여건을 고려하여 설계한다.

흔히 교차로 문제를 교차로 자체만의 문제로 파악하는 경우가 많으나, 파급 효과는 연계 노선 전체의 도로 및 교통 여건에 중요한 영향을 미치게 된다.

도로의 안전성, 효율성, 운행비용, 용량 등은 교차로의 계획, 설계 및 운영에 의해 지배되므로 교차로의 양부(良否)는 해당 도로와 가로망 전체에 커다란 영향을 미치게 된다. 그러므로 계획, 설계 및 운영에 특히 유의한다.

일반적으로 교차로는 교차, 접속되는 공간과 시설에 따라 평면교차(at-grade intersections)와 입체교차(grade separations & interchanges)로 구분되며, 본 장에서는 평면교차와 단순 유출입(접속) 시설에 대해 기술한다.

306.2 일반적 고려사항

교차로를 계획할 때 기본 사항은 교차로의 인지성, 조망성, 이해성 및 통행성으로 요약되며, 각각의 요소들은 다음과 같다.

- 인지성

교차로로 진입하는 운전자가 전방에 교차로의 존재를 인지하고 차로의 선택, 가·감속 등의 조치를 취할 수 있도록 하는 것을 말하며 교차로 전방의 충분한 시거 확보와 주변과의 차별성 등에 의해 확보된다.

따라서 야간의 경우 조명시설을 설치하는 것이 바람직하며, 볼록형 종단곡선이나 작은 곡선부에 위치한 교차로는 분리대의 연장, 양보표지의 반복, 적절한 예고 표지, 보조 신호기 등으로 개선한다.

• 조망성

양보 의무를 가진 도로 이용자가 통행 우선권을 가진 이용자를 정확하게 인지할 수 있는 것을 말하는 것으로 주행속도에 따른 시거가 확보되며, 직각에 가까운 교차각을 이루고 교차로 내의 교통안전 시설이 운전자 및 보행자의 시거에 제약되지 않도록 설치한다.

• 이해성

모든 도로 이용자가 회전을 할 수 있는 위치, 차로 선택, 상충 가능 지점, 통행 우선권 등을 명확하게 식별할 수 있는 것을 말한다. 이를 확보하기 위해 자연스러운 진로 변경, 교통시설의 설치 형태와 교통소통을 위한 도류로의 설치, 적절한 통행 우선권의 부여, 유도시설의 시각적 효과 확보 등이 요구된다.

• 통행성

교차로의 형태가 자동차의 역학적 특성, 주행 궤적에 의한 기하학적 요구와 일치되는 것을 말하는 것으로, 적합한 주행궤적이 고려되어 합리적인 폭원과 곡선반경으로 교차로를 구성한다.

2.1 기본적 설계 고려사항

(1) 교차로의 안전

교차로의 모든 기본적인 요구 사항들을 동시에 만족시키기 곤란한 경우, 교통안전이 우선되어야 한다. 이를 위하여 지방지역에서는 속도제한과 신호시설 등이 중요하며, 도시지역에서는 노인, 어린이, 장애인, 자전거 이용자 등의 교통약자를 위한 안전조치를 충분히 한다.

특히, 이들은 자동차와의 충돌시 일방적으로 피해를 입는 집단으로 반응과 행동의 예측이 매우 어렵기 때문에 지속적이고 세심한 주의가 필요하다.

일반적으로 교차로 계획시의 교통안전을 위한 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 도로이용자에게 동시에 2개 이상의 결정을 요구해서는 안됨
- 도시부의 교차로는 설계를 통하여 낮은 속도의 통행 유도
- 양보 의무를 갖는 이용자에게는 시설물을 통하여 분명히 (의무를) 알려주어야 함
- 교차로 전방과 교차로 내에서 충분한 시거의 확보
- 보행자의 횡단 안전을 위하여 운전자와 시선을 마주칠 수 있도록 해야 함
- 도시부 교차로에 조명시설 설치

(2) 교차로의 용량

교차로의 용량은 교통 제어 방법, 차로의 운영 방법, 폭원 구성 등에 따라 다르며 용량 이상의 교통량이 교차로에 도착하면 교통 정체가 발생한다. 따라서 평면교차를 계획하는 경우 교차로가 어느 정도의 교통량을 처리할 수 있는지, 교차로에 교통량이 얼마나 도착할 것인가를 파악하는 것이 중요하다. 즉, 신호교차로에서 교통정체를 일으키지 않기 위해서는 교차로에 도착하는 교통량(교통수요) 이상의 용량을 갖는 교차로를 설계하여야 하며, 용량을 증대시키는 것은 교통정체에 대한 기본 대책이다.

그러나 용량을 증대시키는 것에는 한계가 있다. 이는 용지 및 주변 지장물로 인한 도로 폭의 제약, 교차로에서 교차되는 교통량을 순서대로 처리함으로써 한쪽 방향 도로의 자동차가 진행하고 있는 동안 다른 방향 도로의 자동차는 운행이 불가능하므로, 교차가 없는 단로부에 비하여 교차로의 용량은 적어지기 때문이다. 그러므로 교차로를 계획할 때에는 현실적인 제약조건 아래에서 어떻게 용량을 증대시킬 것인가 하는 것을 다양한 관점에서 검토하여 가급적 큰 용량을 유지하도록 교차로 계획을 수립한다.

2.2 평면교차 계획시 고려요소

교차로 설계시 교차로를 이용하는 모든 교통류(자동차, 보행자, 자전거 등)의 잠재적인 상충을 최소화하여 시설을 편리하고 안전하게 이용토록 계획하여야 하며, 이를 위한 기본적 요소의 구성은 다음과 같다.

(1) 인적 요소

- 주행 습관
- 판단 능력
- 운전자의 기대치
- 반응시간
- 자동차 주행경로에의 순응 정도
- 보행자의 특성

(2) 교통류의 요소

- 용량
- 회전 교통량
- 자동차의 제원
- 자동차의 흐름
- 자동차 속도
- 대중 교통 수단과의 연결
- 교통사고 기록

(3) 물리적 요소

- 인접 부지의 사용 특성
- 교차도로의 기하구조 특성
- 시거
- 교차각
- 상충 지역
- 속도변화 구간
- 교통관제 시설
- 조명시설
- 안전시설

(4) 경제적 요소

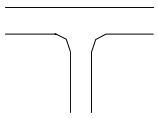
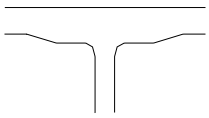
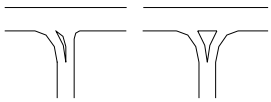
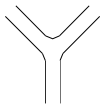
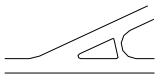
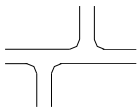
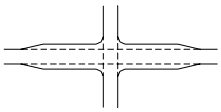
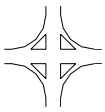
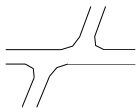
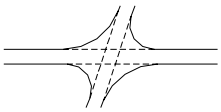
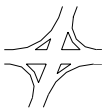
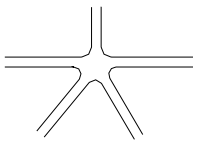
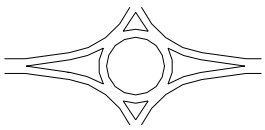
- 공사비 및 주변 토지 보상비
- 지체 및 우회에 따른 연료소비

(5) 환경 요소

- 주변 토지이용 현황 등의 사회, 경제, 환경적 요소
- 소음, 공해 등의 생활환경 요소

2.3 평면교차의 형태

평면교차는 교차하는 갈래 수, 교차각 및 교차 위치에 따라 구분된다. 여기서 갈래라 함은 교차로의 중심을 기준으로 할 때 바깥 방향으로 뻗어나간 도로의 수를 말하며, 일반적으로 형태에 따른 구분은 <그림 306.1>과 같다.

<table>
<tr><td rowspan="2">세 갈래
교차로</td><td>T형</td><td> 
미확폭 교차로</td><td> 
확폭 교차로</td><td> 
단순 유출입
(단순 접속)</td></tr>
<tr><td>Y형</td><td> 
미확폭 교차로</td><td>
확폭 교차로</td><td> 
도류화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">네 갈래
교차로</td><td>직각</td><td> 
엇갈림</td><td> 
확폭 교차로</td><td> 
도류화</td></tr>
<tr><td>사각</td><td> 
엇갈림</td><td> 
확폭 교차로</td><td> 
도류화</td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="3"> 
기형(여러 갈래) 교차로
 
로 터 리</td></tr>
</table>

<그림 306.1> 평면교차의 형태

2.4 평면교차의 상충

2.4.1 개 요

교차로 설계시 교차각의 합리적인 처리, 시거, 종단경사 등 기하구조 측면에 주로 관심을 갖게 되지만, 실제로는 효과적인 상충 처리를 위해 교차로를 여러 부분으로 나누어 각 부분에 대해 상세히 분석한다. 여기서 상충이란, 둘 이상의 도로 이용자가 동일한 도로공간을 사용하려 할 때 발생되는 교통류의 교차, 합류 및 분류를 말한다.

교차로 설계에서 핵심이 되는 것은 교차로 내에서 발생하는 교차지점의 상충, 합류 및 분류 지점의 상충, 보행자와의 상충을 효율적이고 안전하게 처리하는 것이다. 그러므로 설계시 상충의 형태, 상충에 포함되는 교통량, 상충이 발생하는 위치 및 시기, 그리고 상충 교통류의 평균속도 등을 상세히 분석하여 상충의 면적과 횟수를 최소화시키고 위치 및 시기를 조정하여, 운전자들로 하여금 한 지점에서 되도록 단순한 의사결정 과정을 거치도록 한다.

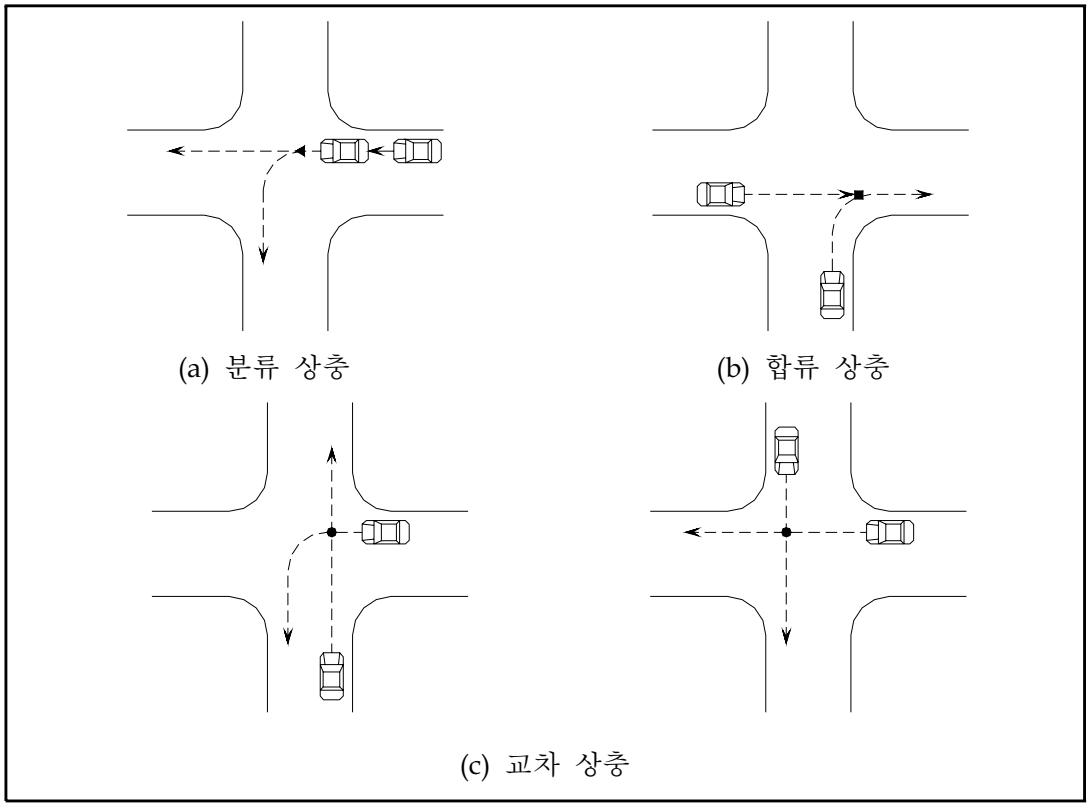
2.4.2 교차 갈래와 상충의 관계

교차로에 유입하는 도로의 수가 많아지면 교차로 내에서 교차, 합류 및 분류하는 교통류의 수가 기하급수적으로 많아져 교차로에서 교통처리가 매우 복잡하고 사고위험 등이 급격하게 증대된다.

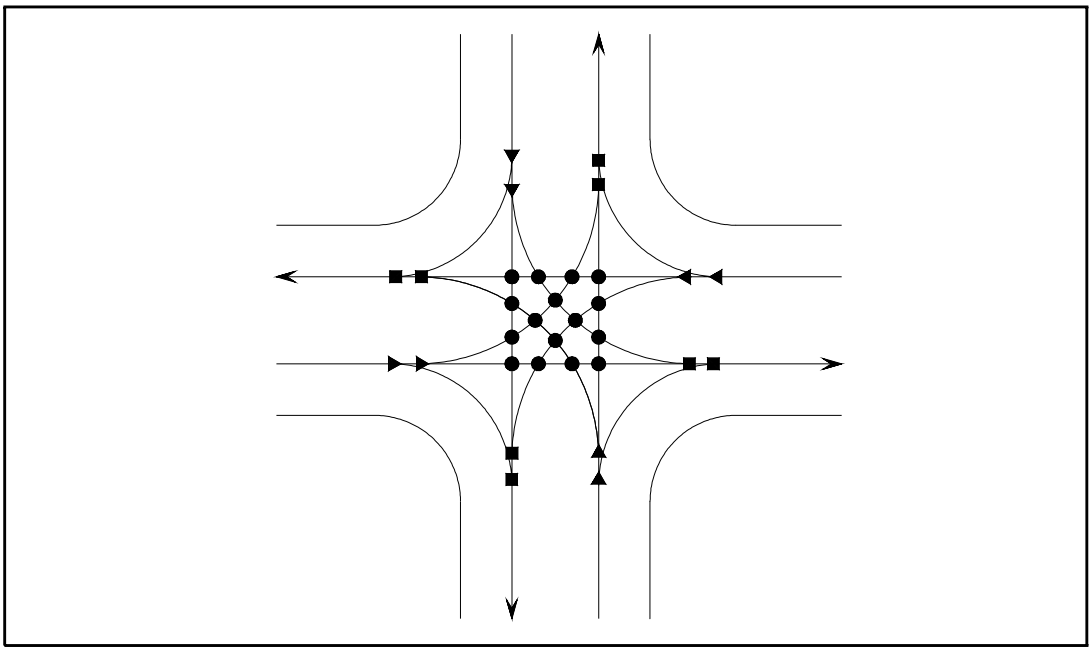
<표 306.1>과 같이 갈래 수의 증가에 따라 상충 횟수가 기하급수적으로 증가되므로 가능한 교차 갈래 수가 최소가 되도록 한다.

<표 306.1> 교차로별 상충의 수

갈래 수	교차 상충(●)	합류 상충(■)	분류 상충(▲)	계
3	3	3	3	9
4	16	8	8	32
5	49	15	15	79
6	124	24	24	172



<그림 306.2> 상충의 유형



<그림 306.3> 네 갈래 교차로의 상충

2.4.3 교통운영과 상충의 관계

교차로에서 상충은 단순히 교차하는 도로의 갈래 수와 더불어 교통운영 방법에 따라 큰 변화가 생긴다.

네 갈래 교차로의 경우 좌회전을 모두 금지시키면 상충의 수가 32개에서 12개로 줄어들게 되며, 일방통행을 하게 되면 5개의 상충만 발생하게 된다. 따라서 교차로에서 상충의 효율적인 처리를 위해 교통 운영에 대하여 항상 고려한다.

2.5 교차 갈래 수

상충 문제를 고려한다면 가능한 3갈래 교차로로 계획해야 하며, 5갈래 이상의 평면 교차로는 상충의 문제와 기하구조 측면에서도 교차각이 작아지고 시거가 불량하며, 교통운영 측면에서 통행권의 분할로 인해 교통 제어가 어려워지므로 안전성 및 용량에 문제를 유발된다. 따라서 평면교차의 갈래 수는 4갈래 이하가 되도록 한다.

306.3 평면교차 계획

3.1 교통관제

교차로의 계획, 설계는 해당 교차로의 교통운영과 교통관제 방법에 따라 달라지므로 계획, 설계시 교통관제 방법에 대한 고려가 필요하다.

일반적으로 교차로의 교통관제 방법에는 교통신호기, 일시정지표지, 양보표지 등을 이용한다.

(1) 신호 교차로

고속으로 주행하는 자동차에 대하여 신호제어를 하면 추돌사고가 증가하며 그 피해도 커지므로 교통관제에 주의를 하여야 한다. 특히 80km/h 이상의 설계속도로 건설되는 도로는 주로 장거리 통과교통을 위한 도로로서 접근성보다는 이동성이 중요시되므로, 시간 단축과 주행 쾌적성을 유지하기 위해 본선 교통을 방해하지 않도록 신호제어에 신중을 기하여야 한다. 즉, 자동차 전용도로와 80km/h 이상의 속도로 운영되는 도로는 신호제어를 이용한 교통관제를 사용하는 것은 가급적 피하며, 설계속도가 높을수록 제한속도 조정 등을 이용한 운영방법을 병용하여 신호제어 방법을 고려하되 단계건설에 의한 입체교차 방법을 함께 고려한다.

(2) 일시정지 및 양보표지

고속으로 진입하는 자동차에 대하여 일시정지로 규제한다는 것은 많은 경우에 운전자의 예측을 곤란하게 하므로, 교통의 혼란을 일으키고 사고발생의 우려도 크다. 따라서 설계속도 60km/h 이상으로 계획된 도로의 직진 교통류에 대해서는 일시정지 및 양보표지를 하지 않는다.

일시정지나 양보표지가 설치된 교차로의 용량은 크게 두 가지의 요소에 의해서 영향을 받는다. 하나는 일시정지나 양보표지가 설치되어 있지 않은 도로(주도로)의 교통량이고, 다른 하나는 일시정지나 양보표지가 설치된 도로(부도로)상의 운전자가 교차하여 진행하거나 회전하기 위해 안전하다고 판단되는 주도로상의 차두간격의 분포와 크기이다.

이에 따른 주도로의 교통에 대해 관제를 하지 않고 부도로에 일시정지표지나 양보표지를 설치하는 경우에 대한 부도로의 용량은 <표 306.2>와 같다.

일반적으로 일시정지표지를 설치하는 한계 교통량은 도로의 폭, 좌·우회전 교통량 및 주변 조건에 따라서 크게 달라진다. 교차하는 교통량이 약 1,000대/시 이하이면 교통량이 적은 쪽을 일시정지시켜 통과할 수 있겠지만 교통량이 많아지면 대기시간도 증가하고 운전자의 초조감도 커져 사고 요인이 된다. 따라서 일시정지표지를 설치하는 도로에 대해서는 임계 교통량을 용량보다 적게 설정해 계획(설계)한다.

(3) 회전교통

교차로에서 좌·우회전 자동차가 직진 교통류 통행에 방해가 되지 않도록 하는 것이 교통안전과 교통용량 측면에서 중요하다. 특히 설계속도가 높을수록 회전 교통류에 의한 사고는 많아지며 사고피해도 크므로, 회전자동차가 직진차로를 침범하지 않고 회전 또는 회전대기를 할 수 있도록 한다.

교차로에서 좌·우회전시, 자동차 통행 방법에는 차도 전체를 사용하든가 차도의 좌·우측을 사용한다든가 하는 등의 방법이 있는데, 통행방법은 교차하는 도로 규격, 설계 기준 자동차 및 교통운영 방법을 고려하여 정한다.

<표 306.2> 부도로의 용량

부도로 교통관제 방법	차두간격		주도로의 양방향 교통량(대/시)				
	T(초)[a]	T(초)[b]	800	1000	1200	1400	1600
일시정지	8	5	200	140	100	75	45
	7	5	250	190	140	110	80
	6	5	315	250	200	160	125
양보	7	3	350	250	185	135	95
	6	3	c	335	225	200	150
	5	3	c	440	360	290	235

주)

a - 부도로의 첫 번째 운전자가 안전하다고 받아들이는 주도로의 최소 차두간격(초)

b - 주도로의 차두간격이 클 때 부도로의 두 번째 운전자가 통행하는 데 필요한 시간(초)

c - 이 경우에는 부도로의 용량이 주도로의 반을 초과하여 현실성이 없으므로 생략함

3.2 설치 위치

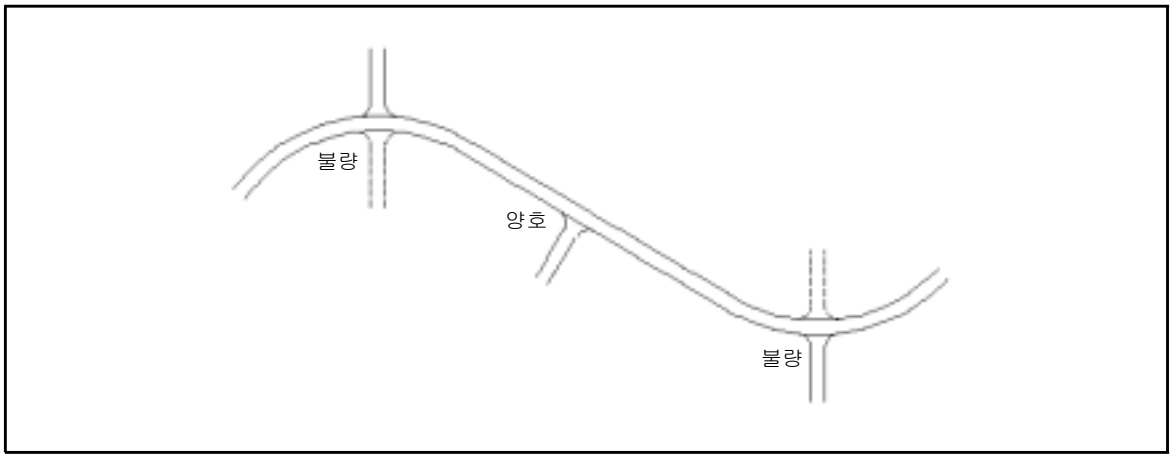
(1) 평면선형을 고려한 설치 위치

교차로는 도로의 평면선형이 직선부인 곳에 설치하는 것이 원칙이다. 다만, 지형상황 등으로 부득이하게 곡선부에 설치하는 경우에는 곡선부 바깥쪽에 접속하는 것이 바람직하다. 즉, 곡선부 안쪽으로 접속하게 되면 교차각이 작아지며 운전자가 교차로를 인지하기 어려워 사고의 위험성이 크게 되므로 곡선부의 바깥쪽이 안쪽보다 유리하기 때문이다(<그림 306.4> 참조).

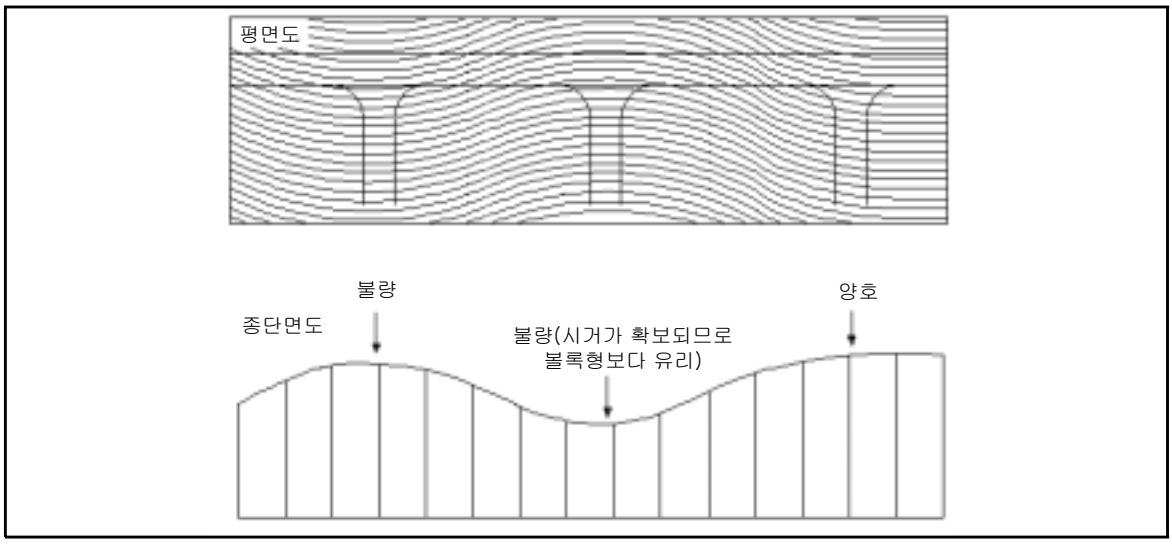
(2) 종단선형을 고려한 설치 위치

교차로는 본선상 급경사 구간 및 종단 곡선 구간에는 설치하지 않는다. 급경사 구간의 경우 정지 및 출발시에 문제가 발생되며, 볼록형 종단곡선 구간의 경우 시계 불량 등으로 인하여 위험하고, 오목형 종단곡선의 구간은 제동거리가 길어지며 배수 문제가 발생하기 쉽다.

그러나 지형상황 등으로 부득이한 경우에는 볼록형 종단곡선부에 설치하는 것보다는 오목형 종단 곡선부에 설치하는 것이 시거확보가 쉬우므로 사고 위험 측면에서 다소 유리하다(<그림 306.5> 참조).



<그림 306.4> 평면선형을 고려한 설치 위치



<그림 306.5> 종단선형을 고려한 설치 위치

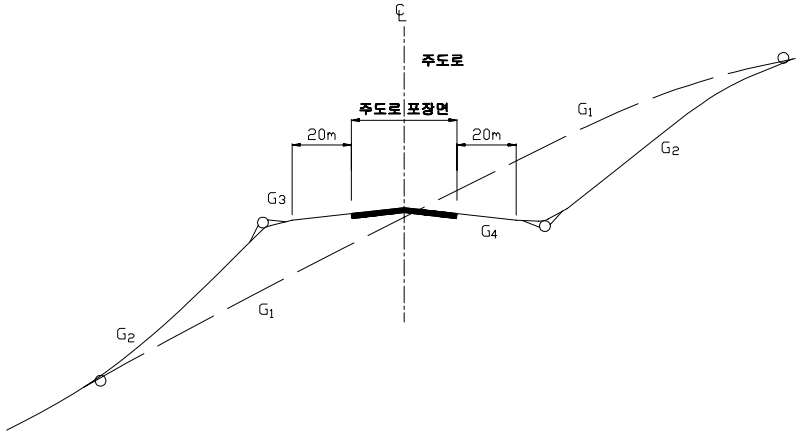
주도로와 교차하는 경사 차이가 주도로의 횡단경사보다 클 경우, 교차로의 경사차는 <그림 306.6>과 같이 설명할 수 있다. 이것은 시거가 감소되지 않는 한도 내에서 적당한 경사와 종단곡선의 적용을 통해 교차로의 경사 차이를 줄여야 한다.

교차로에서 부도로의 경사는 주도로의 횡단경사와 일치해야 한다. 최대로 접근을 위한 경사는 6%까지이며, 가능하다면 3% 이내로 하는 것이 바람직하다. 곡선부에서 주도로의 편경사는 부도로의 편경사와 조화를 이루어야 한다. 이것은 <그림 306.6>에 도식화되어 있으며, 교차로 부근의 최소 경사는 충분한 배수를 위해 0.5%를 적용한다.

<표 306.3>은 설계속도에 따른 경사완화 구간 길이를 나타낸 표이다.

<표 306.3> 경사완화 구간 길이의 산정
(제동 정지시거 2.5초 적용)

설계속도 (km/h)	경사완화 구간 최소길이
80	60
70	50
60	45
50	35
40	30



G_1 : 부도로의 기존 경사

G_2 : 교차로에서 경사 차이를 감소시키기 위해 적용된 경사

G_3 & G_4 : 주도로의 횡단경사(0.5~5.0%)에 의해 보정된 부도로의 경사

<그림 306.6> 교차로에서 부도로의 경사 조정

3.3 평면교차로 간의 간격

교차로의 최소 간격을 획일적으로 결정하는 것은 어려우며, 교차하는 교통류의 허용에 따라서 교차로와 단순 접속으로 분류되기도 한다.

평면교차로 간의 간격 결정을 위해서는 해당 도로 및 접속도로의 기능, 설계속도, 차로 수, 접속 형태 등이 고려되야 하며, 인접 교차로의 간격이 불충분해서 원활한 교통운영을 기대할 수 없는 경우에는 일방통행, 출입금지 등의 규제와 그것에 적합한 교차로 개선 사업을 실시하여 혼란을 피한다.

일반적으로 평면교차의 간격은 교통류의 원활한 처리를 위해 크게 확보하는 것이 유리하다. 그러나 지방지역에서 신호교차로 간 간격이 지나치게 길거나, 시가지 가로망 구성 등에서 교차로 간격(super block으로 인한)이 지나치게 길면 운전자가 교통관제 방법을 인식하지 못하여 주행속도를 너무 높게 함으로써 사고위험이 높고, 신호 연동화 등에 문제도 발생될 수 있음을 고려해야 한다.

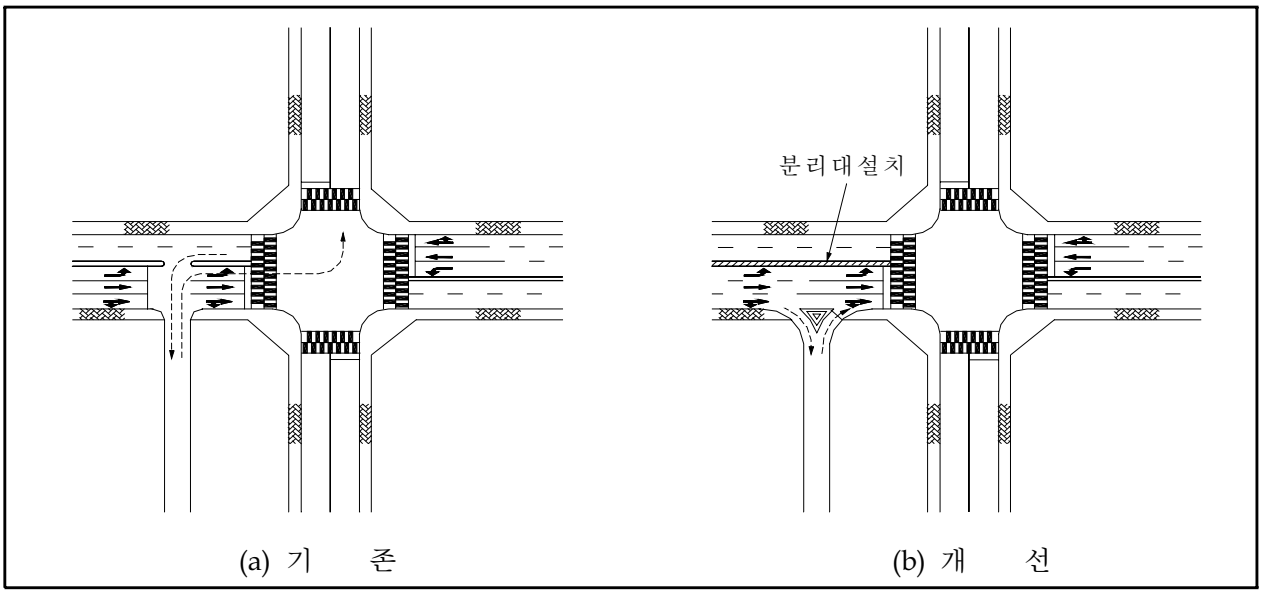
참고로 영국의 도시부에서 사용되는 교차로 간의 최소 간격의 지침은 <표 306.4>와 같다.

<표 306.4> 영국 교차로의 최소 간격(도시지역)

도로의 구분	최소 간격
주요간선도로	550 m
간선도로	275 m
집산도로	210 m
국지도로 또는 진입로	90 m

(1) 교차로 설치 계획

- 간선도로 계획시 기존 도로망과 교차함으로써 유발되는 평면교차는 형상, 교통 소통 및 안전을 종합 검토하여 필요한 경우 기존교차로를 정리 통합을 하는 교차로 개선과 교통규제 방법 등을 고려
- 부도로를 간선도로에 접속하는 경우, 주요 평면교차와의 인접 계획은 피함 (<그림 306.7> 참고)



<그림 306.7> 간선도로 교차로에 인접한 부도로의 처리

- 도시 가로망의 계획이나 신설 도로의 계획 시 교차로 간의 간격은 신호등 운영에 의한 영향을 고려하여 규칙적으로 배치하여 신호체계를 연동화시킴으로써 교통이 차단되는 횟수를 줄여 교통 소통, 교통안전 및 환경 측면에서 유리하도록 한다.

(2) 평면교차로 간의 최소 간격 검토

평면교차의 최소 간격은 주로 다음과 같은 내용에 대해 검토된다.

① 차로 변경에 필요한 길이

교차로 간격의 제약은 엇갈림이 생기는 경우에 모두 존재한다. 엇갈림 교통류가 주교통류인 경우에는 안전성 및 처리능력의 양면에서 문제가 유발되므로 유의한다. 일반적으로 엇갈림 교통량이 적은 경우 상세설계 전 개략적인 값을 검토하기 위해 사용되는 교차로 간의 순간격은 다음의 값을 적용한다.

$$L = a \times V \times N$$

여기서, L = 순간격(m)

a = 상수(시가지부 1, 지방지역 2~3)

V = 설계속도(km/h)

N = 설치 차로 수

② 회전차로 길이에 의한 제약

일반적으로 근접한 2개 교차로의 신호는 동시운영을 하는 경우가 많고 직진 교통류의 대기 차량 길이로 인해 교차로 간격을 제약하는 경우가 많으므로 유의한다.

③ 다음 교차로에 대한 인지성 확보

교차로가 인접해 있으면 하나의 교차로를 통과하고 나서 순간적으로 주의력이 느슨해진 때에 다음 교차로에 이르거나, 혹은 다음 교차로에 대한 관찰이나 정보 수집을 충분히 행할 시간적 여유를 확보하지 않은 채로 다음 교차로에 이르게 되기 때문에 매우 위험하다. 특히 교차로가 많고 복잡할수록 이 영향은 크므로 간격에 유의해야 한다.

(3) 국도의 평면 교차 간격

'국도의 노선계획·설계지침(안)'(건설교통부, 1999)과 '국도 기능 분류 및 효율적 투자 방안 연구'에 관한 최종보고서(건설교통부, 1994. 4)에 의하면 국도의 기능 분류와 교차 간격 및 방법 등은 다음과 같다.

- 국도의 기능 구분

국도의 노선을 계획할 때에는 그 노선의 역할과 기능에 따라 다음과 같이 국도Ⅰ, 국도Ⅱ, 국도Ⅲ으로 구분한다.

① 국도Ⅰ : 7×9 장기 간선망을 보완하여 국토의 간선축을 형성하며, 주로 장거리 통행을 담당하는 국도로서 교통수요가 높아 매우 양호한 시설 수준을 요하는 국도

② 국도Ⅱ : 장거리 통행 비율이 국도 Ⅰ에 비해서 낮으나 주요 도시를 연결하며 산업단지, 국립공원 등의 연결기능과 항만·공항·물류단지 등 타 교통시설 간의 연계수송기능을 담당하는 국도로서 교통수요가 비교적 높아 보통 수준의 시설을 요하는 국도

③ 국도Ⅲ : 국도Ⅰ, 국도Ⅱ를 연계·보완하며 통과교통량의 비율이 적고 지역내 통행을 주로 담당하는 국도로서, 기존 혹은 공사·계획중인 고속도로 노선과 인접하여 동일 방향의 교통을 담당하지만 장래에도 교통수요의 증가가 크지 않을 것으로 예상되는 국도와 관광·휴양지의 접근성을 주기능으로 하는 국도

• 국도의 평면 교차 간격 및 교차 방법

국도와 국도, 국도와 국도 이외의 도로의 교차 방법은 다음을 원칙으로 한다.

① 국도Ⅰ과 다른 도로는 입체교차를 원칙으로 하되 교차가 최소화되도록 하며, 평면교차가 불가피할 경우에는 3개/10km 이하로 제한

② 국도Ⅱ와 다른 도로는 입체교차를 원칙으로 하되, 교차점의 교통용량, 교통안전, 지형조건 등을 고려하여 평면교차가 가능한 구간은 평면교차 밀도 5개/10km 이하 범위에서 평면교차로 처리

③ 국도Ⅲ과 국도Ⅰ, Ⅱ를 제외한 다른 도로와의 연결은 평면교차를 원칙으로 하되, 평면교차로 밀도는 5~10개소/10km를 기준으로 함

④ 계획노선의 시·종점부가 잦은 신호교차로에 의한 교차로로 형성되어 있는 노선과 연결되는 경우에는 ①, ②항에 해당되더라도 평면교차로로 계획한다.

⑤ 평면교차로의 형태와 구조 등은 본선 교통의 흐름에 지장이 최소화되고 보행자를 보호할 수 있도록 계획하여야 하며 좌·우회전 차로, 가·감속차로를 충분한 길이로 계획한다.

3.4 단순 접속도로의 설치

부도로를 간선도로에 접속하는 경우 주요 교차로에 인접하여 계획하면 간선도로의 주교통류와 부도로의 진·출입 교통의 상충에 의해 교통 흐름과 교통안전의 측면에서 매우 불리하다. 따라서 이러한 계획을 세워서는 안되며 다른 진·출입로가 없어 부득이하게 부도로를 설치할 경우에는 그 영향을 검토하여 설치한다.

AASHTO(1994)에는 "접근로는 교차로의 기능적인 경계 내에 위치해서는 안된다."라고 언급하고 있다. 반면 교차로의 기능적 영역의 크기에 대해서 구체적으로 제시된 값은 없고, 기본 원리는 물리적인 영역보다 커야 할 것이라고 언급하고 있다.

교차로의 영향권 내에 접근로를 설치하면 용량 감소로 인한 소통과 안전에 많은 문제를 야기하므로, 차량의 가·감속 거리, 설계속도 및 운행속도, 대기차량의 길이 등을 고려하여 기능적인 영향권을 검토하여 접근로의 최소 설치 간격을 산출한다.

(1) 교차로의 영향 권역

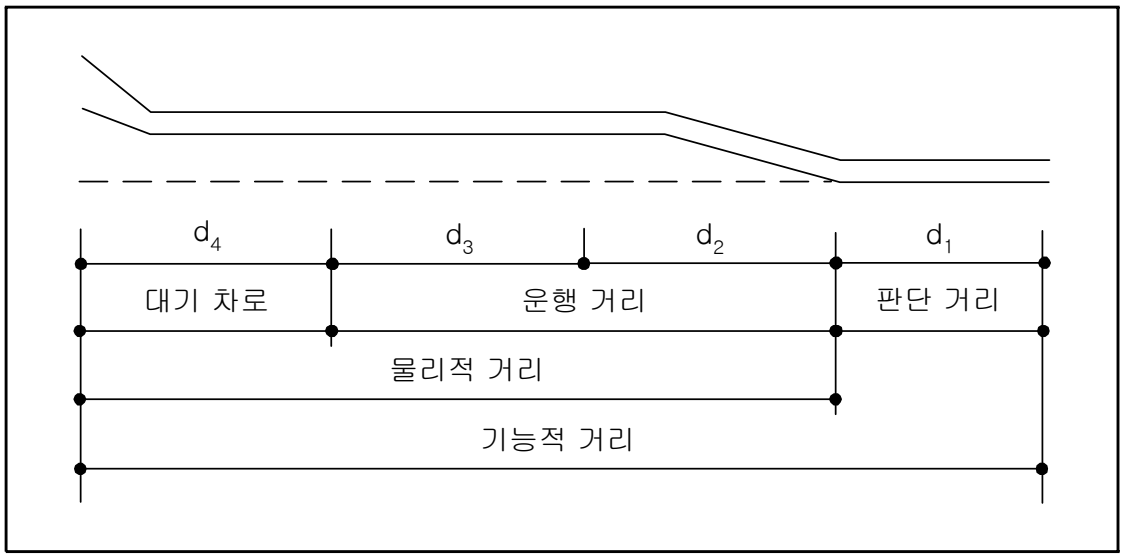
교차로 부근에서 회전하려는 자동차의 운행에 대해 살펴보면, 회전 교통류는 직진차로에서 회전차로로 차로 변경을 하게 되며 대기하고 있는 자동차의 뒤에 정지하게 된다. 이러한 거리를 운행거리라 하며, 회전하기 위해 자동차가 기다리고 있는 거리를 대기차로라 한다.

이러한 길이를 합친 거리가 교차로에서 기능적으로 중요한 역할을 하게 되며, 이러한 거리로 구성된 지역을 교차로의 영향 권역이라 한다.

(2) 기능적 거리의 산정

교차로의 기능적인 영향권역을 산정하는 세부 항목을 살펴보면 운전자가 인지 반응시간에 주행한 거리(d_1 : 운전자에 따라 다소 달라질 수 있으나 t=2.5~1.0초 적용), 횡방향으로 이동하면서 감속하는데 필요한 거리(d_2 : 횡방향 감속도 a=1.1~1.4m/sec^2 적용), 차로 변경 후 감속하는 데 필요한 거리(d_3 : 감속도 a=1.8~2.7m/sec^2 적용)와 대기차로 길이(d_4)로 구성된다.

이에 따라 판단거리(d_1)와 운행거리(d_2+d_3)를 각각 계산하여 대기차로(d_4)의 거리를 합치면 기능적 거리가 된다. 여기서 대기차로의 길이는 교통량에 따라 달라지므로 운행거리와 판단거리를 계산하면 <표 306.5>와 같다.



<그림 306.8> 교차로의 기능적 영향권을 구성하는 요소

<표 306.5> 판단 및 운행 거리

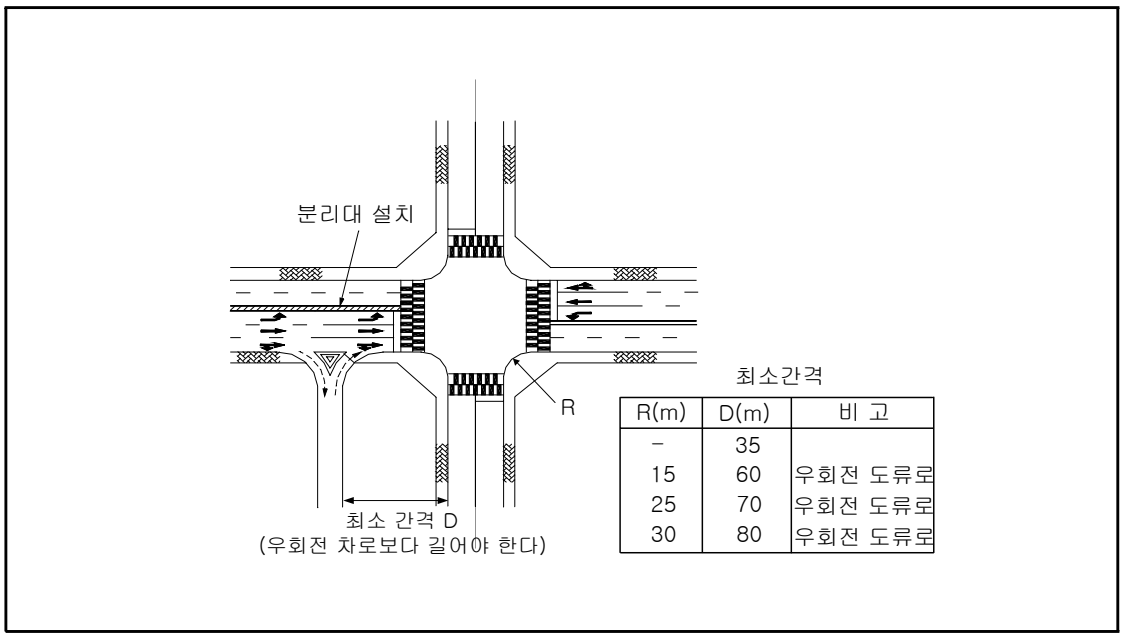
속도(km/h)	운행거리(m)	판단 및 운행거리(m)	비고
50	70(50)	100(65)	( )는 최소치 적용시의 값임.
55	90(65)	130(80)	
65	115(85)	160(100)	
70	140(105)	190(125)	
80	170(125)	230(145)	
90	205(150)	165(170)	

(3) 최소 설치 간격

앞에서 언급한 교차로의 영향권역은 지방지역 통과 교통 위주의 도로 및 도시지역 간선도로에서 주로 사용되는 값으로 도시지역 세 갈래 가로에 설치하려면 현실적 한계가 발생한다. 따라서 최소 설치거리는 가각부 최소거리(corner clearance)의 개념으로 사용되며 이는 교차로의 모서리에서부터 가장 가까운 접근로 출입 지점까지의 거리를 말한다. 이러한 가각부 최소거리는 교차로 부근의 접근로가 막혀 주도로가 연쇄적으로 막히지 않을 정도의 최소거리와 비슷한 개념이다. 접근로 인접 차로의 교통량, 인접 교차로의 서비스 교통류율, 신호시간, 도로 기능 등에 따라 거리는 달라진다.

일반적으로 교차로의 앞측에 부도로를 접속하는 경우 최소 설치 간격은 우회전 차로의 길이보다 길어야 한다. 교차로를 통과한 후 부도로를 접속하는 경우의 최소 간격은 그 형태에 따라 다소 차이가 있으며 이에 대해 일반적으로 <그림 306.9>의 값을 적용한다.

그러나 교통량이 적은 도시지역 세 갈래 가로의 경우, 이상의 조건을 모두 만족시키기 곤란하더라도 간선도로에서 세 갈래 가로로 진입하려는 자동차가 세 갈래 가로에서 진출입하는 자동차를 발견하고 정지하여 대기할 수 있는 공간은 확보되어야 한다.



최소간격

R(m)	D(m)	비 고
–	35	
15	60	우회전 도류로
25	70	우회전 도류로
30	80	우회전 도류로

<그림 306.9> 교차로에 인접한 부도로의 최소 설치 간격

3.5 차로계획

(1) 교차로의 확폭

좌·우회전 자동차가 본선에서 주행하는 직진 교통류에 미치는 영향을 최소화하기 위해 교차로에서 좌·우회전 차로 확보를 위한 확폭이 요구된다. 즉, 교차로에서 차로 수는 교차로로 접근하는 도로의 차로 수보다 많아야 한다.

좌회전을 허용하는 교차로에서는 좌회전과 직진을 분리할 수 있도록 가급적 좌회전 차로를 설치해야 하며, 우회전 교통량이 많아 직진 교통량에 미치는 영향이 클 때는 우회전 전용차로를 확보 운영한다. 이때 확폭이 요구되는 길이는 좌·우회전 교통량에 따라 다르나 속도변화와 차로 변경에 충분히 대응할 수 있는 길이를 적용하는 것이 합리적이다.

(2) 차로 수의 균형

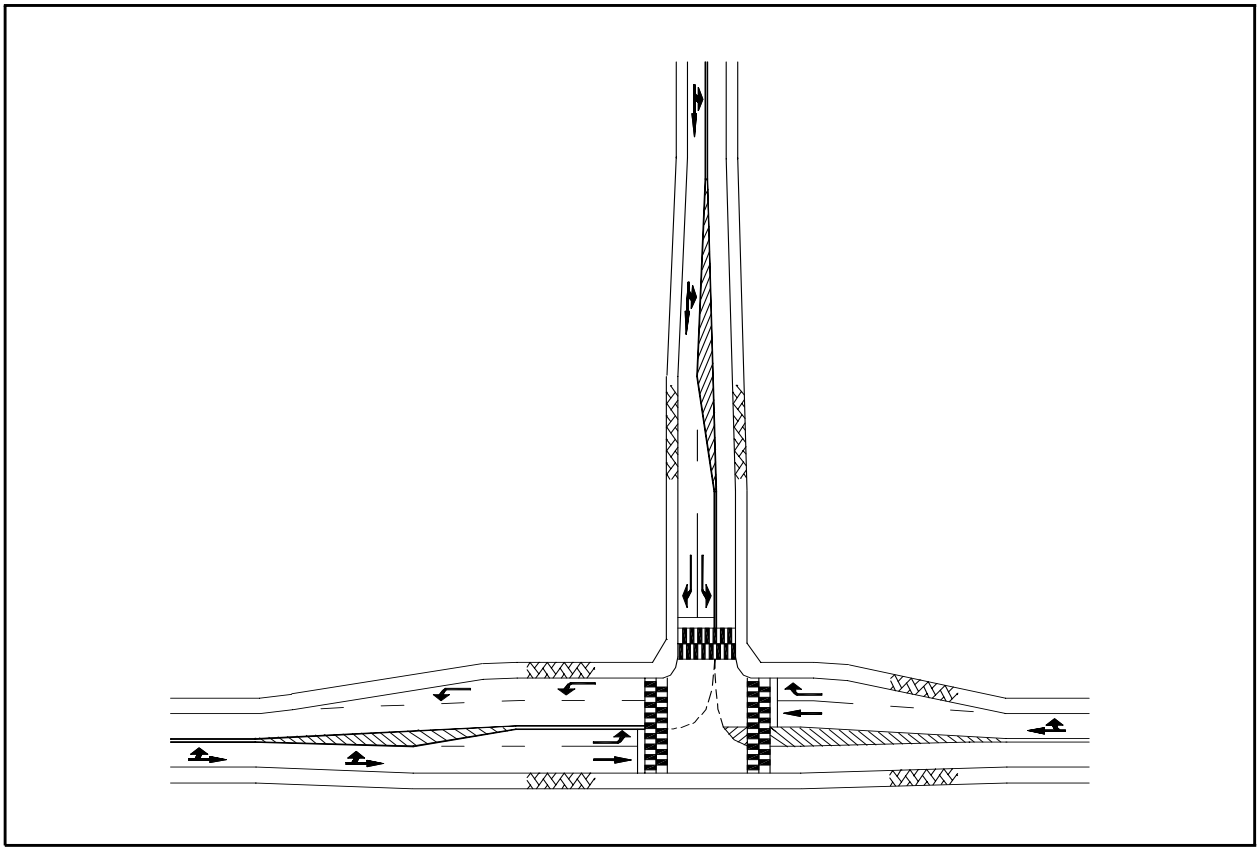
교차로에서는 한쪽 방향 도로의 자동차가 진행하고 있는 동안에는 다른 방향 도로의 자동차는 운행이 불가능하며, 대기 자동차는 정지상태에서 출발하므로 이로 인해 발생되는 손실 등을 고려하면 도로의 일반구간에 비하여 그 용량이 매우 적다.

예를 들어 동일한 교통량을 갖는 2개의 도로가 교차하여 발생되는 네 갈래 교차로를 생각해 보면, 회전교통류와 황색신호시간 등에 의한 영향을 무시하더라도 교차로에서 단로부와 동일한 교통처리를 하기 위해서는 소요 차로수가 2배로 증가한다.

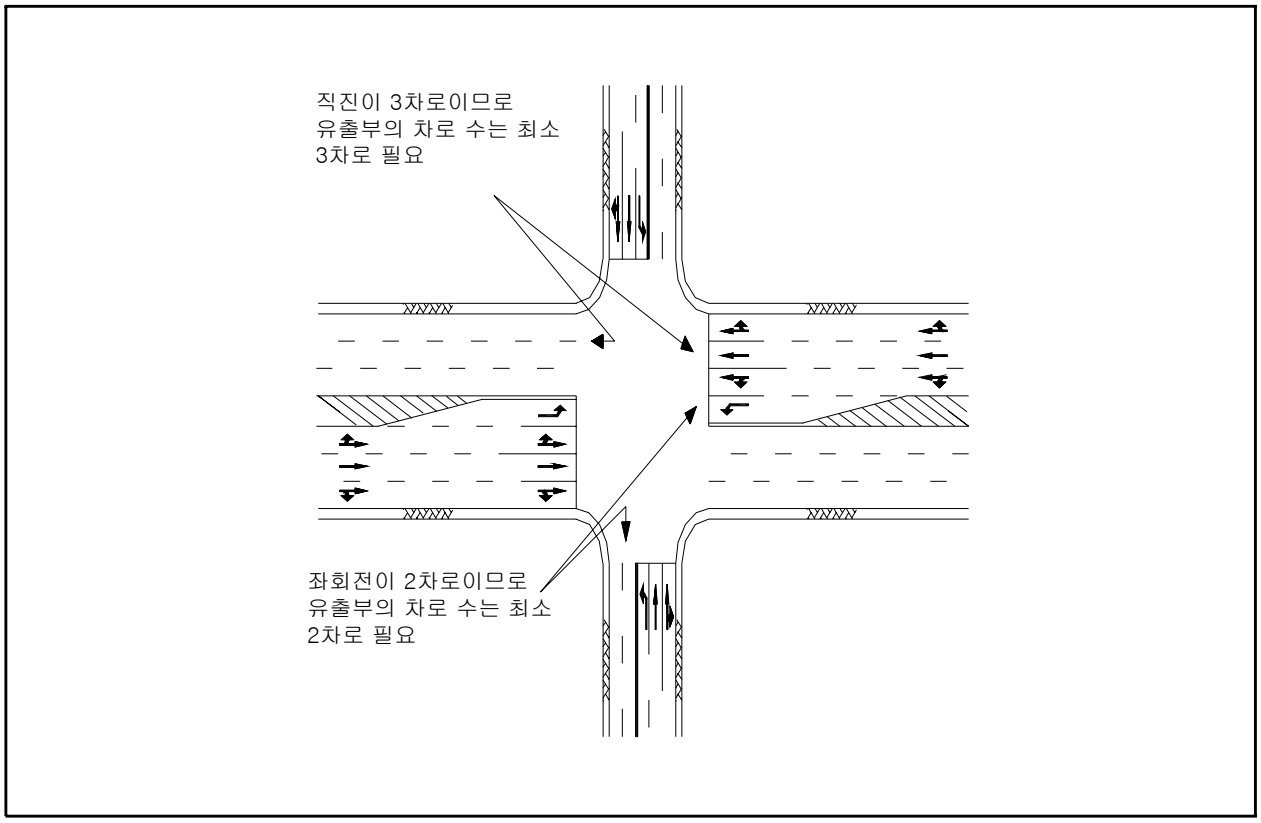
즉, 한쪽 방향 도로의 자동차가 진행하고 있는 동안 다른 방향 도로의 자동차는 대기하며, 대기한 자동차는 다음 대기 신호 전까지 일시에 진행하기 위해 일반구간과 동일한 교통처리 능력을 갖도록 하는 것은 곤란하므로 그 영향을 최소화시켜야 한다.

또한, 유출부의 병목으로 인하여 직진 교통류 및 회전 교통류가 교차로 내에서 정지하면 후속의 진행 교통류를 방해하므로 교차로의 교통처리 능력이 저하되고 교통정체가 생기거나 교통사고가 발생하게 된다. 따라서 유출부(교차로 후방)의 차로 수는 유입부(교차로 전방)의 차로 수보다 크거나 같아야 한다.

<그림 306.13>은 교차로에서의 차로 수 균형을 보여주고 있다.



<그림 306.10> 교차로의 확폭 및 차로 증설



<그림 306.11> 차로 수의 균형

306.4 평면 교차 설계

4.1 설계절차

4.1.1 개 요

교차로 설계시 일반 도로구간(단로부)과의 근본적인 차이점은 기존도로에 접속되므로, 신설되는 도로와 기존 도로에 큰 영향을 미친다.

즉, 기존의 소통과 안전에 큰 문제가 없던 도로도 교차로가 신설됨으로써 교차지점에서의 용량이 매우 낮아지게 되며, 기하구조 조건의 변경 등으로 사고 위험성이 매우 증대된다. 또한 기존의 교차로는 기존 도로에 신설도로가 접속되어 자연발생적으로 형성된 상태가 그대로 존치되어 있는 경우가 많으므로 새로운 교차로의 설계뿐만 아니라 기존 교차로의 개선을 위한 설계도 매우 중요한 사항이 된다.

<그림 306.12>는 교차로의 설계흐름도이다.

4.1.2 각 단계별 절차

교차로 설계는 준비작업, 기본설계, 상세설계, 분석 및 검증의 단계를 이루는데, 이는 일반 도로구간에서의 설계 시행보다 분석 및 검증 단계가 추가로 필요하다. 기본적인 각 단계별 검토사항은 다음과 같다.

(1) 준비작업

- 자료수집 및 조사
- 문제점 분석
- 주요 조사사항
  - 도로 및 주변도로 현황조사
  - 교통량 조사
  - 교통운영 및 교통특성 조사
  - 교통사고 조사
- 기본방향의 수립

(2) 기본설계

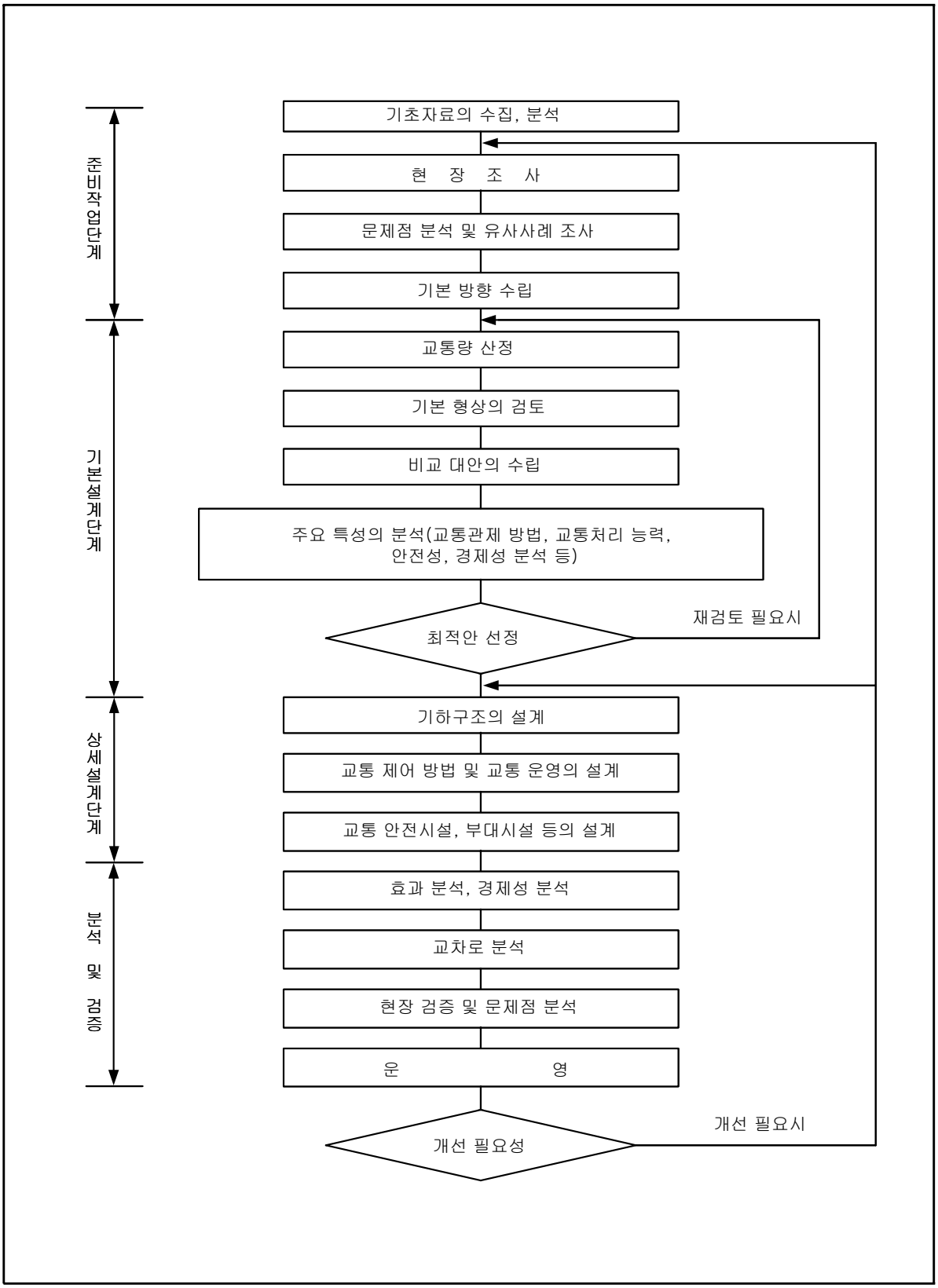
- 교통용량과 설계교통량의 추정
- 형상의 검토
  - 교차로의 교차각
  - 교차 면적
- 비교 대안의 작성
- 최적 대안의 선정

(3) 상세설계

- 도류화에 의한 기하구조 설계
- 시거 확보
- 신호현시 등의 교통운영 및 교통관제
- 기타 교통 안전시설 등의 설계

(4) 분석 및 검증

- 교통량, 교통용량
- 대기행렬의 길이(첨두시의 최대 또는 평균)
- 교차로 통과에 필요한 시간(첨두시의 주행시간)
- 사고발생 상황(언제, 어디서, 어떠한 사고가 있는지에 대한 조사)
- 교통특성의 변화 등



<그림 306.12> 교차로의 설계 흐름도

4.2 설계의 기본 원칙

교차로 설계의 기본원칙은 교차로의 형태나 운영방법을 가능한 한 단순하고 명확하게 하는 것이며, 기본 목표는 사람이나 자동차가 교차로를 안전하고 편리하며 효율적으로 이용하도록 하는 것이다. 이를 위해 자동차, 자전거, 보행자 및 교통시설간의 상충을 최소화시키며, 교차로 이용자의 운행특성과 일반적인 흐름에 가급적 부합되도록 한다.

세부적인 설계 기본원칙은 다음과 같다.

- 다섯 갈래 이상의 여러 갈래 교차로를 설치하지 않는다.
- 교차각은 직각에 가깝도록 한다.
- 엇갈림 교차, 굴절교차 등의 변형교차는 피한다.
- 교통류의 주·종관계를 명확히 한다.
- 교차로의 면적은 가능한 한 최소가 되도록 한다.
- 서로 다른 교통류는 분리한다.
- 자동차의 유도로를 명확히 한다.
- 교차로 기하구조와 교통관제 방법이 조화를 이루도록 한다.
- 각종 교통안전시설의 설치에 유의한다.

4.3 평면교차의 형상

평면교차로는 자동차, 보행자 및 시설물이 복잡하게 얽혀 있는 지점으로 교통사고의 위험성이 높고 교통 운영상태가 나빠질 우려가 많은 곳이다. 따라서 교차로의 선형은 되도록 직선을 유지하며, 교차로에 진입한 운전자나 보행자들이 교차로를 신속하고 안전하게 통과할 수 있도록 서로 교차각이 직각에 가깝도록 설계하여 교차로 면적을 최소화한다.

4.3.1 예각교차

예각교차의 교차로는 직각교차에 비하여 정지선 간 거리가 길고, 교차로 면적이 넓어지기 쉽다. 따라서 자동차가 교차로 내부를 고속으로 통과하여 좌·우회전 자동차와 횡단보행자 사이에 사고가 발생하기 쉽다. 또한 이러한 교차로는 시거가 불량하여 교통처리 능력에도 문제가 있다.

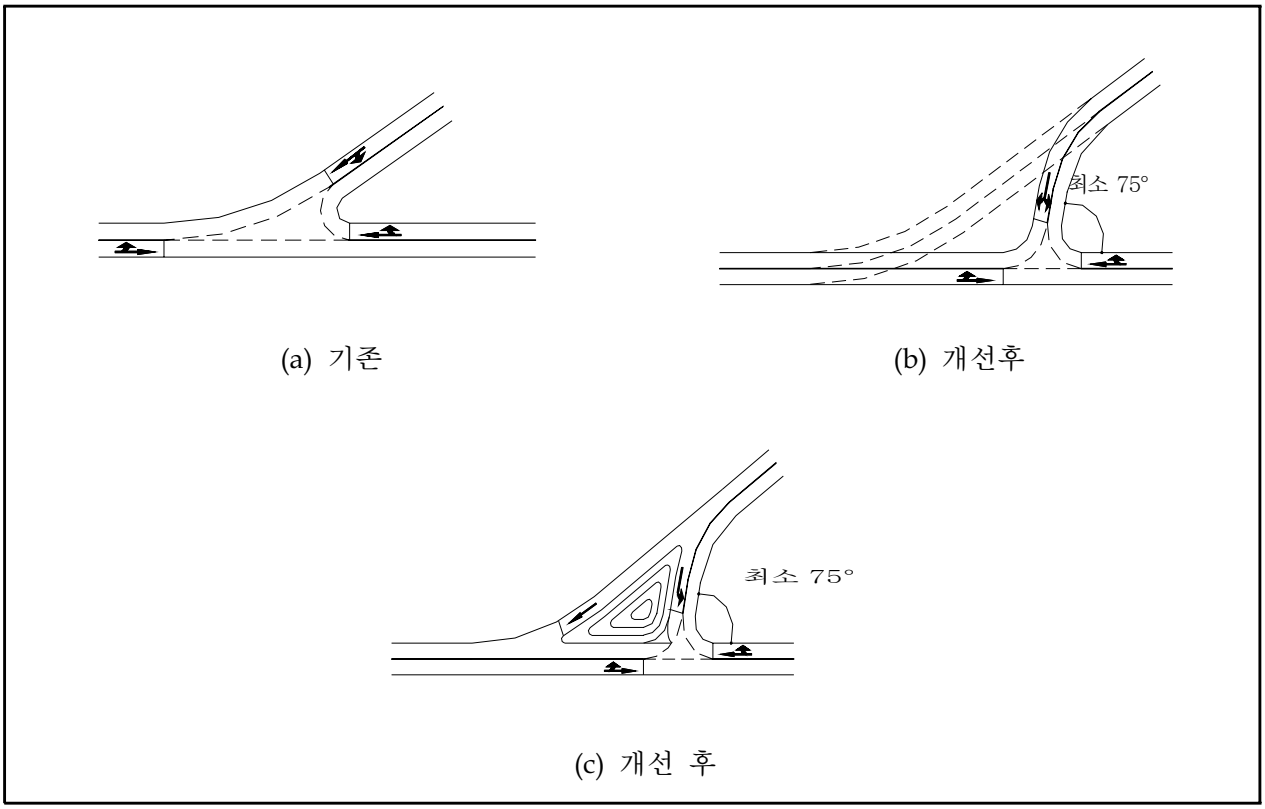
교차로를 개선할 때에는 통상 교통량이 적은 부도로를 대상으로 한다. 이러한 경우에도 교차로에 너무 근접한 장소에서 도로를 구부려서는 안된다. 굴곡부가 교차로에서 너무 가까우면 주도로에서 좌·우회전 자동차가 부도로의 대향차로를 침범하기 쉽고 시거도 불량하므로 부도로에 정지하고 있는 자동차와 충돌하는 일이 생겨 위험하다. 그러므로 부도로의 교차로 유입부에서 선형을 개선할 경우 현지 지형과 자동차의 주행궤적 등을 충분히 고려한다.

- 세 갈래 교차로

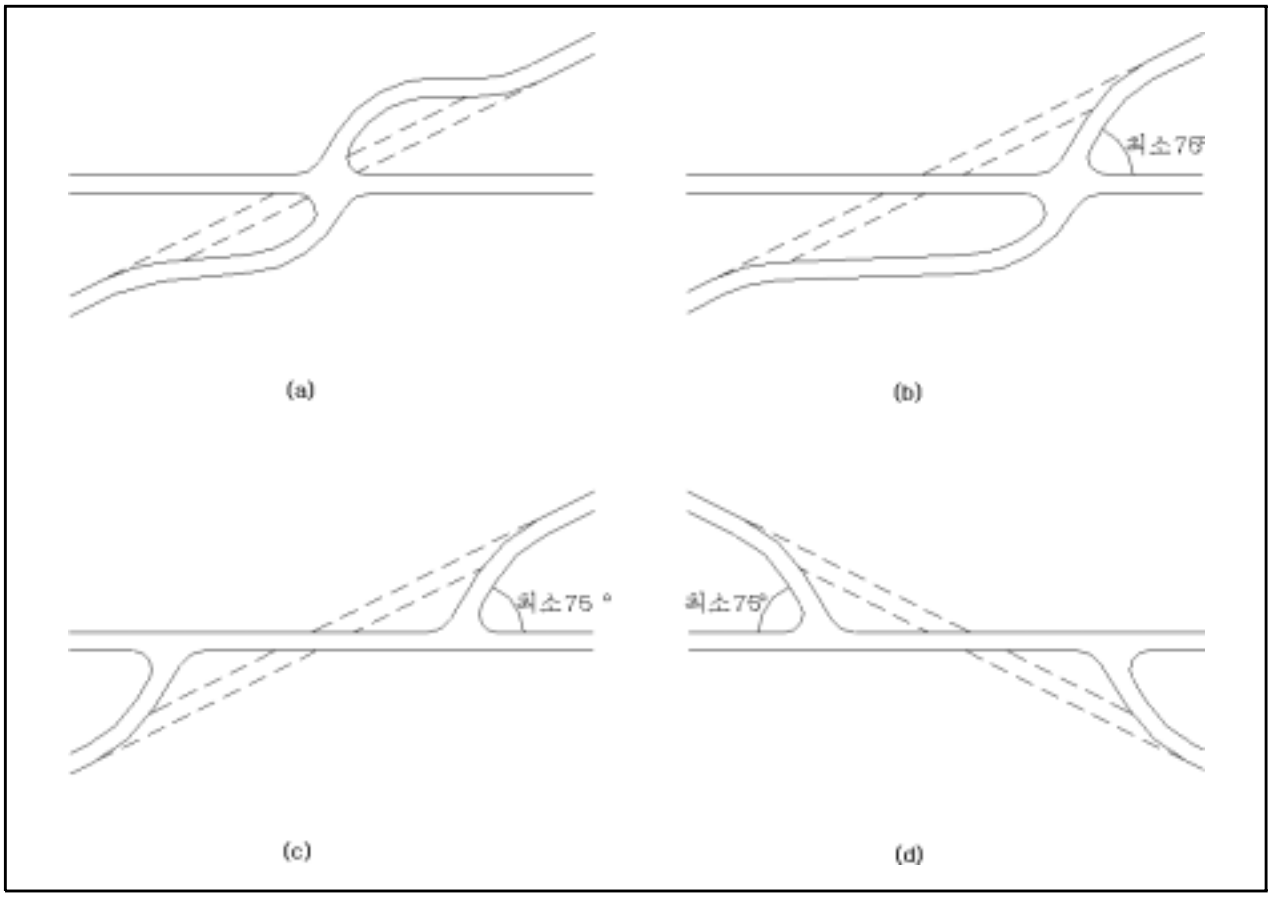
직각의 T형 교차로는 안전한 평면 교차로 유형으로 볼 수 있으나, Y형 교차로는 매우 심각한 측면 충돌 교통사고가 발생할 수 있으므로 위험하다. 이는 운전자들이 교차로의 통행권을 분명히 깨닫지 못하고 주행하기 때문이며 이러한 문제점을 해결하기 위하여는 <그림 306.13>과 같이 개선할 수 있다.

- 네 갈래 교차로

<그림 306.14>에서 (a)와 (b)의 경우 예각 교차를 직각 교차로 바꾸는 것은 바람직하지만 이로 인해 부도로 자동차의 주행 속도가 높아져서 주도로의 주행속도와 대등하게 되면 교통사고 발생의 원인이 되므로 주의한다.



<그림 306.13> Y형 교차로



<그림 306.14> 네 갈래 교차로

(c)와 (d)는 주도로와 교차하는 부도로를 교차부에서 분리시키는 방법이다. 주도로에서 부도로로의 좌회전 교통이 많은 경우, (c)형식은 중앙부에서 좌회전이 병합되므로 (d)형식이 좋은 설계가 된다.

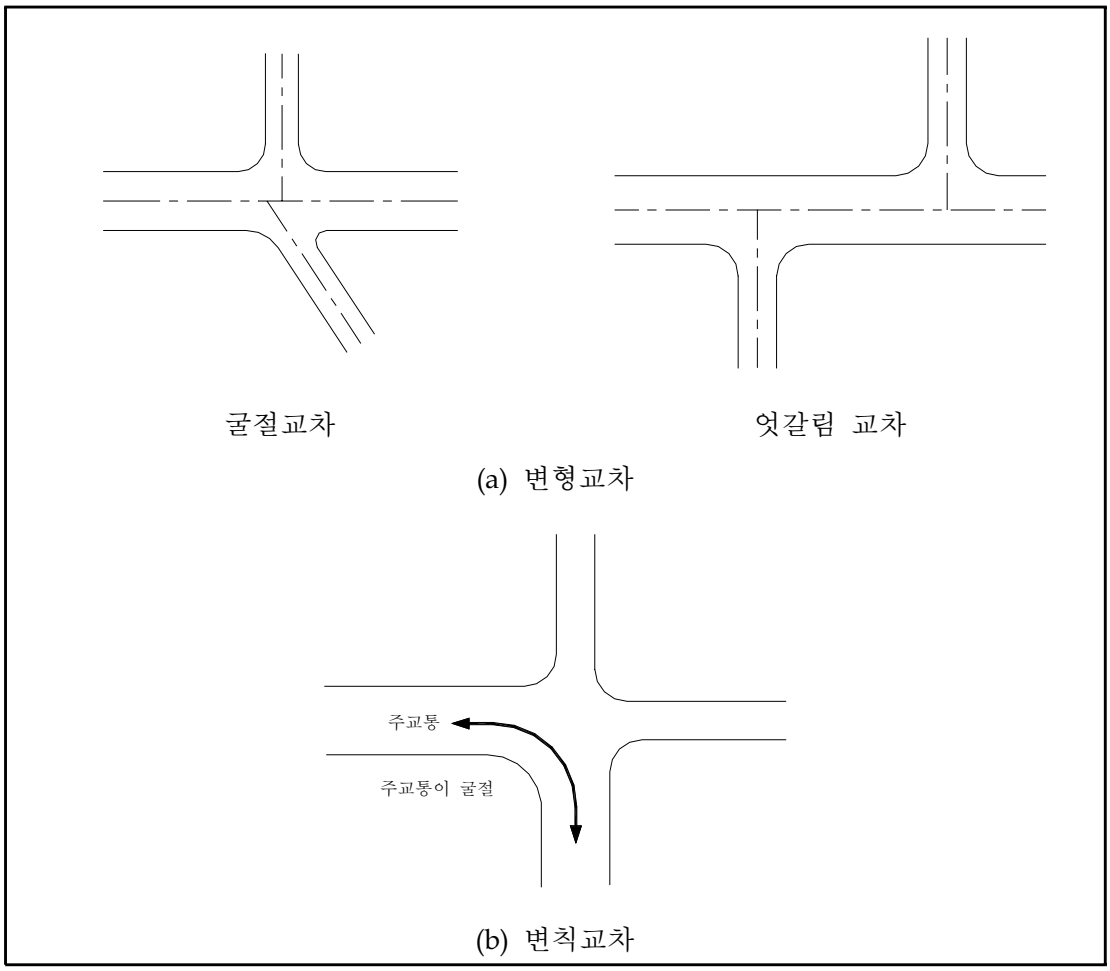
또한, 부도로에서 주도로로의 좌회전 교통이 많은 경우, (d)형식은 중앙부에서 좌회전이 병합되므로 (c)형식이 좋은 설계가 된다.

주도로와 부도로의 양방향의 좌회전 교통이 많은 경우에는 주도로의 영향을 감소하기 위해서 (d)형식의 설계가 좋다. 다만 교차로 간의 간격이 짧을 때에는 분리대를 설치하여 직진 또는 좌회전 교통을 차단하는 방안을 검토한다.

4.3.2 변형교차 및 변칙교차

엇갈림 교차나 굴절 교차와 같은 변형교차로에서는 교통류가 복잡하게 교차하므로 교통처리 및 교통안전 측면에서 바람직한 형상이 아니다. <그림 306.15>는 변형교차와 변칙교차를 보여준다.

교통량이 많은 주도로가 직각으로 굽은 변칙교차(신설된 도로가 기존의 교차로에 접속되는 경우와 같은 형태의 교차로에서 볼 수 있음)에 있어서도 교통처리나 안전상 문제가 많은 교차로가 되기 쉽다. 따라서 이와 같은 교차로는 형상을 변경할 필요가 있다.



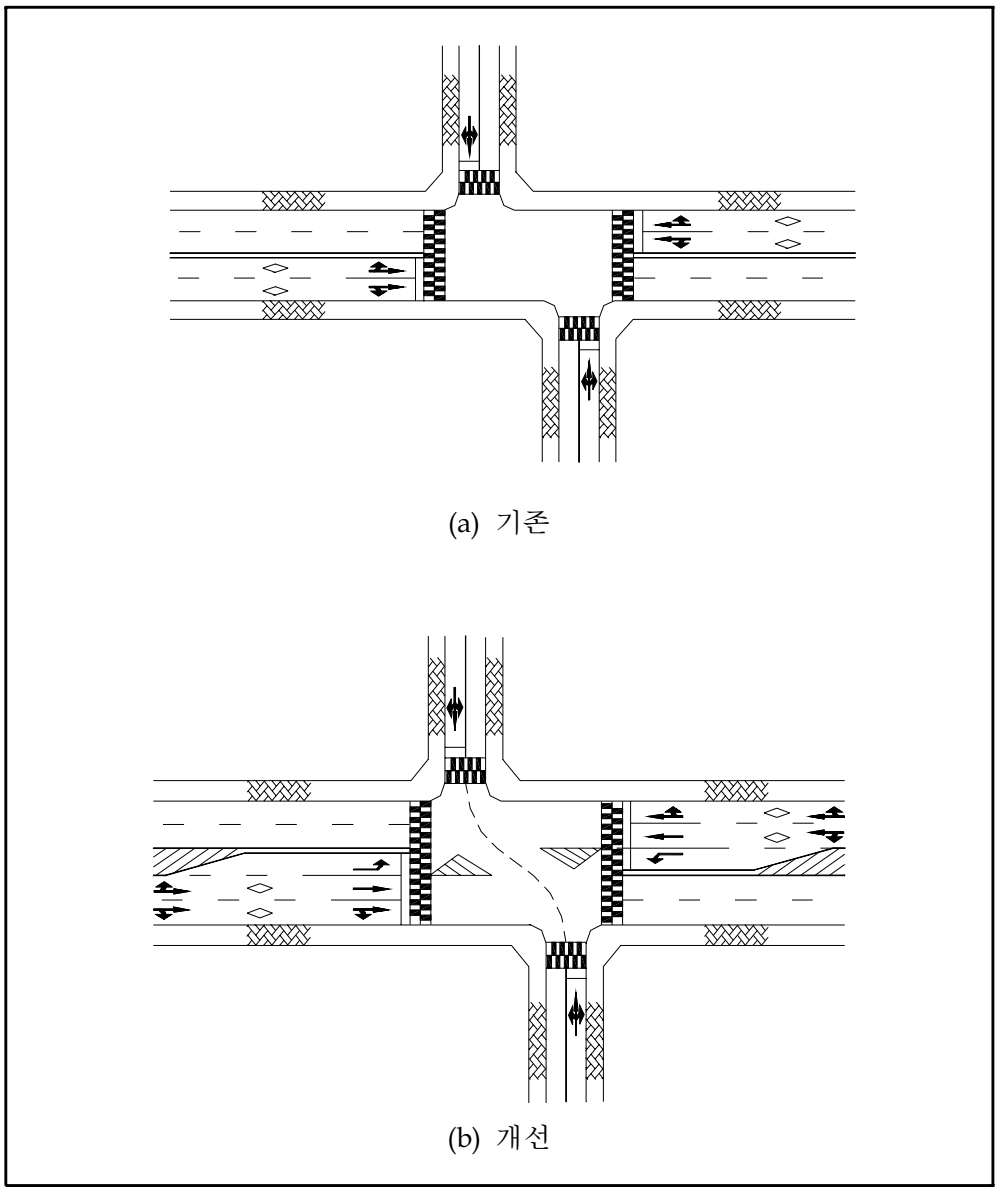
<그림 306.15> 변형교차 및 변칙교차의 예

(1) 엇갈림 교차로

엇갈림 교차로는 교차로의 구조를 변경하여 십자형 교차로로 개선하는 것이 바람직하다.

<그림 306.16>은 엇갈림 교차로의 개선안을 보여준다.

구조 변경이 불가능 할 경우에는 자동차 유도선을 명확하게 설치하고 교통규제를 실시하여 신호현시를 개선함으로써 T자형이나 십자형과 같은 교통류가 되도록 하는 방법을 고려한다.



(a) 기존

(b) 개선

<그림 306.16> 엇갈림 교차로

(2) 변칙 교차로

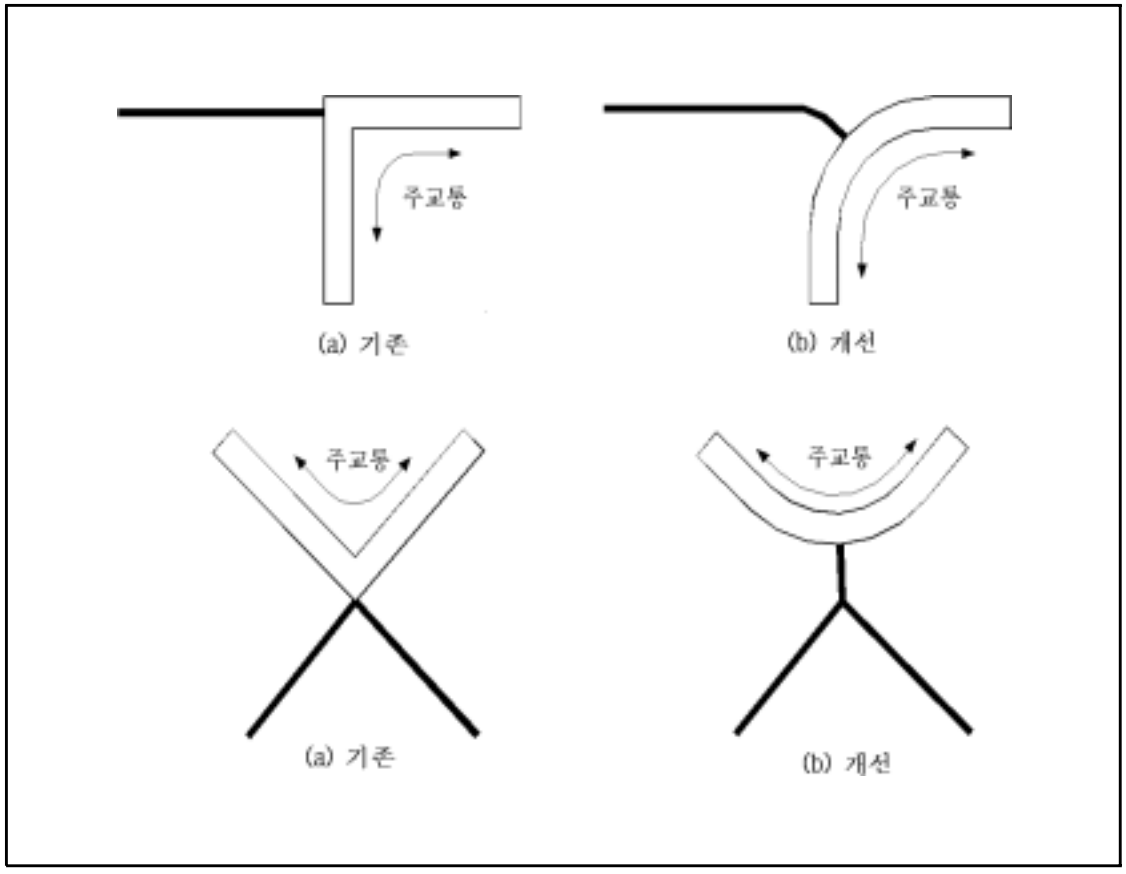
변칙 교차로에서는 주교통의 진행방향을 명확하게 한다.

주교통이 좌회전이나 우회전으로 되어 있는 변칙교차로는 교차로의 교통처리 능력 저하뿐만 아니라 운전자의 판단 잘못으로 인한 교통사고도 발생하기 쉽다. 이러한 교차로는 원칙적으로 주교통이 이용하고 있는 도로의 선형을 개선하는 것이 교통처리상으로도 바람직하다.

선형 개선이 불가능한 경우는 주교통 방향의 교통량에 맞추어 교차로 부근에서 차로 수 증가와 녹색신호 시간의 충분한 배분을 고려하는 것이 필요하다.

특히, 주교통이 좌회전하게 되는 경우는 교차로 전방의 충분한 거리에 진행방향이 명확히 인지할 수 있는 표지를 설치하여 이용자가 당황하지 않게 하는 것이 필요하다.

<그림 306.17>은 변칙 교차로에 대한 도로선형의 개선을 보여준다.



<그림 306.17> 도로선형의 개선

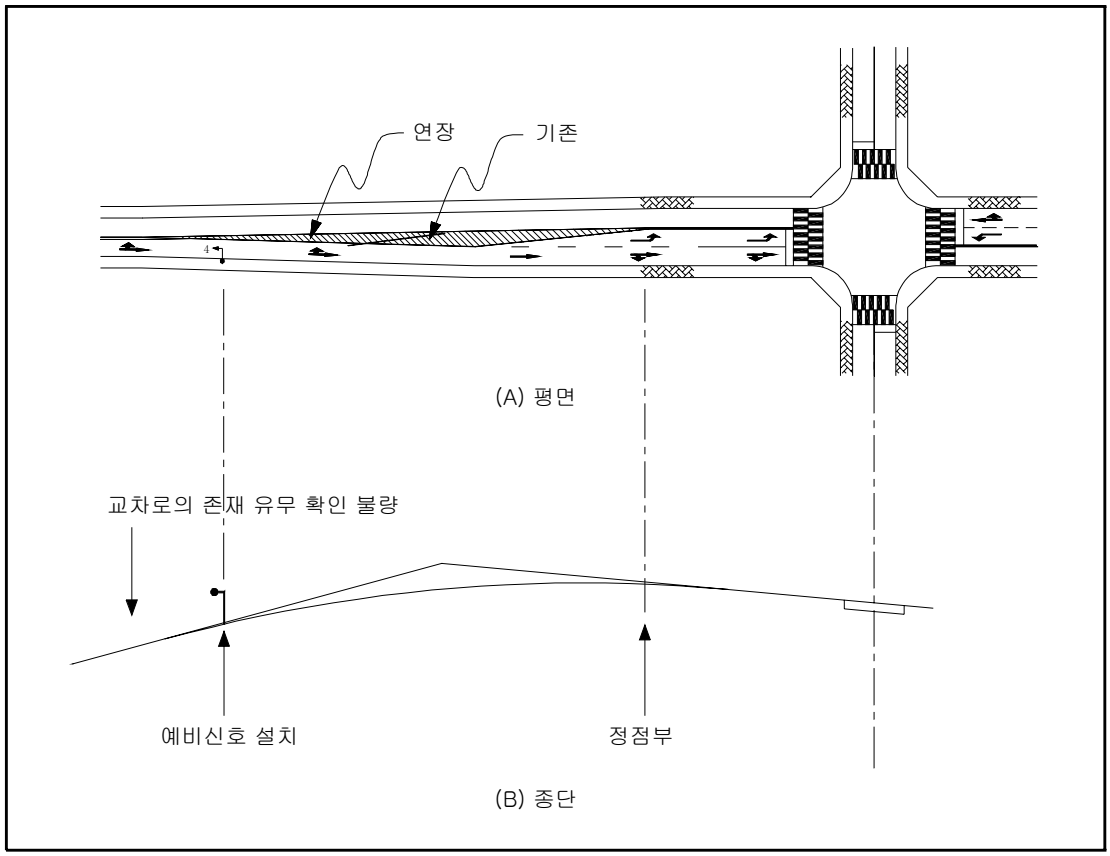
4.4 평면교차의 시거

4.4.1 개 요

운전자가 전방에 있는 교차로 존재를 인지하지 못하거나 교차로의 교통관제 방법에 대하여 인식하지 못한다면 운전자는 주변상황에 대해 대처하지 못해 사고의 위험이 증대되고, 급제동 등에 의해 주행의 불쾌감을 느끼게 된다.

특히 교차로는 분류, 합류, 교차 및 보행자와의 상충이 매우 복잡하게 되어 있으며 운전자의 의사결정이 이루어지는 지점이므로, 운전자에게 사전에 충분한 정보를 제공함으로써 주변상황에 자연스럽게 대처토록 하는 것이 교통소통과 쾌적성 및 교통안전에도 매우 중요하다.

따라서 교차로에서는 도로 일반구간에서 반드시 확보되어야 하는 최소한의 정지시거는 물론 운전자가 의사결정 및 주변상황에 대하여 인지하고 판단하면서 주행하는 데 필요한 시거가 추가로 요구된다. 즉, 운전자가 감지하기 어려운 정보나 예상치 못했던 환경의 인지, 잠재적 위험성의 인지, 적절한 속도와 주행경로의 선택, 선택한 경로의 대처에 필요한 시거가 필요하게 된다. 이것을 판단시거(decision sight distance)라 하기도 하나, 이를 정지시거와 분리하여 별도로 구분하는 것은 다소 무리가 있으므로 정지시거와 판단시거를 합쳐 평면교차시거라 한다.



<그림 306.18> 교차로에서의 시거

평면교차로의 시거 산정은 정지시거 산정과는 다소 다른 개념이 포함된다. 이는 단로부 정지시거의 경우 통상적인 운행 특성이 아닌 돌발적인 사태에 대비하기 위한 거리이므로 운전자의 주행 쾌적성보다는 도로건설의 경제성에 주안점을 두는 반면에 교차로에서는 반복적인 정지상태이므로 이를 고려하여 산정한다.

또한, 교차로에 진입한 자동차는 교차하는 도로에서 자동차 진입과 회전 방향의 도로상황 및 교통상황도 매우 중요하다. 즉, 교차도로를 횡단하거나 회전하는 경우 모퉁이 지역의 건물, 담장, 나무 등으로 인한 시거 제약이 있다면 운전자는 다음 상황을 예측하지 못하게 되어 매우 위험한 상황이 발생할 수 있다.

따라서 교차로 내에 진입한 자동차는 교차도로의 상황을 인지하는 데 필요한 시거를 필요로하게 된다. 이는 일반적인 시거를 말할 때 사용되는 도로 중심선이 아니라 교차하는 도로를 인지할 수 있는 범위가 되므로 이를 교차로 시거라 하고, 교차로의 시계(視界) 또는 가시삼각형(sight triangle) 이라 부른다.

비록, 교차로 전방에서 필요 시거가 확보된다 하더라도 복잡한 운행 특성을 갖는 교차로에서 기하구조적으로 발생되는 물리적 특성이 추가되면 예상치 못한 위험과 교통소통에 지장을 주고 교차로 내 및 통과 후의 상황에 대해 예측하지 못하게 되므로, 급한 평면 곡선구간이나 오르막 정점구간에는 교차로 설치를 피해야 한다. 부득이하게 이러한 지점에 교차로를 설치하여야만 하는 경우는 운전자가 교차로의 유무를 확인하고 상황에 대처할 수 있도록 충분한 보완적 조치를 취해야 한다.

4.4.2 신호교차로의 시거

평면교차로의 교통관제 방법 중 가장 일반적인 신호교차로의 경우, 교차로의 전방에서 신호가 인지될 수 있는 최소거리를 확보해야 한다.

신호를 보고 브레이크 제동시까지의 시간에는 브레이크를 밟을 것인지의 여부를 판단하는 시간과 브레이크를 밟아야 한다고 판단하고 나서부터 반응하기까지의 시간이 포함되어 있다.

이 주행시간에 대해서 충분한 조사자료는 없지만 미국의 AASHTO 설계기준에서는 10초로 잡고 있다.

본 규칙에서는 경제적 측면을 고려하여 지방지역에서는 10초를 기준으로 한다. 그리고 도시지역에서는 교차로가 많고 신호의 존재를 어느 정도 인식하고 있어서 반응시간이 지방지역보다 짧으므로 6초로 하였다. 따라서 신호를 인지하고 나서 정지하기까지의 주행거리(최소시거, S(m))는 다음과 같으며 이것을 정리한 것이 <표 306.6>이다.

$$S = \frac{V}{3.6} \cdot t + \frac{1}{2a} \cdot \left(\frac{V}{3.6}\right)^2$$

여기서,

V : 설계속도 (km/h)

a : 감속도 (m/sec^2)

t : 반응 시간 (sec)

그러나 주변상황 등으로 상기의 거리 확보가 곤란한 경우에는 상기 거리의 지점에서 운전자가 교차로임을 충분이 인지할 수 있도록 신호등 및 교통 안내 시설물을 설치하여 주행 안전성 및 쾌적성을 확보한다.

<표 306.6> 신호교차로의 최소 시거

설계속도(V) (km/h)	지방지역 (t=10초, a=2.0m/sec^2)	도시지역 (t=6초, a=3.0m/sec^2)	비 고 (최소 정지시거)
20	65	45	15
30	100	70	20
40	145	100	45
50	190	135	65
60	240	170	85
80	350	260	140

4.4.3 비신호 교차로의 시거

비신호 교차로는 주도로와 부도로를 명확히 하고, 부도로에는 교차로 전방에 일시정지 표지를 설치한다. 이러한 일시정지 표지는 운전자가 교차로를 인지하고 나서부터 불쾌감을 느끼지 않을 정도로 브레이크를 밟아 교차로 전방에 정지할 수 있는 충분한 거리를 둔 곳에 설치해야 한다.

다만, 신호 교차로와는 달리 판단하기 위한 시간은 불필요하므로 일시정지 표지를 확인한 후 바로 브레이크를 밟기 시작한다고 생각해도 무방하다.

일시정지 표지를 인지한 운전자가 브레이크 제동시까지의 시간은 운전자에 따라 다르겠지만 AASHTO에서는 2.5초로 잡고 있는데, 본 규칙에서도 이를 적용한다.

불쾌감을 주지 않을 정도의 감속도(a) 2.0m/sec^2, 반응시간(t) 2.5초를 적용하면 설계속도별 최소 시거는 <표 306.7>과 같다.

<표 306.7> 비신호 교차로의 최소 시거

설계속도(km/h)	20	30	40	50	60
최소 시거(m)	25	40	60	85	115

한편, 주도로에 대하여 운전자는 항상 교차로의 존재를 염두에 두지 않고 주행할 것이 예상되므로, 교차로가 있다 하더라도 단로부와 동일하다. 그러므로 본선 설계에서 규정하고 있는 정지시거가 확보되면 충분하나, 이 경우 부도로보다 일반적으로 주행속도가 높고 운전자가 교차로 상황에 대하여 충분한 인지가 필요할 것으로 판단되므로 <표 306.7>과 동일하게 적용한다.

4.4.4 기타 교차로의 시거

기타 도로에 대해서도 원칙적으로 일시정지 표지로서 제어되는 경우에 필요한 시거를 취하는 것이 바람직하지만, 도로 혹은 모든 교차로에 대해서 이를 규정한다는 것은 불가능하다.

또한 교통량이 매우 적은 경우는 경제성 등을 종합적으로 고려할 때 단로부에서 규정하고 있는 시거를 확보하는 것으로 한다.

4.4.5 교차로 내에서의 시거

(1) 시거의 산정

모든 자동차의 운전자가 타 자동차의 위치 및 속도를 파악할 수 있도록 충분한 시거가 확보되어야 한다. 이러한 시거 산출은 <그림 306.19>와 같은 시거 삼각형을 작성하여 검토한다. 비신호 교차로에 접근하는 자동차의 운전자는 교차로에 이르기 전에 교차 대상이 되는 자동차를 인지할 수 있는 충분한 시간을 가져야 한다. AASHTO에서는 감·가속을 시작하는데 필요한 운전자의 인지·반응 시간을 2.0초로 가정하고 이를 교차로 설계시 사용하고 있다. 운전자가 교차하는 도로에서 자동차가 접근하는 것을 처음 볼 수 있는 지점의 위치는 인지·반응 시간(2초)과 속도를 조절하는 데 걸리는 시간(1초)을 합해 총 3초 동안 이동한 거리로 가정하여 사용하며, 그 값은 <표 306.8>과 같다.

<그림 306.19>에서 주도로에서 80km/h의 운행속도로 접근하는 자동차와 부도로에서 50km/h의 속도로 근접하는 자동차가 있는 교차로를 예를 들면, 두 도로의 교차점에서 각각의 도로변을 따라 65m(주도로), 40m(부도로) 전방에 위치한 세 점으로 하는 시거 삼각형이 확보되어야 한다.

그러나 교차로가 위에서 제시한 시거 삼각형을 만족하도록 설계되어 있다고 하더라도 충분히 안전하다고 할 수는 없다. 이는 부도로에서 서로 다른 운행속도를 가진 자동차가 연속해서 교차로로 접근해 올 경우, 주도로를 운행하는 운전자는 혼란의 소지가 있으며, 위에서 제시된 내용들은 모든 접속로에 대해 단차가 없는 평지부를 기본 가정으로 하고 있어 접속도로와 본선상의 단차가 있는 경우 시거 삼각형이 달라질 수 있기 때문이다.

즉, 교차로를 통행하는 운전자들은 교차로에서 벌어지는 상황을 파악하여 대처할 수 있도록 최소 정지시거가 확보되어야 하며, 이를 위해서는 시거 삼각형 내의 장애물이 없도록 모서리를 시거 삼각형의 빗변으로 끊는다.

(2) 교차로 내의 시거 확보

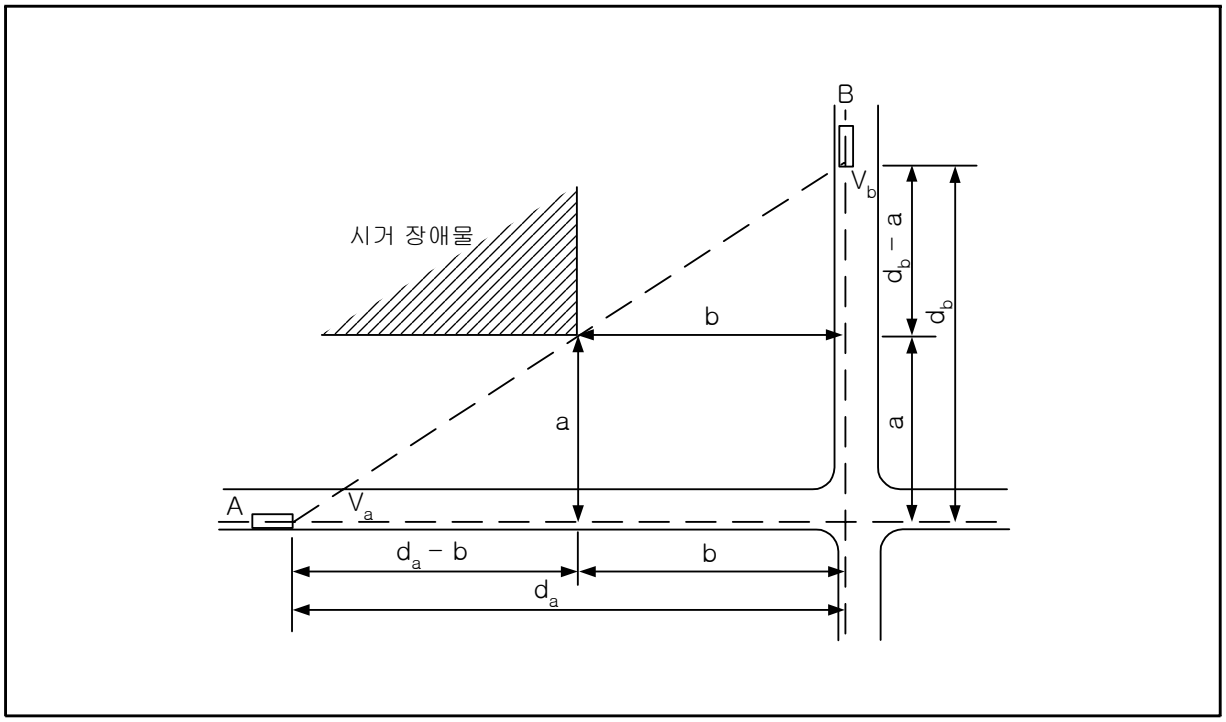
식재나 가로수를 설치하는 경우에는 나무의 높이와 폭을 고려하여 수목을 선정함은 물론 식수의 설치와 간격에 대해서 충분히 검토한다. 또한 운전자가 어린아이까지도 충분히 식별할 수 있도록 하기 위해서는 교통섬이나 교차로 부근의 중앙분리대에 설치하는 식재는 나무 높이가 60cm 이하의 작은 나무로 한다. 나무가 성장함에 따라 가로수가 신호등이나 표지판의 시인성을 떨어뜨리는 경우에는 가지치기와 같은 일상적인 유지관리를 지속적으로 한다.

교차로와 그 부근에는 전신주 광고물과 같은 도로점용물 및 도로표지나 조명시설과 같은 도로 부속시설이 많으면 운전자 입장에서는 정보과다가 되기 쉽다. 이러한 도로점용물은 가능한 설치를 억제해야 하며, 교차로 부근의 표지 또한 시거 확보의 측면에서 바람직하지 않으므로 난립을 피하고 합리적으로 간소화시킨다.

현지의 제약 조건으로 인하여 도로 형태를 개선하기 어려워 시거 확보가 곤란한 경우에는 시거 부족을 보완하기 위해 표지나 반사경과 같은 제반 보조시설의 설치를 검토한다.

<표 306.8> 3초 동안 이동한 거리

속도(km)	20	30	40	50	60	70	80
거리(m)	20	25	35	40	50	60	65



<그림 306.19> 최소 시거 삼각형을 가지는 교차로 시거

4.5 평면교차로의 선형

(1) 평면 교차로의 최소 곡선반경

일반 도로구간의 곡선반경 설계에서 중요한 사항은 자동차 궤적이지만 교차로 내에서 최소 곡선반경을 적용하기 위해 보행자의 영향, 교통섬의 기능, 교통관제 시설, 도로 폭 등을 복합적으로 고려한다.

일반적인 도로구간에서 교차로 접속부분의 곡선반경에 대해서는 일반적인 도로구간에서 규정한 값보다 20km/h까지 완화하는 것이 가능하며, 이 경우도 적용되는 편경사와 종단경사와의 관계를 충분히 고려한다.

(2) 종단선형

교차로 부근에서는 항상 시거가 충분히 확보되도록 해야 하며 정지선에서 정지하고 있는 자동차의 안전을 위해 종단경사는 해당 기준을 초과하지 않아야 한다. 자세한 내용은 p.306-10 '종단선형을 고려한 설치 위치'를 참조한다.

4.6 안전시설 및 운영

교차로 부근의 도로안전시설은 신호등, 안전표지, 시선유도표지, 조명시설, 횡단시설, 충격방지시설 등 종류가 다양하다. 이들은 교통사고 방지의 역할과 교통류를 원활히 처리하는 기능도 있어 교차로를 설계할 때에는 적절한 교통안전시설을 설치하거나 개선하는 것이 중요하다.

본 장에서는 도로안전시설에서 신호등과 횡단시설 만을 다루고 있으며 그 외의 시설에 관한 내용은 '도로안전시설 설치 및 관리 지침(건설교통부)'을 참고한다.

(1) 신호등

신호등의 설치 위치를 결정할 때에는 마주치는 신호등을 다른 방향에서 접근하는 자동차들을 위한 신호등으로 오인하는 일이 없도록 하며, 교차로 유입부에서 충분히 인식할 수 있도록 해야 한다.

신호등은 <그림 306.20>에 나타낸 바와 같이 교차로 유출부 우측에 설치하는 것을 원칙으로 하며, 편도 2차로 이상의 도로에서는 시인성을 높이기 위하여 유출부의 좌측에 신호등을 증설할 필요가 있다.

교차로의 유입부 부근이 급커브이거나 상향경사로 되어 있어 시인성이 떨어질 염려가 있는 경우에는 필요에 따라서 추가적인 신호등 또는 주의표지를 설치한다. 보행자용 신호등은 횡단보도 가장자리에 보행자와 마주보도록 설치한다.

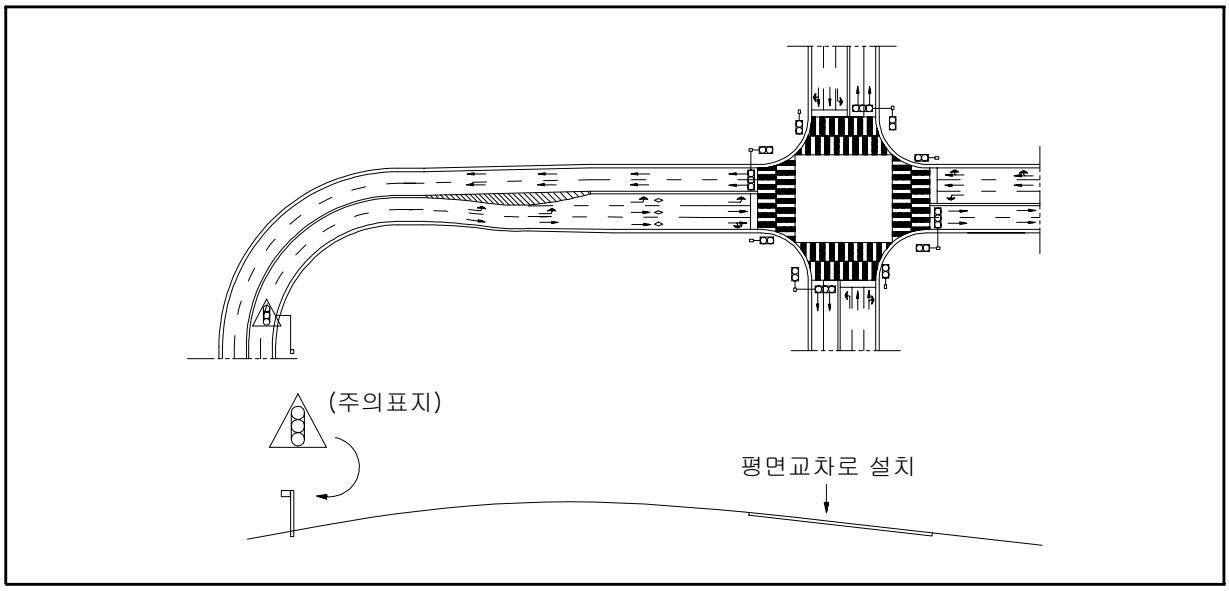
(2) 입체 횡단시설

횡단육교, 횡단지하보도와 같은 입체 횡단시설은 보행자와 자동차를 입체적으로 분리시켜 보행자의 안전을 확보하고, 신호 운영시 보행자의 횡단 시간을 고려할 필요가 없으며, 신호처리상 항상 우회전이 가능하므로 교차로의 교통 처리 능력을 향상시킬 수 있다.

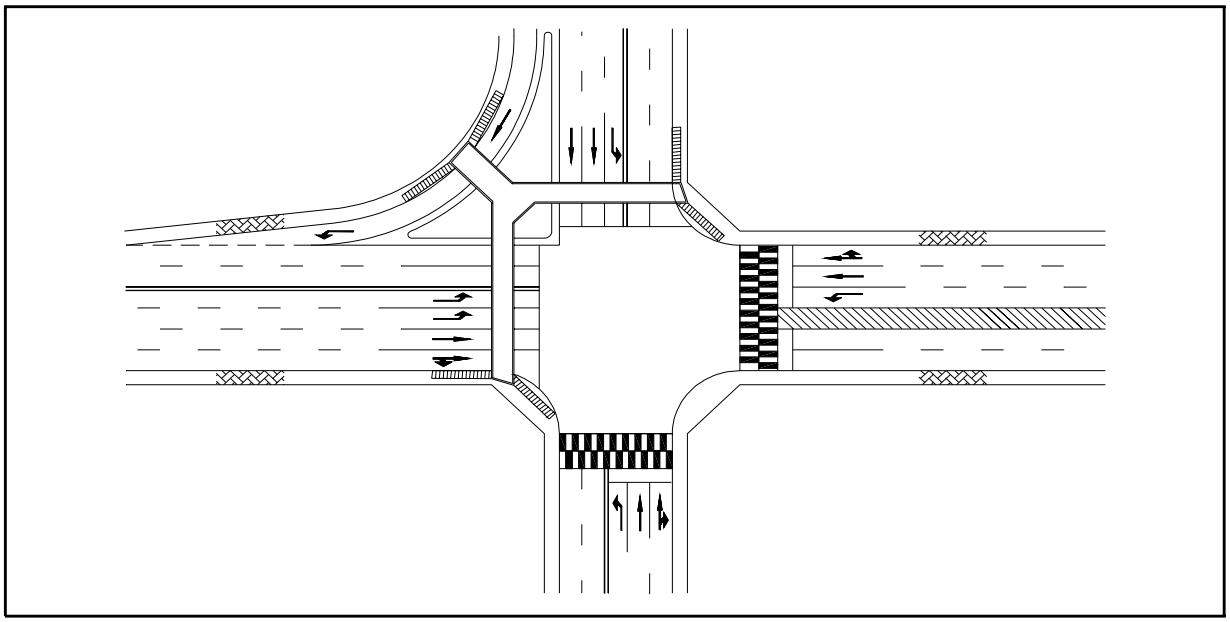
그러나 폭이 좁은 도로나 교통량이 비교적 적은 도로에 무분별한 입체 횡단시설을 설치하면 보행자가 시설을 이용하지 않고 무리하게 차로를 횡단하는 일이 잦아 오히려 위험하다.

또한 자전거 이용 대책으로 자전거 횡단대를 설치해야 하는 경우가 있다.

따라서 입체 횡단시설을 설치할 때에는 현장과 그 부근의 도로, 보행자, 자동차운행의 상황을 충분히 파악하여 보행자의 편리성, 노약자, 신체장애자, 자전거 이용자에 대한 대책 등을 검토한다.



<그림 306.20> 신호등의 설치 위치



<그림 306.21> 육교의 설치 위치

(3) 정지선

정지선은 교차로의 좌·우회전 자동차가 주행하는 데 지장을 주지 않는 위치에 설치하되, 원칙적으로 차로 중심선의 직각으로 설치한다.

정지선은 자동차의 어떤 부분이라도 그 선을 넘어 정지해서는 안 된다는 것을 나타내는 표시로 신호교차로의 유입부, 횡단보도 직전, 일시정지 규제를 하는 경우 등에 설치한다.

횡단보도가 없고 신호로 제어되는 교차로의 경우 교차로 내에서 좌·우회전하는 자동차의 진행을 방해하지 않는 범위 내에서 가능한 한 전방으로 정지선을 전진시켜 교차 유역을 축소할 필요가 있으며, 이때 정지선의 위치는 설계기준 자동차의 주행궤적에 따라 정해진다.

<그림 306.22>에서 횡단보도가 차로와 직각이 아닌 경우에도 정지선은 차로에 직각으로 설치[(a)]하는 것이 원칙이나, 각도가 완만한 경우에는 횡단보도에 평행하게 설치[(b)]하기도 한다. 다차로 도로에서 횡단보도가 비스듬하게 설치되었을 때 정지선을 차로에 어느 정도 비스듬히 설치[(c)]하는 경우도 있으나, 차로 마다 정지선을 불연속적으로 설치[(d)]하는 것은 좋지 않다. 횡단보도와 신호등이 설치되어 있지 않은 교차로에 일시정지 규제를 하는 경우, 좌·우 확인이 가능하며 교차로의 교통이 방해받지 않는 위치에 설치한다.

(4) 보도 및 횡단보도

교차로 부근은 다른 곳보다 보행자도 많고 상점 등 보행자가 모이는 시설이 많은 것이 통례이므로 보도가 좁으면 혼란이 생기고 위험성도 높으므로, 도로의 유효 폭(식수대나 시설대를 제외한 실제 보행자의 보행에만 사용되는 폭)보다 좁아서는 안된다는 것을 원칙으로 하되, 보행자가 많은 경우에는 다시 폭을 넓혀야 한다. 입체횡단시설을 설치할 계획이 있는 경우에는 이를 고려하여 보도 폭을 정한다.

① 횡단보도의 형상

횡단보도의 폭은 보행자 교통량의 함수로 생각하는 것이 합리적이지만 최소한의 보도 폭만 확보하면 긴급한 경우에 위험하며 주행중인 자동차가 전방에서 횡단보도의 존재를 인지할 수 있도록 하기 위해서도 어느 정도의 폭이 필요하므로 최소치를 4.0m로 한다. 보행자가 많은 경우, 도로의 상황에 따라서 실제적으로 정하는 것이 좋다. 또, 특별한 경우에는 2.0m로 하는데 이는 폭 6~8m 정도와 같이 좁은 도로의 경우에만 적용된다.

횡단보도의 위치는 교차로의 상황, 자동차 및 보행자의 교통량 등을 종합적으로 고려하여 차로 횡단거리가 가능한 한 짧고 교차 면적도 가능한 좁아지도록 정한다.

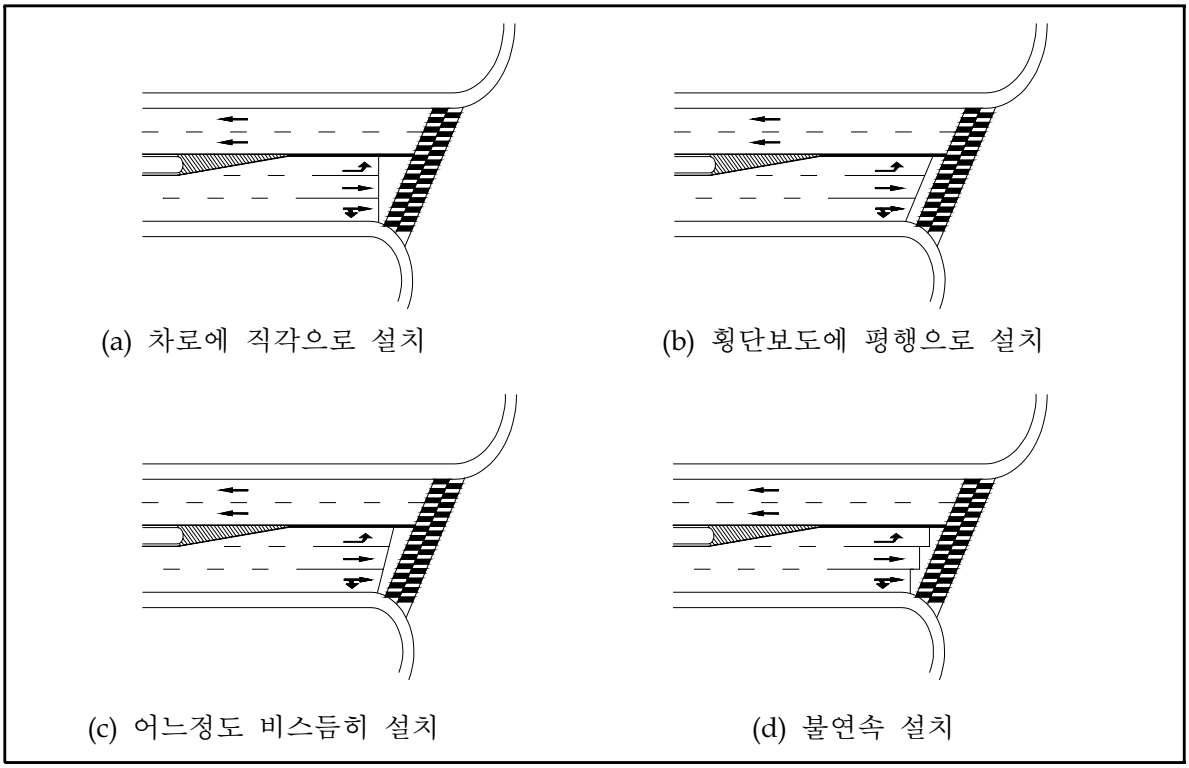
<그림 306.23>의 (a)와 같이 교차로에 우각부가 있는 경우 횡단보도의 위치는 A, B의 양자가 고려된다. A의 위치는 차도 횡단이라는 점에서 문제는 없겠지만 우각부가 길면 횡단하기 위하여 보행자는 많이 우회하지 않으면 안된다.

특히 예각 교차의 경우, (b)와 같이 이런 상태가 매우 심해져 횡단보도 외의 횡단을 유발하기 쉽다. 보행자의 심리를 무시한 계획은 반드시 무리가 생겨서 사고의 원인이 된다.

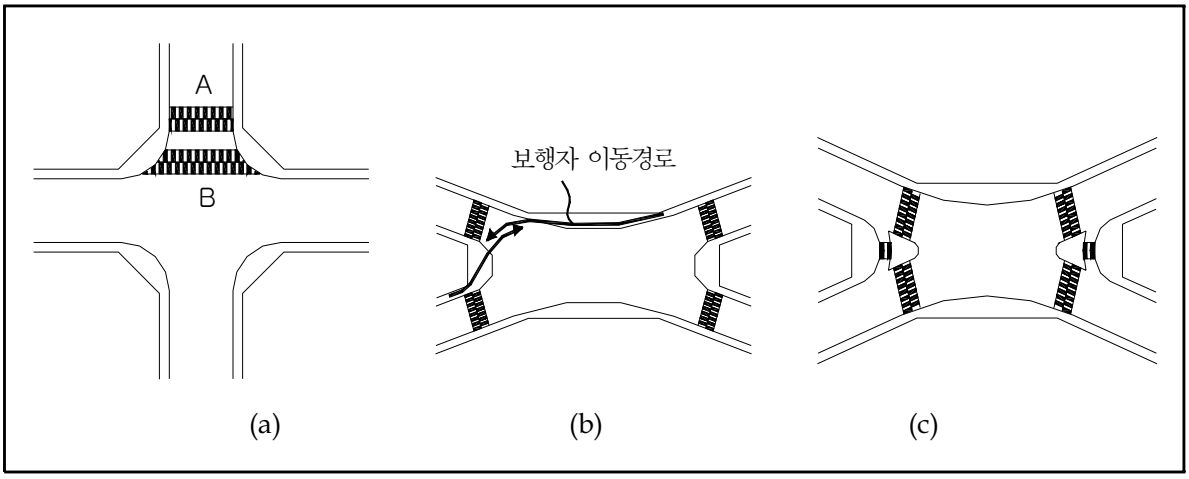
이와 같은 경우에는 (c)와 같이 안전섬을 설치하여 처리하는 것이 바람직하다.

횡단보도를 정지선이라는 견지에서 생각하면 일반적으로 교차로의 면적이 작을수록 시간손실이 적고 자동차의 주행궤적도 고정되므로 A보다 B에 가까운 편이 좋을 것이다.

그러나 본선의 폭이 불충분하면 보행자의 횡단을 기다리는 우회전 자동차가 직진자동차를 방해하여 혼란을 초래하게 되므로 유의하여야 한다.



<그림 306.22> 정지선의 설치 예



<그림 306.23> 횡단보도와 교통섬의 관계

도로 횡단부와 보도의 위치관계는 보도와 연장선상에 횡단보도가 설치되는 것이 바람직하나, 도로 횡단부에는 가드레일, 전주 기타 부대시설등 유효한 보도부분이 차도와 접해 있으므로 일반적으로 도로 횡단부의 보차도 경계 연장선에서 최저 1m 정도 떨어져 횡단보도를 설치한다.

우회전 자동차와 횡단 보행자 간의 교차가 일어나기 쉬운 간선도로상의 평면교차는 보행자 횡단시 대기하는 우회전 자동차가 후속 직진 자동차의 진행을 방해하여, 평면교차로의 기능을 저해하므로 횡단보도를 보차도 경계의 연장선에서 5~6m(소형차 1대 길이), 정지선은 2~3m 정도 뒤에 설치하는 것이 바람직하다.

② 기타 고려 사항

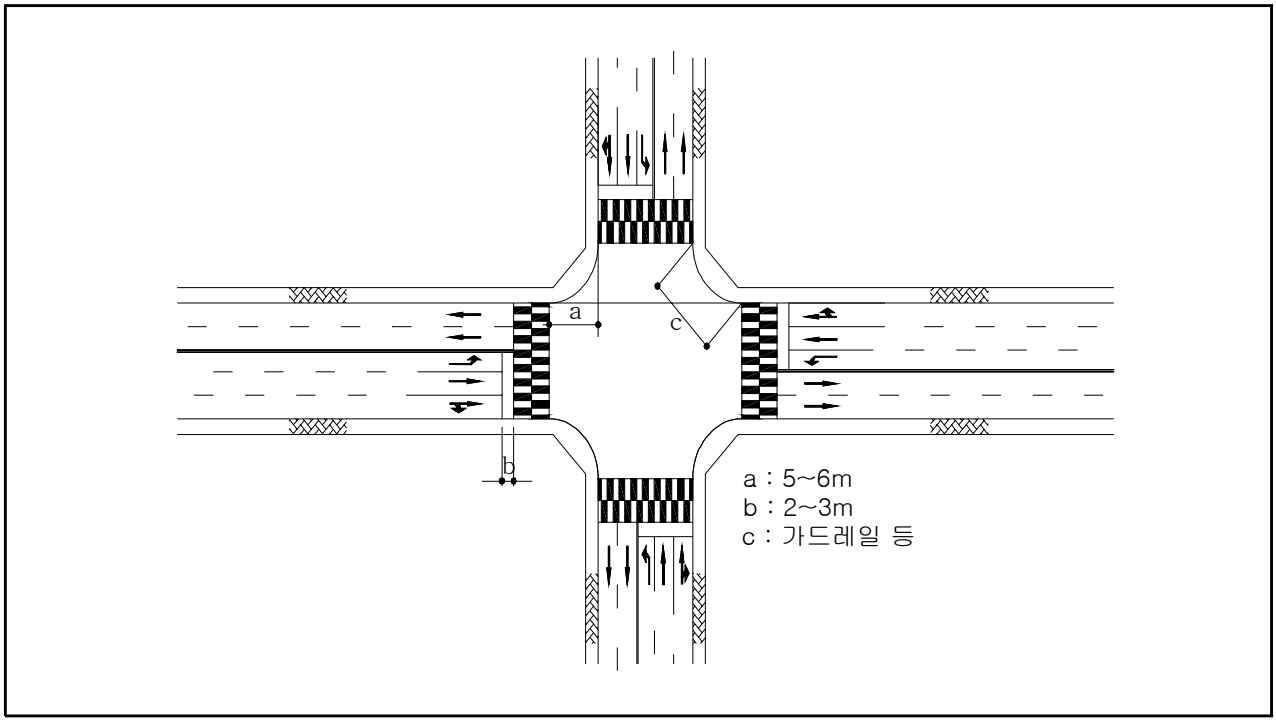
- 횡단보도는 될 수 있는 한 차도에 직각으로 설치

횡단보도를 짧은 거리로 하면 신호 현시의 시간 단축과 연계되어 결과적으로 교차로의 교통처리능력을 향상시킬 수 있으며 보행자의 안전성도 높아진다.

- 교통안전 대책으로서 횡단보도는 운전자가 식별하기 쉬운 위치에 설치

입체도로의 교각이나 횡단육교 등 구조물의 영향을 받는 곳과 같은 위치에 횡단보도를 설치하면 횡단보도 상의 보행자가 좌·우회전 자동차의 운전자로부터 잘 보이지 않게 된다.

이와 같은 경우에는 그 상황에 맞추어서 횡단보도를 식별하기 쉬운 위치에 이전하는 것이 교통 안전상 유리하다.

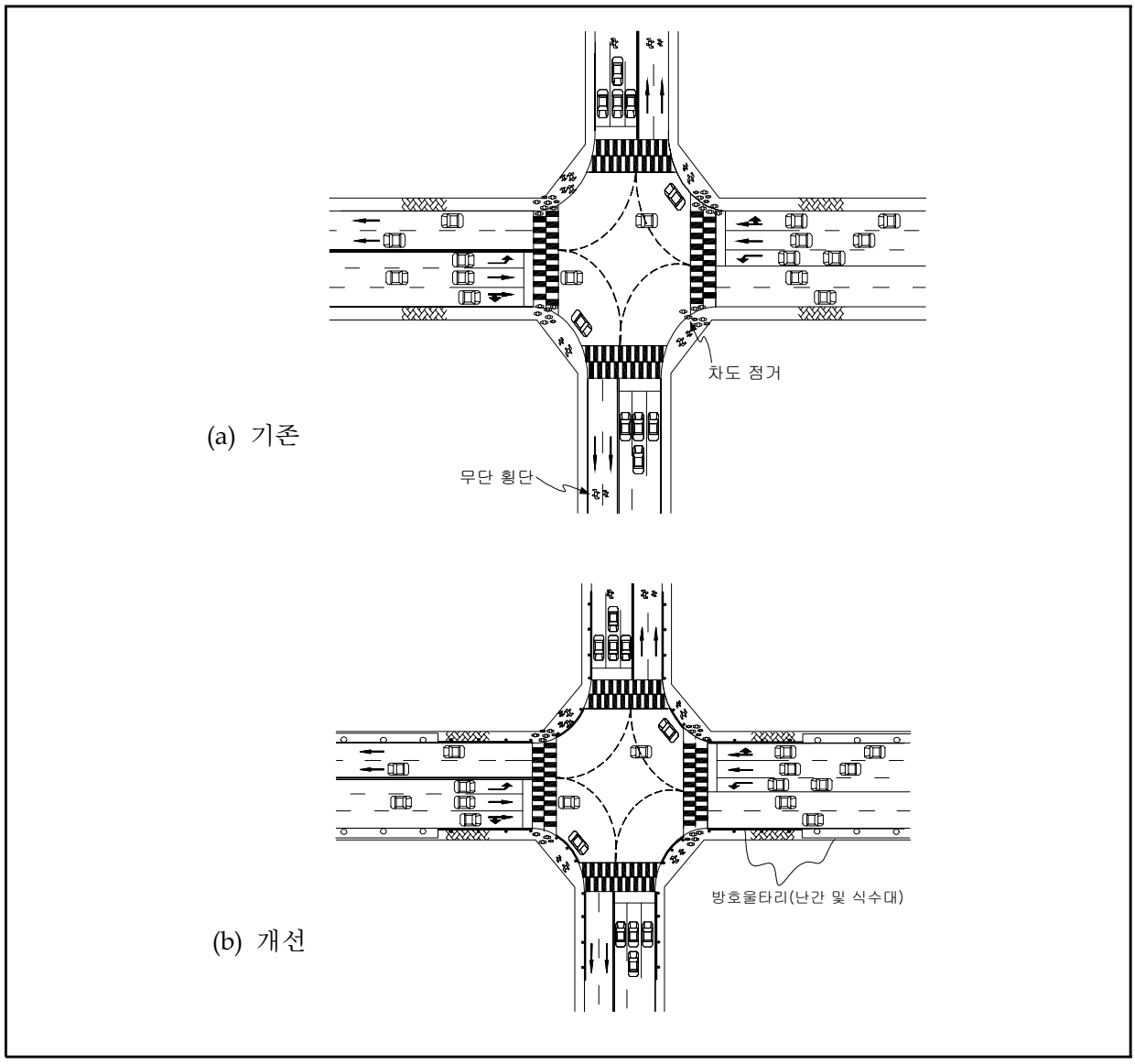


<그림 306.24> 횡단보도의 설치위치

- 교차로 주변에 차도와 물리적으로 분리된 보도를 설치하는 것은 보행자 안전 대책으로 효과적인 방법이다.

연석, 방호울타리 등의 공작물을 이용하여 보도를 설치함으로써 보행자와 자동차를 분리하여 보행자의 안전성을 확보하는 것이 중요하다.

또한, 횡단보도 부근의 보도에는 횡단대기 보행자들의 대기공간이 있어야 한다. 대기공간이 불충분하면 보행자가 차로로 나와서 대기하게 되므로 위험하다. 대기공간의 검토에 있어서는 교차로 교통량이 어느 정도인지, 1회의 적신호로 대기하는 보행자 수는 어느 정도인지를 감안해서 모서리 부분 등을 이용한 대기공간을 확보한다.



<그림 306.25> 횡단보도 주변의 개선

4.6.3 교통운영

여러 개의 도로가 교차하는 교차로의 설계에서 도로 구조의 개선만으로 그 효과가 생기지 않을 경우에는 일방통행, 좌회전금지 등과 같은 교통운영을 통해 검토하며, 교차로 개선과 병행하여 반드시 교통규제와 신호 현시의 검토가 필요하다.

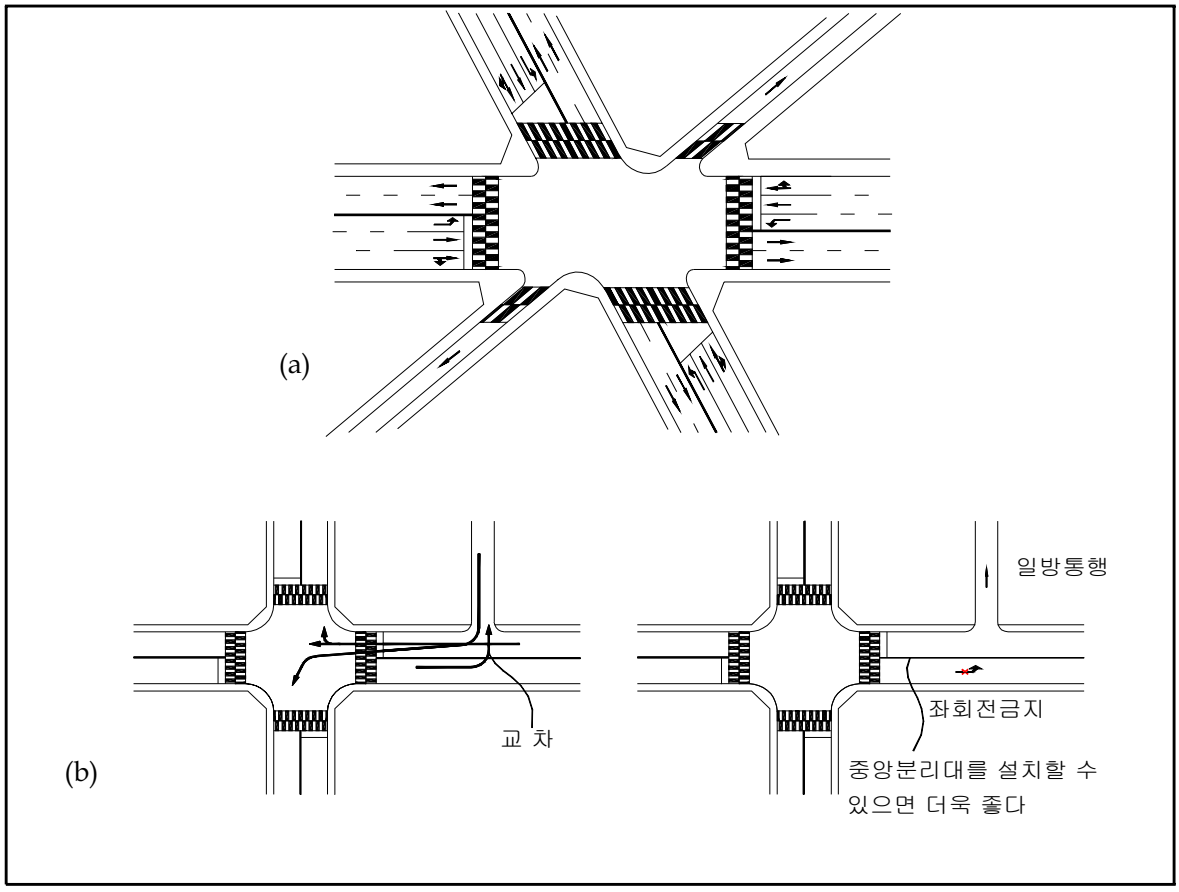
(1) 교통규제

도로 구조의 개선이 제약을 받는 경우, 통행제한을 포함하는 교통규제를 고려해 보는 것이 필요하다. 개선 대상이 되는 교차로 주변의 출입 자동차를 제어함으로 주도로의 소통을 증대시키는 것이다.

교차로에서 교통처리 개선을 하더라도 주변의 작은 접속도로 등에서 출입 자동차로 인하여 교차로 유입 또는 유출 교통류가 방해를 받아 개선의 효과가 상실되는 경우에는 <그림 306.26>의 (a)와 같이 일방통행을 실시하여 유출입하는 자동차들의 영향을 최소화한다.

특히, 여러 갈래 교차로에서 교통처리 능력과 안전성을 높이기 위해 가능하다면 교차로 유입부의 통행규제(좌회전금지, 일방통행 등)가 필요하다. 즉, 교차하는 교통류의 수를 적게 하는 것이 교차로의 교통처리 능력과 안전성을 높이는 것이 된다.

<그림 306.26>의 (b)에서 나타낸 교차 형태에서는 2개의 부도로를 일방통행으로 하면 적어도 1개의 신호현시를 줄일 수 있다. 그 결과로 감소한 신호 시간만큼 타방향의 현시시간을 늘



<그림 306.26> 통행규제의 예

리는 것이 가능하게 되며, 교차 수가 적어지므로 교차로 통과 자동차들의 안전성도 증대된다.

교통규제의 도입은 규제로 인하여 발생하는 우회 교통류 및 그 영향에 대한 철저한 사전 조사가 필요하다.

(2) 신호 운영

신호주기의 설정에 있어서 주기가 너무 길어지지 않도록 하여야 한다. 신호주기가 길면 보행자를 포함, 자동차의 신호대기 시간이 길어져서 조바심을 유발하며, 좌회전 교통의 처리량이 저하되는 수가 있어 불리하게 된다.

계산상으로는 상당히 긴 신호주기가 유리하게 되는 경우가 있으나 120초 이상은 되지 않도록 한다. 신호현시의 조합에 있어서는 교통류의 연속성을 확보하고 운전자가 알기 쉽도록 배려한다. 신호제어를 구상함에 있어서는 신호현시의 순서를 정할 필요가 있다. 현시의 조합을 결정할 때에는 서로 교차하지 않고 비슷한 교통량을 갖는 교통류를 조합하여 하나의 현시로 하는 것이 중요하다.

본래 한 현시로 처리 가능한 교통류가 도중에서 단절되는 것과 같은 현시를 설정한다면 같은 교통류 내에서 출발·정지하는 것이 2회 이상 반복되는 것이 된다.

그 결과 출발·정지에 따른 손실이 커지고 운전자에게 불필요한 혼란을 주게 되어 교통안전 측면에서도 문제가 생긴다. 그러므로 신호현시를 구상할 때에는 교통류의 연속성을 확보하는 것이 중요하다.

4.6.4 신호설계

신호 교차로는 교통 표지나 노면표시 등의 비교적 소극적 교통관제 시설로는 교통류의 이동을 안전하고 효율적으로 처리하지 못하는 지점에서, 서로 다른 교통류에 대한 도로 통행우선권을 보다 분명하게 제시하기 위해, 교통관제시설을 설치하여 교통관제를 하는 교차로를 말한다.

(1) 신호등 운영의 특성 및 용어 정의

적절하게 설치 운영되는 교통 신호등은 자동차와 보행자의 통제에 매우 효과적인 시설물이 될 수 있지만, 신호등에 의해 교통류가 도로통행권에 제약을 받게 되므로 신호등의 설치 및 운영시는 제반 사항을 면밀히 검토하여 시행한다.

① 신호운영의 주요 특성

- 질서 있게 교통류를 이동
- 직각 충돌 및 보행자 충돌과 같은 종류의 사고가 감소
- 적절한 신호제어 등의 운영에 의해 교차로의 용량이 증대
- 교통량이 많은 도로에서 안전하게 자동차나 보행자를 횡단
- 인접 교차로를 연동시켜 일정한 속도로 긴 구간을 연속 진행
- 통행우선권을 부여받으므로 안심하고 교차로를 통과
- 비첨두시간시 교차로 지체와 연료 소모가 필요 이상 증가
- 추돌사고와 같은 유형의 사고가 증가
- 지속적인 신호운영 등의 유지관리가 필요

② 기본용어

- 주기(cycle) : 신호등의 등화가 완전히 한 번 바뀌는 것 또는 완전히 한번 바뀌는 데 소요되는 시간
- 현시(phase) : 한 주기 중에서 동시에 진행하는 교통류에 할당된 신호
- 오프셋(offset) : 어떤 기준 시간으로부터 녹색 등화가 켜질 때까지의 시간차를 초 또는 주기의 백분율로 나타낸 값
- 연속 진행(progression) : 신호체계의 계획속도에 따라 자동차군을 진행시킬 때 인접 신호등에서도 정지하지 않게 하는 시간 관계
- 진행대(through band) : 연속 진행식 체계에서 실제 연속 진행할 수 있는 첫 자동차와 맨 끝 자동차 간의 시간대이며 이 때의 폭을 진행대 폭(band width)이라 함

(2) 신호등 설치 기준

일반적으로 교차로에서 신호등 설치 여부의 주요사항은 다음과 같다.

① 교통량 : 평일의 교통량이 아래 기준을 초과하는 시간이 8시간 이상일 때,(연속적인 8시간이 아니라도 가능함) 신호기를 설치한다.

<표 306.9> 신호등 설치기준-교통량

접근로 차로 수		주도로 교통량 (양방향, vph)	부도로 교통량 (교통량이 많은 쪽, vph)
주도로	부도로		
1	1	500	150
1	2이상	500	200
2이상	1	600	150
2이상	2이상	600	200

② 보행자 교통량 : 평일의 교통량이 아래 기준을 초과하는 시간이 8시간 이상일 때 신호기를 설치

- 자동차 교통량(양방향) : 600 자동차/시간
- 횡단 보행자(양방향, 자전거포함) : 150명/시간

③ 통학로 : 학교 앞 300m 이내에 신호등이 없고 통학시간에 자동차 통행시간 간격이 1분 이내인 경우에 신호등을 설치

④ 사고기록 : 교통사고가 연간 5회 이상 발생한 장소로 신호등 설치시 사고를 예방할 수 있다고 인정되는 경우에 설치

⑤ 신호 연동 : 신호등의 설치 간격이 300m 이상으로 인접 신호등과의 연동 효과를 기대할 수 없을 때 중간지점에 신호등을 설치

⑥ 교차로 통과 대기시간 : 1일 중 교통이 가장 빈번한 8시간 동안 아래 기준을 초과하는 교차로로서 교차로 통과 대기시간이 너무 긴 경우에 신호기를 설치한다.

- 주도로 교통량(양방향) : 900 vph
- 부도로 교통량(교통량이 많은 쪽) : 100 vph

⑦ 어린이 보호구역 : 어린이 보호구역 내 초등학교 또는 유치원의 주 출입문과 가장 가까운 거리에 위치한 횡단보도에 신호기를 설치

(3) 신호시간 산정

신호시간 산정의 각 단계별 세부 내용은 '도로용량편람, 건설교통부, 1992'(현재 개정 작업이 진행중임)을 참조한다.

306.5 세부 설계기법

5.1 도류화

도류화(channelization)는 자동차와 보행자를 안전하고 질서 있게 이동시킬 목적으로 교통섬, 노면표시 등을 이용하여 상충하는 교통류를 분리시키거나 규제하여 명확한 통행경로를 지시해주는 것을 말한다.

적절한 도류화는 용량을 증대시키며, 안전성을 제고하고, 쾌적성을 제공하여 운전자에게 확신을 심어준다. 그러나 부적절한 도류화는 이와 반대되는 효과를 나타내므로 그것을 설치하지 아니함만도 못할 경우도 있으며, 지나친 도류화는 혼동을 일으키기가 쉽고 운영상태가 나빠지므로 주의한다.

(1) 도류화의 목적

- 두개 이상의 자동차 경로가 교차하지 않도록 통행 경로를 제공
- 자동차가 합류, 분류 및 교차하는 위치와 각도를 조정
- 교차로 면적을 줄임으로써 자동차 간의 상충 면적을 줄임
- 자동차가 진행해야 할 경로를 명확히 제공
- 주된 이동류에게 통행우선권을 제공
- 보행자 안전지대의 장소 제공
- 분리된 회전차로는 회전 자동차의 대기 장소를 제공
- 교통제어시설을 잘 보이는 곳에 설치하기 위한 장소를 제공
- 불합리한 교통류의 진행을 금지 또는 지정된 방향으로 통제
- 자동차의 통행속도를 안전한 정도로 통제

(2) 기본원칙

도류화된 교차로 설계는 통상 설계 차종, 교차 도로의 횡단면, 예상 교통량 및 용량, 보행자 수, 자동차 속도, 버스정류장 위치, 교통제어시설의 종류와 위치 등의 요소에 의해서 지배되며, 도로부지나 지형과 같은 물리적인 요소에 의해서 경제적으로 타당성 있는 도류화의 범위가 결정된다.

평면 교차로에서의 도류화 설계를 위한 기본원칙은 다음과 같다.

- 운전자는 한 번에 한 가지 이상의 의사결정을 하지 않도록 해야 한다.
- 90° 이상 회전하거나 갑작스럽고 급격한 배향곡선 등의 부자연스런 경로를 피해야 한다.
- 운전자가 적절한 시인성과 인지성을 갖도록 해야 한다. 교통섬은 눈에 잘 띄도록 해야 하므로 교통섬 외곽 연석의 종류에 따라 적절한 보완시설을 해야 한다. 특히 회전 자동차의 대기 장소는 직진 교통으로부터 잘 보이는 곳에 위치해야 한다.
- 필수적 교통제어시설의 위치는 도류화의 일부분으로서 이를 고려하여 교통섬을 설계해야 한다.
- 설계를 단순화하고 운전자의 혼돈을 막기 위해서 횡단 또는 상충 지점을 분리시킬 것인지 혹은 밀집시킬 것인지를 결정하여야 한다.
- 필요 이상의 교통섬을 설치하는 것은 피해야 하며, 원칙적으로 도류화가 필요하다 하더라도 좁은 면적에서는 이를 피해야 한다.

- 교통섬은 운행경로를 편리하고 자연스럽게 만들 수 있도록 배치해야 한다.
- 곡선부는 적절한 곡선반경과 폭을 가져야 한다.
- 속도와 경로를 점진적으로 변화시킬 수 있도록 접근로의 단부를 처리해야 한다.

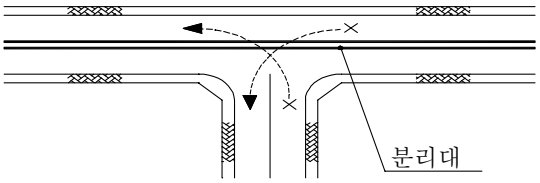
(3) 세부 시행 방법

① 금지된 방향의 진로를 막는다.

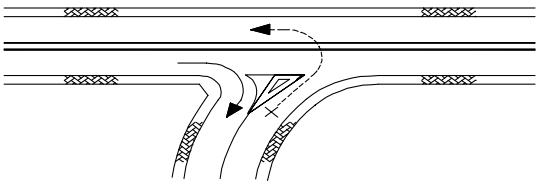
교통섬, 분리대, 접속 각의 조정 및 작은 곡선의 모퉁이 처리 등을 이용하여 불법 좌회전이나 바람직하지 않은 통행을 제한 또는 금지시킴으로써 교통안전과 교통소통을 원활화하게 한다.

그 구체적인 방법은 <그림 306.27>과 같다.

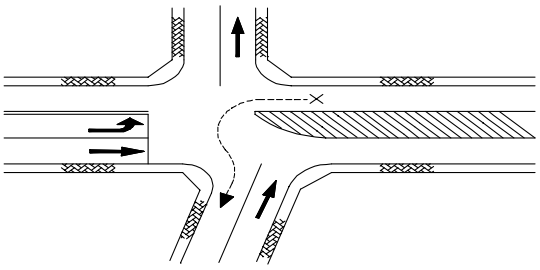
- 분리대를 설치하여 주도로와 부도로간의 좌회전을 금지시켜, 불법 좌회전에 의한 교통사고와 교통혼잡을 예방한다.



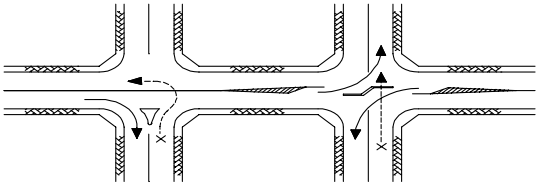
- 접속도로의 접속각 조정과 접속부에 작은 곡선을 설치하여 우회전만 가능토록 함으로써 불법 좌회전을 예방한다.



- 분리대의 도류화와 접속도로의 조정으로 정상적인 통행은 방해하지 않고 위험한 불법회전을 예방한다.



- 교통섬을 설치하여 인접 교차로의 통행에 지장을 주지 않도록 바람직하지 않은 횡단과 좌회전을 금지시킨다.



주) 파선은 허용되지 않는 방향

<그림 306.27> 금지된 방향의 진로를 막는 예

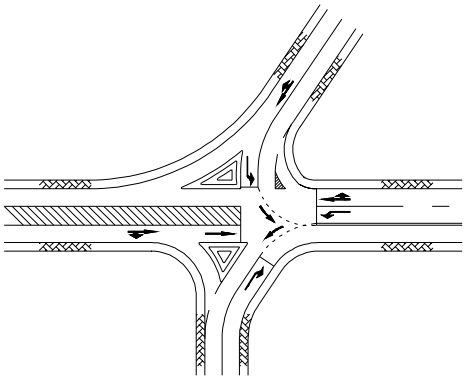
② 주행 경로를 명확히 한다.

교차로의 형태 및 기하구조, 접근로의 선형, 교통섬, 노면표시 등을 복합적으로 활용하여 자동차의 주행경로를 명확히 하여야 한다. 이는 서로 다른 교통류를 분리시키며 안전성과 용량 증대를 도모한다.

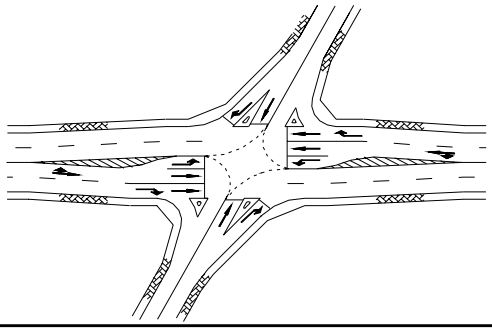
여기서, 좋은 자동차 경로란 운전자의 기대치와 관계되는 것인데, 즉 회전하려는 자동차의 운전자는 차로 변경을 예상하며, 직진 자동차의 운전자는 직진 차로로 계속 주행하는 것을 기대할 뿐, 어느 누구도 갑작스러운 차로 변경을 예상하지 않는다. 따라서 주행경로를 자연스럽게 유도하는 도류화는 운전자의 기대치를 보완하는 것이 된다.

별도의 회전차로는 회전하려는 운전자에게 명확하게 시선유도가 되도록 하여야 하며 직진하려는 자동차가 진입하도록 하여서는 안된다. 또한 모든 교통류를 도류화시키기 위하여 지나치게 많은 교통섬을 사용하는 것으로 잘못 해석되어서는 안된다. 특히 명확한 주행경로는 회전 교통량이 많은 곳, 주도로의 방향이 굽은 곳, 사각 교차로, 여러 갈래 교차로 등과 같이 통행특성이나 기하구조가 독특한 교차로에서 유의해야 한다.

- 직진 자동차가 잘못하여 좌회전 차로로 진입하지 못하도록 하며, 접근로의 선형, 도류 시설물, 차선 등이 잘 조화되어 적절한 자동차 경로를 나타내도록 한다.



- 교통섬을 이용하여 자동차의 통행 경로를 적절하게 정해 주도록 한다. 자동차가 잘못 진입하기 쉬우며(일방통행 등) 많은 교통량을 처리해야 되는 곳에서 특히 중요하다.



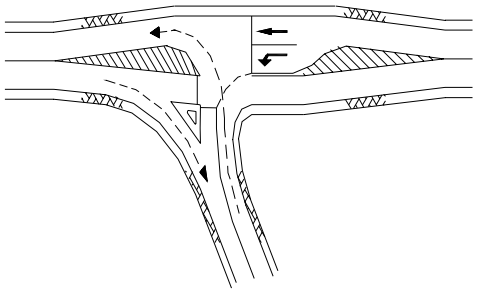
<그림 306.28> 주행경로를 명확히 한 예

③ 바람직한 자동차 속도의 유지

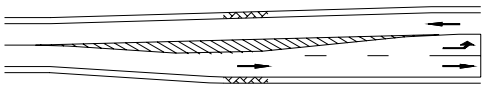
바람직한 자동차 속도를 유지하도록 한다는 것은 많은 교통량을 원활히 처리하고 높은 속도를 유지하도록 선형을 좋게 하는 것 뿐만 아니라 경우에 따라서는 높은 속도를 완화시키는 것을 말한다.

이렇게 바람직한 속도를 유지토록 하는 것은 교차로의 위치와 형식뿐 만 아니라 교통관제도 중요한 요소 중의 하나가 된다. 일반적으로 많은 교통량과 높은 속도를 유지하여야 하는 주도로와 주도로에서 회전하는 이동류는 높은 속도를 유지하는 것이 바람직하며, 일시정지로 제어되는 부도로와 보행자 통행이 많은 교차로에서는 낮은 속도를 유지토록 하는 것이 바람직하다.

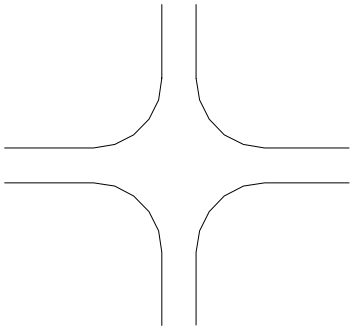
- 선형과 도류화에 의한 감속을 유도시켜 낮은 속도로 일시정지 표지까지 접근 시킴으로써 일시정지를 하지 않는 주도로상으로 안전하게 좌회전하도록 해주며, 주도로에서 접속도로로는 높은 속도로 우회전하도록 한다.



- 접근로 및 좌회전 테이퍼는 안전하고 쾌적한 감속을 할 수 있고 운전자의 기대치에도 부응하도록 설계한다. 길고 완만한 접근로의 테이퍼는 좋으나 좌회전 테이퍼는 회전 자동차의 유도와 직진 자동차의 혼돈을 방지하기 위하여 너무 길지 않아야 한다.



- 보행자와의 상충이 많은 곳에서는 우회전 속도를 줄이도록 회전부는 작은 모서리를 사용하며, 많은 교통을 처리해야 하는 곳은 높은 속도를 유지할 수 있도록 큰 곡선반경을 사용하는 것이 좋다.



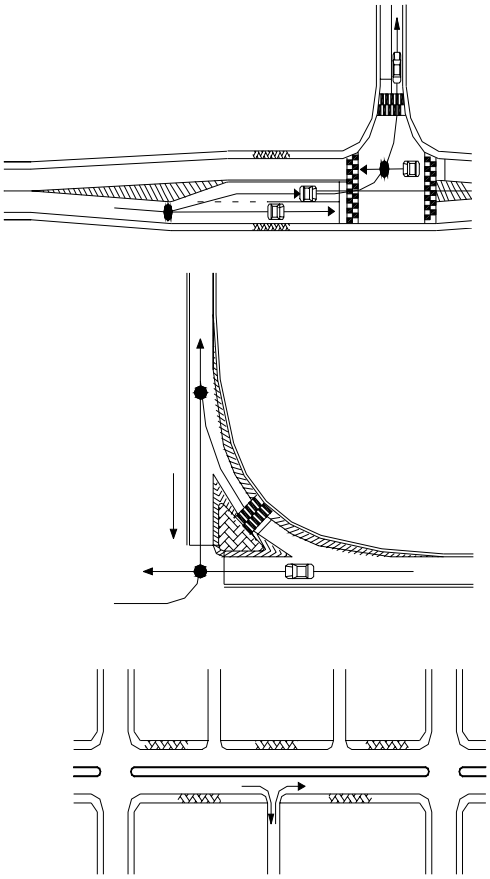
<그림 306.29> 바람직한 자동차 속도를 유지하는 예

④ 가능한 상충 지점은 분리한다.

회전차로의 설치, 교통섬의 설치, 접근로의 조정과 같은 도류화 기법은 모두 상충지점을 분리하기 위한 것으로, 이는 상충에 대해 운전자가 차례대로 인지하고 반응할 수 있도록 한다.

상충지점의 분리는 시간적 요소와 인지, 반응경로 등의 주행특성에 초점이 주어져야 하므로 상충의 분리를 위한 설계는 속도에 대해 매우 민감하다. 특히 지방부 교차로에서 고규격 도류화의 안전 문제는 상충지점 사이의 불충분한 거리와 시간 때문으로 추정할 수 있다.

- 별도의 좌회전 차로는 회전하기 위하여 감속하는 분류 자동차와 관계된 추돌 상충과 교차로 내의 교차 상충을 분리한다.
- 규격의 우회전 도류로는 분류 상충과 교차로 내에서 다른 회전 자동차와의 교차 상충으로부터 우회전 상충을 분리시키며, 분리대는 정면충돌 상충으로부터 분리한다.
- 접근로와 교차로를 접근관리(출입제한)하여 적절한 간격을 유지하는 것은 가로망을 따라 상충지점을 분리한다.



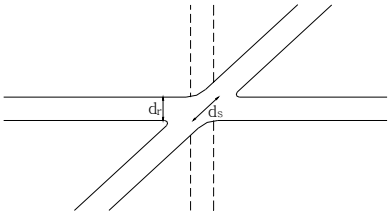
<그림 306.30> 상충 지점의 분리 예

⑤ 교통류는 직각으로 교차, 예각으로 합류토록 한다.

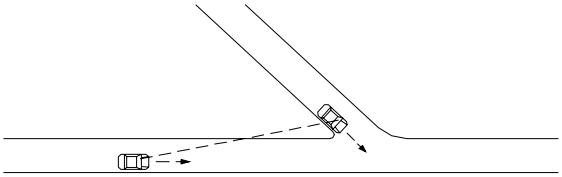
교통류의 교차와 합류는 접근로의 기하구조, 교통관제, 주행속도 등을 반영하여야 하며, 실질적인 상충의 가능성과 심각한 상충을 모두 최소화시킬 수 있어야만 한다.

도류화 및 선형설계는 교차하는 자동차의 흐름을 가능한 직각에 가깝게 되도록 하며, 합류되는 곳에서는 합류되는 도로의 선형이 작은 각을 이루도록 한다. 이는 상충 면적을 줄이고, 교차 시간을 줄이며, 상대 속도를 최소화시켜 교차 교통류의 상대 속도와 상대 위치에 대한 판단을 쉽게 하도록 하는 것이다.

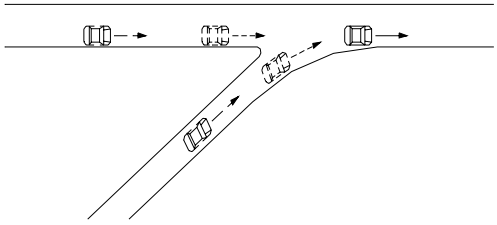
- 그림에서 보는 바와 같이 직각으로 교차하는 거리(d_r)는 사각으로 교차하는 거리(d_s)보다 짧게 되어, 직각교차는 교차로의 상충에 노출되는 시간과 거리를 최소화시킨다.



- 사각 교차로는 접근로에 접근하는 운전자의 가시각을 방해하며 어색하게 만든다. 특히 그림과 같은 경우는 운전자의 가시선이 자동차 내부에서도 방해를 받게 되어 더욱 나쁜 경우가 된다.



- 예각으로 합류되는 도로를 권장하는데, 이는 합류각이 작아지면 충격 에너지가 적어지므로 치명적인 사고와 상충이 줄어들고 짧은 차두간격을 이용할 수 있어 교통소통에도 유리하기 때문이다.



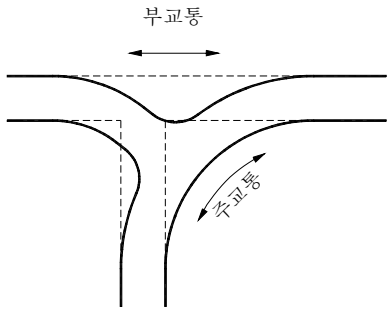
<그림 306.31> 교통류의 교차 예

⑥ 주교통을 우선적으로 처리한다.

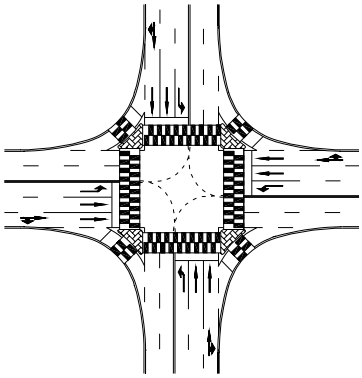
높은 우선 순위를 갖는 주교통은 높은 도로 용량을 필요로할 뿐만 아니라 운전자의 기대치가 높아지므로 교차로의 기하구조와 교통관제는 주교통을 우선적으로 처리할 수 있도록 하여야 한다. 주교통을 우선적으로 처리하기 위한 접근로의 모양과 기하구조는 명확히 하도록 한다.

특히 노선이 굽은 교차로, 회전 교통이 많은 곳, 여러 갈래 교차로와 같이 비정상적인 특성을 갖는 교차로에서 중요하다. 또한 적절한 기하구조의 변경과 도류화는 교통 운영을 보완하는 데 매우 효과적이다.

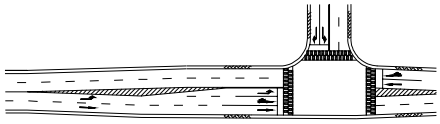
- 주교통측의 선형을 변경시킴으로써 회전 교통량을 직진의 통과 교통으로 변화시키고, 적은 교통량의 방향을 종으로 하여 회전 교통으로 한다.



- 모든 접근로를 완전히 도류화하며 주도로상의 직진 교통을 우선 처리한다. 좌회전 차로를 분리시키고 우회전 도류로를 설치하여 직진자동차를 포함한 상충을 최소화함으로써 모든 접근도로에서의 교차로 모습을 통행 우선권과 일치시킨다.



- 교차로 접근로의 차로 배치는 직진교통과 회전교통의 비율에 따라 설치한다. 좌회전 교통량이 매우 많은 경우에는 2차로의 좌회전 차로를 설치한다.



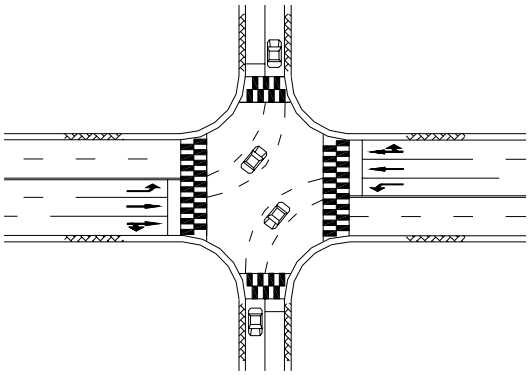
<그림 306.32> 주교통을 우선적으로 처리한 예

⑦ 기하구조와 교통관제 방법이 조화를 이루도록 한다.

교차로의 기하구조와 교통관제는 매우 밀접한 관계가 있다. 잘된 도류화 설계는 교통관제에 대해 운전자의 인지를 보강할 뿐만 아니라 교차로 운영을 최적화하는 데 중요하며 신호기, 표지판, 정지선 및 노면표시 등의 실질적인 위치 선정에 직접적인 영향을 준다.

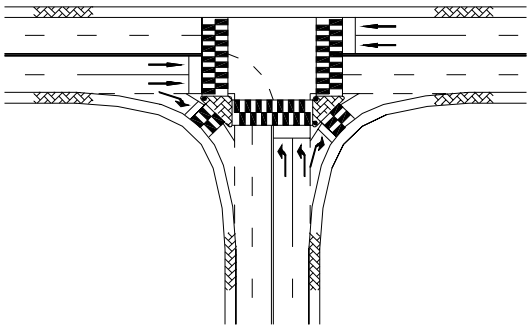
실제로 신호 교차로에서 교통섬의 위치와 차로는 모든 접근로에서 신호등 표시를 볼 수 있도록 배치한다. 정지 제어를 위한 교차로 설계시에는 정지의 필요성을 증진시키고 교차하는 도로의 양측으로 시거선을 확보한다.

- 신호교차로에서 분리된 좌회전 차로의 사용은 신호주기의 변동을 줌으로써 그 효과를 크게 증진시킨다. 이는 시간별로 변화하는 교통패턴을 반영시키는 운영의 조정을 쉽게 하며, 대향차로의 좌회전을 안전하게 하는데도 유리하다.



좌회전차로의 설치

- 교통섬은 정지표지나 양보표지를 위한 적합한 장소를 제공할 뿐만 아니라 정지선에 위치한 운전자의 시거 내에 있도록 한다. 우회전 차로를 설치하는 것은 우회전을 하기 위하여 대기하는 자동차들로 인하여 생기는 불필요한 지체를 없앤다.



교통섬의 설치

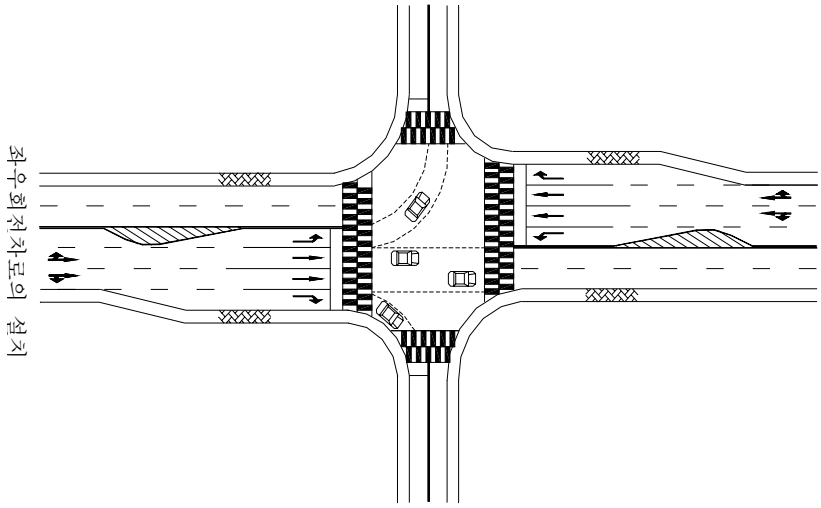
<그림 306.33> 기하구조와 교통관제

⑧ 서로 다른 교통류는 분리한다.

동일한 교통류 내에서 교통사고의 가장 큰 요인이 되는 것은 자동차 간의 속도 차이이다. 모든 회전 자동차들은 주행의 안전성과 쾌적성을 위하여 감속을 하게 된다. 특히 좌회전 자동차는 신호를 지키거나 대향차로의 차두간격이 충분하게 될 때를 기다리기 위하여 감속해야만 한다.

따라서 높은 속도를 갖는 직진 자동차와 회전을 위해 감속 및 정지를 하는 교통류를 분리함으로써 추돌 상충을 줄여 교차로의 안전성을 향상시키고 통과 자동차가 전방의 회전 자동차에 의해 방해를 받지 않고 진행할 수 있으므로 교차로의 용량을 증대시킬 수 있다.

- 높은 속도를 갖는 지방부에서는 고속 추돌사고의 잠재성을 줄이기 위하여 회전 교통량에 관계없이 별도의 좌·우회전 차로를 설치함으로써 직진(통과) 자동차와 감속 자동차를 분리시켜야 한다.
- 낮은 속도의 지방부 도로나 도시부 가로에서의 좌회전 차로는 직진 자동차와 대기 자동차를 분리시킴으로써 직진 자동차와 충돌 없이 좌회전 교통류가 좌회전 신호를 기다리거나 대향 차로의 차두간격을 선택할 수 있도록 한다.



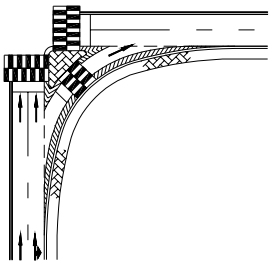
<그림 306.34> 교통류 분리

⑨ 비자동차 이용자를 위한 대피 장소를 제공한다.

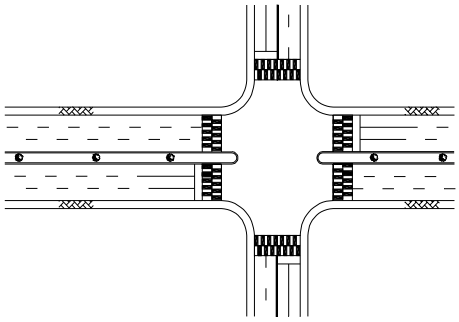
보행자, 자전거 이용자 등의 비자동차 이용자는 자동차와의 상충에 매우 취약하며 치명적이므로 이들을 위한 대피장소 등의 시설물은 대단히 중요한 시설물이 된다.

교통섬, 분리대 등의 도류 시설물은 자동차 통행에 방해를 주지 않으며 상충에 취약한 비자동차 이용자의 노출을 최소화할 수 있으므로 이들을 위한 최대의 시설물이다.

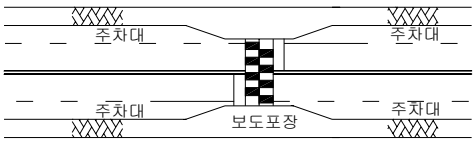
- 큰 곡선 반경을 가지며 도류화되지 않은 우회전은 교차로 면적을 증대시키고 보행자가 상충에 크게 노출된다. 돌출된 교통섬은 보행자에게 피난장소를 제공하며 횡단을 위해 자동차와 상충되는 노출 시간을 최소화한다.



- 넓은 간선도로의 돌출된 중앙분리대 도류시설은 횡단 보행자에 중간 피난처를 제공하며 횡단을 매우 쉽게 한다. 또한 상충에 대한 총 노출시간을 줄이며, 보행자가 한 번에 한 방향 교통에만 집중할 수 있도록 한다. 특히 일반인보다 횡단에 많은 시간이 소요되는 노인과 장애자에게 매우 중요하다.



- 단로부 횡단보도의 돌출된 보도는 횡단 시간을 단축시켜 보행 횡단을 촉진시키며 병렬 주차자동차를 보호한다.(이러한 특별한 구간에서의 처리는 낮은 속도의 가로에만 적용해야 하며, 단로부의 보행자를 운전자에게 경고하는 것이 중요하다.)



<그림 306.35> 비자동차 이용자를 위한 대피장소

5.2 좌회전 차로

5.2.1 개 요

본선 교통류에서 좌회전 자동차의 영향을 제거하기 위한 기본적인 접근방식은 좌회전 자동차와 직진자동차를 분리하는 것이며 구체적으로는 좌회전 차로를 직진 차로와 분리하여 설치하는 것이다. 즉, 좌회전 차로는 직진 차로와는 독립적으로 설치해야 하며 좌회전 차로에 들어가기 위한 충분한 시간적 여유를 확보해 주어야 한다.

이러한 좌회전 차로는 다음과 같은 효과를 갖는다.

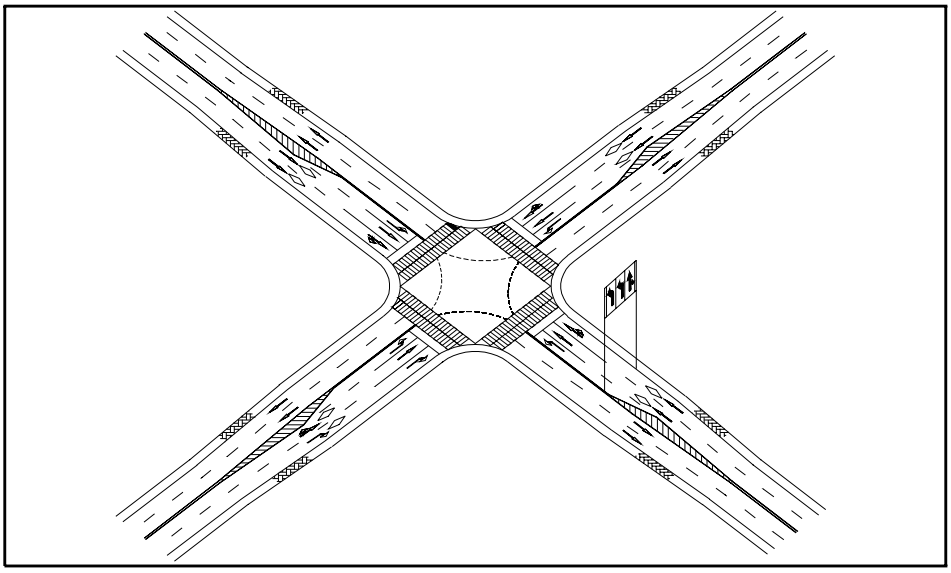
- 좌회전 교통류를 다른 교통류와 분리시킴으로써 평면교차로의 운영에 중요한 역할을 하는 좌회전 교통류에 의한 영향을 최소화시킬 수 있다.
- 좌회전 자동차가 대기할 수 있는 공간을 확보함으로써 교통신호운영의 적정화를 꾀할 수 있게 한다.
- 좌회전 교통류의 감속을 원만하게 하며 추돌사고를 줄인다.

5.2.2 설치 원리

(1) 직진 자동차가 그대로 좌회전 차로에 진입하지 않도록 한다.

교차로를 직진하여 통과하는 자동차가 내측차로(중앙측의 차로)로 주행하여 접근했을 때 그대로 좌회전 차로로 진입하도록 좌회전 차로를 설치하여서는 안된다.

다만 좌회전 교통이 주교통류이고 직진교통이 부교통류인 교차로에서 2차로 이상의 좌회전 차로를 설치할 필요가 있는 경우에는 좌회전 차로를 상기와 같이 설계하는 것이 비현실적이다. 이러한 경우에는 교차로 전방의 충분한 거리에서 차로마다 방향을 표시하는 노면표시 및 안내 표지판을 설치하여 운전자에게 어느 차로가 어느 방향으로 가는지를 사전에 안내하는 것이 중요하다.



<그림 306.36> 차로 통행 방법의 예

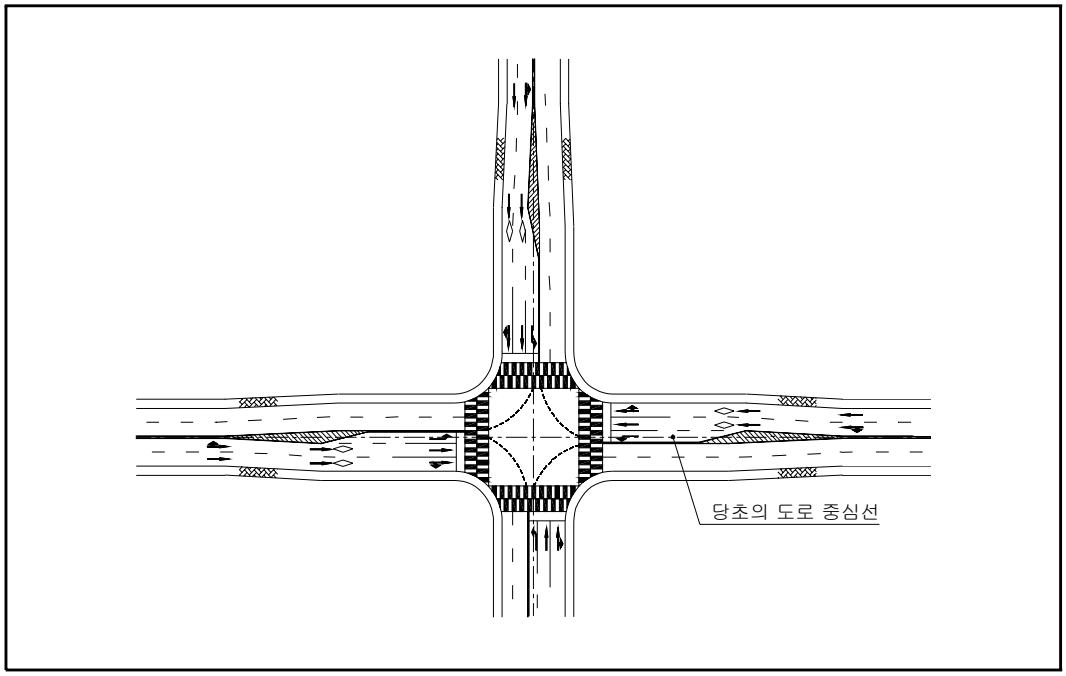
(2) 도로폭을 최대한 유효하게 이용한다.

좌회전 차로를 설치하는 경우에는 먼저 기존의 도로폭을 가급적 유효하게 이용하여 좌회전 차로의 폭을 확보하는 것이 중요하다.

① 차로의 중앙선을 변경하고 차로 폭을 축소

교차로 유입부의 중앙선을 좌측으로 옮기고 좌회전 차로의 폭을 확보하기 위해 중앙선을 좌측으로 옮겨서 좌회전 차로를 설치할 경우에는 그림에서 보는 바와 같은 사선(zebra) 표시를 한다.

이 표시는 좌회전 자동차를 차로 변경시켜 좌회전 차로로 유도함으로써 직진 자동차를 차로 변경 없이 직진 차로로 유도하는 기능을 가지고 있다.



<그림 306.37> 차로 중앙선의 변경

② 중앙분리대의 제거

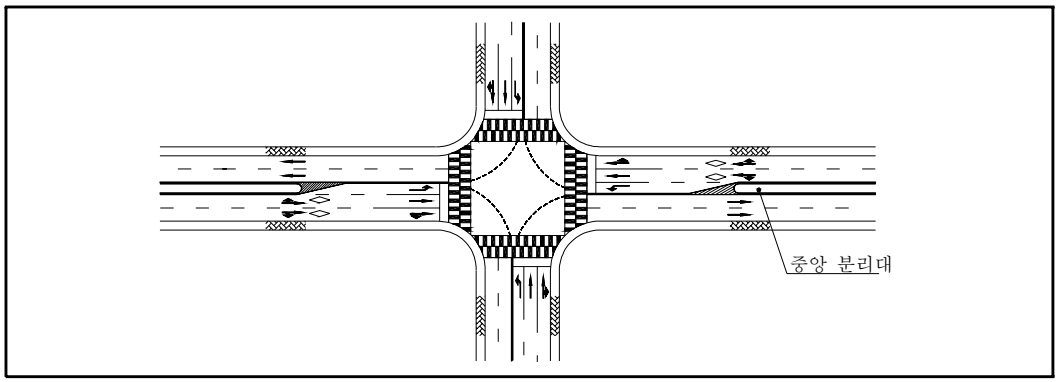
중앙분리대에 좌회전 차로의 필요 폭에 해당하는 폭이 있을 경우에는 중앙분리대를 제거하여 좌회전 차로의 폭을 확보한다.

중앙분리대를 제거하는 것만으로는 좌회전 차로의 폭이 확보되지 못할 경우에는 중앙분리대의 제거와 차로 폭의 축소를 병행함으로써 좌회전 차로의 폭을 확보한다.

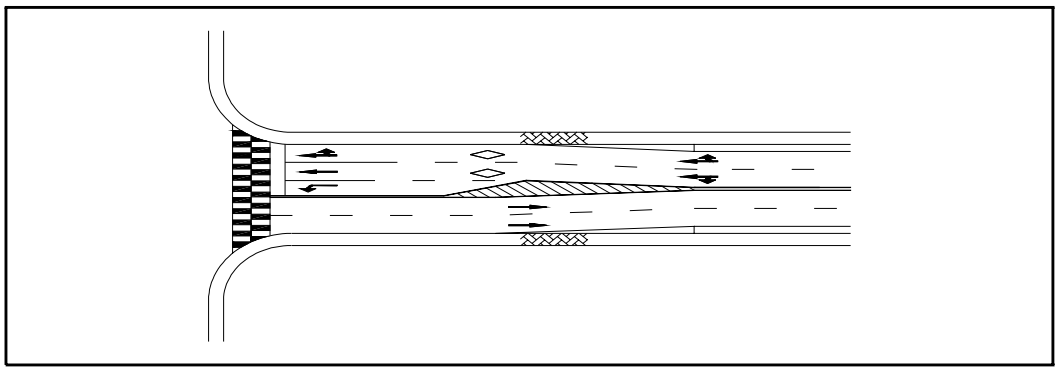
또한, 좌회전 자동차와 직진 자동차를 명확하게 분리하기 위하여 그림에서 나타낸 사선 표시를 설치하는 것이 필요하다.

③ 정차대의 제거

차로 폭을 최대한 축소하여도 좌회전 차로의 폭이 확보되지 못할 때에는 정차대를 제거함으로써 좌회전 차로의 폭을 확보하는 경우도 있다.



<그림 306.38> 중앙분리대의 제거

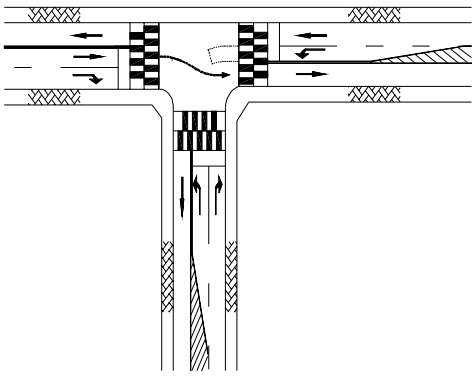


<그림 306.39> 정차대의 제거

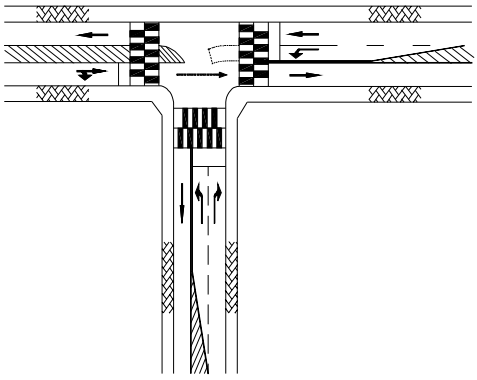
(3) 파행적으로 진행하기 쉬운 차로 배치를 하지 않도록 한다.

다음의 T형 교차로의 개선 전 그림과 같은 차로 배치를 하면 직진 자동차가 교차로 내에는 파행적으로 진행하는 문제가 생긴다.

이러한 경우에는 직진 자동차가 파행적으로 진행하지 않도록 하는 차로를 배치한다.



(a) 기존



(b) 개선

<그림 306.40> 파행적인 진행 금지

5.2.3 세부 설치 기준

좌회전 차로의 설계요소로는 폭원, 접근로 테이퍼, 차로 테이퍼, 유출 테이퍼, 좌회전 차로의 길이 등으로 구성되며 그 세부 사항은 다음과 같다.

(1) 차로 폭

교차로에서 안전한 주행을 확보하기 위해서 확폭, 도류화 등을 실시하므로 일반적으로 단로부에 비하여 전체 폭이 넓어져야 하나, 차로 폭을 단로부의 폭보다 줄임으로써 될 수 있는 대로 추가 확폭을 최소화하여 효율적인 교차로 운영을 유도한다.

직진 차로에 대해서는 원칙적으로 접속 유입부의 차로 폭과 같은 폭으로 하는 것이 바람직하지만, 교차로에서 전체 폭의 증가를 최대한 억제하기 위하여 부가 차로를 설치하는 경우에는 직진 차로 폭을 3.0m까지 축소할 수도 있다.

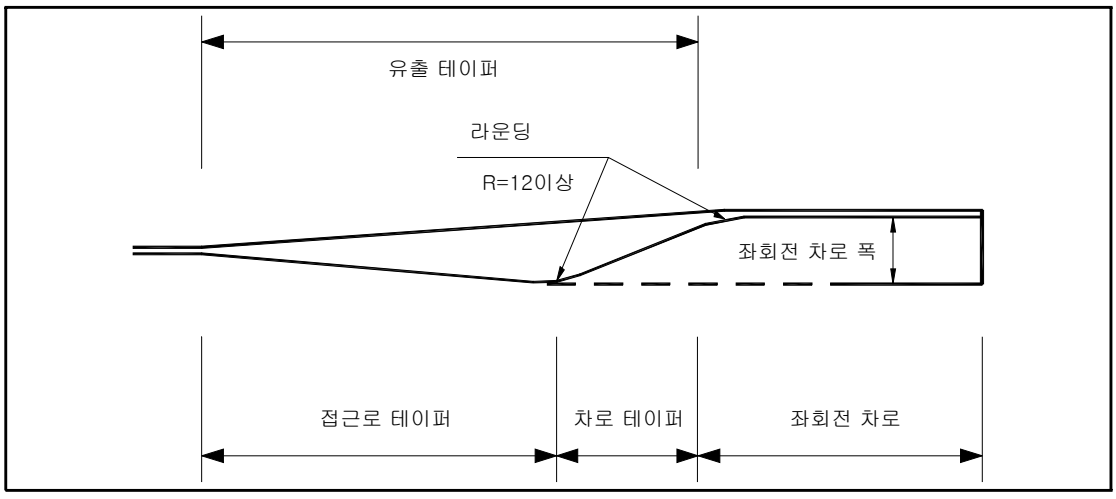
우회전 및 좌회전 차로의 폭은 3.0m 이상을 표준으로 하지만, 좌회전 및 우회전 차로는 대기차로의 성격을 가지고 있고, 해당 차로를 이용하는 자동차의 주행속도도 낮으므로, 대형자동차의 구성비가 작을 경우에는 2.75m까지 축소할 수 있다.

(2) 좌회전 차로의 길이

좌회전 차로의 길이 산정은 좌회전 차로의 설계 요소 중 가장 중요한 요소로서, 그 길이의 산정 기초는 감속 및 제동을 할 수 있는 길이와 자동차의 대기 공간을 확보하는 것이다.

특히 속도가 높은 도로에서의 감속과 제동을 위한 거리가 짧아지면 갑작스러운 제동으로 인한 후속 자동차에 대한 영향이 커지고, 직진차로부에서 감속이 유발되므로 직진 자동차에 영향을 줌으로써 교차로의 사고 증대는 물론 소통 원활에 커다란 영향을 미치게 된다.

좌회전을 하기 위한 자동차는 접근로 테이퍼를 지나 차로 테이퍼 구간부터 감속을 시행하게 되므로 감속하는 길이는 차로 테이퍼를 포함한 값이 된다.



<그림 306.41> 좌회전 차로의 구성

이때 감속 거리는

$\ell = \frac{1}{2a} \times \left(\frac{V}{3.6}\right)^2$의 식으로 계산된다.

여기서, V는 설계속도(km/h), a는 감속을 위한 가속도 값으로 a=2.0m/sec^2 정도를 기준으로 설계하는 것이 바람직하다.

그러나, 시가지 지역 등에서는 운전자가 자회전 차로를 인지하기 쉽고, 용지 사용에 제약이 발생될 경우가 있다. 이 경우는 3.0m/sec^{2}까지 사용하는 것이 가능하며 그 값은 <표 306.10>과 같다.

<표 306.10> 좌회전 차로의 감속 길이(l)

설계속도	감속 거리(l)	
(km/h)	기준치	최소치
80	125	80
70	95	65
60	70	45
50	50	35
40	30	20
30	20	15

주) 기준치 a=2.0m/sec^2
최소치 a=3.0m/sec^2

대기 자동차를 위한 길이는 감속을 위한 길이 보다 더 중요한 문제로서, 만일 이 값이 작으면 대기 자동차으로 인한 직진 자동차의 방해로 교통사고의 위험 증대와 함께 해당 교차로는 물론 노선 전체의 교통 정체의 요인이 된다.

좌회전 차로의 대기 자동차를 위한 길이는 비신호 교차로의 경우 첨두시간 평균 2분간 도착하는 좌회전 교통량을 기준으로 하며 그 값이 1대 미만의 경우에도 최소 2대의 승용차가 대기할 공간은 확보되어야 한다. 신호 교차로에 경우에는 이론적으로 신호 1주기당 도착하는 좌회전 자동차 수가 필요하나 교통량의 변화, 정체시의 대기 자동차 등을 고려하여 그 1.5배에 해당하는 길이가 되도록 한다. 이렇게 산출된 거리도 최소한 신호 1주기당 도착하는 좌회전 차량 수의 두 배보다 길어야 한다. 또한 차량 길이는 대부분 정확한 중차량 혼입률 산정이 곤란하므로 그 값을 7.0m로 계산하되, 화물차 진출이 많은 지역에서는 그 비율을 산정하여 승용차는 6.0m, 화물차는 12.0m로 하여 길이를 산정하여야 한다. 즉 좌회전 차로의 최소 설치 길이는 다음 식에 의한다.

$$L = 1.5 \times N \times S + \ell - T \geq 2.0 \times N \times S$$

여기서,
L = 좌회전 대기 차로의 길이
N = 좌회전 자동차의 수
(신호 1주기당 또는 비신호시 1분간 도착 자동차)
S = 자동차 길이 (7.0m)
ℓ = 감속 길이
T = 차로 테이퍼 길이

(3) 차로 테이퍼

차로 테이퍼는 좌회전 교통류를 직진 차로에서 좌회전 차로로 유도하는 기능을 갖는다. 이 테이퍼의 설계에는 좌회전 자동차가 좌회전 차로로 진입할 때 갑작스러운 차로 변경이나 무리한 감속을 유발하지 않도록 해야 하며, 테이퍼가 너무 완만하여 운전자들이 직진 차로와 혼동하지 않도록 하는 점이 충분히 고려되어야 한다.

이러한 차로 테이퍼의 길이도 자동차의 운행이 관련된 선형의 문제이지만 포장면에 차선 도색으로 표현되는 구간으로 여유 폭이 확보될 수 있으므로 편의 도모를 위하여 폭에 대한 길이의 변화 비율을 사용키로 하였으며, 그 최소 비율은 AASHTO에서 적용하는 폭과 길이의 비율을 설계속도 50km/h 이하에서는 1 : 8, 설계속도 60km/h 이상에서는 1 : 15를 사용한다. 다만, 시가지 등에서 용지 폭의 제약이 심한 경우 등에는 그 값을 1 : 4까지 사용할 수 있다.

(4) 접근로 테이퍼

좌회전 차로를 설치하기 위한 접근로 테이퍼는 교차로로 접근하는 교통류를 자연스럽게 우측 방향으로 유도하여 직진 자동차들이 원만한 진행을 하도록 하며, 좌회전 차로를 설치할 수 있는 공간을 확보하기 위한 것이다. 따라서 접근로 테이퍼의 설치는 선형의 문제로 보는 것이 타당하며 가장 바람직한 방법은 자연스러운 선형을 유지하도록 하는 것이다.

즉, 접근로 테이퍼는 본선 주행 자동차를 우측으로 유도하는 것으로 폭이 넓은 중분대를 이용하여 좌회전 차로를 설치하는 경우는 접근로 테이퍼 자체가 필요 없게 된다. 따라서 접근로 테이퍼의 설치는 우측으로 평행이동(shift)되는 값에 대한 거리의 비율이 되며, 이는 운전자가 교차로를 인지하고 우측으로 선형을 이동하는 동안의 주행으로 볼 수 있다.

일반적으로 이러한 인지반응 시간은 2.5초 정도로 알려져 있으며 시가지 등 운전자가 사전에 교차로를 잘 알고 있거나 주변 교차로와의 관계 등으로 인해 그 설치가 제약을 받는 경우는 인지반응 시간을 1.0초 정도까지 가능한 것으로 알려져 있다. 본 편람에서는 횡방향으로 1m 이동에 필요한 종방향 거리의 비율을 설치기준으로 하였으며, 그 값은 <표 306.11>과 같다.

일반적으로 교차로 부근에서는 좌회전 차로를 설치하기 위하여 도로의 폭을 조정하는 경우가 많은데 접근로 테이퍼를 지나치게 길게 하면 운전자에게 혼선을 초래하는 경우가 있으므로 주의하여야 한다. 또한 종단선형상의 문제로서 볼록형 종단곡선부에서 운전자가 좌회전 차로를 인식하지 못하는 경우에 특히 주의하여야 한다. 즉, 볼록형 종단곡선부에서 접근로 테이퍼가 설치되는 경우 그 시점을 종단곡선부의 시점까지로 연장하여 운전자가 전방에 교차로가 있는 것을 사전에 인지하고 자연스러운 운행을 하도록 하는 것이 교통안전에 매우 중요하다.

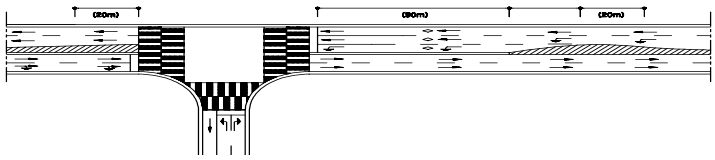
(5) 설치 예

<그림 306.42>는 설계속도와 중앙분리대 및 좌회전 자동차의 수를 고려한 좌회전 차로 길이 산정 사례이다.

<표 306.11> 설계속도에 따른 테이퍼 비율

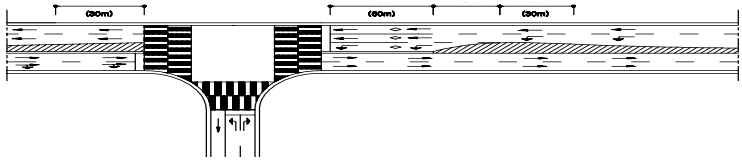
설계속도(km/h)		80	70	60	50	40	30
테이퍼 비율	기준값	1/55	1/50	1/40	1/35	1/30	1/20
	최소값	1/25	1/20	1/20	1/15	1/10	1/8

V=80km/h, 중앙분리대 폭 : 2.0m, 좌회전 도착 차량 : 5대



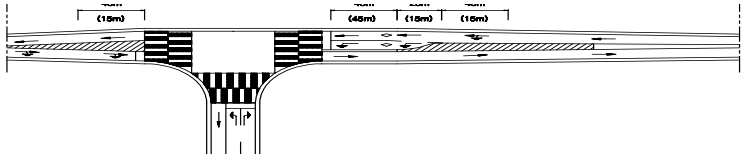
• 기준치 사용시 : 접근로 테이퍼=(3.5-2.0)×1/2×55=41.25≒45m
차로 테이퍼=3.25×15=48.75≒50m
좌회전 대기 차로의 길이=1.5×5×7+125-50=127.5≒130m>2×5×7=70m
• 최소치 사용시 : 접근로 테이퍼=(3.25-2.0)×1/2×25=15.625≒20m
(제약이 있는 경우) 차로 테이퍼=3.0×15=45m
좌회전 대기 차로의 길이=1.5×5×7+80-45≒90m>2×5×7=70m

V=60km/h, 중앙분리대 폭 : 0.5m, 좌회전 도착 차량 : 4대



• 기준치 사용시 : 접근로 테이퍼=(3.5-0.5)×1/2×40=60m
차로 테이퍼=3.0×15=45m
좌회전 대기 차로의 길이=1.5×4×7+70-45=67≒70m>2×4×7=56m
• 최소치 사용시 : 접근로 테이퍼=(3.25-0.5)×1/2×20=27.5≒30m
(제약이 있는 경우) 차로 테이퍼=2.75×15=45m
좌회전 대기 차로의 길이=1.5×4×7+45-45≒45m<2×4×7=56m≒60m

V=40km/h, 좌회전 도착 차량 : 3대



• 기준치 사용시 : 접근로 테이퍼=3.0×1/2×30=45m
차로 테이퍼=3.0×8=24≒25m
좌회전 대기 차로의 길이=1.5×3×7+30-25=36.5≒40m<2×3×7=42≒45m
• 최소치 사용시 : 접근로 테이퍼=3.0×1/2×10=15m
(제약이 있는 경우) 차로 테이퍼=2.75×8=22≒25m or 2.75×4=11≒15m
좌회전 대기 차로의 길이=1.5×3×7+20-25≒30m<2×3×7=45m

<그림 306.42> 좌회전 차로 설치 예

5.3 도류로 및 변속 차로

5.3.1 도류로 설치 및 곡선반경

(1) 도류로 설치

도류로의 설계는 그 교차로의 형상, 교차각, 속도, 교통량 등을 고려하여 적절한 반경, 폭, 합류각, 위치 등을 결정하는 것이 중요하다.

어느 도류로에 대해서나 그곳을 통과하는 자동차의 속도, 교통량, 교통관제 조건, 보행자 등의 각종 조건을 충분히 검토하여 도류로를 결정한다.

도류로의 형태를 결정하는 요소로서는 이용할 수 있는 용지 폭, 교차로의 형태, 설계자동차, 설계속도 등이 고려된다. 도시지역에서는 일반적으로 교통량은 많은 반면 자동차의 주행속도가 그다지 높지 않고 이용 가능한 용지가 제한되어 있는 경우가 많으므로 용지 및 교통량에 의해 도류로의 형태가 결정된다. 지방 지역에서는 자동차의 속도가 높고 용지의 취득이 비교적 용이하므로 도류로의 형태를 속도에 맞추어서 설계하는 경우가 많다.

도류로 배치는 교통량, 규제 방법, 보행자 등을 고려하여 소통에 지장이 없도록 한다.

(2) 도류로 곡선반경

좌회전 차로는 일시정지하여 자동차가 매우 낮은 속도로 회전하게 되며 대향차로를 일부 이용하게 되므로 교차각, 차도의 폭원 등에 따라 평면곡선반경이 자연스럽게 결정되어야 한다. 일반적으로 교차각이 90° 에 가까울 경우 15～30m 정도의 평면곡선반경으로 설계하면 무리가 없다. 평면곡선반경이 작은 경우 대기하고 있는 자동차와 접촉하는 것을 피하도록 하며, 운전자의 주행궤적을 명확하게 하기 위해서는 유도 차로를 함께 설치하는 것이 바람직하다.

우회전 도류로는 교차로가 위치하는 지역, 교차각, 도로의 기능 등에 따라 다른 평면곡선반경을 사용하게 된다. 도시 지역과 같이 용지 및 주변 지장물 등에 의해 영향을 크게 받는 지역에서는 단순한 모서리 완화를 시행하게 된다.

지방지역의 우회전 도류로의 경우 비교적 용지 등의 제약조건이 적으므로 평면곡선반경을 크게 잡는 것이 좋다. 그러나 이 경우 회전하는 자동차가 대부분 본선보다 낮은 속도로 주행하는 점을 고려하면 본선의 설계속도에서 10～20km/h 정도 낮은 값을 설계속도로 하여 곡선반경을 취하면 된다.

참고로 독일의 경우는 하급도로에서 상급도로로 우회전하는 경우는 최소 곡선반경을 8m로 하며, 상급도로에서 하급도로로 진입하는 경우 교차각이 90° 이하이면 최소 곡선반경을 12m로, 둔각인 경우는 8m로 하고 있으며, 삼각형의 교통섬을 설치하여 도류로를 설치하는 경우는 그 최소값을 20～25m로 하고 있다.

5.3.2 우회전 차로

(1) 설치 효과 및 설치조건

일반적으로 우회전 차로는 다음과 같은 효과를 갖는다.

① 도로교통용량을 증대시킨다.
② 보행자의 안전을 도모한다.
③ 정지선을 전진시킬 수가 있다.
④ 직진 교통의 혼란이 감소된다.
⑤ 예각의 우회전을 용이하게 한다.

우회전 차로는 좌회전 차로와 같이 우회전 자동차가 있기만 하면 설치하는 것이 아니고 우회전 자동차에 의한 영향이 크게 발생하는 경우에 주로 설치한다. 즉, 우회전 차로의 경우 가급적 설치하는 것이 교통소통과 교통안전의 측면에서 유리하나 우회전의 경우 적색신호시에도 비보호 우회전이 가능하며, 좌회전 차로와 우회전 차로를 모두 설치함으로써 발생되는 용지 확보의 곤란 등으로 융통성을 부여하는 것이다.

일반적으로 다음과 같은 조건을 만족시키게 되면 우회전 차로를 설치한다.

- 회전교통류가 주교통이 되어 우회전 교통량이 상당히 많은 경우
- 우회전 자동차의 속도가 높을 경우
- 교차각이 120° 이상의 예각교차로서 우회전 교통이 많을 경우

(2) 폭 원

교통량에 비해서 우회전 도류로의 폭을 지나치게 넓게 하면 교통류는 어지럽게 되고 그 운영이 어려워진다. 따라서, 도류로는 적정하게 해야 하며 용지에 여유가 있다고 해서 무턱대고 도류로를 만들거나 필요 없이 넓게 만드는 것은 좋지 않다. 또한 도류로의 결정시 설계자동차의 제원을 충분히 고려해야 한다. 예를 들면 우회전 전용 2차로 도류로를 세미트레일러로 설계하는 경우 소형자동차 3대 또는 4대가 나란히 통행하여 오히려 교통에 지장을 초래하는 경우가 있으므로 이 경우는 도류로의 폭을 좁게 하는 것이 바람직하다. 즉, 도류로의 폭은 설계자동차, 평면곡선반경, 도류로의 접속각에 따라 결정해야 하며 지나치게 넓거나 좁아서는 안된다.

도류로의 폭은 설계기준자동차, 평면곡선반경, 도류로의 회전각에 따라 결정한다. 다음 <표 306.12>는 도류로의 차로 폭이며 도류로가 교통섬 등으로 분리되어 있는 경우는 양측에 포장을 실시하여 0.5m 이상의 여유 폭을 확보하는 것이 좋다. 이 여유 폭은 길어깨, 측구 또는 도류로의 셋백(set back)에 포함해도 되며 확폭의 접속 설치는 원칙적으로 내측으로 한다.

<표 306.12> 도류로의 폭

(단위 : m)

<table>
<tr><th rowspan="2">곡선
반경</th><th colspan="5">설계기준 자동차의 조합</th></tr>
<tr><th>S</th><th>T</th><th>P</th><th>T+P</th><th>P+P</th></tr>
<tr><td>6
8</td><td rowspan="11"></td><td rowspan="11"></td><td>3.5</td><td rowspan="11"></td><td rowspan="11"></td></tr>
<tr><td>9
14</td><td rowspan="10">3.0</td></tr>
<tr><td>9.5</td><td rowspan="2">6.0</td><td rowspan="2">9.0</td></tr>
<tr><td>15</td><td>8.5</td></tr>
<tr><td>16</td><td>8.0</td><td rowspan="2">5.5</td><td rowspan="2">8.5</td></tr>
<tr><td>17</td><td>7.5</td></tr>
<tr><td>18</td><td>7.0</td><td rowspan="2">5.0</td><td rowspan="4">8.0</td></tr>
<tr><td>19
21</td><td>6.5</td></tr>
<tr><td>22
23</td><td>6.0</td><td rowspan="2">4.5</td><td rowspan="2">7.5</td><td rowspan="6">6.0</td></tr>
<tr><td>24
30</td><td>5.5</td></tr>
<tr><td>31
36</td><td>5.0</td><td>4.0</td><td rowspan="3">7.0</td></tr>
<tr><td>38
50</td><td>4.5</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>55
70</td><td rowspan="2">4.0</td></tr>
<tr><td>80
100</td><td rowspan="2">3.5</td><td rowspan="2">6.5</td></tr>
<tr><td>110
이상</td><td>3.5</td></tr>
</table>

주) S=세미트레일러, T=대형자동차,
P=소형자동차

(3) 접속 곡선의 설치

도류로의 접속설치 곡선은 클로소이드 또는 원곡선으로 하며, 접속 원곡선의 곡선반경은 도류로 내측 반경의 3~4배가 되도록 한다.

(4) 가·감속 차로

접근로에서 자동차 주행속도가 매우 높을 경우 감속자동차가 평면교차로의 정지선에 도달하기 전에 감속할 수 있도록 감속차로를 설치하는 것이 바람직하다. 감속차로는 감속 교통량이 많고 적은 것보다는 감속 교통량의 속도변화를 충분히 고려하여 설치해야 하며, 감속차로를 설치함으로써 본선상에서의 감속을 방지하여 교통사고를 예방할 수 있게 된다.

설계속도가 낮은 도로로부터 설계속도가 높은 도로로 연결되는 지점의 평면 교차로에서는 상대적으로 속도가 낮아지므로 사고 위험을 예방할 뿐만 아니라 교통 소통에 도움이 되므로 낮은 속도로부터 진입한 운전자들에게 충분한 가속시간을 마련해 주기 위해서 가속차로를 설치한다.

일반적으로 도시지역 및 지방지역에 대한 가·감속 차로의 길이는 <표 306.13>에 따라 결정한다. 다만, 표의 값들은 비교적 낮은 설계수준을 고려하여 산정된 값들이므로 교통량이나 설계속도의 변화에 따라 제시된 값들을 합리적 조정하여 사용할 수 있다.

(5) 테이퍼의 설치

테이퍼는 회전차로 또는 변속차로를 설치하는 경우에 나란히 이웃하는 2개의 차로를 변이구간에 걸쳐서 연결하여 접속하는 부분을 말한다. 자동차 주행상으로 볼 때 회전차로 및 교차각을 규정하는 테이퍼율을 크게 하면 좋으나, 이 값을 최소값으로 하는 경우 과다한 용지가 소요되므로 다소 무리가 있다고 판단되어 설계속도 50km/h 이하는 비율을 1/8, 설계속도 60~80km/h의 경우는 1/15의 접속비율로 산정한 값 이상으로 설치한다. 다만 도시지역 등에서 용지제약, 지장물 등으로 인하여 부득이한 경우는 그 설치비율을 1/4까지로 할 수 있도록 하였다.

<표 306.13> 가·감속차로의 길이

(단위 : m)

설계속도 (km/h)		80	70	60	50	40	30
가속 차로장	지방지역 ($a=1.5m/sec^2$)	160	130	90	60	40	20
	도시지역 ($a=2.5m/sec^2$)	100	80	60	40	30	-
감속 차로장	지방지역 ($a=2.0m/sec^2$)	120	90	70	50	30	20
	도시지역 ($a=3.0m/sec^2$)	80	60	40	30	20	10

5.4 교차로 가각부의 처리

5.4.1 보차도 경계선

교차로에서 모서리부의 보차도 경계선의 형상은 원 또는 복합곡선을 사용한다. 이때 곡선반경이 너무 작으면 회전 자동차가 대향차로 또는 다른 차로를 침범하게 되므로 그 값을 가급적 크게 하는 것이 바람직하다. 그러나 일반적으로 용지의 제약이 적은 경우는 별도의 우회전 차로 및 도류로를 설치하게 되므로 적절한 회전반경을 사용할 수 있으나, 그렇지 않은 경우 일반적인 최소 기준으로 시가지의 간선도로급에서는 12m, 국지도로의 경우 10m 이상, 구획도로의 경우 6m 이상을 사용해야 하며 대형차의 통행이 극히 적고 주변도로 상황 등으로 그 적용이 곤란한 경우는 자동차의 회전가능 여부 등을 판단하여 그 값을 적용한다.

5.4.2 가각의 설치

가각 설치의 길이를 정할 때에는 평면 교차로에서의 자동차, 보행자, 자전거 등이 안전하며 원활하게 통행할 수 있도록 충분한 투시와 회전반경 및 유효 보도폭의 확보를 도모하고 동시에 도로 녹화를 위한 공간의 확보, 또는 경관 형성의 여러 가지 관점에서 종합적으로 검토해야 한다. 특히 도시지역 도로는 보행자 교통이 상당히 많으므로 설계 자동차의 원활한 통행을 확보할 뿐만 아니라 안전하며 쾌적한 보행공간 또는 양호한 도로 공간의 형성에도 충분히 배려하여 답답한 교차로가 되지 않도록 해야 한다.

원칙적으로 가각의 설치는 <그림 306.19>의 그림과 같이 교차로 내의 시거가 확보될 수 있도록 시거 삼각형의 투시선을 따라 가각을 정리하는 것이 원칙이나, 일반적으로 건물 등의 장애물은 도로 경계선에서 일정 이격거리를 유지하며 시가지에서는 대부분의 도로가 네트워크를 형성하여 구획정리를 하고 있으며, 이들 도로의 결절점으로서 평면 교차로의 가각에 대하여 모두 계산하는 것은 실용적이지 않기 때문에 직각 교차로의 경우 다음의 표의 값을 표준적으로 사용하고 있다. 단, 도로 폭원이 8m 미만인 경우, 10m 미만의 도로와 25m 이상의 도로가 교차되는 경우, 12m 미만의 도로와 35m 이상의 도로가 교차되는 경우는 설치하지 않을 수 있다.

<표 306.14> 평면 교차부 가각 길이

폭원	40m 이상	20m 이상	15m 이상	12m 이상	8m 이상
40m 이상	12m	10m	8m	6m	5m
20m 이상	10m	10m	8m	6m	5m
15m 이상	8m	8m	8m	6m	5m
12m 이상	6m	6m	6m	6m	5m
8m 이상	5m	5m	5m	5m	5m

이 표준치는 일반적인 경우의 표준치이며, 특히 좌우회전 교통량이 많은 경우, 설계기준 자동차를 변경하는 경우, 광폭의 보도 등이나 정차대를 가진 경우, 제설 공간을 고려할 필요가 있는 경우, 도로의 교차각이 90°에서 상당히 다른 경우 등 주변 상황을 특별하게 고려해

야 할 경우는 전술한 일반적인 고찰 방법(시거 삼각형)에 따라 검토할 필요가 있다.

또한 자동차의 통행상 가각을 설치할 필요가 없는 경우에도 보행자 및 자전거의 안전확보상 어느 정도의 투시를 확보하여 쾌적한 교통 공간을 제공하고 양호한 도시 경관을 형성하기 위해 가각은 필요하기 때문에 제 조건이 허락하는 한 최대한 가각 길이를 길게 확보할 필요가 있다.

5.5 도류 시설물의 설치

5.5.1 개요 및 설치 목적

(1) 개요

교차로의 설계는 교차로의 내부 및 부근에서 어떻게 교통류를 조절하여 자동차를 원활, 안전하게 주행시킬 것인가 하는 것이 가장 중요하다. 즉, 교통류의 조절이 교통의 안전과 소통을 양호하게 하는 핵심 사항이 되는 것이다. 교통류를 조절하는 것은 회전 및 변속차로의 설치와 함께 교차로의 구조를 개선하기 위한 도류시설물을 설치하는 것이다.

교차로에서는 교통류끼리 교차하게 되므로 교차로의 면적을 작게 하여 주행위치를 명확히 하는 등 될 수 있는 한 지체가 없는 교차방법으로 할 필요가 있으며 이를 위해서는 도류시설물에 의해 도류화를 원활히 하여야 한다. 즉 도류화된 교차로란 회전 및 변속차로와 도류시설물에 의해 제한된 경로로만 교통을 통행시키는 것을 말한다.

도류시설물이란 교차로 내부의 경계를 명확히 하기 위하여 설치하는 시설물을 말하는 것으로, 그 기능과 목적을 유지하기 위하여 일정한 틀에 박힌 형태로 되어 있는 것이 아니라 교차로 및 주변의 여건에 따라 여러 가지 형태로 나타난다. 즉, 도류시설물은 그 설치목적과 사용되는 재질 등에 따라 교통섬, 도류대, 분리대, 대피섬 등으로 나뉘며 그들의 대표적인 명칭으로 단순히 교통섬이라 부르기도 한다.

일반적으로 교통섬이라 함은 우회전 차로와 직진 차로의 분리를 위하여 포장면 상단으로 연석 등에 의해 돌출되어 설치된 시설물을 말하며, 포장면에 직접 페인트 등으로 도색을 한 것은 도류대라 한다. 분리대는 교통류를 방향별로 분리시키거나 부적절한 회전 등의 통행을 막기 위하여 도로의 중앙부 또는 회전 우각부에 설치되는 시설물을 말한다. 대피섬은 횡단보도 등과 연계하여 보행자, 자전거 등이 자동차와 분리되어 안전하게 대피할 수 있도록 교차로 내에 설치된 시설물을 말한다. 또한 유도차로라 함은 자동차의 주행경로를 명확하게 하고 교통 흐름을 자연스럽게 유도하기 위한 보조 차로(차로 표시)를 말한다.

(2) 설치목적

도류시설물을 설치하는 근본적인 목적은 교차로 내에서 주행경로를 명확히 하여 주행의 쾌적성과 소통원활을 도모하며 운행비용을 절감하는 것, 교차로의 면적을 최소화하여 교통안전을 도모하며 건설비용을 최소화하는 것, 보행자의 안전과 편리성을 도모하는 것 등이다. 이들 설치 목적을 상세하게 구분하면 다음과 같다.

① 상충의 분리 및 상충각의 조정
② 교차로 면적의 감소로 상충면적 및 포장면적의 축소
③ 불필요한 통행의 규제와 적절한 교차로

이용법 제시

④ 교통흐름의 정비에 의한 교통사고 및 교통혼잡 예방

⑤ 정지선 위치의 전진 등으로 통과시간 단축 및 교차로 용량증대

⑥ 보행자의 안전을 위한 장소 및 관련 시설물의 설치장소 제공

⑦ 회전 및 교차되는 자동차의 안전 및 대기를 위한 장소제공

⑧ 대향차로의 오인, 무단횡단, 불법회전 방지 등에 의한 안전성 향상

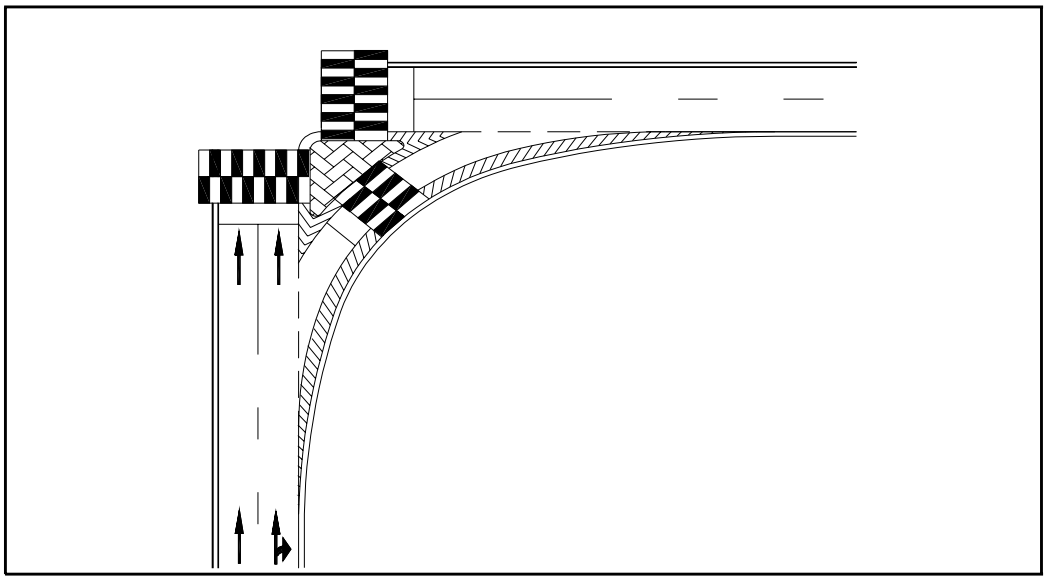
이러한 도류시설물의 설치 목적에 따라 그 기능을 요약하면 도류, 분리, 장소제공의 기능으로 나눌 수 있다. 즉, 교통류에 대한 지시와 통제를 통하여 자동차의 주행경로를 분명하게 설정하여 주는 도류기능, 교통의 흐름을 방향별로 분리하여 위험한 교통흐름을 억제하는 분리의 기능, 보행자의 안전을 위한 대피장소 및 관련시설을 설치하기 위한 장소제공의 기능으로 대별할 수 있다. 이러한 목적과 기능을 만족시키기 위하여는 다음 사항을 고려하여 설계를 하여야 한다.

- 알맞은 도류 시설물의 형식
- 적절한 크기와 모양
- 인접한 차로나 횡단보도와 연계된 위치
- 도류시설물 자체의 각 설계요소

5.5.2 형식의 선정

도류시설물(교통섬 등)의 형태와 크기는 교차로의 규모, 주변상황, 교통운영 방법 등의 현지여건과 설치목적 등에 따라 여러 가지로 나타난다. 이러한 도류시설물의 가장 일반적인 형태는 우회전 차로의 설치에 의해 주로 나타나는 삼각형의 모양과 교통류의 주행경로를 유도하기 위한 긴 모양의 것이다.

도류로 설계시, 우선 개략적인 도류로의 형태를 손으로 스케치하여 정한 후, 교통섬 등의 도류시설물을 스케치하여 전체적인 형태에 무리가 없다고 판단되면 세부적인 상세 치수를 넣어 작도하여 그 치수를 결정한다.



<그림 306.43> 교통섬과 사선(zebra)표시

이때, 교통류를 유도하는 일에 너무 치중한 나머지 작은 도류대나 교통섬을 너무 많이 설치하는 수가 있다. 그러나 운전자는 주행하면서 전방의 상황을 판단하기 때문에 교차로 내에 작은 교통섬이나 도류대를 잡다하게 설치하는 것은 오히려 운전자의 판단을 흐르게 하는 결과를 낳는다. 또한, 교통섬 본래의 역할인 교차로 내에서 교통흐름을 안전하게 하고 횡단보행자의 대기 장소를 제공한다는 측면에서 작은 교통섬을 많이 설치하는 것은 바람직하지 않다.

일반적으로는 보행자의 안전을 위해서는 교통섬이 바람직하다고 할 수 있으나 교통섬과 도류대의 선택을 일률적으로 결정할 수는 없다. 지방지역에서 교통섬을 사용하게 되면 오히려 불합리한 점이 발생되는 경우가 있다. 또한 교통섬을 설치하기 전에 잠정적으로 도류대를 설치하여 자동차의 주행궤적이 안정된 후에 교통섬으로 바꾸는 방안도 생각할 수 있다.

이는 교차로의 설계시 도면상 평면적(2차원)으로 보게 되어 교통섬과 도류대의 차이를 크게 느끼지 못하지만, 실제로 주행하는 운전자는 주변상황과 함께 입체적(3차원)으로 판단하게 되므로 설계도와 다르게 느끼는 경우가 있기 때문이다.

따라서, 교통섬을 설치하기 전에 도류대와 함께 모래주머니, 차로유도시설, 라바콘 등을 이용하여 교통섬의 모양 및 크기에 변화를 주어가며 관찰한 후 최적의 선택을 하는 것이 바람직하다. 이는 도류시설의 효율성과 안전성을 증가시키는 것은 물론 운전자의 행동에 의해 증명됨으로써 신뢰성은 물론 쉽게 수정할 수 있는 이점이 있고, 만일 더 확실한 교통통제가 필요하다면 연석에 의한 교통섬 건설에 확신을 가질 수 있기 때문이다. 그러나 이것이 처음부터 개략적인 설계를 시행하여도 무방하다는 의미는 아니며 최적의 설계를 위한 추가적인 보완 사항임을 명심하여야 한다.

한편, 교통섬을 설치할 때에는 자동차의 주행궤적에 맞추어 설계를 하여야 한다.

즉, 대형자동차의 통행이 많은 경우에는 대형자동차의 주행궤적에 맞추어 설계하는 것이 필요하다. 이때 우회전 도류로 등과 같이 곡선반경이 작은 구간에서는 도류로 폭이 넓어지기 쉽고 그렇게 되면 소형차 두 대가 옆으로 나란히 진행하는 경우가 생겨 위험하게 된다. 이와 같은 경우에는 사선표시(zebra marking)를 사용하여 폭을 좁게 하면 사선표시 부분은 대형자동차가 주행할 때에 침범할 수 있는 여유부분이 되며 소형자동차가 주행할 때에는 2개 자동차가 나란히 진행하는 것을 억제하는 역할을 한다.

또한, 연석을 쌓아올려 교통섬을 설치하는 경우는 교통섬에 자동차가 충돌하는 것을 피할 수 있도록 교통섬의 형태를 결정하여야 한다.

5.5.3 크기와 명칭

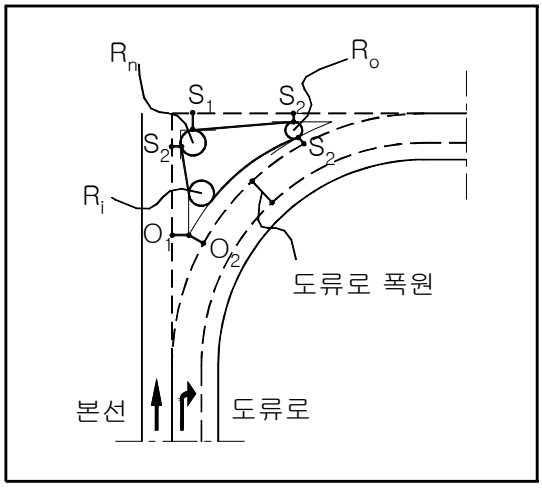
교통섬은 운전자의 시선을 끌기에 충분한 크기이어야 한다. 지나치게 작은 교통섬과 분리대는 운전자에게 불필요한 존재로 인식될 뿐만 아니라 야간이나 기상조건이 나쁜 경우에는 이에 충돌할 위험성이 있어 오히려 위험하다.

따라서, 교통섬이나 분리대가 필요하다고 판단되는데도 불구하고 폭 등의 최소 규정치를 만족하지 못 할 경우에는 노면 표시를 사용하는 것이 좋다.

일반적으로 교통섬의 최소 크기는 보행자의 대피장소에 필요하다고 인정되는 9㎡이상이 되어야 한다. 용지 폭원 등의 제약으로 부득이한

경우에도 도시부는 5㎡이상, 지방부는 7㎡이상의 면적이 확보되어야 한다.

교통섬의 정확한 제원을 산정하기 위해서는 우선 본선과 도류로가 분기되어 각각의 차로에서 일정간격(직거리)을 유지하는 지점을 선정하는 것이 가장 중요하다.



<그림 306.44> 교통섬의 구성

<표 306.15> 노즈 오프셋 및 셋백의 최소값

(단위 : m)

설계속도 / 구분	80km/h	60km/h	40～50 km/h
S_1	2.00	1.50	1.00
S_2	1.00	0.75	0.50
O_1	1.50	1.00	0.50
O_2	1.00	0.75	0.50

<표 306.16> 선단의 최소 곡선 변경

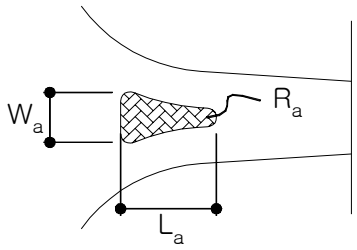
(단위 : m)

R_i	R_o	R_n
0.5～1.0	0.5	0.5～1.50

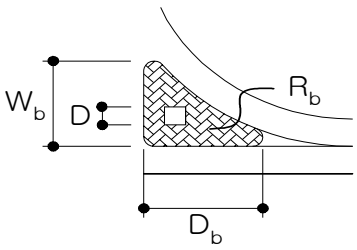
일반적으로 이 지점을 노오즈(nose), 차로와의 수직 거리를 오프셋(offset)이라 하며, 차로와 평행하게 이격된 거리를 셋백(set back)이라 하고 이렇게 구성된 삼각형 모양의 모서리 부분은 선단이라 한다.

이러한 교통섬의 구성을 위한 각각의 최소값은 해당도로의 기능, 해당 교차로가 위치하는 지역, 본선의 설계속도, 교통섬의 크기에 따라 그 최소값에 차이가 있으며, 각각의 최소값은 다음과 같다.

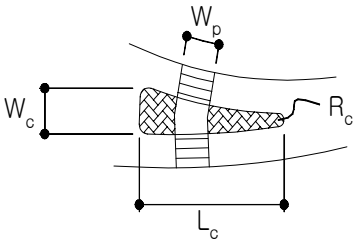
한편, 분리대와 같이 장방형의 긴 형태로 구성된 경우는 상기의 경우와 다소 다른 특성을 갖게 되며 그 형태와 각 제원의 최소값은 <그림 306.45>와 같다.



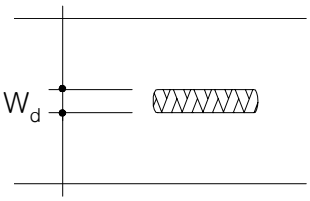
(a) 교통류를 분리하는 경우



(b) 시설물이 있는 곳



(c) 대피섬을 겸용하는 경우



(d) 테이퍼를 붙이지 않을 경우

주) D : 시설물 폭, Wp : 횡단보도 폭

분리대 형태에 따른 각 제원의 최소값

(단위 : m)

구 분	기 호	도시지역	지방지역
(a) 교통류 분리	W_a	1.0	1.5
	L_a	3.0	5.0
	R_a	0.3	0.5
(b) 시설물 설치	W_b	1.5	2.0
	L_b (W_p+1.0)	4.0	5.0
	R_b	0.5	0.5
	면적(㎡)	5.0	7.0
(c) 대피섬 겸용	W_c (D+1.0)	1.0	1.5
	L_c	5.0	5.0
(d) 테이퍼를 붙이지 않은 분리대 폭	W_d	1.0	1.5

<그림 306.45> 분리대의 형태 및 제원

5.5.4 연석의 설치

연석 설치의 목적은 교통섬을 차로와 분리시키기 위해서는 일반적으로 연석을 많이 사용하는데, 시선유도와 함께 그 것이 둘러싸고 있는 보도, 교통섬, 분리대 등을 자동차의 충돌, 접촉이나 우수에 의한 파손으로부터 방호하기 위해 설치한다.

도로 우각부는 일반 도로구간과 다를 것은 없지만 우각부에서는 교통밀도가 높고 회전 주행자동차에 의한 충돌접촉의 위험성이 높다는 점과, 보행자가 대기하는 곳이라는 점에 특히 주의하여 연석을 설치할 필요가 있다.

연석을 높게 설치하는 것은 이로 인하여 자동차가 충돌할 때에 차도로부터 뛰어 넘어오는 것을 방지한다고 하는 물리적인 의미 외에 차도단을 시각적으로 인식하는 목적도 갖고 있다. 따라서 과속 자동차를 막는 목적으로는 높을수록 좋겠지만 너무 높게 되면 자동차 문을 열고 닫는 데에도 불편하고 보행자에게도 위험하다. 그러나 너무 낮으면 보행자에게 주는 안전감이 적고 자동차가 쉽게 타고 넘기 때문에 설치 의미가 없어진다.

이와 같은 점을 감안하여 연석의 높이는 12cm～20cm 정도가 적당하며, 횡단보도와 접속되는 지점에서는 장애자, 유모차 등의 통행을 위하여 턱을 없애도록 한다.

5.5.5 유도 차로

교차로 내에서 좌회전 차로의 주행위치와 대기위치를 명확히 하는 경우나 교통류가 교차로 내에서 굴곡하는 등 변형하는 경우에 유도차선에 의해 자동차를 유도한다. 좌회전 자동차는 교통의 원활한 소통과 안전에 큰 영향을 주며 특히 대향 직진 자동차와 교차하므로 자동차 상호간의 안전이 가장 큰 문제 중의 하나이다. 이러한 문제를 해결하려면 좌회전 자동차의 궤적에 따라 그 주행 위치를 명시하고 좌회전 자동차에게 대향 직진 자동차가 통과할 때 대기할 위치를 명시해 둘 필요가 있다. 이를 위하여 교차로 내에 유도 차로를 설치하여 좌회전 자동차의 주행 및 대기위치를 명확히 한다. 또한 교차로 내에 교통류가 굴곡하는 경우에도 유도차선에 의해 주행방향을 명시한다.

그러나, 이와 같은 경우에도 너무 많은 유도차선이 설치되어 있으면 통과 교통의 혼란을 야기시키는 경우가 생기므로 유도 차로의 위치는 최소한으로 해야 하며 교차로 상에서 주행하는 자동차를 방해하지 않도록 배려하는 것이 필요하다.

또한 유도 차로은 교통류가 굴곡하는 등 변칙적인 주행궤적이 되어 타 교통류가 종단하는 곳에 표시되므로 다른 노면표시에 비해 지워지기가 쉬우므로 특별히 유지관리 측면을 고려하여야 한다.

5.6 다른 도로와의 연결

고규격 도로에 마을, 주유소, 휴게소 등으로 통하는 다른 도로·통로 등의 시설물을 접속해야 할 경우, 일정한 기준 이하의 곡선구간, 경사구간에서 하급 도로 등의 무분별한 연결로 인하여 교통안전에 위험을 초래할 우려가 있다. 그래서 이를 통제하여 도로구조의 보존과 도로의 원활한 소통 및 교통안전을 확보해야 할 필요성이 높아지게 되어 국도 등의 고규격 도로에는 건교부 장관이 별도로 정한 도로와 다른도로 등과의 연결에 관한 규칙이 발효되었다.

본 장에서는 설계와 관련된 주요 항목만 발췌한 것으로 해당 규칙의 변경에 따라 본 내용도 수정되어야 할 것이다.

(1) 연결 허가의 금지구간

① 곡선반경이 280m(2차로 도로의 경우에는 140m) 미만인 경우 곡선구간의 안쪽 차로의 중심선에서 장애물까지의 거리가 다음의 <표 306.17>에 나타난 거리보다 부족하여 시거가 불량한 곡선의 내측 구간

② 종단경사가 평지에서 5%, 산지에서 8%(2차로 도로의 경우 평지 6%, 산지 8%)를 초과하는 구간
단, 오르막 차로가 설치된 구간에 대하여는 연결 가능

③ 교차로 주변 연결로 등의 설치 제한거리 이내의 구간

④ 터널, 암거 등 시거가 차단되는 시설물로부터 500m 이내의 구간

⑤ 교량 등의 시설물과 근접되어 변속차로를 설치할 수 없는 구간

⑥ 버스정차대, 측도 등 주민 편의 시설이 설치되어 이를 옮겨 설치할 수 없거나 옮겨 설치하는 경우 주민 통행에 위험이 예상되는 구간

(2) 연결로의 포장

연결로는 접속되는 도로의 포장과 동일한 강도를 유지할 수 있는 두께 및 재료로 포장을 하며, 노면 배수에 지장이 없도록 횡단경사가 접속되는 도로와 동일하거나 그 도로보다 완만하게 포장하여야 한다.

(3) 변속차로의 설치

변속차로는 3.25m 이상의 폭으로 설치하며, 자동차의 진입과 진출을 원활하게 유도할 수 있도록 노면표시를 하여야 한다. 테이퍼와 사업부지에 접하는 변속차로의 접속부는 최소곡선반경 15m 이상의 곡선반경으로 설치하고, 성토 또는 절토부의 비탈면 경사는 접속되는 도로와 동일하거나 완만하게 설치한다.

<표 306.19>는 변속차로의 최소 길이이다.

<표 306.17> 곡선구간의 곡선반경 및 장애물까지의 최소거리

(단위 : m)

구 분	4차로 이상				2차로		
곡선반경	260	240	220	200	120	100	80
최소 거리	7.5	8	8.5	9	7	8	9

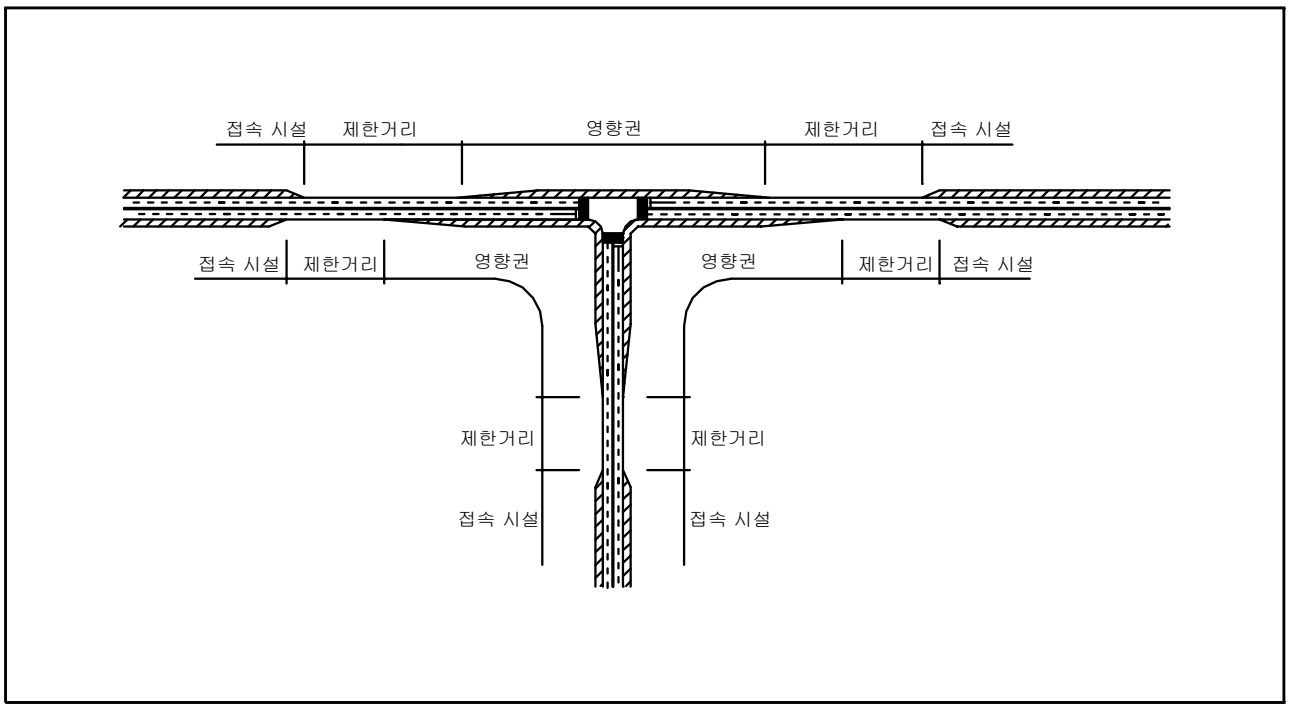
주) 최소 거리는 곡선 구간의 안쪽 차로 중심선에서 장애물까지의 최소 거리

<표 306.18> 교차로 주변의 연결로 등의 설치 제한거리

(단위 : m)

구 분	4차로 이상	2차로
교차로 영향권(변속차로, 회전차로 등의 도류화 시설이 설치된 구역 또는 도류화 시설의 설치 예정 구역)으로부터 연결로등 접속시설의 설치 제한 거리	60	45

주) 도류화가 안된 교차로는 도류화 계획에 따라 교차로 영향권을 산출하여 설치



<그림 306.46> 교차로 주변의 영향권 및 설치 제한거리

<표 306.19> 변속차로의 최소 길이

(단위 : m)

시 설	주차 대수 (가구 수)	변속차로의 길이 (테이퍼의 길이 제외)		테이퍼의 길이	
		감속차선	가속차선	감속부	가속부
1. 공단진입로 등	-	45 (30)	90 (65)	15 (10)	30 (20)
2. 휴게소·주유소 등	-	45 (30)	90 (65)	15 (10)	30 (20)
3. 자동차정비업소 등	-	30 (20)	60 (40)	10 (10)	20 (20)
4. 사도·농로·마을진입로 기타 이와 유사한 교통용 통로 등	-	20 (15)	40 (30)	10 (10)	20 (20)
5. 판매시설 및 일반음식점 등	10대 이하	20 (15)	40 (30)	10 (10)	20 (20)
	11~30대	30 (20)	60 (40)	10 (10)	20 (20)
	31대 이상	45 (30)	90 (65)	15 (10)	30 (20)
6. 주차장·운수시설·의료시설·운동시설·관람시설·집회시설 및 위락시설 등	30대 이하	30 (20)	60 (40)	10 (10)	20 (20)
	31대 이상	45 (30)	90 (65)	15 (10)	30 (20)
7. 공장·숙박시설·업무시설·근린시설 및 기타시설	20대 이하	20 (15)	40 (30)	10 (10)	20 (20)
	21~50대	30 (20)	60 (40)	10 (10)	20 (20)
	51대 이상	45 (30)	90 (65)	15 (10)	30 (20)
8. 주택 진입로 등	(5가구 이하)	-	-	도로 모서리의 곡선화 (곡선반경 : 3m)	
	(100가구 이하)	30 (20)	60 (40)	10 (10)	20 (20)
	(101가구 이상)	45 (30)	90 (65)	15 (10)	30 (20)

주1) 설계속도 80km/h, 4차선 이상 기준임. 다만, ( )는 60km/h, 기준.

2) 연결로가 인접되어 변속차로가 중복된 경우 중복된 차로의 길이는 주차 대수를 합산하여 그 합산된 주차 대수에 해당하는 길이로 하고, 주차 대수를 적용할 수 없는 시설물과 중복되는 경우에는 그 중 큰 값을 기준으로 함.

(4) 배수시설물의 설치

- 노면의 빗물 등을 처리할 수 있도록 길어깨의 바같쪽에 연석 설치
- 기존의 배수체계를 저해하지 아니하도록 연결
- 접속되는 도로의 배수시설이 연결로 등의 설치로 인하여 매립될 경우에는 기존의 배수관보다 크거나 같은 규격의 배수관을 설치하되, 지름 800mm 이상의 배수관으로 하고, 배수시설에 퇴적되는 토사 등을 용이하게 제거하기 위하여 20m 이내 일정 간격으로 뚜껑이 있는 맨홀을 설치
- 우수나 또는 연결된 시설물의 오수가 접속되는 도로로 흘러가지 아니하도록 배수시설을 별도로 설치하며, 이 경우 배수시설은 격자형 철제 뚜껑이 있는 유효 폭 30㎝ 이상, 유효 깊이 60㎝ 이상의 U형 콘크리트 측구로 함

(5) 분리대

- 변속차로의 진입부와 진출부를 제외한 연결로에는 자동차의 불법 좌회전 진출입을 방지할 수 있도록 접속되는 도로의 길어깨 바깥쪽에 분리대를 설치하여야 하며, 분리대는 화단, 가드레일 등 기타 유사한 공작물로 설치하되, 안전사고의 예방을 위하여 변속차로의 진입부에 필요한 경우 충격흡수시설을 설치
- 분리대의 높이는 0.3m 이상으로 설치하되, 시거에 장애가 되지 않도록 하여야 하며, 화단을 설치하게 될 경우 폭은 1.0m 이상으로 하고 분리대 노면에 빗물 등의 고이지 않도록 배수시설물을 설치
- 야간에 운전자가 분리대를 식별할 수 있도록 분리대에 빛을 강하게 반사할 수 있는 반사지를 부착하거나 시선유도표지 등을 설치
- 연결로 등을 평행식 변속차로 설치방법으로 설치하는 경우에는 도로와 분리대 사이에 별도의 차로와 측대를 확보하여 가속 및 감속차로와 연결
- 기존에 설치된 변속차로와 연결하여 다른 시설의 변속차로를 추가 설치하는 때에는 연결된 시설을 통합된 하나의 시설로 보아 그것에 적합한 연속된 분리대를 설치할 것. 다만, 통합되는 연결로 등이 평행식 변속차로 설치방법으로 설치되어 분리대를 연결할 수 없는 경우에는 연속된 별도의 차선을 확보해야 함

(6) 길어깨

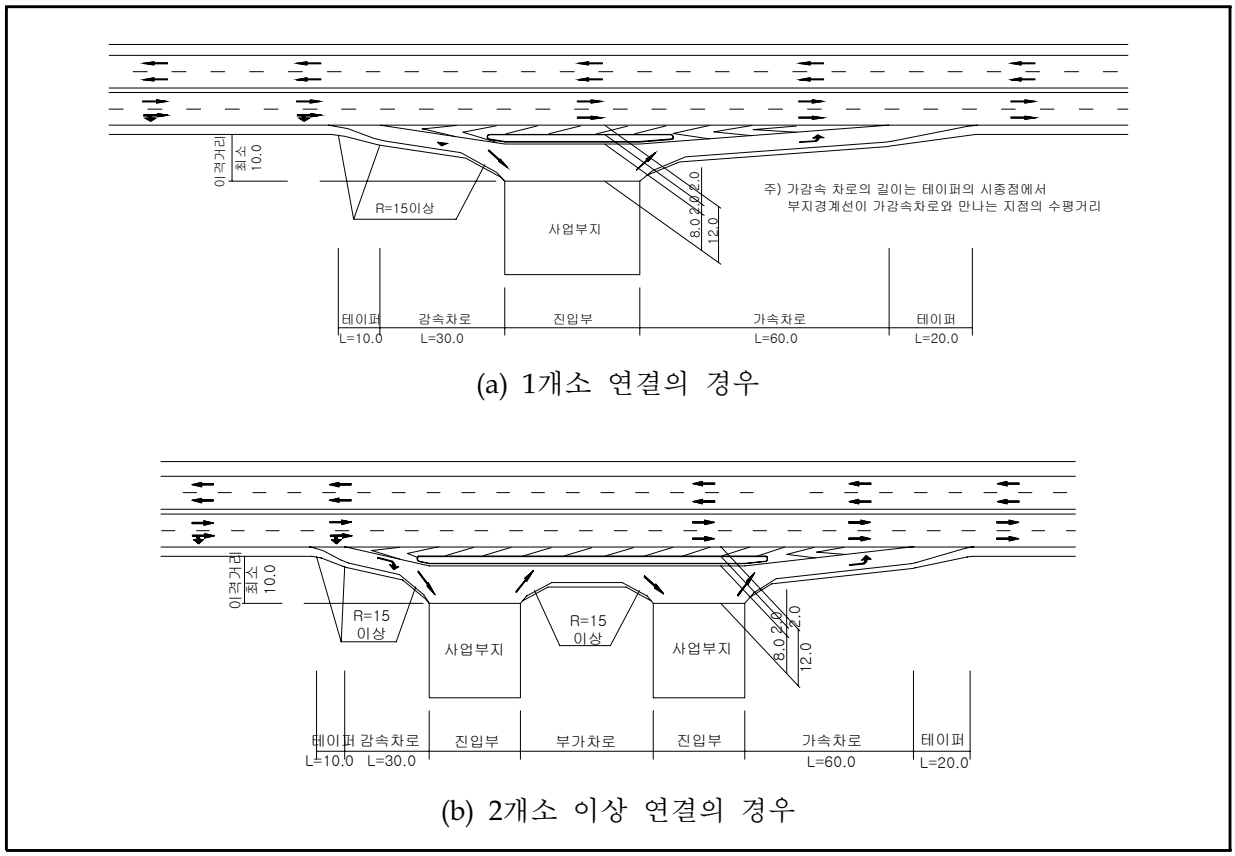
- 변속차로의 길어깨는 접속되는 도로의 길어깨와 동등한 구조로 하고 최소폭 1m 이상으로 설치할 것. 다만, 길어깨가 보도를 겸용하는 경우에는 보도의 폭을 확보할 수 있도록 해야함
- 노면이 연결로 등으로 연결되는 시설물의 주차공간으로 잠식될 우려가 있는 경우에는 길어깨 바깥쪽에 연석, 가드레일 또는 울타리 등을 설치해야함
- 변속차로의 길어깨에는 폭 0.25m 이상의 측대를 설치해야 함
- 변속차로의 길어깨 바깥쪽에는 가드레일 등을 설치할 수 있는 보호 길어깨를 확보

(7) 부대시설

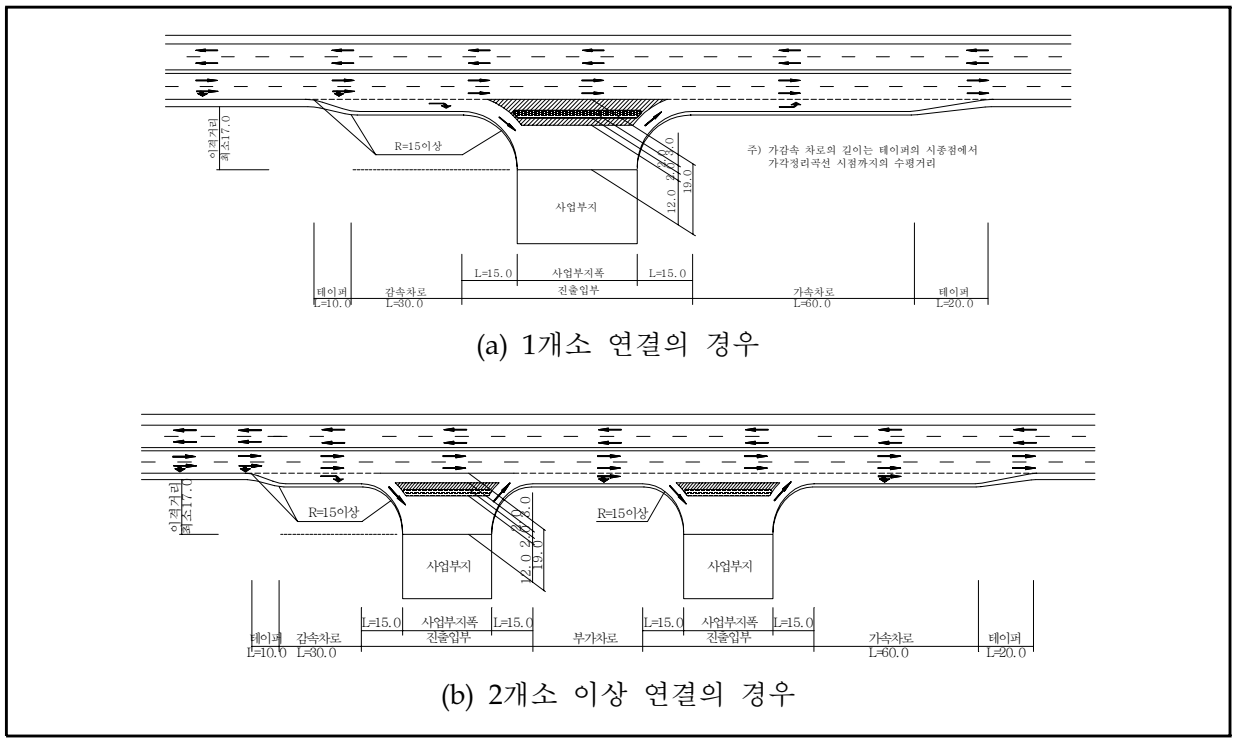
- 가드레일 또는 낙석방지시설 등의 안전시설은 현지의 여건이나 비탈면의 지형조건에 부합되도록 설치하고, 연결로 등의 노면표시는 접속되는 도로와 동일한 규격으로 하며 분리대가 설치되어 있지 아니한 부분 등에는 안전지대 표시를 해야함
- 당해 연결로 외에 자동차의 진출입로가 없는 경우에는, 공사시행의 효율성을 도모하고 공사용 자동차의 안전한 진출입을 위하여 모든 시설공사에 있어서 연결로 등의 공사를 먼저 시행

(8) 연결로 등의 설치 방법

연결로 등의 설치 방법은 직접식과 평행식이 있으며 <그림 306.47>과 <그림 306.48>은 직접식과 평행식 변속차로 설치의 사례를 나타낸 것이다. 여기서의 단위는 미터이며 R은 곡선반경, L은 길이를 의미한다.



<그림 306.47> 직접식 변속차로 설치



<그림 306.48> 평행식 변속차로 설치

306.6 교차로의 개선

6.1 세 갈래 교차로의 개선

(1) 직각 교차

다음 그림에 나타낸 개선 전의 교차로는 모서리의 곡선반경이 크기 때문에 C유입부의 횡단보도와 정지선의 위치가 교차로의 중심으로부터 떨어져 있다. 따라서 우회전 자동차의 속도가 높게 되어 C도로의 횡단보행자에 대한 안전상의 문제가 있으며, 교차로 내의 자동차 유도 표시가 없으므로 교차로에서 주행자동차의 위치가 불안정하게 되어 있다.

이 교차로 설계의 주요 핵심 사항은 다음과 같다.

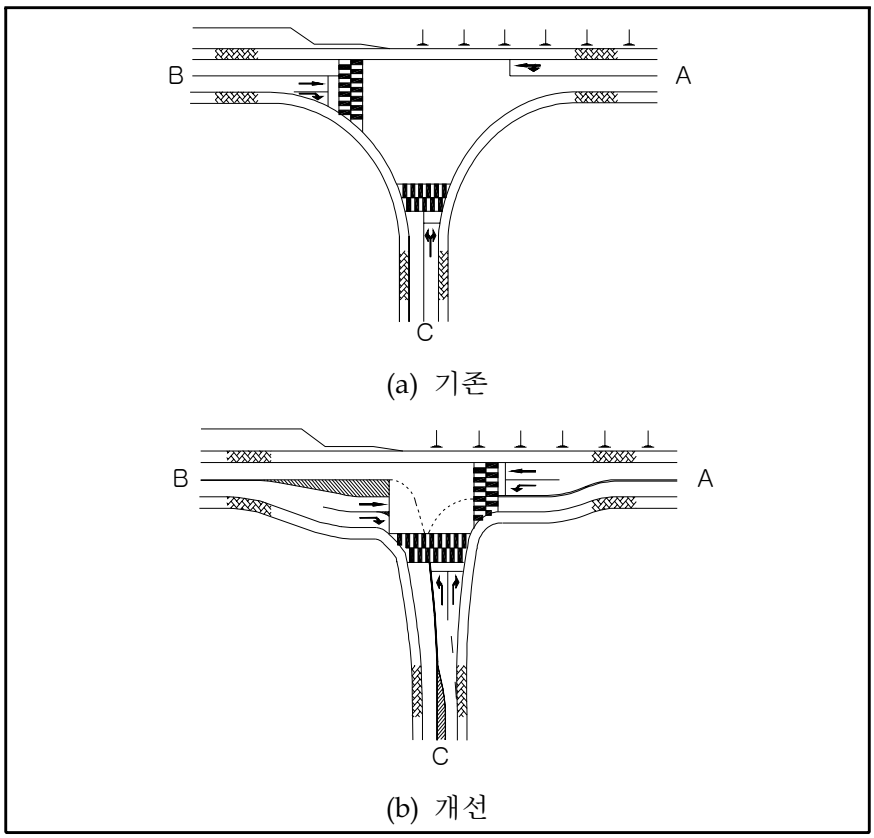
① 모서리의 곡선반경을 작게 하여 C유입부의 횡단보도와 정지선 위치를 교차로의 중심방향으로 조정

② 동시에 A, C유입부에 좌회전 전용차로를 설치

③ B유입부의 우회전 차로 확폭 및 유도표시를 하여 정지선을 중심방향으로 이동

④ 횡단보행자의 동선을 고려하여 B유입부의 횡단보도를 A유입부로 이동

이 결과 개선 후 그림에서 보는 바와 같이 단순한 T형 교차로가 되는 동시에 횡단보행 거리가 크게 짧아져 교차로 안전을 도모하게 된다.



<그림 306.49> 교차로 개선 예

(2) 예각 교차

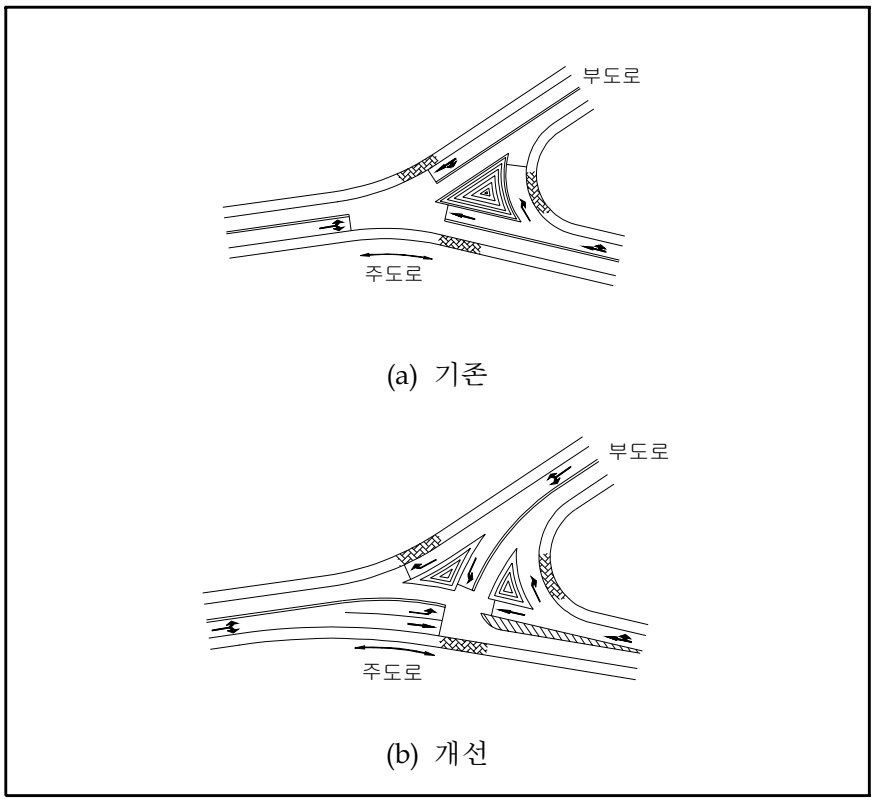
① T형

예각교차의 교차로는 직각교차에 비하여 정지선 간 거리가 길고 교차로 면적이 넓어지기 쉽다. 이에 따라 자동차가 교차로 내부를 고속으로 통과하기 쉽게 되어 좌·우회전 자동차와 횡단보행자 사이에 사고가 발생하기 쉽다. 또, 이러한 교차로는 시거도 나쁘고 교통처리 능력에도 문제가 있게 된다.

교차로의 개선은 통상 부도로를 대상으로 한다. 이러한 경우에도 교차로에 너무 근접한 장소에서 도로를 구부려서는 안된다.

굴곡부가 교차로에서 너무 가까우면 주도로로부터의 좌·우회전자동차가 부도로의 대향차로를 침범하기 쉽고 시거도 나쁘게 되므로 부도로에 정지하고 있는 자동차와 충돌하는 일이 생겨 대단히 위험하다.

그러므로 부도로의 교차로 유입부에서 선형을 개선할 경우 현지의 지형과 자동차의 주행궤적 등을 충분히 고려할 필요가 있다. <그림 306.50>은 예각 교차로의 교차각을 개선한 예를 나타낸 것이다.



<그림 306.50> T형 교차로 개선 예

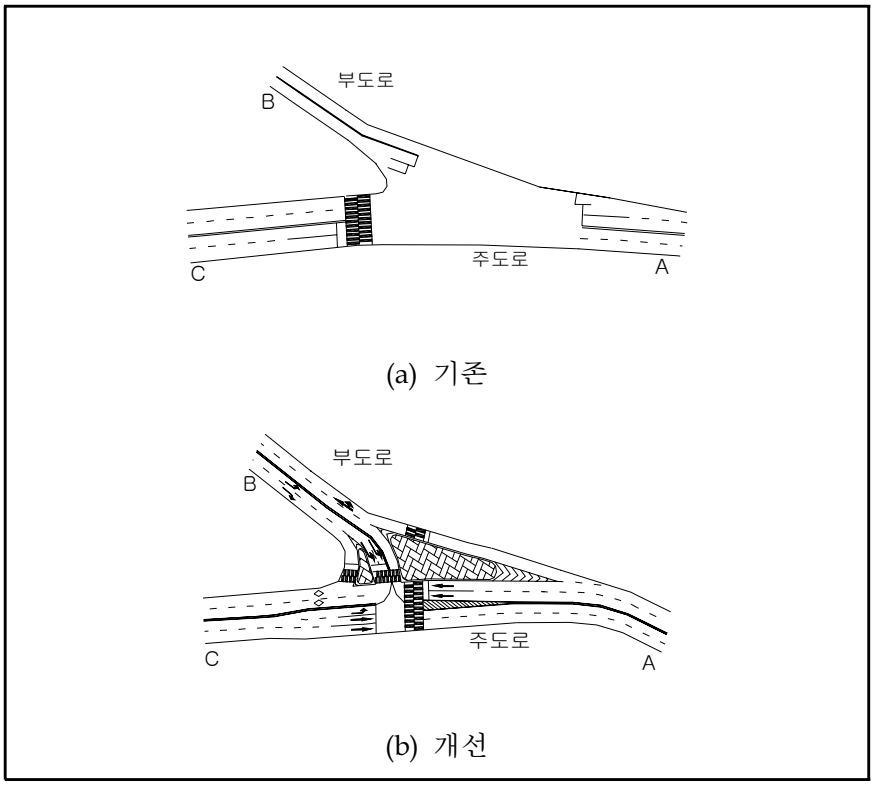
② Y형

다음의 그림에 나타낸 교차로는 2개의 도로가 예각으로 교차하고 있어서 정지선간 거리가 매우 길기 때문에 신호가 바뀔 때 교차로에 진입한 자동차가 교차로를 벗어나는 데 걸리는 시간이 길어지게 된다.

동시에 교차로 통과시 자동차속도가 높아지게 되어 추돌이나 좌회전 자동차와 직진 자동차사이의 사고 위험성이 높고 교차로 내의 자동차 유도표시(marking), 노면표시도 없으므로 교통류가 불안정하게 되어 있다.

이 교차로의 설계는 <그림 306.51>과 같이 하였으며 그 주요 핵심 사항은 다음과 같다.

- A유입부의 정지선을 전방으로 이동시켜 정지선 간 거리를 짧게 함과 동시에 좌회전 전용차로를 설치하여 신호현시를 3현시로 함
- 교통섬을 설치함으로써 B와 C유입부의 정지선을 전방으로 이동
- C유입부의 교차각을 개선함으로써 각 도로의 주종관계를 명확히 하고 동시에 교차로 내에 도류표시를 하여 교차로의 면적을 대폭 축소하는 것이 가능함



<그림 306.51> Y형 교차로 개선 예

6.2 여러 갈래 교차로의 개선

여러 갈래 교차로라 함은 다섯 갈래 이상의 도로가 평면으로 만나는 것으로 이러한 교차로의 설계와 교통운용은 세 갈래(T형)나 네 갈래(十자형)에 비하여 매우 복잡해져서 교통정체나 교통사고의 측면에서 많은 문제를 야기하게 되므로 이는 다음과 같은 방법을 이용하여 개선하여야 한다.

(1) 선형의 개선

기존의 다갈래 교차로를 네갈래 이하의 교차로로 하는 것은 교차로를 근본적으로 개선하는 것이다. 이러한 개선은 하나 이상의 도로를 그 교차로 부분에서 폐쇄하고 교차로 이외의 도로 구간에 접속시키는 것이 된다.

<그림 306.52>에 나타낸 바와 같이 기존 교차로에는 간선도로에 3개 이상의 도로가 접속되어 다섯 갈래 교차로로 되어 있으며, 간선도로 자체도 굽어 있어서 원활한 자동차 소통 및 안전상 문제가 있다.

이는 간선도로의 굴곡을 개선함과 동시에 다섯갈래 교차를 세갈래 교차로 변경하여 교통의 흐름을 단순화함으로써 교차로의 신호현시도 크게 단순화된다. 이와 같이 교차로의 구조를 개선하는 경우에는 다음과 같은 점을 주의할 필요가 있다.

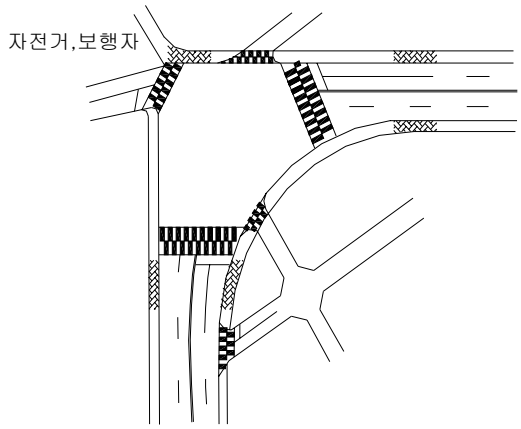
① 폐쇄된 도로를 이용하는 자동차들이 다른 경로를 통하여 목적하는 방향으로 갈 수 있도록 할 것

② 부가로 접속위치를 교차로 외부로 변경할 경우에는 그 부가로에 출입하는 자동차가 교차로에 악영향을 미치지 않는 위치로 이설하는 동시에 필요한 교통규제에 대한 검토를 할 것

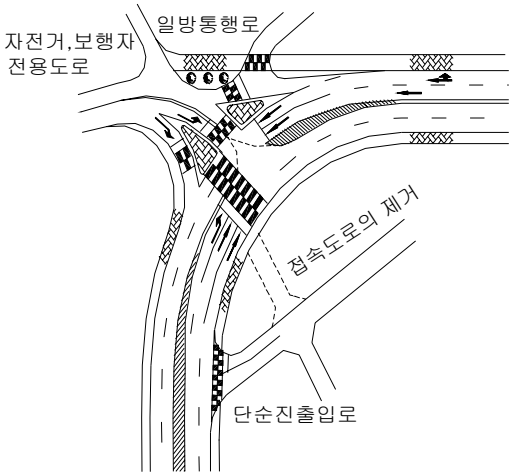
(2) 교차로 분할

신설도로를 기존도로에 그대로 접속시키면 교차로가 너무 커지기 쉽다. 그 결과 <그림 306.53>에서 보는 바와 같은 여러 갈래 교차로가 되면 지체와 사고의 문제가 발생하기 쉬운 것이다.

이 교차로는 면적이 매우 큰 여섯 갈래 교차로로 되어 있으며 교차로 내에 도류표시도 없어서 많은 문제가 있다. 이는 먼저 교차로를 2개로 분할하면서 동시에 교통섬을 설치하고 노면표시를 하여 2개의 네갈래 교차로로 변경한다. 이러한 개선에서는 개선 후의 교통처리에 대해 세밀한 대응이 필요하다. 예컨대, 2개 교차로 간 거리가 짧으므로 교통류를 연속적으로 처리하는 현시의 설정이 필요하다.

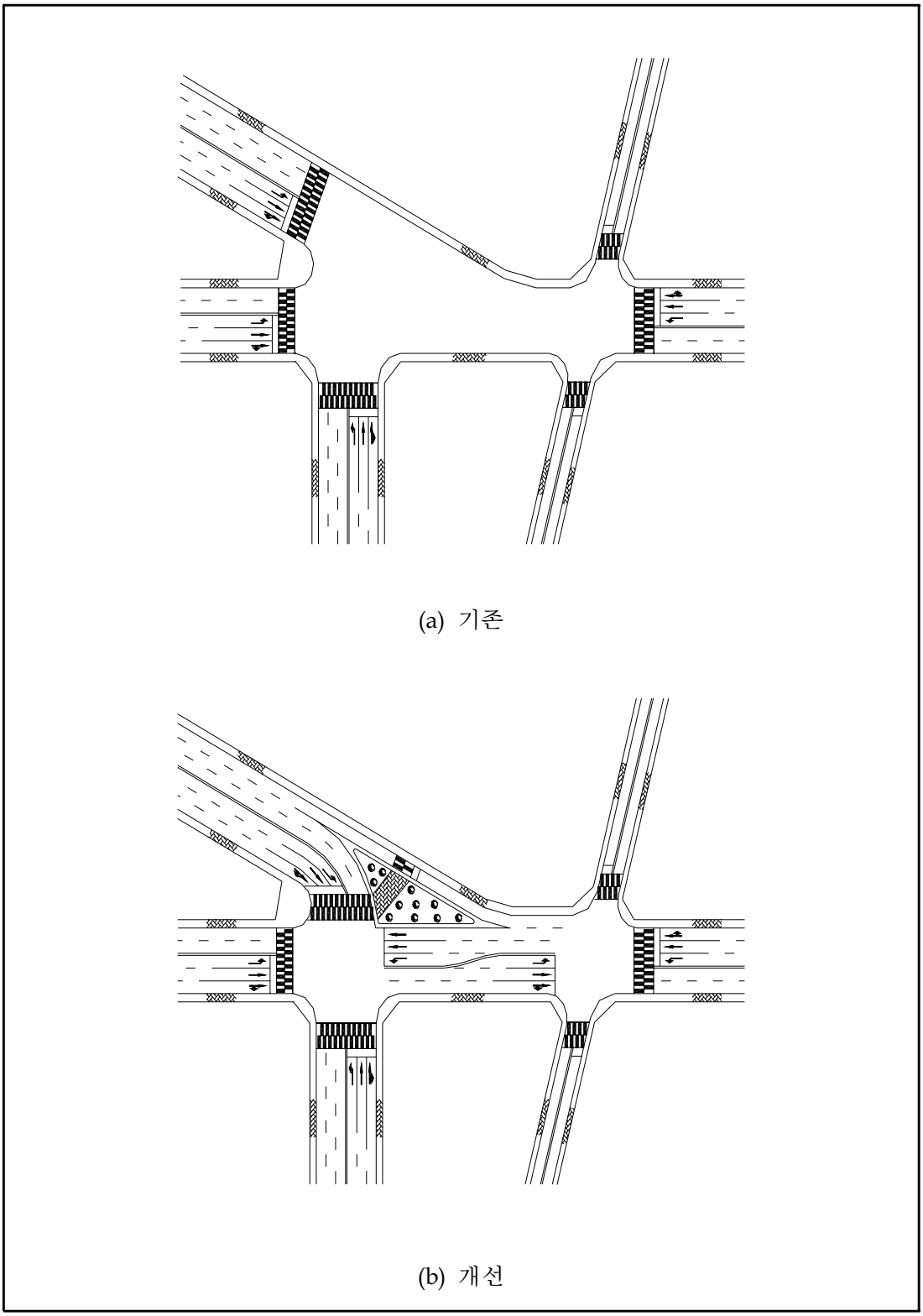


(a) 기존



(b) 개선

<그림 306.52> 도로선형 개선



(a) 기존

(b) 개선

<그림 306.53> 교차로 분할

307
입체교차

307.1 개요

교차로에서 교통의 안전성과 효율성은 교차로 형식에 의해 크게 좌우되며, 교차로를 입체화할 때 최대의 능력이 발휘된다.

입체교차 시설은 구조물을 설치하여 2개 이상의 도로간 교통류 흐름을 각기 다른 층에서 교차시켜 원활한 소통을 위해 설치하는 도로의 시설물로, 입체교차 전후 구간에 걸쳐 교통처리에 대한 종합적인 검토 후 설치여부와 구조를 결정한다. 이때 계획지점 주변의 토지이용 관계 등에 대해서도 충분히 고려한다.

입체교차 시설은 연결로를 통하여 교차도로 상호간의 차량 통행이 이루어지는 인터체인지와 연결로가 없이 고가구조물 또는 지하차도 형식으로 교차되는 단순 입체교차 시설로 나뉘어진다. 인터체인지는 자동차 전용도로 상호간을 연결하는 분기점 인터체인지 및 일반도로와의 진출입을 위한 일반 인터체인지로 구분된다.

1.1 설계절차

입체교차 시설 설계시 입체교차 부분에서 예상되는 방향별 교통량과 속도를 정확히 파악해야 한다. 이를 토대로 입체화해야 할 동선과 평면교차를 허용하는 동선의 결정, 연결로의 형식과 위치, 각 차로의 기하구조 등을 결정한다.

인터체인지의 설치 위치와 형식이 결정되고 1/5,000 정도의 도면에 대체적인 규모와 동선 등의 기본계획이 정해지면 세부설계를 시행한다.

인터체인지의 설계방법은 도로설계와 유사하지만 제약조건이 많고 복잡하다는 차이가 있다. 인터체인지는 각 경우마다 입지조건과 교통조건 등이 다르기 때문에 설계자의 판단이 매우 중요하다. 설계자는 선형 또는 세부적인 측면에 너무 구애받지 말고, 거시적 측면에서 판단하여 설계한다. 그러기 위해서는 단순 선형설계, 교통공학적인 지식뿐만 아니라 구조물, 지질, 포장 등 토목공학 전반에 관한 지식과 경험이 있거나, 해당분야의 전문가의 의견을 충분히 듣고 반영하는 것이 바람직하다. 설계자의 작은 배려가 상당히 큰 비용 절감을 가져오는 경우도 많지만 반면에 너무 비용 절감에만 얽매이면 교통소통과 시설이용에 어려움이 생길 수 있으므로 주의해야 한다.

인터체인지 기본계획이 정해져서 설계를 할 때에는 1/1,200의 지형도를 기초로 하여 도해법(圖解法)에 의한 선형계획을 행하고, 이것에 의해 개략설계를 한다. 이때 개략적인 종단계획도 동시에 행한다. 이렇게 작성되는 평면도에서 대체적인 용지범위, 교통처리 방법, 측도 등에 관해 비교적 세밀한 내용을 파악하고, 개략적인 공사비를 산정한다.

인터체인지에서 몇 가지 대안으로 비교설계를 할 경우, 너무 상세하게 하지 말고 도해법으로 개략적인 설계를 하여 용지비, 공사비 등을 산정하여 비교 검토한다.

입체교차 시설을 설치하기 위한 설계절차 및 주요 내용은 <표 307.1>과 같다.

<표 307.1> 입체교차 시설 설계 절차와 주요 내용

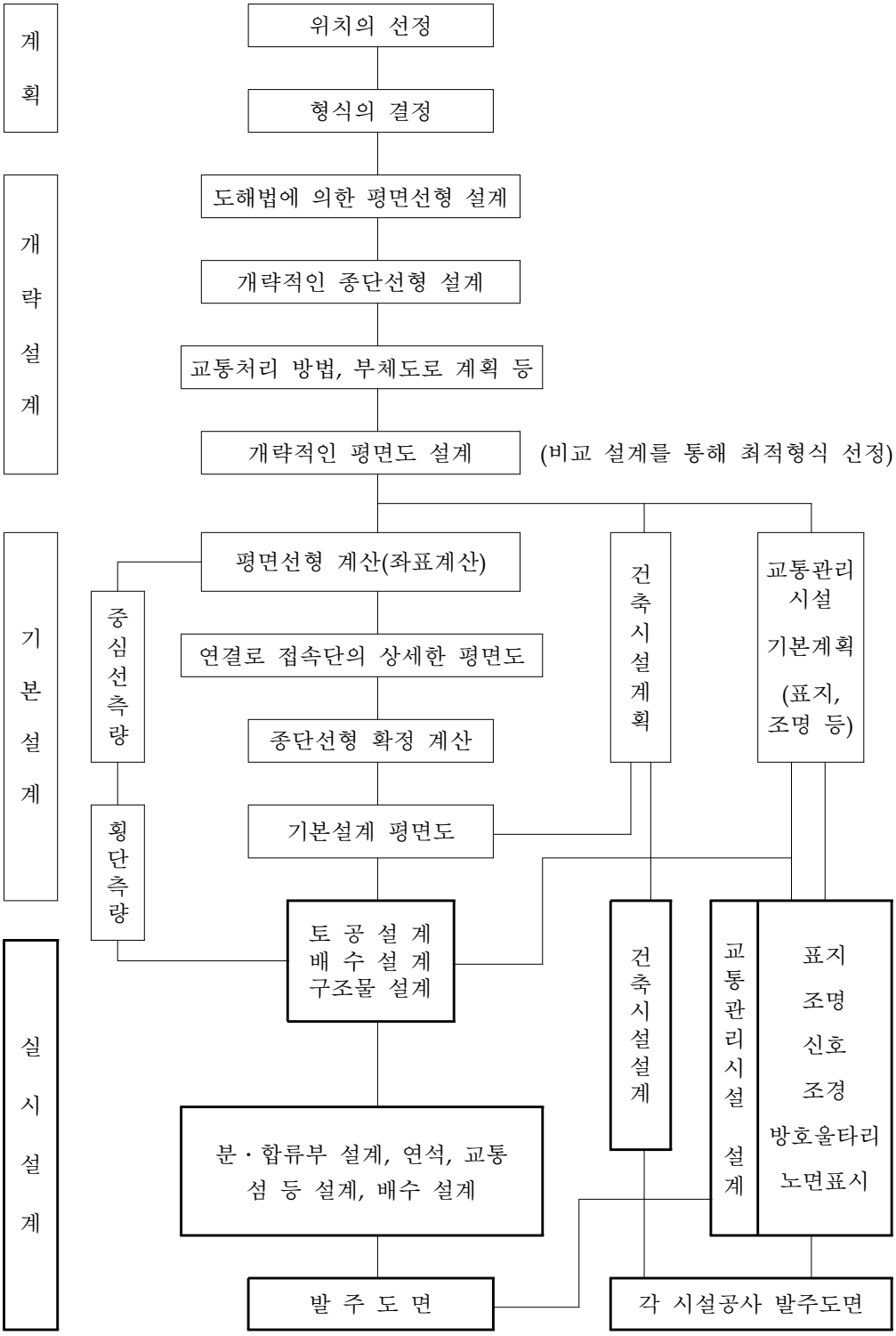
사항	자료	검토내용	성과도면
배치계획	1/200,000 및 1/50,000 지형도, OD조사, 기타 경제 지리 관계자료	개략적인 설치위치	1/200,000
위치선정	1/50,000 또는 1/25,000 및 1/5,000 또는 1/3,000 지형도, 1/50,000 지질도, 부근 도로 현황도, 도시계획도, 기타 토지이용 계획을 나타내는 도면, 교통 자료	본선노선 선정과 관련하여 개략 계획, 앞 단계의 설치 계획에 대한 추가 또는 삭제에 관한 검토, 개략 출입 교통량 추정 및 교통량 배분 계획	1/25,000 ~ 1/50,000
형식결정	위와 같은 자료, 기타 지질, 토질, 기상, 문화재 조사자료, 상세한 CD 해석 자료, 필요에 따라 1/1,200 지형도	진입도로의 결정, 구체적인 설치 위치의 수정, 인터체인지 이용 교통량의 상세 추정, 형식검토 및 개략 공사비의 산정	1/5,000 ~ 1/3,000
기본설계	1/1,200 지형도와 계획 단계에서 사용한 것 중 더욱 상세한 자료, 수리 수문관계 자료	기본 선형의 결정, 시설 배치 계획, 공사비의 산정, 진입 도로의 정비계획, 용지 경계의 결정	1/1,200 평면 및 종단면도
실시설계	위와 같음	토공, 배수, 구조물, 포장, 교통관리시설, 조경, 건축시설 등의 설계	1/1,200 및 상세도

1.2 설계의 기본 원칙

4차로 이상의 주간선도로가 일반도로와 교차하는 경우에는 입체교차를 원칙으로 하나 교통량, 안전, 도로망 구성, 교차점의 간격, 지형조건 등의 이유로 당분간 평면교차로 처리할 수 있다고 인정되는 경우에는 단계건설에 의한 평면교차도 가능하다. 다만 장래 입체화가 가능하도록 입체교차 설계 기준에 의거 용지를 확보해야 하며, 입체교차 설치를 위한 기본원칙은 다음과 같다.

① 입체교차 근처에 교통량이 많은 평면 교차로가 있는 경우 입체교차의 기능이 저하되며 오히려 역효과를 초래하므로 모든 교차되는 도로를 입체화 해야함
② 평면교차는 사고에 대한 위험성을 내포하고 있으며, 특히 교통량이 많지 않고 속도가 높은 지방지역의 교차로에서 더욱 위험하므로 도시지역에 비해 적은 초기비용으로 건설이 가능하므로 대형사고의 위험 요소로부터 피하기 위해 입체교차 설치가 효과적임
③ 경제성만으로 입체교차 시설의 형식이 결정되어서는 안되고 지형적 조건과 관계를 살펴 가장 이상적인 형식의 설치가 요구됨
④ 교통혼잡 지역에서의 입체교차는 전체적인 운행거리를 증가시키지만, 운행중에 소비되는 비용이 정지하거나 지체로 인해 소비되는 비용보다 작으므로 도로이용자의 편익은 입체교차가 유리함
⑤ 평면교차에서의 교통량이 수용능력보다 많을 경우는 입체교차의 설치가 필요하게 되지만 용지비의 비중이 큰 도시지역에서 설치가 곤란한 경우에는 단순 입체교차 설치로 계획할 수 있음

<그림 307.1>은 인터체인지 설계의 흐름도를 나타낸 것이다.



<그림 307.1> 인터체인지의 설계 흐름도

307.2 일반적 설계 고려사항

2.1 교통량과 입체교차의 관계

주간선도로에서 부득이 평면교차를 허용하는 경우에는 신호기를 설치하지 않고도 본선의 교통류가 교차하는 교통에 의해 방해받는 일이 없이 교차부의 처리가 가능한지의 여부가 판단 기준이 된다. 즉, 횡단 또는 회전하는 교통량이 본선의 교통량보다 많은 경우에는 적절한 운영이 기대되기 어려우므로 입체교차로 한다.

교차하는 도로 상호의 교통량 조합이 신호교차점의 교통용량으로부터 산정해서 신호에 의하여 처리될 수 있는 범위를 초과하는 경우는 입체교차로 한다.

<그림 307.2>는 4갈래 교차로로 접근하는 단로부와 신호 교차점에서의 용량관계를 나타낸 것으로, 입체교차 시설은 영역 C에서 필요하다. 그림에서의 영역 A, B, C, D에 대한 설명은 다음과 같다.

영역 A ①, ② 양방향 모두 회전차로의 부가없이 신호처리 할 수 있는 영역으로서 다음 3직선으로 둘러 싸인 범위

$$x=0,\ y=0,\ \frac{x}{P_2}+\frac{y}{P_1}=1$$

단, $x \leqq C_2,\ y \leqq C_1$

영역 B 회전차로를 부가하여 신호처리 할 수 있는 영역으로 다음 직선에 둘러싸인 범위

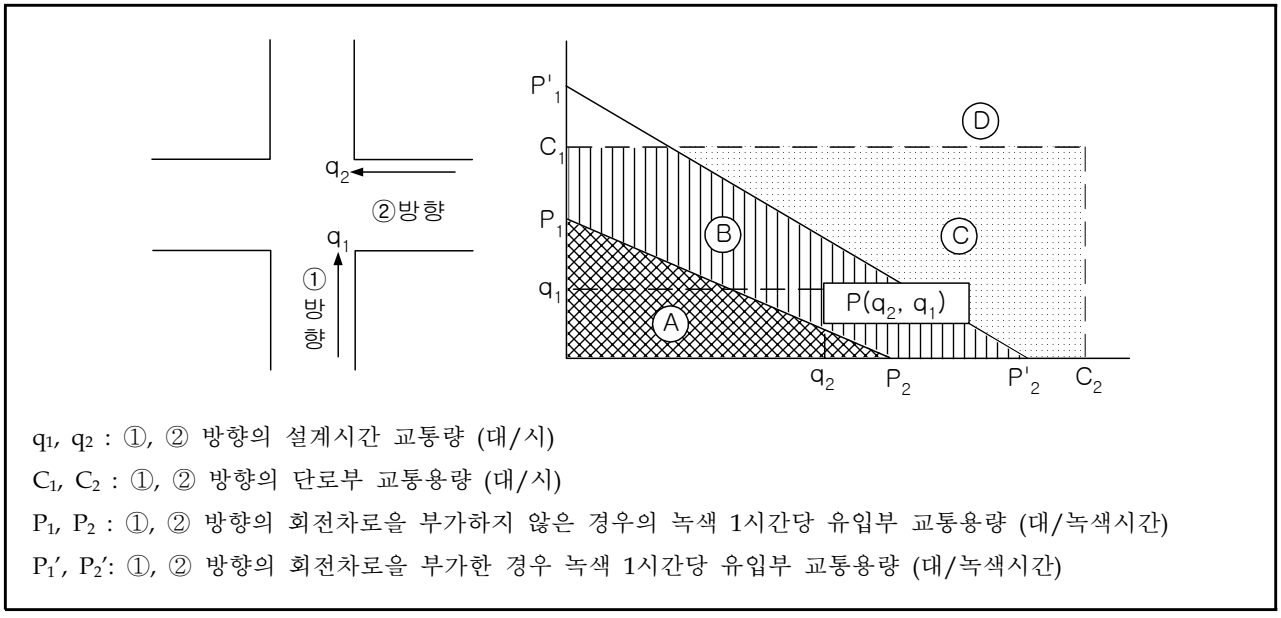
$$x=0,\ y=0,\ \frac{x}{P_2}+\frac{y}{P_1}=1,\ \frac{x}{P_2'}+\frac{y}{P_1'}=1$$

단, $x \leqq C_2,\ y \leqq C_1$

영역 C 입체교차 또는 직진 부가차로가 아니면 처리되지 않는 영역으로 다음 직선에 둘러 싸인 범위에서 영역 A, B를 제외한 영역

$x=0,\ x=C_2,\ y \leqq C_1$

영역 D 교차점 개량으로 교통처리능력을 초과하므로 단로부의 확폭 또는 추가 도로계획을 필요로 하는 영역으로 제1상한내 A, B, C를 제외한 영역



q_1, q_2 : ①, ② 방향의 설계시간 교통량 (대/시)

C_1, C_2 : ①, ② 방향의 단로부 교통용량 (대/시)

P_1, P_2 : ①, ② 방향의 회전차로을 부가하지 않은 경우의 녹색 1시간당 유입부 교통용량 (대/녹색시간)

P_1', P_2': ①, ② 방향의 회전차로을 부가한 경우 녹색 1시간당 유입부 교통용량 (대/녹색시간)

<그림 307.2> 4갈래 교차로의 용량 관계

307.3 단순 입체교차

3.1 단순 입체교차의 형식

단순 입체교차는 교차부에 단순한 지하차도나 고가차도를 설치하여 일정 방향의 교통류를 분리시키고 지상부는 일반적인 평면교차를 형성시키는 입체교차 시설을 말한다. 이를 일반 인터체인지와 구별하는 것은 이들이 주로 도시지역의 교차로에 설치되며, 지하차도나 고가차도의 구조물 처리 및 평면교차의 설계가 주요 핵심사항이므로 인터체인지와는 달리 평면교차의 개념 도입이 필요하기 때문이다. 특히 단순 입체교차는 용지 및 지장물에 의한 제약조건이 많은 도시지역의 교차로에 적은 공사비로 일정 방향의 교통류를 분리시켜 큰 효과를 기대할 수 있으며, 지상부의 평면교차에서는 교통량에 따라서 신호조정에 의한 교통수요 조절이 가능하게 되어 큰 효과를 볼 수 있으므로 그 적용성이 매우 높다.

도시 내 도로의 단순 입체교차의 형식으로는 용지의 제약과 경제적 이유로 용지면적이 적게 드는 다이아몬드형 또는 그 변형이 바람직하다.

여기서 본선, 측도 및 입체교차 유출입부를 <그림 307.3>(a)와 같이 정의하는 것으로 한다. 측도란 연결부의 일종으로 일반도로나 입체교차로의 양측에 설치되는 것을 말한다.

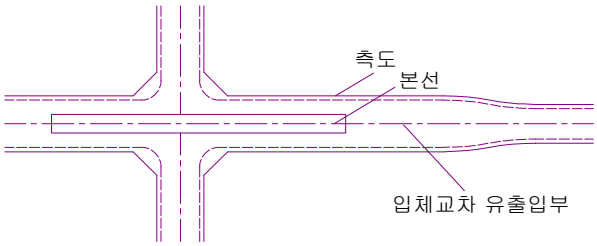
3.2 단순 입체교차의 본선

본선의 횡단구성, 평면선형, 종단선형 등의 모든 요소는 일반 도로의 기준에 따르는 것으로 한다. 종단곡선은 넓은 폭의 교차로를 횡단하는 경우나 수 개소의 교차로를 연속하여 입체교차하는 경우 이외에는 경사진 도로 구간을 짧게 하기 위해 하나의 곡선으로 처리한다.

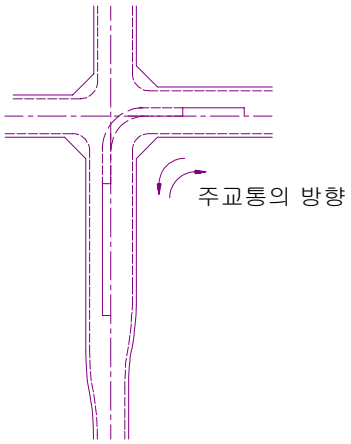
본선의 차로수는 교통량 분석 결과에 따라 결정하되, 편도 2차로 이상으로 계획함이 바람직하다. 만일 부득이한 사정으로 편도 1차로로 하는 경우에는 고장차 등을 대피시킬 수 있는 길어깨 폭을 확보한다. 교통량의 급증에 수반하여 도로의 유지관리 작업시 발생하는 지체현상 방지 및 안전성이 요구되고 있으며 이에 따라 차도의 양측에 유지 관리용 보도를 설치하도록 고려한다. 지하차도의 경우에는 측방 여유의 확보가 어려우므로 특히 유지 관리용 보도의 필요성이 요구된다. 보도의 폭은 0.75m 정도가 적당하다.

지하차도, 고가차도를 선정하는 기준은 지형, 지질, 경제성, 공사시공의 난이도 및 주위경관과의 조화 등의 모든 조건에 의해서 좌우된다.

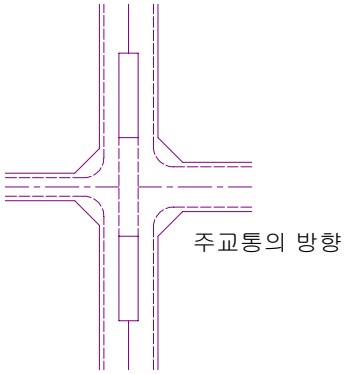
- 시공면에서 지하차도의 경우에는 옹벽 및 교대설치, 굴착을 위한 지장물의 이설, 흙막이 공사 등에 의해서 공기가 길어지고, 공사비 추가 소요가 우려됨
- 공용개시 후의 유지관리 측면에서 보면 지하차도의 경우에는 배수가 불량하게 되기 쉬워 세심한 관리가 필요하며 유지관리비가 많이 소요
- 미관상 또는 생활·환경 면에서는 지하차도가 유리



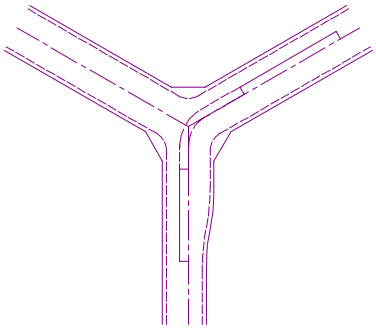
(a) 네 갈래 (예1)



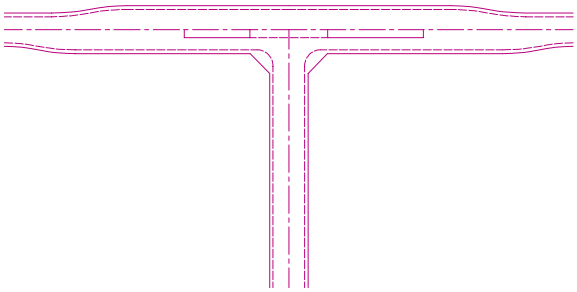
(b) 네 갈래 (예2)



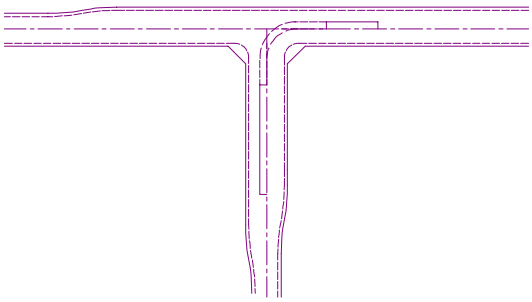
(c) 네 갈래 (예3)



(d) Y형 교차



(e) T형 교차 (예1)



(f) T형 교차 (예2)

<그림 307.3> 단순 입체교차의 형식

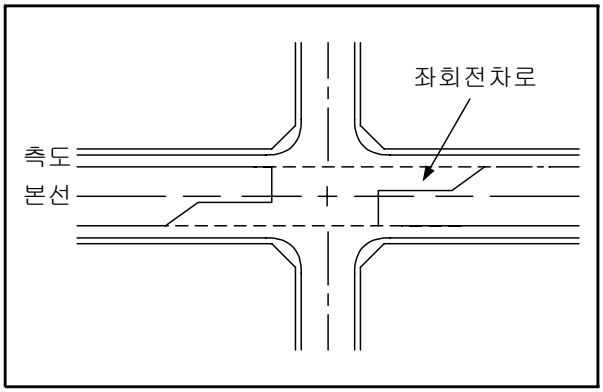
교차부 시설한계는 우회전 내측에서 자동차 주행에 지장을 초래하지 않고 횡단보도를 위한 여유를 확보하도록 정해야 한다.

고가차도의 경우 접속부에서 옹벽구간의 길이는 미관, 평면도로의 이용 및 경제성 판단으로 정해진다. 보행자나 자동차는 평면부를 횡단하는 것이 가능하며, 원칙적으로 입체부 본선에 보도나 자전거도를 추가로 설치할 필요는 없다.

3.3 단순 입체교차의 측도

측도의 횡단구성, 평면선형, 종단선형 등의 모든 요소는 일반도로의 기준을 따르는 것으로 하며, 그 폭은 교차부에서 좌우회전 교통량에 의해 결정해야 한다. 특히 측도의 차로수는 앞장에서 언급한 차로수 균형원칙에 의해 결정한다.

측도와 교차로는 평면교차를 원칙으로 한다. 따라서 좌회전차로, 우회전차로 등의 모든 기준에 대해서 평면교차의 기준에 따른다. 특히, 교차로에서 좌·우회전 교통량이 상당할 것으로 예상될 때에는 <그림 307.4>와 같이 교차부에 좌회전 차로를 확보하여야 한다.



<그림 307.4> 입체교차 평면에서의 좌회전차로 경우

3.4 입체화 계획

입체화하는 방향은 교통류의 원활한 처리, 지형, 주변 토지이용 상황, 가로망 형태, 도시시설의 상황 및 건설비 등을 종합적으로 비교검토하여 정한다. 입체교차 구조물의 설치는 상위의 교통류를 원활하게 처리하기 위하여 주교통, 즉 가장 교통량이 많은 방향을 정지없이 통과시키는 것을 원칙으로 하지만, 기술적으로 주교통을 정지없이 통과시킬 수 없는 경우 등 주교통의 동선을 방해하는 교통방향을 정지없이 통과시키는 편이 유리할 때도 있으므로 충분한 검토가 요구된다.

입체교차 본선 중 한쪽을 생략하는 경우에는 합류부에서 자동차의 원활한 합류가 이루어지도록 차로수를 증가시키거나 분리대를 설치하는 등의 조치를 취한다.

3.5 입체교차 유출입부

입체교차 유출입부라 함은 본선이 측도와 접속하는 부분을 말하는데 여기서 교통의 분합류가 이루어진다. 따라서 교통류의 혼란이 일어나기 쉬우므로 계획에 있어서는 세심한 주의가 필요하다.

- 입체교차 유출입부에서의 확폭 설치는 안전하고 원활한 교통류가 확보되도록 완만한 곡선의 연속으로 처리
- 입체교차 유출입부에 있어서는 자동차의 유도성을 고려하여 교통류를 원활하게 처리해야 함

일반적으로 입체교차부에서는 본선보다 차로수가 많게 되므로 차로의 확폭구간을 설치하는 것이 통례이다. <그림 307.5>에서의 측도와 본선의 평행구간의 길이에 대해서는 분합류의 안전과 원활한 교통처리를 위하여 적당한 길이를 확보한다.

입체교차 유출입부의 확폭구간 길이는 다음 식에 의해 산정한다.

$$L = \frac{W}{2} + \left(\frac{H}{i} \times 100\right) + \frac{1}{2}(L_{VC1} + L_{VC2}) + \frac{V \cdot \Delta W}{3}$$

여기서,

L : 교차도로 중심선으로부터 확폭구간 길이

W: 교차도로 폭원

H/i×100 : 종단경사 구간 길이

L_{vc1} : 凸부 종단곡선장

L_{vc2} : 凹부 종단곡선장

H : 교차도로의 고저차

i : 종단경사(%)

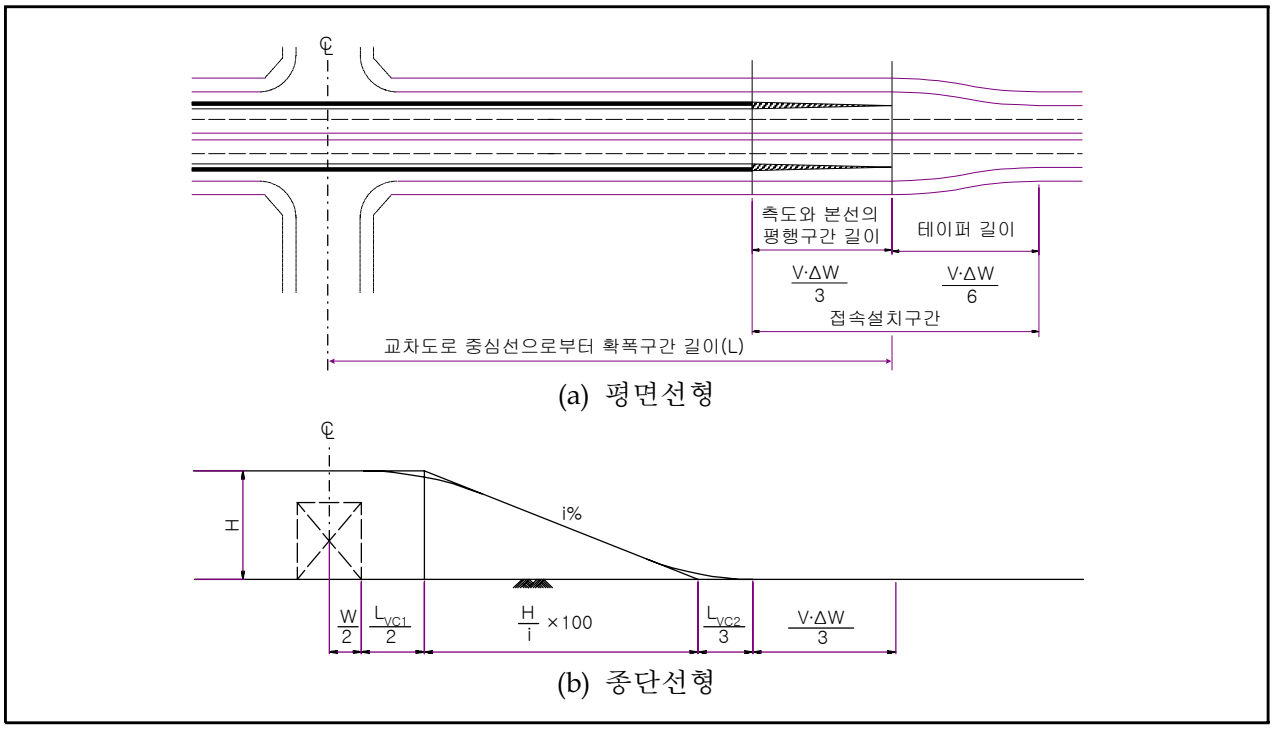
(V · ΔW)/3 : 측도와 본선의 평행구간 길이

V : 설계속도

ΔW: 변이폭원

유출입부에서 일반적으로 교통사고가 빈발하는 경향이 있는데, 자동차 주행의 안전성을 확보하기 위하여 입체교차의 식별을 빠르게 하고, 또 시선유도에 대한 조치를 강구하기 위해 다음과 같은 방법을 고려한다.

- 유도성이 좋은 안내표지를 설치한다.
- 분리대를 식별하기 쉬운 구조로 하고, 교통분리 및 노면표시를 충분히 길게 함
- 유색포장 등으로 교통류를 분리
- 지하차도의 경우, 종단방향의 유도성을 좋게 하기 위해 가로등 높이를 본선 노면에 맞추어 설치



<그림 307.5> 입체교차 유출입부의 접속

307.4 인터체인지의 계획

인터체인지라 함은 입체교차 구조와 교차도로 상호간의 연결로를 갖는 도로의 부분으로 주로 출입제한도로와 타도로와의 연결 또는 출입제한도로 상호의 연결을 위해 설치되는 도로의 부분을 말한다. 또한, 이하에서 기술하는 설계방법은 출입제한이 없는 지방지역 간선도로의 입체화에도 적용된다.

4.1 인터체인지의 배치

지방지역에서 인터체인지의 배치는 지역 계획 및 광역적인 교통운영 계획과의 관련을 바탕으로 경제효과 등을 고려하여 <표 307.2>의 기준에 따라 계획한다.

인터체인지는 교통수요가 도로망에 합리적으로 배분되어 사회 경제적으로 최대 효과를 올릴 수 있도록 설치한다. 인터체인지 설치 계획은 노선 계획과 밀접한 관계에 있으므로 노선 계획을 수립할 경우 항상 인터체인지 계획을 고려한다.

인터체인지의 계획시에는 그 설치위치와 간격에 대하여 신중한 검토가 필요하다. 이는 인터체인지의 건설비가 고가일 뿐만 아니라 인터체인지가 미치는 세력권 내에서의 지역계획, 도시계획 및 주변의 토지이용계획, 각종 개발계획 등에 미치는 영향이 크기 때문이다. 인터체인지를 설치하는 도로가 유료도로인 경우와 무료도로인 경우에 따라 인터체인지의 계획은 상당한 차이가 있다. 유료인 경우에는 당해 인터체인지의 수지타산, 유지관리 등 경제성의 제고가 강하게 요구된다.

노선 선정과 마찬가지로 인터체인지의 계획에 있어서도 우선 개략적인 위치를 선정하고 이것을 다시 세부적으로 검토, 수정을 가해 가장 적절한 계획에 접근시키는 방법을 취하며, 구체적인 절차는 다음과 같다.

- 단계 1 : 기준에 따라 교통상의 거점과 목표로 하는 도시 또는 주요한 도로와의 교점에 인터체인지를 설치할 것인가의 여부를 고찰
- 단계 2 : 인터체인지의 구체적인 위치 검토
- 단계 3 : 교통 경제적인 검토

인터체인지의 위치 결정에는 시종점(OD) 조사 결과, 이용하는 교통류 조사, 인터체인지 설치에 대한 경제성 검토, 인접하는 인터체인지와의 간격, 연결도로의 선정, 신설 연도지역의 개발효과 등과의 관계 검토자료가 필요한데, 이와 같은 작업을 거쳐 점차적으로 확실하고 보다 적절한 계획이 수립되어야 한다.

그러나 건설비가 적게 드는 인터체인지를 설치하는 것도 검토될 사항이며 예상되는 교통의 상황에 따라서는 좀더 좁은 간격으로 인터체인지를 설치하는 것이 교통경제상 유리한 경우도 있다.

<표 307.2> 인터체인지 배치 기준

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="2">세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>• 국도 등 주요 도로와의 교차 또는 접근지점</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>• 비행장, 유통시설 중요 관광지 등으로 통하는 주요 도로와의 교차 또는 접근지점</td><td colspan="2">세력권 인구의 값을 따르지 않을 수 있다.</td></tr>
<tr><td>• 인터체인지 간격이 최소 2km, 최대 30km이하가 되도록 배치</td><td colspan="2">최소간격 2km : 계획 교통량의 처리, 표지판 설치 등 교통운영상 필요한 거리
최대간격 30km : 도로 유지관리상의 필요 거리. 다만, 도시부에서 부득이한 경우에는 최소간격을 1km로 할 수도 있음
(지역별 인터체인지의 표준간격은 <표 307.4> 참조)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">• 인구 30,000명 이상의 도시 부근 또는 인터체인지 세력권 인구가 50,000~100,000명 정도가 되도록 배치</td><td>지 역</td><td>표준 간격 (km)</td></tr>
<tr><td>대도시 도시고속도로</td><td>2 ~ 5</td></tr>
<tr><td>대도시 주변 주요 공업지역</td><td>5 ~ 10</td></tr>
<tr><td>소도시가 존재하고 있는 평야</td><td>15 ~ 25</td></tr>
<tr><td>지방촌락, 산간지</td><td>20 ~ 30</td></tr>
<tr><td>• 인터체인지의 출입교통량이 30,000대/일 이하가 되도록 배치</td><td colspan="2">방향별 출입 교통량에 따라 복수의 인터체인지를 설치하는 편이 좋을 경우도 있으므로, 인터체인지의 용량과 동시에 접속도로의 용량과 구조도 병행 검토하여 설치</td></tr>
<tr><td>• 본선과 인터체인지에 대한 총비용 편익 비가 극대가 되도록 배치</td><td colspan="2">총비용에 대한 총수익 비율은 어느 점을 정점으로 하여 감소하는 경향을 나타내지만, 이 영향이 평준화되기 때문에 한계비용 수익비율과 비교했을 경우, 인터체인지 수의 증가에 따라 어느 점까지는 후자가 크게 되다가 일치되지만 그 후부터는 작아진다. 이 일치점에서 총비용 편익비가 극대로 된다.</td></tr>
</table>

<표 307.3> 인터체인지 표준 설치수

도시인구 (1,000인)	1노선당 인터체인지 표준 설치수
100미만	1
100~300미만	1~2
300~500미만	2~3
500이상	3

4.2 인터체인지의 위치 선정

(1) 입지조사

입체교차 시설의 위치를 결정함에 있어서, 다음과 같은 사항에 대하여 충분한 입지조사를 실시한다.

- 교통 조건 조사 : 입체교차 시설의 위치 및 연결로의 접속 지점이 그 지역의 도로망에 대해 적합한가를 분석하기 위해 그 지역 도로망의 현황 및 교통량 등을 조사
- 사회적 조건 조사(용지 관계 및 매장 문화재에 대한 조사) : 입체교차 시설의 용지면적은 35,000 ~150,000m^2 정도의 넓은 면적을 필요로 하므로 보상비가 건설비에서 차지하는 비율도 높으므로 용지 관계를 조사함. 또한 매장 문화재의 중요성을 감안하여, 문화재 보호법으로 지정되어 있는 사적, 명승지 등이 도로구역 내에 들지 않도록 변경시키거나 미리 발굴하여 학술조사를 실시하는 등의 조치를 취해야 함. 특히, 이와 같은 조사는 시간이 걸리므로 가급적 빠른 시기에 조사 착수
- 자연적 조건 조사 : 지형, 지질, 배수, 수리, 기상 등에 관한 조사 수행. 일반적인 위치 선정에는 1/5,000 정도의 지형도나 현장 답사로 충분하지만 연약지반이 예상되는 지질인 곳에서는 위치선정 시에도 개략적으로 토질 조사를 실시

(2) 접속도로의 조건

입체교차로에서 접속 도로의 선택은 다음 사항을 고려한다.

- 입체교차로의 출입교통량에 대해 충분한 도로용량 수용능력을 가져야 함.
- 시가지, 공장지대, 항만, 관광지 등의 주요 교통 발생원을 단거리, 단시간에 연결.
- 입체교차로의 출입교통량이 그 지역 도로망에 적정하게 배분되어 기존 도로망에 과중한 부담을 주지 않도록 함.

접속도로의 선택은 입체교차로의 교통특성 및 지역특성에 따라 선택의 중점도 달라진다. 즉, 지방의 주요 간선도로와 연결하여 교통의 분산을 목적으로 할 경우에는, 간선도로와 직결하여 도중에 가로망 성격의 도로가 개입되지 않도록 한다.

지방지역 도로에는 입체교차 시설이 기존 도로에 그대로 연결되는 경우는 거의 없으며 반드시 개량, 확폭이 따르게 되고 오히려 신설될 도시계획 도로 등으로 접속되는 일이 많으므로, 도로 관련기관간 면밀한 협조를 통해 업무를 수행한다.

(3) 타시설과의 관계

인접 시설물과의 간격은 <표 307.4>의 거리 이상을 확보해야 하나, 부득이 경우에는 충분한 안전시설을 설치한다.

<표 307.4> 타시설과의 간격

시설의 명칭	최소 간격(km)
인터체인지 상호간	2
인터체인지와 휴게소	2
인터체인지와 주차장	1
인터체인지와 버스정류장	1
인터체인지와 터널	2

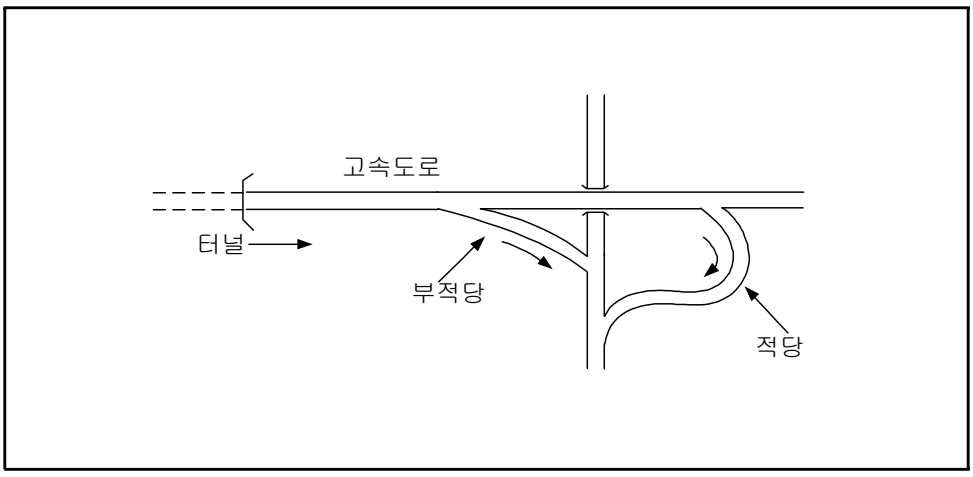
인접 시설물과 관계는 첫째로 교통운영상 필요한 거리이다. 바로 앞에 있는 인터체인지 등의 유입 연결로의 합류점과 다음 인터체인지 유출 연결로의 분류점 사이에는 위빙 구간이 생기게 된다. 위빙에 필요한 구간 길이는 교통류에 따라 다르지만 최소 150～200m에 가·감속차로를 합한 길이가 필요하다. 여기에 연결로 길이를 더하면 인터체인지 중심간의 간격은 최소 1km가 필요하다. 그러나 도로이용자에게 적절한 정보를 제공하기 위해서 각종 안내표지판을 설치시 2km 전방부터 예고 표지판을 설치를 고려할 때, 지방지역에서는 3km의 최소 간격이 필요하게 된다.

지방지역에서 일반도로와 접속 인터체인지의 간격이 3km 이하인 것은 일반도로와 인터체인지가 고속도로간 분기점과 근접되어 있는 경우에 간혹 일어나게 된다. 이와 같은 경우는 차로 지정을 하는 문형식 표지로 교통을 유도하는 조치 등을 고려한다면 1km까지의 간격으로 하는 것을 허용할 수 있으나, 그 이하가 될 때에는 오히려 집산로를 통해 입체시설를 연결하여 일체화되도록 계획한다.

인터체인지 앞의 예고표지와 관련하여, 고속도로상의 다른 시설(휴게소, 터널 등)과의 거리 관계가 있다. 인터체인지로 오인하기 쉽고 또 예고표지를 필요로 하는 휴게소는 최소 2km의 간격을 유지한다.

간단한 주차장이나 버스정류장의 경우, 인터체인지가 앞에 있으면 1km 이격 설치해도 무방하다. 터널 출구에서 인터체인지까지는 2km를 이격한다. 터널 내는 표지판 설치가 불가능하고, 터널 출구 직후는 시야가 충분히 회복되지 않기 때문에 터널 직후의 유출 연결로는 안전 측면에서 매우 위험하다.

필요한 거리를 유지하기 위해 인터체인지의 접속도로를 변경하지 못하더라도 연결로 위치를 변화시키는 것만으로도 어느 정도의 효과를 얻을 수 있는 경우도 있다.



<그림 307.6> 터널과 인터체인지의 분리 방법 사례

(4) 관리·운영과의 관계

인터체인지를 계획, 설계함에 있어서 도로, 지형 등의 일반적 조건 외에 관리·운영상의 조건에 대해 충분한 검토가 있어야 한다.

즉, 유료도로에서 인터체인지의 형식선정에 있어서는, 당해 도로의 요금징수체계도 함께 고려하여 검토해야 한다. 유료도로의 요금징수 방식은 <표 307.5>와 같다.

<표 307.5> 요금 제도별 특징

요금제	특 징
전구간 균일 요금제	- 일반유료도로 채용 방식 - 비교적 연장이 짧고 출입제한이 없는 일반도로에서 사용
구간별 균일 요금제	- 일반유료도로 채용 방식 - 전구간 균일 요금제 보다 도로연장도 길고 출입제한이 된 도로에서 채택 - 구간내 인터체인지에서는 요금징수를 하지 않고 유료단위 구간마다 본선상 또는 인터체인지 내에서 요금징수를 하는 방식
인터체인지 구간별 요금제	- 장거리의 고속도로에서 채택 - 요금징수는 원칙적으로 인터체인지 내에서 하는 방식 - 인터체인지에 요금징수시설, 경우에 따라서는 도로관리사무소가 병설되므로 일반적인 조건외에도 교통관리상의 편의성, 유지관리에 요하는 비용의 경제성 등에 대해서도 충분한 검토를 거쳐 형식을 선정해야함

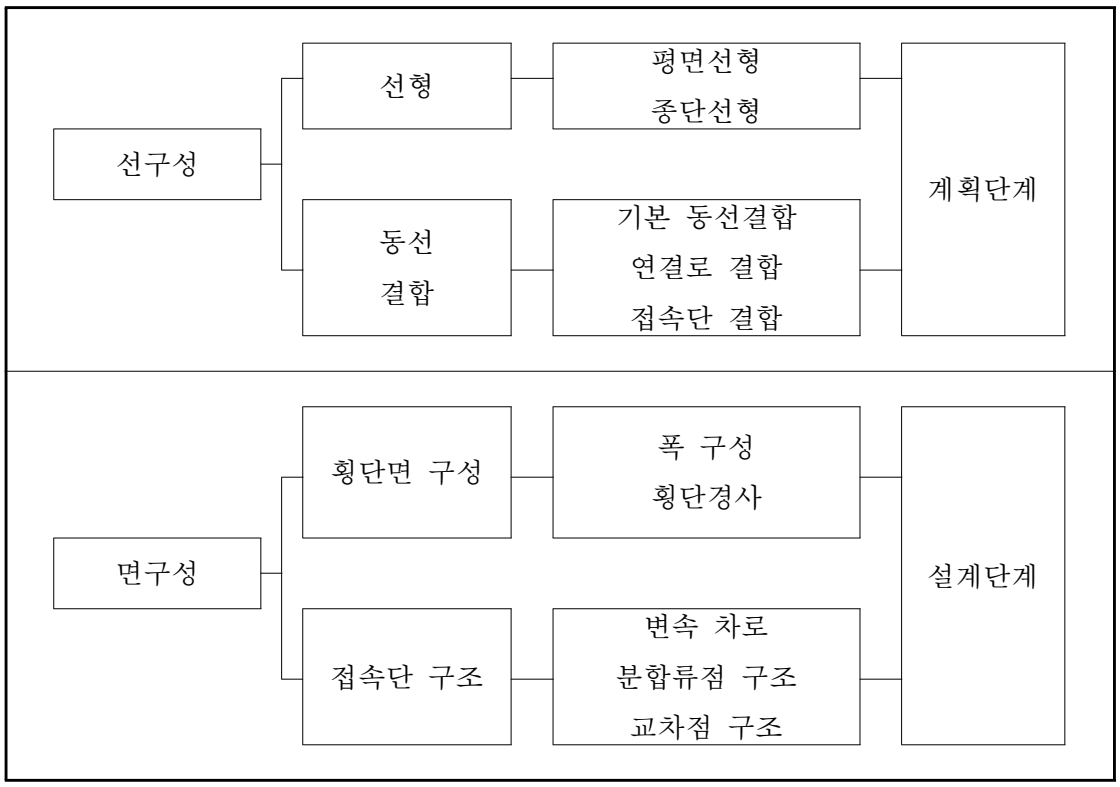
307.5 인터체인지의 형식

5.1 인터체인지의 구성

인터체인지의 계획, 설계에 있어서 교차 접속하는 도로 상호의 구분, 교통량과 도로용량, 속도 외에 계획지점 부근의 지형·지물의 현황, 전체적인 지역계획, 토지이용계획 등의 장래 계획, 건설 및 관리에 소요되는 비용의 경제성, 교통 운영상의 안전성, 편익 등의 조건 등을 충분히 고려하여 가장 적절한 형식을 선정한다.

인터체인지의 종류마다 형식을 규정하고 교통 운영상의 차이를 초래하는 기본적인 요소는 동선결합이며, 이것은 교차 접속부에서 요구되는 교통동선의 3차원적인 결합관계에 있으며 동선 결합은 다음과 같이 구성된다.

- 기본 동선결합
- 연결로 결합
- 접속단 결합



<그림 307.7> 인터체인지의 구성

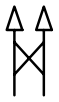
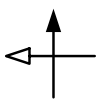
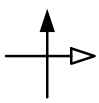
(1) 기본 동선결합

기본 동선결합은 두개의 교통류의 상호 결합의 관계를 나타내며, 분류(diverging), 합류(merging), 엇갈림(weaving), 교차(crossing) 등 네 가지 기본관계가 있다.

이것을 인터체인지 교통운영상의 특성으로 나타내기 위해, 본선(주동선)과 연결로(부동선)의 상호관계에 의해 분류하면 <그림 307.8>과 같다.

<그림 307.8>의 호칭은 가로 난과 세로 난을 조합하여 붙일 수 있다. 예를 들면, D-3a는 주동선 상호 분류라고 부른다.

이들의 분류 관계를 보면, 일반적으로 바깥쪽, 안쪽, 상호의 3종류로 되나, 엇갈림에 대해서는 교차 엇갈림이라는 네 번째의 분류 항목이 있다. 이것은 엇갈림이라고 하는 현상이 두 개의 동선결합 관계뿐만 아니라, 그 양측의 교통과 관계가 있기 때문이다. 이들 기본 동선결합은 연결로의 배치방법에 의해 여러 가지 조합이 생긴다.

구 분	바깥 쪽	안 쪽	주 동선	부 동선	바깥 쪽	안 쪽
			상 호		교 차	
분 류	D-1	D-2	D-3a	D-3b		
합 류	M-1	M-2	M-3a	M-3b		
엇갈림	W-1	W-2	W-3a	W-3b 	W-4a	W-4b
교 차	C-1 	C-2 	C-3a	C-3b		

<그림 307.8> 기본동선 결합의 분류

(2) 연결로 결합

연결로란 자동차가 진행 경로를 바꾸어 좌회전 또는 우회전을 할 수 있도록 본선과 따로 분리하여 설치하는 도로로 본선과 본선 또는 본선과 접속도로 간을 연결하는 도로 구간이다.

연결로 결합은 교차하는 두개의 주동선 사이의 동선결합 관계를 나타내는 것으로, 하나의 연결로에 의해 맺어져서, 그 양 끝에 두 개의 기본 동선결합을 가지고 있다.

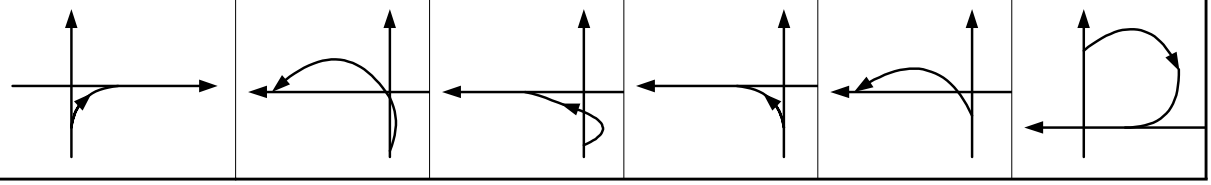
연결로의 기본형은 다음과 같다.

- 좌회전 연결로
- 우회전 연결로 : 외측 분류, 외측 합류인 외측 직결로(outer connection) 이외에는 거의 사용되지 않음

좌회전 연결로는 5가지 형식이 있으며, <그림 307.9>와 같다. 분류측만 살펴보면, 직결 연결로(direct ramp), 준직결 연결로(semi-direct ramp) 및 루프(loop)의 세 가지가 있지만 합류측에도 좌우의 구별이 있으므로 직결 연결로와 준직결 연결로에 각각 두 가지가 있어서 총 5종류가 된다.

인터체인지의 형식은 좌회전 동선에 이 다섯 종류 중 어느 것을 조합시키는 가로 결정된다. 이들 연결로 결합은 각각의 구조 및 운영상의 특성 외에 양끝을 연결하는 사이의 선형을 매체로 하여 주행속도와 안전성에 영향을 미치고, 주행거리에 따라 경제성의 차이를 발생시킨다.

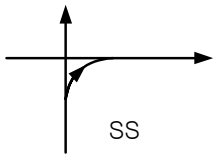
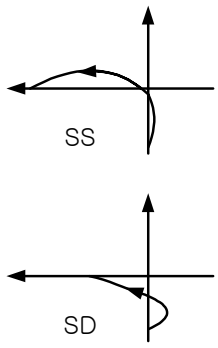
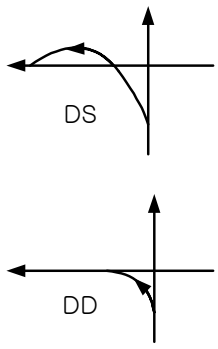
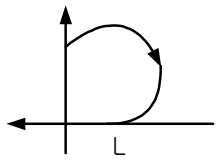
이들 형식의 특징을 정리해보면 <표 307.6>과 같다.

우회전 연결로	좌 회 전 연 결 로				
우직결 연결로	준직결 연결로		좌직결 연결로		루 프
	SS	SD	DD	DS	L
					

주) S는 진행 방향의 우측에 분·합류부, D는 진행 방향의 좌측에 분합류부

<그림 307.9> 연결로 결합의 분류

<표 307.6> 연결로의 형식과 특징

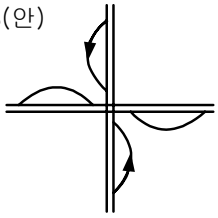
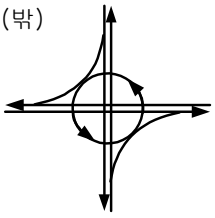
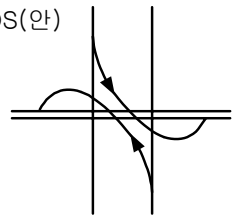
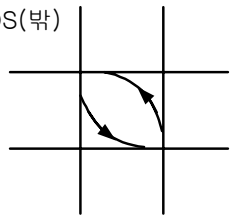
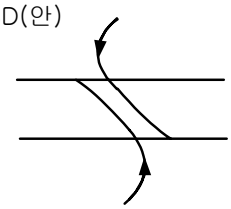
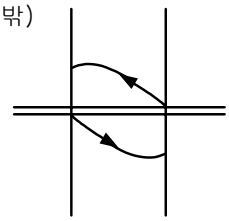
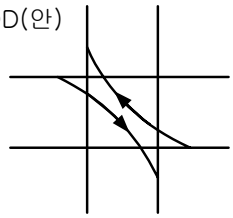
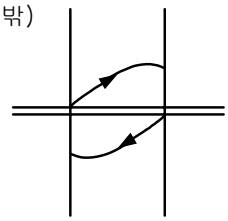
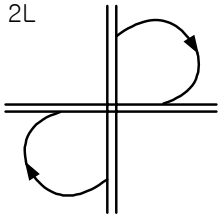
연결로 형식		진 행 방 식		특 징
우회전	우직결 연결로	본선 차도의 우측에서 분류한 후 약 90°우회전하여 교차도로 우측에 합류		우회전 연결로의 기본형식으로서, 이 기본형식 이외의 변형은 거의 사용되지 않음
좌회전	준직결 연결로	본선 차도의 우측에서 분류한 후 완만하게 좌측으로 방향을 전환하여 좌회전함		1. 주행 궤적이 목적 방향과 크게 어긋나지 않아서 비교적 큰 평면선형을 취할 수 있음 2. 입체교차 구조물이 필요함 3. 우측 유출이 원칙인 고속도로에 주로 사용됨
	좌직결 연결로	본선 차도의 좌측에서 직접 분류하여 좌회전 함		1. 고속인 좌측 차선에서 분합류하므로 위험함 2. 본선 차도의 좌우에 연결로가 교대로 존재하면, 불필요한 엇갈림이 생김 3. 분기점과 같이 대량의 고속 교통을 처리하며, 좌회전교통이 주류인 곳에 적용
	루 프 연결로	본선 차도의 우측에서 분류한 후 약 270°우회전하여 교차도로 우측에 합류. 특별한 경우 분합류가 좌측에서 이루어지기도 함		1. 새로운 입체교차 구조물을 설치하지 않고 접속이 가능 2. 원곡선 반경에 제약이 있으므로 주행시 속도 저하 3. 원하는 진행방향에 대하여 부자연한 주행 궤적을 그리므로 운전자가 혼돈할 우려가 있음 4. 교통 용량이 작으므로 이용 교통량이 적은 곳에 적합한 형식

주) S는 진행 방향의 우측에 분·합류부, D는 진행 방향의 좌측에 분합류부

연결로는 조합방법과 교차각도 등에 따라 선형 특성이 생긴다. 기본적인 네 갈래 입체교차를 예로 들면 다음과 같다.

다섯 가지의 기본 연결로 형식에 대하여 <그림 307.10>처럼 같은 형식을 대향 사분면(四分面)에 점대칭이 되도록 배치하면, 기본 연결로 형식마다 각각 두 종류의 조합이 생긴다.

하나는 안 쪽에서 회전하는 형식으로 이것은 서로 마주보는 연결로 또는 연결로를 이용하는 교통 동선이 교차하지 않는 형식이다. 다른 하나는 바깥쪽에서 회전하는 형식으로서, 대향하는 두 연결로 또는 교통 동선이 교차하는 것을 말한다. 루프 연결로는 교통 동선이 서로 교차하므로 바깥 쪽 회전 형식에 속한다. 따라서, 네 갈래 교차에서 연결로 조합 방법은 9종류로 나눌 수 있다.

형식 구분		안쪽 회전	바깥쪽 회전
준직결 연결로	SS	2SS(안) 	2SS(밖) 
	SD	2DS(안) 	2DS(밖) 
좌직결 연결로	DS	2SD(안) 	2SD(밖) 
	DD	2DD(안) 	2DD(밖) 
루프	L		2L 

<그림 307.10> 좌회전 연결로 결합의 분류와 조합

(3) 접속단 결합

인터체인지에서 하나의 주 동선에 주목해보면, 기본 동선결합들이 조합되어 연결되어 있음을 알 수 있다. 기본 동선들의 결합은 사용되는 연결로 형식과 배치 방식에 의해 여러 가지 조합이 생길 수 있으며, 이 때 두 접속단의 상호 관계를 표현하는 것을 접속단 결합이라고 부른다.

접속단은 분류(diverge)와 합류(merge)의 조합이므로, 연속분류(DD), 연속합류(MM), 합·분류(MD) 및 분·합류(DM) 등의 네 가지 조합이 있다.

우회전의 경우 합류는 모두 오른 쪽에서 하고, 좌회전의 경우 좌우 모두 합류할 수 있도록 하면, 16가지 조합으로 분류된다. 이들 결합관계는 각각 교통운영상 서로 다른 특징을 가지고 있다.

① 연속분류(DD)

- 연속분류는 인터체인지의 출구 배치방식에 좌우됨
- 좌회전 연결로가 주류가 되는 경우 이외에는 이 방식을 사용하지 않는 것이 바람직함

구 분	1	2	3	4
연속 분류 DD				
연속 합류 MM				
합분류 MD	 W	 (W)	 W	 (W)
분합류 DM				

주) 1. W는 엇갈림을 의미. (W)는 엇갈림이 생길 수 있음을 의미
2. M은 합류, D는 분류

<그림 307.11> 접속단 결합의 분류

- 우측 분류 두 곳 형식(DD-1) : 루프를 사용하는 인터체인지 형식(출구가 모두 우측에 있고, 2개소 분류단 간의 거리도 비교적 충분히 취할 수 있기 때문에 좌우 분류 방식보다 약간 우수함)
- 우측 분류 한 곳 형식(DD-2) : 속도가 높은 본선 상에서 운전자의 결정 행위가 한 번으로 끝나고, 다음 결정은 속도가 낮은 연결로 주행시에 하면 되므로, 운전자의 판단이 쉽고, 표지도 분명하므로 교통운영상 가장 바람직함(준직결 연결로를 사용할 때는 일반적으로 이 형식을 이용함), 우측 분류 두 곳 방식(DD-1)도 집산로를 이용하면 쉽게 이 형식으로 바꿀 수 있음

② 연속 합류(MM)

- 좌측에서의 합류는 사고율이 높으므로 우측에서의 합류, 특히 한 곳 합류(MM-2)가 가장 바람직함

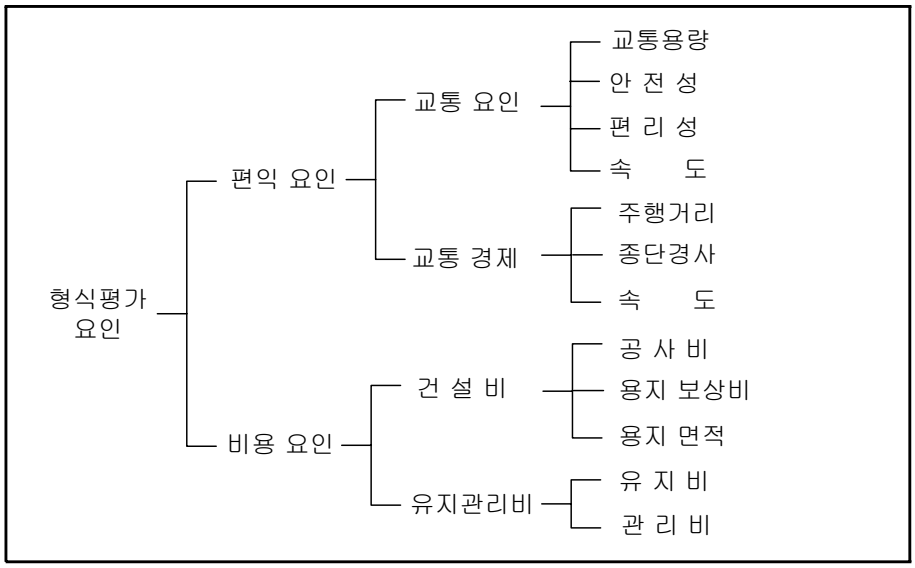
③ 분합류(DM)와 합분류(MD)

- 합류와 분류의 연속성은 분류가 합류보다 앞서는 분합류(DM) 방식이, 합류가 분류보다 앞서는 합분류(MD) 방식보다 우수함

접속단 결합은 연결로의 배치에 의해 생기기 때문에, 인터체인지 형식의 우열을 따져볼 때 이 결합 관계의 좋고 나쁨이 비교의 대상이 된다.

5.2 인터체인지의 형식과 적용

인터체인지는 주어진 조건에 가장 적합한 형식을 선택해야 하며, 규격이 높은 도로의 교차라면 안전에 비중을 두고 교통운영 측면을 높게 평가하여, 완전 입체교차 형식으로 설계하거나 접속부를 안전도가 높은 형식으로 설계한다. 규격이 낮은 도로라면, 평면교차에서 위빙이 허용된다. 전환 교통량이 많은 경우에는 주행 거리가 짧은 연결로 형식을 선택하는 등 교통 경제적인 측면에도 중점을 둔다.



<그림 307.12> 입체교차의 형식 평가 요소

(1) 불완전 입체교차

평면교차 교통동선을 1개소 이상 포함한 형식이며, 일반적으로 매우 다양한 변화가 가능하여 교통 특성이나 지형에 알맞은 형식을 얻을 수 있지만, 본선 및 연결로의 교통류에 정지를 요하며 교통의 연속성과 안전성이 반드시 발휘되는 것은 아니다.

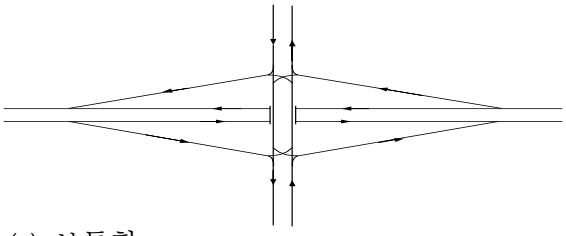
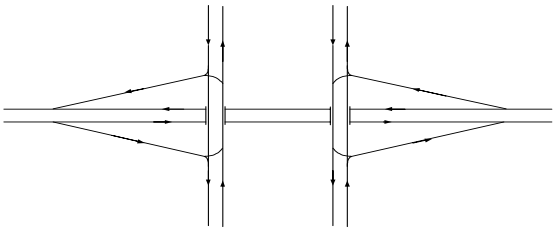
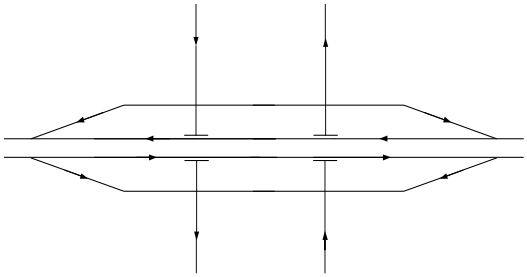
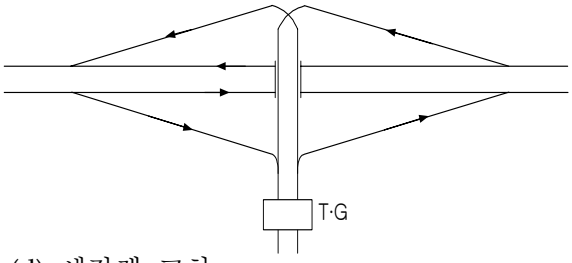
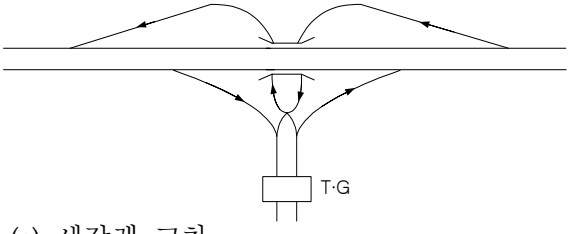
그러나 용지 면적이나 건설비도 적게 들고 우회거리가 짧아지므로 정지에 의한 시간손실의 상당한 부분이 보완되며, 문제가 되는 교통용량도 어느 한계 내에서는 확보될 수 있을 것이므로 특성을 잘 이용하면 효율적인 형식이 가능하다.

불완전 입체교차형은 매우 다양한 형식이 있으며 그 중에서도 실용성이 높은 것은 다이아몬드(diamond)형, 불완전 클로버(partial cloverleaf)형, 트럼펫(trumpet)형 등이다.

① 다이아몬드형

- 4갈래 교차 인터체인지의 대표적 형식임
- 용지가 가장 적게 들고 건설비도 교차 구조물이 불필요하므로 타형식에 비하여 저렴하며 교통의 우회거리도 가장 짧아 경제적으로 유리함
- 접속도로와 연결로 접속부분의 평면교차부에서 용량이 감소되며 유료도로의 경우에는 요금소가 4개소로 분산되어 관리비가 증대되는 점과 연결로의 선형이 직선형이어서 유출입 연결로의 길이나 경사계획시 충분히 여유 있는 설계를 하지 않으면 사고 발생의 원인이 될 수 있음

다이아몬드형에서 근접한 2개소의 교차지점이 생기므로 잘못된 진입이 발생하기 쉬워 적절한 표지를 설치하는 것이 요구되며, 특히 이와 같은 위험을 배제하기 위하여 평면 교차 지점에 교통섬을 설치, 도류화하는 방법을 권장한다.

 (a) 보통형	- 일반적인 다이아몬드형으로 접속도로상에서 비교적 근접한 좌회전을 수반하는 2개의 평면교차부를 유발하므로, 한 쪽의 교차부에서의 교통지체가 다른 쪽에 영향을 미치기 쉬워 고도의 신호처리를 하지 않으면 교통용량의 문제 유발
 (b) 분리형 (양방향 통행)	- 분리 다이아몬드형이며 통과도로의 직각으로 교차되는 2개 도로로 분리하여 접속함
 (c) 분리형 (일방통행)	- 분리형의 접속도로를 각각 일방 통행으로 한 것으로 이 형식은 좌회전 교통이 없어지므로 안전과 용량 측면에서 유리함
 (d) 세갈래 교차	- 세갈래 교차에서의 다이아몬드형으로 은 입체교차 구조물이 1개소 임 - 용지면적이 상당히 감소하므로 건설비가 적게 소요됨 - 연결로 상호의 평면교차가 있으므로 이용교통량이 적고, 안전성이 충분히 확보되는 경우에 한하여 적용해야 함 ※ 교차부분의 식별, 연결로의 가감속 관계 및 교차구조물의 공사비 관점에서도 연결로가 본선을 상부 통과로 하는 것이 바람직함
 (e) 세갈래 교차	- 평면교차부분을 요금소 부근으로 이동시킨 것

<그림 307.13> 다이아몬드형 입체교차의 형태

다이아몬드형을 변형하여 적용할 경우에는 옹벽이나 교량 등의 각종 구조물이 필요하게 되므로 건설비가 많이 드는 경향이 있으나, 측도와 접속시키는 구조 등의 다양한 형태를 갖출 수 있는데, 도시지역과 지형 조건, 환경조건, 기타 여러 가지 어려운 조건하의 지방지역에서도 적절히 사용되는 형식이다.

변형 다이아몬드형은 일반적으로 다음과 같은 몇 가지 장점을 갖고 있다.

- 용지비가 절약되므로 비싼 용지보상 문제가 걸린 도시지역에서 전체 비용을 크게 절감시킬 수가 있음
- 교차로에서 우측으로 이동할 교통류는 직접 빠져나갈 수가 있고, 좌회전 차량 또한 맞은편 차로와 더불어 동시에 진행하므로 서로 교차되지 않아 혼잡이 해소
- 주교통류는 직진을 계속하므로 네 방향의 교통이 세 방향 신호처리의 입체 교차형이 되므로 사고에 대해서 비교적 안전함
- 일체의 신호로 이루어져 있어 연결로 교차점에서의 교통의 혼잡이나 지체가 해소
- 좌회전 차로의 곡률이 전형적인 다이아몬드형 교차로에서보다 크게 되므로 높은 주행속도를 가질 수가 있음

심한 교차각(skew)으로 만난 두 도로는 예각으로 인하여 시거가 불량하기 때문에 교량의 경간장을 늘려 시거를 확보해야 하는데, 보통 교차각은 30°이상이어야 원활한 교통의 흐름이 기대된다. 또한 지형상, 교통상으로 적절히 활용할 수 있도록 좌회전 차로를 단곡선으로 처리하기보다는 차량이 진행함에 따라 곡률이 점점 작아지다가 다시 회복되는 복곡선 구조를 가져야 하는데, 두 번째 원곡선의 곡률은 처음 원곡선의 1/2 이상을 가져야 한다.

<그림 307.13>(d), (e)는 좁은 용지를 이용한 변형 다이아몬드형 교차로의 형태를 나타내는데 차량이 대기차로에 머물러 있다가 좌회전 차로를 따라서 방향 전환을 하는데, 이 때 정확하게 전환하도록 유도시설이 잘 갖추어져야 한다. 이러한 시설로는 여러 가지 형태가 있는데, 이중 노면표지는 운전자가 직접 교차로를 통하여 진행하는 데 큰 도움이 되며, 또한 교차로 중앙의 교통신호는 각 방향별로 차량의 분리기준이 된다.

측도를 가진 변형 형태인 <그림 307.14>는 몇 가지 주의점이 있다. 즉, 측도의 교통흐름은 일방향이어야 하고, 본선 차로에서 측도를 이용해 방향 전환하는 연결로는 교차로로부터 최소 200m 이상 확보되어야 한다.

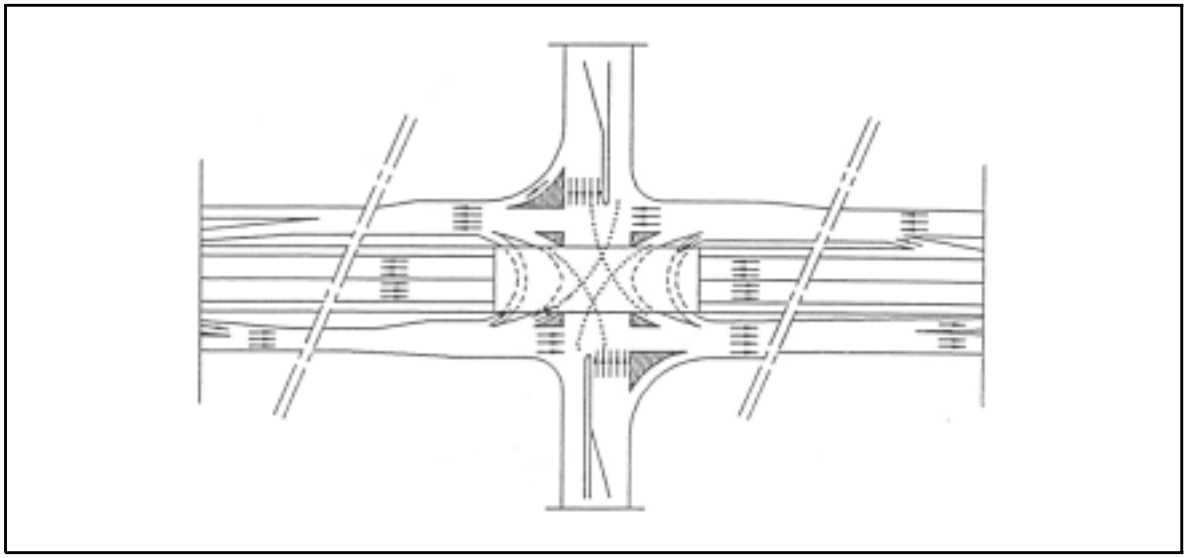
교통신호는 측도상의 차량 움직임에 따라 네 갈래의 교통흐름으로 나뉘며, 반대편 측도로의 원활한 U-턴을 실시할 수 있다.

또한 교차로에 보도의 설치가 필요한 경우는 그 규모나, 형식, 그리고 운영상의 성격 등을 신중하게 고려한다.

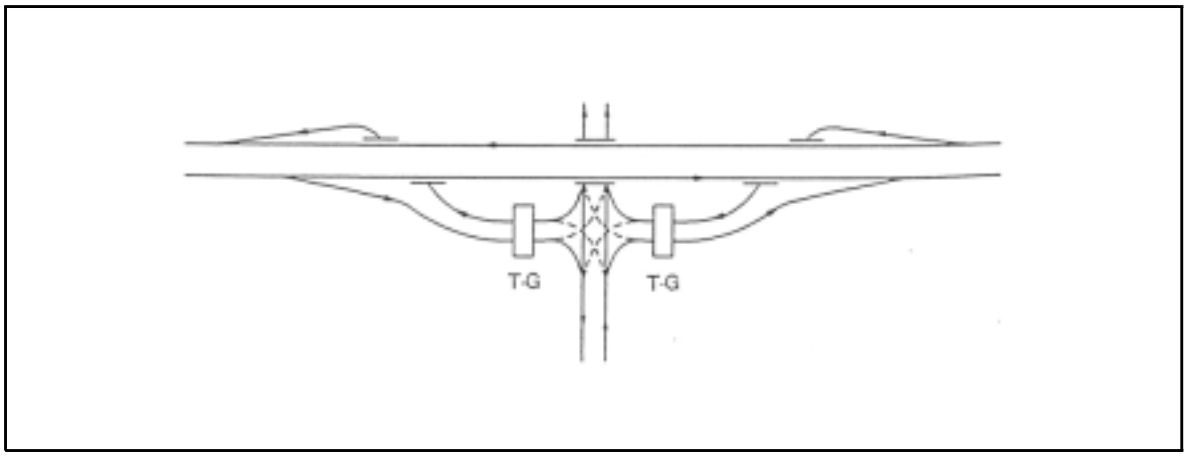
유료도로의 경우, 다이아몬드형을 변형하여 요금소를 2개로 줄여서 관리비의 절감을 도모하는 경우가 <그림 307.15>에 제시되어 있다.

이 형식은 횡단구조물이 2개소가 증가되지만 고가구간 등에서는 새로운 교차구조물을 추가하지 않아도 간단하게 적용할 수 있다. 또 요금소 전체를 본선의 고가 밑으로 설치함으로써 용지비를 절감하는 것도 가능하다.

다이아몬드형 인터체인지는 요금소가 별개로 분산되어 관리상 불합리하더라도 도시내 및 도시근교와 같이 용지비가 고가인 곳에서는 관리비 증가분을 충분히 보상할 수 있는 경우도 있으므로 건설비, 관리비의 경제성을 종합적으로 검토하여 적용을 결정하여야 한다.



<그림 307.14> U 턴을 갖는 변형 다이아몬드형



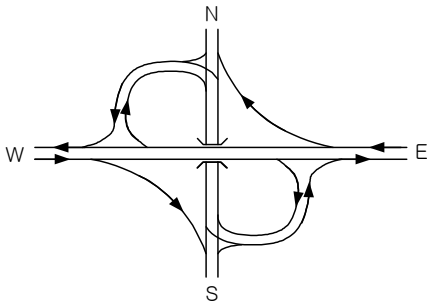
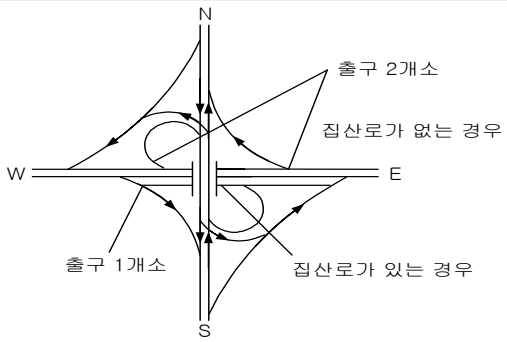
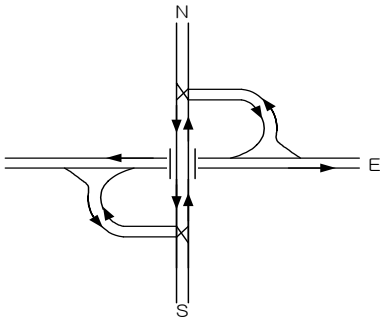
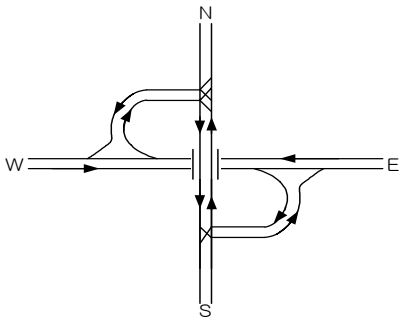
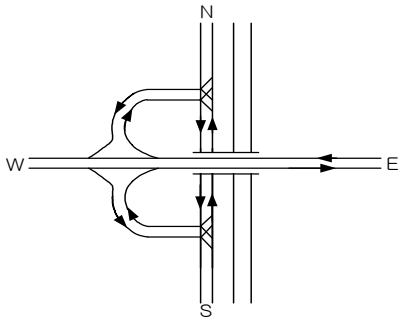
<그림 307.15> 다이아몬드형 인터체인지의 요금소

② 불완전 클로버형(partial cloverleaf)

4갈래 교차에서 가끔 사용되는 형식이며, 다이아몬드형보다 건설비는 많이 들지만, 특징을 살리면 교통용량 측면에서는 유리하다.

불완전 클로버형은 연결로의 배치방식은 <그림 307.16>과 같다.

일반적으로 한쪽 방향의 교통이 많을 때는 그 방향을 연결하는 상한과 대각선상의 상한에 연결로를 배치하는 것이 평면교차부에서 타 교통동선을 횡단하지 않고 가장 많은 교통량을 처리한다.

	**<u>우회전 연결로가 있는 형태(A형)</u>** N-W간 또는 S-E간의 교통량이 많고 교차도로의 교통량이 많지 않은 경우에 적당하며, 교차도로의 교통량이 많을 때는 직결 연결로를 설치
	**<u>우회전 연결로가 있는 형태(B형)</u>** N-E간 또는 S-W간의 교통이 많을 때에 채택되나 교차도로에서 좌회전 문제가 개선되지 않으므로 특별한 이점은 없음
	**<u>우회전 연결로가 일부 없는 형태(A형)</u>** 대각선 배치로 통과도로에서 유출입구가 양방향 교차도로의 전방에 있음
	**<u>우회전 연결로가 일부 없는 형태(B형)</u>** 같은 대각선 배치로 유출입구가 교차도로 후방에 있는 형식임
	**<u>우회전 연결로가 일부 없는 형태(AB형)</u>** 통과도로에서 볼 때 좌우대칭의 형을 이루고 있으며 교차도로 한쪽에 연결로가 있음

주) W-E 방향은 주도로(상급 혹은 통과도로), N-S의 방향은 이에 교차 접속하는 부도로임

<그림 307.16> 불완전 클로버형

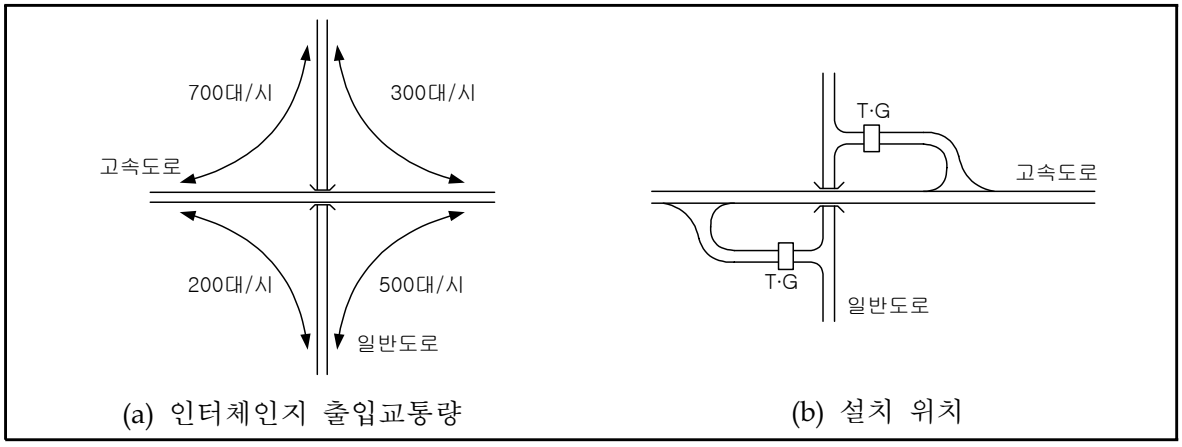
다이아몬드형과 불완전 클로버형을 비교하면 다음과 같다.

- 불완전 클로버형은 우회거리의 증가에 따른 주행비용 손실이 양 형식간의 용지비 및 공사비의 차에 가산되므로 일반적으로 불리함
- 불완전 클로버형에는 연결로의 적절한 배치에 따라 교차도로상에서의 좌회전 동선을 우회전으로 변환시킬 수 있어 평면교차점의 용량을 증가시키는 이점이 있음
- 불완전 클로버형은 완전 클로버형으로 개량하기 쉬우므로 장래 완전 입체의 단계건설 방안으로 적용 할 수 있음

유료도로로 불완전 클로버형을 설치하는 경우에 요금소를 설치하는 위치는 교통량, 지형, 지물의 조건을 고려하여 결정한다.

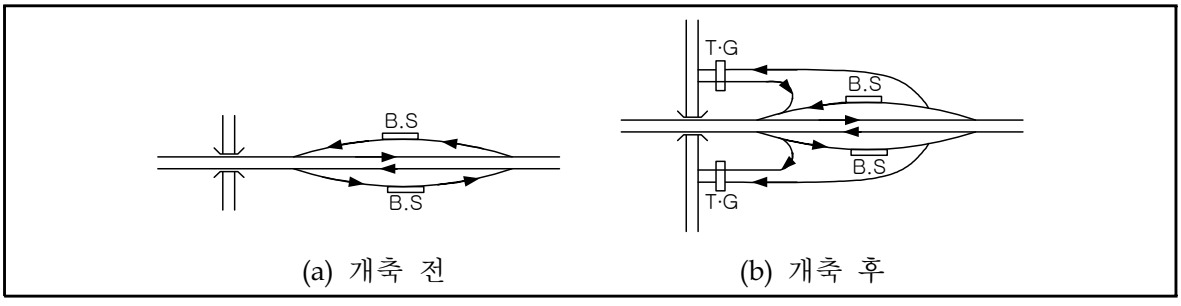
예를 들어 <그림 307.17>(a)와 같은 교통의 동선이 얻어졌다면 요금소를 설치하는 곳은 <그림 307.17>(b)와 같이 하면, 교통류의 흐름으로 보아 가장 유리하다.

연결로를 위한 교차구조물은 다이아몬드형에서와 같이 필요하지 않으나 용지면적은 다이아몬드형보다 많이 소요되고, 건설비가 비교적 높은 반면, 교통량면에서 다이아몬드형보다 유리하다. 따라서 방향별 교통량이 명확하게 분리되어 있는 경우에는 적용성이 있다고 말할 수 있으나, 이 형식도 요금소가 2개소로 분리되므로 유료도로의 관리, 경비 면에서는 바람직하지 못하다.



(a) 인터체인지 출입교통량 (b) 설치 위치

<그림 307.17> 요금소를 설치하는 위치 결정



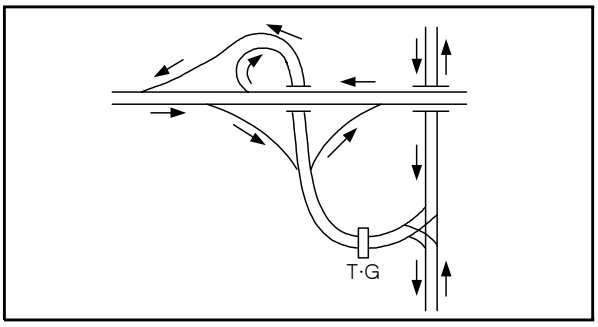
(a) 개축 전 (b) 개축 후

<그림 307.18> 버스정류장에서 인터체인지로의 이행 경우

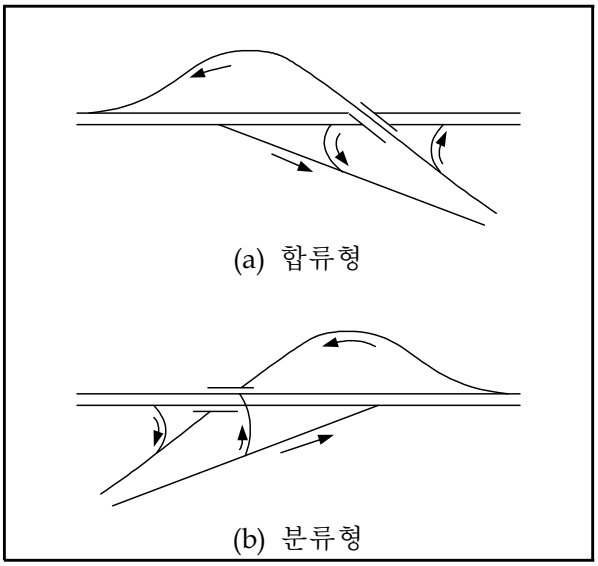
불완전 클로버형의 장점은 버스정류장 및 주차장을 장래 인터체인지로 개축하는 것과 같은 경우에 편리하며, <그림 307.18>과 같이 단계적 인터체인지를 설치하는 것이 가능하다.

③ 트럼펫형(네갈래 교차)

<그림 307.19>는 트럼펫형을 네갈래 교차에 적용한 경우이다. 고규격도로가 저규격도로와 교차할 때, 고규격도로에 대해서는 완전입체의 세갈래 교차 형식을 취하고 저규격도로에는 평면교차로 처리한 것이다.



<그림 307.19> 트럼펫형+평면교차 인터체인지 (네갈래 교차)

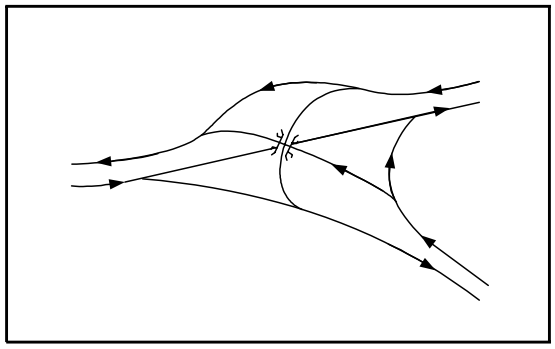


<그림 307.20> 본선상에 평면교차를 허용한 입체교차 방식

④ 준직결 + 평면교차형

<그림 307.20>은 세갈래 교차로 본선상에 일부 평면교차를 허용하는 형식으로 도시지역 일반도로의 중요한 Y형 교차점이나 우회도로의 분기점 등에 사용된다. 입체화된 준직결 연결로를 합류측에 사용하는 합류형으로는 분류의 방법이 자연스럽지만 주도로에서 평면 좌회전이 남는다. 분류에 준직결 연결로를 사용한 분류형은 부도로에서 평면 좌회전이 발생한다.

신설 우회도로 계획 등에서 좌로 분기하는 신설 도로를 건설하는 경우, 구도로를 손대지 않아도 되므로 합류형이 채택되기 쉽지만, 분기하는 편이 주류가 되는 경우에는 안내표지를 설치하더라도 교통의 혼란을 초래하기 쉽고 교통의 지체와 사고의 잠재적 요인이 된다. 이와 같은 경우에는 다소의 공사비가 증가되더라도 기존 도로를 일부 개수하여 <그림 307.21>과 같이 직결 Y형을 채택하는 것이 좋다.



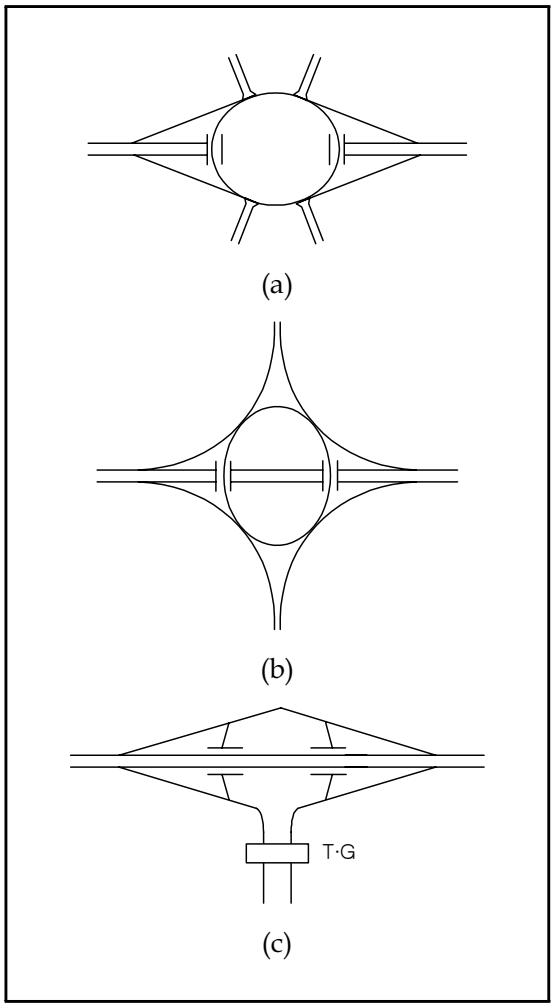
<그림 307.21> 직결 Y형

연결로의 교통량이 적을 때는 준직결 연결로를 상호 평면교차로 하는 형식(세갈래 다이아몬드형)으로 할 경우가 있다. 이 형식은 출입이 적은 일반도로의 인터체인지로 이용해도 좋지만, 평면교차부가 연결로 경사부의 직후에 있어 교통상 위험하므로 이를 채택하려면 신중한 검토가 필요하다.

(2) 로터리(rotary) 입체교차

로터리형은 <그림 307.22>와 같이 평면교차는 포함되지 않으나 연결로를 전부 독립으로 하지 않고 2개 이상으로 차도(통과차도 또는 연결로)를 부분적으로 겹쳐 엇갈림을 수반하는 부분을 가진 형식이다.

한편 다섯갈래 이상의 여러 갈래 교차의 로타리형으로 인터체인지를 형성한다는 것은 교통 동선이 많고 복잡하므로 통상의 경우 시행되지 않는다. 다섯갈래 이상의 교차는 이를 2개 이상의 교차로로 분리하여 1개소에 4선 이상의 갈래가 집중되지 않도록 설계한다. 이와 같은 처리를 할 수 없을 때는 엇갈림을 수반하는 로터리형을 채택하는 것이 실질적이다. 그러나 엇갈림구간을 길게 잡는 것은 곤란하므로 교통량이 적은 경우가 아니면 잘 운용되지 않는다.



<그림 307.22> 로터리형

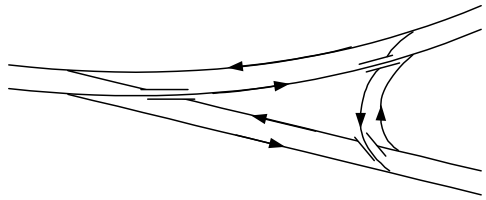
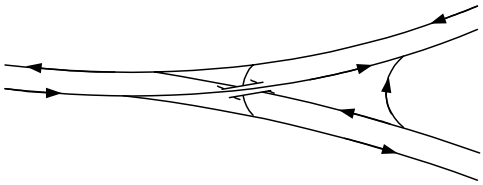
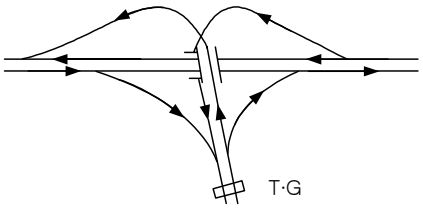
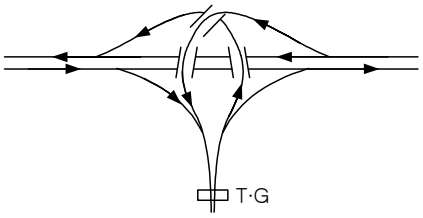
(3) 완전 입체교차

완전 입체교차는 인터체인지의 기본형으로서 인터체인지 본연의 목적에 가장 부합된 형식이다. 이 형식은 평면교차를 포함하지 않고 각 연결로가 독립하고 있는 인터체인지이다. 그러나 일반적으로 공사비가 많이 들고 용지면적도 광대하게 소요되므로 고규격 도로의 입체교차에 주로 이용된다.

① 직결형 및 준직결형 (세 갈래 교차)

<그림 307.23> (a), (b)는 세 방향의 모든 접속이 직결 연결로를 사용하여 구성된 형식으로 직결 Y형이라 하며 일반적으로 고규격도로 상호의 접속에 사용한다.

<그림 307.23> (c), (d)는 높은 규격의 도로상호 분기시 한 쪽이 주 교통류일 경우에 사용되지만, 직결 Y형에 비하여 주행성은 다소 떨어지지만 왕복차도를 넓게 분리하지 않아도 된다는 이점이 있다.

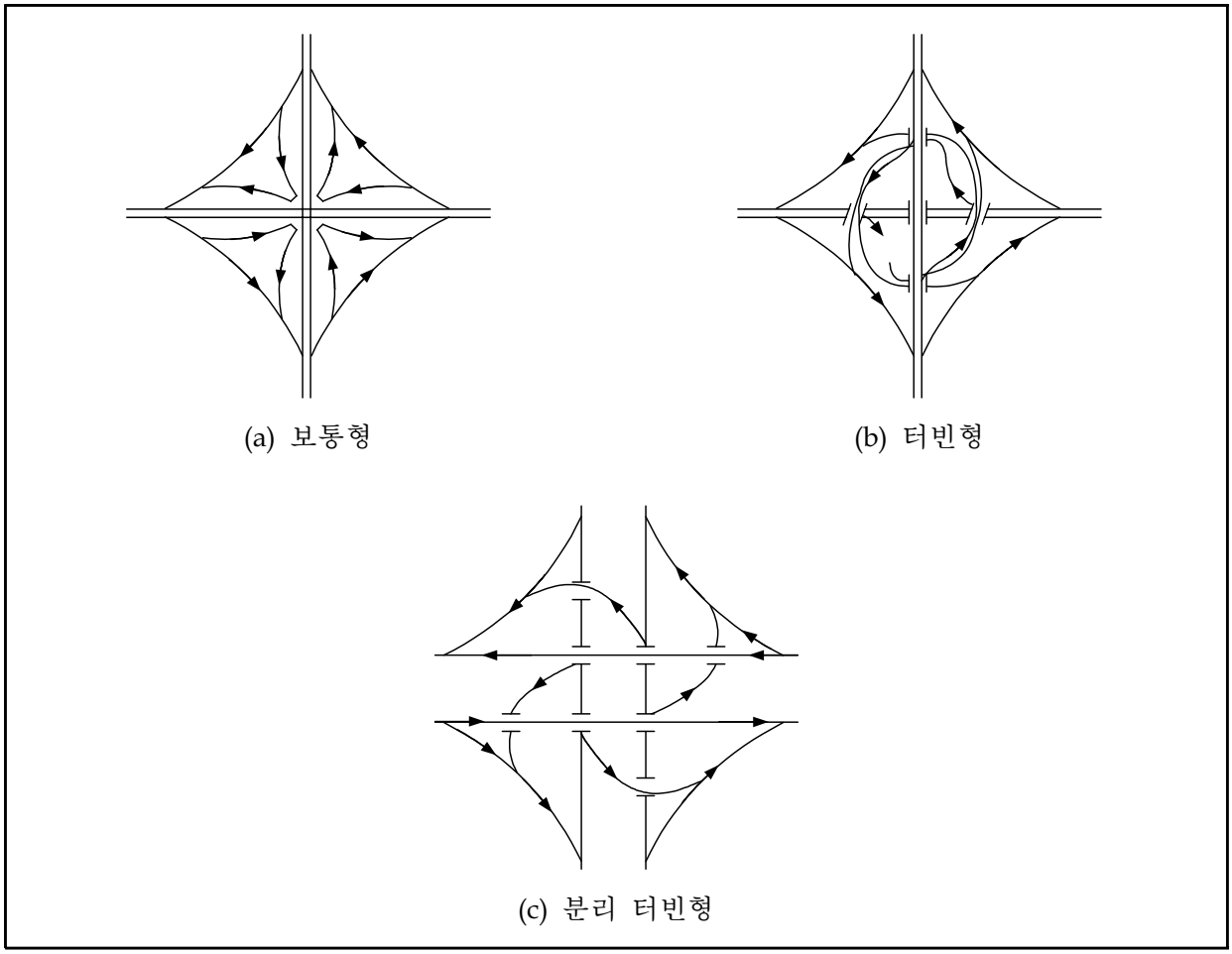
 (a) 직결 Y형 (2층 구조)	각 분기 상호 간의 거리를 상당하게 확보한 형으로 차도의 교차는 분산된 3개의 2층 구조물로서 처리
 (b) 직결 Y형 (3층 구조)	지형, 용지조건 등의 제약 때문에 모양을 작게 하여 통합할 필요가 있는 경우에는 3층의 입체교차 형식을 채택, 이 형식은 좌측에서 직접 분기하기 때문에 왕복차도를 넓게 분리할 필요가 있으며, 용지면적이 과대하게 소요되므로 처음부터 본선과 인터체인지를 일체로 하여 계획, 설계할 필요가 있음
 (c) 준직결 Y형 (3층 구조)	준직결 연결로를 사용한 준직결 Y형으로 주로 고규격의 도로와 일반도로와의 인터체인지에 사용
 (d) 준직결 Y형 (2층 구조)	선형을 크게 잡을 수 있으면 입체교차구조물을 3층으로 하지 않고 옆의 그림과 같이 3개의 2층 구조로 할 수도 있음

<그림 307.23> 직결 Y형 및 준직결 Y형

보통 루프를 사용하지 않는 Y형에서는 평면선형보다 오히려 종단선형의 제약, 즉 입체교차를 위한 고저차에 의해서 그 형이 좌우되는 경우가 많다.

② 직결형(네갈래 교차)

고속도로 상호간, 기타 고급도로간의 십자형 접속에는 클로버형의 변형과 준직결형 및 변형이 있으며, 이들은 하나 이상의 직결 또는 준직결 연결로를 가지고 있으므로 직결형이라고 불리우지만 좌회전 교통을 목적하는 방향으로 원활한 곡선으로 처리할 수 있기 때문에 필연적으로 공사비도 증대된다. 그러므로 처리하는 교통량과의 관계에서 그 경제성을 충분히 검토해야 한다. 직결형에는 여러 형이 있지만 그 중 비교적 적용성이 높은 몇 가지 예를 도시하면 <그림 307.24>와 같다.



<그림 307.24> 직결형 인터체인지(네갈래)의 예

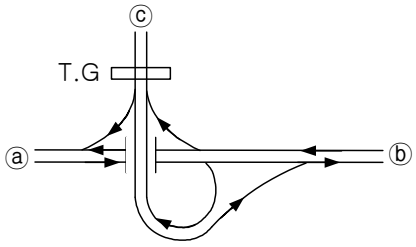
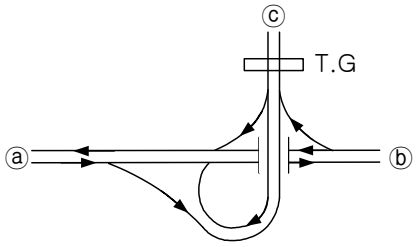
③ 트럼펫형(세갈래 교차)

트럼펫형은 세갈래 교차 인터체인지의 대표적 형식이지만, 고속도로 상호간에 적용되는 일은 비교적 드물다. 그 이유는 루프형 연결로에서 50km/h 이상의 높은 설계속도를 적용하는 것이 우리 나라의 용지나 지형 조건으로 보아 곤란하기 때문이나, 루프 연결로를 이용하는 교통량이 적을 것으로 판단되는 경우, 트럼펫형이 적절할 때도 있다. 특히 연결되는 고속도로 상호간에서 교통량과 그 중요도에 차이가 있고 따라서 어느 쪽을 주도로로 볼 수 있거나 분기점에 요금소가 병설되는 경우에는 트럼펫형을 채용할 수 있다.

분기점에 요금소가 병설되는 곳이라면 모든 교통이 일단 정지해야 되므로, 연결로 설계속도를 높게 잡을 필요가 없는 경우가 있기 때문이다. 그러나, 요금소 병설 세갈래 분기점의 경우에도 장래 통행료무인징수체계(NTCS)의 도입을 고려하여 경제여건만 허락한다면 준직결 Y형으로 설치하는 것이 바람직하다.

<그림 307.25>와 같이 A형과 B형의 적용에 있어서는 아래사항을 고려하여 교통안전과 경제성의 관점에서 종합적으로 판단한다.

- 교통량이 적은 쪽의 연결로에 대하여 루프를 사용한다. 루프는 준직결이나 직결 연결로보다 교통용량이 상당히 저하되고, 우회하기 위하여 추가로 거리를 주행하게 되므로 교통량이 적은 쪽의 연결로에 루프를 사용하는 것이 교통용량과 주행비용 측면에서 타당한 것이다.

 (a) A 형	루프를 교차점을 지나서 설치하고, 본선 ⓐ⇆ⓑ에 대하여 루프를 유출 연결로로 사용하는 형태 분기점에는 원칙적으로 A형을 적용하여야 하며, 이 경우에 본선 ⓐ⇆ⓑ가 다른 쪽의 본선상을 overpass하도록 하여 루프형 연결로의 크기가 빨리 인식될 수 있도록 배려해야 함 분기점에서 트럼펫형을 채용하는 경우, 루프의 설계속도는 50km/h가 이상적이나, 통상적으로 40km/h를 주로 사용
 (b) B 형	루프를 교차 구조물의 전방에 설치하여 유입 연결로로 사용하는 형태 ⓒ방향근처에 본선요금소가 있고, 또한 ⓒ⇆ⓐ 방향의 교통이 ⓑ⇆ⓒ의 교통량에 비하여 상대적으로 많을 경우에 한하여 그 적용성이 인정

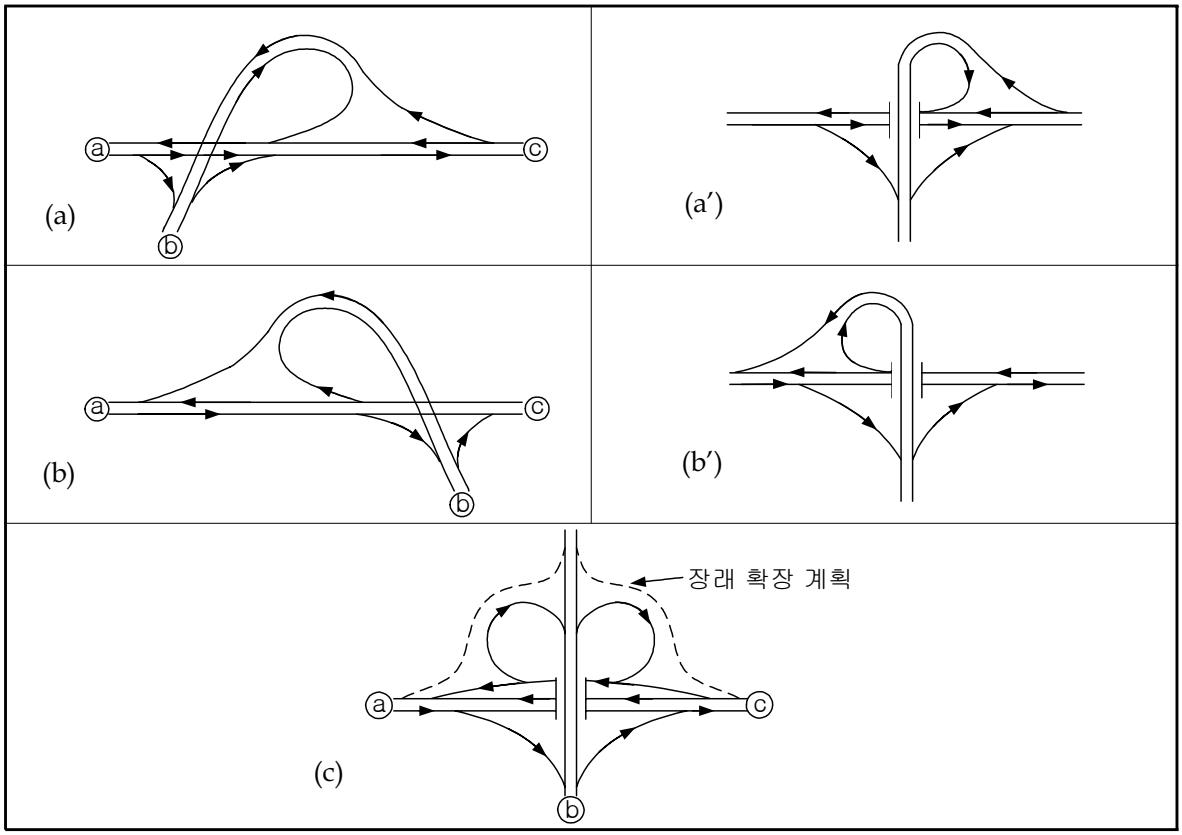
<그림 307.25> 트럼펫형의 루프 형식

- A형 : 원칙적으로 본선이 교차로(램프)를 상부 통과하는 형식으로 한다. A형의 경우에는 루프형 연결로가 유출 연결로로 되므로 고속도로측에서 유출하는 고속 차량의 속도조정에 편리하도록 루프의 반경을 크게 할 필요가 있으며, 또한 본선상에서 루프 전체가 잘 보이게 설계해야 한다. 특히, 본선이 밑에 있고 루프형 연결로가 상향경사일 경우에는 루프 앞에 있는 교대 뒤로 루프부분이 은폐되어 잘 보이지 않는 결점이 있다.
- B형 : 루프와 준직결 연결로의 교통량에 큰 차이가 없는 경우에는 유입 연결로에 루프를 적용한다. 단, 이 경우 준직결 연결로의 고속도로 본선 노즈 부근의 곡선반경은 될 수 있는 대로 큰 곡선 반경으로 하는 것이 필요하다.

교통량에 극단적인 차가 없을 때는, 유입 연결로에 루프를 사용하는 것이 교통의 안전확보상 유리하다.

<그림 307.26>에 트럼펫형 입체교차유형이 비교되어 있다. 여기서 (a)형과 (a′)형, (b)형과 (b′)형에는 교차하는 각에 차이점이 있다. 즉 (a)형과 (b)형은 한쪽으로 치우친 교차화(skewed crossing) 하도록 설계되어 있는데 (a′)형과 (b′)형에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 다량의 좌회전 교통에 대해 보다 완만한 곡선반경이 제공
- 모든 좌회전 교통에 대하여 회전각이 작음
- 모든 좌회전 교통에 대하여 주행거리가 짧음



<그림 307.26> 트럼펫형 입체교차 유형 비교

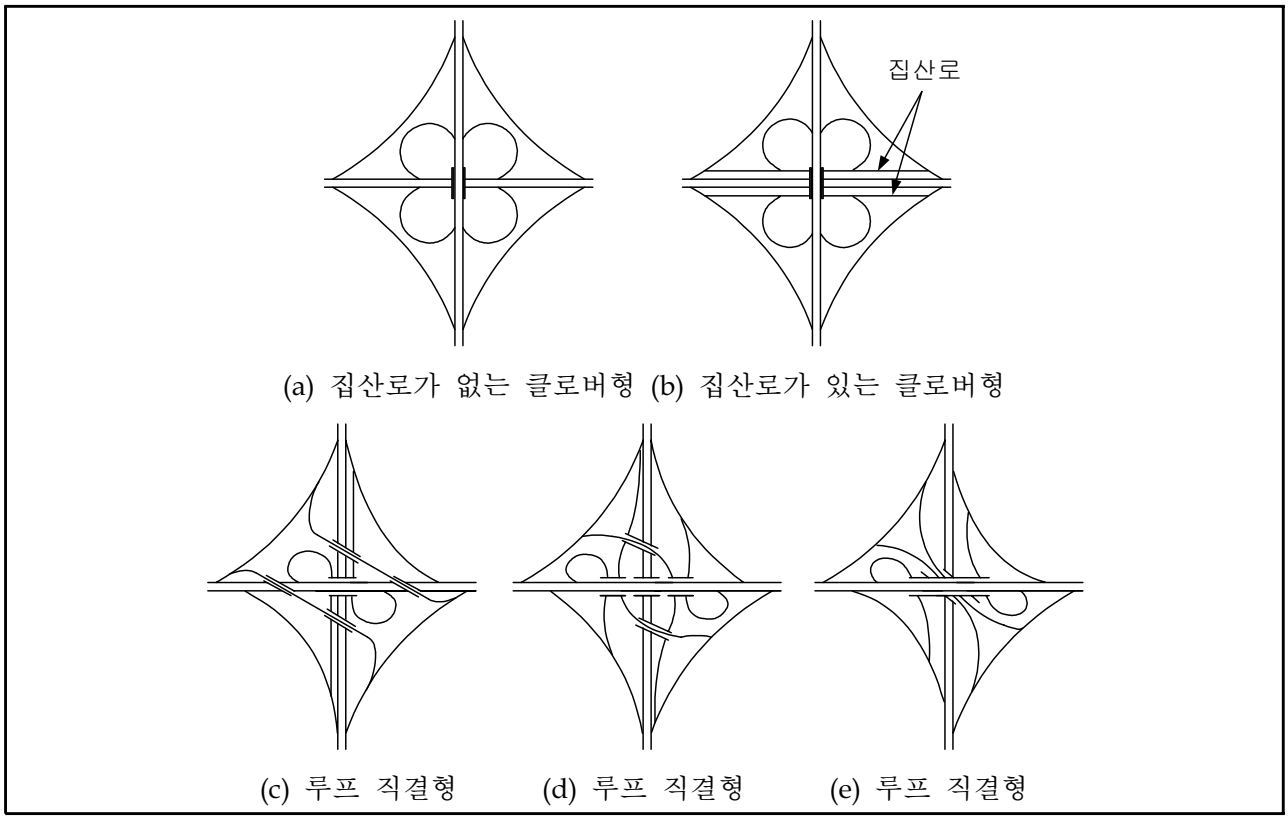
- <그림 307.26>(c)에 보이는 입체교차 형식은 모든 좌회전의 루프를 이용해야 하고, 또한 엇갈림 현상을 유발하므로 좋은 설계방법은 아니나, 장기적으로 완전 클로버형으로 발전시키는 구상일 경우는 초기 단계에서 적용할 수 있는 장점이 있다.

④ 클로버형(네갈래 교차)

클로버형은 네갈래 교차로 평면교차를 포함하지 않는 완전입체교차형의 기본형으로 기하학적으로도 대칭인 아름다운 형을 이루고 입체교차구조물도 1개로 끝난다. 클로버형의 특징은 다음과 같다.

- 클로버형은 다이아몬드형에 비해 많은 비용과 용지가 소요되기 때문에, 이 형식은 도시에서는 거의 사용되지 못하고, 교외나 지방지역의 용지편입이 양호한 지역에서 사용됨
- 좌회전 차량이 루프를 사용하여 약 270° 회전해야 하므로 평면곡선을 크게 할 수가 없음
- 인접한 2개의 루프간에 엇갈림이 생겨 용량상의 문제가 되는 동시에 안전 측면에서 좋지 않음

엇갈림을 본선에서 제거하는 방법으로는 집산로를 설치하는 방법이 있는데, 이로 인해 엇갈림의 용량은 20~35% 정도 증가한다. 집산로가 사용되지 않을 때의 추가적인 단점은 주요도로에서 발생하는 엇갈림이나 주요도로에서의 유출 연결로의 교통 흐름상 문제, 출구로의 전환시 신호표시 문제 등을 들 수 있다.



(a) 집산로가 없는 클로버형 (b) 집산로가 있는 클로버형

(c) 루프 직결형 (d) 루프 직결형 (e) 루프 직결형

<그림 307.27> 클로버형 및 변형 클로버형

입체교차 상에서 직결 좌회전 연결로의 거리와 비교하였을 때, 루프 연결로상의 이동거리는 설계속도가 증가함에 따라 더욱 길어지는데, 그 내용은 <표 307.7>과 같다.

<표 307.7> 루프연결로 설계속도 증가에 따른 추가 이동거리

루프 연결로의 설계속도	추가 이동거리
30km/h(R=27m)	200m
40km/h(R=50m)	300m
50km/h(R=80m)	500m

즉, 10km/h 증가마다 이동거리는 50% 정도 증가하고, 편입 용지 면적은 대략 130% 정도 증가한다. 루프 연결로 운행시간은 연장된 거리에 따라 비례하는 것은 아니고 루프 설계속도가 10km/h 증가함에 따라 운행시간은 20~30%(대략 7초)가 증가한다.

일반적인 루프의 최소 반경은 30~70m 정도가 적당하나, 실무에서는 30~50m 정도를 사용하고 있다. 루프와 루프사이의 가·감속과 엇갈림에 필요한 부가차로가 필요하다. 여유 있는 차로폭과 길이는 해당 부가 차로에 필요한 사항이다.

클로버형은 엇갈림구간에서 엇갈림운행을 갖게 되는데, 좌회전이 상대적으로 용이할 때는 만족스러운 형식이 된다. 그러나 두개의 루프상에서 엇갈림운행을 해야하는 전체 교통량이 1,000대/시에 이르게 되면 속도의 감소로 인해 사고가 급격하게 증가하므로, 집산도로의 설치가 불가피하게 된다.

루프 연결로는 차로폭에 관계하는 것이 아니고, 차량이 주행하는 단일 선형의 설계효용 한계가 800~1,200대/시 이상이어야 하고, 연결로에는 트럭이 없는 상태에서 설계속도가 50km/h 이상인 곳에서 적용된다.

두개의 차로가 필요한 루프 연결로에서 엇갈림구간의 설계조건에는 세심한 주의가 요구되며, 이런 설계를 하려면 엇갈림구간의 먼 곳에서부터 차로가 교차되어야 하고, 루프 연결로의 반경이 충분히 큰 클로버형 인터체인지가 되게 해야하는데, 이는 용지면적의 추가, 건설비의 증가 및 운행거리의 증가 등의 이유로 비경제적이다. 그러므로 2차로 루프연결로의 설치가 필요할 경우는 변형 클로버형이나 직결형을 적용하는 것이 좋다.

완전 클로버형(full cloverleaves) 인터체인지가 주요 도로에 사용될 때는 주요 도로에 집산로를 두어 위빙이 본선에서 일어나는 것을 없애는 것이 바람직하다.

교차도로가 4차로 이하인 도로에 이 형식을 사용한다는 것은 오히려 과대설계가 될 수 있다. 한편 고속도로 상호의 설계속도가 크고 교통량이 많은 도로일 경우에는 이러한 형식으로는 많은 결점이 있기 때문에 통상 클로버형의 변형 혹은 직결형을 채택하는 경우가 많다.

307.6 인터체인지의 설계

6.1 인터체인지의 기하구조 설계

6.1.1 본선의 기하구조

인터체인지는 본선을 주행하는 운전자가 먼 거리에서도 식별할 수 있어야 하고 자동차가 안전하고 원활하게 출입할 수 있는 구조로 설계되어야 한다.

(1) 평면 곡선 반경

인터체인지 부근의 평면곡선반경이 작으면 곡선의 바깥쪽에 설치되는 유출입 연결로 및 변속 차로와 본선의 편경사 차가 커지는 경우가 많고, 이런 경우에는 안전한 유출입이 어렵고 위험하며, 설계상 편경사 설치가 곤란하다.

이와 같은 이유로 인터체인지 구간 본선의 최소 평면곡선반경은 <표 307.8>의 값을 적용한다.

(2) 종단곡선

인터체인지 전체가 본선의 큰 오목(凹)형 종단곡선 안에 있을 때 운전자가 인터체인지를 쉽게 알아 볼 수 있어서 가장 바람직하나, 인터체인지가 본선의 작은 볼록(凸)형 종단곡선 내부 또는 그 직후에 있으면 인터체인지의 전체 또는 그 일부가 보이지 않게 될 염려가 있다.

① 볼록(凸)형 종단곡선의 변화 비율

정지시거 확보를 위한 종단곡선의 길이 산정에 의해 산출되며 종단곡선의 변화비율(K)은 다른 구간보다 커야 하므로 인터체인지 부근에서는 본선 기준 시거(D)의 1.1배 이상의 거리가 확보되도록 해야 한다.

$$K = \frac{D^2}{385},\quad D' = 1.1D,\quad K' = 1.21K$$

<표 307.8> 인터체인지 구간의 평면곡선반경

본선 설계속도 (km/h)	120	110	100	90	80	70	60
최소평면 곡선반경 (m)	1000	900	700	600	450	350	250

<표 307.9> 볼록형 종단곡선의 최소 종단곡선 변화 비율

본선 설계속도 (km/h)	120	110	100	90	80	70	60
정지시거 확보기준(K) (m/%)	200	160	100	75	50	30	20
종단곡선 변화비율(K′) (m/%)	240	200	130	100	65	40	30

<표 307.10> 오목형 종단곡선의 최소 종단곡선 변화 비율

본설 설계속도 (km/h)	120	110	100	90	80	70	60
충격완화기준(K) (m/%)	40.0	33.6	27.8	22.5	17.8	13.6	10.0
종단곡선 변화비율(K') (m/%)	110	100	80	60	50	40	30

② 오목(凹)형 종단곡선의 변화 비율

연결로에 육교가 있을 경우를 제외하고는 인터체인지의 시인성(視認性)에 문제가 있는 경우는 없으나, 종단선형의 시각적인 원활성을 확보하기 위하여 충격완화를 위한 종단곡선 변화비율의 2~3배 크기의 거리가 확보되도록 하여야 한다.

$$K = \frac{V^2}{360}, \quad K' = 2K(\text{또는} 3K)$$

(3) 종단경사

본선 종단경사는 일반구간에 비해 더욱 완만하게 하는 것이 바람직하다. 인터체인지 구간에서 급한 하향경사는 인터체인지에서 유출하는 자동차 감속의 어려움으로 인해 사고가 많이 발생한다. 또, 급한 상향경사는 본선에 유입하는 차량의 가속에 불리하므로, 가속차로의 길이를 표준길이 이상 확보해야 하고, 가속차로의 길이가 충분히 확보되어 있어도 대형자동차는 충분히 가속되지 않은 상태로 본선으로 유입되므로 사고를 일으키는 일이 많다. 이와 같은 안전성을 고려하여, 인터체인지 본선구간의 최대 종단경사는 일반적인 본선의 경우보다 값을 낮추어 <표 307.11>을 적용하도록 한다.

<표 307.11> 인터체인지 구간의 최대 종단경사

본선설계속도 (km/h)	최대종단경사 (%)
120	2.0
110	2.0
100	3.0
90	3.0
80	4.0
70	4.0
60	4.5

(4) 기타 고려사항

인터체인지 설계시 본선 선형이 해당 조건을 충분히 만족하고 있더라도 인터체인지가 절토구간이나 육교 직후에 설치되어 유출 연결로가 가려져 있는 경우, 이곳이 사고 많은 지점이 될 수 있으므로 운전자의 시선을 방해하지 않도록 한다. 유출 연결로 접속단 직전의 작은 볼록(凸)형 종단곡선, 교량, 난간 등도 연결로를 가릴 수 있으므로 주의를 기울여야 한다. 이와 같은 문제가 있는 곳은 계획단계에서 투시도를 활용하여 선형을 총괄적으로 판단하도록 한다.

6.1.2 연결로의 기하구조

(1) 개 요

연결로란 본선과 본선 또는 본선과 접속도로 간을 이어주는 도로를 일컫는 용어로 일반적으로 연결로에는 변속 차로가 접속되어 있다. 연결로의 설계시에는 교통안전을 고려하여 본선의 좌측에 접속하는 연결로 형식은 피하고, 클로버 형식에 설치되는 루프 연결로에는 가능한 집산로를 설치한다.

연결로의 선형은 일반적으로 인터체인지의 형식과 규모에 따라 정해진다. 그러므로 연결로의 선형설계에는 우선 인터체인지의 성격(교차하는 도로 규격, 교통량, 차종구성, 교통운영의 조건), 지형 및 지역에 따른 적당한 인터체인지 형식과 규모를 선정하는 것이 가장 중요하다.

연결로는 일반적으로 양단을 연결로보다 높은 설계속도를 가지는 본선에 접속하거나 일시정지 규제를 받는 교차부에 연결한다. 이 때문에 연결로에서는 자동차가 항상 일정 속도로 주행하기보다는 속도의 변화를 수반하는 것이다. 따라서 연결로 선형은 주행속도의 변화에 원활하게 적응되도록 설계한다. 특히, 본선에서 높은 속도를 갖는 유출 연결로의 선형은 운전자의 속도감각을 고려하여 안전한 유출이 되도록 배려한다.

연속적인 입체교차가 설계되는 경우, 각각의 입체교차는 물론 이들의 입체교차 연계시 유출입 유형은 일관성이 있도록 설계한다. 특히, 유출 연결로의 위치가 구조물의 전방과 후방에 섞여 있거나 또는 좌측과 우측에 유출입 연결로가 병합되지 않도록 하여야 한다.

좌측에 유입부가 있는 경우에는 유입 교통류와 우측의 고속 교통류와 합류 문제를 초래한다. 또한 유출의 경우에도 우측으로 유출하도록 하여야 운전자의 혼돈과 본선의 엇갈림을 피할 수 있다.

유출입 유형의 일관성은 다음과 같은 장점을 갖게 되는 것이다.

- 차로변경을 줄임
- 도로안내표지를 단순하게 함
- 직진교통과의 마찰을 줄임
- 운전자의 혼란을 줄임
- 운전자의 정보탐색 필요성을 줄임

고속도로 및 일반도로는 일관성을 유지하기 위한 기본 차로수가 제공되어야 한다.

기본 차로수란 교통량의 과다에 관계없이 도로의 상당한 거리에 걸쳐 유지되어야 할 최소 차로수를 말하며 부가차로는 기본 차로수에 포함되지 않는다.

만약 기본 차로수가 해당도로를 일반적으로 이용하는 교통량에 비추어 볼 때 부족한 경우에는 교통정체를 초래하고, 고속도로인 경우에는 추돌사고의 주요원인이 된다.

자세한 내용은 '303.2 차도 및 차로' 장을 참조한다.

(2) 연결로의 설계속도

연결로의 설계속도는 서로 접속되는 두 도로의 설계속도와 지역에 따라 규정되며 교통량, 차종구성, 지형, 지물, 연결로 상의 자동차 주행속도의 변화 및 교통운영 조건을 고려하여 <표 307.12>에서 정한 범위 내에서 적절하게 선택한다.

루프 연결로의 경우, 이 <표 307.12>에서 제시된 연결로 설계속도에서 10km/h를 뺀 값을 적용할 수 있다. <표 307.12>에서 상급 도로라 함은 교차 또는 접속되는 두 도로 중 설계속도가 높은 도로를 말하며 설계속도가 같다면 교통량이 많은 도로를 상급도로로 간주한다.

연결로의 설계속도는 장소 제약이나 비용 등의 관계로 낮게 정하는 경우가 많다. 또한, 실용적인 측면에서 어느 정도 낮은 설계속도가 허용된다. 이는 인터체인지 또는 분기점에서 방향을 바꾸려는 운전자가 연결로의 선형에 따라 자연스럽게 변속하기 때문이다.

미국 AASHTO의 경우, 바람직한 연결로의 설계속도로 본선의 설계속도를 채택하고, 최소값으로서 본선 설계속도의 반을 취하도록 하고 있다.

독일에서는 입체교차를 분기점, 1급, 2급, 3급으로 구분하여 연결로의 최소 평면곡선을 정하고 평면곡선 앞뒤의 완화 구간을 클로소이드 곡선으로 설계한다. 또한, 해당 평면곡선 전후의 완화구간 길이에 대해 별도로 기준을 마련하여 원활하게 속도 변화가 이루어지도록 고려한다. 연결로의 설계속도는 기본적으로 미국 AASHTO의 기준에 따르고, 독일의 선형 설계 기준을 참조하여 결정하였다.

유출 연결로의 설계속도를 결정하는 데에는 유출부 속도규제 상황 등을 고려하여 <표 307.12>에 규정한 범위 내에서 적절하게 선정한다. 예를 들면, 교통량이 많은 연결로의 설계속도는 50km/h 또는 60km/h로 하는 것이 바람직하고, 산지부 등의 교통량이 적은 연결로의 설계속도는 30km/h로 할 수 있다.

<표 307.12> 연결로의 설계속도

상급도로의 설계속도 (km/h) / 하급도로의 설계속도 (km/h)	120	110	100	90	80	70	60	50이하
120	80-50							
110	80-50	80-50						
100	70-50	70-50	70-50					
90	70-50	70-40	70-40	70-40				
80	70-40	70-40	60-40	60-40	60-40			
70	70-40	60-40	60-40	60-40	60-40	60-40		
60	60-40	60-40	60-40	60-40	60-30	50-30	50-30	
50이하	60-40	60-40	60-40	60-40	60-30	50-30	50-30	40-30

<표 307.12>의 연결로 설계속도 적용시 주의사항은 다음과 같다.

- 이용 교통량이 많을 것으로 예상되는 연결로는 본선의 설계기준을 적용하여 설계
- 본선의 분류단 부근에는 보통 주행속도의 변화가 있으므로, 속도 변화에 적합한 완화구간을 설치하여 운전자가 주행속도를 자연스럽게 바꿀 수 있도록 유도
- 연결로의 실제 주행속도는 선형에 따라 변하므로 편경사 등의 기하구조를 설계할 때는 실제 주행속도를 고려할 필요가 있음
- 하급도로 설계속도가 60km/h 이하인 경우의 연결로가 루프일 경우 설계속도를 최소값인 30km/h를 채택할 수 있음

고속도로에서 교통량이 적은 방향에 루프 연결로를 사용할 수 있으나, 연결로에 50km/h이상의 설계속도를 채용하려면 넓은 용지가 필요하고, 추가 주행거리가 발생되므로 교통 경제적 측면에서 비경제적이다. 그러므로 루프 연결로는 설계속도를 40km/h까지 줄일 수 있다.

분기점의 연결로 설계속도는 입체교차 형식과 밀접한 관계가 있다. 즉, 예상하는 입체교차 형식에 따라 연결로 별로 설계속도가 결정되는 경우와, 역으로 연결로의 중요도에 따라 필요로 하는 설계속도가 정해지고 이에 대응하는 입체교차 형식이 결정 될 수도 있다. 이 때문에 분기점의 경우에는 연결로의 설계속도와 입체교차 형식이 병행 검토되어 결정된다.

세 갈래 교차 형식으로는 직결 또는 준직결 Y형이 선정되고, 네 갈래 교차 형식으로는 일반적으로 클로버형 및 그 변형이 선정된다. 이 경우, 선형 설계상 연결로를 설계속도의 하한값에 가까운 속도로 설계할 필요가 생긴다. 단, 이 경우에도 우회전 연결로의 설계속도로 비교적 높은 값을 선정할 수 있다. 특별한 경우로서, 분기점이 영업소를 중간에 두고 접속되는 것과 같은 곳에서는 영업소에서 일단 정지를 고려하여 오히려 일반적인 인터체인지에서와 같이 모든 연결로를 40km/h 정도로 설계할 수도 있다.

인터체인지의 규격을 결정할 때 먼저 고려해야 할 요소는 본선의 설계속도 및 설계 수준이다. 본선의 설계속도가 높고 설계 서비스 수준도 높은 구간은 선형, 도로 구조, 시설 등의 각종 요소를 높은 수준으로 설계하여 고속도로 이용자에게 높은 안전성과 쾌적성을 보장한다. 따라서, 이와 같은 구간에 설치되는 인터체인지는 높은 규격이어야 한다. 이와는 반대로, 본선의 설계속도가 낮고 설계서비스 수준도 낮은 구간은 인터체인지도 본선의 도로 구조, 시설 등의 수준에 맞추어 비교적 낮은 규격의 것으로 하는 것도 허용된다.

인터체인지의 규격을 결정하는 또 하나의 요소로서 많은 교통량을 처리하는 인터체인지의 경우 그로 인해 얻을 수 있는 안전성과 쾌적성에서 생기는 이익으로 충분히 보상을 얻을 수 있을 경우에는 고규격을 적용할 수 있다.

국지적인 교통만 통행하는 인터체인지는 설계수준을 약간 낮게 잡아서 설계해도 무리가 없다. 왜냐하면, 해당 인터체인지를 이용하는 이용자가 인터체인지를 이용하는 횟수가 많아질수록 도로 여건에 익숙해져서 교통 안전상 큰 문제가 없기 때문이다.

(3) 연결로의 규격기준과 횡단구성

① 연결로 기준의 적용

연결로 기준의 적용은 접속하는 도로 중 상급도로의 구분에 따라 정한다.

- 상급도로가 고속도로인 경우에는 표준으로 A기준 연결로를 사용하고, B기준 연결로는 이용 교통량이 비교적 적은 경우에 적용하며, C기준 연결로는 이용 교통량이 적고 대형차의 출입이 거의 없는 인터체인지에서 하급도로측 연결로에 적용
- 상급도로가 일반도로인 경우에는 고속도로에 비하여 일반적으로 본선의 설계속도가 낮으므로 B기준 연결로를 표준으로 사용

C기준 연결로의 적용은 고속도로의 경우와 마찬가지로 이용 교통량이 적고, 대형자동차 교통량이 거의 없는 출입 시설의 연결로로 이용

② 연결로의 횡단면 구성

연결로의 횡단면은 차로와 길어깨로 구성되며 양방향 통행 연결로에는 중앙분리대를 설치한다.

연결로의 중앙분리대 폭과 차로 및 길어깨 최소 폭에 대한 제원은 <표 307.13>과 같다.

연결로의 횡단면 구성을 결정할 때에는 본선의 설계속도, 본선의 횡단면구성, 연결로의 교통운영 방법, 이용 교통량과 차종구성, 실제 주행속도, 곡선부의 확폭, 그리고 지형적 조건 등을 고려한다.

<표 307.13> 연결로의 폭원 및 도로 등급별 적용기준

횡단면 구성요소 / 연결로 기준	최소 차로폭 (m)	길어깨 최소폭 (m)					중앙분리대 최소폭 (m)
		1방향 1차로		1방향 2차로	양방향 2차로	가감속 차로부	
		좌측	우측	좌측・우측		우측	
A기준	3.50	1.50	2.50	2.50	1.50	1.50	2.50(2.00)
B기준	3.25	0.75	1.50	0.75	0.75	1.00	2.00(1.50)
C기준	3.25	0.75	1.00	0.50	0.50	1.00	1.50(1.00)

상급도로의 도로등급		적용되는 연결로의 기준
고속도로	지방지역	A기준 또는 B기준
	도시지역	B기준 또는 C기준
일반도로		B기준 또는 C기준

주) 각 기준의 정의

1. A기준 : 길어깨에 대형자동차가 정차한 경우 세미트레일러가 통과 할 수 있는 기준
2. B기준 : 길어깨에 소형자동차가 정차한 경우 세미트레일러가 통과 할 수 있는 기준
3. C기준 : 길어깨 정차한 자동차가 없는 경우 세미트레일러가 통과 할 수 있는 기준

( ) 내의 값은 터널 등의 구조물 설치시 부득이한 경우

연결로는 통상 방향이 분리된 1방향 1차로가 원칙이며, 이러한 연결로는 고장난 차가 주차할 수 있도록 도로 우측에 주차 가능한 길어깨 폭을 설치한다. 1방향 2차로 연결로는 1차로로 교통량을 모두 처리할 수 없을 때 적용하는 것으로, 반드시 주차 가능한 폭의 길어깨를 설치할 필요는 없다. 1방향 1차로의 A기준 연결로의 우측 길어깨 폭에 대해서 축소 규정을 두고 있는데, 이는 비교적 긴 터널, 구조물 등이 설치되는 구간에 적용되는 규정으로서, 공사비의 절감을 꾀하기 위해서 규정한다.

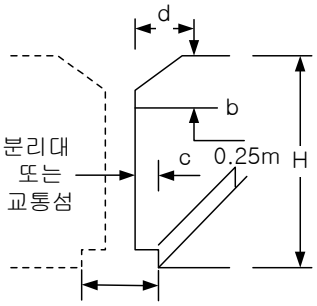
트레일러 등의 대형 차량들이 연결로의 폭을 유효하게 이용하여 회전할 수 있도록 길어깨도 동일한 포장 구조로 하는 것을 원칙으로 한다. 특히, 루프 연결로의 경우 운전자가 안전심리에 의해 평면곡선 내측 길어깨로 주행하려는 습성이 있으므로 차도부와 동일한 포장구조로 하는 것이 좋다.

③ 연결로의 횡단면 설계시 고려사항

- 연결로의 중앙분리대 폭은 <표 307.13>에서 제시한 표준 폭을 원칙으로 하고 구조물 등 공사비가 많이 소요되는 특별한 경우에 한하여 최소 폭을 적용
- 터널, 구조물 등 공사비에 큰 영향을 미치는 구간에서 1방향 1차로의 A기준 연결로를 설치할 경우, 우측 길어깨의 폭을 1.50m까지 줄일 수 있다. 이 경우 연결로의 길어깨는 원칙적으로 차로부와 동일 포장으로 한다.
- 중앙분리대와 길어깨간의 측대 폭은 A기준 연결로에는 0.5m, B기준과 C기준 연결로에는 0.25m로 한다.
- 분기점에서 연결로의 폭은 본선의 폭과 같이 설계하는 것을 원칙으로 하고, 교통상황에 따라서 A기준 연결로를 적용할 수도 있다.

④ 연결로의 시설한계

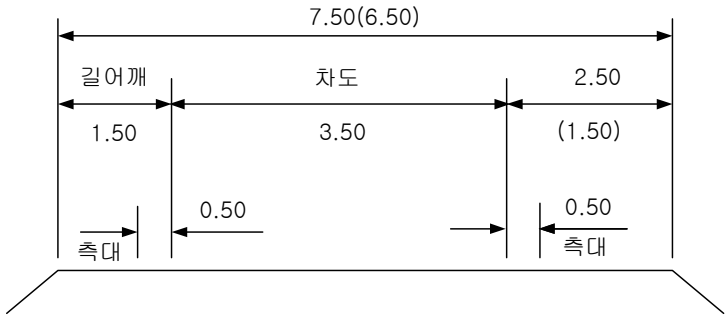
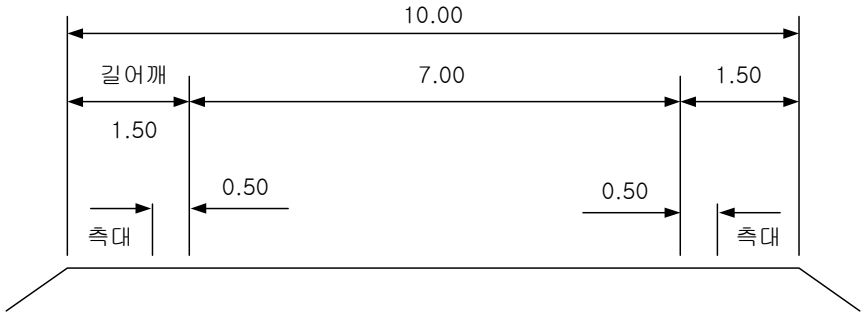
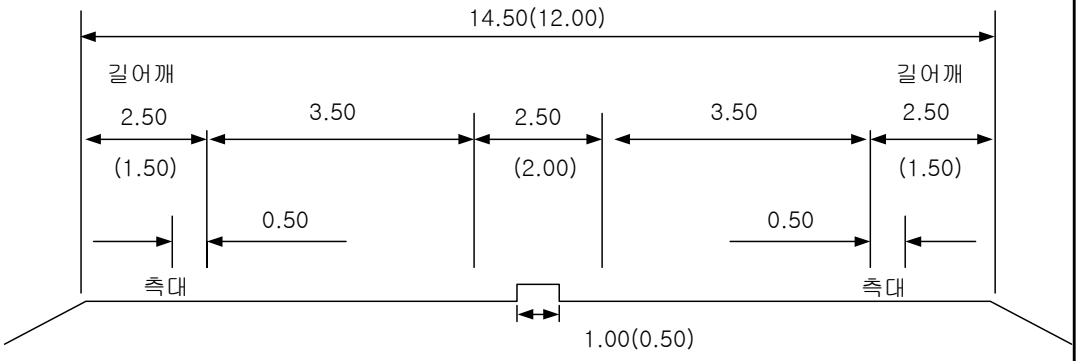
연결로의 시설한계는 본선의 시설한계를 따르되 차도 중 분리대 또는 교통섬에 걸리는 부분의 경우는 다음에 따른다.



H : 4.5m
(단, 시공한계는 포장의 덧씌우기 등을 고려하여 0.30m의 여유를 본다.)
b : H-4.0m
c : 0.25m
d : 분리대에 걸리는 것에 대해서는 연결로의 구분에 따라 각각 다음 표의 값으로 하고, 교통섬에 걸리는 것에 대해서는 0.5m로 함

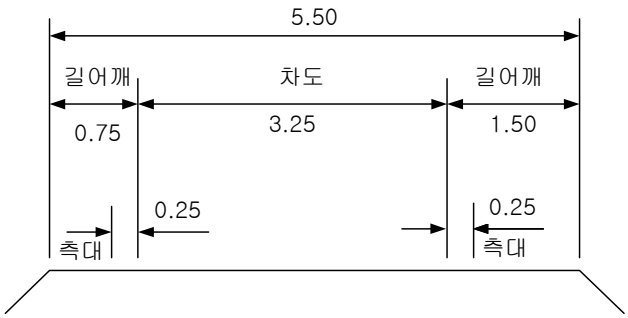
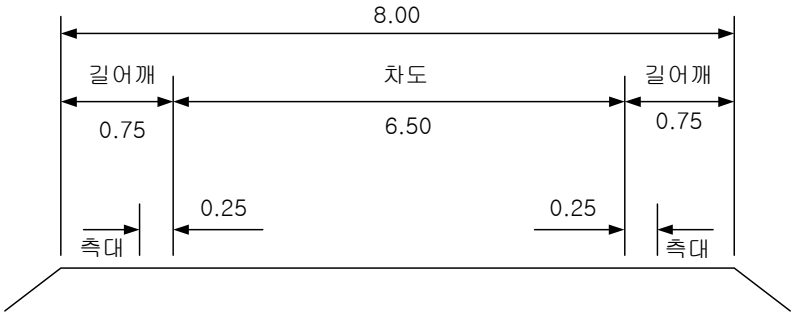
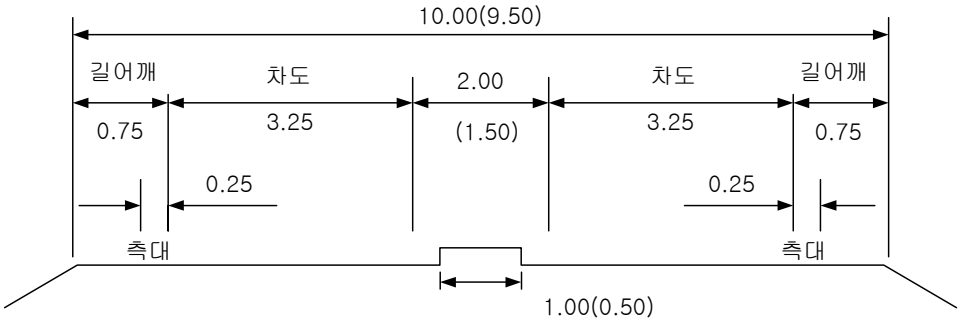
구 분		d (단위:m)
기 준	차 로 수	
A 기준	1 차로 2 차로	1.00 0.75
B 기준	1 차로 2 차로	0.75 0.75
C 기준	1 차로 2 차로	0.50 0.50

<그림 307.28> 연결로의 시설한계

1방향 1차로	
1방향 2차로 / 양방향 비분리 2차로	
양방향 분리 2차로	

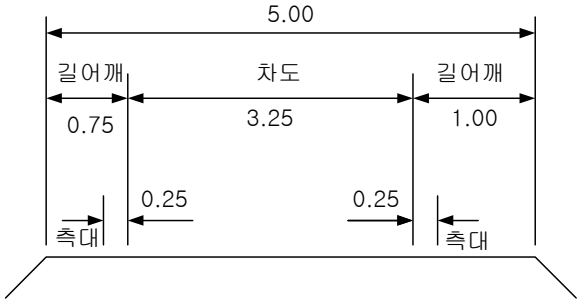
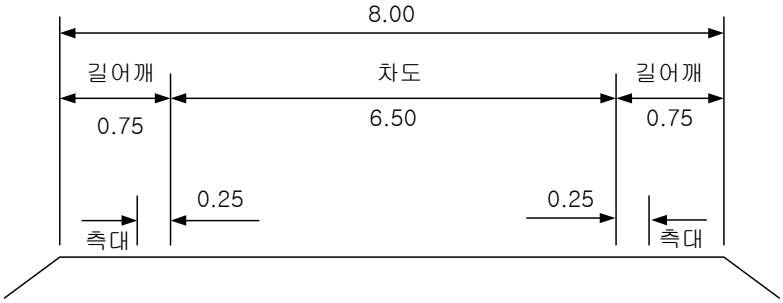
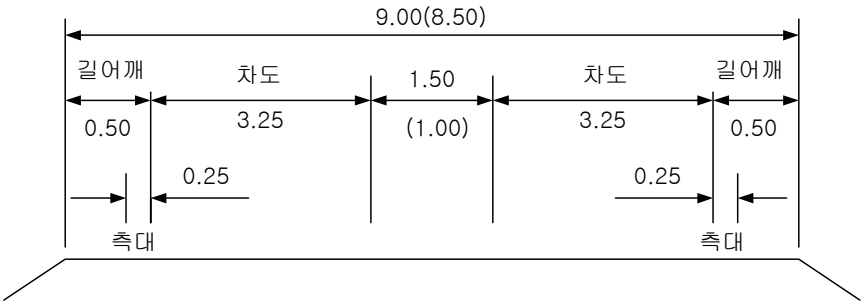
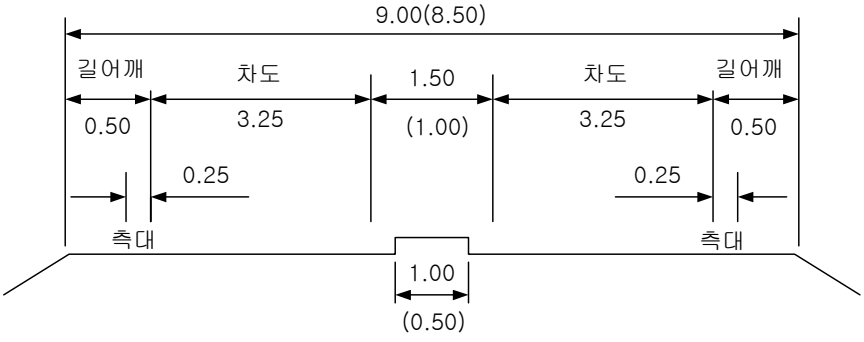
(단위 : m)

<그림 307.29> A기준 연결로의 횡단면 구성

1방향 1차로	
1방향 2차로 / 양방향 비분리 2차로	
양방향 분리 2차로	

(단위 : m)

<그림 307.30> B기준 연결로의 횡단면 구성

1방향 1차로	
1방향 2차로	
양방향 2차로 (연결로의 경우)	
양방향 분리 2차로	

(단위 : m)

<그림 307.31> C기준 연결로의 횡단면 구성

⑤ 곡선부의 확폭과 접속설치

연결로의 곡선부에서 확폭을 연결로 평면곡선반경에 따라 <표 307.14~16>과 같이 하도록 한다.

연결로 곡선부의 확폭량은 본선의 확폭과 같은 방법으로 구한다. 연결로에서 설계기준 차량의 조합에 따라 정해지는 통행 조건을 연결로 기준에 따라 정하고, 곡선부에서는 이러한 통행 조건을 만족시키는 확폭량을 구하였다.

- A기준 연결로의 통행조건과 확폭량

  A기준 연결로는 길어깨에 대형 자동차가 정차하고 있을 때, 세미트레일러 연결차가 차로와 연결로의 길어깨 및 확폭량을 포함한 여유 폭을 이용하여 서행하면서 통과할 수 있는 것을 통행 조건으로 하여 확폭량을 산정

- B기준 연결로의 통행조건과 확폭량

  B기준 연결로는 길어깨에 소형 자동차가 정차하고 있을 때, 세미트레일러 연결차가 차로와 연결로의 길어깨 및 확폭량을 포함한 여유 폭을 이용하여 서행하면서 통과할 수 있는 것을 통행 조건으로 하여 확폭량을 산정

- C기준 연결로의 통행조건과 확폭량

  C기준 연결로는 길어깨에 정차한 자동차가 없을 때, 세미트레일러 연결차가 차로와 연결로의 길어깨 및 확폭량을 포함한 여유 폭을 이용하여 서행하면서 통과할 수 있는 것을 통행 조건으로 하여 확폭량을 산정

세미트레일러 연결차 또는 기타의 자동차와 노측과의 측방 여유 폭은 최소 0.25m, 세미트레일러와 정차된 자동차 간의 여유 폭으로는 0.50m로 잡고 있다. 2차로 연결로에서는 자동차 상호 및 장애물과의 측방 여유 폭을 1.25m로 하여 구한다.

양방향 2차로 연결로의 경우는 연결로 곡선부에서 세미트레일러가 차로, 길어깨 및 확폭량을 포함한 총 폭을 이용하여 서로 비켜갈 수 있도록 규정한다. 1방향 2차로 연결로의 경우에도 양방향 2차로 연결로와 같은 취지에 입각하여 결정하였다.

곡선부에서 차로의 확폭은 원칙적으로 곡선의 안쪽에 접속시켜야 하지만, 곡선의 안쪽에 확폭을 하기가 어려울 경우에는 곡선의 안팎으로 등분하여 설치한다.

확폭의 접속설치는 확폭량을 완화구간 전체에 걸쳐 적절히 배분하여 실시한다.

<표 307.14> 1방향 1차로 연결로의 확폭

연결로의 평면곡선반경 (m)			최소확폭량 (m)
A 기 준	B 기 준	C 기 준	
		15～21	3.00
15～21	15～21	21～23	2.75
21～23	21～23	23～25	2.50
23～25	23～25	25～28	2.25
25～27	25～28	28～32	2.00
27～29	28～32	32～37	1.75
29～32	32～36	37～44	1.50
32～36	36～44	44～54	1.25
36～42	44～54	54～72	1.00
42～48	54～72	72～104	0.75
48～58	72～100	104～200	0.50
58～72	100～190	200～700	0.25
72 이상	190 이상	700 이상	0.00

<표 307.15> 1방향 2차로 및 양방향 2차로 연결로의 확폭 (고속도로)

연결로의 평면곡선반경 (m)			최소확폭량 (m)
A 기 준	B 기 준	C 기 준	
	15～21		4.00
	21～22		3.75
15～21	22～23	15～21	3.50
21～22	23～24	21～22	3.25
22～23	24～25	22～23	3.00
23～24	25～26	23～24	2.75
24～25	26～27	24～25	2.50
25～26	27～29	25～27	2.25
26～27	29～31	27～29	2.00
27～29	31～33	29～31	1.75
29～31	33～36	31～34	1.50
31～33	36～39	34～38	1.25
33～36	39～42	38～42	1.00
36～39	42～47	42～48	0.75
39～43	47～52	48～56	0.50
43～47	52～60	56～66	0.25
47 이상	60 이상	66 이상	0.00

<표 307.16> 1방향 2차로 및 양방향 2차로 연결로의 확폭
(일반도로 또는 고속도로의 C 기준)

연결로의 평면곡선반경 (m)			최소확폭량 (m)
A 기 준	B 기 준	C 기 준	
		15～21	3.50
	15～21	21～22	3.25
	21～22	22～23	3.00
	22～23	23～24	2.75
15～21	23～24	24～25	2.50
21～22	24～25	25～27	2.25
22～23	25～27	27～29	2.00
23～25	27～29	29～31	1.75
25～27	29～31	31～34	1.50
27～29	31～34	34～38	1.25
29～31	34～38	38～42	1.00
31～34	38～42	42～48	0.75
34～38	42～48	48～56	0.50
38이상	48이상	56～66	0.25
		66이상	0

⑥ 적용

고속도로 설계시에는 횡단면의 폭은 규정값 이상을 적용한다. 차로 확폭시에는 이러한 점을 감안하여 확폭량을 계산한다.

<표 307.17>은 A규격 연결로의 횡단면 설계기준과 실제 적용값을 비교한 것이다.

<표 307.17>에서 보는 바와 같이, 1방향 1차로의 경우 차도부의 폭이 규정값보다 0.6m 정도 넓고, 양방향 2차로의 경우 1.6m가 넓다.

우리 나라의 고속도로 연결로의 설계속도는 35~60km/h를 사용하고 있으며, 설계속도 35km/h에 대한 표준 최소 원곡선 반경은 40m이다. 원곡선 반경 40 m에 대한 확폭량은 1방향 1차로 A규격 연결로의 경우 1.00m, 1방향 2차로 및 양방향 2차로 A규격 연결로의 경우 0.50m로, 현재 고속도로 설계시에 적용하고 있는 횡단면의 경우는 확폭을 고려하지 않아도 된다.

<표 307.17> A규격 연결로의 횡단면 기준과 적용

구 분		우측 길어깨	차로폭	중앙분리대 표준폭	좌측길어깨
A규격 연결로 규정	1방향 1차로	2.50	3.50	-	1.00
	1방향 2차로	0.75	3.50	2.50	0.75
실제 적용값	1방향 1차로	2.50	3.60	-	1.50
	1방향 2차로	1.50	3.60	2.50	1.50

(4) 평면선형

연결로는 본선과는 달리 자동차가 일정한 속도로 주행할 수 없으며 연결로와 본선의 접속부, 영업소 광장, 접속도로와 연결로의 접속부로 자동차가 진행함에 따라 속도가 변한다. 따라서, 이러한 속도 변화에 충분히 적응할 수 있는 선형으로 설계한다. 특히, 유출 연결로에서는 높은 속도를 가진 자동차가 안전하게 유출될 수 있도록 한다.

연결로의 평면 선형 설계시에 주의 사항은 다음과 같다.

- 연결로에서의 원활한 속도 변화에 충분히 대응할 수 있도록 평면곡선 반경의 설정에 유의한다.
- 인터체인지의 각 연결로에 분포되는 교통량을 고려하여 선형을 설계한다. (인터체인지의 방향성을 고려하여, 교통량이 많은 연결로는 좋은 선형으로 설계를 한다.)
- 유출 연결로는 유입 연결로보다 주행속도가 큰 경향이 있으므로, 유출부에 보다 좋은 선형을 설정한다.
- 연결로 종점, 연결로 상호의 분·합류점 등은 교통 안전상 문제가 발생할 소지가 많은 곳이므로 운전자가 서로 충분히 식별할 수 있는 선형을 설계한다.

연결로의 최소 평면곡선반경은 연결로의 설계속도에 따라 '304장 도로 선형'의 내용을 따른다.

(5) 종단선형

연결로 종단선형은 입체교차 시설의 특유한 요소에 의해 제약을 받으므로 입체교차의 특성을 잘 이해하여 안전하고 주행하기 쉬운 연결로를 설계한다. 연결로 종단선형 설계시 주의사항은 다음과 같다.

- 종단선형은 가급적 연속된 것으로 하고, 선형의 급변은 피한다.
- 종단곡선 반경을 될 수 있는 대로 크고 여유가 있도록 한다.
- 유입부 부근의 종단선형은 본선 종단선형과 상당한 구간을 평행시켜 본선상의 시계를 충분히 얻도록 한다.
- 동일 방향의 종단곡선 사이에 짧은 직선구간을 설치하는 것을 피한다. 이와 같은 경우, 두 종단곡선을 포함하는 복합된 큰 종단곡선을 사용하여 개량한다.
- 종단선형의 설계는 항상 평면선형과 연관하여 설계하고, 이들의 입체적인 선형이 양호해야 한다.
- 변속 차로와 본선과의 접속 부분에서 횡단 형상과 종단 형상의 연관을 중시하여 설계한다.
- 영업소 부근의 종단곡선반경은 가급적 크게 하고 원활한 종단곡선을 이용한다.

연결로의 최대 종단경사는 연결로의 설계속도에 따라 '304장 도로 선형' 내용을 참고한다.

연결로의 최대 종단경사는 직접적으로는 설계속도에 따라 결정되지만, 간접적으로는 직결, 준직결, 루프 등의 연결로 종류나 장소, 교통량 등을 감안하여 정해져야 하므로 가능한 완만한 종단경사를 사용하여 안전하고 원활한 주행이 가능한 종단선형을 설계한다.

6.2 연결로 접속부 설계

6.2.1 개요

연결로 접속부(terminal)란 연결로가 본선과 접속하는 부분을 가리키는데, 변속 차로, 변이구간(taper), 본선과의 분·합류단 등을 총칭한다.

연결로 접속부에는 분류, 합류, 감속, 가속 등 복잡한 운전동작이 이루어지므로 교통의 안전과 효율적인 운영이 유지되도록 많은 주의를 기울여야 한다.

6.2.2 접속부 설계

연결로 접속부 설계시에 주의해야 할 기본적인 사항을 유출 연결로와 유입 연결로로 구분해서 각각 기술하면 <표 307.18>과 같다.

<표 307.18> 접속부 설계의 유의사항

유출 연결로 접속부	유입 연결로 접속부
• 시인성 : 500m 전방에서 변이구간 시작점을 인식 가능토록 함 • 감속차로 : 노면표시를 하여 명확한 식별 유도, 가능하면 직접식이 좋으나 본선이 곡선인 경우에는 여건에 맞추어 평행식도 가능 • 유출각 : 자연스러운 궤적으로 유출할 수 있는 1/15~1/25 정도의 유출각으로 설계 • 옵셋(offset) : 운전자의 착각으로 감속차로로 들어 선 자동차가 원래의 차로로 되돌아가기 쉽게 본선 차도단에서 옵셋을 취함 • 분류단 부근에 반경이 큰 평면곡선을 설치하여 운전자의 심리적인 안정과 선형에 알맞은 속도로의 변속을 위한 여유 구간 확보 • 분류 노즈 : 최종적인 분류 행동의 목표지점이므로 연석 등을 설치하여 분류 노즈를 명확히 식별되고 그 존재 위치가 쉽게 확인될 수 있도록 하고, 잘못 진입한 자동차가 충돌할 가능성이 많으므로 시설물은 가급적 뒤로 몰려서 설치하고, 항복형 구조물을 설치	• 유입부의 합류각을 작게 하여 운전자에게 자연스러운 궤적으로 본선 진입 유도 • 유입연결로 접속부에서 시계확보 • 연결로와 본선의 횡단경사는 합류단 이전에 일치 요망 • 연결로 합류단 앞쪽에 안전한 가속 합류부가 있다는 것을 운전자가 알 수 있도록 표지 등을 설치 • 유입부는 긴 오르막 경사와 같이 속도가 감소되는 구간 앞에 설치하지 않음 • 연결로 합류단은 자연스럽게 합류시킬 수 있는 구조로 함 • 가속차로의 형식은 일반적으로 평행식이 바람직하나, 본선에 비교적 작은 반경의 평면곡선이 있는 경우는 직접식도 가능

(1) 유출 연결로 노즈의 설계기준

유출 연결로 노즈 끝에서의 평면곡선 반경은 본선 설계속도에 따라 <표 307.19>의 값 이상으로 한다.

유출 연결로의 노즈 부근에 사용되는 클로소이드 파라미터는 본선의 설계속도에 따라 본선의 규정치보다 조금 더 크게 <표 307.20>의 값 이상으로 한다.

노즈 부근의 연결로 종단곡선 변화 비율과 종단곡선 길이는 본선 설계속도에 따라 <표 307.21>의 값 이상으로 한다.

일반적으로, 유출 노즈에서 유출 자동차의 평균속도는 연결로 설계속도보다 크다.

이는 운전자는 본선의 고속 주행 속도 감각에서 완전히 벗어나지 못하므로, 유출 연결로에서 갑자기 작은 반경의 원곡선이 나타나도록 설계하는 것은 바람직하지 않으며 어느 정도의 완화 주행이 필요하다. 이는 여유 있는 주행을 확보하는 데 필요한 유출 연결로의 노즈 끝에서 최소 평면곡선반경을 규정한 것으로 이 값은 노즈 부근에서의 통과 속도를 <표 307.22>와 같이 가정하고 i=2%, f=0.10로 가정하여 구한 것이다.

연결로의 설계속도가 노즈에서의 통과 속도보다 큰 경우, 노즈의 통과 속도는 연결로의 설계속도로 가정하여 계산한다.

<표 307.19> 유출 연결로 노즈 끝에서의 최소 평면곡선반경

본선 설계속도(km/h)	120	110	100	90	80	70	60
노즈 최소 평면곡선반경(m)	250	230	200	185	170	140	110

<표 307.20> 유출 연결로 노즈 부근의 클로소이드 최소 파라미터

본선 설계속도 (km/h)	120	110	100	90	80	70	60
본선 최소 규정값 (m)	70	65	55	50	45	40	35
연결로 최소 규정값 (m)	90	80	70	65	60	55	50

<표 307.21> 유출 연결로 노즈 부근의 종단곡선

본선 설계속도(km/h)		120	110	100	90	80	70	60	50이하
최소 종단곡선 변화비율(m/%)	볼 록 형	20	18	15	13	10	8	5	4
	오 목 형	20	17	15	14	12	10	7	5
최소 종단곡선 길이(m)		50	48	45	43	40	38	35	30

<표 307.22> 유출 노즈부의 최소 평면곡선반경 계산

본선 설계속도 (km/h)	노즈 통과속도 (km/h)	노즈부의 평면곡선 반경 계산값(m)	노즈부의 최소 평면곡선반경(m)	감속도 (m/sec^2)
120	60	236	250	1.0
110	58	220	230	1.0
100	55	198	200	1.0
90	53	184	185	1.0
80	50	164	170	1.0
70	45	132	140	1.0
60	40	105	110	1.0

(2) 접속단 간의 거리

근접한 인터체인지간 또는 인터체인지와 분기점 사이에서는 본선의 유출연결로나 유입연결로 또는 연결로 상호간의 분기단에 근접하게 된다.

이 경우 연결로 분기단의 거리를 가깝게 설치하면, 운전자가 진행해야 할 방향을 판단을 하는 시간이나 표지판 설치를 위한 최소 간격의 부족으로 혼란이 생겨서 잘못이 발생될 경우가 많다.

그러므로 안전하고 원활한 교통 확보를 위해서는 연결로의 분기단을 충분히 이격 시켜 운전자에게 판단 시간을 확보할 수 있도록 한다.

연결로의 합류단이 연속해서 본선에 접속할 때도 그 사이에 가속 합류를 위하여 얼마 정도의 거리가 필요하다. 합류단의 직후에 분류단이 있는 경우에는 이들 접속부 사이에 엇갈림을 처리하기 위한 거리가 필요하다.

이와 같이 연결로의 접속부 사이에는 운전자의 판단, 엇갈림, 가속, 감속 등 각각에 필요한 거리를 확보해야 한다.

연결로 접속단 간의 이격거리는 다음 사항에 유의하여 구한다.

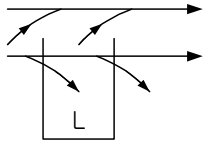
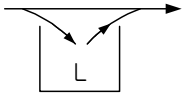
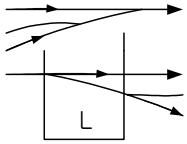
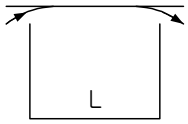
- 본선의 유출이 연속되거나 유입이 연속되는 경우 : <그림 307.32>의 값을 취하는 외에 변속 차로 길이 및 표지간의 거리 등을 감안하고 제일 긴 거리를 필요로 하는 조건에 따라서 거리를 결정
- 유입의 앞쪽에 유출이 있는 경우 (유입 - 유출의 경우) : <그림 307.32>의 값 외에 엇갈림에 필요한 길이를 참고하여 가장 긴 값을 취해 거리를 결정

엇갈림 교통량 및 본선 교통량이 많은 경우에는 집산로를 설치하면 유리한 경우도 있다. 집산로란 <그림 307.33>에 나타낸 바와 같이 본선에 평행으로 또한 분리된 차도로서, 본선상의 유출구와 유입구 사이에 설치되며 교통량을 분산·유도하는 기능을 갖는다.

미국 AASHTO 설계기준에서는 운전자가 표지 등을 시인하여 반응을 일으키는 데 필요한 시간을 2~4초, 자동차가 인접 차로로 변경하는데 소요되는 시간을 3~4초로 이를 합한 5~8초를 근거로 <그림 307.32>에 나타낸 값을 표준으로 하고 있다.

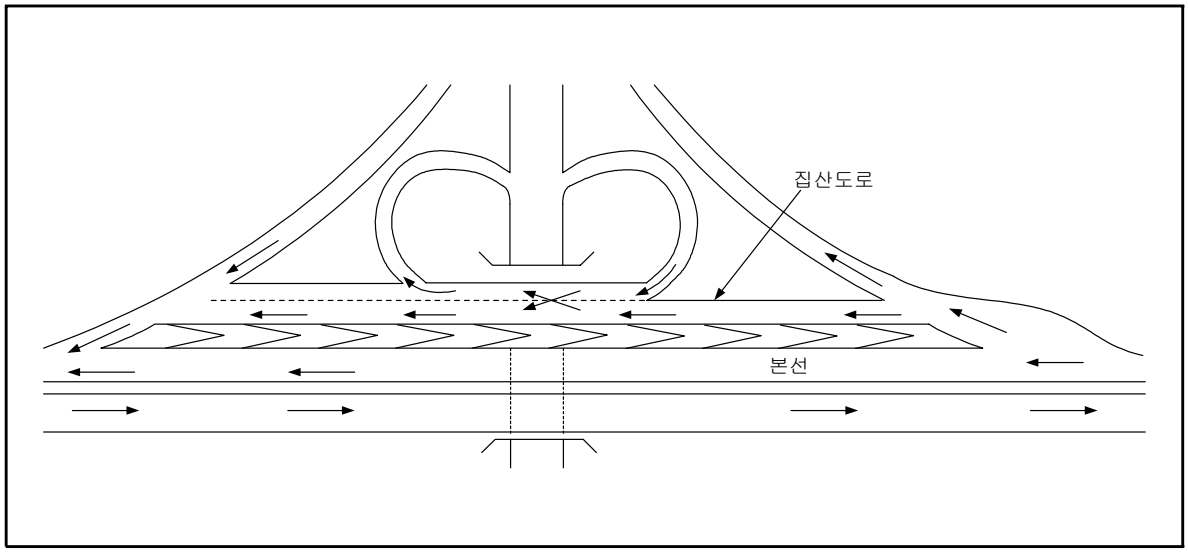
일반적으로 다음과 같은 경우에 집산로의 설치를 검토하여야 한다.

- 통과차로의 교통량이 많아 분리할 필요가 있는 경우
- 유출분기 노즈가 인접하여 2개 이상 있는 경우
- 유출입 분기 노즈가 인접하여 3개 이상 있는 경우
- 필요한 엇갈림 길이를 확보할 수 없는 경우
- 표지등에 의하여 유도를 정확히 할 수 없는 경우

유입-유입 또는 유출-유출 경우	유출 - 유입	연 결 부 상	유입 - 유출 (엇갈림)
			 *클로버형의 루프에는 적용 안됨

노즈에서 노즈까지의 최소 이격거리 (m)							
지방지역	도시지역	지방지역	도시지역	지방지역	도시지역	지방지역	도시지역
300	240	150	120	240	180	600	300

<그림 307.32> 접속단 간의 최소 이격거리



<그림 307.33> 집산로를 설치한 입체교차

6.3 변속 차로 설계

6.3.1 변속 차로의 형식

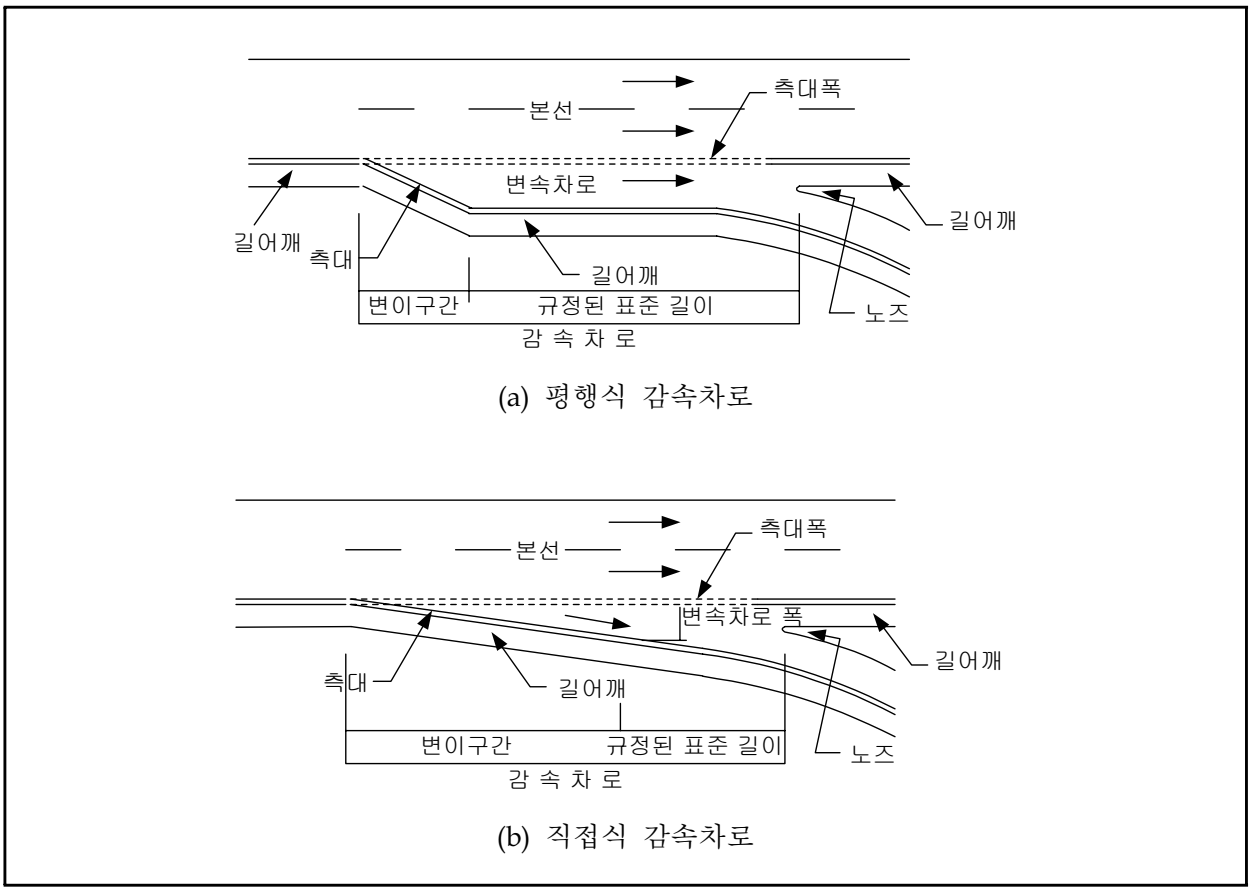
(1) 감속차로

감속차로 형식은 평행식과 직접식이 있다.

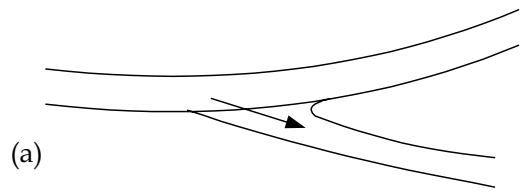
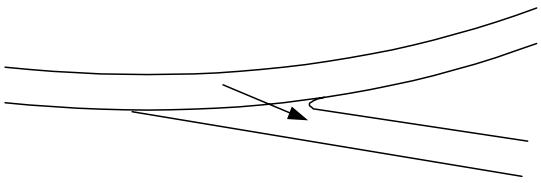
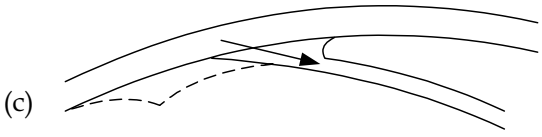
- 평행식 : 시점을 일정 길이를 갖는 변이구간으로 하고 노즈까지는 일정 폭으로 한 것으로 직접식보다는 감속차로의 시점이 강조되나 평행식 감속차로 전체를 이용하여 감속하려면 곡선 주행을 해야 한다.
- 직접식 : 감속차로 전체가 변이구간으로 되어 있는 것으로 감속차로 시점의 강조는 평행식보다 떨어진다.

일반적으로 운전자들은 직접식의 유출을 선호하며, 곡선 주행을 선호하지 않는다는 것이 많은 조사에서 나타나 있으나, 운전자의 행태상 변이구간에서 진입보다 감속차로 중간위치에서 진입으로 교통안전 측면에서 감속차로 전구간이 동일한 폭으로 구성된 평행식이 유리한 것으로 나타난다. 따라서 감속차로의 형식은 본선의 선형, 교통조건 등을 감안하여 결정한다.

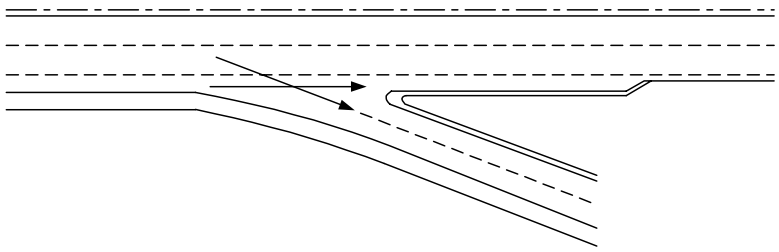
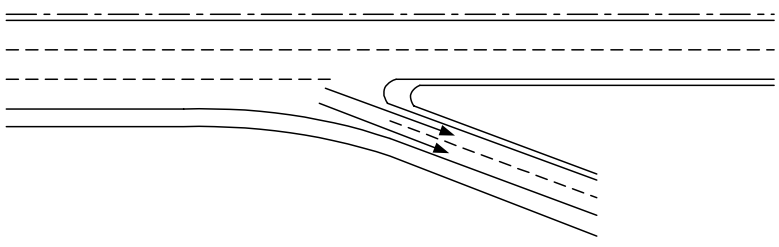
고속도로 상호 간의 분기점에서는 속도가 높으므로 직접식으로 하는 것이 바람직하며, 이때의 노즈 옵셋은 한 차로분 정도로 충분히 취한다.



<그림 307.34> 평행식과 직접식의 감속차로

 (a)	직접식 감속차로의 경우, 본선이 곡선인 경우에도 직접식 설치가 용이하나, 본선이 왼쪽으로 구부러질 때 직선에 가까운 모양으로 접속시키면 본선을 통과하는 차가 잘못하여 연결로에 들어가게 되기 쉬운 모양이 되거나 본선의 곡선반경이 작으면 감속차로 길이를 확보할 수 없을 수도 있으므로, 평행식을 권장한다.
 (b)	그림(a)의 경우, 편경사의 관계에서 본선과 감속차로 사이에 큰 횡단경사의 변화점이 생기게 되어 바람직하지 않다. 이런 경우, 그림(b)와 같이 본선과 거의 같은 곡선반경으로 하여 본선에서 떨어지는 거리가 변이구간 시점부터의 거리에 따라 직선으로 되는 모양이 바람직하다.
 (c)	본선이 오른쪽으로 구부러져서 곡선의 안쪽에 접속될 경우, 본선과 감속차로가 이루는 유출각은 1/15~1/25로 한다. 점선으로 나타낸 것과 같이, 평행식을 사용하면 변이구간의 절점이 강조되어 비틀린 것 같은 외관을 나타내게 되어 바람직하지 않다.

<그림 307.35> 직접식 감속차로의 접속 방법

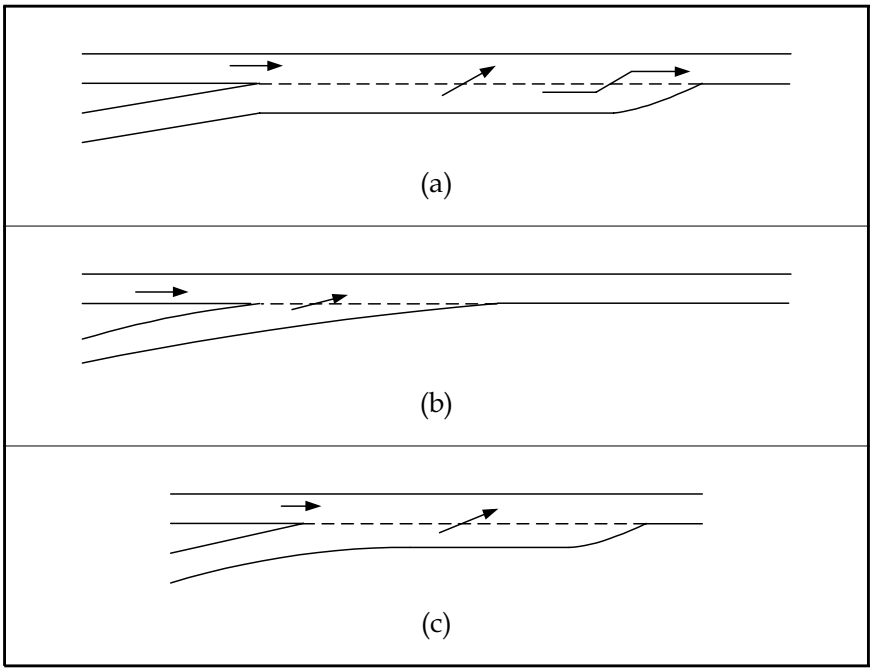
	(a) 노즈를 지나서, 한 차로를 줄여 통상적인 감속차로 설계 표지판 등에 의하여 충분히 전방에서 방향별로 각 차로에 자동차를 분리시키는 것이 요구됨
	(b) 감속차로의 시점이 명확하지 못하고, 또 직진 자동차의 유출 자동차가 접촉할 가능성이 높으므로 피한다.

<그림 307.36> 연결로 접속부에서 본선의 차로수가 변화할 경우 접속 방법

(2) 가속차로

가속차로의 경우도 감속차로의 경우와 마찬가지로 평행식과 직접식의 두 가지 형식이 고려된다. 가속차로는 본선으로 유입하는 자동차가 가속하는 차로로 사용될 뿐만 아니라 대기차로로 사용되는 경우도 많기 때문에 평행식이 유용하다. 그러나 본선의 평면선형이 곡선인 경우에는 평행식으로 하면 가속차로의 평면 형상이 뒤틀려 보이는 경우가 있는데, 이 같은 경우에는 직접식을 이용할 수 있다.

일반적으로 가속차로는 감속차로보다 길기 때문에 직접식으로 하면 변이구간이 가늘고 길게 되어 접속이 어렵게 된다.(<그림 307.37>(b)) 따라서, 교통량이 적어 가속차로 전체를 사용하여 유입하는 빈도가 드문 경우(a)이거나, 가속차로 길이가 짧은 평행식으로 하면 노면으로 사용되지 않는 부분이 생기는 경우(c) 등, 본선 선형과의 관계에서 직접식으로 하는 것이 접속하기가 쉬운 경우 등의 특별한 경우를 제외하고는 가속차로의 형식으로는 평행식을 사용하는 것이 바람직하다.



<그림 307.37> 가속차로의 형상

6.3.2 변속 차로의 설계기준

(1) 감속차로

① 감속차로의 길이

감속차로 길이의 결정은 다음 세 가지 요소를 기준으로 정해진다.

- 감속차로에 진입시의 도달속도
- 감속차로 주행 완료시 속도
- 감속의 방법 또는 감속도

일반적으로, 감속차로에 접근하는 차량의 속도가 그 도로의 평균 주행속도 이상이 되는 경우는 드물기 때문에, 감속차로에 접근하는 자동차의 속도로는 본선의 평균 주행속도를 채택하는 것이 적당하다.

감속 방법은 브레이크 페달을 밟아 감속하여 연결로의 주행속도까지 떨어뜨리는 것이 보통이다. 감속차로의 길이는 <표 307.23>의 값을 최소 길이로 한다. 연결로가 2차로인 경우, 감속차로의 길이는 표의 길이의 1.2배 이상으로 한다.

종단경사구간에서의 감속차로는 기준값에 대한 보정이 필요하다. 내리막 경사시 감속차로 길이의 보정치는 <표 307.24>를 기준으로 한다. 그러나, 오르막 경사에서 감속차로 길이를 줄이는 문제는 안전측면을 감안하여 적용하지 않는 것으로 한다.

<표 307.23> 감속차로의 최소길이 기준

본선설계속도(km/h)			120	110	100	90	80	70	60
연결로 설계속도 (km/h)	80	변이구간을 제외한 감속차로의 최소길이(m)	120	105	85	60	-	-	-
	70		140	120	100	75	55	-	-
	60		155	140	120	100	80	55	-
	50		170	150	135	110	90	70	55
	40		175	160	145	120	100	85	65
	30		185	170	155	135	115	95	80

<표 307.24> 감속차로의 길이 보정률

본선의 종단경사 (%)	내리막 경사					오르막 경사				
	0 ~2미만	2이상 ~3미만	3이상 ~4미만	4이상 ~5미만	5이상	0이상 ~2미만	2이상 ~3미만	3이상 ~4미만	4이상 ~5미만	5이상
감속차로의 길이 보정율	1.00	1.10	1.20	1.30	1.35	1.00	0.95	0.90	0.85	0.8

② 변이구간의 길이

평행식 감속차로의 변이구간 길이는 규정된 값을 적용한다. 감속차로가 직접식일 경우, 소정의 감속차로 폭이 확보되는 점이라 함은 본선 측대 끝에서 직접 측정하여 차로 폭이 확보되는 점이다.

감속차로가 직접식인 경우 변이구간 길이는 어느 정도 자연적으로 정해지는 것이므로 특별히 규정하지는 않고 있으나 변이구간의 유출각은 1/15~1/25로 하는 것이 바람직하다. 일반적으로 직접식의 변이구간 길이는 평행식의 경우보다는 약간 길어지는 경우가 많다.

평행식 감속차로의 변이구간 길이 계산법에는 다음 세 가지 방법이 있다.

ⅰ) 자동차가 한 차로를 변경하는데 필요한 시간(3~4초)으로 계산하는 방법

ⅱ) S형 주행의 궤적을 배향 곡선으로서 계산하는 방법

ⅲ) 배향 곡선 사이에 직선을 삽입하는 방법

이들중 ⅰ), ⅱ)의 방법만으로도 충분하므로, 두 가지 방법에 대해서 설명한다.

• 한 차로를 변경하는데 필요한 시간으로 계산

자동차가 무리 없이 차로를 변경하기 위해서는 횡방향 1m당 약1초를 필요로 한다. 따라서, 이것을 한 차로분으로 환산하면 3~4초가 된다. 이에 필요한 변이구간 길이를 구하는 식과 구한 값은 다음과 같다.

$$T = \frac{1}{3.6} V_a \times t$$

T : 변이구간 길이 (m)

Va : 유출 변이부 도달속도 (km/h)

t : 주행 시간(초)

• S형 주행 궤적을 배향 곡선으로 계산하는 방법

S형 주행 궤적을 배향 곡선으로 계산하는 식은 다음 식과 같다.

$$T = \sqrt{W(4R - W)}$$

T : 변이구간 길이 (m)

W : 변속 차로 폭 (3.6m)

R : 배향 곡선 반경 (m)

여기에서, 배향 곡선의 반경(R)을 구하는 식은 다음 식과 같다. 배향 곡선의 반경을 구하는 데 사용되는 횡방향 미끄럼 마찰계수(f)는 쾌적성을 고려하여 일률적으로 0.16을 적용한다.

$$R = \frac{V_a^2}{127(i + f)}$$

V_a : 유출변이부 도달속도 (km/h)

f : 횡방향 미끄럼 마찰계수 (0.16)

i : 편경사 (여기에서는 0%)

③ 감속차로 분류단 설계

감속차로를 설계할 때 중요한 또 한가지는 분류단의 설계이다. 특히, 노즈 옵셋을 취하는 방법에 따라 감속차로 설계에 영향이 있으므로 유의한다.

유출 연결로가 본선과 분리되는 곳에 생기는 분류단은 자동차가 주행을 잘못 할 소지가 많으므로 안전상 고려가 필요하며, 노즈에 접근하는 차량이 충돌하여 파손되는 것을 적게 하기 위해 통상적으로 차로의 끝에서 노즈 옵셋을 취하는 방식이 권장된다.

<표 307.25> 한 차로의 차로 변경에 필요한 거리로 계산한 변이구간 길이

본선설계속도 (km/h)	도달속도 (km/h)	주행시간에 따른 변이구간 길이 (m)			적 용 값 (m)
		3 초	3.6 초	4 초	
120	98	82	98	109	90
110	91	76	91	101	80
100	85	71	85	94	70
90	77	64	77	86	70
80	70	58	70	78	60
70	63	52	63	70	60
60	55	46	55	61	60
50	47	39	47	52	60
40	40	33	40	44	60

주) 주행시간이 3.6초인 경우는 차로 폭이 3.6m일 때의 값임

<표 307.26> S형 주행 궤적을 배향 곡선으로 계산한 변이구간 길이

본선속도 (km/h)		배향곡선 반경(m)	변이구간 길이 (m)
설계속도	도달속도		적 용 값
120	98	473	90
110	91	408	80
100	85	356	70
90	77	292	70
80	70	241	60
70	63	195	60
60	55	149	50
50	47	109	50
40	40	79	50

그리고 노즈의 후방에는 잘못하여 감속차로 쪽에 접근한 통과 차량이 안전하게 본선 쪽으로 되돌아 갈 수 있도록 조치를 취해야 한다. 또, 노즈 구간은 선단으로부터 10~15m의 길이를 연석으로 둘러쌓아서 윤곽이 명확하게 식별되도록 하고 적정폭이 확보되도록 한다.

<그림 307.38>(a)처럼 길어깨가 좁은 경우에는 노즈 선단을 차도단에서 반드시 이격시킨다. 옵셋은 1.0~3.0m, 통상 2.5m 정도로 설치해도 되지만, 유출 차량의 폭이 넓다든지 완만한 분류일 경우 등 운전자가 판단을 그르칠 위험이 많을수록 노즈 옵셋은 많이 취해야 한다.

평행식 감속차로의 경우에는 3.0~3.5m의 옵셋을 취하는 것이 바람직하다.

(<그림 307.38>(a))

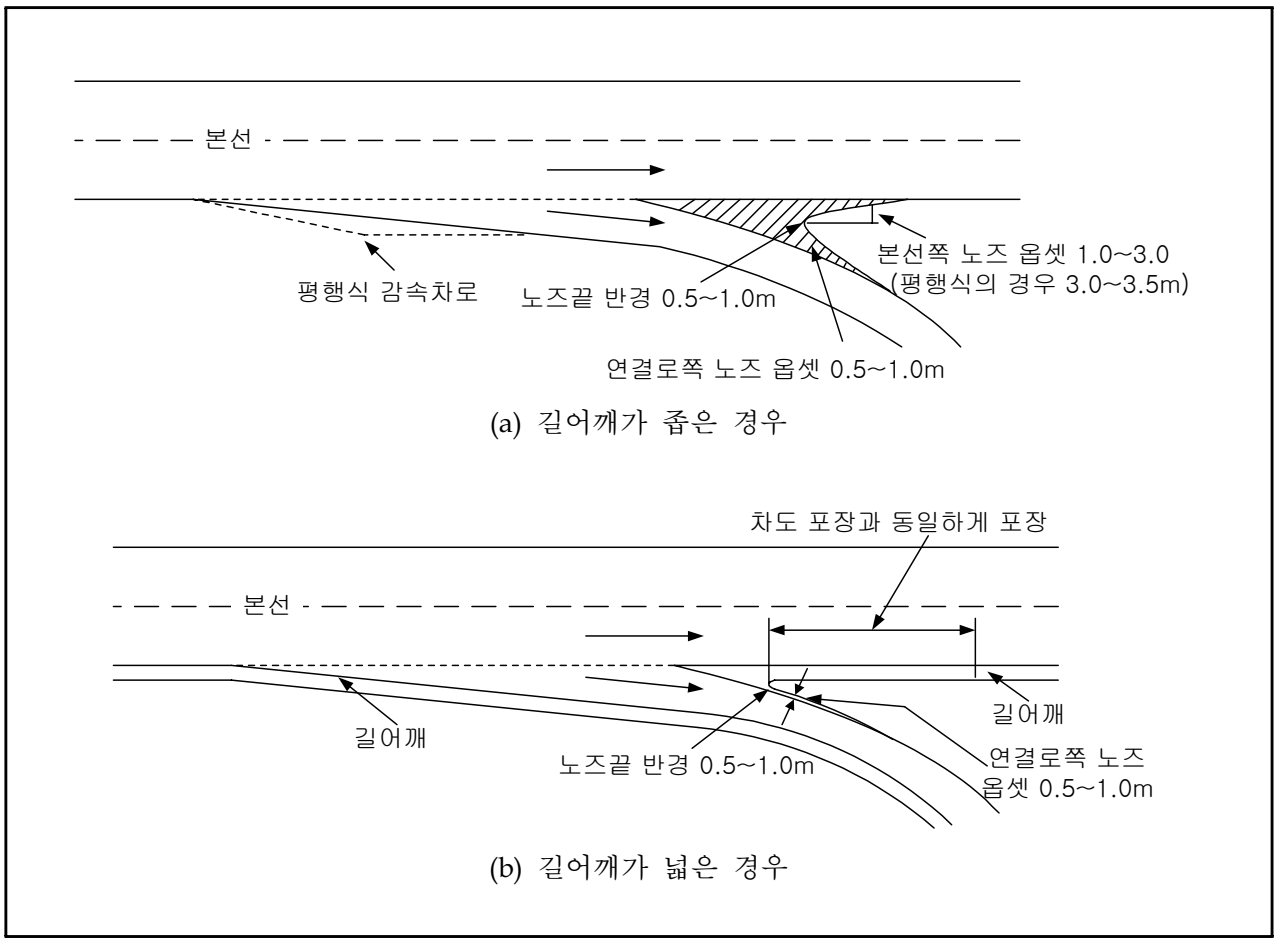
그러나 주차 가능한 포장된 길어깨를 가진 도로에서는 길어깨 폭이 옵셋의 역할을 다하기 때문에 특별히 옵셋을 취할 필요는 없다.

(<그림 307.38>(b))

노즈 옵셋의 접속설치는 설계속도에 따라 1/6~1/12의 비율로 설치한다. <그림 307.38>(b)의 넓은 길어깨를 가진 경우에는 옵셋의 설치 길이는 20~40m이고, 본선과 같은 높이로 하며, 안전하게 주행할 수 있도록 포장을 해야 한다.

유출 연결로 측에도 약간의 옵셋을 필요로 한다. 일반적으로 옵셋은 0.5~1.0m 정도면 되나 고속도로 분기점과 같은 중요한 곳에서는 1.5m이상으로 한다.

본선의 길어깨 끝에 연석을 설치하는 경우 노즈의 연석은 둥글게 처리하며, 그 반경은 0.5~1.0m로 한다.



<그림 307.38> 노즈 끝의 요소

(2) 가속차로

평행식 가속차로의 경우의 변이구간 길이는 규정에 나타낸 값을 적용한다. 가속차로가 직접식인 경우, 일정 가속차로 폭이 확보되는 점이란 감속차로와 동일하다. 직접식의 경우 변이구간 길이는 가속차로 주요부 형상을 연장하여 자연스럽게 본선에 접속 설치하는 길이이다. 경험적으로는 규정에 의한 변이구간 길이보다 어느 정도 길어진다.

합류단 노즈에는 분류단 노즈와는 달리 옵셋을 둘 필요는 없고, 통상 본선에 붙여져 있는 길어깨 끝에 노즈를 두면 된다. 부득이 가속차로에 종단경사가 들어 있는 경우에는 가속도에 대해서 큰 영향이 있으므로 보정된 길이를 가진 가속차로를 설치 해야 한다.

가속차로의 길이를 정하려면 단순히 연결로 속도에서 본선 주행속도까지 가속하는데 필요한 길이와 본선 교통에 합류하기 위해 대기 주행하는 길이에 대해서도 고려한다.

그러나 유입 대기의 확률을 고려한 설계방법은 유입 형태가 획일적이 아니고 유입 대기 차량의 수식을 만들기 곤란하여 아직까지 확립되어 있지 않으므로, 여기서는 가속차로 길이 결정은 보통 트럭을 대상으로 한 가속 소요길이를 기초로 계산하고 해당 가속 구간을 승용차로 주행하는 경우의 유입 확률에 대해서 검산한 것이다.

가속차로 길이는 <표 307.27>의 값을 최소길이로 한다. 연결로가 2차로인 경우, 가속차로의 길이는 표의 길이의 1.2배 이상으로 한다.

종단경사 구간에서의 가속차로는 기준값에 대한 <표 307.28>과 같은 보정률을 적용한 보정이 필요하다. 오르막 경사 구간에서는 <표 307.28>과 같이 가속차로의 보정이 필요하나, 내리막 경사상에서 가속차로의 길이를 줄이는 문제는 안전측을 감안하여 적용하지 않는 것으로 한다. 가속차로의 변이구간 길이는 감속차로의 경우와 동일한 근거로 계산하며, 규정값 역시 동일하다.

<표 307.27> 가속차로의 최소길이 기준

본선설계속도(km/h)			120	110	100	90	80	70	60
연결로 설계속도 (km/h)	80	변이구간을 제외한 가속차로의 최소길이(m)	245	120	55	-	-	-	-
	70		335	210	145	50	-	-	-
	60		400	285	220	130	55	-	-
	50		445	330	265	170	100	50	-
	40		470	360	300	210	135	85	-
	30		500	390	330	240	165	110	70

<표 307.28> 가속차로의 길이 보정률

본선의 종단경사 (%)	내리막 경사					오르막 경사				
	0이상 ~2미만	2이상 ~3미만	3이상 ~4미만	4이상 ~5미만	5이상	0이상 ~2미만	2이상 ~3미만	3이상 ~4미만	4이상 ~5미만	5이상
가속차로의 길이보정율	1.00	0.80	0.70	0.60	0.50	1.00	1.20	1.30	1.40	1.50

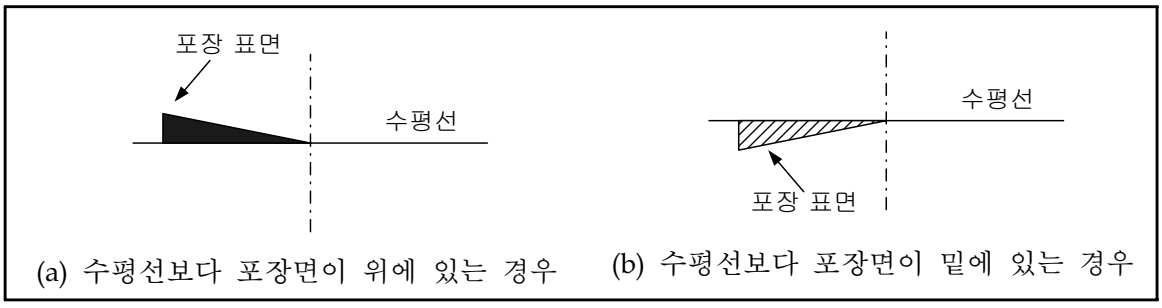
(3) 변속 차로의 편경사 접속 설치

변속 차로의 편경사 접속 설치는 본선 선형과의 관계 및 변속 차로 형식에 유의하여 접속시켜야 한다. 변속 차로의 편경사 접속설치율은 1/150 이하로 하여야 한다.

연결로 분기 끝은 본선 편경사로부터 연결로 편경사로 서서히 이행하여 가기 때문에 편경사의 접속설치를 실시한다.

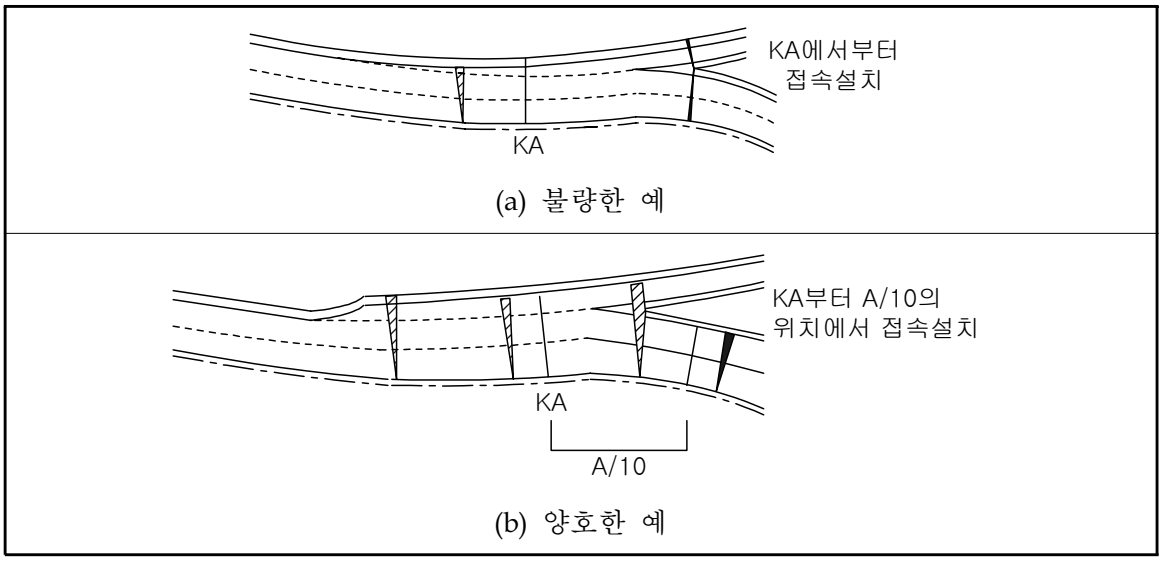
본선이 직선 또는 곡선의 안쪽에 붙게 될 경우, 연결로 편경사와 본선 편경사는 같은 방향에서 그 접속이 원활하게 되나, 본선이 곡선이고 그 바깥에 접속 설치될 경우, 본선의 편경사와 반대로 되고 그 차가 클 때에는 횡단경사의 절점이 생겨 차량이 그 곳을 지날때에는 차체가 흔들려 운전자에게 불쾌감을 주게 될 뿐만 아니라 위험하게 된다.

인터체인지는 곡선반경이 큰 곳에 설치되므로, 연결로 접속부 중 어느 하나의 연결로 접속부가 본선의 변곡점(KA)에 가깝게 되는 수가 많다. 이 경우, 본선의 편경사를 본선의 변곡점(KA)에서 반전시키면, 연결로 측의 짧은 거리에서 두 번 접속하거나, 경사 차이가 커지므로, 본선의 편경사 접속설치 위치를 A/10정도 어긋나게 하는 것이 바람직하다. <그림 307.39>에서는 수평선의 기준을 본선의 중앙분리대 쪽에 잡았다.



(a) 수평선보다 포장면이 위에 있는 경우 (b) 수평선보다 포장면이 밑에 있는 경우

<그림 307.39> 편경사의 표시 예



(a) 불량한 예

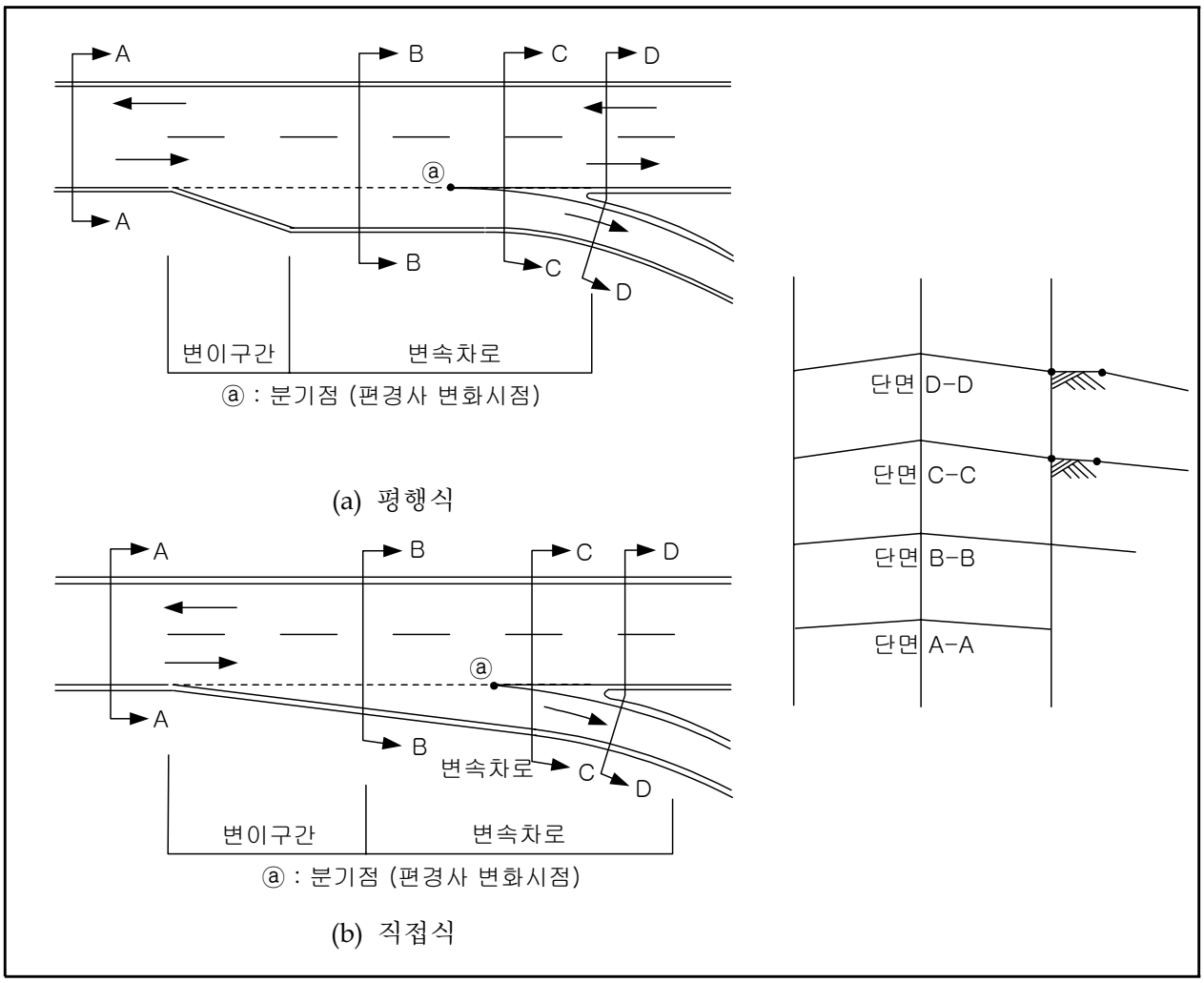
(b) 양호한 예

<그림 307.40> 편경사의 접속설치 위치

변속 차로의 편경사 접속방법으로는 다음과 같다.

① 본선이 직선일 때 또는 본선이 곡선이고 그 안쪽에 변속 차로가 접속될 경우

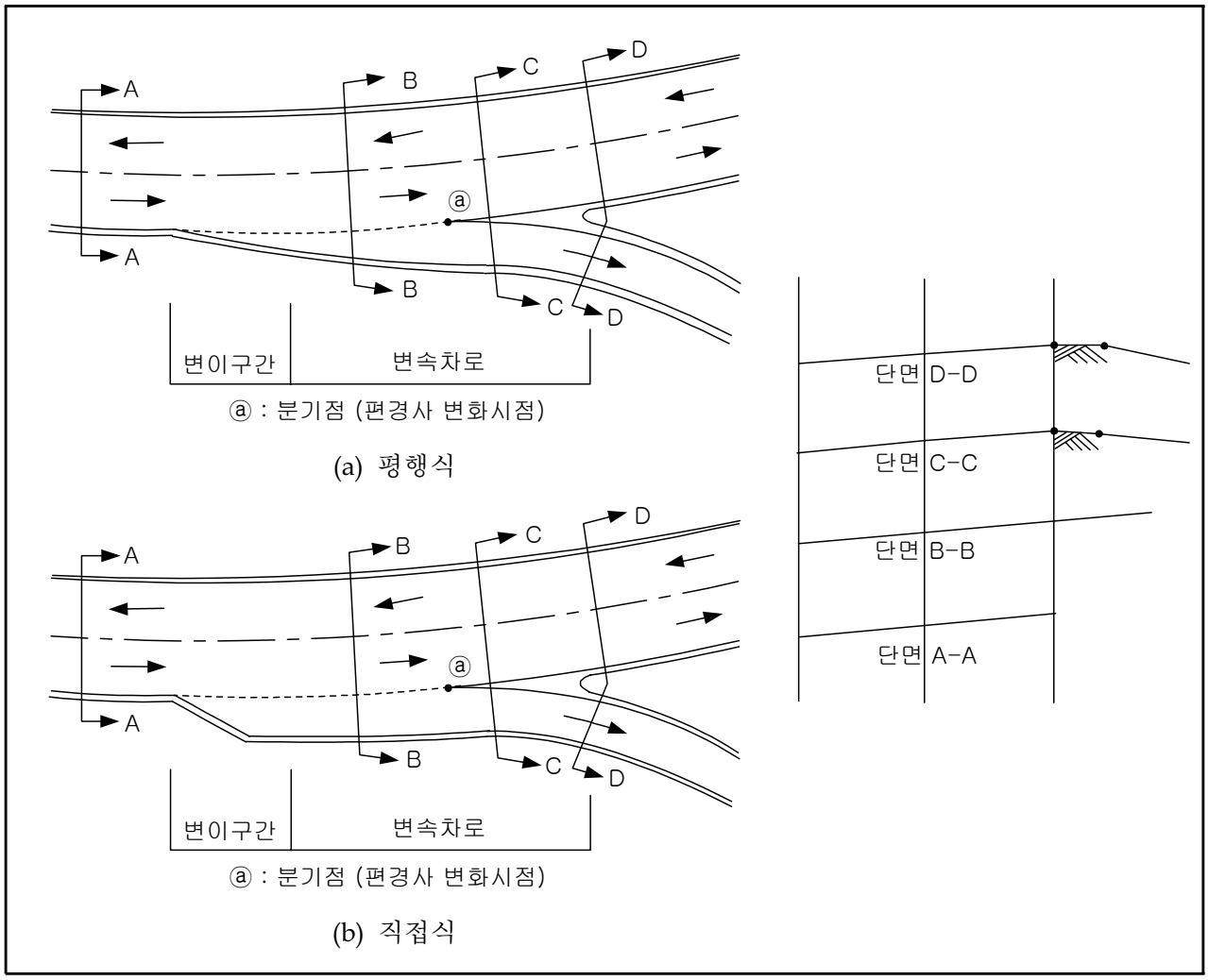
- 변속 차로 변이구간~분기점(갈매기 차로 시점)사이의 변속 차로 편경사는 본선 편경사와 동일 경사로 함
- 분기점 이후의 편경사는 갈매기 차로부(분기점에서 노즈 사이)에서 적절한 접속 설치율로 변화시켜 노즈부에서 연결로 곡선반경에 적합한 편경사가 설치되도록 함



<그림 307.41> 편경사의 접속설치 방법(본선이 직선 또는 곡선 안쪽 변속 차로 접속)

② 본선이 곡선이고 그 바깥쪽에 변속 차로가 접속될 경우

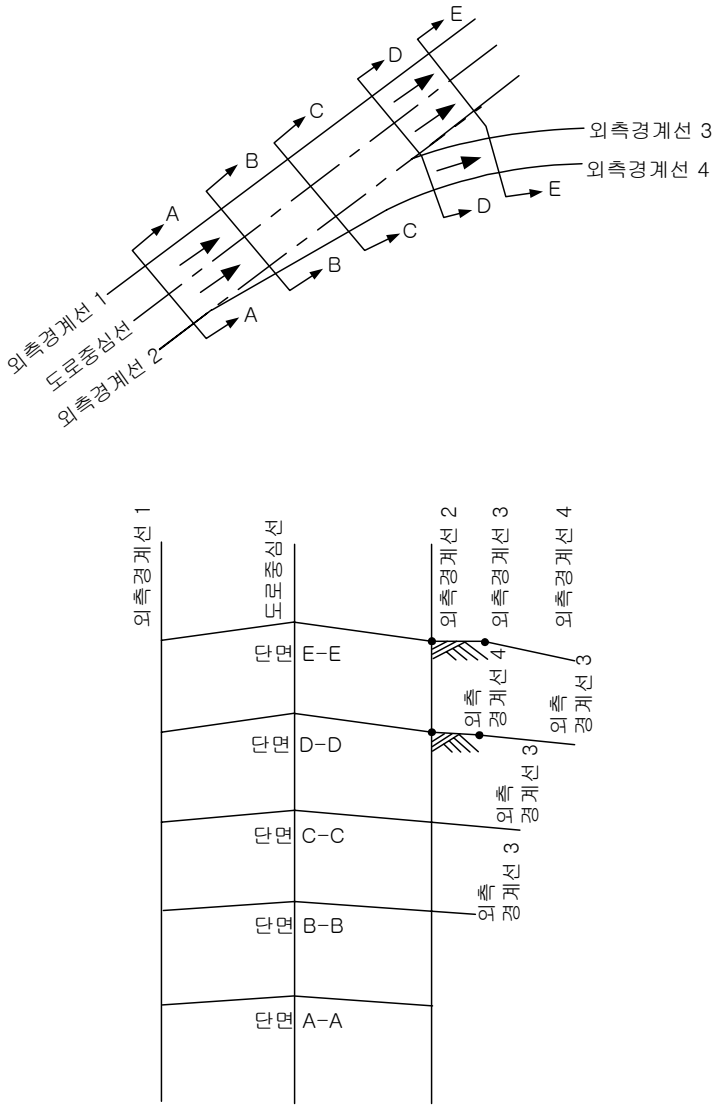
- 변속 차로 변이구간~분기점(갈매기 차로 시점)사이의 변속 차로 편경사는 본선 편경사와 동일 경사로 함
- 분기점과 노즈부 사이에 편경사 변화구간을 설치하여 연결로 곡선반경에 적합한 편경사를 계획하되 노즈부에서 본선과 연결로간의 편경사 대수차가 6% 이하가 되도록 함
- 노즈 이후의 편경사는 적절한 접속 설치율로 연결로 곡선반경에 적합한 편경사로 변화시킴
- 노즈부에서 연결로의 편경사가 곡선반경에 따른 편경사 값보다 작게 되는 경우가 발생하게 되나 상대적으로 설계속도가 적은 연결로의 편경사를 하향조정하여 본선과 연결로 편경사간의 대수차가 6%이하가 되도록 함으로써 본선과 연결로의 절곡점이 너무 심하지 않도록 함



<그림 307.42> 편경사의 접속설치 방법(본선이 곡선이고 그 바깥쪽 변속 차로 접속)

<그림 307.43~46>은 연결로 접속부 형태에 따른 다양한 편경사 접속설치를 보여주고 있다.

<그림 307.43>은 직진 본선 구간에서 분리되는 유출 연결로의 편경사 접속설치 지점에 대한 그림이다.



A~B 구간 : 표준 횡단경사 구간 (직진차로에서 확장된 보조차로의 외곽선까지의 구간으로 B지점에서의 추가 폭은 1m 미만이어야 함)

B~C 구간 : 보조차로의 편경사가 직진차로 편경사보다 급한 경사를 갖기 위한 구간

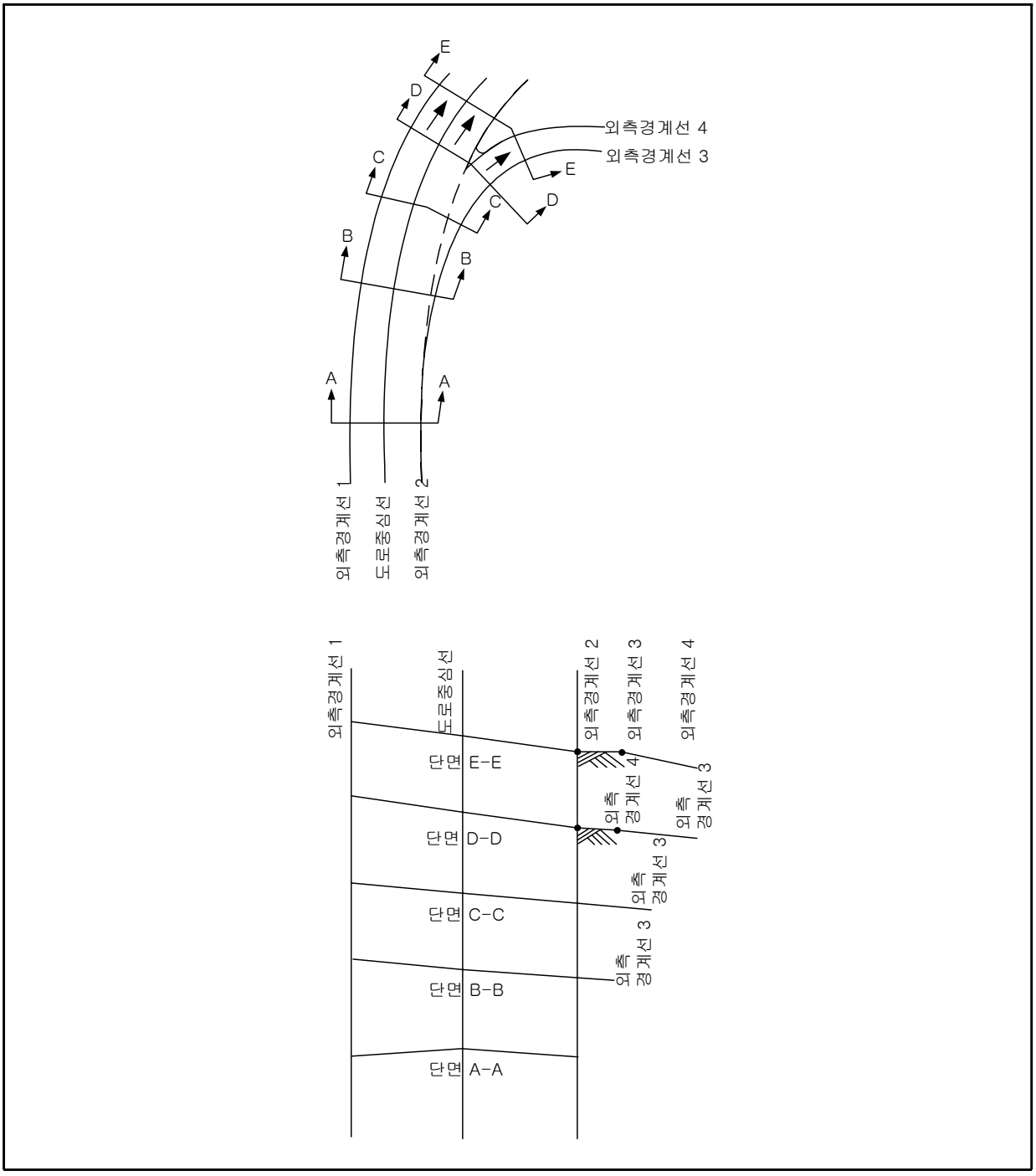
C~D 구간 : D에서 보조차로의 전폭이 확보되며 더 큰 편경사의 적용이 가능

노즈~E 구간 : 최대 편경사가 될 때까지 계속 증가

<그림 307.43> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-1

<그림 307.44>는 본선 차로가 유출 연결로와 동일방향의 곡선부일 경우로, 일반적으로 더 급한 편경사를 갖는 진출 연결로의 편경사는 <그림 307.43>의 경우와 비교할 때 상대적으로 쉽게 확보된다.

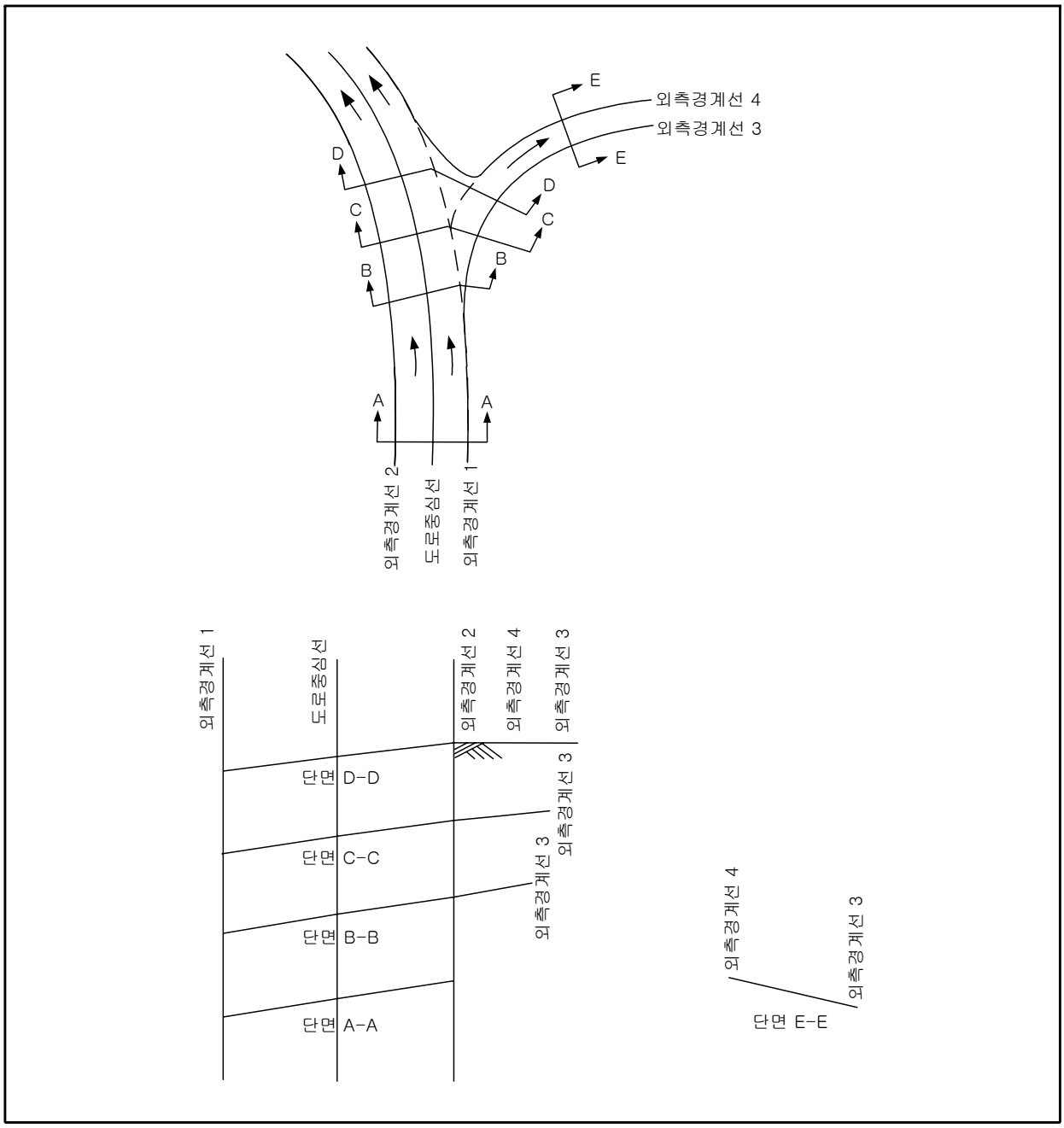
C~D 구간에서 급한 편경사가 형성되며, E 부근에서 최대편경사가 도달된다.



<그림 307.44> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-2

<그림 307.45>는 본선차로와 유출 연결로가 반대 방향의 곡선부로 결합되어 이전의 설치 경우보다 열악하다. 본선 차로의 편경사율 때문에, 외관·승차감·안전상의 이유로 본선 차로의 편경사를 보조 차로와 반대 방향으로 두는 것은 불가능하다.

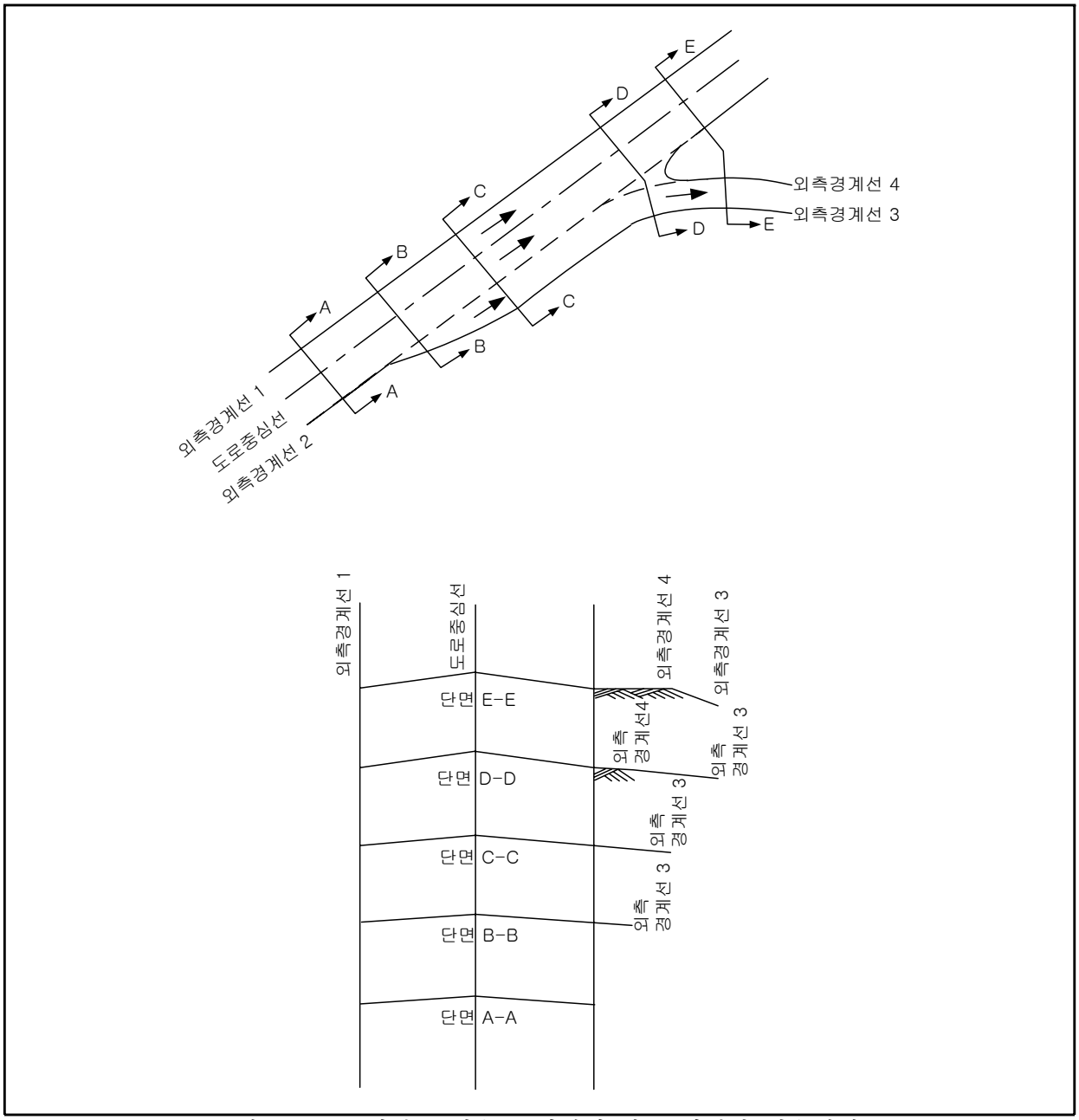
일반적인 처리 방법은 본선 차로의 횡단경사를 보조차로 B까지 확장하여 증가시킨다. C까지 계속해서 증가시키나, 그 비율은 점점 감소시킨다. 두 경사간의 변곡점은 D에서 형성되며 보조차로의 추가 포장면은 거의 평면이다. 대부분의 최대 편경사는 노즈부를 지나서 얻어진다.



<그림 307.45> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-3

<그림 307.46>은 평행식 감속차로일 경우로 횡단경사의 변화 부분은 감속차로의 길이에 의해 결정된다.

일반적으로 전체 편경사의 절반이상이 D 지점에서 확보되며, 최대 편경사는 노즈부 이후에서 얻어진다.



<그림 307.46> 연결로 접속부 형태에 따른 편경사 접속설치-4

<그림 307.43~46>에서 살펴본 바와 같이, 차로 변환선(도로 중심선에서 일반적으로 제공되는 표준 횡단경사선과 혼동하지 않는다.)에서의 설계 제어는 두 개의 차로에 대한 횡단 경사율의 차이이다.

미국 AASHTO(1994)의 경우, 차로 경계선에서 바람직한 최대 대수적 차이는 4% 또는 5% 이지만, 낮은 속도와 적은 양의 트럭 구성비일 경우에는 8%도 될 수 있다.

보조차로의 설계속도에 따른 차로 변환선에서의 횡단경사율 차이는 <표 307.29>에서 볼 수 있다.

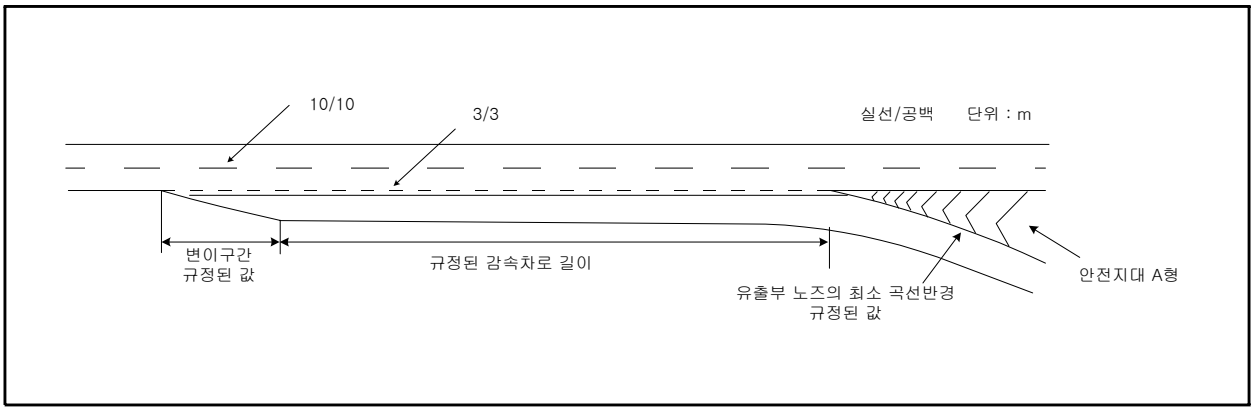
<표 307.29> 연결로 접속부의 차로 변환선에서 횡단경사의 최대 대수적 차이

진출 또는 진입 연결로 곡선부에서의 설계속도 (km/h)	차로 변환선에서 횡단경사의 최대 대수적 차이 (%)
30 이하	5.0 ~ 8.0
40 ~ 50	5.0 ~ 6.0
60 이상	4.0 ~ 5.0

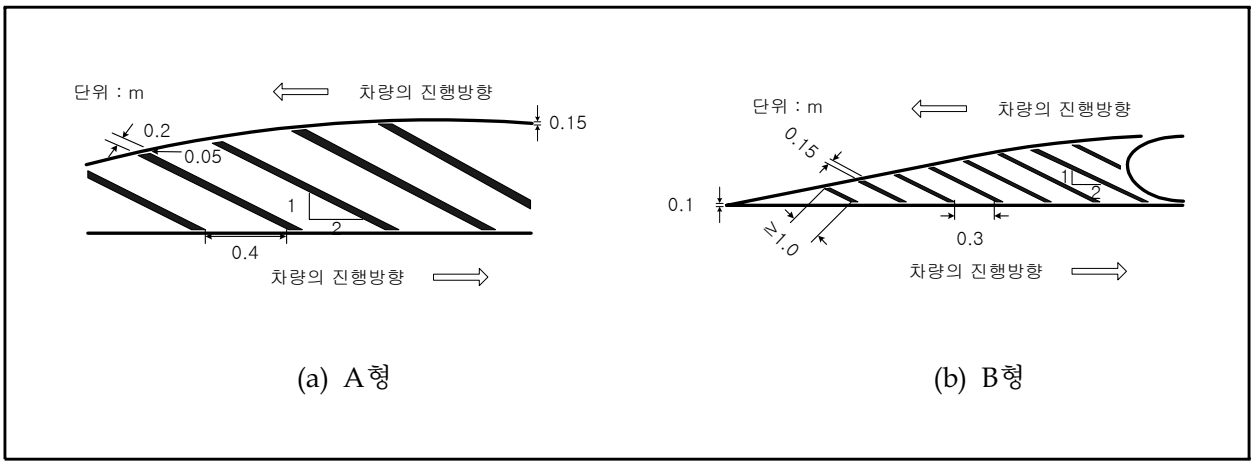
6.3.3 일반적인 변속 차로의 설계

일반적인 형태의 연결로가 1차로인 경우의 변속 차로의 설계는 <그림 307.47>과 같이 설계할 수 있다. 이 경우 노면의 표시는 자동차 전용도로의 경우 10(m)/10(m)(실선/공백), 진로변경 제한선은 3(m)/3(m)를 적용하며, 본선과 연결로가 접속하는 경우의 안전지대의 경우는 <그림 307.48>의 (a) A형을 적용하고, 연결로내에서의 분류시 안전지대는 <그림 307.48>의 (b) B형을 적용한다.

유출부 노즈의 최소곡선반경은 <표 307.30>의 값을 적용한다.



<그림 307.47> 감속차로의 설계



(a) A형 (b) B형

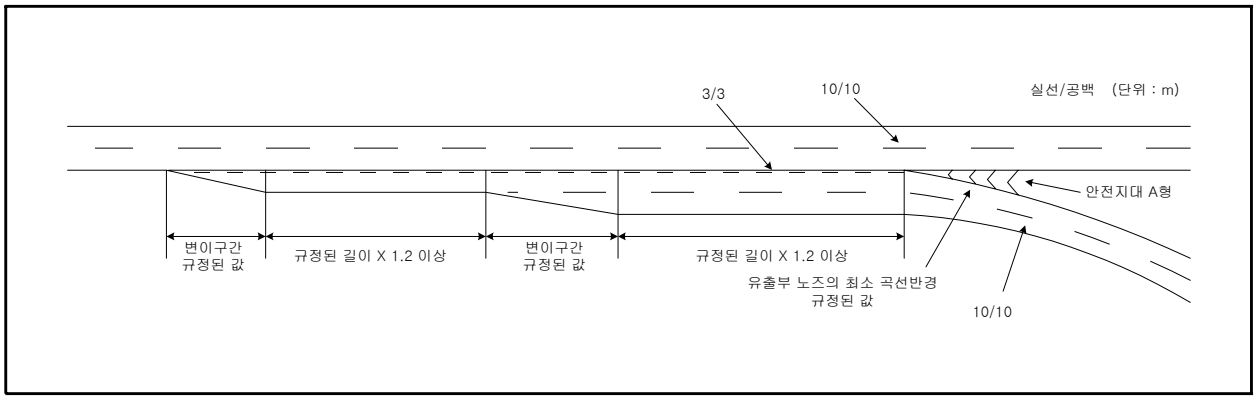
<그림 307.48> 변속 차로에 적용되는 안전지대

<표 307.30> 유출연결로 노즈 끝에서의 최소 평면곡선반경

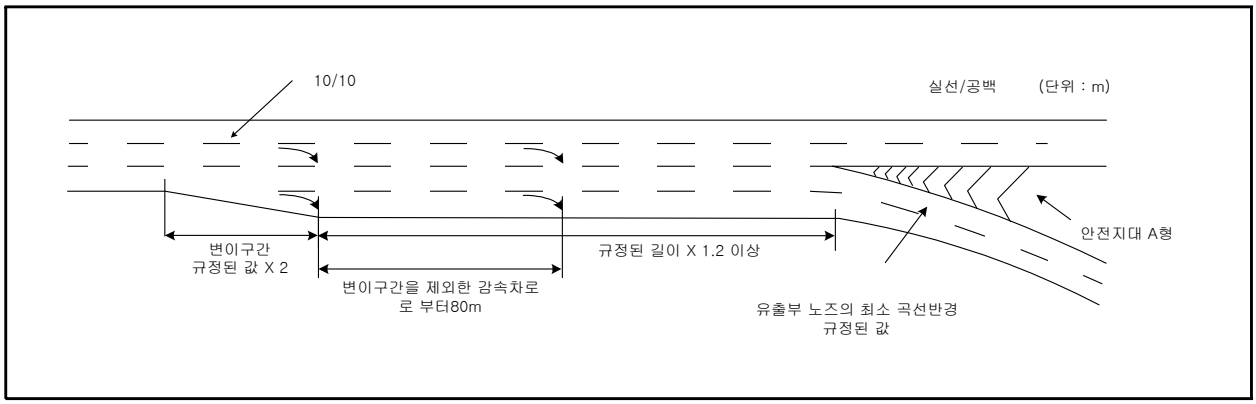
본선설계속도(km/h)	120	110	100	90	80	70	60
노즈 최소 평면곡선반경(m)	250	230	200	185	170	140	110

감속차로에서 점차적으로 1차로씩 증가시켜 가는 경우의 설계는 <그림 307.49>와 같이 한다. 이 경우 변이구간을 제외한 감속차로의 길이는 규정된 길이보다 1.2배 이상의 길이를 확보해야 한다.

본선의 차로수가 축소되면서 연결로의 차로수가 2차로로 되는 경우는 <그림 307.50>과 같은 방법으로 설계한다. 이때 유의할 사항은 운전자들에게 본선의 차로가 축소되면서 감속차로로 됨을 알리기 위해 노면표시가 필수적으로 제공되어야 한다. 노면표시는 감속차로 중 변이구간이 끝나는 지점부터 80m에 위치한다.



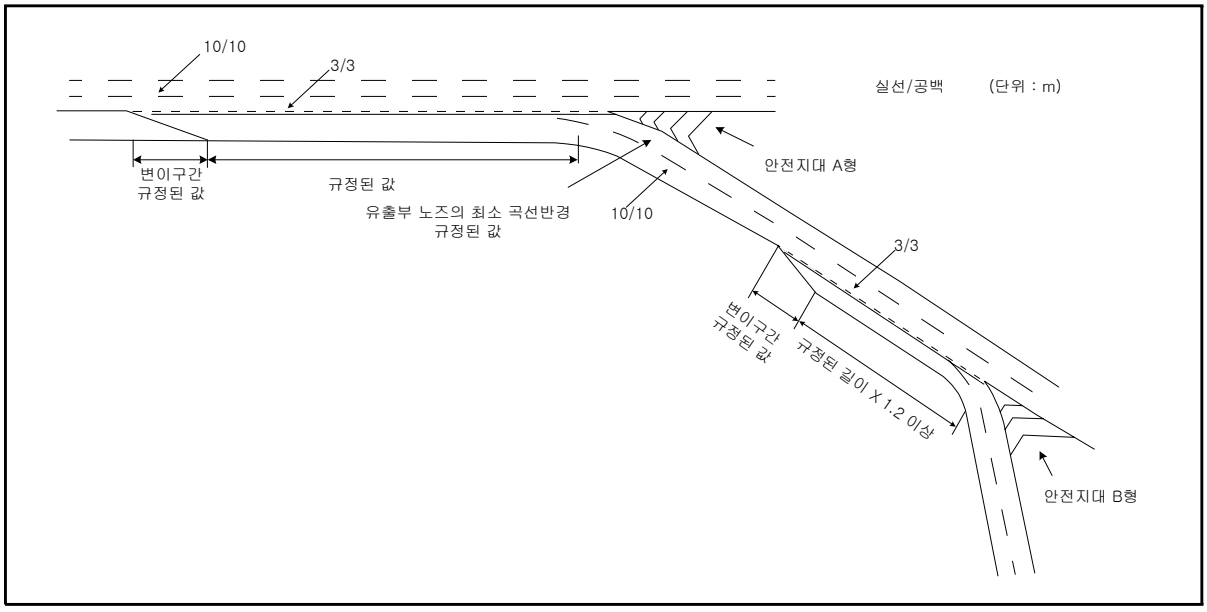
<그림 307.49> 감속차로내에서 차로수를 증가시키는 경우



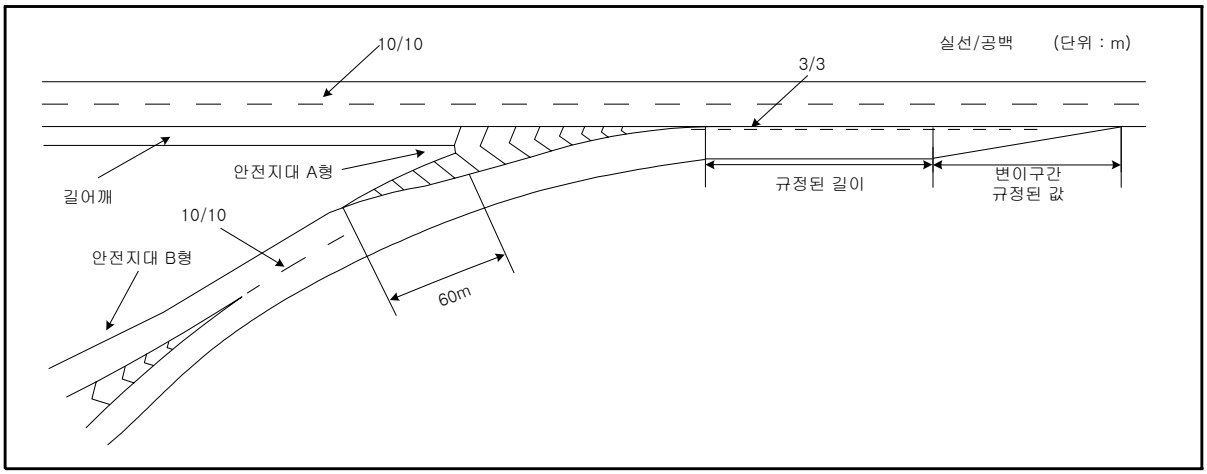
<그림 307.50> 본선의 차로수 축소 및 2차로 연결로

1차로의 감속차로에서 연결로에서 2차로로 분리되는 경우의 설계는 <그림 307.51>과 같이 한다. 이 경우 본선구간에서 연결로로 분리되는 곳의 안전지대는 <그림 307.48>의 (a) A형을 사용하고, 연결로내에서 분류가 이루어지는 곳에서의 안전지대는 <그림 307.48>의 (b) B형을 사용한다. 연결로내의 변이구간 및 감속차로의 길이는 규정된 값 이상을 사용한다.

유입부에서 연결로의 2차로가 연결로 내에서 1차로로 감소하면서 가속차로에서는 1차로의 가속차로인 경우의 설계는 <그림 307.52>와 같다. 이 경우 연결로내에서 차로를 1차로로 감소할 때 안전지대에 60m의 변이구간을 설치한다. 이는 연결로내의 속도가 높지 않기 때문에 최소 변이구간 길이인 60m를 사용한다. 가속차로에서의 변이구간을 제외한 길이와 변이구간의 길이는 규정된 값 이상을 사용한다.



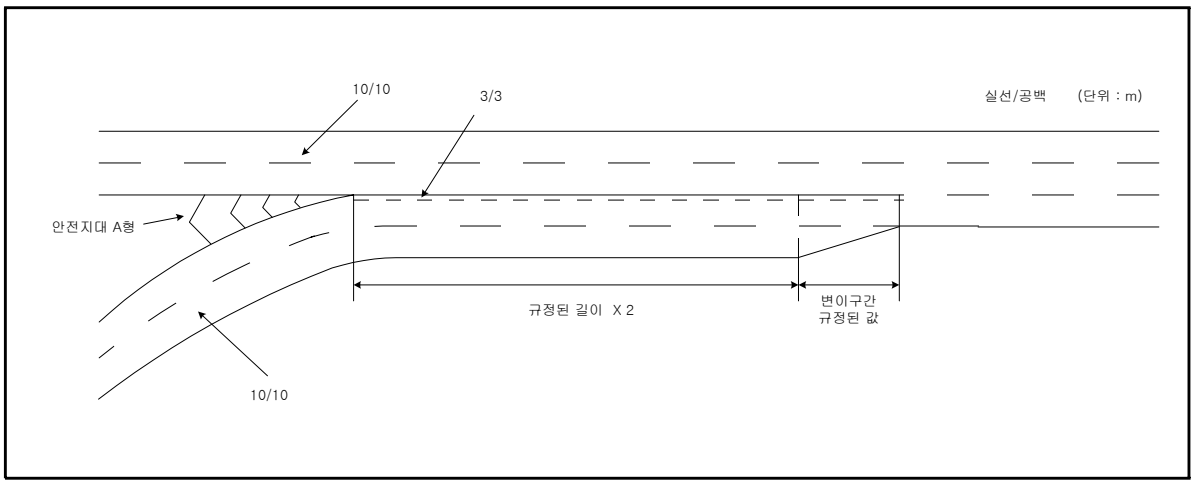
<그림 307.51> 연결로내에서의 분류



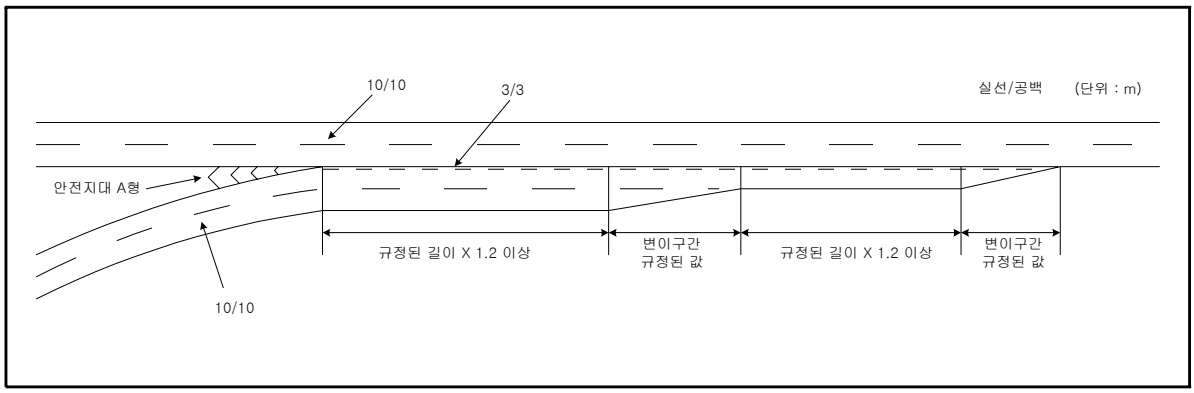
<그림 307.52> 연결로 2차로, 가속차로 1차로의 경우

연결로 2차로 유입시 본선의 차로가 추가하는 경우는 <그림 307.53>과 같다. 이 경우 변이구간을 제외한 가속차로의 길이는 규정된 길이의 2배를 적용하고, 진로변경 제한선(본선부 차량이 가속차로로 진로변경을 금지하는 실선)은 가속차로의 길이 동안 제공한다.

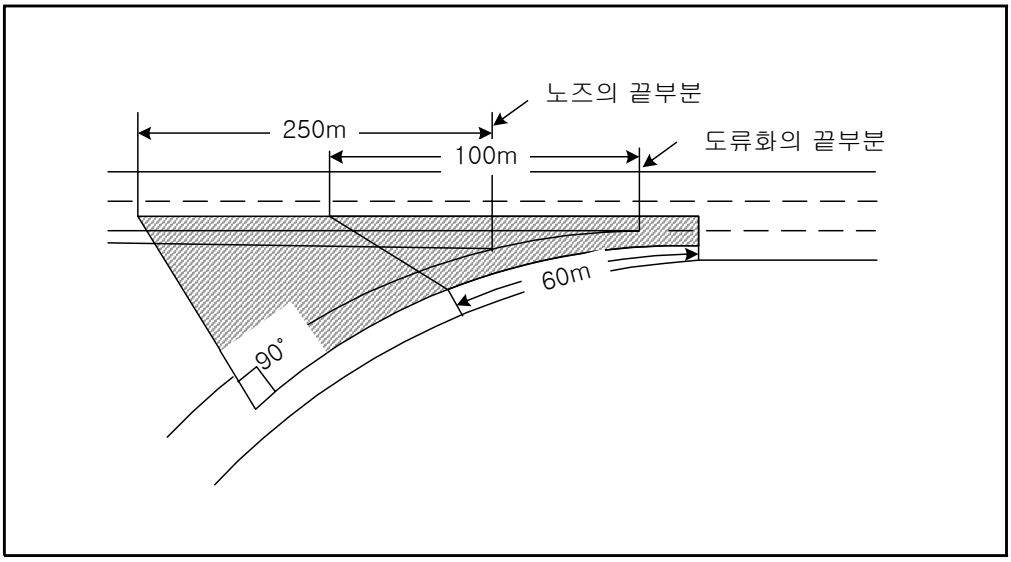
유입차로를 가속차로에서 단계적으로 감소시켜 이중으로 유입하는 경우는 <그림 307.54>와 같다. 이때 각 차로에 대해 변이구간을 제외한 가속차로는 규정된 길이의 1.2배 이상이 되도록 해준다.



<그림 307.53> 연결로 2차로 유입시 본선의 차로 증가



<그림 307.54> 이중 유입 차로



<그림 307.55> 유입부의 접근시거를 위한 바람직한 시야와 최소시야

유입부에서의 시계를 확보하기 위하여 가능한 <그림 307.55>와 같이 본선의 노즈의 끝부분의 250m 전방에 대해 진입 연결로와 수직(90°)의 주시방향을 얻도록 설계한다.

만약 주도로와 유입부간의 시각이 직각의 이상의 각을 가져 이러한 시각을 얻기 힘든 경우는 유입 연결로는 가능한 본선과 평행하고 높이가 같도록 설계를 하며 본선과의 접속각도를 3。 ~5。로 작게 한다. 그러나 이러한 시야각도가 경제적 및 지형적으로 타당성이 없을 경우는 최소 시야인 본선의 도류화 표시에서의 100m전, 유입 연결로에서의 60m전을 확보해 이는 최소값으로 정해야 한다.

307.7 분기점의 설계

7.1 개 요

분기점의 계획과 설계의 기본은 인터체인지의 일반적인 계획과 설계의 기준과 크게 다른 것은 없고, 계획과 설계의 조건 그리고 설계방법에서 약간의 차이가 있다. 즉, 고속도로와 일반도로의 교차 접속시설인 일반 인터체인지는 고속도로와 일반도로 사이에서 속도조절을 안전하고 원활하게 하는데 설계의 주안점이 있고, 분기점의 계획과 설계에서는 고속도로 상호간의 입체적인 교차 교통류에 대해 도로조건이나 주행조건(주도로의 설계속도)의 변화를 너무 크지 않게 하고 방향전환을 안전하고 능률적으로 하는데 주안점이 있다.

물론, 지형 지물의 조건이나 토지이용상의 제약, 시설에 소요되는 비용의 많고 적음에 의해 기능상의 요구나 제약을 받게 되는 것은 당연하나, 교차 접속하는 고속도로 그 자체의 성격이나 이용 교통량 등 예측되는 도로조건이나 교통조건에 가장 적합한 최적설계로 하는 것이 필요하며, 분기점의 설계를 해당 도로의 설계속도에 의해서만 판단하여 획일적인 설계로 하는 것은 피한다.

분기점의 설계시에 지켜야 할 기본 사항들이 있는데, 이에 대해 면밀한 검토를 하여 종합적인 판단에 따라 설계한다.

7.2 본선의 성격과 교통량

교차 접속하고자 하는 고속도로 본선의 성격과 이용 교통량에 따라 분기점의 계획과 설계는 근본적으로 달라진다. 예를 들면, 지방에 위치한 고속도로와 도시내 고속도로 사이의 분기점과, 지방 지역 고속도로 상호간의 분기점은 전혀 다른 형식과 설계조건을 채택하고 있다. 또한 대상을 동일한 성격을 지닌 고속도로 상호간의 분기점에만 국한시키더라도, 교차하는 두 고속도로의 설계속도, 교통량, 차로수 등의 여러 조건에 따라 분기점의 최적설계는 크게 달라진다.

두 고속도로의 설계속도나 교통량에 큰 차이가 있는 경우에는 일반적인 인터체인지의 경우와 거의 같은 설계방법을 채택할 수 있을 것이고, 반대로 두 고속도로가 높은 설계속도(100km/h 이상)로 계획되어 있고, 교통량도 대단히 많은 경우에는 아주 높은 수준의 분기점으로 설계하여 고속도로 전체의 효용을 증대시켜야 한다.

7.3 다른 시설과의 거리

교차 접속하는 고속도로에서 다른 교통시설(인터체인지, 버스정류장, 휴게소, 주차장, 본선영업소 등)과의 위치를 충분히 검토하여 전체적인 배치관계를 명확하게 한 후, 계획과 설계를 진행해야 하나, 일반적으로 노선의 투자 우선순위 등의 관계에서 한쪽 노선의 교통시설이나 본선 요금소의 위치가 확정된 후 분기점의 계획과 설계에 착수하는 경우가 대부분이다.

따라서, 이와 같은 경우에는 이미 확정된 교통시설의 배치관계를 재편성해 보는 것이 가장

바람직하지만, 재편성이 불가능할 때에는 분기점의 근처에 위치하는 다른 교통시설의 위치를 약간 변경하거나 설계를 변경하는 방안을 검토해야 한다.

특히, 분기점이 인터체인지와 아주 가까운 곳에 설치될 경우, 두 기능을 겸할 수 있는 입체교차 시설로 계획을 변경하여 하나만 설치할 수도 있다. 그러므로 분기점과 다른 교통시설과의 거리를 최소한 어느 정도 확보하느냐가 문제가 되는데 최소 간격은 교통운영에 필요한 거리에 따라 결정된다.

7.4 교통 특성

일반적인 인터체인지와 마찬가지로 분기점을 이용하는 교통량과 통행 특성이 계획, 설계의 가장 중요한 요소이며, 이용 교통량의 방향별 분포 역시 대단히 중요한 요소이다. 분기점에서 방향별 교통량에 현저한 차이가 있을 경우, 중방향(교통량이 많은 방향) 연결로의 설계속도, 폭, 선형 등의 기하구조 설계기준을 높게 하여 형식선정이나 세부설계를 해야 한다.

이용 교통의 주행거리도 역시 분기점의 계획 설계의 결정 요인으로 중시되어야 할 요소이다. 예를 들어, 비교적 짧은 구간의 국지적인 서비스를 목적으로 하는 고속도로가 서로 교차 접속하고 있는 경우, 이용자의 대부분이 일상적으로 그 분기점을 운행하는 것으로 판단되므로, 그 고유한 도로조건, 교통조건을 경험적으로 잘 알고 있는 경우가 많다. 이와 같은 경우에, 분기점의 교통용량이 계획 교통량보다 떨어지지 않는 범위에서 비교적 소규모로 설계할 수 있으며, 형식선정과 세부설계에서도 별도의 검토를 하여 과대한 설계가 되지 않도록 한다.

7.5 연결로의 기하구조

연결로의 평면선형, 종단선형, 시거 등의 설계요소는 선정한 연결로의 설계속도에 따라 한계값이 결정되고 전체적인 형식선정과 함께 분기점으로서의 전체 규모가 결정되지만, 분기점 연결로의 폭 구성은 설계속도 외에도 여러 가지 요인을 고려하여 설계해야 한다.

연결로의 폭 구성의 종류에는 다음과 같이 세 가지가 있다.

① 1차로로 설계하는 경우
② 2차로로 설계하는 경우
③ 본선의 폭 구성에 준하여 설계하는 경우

분기점 연결로 설계시에 고려할 사항으로 본선이 분기, 합류되는 것으로 간주할 수 있는 중요한 연결로는 일반적인 연결로 보다 높은 설계속도를 적용하고, 폭 구성은 본선의 횡단면 구성에 준하여 설계한다. 그리고, 분기점의 다른 일반적인 연결로는 A규격 연결로의 횡단면 구성으로 설계하는 것을 표준으로 한다.

분기점 연결로에서 본선에 준한 폭 구성을 취하는 것은 그 분기점에서 본선 교통의 거의 전부가 다른 고속도로로 이행하는 것과 같은 경우이고, 수행하는 교통상의 기능으로 보아, 고속도로 본선이 연장된 것으로 보고 계획·설계를 해야 되는 경우이다.

①과 ②에 기술한 연결로의 차로수는 처리해야 할 교통용량의 관점에서 정하는 것이 당연하지만, 계획 교통량이 교통용량 측면에서 볼 때 1차로 연결로로 처리할 수 있는 경우에도 앞지르기가 가능하도록 2차로로 설계하는 것이 바람직한 경우가 있다. 예를 들면, 대형자동차의 구성비가 높고, 연결로의 종단경사가 큰 경

우, 연결로 길이가 상당히 길어진다. 이때 1차로 연결로에서는 대형자동차의 속도 저하에 의하여 대형자동차를 뒤따르는 다른 자동차도 감속 주행을 해야 하므로 분기점의 교통기능이 크게 감소되며, 주행성능이 높은 차량이 저속으로 주행하는 차량을 앞지르려고 할 수도 있다. 이와 같은 교통운영상의 문제점을 고려할 때, 분기점의 연결로는 원칙적으로 2차로로 설계하는 것이 바람직하다.

분기점 연결로를 1차로로 설계할 수 있는 경우는 대형자동차의 구성비가 낮고, 연결로의 길이도 짧은 우회전 연결로의 경우이다. 또한 루프 연결로의 경우 앞지르기를 할 수 있도록 설계하는 것은 위험하므로 1차로로 설계하고 길어깨 폭을 넓게 설계하는 것이 바람직하다.

308
기타

308.1 개요

본 장에서는 '제9편 부대시설'과 기하구조 편에서 언급하지 않은 기하구조 관련 기타 부대시설에 대해 다루고 있다.

308.2 버스정류장

버스정류장은 이용자의 편의성과 버스가 무리없이 진출입 할 수 있는 위치에 소정의 규격으로 설치되어야 한다.

버스정류시설에는 다음과 같이 버스정류장(bus bay)과 버스정류소(bus stop)가 있다.

- 버스정류장 : 버스승객의 승강을 위하여 본선차로에서 분리하여 설치된 띠모양의 공간을 의미
- 버스정류소 : 버스승객의 승하차를 위하여 본선의 외측차로를 그대로 이용할 경우 그 공간을 의미

버스정류시설의 이용 대상 버스는 노선버스로 제한하며 여기에서는 주로 버스정류장에 대해 설명한다.

2.1 버스정류장의 설계기준

다음의 도로에는 버스정류장을 설치한다

① 고속도로, 도시고속도로, 주간선도로

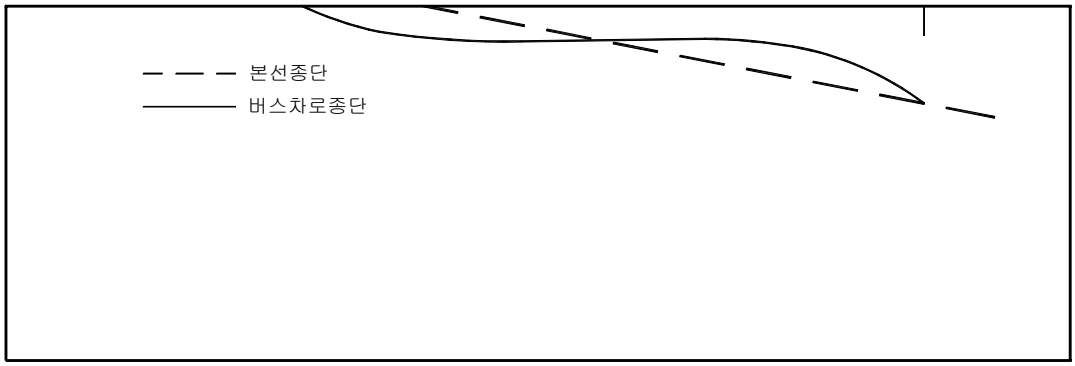
② 보조간선도로로 특히 본선의 교통류가 버스정차로 인해 혼란이 야기될 우려가 있는 경우

③ 그 이외의 경우라도 버스정류소를 설치했을 때 그 도로의 교통용량이 설계교통량에 비해 부족할 경우

고속도로, 도시고속도로, 주간선도로와 같이 주행속도가 높고 교통류의 혼란과 그로 인한 사고발생의 위험이 예상되는 도로에는 모두 본선에서 분리한 정차대를 설치하는 것으로 하고 보조간선도로라도 교통류의 혼란이 예상되는 경우에는 버스정류장을 설치한다.

그 이외의 경우라도 버스정류소를 설치했을 때 해당 도로의 용량이 설계교통량에 비해 부족할 경우에는 역시 버스정류장을 설치한다.

평면교차로 부근의 버스정류소에 있어서 버스승하차에 의한 교차로 용량은 가로폭, 주차규제, 버스의 이용회수, 승하차 인원, 승하차소요시간, 버스정류소의 위치 등 제 요인을 고려하여 산정할 필요가 있으며 이에 의한 도로교통용량이 설계용량보다 적을 경우에는 버스정류장을 설치한다.



<그림 308.1> 버스정차로 설치위치

2.2 버스정류장의 설치위치

버스정류장을 설치할 경우 본선의 평면선형은 직선 또는 표준치 이상의 곡선반경, 종단선형은 완만한 경사를 가져야 한다.

버스정류장을 설치할 경우 본선 평면곡선반경이 너무 작으면 시거가 불량하고 버스주행에도 무리가 간다. 또 버스정류장의 종단경사는 2%이하여야 하므로 종단경사가 급할 경우에는 원칙적으로 버스정류장을 설치하지 못한다.

그러나, 부득이 설치하는 경우에 <그림 308.1>와 같이 버스정류차로를 본선과 종단상으로 분리하여 정차대를 설치하는 경우가 있다. 이경우 합분류 노즈부근의 종단곡선길이를 충분히 크게 해야 하며, 2차 변속구간은 기준값 이상의 길이를 확보해야 한다.

2.3 자동차 전용도로의 버스정류장 구조

자동차 전용도로에 설치하는 버스정류장은 본선의 교통류에 주는 영향을 최소로 하도록 외측분리대에 따라 버스정류장을 본선에서 분리한다.

버스정류장은 감속차로부, 가속차로부, 버스정차로로 구성되며 각각의 길이는 <표 308.1>의 값 이상을 적용한다. 단, 본선의 교통량이 적고 이용회수가 적다고 생각되는 버스정류장에 대해서는 ( )내의 값까지, 또 변속차로 길이는 본선의 교통을 방해하지 않고 안전하게 유출입 될 수 있는 범위내에서 <표 308.1>의 값을 축소할 수 있다.

감속차로는 직접식을 원칙으로 하고 가속차로는 직접식 또는 평행식으로 한다.

변속차로의 폭은 3.60m, 버스정차로의 폭은 5.60m로 하고 그 사이에 2차변속차로를 삽입한다. 버스승강장(flat form)의 폭은 3.00m를 표준으로 한다.

외측분리대는 폭 2.0m를 표준으로 하여 섬식으로 하는 것이 바람직하나 부득이한 경우는 노면표시선만으로 구분하고 버스차로의 폭을 3.5m를 축소할 수 있다.

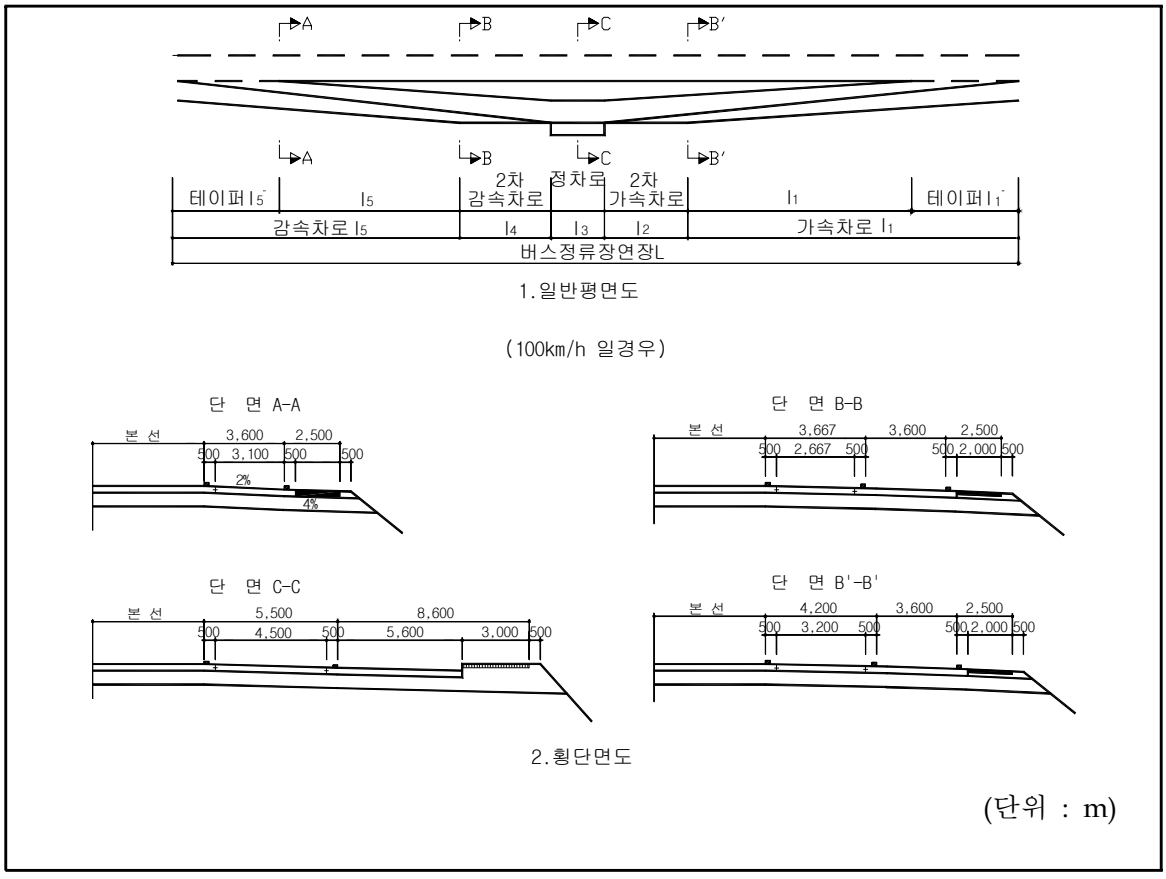
변속차로 및 2차변속차로의 길어깨와 측대의 폭에 대해서는 인터체인지 변속차로 및 램프의 길어깨와 측대 규격을 준용한다.

고속도로 버스정류장의 구성요소에 대한 명칭 및 치수는 <그림 308.2>과 같다.

<표 308.1> 버스정류장의 제원(고속도로)

구 분 \ 설계속도(km/h)		120	100	80	비고
감속부	변이구간 길이 l_1(m)	70	60	50	
	주 감속차로 길이 l_2(m)	120	100	90	
	감속차로 길이(m)	190	160	140	
	보조 감속차로 길이 l_3(m)	50(40)	50(40)	50(40)	
정차로	정차로 길이 l_4(m)	30(24)	30(24)	30(24)	
가속부	보조 가속차로 길이 l_5(m)	40(30)	40(30)	40(30)	
	주 가속차로 길이 l_6(m)	160	130	110	직접식
		220	190	120	평행식
	변이구간 길이 l_7(m)	70	60	50	
	가속차로 길이 l_3(m)	230	190	160	직접식
		290	250	170	평행식
버스 정류장 길이 l_T(m)		540	470	420	직접식
		600	530	430	평행식

주) ( )의 수치는 제반 여건 등을 감안한 최소 설치 길이임



<그림 308.2> 고속도로 버스정류장의 평면 및 횡단면도

2.4 일반도로의 버스정류장 구조

일반도로의 버스정류장은 주간선도로인 경우 본선과 분리하는 것을 원칙으로 하며 기타도로라도 본선의 교통량, 버스정류장 이용회수 등을 감안하여 본선과 분리하여 설치하는 것으로 한다.

버스정류장은 변속차로와 정차로로 구성되며 그 길이는 <표 308.2>을 참조하되 본선 교통량, 이용회수, 연도상황 등을 감안하여 결정하며 버스 정차시간이 길어질 것으로 예상될 경우, 버스 1대당 15m를 가산한 길이로 한다.

교차점 부근에 버스정류장을 설치할 경우, 필요 엇갈림 길이 이상 떨어져야 한다.

변속차로의 폭원은 3.5m를 표준으로 하고 부득이한 경우, 3.00m까지 축소할 수 있다. 다만 섬식 분리대를 설치할 경우에는 5.50m로 한다.

버스승강장의 폭원은 보도겸용으로 최소 2.25m를 필요로 한다. 다만, 보행자 및 승강자가 적은 경우는 1.50m까지 축소할 수 있다.

일반도로의 가속차로를 직접식으로 하는 것은 버스가 정차선에서 본선교통류를 탐지하면서 출발하여 가속하면서 유입할 수 있다고 생각한 것이며 감속차로는 주행궤적에서 유리하기 때문이다.

변속차로의 길이는 본선상에서는 약 70%의 가속, 감속을 행하는 것으로 하여 결정한다.(주간선도로의 경우 일부 출입제한시에는 약 20%이며 이경우, 원칙적으로 섬식 또는 노면도색으로 분리대를 설치한다)

일반도로의 버스정류장은 주위의 상황에 따라 길어깨를 생략할 수 있다.

<표 308.2> 버스 정류장의 제원(일반도로)

설계속도 V(km/h)	지방지역				도시지역		
	80	60	50	40	60	50	40
감속차로길이 l_1 (m)	35(95)	25	20	20	20	15	12
버스정차로길이 l_2 (m)	15	15	15	15	15	15	15
가속차로길이 l_3 (m)	40(140)	30	25	25	25	20	13
버스정류장길이 l (m)	90(250)	70	60	60	60	50	40
엇갈림길이 (m)	80	50	40	30	50	40	30

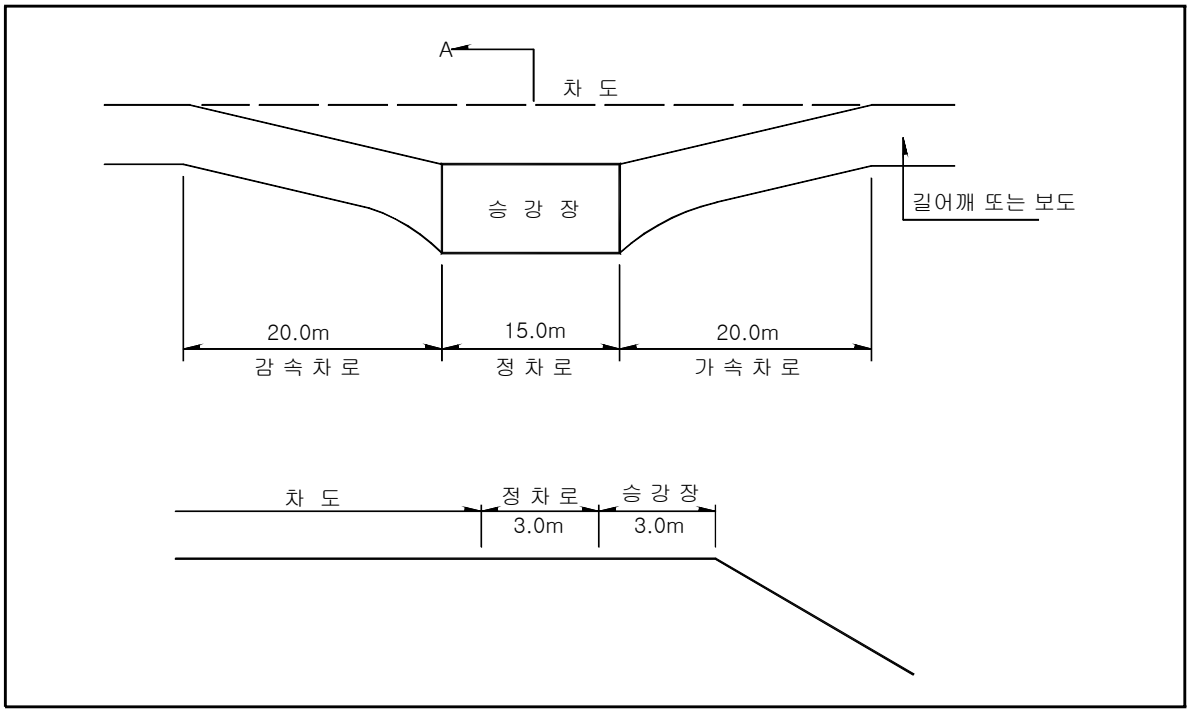
주) ( )안은 일부 출입제한 경우의 값

2.5 간이 버스정류장

일반도로의 왕복 2차로 도로에서는 특별한 경우를 제외하고는 실제로 외측분리대를 갖춘 버스정류장을 설치하기란 경제적으로 용이하지 않으며 규격에 맞도록 고집할 경우 공사비의 증가 및 이용에 최적인 위치의 지형적인 장애 등으로 인해 설치를 기피하는 수가 있다.

따라서 도로조건, 연도의 지역적 특성, 경제성 등을 감안하여 간이시설로 최소한의 목적을 달성하는 조치가 필요하다. 4차로 및 2차로 일반 국도에는 어떠한 규격이든 간에 반드시 버스정류장을 설치하여 안전사고를 예방하고 교통용량의 저하를 최소로 해야 한다.

일반국도에 실제로 적용하고 있는 간이 버스정류장의 사례를 <그림 308.3>에 제시한다.



<그림 308.3> 간이버스 정류장 예

308.3 영업소

유료도로를 건설하는 경우에는 통행요금을 징수하기 위하여 특별한 시설로 영업소를 설치한다. 영업소는 통행차량 또는 통행인으로부터 정해진 통행요금을 수수하기 위한 시설로소 일반적으로 영업사무소, 요금소(교통섬, 부스, 게이트 건물), 영업소 광장 등으로 구성된다.

3.1 영업소의 종류

영업소는 통행요금 징수체계에 따라 전선 균일 요금제, 구간별 균일 요금제, 완전한 구간별 요금제의 구간으로 분류되며, 설치장소에 따라 본선 영업소와 인터체인지 영업소로 나누어 진다.

3.2 영업소의 차로수 산정 및 왕복 공용 차로수

영업소의 소요 차로수는 교통량(입차간격), 평균 서비스 시간 및 서비스 기준(평균대기대수)를 정하여 구해진다.

왕복차도(입구와 출구)가 분리되어 있을 때에는 각 편에 첨두시 교통이 많은 방향의 교통량에 대하여 구하여진 차로수를 설치하여야 한다. 입구와 출구가 1개소이고 중앙 부분의 차로를 왕복공용으로 사용할 때에는 서비스 시간이 긴 쪽은 교통이 많은 방향을 잡고, 서비스 시간이 짧은 쪽은 교통이 적은 방향의 교통량을 잡아서 각각 차로수를 계산하여 합산하다.

출구 및 입구의 게이트가 분리되어 있는 경우에는 중앙 부분의 차로수를 왕복 공용으로 사용하는 것으로 한다. 이때 왕복 공용으로 사용하는 차로수는 3차로까지로 한다. 왕복 공용 차로수는 다음 식으로 산출한다.

왕복 공용 차로수 =
(AADT×K×D)에 대한 입구의 소요 차로수 - (AADT×K×(1-D))에 대한 입구의 소요 차로수

그러나 초기연도에는 원칙적으로 왕복 공용 차로는 고려하지 않는다.

3.3 영업소 광장부 설치 기준

고속도로의 진출입을 위한 IC 영업소 광장부의 설치는 일관성 있는 설계 및 시공을 통하여 자동차의 원활한 소통과 안전성 향상을 도모할 수 있도록 한다.

기존 IC 영업소 설계에는 다음과 같은 문제점이 있다.

- 광장부 설치 형태에 대한 통일성 결여
- 출구측 광장부 연장 부적정
- 광장 규모 과다로 경제성 저하

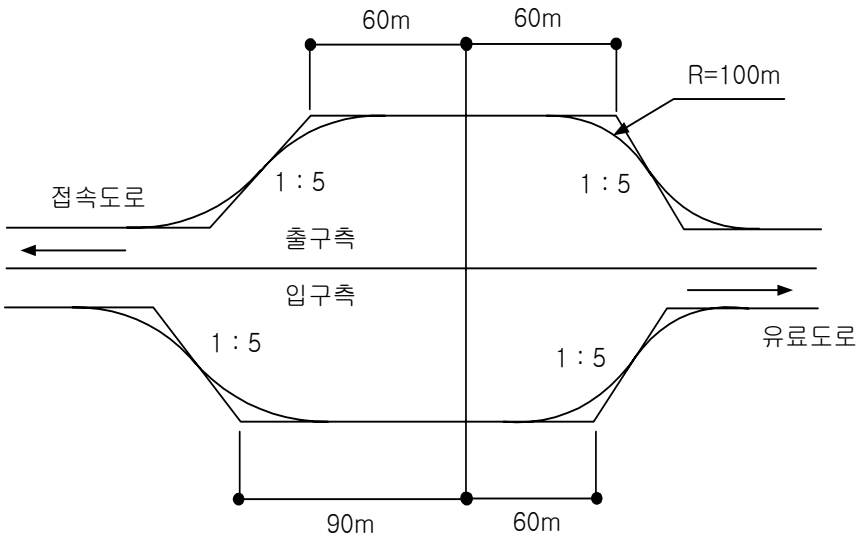
위와 같은 문제점을 해결하고 요금소 이용 자동차의 원활하고 안전한 소통과 경제적인 광장부 시설 설치를 위한 기준 정립이 요구되므로, IC 요금소 광장부의 형태는 안전성, 경제성 및 효율성 증대를 위해 기하구조 기준을 <표 308.3>과 같은 개선안을 적용한다.

3.4 영업소 광장의 포장

본 내용은 도로설계편람 포장편 '707.9 영업소 포장' 부분을 참고한다.

<표 308.3> IC 영업소의 기하구조 기준

구분	기존 기준	개선 기준	비고
광장부 콘크리트 포장 연장	• 진입부 : 90m • 진출부 : 60m	• 입구측 - 진입부 : 90m (축중 차로부) - 진출부 : 60m • 출구측 - 진입부 : 60m - 진출부 : 60m	
접속 설치율	• 진입부 : 1/5 • 진출부 : 1/5 • 접속지점 : 꺽여보이지 않도록 곡선 처리 (R=100)	• 진입부 : 1/5 • 진출부 : 1/5 • 접속지점 : 꺽여보이지 않도록 곡선 처리 (R=100)	



주) 단, 현지여건상 부득이하게 기준 확보가 어려울 경우 별도의 대책 방안 강구

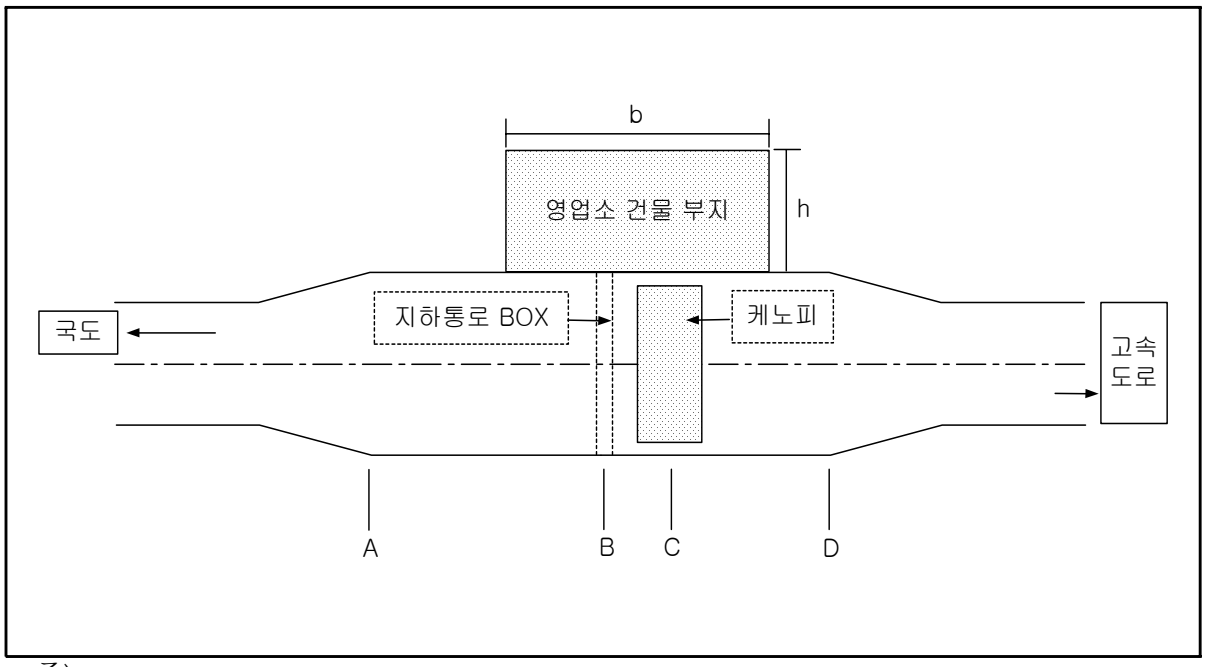
3.5 영업소 부지 설계 기준

(1) 영업소 건물 부지 위치

요금 징수 업무 및 운영상태 파악이 용이한 출구(회수)측에 배치한다.

(2) 지하통로 BOX 및 게이트 건물 관련사항

- 토목 설계도면에 지하통로 BOX 및 게이트 건물 중심선 명기
- 건물 부지 배치시 지하통로 BOX와 게이트 건물 중심의 2등분선이 건물 부지의 2등분선과 일치하도록 설계하는 것이 바람직함



주)

▶ 기호설명
- A, D : 영업소 광장부 테이퍼 끝단
- B : 지하통로 BOX 중심
- C : 요금소 게이트 건물 중심

▶ 제원현황
- A～C : 90m
- C～D : 60m
- B～C : 16.75m

▶ 부지 규모 (가로(b)×세로(h))
- A형 (2～4차로) : 70×40m
- B형 (6～8차로) : 80×40m
- C형 (10～12차로) : 90×40m
- D형 (14～16차로) : 90×45m
- E형 (18～20차로) : 110×45m
- F형 (22～24차로) : 120×45m

<그림 308.4> 영업소 부지 설계 도면

308.4 철도와의 교차

4.1 교차의 기준

입체교차의 계획에 있어서도 도로, 철도 쌍방의 장래계획을 충분히 고려함과 동시에 당해 계획지점 뿐만 아닌 도로 전체로서 균형이 잡힌 계획을 수립해야 한다.

현재 도로교통의 애로가 되고 있는 원인의 하나가 철도와의 평면교차(건널목)이며, 평면교차의 제거로 도로교통의 원활화에 크게 기여할 수 있다.

「도로법 제54조의 6」및「철도건널목 개량촉진법 제7조」에 도로와 철도와의 교차는 특별한 사유가 없는 한, 입체교차로 하여야 한다고 규정되어 있으나, 다음과 같은 경우에는 예외이다.

- 당해 도로의 교통량 또는 당해 철도의 운전 횟수가 현저하게 적은 경우
- 지형상의 입체교차로 하는 것이 매우 곤란한 경우
- 입체교차로 함으로써 도로의 이용이 장애를 받는 경우
- 당해 교차가 일시적인 경우
- 입체교차공사에 소요되는 비용이 입체교차화에 의해서 생기는 이익을 훨씬 초과하는 경우 등에 대해서는 예외로 평면교차를 검토할 수 있다.

그러나, 위의 5가지 경우에 해당한다고 해서 이를 평면교차로 함이 좋다는 것은 아니고 어디까지나 입체교차가 원칙이며, 평면교차는 특별한 경우에 한하여 예외적으로 적용한다는 것이다.

일반적으로 입체교차의 구조물은 한번 완공되면 간단하게 변경한다는 것은 곤란하다. 따라서 입체교차의 계획시에는 도로, 철도, 쌍방의 현황을 충분히 파악하는 것은 물론이고, 철도청과 협의하는 한편 장래계획을 충분히 검토하여 계획을 결정해야 한다.

또 어느 한 지점에서의 입체교차는 인접한 다른 도로에도 영향을 주게 되므로 그 지점 뿐만 아니라 타 도로와의 관계에 대해서도 충분히 검토하고 필요에 따라 어느 구간의 철도를 고가화하는 등 전체로서 균형이 잡힌 계획을 수립하는 것이 매우 중요하다.

「철도건널목 개량촉진법 시행령 제7조에서, 도로가 기존의 철도를 횡단하는 경우의 입체교차화의 기준은 <표 308.4>와 같다.

<표 308.4> 도로의 신설 개량시 입체교차화의 기준

철도교통량	도로의 노폭
30미만인 때	10m 이상
30이상 60미만일 때	6m 이상
60이상일 때	4m 이상

4.2 교차부 구조상 유의사항

철도와 도로의 입체교차는 쌍방의 평면선형, 종단선형이 양호한 지점에 설치하는 것이 바람직하며 또 입체교차의 설계시에는 건축한계, 시거, 배수, 방호시설, 축도 등에 주의한다.

시설한계에 대해서는 본 규정과 '국유철도건설규칙' 등에 의거하면 되겠지만 그 외에 공사중의 여유, 보수를 위한 여유, 제설을 위한 여유 등을 충분히 확보해 두는 것이 중요하다.

특히 도로가 지하차도로 되는 경우의 도로의 높이는 장래에도 소정의 시설한계가 확보되도록 포장의 덧씌우기(overlay) 등을 예측해서 계획한다.

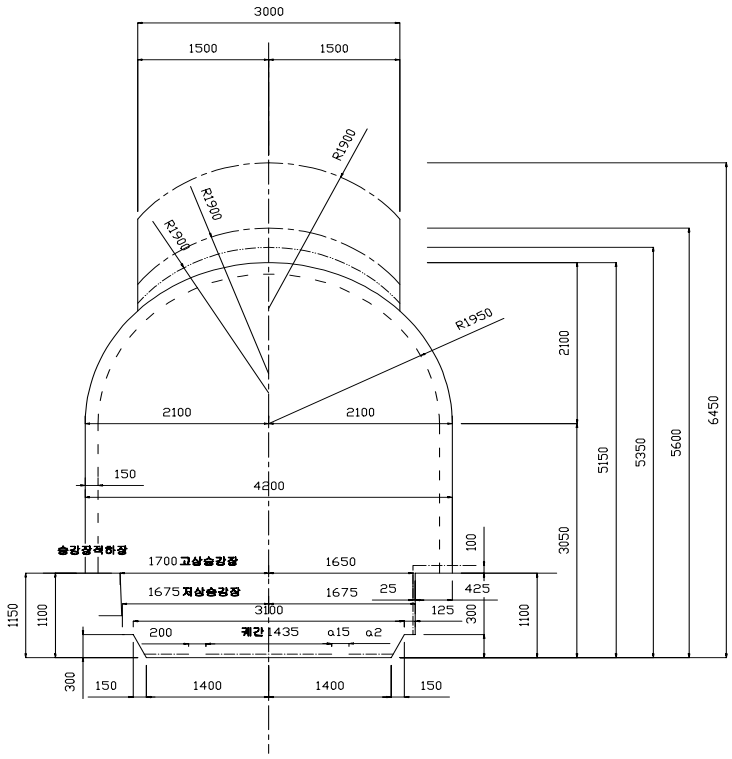
참고로 '국유철도건설규칙'에 규정된 국유철도의 시설한계는 <그림 308.5>와 같다.

입체교차에서 고가차도로 하든, 지하차도로 하든간에 도로에 종단곡선 또는 평면곡선을 삽입하는 경우에는 시거의 확보에 충분한 주의를 해야 한다.

지하차도인 경우에 교차부에서 도로의 종단곡선이 오목곡선형으로 되어 있는 경우에는 특히 그곳에 물이 고이지 않게 하는 구조로 할 것은 물론이지만, 오목곡선형으로 되어 있지 않다 하더라도 고가차도로 할 때에는 그 곳에서 배수가 노면 등에 집중적으로 떨어지지 않도록 하는 배수시설을 고려할 필요가 있다.

방호울타리에 대해서는 고가차도로 하는 경우에 특히 문제가 되겠지만 지복(地覆)의 높이와 구조, 난간의 강도 등에 필요한 주의를 요한다. 기존시가지에서의 입체교차는 통과하는 교통뿐만 아니라 연도의 이용 등에 대해서도 특별한 주의를 기울여야 한다.

일반적으로 측도 등을 설치하는 것이 편리하지만 이 측도와 철도와는 평면교차가 되지 않도록 하고 유턴(U-turn)이 가능한 구조로 하는 것이 바람직하다. 또 측면의 구조기준에 대해서는 도시지역의 규정을 준용하는 것으로 하고 계단을 설치하는 경우에는 그 폭을 고려하지 않으면 안된다.



(단위 : mm)

<그림 308.5> 철도의 시설한계

주) 시설한계 범례

————————	일반의 경우에 대한 시설한계
——●——●——	전기운전을 하는 구간에 있어서 가공전차선 및 그 현수장치를 제외한 상부에 대한 시설한계(이 한계는 교량, 터널, 눈덮개, 구름다리 및 그 앞뒤에 있어서 필요한 경우에는 —●●—까지, 기설된 교량, 도시지역 터널, 눈덮개, 구름다리 및 그 앞뒤에 있어서 필요한 경우에는 개수할 때까지 잠정적으로 —××—로서 표시된 한계)까지 축소할 수 있다.
————————	측선에 있어서 급수, 급탄, 전차, 계중, 세차 등의 모든 설비, 신호주, 가공전차선, 차고의 문 및 내부장치 또는 본선에 있어서 기설된 교량, 터널, 구름다리 및 그의 앞뒤에 있어서 부득이한 경우에 가공전차선 지지물에 대한 건축한계를 축소할 수 있는 한계
+ + + + + + +	전철기 표지 등에 대하여 시설한계를 줄일 수 있는 한계
——○——○——	승강장 및 적하장에 대하여 시설한계를 줄일 수 있는 한계
——●——●——	타넘기 부분에 대하여 시설한계를 줄일 수 있는 한계 (단, a1=a2=7C)

4.3 교차각

이 규정은 건널목에서 운전자의 시거를 확보하고 건널목의 길이를 가능한 한 짧게 함과 동시에 이륜차 등이 통행할 때, 철도시설의 간격에 차륜이 빠지는 것을 방지하기 위한 것으로 철도와의 교차각을 45°이상으로 한다.

4.4 접속구간의 평면선형 및 종단선형

건널목 전후의 도로가 굴곡부이거나 가시거리가 작으면, 차량 조종상 좋지 못하고 사고발생의 원인이 된다. 따라서 건널목 전후 30m에서 건널목을 시인할 수 있도록 한다.

건널목 전후는 일단정지 및 발진이 빈번하므로 종단경사가 미치는 영향은 크다. 트럭 등 잉여마력이 적은 자동차나 기타의 차량은 발진하기가 쉽지 않아 종종 위험을 수반하게 된다.

그러므로, 자동차류의 발진을 쉽게 하기 위하여 건널목 전후 도로의 종단경사를 3.0% 이하로 한다.

4.5 시거의 확보

이 규정은 일단 정지한 차가 안전하게 건널목을 통과하도록 하기 위해 필요한 시거를 규정한 것으로 <표 308.5>와 같다.

<표 308.5> 속도별 가시거리

건널목에서의 철도차량의 최고속도 (km/h)	가시구간의 최소길이 (m)
50미만	110
50이상 70미만	160
70이상 80미만	200
80이상 90미만	230
90이상 100미만	260
100이상 110미만	300
110이상	350

<표 308.5>의 값은 일단 정지한 자동차가 1.0m/sec^{2}의 가속도로 발진하여 속도가 15km/h가 되면 등속 진행하는 것으로 해서 구한 건널목 통과시간에 안전률 50%를 고려, 이 시간내의 열차주행 거리로 부터 구한 것이다.

이 경우, 자동차의 소요 통과거리는 <그림 308.6>과 같이

$$L = 3.0+(N-1)\times 4.0+2.0+10.0 = 15.0+4(N-1)$$

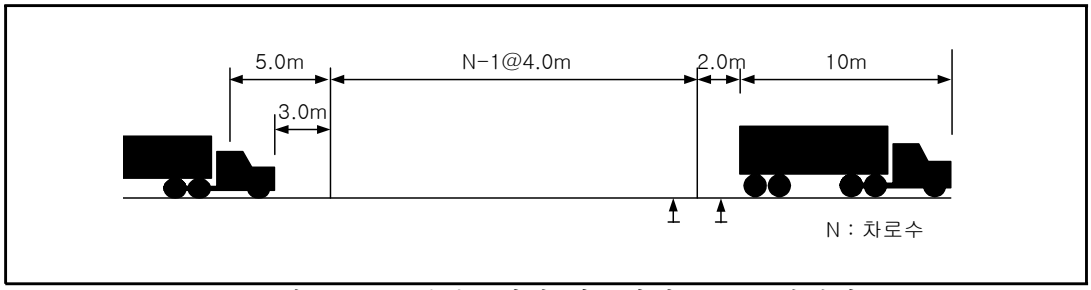
여기서, L = 소요통과거리(m)

N = 선로수

전술한 통과속도의 조건으로 통과시간을 구하면,

$$t = 5.7+0.96(N-1)$$

$$T = 1.5\square t = 8.5+1.4(N-1)$$



<그림 308.6> 건널목에서 자동차의 소요통과거리

여기서,

T : 안전율(50%)을 고려한 건널목 통과시간(sec)

N : 선로수

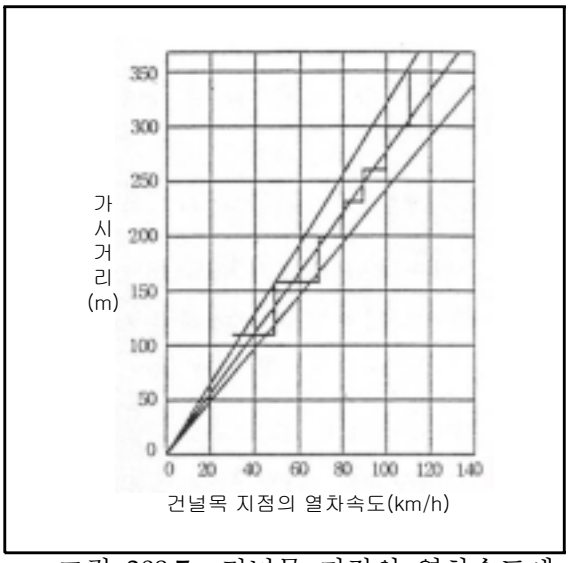
필요한 시거(편측)를 D라 하면,

$$D = \frac{V}{3.6} \times T$$

여기서,

V : 열차의 최고속도(km/h)

이에 의거 도시한 것이 <그림 308.7>이다.



<그림 308.7> 건널목 지점의 열차속도에 대한 가시거리

또한 규정의 수치는 <그림 308.6>에 나타낸 바와 같이 선로수가 2선의 경우에 대해서 열차속도에 따라 결정한 것이기 때문에 3선이상의 경우에는 이에 따라 더욱 긴 시거를 확보하도록 하는 것이 필요하겠다.

이 시거에 관한 규정은 도로 관련 기관과 철도 관련 기관과 상호 협력하여 이 규정을 살리도록 해야 할 것이다.

또한, 본문의 단서에 있는 바와 같이 건널목 차단기 기타의 보안설비(간수가 상주하지 않아도 좋음)가 설치된 개소에는 이 규정은 적용하지 않는다.

4.6 건널목의 폭

건널목의 폭은 전후도로가 개축되는 경우에는 적어도 그 폭에 맞추는 것이 당연하다. 기존 건널목에서는 전후의 도로보다도 폭이 협소한 것이 많지만 이것이 원인이 되어 차량이 떨어지거나 접촉 등의 사고가 발생하여 때로는 큰 사고의 원인이 되는 수도 있다.

원래, 건널목은 일반부에 비해서 교통이 폭주하는 장소이어서 그 폭을 축소할 이유가 없으므로 적어도 전후도로의 폭과 동일하게 하지 않으면 안된다. 또 건널목에서는 차량과 보행자가 폭주하므로 교통량이 많은 경우에는 반드시 보도를 설치할 필요가 있다.

308.5 기타 도로와의 교차

5.1 구조물 설치 기준

농어촌 도로를 횡단하는 구조물 설치시의 최소 기준을 도로의 종류에 따라 다음과 같이 적용한다.

농어촌 도로의 종류는 다음과 같다.

- 면도 : 도로법에 규정된 도로(이하 '군도 이상의 도로'라 한다)와 연결되는 읍·면 지역내의 기간도로
- 리도 : 군도 이상의 도로 및 면도와 분기하여 마을간이나 주요 산업단지 등과 연결되는 도로
- 농도 : 경작지 등과 연결되는 농·어민의 생산활동에 직접 공용되는 도로

(1) 면도 및 리도

면도와 리도의 횡단구성 제원은 <표 308.6>와 같다.

<표 308.6> 면도와 리도의 횡단구성 제원

구분	차로수	표준횡단 폭원	적용			비고
			구조물 형식	연장	통과높이	
면도	2	8.0~9.0	라멘교	10m 이상	4.8(4.2)	( )는 부득이한 경우
리도	1	6.5~7.5	라멘교	8m 이상	4.8(4.2)	

주) 1. 농어촌 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙상의 기하구조 기준을 만족시킬 것.
2. 표준 횡단 폭원 이상의 도로에 대해서는 별도 검토
3. 통과높이는 4.5m로 규정되어 있으나 포장 덧씌우기 등을 감안하여 4.7m 적용
4. 수로와 병행하는 경우는 별도 검토

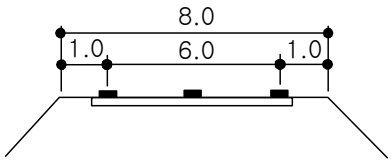
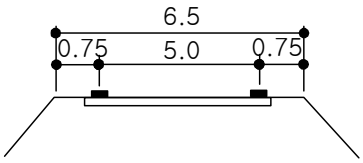
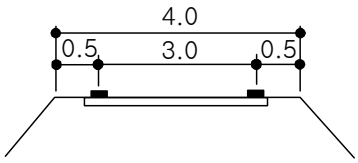
(2) 농도 (통로암거 설치기준과 동일)

<표 308.7> 농로 구조물 규격과 적용 기준

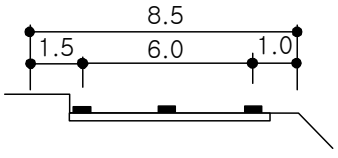
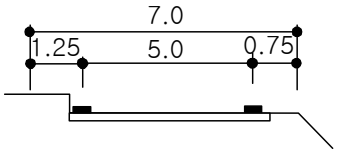
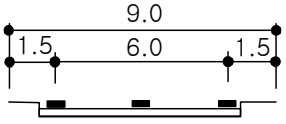
구조물 규격	적용 기준
4.5×4.5	현재 대형 자동차가 통행하고 있거나, 장차 통행 가능성이 있는 곳
4.0×4.0	위의 규정에서 부득이 축소해야 할 경우
3.5×3.5	산간 지대에서 자동차의 통행이 없는 곳, 또는 위의 기준에 만족하는 우회도로가 있는 곳
3.0×3.0	위의 기준외에 부득이한 곳

5.2 농어촌 도로의 표준 횡단구성

(a) 보도가 없는 경우

면 도	리 도	농 도
		

(b) 보도가 있을 경우

구 분	면 도	리 도
한쪽에만 보도를 설치하는 경우		
양쪽에만 보도를 설치하는 경우		

<그림 308.8> 보도 유무에 따른 횡단구성

5.3 농어촌 도로의 선형 기준

<표 308.8> 각 도로별 설계속도 및 최소 곡선반경

구분		설계속도(km/h)	최소 곡선반경(m)	시거(m)
면도	평지	50(30)	90(60)	65(45)
	산지	40(20)	60(15)	45(20)
리도		40(20)	60(15)	45(20)
농도		20	15	20

주) ( ) 는 부득이한 경우

5.4 통과 높이

- 일반적인 기준 : H=4.5m
- 부득이한 경우 : H=4.2m

  H=3.0m (대형 자동차의 교통량이 현저히 적고 당해 도로 인근에 대형 자동차가 우회할 수 있는 도로가 있는 경우)

참고문헌

【301 총론】

1. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 대한토목학회, 토목용어사전, 1998
3. 道路設計の 基本, 住友彰·遠藤作次 著, 地人書館, 1974
4. 道路實務講座 1·一般道路の 計劃と 設計, 田口二朗·增田 芳太郎 著, 山海堂

【302 설계 기본 사항】

1. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 건설교통부, 도로 용량 편람, 1992
3. 건설교통부, 도로공사 표준시방서, 1990
4. 한국도로공사, 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
5. 원제무·최재성 공저, 개정판 교통공학, 박영사, 1999
6. 한국도로공사, 설계실무 자료집 제2편 기하구조, 1996
7. 道路線形と環境設計(ハンス·ロレンツ 著), 高速道路調査會 道路景觀研究部會, 中村英夫·中村良夫 編譯, 鹿島出版會, 1976
8. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994
9. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986.
10. Richtlinien für die Anlage Von Straßen, 독일연방 도로설계지침, RAS-N : 도로의 종류와 규격(1988)

【303 횡단 구성】

1. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 한국도로공사, 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
3. 원제무·최재성 공저, 개정판 교통공학, 박영사, 1999
4. 도철웅, 교통공학원론(상, 하), 청문각, 1995
5. 고속도로 건설공사 표준도, 한국도로공사, 1999. 10
6. 일본도로공단, 도로설계요령 제4집 제10편, 1990
7. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994
8. Richtlinien für die Anlage Von Straßen, 독일연방 도로설계지침, RAS-Q96 : 도로 횡단면 기준(1996)
9. RURAL ROAD DESIGN(Guide to the Geometric Design of Rural Roads), Austroads, 1997

【304 도로 선형】

1. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 한국도로공사, 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
3. 원제무·최재성 공저, 개정판 교통공학, 박영사, 1999
4. 도철웅, 교통공학원론(상, 하), 청문각, 1995
5. 한국도로공사, 설계실무 자료집 제2편 기하구조, 1996
6. 한국도로공사, 화물차 성능조사 분석연구, 1995

7. 허번, 손원표 편역, 도로설계(이론과 실무), 원기술, 1994
8. 한국건설기술연구원, 오르막차선 및 양보차선의 설계지침연구, 1991
9. 고속도로 건설공사 표준도, 한국도로공사, 1999. 10
10. 고속도로 건설공사 표준도, 한국도로공사, 1999. 10
11. 강재수, 도로계획과 설계, 엔지니어즈, 2000
12. 일본도로협회, 도로구조령의 해설과 운용, 1983
13. 道路線形と環境設計(ハンス・ロレンツ 著), 高速道路調査會 道路景觀研究部會, 中村英夫・中村良夫 編譯, 鹿島出版會, 1976
14. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994
15. TRB, Highway Capacity Manual, 1999. 7
16. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986.
17. Richtlinien für die Anlage Von Straßen, 독일연방 도로설계지침, RAS-L : 도로 선형(1995)
18. RURAL ROAD DESIGN(Guide to the Geometric Design of Rural Roads), Austroads, 1997

【305 도로 기능별 설계 특기사항】

1. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 한국도로공사, 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
3. 武部健一 저, 노만영 역, 한국건설기술연구원 감수, 인터체인지 계획과 설계, 원기술, 1994
4. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994

【306 평면교차】

1. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 건설교통부, 도로 용량 편람, 1992
3. 원제무・최재성 공저, 개정판 교통공학, 박영사, 1999
4. 도철웅, 교통공학원론(상, 하), 청문각, 1995
5. 일본도로공단, 도로설계요령 제4집 제10편, 1990
6. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994
7. Ministry of Transportation and Highways (Province of British Columbia), Highway Engineering Design Manual, 1994
8. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986.

【307 입체교차】

1. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 한국도로공사, 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
3. 武部健一 저, 노만영 역, 한국건설기술연구원 감수, 인터체인지 계획과 설계, 원기술, 1994
4. 원제무・최재성 공저, 개정판 교통공학, 박영사, 1999
5. 한국도로공사, 고속도로 건설공사 표준도, 1999. 10
6. 강재수, 도로계획과 설계, 엔지니어즈, 2000
7. 일본도로협회, 도로구조령의 해설과 운용, 1983

8. 道路實務講座 3・高速道路の 計劃と 設計, 河島 恒・市川義博 著, 山海堂
9. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994
10. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986.
11. RURAL ROAD DESIGN(Guide to the Geometric Design of Rural Roads), Austroads, 1997

【308 기타】

1. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 한국도로공사, 설계실무자료집 제1권 설계행정/교통 및 기하구조/토공, 1999
3. 한국도로공사, 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조, 1992
4. 한국도로공사, 고속도로 건설공사 표준도, 1999. 10
5. 대학토목학회 제45권 제12호, 도로의 전산설계, 1997. 12
6. 일본도로공단, 도로설계요령 제4집 제10편, 1990
7. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994

부 록

1. 전산 선형 설계

(1) 개요

현재 많은 도로 전산 설계 프로그램들이 사용되고 있으나, 토목 설계 자동화는 타 설계분야에 비해 전산화 진행속도가 상당히 완만하며 투자 대비 효과가 저조한 실정이다.

이러한 이유는 국내 설계 현실에 맞는 설계 프로그램의 부재와 외국 소프트웨어 도입시 설계 방식의 차이(기본설계와 실시설계의 개념 차이)와 설계의 기본 DB의 사용(수치지도의 사용으로 인한 지형정보) 차이로 인해 우리 현실에 맞지 않다는 점이다.

다음은 외국 도로 전산설계 프로그램의 국내 적용시 문제점이다.

- 사용자 측면
  - 전문 용어 해석의 차이
  - 한글화 작업의 미비
  - 설계 과정의 차이
  - 기본설계 및 실시설계 기능의 상이

- 프로그램 개발자 측면
  - 근본적인 설계환경 차이
  - 국내 토목설계 표준화가 미비
  - 국내만의 독특한 형식 존재
  - 프로그램 소스의 일반화가 대부분 불가능
  - 전문적인 기술을 지닌 실무 기술진의 부족

국내 현실에 적합한 도로 전산설계 프로그램의 개발을 위해 갖춰야할 중점과제는 다음과 같다.

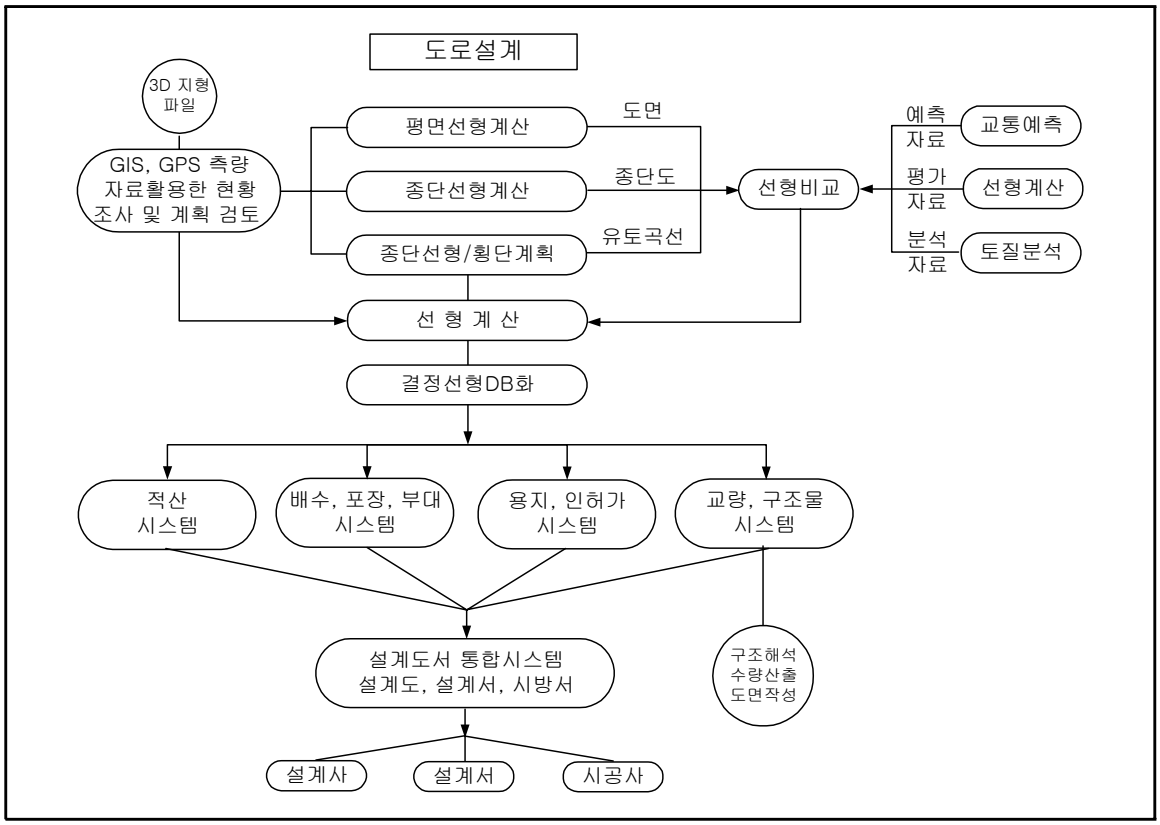
① 정확한 설계결과를 신속히 도출함으로써 다양한 대안의 비교, 검토가 가능해야 함
② 설계, 시공, 감리 등 일련의 과업과정 등에 적용 가능한 성과품이 생산되야함
③ 지침 변경 및 추가에 따른 설계 공정의 수정에 즉각 대처가 가능해야함
④ 설계 변경 보완의 지속적 관리가 가능토록 해야함
⑤ 비교, 예측의 신속성, 정확성을 위해 정보의 축적이 가능토록함
⑥ 보조 공정(교통, 토질, 환경 등)의 자료 참조가 자유로와야함

<그림 부록-1>은 도로 전산설계 통합시스템을 위한 전체적인 흐름도를 나타내고 있다.

(2) 국내·외 소프트웨어의 비교

현재 국내에서 사용되고 있는 외국 프로그램과 국내에서 개발되어 사용되고 있는 프로그램들은 다음과 같다.

① 기능 및 모듈구성 측면
- MOSS ([영] Moss System Ltd.)



<그림 부록-1> 도로설계 전산 통합시스템

프로그램 모듈

- Mxconcep (기본 설계 툴)
- Mxroad (도로 설계용 모듈)
- Mxrail (철도 설계용 모듈)
- Mxlite (기본 운영 시스템)

특징

- 양질의 프리젠테이션
- 손쉬운 조작의 3D 설계전용
- 지형분석 및 최적의 토공설계
- 토목설계 도로, 단지 등 다양한 분야의 설계지원
- 시공후의 형상 시뮬레이션
- User Programming Module 이용으로 사용자가 설계방법 및 양식정의

• Softdesk ([미] Autodesk, Inc.)

모듈별 기능 및 특징

- 점관리 : 복수의 프로젝트 팀 구성원들이 점(point) 데이터를 동시에 공유할 수 있도록 하는 점관리시스템(Point Management System)을 포함
- 데이터 포착(Capture) 및 분석(Survey)
- 표면 모델링 및 등고선 작업 기능(DTM)
- Earthwork : 단지설계를 위한 빌딩 패드, 주차구역, 연못, 절토, 성토, 포인트 데이터 셋팅, 등고선 작업등의 도구를 제공
- Design : 계획 단지 설계에서의 통합된 site 설계 Solution을 지원
- Advanced Design : 새로운 도로 시공, 보수, 터널, 해협, 철도, 매립지, 댐의

정렬 등의 모든 Corridor 설계작업을 다룸
- Hydrology Tools : 댐, 저수지 등의 레이아웃, 그레이딩 및 분석을 담당하며, 해협, 운하, 파이프, 연못, 배수거 등의 유량 계산 및 하이드로 그래프, 전체 표면 유실량 등의 계산을 수행
- Landscape : 건축사, 조경 설계사 및 단지계획 및 설계 전문가를 위한 모듈로 집약적 레이아웃에서부터 설계, 계약서 작성, 공간계획 및 유지보수에 까지 이르는 강력한 조경 Solution을 제공

• Road Project ([한] (주) 나모소프트)

RP CAD 세부목차
- 파일
- 보기
- 벡터제도
- 벡터수정
- 벡터제도보조
- 래스터
- 수치지도

Road Project 세부목차
- 기본자료
- 평면
- 종단
- 편경사 및 확폭
- 횡단

• Quick Road ([한] (주) 우대기술단)

모듈
- 캐드 시스템
- 도로계획 시스템

특징과 기능
- 쉽고 간편한 윈도우즈 환경
- 도로설계 절차상의 전산화
- 기능 숙지가 용이함
- 측도 등 특수 처리 기능 보유

• RD2000 ([한] (주) 평화데이터시스템)

세부목차
- 프로젝트의 시작
- 삼각망 생성
- 평면설계
- 종단설계
- 분리차로/램프설치
- 횡단설계
- 구조물
- 모델링, 시거계산, 계획평면도

② 사회 문화적 환경에 따른 설계방식의 차이 (국내/외 프로그램의 비교)

• 실시설계와 기본설계의 차이
- 외국의 도로설계는 기본설계로 이루어지며 실시설계에 따른 물량등의 세부사항은 시공자가 계산, 적용하고 있음

• 설계 표준의 설정
- 법면의 설계시 국내 설계는 발주자/관리 감독자 및 현장 여건에 따라 다양한 설계 기준이 적용되고 있으나, 외국의 설계 기준은 일괄적인 기준을 적용하고 있음

• 구조물의 설계
- 국내의 설계는 구조물의 설계를 설계자가 하고 있으나, 외국의 경우 구조물 시공자가 제작, 시공하고 있음

2. 선진 외국의 도로설계편람 관련 홈페이지

(1) 캘리포니아 주의 도로설계편람

- URL - http://www.dot.ca.gov
- 세부연결주소 - http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/hdmtoc.htm
- 내용 - 캘리포니아주 교통국(Caltrans)의 도로설계편람을 PDF 파일과 인터넷 상에서 htm 문서로도 볼 수 있다.

(2) Federal Highway Administration 산하 Western Federal Lands Highway Division 의 Project Development 설계편람

- URL - http://www.fhwa.dot.gov
- 세부연결주소 - http://www.wfl.fha.dot.gov/projects/pddm/
- 내용 - 도로 설계와 관련된 프로젝트를 위하여 공학적 체계에 따라 정보와 지침을 제공하며, 본 편람은 1996년 6월 m단위로 재개정된 것으로, '제9장 도로 설계'에서는 전반적인 도로 설계 과정에 대한 내용을 담고 있다.

(3) 아리조나 주의 도로설계편람

- URL - http://www.dot.state.az.us
- 세부연결주소 - http://www.dot.state.az.us/roads/rdwyeng/updates
- 내용 - 아리조나주의 도로 설계와 관련된 대표적인 도로 횡단면과 편경사 설치 관련 도면, 중앙분리대, 진출입 연결로와 같은 각종 도로 관련 설계도면을 PDF 파일로 볼 수 있다.

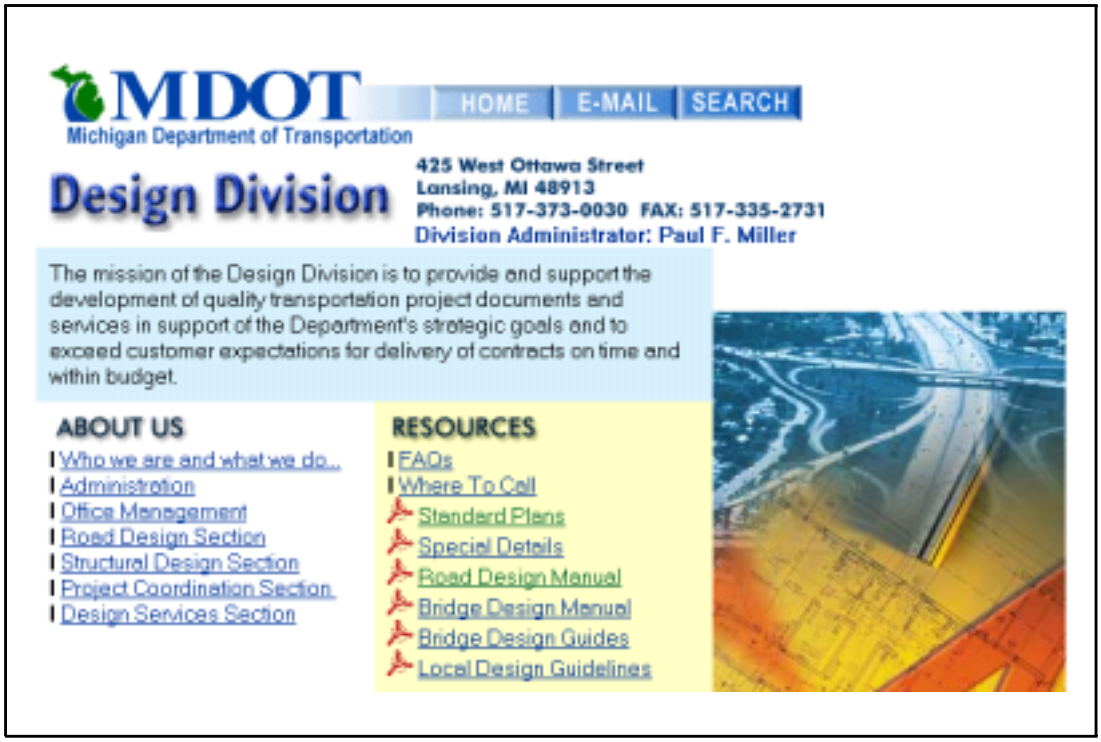
(4) 미시간 주의 도로설계편람

- URL - http://www.mdot.state.mi.us
- 세부연결주소 - ① http://www.mdot.state.mi.us/design/standardplans/index.htm ② http://www.mdot.state.mi.us/design/roadmanual/
- 내용 - 세부연결주소 ①은 미시간주의 현재 도로설계 관련 정책에 반영되는 도로 및 교량 관련 표준 설계 도면(Standard Plans)을 볼 수 있으며, 세부연결주소 ②는 미시간 주의 도로설계편람이며, PDF 파일로 전체 내용을 볼 수 있다.

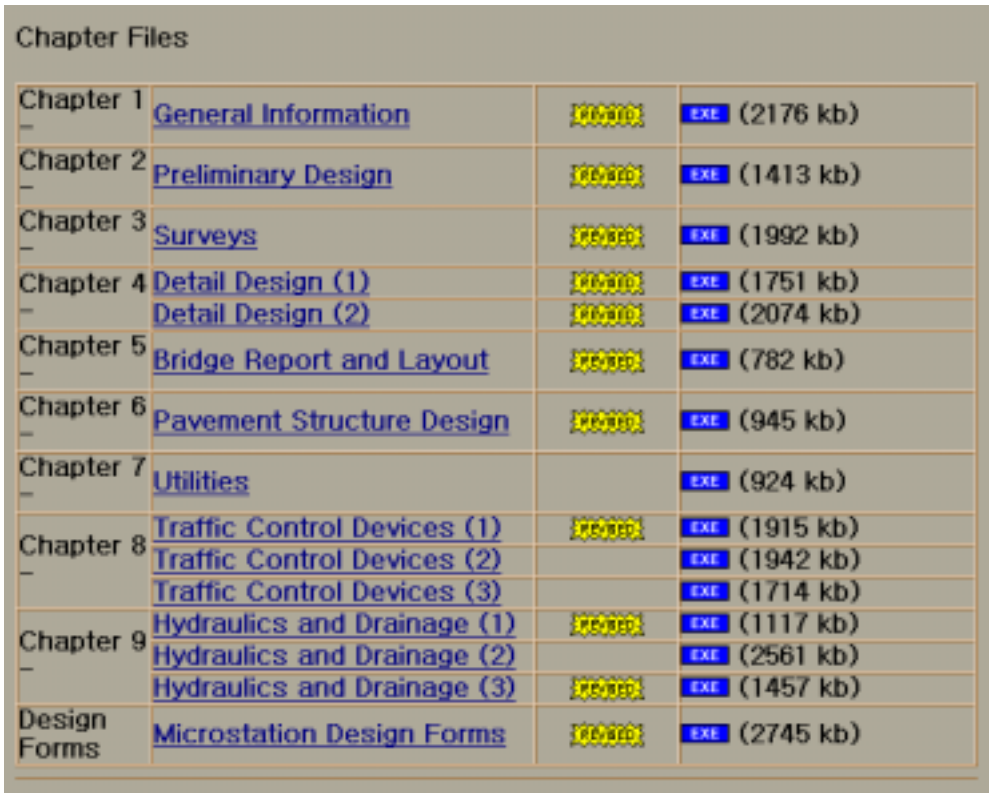
(5) 워싱턴 주의 도로설계편람

- URL - http://www.wsdot.wa.gov
- 세부연결주소 - http://www.wsdot.wa.gov/fasc/EngineeringPublications/Manuals/
- 내용 - 워싱턴주의 도로설계 관련 편람들의 내용을 볼 수 있다. 그외에도 교량, 노변(roadside) 등의 관련 내용을 PDF 파일로 다운로드 받아 볼 수 있다.

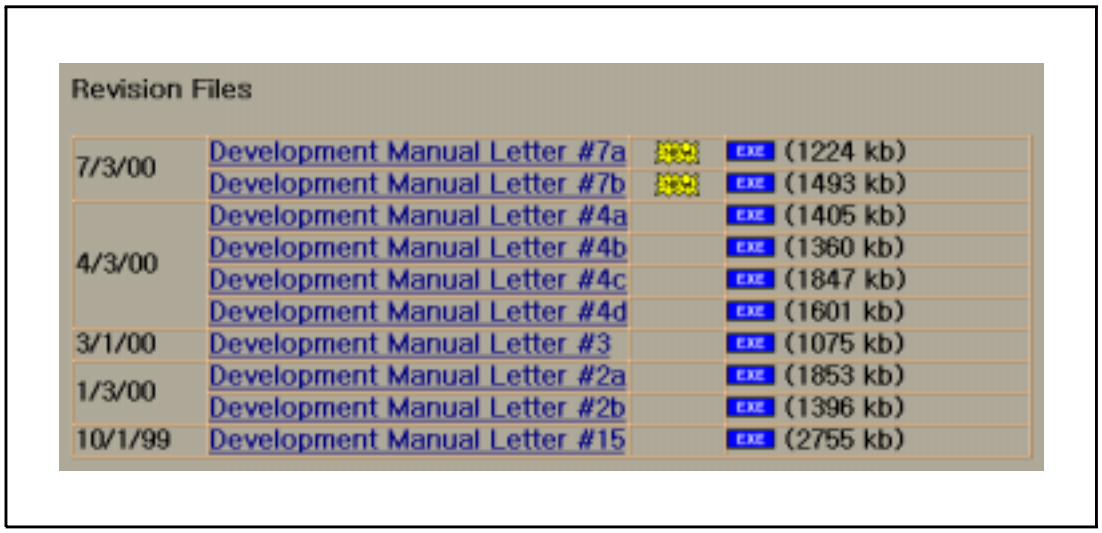
<그림 부록-2~4>은 각각 미시간 주의 설계편람 초기화면, 도로설계편람의 목차와 편람의 개정에 따른 추가 작업 파일의 개정 현황에 관한 내용을 보여 주고 있다.



<그림 부록-2> 미시간 주의 설계편람 초기화면



<그림 부록-3> 미시간 주의 도로설계편람 목차



<그림 부록-4> 미시간 주의 도로설계편람의 개정 내용

색 인

(ㄱ)

간선도로 305-8
계획 교통량 301-2
계획 목표연도 301-2
고가형 고속도로 305-5
고속도로 301-2, 302-1
305-1
곡선반경 304-8
교차로 306-1
교차로 시거 304-4
교통관제 306-7
교통량 302-12
교통섬 301-5
국지도로 305-12
길어깨 301-4, 303-15

(ㄴ)

노상시설 301-4
농어촌 도로 308-15

(ㄷ)

다이크 301-4
단순 입체교차 307-6
도로 구조령 301-1
도로경관설계 304-79
도로교통용량 301-2
도로안전시설 301-5
도로용량 302-12
도류로 306-57
도류화 306-39
도시지역 301-3

(ㄹ)

로터리 307-29

(ㅁ)

목표연도 302-4

(ㅂ)

버스정류장 308-1
변속 차로 304-67
변속 차로 306-57
변속차로 301-3, 307-56
변칙교차 306-22
변형교차 306-22
보도 301-4, 303-25
보행자 302-18
보호 길어깨 303-19
복단면 도로 304-82
부가 차로 304-55
분기점 307-76
분리 간선도로 305-9
분리대 301-3
불완전 입체교차 307-22
비분리 간선도로 305-9

비상 주차대 303-23
비탈면 301-5

(ㅅ)

산지부 도로 304-82
상충 306-5
설계 서비스 수준 301-2
설계 시간 교통량 301-2
설계구간 301-3
설계구간 302-5
설계기준 자동차 301-2, 302-6
설계서비스 교통량 302-15
설계속도 301-3, 302-5
설계시간 교통량 302-13
세미트레일러 301-2
시거 304-1
시거 삼각형 306-28
시설한계 301-4, 302-19
식수대 303-34
신호설계 306-37

(ㅇ)

앞지르기 시거 301-4, 304-3
양보 차로 304-63
연결로 301-5
연석 303-27
영업소 308-6
예각교차 306-20
오르막 차로 301-3, 304-55
옹벽 301-5
완전 입체교차 307-30
완화곡선 301-4, 304-12
완화구간 304-12
우회전 차로 306-57
운전자 302-16
원곡선 304-6
유도 차로 306-66
육교 303-27
인터체인지 307-10
일반도로 301-2
일반도로 302-1
입체교차 301-5, 307-1

(ㅈ)

자동차 301-2
자동차 전용도로 302-1
자전거 도로 303-29
자전거・보행자도로 301-4
자전거도로 301-4
저상(低廂)형 고속도로 305-2
전산 선형 설계 부록-1
접근관리 302-21, 305-11
정지 시거 301-4, 304-1
종단경사 301-4, 304-44
종단곡선 304-44
종단선형 304-44
좌회전 차로 306-49
주・정차대 301-4, 303-21
중앙분리대 301-3, 303-8
중앙분리대 개구부 303-13
지방지역 301-3
직선 304-4
집산도로 305-11

(ㅊ)

차도 301-3, 303-4
차로 301-3
차로 수의 조화 303-5
차로 폭 303-4
차로계획 306-16
차선 301-3
출입제한 301-3
측대 301-3
측도 303-35

(ㅋ)

(ㅌ)

턴아웃 304-66

(ㅍ)

편경사 301-4, 304-8
304-19
평면선형 304-4

(ㅎ)

확폭 303-6
환경시설대 301-4, 303-32
회전 차로 301-3, 304-67
횡단 구성 계획 303-1
횡단 구성 요소 303-2
횡단경사 301-4, 304-16
횡단보도 303-27
횡방향 미끄럼 마찰계수 304-6
흙깎기 301-5
흙쌓기 301-5

제 4 편 토공 및 배수

목 차

401 총 론

401.1 적용범위 ····· 401-1

401.2 용어의 정의 ····· 401-1

401.3 토공 및 배수 구성요소 ····· 401-2

402 지반조사와 시험

402.1 일반사항 ····· 402-1

402.2 흙과 암반의 분류 ····· 402-1

2.1 흙과 암반의 분류 목적 ····· 402-1

2.2 흙과 암반의 적용 ····· 402-1

2.3 흙의 분류 ····· 402-2

2.4 암반의 분류 ····· 402-8

402.3 지반조사 ····· 402-16

3.1 조사의 구분 ····· 402-16

3.2 조사목적 ····· 402-16

3.3 조사방법 ····· 402-17

3.4 단계별 조사내용 ····· 402-19

402.4 하천조사 ····· 402-21

402.5 시공환경조사 ····· 402-22

5.1 기존자료의 조사 ····· 402-22

5.2 주변환경의 조사 ····· 402-22

5.3 작업환경의 조사 ····· 402-22

402.6 기타조사 ····· 402-23

6.1 연약지반 ····· 402-23

6.2 산지부 ····· 402-23

6.3 근접시공 ····· 402-24

402.7 시험 ····· 402-25

7.1 현장시험 ····· 402-25

7.2 실내시험 ····· 402-26

403 토 공

403.1 일반사항 ····· 403-1
1.1 토공의 기본 ····· 403-1
1.2 토공의 재료 ····· 403-1
403.2 토공의 흐름 ····· 403-2
2.1 계획단계 ····· 403-2
2.2 실시설계단계 ····· 403-4
2.3 발주 및 시공단계 ····· 403-5
2.4 검사 및 유지관리단계 ····· 403-6
403.3 토공계획의 일반사항 ····· 403-7
3.1 노선선정 ····· 403-7
3.2 토량의 배분 ····· 403-7
3.3 공사용 도로 ····· 403-10
3.4 토취장 ····· 403-11
3.5 사토장 ····· 403-12
3.6 토공계획의 고려사항 ····· 403-12
403.4 토공의 설계 ····· 403-13
4.1 설계의 기본방침 ····· 403-13
4.2 설계의 유의사항 ····· 403-14

404 노 체

404.1 일반사항 ····· 404-1
404.2 노체재료 ····· 404-1
2.1 토사 또는 암버럭으로 노체를 형성하는 경우 ····· 404-1
2.2 토사 또는 암버럭 이외의 재료로 노체를 형성하는 경우 ····· 404-1
404.3 노체의 다짐 ····· 404-4
3.1 일반사항 ····· 404-4
3.2 다짐의 기준 ····· 404-5
3.3 다짐의 범위 ····· 404-6
3.4 다짐층의 두께 ····· 404-6
3.5 함수비 조절 ····· 404-6
3.6 다짐장비 ····· 404-7
3.7 암버럭의 다짐 ····· 404-7
3.8 시험시공 ····· 404-7

404.4 흙쌓기 비탈면 ····· 404-7
4.1 일반사항 ····· 404-7
4.2 흙쌓기 비탈면의 단면 구성 ····· 404-8
4.3 흙쌓기 비탈면의 시공 ····· 404-8
4.4 흙쌓기 비탈면의 안정 검토 ····· 404-9
404.5 흙쌓기부의 기초지반 대책 ····· 404-15
404.6 흙쌓기부의 배수대책 ····· 404-15
404.7 높은 흙쌓기 ····· 404-21
404.8 경사 지반상의 흙쌓기 ····· 404-22
8.1 층따기 ····· 404-22
8.2 편절편성부 ····· 404-23
8.3 절성경계부 ····· 404-25
404.9 노체의 품질관리 ····· 404-25
9.1 선정시험 ····· 404-25
9.2 관리시험 ····· 404-25
9.3 규격관리 ····· 404-26

405 노 상

405.1 일반사항 ····· 405-1
405.2 노상재료 ····· 405-1
2.1 노상 재료의 선정 ····· 405-1
2.2 노상 재료의 품질 ····· 405-3
405.3 노상의 다짐 ····· 405-6
405.4 노상의 횡단경사 ····· 405-8
405.5 흙깎기부 노상 ····· 405-8
405.6 노상의 안정처리 ····· 405-8
405.7 노상의 품질관리 ····· 405-9
7.1 선정시험 ····· 405-9
7.2 관리시험 ····· 405-9
7.3 규격관리 ····· 405-9

406 비탈면

406.1 일반사항 ····· 406-1
406.2 비탈면 조사 ····· 406-1
2.1 개요 ····· 406-1
2.2 조사 현황표 ····· 406-5
406.3 땅깎기 비탈면 설계 ····· 406-9
3.1 땅깎기 비탈면 설계 흐름 ····· 406-9
3.2 비탈면 경사 ····· 406-10
3.3 땅깎기 비탈면 경사도 설계시 ····· 406-10
3.4 땅깎기 비탈면 안정해석 ····· 406-11
406.4 암반 비탈면 설계 ····· 406-16
4.1 암반 비탈면 설계 흐름 ····· 406-16
4.2 암반 비탈면 경사 ····· 406-17
4.3 암반 비탈면 경사 적용시 고려사항 ····· 406-18
4.4 암반 비탈면 안정해석 ····· 406-19
4.5 평사투영 해석법 ····· 406-28
4.6 암반 비탈면 붕괴 유형 ····· 406-28
406.5 흙쌓기 비탈면 설계 ····· 406-33
5.1 설계 기본사항 ····· 406-33
5.2 흙쌓기 비탈면의 경사 ····· 406-33
5.3 흙쌓기 비탈면 경사 적용시 고려 할 사항 ····· 406-33
5.4 흙쌓기 비탈면의 소단 ····· 406-34
5.5 흙쌓기 비탈면의 안정성검토 ····· 406-34
406.6 낙석 방지 대책 ····· 406-37
6.1 설계 기본사항 ····· 406-37
6.2 낙석 대책공의 선정 ····· 406-37
6.3 낙석 예방 공법 ····· 406-39
6.4 낙석 방지 공법 ····· 406-40
406.7 비탈면 붕괴 대책 ····· 406-45
7.1 비탈면 붕괴의 원인 ····· 406-45
7.2 비탈면 붕괴의 분류 ····· 406-47
7.3 비탈면 붕괴 대책 공법 ····· 406-49

407 옹 벽

407.1 일반사항 ····· 407-1
407.2 옹벽의 계획 및 형식선정 ····· 407-1
2.1 옹벽의 계획 ····· 407-1
2.2 조사 ····· 407-1
2.3 옹벽의 구조형식 선정 ····· 407-4
2.4 기초구조형식 선정 ····· 407-7
407.3 하중 ····· 407-7
3.1 자중 ····· 407-7
3.2 상재하중 ····· 407-8
3.3 토압 ····· 407-8
3.4 수압 및 양압력 ····· 407-10
3.5 지진하중 ····· 407-10
3.6 기타하중 ····· 407-10
407.4 콘크리트 옹벽 ····· 407-11
4.1 설계 ····· 407-11
4.2 토압계산 ····· 407-11
4.3 안정해석 ····· 407-21
4.4 구체의 설계 ····· 407-27
4.5 기초의 설계 ····· 407-32
4.6 배수공 ····· 407-34
4.7 구조세목 ····· 407-36
4.8 기타 설계·시공상의 주의점 ····· 407-39
407.5 보강토 옹벽 ····· 407-42
5.1 일반사항 ····· 407-42
5.2 설계조건 및 안정해석 ····· 407-42
5.3 설계·시공상의 주의점 ····· 407-57
407.6 EPS 옹벽 ····· 407-58
6.1 일반사항 ····· 407-58
6.2 설계조건 및 안정해석 ····· 407-58
6.3 시공시 주의점 ····· 407-65

408 암거

408.1 암거의 계획 일반 ····· 408-1
1.1 암거의 분류 ····· 408-1
1.2 선형계획 ····· 408-1
1.3 내공단면 결정 ····· 408-3
1.4 암거의 형식선정 ····· 408-3
408.2 현장 타설 철근 콘크리트 ····· 408-4
2.1 적용 범위 ····· 408-4
2.2 암거의 상세 계획 ····· 408-4
2.3 구조계산 ····· 408-21
2.4 배근상세 ····· 408-44
408.3 관형암거 ····· 408-49
3.1 적용범위 ····· 408-49
3.2 철근 콘크리트 관형 암거 ····· 408-49
3.3 파형 강관 ····· 408-57

409 연약지반

409.1 연약지반의 정의 및 판정 ····· 409-1
1.1 연약지반의 정의 ····· 409-1
1.2 연약지반의 판정기준 ····· 409-1
1.3 연약지반에서의 설계 및 시공상 문제점 ····· 409-1
409.2 연약지반의 조사 및 시험 ····· 409-6
2.1 개요 ····· 409-6
2.2 현장조사 ····· 409-11
2.3 현장시험 ····· 409-11
2.4 실내토질시험 ····· 409-11
2.5 시험결과 이용방안 ····· 409-11
2.6 설계정수 결정 ····· 409-14
409.3 설계 및 시공의 기본개념 ····· 409-15
3.1 설계 및 시공에 관한 기본사항 ····· 409-15
3.2 설계 및 시공시 유의사항 ····· 409-15
409.4 연약지반위 제체의 안정성 분석 ····· 409-18
4.1 기본개념 ····· 409-18

4.2 비탈면 안정성 분석 ····· 409-18
409.5 제체의 침하 예측 ····· 409-24
5.1 침하 예측의 기본개념 ····· 409-24
5.2 설계시 침하량 계산 ····· 409-27
5.3 수정 침하량 추정 방법 ····· 409-30
409.6 연약지반 개량공법 ····· 409-36
6.1 개량공법의 선정과 설계순서 ····· 409-36
6.2 장기침하 대책 ····· 409-41
409.7 연약지반 개량공법 상세 ····· 409-43
7.1 샌드매트 깔기공 ····· 409-43
7.2 토목섬유 매트 깔기공 ····· 409-44
7.3 재하중 공법 ····· 409-45
7.4 연직배수공 ····· 409-49
7.5 모래다짐말뚝공법 ····· 409-56
7.6 혼합처리공법 ····· 409-58
7.7 진공압밀공법 ····· 409-59
7.8 치환공법 ····· 409-60
7.9 동다짐 공법 ····· 409-61
7.10 고압분사 교반공법 ····· 409-62
7.11 액상화 대책공법 ····· 409-63
7.12 압성토 공법 ····· 409-64
7.13 경량성토공법 ····· 409-65
409.8 현장계측 ····· 409-66
8.1 계측목적 ····· 409-66
8.2 계측관리 계획시 검토사항 ····· 409-66
8.3 계측기 매설위치 선정 ····· 409-66

410 배수

410.1 일반사항 ····· 410-1
410.2 기본계획 ····· 410-1
2.1 목적 ····· 410-1
2.2 도로계획 ····· 410-2
2.3 조사 및 분석 ····· 410-3
2.4 설계생기빈도의 결정 ····· 410-4

2.5 배수계획시 고려사항 ····· 410-5
410.3 도로의 수리 수문 ····· 410-11
3.1 강우량 ····· 410-11
3.2 강우와 유출 ····· 410-15
3.3 개수로의 일반사항 ····· 410-17
3.4 도로암거의 수리 ····· 410-21
3.5 지하배수 ····· 410-31
410.4 배수시설 설계 ····· 410-35
4.1 배수시설의 명칭 및 구분 ····· 410-35
4.2 배수 시설기준 ····· 410-37
4.3 조사 ····· 410-46
4.4 표면 배수시설 ····· 410-47
4.5 지하배수시설 ····· 410-59
4.6 횡단배수시설 ····· 410-67
4.7 비탈면 배수시설 ····· 410-70

411 참고문헌 ····· 411-1

412 색인 ····· 412-1

표 목 차

402 지반조사와 시험

<표 402.1> 분류기호의 설명 ····· 402-2
<표 402.2> 통일분류법에 의한 흙의 공학적 분류방법 ····· 402-3
<표 402.3> 통일분류법에 의한 흙의 분류(흙쌓기 및 기초용) ····· 402-4
<표 402.4> 통일분류법에 의한 흙의 분류(도로 및 활주로 용도) ····· 402-5
<표 402.5> AASHTO 분류에 의한 분류방법 ····· 402-7
<표 402.6> 흙의 분류와 노상토로서의 문제점 및 안정처리 효과 ····· 402-8
<표 402.7> 일축압축강도에 의한 분류 ····· 402-9
<표 402.8> 탄성계수비와 일축압축강도비에 의한 분류법 ····· 402-10
<표 402.9> 절리 간격에 의한 분류법 ····· 402-11
<표 402.10> 풍화도에 의한 분류법 ····· 402-11
<표 402.11> RQD에 의한 분류법 ····· 402-11
<표 402.12> 균열계수에 의한 분류법 ····· 402-12
<표 402.13> 건설표준품셈의 토질 및 암의 분류기준 ····· 402-13
<표 402.14> 토사, 리핑암, 발파암의 구분 ····· 402-16
<표 402.15> 조사단계별 조사내용 ····· 402-17
<표 402.16> 기존자료조사의 내용 ····· 402-19
<표 402.17> 현장답사시에 관찰할 사항 ····· 402-20
<표 402.18> 지질조사항목 ····· 402-20
<표 403.19> 토질시험 항목별 한국산업규격 번호 및 시험결과 이용 ····· 402-27
<표 403.20> 암석시험 종류 및 결과의 이용 ····· 402-28

403 토 공

<표 403.1> 각 단계에서 토공설계에 필요한 기본사항 착악점 ····· 403-8
<표 403.2> 토량환산계수 ····· 403-9
<표 403.3> 토량환산계수에 적용되는 기준치 ····· 403-9

404 노 체

<표 404.1> 노체 설계시 일반적인 고려사항 ····· 404-3
<표 404.2> 노체재료의 품질 및 다짐 ····· 404-3

<표 404.3> EPS 블록의 품질기준 ····· 404-4
<표 404.4> EPS 블록의 연결죔쇠 재료기준 ····· 404-4
<표 404.5> 노체의 지지력계수(K_{30}) 기준 ····· 404-5
<표 404.6> 토사로 흙쌓기를 할 경우의 다짐층 두께 ····· 404-6
<표 404.7> 안정검토를 필요로 하는 흙쌓기 ····· 404-9
<표 404.8> 각종 도로의 내진 등급 ····· 404-9
<표 404.9> 공시체 제작시 시료의 함수비와 밀도 ····· 404-12
<표 404.10> 안정계산식의 적용 ····· 404-14
<표 404.11> 흙쌓기부의 기본적인 배수대책 ····· 404-16
<표 404.12> 기초지반의 종류에 따른 층따기의 표준치수 ····· 404-22
<표 404.13> 흙쌓기 재료의 선정시험 ····· 404-25
<표 404.14> 흙쌓기 작업의 관리시험 ····· 404-26

405 노 상

<표 405.1> 노상 재료의 구성 및 선정을 위한 검토 사항 ····· 405-2
<표 405.2> 노상 재료의 품질기준 ····· 405-4
<표 405.3> 노상의 다짐 조건 ····· 405-5
<표 405.4> 평판재하시험을 실시한 경우 노상의 지지력계수(K_{30}) 기준 ····· 405-6
<표 405.5> 원지반의 재료에 따른 땅깎기부의 노상 설계 ····· 405-6
<표 405.6> 땅깎기부 노상의 시공에서 발생하는 주요 문제점과 대책 ····· 405-6
<표 405.7> 안정처리 노상의 혼합방식과 특징 ····· 405-10
<표 405.8> 토질별 첨가량의 기준 ····· 405-11
<표 405.9> 노상 흙쌓기 작업의 관리시험 ····· 405-11

406 비탈면

<표 406.1> 수집가능한 지도 및 항공사진 ····· 406-3
<표 406.2> 현장조사의 종류 및 내용 ····· 406-4
<표 406.3> 조사 비탈면 현황표 ····· 406-8
<표 406.4> 땅깎기 비탈면 표준경사 ····· 406-10
<표 406.5> 건기와 우기에 따른 최소안전율 ····· 406-11
<표 406.6> 비탈면 안정해석에 사용되는 전단강도, 수압, 단위중량 ····· 406-12
<표 406.7> 암반 비탈면의 절취경사 ····· 406-17
<표 406.8> 일축압축강도에 따른 암석의 분류 ····· 406-19
<표 406.9> 충전물을 포함하고 있는 불연속면의 전단강도 ····· 406-23

<표 406.10> 주향과 경사를 나타내는 기호법 ····· 406-24
<표 406.11> 불연속면의 영향에 대한 보정치 ····· 406-27
<표 406.12> SMR 분류등급에 따른 비탈면 안정성 평가 및 붕괴유형 ····· 406-27
<표 406.13> 흙쌓기 비탈면의 표준경사 ····· 406-33
<표 406.14> 흙쌓기 비탈면의 최소안전율 ····· 406-35
<표 406.15> 낙석대책 적용에 관한 참고표 ····· 406-38
<표 406.16> 낙석의 도약높이와 이격거리와의 관계 ····· 406-43
<표 406.17> 비탈면 붕괴 발생원인 검토항목 ····· 406-47
<표 406.18> 비탈면 붕괴의 분류 ····· 406-48
<표 406.19> 비탈면 보호공의 종류 및 장단점 ····· 406-50
<표 406.20> 흙 비탈면 원리별 대책공법의 종류 ····· 406-51
<표 406.21> 암반 비탈면의 원리별 대책공법의 종류 ····· 406-54
<표 406.22> 암반 비탈면의 파괴형태에 따라 일반적으로 적용 가능한 대책공법 ····· 406-55

407 옹 벽

<표 407.1> 뒤채움재의 설계 토질정수 ····· 407-3
<표 407.2> 흙의 단위체적중량 ····· 407-3
<표 407.3> 벽면마찰각 ····· 407-13
<표 407.4> 콘크리트의 면상태 및 흙의 종류에 따른 벽면마찰각 ····· 407-13
<표 407.5> 지반의 허용지지력 ····· 407-25
<표 407.6> 철근의 정착길이 ····· 407-37
<표 407.7> 철근의 이음길이 ····· 407-38
<표 407.8> 뒤채움 흙 적합 조건 ····· 407-43
<표 407.9> 벽체 묻힘깊이의 추천값 ····· 407-48
<표 407.10> EPS 블럭 종류별 건조 단위체적중량 ····· 407-60

408 암거

<표 408.1> 한국도로공사 통로 암거 표준 규격 ····· 408-3
<표 408.2> 암거의 형식 선정 ····· 408-4
<표 408.3> 평면형태의 제한 값 ····· 408-5
<표 408.4> 장기 침하량 ····· 408-21
<표 408.5> Eo와 α값 ····· 408-23
<표 408.6> 재료의 단위중량 ····· 408-24
<표 408.7> 흙의 단위체적중량 ····· 408-25

<표 408.8> 흙의 내부마찰각 및 점착력 ····· 408-26
<표 408.9> 토피두께와 충격계수 관계 ····· 408-30
<표 408.10> Kögler 식에 의한 도로면 활하중의 등가 등분포하중 ····· 408-31
<표 408.11> 하중조합 예 ····· 408-33
<표 408.12> 허용 균열 폭, w_a ····· 408-37
<표 408.13> 지반구분 ····· 408-42
<표 408.14> 접합 방법별 특징 ····· 408-50
<표 408.15> 관형 암거의 외압강도 ····· 408-51
<표 408.16> 기초형식에 따른 베딩계수(k) ····· 408-56
<표 408.17> 매설상태 및 기초형식에 따른 하중계수 ····· 408-56
<표 408.18> 파형강관의 재질 특성 ····· 408-57
<표 408.19> 파형강관의 종류 및 제원 ····· 408-58
<표 408.20> 기초의 형상 ····· 408-65

409 연약지반

<표 409.1> 연약지반의 판단기준 ····· 409-1
<표 409.2> 토질특성에 따른 연약지반 판정기준 ····· 409-2
<표 409.3> 구조물 종류에 따른 연약지반 판정기준 ····· 409-3
<표 409.4> 구조물별 설계 및 시공상의 문제점 ····· 409-3
<표 409.5> 세부토질조사 및 토질시험을 필요로 하는 지반 ····· 409-7
<표 409.6> 지반조건에 따라 발생할 수 있는 문제 ····· 409-8
<표 409.7> 지반 공학적 문제점과 지반조사 시험법 ····· 409-9
<표 409.8> 설계에 이용되는 지반조사 및 시험종류 ····· 409-10
<표 409.9> 현장조사 계획 ····· 409-12
<표 409.10> 현장시험 계획 ····· 409-12
<표 409.11> 각종 시험방법과 시험결과 이용방안 ····· 409-13
<표 409.12> 흙의 종류에 따른 대략적인 토질 정수 ····· 409-14
<표 409.13> 안정해석방법별 가정 및 적용 ····· 409-20
<표 409.14> 안정해석 방법별 안전율 산정식의 비교 ····· 409-20
<표 409.15> 강도증가율 m의 범위 ····· 409-22
<표 409.16> 사질토 지반의 N-Dr- ϕ의 관계 ····· 409-22
<표 409.17> 입자의 형상별 N- ϕ의 관계 ····· 409-22
<표 409.18> 지반과 흙쌓기 속도 ····· 409-24
<표 409.19> 도로와 배수박스 구조물 잔류침하량 적용사례 ····· 409-26

<표 409.20> 단지 조성지역의 잔류침하량 적용사례 ····· 409-26
<표 409.21> 1차 압밀 침하량 산정공식 ····· 409-27
<표 409.22> 개량 목적과 적용지반에 의한 대책공법 ····· 409-37
<표 409.23> 공법선정에 따른 유의사항 ····· 409-40
<표 409.24> 연약지반 개량공법의 효과 및 적용성 ····· 409-40
<표 409.25> 샌드매트의 두께 ····· 409-43
<표 409.26> 토목섬유의 부설목적 ····· 409-45
<표 409.27> 재하재료에 의한 재하공법의 분류 ····· 409-45
<표 409.28> 연직배수공법 비교표 ····· 409-55
<표 409.29> 치환율 및 모래말뚝의 단면적에 대한 일반적 설계값 ····· 409-57
<표 409.30> 모래다짐말뚝 공법의 시공방법 ····· 409-57
<표 409.31> 혼합처리 재료의 비교분석 ····· 409-58
<표 409.32> 액상화 예측방법의 분류 ····· 409-63
<표 409.33> 액상화 발생 가능성 조건 C_u ····· 409-64
<표 409.34> 계측기의 종류 및 배치기준 ····· 409-68

410 배수

<표 410.1> 설계홍수빈도 선정표 ····· 410-6
<표 410.2> 유입시간의 표준값 ····· 410-14
<표 410.3> Kerby식에서의 n값 ····· 410-14
<표 410.4> 홍수의 이동속도에 대한 보정계수 ····· 410-14
<표 410.5> 다양한 토양피복에서 전형적인 침투와 침루 ····· 410-16
<표 410.6> 유출량 계산공식 ····· 410-16
<표 410.7> Manning의 조도계수 n값 ····· 410-19
<표 410.8> 유입부 손실계수 ····· 410-23
<표 410.9> 공극율 n에 대한 상수 k1(수온 10℃) ····· 410-31
<표 410.10> 일반적인 흙의 투수계수 ····· 410-32
<표 410.11> 도로의 배수시설 구분 ····· 410-35
<표 410.12> 일반적인 구조물의 설계생기 빈도 ····· 410-39
<표 410.13> 합리식에서의 C값 ····· 410-39
<표 410.14> 안전된 수로의 설계를 위한 한계유속과 소류력 값과의 비교 ····· 410-40
<표 410.15> 지하수면의 최소경사 및 기준 ····· 410-62

그 림 목 차

402 지반조사와 시험

<그림 402.1> AASHTO분류법에 의한 실트-점토의 분류도표 ····· 402-6

403 토 공

<그림 403.1> 토공설계의 표준적인 흐름 ····· 403-3

404 노 체

<그림 404.1> 비탈면에 가까운 활동면과 깊은 활동면 ····· 404-10
<그림 404.2> 불포화 세립토의 삼축 비배수 시험결과와 설계강도정수 cu, ψu의 관계 ····· 404-12
<그림 404.3> 흙쌓기부의 안정검토 순서 ····· 404-14
<그림 404.4> 편절편성 구간에 배수층의 설치예 ····· 404-17
<그림 404.5> 용수처리의 예 ····· 404-18
<그림 404.6> 골파기 배수공의 예 ····· 404-18
<그림 404.7> 지하배수용 필터의 설치예 ····· 404-19
<그림 404.8> 편절편성부에서 지하 배수공의 설치예 ····· 404-19
<그림 404.9> 시공중 표면배수의 예 ····· 404-20
<그림 404.10> 오목부의 배수대책예 ····· 404-20
<그림 404.11> 물이 고이기 쉬운 장소에서의 배수대책 ····· 404-21
<그림 404.12> 비탈면 흙쌓기의 층따기 ····· 404-23
<그림 404.13> 편절편성부에서의 층따기 및 배수처리의 예 ····· 404-24
<그림 404.14> 절성경계부에서 접속구간 설계 예 ····· 404-25

405 노 상

<그림 405.1> 노상 재료 및 구성 결정을 위한 검토순서 ····· 405-2
<그림 405.2> 지반이 암반일 때의 노상설계 ····· 405-7
<그림 405.3> 땅깎기부 노상의 풍화 방지대책의 예 ····· 405-7

406 비탈면

<그림 406.1> 절리면 거칠기와 거칠음 계수(JRC)의 관계 ····· 406-5
<그림 406.2> 기울기 시험 ····· 406-6

<그림 406.3> 땅깎기 비탈면 설계순서 흐름도 ····· 406-9
<그림 406.4> 암반 비탈면 설계순서 흐름도 ····· 406-16
<그림 406.5> 슈미트 해머값과 암석의 일축압축강도의 관계 ····· 406-21
<그림 406.6> 주향과 경사의 정의 ····· 406-23
<그림 406.7> 암반 비탈면에서 클리노컴파스 사용방법 ····· 406-23
<그림 406.8> 불연속면 거칠기의 분류 ····· 406-25
<그림 406.9> 투영망을 적용한 대표적인 파괴형태 ····· 406-29
<그림 406.10> 인장균열을 가진 비탈면의 기하학적 조건 ····· 406-30
<그림 406.11> 쐐기파괴의 기하학적 형상 ····· 406-32
<그림 406.12> 낙석방지대책 분류 ····· 406-37
<그림 406.13> 밑다짐공 ····· 406-40
<그림 406.15> 낙석방지울타리의 종류 ····· 406-40
<그림 406.14> 와이어로프 걸이공 ····· 406-41
<그림 406.16> 낙석방지옹벽공 ····· 406-44
<그림 406.17> 피암터널 ····· 406-44
<그림 406.18> 낙석방지도랑 ····· 406-44

407 옹 벽

<그림 407.1> 기초지반의 조사해야 할 범위 ····· 407-3
<그림 407.2> 옹벽의 적용 범위 ····· 407-4
<그림 407.3> 옹벽의 종류 ····· 407-6
<그림 407.4> 옹벽 종류별 자중 선택 범위 ····· 407-9
<그림 407.5> 상재하중에 의한 환산 높이를 구하는 방법 ····· 407-9
<그림 407.6> U형 옹벽에 작용하는 수압 및 양압력 ····· 407-9
<그림 407.7> 옹벽의 설계순서 ····· 407-12
<그림 407.8> 중력식 옹벽 등의 토압 작용면과 벽면마찰각 ····· 407-14
<그림 407.9> 캔틸레버식 옹벽의 토압 작용면과 가상파괴면 ····· 407-14
<그림 407.10> β의 설정법 ····· 407-14
<그림 407.11> 시행쐐기법 ····· 407-17
<그림 407.12> 땅깎기부 토압의 계산 ····· 407-18
<그림 407.13> 가상파괴면이 원지반선과 교차하는 경우 ····· 407-18
<그림 407.14> 암반 근처에 설치되는 옹벽의 토압 계산 ····· 407-18
<그림 407.15> 지진하중으로 인한 주동토압 ····· 407-22
<그림 407.16> 지진시 관성력의 고려 ····· 407-22
<그림 407.17> 수동토압 및 마찰저항 고려 방법 ····· 407-23

<그림 407.18> 수동토압 및 마찰저항 비교 ····· 407-23
<그림 407.19> 마찰저항만 고려하는 경우 ····· 407-23
<그림 407.20> 전도에 대한 안정계산 ····· 407-25
<그림 407.21> 여러 가지 파괴 형태 ····· 407-27
<그림 407.22> 반중력식 옹벽의 형태 ····· 407-30
<그림 407.23> 비자립형 옹벽의 예 ····· 407-30
<그림 407.24> 역T형 옹벽 예 ····· 407-30
<그림 407.25> L형 옹벽 예 ····· 407-30
<그림 407.26> 뒷부벽식 옹벽 예 ····· 407-31
<그림 407.27> 간이 배수공 ····· 407-35
<그림 407.28> 구형 배수공 ····· 407-35
<그림 407.29> 옹벽의 배면배수 사례 ····· 407-35
<그림 407.30> 이중 블랭킷 배수시설 ····· 407-35
<그림 407.31> 땅깎기부에서의 배수공 사례 ····· 407-35
<그림 407.32> 용수가 있는 경우의 배수공 사례 ····· 407-35
<그림 407.33> 활동방지벽의 형상 ····· 407-40
<그림 407.34> 수축이음, 신축 이음 ····· 407-40
<그림 407.35> 옹벽의 소단 ····· 407-41
<그림 407.36> 산지부의 옹벽 예 ····· 407-41
<그림 407.37> 원지반에 지하수가 있을 때 ····· 407-41
<그림 407.38> 흙쌓기 중 지표수를 뒤채움에 유입시키지 않는 시공 ····· 407-41
<그림 407.39> 보강토 옹벽의 구조 ····· 407-43
<그림 407.40> 토목섬유 보강토 옹벽의 개략적인 설계순서 ····· 407-44
<그림 407.41> 외적 안정해석의 흐름도 ····· 407-48
<그림 407.42> 외적 안정해석시 토압산정 ····· 407-50
<그림 407.43> 외적 안정해석시 토압산정
(보강토체 상부에 무한 흙쌓기비탈면이 있는 경우) ····· 407-50
<그림 407.44> 외적 안정해석시 토압산정(보강토체 상부의 흙쌓기비탈면이 무한하지 않고
중간으로 수평으로 변하는 경우) ····· 407-51
<그림 407.45> 보강토체 저면에서의 수직응력 계산 ····· 407-51
<그림 407.46> 내적 안정해석의 흐름도 ····· 407-55
<그림 407.47> 내적 안정해석을 위한 한계 활동파괴면 ····· 407-55
<그림 407.48> EPS 배면지반의 경사와 전단강도에 따른 배면의 주동토압계수 ····· 407-60
<그림 407.49> EPS 옹벽 설계의 흐름도 ····· 407-61
<그림 407.50> 활하중에 의해 EPS 흙쌓기층에 전달되는 응력분포도 ····· 407-62

<그림 407.51> H형강에 작용하는 수평력 ····· 407-65
<그림 407.52> 경사면의 굴착형태 ····· 407-67
<그림 407.53> 암반비탈면과 EPS 흙쌓기층 사이의 공간 채움 ····· 407-67

408 암거

<그림 408.1> 사각이 큰 경우 ····· 408-5
<그림 408.2> 사각이 작은 경우 ····· 408-5
<그림 408.3> 사각이 규정값 이상인 경우 ····· 408-5
<그림 408.4> 사각이 규정값 이하인 경우 ····· 408-5
<그림 408.5> 직각으로 접합하는 경우 ····· 408-6
<그림 408.6> 사각으로 접합하는 경우 ····· 408-6
<그림 408.7> 계단 설치 예 ····· 408-7
<그림 408.8> 낙차공 설치 예 ····· 408-7
<그림 408.9> 토피두께와 단면변화관계 ····· 408-9
<그림 408.10> 단면두께 변화에 따른 비용관계 ····· 408-9
<그림 408.11> 전단철근과 단면두께의 관계 ····· 408-9
<그림 408.12> 암거의 이음 위치 및 방향 ····· 408-10
<그림 408.13> 신축이음 및 시공이음 예 ····· 408-11
<그림 408.14> 날개벽 설치방법 ····· 408-13
<그림 408.15> 사각부의 날개벽 처리 ····· 408-14
<그림 408.16> 흙쌓기가 높은 경우 ····· 408-15
<그림 408.17> 연약지반 치환방법 ····· 408-16
<그림 408.18> 지반이 횡방향으로 경사진 경우의 예 ····· 408-16
<그림 408.19> 지반이 종방향으로 경사진 경우의 예 ····· 408-17
<그림 408.20> 암거 배수용 파이프 ····· 408-18
<그림 408.21> 수로가 있는 암거의 지수벽 ····· 408-18
<그림 408.22> 선재하를 한 경우 더올림량 ····· 408-18
<그림 408.23> 토피두께와 더올림량 ····· 408-19
<그림 408.24> 선재하를 하지 않은 경우 더올림량 ····· 408-19
<그림 408.25> 수로벽을 높일 경우 ····· 408-20
<그림 408.26> 선재하 공법의 침하곡선 ····· 408-21
<그림 408.27> 라멘 구조 절점부에서의 강역 ····· 408-22
<그림 408.28> 암거에 작용하는 연직토압 ····· 408-28
<그림 408.29> 토피고와 암거 폭 관계에 따른 연직 토압계수 변화 ····· 408-28
<그림 408.30> 분포폭이 구조물 폭보다 적은 경우 ····· 408-30

<그림 408.31> 토피두께 4.0m 이상인 경우의 활하중 크기 ····· 408-31
<그림 408.32> 하중 재하도의 예 ····· 408-32
<그림 408.33> 헌치의 유효부분 ····· 408-34
<그림 408.34> 단면검토시 사용하는 휨모멘트 ····· 408-34
<그림 408.35> 강역의 영향을 고려하여 구조해석한 경우의 단면 검토용 휨모멘트 ····· 408-35
<그림 408.36> 연속보의 휨철근 정착 ····· 408-36
<그림 408.37> 휨철근 절단의 실용적 방법 ····· 408-36
<그림 408.38> 단절점에 발생하는 인장응력 ····· 408-38
<그림 408.39> 단절점부의 응력검토 단면 ····· 408-39
<그림 408.40> 주철근과 보강철근의 배치 ····· 408-39
<그림 408.41> 날개벽의 하중 및 단면력 계산 ····· 408-41
<그림 408.42> 스트러트의 계산방법 ····· 408-43
<그림 408.43> U형 스터럽의 정착 ····· 408-44
<그림 408.44> 중간 절점부의 띠철근 배치 ····· 408-45
<그림 408.45> 헌치철근 ····· 408-46
<그림 408.46> 우각부의 배력철근 ····· 408-47
<그림 408.47> 사각부의 배근 ····· 408-47
<그림 408.48> 날개벽 부근의 배근방법 ····· 408-47
<그림 408.49> 날개벽 흙막이부의 배근방법 ····· 408-48
<그림 408.50> 개구부 주변의 보강 ····· 408-48
<그림 408.51> 관형 암거의 매설 상태 ····· 408-52
<그림 408.52> 관 기초의 형식 ····· 408-53
<그림 408.53> 360°콘크리트 기초 ····· 408-53
<그림 408.54> 매설 상태와 설계정수 관계 ····· 408-54
<그림 408.55> 파형강관의 구성 ····· 408-59
<그림 408.56> 다짐밀도에 따른 하중계수 K값 관계곡선 ····· 408-59
<그림 408.57> 활하중의 영향범위 ····· 408-61
<그림 408.58> 조도계수 감소를 위한 페이빙 ····· 408-62
<그림 408.59> 반구형의 경우 ····· 408-64
<그림 408.60> 돌출형의 경우 ····· 408-64
<그림 408.61> 기초의 형상 ····· 408-65

409 연약지반

<그림 409.1> 연약지반에서의 흙쌓기, 굴착시 발생할 수 있는 문제점과 대책 ····· 409-4
<그림 409.2> 조사 및 분석계획 순서 ····· 409-7
<그림 409.3> 제체의 침하에 따른 문제 ····· 409-16
<그림 409.4> 교대 접속부의 침하에 따른 문제 ····· 409-16
<그림 409.5> 횡단구조물의 침하에 따른 문제 ····· 409-16
<그림 409.6> N- ϕ의 관계 ····· 409-23
<그림 409.7> 침하의 개념 ····· 409-25
<그림 409.8> 장기침하 개념도 ····· 409-29
<그림 409.9> 실측 침하곡선의 예 ····· 409-31
<그림 409.10> 쌍곡선법에 의한 침하예측법 ····· 409-31
<그림 409.11> $\sqrt{t}$ 법에 의한 침하예측법 ····· 409-31
<그림 409.12> Asaoka법에 의한 침하예측법 ····· 409-32
<그림 409.13> Matsuo-Kawamura법에 의한 안정관리도 ····· 409-34
<그림 409.14> Tominaga-Hashimoto법에 의한 안정관리도 ····· 409-34
<그림 409.15> Kurihara법에 의한 안정관리도 ····· 409-35
<그림 409.16> Shibata-Sekiguchi법에 의한 안정관리도 ····· 409-35
<그림 409.17> 연약지반 개량공법의 선정, 설계, 시공흐름도 ····· 409-40
<그림 409.18> 제체폭의 여유를 잡는 방법 ····· 409-41
<그림 409.19> 매트 포설단면도 ····· 409-44
<그림 409.20> 재하중에 의한 1차 압축침하 ····· 409-48
<그림 409.21> 2차 압축침하 제거를 위한 제거시간 ····· 409-48
<그림 409.22> 흙쌓기 높이와 안전율 ····· 409-48
<그림 409.23> 연직배수공법의 설계순서 ····· 409-50
<그림 409.24> 배수공법의 원리 ····· 409-54
<그림 409.25> 배수저항(well resistance)와 교란영역(smear zone) ····· 409-54
<그림 409.26> 모래말뚝의 배치 ····· 409-56
<그림 409.27> 압성토공법의 시공순서 ····· 409-64
<그림 409.28> 계측기 배치 ····· 409-67

410 배수

<그림 410.1> 비용과 설계생기빈도 ····· 410-5
<그림 410.2> 수로선형의 변경 ····· 410-8
<그림 410.3> 비탈면에서의 용수를 배수하는 시설 ····· 410-8
<그림 410.4> 수밀성 다이크 구조 ····· 410-10
<그림 410.5> 강우강도-지속시간-생기빈도곡선 ····· 410-11
<그림 410.6> 균일하고 효율적인 강우 배치 비율을 보여주는 수문곡선 ····· 410-15
<그림 410.7> 비에너지와 수심의 관계 ····· 410-18
<그림 410.8> 경제적인 수로단면 ····· 410-20
<그림 410.9> 암거내 흐름 형식 ····· 410-21
<그림 410.10> 유입부 조절의 수리조건 ····· 410-24
<그림 410.11> 유출부 조절의 수리조건 ····· 410-24
<그림 410.12> 암거의 흐름 유형 ····· 410-29
<그림 410.13> 불투수층의 경사가 큰 맹암거 ····· 410-34
<그림 410.14> 불투수층의 경사가 완만한 맹암거 ····· 410-34
<그림 410.15> 투수층내에 위치한 맹암거 ····· 410-34
<그림 410.16> 배수시설의 명칭 및 구분 ····· 410-37
<그림 410.17> 수문지역도 ····· 410-41
<그림 410.18> 표준유출율 ····· 410-42
<그림 410.19> 수정수문곡선 ····· 410-42
<그림 410.20> 흙쌓기부 도수로 간격 결정을 위한 집수폭 개념도 ····· 410-49
<그림 410.21> 다이크 형식 ····· 410-49
<그림 410.22> 깎기부 집수정 설치간격 결정을 위한 집수폭 개념도 ····· 410-50
<그림 410.23> L형 측구 형식 ····· 410-51
<그림 410.24> 깎기부 집수정 종류 ····· 410-52
<그림 410.25> 중분대 집수정 간격 결정을 위한 집수폭 개념도 ····· 410-53
<그림 410.26> 중앙분리대 집수정 간격의 보정계수 ····· 410-53
<그림 410.27> 수리효율성이 높은 유입구 ····· 410-58
<그림 410.28> 지하배수구의 깊이 산정 ····· 410-61
<그림 410.29> 지하배수구 배치의 예 ····· 410-61
<그림 410.30> 형식별 맹암거 상세도 ····· 410-63
<그림 410.31> 포장 구조물에 보강용 Geotextile의 각종 사용방법 ····· 410-63
<그림 410.32> 필터재료의 입도곡선 ····· 410-64
<그림 410.33> 중앙분리대의 지하배수구 ····· 410-66
<그림 410.34> 중앙분리대 양쪽 높이가 다를 경우 ····· 410-66

<그림 410.35> Precast 제품에 의한 산마루 배수시설 ····· 410-70
<그림 410.36> 산마루 측구 상세도 ····· 410-71
<그림 410.37> 흙쌓기부 도수로 단면예 ····· 410-72
<그림 410.37> 흙쌓기부 도수로 단면예 ····· 410-73
<그림 410.38> 토사구간의 소단배수로 ····· 410-74
<그림 410.39> 암구간의 소단배수로 ····· 410-74
<그림 410.40> 지하배수구의 배치 ····· 410-75
<그림 410.41> 망태공의 사용예와 치수 ····· 410-76
<그림 410.42> 수평 배수공 ····· 410-77
<그림 410.43> 비탈어깨 지하배수구 ····· 410-77
<그림 410.44> 수평배수층의 예 ····· 410-77
<그림 410.45> 흙쌓기 재질이 다른 경우의 배수시설 예 ····· 410-78

401
총 론

401.1 적용범위

본 편람은 도로 기술자들이 토공 및 배수시설에 대한 일반적인 토공 및 배수시설의 설계를 수행할 때, 필요한 기본적인 사항과 관련자료 등을 제공하는데 있다.

토공 및 배수시설 설계시 현지조건 및 관련 규정을 고려하여 합리적이고 경제적인 설계가 이루어지도록 한다. 본 토공 및 배수시설과 관련하여 참고도서는 다음과 같다.

- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(1999), 건설교통부
- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침(2000), 건설교통부
- 도로공사표준시방서(1996), 건설교통부
- 도로공사설계적용기준(2000), 건설교통부
- 구조물기초설계기준(1997), 한국지반공학회

401.2 용어의 정의

본 편람의 토공 및 배수편에 사용된 용어에 대한 정의는 다음과 같다.

1. 강우강도 : 일정기간동안 내린 강우량을 단위시간당 강우량의 깊이로 표시한 것.
2. 과압밀 : 선행압밀응력보다도 낮은 유효응력상태에 있는 것.
3. 관수로 : 수로단면에 물이 가득 찬 상태에서 압력차에 의하여 흐르는 수로.
4. 관암거 : 토관이나 콘크리트 관을 사용하여 이것을 땅속에 묻어 배수하는 장치.
5. 경사 : 경사면의 기울기로 층리면, 단층면, 절리면과 같은 지질구조면의 기울기 각으로 수평면으로부터 구조의 주향과 수직을 이루는 각.
6. 노상 : 포장아래 두께 1m 이내의 균일한 흙의 부분을 말하고, 포장부에서 전달되는 교통하중을 지지하는 역할을 갖는 부분.
7. 노상배수 : 도로구조에 있어 지하수위를 낮추어 노상 또는 보조기층 및 기층과 표층에 이르기까지 양호한 상태를 유지하기 위한 지하배수.
8. 노체 : 도로의 구조상 흙쌓기 단면을 구분할 때 노상의 아랫부분으로 원지반까지의 흙쌓기부.
9. 다이크 : 빗물 등이 노견으로 흘러 비탈면이 유실되는 것을 방지하기 위하여 흙, 떼, 아스팔트 콘크리트나 콘크리트 등으로 한 물막이 시설.
10. 단층 : 지각변동에 의해 생성된 지층의 어긋남.
11. 땅깎기부 : 도로나 선로의 신설, 개수 등 토공작업에서 토사를 깎아냈거나 깎아낼 부분.

12. 리퍼빌리티(rippability) : 토공굴착시 그 기계가 어떤 암질을 어느 정도 팔 수 있는가의 능력을 나타내는 단위.
13. 맹암거 : 흙속에 일정간격으로 구멍을 뚫어 놓아 배수시키는 형태로, 장시간에 걸친 배수를 원할 때는 그속에 유공관을 매설하기도 함.
14. 비탈면 : 흙쌓기와 땅깎기에 의해서 형성된 부분을 말하고, 각각 흙쌓기 비탈면 및 땅깎기 비탈면이라 한다.
15. 비탈면배수 : 땅깎기, 흙쌓기로 이루어진 비탈면 또는 자연비탈면이 지표를 통하여 유하하는 물이나 비탈면에서 용출된 지하수에 의하여 비탈면의 침식이나 안정성의 저하를 방지하기 위한 배수를 말함.
16. 비탈면보호 : 지질이 불량한 지대에 건설된 비탈면이 무너지지 않도록 보호하는 것을 말함.
17. 보강토 공법 : 입상토에 보강재를 채워서 흙과 보강재로 된 집합체를 조성하는 공법을 말한다.
18. 사운딩 : 시추봉의 끝에 장착된 저항체의 관입, 회전, 또는 인발 등의 저항을 측정하여 지반의 굳기, 상대밀도 등을 현장에서 조사하는 것. 비교란 시료의 채취가 곤란한 사질지반이나 연약지반의 조사에 효과적임.
19. 상부노상 : 도로포장시 하부보조기층 아래 1m 높이 부분인 노상 중 노상 마무리면에서 40cm 깊이까지를 말함.
20. 상부노체 : 도로포장시 노상밑에서 원지반까지인 노체에서 노체 마무리면 1m 깊이까지의 포장층을 말함.
21. 암반 : 어떤 공간적인 폭을 가진 자연의 암체, 통상 지질학적 분리면이나 불연속면을 포함하고 불균질 비등방성임.
22. 암석 : 흙재료에 대응되는 용어로서 지각을 형성하는 각종 암석을 통칭함.
23. 옹벽 : 흙쌓기와 땅깎기로 자연 비탈면을 유지할 수 없는 경우 흙 또는 기타 재료의 안정성을 확보하기 위해 이용되는 구조물로 지표면이 급경사 또는 수직 단차를 이룰 때 설치.
24. 중력식 옹벽 : 옹벽 자체의 무게로 토압 등의 외력을 지지하는 옹벽.
25. 집수암거 : 복류수와 같은 얕은 대수층의 지하수 취수시설로서 그것의 공법은 굴착후 시공하고 되메우는 공법이므로 시공깊이는 7~8m가 한계임. 집수시설은 유공 철근콘크리트관을 소정의 깊이에 매설하고 관 주위에 굵은 자갈에서 가는 모래까지의 순서로 1.5~2.0m 두께의 여과층을 설치하여 복류수 유입을 쉽게 하고 가는 모래의 유입을 막음.
26. 흙쌓기 : 원지반으로부터 노상면까지 흙을 쌓아올린 부분.
27. 땅깎기 : 원지반으로부터 노상면까지 흙을 굴착한 부분.

401.3 토공 및 배수 구성요소

일반적으로 도로에서 토공 및 배수는 포장, 교량, 터널 등의 다른 도로구조물과 밀접한 관련이 있으므로, 이들 구조물을 고려한 설계가 이루어져야 한다.

토공 및 배수는 도로설계 및 시공과 관련하여 다양한 분야를 포함하고 있으며, 본 편람에서는 토공과 배수로 구분하여 설명한다.

토공은 지반조사, 노상, 노체, 비탈면, 연약지반, 암거, 옹벽 등을 포함하고 있으며, 배수는 노면배수, 횡단배수, 표면배수, 지하배수 등 도로배수와 구조물 배수 등을 포함하고 있다.

본 편에서는 도로설계시 이루어지는 행위에 따라 지반조사, 토공, 노상·노체, 비탈면, 옹벽, 암거, 연약지반 및 배수 등의 순서로 구성하였다.

각 장별 주요 기술내용은 다음과 같다.

【401 총론】

- 토공 및 배수편에 대한 적용범위 및 용어 정의
- 토공 및 배수편에 대한 구성체제

【402 지반조사와 시험】

- 흙과 암반의 형태 구분, 지반조사의 흐름 및 방법 등
- 현장지반조사와 관련된 사항

【403 토공】

- 합리적인 토공이 이루어지기 위한 토공계획, 설계, 유의사항 등
- 토공과 관련된 흙쌓기 및 땅깎기 등과 관련된 기술적 사항

【404 노체】

- 노체 설계시 설계정수 및 제반사항 등
- 노체재료로 흙과 암반을 구분하여 사용할 경우에 대한 재료의 품질기준 등

【405 노상】

- 노상 재료의 품질 및 다짐도 등과 관련한 기준 및 설계 등
- 노상의 안정처리 개념 및 방법 등

【406 비탈면】

- 비탈면 안정과 관련된 흙 비탈면과 암반 비탈면에 대하여 설계방법, 고려사항 등
- 비탈면의 표준경사도 적용 및 고려사항 등
- 비탈면의 낙석방지 대책 등

【407 옹벽】

- 옹벽에 대한 계획 및 형식 선정절차 등
- 보강토 옹벽 및 EPS 옹벽에 대한 설계절차

【408 암거】

- 암거의 일반적인 사항과 설계시 주의사항
- 현장타설암거와 관형암거 등 암거형식에 따른 설계사항
- 파형암거에 관련된 사항

【409 연약지반】

- 연약지반의 판정, 처리 및 절차 등
- 연약지반 처리공법을 적용할 경우 이에 따른 공법별 특성 및 적용한계 등
- 연약지반 처리공법에 많이 사용되는 연약지반 처리공법에 대한 재료의 기준 등

【410 배수】

- 도로배수에 대하여 배수조사, 계획, 설계절차 등
- 도로배수시설별 설계방법 및 설계 정수 등
- 배수시설 설계시 주요한 영향인자인 강우강도 등

402
지반조사와 시험

402.1 일반사항

도로에서 지반조사는 도로토공을 효율적이고 원활히 수행하기 위한 필요한 지반정보를 얻어 설계 및 시공에 활용하는데 있다. 지반조사를 실시할 때는 도로의 목적, 규모, 기능 등을 고려하여 조사내용, 순서, 방법, 범위, 정도 및 기간 등을 결정한다. 또한 설계 및 시공방법 등을 고려하여 지반조사 결과를 정리 분석한다.

지반조사는 예비조사, 본조사 및 보완조사 등의 단계로 구분하며, 본조사 또는 보완조사 시에 정밀조사의 필요성이 있는 경우 추가 보완조사를 실시한다.

402.2 흙과 암반의 분류

2.1 흙과 암반의 분류 목적

흙과 암반의 분류 목적은 다음과 같다.

(1) 흙과 암반에 대한 정보를 객관적인 근거에 의해 이해할 수 있고, 정보의 전달 및 교환을 확실히 할 수 있다.

(2) 조사 및 설계에 있어서 대상으로 하는 흙과 암반의 공학적 성질이나 일반적인 특성을 파악할 수 있다.

(3) 흙과 암반의 분류표에 의해 조사 및 설계시에 필요한 수치를 구할 수 있다.

(4) 조사보고, 시공관리, 공사의 보고 및 기록 등에 객관성을 부여할 수 있다.

2.2 흙과 암반의 적용

흙 및 암반의 분류는 다음과 같은 경우에 적용된다.

(1) 토질 주상도 및 토성도 등의 작성시 지질 및 토질 조사 결과 적용.

(2) 노상, 뒤채움 재료의 선정, 안정처리의 여부 등 토공재료의 적합성 판단에 활용.

(3) 흙쌓기 또는 구조물의 기초지반의 적합성 판정.

(4) 굴착방법의 선정 및 계획에서 시공 방법과 건설기계의 선정.

(5) 토공에서 토량 변화율의 산정

(6) 굴착, 운반, 다짐 등의 건설기계 작업능력 산정.

(7) 흙쌓기 및 땅깎기 비탈면 구배계획 수립

(8) 비탈면 보호공법, 옹벽, 기초공법, 터널 등에서 공종선정, 토압 등의 계산.

2.3 흙의 분류

2.3.1 개요

흙의 분류목적은 성질이 서로 다른 여러 가지 흙에 대하여 간단한 시험자료를 기초로 하여 공학적 성질을 판단하는 데 있다. 토공의 설계 및 시공에 사용하는 흙의 분류는 통일분류법에 의해 분류하며, 보조적으로 AASHTO 분류법을 사용한다.

2.3.2 통일분류법

통일분류법은 Casagrande가 제안한 것으로 1969년에는 ASTM에 의하여 흙을 공학적 목적으로 분류하는 표준방법으로 채택되었다. 통일분류법은 도로, 비행장 또는 흙댐의 건설과 같이 주어진 공학적 목적에 따라 흙의 종류, 성질, 용도를 판단할 수 있다.

통일분류법은 0.074mm체를 기준으로 통과율이 50%이하이면 조립토이고, 통과율이 50%이상이면 세립토로 구분한다. 또한, 조립토는 4.76mm체 통과율이 50%이하이면 자갈 또는 자갈질 흙으로 분류하고 기호 G를 붙인다. 4.76mm체 통과율이 50%이상이면 모래 또는 모래질 흙으로 분류하고 기호 S를 붙인다.

통일분류법에 사용된 기호의 설명은 <표 402.1>과 같다. <표 402.2>는 통일분류법이며, <표 402.3>과 <표 402.4>는 흙쌓기, 기초지반, 도로, 활주로 용도로 사용할 때 흙의 분류를 나타낸 것이다.

세립토의 분류는 <표 402.2>의 소성도를 이용한다. 이 소성도에서 액성한계와 소성지수가 A선 아래에 있으면 실트 또는 유기질토 그 선 위에 있다면 점토임을 알 수 있다. 또한 액성한계가 높고 낮은 것은 액성한계 50%를 기준으로 구분한다.

예를 들면, 액성한계와 소성지수가 A선 위에 있으며 소성지수가 4 이하이면 ML, 7이상이면 CL로 구분되고 그 사이의 빗금친 구역안에 들어가면 이중기호(CL-ML)로 분류된다. 그리고, U선 바깥쪽은 점이 찍힐 수 없으므로, 만일 그렇다면 토질시험의 결과를 재검토한다.

<표 402.1> 분류기호의 설명

구분	제 1 문자		제 2 문자	
	기호	설 명	기호	설 명
조립토	G S	자갈 모래	W P M C	양호한 입도의 불량한 입도의 실트를 함유한 점토를 함유한
세립토	M C O	실트 점토 유기질토	L H	소성 또는 압축성이 낮은 소성 또는 압축성이 높은
고유기질토	pt	이탄	-	

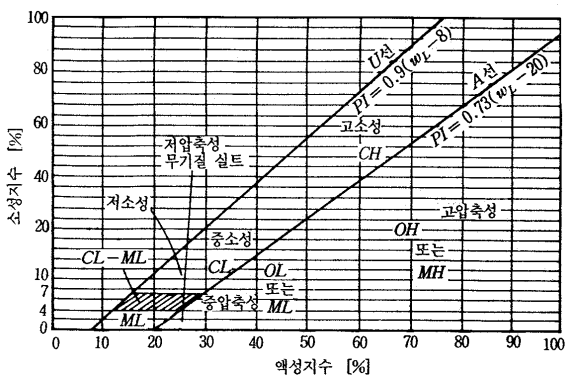
<표 402.2> 통일분류법에 의한 흙의 공학적 분류방법 (KS F 2324)

<table>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>분류기호</th><th>대 표 명</th><th colspan="3">분 류 방 법</th></tr>
<tr><td rowspan="6">조립토
(0.074mm 체 통과율 50% 이하)</td><td rowspan="3">자 갈
(4.76mm 체 통과율 50% 이하)</td><td>깨끗한 자갈</td><td>GW</td><td>입도분포 양호한 자갈,
자갈 모래 혼합토</td><td rowspan="6">입도곡선으로 모래와 자갈의 비율을 결정

세립분(0.074mm 이하)의 백분율에 따라 다음과 같이 분류

5% 이하 :
GW, GP, SW, SP

5%~12% :
경계선에서 이중기호 사용

12% 이상 :
GM, GC, SM, SC</td><td>균등계수 $(C_u)=\frac{D_{60}}{D_{10}}>4$,
곡률계수 $(C_c)=\frac{(D_{30})^2}{D_{10}\times D_{60}}=1\sim3$</td><td></td></tr>
<tr><td>깨끗한 자갈</td><td>GP</td><td>입도분포 불량한 자갈,
자갈 모래 혼합토</td><td colspan="2">GW 분류기준에 맞지 않는 경우</td></tr>
<tr><td>세립분을 함유한 자갈</td><td>GM</td><td>실트질 자갈, 자갈 모래 실트 혼합토</td><td>소성도에서 A선 아래 또는 PI < 4</td><td rowspan="2">소성도에서 사선 부분은 이중기호로 분류</td></tr>
<tr><td></td><td>GC</td><td>점토질 자갈, 자갈 모래 점토 혼합토</td><td>소성도에서 A선 위 또는 PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">모 래
(4.76mm 체 통과율 50% 이상)</td><td>깨끗한 모래</td><td>SW</td><td>입도분포 양호한 모래,
자갈섞인 모래</td><td colspan="2">$C_u=\frac{D_{60}}{D_{10}}>6$,
$C_c=\frac{(D_{30})^2}{D_{10}\times D_{60}}=1\sim3$</td></tr>
<tr><td></td><td>SP</td><td>입도분포 불량한 모래,
자갈섞인 모래</td><td colspan="2">SW 분류기준에 맞지 않는 경우</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세립분을 함유한 모래</td><td>SM</td><td>실트질 모래,
실트섞인 모래</td><td>소성도에서 A선 아래 또는 PI < 4</td><td rowspan="2">소성도에서 사선 부분은 이중기호로 분류</td></tr>
<tr><td></td><td>SC</td><td>점토질 모래,
점토섞인 모래</td><td>소성도에서 A선 위 또는 PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="6">세립토
(0.074mm 체 통과율 50% 이상)</td><td colspan="2" rowspan="3">실트 및 점토
액성한계 < 50%</td><td>ML</td><td>무기질 점토, 극세사, 암분, 실트 및 점토질 세사</td><td rowspan="6" colspan="3"> 

소성도

주) Cu : 균등계수 , Cc : 곡률계수 , PI : 소성지수(%)</td></tr>
<tr><td>CL</td><td>저-중소성의 무기질 점토, 자갈 섞인 점토, 모래섞인 점토, 실트섞인 점토, 점성이 낮은 점토</td></tr>
<tr><td>OL</td><td>저소성 유기질점토, 유기질 실트 점토</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">실트 및 점토
액성한계 > 50%</td><td>MH</td><td>무기질 실트, 운모질 또는 규조질 세사 또는 실트, 탄성있는 실트</td></tr>
<tr><td>CH</td><td>고소성 무기질 점토, 점질많은 점토</td></tr>
<tr><td>OH</td><td>중 또는 고소성 유기질 점토</td></tr>
<tr><td colspan="3">유 기 질 토</td><td>pt</td><td>이탄토 등 기타 고유기질토</td></tr>
</table>

<표 402.3> 통일분류법에 의한 흙의 분류(흙쌓기 및 기초용)

분류기호 (1)	흙쌓기용 흙에 대한 판단 (2)	투수계수 k (㎝/sec) (3)	다짐특성 (4)	건조밀도 γ_d (t/m^3) (5)	기초지반에 대한 판단 (6)	투수성조정의 필요여부 (7)
GW	매우안정 제방 및 댐의 투수부	> 10^{-2}	양호함. 트랙터,고무타이어롤러, 진동롤러	2.00~2.16	지지력 양호	지수벽
GP	비교적 안정 제방 및 댐의 투수부	> 10^{-2}	양호함. 트랙터, 고무타이어롤러, 진동롤러	1.84~2.00	지지력 양호	지수벽
GM	비교적 안정 투수부로 부적합 불투수성 코어 또는 브래킷	10^{-3}~10^{-6}	양호함. 엄격한 시공관리요함. 고무타이어롤러, 쉬프트롤러	1.92~2.16	지지력양호	비탈면 끝에 트렌치 또는 불요
GC	다소 안정 투수부 또는 비탈면보호	10^{-6}~10^{-8}	가능함 고무타이어롤러, 쉬프트롤러.	1.84~2.08	지지력 양호	불필요
SW	매우 안정 투수부 또는 비탈면보호	>10^{-3}	양호함 트랙터.	1.76~2.08	지지력 양호	상류측브래킷 및 비탈면끝 배수
SP	비교적 안정 완만한 비탈면의 제방	>10^{-3}	양호함 트랙터	1.60~1.92	지지력은 밀도에 따라 양호~불량함	상류측브래킷 및 비탈면 끝 배수
SM	다소 안정 투수부로 부적합 불투수성 코어 또는 제방	10^{-3}~10^{-6}	양호함, 엄격한 시공관리요함. 고무타이어롤러, 쉬프트롤러	1.76~2.00	지지력은 밀도에 따라 양호~불량함	상류측 브래킷 및 비탈면끝 배수
SC	다소 안정 흙쌓기용으로 조정 가능	10^{-6}~10^{-8}	가능함 고무타이어롤러, 쉬프트롤러	1.68~2.00	지지력은 양호~불량함	불필요
ML	안정성 불량 흙쌓기용으로 조정 가능	10^{-3}~10^{-6}	양호~불가함, 시공관리요함. 고무타이어롤러, 쉬프트롤러	1.52~1.92	극히불량 유동화의 우려 있음	비탈면끝 트렌치 또는 불필요
CL	안정성 있음 불투수성 코어 또는 브래킷	10^{-6}~10^{-8}	가능~양호함 고무타이어롤러, 쉬프트롤러	1.52~1.92	지지력은 양호~불량함	불필요
OL	흙쌓기용으로 부적합	10^{-4}~10^{-6}	가능~불가함 쉬프트롤러	1.28~1.60	지지력은 가능~불량함 큰침하의 우려 있음	불필요
MH	안정성 불량 전압장비 흙쌓기 부적합. 물다짐 댐의 코어	10^{-4}~10^{-6}	불가능~극히불가 쉬프트롤러	1.12~1.52	지지력은 불량함	불필요
CH	완만한 비탈면은 다소 안정. 얇은 코어, 브래킷 및 제방	10^{-6}~10^{-8}	가능~불가함 쉬프트롤러	1.20~1.68	지지력은 가능~불가함	불필요
OH	흙쌓기용으로 부적합	10^{-6}~10^{-8}	불가능~극히불가 쉬프트롤러	1.04~1.60	지지력은 극히 불량함	불필요
P_t	구조용으로는 사용하지 않음		다짐 흙쌓기에는 사용하지 않음		기초지반에서 제거	

(주) 1. (3) 및 (5)의 값은 표준값이며, 설계시는 시험결과를 참조할 것
2. (4)는 함수조건과 다짐두께를 적당히 선정하여 해당 기종으로 적당한 회수를 다지면 소요의 밀도를 얻을수 있음
3. (5)는 최적함수량으로 AASHTO의 표준다짐법에 의하여 다진 값임

<표 402.4> 통일분류법에 의한 흙의 분류(도로 및 활주로 용도)

분류기호 (1)		동결작용을 받지 않는 포장기초 (2)	역청 포장의 노반 (3)	동결작용의 가능성 (4)	압축성 및 팽창성 (5)	배수성 (6)	다짐기계 (7)	건조밀도 (8)	현장 CBR (9)	지반계수 K(kg/㎤) (10)
GW		우	양	무~아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어 진동롤러	2.00~2.24	60~80	>8.3
GP		양~우	불가~가	무~아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어 진동롤러	1.76~2.08	25~60	>8.3
GM	d	양~우	가~양	약간~보통	아주약간	가~불가	고무타이어 쉬프트롤러 엄밀한 함수량관리	2.08~2.32	40~80	>8.3
	u	양	불가	약간~보통	약간	불가~불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.92~2.24	20~40	5.5~8.3
GC		양	불가	약간~보통	약간	불가~불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.92~2.24	20~40	5.5~8.3
SW		양	불가	무~아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어	1.76~2.08	20~40	5.5~8.3
SP		가~양	불가~부적	무~아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어	1.60~1.92	10~25	5.5~8.3
SM	d	양	불가	약간~대	아주약간	가~불가	고무타이어 쉬프트롤러 엄격한함수량관리	1.92~2.16	20~40	5.5~8.3
	u	가~양	부적	약간~대	약간~보통	불가~불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.68~2.08	10~20	5.5~8.3
SC		가~양	부적	약간~대	약간~보통	불가~불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.68~2.08	10~20	5.5~8.3
ML		가~불가	부적	보통~극대	약간~보통	가~불가	고무타이어 쉬프트롤러 엄밀한 함수량관리	1.60~2.00	5~15	2.8~5.5
CL		가~불가	부적	보통~대	보통	불가~불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.60~2.00	5~15	2.8~5.5
OL		불가	부적	보통~대	보통~대	불가	고무타이어 쉬프트롤러	1.44~1.68	4~8	2.8~5.5
MH		불가	부적	보통~극대	대	가~불가	쉬프트롤러	1.28~1.60	4~8	2.8~5.5
CH		불가~극히불가	부적	보통	대	불투수성	쉬프트롤러	1.44~1.76	3~5	1.4~2.8
OH		불가~극히불가	부적	보통	대	불투수성	쉬프트롤러	1.28~1.68	3~5	1.4~2.8
pt		부적	부적	약간	극대	가~불가	다짐은 비실용적	-	-	-

(주) 1. (1)의 d 및 u는 아터버그한계에 따른 세분류이며, d는 $w_L \leqq 28$ 및 $I_p \leqq 6$이고, u는 $w_L > 28$인 경우임.
2. (3)에서 "우"에 해당하는 것은 양질의 쇄석 다짐의 노반임.
3. (7)은 함수조건과 다짐두께을 적당히 선정하여 해당 기종으로 적당한 회수를 다지면 소요의 밀도를 얻을 수 있음. 경우에 따라 수종의 다짐기계를 나타낸 것은 이에 속하는 여러 가지 흙의 성질이 각기 다른 기종에 적합하기 때문이며, 두 가지의 기종을 조합하는 경우도 있음
   가. 선정된 노반재료 및 기타의 모난 재료 세립분 또는 선별된 견고하고 모난 재료에 대하여는 진동롤러가 적합하며, 품질이 저하하기 쉬운 연약한 재료에 대하여는 고무타이어기계가 적합함.
   나. 마무리 작업 대부분의 흙과 선별재료에 대한 마무리 성형작업에 대하여는 고무타이어롤러가 적합함
   다. 기계의 용량 비행장 공사에 요구되는 높은 밀도를 확보하기 위해 다음과 같은 용량의 기계가 필요함 ·트롤러트랙터 : 15t이상의 전용량, ·고무타이어기계 : 윤하중 7.5t이상, 재료에 따라 20t의 윤하중의 소요될 때도 있음.(접지압은 약 4.5~10.5kg/㎠) ·쉬프트롤러 : 일반적으로 단위압은 17.5kg/㎠(40~80㎠의 발톱에 대하여)정도 이지만, 재료에 따라 소요의 밀도를 얻기 위하여 45kg/㎠의 단위압이 소요될 때도 있음. 발톱의 면적은 드럼의 주면면적(발톱의 면적을 포함함)의 5%이상이 되어야 함
4. (8)은 최적함수량으로 AASHTO의 표준다짐법에 의하여 다진 값임

2.3.3 AASHTO 분류법

AASHTO 분류법은 미국의 연방도로국에서 1929년에 발표되었으나, 그후 여러 번 수정을 하여 현재 이것을 AASHTO 분류법으로 불리워지고 있다. 이 분류법은 입도분석, 아터버그 한계 및 군지수를 기초로 한다.

AASHTO 분류법에서 사용되는 군지수(GI)는 다음과 같다.

$$GI = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd \qquad (402.1)$$

여기서, a : 0.074mm체 통과중량백분율에서 35%를 뺀 값(0～40의 정수만 취급)
b : 0.074mm체 통과중량백분율에서 15%를 뺀 값(0～40의 정수만 취급)
c : 액성한계에서 40%를 뺀 값 (0～20의 정수만 취급)
d : 소성지수에서 10%를 뺀 값 (0～40의 정수만 취급)

AASHTO 분류법은 0.074mm체 통과율을 구하여 그 값이 35%이하이면 입상토(granular materials), 35%이상이면 실트-점토(silt-clay materials)로 분류한다. 그리고 군지수를 이용하여 <표 402.5>에서 소성지수, 액성한계, 0.074mm체, 0.42mm체의 통과율과 대조하면서 어느 분류기호에 해당하는가를 판별한다.

A-1에서 A-7까지 흙을 분류하는데 분류기호는 입경과 아터버그 한계에 의존하여 더 세분되어 있다. <그림 402.1>은 실트～점토인 A-4로부터 A-7까지 액성한계와 소성지수를 기초로 하여 분류할 수 있는 도표이며 통일분류법을 위한 소성도의 U선과 A선을 함께 표시하였다.

2.3.4 흙의 분류법 비교 및 결과 이용

(1) 통일분류법과 AASHTO 분류법의 비교

통일분류법과 AASHTO 분류법은 흙의 입도조성과 0.074mm체 통과율을 기초로 하여 조립토와 세립토로 분류한다.

AASHTO 분류법은 0.074mm체 통과율이 35% 이상일 때에는 세립토로 분류하고, 통일분류법은 0.074mm체 통과율이 50%이상일 때를 세립토로 분류한다. 그러나 0.074mm체 통과율이 약 50%정도의 세립질을 가지는 조립토는 세립토와 같은 거동을 한다. 이것은 조립토사이의 공극을 채울 수 있을 정도로 충분한 세립토가 존재하여 조립토를 서로 분리시키기 때문이다. 이러한 점에서 AASHTO 분류법이 더 적절한 것으로 생각하는 경우가 많다. AASHTO 분류법은 모래와 자갈을 구별하기 위해 2.0mm체를 이용하는 반면, 통일분류법에서는 4.76 mm체를 이용한다.

통일분류법은 자갈질 흙과 모래질 흙을 명확히 구별하고 있으나 AASHTO 분류법은 그렇지 않다. 특히, A-2군은 여러 종류의 흙을 포함하고 있다. 통일분류법에서 사용되는 GW, SM, CH 등과 같은 기호는 AASHTO 분류법에서 사용되는 것보다 흙의 성질을 더 자세히 설명하고 있다. OL, OH, Pt와 같은 유기질 토의 분류는 통일분류법에 제시되어 있으나 AASHTO 분류법에서는 제시되어 있지 않다.

따라서, 흙의 분류는 목적에 적합하도록 두가지 분류법을 서로 보완하여 사용한다.

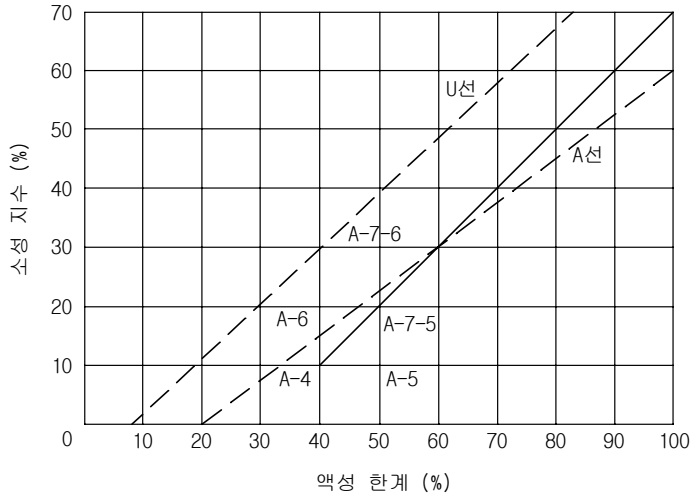
(2) 흙의 분류 결과의 이용

흙을 분류한 결과는 노체, 노상, 보조기층 및 기층, 노체의 안정처리, 흙쌓기, 휠댐 등에서 흙을 주재료로 취급하는 경우에 이용된다.

<표 402.5> AASHTO 분류에 의한 분류방법

일반적인 분류		입상토 (0.074mm체 통과율 35%이하)							실트-점토 (0.074mm체 통과율 35%이상)			
분 류 기 호		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
체통과분 (%)	0.2mm체	50이하										
	0.42mm체	30이하	50이하	51이상								
	0.74mm체	15이하	25이하	10이하	35이하	35이하	35이하	35이하	36이상	36이상	36이상	36이상
0.42mm체 통과분의 성질	액성한계	6이하		N.P	40이하	41이상	40이하	41이상	40이하	41이상	40이하	41이상
	소성지수				10이하	10이하	11이상	11이상	10이하	10이하	16이하	11이상
군지수		0		0	0		4이하		8이하	12이하	16이하	20이하
주요구성재료		석편,자갈,모래		세사	실트질 또는 점토질 자갈 모래				실트질 흙		점토질 흙	
노상토로서의 일반적 등급		우					양		가		불가	

(주) ① A-7-5군의 소성지수는 액성한계에서 30을 뺀 값과 같거나 그보다 작아야 한다.
② A-7-6군은 이보다 커야 한다.
③ N.P 는 비소성(Non Plastic)을 의미함.



<그림 402.1> AASHTO 분류법에 의한 실트-점토의 분류도표

<표 402.6> 흙의 분류와 노상토로서의 문제점 및 안정처리 효과

통일분류법	노상토로서의 문제점				안정처리의 효과			( )는 재료에 따라 가끔 문제가 되는 경우를 표시
	○ 문제있음 △ 문제가 되는 경우가 있음 - 문제없음				◎ 유효 ○ 사용가능 △ 사용하는 경우도 있다.			
	강도	주행성	액성지수	표층의안정성	첨가제			
					시멘트	소석회	생석회	
깨끗한 자갈(G)	(△)	-	-	-	(△)	(◎)	-	이암, 응회암, 편암 중에는 슬래킹(slacking)에 의하여 점토화하는 것이 있다. 세립분이 25%이하인 경우는 소성지수가 커도 일반적인 지장 없다.
세립분혼합자갈(G-F)	(△)	-	-	-	-	-	-	
	○	△	○	-	◎	◎	-	
깨끗한 모래(S)	-	-	-	(△)	(○)	(△)	-	모래는 표면 안정에 약간 어려움이 있을 정도이며 안정처리 대상토는 적다.
세립분혼합모래(S-F)	△	△	-	(△)	(○)	(△)	-	
사질토(SF)	○	○	○	(△)	◎	◎	-	
실트(M)	○	○	○	-	-	-	○	교란된 세립토를 노상토로 사용하는 경우는 거의 없으나 안정처리하면 사용 가능하다.
점성토(C)	○	○	○	-	-	-	○	
유기질토(O)	노상재료로 사용불가							
화산회질 점성토(V)	○	○	○	-	-	(○)	◎	
고유기질토(pt)	노상재료로 사용불가							

AASHTO 분류법에서는 그 성질을 A-1에서 A-7까지로 분류한다. 이중 A-1, A-2, A-3을 조립토로 분류하고, A-4, A-5, A-6, A-7을 세립토로 분류한다. 세립토는 양호하지는 않으나 A-4와 A-5는 노상토로 사용 가능하다.

토공, 필댐 등 흙 구조물의 시공에 있어서 다짐작업은 중요한 과정이며 다짐의 정도가 흙 구조물 축조 후까지 영향을 끼치므로 사용하는 흙과 전압장비의 선택을 적절히 해야 한다.

<표 402.6>은 흙의 단일체로서 노상재료로서의 문제점과 시멘트 및 석회 안정처리시 유효성의 관계를 나타낸 것이다.

2.4 암반의 분류

2.4.1 암석□암반의 개념

암석은 암반을 구성하는 소재로 일반적으로 다소의 잠재적인 균열을 함유하고 있지만 큰 규모의 절리, 층리, 단층, 균열, 협층과 같은 구조적인 불연속면이 없는 신선한 암편을 의미하고, 암반의 불연속면 사이에서 결함이 없는 블록을 형성하는 고결된 광물입자의 집합체이다.

암반은 건설공사의 대상이 될 정도의 공간적 크기를 갖는 자연의 암석 집합체로서, 일반적

으로 지질적 분리면 또는 구조적 불연속면을 갖는 불균질성 및 이방성의 암체를 말한다.

암반에는 불연속면이 존재하여 암석과 다른 역학적 특성을 나타낸다. 이러한 현상은 모든 암반에 공통되지 않고, 암반에 따라 불연속면이 존재하지 않는 암반이 있는 반면, 불연속면이 존재하지만 불연속면의 영향을 거의 받지 않는 암반이 있다. 이러한 관점에서 다음과 같이 암반을 분류할 수 있다.

(1) 암석이 매우 견고하며, 불연속면이 존재하지만 현저하지 않고 이완되지 않았기 때문에 암석과 유사한 역학적 특성을 나타내는 암반

(2) 암석은 매우 견고하지만 불연속면의 존재로 인하여 이완되었기 때문에 암석과는 다른 역학적 특징을 나타내는 암반

(3) 암석의 고결도는 낮지만 불연속면이 거의 존재하지 않거나 존재하지만 전혀 이완되지 않았기 때문에 암석과 거의 같은 역학적 성질을 나타내는 암반

(4) 암석의 고결도가 낮으며, 불연속면의 존재로 인하여 이완되었기 때문에 불연속면의 영향을 현저하게 받는 암반

2.4.2 암석의 분류

암석을 공학적으로 분류하는 방법은 강도특성을 나타내는 값을 비교하는 것이 일반적으로, 그 중 대표적인 분류방법은 다음과 같다.

(1) 일축압축강도에 의한 분류법

암석의 강도특성을 나타내는 가장 대표적인 값은 일축압축강도이다. 일축압축강도에 의한 암석의 분류는 <표 402.7>과 같다.

일축압축강도는 길이가 직경의 2배 이상의 되는 공시체의 일축압축강도이다. 그러나 신선한 암석의 강도는 광물조성, 결정조직, 입도구조, 층리 및 편리와 같은 미세한 불연속면의 유무, 변성작용의 정도, 고결도, 이방성 등에 따라 일괄적으로 단정하기는 어렵다.

(2) 탄성계수와 일축압축강도에 의한 분류

탄성계수와 일축압축강도의 비는 암석의 물리적, 역학적 특성을 잘 나타내는 지수이다.

탄성계수와 일축압축강도의 비($E_{(50)}/q_u$)에 의한 암석의 분류는 <표 402.8>과 같다.

탄성계수($E_{(50)}$)는 응력-변형률 곡선에서 극한

<표 402.7> 일축압축강도에 의한 분류 (Deer & Miller, 1966)

등 급	암석상태	일축압축강도(kg/cm^2)
A	극경암(very high strength)	2,250 이상
B	경암(high strenth)	1,125 ~ 2,250
C	보통암(medium strength)	560 ~ 1,125
D	연암(low strength)	280 ~ 560
E	극연암(very low strength)	560 이하

<표 402.8> 탄성계수비와 일축압축강도비에 의한 분류법 (Deer & Miller, 1966)

등급	암석상태	탄성계수/일축압축강도($E_{(50)}/q_u$)
H	높은 탄성계수비(high modulus ratio)	500 이상
M	중간 탄성계수비(medium modulus ratio)	200 ~ 500
L	낮은 탄성계수비(low modulus ratio)	200 이하

강도의 50% 강도에 해당되는 점의 접선방향 탄성계수이고, 일축압축강도(q_u)는 길이가 직경의 2배 이상이 되는 공시체의 일축압축강도이다. 분류방법은 <표 402.8>의 등급 H, M, L과 <표 402.7>의 일축압축강도 등급 A, B, C, D, E를 조합하여 AM, BL, CH 등으로 분류한다.

2.4.3 암반의 분류

암반을 공학적으로 분류하는 목적은 층리, 절리, 단층, 파쇄대와 같은 다양한 불연속면이 있을 뿐 아니라 풍화 및 변질작용을 받은 원지반의 암반에 대하여, 공학적인 목적에 적합하게 활용될 수 있는 판단자료로 사용하기 위함이다.

암반분류는 각종 건설공사의 각 단계를 통하여 설계·시공과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 암반분류의 결과가 건설공사의 경제성·안정성에 있어서 영향을 미치게 된다.

따라서, 암반분류 방법은 기본적으로 (1) 객관적이며 간편한 것, (2) 대상으로 하는 모든 암반에 적용할 수 있는 것, (3) 구조물의 설계·시공에 필요한 정보를 제공하는 것의 3가지 조건을 만족시키는 것이 필요하다.

암반에 대한 가장 기본적인 공학적 인자는 불연속면의 밀도 및 상태와 풍화 및 변질의 정도이다. 일반적인 분류방법은 절리의 간격, 보링코아의 채취상황에서 도출되는 RQD, 풍화 또는 변질작용을 받은 암반에 대한 탄성파 속도 등에 의한 분류방법이 있으며, 암석의 강도, RQD, 절리의 간격, 절리면의 상태, 지하수의 상태, 절리의 방위 등을 각각의 등급에 따라 종합적으로 평가한 암반평점(RMR)법과 Q-시스템 분류법 등이 있다.

(1) 절리의 간격에 의한 분류법

절리의 간격은 인접한 절리간의 수직거리이고, 일반적으로 절리의 각 종류에 따라서 각각 평균 수직간격을 측정한다. 절리의 간격은 암반을 구성하고 있는 암괴의 크기를 결정하고 암반의 공학적인 성질(암반굴착의 난이도, 파쇄특징, 투수율)에 영향을 준다.

절리간격에 의한 분류는 <표 402.9>와 같다.

(2) 풍화도에 의한 분류법

풍화상태를 암반분류의 기준으로 고려하는 방법은 일반 토목공사에서 널리 사용되고 있는 방법으로 풍화도에 의한 분류는 <표 402.10>과 같다. 풍화도에 의한 암반의 풍화 및 변질의 정도를 나타내는 풍화도에 의해 암반을 분류하며 다음 식과 같다.

$$k = v_o - \frac{v}{v_o} \qquad (402.2)$$

여기서, v_o는 풍화 및 변질되지 않는 신선한 암석의 공시체를 전파하는 탄성파 속도이고, v는 풍화 및 변질된 암석을 전파하는 탄성파의 속도이다.

(3) RQD에 의한 분류법

암반에 대한 코아의 채취상황은 시추공법, 암질, 절리 등에 따라 크게 좌우되므로, Deere (1963)는 RQD(Rock Quality Designation)를 다음식으로 표시하고, 이로부터 암반을 질적으로 분류하며 분류는 <표 402.11>과 같다.

$$RQD = \frac{(10cm\text{이상되는코아길이의합계})}{(\text{보링공의길이})} \times 100 \quad (402.3)$$

여기서, 보링공의 길이는 보링공의 전장 또는 목적에 따른 대상부분의 길이이며, 일반적

<표 402.9> 절리 간격에 의한 분류법 (Deere, 1963; Bieniawski, 1974)

구 분	절리의 간격 (cm)
매우 좁음 (very close)	5 이하
좁음 (close)	5~30
보통(medium)	30~100
넓음 (wide)	100~300
매우 넓음 (very wide)	300 이상

<표 402.10> 풍화도에 의한 분류법

풍화 및 변질의 정도	풍화도 (k)
신선한	0
약간 풍화된	0~0.2
중간정도로 풍화된	0.2~0.4
상당히 풍화된	0.4~0.6
현저히 풍화된	0.6~1.0

<표 402.11> RQD에 의한 분류법

암질상태	RQD (%)
매우 불량한(very poor)	0~25
불량한(poor)	25~50
보통(fair)	50~75
양호한(good)	75~90
매우 양호한(excellent)	90~100

<표 402.12> 균열계수에 의한 분류법

등급	암질상태	균열계수 C_r	경험적 양부판별
A	매우 좋은	< 0.25	절리, 균열이 거의 없고, 풍화, 변질없음
B	좋은	0.25~0.50	절리, 균열이 조금 있고, 균열표면만 풍화
C	중간정도의	0.50~0.65	절리, 균열이 상당히 있고, 절리충전물 약간, 균열부 풍화
D	약간 나쁜	0.65~0.80	절리, 균열이 뚜렷하고, 포화점토충전물로 가득참, 암질은 상당부분 변질
E	나쁜	>0.80	절리, 균열이 현저하고, 풍화, 변질이 심함

으로 5m마다 구분하는 경우가 많다. 그리고 코아는 NX 크기(54mm)의 이중관 시료 채취기를 사용한다.

(4) 균열계수에 의한 분류법

암반을 동적으로 구한 수치에 의하여 암반을 평가, 분류하는 방법으로 균열계수(coefficient of fissure, C_r)에 의해 분류하는 방법이 있다.

$$C_r = 1 - \left(\frac{E_f}{E_l}\right) \quad 또는 \quad 1 - \left(\frac{v_f}{v_l}\right)^2 \qquad (402.4)$$

여기서, E_f과 v_l은 신선한 암석시편에 대한 동적탄성계수 및 탄성파속도이며, E_f와 v_f는 현장의 암반에 대한 동적 탄성계수 및 탄성파 속도이다.

균열계수(C_r)는 풍화도(k)와 동일한 물리적 의미를 갖는 것으로, 경우에 따라서 풍화도(k)를 균열계수라 하는 경우도 있으며, 등급구분은 <표 402.12>와 같다.

(5) 암반평점에 의한 분류법

암반을 분류하는 방법은 Bieniawski 의 RMR에 의한 분류법과 Barton의 Q-시스템이 있다. 암반을 암석의 강도, 채취 코아의 질, 절리간격, 절리의 상태, 절리의 수, 절리내의 지하수 상태, 응력분포상태, 절리의 방위 등으로 구분하여 개별적으로 채점한 다음에 점수를 합산하여 암반의 평점으로 정하고, 이에 따라 암반을 분류하는 방법이다.

(6) 리핑 가능성에 의한 분류법

현장실무분야에서 암반을 굴착함에 있어서 폭약에 의한 발파작업을 하지 않고 리퍼작업에 의하여 굴착이 가능한 리핑 가능성(ripper bility)을 기준으로, 리핑 가능영역을 연암, 불가능한 영역을 경암으로 분류하는 방법이다.

2.3.4 토공을 위한 암반분류

기존의 암반분류는 암석과 암반의 개념 없이 총칭하여 사용하고 있는 상태이며, 국내에서는 강도에 의한 분류(극경암, 경암, 보통암, 연암, 풍화암)가 사용되고 있으며, 건설교통부의 표준품셈의 분류가 널리 사용되고 있으며, <표 402.13>과 같다.

토공을 위한 암반분류는 절취방법의 선택 및 절취시공 단가를 산정하기 위하여 시공의 난이

<표 402.13> 건설표준품셈의 토질 및 암반의 분류(1994)

a. 적용기준

구 분		내용
토사	보통토사	보통상태의 실트 및 점토, 모래질 흙 및 이들의 혼합물로서 삽이나 괭이를 사용할 정도의 토질(삽 작업을 위하여 상체를 약간 구부릴 정도)
	경질토사	견고한 노래질 흙이나 점토로서 괘이나 곡갱이를 사용할 정도의 토질(체중을 이용하여 2~3회 동작을 요할 정도)
	고사점토 및 자갈섞인 토사	자갈질흙 또는 견고한 실트, 점토 및 이들의 혼합물로서 곡갱이를 사용하여 파낼 수 있는 단단한 토질
	호박돌 섞인 토사	호박돌 크기의 돌이 섞이고 굴착에 약간의 화약을 사용해야 할 정도로 단단한 토질
암	풍화암	일부는 곡갱이를 사용할 수 있으나, 암질이 부식되고 균열이 1~10㎝ 정도로서 굴착 또는 절취에는 약간의 화약을 사용해야 할 암질
	연암	셰일, 사암 등으로 균열이 10~30㎝ 정도로서 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나, 석축용으로는 부적합한 암질
	보통암	풍화상태를 엿볼 수 있으나, 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며, 균열이 30~50㎝ 정도의 암질
	경암	화강암, 안산암 등으로서 굴착 또는 절취에 화약을 사용해야 하며, 균열 상태가 1m이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질
	극경암	암질이 아주 밀착된 단단한 암질

b. 암종별 탄성파 속도 및 내압강도

암종 그룹		자연상태의 탄성파속도 v (km/sec)	암편탄성파 속도 v_c (km/sec)	암편내압강도 (kg/㎠)	비 고
풍화암	A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700	* 내압강도 1.시편 : 5cm 입방체 2.노건조 : 24시간 3.수중침윤 : 2일 4.시험방향(가압방향) Z축(겉면에 수직) (탄성파속도가 가장 느린 방향) * 암편 탄성파속도 1.시편 : 두께 15~20cm 상하면이 평행면 2.측정방향 : x축(절면에 평행) (탄성파속도가 가장 빠른방향)
	B	1.0~1.8	2.5~3.0	100~200	
연 암	A	1.2~1.9	2.7~3.7	700~1000	
	B	1.8~2.8	3.0~4.3	200~500	
보통암	A	1.9~2.9	3.7~4.7	1000~1300	
	B	2.8~4.1	4.3~5.7	500~800	
경 암	A	2.9~4.2	4.7~5.8	1300~1600	
	B	4.1 이상	5.7 이상	800 이상	
극경암	A	4.2 이상	5.8 이상	1600 이상	

도에 따라 암석의 강도를 기준으로 토사, 리핑암, 발파암으로 분류한다.

설계에서 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 다음의 항목을 검토한 후 결정할 필요가 있다.

(1) 현지답사

현지답사는 굴착 예정지점의 노두(路頭)를 조사하고 지질, 암질, 균열의 길이, 균열의 폭, 풍화의 정도 및 굴착작업의 난이도 등을 판정한다. 풍화가 진행되는 경향은 주변 도로 등의 깎기 비탈면의 상태 및 비탈면 끝에 모아진 암석의 풍화 상태에 유념하여 조사한다.

(2) 시추조사

시추조사는 토사, 리핑암, 발파암의 구분에 지표가 된다. 그러나 시추 정도 또는 조사결과의 검토 부족, 토질의 복잡성 등으로 인해 시공시에 변경할 수 있으므로 시추조사에서 유의할 사항은 다음과 같다.

① 위치 및 빈도

시추조사의 위치 및 빈도는 최소한 동일 깎기구간에서 종횡방향으로 1~2개소 정도 실시한다. 절취가 긴 구간이 연결되는 경우나 지형, 지질이 난이한 곳은 조사위치를 충분히 검토하여 유효한 위치를 선정한다. 또한 상황에 따라서 보링 할 개소를 증가시키거나 탄성파 탐사 등을 실시하여 조사의 신뢰성을 높인다. 특히, 편마암지역이나 호층으로 발달된 퇴적암지역 등은 지층이나 지질의 변화가 심하기 때문에 설계시 주의한다.

② 코아시료의 관찰

코아 시료의 관찰은 판별에서 특히 중요하기 때문에 코아의 길이나 강도, 풍화의 정도 등을 고려한다. 이는 동일지층이라 할지라도 암질을 달리하는 협층이 존재하기도 하며, 지질학적 구조선인 단층, 파쇄대 등이 존재하게 되면 전반적인 암반상태를 약화시킬 수 있기 때문이다.

③ 코아회수율 및 RQD

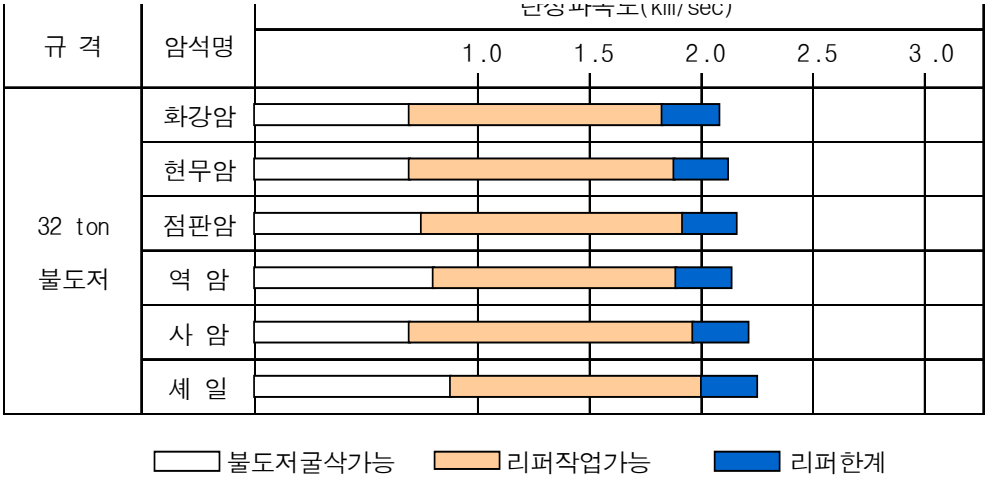
암반의 풍화상태와 불연속면의 발달 정도는 코아회수율(TCR) 및 RQD로 표시되며, 단층, 균열이 많은 것, 풍화 변질이 심한 것, 퇴적암 등에서 얇은 층으로 되어 있는 것은 일반적으로 값이 적다. 이러한 값들은 작업원의 능력이나 숙련정도, 암질의 차이에 따라서 변화하기 때문에 주의를 필요로 한다.

④ 표준관입시험(N치)

토사와 리핑암의 구분 지표로 N치가 사용된다. 연암으로 판정되는 것은 일반적으로 관입 불능으로 되는 것이 많지만 일부의 암석 즉, 미고결 이암, 응회암, 역암 등에는 관입 가능한 것도 있다. 또한 N치 50범위의 것은 설계시에 기준에 따라 토사로 판정되었더라도 시공에는 작업능률이 불량하여 리핑암으로 판정될 수 있기 때문에 주의해야 한다.

⑤ 일축압축강도

퇴적암이나 변성암과 같이 이방성이 강한 암석은 층리면이나 편리면에 직각 또는 수평에 따라 일축압축강도가 다르며, 함수량에 따라 강도가 변한다. 일축압축강도를 측정하는 방법은 현장에서 슈미트해머 시험기를 사용하거나 점하중 시험기를 사용하여 시추코아에서 암석강도를 정량적으로 측정할 수 있다.



<그림 402.2> 탄성파 속도와 굴착난이도 범위

(3) 공사기록의 조사

주변의 도로, 철도 등의 시공기록이 있으면 암질, 풍화변질의 정도, 굴삭 방법 등을 조사한다. 또한 동일한 지질조건을 가진 장소의 시공기록 등도 참조가 된다.

(4) 탄성파 속도

탄성파란 탄성체에 충격을 가할 때 이 충격이 물체내로 전달되는 파동의 일종으로서 매질의 상태에 따라 전파속도가 변화하는 성질을 가지고 있다. 즉, 탄성파는 매질이 치밀할수록 전파속도가 증가하고 느슨할수록 전파속도가 감소하는 특성이 있다. 암반의 경우에 암석의 구성물질, 강도, 균열상태 등에 따라 전파속도가 변하며, 이와 같은 성질로 인하여 탄성파의 전파속도는 토공작업시 리퍼의 작업능력을 판단하는 기준이 되고 있다. 탄성파 속도에 의해 시공의 난이도 추정은 그림<그림 402.2>와 같다. 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 시공성을 충분히 검토한 후에 다음과 같이 분류한다.

① 토층과 리핑암의 경계를 시추자료로 판단할 때, SPT 수치가 50타를 가격하였을 때, 10cm를 경계로 하여 50타 일 때 10cm보다 더 많이 관입하면 도져로 굴착이 가능한 토층으로 구분하고, 더 적게 관입하면 리핑암으로 구분한다.

② 리핑암과 발파암의 경계를 시추자료로 판단할 때, 코아회수율(TCR)이 20% 이하(NX 기준)로 불량하고, 암질지수(RQD)가 10% 이하(NX기준)이면 발파보다 리핑작업이 유리하므로 리핑암으로 구분한다. 또한 리핑암과 발파암은 암반의 굴착 특성을 결정하는 불연속면의 발달빈도와 탄성파 속도를 기준은 <표 402.14>에 따라 구분한다.

<표 402.14> 토사, 리핑암, 발파암의 구분

구 분		토사	리핑암	발파암
			약한 암석인 풍화암, 연암, 보통암 중에서	강한 암석인 보통암 경암, 극경암 중에서
표준관입시험(N치)		50/10 미만	50/10 이상	
불연속면의 발달 빈도	BX크기	-	TCR = 5% 이하이고 RQD = 0% 정도	TCR = 5~10%이상이고 RQD = 5% 이상
	NX크기	-	TCR = 25% 이하이고 RQD = 10% 정도	TCR = 25% 이상이고 RQD = 10% 이상
탄성파속도	A그룹	700 m/sec 미만	700~1,200 m/sec	1,200 m/sec 이상
	B그룹	1,000 m/sec 미만	1,000~1,800 m/sec	1,800 m/sec 이상
A 그룹 암종 : 편마암, 사질편암, 녹색편암, 석회암, 안산암, 현무암, 유문암, 감람암, 화강암 B 그룹 암종 : 흑색편암, 휘록응회암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암				

402.3 지반조사

3.1 조사의 구분

조사는 계획부터 유지관리까지 각 단계마다 실시한다. 계획단계의 조사는 노선선정 단계의 지형·지반 개략 조사, 설계·시공계획 단계의 상세지반조사 및 수문조사 등이다.

노선선정시에는 예비조사에 의해 공구구분, 공법, 공사기간, 공사비용 등을 크게 좌우하는 지반조건을 전체적으로 파악한다.

시공단계는 시공전의 조사결과를 기초로 하여 지반의 문제점이나 불명확한 점에 대응한 조사항목을 정리한 후에 실시하고, 시공중에 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 필요한 경우 추가조사를 실시한다. 따라서 각 조사는 시공전 초기 단계부터 장기적인 측면에서 계획적으로 수행하며 동시에 각 조사단계에서 각각의 성과를 비교 검토하여 유효하게 이용해야 한다. 각 조사단계에 따른 시기, 목적, 범위 등을 요약하면 <표 402.15>와 같다.

3.2 조사목적

조사는 노선선정, 토공, 구조물공, 배수공의 계획, 설계, 시공 및 유지관리를 보다 합리적이고 경제적으로 진행하기 위한 자료를 수집하는 단계로서, 건설공사 대상지반의 지층분포와 토질, 암석 및 암반 등 지반의 공학적 성질을 명확히 파악하는데 있다.

또한, 노선선정, 토공, 구조물공의 계획, 설계, 시공 및 유지관리 업무를 합리적이고 경제적으로 수행하는데 필요한 제반의 지반정보를 제공하거나 건설재료원의 적합성 및 매장량을 확인하기 위하여 실시한다.

(1) 지반조사를 소홀히 하는 경우 공사비 증가나 공기의 지연 등을 초래하므로 건설공사의 완벽성을 기하기 위해서는 충실한 지반조사가 요구된다.

(2) 지반조사의 구체적인 목적은 다음과 같이 요약된다.

- 구조물의 위치선정
- 구조물의 설계계산
- 기초 또는 토공설계
- 가설구조물 설계
- 시공계획, 관리 및 확인
- 재료의 적합성. 매장량 결정
- 구조물 및 비탈면 등의 장기성능 확인, 안전진단 및 평가
- 사고나 구조물 손상원인 규명 및 대책수립 등의 유지관리

3.3 조사 방법

일반적으로 구조물의 종류나 규모에 따라 지반조사의 방법과 범위가 달라진다. 따라서, 조사에 있어서 조사방법의 적용성을 잘 이해하여 조사방법, 조사대상의 지형, 지질의 특징을 고려한 후 조사목적에 적합한 방법을 선정하여야 한다. 조사는 각종 조사방법을 복합적으로 조합하여 보다 효과적으로 실시하여야 하며, 조사방법에 따라 적응토질의 제약과 조사심도의 한계가 있으므로 조사방법 선정시에는 그 특징을 파악하여 결정하여야 한다.

<표 402.15> 조사단계별 조사내용

조사단계		시 기	목 적	내 용	범 위
예비조사	자료조사	사업구상에서 구체적으로 계획	도로노선 계획	· 각종 자료조사 분석 · 지표답사	대상구간의 광범위한 지역
	현장답사	비교노선 검토에서부터 노선결정까지	도로노선의 선정	· 지형 및 지질조건에 대한 개략조사 · 환경 및 입지조건에 대한 광역조사	계획노선 및 비교노선을 포함한 광범위한 지역
	개략조사				
본 조 사		노선결정 이후부터 공사착공까지	설계 및 시공계획의 수립 · 설계입력 자료 평가 · 공법의 선정 · 단면해석 · 공사비 산출 등	· 상세한 지질 및 지반조사 · 주변환경 및 공사에 필요한 제설비, 법규 등 조사	결정된 노선 및 주변지역
시공중 보완조사		시공중	시공 관리, 공사 통제	· 현장계측 · 주변환경의 영향정도 조사 · 시공관리 조사	시공으로 영향을 받을 우려가 있는 주변지역

조사방법 및 범위는 공사의 종류, 구조물의 규모, 지반조건, 주변환경 등에 따라 다양하게 선택될 수 있으며, 사업추진 단계에 따라 수행하는 조사내용도 달라진다. 이러한 조사방법에는 크게 현장조사와 실내조사로 구분할 수 있다. 현장조사에는 현장답사 및 지표지질조사, 지구물리탐사, 시추조사, 사운딩 그리고 기타 원위치시험 등이 있으며, 실내조사에는 자료 및 지형분석, 실내시험 등이 있을 수 있다.

3.3.1 계획단계의 조사

(1) 계획단계 즉, 타당성 및 기본계획단계의 조사는 기존 자료조사 및 현장답사를 통하여 사업에 큰 영향을 미치는 활성단층, 불안정 비탈면, 연약지반 등의 분포상태나 특성을 조사한다.

(2) 조사결과, 지반장애물로 인한 위험도가 높은 지역은 사운딩이나 시추조사를 실시하고 시험도 수행한다.

(3) 이 단계의 조사결과에 의하여 다음 단계의 지반조사에 대하여 세부계획을 수립한다.

3.3.2 설계단계의 조사

(1) 설계단계 즉, 기본 및 실시설계에서 기본설계는 구조물의 위치, 규모, 하중조건을 결정할 수 있도록 물리탐사, 사운딩 및 시추조사를 포함한 지반조사를 실시하며, 시험을 통하여 기초지반의 공학적 특성을 평가한다.

(2) 이 단계의 조사는 계획단계의 조사와 많은 부분이 중복되나, 조사빈도를 높여서 구체적인 지반 특성치를 결정하여 설계에 활용한다.

(3) 실시설계 단계는 구조물 위치나 규모, 설계조건을 최종적으로 확정하기 위하여 시추, 사운딩, 시굴, 현장 및 실내시험등의 정밀조사를 실시한다.

(4) 교란 및 불교란시료를 채취하여 실내시험을 실시하거나 현장시험을 실시하여 기초지반의 역학적 특성을 확정한다.

(5) 계획단계의 조사에서 부족한 점이 있으면 본 단계에서 정확한 지반정보가 얻어지도록 조사항목을 추가하여 특정한 구조물 인접지역 또는 연약파쇄대 등이 예상되는 지역에 대하여 조사빈도를 증가하여 정확한 지반정보를 얻도록 한다.

3.3.3 시공단계의 조사

시공중 관찰되는 노출 지반의 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반 변화나 시공중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사 및 시험을 실시한다.

3.3.4 유지관리 단계의 조사

유지관리시에 구조물에 이상이 발생하는 경우나 교각의 세굴, 인근지역의 개발에 따른 주변지반의 변화가 예상되는 경우 그 원인 규명과 보수·보강 대책수립을 위하여 조사를 수행한다.

3.4 단계별 조사내용

3.4.1 예비조사

예비조사는 공사계획 단계에서 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 수행한다. 예비조사는 기존 자료조사, 항공사진 및 위성사진의 판독·분석, 현장답사 등을 실시하여 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하며 필요시에는 시추조사도 시행한다.

(1) 기존자료조사

자료조사는 지반조사의 계획 및 현장상황 등을 판단하기 위한 모든 기존자료를 수집하는데 그 목적이 있다. 자료조사시에는 항공사진, 인공위성사진, 지형도, 지질도, 토양도, 지하매설물도, 기존 구조물 도면, 지하수 현황, 터널지역을 포함한 광역 조사자료 등을 이용하여 조사지역의 현황을 파악하여야 한다.

자료조사의 주요 조사 사항을 열거하면 <표 402.16>과 같다.

<표 402.16> 기존자료조사의 내용

조사대상	조 사 내 용	자료구입처
기 존 구 조 물	기존구조물의 배치, 설계도면, 시공관련자료, 현상태 등을 검토함으로서 개략적인 주변 지반조건, 지지력, 위험요소 등을 파악	현장답사 사용주 탐문
인접지역 조사자료	조사지역의 인접지역에서 실시한 조사자료를 활용하여 지반의 종류 및 조건, 지하수 분포상태 등을 파악	구·군청 인접구조물의 소유자, 설계자 한국자원연구소
지 형 도 항공사진 위성사진 고지형도	항공사진, 위성사진 및 고지형도를 이용하여 현재 및 과거의 지형상태를 조사, 분석하고 지질경계, 선구조, 파괴지형, 식생, 수계 등의 분포상태를 파악하여 시추, 골재원, 토취장, 또는 채석장 등의 조사에 활용하고 현장조사시의 시추위치, 시추장비의 진입가능성 및 시추용수의 취득가능성 등을 파악	중앙지도문화사 산림청 국립지리원
지 질 도	지층의 분포상태, 구조물에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 절리, 선구조)의 발달과 특성 및 공동의 발달유무 등을 분석하여 터널굴착조건을 예측하고 노선결정과 조사계획 수립에 반영	한국자원 연구소
토 양 도	토양도는 주로 표토의 영농자료를 제공하나 토양의 비옥도나 수분상태 등의 성질로부터 흙의 물리화학적 및 공학적 특성 추정가능	농림부 농어촌진흥공사
우물현황	지하수이용을 위한 우물개발 현황으로부터 지하수 부존상태, 지하수위 상태 등의 지하수특성파악	농어촌진흥공사 우물소유주

<표 402.17> 현장답사시에 관찰할 사항

대상구분	주 요 관 찰 사 항
지형변화	옛 제방흔적과 범위 및 수로, 철도, 성토 매립 등의 흔적이나 상태, 산사태지형을 표시하는 지역에서는 활동이나 범위
지표수 및 지하수	용출수, 우물의 수위와 그의 계절적 변동, 피압지하수의 유무, 호우, 강설시 등의 저수, 배수의 상태
인근구조물 유지상태	도로 및 철도의 제방, 교대 및 교각, 기타의 중요 구조물의 침하균열이나 경사도, 굴곡 등의 변상유무
지하매설물	상하수도, 가스관, 통신 및 전력케이블, 지하철, 지하도, 공사현장 부근에 있는 경우는 그 영향의 정도, 건물기초 등
수송통로	트럭, 중차량 출입의 제한 유무, 도로의 교통상황, 소음, 진동, 공해 등

<표 402.18> 지질조사항목

구 분	세 부 조 사 항 목
표층지반	표토, 풍화토, 퇴적물의 종류(하상퇴적물, 선상지 퇴적물, 단구 퇴적물, 붕괴 퇴적물, 화산분출물)등의 분포상태 및 구성물질, 두께, 고결정도, 함수상태, 투수성, 유동성 등
암 질	암석의 종류, 입도, 조암광물과 배열, 공극상태, 압축강도, 인장강도, 탄성파 속도, 변성도 및 풍화도, 층리·엽리 등
지질구조	지질분포, 지층의 성층상태, 주향과 경사, 절리, 습곡, 단층, 파쇄대, 변질대 등
지표수 및 지하수	지표수의 유하상태, 지하수의 부존상태, 수온, 수질, 대수층의 구성, 지하수위, 대수층과 지질과의 관계, 용수상황 등
지열, 온천	고지열대, 온천용출 등
지하공동	자연공동(석회동굴 등), 광산갱도, 폐광 등의 과거갱도
암반거동	팽창성 및 유동성 지반의 유무나 분포상태, 용수에 의한 붕괴가능 지반의 유무 정도나 분포상태, 편압가능성 등

(2) 현장답사

현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반상태를 확인한다. 현장답사시에는 지역 주민들의 청문을 통하여 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인한다. 또한, 조사수행에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 확인 하여 원활한 본 조사계획을 수립할 수 있도록 한다.

따라서, 현장답사는 반드시 경험있는 관련기술자에 의해 이루어져야 한다. 현장답사의 결과를 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하며 이미 계획된 사항에 대해서는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 한다. 필요시에는 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역전반에 걸친 개략적인 지반조건을 조사하고 시추계획에 반영한다.

현장답사시 조사할 주요내용은 지형변화, 대규모 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근구조물 유지상태, 지하매설물, 수송통로 등이 있다. 현장답사시에 관찰할 사항은 <표 402.17>과 같다.

(3) 지질조사

지질조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 개괄적으로 파악한다. 본 조사를 실시할 때에 기본 자료로 활용하고 본 조사의 경제적 및 시간적 효율을 높이기 위하여 실시한다.

지질조사를 통하여 단층, 습곡, 절리 등이 표시된 지질구조도 및 암종이 표시된 지질도를 작성하고 지질재해의 가능성 등을 검토한다. 지질조사시에는 표층지반, 암질, 지질구조, 지하공동, 암반거동, 지표수 및 지하수 등의 사항을 조사하여 그 결과를 응용지질도(engineering geologic map)로 표시하며, 지표지질항목은 <표 402.18>과 같다.

일반적으로 지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1:10,000 이상의 축척으로 촬영된 항공사진의 이용이 바람직하며 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다. 지질조사에 이용되는 지형도의 축척은 1:25,000을 기본 지형도로 하며 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용한다.

3.4.2 본조사

본조사는 개략조사(기본설계 단계)와 정밀조사(실시설계 단계)로 구분되며, 부지나 노선 또는 구조물의 위치가 결정된 후 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 수행하는 조사로서 지표지질조사, 물리탐사, 시추조사 및 현장시험, 실내시험 등을 포함하여야 하며, 공사의 목적이나 구조물의 종류에 따라 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 달리 할 수 있다.

설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사 자체는 한계성이 있으므로 불규칙적인 지반분포 구간은 시공시 노출되는 실제 지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 하여야 하며 설계변경에 필요한 자료를 제공하도록 하여야 한다.

402.4 하천조사

하천조사는 우수에 의한 교량의 피해를 방지하고 하부구조의 설치나 시공이 이수나 주운 등에 지장을 주지 않도록 하기 위하여 실시한다. 따라서 하천 관리자들과 사전에 충분히 협의하여야 하며, 관계법령 특히 하천시설기준을

준수한다.

하천에 관한 조사는 수위, 유량, 유속과 과거의 수심, 하상의 변동, 홍수나 고조의 기록 등을 조사한다. 또 개수계획이 있는 하천에 있어서는 계획 수위고와 하상의 계획준설고 등을 조사해서 하부구조의 위치, 근입깊이 등을 결정한다. 그 밖에도 필요한 경우에는 교각의 배수작용과 세굴, 유목, 유빙, 토사류, 유수압, 조류, 파고, 표사, 간만의 차에 의한 유수의 변화 등에 대한 조사를 한다.

또, 관개, 수력발전 등의 이수상황, 어업권, 주운 등에 관해서도 조사를 하고 관계기관 등과 충분한 협의를 한다.

402.5 시공환경조사

시공의 안전성, 확보성 등을 충분히 고려한 설계를 하기 위해서 다음과 같은 시공환경에 대하여 면밀한 조사를 실시한다.

5.1 기존 자료의 조사

시공현장 부근에서 과거에 하부구조의 시공예가 있는 경우에는 설계 시공 전반에 걸쳐 이를 참고하는 경우가 많다. 따라서 기존의 설계도서, 시공기록 및 관계 자료를 수집하고 그 당시의 시공 관계자의 체험을 청취하는 등의 조사를 한다.

5.2 주변환경의 조사

하부구조를 시공할 때 소음, 진동, 지반침하, 토사 굴착, 물푸기 , 기름, 먼지 및 공사 차량의 통행에 따른 교통장애 등에 의해 주변의 환경에 영향을 미치는 일이 많다.

따라서 사전에 시공현장 주변의 구조물, 소음, 지반침하, 우물의 수위, 수질 및 교통 등의 실태를 조사하고, 공사의 시공에 의해서 주변환경에 미치는 영향 등을 조사한다.

특히, 기성말뚝을 타입하는 경우에는 시공중의 소음, 진동이 주변에 미치는 영향에 대하여 충분한 조사를 실시한다. 또 공기케이슨 기초를 시공할 경우에는 일정한 범위에 걸쳐서 우물의 위치나 수위를 살피는 등, 공기케이슨 공법 특유의 영향에 대하여 조사한다.

5.3 작업 환경의 조사

시공현장의 지형, 작업공간 및 작업면적은 기초형식이나 규모, 공법, 공사용 설비의 구조, 배치, 사용되는 기계기구와 재료, 작업방법 등을 선택하는데 중요한 요소이다. 이들에 대해서는 현지를 답사하거나 각종 자료를 조사하여 그 실상을 충분히 파악한다.

시공현장 부근의 근접구조물이나 지하매설물 등의 유무도 기초형식의 종류에 따라서 하부구조의 시공에 중대한 영향을 미치므로 이들에 대해서 위치, 종류 및 기초 근입깊이 등을 조사하여야 한다. 특히, 근접구조물에 대해서는 그 설계도서나 시공기록 등을 수집하거나 경우에 따라서 시추를 실시하여 기초의 근입깊이를 확인하고 해당 하부 구조물과 근접구조물과의 상호 영향을 조사한다. 또, 기계기구, 재료 등의 운반의 편의나 경로, 굴착토의 처분 가능량 및 전기, 급배수의 편의나 용량 등에 관해서도 현지에서 면밀히 조사한다. 특히, 운반경로에 대해서는 폭, 선형, 교통량, 교통규제의 유무와 내용, 교량이 있는 경우에는 제한하중 등을 조사하여야 한다.

또한, 시공현장의 예정 공기 내의 기상을 추정하여 이에 대처하는 공법, 사용 기계기구 및 작업방법 등을 선택하며, 이를 위해서 기온, 풍속, 풍향, 강우, 적설 등에 대한 과거의 기록을 조사한다.

시공지역에서의 환경보전에 관한 법, 규제 등에 대해서도 사전에 조사를 하여 설계 및 시공계획의 자료로 삼아야 한다.

402.6 기타조사

다음과 같이 특별한 경우에는 기존자료, 지형과 지질, 주변환경 등에 대하여 특히 유의해서 조사를 실시하여야 한다.

6.1 연약지반

연약지반은 일반적으로 토질조건의 평가가 어려우며, 그 평가가 구조물 본체 뿐만 아니라 주변의 지반이나 구조물에 미치는 영향도 크다. 따라서 연약지반에서 조사는 다음 사항에 유의하여 조사한다.

(1) 기존자료

지반의 개요는 토질 주상도 또는 지층단면도를 검토한다. 연약지반은 보다 상세한 조사를 필요로 하기 때문에 조사계획을 수립함과 동시에 기존의 지질자료를 수집하여 검토를 하여야 한다. 또 주변에서의 공사예를 조사하여 구조물의 규모, 토질정수의 평가, 보조공법의 유무와 형식 등을 참고로 한다.

(2) 지형과 지질

연약지반에서 설계 시공을 하는 경우에는 압밀침하, 측방유동, 흙막이벽의 안정, 지진시 포화 사질토의 액상화 등에 관하여 충분히 검토한다. 이들의 검토에는 지반정수의 적정한 평가가 필요하다.

특히, 흙쌓기 등의 상재하중, 시공시의 편토압, 지반의 소성변형, 지하수위의 저하 등 지반에 변화를 일으키는 지반조건, 시공조건 등을 고려할 경우 조사개소와 시험항목을 늘리고, 지층의 변화, 층두께, 구성 등 지반조건을 충분히 파악하여 시험결과의 타당성을 확인한다.

(3) 주변환경

연약지반은 기초공사, 물막이 등의 가설공사, 연약지반대책 공사 등 공사량이 많고, 진동이 많으며, 진동의 전파나 지반변위의 증대 등 주변환경에 주는 영향이 생기기 쉽다. 따라서 영향이 미칠 수 있는 구조물, 지하매설물 등 주변환경에 대해서도 조사하여야 한다.

6.2 산지부

산지부에서 하부구조를 설계 시공하는 경우, 지반(주로 암반)의 평가 및 시공방법의 검토가 중요하다. 산지부에서 지반조건, 시공조건은 평지부의 조건과는 상당히 다르기 때문에 그 평가도 지반의 특수성을 고려한다.

(1) 기존자료

지반활동이나 비탈면 붕괴 또는 토석류 등의 염려가 있는 경우에는 기존 지질조사를 근거로 하여 필요한 조사를 실시한다. 또, 주변의 재해사례 등에 대해서도 조사하여 하부구조의 형식, 시공방법, 보조공법 등을 검토한다.

(2) 지형과 지질

산지부의 지형은 경사면인 경우가 많고 지층의 구성도 복잡한 경우가 많으므로 정밀한 측량을 실시하고 정확한 지형정보를 얻는다.

또 지반이 암반인 경우, 일반 토사지반의 경우와 조사항목 및 평가가 다르므로 주의한다. 암반의 평가는 암상, 층리, 편리와 절리 등의 상태나 빈도, 단층 파쇄대, 풍화대의 위치 및 정도 등의 암질상태를 조사하고, 일축압축시험과 삼축압축시험 등의 역학적 시험과 탄성파탐사 등의 물리탐사를 실시하여 종합적으로 검토하고 판단한다.

(3) 주변환경

산지부에서는 시공성의 검토가 중요항목이 된다. 예를 들면 공법, 장비 선정, 가설작업대의 필요성, 기자재의 반입, 반출경로의 계획 등이 문제가 되며, 시공시점 뿐만 아니라 주변환경에 대해서도 조사를 하여야 한다.

6.3 근접시공

(1) 기존 구조물에 근접해서 새로운 공사를 하면 시공에 의해 발생하는 주변 지반의 이완이나 변위 등이 기존구조물에 변위를 일으키는 경우가 있다. 이와 같은 변위의 주요 원인은 다음과 같은 것이 있다.

① 흙막이벽, 물막이벽 및 배면지반의 변형
② 융기현상(heaving), 분사현상(boiling)
③ 시공장비의 진동에 의한 느슨한 모래지반의 침하
④ 배수에 의한 지하수위 저하나 공극발생에 따른 지반침하
⑤ 말뚝의 타설이나 케이슨의 침설에 따른 지반의 변위

(2) 기존구조물에 근접해서 시공할 경우에는 사전에 다음과 같은 조사를 충분히 하여 기존구조물에 변위를 주지 않도록 한다.

① 기존자료

기존구조물의 손상사례나 대책사례, 현장사례 등의 과거의 근접시공 사례를 조사한다. 이들의 사례는 유사한 공사의 손상예측이나 대책공법의 계획에 유익한 자료가 된다.

② 지형과 지질

기존 및 신설 구조물 주변의 지반상황을 충분히 파악하여, 기존구조물에 손상을 줄 염려가 있을 경우에는 그에 대한 판정이나 대책공법을 위한 지반조사나 토질시험 등을 실시한다.

③ 기존 구조물

근접시공은 기존구조물의 제원에 대하여 사전에 충분히 파악하여야 한다. 특히 굴착공사는 주변지반의 영향을 고려함과 동시에 기존구조물의 안정성을 검토한다.

기존구조물의 허용변위량을 정하거나 대책공법을 검토할 경우, 준공도면을 바탕으로 기존구조물의 기초 형식, 크기, 근입깊이 등을 조사하고, 설계도서 등을 이용하여 설계조건, 설계방법, 응력상태 등을 조사한다.

현장조사를 실시하여 구조물이 실제로 도면과 같이 시공되어 있는가, 노후화에 따른 내력은 떨어져 있지 않은가 등에 대해서도 확인한다.

402.7 시험

7.1 현장시험

자연상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행하여야 한다.

현장시험은 지반특성을 파악하기 위하여 시추공내, 지표면 또는 굴착면에서 시험을 실시한다. 암반에서는 기본적 특성과 공학적 특성을 측정하기 위하여 현장시험을 실시하며, 토층에서는 흙의 공학적 특성을 측정하여 실내시험 결과를 보완한다. 유기물이 많이 섞여 있을 경우, 비점성 사질토 구간일 경우, 균열이 발달한 점토층일 경우, 빙퇴석, 풍화잔류토와 같은 조립질 물질이 섞여 있는 점토층 등에서는 불교란 시료를 채취하기 어려워 실내에서 공학적 특성을 측정할 수 없다. 따라서, 이러한 구간의 공학적 특성은 현장시험을 실시하여 측정한다.

7.1.1 현장시험의 종류

현장시험은 주로 시추공내 또는 현장에서 실시하는데 일반적으로 수행하는 시험항목은 다음과 같다.

- 표준관입시험
- 지하수위 측정
- 현장투수시험
- 수압시험
- 간극수압 측정
- 베인전단시험
- 공내재하시험
- 흐트러진 시료 채취
- 흐트러지지 않은 시료 채취
- 시험굴(test pit)
- 핸드오우거보오링
- 콘관입시험
- 딜라토미터 시험

7.1.2 표준관입시험

표준관입시험은 KS F 2318 규정에 의거한 시험방법에 따라 실시하여야 한다. 시험회수는 지층이 변할 때마다 또는 동일층이라도 1.5m 깊이마다 1회씩 실시하여야 하며 N치가 50회에 도달하더라도 관입깊이가 10cm 미만일 때는 타격을 중지하고 그때의 관입깊이와 타격회수를 기록하여야 한다.

7.1.3 현장 투수시험

토사층에서의 현장투수시험은 투수계수를 파악하기 위하여 정수두(constant head) 또는 변수두(falling head) 시험법으로 현장투수시험을 시행하여야 하며, 주입수는 탁도가 낮은 맑은 물을 사용한다.

7.1.4 수압시험

수압시험은 암반층에서 투수계수 측정을 위한 시험으로 더블팩커 사용을 원칙으로 하며 시험단위 길이는 3.0m를 기준으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다. 주수량 측정은 주수율이 일정하게 된 후 시행하며, 각 단계별로 압력부하시간은 10분 이상 되어야 하며, 각 측정시간은 1분 간격으로 한다.

7.1.5 공내재하시험

공내재하시험은 주로 연암 및 경암층의 공학적 특성을 파악하고 설계에 필요한 입력자료인 지반의 변형계수를 측정하기 위하여 시추공내에서 실시한다. 시험은 지반강성에 적합한 허용압력을 가지는 시험기로 수행하여야 한다.

시추공내에 시험기를 삽입하여 유압이나 수압을 사용, 공벽에 압력을 가한 후 시험기 내부에 장착되어 있는 공경 측정장치를 사용하여 압력증가에 따른 공경의 변화정도, 즉 지반변위량을 측정한다.

7.1.6 딜라토미터 시험

딜라토미터(dilatometer)는 토층의 특성을 조사하는 장비이다. 이것은 두께가 14mm, 넓이가 95mm인 날의 가운데 60mm 직경의 얇고 팽창할 수 있는 박막(membrane)이 붙어있다.

조사방법은 이 장비를 땅속에 삽입하고, 박막속에 압력을 넣어 팽창되게 한다. 팽창하기 시작한 압력과 박막이 1mm 만큼 팽창할 때의 압력을 읽는다. 이렇게 측정된 값을 가지고 재료지수, 수평응력 계수, 딜라토미터 계수를 결정하여, 흙의 종류, 정지토압계수, 과압밀비 및 비배수 강도 등을 추정한다.

7.1.7 기 타

시험항목과 빈도는 공사의 특성, 현장여건 등 제반사항을 감안하여 선정하며, 상기의 시험항목 이외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다.

7.2 실내시험

실내시험은 지반조건, 지형의 변화, 지질구조 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정한다.

실내시험은 시료의 물리적, 역학적 제시험을 행하여 지반의 공학적 특성 판단에 필요한 정보를 얻기 위해 수행하며 실내시험용 시료는 현장답사, 보링공 및 시험공 조사에서 채취된 시료가 그 대상이 된다.

실내시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 건설교통부 발행 기술도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.

암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며 시료의 제작 및 시험방법은 국제암반역학회(ISRM)에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.

실내시험은 설계, 시공 및 유지관리의 기초자료로 정확성을 요구하므로 자격을 가진 자가 시험기준에 입각하여 실시한다. 실내시험중 물리시험은 보링공 1개소마다 적어도 3개 이상의 시료를 채취하여 행하며, 역학시험은 조사목적에 따라 시험항목을 선정하여 행한다. 특히, 암석의 경우 풍화, 균열상태, 방향성, 함수상태를 고려하여 시험한다. 또한, 토질시험, 암석시험, 골재시험 <표 402.19>과 <표 402.20>과 같다.

<표 402.19> 토질시험 항목별 한국산업규격 번호 및 시험결과 이용

시험종류		시험방법	시료의 상태	시험결과치	시험결과의 이용
입도시험 체 분 석 침강분석		KS F 2302	흐트러진 시료	입경가적곡선 균 등 계 수 곡 률 계 수	흙의 분류, 점토의 압축성 판정, 사질토의 안정성 및 액상화 판정
액성한계시험 소성한계시험 수축한계시험		KS F 2303 KS F 2304 KS F 2305	흐트러진 시료	액·소성한계, 소 성 지 수, 수 축 한 계, 컨시스턴시지수, 수축비	흙의 분류, 자연상태 점토의 안정성 판정, 흙재료의 판정, 노상 노반토의 판정, 점착성의 판정
함수비시험		KS F 2306	자연함수량이 변하지 않은 시료	함 수 비	흙의 기본적 성질계산, 예민비판정
비 중 시 험		KS F 2308	흐트러진 시료	흙입자의 비중	간극비, 포화도 계산, 흙의 침강분석
다 짐 시 험		KS F 2312	흐트러진 시료	최적함수비 최대건조밀도	노반 및 성토의 설계, 시공관리
일축압축시험		KS F 2314	흐트러지지 않은 시료 다짐시료	일축압축강도 변형계수	점성토지반의 기초, 사면, 굴착면, 옹벽 등의 안정계산
압 밀 시 험		KS F 2316	흐트러지지 않은 시료	압 축 지 수, 압 밀 계 수, 체적압축계수, 압밀항복응력	점성토 지반의 압밀침하량 및 침하시간 계산
지지력비 시험 (CBR)		KS F 2320	흐트러지지 않은 시료 다짐시료	흐트러진 시료 및 흐트러지지 않은 시료의 지지력비	휨성 포장두께의 판정
투 수 시 험		KS F 2322	흐트러지지 않은 시료	흙의 투수계수	투수성 지반의 설계
직접전단시험		KS F 2343	흐트러지지 않은 시료 다짐시료	점 착 력, 내부마찰각	구조물 기초, 사면, 굴착면, 옹벽 등의 안정계산
상대밀도시험		KS F 2345	흐트러지지 않은 시료	최대단위중량 최소단위중량	흙의 다짐도 및 액상화 판정
삼축압축시험	비압밀 비배수 시험 (UU)	KS F 2346	흐트러지지 않은 시료	점 착 력 내부마찰각	점성토 지반의 기초, 사면, 굴착면, 옹벽등의 안정계산
	압밀 비배수 시험 (CU)	KS F 2346	흐트러지지 않은 시료	점 착 력 내부마찰각	유효응력에 의한 점성토지반의 안정계산
	압밀 배수 시험 (CD)	KS F 2346	흐트러지지 않은 시료	점 착 력 내부마찰각	유효응력에 의한 사질토 지반의 안정계산

<표 402.20> 암석시험 종류 및 결과의 이용

시 험 명 칭	시 험 결 과 치	시 험 결 과 의 이 용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
비 중 시 험	비 중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	2518 (석재)	○	
밀 도 시 험	습윤밀도, 건조밀도	지반내의 응력산정, 응력발생예측 지표	〃	○	
흡수율 시험	흡 수 율		〃	○	
함수량 시험	함 수 비		〃	○	D2216
공극율 시험	공 극 율		-	○	
탄성파속도시험	동적탄성계수	암반의 탄성파속도 비교로 열화도 추정	-	○	D2845
실내투수시험	투수계수	암반의 투수성 평가	-	○	D4525
침수붕괴도시험	침수시간 - 스레이킹 구분곡선	암석의 결합정도의 판단	-	○	
스레이킹시험	스레이킹 내구성지수	비탈면문제나 응력문제	-	○	D4644
흡수팽창시험	흡수팽창율		-	○	
팽창압시험	팽창압		-	○	
일축압축시험	압축강도, 탄성계수, 포아송비	암석의 역학적 특성	2519 (석재)	○	D2938, D3148
삼축압축시험	강도정수 (c,ø), 암석변형특성	암석의 역학적 특성	-	○	D2664
점하중 강도시험	점하중강도	암석의 강도지수를 판단	-	○	
압열인장시험	인장강도		3032	○	D3967
절리면전단시험	c, ø계수, 전단강도		-	○	
크리프 시험	크리프 계수, 변형율	구조물의 장기안정성	-	○	D4405, D4406, D4341
경 도 시 험	각종 경도지수	암석의 경도, 굴착기계에 의한 암석굴착 난이도	-	○	
마 모 시 험	마모경도	암석의 기계화 절삭, 굴진능률	-	○	

주) ○ : 제안된 시험법임

403
토공

403.1 일반 사항

토공은 실무 기술자에게는 공사의 각 단계에 적절한 기술적 판단을 하고, 발주처 기술자에게는 각 공사시점에서 최적순서 및 대책을 제시하는데 도움을 주어 서로 상호간에 기술적 방법의 일반적인 기준을 이해하는 데 있다.

도로의 기능, 규모, 중요도 등에 따라 토공에 적용하는 기준을 일률적으로 적용하는 것보다는 도로의 특성에 적합한 기준을 따르는 것이 바람직하다.

토공 구조물의 안정성은 규모, 지형, 토질 및 지질조건에 의해 좌우되므로 단계적 시공이 가능한 경우와 그러하지 않는 경우로 구분하여 기술적 대응이 필요하다. 또한 토공 구조물의 안정도는 재해시 도로자체 및 주변에 미치는 피해영향 등을 고려하여야 한다.

1.1 토공의 기본

토공에 의해 조성된 흙쌓기, 땅깎기, 옹벽, 암거 등의 구조물은 사용 개시 후 교통하중에 견디고, 교통이 원활하고 안전한 주행을 확보하기 위한 포장의 기초로서 기능을 하게 된다.

또한, 지진 등의 자연현상과 재해에 의해 도로가 받는 피해 및 도로주변의 인명, 재산에 미치는 피해 등을 최소화하도록 한다. 나아가 시공중 주위의 자연 및 사회 환경을 고려함과 동시에 완성 후 토공 구조물 자체에 대한 주변 환경과의 조화 등을 고려한다.

토공의 조사 및 설계에 있어서 토질의 역학적 특성 및 세부적인 조사, 시험, 안정해석 등의 미시적인 관점을 실시함과 동시에 지질 및 지형적인 거시적인 관점을 평가한다.

토공의 설계는 경험적 기술에 의존하는데, 이러한 예로 흙쌓기, 땅깎기 등의 표준경사도 등이 이에 속한다. 이러한 경우 강우, 지진 등의 특별한 경우를 제외하고는 표준적용기준을 적용한다. 그러나 적용조건을 넘는 흙쌓기, 땅깎기 등의 경우, 일률적으로 기준을 적용하지 않으며, 과거 유사한 사례를 분석하고 안정성을 최대한으로 검토 분석하여 판단한다.

토공은 공사 중 및 공사 후 국부적인 손상이 발생할 경우가 있으므로 이에 대한 유지보수비 등을 고려한다. 이를 위해서는 초기의 공사비를 절감하여 차후에 발생되는 구조적 손상 등이 발생되면 연차적으로 유지보수비를 사용한다.

또한, 조사단계에서 예측할 수 없는 상황이 발생할 수 있으므로 이에 대한 대책을 수립한다. 즉, 새로운 지반조사를 실시하며 그 결과를 설계에 반영한다. 그리고 시공단계에서 설계를 검토하여 보다 안전하게 이루어지도록 한다.

1.2 토공의 재료

토공에 사용되는 재료는 주로 자연적인 흙과

암반으로 이는 지역 및 자연조건에 따라 그 성질이 다르다. 일반 도로공사에서는 흙과 암반의 취급량이 많으므로 경제적인 토공설계가 이루어지도록 하여야 한다.

또한, 지역적으로 토공재료의 특성이 변화할 수 있으므로, 토공재료의 성질을 정확하게 판단하며, 기상조건 특히, 흙의 함수량 변화에 따라 시공조건을 고려한다. 이는 축조된 토공 구조물의 안정도, 지지력 등에 영향을 미치므로 이를 충분히 고려하여 토공의 품질 및 경제성을 높인다.

토공의 안정성은 조사나 시험결과를 기본으로 정량적으로 판단하지만 이러한 정보에 대한 보다 합리적인 판단을 위해서는 과거의 실적 및 경험을 상호 비교해야 한다.

403.2 토공의 흐름

2.1 계획단계

도로 건설의 흐름을 구별하면 타당성 조사 및 기본설계 단계, 실시설계 단계, 시공단계, 유지관리 단계로 나누어진다. 효율적인 토공설계를 위하여 도로건설의 흐름을 파악함과 동시에 각 설계단계의 고려사항과 상호 관련성을 충분히 이해하여 적절한 설계를 실시한다. 이와 관련한 토공설계의 흐름은 <그림 403.1>과 같다.

2.1.1 타당성 조사 및 기본설계 단계

타당성조사 및 기본설계 단계는 미리 시행되는 경제성 및 교통량 조사 등에 근거하여 가능한 노선을 몇 개 선정하여, 이들의 사회적, 경제적인 타당성, 교통 운용상의 적합성 및 토공량의 균형과 시공성 등을 비교·검토하여 최적의 노선을 선정하기 위한 설계작업이다.

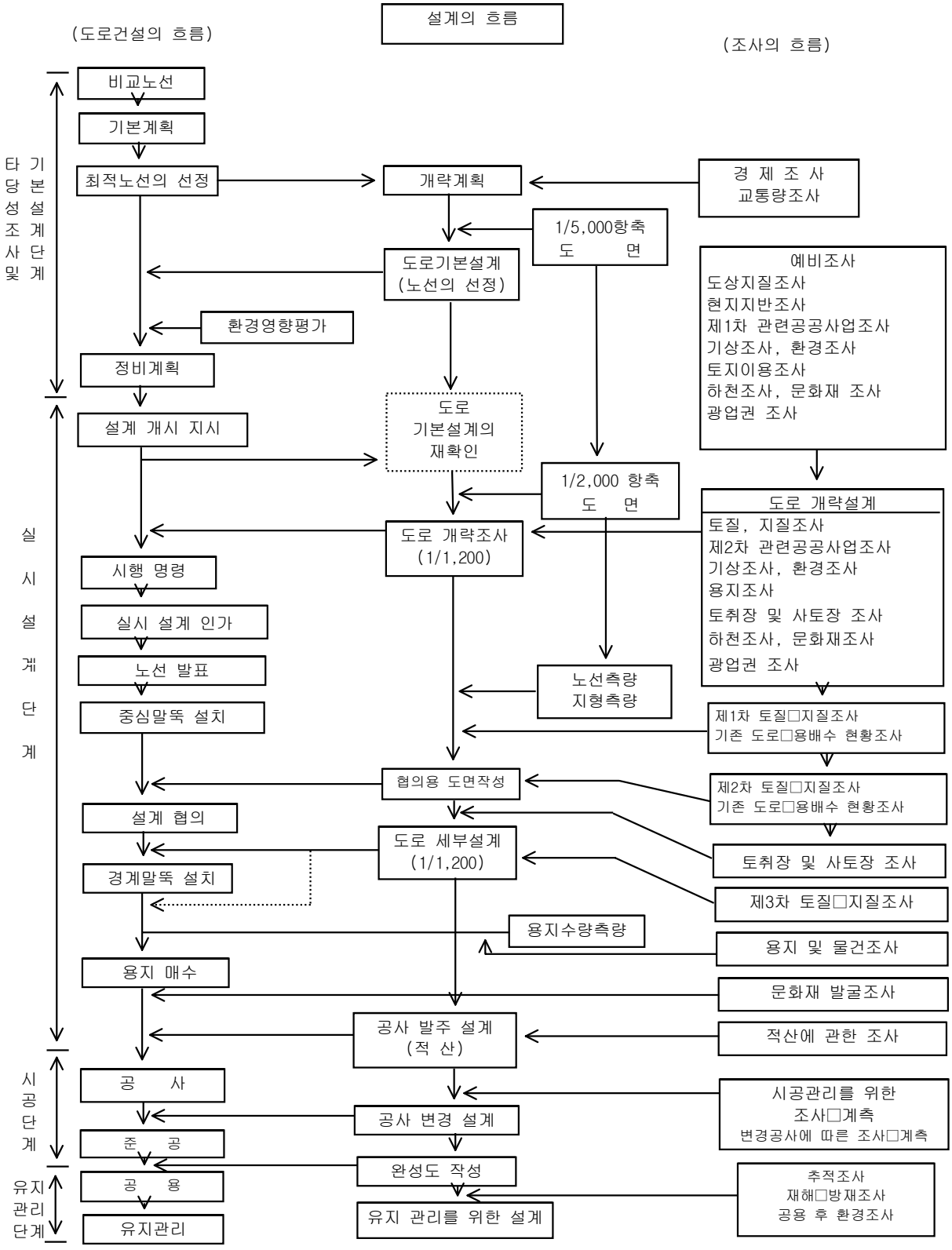
토공설계의 기본적 사항은 대부분 여기에서 결정되므로 설계에서는 특히 세심한 검토가 필요하다. 또한, 도로설계로 인한 주변의 영향 등 환경영향평가 및 분석을 관계기관과 협의하여 실시한다.

2.1.2 조사단계

조사단계는 계획을 구체화하고, 그 성과를 사업화하는 것으로 가장 중요한 작업이다. 그러나, 일반적으로 이 시점에서는 그 지역의 사정 등에서 도로설계에 필요한 지형·지질 등의 자료를 현지에서 측량, 토질조사 등에 의해 입수하는 것이 곤란한 경우가 많다. 계획단계에서 정확도를 높인 예비설계를 하기 위해서는 마찬가지로 과거 자료나 항공사진 등 도면을 이용한다. 또한 현지답사결과 및 사운딩 결과 등 상세한 정보를 입수한다.

이 단계에서 토공계획은 아직 상세한 것을 수립하지 않으며 토공기술면 및 환경보전면에서 보아 시공의 난이, 시공 중 및 완성후의 안정성 정도 등을 검토한다. 이와 같은 관점에서 추출된 문제점이 도로건설을 추진하는데 치명적인 결함이 되지 않도록 검토한다. 실시조사에 의해 작성된 설계에 따라 노선발표를 하고, 그 지역의 의견을 청취한다.

노선발표를 한 후, 대상 지역과 협의를 실시하여 현지의 노선측량, 토질조사에 착수한다. 이 단계에서 중심말뚝을 설치하고, 종횡단측량을 실시하여 현지에서 보링, 시료채취, 원위치 시험 등의 토질조사를 실시한다. 그리고 이들 자료와 공사현장, 토취장, 사토장 등의 구체적



<그림 403.1> 토공설계의 표준적인 흐름

인 자료를 토대로 상세 설계를 실시한다.

상세설계는 말뚝의 설치, 용지매수 및 공사발주(설계적산)의 기초자료로서 정확도가 요구되어지므로 필요한 자료는 빠뜨리지 말고 사전에 수집해 두는 것이 중요하다. 또한 사토장을 얻을 수 없어 토공계획이 대폭 제한을 받는 일이 발생하므로 이 단계에서 반드시 검토한다.

2.2 실시설계단계

2.2.1 개략설계

개략설계시 공사 실시상의 제약조건 등을 파악하고 개략적인 검토를 실시하여 가능성 여부를 확인한다. 또한 주요한 측점에서 흙쌓기, 땅깎기 등의 단면 조사 및 토량의 배분, 배수계통의 확인, 비탈면 경사도 및 보호공의 선정, 교량 및 터널 등의 구조물과의 조화, 그리고 시공상의 문제점 등을 검토한다.

2.2.2 설계적산

설계적산에서는 공사발생을 위해 모든 공구의 분배를 실시하고 상세설계를 공사마다 정리하여 적산한다. 각각의 공사에 대해서 토질조사자료 등을 이용하여 공사의 공정을 고려하여 토량배분, 건설장비의 선정, 작업능력의 산정 및 준비공 등에 대해서 각각 정리를 실시하고 시공계획을 파악하여 소요공사비를 적산한다.

토공에 있어서 사용재료, 시공방법, 품질, 완성품 규격치, 품질관리, 검사방법 등에 대해서는 각 기준서류에 따르지만 이에 나타나지 않는 것은 특별 시방서에 의해 규정한다.

공사용 도로나 가설구조물에 대해서도 현지의 조건을 잘 고려하여 설계적산을 실시한다.

단독공구공사는 별도로 하고 공구가 연속하는 경우와 교량 하부공 등과 동시 시공하는 경우에는 관련된 공구와의 유사 방법이 있거나 어느 공구가 인접공구의 공사용 도로로서 사용되는 것도 있으므로 설계적산에 있어서 공구상호 공정계획 등에도 주의할 필요가 있다. 또한 토목공사는 기상조건의 영향이 크기 때문에 시기에 따라서 공정계획, 시공법 등에 특히 배려하여 설계적산을 실시한다.

2.2.3 설계 협의용 도면 작성

설계협의용 도면(용지도, 인허가 서류)은 도로건설에 따라 교차하는 시설이나 사유지 등의 소유자 및 밀접한 관계가 있는 이용자(주로 지역주민)와 기존 시설의 기능 보존 및 필요 용지폭 등에 대해서 협의하기 위해 작성하는 것이다.

협의용 도면은 도로나 하천 등 주요 교차로의 단면, 배수계통, 부체도로의 폭이나 경사도 등이 쉽게 이해될 수 있도록 배려할 필요가 있다. 이 단계에서는 땅깎기 및 흙쌓기량이 균형이 되도록 계획하고 지형과 지질이 복잡한 곳은 현지에서 적합한 조사나 측량을 해서 설계시에 대폭적인 변경이 발생하지 않도록 주의한다. 또한 공사용 도로나 토취장 및 사토장에 대해서도 개략검토를 실시하여 이 단계부터 적절한 대책을 강구해 두는 것이 중요하다.

2.2.4 도로 세부설계

도로 세부설계는 공사시행에 필요한 설계도의 작성과 공사물량을 산출한다. 이 단계에서 성과에 따라 공사비와 시공성에 큰 영향을 미치기 때문에 개략설계나 설계협의의 성과를 근

거로 하고 또 상세한 자료의 수집과 필요한 조사를 검토한다. 특히, 평면선형 및 종단선형을 가능한 범위에서 재검토하여 토공량을 줄이거나 흙쌓기 및 땅깎기량이 균형이 되도록 설계해야 한다.

또한, 토질 및 지질조사 결과를 충분히 파악하고 흙쌓기 재료 및 땅깎기 비탈면 등의 검토를 해 두는 것이 중요하다. 이 밖에 공사의 시공계획, 교량 및 터널 등의 공정 등과 연관될 수 있도록 최종적인 검토를 한다.

2.3 발주 및 시공단계

2.3.1 공사발주설계

공사발주설계는 공사발주에 필요한 비용을 산출하고 시공계획 등을 수립한다. 설계에서는 공사 내용을 충분히 파악한 후에 지형 및 지질, 기상, 자재, 주변환경 등의 현지조사를 통해 시공계획을 작성하고, 현지 조건에 가장 적합한 시공법을 선정하며 적절한 공기 및 공법을 설정해서 적절한 공사비를 산출하는 것이 중요하다. 또한 시공법의 선정은 가설계획, 재료의 사용계획, 장비기종, 작업계획 등에 대해서도 충분한 검토를 한다. 그 중에서도 가설계획은 공사용 도로 및 우회로, 가교 등으로 본공사를 시공하기 위해 필요한 방법이고, 그 계획의 양부에 따라 공사를 경제적으로 또는 원활히 수행될 수 있는지의 여부가 좌우되기 때문에 충분한 검토가 필요하다.

또한, 도로공사는 땅깎기 및 흙쌓기 외에 횡단구조물, 비탈면공, 배수공 등의 공정과 상호 관련되면서 진행되기 때문에 이들을 종합적으로 고려한 공정계획을 작성한다.

2.3.2 시공단계

토공은 기상, 지질조건 등 불확실한 요소가 많고 사전에 충분히 조치하기 어려운 것을 많이 포함하고 있으므로, 공사 중에는 끊임없이 현장상황을 관찰하고 문제점에 대해서 필요한 조사검토를 하여 정확한 판단과 동시에 그 대책을 수립한다.

시공 착수시 우선 설계서, 도면, 시방서 등을 상세하게 검토하고, 현장상황을 파악한다. 설계자는 실시된 조사자료 및 그 지역사정 등을 분석한다.

이러한 검토결과에 근거하여 시공자는 시공계획을 작성하고, 시공체제를 정비한다. 시공계획은 공정계획, 공사관리계획, 장비계획, 가설계획, 준비공, 환경보전대책 등의 기본사항을 기술하고 보다 상세하게 검토하여 구체화한다.

토공에 관련해서는 공정의 조정이 중요한 문제중 하나이다. 예를 들면 토공에서는 땅깎기, 흙쌓기, 암거, 옹벽 등의 공사를 동시에 추진하는 경우가 많고 이들 상호공정과 적합성을 갖게하는 것이 중요하다.

흙쌓기, 땅깎기 등에서는 지하수 및 지표수, 토질을 충분히 조사해 두는 것이 필요하다. 특히 시공시기에 따라서는 지하수위가 대폭 상승하거나, 굴착, 흙쌓기 재료의 동결 등에 의해 시공성이나 품질에 큰 영향을 미치는 경우가 있으므로 공사의 발주시기와 시공시기에 대해서 조정을 실시하는 것도 중요하다. 또한 산지 또는 구릉지의 공사에서는 흙깎기 법면이나 옹벽 등의 구조물 지반지질이 당초 예상한 것과 다를 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

따라서, 토질조사 및 대책을 검토하는 것은 공사를 안전하게 진행하는데 필요하다.

2.3.3 공사변경단계

공사의 시공단계에서는 조사 및 설계단계에서 확인되지 않았던 지형이나 지질의 변화 등 현지조건의 변경에 따라 설계변경 요인이 발생한다. 이들에 대해서는 현지에서 상세조사를 하여 신속한 대책을 수립한다. 예를 들면, 땅깎기에서 굴착의 진행에 따라 토질조사 등에서 파악되지 않았던 토질과 만나는 경우가 있고 비탈면 경사도 및 보호공, 토사·리핑암·발파암의 구분, 토량분배 등이 대폭적으로 변경되는 경우가 있기 때문에 언제나 지형의 상태를 확인하여 적절한 대책을 취할 필요가 있다.

또한 발생재료를 노상재료로 사용하는 경우는 조속히 재료시험 및 시험시공을 실시하여 단일재료로 사용가능 여부를 확인하고, 필요에 따라 입도 조정이나 안정처리 등의 대책을 수립한다. 이외에 횡단구조물 및 배수 구조물 등은 현지의 상황에 따라 단면형상, 설치위치 및 방향 등을 변경하는 경우가 있으므로 설계변경이 되지 않도록 한다.

2.3.4 준공도 작성

공사가 완료되는 시점에서는 흙쌓기 및 땅깎기, 기타 구조물의 최종 형상에 맞추어 준공도를 작성한다. 이것은 도로를 유지관리하기 위한 기본도가 되기 때문에 시공중에 설계변경이 이루어진 곳은 반드시 당초 설계도면을 수정하여야 한다. 또한, 시공 중에 문제가 발생하여 특수한 대책을 수립하였거나 공용 후의 추적조사가 필요한 곳에 대해서는 필요한 자료를 정비해서 관리부서로 확실히 인계하는 것이 중요하다.

2.4 검사 및 유지관리단계

2.4.1 검사

공사가 전부 또는 부분적으로 완성된 단계에서 공사가 계획대로 진행되었는지를 조사하여 판정을 내리는 것이 검사이다. 기타 공사가 있는 단계에서 다음 단계로 진행하여도 좋은지의 판정을 위해 또는 공사완성 후에는 확인이 불가능해지는 것 등에 대해서는 공사 도중에 검사를 실시한다. 합격, 불합격의 판정은 완성상태와 품질 양쪽에 대해서 실시한다. 완성상태란 공사에 의해 만들어진 토공 구조물의 위치, 수량 등이며, 품질이란 재료인 흙의 품질, 강도 등을 말한다.

검사는 보통, 대표 검사에 의해 실시하며, 관찰 등의 보조수단을 병용하지만 검사방법은 공사내용, 소요시간, 경비 등을 고려하여, 간편하고 효과적인 것인 동시에 정확도 및 신뢰도가 높은 것을 선택한다. 예를 들면 토공의 완성상태 검사에서 단면변화가 큰 곳은 검사를 치밀하게 행하고, 세부검사가 필요한 곳도 측정을 추가하는 등 적절한 검사를 실시한다.

2.4.2 유지관리단계

유지관리단계는 재해복구 및 개량공사, 환경대책 등에 따른 설계가 필요하지만 토공에 관한 것으로서는 비탈면 붕괴와 낙석, 흙쌓기부의 부등침하에 따른 설계가 많다.

땅깎기와 흙쌓기 비탈면의 재해복구나 방재대책은 붕괴나 낙석의 원인을 잘 조사하고 기존 비탈면 경사도나 비탈면 보호공, 배수공, 낙석대책공 등에 대해 충분히 검토하여 다시 재해가 발생하지 않도록 대책을 강구한다.

또한, 흙쌓기부의 침하로 구조물 주변과 절성경계부의 단차 및 연약지반부에서의 장기침하에 따른 배수불량, 주변지반의 침하 등이 문제가 되지만 후자에 대해서는 관리단계에서 대책이 곤란한 경우가 많아서 설계단계에서 충분한 대책을 강구해 둘 필요가 있다.

403.3 토공계획의 일반사항

토공계획은 도로건설의 흐름을 충분히 고려하여 합리적인 설계가 되도록 한다. 토공설계의 기본사항은 계획 및 조사단계에서 대부분 결정되기 때문에 충분한 검토가 필요하다.

기본설계 단계에서는 미리 시행되는 경제성 조사, 교통량 조사, 환경영향 조사 등에 근거하여 가능한 노선을 몇 개 선정하고 이들의 사회, 경제적인 타당성, 교통운영상의 적합성 및 절성토량의 균형과 그 밖에 시공성 등을 비교 검토하여 최적의 노선을 선정한다. 토공설계의 기본적인 사항은 대부분 이 시점에서 결정되므로 설계에서는 특히 세심한 검토가 필요하다.

기본설계시 고려되어야 할 토공 설계에 필요한 사항은 <표 403.1>과 같다.

3.1 노선선정

토공설계의 기본적인 사항은 노선선정시 대부분 결정된다. 노선계획은 경제성, 비용 편익, 주행 안전성, 환경보전, 시공 및 유지관리 등을 포괄적으로 검토 후 최적의 노선을 선정한다.

토공계획에서는 지형, 지질 및 기후 등의 자연조건과 도로, 철도, 하천 및 문화재 등의 경제・사회적 조건을 충분히 고려한다.

3.2 토량의 배분

토량의 배분은 땅깎기와 흙쌓기 계획의 기본이 되기 때문에 지형, 지질, 현지의 상황, 경제성, 시공성 등을 충분히 고려하여 결정한다.

(1) 평면선형 및 종단선형, 비탈면 경사도 등의 설계는 가능한 한 토공량을 줄이면서 땅깎기 및 흙쌓기량이 균형이 되도록 계획하며 교량, 터널 등 구조물과 관련성을 종합적으로 고려하여 경제적인 설계가 이루어지도록 한다. 이때, 땅깎기 및 흙쌓기 비탈면의 경사도는 비탈면 안정해석에 의해 결정된 설계 경사도를 적용한다.

(2) 토공의 균형을 검토할 때 노선 전체에 대한 균형뿐만 아니라 공사의 시공성을 고려하여 구간별 균형이 되도록 계획한다.

(3) 토적도(mass curve)의 작성시에는 다음 사항에 유의하여야 한다.

① 토량계산에 필요한 땅깎기의 단면적은 토사, 리핑암, 발파암으로 구분하여 산출하고 토사, 리핑암, 발파암은 지반조사 결과에 의하여 결정한다.

② 토량 변화율은 지반의 종류, 흙쌓기 부위별로 충분히 검토하며, 동일한 토질이 다량으로 사용되는 경우 획일적으로 표준 변화율을 적용하지 말고, 주변의 시공실적 및 시험시공 성과 등을 고려하여야 한다.

③ 토량배분은 흙의 운반거리를 짧게 계획하고 적용기종은 흙의 운반거리, 토량, 지형, 현지의 조건, 공정 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.

<표 403.1> 각 단계에서 토공설계에 필요한 기본사항

단계 / 항목	타당성 조사 및 기본설계	실시설계	
		개략설계	세부설계
설계내용	・비교노선을 검토한 후 최적노선의 선정 ・지형도(1/50,000)	・최적노선에서 선형의 확정 ・지형도(1/1,200)	・공사실시에 필요한 도로의 상세구조 설계 ・지형도(1/1,200)
흙쌓기	① 흙쌓기 기초지반으로서 지형 지반의 파악 ・연약지반의 규모, 분포 ・비탈면 붕괴 지형 ・절벽, 붕괴지형, 부채꼴땅 (용수, 돌흐름) ② 과거 흙쌓기 높이의 실태파악 ③ 주변환경영향검토	① 지형도(1/20,000) 지표면, 지질탐사에 의한 지형, 지질의 파악 ・연약지반대책의 검토 ・용수, 지하수의 파악 ② 흙쌓기 재료의 파악 ・발생재료 종류 ③ 기상에 관한 정보의 정리 ・집중호우 상황 및 재해사례, 복구사례조사 ・기온에 관한 정보수집 ④ 흙쌓기의 안정검토 ・고성토, 배나온 흙쌓기 장소 검토 ・토량의 파악과 흙쌓기 비탈면 경사도 검토	① 지형, 지질에 적합한 흙쌓기의 설계 ・흙쌓기 지반의 상세검토 ・비탈면 활동지, 절벽지의 경사도의 파악 ・지하수, 용수대책 ② 흙쌓기재료의 파악 ・흙 특성을 고려한 배치계획 ・노상재의 적부와 노상구성 (발생재료 유효이용, 안정처리) ③ 기상에 관한 자료의 분석 ・강우에 대한 대책 ・동결, 동상방지 대책 ④ 흙쌓기부의 안정검토 ・재료, 장소별 안정 검토 ・배수대책(필터)
땅깎기	① 주목해야 할 지형지질의 파악 ・비탈면 붕괴지형 ・절벽붕락발생, 낙석이력 ・경사계곡, 부채꼴땅 ・지질도(1/25만) 위 검고 굵은 구조선(단층파쇄대) ② 기상에 관한 정보의 파악 ・적설지역 ・안개의 발생지역 ③ 지하수 포함 물수지에 관한 정보의 파악 ・용수원과 물 이용 형태 (강가 언덕) ④ 법령지정 구역 등의 파악 ・공원, 사방, 비탈면 붕괴, 보안림, 국유림, 문화재 ⑤ 항공사진의 효율적 이용 ⑥ 주변환경영향검토	① 지형도(1/20,000) 도상답사로부터 주목해야 할 지형, 지질의 파악 ・암석명, 암질(주향, 경사, 층리, 균열분포) 풍화, 변질의 정도 ・주의장소의 조사(탄성파 탐사 등에 의한 파악) ・급경사 산지의 등고선 추이 ② 기상에 관한 정보의 정리 ・방설대책의 개략검토 ・강우, 눈, 안개에 관한 조사 ③ 지하수 대책 ・대책범위와 개략검토 ④ 법령 지정 구역의 규제 제약조건의 조사 ・공원, 사방, 산사태지, 보안림, 국유림, 문화재 ⑤ 항공사진의 효율적 이용	① 지형, 지질에 적합한 비탈면 공사의 설계 ・대규모 비탈면 ・붕괴성 요인을 갖는 지질의 비탈면 ② 기상에 관한 재료의 분석 ・지표수의 유출형태 파악 ・비탈면 보호공의 동상 피해 대책 ③ 안정검토 ・지하수의 파악 ・비탈면 붕괴지역 ・절벽지역 ・낙석지역 ④ 법령 지정해제의 사전협의 ・공원, 사방, 비탈면 붕괴, 보안림, 국유림, 문화재
시공계획	① 시공법 ・터널, 교량의 조정 (종단경사도) ・장대 비탈면, 고성토의 규모 ② 흙운반, 공사용 도로 ・가파른 산지의 공사용 도로 ・민가 연결 지구의 대응 ③ 기타 ・개발계획 등의 조정 ・규제구역(광업권, 조수 보호구역) ④ 주변환경영향검토	① 시공법 ・문화재 범위의 확인 ・공구분할 개략검토 ・환경대책의 유무 ・시험시공의 필요성 ② 흙운반, 공사용 도로 ・공사용 도로의 전체 계획의 검토 ・신설도로의 노선 검토 ③ 기타 ・관련 공공사업의 조사(특히 장래계획의 조사) ・토지이용계획의 파악 ・배수 처리, 토취장 및 사토장의 개략검토	① 시공법 ・발주시기, 공정의 검토 ・시험시공의 실시 ・기상조건과 가동률을 고려한 흙쌓기 재료의 대처방법 ② 흙 운반, 공사용 도로 ・기존 도로 사용 협의 ・신설, 개량도로의 상세설계 ③ 기타 ・관련 공공사업 변경 대응 ・용지 외 시설(돌흐름, 우물 고갈) 대책 ・가설대책(하천도로의 변경, 오수처리) ・각종 규제의 해제, 협의의 신청 준비 ・배수 및 흙 처리의 결정 ・토취장 및 사토장의 선정

④ 토적도는 종방향 토량 이동만을 표시하고 횡방향의 이동은 반영되지 않으므로 횡방향의 토량이 누락되지 않도록 주의한다.

(4) 땅깎기에서 발생하는 재료는 그 품질을 충분히 파악하여 흙쌓기 각 부위에 가장 적합한 흙이 적절히 배분되도록 한다.

(5) 흙이나 암반을 굴착하거나 다짐할 때의 토량 변화율은 시험에 의해 산정하며, 소량의 토공작업일 때에는 건설교통부 표준품셈에서 제시하는 토량 변화율을 적용한다. 토량 변화율은 자연상태의 토량, 흐트러진 상태의 토량, 다짐상태의 토량을 조합하여 표현한다.

<표 403.2>는 토량환산계수를 나타내고 있으며, 토공작업의 토량환산계수에 적용되는 기준치는 <표 403.3>과 같다.

$$L = \frac{\text{흐트러진 상태의 토량 } (m^3)}{\text{자연상태의 토량 } (m^3)} \quad (403.1)$$

$$C = \frac{\text{다짐상태의 토량 } (m^3)}{\text{자연상태의 토량 } (m^3)} \quad (403.2)$$

(6) 토적계산은 평균단면법으로 전산 계산함을 하며, 그 방법은 다음과 같다.

① 횡단면도에 의거 토적표를 작성한다. 이때 땅깎기량은 다짐상태로 보정한다.
② 흙쌓기 횡단면도 수량을 그대로 기입한다.(다짐 상태수량)
③ 횡방향 토량란에는 땅깎기 및 흙쌓기 수량중 작은 수량을 기입하여 이 수량은 유용 무대 처리된다.

<표 403.2> 토량환산계수(f) (도로공사 설계적용기준, 2000)

구하는 Q / 기준이되는 Q	자연상태의 토량	흐트러진 상태의 토량	다져진 후의 토량
자연상태의 토량	1	L	C
흐트러진 상태의 토량	1/L	1	C/L

<표 403.3> 토량환산계수에 적용되는 기준치 (도로공사 설계적용 기준, 2000)

구분	C	L	비고
토사	0.90	1.30	1/L=0.77
리핑암	1.10	1.35	1/L=0.74
발파암	1.28	1.625	1/L=0.615
콘크리트	1.00	1.00	
아스콘	1.00	1.00	
깬돌	1.00	1.00	

④ 차인성토량란에는 땅깎기량과 흙쌓기량과의 차이수량을 기입한다. 흙쌓기 수량이 땅깎기 수량보다 많은 경우에는 (-), 반대일 경우 (+)기호를 붙인다.

⑤ 누가토량란에는 첫 측점부터의 누계치를 기입한다. 여기서, (+), (-) 부호에 조심하여야 한다.

(7) 토공 유동표 산정기준은 다음과 같다.

① 운반거리 산정시 모든 수량은 다짐상태로 환산하여 계산하되 내역서 적용 수량은 자연상태로 한다.

② 토적도(mass curve) 분석시 반영하는 공종은 깎기(토사, 리핑암, 발파암), 측구터파기, 흙쌓기(노상, 노체, 녹지대 흙쌓기)로 한다.

③ 표토 제거는 무대에 삽입하고 다짐 환산계수 만큼의 차이는 덤프운반에 포함한다.

④ 구조물 터파기 유용량은 무대에 포함하되 덤프운반에서 제외한다.

⑤ 공제토는 덤프운반에서 제외한다.

⑥ 토공 유동표에는 다음 사항을 포함한다.

・표토제거 ・공제토 ・유용토
・교량압성토 ・철거수량 ・되메우기
・가도공 ・본선암유용

⑦ 양측확장 구간에는 좌우측 별도 유동표를 작성하여 운반거리를 산출한다.

(8) 기타 제반사항은 다음과 같다.

① 횡방향 및 종방향 무대처리시는 토사→리핑암→발파암 순으로 한다.

② 녹지대 흙쌓기 구간은 토사만 사용하는 것을 원칙으로 하되, 사토현장으로서 현지여건상 토사 부족으로 흙쌓기가 높이 3m 이상일 때에는 암성토를 적용한다.

③ 흙쌓기용 재료할증에 대하여, 순흙쌓기 구간은 노체, 노상, 녹지대 흙쌓기량 중 토사수량에 대하여 일정량을 토사운반수량(무대, 도져, 덤프)에 가산하여 토취장 깎기 및 운반에도 가산한다.
사토구간은 노체, 노상, 녹지대 흙쌓기량 중 토사수량에 대하여 일정량을 토사운반수량(무대, 도져, 덤프)에 가산하고 사토량에서 감한다.

④ 토량유동표는 다짐상태로 통일시켜야 하며, 아래의 원칙을 만족시켜야 한다.

・사토의 경우

사토량 = 땅깎기량 - {(유대운반량 + 무대 운반량) = (흙쌓기량)}

・순흙쌓기의 경우

순흙쌓기량 = {흙쌓기량 = (유대운반량 + 무대운반량)} - 흙깎기량

3.3 공사용 도로

공사용 도로계획은 공사 전체의 공정, 시공성, 경제성 등에 영향을 주기 때문에 사용목적, 지형, 주변도로의 이용 상황, 경제성 등을 종합적으로 고려하여 수립하여야 한다.

(1) 공사용 도로는 토공, 교량공, 터널공, 포장공 등의 시공에 필요한 각종재료, 장비 등의 반・출입에 적합하도록 계획한다.

(2) 공사용 도로의 선정은 현장내 공사용 도로, 기존도로, 신설공사용 도로의 순으로 관련 공사의 공정 등을 고려하여 검토하여야 한다.

(3) 현장내 공사용 도로

① 현장내 공사용 도로는 본선 또는 부체도로 부분을 우선적으로 사용하도록 계획하여야 한다.
② 도로의 위치 및 계획고는 땅깎기 및 흙쌓기의 공정을 고려하여 설정하고 공사의 진행에 따라 순서를 바꾸면서 사용하도록 계획한다.

(4) 기존도로의 이용

① 기존도로를 그대로 이용하는 경우는 사전에 충분한 조사와 관계자와 협의를 한다.
② 기존도로에 대한 사전 조사시에는 도로의 구성, 폭, 노면상황, 교통량, 연도의 이용상황, 교통안전시설의 설치상황, 지하매설물 등을 조사한다.
③ 기존 도로를 개량하는 경우는 신규 도로 계획의 유무, 공사방법, 용지의 취득 등에 대하여 도로 관리자와 충분히 협의를 한다.

(5) 신설 공사용 도로

주변에 적당한 기존도로가 없거나 현지 상황에 의해 기존 도로를 사용할 수 없는 경우에는 경제적인 노선을 선택하여 신설 공사용 도로를 계획한다.

(6) 현장의 공사용 도로 설계상의 유의사항

① 차선수는 공사용 차량의 교통량을 고려하여 결정한다.
② 공사용 차량은 일교통량(기존 도로를 사용하는 경우는 그 교통량 포함)이 400대 (중교통, 왕복) 이상이면 2차로, 400대 미만이면 1차로를 설계한다.

3.4 토취장

토취장은 충분한 사전조사를 하여 토질, 채취가능 토량, 방재대책, 법적 규제, 흙 운반로, 현지조건 등을 파악하여 선정한다.

(1) 토취장 선정시에는 소요 토량을 만족하는 여러 곳의 토취장 후보지에 대하여 지형, 토질, 채취가능 토량, 흙 운반로, 방재대책, 보상문제, 주위의 환경, 토지 이용현황 및 법적 규제 여부를 충분히 검토하여 경제적인 곳을 선정하여야 한다.

(2) 토취장 선정시 다음 사항을 고려한다.

① 본선 부근에 후보지를 선정하여 운반거리를 짧게 하며, 다른 공공사업과 연계하여 계획을 수립한다.
② 주변지역 및 운반로 등을 포함한 필요한 조사를 실시하고 설계상의 문제점 등을 파악한다.
③ 문화재 보호법 등의 법적 규제를 받는 곳은 관련기관과 협의를 한다.
④ 토지 이용 계획에 대하여 소유자와 충분히 협의한다.
⑤ 땅깎기에 의한 비탈면 발생시 비탈면 경사도와 비탈면 보호공, 비탈면 복구비용 및 수목이식 비용을 검토하여 설계에 반영한다.
⑥ 토취장은 시공시 토량변화율 등의 변경에 따라 채취토량이 변경되는 경우가 있으므로 토량에 여유가 있도록 설계한다.

⑦ 배수에 대해서는 현재의 배수계통 등을 조사하여 추후에 분쟁이 발생치 않도록 설계한다.

3.5 사토장

사토장은 사전에 사토 가능량, 방재대책, 법적 규제, 흙 운반로, 현지조건 등을 조사하고 종합적으로 검토하여 계획한다.

(1) 잔토 및 불량토를 사토하는 경우는 사토 가능량, 토사유출 및 붕괴를 방지하기 위한 방재대책, 법적 규제, 흙 운반로, 토지 이용계획, 용지보상 등을 고려하여 후보지를 여러곳 선정, 비교한 후 가장 경제적인 곳을 선정한다.

(2) 사토장 선정시 다음 사항을 고려한다.

① 사토장은 가능한 한 도로의 부근에 선정한다.
② 사토장은 장소에 따라 법적 규제를 받기 때문에 관련기관과 충분히 협의하여 결정한다.
③ 사토장은 시공중 및 시공후, 우수 등에 의해 토사의 유출이나 붕괴가 일어날 위험이 있기 때문에 사전에 배수계획, 비탈면 보호공, 침전지 등의 계획을 수립한다.
④ 흙 운반로는 운반거리, 연도상황, 교통량, 포장의 상황 등을 고려하여 선정한다.
⑤ 사토장은 토량변화율, 토질 및 암반 변화에 의한 사토량의 변화, 차량소통을 위해 반입되는 자갈 등의 토량도 고려하여 여유를 갖도록 설계한다.

3.6 토공계획의 고려사항

토공계획에서 큰 비중을 차지하는 것은 지형, 지질, 기상 등의 자연조건이지만, 특히 다음에 기술되는 바와 같이 주의를 요하는 장소는 공사비나 유지관리 면에서 큰 영향을 미치기 때문에, 계획단계에서 충분히 검토하여 가능한 한 피하는 것이 바람직하다. 그러나 교량, 터널, 암거, 옹벽, 흙쌓기, 땅깎기 등의 구조물과의 관계 및 경제성 등의 측면에서 피하는 것이 곤란한 경우도 있기 때문에 신중하게 결정한다.

3.6.1 비탈면 붕괴 위험 지역

지형도, 위성사진분석 및 현장답사에 의하여 대규모 비탈면 활동의 진행이 확인된 지역은 원칙적으로 노선을 피하고, 신생대 제3기 퇴적암 분포지역, 애추(talus) 발달지역, 광산 폐석 야적지역 등 비탈면 붕괴 위험지역은 사전에 대책공법을 검토하고 문제점을 노선 선정시 반영한다.

3.6.2 대규모 땅깎기 비탈면 및 경사지반상의 흙쌓기 구간

노선이 산악지의 급경사면이나 기복이 심한 구릉지를 통과할 때, 대규모 땅깎기 비탈면과 경사지반상의 높은 흙쌓기 부위가 발생하여 자연환경을 과다하게 훼손하고 비탈면의 불안정을 초래할 가능성이 있다. 자연환경의 훼손을 최소화하고 장기적인 비탈면을 유지할 수 있는 대책공법을 검토한다.

3.6.3 문화재 매장지역

토공계획시 사적, 명승 등의 지정기념물은 피하는 것이 바람직하며, 매장문화재는 발굴하지 않는 상태에서 정확하게 평가할 수는 없으나 관계기관과 협의 및 기존 자료에 의한 조사를 통하여 연구보존의 필요성이 있는 장소는 피하도록 한다. 만약, 문화재 매장 등이 예측되는 곳은 문화재 매장에 대한 비용 등을 관련기관과 협의하여 산정한다.

403.4 토공의 설계

4.1 설계의 기본방침

도로의 토공부분은 차량 통행을 위해 필요한 공간을 안전하게 보호 유지함과 동시에 포장을 매개로 전달되는 교통하중을 충분히 지지하여야 한다.

토공은 땅깎기 및 흙쌓기에 이상과 같은 중요한 기능을 갖게 하므로 지반을 굴착하여 흙깎기 토공 구조물을 조성함과 동시에 굴착한 흙을 운반하여 다지고 흙쌓기 구조물을 축조하는 공사이다.

또한 흙깎기 또는 흙쌓기에서 구조물을 보강하기 위해 설치되는 옹벽과 통로 또는 수로로서 지반에 매설되는 암거 등의 구조물 공사도 토공에 포함되는 것이 일반적이다.

토공은 흙쌓기 또는 땅깎기 대상이 되는 원지반과 흙쌓기가 재하되는 기초지반 및 흙쌓기 재료가 되는 흙과 암반은 자연적인 재료로 그 성상은 복잡 다양하다. 또 토공은 자연의 기상조건하에서 실시되므로 기상의 계절적 특징과 강우와 침투수 등의 영향을 받는다. 따라서 도로 본체를 구성하는 땅깎기·흙쌓기와 토공에 관련된 구조물을 목적대로 시공하고, 오랫동안 그 기능을 발휘시키기 위해서는 기초지반 및 노상의 지지력, 비탈면의 안정 및 흙쌓기의 침하 등에 대한 대책이 필요하다. 특히 흙은 우수에 의해 침식되기 쉽고 물의 침투에 의해 강도가 저하되므로 지표수 및 지하수 처리를 실시한다.

토공공사는 굴착, 운반, 다짐 및 마무리 등의 작업이 되어지지만 작업을 합리적이고 경제적으로 진행하기 위해서는 각각의 작업방법에 유의할 뿐만 아니라 시공기계, 운반거리 및 토질 등에 주목한 적절한 토량의 배분이 되어야 한다. 또 구조물 공사를 실시하기 위해서는 일반적으로 토질 또는 공사용 도로 등의 가설구조물 시공이 필요하다.

이상에서 서술한 토공 설계에 포함되는 항목을 도로본체의 구조설계와 설계적산을 위한 시공계획으로 구분하면 <표 403.4>와 같다.

또한, 토공설계는 <그림 403.1>에 나타난 것과 같이 도로의 시공단계에 따라 다음과 같이 진행된다.

4.1.1 개략설계

개략설계는 계획조사 단계에서 실시하는 것으로 계획노선(필요한 경우는 비교노선을 포함한다) 토공과 관련하여 흙쌓기, 땅깎기, 비탈면 보호공, 옹벽, 암거 등의 구조물 및 각종 대책을 설계하고, 공사비를 결정한다. 이 단계에서는 과거의 도면과 자료를 이용함과 동시에 현지답사 결과를 주체로 하여 설계가 되어진다.

<표 403.4> 토공설계의 구분

구조설계		시공계획	
땅깎기 흙쌓기 노 상	비탈면 대책 배수 동상대책	토량의 배분	굴착 운반 마무리
옹 벽 암 거 공동구	연약지반대책 낙석대책 흙·암반의 대책	가설구조물	토류벽 공사용도로

4.1.2 예비설계

예비설계는 실시조사 단계에서 실시하는 것으로 선정된 노선을 따라 개략설계와 거의 같은 항목의 설계를 진행한다. 단, 내용적으로는 보다 세부적인 검토가 필요하므로 항공사진 등에 의해 작성된 도면을 이용하고, 요소에서 실시되는 지표지질 답사와 사운딩 등의 결과를 더하여 설계를 실시한다. 또한 필요할 때마다 관계기관과의 협의를 하여 광범위한 합의에 근거하는 설계변경을 실시한다.

4.1.3 상세설계와 설계적산

예비설계에서 정해진 기본조건에 근거하여 우선 땅깎기, 흙쌓기, 옹벽, 암거 등의 구조물 및 각종 대책공 등의 상세한 구조설계를 실시한다. 다음으로 공구 등을 정하여 시공계획(토량의 배분, 토취장, 토사장의 결정, 제작업 능력산정과 공정계획 등)을 결정하고 각각에 필요로 하는 가설구조물 등을 포함한 전반적인 설계를 실시하여 소요공사비를 산정한다.

4.2 설계의 유의사항

4.2.1 땅깎기

땅깎기부는 통행에 필요한 공간을 안전하게 보호유지하기 위해 낙석과 붕괴가 일어나지 않도록 적합한 설계를 실시한다.

자연지반은 복잡하고 불균일하므로 비탈면 설계에 있어서는 우선 원지반을 구성하는 암반과 토층을 굴착과 비탈면 등으로 구분한다. 다음으로 구분된 지반에 대해서 무처리, 식생공 또는 네트 정도의 보호공을 전제로 하여 경험적으로 구한 비탈면 경사도의 표준을 적용하며, 토질, 암반 및 땅깎기 높이에 따른 비탈면 경사도와 형상을 결정한다.

땅깎기를 실시한 비탈면은 시공후 시간의 경과와 함께 풍화와 침식이 진행되고 호우에 의한 침투수가 증가하여 붕괴를 생기게 하거나 지진시에 대붕괴를 일으키는 것이다. 특히, 다음에 나타나는 것과 같은 지반에 대절토 비탈면이 형성될 때는 시공중 또는 시공후에 사고와 재해의 발생을 일으킬 수 있으므로 특별한 주의가 필요하다.

(1) 파쇄, 풍화암지반

단층, 절리군이 많고 현저한 파쇄를 받은 암반은 지하수의 영향을 받기 쉽고 매우 불안정하다. 균열을 형성하는 퇴적암 지반은 깎기를 할 때 대규모 붕괴가 발생할 수 있다.

또한, 물리적, 화학적인 작용과 물에 의한 팽윤 및 연약화를 일으킬 수 있다. 사문암, 유문암, 응회암, 혈암 등의 지반도 문제가 있다.

(2) 경사진 불안정한 지반

다음과 같은 지반은 땅깎기 공사와 관계없이 자연상태라도 매우 불안정하다.

- 붕괴지 : 호우 등에 의하여 연약화된 표층부에 얕은 붕괴가 자주 발생된 비탈면 지반
- 애추지 : 단층대와 급경사 산지 산기슭에 퇴적한 암반지반
- 비탈면 : 애추퇴적물, 풍화암류 등의 암괴, 옥석, 조약돌과 역간충전물로 이루어지는 비탈면과 균열이 많은 단단한 암반의 비탈면, 또는 단단한 암반과 풍화 및 침식에 약한 지질층으로 이루어지는 비탈면에서는 낙석이 발생할 위험성이 크다.
- 지반붕괴지역 : 매우 미소한 활동밖에 보여지지 않는 지반붕괴 지반과 이미 활동이 멈춰 있는 과거의 지반붕괴 지반이어도 공사에 있어서 대규모 지반붕괴를 일으킬 수 있다.
- 토석류 : 경사도가 15°이상이며 불안정한 토사가 퇴적하고 있는 계곡 및 비교적 큰 산악지에서 발생하는 것이 예상되는 계곡은 토석류가 발생할 위험성이 있다.

(3) 특수지반

강도가 약하고 침식을 받기 쉬운 화강토, 실트질 점토 등으로 이루어지는 지반 및 연약화가 심한 이암 등으로 이루어지는 지반은 매우 불안정하다.

4.1.2 흙쌓기

흙쌓기부는 강도가 작고 물의 영향을 받기 쉬운 토사 또는 암반 등을 재료로 하여 구축되므로 침하와 붕괴를 일으키기 쉽다. 그러나 흙쌓기는 흙깎기와 같이 천연 지반을 그대로 이용하여 구성되는 것과는 달리 흙쌓기 재료를 적절하게 선택하여 합리적인 구조로 하고, 정밀한 시공을 실시하여 구조물을 만들어 내는 것이 가능하다.

흙쌓기에 요구되는 조건의 주된 것은 다음과 같다.

(1) 반복하여 재하되는 교통하중을 지지하고 동시에 교통하중과 흙쌓기 하중에 의해 큰 변형과 침하가 생기지 않을 것.

(2) 강우, 침투수 혹은 지진 등의 붕괴원인에 대해서 충분한 안정성을 가질 것.

4.1.3 노상

노상은 포장을 직접 지지하는 거의 균일한 두께 약 1m 흙의 층이며, 그 강도는 포장 두께를 결정하는 기초가 된다.

노상의 주된 역할은 그 상부 포장과 일체가 되어 교통하중을 지지하는 것이다. 따라서 노상은 충분한 강도와 지지력을 갖고, 변형량이 적으며 또 침투수에 의한 팽윤현상과 동상 등

에 대해서도 충분한 내구성을 가져야 한다.

땅깎기부의 노상은 충분한 지지력이 있으면 흙깎기 지반을 그대로 노상으로 해도 되지만 강도가 작고 변형과 내구성에 불안이 초래될 때는 양질토로 치환하거나 적절한 개량을 한다. 또한 흙깎기 노상부가 암반과 전석으로 노상면에 현저하게 불룩하게 될 때 양질토를 깔아서 평평하게 마무리하여야 한다.

흙쌓기부의 노상에서는 현지에서 입수할 수 있는 재료중 되도록 양질인 것을 사용하고 어쩔 수 없으면 객토 재료를 이용하든가 물리적 또는 화학적 방법에 의한 안정처리를 실시하여 개량을 하여 설계 CBR값(또는 K값) 이상의 값이 얻어지도록 재료를 선택하여 다지는 것이 필요하다.

4.1.4 옹벽

옹벽은 토사의 붕괴를 막기 위한 구조물이며, 땅깎기와 흙쌓기 등의 구조물을 축조하기 위해 중요한 역할을 가지고 있다. 옹벽은 용지·지형 등의 관계에서 비탈면에 적절한 경사도를 취할 수 없는 곳에 많이 이용되는 것 외에 하천에 접하여 구조물을 축조하는 경우에 비탈면의 보호 혹은 밑다짐을 목적으로 하여 만들어지는 것도 있다.

옹벽 설계에 있어서는 설치장소의 지형, 지질, 토질, 시공조건, 근접구조물 등의 영향 및 하중조건을 정하여 활동, 전도 및 기초지반의 지지력에 대한 안정을 검토하며, 현지 상태와 옹벽 규모에 의해 기초지반을 포함하는 전체로서의 안정 및 침하, 지진시의 안정에 대해서도 검토하여야 한다.

4.1.5 암거

암거의 단면형상과 설치개소는 수로용 암거, 통로형 암거 등의 용도에 따라 다르며, 구조형식도 박스, 문형, 아치암거 등 다양하다.

암거설계에 있어서는 설치목적, 구조형식, 설치장소의 지반과 흙쌓기 조건 등을 충분히 검토한다. 또한 도로 토공의 시공조건과 공정 등과의 적합성을 도모하여 토공전체의 입장에서 경제적인 설계를 실시하여야 한다.

4.1.6 공동구

공동구는 일반적으로 시가지에 있어서 계획되므로 설계에 있어서는 설치장소의 지반조건 등을 충분히 검토함과 동시에 지하매설물, 근접구조물, 주변환경 및 작업환경에 대해서 상세하게 조사하고 시공의 안전성, 확실성에 충분한 배려가 필요하다. 또한 공동구는 종방향으로 연속된 구조물이므로 연약지반과 지반조건 변화부 등에 있어서 계획되는 경우에는 침하와 낙반시의 영향에 대한 검토가 필요하다.

경우에 따라서는 이음새 간격을 짧게 하는 등 구조상 검토를 실시한다.

4.1.7 가설구조물

가설구조물은 공사중에만 이용되고 본체구조물의 완료 후 철거되므로 자칫하면 경시되는 경향에 있다. 그러나 가옥밀집지역에 있어서 근접시공, 연약지반과 고저차가 심한 산악지대에 있어서는 가설구조물이 중요한 역할을 한다. 사고방지, 노동재해방지 등의 안전관리 혹은 환경보전 대책상 소홀히 할 수 없는 것을 인식해야 한다.

4.1.8 토량의 배분

땅깎기 또는 구조물의 기초굴삭 등에 의해 얻어지는 흙은 일반적으로 흙쌓기로 전용한다.

그러나 여분의 토량이 생기는 경우 땅깎기 지점에서 흙쌓기 지점까지 운반거리가 길기 때문에 전용하면 오히려 공비가 높게 붙는 경우나 땅깎기의 토질이 흙쌓기 재료로서 적당하지 않은 경우 등에는 굴삭한 흙을 따로 활용하던지 또는 사토하여 부족한 재료를 다른 토취장에서 보충하는 것도 있다. 이와 같은 토량의 배분계획이 정해지면 운반거리별 토량이 명확하게 된다.

또한, 환경조건이 엄격해진 최근에는 특히 도시내 및 도시주변에 있어서 적당한 토사장을 얻기 힘들어져 왔다. 따라서 불량토로서 안이하게 사토하기 보다 안정처리를 실시하여 가능한 활용하는 것을 생각하거나 다소 운반거리가 길어도 전용하는 편이 보다 경제적이며 공사에 지장을 가져오지 않을 수 있다.

대규모의 도로토공 토량 배분에서는 지질조사의 결과에 근거하여 땅깎기에서 얻어지는 재료의 토질을 고려하여 흙쌓기의 각부에 가장 적합한 재료를 배분하도록 계획할 필요가 있다. 예를 들면 노상 및 흙쌓기 상부에는 가능한 활용하고 지지력이 큰 양질토를 배분하여, 입경이 큰 암버럭, 시공상 주의가 필요한 흙은 노체의 하부에 활용하고 흙쌓기 재료에 적합치 않은 불량토는 사토로서 계획한다.

404
노 체

404.1 일반사항

노체는 상부에 놓이게 되는 노상 및 포장체를 지지하면서 현장에서 발생하는 흙을 효과적으로 사용하여 주위 환경과 외력에 대하여 안정적인 구조물이 되도록 설계한다. 노체는 대부분 흙쌓기에 의한 흙 구조물로 형성되며 경제적이고 안정적인 설계를 위하여 <표 404.1>을 충분히 검토한다.

404.2 노체재료

노체재료는 현장 또는 주변에서 발생하는 토사와 암버럭 등의 자연재료와 발포폴리스티렌(EPS) 등의 인공재료, 그리고 폐콘크리트 등의 건설부산물과 석탄회, 고로슬래그 등의 산업부산물 등을 적용할 수 있다. 특히, 건설부산물 또는 산업 부산물을 노체재료로 활용할 경우, 관련기준 및 법에 적합한 재료와 품질 조건에 적합한 재료를 사용한다.

2.1 토사 또는 암버럭으로 노체를 형성하는 경우

토사 또는 암버럭 등의 재료로 노체를 형성하는 경우, <표 404.2>의 규정에 적합한 것을 사용한다.

2.2 토사 또는 암버럭 이외의 재료로 노체를 형성하는 경우

토사 또는 암버럭 이외의 재료라 할지라도 상부의 포장층을 지지하면서 환경과 외력에 대하여 안정적인 노체를 형성할 수 있다면, 노체재료로 적용할 수 있다. 이러한 경우에는 재료의 품질기준을 노체의 구조적인 안정성, 환경에 대한 안정성, 그리고 노체로서의 기능수행에 대한 적합성, 시공성 등을 고려하여 결정한다.

(1) 폐콘크리트 등의 건설부산물을 노체재료로 사용할 경우, 다음의 조건을 충분히 검토하여야 한다.

① 폐크리트 등은 수집위치 및 수집과정에서 유기 불순물이나 그 밖의 이물질로 인한 오염될 가능성이 있으므로, 유해물질 확인 등 환경특성을 위한 적절한 시험을 실시한다.

② 폐콘크리트 등은 콘크리트 덩어리로 최대입경 100mm 이하로 파쇄하여 사용하며, 파쇄과정에서 이물질이 포함되지 않도록 철저한 품질관리를 한다.

(2) 석탄회, 고로슬래그 등 산업부산물을 노체재료로 사용하는 경우, 이들 재료의 다짐 후 물리적 성질이 도로의 노체재료로 적합해야 하

<표 404.1> 노체 설계시 일반적인 고려사항

구 분	주요 설계 목표 및 검토내용
기초지반 및 흙쌓기 재료의 특성	○ 노체가 놓여질 하부 기초지반과 노체에 사용될 재료의 특성 및 분포 파악 - 현장답사와 충분한 토질조사 실시 - 지질 상황이 복잡하여 설계단계에서 토질조사로 불충분한 경우, 시공단계 초기에 시험시공 실시 - 경우에 따라서는 설계나 토량 배분계획 등을 변경
현장 발생한 흙의 활용	○ 현장에서 발생하는 흙을 최대한 효과적으로 사용하도록 하여 사토량이 최소가 되도록 설계에 고려 - 현장 내에서 발생한 굴착토의 성질에 따라 적합한 토량배분 계획 수립 - 흙의 안정이 염려되는 경우에는 흙쌓기 비탈면 기울기를 변경하거나 필터층의 설치를 검토 - 불량토는 구조적인 문제가 작은 표토 식생 등에 사용 - 투수성이 좋은 사질토 및 자갈 섞인 흙은 필터, 부설모래 등에 사용 - 전단저항이 크고 투수성이 좋은 암석 및 양질토는 안정이 염려되는 흙쌓기부에 사용
다짐시공	○ 다져진 흙이 강도 및 압축성 등의 성질이 우수하고 외력에 대한 저항이 크도록 다짐 시공 - 토질에 적합한 다짐장비 및 다짐방법 적용 - 얇고 균일하게 포설하여 다짐 - 흙쌓기 작업시 1층에는 한 종류의 흙을 적용
배 수	○ 지하수 및 표면수에 대해서 조사를 실시하고 적절한 대책을 강구 - 계곡, 습지, 경사지반 등의 용수처리에 특히 주의 - 계절적인 용수 상황, 적절한 물의 이용상황, 기초지반의 지층(투수층, 불투수층) 상황 등 용수에 관한 정보를 파악하고 적절한 지하 배수공 검토 - 공사중의 표면수 처리방안을 설계 및 시공계획 단계에 수립
시공시의 기상조건	○ 강우나 기온 등의 영향을 받기 쉬운 세립토(실트, 점성토 등)에 대해서는 토량 배분계획 및 시공 계획시 시공하는 계절을 고려 - 세립토(실트, 점토) 및 세립분이 많은 사질토는 기상조건이 좋은 계절에 가능한 한 시공이 되도록 토량 배분계획 및 시공계획에 배려
주변 조건	○ 흙쌓기의 안정 검토에서 재해사고나 붕괴가 생길 경우 인접지에 미치는 영향, 복구의 난이 및 안정계산 결과 등을 종합적으로 검토

고, 토양오염 및 지하수 오염 등 주위환경에 미치는 영향을 검토하여 사용한다.

① 석탄회를 노체재료로 사용하는 경우, 다짐두께가 30cm 이하 또는 다짐 후 마무리 두께를 15cm 이하로 하여 다짐 효과가 충분히 전달 될 수 있도록 한다. 지지력이 부족한 경우에는 일정량의 저회(bottom ash)나 기타 안정제를 혼합하는 방법들을 적용할 수 있다.

② 노체의 안정처리제로 자경성(自硬性)이 있는 재료를 사용할 경우, 지체시간이 사용재료의 다짐과 강도에 영향을 미칠 수 있기 때문에 물의 첨가와 다짐작업 사이의 시간 간격을 결정해 두어야 한다.

(3) 발포폴리스티렌(EPS)를 사용하여 노체를 형성하는 경우, 주재료인 EPS 블록에 대한 관련 품질기준에 적합한 재료를 사용한다.

(4) EPS를 사용하여 노체를 형성하는 경우, 주재료는 본체인 EPS 블록과 EPS 블록을 결합시키는 연결쐬쇠를 사용한다.

<표 404.2> 노체재료의 품질 및 다짐

구 분 / 항 목	토사 [1)]	암버럭 [2)]	시험법
기본사항	초목, 그루터기, 덤불, 뿌리, 쓰레기, 유기질토 등의 유해물질이 함유되지 않아야 한다.	노체 완성면 60cm 이하에만 적용할 수 있다.	
다짐도	90% 이상	시험시공에 의해 결정	KSF 2312 A,B 방법
수침 CBR	2.5 이상	-	
시공시의 함수비	다짐시험방법에 의한 최적함수비 부근과 다짐곡선의 90% 밀도에 대응하는 습윤측 함수비 사이	자연함수비	
다짐후의 건조밀도	1.5t/㎥ 이상	1.5t/㎥ 이상	
최대치수	30cm 이하	시험시공에 의해 결정	한층당 마무리 두께

주1) 토사란 암버럭에 해당하지 않는 일반적인 흙쌓기 재료를 말함.
주2) 암버럭이란 단단한 암석으로 된 지반을 깎기 또는 터널굴착을 했을 때 발생하는 암석조각을 말한다.
주3) 풍화암, 이암, 세일, 실트질암, 천매암, 편암 등 암석의 역학적 특성에 의하여 쉽게 부서지거나 수침반복시 연약해지는 암버럭의 최대치수는 30cm 이하로 한다.
주4) 수침 CBR이 2.5이하인 토사의 경우라도 안정처리대책을 강구하여 사용할 수 있다.
주5) 폐콘크리트 등 건설부산물은 최대입경 100mm이하로 파쇄하여 사용한다.

① EPS 블록의 압축강도는 10t/m^2 이상을 사용하며, EPS 블록의 품질기준은 발포비율에 따라 <표 403.3>과 같으며, 품질기준에 대한 시험방법은 KSM 3808(발포폴리스티렌보온재), KSM 3831(경질 발포플라스틱의 압축시험방법)에 따른다.

② 형상 및 치수는 각 제원에 제한 허용범위(1800×900×600mm^3의 경우는 길이 1800±10mm, 두께 600±5mm, 2000×1000×500mm^3의 경우에는 길이 2000±11mm, 폭 1000±7mm, 두께 500±5mm) 이내이어야 하며, 화재에 대비해 난연재가 첨가되어야 한다.

③ 연결쐐쇠의 재료기준은 <표 404.4>에 따른다.

404.3 노체의 다짐

3.1 일반사항

(1) 다짐은 다짐장비의 종류(다짐하중 크기 및 다짐하중 특성), 다짐횟수, 함수비, 재료의 종류 등에 따라서 다짐깊이와 다짐효과에 영향을 미친다.

(2) 토질에 적합한 시공장비를 사용하고, 수평으로 얇고 균일하게 다진다.

(3) 흙쌓기 시공에 있어서는 균일하고 효율적인 다짐을 위하여 그레이더 등으로 땅고르기를 하고 함수비를 다짐에 적합한 상태로 조절한 후에 다진다.

<표 404.3> EPS 블록의 품질기준

구 분	단위중량 (t/m^3)	밀도편차 (%)	흡수량 (g/100㎤)	연소성	허용압축응력 (t/m^2)	압축강도 (t/m^2)
토목용 1호 (D-30)	0.030 이상	10	1 이하	자기소화성 (3초이내 소화)	9.0 이상	18.0 이상
토목용 2호 (D-25)	0.025 이상				7.0 이상	14.0 이상
토목용 3호 (D-20)	0.020 이상				5.0 이상	10.0 이상
비 고	D : 밀도 D-30, D-25, D-20은 밀도를 나타냄.				일축탄성한계 (탄성변형시)	5% 변형시

<표 404.4> EPS 블록의 연결쐐쇠 재료기준

종 류	기 호	아연부착량 (g/m^2)	항복점 (kg/m^2)	인장강도 (kg/m^2)
일반용	SGCC	Z 22 220 이상	21 이상	28 이상

(4) 흙쌓기 재료의 최대치수가 15cm 이상인 암버럭이라 할지라도, 입자크기가 15cm 이상인 암버럭의 혼합비율이 작은 혼합토(15cm 이상 혼합비율이 30% 이하)의 경우에는 시험시공을 통하여 노체의 다짐 품질관리가 확인되면 토사에 대한 다짐방법을 적용할 수 있다.

3.2 다짐의 기준

(1) 다짐의 기준은 최소 관리기준이므로 각 층의 모든 부위가 소정의 다짐도를 만족하여야 한다.

(2) 노체의 다짐도는 각 층마다 흙의 다짐시험 (KS F 2312)의 A 또는 B의 방법에 의해 결정되는 최대건조밀도의 90% 이상이어야 한다. 흙의 다짐시험 (KS F 2312)은 19mm체 잔류량이 30% 이하인 재료에 대해서 실시할 수 있는 방법이며, 30%를 초과할 경우는 다음 식(404.1)에 따라 최대건조밀도를 추정한다. 단, 19mm체 잔류량이 50% 이상인 재료에 대해서는 평판재하시험(KS F 2310)에 의하여 다짐관리를 한다.

$$X = \frac{100}{\frac{(100-P)}{M} + \frac{P}{S}} \qquad (404.1)$$

여기서, X = 최대건조밀도(kg/cm^3)

M = 19mm체를 통과한 재료의 최대 건조밀도(kg/cm^3)

P = 19mm체 잔류율 (%)

S = 19mm체에 잔류한 골재의 비중

(3) 재료의 입경이 커서 밀도에 의한 다짐관리가 부적합하다고 판단될 경우, 평판재하시험(KS F 2310)을 통하여 다짐관리를 하며 이때 지지력 계수는 <표 404.5>를 만족시켜야 한다.

(4) 재료의 최대 크기가 30cm 이상(30cm~100cm)의 암버럭은 대형다짐기계를 사용하여도 충분히 다져지지 않아 횔댐 또는 도로의 흙쌓기에서 압축침하가 발생하기 쉽다. 이 때문에 암버럭을 재료로 사용한 흙쌓기에 대해서는 시공층 두께에 상응하는 대형 다짐기계를 사용하는 것을 전제로 하고 최대크기의 규정은 두지 않는 것으로 한다. 그러나 시공성 등에서 최대 크기는 60cm 이하로 하는 것이 바람직하다.

한편, 토사에 대해서는 30cm 이상의 큰 덩어리가 혼입되어 있는 비율이 아주 적기 때문에 큰 덩어리로 인한 현장관리에 지장을 초래하기에는 어려우므로 최대크기의 규정을 특별히 두지 않는다.

<표 404.5> 노체의 지지력계수(K_{30}) 기준

구 분	토 사		암버럭
	시멘트 콘크리트 포장	아스팔트 콘크리트 포장	
침하량 (cm)	0.125	0.25	0.125
지지력계수(K_{30}) (kg/㎤)	10이상	15이상	20이상

(5) 일반적인 토사 이외의 재료로 노체를 형성하는 경우, 다짐의 기준은 시험시공 및 특별시방서 등에 따라 결정한다.

3.3 다짐의 범위

(1) 흙쌓기 작업은 차도부 뿐만 아니라 길어깨 및 흙쌓기 비탈면까지도 소정의 다짐도가 도달할 때까지 다진다.

(2) 편절편성 접속부와 땅깎기 및 흙쌓기 경계 접속부 등도 소정의 다짐도에 도달할 때까지 고르게 다진다.

3.4 다짐 층의 두께

(1) 박층으로 시공하면 흙쌓기 품질은 향상되기 때문에, 다짐 결과, 시공성, 층의 균일성 등을 고려하여 가급적 시공 층의 두께를 얇게 한다.

(2) 토사로 흙쌓기를 할 경우, 두께가 30cm 이하를 기본으로 하며 노체 완성면에서 깊이에 따라 <표 404.6>과 같이 다짐층의 두께를 조절할 수 있다.

(3) 암버럭에 의한 흙쌓기는 암버럭 최대입경의 1.0~1.5배를 목표로 1층당 마무리 두께를 시험시공을 통해서 결정하며, 60cm 이하를 표준으로 하고, 최대 90cm를 초과할 수 없다. 단, 박층으로 시공하면 흙쌓기의 품질은 향상되므로 시공층 두께는 가급적 얇게 한다.

3.5 함수비 조절

(1) 노체의 시공 함수비는 다짐시험법에 의한 최적함수비 부근과 다짐곡선의 90% 밀도에 대응하는 습윤측 함수비를 기본으로 한다.

(2) 현장 여건상 부득이 함수비가 높은 재료로 흙쌓기에 사용할 경우에는 포설 후 건조시킨다. 함수비가 낮은 재료를 흙쌓기에 사용할 경우에는 물을 뿌려 함수비를 조절한 후 다짐작업을 한다.

(3) 함수비 조절이 불가능하거나 결빙되는 우기 및 동절기에는 흙쌓기 작업을 중단한다.

<표 404.6> 토사로 흙쌓기를 할 경우의 다짐층 두께

구 분	노체 완성면에서의 깊이	
	60cm 이하	60cm 이상
한층 다짐의 마무리 두께	60cm 이하 [1)]	30cm 이하

주1) 노체 완성면에서의 깊이 60cm 이하인 경우에 한하여 한층 다짐의 마무리 두께를 완화한 것으로, 이러한 경우에는 시험시공을 통하여 각 다짐층의 깊이에 따른 다짐도가 소정의 다짐규정을 만족시키는 것이 확인되어야 한다. 또한 기초지반이 경사지반경우에는 한층 다짐의 마무리 두께를 30cm 이하로 한다.

3.6 다짐 장비

(1) 전 구간에 걸쳐 흙쌓기 다짐장비는 시험시공시 이용한 장비를 사용하며, 다짐장비를 변경하고자 하는 경우, 시험시공을 재실시한다.

(2) 구조물에 인접한 부분과 같이 면적이 좁아 로울러에 의한 다짐을 못하는 장소나 다짐작업시 구조물에 과도한 압력을 가하여 손상을 일으킬 가능성이 있는 장소에는 램머 또는 진동식 다짐장비, 기타 소형의 다짐장비를 이용하여 균일하게 다진다.

(3) 암버럭을 이용한 흙쌓기는 표면에 요철이 많으며 1층의 다짐완료 후 두께가 60~90cm인 점을 고려하여 시험시공을 통하여 다짐효과가 입증된 대형진동다짐장비를 이용하여 균일하게 다진다.

(4) 노체 완성면에서의 깊이 60cm 이하에서 토사로 흙쌓기를 할 때, 한층의 다짐 마무리두께를 30~60cm로 하는 경우에는 시험시공을 통하여 다짐효과가 입증된 대형다짐장비를 이용하여 균일하게 다진다.

3.7 암버럭의 다짐

(1) 최대치수가 15cm 이상(입자크기 15cm 이상을 70%이상 포함)인 암버럭을 흙 쌓기 재료로 사용할 경우, 다짐관리가 어렵고 균질한 시공결과를 얻기 어려우므로, 가급적 사용을 지양하되 경제성 등의 이유로 흙쌓기에 활용하고자 할 경우, 지정된 구간에만 시행한다.

(2) 암버럭을 사용한 흙쌓기에 대해서는 시공층 두께에 상응하는 대형 다짐기계를 사용하고, 박층으로 세밀히 시공하는 것이 보다 안정된 흙쌓기로 되기 때문에 입경이 작아지도록 굴삭시에 배려한다.

(3) 암버럭으로 흙쌓기를 하는 경우, 마지막층의 상부는 입상재료층 또는 소일시멘트 중간층 등을 두어 세립자가 암버럭 사이의 간극으로 이동하여 침하가 발생하는 것을 방지한다.

3.8 시험시공

(1) 다짐작업에 앞서 흙쌓기 재료별로 다짐장비, 다짐방법, 시공관리체계 등에 대한 계획을 수립하고 시험시공을 수행한다.

(2) 다짐작업의 시험시공은 도로의 흙쌓기 구간에서 실시하며 규모는 노체의 경우, 2차선 기준 연장 450m를 표준으로 한다.

(3) 시험시공 결과에 의하여 1층의 다짐두께 기준을 조정하는 것이 효율적인 다짐작업에 유리하다고 판단될 경우에는 규정범위 이내에서 이를 변경할 수 있다.

404.4 흙쌓기 비탈면

4.1 일반사항

흙쌓기 비탈면은 비탈면 경사도의 선정, 소단의 설치, 식생토, 비탈면 전압방법, 비탈면 배수처리 등의 기본적인 사항을 충분히 검토한 후 설계한다.

(1) 흙쌓기부에서 지하수위 상승을 전제로 하여 비탈면을 설계하는 것은 비경제적인 설계가 될 가능성이 높으므로 배수처리를 철저히 한다.

(2) 흙쌓기부의 붕괴는 침투수 및 용수가 원인이 되어 발생하는 경우가 많다. 이러한 붕괴

를 방지하여 흙쌓기의 안정을 도모하기 위해 필요에 따라 필터층 및 지하 배수공 등의 배수시설을 설치하여 침투수, 용수 등을 적절히 처리한다.

(3) 기초지반이 경사져 있고 용수가 발생하는 구간, 편절편성 또는 절성경계 구간 등 비탈면 안정상 취약한 지역에 높은 흙쌓기를 하는 경우에는 시공 중의 안전관리 및 준공 후의 유지관리를 위하여 계측관리를 실시한다.

4.2 흙쌓기 비탈면의 단면 구성

4.2.1 흙쌓기 비탈면의 경사

(1) 흙쌓기 비탈면의 경사는 흙쌓기 재료, 흙쌓기부 기초지반의 경사 및 지반특성, 흙쌓기부의 지형적 위치 및 그 주위의 환경(지형, 토질, 기상, 방재, 특히 집중호우) 등을 고려하여 구간별 비탈면의 안정분석을 실시하고, 그 결과에 의하여 비탈면의 경사를 결정한다.

(2) 구조물 뒷채움부는 붕괴를 일으키기 쉽기 때문에 구조물 등에 의한 보호공도 포함하여 경제성을 고려한 비탈면을 결정한다.

(3) 흙쌓기 재료가 양호하고, 시공조건이 <표 404.7> 이외일 경우에는 안정 검토를 생략하고, 흙쌓기 높이가 0～6m 까지는 1:1.5, 6～15m 범위는 1:1.8의 경사를 적용할 수 있다. 흙쌓기 높이가 15m 이상인 높은 흙쌓기의 경우에는 '404.7 높은 흙쌓기'에 따른다.

4.2.2 소단

(1) 소단은 흙쌓기의 안정성을 높이고 비탈면에 흘러내리는 물의 유속을 늦추는 한편 우수의 집수면적을 줄여 침식이 심하게 되는 것을 사전에 방지하기 위하여 설치한다.

(2) 흙쌓기 높이가 6m 이상 높은 비탈면에서는 비탈면의 중간에 원칙적으로 소단을 설치하도록 한다. 이 경우 토질에 따라서 비탈 어깨로부터 수직거리 6m 마다 설치하고 폭은 1.0m를 표준으로 한다. 단, 소단 설치의 높이 및 폭은 유지관리용 통로, 작업대 기능, 비탈면 보호공의 기초시설, 배수시설 설치 등을 고려하여 필요한 폭으로 확장할 수 있다.

4.3 흙쌓기 비탈면의 시공

(1) 흙쌓기 비탈면은 흙쌓기 본체와 동시에 대형 다짐기계를 사용하여 균일하게 다짐하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 암성토의 비탈면 마무리는 암버럭이 비탈면으로부터 굴러 떨어지지 않도록 트럭 쇼벨 등을 사용해서 암버럭을 안정된 위치로 이동시키고 충분히 두드려 마무리한다.

(3) 흙쌓기는 비탈면 표층부의 다짐이 특히 중요하며, 흙쌓기 본체는 중량이 큰 다짐장비 등을 사용하여 수평으로 다짐할 수 있지만 비탈 끝 부분은 다짐이 불충분하게 되기 쉽기 때문에 주의를 요한다. 비탈면 표층 부근의 다짐이 본체에 비하여 과소하고 불균질하면, 표층 부근에서 강우 등으로 이상 간극수압이 발생해서 비탈면 붕괴를 초래할 수 있다.

(4) 비탈면 붕괴는 비탈면 표층부의 불균일한 다짐에 의한 것 외에 배수공의 수로 경사가 급변하는 곳에서 유수에 기인하는 것, 종단 경사의 오목부, 절성경계부, 구조물과의 접속 부근, 경사지반상의 흙쌓기, 투수성이 큰 노체재료, 현장내 공사용 도로 등에서 강우에 의한 침투수, 용수 등의 불충분한 처리 등으로 인한 붕괴를 발생시킬 수 있으므로 주의를 요한다.

또한, 눈이 많은 지역에서는 초봄의 눈 녹은 물에 의한 비탈면 침식, 표토의 붕괴가 일어나기 쉬우므로 침출수, 지하수 등의 처리를 충분히 한다.

4.4 흙쌓기 비탈면의 안정 검토

4.4.1 일반사항

(1) 흙쌓기 비탈면의 안정계산법(토질조사 및 시험 포함)에는 많은 가정과 불확정 요소를 포함하고 있다. 따라서 안정계산 뿐 아니라 주변 도로 등에서 유사한 흙쌓기 (토질, 높은 흙쌓기 등)의 시공실적, 재해사례 등의 조사자료를 포함한 종합적인 안정 검토를 실시한다.

(2) 토질의 변화, 시공방법에 따라서 비탈면의 안정성이 크게 변화하는 경우가 많으므로 공사단계에서 흙쌓기의 기초지반, 흙쌓기 재료의 특성 및 분포 등을 파악하고, 필요에 따라 토량배분을 변경한다.

(3) 흙쌓기의 규모가 크고, 비탈면 안정상 취약한 지역에 높은 흙쌓기를 하는 경우에는 흙쌓기 재료의 변화, 지하수위의 변화 등에 주의하면서 충분한 관측 체제를 갖추어 시공중의 안정성을 확보한다.

(4) 내진설계시 고려해야할 지진재해는 단층운동과 지반진동이 있다. 노체 비탈면에 대해서는 지반진동에 대해서만 내진설계를 수행한다. 지진으로 인해 노체에 발생할 수 있는 붕괴 유형은 비탈면의 불안정으로 인한 비탈면활동과 지반의 액상화로 인한 유동파괴가 있다.

<표 404.7> 안정검토를 필요로 하는 흙쌓기

구 분	흙쌓기 조건
흙쌓기 자체의 조건	① 흙쌓기 높이가 15m 이상인 경우(높은 흙쌓기) ② 비탈면 경사가 표준치보다 급한 경우 ③ 흙쌓기 재료의 함수비가 높고, 특히 전단강도가 낮은 경우 ④ 흙쌓기 재료가 실트와 같이 간극수압이 증가하기 쉬운 흙인 경우
외적조건	① 붕괴되면 인접 시설물 등에 중대한 손상을 주는 경우 ② 붕괴되면 복구에 장기간을 요하고, 도로 기능을 현저하게 저해하는 경우 ③ 흙쌓기의 기초가 연약지반이거나 산사태가 염려되는 경우 ④ 지형조건에 의해 제체 속으로 물의 침투가 많은 경우 ⑤ 홍수시에 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우

<표 404.8> 각종 도로의 내진 등급

내진등급	도 로
내진 1 등급	고속국도, 자동차 전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
내진 2 등급	지방도, 시도, 군도

따라서, 노체의 내진설계를 하는 경우에는 지진하중에 대한 비탈면 안정해석과 지반 액상화 평가를 포함한다.

(5) 안정검토 결과, 불안정한 것으로 판단되는 비탈면에 대해서는 대책공법을 검토한다.

4.4.2 안정 검토를 필요로 하는 흙쌓기

(1) 흙쌓기의 안정 검토는 <표 404.7>에 표시한 조건에 해당하는 경우에 실시하는 것으로 한다.

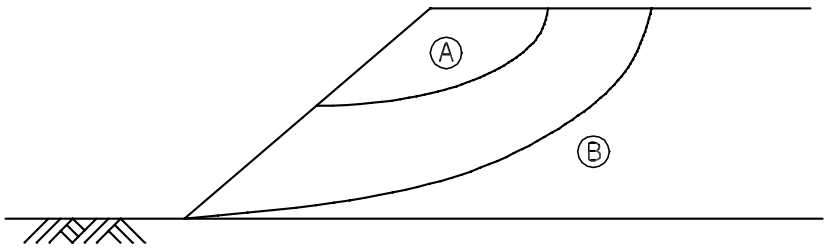
(2) <표 404.7>에 해당하는 경우라도 「내진 2등급 도로」이고(<표 404.8> 참조), 흙쌓기 노체가 지진에 의하여 붕괴되었을 때, 이로인한 인명피해의 우려가 적고, 붕괴가 발생하더라도 붕괴 후의 보수가 용이한 경우의 노체에 대해서는 내진설계를 생략할 수 있다. 그러나 해당 비탈면의 내진설계에 대한 필요성 판단 및 내진설계 방법은 전문가의 조언을 얻어 신중하게 판단하는 것이 바람직하다.

4.4.3 흙쌓기 토질 재료에 따른 비탈면의 파괴유형

(1) 흙쌓기부의 붕괴 위험성은 토질에 따라 비탈면 부근의 활동면(<그림 404.1>의 파괴면 Ⓐ)에 따라 붕괴할 위험이 있는 경우와 깊은 활동면(<그림 404.1>의 파괴면 Ⓑ)에 따라 붕괴할 위험이 있는 경우의 두 가지로 나누어진다.

(2) 점착성이 없는 조립토는 흙쌓기 심부에서 전단강도가 크고, 배수가 양호하여 간극수압의 발생이 크지 않기 때문에 흙쌓기 심부를 통과하는 활동의 위험성이 작다. 더욱이, 배수가 양호하여 간극수압의 영향이 거의 없고 팽창하여도 내부마찰각이 비탈면의 경사보다도 일반적으로 크기 때문에 비탈면 부근의 활동 위험성은 적다.

따라서 점착성이 없는 조립재료로 이루어지는 흙쌓기의 경우, 지하수의 유입 등을 처리하고 내부 마찰각보다 완만한 비탈면 경사를 취하면 안정검토를 생략할 수 있다. 따라서, 이러한 재료는 토량 배분을 검토하여 흙쌓기의 하부에 사용하면 흙쌓기의 안정에 유리하다.



Ⓐ 비탈면에 가까운 활동
Ⓑ 비탈면 깊은 활동

<그림 404.1> 비탈면에 가까운 활동면과 깊은 활동면

(3) 조립토와 점성토의 중간 입도를 갖는 흙은 비탈면 부근에서 흙이 팽창함과 동시에 흙쌓기 내 지하수의 상승으로 인한 유효응력의 감소로 전단강도가 크게 감소할 우려가 크다. 따라서, 이러한 재료로 이루어지는 흙쌓기에서는 비탈면에 가까운 활동과 흙쌓기 심부를 통과하는 활동 모두에 대해서 안정을 검토한다.

(4) 점착성이 큰 점토 또는 점성토 등의 재료를 사용하여 급속히 흙쌓기를 할 경우에는 과잉간극수압이 발생하고, 흙쌓기가 불안정하게 될 위험이 있어서 시공중 혹은 시공 직후의 안정을 검토할 필요가 있다. 이러한 지반재료는 대체로 전단강도가 작으므로 심부를 통과하는 활동파괴의 위험성이 크다.

또한, 비탈면 부근에서는 비탈면을 흘러내리는 우수의 배수처리가 좋지 않으면 비탈면이 침식되어 비탈면 부근의 활동 원인이 되는 경우가 있으므로 배수에 대하여 충분한 검토를 한다.

4.4.4 안전율

(1) 노체 비탈면의 안정검토에 대한 안전율(F.S)은 1.3 이상을 목표로 한다.

(2) 비탈면의 안정은 계산에 의한 안전율 외에도 기존의 합리적인 경험, 제반 지반조건, 예상 피해 규모 등을 함께 고려하여 판단해야 한다.

4.4.5 안정 검토 순서

흙쌓기의 안정 검토는 <그림 404.3>에 나타낸 바와 같이 설계의 흐름을 충분히 배려하여 단계적으로 실시한다.

4.4.6 안정 검토를 위한 지반정수 결정

(1) 흙쌓기의 단위체적중량(γ_t)은 토질시험에 의해 결정한다. 그러나 주변 공사 등에 의해 경험적으로 알게 되는 경우에는 그 값을 사용할 수 있다.

(2) 흙쌓기의 재료의 전단강도는 일축압축시험(KSF 2314), 삼축압축시험(KSF 2346) 또는 직접전단시험(KSF 2343) 등을 통해 결정한다.

(3) 공시체 제작

① 공시체의 함수비와 건조단위중량

시험에 사용되는 공시체는 현장에서 예상되는 시료의 상태(건조단위중량, 함수비)로 제작하는 것이 바람직하지만 예상하기 어려운 경우에는 <표 404.9>에 따라 공시체를 제작한다.

② 공시체의 크기

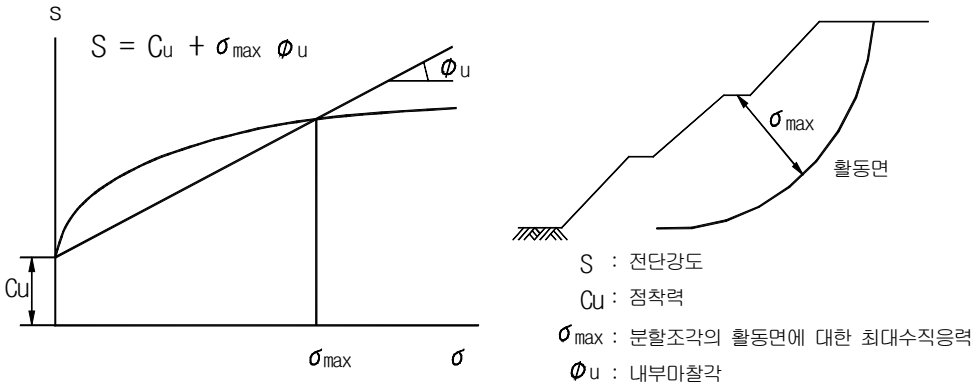
가. 공시체의 직경은 시험에 사용되는 재료의 최대입자크기의 4배 이상, 95% 누적통과량에 해당하는 입자크기(D_{95})의 5배 이상이 되어야 한다. 공시체의 높이는 공시체 직경의 2배 이상이 되어야 한다.

나. 시험 가능한 공시체의 크기가 (가)의 조건을 만족시키지 못하는 경우에는, (가)의 조건을 만족시키도록 굵은 입자를 제거한 모델시료에 대하여 시험을 수행한다. 이때 제거되는 굵은 입자의 양이 최소가 되도록 가능한 큰 공시체에 대한 시험을 수행한다.

(4) 상세검토에 있어서 재료상 문제가 있는 것(고함수비의 점토, 점성토, 실트 등 간극 수

<표 404.9> 공시체 제작시 시료의 함수비와 밀도

구 분	공시체 제작시 시료의 조건	
	함 수 비	건조단위중량
$w_n < w_{opt}$ 인 경우	최적함수비 (w_{opt})	KSF 2312 의 A, B 다짐시험에서 결정되는 최대 건조단위중량의 90%에 해당하는 건조단위중량
$w_n \geq w_{opt}$ 인 경우	자연함수비 (w_n)	



<그림 404.2> 불포화 세립토의 삼축 비배수 시험결과와 설계강도정수 c_u, ϕ_u의 관계

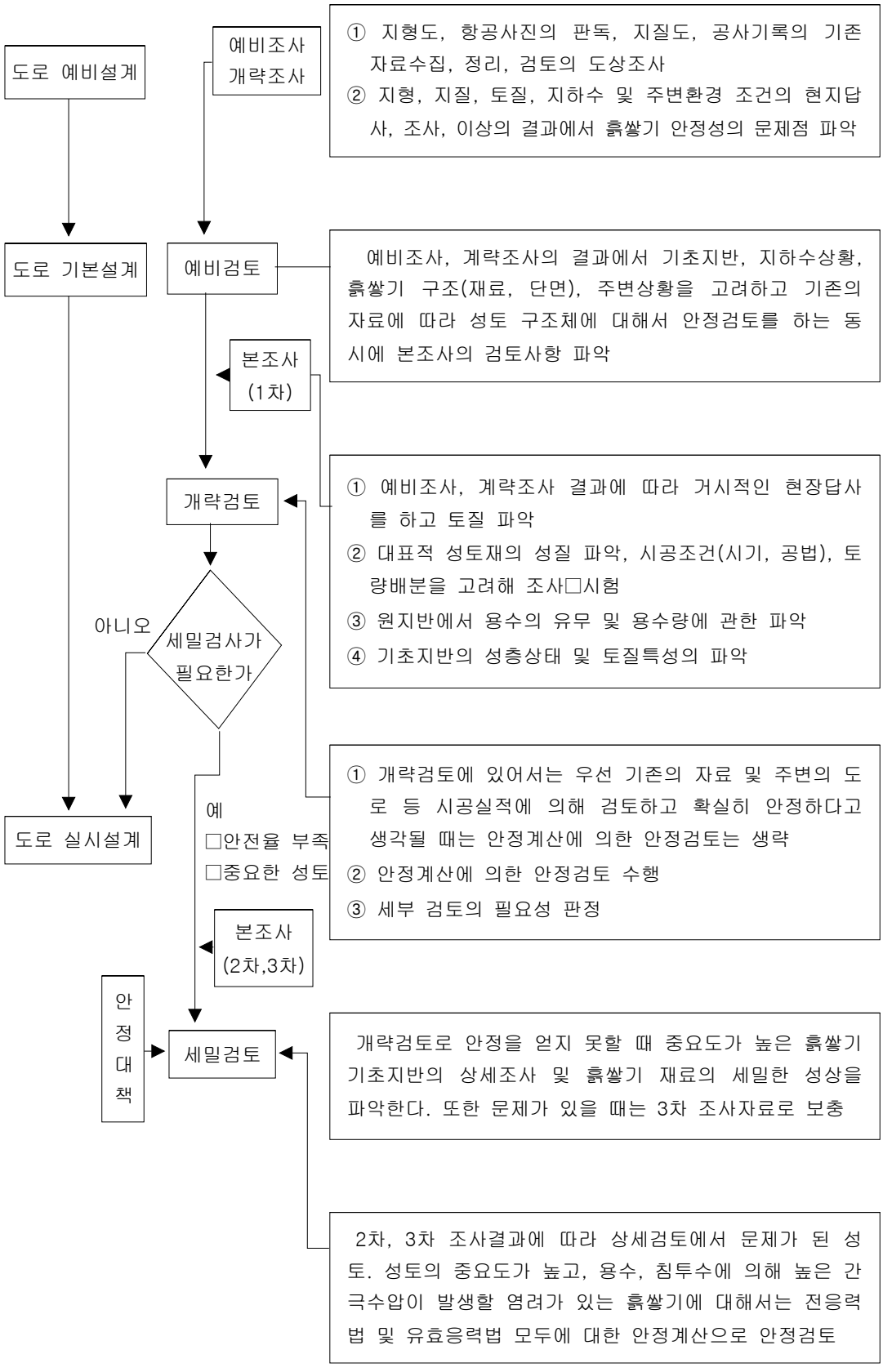
압이 발생할 가능성이 있는 흙)은 함수비에 의한 전단강도의 변화, 흙의 교란에 의한 강도 저하 등을 검토하기 위해 함수비, 다짐횟수 등을 바꾸어 시험하여 전단강도의 특성을 판단한다.

(5) 불포화토의 비배수시험인 경우에 <그림 404.2>와 같이 전응력으로 정리한 모아원의 포락선은 곡선으로 된다. 이 경우 계산의 대상이 되는 응력 범위에 대해 그림과 같이 직선으로 연결하여 점착력(c_u) 및 내부마찰각(ϕ_u)를 결정한다.

4.4.7 안정 계산

(1) 일반적으로 흙쌓기 비탈면은 시공 직후가 가장 위험한 상태이며, 시간이 경과함에 따라 흙쌓기의 전단강도는 점차 증가해서 안전율은 증가한다. 그러나 시공 후에 강우 등에 의한 흙쌓기의 단위중량이 증가하거나, 침투수에 의해 팽창된 흙쌓기부의 전단강도가 약화되어 비탈면이 붕괴하는 일도 있기 때문에 안정계산은 토질에 따라 이러한 사항을 고려해서 검토한다.

(2) 안정계산은 <표 404.10>에 제시한 계산식 또는 수치해석방법을 적용하여 수행한다.



<그림 404.3> 흙쌓기부의 안정검토 순서

(3) 상세한 안정검토를 실시할 경우, 계산식과 토질정수는 그 토질의 입도, 아터버그한계, 투수계수 외에 시공시의 공정, 공법, 차량의 진입성, 토량배분 및 지하수의 용수, 강우 등에 의한 침투수 등의 현장 조건도 추가하여 신중히 결정한다.

(4) 편절편성의 장소에서 원지반으로부터 지하수가 흙쌓기부로 침투하고 그것에 의해 흙쌓기부가 큰 활동파괴를 일으켜 막대한 피해를 줄 위험이 있는 경우에는 흙쌓기 높이에 관계없이 간극수압을 고려한 상세한 안정 점토를 한다.

(5) 내진설계를 포함하는 경우에는 일반적인 내진설계 관련 시방 규정을 따른다.

4.4.8 비탈면 안정대책

(1) 흙쌓기 높이가 높아 비탈면이 불안정한 것으로 분석되는 구간(단, 기초지반이 연약지반이 아닌 경우)은 흙쌓기에 투수성이 양호하고 강도정수가 큰 재료를 선별하여 사용하거나 설계 비탈면 경사를 완화, 소단 폭의 증가 등의 방법으로 안정대책을 수립한다.

(2) 비탈면 하단에 하천이나 도로, 철도 등의 중요한 시설이 위치하여 설계 비탈면 경사를

<표 404.10> 안정계산식의 적용

계산식	적 용	계산에 사용하는 전단강도
Taylor 도표	본 조사 및 상세검토를 할때, 조사 위치의 선정, 가상 활동면의 안정계산 실시 여부를 판단할 때 개략적인 안정 검토에 사용	일축압축시험 또는 비압밀비배수시험(압밀 비배수시험)에 의해 구한 전단강도 (c_u, ϕ_u), $S = c_u + \sigma \cdot \tan\phi_u$
전응력법	과잉간극수압이 발생하는 토질의 시공시, 시공직후의 안정검토를 할 경우에 사용(단, 점성토의 압밀에 의한 강도 증가를 고려한 실시설계를 할 경우에는 압밀배배수 시험결과 이용)	
유효응력법	중요도가 큰 흙쌓기로서 간극수압이 발생하는 흙쌓기의 안정검토를 할 경우 사용(간극수압의 가정에 의해 안전율이 크게 변하기 때문에 이의 검토에 주의를 요함)	압밀비배수 삼축압축시험(간극수압 측정)결과에 의해 구한 전단강도 (c', ϕ_u') $s = c' + \sigma' \cdot \tan\phi_u'$

주1) Taylor의 안정도표는 비탈면을 구성하는 토질이 균질한 경우에 작성되는 것이기 때문에 흙쌓기가 몇 개의 토층으로 구성되는 경우 엄밀하게는 적용될 수 없지만, 개략적으로 검토할 경우는 각각의 재료를 일체로 보고 각각에 대하여 안전율을 구하고 그 중에서 가장 작은 값을 흙쌓기의 안전율로 한다.

완화하거나 소단 폭을 증가시킬 수 없는 경우에는 EPS 성토, 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 가비옹(gabion) 옹벽, 돌쌓기 등의 방법으로 비탈면의 안정을 유지한다.

(3) 기초지반이 경사져 있고 표층에 얇은 연약토가 분포하여 흙쌓기 비탈면이 불안정할 경우에는 층따기 규격을 크게하여 양호한 지반과 흙쌓기부가 접합되도록 하는 방법도 고려할 수 있다.

(4) 비탈면 안정대책 공법이 결정되면 대책공법의 설계에 대한 안정검토를 수행한다.

404.5 흙쌓기부의 기초지반 대책

(1) 토질조사 등의 결과에 의해 흙쌓기의 안정에 영향을 미치는 불안정한 지반(연약지반 및 산허리 붕괴지, 낭떠러지, 비탈면 붕괴지역 등의 불안정지반 등)인 것이 판명되었다면 그 규모 등에 따라 적절한 대책을 수립한다.

(2) 기초지반이 급한 경사를 이루고 있는 구간은 '404.8 경사지반 상의 흙쌓기' 기준에 따라 층따기, 배수공 등을 설계에 반영한다.

(3) 기초지반내에 폐광 등의 공동이 있는 경우에는 사전에 충분히 조사하고, 채움 등의 적절한 조치를 취한다.

(4) 기초지반의 표층에 고함수비의 연약층이 존재하거나 용수가 있는 경우에는 배수대책을 강구한다('404.6 흙쌓기부의 배수대책'참조).

404.6 흙쌓기부의 배수대책

(1) 흙쌓기부에서 지하수위가 상승하면 간극수압의 증가, 침투압의 발생, 유효응력의 감소, 전단강도 감소, 활동모멘트 증가 등이 유발되어 흙쌓기부의 안정성을 매우 크게 떨어뜨린다. 흙쌓기부에서 지하수위 상승을 전제로 하여 비탈면을 설계하는 것은 비경제적인 설계가 될 가능성이 높아 배수처리를 전제로 설계하는 경우가 있으므로, 배수대책은 흙쌓기부의 안정성에 매우 중요한 요소이다.

(2) 지하수의 상승원인은 기초지반에서의 용수와 강우, 지하수 등에 의한 침투수로 구분되며 모든 경우에 대하여 노체 흙쌓기부에서 지하수위 상승을 방지할 수 있는 배수대책을 수립한다.

(3) 배수대책은 필터층, 지하 배수공, 배수로, 시공중 표면 배수를 위한 흙쌓기 횡단 경사 등을 포함한다. 또한 지하수위가 상승할 가능성이 매우 높은 구간은 배수대책과 더불어 투수성이 양호한 재료를 사용한 흙쌓기를 토량배분에서 고려한다.

(4) 배수대책은 광범위한 답사와 조사를 통하여 기초지반의 조건(투수층, 불투수층), 흙쌓기부의 단면구성, 용수의 발생여부, 기초지반의 조건, 지하수의 흐름, 강우 및 용설수 등을 면밀히 고려하여 수립한다. 특히, 원지반과 흙쌓기 지반과의 경계가 불투수층으로 작용할 가능성이 크고, 일상적으로는 용수가 없는 경우에도 계절 및 기후에 따라 용수가 일시적으로 발생할 가능성이 있으므로 비가 내린 후의 관찰,

시공중 관찰이 중요하다.

(5) 저습지에 흙쌓기를 할 경우에는 준비배수를 하여 기초지반의 함수비를 저하시켜야 한다. 단 연약지반 처리공법이 설계되어 있는 구간은 '409 연약지반'의 기준을 따른다. 저습지 첫 번째 층의 흙쌓기는 입상재료를 사용하여야 하며 기초지반이 연약하여 소정의 두께로 시공할 수 없는 경우에는 그 두께를 조정한다.

<표 404.11> 흙쌓기부의 기본적인 배수대책

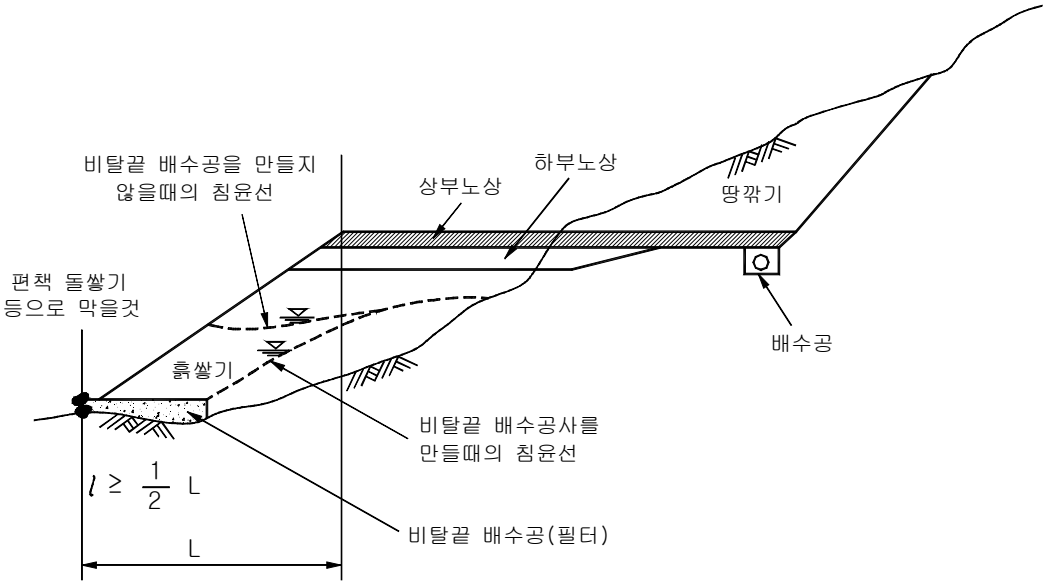
구 분		기 본 대 책	비 고
투수성이 불량한 흙쌓기 재료		비탈 끝에 배수공 (필터층)	<그림 404.4>
비탈 끝에 중요시설이 있는 높은 흙쌓기		비탈 끝에 배수공 (필터층)	<그림 404.4>
기초지반	용수	- 용수부위에 지하배수공 - 비탈 끝에 배수공	<그림 404.4> <그림 404.5>
	표층에 고함수비의 연약층	· 골을 파서 부지 건조 (다짐 장비의 시공성 확보) · 골에 모래 또는 막자갈로 부설 (성토후 지하 배수공으로 이용) · 기초부의 전면에 모래 등을 포설	<그림 404.6>
편절편성	기본대책	· 노체면 또는 땅깎기면에 지하배수공 · 비탈 끝에 배수공 (필터층)	<그림 404.4>
	용수발생	· 용수부위에 지하배수공 (필터층) · 용수량에 따라 유공관 설치 검토	<그림 404.7>
	투수층으로 지하수 유입	투수층 하단에 지하배수공	<그림 404.8>
	시공중	· 배수를 위한 4~5%의 횡단경사 · 절성경계에 가배수로 설치 (시공 단계에 따라 순차적으로 위치 이동)	<그림 404.9>
절성경계		노체면 또는 땅깎기면에 지하배수공	
오목부	매립에 의한 흙쌓기	- 표면에 배수공 - 흙쌓기 저면에 배수층	<그림 404.10>
	평면선형이 곡선부이고 종단경사가 오목부	지하배수공	<그림 404.11>

(6) 지하 배수공의 구조는 용수의 상태, 지형, 토질 등을 고려해서 결정한다('410 배수' 참조). 배수 거리는 가능한 단거리로 배수가 될 수 있도록 하고, 배수끝 부분의 접속을 확실하게 한다. 또한, 지하 배수공의 배치는 공사중에 흙쌓기의 변위, 의외의 파손 및 뒷채움 등을 고려해서 배수공이 접속(망의 형태로 배치되도록 계획) 되도록 설계 및 시공한다.

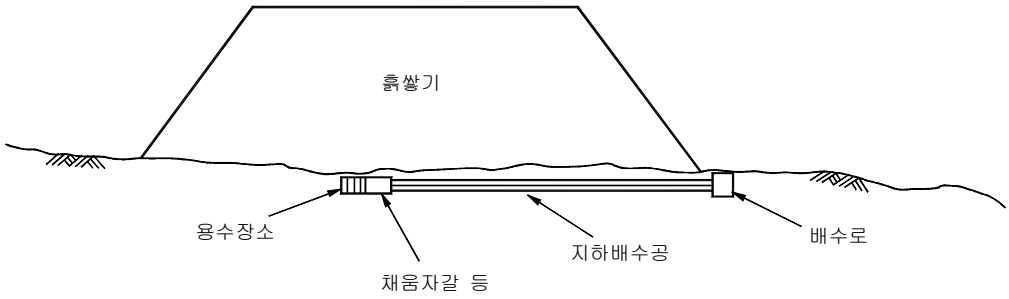
(7) 필터층에 사용하는 재료는 투수성이 양호한 쇄석, 모래 및 이와 동등한 재료를 사용한다. 필터의 길이(L)는 소단 간격(H)의 1/2 이상을 표준으로 하지만 안정검토에 의한 활동면에 가정할 수 있는 경우는 가상활동면을 고려하여 결정하고, 종단 방향으로 현장 조건에 따라 연속 또는 불연속으로 설치한다.

(8) 편절편성 구간에서 필터층의 설치 위치는 소단마다 설치하는 것을 표준으로 하지만 상황에 따라서 변경할 수 있다. 쇄석 또는 모래를 사용하는 경우의 필터 두께는 30cm를 표준으로 하고 재료는 현지 발생 재료를 유효하게 이용한다.

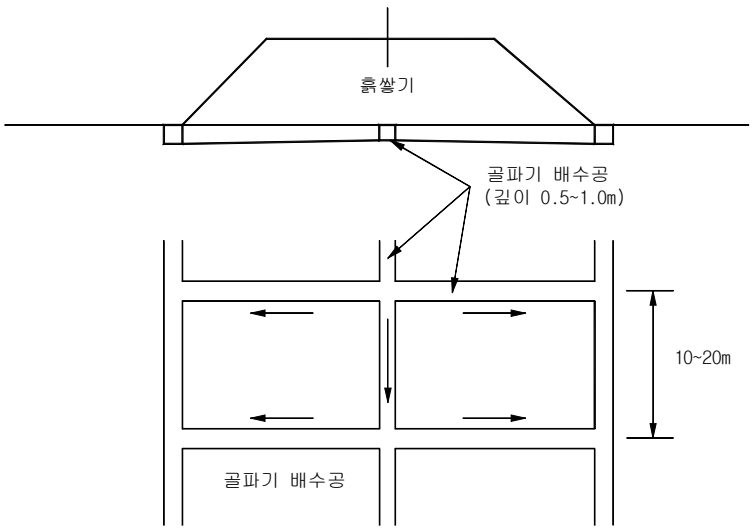
(9) 흙쌓기부의 기본적인 배수대책은 <표 404.11>과 같고, 배수대책공의 예는 <그림 404.4>~<그림 404.11>과 같다.



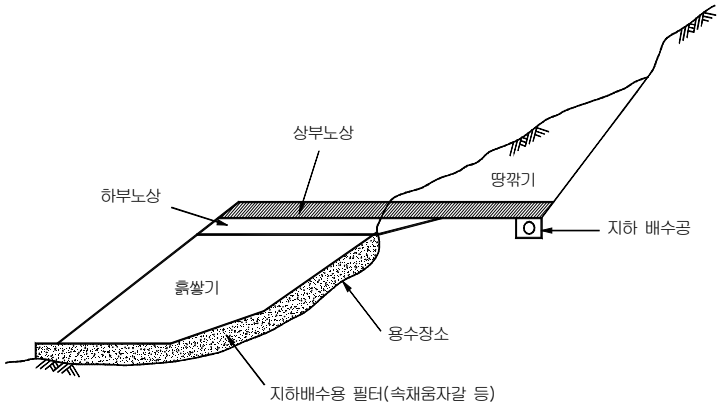
<그림 404.4> 편절편성 구간에 배수층의 설치예



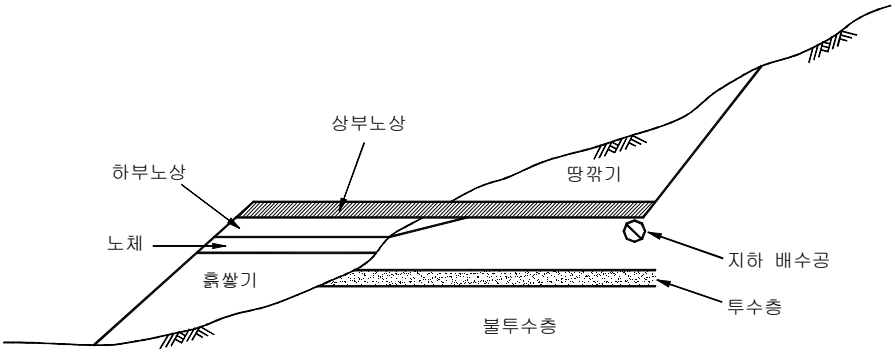
<그림 404.5> 용수처리의 예



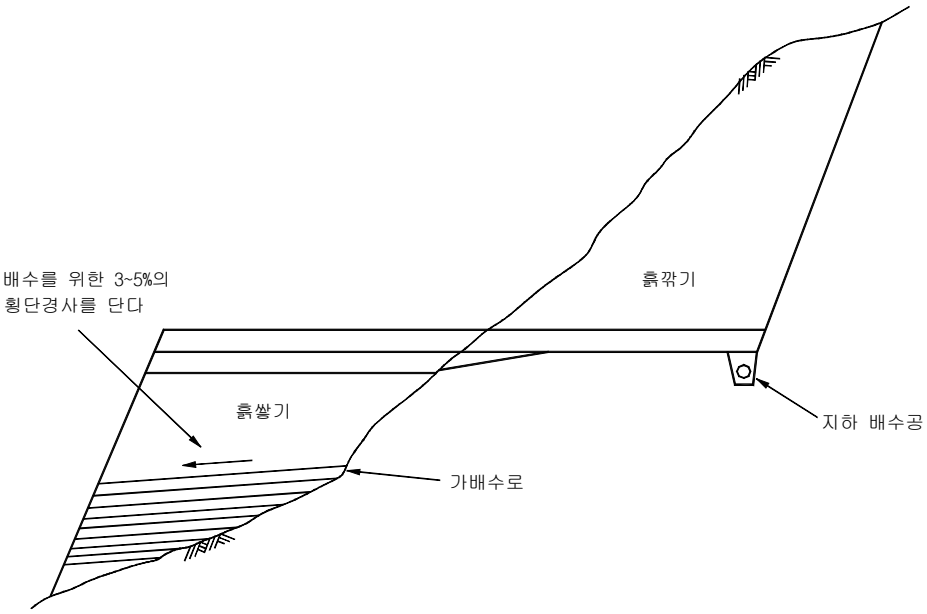
<그림 404.6> 골파기 배수공의 예



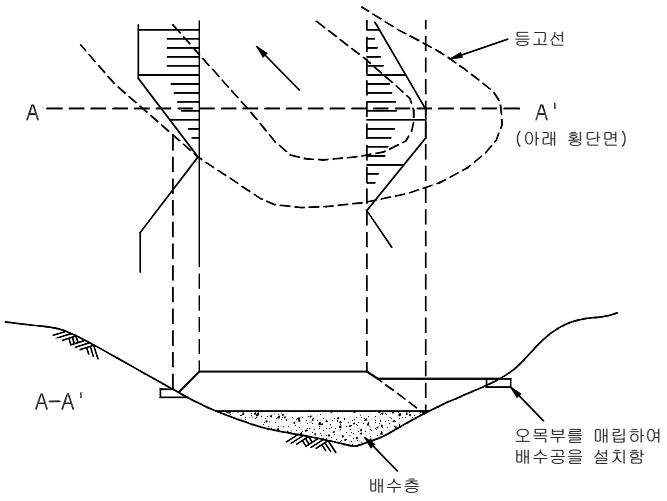
<그림 404.7> 지하배수용 필터의 설치예



<그림 404.8> 편절편성부에서 지하 배수공의 설치예



<그림 404.9> 시공중 표면배수의 예



<그림 404.10> 오목부의 배수대책예

404.7 높은 흙쌓기

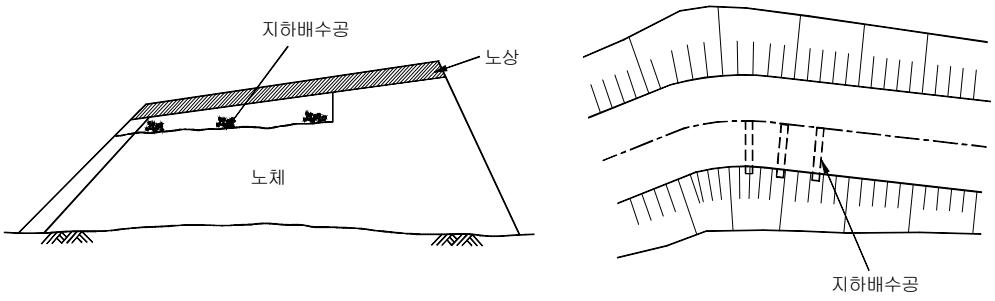
(1) 흙쌓기 높이가 15m를 넘는 경우를 높은 흙쌓기(고성토)라고 하며, 이러한 경우에는 흙쌓기 기초지반의 침하, 흙쌓기 비탈면의 안정성, 흙쌓기 재료의 선정, 배수대책에 보다 세심한 주의를 기울여야 한다.

(2) 높은 흙쌓기 구조는 과거의 실적, 지형, 지질, 용수, 기초지반의 지지력, 기초지반의 상황(경사지반, 연약한 퇴적물, 산사태 지반 등), 붕괴할 경우의 영향과 복구의 난이도, 현장에서 양질의 성토재 확보 가능성(토량균형) 등을 종합적으로 검토해서 흙쌓기 구조를 결정한다.

(3) 비탈면의 경사를 완만하게 하는 것이 안정을 결정하는 중요한 요인이지만, 완만한 경사의 비탈면을 형성하는 경우 비경제적인 설계가 되거나 주변 조건상 불가능한 경우가 있으므로 옹벽 등의 구조물을 포함한 단면의 검토가 필요하다.

(4) 높은 흙쌓기의 안정검토는 '404.4 흙쌓기 비탈면의 안정검토'에 따르며, 기초지반의 안정성 검토 및 필요한 경우 기초지반의 개량, 흙쌓기 재료의 선정, 배수 대책, 비탈면 보호공 등을 포함한다.

(5) 높은 흙쌓기의 설계 및 시공에 있어서는 흙쌓기의 압축 침하 및 안정에 대해서 보다 세심한 주의가 필요하다. 특히, 비탈면 하단에 주요 도로, 철도 등의 중요한 시설이 있는 경우, 불안정한 기초지반 위에 높은 흙쌓기하는 경우, 고함수비 점성토로 높은 흙쌓기하는 경우 등에 대해서는 세심한 주의가 필요하다.



(횡단면) (평면도)

<그림 404.11> 물이 고이기 쉬운 장소에서의 배수대책

(6) 흙쌓기 재료는 주변 지반의 지질조건으로 자연히 결정되는 것이 일반적이지만 다양한 성질의 현지 발생토를 흙쌓기 각부의 적재적소에 배분하여 안정성이 높은 흙쌓기로 하는 것이 바람직하다. 따라서, 투수성이 좋은 재료(암편 등)를 최하부(배수층) 필터층에 사용하도록 배려한다.

(7) 흙쌓기 재료의 변화, 지하수위의 변화 등에 주의하면서 충분한 관측 체제를 갖추어 시공중의 안정성을 확보한다.

404.8 경사 지반상의 흙쌓기

(1) 경사 지반상에 흙쌓기를 하는 경우에는 원지반 표면에 층따기를 실시하여 흙쌓기와 원지반과의 밀착을 도모하고, 소규모의 지반 변형과 활동을 방지한다.

(2) 경사지반에서는 흙쌓기와 기초지반의 밀착을 도모하고 균질한 시공을 위하여 암버럭으로 흙쌓기하는 것은 허용하지 않음을 원칙으로 한다.

(3) 편절편성부 및 절성경계부는 단차가 생겨서 포장에 균열이 발생하기 쉬운데 그 원인은 다음과 같다.

① 땅깎기부와 흙쌓기부의 지지력이 불연속적이고 불균등하게 된다.
② 땅깎기부와 흙쌓기부의 경계에는 지표수, 용수, 침투수 등이 집중하기 쉽고, 이로 인해 흙쌓기가 약화되어 침하된다.
③ 경계부의 땅깎기는 다짐이 불충분하게 되기 쉽기 때문에 흙쌓기부는 압축에 의한 침하를 일으킨다.
④ 편절편성에서는 기초지반과 흙쌓기의 접착이 불충분하게 되기 쉽고, 따라서 지반의 변형과 활동에 의한 단차가 일어나기 쉽다.

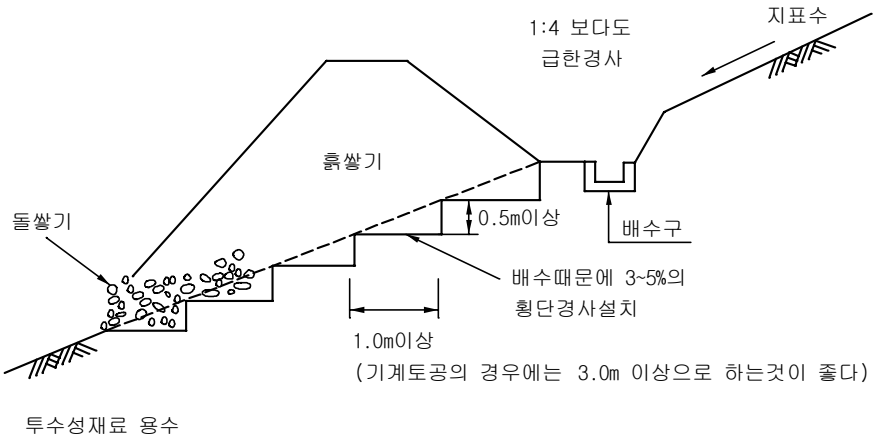
8.1 층따기

(1) 비탈면 경사도가 1:4 이상인 급한 경사지반 또는 기초지반의 종류에 따른 층따기의 표준치수는 <표 404.12>와 같다.

(2) 경사지반상의 흙쌓기는 물이 흙쌓기와 기초지반과의 경계에 침입하여 흘러 내려서 활동을 일으킨다. 이것을 방지하기 위하여 <그림 404.12>에서와 같은 위치에 배수구를 설치하여 지표수를 배수시켜야 한다.

<표 404.12> 기초지반의 종류에 따른 층따기의 표준치수

구분	기초지반이 토사인 경우	기초지반이 암반층인 경우
최소 높이	50cm 이상	40cm 이상
최소 폭	100cm 이상 (기계 토공시는 300cm 이상)	



<그림 404.12> 비탈면 흙쌓기의 층따기

(3) 층따기면에는 시공중의 배수를 위하여 3~5% 경사도를 유지한다. 기초지반에 용수가 있는 경우에는 원지반에 접한 흙쌓기 부분에 투수성의 재료를 사용하든가 배수층을 설치하여 배수하며, 비탈끝에는 흙쌓기가 붕괴하지 않도록 돌쌓기 등을 설치한다.

비탈면 흙쌓기 층따기는 <그림 404.12>와 같이 나타내었다.

8.2 편절편성부

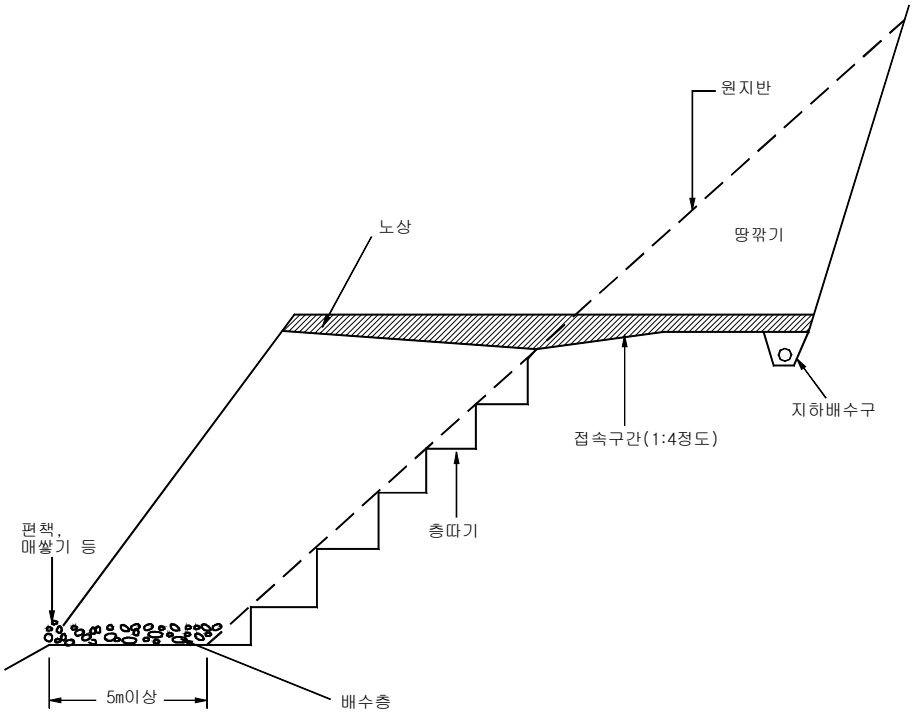
(1) 편절편성부에서는 땅깎기 단부에서 흙쌓기부 노상 저면의 깊이까지 깎는 것을 원칙으로 하며, 1:4(H:V) 정도 경사의 접속구간을 두고 흙깎기부 노상 저면에 접속시킨다. 접속구간을 두는 것은 단차가 발생하여 포장에 균열이 생기는 것을 억제하기 위함이다.

(2) 흙깎기 부분은 흙쌓기부 노상 재료와 같은 재료로 되메우고, 소정의 다짐도로 균일하게 다진다.

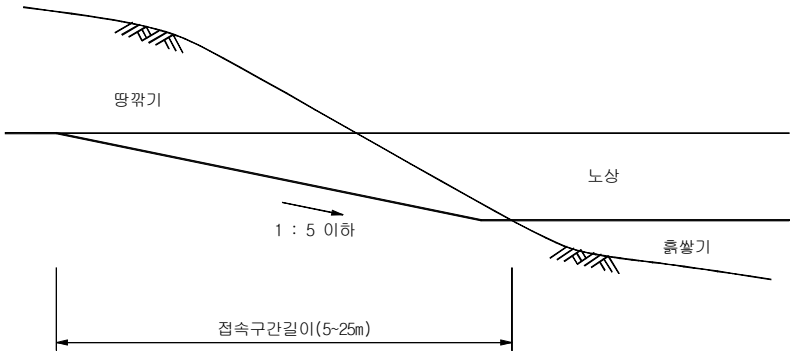
(3) 1:4(H:V) 보다 급한 경사를 가진 흙쌓기부의 기초지반은 층따기를 한다.

(4) 배수를 위하여 원칙적으로 상부 노체면 또는 땅깎기면에 지하 배수구를 설치하고 배수 유출구로 유도 배수한다.

(5) 용수가 많은 편절편성 구간은 흙쌓기 비탈면 하단에는 배수층을 설치한다. <그림 404.13>은 배수층 설치를 나타낸 것이다.



<그림 404.13> 편절편성부에서의 층따기 및 배수처리의 예



<그림 404.14> 절성경계부에서 접속구간 설계 예

8.3 절성경계부

(1) 절성경계부에서는 흙쌓기부 노상 저면의 깊이까지 기존의 지반을 굴착하여 접속구간을 두고 땅깎기부 노상 저면을 <그림 404.14>와 같이 접속시킨다.

(2) 땅깎기 부분은 흙쌓기부 노상 재료와 같은 재료로 되메우고, 소정의 다짐도로 균일하게 다진다.

(3) 접속구간의 길이는 5m 이상(경사도 1:5 이하의 경사)으로 한다. 접속구간의 길이가 길수록 좋지만, 일반적으로 약 25m 정도(4%의 경사)면 충분하다.

(4) 배수를 위하여 땅깎기 비탈면 끝에 지하배수구를 설치를 검토한다.

404.9 노체의 품질관리

9.1 선정시험

(1) 흙쌓기 재료에 대하여 토취장마다 그리고 토질 변화시마다 선정시험을 실시하여 노체의 흙쌓기 재료로서의 적합여부를 확인한다.

(2) 흙쌓기에 사용할 재료의 적합여부를 판단하기 위하여 실시하는 선정시험의 종목, 방법 및 빈도는 <표 404.13>과 같다.

9.2 관리시험

(1) 노체 흙쌓기 작업이 승인된 재료를 사용하여 설계도서 및 감독관의 지시에 따라 적합하게 이루어지고 있는지를 확인하기 위한 관리시험의 종목, 방법 및 빈도는 <표 404.14>와 같다.

(2) <표 404.14>에서 현장밀도의 평가는 모래치환법(KSF 2311)에 의한 방법을 기본으로 하

<표 404.13> 흙쌓기 재료의 선정시험

시험종목	시험방법	시험빈도(측정빈도)
함수량	KS F 2306	1) 토취장 마다 2) 토질변화시 마다
입 도	KS F 2302	
비 중	KS F 2308	
액성한계	KS F 2303	
소성한계	KS F 2304	
실내 CBR	KS F 2320	
다 짐	KS F 2312	
토질조사(보링)		필요시 마다

<표 404.14> 흙쌓기 작업의 관리시험

시험종목	시험방법	시험빈도	비고
다 짐	KS F 2312	토질 변화시 마다	급속함수량 측정기 사용 불가
함수량	KS F 2306	포설후 다짐전 2,000m^3	급속함수량 측정기 사용 가능
현장밀도	KS F 2311	1) 2,000m^3 마다 (폭이 넓은 광활한 지역의 성토 작업시) 2) 층별 450m 마다 (층다짐, 2차선 기준)	전자렌지를 사용한 금속 함수량 측정 가능 1)
평판재하	KS F 2310	1) 3층 포설후 150m 마다 (층다짐시, 2차선 기준) 2) 2,000m^3 마다 (폭이 넓은 광활한 지역의 성토 작업시)	1) 재료최대치수가 37.5mm 이상인 경우 2) 19mm체 잔류량이 50% 이상인 경우 3) 현장밀도시험 불가능시

주1) 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법을 적용하기 위해서는, 표준함수비 측정방법(KS F 2306)과 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법에서 결정되는 함수비의 차이를 사전에 다짐에 사용되는 흙에 대하여 검토해 두어야한다. 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법은 100℃ 이상의 가열온도를 유지하므로 가열시간을 충분히 하면 표준함수비 측정방법에 의한 경우보다 큰 함수비로 평가되며(다짐도 관리측면에서 안전측으로 함수비 평가), 이러한 전자렌지 가열시간을 사전에 결정해 두어야 한다.

며, 평가의 신뢰성이 확보된다면 방사성 동위원소를 이용한 밀도측정 시험(RI), 표면파기법(SASW) 등의 방법을 적용할 수 있다.

9.3 규격관리

(1) 층따기 작업에 있어서 높이는 토사지반의 경우 50cm, 암반지반의 경우 40cm, 폭은 100cm(기계 토공시는 300cm) 이상이어야 한다.

(2) 흙쌓기 노체의 마무리면의 시공오차는 ±5cm 이내이어야 한다.

405
노 상

405.1 일반 사항

(1) 노상은 포장 밑에 위치하는 흙쌓기 또는 땅깎기의 최상부 100cm 부분으로 포장과 일체로 구성되어 포장체에 작용하는 하중을 최종적으로 지지하는 층이다. 따라서 노상은 포장체의 거동 및 내하력 특성에 매우 큰 영향을 미친다.

(2) 포장체의 공용성 확보를 위하여 노상은 균등한 지지력과 균일한 강성도를 갖도록 설계·시공하여야 한다. 따라서 균일한 노상토 재료를 선정하여 사용하고, 얇고 균일하게 포설하여 다지는 것이 중요하다.

(3) 노상 마무리면의 평탄성은 포장체 최상부의 평탄성에도 영향을 미치므로 표면마무리를 평탄하게 하여야 한다.

(4) 노상층의 두께 100cm 중에서 상부 40cm 층을 상부노상, 그 이하 부분(60cm)을 하부노상이라한다.

(5) 땅깎기부의 원지반이 암반이거나 상부노상 재료로서 합당한 재료인 경우에는 원지반을 노상으로 취급한다.

(6) 최종적인 노상의 구성 및 재료의 선정은 가장 경제적인 것이 되도록 공사초기에 시험시공을 통하여 결정한다.

(7) 노상 재료는 현장에서 발생하는 흙을 최대한 활용하여 경제적인 설계가 되도록 한다.

405.2 노상 재료

2.1 노상 재료의 선정

(1) 노상 재료의 구성, 재료의 선정은 가장 경제적인 설계가 되도록 현지에서 발생하는 흙을 최대한 활용한다.

(2) 현장에서 발생하는 흙이 노상토의 품질기준에 적합하지 않는 경우라도 함부로 사토하지 말고 파쇄, 안정처리 등을 검토한다.

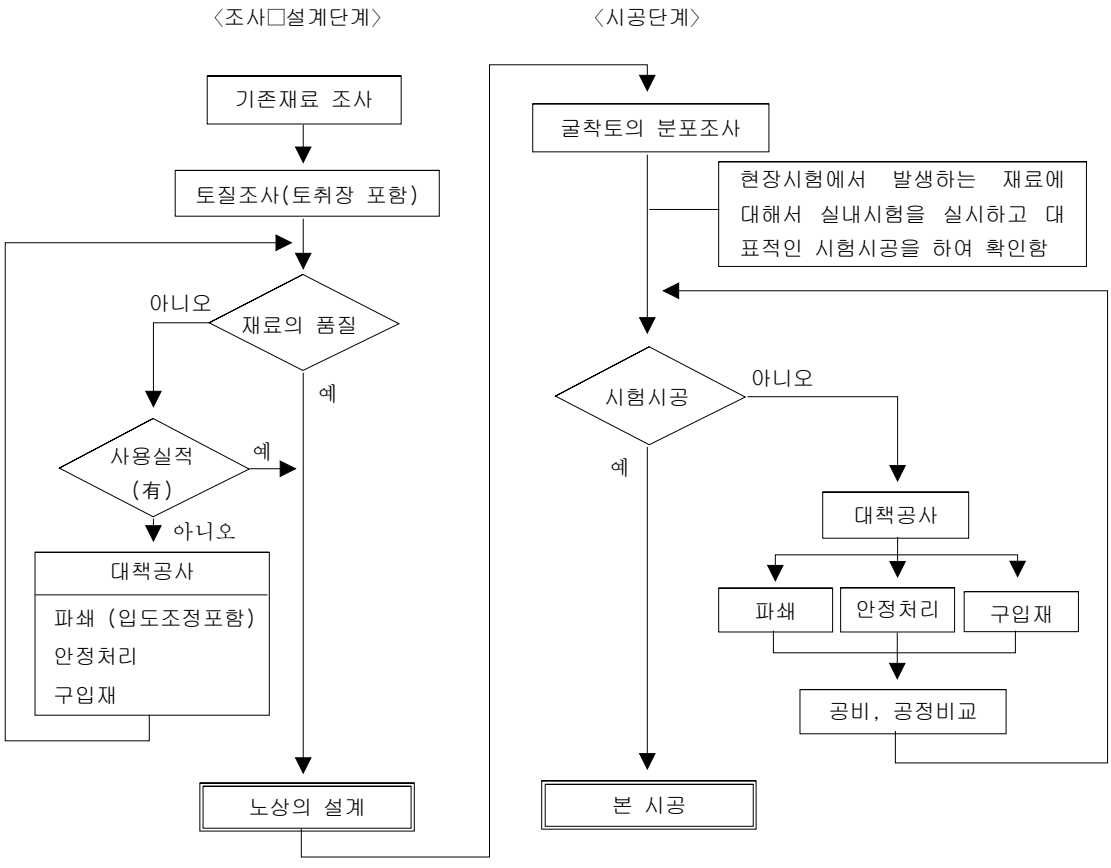
(3) 다짐 완성 후 노상의 품질은 노상의 재료 뿐아니라 시공여건, 시공장비의 성능 등에 따라 영향을 받기 때문에 본시공에 사용하는 노상재료는 시험시공을 통하여 적합 여부를 확인한다.

(4) 노상재료의 구성, 재료의 선정을 위한 일반적인 검토 항목은 <표 405.1>과 같다.

(5) 일반적인 노상 재료 및 노상 구성의 검토 흐름은 <그림 405.1>과 같다.

<표 405.1> 노상 재료의 구성 및 선정을 위한 검토 사항

검토 항목	검 토 내 용
기존 자료 조사	주변 지역의 시공실적 및 유사 재료의 시공실적 조사
굴착토의 분포 조사 (실내시험 포함)	현장에서 발생하는 양질토를 효과적으로 활용하기 위해서 가능한 조기에 시공 공구내의 토성 및 분포 상황을 파악
시험시공	시험시공은 노상 상면의 처짐량 및 공사용 차량의 주행에 대한 내구성 등을 확인
대책공 검토 (현장서 발생하는 흙이 노상재료로서 적합하지 않은 경우)	파쇄를 통한 입도조정, 안정처리, 노상재료 구입 등을 공사비용과 공정을 비교하여 검토



<그림 405.1> 노상 재료 및 구성 결정을 위한 검토순서

2.2 노상 재료의 품질

(1) 노상에 사용하는 재료의 품질은 <표 405.2>와 같으며, 상부노상의 품질조건을 원칙으로 한다.

(2) 흙깎기 또는 토취장 깎기 재료가 상부노상의 품질기준에 부적합하더라도 경제적인 시공이 필요한 경우에는 하부노상에 한하여 품질기준을 <표 405.2>의 하부노상에 대한 품질조건과 같이 완화하여 적용할 수 있다. 그러나 하부노상이라 할지라도 상부노상의 품질기준에 적합한 흙을 우선적으로 사용하여야 한다.

(3) <표 405.2>에서 안정처리 노상의 수침 CBR 값은 현장과 실내실험의 양생온도 차이, 시공의 편차, 시공상의 최저 첨가량(노상 혼합 2%, 플랜트 혼합 1.5%)에서 얻어지는 강도 등을 고려해서 결정된 것으로, 시공조건에 따라서는 과다설계가 될 때도 있으므로 시험시공을 통하여 확인할 필요가 있다.

(4) <표 405.2>의 규정에 적합한 폐콘크리트는 노상재료로 사용할 수 있다. 그러나 이러한 경우에는 폐콘크리트에 포함된 유해물질 확인을 위한 적절한 시험을 실시하고, 폐콘크리트의 수집과정, 운반 또는 파쇄과정에서 이물질이 혼합되지 않도록 한다.

(5) <표 405.2>에 표시한 노상 재료의 품질조건은 실내시험에 근거한 것이다. 그러나, 다짐완성 후 노상의 품질은 노상의 재료 뿐 아니라 시공여건, 시공장비의 성능 등에 따라 영향을 받기 때문에 본 시공이전에 현장시험시공을 실시하여 최종적인 품질을 확인할 필요가 있다.

(6) 토취장의 결정 등과 같이 실내실험 결과만으로 <표 405.2>에 근거하여 노상재료의 적부를 결정할 필요가 있는 경우에는 상세한 조사와 시험을 실시하고, 재료 품질도 어느 정도 안전측으로 하는 것이 바람직하다.

(7) 기존의 경험적 포장 설계법에서는 노상토의 역학적 특성치를 CBR로 표현하고 있으나, 이론적 설계법을 가미한 설계법에서는 노상의 역학적 특성치를 강성도(stiffness) 개념에 근거한 회복탄성계수(M_R ; Resillent Modulus)로 나타내고 있다. 만일 포장단면이 회복탄성계수에 근거한 설계법에 의해 결정된 경우에는 <표 405.2>에 나타낸 품질조건에 추가하여 설계단계에서 적용된 노상토의 회복탄성계수 이상의 품질조건을 만족시켜야한다. 이러한 경우에는 <표 405.2>의 수침 CBR 조건을 생략할 수 있다.

① 회복탄성계수(M_R)는 노상토의 역학적 특성치를 가장 잘 대표하는 물성치로 AASHTO T294-92 I (1992)의 규정에 따라 반복재하식 M_R시험(cyclic M_R test)에서 결정하는 것으로 하며, 정적삼축압축시험 또는 현장공진주시험(FF-RC ; Free- Free Resonant Column Test)등과 같은 대체 M_R 시험법을 적용할 수도 있다.

② 회복탄성계수는 응력의존(stress dependent)의 역학적 특성치로, 포장 상부의 단면구성과 차량하중의 크기에 따라 변화하는 구속응력(confining stress)과 축차응력(deviatoric stress)의 영향을 받는

다. 따라서 노상토가 공용 중에 경험하게 될 응력상태를 설계된 포장단면으로부터 결정하고, 이때의 회복탄성계수값을 기준으로 한다. 일반적으로 구속응력 21kPa, 축차응력 41kPa의 응력상태를 노상의 대표적 응력상태로 간주할 수 있다.

③ 응력의존의 구성모델을 적용하여 회복탄성계수를 평가하는 경우에는 AASHTO T294-92 I 에서 규정하는 축차응력모델이 아니라, 국내에서 사용되는 노상토가 대부분 비소성(N.P)의 모래질 흙(sandy soils)임을 감안하면 식 (405.1)과 같은 모델을 적용한다.

$$M_R = \beta_o I_1^{\beta_1} \sigma_d^{\beta_2} \qquad (405.1)$$

여기서, M_R = 회복탄성계수

I_1 = 평균주응력 ($I_1 = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$)

σ_d = 축차응력

β_0, β_1, β_2 = 실험으로 결정되는 재료상수

<표 405.2> 노상 재료의 품질기준

구 분	상부노상		하부노상		시험법
최대치수 [1]	100mm 이하		150mm 이하		
4.75mm체 통과량	25～100%		-		
0.074mm체 통과량	0～25%		50%이하		
0.425mm 체 통과분에 대한 소성지수(PI, %)	10 이하		20 이하		
다짐도 (%)	95% 이상		90 % 이상		KS F 2312
시공시의 함수비 (%)	다짐도 및 수정 CBR 10 이상을 얻을 수 있는 함수비, 최적함수비 ±2%		다짐도 및 수정 CBR 5 이상을 얻을 수 있는 함수비		KS F 2306 KS F 2312
시공층 두께	20cm 이하		20cm 이하		한층당 마무리두께
수침 CBR[2]	일반 노상	안정처리 노상[3]	일반노상	안정처리 노상[3]	
	10 이상	20 이상	5 이상	10 이상	

주 1) 시험시공을 통하여 노상의 최종 마무리 조건(마무리면의 평탄성, 처짐이 허용치 내에 있고 공사용 차량의 주행에 대해서 표면의 유동이 생기지 않을 것)을 만족하는 것이 확인되면 최대치수 규정을 완화할 수 있다.

주 2) CBR 시험의 공시체 함수비는 자연함수비 w_n이 최적함수비 w_{opt} 이상의 경우, w_n이 w_{opt} 미만의 경우에는 w_{opt}로 한다. w_n(자연함수비)은 계절, 기상조건 등에 따라 항상 변화하지만 우기, 동결융해기 등을 제외하면 지표로부터 50cm 아래의 시료로 측정한 함수비로 한다.

주 3) 안정처리노상의 수침 CBR은 공기중 양생후 수침한 공시체에 대하여 결정된 CBR로 한다.

<표 405.3> 노상의 다짐 조건

구 분		상부노상	하부노상	비 고
시공 조건	시공층 두께[1]	20cm 이하		한층당 마무리 두께
	함수비	다짐도 및 수정 CBR 10 이상을 얻을 수 있는 함수비, 최적함수비±2%	다짐도 및 수정 CBR 5 이상을 얻을 수 있는 함수비	
다짐 후의 조건[4]	다짐도[2]	95% 이상	90% 이상	각층마다 흙의 다짐시험(KS F 2312) C, D 또는 E 방법에 의하여 정해진 최대건조밀도에 대한 다짐도
	지지력계수 (k_{30}, kg/㎤)	<표 405.4>의 기준		평판재하시험을 실시한 경우
	허용 처짐량[3]	5mm 이하	-	타이어 롤러의 복륜하중 5톤 이상, 타이어 접지압 5.6kg/cm^{2}에 의한 프루프 로울링(proof rolling)
	마무리면의 규격	'405.6 노상의 품질관리'참조		

주1) 한 층당 마무리 두께는 다짐 효과 및 시공성 등의 시공경험에 의거하여 결정된 값으로, 노상 혼합방식에 의한 안정처리면 노상의 경우에는 시험시공을 통하여 한층내 모든 위치에서 소정의 다짐도를 얻을 수 있음이 확인되면 한 층당 마무리 두께를 완화할 수 있다.

주2) 다짐도 규정은 사용 재료를 효과적으로 활용하여 균일하고 양호한 노상을 시공하기 위한 과거의 경험이 반영된 것이다. 따라서 규정 다짐도를 얻기 힘든 경우에는, 시험시공 구간에 대한 평판재하시험을 수행하여 얻은 지지력계수와 프루프 로울링에 의한 처짐량이 허용범위에 이내에 들어오는 것을 확인하고 다짐도 규정을 완화할 수 있다. 이러한 경우에는 본 시공에서 평판재하시험을 반드시 수행한다.

주3) 변형량은 벤켈만빔에 의한 변형량 시험법을 이용하며, 노상 마무리면에서 3회이상 실시하고 땅깎기부 노상 상면에서도 동일한 기준을 만족하여야 한다.

주4) 노상 마무리면에 대한 최종 점검 후, 보조기층을 깔기 전에 비가 온 경우에는 마무리 다짐 및 점검을 재실시 한다.

④ 노상의 년중 함수비 변화를 고려한 유효 회복탄성계수를 결정할 경우, 다짐시험에서 결정된 최적함수비, 최적함수비-2%, 최적함수비+2%의 세개의 함수비 조건과 건조단위중량을 이용한다.

405.3 노상의 다짐

(1) 다짐규정은 최소 관리이므로 각층의 모든 부위가 소정의 다짐도를 만족시켜야 한다. 또한 균일한 지지력과 강성도를 갖도록 얇고 균일하게 포설하여 다진다.

(2) 노상의 다짐 조건은 <표 405.3>과 같다. 시험의 빈도 및 규격은 '405.6 노상의 품질관리'를 적용한다.

<표 405.4> 평판재하시험을 실시한 경우 노상의 지지력계수(K_{30}) 기준

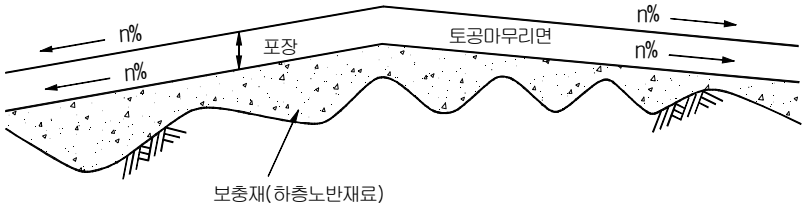
구 분	시멘트 콘크리트 포장	아스팔트 콘크리트 포장
침하량 (cm)	0.125	0.25
지지력계수 (K_{30}, kg/㎤)	15 이상	20 이상

<표 405.5> 원지반의 재료에 따른 땅깎기부의 노상 설계

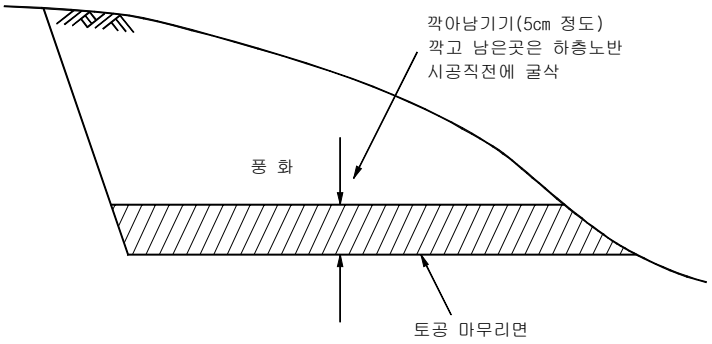
원지반의 종류	설계 착안점
암반인 경우	· 양질인 암반의 굴삭면은 원칙적으로 노상 마무리면으로 한다. · 굴삭 후 약화될 염려가 있는 암반은 충분한 풍화 대책을 강구한다.
암반이 아닌 경우	재료가 상부노상의 품질을 만족하는 경우는 원지반을 15cm 이상 긁어 일으켜 최적함수비 상태로 수분을 조절한 후 다짐한다.

<표 405.6> 땅깎기부 노상의 시공에서 발생하는 주요 문제점과 대책

구 분	대 책	비 고
토공의 계획고를 넘어서 너무 많이 굴삭해 버리거나 요철이 생긴 경우	노상의 품질기준 이상이고, 물의 영향을 받지 않는 재료를 포설하고 충분히 다져 평탄하게 마무리	<그림 405.2> 참조
원지반이 경암으로 굴삭이 곤란한 경우, 땅깎기 연장이 긴 경우	토공 마무리면의 변경을 검토	
원지반의 풍화가 우려되는 경우	· 초기 시험시공으로 풍화 정도 확인 · 노상 마무리 후 신속히 포장을 시공 · 토공 마무리면에서 5cm 정도를 깍아남기기를 하고, 포장시공 직전에 땅깎기 노상 마무리	<그림 405.3> 참조
지하수 및 용수로 인해 지지력이 저하되는 경우	충분한 배수대책 수립	



<그림 405.2> 지반이 암반일 때의 노상설계



<그림 405.3> 땅깎기부 노상의 풍화 방지대책의 예

405.4 노상의 횡단경사

(1) 상부 노상면의 횡단경사는 포장면과 동일한 경사로 한다. 단, 포장면의 경사가 2% 미만의 완경사 구간에서는 노상면의 횡단경사를 2%로 한다.

(2) 노상면의 횡단경사의 접속부는 포장의 접속보다 짧게 하여 물이 스며들기 쉬운 완만한 경사를 설치하지 않도록 한다.

(3) 노상 다짐의 각층 마무리면은 모두 상부 노상면의 횡단경사와 평행으로 마무리하는 것을 원칙으로 한다. 단, 각 층의 시공시의 횡단경사는 단면의 형상, 시공법, 재료의 성질, 경제성 등을 고려해서 시공중의 배수가 확보될 수 있도록 결정한다.

(4) 노상 마무리면 완성에 연속해서 포장공사가 실시되는 경우, 또는 배수에 대해서 고려할 필요가 없을 때에는 횡단경사가 2%미만의 부분도 포장면에 평행한 횡단경사로 상부노상을 마무리할 수 있다.

(5) 상부노상을 안정처리한 경우에는 포장시공시까지 시간 경과에 의해 노상이 굳어져 긁어 일으키는 등의 노반 준비공을 할 수 없는 것이 일반적이다. 따라서, 안정처리의 노상에 있어서는 횡단경사가 2%미만의 부분일지라도 포장면에 평행한 횡단경사로 상부 노상을 마무리할 필요가 있다.

405.5 흙깎기부 노상

(1) 땅깎기부의 원지반이 상부노상 재료로서 합당한 경우에는 원지반을 노상으로 취급한다.

(2) 땅깎기부에서 토공 마무리면 부근의 토질은 굴착한 후가 아니면 판단할 수 없는 것이 많다. 따라서, 땅깎기부 노상의 설계는 토질조사 결과 등을 참고로 하여 개략적인 노상 구성을 정하고, 시공시 토질 확인이 가능한 단계에서 현장시험시공 등으로 최종적으로 결정한다.

(3) 땅깎기부 노상의 기본적인 설계 착안점은 원지반의 재료에 따라 <표 405.5>와 같다.

(4) 땅깎기부 노상은 토공 계획고를 넘지않도록 한다.

(5) 땅깎기부 노상의 시공에서 발생하는 주요 문제점과 대책은 <표 405.6>에 준하여 수립한다.

405.6 노상의 안정처리

(1) 노상의 안정처리는 현장에서 발생한 흙이 필요한 품질을 만족시키지 않는 경우, 다른 공법과 비교하여 경제적이고 공정에 지장을 받지 않는 때에 적용한다.

(2) 안정처리의 혼합방법에는 노상 혼합방식, 원지반 혼합방식, 플랜트 혼합방식이 있으며, <표 405.7>에 나타낸 각 혼합방식의 특징을 참조하고, 과거의 시공실적, 대상토질 등의 현장조건을 고려하여 혼합방식을 결정한다.

(3) 첨가재 및 첨가량은 첨가재의 특성 및 양성 조건을 고려하고, 배합시험, 시험시공의 결과에 의해 처짐 등의 규정을 만족하고, 경제적인 것을 선정한다.

① 석회는 시멘트와 비교하여 지경성(遲硬性)이기 때문에 단기 강도에 의한 판정으로는 과소평가되는 경우가 있다. 따라서, 배합시험 및 시험시공에 있어서는 현장의 양생 가능기간을 고려하여 선정하는 것이 바람직하다.

② 소석회는 겉보기 용적이 크기 때문에 첨가량이 작을 경우에는 동일 첨가량의 시멘트와 비교할 때 혼합성(특히 노상혼합의 경우)이 좋다. 토질별 첨가량은 배합설계에 의하여 결정하는 것을 원칙으로 하고 그렇지 못할 경우에는 <표 405.8>을 이용한다.

405.7 노상의 품질관리

7.1 선정시험

노상에 대한 선정시험은 '404 노체', <표 404.11>과 동일하게 적용한다.

7.2 관리시험

노상이 설계도서 및 감독관의 지시에 따라 적합하게 이루어지고 있는지를 확인하기 위한 관리시험의 종목, 방법 및 빈도는 <표 405.9>와 같다.

7.3 규격관리

(1) 노상 마무리면은 도로 중심선에 평행 또는 직각방향으로 3m 직선자를 이용하여 평탄성을 측정할 때 최요부(最凹部)의 깊이가 2.5cm 이하로 하며 고속국도인 경우 1.0cm 이하로 한다.

(2) 흙쌓기 또는 땅깎기 노상 마무리면의 시공오차는 ±3cm 이내이어야 한다.

(3) 땅깎기 구간의 노상부 굴착시 발생된 요철(凹凸) 부위는 평균 15cm 이내이어야 한다.

<표 405.7> 안정처리 노상의 혼합방식과 특징

혼합방식 / 항목	노상 혼합 방식				원지반 혼합방식 (파일, 트렌치식 등)		플랜트 혼합방식	
	스테빌라이저		기타, 플라우, 블레이드 등					
대상 토량 및 흙 배합 조건	◎	대상 흙이 현장 안의 도처에서 발생한다. 1일 시공량이 그다지 많지 않을 때 한다. 노상의 안정처리에 일반적으로 사용된다.		-		-	◎	대상 흙이 같은 장소(토취장)에서 발생하고 토량이 많은(여러 공사가 연계된) 때에 검토한다.
대상 흙의 토성	○	거의 모든 흙에 적합하다. 단 큰 조약돌(약 10cm 이상)은 제거 혹은 파쇄가 필요.	◎	큰조약돌(약10cm 이상)을 많이 함유해 제거가 곤란한 흙	◎	운반, 고르기 등 차량의 진입성 확보가 곤란한 고함수비 점성토 등	○	입상토, 사질토에 적합하다. 단 큰 조약돌(약 10cm 이상)은 제거가 필요
				생석회처리의 1차 혼합에 사용되는 것도 있다.		생석회처리의 1차 혼합에 사용되는 것도 있다.		큰 흙덩이(5cm 이상)를 다량으로 함유할 때 점착성이 높은 점성토에서는 분쇄, 강제건조 등의 예비 처리가 필요
혼합기계		궤도식과 차륜식이 있고 토질, 혼합깊이에 따라 선택한다.		불도우저등에 장착한 플라우, 블레이드 및 셔블계 굴삭기 등		석회파일 타설기 및 트렌치 굴삭기 등		퍼그밀 타입, 로터리 드럼 타입이 일반적이며, 혼합능력은 기종에 따라서 40~600t/h 정도이다
		혼합능력은 토질에 따라 다소 다르나 200~300m^3/h 정도(혼합두께 30cm의 경우)이다.						노반재인 시멘트 안정처리로서 제작된 것이며, 점성토 혹은 석회혼합인 경우에는 개량이 필요한 것도 있다.
첨가재의 혼합성	○	플랜트 혼합에 비해 다소 떨어지나 혼합기계의 개량으로 실질적인 문제는 없다.	◎	플랜트, 스테빌라이저에 비해 상당히 혼합성이 떨어져 많은 첨가량이 필요	◎	혼합성이 떨어져 현지에서 재혼합하든가 많은 첨가량이 필요	○	균일한 혼합성이 얻어진다.
현장・환경조건, 기타	○	가루모양의 석회일 때 분진대책이 필요한 경우가 많다. 소석회일 때의 대책으로서 20% 정도 물을 가한 습윤 소석회가 있다.		스테빌라이저의 경우와 같음.		원지반에 살포했을 때 분진 대책이 필요할 때가 있다.	○	시공현장에서는 분진 없음. 그러나 플랜트에서는 대책이 필요할 때가 있다.
								플랜트 부지 및 전력 급수 설비가 필요

◎ 혼합방식의 선정상 특히 중요한 사항
○ 혼합방식의 선정상 중요한 사항

<표 405.8> 토질별 첨가량의 기준(상부노상)

시료의 종류	분류기호	첨가량 (%)	
		시멘트	소석회
모래	SP, S-M, SM	2~5	4~8
풍화토	G-M, S-M, SM	2~4	4~8
쇄석	G-M, G-C, SM	2~4	2~4
산자갈 (모래)	G-M, G-C	2~6	2~4

주)첨가량의 비율은 흙의 건조단위중량에 대한 값

<표 405.9> 노상 흙쌓기 작업의 관리시험

시험종목	시험방법	시험빈도	비고
다 짐	KS F 2312의 C, D 또는 E	토질 변화시 마다	급속함수량 측정기 사용 불가
함수량	KS F 2306	포설후 다짐 전 1,000m^3 마다	급속함수량 측정기 사용 가능
현장밀도	KS F 2311	1) 1,000m^3 마다 (폭이 넓은 광활한 지역의 성토 작업시) 2) 층별 400m 마다 (층다짐, 2차선 기준)	전자렌지를 사용한 금속 함수량 측정 가능 [1)]
평판재하	KS F 2310	1) 2층 포설후 200m 마다 (층다짐시, 2차선 기준) 2) 1,000m^3 마다 (폭이 넓은 광활한 지역의 성토 작업시)	1) 재료최대치수가 37.5mm 이상인 경우 2) 19mm체 잔류량이 50% 이상인 경우 3) 현장밀도시험 불가능시
프루프 로울링	5톤 이상의 복륜하중(타이어 접지압 5.6kg/cm^2) 통과	1) 노상 완성 후 전구간에 걸쳐 3회 이상 2) 필요시 마다	

주1) 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법을 적용하기 위해서는, 표준함수비 측정방법(KS F 2306)과 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법에서 결정되는 함수비의 차이를 사전에 다짐에 사용되는 흙에 대하여 검토해 두어야한다. 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정방법은 100℃ 이상의 가열온도를 유지하므로 가열시간을 충분히 하면 표준함수비 측정방법에 의한 경우보다 큰 함수비로 평가되며(다짐도 관리측면에서 안전측으로 함수비 평가), 이러한 전자렌지 가열시간을 사전에 결정해 두어야 한다.

406
비탈면

406.1 일반사항

자연적인 지반은 불균일하고 풍화정도, 성층상태, 균열 등에 따라 지반의 강도는 현저하게 다르다. 따라서 지반의 상태를 정량적인 지표로 정확히 평가하는 것은 어려우며, 과거의 시공실적 또는 기존 비탈면의 실태 등을 참고로 하고 인근 토지 이용상황 등을 감안해서 설계를 수행하는 것이 중요하다.

비탈면 설계는 안정해석시 토층이 균질하다는 가정하에 수행되고 있으나, 암반 비탈면은 균열면에 따라 안정성 여부가 결정된다. 따라서 암반의 안정해석시 예상 활동면은 현장조사를 통해 결정해야 하며 현지 지반상태를 충분히 고려하여 비탈면의 평가를 수행한다. 즉, 땅깎기 및 흙쌓기가 계획되어 있는 지역은 지표지질조사, 시추조사 및 물리탐사 등 각종 지반조사를 수행하여 해당 지반특성을 파악하여 깎기 및 쌓기 비탈면의 원지반 특성에 부합되는 적절한 해석법을 선정, 적용하여 최적 안정 비탈면 경사 결정 및 대책검토 등을 제시한다.

406.2 비탈면 조사

2.1 개요

비탈면의 지반은 일반적으로 지질구조와 흙의 성질 변화가 크므로 시공전 비탈면의 특성을 파악하는 것은 어렵다. 따라서 비탈면의 안정검토를 실시하며 공사구간에 대해서는 토질 및 지질조사 그리고 비탈면 붕괴이력, 지하수 등을 조사한다. 보다 세부적인 조사방법 및 항목은 '402 지반조사와 시험' 편을 참조한다. 비탈면 조사는 예비조사와 현장조사로 나눌 수 있다. 예비조사는 기존자료의 수집과 문헌조사를 통해 땅깎기면(절개면)의 붕괴이력, 피해이력, 지질정보 등을 얻고, 지형도와 항공사진 등을 판독하여 광역적인 지형특성을 파악한다. 또한, 예비조사 결과를 토대로 붕괴발생원인의 추정, 안정성 평가, 현장조사를 계획한다. 현장조사는 비탈면의 일반현황과 붕괴징후 등을 파악한다.

2.1.1 예비조사

예비조사는 선정된 조사지역에 대한 인문, 자연, 환경조건 등 제반사항에 대하여 관련자료를 통해 파악하고, 조사범위를 결정한다.

<표 406.1> 수집가능한 지도 및 항공사진(한국건설기술연구원, 1987)

	발행처	축 적	매 수	내 용	비 고
지형도	서울특별시	1:1,200	1,494	서울시 일대의 지형	
	국립 지리원	1:5,000	12,000	국토 전역의 지형	
		1:25,000	734		
		1:50,000	134		
		1:250,000	13		
		1:500,000	1		
		1:1,000,000	1		
지질도	한국자원 연구소	1:50,000	206	도서해안 지역을 제외한 내륙 지역을 대상으로 암석, 암층구성 지질구조 등을 표시	
		1:250,000	13	해설서 없이 지질도만 작성, 전국절개면 불안정 분포도 포함	
		1:1,000,000	1	국토 전역의 개괄적인 지질상황, 해설서 있음	
수리 지질도	한국자원 연구소	1:25,000	4	안성천, 지미천, 대전북부, 보성, 여수지역의 수리지질 상황	
		1:40,000			
		1:125,000			
응용 지질도	한국자원 연구소	1:25,000	5	방림, 봉계, 대전북부, 석남, 울진지역의 지질자료, 경사분포, 절개면 불안정 분포, 건설재료원, 수계분포	
토양도	농촌 진흥원	1:25,000	137	군별로 토양의 종류, 색도, 배수성	
항공사진	국립 지리원	1:20,000	-	남한 지역을 5개군으로 나누어 1년에 1개군씩 매년 촬영	
		1:5,000		1:20,000 항공사진을 확대하여 제작	
도로설계 자료	건설 교통부	1:1,200	-	전국 고속도로 도로설계자료 (NAHMIS) 수치지도화	

(1) 자료수집

자료수집은 조사대상 비탈면이나 인근 비탈면에 대한 과거 안전진단보고서나 조사대상지역의 개략적인 상황을 판단할 수 있는 지형도, 지질도, 항공사진, 토양도, 임상도 등의 자료를 수집한다. 예비조사 단계에서 수집할 수 있는 지도 및 항공사진의 상황은 <표 406.1>과 같다. 비탈면의 지형도는 지표고 뿐만 아니라 시추위치, 해석단면 등을 자세히 포함하고 있어야 한다.

(2) 항공사진

비탈면과 관련된 항공사진의 이용은 넓은 지역에 걸쳐 동시 조사가 가능하고 조사지역을 선정하는데 편리한 장점을 가지고 있다. 또한 같은 지역에 대한 정기적인 촬영은 포행(creep) 등 느린 속도의 비탈면 이동을 파악할 수 있게 한다. 항공사진은 비탈면의 지형형태, 비탈면의 변화과정, 함수상태, 지질특성 등을 알 수 있다. 항공사진의 지질학적 해석기법을 통해 암반의 종류, 단층, 암맥, 파쇄대 등의 구조와 붕적층 및 충적층과 같은 퇴적 표토층의 두께 및 비탈면의 불안정성 등을 파악할 수 있다.

국내의 경우, 항공사진의 촬영 및 관리는 주로 국립지리원에서 하고 있으며 전국을 5개 구획단위로 세분하여 매년 1개 구획단위씩 1년을 주기로 촬영하고 있다. 축척은 주로 1:20,000을 기준으로 하고 있으며, 이를 확대하여 1:5,000 축척으로 이용할 수 있다.

2.1.2 현장조사

현장조사는 크게 비탈면 현황조사와 지표지질조사 그리고 현장시험으로 구분된다. 위험 비탈면에 대한 현장조사는 위험 비탈면의 제반 사항을 조사하여 안정성을 검토하고, 붕괴 징후 및 형태 등을 파악하는 것으로 안정성 해석과 대책공법선정 등의 기초자료로 사용된다. 현장조사 결과, 붕괴발생 위험도가 매우 높고 안정성 해석이 어려운 비탈면은 필요에 따라 보다 세밀한 추가 조사를 수행한다. 비탈면 안정 검토시 수행할 현장조사의 종류 및 내용은 <표 406.2>와 같다.

(1) 비탈면 현황조사

비탈면 현황조사는 현장조사의 첫 단계로 수행된다. 도로의 기능, 목적, 폭 및 교통량과 비탈면의 제원으로 부터 비탈면 붕괴시 붕괴규모와 예상피해비용의 추정이 가능하며 비탈면 붕괴이력과 낙석 유무로부터 추가 붕괴가능성과 붕괴유형의 추정이 가능하다. 또한 낙석 방호시설 유무, 배수시설 유무, 소단 유무로부터 비탈면의 안정성을 판단한다.

(2) 지표지질조사

비탈면의 붕괴는 비탈면 내부의 연약면 또는 불연속면을 따라 주로 발생되므로, 비탈면의 안정 해석을 위하여 비탈면의 연약면 또는 불연속면의 특성을 정확하게 조사한다. 흙 비탈면에 나타나는 연약면의 예는 토층과 기반암의 경계, 비균질 토층내의 토질 경계, 연약한 점토층 등을 들 수 있다. 이러한 연약면 또는 불연속면은 비탈면을 구성하는 재료에 따라 다르게 나타나므로 현장조사에서 암반 비탈면과 흙 비탈면을 구분하여 조사를 수행한다.

흙비탈면의 파괴형태는 일반적으로 원호파괴의 형태를 나타내나, 토질과 기반암의 깊이에 따라 변화한다. 비점착성인 토질인 경우, 원호파괴면이 비교적 얕게 형성되어 표면침식 또는 토사유실과 같은 형태를 나타낸다. 점착성 토

질인 경우, 원호파괴면이 비교적 깊으며 기반암의 깊이에 따라 파괴면이 깊게 또는 얕게 형성된다. 따라서, 흙 비탈면의 안정성을 정확하게 해석하기 위해서는 비탈면의 토질상태, 토층 두께, 기반암의 경계 등을 정밀하게 조사한다.

(3) 현장시험

<표 406.2>의 현장조사 항목 중 슈미트 해머와 점하중시험은 암반강도를 추정하는데 이용된다. Barton이 제안한 절리면의 전단강도 식을 사용할 경우, 절리 거칠음 계수(JRC ; Joint Roughness Coefficient)를 결정해야 한다.

<표 406.2> 현장조사의 종류 및 내용

구 분	내 용
현황조사	· 도로의 기능, 폭 및 교통량 · 비탈면의 제원(길이, 높이, 방향, 경사) · 비탈면 붕괴이력 · 낙석유무, 크기 및 양 · 낙석방지시설 유무 · 배수시설 유무 · 소단 유무 · 균열의 유무
지표지질 조사	· 암석 및 암반의 종류와 풍화정도 · 불연속면의 종류와 방향성 · 불연속면의 상태(연장, 간격, 틈새, 거칠기, 충진물의 종류 및 두께, 지하수 누수, 암괴의 크기) · 비탈면의 상태(이완암괴, 인장균열 유무 등) · 토질상태 및 토층 두께 · 비탈면의 습한 정도 · 지표수 집수 정도 · 단층선 등의 구조대 발달 여부
현장시험	· 슈미트해머(schmidt hammer) 시험 · 굴곡측정기(profile gauge) 측정 · 점하중시험(point load test) · 기울기 시험(tilt test) · 시추조사(지층 분포상태, RQD, 파쇄구간의 존재여부 등) · 지구물리탐사 · 표준관입시험

절리거칠음 계수는 육안관찰, 굴곡측정기, 기울기 시험 등을 사용하여 결정할 수 있다. 육안관찰방법이나 거칠음 측정 방법은 절리면의 상태를 파악한 후 <그림 406.1>과 같은 참고도를 이용하여 JRC 값을 결정한다.

<그림 406.2>와 같이 기울기 시험을 수행할 경우, JRC값을 산정할 수 있다.

$$JRC = \frac{\alpha - \phi_r}{Log(JCS/\sigma_n)} \qquad (406.1)$$

여기서, α : 기울기 시험에서 암괴가 막 미끄러지기 시작할 때의 판의 경사각

ϕ_r : 기본마찰각 또는 잔류마찰각

JCS : 절리벽면의 압축강도

σ_n : 수직응력

JCS 값을 추정하는 방법은 ISRM(1978)에 의하여 제안되었다. Deere와 Miller(1966)는 슈미트 해머를 사용하여 JCS 값을 구하는 방법을 제안하였다.

Barton과 Bandis(1982)는 JRC와 JCS 값에 대한 크기 효과를 다음 식으로 보정할 것을 제안하였다.

$$JRC_n = JRC_o (L_n/L_o)^{-0.02JRC_o} \qquad (406.2)$$

$$JCS_n = JCS_o (L_n/L_o)^{-0.03JCS_o} \qquad (406.3)$$

여기서, JRC_o, JCS_o , L_o : 실험실에서 이용된 100mm 크기의 시료

JRC_n, JCS_n , L_n : 현장에서의 실제 시료 크기

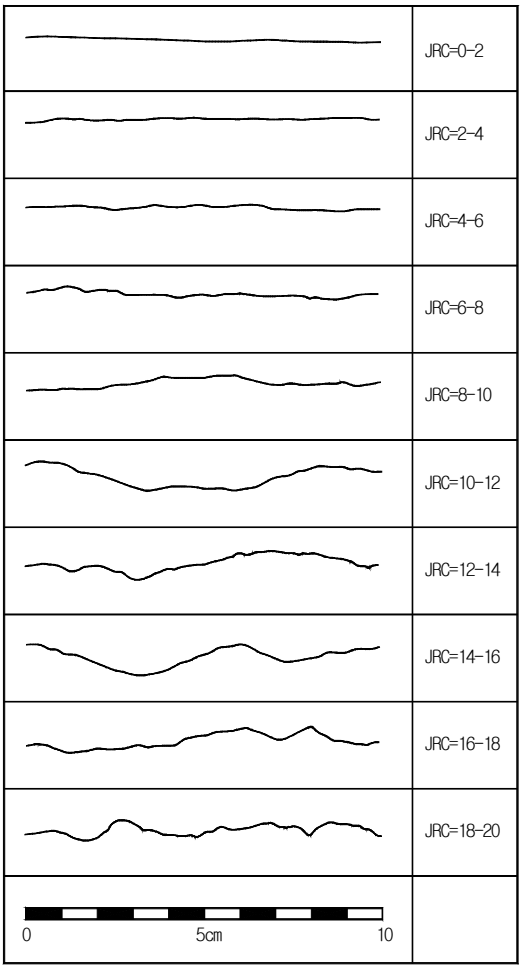
실험실에서 이용되는 100mm 크기 시료의 절리면 압축강도 (JCS_o) 최대값은 무결암의 일축 압축강도값과 같다.

시추조사는 NX규격(직경 54.7mm)으로 수행하고, 시추조사 심도는 연암-경암 하부에서 가끔 점토가 두껍게 충진된 단층이나 혹은 다른 불연속면이 존재할 수 있으므로 가능한 절토면 하부까지 시행한다. 시추시 기존 파괴면이나 잠재 파괴면 상태를 확인하기 위하여 연속적으로 시료를 채취한다.

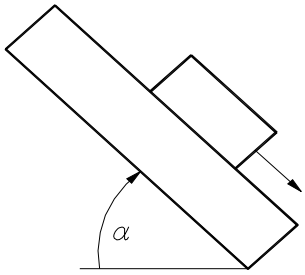
2.2 조사 현황표

비탈면의 조사는 동일한 대상물을 조사하더라도 조사자의 주관이나 조사항목에 따라 평가결과는 상당한 차이가 있을 수 있다. 비탈면의 조사는 효율성과 객관적인 자료의 처리를 위하여 <표 406.3>과 같은 비탈면 조사현황표를 사용할 수 있다.

비탈면 조사현황표의 작성 목적은 현장의 자료를 실내에서 정리하고 안정성 해석의 기초자료로써 활용하는데 목적이 있다. 현장의 모든 상황을 자세하게 현황표에 정리하여 실내에서도 현장의 상태를 정확히 파악한다.



<그림 406.1> 절리면 거칠기와 거칠음 계수(JRC)의 관계



α : 기울기(。)

<그림 406.2> 기울기 시험(tilt test)

비탈면조사 현황표의 작성요령은 다음과 같다.

(1) 조사일자와 조사자

조사일자 및 조사자를 기재하며 조사 대상암반의 시간에 따른 변화를 파악한다. 이는 조사의 이력을 나타내는 자료로 활용한다.

(2) 기후상태

조사대상물이 자연상태에 노출이 되어 있으므로 계절에 따른 온도 변화나 강수의 영향에 의한 지하수의 영향이 크게 작용함으로 기후의 상태를 자세히 기재한다.

(3) 비탈면의 위치

행정구역상의 위치 뿐만 아니라 주변의 특수한 상황을 기재한다.

(4) 도로

도로 부근을 조사하는 경우 과거 비탈면 붕괴의 피해규모를 파악하며 교통량, 왕복차선의 수, 도로폭 등을 기재한다.

(5) 비탈면의 규모

비탈면 안정해석에 직접적으로 활용이 되는 항목으로 비탈면의 길이, 높이, 방향 등을 측정하여 기재한다.

(6) 낙석의 존재와 방지시설

낙석의 존재유무를 조사하며, 낙석이 현재 비탈면에서 발생하고 있는가를 파악한다. 암반의 붕괴현상이 진행되는 현장은 낙석의 크기와 방지시설을 조사하고 연속되는 붕괴현상의 예측 및 낙석방지시설의 안정성을 검토한다.

(7) 배수시설 또는 소단유무

비탈면 주위에 설치된 배수시설에 대한 상황을 파악한다. 또한 소단의 유무 및 형태, 크기 등을 조사하여 기재한다. 이는 비탈면의 안정성과 결부된 항목으로 정확한 자료가 되도록 기재한다.

(8) 비탈면에 대한 붕괴이력

붕괴이력을 가지고 있는 비탈면은 날짜, 기후, 붕괴양상, 피해규모, 현장의 상황 등과 같은 붕괴상황을 자세히 기재한다.

(9) 비탈면의 특성

균열의 특성, 풍화특성 등과 같은 비탈면에 나타나는 특징적인 현상 및 특성을 기재한다.

(10) 상부자연 비탈면

경사도는 정상부를 기준으로 측정하며 상단부의 균열의 발달상황이나 수목의 상태 등을 기재한다.

(11) 토층의 심도

암반층과 토층사이는 물성의 차이로 비탈면의 활동면이 되는 경우가 많으므로 토층의 정확한 심도측정을 실시한다.

(12) 암반 비탈면을 구성하는 암석의 분포상황과 암석명 등을 기재한다.

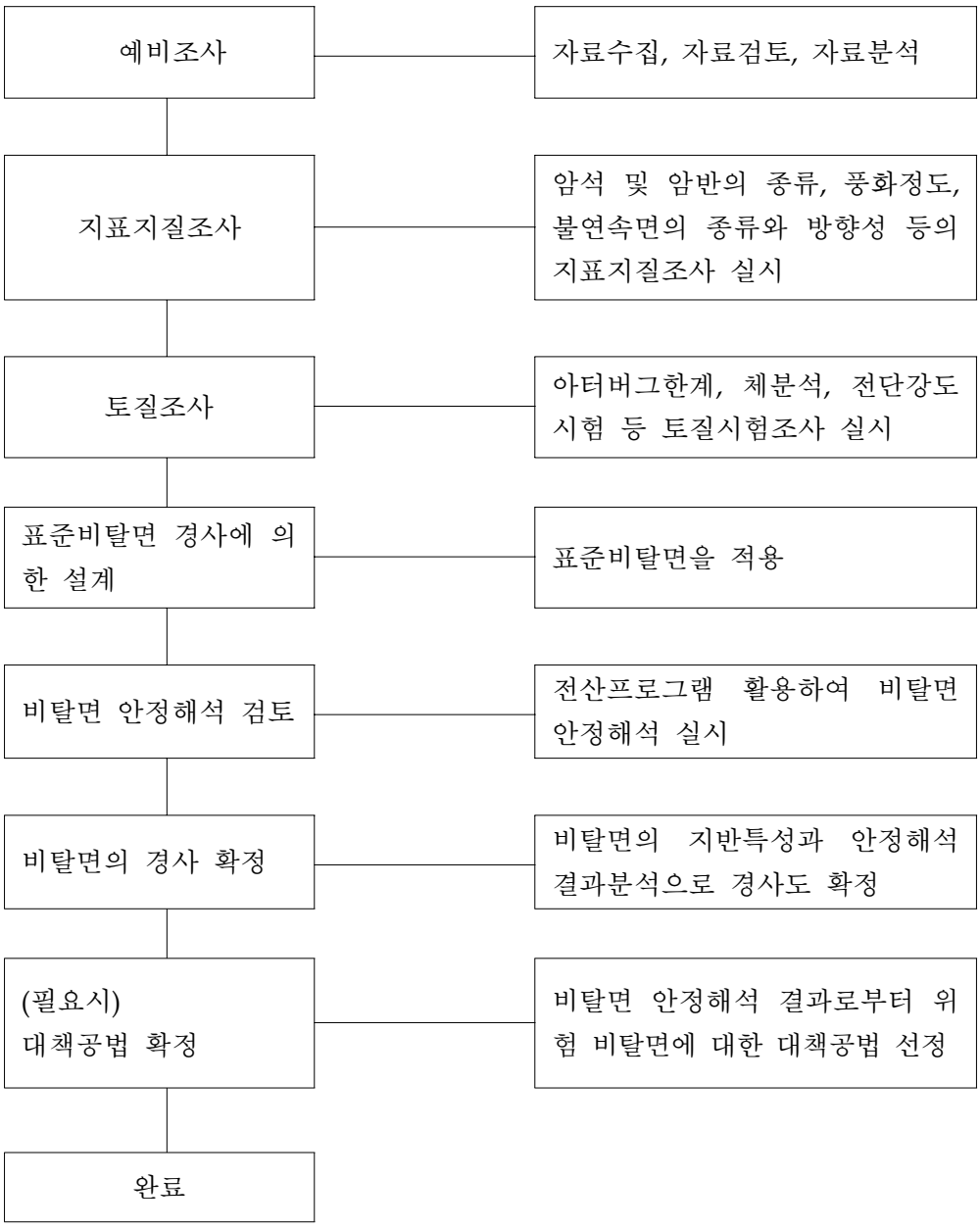
<표 406.3> 조사 비탈면 현황표

조 사 일 자	년 월 일			조 사 자			
비탈면 위치				조사시 일기			
도 로	도로 및 도로번호						
	왕 복 차 로			도 로 폭			
	교 통 량	대 / 일					
비탈면의 규모	길 이			높 이			
	비탈면 방향 (주향/경사)						
낙 석	존재유무	유 무		낙석의 양	개/m		
	크 기	평 균	× × × cm	최 대	× × × cm		
낙석방호시설	낙석방지망	유 무					
	낙석방지책	높 이		길 이			
		비탈면과의 거리					
	기 타 시 설						
배 수 시 설	배 수 로	유 무	상태 : 불량 보통 양호	위치			
	배 수 공	유 무	상태 : 불량 보통 양호	위치			
				직경			
				간격			
소 단	유 무	폭		높 이		소단수	
절 개 면 붕괴이력							
비탈면의 특성							
상부자연 비탈면	경사도			인장균열발달	유 무		
	인공구조물(묘지, 과수원 등)의 유 무 및 종 류						
	식 생	종 류		평균직경			
		밀 도	그루/m^2	근계특징	천근성 심근성		
토층심도				암석의종류			

406.3 땅깎기 비탈면 설계

3.1 땅깎기 비탈면 설계 흐름

땅깎기 비탈면은 계획 및 설계단계에서 효과적인 조사를 실시하여 비탈면 경사도를 결정한다. 땅깎기 비탈면의 설계 순서를 흐름도로 표시하면 <그림 406.3>과 같다.



<그림 406.3> 땅깎기 비탈면 설계순서 흐름도

3.2 비탈면 경사

국내에서 적용하고 있는 땅깎기 비탈면 표준 경사도는 <표 406.4>와 같다. 비탈면 경사 적용 토질은 SM, SC를 기준으로 하며, 비탈면 안정검토 후 토질 및 지질에 따라 경사도를 조정한다. 또한, 비탈면의 높이, 밀도, 입도 분포, 압밀 정도 등을 고려하여 표준경사를 나타내고 있다. 일반적으로 흙이 다른 장소에서 풍화된 후 현재 장소로 운반되어 퇴적된 붕적토의 경우 현재의 위치에서 암석이 풍화되어 흙으로 된 풍화잔류토보다 강도가 약하므로 비탈면의 경사를 완화시켜야 한다.

3.3 땅깎기 비탈면 경사도 설계시 고려사항

(1) 비탈면을 설계하는 경우 일반적인 토질 및 지질이라면 표준 비탈면 경사도를 적용하는 것이 거의 문제가 없지만 붕괴성 요인을 갖는 비탈면은 비탈면 경사도를 별도로 검토한다.

(2) 비탈면 붕괴는 주로 집중강우에 의해 발생되며 붕괴면의 깊이도 대체로 2m 내외인 경우가 많다. 이와 같은 비탈면 붕괴는 주로 조립질 흙에서 발생하는데 이것은 집중강우시 강우가 흙으로 빨리 침투하여 간극수압을 상승시키기 때문이다. 그러므로 화강암이 풍화되어 형성된 풍화잔류토와 같은 조립질인 비탈면의 경우에는 안정검토 후 필요시 비탈면 및 주변의 배수처리를 해야한다.

(3) 투수층 하부에 점토층이나 암반층과 같은 불투수층이 접해 있고 그 경계면의 경사가 비탈면의 경사와 같은 방향일 때 비탈면 붕괴가 발생한다. 이러한 경우, 투수층 부분의 비탈면 경사도를 완만하게 하고, 배수대책을 세운다.

(4) 땅깎기 비탈면은 시공 후 시간의 경과와 함께 점차 불안정하게 되기 쉽다. 특히, 땅깎기 비탈면은 세굴 등에 의해서 침식되기 쉬우므로, 비탈면 경사를 결정할 때 비탈면 표면에 침식을 방지하는 보호공의 설치를 하여야 한다.

<표 406.4> 땅깎기 비탈면 표준경사

구 분	땅깍기 높이	적용경사	소단설치	비 고
토 사	0 ~ 5m	1 : 1.2	H=5m 마다 소단 1m 설치	
	5m 초과	1 : 1.5		
리핑암		1 : 0.7 ~ 1 : 1.2		
발파암		1 : 0.5 ~ 1 : 0.7	H =20m 마다 소단 3m 설치	

3.4 땅깎기 비탈면 안정해석

3.4.1 비탈면 안정해석 일반

비탈면의 안정해석은 비탈면의 안정성 확보에 필요한 경사를 결정하거나 비탈면 붕괴위험에 따른 대책공사의 규모를 결정하기 위하여 실시한다. 안정해석은 건기와 우기를 모두 고려하여 규정된 소정의 계획 안전율을 확보해야 한다. 건기와 우기에 대한 안전율은 <표 406.5>와 같다. 안정해석의 결과는 보통 안전율로 표시되는데, 어떤 전산프로그램을 이용하더라도 그리 어렵지 않다.

전산프로그램의 결과는 비탈면의 복잡한 형상이나 지하수, 전단강도 등 가능한 실제에 부합하는 자료를 입력해야 신뢰성이 높아진다.

특히, 전산프로그램 해석에서 중요하게 고려해야 할 사항은 예상되는 파괴형상으로 파괴형상은 원호형, 대수나선형, 직선형 등 다양하다. 원칙적으로 균질한 비탈면에 있어서 활동면은 원호활동으로 가정하여 비탈면 안정해석을 한다.

그러나 전단강도가 깊이에 따라 증가하는 무한사면에 있어서는 파괴면이 직선일 수 있으므로 이에 적합한 안정해석을 실시한다.

만일 비탈면내에 얕은 연약대층이 존재할 경우, 파괴면이 원호와 직선의 조합으로 이루어질 수 있다.

이와 같이 비탈면 활동형상은 다양하므로 해석에 앞서 예상되는 여러 가지 중 활동 가능성이 가장 높은 경우에 대해 검토한다. 예상 파괴면의 위치는 여러 파괴면을 가지고 안전율을 계산한 후 최소 안전율인 파괴면을 결정한다. 그러므로 한계평형법에 의하여 비탈면의 안정성을 평가할 때에는 상당히 많은 수의 예상 파괴면을 가지고 안전율을 계산하여, 해당 비탈면에 대한 최소안전율을 구한다.

<표 406.5> 건기와 우기에 따른 최소안전율

구 분	최소안전율	내용
건 기	F.S > 1.5	· 암반 : 인장균열면이나 활동면에 따라 수압이 작용되지 않음 · 토층 및 풍화암 : 지하수 미고려
우 기	F.S > 1.1 ~1.2	· 암반 : 인장균열면이나 활동면에 따라 작용되는 수압을 Hw=0.5H 로 가정하여 적용 · 토층 및 풍화암 : 지하수위 고려

3.4.2 안정해석 조건과 전단강도

비탈면 안정문제를 해석하는 경우 지형이나 시간적 요소를 고려하여 적절한 해석법을 선택한다. 지형적 요건이란 자연비탈면, 연약지반 상부 흙쌓기 비탈면 등과 같은 해석대상의 형태, 등방, 균질성과 같은 층상구조가 이 범주에 포함된다. 또한, 시간적 요소에서는 단기 혹은 장기간 안정 문제에서 비탈면을 형성하는 지반이 배수 혹은 비배수 상태인지 또는 전응력해석 및 유효응력 해석을 적용할 것인지를 판단해야 한다.

비탈면의 안정해석은 강도정수의 적용에 따라 전응력해석법과 유효응력해석법으로 구분한다. 또한, 배수 상태에 따라서 안정해석 조건, 강도정수, 수압 및 단위중량을 선택한다.

<표 406.6>은 비탈면 안정해석에 사용되는 전단강도, 수압, 단위중량 등을 나타내고 있다.

(1) 전응력 해석법(비배수 최대강도)

비배수 최대강도는 재하시간이 배수속도나 압밀진행속도에 비해 빠르게 진행되어 간극수압이 소산되지 않는 경우에 적용하며, 이 때는 전응력해석이 된다. 자연비탈면을 굴착한 직후의 단기안정문제나 수위 급강하시 및 연약지반 상에 흙쌓기하는 경우에는 전응력 개념으로 해석하여야 한다. 이 때 시공직후가 가장 불안정한 시기가 되며, 이 때의 강도는 $\phi \neq 0$ 인 경우에는 $s = c + \sigma_n \tan\phi$, $\phi = 0$ 인 경우에는 s_u로 표시한다.

전응력해석시에는 강도정수로 c_u, ϕ_u를 적용하며, 특별히 연약점토와 같이 $\phi = 0$인 경우에는 강도를 s_u로 표시한다. 단기안정문제를 유효응력의 개념으로 해석할 수 있으나 간극수압은 전응력항으로 표시하거나 현장에서 피에조미터를 설치하여 실측한 결과를 적용하는데, 일반적으로 피에조미터 결과를 적용한다.

<표 406.6> 비탈면 안정해석에 사용되는 전단강도, 수압, 단위중량

	공사 직후의 안정성	장기간의 안정성
배수가 잘 되는 흙에 대한 해석 절차와 전단 강도	c′와 ϕ'이용한 유효응력해석	c′와 ϕ'를 이용한 유효응력해석
배수가 잘 안 되는 흙에 대한 해석 절차와 전단 강도	현장시험, 삼축시험(UU 혹은 CU)으로부터 얻은 c와 ϕ이용한 전응력해석	c′와 ϕ'를 이용한 유효응력해석
내부 간극 수압	전응력해석에서는 내부간극수압 무시(u=0), 유효응력해석에서는 간극수압고려	간극수압고려
외부 수압	고려	고려
단위 중량	습윤단위중량	습윤단위중량

(2) 유효응력해석법(배수최대강도)

배수최대강도는 재하기간 중 비탈면 내부에서 배수가 허용됨으로써 간극수압이 소산되고 유효응력이 증가하는 조건에 적용된다. 이 때 지반은 포화되어 있으나 점진적으로 침투가 발생하는 것으로 가정한다. 자연비탈면에서의 장기안정, 굴착 후 일정기간이 경과한 후의 안정 등의 조건에서 배수강도를 적용한다.

일반적으로 사질토, 정규압밀점토, 교란되지 않은 과압밀 점토, 모래와 점성토 혼합지반, 과압밀 균열점토, 또는 이미 파괴가 발생한 비탈면 등의 조건에 적용하게 된다.

비탈면 내부에 간극수압이 존재하지 않으면 전응력해석과 유효응력 해석 결과는 동일하게 얻어지나, 자연비탈면의 경우 과잉간극수압이 없으면 파괴가 발생하는 일은 거의 없다.

땅깎기 비탈면의 경우에는 장기안정 해석이 단기안정 해석보다 중요하다. 이것은 굴착이 진행됨에 따라 부(-)의 과잉 간극 수압이 발생하게 되고, 시공 후 시간의 경과에 따라 과잉간극수압이 소산되어 유효응력과 강도가 함께 감소하기 때문이다. 이와 같이 땅깎기 비탈면의 경우, 시공 후 장시간이 경과한 다음에 가장 위험한 상태에 도달하게 되므로 장기안정 해석은 중요하다.

3.4.3 흙의 강도특성과 측정법

비탈면을 구성하는 물질의 전단강도값은 비탈면 안정해석에 있어서 중요한 의미를 가진다.

안정해석은 붕괴를 일으키려는 힘과 저지하려는 저항력의 상관 관계로 이루어진다. 즉, 땅깎기면 전체의 안전율은 파괴면에 걸쳐 발생되는 전단강도와 전단응력의 비로 구할 수 있다.

땅깎기면 안정성과 가장 관련있는 역학적 특성은 암반 및 토체의 내부마찰각, 점착력 및 단위중량이다. 특히, 내부마찰각(ϕ)과 점착력(c)을 강도정수라 하며, 흙의 전단강도는 다음과 같다.

$$\tau = c + \sigma \tan\phi \qquad (406.4)$$

여기서, τ : 전단강도

c : 점착력

σ : 수직응력

ϕ : 내부마찰각

이것을 유효응력으로 표시하면 다음과 같다.

$$\tau = c' + \sigma' \tan\phi' \qquad (406.5)$$

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan\phi' \qquad (406.6)$$

여기서, c′, ϕ' , σ′ 는 각각 유효응력으로 표시한 점착력, 내부마찰각, 유효 수직응력이고 u는 간극수압이다. 전응력으로 강도정수를 표시할 때 수직응력은 전응력이다.

전단강도 측정은 직접 전단시험, 삼축시험, 현장시험 등이 있다. 삼축시험은 주응력과 배수조건을 조절할 수 있고 포화된 시료에 대해 간극수압을 측정할 수 있는 장점이 있다. 직접 전단시험은 토층의 전단강도를 측정하는 것으로 삼축시험보다 간편하고 경제적인 점을 지니고 있다. 그러나 배수조건을 조절하기가 어려우며 간극수압을 측정할 수 없는 단점이 있다.

흙의 단위중량과 강도정수는 토질시험 결과에 근거하여 결정하는 것을 원칙으로 한다.

흙의 강도정수를 결정할 때 고려할 점은 다음과 같다.

(1) 사질토는 점착력(c)이 0 이며, 내부마찰각은 항상 유효응력으로 표시된다. 사질토는 불교란 시료로 채취하기가 어려우므로 표준관입시험이나 콘관입시험과 같은 현장시험에서 얻은 자료를 가지고 간접적으로 전단저항각을 추정하여 사용한다.

(2) 점성토는 배수 조건과 비배수 조건에 따라 다른 강도정수 값을 보인다. 그러므로 점성토의 전단강도는 배수 조건을 완벽하게 제어할 수 있는 삼축시험이 보편적으로 사용된다. 또한 삼축시험은 현장의 응력상태를 재현할 수 있다.

(3) 비탈면이 파괴면을 따라 상당한 변위가 발생한 경우, 비탈면의 안정해석에 사용하는 강도정수는 흙의 전단강도가 상당히 저하된 상태이므로, 첨두강도(peak strength) 대신 잔류강도(residual strength)를 사용해야 한다.

(4) Mohr-Coulomb 포락선은 직선으로 가정하고 있지만, 넓은 수직응력의 범위에서 시험하거나 과압밀과 정규압밀의 경계가 되는 수직응력 부근에서는 직선이 되지 않는다. 이러한 경우에는 해석하는 비탈면의 응력수준에 맞는 수직응력 부근의 강도정수를 선택해야 한다. 즉, 활동 깊이가 얕을 때에는 수직응력이 낮은 범위내의 강도정수를 선택하고, 깊을 때에는 수직응력이 높은 범위내의 강도정수를 선택한다.

(5) 비탈면을 구성하는 흙은 시간이 경과함에 따라 풍화로 인하여 강도가 저하된다. 땅깎기 비탈면은 시간이 경과할수록 자주 붕괴가 발생하는 것도 이로 인한 경우가 많다. 따라서 비탈면을 구성하는 흙의 강도 저하가 예상되면 비탈면의 설계에 있어서는 강도정수를 다소 감소시켜야 한다.

3.4.4 안정해석의 정확도

비탈면 안정해석에 가장 널리 사용되고 있는 한계평형법은 Fellenius(1927)와 Bishop(1955)의 간편법이다. 이들 방법은 평형상태를 모두 만족하지는 않는 반면, 다른 방법들은 평형상태를 만족시킨다.

Duncan(1996)은 안정해석의 정확도를 다음과 같이 요약하였다. 안정해석 정확도는 각 안정해석 방법들이 갖고 있는 고유의 정확도를 의미하는 것이며 지반상태나 전단강도 등에 의한 비탈면 안정해석의 정확도를 의미하는 것은 아니다.

(1) 안정해석방법이 모든 평형조건을 만족한다면 안전율의 정확도는 ±6%이다. 즉, Morgenstern과 Price(1965), Spencer(1967), Sarma(1973), Janbu(1968)에 의하여 제안된 방법들은 모든 평형조건을 만족하며 합리적인 가정이 설정되어 있다. 이들 방법에 의한 안전율 계산 결과는 절편법이 아니지만, 모든 평형상태를 만족하는 유한요소법이나 대수 나선형(log spiral)방법에 의해 정확히 계산된 안전율에 비해 6%이상 차이가 나지 않는다.

(2) Bishop의 간편법은 평형상태를 모두 만족하는 방법들로부터 계산된 안전율과 유사한 결과를 보인다. 그렇지만 이 방법은 파괴면이 원호일 경우에만 사용할 수 있다.

(3) Fellenius의 일반 절편법은 다른 방법들에 비해 더 낮은 안전율을 나타낸다. 특히 전응력

해석에서는 10% 이내의 차이만 나타내지만 유효응력 해석시 높은 간극수압하에서 50%까지 차이가 발생할 수 있으므로 사용시 주의해야 한다.

(4) 어떤 방법을 사용하던지 여러 가지 예상 파괴면을 가정하여 최소안전율을 구하는 것이 중요하다.

전산프로그램을 사용하면 안전율을 간편하게 계산할 수 있으나, 해석방법에 따라 차이를 보이며 더욱이 사용자의 공학적 지식과 판단 능력에 따라 결과가 달라질 수 있다.

3.4.5 안정해석시의 유의 사항

비탈면 안정해석시 유의할 사항은 다음과 같다.

(1) 현장을 답사하여 가능한 활동형상을 조심스럽게 추정하며 활동형상에 따라 해석 방법을 선택한다. 불연속면이 없는 균질한 비탈면의 경우, 활동면을 원호로 가정한다. 무한 사면은 일반적으로 직선적으로 활동하지만, 활동길이가 비교적 짧고 깊이가 얕다고 추정되는 경우에는 큰 원호의 일부로 간주하여 안정해석을 한다.

(2) 처음 발생하는 활동인가 또는 기존 파괴면을 따라 발생하는 활동인가를 잘 구별해야 한다. 기존 파괴면을 따라 발생하는 활동은 반드시 잔류강도를 적용하여 안정해석을 한다.

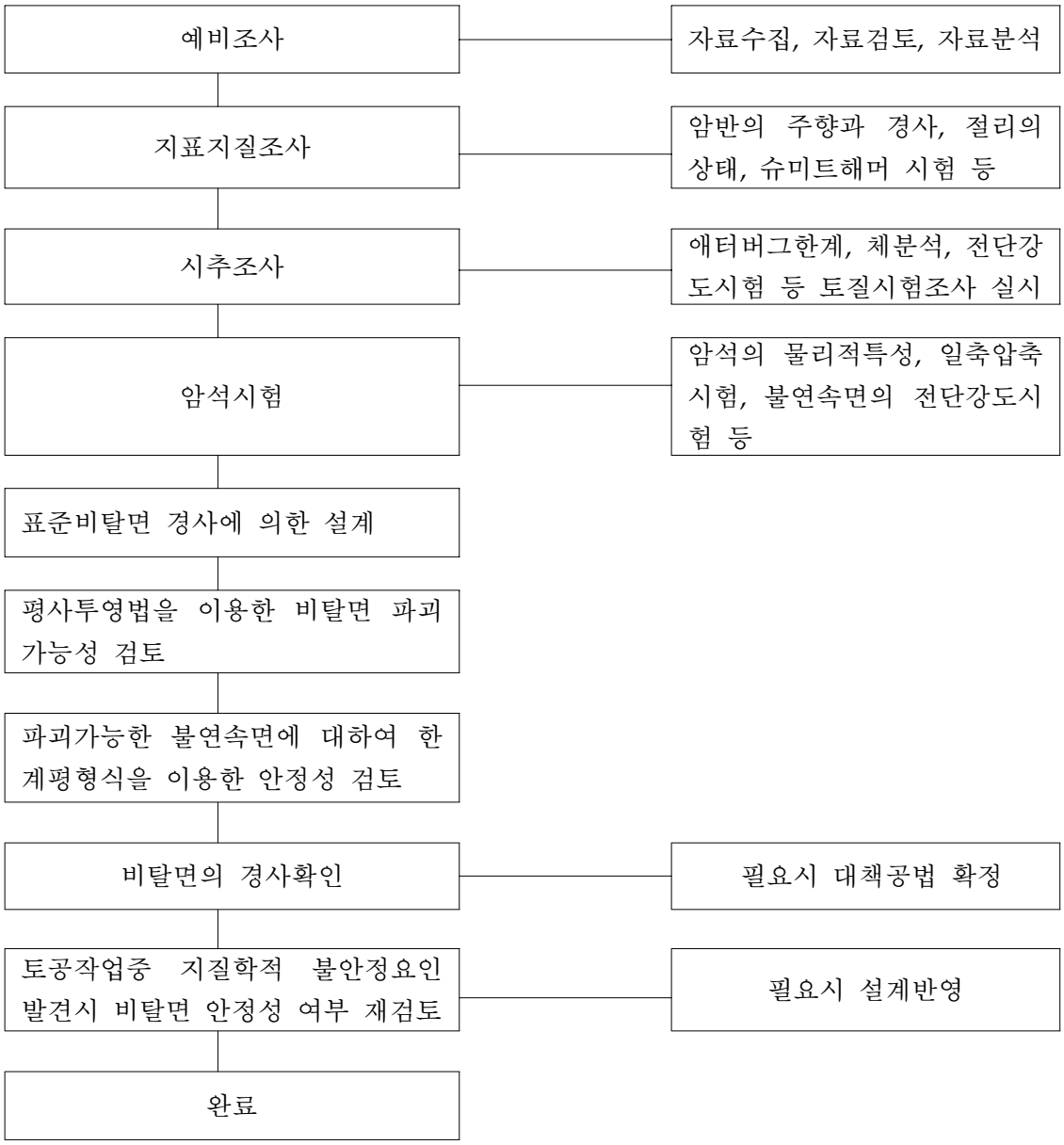
(3) 사용하는 강도정수에 대한 신뢰성을 검토한다. 가능하다면 비슷한 경우에 대한 안정해석 결과 또는 역해석 결과와 대조하여 신뢰정도를 판단한다. 시추결과를 잘 검토하여 피압수의 존재 또는 일시지하수위의 가능성을 판단한다.

(4) 전응력 해석과 유효응력해석의 두 가지 방법 중 어느 하나를 선택해야 한다. 이 선택은 흙의 성질, 해석 조건, 간극 수압의 신뢰성 등이 고려되어져야 한다.

406.4 암반 비탈면 설계

4.1 암반 비탈면 설계 흐름

암반 비탈면은 계획, 설계 단계에서 효과적인 조사를 실시하여 비탈면 경사를 결정해야 한다. 암반 비탈면의 설계 순서 흐름도는 <그림 406.4>와 같다. 암반 비탈면의 토공작업 중 설계와 다른 지질상태가 발견되면 불연속면의 특성을 재조사하여 비탈면의 안정여부를 검토한다.



<그림 406.4> 암반 비탈면 설계순서 흐름도

4.2 암반 비탈면 경사

국내에 적용하고 있는 암반 비탈면의 표준경사는 <표 406.7>과 같이 리핑암인 경우 1:0.7~1:1.2, 발파암은 1:0.5~1:0.7(H=20m 마다 소단 3m 설치)로서 암반의 상태에 따라 경사를 결정한다. 암반 비탈면 표준경사는 암반의 풍화상태, 시추조사시 코아 회수율 및 RQD 등을 고려하여 결정하며, 암반의 상태에 따라 경사도는 1:0.5~1:1.0의 범위를 적용한다. 경험을 바탕으로 암반비탈면 절취경사도는 <표 406.7>과 같다.

<표 406.7> 암반 비탈면의 절취경사

암석종류	암반 파쇄 상태		굴착 난이도	경사	소단 설치
	NX 시추시 (BX)				
	TCR(%)	RQD(%)			
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하 (5% 이하)	10% 이하 (0%)	리핑암	1:1	5m 마다 소단 1m 폭 (리핑암과 발파암 사이에는 1m소단)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~30% (10~20%)	10~25% (0~5%)	발파암 (연암)	1:0.8	H=10m 마다 소단 1~2m 폭
	40-50% (30% 이상)	25~35% (10~20%)	발파암 (보통암)	1:0.7	H=10m 마다 소단 1~2m 폭
	70% 이상 (50% 이상)	40~50% 이하 (30% 이상)	발파암 (경암)	1:0.5	H=20m 마다 소단 3m 폭

주1) 단, 불연속면으로 인한 비탈면 불안정요인이 뚜렷할 경우에는 우세한 불연속면의 경사도를 기준으로 비탈면의 경사도를 결정하는 것이 표준경사 보다도 우선으로 한다.

2) 발파암반 하부에 두꺼운 층의 리핑암이 나타나면 상부 발파암도 하부 리핑암에 준하여 1:1 경사로 한다.

4.3 암반 비탈면 경사 적용시 고려사항

암반 비탈면의 경사도 적용에 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 제 3기의 이암이나 응회암의 경우, 굴착시에는 굳고 안정된 비탈면이라도 시간 경과에 따라 급속히 풍화가 진행되어 표층이 붕괴될 수 있다. 이러한 경우에는 암석이 풍화가 진행되어도 붕괴되지 않기 위한 안전한 경사도의 확보가 필요하다.

(2) 단층면 및 단층의 영향을 받아서 파쇄되어 있는 암반은 단층면이나 파쇄대를 따라 대규모 파괴가 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 단층면이나 파쇄대를 고려하여 경사를 결정해야 한다.

(3) 암반 비탈면의 층리나 절리와 같은 불연속면이 비탈면과 같은 방향으로 경사져 있고, 불연속면의 강도가 풍화나 충진물 등에 의하여 저하되어 있는 경우 이를 설계에 반영한다.

(4) 비탈면의 경사와 같은 방향으로 흑연층이나 점토층과 같은 연약대가 암반내에 협재되어 있는 경우에는 이들의 강도와 경사각을 고려하여 암반 비탈면의 경사나 보강대책을 결정해야 한다.

(5) 암반의 상태가 동일하지 않은 지역에서 대규모 땅깎기를 할 경우는 비탈면 경사를 각 암반상태에 맞는 비탈면 경사로 설계하는 것이 바람직하다.

(6) 실시 설계시 제안된 암반비탈면 경사는 암반이 노출되기 전의 지표지질조사와 한정된 개수의 시추조사에 의하여 결정된다. 장대 비탈면이나 지질상태가 복잡한 지역에서는 실제 암반상태를 사전에 충분히 고려하기 어렵다. 그러므로 비탈면 굴착 중이나 이후에 현장 상태가 초기 지반조사 결과와 비교하여 위험요소가 있을 경우에는 감리관이나 감독관의 승인 후 경사를 변경하거나 보강대책을 수립한다.

4.4 암반 비탈면 안정해석

4.4.1 암반의 강도특성과 측정법

(1) 일축압축시험

암석시험중 일축압축강도 시험은 가장 대표적인 시험방법으로, 공시체의 한 방향에 재하하여 변형특성 및 일축압축강도를 구하는 시험이다. 본 시험에서 공시체의 형상은 원주상 또는 각주상의 것을 사용하고 그 높이는 통상 직경의 2배가 되도록 한다. 또한 정형에 있어서는 재하하는 상하면이 평행이 되도록 한다.

일축압축강도는 암석을 공학적으로 분류하는데 가장 널리 이용되는데, <표 406.8>은 영국지질학회, 국제지질공학회 및 국제암석역학회에서 사용하는 암석의 일축압축강도에 따른 분류이다.

(2) 슈미트해머에 의한 현장시험

슈미트 해머 시험(schmidt hammer test)은 현장에서 시험면(노두표면)에 눌러 붙인 플랜저에 일정한 충격을 주어 그때의 반발도를 경도의 척도로 한다.

현장측정의 결과는 다음과 같이 기록한다.

① 암반의 암석명을 기재한다. 측정한 지역의 위치, 측정심도와 측정방향에 대하여 기록한다.

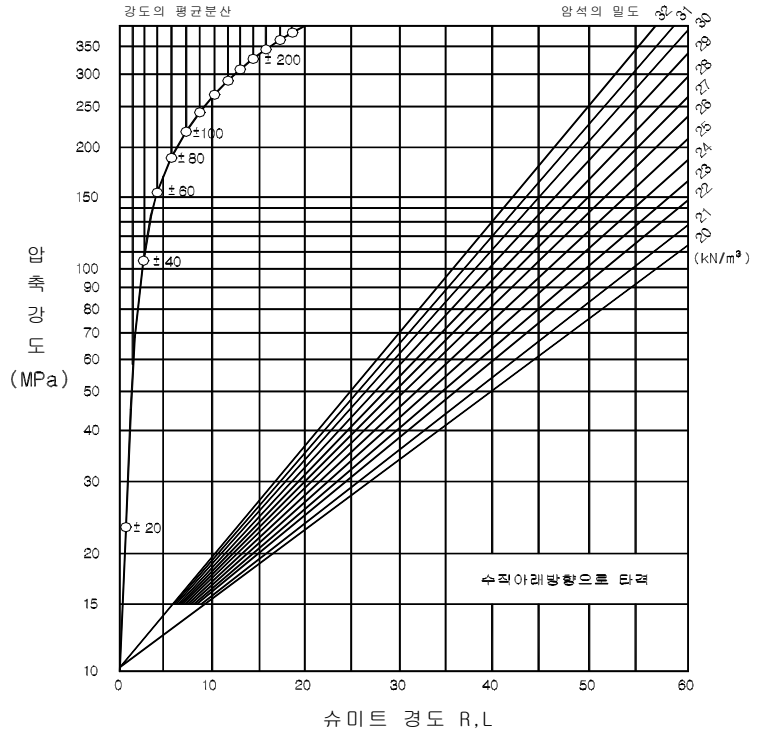
② 현장 측정의 경우에는 현장의 상황을 기재하고 특히 암석이나 암반의 풍화 정도를 등급에 따라 기재한다.

③ 현장의 여건, 즉 측정일, 측정시의 기후, 온도, 습도에 대하여 기록한다.

④ 슈미트 해머, 시료, 암반의 방향 등을 기재한다. 정확한 자료를 얻기 위해서 슈미트 해머의 축과 암반과의 각이 수직을

<표 406.8> 일축압축강도에 따른 암석의 분류

영국지질학회		국제지질공학회		국제암석역학회	
분 류	강도(MPa)	분 류	강도(MPa)	분 류	강도(MPa)
매우 연약	< 1.25	연약	Under 15	극 연 암	1～5
연약	1.25～5.00	보통 강함	15～50	연 암	5～25
보통 연약	5.00～12.50	강함	50～120	보 통 암	25～50
보통 강함	12.50～50	매우 강함	120～230	경 암	50～100
강함	50～100	아주 강함	> 230	중 경 암	100～240
매우 강함	100～200			극 경 암	240이상
아주 강함	> 200				



<그림 406.5> 슈미트 해머값과 암석의 일축압축강도의 관계

이루도록 한다.

⑤ 슈미트 해머의 값은 보정계수에 의하여 보정한다.

슈미트 해머의 값과 일축압축강도의 관계를 그래프로 나타내면 <그림 406.5>와 같다.

(3) 점하중 강도시험

암석의 강도는 점하중지수 시험방법에 의해 구할 수 있다. 점하중강도 시험은 동일 지역에 존재하는 다양한 크기의 시료에 대해 10회 정도 실시하여 평균값으로 점하중 강도 지수를 구한다. 시료는 코어를 주로 쓰며 코어의 길이는 적어도 직경보다 1.4배 이상이어야 한다. 직경 방향으로 하중을 가하고 이때 점하중강도 지수(I_s)는 다음과 같이 정의된다.

$$I_s = \frac{P}{D^2} \qquad (406.7)$$

여기서, I_s : 점하중 강도지수

P : 파괴강도

D : 시료의 직경(mm)

점하중지수는 50mm 직경의 코어에 대한 점하중강도로 나타내는데 시료의 직경이 일정치 않으면 50mm를 기준으로 하여 크기 보정을 한다. 즉 코어의 직경이 50mm가 아닌 경우에는 표준시료 직경(50mm) 환산치인 $I_s(50)$을 다음과 같이 구한다.

$$I_s(50) = F\frac{P}{D^2} \qquad (406.8)$$

여기서, I_s : 표준시료직경(50mm) 환산치

D : 시료의 직경

P : 파괴강도

F : $(D/50)^m$ (m은 0.45~0.5의 범위)

점하중 시험방법에서 결정한 점하중지수는 다음 식에 의해 일축압축강도(σ_c)로 환산할 수 있다.

$$\sigma_c = 24\ Is(50) \qquad (406.9)$$

여기서, σ_c : 일축압축강도

I_s : 표준시료직경(50mm) 환산치

(4) 불연속면의 전단강도

암반 비탈면의 안정성은 비탈면을 구성하는 암석 자체의 강도보다는 절리와 같은 불연속면의 전단강도에 더 영향을 받는다. 따라서, 불연속면의 전단강도를 정확하게 산정하는 것이 암반 비탈면의 안정성 해석에 필수적이다. 불연속면 사이에 틈이 존재하고 점토와 같은 충전물질이 이 틈을 채우고 있으면 암반의 전단강도는 크게 저하된다. 충전물질로 채워진 불연속면의 전단강도는 <표 406.9>와 같다.

4.4.2 불연속면 조사방법

암반 내에는 크고 작은 불연속면들이 존재하고 있다. 불연속면이란 인장강도가 없거나 매우 낮은 인장강도를 갖는 면으로 층리면, 절리면, 엽리면, 단층면 등과 같은 모든 역학적 불연속면을 포함한다. 불연속면은 비탈면의 안정에 중요한 역할을 하므로, 불연속면의 방향을 정확히 표현하는 것은 매우 중요하다.

불연속면의 방향(orientation)은 주향(strike)과 경사(dip)라는 용어를 사용하며, 야외의 측정장비는 클리노미터와 클리노컴파스 등 2가지가 널리 이용이 된다.

주향이란 불연속면과 수평면과의 교선이 남북선과 이루는 각도를 북을 기준으로 하여 나타낸 것이다. 즉 <그림 406.6>에서 N과 주향방향의 사이각에 해당된다.

경사란 불연속면과 수평면이 이루는 각 중 90°이하이면서 가장 큰 것을 말한다<그림 406.6>. 이는 불연속면상의 주향선에 직각으로 그은 선과 수평면 사이의 각(Ψ)이 된다. 주향선에 직각이 아닌 모든 선과 수평면 사이의 각도는 언제나 경사보다 작으며 이를 위경사라고 한다. 경사를 기재할 경우에는 먼저 경사각도를 쓴 다음에 경사의 방향을 기재한다. 만약 불연속면의 주향이 N45E인 경우 경사의 방향은 북서쪽 혹은 남동쪽이 가능하므로 경사각이 40인 경우는 40NW(혹은 40W), 40SE(혹은 40E)로 나타낼 수 있다. 불연속면은 주향과 경사로 나타내는 방법이외에 경사와 경사방향(dip direction)으로 표시하는 방법이 있는데 경사방향(α)은 북쪽에서부터 시계방향으로 측정한 각(0°에서 360°사이의 각)으로 나타낸다.

클리노컴파스에 의한 주향과 경사의 측정방법은 <그림 406.7>과 같다. 이 방법은 클리노컴파스의 거울이 있는 면을 측정하고자 하는 비탈면이나 불연속면에 밀착시키고 다른 한 면은 두 개의 기포를 이용하여 수평으로 놓는다. 이럴 경우 나침반의 북을 지시하는 파란 바늘(즉 북쪽)로부터 지층의 경사방향(클리노컴파스의 바닥에 새겨진 문자 N 까지 시계방향으로 사이각을) 읽게 되면 이 방향이 경사방향(dip direction)이 된다. 경사각은 클리노컴파스의 옆

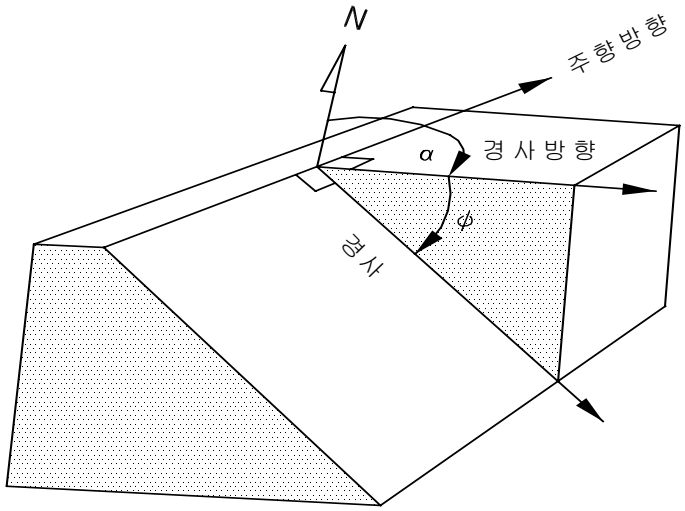
<표 406.9> 충전물을 포함하고 있는 불연속면의 전단강도(Barton, 1974)

암석명(기반암)	설 명	첨두강도		잔류강도	
		c′ (kg/cm^2)	ϕ' (°)	c′ (kg/cm^2)	ϕ' (°)
현무암	점토화된 현무암질 각력암, 점토와 현무암의 함량 다양함	2.4	42		
벤토나이트	백악내의 벤토나이트층 얇은 층상 삼축시험	0.15 0.9～1.2 0.6～1.0	7.5 12～17 9～13		
벤토나이트질 세일	삼축시험 직접전단시험	0～2.7	8.5～29	0.3	8.5
점토	과압밀, 미끄러진면, 절리 및 소규모 전단면	0～1.8	12～18.5	0～0.3	10.5～16
점토세일	삼축시험	0.6	32		
점토세일	성층면			0	19～25
협탄층 암석	점토 분쇄암층, 두께 1.0～2.5cm	0.11～0.13	16	0	11～11.5
백운석	변질된 세일층, 두께 약 15cm	0.41	14.5	0.22	17
섬록암, 화강섬록암, 반암	점토 충전물(점토 2%, PI=17%)	0	26.5		
화강암	점토로 충전된 단층, 사질양토로 된 단층충전물 구조적 전단대, 편암질 및 파쇄된 화강암, 완전풍화된 암석과 충전물	0～1.0 2.42	24～45 42		
잡사암	층리면내 1～2mm의 점토			0	21
석회암	6mm의 점토충전물 1～2cm의 점토충전물 1mm 이하의 점토충전물	1.0 0.5～2.0	13～14 17～21	0	13
석회암, 이회암, 갈탄	층상의 갈탄층 갈탄-이회암 접촉면	0.8 1.0	38 10		
석회암	이회질 절리, 두께 2cm	0	25	0	15～24
갈탄	갈탄과 점토사이의 층	0.14～0.3	15～17.5		
몬모릴로나이트 벤토나이트질 점토	백암내에 있는 8cm 두께의 벤토나이트(몬모릴로나이트) 점토층	3.6 0.16～0.2	14 7.5～11.5	0.8	11
편암, 규암, 규산질 편암	10～15cm 두께의 점토충전물 얇은 점토를 가진 성층구조 두꺼운 점토를 가진 성층구조	0.3～0.8 6.1～7.4 3.8	32 41 31		
점판암	세밀한 판상 및 변질상태	0.5	33		
석영/고령토/ 연망간석	재성형된 시료를 이용한 삼축시험	0.42～0.9	36～38		

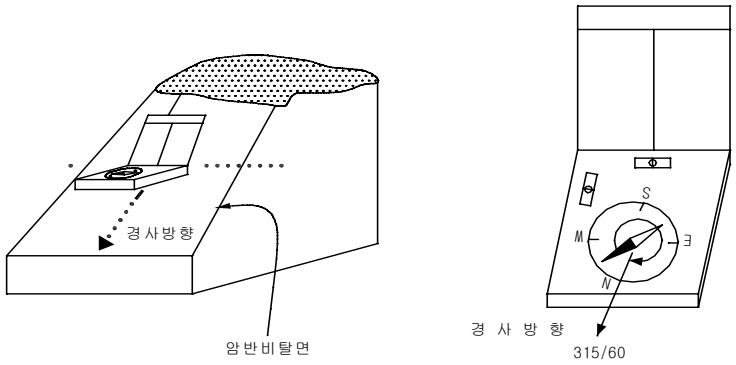
면에 부착된 각도기의 각도를 직접 읽음으로써 알 수 있게 된다. 경사방향이 결정이 되면 주향은 경사방향과 90°의 관계가 있으므로 필요시 주향을 구할 수 있다. 아래 그림에서 경사방향이 315°이므로 주향은 N45E이다.

야외에서 주향과 경사를 측정하고 이를 야외기록장에 기재를 하는데 <표 406.10>과 같은 기호를 사용한다. <표 406.10>에서 긴 선은 주향의 방향을 나타내며 짧은 선은 경사와 그 방향을 지시한다.

암반 비탈면의 안정성은 암반내에 존재하는 불연속면에 크게 지배된다. 이와 같은 불연속면에 대한 현장조사시 측정항목은 다음과 같다.



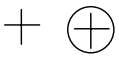
<그림 406.6> 주향과 경사의 정의



(a) 클리노컴파스 이용방법 (b) 경사방향 읽는 방법(315°)

<그림 406.7> 암반 비탈면에서 클리노컴파스 사용방법

<표 406.10> 주향과 경사를 나타내는 기호법

기호	주향	경사
	N45E	35SE
	N50W	60SW
	EW	30S
	NS	70W
	수평	0
	EW	수직

(1) 불연속면군의 수(number of sets)

암반내의 절리들은 크게 같은 방향성을 갖는 것과 산만(random)하게 분포되어 있는 것으로 분류할 수 있다. 같은 방향성을 갖는 절리를 하나의 절리군으로 취급하며, 이러한 절리군의 수를 파악한다.

(2) 방향(orientation)

3차원적인 불연속면의 방향을 의미하며, 경사방향(dip direction)과 경사각(dip angle)으로 표시한다.

(3) 불연속면의 간격(spacing)

불연속면이 군(set)으로 발달하는 곳에서 각 절리군별로 불연속면과 불연속면 사이에 이루는 수직거리의 평균간격 또는 대표적인 간격을 측정한다. 이런 경우 불연속면군의 결정에 상당히 주의를 하여야 한다. 경우에 따라서는 군을 무시하고 일정한 측선을 선정한다. 또한 측선을 통과하는 불연속면을 파악하며 불연속면의 간격을 측정하는 경우도 있다.

(4) 연속성(persistence)

불연속면의 연속성에 따라 불연속면을 포함한 암반의 강도는 상당한 차이를 나타내므로 연속성을 정확히 아는 것은 암반 비탈면의 안정성 해석에 중요하다.

비탈면 안정해석은 가장 취약한 불연속면에 대해서 100% 연속성을 갖고 있다는 안전측의 가정에서 실시한다.

(5) 거칠음(roughness)

거칠음은 절리면의 전단강도에 가장 크게 영향을 미치는 요소이다. 이는 평균적인 면을 정하고 그 표면의 거칠음 또는 기복도를 측정한 것이다.

표면 상태에 따라 <그림 406.8>과 같이 9종으로 나누어 기술된다. 먼저 거칠음은 크게 모양에 따라 계단형(stepped), 물결형(undulating), 평면형(planar)의 3종으로 분류되고 각 종은 다시 거칠기에 따라 거침(rough), 매끄러움(smooth), 경면화(slickensided)로 나누어진다. 경면화는 마치 거울과 같이 매끄러운 상태를 말한다.

(6) 벽면 강도(wall strength)

불연속면의 강도는 불연속면의 전단시에 벽면이 전단에 저항하는 부분이므로 암반의 전단강도에 영향을 준다. 이 벽면의 강도는 벽면재료의 풍화와 변질에 의해 영향을 받게되는데, 풍화나 변질이 진행됨에 따라 벽면의 강도가 급격하게 감소한다. 벽면의 강도는 점하중 강도시험기나 슈미트 헴머를 사용하여 측정한다.

(7) 개구폭(aperture)

불연속면의 틈새가 폐쇄되어 있거나 개구 되어 있을 수 있으며, 이런 경우 틈 게이지를 이용하여 불연속면의 틈 간격을 측정한다.

(8) 충전물(fillng)

절리면 사이에 충전된 물질의 전단강도에 따라 비탈면의 안정성이 영향을 받을 수 있으므로 이러한 충전물질의 종류, 두께, 풍화정도를 조사한다.

(9) 침투수(seepage)

불연속면 사이를 흐르는 물은 암반 비탈면 내에 수압을 형성하여 결과적으로 전단저항력을 감소시킨다. 이와 같이 물은 비탈면의 안정에 중요한 요인으로 작용한다. 따라서 하나의 불연속면 또는 암반 전체에 보이는 물의 양과 흐름의 정도, 위치를 조사한다.

구분	지층	Jr	TRC 200mm	JRC 1m
거친		4	20	11
매끄러운		3	14	3
경면화		2	11	8
	계단형			
거친		3	14	9
매끄러운		2	11	8
경면화		1.5	7	6
	물결형			
거친		1.5	2.5	2.3
매끄러운		1.0	1.5	0.9
경면화		0.5	0.5	0.4
	평면형			

<그림 406.8> 불연속면 거칠기의 분류

4.4.3 암반 SMR 평가

RMR(rock mass rating)분류법에 의한 암반분류는 주로 터널에서 지보의 적합성을 평가하는 암반분류법으로 발전되어 왔기 때문에 비탈면에 적용하기가 다소 곤란한 면이 있다.

반면에 SMR(slope mass rating)에 의한 비탈면 암반 분류법은 암반 비탈면의 안정성을 1차적으로 평가하는 방법으로 RMR을 근거로 하여 비탈면에 대한 요소들을 보정하는 방식으로, 분류등급에 따라 예상되는 파괴형태와 지보대책에 대한 방법도 제시되고 있다.

SMR의 값은 RMR의 5개 요소에 대한 평점과 보정요소로 작용하는 불연속면과 비탈면의 방향성 관계 및 비탈면의 굴착방법과 관련된 보정요소의 값에 의해 구해진다. 불연속면의 영향에 대한 보정치는 <표 406.11>과 같다.

불연속면 및 비탈면과 관련된 보정요소는 다음과 같다.

(1) F1 : 암반 비탈면의 경사방향과 불연속면 경사방향과의 각도 차이를 절대값으로 구하며 차이각이 30°이상일 때는 붕괴 가능성이 희박한 것으로 본다. F1은 0.15에서 서로 평행한 경우인 1사이의 값을 가진다.

(2) F2 : 평면파괴 형태에서 불연속면의 경사각과 관련된 요소로 불연속면의 전단거동 가능성의 척도를 나타내며 이 값은 1.00(경사각이 45°보다 큰 경우)에서 0.15(경사각이 20°보다 작은 경우)사이의 값을 가지며, 전도파괴에 대한 값은 1로 본다.

(3) F3 : 비탈면과 불연속면의 경사각의 차이 값이다. 평면파괴에서 불연속면이 비탈면의 법면에 노출될 수 있는 가능성을 의미한다. 비탈면과 불연속면이 평행할 때는 양호한 상태를 나타내며, 비탈면의 경사각이 불연속면의 경사각 보다 10°이상 크면 불안정한 상태가 된다. 또한 전도 파괴의 경우, 비탈면 경사와 절리면 경사의 합이 클수록 불안하다. 그러나 각각의 암반 블록들이 떨어지는 것은 심각한 피해를 가져오지 않기 때문에 불안정(unfavorable)하거나 매우 불안정(very unfavorable)한 상태는 없는 것으로 본다.

(4) F4 : 비탈면의 굴착방법에 따라 변하는 보정요소로 결과적으로 이러한 보정요소가 고려된 SMR의 값은 다음과 같다.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (406.10)$$

<표 406.12>는 SMR값에 따른 비탈면의 안정상태를 나타낸다.

<표 406.11> 불연속면의 영향에 대한 보정치

점수 보정	비탈면주향 - 불연속면주향	> 30°	30～20°	20～10°	10～5°	< 5°
	점수(F1)	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	불연속면의 경사각	< 20°	20～30°	30～35°	35～45°	> 45°
	점수(F2)	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	불연속면의 경사각 -비탈면의 경사각	> 10°	10～0°	0°	0～-10°	< -10°
	점수(F3)	0	-6	-25	-50	-60
	비탈면 굴착방법	자연 비탈면	pre-spliting	smooth blasting	regular blasting	deficient blasting
	점수(F4)	15	10	8	0	-8

<표 406.12> SMR 분류등급에 따른 비탈면 안정성 평가 및 붕괴유형

암반등급	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급
SMR	0～20	21～40	41～60	61～80	81～100
암반상태	매우 불량	불량	보통	양호	매우 양호
안정성	매우 불안	불안정	부분안정	안정	매우 안정
붕 괴	대규모 쐐기파괴 또는 원호파괴	평면 또는 대규모 쐐기파괴	일부 절리 혹은 많은 쐐기파괴	일부 블록	없음
보 강	재굴착	중요/보완	체계적인 보강	때때로 필요	필요 없음

4.5 평사투영 해석법

평사투영해석은 절리, 단층, 층리 등 암반 비탈면에 분포하는 3차원적 지질구조와 비탈면의 방향 및 경사각 등을 평사투영도상에 2차원적으로 도시하고 파괴면의 전단강도를 고려하여 비탈면의 안정성을 정성적으로 분석하는 방법이다. 평사투영해석시 유의사항은 다음과 같다.

(1) 지표지질조사 결과를 토대로 하여 절리특성이 서로 비슷한 몇 개의 구역으로 나누어, 각 구역별로 평사투영해석을 실시한다. 이것은 한 비탈면이라 하더라도 비탈면의 길이가 긴 경우 불연속면이 국부적으로 분포할 수 있기 때문이다.

(2) 평사투영법은 단지 파괴의 가능성만을 정성적으로 판단하는 방법이며, 파괴가능지역에서는 수치해석을 이용하며 안정해석은 별도로 수행한다.

(3) 평사투영 결과, 평면파괴나 쐐기파괴의 가능성이 있더라도 최종판단은 불연속면의 연장성을 고려하여 결정한다. 즉, 평면파괴의 가능성을 보이는 불연속면의 경우 연장성이 짧으면 이를 무시할 수 있다.

(4) 불연속면에 대한 마찰각 산정을 위한 직접전단시험시 주의할 사항은 같은 불연속면이라도 방향에 따라 강도가 다를 수 있으므로, 실제로 암괴가 활동하는 방향으로 시험을 실시한다. 불연속면의 전단각은 수직하중에 따라서 다르므로 실제의 상재하중 범위에서 전단각을 측정한다. 불연속면 틈사이에 충전물이 끼어 있는 경우, 이를 고려하여 마찰각을 결정한다.

4.6 암반 비탈면 붕괴 유형

암반 비탈면은 흙 비탈면과 달리 그 붕괴형태가 원호파괴, 쐐기파괴, 평면파괴, 전도파괴 등으로 나뉜다. 암비탈면 붕괴형태는 <그림 406.9>와 같다.

암반 비탈면의 안정해석시에는 반드시 붕괴유형을 고려하여 안정해석을 수행하여야 한다.

<그림 406.9>(a)는 분포하는 절리 등의 지질구조 형태가 뚜렷한 방향이 나타나지 않고 있다.

<그림 406.9>(b)는 daylight envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 평면파괴의 가능성을 지시해 준다. <그림 406.9>(c)는 두 개의 군으로 극점의 분포가 나타나고 있으며 극점의 집중부의 조합점은 daylight envelope 내에 위치함으로써 쐐기 파괴의 가능성을 제시해 준다.

<그림 406.9>(d)는 toppling envelope 내에 형성된 극점의 집중부는 전도파괴의 가능성을 지시해 준다. 각각의 붕괴형태에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

4.6.1 원호파괴

암반 비탈면에서 일반적인 파괴형태는 불연속면이라는 지질 요인에 좌우되는 것이 특징이다. 그러나 암반의 불연속면이 여러 방향으로 발달하여 특별히 우세한 방향성이 존재하지 않거나 심하게 풍화가 진행된 암반의 경우에는 원호파괴가 발생할 수 있다.

흙의 경우, 어떤 우세한 지질구조가 존재하지 않으면, 파괴면은 최소저항선을 따라 비탈면 전체를 통해 자유롭게 나타날 수 있다. 균열과 풍화가 심하게 발달된 암반으로 구성된 비탈면도 흙 비탈면과 유사한 거동을 보이며

파괴면도 원형을 이루고 있다. 따라서 이러한 비탈면의 안정해석은 토질역학적 접근방식으로 해석이 가능하다. 원호파괴가 발생하는 비탈면의 안전율 계산을 위해 원호파괴도표를 사용할 경우, 다음과 같은 가정이 필요하다.

(1) 비탈면을 구성하는 지반은 균질하다고 가정한다.

(2) 전단강도는 $\tau = c + \sigma \tan\phi$ 관계식에 의하여 점착력 c와 마찰각 ϕ로부터 결정된다.

(3) 비탈면 붕괴는 비탈면의 하단을 통과하는 원호파괴면을 따라 일어난다고 가정한다.

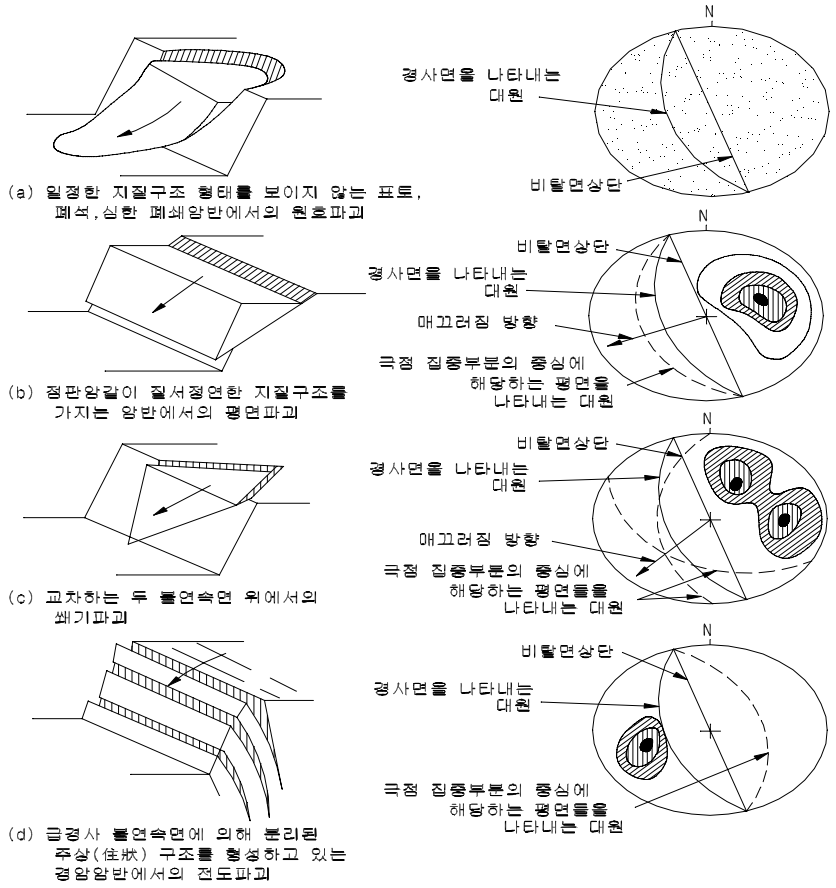
(4) 수직인장균열은 비탈면의 상부면이나 경사면에서 발생한다고 가정한다.

(5) 인장균열과 파괴면은 주어진 비탈면의 기하학적 형상과 지하수 조건에 대해 비탈면의 안전율이 최소가 되는 곳에 위치한다.

(6) 해석에 있어서 지하수 조건은 건조된 비탈면으로부터 완전 포화된 비탈면에 이르는 범위에 대해 고려한다.

이러한 조건에서 비탈면의 안전율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F = \frac{\text{활동에 저항하는 유효전단강도}}{\text{파괴면을 따라 작용하는 전단응력}} \quad (406.11)$$



<그림 406.9> 투영망을 적용한 대표적인 파괴형태

4.6.2 평면파괴

평면파괴는 층리면과 같은 지질학적 불연속면이 경사면과 동일한 방향으로, 마찰각보다 더 큰 각도로 경사져 있을 때 발생한다. 평면파괴가 발생하기 위해서는 예외가 있을 수 있지만 파괴가 발생할 불연속면의 경사방향이 비탈면의 경사방향과 ±20°이내에 존재해야 하며 불연속면의 경사각이 비탈면의 경사각보다는 작고 마찰각보다는 더 커야 한다.

<그림 406.10>은 한계평형해석에서 고려되는 비탈면의 일반적인 기하학적 조건이다. 여기서 비탈면의 안정성은 인장균열의 위치에 따라, 인장균열이 비탈면의 상부면에 존재하는 경우와 비탈면의 경사면내에 존재하는 경우로 구분하여 고려한다.

비탈면의 안전율은 활동을 유발시키는 힘의 총합에 대한 활동에 저항하는 힘의 총합으로 계산된다.

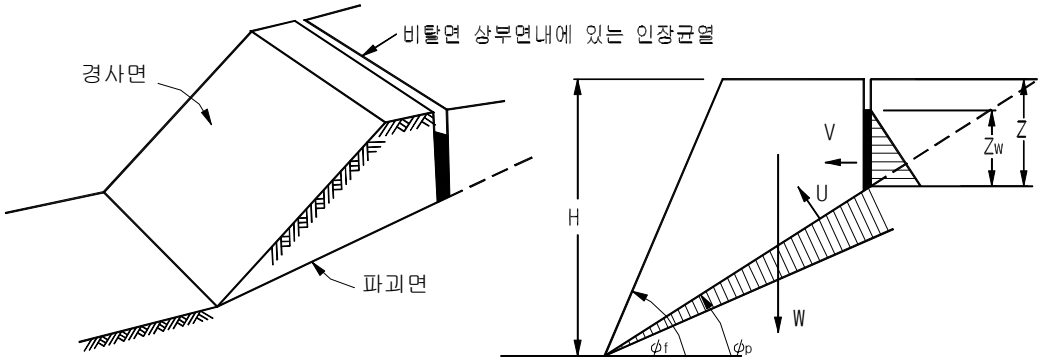
$$F=\frac{cA+(W\cos\psi_p-U-V\sin\psi_p)\tan\phi}{W\sin\psi_p+V\cos\psi_p} \qquad (406.12)$$

여기서,

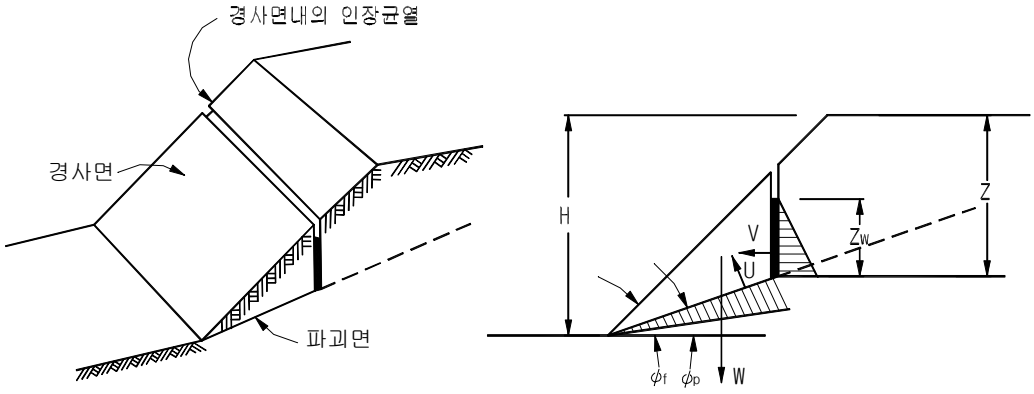
c : 절리면의 점착력,

A : 활동면의 면적((H-z)cosec ψ_p)

W : 암괴의 자중



(a) 비탈면 상부면에 인장균열을 가진 비탈면



(b) 인장균열을 가진 비탈면의 기하학적 조건

<그림 406.10> 인장균열을 가진 비탈면의 기하학적 조건

ψ_p : 활동면의 경사각

ψ_f : 비탈면의 경사각

U : 파괴면에 작용하는 수압

V : 인장균열에 작용하는 수압

ϕ : 활동면의 마찰각

한편, 수압에 의한 작용력 U와 V는 다음과 같다.

$$U=\frac{1}{2}\gamma_w z_w(H-z)\,\mathrm{cosec}\,\psi_p \qquad (406.13)$$

$$V=\frac{1}{2}\gamma_w z_w^2$$

여기서, γ_w : 물의 단위중량(t/m^3)

z_w : 인장균열 H의 물의 높이(m)

H : 비탈면의 높이(m)

ψ_p : 활동면의 마찰각(°)

4.6.3 쐐기파괴

쐐기파괴는 두 불연속면 위에 놓여있는 쐐기형 암반이 두 불연속면이 만나서 이루는 교선을 따라 아래로 미끄러져 내리는 파괴 형태를 말한다. 쐐기파괴는 쐐기를 이루는 두 불연속면에 작용하는 수직력 뿐만 아니라 두 파괴면의 밑면적이 고려된 마찰력과 점착력, 그리고 수압과 기타 외력의 영향에 의존하므로 매우 복잡한 양상을 띤다. 미끄러짐이 가능하려면 교선의 경사각이 비탈면의 경사각보다 작고 마찰각보다 커야 한다.

쐐기를 형성시키는 두 절리면의 마찰각이 같다고 가정하면 <그림 406.11>에서 도시된 쐐기의 안전율은 다음과 같이 정의된다.

$$F=\frac{(R_A+R_B)\tan\phi}{W\sin\psi_i} \qquad (406.14)$$

여기서, R_A, R_B : A, B면상의 수직반력

W : 쐐기를 이루는 암반의 중량

ϕ : 비탈면의 마찰각

ψ_i : 교선의 경사각

R_A, R_B를 구하기 위해 교선에 대한 수평 및 수직방향의 성분으로 나누어 표시한 후 R_A, R_B를 더하고 이를 식(406.14)에 대입하면 다음 식(406.15)와 같이 비탈면의 안전율을 구할 수 있다.

$$F=\frac{\sin\beta}{\sin\frac{1}{2}\xi}\frac{\tan\phi}{\tan\psi_i} \qquad (406.15)$$

여기서, β : 수평면에서 쐐기 이등분선까지의 각

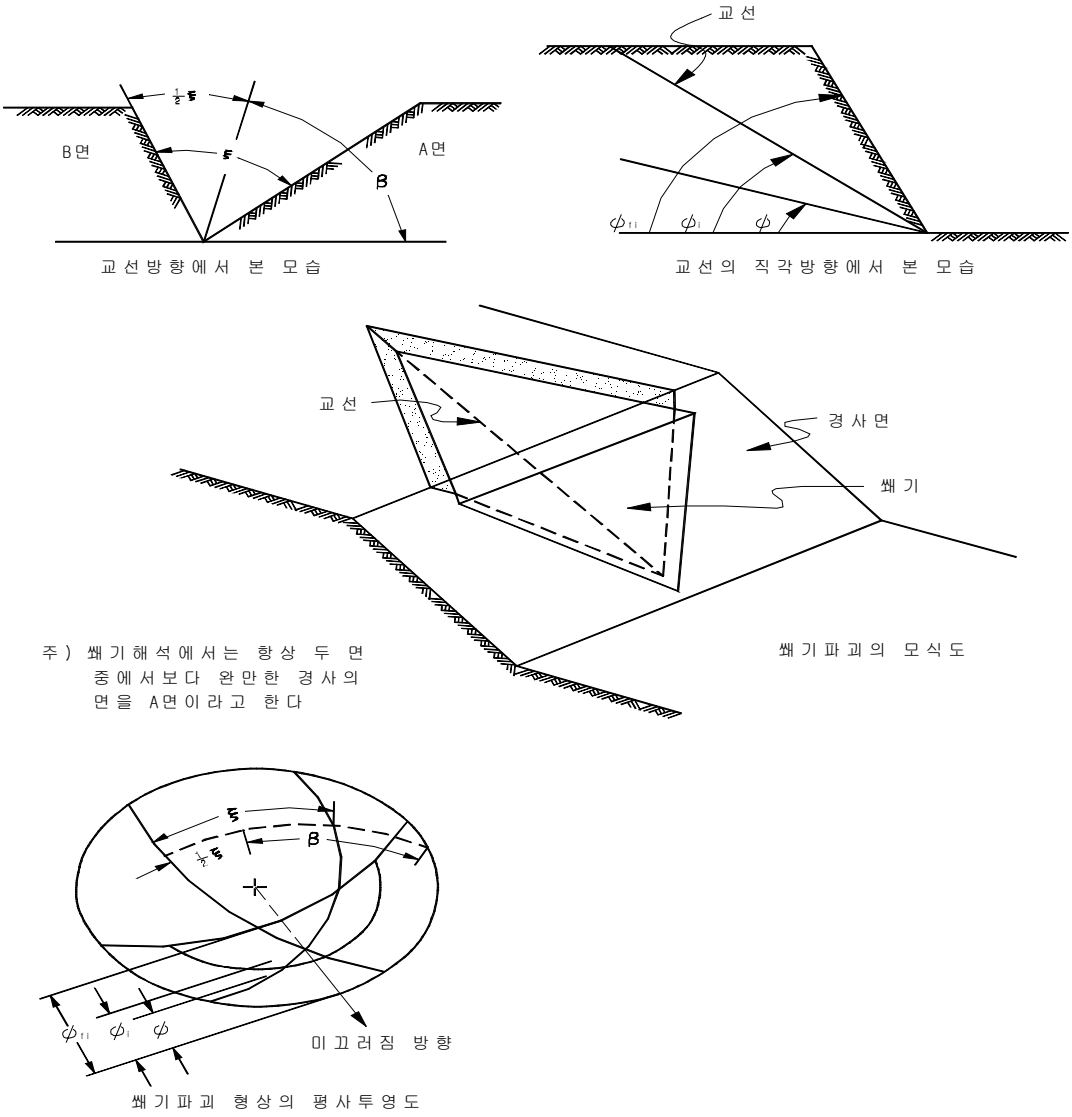
ξ : 쐐기의 사이각

β와 ξ는 <그림 406.12>에서와 같이 평사투영망을 이용하여 구할 수 있다.

4.6.4 전도파괴

전도파괴는 암석블록들이 고정된 어떤 기준점을 중심으로 암체가 비탈면의 앞쪽으로 회전하여 비탈면 붕괴가 발생하는 것이다. 전도파괴는 주로 수직 절벽이나 불연속면의 경사가 수직에 가까운 절리나 층리의 암반에서 볼 수 있다.

전도파괴의 안전율은 암반층에 작용하고 있다고 생각되는 마찰각의 기울기(tan ϕ available)를 지지력 T가 주어질 경우 평형상태를 유지하는데 필요한 마찰각의 기울기(tan ϕ required)로 나눈 값으로 정의된다.



<그림 406.11> 쐐기파괴의 기하학적 형상

406.5 흙쌓기 비탈면 설계

5.1 설계 기본사항

비탈면의 안정은 지질, 토질, 기상조건 등의 자연적 원인과 깊은 관계가 있다. 흙 비탈면은 콘크리트나 철골 구조물에 비하면 상대적으로 안전율이 낮고 호우나 지진이 있을 때마다 비탈의 붕괴 등과 같은 피해를 많이 받게 된다.

비탈면 붕괴의 원인으로서는 잠재적 요인과 직접적인 원인으로 구분할 수 있다.

잠재적 요인으로는 지질구조, 지질, 토질 등이 있으며, 직접적 원인에는 강우, 지진, 땅깎기, 흙쌓기 등이 있다. 이 중 땅깎기와 흙쌓기는 비탈면이 붕괴하려고 하는 힘에 대해서 비탈면의 안전율을 증대하는 방향으로 거동하는 경우도 있는가 하면 감소시키는 방향으로 거동하는 경우도 있으므로 주의를 요한다.

따라서, 비탈면만의 안정 검토 이외에도 자연비탈면을 포함한 전체로서의 비탈면 안정의 검토가 필요하다.

5.2 흙쌓기 비탈면의 경사

흙쌓기 비탈면 경사는 보통 흙쌓기 재료, 비탈면의 높이 등에 따라서 <표 406.13>과 같이 경험적인 표준치를 사용한다.

흙쌓기 비탈면 경사는 원칙적으로 안정성 검토에 의해 결정될 수 있는 것이지만, <표 406.13>에 표시한 비탈면 경사를 사용하면 경험적으로 흙쌓기가 안정하다고 할 수 있다. 그러나, 연약한 지층이나 구조물 뒷채움부 등에서는 비탈면 붕괴가 발생하기 쉬우므로 구조물 등에 의한 보호공도 포함하여 경제성을 충분히 고려한 후 비탈면 경사를 결정하는 것이 바람직하다.

5.3 흙쌓기 비탈면 경사 적용시 고려할 사항

흙쌓기 비탈면에서는 표준경사 기준이 일반적으로 많이 사용되지만 다음과 같은 경우에는 안정성을 검토할 필요가 있다.

<표 406.13> 흙쌓기 비탈면의 표준경사

흙쌓기재료	흙쌓기 높이	경사	비고
입도가 좋은 모래(SW), 자갈 및 자갈섞인 모래(GW, GP, GM, GC)	5m 이하	1:1.5 ~1:1.8	기초지반의 지지력이 충분하며, 침투의 영향이 없는 흙쌓기일 경우 적용한다.
	5~15m	1:1.8 ~1:2.0	
입도가 나쁜 모래(SP)	10m 이하	1:1.8 ~1:2.0	
암괴(암버럭 포함)	10m 이하	1:1.5 ~1:1.8	
	10~20m	1:1.8 ~1:2.0	
사질토(SM, SC), 굳은 점질토, 굳은 점토	5m 이하	1:1.5 ~1:1.8	
	5~10m	1:1.8 ~1:2.0	
연약한 점성토	5m 이하	1:1.8 ~1:2.0	

(1) 흙쌓기 높이가 10m 이상으로 높은 경우

(2) 흙쌓기 재료가 고함수비의 점성토 등 특히 전단강도가 약한 토질의 경우

(3) 연약지반상에 흙쌓기하는 경우

(4) 비탈면 붕괴 등이 발생할 우려가 있는 불안정한 지반 또는 급한 경사지에 흙쌓기한 경우

(5) 무한 사면의 경우

(6) 용수가 있든지 비탈면이 침식될 우려가 있는 경우

(7) 표준경사 기준을 벗어나 흙쌓기할 경우

(8) 급속하게 흙쌓기하면 불안하다고 판단되는 경우

(9) 비탈면 붕괴시에 기존 구조물의 피해, 인적 피해가 크고 복구비가 많이 들 것으로 예상되는 경우

(10) 제방형태의 주요 진입도로

(11) 하천, 저수지 등에 의해 침수된 일이 있는 지역에 흙쌓기할 경우

(12) 지반조건에 따라 지표수가 침투할 우려가 많은 경우

5.4 흙쌓기 비탈면의 소단

흙쌓기 높이가 6m 이상 높은 비탈면에서는 비탈면의 중간에 원칙적으로 소단을 설치하도록 한다. 이 경우 토질에 따라서 비탈 어깨로부터 수직거리 6m 마다 설치하고, 폭은 1.0m를 표준으로 한다. 단, 타시설의 설치 장소로 이용하는 경우에는 목적물의 의도를 충분히 이해한 후 설치해야 한다.

소단은 흙쌓기의 안정성을 높이고 비탈면에 흘러내리는 물의 유속을 늦추는 한편, 우수의 집수면적을 줄여 침식이 심하게 되는 것을 사전에 방지하기 위하여 설치한다. 소단 설치의 높이 및 폭은 유지관리용 통로, 작업대 기능, 비탈면 보호공의 기초 설치를 위한 여유 및 배수시설 등을 고려하여 필요한 폭으로 확장할 수 있다.

5.5 흙쌓기 비탈면의 안정성검토

5.5.1 흙쌓기 비탈면의 안정성해석

일반적으로 흙쌓기 비탈면의 안정성 해석시 널리 사용되는 해석방법은 한계평형이론을 적용하고 있으며, 이 방법으로 산정한 안전율이 허용안전율 이상이 되면 비탈면은 붕괴에 대해 안전하고, 변형은 허용치 이내인 것으로 판단하고 있다.

한계평형방법(limit equilibrium method)의 목적은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 있는 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이를 이용하여 간단한 정역학 이론으로 해를 얻을 수 있게 된다.

한계평형이론에 의한 비탈면 안정 해석 방법은 여러 가지가 있으나 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다.

여기서, 기하학적 조건은 파괴면의 형상결정으로서 파괴면이 평면인가, 원호인가 임의의 불규칙한 면인가 또는 이들의 복합면인가를 결정하는 문제로서 흙 비탈면의 파괴면은 일반적으로 곡면이지만 지형, 수평방향 성층, 불연속면의 존재시에는 평면 활동이 자주 일어나게 된다.

비탈면 해석시 상용되는 해석 방법으로는 Fellenius 방법, Modified Bishop 방법, Janbu 방법, Morgenstern-Price 방법 그리고 Spencer 방법 등이 있다.

이상의 열거된 방법들은 절편 측면에 작용하는 힘의 분력에 대한 가정을 달리하여 활동면의 수직응력과 전단응력을 서로 다르게 산정하므로써 결과적으로 안전률을 다르게 계산하게 된다. 각 해석방법으로 구한 안전율의 수치적 차이에 관한 연구 결과에 따르면 그 차이는 그렇게 크지는 않다고 보고되고 있다(Fredlund et. al. 1981).

따라서, 비탈면 안정성 해석에서는 해석방법보다는 강도정수의 정확한 산정 및 기하학적 조건이 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

비탈면의 안정성 해석시 지질학적인 면을 고려하여 예상되는 활동면의 상태에 따라 활동붕괴시의 안전율을 비교하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

5.5.2 흙쌓기 비탈면의 최소안전율

흙쌓기 비탈면의 안정 검토시 국내외에서 적용되고 있는 허용안전율은 다음과 같이 대체로 1.1~1.5의 값을 제시하고 있으며, 안전율은 흙의 전단강도에 대한 안전율로서 다음 식으로 나타난다.

$$FS = \frac{S}{\tau} \qquad (406.16)$$

<표 406.14> 흙쌓기 비탈면의 최소안전율

구 분	최 소 안 전 율	
한국도로공사	도로설계요령	$F_s \geq 1.3$
항만협회	항만시설 기술상의 기준, 동해설 (일본)	$F_s \geq 1.5$
일본 - 건설성	표준적인 계획 안전율(일본)	$F_s \geq 1.1 \sim 1.3$
건설교통부	구조물 기초 설계기준	$F_s \geq 1.3$
일본 도로실무강좌 5	도로토공, 연약지반 대책공 지침	$F_s \geq 1.2 \sim 1.3$
일본 토질공학회 연약지반의 조사설계 시공법	가설구조물, 건설중인 비탈면 안정 등 일시적인 안정에 적용	$F_s \geq 1.0 \sim 1.2$
	일반적인 구조물의 적용	$F_s \geq 1.3$
	중요 구조물인 경우	$F_s \geq 1.5$

여기서, FS : 안전율

S : 흙의 전단강도(t/m^2)

τ : 활동면에 대한 전단응력(t/m^2)

안정계산에 의해 구한 안전율이 1.3 이상이면 일단 안정하다고 생각해도 좋지만 계산결과만을 과신할 것이 아니라 토질조건이나 시공조건 등을 고려해서 종합적인 검토에 근거해서 판단해야 한다.

5.5.3 흙쌓기 비탈면의 안정대책

(1) 흙쌓기부의 기초지반 대책

흙쌓기부의 기초지반처리는 흙쌓기부의 안정을 좌우하는 중요한 사항이다. 따라서 불안정한 기초지반이 있다고 예상되는 경우에는 상세한 현지조사를 포함한 토질조사를 실시해서 토질의 상태와 분포를 파악하고 필요에 따라 적절한 대책을 강구해야 한다.

① 표층에 고함수비의 연약층이 존재하고 있어서 시공기계의 진입이 곤란하고 흙쌓기 재료를 밖으로 배수하여 흙쌓기 부지를 건조시킨다. 경우에 따라서는 골에 모래, 막자갈 등을 채워서 흙쌓기 후의 지하수 배수를 꾀하는 것이 바람직하다. 또한, 상기의 대책공에서 차량의 진입이 곤란한 경우에는 모래 등을 포설하여 지반처리를 해도 좋다.

② 흙쌓기부 내에 용수가 있는 경우에는 제체 속으로 침입하는 것을 방지하기 위해 지하배수공을 설치하여 흙쌓기부 밖으로 배수해야 한다.

③ 기초지반 내에 폐갱 등의 공동이 있는 경우에는 사전에 충분히 조사할 필요가 있으며, 채움 등의 적절한 조치를 취할 필요가 있다.

(2) 흙쌓기부의 배수 대책

비탈면 배수는 땅깎기, 흙쌓기 또는 자연 비탈면을 유하하는 표면수나 비탈면으로부터 침투한 침투수를 배제하여 비탈면의 붕괴를 방지하기 위한 배수이다. 물에 의한 비탈면의 붕괴는 비탈면을 흘러 내리는 표면수에 의한 표면침식이나, 세굴, 침투수가 비탈면을 구성하는 흙의 전단강도를 감소시키거나 간극수압을 증가시키는 것에 의한 붕괴로 대별할 수 있다.

비탈면의 배수시설은 이의 두 가지를 방수할 수 있도록 설계해야 하지만 침투수에 대해서는 비탈면의 거동을 사전 토질조사만으로 정확히 파악하는 것이 어렵고 시공중에 지하수나 투수층의 존재가 판명되기도 하므로 이때는 계획을 변경시켜 배수시설을 설계하는 것이 바람직하다. 또 배수시설이 적절하지 않아 비탈면의 안정성을 손상시키기도 하므로 충분한 효과를 발휘할 수 있도록 시공한다.

(3) 비탈면에 영향을 미치는 물의 작용

일반적으로 비탈면에 영향을 미치는 물의 작용은 비탈면내에 침투한 지중수와 비탈면을 흘러 내리는 우수에 의한 비탈면 침식으로 구분된다. 비탈면 내에 침투한 지중수의 작용은 흙의 단위체적 중량의 증가외에 흙의 강도저하나 지중의 간극수압의 증가 때문에 생기는 것이다.

자연 비탈면을 깎거나 흙쌓기에 의해 지하수위가 변동하거나 침투수가 지하수위를 상승시켜 비탈면이 불안정하게 된다. 이와 같은 때는 침투류가 있는 경우는 비탈면의 안정을 계산하여 비탈면의 안정화를 위해 필요한 지하수위의 저하량이나 수평배수공의 길이 등을 검토한다.

406.6 낙석 방지 대책

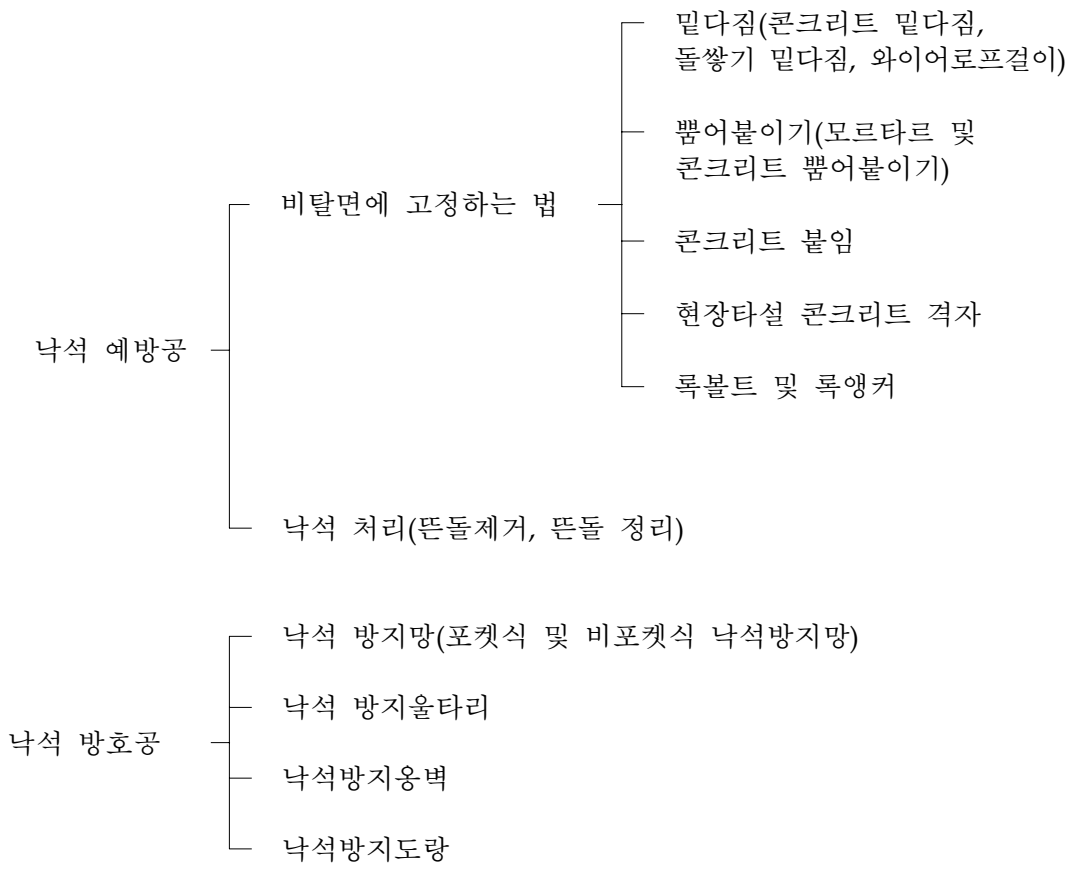
6.1 설계 기본사항

낙석대책은 암반 비탈면에서 풍화의 진행, 강우, 암반의 동결융해, 침식, 발파 등에 의해 낙석의 위험이 있다고 판단되는 곳 중에서 인명이나 재산에 피해를 유발할 가능성이 있는 비탈면에 실시한다.

6.2 낙석 대책공의 선정

낙석대책의 기본적인 사항은 노선의 특성과 예상되는 낙석의 규모, 낙석의 발생확률, 피해빈도와 상황 등을 고려하여 낙석 예방공과 낙석 보호공을 설치한다.

낙석 대책공은 <그림 406.12>와 같이 낙석 예방공과 낙석 방호공으로 구분된다. 낙석 예방공은 비탈면에서 낙석이 발생하지 않도록 낙석 발생원을 처리하는 방법이며 낙석 방호공은 낙석이 발생했을 경우, 낙석에 대한 대책이다. 낙석대책공의 선정은 도로구조, 비탈면의 경사, 낙석 발생 예상부위의 높이, 지질조건, 경제성, 시공성, 현지 조건 등을 검토하여 선정하며, 필요에 따라 1종류 또는 2종류 이상을 병용하여 설치한다.



<그림 406.12> 낙석방지대책 분류

<표 406.15> 낙석대책 적용에 관한 참고표

분류	낙석대책공 특징 / 구분 / 공법	낙석대책공의 효과 · 풍화침식 방지 · 낙석방향변경 · 낙석발생방지 · 에너지흡수 · 충격의 저항	내구성	유지관리	시공의 난이	신뢰성	경제성
	구분	매우좋다 (◎)	매우 양호	매우 양호	용이	매우 좋다	싸다
	구분	좋다 (○)	양호	양호	용이	좋다	보통
	공법	경우에 따라 좋다 (△)	불량	보통	어렵다	보통	비싸다
낙석예방공	깎기공	◎	◎	○	△	◎	○
	부석제거공	◎	○	○	△	○	○
	배수공	◎ ◎	○	○	○	○	◎
	뿜어붙이기공	◎ ○	○	◎	◎	○	◎
	쌓기공	○ ○	○	○	◎	△	◎
	식생공	○ ○	○	◎	◎	△	◎
	밑다짐공	○ ◎	◎	○	○	◎	○
	콘크리트공	◎ ○	◎	◎	◎	○	◎
	현장타설 콘크리트공	○ ◎	◎	◎	○	◎	○
	록앵커공	◎	○	◎	○	◎	○
	와이어로프공	○	○	○	△	○	◎
낙석방호공	낙석방지망	○ ○	○	○	◎	○	◎
	낙석방지울타리	△ ◎ ○	○	○	◎	○	◎
	낙석방지옹벽	○ ◎	◎	○	◎	○	◎
	피암터널	◎ ◎	◎	◎	△	◎	△
	낙석방지도랑	△ ◎	◎	○	◎	○	○

6.3 낙석 예방 공법

6.3.1 밑다짐공

밑다짐공은 비탈면상의 부석, 전석이 구르거나 미끄러지지 않도록 부석 등의 기반이나 주위의 비탈면상에 고정시키는 공법이다.<그림 406.13 참조>

밑다짐공은 콘크리트로 부석, 전석의 기반이나 주변에 고정시키는 콘크리트 밑다짐과 주변의 비탈면으로부터 작은 부석이나 전석을 모아 쌓고 이것으로 부석이나 전석의 기반을 다지는 돌쌓기 밑다짐이 있으며, 후자는 부석이나 전석의 정리도 겸할 수 있다. 또한 돌쌓기 밑다짐공의 경우에는 시간경과와 함께 무너져 낙석하는 것을 고려하여 찰돌 쌓기로 하는 것이 바람직하다.

밑다짐공은 우수 등에 의해 세굴을 받으면 밑다짐공의 효과는 현저히 감소하기 때문에 밑다짐공 주변의 형상, 비탈면 상태 등에 주의하여 시공한다.

6.3.2 와이어로프 걸이공

와이어로프 걸이공은 부석이나 전석이 구르거나 미끄러지지 않도록 격자 모양으로 와이어로프나 수 개의 로프 등을 사용하여 그 기초를 덮거나 걸어서 비탈면상에 고정시키는 경우에 사용하며 영구적인 구조물이 아니라 가설 구조물로 적용된다.<그림 406.14 참조>

와이어 로프의 앵커는 부석이나 전석의 무게에 충분히 견디도록 기초부까지 충분히 넣고, 또 돌이 로프에서 빠져나가지 않도록 한다.

6.3.3 모르타르 뿜어붙이기공

좁은 간격으로 파쇄되어 있거나 풍화되기 쉬운 암반은 비탈면의 표면에 모르타르 뿜어붙이기를 실시한다. 이는 작은 낙석의 예방 및 하부 침식에 의한 불안정한 암괴 발생의 방지 효과를 얻을 수 있다. 그러나 모르타르 뿜어붙이기공은 비탈면의 표면 보호로만 사용될 수 있고 활동에 의한 전체 비탈면의 파괴에 대해서는 효과가 없다.

모르타르 뿜어붙이기의 효율성은 암반 비탈면의 표면 상태에 따라 결정되는데 비탈면 표면은 느슨한 암반, 흙, 식물, 얼음 등이 없어야 하며, 약간 습기가 있어야 암반과 모르타르 사이의 접착력을 높일 수 있다. 그러므로 뿜어붙이기공의 적용전에 반드시 철저한 면정리(표면의 잔석제거)와 면청소(흙, 먼지제거)를 수행해야 한다. 작업비탈면의 수압 증가를 막기 위해서 모르타르를 관통하는 배수공을 설치하는 것이 중요한데, 배수공의 깊이는 대개 0.5m이고 중심 간격은 1~2m 정도를 한다. 괴상의 암석인 경우에는 뿜어붙이기공을 적용하기 전에, 물을 통과시킬 수 있는 불연속면과 교차하도록 암석에 배수공을 천공해야 한다. 배수공은 나무못 등을 사용하여 임시로 막아놓은 후 뿜어붙이기공을 적용한다.

모르타르 뿜어붙이기공은 균열을 방지하기 위하여 철근망(welded-wire mesh)이나 강섬유를 함께 사용한다. 철근망은 직경 3.5mm의 철사를 가지고 100mm 중심간격을 갖도록 제조하고 암반 비탈면에는 앵커 볼트를 사용하여 1~2m 간격으로 고정시켜야 한다. 철근망은 비탈면에 완전히 밀착되어 있어야 하고 뿜어붙이기공에 의하여 완전히 덮여야 하며 뿜어붙이기공 내부에 빈공간이 남겨지지 않도록 주의해야

한다. 만약 비탈면 표면이 불규칙하여 철근망을 비탈면에 밀착시키기 어려울 경우에는 일차 뿜어붙이기공을 적용하여 비탈면 표면을 매끄럽게 한 후 철근망을 설치하고 모르타르를 이차로 뿜어준다. 또한 모르타르 타설 후 건조에 따른 수축에 의해 철근망의 이음부위에서 균열이 생기지 않도록 유의한다.

강섬유를 모르타르에 섞은 후 뿜어붙이기공을 수행할 수 있는데, 강섬유는 길이 30~38mm, 직경 0.5mm의 고강도 탄소강을 사용한다.

모르타르 뿜어붙이기공은 식생공과 달리 미관이 불량한 점이 있다. 그러나 비탈면에 뿜어붙이기공을 적용한 후에 아이비넷(ivy-net)을 설치하면 담쟁이 넝쿨이 자라서 미관상의 단점을 보완할 수 있다.

6.3.4 면 정리공

면정리공은 비탈면에서 탈락이 예상되는 소규모 돌출암괴(overhang)와 뜬돌(부석) 등을 인력과 경장비 등을 이용하여 단순히 제거하는 공법이다. 소규모 돌출암괴가 비탈면내에 존재하는 경우에는 돌출암괴와 접해있는 비탈면을 보호하기 위해 제어 발파(controlled blasting)를 수행하는 것이 바람직하다. 제어 발파는 자르고자 하는 면과 평행하게 천공을 하는데 천공의 간격은 천공 직경의 10~12배 정도로 한다. 천공 직경은 수동 천공기를 사용하는 경우에는 대략 40mm 정도이고 차량에 부착된 천공기의 경우에는 80mm 정도가 적합하다. 천공 길이는 천공 경로를 정확히 유지하기 위해서 수동 천공기의 경우 3m, 차량에 부착된 천공기는 9m로 제한하는 것이 중요하다.

6.4 낙석 방지 공법

6.4.1 낙석 방지망공

암반 비탈면에서 발생한 낙석을 절개면 근처에 머무르게 하고 도로쪽으로 튕겨나가는 것을 방지하기 위하여 절개면에 걸쳐놓는 망이 낙석 방지망이다.

낙석방지망은 불연속면의 발달과 비탈면의 풍화로 비탈면에 작은 암괴가 많이 발생되는 곳에 적용 가능하다. 낙석의 규모가 크거나 불연속면을 따라 발생하는 큰 규모의 비탈면 붕괴시에는 저지 효과가 없다. 낙석 방지망은 원지반과의 결합력을 상실한 암석을 그물의 장력 및 낙석과 원지반의 마찰에 의해 구속하는 복식 낙석 방지망이 있다. 또한, 상부에 낙석 입구를 설치하여 그물에 낙석이 충돌함으로서 낙석이 갖는 에너지를 흡수하는 기능을 갖는 포켓식 낙석 방지망이 있다.<그림 406.15>

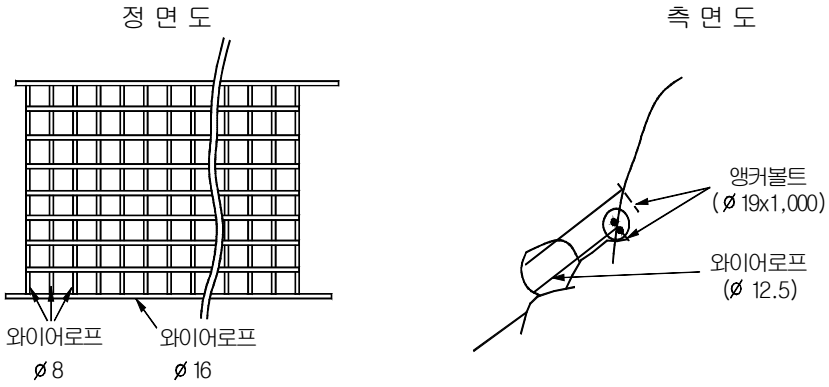
복식과 포켓식 낙석방지망의 결정은 비탈면의 상태와 시공성에 의해 결정한다. 비탈면이 경암으로 구성되어 절취시 균열의 발생이 적을 경우에는 포켓식을 적용하며, 암반의 균열이 많고 풍화의 진행이 빠른 연암이나 풍화암은 복식 낙석방지망을 사용한다.

6.4.2 낙석 방지울타리공

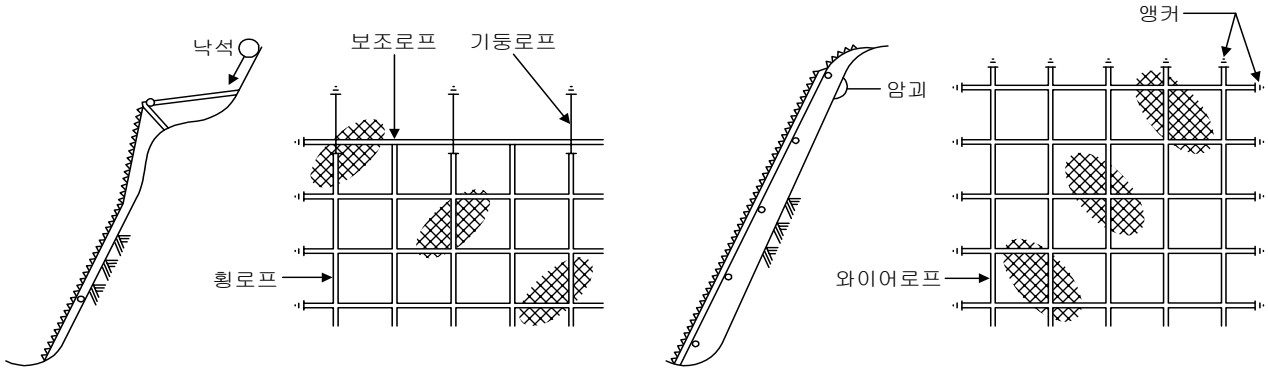
낙석 방지울타리공은 낙석이 도로로 유입되는 것을 차단하는 울타리를 설치하는 공법이다. 특히 경암, 연암 및 자갈 혼입 토사 등의 땅깎기 비탈면에서 낙석 방지망공만으로는 낙석의 위험이 있는 경우에는 낙석 방지울타리를 설치하는 것이 바람직하다.

(a) 콘크리트 밑다짐공 (b) 돌쌓기 밑다짐공

<그림 406.13> 밑다짐공



<그림 406.14> 와이어로프 걸이공



(a) 포켓식 낙석방지울타리 (b) 복식 낙석방지울타리

<그림 406.15> 낙석방지울타리의 종류

낙석 방지울타리는 지주, 와이어 로프, 철망이 일체로 되어서 낙석에너지를 흡수하는 것으로써 비교적 소규모 낙석대책으로 자주 사용된다. 낙석 방지울타리는 낙석의 직경이나 에너지가 큰 경우에는 쉽게 파손되므로 주의해야 한다. 토사가 혼합되어 낙하하는 경우는 콘크리트벽을 설치하고 그 상부에 방지울타리를 설치하는 것이 효율적이다.

낙석방지울타리의 일종으로 링네트가 있다. 이는 강성의 지주와 유연성의 링네트로 구성되어 링네트의 탄성변형을 통해 낙석의 운동에너지를 효과적으로 흡수하는 공법이다.

낙석 방지울타리의 높이는 낙석의 도약량과 비탈면의 경사도에 의해 결정된다. 비탈면과 직각방향의 낙석 도약량은 비탈면의 요철이 큰 경우를 제외하고 일반적으로 2m 이하이므로 비탈면의 경사도가 θ인 경우 낙석 방지울타리의 필요 높이는 일반적으로 $(2 \cdot \sec\theta)$로 계산된다. 그러나, 비탈면의 요철이 심한 경우 2m 이상이 되는 경우도 있으므로 주의가 필요하다.

낙하하는 낙석의 도약높이가 낙석 방지울타리의 높이보다 높을 경우나 낙석에너지가 방지책의 흡수가능에너지보다 클 경우 낙석 방지울타리의 이격거리를 적절하게 조절함으로써 낙석 방지울타리의 기능을 증대시킬 수 있다. 특히, 이격거리는 비탈면내에서 낙석의 도약높이가 2m 이상으로 예상될 경우 이런 낙석을 효과적으로 막을 수 있는 방법으로 제안될 수 있다. 이격거리는 대개 1~2m로 설정하여 설치하나 이는 비탈면과 주변의 여건에 따라 결정한다. 특히 예상되는 낙석의 크기와 비탈면의 높이 및 경사도를 고려하여 결정한다.

<표 406.16>은 0.6톤의 낙석이 2m이상의 비탈면내 도약높이를 가질 것으로 예상되는 경우 각각 다른 높이와 경사도에 의해 발생되는 낙석의 도약높이를 이격거리에 따라 계산한 것이다.

따라서 이를 기준으로 낙석의 규모에 따라 이격거리를 적절하게 조절할 수 있다. 만일 이격거리를 증가시켰음에도 낙석의 도약높이가 낙석 방지울타리를 상회할 것으로 예상되는 경우 낙석방지망을 함께 이용하여 낙석이 낙석 방지울타리를 넘지 못하도록 하여야 한다. 또한 낙석 방지울타리를 1m 이상의 이격거리를 가지고 설치할 경우 울타리 뒤쪽에 약 1m 깊이의 도랑(ditch)을 시공함으로써 낙석 방지울타리의 기능을 보완할 수 있다.

6.4.3 낙석 방지옹벽공

낙석 방지옹벽공은 낙석이 도로에 떨어지는 것을 방지하기 위해 도로의 가장자리에 설치한다.<그림 406.16 참조> 낙석 방지옹벽은 비탈면 사이에 공간을 두어 어느 정도의 낙석이 퇴적될 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하다. 이는 비탈면 경사가 완만하고 도로의 측방에 여유가 있는 장소에 설치할 수 있다. 낙석 방지옹벽공의 설계시에는 예상되는 낙석의 중량, 속도, 최대 도약고, 지형, 지질 등을 고려하여 옹벽의 안정을 검토한다.

6.4.4 피암터널

지형여건상 다른 낙석제어 공법의 적용이 어려울 때 적용하는 공법이다.<그림 406.17 참조>

피암터널은 다음과 같은 경우에 적용한다.

- 낙석에 대해 도로 측방에 여유가 없는 경우
- 급한 장대 비탈면이 이어져 있는 경우
- 낙석의 규모가 커서 낙석방지책으로는 방지할 수 없는 경우
- 낙석의 지름이 큰 경우

피암터널은 콘크리트 터널을 설치하고 지붕 위에 충격흡수용 흙이나 나무를 깔아 낙석발생 시 지붕에서 낙석의 에너지를 흡수한 후 낙석이 도로 밖의 하천 등으로 떨어지게 하는 공법이다. 피암터널은 비용이 많이 들기 때문에 낙석문제가 매우 심각한 경우에만 사용한다.

6.4.5 낙석 방지 도랑

비탈면의 하단부에 설치하는 낙석 방지 도랑(ditches)은 도랑을 설치할 공간이 확보되어 있다면 낙석을 방지하는데 매우 경제적인 방법이다.<그림 406.18 참조>

낙석 방지 도랑은 지형 및 지질 등의 현장조건을 이용하여 낙석에너지의 흡수, 소산 및 낙석의 유도를 도모하는 것이다. 현장조건에 따라 효과적이고 시공이 용이하며 경제적인 대책으로 되는 경우가 있다. 그러나 이 공법은 지형 및 수목 등의 자연조건을 이용한 경제적이고 간단한 공법이지만 용지 등의 제약조건이 있기 때문에 공법 선정시 충분한 조사와 검토를 해야 한다.

<표 406.16> 낙석의 도약높이와 이격거리와의 관계

a) 이격거리가 0m인 경우

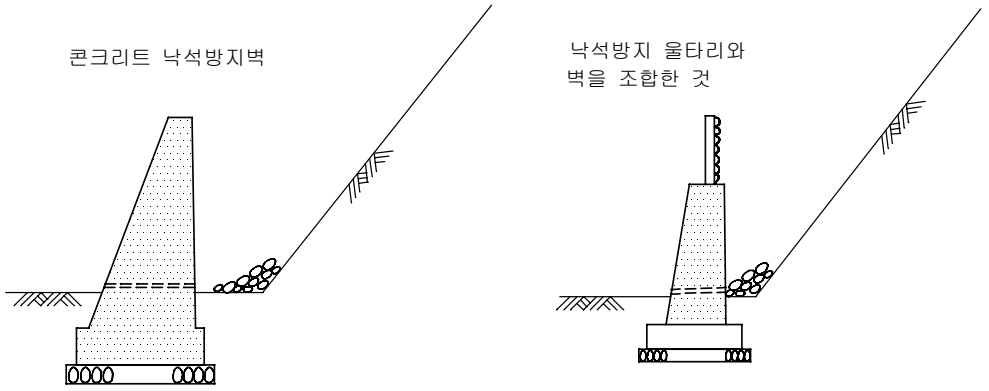
	비탈면 경사도			
비탈면 높이	1:1.0	1:0.7	1:0.5	1:0.3
10m	1.93	2.20	3.25	3.97
20m	2.23	3.82	4.14	4.97
30m	3.95	4.18	6.13	9.75

b) 이격거리가 1m인 경우

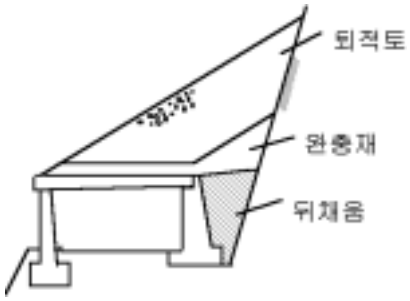
	비탈면 경사도			
비탈면 높이	1:1.0	1:0.7	1:0.5	1:0.3
10m	0.5	0.9	1.16	1.2
20m	1.38	1.95	2.54	3.38
30m	4.09	5.06	6.10	7.41

c) 이격거리가 2m인 경우

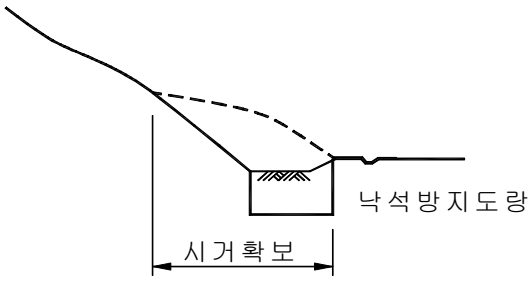
	비탈면 경사도			
비탈면 높이	1:1.0	1:0.7	1:0.5	1:0.3
10m	0.0	0.5	0.57	0.94
20m	0.78	0.86	1.38	3.32
30m	1.77	3.43	3.46	4.40



<그림 406.16> 낙석방지옹벽공



<그림 406.17> 피암터널



<그림 406.18> 낙석방지도랑

406.7 비탈면 붕괴 대책

7.1 비탈면 붕괴의 원인

일반적으로 비탈면 붕괴는 강우, 지형, 지질, 토질 등의 자연적 요인과 국토개발에 따른 땅깎기, 흙쌓기 등 인위적 요인에 주로 영향을 받아 발생한다. 또한 장기적인 물리·화학적 풍화작용에 의하여 비탈면붕괴가 일어날 수도 있다.

비탈면 붕괴를 유발하는 요인은 다양하며 이러한 요인들은 서로 관련이 있기 때문에 어느 하나의 요인에 의하여 비탈면붕괴의 발생을 설명할 수는 없다. 비탈면 붕괴의 발생에 대한 이해를 높이고 적절한 대책을 수립하기 위해서는 이러한 요인들에 대한 자세한 고찰이 필요하다. 비탈면 붕괴의 발생원인은 다음과 같다.

(1) 강우

우리나라는 기상학적으로 다우지역에 속하며, 따라서 강우는 비탈면 재해의 발생에 가장 중요한 원인이다. 한국의 연평균 강우량은 1,200~1,400mm 정도이며, 강우는 매년 지역마다 또는 계절적으로 다르게 발생하는 특성을 보인다. 우리나라의 강우는 대부분 6~9월에 편중되어 내리고, 그중에서도 7, 8월에 집중된다. 최근 우리나라에서는 지역적인 폭우(intense rainfall)가 내리는 경우가 많아 비탈면 재해가 발생하는 경향이 있으며, 이러한 폭우는 이동성 저기압(강우전선), 열대성저기압(태풍)에 의하여 발생한다. 폭우는 주로 파괴면의 깊이가 얕은 비탈면 붕괴를 유발한다. 비탈면 붕괴는 비탈면 경사가 급한 조립토 지반에서 짧은 시간에 발생하는 특성을 보인다. 이것은 폭우에 의해 암반이 포화되어 단위중량이 증가하고, 전단강도는 저하되어 활동면의 간극수압이 상승하기 때문이다. 국내와 같이 풍화층의 두께가 비교적 얕은 지역이나 흙으로 구성된 비탈면에서 비탈면 붕괴의 주요 원인이 된다. 장기간에 걸친 강우는 주로 파괴면의 깊이가 깊은 비탈면붕괴를 유발시킨다. 그러나 일반적으로 강우 강도(rainfall intensity)가 작은 경우에는 강우의 지속성이 커져야 비탈면 붕괴가 발생하는 것으로 알려져 있다.

눈이 녹는 경우에는 장기간에 걸쳐 비탈면에 수분을 공급하게 되어 지반의 단위중량 증가 및 간극수압이 상승하게 되는데 이것이 해빙기의 비탈면 붕괴 원인이 될 수 있다.

(2) 침식

지반에서 침식은 결국 지형을 변형시켜 비탈면의 안정성을 감소시킨다. 우리나라에서 침식은 하천유수에 의한 급류부 침식, 해안의 조수에 의한 침식 및 산지 계곡부에서 발생하는 침식의 형태를 보인다. 침식에 의한 비탈면 붕괴는 초기 작은 규모로 발생하나 이것이 연쇄적으로 발전하여 결국 대규모 파괴로 발전하는 경향을 보인다.

(3) 지질

비탈면 붕괴는 암반층의 불연속면에서 많이 발생하므로 지질에 대한 이해는 비탈면 재해의 원인을 규명하는데 매우 중요하다. 비탈면 붕괴에 대한 지질학적 영향은 지질구조적 측면과 암석학적 측면이다. 단층, 절리와 같은 불연속면의 특성과 방향성이 지질구조적 요인에 해당된다. 암석학적 측면에서는 암석을 크게 변성암, 퇴적암, 화성암으로 분류할 수 있는데 화성암에 비하여 퇴적암과 변성암에는 불연속면이

잘 발달되어 있는 경우가 많으므로 이에 대한 주의가 필요하다.

(4) 지형

우리나라 지형특성은 오랜 기간동안 지각이 융기와 침강을 거듭한 지각변동에 의하여 동쪽이 산악지형을 이루고 서쪽은 평야지대를 형성한다. 또한 만장년기에 속하여 산악지의 지형은 경사가 심하며 서쪽으로 하천이 흘러 나가면서 풍화와 침식이 진행되었다. 암석의 풍화는 모암의 광물성분에 따라 영향을 받는데 석영성분이 많은 화강암은 사질토로, 장석이 우세한 편암류나 셰일은 점성토로 변한다. 우리나라는 산지의 경사가 급하고 강우량이 계절적으로 편중되어 풍화를 받은 흙이 끊임없이 침식을 받아 산지의 풍화 깊이가 얕은 특징을 보인다.

지형은 강우시 유출수와 침투수의 집배수에 영향을 주기 때문에 비탈면 붕괴의 발생에 깊은 관련을 갖고 있다. 즉, 지형적인 요철에 의해서 주변의 지표수가 흘러들게 되어 있는 비탈면의 경우 다른 지역보다 풍화작용이 활발하여 암반의 전단강도가 신속히 저하되고 강우시에는 비탈면의 간극수압이 빠르게 상승될 수 있어 비탈면 붕괴가 발생하기 쉽다.

(5) 흙쌓기, 땅깎기

자연에 대한 인간의 활동 즉, 주택지나 산업지 조성, 광산개발, 수로의 변경, 도로나 철도 건설 등에 의한 지반의 땅깎기와 흙쌓기 작업은 최근 증가하는 추세에 있다. 이러한 인간활동은 궁극적으로 지반내 응력의 변화를 초래하여 비탈면을 불안정하게 하는 요인이 된다. 특히, 비탈면 붕괴가 비탈면 깎기 완료 후 1년 이내에 발생되는 경우는 비탈면 깎기에 따른 하부 비탈면의 지지력 감소와 발파 및 기타 깎기 공사에 의한 암반의 이완에 따른 지반 강도의 저하가 주된 원인일 수 있다. 또한 땅깎기 완료 후 상당 기간 경과 후 발생하는 비탈면 붕괴의 경우, 비탈면 절취를 위한 발파시 하부 비탈면의 발파 후 비탈면 정리를 제대로 하지 않아 하부 지지력 없이 암괴가 걸쳐 있다가 풍화가 진행되면서 강도의 저하로 비탈면 붕괴가 발생하는 경우도 있다.

(6) 수위 변화

흙댐, 호수나 저수지의 제방 그리고 강가에서는 수위가 갑자기 저하되는 경우에는 비탈면이 높은 전단응력을 받게 되므로 비탈면 붕괴가 발생하기 쉽다. 반면에 강, 호수, 저수지 그리고 운하 등에서 수위가 증가하는 것은 비탈면에 간극수압을 상승시키고 유효 강도를 감소시켜 비탈면 붕괴를 유발할 수 있다.

비탈면 붕괴의 발생원인은 <표 406.17>을 이용하여 검토할 수 있다.

<표 406.17> 비탈면 붕괴 발생원인 검토항목 (Cruden and Varnes, 1996)

1. 지질학적 요인	2. 지형학적 요인
a. 지반 강도 자체가 약한 경우 b. 예민한 지반 c. 풍화된 지반 d. 기존에 전단된 지반(단층 혹은 과거에 일차 붕괴된 비탈면) e. 절리가 발달된 지반 f. 불연속면이 불리한 방향으로 경사진 지반 g. 지층들간의 투수계수가 다른 지반 h. 지층사이의 강도가 다른 경우 (소성변형을 보이는 물질 위에 강한 물질이 존재)	a. 물에 의한 비탈면 토우(toe) 부분의 침식 b. 파도에 의한 비탈면 토우 부분의 침식 c. 비탈면 측면부의 침식 d. 비탈면 내부의 침식(석회암과 같은 물질의 용해 혹은 퇴적물의 유출에 기인한 파이핑) e. 비탈면 정상부에 퇴적물에 의한 하중 증가 f. 초목의 제거(산불이나 가뭄에 의해)
3. 물리적 요인	4. 인간 활동에 의한 요인
a. 매우 심한 폭우 b. 눈의 녹음 속도가 매우 빠름 c. 장기간의 강우 d. 수위의 매우 빠른 저하(홍수나 조수) e. 화산 폭발 f. 해빙 h. 동결융해의 기후	a. 비탈면이나 비탈면 토우 부분의 절개 b. 비탈면이나 비탈면 정상부의 하중 증가 c. 저수지의 수위 강하 d. 산림 훼손 e. 관개 f. 광산활동 g. 인위적인 진동(발파) h. 시설물로부터 물이 새나오는 경우

7.2 비탈면 붕괴의 분류

비탈면 붕괴의 분류는 Varnes(1978)에 의해 제안된 방법이 국제적으로 가장 널리 사용되어 왔으며, 이 분류안은 Cruden과 Varnes(1996)에 의하여 소폭으로 개정되었다. 비탈면 붕괴는 <표 406.18>과 같이 두 개의 명사를 이용하여 분류되고 기술될 수 있는데, 첫 번째 명사는 비탈면붕괴가 발생한 지반의 물질을 나타내며, 두 번째 명사는 비탈면 붕괴의 유형을 나타낸다(예, 암반활동(rock slide), 쇄설물 흐름(debris flow)). 지반을 구성하는 물질은 암석(rock), 쇄설물(debris), 세립토로 나눌 수 있다. 쇄설물과 세립토는 흙(soil)에 해당되며 80% 이상의 입자가 2mm 보다 작은 경우는 세립토이고, 20~80%의 입자가 2mm 보다 큰 경우는 쇄설물(debris)로 분류된다.

비탈면붕괴의 유형은 탈락(fall), 전도(topples), 활동(slides), 퍼짐(spreads), 유동(flows)으로 세분된다.

<표 406.18> 비탈면 붕괴의 분류

비탈면 붕괴 유형	지반 구성 물질의 종류		
	암석(rock)	흙	
		주로 조립질(debris) (20～80% > 2mm)	주로 세립질(earth) (80%이상 < 2mm)
탈락(fall)	암반탈락	쇄설물 탈락	세립질 탈락
전도(topple)	암반전도	쇄설물 전도	세립질 전도
활동(slide)	암반활동	쇄설물 활동	세립질 활동
퍼짐(spread)	암 퍼짐	쇄설물 퍼짐	세립질 퍼짐
유동(flow)	암 유동	쇄설물 유동	세립질 유동

(1) 탈락 (fall)

탈락은 흙이나 암석이 비탈면으로부터 분리되어 자유 낙하(free fall), 튀김(bouncing), 혹은 구르기(rolling)에 의하여 밑으로 떨어지는 현상을 말하며, 운동 속도는 매우 빠르다. 비탈면의 경사가 76°(1 : 0.25)보다 큰 경우는 자유낙하, 45°(1:1)보다 작은 경우는 구르기, 45°와 76° 사이인 경우는 튀김이 주로 발생한다.

대부분의 경우 탈락은 작은 활동(slides)이나 전도(topples)에 의하여 물질이 지반으로부터 분리된 후에 발생되는데 이와 같은 암석의 분리는 주로 하부 침식, 풍화, 동결작용(frost action), 온도의 변화, 절리 내 포함되어 있는 수압 등에 의해 발생한다.

(2) 전도(topple)

전도는 변위가 발생한 암체의 무게 중심 아래의 어떤 한 점이나 축을 중심으로 암체가 비탈면의 앞쪽으로 회전하여 비탈면 붕괴가 발생하는 것이다.

전도파괴는 주로 수직 절벽이나 불연속면의 경사가 수직에 가까운 절리 또는 층리의 암반에서 나타난다. 일반적인 붕괴형태를 보면 초기에는 작은 각도로 서서히 붕괴가 진행되다가 파괴 상태에 도달했을 때 암반 탈락(rock fall)이나 암 활동(rock slide)과 같은 형태로 전이되어 빠른 속도로 이동한다. 이러한 전도파괴는 추가적인 암 탈락이나 활동을 유발시킬 수도 있다.

(3) 활동(slide)

활동은 흙이나 암체가 파괴면이나 혹은 비교적 얇은 전단 변형대를 따라 아래로 이동하는 것이다. 처음의 이동은 전체 파괴면을 따라 동시에 일어나지는 않고 점차 파괴면이 확대된다. 이와 같은 활동의 초기 징후는 정상부 파괴면이 될 부분에서의 균열을 들 수 있다.

(4) 퍼짐(lateral spread)

퍼짐은 점착력이 있는 흙이나 암체가 하부에 놓여 있는 부드러운 물질로 가라앉기도 하면서 이동해 나가는 것이다. 퍼짐에서는 파괴면이

뚜렷하지 않고 하부에 놓여 있는 부드러운 물질의 액상화(liquefaction)나 유동에 의하여 일어날 수 있다. 하부의 부드러운 물질의 위에서 이동하는 상부층은 침하, 평행이동, 회전이동, 부서짐, 혹은 액화되어 흐를 수 있다.

퍼짐은 토층의 깊이가 얕은 세립토 경사면에서도 발달된다. 특히 교란되었거나 또는 재 성형된 상태에서 전단강도가 부분적으로 손실된 예민실트(sensitive silt)나 예민점토가 물을 함유한 경우에 자주 발생한다. 붕괴는 초기에 부분적으로 발생하여 점점 확산하는 점진적 형태이다.

(5) 유동(flow)

유동은 일반적으로 유체와 같은 형태의 이동으로 속도가 매우 빠른 것이 일반적이다. 전단면은 매우 짧은 시간동안 존재하며 밀집되어 있고 대개 보존되지 않는다. 함수비나 유동성에 따라 활동으로부터 유동으로 전이되기도 한다. 쇄설물 활동(debris slides)은 변위가 일어난 물질이 점착력을 잃고 수분이 증가되거나 혹은 비탈면의 경사가 급해지는 경우 속도가 매우 빠른 쇄설물 유동(debris flow)으로 전이될 수 있다.

7.3 비탈면 붕괴 대책 공법

비탈면 안정성 검토결과 안전한 것으로 나타난 비탈면일지라도 장기간에 걸쳐 강우에 노출되면 침식 및 세굴로 인하여 비탈면 토사가 유실될 수 있다. 또한, 풍화작용, 동결융해작용 등에 의해서 비탈면의 표면이 연약화되고 우수의 침투 및 용출수에 의하여 지하수위가 상승하면서 비탈면이 점차 불안정하게 되어 붕괴할 가능성이 있다. 따라서, 비탈면의 장기적인 안정성 유지, 미관향상, 유지관리의 편의성 도모 등을 위해 땅깎기 비탈면에 대하여 토질 및 암반상태, 비탈면 경사 및 높이, 용수발생 가능성 등을 고려하여 적절한 비탈면 보호공법을 선정해야 한다.

비탈면 보호공 및 대책공법의 선정에 있어서는 지형, 지질이나 기후조건, 보호공에 기대되는 효과에 대해 충분히 파악함과 동시에 경제성, 시공성을 고려한 최적공법을 선정하여야 한다. 일반적으로 비탈면 보호공을 선정할 때 개략설계시, 상세설계시, 시공시 적어도 세가지 시점에서 검토할 필요가 있다. 동일한 비탈면 내에서도 지반상태, 용수상태가 반드시 일정치 않은 경우가 많아서 각각의 조건에 적합한 공종을 선택한다. 그리고, 시험시공으로 사전에 유사한 지질상태의 비탈면에 비탈면 보호공을 실시한 시공실적이 있으면 그 결과를 가지고 보호공 및 대책공법을 선정하는 것이 효과적이다.

비탈면 보호공법은 그 목적 및 활용성에 따라 두 가지로 대변할 수 있다. 첫째는 현재 비탈면이 불안정한 것으로 나타나 비탈면의 안정성을 증가시키는 비탈면 보강공법이고, 둘째는 현재 안정한 것으로 나타났지만 침식이나 풍화작용에 의해 불안정하게 되는 것을 방지시키는 표면보호공법이다.

비탈면 보강공법은 록볼트, 앵커, 쏘일네일 등과 같은 구조체로서 비탈면의 활동에 대한 전단저항력을 증가시키거나 경사를 완화하여 활동력을 감소시키는 공법이다.

표면보호공법은 녹생토, 평떼 및 줄, 그리고 돌붙임 등과 같이 비탈면의 일시적인 안정성에는 영향을 주지 않지만 장기적인 풍화작용이나 침식작용 등을 방지하기 위한 공법을 의미한다. <표 406.19>는 비탈면 보호공법의 구체적인 방법 및 종류를 나타내고 있다.

<표 406.19> 비탈면 보호공의 종류 및 장단점

구분	보 호 공	공 법 개 요	적 용	장 단 점
비탈면보강공법	경사완화	경사를 완화시켜 비탈면의 안정성을 증대시키는 공법	흙비탈면 암반비탈면	- 영구적인 안전성 확실히 보장 - 과다한 자연훼손이 발생하고 기존구조물 존재시 적용 곤란
	마이크로파일 (Micro Pile)	지중에 천공후 ø162.5mm의 강관을 삽입하고 시멘트 밀크를 주입하여 소구경 파일을 형성하는 공법	흙비탈면	- 시공성 우수, 품질확보 확실 - 암반이 견고할 때 별도의 장비 필요
	록볼트 (Rock Bolt)	암블럭과 기반암을 록볼트로 연결시켜 암반을 안정화시키는 공법	암반비탈면	- 시공성 우수, 추가적인 토지확보 불필요 - 시공후 계측필요
	록앵커 (Rock Anchor)	앵커의 인장력으로 암반블럭의 전단저항력을 증가시켜 암반을 안정화시키는 공법	암반비탈면	- 원지반 보강 및 강도정수 증대효과 - 추가적인 토지확보 필요
	소일네일링 (Soil Nailing)	지중에 소형 천공후 철근이나 록볼트를 삽입하고 시멘트 그라우팅하여 고결시키는 공법	흙비탈면	- 시공성 우수 - 추가적인 토지확보 필요
	옹 벽	옹벽구조물을 설치하여 옹벽이 배면토압을 부담함으로써 비탈면을 안정화시키는 공법	흙비탈면	
	다웰바 (Dowel Bar)	국부적인 탈락이 예상되는 암블록에 다웰바를 설치하여 블록의 탈락을 방지시키는 공법	암반비탈면	
표면보호공법	숏크리트 (Shotcrete)	표면 정리후 철망을 정해진 위치에 앵커핀으로 고정시킨후 시멘트 모로타르를 뿜칠하여 표면을 보호하는공법	암반비탈면	- 표면보호능력 양호 - 지하수가 많은 곳에서는 쉽게 탈락 - 배수성과 미관이 불량하고 동결되면 균열발생
	격자 블럭	표면 정리후 블록으로 격자를 말들어 앵커핀으로 고정시키고 격자안에 흙채움을 하여 표면을 보호하는 공법	흙비탈면	- 가격이 저렴하고 시공성 용이 - 급비탈면에 적용곤란 - 부분침식 발생
	녹 생 토	부착망을 앵커판과 착지판으로 고정시킨 후 점토질 토양개량제와 잔디씨를 혼합하여 뿜칠함으로서 표면을 보호하는 공법	암반비탈면	- 녹화효과 양호 - 부분탈락방지 - 해빙기에 강도저하
	텍솔 (Texsol)	부착망을 앵커판과 착지판으로 고정시킨 후 연속장 섬유와 잔디씨가 혼합된 사질토를 뿜칠함으로서 표면을 보호하는 공법	암반비탈면	- 경사에 관계없이 사용 - 배수성 양호하고 인장강도 우수 - 적용면적 협소시 단가 상승
	볏짚 녹화공	잔디 및 초목류를 혼합파종한 후 볏짚을 그위에 덮어 경비탈면을 보호하고 비탈면유실을 방지하는 공법	흙비탈면	- 가격이 저렴 - 침식 및 탈락 발생
	코아 넷 (Coir Net)	코코넛 섬유질 매트로 비탈면을 피복한 후 씨앗과 혼합된 사질토를 뿜칠하여 표면을 보호하는 공법	암반비탈면	- 가격이 저렴 - 침식 및 탈락 발생
	줄 떼 공	식생토를 사용하여 비탈면하단에서부터 줄떼의 장변을 비탈면에 따라 수평으로 펴고 흙을 씌워 표면을 보호하는 공법	흙비탈면	
	평 떼 공	비탈면 어깨로부터 떼의 긴변은 수평방향으로 놓고 떼와 비탈면이 밀착되도록 두들겨서 표면을 보호하는 공법	흙비탈면	

7.3.1 흙 비탈면 대책 공법

흙 비탈면에 대한 대책공법은 <표 406.20>과 같다. 각 공법의 특징은 다음과 같다.

(1) 깎기공법

깎기공법은 활동하려고 하는 토괴를 제거하여 활동하려는 하중을 줄여서 비탈면을 안정화시키는 공법으로 공사비가 많이 든다는 단점이 있다. 깎기공법은 토괴의 전부를 제거하는 경우와 일부를 제거하는 경우가 있다. 깎기는 활동토체의 상부로부터 하부로 향하는데 활동토괴의 상부만을 깎아내는 경우 활동토괴의 상부에는 급한 경사면이 남게되어 나중에 이 부분의 안정성이 문제가 되므로 땅깎기후 비탈면 안정해석을 다시 수행해야 한다. 땅깎기 후의 안정해석은 기존파괴면이 비탈면에 아직 남아있는 경우에는 안정해석시 지반의 잔류강도를 사용한다. 땅깎기 후의 비탈면은 일반적으로 투수성이 높고 절토부에서 지반파괴면에 물을 보급하게 될 가능성이 있으므로 비탈면 보호대책을 강구할 필요가 있다.

(2) 앵커공법

앵커공법은 두꺼운 붕적층 또는 파쇄가 심한 풍화잔류토와 풍화암 지역에서 원형파괴활동이 발생하거나 지층간 경계가 뚜렷하고, 작은 활동현상이 일어난 지역, 개방구간에 단층점토와의 경계면 등으로 쐐기파괴가 우려되는 지역에 적용된다. 앵커공법은 고강도인 강재를 천공 구멍내에 삽입하고 그라우트를 주입하여 지반에 정착시키고, 앵커두부에 인장력을 가하여 구조물과 지반을 일체화하여 안정시키는 공법이다.

<표 406.20> 흙 비탈면 원리별 대책공법의 종류

원리	공법
경사도완화	깎기공
토류공	앵커공법
	소일네일링(soil nailing)
	말뚝공
	옹벽공
	개비온(gabion)
배수공	산마루측구
	수평배수공
	소단배수로
	수직배수로
표면보호	식생공
	격자블록공(콘크리트 또는 플라스틱)

(3) 소일네일링(soil nailing)

소일네일링 공법은 네일(nail)이라고 불리우는 보강재를 프리스트레싱 없이 좁은 간격으로 지반에 삽입하여 비탈면의 전체적인 전단강도를 증대시킨다. 또한 숏크리트 등으로 굴착면을 보호하는 표면보호공을 조합 시공하여 비탈면을 안정화시키는 공법이다.

일반적으로 설계 및 시공에 대부분 적용되는 네일의 삽입각도의 범위는 수평으로부터 10°~20°의 하향각도로 한다. 소일네일링 공법의 장점은 가격이 비교적 저렴하고, 장비가 단순하며 접근이 어려운 장소와 협소한 공간에서도 작업이 용이하다. 단점은 지하수위가 없는 지반 또는 지하수위 저하에 의해 안정화된 지반에 제한적으로 사용된다. 또한, 숏크리트를 이용한 전면판 시공시 미관상 좋지 못하고 점성토 지반에 사용시 크리프(creep)의 영향에 세심한 주의가 필요하다. 소일네일링은 겉보기 점착력이 거의 없는 사질토지반에서는 적용하기 어렵다. 즉, 느슨한 사질토, 매우 연약한 점토층과 지하수위가 높은 곳에는 부적절하다.

네일은 예상파괴면 보다 깊이 설치해야 하며 배수와 네일의 부식방지에 철저를 기하여야 한다.

보강된 층 사이의 국부적인 지반에 대한 안정을 확보하고, 굴착직후의 이완을 방지하며, 침식 및 풍화작용으로부터 지반을 보호하기 위하여 전면판(facing)을 설치한다. 숏크리트 전면판(shotcrete facing)은 용접된 철근망에 의하여 보강이 이루어지고, 최종적으로 요구되는 13~25cm 두께는 1차 및 3차 타설(각 9~12cm 두께)에 의해 얻어진다. 이 전면판 기법은 시공이 비교적 쉽고 가격도 저렴한 장점이 있으나 미관상 좋지 못하고 지하수 침투나 기후 변화, 동결현상 등에 취약할 수 있다. 또한 콘크리트와 지반사이의 접촉면에서 배수가 원활하지 못하여 비탈면의 수압을 상승시킬 수 있다.

현재까지는 현장타설 철근콘크리트 전면판이 많이 사용되어 왔는데 최근에는 기성 콘크리트 또는 강재 패널의 사용이 확대되고 있다. 이와 같은 기성 패널은 다양한 미적, 환경적 및 내구성 기준에 충족되도록 설계되어 있다. 그라우팅 네일은 일반적으로 사각형 강판(폭 39~40cm)에 네일을 볼트로 조임으로써 전면판에 부착시키며, 타입 네일은 일반적으로 피복 또는 다른 적절한 방법에 의해 전면판에 부착된다.

(4) 말뚝공

말뚝공은 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 받아 활동을 억지시키는 공법이다.

말뚝의 설계시에는 말뚝에 발생하는 휨모멘트와 전단력을 고려하여, 말뚝의 단면, 종류, 간격 등을 결정한다. 휨모멘트가 큰 경우에는 말뚝머리에 앵커를 설치할 수도 있다. 말뚝의 타설위치는 지반활동시 압축상태에 놓이게 되는 비탈면의 말단부 근처가 유리하다. 설치간격은 토사가 말뚝사이로 빠져나가는 문제를 고려해서 말뚝직경의 5~7배 이내로 하고, 말뚝직경이 큰 경우에도 4m를 넘지 않아야 한다.

억지 말뚝공법은 기초부 암반이 토압으로 활동현상이 발생한 지역, 토층 사이의 경계면에서 평면파괴가 발생하거나 풍화층의 유실과 침식으로 표면 붕괴의 우려가 있는 지역, 급경사 토사절개면의 경사완화가 불가능하거나 단층파쇄대 구간으로서 지하수위가 낮고 침투수 영향이 적은 구간에 적용된다.

(5) 옹벽공

옹벽은 안정 경사도 이상으로 비탈면을 절토한 후 비탈면 안정을 꾀하기 위하여 설치하는 벽체 구조물이다. 옹벽의 설계시 안정성 확보를 위하여 전도에 대한 안정성, 미끄러짐에 대한 안정성, 지반의 지지력 등에 대하여 검토를 해야 한다. 미끄러짐에 대한 안정성만이 부족한 경우에는 옹벽 바닥면에 활동방지용 턱(shear key)을 설치할 수도 있다.

(6) 개비온

개비온(gabion)은 돌망태공이라고도 하며 콘크리크 옹벽 대체공법으로 사용한다. 본 공법은 일정규격의 직사각형 아연도금 철망상자 속에 돌채움을 한 돌망태를 벽돌 쌓는 방법으로 쌓아 올려 벽체를 형성하는 공법이다.

본 공법의 특징은 배수성이 양호하기 때문에 설계시에 수압의 작용을 고려할 필요가 없다.

본 공법은 동절기에도 시공이 가능하므로 공기를 단축할 수 있으며 시공과정을 쉽게 파악할 수 있어 특별한 품질관리가 필요하지는 않다. 채움재로는 쉽게 풍화되지 않는 내구성이 큰 암석을 사용하는 것이 좋다. 일반적으로 하천석재, 깬 잡석, 현장에서 생산되는 부순 돌 등을 사용할 수 있다. 또한, 자원재활용이 가능하고 주변환경의 미관을 고려한 시공이 가능한 장점이 있다. 그러나 개비온은 깎기면의 수직고가 10m 이상이거나 작용토압이 너무 큰 구간에는 적절하지 않다

(7) 산마루측구, 소단배수로, 수직배수공

지표수배수공법에 속하는 것들로서, 절개면 상부자연 비탈면, 소단내, 또는 절개면 상에 콘크리트 U형 수로 등의 배수구를 설치함으로써, 강우나 강설에 의한 지표수가 절개면내 침투를 방지하여 절개면내 간극수압 상승을 차단하거나 절개면을 향한 지표수의 흐름을 차단시켜 절개면의 침식을 방지하는 공법이다.

산마루측구 시공시 측구와 지표가 밀착되지 않는 경우, 측구와 지표 틈새로 강우가 침투하여 배수효과가 거의 없을 뿐 아니라 토층이 유실되어 지반침하가 발생하는 경우가 많으므로 측구와 지표를 반드시 밀착시켜야 한다. 또한 품질관리를 위하여 가능한 현장타설 콘크리트 배수로를 설치하는 것이 바람직하다.

(8) 식생공

비탈면을 식생으로 피복하므로써 우수에 의한 침식을 방지하여 비탈면을 보호하려는 공법으로, 녹화에 의한 미관향상과 환경보전을 기대할 수 있으며 경제적이다. 그러나 식생공의 억지효과에 대한 평가가 어렵기 때문에 비탈면의 안정계산에는 이러한 식생공을 포함시키지 않는다. 따라서 식생공은 비탈면이 안정되어 있는 곳이나 억지효과가 있는 구조부재와 병행하여 이용한다. 국내 비탈면 보호공법으로 사용되는 식생공은 떼심기, 씨앗뿌리기공법, 씨앗부착 거적덮기, 코아넷(coir net), 코-메트(co-mat), 녹생토 등 여러 종류가 있다.

(9) 콘크리트 격자블록공

비탈면의 표면이 공기중에 노출된 상태로 방치되면 강우나 지하수 등에 의한 풍화, 침식작용으로 붕괴의 가능성이 높아진다. 블록공법 또는 격자블록공은 절개면을 블록이나 격자모양의 블록 등으로 덮어 중력에 의한 절개면 토층의 이동방지와 비탈면의 풍화, 침식작용을 차단시켜 절개면 안정을 도모하는 공법이다.

블록공에는 프리캐스트 콘크리트 블록(precast concrete block)이나 블록석, 연속 콘크

리트보 등이 포함된다. 콘크리트 격자블록공은 용수가 나타나는 비탈면, 매우 굵고 거친 사질토로 이루어진 비탈면, 단단한 풍화토로 이루어진 비탈면에는 적용하지 않는 것이 좋다. 시공시에는 안쪽으로 깊게 파내어 블록을 견고하게 설치한다.

(10) 돌 또는 콘크리트 블록 붙임공법

비탈면의 경사도가 1:1보다 낮은 점착력이 없는 토사 또는 무너지기 쉬운 점토 등에 적용된다. 붙이는 재료는 돌대신에 콘크리트 블록을 사용하기도 한다. 이면의 배수를 위하여 자갈을 충분하게 채워야 하며, 물빼기 구멍을 직경 50mm 정도로 2~4m^2 에 1개를 설치하는데 물의 흐름이 많은 경우에는 그 수를 증가시킨다.

7.3.2 암반 비탈면 대책 공법

암반 비탈면에 일반적으로 적용되는 안정대책공법은 <표 406.21>과 같다. 암반 비탈면의 파괴형태는, 비탈면과 불연속면들의 기하학적 관계에 따라 평면파괴, 쐐기파괴, 전도파괴 등으로 구분되며, 이외에 원호파괴와 낙석 형태의 붕괴가 있다. 암반 비탈면의 파괴형태에 따

<표 406.21> 암반 비탈면의 원리별 대책공법의 종류

원 리	공 법
경사도완화	절취공
암반보강	록볼트(rock bolt)
	록앵커(rock anchor)
	다우웰(dowel ; 버팀못)
	콘크리트 버팀벽(buttress)
	숏크리트(shotcrete)
간극수압감소	수평배수공
	측구배수공
표면보호	식생공(녹생토)
낙석제어	낙석방지망
	낙석방지책
	면정리(이완암블록 제거)
	낙석흡수 도랑(ditch)
	링네트(ring net)
	낙석복공(rock shed)

라 일반적으로 적용 가능한 대책공법을 <표 406.22>에 제시하였고 각 공법의 특징은 다음과 같다.

(1) 비탈면 경사 완화공

비탈면 경사 완화공은 절개면의 암괴 중 활동하려는 암괴를 제거하여 활동하중을 경감시킴으로써 비탈면 안정을 도모하는 방법이다. 비탈면 경사를 완화하여 활동암괴를 제거함으로서 확실한 안정공법으로 여겨지나 절취를 실시하였음에도 불구하고 파괴가 발생하는 경우가 있다. 특히 비탈면내에 연약대층이 함유되어 있는 경우에는 절취 후 파괴가 계속될 수 있다. 그러므로 비탈면 경사 완화 공사 중간에 절개면의 잠재적인 내적 취약점을 명확히 조사하여 절개면의 안정성을 재검토하고, 필요하다면 앵커공과 같은 다른 보강공법과 병행하여 시공해야 한다. 절개면 상부 자연 비탈면의 경사도가 큰 경우에는 굴착량이 막대하고, 경제성, 시공성의 면에서 어려운 점이 많으므로 다른 보강공법을 고려하는 것이 바람직하다.

기존 절개면의 보강대책 또는 붕괴절개면의

<표 406.22> 암반 비탈면의 파괴형태에 따라 일반적으로 적용 가능한 대책공법

파괴유형 / 대책공	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴	낙석
절취공	○	○	○	○
록볼트	○	○	○	○
록앵커	○	○	○	
다웰(dowel)		○		○
콘크리트버팀벽	○	○		
숏크리트				○
수평배수공	○	○	○	
낙석방지망				○
낙석방지책				○
면정리(이완암블록제거)				○
낙석흡수도랑			○	○
링네트				○
낙석복공				○

복구차원에서 비탈면경사 완화공과 앵커공의 선택은 절개면상부 자연비탈면의 경사도를 고려하여야 한다. 즉, 자연 비탈면의 경사도가 30°미만인 경우 절취공이 유리하며, 30°이상인 경우 앵커공이 유리하다. 이는 자연비탈면 30° 이상인 경우 안정경사도를 유지하면서 절취할 경우 엄청난 절취량과 함께 절취후 절개면의 높이가 매우 높아지기 때문이다.

(2) 록앵커

비탈면에 활동 가능한 암반블록이 있을 때 고강도 강재로 된 앵커재를 예상활동면을 관통시켜 안정된 지반에 정착시키고 앵커의 인장력에 의하여 활동에 저항하도록 하는 공법이다. 앵커공법은 고강도의 강재를 사용하여 프리스트레스를 가하는 점에 공법의 특징이 있다. .

(3) 록볼트

록볼트 공법은 비탈면에 활동 가능한 소규모 암반블록이 있을 때 직경 25mm, 길이 6m 정도의 철봉을 안정한 암반에 정착시키고 록볼트 전체를 그라우트함으로써 암반의 전단강도를 증가시키는 수동보강형 공법이다. 이 공법은 다양한 절리, 전단파쇄대의 블록이 조합되어 쐐기활동이 예상되는 지역, 암반이 뜬 상태로 있어 이를 기반암에 고정시키거나, 평면파괴가 우려되는 지역에 적절하다. 필요시 낙석방지망과 조합으로 시공될 수 있다. 록앵커와의 가장 큰 차이는 프리스트레스를 가하지 않는다는 점이다. 절개면 표면의 암반이 연약할 경우에는 숏크리트 등을 타설한 후에 록볼트 또는 록앵커를 시공한다.

(4) 다웰(dowel)

다웰공법은 암반에서의 소규모 단독 분리암괴에 의해 암괴의 탈락이 예상될 때 암괴를 절개면에 고정하기 위하여 적용하는 공법이다. 즉, 직경 25mm, 길이 1~3m 정도의 철봉을 보링공내에 삽입하여 그라우트 주입을 실시함으로서 절리면의 전단강도를 증가시키는 수동보강형 공법이다.

(5) 콘크리트 버팀벽

비탈면에서 암탈락이 발생하거나 또는 비탈면 절취시 발파에 의하여 절개면상에 빈 공간이 생기게 되면 절개면 하부의 지지력을 상실하게 되어, 또 다른 암탈락이 발생할 위험이 커진다. 이러한 경우, 하부의 빈 공간에 콘크리트 버팀벽을 설치하면 경제적으로 절개면의 안정성을 높일 수 있다.

(6) 수평배수공

수평배수공은 지하수배제공법 중의 하나로 얕은층 또는 깊은층의 지하수를 배제하기 위하여 수평천공을 하는 공법으로서, 천공의 길이는 활동이 예상되는 면을 지나서 기반층에 5~10m 이상 삽입되어야 한다. 강우면적, 비탈면의 면적과 경사도, 지하수누수 지점 등에 따라 배수공 설치를 고려해야 한다. 배수파이프가 절개면 구성입자의 침전물 등으로 채워지게 되면 본래의 목적을 달성할 수 없으므로, 배수파이프를 토목섬유, 부직포 등으로 대체함으로써 시공 후 토사로 인한 파이프 구멍(strainer) 막힘 내지 파이프내 토사유입을 최소화하여야 한다. 이때 부직포는 시공현장에서 물에 침수시켜 충분히 포화시킨 후 배수 파이프를 감싸야 한다.

(7) 식생공법

식생공법은 흙비탈면 대책공법에서 이미 언급되었다. 식생공법중 녹생토 공법은 암면에 철망을 이용하여 인공 토양층을 강제 부착시켜 녹화를 유도하는 공법이다. 장점으로는 초기녹화효과가 탁월하지만, 공사비가 고가이고 일정기간 경과후 인공토양층이 건조, 균열반복으로 암면과 분리, 이탈현상을 초래할 수 있다. 또한 우기시에는 함수량의 증가에 따른 단위중량의 증가로 비탈면 붕괴의 원인을 제공할 수 있다.

또한 건조가 장기간 지속되면 식생이 죽을 수도 있으며 식생천이과정이 빨라 단기간에 원래의 종자는 멸종될 수도 있다.

위험 비탈면의 경사가 풍화암, 연암일 경우 1:1.2보다 급해지면 식생공만으로 비탈면의 안정을 유지하기 어려우므로, 식생공 이외의 비탈면보호공을 검토해야 한다. 식생공의 목적을 달성하기 위해서는 지반의 상태, 식생의 적용범위, 시공방법, 기후와 병충해 등을 고려하여 사용식물과 도입공법을 선정하여야 한다.

코어(coir)를 이용한 식생공법이 우수한 것으로 보고되고 있으며, 코어 네트(net) 보다는 코이어 매트(mat) 방식이 보온 및 보습에 유리하다. 매트 설치시 절개면 표면이 고를 경우에는 지지용 스틸(steel) 네일과 우드(wood) 네일을 일정 간격으로 설치하고, 표면이 불규칙할 경우에는 매트가 지면에 밀착할 수 있게 좁은 간격으로 설치한다. 식생피복이 완료될 때까지 침식이 방지될 수 있도록 해야 하며, 지속적으로 수분과 양분을 공급하는 등의 유지관리가 필요하다.

더욱이 식생공법 적용시에는 시험시공을 실시한 후 적용하려는 비탈면에 적합한 것을 선정한다. 특히 동절기같은 기간에는 식생공법의 효과 등을 정확히 알 수 없으므로 가급적 피하고 일정기간 이상 식생이 자라는 것을 보고 최종 선택한다.

407
옹 벽

407.1 일반사항

도로 건설공사를 진행하는데 있어서 땅깎기와 흙쌓기 등의 토공부분에서 용지 제한과 지형 등의 제약에 의해 비탈면으로는 안정성을 유지할 수 없는 경우가 있다. 이와 같은 경우에 설치되는 옹벽은 그 목적에 적합하여야 함은 물론 안전하고 경제적이어야 한다. 또한 충분한 조사와 적절한 설계·시공을 실시하고 설치 후에는 적절한 유지관리를 실시하여 안정성을 유지하는 것이 중요하다. 그러므로 설계자는 공인된 이론, 실험결과 및 과거의 경험을 토대로 하여 옹벽이 받는 각종 하중, 기상작용, 지반의 지지력 등에 알맞도록 사용재료, 구조물의 형태, 재료의 강도와 허용응력, 구조세목 등을 정하여 옹벽을 설계한다.

본 편은 도로토공에 있어서 중력식 옹벽, 역T형 및 L형 옹벽, 뒷부벽식 옹벽, 앞부벽식 옹벽 등의 콘크리트 옹벽 형식과 최근에 사용실적이 많은 새로운 형식인 보강토 옹벽 및 경량성토재인 EPS블럭을 이용한 옹벽에 대해 일반적인 설계사항을 기술한다. 지반조건, 시공조건, 기상 등의 환경조건이 시공현장마다 다르기 때문에, 본 편람에 기술되어 있지 않는 옹벽의 설계가 요구될 경우에는 여기에서 기술한 기본적인 방안을 이해하고 기존의 시공사례 등의 경험을 살려 적절하게 판단함으로써 합리적인 설계를 시행할 필요가 있다.

407.2 옹벽의 계획 및 형식선정

2.1 옹벽의 계획

옹벽의 설계에 앞서 우선 옹벽이 필요한 이유를 명확히 하여 그 목적에 충분히 대응할 수 있는 설계계획을 세운다. 옹벽의 설계에 있어 도로설계와 함께 검토하고, 설계·시공·유지관리에 적합하고 충분한 안정성을 가지며 또한 양호한 경관을 유지하면서 경제적인 계획을 수립한다.

옹벽은 설치되는 높이, 지형 혹은 지반조건 등에 따라 구조형식, 기초형식이 달라진다. 따라서, 다음사항에 대해서 조사, 검토하고 설계계획을 추진한다.

(1) 설치의 필요성
(2) 설치장소의 지형, 지질 및 토질
(3) 주변 구조물과의 상호영향
(4) 시공조건
(5) 안정성, 방재성
(6) 주위 경관에의 배려
(7) 경제성

2.2 조사

조사는 합리적이고 경제적인 계획, 설계, 시공, 유지관리를 실시하기 위해 필요한 자료를

얻는 것을 목적으로 한다.

구조물의 기초가 되는 지반은 단순히 토질조사 뿐만 아니라 폭넓게 지형, 지질까지를 고려한 조사계획을 세운다. 그리고 설계단계에서 얻은 토질과 지질 등에 관한 자료는 유지관리에 있어서 중요한 자료가 되므로 정리보존해 두는 것이 바람직하다.

(1) 자료수집

조사예정지역 근처에서 실시된 지질조사, 보링 등의 기존자료를 수집, 검토하여 개략적인 지층구성을 파악하고 토질조사를 실시할 때의 참고자료로 삼는다.

(2) 주변구조물에 대한 조사, 검토

기설 혹은 동시 시공의 구조물에 근접하여 옹벽을 설치하는 경우 등에는 옹벽을 단독으로 신설하는 경우와 달리 구조, 시공, 경관 등의 면에서 주변구조물의 영향을 받거나 반대로 영향을 미치거나 하는 경우가 많다. 따라서 주변구조물의 현상조사와 옹벽설치에 따른 주변구조물과의 상호영향에 대해서 검토한다.

(3) 시공 조건의 조사

시공의 안정성, 확실성 등에 충분한 배려가 반영된 설계가 되기 위해서는 설계단계에서 기설구조물 및 매설물의 조사와 이에 따른 시공상의 제약조건, 시공중의 비탈면안정, 가배수방법, 작업공간, 자재의 반입・수송・임시 적재방법, 소음・진동 등의 규제상황, 시공시기, 공정, 사용기계 등에 대해 검토한다.

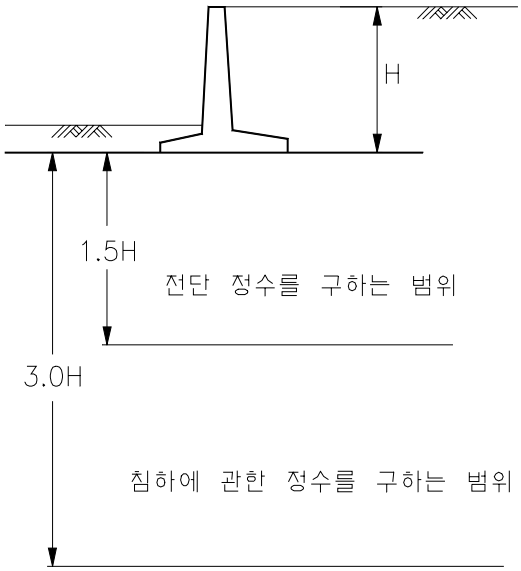
(4) 설계정수를 구하기 위한 지반조사 및 토질조사 항목은 다음과 같다.

① 외력(토압)의 계산에 필요한 설계정수를 구하는 조사
② 기초지지력의 설계에 필요한 설계정수를 구하는 조사
③ 안정 검토에 필요한 설계정수를 구하는 조사
④ 압밀침하의 검토에 필요한 설계정수를 구하는 조사
⑤ 액상화 판정을 위한 조사

조사해야 할 깊이는 지지력, 활동, 침하 등에 영향을 미치는 범위로 한다. 기초지반의 조사범위는 <그림 407.1>에 나타낸 범위로 한다. 일반적으로 옹벽의 배면흙쌓기와 옹벽자중에 의해 기초지반에 발생하는 활동파괴는 기초저면으로부터 그 배면흙쌓기높이의 1.5배 이내의 깊이에서 발생한다. 또한, 접지압에 의한 침하영향은 일반적으로 흙쌓기높이의 1.5~3.0배 이내이지만 이 범위를 초과하여 압밀침하를 일으킬 가능성이 있는 연약층이 존재하면 그 층 전체에 대해서 침하에 관한 모든 성질을 조사할 필요가 있다. 직접기초의 지지력 추정에 이용하는 N값은 <그림 407.1>에 있는 전단정수를 구하는 범위까지의 평균값을 사용한다.

옹벽 설계에 이용하는 토압은 토질시험을 실시하는 등 충분한 검토에 의해 구할 수 있는 정수에 의해 결정한다. 토압의 계산에 이용하는 흙의 단위체적중량은 뒤채움 흙에 대한 토질시험으로부터 구하나, 높이 8m 이하 옹벽에서 토질시험을 실시하는 것이 곤란한 경우는 <표 407.1>과 <표 407.2>의 값을 참고할 수 있다.

지반의 허용지지력은 원위치시험 등을 실시하여 결정한다. 특히 대규모 옹벽, 특수한 시공조건인 것, 중요도 높은 옹벽 혹은 완만한 사



<그림 407.1> 기초지반의 조사해야 할 범위

<표 407.1> 뒤채움재의 설계 토질정수

뒤채움재의 종류	내부마찰각 (ø,°)	점착력 (c)
①자갈 ②사질토 ③점성토(단, W_L < 50%)	35 30 25	- - -

<표 407.2> 흙의 단위체적중량(일본도로협회, 1999)

(단위 : t/m^3)

지반	토질	느슨한 상태	조밀한 상태
원지반	자갈 사질토 실트, 점성토	1.8 1.7 1.4	2.0 1.9 1.8
흙쌓기	자갈 사질토 점성토(단, W_L < 50%)	2.0 1.9 1.8	

질토 지반이나 연약한 점토지반상의 옹벽에 대해서는 신중하게 검토할 필요가 있다.

옹벽의 침하에 대한 검토가 필요한 것은 대부분의 경우 연약지반의 압밀침하이다. 압밀침하량은 압밀시험결과 하중과 간극비의 관계(e-log p) 곡선을 이용하여 계산된다.

옹벽을 지지하는 사질토지반에서 지진시에 액상화 현상이 발생한 경우, 지반지지력이 대폭 상실되고 결과적으로 옹벽이 피해를 받는 경우가 있기 때문에 이와 같은 조건의 지반을 검토할 필요가 있다.

2.3 옹벽의 구조형식 선정

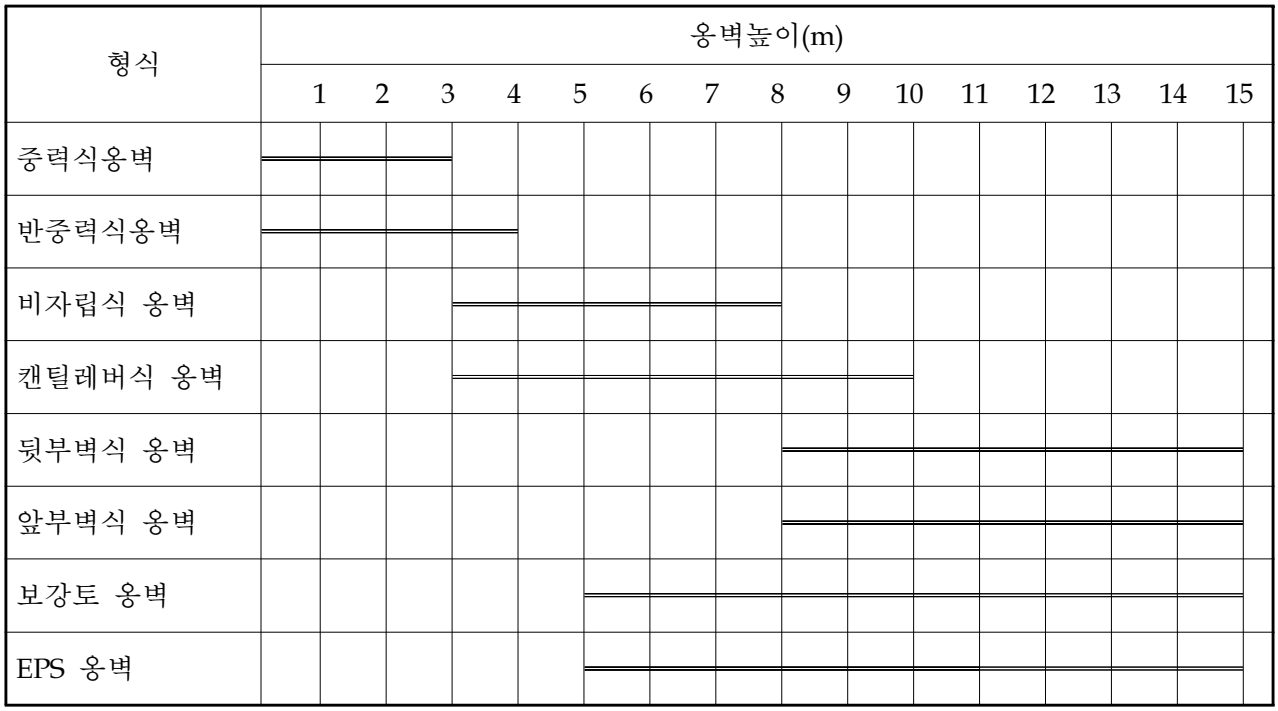
옹벽의 구조 형식 선정은 경제성 뿐만 아니라, 설치장소의 지형, 지질, 시공 조건, 주변 조건을 고려해서 적절한 형상 및 구조를 선택한다.

또한, 옹벽 구조물의 안전성, 시공성, 경제성, 장래의 유지 관리성, 주변 환경에 대한 적합성, 경관성 등의 면에서 종합적으로 검토한 다음에 형식을 결정한다.

주요 옹벽의 구조 형식 및 그 특징은 다음과 같다. 또, 뒤채움의 시공성 등을 고려하여 각 형식 선정에 있어서의 적용 범위를 나타내면 <그림 407.2>와 같다.

(1) 중력식 옹벽

자중으로 토압을 지지하는 무근 콘크리트 구조 옹벽으로, 벽체 내에 콘크리트 저항력 이상의 인장력이 생기지 않도록 한다(<그림 407.3 (a)>). 콘크리트 옹벽 중에서 시공이 가장 용이하며, 옹벽 높이가 낮고 기초지반이 양호한 경우에 주로 적용한다.



<그림 407.2> 옹벽의 적용 범위

(2) 반중력식 옹벽

중력식 옹벽의 벽체 내에 생긴 인장력에 의한 콘크리트량을 절약하기 위해 소량의 철근을 넣어서 저항하도록 한 형식(<그림 407.3(b)>)으로서, 대체로 중력식 옹벽에 준하여 사용한다.

(3) 비자립형 옹벽

주로 땅깎기부에 쓰이며 자립이 불가능한 중력식 옹벽으로서, 원지반 또는 뒤채움재에 기대어서 자중으로 토압에 저항하는 형식이다(<그림 407.3(c)>).

(4) 캔틸레버식 옹벽

벽체와 저판으로 되어 있고, 벽체의 위치에 따라 역T형, L형, 역L형이 있다(<그림 407.3(d)(e)(f)>). 이 형식의 옹벽은 벽체의 자중과 저판 위의 흙의 중량으로 토압에 저항하는 것이며, 철근 콘크리트 구조이므로 중력식 옹벽에 비해 콘크리트량이 적어진다. 구조적으로는 벽체와 저판이 서로 강결된 캔틸레버 보로서 설계한다.

적용 범위가 넓으며 옹벽 높이 3~10 m 정도까지 쓰인다. L형 옹벽은 옹벽이 용지 경계에 접하여 있는 경우 등 앞판을 설치할 수 없을 때에 쓰인다. 역L형 옹벽은 배면에 구조물 등이 있어서 저판을 토압 작용 방향으로 설치할 수 없을 때에 쓰인다. 이 형식은 뒤채움 흙의 중량을 안정 계산에 이용할 수 없으므로 활동에 대한 안정을 위해 근입을 깊게 하고, 또 저판의 길이를 현저히 길게 해야 하므로 역T형, L형 옹벽에 비해서 비경제적인 형식이다.

(5) 뒷부벽식 옹벽

벽체와 저판 사이의 강성을 부벽으로 유지한 것으로, 부벽이 토압이 작용하는 측에 있다(<그림 407.3(g)>). 옹벽 높이가 높아지면 구체 콘크리트량은 캔틸레버식 옹벽에 비해 상당히 유리하게 되므로 옹벽 높이 8m 이상의 경우에 쓰인다. 이 형식의 옹벽은 시공이 다른 형식에 비해 어렵고, 배면 흙쌓기의 다짐 작업도 어려우므로 시공시에 주의를 요한다.

(6) 앞부벽식 옹벽

뒷부벽식 옹벽과 유사하지만 뒷부벽식 대신 받침벽이 벽체 전면에서 벽체를 지지하고 있는 것이다(<그림 407.3(h)>). 이 형식은 저판의 앞쪽에 받침벽의 자중이 작용하므로 뒷부벽식 옹벽에 비해 안정상 불리하여 그다지 사용되지 않는다.

(7) U형 옹벽

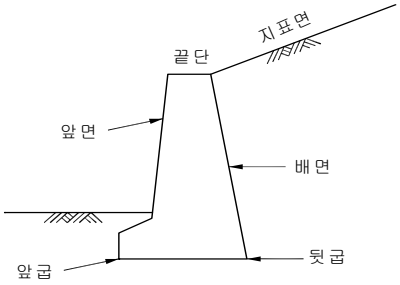
측벽과 바닥 슬래브를 일체화하여 U형 단면으로 한 구조이며, 일반적으로 편토압을 받지 않으므로 활동, 전도의 염려가 없다. 입체 교차의 진입도로 등에 적용되며, 지하수위가 높으면 양압력으로 부상할 우려가 있다.

(8) 블록쌓기 또는 돌쌓기 옹벽

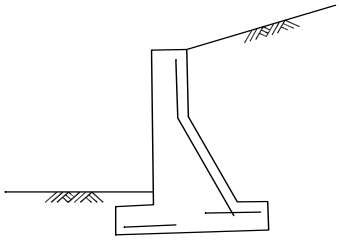
프리캐스트 콘크리트 블록이나 돌을 겹쳐 쌓은 옹벽으로 원지반 또는 뒤채움 흙에 의지하고 있어 안정한 구조이다. 시공속도가 빠르고 경제성이 우수하며, 적용높이는 건성쌓기 3m 이하, 찰쌓기 5m 이하, 대형블럭쌓기는 15m 까지 가능하다.

(9) 보강토 옹벽

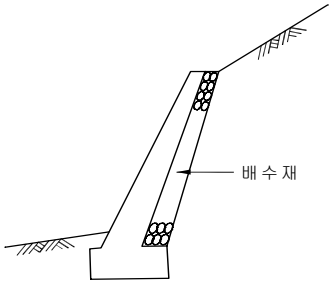
뒤채움부에 포설된 보강재와 뒤채움재 사이의 마찰저항력에 의해 벽면의 안정을 유지하는 형식의 옹벽이다(<그림 407.3(i)>). 보강재로 띠모양 강재를 이용하는 강재 보강토 옹벽과 합



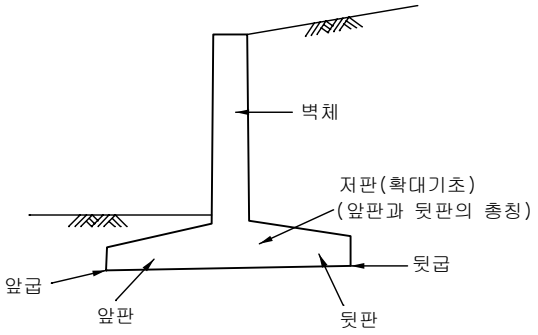
(a) 중력식 옹벽



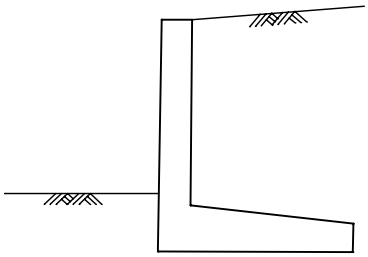
(b) 반중력식 옹벽



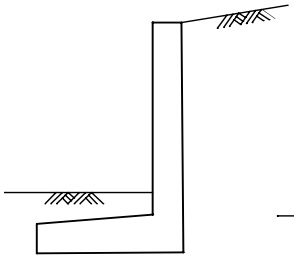
(c) 비자립형 옹벽



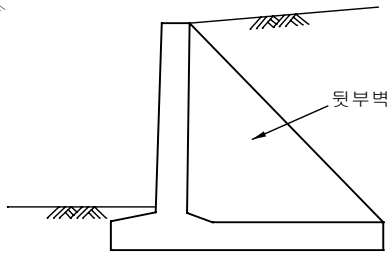
(d) 역T형 옹벽



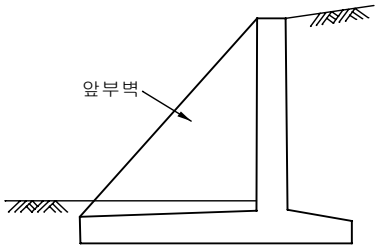
(e) L형 옹벽



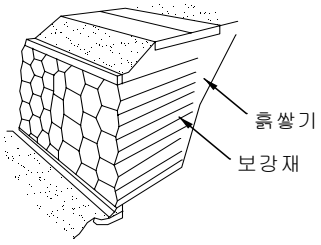
(f) 역L형 옹벽



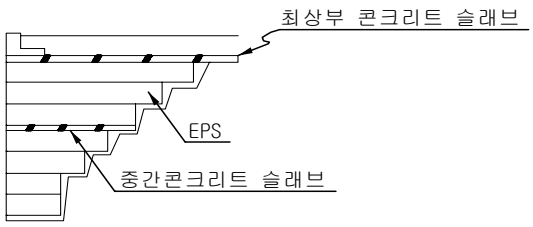
(g) 뒷부벽식 옹벽



(h) 앞부벽식 옹벽



(i) 보강토 옹벽



(j) EPS 옹벽

<그림 407.3> 옹벽의 종류

성섬유띠나 지오그리드 보강재를 이용하는 토목섬유 보강토 옹벽 등이 있다.

(10) EPS(expanded polystyrene) 옹벽

발포폴리스칠렌(EPS)의 대형블럭을 뒤채움재로 이용하는 옹벽 형식으로 EPS의 단위체적중량이 흙의 약 1/100 정도로 가벼운 초경량성에 가장 큰 장점이 있다((<그림 407.3(j)>). EPS 옹벽은 경량이기 때문에 EPS 블럭을 쌓는 데는 대형 건설기계가 필요하지 않으며 인력으로도 시공이 가능하다. 이 형식은 지하수위가 높을 경우에는 설계시 양압력에 대한 안정성을 반드시 고려한다.

(11) 기타 옹벽

앞에서 언급한 것과 다른 특수 형식으로, 선반식 옹벽, 선반이 있는 뒷부벽식 옹벽, 상자형 옹벽, 거푸집형 옹벽 등이 있다. 이들 옹벽은 표준옹벽을 설치하기 어렵고 비경제적일 경우에 쓰이지만, 개개의 설계 자료, 실시 예 등을 참고하여 충분한 검토를 할 필요가 있다.

2.4 기초구조형식 선정

옹벽의 기초형식은 직접기초와 말뚝기초로 분류된다. 옹벽의 기초형식으로서는 기초지반과 배면토가 일체가 되어 거동하는 직접기초가 바람직하고, 표층의 지반이 연약하더라도 비교적 얕은 부분에 지지층이 존재하는 경우에는 연약층의 치환과 개량을 실시하여 직접기초로 하는 경우가 많다. 이것이 곤란한 경우는 말뚝기초가 이용된다.

말뚝기초에는 기성말뚝(RC말뚝・PHC말뚝・강관말뚝 등)을 이용한 타입말뚝 및 보조 관입말뚝, 그리고 옹벽 규모 등에 따라서는 현장타설말뚝이 이용된다. 하지만 이들 말뚝 선정에 있어서는 경제성 외에 시공에 수반하는 소음, 진동, 혹은 이수(泥水)의 발생과 굴착토의 처리 등에 대해서는 충분히 검토할 필요가 있다. 또, 연약지반상에 설치하는 기초형식의 선정에 있어서는 배면흙쌓기 등의 등분포하중 영향에 의해 시공시 또는 시공후에 주로 옹벽전면에 커다란 변위와 경사가 발생하는 경우가 있으므로 지반개량 및 토압경감공법 등과 병용하여 종합적으로 검토할 필요가 있다.

407.3 하중

옹벽 설계에 고려되는 하중은 자중, 상재하중, 토압, 지진하중, 수압 및 양압력이 있으며 그 외에 설하중, 풍하중, 충돌하중 등이 있다.

이 중 설계에 이용하는 하중은 자중+상재하중(활하중)+토압의 조합으로 한다. 설계에 이용하는 하중은 설계조건과 구조형식에 따라서 적절히 선정하고 반드시 전부 채용할 필요는 없다.

높이가 8m 이상인 옹벽을 설계하는데 있어서는 책임기술자의 판단 하에 지진의 영향을 고려하고, 그때의 하중 조합은 자중+지진시 토압+지진시 관성력으로 한다.

단면설계시 하중계수의 적용은 '콘크리트 표준시방서'에 따른다.

3.1 자중

자중은 옹벽 구체 중량 외에 역T형, L형 옹벽 등의 저판 위에 있는 흙의 중량을 포함한다. 또, 역T형 옹벽의 앞판의 흙은 보통의 경우 이를 무시해도 좋지만 근입깊이가 큰 경우와

역L형 옹벽 등의 경우에는 그 영향을 고려한다.

자중의 선택은 <그림 407.4>에 나타낸 바와 같이 빗금친 부분을 자중으로 한다. 또, 지진의 영향을 고려하는 경우의 자중에 대해서는 '3.5 지진하중'에 따른다. 자중의 계산에 쓰이는 재료의 단위체적중량은 다음과 같다.

(1) 철근 콘크리트 및 무근 콘크리트의 단위체적중량은 다음과 같이 한다.

・철근 콘크리트 : 2.50 t/m^3

・무근 콘크리트 : 2.35 t/m^3

(2) 흙의 단위체적중량은 토질시험결과를 기초로 하여 결정하는 것이 바람직하지만, 높이가 8m 이하인 옹벽에서는 토질시험이 곤란한 경우 <표 407.2>의 값을 참고할 수 있다.

3.2 상재하중(활하중)

경차량, 보도 등에 의한 상재하중(q)은 1.0 t/m^2, 중차량(DB-24) 등에 의한 상재하중(q)은 1.3t/m^2로 하고, 이에 의한 옹벽 배면에 작용하는 토압은 <그림 407.5>에 나타낸 바와 같이 활하중에 상당하는 만큼 흙쌓기가 높아진 것으로 가정해서 계산한다(그림 중 γ는 뒤채움재의 단위체적중량).

3.3 토압

옹벽은 흙과 접촉하여 축조된 구조물이고 옹벽에는 벽면토압이 작용한다. 토압에는 옹벽의 변위에 따라 주동토압, 정지토압, 수동토압의 상태가 있다.

(1) 주동토압

벽체가 전방으로 이동하고 그에 따라 배면토가 붕괴할 때의 토압을 주동토압이라 한다. 옹벽은 붕괴되는 토체를 지탱하는 것이 목적이기 때문에 주동토압을 바탕으로 설계가 이루어진다. 이때 토압 계산은 쿨롱(Coulomb)과 랭킨(Rankine) 등의 토압공식이 이용된다.

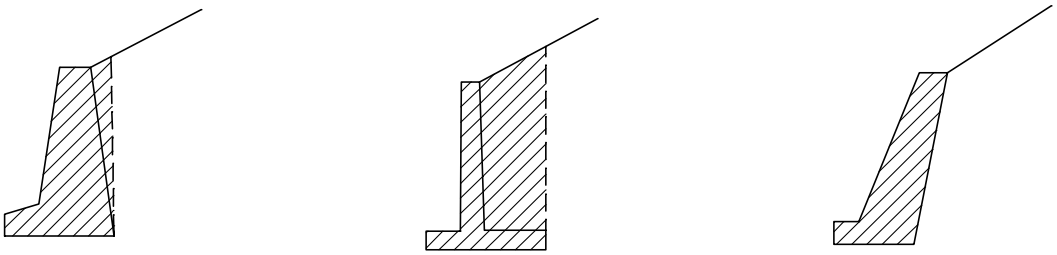
(2) 수동토압

벽체가 토체측을 압축했을 때에 토체가 위쪽으로 밀어올려지는 상태로 파괴할 때의 토압을 수동토압이라 한다. 수동토압은 옹벽의 활동저항력이 되는 경우가 많지만 옹벽의 설계에서는 전면 되메우기 흙에 의한 수동토압은 무시한다. 그러나 옹벽전면토의 저항력을 고려할 경우에는 쿨롱 토압공식을 이용한다.

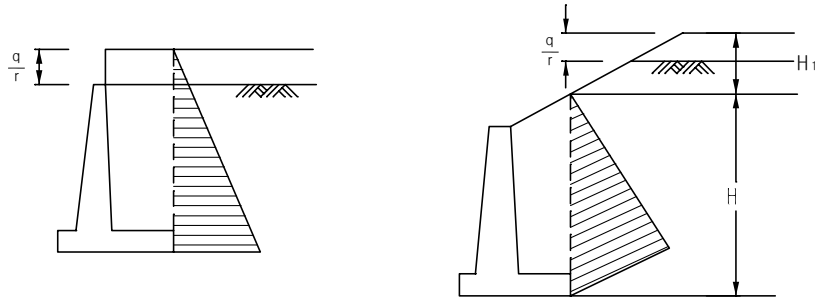
(3) 정지토압

벽체에 전혀 변위가 발생하지 않고 있을 때 벽체에 작용하는 토압을 정지토압이라 한다. 정지토압을 정확히 추정하기는 곤란하지만 과거의 실험과 경험에 의해 추정하는 방법이 제안되고 있다.

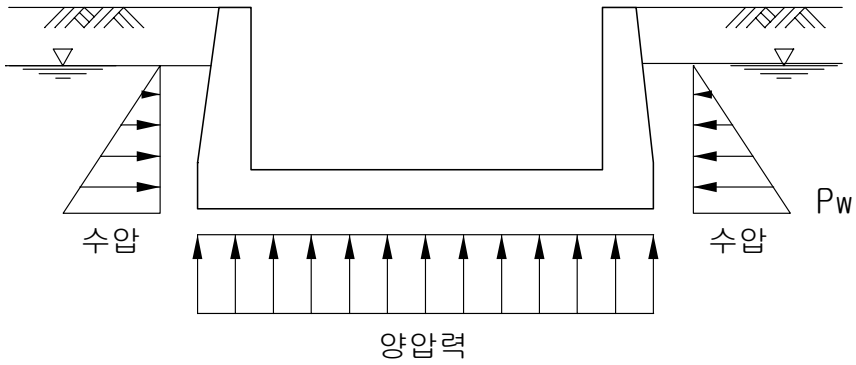
실제 구조물에 작용하는 토압은 단순하지 않고 구조물과 기초지반과의 상호작용 결과로 발생한다. 따라서 구조물에 작용하는 토압을 추정하는 데는 흙의 응력~변형 관계를 고려할 필요가 있지만 흙은 입도와 간극비, 함수상태 등의 물리적 조건 이외에 응력이력과 경계조건 등에 의해 복잡한 거동을 나타내기 때문에 현재로서는 명확한 응력~변형관계의 설명은 곤란하다. 따라서 실무상에서는 구조물의 변위특성 등을 고려하여 전술한 방안을 경험적으로 응용한 계산법을 적용한다.



<그림 407.4> 옹벽 종류별 자중 선택 범위(연직 가상 활동면)



<그림 407.5> 상재하중에 의한 환산 높이를 구하는 방법



<그림 407.6> U형 옹벽에 작용하는 수압 및 양압력

3.4 수압 및 양압력

(1) 수압

지하수위 이하에 설치된 U형 옹벽(<그림 407.6> 참조)과 하천의 물가에 설치된 옹벽처럼 옹벽의 전후에서 수위차가 발생하는 경우에는 이 수위차에 수반하여 정수압을 고려한다. 정수압은 식(407.1)에 의해 계산한다. 단지, 옹벽이 지하수위 이하에 존재하더라도 옹벽의 일부 또는 전부에 수압이 작용하지 않는 것이 명확한 경우에는 옹벽에 작용하는 수압을 저감 혹은 고려하지 않을 수 있다.

$$P_w = \gamma_w \cdot h \qquad (407.1)$$

여기서, P_w : 수면으로부터 깊이 h에서의 정수압(t/m^2)

γ_w : 물의 단위체적중량($1.0t/m^3$)

h : 수면에서의 깊이(m)

(2) 양압력

옹벽이 하천 등의 물가와 지하수위 이하에 설치되는 경우에는 옹벽 저면에 작용하는 상향 정수압에 의해 발생하는 양압력을 고려한다. 수위 변동이 현저한 곳에서는 옹벽에 가장 불리한 조건으로 고려한다. 예를 들면, 활동과 전도에 대한 안정성을 검토하는 경우에는 양압력을 고려하고, 기초지반의 지지력이나 부재의 응력도에 대해서 검토할 경우에는 양압력을 무시하는 방법을 생각할 수 있다.

옹벽저면의 지반이 점성토층이나 균열이 적은 암반 등의 불투수성층인 경우에도 시간경과에 따른 물의 침투 등에 의한 양압력이 작용하는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 옹벽의 장기적인 안정성을 검토하기 위해 양압력을 고려하는 것이 좋다.

3.5 지진하중

옹벽에 작용하는 지진시의 하중상태는 상시 경우와는 다르다. 지진하중으로서는 옹벽의 자중에 기인한 지진시 관성력과 뒤채움 흙의 지진시 토압을 고려한다. 그러나 과거의 경험에 의하면 평상시에 대한 설계와 시공을 면밀하게 해 두면 지진의 영향을 특별히 고려하지 않아도 보통적인 규모의 지진에 대해서도 기능적으로 견딜수 있다는 사실이 인정되었다. 높이 8m 이하인 옹벽은 일반적으로 안정검토를 생략하지만 옹벽의 중요도 및 복구 난이도를 고려하여 필요에 따라 지진시 안정검토를 실시한다.

3.6 기타하중

현장여건에 따라 풍하중, 설하중, 충돌하중 등이 고려될 수 있다.

설하중을 고려할 필요가 있는 지역은 옹벽 설치지점의 상태에 따라 적절한 값을 정한다. 옹벽의 상부에 높이 5m 이하의 차음벽을 직접 설치하는 경우, 벽체의 부재설계에는 차음벽에 작용하는 풍하중을 고려하고, 안정계산에는 고려하지 않아도 좋다. 단지, 높이가 2m 이하의 중력식 옹벽 등에 직접 설치하는 경우, 차음벽의 높이가 5m 이상이 되는 경우에는 풍하중에 의해 옹벽 안정이 좌우되는 경우가 있으므로 풍하중을 고려하여 안정계산을 할 필요가 있다. 옹벽의 상부에 차량용 방호책 등을 직접 설치하는 경우, 안정계산 및 벽체의 부재설계에는 방호벽에 작용하는 충돌하중을 고려한다.

407.4 콘크리트 옹벽

4.1 설계

4.1.1 설계일반

콘크리트 옹벽은 다음의 사항에 대해서 검토하고 안전율 또는 기준을 만족하여야 한다.

(1) 안정성 검토
다음의 항목에 대해서 안정성을 검토하고 상시 및 지진시에 대해서 안전율 또는 기준을 만족하여야 한다.

① 활동에 대한 안정성
② 지지력 및 침하에 대한 안정성
③ 전도에 대한 안정성
④ 전체의 안정성

(2) 부재의 응력도 검토
① 구체의 응력도 검토
② 기초공의 응력도 검토

(3) 구조세목의 검토
① 배수공 검토
② 부대설비 검토

4.1.2 설계순서

옹벽의 설계는 계획된 최초의 단계에서 옹벽 종류별 옹벽 높이와 그 특징을 고려하여 <그림 407.7>과 같은 순서로 실시한다.

(1) 사용목적 결정
(2) 형식 결정
(3) 강도정수 결정
(4) 표준설계도 이용
(5) 단면 가정
(6) 토압계산
(7) 안정 검토
(8) 응력 검토
(9) 종합 검토

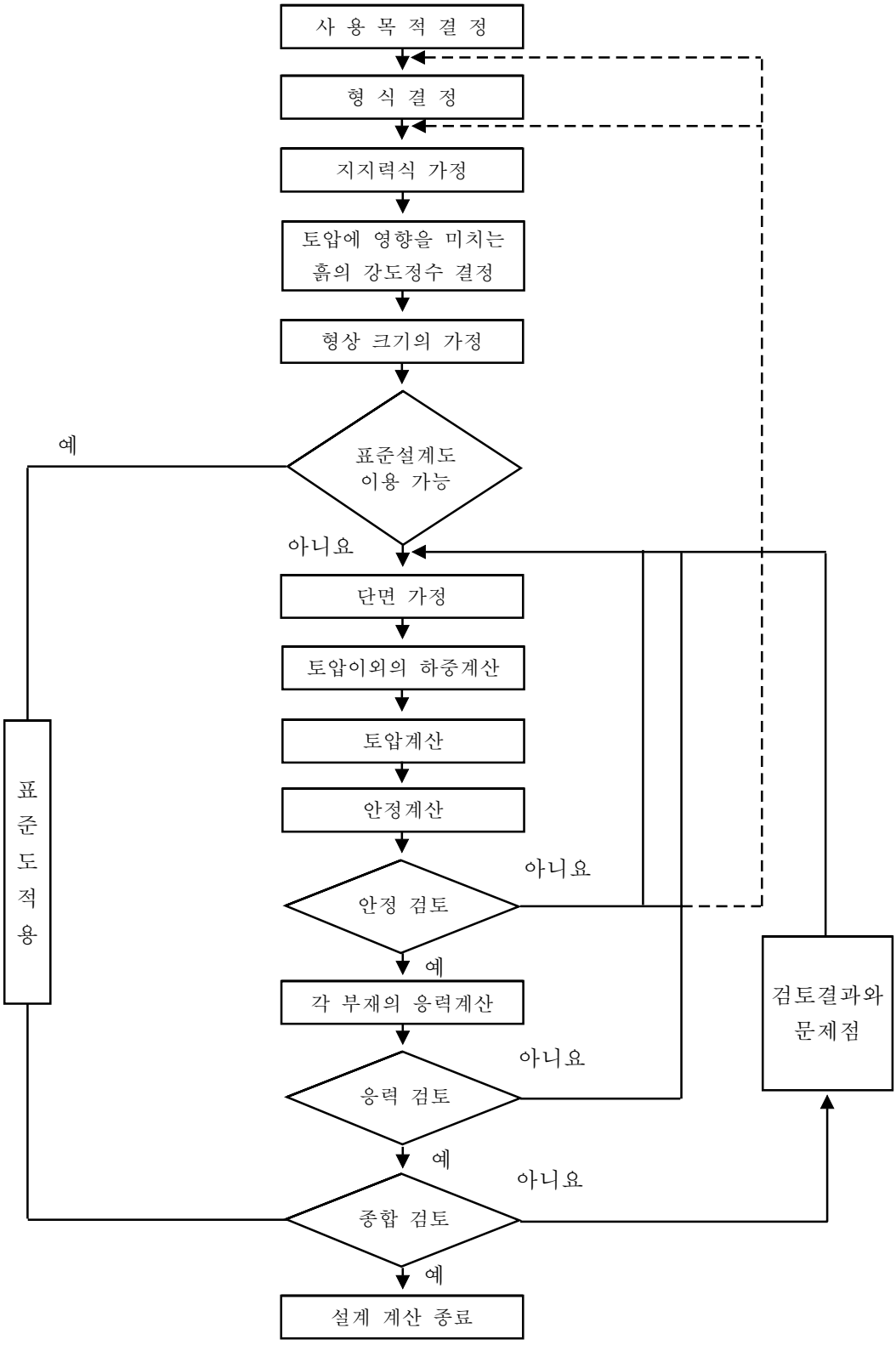
4.2 토압계산

4.2.1 토압 작용면과 벽면마찰각

토압의 작용면은 콘크리트구체 배면으로 하고 벽면마찰각(δ)은 <표 407.3>의 흙과 콘크리트인 경우인 $\frac{2}{3}\phi$를 이용한다. 또한, 콘크리트의 면상태 및 뒤채움 흙의 종류에 따른 벽면마찰각은 <표 407.4>와 같다.

캔틸레버식 옹벽의 경우, 저판위의 토사는 옹벽이 변위하는 경우에는 옹벽과 같은 거동을 한다. 따라서 <그림 407.9>에 있듯이 안정검토에서는 저판 뒤축에서 연직 상향으로 뻗은 선을 가상배면으로 설정하고 벽체, 저판, 가상배면에 둘러싸인 영역을 구체의 일부로 생각해서 설계한다. 이 때 설정한 가상배면에서의 벽면마찰각은 <표 407.3>의 흙과 흙의 값(δ)을 이용한다.

구체와 토체가 함께 거동하지 않는 경우는 가상배면을 설정하여 설계검토를 실시하면 안전율을 과다하게 평가할 우려가 있으므로 주의가 필요하다. 또 옹벽의 벽면마찰각에 흙과 흙의 마찰각을 이용하는 것은 연직인 가상배면을 설정하는 경우만으로 한다.



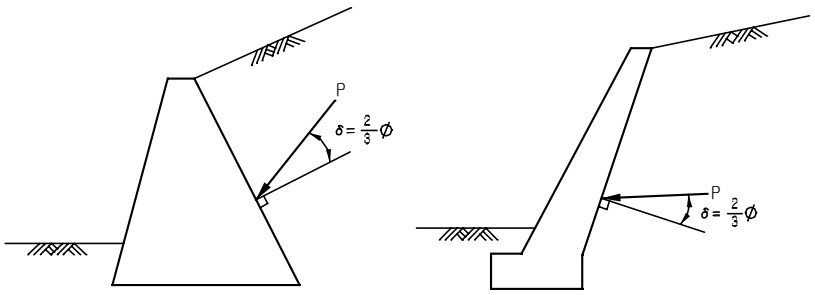
<그림 407.7> 옹벽의 설계순서(구조물 기초 설계기준, 1997)

<표 407.3> 벽면마찰각(일본도로협회, 1999)

옹벽의 종류	검토종류	마찰각 종류	벽면마찰각
중력식 옹벽 및 비자립형 옹벽	안정성	흙과 콘크리트	$\delta = \frac{2}{3}\phi$
	부재응력		$\delta = \frac{2}{3}\phi$
캔틸레버식 옹벽 및 부벽식 옹벽	안정성 부재응력	흙과 흙	$\delta = \beta$(< 그림 407.10> 참조)
		흙과 콘크리트	$\delta = \frac{2}{3}\phi$

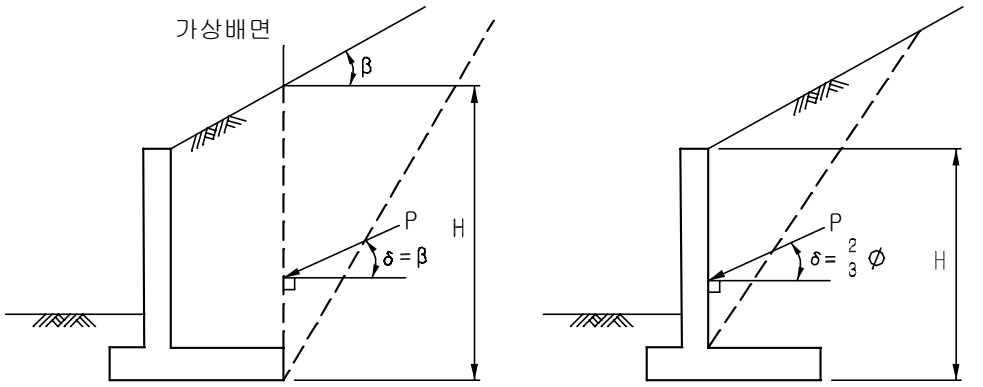
<표 407.4> 콘크리트의 면상태 및 흙의 종류에 따른 벽면마찰각(NAVFAC, 1982)

면상태	흙의 종류	흙-콘크리트 벽면마찰각(°)
거친콘크리트	상태가 양호하며 깨끗한 암석	35
	깨끗한 자갈, 자갈~모래, 굵은 모래	29~31
	깨끗한 가는~중간 모래, 실트질 중간~굵은 모래, 실트질 또는 점토질 자갈	24~29
	깨끗한 가는 모래, 실트질 또는 점토질의 가는~중간 모래	19~24
	가는 모래질 실트, 비소성의 실트	17~19
	매우 단단하고 강한 과압밀 점토	22~26
	중간 정도 단단한 점토와 실트질 점토	17~19
매끈한콘크리트	깨끗한 자갈, 자갈~모래 혼합토, 석분을 포함한 입도가 좋은 암 버럭	22~26
	깨끗한 모래, 실트질 모래~자갈 혼합토, 입도분포가 나쁜 암 버럭	17~22
	실트질 모래, 실트 또는 점토가 섞인 자갈 또는 모래	17
	가는 모래질 실트, 비소성의 실트	14



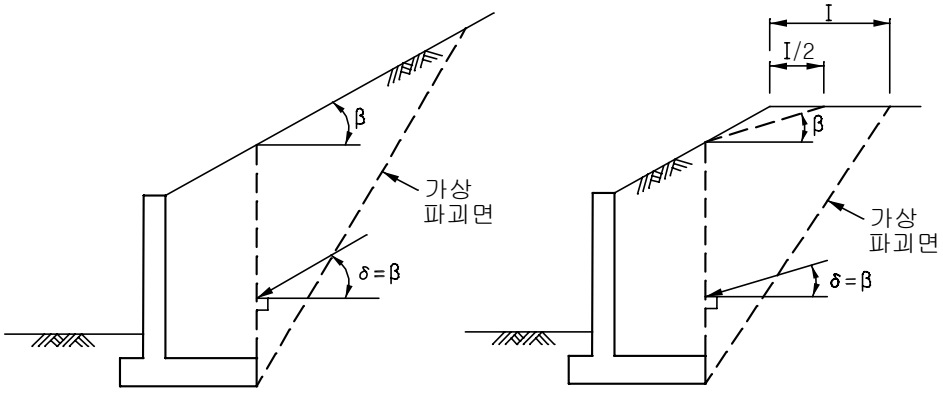
(a) 중력식 옹벽의 경우 (b) 비자립형 옹벽의 경우

<그림 407.8> 중력식 옹벽 등의 토압 작용면과 벽면마찰각



(a) 안정검토시 (b) 부재응력 검토시

<그림 407.9> 캔틸레버식 옹벽의 토압 작용면과 가상파괴면



(a) 비탈면 경사가 동일한 경우 (b) 비탈면 경사가 변하는 경우

<그림 407.10> β의 설정법

β의 설정은 <그림 407.10>과 같이 시행쐐기법으로 가정한 파괴 토체의 범위내에서 배후비탈면 경사가 일률적인 경우는 비탈면 경사를 β로 한다. 또 파괴 토체의 범위내에서의 비탈면경사가 변화하는 경우는 가상파괴면과 상부평면의 교차점에서 천단까지의 거리를 2분한 점과 가상배면과 비탈면의 교차점을 연결한 선을 결정하고 그 경사를 이용한다.

또, 캔틸레버식 옹벽의 벽체의 응력을 조사할 경우에는 가상배면을 설정하지 않고 실제 벽면에 대해 토압을 작용시킨다.

4.2.2 주동토압의 계산

(1) 흙쌓기부에 작용하는 토압

흙쌓기부 옹벽이란 옹벽 뒤채움 부분의 지형에 특수한 조건이 없는 보통의 평지부 옹벽을 말한다. 산악지대의 비탈면과 땅깎기부에 설치된 옹벽의 경우에도 땅깎기부의 경사가 완만하고 그 위치가 옹벽배면에 접근해 있지 않은 경우에도 흙쌓기부 옹벽으로서 생각할 수 있다. 따라서 옹벽 설계의 대부분은 흙쌓기부 옹벽으로서 생각할 수 있다.

보통의 옹벽에 작용하는 토압은 시행쐐기법에 의해 계산한다. 시행쐐기법은 쿨롱토압을 도해에 의해 구하는 방법중 하나이다. 그 순서는 다음과 같다(<그림 407.11> 참조).

① 옹벽저판의 뒤축(배면하단)에서 발생하는 평면파괴를 가정한다.

② 흙쐐기의 중량을 산출하여 힘의 균형을 고려한다. 흙쐐기상의 상재하중을 포함한 중량(W), 가상파괴면에서 지반에서의 반력(R), 옹벽에 작용하는 토압합력의 반력(P)이 균형을 이룬다는 조건하에서 미지의 P의 크기를 정한다.

이 이외의 외력이 흙쐐기에 작용하는 경우는 그 외력도 포함한 힘의 균형을 고려한다.

③ 가상파괴면을 변화시켜 P의 최대값을 구한다. 힘의 균형조건보다 P는 파괴면이 수평면에 대해 이루는 각도(ω)의 함수로서 주어진다. 이 때에 ω를 변화시켰을 때에 최대가 되는 P가 설계시에 고려해야 할 주동토압합력 P_A이다.

주동토압합력 P_A의 작용위치는 토압분포의 중심위치로 한다. 보통, 토압분포는 삼각형분포로 가정할 수 있고, 이 경우의 작용위치는 토압분포하단에서 분포높이(H)의 1/3점이 된다.

그리고 시행쐐기법에서 옹벽배면의 흙쌓기형상이 일률적이고 뒤채움 흙의 점착력이 없는 경우의 단위폭당 벽면에 작용하는 토압은 식(407.2), 식(407.3)에서 주어진 쿨롱의 주동토압과 일치한다. 그리고 ø<β의 경우, 이 공식은 적용할 수 없다.

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2 \qquad (407.2)$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi-\alpha)}{\cos^2\alpha \cdot \cos(\alpha+\delta)\left(1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\beta)}{\cos(\alpha+\delta)\cdot\cos(\alpha-\beta)}}\right)^2} \qquad (407.3)$$

여기서, H : 토압이 작용하는 벽체높이(m)
(가상배면을 고려했을 때는 그 높이)

K_A : 주동토압계수

γ : 뒤채움 흙의 단위체적중량(t/㎥)

α : 옹벽배면과 연직면이 이루는 각(°)

ø : 뒤채움 흙의 전단마찰각(°)

δ : 벽면마찰각(°)

β : 옹벽 상부의 흙쌓기비탈면각(°)

(2) 높은 비탈면의 옹벽에 작용하는 토압

흙의 전단마찰각과 비탈면 경사가 가까운 경우에 옹벽에 작용하는 토압을 시행쐐기법에 의해 계산하면 과다한 토압이 산정되는 경우가 있다. 이것은 실제 파괴는 원호인데 시행쐐기법에 의한 토압 계산에 있어서는 가상파괴면을 직선으로 비유하고 있다는 것과 점착력을 무시한 경우에 계산상 가상파괴토체가 커져 버리는 등의 이유 때문이다

(3) 땅깎기부 옹벽에 작용하는 토압

옹벽 배후에 절토면 등 뒤채움 흙과 이질 경계면이 접근되어 있는 경우의 옹벽을 땅깎기부 옹벽이라 한다. 옹벽에 작용하는 토압의 크기가 이 경계 존재에 따라서 영향을 받고 보통의 흙쌓기부 옹벽에 작용하는 토압과는 달라지는 경우가 있다.

원지반의 안정에 대해서는 장기적인 풍화와 우수 영향을 고려하고 신중히 평가할 필요가 있다.

땅깎기면이 안정되어 있다고 판단되는 경우에는 뒤채움 흙에 토압만을 고려하면 좋지만 이 경우 흙쌓기부 옹벽에서의 토압과 비교하여 땅깎기면의 위치와 경사, 절토면의 조도, 배수상태 등에 따라 커지는 경우도 있다.

또한, 땅깎기면의 장기적인 안정을 확보할 수 없는 경우는 땅깎기면을 포함한 전체에 대해서 토압을 검토할 필요가 있다.

땅깎기면이 안정되어 있는 경우에 토압은 시행쐐기법을 이용하여 다음과 같이 계산한다.

① 가상파괴면과 원지반선이 같은 점에서 출발하는 경우(<그림 407.12> 참조)

가상파괴면(bm)과 수평면이 이루는 각도(ω)가 원지반선의 경사(θ)보다 적어지는 경우는 가정하지 않아도 좋다. 또, ω=θ의 경우(m과 c가 근접한 경우)의 가상파괴면에 있어서 마찰각은 원지반선에서의 마찰각(δ′)을 이용한다.

땅깎기면에서의 파괴마찰각(δ′)은 원지반의 지질과 표면상태에 따라서 다르지만 보통은 δ′=⅔ø~ø 사이라고 생각할 수 있고 안전측을 목표로 적절한 값을 정한다. 연암 이상에서 비교적 균일한 평면을 이루고 있는 경우는 δ′=⅔ø, 거칠든지 단절 등의 처리가 이루어지고 거칠다고 간주할 수 있는 경우는 δ′=ø로 한다.

땅깎기부 토압의 크기는 δ′값에 따라서 상당히 영향을 받기 때문에 δ′값은 신중하게 결정한다.

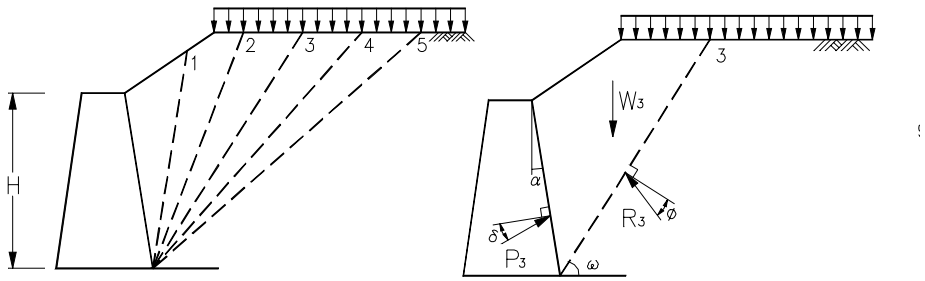
② 가상파괴면이 도중에 원지반선과 교차하는 경우(<그림 407.13> 참조)

옹벽 뒤축에서 출발한 직선파괴면이 원지반선과 교차한 점에서 지반선을 따라 절곡한 파괴가 발생할 것이다. 이때 가상파괴면(bm)의 마찰각은 ø을 이용하여, 가상파괴면(md)의 마찰각은 δ′와 ø중 큰 토압을 미치는 힘의 값을 이용한다.

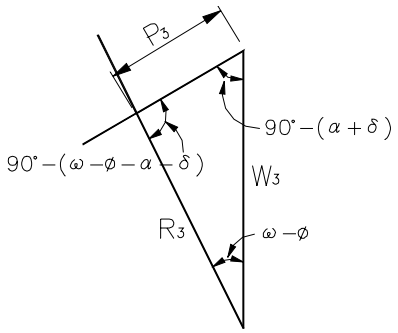
또, m이 c와 일치하는 경우는 가상파괴면 bc에서도 마찬가지로 δ′ 와 ø 중 큰 토압을 가하는 값을 이용한다.

사각형 abmn의 토체중량을 W_1, 삼각형 nmd의 토체중량을 W_2로 한 경우의 토압은 식(407.4)에 의해 구할 수 있다.

$$P=\frac{W_1\cdot\sin(\omega-\phi)+W_2\cdot\cos(\omega-\phi)\cdot\tan(\theta-\delta')}{\cos(\omega-\phi-\delta-\alpha)} \quad (407.4)$$



(a) 시행쐐기 (b) 가정된 흙쐐기



(c) 합력도

W_3 : 크기와 방향을 알고 있음

P_3, R_3 : 방향만 알고 있음

$$P_3 = \frac{W_3 \cdot \sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha - \delta)}$$

여기서 W : 흙쐐기 중량(상재하중포함)(t/m)

R : 반력(t/m)

P : 토압의 합력(t/m)

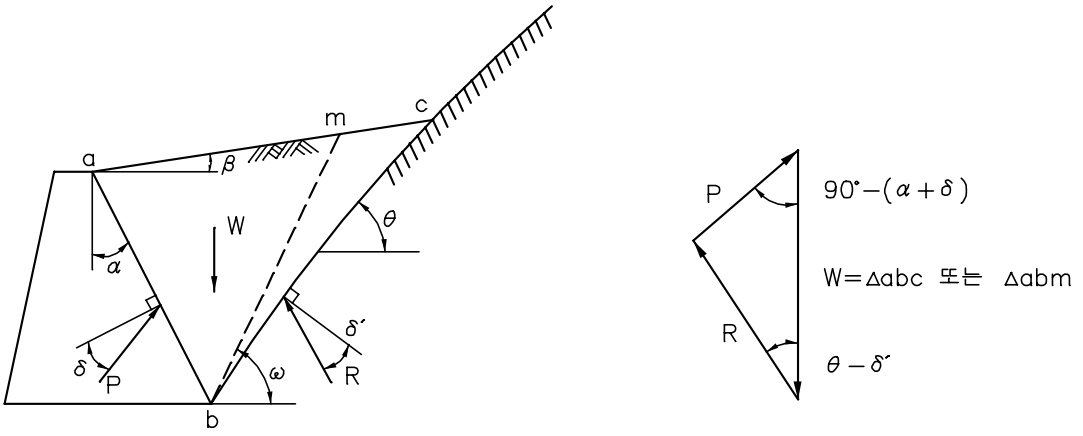
α : 벽체배면과 연직면이 이루는 각(°)

ø : 뒤채움 흙의 전단마찰각(°)

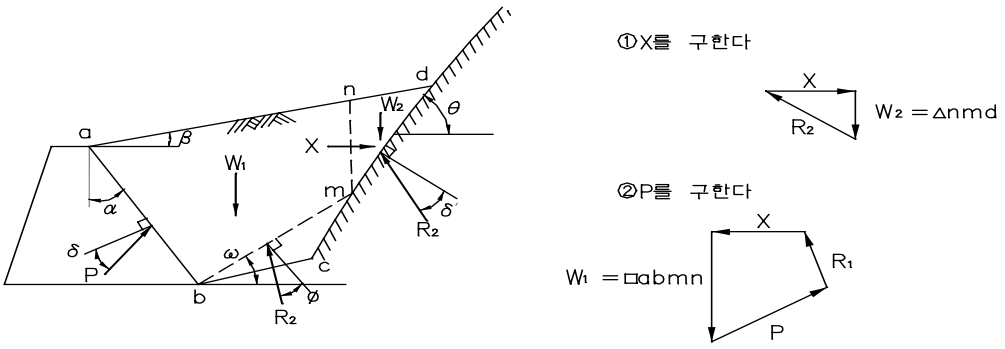
δ : 벽면마찰각(°)

ω : 가정한 가상파괴면과 수평면이 이루는 각(°)

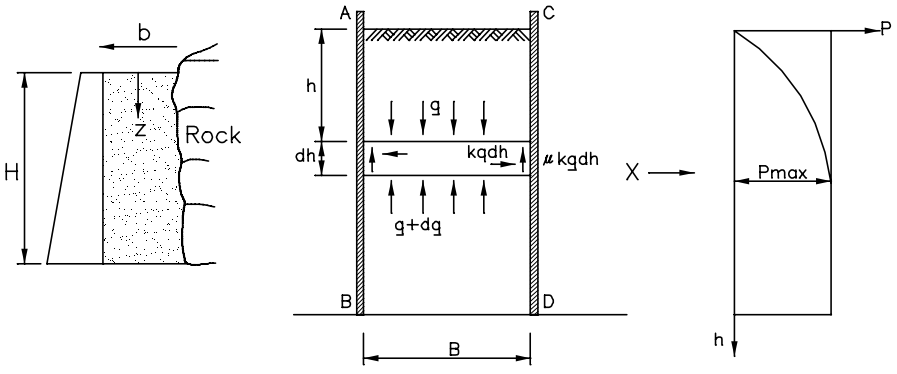
<그림 407.11> 시행쐐기법



<그림 407.12> 땅깎기부 토압의 계산



<그림 407.13> 가상파괴면이 원지반선과 교차하는 경우



<그림 407.14> 암반 근처에 설치되는 옹벽의 토압 계산

여기서 δ : 옹벽배면의 벽면마찰각(°)
δ′ : 원지반선과의 경계에서 벽면 마찰각(°)
ø : 흙의 전단마찰각(°)
θ : 원지반선(cd)의 경사(°)

그리고 토압합력 P의 작용점은 토압분포의 중심위치로 한다.

(4) 암반 근처에 설치되는 옹벽

옹벽 뒷면으로부터 가까운 곳에 안정된 암표면이 존재할 경우에(<그림 407.14> 참조) 옹벽이 바깥쪽으로 움직임에 따라 아래쪽으로 미끄러지는 뒤채움 모래는 옹벽과의 마찰뿐만 아니라 암과의 마찰에 의해서도 지지되게 되므로, 랭킨 또는 쿨롱 토압이론에 의한 계산값보다는 크기가 작은 토압이 옹벽 뒷면에 발생하게 된다. 특히 이러한 옹벽은 터널 입출구부 등에 빈번히 적용되며 벽체에 작용하는 토압은 식(407.5)와 같이 산정할 수 있다.

$$P = \frac{B\gamma}{2\mu}\left(1 - e^{-\frac{2\mu K}{B}h}\right) \qquad (407.5)$$

여기서, μ : 벽면마찰 계수 = $\tan\frac{2}{3}\phi$
K : 토압계수

또한, 최대토압은 다음 식과 같이 구해진다.

$$P_{\max} = \frac{B\gamma}{2\mu} \qquad (407.6)$$

4.2.3 정지토압 계산

스트럿 부착 U형 옹벽처럼 측벽이 구속되어 토압에 의한 수평방향 변위가 거의 발생하지 않는다고 생각되는 경우는 정지토압이 작용한다. 정지수평토압 P_o는 다음 식(407.7)에 의해 계산한다.

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot K_o \cdot \gamma \cdot H^2 \qquad (407.7)$$

여기서 K_o : 정지토압계수
γ : 흙의 단위체적중량(t/㎥)
H : 토압의 분포높이(m)

토압합력 P의 작용점은 토압분포의 중심위치로 한다.

4.2.4 수동토압 계산

보통, 옹벽 설계에서는 전면 되메우기흙에 의한 수동토압을 무시하고 있지만 옹벽전면토의 저항력을 고려할 경우에는 쿨롱의 토압공식을 이용한다. 일반적인 쿨롱의 수동토압공식은 식(407.8)과 같다. 다만, 옹벽 설계시에는 수동토압은 수평으로 작용시키고 벽면마찰각(δ)에는 주의한다. 연직면에 작용시키는 경우에는 δ = 0°로 한다.

$$P_P = \frac{1}{2} \cdot K_P \cdot \gamma \cdot H^2 \qquad (407.8)$$

$$K_P=\frac{\cos^2(\phi+\alpha)}{\cos(\alpha+\delta)\cdot\cos^2\alpha\left(1-\sqrt{\frac{\sin(\phi-\delta)\cdot\sin(\phi+\beta)}{\cos(\alpha+\delta)\cdot\cos(\alpha-\beta)}}\right)^2} \quad (407.9)$$

여기서, K_P : 수동토압계수

δ : 벽면마찰각(°)으로 (+−)방향은 주동토압의 경우와 같다

γ : 뒤채움 흙의 단위체적중량(t/㎥)

α : 옹벽배면과 연직면이 이루는 각(°)

ϕ : 뒤채움 흙의 전단마찰각(°)

β : 옹벽 상부의 흙쌓기비탈면각(°)

4.2.5 지진시 토압

높이 8m 이상의 옹벽에 대해서는 책임기술자의 판단하에 지진의 영향을 고려하며, 지진의 영향을 고려하는 경우 토압과 지진시 관성력을 적용한다.

지진시 토압을 고려하는 경우, 흙쌓기부 옹벽 설계에 쓰는 토압은 Mononobe-Okabe 공식을 쓰는 것이 좋다.

(1) Mononobe-Okabe의 지진시 주동토압공식은 다음과 같다. 벽체의 단위폭 주위에 작용하는 지진시 주동토압 P_{AE}는 다음 식에 의해 표현된다. 이 공식은 옹벽 배면의 경사가 완만한 경우에 주로 쓰인다.

$$P_{AE}=\frac{1}{2}\cdot K_{AE}\cdot\gamma\cdot H^2 \quad (407.10)$$

$$K_{AE}=\frac{\cos^2(\phi-\alpha-\theta)}{\cos\theta\cdot\cos^2\alpha\cdot\cos(\alpha+\delta+\theta)\left(1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\beta-\theta)}{\cos(\alpha+\delta+\theta)\cdot\cos(\alpha-\beta)}}\right)^2} \quad (407.11)$$

여기서, K_{AE} : 지진시 주동토압계수

θ : 지진시 합성각($\theta=\tan^{-1}K_h$)

α : 옹벽배면과 연직면이 이루는 각

K_h : 설계 수평 진도

δ : 벽면마찰각(°)

β : 옹벽 상부의 흙쌓기비탈면각(°)

토압의 작용 위치는 옹벽의 저면에서 H/3인 점으로 한다. 여기에서의 식은 특성상, 적용의 한계가 있어서,

$$90^\circ > \alpha+\beta+\theta \quad (407.12)$$

$$\phi \geq \beta+\theta \quad (407.13)$$

의 조건을 만족시키는 것이 필요하다.

벽면 마찰각 δ에 대해서는 토압이 콘크리트 벽면에 직접 작용하는 경우에는 $\delta=\phi/2$로 하면 된다. 또, 캔틸레버식 옹벽처럼 흙 중의 연직 가상배면에 토압을 작용시키는 경우는 식(407.14)에 따른다.

$$\tan\delta=\frac{\sin\phi\cdot\sin(\theta+\Delta-\beta)}{1-\sin\phi\cdot\cos(\theta+\Delta-\beta)} \quad (407.14)$$

여기서, $\sin\Delta=\frac{\sin(\beta+\theta)}{\sin\phi}$

단, $\beta+\theta\geq\phi$로 될 때는 $\delta=\phi$로 한다.

(2) 옹벽 배면의 지표면 경사가 급한 경우 등, 뒤채움재 중의 활동면이 계산상 커질 것으로 생각되는 경우에는 실제적인 유한범위의 활동면을 설정하는 등의 검토를 해도 좋다. 이 경우 편의상 <그림 407.15>에 나타낸 방법도 생각할 수 있다.

(3) 땅깎기부 옹벽에 대한 지진시 토압은 <그림 407.11>의 시행착오에 의한 쐐기를 찾는 방법에 의한 토압 도해법에 있어서 뒤채움재 쐐기에 수평 방향의 지진시 관성력을 더해서 계산하는 방법을 생각할 수 있다.

(4) 지진시 관성력

설계 수평진도를 K_h', 옹벽의 자중(저판 상의 흙의 중량 포함)을 W라 하면, 옹벽의 지진시 관성력은 옹벽의 중심 G를 통해서 수평방향으로 $K_h \cdot W$ 가 작용하는 것으로 한다. 또, 안정 계산에 쓰는 옹벽의 자중은 <그림 407.16>처럼 사선 부분을 취한다.

4.3 안정해석

4.3.1 저면활동

옹벽은 배면에서 작용하는 토압의 수평력에 의하여 활동하려고 한다. 활동에 저항하는 힘은 옹벽 저판에서의 마찰력과 점착력으로 형성되며, 활동을 일으키는 힘을 S_d, 활동에 저항하는 힘을 S_r이라 하면 $S_r > S_d$ 가 되어야 하고, 이 때 안전율은 최소 1.5 이상이어야 한다.

$$F_S = \frac{S_r}{S_d} \geq 1.5 \qquad (407.15)$$

활동에 대한 저항력은 다음과 같이 구해진다.

(1) 활동방지벽이 없는 경우

활동방지벽이 없는 경우 활동에 대한 저항은 저판과 지반의 마찰저항력으로 계산한다. 구조계산서의 마찰계수 $\tan\phi_B$는 흙의 경우 ø/3, 암반의 경우 0.6을 적용한다.

$$S_r = V \tan\phi_B \qquad (407.16)$$

$$V = W + P_{AV} \qquad (407.17)$$

여기서, V : 연직합력(t/m)

W : 옹벽자중과 흙의 무게(t/m)

P_{AV} : 토압의 수직분력(t/m)

ϕ_B : 기초저판과 지반사이의 마찰각(。)

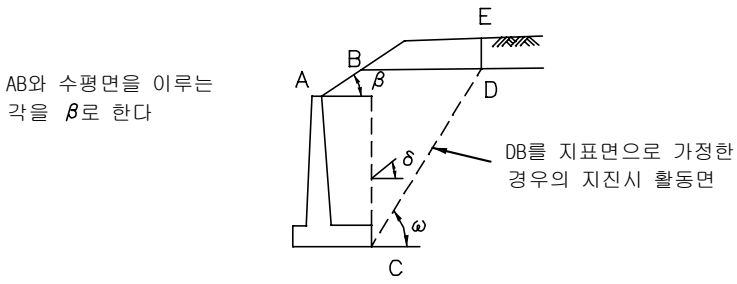
(2) 활동방지벽이 있는 경우

활동에 대한 안정을 기대하기 어려운 경우에는 저면의 적당한 곳에 저면폭의 0.1～0.15배 높이의 활동방지벽을 설치하여 활동에 대한 저항력을 증대시킬 수 있다. 이 경우 활동에 대항 저항력 산정은 몇 가지 상이한 방법들이 제안되고 있다.

① 수동토압 및 마찰저항 고려 방법

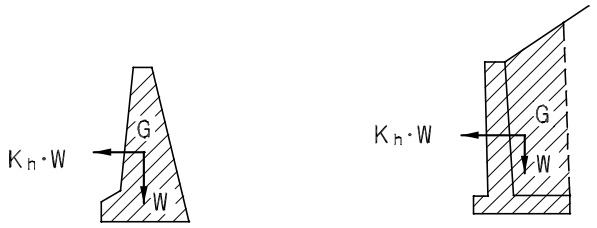
지반사이의 마찰저항을 고려한다(<그림 407.17> 참조).

$$S_r = \frac{(q_3 + q_4)}{2} K_p H + \frac{(q_1 + q_4)}{2} B_1 \tan\phi_B + \frac{(q_3 + q_2)}{2} B_3 \tan\phi_B \qquad (407.18)$$



$$\cot w = \tan(\phi+\delta) + \frac{1}{\cos=(\phi+\delta)}\sqrt{\frac{\cos(\delta+\theta)\cdot\sin(\phi+\delta)}{\sin(\phi-\theta)}}$$

<그림 407.15> 지진하중으로 인한 주동토압(도로설계요령, 1992)



<그림 407.16> 지진시 관성력의 고려(도로설계요령, 1992)

여기서, S_r : 활동방지벽 설치시 활동에 대한 저항력(t/m)

q_1, q_2, q_3, q_4 : 지반반력의 크기(t/m^2)

H : 활동방지벽의 높이(m)

K_p : 수동토압계수

ϕ_B : 기초저판과 지반사이의 마찰각(°)

B_1, B_3 : 마찰저항구간(m)

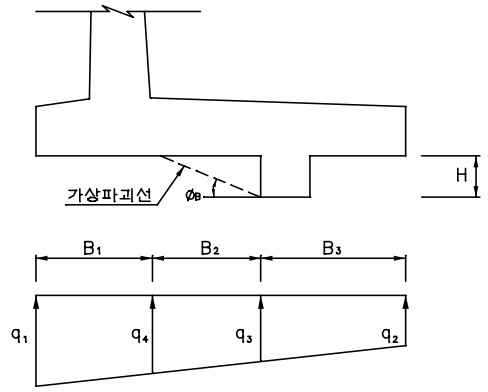
B_2 : 수동토압저항구간(m)

② 수동토압 및 마찰저항 비교 방법

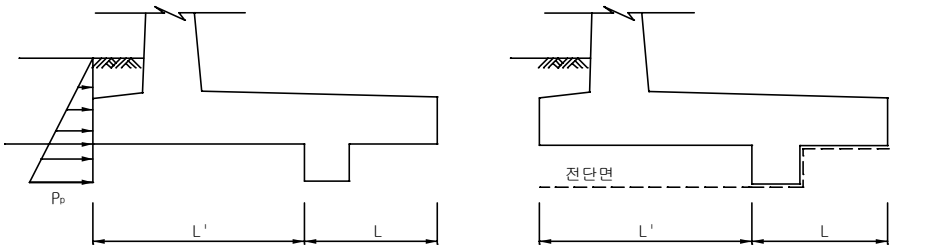
활동방지벽 전면의 수동토압 저항과 마찰저항 중 작은 값을 사용한다(<그림 407.18>참조).

③ 마찰저항만 고려하는 방법

활동방지벽 전면은 흙과 흙의 마찰저항, 활동방지벽 하부 및 후면은 흙과 콘크리트의 마찰 저항을 고려한다(<그림 407.19> 참조).

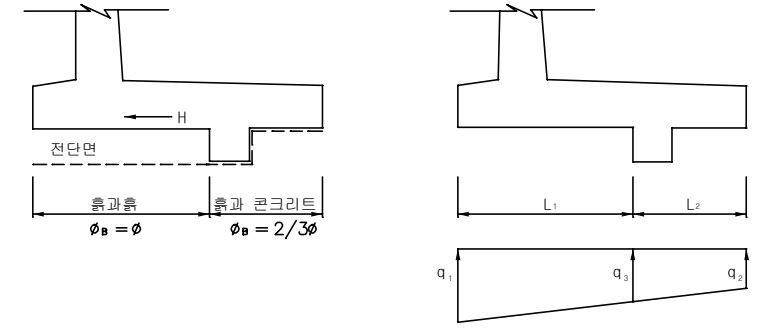


<그림 407.17> 수동토압 및 마찰저항 고려 방법



(a) 수동토압 (b) 마찰저항

<그림 407.18> 수동토압 및 마찰저항 비교



(a) 활동방지벽 설치시 전단면 (b) 지반반력도

<그림 407.19> 마찰저항만 고려하는 경우

$$H_u = \frac{q_1 + q_3}{2} L_1 \tan\phi + \frac{q_2 + q_3}{2} L_2 \tan\phi_B + c \cdot L_1 \quad (407.19)$$

여기서, H_u : 기초저판과 지반사이에 작용하는 전단저항력(t/m)

q_1, q_2, q_3 : 기초저판의 전면, 후면 및 활동방지벽 전면에서의 지반반력(t/m^2)

L_1 : 활동방지벽 전면과 저판전면과의 수평거리(m)

L_2 : 활동방지벽 전면과 저판후면과의 수평거리(m)

ϕ : 지반의 내부마찰각(°)

ϕ_B : 기초저판과 지반사이의 마찰각(°)

c : 지반의 점착력(t/m^2)

4.3.2 지지력 및 침하

기초지반의 허용지지력은 일반적으로 극한지지력을 안전율 3.0으로 나눈 값을 사용한다.

기초지반의 지지력은 재하시험, 토질시험의 결과로 계산에 의해 구하는 것이 좋지만, 구조물의 중요도 등을 고려하여 높이 8m 이하의 옹벽에서는 추정에 의하여 구해도 좋다. 추정에 의하여 지반의 지지력을 구하는 경우에는 <표 407.5>에 의한다. 또, 굴착 후 풍화가 심한 흙 등은 취급에 주의를 요한다.

다음 식으로 구해지는 최대 지반반력이 지반의 허용지지력을 초과하지 않아야 한다.

$$q_{max,\,min} = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \le q_a \quad (407.20)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_r - \sum M_O}{\sum V} \quad (407.21)$$

여기서, $q_{max,\,min}$: 최대, 최소 지반반력(t/m^2)

q_a : 지반의 허용지지력 (t/m^2)

B : 옹벽 저판폭(m)

e : 편심거리 (m)

$\sum V$: 저판에 작용하는 재하하중의 전체무게 (t/m)

$\sum M_r$: O점을 중심으로한 저항모멘트 (t · m/m)(<그림 407.20> 참조)

$\sum M_o$: O점을 중심으로한 전도모멘트 (t · m/m)

4.3.3 전도

옹벽의 전도에 대한 안전율은 다음과 같이 구한다. 전도에 대한 안전율은 2.0 이상이어야 한다(<그림 407.20> 참조).

$$F_S = \frac{M_r}{M_o} = \frac{\sum W_i x_i + P_{AV} \cdot B}{P_{AH} \cdot y} \ge 2.0 \quad (407.22)$$

여기서, F_S : 전도에 대한 안전율

M_r : O점을 중심으로한 저항모멘트 (t · m/m)

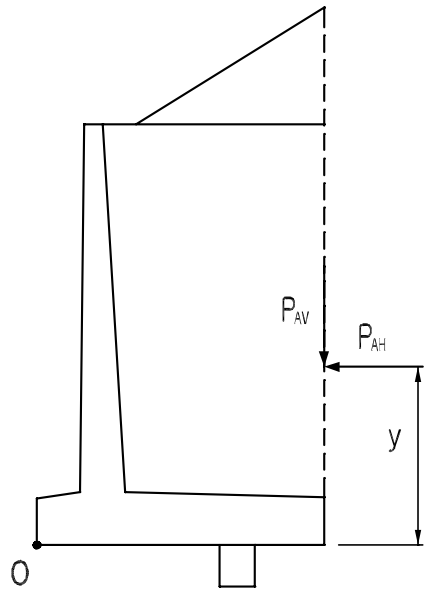
M_o : O점을 중심으로한 전도모멘트 (t · m/m)

W_i : 콘크리트 또는 흙요소의 무게 (t/m)

x_i : O점에서 콘크리트 또는 흙요소의 중심까지의 수평거리(m)

<표 407.5> 지반의 허용지지력

기초지반의 종류		상시 (t/m^2)	지진시 (t/m^2)	목표로 하는 값		비고
				N값	일축압축 강도(kg/cm^2)	
암반	균열이 적은 균일한 사암	100	150	-	100 이상	
	균열이 많은 경암	60	90	-	100 이상	
	연암, 풍화암	30	45	-	10 이상	
자갈층	조밀한 것	60	90	-	-	
	조밀하지 않은 것	30	45	-	-	표준관입시험의 N값이 15이하인 경우에는 기초지반으로서 부적당
사질토	조밀한 것	30	45	30～50	-	
	보통의 것	20	30	15～30	-	
점성토 지반	몹시 단단한 것	20	30	15～30	2.0～4.0	
	단단한 것	10	15	8～15	1.0～2.0	
	보통의 것	5	7.5	4～8	0.5～1.0	



<그림 407.20> 전도에 대한 안정계산

P_{AV} : 토압의 수직분력(t/m)
B : 옹벽 저판폭(m)
P_{AH} : 토압의 수평분력(t/m)
y : O점을 토압의 수평분력 작용점까지의 수직거리(m)

한편, 옹벽의 연직하중과 수평하중 합력의 작용점이 저판 중심에서 떨어져서 형성되는 편심(e)이 지나치게 크면 지반의 부등침하로 인해 옹벽이 경사져서 전도가 일어나기 쉽다.

따라서 이에 대한 옹벽의 안정을 위해서는 합력의 작용점이 저판의 중앙 1/3 안에 위치하는 것이 바람직하다. 이렇게 하는 것이 일반적으로 경제적인 옹벽의 설계를 제공하지만 절대적으로 합력의 작용점이 반드시 중앙 1/3 안에 들어와야 한다는 것은 아니다. 어떤 경우에는 합력의 작용점을 중앙 1/3 안에 위치시키는 것이 불가능할 수도 있으며, 특히 하중의 재하조건이 여러 가지인 경우 오히려 어떤 재하조건에 대해서는 중앙 1/3 밖에 합력의 작용점을 위치시키는 것이 경제적일 수도 있다.

4.3.4 전반활동

옹벽 구조물 뿐만 아니라 옹벽기초 아래 및 옹벽 벽체 뒤의 지반이 포함된 전체의 안정성에 대하여 검토한다. 특히, 연약지반상에 구조물이 축조되는 경우 전체 안정성이 문제될 수 있으며, 이에 대한 평가를 위해서는 현장에 대한 지질조사, 토질조사 및 시험과 이를 바탕으로 한 안정성 해석이 필요하다. 전체 안정성 해석에는 수정 Bishop법, Janbu의 간편법, Spencer 방법 등이 사용된다.

<그림 407.21>은 굴착면 전체의 여러 가지 파괴 형상을 나타낸다. <그림 407.21(a)>와 <그림 407.21(b)>는 기초지반과 배면토가 균질하고 지표면에서 깊어짐에 따라 점차로 전단강도를 증대하는 경우에 일어날 것으로 예상되는 활동이다. (c)에서 처럼 기초 저면보다 깊은 위치에 전단강도가 강한 층이 깊게 있는 경우는 활동영역이 깊어진다. (d)는 연약층이 얇게 깔려 있는 경우에 일어나는 활동형상이다.

<그림 407.21(a)>와 <그림 407.21(b)>와 같이 옹벽 기초슬래브의 뒤쪽 하단이나 돌출부를 설치하였을 경우에는 그 하단을 통과하여 전단활동면이 형성된다. 한편, (a), (b) 그리고 (c)의 경우는 활동단면을 원호로 가정하여 다음과 같이 계산한다.

① 활동면을 가정한다(원의 중심 O과 반경 r을 가정).

② 옹벽 중량과 활동면 안에 있는 흙의 중량을 계산하고, 이 중량들의 원중심 O에 대한 활동모멘트 M_d를 구한다.

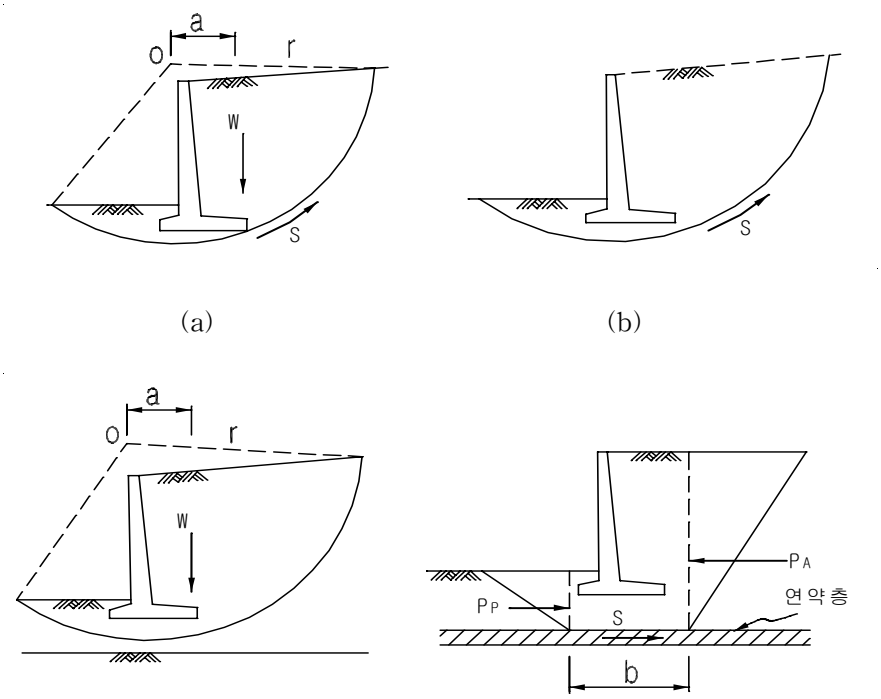
③ 가상활동면 상의 흙이 갖는 전단저항력과 반경 r를 사용하여 저항모멘트 M_r을 구한다.

④ 굴착면 전체의 활동에 대한 안전율을 식(407.23)으로 구한다.

$$F_s = \frac{M_r}{M_d} \qquad (407.23)$$

⑤ 활동원의 중심 및 반경을 바꾸어 활동면을 다시 가정하여 위의 순서를 되풀이한다.

이와 같은 반복을 통해 얻어진 안전율 중 최소값을 원호활동에 대한 굴착면 전체의 안전율로 정하며 그 값은 최소 1.3 이상이 되어야 한다.



<그림 407.21> 여러 가지 파괴 형태

4.4 구체의 설계

4.4.1 중력식 옹벽

중력식 옹벽은 구체의 자중에 의해 토압을 지지하는 형식으로, 보통 무근콘크리트로 설계한다.

구체의 각 수평단면에서 그 단면보다 상부에 작용하는 토압과 자중에 의해 발생하는 응력 및 앞판에 발생하는 응력이 콘크리트 허용응력도 이하가 되도록 검토한다. 특히 단면형상이 급변하는 부분에서는 주의한다.

전면(노출면)의 경사는 1:0.02, 1:0.1, 1:0.2, 1:0.3으로 구분하고 옹벽상단의 최소두께는 35cm 이상으로 하고 철근은 배근하지 않는다.

활동방지벽의 최소두께는 40cm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상으로 한다.

4.4.2 반중력식 옹벽

토압과 자중의 합력에 의해 옹벽단면 내에 생기는 인장응력은 모두 철근이 받게 한다.

반중력식 옹벽은 중력식 옹벽과 같이 자중에 의해 토압을 지지하는 형식의 것으로 지형상태, 기타 물리적 제약에 의해 중력식 옹벽의 경우보다 벽체 두께를 얇게 할 경우에 적용한다. 설계법은 중력식 옹벽과 같지만 토압과 자중의 합력에 의해 구체 단면에 생기는 인장력을 부담시키기 위해 구체 내에 필요한 양의 철근을 배근한다.

(1) 벽체

벽체전면(노출면)의 경사는 1:0.02로 하고 옹벽상단의 최소폭은 30cm, 하단은 최소철근으로 배치하도록 단면을 설계한다.

$\sigma_i < 0$ 즉 인장부가 발생하면 인장부의 응력을 철근이 부담하도록 인장철근을 배근한다.

벽체와 기초의 연결부에는 헌치를 설치하지 않는다.

(2) 저판

옹벽에 상면토사를 유효하게 작용시키며 안정을 확보한다. 저판은 단면두께를 변화시키지 않고, 최소두께는 40cm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상(0.1H ~ 0.15H)으로 최소철근으로 배치하도록 설계한다.

(3) 활동방지벽

최소두께는 40cm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상으로 한다.

4.4.3 비자립형 옹벽

비자립형 옹벽은 원지반 혹은 뒤채움 흙 등의 지지를 받으면서 자중에 의해 토압에 저항하는 형식의 옹벽으로, 설계법은 중력식 옹벽, 반중력식 옹벽에 따른다.

비자립형 옹벽은 다른 옹벽과 비교해서 구체단면에 대한 저판폭이 적고 기초에의 지반반력이 커지기 때문에 암반 등의 견고한 지지지반상에 설치되는 것이 바람직하다.

또한, 비자립형 옹벽은 비탈면 등에 설치되는 경우가 많기 때문에 특히 활동과 전체적으로 안정성이 확보되도록 주의할 필요가 있다.

보통 비자립형 옹벽은 중력식 옹벽과 같은 방법에 의해 안정검토를 한다.

계곡부를 횡단하는 경우 등 높이가 연속적으로 변화하는 비자립형 옹벽을 설치하는 경우, 전도에 관한 안정검토를 하면 부분적으로 합력작용점이 저판중앙의 소정의 범위를 후방으로 벗어나는 경우가 있다. 비자립형 옹벽이 암반 등 양호한 기초지반상에 설치되어 있고 또 옹벽의 배후에 근접하여 안정된 원지반이 존재하는 등 작용토압이 적은 경우에는 일부 단면에서 옹벽의 합력의 작용점이 소정의 범위를 후방으로 벗어나 있어도 저판내에 있으면 옹벽이 후방으로 쓰러지는 일은 없다고 판단해도 좋다.

단, 이 경우에도 합력작용점의 편심거리를 산정하고 지반반력도에 대한 지반의 지지력에 관한 안정검토와 함께 구체내부에 발생한 인장응력에 대해서 검토할 필요가 있다.

4.4.4 캔틸레버 옹벽

캔틸레버식 옹벽은 그것을 구성하는 벽체와 저판의 각각이 외력에 대해 캔틸레버보로서 저항하는 구조이고 벽체의 위치에 따라 역T형 옹벽, L형 옹벽 및 역L형 옹벽의 3가지 형식으로 분류된다. 이들 형식은 설치장소의 조건에 따라 분류되어 사용되고 보통은 균형잡힌 역T형 옹벽이 이용된다. L형 옹벽은 용지경계에 접해 있는 등 앞판을 설치할 수 없을 때, 역L형 옹벽은 뒤판을 설치함으로써 배면지반의 절토량이 많아지는 경우와 옹벽배면에 근접구조물 등이 있어 뒤판을 설치할 수 없을 때에 채용되는 경우가 많다.

캔틸레버 옹벽은 철근콘크리트 구조이고 뒤판위의 뒤채움 흙이 자중으로서 옹벽의 안정에 기여하기 때문에 중력식 옹벽에 비해 콘크리트 사용량이 적어진다.

(1) 벽체

벽체는 수평토압에 대하여 저항하며 전면의 공간확보를 목적으로 설치한다.

벽체 전면(노출면)의 경사는 1:0.02로 하고 옹벽 상단의 최소폭은 30cm, 하단부는 최소폭 40cm로 전단철근이 필요하지 않는 단면 이상(0.1H ~ 0.15H)으로 한다.

벽체와 기초의 연결부에는 헌치를 설치한다.

(2) 저판

옹벽에 상면 토사를 유효하게 작용시키며 활동, 전도 및 지지력에 대한 안정을 확보한다.

저판은 필요단면, 경제성, 구조적 안전성을 고려하여 저판폭의 길이에 따라 단면두께를 변화시키되 최대경사는 15% 이내로 한다.

저판의 최소두께는 40cm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상(0.1H ~ 0.15H)으로 한다.

역T형 옹벽의 앞굽의 폭은 B/10 이상 B/3 이하로 한다. 또한 앞굽의 폭은 변단면 옹벽의 시공성 등을 감안하여 옹벽높이 또는 뒤채움흙의 높이가 증가할 때 감소시키지 않는다.

(3) 활동방지벽

옹벽의 활동면을 변화시켜 활동에 대한 저항력을 증가시킨다.

활동방지벽의 최소두께는 40cm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상으로 한다.

4.4.5 뒷부벽식 옹벽

벽체는 뒷부벽으로 지지된 연속판이 토압의 수평분력에 저항하도록 설계한다.

전면벽과 뒷굽판 사이에 인장재로서 작용하는 뒷부벽을 설치한 뒷부벽식 옹벽에서는 전면벽과 뒷부벽이 토압에 의한 휨모멘트에 대해서 T형보로 설계하고, 전면벽이나 저판은 뒷부벽을 지점으로 하는 2방향 슬래브로서 설계한다.

기초는 뒷부벽으로 지지된 연속판으로서 저판 위의 흙의 중량, 토압의 연직 분력, 지표면의 상재하중, 저판의 중량 및 지반 반력을 고려하여 설계한다.

기초의 앞판 설계는 캔틸레버 옹벽에 준한다. 벽체 및 기초의 양쪽 단부는 부벽에 지지된 캔틸레버보로 설계한다.

전면벽의 하부는 2방향 연속슬래브로서 작용한다고 보아 단면설계를 하지만, 동시에 벽체로서 또는 캔틸레버로서도 작용하므로 연직방향으로 상당한 양의 가외철근을 넣어야 한다.

4.4.6 앞부벽식 옹벽

앞굽판과 전면벽 사이에 압축지지재로서 작용하는 앞부벽을 설치한 앞부벽식 옹벽에서는 앞부벽을 역T형 직사각형보로, 전면벽을 2방향 연속슬래브로 보아 설계하는데, 여기서도 벽체의 하부에는 가외철근으로 보강해야 한다.

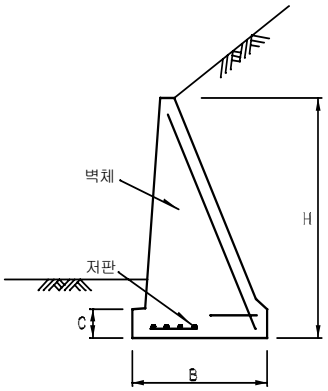
앞부벽, 벽체, 기초의 설계에 있어서 외력의 고려방법은 뒷부벽식 옹벽에 준한다.

4.4.7 U형 옹벽

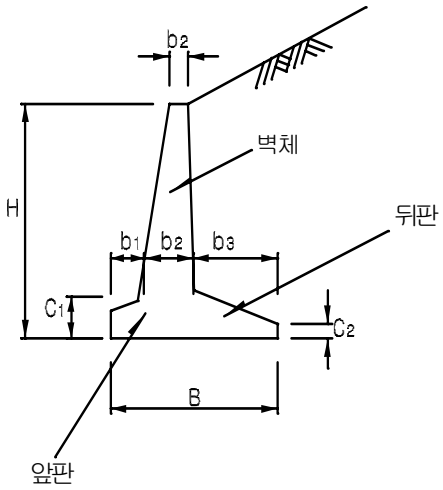
측벽과 저판이 일체가 되어 U자형 또는 그와 유사한 형상을 가진 반지하식 옹벽으로 입차교차점의 설치부 등에서 지하수위 이하에 노면을 설치할 필요가 있는 경우에 이용된다.

(1) 구체의 형상

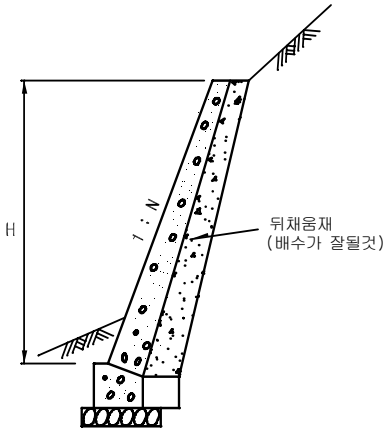
측벽과 저판으로 이루어진 U형 옹벽과 측벽 사이에 스트럿를 설치한 스트럿부착 U형 옹벽



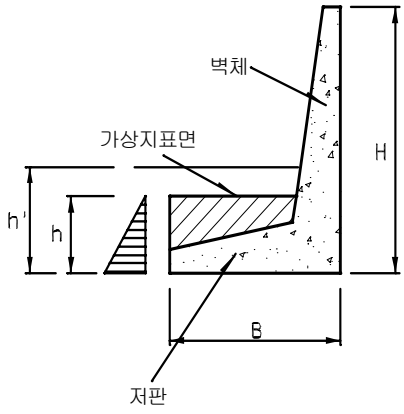
<그림 407.22> 반중력식 옹벽의 형태



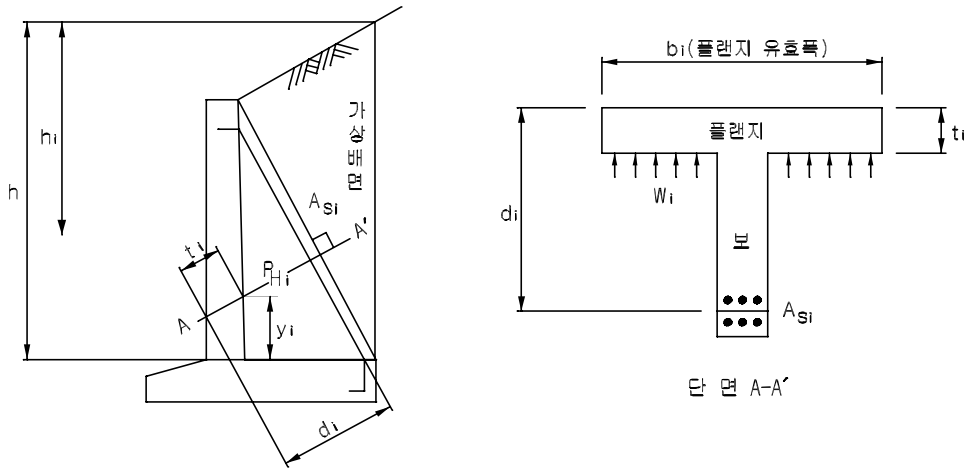
<그림 407.24> 역T형 옹벽 예



<그림 407.23> 비자립형 옹벽의 예



<그림 407.25> L형 옹벽 예



<그림 407.26> 뒷부벽식 옹벽 예

등이 있고 측벽 높이, 지반조건, 시공조건 등을 고려하여 적절한 구체형상을 선정한다.

(2) 측벽

U형 옹벽의 측벽 설계는 캔틸레버 옹벽의 벽체에 준하여 실시하고, 측벽에 작용하는 토압과 수압의 연직성분 및 측벽의 자중은 무시한다. 설계에 이용하는 토압은 보통의 U형 옹벽에서는 주동토압, 스트럿부착 U형 옹벽에서는 정지토압을 이용한다.

(3) 저판

U형 옹벽의 저판은 다른 형식의 옹벽에 비해 저판폭이 넓기 때문에 탄성바닥 보로서 설계하는 것이 좋다. 이 경우, 측벽의 하단에 측벽의 자중 및 토압과 수압의 연직성분에 의한 연직하중과 토압과 수압의 수평성분에 의한 모멘트를 작용시킨다.

또, 저판에 작용하는 하중으로서 포장을 포함한 저판자중, 양압력, 중간채움흙의 자중 등을 고려한다. 그리고 저판중앙부에 대해서는 측벽하단의 휨모멘트 유무에 의해 응력상태가 달라지는 경우가 있으므로 옹벽시공시의 안전성에 대해서도 검토한다.

(4) 양압력에 대한 검토

지하수위가 높은 위치에 U형 옹벽을 설치하는 경우는 양압력에 대한 안정 검토가 중요하다. 이 경우, 사전에 지하수위의 위치를 파악할 필요가 있지만 보링공과 주변의 우물 등의 관측결과로부터 설계에 이용하는 지하수위를 결정한다. 또, 해안선에 가까운 매립지 등에서는 만조위를 기준으로 양압력을 산출하고 하천 등의 영향으로 지하수위 변동이 큰 장소에서는 최고수위를 파악하여 설계에 이용한다.

4.4.8 블록쌓기 옹벽

블록쌓기 옹벽은 사용하는 재료에 따라서 블록쌓기 옹벽, 대형블럭쌓기 옹벽, 혼합 옹벽으로 분류된다.

블록쌓기 옹벽은 프리캐스트 콘크리트 블록이나 돌을 1:0.3~1:1의 기울기로 쌓아올린 것이다. 대형블럭쌓기 옹벽은 보통의 블럭보다 큰 블럭을 이용한 옹벽이며, 혼합 옹벽은 블록쌓기 옹벽과 중력식 옹벽을 혼합한 것이다.

흙쌓기부에서의 블록쌓기 옹벽의 뒤채움재는 옹벽의 비탈면 경사를 1:N으로 한 경우에 원지반과 접한 면의 경사가 1:(N-0.1)이 되도록 설치한다. 또, 상단에서의 뒤채움재의 두께는 30㎝를 기본으로 하고 배면의 토사가 양호한 경우는 20㎝ 정도로 해도 좋다. 땅깎기부에서의 블록쌓기 옹벽의 뒤채움재는 같은 두께로 설치해도 좋다.

또한, 뒤채움재는 기초 주변부에 배면토로부터 물의 침투에 의한 악영향이 미치지 않도록 옹벽전면의 원지반선 정도까지 설치한다. 또, 뒤채움재의 바로 밑, 기초 저판 높이까지의 사이에는 불투수층 등을 설치하여 배면으로 전달된 우수 등이 기초부에 악영향을 미치는 일이 없도록 하는 것이 바람직하다.

또한, 전면에 수위를 고려할 경우에는 뒤채움재는 기초지반 정도까지 설치한다.

옹벽배면에는 뒤채움 콘크리트를 설치하며, 기초는 자른 쇄석 등을 10~20㎝로 고르게 편 위에 기초콘크리트를 설치한다. 천단 콘크리트는 두께 5~10㎝ 정도로 한다.

4.5 기초의 설계

4.5.1 직접기초

(1) 설계일반

옹벽의 직접기초는 양질의 기초지반위에 설치하고 연직하중은 직접기초저면의 원지반만으로 지지시키는 것으로 한다. 지층은 연약하지만 비교적 얕은 위치에 양질의 지지층이 있는 경우에는 지지층까지 근입시키는 방법 외에 안정처리와 양질토에 의한 치환을 하여 개량지반을 형성하고 이를 기초지반으로 하여 그 위에 직접기초를 설치하는 방법이 있다.

(2) 개량지반(안정처리, 치환)상의 직접기초

개량지반상의 직접기초는 비자립형 옹벽 등의 견고한 지지지반을 전제로 한 구조형식의 옹벽에는 이용하지 않는다. 또한, 구조물로서의 중요도가 높은 옹벽에 이용하는 경우에는 신중한 검토가 필요하다.

직접기초의 기초지반을 개량하는 것은 크게 다음 3가지 경우가 있다.

① 표층에 연약층이 있고 양호한 지지층이 비교적 얕은 위치(2~3m 정도 이하)에 있어 연약층의 전체두께를 개량하는 경우
② 연약층이 두텁고 양호한 지지층이 깊은 위치에 있어 연약층의 두께의 일부를 개량할 경우(하중에 의한 지중응력도가 연약지반의 허용응력도 이하가 되는 깊이까지 연약층을 개량하는 경우)
③ 연약층이 두텁고 양호한 지지층이 깊은 위치에 있어 심층혼합처리 등에 의해 양호한 지지층까지 연약층의 전체두께를 개량하는 경우

(3) 치환콘크리트

직접기초의 일부에 기초지반으로서 부적합한 지반이 존재하는 경우와 비탈면위에 직접기초를 설치하는 경우에는 그 부분을 굴착하여 콘크리트로 치환한다.

비탈면상의 직접기초에서는 굴착토량을 삭감하기 위해 저판에 단차를 둔다. 치환콘크리트의 강도는 기초지반의 강도와 동등하게 한다.

또한, 치환콘크리트가 기초저면에 차지하는 비율이 비교적 큰 경우와 저판밑을 모두 콘크리트로 치환해 버리는 것은 구조적, 경제적으로 바람직하지 않은 경우가 있기 때문에 치환기초의 범위도 어느 정도 제한하는 것이 바람직하다.

4.5.2 말뚝기초

(1) 설계일반

말뚝기초에 작용하는 연직하중 및 수평하중은 말뚝만으로 지지하고 이들 하중에 의해 발생하는 각 말뚝두부의 축방향반력은 말뚝의 허용지지력을 넘어서는 안 된다. 또한, 말뚝은 상시에 인발력이 발생하지 않도록 말뚝배치를 한다. 지진시 검토를 하는 경우는 교대의 기초에 말뚝기초를 이용한 경우와 마찬가지로 설계하고 지진시에 의한 내진설계는 하지 않아도 좋다. 말뚝두부변위에 대해서는 일반 옹벽에서는 교량기초처럼 상부구조에서 정한 허용변위량을 규정할 필요가 없다고 생각할 수 있으므로 말뚝두부에서의 허용변위량은 규정하지 않기로 한다. 다만, 지진 영향을 고려하여 설계하는 경우와 건축한계, 주변상황 등을 고려하여 변위를 규제할 필요가 있는 경우 등은 변위에 대해서 별도 고려한다.

(2) 말뚝형식 선정

말뚝기초는 그 지지형태에 따라 지지말뚝과 마찰말뚝으로 대별된다. 말뚝의 지지력은 말뚝선단에서의 저항력과 말뚝주면의 마찰력으로 이루어지는데 지지말뚝은 말뚝선단이 양질의 지지층에 근입된 말뚝이고, 마찰말뚝은 선단이 양질의 지지층에 근입되어 있지 않은 말뚝이다. 이 경우 양질의 지지층이란 모래층과 자갈층에서는 대략 N값이 30이상, 점성토층에서는 대략 N치가 20 이상(일축압축강도(q_u)가 4kg/㎠ 정도 이상)으로 본다.

옹벽의 경우, 흙쌓기의 일부로서 침하를 허용하는 것이 합리적인 경우도 있고, 변위에 대한 제약이 적은 경우와 양질의 지지층이 깊은 경우 및 하중규모가 적은 경우 등에는 마찰말뚝의 선정도 염두에 두고 말뚝형식을 선정한다.

또한, 중간에 압밀층 등 연약지반이 존재하는 경우는 옹벽의 뒤채움 흙과 흙쌓기 시공에 의해 말뚝에 부마찰력이 작용하거나 측방유동압이 작용하는 경우도 있으므로 설계시 충분한 주의가 필요하다. 이 경우 대책공으로서 말뚝본체를 보강하는 방법, 지반개량공법, 흙쌓기하중경감공법 등이 있고, 각 공법의 특징을 감안하여 종합적으로 검토한다.

(3) 저판의 설계

말뚝기초를 이용한 옹벽저판의 설계는 지반반력 대신에 말뚝반력을 작용시켜 실시한다. 다만, 저판의 두께는 교량의 기초처럼 강체로서 취급할 수 있는 두께를 가지고 있을 필요는 없고 부재로서 정한 두께를 가지고 있으면 좋다.

4.6 배수공

옹벽 배수는 지표면배수와 뒤채움배수로 대별된다. 지표면배수는 우수 등의 지표면수가 뒤채움 흙 속에 침투하는 것을 방지하는 것이며 뒤채움배수는 뒤채움중에 침입해 온 물을 신속하게 배제하기 위한 배수공이다.

배수공의 설계에 있어서는 우선 옹벽배면과 지지지반에 물이 침투하는 것을 방지하는 것이 중요하다. 따라서 식생공과 콘크리트, 블록 등의 불투수층을 마련하여 지표면수를 배수구로 집수시키거나 지하수위가 높은 경우에는 지하수 배수공을 설치하여 지하수의 유입을 방지할 필요가 있다.

그러나 이와 같은 대책을 강구한다 해도 물의 침투를 완전하게 막을 수는 없기 때문에 옹벽배면에 침투한 물을 배제하기 위한 뒤채움배수공을 설치할 필요가 있다.

뒤채움배수공에는 간이 배수공, 구형 배수공, 연속배면 배수공 등이 있고, 옹벽 규모와 뒤채움재의 토질, 설치위치의 지형상황, 용수 유무 등에 따라 적절히 선정한다. 그리고 필요에 따라 옹벽의 횡단방향 배수에 대해서도 검토할 필요가 있다.

(1) 간이 배수공

간이 배수공은 뒤채움 흙이 사질토 등으로 투수성이 좋은 경우에 이용되고 있다.

이 배수공은 <그림 407.27>에 있듯이 각 배수구멍 위치에 쇄석과 자갈 등 두께 50㎝ 정도의 수평배수층을 벽체 전길이에 걸쳐 설치하는 것이다. 또, 특히 용수량이 많은 경우는 구멍뚫린 배수관을 병용하는 것이 좋다.

(2) 구형 배수공

구형 배수공은 투수성이 그다지 좋지 않은 뒤채움재를 이용하는 경우와 옹벽의 설치위치가 집수 지형으로 되어 있는 경우 등에 이용하면 좋다. 이 배수공은 <그림 407.28>에 있듯이 벽체하단 부근에서 배수구멍을 통해 용이하게 배수할 수 있는 높이의 위치에 벽체 전길이에 걸쳐 쇄석, 자갈 등으로 두께 50㎝ 정도의 수평한 배수층을 설치하고 동시에 벽체배면을 따라 옹벽상부부근까지 두께 30～40㎝ 정도의 연직배수층을 4～5m 간격으로 설치한다.

벽체의 배수구멍은 적어도 연직배수층과 수평배수층과의 각 교점마다 설치할 필요가 있다.

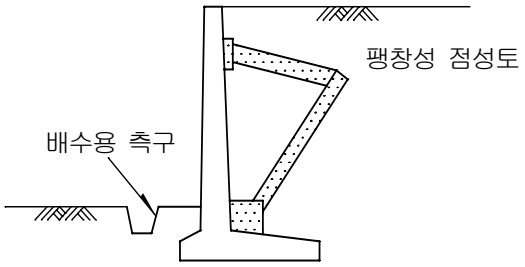
(3) 연속배면 배수공

연속배면 배수공은 주로 블록쌓기옹벽에 사용되고 있으며, 구형 배수공과 마찬가지로 배면흙쌓기재가 점성토처럼 투수성이 나쁘고 또 옹벽의 설치위치가 집수 지형으로 되어 있는 경우 등에 이용하면 좋다. 이 배수공은 벽체배면의 전면에 걸쳐 쇄석 등으로 두께 30～40㎝의 배수층을 설치하여 이 층의 전면에서 집수하고, 배수층 하단 및 벽체에 적당히 배치한 배수구멍을 통해 배수하는 방법이다.

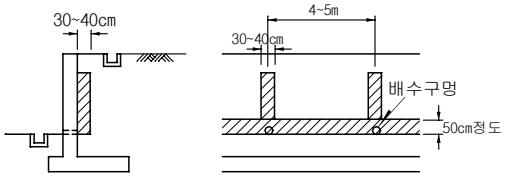
(4) 기타 배수공

옹벽 배면에 drain board(폴리스틸렌 일면배수재)를 부착시키고 부직포로 drain board를 덮은 후 양질의 토사로 뒤채움을 하여 배면 토압의 증가를 억제하고 뒤채움 흙의 동상과 동결에 따른 수축 팽창을 방지할 수 있다.

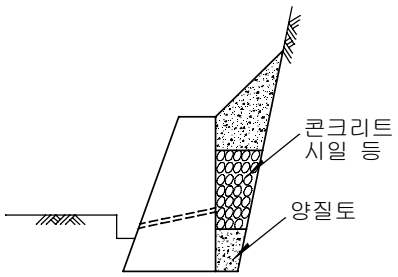
<그림 407.27> 간이 배수공



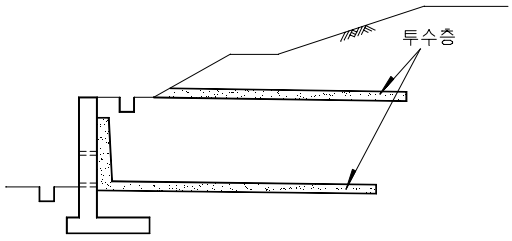
<그림 407.30> 이중 블랭킷 배수시설



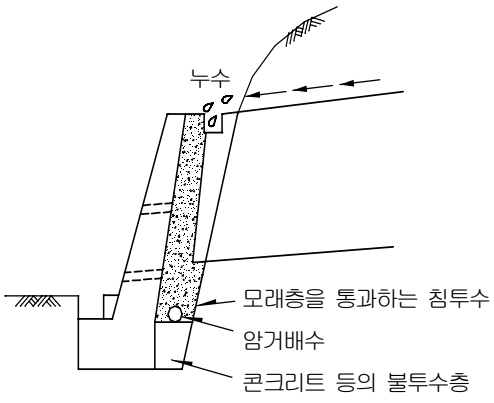
<그림 407.28> 구형 배수공



<그림 407.31> 땅깎기부에서의 배수공 사례



<그림 407.29> 옹벽의 배면배수 사례



<그림 407.32> 용수가 있는 경우의 배수공 사례

뒤채움재로 점성토를 사용하는 경우는 배수공이 뒤채움 흙에 의해 막히지 않도록 쇄석과 자갈, 토목섬유 배수재 등으로 의해 지하배수층을 설치하는 것이 바람직하다(<그림 407.2> 참조).

만약 흙이 팽창성 점성토인 경우에는 침투수에 의해서 흙의 팽창을 유발될 수 있으므로 이러한 흙은 뒤채움재로서 좋지 않으나 만약 부득히 사용할 경우 이중의 블랭킷 배수시설을 설치한다(<그림 407.30> 참조).

또한, 특수한 배수공으로서 땅깎기부의 배수와 용수가 있는 장소의 배수공이 있다(<그림 407.31>, <그림 407.32> 참조).

(5) 배수구멍

배수구멍은 옹벽배면에 모인 물을 배수하기 위한 것으로 콘크리트옹벽에서는 옹벽 전면에 용이하게 배수할 수 있는 높이의 범위내에서 5m 이내의 간격으로 설치한다. 그리고 부벽식 옹벽에서는 각 판넬마다 적어도 1개의 배수구멍을 설치한다. 또한, 블럭쌓기 옹벽과 비자립형 옹벽에서는 뒤채움배수에 특히 주의가 필요하고, 배수구멍은 전면의 배수구보다 상부에서 2~3m^2에 1개의 비율로 설치하는 것이 바람직하다.

배수구멍은 내경 5~10㎝ 정도의 경질염화비닐 등의 재료를 배수방향에 적당한 경사로 벽체에 묻어 설치하는 것이 좋다. 또한, 배수구멍 입구에 흡출방지재와 구멍지름보다 큰 자갈과 쇄석을 설치하여 배수구멍을 통해 뒤채움 흙이 유출되지 않도록 배려할 필요가 있다.

(6) 배수재

배수층의 재료로는 일반적으로 자갈과 쇄석 등의 석재가 사용되어 오고 있으며, 최근 옹벽 배수용 토목섬유 배수재(예로서 지오텍스타일 복합체)도 사용되고 있다. 토목섬유 배수재는 경량으로 취급과 시공이 용이하다는 특징을 가지고 있지만 사용에 있어서는 투수층으로서의 성능, 내구성, 환경조건, 설계시공법, 옹벽 종류 등을 충분히 검토한 후에 이용한다. 다만, 블록쌓기 옹벽은 그 구조안정상 뒤채움재에 자갈과 쇄석을 이용하는 것을 전제로 하고 있기 때문에 그 대체로서 토목섬유 배수재를 이용해서는 안 된다.

4.7 구조세목

(1) 부재 최소치수

전면벽은 20cm 이상, 저판은 30cm 이상으로 한다. 단, 중력식 옹벽의 경우에 전면벽은 40cm 이상이어야 한다.

(2) 철근의 덮개

철근의 덮개는 콘크리트 설계기준에 의한다.

(3) 최소 철근비

① 해석에 의하여 소요철근량을 산정한 휨부재 단면 : $P_{mim} = 14/\sigma_y$

단, 단면에서 사용된 철근량이 해석으로 요구되는 철근량보다 최소한 1/3 이상 많을 때는 위 식을 따르지 않아도 되나 0.0015 이상이어야 한다.

② 수평철근의 콘크리트 총 단면적에 대한 최소비는 다음과 같아야 한다.

가. 지름이 16mm 이하인 이형철근의 항복강도가 4,000kg/cm^2 이상의 경우 : 0.0020

나. 가 이외의 이형철근에 대하여 : 0.0025

다. 지름이 16mm 이하인 용접강선망에 대하여 : 0.0020

라. 전면벽 표면측에 배치되는 수평방향철근은 벽체 높이 1m 당 5cm^2 이상, 중심간격 40 cm 이하로 배치하여야 하며, 전면벽에 배치되는 총수평철근량의 1/2 이상이어야 한다.

(4) 철근간격

해석에 의하여 소요철근량을 산정한 휨부재 단면에서는 철근간격이 최대 휨모멘트가 발생되는 단면에서 단면두께의 2배 이하 또는 30cm 이하로, 그 밖의 단면에 대해서는 단면두께의 3배 이하 또는 40cm로 한다.

(5) 철근의 정착 및 이음

① 철근의 정착길이는 기본정착길이(ℓ_d)를 적용하되 30cm 이상으로 하며, <표 407.6>을 따른다.

② 철근의 이음 길이는 <표 407.7>을 따른다.

(6) 활동방지벽(key)

활동저항을 증가시키기 위하여 기초저면에 활동방지벽을 설치하는 경우, 활동방지벽은 저판 콘크리트와 일체로 타설한다.

활동방지벽(key)의 형상은 <그림 407.33(a)>에 나타낸 것을 원칙으로 하지만, 활동방지벽의 깊이, 토질 상태 등에 따라 <그림 407.33 (b)>와 같이 구조물 굴착선에 맞는 형상으로 해도 좋다.

(7) 이음

① 수축이음

철근콘크리트 옹벽에서는 표면에 V형의 홈을 가진 수축이음을 만든다. 그 간격은 9m 이하로 하되, 이 이음에서 철근을 끊어서는 안 된다.<그림 407.34(a) 참조>

② 신축이음

벽체의 신축이음은 일반적으로 중력식 옹벽에서는 10m 이하, 역T형, L형 및 뒷부벽식 옹벽에서는 30m 이내의 간격으로 두되, 이 면에서는 철근을 반드시 자른다.

신축이음은 서로 물리는 <그림 407.34(b)>와 같은 형상으로 하지만, 높이가 낮고 기초지반이 견고한 경우 등에서는 <그림 407.34(c)>와 같은 구조로 해도 좋다. 이 경우 시공에 있어서 엇갈림이 생기지 않도록 충분히 주의한다.

(8) 구체

① 본선에 접해 있는 벽체의 전면을 미관 및 시공을 고려하여 일반적으로 1:0.02 이상의 경사를 붙인다(<그림 407.35> 참조).

② 옹벽의 상부에는 <그림 407.35>와 같은 소단을 설치하는 것이 좋다.

그 길이 L은 설치 장소에 따라 다르지만 일반적으로 70cm로 하면 된다.

③ 연속된 옹벽에서 그 높이가 변하는 경우, 접속은 지형, 구조 형식 등을 고려하여 판단한다.

④ 산지부에 설치되는 옹벽처럼 옹벽의 상부 또는 저면의 높이가 변할 경우에는 설치 위치, 구조 형식 등을 고려하여 접속시킨다. 일반적으로 설치 위치에 의해 정해지는 근입 깊이를 기준으로 1블럭의 길이를 결정하며, 저판은 수평으로 시공하면 좋다(<그림 407.36> 참조). 중력식 옹벽에서는 벽체 전후의 경사를 일정하게 하고 상부를 소정의 경사에 맞추면 된다. 역T형 옹벽 또는 뒷부벽식 옹벽의 정부의 폭은 1블럭별로 일정하게 하지만, 높이의 변화가 적을 때에는 저판의 폭을 일정하게 하고 상부만을 끊어내는 방법으로 처리해도 된다.

<표 407.6> 철근의 정착길이(옹벽표준도작성연구용역, 1998)

콘크리트 설계기준강도(σ_{ck}:240/cm^2), 철근의 항복강도(σ_y:3000kg/cm^2) 일 때 (단위:cm)

철근	인장철근		압축철근(l_d)
	일반철근(ℓ_d)	상부철근(1.3ℓ_{db})	
D13	30 (35)	39 (46)	20 (23)
D16	37 (43)	49 (56)	25 (29)
D19	45 (52)	59 (68)	30 (35)
D22	52 (60)	68 (78)	35 (40)
D25	60 (69)	78 (90)	40 (46)
D29	75 (87)	98 (114)	45 (52)
D32	93 (107)	121 (140)	50 (57)

( )안의 값은 콘크리트 설계기준강도(σ_{ck}:180/cm^2), 철근의 항복강도(σ_y:3000kg/cm^2)일 경우

<표 407.7> 철근의 이음길이(옹벽표준도작성연구용역, 1998)

콘크리트 설계기준강도(σ_{ck}:240/cm^2), 철근의 항복강도(σ_y:3000kg/cm^2) 일 때 (단위:cm)

철근	인 장 철 근				압축철근
	일반철근		상부철근		
	A급	B급	A급	B급	
D13	30 (35)	39 (46)	39 (46)	51 (60)	30 (40)
D16	37 (43)	49 (56)	49 (56)	64 (73)	34 (46)
D19	45 (52)	59 (68)	59 (68)	77 (89)	41 (55)
D22	52 (60)	68 (78)	68 (78)	89 (102)	47 (63)
D25	60 (69)	78 (90)	78 (90)	102 (117)	54 (72)
D29	75 (87)	98 (114)	98 (114)	128 (149)	61 (82)
D32	93 (107)	121 (140)	121 (140)	158 (182)	67 (90)

( )안의 값은 콘크리트 설계기준강도(σ_{ck}:180/cm^2), 철근의 항복강도(σ_y:3000kg/cm^2)일 경우

4.8 기타 설계□시공상의 주의점

옹벽에 있어서의 대부분의 문제는 다음과 같은 원인에 의해 일어나는 경우가 많으므로 주의한다.

(1) 기초 지반의 부등침하
(2) 기초 지반의 지지력 부족
(3) 뒤채움부의 배수 불량

옹벽의 기초지반을 잘 확인할 필요가 있다. 특히 홍적층, 충적층의 경계 부근 비탈면 상에 설치할 경우에는 특히 주의가 필요하다.

옹벽 배면에 수압을 발생시키지 않게 하기 위해 배수를 함으로써 수압을 감소시킬 필요가 있으나, 시공 도중에 메워져 배수가 잘 되지 않는 경우가 있으므로 충분히 주의할 필요가 있다. 그 방법으로써 <그림 407.37>, <그림 407.38>과 같은 시공방법이 있다.

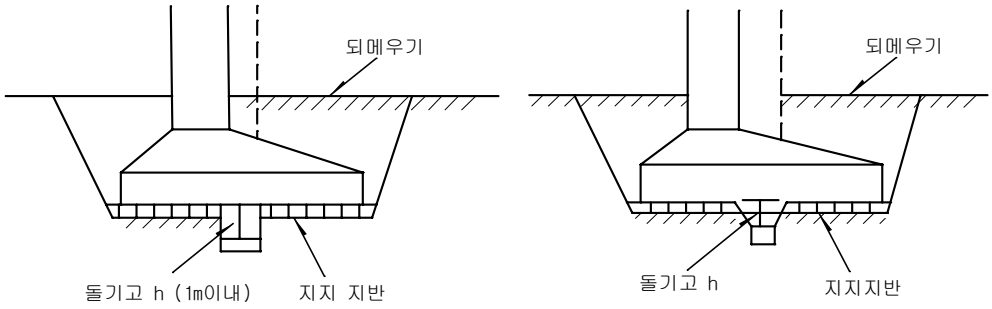
그리고, 옹벽배면에 작용하는 토압을 효율적으로 저감시키는 대책으로 설계시 고려될 수 있는 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다.

(1) 역T형 옹벽의 뒤꿈치(heel)부분을 45° 정도 경사지게 하는 방법

(2) 중력식 옹벽과 역T형 옹벽의 경우에 구조슬래브(structural slab)를 옹벽배면의 중간부에 추가로 설치하여 그 위쪽의 모든 하중을 지탱하게 하는 방법

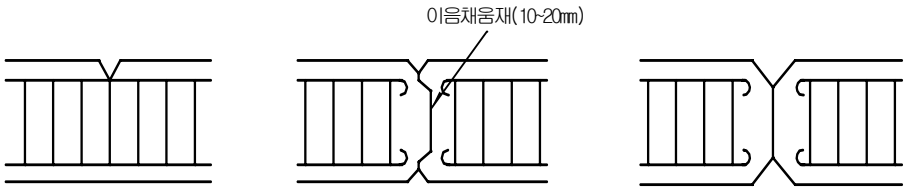
(3) 구조슬래브를 (2)와 같이 동일하게 설치하고 슬래브 아래쪽에 위치하는 옹벽배면을 경사지게 시공하는 방법

(4) 옹벽의 뒤채움재를 단위중량이 적은 경량의 흙쌓기재(예 : EPS블럭 등)로 시공하는 방법



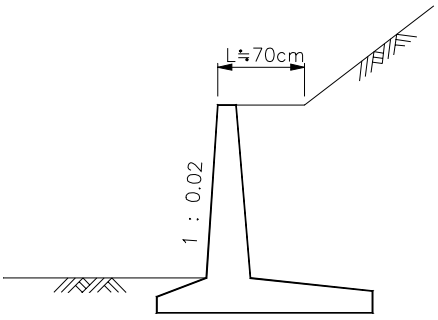
(a) (b)

<그림 407.33> 활동방지벽의 형상

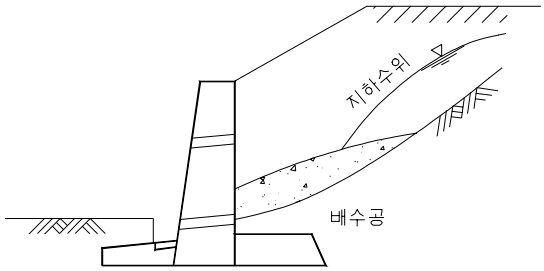


(a) 수축이음 (b) 맞물림 이음 (c) 맞댐 이음

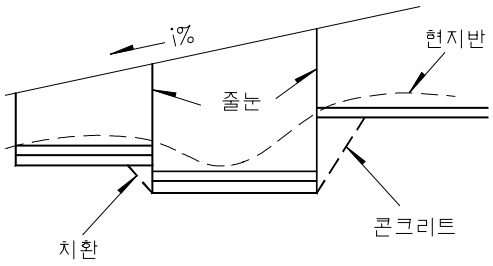
<그림 407.34> 수축이음, 신축 이음



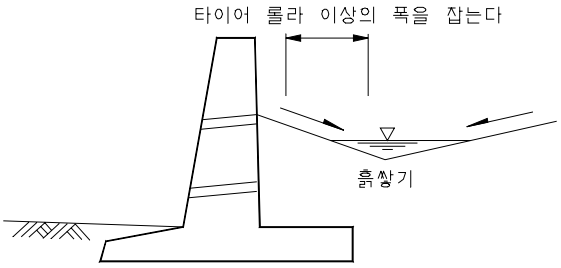
<그림 407.35> 옹벽의 소단



<그림 407.37> 원지반에 지하수가 있을 때



<그림 407.36> 산지부의 옹벽 예



<그림 407.38> 흙쌓기 중 지표수를 뒤채움에 유입시키지 않는 시공

407.5 보강토 옹벽

5.1 일반사항

보강토 옹벽은 뒤채움 흙내에 보강재를 포설하여 수직에 가까운 벽면을 구축하는 흙쌓기 구조물이다.

보강토 옹벽은 콘크리트 옹벽과 같은 규모의 콘크리트 타설작업이 필요하지 않으며, 흙쌓기재의 포설 및 다짐, 보강재의 포설, 벽면재의 조립 등의 과정을 반복하여 시공하기 때문에 특수한 시공장비가 필요하지 않고 시공이 용이하며 공기가 짧다. 또한, 보강토 옹벽은 자체중량과 강성에 의해 토압에 저항하는 구조인 콘크리트 옹벽에 비해 소형 벽면재와 보강재의 연결 및 보강재와 흙 사이의 마찰에 의해 저항하는 구조이므로 기초지반에 다소의 부등침하가 발생하여도 벽면재와 보강재의 기능 손상없이 대처할 수 있다.

도로구조물로서의 보강토 옹벽은 기존의 콘크리트 옹벽과 마찬가지 용도로서 적용된다. 보강토 옹벽의 특징은 도시부와 산악부처럼 도로용지에 제약이 있는 장소에서 수직에 가까운 벽면을 가진 흙쌓기를 구축할 수 있다는 것과, 유연한 구조이기 때문에 종래의 옹벽에서는 말뚝기초형식을 필요로 한 비교적 연약한 기초지반에서도 기술적인 검토에 근거하여 직접기초형식을 적용하는 것이 가능하다는 점에 있다.

보강토 옹벽은 사질토의 뒤채움 흙에 인장력이 크고 마찰력이 좋은 보강재를 수평으로 삽입하여 흙의 횡방향 변위를 억제함으로써 토체의 안정을 기하도록 한 것으로 보강재, 뒤채움용 사질토, 전면판 또는 전면 보호재로 구성된다(<그림 407.39> 참조).

보강토 옹벽은 보강재로서 띠형 강판을 사용하는 강재 보강토 옹벽과 지오그리드, 지오텍스타일, 합성섬유띠 등을 사용하는 토목섬유 보강토 옹벽으로 구분할 수 있으며, 본 편람에서는 최근 국내에서 폭넓게 사용되고 있는 토목섬유 보강토 옹벽에 대한 설계사항을 기술한다.

5.2 설계조건 및 안정해석

토목섬유 보강토 옹벽의 주요 설계항목은 다음과 같으며, <그림 407.40>은 설계순서의 흐름도를 보여준다.

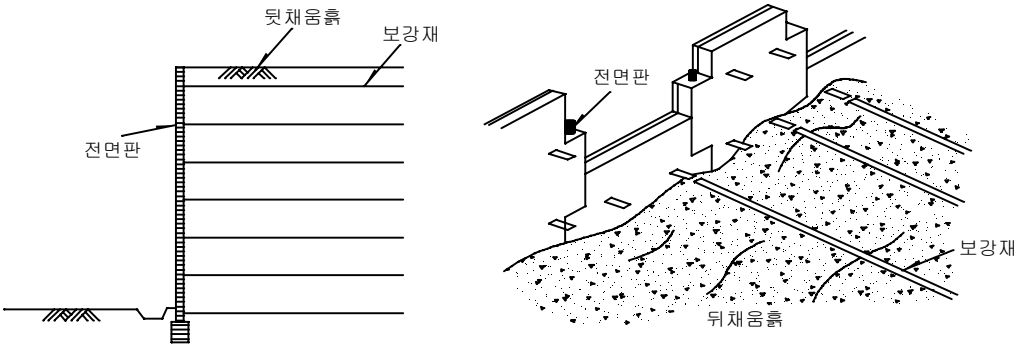
5.2.1 설계조건

(1) 뒤채움 흙의 선정

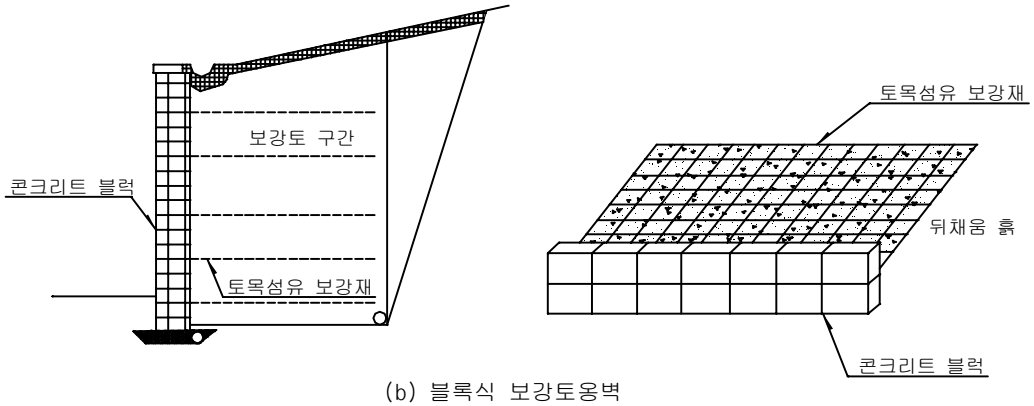
일반적으로 보강토 옹벽의 뒤채움을 위하여 사용하는 흙쌓기재료로는 보강토체의 내구성과 시공성 등을 고려하여 실트와 점토 함유량이 적은 사질토가 적합한 것으로 평가된다.

따라서 실트, 점토, 유기질토 등은 뒤채움재로 사용하지 않는 것이 바람직하다. 또한, 입경이 큰 암석재료 등을 많이 함유한 흙도 다짐이 곤란하고 다짐시 보강재를 손상시킬 수 있기 때문에 뒤채움재로는 적합하지 않다.

특히, 토목섬유 보강토 옹벽의 뒤채움 흙으로의 적합성 여부는 <표 407.8>로부터 평가할 수 있다. 단, 현장 잉여토 등 <표 407.8>의 뒤채움재 조건을 만족하지 않는 흙을 뒤채움재로 활용할 경우에는 다짐성과 투수성, 보강재의 손상정도 등에 대한 충분한 검토와 대책이 필요하다.



(a) 판넬식 보강토옹벽

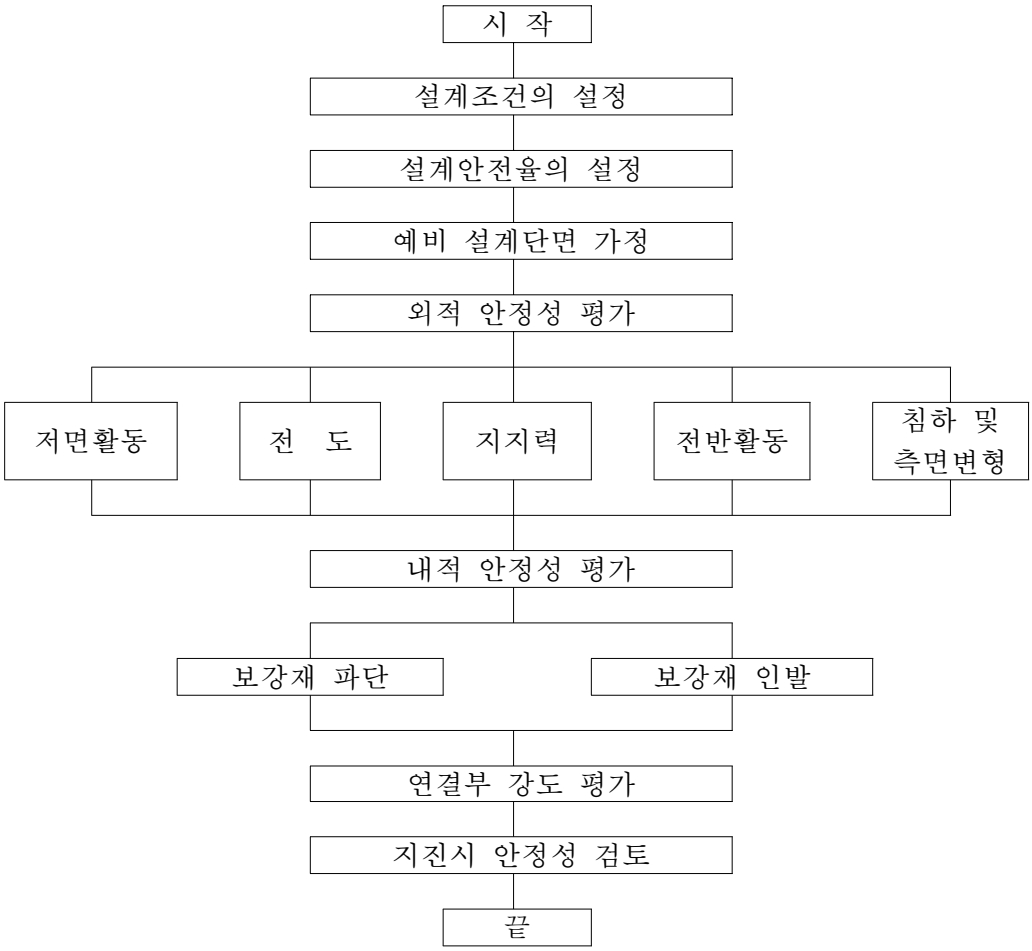


(b) 블록식 보강토옹벽

<그림 407.39> 보강토 옹벽의 구조

<표 407.8> 뒤채움 흙 적합 조건(토목섬유 설계 및 시공요령, 1998)

입 경	통과백분율 (%)
19mm 0.425mm(No.40) 0.075mm(No.200)	100 0～60 0～15
소성지수 (PI) < 6	



<그림 407.40> 토목섬유 보강토 옹벽의 개략적인 설계순서(토목섬유 설계 및 시공요령, 1998)

(2) 기초지반 및 배면토

기초지반의 공학적 특성은 보강토 옹벽의 지지력 및 침하 평가를 위하여 필요하다. 지지력 평가를 위해서는 전단강도계수(c, ϕ), 단위중량, 지하수위 등의 특성값이 필요하며, 침하 평가시에는 압밀계수, 압축지수 등의 특성값이 요구된다. 배면토의 경우도 보강토 옹벽 설계시 보강토체에 작용하는 토압산정을 위하여 전단강도계수(c, ϕ), 단위중량, 지하수위 등의 특성값이 필요하다.

(3) 보강재 특성

보강토 옹벽에 사용되는 보강재의 형태는 크게 2가지로 구분된다.

① 띠형 보강재

보강토체 내에서 이러한 보강재의 층은 보강재의 폭과 보강재 사이의 수평간격에 의해 특성화된다. 보강재의 강도는 단위폭 당 인장력의 형태로 표현되기 때문에 보강재의 단면적은 고려하지 않는다.

②지오텍스타일, 지오그리드

일반적으로 지오텍스타일 및 지오그리드 보

강재층은 보강토체 내에서 평면적으로 전체 면적을 덮기 때문에 보강재의 폭에 의해 특성화된다. 보강재의 강도는 단위폭당 인장력의 형태로 표현되기 때문에 보강재의 단면적은 고려하지 않는다.

띠형 보강재 설계시에는 보강재 층이 전체 면적을 덮지 못하기 때문에 적용면적비(coverage ratio), R_c를 고려한다. 지오텍스타일 및 지오그리드의 경우는 R_c=1이다.

$$R_c = b/S_h \qquad (407.24)$$

여기서, b : 하나의 보강재 층에 사용된 보강재의 총 폭

S_h : 보강재 중심축 사이의 수평간격

가. 토목섬유 보강재의 설계 인장강도

보강토 옹벽에서 토목섬유 보강재의 장기간 허용인장강도, T_a는 식(407.25)로 구한다.

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF} \qquad (407.25)$$

여기서, T_{ult} : 토목섬유 보강재의 극한인장강도

RF : 토목섬유 보강재의 장기간 강도 손실을 고려한 총 감소계수 ($RF_{CR} \times RF_D \times RF_{ID}$)

RF_{CR}: 크리프 감소계수. 폴리머 종류에 따른 전형적인 크리프 감소계수는 다음과 같다. (Holtz et al, 1995)

폴리머 종류	크리프 감소계수
폴리에스테르(PET)	2.5 ~ 2.0
폴리프로필렌(PP)	5.0 ~ 4.0
폴리에틸렌 (PE)	5.0 ~ 2.5

RF_D : 내구성 감소계수. 일반적으로 1.0 ~ 2.0의 값이 사용된다.

RF_{ID} : 시공성 감소계수. 일반적으로 1.0 ~ 3.0의 값이 사용된다.

또한, 구조물의 형상과 뒤채움재의 특성, 보강재 특성, 외부 작용하중 등의 불확실성 및 구조물의 중요도를 고려한 안전율, FS_{uc}를 사용하여, 토목섬유 보강재의 장기간 설계인장강도, T_d는 식(407.26)으로 구한다. 안전율 FS_{uc}는 설계자의 판단에 의해 1.0~1.5의 범위에서 사용하는 것을 추천한다.

$$T_d = \frac{T_a}{FS_{uc}} \qquad (407.26)$$

나. 토목섬유 보강재의 마찰저항

토목섬유 보강재의 마찰저항은 인발시험(pull-out test)이나 일면전단시험을 통하여 구할 수 있다. 단위폭당 보강재의 마찰저항, P_r은 식(407.27)에 의해 계산된다.

$$P_r = 2 \cdot L_e \cdot (c^* + \sigma_v' \cdot \tan\phi^*) \qquad (407.27)$$

여기서, L_e : 보강토체의 잠재 파괴면 배후의 저항영역내 토목섬유 보강재의 유효 정착길이

c^* : 흙과 보강재 사이의 점착력 (세립분 함유량이 적은 사질토에서는 고려하지 않음)

ϕ^* : 흙과 보강재 사이의 내부마찰각

σ' : 보강재에 작용하는 유효 수직 응력 (활하중은 무시하고 산정함)

(4) 전면벽

보강토 옹벽에 사용되는 전면벽의 형태는 콘크리트 판넬, 콘크리트 블럭, 포장형 등이다. 구조물의 외관 및 중요도 등을 고려하여 적절한 전면벽의 형태를 선정한다.

① 조립식 콘크리트 판넬 : 십자형, 직사각형, 정사각형, 다이아몬드형, 육변형 등 다양한 형태가 사용되며, 최소두께는 14cm 정도이고, 판넬간 수직연결은 보통 전단핀(shear pin)을 사용한다.

② 조립식 콘크리트 블럭 : 보강토 옹벽에 사용하기 위해 특수하게 설계하여 만든 비교적 작은 콘크리트 블럭(보통 15~50kg 정도 중량)으로, 길이 20~45cm×폭 20~60cm×높이 10~20cm 정도의 크기를 갖는다.

③ 포장형 : 소정 두께의 다짐흙을 보강재로 둘러싸는 형태로 반복 시공하여 보강토 옹벽을 축조하며, 보강재가 전면에 노출되기 때문에 자외선이나 동물, 화재 등에 따른 손상위험이 있으므로 식생이나 숏크리트, 현장타설 콘크리트 등으로 전면벽을 형성한다.

(5) 설계하중

보강토 옹벽의 설계시에는 시공위치에서의 기상조건 및 환경조건, 사용목적, 시공조건, 구조물의 규모 등을 고려하여 필요한 하중을 선택하여 적용한다. 설계에 사용하는 하중으로는 자중, 상재하중 및 토압 등이 주로 고려되며, 현장여건에 따라 양압력, 수압, 풍하중, 지진하중 등이 고려된다.

① 자중

보강토 옹벽의 구조는 보강재가 포설된 보강토체와 전면벽으로 구성되어 있으나, 전면벽의 중량은 보강토 옹벽 전체의 중량에 비해 무시할 정도로 작으므로 자중은 보강토체만의 중량으로 하여도 좋다.

② 상재하중

상재하중으로는 차량에 의한 활하중과 상부 흙쌓기하중 및 상부구조물에 의한 하중 등이 고려된다. 보강토체 상부에 도로를 축조하는 경우에는 활하중으로서 보통 1.0t/m^{2}의 값을 고려하면 좋다. 대형 건설장비의 통행이 계획되어 있는 공사용 도로 등에 적용된 보강토 옹벽의 경우에 대한 활하중, W_L은 다음 식으로 산출할 수 있다.

$$W_L = \frac{\text{차량의 총중량}}{\text{차량점유길이} \times \text{차량 점유폭}} \quad (407.28)$$

보강토 옹벽이 다른 구조물의 기초로 되는 경우에는 상부구조물의 유효 하중면적에 작용하는 지반반력을 상재하중으로 고려한다.

③ 토압

설계시 외적안정의 검토에서는 보강토체 배면으로부터 작용하는 토압을 고려하고, 내적안정의 검토에서는 보강토체 내에서 작용하는 토압을 고려할 필요가 있다.

④ 지진하중

지진의 영향을 검토하는 경우에는 지진시 토압과 관성력을 고려한다.

⑤ 기타 하중

현장여건에 따라 풍하중, 설하중, 충격하중 등이 고려될 수 있으며, 수압의 영향이 염려되는 경우에는 보강토체 내에 배수층을 설치하고 현지조사를 충분히 하여 적절한 수압을 고려하

여야 한다. 또한 보강토 교대의 설계시에는 교대 상부공의 수평반력 등 교대에 작용하는 하중에 대하여 고려한다.

5.2.2 설계안전율

보강토 옹벽의 각종 파괴형태에 대해 추천된 안전율은 다음과 같다.

(1) 외적 안정
① 저면 활동 : $F_S \geq 1.5$
② 전도 : $F_S \geq 2.0$ 또는 $e \leq L/6$ (흙),
$e \leq L/4$ (암반)
③ 지지력 : $F_S \geq 2.5$
④ 전반활동 : $F_S \geq 1.3$

(2) 내적 안정
① 인발저항(pullout resistance) : $F_S \geq 2.0$
② 보강재의 인장강도 : 식(407.25),
식(407. 26) 참조

(3) 벽체 묻힘깊이
보강토 옹벽의 안정성을 증진시키기 위해, 기초지반의 지지력과 침하정도, 동상성, 침식성 등을 고려하여 어느 정도의 벽체 묻힘깊이를 고려하는 것이 좋다. 벽체 묻힘깊이로는 <표 407.9>의 값이 추천된다.
기초지반이 암반인 경우(벽체 묻힘깊이가 필요없음)를 제외하고는 벽체 묻힘깊이가 최소 0.4m～0.5m는 되도록 하는 것이 좋다.

5.2.3 외적 안정해석

보강토 옹벽의 외적 안정해석에서는 보강토체를 균질한 복합토체로 고려하여 중력식 콘크리트 옹벽에서와 같이 전통적인 파괴유형에 따라 안정성을 평가한다. <그림 407.41>에서는 외적 안정해석의 흐름도를 보여준다.

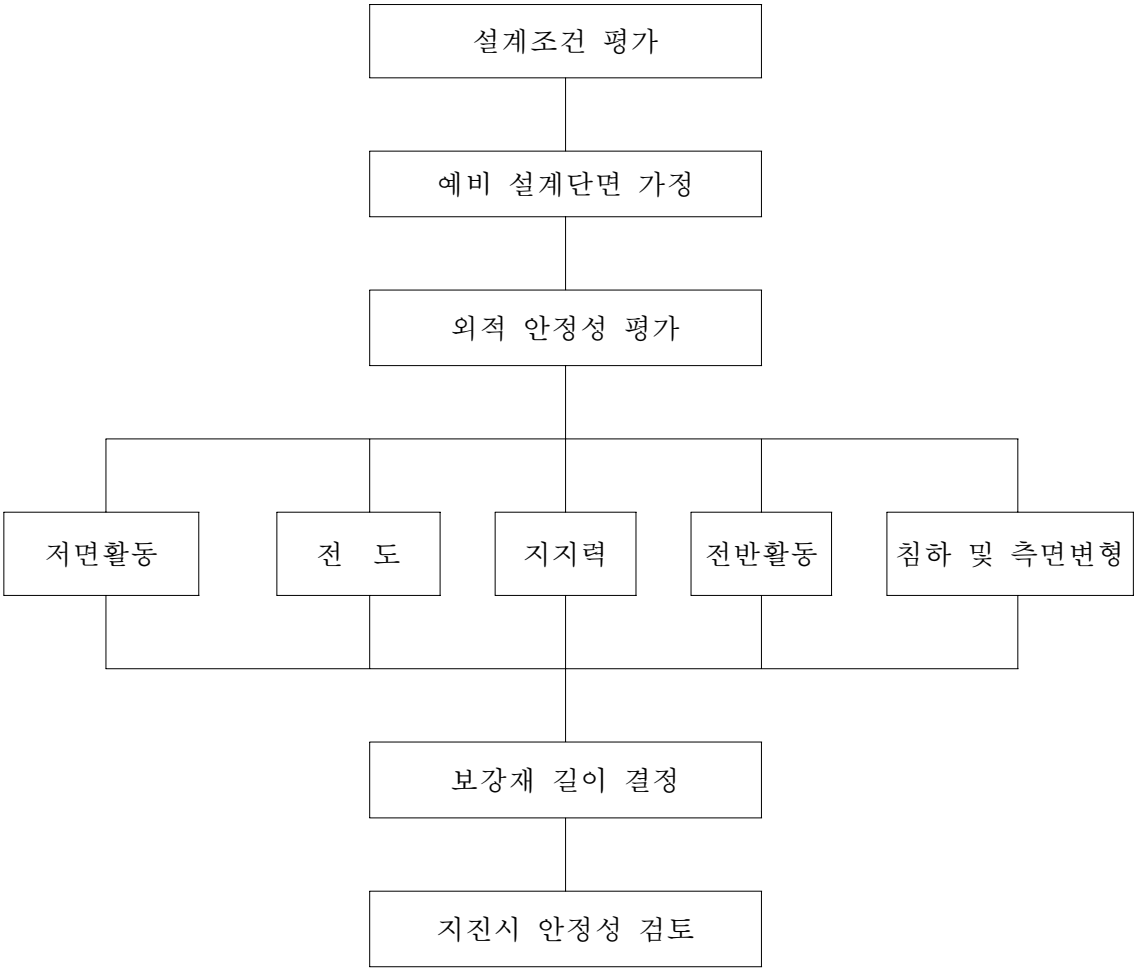
(1) 설계조건 평가
보강토 옹벽의 외적 안정해석을 위하여 다음과 같은 사항들이 설계자에 의하여 정의되고 평가된다.
① 옹벽 높이 및 경사도
② 자중, 상재하중, 지진력 등의 하중조건
③ 뒤채움 흙의 공학적 특성
④ 기초지반 및 배면토의 공학적 특성
⑤ 설계 안전율

(2) 예비 설계단면 가정
보강토 옹벽의 설계 높이는 벽체의 묻힘깊이를 고려하여 평가된다. 일반적으로 토목섬유 보강재의 예비 설계길이는 0.5H～0.7H (H는 옹벽의 설계높이) 또는 2.5m 보다 큰 값을 선정하여 사용하며, 보강토체 상부에 흙쌓기비탈면이 존재하거나 상당한 집중하중 등이 존재하는 경우에는 보다 긴 보강재의 예비 설계길이(예로서 0.7H 이상)를 사용하는 것이 바람직하다.

(3) 외적안정을 위한 토압
보강토 옹벽의 외적 안정해석은 보강토체를 하나의 강성체로 가정하여 보강토체 배면으로부터 작용하는 토압을 산정한다. <그림 407.42>와 <그림 407.43>에서는 각각 보강토체 및 배면토체의 상부가 수평한 경우와 그 상부에 무한 흙쌓기비탈면이 있는 경우에 대한 토압평가 방법을 보여준다. 여기서는 보강토체의 외적안정을 해석하기 위하여 보강토체의 형태를 전면벽이 수직인 경우와 경사진 경우로 구분하여 토압을 산정한다.

<표 407.9> 벽체 묻힘깊이의 추천값(Holtz et al., 1995)

벽체 전면지반의 경사	최소 묻힘깊이 (m)
수평 (옹벽)	H/20
수평 (교대)	H/10
3H : 1V	H/10
2H : 1V	H/7
3H : 2V	H/5



<그림 407.41> 외적 안정해석의 흐름도(토목섬유 설계 및 시공요령, 1998)

① 전면벽이 수직인 경우

보강토체에 작용하는 배면토압 산정시 사용하는 주동토압계수, K_a는 보강토체와 배면토체 사이의 마찰력을 무시하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

가. 보강토체 상부가 수평한 경우(<그림 407.42> 참조)

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \qquad (407.29)$$

나. 보강토체 상부에 무한경사흙쌓기비탈면이 있는 경우 (<그림 407.43> 참조)

$$K_a = \cos\beta\left[\frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}\right] \qquad (407.30)$$

여기서, β : 흙쌓기비탈면의 경사각

식(407.29)와 식(407.30)은 각각 상부토체가 수평한 것과 무한경사흙쌓기비탈면의 토압계수로서 전면벽이 수직인 경우에는 랭킨토압을 사용한다. 또한, 보강토체 상부의 흙쌓기비탈면이 무한하지 않고 중간에서 수평으로 변화하는 경우에는 <그림 407.44>에서 보는 바와 같이 무한 흙쌓기비탈면화하여 수정된 비탈면각(i)를 β대신 식(407. 30)에 대입하므로써 주동토압계수를 구할 수 있다. 이때 i를 β로 바꾸는 기준은 M이 2H보다 작은 경우에만 따른다. 여기서 i는 $i = \tan^{-1}\left(\frac{h_1 - H}{2H}\right)$과 같으며 M이 2H보다 큰 경우에는 식(407.30)을 따른다. h_1은 수평흙쌓기비탈면까지의 수직거리이다.

② 전면벽이 경사진 경우

전면벽이 경사진 경우에는 토체 상부가 수평하거나 경사진 경우 공통으로 쿨롱토압론을 이용하되 전면벽의 경사도가 10°를 기준으로 10°보다 작으면 수직전면벽으로 간주하여 앞에서 설명한 방법을 따른다. 한편, 전면벽의 경사도가 10°보다 클 경우의 주동토압계수는 쿨롱토압론에 의거해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$K_a = \frac{\cos^2(\theta+\phi)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\theta-\lambda)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\lambda)\cdot\sin(\phi-\beta)}{\cos(\theta-\lambda)\cdot\cos(\theta+\beta)}}\right]^2} \qquad (407.31)$$

여기서, θ는 전면벽의 경사도로서 보강토 옹벽의 외부의 수직선에서 전면벽까지의 경사, β는 보강토체 상부의 흙쌓기비탈면각이다. 또한 보강토체와 배면토체 사이의 마찰각 λ는 "0"으로 가정한다.

③ 보강토체의 저면에 작용하는 수직응력

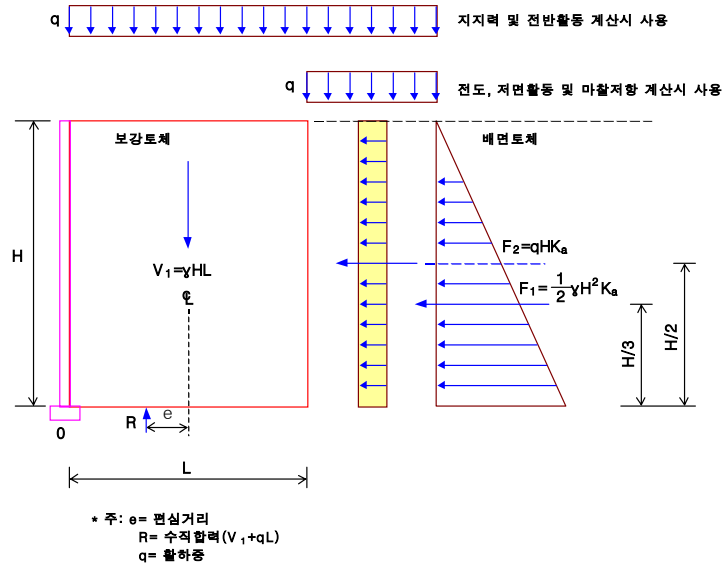
<그림 407.45>에서는 보강토체의 저면에 작용하는 수직응력의 계산방법을 보여준다.

일반적으로 수직응력 계산시에는 전면벽의 중량은 무시한다. 보강토체의 수직 지지응력의 산정을 위한 계산 과정은 다음과 같다.

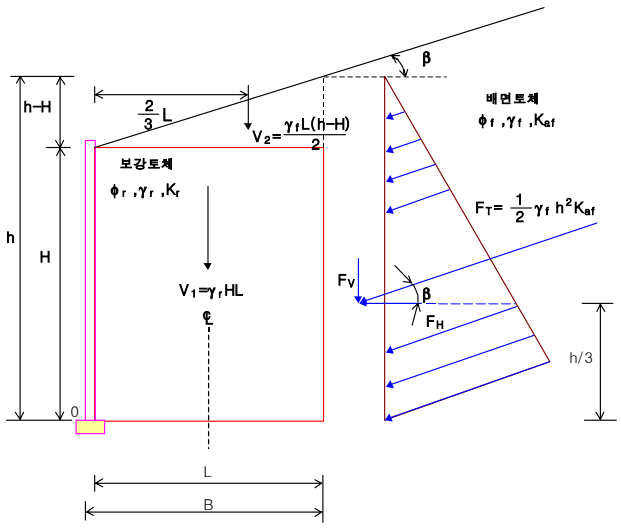
가. 배면토압, F_T의 산정

$$F_T = K_{af} \cdot \gamma_f \cdot h^2/2 \qquad (407.32)$$

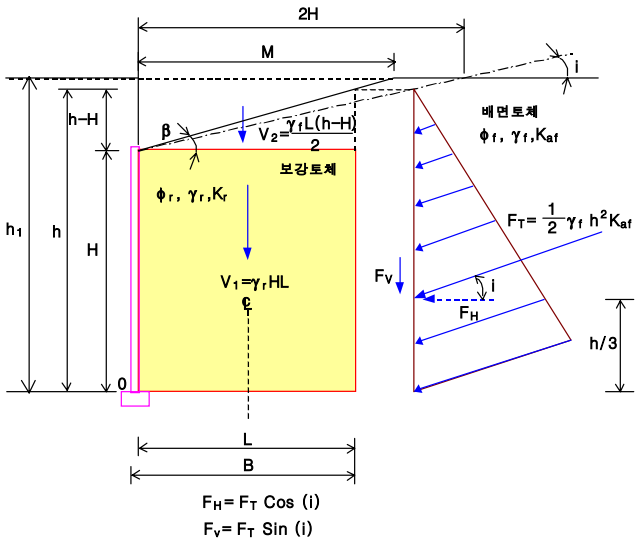
나. 모멘트 평형($\sum M_c = 0$)을 고려하여 보강토체 저면에 작용하는 수직합력의 편심거리, e의 산정



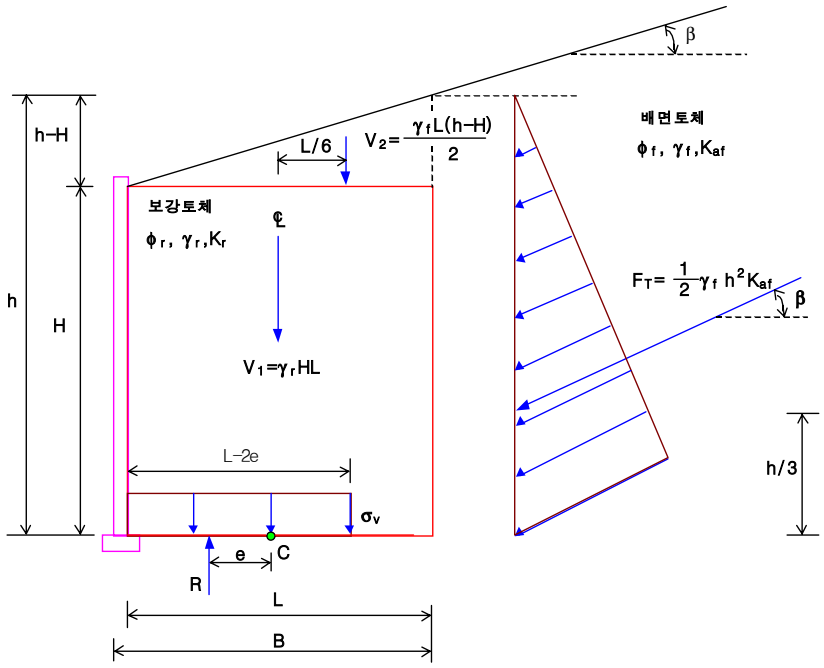
<그림 407.42> 외적 안정해석시 토압산정(보강토체 상부가 수평이고 차량하중이 작용하는 경우)



<그림 407.43> 외적 안정해석시 토압산정(보강토체 상부에 무한 흙쌓기비탈면이 있는 경우)



<그림 407.44> 외적 안정해석시 토압산정(보강토체 상부의 흙쌓기비탈면이 무한하지 않고 중간으로 수평으로 변하는 경우)



<그림 407.45> 보강토체 저면에서의 수직응력 계산

$$e = \frac{F_T(\cos\beta)h/3 - F_T(\sin\beta)L/2 - V_2(L/6)}{V_1 + V_2 + F_T(\sin\beta)} \quad (407.33)$$

이때 편심거리, e는 흙의 경우 L/6, 암반의 경우 L/4 보다 작아야 하며, 이 조건을 만족하지 않을 경우에는 보다 긴 보강재의 길이가 요구된다.

다. 보강토체 저면에 작용하는 균등한 등가 수직응력, σ_v의 산정

$$\sigma_v = \frac{V_1 + V_2 + F_T(\sin\beta)}{L - 2e} \quad (407.34)$$

라. 흙쌓기비탈면하중 이외의 상재하중이나 특별한 집중하중이 보강토체 상부에 작용하는 경우에는 이러한 하중조건을 추가하여 상기 가~다의 과정으로 보강토체 저면에 작용하는 등가 수직응력을 산정한다.

(4) 저면활동 평가

보강토체 저면부를 따른 활동에 대한 안전율은 식(407.35)로 구한다.

$$FS_{sl} = \frac{\sum \text{수평저항력}}{\sum \text{수평활동력}} = \frac{\sum P_R}{\sum P_d} \geq 1.5 \quad (407.35)$$

여기서, 수평저항력은 보강토체의 저면이나 그 주위의 연약층을 따른 전단저항이며, 수평활동력은 배면토체로부터 보강토체에 작용하는 토압의 수평분력이다.

(5) 전도 평가

보강토 옹벽의 전도에 관한 안전율은 식(407.36a)로 구한다.

$$FS_{ot} = \frac{\sum \text{저항모멘트}}{\sum \text{전도모멘트}} = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \geq 2.0 \quad (407.36a)$$

옹벽의 선단에 작용하는 저항모멘트(M_r)는 식(407.36b)로 구한다.

$$\sum M_r = \sum P_{Vi} X_i \quad (407.36b)$$

여기서, P_{Vi} : 보강토 옹벽에 작용하는 연직력

X_i : 보강토 옹벽의 선단으로부터 각각의 연직력까지의 수평거리

전도모멘트(M_o)는 식(407.36c)에 의해 구한다.

$$\sum M_o = \sum P_{Hi} Y_i \quad (407.36c)$$

여기서, P_{Hi} : 보강토 옹벽에 작용하는 수평력

Y_i : 보강토 옹벽의 선단(A점)으로부터 각각의 수평력까지의 연직거리

위와 같은 방법으로 구한 M_o와 M_r을 비교하여 $M_r/M_o \geq 2.0$인 경우 안정한 것으로 판단하며, 이 조건을 만족하지 못하는 경우에는 보강재의 길이를 증가시킨다.

(6) 지지력 평가

보강토 옹벽의 지지력 파괴유형으로는 전반전단파괴와 국부전단파괴를 고려한다. 국부전단파괴는 보강토 옹벽 하부에 얇은 연약한 지반층이 있을때 이 기초지반의 압착(squeezing)

에 의한 전단파괴 형태이다.

전반전단파괴에 대한 지지력 평가에서는 지지력 파괴를 방지하기 위해 기초지반에 작용하는 상부 수직응력이 설계안전율(추천값:2.5)을 고려한 기초지반의 허용지지력을 초과하지 않아야 한다. 경우에 따라서는 지반기술자의 판단에 의해 설계안전율로 2.0을 사용할 수 있다.

$$\sigma_v \leq q_a = \frac{q_{ult}}{FS} \qquad (407.37)$$

여기서, σ_v : 보강토체의 저면에 작용하는 수직응력

q_a : 허용지지력

q_{ult} : 기초지반의 극한지지력

이 조건을 만족하지 못하는 경우에는 보강재의 길이를 증가시키거나 기초지반의 개량을 한다.

국부전단파괴에 대한 지지력 평가에서는 보강토 옹벽의 축조에 의한 연약한 점토기초지반의 큰 수평이동을 막기 위해 식(407.38)의 조건을 만족해야 한다(Holtz et al., 1995).

$$\gamma_b \cdot H \leq 3c_b \qquad (407.38)$$

이 조건을 만족하지 못하는 경우에는 기초지반의 개량을 실시한다.

(7) 전반활동 평가

보강토 옹벽의 전반활동은 전통적인 비탈면 안정해석 방법을 사용하여 수행한다. 이 경우, 보강토 옹벽은 하나의 강성체로 보고 활동파괴면은 보강토체를 통과하지 않는 것으로 고려한다. 일반적으로, 비교적 균등한 보강재 간격을 갖는 수직 보강토 옹벽에서는 활동파괴면이 보강영역과 비보강영역을 동시에 통과하는 복합활동파괴가 발생하지 않으나, 보강재의 종류나 길이의 변화가 있거나 큰 상재하중이 작용하거나 경사옹벽의 경우에는 복합활동파괴도 고려한다.

전반활동에 대한 최소 안전율이 추천된 설계안전율, 1.3보다 작다면 보강재 길이를 증가시키거나 기초지반을 개량한다.

(8) 기초지반의 침하 평가

보강토 옹벽의 침하량은 전통적인 침하해석을 통하여 기초지반의 즉시침하, 압밀침하 등을 계산하므로써 산정할 수 있다. 일반적으로 보강토 옹벽이 전체적으로 균등하게 침하가 발생한다면 보강토 옹벽의 구조적인 안정에 영향을 미치지 않으나, 총 침하량이 크면 여러가지 요인에 의해 부등침하가 발생할 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

보강토 옹벽은 유연성이 큰 구조로 되어 있어 부등침하에 대한 저항이 크다고 평가되고 있으나, 구조적인 허용침하량을 초과하는 변위가 발생하는 경우에는 전면벽에 국부적인 변형(예로서, 전면벽의 균열 등)이 발생할 수 있다.

이러한 전면벽의 변형은 외관상으로 불안감을 증대시키므로 설계시 충분한 검토가 필요하다. 일반적으로 보강토 옹벽의 길이에 대한 부등침하량의 비율이 1% 이내가 되도록 하며, 이 범위를 초과하는 부등침하가 우려되는 경우에는 지반개량을 한다.

(9) 지진시 안정성 평가

지진에 의한 보강토 옹벽의 안정성 검토시 토압산정은 '4.2.5 지진시 토압'에 기술된 사항

에 따르고, 자세한 지진시 안정성 평가과정은 '토목섬유 설계 및 시공요령, 1998'을 참조한다.

지진시 토목섬유 보강토 옹벽의 외적안정을 위해 요구되는 최소 설계안전율로는 다음의 값을 추천한다.

외적안정 항목	지진시 최소 설계안전율
저면활동	1.2
전 도	1.5
또는	$e \le L/4$(흙), $e \le L/3$(암반)
지 지 력	2.0
전반활동	1.0

비교적 큰 지진력이 작용하면 상기 안전율을 만족한다고 할지라도 보강토 옹벽에 심각한 수평 및 수직변형이 발생할 수 있으므로, 이러한 사항이 우려되는 지역에서는 전문가의 상세한 검토가 요구된다.

5.2.4 내적 안정해석

보강토 옹벽의 내적 파괴는 보강재 파단파괴와 보강재 인발파괴 2가지 형태로 발생할 수 있다.

따라서, 보강토 옹벽의 내적 안정해석에서는 보강재의 인장강도 및 인발저항력과 함께 보강토 옹벽 내에 설치된 보강재에서 유발되는 최대 인장력이 고려된다. <그림 407.46>에서는 내적 안정해석의 흐름도를 보여준다.

(1) 한계 활동파괴면

보강토 옹벽에서의 한계 활동파괴면은 보강토체 내의 최대 유발인장력선 (각 보강재에서의 최대 유발인장력이 발생하는 위치를 연결한 선)과 일치하는 것으로 가정된다(<그림 407.47> 참조).

수직으로부터 10°이내의 경사를 갖는 수직 및 수직에 가까운 보강토 옹벽에서의 한계 활동파괴면이 수평과 이루는 활동파괴각, ψ는 식 (407.39)와 같이 고려한다.

$$\psi = 45^\circ + \phi/2 \qquad (407.39)$$

(2) 보강재의 파단에 대한 내적 안정평가

보강재에 유발된 최대인장력이 보강재의 종류, 즉 보강재의 탄성계수, 밀도, 인장특성에 따라 다르게 나타난다.

① 각 보강재층에서의 수평응력, σ_H 산정

$$\sigma_H = K_a(\sigma_v + \Delta\sigma_v) + \Delta\sigma_h \qquad (407.40)$$

여기서, σ_v는 보강토체 하중과 그 상부의 흙쌓기하중을 포함하며, $\triangle\sigma_v$는 교통하중 등의 활하중과 상부구조물 하중 등이 포함된다. 또한, $\triangle\sigma_h$는 상부구조물에 의한 수평응력의 증분이다.

② 각 보강재층의 최대 유발인장력, $T_{\max}$의 산정

가. 띠형 보강재의 경우

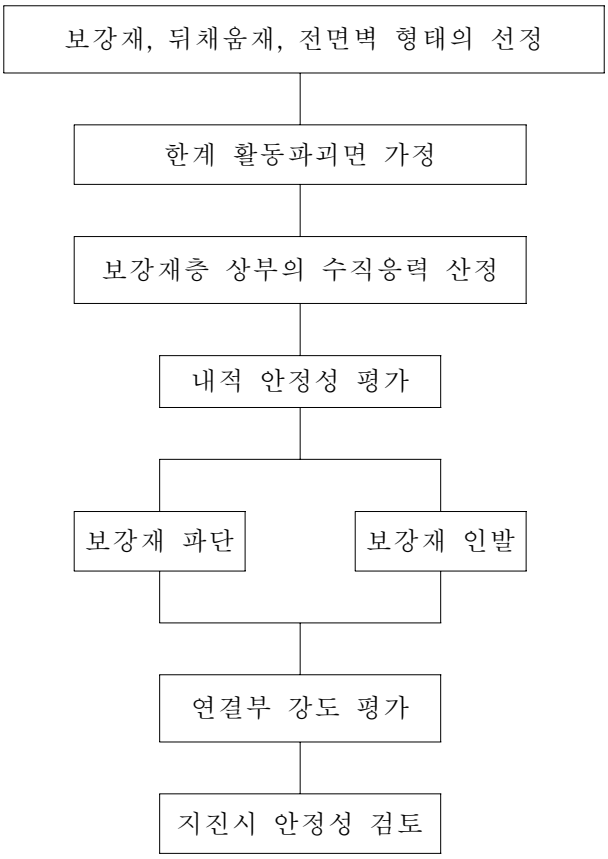
$$T_{\max} = \sigma_H \cdot S_v \cdot S_h \qquad (407.41)$$

나. 토목섬유 보강재의 경우

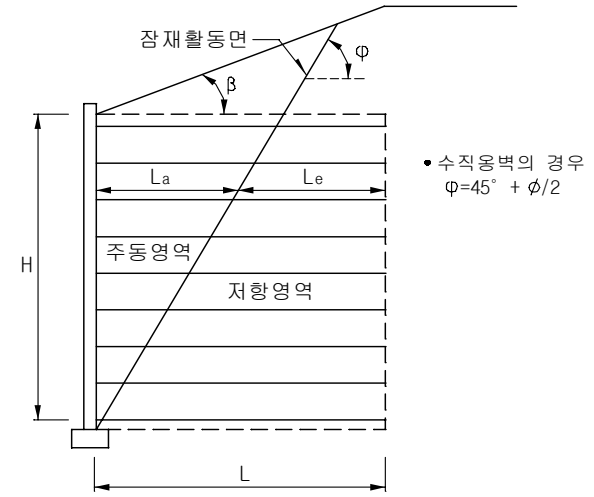
$$T_{\max} = \sigma_H \cdot S_v \qquad (407.42)$$

여기서, S_v : 보강재의 연직간격

S_h : 보강재의 수평간격



<그림 407.46> 내적 안정해석의 흐름도(토목섬유 설계 및 시공요령, 1998)



<그림 407.47> 내적 안정해석을 위한 한계 활동파괴면

③ 보강재의 파단에 대한 내적 안정평가

$$T_d \geq \frac{T_{\max}}{R_c} \qquad (407.43)$$

여기서, $T_{\max}$: 보강재의 최대유발인장력

T_d : 설계인장강도

R_c : 적용면적비(지오텍스타일 및 지오그리드경우에는 $R_c = 1$)

이와 함께, 전면벽과의 연결부에서 보강재의 인장력, T_o가 연결부강도보다 크지 않도록 한다.

(3) 인발파괴에 대한 내적 안정평가

보강토 옹벽에서 흙 속에 묻혀져 있는 보강재의 인발에 대한 안정을 위해서는 식(407. 44)를 만족해야 한다.

$$T_{\max} \leq \frac{2L_e \cdot (c^* + \sigma'_v \cdot \tan\phi^*) \cdot R_c}{FS_{pu}} \qquad (407.44)$$

여기서, FS_{pu} : 인발에 대한 안전율 ≥ 2.0

$T_{\max}$: 보강재의 최대 유발인장 ($T_{\max}$계산시 활하중 무시)

L_e : 보강토체 내의 저항영역에 묻혀진 보강재의 유효저항길이

R_c : 적용면적비

c^* : 흙과 보강재 사이의 점착력 (세립분 함유량이 적은 사질토에서는 고려하지 않음)

ϕ^* : 흙과 보강재사이의 내부마찰각

σ_v' : 보강재에 작용하는 유효 수직응력(활하중의 영향은 무시)

(4) 연결부 강도 평가

보강토 옹벽에서 전면벽과 보강재의 연결은 일반적으로 전면벽에 정착된 강봉과의 구조적 연결방법과 전면벽과 보강재 사이의 마찰 및 전단저항(핀, 전단키 사용)에 의한 연결방법 등에 의해 수행되고 있다. 마찰 및 전단저항에 의한 연결부의 강도는 연결부의 기하학적 구조형태와 옹벽의 경사도, 전면벽의 깊이 및 수직응력 등에 의해 변화된다.

최대 연결부 강도, T_{ac}는 미국 GRI Test Method GS8 (1991)의 시험방법을 사용하고 최소 안전율 1.5를 고려하여 식(407.45)와 같이 구한다.

$$T_{ac} = P_{ac}/(1.5W) \qquad (407.45)$$

여기서, P_{ac} : 연결부 파괴시 저항력

W : 보강재의 시험폭

(5) 지진시 안정성 평가

지진하중은 보강토체에 정적하중과 함께 수평적인 관성력을 작용시킨다. 이 관성력은 보강재에 추가적인 동적 응력증가를 야기시킨다. 지진시 보강재에 유발되는 최대 인장력선의 궤적과 위치는 평상시와 동일한 것으로 가정하여 지진시의 내적 안정해석을 수행한다.

(6) 보강재의 수직간격

보강토 옹벽의 보다 경제적인 설계를 위해서는 옹벽의 높이에 따른 사용 보강재의 인장강도와 보강재의 수직간격을 적절히 변화시키는 것이 좋다. 일반적으로 보강토체가 일체 구조물로서 거동하기 위해서는 보강재의 수직간격이 80~100cm를 초과하지 않도록 하는 것이

바람직하며, 포장형 보강토 옹벽에서는 보강재의 최대 수직간격을 50cm 정도로 하는 것이 좋다. 조립식 콘크리트 블럭을 전면벽으로 사용하는 경우에는 보강토 옹벽의 시공성 유지와 장기 안정성 등을 위하여 보강재의 최대 수직간격이 콘크리트 블럭 깊이의 2배보다 작도록 하며, 최상단 보강재의 수직간격이 클 경우에는 최상부 변위제어를 위해서 그 아래에 있는 보강재의 수직간격의 1/2 정도로 하는 것이 바람직하다. 또한, 보강재의 최소 수직간격은 뒤채움 흙의 다짐효과와 흙/보강재 사이의 마찰효율을 고려하여 20~30cm 정도로 하는 것이 좋다.

5.2.5 국부 안정해석

보강토 옹벽 설계시 보강토체 내에서 파괴가 발생할 수 있는 경우를 평가하여야 하는데 이것이 국부안정해석이다. 국부안정해석이란 비탈면안정해석시 선단파괴에 해당하지만, 설계는 $45^\circ + \phi/2$의 직선상으로 파괴하는 것으로 가정하여 모든 블럭들 사이의 안정성을 평가하여 최소 안전율이 1.5이상이 되도록 한다.

5.3 설계□시공상의 주의점

(1) 보강재의 포설

보강재의 포설위치는 기존의 벽면공을 이용하는 경우에는 보강재의 연결부가 고정되어 있기 때문에 보강재의 인발저항력에 대해 포설간격과 사용 보강재의 인장강도를 조합하여 경제적인 배치를 실시한다.

산악지에서의 시공처럼 원지반에 근접하여 보강토 옹벽을 시공하는 경우에는 원지반의 안정성도 고려하여 보강재의 요구되는 포설길이를 확보하기 위해 과도하게 지반을 굴착하여 가설시에 불안정화시키지 않도록 유의한다. 또한, 보강재 길이를 부분적으로 짧게 한 경우 전체적인 안정이 확보되어야 한다.

곡선부와 모서리각부의 보강재 포설은 인발저항력이 확보될 수 있도록 보강재사이의 처리에 유의한다. 시공후에 지하매설구조물의 시공이 계획되는 경우에는 보강재의 길이가 변화될 수 있으므로 이를 고려한 안정성 검토가 필요하다.

또한, 흙쌓기재의 압축성을 무시할 수 없는 경우에는 벽면공과의 연결부에 과잉의 힘이 발생하지 않도록 침하에 대한 대책을 강구한다.

(2) 뒤채움 흙의 포설 및 다짐

일반적으로 옹벽 뒤채움 흙의 1층 두께는 흙쌓기재료, 다짐장비 및 다짐도 등의 조건에 의해 결정되지만, 보강토 옹벽의 경우에는 그 외에 보강재의 부설간격도 고려하여 결정한다. 보통 다짐두께의 몇 배가 부설간격과 일치하도록 고려하여 뒤채움재의 포설두께를 설정한다.

(3) 기초공

벽면공의 기초는 보강토 옹벽의 마무리에 영향을 미치기 때문에 평탄성을 확보하는 동시에, 벽면공 저면부에 응력이 집중하기 때문에 그 기초는 지지력을 충분히 확보할 수 있는 구조이어야 한다.

기초공은 원지반의 지형이나 용도, 구조, 시공방법에 관계없이 항상 수평이 되도록 시공한다. 기초공 표면의 수평정도는 보강토 옹벽 전체의 안정성에 영향을 줄 수 있으므로 주의를 필요로 한다.

일반적으로 토목섬유 보강토 옹벽의 기초는 전면벽이 조립식 콘크리트 판넬인 경우에는 콘크리트 기초로, 조립식 콘크리트 블럭이나 포

장형인 경우에는 쇄석층 위에 양질의 모래층을 포설하는 형식으로 되어 있으나, 비교적 높이가 높은 조립식 콘크리트 블럭 옹벽에서는 콘크리트 기초를 추천한다.

기초지반이 연약한 경우에는 치환이나 안정처리 등의 지반개량을 한 후 기초공을 타설하며, 기초지반이 암반인 경우에는 굴착토량을 최소로 하기 위해 암반에 정착시킨 콘크리트 기초위에 보강토 옹벽을 설치하는 경우도 있다. 기초의 근입깊이는 0.5m 이상으로 한다. 기초의 근입효과 방식은 콘크리트 옹벽 방식과 똑같이 한다.

(4) 벽면공

보통 적용되는 벽면재는 얇은 두께 때문에 가드레일에서 충격력과 차음벽 등에 의한 사하중을 지지할 수 없기 때문에 이들의 부대구조물을 벽면공에 직접 연결시키지 않도록 한다.

콘크리트 판넬과 블럭 등 벽면재를 사용하는 경우에는 기초지반의 부등침하에 의해 벽면재 사이에서 발생한 틈으로 뒤채움 흙이 빠져 나오게 되고 이로 의해 보강재와의 마찰저항력이 저하되는 등 불안정화 요인이 될 수 있으므로 주의를 요한다. 또, 벽면재의 우각부에 압축파괴를 일으키는 경우도 있다. 부등침하가 허용치 이하가 되는 지를 확인하고, 필요에 따라 기초지반의 침하대책을 강구한다.

(5) 배수공

보강토 옹벽내에 물이 침수하면 보강효과가 현저하게 낮아지는 경우가 있다. 시공시 및 장기적으로 침투수에 의한 지장을 초래하지 않도록 적절한 배수대책을 강구한다. 투수성이 낮은 흙쌓기재를 사용한 경우, 흙쌓기내의 수평배수공, 벽면재 배면필터 등을 사용한다.

407.6 EPS 옹벽

6.1 일반사항

EPS는 경량성, 자립성, 시공성 등이 우수하여 연약지반상의 흙쌓기 및 옹벽·교대의 뒤채움, 자립벽, 또는 매설관 기초 등의 각종 구조물에 적용한다. 또한, 시공시 대형 건설기계가 필요치 않으므로 건설기계의 지지력 확보가 곤란한 경우나 근접시공을 필요로 하는 경우, 소음·진동 등의 주변환경에의 배려가 필요한 경우 등에도 적용성이 우수하며, 급속 시공이 필요한 경우나 가설도로 등에의 적용시 시공과 복구 등이 간단하므로 이에 따른 공기단축 효과도 얻을 수 있다.

일반적으로 EPS 옹벽은 대형 EPS 블럭을 흙쌓기재료 및 뒤채움재료로서 도로공사에 적용되며, 초경량성, 자립성, 내수성, 내압축성, 시공성 및 경제성 등의 특징을 갖고 있다.

6.2 설계조건 및 안정해석

6.2.1 설계하중

EPS 옹벽의 설계에서 주로 고려할 하중은 EPS 옹벽 배면토압, 상재하중, EPS 자중, EPS 측압, 양압력 등이 있으나, 이외에도 필요에 따라 지진하중, 설하중, 충돌하중 등을 고려한다.

(1) EPS 옹벽 배면토압

EPS 옹벽의 배면에 작용하는 토압은 그 배면지반의 경사도 및 전단강도에 크게 좌우된다. 배면지반의 경사가 안정경사보다 완만하면 배면토압은 발생하지 않으나 안정경사보다 급

하면 배면토압이 발생하며, 이 값은 시행쐐기법으로 계산할 수 있다. <그림 407.48>은 시행쐐기법에 의해 구한 EPS 배면지반의 경사와 전단강도에 따른 배면의 주동토압계수를 나타낸다.

(2) 상재하중

일반적으로 EPS 옹벽 설계에 사용되는 상재하중은 EPS 상부에 재하되는 포장체(표층, 기층, 보조기층, RC상판)의 단위중량과 두께로부터 구한 포장하중에 의한 사하중과 차량에 의한 활하중이다. 활하중은 차량하중을 차량점유면적으로 분포시킨 등분포하중으로 도로에서 DB-24하중인 경우 보통 1.3t/m^2로 한다.

(3) EPS 자중

EPS 블럭은 제조방법에 따라 크게 5가지 종류로 생산된다. <표 407.10>에서는 EPS 블럭 종류별 건조 단위체적중량을 보여준다. 한편, EPS 옹벽 설계시에는 EPS 블럭의 흡수율을 고려하며, 일반적으로 EPS 블럭이 지하수위 상부에 설치되는 경우에는 1%(용적율)미만, 계절적으로 침수되는 경우는 4% 정도, 지하수위 하부에 설치되는 경우에는 8~9%를 고려한다.

(4) EPS 측압

EPS 측압은 EPS 상부의 상재하중(사하중 및 활하중)에 의해 EPS가 탄성변형을 할 때 발생하는 것으로 상재하중의 10%가 옹벽에 균등하게 작용하는 것으로 한다.

(5) 양압력

EPS 블럭은 초경량성의 재료이므로 지하수위 이상에 설치하는 경우는 양압력을 검토할 필요가 없으나, 지하수위 이하에 설치하는 경우는 양압력에 대한 문제를 세밀히 검토한다. 양압력은 물의 단위중량과 지하수위 이하의 EPS 두께의 곱($\gamma_w \cdot h'$)으로 구한다.

6.2.2 EPS 옹벽의 설계

EPS 재료의 경량성 및 자립성을 이용하여 경사지에서 도로확폭용으로 EPS 옹벽을 사용하면 기존 흙쌓기공법보다 용지 점유면적을 최소화하여 자연경관을 고려한 구조물의 계획이 가능하다. <그림 407.49>는 EPS 옹벽 설계의 흐름도를 보여준다. <그림 407.49>와 같이 설계순서는 먼저 설계조건을 설정하고 설계하중을 계산한 후 EPS 부재의 응력도, 양압력, H형강의 응력, 기초콘크리트 슬래브, 앵커에 대한 안정검토를 수행하여 EPS 옹벽의 구조를 결정한다.

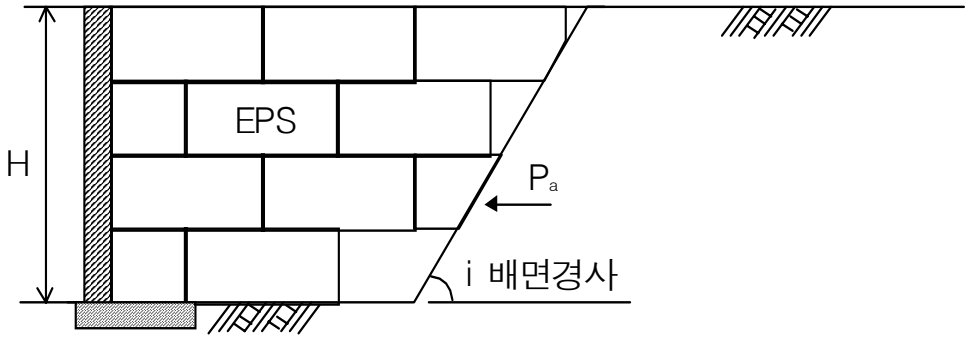
(1) 설계조건의 설정

EPS 옹벽을 설계하는 경우에는 먼저 다음과 같은 설계조건을 설정한다.

① 옹벽 및 기초콘크리트의 단면형상
② 포장구성 및 하중조건
③ 토질정수 및 배면토압의 유무
④ H형강, 앵커볼트 및 앵커 설치방법
⑤ 설계 지하수위 및 EPS 옹벽의 양압력에 대한 설계안전율
⑥ 사용할 EPS 종류의 설정

(2) 설계하중 계산

상재하중, 배면토압, EPS 측압, 양압력 등에 의한 설계하중 계산이 필요하다.



$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2$$

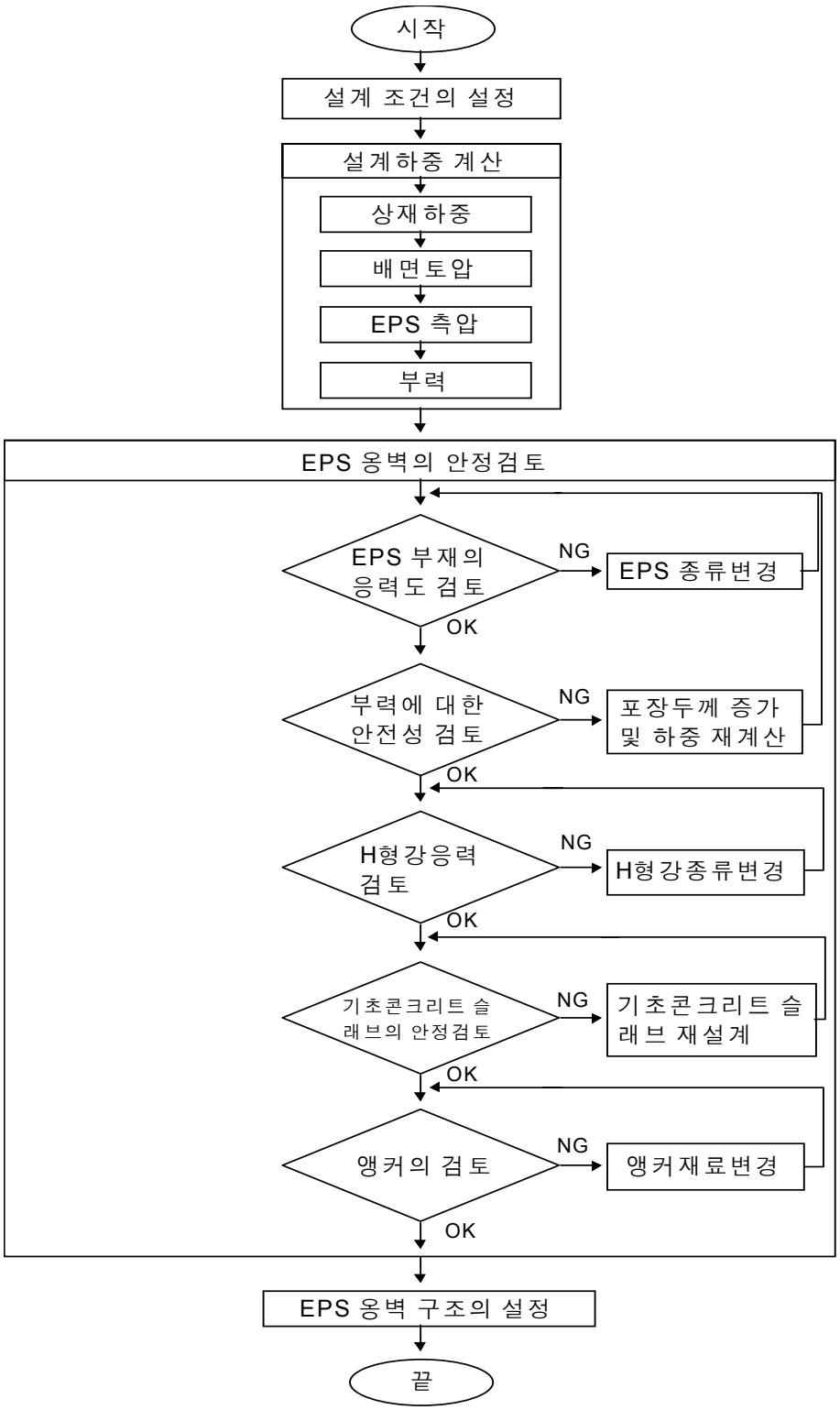
$$K_a = \frac{2P_a}{\gamma h^2}$$

i \ Φ	40	35	30	25	20
90	0.200	0.244	0.297	0.361	0.438
80	0.139	0.180	0.232	0.295	0.375
70	0.088	0.126	0.174	0.237	0.319
60	0.047	0.078	0.121	0.181	0.264
50	0.015	0.036	0.071	0.124	0.205
40	0	0.005	0.025	0.065	0.137
30	0	0	0	0.012	0.058
20	0	0	0	0	0

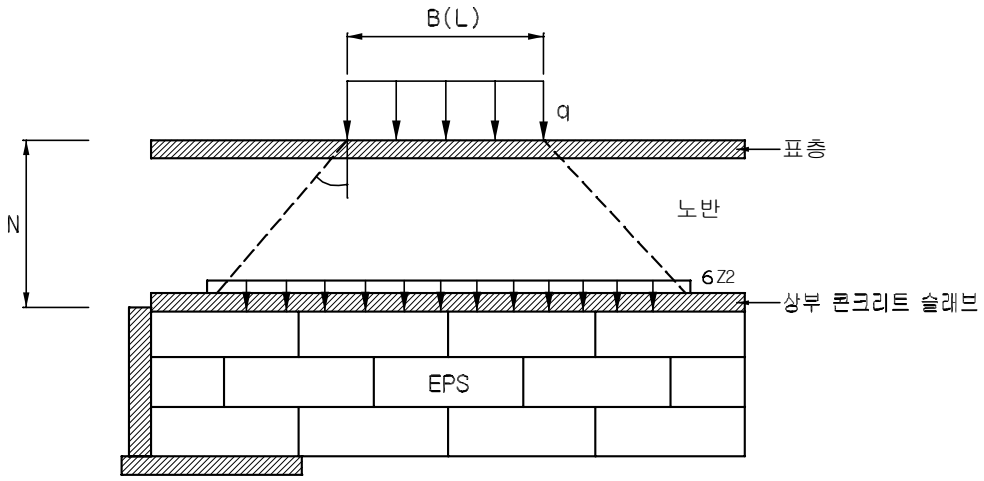
<그림 407.48> EPS 배면지반의 경사와 전단강도에 따른 배면의 주동토압계수
(한국건설기술연구원, 1997)

<표 407.10> EPS 블럭 종류별 건조 단위체적중량(한국건설기술연구원, 1997)

종류	제조법	발포배율	건조 단위체적중량
D-16	형내발포법	62.5	16 kg/m^3
D-20	형내발포법	33.3	20 kg/m^3
D-25	형내발포법	40.0	25 kg/m^3
D-30	형내발포법	50.0	30 kg/m^3
DX-29	압출발포법	34.5	29 kg/m^3



<그림 407.49> EPS 옹벽 설계의 흐름도(한국건설기술연구원, 1997)



<그림 407.50> 활하중에 의해 EPS 흙쌓기층에 전달되는 응력분포도(한국건설기술연구원, 1997)

6.2.3 EPS 옹벽의 안정해석

EPS 옹벽의 안정검토는 EPS 부재의 응력도, 양압력, H형강의 응력, 기초콘크리트 슬래브, 앵커에 대해 수행한다.

(1) EPS 부재의 응력도 검토

EPS 재료는 장기 안정성을 확보하기 위해서 사하중, 활하중에 의해 EPS에 작용하는 응력보다 큰 허용응력을 갖어야 한다. EPS에 작용하는 응력(σ_z)은 EPS 상부에서 검토되며, 식(407.46)과 같이 표시된다.

$$\sigma_z = \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \qquad (407.46)$$

여기서, 사하중에 의한 응력(σ_{z1})과 활하중에 의한 응력(σ_{z2})(<그림 407.50> 참조)는 식(407.47), 식(407.48)과 같이 표시된다.

$$\sigma_{z1} = \sum(\gamma_i \cdot h_i) \qquad (407.47)$$

여기서, γ_i : 각 포장체 재료의 단위체적중량

h_i : 각 포장체 재료의 두께

$$\sigma_{z2} = \frac{P_W(1+i)}{(B+2\cdot Z\cdot \tan\theta)(L+2\cdot Z\cdot \tan\theta)} \qquad (407.48)$$

여기서, P_W : 최대 바퀴하중

B : 바퀴 폭

L : 바퀴 접지길이

Z : 도로면으로부터 EPS 흙쌓기층 최상부면까지의 깊이

i : 충격계수(i= 0.3)

θ : 하중분산각도(RC슬래브가 있는 경우 θ=45°, 없는 경우 θ=30°)

(2) 양압력에 대한 안정검토

양압력에 대한 안정검토는 설계최고수위를 적용하고 안전측으로 EPS하중을 포함하지 않은 포장체 하중, 상부 및 중간슬래브 하중을 고려하여 식(407.49)와 같이 계산된다.

$$FS_U = \frac{\sigma_{z1} + \gamma_m \cdot t_m}{U} \qquad (407.49)$$

여기서, FS_U는 양압력에 대한 안전율이고, σ_{z1}은 포장체의 사하중, γ_m은 중간 콘크리트 슬래브의 단위중량, t_m은 중간콘크리트 슬래브의 총 두께이며, U는 양압력이다.

양압력에 대한 안전율은 허용안전율(보통 1.2)이상이어야 한다. 만약 이 조건을 만족하지 않는다면 포장체에 대한 설계를 다시 한다.

(3) H형강의 응력검토

EPS 옹벽을 구성하고 있는 H형강에는 EPS 측압과 배면토압이 작용한다. 따라서, 배면토압이 작용하지 않을 경우에는 등분포하중이, 배면토압이 작용할 경우에는 사다리꼴 하중이 H형강에 작용한다(<그림 407.51> 참조>).

배면토압이 작용하지 않는 경우의 H형강에 작용하는 모멘트 M_t와 전단력 S는 식(407.50) 및 식(407.51)과 같이 계산한다.

$$M_t = \frac{q_{ol} \times h^2}{8} \times b_s \qquad (407.50)$$

$$S = \frac{q_{ol} \times h}{2} \times b_s \qquad (407.51)$$

여기서, q_{ol}은 EPS 측압이며, h는 옹벽의 높이, b_s는 H형강의 타설 간격이다.

또한, 배면토압이 작용하는 경우의 H형강에 작용하는 모멘트 M_t와 전단력 S는 식(407.52) 및 식(407.53)과 같이 계산한다.

$$M_t = (R_A \cdot x - \frac{w_1}{2} x^2 - \frac{w_2 - w_1}{6h} x^3) \times b_s \qquad (407.52)$$

$$S = \frac{(w_1 + 2w_2)h}{6} \times b_s \qquad (407.53)$$

여기서, x : 상부 지지점에서 최대 모멘트가 작용하는 점까지의 거리

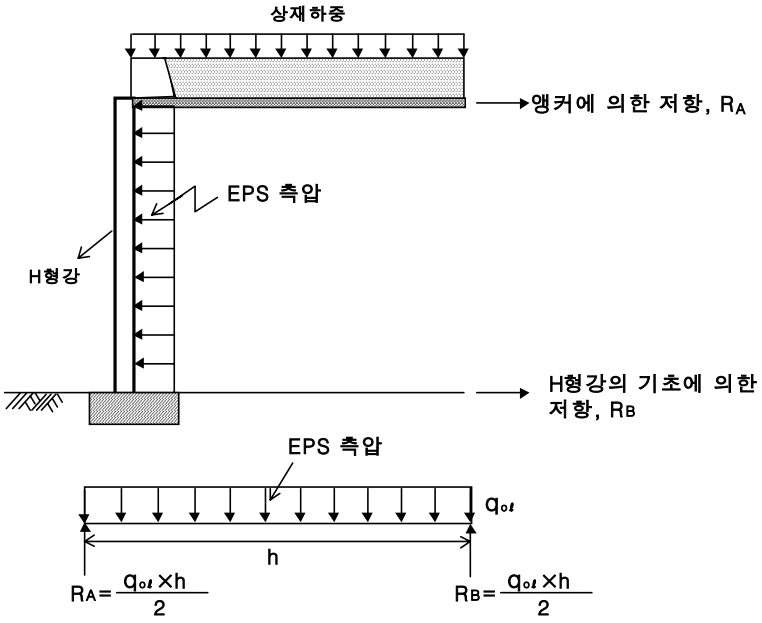
H형강이 받는 최대 휨응력 및 최대 전단응력은 H형강의 허용 휨응력과 허용 전단응력보다 작아야 한다. 만약 H형강의 최대 휨응력 및 최대 전단응력이 허용 휨응력과 허용 전단응력보다 크면 H형강의 종류를 변경한다.

(4) 기초콘크리트 슬래브의 안정검토

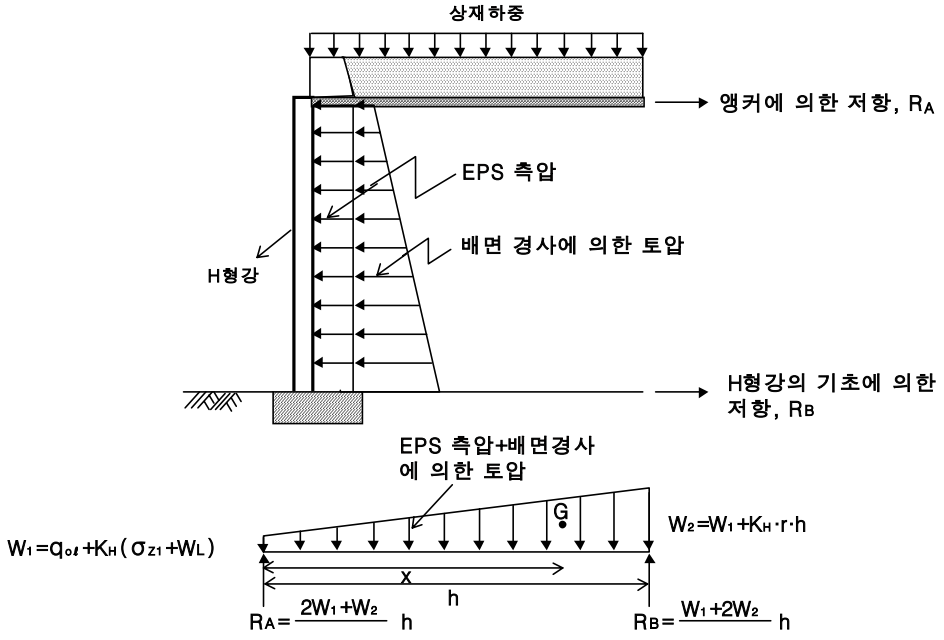
EPS 옹벽은 H형강을 앵커볼트를 이용하여 기초 콘크리트 슬래브에 정착시키는 시스템을 사용한다. 현장여건 등을 고려하여 옹벽에 대한 전도, 기초저면 활동, 기초지반 지지력, 앵커볼트에 대한 안정검토를 수행한다.

전도의 방지는 저항모멘트가 전도모멘트보다 크도록 유지하며 허용 안전율은 2.0 이상이어야 한다.

기초 저면 활동에 대한 검토는 기초 콘크리트 슬래브의 저면활동에 대한 안전율을 식(407.54)와 같이 구하여 허용 안전율 이하가 되도록 한다.



(a) 배면토압이 작용하지 않는 경우



(b) 배면토압이 작용하는 경우

<그림 407.51> H형강에 작용하는 수평력(한국건설기술연구원, 1997)

$$FS_{sl} = \frac{\sum P_v \times \tan\frac{2}{3}\phi}{\sum P_h - R_A} \qquad (407.54)$$

여기서, P_v : 토압의 수직활동력
P_h : 토압의 수평활동력
ø : 기초지반의 내부마찰각
R_A : H형강 상부에서의 수평반력

기초지반 지지력에 대한 검토는 4.3.2절의 식(407.20)을 이용하여 구할 수 있으며, 기초지반의 허용지지력은 일반적인 Terzaghi 공식과 Meyerhof 공식 등을 사용하여 구한다.

앵커볼트의 응력검토는 H형강을 기초 콘크리트에 정착시키기 위해 사용한 앵커볼트 갯수를 고려하여 수행된다. 앵커볼트에 작용하는 전단응력은 앵커볼트의 허용 전단응력 이하가 되도록 한다.

(5) 앵커의 검토

H형강에 작용하는 수평력에 대해 옹벽의 안정을 확보하기 위한 방안으로 상부 콘크리트 슬래브에서 비탈면흙 속으로 지반앵커를 설치하는 방법 및 상부 콘크리트 슬래브를 EPS층과 인접한 흙 속으로 연장하여 타설하므로써 흙과 마찰 저항력을 유발시켜 앵커로서의 기능을 하도록 하는 방법 등을 사용하고 있다. 여기서 후자의 경우는 앵커길이를 최대 5m로 규정하고 그 이상의 길이가 요구될 때에는 앵커의 설치한다.

지반앵커의 검토는 먼저 설계 앵커력을 검토한 후 앵커의 정착길이를 결정한다. 설계 앵커력 T_d는 식(407.55)와 같이 구하며, 인장재의 허용인장력보다 작아야 한다.

$$T_d = \frac{R_A \times @}{\cos\alpha} \qquad (407.55)$$

여기서, R_A는 상부 콘크리트 슬래브에서의 수평저항력으로서 앵커에 작용하는 인장력과 같으며, @는 앵커 타설간격, α는 앵커 타설각도이다.

지반앵커의 정착길이는 보통 3~10m의 범위내에 있는 것이 바람직하다. 앵커의 자유길이는 앵커의 프리스트레스를 유효하게 작용시키기 위해 4m 이상으로 하는 것이 바람직하며, 구조물의 비탈면안정을 고려하여 결정한다.

6.3 시공시 주의점

(1) 굴착공

산악비탈면에서 EPS 옹벽시공을 위해서는 먼저 비탈면상에 식생하고 있는 수목과 초목류를 벌채하고, 전석 등의 큰 돌덩어리와 이완된 토사들을 제거한다. 비탈면 정지시에 발생된 토사와 벌채나무 등은 미리 준비된 임시 적치장에 집적한 후 반출한다.

비탈면부는 <그림 407.52>와 같이 굴착하여 EPS가 각 소단에 설치될 수 있도록 하며, 굴착높이가 클 경우에는 비탈면흙 종류에 따라 적절한 굴착경사를 고려한다. 시공 중의 표면배수 처리를 위하여 굴착저면에 배수경사를 두어 강우 및 유입수가 하부의 배수구로 흘러가도록 한다. 굴착저면은 작업을 용이하게 할 수 있을 정도로 확보한다.

비탈면흙이 암반인 경우는 현장지형 등을 고려하여 굴착폭과 높이를 최소화할 수 있다. 또한 암반비탈면과 EPS 옹벽사이의 공간이 넓어 충진재의 양이 많을 경우에는 암반면과 EPS의 경계면을 따른 활동파괴의 우려가 있으므로 암

반면과 EPS층 사이의 공간을 가능한 최소로 하고 경량재로 충진하는 것이 바람직하다(<그림 407.53> 참조).

(2) H형강 및 기초 콘크리트 시공

기초지반이 연약하거나 비탈면활동이 발생할 가능성이 있는 경사면에서 EPS 옹벽 시공을 할 경우에는 현장여건에 따라 H형강 말뚝으로 기초시공을 하며, 그렇지 않은 경우에는 대부분 기초 콘크리트를 타설한 후 H형강을 연결하는 방식으로 단순하게 기초시공을 한다.

(3) 배수공 및 시공기면공

EPS 옹벽은 시공중이나 완공 후에도 완전한 배수대책을 수립한다. 산악 경사지의 경우에는 산지측 투수층에 의한 침투수의 배수처리를 위하여 EPS 옹벽부와 기존 경사면 사이에 배수용 쇄석층을 설치한다.

기초 콘크리트나 버림 콘크리트의 표면이 수평으로 잘 처리되었다면 특별한 수평 조정층의 설치 없이 그 상부에 EPS층을 바로 흙쌓기 할 수 있으나, 그렇지 못한 경우에는 모래 또는 모르터, 콘크리트, 소일시멘트 등에 의한 두께 2~5cm 정도의 수평조정층을 설치한 후 EPS 흙쌓기를 한다. 또한 <그림 407.52>와 같이 경사지의 절취면에서도 수평조정을 위해 두께 2~5cm 정도의 모래를 포설하는 것이 좋다.

(4) 벽면 판넬 설치

EPS 블럭은 외부 노출시 자외선에 의한 변색 및 특성저하, 화재 위험성, 충격에 의한 파손 등의 문제가 발생할 가능성이 있다. 따라서 이러한 외부 노출에 따른 문제들을 방지하기 위해 EPS 보호용 벽면 판넬을 설치한다.

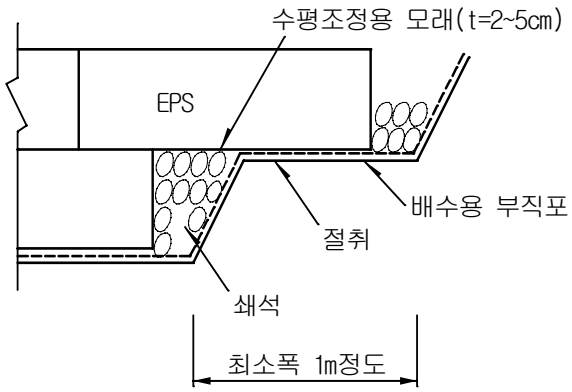
(5) EPS 설치

최하층 EPS 블럭의 설치시 단차가 생기지 않도록 유의하여 시공한다. EPS 블럭 사이의 단차는 10mm 이내로, 틈(간격)은 20mm 이내로 하는 것을 표준으로 한다. 시공중에 큰 단차가 생긴 경우에는 모르터나 경량골재 등을 채워 조정한다.

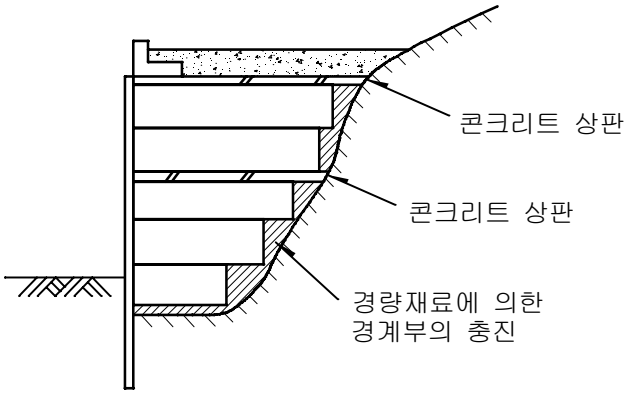
(6) 콘크리트 슬래브 타설 및 앵커공

EPS 옹벽에서는 EPS층 높이 3~4m 마다 1개소와 EPS층 최상부에 10~15cm 두께의 콘크리트 슬래브를 설치한다.

EPS층의 중간에 설치되는 콘크리트 슬래브는 EPS층 높이 3~4m 마다 1개소씩 설치하는 것을 표준으로 하고 있으나, 비탈면부 앵커 등의 설치조건에 맞추어 적절히 변경해도 좋다. EPS 블럭을 3~4m 정도 흙쌓기하면 EPS 블럭 사이에 어느 정도의 단차가 발생하나 콘크리트 슬래브의 타설에 의해 보완될 수 있다.



<그림 407.52> 경사면의 굴착형태



<그림 407.53> 암반비탈면과 EPS 흙쌓기층 사이의 공간 채움

408
암 거

408.1 암거의 계획 일반

1.1 암거의 분류

1.1.1 설치 위치에 의한 분류

(1) 도로 횡단 암거
도로 하부를 횡방향으로 통과하는 암거로 통로 암거, 수로 암거(배수 암거, 하수 암거) 등이 있다.

(2) 댐 제체를 횡단하는 암거(복통)

(3) 도로 종방향으로 설치하는 암거
도로의 중앙 또는 양측으로 도로를 따라 설치되는 암거로 배수 암거, 차집 암거, 공동구 등이 있다.

(4) 복개 암거
도로를 확폭 하거나 기타의 목적으로 소하천을 통과시키는 암거

1.1.2 사용 목적에 의한 분류

(1) 배수처리를 위한 암거
농업용수, 소하천, 생활용수(상・하수), 우수 등을 처리하기 위하여 설치하는 암거

(2) 생활편익 시설을 위한 암거
생활 편익 시설을 보호할 목적으로 설치하는 공동구, 전력구, 통신구, 상수도, 하수도 등의 지하 매설 시설물

(3) 사람 및 동물 이동 편익을 위한 암거
이동 통로를 제공할 목적으로 설치되는 통로 암거, 생태통로(동물 이동로), 지하보도 및 출입구 등

1.1.3 구조 형식에 의한 분류

(1) 구조 형태에 의한 분류 : 박스형 암거, 문형 함거, 아치형 암거, 관형 암거

(2) 박스(box) 개수에 의한 분류 : 1련 암거, 2련 암거, 3련 암거 등

(3) 제작 방법에 의한 분류 : 프리캐스트(precast) 암거, 현장타설 암거

1.2 선형계획

1.2.1 암거의 평면선형

(1) 통과부와의 교차

① 암거의 평면선형 계획은 도로 또는 하천(수로)의 상황에 적합하고 도로 중심선형과 평면 교차각이 큰(90°에 가깝게) 선형을 선택한다.

② 도로에 매설되는 암거의 경우 부득이 도로와 평행 또는 사각으로 설치하는 경우가 발생할 수 있는데 이러한 경우 암거 시·종점부 사각 처리에 주의하여야 한다.

③ 사각을 이루는 박스형 암거, 아치형 암거 및 문형 암거의 단부는 편측 토압을 받아 부재에 발생하는 단면력이 직각 암거와는 다른 양상을 보이게 되며 특히 연약지반에 설치되는 경우는 그 영향이 현저하게 크므로 이때는 평면선형을 도로에 직각으로 하는 것이 바람직하다.

(2) 인접부와의 관계

① 통로 암거는 접속 도로의 평면선형에 부합되는 선형으로 계획하고 수로암거는 접속부에서 유수흐름에 지장을 주는 급격한 각변화를 피하도록 한다.

② 선형 계획시 다음과 같은 인접부의 현황을 고려한다.

가. 현재 매설되어있거나 장차 매설 예정인 암거 주위의 지하 매설물

나. 기존 구조물과의 근접시공 여부

다. 도심지의 경우 암거 시공시 교통처리

1.2.2 암거의 종단선형

(1) 암거의 종단경사

① 암거의 종단경사는 사용목적에 따른 시설기준을 검토하여 최소경사 및 최대경사 범위 내에서 결정한다.

② 배수 암거의 경우 기준 이상으로 종단경사가 심한 경우는 암거 내부바닥에 계단을 설치하여 유속을 줄이는 시설을 할 필요가 있다.

③ 대단위 단지내에 도로 종방향으로 설치하는 암거는 노면 또는 생활폐수에서 유입되는 토사에 의한 통수단면 축소를 막기 위해 침사지를 계획하여야 한다.

(2) 인접부와의 관계

① 통로암거는 접속 도로의 종단선형에 부합되도록 계획하고 수로 암거는 유출부에서 낙차에 의한 세굴이 발생하지 않도록 주의하여야 한다.

② 암거의 하부에 기존 시설물이 있는 경우는 암거의 영향으로 인한 기존 시설물의 안전여부를 검토하도록 하고, 암거의 상부에 기존 시설물이 있는 경우는 계획단계에서 암거 시공시 기존 시설물의 처리방안을 강구해 두어야한다.

1.3 내공단면 결정

1.3.1 내공단면 결정조건

(1) 통로 암거
① 도로의 건축한계 이상일 것
② 필요한 경우 배수시설과 매설관(통신, 전기, 개스, 상·하수도관 등) 등의 설치 공간을 확보할 것
③ 도로와 개수로가 병행할 경우 도로의 건축한계 및 수로 통수단면 유지

참고로 한국 도로공사에서 적용하고있는 통로암거의 표준규격은 <표 408.1>과 같다.

(2) 수로 암거
① 계획유량, 계획홍수량을 통과시킬수 있는 단면
② 내공 높이는 (H·W·L + 여유고) 이상일 것
③ 침사지를 두는 경우 토사 유출량을 산정하여 높이 결정

(3) 지하차도 또는 보도
① 소정의 건축한계 이상일 것
② 조명 등 기타 제반 시설을 설치 할 수 있는 공간을 확보 할 것

(4) 공동구
① 수용시설의 최저 높이 이상 (H=2.10m)
② 수용시설의 폭 + 유지관리를 위한 통로폭 (0.80~1.0m) 이상을 확보할 것

1.3.2 연약지반상의 암거

(1) 연약지반 위에 시공되는 암거는 침하가 발생할 경우 도로의 건축한계 부족, 수로의 통수단면 부족 등 기능상 각종 지장을 받게되므로 침하방지 및 관리대책을 수립하여야 한다.

(2) 시공 후 공용 중에도 침하가 장기간 계속될 것으로 예측되며, 더올림 만으로 대처할 수 없을 때에는 암거의 내공 높이에 여유를 두어 침하량 만큼 암거 바닥을 덧쳐 올리고, 노면을 덧씌우기 해 암거의 기능을 유지할 수 있도록 한다.

1.4 암거의 형식선정

암거는 가설되는 위치 및 목적에 따라 만족해야할 조건이 각각 다르므로 형식 선정의 기준을 제시하기가 매우 어려우며, 다만 내공단면의 크기, 기초지반의 상태, 시공성, 공사비 등을 고려할 때 선정 가능한 범위는 <표 408.2>와 같다.

<표 408.1> 한국도로공사 통로 암거 표준 규격

구조물 규격	적 용 기 준
4.5m × 4.5m	현재 대형차량이 통행하고 있거나, 장차 통행 가능성이 있는곳
4.0m × 4.0m	위의 규정에서 부득이 축소해야 할 경우
3.5m × 3.5m	산간지대에서 차량의 통행이 없는 곳, 또는 위의 기준에 만족하는 우회 도로가 있는 곳
3.0m × 3.0m	위의 기준외에 부득이한 곳

<표 408.2> 암거의 형식 선정

형 식	기초 형식	순경간 또는 내경(Φ)	토피 두께	비 고
관형 암거	직접기초	1.0～4.5m	0.6～30m	
박스형 암거	직접기초	2 ～ 14m	0.5～15m	
문형 암거	직접기초	8 ～ 17m	-	
	말뚝기초	12 ～ 17m	-	각도가 직각인 경우
아치형 암거	직접기초	2 ～ 14m	15m	

408.2 현장 타설 철근 콘크리트 암거

2.1 적용 범위

(1) 본 절의 내용은 현장에서 거푸집 및 동바리를 설치하고 콘크리트를 타설, 시공하는 철근콘크리트 박스형 암거, 아치형 암거, 문형 암거의 설계에 적용한다.

(2) 현장 인근에 제작장을 설치하여 프리캐스트 제작 후 가설 위치로 운반하여 시공하는 철근콘크리트 암거에도 적용할 수 있다.

(3) 또한 본 절에 기술된 작용 하중은 공장 제작하여 운반, 설치하는 프리캐스트 프리스트레스 암거에도 적용할 수 있다.

2.2 암거의 상세 계획

2.2.1 평면계획

(1) 도로 횡단 암거

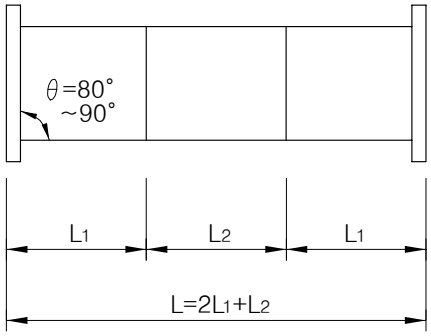
① 평면계획 일반

가. 박스형 암거의 평면형상은 사각이 클 때는 <그림 408.1>, 사각이 작을 때는 <그림 408.2>와 같이 한다.

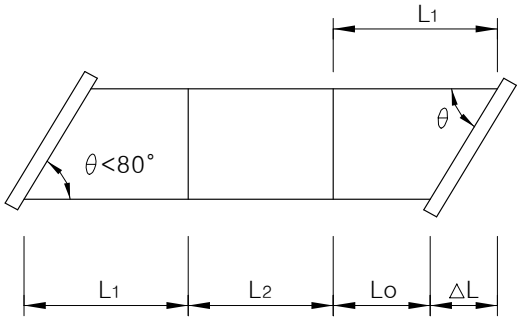
나. 신축줄눈의 간격 L_1, L_2는 15～30m로 하고, 사각이 없고 직각일 때 L_1 은 공장생산 철근의 규격품으로 겹이음 없이 배근할 수 있는 길이를 기준으로 한다.

다. 또한 경사각의 각도 및 긴 변과 짧은 변의 비는 <표 408.3>에 표시한 바와 같이 한다.

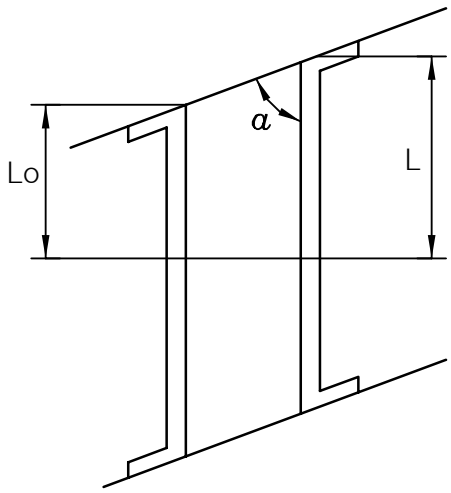
② 부득이 사각을 이루는 암거로 설계할 때는 다음과 같은 요령으로 처리한다.



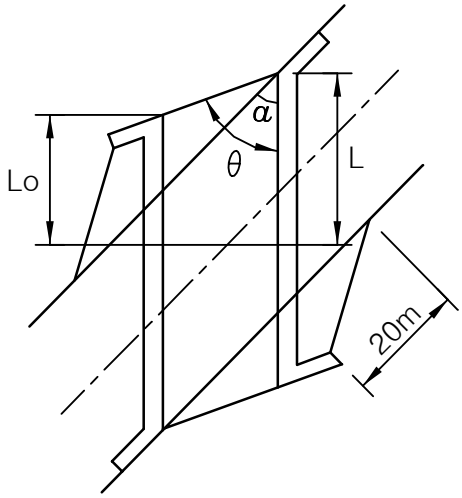
<그림 408.1> 사각이 큰 경우



<그림 408.2> 사각이 작은 경우



<그림 408.3> 사각이 규정값 이상인 경우



<그림 408.4> 사각이 규정값 이하인 경우

<표 408.3> 평면형태의 제한 값

지반 조건	L_0/L	θ
연약 지반	0.5 이상	70°이상
보통 지반	0.5 이상	60°이상

가. 사각 α가 <표 408.3>에 표시한 값 이상일 때는 <그림 408.3>과 같이 날개벽의 방향을 본선에 평행하게 한다.

나. 사각 α 및 L_0/L이 <표 408.3>에 표시한 값 이하일 때는 <그림 408.4>와 같이

연약지반의 경우 θ = 70°, L_0/L = 0.5,
보통지반의 경우 θ = 60°, L_0/L = 0.5

가 되도록 암거를 연장한다.

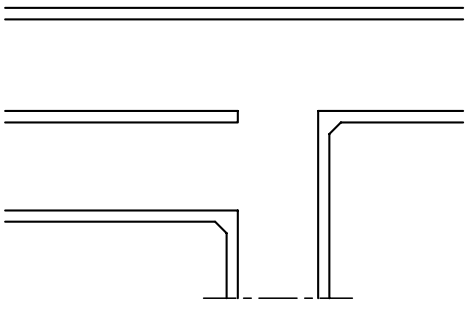
(2) 도로 본선용 수로암거

① 도로의 평면선형에 부합되도록 계획한다.

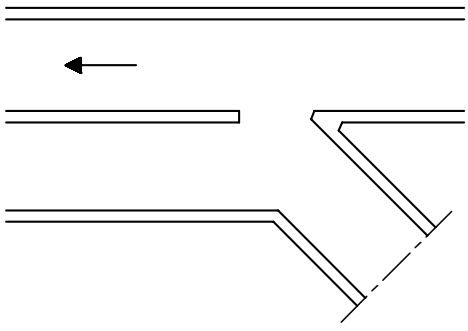
② 도로 본선에 설치되는 암거의 경우 가급적이면 각이 생기지 않고 곡선으로 배치하는 것이 수리적인 측면에서 유리하다.

③ 대단위 단지 조성은 암거의 단면이 다른 2가지 이상의 암거가 한 곳에 접합하는 경우도 있으므로 이때는 접합 방법 등을 고려하여 평면계획을 수립 하여야 한다.아래 <그림 408.5>, <그림 408.6>은 이러한 접합 방법의 예이다.

④ 2련 이상 암거의 경우에는 관거의 유입수량을 감안하여 30~50m 간격으로 가운데 격벽을 터주는 것이 유지관리 측면과 수리적인 측면에서 바람직하다.



<그림 408.5> 직각으로 접합하는 경우



<그림 408.6> 사각으로 접합하는 경우

2.2.2 종단계획

(1) 종단 경사

① 수로암거의 종단경사는 암거 설치 위치의 수로 저면고를 기준으로 결정한다.

② 최소의 동수구배는 0.3% 이상으로 한다.

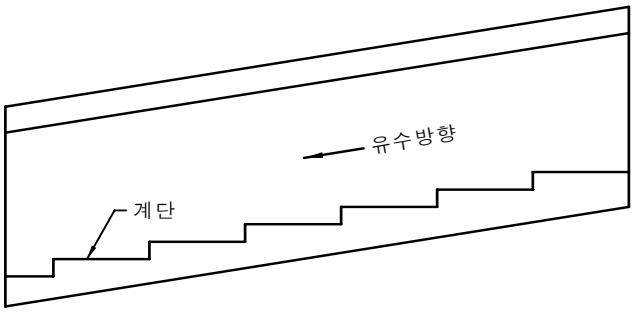
③ 지형상 동수구배가 급하여 유출구 부위에 세굴이 심하게 발생할 가능성이 있는 경우에는 <그림 408.7>과 같이 암거 바닥에 계단을 설치하여 유속을 감소시키는 방안을 고려하여야 한다.

(2) 암거의 종단계획

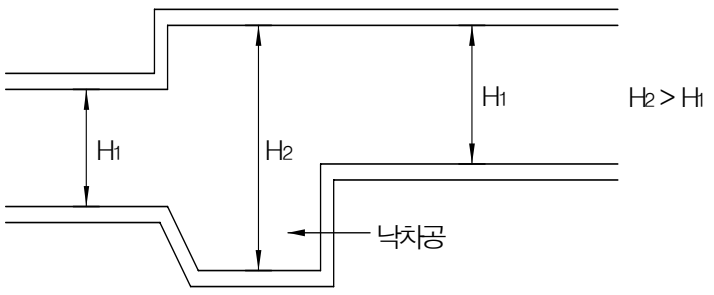
① 지형상 수로의 동수구배가 급하여 내공단면을 확대할 필요가 있을 경우 암거의 내공단면을 크게 하지 않고 낙차공을 설치하여 수로의 경사를 줄이는 것이 시공성 및 경제적 측면에서 바람직하므로 계획시에 이를 검토하도록 한다.

② 낙차공을 두는 경우 낙하수에 의해 암거 하류측 바닥면의 손상이 있을 수 있으므로 <그림 408.8>과 같이 내공단면의 높이를 크게 하여야 한다.

③ 도로 본선 암거의 경우 생활폐수에 의한 폐기물 및 도로에서 유입되는 토사 처리를 위한 침사지 설치를 검토하도록 한다. 침사지 설치 구간에는 도로에서 진입이 가능하도록 맨홀을 설치하여야 한다.



<그림 408.7> 계단 설치 예



<그림 408.8> 낙차공 설치 예

④ 연약 지반에 설치하는 암거는 신축이음을 두지 않는 것이 부등침하에 대해 유리한 면이 있으나 이 경우 종방향 구조해석을 수행하여 종방향으로 배치되는 암거의 배력 철근을 보강하여야 한다.

⑤ 도로 확장에 따라 도로 횡단 암거를 기존 암거에 연결하는 경우, 성토에 의해 신설 암거가 침하되어 신설 암거와 기존 암거 사이에 종방향으로 부등 침하가 발생하므로 이 경우에도 종방향 검토를 수행하여 접합부 부근의 안전을 확인하도록 한다.

2.2.3 단면계획

(1) 토피두께와 단면변화

① 암거의 최소 토피 두께는 원칙적으로 포장층의 총 두께로 하지만 건축한계의 제한을 받는 부득이 한 경우는 포장 표층의 두께로 할 수 있다. 다만 토피 두께가 1.0m 이하인 암거가 도로횡단 암거이면 접속슬래브 설치 등을 고려하여 암거 경계에서의 상대처짐 발생을 최소화해야 한다.

② 도로 횡단 암거의 경우 도로의 편경사 및 암거의 종단경사에 의해 토피가 변할 때에는 <그림 408.9>와 같이 최대 토피두께(h_2)로 부재 단면을 계산하고 이것으로 산정된 단면을 전체에 적용한다. 단, 토피 두께가 1～2m로 작은 경우에는 활하중의 비중이 커서 (사하중＋활하중)이 토피 두께가 낮은 경우가 오히려 클 수 있으므로, 토피 두께가 낮은 경우는 이러한 경우가 발생하는지 검토하여 단면을 결정하도록 한다.

③ 차선 분리 등의 영향으로 토피 두께의 변화폭이 클 때는 토피 두께의 변화를 감안하여 위치별로 부재 단면을 정한다.

④ 도로 본선용 암거(종방향 설치)와 같이 암거의 연장이 매우 긴 경우에는 토피 변화 1.0m～2.0m 마다 하중을 산정하여 단면을 결정한다. 다만, 시공이음 사이에서는 가급적으로 단면 변화를 시키지 않고 최대 토피 높이로 산정한 하중으로 부재단면을 정한다.

(2) 단면 두께의 결정

① 암거의 단면두께는 우선 단면두께를 가정하고 구조검토를 반복 수행하면서 최종적인 단면 두께를 결정하는 것이 일반적이다.

② 단면의 두께를 너무 작게 할 경우 철근 사용량이 증가되어 비경제적이고, 또한 단면 두께를 지나치게 크게 할 경우에는 콘크리트 사용량이 증가되어 비경제적인 구조물이 되는데 <그림 408.10>에서는 이러한 관계를 나타내고 있다.

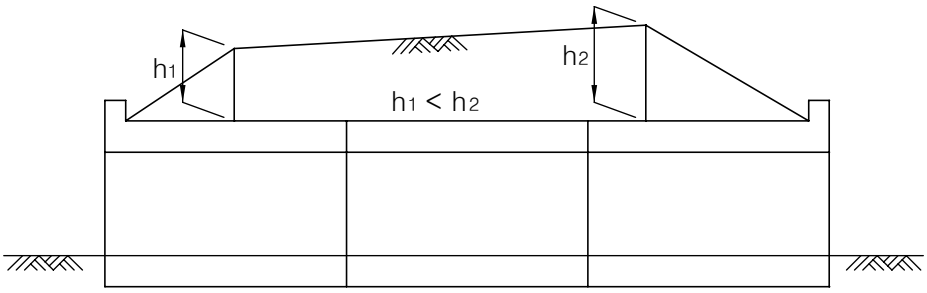
③ 경간장에 비해 단면 높이가 작은 구조물은 휨에 의해 단면 두께가 결정되고, 경간장에 비해 단면의 두께가 두꺼운(대략 경간장／단면두께＜5) 경우는 전단에 의해 단면 두께가 결정되는 것이 일반적이다.

④ 일반적으로 사용되는 암거는 토피고에 의한 고정하중이 매우 크고 단면두께가 두꺼우므로 전단의 지배를 받는 경우가 많이 발생된다.

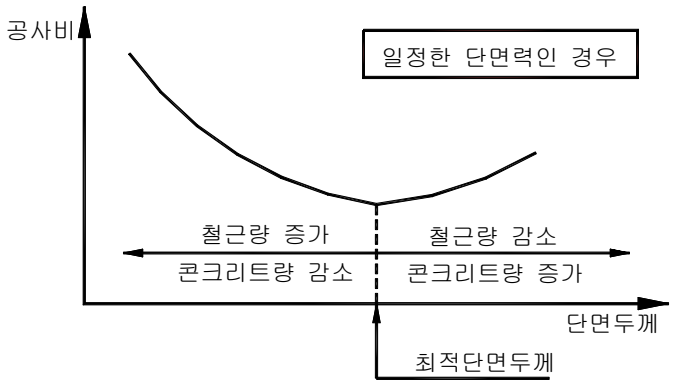
가. 전단철근의 간격은 유효높이의 1／2(0.5 d) 이하이어야 한다.(콘크리트구조 설계기준 <그림 408.11> 참조)

나. 계산상 전단철근이 필요하지 않은 경우를 제외하고는, 단면 두께를 전단철근 간격의 2배에 피복두께를 더한 값 이상 ($h \geq 2S + d'$)으로 정한다.

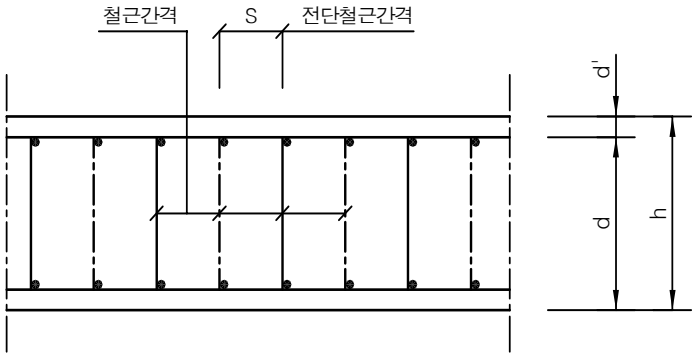
다. 전단철근의 간격을 15㎝라고 할 때(일반적으로 시공 편의를 감안하여 전단철근은 배력철근 간격에 맞추며 배력철근은 15㎝ 간격으로 배근하는 예가 많음) 단면의 두께가 40㎝ 미만은 전단 보강이 안되므로 콘크리트 강도만으로 전단에 안전하도록 설계하여야 한다.



<그림 408.9> 토피두께와 단면변화관계



<그림 408.10> 단면두께 변화에 따른 비용관계



<그림 408.11> 전단철근과 단면두께의 관계

2.2.4 구조세목

(1) 신축이음 및 시공이음

① 신축이음 설치방법

가. 콘크리트의 건조수축에 의한 균열을 줄이기 위해 신축이음을 설치하여야 한다.

나. 신축이음의 간격은 15~30m 정도로 하며 단면의 두께가 클수록, 또 벽체의 높이가 높을수록 신축이음의 간격을 줄이도록 한다.

다. 신축이음의 방향은 원칙적으로 측벽에 직각으로 하나 토피가 낮은 경우에는 도로 중앙분리대 또는 차선 표시 방향으로 하는 것이 좋다. (<그림 408.12> 참조)

② 신축이음 및 시공이음의 형식 및 적용

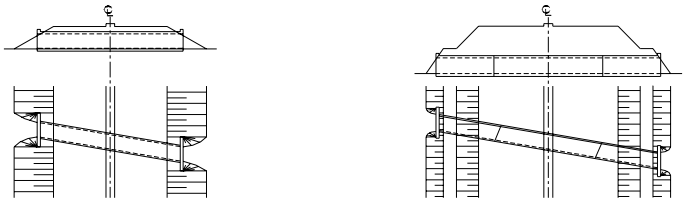
가. 신축이음은 접하는 양쪽부분을 절연하고 구조적으로 안전해야 하며, 신축 및 방수가 원활하도록 필요에 따라 이음재, 지수판 등을 배치한다.

나. 완전히 절연시킨 신축이음의 바닥슬래브는 지반침하에 의해 신축이음에 턱이 생길 위험이 있으므로 장부 또는 홈을 만들거나 조인트바(joint bar)를 사용하는 것이 좋다.

다. 신축이음의 설치는 암거상단의 토피두께, 차륜하중의 재하 형태, 부등침하의 가능성 등을 충분히 고려하여 결정해야 한다.

라. 시공이음은 시공의 편의 및 콘크리트 타설능력 등을 고려하여 결정하며 이음부가 방수 취약부가 되지 않도록 유의한다.

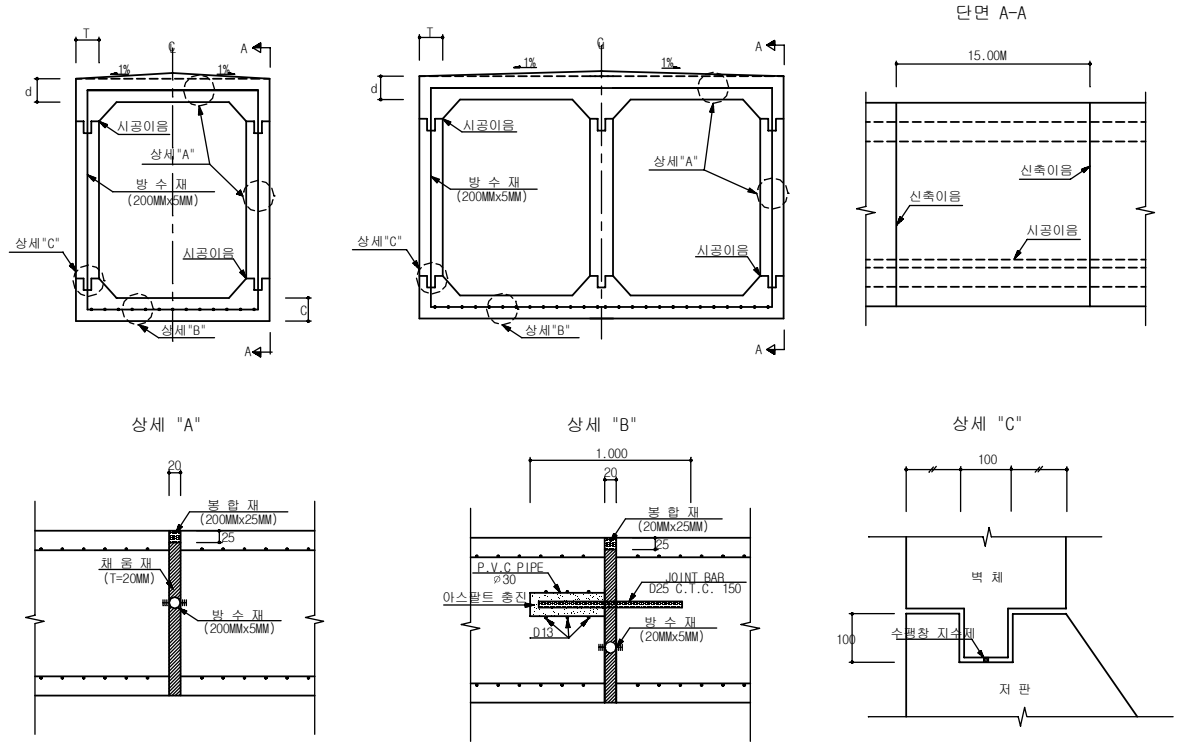
마. 신축이음 및 시공이음은 구조적으로 안전하고 기능을 만족하는 어떤 형태도 가능하며 <그림 408.13>은 신축 및 시공이음의 한 예이다.



(a) 토피 두께가 얇을 때 중앙분리대 또는 차선표시에 맞춘다.

(b) 토피 두께가 두꺼울 때 측벽에 직각으로 한다.

<그림 408.12> 암거의 이음 위치 및 방향



<그림 408.13> 신축이음 및 시공이음 예

(2) 헌치

① 암거의 접합부 모서리에는 응력집중이 생기기 쉬우며, 또한 접합부가 구조해석시 가정한 강절점으로의 역할에 충실하도록 헌치를 두는 것을 원칙으로 한다.

② 규격이 작은 암거는 시공성을 고려해 헌치를 생략할 수도 있으나 경간이 큰 암거의 경우 헌치는 우각부 응력을 감소시키고, 절점부의 전단강도를 크게 하여 전체적인 단면두께 증가를 방지하므로 경제적인 설계를 유도한다.

③ 헌치에는 헌치에 연하여 가외철근을 배치하여야 한다.

(3) 연 석

① 토피 두께가 없거나 얇은 통로 암거의 단부에는 차량 방호책이나 난간을 설치할 수 있는 연석을 설치한다.

② 차량 방호책이 설치되는 연석의 경우 연석의 폭은 60㎝ 이상, 연석의 높이는 도로면에서 25㎝ 이상으로 설치한다.

③ 난간이 설치되는 연석의 경우 연석의 폭은 40㎝ 이상, 연석의 높이는 도로면에서 10㎝ 이상으로 설치한다.

2.2.5 날개벽 설계

(1) 개 요

① 암거 본체를 완성한 후 본체 상부에 성토(피복)하면 성토 비탈면이 구조물의 시·종점부를 침범하여 도로나 수로의 기능이 확보되지 않으므로 암거 양쪽에 횡단 방향으로 날개벽을 설치하여 성토재의 붕괴를 방지한다.

② 도로횡단 암거에 날개벽을 설치하는 방법은 암거의 진행방향을 따라 설치하는 방법과 도로에 평행하게 설치하는 방법이 있다.

③ 일반적으로 날개벽을 암거의 진행방향으로 설치하는 경우 날개벽을 옹벽구조로 하여야 하며, 날개벽을 도로에 평행하게 설치하는 경우 캔틸레버(cantilever)구조로 하여 암거 구체에 강결 시킨다.

(2) 날개벽 설치 방법

① 암거의 날개벽은 원칙적으로 평행 날개벽으로 한다.

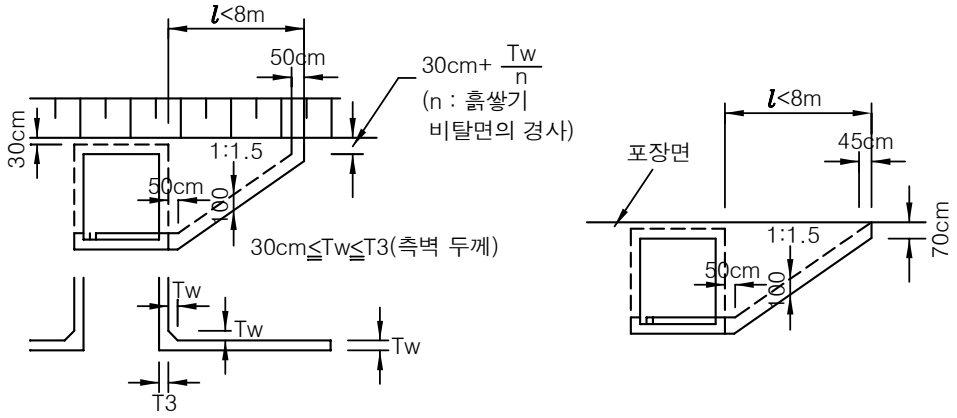
② 날개벽의 흙쌓기 구배는 1:1.5를 표준으로 하고, 근입 깊이는 1m로 한다.

③ 날개벽은 지중에 묻히는 구조임을 감안하여 피복두께를 제하고도 휨부재의 역할을 할 수 있도록 최소 30cm 두께로 하며, 날개벽과 암거 본체의 접합부에서는 날개벽에 발생되는 모멘트가 암거 벽체로 전달되므로 날개벽의 최대 두께는 벽체 두께 이상이 되지 않게 한다.(<그림 408.14> (a) 참조)

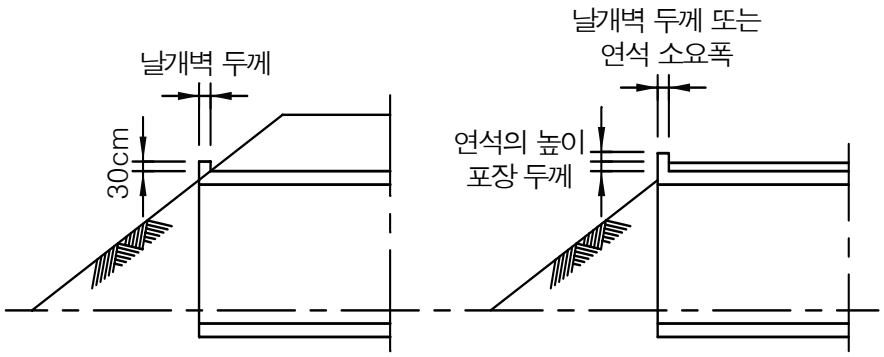
④ 날개벽이 지나치게 길어지면 단면의 두께가 커져 암거 벽체가 캔틸레버 날개벽 지지점의 역할을 수행하기 어려우므로 날개벽의 최대 길이는 8m 정도로 하여 날개벽 단면두께가 지나치게 커지지 않도록 한다.(<그림 408.14> (a))

⑤ 흙쌓기시 암거가 흙쌓기면 밖으로 노출되는 경우 날개벽 위의 흙막이부는 높이 30cm, 폭은 날개벽의 두께로 한다. 또, 암거 위에 바로 포장이 되는 경우는 날개벽 윗 부분이 차량 방호책이나 난간이 설치되는 연석의 기능을 할 수 있어야 한다.(<그림 408.14> (b))

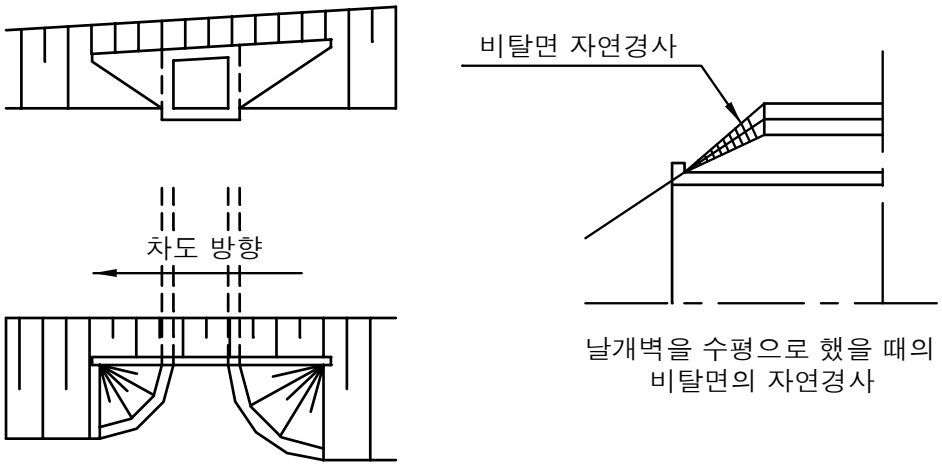
⑥ 날개벽의 상면 경사는 도로 본선의 종단경사에 평행하게 한다. 단, 토피가 3 m 이상일 때는 수평으로 할 수 있다.(<그림 408.14> (c))



(a) 날개벽 두께와 팔길이 제한



(b) 날개벽 위의 흙막이



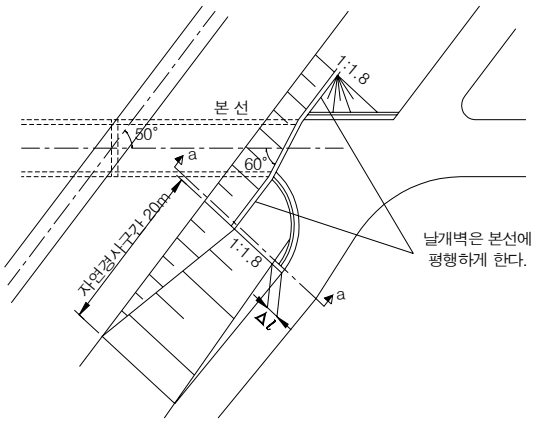
(c) 날개벽 상면의 경사

<그림 408.14> 날개벽 설치방법

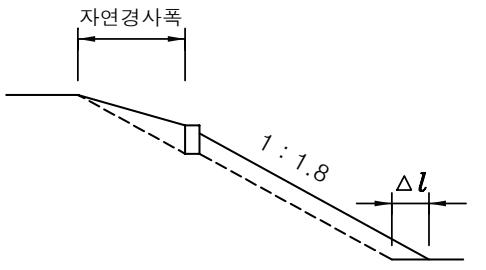
(3) 사각을 이루는 암거

① 사각을 이루는 암거 단부 날개벽 처리 방법의 평면형상은 <그림 408.15> (a)와 같다.

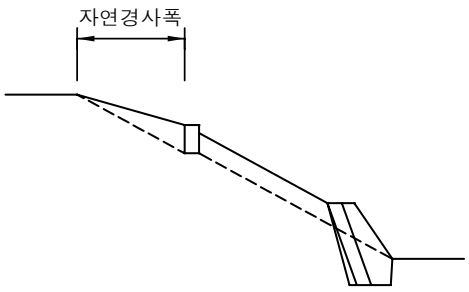
② 암거에서 끝부분을 연장했을 때 날개벽 및 흙쌓기부의 처리는 <그림 408.15> (b)를 표준으로 하고, 이와 같이 할 수 없을 때에는 <그림 408.15> (c)와 같이 할 수 있다.



(a) 사각부 처리 평면



(b) 흙쌓기를 용지폭을 넓혀처리하는 경우 (단면 a-a)



(c) 흙쌓기를 옹벽으로 처리하는 경우 (단면 a-a)

<그림 408.15> 사각부의 날개벽 처리

(4) 흙쌓기가 높은 경우

흙쌓기가 높고 암거의 높이가 큰 경우에는 날개벽이 길어지고 옹벽 등을 부가로 설치하는 경우가 발생한다. 이러한 경우에는 암거를 연장하는 것과 옹벽을 쳐서 날개벽을 짧게 하는 것을 비교 검토한 후 경제적인 것으로 결정한다. (<그림 408.16> 참조)

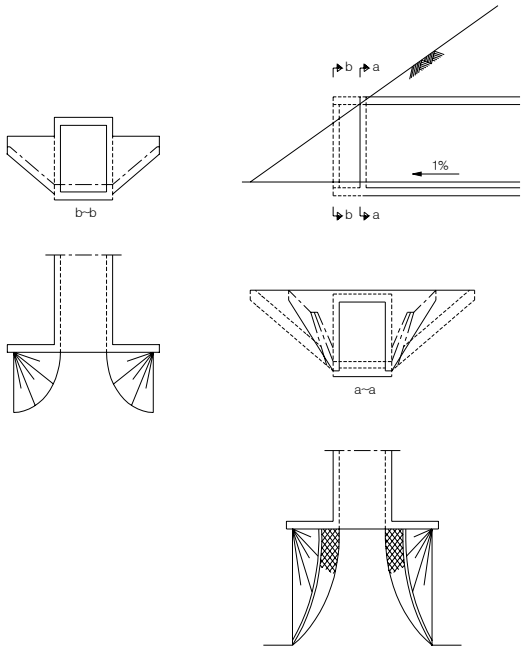
2.2.6 암거의 기초

(1) 암거의 기초는 직접기초를 원칙으로 한다.

(2) 연약지반상의 암거

연약지반에 암거를 설치하는 경우 원칙적으로 암거 시공 전에 선재하, 배수공법 등에 의해 지반을 개량하여 잔류 침하량을 일정치 이하가 되도록 한 후 직접기초로 해야한다. 연약지반의 두께가 얇을 때는 <그림 408.17>과 같이 연약층을 제거하고 양질의 재료로 치환한다. 이때 치환 재료는 뒷채움재 이상으로 하고, 지하수위가 있는 경우는 알맞게 섞은 쇄석 등 양질의 것을 사용한다.

연약지반상에 말뚝기초의 적용은 주변 지반이 침하할 경우 말뚝으로 지지하는 암거의 상부만 침하가 발생하지 않게 되어 말뚝에 불필요한 하중이 추가되어 구조적으로 불리할 뿐 아니라 포장면이 울퉁불퉁하게 되어 주행에 방해가 되므로 주의를 요한다.



<그림 408.16> 흙쌓기가 높은 경우

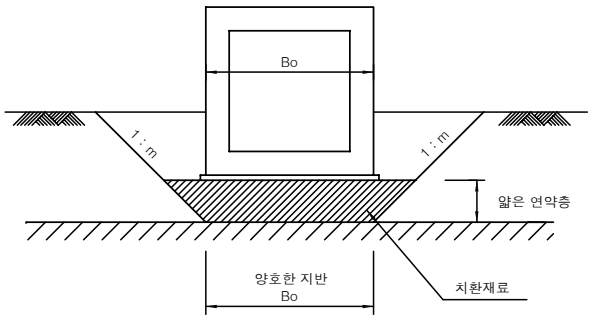
부득이 말뚝기초를 사용하여야 하는 경우에는 인접 지반의 침하로 인해 부가되는 하중과 말뚝에 작용하는 부마찰력까지 감안해야 하며, 포장면의 단차를 완화하기 위한 조치를 취해야 한다.

또한, 기초의 경간 중앙부에 말뚝을 설치할 경우 경간 중앙부의 상향 처짐으로 인해 말뚝이 제 기능을 발휘하기 어려우므로 말뚝을 벽체 부근에 배치해야 한다.

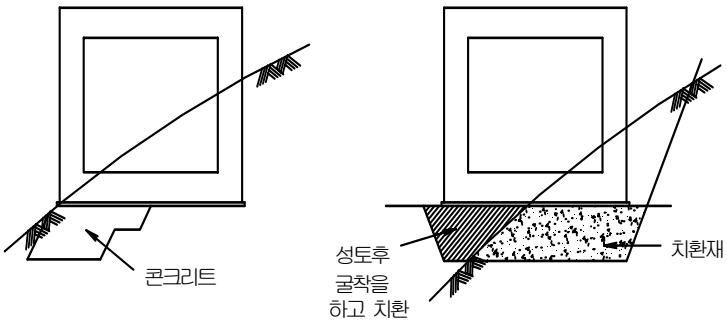
(3) 지반이 경사진 경우

지지층이 암반으로 경사를 이루고 있어 부등침하의 우려가 있는 경우에는 이를 방지하기 위해 <그림 408.18>과 같이 버림 콘크리트나 치환기초 등을 고려하여야 한다.

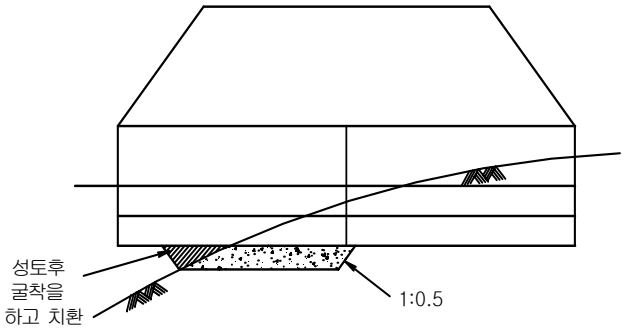
지반이 종방향으로 경사진 경우에는 <그림 408.19>와 같이 치환기초 등을 사용하여 부등침하를 방지하여야 한다.



<그림 408.17> 연약지반 치환방법



<그림 408.18> 지반이 횡방향으로 경사진 경우의 예



<그림 408.19> 지반이 종방향으로 경사진 경우의 예

2.2.7 기타 암거설계시 유의사항

(1) 암거의 배수

암거의 뒷채움부에 빗물이나 지하수가 고여 배수되지 않으면 흙쌓기를 약화시켜 붕괴의 원인이 될 때가 있으므로 암거의 측벽에는 뒷채움부의 배수를 위해 배수용 파이프를 설치하도록 한다.(<그림 408.20> 참조)

(2) 암거 내 도로

암거 내의 도로는 포장을 할 필요가 없으나 암거의 시종점 접속부가 포장되어 있으면 그 포장의 종류에 따라 암거내 도로를 포장하며, 비포장 도로일 경우에는 시·종점부의 20m 정도를 콘크리트로 포장한다.

이때 암거 내 도로는 3~5%의 횡단 경사를 둔다. 단, 포장할 경우에는 암거 시종점부에 부합되는 경사를 둔다.

(3) 수로가 있는 암거

수로암거 및 수로를 병설하는 암거의 경우 하류측에 지수벽을 만든다. 지수벽의 깊이 h는 호안공의 밑까지로 한다.(<그림 408.21> 참조) 호안의 깊이는 세굴의 영향을 고려해서 정하며, 유속이 빨라 세굴의 염려가 큰 경우에는 수로 바닥에 버림 콘크리트를 타설하는 것이 좋다.

언더패스(under pass)형 암거, 저류형 암거를 설계할 때에는 측벽의 수압을 고려한다.

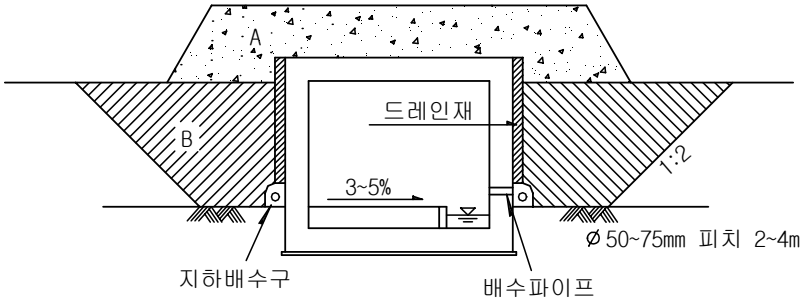
(4) 연약지반 상의 암거 설치

① 암거의 더올림과 내공 조정

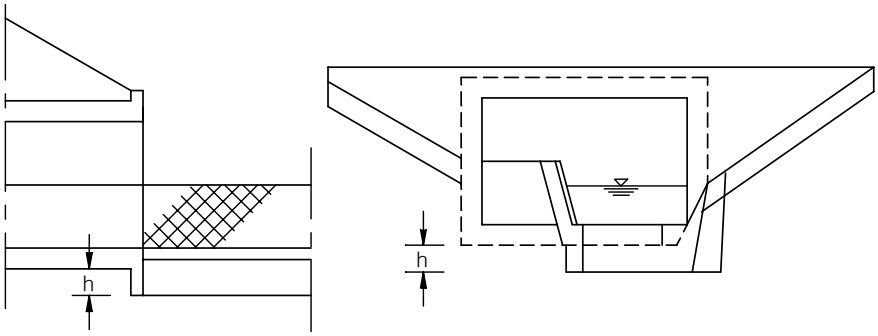
가. 암거 설치 장소가 연약지반이어서 시공 후 침하가 예상되는 경우에는 암거를 더올림해 설치한다.

나. 더올림은 선재하 제거 후의 잔류 침하량, S_r을 구하고, 그 수치에 따라 실시하며 암거 전후의 도로 설치상황, 수로의 통수기능, 암거 이음부의 구조 등 조건이 허용하는 한 더올림을 많이 하는 것이 좋다.

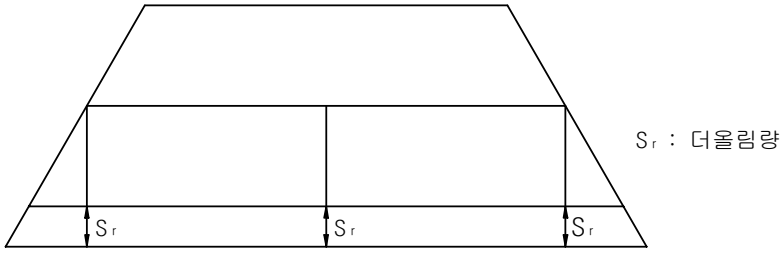
다. 암거의 침하실태 조사에 따르면, 선재하를 했던 박스형 암거의 종단방향 침하형상은 중앙부에서 항상 크지 않고 다양한 형태로 나타나는 경향이 있다. 따라서 선재하를 시행한 암거의 경우 시공의 편의를 고려해 더올림은 암거 종단방향으로 일정하게 한다.(<그림 408.22> 참조)



<그림 408.20> 암거 배수용 파이프



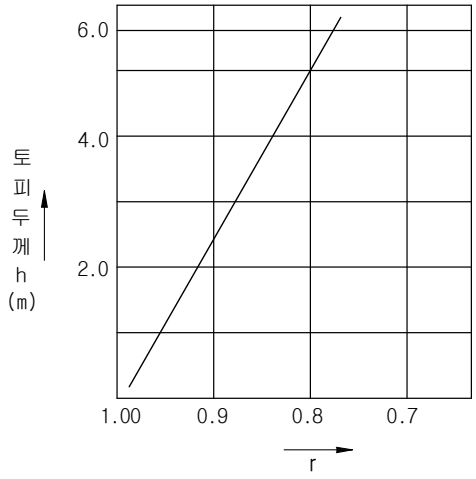
<그림 408.21> 수로가 있는 암거의 지수벽



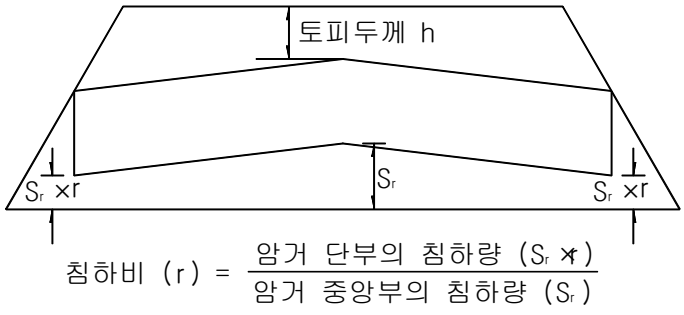
<그림 408.22> 선재하를 한 경우 더올림량

라. 연약층의 두께가 암거의 종단 방향으로 크게 다를 때나, 선재하 공법을 채택할 수 없을 때에는 암거 중앙부의 침하량(S_r)을 기본으로 해서 암거 단부의 더올림량을 토피 두께(h)와의 관계로 부터 <그림 408.23>을 이용해 구하여 <그림 408.24>와 같은 형태로 더올림 한다.

마. 암거의 침하는 공용 후에도 장기간에 걸쳐 계속되므로, 더올림으로 장기간의 침하에 대처하지 못하고 장래 암거의 기능에 장애를 끼칠 염려가 있을 때에는 암거의 내공 높이에 여유를 두어야 한다.



<그림 408.23> 토피두께와 더올림량



<그림 408.24> 선재하를 하지 않은 경우 더올림량

바. 내공 높이에 여유를 둔 수로 병행 통로 암거에서 침하에 의해 수로벽의 높이를 높일 경우가 예상될 때는 수로벽의 구조를 <그림 408.25>와 같이 장래 보수하기 쉬운 구조로 한다.

② 잔류 침하량의 추정

가. 공용 후 장기간에 걸쳐 일어나는 잔류 침하량을 정확히 추정하기는 어려우나 개략적으로 식(408.1)과 같이 나타낼 수 있으며 <그림 408.26>은 이 식을 설명하고 있다.

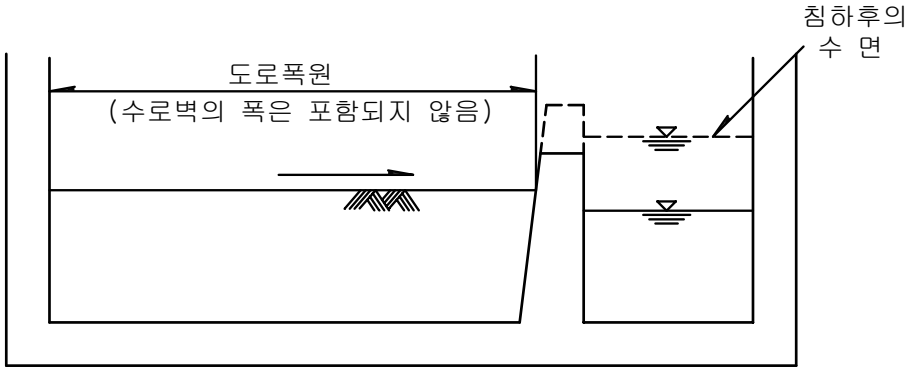
나. 잔류 침하량을 식 (408.1)에 의해 구하고, 이중 더올림에 의해 대처할 수 없는 침하분을 내공높이의 여유로 한다. 다만 식(408.1)은 장기침하의 원인, 발생 조건 등 명확하지 않은 점이 많으므로 유사한 시공 조건에서의 침하 추적자료가 있을 경우 그 결과에 따라 정하는 것이 타당하다.

$$\text{잔류침하량} : S_r = S_{r1} + S_{r2} + S_{r3} \qquad (408.1)$$

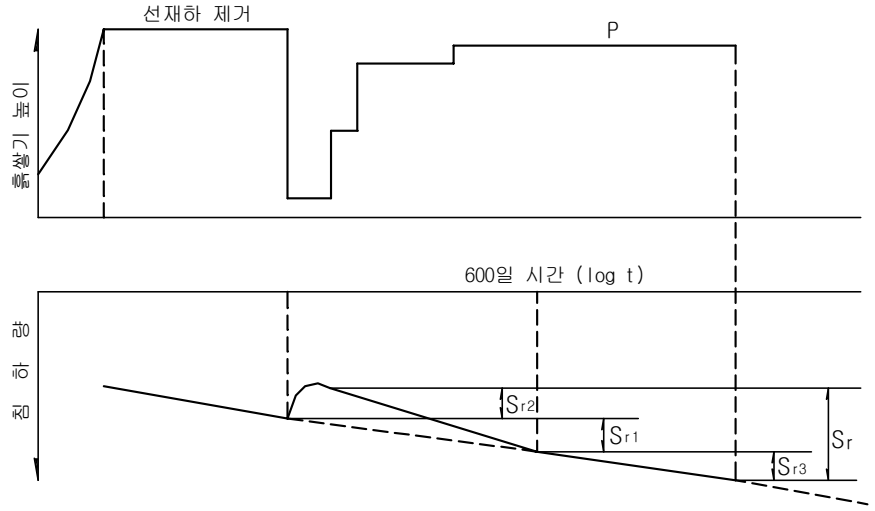
여기서 S_{r1} : 재하한 흙쌓기의 제거 시점으로 부터 흙쌓기 완성 후 600일까지 침하량 (600일은 침하량 경향의 개략적 변화점에 해당)

S_{r2} : 재하한 흙쌓기의 제거 시 지반 회복의 영향에 의한 침하량으로 시공시에는 실측치로 부터 구함. 설계시 관측치가 없을 때에는 5~15㎝로 가정함.

S_{r3} : 충적층으로 된 연약 지반에서 흙쌓기 완성 후 600일 이후의 장기 침하량이며 <표 408.4>로 부터 구함.



<그림 408.25> 수로벽을 높일 경우



<그림 408.26> 선재하 공법의 침하곡선

<표 408.4> 장기 침하량

충적층 연약두께(D, m)	잔류 침하량(S_{r3}, ㎝)	비 고
D ≤10	10	· 연약층 두께에 N값 10 이상의 층 및 모래, 모래자갈 층은 포함되지 않음. · 홍적층에 대해서는 이 표를 적용할 수 없음.
10＜D≤30	30	
D＞30	50	

2.3 구조계산

2.3.1 구조해석 모델 및 경계조건

(1) 해석 모델

암거는 구조 형태상 박스 라멘(rahmen)으로 구조해석시 2차원 뼈대구조(frame)를 적용한다. 이때 단면의 폭은 단위 폭(일반적으로 1.0m)을 적용하여 해석한다.

암거의 구조해석 모델의 축선은 부재단면의 도심축선으로 한다. 이때 도심 축선은 균열을 무시한 전 단면을 유효한 것으로 보고 구한 단면의 도심을 연결한 선과 일치시킨다.

구조해석시 단면력을 계산할 때에는 부재의 휨강성의 변화 및 강역의 영향을 고려하여 해석하는 것을 원칙으로 한다.

휨강성의 변화 및 강역의 영향을 무시하고 해석하는 경우 대부분 안전측의 설계가 되나 부모멘트부(단절점부)는 단면력이 과소평가 될 가능성이 있으므로 부모멘트부의 단면설계에

다소 여유를 두는 것이 좋다.

강역을 고려하여 구조해석을 하는 경우 강역은 다음과 같이 구한다.(<그림 408.27> 참조)

① 부재단부가 다른 부재와 접합하는 경우 그 부재단에서 부재두께의 1/4 안쪽 점에서 부터 절점까지로 한다.

② 부재가 그 축선에 대해 25°이상 경사진 헌치를 갖는 경우에는 부재두께가 1.5배가 되는 점에서부터 절점까지로 한다. 이때, 헌치의 경사가 60°이상의 경우는 헌치의 시점에서 부재두께의 1/4이 되는 안쪽 점에서부터 절점까지로 한다.

③ 양측의 헌치 크기가 다른 경우 등의 사유로 "① 또는 ②"에서 정한 점이 2점 이상 동시에 존재하는 경우에는 강역의 범위는 큰쪽을 취한다.

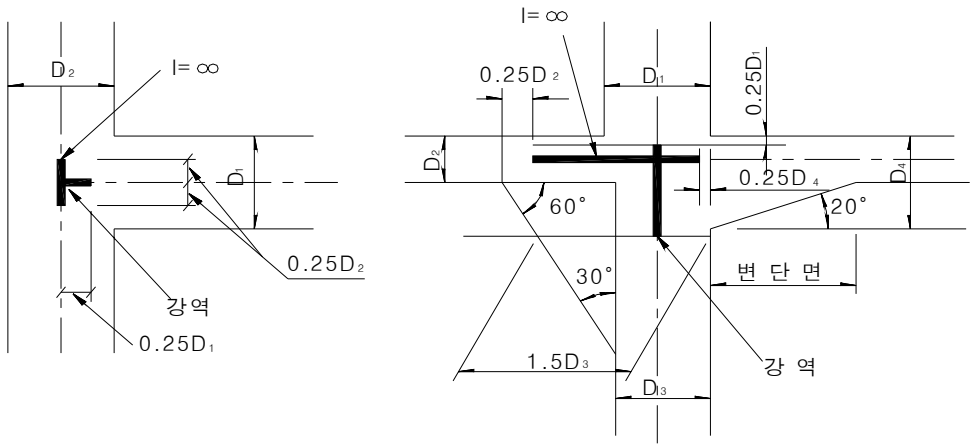
(2) 경계조건

암거의 경계조건은 스프링 지점을 사용하는 것을 원칙으로 하며, 부득이하게 하부에 힌지-롤러(hinge - roller) 지점을 사용하는 경우는 지지지반의 조건에 부합되는 변형 형상에 맞도록 지점을 설정하고, 지반의 반력에 해당하는 평형 하중을 하부 슬래브에 미리 재하하여야 한다.

스프링 경계조건을 사용하는 경우, 스프링은 지반의 특성에 맞는 반력(분포하중 개념)을 고려하기 위한 것으로, 스프링의 간격은 분포하중과 비슷한 결과를 낳을 수 있는 간격으로 배치하여야 한다.

스프링 간격은 하부 슬래브를 8등분 정도 할 수 있는 간격으로 배치하되 간격이 너무 넓어지는 경우는 대략 1m 정도의 간격으로 한다.

암거의 경우 대부분 대칭 구조에 대칭으로 하중이 재하되므로 수평방향의 경계조건은 외적 안정조건만 만족하면 되므로 강절점이든 스프링 지점이든 관계없지만, 대칭이 아닌 경우는 수평방향으로도 스프링 지점을 설치하거나 하중 재하시 미리 평형을 이루도록 해야한다.



(a) 등단면의 경우 (b) 변단면의 경우

<그림 408.27> 라멘 구조 절점부에서의 강역

(3) 스프링계수 산정

지지지반의 스프링계수는 지반반력계수에 스프링의 담당 면적을 곱하여 구할 수 있다. 이때, 지반반력계수는 각종의 조사 및 시험결과에 의해 얻어진 변형계수를 써서, 기초의 재하폭 등의 영향을 고려해서 정하게 된다.

일반적으로 암거는 폭에 비해 길이가 매우 긴 형태로 암거의 저면 전체 면적으로 지반반력 계수를 계산하면 지나치게 낮게 평가된다. 따라서 어느 지점을 기준으로 영향 범위를 감안하여 지반반력계수를 계산하여야 한다.

영향 범위를 감안하여 종방향 연속 구조물의 연직지반반력계수(k_v) 및 스프링계수(K)를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$k_v = 0.67k_{(B\times B)} \quad (kg/cm^3) \qquad (408.2)$$

$$k_{B\times B} = k_{vo}\left[\frac{B_v}{30}\right]^{-\frac{3}{4}} = k_{vo}\left[\frac{\sqrt{A_v}}{30}\right]^{-\frac{3}{4}} \qquad (408.3)$$

여기서, B : 기초 저면 폭

$k_{(B\times B)}$: 접지면적 B×B에 대한 연직지반반력계수

B_v : 기초의 환산재하폭(cm)으로 저면 형상이 원형인 경우에는 지름으로 함.

A_v : 연직방향의 재하면적(B×B) (cm^2)

k_{vo}는 지름 30cm의 강체 원판에 의한 평판재하시험의 값에 상당하는 연직방향 지반반력계수(kg/cm^3)로서 각종 토질시험에 의해 구한 변형계수로 부터 추정하는 경우는 다음식에 의해 구한다.

$$k_{vo} = \frac{1}{30}\times\alpha\times E_o \quad (kg/cm^3) \qquad (408.4)$$

E_o : <표 408.5>에 표시하는 방법으로 측정 또는 추정한 설계의 대상이 되는 위치에서의 지반의 변형계수 (kg/cm^2)

α : 지반반력계수의 추정에 쓰이는 계수로서 <표 408.5>에 주어져 있음.

따라서, 각절점의 스프링계수 (K)는 다음과 같다.

<표 408.5> E_o와 α값

시험방법의 차이에 따른 변형계수 E_o(kg/cm^2)	α	
	평상시	지진시
지름 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수 1/2	1	2
보링 공내에서 측정한 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 E_o=28N으로 추정한 변형계수	1	2

$$K = k_v \cdot A \ (kg/cm) \qquad (408.5)$$

여기서, A : 해당 스프링의 담당면적 (cm^2)

기초 저면 아래의 지층이 깊이 방향으로 변하는 경우, 특히 연약층이 존재하는 경우 등에는 식 (408.4)의 변형계수 E_o를 식 (408.6), (408.7)에 의해 보정한다.

B = L인 경우 :

$$E_o = \frac{-\frac{1}{B+2h_m\tan\theta}+\frac{1}{B}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{E_{oi}}\left[-\frac{1}{B+2h_i\tan\theta}+\frac{1}{B+2h_{i-1}\tan\theta}\right]} \qquad (408.6)$$

B ≠ L인 경우 :

$$E_o = \frac{\log\frac{(B+2h_m\tan\theta)L}{(L+2h_m\tan\theta)B}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{E_{oi}}\left[\log\frac{(B+2h_i\tan\theta)(L+2h_{i-1}\tan\theta)}{(L+2h_i\tan\theta)(B+2h_{i-1}\tan\theta)}\right]} \qquad (408.7)$$

여기서 B : 기초의 폭 (m)

L : 기초의 길이 (m)

h_m : 영향을 고려하는 깊이(m)로 기초 폭 B의 3배 이상으로 한다.

h_i : 기초 저면으로 부터 세분할 각 지층 저면 까지의 깊이 (m)

E_{oi} : 세분된 제 i번째 지층의 변형계수 (kg/cm^2)

θ : 하중의 분포각도로 30°로 한다.

2.3.2 작용하중 계산 및 하중조합

(1) 하중 개요

암거를 설계할 때 고려해야 할 하중은 다음 사항과 같다.

① 고정하중 : 연직방향의 지하수 중량과 연직토압(연직방향 토사중량)은 고정하중으로 본다.
② 토압
③ 활하중 (노면활하중, 충격하중)
④ 수압 (정수압)

한편, 일반적으로 암거 내부의 수압을 고려할 필요는 없지만 말뚝기초와 같이 암거 내부에 하중이 작용하여 불리한 구조요소가 있을 때에는 수압이나 물의 중량을 감안하여야 한다.

(2) 고정하중

고정하중을 산출할 때는 다음 <표 408.6>에 나타낸 단위중량을 사용한다.

<표 408.6> 재료의 단위중량 (단위 : t/m^3)

재 료	단위중량	재 료	단위중량
철근 콘크리트	2.50	시멘트모르터	2.15
프리스트레스콘크리트	2.50	역청재(방수용)	1.10
콘 크 리 트	2.35	아스팔트 포장	2.30

(3) 토 압

암거에 작용하는 토압은 암거 측벽에 작용하는 수평토압과 암거 상부의 흙에 의한 연직토압(연직방향 토사중량)으로 구분된다.

① 흙의 단위체적 중량

흙의 단위체적 중량은 토질시험결과에 따라 정하는 것이 원칙이지만 토질시험을 하지 않은 경우는 <표 408.7>의 값을 사용 할 수 있다.

가. 지하수위 이하에 있는 흙의 단위체적중량은 <표 408.7>에서 1.0을 뺀 값을 사용한다.

나. 쇄석은 자갈과 같은 값으로 한다. 또한, 암버럭, 암괴의 경우에는 종류, 형상, 크기 및 간극에 따라 고려할 필요가 있다.

다. 자갈 섞인 사질토 또는 자갈 섞인 점성토에서는 혼합비율 및 상태에 따라서 적당한 값을 정한다.

<표 408.7> 흙의 단위체적중량

구 분	종 류	상 태		흙의 전체 단위중량 (t/㎥)
성토	자갈섞인 모래	다져진 것		2.0
	모 래	다져진 것	입도가 좋은 것	2.0
			입도가 나쁜 것	1.9
	사질토	다져진 것		1.9
	점성토	다져진 것		1.8
자연지반	자 갈	조밀한 것 또는 입도가 좋은 것		2.0
		조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것		1.8
	자갈섞인 모래	조밀한 것		2.1
		조밀하지 않은 것		1.8
	모 래	조밀한 것		2.0
		조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것		1.8
	사질토	조밀한 것		1.9
		조밀하지 않은 것		1.7
	점성토	단단한 것 (N = 8~15)		1.8
		약간 연한 것 (N = 4~8)		1.7
		연한 것 (N = 2~4)		1.6
	점토 및 실트	단단한 것 (N = 8~15)		1.7
		약간 연한 것 (N = 4~8)		1.6
		연한 것 (N = 2~4)		1.4

② 흙의 강도

흙의 전단강도는 원칙적으로 토질시험을 실시하여 구하여야 하지만 <표 408.8>에 나타낸 값을 사용하여 계산에 의해 구할 수도 있다.

가. 흙의 전단강도는 가능한 한 토질시험을 실시하여 결정하여야 한다. 특히 연약지반을 구성하는 점착력을 갖는 흙의 전단강도는 반드시 토질시험을 실시하여 결정하여야 한다.

나. <표 408.8>에 나타낸 내부마찰각 및 점착력의 값은 압밀-비배수(압밀-급속) 전단시험에 대한 값이다.

다. 쇄석, 암버럭, 암괴 등은 대체로 자갈에 준하여도 좋다.

<표 408.8> 흙의 내부마찰각 및 점착력

구 분	종 류	상 태		내부 마찰각 (도)	점착력 (t/㎡)
성토	자갈 및 자갈섞인 모래	다져진 것		40	0
	모 래	다져진 것	입도가 좋은 것	35	0
			입도가 나쁜 것	30	0
	사질토	다져진 것		25	3 이하
	점성토	다져진 것		15	5 이하
자연지반	자 갈	조밀한 것 또는 입도가 좋은 것		40	0
		조밀하지 않은것 또는 입도가 나쁜 것		35	0
	자갈섞인 모래	조밀한 것		40	0
		조밀하지 않은 것		35	0
	모 래	조밀한 것		35	0
		조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜 것		30	0
	사질토	조밀한 것		30	3이하
		조밀하지 않은 것		25	0
	점성토	단단한 것 (N = 8~15)		25	5
		약간 연한 것 (N = 4~8)		20	3
		연한 것 (N = 2~4)		15	1.5
	점토 및 실트	단단한 것 (N = 8~15)		20	5
		약간 연한 것 (N = 4~8)		15	3
		연한 것 (N = 2~4)		10	1.5

③ 수평토압

가. 암거의 경우 강성이 크고 활동, 회전 등의 안정문제가 없으므로 수평방향의 토압은 일반적으로 정지토압을 사용하며, 그 크기는 식 (408.8)과 같다.

$$P_H = K_H \cdot \gamma \cdot h \qquad (408.8)$$

여기서, P_H : 수평토압강도(t/㎡)

γ : 흙의 단위체적 중량 (t/㎥)

K_H : 수평토압계수(정지토압계수 사용)

h : 지표에서 임의의 지점까지 깊이 (m)

나. 설계시 토압은 횡토압이 계산보다 작게 작용하여 불리한 경우를 감안하기 위해 1/2 토압의 경우도 고려한다.

④ 연직 토압

가. 연직토압은 암거 상부에있는 토사의 중량으로 고정하중 성분이다.

나. 연직토압은 암거의 단면 강성이나 설치위치와 지반조건에 따라 다르며 이들을 분류하면 <그림 408.28>과 같다.

다. 굴착 후 암거를 설치하는 경우 : 이 경우는 <그림 408.28> (a)와 같이 암거 상부의 되메움 흙이 침하하고 인접부에서 상부로의 마찰저항이 발생하여 암거 상부에 작용하는 하중은 토사의 중량보다 다소 감소할 수 있으나 안전측의 설계를 위해 상재토사 전체의 중량을 하중으로 감안한다.

$$P_v = r \cdot H \qquad (408.9)$$

여기서, P_v : 암거 상부에 작용하는 연직토압 (t/㎡)

r : 암거 상부 흙의 단위체적중량 (t/㎥)

H : 암거 상부의 토피고(m)

라. 성토지반 상에 암거를 설치하는 경우 :

(가) 강성암거로 성토의 침하와 상대변위가 생길 경우(<그림 408.28> (b) 참조) 암거 상부의 흙기둥 중량에 전단응력이 추가되어 강성 암거의 상부에 작용하는 연직토압은 γH 값 보다 증가하게 된다. 이러한 경우에 대해서는 미국 AASHTO에서 적용하고있는 다음의 식 (408.10)을 적용하여 연직토압을 구한다.

$$P_v = \alpha \cdot \gamma \cdot H \qquad (408.10)$$

여기서, P_v : 암거 상부의 연직토압 (t/㎡)

α : 연직토압계수

$$\alpha = 1 + 2.0\left(\frac{H}{B_o}\right) \le 1.15$$

γ : 흙의 단위체적중량 (t/㎥)

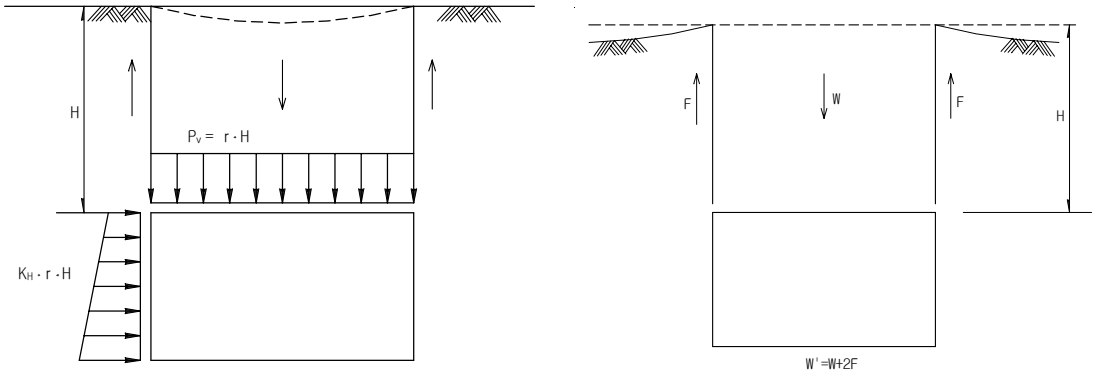
H : 암거 상부의 토피고(m)

B_o : 암거의 외측 폭(m)

(나) <그림 408.29>에서는 각종 자료에 대한 α값을 나타내고 있다. 이 현상은 영구적인 것이 아니고 시간의 경과와 함께 감소되는데 시간 경과와 α와의 관계는 아직까지 명확히 밝혀져 있지 않다.

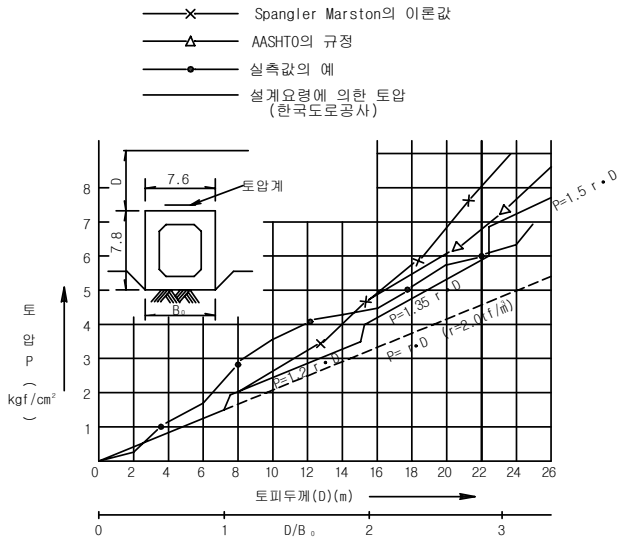
(다) 암거의 기초 저면이 견고한 지반이나 말뚝기초 등이 아니고, 성토재료와 비슷한 강도의 흙인 경우 암거 상부의

흙쌓기의 침하와 더불어 암거의 침하가 동시에 발생하면 암거 상부 토사의 중량에 추가하중이 부가되지 않으므로 α=1.0으로 볼 수 있다. 암거 저면의 지반 반력 계산에는 암거의 바닥 슬래브 중량이 하중으로 작용하게 되나, 단면력 계산에서는 암거 바닥 슬래브의 중량이 지지지반의 반력과 비기게 되므로 고려할 필요가 없다.



(a) 굴착 후 암거를 설치하는 경우 (b) 성토지반에 암거를 설치하는 경우

<그림 408.28> 암거에 작용하는 연직토압



<그림 408.29> 토피고와 암거 폭 관계에 따른 연직 토압계수 변화

(4) 활하중 (노면 활하중)

① 토피 1.0m 이하인 경우

토피두께가 1.0m 이하인 경우에는 차륜 집중하중이 암거의 상부슬래브에 분포하중으로 작용하기에는 토피두께가 너무 적으므로 차륜하중을 직접 재하한다.

가. 암거 종방향으로 차도가 있는 경우

(가) 유효 분포폭

이 경우는 주철근의 방향이 차량 진행방향에 직각이므로, 단순판 폭 1.0m에 대한 모멘트(M)와 유효폭을 감안한 단순보의 집중하중에 의한 모멘트(M)을 같다고 놓고 풀면 다음과 같이 유효폭을 구할 수 있다.

$$E = \frac{2.4}{L + 0.6} \times L \quad (m) \qquad (408.11)$$

여기서, E : 유효폭 (m)

L : 암거의 경간 (m)

단, 위 식은 암거의 경간이 7.3m 이하인 경우에 대하여 적용한다.

(나) 분포 축하중 (활하중)

$$P_\ell = \frac{P_r}{E} \quad (t/m) \qquad (408.12)$$

여기서, P_ℓ : 축하중 (2차원 프레임 해석시 집중하중이 됨.)

P_r : 윤하중 DB－24인 경우 9.6 ton

(다) 충격계수

$$i = \frac{13}{40 + L} \leq 0.3 \qquad (408.13)$$

나. 암거가 도로를 횡단하는 경우

(가) 유효 분포폭

이 경우는 주철근의 방향이 차량 진행방향에 평행한 경우로 유효폭(E)은 식(408.14)와 같다.

$$E = 1.2 + 0.06 \cdot L \qquad (408.14)$$

여기서, E : 유효폭 (m)

L : 암거의 경간 (m)

단, 차량이 횡방향으로 여러 대 재하될 경우 차륜당 점유 폭은 1.5m 이므로 유효폭 E의 값은 1.5m를 넘지 않도록 한다.

(나) 분포 축하중 (활하중)

$$P_\ell = \frac{P_r}{E} \quad (t/m) \qquad (408.12)$$

(다) 충격계수

$$i = \frac{13}{40 + L} \leq 0.3 \qquad (408.13)$$

② 토피가 1.0 ≦ H < 4.0m인 경우

가. 암거 상면에 작용하는 활하중에 의한 연직하중은 식 (408.15)로 계산한다.

$$P_{v\ell} = \frac{2\ Pr\ (1+i)}{B\ W_1} = \frac{Pr\ (1+i)}{1.5\ (0.2+2H)} \quad (408.15)$$

여기서, $P_{v\ell}$: 암거상면에 작용하는 활하중에 의한 연직하중 (t/㎡)

W_1 : 활하중의 종방향 분포폭 (W_1 = 2H + 0.2) (m)

B : 차량의 점유 폭 (B＝3.0) (m)

H : 토피두께(m)

i : 충격계수

P_r : 차륜하중

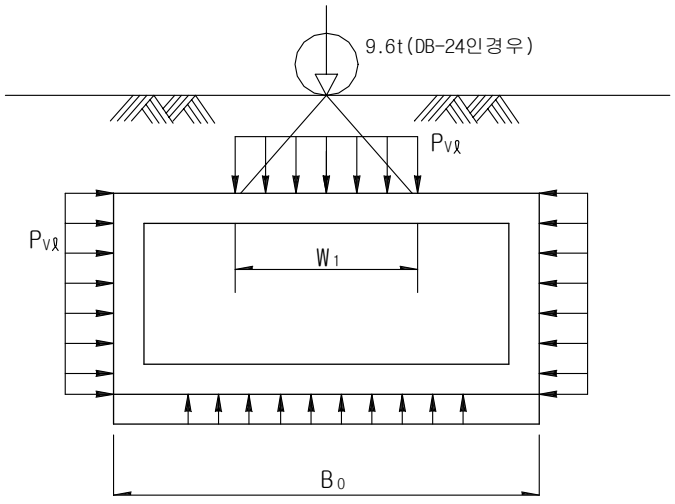
충격계수 i의 값은 <표 408.9>의 값으로 한다.

나. 한편 $B_o > W_1$인 경우에는 <그림 408.30>의 $P_{v\ell}$이 암거 전폭(W_1)에 작용한다고 본 상태와 (0.2＋2H)의 폭에 재하되는 경우의 모멘트가 같다고 놓고 $P_{v\ell}$을 구하여, 이 값을 등분포 하중으로 한 단면력을 구한다. 이때의 암거 전폭에 작용하는 $P_{v\ell}$은 식 (408.16)과 같이 구한다.

$$P_{v\ell} = \frac{2P\ (1+i)\ (B_0-H-0.1)}{B_0^{\ 2}} \quad (408.16)$$

<표 408.9> 토피두께와 충격계수 관계

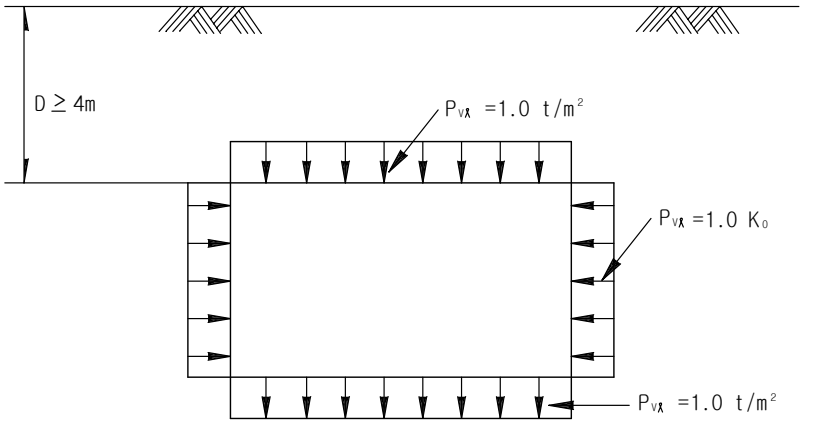
토피두께 (H)	0.15m≤H≤1.0m	1.0m<H≤2.0m	2.0m<H≤3.0m	3.0m<H
충격계수 (i)	0.3	0.2	0.1	0



<그림 408.30> 분포폭이 구조물 폭보다 적은 경우

③ 토피 두께 4m 이상인 경우

토피 두께 4m 이상인 경우에는 <그림 408.31>에서 보듯이 분포면적이 커져 식 (408.15)로 계산한 분포하중이 1.0t/㎡ 이하가 되는데 안전측으로 일정하게 1.0t/㎡의 하중을 고려한다. 참고로 아래의 <표 408.10>은 Kögler 식에 의해 계산한 토피 두께별 활하중이다.



<그림 408.31> 토피두께 4.0m 이상인 경우의 활하중 크기

<표 408.10> Kögler 식에 의한 도로면 활하중의 등가 등분포하중 (DB-24기준)

토피 (m)	도로면의 활화중 (t/㎡)	토피(m)	도로면의 활화중 (t/㎡)
1.0	5.1	5.0	1.5
1.5	3.9	6.0	1.5
2.0	2.1	7.0	1.5
2.5	1.7	8.0	1.2
3.0	1.5	9.0	1.1
4.0	1.5	10.0	0.9

※ : (1) 중간토피에 대한 것은 그 상위의 것을 취한다.

(2) 10m 이상의 토피에 대한 노면 활하중은 0.9t/㎡로 한다.

④ 활하중의 측압성분

가. 활하중의 측압 성분은 토피두께에 관계없이 일정하게 (1.0×토압계수)t/㎡를 재하한다.

나. 1/2 토압을 재하하는 경우 활하중의 측압 성분도 1/2을 재하한다.

(5) 수압

① 굴착 후 암거를 설치하여 지반보다 낮게 암거가 위치하는 경우와 같이 수압이 작용할 수 있는 경우에는 수압을 고려해야 한다.

② 수압은 피압수대가 아닌 경우에는 지하수에 의한 정수압으로 계산한다.

③ 연직으로 작용하는 지하수 하중은 고정하중의 하중계수를 적용하고, 횡방향으로 재하되는 지하수압은 횡토압의 하중계수를 적용하되 1/2 수압의 경우는 고려하지 않는다.

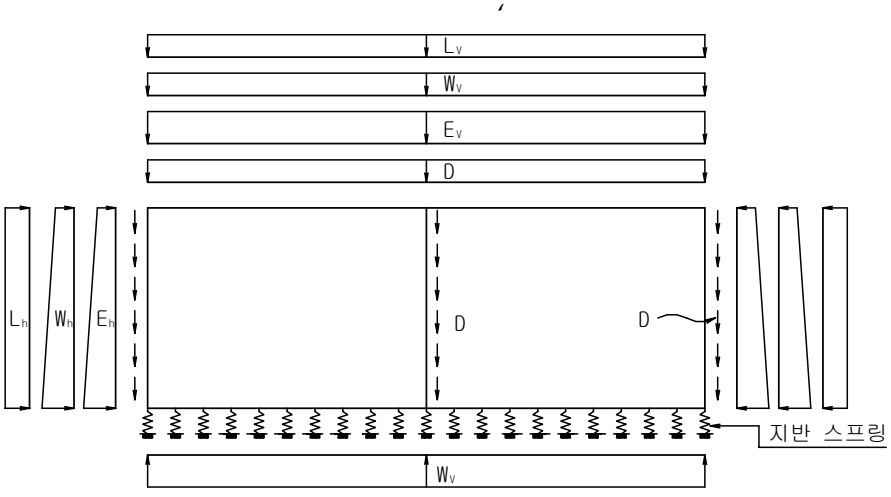
(6) 온도변화 및 건조수축의 영향

암거를 설계할 때는 일반적으로 온도변화 및 건조수축의 영향은 생각하지 않아도 된다.

일반적으로 암거는 토피가 있으므로 온도 변화는 토피두께의 증가와 더블어 급격히 감소하여 토피두께 50cm 정도에서 그 변화가 대단히 작아지게 되며, 건조수축은 전 부재가 거의 같은 크기로 발생하므로 변위에 대한 구속이 없어 단면력이 발생하지 않는다.

(7) 하중조합

일반적인 암거의 경우 <표 408.11>과 같은 하중조합을 생각할 수 있으며, 수압의 재하가 불필요한 경우에는 수압의 항만 제거하면 된다. 또한, 구조물의 형상, 하중재하 형태 등의 필요에 따라 하중조합을 가감할 수 있다. <그림 408.32>는 하중 재하도의 한 예이다.



※주의 : 지반을 모델링한 지반 스프링은 인장저항 능력이 없으므로, 각 하중조합별로 지반 스프링에 부반력(스프링에 인장발생)이 발생하는지 확인하고 부반력이 발생한 스프링을 제거한 후 재해석하는 과정을 반복하여 최종적으로 부반력이 발생하는 스프링이 모두 소거 되어야 한다.

<그림 408.32> 하중 재하도의 예

<표 408.11> 하중조합 예

구분	연번	D	E_h	L_v	L_h	W_v	W_h	비 고
단면검토시	1	1.4×1.1	1.8					활하중 없는 경우 전토압, 1/2토압
	2	1.4×1.1	1.8×0.5					
	3	1.4×1.1	1.8	1.7	1.8			활하중 있는 경우 전토압, 1/2토압
	4	1.4×1.1	1.8×0.5	1.7	1.8×0.5			
	5	0.9	1.8					고정하중이 작은 경우가 불리한 경우를 감안하기 위함
	6	0.9	1.8×0.5					
	7	0.9	1.8	1.7	1.8			
	8	0.9	1.8×0.5	1.7	1.8×0.5			
	9	1.4×1.1	1.8			1.4×1.1	1.8	활하중 없는 경우 전토압, 1/2토압
	10	1.4×1.1	1.8×0.5			1.4×1.1	1.8	
	11	1.4×1.1	1.8	1.7	1.8	1.4×1.1	1.8	활하중 있는 경우 전토압, 1/2토압
	12	1.4×1.1	1.8×0.5	1.7	1.8×0.5	1.4×1.1	1.8	
	13	0.9	1.8			0.9	1.8	고정하중이 작은 경우가 불리한 경우를 감안하기 위함
	14	0.9	1.8×0.5			0.9	1.8	
	15	0.9	1.8	1.7	1.8	0.9	1.8	
	16	0.9	1.8×0.5	1.7	1.8×0.5	0.9	1.8	
사용성검토시	1	1.0	1.0					활하중 없는 경우 전토압, 1/2토압
	2	1.0	0.5					
	3	1.0	1.0	1.0	1.0			활하중 있는 경우 전토압, 1/2토압
	4	1.0	0.5	1.0	0.5			
	9	1.0	1.0			1.0	1.0	활하중 없는 경우 전토압, 1/2토압
	10	1.0	0.5			1.0	1.0	
	11	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	활하중 있는 경우 전토압, 1/2토압
	12	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	

※ : (a) 암거의 경우 고정하중의 비중이 크므로 1.4D 항의 D 대신 1.1D 사용.
(b) 연직토압 및 지하수 중량(수압의 연직성분)은 고정하중의 하중계수 적용
(c) 활하중의 측압성분은 횡토압의 하중계수를 적용
(d) 1~8은 지하수 없는 경우, 9~16은 지하수 있는 경우에 대한 조합임
지하수 있는 위치인 경우도 지하수 없을 때를 고려해야 함

여기서, D : 고정하중, 연직토압 또는 이에 의해서 발생하는 단면력

E_h : 횡토압 또는 이에 의해서 발생하는 단면력

L_v : 연직 활하중 또는 이에 의해서 발생하는 단면력

L_h : 활하중의 수평성분 또는 이에 의해서 발생하는 단면력

W_v : 수압의 연직성분(지하수 중량) 또는 이에 의해서 발생하는 단면력

W_h : 횡방향 지하수압 또는 이에 의해서 발생하는 단면력

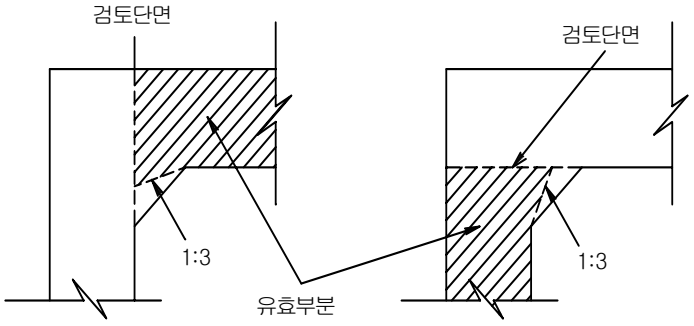
2.3.3 콘크리트 단면검토

(1) 수직벽은 단면검토시 축력의 영향을 고려하여 검토하고, 상부슬래브 및 바닥 슬래브는 축력의 영향을 무시하고 휨 및 전단만으로 단면을 검토한다.

(2) 단면검토시 접속하는 부재에 설치된 헌치 높이의 1/3을 해당 부재의 유효부분으로 볼 수 있다.(<그림 408.33> 참조)

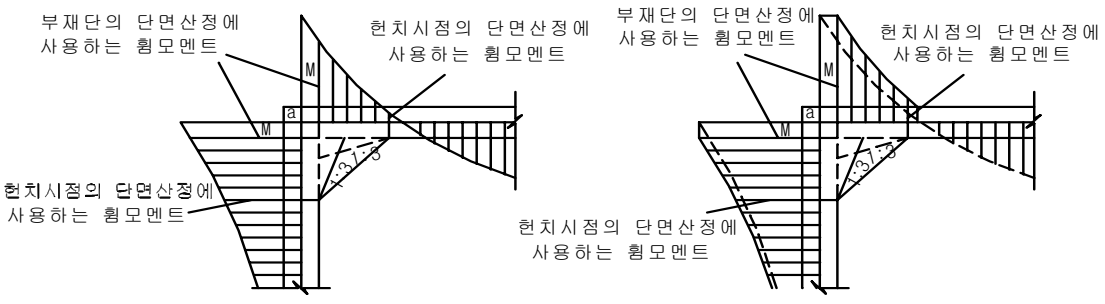
(3) 단면변화 및 헌치의 영향을 고려하여 구조해석을 수행한 경우에는 지지부재 전면의 모멘트로 단면을 검토하고, 단면변화 및 헌치의 영향을 고려하지 않고 구조해석을 수행한 경우에는 절점부의 모멘트로 단면을 검토한다.(<그림 408.34> 참조)

이때 전단력의 경우는 단면변화 및 헌치의 영향이 작기 때문에 단면변화 및 헌치의 영향을 고려하지 않고 구조해석을 수행한 경우에도 지지부재 전면의 전단력을 사용할 수 있다.



(a) 상·하부 슬래브 부재 (b) 벽체 부재

<그림 408.33> 헌치의 유효부분



(a) 단면변화 및 헌치의 영향을 고려하여 구조해석한 경우

(b) 단면변화 및 헌치의 영향을 고려하지 않고 구조해석한 경우

<그림 408.34> 단면검토시 사용하는 휨모멘트

(4) 강역의 영향을 고려하여 구조해석한 경우 <그림 408.35>의 ①~① 단면에 대해서는 ①~① 단면의 모멘트로 검토하더라도 불안한 설계라고 볼 수는 없지만 하중에 토압과 같은 불확실한 요소가 있음을 감안하여 안전측의 설계가 되도록 모멘트, M_1으로 검토한다.

2.3.4 주철근 정착검토

(1) 휨부재에서 철근 정착에 대한 위험단면은 최대 응력점과 경간 내에서 인장철근이 끝나거나 절곡된 점들이다.

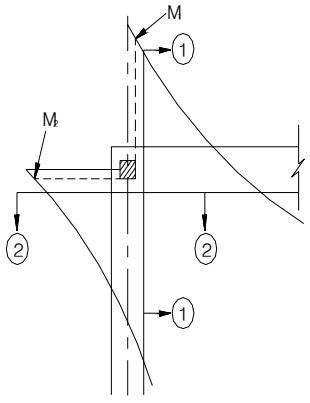
(2) 휨 철근은 휨을 저항하는데 더 이상 필요하지 않은 점에서 부재의 유효높이(d) 또는 철근 직경의 12배($12d_b$) 이상 연장하여야 한다.

(3) 연속철근은 절곡되거나 끊은 철근이 휨을 저항하는데 더 이상 필요하지 않은 점에서 정착길이(ℓ_d) 이상의 매입길이를 가져야 한다.

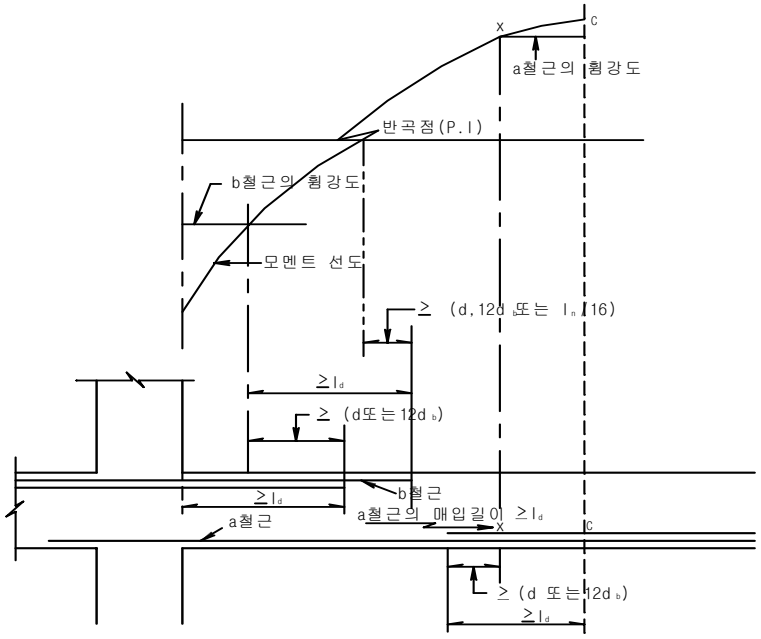
(4) 휨철근은 '콘크리트구조 설계기준(1999)'의 인장구역 철근절단 조건을 만족하지 않는 한 인장구역에서 철근을 절단하지 않고 압축부로 연장한다.

(5) <그림 408.36>은 연속보의 휨철근 정착을 보여주고 있으며, <그림 408.37>은 실용적인 휨철근의 절단위치를 표현하고 있다.

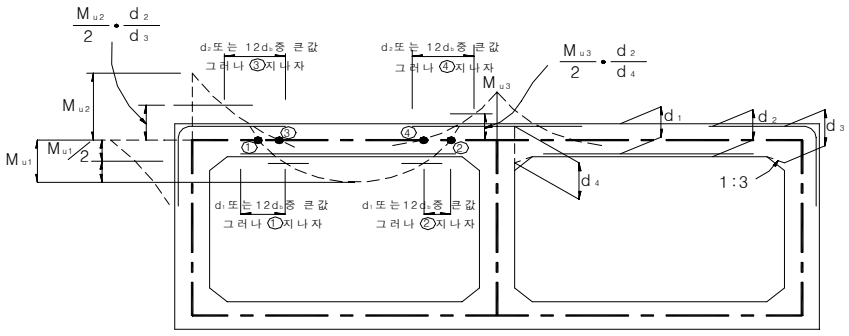
(6) 정철근과 부철근을 절단하지 않고 절곡하여 사용할 수도 있는데, 이 경우는 절곡 부위의 전단 저항으로 전단에 대한 강도가 증가되고 철근의 사용량은 감소할 수 있으나 정·부철근의 직경을 일치시켜야 하며 철근 가공이 복잡게 된다. 또한 철근의 절곡 부위에서 연속철근에 의한 단면의 휨강도를 반드시 검토하여야 한다.



<그림 408.35> 강역의 영향을 고려하여 구조해석한 경우의 단면 검토용 휨모멘트



<그림 408.36> 연속보의 휨철근 정착



※ d_b : 해당 주철근의 직경

점 ①,②,③,④ : 정·부 모멘트 0인 점의 위치

<그림 408.37> 휨철근 절단의 실용적 방법

2.3.5 사용성 검토

(1) 균열검토

① 콘크리트 구조의 허용 균열 폭은 사용목적, 소요 내구성, 환경조건, 부재조건 등을 고려하여 결정한다.

② '콘크리트구조 설계기준(1999)'의 허용 균열 폭은 <표 408.12>와 같다.

③ 인장철근의 설계기준 항복강도가 3000㎏/㎠ 이상인 경우 사용하중에 의한 휨 균열 폭은 식 (408.17)에 의하여 구하고, 계산 균열 폭이 <표 408.12>의 w_a 이하가 되도록 한다.

$$w = 1.08 \beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} \quad (408.17)$$

여기서, β_c : "단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리"를 "단면의 중립축에서 철근의 도심까지 거리"로 나눈 값으로 보에 대해서는 1.2, 슬래브에 대해서는 1.35로 할 수 있다.

f_s : 사용하중에 의한 인장철근의 응력 (㎏/㎠)

d_c : 인장 연단에서 이 연단에 가장 가까이 있는 인장철근 중심까지의 거리 (㎝)

A : 휨부재의 인장철근을 둘러싸면서 철근과 같은 도심을 가진 유효인장면적을 철근의 개수로 나눈 콘크리트 유효인장면적 (㎠)

(2) 처짐검토

① 일반적으로 암거 단면은 경간장에 비해 두꺼우므로 처짐이 문제가 되는 예는 거의 없으며, 지속하중인 고정하중의 크기가 커서 단면을 지나치게 작게 하는 것은 내구성의 측면에서도 좋지 않으므로 처짐 계산이 필요없는 슬래브 두께 이상의 단면두께가 되도록 설계한다.

② 양단연속의 슬래브 구조에서 처짐 계산이 필요없는 슬래브 두께(t_m)는 식 (408.18)과 같다.

$$t_m = \left(\frac{\ell}{28}\right)\left(0.43 + \frac{f_y}{7,000}\right) \quad (408.18)$$

여기서, ℓ : 검토대상 단면의 경간장 (㎝)

f_y : 철근의 설계기준 항복강도 (㎏/㎠)

<표 408.12> 허용 균열 폭, w_a (㎜)

강재의 종 류		강재의 부식에 대한 환경조건			
		건조 환경	습윤 환경	부식성 환경	고부식성환경
철 근	건 물	0.4㎜	0.3㎜	0.004 t_c	0.0035 t_c
	기타 구조물	0.006 t_c	0.005 t_c		
프리스트레싱 긴장재		0.005 t_c	0.004 t_c	-	-

※ t_c는 최외단 철근의 표면과 콘크리트 표면 사이의 콘크리트 최소 피복두께 (㎜)

2.3.6 단절점부 보강

(1) 보강 철근의 계산

① 부휨모멘트가 최외측 접합부에 작용하는 경우 대각선 방향의 단면에 생기는 계수하중에 의해 발생하는 인장응력 f_t가 $1.06\sqrt{f_{ck}}$ 를 넘을 경우에는 보강철근을 배치하여야 한다.

② 인장응력 및 보강철근량의 계산은 변형적합조건을 만족하는 어떤 식도 가능하며, 참고로 도로교설계기준(2000)에는 다음과 같은 식이 제시되고 있다.

$$f_{max} = \frac{5\,M_o}{R^2\,w} \qquad (408.19)$$

$$A_s = \frac{2\,M_o}{R\,f_{sa}} \qquad (408.20)$$

여기서, f_{max} : <그림 408.38>에서 보여주는 외측 인장응력 최대값 (kg/㎠)

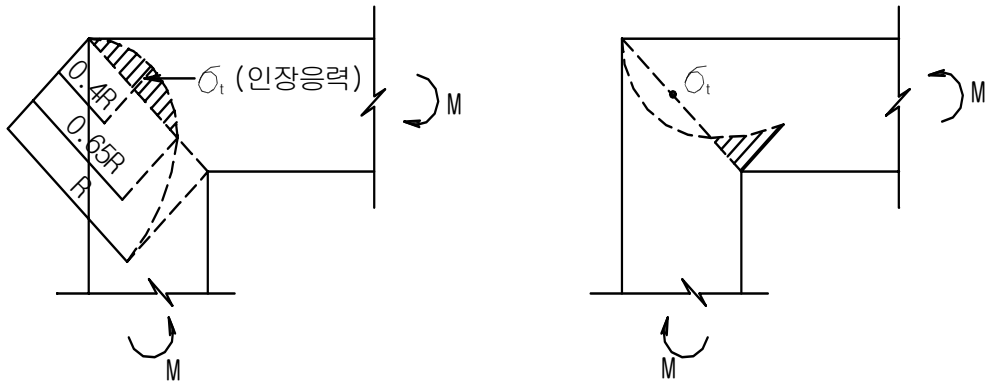
M_o : 절점부휨모멘트 (kg-㎝)
(계수하중에 의해 발생하는 응력을 계산하기 위해 식(408.19)에 M_o대신 M_u를 적용할 수 있다.)

R : 절점부의 대각선 길이 (㎝) (<그림 408.39>참조)

w : 절점부의 폭 (㎝) (일반적으로 단위폭 100㎝)

A_s : 절점부의 보강 철근량 (㎠)

f_{sa} : 보강철근의 허용응력 (kg/㎠)



(a) 외측 인장인 경우 (b) 내측 인장인 경우

<그림 408.38> 단절점에 발생하는 인장응력

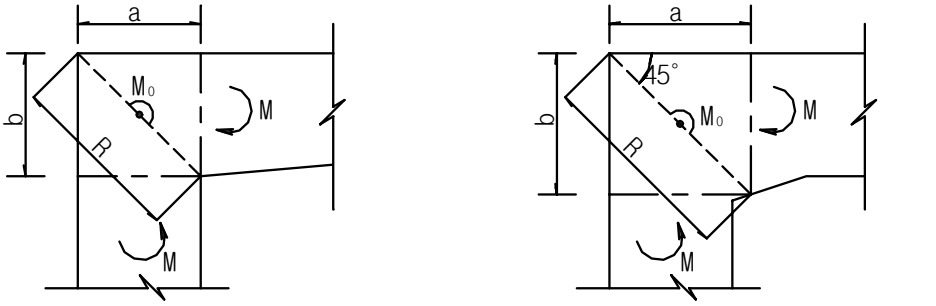
(2) 보강 철근의 배근

① 단절점부 주철근 및 보강철근의 배치는 <그림 408.40> (a), (b) 두 가지를 생각할 수 있다.

② (a)의 경우 1, 2 싸이클 주철근 모두 외측에 배치하는 경우로 일반적인 배근방법이며 주철근이 보강철근으로의 역할을 하지 못한다.

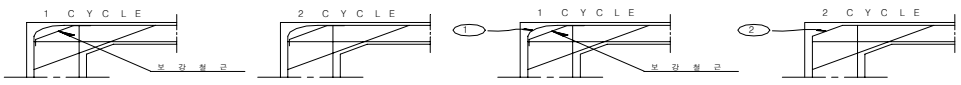
③ 반면에, (b)의 경우는 2 싸이클 주철근을 내측으로 구부려 배치하는 경우로 내측으로 구부려 배치한 주철근은 보강철근의일부로 볼 수 있다. 단 내측으로 구부린 철근량(②)은 전체 주 철근량(①+②합)의 1/2 이하이어야 한다.

④ 구부린 주철근을 포함한 보강철근은 <그림 408.38> (a)의 인장응력 범위인 0.65R 범위 이내에 배치하여야 한다.



(a) 헌치가 없는 경우 (b) 헌치가 있는 경우

<그림 408.39> 단절점부의 응력검토 단면



(a) 주철근을 모두 외측에 배치 (b) 2 cycle 철근 내측으로 구부려 배치

<그림 408.40> 주철근과 보강철근의 배치

2.3.7 안정검토

(1) 암거에 작용하는 하중은 대부분 대칭으로 작용하여 활동이나 전도 등의 안정문제는 발생하지 않으나 사각이 심하고 길이에 비해 폭이 넓은 경우에는 평면상에서의 회전이 문제가 되는 경우가 있으므로 검토가 필요하다.

(2) 암거 상부의 지반이 심하게 경사져 있는 경우에는 양측 토압의 차이가 커서 전도, 활동의 문제를 야기할 수 있으므로 주의를 필요로 한다.

(3) 암거가 설치되면 암거 내공부위 만큼의 흙이 공제되는 것과 같으므로 암거 설치위치 이외의 부분에 비해 총 연직중량이 적게되어 지지력이 부족한 경우는 거의 없으나, 연약지반에서 말뚝기초를 사용한 경우는 인접지반의 침하로 인해 발생되는 부마찰력을 감안하여 말뚝의 안정을 검토해야 한다.

(4) 양압력 검토

① 양압력은 구조물 및 상재토사에 의해 배제되는 물의 중량으로 '(구조물의 폭) × (암거바닥면에서 지하수위까지 높이)'의 식으로 구할 수 있다.

② 저항력은 암거의 중량과 암거 상부의 토사중량의 합으로 이 경우 지하수 이하의 토사 중량도 습윤중량 전체로 계산한다.

③ 암거 측면의 토압에 의한 마찰저항은 양압력에 대한 저항력에 포함시키지 않는 것이 바람직하나 부득이 포함시켜야 한다면 지하수가 있는 경우(수중단위중량 적용)의 1/2 토압만 감안한다.

④ 양압력에 대한 안전율은 1.2로 한다.

⑤ 성토부에 설치되는 암거와 같이 지하수의 영향이 없거나, 지하수위의 증가와 함께 암거 내부의 수위도 증가하는 경우에는 양압력에 대한 검토는 불필요하다.

2.3.8 종방향 검토

(1) 일반적으로 암거는 15~30m 정도의 간격으로 신축이음을 설치하므로 종방향 검토를 하지 않아도 된다.

(2) 특별히 기초지반이 좋지 않은 경우와 상재 토피두께나 지반조건이 급변하는 경우에는 종방향 검토를 하여 암거의 종방향 보강의 필요 유무를 결정하여야 한다.

(3) 일반적으로 종방향 해석은 탄성스프링을 경계조건으로 하고 암거의 횡단면을 단면 강성으로 하는 탄성보로 보고 검토를 수행한다.

(4) 암거의 종방향 안전여부는 암거 횡단면을 보 단면으로 보고 종방향 배력철근을 인장철근으로 하여 단면을 검토함으로써 판단할 수 있다.

2.3.9 날개벽 검토

(1) 평행 날개벽은 암거 본체를 고정단으로 하는 캔틸레버로 설계하며, 암거 본체의 접합부 전폭을 폭으로 계산한다.

이때, 토압은 암거구체에 강결된 경우에는 정지토압계수를 사용하고 분리된 경우에는 주동토압을 사용하여 식 (408.21), 식 (408.22), 식 (408.23)로 계산한다. (<그림 408.41> 참조)

$$M_X = \frac{1}{2} K_h \cdot r \left[\frac{h_o^{\,2} \cdot X^2}{2} + \frac{h_o \cdot X^3}{3n} + \frac{X^4}{12n^2} \right]$$

(408.21)

$$S_X = \frac{1}{2} K_h \cdot r \left[h^2{}_o + \frac{h_o X^2}{n} + \frac{X^3}{3n^2} \right] \quad (408.22)$$

단, $n = \frac{\ell}{h_n}$

따라서, 날개벽 부근에서의 단면력은 식 (408.23)으로 주어진다.

$$m_A = \frac{M_{X=\ell}}{h_A} \cdot \alpha \,, \quad S_A = \frac{S_{X=\ell}}{h_A} \cdot \alpha$$

(408.23)

여기서, M_x : 날개벽 끝단에서 X의 위치에서 휨모멘트 (t · m)

S_x : 날개벽에서의 X 위치에서의 전단력 (t)

m_A : 날개벽에서의 단위폭당 휨모멘트 (t · m/m)

S_A : 날개벽에서의 단위폭당 전단력 (t/m)

α : 암거 본체와 연결부의 강성 영향에 의한 증가계수 α = 1.2로 함.

K_h : 수평토압계수

h_A : 날개벽 부근의 유효높이(m)

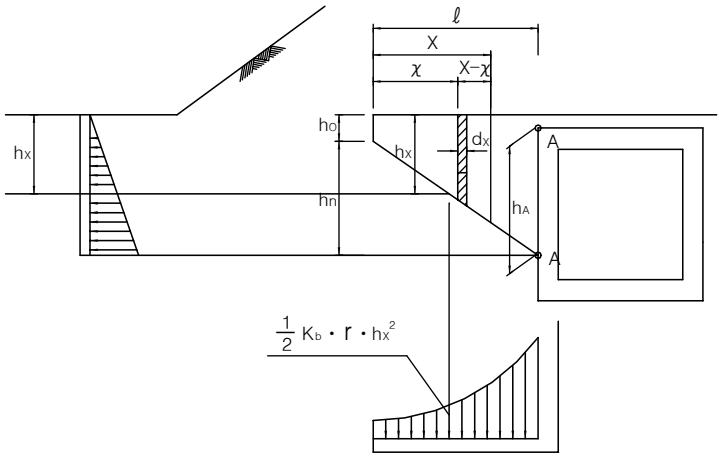
h_o : 날개벽 단부에서 수직부의 높이(m)

h_n : 날개벽 단부에서 경사부의 높이(m)

γ : 흙의 단위중량 γ = 2.0t/㎥

(2) 날개벽이 근입되는 전면에서 1m 이상 떨어진 곳의 수동토압은 생각하지 않는다.

(3) 방호책이나 방음벽을 설치하는 날개벽은 그 영향을 고려해서 계산한다.



<그림 408.41> 날개벽의 하중 및 단면력 계산

날개벽 부근에서의 단면력은 식 (408.24), 식 (408.25)로 구해도 된다.

$$m_A = (1.7\ell - 3.0) P + 0.17\ell \cdot m \quad (408.24)$$

$$m_A' = (0.6\ell - 1.0) P + 0.11\ell \cdot m \quad (408.25)$$

여기서, m_A : 날개벽 부근 상단의 단위폭당 휨모멘트(t · m/m)

m_A' : 날개벽 부근 하단의 단위폭당 휨모멘트(t · m/m)

P : 날개벽 상단에 작용하는 단위길이당 수평력(t/m)

m : 날개벽 상단에 작용하는 단위길이당 휨모멘트(t · m/m)

ℓ : 날개벽 길이(m) $\ell \geq 2.0$ m

2.3.10 스트러트 구조검토

(1) 문형 암거에는 원칙적으로 스트러트를 설치한다.

(2) 스트러트는 라멘의 수평반력을 받게 하여 기초의 활동에 의해 발생하는 우각부 모멘트에 의한 사고 위험을 적게하고 말뚝의 수평력 분담을 줄이기위해 설치한다.

(3) 스트러트는 장방형 보 구조로 하고 기초의 복부에 설치한다.

(4) 스트러트의 설계는 <표 408.13>에 표시된 기초지반의 종류에 따라 작용하는 하중을 받는 보로 설계한다.

(5) 스트러트는 기초에 강결로 지지되는 구조이지만 계산상 안전측이 되도록 양단 핀으로 된 단순보로 가정하여 검토할 수 있다.

(6) 스트러트는 반력에 의한 휨 뿐 아니라 인장을 동시에 받을 수 있으므로 철근의 배근은 스트러트의 전 길이에 걸쳐 대칭의 복철근으로 하여 기초에 정착시킨다.

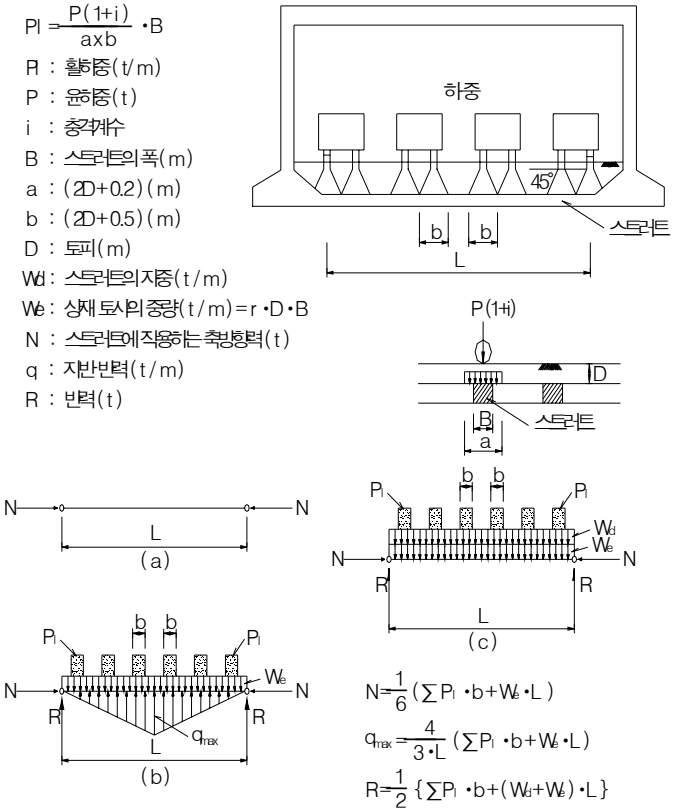
(7) 하중계산은 지반종류에 따라 각각 <그림 408.42> (a), (b), (c)에 따른다.

<표 408.13> 지반구분

지반의 종류	적 용
a	암반, 제3기 이전의 지반
b	홍적기 이전의 지반, 충적층 대의 자연 제방등 단단한 지반
c	말뚝기초를 사용하는 지반, a, b 의 지반으로서 교란된 지반

$P_l = \frac{P(1+i)}{axb} \cdot B$

P_l : 활하중(t/m)
P : 윤하중(t)
i : 충격계수
B : 스트러트의 폭(m)
a : (2D+0.2)(m)
b : (2D+0.5)(m)
D : 토피(m)
W_d : 스트러트의 자중(t/m)
W_e : 상재 토사의 중량(t/m) = r·D·B
N : 스트러트에 작용하는 축방향력(t)
q : 지반반력(t/m)
R : 반력(t)



$N = \frac{1}{6}(\sum P_l \cdot b + W_e \cdot L)$

$q_{max} = \frac{4}{3 \cdot L}(\sum P_l \cdot b + W_e \cdot L)$

$R = \frac{1}{2}\{\sum P_l \cdot b + (W_d + W_e) \cdot L\}$

<그림 408.42> 스트러트의 계산방법

2.4 배근상세

2.4.1 배근 일반

(1) 철근 피복두께

① 암거의 상부 슬래브와 측벽의 바깥면은 '흙에 접하는 콘크리트'의 기준을 따른다.

② 암거의 기초저면은 버림콘크리트를 미리 타설하는 경우 '흙에 접하는 콘크리트'의 기준을 따르고, 그렇지 않은 경우 '흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀 있는 콘크리트'의 기준을 따른다.

③ 통로 암거의 내측은 '공기에 직접 노출되는 콘크리트'의 기준을 따른다.

④ 수로암거의 내측은 '수중에 있는 콘크리트' 의 기준을 따른다.

(2) 배력철근

① 배력철근은 온도 및 건조수축에 대한 철근량 이상이어야 하며 내력의 분포를 원활히 하기 위해 주철근의 20% 이상이 되도록한다.

② 철근의 이음은 인접한 철근과 동일한 위치에 두지 않도록 한다.

(3) 스터럽(stirrup)

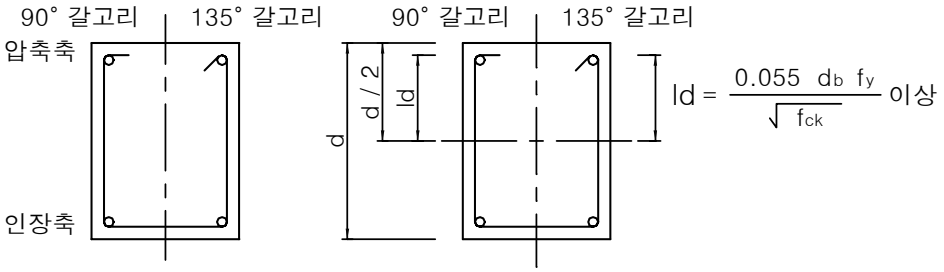
① 스터럽 철근의 간격은 시공의 편의를 위해 배력철근의 간격과 일치시키되, 스터럽이 전단 보강철근으로 사용되는 경우는 콘크리트 단면 유효높이의 1/2 이하가 되도록 한다.

② 스터럽의 형상은 U형 스터럽을 원칙으로 한다.(<그림 408.43> 참조)

③ 외다리 스터럽, U형 스터럽의 정착은 다음 방법 중 한가지를 따른다.

가. D16 이하의 철근 및 f_y=3000kg/㎠ 미만인 D19, D22, D25 스터럽에 대해서는 종방향 철근을 둘러싸는 표준 갈고리로 정착하는 방법.

나. f_y=3000kg/㎠ 이상인 D19, D22, D25 스터럽에 대해서는 종방향 철근을 둘러싸는 표준 스터럽 갈고리 외에 추가로 중간 높이에서 갈고리 단부의 바깥면까지 $0.055\ d_b\ f_y / \sqrt{f_{ck}}$ 이상의 매입길이를 확보하는 방법



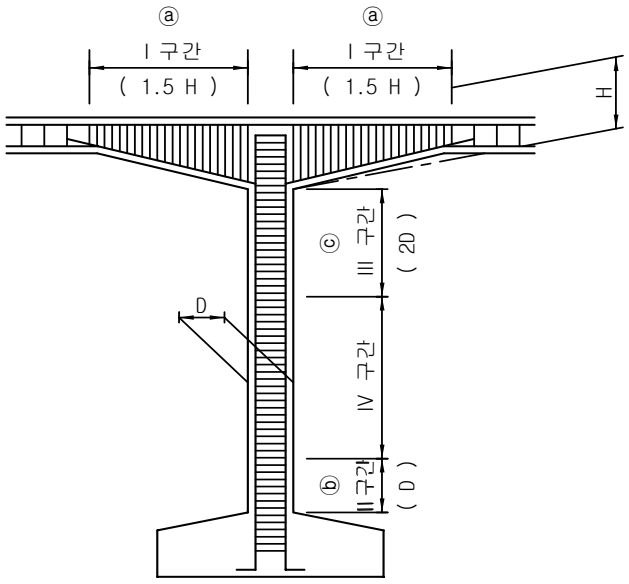
<그림 408.43> U형 스터럽의 정착

2.4.2 부위별 특별 고려사항

(1) 중간 절점부

① 2련 이상 암거의 중간 절점부는 <그림 408.44>를 따른다.

② 내공 폭이 큰 2련 이상 암거의 중앙 벽체는 축하중이 크므로 폐합 스터럽을 사용하는 것이 좋다.



Ⅰ 구간 : 0.002 b a 이상, 또한 지진시에 필요한 양의 1.2배 이상의 스트럽을 배치하는 것이 좋음
Ⅱ 구간 : 0.002 b a 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋음
Ⅲ 구간 : 0.0025 b a 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋음
Ⅳ 구간 : 0.0015 b a 이상의 띠철근을 배근하는 것이 좋음

여기서, b : 보의 폭 또는 기둥의 폭 (cm)
a : 스트럽 또는 띠철근의 간격 (cm)

<그림 408.44> 중간 절점부의 띠철근 배치

(2) 헌치 및 우각부 철근

① 헌치 안쪽에 연하여 배치하는 철근은 <그림 408.45>와 같이 한다. 헌치는 대부분 압축부에 위치하고 휨에 저항하는 철근이 아니므로 철근의 형상은 시공성을 감안하여 결정한다.

② 우각부 주철근이 구부러지는 전후에는 배력철근을 <그림 408.46>과 같이 배근한다.

(3) 사각부의 철근배근

사각부의 배근은 <그림 408.47>과 같이 측벽의 길이방향으로 사각부 이외의 단면과 동일한 간격으로 배근한다.

(4) 날개벽 배근상세

① 날개벽 부근의 배근은 <그림 408.48>과 같이 배근한다.

② 날개벽 전면의 철근은 일반적으로 D16-4EA면 충분하지만 전면에 인장응력을 받을 때는 필요 철근량 이상으로 배근한다.

③ 날개벽의 흙막이 부분의 배근은 <그림 408.49>와 같이 날개벽 상부와 같이하고 암거상부를 지나도록 배근 한다.

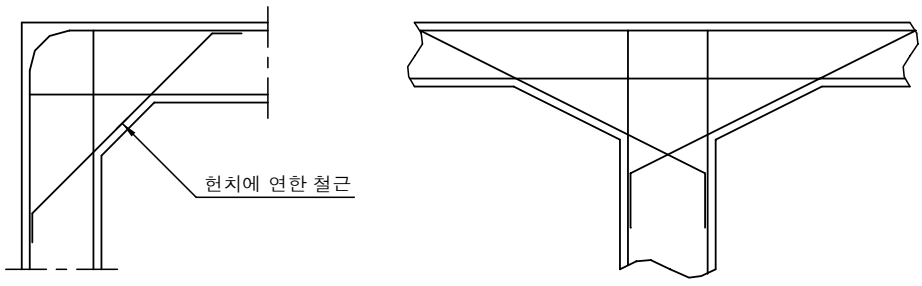
④ 암거 본체 측벽의 날개벽을 지지하는 부분은 날개벽으로부터 전달되는 휨모멘트에 저항할 수 있도록 설계한다.

(5) 개구부 주변의 보강

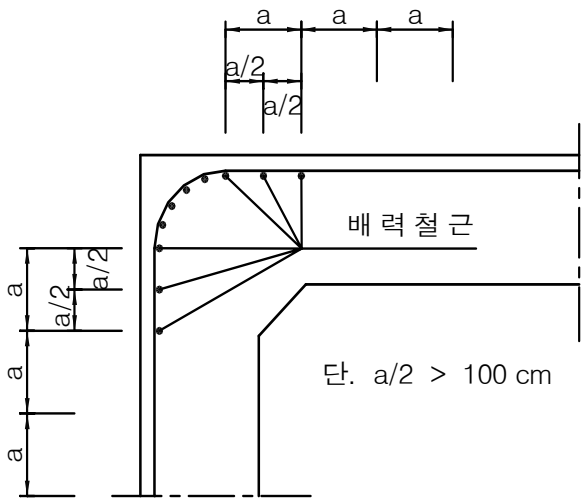
① 암거의 측벽부에 관로 등이 연결되어 소규모 개구부가 생길 경우 응력집중 등에 의한 균열에 대비하기 위하여 철근을 배치한다.<그림 408.50참조>

② 보강을 위해 배치하는 철근은 개구부를 두었기 때문에 배치할 수 없었던 주철근과 배력철근량 이상을 개구부 주변에 배치함과 동시에, 개구부의 모서리에 철근을 배치하여 확실히 정착시켜야 한다.

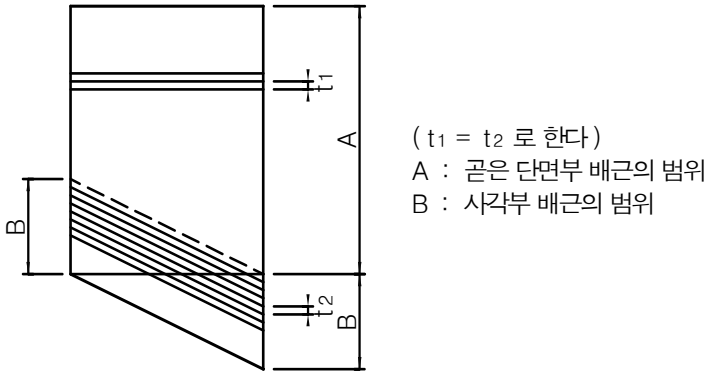
(6) 암거 내부로 중차량이 통과할 경우 외측벽의 정모멘트가 증가할 수 있으므로 외측 벽체의 내측 철근은 계산상 소요량 보다 다소 여유 있게 배근하는 것이 좋다.



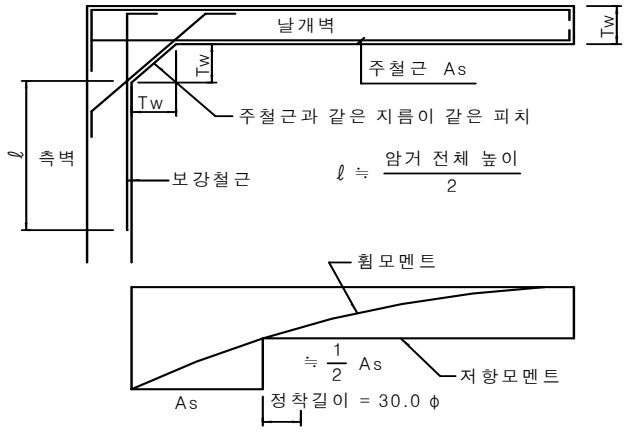
<그림 408.45> 헌치철근



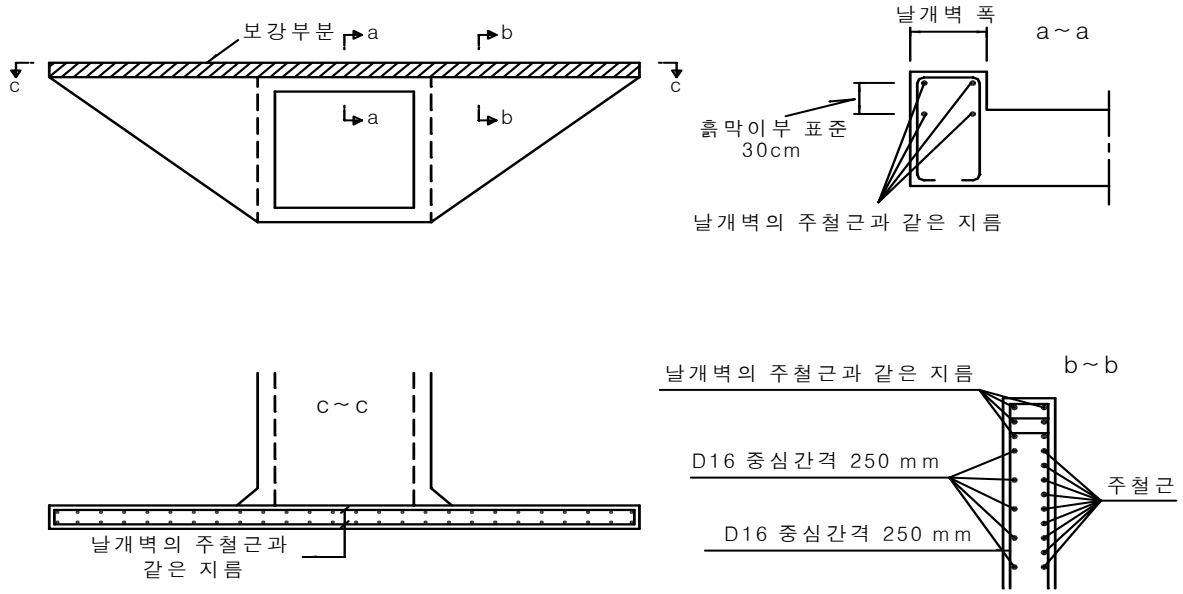
<그림 408.46> 우각부의 배력철근



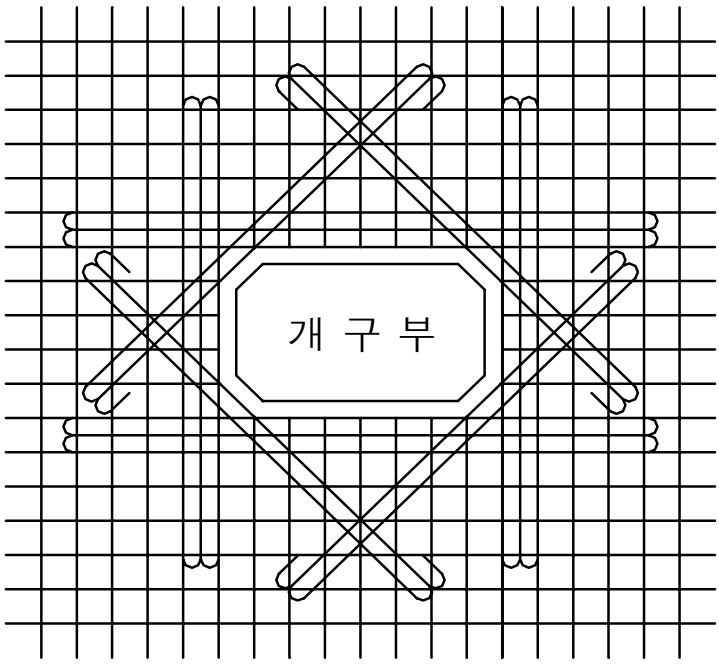
<그림 408.47> 사각부의 배근



<그림 408.48> 날개벽 부근의 배근방법



<그림 408.49> 날개벽 흙막이부의 배근방법



<그림 408.50> 개구부 주변의 보강

408.3 관형암거

3.1 적용범위

(1) 본 절의 내용은 원심력 철근콘크리트 관, 프리스트레스트 콘크리트 관 및 파형 암거의 설계에 적용한다.

(2) 본 절에 기술된 매설, 기초, 외압산정 등의 항은 무근 및 철근 콘크리트 관, 로울전압 철근콘크리트 관, 프리스트레스트 콘크리트 실린더 관의 설계에 적용할 수 있다.

3.2 철근 콘크리트 관형 암거

3.2.1 종 류

(1) KS 규격 콘크리트 관의 종류

① 무근 및 철근콘크리트 관 KS F 4401

② 로울전압 철근콘크리트 관 KS F 4402

③ 원심력 철근콘크리트 관 KS F 4403

④ 코어식 프리스트레스트 콘크리트관 KS F 4405

⑤ 프리스트레스트 콘크리트 실린더 관 KS F 4406

(2) 위 KS 규격 콘크리트 관형 암거 중 일반적으로 자주 사용되는 원심력 철근콘크리트 관과 프리스트레스트 콘크리트 관의 특징은 다음과 같다.

① 원심력 철근 콘크리트 관

가. 접합과정이 단순하여 시공성이 양호하나 프리스트레스트 콘크리트 관에 비하여 강도가 약하므로 비교적 토피가 작을 경우에 사용된다.

나. 이음 방법이 다양하여 이음구조를 적절히 선택하면 곡선 형태로 설치하거나 다소의 침하가 예상되는 장소에서도 사용할 수 있다.

② 프리스트레스 콘크리트 관

가. 시공성 및 강도가 모두 양호하여 큰 하중이 작용하는 곳에서도 사용할 수 있다.

나. 연약지반과 같이 관 부설 후 침하가 클 것으로 예상되는 장소에서의 사용은 피해야한다.

(3) 관 내부 압력 여부에 따라 보통관과 압력관으로 분류되나 압력관은 상수도 등과 같이 내압이 작용하는 경우에 적용되므로 보통관의 경우만 기술한다.

(4) 원심력 철근 콘크리트 관의 분류

① 관의 외압강도 크기에 따라 1종, 2종으로 구분

② 관의 모양과 접합 방법에 따라 A형, B형, C형, NC형으로 구분되며, NC형은 다른 접합 방식 보다 관의 두께가 다소 크다.

(5) 프리스트레스트 콘크리트 관의 분류

① 관의 외압강도 크기에 따라 1종, 2종, 3종, 4종, 5종으로 구분

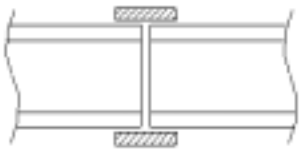
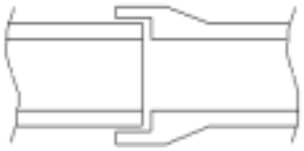
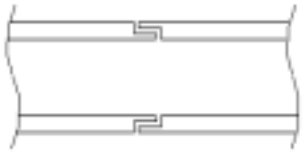
② 관의 모양과 접합 방법에 따라 S형, C형, T형으로 구분되며 S형은 다른 접합 방식 보다 관의 두께가 다소 작다.

(6) 관의 접합 방법별 특징은 <표 408.14>와 같다.

(7) 원심력 철근 콘크리트 관과 프리스트레스

트 콘크리트 관의 규정 외압강도는 <표 408.15>와 같다. (KS F 4403-1996, KS F 4405-1997 참조)

<표 408.14> 접합 방법별 특징

구분	이음종류		KS규격 관지름		이음 개요도	특 징
	철근 콘크리트	프리스트레스트 콘크리트	철근 콘크리트	프리스트레스트 콘크리트		
Ⅰ	A형	해당 없음	150㎜ ~ 1800㎜	해당 없음		· 비교적 급한 각도의 곡선 부설이 가능 · 부등침하에 약하다.
Ⅱ	B형	S형	150㎜ ~ 1350㎜	500㎜ ~ 2000㎜		· 접합이 쉽다. · 접합 길이가 길고 부등 침하시 이음부 유동성 좋음.
Ⅲ	C형	C형	1500㎜ ~ 3000㎜	900㎜ ~ 3000㎜		· 접합이 쉽다. · 접합 길이가 짧으므로 부등침하가 예상될 때 사용을 피한다.
Ⅳ	NC형	T형	1500㎜ ~ 3000㎜	1500㎜ ~ 3000㎜		· 접합이 쉽다. · Ⅲ보다 이음길이가 길고 접합부 밀착성이 좋다.

<표 408.15> 관형 암거의 외압강도 (단위 : kg/m)

관종류 / 관지름 (mm)	원심력 철근콘크리트관		프리스트레스 콘크리트관				
	1 종	2 종	1 종	2 종	3 종	4 종	5 종
150	2,400	1,700					
200	2,400	1,700					
250	2,400	1,700					
300	2,600	1,800					
350	2,800	2,000					
400	3,300	2,200					
450	3,700	2,400					
500	4,200	2,600	11,200	9,700	8,000	6,400	5,600
600	5,000	3,000	11,000	9,500	7,800	6,100	5,200
700	5,500	3,300	11,300	9,600	7,900	6,100	5,200
800	6,000	3,600	12,000	10,200	8,400	6,400	5,500
900	6,500	3,900	13,000	11,000	8,800	6,700	5,600
1,000	7,000	4,200	13,800	11,700	9,400	7,300	6,100
1,100	7,400	4,400	14,400	12,100	10,000	7,600	6,100
1,200	7,700	4,600	15,100	12,800	10,500	8,100	6,900
1,350	8,100	4,800	15,700	13,300	10,800	8,200	6,900
1,500	8,500	5,100	16,900	14,300	11,800	9,000	7,500
1,650	9,000	5,400	18,000	15,500	12,700	9,700	8,000
1,800	9,500	5,700	19,000	16,100	12,900	9,800	8,200
2,000	10,000	6,000	20,000	16,500	13,700	10,300	8,500
2,200	10,500	6,300	21,000	17,700	14,300	10,800	8,900
2,400	11,000	6,600	22,000	18,500	14,900	11,200	9,300
2,600	11,500	6,900	23,000	19,300	15,500	11,800	9,700
2,800	12,000	7,200	24,000	20,100	16,100	12,300	10,100
3,000	12,500	7,500	25,000	20,900	16,700	12,800	10,500

※ : 외압 강도는 관에 0.05mm의 균열이 생겼을 때의 총 하중을 관의 유효길이로 나눈 값이다. 즉 관의 단위 길이당 관의 폭에 작용하는 하중이다.

3.2.2 매설 상태 및 기초 형식

(1) 매설 상태

① 돌출형 매설

돌출형 매설은 <그림 408.51> (a)와 같이 관을 기존 지반 위 혹은 잘 다진 흙쌓기 지반상에 설치하고, 그 위에 흙쌓기를 하는 형식이다.

② 반구형 매설

가. 반구형 매설은 <그림 408.51> (b) 혹은 (c)와 같이 관을 기존 지반 혹은 잘 다진 흙쌓기 지반을 굴착한 후 관을 매설하고 되메우기를 하는 형식이다.

나. 토피두께가 두꺼울 경우 반구형으로 매설된 관에 작용하는 토압이 돌출형보다 작으므로 반구형의 매설이 설계상 유리하다.

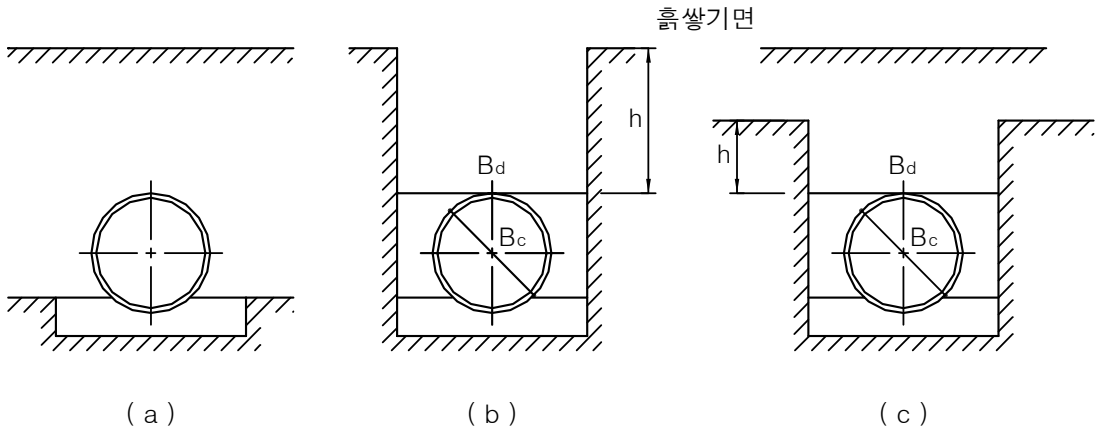
다. 다만 <그림 408.51> (b), (c)에서 $h < B_d$인 경우, $B_d \geq 2B_c$인 경우 혹은 굴착부 측면이 연약지반인 경우는 굴착 후 관을 매설하더라도 돌출형으로 보고 설계한다.

(2) 기초 형식

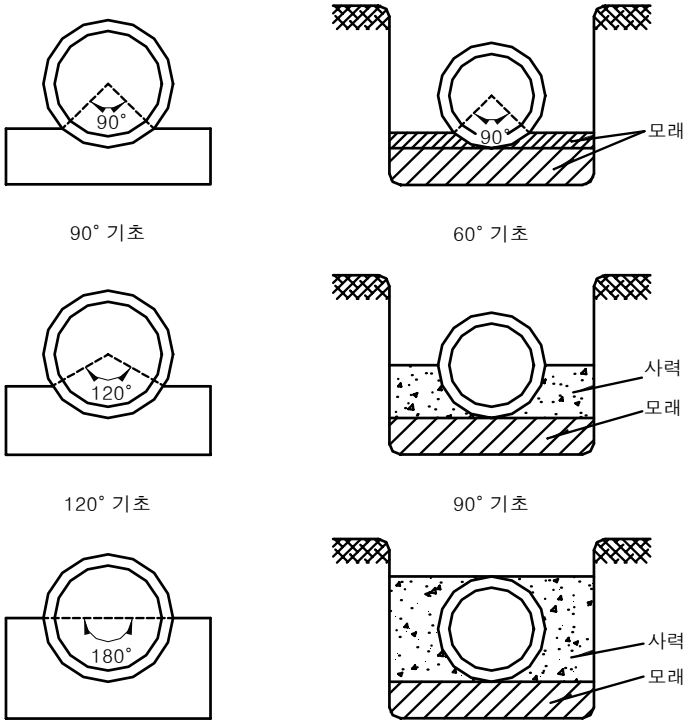
① 기초는 모래 또는 콘크리트로 하고, 기존 지반이 모래와 같은 양질의 재료일 때는 기존 지반을 잘 마무리하여 기초로 할 수 있다.

② 모래 기초 및 기존 지반일 때는 유효 지지각을 얻기 위해 시공은 그 이상의 각도가 되도록 하여야 하며 시공각과 유효각의 관계는 <그림 408.52>와 같다.

③ 관형 암거의 토피고가 1.0m 이하일 때는 국부적으로 작용하는 집중하중에 의해 발생하는 단면력에 대비하기 위해 <그림 408.53>과 같이 360°콘크리트 기초를 사용한다.



<그림 408.51> 관형 암거의 매설 상태



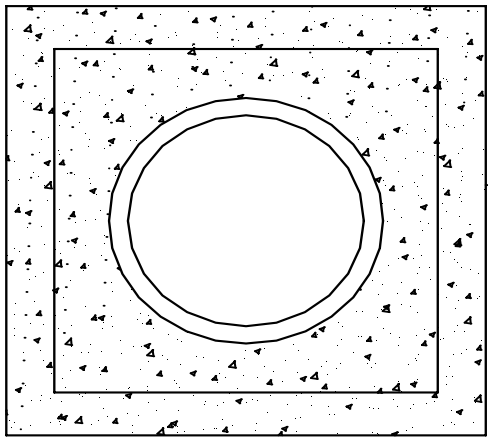
90° 기초 60° 기초

120° 기초 90° 기초

180° 기초 120° 기초

(a) 콘크리트 기초 (b) 모래 기초

<그림 408.52> 관 기초의 형식



<그림 408.53> 360°콘크리트 기초

3.2.3 관형 암거의 설계

(1) 작용 외압의 계산

① 활하중

$$P_{VL} = p_{v\ell} \times B_C \quad (408.26)$$

$$p_{v\ell} = \frac{2\ Pr\ (1+i)}{B\ W_1} \quad (408.27)$$

여기서, P_{VL} : 관 종방향 1.0m당 활하중 강도 (t/m)

$p_{v\ell}$: 단위 면적당 하중강도(t/㎡)

B_C : 관의 직경 (m)

W_1 : 활하중의 종방향 분포폭 (W_1 = 2H + 0.2) (m)

B : 차량의 점유 폭(B = 3.0) (m)

H : 토피두께(m)

i : 충격계수(충격계수 i의 값은 <표 408.9>의 값으로 함.)

P_r : 차륜하중

② 토피하중의 계산은 돌출형의 경우는 매스턴 공식, 반구형의 경우는 일반 토압공식을 사용한다.(<그림 408.54> 참조)

가. 돌출형의 경우 …… 매스턴 공식 적용

$$P_{VD} = C_P \cdot \gamma_t \cdot B_C^2 \quad (408.28)$$

- $H_e \geqq H$ 일 때

$$C_p = \frac{e^{2K\mu(H/Bc)} - 1}{2\ K\mu} \quad (408.29)$$

- $H_e < H$ 일 때

$$C_p = \frac{e^{2K\mu(H/Bc)} - 1}{2\ K\mu} + \frac{H - H_e}{B_c}\, e^{2K\mu(H_e/B_c)} \quad (408.30)$$

<그림 408.54> 매설 상태와 설계정수 관계

여기서, P_{VD} : 암거 상판의 종방향 1.0m 당 연직토압 (t/m)

C_P : 토압계수

γ_t : 흙의 단위체적중량 (t/㎥)

B_c : 암거의 폭 (m)

K : 랭킨의 토압계수

H : 흙피복 높이 (m)

μ : 암거 위의 흙과 양측 흙간의 마찰계수 ($\mu \fallingdotseq \tan \phi$)

H_e : 등침하면에서 암거 상단까지의 깊이(m)

이때 H_e는 아래의 식(408.31)에 의해 계산된다.

$$e^{2K\mu(H_e/B_c)} - 2K\mu(H_e/B_c) = 2K\mu\gamma_{sd}\alpha + 1 \quad (408.31)$$

여기서, α : 돌출비 (=h/Bc)

γ_{sd} : 침하비 (침하하지 않는 기초 1.00, 보통 흙과 모래 0.75, 침하성 흙 0.50 등)

나. 반구형의 경우 …… 일반 토압공식 적용

$$P_{VD} = \gamma_t \cdot H \cdot \frac{(B_c + B_d)}{2} \quad (408.32)$$

(2) 설계 계산은 균열 모멘트에 의해 검토하는 방법과 하중계수를 사용하는 방법이 있다.

① 균열 모멘트에 의해 검토하는 방법

가. 저항 모멘트는 식(408.33) 및 식(408.34)를 이용하여 계산한다.

$$M_r = 0.318 P_r \cdot r + 0.239 W \cdot r \quad (kg\text{-}m/m) \quad (408.33)$$

또는

$$M_r = 0.318 P_r \cdot r + 1.5 w \cdot r^2 \quad (kg\text{-}m/m) \quad (408.34)$$

여기서, M_r : 균열 저항모멘트 (kg-m/m)

P_r : 관의 외압강도 (kg/m)

r : 관의 중심반경

W : 단위 길이당 관의 중량 (kg/m)

w : 단위호 길이당 관의 중량 (kg/㎡)

나. 토압 및 활하중에 의해 발생하는 관 하면의 단위 길이당 만곡 모멘트는 다음 식으로 계산한다.

$$M = k \cdot (P_{VD} + P_{VL}) \cdot r \quad (kg\text{-}m/m) \quad (408.35)$$

여기서, M : 하중에 의해 관 저면에 발생하는 만곡 모멘트 (kg-m/m)

k : 베딩계수(<표 408.16> 참조)

P_{VD} : 연직 토압 하중강도

P_{VL} : 활하중강도

r : 관의 중심반경

다. 관종의 선정은 다음 식으로 한다.

$$M_r \geq F_S \cdot M \quad (408.36)$$

여기서, F_S : 안전율 1.25

② 하중계수를 이용하는 방법

$$P_r \geq F_S \cdot \left(\frac{P_{VL}}{1.5} + \frac{P_{VD}}{L_f} \right) \quad (408.37)$$

여기서, P_r : 관의 외압강도 (kg/m)

P_{VD} : 연직 토압 하중강도

P_{VL} : 활하중강도

F_S : 안전율 1.25

L_f : 하중계수 (<표 408.17> 참조)

<표 408.16> 기초형식에 따른 베딩계수(k)

기초형식	베딩각	k
모래 기초	60°	0.189
	90°	0.157
	120°	0.138
콘크리트 기초	90°	0.152
	120°	0.122
	180°	0.110

<표 408.17> 매설상태 및 기초형식에 따른 하중계수 (L_f)

H/B_c 혹은 H/B_d	돌 출 형		반 구 형	
	콘크리트 120°기초	모래 90°기초	콘크리트 120°기초	모래 90°기초
0.5	7.13	3.53	8.52	3.84
1.0	4.94	2.88	5.96	3.18
1.5	4.35	2.66	5.41	3.01
2.0	4.04	2.54	5.30	3.93
3.0	3.82	5.45	5.18	3.86
5.0	6.68	2.39	5.96	3.80
10.0	3.59	2.36	5.80	3.76
15.0	3.55	2.35	5.69	3.74

※ : 하중계수는 KS에 규정된 하중 조건 하에서 얻어진 관의 외압 강도와 가로 방향에서 지지 되고 있는 현장 조건에서의 외압 강도를 비교하기 위한 일종이 보정계수이다. 하중계수에 대해서 Spangler는 실험결과를 바탕으로 매설 상태 및 기초 형식에 따른 계산식을 제안하고 있고, <표 408.17>은 가장 일반적으로 사용되는 매설 및 기초 형식에 대하여 이 식을 적용하여 구한 값이다.

3.3 파형 강관

3.3.1 재 질

파형강관은 KS D 3506에 의한 열연용융아연 도금강판으로 만들고, 파형강판의 제조에 사용되는 재료는 KS D 3503(일반구조용 압연강재)에 의해 제작된 것을 사용하며, 성형후 용융아연도금하여 사용한다. 아래의 <표 408.18>은 파형강관의 재료적 특성을 나타낸다.

3.3.2 종 류

파형강관은 파형, 지름, 두께, 이음형식 등에 의하여 구분되며 다음의 <표 408.19>은 현재 국내에서 사용중인 파형강관의 종류 및 제원을 나타낸 것이다. 암거 종류의 선택에 있어서는 관 지름, 지반, 유수의 상태 등의 현장 조건과 경제성을 고려하여 선택을 하여야 한다. 파형강관의 대표적인 구성은 파형강관, 커플링 밴드 및 패드 등으로 이루어지며, 다음의 <그림 408.55>는 파형강관 원형 1S형의 구성을 보여준다.

3.3.3 파형강관의 구조설계

(1) 벽체에 작용하는 단면력 산정

① 설계하중의 산정

파형강관의 정점 위치에서 작용하는 설계하중(P_v)은 사하중과 활하중에 의해서 다음의 식 (408.38)과 식 (408.39)에 의해서 결정된다. 이때 설계하중은 토피고(H)와 암거의 직경(D)에 의해 다짐밀도에 따른 K값을 반영한다.(<그림 408.56>참조)

$$P_v = K \times (DL + P_{VL}) \quad : \quad H \geq D \text{ 인 경우} \tag{408.38}$$

$$P_v = DL + P_{VL} \quad : \quad H < D \text{ 인 경우} \tag{408.39}$$

여기서, P_v : 설계압(t/m^2)

K : 다짐밀도에 따른 하중계수

DL : 사하중에 의하여 강관 정점에 작용하는 압력 = $\gamma \times H$ (t/m^2)

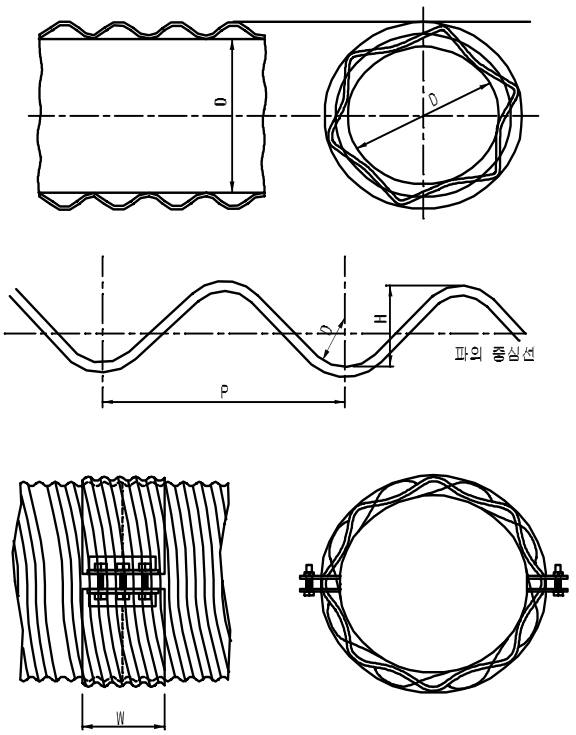
P_{VL} : 충격을 포함한 활하중에 의한 강관 정점에 작용하는 압력(t/m^2) (식(408.27)참조)

<표 408.18> 파형강관의 재질 특성

구분	기호	최소아연부착량 (양면기준)	기계적 성질		
			항복점	인장강도	연신율
파형강관	SG HC	600 g/m^2	206[N/mm^2] 이상	275[N/mm^2] 이상	-

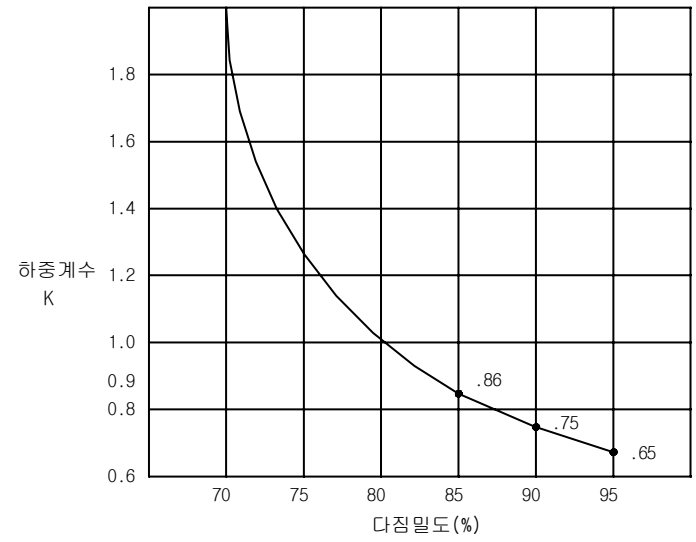
<표 408.19> 파형강관의 종류 및 제원

구분		기호	호칭지름 (mm)	강판두께(mm)	이음형식	개요
단면모양	파형					
원 형	1 형	SCP 1R	400 ~ 1,800	1.6, 2.0, 2.7, 3.2, 4.0	강판의 연결방식은 축방향플랜지방식, 원둘레 방향 랩 방식	원형은 표준형으로서 역학적 해석이 비교적 명확하고 안정된 형상이며, 조립시공도 다른 형상보다 쉬움
	1S 형	SCP 1RS	300 ~ 1,800	1.6, 2.0, 2.7, 3.2	나선방향을 커플링 밴드방식으로 연결	
	2 형	SCP 2R	1,500 ~ 15,000	2.7, 3.52, 4.0, 4.5, 5.3, 6.0, 7.0	강판의 연결방식은 축방향, 원둘레방향 모두 랩 방식	
	3S 형	SCP 3RS	900 ~ 2,400	1.6, 2.0, 2.7, 3.2	나선형강관을 커플링 밴드 방식으로 연결	
에롱게이션형	2 형	SCP 2E	1,500 ~ 4,500	2.7, 3.2, 4.0, 4.5, 5.3, 6.0, 7.0	강판의 연결방식은 축방향, 원둘레방향 모두 랩 방식	원형 2형의 지름을 연직방향으로 5% 증가시켜 내하력을 증진시킨 관으로 주로 성토고가 높거나 대구경관에 사용
관 아치형	2 형	SCP 2P	2,000 ~ 5,800			흙의 피복두께가 원형 2형의 최소 피복두께보다 적을 경우 사용됨
아치형	2 형	SCP 2A	1,500 ~ 7,000			파형강관 내부의 경간을 크게 할 경우에 사용되므로 도로하의 인도, 차도 및 수로 등에 적용



* 위에서부터 파형관의 형상, 단면모양/칫수, 커플링 밴드

<그림 408.55> 파형강관의 구성 (원형 1S형)



<그림 408.56> 다짐밀도에 따른 하중계수 K값 관계곡선

② 벽체의 압축력 계산

파형강관 및 강판구조물 정점부 위치에서 계산된 설계압(P_v)이 계산되면 압축링 이론에 따라서 벽체에 작용하는 압축력을 다음의 식 (408.40)과 같이 계산할 수 있다.

$$C = P_v \times \frac{D}{2} \qquad (408.40)$$

여기서, C : 파형강관 벽체의 압축력(t/m)
P_v : 설계하중(t/㎡)
D : 파형강관의 직경(m)

(2) 강판 두께 결정

① 벽체의 허용응력 검토

AISI에서는 벽체의 좌굴을 포함한 최대응력(f_b)상태를 설정하고 최대응력의 1/2를 허용응력(f_a)로 규정하고 있다. 벽체의 최대응력은 링의 유연도에 따라 ⓐ 압축파괴모드(유연도가 작을 때) : 암거가 항복응력에 도달하여 파괴되는 경우, ⓑ 링 좌굴에 의한 파괴모드 (유연도가 클 때), ⓒ 압축파괴와 좌굴의 상호작용에 의한 복합적인 파괴모드 (유연도가 중간정도일 때) 등으로 구분하고 있다.

$$f_a = \frac{1}{2} f_b \qquad (408.41)$$

뒷채움토의 다짐밀도가 AASHTO 표준다짐도의 85%이상일 때 항복응력 23,200[t/㎡]에 대하여 파형강관 및 강판구조물의 최대응력(f_b)은 식(408.42)～식(408.44)와 같다.

$$f_b = f_y = 23,200\ [t/m^2] \quad \frac{D}{r} < 294 \text{ 일 때} \qquad (408.42)$$

$$f_b = \frac{3.47 \times 10^9}{(\frac{D}{r})^2} \quad \frac{D}{r} > 500 \text{ 일 때} \qquad (408.43)$$

$$f_b = 28,122 - 0.057\left(\frac{D}{r}\right)^2 \quad 294 < \frac{D}{r} < 500 \text{ 일 때} \qquad (408.44)$$

여기서, $\frac{D}{r}$: 유연도, D : 암거의 직경,
r : 파형강관의 단면 2차 반경

② 두께 결정

허용응력이 결정되면 단위 길이당 암거의 필요 단면적을 식 (408.45)과 같이 계산할 수 있다. 이때 식 (408.45)에 의해서 암거 단면적이 결정되면 파형에 따라 강판두께별 단면 특성표로 부터 강판의 두께를 선정한다

$$A = \frac{C}{f_a} \qquad (408.45)$$

여기서, A : 암거의 단면적(㎡/m)
C : 벽체에 작용하는 압축력(t/m)
f_a : 암거의 허용응력(t/㎡)

(3) 강성 및 변위 검토

① 강성도 평가

암거의 설계두께는 식 (408.46)과 같은 유연도계수(FF)에 의해 제한된다. 이때 설치시 특별한 조치를 취하거나 경험에 의해 입증된 경우 외에는 유연도 계수는 파형강관 1S형인 경우, FF $\leq$0.242 (cm/kg), 파형강관 3S형인 경우 FF $\leq$0.185 (cm/kg) 되도록 한다.

$$FF = \frac{D^2}{EI} \qquad (408.46)$$

여기서, D : 파형강관의 직경(cm)
E : 강관의 탄성계수(kg/cm^2)
I : 강관의 단면2차모멘트(cm^4/cm)

② 변위량 검토

파형강관의 허용압축응력은 5% 변위를 기준으로 하며, 그 이상의 변위에서는 파형강관의 구조적 파괴가 발생한 것으로 본다. 그러므로 아래에 기술된 식 (408.47)의 수정 Iowa 공식으로부터 계산된 파형강관의 변위가 직경의 5% 이내가 되도록 하여야 한다.

$$\Delta X = \frac{D_L K W_c r^3}{EI + 0.061\, E' r^3} \qquad (408.47)$$

여기서, ΔX : 암거의 수평방향 변위 혹은 암거 직경의 변화 (in)
D_L : 시간에 따른 흙의 체적변화를 반영한 처짐지체계수
K : 베딩계수
W_c : 단위 길이당 암거 하중 (lb/in)
r : 암거 평균 반경 (in)
E : 암거 재료의 탄성계수(lb/in^2)
I : 암거의 관성모멘트($in^4/in = in^3$)
e : 암거 양단의 수동저항계수 ($lb/(in^2)(in)$)

(4) 설계방법상의 문제점

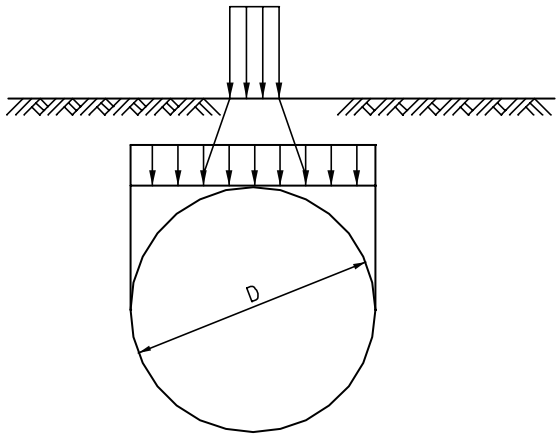
① 시공중의 단면강성

파형강관의 직경에 무관하게 일정한 하중이 작용하면 강관의 직경과 변위의 비가 작업성에 영향을 미친다. 따라서, 식 (408.46)의 유연도계수 산정식은 시공중 파형강관의 변위량에 따라 변화될 수 있다. 예로서, 변위의 절대값이 작업성과 관계가 되고, 작용하중(자중,매립토압 등)이 관의 직경에 비례한다고 고려하면 유연도계수 산정식은 다음과 같이 변화될 수 있다

$$FF = \frac{D^3}{EI} \quad 또는 \quad FF = \frac{D^4}{EI} \qquad (408.48)$$

② 상부토체의 두께가 강관 직경보다 작은 경우

상부토체의 두께가 강관 직경 보다 작은 경우에는 <그림 408.57>에 보듯이 파형강관의 상부에 작용하는 활하중의 분포폭이 강관의 직경



<그림 408.57> 활하중의 영향범위

보다 작게 된다. 현재 사용하고 있는 설계법에서는 강관의 직경 폭에 대하여 동일 하중강도의 등분포하중이 작용하는 것으로 되어 있어, 강관의 원주방향 압축력은 크게 되고, 곡률모멘트는 작게 된다. 따라서, 연결부 강도와 좌굴에 대하여는 안전측으로 계산되지만, 강관변위와 변위에 의한 좌굴에 대하여 항상 안전측으로 계산되지 않으므로 주의가 필요하다.

③ 설계시 사용하는 지반정수

설계시에는 다양한 지반정수가 사용되고 있지만, 매립재료별 지반정수의 시간경과에 따른 특성변화에 대한 검토가 필요하다.

3.3.4 수리계산

(1) 조도계수

파형강관의 조도계수는 <그림 408.58>과 같이 파형의 크기, 관의 단면형상 및 유속분포, 페이빙 유무 등에 따라 변하며, 여러 가지 제안식이 있으나, 파형강관의 설계시는 다음의 파형강관 종류별 n값을 표준으로 한다.

파형강관은 다른 암거에 비하여 조도계수가 매우 크므로 관내측에 일부 또는 전부를 피복재로 페이빙(paving)을 하면 조도계수를 감소시킬 수 있으며, 이 부분의 조도계수는 n=0.010～0.013(0.012)로 한다. 그러나 관상부측에 페이빙을 하면 떨어지기 쉬우므로 <그림 408.58>과 같이 상부의 1/2 또는 1/4만 하는 것이 좋으며, 이 때 원형관의 평균조도계수는 식 (408.49)와 같이 구한다.

◦ 파형강관 1형인 경우

n= 0.022～0.026(0.24)

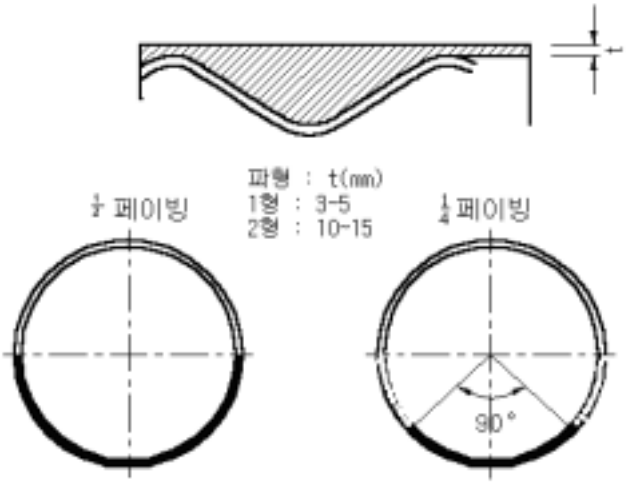
◦ 파형강관 2형인 경우

n= 0.030～0.035(0.033)

$$\bar{n} = \frac{n_1(\phi - \theta)n_2\theta}{\phi} \qquad (408.49)$$

여기서, $\bar{n}$: 평균조도계수

n_1 : 페이빙을 안한 부분의 조도계수



<그림 408.58> 조도계수 감소를 위한 페이빙

n_2 : 페이빙을 한 부분의 조도계수

ϕ : $2\cos^{-1}\frac{r-h}{r}$ (도)

h : 수심(m)

r : 관내측 반지름(m)

θ : 페이빙을 한 부분의 중심각(도)

(2) 유량계산

파형강관의 유량은 맨닝(manning)의 평균유속공식인 다음의 식 (408.50) 및 식 (408.51)을 이용하여 계산한다. 한편, 원형 2형의 파형강관의 경우는 호칭지름보다 50mm 적은 지름을 사용하여 유량을 계산한다. 지름이 D인 파형강관의 유수단면적, 윤변, 경심 및 수심(h)은 식 (408.52)~식 (408.55)와 같이 구한다. 또한, 만관일 때 평균유속 및 평균유량은 식 (408.56)~식 (408.58)과 같고 유량은 수심 h= 0.94D 일 때가 최고이다.

$$v=\frac{1}{n}R^{2/3}I^{1/2} \quad (408.50)$$

$$Q=vA \quad (408.51)$$

$$A=\frac{D^2}{8}(\varphi-\sin\varphi) \quad (408.52)$$

$$L=\frac{D}{2}\varphi \quad (408.53)$$

$$R=\frac{D}{4}(1-\frac{\sin\varphi}{\varphi}) \quad (408.54)$$

$$h=\frac{D}{2}(1-\cos\frac{\varphi}{2}) \quad (408.55)$$

$$v_0=\frac{1}{n}(\frac{D}{4})^{2/3}I^{1/2} \quad (408.56)$$

$$Q_0=\frac{\pi D^2}{4}v_0 \quad (408.57)$$

$$Q_{max}=11.07Q_0 \quad (408.58)$$

여기서, v : 평균유속(m/s)

I : 동수구배

R : 경심 = A/P(m)

n : 조도계수

L : 윤번(m)

A : 유수단면적(m^2)

Q : 유량(m^3/S)

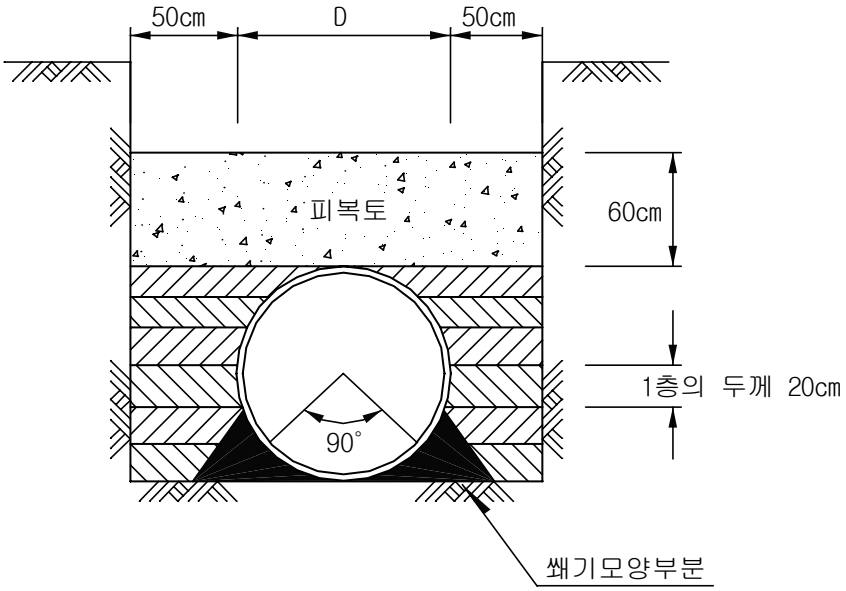
Φ : 관 중심과 유수면 양끝의 사이각(rad)

3.3.5 뒷채움

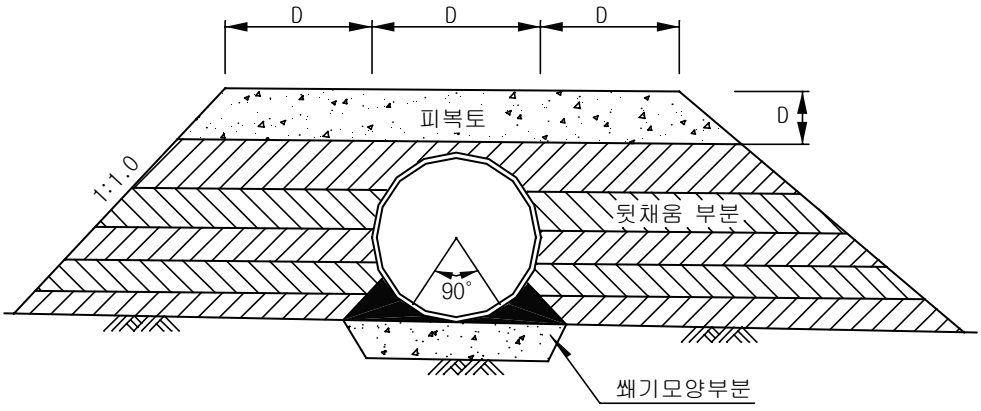
뒷채움에 사용하는 재료는 '토목공사 일반시방서 3장 토공'에 따르고, 점토, 실트, 동토, 초목 등 압축성이 큰 것을 함유해서는 안된다. 뒷채움 부분의 모양은 반구형 및 돌출형의 경우 각각 <그림 408.59> 및 <그림 408.60>과 같다. 뒷채움 시공 후 피복토의 두께는 반구형일 때 60cm, 돌출형일 때 D/5 또는 25cm 중 큰 값을 선택한다. 피복토로 사용하는 재료는 뒷채움 재료와 같은 재료를 쓰는 것이 바람직하다.

뒷채움부의 시공시에는 편토압이 걸리지 않도록 좌우의 높이를 가능한 같게 하여 20cm 두께로 충분히 다지면서 관정부까지 시공하여야 한다. 또한, <그림 408.59> 및 <그림 408.60>에 표시한 쐐기 모양의 부분은 다짐봉을 사용해 잘 다져야 한다.

파형 강관은 변형 성능이 좋아 연직 방향 토압에 의한 가로 방향의 변형이 측면 저항토압과의 균형을 이루어 지지된다. 따라서, 뒷채움재가 압축성이 높은 재료이거나 뒷채움부의 다짐이 불충분한 경우에 관의 변형이 커져 파괴에 이르는 수가 있다. 따라서 양측을 동시에 뒷채움하지 않았을 경우 관에 편토압이 생겨 파괴의 원인이 되므로 주의를 하여야 한다.



<그림 408.59> 반구형의 경우



<그림 408.60> 돌출형의 경우

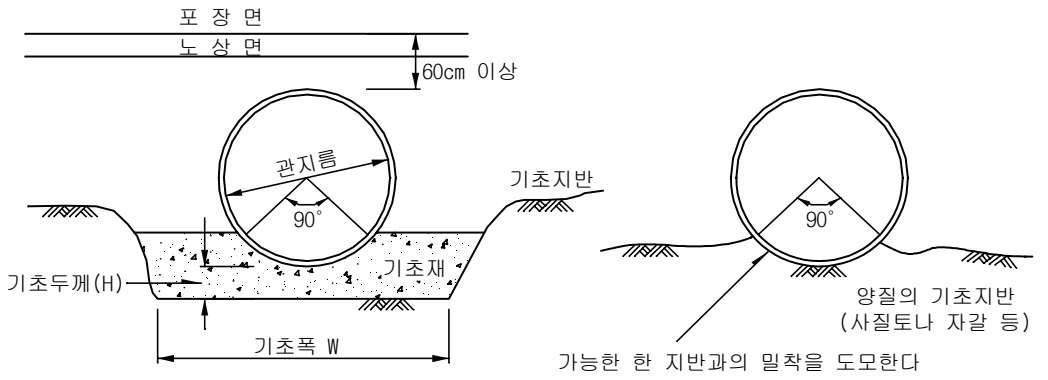
3.3.6 기 초

파형 강관의 특성을 살리기 위해 양질 재료(모래 또는 사질토)를 사용해서 기초를 시공한다. 기초의 형상은 지반 상태 및 관 지름에 따라 <표 408.20>과 같이 한다.

기초 지반이 양호한 경우(사질토나 자갈 등에는 <그림 408.61>과 같이 관의 1/4원주 이상이 완전히 기초지반에 지지되도록 설치한다.

파형 강관의 기초는 <표 408.20>과 같이 하면 되나 연약지반과 같이 기초지반 침하가 클 때는 허용 침하량 내에 들도록 설계를 하여야 하며, 일반적으로 파형 강관의 허용 침하량은 대개 아래 식 (408.59)의 범위에 들게 한다.

[허용침하량(흙쌓기량)]/[관 전체 길이] ≤ 1/100 (408.59)



<그림 408.61> 기초의 형상

<표 408.20> 기초의 형상

두께 및 폭	기초의 최소 두께(H)			기초 폭(W)
관 지름 / 지반 상황	900 mm 이하	900～2000 mm	2000 mm 이상	
보통 지반	20 cm	30 cm	0.2D	D～2D
암반 지반	20 cm	단, 흙쌓기 높이 5m를 넘을 때 1m 마다 4cm씩 증가시킨다.		1.5D
연약 지반	50cm	0.4D 또는 50cm 중 큰 쪽	0.3D(단, 최대 1m로 한다.)	2D～3D

409
연약지반

409.1 연약지반의 정의 및 판정

1.1 연약지반의 정의

연약지반이란 점토나 실트와 같은 미세한 입자의 흙이나 간극이 큰 유기질토, 또는 이탄토, 느슨한 모래 등으로 이루어진 토층으로 구성되어 있으며, 지하수위가 높고, 제체 및 구조물의 안정과 침하 문제를 발생시키는 지반을 말한다.

1.2 연약지반의 판정기준

일반적으로 지반의 강도를 판단할 때, 모래는 상대밀도로 표시하고, 점토는 굳기(consistency)로 표시한다. 연약지반의 판정기준은 <표 409.1>과 같다. <표 409.1>에 의하면 표준관입시험치 N치와 일축압축강도(q_u), 콘관입시험(q_c)에 의해 연약지반을 판단한다.

이외에 연약지반을 토층에 따라 판정하면 <표 409.2>와 같고, 구조물의 종류에 따른 연약지반 판정기준은 <표 409.3>과 같다.

1.3 연약지반에서의 설계 및 시공상 문제점

연약지반에서 도로나 제방, 댐, 터널 등 각종 공사가 있지만 이들 공사를 대별하면 흙쌓기나 구조물의 건축과 지반에 하중을 재하하는 공사와 개착, 터널굴착공사와 같이 하중을 제거하는 공사로 분류할 수 있다. <그림 409.1>은 연약지반상에서 흙쌓기와 굴착공사에서 발생할 수 있는 문제점과 이에 대한 대책을 정리한 것이며, 연약지반에 대한 구조물 종류별 설계 및 시공상에 발생하는 문제점은 <표 409.4>와 같다.

연약지반의 판정은 성토규모나 구조물 목적에 따라 상대적인 의미로 평가된다. 즉, 시공성, 지반의 활동파괴, 구조물 지지력 확보 여부, 장기적인 압밀침하 등에 대한 안정성 평가를 하여 불안정한 경우 연약지반으로 취급하여 대책을 강구하여야 한다.

<표 409.1> 연약지반의 판단기준

구분	점성토 및 유기질토		사질토지반
층두께	10m 미만	10m 이상	-
N 치	4 이하	6 이하	10 이하
$q_u(kg/cm^2)$	0.6 이하	1.0 이하	-
$q_c(kg/cm^2)$	8 이하	12 이하	40 이하

<표 409.2> 토질특성에 따른 연약지반 판정기준

지반 구분	토질 및 토질구분			토질정수			
				w_n(%)	e_o	q_u(t/m^2)	N치
이탄 지반	고 유기질토	이탄토	섬유질 고압축토	300 이상	75 이상	4이하	1이하
		흑니	분해가 진척된 고유기질토	300-200	7.5-5.0		
점토 지반	세립토	유기질토	소성도 A선이하의 유기질토	200-100	5.0-2.5	10이하	4이하
		화산회 질점토	소성도 A선이상의 화산회질 2차 퇴적 점성토				
		실트	소성도 A선이하, 다이러턴시가 큰 세립토	100-50	2.5-1.25		
		점토	소성도 A선이상 다이러턴시가 큰 세립토				
사질 지반	사질토	SM, SC	0.074mm체 통과량 15～20%	50-30	1.25-0.8	≒ 0	10이하
		SP-SC SW-SM	0.074mm체 통과량 15% 이하	30이하	0.8이하		

주) w_n : 자연함수비, e_o : 초기간극비, q_u : 일축압축강도, N 치: 표준관입시험치

소성도 A 선 : “402.2 지반조사와 시험” <표 402.2> 참조

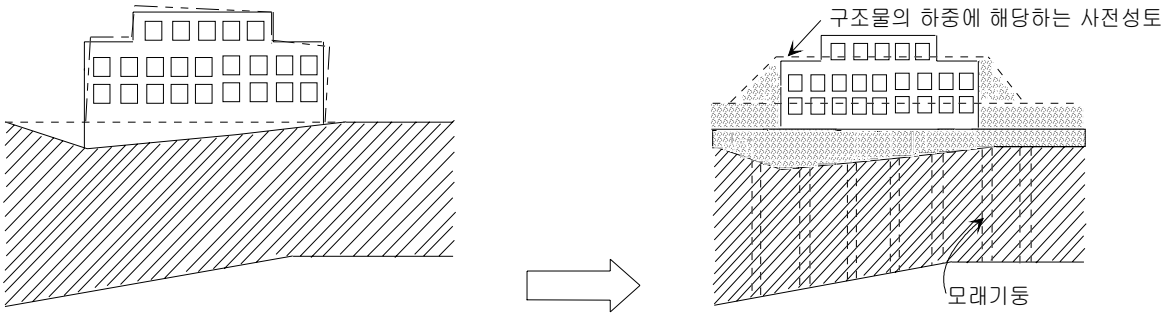
<표 409.3> 구조물 종류에 따른 연약지반 판정기준

구조물의 종류	지반상태							판정
	토질	층두께	N치	q_u (t/㎡)	q_c (t/㎡)	q_b (t/㎡)	함수비 (%)	
도로	-		2이하	2.5이하	12.5이하	-	-	초연약
			2-4	2.5-5	12.5-25	-	-	연 약
			4-8	5-10	25-50	-	-	보 통
고속도로	이탄층	-	4이하	5이하	-	-	-	연약지반
	점성토	-	4이하	5이하	-	-	-	
	사질토	-	10이하	-	-	-	-	
철도	-		2이하	0	-	-	100이상	연약지반
			5이하	2이하	-	-	50이상	
			10이상	4이하	-	-	30이상	
			3이상	30이상	-	-		지지층
고속철도	-		2이하	-	20이하	-		정밀조사필요
			2-5	-	25-50	-		연약층이 두꺼우면 추가조사필요
			5이상	-	50이상	10이하		연약지반 아님
건 축	-		10이하	-	-	-		연약지반
휠 댐	-		20이하	-	-	-		연약지반

q_u : 일축압축강도, q_c : 콘관입 지지력, q_b : 장기 허용지내력

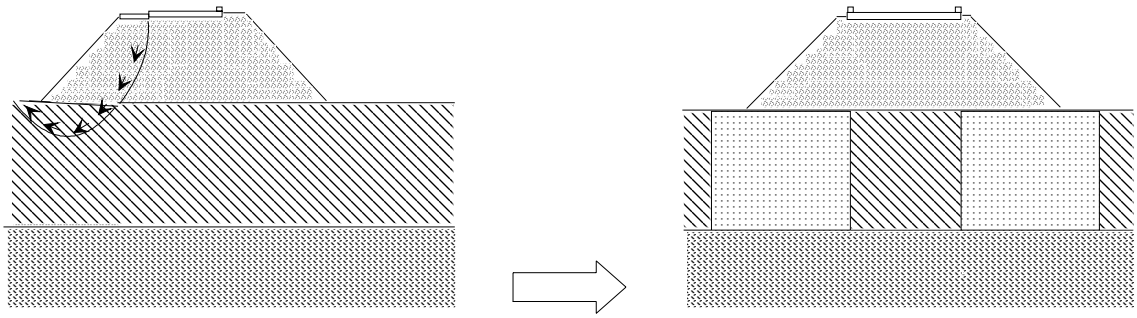
<표 409.4> 구조물별 설계 및 시공상의 문제점

종 류			주요 역할	발생가능한 문제
재하	흙쌓기 구조물	도로흙쌓기, 철도흙쌓기	교통 하중지지	• 지지력 부족 • 침하(부등침하) • 비탈면안정
		조성 지반	건물, 시설지지	
		하천제방, 해안제방 조절지 제방	저수, 제방	• 우수(누수) • 비탈면안정 • 침하
		휠댐(Fill-Dam)	저수	
	기 초 구조물	교각, 교대, 수문, 지상탱크건물, 기타시설	수직 및 수평 하중지지	• 연직, 수평 지지력 • 침하 • 수평변위 경사 • 액상화 및 지진문제
		옹벽, 방파제,안벽	토압 및 수압 등의 하중지지	
굴착	깎 기 구조물	도로 및 철도 땅깎기	교통하중 지지	• 비탈면 안정 • 주변 지반 침하
		깎기에 의한 조성지반	건물, 시공지지	
		수로 하천	수로 단면 보호	
	지 하 구조물	지하탱크, 하수시설, 지하시설	공간 확보	• 부등침하 • 구조물 각부분의 변위 • 지표침하
		각종 파이프 라인(Pipe-Line)		
		암거, 통관		
		사이펀(Syphon), 지하 터널		



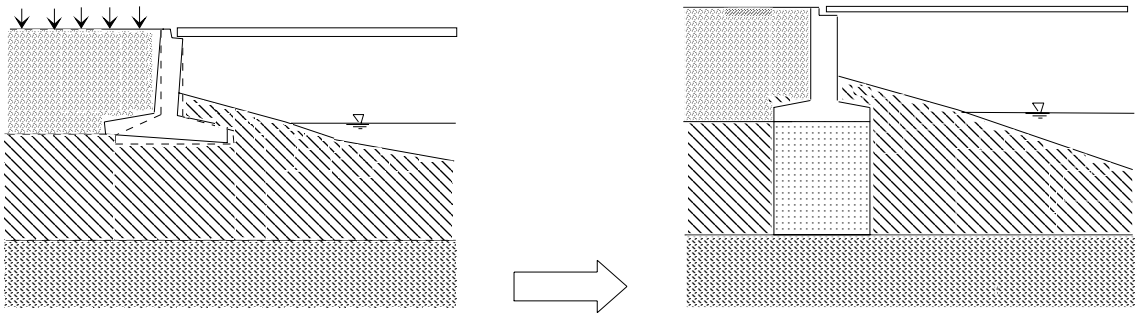
침하에 의한 건물의 경사 및 매설관 등의 손상 프리로딩 및 샌드컴팩션에 의한 압밀 침하 완료

(a) 침하의 방지(압축성 개선)



기초지반의 전단강도 부족에 의한 파괴 발생 혼합처리 등에 의한 연약지반 전단강도 향상

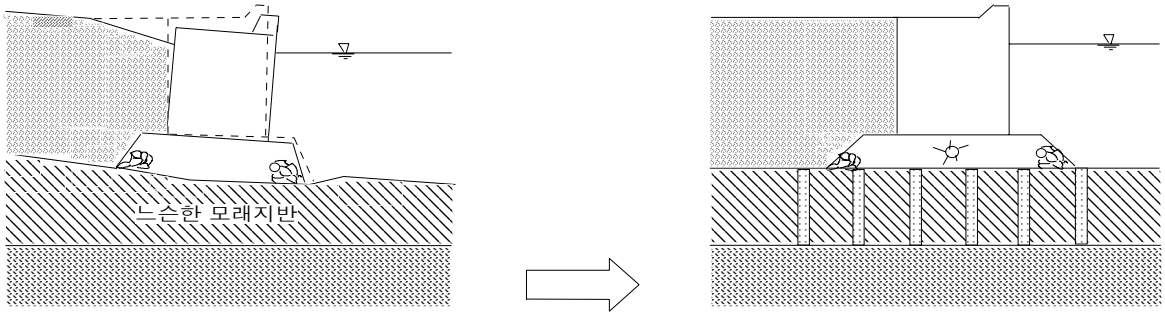
(b) 흙쌓기파괴 방지(전단특성 개선)



기초 저면지반의 지지력 부족에 의한 경사(변위) 혼합 처리 등에 의한 연약지반 전단강도 향상

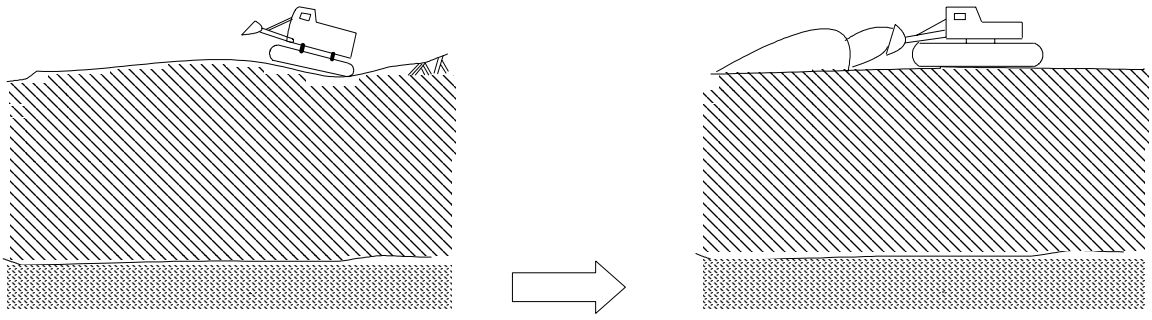
(c) 구조물 변위방지(전단특성 개선)

<그림 409.1> 연약지반에서의 흙쌓기, 굴착시 발생할 수 있는 문제점과 대책(계속)



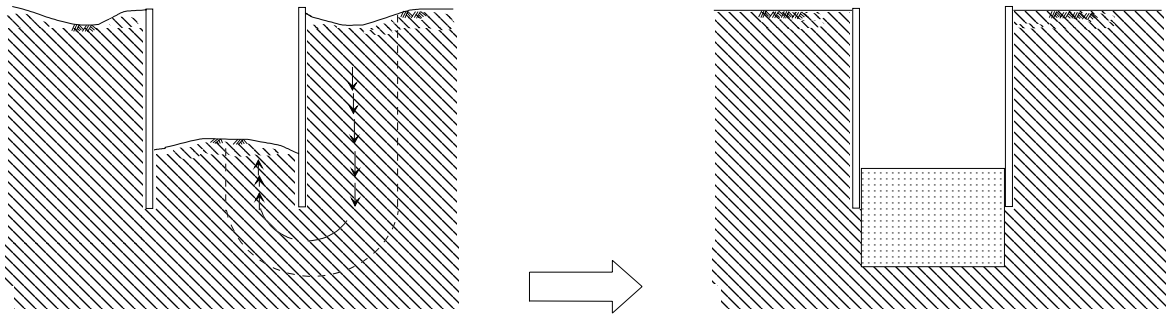
기초지반의 액상화에 의한 침하나 경사 발생 모래다짐말뚝에 의한 느슨한 모래지반 전단강도 향상

(d) 지반의 액상화 방지(동적특성 개선)



공사용 장비 작업성, 주행성 미확보 표층피복처리공법에 의한 작업성, 주행성 확보

(e) 공사용 장비의 작업성, 주행성 확보



기초 터파기로 인한 굴착 저면의 히빙발생 혼합처리에 의한 점착력 증대

(f) 굴착 저면의 히빙 방지

<그림 409.1> 연약지반에서의 흙쌓기, 굴착시 발생할 수 있는 문제점과 대책

409.2 연약지반의 조사 및 시험

2.1 개요

2.1.1 개요

지반조사는 공사가 계획되어 있는 구조물의 기초와 비탈면의 안정, 지하 터파기 등의 설계 및 시공이 안전하고 경제적으로 이루어지도록 하는데 필요한 정보를 얻을 목적으로 시행된다. 그러나 각종 구조물은 이들의 종류, 규모, 기능 및 중요성 등에 따라 필요로 하는 지반에 관한 정보가 다르며, 더욱이 지형과 지장물 및 토질 등의 입지조건이 복잡하므로 지반 조사 계획의 수립에 있어서는 각 공사의 목적 및 내용을 잘 이해하고 사전에 각종 조사방법의 특징을 파악하여야 한다.

지반조사는 크게 자료조사, 현장답사, 예비조사 및 본조사 등으로 나누어 시행함을 원칙으로 하고, 시험방법은 한국산업규격(KS) 및 건설교통부 발행 기술지도서에 의거 실시하되 필요한 경우에는 외국의 기준을 적용할 수 있다.

2.1.2 조사 및 분석계획 방향

현장에서 시추조사 및 현장시험을 통하여 흙의 물리적 특성, 역학적 특성을 분석하여, 지반의 거동상태 및 지반파괴를 예측한다. 도로 설계에 필요한 정보는 <그림 409.2>와 같은 순서로 검토한다.

2.1.3 시험의 중요성

각종 구조물은 지반위에 건설되므로 시험항목을 설치 지점 주변의 지반조건과 구조물의 종류, 사용목적, 공기 및 공비 등의 설계조건을 감안하여 결정한다. 즉, 지반을 국부적으로 또는 광역적으로 파악하기 위하여 토질조사와 토질시험을 실시한다. <표 409.5>는 지반공학적인 측면에서 특히 세밀한 토질조사 및 토질시험을 필요로 하는 지반을 나타내고 있다.

2.1.4 지반조사에 관련하여 발생할 수 있는 문제점

연약지반은 건설공사를 하기 전에 기술자가 대상지반의 지형, 지질현황, 지반현황 및 현장현황 등을 파악해야 한다. 이러한 정보들은 주로 기존의 자료를 수집하거나 현장답사 및 시험에 의해서 얻어지며, 공사의 목적, 구조물의 규모, 공기, 경제성 등과 밀접한 관계를 갖는다.

<표 409.6>은 지반조건에 따라 시공 중 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 나타내고 있다. 설계시점이나 시공단계 중 예상치 못했던 문제가 발생하는 것에 대비하여 정보화 시공에 의한 안전관리나 품질관리 등을 행하고 필요에 따라서 별도의 대책을 시행해야 한다.

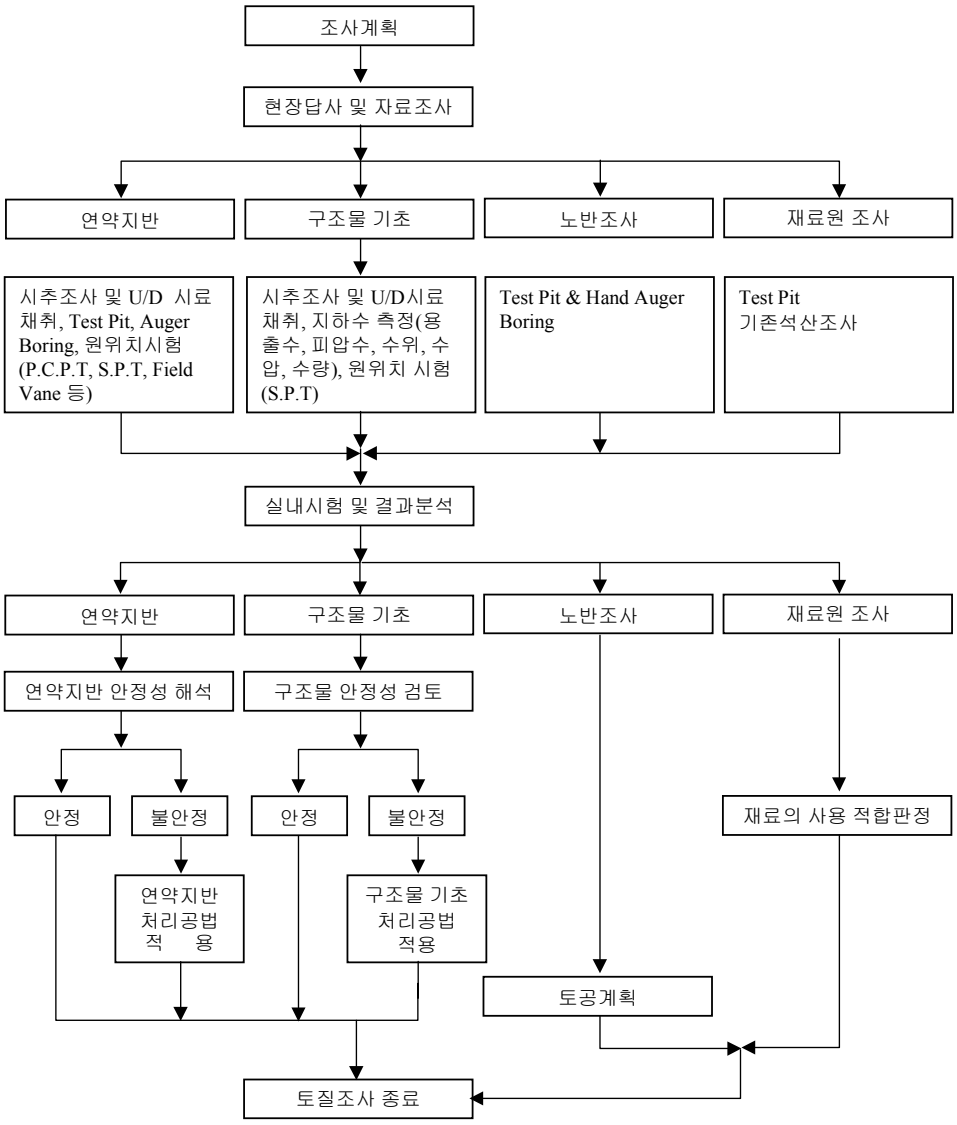
2.1.5 지반조사의 항목

토목구조물의 안정성과 기능은 적절한 기초처리에 달려 있으므로 어떠한 구조물의 설계 및 시공에 있어서 가장 중요한 기본적인 요소는 기초 지반, 즉 흙의 본질을 정확하게 파악하여 이들의 공학적 특성을 조사하는 것이다.

지반공학적 안정과 관련한 지반조사 항목과 이를 구하기 위한 적정 시험법, 연약지반 개량공법시 시행하는 시험종류는 <표 409.7>과 <표 409.8>과 같다.

<표 409.5> 세부토질조사 및 토질시험을 필요로 하는 지반

○ 활동지역에서 설계상 예상하기 어려운 하중이 작용할 염려가 있는 곳 ○ 연약지반상에서 한쪽으로만 흙쌓기가 실시되어 편응력이 생길 때 ○ 지반침하지대에서 지지말뚝에 큰 부마찰력이 작용할 때 ○ 연약층 하부에 피압 대수층이 있을 때 ○ 활동단층 지대인 곳 ○ 경연의 불균질한 지반이 교층으로 되어 있을 때



<그림 409.2> 조사 및 분석계획 순서

<표 409.6> 지반조건에 따라 발생할 수 있는 문제

지 반 조 건		예상되는 문제점
주요요인	고려해야 할 항목	
토층 구성	· 각 토층의 분포상황 · 지지층의 심도, 지반표면의 경사 · 연약층의 두께 · 배수층의 유무 · 모래층의 존재	· 복잡한 토층 구성의 경우, 활동이 발생하거나 침하의 증가가 생긴다. · 시공중 지반표면에 따른 활동이 끝난 후, 구조물의 침하나 파손의 영향, 개량심도 등에 영향을 미친다. · 연약층이 두꺼운 경우에는 지반개량이 어렵고, 2차 압밀에 의한 침하 등의 영향이 있다. · 중간 모래층이나 불투수층에 의해서 압밀 속도가 커지는 영향을 받는다. · 중간층이나 표층부근에 견고한 모래층이 존재하는 경우에는 지반개량이 어렵게 되는 경우가 있다.
토층 성상	· 각 토층의 물리적 성질 · 각 토층의 강도, 변형특성 · 각 토층의 압밀특성, 압축지수, 체적압축계수, 압밀계수, 압밀항복응력비	· 조사시의 지반조건이 다른 경우 예상외의 침하와 변형이 발생한다. · 각 토층의 불규칙성 또는 불균일성 등에 의한 적정한 지반평가를 할 수 없는 경우가 일어날 수 있고 활동파괴가 생길 수 있다. · 시료 교란에 의한 강도 저하의 평가가 서로 다른 경우에는 활동의 안전율이 달라질 수 있다. · 실내와 현장 조건 차이에 의한 압밀속도 또는 전 침하량이 실제의 침하현상과 다른 경우가 있다. · 각 토층내에서의 불균질성 등에 의한 적정한 토질평가를 할 수 없는 경우에는 과대침하 혹은 빠른 시간에 침하가 발생할 수 있다. · 2차압밀 등에 의한 장기 변형이나 잔류침하 등의 적정한 평가를 할 수 없는 경우에는 구조물의 유지관리상의 문제가 생길 수 있다.
지하 수위	· 피압수의 존재 · 양수에 의한 광범위한 지반침하 · 모래층의 투수성과 유속	· 지하수위의 급상승이나 지하수위 변동 등에 의한 광역 지반침하가 일어나는 곳은 침하를 고려하여 대책의 효과를 검토할 필요가 있다. · 투수층의 유속이 크고, 지반개량 효과가 없는 경우도 있다.

<표 409.7> 지반 공학적 문제점과 지반조사 시험법

	문 제 점	지반정수	지반조사 시험법
점성토	· 지지력 · 활동파괴	· 전단강도(점착력)	· 콘, 베인, 일축압축시험 · 삼축압축시험
	· 압밀침하	· 압밀곡선(e-log P) · 압밀계수, 배수층 · 과잉간극수압	· 간극수압 측정 · 압밀시험
	· 장기압밀	· 2차 압밀계수	· 장기압밀시험
	· 인접 지반 변형	· 변형계수, 초기토압 · 지하수위	· 공내수평재하시험 · 밀도측정, 삼축압축시험 · 지하수위 측정
	· 지중 작용 토압	· 초기토압, 주동, 수동토압	· 밀도측정 · 일축압축시험, 삼축압축시험
	· 기초말뚝의 수평저항력	· 변형계수	· 공내 수평재하시험
	· 반복하중에 의한 침하	· 동적하중 압밀특성	· 동적 삼축압축시험
	· 융기	· 피압수압, 습윤밀도 · 전단강도	· 피압대수층의 일축압축시험 · 수압측정
	· 지진시의 지반 변형	· 동적전단변형특성	· PS검층, 동적시험, 공진주시험 (또는 삼축비틀림)변형시험
사질토	· 지지력	· 전단강도(내부 마찰각)	· N치, 삼축압축시험
	· 압축 침하	· 변형계수	· 공내재하시험, N치
	· 지중 작용 토압	· 초기지압, · 주동 · 수동토압	· N치
	· 기초말뚝의 수평저항력	· 변형 계수	· 공내 수평재하 시험
	· 파이핑	· 수압, 간극비, 투수계수	· 투수시험, 입도분석
	· 지진시의 액상화	· 지하수위, 다짐비율 · 입도구성, 액상화저항력	· 지하수위측정, N치, 입도분석, 교란되지 않은 시료의 동적 시험

<표 409.8> 설계에 이용되는 지반조사 및 시험종류

연약지반 개량공법의 종류	대표적 적용 토질	원위치 시험					물리적 시험						역학적 시험								
		N치	콘관입	베인전단	공내수평재하	단공식투수시험	함수비	단위중량	입도분석	액소성한계	습윤밀도	유기물함유량	일축압축	압밀	삼축압축UU	삼축압축CU	삼축압축$\overline{C}\overline{U}$	삼축압축CD	동적삼축	배합시험	CBR시험
표층처리공법	점성토		○	△	△		○	○	○	○	○	○	○	○	△				△		
치환공법	점성토	○		△			○	○	○	○	○	○	○	○	△	△					
압성토공법	점성토		○	△			○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△				
재하공법	점성토		○	△	△		○	○	○	○	○	○	○	○							
진공압밀공법	점성토		○	△	△		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○				
배수공법	점성토		○	△			○	○	○	○	○	○	○	○							
지하수위 저하공법	점성토		○				○	○	○	○	○	○	○	○							
	사질토	○			△	○	○	○	○										△		
생석회공법	점성토		○	△	△		○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△				
다짐모래 말뚝공법	점성토		○	△			○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△				
	사질토	○			△	△	○	○	○		△								△		
동압밀공법	점성토	○			○	△	○	○	○		△	○							△		
	사질토		○	△	○		○	○	○	○	○					△					
고결공법	점성토		○	△			○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△			○	
	사질토	○			△	△	○	○	○		△	△						△	△	○	
하중경감공법	점성토		○	△			○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△				
흙쌓기보강공법	점성토						○	○	○									△		○	○
	사질토						○	○	○						△			△		○	○
구조물에 의한 공법 (말뚝기초)	점성토	○	△		○	○	○	○	○										△		
	사질토	○	△		○		○	○	○				○	○	△						
완속재하공법	점성토		○	△			○	○	○	○	○		○	○	△	○	△				

○ : 일반적으로 수행하는 시험법

△ : 경우에 따라 시행하는 시험법

2.2 현장조사

현장조사는 시추조사, 오거보링(auger boring) 및 시험굴 등으로 나누어 생각할 수 있으며, 그 내용 및 조사빈도는 <표 409.9>와 같다.

여기서, 시추조사는 회전식 NX 혹은 BX 규격의 시추기로 실시하며, 시추조사중 연약층이 발견되면 신월튜브(thin wall tube)를 사용하여 실내시험용 불교란 시료를 채취한다. 핸드오거보링(hand auger boring)은 심도가 낮게 예상되는 연약지반에서 실시하거나 혹은 시추조사 사이에서 실시하며 시추조사의 보조자료로 이용한다. 그리고 시험굴은 땅깎기부의 노반특성을 파악하기 위하여 실시하며, 각 구간에서 대표되는 지점을 선정하여 지표면에서부터 1.0~2.0m 깊이에서 채취된 시료는 다짐시험 및 실내 CBR 시험을 이용한다.

2.3 현장시험

일반적으로 현장에서 가장 널리 이용되어지고 있는 현장시험으로는 시추조사와 병행하여 실시하는 표준관입시험(SPT)이 있으며, 점성토의 비배수 전단강도 및 지지력과 주행성을 현장에서 직접 측정할 수 있는 베인 시험 및 콘관입시험(CPT, PCPT) 등이 있다. 이들에 대한 내용은 <표 409.10>과 같다.

2.4 실내토질시험

현장조사시 시험굴(test pit), 핸드오거보링 및 시추조사에서 채취된 불교란 시료로부터 토질의 물리적 특성 및 역학적 특성을 규명하여 연약지반 설계에 반영할 수 있는 자료를 제공하기 위하여 최소한 다음과 같은 물리시험 및 역학시험을 실시하여야 한다.

① 물리시험

흙의 함수량 시험	: KSF 2306
비중시험	: KSF 2308
액성한계	: KSF 2303
소성한계	: KSF 2304
입도분석	: KSF 2309, KSF 2302

② 역학시험

삼축압축시험	: KSF 2346
직접전단시험	: KSF 2343
압밀시험	: KSF 2316
일축압축시험	: KSF 2314

2.5 시험결과 이용방안

연약지반에 대한 실내시험은 보오링 및 원위치시험 과정에서 채취된 교란시료와 불교란 시료에 대하여 실시되며, 실내시험은 크게 물리시험과 역학시험으로 대별된다. 실내시험은 설계, 시공 및 유지관리 기초자료로서 정확성이 요구되며 각종 시험의 종류 및 시험결과의 이용방안은 <표 409.11>과 같다.

<표 409.9> 현장조사 계획

조사자료	실시내용	비 고
시추조사	· 연약지반 구간 및 신설 구조물 · 연약지반에서의 조사간격 : 1공/100m · 신설구조물 및 신설교량에서의 조사 · 땅깎기부 및 석산	
자연시료	· 연약지반 시추조사에서 심도 2~3m마다, 층이 바뀔때마다 · 연약층이 균일하거나 분포의 두께가 얇은 경우는 공당 2개	
핸드오거	· 성토부에서 100~250m 당 1개소 · 연약층이 두꺼운 경우는 불가능	
시험굴	· 땅깎기부의 대표지점 혹은 1km당 1개소	
재료원 조사	· 대표적인 지점 혹은 기본조사시 선정지점 · 하상골재 · 석 산 · 토 취 장	필요한 개소

<표 409.10> 현장시험 계획

시험구분	실시내용
표준관입시험	· 시추조사시 매 1.5m마다 또는 토층이 바뀔 때마다 실시하여 동일층이 계속될 때는 전문기술자의 판단에 따라 시험간격을 증가 혹은 감소시킴. · KSF 2318에 의거 연속성 있게 실시
베인 시험	· 핸드 오거 보링과 병행하여 실시하며, 상부연약층의 비배수 전단강도(C_u)를 측정하기 위하여 실시 · 연약지반에서 100~250m 간격 · 상부연약층(최대 5.0m 까지)의 전단강도 측정 · 측정심도는 연약층 전체 또는 시료채취위치
콘관입시험 (CPT, PCPT)	· 연약한 표층의 지지력 특성 및 주행성 예측을 위하여 연약 지반에서 실시 · 연약지반에서 100~250m당 1회 · 연약지반 표층의 지지력 및 강도, 간극수압 파악 · 필요시 소산시험 실시

<표 409.11> 각종 시험방법과 시험결과 이용방안

구 분	시험항목	시험값	시료의 상태	결과이용
흙의 물리적 시험	비중시험	비중	교란시료	흙의 기본적 성질 (간극비, 포화도)의 계산
	함수량시험	함수비	함수량이 변하지 않은 시료	흙의 기본적 성질
	입도시험	입경가적곡선 유효경 균등계수 곡률계수	교란시료	입도에 따른 흙의 분류
	컨시스턴시 시험	액성한계 유동지수 소성한계 액성지수 수축한계 선 수 축 체적변화	교란시료	컨시스턴시에 의한 흙의 분류 흙의 공학적 성질 측정 토공재료로서의 적정성 및 동상 판정
	0.074mm체 통과량 시험 밀도 시험	입도 백분율 습윤 밀도 건조 밀도	교란시료 교란시료 불교란시료	토질안정처리 효과판정 흙의 기본적 성질 계산 지반의 다짐도 판정
흙의 역학적 시험	투수시험 (정수위 및 변수위)	포화토의 투수계수	포화상태의 흙	침투, 투수성에 대한 설계 및 계산
	압밀시험	간극비-하중곡선 체적변화계수 선행압밀응력 시간-압밀도 곡선 압밀계수 1차 압밀비 투수계수	불교란 시료	점성토의 침하량 계산 점성토의 침하속도 및 압밀도 계산
	직접전단시험	전단저항각 점착력	교란시료 불교란 시료	기초, 비탈면 및 옹벽의 안정계산
	일축압축시험	일축압축강도 점착력 예민비 응력-변형 관계	교란시료 (점성토) 불교란시료	기초, 비탈면 및 옹벽의 안정계산
	삼축압축시험	압축강도 전단 저항각 점착력 응력-변형관계 간극수압	불교란시료 교란시료	기초, 비탈면 및 옹벽의 안정계산
흙의 지지력 특성 시험	다짐시험	함수비-밀도곡선 최대건조밀도 최적함수비 상대밀도	교란시료 (사질토)	노반 및 흙쌓기의 시공방법결정 시공관리
	CBR 시험	설계 CBR 수정 CBR	교란시료 불교란시료	포장두께 설계 노반의 설계
	베인시험	전단강도	불교란시료	기초안정계산
	콘관입시험	콘지수, 간극수압	불교란시료	기초안정계산

2.6 설계정수 결정

교란 시료로 행해지는 실내토질시험은 시험자의 숙련도로 인한 개인 오차가 심하므로 각 개인별 시험결과를 반드시 기존의 일반적인 시험결과와 비교, 검토하여야 한다. 흙의 토질 정수들은 그 흙을 공학적으로 분류하는데 직접적으로 사용될 뿐 아니라, 유효 상재하중을 산정하거나 흙의 거동을 개략적으로 판단하는데 중요하게 사용된다.

토질 기술자로서 실제 설계를 하는데 있어 자체적인 시험결과만을 맹신해서는 안되며, 이들 자료들을 통해 자신의 시험결과를 검토해 보아야 한다. 또한, 흙의 토질 정수와 역학적 특성간의 관계를 통하여 사전에 지반 거동을 개략적으로 예측하여 부가적인 조사와 시험법 결정 및 여러 가지 공학적 판단에 이용하여야 한다. <표 409.12>는 여러 가지 토질 정수들간의 대략적인 관계를 나타낸 것이다.

<표 409.12> 흙의 종류에 따른 대략적인 토질 정수

흙의 종류	흙의 상태	간극률(%)	간극비	단 위 중 량 (t/㎥)		
				건 조	습 윤	포 화
모래질 자갈	느 슨	38～42	0.61～0.72	1.4～1.7	1.8～2.0	1.9～2.1
	촘 촘	18～25	0.22～0.33	1.9～2.1	2.0～2.3	2.1～2.4
거친～중간모래	느 슨	40～45	0.67～0.82	1.3～1.5	1.6～1.9	1.8～1.9
	촘 촘	25～32	0.33～0.47	1.7～1.8	1.8～2.1	2.0～2.1
균질한 가는 모래	느 슨	45～48	0.82～0.94	1.4～1.5	1.5～1.9	1.8～1.9
	촘 촘	33～36	0.49～0.56	1.7～1.8	1.8～2.1	2.0～2.1
실트	연 약	45～50	0.82～1.00	1.3～1.5	1.6～2.0	1.8～2.0
	중 간	35～40	0.54～0.67	1.6～1.7	1.7～2.1	2.0～2.1
	견 고	30～35	0.43～0.49	1.8～1.9	1.8～1.9	1.8～2.2
소성이 작은 점토	연 약	50～55	1.00～1.22	1.3～1.4	1.5～1.8	1.8～2.0
	중 간	35～45	0.54～0.82	1.5～1.8	1.7～2.1	1.9～2.1
	견 고	30～35	0.43～0.54	1.8～1.9	1.8～2.2	2.1～2.2
소성이 큰 점토	연 약	60～70	1.50～2.30	0.9～1.5	1.2～1.8	1.4～1.8
	중 간	40～55	0.67～1.22	1.5～1.8	1.5～2.0	1.7～2.1
	견 고	30～40	0.43～0.67	1.8～2.0	1.7～2.2	1.9～2.3

409.3 설계 및 시공의 기본개념

3.1 설계 및 시공에 관한 기본사항

연약지반에서 흙쌓기의 문제는 파괴에 대한 안정성 및 과대한 침하 또는 변형으로 나뉘며 설계, 시공에서 제체의 안정 및 침하에 대한 검토와 주변지반에 미치는 영향에 주의한다.

연약지반에서의 흙쌓기의 설계 및 시공에 관한 기본사항은 다음과 같다.

(1) 안정대책은 완속 흙쌓기 시공을 우선적으로 검토한다.

(2) 침하대책은 충분한 방치기간의 확보 등 시간효과를 유효하게 활용하고, 잔류 침하대책으로서의 지반처리공은 원칙적으로 실시하지 않는 것으로 한다.

(3) 교대 및 횡단구조물에서는 선행하중을 가한다.

(4) 시공에 있어서는 계측관리에 따라 침하·안정관리를 실시한다. 또, 연약지반의 규모가 커서 공사비 등에 큰 영향을 미친다고 추정되는 경우는 시험 시공 등을 실시하여 대책 공법을 검토하는 것이 바람직하다.

3.2 설계 및 시공시 유의사항

3.2.1 안정의 문제

연약지반상에 급속히 흙을 쌓으면 지반의 측방 변형이 빠르게 증가하여, 활동 파괴가 발생된다. 일단 활동이 발생하면 주변 지반이 높아지고, 그 영향 범위는 20~70m에 이르는 경우도 있다.

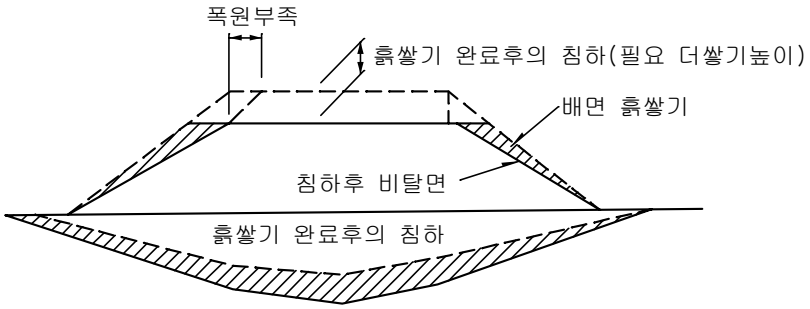
또, 활동을 발생시킨 지반내의 점성토는 크게 교란되어 강도가 저하되기 때문에 주변부를 포함한 복구에 많은 시간과 경비를 요하게 된다.

따라서, 연약지반 대책은 제체의 안정 확보를 충분히 고려한 완속 흙쌓기 시공에 의한 지반 강도의 증가를 유도하면서 흙쌓기하는 것을 원칙으로 한다. 또, 완속 흙쌓기 시공으로 만족하지않으면 압성토 공법을 수행할 수 있다.

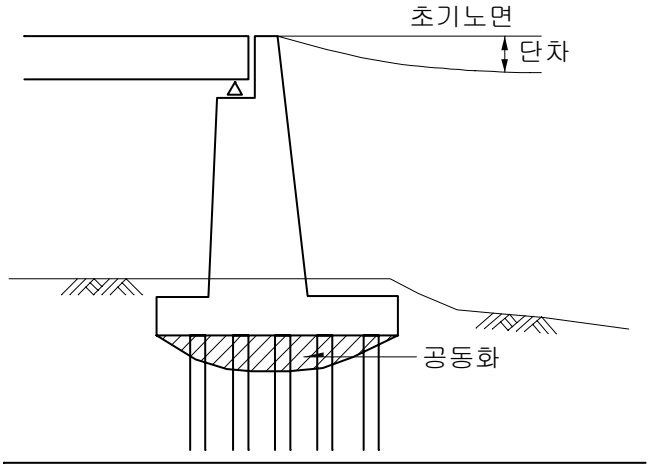
3.2.2 침하의 문제

<그림 409.3>에 나타나 있듯이 연약지반상의 흙쌓기에서는 침하에 의한 흙쌓기량의 증가, 제체 상단의 폭이 부족해지는 문제가 발생한다. <그림 409.4> 및 <그림 409.5>와 같이 교대 접속부의 단차, 횡단구조물의 침하 문제도 발생하게 된다. 이로 인해 침하량이 큰 구간에서는 제체폭의 여유를 확보하면서 구조물 접속부나 횡단구조물부에 선행하중을 가하여 침하를 촉진시키는 것을 기본으로 한다.

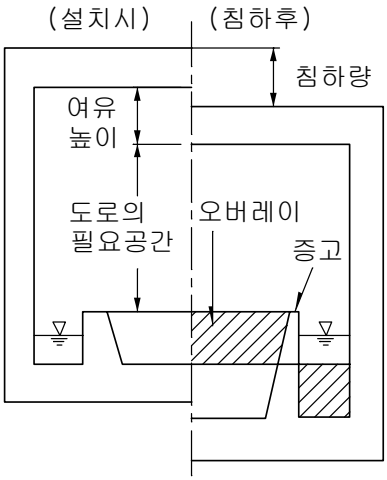
제체 침하에 대해서는 방치 기간을 충분히 두어 시간 효과를 효과적으로 활용하는 것이 경제적인 설계로 연결되기 때문에 공사 기간을 충분히 두는 것이 중요하다. 또한, 교대의 측방변위대책으로서는 선행하중을 가하여 지반 강도를 증가시키는 것이 효과적인 방법이다.



<그림 409.3> 제체의 침하에 따른 문제



<그림 409.4> 교대 접속부의 침하에 따른 문제



<그림 409.5> 횡단구조물의 침하에 따른 문제

3.2.3 장기침하의 문제

연약지반 제체의 침하는 운영 개시 후에도 장기간에 걸쳐서 계속되는 경향이 있다. 때문에 횡단구조물의 단면부족, 배수불량 등 관리단계에서 보수를 필요로 하는 문제가 발생하는 경우가 많다. 따라서, 설계 시 장기침하를 예측해서 설계할 필요가 있다. 이를 위해 충분한 방치 기간을 확보하면서 선행재하공법 등의 대책을 검토할 필요가 있다.

3.2.4 주변 지반의 변형에 따른 문제

흙쌓기 시공시에는 주변 지반이 융기로 인한 측방 변형이 발생하여, 주변의 논, 밭 및 인접 구조물에 피해를 줄 수 있으므로 이를 주의해야 한다.

조건에 따라 다르지만 굴착하여 원형복구하는 것은 피하고 압성토로 사용하던가 그 위에 하중을 더해서 압성토로 사용하는 경우가 많다. 그리고, 복구대책의 대책공법을 검토하도록 한다.

3.2.5 설계의 불확실성에 따른 문제와 동태 관측

연약지반상에 제체를 시공할 경우에는 일반적인 지반의 경우보다도 상세한 토질조사를 하고 이것에 근거하여 면밀한 설계를 하는 일이 중요하다. 그럼에도 불구하고 설계시에 예측했던 구조물이나 기초지반의 거동이 실제의 거동과 일치하지 않는 경우가 많고 공사중에 구조물이나 지반의 과대한 변형이나 파괴가 발생하는 일도 자주 일어난다.

이와 같이 설계시의 예측과 실제 거동이 일치하지 않는 원인은 층두께나 토성이 복잡하게 변화하고 있는 연약지반의 토질조사지점의 선정, 검토 단면의 모델화, 설계 토질정수의 결정, 계산식의 선택 등 설계 과정에서 많은 불확실한 요소가 포함되어 있기 때문이다. 따라서, 시공에서는 이 불확실성을 배제하기 위한 방법으로 계측관리를 중시하여 실제지반의 거동을 확실히 파악하여, 당초의 설계 내용 및 시공법을 수정하는데 적극적으로 활용하는 것이 중요하다.

409.4 연약지반상 제체의 안정성 분석

4.1 기본개념

안정성 분석은 설계시 기존 자료와 그 외 조건을 추가하여 종합적으로 제체의 안정을 검토해야 하며, 시공중에도 계측 관리를 실시한다.

연약지반 상의 제체 안정을 확보하기 위해서 일반적으로 흙쌓기에 의해 발생되는 기초지반의 활동 파괴에 대한 안정계산으로 얻어진 최소 안전율로 평가한다.

안정계산은 안정 검토를 위한 하나의 수단이므로 기존 자료 외의 조건을 참고한 종합적 판단이 필요하다.

4.2 비탈면 안정성 분석

설계시 적용되는 목적은 다음 두 가지이며 실제문제에 있어서 두 가지 고려사항은 독립적이 아니고 상호의존적이다. 첫째, 파괴에 대한 안정성 확보, 둘째, 변형에 관한 안정성을 확보하는데 목적이 있다.

4.2.1 안정 계산식

안정성 분석은 전응력에 따른 단일 활동원호법에 따르는 것을 원칙으로 한다. 먼저, 제체의 폭과 높이, 연약층의 깊이와 성층 상태 및 토질 등을 고려해서 파괴시에 발생될 것으로 생각되는 여러 활동원을 가정한다. 이들 활동원 상에 있는 토괴를 연직 측면을 갖는 세 편으로 분할하여 토괴 전체의 활동 파괴에 대한 안전율(Fs)은 다음 식으로 계산한다.

$$F_s = \frac{\sum(c \cdot \ell + W\cos\theta \cdot \tan\phi)}{\sum W \sin\phi} \quad (409.1)$$

여기서, c : 제체 및 연약층의 점착력 (t/m^2)

ℓ : 분할편이 활동면을 절단하는 호의 길이(m)

W : 분할편의 중량(t)

θ : 활동면에 대한 수직선과 각 분할편의 중심을 통과하는 연직선과 이루는 각

ϕ : 제체 재료 및 모래층의 내부마찰각. 연약층의 비배수 전단저항각, ϕ_u는 0으로 한다.

설계에서는 위험하다고 생각되는 가상 활동면에 대해 각각의 안전율을 구하여 그 최소 안전율을 제체의 활동파괴에 대한 안전율로 한다.

또한, 예비검토의 단계에는 연약층의 평균 일축압축강도, $\overline{q_u}$ 에 대한 지반의 한계지지력 (q_d)을 구하여 한계제체 높이 H_{EC}를 계산할 수도 있다.

$$H_{EC} = \frac{q_d}{\gamma_E} \quad (409.2)$$

여기서, γ_E는 흙의 단위체적중량(t/m^3)이며, q_d는 연약층의 두께, 토질 및 비배수 전단강도 C_u에 따라 다음 값을 사용하도록 한다.

두꺼운 점토질 지반 /점토 유기질토가 두껍게 퇴적된 이탄질 지반	3.6	$CU = q_d$
보통의 점토질 지반	5.1	$CU = q_d$
얇은 점토질 지반 및 점토 유기질토가 끼지 않은 얇은 이탄질 지반	7.3	$CU = q_d$

4.2.2 비탈면안정해석 방법

가장 보편적인 한계평형방법(LEM ; Limit Equilibrium Method)으로 산정한 안전율이 허용치 이상이면 비탈면은 파괴에 대해 안전하고, 변형은 허용치 이내로 한다.

(1) 안정해석조건과 전단강도

안정해석은 현장의 배수조건을 파악하고, 배수상태에 따른 합당한 강도 정수를 사용하여 수행하여야 한다. 비탈면 안정해석은 전응력해석법(total stress analysis)과 유효응력해석법(effective stress analysis)이 있으나 편의상 전자로 한다.

배수정도를 판정하는 가장 논리적인 기준은 시간계수(T ; Time Factor) 이다. 여기서, $T = C_v t/H^2$ (H:배수거리, t:시간, C_v:압밀계수)이며, 만약, T>3.0 이면 배수상태, T<0.01 이면 비배수상태, 0.01<T<3.0 이면 배수, 비배수상태 모두 고려한다.

시간계수 산정이 불가능한 경우에는 투수계수 k 를 기준으로 배수상태를 판정한다. 즉, $k > 10^{-4}$cm/sec이면 배수상태, $k < 10^{-7}$cm/sec 이면 비배수상태이다.

(2) 안정 해석방법

일반적으로 절편법(method of slice)을 적용하며 널리 사용되고 있는 방법으로는 Fellenius 방법을 비롯하여 Bishop, Janbu, Morgenstern and price, Spencer Method 등이 있으며, 부정

<표 409.13> 안정해석방법별 가정 및 적용

해석방법	가 정	적 용
Fellenius 방법 (1972)	1) 절편의 횡방향력은 각 절편의 저면과 평행 2) 절편저면과 수직한방향의 힘의 평형만 고려	원호 활동
Bishop 간편법 (1955)	1) 절편의 연직방향 합력은 Zero 2) 수직방향의 힘의 평형만 고려	원호활동
Janbu 방법 (1954,1973)	1) 횡방향력의 작용 위치를 가정	원호활동 비원호활동
Morgenstern and Price 방법 (1965)	1) 횡방향력의 경사각 은 $\theta=\lambda f(x)$로 표시 λ : 상수	원호활동 비원호활동
Spencer 방법 (1967,1981)	1) 경사각 θ는 모든 절편에서 동일	원호활동 비원호활동

정차수를 없애는데 사용한 가정 및 계산공식은 <표 409.13>과 같다.

모든 평형조건을 만족시키는 안정해석법(Janbu, Spencer, Morgenstern and Price)으로 구한 안전율은 사실상 동일하다고 볼 수 있다. 이 방법들에 의한 안전율은 '정확한' 해와 약 ±5% 이내의 오차 밖에 없으므로 실용상 이들을 정해(正解)라 생각해도 잘못은 없다.

Bishop의 간편법은 비록 모멘트 평형만 만족시키지만 그 결과도 정해라고 볼 수 있다. 따라서 원호활동면에 대해서는 더 복잡한 방법을 사용할 필요는 없다. 단, 비탈면선단부에서 활동면의 경사가 대단히 급할 때에는 예외이다.

Fellenius 방법은 안전율을 과소평가한다. 전응력해석법($\phi = 0$)의 경우 오차는 실용상 허용범위내에 있지만 유효응력해석법은 간극수압비가 큰 경우 큰 오차를 유발한다. 따라서, Fellenius 방법은 전응력해석법에 적용하는 것이 좋으나 유효응력해석법에 적용하는 것은 불가하다. 힘의 평형만을 만족시키는 안정해석법으로 얻어지는 안전율은 절편의 측면에 작용하는 힘의 경사각에 따라 예민하게 변한다. 따라서 힘의 평형만을 고려하는 안정해석방법은 모멘트의 평형만을 고려하는 방법보다 부정확한 결과를 산정한다고 할 수 있다.

① 비탈면안정해석방법의 설계시 적용
  가. 파괴면이 원호활동면인 경우 :
    Bishop의 간편법
  나. 활동면이 임의의 형상인 경우 :
    Janbu의 보편법, Spencer 방법,
    Morgenstern and Price 방법
② 안전계산에서의 목표 최소안전율
- Duncan(1992) 제안
  · 완공직후 및 다단계재하의 경우 : 1.3
  · 장기재하의 경우 : 1.5
- 항만설계기준 : 1.3 (장기재하)
- 구조물기초설계기준 : 1.3 (장기재하)

<표 409.14>는 안정해석방법에 따른 안전율 산정식 비교를 나타내고 있다.

<표 409.14> 안정해석 방법별 안전율 산정식의 비교

비탈면 안정해석방법	가정	안전율	
		모멘트의 평형	힘의 평형
Fellenius	X / E =tan α	○	
Bishop 간편법	X_R - X_L = 0	○	
Spencer 방법	X / E =tan θ	○	○
Janbu의 간편법	X = 0		○
Janbu의 정밀법			○
Morgenstern 와 Price 방법	X / E =λf(x)	○	○

4.2.3 안정계산에 이용하는 정수

(1) 점착력 c_u

연약층의 점착력(c_u)는 다음 식에 의해 구한다.

$$c_u = \frac{q_u}{2} \ (t/m^2) \qquad (409.3)$$

여기서, q_u : 일축압축강도(t/m^2)

(2) 압밀에 의한 강도 증가/감소를 고려한 점착력

연약층의 압밀에 의한 강도 증가를 고려하는 경우 다음 식을 따른다.

$$c_u = c_{uo} \quad (P_t' \leq P_c' \text{일 때}) \qquad (409.4)$$

$$c_u = m \cdot P_t' = m(Po' + U \cdot \triangle P')$$
$$(P_t' > P_c' \text{일 때})$$

여기서, P_o' : 흙쌓기전 지반의 유효연직응력 (t/m^2)

P_c' : c_{uo}/m (t/m^2)

P_t : 검토 시점의 유효압밀응력, ($P_t = P_o + U \cdot \triangle P$) ($t/m^2$)

c_{uo} : 흙쌓기 전 지반의 점착력(t/m^2)

$\triangle P'$: 제체하중에 의한 연직응력의 증가분(t/m^2)

U : 검토시점의 평균압밀도(무차원)

m : 강도증가율(무차원)

강도증가율(m)은 지반의 토질, 심도 등 여러 조건을 고려해서 <표 409.15>에 의해서 추정할 수 있으나, 토질시험에 의해서 확인하는 것이 바람직하다. 또, 강도증가율은 구속 조건에 크게 좌우되고 제체 중앙부 지반의 상층부는 비교적 큰 값으로 되지만, 하층부 및 비탈끝 부근은 적은 값으로 나타나는 경향이 있기 때문에 주의해야 한다.

- 비압밀비배수 삼축압축시험, 일축압축시험, 현장베인시험

$$m = C_u/P_t$$

- 압밀시험

$$m = C_u/P_c$$

- 경험식

  · Skempton(1957)

  $m = C_u/P'_t = 0.11 + 0.0037 \times$ 소성지수

  · Hansbom

  $m = C_u/P'_t = 0.0045 \times$ 액성한계

(3) 사질토의 내부마찰각(ϕ)

사질토의 전단강도 특성은 내부마찰각(ϕ)으로 표현된다. 사질토는 불교란 시료의 채취가 극히 어렵기 때문에 표준관입시험결과(N)를 토대로 ϕ를 결정하는 것이 일반적이다. N치로부터 ϕ를 추정하는 방법은 여러 가지가 제안되고 있으며 그중 대표적인 것이 <표 409.16>과 <표 409.17>과 같다.

이들 관계를 함께 도시하면 <그림 409.6>과 같으며 Dunham이 제안한 $\phi = \sqrt{12N} + 20$ 관계식을 중심으로 분포하고 있다.

<표 409.15> 강도증가율 m의 범위

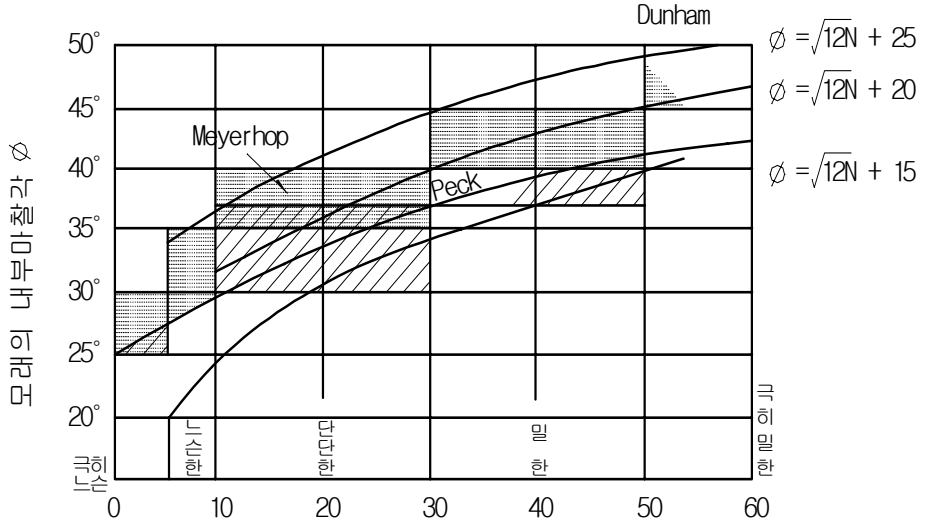
토 질	강도증가율, m
점 성 토	0.30 - 0.45
실 트	0.25 - 0.40
점 토	0.20 - 0.35
피 트	0.35 - 0.50

<표 409.16> 사질토 지반의 N-D_r- ϕ의 관계

N 치	상대밀도 D_r	내 부 마 찰 각 ϕ	
		Peck	Meyerhof
0～4	0～0.2	28.5 이하	30 이하
4～10	0.2～0.4	28.5～30	30～35
10～30	0.4～0.6	30～36	35～40
30～50	0.6～0.8	36～41	40～45
50 이상	0.8～1	41 이상	45 이상

<표 409.17> 입자의 형상별 N- ϕ의 관계

구 분	내부마찰각 ϕ
입자가 둥글고 빈입도	$\phi=\sqrt{12N}+15$
입자가 둥글고 양입도	$\phi=\sqrt{12N}+20$
입자가 모나고 빈입도	$\phi=\sqrt{12N}+20$
입자가 모나고 양입도	$\phi=\sqrt{12N}+25$



<그림 409.6> N- ϕ의 관계

4.2.4 안정계산에서 유의사항

(1) 연약층 아래의 지반이 경사져 있는 지반 위에 흙쌓기를 하는 경우, 연약층의 두꺼운 쪽의 침하가 많이 되어 활동도 그 방향으로 발생할 위험이 크다. 설계에서는 사운딩 조사 등에 의해 지반 경사의 상황을 충분히 파악하여 활동 파괴에 대해 가장 위험한 단면에 대한 안정검토가 필요하다.

(2) 강도 저하가 현저하고 강도 회복이 늦은 지반은 표층에 이탄토층이 있고 그 바로 밑에 점성토층이 있는 지반에서는 설계안전율이 높아도 불안정하게 되는 경우가 많다. 일반적으로 이러한 지반에서 안정설계를 하면 이탄토층과 점성토층의 경계를 통과하는 활동원의 안전율이 최소가 되지만, 실제로 활동이 발생하는 것은 그 밑의 점토층인 경우가 많다. 이 점토층은 함수비가 액성한계보다 크거나 같은 경우로 예민한 것이 많고, 이 점토층의 강도가 떨어져서 붕괴가 발생한다. 따라서, 이와 같은 지반에서는 흙쌓기 초기에는 서서히 시공하여 측방변형이 가능한 한 일어나지 않도록 하는 것이 중요하다. 예민한 해성점토는 강도 회복에 장시간이 필요하므로 주의한다.

(3) 제체재료의 전단강도 및 단위체적중량은 안정계산 결과에 미치는 영향이 크므로 실내 및 현장시험 결과 등을 검토하여 적정한 값을 사용하도록 한다.

(4) 흙쌓기 속도는 공사 기간에도 영향을 받는다. 다음의 <표 409.18>의 표를 참고하여 시공기간을 고려하고 그에 맞는 설계가 되도록 한다

<표 409.18> 지반과 흙쌓기 속도

지반의 종류	흙쌓기 속도
두꺼운 점토지반 및 유기질토가 두껍게 퇴적된 이탄토 지반	3 cm/일
보통의 점토질 지반	5 cm/일
얇은 점토질 지반 및 유기질토가 거의 끼지 않은 얇은 이탄토 지반	10 cm/일

409.5 제체의 침하 예측

5.1 침하 예측의 기본개념

연약지반상에 있는 제체의 침하를 검토하는 경우 시간 효과를 활용하여 운영 후의 도로에 미칠 침하를 예측하여 계획, 설계 및 시공하는 것을 기본으로 한다. 침하 검토 항목은 다음과 같다.

① 일반제체부의 경우
침하량, 토공 여분량 (여성토), 토공폭원 여유
② 횡단구조물의 경우
여분량, 단면여유
③ 부속구조물의 구조
④ 포장 구조(포장)

침하량은 다음 식을 고려한다.

$$S = S_i + S_c + S_s \qquad (406.7)$$

여기서, S : 총침하량
S_i : 즉시 침하량
S_c : 압밀침하량
S_s : 장기침하량

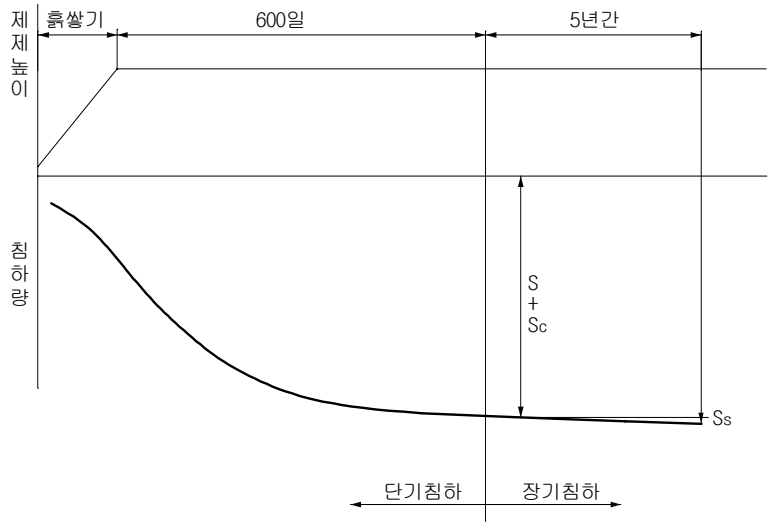
(1) 침하의 개념

침하의 실측결과에 의하면 침하는 <그림 409.7>과 같이 고려할 수 있다. 즉, 흙쌓기를 한 후 600일까지의 침하를 $S_i + S_c$, 그 이후의 침하를 Ss로 한다. 그림 중 S_{r1}, S_{r2}, S_{r3}는 철근콘크리트 암거의 여분, 내공 단면 여유를 예상하는 경우에 사용하는 침하량이며 다음과 같이 정의된다.

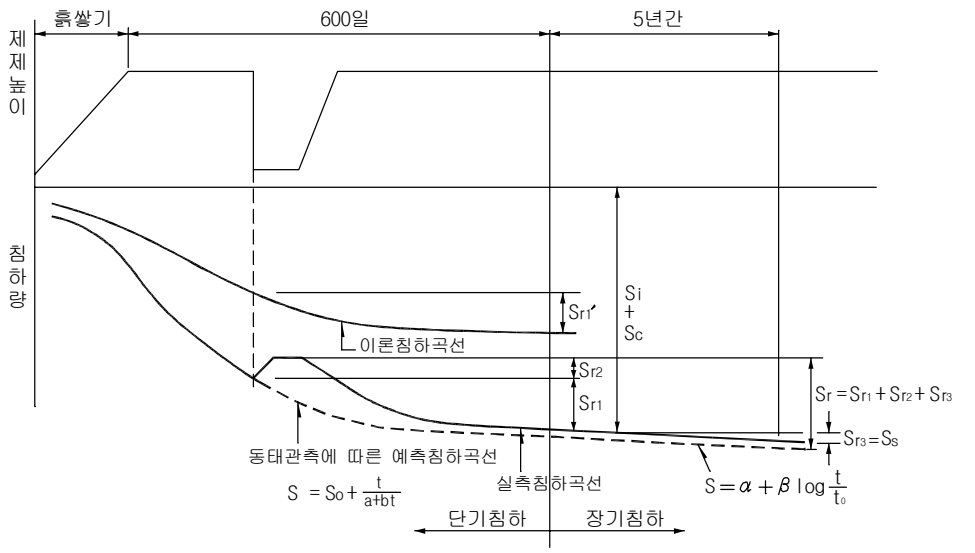
S_{r1} : 과재하중 제거시부터 흙쌓기 후 600일까지의 침하량(설계시에는 테르자기의 일차원 압밀이론곡선으로부터 구한다 : S_{r1}')
S_{r2} : 과재하중 제거시 리바운드량
S_{r3} : 시공 후 600일 이후의 장기침하량

(2) 잔류침하량의 허용치를 정해서 연약지반상의 제체를 설계하고 시공한다.

① 잔류침하량 허용 기준은 구조물의 사용목적, 중요도, 공사기간, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 결정한다.
② 잔류침하량은 운영기간 동안에 발생되는 침하량으로 정의한다. 그러나, 도로제체의 경우 유지관리단계에서 장기침하 문제를 처리할 수도 있으므로 시공시 제체의 안정을 중요하게 다루어야 한다.
③ <표 409.19>와 <표 409.20>은 잔류침하량의 예를 나타내고 있다.



(a) 일반 제체부



(b) 구조물부

<그림 409.7> 침하의 개념

<표 409.19> 도로와 배수박스 구조물 잔류침하량 적용사례

구 분	허용침하량(cm)	적 용
도 로	10	한국도로공사, 일본도로공단, 양산물금지구, 대불공단
	20	녹산1단계, 아산공장
	30	광양제철소, 고베항
	50	하네다공항(운영후 10년 동안)
	100	하네다공항(운영후 50년 동안)
배수박스	30	한국도로공사, 일본도로공단, 하네다공항, 녹산1단계

<표 409.20> 단지 조성지역의 잔류침하량 적용사례

구 분	허용침하량(cm)	비 고
양산-물금지구 (1단계)	2	단독주택지
	10	상업지역
	10	공동주택지 및 기타지역
	30	학교, 근린공원 및 완충녹지
광양제철소	30	Hot Strip & Cold Rolling Mill 창고, 관리사무소
	50	Stock Yard
이만리공단	20	일본, 여성 제거후 30년간
하네다공항	50	시공중
	150	운영후 10년 동안
	200	운영후 50년 동안
가와사키공항	50	95% 압밀도
고베항	75	80%의 압밀도, 비포장지역

5.2 설계시 침하량 계산

연약지반의 침하는 하중의 재하 즉시 일어나는 즉시침하와 시간에 따라 지속적으로 일어나는 압밀침하로 구분된다.

일반적으로 점토지반의 즉시 침하는 매우 작아서 무시하고 압밀침하는 간극수압의 소산으로 발생하는 1차 압밀침하량과 토립자의 재배치에 의한 2차 압밀침하량으로 구분된다.

현재까지 주로 이용되는 침하량 계산 방법은 지반을 균질하고 등방압밀 상태이며 탄성체로 가정하기 때문에 현장 계측치와는 다소의 차이가 있으므로 시공시 계측관리를 통하여 압밀침하를 검토하여야 한다.

5.2.1 침하량 산정시 고려사항

(1) 지반의 탄성침하를 고려한다.

(2) 점성토층의 압밀도(U)의 계산은 연약층 전체두께에 대한 평균압밀도(U_z)에 대하여 계산한다.

(3) 침하량 산정식 적용 시에는 현 지반의 압밀상태에 따른 압밀상태를 판단하여 정규압밀 상태일 경우는 압축지수(C_c)를 적용하고 과압밀상태일 경우는 팽창지수(C_r)를 적용하여야 하는데, 이 압밀상태의 판단은 다음 사항으로 판단한다.

① 과거에 작용하였던 상재하중 및 지하수위의 변동유무

② 압밀시험에서 얻어진 선행압밀하중(P_c)와 유효응력(P_o)의 관계

③ 아터버그한계 시험에서의 액성지수(LI)의 관계

(4) 압밀계수(C_v)가 각 지층마다 다른 경우 층두께 환산법에 따라 구한 환산두께(D′) 및 압밀계수(C_v')를 이용하여 전 층의 평균압밀도(U)를 구하고, 그 산정식은 다음과 같다.

$$D' = D_1\left(\frac{C_{v'}}{C_{v1}}\right)^{\frac{1}{2}} + D_2\left(\frac{C_{v'}}{C_{v2}}\right)^{\frac{1}{2}} + \cdots + D_n'\left(\frac{C_{v'}}{C_{vn}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (409.8)$$

여기서, D′ : 환산층 두께(m)

D_n : 환산전의 각 층의 두께(m)

C_v' : 기준으로한 임의의 압밀계수(㎠/sec)

C_{vn} : D_n층에 대응하는 압밀계수(㎠/sec)

<표 409.21> 1차 압밀 침하량 산정공식

구 분	1차 압밀 침하량 산정법		
	e-log P법	체적압축계수 (m_v)법	압축지수 (C_c)법
계산식	$S_f = \frac{e_o - e}{1+e_o} \cdot H$	$S_f = m_v \cdot \Delta\sigma \cdot H$	$S_f = \frac{C_c}{1+e_o} \cdot H \cdot \log\frac{\sigma_c + \Delta\sigma}{\sigma_o}$
설계정수	· S_f : 1차 압밀침하량 · e_o : 초기 간극비 · e : 시간경과별 간극비 · H : 연약지반 두께 · △▯ : 유효응력차 · ▯$_o$: 원위치 유효응력 · m_v : 체적 변화계수 · C_c : 압축지수		

5.2.2 설계시 침하추정

(1) 1차 압밀 침하량(S_c)

Terzaghi의 1차원 압밀이론을 근거로 하여 유도된 압밀침하량 계산법에는 일반적으로 <표 409.21>과 같이 3가지 방법이 있다.

① 정규 압밀점토

정규압밀 점토지반에서는 토피하중보다 더 큰 응력이 유발되면 압밀은 정규압밀 곡선을 따라 일어나며 압밀침하량은 다음식과 같이 계산된다.

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \cdot \log \frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o} \qquad (409.9)$$

여기서, S_c : 1차 압밀 침하량(m)

C_c : 압축지수(무차원)

e_o : 초기 간극비(무차원)

σ_o : 원위치 유효응력(kg/㎠)

H : 점토층의 두께(m)

$\Delta\sigma$: 유효응력의 증가량(kg/㎠)

② 과압밀점토

과압밀점토 지반은 응력증가량의 크기에 따라 다음과 같이 두가지의 경우를 생각할 수 있다. 첫째는 원위치 유효응력과 유효응력의 증가량을 합친 값이 선행압밀하중 이내에 있는 경우로, 이때에는 압밀이 과압밀 응력 범위 내에서만 생기므로 팽창지수(C_r)로 침하량을 계산한다.

둘째는 원위치 유효응력과 유효응력의 증가량이 선행 압밀하중보다 큰 경우로 이때에는 과압밀 범위내에서 압밀침하량과 정규압밀 범위에서 침하량을 합쳐서 침하량을 구한다.

과압밀 응력범위의 압밀침하량 산정식은 다음과 같다.

$$S_c = \frac{C_r}{1+e_0} \cdot H \cdot \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \qquad (409.10)$$

과압밀 응력범위와 정규압밀 응력범위의 압밀침하량 산정식은 다음과 같다.

$$S_c = \frac{C_r}{1+e_o} \cdot H \cdot \log \frac{\sigma_c}{\sigma_o} + \frac{C_c}{1+e_o} \cdot H \cdot \log \frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_c} \qquad (409.11)$$

여기서, S_c : 1차 압밀 침하량(m)

C_c : 압축지수(무차원)

C_r : 팽창지수(무차원)

e_o : 초기 간극비(무차원)

σ_o : 원위치 유효응력(kg/㎠)

σ_c : 선행압밀하중(kg/㎠)

$\Delta\sigma$: 유효응력의 증가량(kg/㎠)

H : 점토층의 두께(m)

(2) 2차 압밀침하량

이론적으로 흙의 성질이 비압축성이라 가정할 때 과잉간극수압이 완전히 소산되면 침하는 끝났다고 볼 수 있다. 그러나 실제로는 1차 압밀이 끝났어도 시간이 지남에 따라 점토입자의 크리이프 현상에 의해서 침하는 계속 일어난다. 이때의 침하를 2차 압밀침하라 하며 2차 압밀침하에 영향을 주는 요소는 유효응력비, 하중증가비, 온도, 시간 등이 있다.

2차 압밀침하량은 1차압밀 종료시점의 유효

응력, 간극비, 점토층 두께, 1차 압밀시간 등의 영향을 받으며 다음식으로 산정한다.

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1+e} H' \cdot \log \frac{t_p + t}{t_p} \qquad (409.12)$$

여기서 S_s : 2차 압밀 침하량
C_α : 2차 압축지수
H' : 1차 압밀후 점토층 두께
e : 1차 압밀후 간극비
t_p : 1차 압밀 소요시간
t : 1차압밀후 시간

장기 침하량 S_s 는 다음 식에 의해 구한다.

$$S_s = \alpha + \beta \log \frac{t}{t_o} \qquad (409.13)$$

여기서, S_s : 최종침하량(cm)
α : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수(무차원)
β : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수(무차원)
t_0 : $S-\log t$ 곡선에서 침하량이 직선이 되는 시간

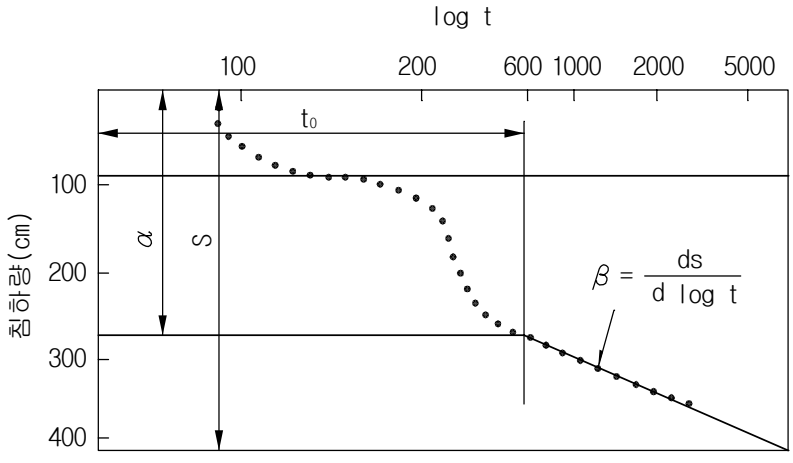
장기 침하 추적 조사 결과에 따르면 시공완료 후의 침하속도 $\beta[=ds/d(\log t)]$와 연약층 두께 사이에는 <그림 409.8>과 같은 관계가 있다.

5.2.3 시공시 침하추정

시공중 계측관리에 따른 침하실측치와 시간 관계로 침하를 추정할 때 다음식을 이용한다.

$$S = S_0 + \frac{t}{a+bt} \qquad (409.14)$$

여기서 , S_o : 초기 침하량(m)
t : 경과시간(day)
a : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수(무차원)
b : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수(무차원)
s : t 시간 후의 침하량



<그림 409.8> 장기침하 개념도

5.3 수정 침하량 추정 방법

5.3.1 침하안정관리

연약지반공법 설계시에는 복잡한 지층 구성 상태를 대표화하고 대표적인 지반정수들을 적용하기 때문에 설계침하량(예측치)과 실측침하량이 일치하지 않는 경우가 많다.

따라서 압밀이론에 관계없이 실측침하곡선에 적합한 곡선식을 도출하여 앞으로의 침하를 추정한후 당초설계를 검토하여 실측침하와 불일치할 경우 이를 시공 및 설계에 다시 반영한다.

침하량 예측방법에는 쌍곡선법, Hoshino법 및 Asaoka법 등이 있으며 실측 침하곡선으로부터 예측침하곡선의 관계는 <그림 409.9>와 같다.

(1) 쌍곡선법

쌍곡선법은 시간의 경과에 따른 침하의 진행이 쌍곡선으로 감소한다는 가정을 기초로 경과시간과 침하량증가를 변수로한 침하곡선식을 결정함으로서 장래의 침하과정을 예측할 수 있으며, 관계식은 다음과 같다.

$$(S_t - S_i) = \frac{t_t - t_i}{\alpha + \beta(t_t - t_i)} \qquad (409.15)$$

여기서, S_t : 성토종료 경과시간 t에서의 침하량(m)

S_i : 성토종료 직후의 침하량(m)

t_t : 성토종료 시점으로 부터의 경과시간(일)

t_i : 성토종료 직후의 침하량에 해당되는 초기시간(일)

α, β : 계수(무차원)

윗식에서 $(S_t - S_i) = \Delta S$, $(t_t - t_i) = \Delta t$ 라 할때 침하곡선식은 다음과 같다

$$\Delta S = \frac{\Delta t}{\alpha + \beta \Delta t} \rightarrow \frac{\Delta t}{\Delta S} = \alpha + \beta \Delta t \quad (409.16)$$

따라서 <그림 409.10>과 같이 $(\Delta t / \Delta S)$를 Y축, Δt를 X축으로 하고 현장 실측 결과를 이용하여 1차 곡선을 플롯하여 $(\Delta t / \Delta S)$축과 접하는 값을 α, 직선의 기울기를 β라 하여 침하 곡선식을 결정할 수 있으며, 최종침하량(S_f)은 t=∞로 보면 다음 식으로 구할 수 있다.

$$S_f = S_o + 1/\beta \qquad (409.17)$$

(2) Hoshino법($\sqrt{t}$법)

침하의 시간적 경과에 대해서 Terzaghi의 압밀론에 의하면 초기 침하는 시간의 평방근에 비례하나 Hoshino법은 현장에서의 전단에 의한 유동변형을 포함하여 침하는 시간의 평방근에 비례한다는 기본원리에 의해 장래 침하량을 예측하는 방법이다.(<그림 409.11>참조)

$$\begin{aligned} S_t &= S_i + S_d \\ &= S_i + \frac{A \cdot K \cdot \sqrt{t_t - t_i}}{\sqrt{1 + K^2 \cdot (t_t - t_i)}} \end{aligned} \qquad (409.18)$$

여기서, S_t : 경과시간 t에서의 침하량(m)

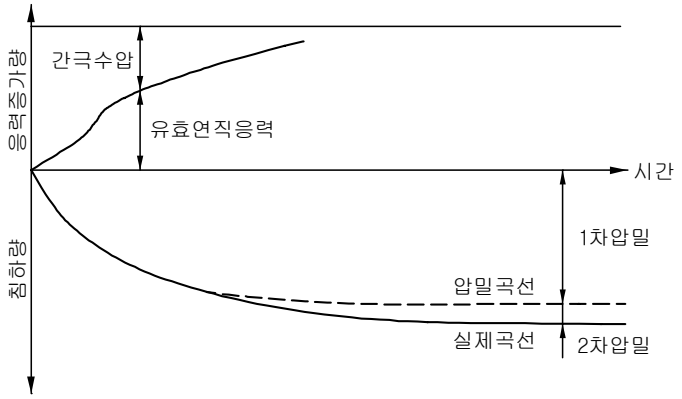
S_i : 성토종료시의 침하량(m)

S_d : 시간의 경과와 더불어 증가하는 침하량(m)

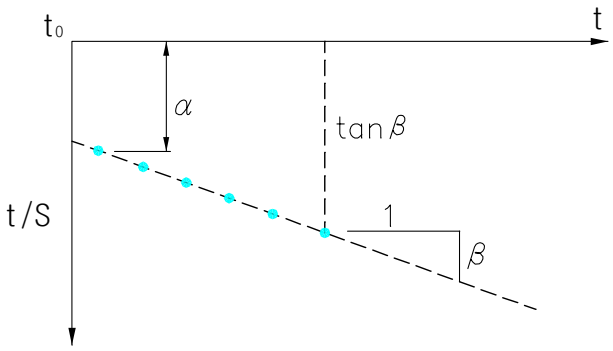
t_t : S_t에 대응하는 경과시간(일)

t_i : 성토종료시의 경과시간(일)

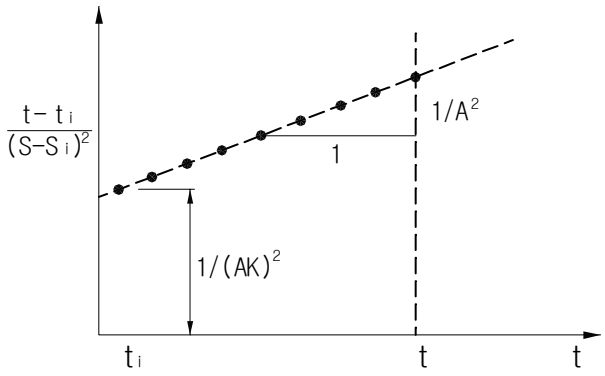
A, K : 실측침하량으로부터 구한 계수



<그림 409.9> 실측 침하곡선의 예



<그림 409.10> 쌍곡선법에 의한 침하예측법



<그림 409.11> √t 법에 의한 침하예측법

(3) Asaoka 법

Asaoka는 1차원 압밀방정식에 의거 하중이 일정할 때의 침하량을 나타내는 간편식으로 다음과 같은 식을 사용한다.

$$S_i = \beta_o + \beta_1 \cdot S_{i-1} \qquad (409.19)$$

여기서, S_i : 시간 i 를 이산화하여 $t_i=t\times i$ (i=1,2,3 ····)로 할때 시간 t_i 에서의 침하량(m)

S_{i-1} : 시간 $t_{i-1}=\Delta t\times(i-1)$에서의 침하량(m)

β_o,β_1 : 실측침하량으로부터 구한 계수

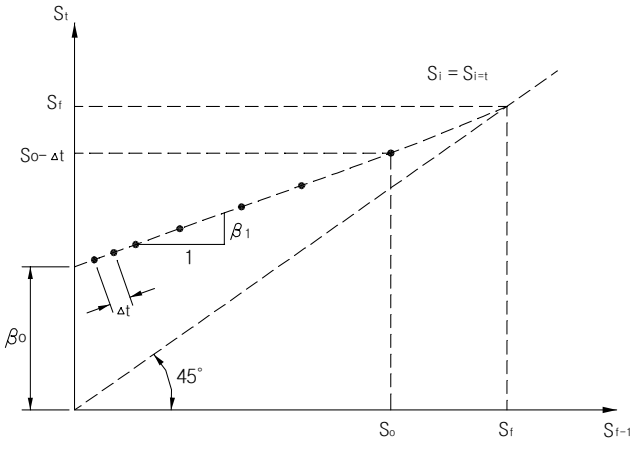
최종침하량은 다음과 같은 방법으로 구한다.

① 실측침하량의 경사 변화도로부터 동일한 시간간격(Δt)에 대응하는 침하량을 구한다.(<그림 409.12>참조)

② 다음에는 S_{i-1} 과 S_i 를 축으로 하는 좌표상에 (S_1, S_2),(S_2, S_3)· · ·,(S_{i-1}, S_i)를 그린다. 이 경우에 그려진 점은 거의 직선상에 놓인다.

③ 최종침하량(S_f)은 그려진 직선과 S_{i-1}= S_i 인 직선(45°선)의 교점으로부터 도식적으로 구할 수 있으며, 그 산정식은 다음과 같다.

$$S_f = \beta_o/(1-\beta_1) \qquad (409.20)$$



<그림 409.12> Asaoka법에 의한 침하예측법

5.3.2 침하정도에 의한 압밀도 추정방법의 신뢰성

(1) 쌍곡선법

쌍곡선법은 침하량에 2차 압밀침하가 포함되어 있으므로 예측치와 실측치가 잘 대응하나 초기 예측침하량은 실측치보다 작은 값으로부터 예측되다가 차츰 실측치와 가까워지는 경향을 보인다. 회귀직선을 결정함에 있어서는 후반부의 직선부분을 주목함이 바람직하다. 또한 데이터의 입력시 시간간격을 균등하게 취하여야 한다. 데이터의 처리가 간단, 예측정도가 높으며, 예측 가능시기가 빠르다.

(2) Hoshino법

Hoshino법은 (S_i , t_i)의 선정방법에 따라 예측정도가 많이 변화한다. 실측침하의 시간에 따른 변화도를 수정하여 즉시 침하에 대한 시각을 t_i 로 하고 이에 대응하는 S_i 를 가정하여 직선성이 좋은 것을 회귀분석에 이용한다.

이 방법에 의한 예측침하량은 실측치보다 작은 값을 나타내며, 시간이 경과함에 따라 실측치에 근접하다. 압밀도가 작은 단계에서도 예측이 가능하며 예측정도가 높다.

(3) Asaoka법

예측침하량은 실측치보다 작게 예측되며 시간이 경과함에 따라 실측치에 근접한다.

($S_{i-1} - S_i$)관계를 좌표상에 그리면 반드시 직선이 되지 않는다. 회귀직선을 결정할 때는 쌍곡선법과 마찬가지로 데이터 후반부에 주목하는 것이 좋다.

드레인이 타설된 지반의 침하와 같이 방치기간이 짧을 경우에는 Δ_t를 짧게 하고, 방치기간이 길 경우에는 Δ_t를 길게 하는 것이 바람직하다.

5.3.3 흙쌓기 안정관리

흙쌓기 중앙부의 침하량과 흙쌓기 비탈면부 끝단에서의 변형량 및 변형속도로부터 흙쌓기 비탈면의 안정, 불안정 여부를 판단하고 흙쌓기비탈면이 불안정시 흙쌓기 속도의 제어, 시공중지 또는 흙쌓기의 일부제거 등 그 대책을 수립하여야 한다.

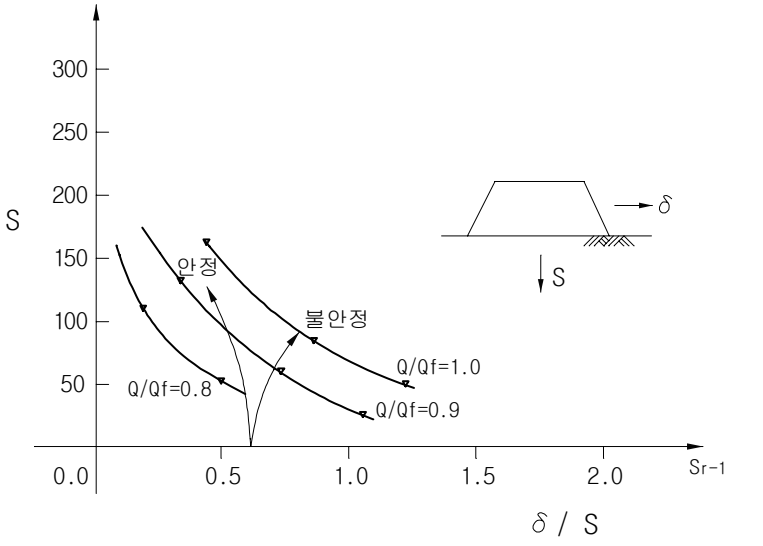
흙쌓기 안정관리방법으로는 Matsuo - Kawamura법, Taminaga - Hashimoto법, Kurihara법, Shibata - Sekiguchi법이 사용되며 이들 방법에 대하여 설명하면 다음과 같다.

(1) Masuo-Kawamura 법

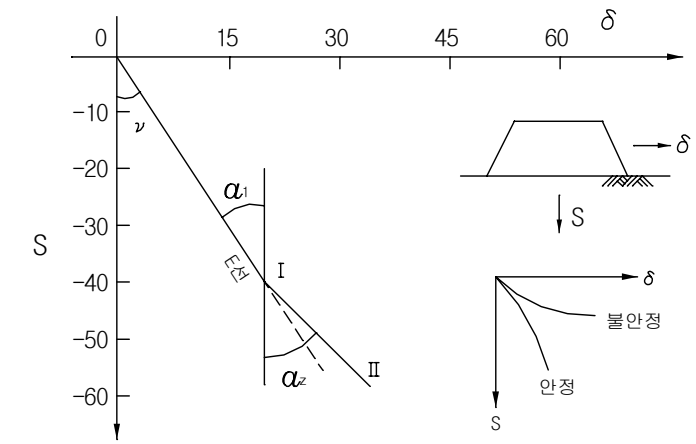
흙쌓기의 붕괴사례를 조사하여 파괴시의 S(흙쌓기 중앙부의 최대 침하량)과 δ/S(δ는 흙쌓기 경사면의 최대 수평변위량)의 계수가 대개 하나의 곡선(파괴기준선)으로 표시되는 것에 착안하여 시공중의 측정치를 S ~δ/S 도상에 그려서 파괴기준선에 근접하는지 멀어지는지에 따라 안정, 불안정을 판단하는 방법이다.(<그림 409.13> 참조)

(2) Tominaga-Hashimoto법

Matsuo-Kawamura이론을 참고하여 S와δ를 측정하여 관리하는 방법으로 흙쌓기 하중이 적은 초기단계의 δ와 S값에 의해 기준선(E선)을 표시하여, E선을 기준하여 윗 쪽으로 떨어지는 D선상으로 진행되는 경우에는 침하량 보다도 수평변위가 크기 때문에 위험하다고 판단한다(<그림 409.14>). 또한 E선 아래쪽으로 진행되는 경우에는δ/S가 급증하면 위험하다.



<그림 409.13> Matsuo-Kawamura법에 의한 안정관리도



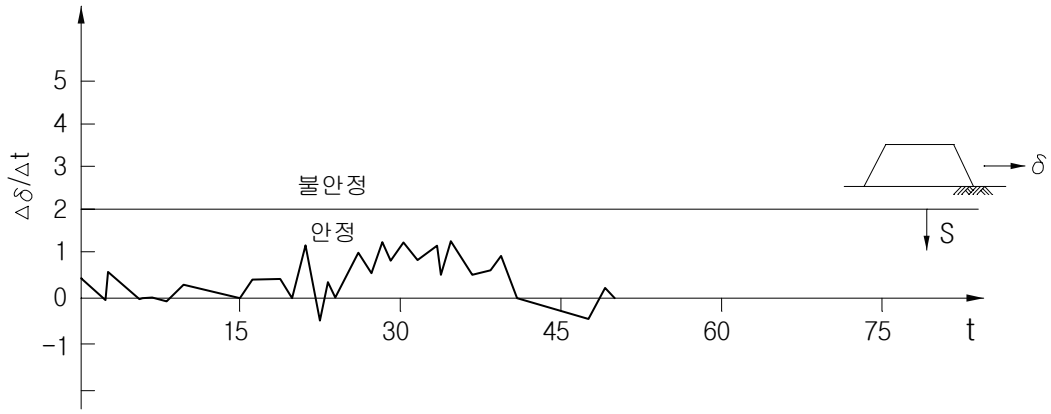
<그림 409.14> Tominaga-Hashimoto법에 의한 안정관리도

(3) Kurihara법

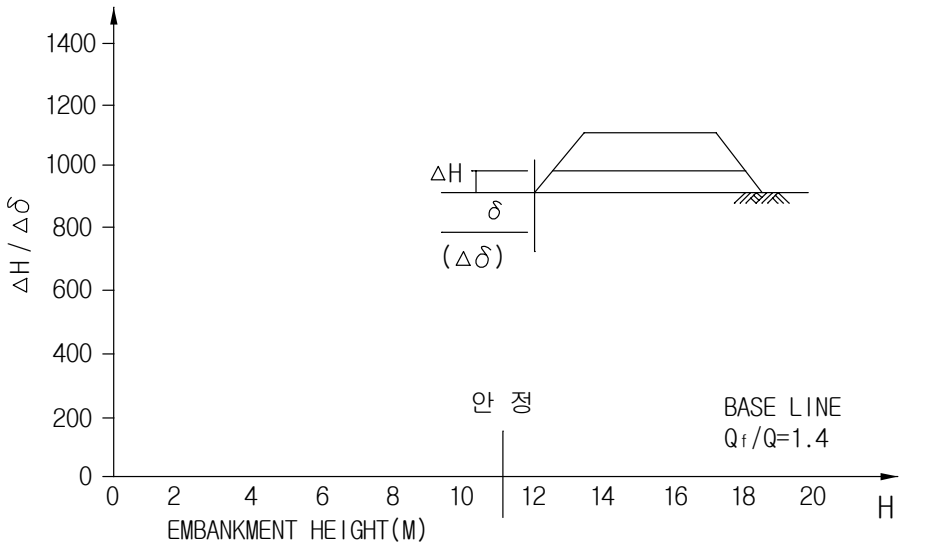
흙쌓기 경사면의 수평변위 속도에 착안하여 관리하는 방법으로 측정치에서 $\Delta\delta/\Delta t$ 와의 관계를 그려서 $\Delta\delta/\Delta t$ 어느 한계치(과거 예는 2cm/일)를 넘는 경우에 위험하다고 판단한다.(<그림 409.15>참조)

4) Shibata-Sekiguchi법

흙쌓기 시공높이 ΔH에 대한 수평변위δ를 측정하여 $\Delta H/\Delta\delta$와 H(흙쌓기고)의 관계를 그려서 관리하는 방법으로 각 단계에서의 계산결과가 Q_f / Q 기준치인 1.4 아래에 위치할 경우 위험하다고 판단한다.(<그림 409.16>참조)



<그림 409.15> Kurihara법에 의한 안정관리도



<그림 409.16> Shibata-Sekiguchi법에 의한 안정관리도

409.6 연약지반 개량공법

6.1 개량공법의 선정과 설계순서

6.1.1 연약지반 개량공법의 목적

토목 건축공사가 연약지반에 실시될 때에 원지반을 그대로 이용하면 구조물 등에 안정상의 문제가 발생할 수 있다. 이와 같은 경우에 지반에 공학적 성질을 개선하여 그 안정성을 증대시키는 것을 지반개량이라고 한다. 일반적으로 연약지반 개량공법의 목적은 크게 다음의 네 가지로 나눈다.

(1) 강도특성의 개선

지반의 강도라는 것은 지반의 파괴에 대한 저항성이다. 지반의 파괴에 대한 저항성은 흙의 전단 강도에 의존하고 있다.

(2) 변형 특성의 개선

지반의 변형은 흙의 체적변화와 형상변화로 구분된다. 이와 같은 특성을 개선하기 위해서 압축성을 저하시키거나 전단 변형계수를 증대시킨다.

(3) 지수성의 개선

공사 중 또는 공사 완료 후에 토층수가 이동하면 유효응력의 변화에 의해서 여러 가지 문제가 생기는데, 이 문제는 지반의 지수성 개선에 의해서 방지될 수 있다.

(4) 동적 특성의 개선

느슨한 사질토의 지반에서는 지진이나 지반의 동적거동에 의해서 간극수압이 상승하여 유효응력 감소에 의한 액상화 현상이 일어날 수 있다. 액상화 방지를 위해서는 액상화 저항을 증대시켜야 한다. 액상화 저항은 지반을 구성하는 흙의 밀도, 입도분포, 골격구조, 포화도, 초기 유효 응력에 관련되기 때문에 액상화에 대한 저항을 증대시키기 위해서는 과잉간극수압의 신속한 소산, 주변에서의 과잉간극 수압의 공급차단, 지진시의 전단변형을 감소하는 방법이 있다.

연약지반 개량공사 필요유무의 판단은 구조물의 기능, 기초형식, 공기 등을 고려하여 종합적인 판단을 한 후 결정하여야 한다.

6.1.2 연약지반 개량공법의 종류

연약지반 개량공법의 종류에는 외국에서 도입되어 우리 나라에서도 많은 시공경험을 보유하고 있는 프리로딩 공법, 연직배수 공법, 샌드컴팩션파일(SCP) 공법 등과 최근 들어 그 사용빈도가 증가하고 있는 동압밀 공법 및 특수한 목적에서 사용되며 최근 국내에 도입되기 시작한 진공압밀공법 등 다양한 공법들이 있다. 이와 같이 다양한 연약지반 개량공법들을 개량원리와 개량 목적 및 개량하고자 하는 지반의 상태에 따라 분류해 보면 <표 409.22>와 같다.

<표 409.22> 개량 목적과 적용지반에 의한 대책공법

개량원리	공법의 명칭		개량목적	적용지반
다짐	샌드 컴팩션 파일 공법		· 액상화 방지 · 침하감소 · 지반의 강도 증가	점성토, 사질토, 유기질토
	봉다짐 공법			사질토
	바이브로플로테이션 공법			
	중추낙하다짐공법		· 침하감소 · 액상화 방지	사질토
	폭파다짐, 전기충격공법			
	동압밀 공법			
고결열처리	표층혼합처리 공법		· 도로의 노상, 노반의 안정처리	점성토, 사질토, 유기질토
	심층혼합처리 공법		· 활동파괴 방지 · 침하저지 및 감소 · 전단변형 방지 · 히빙 방지	
	약액주입 공법			
	소결 공법			
	동결공법			
보강	복토공법		· 도로의 노상, 노반의 안정처리	점성토, 유기질토
	표층피복공법(시트, 매트, 필타)		· 국부파괴, 국부치하 방지	
경량화	경량자재		· 지반의 지지력 향상 · 지반의 전단변형 억제 · 지반의 침하억제 · 활동 파괴의 방지 · 시공기계의 주행성 확보	점성토, 유기질토
하중균형	압성토 공법			
하중분산	침상 공법			
	시트넷 공법			
	샌드매트 공법			
	표층혼합처리 공법			
치환공법	굴착치환 공법		· 활동파괴방지 · 침하의 감소 · 지반 전단변형 억제	사질토, 점성토, 유기질토
	강제치환 공법			
	폭파치환 공법			
압밀배수	프리로딩 공법		· 잔류침하의 감소 · 지반의 강도 증가	점성토, 유기질토
	연직배수공법	샌드드레인 공법		
		페이퍼드레인 공법		
		팩드레인 공법		
	지하수위 저하공법	웰포인트 공법		사질토
		깊은우물 공법		
	진공압밀공법		· 압밀촉진 · 잔류침하감소 · 지반의 강도 증가	점성토, 유기질토
	생석회 말뚝공법			
	전기침투공법			
	반투막공법			
	쇄석말뚝공법		· 액상화 방지	사질토
	표층 배수공법		· 표층지반강도 증가	점성토, 유기질토

6.1.3 연약지반 개량공법의 선정

대책의 목적, 대상 지반의 성질, 공기, 주변의 영향 등을 고려한 공법을 선정하여 소기의 목적을 달성할 수 있는지 비교 검토한 후에 최종적으로 경제적인 관점에서 최적공법을 선택한다. 연약지반 개량공법의 선정, 설계, 시공에 대한 흐름도는 <그림 409.17>과 같다.

(1) 공법 선정시의 유의사항

연약지반 대책은 안전하고 경제적인 도로 구조물을 만들기 위해서 수립된다.

지반개량은 반드시 하나의 원리에 입각하여 존재하는 것이 아니라 복수의 원리에 의해 혼합병행공법으로 적용하는 경우가 많다. 그러므로, 지반개량공법의 선정에 있어서는 개량의 목적을 명확히 하여야 하며, 대상토 지반의 성질, 하중조건, 시공여건, 공사기간, 주변 자연환경과 주변에 미치는 영향 등 제 조건을 감안하여 개량목표와 원활한 시공, 경제성을 고려한 적합한 공법을 수립하여야 한다. 지반개량공법을 적용하고자 하는 경우에는 <표 409.23>과 같은 많은 조건을 종합적으로 감안할 필요가 있다. 또한, <표 409.24>과 같이 각각의 연약지반 개량공법에 의한 개량효과 및 사용가능한 지반조건과 시공성을 고려하여야 한다.

(2) 도로와 연약지반의 특성

연약지반상에 도로를 축조할 때에는 도로의 종류, 규모 등을 확정하여 공학적 의미의 연약지반 여부를 판단해야 한다. 이는 지반조사, 현장조사, 그리고, 실내시험 결과로부터 대상 도로 구조물에 대한 허용지지력 및 허용침하량을 계산하여 비교 검토함으로써 가능하다. 연약지반의 특성은 먼저 구조물 조건과의 조합으로 대책공법 실시의 유무를 판단하기 위해서 원지반 조건에서의 설계 검토가 필요하다.

대책이 필요하다고 판단이 될 경우에는 대책공법의 선정이 필요하다. 따라서, 이에 따른 각각의 대책공법은 지반의 조건에 맞는 대책공법을 선정해야 한다.

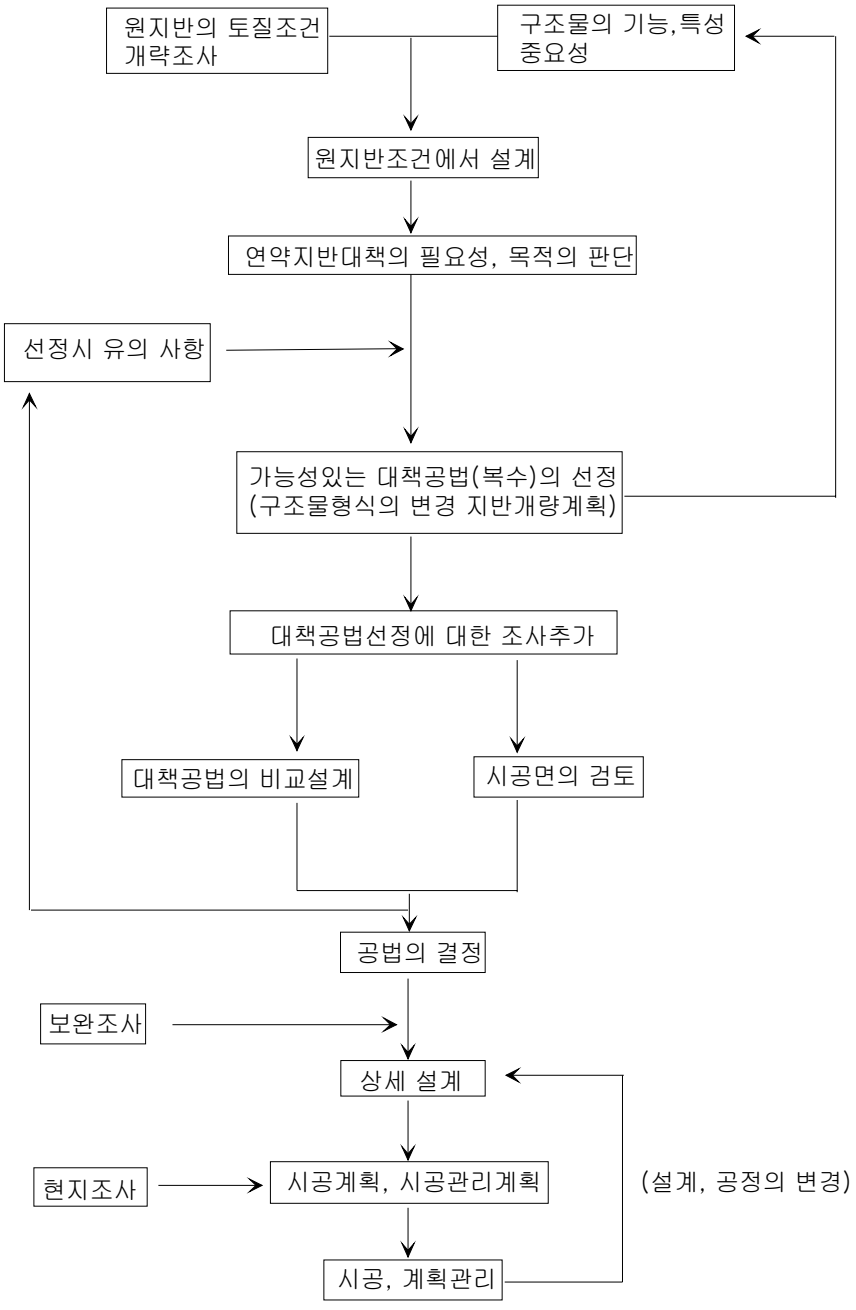
(3) 연약지반 대책의 목적

설계검토 결과 원지반에 대해서 무엇이 문제가 되는지, 대책의 목적과 대책의 정도 등을 명확히 할 필요가 있다.

(4) 공기나 환경의 제약

공기는 공법의 선정 폭을 좌우하는 요인이 된다. 예를 들어, 프리로딩 공법의 경우는 개량비도 타 공법에 비해 비교적 저렴하고, 시공기술에 있어서도 비교적 용이하나 소정의 개량효과를 얻기 위해서는 장시간이 소요되므로 장시간의 공기가 허락되는 두꺼운 점토층에서는 효과적이다. 공기의 제약이 엄격한 경우에는 연직배수보다는 치환율이 높은 샌드 컴팩션 파일이나 수주일 내에 효과를 얻을 수 있는 심층혼합처리 공법을 선정하는 것도 가능하다.

최근의 건설공사에서는 환경에 대한 배려가 큰 문제가 되고 있다. 따라서, 인접하는 기존 구조물에 대해 영향을 주지 않아야 하는데, 원지반을 강제적으로 배제하는 다짐공법이나 생석회 말뚝 공법의 타설 방향 등은 인접한 기존 구조물에 변형을 가져올 수 있고, 압밀에 의한 인접 구조물의 잔류 침하 영향을 고려해야 한다. 그리고, 약액주입 공법에 의한 지하수 오염의 문제도 고려해야 한다.



<그림 409.17> 연약지반 개량공법의 선정, 설계, 시공흐름도

<표 409.23> 공법선정에 따른 유의사항

유의 사항	내 용
· 구조물 특성	구조형식, 규모, 기능, 중요도
· 연약지반의 특성	연약층의 종료, 연약층의 범위, 심도, 지반전체의 지층상태, 지지층의 심도와 경사, 각 층의 공학적 특징
· 개량의 필요성	가설적 개량, 영구적 개량
· 개량 목적	강도증가, 침하촉진, 침하 및 액상화 방지, 지수
· 지반개량공법의 특성	설계의 정도, 시공능력, 시공의 난이도, 시공기계나 재료입수의 난이도, 효과판정의 난이도
· 공기나 환경에 따른 제약	공기, 오염, 진동, 소음
· 종합적인 경제성	기타 공법과 비교
· 기타	설계 변경의 난이도, 장래계획의 연계성

<표 409.24> 연약지반 개량공법의 효과 및 적용성

분류		개량 목적						대상지반			효과		시공시 지반의 교란	비고
		침하		안정										
개량 원리	공법명	침하촉진	침하저감	전단변형억제	강도증가촉진	활동저항부여	액상화방지	사질토	세립토	고유기질토	즉효성	지효성		
치환	굴착치환 공법		◎	○		◎	○	○	○	◎			소	
	강제치환 공법		◎	○		◎			○	○		○	소	
	압성토재하 공법	◎			○				○	◎		○	소	
배수	연직배수 공법	◎			◎				○			○	중	
	생석회 파일 공법	○	○	○	○	○			○				소	
	웰 포인트 공법	◎		○	○				○				소	
	진공압밀 공법	◎		○	◎				○				소	
압밀	샌드 컴팩션 공법	○	◎		△	◎	◎	◎	○	○	○		대	
	바이브로 플로테이션 공법		○	○			◎	○					대	
	동압밀 공법		○	○			◎	○	△		○		대	
고결	심층혼합처리 공법		◎	○	○	○	○	○	◎		○			
	천층혼합처리 공법		◎	◎	◎	○		◎	◎	◎	○		대	
	약액주입 공법		○	○	○			○	△		○		소	

6.1.4 대책공법의 조합

대책공법의 결정에는 풍부한 지식과 경험이 필요로 하고, 지반조건, 도로조건, 시공조건 등을 고려하여 선정하여야 하며, 단독공법으로 처리되는 경우도 있으나 대부분 두 가지 이상의 공법을 혼용하는 경우가 일반적이다.

① 재하중 공법(프리로딩, 진공압) + 연직배수 공법(샌드드레인, 팩드레인, 페이퍼드레인, 메나드 드레인, 쇄석드레인)
② 재하중 공법+압성토
③ 연직배수 공법+모래다짐말뚝(SCP) 공법
④ 샌드매트+①
⑤ 샌드매트+토목섬유(Geotextile)+①
⑥ 샌드매트+토목섬유+②
⑦ 샌드매트+토목섬유+③
⑧ 연직배수공법+혼합처리공법
⑨ 기타

6.2 장기침하 대책

연약지반상의 장기침하 대책은 운영 후 계속되는 침하에 대응할 수 있는 구조로 설계하는 것으로 관리단계에서의 보수방법, 규모, 난이성을 고려한 후에 경제적으로 유지관리하기 쉬운 대책공을 검토하도록 한다.

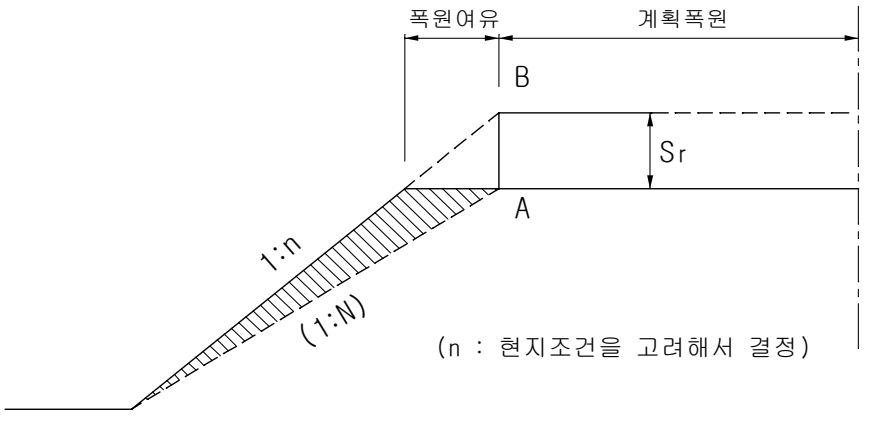
6.2.1 제체구조

(1) 잔류침하량이 큰 구간의 여유폭의 확보

흙쌓기 종료 시 제체 형상을 계획 단면 그대로 마무리하면 흙쌓기 완료 후 침하에 의해 덧씌우기가 필요한 만큼의 폭원 부족이 생긴다(<그림 409.18>). 따라서, 제체의 시공 폭은 침하를 고려한 폭원 여유를 확보하도록 한다. 폭원 여유는 <그림 409.18>과 같이 S_r(시공완료 후 5년 간의 침하량)에 상당하는 폭으로 한다.

(2) 일반 제체부의 더돋기

일반 흙쌓기부의 더돋기는 상부노체에서 하부노상면까지 하는 것이 바람직하다. 더돋기량의 추정은 흙쌓기 시공시부터 포장으로 될 때까지의 기간은 원칙적으로 토공계획 높이는 지키도록 한다. 더돋기량의 결정에 있어서 연약층의 규모, 흙쌓기 구간의 연장(구조물, 원지반 간의 거리)등으로 고려할 필요가 있다.



<그림 409.18> 제체폭의 여유를 잡는 방법

6.2.2 잠정포장

잔류침하량이 클 것으로 예상되는 구간에서는 잠정포장을 검토하는 것이 바람직하다. 그러므로, 잠정포장과 완성포장의 두께차이만큼 노상마무리 높이는 높아지게 된다.

6.2.3 구조물

(1) 암거의 더돋기 및 여유단면의 확보

도로전용 암거는 더돋기로 대처한다. 수로암거는 단면여유로 대처하도록 하고 가능한 범위내에서 더돋기를 한다. 또, 토피로 인해 더돋기 시공 및 여유단면의 확보가 곤란한 경우에는 배수구배를 고려한 후에 접속도로를 절단하여 늘어뜨리는 등의 대책을 세운다.

교대, 암거의 옹벽은 침하에 대응할 수 있는 구조로 한다. 암거 이음부에서는 지수판을 넣고 저판에는 슬립바를 넣는다. 지수판은 부등침하에 대응할 수 있는 구조로 한다.

(2) 말뚝기초를 가지는 기초저면의 공동화 대책

말뚝기초나 케이슨 기초를 시공한 교대의 기초저면에는 장기침하로 인한 공동이 생기는 경우가 있다. 이와 함께 교대접속부의 단차외에 노면이나 비탈면의 함몰이 생기는 경우도 있는데 발포콘크리트를 채우는 방법이 사용되는 예가 있다. 따라서, 장기침하에 의한 공동화가 예상되는 구조물에는 건설시에 충진재를 넣을 수 있는 파이프 등을 설치해 두는 것도 중요하다. <그림 409.4참조)

6.2.4 부속 구조물

(1) 배수 구조물

① 연약지반상에 설치할 경우 될 수 있는 한 침하가 진행한 후에 시공하고 어느 정도 침하에 대응할 수 있어야 하며 보수가 용이한 구조로 한다.

② 중앙분리대의 배수구조물은 증축, 재설치등의 유지보수를 고려하여 오픈타입으로 한다.

③ 부등침하에 의한 노면침수 처리를 위한 배수구의 배치검토

④ 교대접속부, 암거, 절성토 경계, 큰 침하가 염려되는 곳에 미리 도랑을 배치한다.

(2) 방호책

운영후의 부등침하에 의한 노면요철, 노면의 수선 등으로 소요높이가 부족해진다. 따라서, 미리 보수를 전제로 한 구조로 설치할 필요가 있다. 이때 이용되는 방호책의 부재는 증축에 견딜 수 있는 것으로 한다.

(3) 통신관로등

땅깎기 및 흙쌓기 경계, 교대 접속부 등 커다란 단차가 발생하기 쉬운 장소에서 지하매설관의 사용은 피하거나 사용시 침하대책을 세운다.

(4) 그 외 구조물

제체의 침하에 수반하는 방음벽이나 문형식 표지의 표주도 침하하기 때문에 부등침하가 예상되는 장소에서 지주간격을 고려하고 증축하기 쉬운 구조로 한다.

409.7 연약지반 개량공법 상세

연약지반 개량공법에 대한 개요와 간략한 공법 원리, 공법 적용 및 적용시 주의할 점, 시공사례는 다음과 같다.

7.1 샌드매트 깔기공

7.1.1 공법개요

연약지반상에 부설되는 샌드매트(sand mat)는 연약지반의 압밀로 인해 배출되는 물의 원활한 배수를 위한 상부 배수층의 역할과 압성토 내로 지하수가 상승하는 것을 차단하는 지하 배수층의 역할 및 시공장비의 주행성(trafficability)을 확보하기 위한 지지층 역할 등의 목적으로 부설된다.

7.1.2 샌드매트의 두께 산정방법

(1) 장비 주행성에 대한 샌드매트 두께 산정

대상지반이 연약 점토지반인 경우에는 비배수 전단강도가 장비의 주행성을 결정하는 주요 인자가 된다. 따라서 대상 연약지반의 비배수 전단강도가 주어지면 이를 사용하여 설계시 지반의 허용지지력값을 산정할 수 있고, 이로부터 장비의 주행성을 고려한 샌드매트의 두께를 결정할 수 있다. 참고로 연약지반의 평균 콘지지력을 바탕으로 가정된 샌드매트의 표준두께는 <표 409.25>와 같다.

(2) 배수기능에 대한 샌드매트의 두께 산정

연약지반 상부에 부설되는 샌드매트는 연약지반이 압밀침하를 하면서 배출되는 간극수에 대한 수평배수로 역할을 수행할 수 있어야 한다. 따라서 연약층이 두꺼운 경우, 흙쌓기폭이 넓은 경우, 압밀로 인한 물의 배출이 많은 경우 등에는 배수로의 역할을 적절히 수행하기 위하여 충분한 샌드매트 두께가 요구된다.

샌드매트층에 의해 유발되는 총 침하량이 연약지반의 압밀침하량이라고 가정하면 단위길이당 총 압밀배수량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q &= L \cdot S = k \cdot i \cdot A \\ &= k \cdot \Delta h_w \cdot h / L \end{aligned} \qquad (409.21)$$

$$\therefore \quad h = \frac{L^2 \cdot S}{k \cdot \Delta h_w}$$

여기서, Q : 압밀배수량(m^3/s)

L : 샌드매트의 배수거리(m)

S : 단위시간당 배출되는 수량($m^3/sec/m$)

k : 샌드매트 투수계수

h : 샌드매트두께(m)

Δh_w : 배수거리에 따른 샌드매트 소요수심(m)

<표 409.25> 샌드매트의 두께

표층의 콘지지력 (kg/㎠)	샌드매트의 두께 (cm)
2.0 이상	50
2.0 ~ 1.0	50 ~ 80
1.0 ~ 0.75	80 ~ 100
0.75 ~ 0.5	100 ~ 120
0.5 이하	120

7.1.3 시공

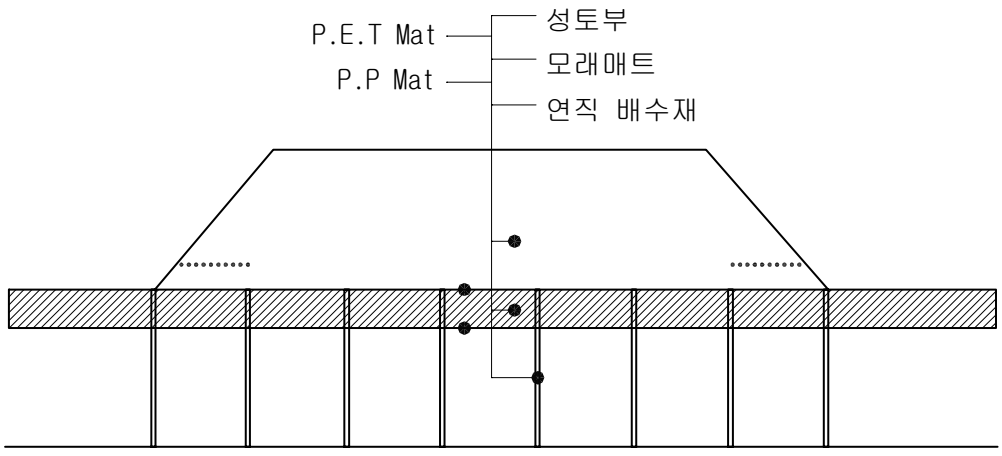
샌드매트의 시공에 있어서는 준비배수를 충분히 하여 시공에 따른 기초지반의 흐트러짐을 적게 하고, 점토 등이 섞여 들어가 배수효과에 지장을 주는 일이 없도록 계획한다. 또 샌드매트의 재료는 세립화하지 않는 재료를 선정할 필요가 있다. 흙쌓기 범위가 넓을 경우 양측면을 먼저하고 지표면의 상황 및 연약정도에 따라 시공방법을 고려하며, 편압 등을 소홀히 하여 불균일한 부설두께가 되지 않도록 해야 한다. 지하배수공의 배치에는 제체 종단 방향 또는 횡단 방향으로 설치하지만, 종단 방향으로 설치할 경우는 통수거리를 짧게 하는 것이 유리하다.

지하배수공은 샌드매트 안에 설치하여 배수공 내에 점토 등의 세립분이 침입하여 배수 효과를 저하시키는 일이 없도록 유의할 필요가 있다. 특히 배수량이 많은 경우는 지하 배수공의 추가나 유공관을 사용하는 것이 바람직하다.

7.2 토목섬유 매트 깔기공

지반보강을 위한 토목용 합성재중에서 대표적인 소재는 토목섬유이다. 그 기능으로는 여과, 배수, 분리, 보강 등이 있다. 그러나 최근에 발표된 문헌들에 의하면 토목섬유의 보강재로서의 기능은 서서히 격자형의 지오그리드나 셀형태의 폴리머 합성재로 대체되고 있는 경향이다. 일반적으로 연약지반에서의 흙쌓기 시공에서 사용되는 토목섬유의 종류로는 폴리프로필렌(P.P, polypropylen) 또는 폴리에스트(PET, polyester) 등이 있으며 일반적으로 매트의 포설은 <그림 409.19>와 같다.

이때 폴리프로필렌매트와 폴리에스트매트는 일반적으로 <표 409.26>과 같은 목적으로 부설된다.



<그림 409.19> 매트 포설단면도

<표 409.26> 토목섬유의 부설목적

구 분	목 적
폴리프로필렌 매트 (P.P 매트)	· 기존 연약지반과 모래층의 혼합을 차단하여 모래매트의 기능 유지 · 장비의 초기 진입시 필요한 운행성의 증진 · 지반의 지지력 향상 · 여과층으로서 배수효과 증진
폴리에스터 매트 (P.E.T 매트)	· 연약지반 흙쌓기시 지지력 증대 및 비탈면 안정 · 연약지반 흙쌓기시 장비 주행성 확보 · 흙쌓기의 기층 안정

7.3 재하중 공법

7.3.1 공법 개요

연약지반의 공학적 성질을 개량하기 위한 한 가지 방법으로서 연약지반 표면에 등분포 하중을 가하여 목적된 구조물의 설치 전에 필요한 만큼의 압축이 발생하도록 유도하는 공법을 재하중(Preloading) 공법이라 한다. 재하중 공법은 연약하고 압축성이 큰 지반에 상재하중을 가하는 작업이므로 지반붕괴에 대한 안정성이 문제가 되기 때문에 지반의 압밀 크기와 속도 등에 대한 정확한 자료가 필요하며, 지반 개량시에는 철저한 지반조사가 수반되어야 한다.

공법 설계에 있어서 문제가 되는 사항은 과재하중의 크기와 재하기간의 결정이다. 또한, 압밀시간의 단축을 위해서 지중에 배수를 위한 드레인을 타설하는 연직배수(Vertical Drain) 공법이 사용되며, 주로 재하중 공법과 병용하여 시공한다. 재하공법을 크게 분류하면 흙쌓기방법에 따라서 단계 성토 시공법, 완사면 공법, 압성토 공법 등으로 분류할 수 있다. 사용목적에 의한 분류에 따라 재하중 공법, 여성토 공법, 흙쌓기 비탈면 파괴 방지용 재하공법 등으로 분류할 수 있다. 또한, <표 409.27>과 같이 재하재료에 따라 분류할 수 있다.

재하중 공법은 일찍부터 도로를 위한 제방축조공사에 많이 쓰여져 왔다. 이 공법은 선행압밀 공법이라 하는데 건물기초, 교대기초, 도로제방, 단지개발에 많이 쓰이고 있다.

7.3.2 공법 원리

(1) 1차 압밀 침하와 2차 압밀 침하

지반에 처음부터 설계하중(P_d)만을 재하하였을 때, 1차 압밀 침하량과 시간의 관계를 나타내면 <그림 409.20>에 점선으로 표시한 곡선과 같이 되며, 이 그림에서 S_d는 최종 1차 압밀침하량을 의미한다. 동일지반의 설계하중보다 P_s만큼 큰 하중을 재하한다면 1차 압밀침하량과 시간의 관계는 <그림 409.20>의 실선과 같이 되며 침하량의 크기가 설계하중에서 최종 1차 침하량 S_d와 같아지는 시간 t_c가 경과하면 초과하중을 제거하여도 더 이상은 1차 압밀 침하가

<표 409.27> 재하재료에 의한 재하공법의 분류

재하 공법	재료	공법의 특징
흙쌓기 공법	흙	· 필요한 성토고를 확보 가능 · 재료비 저가 · 하중 크기를 자유로이 할 수 있음 · 활동파괴 주의
대기압 공법 (진공압밀공법)	대기압	· 하중에 한계가 있으나 흙쌓기와 병행 가능 · 재료비 저렴 · 진공을 위한 기압 쉬트(Sheet) 설치 필요 · 활동파괴 주의
물하중 공법	물	· 단위 중량이 적기 때문에 하중 단계가 있음 · 누수 방지공과 주위에 제방 필요 · 물의 집수및 배수가 용이하지 않으면 사용을 피해야 함
기 타	콘크리트 강재	· 단위 체적중량이 높기 때문에 재하고를 낮게 할 수 있음 · 재료비가 고가 · 재하가 비교적 어렵다 · 재하시험등 특수한 경우 이외에는 사용하지 않는다

일어나지 않을 것으로 기대된다.

재하중하에서 지반의 압밀침하량이 S_d에 이르는 시간 t_c경과 후의 평균압밀도, U_c는 식 (409.22)와 같다. 즉, 개량하고자 하는 지반에 재하중을 하고 평균 압밀도가 U_c에 이르는 시간 t_c가 경과한 후 초과하중을 제거하면 설계하중에서 이론상 더 이상의 침하가 발생하지 않는다. 그러나, 실제의 시공시에는 흙쌓기가 순간적으로 재하되는 것이 아니며, 여성토 제거시 약간의 리바운드가 일어나므로 압밀촉진 효과가 다소 손실될 수 있다.

$$U_c = \log(1+\frac{P_d}{\sigma'_0}) / \log[1+(\frac{P_d}{\sigma'_0})(1+\frac{P_s}{P_d})] \quad (409.22)$$

여기서, U_c : 평균압밀도

P_s : 초과하중(kg/㎠)

P_d : 설계하중(kg/㎠)

σ'_o : 초기 유효응력(kg/㎠)

재하중 공법을 이용하여 설계하중에서 2차 압밀 침하가 일어나지 않도록 하려면 1차 압밀침하방지를 위해서 행한 것과 비슷한 방법으로 하중의 재하시간을 산출하여야 한다. 1차 압밀 관계식 등을 이용하여 재하중에 의한 1차 압밀침하량이 설계하중하에서 2차 압축을 고려한 침하량, S_d+S_s 보다 크게 되는 때의 평균압밀도, U_c는 식 (409.23)과 같다. 평균압밀도, U_c가 얻어지는 시간 t_c는 일상적인 방법으로 구할 수 있으며 2차 압축침하를 산정하는 시간 t_s는 목적 구조물의 수명이나 기타 사항 등을 고려해서 결정한다.

$$U_c = \frac{(1 - C_\alpha \log \frac{t_s}{t_p}) \log (1 + \frac{P_d}{\sigma'_0})}{\log [\frac{1 + (\frac{P_d}{\sigma'_0}) + \frac{C_\alpha}{C_c}(1 + e_o) \log \frac{t_s}{t_p}}{(1 + \frac{P_s}{P_d})}]} \quad (409.23)$$

여기서, U_c : 압밀도(무차원)

C_c : 압축지수(무차원)

C_α : 2차압밀지수(무차원)

e_o : 간극비(무차원)

P_s : 초과하중(kg/㎠)

P_d : 설계하중(kg/㎠)

σ'_o : 초기 유효응력(kg/㎠)

(2) 재하 단계의 결정

연약점토층에 재하중 공법을 적용하는 기간 중에는 압밀에 의한 강도증가가 이루어진다.

이 때의 강도증가를 고려하여 한계성토고 만큼 흙쌓기 시공하고, 이것을 반복하여 필요한 흙쌓기높이 만큼 시공해야 한다. 또한, 흙쌓기 후 흙쌓기 법면에 대한 안정성 검토는 전산프로그램을 이용하여 안전율 1.2 이상을 만족하도록 한다.

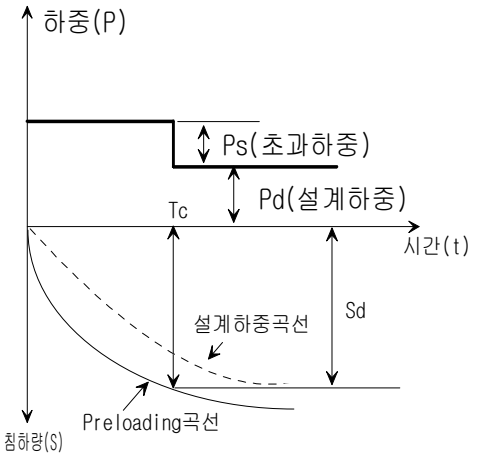
(3) 재하에 따른 비배수 전단강도의 증가

재하중에 의한 압밀과정에서 지반의 비배수 전단강도는 증가한다. 압밀에 의한 강도증가를 예측하기 위하여 흙의 소성지수와 유효연직응력에 대한 비배수 전단강도비(C_u/P')의 관계나 압밀비배수 삼축시험 결과로부터 비배수 강도곡선 등을 이용한다.

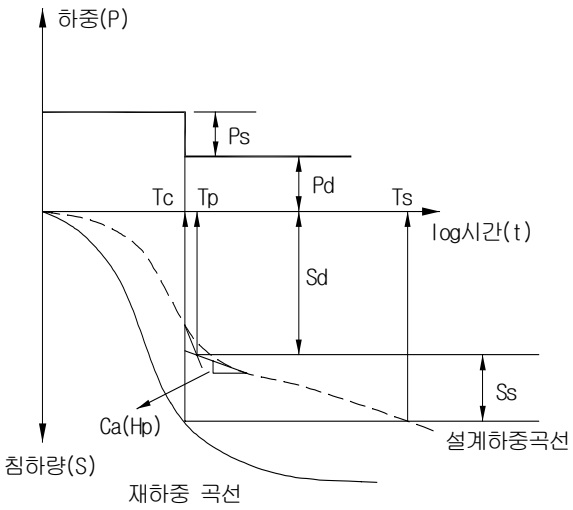
삼축시험 결과에 의하면 비배수전단강도의 증가는 압밀응력의 크기와 밀접한 관계를 가지고 있는데 이 둘 사이의 관계는 대략 $\Delta C_u = 0.2 \Delta \sigma_v$ 와 같이 나타낼 수 있다. 재하중공법의 경우에는 상재하중에 의한 압밀이 완료되기 전에 하중의 일부를 제거하므로 상재하중 전부를 압밀응력으로 볼 수 없으며 특히, 지반내의 깊이에 따라 강도증가의 크기가 변화한다.

(4) 재하 흙쌓기 높이와 안전율

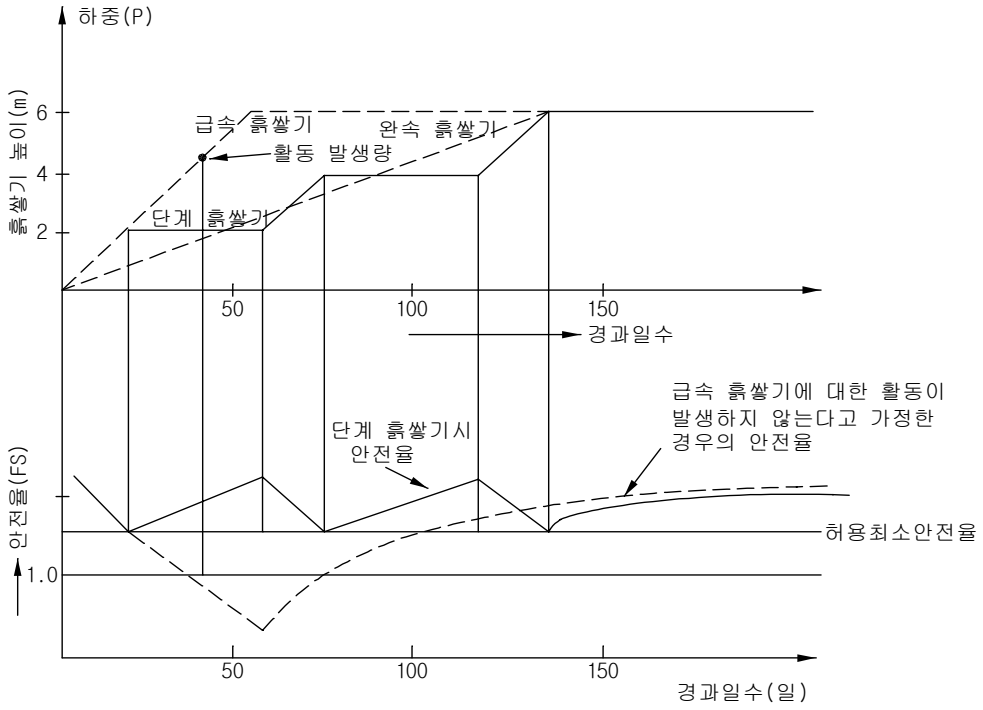
<그림 409.22>에서 보는 바와 같이 일시적으로 급속시공을 하면 안전율이 상당히 떨어지면서 활동파괴가 일어난다. 그러나, 한계흙쌓기 높이까지 흙쌓기하여 방치하면 상부 흙쌓기 재하중에 의해 연약점성토층에 강도증가가 일어난다. 이 강도증가를 고려하여 재차 한계흙쌓기를 한다. 이와 같은 과정을 반복하여 필요한 성토고 만큼 흙쌓기한다. 이때 한계 흙쌓기시공 직전에는 안전율(F_s)이 허용 최소 안전율 정도가 되나 시간이 경과하면 강도증가에 의해서 안전율이 커지게 된다.



<그림 409.20> 재하중에 의한 1차 압축침하



<그림 409.21> 2차 압축침하 제거를 위한 제거시간



<그림 409.22> 흙쌓기 높이와 안전율

7.4 연직배수공

7.4.1 공법개요

연직배수공법(vertical drain method)은 연약층 사이에 주상의 투수층을 촘촘하게 땅속에 배치하여 연약한 점성토 층의 배수거리를 짧게 하여 압밀침하를 촉진시켜 단기간내에 지반을 안정화시키는 방법으로 샌드 드레인(sand drain), 페이퍼 드레인(paper drain), 팩 드레인(pack drain)등이 있으며 그 원리가 모두 동일하다.

샌드 드레인은 직경 10~60cm 정도의 원형 단면을 이용하며, 페이퍼 드레인은 두께 3mm, 폭 10cm 정도의 장방형 단면을 사용한다.

팩 드레인은 정방형 배치의 모래기둥 4본을 화학섬유로 된 직경 12cm의 자루에 모래를 채워 동시 타입이 가능케 한 것으로 4본을 동시에 이동하여 간격 등을 조정한다.

7.4.3 공법원리

Terzaghi의 1차원 압밀이론에 따라 점토층의 압밀에 요하는 시간 t와 최대배수거리 H의 관계는 다음식과 같다.

$$t = \frac{H^2 T_h}{C_v} \qquad (409.24)$$

여기서, t : 압밀시간(sec)

C_v : 압밀계수(cm^2/sec)

T_h : 시간계수(무차원)

H : 점토층의 두께(m)

위 식은 배수거리를 짧게 하는 방법을 이용하여 점토층의 압밀침하를 단시간에 종료할 수 있음을 의미한다. 연직배수공법은 점토지반에 드레인 말뚝을 만들어 물을 인공적으로 배출시켜 배수거리 단축을 통한 압밀 시간을 촉진시키는 공법이다.

연직배수공법은 배수재를 삼각형 또는 정방형으로 배치하여 타설한다. 이 때, 간극수압이 배수재내에 유입하는 범위는 각 배수재에 대해 등거리에 있는 원으로 둘러싸인 부분을 말하며, 육각형 배치도 정방형에 속하지만 해석적 취급을 용이하게 하기 위해 등면적의 원으로 치환하여 구한다. 이때의 원을 등가유효원 de, 배수재 중심간격을 d라 하면, 삼각형 배치인 경우 $d_e = 1.05d$, 사각형 배치일 경우=1.13d 식을 이용한다.

페이퍼드레인에 의한 압밀과정은 등가유효원(d_e)인 원형의 점성토 중심에 직경 d_w의 드레인이 삽입된 모델로 가정하여 해석한다.

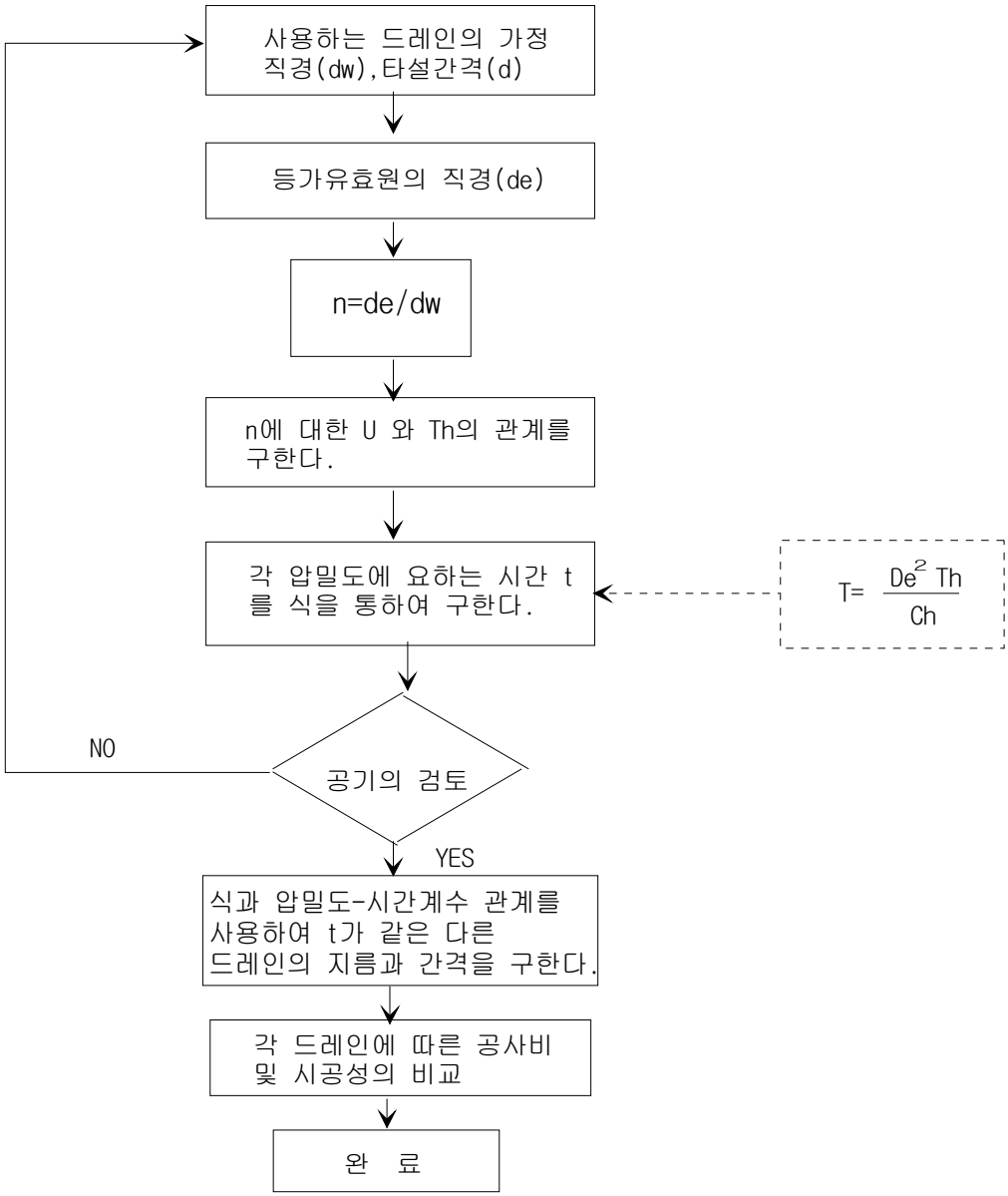
직사각형 단면에서 원형 단면으로의 환산은 다음 식에 의해 구하며, 현재는 이에 안전계수를 곱하여 직경 5cm로 하고 있다. 상기사항을 고려한 연직배수 공법의 설계순서는 다음 <그림 409.23>과 같다.

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}\alpha \qquad (409.25)$$

여기서, d_w : 드레인의 환산직경(cm)

a,b : 드레인의 폭과 두께(cm)

α : 형상계수(무차원)



<그림 409.23> 연직배수공법의 설계순서

(1) 연직배수공법의 압밀이론

지반에 연직배수재가 설치된 경우에는 배수재를 중심으로 배수가 발생하므로, 점토층내의 배수길이를 단축해서 지반의 압밀침하 촉진 및 강도증가가 이루어진다.

① Barron

Barron(1948)은 Terza- ghi의 1차원 압밀이론에 기초를 두고 점토의 투수계수 및 체적압축계수가 압밀중에 변화하지 않는다는 조건하에서 중공원주 방사형 압밀이론을 제안하고 배수재가 설치된 지반의 거동을 자유변형율(연성재하) 조건과 등변형율(강성재하) 조건으로 가정하여 침하양상과 압밀과정을 검토하였다.

실제조건에서 상단면의 형태가 자유변형 인지 등변형인지는 중공원주의 압축에 의한 단부조건에 의존하지만 유효원의 반경에 비해서 드레인의 길이가 상당히 긴 경우에는 등변위 조건으로 가정하더라도 큰 오차는 없는 것으로 알려져 있다.

등변형율 조건에서 Barron의 압밀방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + C_h \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \quad (409.26)$$

여기서, u : 임의의 위치와 시간의 과잉간극수압(%)

t : 전 연직응력의 증가 이후의 시간(sec)

z : 깊이방향의 심도(cm)

r : 동심원상의 중심으로부터 고려하고자 하는 지점의 거리(cm)

C_v : 연직방향 압밀계수(cm^2/sec)

C_h : 수평방향 압밀계수(cm^2/sec)

위 식은 간극수가 연직방향 및 수평방향으로 흐를 경우의 압밀방정식이다. 그러나, 일반적으로 연직배수재는 점토층의 두께에 비해 상당히 작은 간격으로 타설되기 때문에 연직방향의 흐름은 무시하고 수평방향의 흐름만을 고려하여 압밀해석을 한다.

수평방향만의 흐름을 고려한 압밀방정식 및 그 해는 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_h \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \quad (409.27)$$

$$U_h = 1 - \exp\left[\frac{8T_h}{F(n)}\right] \quad (409.28)$$

여기서, $F(n) = \frac{n^2}{n^2-1}\ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$

$$T_h = \frac{C_h \cdot t}{d_e^2}$$

n : 간격항비($=d_e/d_w$)

C_h : 수평방향 압밀계수(cm^2/sec)

t : 압밀도를 구하고자 하는 임의의 시간(sec)

d_W : 연직배수재의 환산직경(cm)

d_e : 등가유효원의 직경(cm)

U_h : 평균압밀도(%)

그러나 상기의 Baron의 식은 교란영역(smear zone)과 배수저항(well resistance) 효과를 고려하지 않으므로 압밀도를 과대평가하는 경향이 있다.

② Hansbo

Hansbo(1981)는 연직배수재의 설치시 지반이 교란영향(smear effect) 및 배수재의 배수저항을 고려하여 임의의 깊이에서 압밀도를 계산하는 방법을 다음과 같이 제안하였음

$$U_{(z,T_h)} = 1 - \exp\left[\frac{-8T_h}{F}\right] \quad (409.29)$$

여기서, $F = F(n) + F_s + F_r$

F(n) : 드레인 간격의 영향

Fs : 교란의 영향(smear effect)

Fr : 배수저항(well resistence)의 영향

배수재의 배수저항와 교란영역을 그림으로 나타내면 <그림 409.25>와 같다. 그리고 배수재의 타설시 발생하는 지반교란의 영향으로 인한 투수계수의 감소효과는 투수계수 감소율(k_h/k_s)을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \cdot \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) \quad (409.30)$$

여기서, d_s : 드레인 주변의 교란영역의 직경 (cm)

k_h : 원지반의 수평방향 투수계수 (cm/sec)

k_s : 교란영역의 수평방향 투수계수 (cm/sec)

d_s/d_w : 교란영역의 반경비

일반적으로 연직배수재는 타설심도가 깊은 경우에는 통수능력에 제한이 있으므로 배수재의 배수저항(well resistance)을 고려하기 위한 계수 F_r은 다음과 같다.

$$F_r = \pi \cdot z \cdot (L - z) \cdot \frac{k_h}{q_w} \quad (409.31)$$

여기서, z : 배수재의 배수거리(cm)

L : 배수재의 길이(cm)

k_h : 원지반의 수평방향 투수계수 (cm/sec)

q_w : 배수재의 통수 능력(cm^3/sec)

③ Yoshikuni

배수저항의 영향이 무시할 정도로 작은 경우, 즉 드레인의 통수능력이 큰 경우는 Hansbo의 방법은 전체 평균압밀도를 고려한 해를 구하기가 복잡하기 때문에 잘 이용되지 않으며 이러한 경우에 대해 Yoshikuni(1979)는 배수저항을 고려하여 다음과 같이 압밀도를 제안하였다.

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F(n) + 0.8L}\right) \quad (409.32)$$

여기서, $F(n) = \frac{n^2}{n^2-1}\ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$

$$L = \frac{32}{\pi^2} \cdot \frac{k_h}{k_w} \cdot \left(\frac{H}{d_w}\right)^2$$

n : d_e/d_w(간격비)

t : 압밀도를 구하고자 하는 임의의 시간(sec)

d_w : 연직배수재의 직경(cm)

d_e : 등가유효원의 직경(cm)

H : 배수재의 타설심도(cm)

k_w : 드레인의 투수계수(cm/sec)

④ Onoue

Onoue(1988)는 Youshikuni가 제안한 배수저항계수(L)을 사용하여 투수성에 관계없이 교란영역과 배수저항의 효과를 고려 할 수 있는 식을 다음과 같이 제안하였다.

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8\,T_h}{F(n') + 0.8L}\right) \quad (409.33)$$

여기서,

$$F(n') = \frac{(n')^2}{(n')^2 - 1} ln(n') - \frac{3(n')^2 - 1}{4(n')^2}$$

$$n' = n \cdot S^{\eta - 1} \ , \ \eta = k_h / k_s$$

⑤ 압밀시간

연직배수재에 의한 지반개량의 목적은 주어진 기간내에 소요의 압밀도를 달성하기 위한 것으로 배수재의 배치간격을 조정함으로서 가능하다. 또한, 지반 교란 및 배수저항의 영향을 고려하여 연직배수재로 지반을 개량할 경우, 소요 압밀도를 얻기 위한 압밀소요시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t = \left(\frac{d_e^2}{8 \cdot C_h}\right) \times (F(n) + F_s + F_r)) \times \left\{\frac{1}{1 - U_h}\right\} \quad (409.34)$$

실제로 연직방향의 배수효과를 고려한 평균 압밀도는 Carrillo에 의하면 다음과 같다.

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h) \quad (409.35)$$

여기서, U : 수평방향의 압밀도

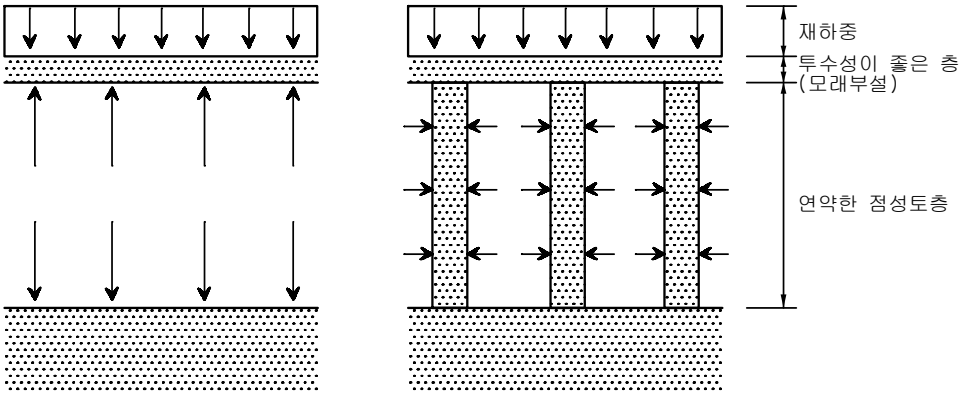
U_v : 수평방향의 압밀도

U_v : 연직방향의 압밀도

7.4.3 개량효과 확인

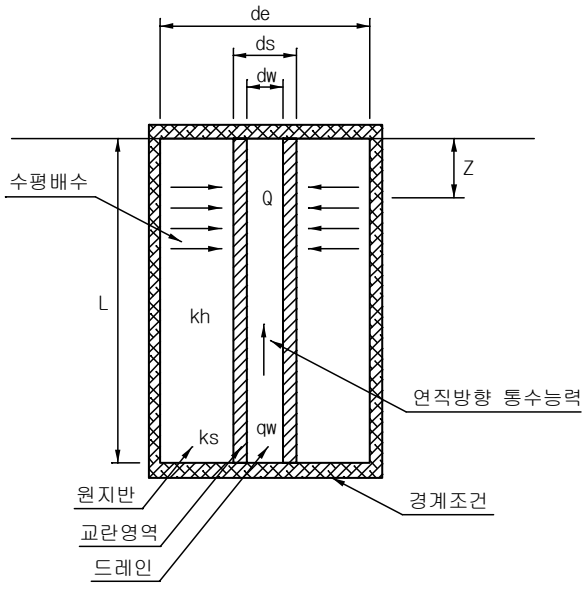
연직배수공법의 효과확인은 압밀의 진행상황(침하촉진과 강도증가)의 파악이다. 이 때문에 작용된 압밀하중의 크기, 각 층마다의 침하량, 간극수압 등이 필요하다. 또한 개량범위 또는 재하 흙쌓기의 형태에 대해서는 연직침하에 대하여 측방유동의 영향이 발생되기 때문에 수평변위의 측정도 필요하다.

침하측정의 데이터와 계산치를 비교하거나 간극수압의 소산상황을 보면서 압밀의 진척상황을 판단하고 적절한 시기에는 자연시료를 채취하여 토질조사를 실시함으로써 지반개량의 효과를 직접 확인하는 것도 매우 좋은 방법이다. 이상과 같이 조사를 계속 혹은 적절하게 실시하여 압밀의 진척상황을 파악하여 예상과 다른 상황이 발견되면 원인을 규명하는 노력과 유효 적절한 대책을 강구하는 것이 공사를 원활히 수행하는데 도움이 된다.



(a) 처리하지 않은경우 (b) 샌드드레인을 타설한경우

<그림 409.24> 배수공법의 원리



<그림 409.25> 배수저항(well resistance)와 교란영역(smear zone)

<표 409.28> 연직배수공법 비교표

구 분	샌드 드레인 공법	팩 드레인 공법	페이퍼 드레인 공법
공법원리	직경 0.4m정도의 모래말뚝 설치 후 배수거리 단축을 통한 압밀 침하촉진	모래말뚝대신 직경 12cm인 섬유망에 모래를 충진하여 설치	개량원리는 샌드드래인과 동일하며 모래말뚝 대신 드레인 보드를 설치함
최대시공심도(m)	50m	50m	33m
평균시공심도(m)	25～25m	20～25m	20m
배수재	모래	섬유망 + 모래	드레인 보드(Drain Board)
시공기간	중장기간	장기간	보통정도
N치 관계	N값 20-30이상 압입 곤란	N값 10이상 압입 곤란	N값 7-10이상 압입 곤란
시공실적	많음	보통	많음
장점	- 상부에 매립층이 있을 경우 관입저항을 극복할 수 있음 - 국내 시공사례 및 경험 풍부 - N=25정도 까지 타설 가능 - 모래말뚝이 활동에 대한 저항효과가 있다 - 투수효과가 확실함	- 샌드드레인 공법에 비하여 교란영역, 배수재 및 샌드심 절단 가능성 적음 - 모래의 양 절감 및 배수재 타설기간 단축 - 시공속도가 빠름 - 시공여부 확인가능	- 샌드드레인공법에 비하여 교란영역, 배수재 및 샌드심 절단 가능성 적음 - 국내 시공사례 및 경험 풍부, 장비가 가벼움(약 3-4t) - 샌드드레인 공법에 비하여 공사비 저렴함 - 재료의 구입이 용이
단점	- 모래말뚝 설치시 교란영역이 커짐 - 소성유동으로 인한 모래말뚝 및 자연적으로 형성된 샌드심 절단가능성 내재 - 양질의 모래가 다량 필요 - 장비중량이 커서 통행성 확보가 어려움 - 팩, 페이퍼 드레인 공법에 비해 시공속도가 느림 - 공사비가 고가임	- 국내 시공사례 미소 - 철저한 품질관리 필요 - 연약지반 심도가 불규칙한 지역은 팩드레인 타설 심도 조절이 곤란 - 페이퍼 타입기 보다 장비중량이 커서 접지압 관리가 어려움	- 드레인 보드 제품의 철저한 관리요망 - 맨드럴 타입기 사용으로 주행성 확보용 복토가 필요하며 철저한 시공관리 요망
횡력에 의한 배수재 절단 유무	있음	거의없음	거의없음
추정 공사비 비율	약 1.8	약 1.3～1.5	1.0
배수효과	시공관리가 잘될 경우 양호하나 절단되면 배수효과 없음	양호	일반적으로 설계계산치 보다도 드레인 효과가 지연됨
시공관리	곤란	양호	쉽다.

7.5 모래다짐말뚝 공법

7.5.1 공법개요

모래다짐말뚝(sand compaction pile)공법은 모래 또는 점성토로 이루어진 연약지반에 모래를 압입하여 비교적 잘 다져진 모래 말뚝을 조성하는 지반개량공법이다.

본 공법은 매립지 등의 비교적 느슨한 사질토지반이나 사석지반에서 진동압입에 의한 원지반 다짐에 의해 지지력 증가, 압축침하방지, 액상화방지, 전단저항 및 수평저항 증대를 목적으로 사용되고 있다.

또, 점성토 지반에서는 단기적으로 주변점토보다 큰 전단강도를 가진 다짐 모래 말뚝을 촘촘히 조성하여 모래말뚝과 점토로 복합지반을 형성하므로 지반의 지지력과 전단저항을 증대시키고, 장기적으로 모래말뚝의 배수 효과와 모래말뚝의 응력집중에 의한 압밀시간과 압밀침하량을 저감시킬 수 있다.

7.5.2 공법원리

모래다짐말뚝 공법의 설계는 원지반의 지지력과 압밀침하 등에 의한 치환율, 말뚝배치형태 및 말뚝간격 및 직경 결정 등의 검토를 실시한다. 모래 말뚝은 아래의 <그림 409.26>과 같이 정방형, 삼각형 및 사변형 배치로 하며, 치환율 a_s는 다음의 식에 의하여 구한다. 또한 치환율과 모래말뚝 단면적의 일반적인 설계값은 <표 409.29>와 같다.

정방형 배치 : $a_s = \frac{A_s}{A} = \frac{A_s}{x^2}$

정삼각형 배치 : $a_s = \frac{A_s}{A} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{A_s}{x^2}$

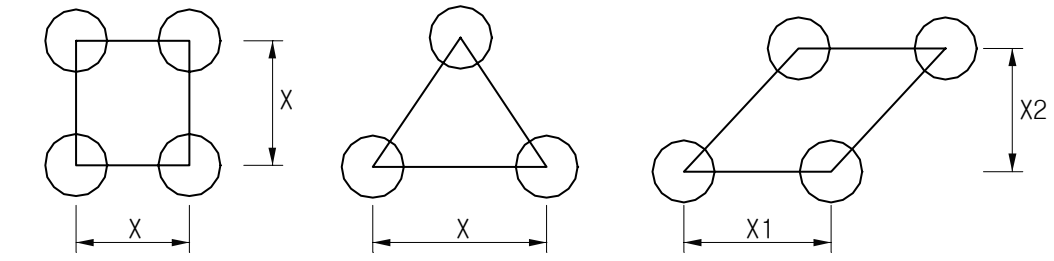
A_s : 모래말뚝의 단면적

A : 모래말뚝 1개가 분담하는 면적

x : 모래말뚝간격

7.5.3 시공방법 및 관리

모래다짐말뚝공법의 시공방법에는 크게 폭파다짐, 선단다짐, 선단 진동다짐 방식 등이 있으며, 이에 대한 내용 및 특징은 <표 409.30>과 같다. 시공관리는 시공 전, 시공 중, 시공 후로 나누어 실시하며, 시공 후에는 반드시 모래말뚝의 연직도 관리, 모래말뚝 타설에 따른 점토의 교란과 회복상황, 모래말뚝 지름과 말뚝강도에 대한 조사를 시행하여야 한다.



(a)정방형 배치 (b)정삼각형 배치 (c)평행사변형 배치

<그림 409.26> 모래말뚝의 배치

<표 409.29> 치환율 및 모래말뚝의 단면적에 대한 일반적 설계값

육상사질토	0.4	60～80(표준:70)	최근들어 육상공사시 진동 및 소음을 고려하여, 모래말뚝의 직경을 30～45cm를 사용하는데, 주변에 미치는 영향을 고려하여 결정하여야 함.
육상사질토	0.4	80～120	
육상점성토	0.4	60～80	
해상점성토	0.15～0.8	100～200(표준:160,200)	

<표 409.30> 모래다짐말뚝 공법의 시공방법

종류 \ 내용	개 요
폭파 (blasting) 공법	- 지하에 매설된 폭발물의 폭파진동을 이용한 공법으로 깊은 다짐의 경우 신속하고 저렴한 지반 개량방법이 된다. - 시공순서 : 제팅(jetting), 진동 또는 여타의 방법으로 파이프를 폭발물 매설깊이까지 관입→매설물장치→파이프내 흙 채움→폭발물 폭파
진동다짐 공법	- 원주형 또는 어뢰모양의 진동막대를 지반내 일정 깊이까지 타입한 후 막대를 지상으로 인발시키면서 다짐을 수행하는 방법으로 진동막대의 모양과 모래충진방법에 따라 바이브로 프로우브, 바이브로 플로우테이팅, 바이브로 컴포우저 공법 등으로 분류.
동다짐 공법	- 개량 지반위에 무거운 물체를 낙하시키는 작업을 반복하여 다짐효과를 얻는 방법으로 동압밀 공법, 중량다짐 공법으로 불린다.

7.6 혼합처리공법

7.6.1 공법 개요 및 설계

혼합처리공법은 지표면으로부터 심도가 3m 이내인 표층부위나 심층의 지반강도 증가를 목적으로 주로 시멘트 등의 고화재를 슬러리 상태로 연약지반에 혼합하는 공법이다.

연약지반에서의 혼합처리공법의 설계시에는 안정재의 선정 및 실내 배합 시험의 검토, 처리대상지반의 소요강도와 처리 두께 등을 고려하여 결정하여야 한다. 처리지반의 강도 및 두께는 처리하고자 하는 대상지반의 상태 및 시공기계, 재하구조물의 종류에 따라 결정한다. 이에 대한 설계법으로는 여러층의 이방성 탄성체지반으로 해석하는 방법, 지반반력법에 의한 방법, 지반내 응력에 의한 방법, 펀칭 전단(punching shear)에 의한 방법 등이 있다.

실내배합시험의 경우, 상세한 실내배합결정을 위해서는 지반공학회 기준 "다짐에 의하지 않는 안정처리토의 시험방법"에 의거하여 배합을 실시할 수 있다.

연약지반의 혼합처리공법에 대한 시공방법을 살펴보면, 일반적으로 백호우를 사용하는 방법은 간편하게 시공할 수 있으며, 해상의 경우 전용선을 이용하는 경우도 가능하다. 혼합처리공법에 사용되는 재료에 대한 비교는 <표 409.31>과 같다.

<표 409.31> 혼합처리 재료의 비교분석

구분	지반 상태						재 료			혼합 및 다짐			효과	
	점성토	사질토	$w \fallingdotseq w_L$ 지반	$w \geq (1.5 \sim 2)w_L$ 인 지반	유기물 적당히 포함된 지반	유기물 많이 포함된 지반	수급용이성	취급시의 안전성	가격	밀크상태로 사용가능 여부	점성토와 혼합정도	다짐공정	빠른 개량효과 확인가능 여부	장기강도
생석회	◎	△	○	△	○	△	○	×	보통	×	○	필요	◎	○
보통포틀랜트시멘트	○	○	○	△	○	×	◎	○	저렴	○	△	불필요	△	○
고로시멘트	○	○	○	○	○	△	○	○	저렴	○	△	불필요	△	○
토질개량용시멘트	◎	○	○	◎	○	○	○	○	고가	○	△	불필요	△	○

7.7 진공압밀공법

7.7.1 공법개요

재하중 및 탈수공법으로서 진공압밀공법은 압밀시 필요한 하중을 기존 재하중 공법의 흙쌓기 하중 대신 지중을 진공으로 만들어 이에 작용하는 대기압 크기 만큼의 진공하중으로부터 지중에 설치한 드레인을 통해 간극수를 강제 탈수 시킴으로서 침하를 촉진시키는 공법이다.

7.7.2 진공압밀공법의 특징

(1) 상부지반이 초연약할 경우 흙쌓기하중 재하 없이 대기압(7t/㎡) 즉, 토사로 환산할 경우 4.5m 높이와 동일한 하중으로 전단파괴 없이 압밀을 급속히 촉진시킬 수 있다. 또한 대기압 하중으로 인하여 재하 흙쌓기량을 어느 정도 절감 할 수 있다.

(2) 연직배수재는 통수능력이 큰 원형주름관을 사용하며, 깊은 심도의 연약층 하부까지 진공 시킬 수 있어, 일반배수공법(페이퍼 및 샌드드레인)의 배수저항을 어느 정도 극복 할 수 있다. 또한, 깊은 연약지층의 탈수에 의한 강도증진 효과를 상부 연약층과 거의 동일하게 할 수 있는 공법이다.

(3) 연약지반을 진공으로 배수시키므로 정적하중에 의한 자연 배수 보다 2-5배의 빠른 속도로 배수되므로, 압밀기간이 일반 배수공법에 비해 2배이상 단축 될 수 있다.

(4) 샌드매트층에 배수재를 설치하므로 종래 공법에서 다량 침하시 측방파괴의 문제점을 해결 할 수 있다.

(5) 연약지반상에 고성토를 시공할 경우 일반 배수공법은 단계별 흙쌓기, 강도 증진을 위한 대기시간 등의 반복작업으로 인해 공기단축의 어려움과 장기간 압밀배수에 의한 배수재의 배수기능 저하로 품질이 저하되는 등의 문제점이 있는데, 진공압밀공법은 단시일내에 시공이 가능하므로 이러한 문제점을 해결 될 수 있다.

7.7.3 공법 적용 및 적용시 주의사항

진공압밀 공법을 이용하여 연약지반을 개량공법으로 이용하는 것외에 다음과 같은 다양한 종류의 공사에 적용할 수 있다.

(1) 1차 및 2차 침하가 붕괴의 원인이 되는 곳의 지반개량
(2) 하층지반의 안정을 빠르게 하는 곳에서 매우 짧은 기간에 제방을 세워야 하는 경우
(3) 탱크 설치를 위한 선행 재하 및 부등침하가 일어나는 곳의 도로확장
(4) 침전지, 침전물을 빠르게 배수하기 위한 저장소의 용량을 확보.
(5) 토질정화(soil cleaning) 및 오염된 지하수 배수

진공압밀 공법을 이용한 지반개량시에 멤브레인 끝부분의 매설심도보다 아래에 투수성이 좋은 샌드심 등이 있는 경우에는 진공압이 새므로 지반개량 효과가 떨어지게 된다. 이 때는 지하수위의 심도를 조사하여 멤브레인의 심도를 결정하거나 대수층으로부터 물과 공기를 빼내는 경우의 배수능력 조사를 위해서 지하수와

투수성 조사가 필요하다.

진공재하를 통해서 재하할 수 있는 최대 하중은 1기압(10t/m^2)으로, 이를 흙쌓기 하중으로 환산하면 약 4.5m정도의 흙쌓기 하중을 재하하는 것과 같은 효과를 얻을 수가 있다. 그러나, 진공 펌프의 효율, 진공 펌프와 드레인 연결부위의 기밀성, 멤브레인의 외부와의 차단성, 및 지하수의 기화에 의한 부압의 감소로 인하여 대기압의 85~95% 정도의 효과만 얻을 수 있다. 드레인 보오드를 통해서 진공하중 재하시 1개의 드레인을 통해서 발휘되는 진공 효과의 영향범위를 측정하는 것은 설계를 위한 중요한 요소이다. 이는 드레인재의 배치 간격을 결정하는 요소이기 때문이다. 1개의 드레인 보오드를 통해서 가해지는 진공압의 영향 범위를 알면 효율적인 드레인 배치 간격을 구할 수가 있다.

7.8 치환공법

7.8.1 공법 개요

연약지반상에서 구조물 건설이 요구될 때, 구조물의 안정 혹은 침하를 검토하는 데 문제가 되는 연약층을 제거하고 양질토(수침에 의해서도 지지력이 잘 저하되지 않는 모래 등의 조립토)와 바꿔넣는 공법을 치환공법이라고 한다. 치환공법은 개량원리가 지극히 명확하기 때문에 재하중공법과 함께 오래 전부터 이용되었으며, 일반적인 지반개량 공법으로서 비교적 중요한 구조물에 대해서 널리 실시되고 있다. 치환공법이 채용되는 대규모 구조물은 육상공사에서의 철도 흙쌓기, 도로 흙쌓기, 하천제방과 항만공사에서의 안벽, 방파제, 호안 등이다.

치환공법은 육상 공사시에는 치환단면을 고려하여 전층치환과 부분치환으로 나눌 수 있으며, 시공방법에 따라 굴삭치환과 강제치환으로 구분된다. 강제치환에는 흙쌓기 자중에 의한 강제치환, 폭파치환과 다지기 모래말뚝에 의한 치환 등이 있다.

굴삭치환공법은 연약토를 지반개량을 필요로 하지 않는 깊이까지 굴삭해서 양질토사로 메우는 공법이다. 연약층의 두께가 3m 정도 이하로 얇은 경우에는 전층치환을 채용한 경우라도 개량에 요하는 기간은 비교적 짧아도 되므로 확실한 효과를 확보할 수 있다. 강제치환공법은 연약토를 굴삭하는 일없이 제거 혹은 배제해서 양질토와 바꿔 넣기를 한다. 시공방법에 의해서 흙쌓기 자중 강제치환, 폭파치환, 다짐모래말뚝 치환이 있다.

7.8.2 공법 설계

연약지반의 강도나 지하수위에 관한 지반조사 결과에 따라 시공시의 검토로 굴착 깊이, 굴착 경사도, 시공기계 배치에 의한 상재하중 등을 고려하여 안정계산을 실시하고 시공순서를 결정한다. 완성시에 대해서는 완성단면에 관한 안정과 침하의 검토를 한다. 침하에 대하여 완전치환 단면의 경우 문제가 발생하지 않지만, 연약층의 일부를 남긴 부분치환을 실시한 경우에는 연약층의 침하의 검토가 중요하다. 특히, 연약지반이 고유기질토의 경우에는 치환재가 되는 양질토와의 습윤밀도 차에 의해 연약층이 장기간에 걸쳐서 침하하여 상부의 구조물에 피해를 미치게 된다.

치환재가 되는 양질토는 수침에 의해 서로 전단강도를 잃지 않고 지지력을 확보할 수 있는 모래 및 자갈 등의 조립재가 바람직하다.

굴착에 의해서 생긴 비탈면의 안정은 굴착깊

이와 연약토의 전단강도에 의해서 정해진다. 굴착 후는 가능한 한 신속히 치환재료로 메워서 비탈면 붕괴를 막아야 하며, 흙쌓기자중에 의한 강제치환공법 등의 강제치환을 할 경우, 육상에서 시행하는 점축식과 해상에서 바지선을 이용한 점고식이 있는데 제체 축조로 인한 융기현상에 주의하고 미치환 점토층을 고려한 제체의 안정검토를 해야 한다. 또한, 사운딩 등에 의해 흙쌓기의 단면 형상파악을 실시하여 잔류침하 발생 가능성을 검토한다.

7.9 동다짐 공법

7.9.1 공법개요

동압밀 공법은 무거운 추를 크레인 또는 타워 등의 특별한 장치를 사용하여 높은 곳으로부터 낙하시켜 지표면에 충격을 주면, 이 때 발생하는 충격에너지가 지반의 심층까지 다짐효과를 주어 지반 강도를 증진시키는 공법이다.

7.9.2 공법의 원리

동압밀 공법의 기본원리는 개량하고자 하는 지반에 10～200t의 중추를 10～40m 높이에서 반복 낙하시키면서 100～4,000t·m의 충격 에너지가 발생하며, 이는 탄성파로 지중에 전달되어 수평방향 인장응력 발생으로 인해 수직방향의 균열과 유로를 형성시켜 과잉간극수압이 소산되며 지반의 압밀을 촉진한다는 것이다.

폐기물, 석괴, 사질토 등과 같은 불포화 지반에 충격에너지를 가할 때 지반이 다져지는 과정은 실내 프록터(proctor) 다짐과 본질적으로 동일하며, 다짐에너지에 의해 토사가 압축되어 즉시 침하를 일으키면서 지반 밀도가 증가되어 강도가 증진된다.

반면, 포화지반에 충격에너지를 가할 경우, 지반의 구조가 파괴되고 과잉간극수압이 발생하여 비점성토인 경우 액상화 현상이 유발되며, 시간 경과에 따라 과잉간극수압 소산과 함께 강도가 증진된다. 이 때 충격 지점마다 관찰되는 충격파의 종류로는 체적파와 레일레이(rayleigh)파로 구분된다.

7.9.3 공법의 특성

(1) 타격에너지를 적절히 변화시킬 수 있어 깊은 심도의 개량이 가능하다.

(2) 모래, 자갈, 매립쓰레기 등 적용범위 다양하다.

(3) 석괴 및 건설폐기물이 혼재되어 있는 지반에도 적용이 가능하다.

(4) 별도의 약품이나 보강재를 필요로 하지 않는다.

(5) 준비기간이 단축된다.

(6) 지반개량 공사 기간이 단축되며, 공사비가 저렴하다.

7.9.4 공법의 적용

일반적으로 동하중에 의한 과잉간극수압의 소산시간은 정하중 상태에서의 흙의 투수계수에 의한 소산시간 보다 빠른데, 그 이유는 인장균열이 지반내 급속히 확산되어 간극수의 유로 역할을 해주기 때문이다. 공법의 적용은 다짐에 의한 밀도 증가, 지지력 증가 및 균질화, 잔류침하의 감소, 지진시 액상화 방지, 침하촉진, 강제치환, 수중의 석괴 마운드 다짐에 이용된다.

7.9.5 시공관리

주요 시공장비는 중추를 소정의 높이에서 효과적으로 반복 낙하시키기 위해 개조된 대형 크레인을 사용하게 되는데, 타격 에너지의 크기에 따라 낙하고와 용량이 결정되며, 통상 50～300t의 크레인이 사용된다.

타격시에는 직경 3～5m, 깊이 1.5～2.5m, 즉 침하체적 5～30㎥의 크레이트(crater)가 발생하게 되는데 이를 양질의 재료로 메워야한다.

동압밀공법은 타격공 이외에 시공의 효율성 도모를 위해 타격작업을 조정하는 기술관리측정 및 시험을 포함하는 것이 특징이다. 즉, 타격을 1단계 마친 후 시공 현황이나 얻어진 개량효과를 검토하여 그 결과를 다음단계에 참고하는 등의 시공관리를 수행하여 시공중 지반의 불균질성에 의해 개량이 불충분할 경우 타격을 더하여 개량을 촉진시킨다.

시공효과는 표준관입시험, 프레져 메타, 콘관입시험(cone penetration test) 등에 의해 강도증가 효과를 점검한다.

7.10 고압분사 교반 공법

7.10.1 공법의 기본원리

고압분사 교반공법의 기본원리는 초고압 분사체가 갖는 운동 에너지를 이용하여 지반의 조직구조를 파괴하고 그 파괴된 토립자와 경화재를 혼합하는 것이다. 유체의 운동에너지에 의한 파괴는 동수압(dynamic pressure), 분류체의 맥동 부하(load of pulse-jet), 물쐐기 작용(water wedge), 물방울 충격력(impact force) 및 공동(caviation) 현상 등이다.

7.10.2 공법의 특징

고압분사 교반공법의 공학적 특징은 다음과 같다.

(1) 토질이나 토층구성에 영향을 받지 않고 필요개수에 필요량의 경화재를 계획적으로 분사교반 함으로써 균질의 흙-시멘트 말뚝(soil cement pile)을 형성할 수 있다.

(2) 보통의 주입공법으로는 지반개량의 지극히 곤란한 세립토 지반개량에 적용 가능하다.

(3) 천공 홀(hole)을 개방시켜 놓은 상태에서 지중에 경화제를 분사하며, 분사시 발생하는 지반내의 압력이 개방된 천공 홀 주변으로 소산되기 때문에 인접 건물의 부상이나 지중 매설물의 영향이 없다.

(4) 근접 구조물의 형상에 따른 부착개량을 할 수 있고 고압분류체에 의한 블라스트(blast) 효과에 의해 보다 밀착성이 높아지는 특징을 갖는다.

(5) 사용되어지는 경화재는 고가의 약액이 아니라 저렴하고 공해가 없는 시멘트계 재료를 주재료로 하므로 종래의 지반개량에 비하여 장기적으로 안정된 개량 고결체를 얻을 수 있다.

(6) 작은 천공 홀(ϕ 60m/m ~ ϕ 130m/m)을 통해 개량하므로 협소한 장소에서도 컴팩트한 기계로 시공할 수도 있고 높이와 폭이 제한을 받는 곳이라도 시공이 가능하다.

7.11 액상화 대책공법

7.11.1 액상화 검토

액상화는 지진, 항타하중 등 지반내에 작용하는 반복전단응력에 의해 지반중에 생기는 과잉간극수압이 초기 지반유효응력과 동일하게 되어 유효응력이 "0"이되는 현상이며 느슨한 사질토 지반에 액상화가 일어나면 지반은 액체상태가 되어 전단저항력이 상실된다.

액상화 발생의 주요 영향요소는 지반의 성질 및 응력조건, 지진 발생시의 응력과 구속조건 등이며 액상화 판정의 대상토층은 일반적으로 지표면에서 20.0m 정도의 포화사질토층이므로 해사를 안벽배면 뒷채움 재료 혹은 지반 흙쌓기 재료로서 이용할 때는 액상화 가능성 여부를 검토할 필요가 있다.

지반상부에 구조물을 축조하는 경우 동적해석도 조건에 따라 고려해야 한다.

7.11.2 액상화 예측방법

(1) 액상화 예측방법의 종류

액상화 예측방법으로는 지진동에 의한 전단응력비 (γ_d / δ_u)의 추정방법과 지반의 액상화 강도의 추정방법 등의 각종 조합에 따라 <표 409.32>와 같이 분류할 수 있다. 액상화 예측은 대상지반의 입도분포와 N치를 이용하는 개략예측으로부터 진동삼축압축시험 결과를 이용하는 상세법까지 대상구조물의 중요도에 따라서 해석의 정도를 고려한다.

(2) 입도 및 등가 N치에 의한 예측·판정

일반적으로 액상화 발생 가능성이 있는 지반은 <표 409.36>과 같이 균등계수 (C_u)가 10 미만의 비교적 입도가 나쁜 사질토 지반으로서 실트 및 점토 크기의 입자 함량이 10% 이하이고 평균 입경이 0.075~2.0mm이다.

<표 409.32> 액상화 예측방법의 분류

지반의 액상화 강도의 측정방법		지진동 레벨의 추정방법	예측법의 일례
간이법↑·↓상세법	입도, N 값	지표의 최대 가속도	Iwasaki와 Tatsuoka방법 (일본도로교 시방서, 동해선)
		지표의 최대 가속도	Tokimatsu와 Yoshimi방법 (일본건축기초기조 설계지침)
		등가선형 중복반사모델	Ishihara 방법 (일본 항만시설의 기술상의 기준·동해설)
	진동삼축시험 등	등가선형 중복반사모델	Seed & Idriss
		유효응력 모델	Finn 등

<표 409.33> 액상화 발생 가능성 조건 C_u (D_{50})

구분	액상화 발생 조건
포화도	포화도가 100%에 가까울때
균등계수	＜10
평균입경 (D_{50})	0.075mm＜ 실트 및 점토 ＜2.0mm
입도분포	세립분이 적은 균일한 입자 함량이 10% 이하
N치	포화지반의 N치가 작을수록

7.12 압성토 공법

7.12.1 공법개요

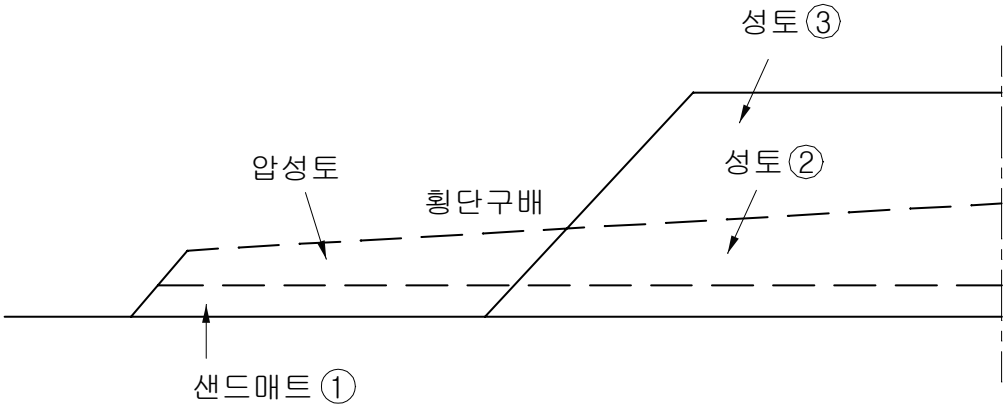
압성토공법은 기존의 제체 외측에 하중으로 작용하는 작은 제체를 축조하여 기초지반의 활동파괴에 대해 활동에 저항하는 모멘트를 증가시켜 활동 파괴를 방지하는 공법이다.

압성토 부분은 공사용 도로, 부체도로, 여유폭, 환경시설대 등으로 활용될 수 있는 이점 외에 흙쌓기에 따른 지반 변형을 경감시키는 효과도 있다. 압성토는 원호활동의 원리 및 시공실적에서 보아도 가장 확실한 공법이며, 그 외의 공법과 비교할 때 경제성 측면에서도 유리한 경우가 많기 때문에, 효과적이다.

7.12.2 압성토 설계에서의 고려사항

(1) 타당성조사 단계

압성토 높이의 표준은 제체 높이의 1/2~1/3 정도이다. 높이를 결정하면 압성토폭을 제체 높이의 2배 정도로 상정하고 안정계산을 하여 소요의 안전율을 얻도록 한다.



<그림 409.27> 압성토공법의 시공순서

(2) 실시설계 단계

압성토의 높이 H는 일반적으로 다음 식으로 구한 값을 표준으로 설계한다.

$$H = \frac{H_{EC}}{F_S} \qquad (409.36)$$

여기서, H : 압성토 높이

H_{EC} : 한계 제체 높이

F_S : 안전율(보통 3.0)

7.12.3 시공

압성토 공법의 시공은 일반적으로 <그림 409.30>과 같이 ① 샌드매트를 시공하고 ② 압성토 부분을 포함한 흙쌓기를 시공하고 계속해서 ③ 제체를 시공한다. 흙쌓기 ②의 시공시 압성토 부분을 선행시켜 시공하고 압성토 부분을 공사용 도로로 이용하는 것은 제체의 안정상 효과적인 방법이다.

7.13 경량성토공법(EPS 쌓기공법)

경량성토공법은 경량골재, EPS(expanded polystyrene), 발포우레탄(EU) 등이 있다. EPS는 보통 발포스치롤로 불리워지고 있으며, 공업 재료적으로는 발포스칠렌으로 불리워 진다.

EPS는 알갱이 형태의 폴리스칠렌 수지에 발포제를 첨가한 후 가열 연화시킴과 동시에 기체를 발생시켜 발포수지로 한 재료이다.

국내에서는 1970년대 초에 EPS를 생산하기 시작하여 그동안 포장재나 건물의 단열재 등으로 활용되어 왔다. EPS가 부피 $1m^3$ 정도의 대형 블럭형태로 제조되어 토목공사에 흙쌓기재로서 적용되기 시작한 것은 1972년 노르웨이 국립도로연구소(NRRL)에서 EPS 흙쌓기공법을 개발하면서부터 이다(NRRL,1987).

국내에서는 1993년 10월 서해안 고속도로 건설현장에서 교대 뒷채움재로 EPS 블럭이 최초로 사용되었다.

EPS 쌓기공법의 계획·설계는 대상 흙구조물의 종류, 규모, 중요성 등을 고려하여, 다른 공법과의 종합적인 비교를 통해 EPS 흙쌓기공법의 장점을 최대한 발휘할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

EPS 쌓기공법은 발포폴리스칠렌의 대형블럭을 경량 흙쌓기재료로 토목공사에 이용하는 공법으로 EPS의 단위체적중량이 흙의 약 1/100 정도로 가벼운 초경량성에 가장 큰 장점이 있다. 일반적으로 EPS 흙쌓기공법은 대형 EPS 블럭을 흙쌓기재료 및 뒷채움재료로서 도로, 철도, 공원조성 등의 각종 토목공사에 적용된다.

발포우레탄(EU)은 중량이 가볍고 강도가 높은 특성을 가지고 있다. EU는 EPS보다는 중량이 무겁고 강도는 높은 성질을 가진다. 가까운 일본에서는 연약지반, 옹벽, 교대, 기초, 비탈면 분야에서 경량성토재, 뒷채움재, 안정재, 보강재, 그라우팅재 등으로 사용되고 있다.

409.8 현장계측

8.1 계측목적

연약지반을 대상으로 시공하는 경우 조사-설계-시공 각 단계마다 불확실성이 존재하고 따라서 이들 각 단계별로 발생하는 오차를 최소화시키는 노력이 필요하다. 즉, 시공단계에서 과대한 변형이 발생하여 파괴를 유발하는 문제와 시공이 완료된 후 과대설계에 대한 평가 두 가지의 상반된 요소에 대한 최적의 관리방향의 정립이 요구된다. 따라서, 현장계측의 궁극적인 목표는 다음과 같다.

(1) 공사의 안정성 확인
(2) 시공관리
(3) 경제성 확보
(4) 설계이론 및 설계정수의 평가

8.2 계측관리 계획시 검토사항

시공상의 안전과 품질검증을 위하여 현장계측을 실시하여야 하는 바 다음과 같은 사항에 대해 사전에 충분한 검토가 실시되어야 한다.

(1) 지반조건 및 주변환경조건
(2) 계측대상이 되는 구조물이나 지반의 계측목적
(3) 계측목적에 따른 계측범위와 계측위치
(4) 계측기의 종류와 수
(5) 계기의 매설, 설치, 유지, 보호 등의 방법
(6) 예상변위량 및 계측가능성
(7) 공사공정에 맞는 계측기간과 계측빈도
(8) 안정관리기법 및 관리기준값
(9) 기타 계측기의 내구성 및 단가

8.3 계측기 매설위치 선정

8.3.1 매설위치 선정기준

목적에 맞는 계측기를 선정한 후 그 계측기를 어떻게 배치할 것인가 라는 것이 중요한 관건이 된다. 계측위치의 선정이 측정대상물의 규모나 주변구조물에의 영향 정도에 좌우된다는 것은 말할 나위도 없지만 측정 개소의 지형, 지질, 토질특성 등의 중요한 요소가 있다는 것도 간과할 수 없는 사항이다. 이러한 사항들을 파악하지 못하고 측정한다는 것은 단순히 계측한다라고 하는 요식 행위에 그쳐, 필요한 자료를 얻지 못하는 결과를 초래하게 된다. 공사에 지침이 될 수 있는 결과를 얻기 위해서는 흙쌓기자체 및 원지반이나 인접구조물의 거동을 충분히 고려하고 또 유사한 조건하에서 계측 예를 참고로 하는 것이 좋다. 일반적으로 계측기의 매설위치 선정기준은 아래와 같다.

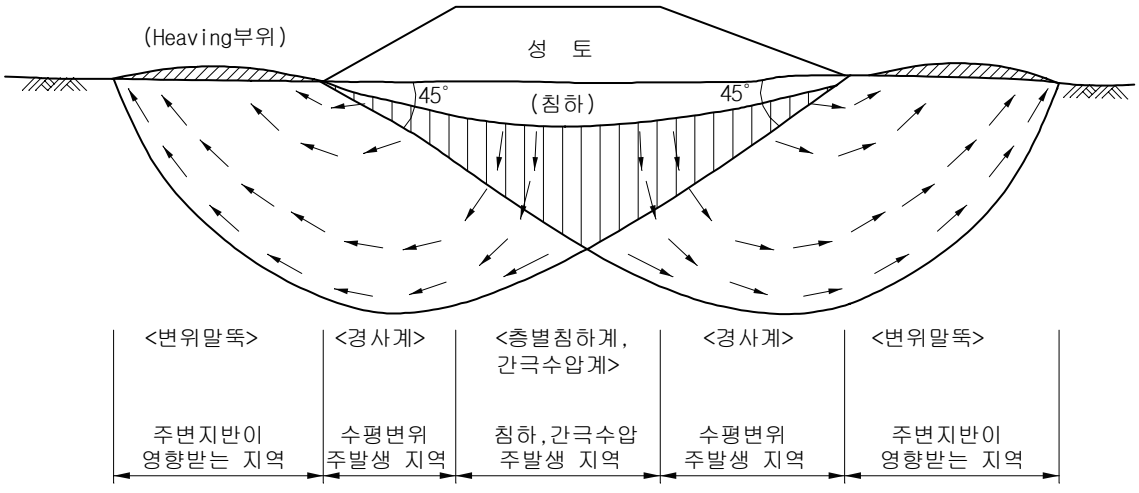
(1) 대상지역 전체를 대표하는 지점
(2) 취약지역
(3) 지반개량 효과분석 및 안정관리 대상지역
(4) 차량, 장비로부터 보호 및 관리가 용이한 지점
(5) 계측기의 상호 연계를 파악할 수 있도록 통합
(6) 사전자료 및 시추조사 등으로 지반조건이 충분히 파악된 지점

8.3.2 계측기 배치

계측내용에 따라 필요한 계측기를 설치해야 하겠으나, 통상의 압밀시공과 관련, 다음 사항의 계측이 수행되어야 한다. 지표면침하, 층별침하, 측방변위(경사), 간극수압 등이다. 이들 측정을 위한 계측기의 배치간격은 연약지층에 따라 달라질 것이다.

지반이 복잡하고 주요 구조물이 축조된 경우에서 집중관리의 대상으로서 보다 철저하고, 많은 계측기를 설치하며, 이때 연약지반의 흙쌓기재하시 지반거동을 고려하여야 한다. 각 계측기의 설치위치에 대해서는 지표면 침하계 및 층별 침하계는 도로의 중앙, 경사계는 흙쌓기단면 하부, 간극수압계는 흙쌓기단면 하부에 설치한다. 고성토구간에서는 흙쌓기단면 비탈끝에서 융기나 측방이동을 관찰할 수 있도록 경사계나 변위말뚝을 설치해야 한다.

계측기의 종류 및 배치기준은 <표 410.34>와 같으며 계측빈도는 현장여건을 고려하여 조정하도록 한다



<그림 409.28> 계측기 배치

<표 409.34> 계측기의 종류 및 배치기준

계측기명	계측목적 및 검토사항	계측기 배치원칙	규 격
층별침하계 (magnetic probe extensometer)	· 연약점성토의 심도별 압밀침하량 측정 및 지표면 침하량과의 비교분석 · 측정된 침하량을 이용하여 지반의 층별압밀정수 추정	· 연약심도가 깊거나 고성토지역에 간극수압계와 동일지점에 설치 · 공당소자는 3개씩	· 스파이더 마그넷(spider magnet) 식 · 여굴지역은 주변지반과 유사한 재료로 채운다.
간극수압계 (vibrating wire type piezometer)	· 흙쌓기하중에 의한 지반내 간극수압의 변화측정 · 과잉간극수압의 소산정도 및 유효응력증가량 유추 · 압밀의 효과 확인 · 압밀진행 및 강도증가 상황 확인	· 연약심도가 깊거나 고흙쌓기지역에 층별침하계와 동일지점에 설치 · 공당소자는 3개씩	· 진동현(vibrating wire) 식 · 계측매설지점은 모래를 이용하여 필터를 형성하고 그 외 여굴지역은 벤토나이트로 채운다.
경사계 (inclinometer)	· 흙쌓기비탈면부의 지반내 수평방향의 변형량과 변형속도 측정 · 흙쌓기중앙부의 최대침하량과 함께 분석하여 흙쌓기비탈면의 안정관리 · 측방유동토압에 의한 교대의 안정성확인	· 전단파괴가 우려되는 고성토지역에 좌, 우 비탈면에 설치 · 현장상황에 따라 교대 전후면 또는 측면에 설치	· 수지형 가이드관 매설 · 여굴지역은 주변지반과 동일한 재료로 채운다.
지하수위계	· 흙쌓기에 의한 지하수위의 변화파악 · 간극수압과 비교하여 과잉간극수압의 소산정도 및 유효응력증가량 유추	· 간극수압계가 설치되는 지점에서 흙쌓기에 의해 자연 지하수위가 영향을 받지 않도록 흙쌓기비탈면에 이격하여 설치	· 다공관길이는 충분한 것 사용 · 여굴지역은 모래로 채운다.
지표침하판	· 설치지점의 전침하량 측정 · 흙쌓기속도 조절, 프리로딩제거시기 판정	· 연약지반 흙쌓기시 100m간격으로 흙쌓기 단면 중앙에 설치	· 침하판 : 1.0m×1.0m×110mm 침하봉 : 1인치 보호관 : 6인치

410
배 수

410.1 일반사항

도로의 배수계획은 노면, 비탈면, 도로 인접지 및 지하배수 등 배수구역내에서 일어나는 모든 수리현상을 조사, 분석하고 적절한 배수시설물을 통해 유입된 물을 가장 자연스럽고 신속하게 처리할 수 있는 방식이어야 한다.

도로의 배수시설은 측구, 도수로, 집수정 배수관 및 배수암거 등이 있으며, 기타 도로건설로 인한 소하천 이설(개수로), 도시계획도로에 설치되는 우수받이, 우수관로, 맨홀 등이 있다.

본 편람은 상기 언급된 배수시설물 설계에 적용하며 하수도정비 기본계획이 수립된 도시지역의 계획도로는 우선적으로 하수도정비 기본 계획상의 배수계획을 준용하고, 그렇지 않은 경우 본 편람을 적용할 수 있다.

도로 계획노선 선정시 물과 기후는 중요한 검토사항으로 도로 건설이 현재의 배수형태와 홍수발생에 미치는 영향과 반대로 홍수발생으로 도로가 받는 영향은 도로의 계획·설계단계에서 검토되어야 한다. 도로건설예정지가 하천변에 위치하여 범람 가능성이 있거나 기타 다른 수리적 요인으로 침수 가능성이 있는 지역에 위치할 수 있다. 이러한 수리적 조건은 환경적, 경제적인 문제를 야기할 수 있으므로 계획단계에서 수리·수문 분야의 전문가에 의한 분석과 해결책을 마련하여 도로노선 결정에 적절하게 적용한다.

410.2 기본계획

2.1 목적

도로의 손상 사례를 살펴보면, 비탈면 붕괴, 배수구 파손 및 막힘으로 인한 토사유출, 도수로 및 날개벽 주변의 세굴, 옹벽의 붕괴 등이 배수불량의 직·간접적 원인이 된다.

도로 건설은 지형변화를 수반하게되고 지표수 및 지하수의 흐름에 영향을 미쳐 농경지를 황폐화시키거나 자연생태계에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 특히, 도로 노면의 배수불량은 노면의 마찰계수를 감소시켜 교통정체 및 사고를 유발시킬 수 있다.

이러한 문제를 사전에 예방할 수 있도록 하는 것이 도로배수시설을 설치하는 목적이며, 세부적인 목적은 다음과 같다.

(1) 도로 흙쌓기 및 포장, 옹벽 등 도로시설물의 기능 보존

(2) 표면수 침투, 지하수 유입으로 인한 지반 지지력 약화방지

(3) 노면배수 불량으로 인한 교통체증 및 사고예방

(4) 도로건설로 영향을 받을 수 있는 지표수의 흐름을 파악하여 자연상태로 연결

2.2 도로계획

2.2.1 범람의 가능성 있는 도로용지

기존 수로의 범람문제를 분석하여 도로건설의 영향과 도로가 받는 영향을 검토한다. 이는 도로 공사시 위험성이 있거나 유지관리 비용이 많이 드는 도로용지를 선별하는데 도움을 준다. 초기계획단계에서 문제가 있는 용지에 대한 원인분석과 개량방법이 제시되지 않을 경우, 도로의 선형기준을 만족시킬 수 있는 다른 양호한 용지를 찾아야 한다. 비록 약간의 개량으로 우량의 용지를 만들 수 있다 해도 문제있는 용지를 선정할 필요는 없다.

(1) 공사 중 발생하는 문제점

범람 가능성 있는 지역에서 시공시 흙의 침전으로 인한 원지반 활동이 문제가 될 수 있다. 홍수와 강우량에 대한 기록을 참고하여 적절한 작업계획을 세우면 침니화로 인한 위험율을 감소시킬 수 있다. 구조물이나 제방은 공사 중간단계에서 홍수로 인한 피해를 받기 쉬우므로 계획단계에서 충분히 고려되어야 한다. 관개작업이 중단되거나 펌프와 배수시설이 침전물로 오염될 경우, 농경지에 심각한 피해를 줄 수 있으므로 적절한 작업계획을 수립한다.

(2) 유지관리 문제점

범람에 의한 침식과 침전은 배수시설의 기능저하와 배수시설의 개량을 필요로 하게 된다. 수로의 변경, 배수계통의 소규모개량은 피해현상에 대한 조사, 배수문제의 원인규명을 통해 이루어 질 수 있다.

2.2.2 관련기관의 협조

도로공사의 계획단계에서 공사관련 기관의 상호협력은 매우 중요하다. 홍수방지, 수자원계획, 하수도정비 계획과 같은 유관계획의 정보공유를 통해 경비절감효과를 기대할 수 있다. 이러한 관련계획들의 사업시행시기는 예산, 사업의 특성에 따라 유동적일 수 있으므로 도로공사 시행과 병행할 수 있는지 우선적으로 검토하여 가능한 국가 경제적으로 이익이 될 수 있는 방향으로 관련기관의 협조를 이끌어야 한다.

2.2.3 홍수피해의 책임

도로설계자는 도로건설기관이 배수문제 발생시 지게되는 책임을 고려해야 한다. 토지의 형질변경과 수로변경으로 인한 홍수피해의 책임을 건설자나 건설기관에게 지우는 것이 일반적이므로, 비록 이러한 변경이 부득이 하고 일부분일지라도 피해에 대한 보상책임을 지게된다. 따라서, 도로계획시 홍수발생으로 피해가 예상되는 범위와 정도를 분석하여 배수시설의 규모, 규격과 위치를 결정하여 시공전 홍수에 대한 대책을 수립하여 시공 중에 침식과 토사유출로 인한 피해가 없도록 대비해야 한다.

2.3 조사 및 분석

2.3.1 개요

배수계획에는 환경문제, 도로의 등급 등에 따라 다양한 자료가 필요하다. 지형 및 지표면의 현황, 기상과 기후, 토질조건, 지하수 및 용수, 인접지 배수시설 현황 등의 자료와 자연수로에 대한 고수위 및 홍수 유출량에 대한 기록 등은 홍수유출에 대한 예측과 배수시설을 결정하는데 중요한 자료가 된다.

2.3.2 배수유역

(1) 유역의 규모

유역(또는 배수면적)의 규모는 강우량으로부터 홍수유출량을 산정하는 방법과 밀접한 관계가 있다. 지리적 특성이 같은 지역에서 유역의 규모는 유출량에 비례하게 되는데 유역의 규모를 결정하는 것은 배수시설의 규모를 결정하는 것이 된다. 유역의 규모는 국립지리원에서 발간되는 지형도와 현장조사를 통해 결정하며, 유역에 대한 항공사진이 있는 경우 유역결정에 도움이 된다.

(2) 유역내 수로

도로배수 유역은 일반적으로 홍수시에만 수로를 관찰할 수 있는 경우가 많으나 현장조사를 통해 유로의 흔적을 찾아 배수계획을 수립한다. 수로의 형상이 최고유량에 영향을 주지는 않지만 수로의 경사와 단면은 배수계획을 수립하는 자료가 된다.

(3) 토지이용

인위적인 토지의 형질변경과 이용현황의 변경은 유출량의 변화로 이어진다. 특히, 도시화와 삼림의 개간은 유역내 침투량을 감소시키고 홍수유출량을 증가시켜 유역규모가 변경되어 도로건설 당시의 배수시설의 기능을 상실케 한다. 토지이용에 대한 조사는 현장조사를 통한 현재시점의 조사와 해당 지자체와 중앙정부의 지역개발계획 등을 수집, 조사한다.

(4) 지질 및 토질의 조사

지하의 암석형성 상태와 하천의 퇴적물과 같은 지질학적 요인은 유역의 유출현상과 관련이 있으며 특히, 토질의 종류는 침투량과 밀접하므로 결국 유출량에 영향을 준다. 강우시 토질의 상태는 유출량을 변화시킬 수 있다. 지반이 얼었거나 수분으로 포화된 상태라면 강우량의 대부분이 유출된다. 지질과 토질에 대한 자료는 지질도, 현장지표조사 및 시추조사 등을 통하여 얻을 수 있다.

2.3.3 하천의 특성

지표수와 지하수의 유출은 하천을 통해 흘러나간다. 자연하천과 수로의 변동사항은 유출량과 유출률에 영향을 미치므로 도로계획 및 배수계획시 검토하여야 한다.

(1) 하천의 구조와 형상

하천망의 기하학적 조건은 홍수발생에 영향을 준다. 하천에는 경계가 명확한 하천과 작고 얕으면서 넓은 범람원을 지닌 하천이 있으며 지류를 많이 갖고 있는 하천과 단순히 본류만 형성된 하천도 있다. 하천의 만곡부는 저류량과 유출량에 영향을 주며 하천망은 홍수규모에 따라 영향의 정도가 달라진다.

(2) 수로변경

흐름의 수리효율성을 변화시키는 수로변경은

도로시설물이 있는 지점에서 최고유량과 수위에 영향을 준다. 도로계획시 수로변경계획에 대한 상세 정보는 매우 중요하다. 수로의 변경, 수리관련 공사계획 등을 조사하여 배수계획에 미치는 영향을 검토한다.

(3) 하상의 변동

하천의 유역특성으로부터 하천의 수면형태는 지속적으로 영향을 받는다. 유역으로부터 유입되는 부유물과 유사량은 하상의 상승과 하천수면을 상승시켜 홍수 유출량을 증가시키며 반대로 침식에 의한 하상저하는 수로용량을 증대시킨다. 하상변화, 계획하상고의 자료는 하천관리기관의 하천정비 기본계획으로부터 얻을 수 있다.

2.3.4 범람원

자주 발생하는 범람유출량의 대부분은 범람원에서 유입된다. 범람원은 수로가 정비되지 않은 모든 지역에 넓게 분포하고 있으므로 도로의 배수계획시 하천이나 수로보다 더 많은 영향을 줄 수 있다. 산지가 많은 우리나라의 경우, 능선부에 위치한 작은골이나 계곡부의 농경지는 중요한 범람원이다. 범람유출의 발생가능성은 범람원의 폭에 대한 깊이의 비로부터 예측할 수 있다. 일반적으로 폭~깊이의 비가 클수록 유속의 변화가 크고, 조도계수 및 식생변화에 영향이 커져 유출량의 변화가 크게 된다. 현장조사를 통해 범람원의 유로방향을 찾고 유출량을 분석하여 도로배수계획을 수립한다.

2.3.5 수문자료

기록이전의 홍수발생을 역사적 홍수라 하는데 이러한 과거의 자료는 오래된 신문, 지역주민의 증언을 통해 얻거나 담벽이나 나무에 새겨진 고수위 흔적조사를 통해 얻을 수 있다.

기존도로, 철도 및 기타 공공시설물의 관리자료에서 홍수에 대한 기록을 찾을 수 있으며 다음사항에 대한 자료는 배수계획에 직접적인 도움이 된다.

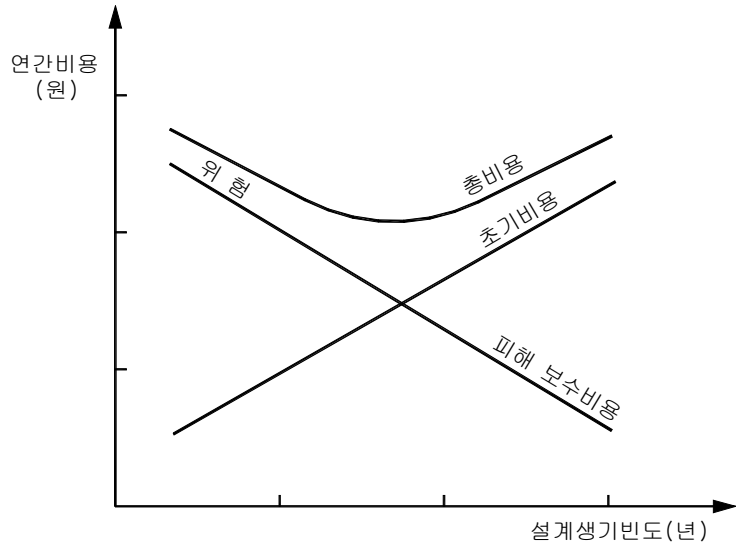
(1) 홍수의 최고 수위
(2) 배수구조물 및 하천 상·하류의 수위차
(3) 홍수발생의 지속기간 및 발생규모
(4) 침수지역의 세굴, 침식 및 침전 정도
(5) 암거의 수두
(6) 여유고에 대한 정보
(7) 최소한의 공사공간 확보

2.4 설계생기빈도의 결정

배수시설의 결정은 설계홍수량 산정으로부터 시작되며 설계홍수량은 생기빈도의 함수이다. 따라서 설계생기빈도를 결정하는 것이 도로 배수시설 설계의 기초가 된다. 설계생기빈도의 결정에는 경제적 측면, 위험성 측면에 대한 분석이 실시되는데 생기빈도를 높여 설계 홍수량을 크게 계획하면 배수시설의 규격이 커져 전반적인 건설비용이 증가하나 홍수로 인한 피해정도와 발생빈도는 감소할 수 있다. 반대로 설계홍수량을 작게 계획하면 건설비용은 절감되나 홍수에 대한 위험은 증가하게 된다.

2.4.1 도로의 등급

설계홍수량 산정과 설계생기빈도 결정시 도로의 등급은 중요한 요소이다. 도로의 등급은 도로가 갖는 기능성, 교통량, 지역 경제에 미치



<그림 410.1> 비용과 설계생기빈도

는 영향과 기타 특성에 따라 분류되고 이러한 인자들은 설계생기빈도를 결정하는 요소로 활용될 수 있다. 도로의 등급이 높을수록 안전도를 높이는 것은 당연한 것이지만 낮은 등급의 도로에서 안전도를 낮출 수 있는 것은 아니다.

도로의 등급과 배수시설의 중요성, 홍수발생 위험과 경제성 등을 복합적으로 고려한다.

2.4.2 위험성과 경제성

도로건설후 홍수로 인한 인명 및 재산의 손실, 교통장애, 환경피해는 예상될 수 있는 위험이며 이러한 위험요소에 대처하기 위한 배수시설을 계획하는 것이 필요하다. 그러나, 위험을 배제하고 안전만을 고려한 설계가 비경제적인 경우 계획자체가 타당성을 상실할 수 있으므로 위험성과 경제성의 상반된 항목을 함께 고려해야 한다. 높은 생기빈도로 설계된 경우, 초기공사비와 관리비용이 많이 들게 되고 낮은 생기빈도를 적용한 시설물은 재산피해, 유지보수비용이 높아질 수 있다. 비용과 설계생기빈도의 관계는 <그림 410.1>과 같다.

이러한 상관관계를 고려하여 경제적이고 안전한 수준의 설계생기빈도를 결정해야 하며 설계생기빈도 결정방법은 <표 410.1>과 같다. <표 410.1>은 다소 주관적인 요소와 판정기준을 제시하고 있어 모든 환경에서 같은 비중으로 적용될 수 없으나 지역여건과 도로의 특성에 따라 알맞는 요소를 추가 또는 변경하여 설계생기빈도 결정에 활용할 수 있다.

2.5 배수계획시 고려사항

2.5.1 침식과 침전

강우와 유수에 의한 도로경사면, 수로의 침

<표 410.1> 설계홍수빈도 선정표

요 소	등급		
	1	2	3
비도로 피해	낮 음	중 간	높 음
도로 피해	낮 음	중 간	높 음
인명손실 가능성	낮 음	중 간	높 음
복구비용	낮 음	중 간	높 음
ADT (일교통량)	< 100	100～750	> 750
대체우회로	있 음	불 량	없 음
도로의 홍수유출 시설	있 음	형식적임	없 음
Q50 보다 큰 홍수발생량 수	없 음	1회	2회 이상
국가방위도로의 기능	없 음	없 음	있 음
지방경제의 영향 (학교버스, 식량등)	낮 음	중 간	높 음
설계생기빈도(안)	20～25년	25～50년	50년 이상

주) Q50 : 50년 설계생기빈도

식은 강우지속시간, 유수량, 토질특성에 따라 다르나 도로계획시 유수의 효과적인 조절을 고려한다면 도로구조물과 자연환경을 보호할 수 있다. 침식은 자연적인 것과 인위적인 것으로 구분하며 자연침식은 지형을 형성하는 지질작용으로 광범위한 지역에서 지속적으로 발생하며 다양한 진행요인으로 진행속도가 변할 수 있다.

건설공사로 인한 지형변화, 벌개제근 등은 토지를 교란시켜 침식을 가속화하며 침식량을 증가시킨다. 이러한 침식으로 토립자가 물에 의해 운반되며 유속이 감소되고 유수의 운반능력이 감소하면 토립자를 침전시켜 수로에 있어 배수용량을 감소시킨다.

(1) 도로계획단계시 침식방지

모든 도로용지는 기본적으로 침식발생 가능성을 지니고 있으므로 도로의 노선선정 단계에서 침식으로 인한 환경적, 경제적 손실을 최소화 할 수 있도록 계획한다.

① 하천횡단시 곡류부를 피하며 유수방향과 직각으로 횡단하도록 한다.
② 하천횡단을 최소화하고 수로변경시 침식, 침하에 대한 대책을 수립한다.
③ 생활용수 및 공업용수를 공급하는 집수시설을 고려한다.
④ 침식성이 강한 지반활동지역, 황토(loss soils), 충적팬(alluvialfans) 지역은 피한다.

(2) 세부설계시 침식방지

도로공사기간 및 시공후 발생하는 침식문제는 타당성있는 설계와 시방으로 피할 수 있으며 침식발생을 최소화한 도로는 안전성, 미관, 경제성의 효과를 얻을 수 있다.

① 선형결정시 침전이 발생하지 않도록 최소종단경사를 결정 한다.
② 깎기, 쌓기부의 높이를 최소화하고 경사면에는 식생피복과 소단배수로를 설치한다.
③ 유속이 빠르거나 급변하는 수로는 피복을 하거나 콘크리트 수로를 계획한다.
④ 우수의 집중을 피할수 있도록 배수시설을 배치한다.
⑤ 관로의 유출부는 유속을 검토하여 감속시설, 잡석깔기 및 세굴방지시설을 계획하고 침전토사의 청소가 용이한 형태로 계획한다.
⑥ 침식성이 높은 토질조건의 경사면에는 파이프 도수로를 계획한다.
⑦ 소단이 설치된 경사면의 도수로는 도수방지용 덮개를 설치한다.

(3) 공사중 침식방지

공사중 발생하는 침식은 자연환경훼손, 민원등의 문제를 일으킬 수 있으며 공사안전, 공사기간, 토공의 균형에 영향을 미치므로 세심한 대책이 필요하다.

① 공사기간동안의 강우 발생을 고려한 공사일정을 계획한다.
② 토공작업과 병행하여 배수시설물 공사를 시행한다.
③ 벌개제근 지역을 최소화하고, 강우시를 대비한 일시적 침식방지 작업을 수행한다.
④ 쌓기부 및 깎기부의 비탈은 식생이 정착될 때까지 부직포, 볏짚 등으로 보호한다.
⑤ 하천, 저수지와 인접한 공사장은 방수로와 침사수조를 설치하여 토사의 유출을 막는다.
⑥ 하천횡단 구조물로 인한 하상 굴착시 폐자재가 하상에 버려지지 않도록 한다.

2.5.2 수로변경과 형태

(1) 수로변경의 영향

자연수로에 대한 순기능은 매우 다양하며 특히, 환경적, 생태학적 측면의 기능은 도로계획시 보호되어야 한다. 그러나 수로의 형상과 도로 선형조건의 상충으로 수로변경을 고려하는 경우에는 자연수로와 도로의 양립성이 전제 되어야하며 다음사항을 고려한다.

① 수로용량을 증가시키기 위한 짧은 구간의 수로변경은 효과적이지 못하다. 수위와 유량 변화 가능성이 있는 경우에 수로용량을 증가시키기 위해서는 하류의 유량조절 작업을 시행해야 한다.
② 정비되지 않은 하천 수로를 횡단하는 교량은 수로개구부(수로의 통수단면)를 확폭시킬 수 있으나, 이는 하천의 수위-유량 관계에 영향을 미치지 못한다. 그러나 교량하부의 수로개구부를 확폭 또는 증가시켜 홍수수위의 역류발생을 감소시킬 수 있다. 이 경우 정기적인 유지관리가 없으면 퇴적현상으로 자연수로의 형태로 되돌아간다.
③ 일부 환경조건에서 수로선형을 재형성하여 수로개구와 함께 보다 효율적인 유로선형을 만들수 있다. 수로 재형성을 위한 일반기준을 공식화하기는 어렵지만 곡류부의 반경, 만곡정도, 수로경사, 수력 등 요인에 대한 검토가 필요하다.

(2) 수로변경의 일반지침

① 재선형수로의 곡류부 반경은 수로 확대 유역의 곡류부 평균 반경과 같게하고 연속곡류부 내부와 곡류부사이의 둑과 접선각은 약 20°로 한다. 수로 선형의 변경은 <그림 410.2>와 같다. 이것은 곡류부가 한쪽수로면에서 다른쪽 수로면으로 이동할 수있는 충분한 횡단길이를 허용하고 있다.

② 변경수로의 수력은 구수로의 수력과 같아야 한다. 구수로와 변경수로의 동일수력은 변경수로의 폭 W_2를 정하는 기준이 된다. 즉, 경사도가 $S_2 \geq S_1$일 경우 수로폭 W_2는 W_1보다 커야한다.

$$W_2 \cdot S_1 = W_1 \cdot S_2 \qquad (410.1)$$

여기서, W_1, S_1 : 구수로의 폭과 수로경사

W_2, S_2 : 변경수로의 폭과 수로경사

③ 변경수로의 경사도 S_2는 식 (410.2)와 같다.

$$S_2 \cdot Q^{\frac{1}{4}} < 0.0017 \qquad (410.2)$$

여기서, S_2 : 변경수로의 경사

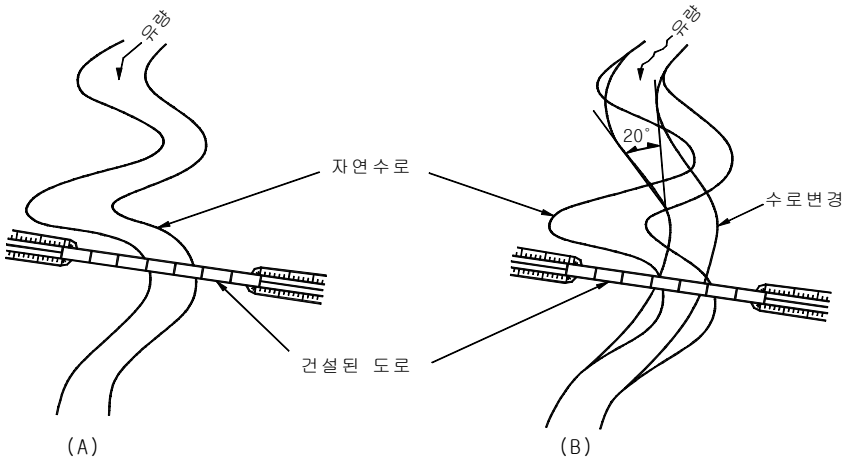
Q : 수로의 유량, ㎥/sec

식 (410.2)이 충족되지 않을 경우 수로내에서 유수가 여러갈래로 분산, 합류되는 현상(수로의 망류화)의 가능성이 높으며, 망류화 방지를 위해 만곡부를 증가시켜 수로의 경사를 감소시켜야 한다.

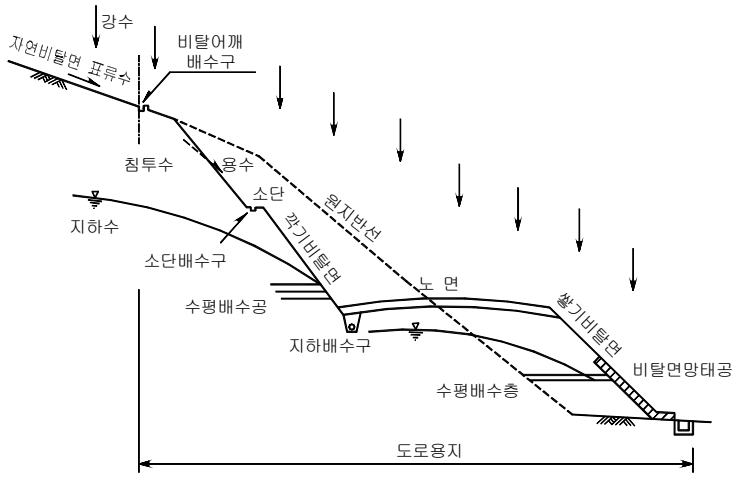
④ 변경수로의 곡류부는 사석으로 제방을 보호하고 홍수발생후 퇴적량을 제거하여 새로운 곡류가 형성되지 않도록 유지관리를 한다.

(3) 수로의 안정화

수로의 안정화는 도로의 손상이나 피해방지, 유지관리, 미관 및 어류 서식지의 보호 등 경제적, 환경적인 타당성이 있어야 한다. 부분적인 수로둑의 안정처리는 보호되지 않은 수로둑



<그림 410.2> 수로선형의 변경



<그림 410.3> 비탈면에서의 용수를 배수하는 시설

을 침식시킬 수 있으므로 수로선형, 하상토사 입자의 크기, 하상과 둑의 재료, 경사, 평균 유량과 저유량 등 요인을 고려한 공법을 선정한다.

2.5.3 비탈면에 미치는 물이 영향

(1) 비탈면 배수와 비탈면의 안정

땅깎기와 흙쌓기는 지하수위를 변화시키며 강우에 의한 침투는 급격한 지하수 상승을 일으킬 수 있다. 특히, 비탈면을 갖는 지형에서 지하수위 변화는 비탈면의 안정을 저해하므로 침투수를 고려한 안정 검토를 수행한다.

(2) 비탈면에 흐르는 우수

강우로 인한 우수는 지표층이 포화됨에 따라 유출량이 증가하여 경사면과 도로의 비탈면을 침식시킬 수 있다. 침식이 장기화되면 비탈면은 국부적인 불안정 상태가 되고 붕괴 가능성이 높아진다. 비탈면 보호는 식생으로 피복, 잡석 등 자연재료를 이용하거나, 기타 콘크리트, 플라스틱 혼합재료로 구성된 비탈면 보호공의 설치와 함께 배수시설을 설치하여 유입되는 지표수를 차단시킨다. 또한, 비탈면에 떨어진 우수는 곧바로 배수되도록 산마루측구, 소단 배수로, 적절한 간격의 도수로를 설치한다.

공사중에는 비탈면이 우수에 노출되므로 집중호우를 피할 수 있는 공사일정을 수립하고 비닐 또는 부직포 등을 준비하여 강우시 비탈면을 덮어 보호한다.

(3) 비탈면의 용수

비탈면의 용수는 비탈면을 침식시킬 우려가 있을 뿐만 아니라 경우에 따라서는 용수가 유출하는 지층을 따라 활동면이 형성되어 비탈면 붕괴의 원인이 되는 경우도 있으므로 주의해야 한다.

비탈면의 용수를 배제하기 위한 시설은 비탈면 망태공, 지하배수공, 수평배수층, 수평배수공 등이 있으며 <그림 410.3>과 같다.

2.5.4 기타 유의사항

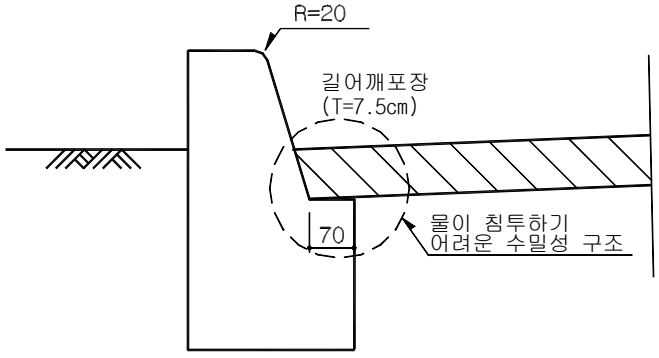
(1) 도로의 노상 및 노체 등 흙구조물은 표면수에 의한 침식, 침투수의 포화, 토사유출로 인하여 연약화되고 붕괴로 진전되는 경우가 있다. 이러한 붕괴를 방지할 수 있도록 포장체의 방수 성능을 높인 수밀성 다이크, 비탈면 도수로의 덮개 설치 등 침식과 세굴에 대비하여야 한다.

(2) 지하수위가 높은 원지반을 굴착하여 도로를 건설할 때는 지하수의 영향으로 노상이 연약화되어 포장이 파손될 수 있다. 따라서 지하수 차단 또는 배제 할 수 있는 지하 배수구를 설치하거나 그라우팅 등과 같은 지하수 처리대책을 수립한다.

이와는 별도로, 땅깎기에 의한 지하수위 저하로 인접지역의 지하수가 고갈될 수 있으므로 충분한 조사와 세심한 배려가 요구된다.

(3) 시공중 배수시설은 시공면의 연약화를 방지하고, 시공장비의 이동성과 시공성을 확보하기 위해 매우 중요하므로, 시공단계별 적절한 배수처리 계획이 수립되어야 한다. 또한, 강우시 오탁수나 토사가 공사구역이외로 유출되어 농경지에 피해를 주거나 하천으로 유입되어 환경문제를 일으키지 않도록 배수인접지에 대한 배수계획과 함께 오탁수 유출방지 대책이 수립되어야 한다.

(4) 음지부에 설치된 집수정은 동절기때 제설에 의한 막힘과 동결로 인한 파손 가능성이 있다. 이로 인한 배수능력의 상실은 눈 녹은 물이 노면으로 유입, 동결되어 교통사고를 유발할 수 있다. 따라서 터널 앞, 평면곡선이 설치된 깎기 구간, 교량하부도로 등의 집수정 설치는 일조량이 많은 지점을 선정한다.



<그림 410.4> 수밀성 다이크 구조

410.3 도로의 수리 수문

3.1 강우량

강수는 강우(降雨)와 강설(降雪)을 포함하고 있으며, 우리나라의 경우 최고 유출량에 영향을 주는 것은 강우가 지배적이므로 도로배수설계시 유출량은 강우를 대상으로 한다.

3.1.1 강우강도

(1) 강우강도-지속시간-생기빈도곡선(I.D.F곡선)

일반적으로 강우의 강도는 강우의 지속시간에 따라 다르다. 지속시간이 긴 강우는 짧은 지속시간의 강우보다 그 강도가 낮으며, 이와는 반대로 지속시간이 짧은 강우는 그 강도가 커지게 된다. 또한 동일한 지속시간의 강우가 항상 일정한 강도를 갖는 것은 아니다. 확률적으로 동일한 지속시간의 서로 다른 강우강도는 그 크기가 작을수록 발생하는 빈도(frequency)가 많고 클수록 작아지게 된다.

이러한 관계에서 해당지점의 강우통계에서 강우강도-지속시간-생기빈도곡선(intensity-duration- frequency I.D.F 곡선)을 얻을 수 있다.

<그림 410.5>는 서울지역의 강우강도-지속시간-생기빈도곡선이다.

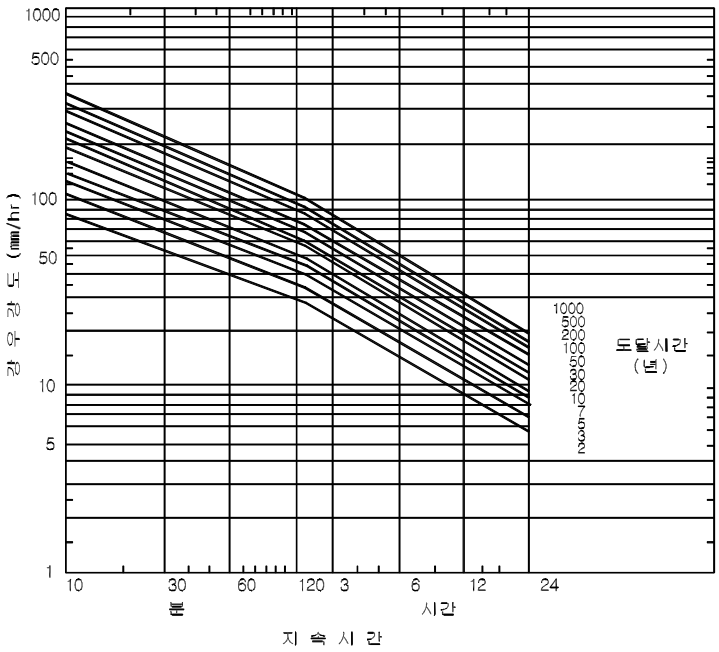
(2) 강우강도공식

강우강도는 경험식으로 표현할 수 있으며 지역 및 재현기간에 따라 적용식이 적용된다.

① Talbot 형 : $I = \frac{a}{t + b}$ (410.3)

② Sherman형 : $I = \frac{a}{t^m}$ (410.4)

③ Japanese형 : $I = \frac{a}{\sqrt{t \pm b}}$ (410.5)



< 그림 410.5 > 강우강도-지속시간-생기빈도곡선(서울지점)

여기서, I : 강우강도, mm/hr
t : 강우지속시간, min
a, b, m : 상수

Talbot형은 곡선의 굽은 정도가 적은 성질을 가지고 있으며, Sherman형 및 Japanese형은 굽은 정도가 심하다. Talbot형은 지속시간 5~120분 사이에서 Sherman형 및 Japanese형보다 약간 안전한 값을 얻을 수 있다.

강우강도공식에서 상수결정은 강우지속시간 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 120분에 대응하는 최소 8조의 강우자료를 N년간(적어도 20년간 이상) 수집해, 동일확률년치를 5, 10, ……, 120분으로부터 한 개 씩 취하는 최소자승법을 사용하거나 자료가 충분치 못한 경우 특성계수법에 의해서 결정할 수 있다.

특성계수법이란 10분 강우량과 60분 강우량만을 이용하여 강우강도곡선식을 결정하는 방법으로 다음과 같다.

$$I_N = R_N \cdot \beta_N^{10} = R_N \cdot \frac{a'}{t+b} \quad (410.6)$$

$$\beta_N^{10} = I_N^{10} / I_N^{60}$$

$$I_N^{60} = R_N$$

$$a' = b + 60$$

$$b = (60 - 10 \cdot \beta_N^{10}) / (\beta_N^{10} - 1)$$

여기서, β : 특성계수
R : 60분 강우량
N : N 년 확률

즉, 10분과 60분우량으로부터 β_N^{10} 은 쉽게 결정되며, β_N^{10} 으로부터 a', b 가 구해지므로 I_N 을 간단히 구할 수 있다.

3.1.2 강우도달시간

(1) 강우의 도달시간이란 유역의 최원거리에서 유출량을 고려하는 지점에 우수가 도달하기까지의 시간을 말한다. 합리식에서는 강우도달시간동안 동일한 강우강도로 강우가 지속된 경우 유출량이 최고점에 이르므로 강우도달 시간을 강우지속시간으로 사용한다.

(2) 하수도 시설기준(환경부, 1998)에서는 강우도달시간을 유하시간과 유입시간의 합으로 산정하며 다음식과 같다. 이 식은 시가지 도로에 적용할수 있다.

$$t_c = t_1 + t_2 \quad (410.7)$$

여기서, t_c : 강우도달시간, (min)
t_1 : 최원거리에서 수로에 유입하는데 걸리는 유입시간, (min)
t_2 : 수로속에서 유출량을 구하는 지점까지의 유하시간, (min)

① 유입시간(t_1)

유입시간의 표준값은 <표 410.2>와 같다. 유입시간은 최소단위 배수구의 지표면 거리, 경사 및 조도계수 등에 의하여 변화한다. 한편, 유입시간을 산출하는 산정식은 Kerby식이 많이 쓰이고 있으며 다음과 같다.

$$t_1 = 1.44\left(\frac{L \cdot n}{S^{1/2}}\right)^{0.467} \quad (410.8)$$

여기서, t_1 : 유입시간, min,

L : 지표면 거리, m,

S : 지표면의 평균경사

n : 조도계수와 유사한 지체계수 <표 410.3> 참조

② 유하시간(t_2)

유하시간은 관거구간마다의 거리와 계획유량에 대한 유속으로부터 구한 시간당 유하시간을 합계하여 구한다. 이를 위해서는 가상적인 관거의 배치와 크기가 필요하다.

이 배치와 크기는 평균유속이 0.8~3.0m/초가 되도록 하며, 하류로 갈수록 경사는 완만하고 유속은 빠르며, 소류력(掃流力)을 크게 할 수 있도록 결정하되 몇 번이고 계산을 반복하여 계획관거를 결정한다.

그리고 관거내의 유수를 등류(等流, uniform flow)로서 계획유량에 대응한 유속에 의해 산정하는 것을 원칙으로 한다. 그러나, 관거내의 유량 및 수위 등은 시간에 따라 변동하므로 계획유량에 대응한 유속보다 첨두유량의 이동속도를 사용하는 경우도 있다.

유하시간의 산정식은 다음과 같다.

$$t_2 = \frac{L}{\alpha \cdot V} \qquad (410.9)$$

여기서, t_2 : 유하시간, (min)

L : 관거연장, (m)

V : Manning공식에 의한 평균유속, (m/초)

α : 보정계수 <표 410.4>

(3) 시가지 이외의 일반도로 구간에서는 유하시간만을 고려한다. 일반적으로 유입시간은 유하시간에 비해 무시할 정도로 작으며 수로가 명확히 구분되지 않는 대부분의 유역에서 유역의 최원거리까지 수로가 형성된 것으로 가정하는 것이 가능하므로 강우도달시간으로 유하시간을 사용하며, 강우도달시간 산정시 Kirpich의 식을 사용한다.

$$t_c = 0.95[\frac{(L/1000)^3}{H}]^{0.385} \qquad (410.10)$$

여기서, t_c : 강우지속시간, (hr)

L : 유달거리, (m)

H : 표고차, (m)

<표 410.2> 유입시간의 표준값

우리나라에서 일반적으로 사용되고 있는 유입시간		미국 토목 학회	
인구밀도가 큰 지역	5분	완전포장 및 하수도가 완비된 밀집지구	5분
인구밀도가 적은 지역	10분		
간선오수관거	5분	비교적 경사도가 적은 발전지구	10～15분
지선오수관거	7～10분		
평 균	7분	평지의 주택지구	20～30분

<표 410.3> Kerby식에서의 n값

표 면 형 태	n
매끄러운 불투수표면(smooth impervious surface)	0.02
매끄러운 나대지(smooth bare packed soil)	0.10
경작지나 기복이 있는 나대지(poor grass, cultivated row crops or moderately bare surfaces)	0.20
활엽수(deciduous timberland)	0.50
초지 또는 잔디(pasture or average grass)	0.40
침엽수, 깊은 표토층을 가진 활엽수림지대(conifer timberland, deciduous timberland with deep forest litter, or dense grass	0.80

주) 수자원 관리기법 개발 연구 조사 보고서, 건설부, 1991

<표 410.4> 홍수의 이동속도에 대한 보정계수(α)

단 면 형 상	수 심(%)	보정계수(α)	비 고
정 사 각 형	80	1.25	Manning식을 이용하며, Kleitz · Seddon의 이론식에서 횡유입이 없는 것으로 하여 수치계산을 할 것(n = 일정)
	50	1.33	
	20	1.48	
원 형	80	1.03	
	50	1.33	
	20	1.42	

3.2 강우와 유출

3.2.1 개요

강우 유출량의 첨두 흐름(peak flow)과 유량은 배수시설설계에서 중요한 요소이다. <그림 410.6>에서, 유효유량(직접적인 표면 유출을 의미하며 총강수량의 일부분)은 저류현상, 침투, 지하수 유출을 고려함으로써 얻을 수 있다.

유입량 = 유출량+저수량의 변화
강수량 = 저유량+증발+침투+차단+지표면 유출

3.2.2 증 발

증발이란 물이 액체로부터 기체로 변화되는 과정으로 증발은 증기의 순수 이동 비율로 정의된다. 대략 총 강우의 75% 정도가 지구의 대기로 환원되고 있다. 만일, 장기간 동안의 지속적인 강우가 예상된다면, 충분히 고려할 필요가 있다.

3.2.3 차 단

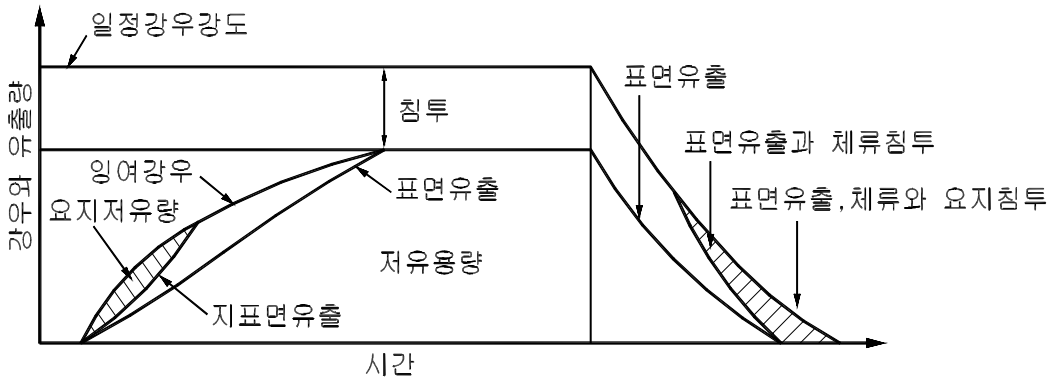
증발에 의해 대기중으로 환원 될 때까지 땅속에 저장되어 있는 강우량의 일부를 말한다.
차단은 식물이 덮여 있는 지역에서는 총 강우량의 10～25% 정도이다.

3.2.4 저류량

오직 증발과 침투만이 가능한 지표에 도달한 강우가 지표의 작은 웅덩이 등에 갇히게 되는 현상을 저유라고 한다. 저유량을 산정하는 경험방정식은 다음 식 (410.11)과 같다.

$$V = S_d \cdot (1 - e^{-kP_e}) \qquad (410.11)$$

여기서, V : 특정시점의 저유량
S_d : 최대 저유용량
P_e : 강우초과 = 총강우 - (증발, 차단, 침투)
k : $1/S_d$



<그림 410.6> 균일하고 효율적인 강우 배치 비율을 보여주는 수문곡선

3.2.5 침 투

침투는 지표 유출 현상 중에서 가장 중요한 작용이다. 침투는 지표 표면을 통하여 토양 속으로 물이 흐르는 것을 말한다. 침투정도는 식생의 두께와 형태, 지표의 상태, 온도, 강우 강도, 토양의 특성과 수질 등에 영향을 받는다. 식물 등과 같은 식생이 없는 토양의 침투는 숲이나 풀로 덮어 있는 토양보다 3~7.5배 증가할 수 있지만, 작물이 심어진 토양에서는 거의 증가하지 않는다.

침투를 나타낼 수 있는 경험적인 방법의 하나는 Φ지수법이다. Φ지수법은 강우가 지속하는 동안에 침투는 일정한 비율로 일어난다고 가정한다. 이 방법은 강우 초기에는 침투를 과소 평가하고, 강우 말기에는 과대 평가하게 된다. Φ지수법은 침투율이 강우 초기에 일정 비율에 도달하였다고 가정되는 곳에서 수분이 많은 토양이나 강우강도가 큰 곳에 적용해야 한다.

3.2.6 유출량

유출량 계산을 위해 많은 방법들이 이용되고 있는데 그중에서 유역의 크기에 따라 합리식, 표준유출법, 수문곡선 추적법이 널리 이용된다.

<표 410.6>은 유출량 산정방법을 나타내고 있다.

<표 410.5> 다양한 토양피복에서 전형적인 침투와 침루

토 양 덮 개	저류와 억류	추 천
불침투성		
넓게 포장된 지역	0.05~0.15	0.1
침 투 성		
잔디밭	0.2~0.5	0.3
산림지역과 넓은 평야	0.2~0.6	0.4

< 표 410.6 > 유출량 계산공식

구 분	유역면적 (㎢)	비 고
합 리 식	4.0 이하	$Q_d = 0.278\ CIA$ (1)
표준유출법	4.0~40.0	$Q_d = RF \times LF \times FF \times Q$ (2)
수문곡선 추적법	40.0 이상	지역별 수문곡선

(1) C : 유출계수, I : 강우지속시간 강우, A : 유역면적

(2) RF : 강우계수, LF : 지역계수, FF : 생기빈도계수

3.3 개수로의 일반사항

3.3.1 개요

물의 흐름은 수로단면을 채우고 흐르는 관수로의 흐름과 자유수면을 갖는 개수로의 흐름으로 구분할 수 있다. 관수로의 흐름은 위치수두, 압력수두, 속도수두의 수두인자로 구성되며, 개수로의 흐름은 자유수면으로 압력수두가 없다.

도로 배수시설은 단면형상에 관계없이 자유수면이 존재하는 개수로의 상태가 일반적이므로 개수로의 수리조건과 도로배수구조물의 관계를 파악하는 것이 중요하다.

3.3.2 개수로의 흐름상태

일반적으로 개수로의 흐름은 정상류, 비정상류, 등류, 부등류, 상류, 한계류, 사류로 분류하는데 이들중 부등류, 비정상류, 상류는 개수로의 가장 일반적인 특징이다.

(1) 정상류와 비정상류

개수로 내에서 수심이 시간에 따라 변하지 않고 일정한 흐름을 정상류(steady flow)라하고 시시각각으로 변하는 흐름을 부정류 혹은 비정상류(unsteady flow)라 한다.

개수로의 흐름은 정상류의 상태로 분석하는 것이 일반적이며 홍수류와 같이 시간에 따라 급변하는 흐름은 비정상류의 조건으로 분석이 필요하다. 개수로의 흐름이 정상류인 경우 유량은 연속방정식으로부터 유도할 수 있으며 다음과 같다.

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \cdots A_nV_n \quad (410.12)$$

여기서, Q : 개수로내 유량, (m/sec)

A_n : 임의의 지점에서 수로단면적, (m^2)

V_n : 임의의 지점에서 유속, (m/sec)

(2) 등류와 부등류

개수로내 모든 공간에서 수심이 동일한 경우 그 흐름을 등류(uniform flow), 변하는 경우 부등류(varied flow)라 하며, 등류와 부등류는 시간변화에 따라 수심이 변하는가 그렇지 않은가에 따라 정상류일수도 비정상류일수도 있다.

공간적 시간적으로 수심이 불변하는 흐름을 정상등류(steady uniform flow), 공간적으로는 불변이나 시간적으로 변하는 흐름을 부정등류(unsteady uniform flow), 공간적, 시간적으로 수심이 변하는 흐름을 부정부등류(unstedy varied flow), 시간적으로는 불변이나 공간적으로 변하는 흐름을 정상부등류(steady varied flow)로 분류하는데 부정등류와 정상부등류는 자연계에 존재하지 않는 이론적인 흐름이므로, 실제로 등류는 정상등류, 부등류는 부정부등류를 의미하게 된다.

(3) 상류와 사류

흐름의 비에너지(specific energy)는 수로바닥을 기준으로 측정한 단위무게의 물이 갖는 흐름의 에너지를 말하며, 개소내의 임의의 한점에서 물이 갖는 비에너지는 식(410.13)과 같다

$$E = d + \alpha\frac{V^2}{2g} \quad (410.13)$$

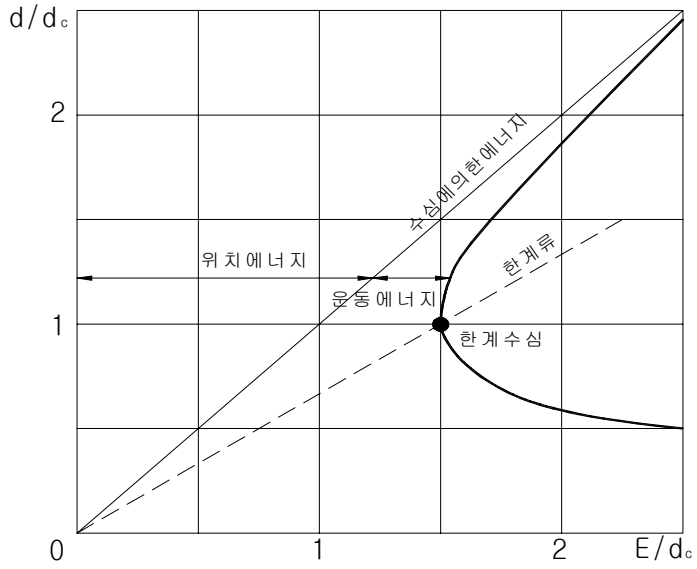
여기서, E : 비에너지(specific energy)

d : 수심, (m)

α : 수정계수

V : 평균유속, (m/sec)

g : 중력가속도, 9.8m/sec^2



<그림 410.7> 비에너지와 수심의 관계

개수로의 유량(Q)을 일정하게 유지하고 수로의 조도, 경사등 흐름조건을 변경하여 수심(d) 변화에 따른 비에너지와 수심의 관계를 그래프로 작성하면 <그림 410.7>과 같다. 이때 비에너지가 최소가 되는 수심을 한계수심(dc)라하는데 한계수심 이하로 흐르는 경우 사류, 한계수심 이상으로 흐르는 경우 상류라 부르며 일반적으로 사류는 급류, 상류는 완속류의 상태로 규정한다.

비에너지가 최소가 되는 조건은 F^2(froude수)가 1인 경우로 다음 식과 같다.

$$\frac{Q^2 T_c}{gA_c^3} = \frac{V_c^2}{gd_c} = F^2 = 1 \quad (410.14)$$

여기서, Q : 유량, (m^3/sec)
T_c : 한계수심으로 흐를 때 개수로의 수면폭, (m)
A_c : 한계수심으로 흐를 때 유수의 단면적, (m^2)
V_c : 한계유속, (m/sec)
g : 중력가속도, 9.8m/sec^2
F : Froude수(사류 : F〉 1, 상류 : F 〈1)

또한, 비에너지 최소조건으로부터 최소비에너지, 한계수심, 한계유속을 계산할 수 있으며 다음식과 같다.

$$E_{min} = \frac{3}{2} d_c \quad (410.15)$$

$$V_c = \sqrt{g \cdot d_c} \quad (410.16)$$

여기서, Emin : 최소비에너지, (m)
dc : 한계수심, (m)
g : 중력가속도, (m/sec^2)
Vc : 한계유속, (m/sec)

3.3.1 유량과 유속

(1) Chezy의 방정식

개수로의 유량은 연속방정식으로부터 수로단면적과 유속의 함수로 나타내며, Chezy는 다음과 같이 유량을 산출하였다.

$$Q = AV,\ V = C\sqrt{RS} \qquad (410.17)$$

여기서, Q : 유량, (m^3/sec)
A : 유수단면적(흐름과 직각인단면, m^2)
V : 평균유속, (m/sec)
C : 수로의 표면특성에 따른 조도계수
R : 동수반경
(A/P, P = 수로의 윤변), (m)
S : 수로의 경사, (m/m)

(2) Manning의 방정식

Manning은 Chezy의 방정식에서 C값을 다음과 같이 제시하고, 평균유속공식을 유도하였다.

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n},\ V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (410.18)$$

여기서, V : 평균속도, m/sec
n : 조도계수 <표 410.7>
R : 동수반경, m
S : 수로의 경사, m/m

Manning의 평균유속공식에서 유량은 다음과 같다.

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (410.19)$$

여기서, Q : 유량, (m^3)

<표 410.7> Manning의 조도계수 n값

수로상태			n값	
			양호	보통
폐수로		콘크리트파이프	0.013	0.015
		강관	0.011	-
		콘크리트 수로	0.015	0.017
개수로	콘크리트 수로	바닥에 자갈 산재	0.015	0.017
		양호한 단면	0.016	0.019
	아스팔트 수로	매끈함	0.013	-
		거칠음	0.016	-
고속도로수로	콘크리트 수로	매끈한 표면처리	0.013	
		거친표면 처리	0.015	
	아스팔트 수로	매끈한 표면처리	0.013	
		거친표면 처리	0.016	
	콘크리트 포장수로	미장마감	0.014	

자 료 : 도로부대시설, 1998, 건설교통부

A : 단면적, (m^2)

n : 조도계수

R : 동수반경, (m)

S : 수로의 경사, (m/m)

3.3.4 경제적인 수로단면

Manning의 유량공식은 $Q = K \cdot S^{\frac{1}{2}}$로 표현할 수 있는데 K는 통수단면의 형상과 조도계수에만 관계되는 식으로 수로의 통수능(conveyance)이라 한다.

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} = \frac{1}{n}\left(\frac{A^5}{P^2}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (410.20)$$

여기서, K : 수로의 통수능

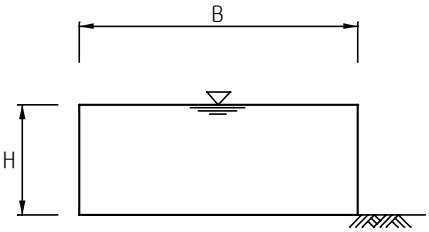
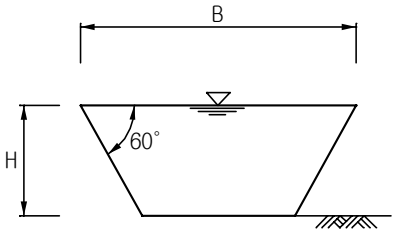
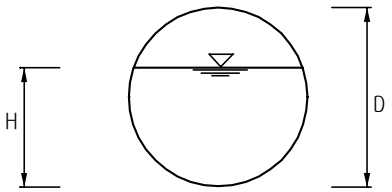
R : 동수반경(A/P, P=수로의 윤변)

n : 조도계수

통수능(K)은 수로의 윤변이 작을수록 커지며, 통수능이 커질수록 처리할 수 있는 유량은 커지게되어 수리적으로 가장 유리한 단면 즉, 경제적인 수로단면이 된다.

개수로의 대표형상별 경제적인 단면의 조건은 <그림 410.8>과 같다.

<그림 410.8> 경제적인 수로단면

구 분	단 면 도	경제적인 단면의 조건
직사각형 수로		$B = 2 \cdot H$
사다리형 수로		$\theta = 60°$ $B = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot H$
원 형 수 로		$H = \frac{1}{2} D$

3.4 도로암거의 수리

3.4.1 개요

도로암거는 수문분석에서 결정된 계획 홍수량으로부터 암거 상류부의 수위를 과다하게 상승시키지 않은 상태에서 하류로 배제할 수 있는 경제적인 단면과 경사를 갖도록 계획한다.

암거의 단면형상은 파이프와 박스가 일반적이며 암거의 크기, 경사, 유·출입부의 수심 등 조건에 따라 유입부 조절 또는 유출부 조절을 받는 흐름의 특성을 나타낸다.

3.4.2 암거내 흐름의 분류 및 수리특성

암거내의 흐름은 상류수심(HW)과 암거직경(D, box의 경우 : 높이)의 상대적인 크기에 따라 <그림 410.9>와 같이 두 가지로 분류할 수 있으며 각각의 흐름은 유압부 조절 또는 유출부조절의 수리조건이 성립되는 4개의 유형으로 <그림 410.10>, <그림 410.11>과 같으며, 총 8가지 흐름상태는 <그림 410.12>와 같다.

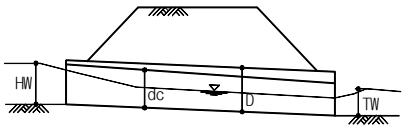
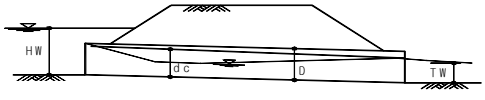
(1) 유입부 조절의 수리조건

유입부 조절은 배수되는 유량이 유입구 가장자리의 형태와 단면적, 상류수심에 의해 유입구에서 통제되는 것을 의미하며 상류수심(HW)과 암거의 직경(D)의 관계에서 흐름의 상태가 결정된다. 즉, 유입부 조절을 받는 흐름에서는 관의 경사, 길이, 조도는 흐름에 영향을 주지 않는다.

(2) 유출부 조절의 수리조건

유출부 조절에서 고려되는 배수로의 요소는 암거의 단면적, 길이, 경사, 조도 및 유입부 형상 등이 있으며 유입부와 유출부의 에너지 방정식에서 다음 식을 얻을 수 있다.

<그림 410.9> 암거내 흐름 형식

구 분	수리조건	유입부 특성	개 념 도
Class-Ⅰ	HW ≤ 1.2D	• 암거의 유입부가 잠수되지 않은 상태 • 웨어의 수리특성을 나타냄.	
Class-Ⅱ	HW > 1.2D	• 암거의 유입부가 잠수된 상태 • 오리피스 수리특성을 나타냄	

$$HW = H + h_o - S_oL - \frac{V_1^2}{2g} \quad (410.21)$$

여기서, HW = 암거상류 수심, (m)

H = 수두차, (m)

ho = 방류수심, (m)

= $\frac{dc + D}{2}$ 또는 TW(dc:한계수심, D:암거직경, TW:하류수심)

L = 암거의 길이, (m)

So = 관의 경사, (m/m)

V_1 = 유입부 접근유속, (m/sec)

유입·유출부의 수두차(H)는 속도수두(h_v), 유입손실(h_e), 마찰손실(h_f)로 구성되며 다음식과 같다.

$$H = h_v + h_e + h_f$$

$$= (1 + Ce + \frac{19.56 \cdot n^2 \cdot L}{R^{\frac{4}{3}}}) \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (410.22)$$

여기서, h_v : $\frac{V^2}{2g}$

h_e : $Ce \cdot \frac{V^2}{2g}$

h_f : $\frac{19.56 \cdot n^2 \cdot L}{R^{\frac{4}{3}}} \cdot \frac{V^2}{2g}$

V : 관내의 평균 유속, (m/sec)

g : 중력가속도, 9.8m/sec^2

C_e : 유입부 손실계수 <표 410.8>참조

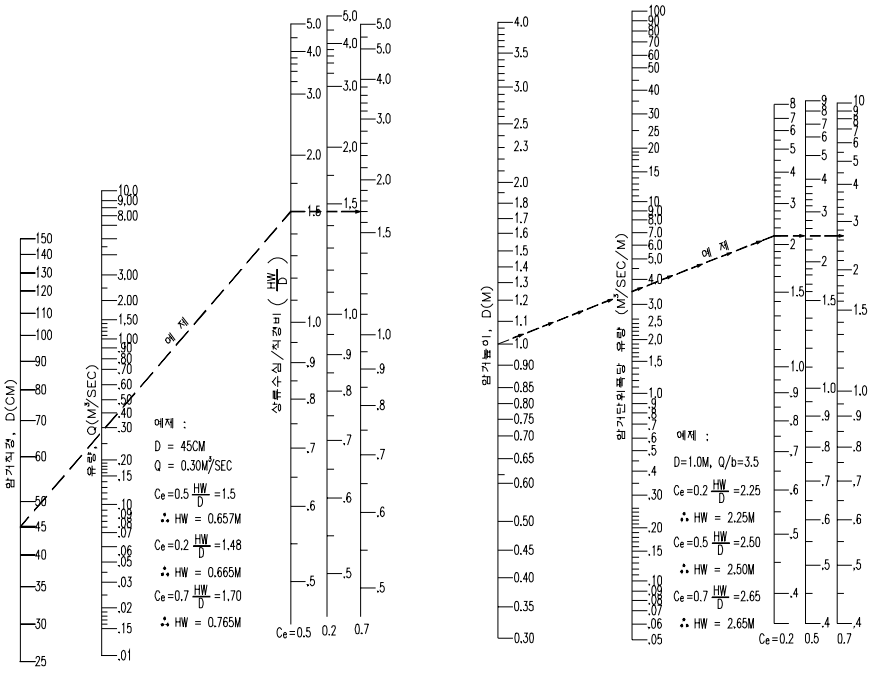
n : Manning의 조도계수 <표 410.7> 참조

L : 암거의 길이, (m)

R : 동수반경(A/P), (m)

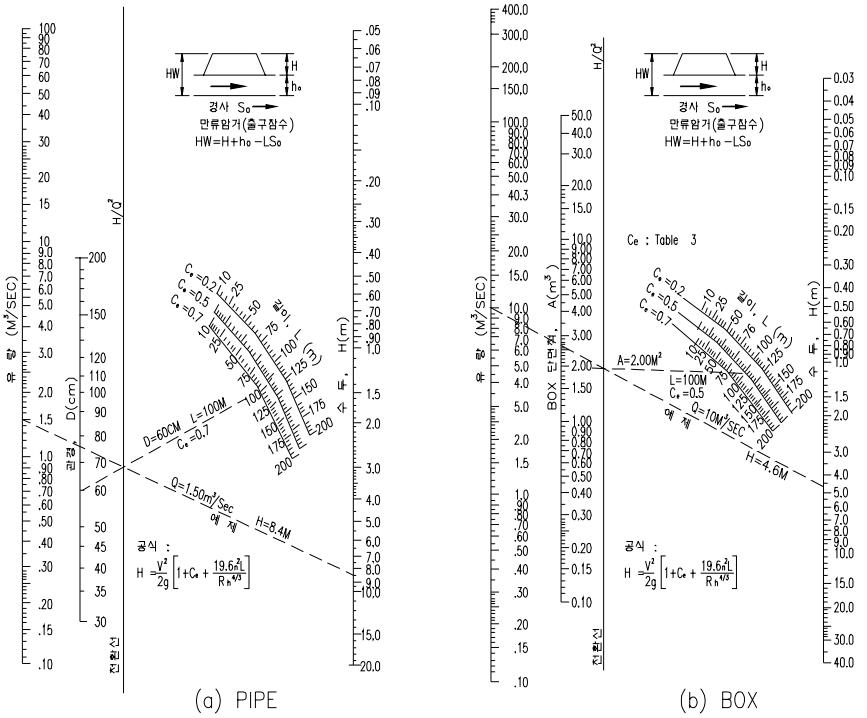
<표 410.8> 유입부 손실계수(C_e)

관 종	유 입 부 형 태		Ce
	유입부 형상	관의 단부형상	
콘크리트 파 이 프	관이 성토체에서 돌출되어 있는 경우	소켓형태의 단부	0.2
		일반형태 (관의 수직 전단면)	0.5
	날개벽 또는 면벽설치	소켈형태의 단부	0.2
		일반형태 (관의 수직 전단면)	0.5
		관 단부의 내측을 곡면처리 (R=1/12D)	0.2
	성토체의 사면 경사와 관의단부가 일치된 경우	쌓기 사면경사로 파이프 절단	0.5
		쌓기 사면경사로 연귀이음	0.7
콘크리트 박 스	날개벽 없이 면벽만 있는 경우	일반형태 (구체의 수직전단면)	0.5
		구체단부의 내측을 곡면처리 (R=1/12D)	0.2
	날개벽이 설치된 경우 (30°~ 75°)	일반형태(구체의 수직전단면)	0.5
		구체상부단면의 내측을 곡면처리 (R=1/12D)	0.2
	날개벽이 구체와 나란한 경우	일반형태(구체의 수직전단면)	0.7
	날개벽 없는 경우	구체가 성토체에서 돌출된 형상	0.9
파형강관	날개벽 또는 면벽설치	일반형태	0.5



(a) PIPE의 유입부 조절 (b) BOX의 유입부 조절

<그림 410.10> 유입부 조절의 수리조건



(a) PIPE (b) BOX

<그림 410.11> 유출부 조절의 수리조건

3.4.3 흐름 유형별 수리계산

암거의 흐름조건은 8가지 유형이 가능하며 <그림 410.13>과 같으며, 각각의 흐름에 대한 수리특성은 다음과 같다.

(1) 제 1 형식

제 1 형식은 암거의 경사(S_o)가 한계경사(S_c)보다 작은 완경사이며, 유출부에서 하류수심(TW)이 한계수심(d_c)보다 작은 상류(常流) 상태로 흐름의 지배단면은 유출부가 된다.

이와같은 흐름조건을 만족시키는 설계는 경사가 완만하고 소류지가 있는 소하천의 경우에 적합하며 유입부와 유출부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW + S_oL = h_e + h_f + (d_c + \frac{V_c^2}{2g}) \quad (410.23)$$

$$HW = h_e + h_f + (d_c + \frac{V_c^2}{2g}) - S_oL \quad (410.24)$$

여기서, HW : 유입부 상류 수심, (m)

h_e : 유입손실 수두= ($C_e \cdot \frac{V^2}{2g}$), m

h_f : 마찰손실 수두

(= $19.6 \frac{n^2 \cdot L}{R^{\frac{4}{3}}} \cdot \frac{V^2}{2g}$), (m)

d_c : 한계수심, (m)

V_c : 유출부의 한계유속, (m/sec)

g : 중력가속도, 9.8m/sec^2

S_o : 암거의 경사, (m/m)

L : 암거의 길이, (m)

C_e : 유입부 손실계수 <표 410.8> 참조

n : 매닝의 조도계수 <표 410.7> 참조

R : 암거의 동수반경, (m)

(2) 제 2 형식

제 2 형식은 수로경사가 완만하고 하류수심(TW)이 한계수심보다 크고 암거의 높이보다 낮은 경우로 지배단면은 유출부가 된다.

이런 흐름은 경사가 완만하고 폭이 좁으면서 수심이 깊은 수로에서 발생하나 흔하지 않은 경우이며 유입부와 유출부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW = h_e + h_f + (d_{tw} + \frac{V_{tw}^2}{2g}) - S_oL \quad (410.25)$$

여기서, HW : 유입부 상류 수심, (m)

h_e, h_f : 유입손실 및 마찰손실 수두, (m)

d_{tw} : 유출부 수심, (m)

V_{tw} : 유출부의 평균유속, (m/sec)

S_o, L : 암거의 경사 및 길이

(3) 제 3 형식

제 3 형식은 수로경사가 급하고 하류수심(TW)이 한계수심과 암거높이보다 낮은 사류(射流)의 상태이며 입구부가 지배단면이 된다.

이와 같은 흐름은 급경사의 산악지역 수로에 적합하며 암거상류부와 유입부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW = C_e \frac{V^2}{2g} + (d_c + \frac{V_c^2}{2g}) \quad (410.26)$$

Box 암거의 경우 폭을 b라 하면 한계수심

(d_c)과 한계유속(V_c)은 다음과 같다.

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g}(\frac{Q}{b})^2} = 0.467(\frac{Q}{b})^{\frac{2}{3}} \quad (410.27)$$

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{1}{2g}(\frac{Q}{bd_c})^2 = 0.237(\frac{Q}{b})^{\frac{2}{3}} \quad (410.28)$$

파이프의 경우 입구부에서 d_c와 V_c의 표현이 쉽지 않으므로 관경(D) = b로 간주하여 상기 HW 산출식을 정리하면 다음과 같다.

① 파이프의 경우 :

$$HW = 0.467\ (\frac{Q}{D})^{\frac{2}{3}} + 0.051(1+C_e)\ \cdot\ V_c^2 \quad (410.29)$$

② 박스의 경우 :

$$HW = (0.701 + 0.234\ C_e\ \cdot\ (\frac{Q}{D})^{\frac{2}{3}} \quad (410.30)$$

(4) 제 4 형식

제 4 형식은 하류수심(TW)이 암거높이(D)보다 높아 하류부가 잠수된 상태로 암거내 유출부와 인접한 곳에서 도수가 발생하게 된다.

도수가 상류로 이동하여 유입부에 도달하면 제 7 형식의 흐름과 같고 하류로 씻겨 내려가면 제 8 형식의 흐름이 된다.

이와 같은 흐름은 급경사의 산악지 수로에서 하류수위가 암거높이 위로 올라가는 상황을 의미하므로 실제 발생가능성은 희박하며 지배단면이 유입부가 되어 제 3 형식의 수리식과 동일한 조건이 된다.

① 파이프의 경우 :

$$HW=0.467+ (\frac{Q}{D})^{\frac{2}{3}} 0.051(1+C_e)\ \cdot\ V_c^2 \quad (410.31)$$

② 박스의 경우 :

$$HW=(0.701+0.234\ C_e)\ \cdot\ (\frac{Q}{b})^{\frac{2}{3}} \quad (410.32)$$

여기서, HW : 유입부 상류수심, (m)
Q : 유량, (m^3/sec)
C_e : 유입부 손실계수 <표 410.8> 참조
D : 파이프의 직경, (m)
b : 박스 암거의 폭, (m)
V_c : 유입부에서 한계유속, (m/sec)

(5) 제 5 형식

제 5 형식은 암거내 자유수면을 갖는 흐름으로 유입부의 흐름이 수문아래로 흐르는 경우처럼 흐름의 상태가 오리피스류가 되어 지배단면은 유입부가 된다.

유입부와 상류부의 에너지 방정식으로부터 다음식을 얻을수 있다.

$$HW - \frac{D}{2} = C_e\frac{V_D^2}{2g} + \frac{V_D^2}{2g} \quad (410.33)$$

$$HW = \frac{D}{2} + \frac{V_D^2}{2g}(1 + C_e) \quad (410.34)$$

여기서, HW= 유입부 상류 수심, (m)
D = 암거의 직경 또는 높이, (m)
V_D = 깊이 D인 암거입구에서의 평균 유속, (m/sec)
C_e = 유입부손실 계수,<표 410.8> 참조
g = 중력가속도, 9.8m/sec^2

(6) 제 6 형식

제 6 형식은 암거내 흐름이 만수상태로 관수로의 특징을 갖고 있으며 압력차에 의해 흐르게되어 지배단면은 유출부가 된다.

암거상류 수면과 유출부사이의 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$HW + S_oL = h_e + h_f + h_v + h_o \tag{410.35}$$

식(410.35)에서 유입손실 수두(h_e), 마찰손실 수두(h_f), 속도수두(h_v) 대입하면 다음과 같다.

① 파이프의 경우 :

$$HW = \frac{V_o^2}{2g}\left(1 + C_e + \frac{124.5\, n^2 \cdot L}{D^{\frac{4}{3}}}\right) + h_o - S_oL \tag{410.36}$$

② 박스의 경우 :

$$HW = \frac{V_o^2}{2g}\left(1 + C_e + \frac{19.6\, n^2 \cdot L}{R^{\frac{4}{3}}}\right) + h_o - S_oL \tag{410.37}$$

여기서, HW : 유입부 상류수심, (m)

V_o : 유입부 유속, (m/sec)

C_e : 유입부손실 계수 <표 410.8>참조

n : 매닝의 조도 계수 <표 410.7>참조

L : 암거의 길이, (m)

D : 암거의 직경 또는 높이, (m)

R : 암거의 동수반경, (m)

h_o : 유출부 단면의 중립축까지의 높이로 이론상 D/2이나 설계시 흐름의 조건을 유지하기 위해 파이프는 0.75D, 박스는 0.8D를 적용

S_o : 암거의 경사, (m/m)

(7) 제 7 형식

제 7 형식에서 암거내 흐름은 상류와 하류의 수위차로인해 흐르는 관수로의 흐름이 되며 지배단면은 암거하류의 수면이 된다.

상류부와 하류부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 유도할 수 있다.

$$HW + S_oL = h_e + h_f + h_v + TW \tag{410.38}$$

식(410.38)을 제6형식과 같은 형태로 표현하면 다음과 같다.

① 파이프의 경우 :

$$HW = \frac{V^2}{2g}\left(1 + C_e + \frac{124.5\, n^2 \cdot L}{D^{\frac{4}{3}}}\right) + TW - S_oL \tag{410.39}$$

② 박스의 경우 :

$$HW = \frac{V^2}{2g}\left(1 + C_e + \frac{19.6\, n^2 \cdot L}{R^{\frac{4}{3}}}\right) + TW - S_oL \tag{410.40}$$

여기서, HW : 유입부 상류 수심, (m)

V : 암거의 평균 유속, (m/sec)

TW : 암거의 하류의 수심, (m)

(8) 제 8 형식

제 8 형식에서 흐름은 하류수심(TW)이 암거의 높이(D)보다 크지만 암거내 유속이 빨라 유출부가 잠수되지 않는 형식으로 지배단면은 유입부가 된다.

이런 흐름은 암거내에서 제 5 형식과 동일한

모형을 갖고 있으므로 제 5 형식과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$HW = \frac{D}{2} + \frac{V_D^2}{2g}(1 + C_e) \qquad (410.41)$$

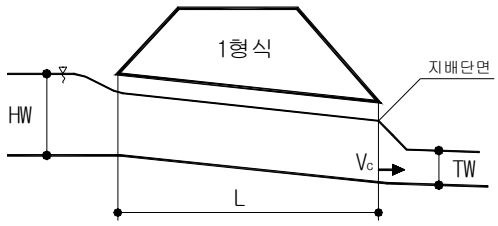
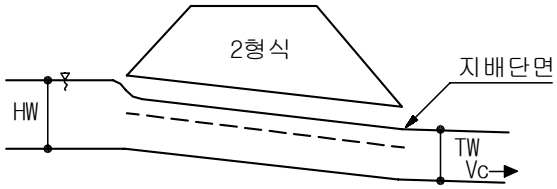
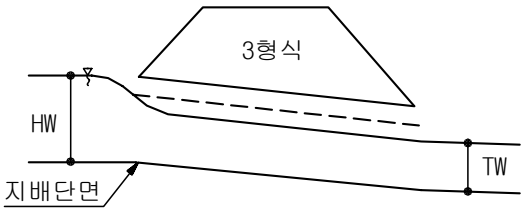
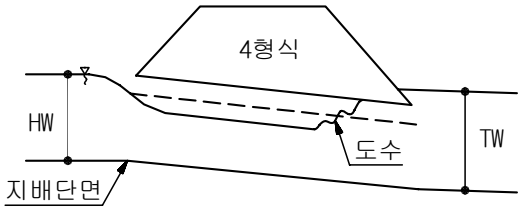
여기서, HW : 유입부 상류 수심, (m)

D : 암거의 직경 또는 높이, (m)

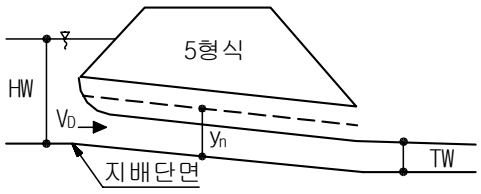
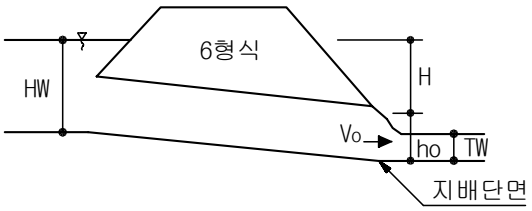
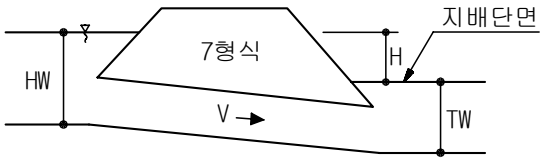
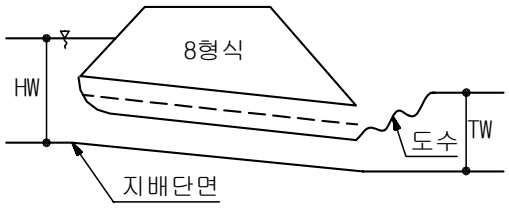
V_D : 깊이 D인 암거입구에서의 평균 유속, (m/sec)

C_e : 유입부 손실 계수 <표 410.8>참조

g : 중력가속도, 9.8m/sec^2

구 분	수 리 모 형	수 리 조 건
1 형식		HW ≤ 1.2D(Class Ⅰ) S_o 〈 S_c T_w 〈 d_c
2 형식		HW ≤ 1.2D(Class Ⅰ) S_o 〈 S_c d_c ≤ TW 〈 D
3 형식		HW ≤ 1.2D(Class Ⅰ) S_o 〈 S_c TW ≤ d_c 〈 D
4 형식		HW ≤ 1.2D(Class Ⅰ) S_o ≥ S_c TW 〉 d_c

<그림 410.12> 암거의 흐름 유형

구 분	수 리 모 형	수 리 조 건
5 형식		HW ≥ 1.2D(Class Ⅱ) S_o 〉 S_c, S_o 〈 S_c TW 〈 D dn 〈 D (dn : 암거내 등류수심)
6 형식		HW ≥ 1.2D(Class Ⅱ) S_o 〉 S_c, S_o 〈 S_c TW 〈 D dn 〉 D (dn : 암거내 등류수심)
7 형식		HW ≥ 1.2D(Class Ⅱ) S_o 〉 S_c, S_o 〈 S_c TW 〉 D
8 형식		HW ≥ 1.2D(Class Ⅱ) S_o 〉 S_c, S_o 〈 S_c TW 〉 D

<그림 410.12> 암거의 흐름 유형(계속)

3.5 지하배수

3.5.1 투수

(1) Darcy의 공식

투수는 투수성 매체를 통한 물의 흐름 또는 거동으로 정의할 수 있으며, Darcy는 모래층에 대한 투수실험을 통해 다음 식을 제안하였다.

$$V = K \cdot i, \quad Q = K \cdot i \cdot A \qquad (410.42)$$

여기서, V : 투수속도, m/day 또는 cm/sec
K : 투수계수<표 410.12>, m/day 또는 cm/sec
i : 동수경사(유수방향으로 총수두(H)의 거리에 대한 변화비)
Q : 투수량, m^3/day 또는 cm^3/sec
A : 투수단면적, m^2 또는 cm^2

Darcy의 공식은 지하수의 흐름이 층류일 때 성립하며 지하수의 흐름이 층류인가를 판단하기 위해 Reynolds수(Re)를 이용한다.

Reynolds수는 점성력의 비로 나타내는 무차원의 양으로 값이 커지면 층류에서 난류로 변화되며 Re = 1~10의 범위에서 Darcy의 공식을 적용할 수 있다. 자연상태의 지층에서 지하수흐름은 보통 Re〉 1 이므로 Darcy의 공식이 적용된다.

$$Re = \frac{\rho V \ell}{\mu} \qquad (410.43)$$

여기서, Re : Reynolds수, 무차원
ρ : 유체의 밀도, (g/cm^3)
V : 유속, (cm/sec)
ℓ : 관의 직경, (cm)
μ : 점성계수, (g/cm/sec)

(2) 투수계수

투수계수는 물이 통과하는 투수성 매체의 전도능력을 말하며 흙의 투수계수는 토립자의 입경, 공극률, 수온에 영향을 받는다. 투수계수는 기조사된 흙의 투수계수를 활용하거나 경험공식, 현장 및 실내시험을 실시한다.

① 투수계수의 경험공식

가. Slicher의 공식

$$K = k_1 \cdot de^2 \qquad (410.44)$$

여기서, K : 투수계수, (cm/sec)
k_1 : 공극율 n에 따라 변하는 상수 <표 410.9>
de : 유효입경, (mm)

<표 410.9> 공극율 n에 대한 상수 k_1(수온 10℃)

n	k_1	n	k_1	n	k_1	n	k_1
0.26	0.09	0.32	0.19	0.38	0.31	0.44	0.52
0.28	0.12	0.34	0.23	0.40	0.37	0.46	0.61
0.30	0.15	0.36	0.29	0.42	0.42	0.48	0.68

나. Hazen의 공식

$$K = c(0.7 + 0.03t)D_{10}^2 \qquad (410.45)$$

여기서, K : 투수계수, (cm/sec)
c : 상수(40～116)
t : 수온, (℃)
D_{10}^2 : 유효입경, (mm)

다. Terzaghi의 공식

$$K = (400 \sim 800)\ \frac{\mu_o}{\mu_t}\ \left(\frac{n\ \ 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}}\right)^2 \cdot D_{10}^2 \qquad (410.46)$$

여기서, K : 투수계수, (cm/sec)
μ_o, μ_t : 0℃와 t℃에서 물의 점성계수, (g/cm/sec)
D_{10}^2 : 유효입경, (mm)

② 일반적인 투수계수의 값

실내시험 또는 현장실험을 통한 투수계수 측정이 곤란하거나 투수계수 개략값만으로 문제점이 없다고 판단될 경우, <표 410.10>을 참고로 할 수 있다.

3.5.2 맹암거의 수리

맹암거는 도로내의 지하수를 집수하여 지하수위를 낮추게 된다. 맹암거로 유입되는 지하배수량 산정은 다양한 경험식과 이론식이 있으나 현장조건과 정확히 일치되는 경우가 많지 않아 다소 부정확한 상황이다. 몇 가지 도로조건을 고려한 지하배수량 산정방법은 다음과 같다.

(1) 맹암거가 투수층을 차단한 경우

① 맹암거가 불투수층에 접하고 불투수층의 경사가 매우 큰 경우 지하수는 일방향 즉, 경사방향으로 맹암거에 유입되며 다음 식이 성립된다.

$$Q = K \cdot i \cdot H_o \cdot L \qquad (410.47)$$

<표 410.10> 일반적인 흙의 투수계수

흙의 분류	투수계수(cm/sec)	투 수 성
자갈이 섞인 흙	0.1 이상	투수성이 매우 높음
모래, 세립모래	0.1 ～ 1×10^{-3}	중간정도의 투수성
모재질 로움(loam)	1×10^{-3} ～ 1×10^{-5}	투수성이 낮음
실 트(silt)	10×10^{-5} ～ 1×10^{-7}	투수성이 매우 낮음
점 토(clay)	1×10^{-7} 이하	불투수성

여기서, Q : 지하배수량, (cm^3/sec)
K : 투수계수, (cm/sec)
i : 불투수층의 경사
H_o : 지하수위 저하량, (cm)
L : 맹암거의 길이, (cm)

② 맹암거가 불투수층에 접하고 불투수층의 경사를 무시할 수 있어 지하수는 양방향에서 맹암거로 유입되며 다음 식이 성립된다.

$$Q = \frac{K \cdot H_o^2}{R} \cdot L \qquad (410.48)$$

여기서, Q : 지하배수량, (cm^3/sec)
K : 투수계수, (cm/sec)
H_o : 지하수위 저하량, (cm)
$R = 2\,k^{\frac{1}{2}} \cdot H_o^{\frac{3}{2}}$
맹암거 영향권의 반지름, (cm)
L : 맹암거의 길이, (cm)

③ 땅깎기부 도로에서 맹암거는 도로의 양측 끝에 설치되고 포장면에서 지하수 유입을 고려하지 않는다면 일방향 유입으로 가정할 수 있으므로 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$Q = \frac{K \cdot H_o^2}{2R} \cdot L \qquad (410.49)$$

(2) 맹암거가 불투수층과 떨어진 경우

① 맹암거의 바닥이 불투수층에 이르지 않고 불투수층까지의 깊이가 낮은 경우에는 다음 식이 성립된다.

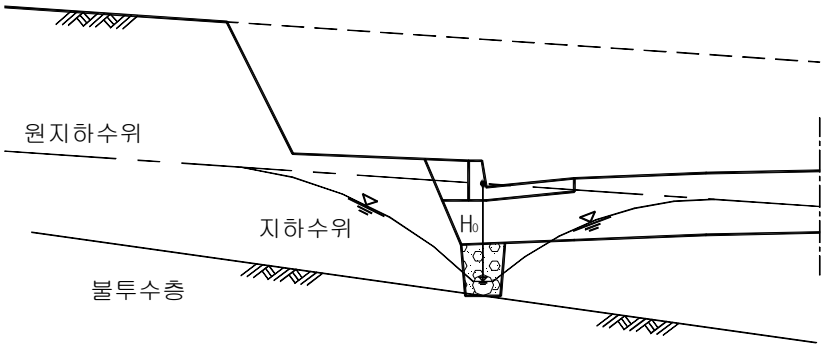
$$Q = \frac{K \cdot H_o^2}{R} \cdot \left(\frac{t + 0.5r_o}{h_o}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2h_o - t}{h_o}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot L \qquad (410.50)$$

여기서, Q : 지하배수량, (cm^3/sec)
K : 투수계수, (cm/sec)
H_o : 지하수위 저하량, (cm)
$R = 2H_o \cdot K^{\frac{1}{2}} \cdot H^{\frac{1}{2}}$
(H : 원지하수위, cm)
맹암거 영향권의 반경, (cm)
t : 맹암거 영향권의 수심, (cm)
r_o : 맹암거내 유공관의 반경, (cm)
h_o : 불투수층에서 지하수위까지 높이, (cm)
L : 맹암거의 길이, (cm)

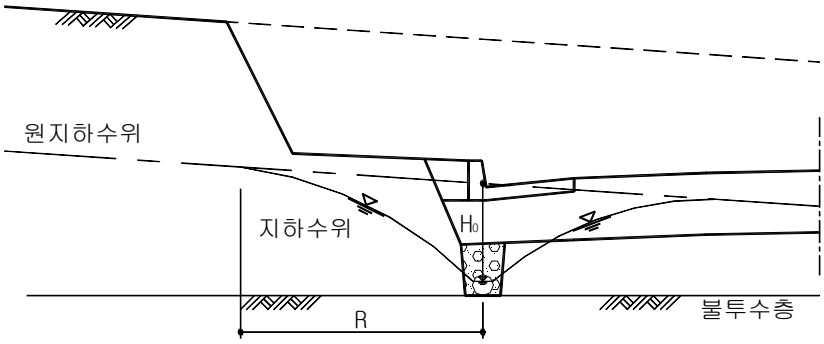
② 맹암거에서 불투수층까지의 깊이가 깊고 맹암거의 바닥으로부터 지하수가 유입되는 경우에는 다음 식이 성립된다.

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot H_o^2}{2.3 \log (2R/r_o)} \cdot L \qquad (410.51)$$

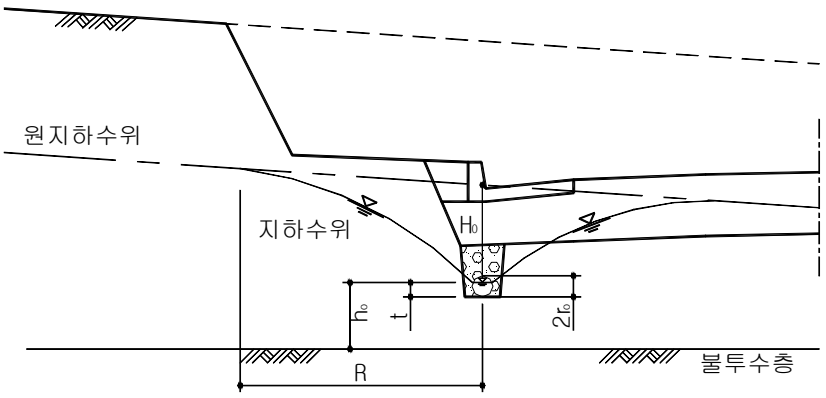
여기서, Q : 지하배수량, (cm^3/sec)
K : 투수계수, (cm/sec)
H_o : 지하수위 저하량, (cm)
$R = 2H_o \cdot K^{\frac{1}{2}} \cdot H^{\frac{1}{2}}$
(H : 원지하수위, cm)
맹암거 영향권의 반경, (cm)
r_o : 맹암거내 유공관의 반경, (cm)
L : 맹암거의 길이, (cm)



<그림 410.13> 불투수층의 경사가 큰 맹암거



<그림 410.14> 불투수층의 경사가 완만한 맹암거



<그림 410.15> 투수층내에 위치한 맹암거

410.4 배수시설 설계

4.1 배수시설의 명칭 및 구분

도로의 배수시설은 <표 410.11>, <그림 410.16>과 같이 배수구역에 따라 세분되며 각각의 배수시설은 배수계통으로 밀접하게 연결되고 기능적으로 중복되기도 한다.

4.1.1 노면배수 시설

강우강설로 인한 노면 및 비탈면 유입수를 원활히 배수하기 위해 설치한다.

(1) 길어깨 배수시설

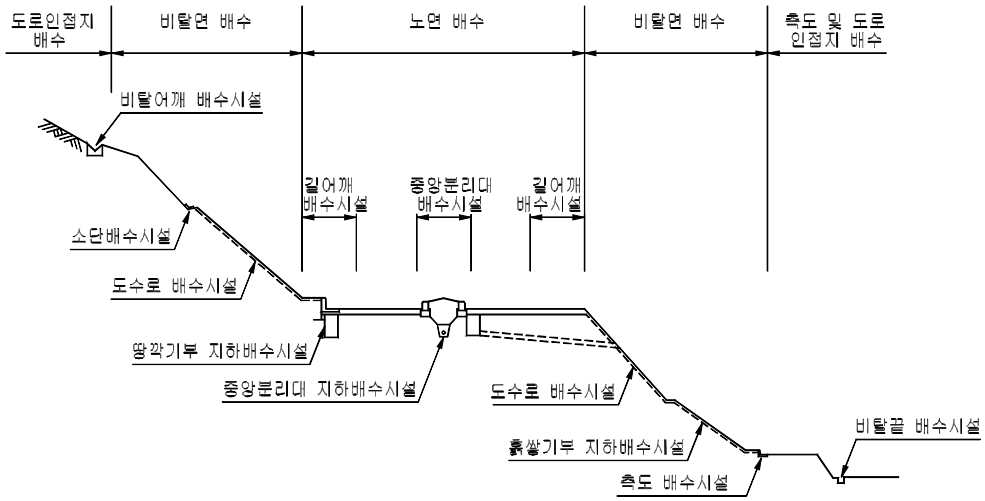
노면 및 비탈면의 배수를 위해 길어깨에 설치하는 L형 측구, 집수정, 흙쌓기부 도수로, 배수구등의 배수시설물이다.

(2) 중앙분리대 배수시설

노면의 배수를 위해 중앙분리대측에 설치하는 중앙분리대 집수정, 배수관 등의 배수시설물이다.

<표 410.11> 도로의 배수시설 구분

도로의 배수시설	표면배수			지하배수	횡단배수
	노면배수	비탈면배수	측도 및 도로 인접지 배수		
배수시설의 설치위치	• 길어깨 • 중앙분리대	• 땅깎기 및 흙쌓기부의 비탈끝 • 비탈면 세로방향 • 비탈면 가로방향	• 측도(부체도로) • 비탈끝 • 비탈어깨 • 기 타	• 땅깎기부 지중 • 흙쌓기부 지중 • 절·성경계부 • 중앙분리대 지중	• 수로횡단 • 계곡부횡단 • 하천횡단
주요 배수시설	• 측구(L,U형) • 흙쌓기부다이크 • 집수정 • 배수관 • 배수구, 맨홀	• 측구 (산마루측구등) • 도수로 • 집수정 • 소단배수시설	• 집수정 • 측구 • 배수관 • 배수구, 맨홀	• 맹암거 • 유공관 • 배수층	• 배수관 • 암 거 • 교 량



<그림 410.16> 배수시설의 명칭 및 구분

4.1.2 비탈면 배수시설

비탈면 배수처리를 위해 땅깎기부, 흙쌓기부의 비탈끝 및 비탈면에 설치한다.

(1) 비탈끝 배수시설

비탈면에 내린 빗물을 배수하기 위해 비탈끝 부분에 설치하는 측구 및 배수구 등의 배수시설물이다.

(2) 도수로 배수시설(세로 배수시설)

노면 및 비탈면에 내린 빗물등 한곳에 모아 비탈면을 따라 흘러 내릴수 있도록 설치하는 도수로, 집수정, 배수관, 배수구 및 감쇄공(energy dissipater)등의 배수시설물이다.

(3) 소단 배수시설(가로 배수시설)

비탈면에 내린 빗물을 도수로 배수구에 집수하기 위해 비탈면의 소단에 설치하는 가로 배수 시설물이다.

4.1.3 측도 및 도로 인접지 배수시설

측도 및 도로인접지역의 배수를 위해 설치한다.

(1) 측도 배수시설

공사용도로, 부체도로, 접속도로 등의 노면 및 비탈면과 측도에 접해있는 배수구역의 배수를 위해 설치하는 집수정, 배수구 및 배수관 등의 배수시설물이다.

(2) 도로인접지 배수시설

① 비탈어깨(산마루)배수시설

산지계곡부 및 땅깎기부 비탈면의 안정을 위해 비탈면 인접지의 빗물이 비탈면에 유입되지 않도록 비탈어깨에 설치하는 산마루측구, 감쇄공(낙차공)등의 배수 시설물이다.

② 배수구 및 배수관

노면 및 비탈면에서 집수된 물과 도로인접 지역의 유입수를 기존 배수로나 하천으로 배수하기 위해 비탈면 끝에 설치하는 배수구, 배수관, 맨홀 등의 배수시설물이다.

4.1.4 지하배수시설

지하수위가 높고 침투수가 많은 곳, 노상중에 물이 막힐 염려가 있는 곳, 용수가 있는 곳에 설치하여 지하수의 영향으로부터 도로구조를 보존하기 위해 설치한다.

(1) 흙깎기부의 지하배수시설

흙깎기부의 지하수위 상승방지, 지하수 침투방지를 위해 설치하는 길어깨 하단 맹암거, 유공관, 횡단방향(또는 경사방향)으로 설치하는 맹암거등의 지하배수 시설물이다.

(2) 흙쌓기부의 지하배수시설

원지반의 용수, 강우, 강설로 인한 침투수를 배수하기 위해 설치하는 필터층, 비탈끝 배수공(규격이 큰 맹암거), 용수발생지점에 설치하는 격자형 맹암거 등의 배수시설물이다.

(3) 흙쌓기 및 땅깎기부의 지하배수시설

지하수가 침투하여 고이기 쉬운 흙쌓기 및 땅깎기부에 설치하는 맹암거, 배수구 등의 배수시설이다.

(4) 중앙분리대의 지하배수시설

녹지형 중앙분리대의 하부에 설치하는 맹암거 유공관 등의 배수시설물이다.

4.1.5 횡단배수시설

횡단배수시설은 도로의 횡방향으로 설치되는 파이프, 박스, 교량 등의 배수시설물이다.

4.2 배수 시설기준

4.2.1 설계 생기빈도

생기빈도의 결정은 해당 배수구조물의 중요도, 특성과 설계단계에 따라 경제성과 위험성을 고려하여 결정하며 일반적인 구조물별 설계발생 빈도는 <표 410.12>와 같다.

설계발생빈도의 결정에 있어 <표 410.12>를 참고로 하되, 중요도가 매우 높은 배수시설물 설치시에는 관계부서와 발주처의 승인을 얻어 재검토한다.

4.2.2 계획 홍수량

(1) 강우지속시간

해당 유역내에 내린 우수가 배수시설까지 도달하는 시간을 말하며 이 시간을 강우지속시간으로 한다.(3.1.2절 참조)

강우지속시간(Tc)은 Kirpich식으로 구하고 최소시간은 10분(0.166시간)을 적용한다.

(2) 설계강우강도

① 노면배수시설물 및 일반 구조물의 유출량 산출에 사용되는 강우강도표는 건설교통부에서 제시한 개정 I.D.F 곡선(intensity duration frequency, 강우강도-지속시간-생기빈도곡선)을 활용한다.

② 측후소가 있는 지역은 지점별 강우강도표를 적용하고 측후소가 없는 지역은 최인접 측

후소의 강우강도표를 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량도를 이용하여 강우강도표를 작성한 값과 최인접 측후소의 확률강우강도표와 비교후 큰 값을 적용한다.
단, 중요한 배수시설물은 관계부서 및 감독관과 협의후 설계강우강도를 정해야 한다.

(3) 계획홍수량

계획홍수량은 유역면적이 4㎢ 미만이거나 유역 또는 하도의 저류효과를 기대할 수 없는 소하천에서는 합리식을 적용한다. 일반적으로 수문자료가 미흡한 40㎢ 미만의 중소하천에는 표준유출법을 쓰며 유역면적이 40㎢ 이상 장대하천에는 수문곡선 추적법을 적용한다.

① 합리식(rational method)

합리식은 강우유출과 직접연관을 가지며 유역면적이 4.0㎢ 이내일 때 사용되고 다음 식으로 표시된다.

$$Qd = \frac{1}{3.6} C \cdot I \cdot A \qquad (410.52)$$

여기서, Qd : 계획홍수량, ㎥/sec
C : 유출계수 <표 410.13>
I : 강우지속시간 강우강도, ㎜/hr
A : 유역면적, ㎢

② 표준유출법(standard runoff method)

유역면적이 4.0~40.0㎢ 일 때 사용하고 표준유출곡선을 이용하며 산정방법은 다음과 같다.

$$Qd = RF \times LF \times FF \times Q \qquad (410.53)$$

여기서, Qd : 설계유량, ㎥/sec
RF : 강우계수
LF : 지역계수
FF : 생기빈도계수
Q : 표준유출율

③ 수문곡선추적법(envelope hydrograph)

유역면적이 40㎢ 이상 초과할 경우 수문곡선 추적법을 이용한다.

<표 410.12> 일반적인 구조물의 설계생기 빈도

구조물명		설계생기빈도	비 고
교량	소교량	50년	도시구역내 하천교는 별도규정에 의함
	장대교(L≥100m)	100년	
암거 및 배수관		25년	
측구		5년	토사측구, V형측구등
노면 및 비탈면 배수		3 ~ 5년	L형측구, 중분대 집수정 등

<표 410.13> 합리식에서의 C값

유역면적의 상태	C값
포장면	0.9
가파른 산지 및 비탈면	0.8
가파른 계곡 경작지	0.8
논	0.8
완만한 산지	0.7
완만한 경작지	0.7
도시지역	0.7
잡지	0.6
경작하는 평작지	0.5
경작하는 평계곡	0.36
수림	0.3
밀림수림과 덤불숲	0.2

4.2.3 안전 유속

수로설계에 있어 침전이나 침식을 발생시키지 않는 유속이 유지되도록 하는 것은 배수시설의 기능보전과 유지관리측면에서 중요한 항목이다.

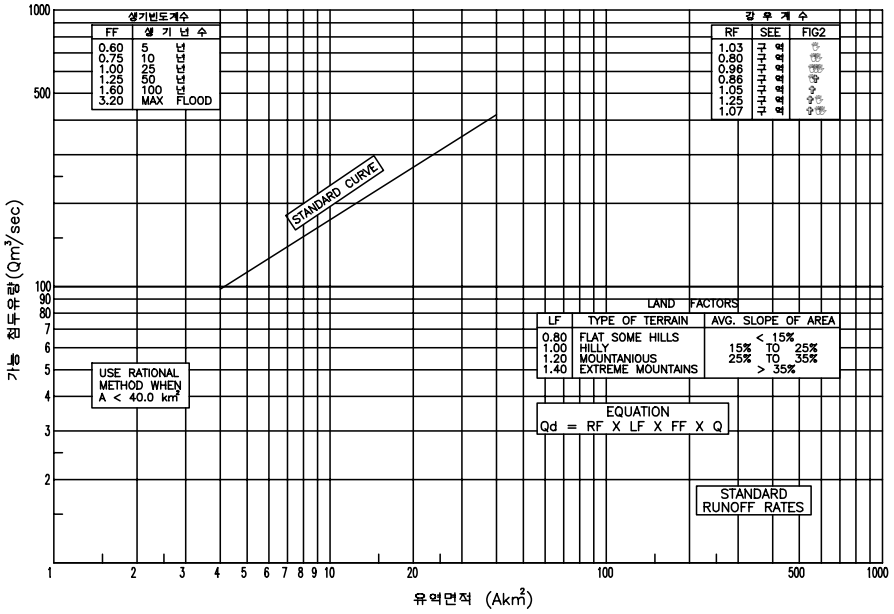
퇴적을 막기 위해 자연수로는 약 0.5%, 매끄럽게 코팅된 수로는 약 0.3%의 수로 경사를 필요로 한다. 최소수로경사는 침전물이 퇴적되지 않도록 가능하다면 일정하게 하거나 증가시켜야 한다. <표 410.14>는 퇴적을 막기 위한 안전유속의 값과 소류력을 나타낸다.

<표 410.14> 안전된 수로의 설계를 위한 한계유속과 소류력 값과의 비교
(노화된 곧은 수로, 도관 깊이 91.44㎝)

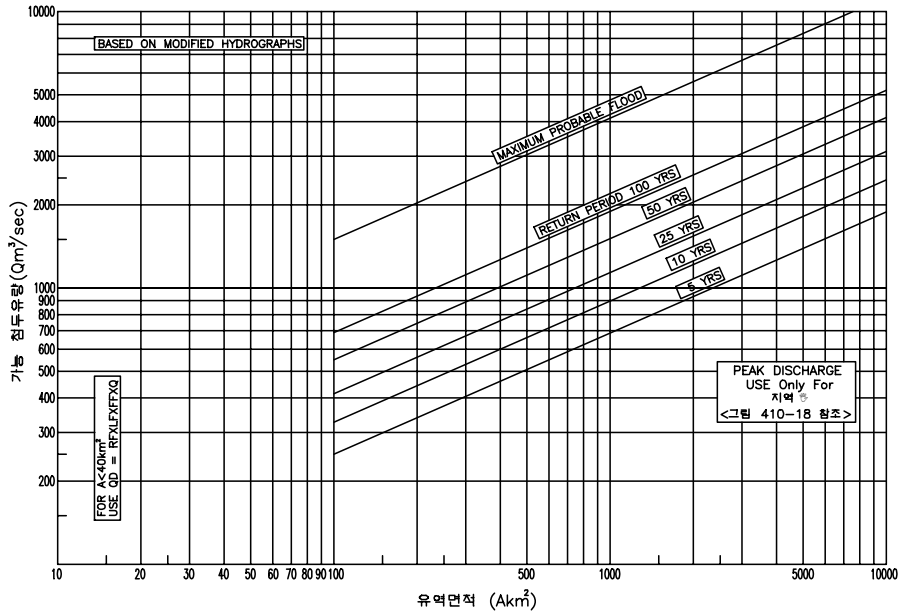
재 료	n	깨끗한 물		콜로이드 상태의 실트가 운반되어지는 물	
		속도 (m/sec)	소류력* (㎏/㎡)	속도 (m/sec)	소류력* (㎏/㎡)
정제된 콜로이드 상태의 모래	0.020	0.46	0.13	0.76	0.37
비콜로이드 상태의 모래 양토	0.020	0.53	0.18	0.76	0.37
비콜로이드 상태의 실트 양토	0.020	0.61	0.23	0.91	0.54
비콜로이드 상태의 충적지 실트	0.020	0.61	0.23	1.07	0.73
보통의 굳은 양토	0.020	0.76	0.37	1.07	0.73
화산재	0.020	0.76	0.37	1.07	0.73
콜로이드 상태의 굳은 진흙	0.025	1.14	1.27	1.52	2.25
콜로이드 상태의 충적지 실트	0.025	1.14	1.27	1.52	2.25
쉐일과 경질 지층	0.025	1.83	3.27	1.83	3.27
정재된 자갈	0.020	0.76	0.37	1.52	1.56
비콜로이드 상태의 조약돌과 같은 등급의 양토	0.030	1.14	1.86	1.52	3.22
콜로이드 상태의 조약돌과 같은 등급의 실트	0.030	1.22	2.1	1.68	3.91
비콜로이드 상태의 거친 자갈	0.025	1.22	1.46	1.83	3.27
거칠고 둥근 작은 돌	0.035	1.52	4.44	1.68	5.37

* 소류력 및 전단력은 물의 흐름으로 인해 수로의 주위에 수압을 가하는 힘이다. 제시한 소류값은 S. Fortier과 Fred C. Scobey가 제시한 속도와, 그리고 n표시 값으로부터 산정하였다.
소류력의 크기는 깊이에 관계없이 주어진 재료에 대해 유효하다. 깊이가 91.44㎝보다 더 깊으면 높은 속도를 가질 수 있고 여전히 같은 소류력을 갖는다.
주) U.S. Bureau of Reclamation, Report No. Hyd-352, 1952

<그림 410.17> 수문지역도

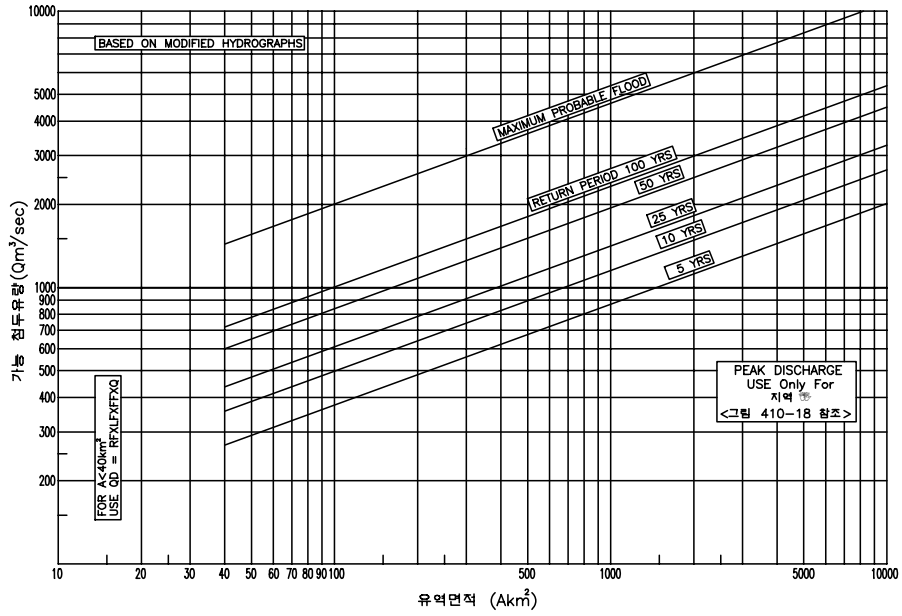


<그림 410.18> 표준유출율

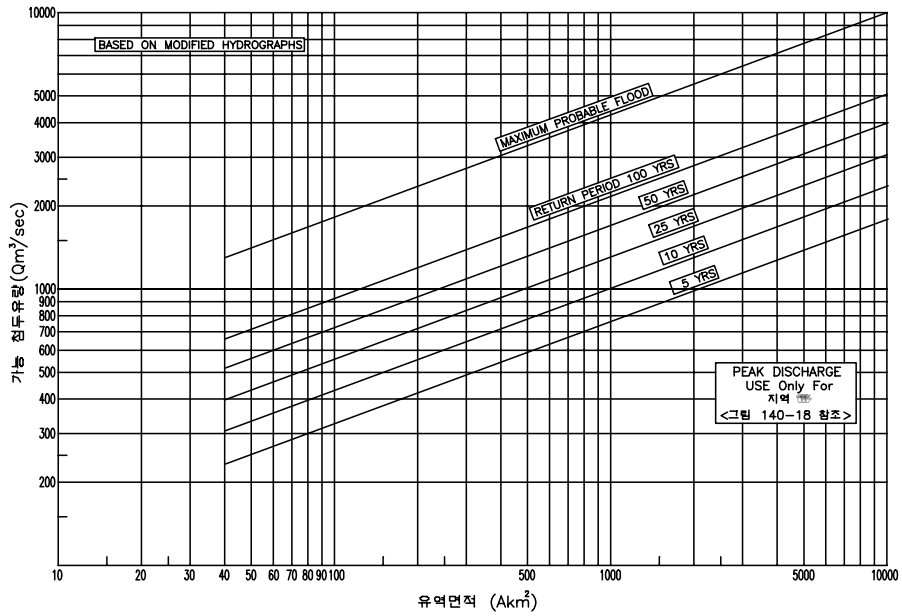


(a) Ⅰ지역 수정수문 곡선

<그림 410.19> 수정수문 곡선

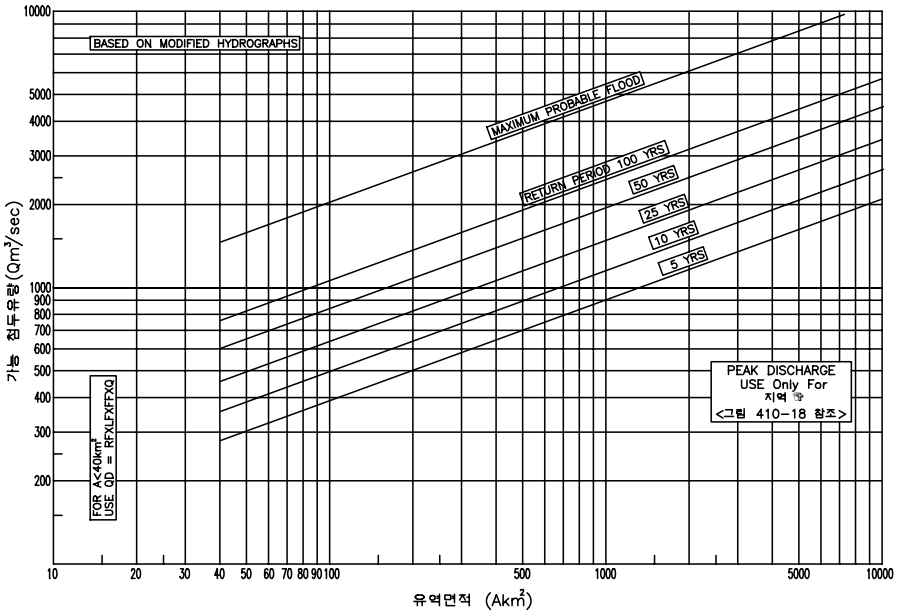


(b) Ⅱ지역 수정수문 곡선

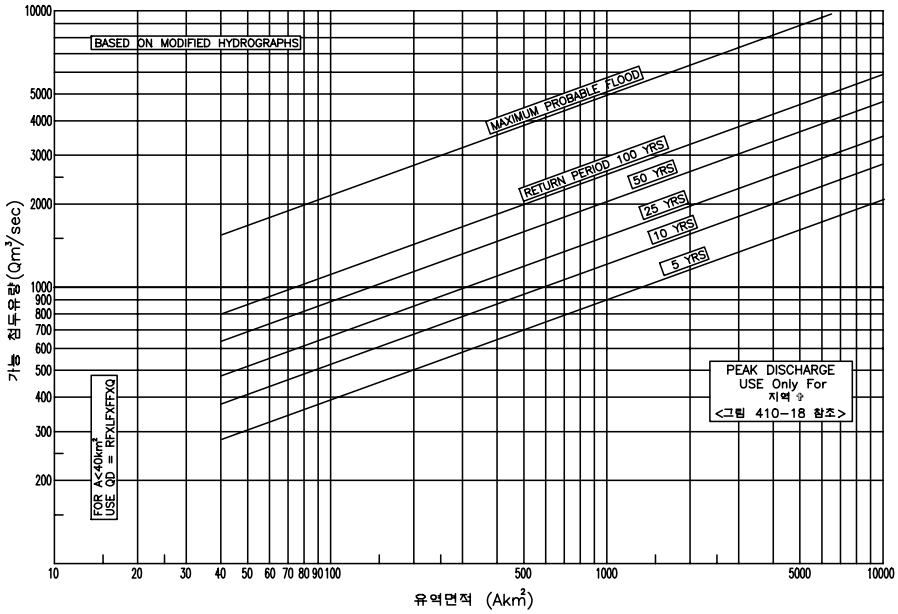


(c) Ⅲ지역 수정수문 곡선

<그림 410.19> 수정수문 곡선(계속)

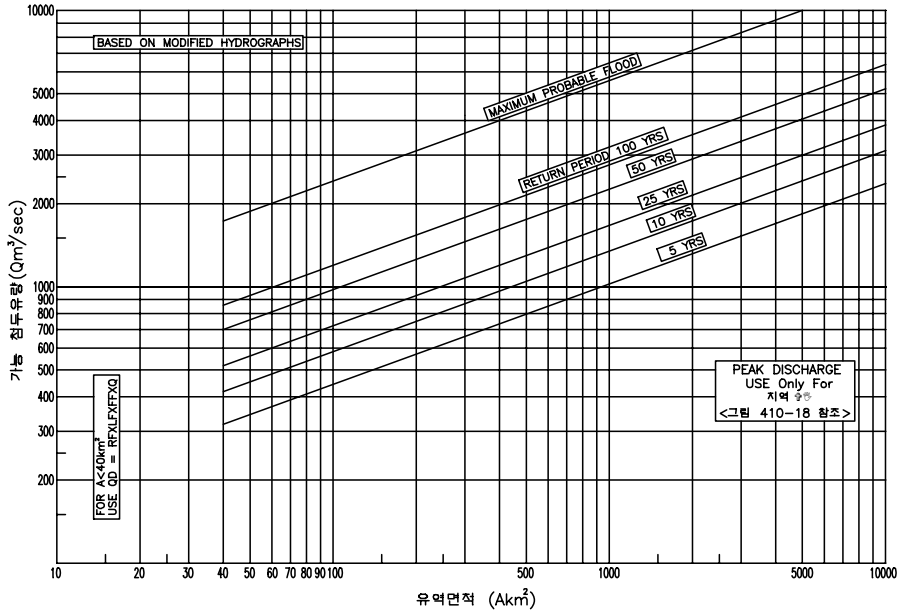


(d) Ⅳ지역 수정수문 곡선

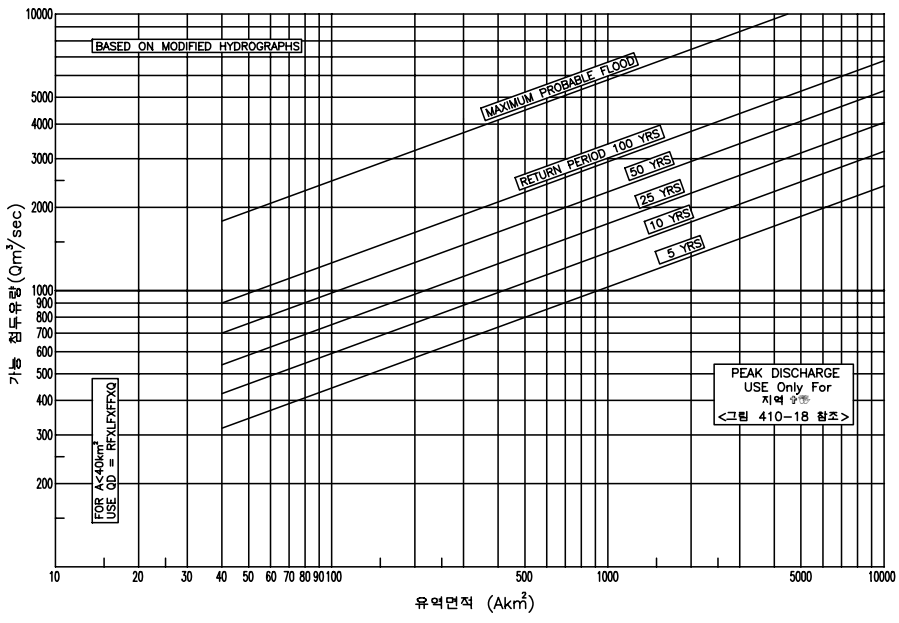


(e) Ⅴ지역 수정수문 곡선

<그림 410.19> 수정수문 곡선(계속)



(f) Ⅵ지역 수정수문 곡선



(g) Ⅶ지역 수정수문 곡선

<그림 410.19> 수정수문 곡선

4.3 조 사

조사는 배수시설에 관한 자료를 다각적으로 수집하여 경제적이고 합리적인 설계가 이루어지도록 한다. 또한 조사를 통하여 시공성 및 유지관리에 필요한 정보를 얻는다.

배수시설 조사와 관련하여 다음과 같은 점을 주의한다.

- 표면수가 국부적으로 집중하여 흐르는 곳
- 지반으로 부터의 용수나 침투수가 많은 곳
- 지하수의 상황
- 모여진 물을 배제하는 유출부의 상황

(1) 지형 및 지질

지형조사는 배수 구조물의 설치 위치를 선정하고 유로의 수리분석과 배수시설 설계를 위한 충분한 정보를 얻는다. 비탈면 배수, 지하 배수를 위해서는 산사태 붕괴의 유무, 비탈면의 침식 상황, 식생 상황 등을 주의하여 조사한다.

집수구역내의 지표면 상황이나 경사, 또는 주변지역 개발 등의 인위적인 요인에 의한 지표상황의 변동으로 인한 유출값이 다르게 되므로 주의하여야 한다.

(2) 유역

유역면적은 계획홍수량을 결정하는 데 있어서 중요한 요소로 국립지리원 발행의 1:5,000, 1:25,000, 1:50,000 축척의 지형도를 이용한다.

지도로부터 유역의 경계를 정확히 구분하기 어려울 경우에는 현장조사를 실시하여 보완해야 한다. 조사를 통해 토지이용도, 토질유형, 초목화 정도 등 유출과 관련된 항목을 도면에 표시하고 기록한다. 유역에 위치한 농업용 저수지, 소규모 저류시설은 대부분 홍수조절기능이 없어 유출에 영향을 주지 않으므로 무시해도 가능하나, 유출량을 크게 변화시킬 수 있는 댐의 유무 등은 표시해 두어야 한다. 또한, 도로 부근의 배수를 완벽하게 하기 위해서 강우강도에 따른 유출량과 유속, 방향 등을 표시한 축척 1:1,200 또는 1:5,000의 배수현황도를 작성한다.

(3) 지하수 조사

지하수 조사는 2단계로 나누어 실시하며 1단계에서는 문제가 되는 개소를 추출하며, 2단계에서는 문제의 정도를 파악한다.

조사 방법은 기존자료 수집, 항공사진이용, 개략적인 답사 등으로 자료를 수집하고 현재의 지하수 상태, 물 지수 등에 대한 예비적인 검토를 실시하여 지하수의 장애가 있는가 없는가를 판단한다.

그 결과, 필요할 경우 가능한 범위에서 관정, 용수 등을 이용한 물의 상태 측정, 주요하천 수로의 유량관측, 주요개소의 보링 지질조사, 전기 검층, 토지이용 상황 등의 조사를 실시한다.

① 중요한 지하수조사 방법

지하배수시설 설계에는 지하수위가 중요한 요소이다. 보링조사를 실시하면 지하수위도 기록할 수 있으므로 이 자료를 이용한. 지하수위의 높이만을 조사하려면 오우거(auger)를 이용하면 가능하다.

수위는 일반적으로 계절마다 크게 변동하므로 지반조건 등을 고려하여 최고수위를 분석한다. 투수층을 관입하여 공(孔)을 굴착할 때, 공(孔)내 수위는 투수계수가 가장 큰 투수층의 수두 영향을 받기 쉬우므로 주의한다.

일반적으로 착공간격은 100m 정도가 좋으나 투수층을 포함한 복잡한 지층이 존재하

는 경우나 비탈면에 용수가 있는 경우는 간격을 좁게 한다.

기타 배수시설의 유량을 결정하기 위한 조사로써 투수계수를 측정할 경우가 많다. 투수계수의 측정 방법은 투수층내의 침투류는 동일한 것은 아니고 투수성이 높은 자갈층, 모래층 또는 파쇄대 단층 등을 통해 물이 집중하여 흐르는 경우가 많아 조사방법의 선정이 나쁘면 판단에 오류를 범하기 쉬우므로 주의해야 한다.

② 투수계수의 측정

투수계수의 측정방법에는 실내시험과 현장시험 등 2가지 방법이 있다. 실내시험은 현지에서 채취한 비교적 작은 치수의 시료를 사용하므로 실제 토층의 전체를 대표하는 투수계수 값과는 상당한 차가 생기는 것이 보통이다. 또, 실제의 토층에는 균열 등이 있고 층 전체에도 방향성을 가지므로 될 수 있으면 현장투수시험을 실시하는 것이 바람직하다. 시험을 실시하지 않고 개략적인 투수계수 값을 추정하여 사용할 경우에는 <표 410.10>값을 참고하면 된다.

(4) 수문조사 및 하천조사

수문자료 수집은 축척 1:5,000이나 1:25,000 지형도를 이용하여 유역면적과 구조물의 설치예정 위치별로 유량을 추정한 후 현지조사를 실시하며, 과거의 최고 홍수위, 기존 구조물의 규격 및 기타 필요한 자료를 수집한다.

계획된 구조물의 설치지점 상하류 근처에 있는 기존 구조물의 규격 및 연장, 침수 여부 등을 조사한다. 상류에 저수지가 있을 경우에는 수문 및 여수로의 크기 등을 조사하고, 하류에 저수지나 하천의 합류점이 있을 경우에는 역류의 영향 유무, 관개수로의 경우는 저수지 관리운영에 대한 조사, 하천상류의 침식상태, 하상의 상태, 기존 교량의 세굴상태, 제방높이 등을 조사한다. 그리고 현지주민에게 탐문하거나 또는 관계기관으로부터 신뢰할 수 있는 자료를 얻어 최고 홍수위에 대한 조사 등 여러 가지 조사를 행하여 설계의 기본으로 삼아야 한다.

하천조사는 유수에 의한 도로의 피해를 방지하고 도로시공시 지장을 주지 않도록 하기 위하여 실시한다. 따라서 하천관리자들과 사전에 충분히 협의하여야 하며, 관계법령 특히 하천시설기준을 준수하여야 한다.

하천에 관한 조사로는 수위, 유량, 유속과 과거의 수심, 하상의 변동, 홍수나 고조의 기록 등을 조사한다.

4.4 표면 배수시설

4.4.1 적용

도로 용지 내에 내린 빗물은 원칙적으로 표면 배수시설에 의하여 배수하고, 도시지역에서 도로구역 외측에 내린 빗물 및 가정의 하수 등은 별도의 전용 하수시설에 의해 배수해야 한다. 본 절에서는 길어깨, 중앙분리대 등 노면배수시설과 비탈면 등 도로 인접지에 대한 배수시설을 다룬다.

4.4.2 흙쌓기 구간의 길어깨 배수

(1) 도수로 간격 결정

흙쌓기 구간의 길어깨 배수는 길어깨 또는 길어깨 측구를 흐르는 물을 효과적으로 배수하기 위하여 설치한다. 일반적으로 도수로의 간격은 표준구간 및 곡선부 내측구간에서 최대

100m, 곡선부 외측으로 길어깨의 물만을 배제할 경우 최대 200m를 적용한다. 흙쌓기부 도수로의 간격은 식 (410.54)로 산정하며 흙쌓기부 도수로 간격 결정을 위한 집수폭 개념도는 <그림 410.20>과 같다.

$$S = \frac{3.6\times10^{6}\times Q}{C\times I\times W} \qquad (410.54)$$

여기서, S : 성토부 도수로의 간격, (m)
Q : 길어깨(또는 측구)의 허용 통수량, (m^3/sec), (Manning 공식으로 계산한 최대 통수량의 80%)
C : 유출계수 (포장부 0.9)
I : 설계강우강도, (mm/hr)
W : 집수폭, (m)

도수로는 유량이 길어깨 또는 길어깨 측구의 허용통수량과 같게 되는 곳, 길어깨 또는 길어깨 측구의 가장 심한 요철부, 교량 고가 구간 및 연약지반, 고성토 구간에서 장기 성토 침하에 의해 길어깨 배수에 지장을 준다고 예상되는 곳에 설치한다. 설계시에는 지형, 비탈면의 상태, 연결되는 배수시설(중앙분리대의 맨홀, 측구의 집수정 등의 위치)을 고려해서 가장 효과적인 위치에 설치 해야한다.

(2) 도수로 및 다이크

① 다이크

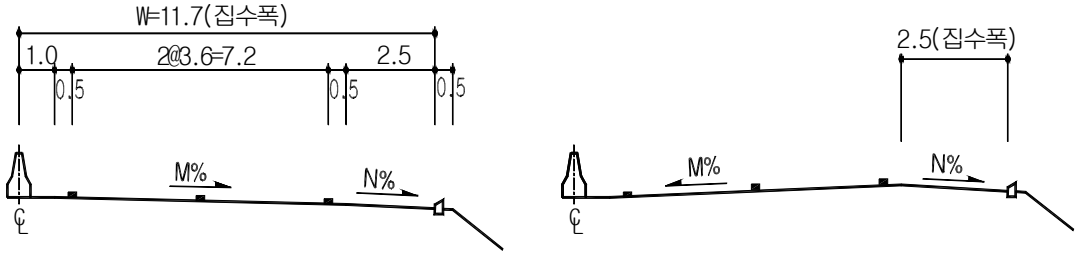
빗물 등이 흙쌓기 비탈면으로 흘러 비탈면이 유실되는 것을 방지하기 위한 물막이 시설로서, 일반적으로 길어깨폭이 좁은 도로나 시가지구간 등에는 L형 측구로 대체한다. 다이크의 형식은 <그림 410.21>과 같다.

② 다이크 집수거

다이크와 도수로의 연결부에 설치하며 종단선형조건에 따라 오목구간에는 T형(양방향 집수형태), 일반구간에는 L형(일방향 집수형태)으로 계획한다.

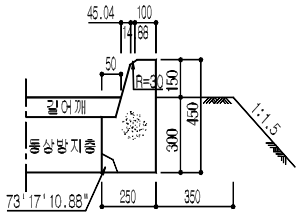
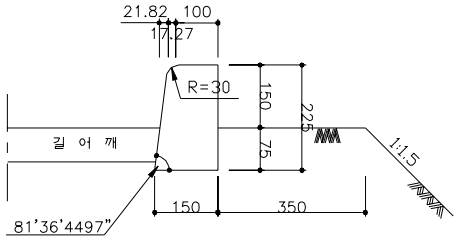
③ 도수로

흙쌓기부 도수로는 현장 타설로 함을 원칙으로 하며, 도수로의 주변은 콘크리트로 보호한다. 배수와 용수를 위한 도수로는 관의 규격에 따라 H=0.3～0.6m로 하며, 노면 배수용 도수로는 H=0.35m로 하여 견고한 구조물이 되도록 한다. 인터체인지 구간(녹지대 측면부 제외), 도시부 시가지 통과 구간은 미관을 고려하여 지중매설관(ϕ 300mm 이상)으로 설치한다.

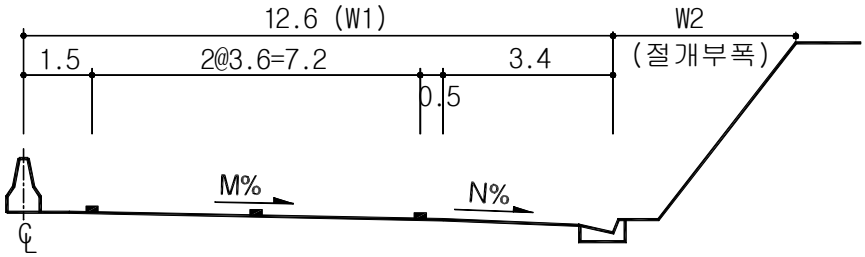


(a) 곡선 내측구간 및 직선구간 (b) 곡선 외측구간

<그림 410.20> 흙쌓기부 도수로 간격 결정을 위한 집수폭 개념도(편도 2차로)

구 분	형 태	비 고
형 식 1		• 기계타설 • 흙쌓기부의 일반구간에 설치
형 식 2		• 기성제품 또는 현장제작(Pre-cast) • 기계화시공이 어렵거나 설치연장이 짧아 경제성이 없는 곳에 설치

<그림 410.21> 다이크 형식



<그림 410.22> 깎기부 집수정 설치간격 결정을 위한 집수폭 개념도(편도2차로)

4.4.3 땅깎기 구간의 길어깨 배수

(1) 개 요

깎기구간의 길어깨에는 L형 또는 U형(뚜껑있는 형식)등 다양한 형식의 측구로 노면수를 집수하며 일반적으로 교통안전, 유지관리에 장점이 있는 많은 L형 측구를 설치한다.

깎기구간의 길어깨배수는 도로의 종단경사, 횡단경사와 집수폭(W1, W2)을 고려한 노면수의 유출량과 측구의 배수용량을 비교하여 집수정 간격을 결정한다.

집수정에 집수된 물은 측구 하부의 종배수관 또는 횡배수관을 설치하여 배수하며 배수관이 설치되는 경우 배수관의 관경은 동일한 조건으로 수리계산을 통해 결정한다.

(2) 집수정 간격 결정

깎기구간 길어깨에 설치되는 집수정의 간격은 (식 410.55)에 의해 결정하며 깎기부 집수정 설치간격 결정을 위한 집수폭 개념도는 <그림 410.22>와 같다.

집수정의 간격은 청소와 유지관리를 고려할 때 최대 50m정도, 시공성을 고려할 때 최소 5m정도가 바람직하나 계산결과 집수정 간격이 최소값 이하인 경우 길어깨에 설치된 측구의 형태를 재검토해야 한다.

$$S = \frac{3.6\times10^{6}\times Q}{I\,(C_1 W_1 + C_2 W_2)} \qquad (410.55)$$

여기서, S : 집수정 간격, m

I : 설계강우강도, mm/hr

C_1 : 유출계수 (포장부 0.9),

C_2 : 유출계수 (절개부 0.6)

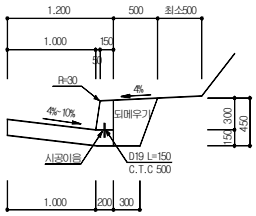
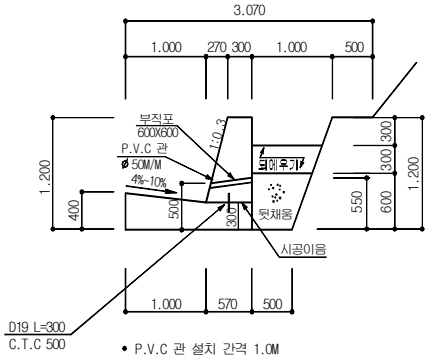
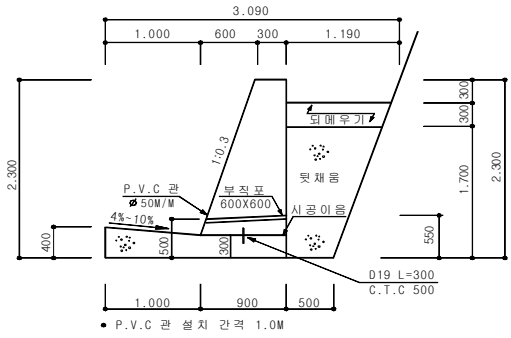
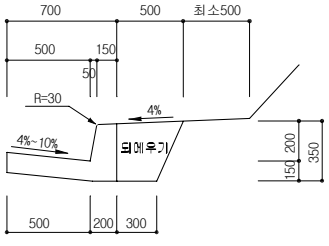
W_1 : 집수폭 (포장부),

W_2 : 집수폭 (절개부)

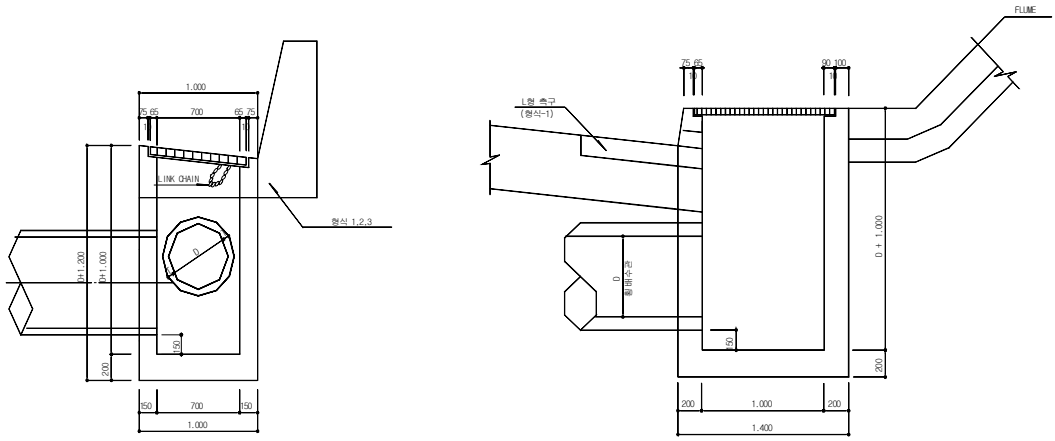
Q : 허용통수량, m^3/sec

(3) L형 측구

땅깎기 구간의 길어깨용 측구는 L형측구가 대표적이며 그림 <410.23>의 4가지 형태가 사용되고 있다. 형식별 기준은 사용편의를 위한 구분이며 지형여건, 측구의 연장 시공성과 미관, 토질조건을 고려 적절한 형식으로 선정한다.

구 분	형 태	비 고
형식1 (H=0.45m)		땅깎기면 토사 및 리핑암 전 구간, 발파암 H=10m 미만인 구간에 설치.
형식2 (H=1.20m)		땅깎기면 리핑암＋발파암 10.0m이상 또는 발파암 H=10.0m이상～30.0m 미만인 구간에 설치.
형식3 (H=2.30m)		땅깎기면 발파암 H=30.0m 이상이 되는 구간 중에서 길이가 약 20m 이상인 구간에 설치.
형식4 (H=0.35m)		부체도로에 설치.

<그림 410.23> L형 측구 형식



a) L형측구 하단용 b) L형측구 외측용

<그림 410.24> 깎기부 집수정 종류

(4) 땅깎기부 집수정

땅깎기부 길어깨에 흐르는 우수를 배제할 목적으로 집수정을 설치한다. 집수정은 유량이 길어깨의 허용통수량과 같게 되는 곳, 땅깎기부의 비탈면 도수로 또는 종배수관과 연결되는 곳, 지하배수관 또는 종배수관의 단면이 변화하는 곳, 종단경사의 가장 낮은 위치 등에 설치한다.

집수정은 설치위치, 접속배수시설의 관계에 따라 적합한 형식으로 계획되어야 하며 일반적인 집수정의 형태는 <그림 410.24>와 같다.

(5) 종배수관 및 횡배수관

종방향으로 설치되는 종배수관의 최소규격은 도로의 등급과 도로의 폭원에 따라 노면수 처리에 충분한 규격으로 결정해야 하며 고속국도의 경우 600m/m이상 일반국도의 경우 450m/m 이상 적용을 표준으로 한다.

횡배수관은 파손시 도로에 미치는 영향과 유지관리의 편의를 위해 최소 800m/m 이상을 적용하며 도로의 중요도를 고려 상향조정할 수 있다.

땅깎기부는 비탈면의 길어깨에 흐르는 우수를 배제할 목적으로 집수정을 설치한다. 집수정은 유량이 길어깨의 허용통수량과 같게 되는 곳, 땅깎기부의 비탈면 도수로 또는 종단배수관과 연결되는 곳, 지하배수관 또는 종단배수관의 단면이 변화하는 곳, 종단구배의 가장 낮은 위치 등에 설치한다.

4.4.4 중앙분리대의 배수

(1) 개 요

중앙분리대가 설치된 도로의 곡선부는 노면수가 중앙분리대로 집수되어 흐르므로 집수정과 종배수관, 횡배수관을 설치하여 노면수를 배수한다.

중앙분리대 배수는 도로의 종단경사, 횡단경사와 집수폭(W)을 고려한 노면수의 유출량과 측대와 중앙분리대로 형성되는 사다리형 수로의 배수용량을 비교하여 집수정 간격을 결정하고 종배수관으로 배수할 수 있는 최대길이를 산정한다.

(2) 중앙분리대 집수정 간격 결정

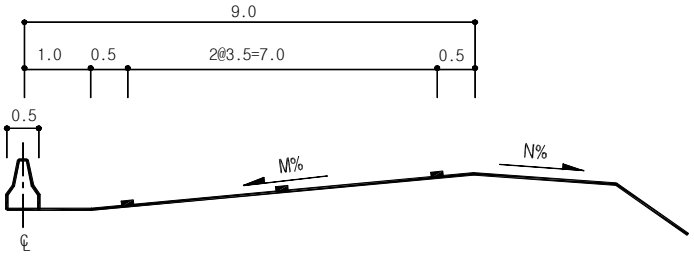
중앙분리대의 집수정 간격은 식(410.56)으로 구하는데, 최대 30m, 최소 5m 이내로 가능한 등 간격으로 배치한다. 동일구간에서 집수정의 간격을 달리할 경우는 너무 심한 변화가 되지 않게 하는 것이 좋다.

$$S = \frac{3.6\times10^{6}\times Q\times\alpha}{C\times I\times W} \qquad (410.56)$$

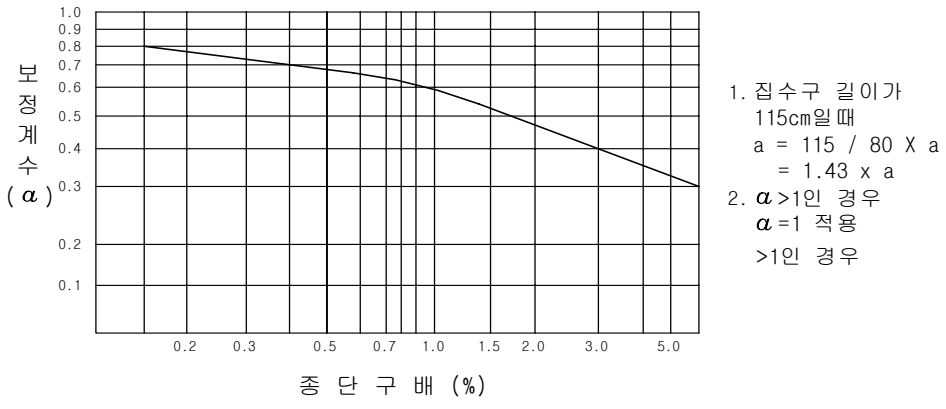
여기서, S : 집수정간격, m , C : 유출계수(0.9)

I : 평균강우강도, mm/hr

Q : 측대의 배수용량, ㎥/sec



<그림 410.25> 중분대 집수정 간격 결정을 위한 집수폭 개념도(편도 2차로)



<그림 410.26> 중앙분리대 집수정 간격의 보정계수 (방호벽형 중앙분리대)

W : 집수폭, m <그림 410.25>

a : 보정계수 <그림 410.26>

(3) 종배수관 및 횡배수관

중앙분리대의 폭은 협소하므로 큰 규격의 배수관 설치가 곤란하다. 중앙분리대 종배수관의 규격은 300m/m를 표준으로 하며 횡배수관은 포장층내에 위치하는 경우가 많으므로 콘크리트로 보강하고 최소 300m/m 이상을 적용한다.

중앙분리대 횡배수관의 유출구는 도수로 또는 방수거에 연결하여야 한다. 깎기구간의 집수정과 같이 유출구가 제한적인 배수계통에 연결하는 것은 부득이한 경우에 한하여 연결집수정의 수위이상으로 횡배수관을 접속시킨다.

(4) 중앙분리대 집수정 설치간격 계산

① 횡단경사에 따른 중앙분리대측의 통수량

$$Q = 0.8 \times A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \qquad (410.57)$$

여기서, i : 도로의 종단경사

n=0.015

길 어 깨 횡단경사(%)	수 위 H, (m)	통수면적 A, (m^2)	윤변 P, (m)	경심 R, (m)		Q (m^3/sec)
1	0.005	0.00475	1.20502	0.00394	0.02495	
2	0.010	0.00950	1.21010	0.00785	0.03950	
3	0.015	0.01425	1.21522	0.01173	0.05161	
4	0.020	0.01900	1.22040	0.01569	0.06235	Q=0.06323×
5	0.025	0.02375	1.22562	0.01938	0.07214	Q=0.02001×
6	0.030	0.02850	1.23090	0.02315	0.08124	Q=0.03922×
						Q=0.06318×
						Q=0.09138×
						Q=0.123485×3.0

② 횡단 및 종단의 합성경사에 따른 L형 측구 통수량

종단(%) / 횡단(%)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	0.000346	0.000447	0.000632	0.000774	0.000894	0.000999	0.001095
2	0.001096	0.001415	0.002001	0.002451	0.002830	0.003164	0.003466
3	0.002148	0.002773	0.002773	0.004803	0.005547	0.006201	0.006793
4	0.003461	0.004468	0.004468	0.007738	0.008935	0.009990	0.010943
5	0.005005	0.006462	0.006462	0.011192	0.012923	0.014448	0.015827
6	0.006763	0.008731	0.008731	0.015128	0.017463	0.019524	0.021387

③ 중앙분리대 집수정 설치간격 산정

4차로(집수폭 W=9.2m)

$$S = \frac{3.6\times10^{6}\times Q\times\alpha}{C\times I\times W} = \frac{3.6\times10^{6}\times Q\times\alpha}{0.9\times92\times9.2} = 4725.90\times Q\times\alpha$$

설치계산/설치결정 (단위 : m)

종단경사(%) / 횡단경사(%)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
	1.000	1.000	0.858	0.7579	0.6864	0.6262	0.5724
1	1.64	2.11	2.56	2.77	2.90	2.97	2.96
	20	20	20	20	20	20	20
2	5.18	6.68	8.11	8.77	9.18	9.40	9.36
	20	20	20	20	20	20	20
3	10.15	13.10	15.90	17.20	17.99	18.43	18.36
	20	20	20	20	20	20	20
4	16.36	21.11	25.61	27.71	28.98	29.70	29.58
	20	20	25	25	25	25	25
5	23.65	30.53	37.05	40.08	41.92	42.96	42.78
	20	30	30	30	30	30	30
6	31.96	41.26	50.06	54.18	56.64	58.05	57.81
	30	30	30	30	30	30	30

주) 보정계수 α : 1.0 이상인 경우 잠정적으로 1.0 적용

(5) 중앙분리대 종배수관 연결 최대연장 계산

① 설계 유량(Q_d)

$$Q_d = \frac{1}{360} \times C \times I \times W \times L \times 10^{-4} \qquad (410.58)$$

여기서, Q_d : 설계유량, m^3/sec

C : 유출계수 (0.9)

I : 설계강우강도, mm/hr

W×L : 집수면적

W : 집수폭, m = 9.20

L : 종배수관 연결연장, m

$$Q_d = \frac{1}{360} \times 0.90 \times 92 \times 9.20 \times L \times 10^{-4}$$
$$= 2.116 \times 10^{-4} \times L$$

② 통수량(Q)

$$Q = A \times V = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \qquad (410.59)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{240^\circ}{360^\circ} + \frac{1}{2}\{(\frac{D}{2}\cos 60) \times D \cdot \sin 60\}$$
$$= 0.63185\,D^2$$

$$P = \pi D \times \frac{240^\circ}{360^\circ} = 2.0944D$$

$$R = \frac{A}{P} = 0.3018D$$

$n = 0.013$

수심 = 0.75D (그림 참조)

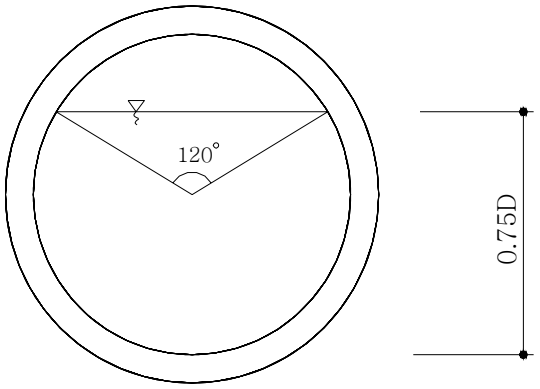
i = 종단경사

- 직경별 통수량 n=0.013

직경(D) mm	수위 0.75D (m)	통수면적 A, (m^2)	윤변 P, (m)	경심 R, (m)		Q (m^3/sec)
300	0.0250	0.0569	0.6283	0.0905	0.2016	
450	0.3375	0.1280	0.9425	0.1358	0.2642	
600	0.4500	0.2275	1.2566	0.1810	0.3200	0.8824

2.6014

5.6000



- 종단경사에 따른 통수량

종단경사(%) / 직경D (mm)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
300	0.0483	0.0624	0.0882	0.1081	0.1248	0.1395	0.1528
450	0.1424	0.1838	0.2599	0.3183	0.3676	0.4110	0.4502
600	0.3067	0.3690	0.5600	0.6859	0.7920	0.8854	0.9699

③ 최대 연결 연장계산

$Q_d \geq Q$ 인 L 계산

$2.116\times10^{-4}\times L = Q_d$

$L = \frac{10^4}{2.116}\times Q_d$

- 직경별, 경사별 최대 연결 연장 계산

설치계산/설치결정(단위 : m)

종단경사(%) / 직경 D (mm)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
300	228.26	294.90	416.82	510.87	589.79	659.26	722.12
	220	290	410	510	580	650	720
450	672.97	868.62	1228.26	1504.25	1737.24	1942.34	2127.60
	670	860	1220	1500	1730	1940	2120
600	1449.43	1871.46	2646.50	3241.49	3742.91	4184.31	4583.65
	1440	1870	2640	3240	3740	4180	4580

4.4.5 효율적인 우수 유입구

(1) 유입구의 수리학적 효율성

노면수는 길어깨 배수로에서 1차 집수되어 집수정 또는 다이크집수거를 통해 외부로 배수되는데 일반적으로 노면수 유출량과 길어깨 배수용량만을 고려하여 배수시설의 간격을 결정하게 된다.

그러나, 각각의 배수시설 유입구는 형상에 따라 상이한 배수효율을 갖게 되는데 간격결정시 이러한 유입구의 효율(예;중앙분리대 집수정 간격 결정시 a값)은 매우 중요한 수리학적 요소로 배수시설간격 결정에 영향을 준다.

예를 들어, 길어깨 집수정의 간격을 25m로 계산하였을때 집수정 유입구의 효율이 90% 였다면 첫 번째 집수정은 두 번째 집수정으로 10%의 통과유량을 흘려보내고, 두 번째는 그 다음 집수정으로 20%의 부담을 주는 악영향이 우수진행방향으로 점증되므로 계산값 25m는 무의미해진다. 이것은 유입구 효율에 따라 집수시설의 처리용량이 제한받는 것을 뜻하므로 노면수 처리를 위한 각종 집수정, 집수거 등의 간격결정시 유입부 형상에 따른 효율을 고려해야 한다.

$$E = Q_a / Q \qquad (410.60)$$

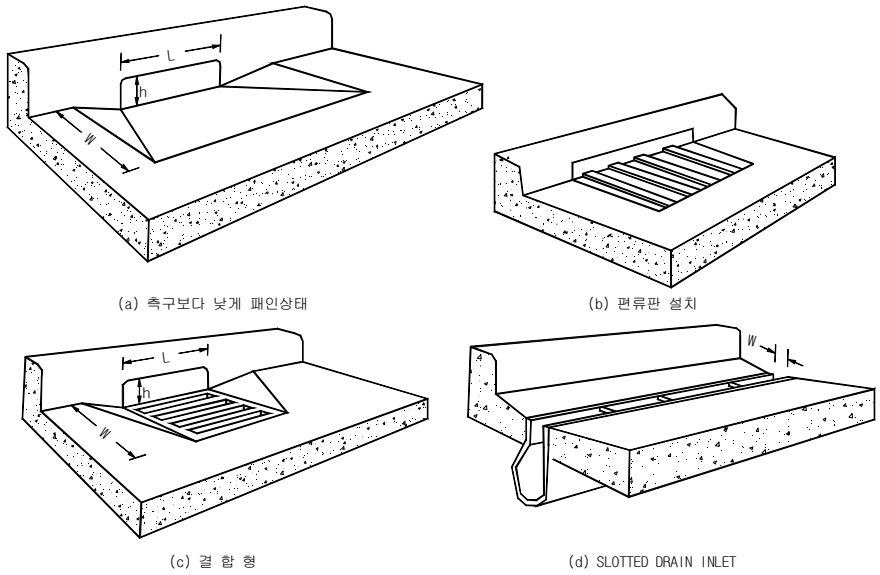
여기서, E : 효율

Q_a : 집수시설의 집수량, m^3/sec

Q : 측구의 용량, m^3/sec

(2) 효율높은 유입구 형상

유입구의 수리학적 효율성을 좌우하는 요소는 도로 종단경사, 횡단경사와 유입구부근의 기하학적 특성이다. 종단 및 횡단경사가 이미 결정된 상태라면 결국 유입구 형상이 수리학적 효율성을 좌우하게 되는데 <그림 410.27>과 같은 형태의 유입구에서 높은 수리학적 효율성을 기대할 수 있다.



<그림 410.27> 수리효율성이 높은 유입구

4.4.6 도로인접부의 배수

(1) 측도의 노면이나 비탈면 및 인접지역의 배수를 하기 위해 배수구, 집수정, 관거 등을 설치한다. 설계에 있어서는 현지 상황을 충분히 조사하여, 효과적이고 경제적인 구조로 설계하여야 한다. 또한 될수록 이미 설치된 것을 이용한다.

(2) 측구 및 도로 인접 지역의 배수처리를 하기 위해 도로를 횡단하는 배수관은 ø800mm 이상의 것을 사용한다.

(3) 도로 인접 지역의 배수설계에 있어서는 현지를 충분히 조사함과 동시에 배수로의 유출구가 경작지 등으로 연결되는 경우, 하수도나 하천으로 연결되는 경우에는 배수로의 관리주체와 사전 협의를 하여 다른 시설에 지장이 없도록 구조를 결정한다. 또, 그 경위를 유지관리 측면에서 확실하게 인계하는 것이 중요하다.

(4) 측도(frontage road) 및 도로 인접지의 배수시설은 설계에 있어서 지역성을 고려한다.

(5) 인터체인지 주변 등에서 관의 길이가 길어질 경우나 토사의 퇴적하기 쉬운 장소에서는 최소관경 기준이나 계산된 관경에 관계없이 관의 지름이 큰 것을 사용할 수 있다. 본선을 횡단하는 계곡수를 처리하기 위해 유출관거를 설치하는 경우, 유입부에서는 비탈면 붕괴로 인한 매몰현상으로 유입부가 막혀 유수의 소통이 원활하지 못하게 되는 경우가 있다. 따라서 이에 대한 각별한 주의가 필요하다. 또한, 유입부의 유속은 3m/sec 이내가 되도록 적절한 처리를 한 후 관거에 유입하도록 한다.

(6) 굴곡된 자연하천이나 여러 개의 지선하천이 본 노선과 수회에 걸쳐 교차함으로서 다수의 구조물을 설치해야 하는 경우에는 비경제적인 설계가 되며, 하천에 체류현상이 생겨 역류, 세굴 또는 침전이 발생하므로, 이러한 경우에는 수로의 이설을 고려한다. 수로의 이설은 구조물의 개소 및 연장을 가능한 줄일 수 있도록 가장 가까운 경로를 선정하되 침식과 침전에 대한 검토를 수행하여 수로가 안정화될 수 있도록 설계한다.

(7) 녹지대는 도로의 경관미를 이용자에게 제공할 수 있는 것이므로 떼측구를 사용하여 녹지의 연속성을 유지하되 부득이 유량이 많은 곳은 U형 측구를 사용한다.

4.5 지하배수시설

4.5.1 땅깎기부 지하배수

(1) 개요

땅깎기부 길어깨 측구하단은 지하수위를 낮추고 침투수의 처리 및 지하수 유입을 막기위해 지하배수구 설치가 필수적이며 다음 항목을 검토하여 적절한 위치에 배치한다.

① 굴착의 기계시공
② 터널 갱구부의 전기통신 지하매설물, 비탈면 보호공의 기초, 가드레일의 기둥, 비상전화, 조명등의 배관, 표지판의 기둥, 배수관, 집수정, 기타 지하에 매설되는 구조물과의 관계
③ 노상의 불량 부분 및 국부적인 현재 지반의 불량 부분에 있어서의 치환장소의 지하배수(유공관을 사용하지 않는 것)와의 관계

④ 노면 및 비탈면 배수시설 등과의 관계

(2) 지하배수구의 깊이

배수관의 최소 설치 깊이는 노상의 불량 부분의 치환두께와 노상면에서 지하수위를 고려한 계산치 중에서 큰 값으로 하되, 이 깊이가 60㎝ 이하일 경우는 60㎝로 하며, 설치 깊이보다도 얕은 위치에 불투수층이 있을 때는 조정한다. 또한, 노면이 심하게 한 쪽으로 기울었을 때나 지하수면이 경사져 있을 때에도 이러한 조건을 충분히 고려해서 깊이를 정한다.

지하배수관의 최소 매설깊이 산정식은 다음과 같다.

$$H = \frac{(S_w - S)B}{200} + h + D_w + h_p \quad (410.61)$$

여기서, H : 배수관의 최소 매설깊이, m

S_w : 지하수면의 최소경사도<표 410.17>

S : 노면의 경사, %

h : 배수관 부근의 지하수위 <표 410.17>

B : 배수관의 간격, m

D_w : 노상에서 지하수위까지의 깊이, 원칙적으로 0.6m로 한다.

h_p : 노면과 노상과의 높이 차이, m

식 (410.61)은 논과 같이 토질의 조건이 일정하고 지하수위가 전면에 걸쳐 높을 때 적용된다. <표 410.15>의 값은 임의의 지역에서 실제 측정한 값으로 타지역의 현장조건과 상이할 수 있으므로 해당지역에서 조사된 자료를 활용하는 것이 바람직하다. 단, 조사자료가 없을 경우 시공중에 수위측정을 통해 보완할 수 있도록 시방서 등에 명시한다.

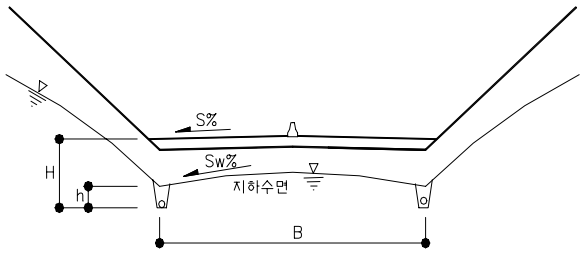
(3) 지하수량이 많거나 지하수위가 높을 때의 지하배수구의 배치는 <그림 410.28>과 같이 격자형 배치, 화살날개모양 배치, 필터 등을 병용해야 한다. 도로의 횡 방향으로 설치하는 맹암거는 유공관을 두지 않는 것으로 하며 도로 중심선과 60°의 각도로 설치하는 것을 표준으로 하고 도로의 종단경사가 완만한 경우 직각으로 설치한다. 격자형 맹암거의 상호간격은 점토질 지반의 경우 9m, 사질토 지반의 경우 30m까지 배치할 수 있다.

(4) 지하배수구의 구조

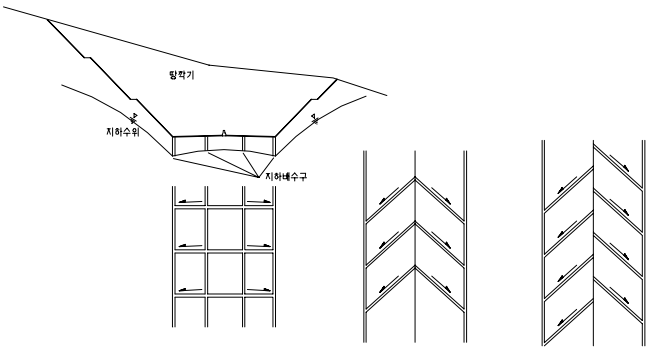
① 지하배수구는 유공배수관과 필터재로 구성된 구조를 원칙으로 한다. 단, 배수량이 적을 때는 필터재만의 구조로도 된다. 배수관을 사용할 때 단면의 결정은 지하배수관의 소요 통수단면에 의한다. 지하배수관의 소요통수단면 A의 산정식은 식(410.62)와 같다.

<표 410.15> 지하수면의 최소경사 및 수위

흙의 종류	최소 경사도 Sw(%)	지하수위 h(m)
모 래	1	0.05
사 질 토	2	0.10
점 성 토	3	0.15



<그림 410.28> 지하배수구의 깊이 산정



<그림 410.29> 지하배수구 배치의 예(땅깎기부)

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{F_s \cdot q \cdot L}{V} \qquad (410.62)$$

여기서, Q : 통수유량, ㎥/sec

q : 배수관 1m 당의 배수량, ㎥/sec

L : 유공배수관의 길이, m

V : 유공관 내의 평균 유속, m/sec

F_s : 안전율, 보통 3으로 한다.

② 맹암거의 설치위치

- 땅깎기부의 길어깨
- 편절, 편성 및 절성 경계부
- 용수다발지역

③ 땅깎기부 비탈면에 설치하는 맹암거는 비탈면에 용수가 있을 때 설치하며 부직포를 사용하지 않는 맹암거로 한다.

④ 도로 횡방향으로 설치하는 맹암거는 유공관을 두지 않는 것으로 하며, 도로 중심선과 60°의 각도로 설치한다.

⑤ 도로 종방향의 맹암거는 유공관을 두는 것을 원칙으로 하고, 암반구간(리핑암과 발파암)에는 부직포를 두지 않는다.

⑥ 맹암거에 매설되는 유공관의 내경은 20㎝를 표준으로 하며 유공관 구멍의 직경은 1.2~2.0㎝를 표준으로 한다.

⑦ 유공관의 경사는 0.5% 이상이 바람직하나 최소 0.2% 이상으로 한다.

<표 410.16> 맹암거 형식 및 적용기준

구 분	적 용 기 준	유공관 사용여부	부직포 사용여부	비 고
형식-1	땅깎기부 L형측구 아래에 설치 (토사 구간)	○	○	
형식-2	땅깎기부 L형측구 아래에 설치 (리핑암, 발파암 구간)	○	×	
형식-3	• 편절, 편성 구간 및 절·성경계 구간에 설치(토사 구간) • 땅깎기부 비탈면 통수부에 설치(토사 구간)	×	○	중분대쪽 맹암거유출부는 도로 중심선과 60° 각도로 100m 마다 설치하되 곡선 구간은 40m 마다 설치
형식-4	형식-3과 동일 (리핑암, 발파암 구간)	×	×	
형식-5	지하수 유출 및 용수 다발지역에 설치	다 발 판넬사용	×	

<표 410.16>은 맹암거 형식 및 적용기준이다.

(5) 각 형식별 적용기준

지하배수구의 일반적인 형식은 <그림 410.30>과 같다.

(6) 토목섬유(Geotextile)를 사용한 포장배수

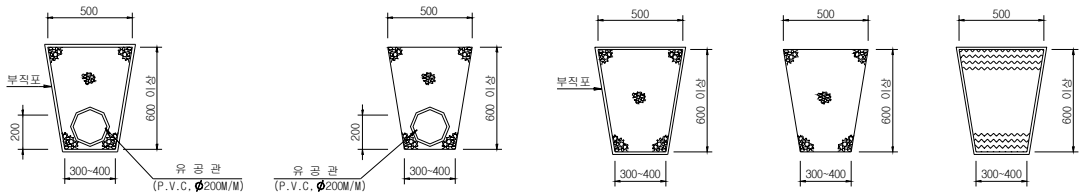
① 포장체는 균열, 소성변형, 줄눈 등의 요인으로 침투수를 함유하게 된다. 포장체의 배수에 효과있는 설계방법으로 가장 간단한 형식은 <그림 410.31>과 같으며 포장체에 인접해 설치된 하나의 층, 또는 몇 개 층의 입상 배수층과 치환된 토목섬유를 지닌 재래의 암거배수로이다.

이 암거배수로는 주변 지역의 정상적인 지하수위를 낮추기 위해서 사용될 수도 있고, 또 보조기층과 노상층 가운데서 표면침투수를 배수할 목적으로 설치되는 것도 있다. 표면침투수를 배수할 목적으로 한 것은 양호한 입도로 조정한 보조기층재와 노상골재가 사용되기 때문에 암거배수로에서 통수량은 상당히 적다.

정상적인 지하수위가 포장체 부근에 존재하지 않고 노상이 소성한계 이하의 자연함수비를 가진 팽창성 점토일 때는, 유입량이 적기 때문에 집수관 파이프를 생략하면 배수로 가운데로 물이 흘러서 고이게 되는 욕조상태가 된다.

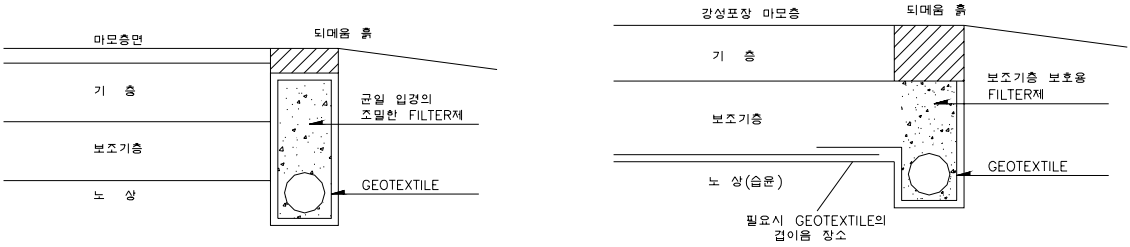
② 다른 방법은 토목섬유를 도로 하부의 전체 폭에 걸쳐 설치하는 방법으로 포장 구조의 일부, 혹은 그 이상의 부분이 상당한 투수성을 가지고 있다면 배수능력을 증대시킬 수 있다.

큰 투수성을 가진 강성 콘크리트 포장구조에서의 토목섬유는 투수성 구조물의 밑에 존재하는 노상 위에 설치한다.

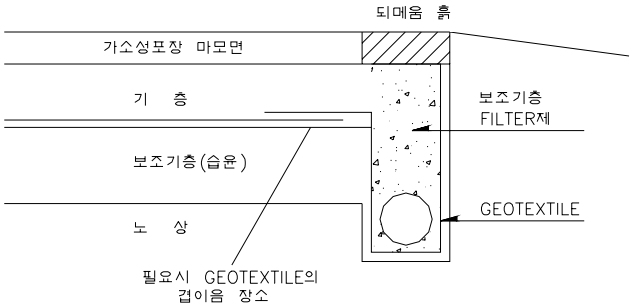


(a) 형식1 (b) 형식2 (c) 형식3 (d) 형식4 (e) 형식5

<그림 410.30> 형식별 맹암거 상세도



(a) 포장에 인접하는 지하배수 (b) 보조기층 배수



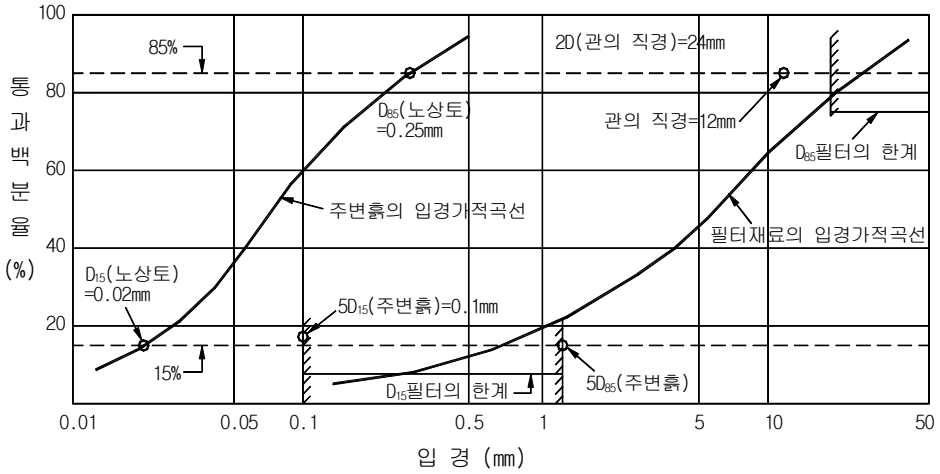
(c) 기층배수

<그림 410.31> 포장 구조물에 보강용 geotextile의 각종 사용방법

이 토목섬유는 <그림 410.31>에서와 같이 토목섬유 위의 재료가 혼합되는 것을 방지하고 본질적으로는 분리재로서의 역할을 한다.

또한 토목섬유는 포장 단면의 한쪽 또는 양측에 설치된 암거 배수로에 연결된다.

한 층 이상의 하부 포장구조를 가지는 가소성 포장 또는 다른 시스템이 사용될 때에 이 토목섬유는 기층과 보조기층 사이에 위치한다. 이는 토목섬유의 첫 번째 역할이 <그림 410.31>과 같이 미세한 입자의 보조기



<그림 410.32> 필터재료의 입도곡선

층재와 보조기층재보다 큰 투수성을 가진 기층재의 혼합을 방지하는 것이다. 이 토목섬유는 인접한 지하 배수로에서 하천 라이닝(lining)용으로 사용되는 토목섬유에 연결된다.

(7) 지하 배수구의 재료

① 필터재료는 다음의 조건을 만족시키는 입도배합의 것을 원칙으로 한다.

・필터재료가 주변의 흙에 의하여 막히지 않기 위한 조건 :

$$\frac{D_{15}\ (\text{필터재료})}{D_{85}\ (\text{주변의 흙})} < 5 \qquad (410.63)$$

・필터재료가 주변의 흙에 비하여 충분한 투수성을 갖기 위한 조건 :

$$\frac{D_{15}\ (\text{필터재료})}{D_{15}\ (\text{주변의 흙})} > 5 \qquad (410.64)$$

・유공관의 구멍과 관의 이음 부분이필터재료로 막히지 않기 위한 조건 :

$$\frac{D_{85}\ (\text{필터재료})}{d} > 2 \qquad (410.65)$$

여기서,

D_{15} , D_{85}: 입경가적곡선에 있어서 통과백분율이 각각 15%, 85%에 해당하는 입경 , mm

d : 유공관의 직경, 또는 관의 이음 간격 (mm)

② 유공관은 원심력 철근 콘크리트관 또는 경질 염화비닐관을 사용하며 구멍의 지름은 1.2～2.0㎝를 표준으로 한다.

③ 필터재료의 입도곡선은 <그림 410.32>와 같다.

주변의 흙이 막자갈을 함유했을 때, 입경이 25㎜ 이상인 입자를 제외한 재료에 대해서

입도곡선을 만들어 필터재료 선정을 한다.

④ 필터재료는 0.074㎜ 이하의 입자를 5% 이상 함유해서는 안 되며, 점착성이 있어도 안된다. 노상토가 막자갈을 함유했을 때 그 가운데 4.76㎜이하의 가는 입자에 대해서만 고려한다.

⑤ 지하배수에 사용하는 유공관은 KS M 3404 (일반용 경질 염화비닐) 또는 KS F 4409(원심력 유공철근콘크리트관)에 소정의 간격으로 구멍이 뚫린 것으로 한다. 또한, 하중의 영향이 큰 장소에 설치할 때는 관의 강도를 검토한다.

4.5.2 흙쌓기부 지하배수의 설계

(1) 흙쌓기부의 지하배수구는 흙쌓기 및 비탈면의 안정과 함께 노체의 압밀침하에 관련하여 설계한다.

(2) 산간부 도로에서 흙쌓기로 소류지 또는 늪을 막는 경우, 규모가 작다하더라도 맹암거를 설치한다.

4.5.3 중앙분리대 지하배수의 설계

(1) 중앙분리대 지하배수구는 분리대 내에 침투한 빗물을 배수하기 위해 분리대 바닥에 차량의 진행방향으로 설치한다.

(2) 중앙분리대의 표면이 콘크리트, 아스팔트 등의 불투수성의 재료로 피복되어 있어도 도로의 노후, 피복의 균열, 줄눈 등으로 침투수가 발생하므로 지하배수구의 설치는 필요하다. 그러나 노상재료의 투수성이 양호한 재료(가령 강모래, 터널에서 파낸 흙)로 구축되어 있어서 분리대에 빗물의 침입을 허용해도 지장이 없을 때에는 지하배수구를 만들 필요가 없다.

(3) 중앙분리대 지하배수구의 설치위치는 <그림 410.33>와 같으며 지하배수구의 윗부분을 상부 노상면에 맞추어야 한다.

(4) 중앙분리대에는 전기통신시설 등의 관이 매설되어 있으므로 이것들의 관계에 충분히 유의하여야 한다.

(5) 중앙분리대 지하배수구는 중앙분리대에 내린 빗물이 땅속으로 스며든 것을 배제할 목적으로 설치한다. 그러나, 땅깎기구간에서 지하수위가 높은 곳은 지하수의 배수를 겸하게 할 수도 있으므로 유공관을 사용한다.

(6) 중앙분리대의 양쪽 높이가 다를 경우에는 <그림 410.34>와 같이 낮은 쪽의 상부 노상면에 중앙분리대 지하배수구의 상부를 맞춘다.

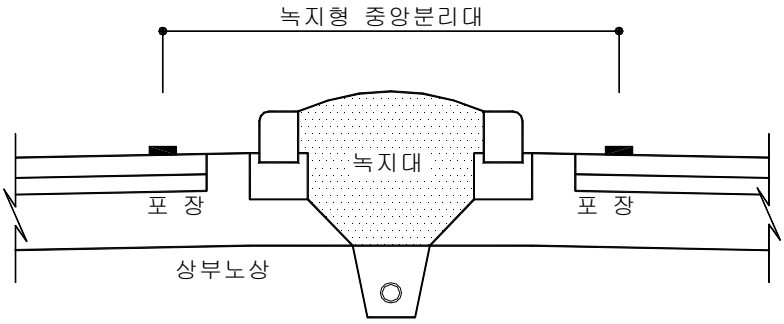
(7) 횡단 지하배수관을 길어깨 집수정에 접할 때에는 집수정에 들어간 물이 횡단, 지하 배수관에 역류하지 않도록 한다. 긴 땅깎기부에서 역류할 염려가 있을 때는 유공관을 사용할 수 있다.

(8) 분리대 지하배수구의 구조

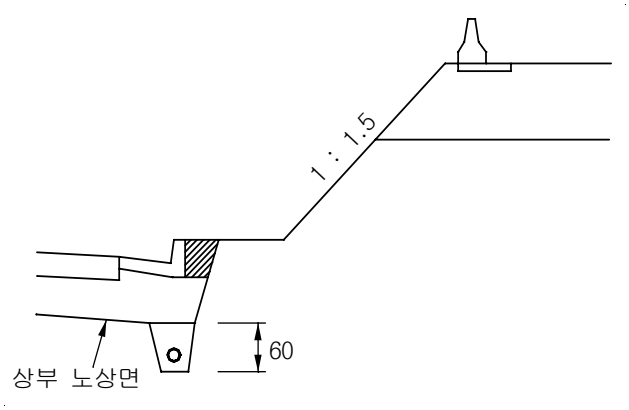
인터체인지, 휴게시설, 간이휴게소 및 버스정류장의 배수구 등의 빗물이 인접 포장체에 침입할 경우에는 중앙 분리대와 같이 지하 배수구를 설치한다. 이때 구조는 중앙분리대에 준하며 이 구역의 크기, 모양을 고려해서 효과적인 위치, 구조를 선정한다.

(9) 중앙분리대 지하 배수구의 재료

중앙분리대 지하배수구에 사용하는 재료는 땅깎기부 지하배수구의 재료로 한다.



<그림 410.33> 중앙분리대의 지하배수구



<그림 410.34> 중앙분리대 양쪽 높이가 다를 경우

4.6 횡단배수시설

4.6.1 적용

도로의 횡단배수시설은 도로와 도로인접지역으로부터 유입되는 지표수를 배수하는 수리적 기능과 토사의 하중에 견디어야 하므로 수리적, 구조적인 안전을 고려한 설계를 한다. 일반적으로 횡단배수시설은 교량과 암거로 대별할 수 있는데 교량은 유역이 넓은 하천이나 암거의 단면으로 충분한 배수능력을 발휘할 수 없는 수로에 적용하고 그 외의 일반적인 소규모 수로에는 암거를 계획한다.

암거는 박스(box)와 파이프(pipe)로 구분할 수 있으며 본 절에서는 박스와 파이프를 위주로 한 횡단배수시설의 설계를 다룬다.

4.6.2 암거의 구비조건

가장 이상적인 암거는 경제적이며 안전성과 수리조건을 만족할 수 있고 유지관리에 어려움이 없어야 한다. 그러나 실제로 이러한 조건을 완벽히 만족하는 암거의 설계는 쉽지 않고 구체적으로 어떠한 암거가 조건에 합당한지 판단하기란 더욱 어렵지만 다음 항목을 만족할 수 있도록 암거를 계획하는 것이 필요하다.

(1) 암거의 유입구와 유출구의 부가시설은 흐름의 모든 단계에서 물, 소류토사, 부유물을 처리해야 한다.

(2) 암거는 어떤 불필요한 특성을 갖거나 암거가 가져야 할 특성이 지나치게 손상되어서는 안 된다.

(3) 보통, 구조물의 상·하부에 설치되는 암거는 피해를 발생시킬 만큼 흐름의 변화 없이 유출수를 처리한다.

(4) 장래의 수로와 도로 개량에 대해 원활하게 대처할 수 있도록 설계한다.

(5) 흙이 다져진 후에 적절하게 기능을 발휘할 수 있도록 설계한다.

(6) 예상된 토지개발에 의해 증가된 유출수를 잘 처리하도록 미래에 대한 사용성을 고려하여 설계한다.

(7) 암거는 수리학적으로 설계 유출량을 적절하게 다룰 수 있어야 하고, 구조적으로는 영구성과 유지관리가 편리하도록 축조하여 경제성을 보장할 수 있어야 한다.

(8) 암거는 재료손상, 암거막힘, 흙의 포화, 또는 부유물이 상류에서 정체되는 것 등을 일으킬 수도 있는 유입구의 정체를 피하여 설계한다.

(9) 암거의 유입구는 암거의 기능을 저하시키는 이 물질들이 암거를 통하여 흐르지 못하도록 스크린을 설치해야 한다. 암거로 유입되는 흐름을 원활하게 하기 위하여 필요하다면 기울기를 변화시켜 유속을 변화시킨다.

(10) 암거 유출구의 설계는 도로용지 안이나 암거에서 비교적 짧은 거리에 설계한다.

(11) 유출구는 세굴과 유실에 저항 할 수 있도록 설계해야 한다.

(12) 만약, 감쇠장치(에너지 분산 장치)를 사용한다면 그 장치는 간단하고 쉽게 설치하며 경제적이고 완만한 흐름이 있는 동안에는 적당한 자정 능력이 있어야 한다

4.6.3 배수암거의 설계

(1) 암거내 흐름의 분류와 수리특성

암거를 통과하는 물의 흐름은 <그림 410.13>과 같이 8가지 형태의 흐름이 가능하며 흐름의 특성을 지배하는 지배단면이 유입부가 되는지 유출부가 되는지에 따라 각각의 수리방정식이 있다.

지배단면이 유입부가 되는 경우, 암거의 상류수심(HW)은 암거의 경사, 조도 및 길이와는 관련이 없다. 유량과 암거단면적에 의해 결정되는 지배단면이 유출부인 경우 암거의 상류수심(HW)은 유량, 암거의 단면적은 물론 조도, 길이 등에 의해 결정된다.

(2) 배수암거의 수리설계

도로암거의 수리설계는 암거의 계획홍수량을 결정하고 암거내 흐름특성을 분석한다. 상류수심(HW)이 허용상류수심(AHW)을 초과하지 않는 경제적인 단면, 형상 및 암거의 경사를 결정하는 것이 된다.

암거의 수리계산은 시산법에 의해 이루어지며 일반적으로 다음의 절차에 따라 수행한다.

제1단계	설계조건에 관련되는 모든 자료를 획득한다.

① 계획배수량(Q_d)을 수문분석에 의해 결정

② 도로의 저면폭을 고려하여 암거의 길이(L)를 결정

③ 접속수로(또는 하천)의 경사를 고려하여 암거의 경사(S_o)를 결정

④ 도로의 높이를 고려하여 허용상류수심(AHW)를 결정

⑤ 암거의 단면형, 입구부의 모양 및 암거재료를 결정

⑥ 수로의 홍수유속을 결정

제2단계	다음중 한가지 방법을 사용하여 암거의 초기단면치수를 선정한다.

① 배수량의 크기를 고려하여 경험적으로 임의 선정

② 암거의 단면적 A=Q/3을 기준으로 하여 선정(이 경우 유속을 V=3m/sec로 가정)

③ 계획배수량 Q와 HW/D=1.5을 연결하여 얻어지는 D를 선정

제3단계	유입부조절(inlet control) 및 유출부조절(outlet control)을 각각 가정하여 기 산정한 암거단면치수를 사용할 경우의 상류수심(HW)을 결정한다.

① 유입부 조절

가. <그림 410.10>으로부터 적절한 유입부 단면통제에 대한 상류수심(HW)을 결정, 이 단계에서 하류수심(TW)은 일단 고려하지 않음.

나. 만약 (가)에서 결정된 상류수심(HW)이 허용 상류수심(AHW)보다 크거나 HW $\leq$1.2D이면 배수관 단면치수를 재가정하여 1.2D<HW<AHW 되도록 단면치수를 결정한 후 다음 절차로 넘어감.

② 유출부 조절

가. 계획배수량이 흐를 때의 배수관 하류

수심(TW)을 산정한다.

나. 산정한 상류수위가 배수관 출구단면의 상단보다 높으면(즉, 출구가 잠수상태가 되면)

$$HW = H + h_o - S_o \cdot L \quad (410.63)$$

여기서,

H : 관수로 흐름상태에서의 손실수두는 <그림 410.11>로부터 결정

h_o : 하류수면으로부터 출구단면의 하단까지의 수심, 여기서는 ho = TW

S_o : 배수관의 경사

L : 배수관의 길이

다. 산정된 하류수위가 배수관 출구단면의 상단보다 낮으면 h_o는 다음 중 가장 큰 값으로 놓고 HW를 계산한다.

$h_o = (d_c + D)/2$, $h_o = TW$

$h_o = 0.75D$(원형관), $h_o = 0.8D$(암거)

여기서, dc : 계획 배수량에 대한 배수관의 한계수심으로 dc<D이고 수리학적으로 계산가능하나 건설교통부 발행의 "도로부대시설" 한국도로공사 발행의 "배수구조물 설계지침"에 수록된 모노그래프를 이용하면 쉽게 구할 수 있다.

③ 3단계 ①과 ②에서 결정한 HW를 비교하여 큰 HW에 상응하는 흐름조건을 설계조건으로 선택한다. 즉, 가정한 배수관 단면을 사용할 경우에는 HW를 크게하는 조정단면(유입부 혹은 유출부)이 흐름을 실제로 지배하게 된다.

④ 위의 (3)에서 비교된 흐름이 유출부의 단조절을 하고, 이 때의 HW가 허용상류수심보다 크면 배수관의 배수용량이 부족한 상태이므로 더 큰 단면치수를 선정하여 위의 절차를 밟아 HW를 재결정하여 HW<AHW가 되도록 단면치수를 선택한다.

제4단계	암거의 단면치수 및 형태에 대한 몇개의 대안을 가정하여 제1, 2, 3 단계의 계산을 실시하여 각안의 최종단면 치수를 결정한다.

제5단계	최종 선택된 암거의 유출부 유속을 계산하여 하류부에 세굴의 위험이 없는지 검사한다. 유속이 약 2.5m/sec를 초과하면 세굴방지를 위한 하류 보호공(콘크리트 피복, 감세수로, 감세공 등)이 필요하다.

제6단계	최종 설계내용을 요약하고 건의한다. 암거의 단면치수, 형, 상류수심, 유출부 유속, 유출부 하류 감세공의 필요성 여부 소요 공사비를 고려한 경제성 등을 요약하고 최종 건의 등을 기록한다.

4.7 비탈면 배수시설

4.7.1 적용

비탈면은 땅깎기부 비탈면, 흙쌓기부 비탈면 그리고 여기에 접속된 자연 흙쌓기면을 의미한다. 비탈면 배수는 강우에 의한 침투와 침식으로 부터 비탈면을 보호하기 위한 배수시설을 말한다.

비탈면 배수시설은 산마루측구, 도수로, 소단배수시설이 대표적이며 본절에서는 비탈면과 도로인접지 배수시설을 포함한다.

4.7.2 산마루 및 비탈면끝 배수

(1) 산마루 배수

① 땅깎기부 산마루 인접지에서 자연 경사면의 표면수가 흘러 들어가 비탈면이 씻기거나 붕괴의 원인이 될 수 있으므로 비탈면 끝에서 2m정도 떨어진 지점에 U자 홈 등의 산마루 측구를 설치한다.

② 산마루 측구의 설치길이는 지형조건에 따라 결정한다. 만약, 자연 경사면이 도로 비탈면과 반대방향이거나 도로의 종단방향과 같은 경우에는 산마루 측구를 설치하지 않아도 된다.

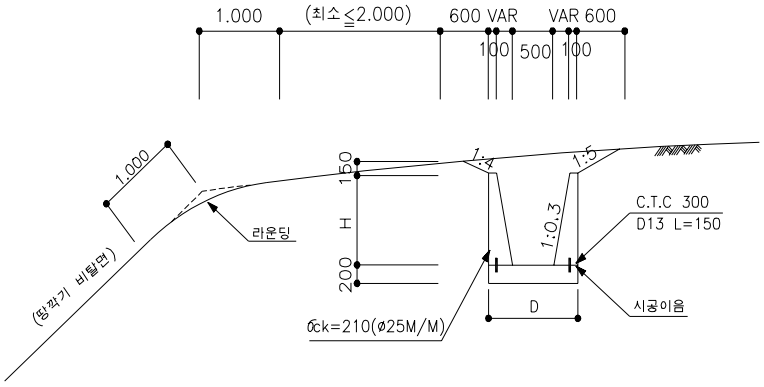
③ 깎기부 산마루 배수는 배후 경사면 토사나 나뭇잎 등이 퇴적하기 쉽고, 배수구가 막혔을 때도 청소가 곤란한 장소에 있을 때가 많다. 또, 배수구가 막히면 월류(over flow)해서 비탈면의 붕괴로 이어지므로 통수단면의 결정에 있어서는 여유가 있는 단면으로 설계한다. 비탈어깨 배수구로서는 주로 프리캐스트 콘크리트(precast concrete) 측구를 사용하나 집수면적이 좁고 유입하는 표면수의 양이 적을때는 콘크리트로 보호한 도수로 측구를 사용한다.<그림 410.35>

④ 산마루에서 집수된 물은 도수로를 통해 배수되거나 산마루 측구를 통해 도로의 다른 배수계통으로 배수된다.

(2) 비탈끝배수

깎기부에서 비탈끝 배수는 길어깨 배수시설로 겸하지만 비탈면 용수가 많은 장소 및 콘크리트 뿜어붙이기를 시공한 특수조건의 비탈면, 소단배수시설이 없는 장대비탈면은 비탈끝 배수구 설치를 검토한다.

<그림 410.35> Precast 제품에 의한 산마루 배수시설



<그림 410.36> 산마루 측구 상세도

4.7.3 도수로

(1) 개 요

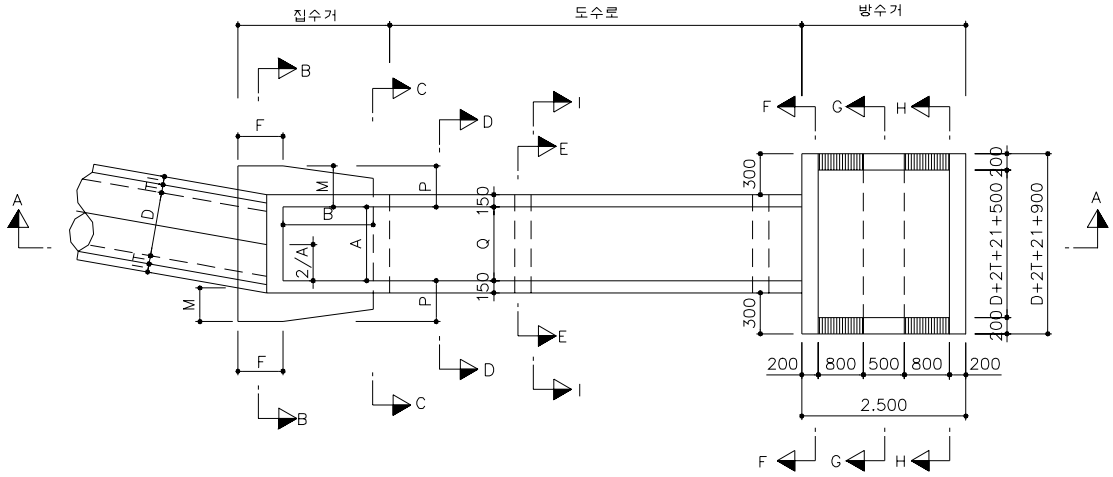
도수로는 노면배수시설로 집수된 물을 수로 또는 도로 외부로 유출시키는 기능을 수행하며 깎기부 또는 쌓기부 비탈면에 설치된다.

(2) 설치기준

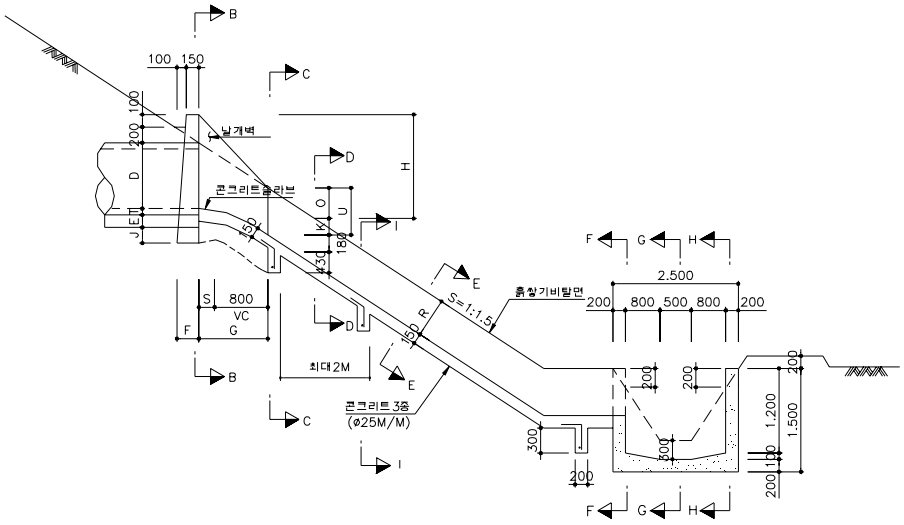
① 도수로의 설치 장소는 흙쌓기 구간에서는 흙쌓기 구간의 길어깨 배수에 따른다. 흙깎기 구간에서 소단 연장이 100m 이하일 때는 산마루 측구를 이용한다. 소단 연장이 100m를 넘을 때는 유량계산에 의해 도수로의 위치를 결정하나 최대간격은 100m를 한도로 한다. 이때 도수로의 위치는 길어깨 배수용 집수정과 일치시키는 것이 효과적이다.

② 도수로는 원칙적으로 현장타설 콘크리트로 설치한다. 도수로의 주변은 콘크리트로 보호하고, 세굴이나 풀 등의 유입에 의한 통수 기능 저하를 방지한다. 또한, 한랭지에서 동결위험이 있을 대는 붙임 콘크리트 밑에 기초재료 등으로 시공을 한다. 단, 도수로 연장이 짧을 때 세굴이나 통수 저해의 염려가 적을 때는 잔디붙임, 조약돌붙임 등의 보호를 해도 된다.

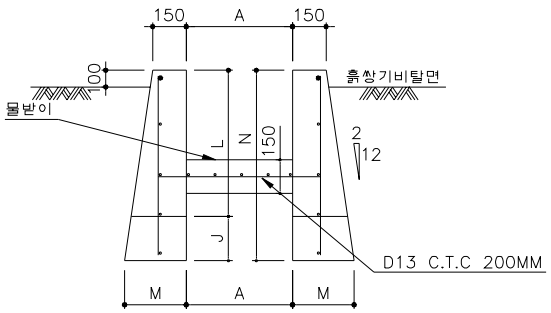
③ 도수로가 다른 수로와 합류하는 곳, 흐름의 방향이나 경사가 갑자기 변하는 곳에는 홈을 만든다. 또한, 홈 및 그 전후의 도수로에는 뚜껑을 설치해서 도수에 의한 세굴이 생기지 않도록 한다.



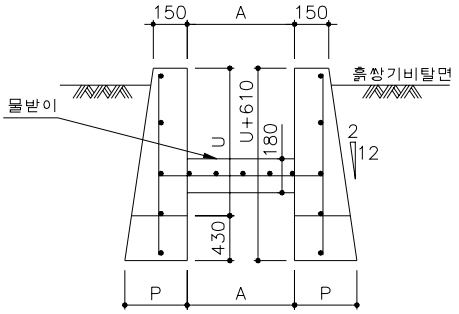
단면 A-A



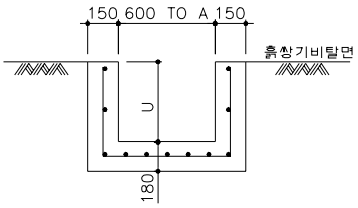
<그림 410.37> 흙쌓기부 도수로 단면예



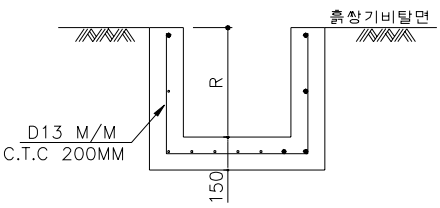
단면 B-B



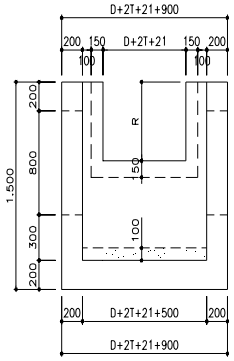
단면 C-C



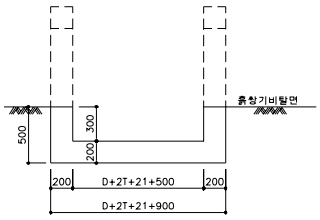
단면 D-D



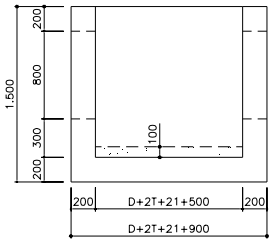
단면 E-E



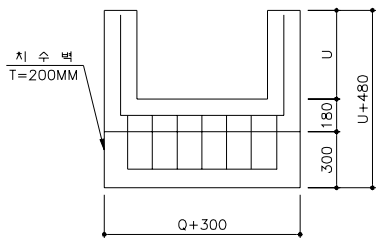
단면 F-F



단면 G-G



단면 H-H



단면 I-I

<그림 410.37> 흙쌓기부 도수로 단면예

4.7.4 소단배수

(1) 개 요

소단 배수는 비탈면에 흐르는 빗물이나 용수에 의한 비탈면의 침식을 방지하기 위해 설치하며 소단배수구는 폭이 3m 이상인 넓은 소단에 설치한다. 단, 비탈면 침식의 위험성이 적다고 판단될 때는 설치하지 않을 수 있다.

(2) 설치방법

20m 이상의 땅깎기 비탈면 소단 3m 끝에서 50㎝ 지점에 반월관(ø300㎜)을 설치하여 우수 등에 의하여 비탈면이 침식되거나 활동하는 것을 방지한다.

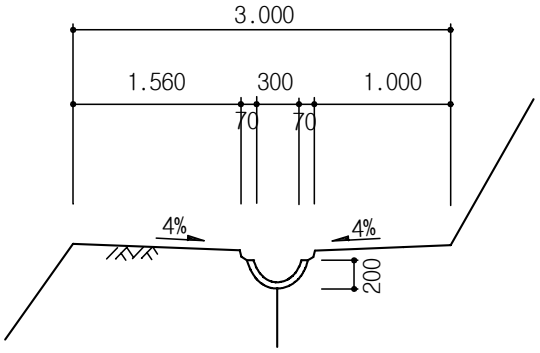
종단경사에 따라 배수처리를 실시하며, 20m 이상 땅깎기 구간이 끝나는 곳에서는 산마루측구와 연결 또는 방류하여 비탈면이 유실되지 않도록 설치한다.

비탈면 및 소단의 토질이 암반인 경우는 <그림 410.39>와 같이 소단에 10% 정도의 경사를 주어 콘크리트라이닝을 시공한 배수구 구조로 하여도 된다.

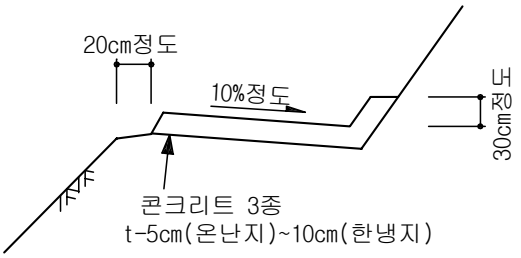
4.7.5 비탈면 용수 등의 처리

(1) 지하배수구

지표면에 가까운 침투수를 모아 배수하기 위해 지하배수구를 설치한다. 지하배수구의 역할은 조립재료의 투수성을 이용하여 지중의 물을 배제하므로 재료는 투수성이 좋고 막히지 않는



<그림 410.38> 토사구간의 소단배수로



<그림 410.39> 암구간의 소단배수로

것을 사용한다. 비탈면은 용수 상황에 따라 지하 배수구를 <그림 410.40>과 같이 화살형이나 W형 등으로 배치한다. 그리고 용수에 의한 비탈면의 파괴에 대처하기 위해 여러가지 필터매트(filter Mat)와 비탈격자공 등을 겸용한다. 또 용수량이 많은 곳은 유공관을 넣은 지하배수구로 하는 것이 좋다.

기타, 지하배수구에는 다공질 콘크리트관(porous concrete), 합성수지 네트(net)관, 합성수지의 해면상관 등을 사용한다. 이러한 신소재의 개발이 활발하므로 현지 상황에 맞는 것을 선정해야 한다.

(2) 비탈면 망태공

망태공은 용수가 많은 비탈면에서는 지하배수구와 겸용하고 비탈끝에 설치하여 배수와 비탈면의 붕괴 방지를 목적으로 한다. 또 작은 비탈면등에서는 지하배수구 대신 사용한다.

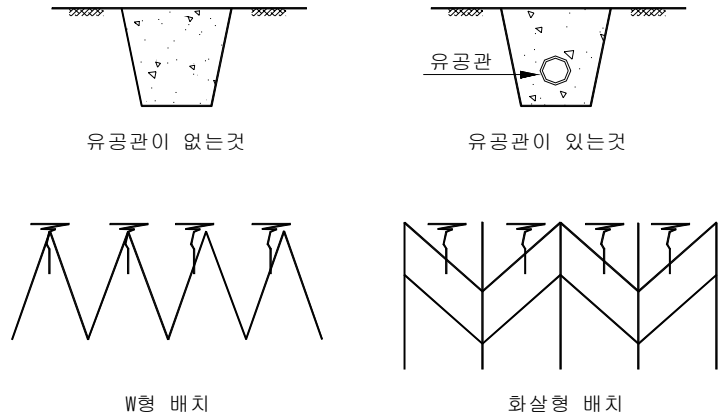
망태공에는 원형, 부채형 등의 여러형태가 있다. 지름, 길이, 간격 등에도 어느정도 자유스러우므로 사용장소, 채취한 돌의 크기 등을 고려하여 형태를 결정한다.<그림 410.41>

(3) 수평배수공

용수가 있을 때는 <그림 410.42>와 같이 횡방향 공을 굴착, 유공관 등을 삽입하여 배수한다. 수평배수공의 길이는 2m 이상이 바람직하다. 유공관으로는 경질염화비닐관, 합성수지 네트(net)관, 합성수지 해면상관, 다공질 콘크리트관 등이 사용된다. 깊은 곳의 침투수는 그 위치를 횡보링으로 파악, 스트레이너를 설치한 배수관으로 배수해야 한다. 규모가 큰 지반 활동지대에서는 배수 터널이나 여러 본의 보정공을 조합하여 처리한다.

(4) 기타의 용수처리

비탈면에 용수 등이 있는 곳은 콘크리트 비탈격자, 돌붙임, 블럭붙임 등의 구조물에 의한 보호공을 시공한다. 이러한 구조물에는 수발공으로 조치하나 경우에 따라서는 지하배수구 등과 겸하는 것도 고려해야 한다. 수발공으로서는 비탈 격자공의 격자내에 돌붙임 등을 실시하여도 되고 콘크리트 붙임으로 하는 경우는 지름 5㎝ 정도의 수발공을 적어도 2㎡마다 1개소 설치해야 한다.

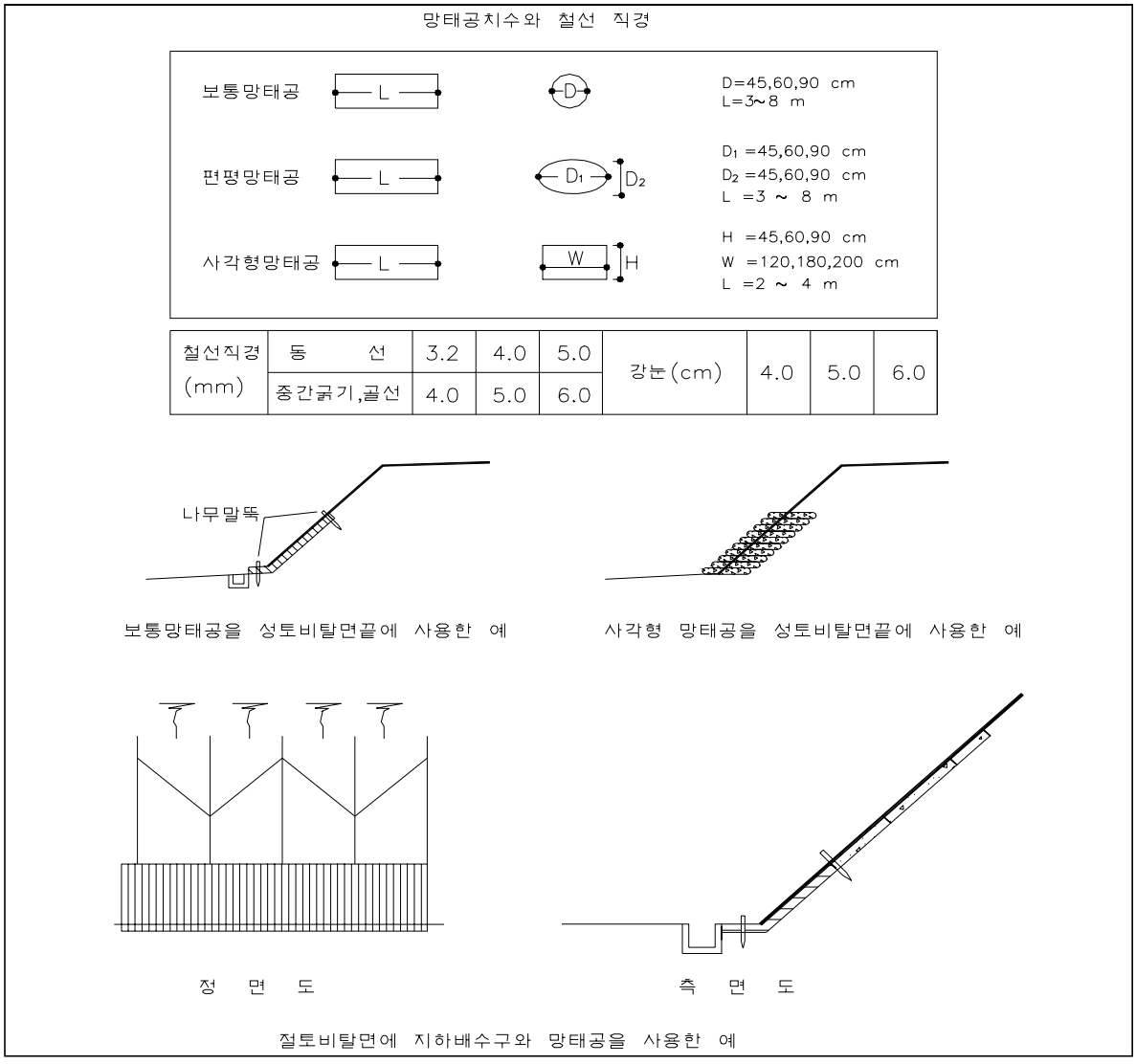


<그림 410.40> 지하배수구의 배치

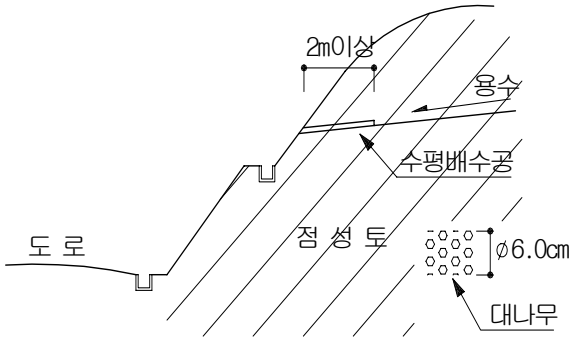
콘크리트 또는 모르터 뿜어 붙임은 보통 용수가 있는 비탈면에 사용하지 않는다. 뿜어 붙이는 면 일부에 용수가 있을 때는 이 개소에만 돌붙임을 실시하거나 지름 2~5cm 정도의 수발관을 삽입하고 그 위를 뿜어 붙여야 한다. 수발관은 뿜어붙이는 과정에 있어서고 추가로 설치해야 하는 경우도 많으나 용수가 비탈면 바깥에 튀기 쉬우므로 관의 경사에 유의해야 한다.

비탈면의 용수를 적게 하기 위해 <그림 410.43>과 같이 비탈어깨로 침투수를 처리하는 경우도 있다. 이때는 표면수와 침투수를 따로 설치, 처리하는 것이 경제적이다.

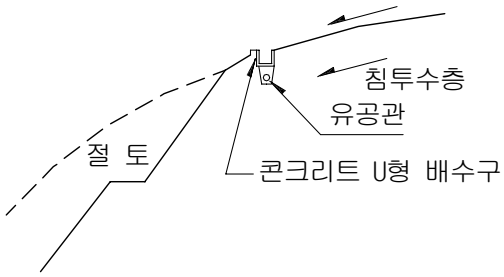
우수가 침투하기 쉽고 우수에 의해 강도저하가 심한 토질이나 높은 함수비의 점성토부에 높은 흙쌓기를 해야 할 때는 <그림 410.44>와 같이 흙쌓기 비탈면내에 배수층을 만들어 비탈면의 안정을 도모한다. 배수층은 투수성이 좋은 모래나 자갈을 사용하며 불투수층 상부에 Bedding을 겸용하는 경우도 있다.



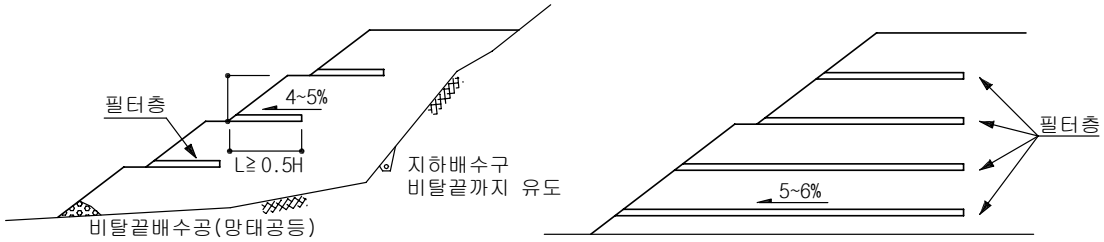
<그림 410.41> 망태공의 사용예와 치수



<그림 410.42> 수평 배수공



<그림 410.43> 비탈어깨 지하배수구



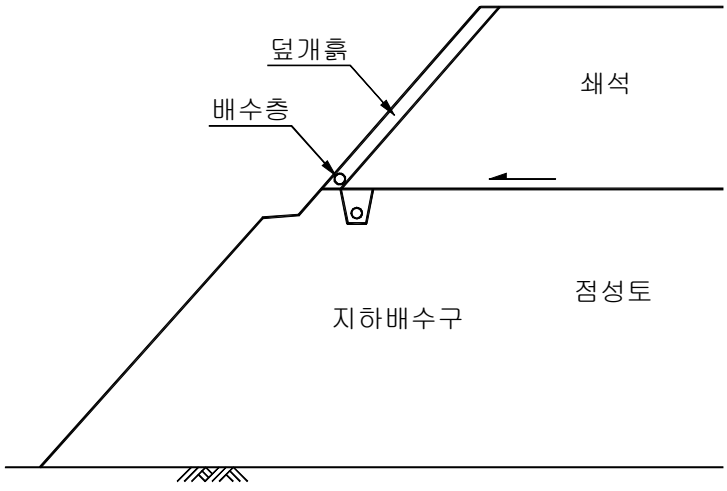
(a) 산모래등의 예 (b) 화산회질점성토의 예

<그림 410.44> 수평배수층의 예

<그림 410.45>와 같이 불투수성 재료의 흙구조물위에 투수성 재료로 쌓을 때는 쌓기표면에서 침투한 물이 하부의 불투수성 흙을 연약하게 하여 비탈면의 붕괴를 일으키는 수가 있으므로 불투수층 위에 미리 지하배수구를 설치한다.

비탈면 배수는 땅깎기, 흙쌓기 또는 자연 비탈면을 따라 흐르는 표면수나 비탈면으로부터 침투한 침투수를 배제하여 비탈면의 붕괴를 방지하기 위한 배수이다.

물에 의한 비탈면의 붕괴는 비탈면을 흘러내리는 표면수에 의한 표면 침식이나, 세굴, 침투수가 비탈면을 구성하는 흙의 전단강도를 감소시키거나 간극수압을 증가시키는 것에 의한 붕괴될 수 있다.



<그림 410.45> 흙쌓기 재질이 다른 경우의 배수시설 예

참고문헌

【401】총론

1. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 1999.
2. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
3. 건설교통부, 도로공사표준시방서, 1998
4. 건설교통부, 도로공사설계적용기준, 2000
5. 대한토목학회, 토목용어사전, 1998.

【402】지반조사와 시험

1. 건설교통부, 도로공사설계적용기준, 2000.
2. 건설교통부, 도로설계편람(I)-터널편-, 1998.
3. 한국지반공학회, 지반조사결과의 해석 및 이용, 지반공학시리즈 1, 1994.
4. 한국지반공학회, 구조물기초 설계기준, 1997.
5. 한국지반공학회, 터널, 지반공학시리즈 7, 1997. 6.
6. 박인식, 지반조사핸드북, 도서출판 엔지니어즈, 1995.

【403】토공

1. 건설교통부, 도로공사표준시방서, 1998
2 건설교통부, 도로공사설계적용기준, 2000
3. 日本道路協會, 道路土工, 1999.
4. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 1992.

【404】노체

1. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 1992.
2. 건설교통부, 도로공사표준시방서, 1998
3. 건설교통부, 도로공사설계적용기준, 2000
4. 한국도로공사, 고속도로공사 전문시방서, 1998
5. 토목공법연구회 역, 성토공법 ; 조사, 설계, 시공, 1995
6. AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, 1993

【405】노상

1. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 1992.
2. 건설교통부, 도로공사표준시방서, 1998
3. 건설교통부, 도로공사설계적용기준, 2000
4. 한국도로공사, 고속도로공사 전문시방서, 1998
5. AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, 1993
6. Kim, D. S., Kweon, G. C., and Lee, K. H., "Alternative Method of Determining Resilient Modulus of Compacted Subgrade Soils Using Free-Free Resonant Column Test", Transportation Research Record No. 1557, 1997.

【406】 비탈면

1. 건설교통부, 도로공사설계적용기준, 2000
2. 산업기지개발공사, 암반사면의 안정성분석에 관한 연구보고서, 1985
3. 전성기, 사면안정화 설계실무편람, 과학기술, 1998
4. 한국건설기술연구원, 사면의 안전진단 및 보호공법, 연구보고서, 건기연89-GE-111, 1989
5. 한국도로공사, 도로설계요령, 제2권, 토공 및 배수, 한국도로공사, 1989
6. 한국지반공학회, 사면안정, 지반공학 시리즈 5, 구미서관, 1997
7. Bandis, S. C., "Mechanical Properties of Rock Joints", Proc. Int. Symp. on Rock Joints, Edited by N. Barton and O. Stephansson, Loen, Norway, 1990, pp. 125～140.
8. Barton, N. R. and Bandis, S. C., "Effects of Block Size on the Shear Behaviour of Jointed Rock", 23rd U.S. Symp. on Rock Mechanics, Berkeley, 1982, pp.739～760.
9. Brook, N., "The Equivalent Core Dia meter Method of Size and Shape Correction in Point Load Testing", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 22, 1985, pp.61～70.
10. Casagrande, A., "Classification and Identi fication of Soils", Transactions, ASCE, Vol. 113, 1948, pp. 901～930.
11. Cruden, D. M. and Varnes, D. J., "Land slide Types and Processes", In Special Report 247, Landslides: Investigation and Mitigation (A. K. Turner and R. L. Schuster, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1996, pp.36-75.
12. Deere, D. U. and Miller, R. P., "Engineering Classification and Index Properties of Rock", Technical Report No. AFNL-TR-65-116, Albuquerque, NM:Air Force Weapons Laboratory, 1966.
13. Goodman, R. E., Introduction to Rock Mechanics, John Wiley & Sons, 1989,
14. Hoek, E. and Bray, J. W., "Rock Slope Engineering", The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1981
15. Hoek, E., Kaiser, P. K., and Bawden, W. F., "Support of Underground Excavations in Hard Rock", Balkema Publishers, 1995,
16. Hutchinson, J. N., "Methods of Locating Slip Surfaces in Landslides", Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XX, No. 3, 1983, pp. 235-252.

【407】 옹벽

1. 한국지반공학회, 구조물기초설계기준, 1997.
2. 한국지반공학회, 토목섬유설계 및 시공요령, 1998.
3. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 1996.
4. 건설교통부, 옹벽표준도작성연구용역 종합보고서, 1998.
5. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 1992.
6. 日本道路協會, 道路土工- 擁壁工指針, 1999.

【408】 암거

1. 한국도로공사, 시험시공 지침서(안) - 연약지반상의 파형강재 횡배수구조물 실용화-, 도로연구소, 1999.
2. 건설교통부, 콘크리트구조 설계기준, 한국콘크리트학회・한국건축학회, 1999
3. 건설교통부, 도로교 표준시방서, 대한 토목학회, 1996
4. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 1992
5. 한국콘크리트학회, 토목구조물의 배근상세, 제 8회 기술강좌 교재, 1997
6. 한국토지개발공사, 단지계획・설계 실무편람[Ⅱ] [설계편], 1994
7. 한국표준협회, 한국 산업규격(KS), 1999
8. AASHTO, Standard Specification for Highway Bridges, 16th Editon, 1996
9. AISI, Handbook of steel Drainage & Highway Construction Products, Fouth Edition, 1993
10. AISI, Modern Sewer Design, 3rd Edition, 1995
11. Howard, A. K., Modulus of Soil Reaction Values for Buried Flexible Pipe, GT1, ASCE, Vol. 103, January, 1997
12. Marston, A., The Theory of External Loads on Closed Conduits, Bulletin No. 96, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, IA, 1930, pp. 5-8.
13. NCSPA, Corrugated Steel Drainage Steel Structures, 1967
14. NCSPA, Installation Manual for CSP, Pipe Arches, Structural Plate, 1994
15. NCSPA, Sewer Manual for Corrugated Steel Pipe, 1990
16. Watkins, R. K., Structural Mechanics of Bruied Pipes, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, UT 84322, 1993

【409】 연약지반

1. 김상규, 우리나라 연약지반의 실태, 대한토목학회지, 제35권, 제 6호, 1987,pp.14-21
2. 포스코 엔지니어링 주식회사, 연약지반 개량공법의 설계, 1997
3. 한국건설기술연구원, 국내 해안 연약지반의 공학적 특성 평가 연구보고서, 1993
4. 한국도로공사, 연약지반처리를 위한 심층혼합공법 연구(I), 1992
5. 한국지반공학회, 연약지반, 지반공학 시리즈 6, 1995, pp. 1-386
6. Watkins, R.K., Structural Mechanics of Buried Pipes, Utah State Univ, Logan, 1993
7. Brand, E. W. & Brenner, R .P., Method of improving the engineering properties of soft clay, Soft Clay Engineering, 1981
8. Shinsha, H. et al. , Improvement very soft ground by vacuum consolidation using horizontal drains, geo-coast, 1991, pp387-392
9. Sangji Menard Texsol Co. Ltd., Vacuum Consolidation Method, 1992, pp.1-22
10. Thomas Telford LTD., Vertical Drains, 1982
11. 加登文士, 情報化施工の現狀と課題, 土質工學會中國支部論文報告集, Vol.4, No.1 1986, pp.63～72
12. 土質工學會, 現場計測計劃の立て方, 現場技術者のための土と基礎ッリ-ズ 17, 1990

【410】 배수

1. 건설교통부, 도로부대시설(배수시설, 안전시설), 1998
2. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
3. 한국도로공사, 도로배수계획, 1991
4. 도로지하수, 배수설계법, 한국도로공사, 1998
5. 박성우외 2인, 응용수문학, 향문사, 1984
6. 윤용남, 수리학, 청문각, 1992
7. 건설교통부, 시설물 유지관리지침, 1997
8. 환경부, 하수도 시설기준, 1998
9. 한국수자원학회, 하천공사표준시방서, 1999
10. AASHTO, Model Drainage Mannal, 1991
11. FHWA, Hydraulic Design of Highway Culverts, 1996
12. ASI, Handbook of Corrugated Steel Pipe, 1994

색 인

(ㄱ)
간편법 ····· 406-14
강우강도 ····· 410-11
강도증가율 ····· 409-21
개비온(gabion) ····· 406-52
관형암거 ····· 408-49
거칠음계수 ····· 406-4
경사 ····· 406-21
공내재하시험 ····· 402-26
공동구 ····· 403-16
군지수 ····· 402-6
균열계수 ····· 402-12

(ㄴ)
낙석방지도랑 ····· 406-43
노상 ····· 403-15
노체 ····· 404-1

(ㄷ)
다웰 ····· 406-56
다이크 ····· 410-48
도수로 ····· 410-48
동다짐공법 ····· 409-61
딜라토미터시험 ····· 402-26

(ㄹ)
록볼트 ····· 406-56
록앵커 ····· 406-56
리핑암 ····· 402-15

(ㅁ)
모래다짐말뚝 ····· 409-56
맹암거 ····· 401-2

(ㅂ)
반중력식옹벽 ····· 407-5
방향(orientation) ····· 406-24
베딩계수 ····· 408-56
보강토옹벽 ····· 407-5
붕괴지 ····· 403-15
비탈면 ····· 403-15

(ㅅ)
사토장 ····· 403-12
쌍곡선법 ····· 409-33
소단 ····· 404-8
소일네일링 ····· 406-52
쐐기파괴 ····· 406-31
수로암거 ····· 408-3
수문곡선추적법 ····· 410-38

수압시험 ····· 402-25
슈미트해머시험 ····· 406-19
스터럽(stirrup) ····· 408-44

(ㅇ)
암반 ····· 402-8
암버럭 ····· 404-3
암석 ····· 402-8
양압력 ····· 407-10
애추지 ····· 403-15
원호파괴 ····· 406-28
유동 ····· 406-49
유연도계수 ····· 408-60
유효응력법 ····· 406-13
AASHTO 분류법 ····· 402-6
I.D.F 곡선 ····· 410-11
EPS 블록 ····· 404-3
RMR 분류법 ····· 406-26
RQD ····· 402-11
SMR 분류법 ····· 406-26
U형 옹벽 ····· 407-29

(ㅈ)
재하중공법 ····· 409-45
전도파괴 ····· 406-32
전응력해석법 ····· 406-12
절편법 ····· 406-14
점하중강도시험 ····· 406-20
조도계수 ····· 408-62
주향 ····· 406-21
중력식옹벽 ····· 407-4
JRC ····· 406-5

(ㅊ)
층따기 ····· 404-22
치환공법 ····· 409-60
침투수 ····· 406-25

(ㅋ)
캔틸레버옹벽 ····· 407-5
Q-시스템 ····· 402-10

(ㅌ)
탄성계수 ····· 402-9
탄성파속도 ····· 402-15
탈락 ····· 406-48
토량환산계수 ····· 403-9
토석류 ····· 403-15
토적도 ····· 403-7
토취장 ····· 403-11
통로암거 ····· 408-3
통일분류법 ····· 402-2
Taylor 도표 ····· 404-14

(ㅍ)
파형강관 ····· 408-57
퍼짐(spread) ····· 406-48
평면파괴 ····· 406-30
평사투영해석 ····· 406-28
표준관입시험 ····· 402-25
표준유출법 ····· 410-38
피암터널 ····· 406-42

(ㅎ)

한계평형 ····· 406-35
현장투수시험 ····· 402-25
활동 ····· 406-48
회복탄성계수 ····· 405-3
합리식 ····· 410-38

제 5 편 교 량

목 차

501 총론

501.1 적용범위 ····· 501-1
501.2 용어의 정의 ····· 501-1
501.3 관련규준 ····· 501-1
501.4 구성체계 및 활용방안 ····· 501-1
501.5 향후의 추진방향 ····· 501-2

502 교량설계철차

502.1 교량계획 ····· 502-1
502.2 단계별 설계과정 ····· 502-1
2.1 타당성조사 ····· 502-1
2.2 기본설계 ····· 502-2
2.3 실시설계 ····· 502-3
2.4 설계단계의 통합수행 ····· 502-6
502.3 성과품 ····· 502-6
3.1 성과품 작성의 특기사항 ····· 502-6
3.2 성과품 내용 ····· 502-7
3.3 교량설계 성과품의 검토 ····· 502-8

503 교량기본계획

503.1 교량계획의 기본사항 ····· 503-1
503.2 교량형식선정 ····· 503-1
2.1 형식결정 ····· 503-1
2.2 경간분할 ····· 503-1
2.3 상부구조 형식선정 ····· 503-2
2.4 하부구조(교대 및 교각) 형식선정 ····· 503-2
2.5 기초구조 형식선정 ····· 503-2
503.3 교량의 구조시설 기준 ····· 503-3
503.4 환경 및 미관의 고려 ····· 503-3

504 교량조사계획

504.1 교량의 조사 ····· 504-1
1.1 조사 ····· 504-1
1.2 조사내용과 조사목적 ····· 504-1
1.3 조사의 단계 ····· 504-1
504.2 시험 ····· 504-4

505 설계기본사항

505.1 개요 ····· 505-1
505.2 설계방법 및 설계기준 ····· 505-1
2.1 설계방법 ····· 505-1
2.2 설계기준 ····· 505-5
505.3 설계하중 ····· 505-7
505.4 사용재료 ····· 505-8
505.5 신축이음, 받침 및 기타 ····· 505-9
505.6 교량해석 ····· 505-10
6.1 해석방법 ····· 505-11
6.2 해석프로그램 ····· 505-12

506 강교

506.1 일반사항 ····· 506-1
1.1 사용강재 ····· 506-1
1.2 허용응력 ····· 506-3
1.3 구조계산 ····· 506-7
1.4 브레이싱 ····· 506-7
1.5 연결 ····· 506-8
1.6 부재에 관한 일반사항 ····· 506-16
506.2 바닥판 및 바닥틀 ····· 506-23
2.1 바닥판 ····· 506-23
2.2 바닥틀 ····· 506-28
506.3 설계일반사항 ····· 506-30
3.1 플레이트거더교 ····· 506-30
3.2 상자형교 ····· 506-45
3.3 사교 및 곡선교 ····· 506-56

506.4 플레이트거더교의 설계 ····· 506-68
4.1 설계 흐름도의 구성 ····· 506-68
4.2 설계단계별 고려사항 ····· 506-72
4.3 설계예 ····· 506-79
506.5 강박스거더교의 설계 ····· 506-153
5.1 설계 흐름도의 구성 ····· 506-153
5.2 설계단계별 고려사항 ····· 506-156
5.3 설계예 ····· 506-164

507 철근콘크리트교

507.1 개요 ····· 507-1
1.1 RC교의 일반사항 ····· 507-1
1.2 RC교의 형식 ····· 507-1
507.2 RC교의 설계일반 ····· 507-1
2.1 구조해석 방법 ····· 507-1
2.2 사용성 설계 ····· 507-2
507.3 RC교량 형식별 설계주요사항 ····· 507-4
3.1 슬래브교 ····· 507-4
3.2 라멘교 ····· 507-7
3.3 T형교 ····· 507-11
3.4 박스거더교 ····· 507-13
3.5 연속형교 ····· 507-14
507.4 바닥판 ····· 507-15
4.1 바닥판의 경간 및 두께 ····· 507-15
4.2 설계휨모멘트 ····· 507-16
4.3 철근의 종류와 배치 ····· 507-18
4.4 헌치 ····· 507-18
4.5 캔틸레버판 단부 및 가로보상의 바닥판 ····· 507-18
507.5 RC 슬래브교의 설계 ····· 507-19
5.1 설계흐름도의 구성 ····· 507-19
5.2 판이론에 의한 설계흐름 ····· 507-19
5.3 프레임에 의한 설계흐름 ····· 507-22
5.4 판해석에 의한 설계단계별 고려사항 ····· 507-25
5.5 프레임해석에 의한 설계단계별 고려사항 ····· 507-30
5.6 설계예(프레임해석) ····· 507-33

5.7 설계예(판해석) ····· 507-48
507.6 RC 라멘교의 설계 ····· 507-64
6.1 설계흐름도의 구성 ····· 507-64
6.2 설계단계별 고려사항 ····· 507-71
6.3 설계예 ····· 507-77

508 프리스트레스트 콘크리트교

508.1 개요 ····· 508-1
1.1 PSC교의 일반사항 ····· 508-1
1.2 적용범위 ····· 508-3
508.2 PSC교의 설계 일반사항 ····· 508-3
2.1 설계 개요 ····· 508-3
2.2 예비설계 ····· 508-3
2.3 기본설계 ····· 508-7
2.4 상세설계 ····· 508-9
508.3 PSC 빔교의 설계 ····· 508-95
3.1 설계흐름도 ····· 508-95
3.2 설계단계별 고려사항 ····· 508-99
3.3 설계예 ····· 508-109
508.4 FSM에 의한 PSC 박스거더교의 설계 ····· 508-157
4.1 설계흐름도 ····· 508-157
4.2 설계단계별 고려사항 ····· 508-158
4.3 설계예 ····· 508-165
508.5 ILM에 의한 PSC 박스거더교의 설계 ····· 508-203
5.1 설계흐름도 ····· 508-203
5.2 설계단계별 고려사항 ····· 508-206
5.3 설계예 ····· 508-214

509 하부구조 및 내진설계

509.1 하부구조 및 내진설계의 일반사항 ····· 509-1
1.1 교대설계의 일반 ····· 509-1
1.2 교각설계의 일반 ····· 509-4
1.3 기초설계의 일반 ····· 509-5
1.4 내진설계의 일반 ····· 509-9

509.2 교대설계 ····· 509-15
2.1 설계단계 흐름도 ····· 509-15
2.2 설계단계별 고려사항 ····· 509-18
2.3 역T형식 교대 설계예제 ····· 509-32
2.4 반중력식 교대 설계예제 ····· 509-64
509.3 교각설계 ····· 509-82
3.1 설계단계 흐름도 ····· 509-82
3.2 설계단계별 고려사항 ····· 509-84
3.3 π형 교각 설계예제 ····· 509-94
3.4 T형 교각 설계예제 ····· 509-187
509.4 내진설계 ····· 509-249
4.1 설계단계 흐름도 ····· 509-249
4.2 π형 교각 내진설계예제 ····· 509-251
4.3 T형 교각 내진설계예제 ····· 509-277

510 신축이음장치 및 받침
510.1 신축이음장치 ····· 510-1
1.1 개요 ····· 510-1
1.2 종류 및 분류 ····· 510-1
1.3 선정 요령 ····· 510-4
1.4 설계시 고려사항 ····· 510-6
510.2 받침 ····· 510-12
2.1 개요 ····· 510-12
2.2 종류 및 분류 ····· 510-12
2.3 선정 요령 ····· 510-15
2.4 설계시 고려사항 ····· 510-16
2.5 낙교방지장치 ····· 510-22

참고문헌 ····· 511-1
색인 ····· 512-1

표 목 차

502 교량설계절차

<표 502.1> 설계과정 분류 ····· 502-2

503 교량기본계획

<표 503.1> 하천에서의 다리밑 공간 ····· 503-3
<표 503.2> 경간장과 계획홍수량의 관계 ····· 503-3

504 교량조사계획

<표 504.1> 조사의 종류 ····· 504-2
<표 504.2> 조사방법과 조사사항과의 관계 ····· 504-4
<표 504.3> 물리탐사 및 물리검층 방법 ····· 504-7

505 설계기본사항

<표 505.1> 건설공사기준 종류별 관리주체 및 소관부서 ····· 505-5
<표 505.2> 교량관련 설계기준의 분류 ····· 505-6
<표 505.3> 도·설의 하중규정에 관한 목차 ····· 505-8
<표 505.4> 도·설과 도로설계요령(도·요)의 부대구조물 및 부속시설에 관한 목차 ····· 505-9
<표 505.5> 교량의 해석방법 ····· 505-10
<표 505.6> 구조해석 및 설계 응용프로그램의 개략 비교 ····· 505-13

506 강교

<표 506.1> 판두께에 따른 강재종류 선정기준 ····· 506-2
<표 506.2> 한냉지에 대한 강종의 선정 ····· 506-2
<표 506.3> 특별한 한냉지에 대한 강종의 선정 ····· 506-3
<표 506.4> 강교에서의 하중조합 및 증가계수 ····· 506-3
<표 506.5> 구조용 강재의 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력 ····· 506-4
<표 506.6> 구조용 강재의 허용전단응력 및 허용지압응력 ····· 506-4
<표 506.7> 용접부의 허용응력 ····· 506-4
<표 506.8> 마찰이음용 고장력볼트의 허용응력 ····· 506-5
<표 506.9> 지압이음용 고장력볼트의 허용전단응력 ····· 506-5

<표 506.10> 지압이음용 고장력볼트의 허용지압응력 ····· 506-5
<표 506.11> 앵커볼트 등의 허용응력 ····· 506-5
<표 506.12> 허용피로응력범위 ····· 506-6
<표 506.13> 응력 반복횟수 ····· 506-7
<표 506.14> 볼트의 최소 중심간격 ····· 506-13
<표 506.15> 볼트의 최대 중심간격 ····· 506-13
<표 506.16> 볼트구멍의 중심으로부터 연단까지의 최소거리 ····· 506-13
<표 506.17> 부재의 세장비 ····· 506-16
<표 506.18> 압축응력을 받는 양연지지판의 최소 판두께 ····· 506-17
<표 506.19> 압축응력을 받는 보강된 판의 최소 판두께 ····· 506-18
<표 506.20> 판두께 ····· 506-20
<표 506.21> 구멍 뚫린 판 ····· 506-20
<표 506.22> 차도부분 바닥판의 최소두께 ····· 506-24
<표 506.23> 등분포 고정하중에 의한 바닥판의 단위폭당 설계 휨모멘트 ····· 506-25
<표 506.24> 리브가 있는 바닥판의 유효폭 ····· 506-27
<표 506.25> 연속 세로보의 휨모멘트 ····· 506-29
<표 506.26> 바닥틀보의 설계모델 및 연결부의 구조 ····· 506-29
<표 506.27> 비합성 플레이트거더의 복부판 최소 두께 ····· 506-33
<표 506.28> 상·하부플랜지와 수직보강재 사이의 연결 ····· 506-37
<표 506.29> 수평보강재와 최대복부판높이 ····· 506-37
<표 506.30> 주거더와 가로보의 연결 ····· 506-40
<표 506.31> 1997년도 고속도로 신설 및 확장공사 교량 실시설계 자료 ····· 506-156

507 철근콘크리트교

<표 507.1> 높이가 일정한 부재의 최소높이 ····· 507-2
<표 507.2> 허용균열폭 ····· 507-3
<표 507.3> 피로를 고려하지 않아도 되는 철근의 응력범위 ····· 507-3
<표 507.4> 슬래브교량의 슬래브 두께 ····· 507-4
<표 507.5> 활하중(충격 포함)에 의한 지간 방향의 휨모멘트 ····· 507-7
<표 507.6> 활하중(충격 포함)에 따른 지간 직각방향의 휨모멘트 ····· 507-8
<표 507.7> 계수 α 및 β의 값 ····· 507-12
<표 507.8> 차도부분 바닥판의 최소두께 ····· 507-15
<표 507.9> 등분포 고정하중에 의한 바닥판 단위폭당 설계휨모멘트 ····· 507-17
<표 507.10> 처짐을 계산하지 않는 경우의 보 또는 1방향 슬래브의 최소 두께 ····· 507-25
<표 507.11> DB하중 ····· 507-27

<표 507.12> 하중계수 조합(사용하중 검토시) ····· 507-73
<표 507.13> 하중계수 조합(계수하중 검토시) ····· 507-74
<표 507.14> 하중계수 조합 ····· 507-75

508 프리스트레스트 콘크리트교

<표 508.1> PSC 교량 가설공법의 분류 ····· 508-2
<표 508.2> 쉬스의 단면 ····· 508-2
<표 508.3> 외국의 일반적인 형고비 설계기준 ····· 508-7
<표 508.4> 박스거더 구조해석 방법별 특성 ····· 508-10
<표 508.5> 압출노즈의 길이에 대한 최소곡률반경 ····· 508-39
<표 508.6> 경간길이와 형고의 관계식(일본의 경우) ····· 508-59
<표 508.7> 3경간 연속교의 구조해석을 위한 조건 예시 ····· 508-77
<표 508.8> 프리캐스트 캔틸레버 공법의 횡방향 해석 구조계 ····· 508-79
<표 508.9> 단면계수 및 탄성계수 ····· 508-101

509 하부구조 및 내진설계

<표 509.1> 교대의 선정기준 ····· 509-3
<표 509.2> 교각의 높이에 따른 선정기준 ····· 509-5
<표 509.3> 각 기초의 안정검사 항목 ····· 509-6
<표 509.4> 각 기초의 안정검사의 기본과 설계법의 적용범위 ····· 509-6
<표 509.5> 직접기초와 케이슨기초의 구분 ····· 509-7
<표 509.6> 기초형식 선정도표 ····· 509-8
<표 509.7> 지진구역 계수 ····· 509-9
<표 509.8> 위험도 계수 ····· 509-10
<표 509.9> 도로교의 내진등급과 설계지진 ····· 509-10
<표 509.10> 지반계수 ····· 509-10
<표 509.11> 지반종류의 구분 ····· 509-11
<표 509.12> 응답수정계수(R) ····· 509-11
<표 509.13> 가동받침의 마찰계수 ····· 509-21
<표 509.14> 마찰각과 부착력 ····· 509-22
<표 509.15> 토압 작용면의 벽면 마찰각 ····· 509-23
<표 509.16> 판형교의 풍하중 ····· 509-84
<표 509.17> 하부구조에 작용하는 풍하중 ····· 509-85
<표 509.18> 교각의 저항계수, K ····· 509-85

510 신축이음장치 및 받침

<표 510.1> 교량신축량 산출기분 검토 ····· 510-4
<표 510.2> 신축이음장치 종류별 신축량 ····· 510-5
<표 510.3> 신축이음장치 비교표(레일 및 핑거 조인트) ····· 510-7
<표 510.4> 신축이음장치 비교표(트랜스플랙스 및 NB 조인트) ····· 510-8
<표 510.5> 온도변화의 범위 및 선팽창계수 ····· 510-10
<표 510.6> 콘크리트의 건조수축 및 크리프에 대한 저감계수 ····· 510-11
<표 510.7> 교량의 강성에 따른 지점의 회전각 ····· 510-11
<표 510.8> 설계신축량의 간편식 ····· 510-12
<표 510.9> 가동받침의 이동량 산정시 온도변화 및 선팽창계수 ····· 510-17
<표 510.10> 건조수축, 크리프의 저감계수 ····· 510-18

그 림 목 차

503 교량기본계획

<그림 503.1> 교량의 미관설계 과정 ····· 503-4

504 교량조사계획

<그림 504.1> 조사계통 흐름도 ····· 504-3
<그림 504.2> 조사방법과 조사사항과의 관계 ····· 504-4

506 강교

<그림 506.1> 전단면 용입홈용접의 목두께 ····· 506-8
<그림 506.2> 부분 용입홈용접의 목두께 ····· 506-9
<그림 506.3> 필렛용접의 목두께 ····· 506-9
<그림 506.4> 용접의 유효길이 ····· 506-9
<그림 506.5> 용접의 유효길이 ····· 506-9
<그림 506.6> 용접의 유효길이 ····· 506-9
<그림 506.7> 용접의 크기 ····· 506-10
<그림 506.8> 단면이 다른 주요 부재의 맞대기 이음 ····· 506-10
<그림 506.9> 겹침이음의 필렛용접 ····· 506-10
<그림 506.10> T이음 ····· 506-11
<그림 506.11> 교각이 60°미만 또는 120°를 초과하는 T이음 ····· 506-11
<그림 506.12> 볼트의 피치와 간격 ····· 506-13
<그림 506.13> 누빔볼트의 간격 ····· 506-13
<그림 506.14> 1개의 볼트 무리 ····· 506-14
<그림 506.15> L형강의 전개방법 ····· 506-15
<그림 506.16> 연결 위치 ····· 506-16
<그림 506.17> L형강의 유효 단면적 ····· 506-16
<그림 506.18> 타이플레이트에 연결된 L형강의 유효단면적 ····· 506-17
<그림 506.19> 거세트 양측에 부착된 경우의 L형강 유효단면적 ····· 506-17
<그림 506.20> 압축과 휨에 의한 연응력 ····· 506-18
<그림 506.21> 판의 고정연 사이의 거리 ····· 506-18
<그림 506.22> 보강된 판의 전폭 ····· 506-18

<그림 506.23> 보강된 판의 연응력 ····· 506-19
<그림 506.24> 보강된 판의 종횡 치수비 ····· 506-20
<그림 506.25> 구멍 뚫린 판 ····· 506-20
<그림 506.26> L형 및 T형 단면을 가진 압축부재 ····· 506-21
<그림 506.27> 외측 플랜지의 판두께 ····· 506-22
<그림 506.28> 부등치수의 연속필렛용접 ····· 506-22
<그림 506.29> 단순판의 지간 ····· 506-23
<그림 506.30> 캔틸레버판의 지간 ····· 506-23
<그림 506.31> 사교 바닥판의 지간 ····· 506-23
<그림 506.32> 캔틸레버 판의 최소 전두께 ····· 506-24
<그림 506.33> 강바닥판의 온도분포 ····· 506-27
<그림 506.34> 폐단면 세로리브 ····· 506-27
<그림 506.35> 개단면 세로리브 ····· 506-28
<그림 506.36> 가로보의 지간 ····· 506-28
<그림 506.37> 세로보의 지간 ····· 506-28
<그림 506.38> 플레이트거더교의 종류 ····· 506-31
<그림 506.39> 복부판의 응력과 수평보강재의 위치 ····· 506-33
<그림 506.40> I거더의 응력분포 ····· 506-34
<그림 506.41> 하중 집중점 보강재의 유효단면적 ····· 506-35
<그림 506.42> 수평브레이싱의 거세트 절취 ····· 506-36
<그림 506.43> 중간수직보강재 ····· 506-36
<그림 506.44> 수직보강재와의 교차부 ····· 506-38
<그림 506.45> 이음부의 수평보강재 ····· 506-38
<그림 506.46> 분배가로보의 개수와 분배효과의 관계 ····· 506-38
<그림 506.47> 연결판의 용접 ····· 506-39
<그림 506.48> 슬리트부의 구조 ····· 506-39
<그림 506.49> 주거더 플랜지의 취급 ····· 506-40
<그림 506.50> 분배수직브레이싱의 계산 모델 ····· 506-41
<그림 506.51> 횡하중에 의한 응력 검토 ····· 506-41
<그림 506.52> 중간수직브레이싱의 구조상세 ····· 506-42
<그림 506.53> 거세트와 수직보강재의 연결 ····· 506-42
<그림 506.54> 기타의 구조상세 ····· 506-42
<그림 506.55> 단부수직브레이싱의 형식 ····· 506-42
<그림 506.56> 단부수직브레이싱의 구조상세 ····· 506-43
<그림 506.57> 수평브레이싱의 배치 ····· 506-43

<그림 506.58> 절취부 형상 ····· 506-44
<그림 506.59> 거더 절취부 ····· 506-45
<그림 506.60> 강교 최대거더높이-박스거더 ····· 506-46
<그림 506.61> 강교 m2당 강재의 중량(총중량)-박스거더 ····· 506-46
<그림 506.62> 박스거더교의 단면치수 ····· 506-46
<그림 506.63> 하부플랜지의 돌출길이 ····· 506-47
<그림 506.64> 판이음 ····· 506-47
<그림 506.65> 보강재 교차부의 구조 ····· 506-48
<그림 506.66> 보강재의 설치 각도 ····· 506-48
<그림 506.67> 용접이음 ····· 506-48
<그림 506.68> 박스거더의 단면변형 ····· 506-49
<그림 506.69> 중간다이아프램의 표준형식 ····· 506-49
<그림 506.70> 지점부 다이아프램의 보강구조 ····· 506-49
<그림 506.71> 개구율 ····· 506-50
<그림 506.72> 다이아프램의 간격 ····· 506-50
<그림 506.73> 박스단면의 기호 ····· 506-51
<그림 506.74> 박스단면의 단면변형에 따른 함수 ····· 506-51
<그림 506.75> 라멘구조 방식의 다이아프램 ····· 506-52
<그림 506.76> 강성의 보정계수 ····· 506-52
<그림 506.77> 수직브레이싱 방식의 다이아프램 ····· 506-53
<그림 506.78> 다이아프램의 응력 ····· 506-53
<그림 506.79> 국부집중하중이 없는 라멘방식 다이아프램의 계산모델 ····· 506-53
<그림 506.80> 국부집중하중을 받는 라멘방식 다이아프램의 계산모델 ····· 506-54
<그림 506.81> 지압에 대한 유효단면 ····· 506-55
<그림 506.82> 다이아프램의 연직방향 응력 ····· 506-55
<그림 506.83> 다이아프램의 휨모멘트와 전단력 ····· 506-55
<그림 506.84> 사각의 종류 ····· 506-56
<그림 506.85> 하중분배 가로보 혹은 수직브레이싱의 조립 ····· 506-56
<그림 506.86> 솟음차의 영향 ····· 506-57
<그림 506.87> 교량 단부의 수직브레이싱 설치방법 ····· 506-58
<그림 506.88> 수직보강재 설치방법 ····· 506-58
<그림 506.89> 수평보강재와 수직보강재의 접합 ····· 506-58
<그림 506.90> I거더 거더단부의 형상 ····· 506-58
<그림 506.91> 박스거더 다이아프램의 방향 ····· 506-58
<그림 506.92> 수평브레이싱의 조립 ····· 506-59

<그림 506.93> 단일부재의 비틀림 ····· 506-59
<그림 506.94> I거더교의 비틀림 ····· 506-60
<그림 506.95> 2박스거더교의 비틀림 ····· 506-60
<그림 506.96> 플랜지에 작용하는 수직응력 ····· 506-62
<그림 506.97> 플랜지의 만곡에 의한 부가응력 ····· 506-62
<그림 506.98> 부가응력 f_s의 계산단면 ····· 506-63
<그림 506.99> 곡선교의 주거더 형식 ····· 506-63
<그림 506.100> 곡선교의 주거더 형식의 선택기준 ····· 506-64
<그림 506.101> 곡선격자거더의 휨모멘트, 처짐, 반력 ····· 506-65
<그림 506.102> 수평브레이싱의 부가응력 ····· 506-66
<그림 506.103> 주설계흐름도 ····· 506-68
<그림 506.104> 설계조건 및 표준단면 결정 ····· 506-68
<그림 506.105> 바닥판 설계 ····· 506-68
<그림 506.106> 주거더 설계 ····· 506-69
<그림 506.107> 가로보 설계 ····· 506-70
<그림 506.108> 이음 설계 ····· 506-70
<그림 506.109> 보강재 설계 ····· 506-70
<그림 506.110> 브레이싱 설계 ····· 506-71
<그림 506.111> 전단연결재 설계 ····· 506-71
<그림 506.112> 처짐검토 및 솟음 ····· 506-71
<그림 506.113> 피로 검토 ····· 506-71
<그림 506.114> 주설계흐름도 ····· 506-153
<그림 506.115> 설계 조건 ····· 506-153
<그림 506.116> 단면 가정 ····· 506-153
<그림 506.117> 바닥판 설계 ····· 506-154
<그림 506.118> 거더 설계 ····· 506-154
<그림 506.119> 가로보의 설계 ····· 506-154
<그림 506.120> 세로보의 설계 ····· 506-154
<그림 506.121> 다이아프램의 설계 ····· 506-155
<그림 506.122> 피로 검토 ····· 506-155
<그림 506.123> 처짐 및 솟음량 검토 ····· 506-155
<그림 506.124> 부대시설 설계 ····· 506-155

507 철근콘크리트교

<그림 507.1> RC교의 설계흐름도 ····· 507-2

<그림 507.2> 헌치 크기의 결정 ····· 507-5
<그림 507.3> 속빈슬래브교의 가상 T형 단면 ····· 507-5
<그림 507.4> 경사슬래브교의 지간방향 ····· 507-7
<그림 507.5> 라멘의 축선 ····· 507-9
<그림 507.6> 라멘교 절점부에서의 강역 ····· 507-9
<그림 507.7> 라멘단절점부에 휨모멘트가 작용하는 경우의 응력분포 ····· 507-10
<그림 507.8> 헌치의 유효부분 ····· 507-10
<그림 507.9> 수평부재의 모멘트에 대한 위험단면 ····· 507-10
<그림 507.10> 절점부에 발생하는 균열 ····· 507-11
<그림 507.11> 라멘 단 절점부에 생기는 인장응력 ····· 507-11
<그림 507.12> 플랜지에 생기는 수평전단응력의 분포 ····· 507-14
<그림 507.13> 중간지점의 휨모멘트 ····· 507-14
<그림 507.14> 단순판 및 연속판의 경간 ····· 507-15
<그림 507.15> 캔틸레버판의 경간 ····· 507-16
<그림 507.16> 설계흐름도 구성 ····· 507-19
<그림 507.17> 주설계단계 ····· 507-19
<그림 507.18> 설계조건 ····· 507-20
<그림 507.19> 설계단면 가정 ····· 507-20
<그림 507.20> 하중계산 ····· 507-20
<그림 507.21> 모델링 ····· 507-20
<그림 507.22> 단면력 산정 ····· 507-21
<그림 507.23> 철근량 계산 및 단면검토 ····· 507-21
<그림 507.24> 사용성 검토 ····· 507-21
<그림 507.25> 주설계단계 ····· 507-22
<그림 507.26> 설계조건 ····· 507-22
<그림 507.27> 설계 단면 가정 ····· 507-22
<그림 507.28> 하중계산 ····· 507-22
<그림 507.29> 모델링 ····· 507-23
<그림 507.30> 단면력 산정 ····· 507-23
<그림 507.31> 지점부 횡방향 검토 ····· 507-24
<그림 507.32> 중앙부, 지점부 및 캔틸레버 단면검토 ····· 507-24
<그림 507.33> 사용성 검토 ····· 507-24
<그림 507.34> 주설계단계 ····· 507-64
<그림 507.35> 설계조건 결정 ····· 507-65
<그림 507.36> 단면가정 ····· 507-66

<그림 507.37> (상시) 하중산정 ····· 507-66
<그림 507.38> (상시) 구조계 모델링 및 하중조합 ····· 507-67
<그림 507.39> (지진시) 해석방법 및 설계상수 결정 ····· 507-67
<그림 507.40> (지진시) 구조계 모델링 및 지진하중 산정 ····· 507-68
<그림 507.41> 설계단면력 산정 ····· 507-68
<그림 507.42> 단면검토 ····· 507-69
<그림 507.43> 안정검토 ····· 507-69
<그림 507.44> 기초단면력 산정 및 단면검토 ····· 507-69
<그림 507.45> 사용성 검토 ····· 507-69
<그림 507.46> 날개벽 설계 ····· 507-70

508 프리스트레스트 콘크리트교

<그림 508.1> 박스거더의 종단면 기본형태 ····· 508-5
<그림 508.2> 박스거더교의 횡단면 유형 ····· 508-6
<그림 508.3> PSC 합성거더교 시공순서 ····· 508-18
<그림 508.4> 연결부 설계단면 ····· 508-19
<그림 508.5> PS강재 배치 ····· 508-20
<그림 508.6> PS강재 배치선형도 ····· 508-21
<그림 508.7> 긴장재 도심의 범위 ····· 508-22
<그림 508.8> 연속교 시공단계에서의 하중상태 ····· 508-25
<그림 508.9> 유형 1의 텐던 배치방법 ····· 508-27
<그림 508.10> 유형 2의 텐던 배치방법 ····· 508-27
<그림 508.11> 유형 3의 텐던 배치방법 ····· 508-28
<그림 508.12> 교각 브래킷 지지유형 ····· 508-29
<그림 508.13> 헌치의 형상 ····· 508-34
<그림 508.14> 전도에 관한 안정성 검토 ····· 508-36
<그림 508.15> 활동에 관한 안정성 검토 ····· 508-37
<그림 508.16> 압출노즈의 단위길이당 중량과 길이에 따른 휨모멘트의 변화 ····· 508-38
<그림 508.17> 압출노즈의 휨강성에 따른 최대지점모멘트의 변화 ····· 508-39
<그림 508.18> 가교각 ····· 508-40
<그림 508.19> 지압면의 보강철근 ····· 508-42
<그림 508.20> 세그먼트의 가접합부 ····· 508-42
<그림 508.21> PS강재의 배치예(1차 PS강재 및 2차 PS강재) ····· 508-43
<그림 508.22> 1차 PS강재의 접합부 구조 ····· 508-44
<그림 508.23> 하부플랜지의 시공 ····· 508-44

<그림 508.24> 하중의 전달 ····· 508-44
<그림 508.25> 2차 PS강재의 배치방법 ····· 508-45
<그림 508.26> 압출방향의 경사 ····· 508-45
<그림 508.27> 활절 라멘교 ····· 508-51
<그림 508.28> 게르버 라멘교 ····· 508-51
<그림 508.29> 연속 라멘교 ····· 508-52
<그림 508.30> 연속 거더교(단일 고정방식) ····· 508-53
<그림 508.31> 연속 거더교(복수 고정식) ····· 508-53
<그림 508.32> 연속 거더교(스토퍼 방식) ····· 508-53
<그림 508.33> 스토퍼 형상 ····· 508-54
<그림 508.34> 양주 교각(강결구조) ····· 508-55
<그림 508.35> 양주 교각(받침구조) ····· 508-55
<그림 508.36> 프리캐스트 세그먼트 단면형상 ····· 508-58
<그림 508.37> 등경간 분할 ····· 508-60
<그림 508.38> 부등경간 분할 ····· 508-60
<그림 508.39> 규칙적인 부등경간 분할 ····· 508-60
<그림 508.40> 세그먼트 분할 ····· 508-61
<그림 508.41> 세그먼트 길이 ····· 508-62
<그림 508.42> 프리캐스트 세그먼트 분할 ····· 508-63
<그림 508.43> 휨모멘트와 텐던의 배치형태 ····· 508-63
<그림 508.44> 캔틸레버 텐던의 배치예 ····· 508-64
<그림 508.45> 연결텐던의 배치예 ····· 508-64
<그림 508.46> 복부에 정착된 캔틸레버 텐던 ····· 508-65
<그림 508.47> 복부와 하부플랜지의 접합부에 정착된 캔틸레버 텐던 ····· 508-66
<그림 508.48> 변단면 교량의 캔틸레버 텐던 배치 ····· 508-66
<그림 508.49> 등단면 교량의 캔틸레버 텐던 배치 ····· 508-66
<그림 508.50> 정착돌기에 의한 정착방법 ····· 508-66
<그림 508.51> 연결텐던의 배치형태 ····· 508-67
<그림 508.52> 하부플랜지에 배치된 연결텐던의 곡률효과 ····· 508-68
<그림 508.53> 쉬스 배치 실수에 의한 국부응력 ····· 508-69
<그림 508.54> 정착돌기 배면의 균열 ····· 508-70
<그림 508.55> 종방향 텐던양 결정 흐름도 ····· 508-71
<그림 508.56> 시공직후의 캔틸레버 구조 ····· 508-73
<그림 508.57> 크리프 효과 ····· 508-73
<그림 508.58> 3경간 연속교의 현장타설 캔틸레버 공법 시공과정 ····· 508-75

<그림 508.59> 각 시공단계에 따른 지점의 경계조건 ····· 508-76
<그림 508.60> 3경간 연속교의 시공단계별 처짐곡선 ····· 508-78
<그림 508.61> 솟음곡선 ····· 508-79
<그림 508.62> 주두부의 불균형 모멘트 및 변형 ····· 508-80
<그림 508.63> 가설고정장치 ····· 508-81
<그림 508.64> 가교각의 설치 ····· 508-81
<그림 508.65> 가고정 강봉의 설치 ····· 508-82
<그림 508.66> 가설고정장치의 작용력 ····· 508-82
<그림 508.67> 1개의 가교각 ····· 508-83
<그림 508.68> 2개의 가교각 ····· 508-84
<그림 508.69> 곡선교 ····· 508-84
<그림 508.70> 전단키와 가이드키 ····· 508-86
<그림 508.71> 이음부 및 전단키의 설계흐름도 ····· 508-88
<그림 508.72> 전단키에 작용하는 전단력 ····· 508-90
<그림 508.73> 극한하중 작용시의 설계전단력 ····· 508-90
<그림 508.74> 전단키의 철근배근 및 철근량 ····· 508-90
<그림 508.75> 하부플랜지에 위치한 전단키 ····· 508-91
<그림 508.76> 사다리꼴 전단키 ····· 508-91
<그림 508.77> 반구형 전단키 ····· 508-91
<그림 508.78> 파형 전단키 ····· 508-92
<그림 508.79> 주설계흐름도 ····· 508-95
<그림 508.80> 설계조건 결정 및 단면가정 ····· 508-95
<그림 508.81> 바닥판의 설계 ····· 508-95
<그림 508.82> PSC 거더의 설계 ····· 508-96
<그림 508.83> 단면 제계수 산정 ····· 508-96
<그림 508.84> 고정하중 및 활하중 해석 ····· 508-96
<그림 508.85> 고정하중 및 활하중에 의한 ····· 508-97
<그림 508.86> 프리스트레스 ····· 508-97
<그림 508.87> 2차응력 계산 ····· 508-97
<그림 508.88> 휨 극한 안전성 검토 ····· 508-97
<그림 508.89> 전단강도 계산 및 전단검토 ····· 508-98
<그림 508.90> 처짐 계산 ····· 508-98
<그림 508.91> 정착부 검토 ····· 508-98
<그림 508.92> 지점반력의 산정 ····· 508-99
<그림 508.93> 신축이동량 산정 ····· 508-99

<그림 508.94> 응력계산에 사용하는 각종 단면 ····· 508-101
<그림 508.95> 고정하중 분포 ····· 508-102
<그림 508.96> 절대최대모멘트 ····· 508-102
<그림 508.97> 2차응력의 계산을 위한 기호 정의 ····· 508-105
<그림 508.98> 합성거더교의 수평활동 ····· 508-106
<그림 508.99> 주설계흐름도 ····· 508-157
<그림 508.100> 설계조건결정 및 단면가정 ····· 508-157
<그림 508.101> 종방향 구조해석 및 설계 ····· 508-157
<그림 508.102> 횡방향 구조해석 및 설계 ····· 508-158
<그림 508.103> 격벽 설계 ····· 508-158
<그림 508.104> 정착부 설계 ····· 508-158
<그림 508.105> 지점반력 및 이동량 산정 ····· 508-158
<그림 508.106> 주 설계 흐름도 ····· 508-203
<그림 508.107> 설계조건결정 및 단면제원가정 ····· 508-203
<그림 508.108> 압출시 종방향 해석 ····· 508-204
<그림 508.109> 압출 완료 후 종방향 해석 ····· 508-204
<그림 508.110> 횡방향 해석 ····· 508-205
<그림 508.111> 격벽 해석 ····· 508-205
<그림 508.112> PS 정착부 해석 ····· 508-205
<그림 508.113> 압출 가시설 해석 ····· 508-206
<그림 508.114> 지점 반력 및 이동량 산정 ····· 508-206
<그림 508.115> 필요 프리스트레스 힘 ····· 508-209
<그림 508.116> 판해석과 프레임해석에 의한 모멘트 ····· 508-211

509 하부구조 및 내진설계

<그림 509.1> 교대의 각부 명칭 ····· 509-1
<그림 509.2> 교대의 종류 ····· 509-2
<그림 509.3> 교대의 높이와 사면과의 관계 ····· 509-3
<그림 509.4> 교각의 세부명칭 ····· 509-4
<그림 509.5> 교각의 종류 ····· 509-5
<그림 509.6> 방향별 응답수정계수 ····· 509-12
<그림 509.7> 주설계 흐름도 ····· 509-15
<그림 509.8> 단면가정 ····· 509-15
<그림 509.9> 지진변위 검토 ····· 509-15
<그림 509.10> 받침부 설계 ····· 509-16

<그림 509.11> 교대 설계조건 ····· 509-16
<그림 509.12> 교대 설계력 산정 ····· 509-16
<그림 509.13> 안정검토 ····· 509-17
<그림 509.14> 단면검토 ····· 509-17
<그림 509.15> 접속슬래브 설계 ····· 509-17
<그림 509.16> 교대 날개벽 설계 ····· 509-17
<그림 509.17> 받침연단거리 ····· 509-18
<그림 509.18> 교대의 연단 및 받침지지길이 ····· 509-18
<그림 509.19> 최소 받침지지길이 규정에 관한 치수 ····· 509-19
<그림 509.20> 연직하중에 대한 보강철근 ····· 509-20
<그림 509.21> 교좌받침 보강철근의 유효범위 ····· 509-20
<그림 509.22> 경사교대의 지진시 수평력 ····· 509-23
<그림 509.23> 단면검토시의 하중상태 ····· 509-24
<그림 509.24> 안정검토시의 하중상태 ····· 509-24
<그림 509.25> 기초저면의 반력도 ····· 509-26
<그림 509.26> 가외철근 ····· 509-27
<그림 509.27> 부벽 배면의 철근배치 ····· 509-27
<그림 509.28> 인장응력이 생기는 무근 콘크리트 ····· 509-28
<그림 509.29> 윤하중에 의한 하중상태 ····· 509-29
<그림 509.30> 날개벽 형상 ····· 509-29
<그림 509.31> 2변지지 날개벽의 설계 ····· 509-30
<그림 509.32> 주설계흐름도 ····· 509-82
<그림 509.33> 단면제원 가정 및 단면제상수 계산 ····· 509-82
<그림 509.34> 하중산정 ····· 509-82
<그림 509.35> 구조해석 및 단면력 조합 ····· 509-82
<그림 509.36> 부재의 설계 ····· 509-83
<그림 509.37> Footing의 설계 ····· 509-83
<그림 509.38> 라멘교 절점부에서의 강역 ····· 509-86
<그림 509.39> 라멘부재 절점부의 설계 휨모멘트 ····· 509-87
<그림 509.40> 기둥단면이 원형인 경우의 설계단면 ····· 509-87
<그림 509.41> 교좌장치 거더밑 공간 확보 ····· 509-88
<그림 509.42> 평균전단응력을 검토하는 단면 ····· 509-91
<그림 509.43> 확대기초 응력 계산상의 유효폭 ····· 509-93
<그림 509.44> 확대기초 윗면 주철근 응력계산상의 유효폭 ····· 509-93
<그림 509.45> 주설계흐름도 ····· 509-249

<그림 509.46> 단면가정 ····· 509-249
<그림 509.47> 예비내진설계(개략적 해석) ····· 509-249
<그림 509.48> 탄성지진력 및 변위결정 ····· 509-249
<그림 509.49> 설계지진변위 결정 ····· 509-250

510 신축이음장치 및 받침

<그림 510.1> 신축이음장치의 분류 ····· 510-1
<그림 510.2> 보의 처짐에 따른 단부의 회전에 의한 변위 ····· 510-6
<그림 510.3> 종단경사에 의한 단부이동 ····· 510-9
<그림 510.4> 곡선교 및 사교의 단부변위 ····· 510-9
<그림 510.5> 교량받침의 종류 ····· 510-13
<그림 510.6> 받침 위치의 산정 ····· 510-19
<그림 510.7> 사교에서의 받침 배치법 ····· 510-20
<그림 510.8> 곡선교에서의 현방향 배치법 ····· 510-21
<그림 510.9> 곡선교에서의 접선방향 배치법 ····· 510-22
<그림 510.10> 최소받침지지길이 확보 방안 ····· 510-23
<그림 510.11> 낙교방지키의 설치 ····· 510-24
<그림 510.12> 주형과 하부구조를 연결하는 구속장치 ····· 510-24
<그림 510.13> 주형과 주형간을 연결하는 장치 ····· 510-25

501
총 론

501.1 적용범위

본 교량설계편람은 도로법 및 도로교설계기준에 의거하여 지간 200m 이하의 교량에 적용하는 것을 원칙으로 하며, 본 편람에서 다루어지고 있는 교량의 형식에 국한하여 적용하지만 유사한 교량 형식 또는 교량형식과 관계없이 공통으로 적용 가능한 범주에서 준용하도록 한다.

또한 본 편람보다 설계기준, 시방서 및 지침이 더 우선하며, 여기에 기술된 내용은 설계실무자의 실무 보조자료로서 활용함을 목적으로 한다.

501.2 용어의 정의

본 편람에 사용되는 모든 용어 및 기호는 도로교설계기준과 통일하여 적용하며, 도로교설계기준에서 분명하게 언급되지 않은 용어 및 기호는 관련 설계기준 및 공사시방서 또는 지침의 용어 및 기호를 적용한다.

501.3 관련규준

본 설계편람은 하나의 공법 혹은 특수 목적의 설계지침서가 아니므로 모든 발생 가능한 것을 수록할 수는 없다. 따라서 교량을 설계하는데 있어서 본 편람에 나타나있지 않는 사항에 대해서는 다음의 기준 및 시방서를 따르는 것으로 한다.

- 도로교설계기준
- 도로교표준시방서
- 콘크리트구조설계기준
- 콘크리트표준시방서
- 토목공사일반표준시방서
- 고속도로공사전문시방서
- 도로공사표준시방서
- 도로설계기준
- 주요시설물내진설계기준
- 강도로교상세부설계지침
- 콘크리트교량 특수공법 및 설계지침

501.4 구성체계 및 활용방안

본 교량설계편람은 다음과 같은 원칙 하에 작성하였다.

- 일반도로 상에 교량을 가설하는 경우 적용할 수 있는 설계사항을 수집하여 정리한다.
- 설계예제에서 다루는 내용은 상부구조형식에 대해 교량을 구성하는 재료적 분류에 의해 강도로교, 철근콘크리트교, 프리스트레트콘크리트교로 하며, 장대지간에 적합한 교량형식 및 특수교량형식에 해당하는 것은 상세한 기술을 하지 않는다.

- 상기의 교량분류에 대해 현존하는 모든 교량을 대상으로 하지 않으며, 우리나라에 가설되어있는 교량의 현황을 검토하여 근래 들어 실제 건설현장에서 사용 빈도가 높고, 설계 관련 실무자 및 전문가의 설문을 통해 요구가 높은 교량을 선정하여 주 검토 대상으로 삼는다.
- 하부구조에 대해서도 상부구조와 마찬가지로 교량현황의 분석과 관련 전문가의 설문조사를 바탕으로 검토 대상범위를 결정한다.

설계편람의 구성체계는 설계단계를 이해할 수 있도록 하기 위해 전반부에는 교량의 설계절차, 교량계획, 조사·시험·계측, 설계기본사항 등을 기술하고 후반부에 교량의 분류체계에 맞추어 교량형식별 설계고려사항을 기술한 다음 예제로 삼는 대상교량의 설계흐름도를 상세하게 작성하고, 설계흐름도를 따라 적용기준 및 지침 혹은 관련 기술자료를 순서에 따라 부기한다. 더불어 설계예제를 작성하여 유사한 형태의 설계에 참고할 수 있도록 구성하였다.

특수장대교량을 제외한 일반교량에 대하여 설계하고자 하는 사람이 쉽게 설계 교량설계흐름을 파악하게 하고 관련 기술적 내용을 일목요연하게 기술함으로써 활용도를 높이고자 하였다.

501.5 향후의 추진방향

본 설계편람의 향후추진방향의 다음과 같다.

- 일반적인 사항
  - 상시 개선사항으로서 설계기준 및 공사시방서 또는 지침의 개정에 따른 수정·보완
  - 설계심의 등에서 지속적으로 지적되는 사항의 수정·보완
  - 건설교통부의 요청에 의한 수정·보완
- 기타 사항
  - 본격적인 교량설계편람 작성

도로설계편람의 교량편은 그 대상 및 자료가 방대하여 도로설계편람의 일부분으로 구성하기에 적합하지 않고 별도의 편람으로 작성됨으로써 교량구조물의 설계 품질을 향상시키는 것이 바람직하다. 따라서 금번에 작성되는 도로설계편람의 교량편은 시작단계로서 일반적이고 사용빈도가 높은 교량을 대상으로 하였으나 향후에는 그 영역을 장대특수교량을 포함하여 다음과 같이 분리, 확대하는 것이 절실히 요구된다.

- 프리스트레스트콘크리트 특수공법 설계편람
- 아치교 및 트러스교 설계편람
- 사장교 설계편람
- 현수교 설계편람
- 교량하부구조 설계편람
- 교량의 내진설계편람
- 교량의 피로설계편람
- 교량의 내풍설계편람
- 복층고가교, 복합재료교 등과 같은 신공법 특수교량 설계편람
- 교량의 보수·보강공법 설계편람
- 교량부속시설물(신축장치, 받침 등)

502
교량 설계 절차

502.1 교량계획

일반적으로 교량은 하천이나 계곡 등, 장해물을 통과하는 것이 주목적이지만, 경제발전에 따른 의식수준의 변화로 말미암아 교량을 단순 통행수단으로만 계획하는 것은 부적절하게 됨에 따라 교량을 설계하기에 앞서 교량계획 단계를 통해 교량의 효율적인 가설을 도모하게 되었다. 이를 위해 교량의 계획단계에서는 교량의 선형, 가설상의 제약조건, 구조설계기준 만족, 내구성과 안전성 확보, 경제적이며 심미적인 교량형식 선정, 교장 및 경간분할, 주형 및 바닥틀의 배치계획, 하부구조의 형식 및 형상, 기초 형식 및 공법 결정 등이 이루어지게 된다. 계획단계에서 치밀한 조사를 행한 체계적인 계획 수립은 향후 교량의 설계시 또는 공용수명간 교량 성능에 큰 영향을 미치게 되므로, 교량계획은 신중하게 이루어져야 한다.

교량계획을 성공적으로 이끌기 위해서는 설계·시공에 대한 실무경험과 교량의 거동에 대한 이해, 설계 및 해석기법에 대한 폭 넓은 지식, 신재료 및 신기술의 접목, 연관 분야 기술의 이해가 있어야 가능하다. 이를 바탕으로 계획단계에서 교량기술자는 교량의 안전성 및 내구성 확보, 이를 위한 적절한 교량 형식과 가설공법의 선정, 가설후의 유지관리 편의성, 교량 가설이 미치는 사회적·환경적 영향 등에 대해 면밀하게 검토하여야 한다.

502.2 단계별 설계과정

교량설계의 과정은 3단계로서 타당성 조사, 기본설계, 실시설계의 순서로 진행되며, 각각의 내용은 <표 502.1>과 같다. 교량 설계는 일반적으로 도로 설계와 동시에 이루어지게 되므로 본 절에 수록되지 않은 내용은 도로설계편람(Ⅰ) 제1편 총칙 102절 도로설계절차를 참조하도록 한다.

2.1 타당성조사

교량의 규모나 중요성, 가설지점의 상태를 정확히 판단함으로서, 교량 건설 기간중 큰 변경 없이 합리적이고 경제적인 계획, 설계, 시공을 하기 위한 목적으로 본 조사를 실시한다. 실측도 작성, 가설위치 선정, 교량 형식과 경간장 등을 결정하기 위하여 기본조사를 실시하고, 이를 바탕으로 실측도를 작성하며, 가설지점의 고수위와 저수위, 접속도로와 기타 도로와의 관계, 유량과 주변 지형, 하상변화, 지질 등을 조사하여야 한다. 이 조사는 설계 초기단계에 수행되나, 설계단계 또는 설계심의후 추가 조사가 요구되는 경우에는 재조사가 실시되며, 최종 조사보고서로 작성된다.

한편 계약에 합의된 경우에는 용지보상의 근거자료인 용지도서 및 지장물 조사서를 작성하기도 한다.

<표 502.1> 설계과정 분류

구 분	정 의	내 용
타당성조사	• 가교지점, 교장, 형하공간, 구조형식을 결정하기 위한 조사	• 지형, 지질, 교차로, 지하매설물, 하천, 바다, 토질, 지진, 기상, 교량 부속물, 부식, 재료, 시공성 등의 조사
기본설계	• 교량가설지점에 비교 대상이 되는 여러 형식의 구조물 일반도 작성 • 구조물 형식비교에 필요한 자료 작성	• 확인조사 및 여건변동조사 • 일반도 종류 - 종단면도, 횡단면도, 평면도, 토질주상도 - 각 형식의 장단점 기술 - 개략 공사비 및 물량 산출 • 교량형식별 검토 자료 - 주요단면 크기 결정 - 철근 배치, PS 스트랜드 배치 검토 - 말뚝 개수 산정 - 주요 단면 응력 개략 산출
	• 중요하지 않은 세부설계를 생략한 설계	• 교량 치수 결정 • 사용재료 결정 • 기타 주요단면 크기 산정 • 중요부재의 구조계산 • 난간, 배수구, 신축이음, 받침 등 형식비교 검토 • 시공법 결정
실시설계	• 구조물을 정확히 시공하는데 필요한 모든 것을 작성하는 설계	• 교량 상세도면 작성 • 상세 구조계산 • 공사시방서 작성 • 물량 및 공사비 산출

타당성조사의 경우에도 구조물의 설계 작업이 수행되는데, 그 내용은 다음과 같다.

- 구조물 계획결과와 결정된 설계기준을 토대로 주요 구조물의 형식 및 형태를 설계하되, 계약서 또는 과업지시서에 특별한 사항이 없는 경우에는 기존 설계자료 및 관련 기술자료를 참조하여 설계한다.
- 경제성, 시공성, 안전성, 내구성, 유지관리 등을 고려하여 사용재료를 선정하고, 승차감 등을 고려하여 경간 구성을 설계한다.
- 도로, 철도, 선박 등의 통과와 계획홍수위 등을 고려하여 적정 형하고를 결정하고 구조물 설계에 반영한다.

2.2 기본설계

형고, 주형배치 결정, 주요단면치수, 기초 치수, 말뚝개수 등을 구하고, 물량을 개략 산출하여 구조물 형식비교에 필요한 자료를 작성하는 계획단계와 교량치수결정, 난간, 배수구, 신축이음, 받침 등 교량 부속물의 형식 결정, 사용재료 종류 및 수량 결정, 기타 주요단면 크기

산정, 구조계산, 시공법을 명확하게 하는 설계 단계로 나눌 수 있으며, 이를 기본설계라 한다.

(1) 교량 계획단계

교량 계획단계에서는 다음과 같은 요소를 비교·검토하며, 본 편람 Ⅰ편의 "209 기본설계의 4.5 주요 구조물 계획"을 참고하도록 한다.

- 경제성(공사비, 유지관리, 내용연수 등의 적정성)
- 시공성 (작업공간 확보 및 민원 최소화)
- 기능성 (소음, 진동의 최소화 및 형하공간 확보)
- 안전성
- 미관성
- 유지관리

(2) 교량 설계단계

설계단계에서는 적용할 설계기준을 결정하고 이에 따라 설계를 수행하는데, 그 내용은 다음과 같다.

① 설계기준

- 설계속도, 소요차로, 폭원구성, 구조물 연장 등을 결정
- 구조물 설계방법과 내진설계 등급 결정
- 재현빈도에 따른 계획홍수량 및 계획홍수위 결정
- 설계하중의 종류, 크기를 결정
- 사용재료의 종류 및 특성(재질, 강도) 규정
- 해상에 가설되는 경우 조수간만의 차, 설계파고 등을 결정
- 설계에 적용하는 설계기준, 시방서, 지침, 편람 등을 규정

② 교량설계

- 조사 및 계획업무 결과로 주요 교량의 형식을 비교, 검토하여 최적형식을 결정하며, 이때 구조형식에 따라 상부구조, 하부구조, 기초구조의 단면을 설정하고, 구조물의 안전성, 내구성, 사용성 등을 검토
- 주요 구조물에 대한 단면을 가정하고, 관련 설계기준에 규정된 해석방법으로 모델링하여 구조계산에 필요한 단면계수를 산출
- 최대단면력이 산출될 수 있도록 하중조합이 불리한 조건이 되도록 재하위치를 결정
- 설계방법에 따른 하중계수, 강도감소계수 등을 적용
- 시공방법 및 순서를 고려하여 구조계산을 수행하되 교량의 각 형식에 대한 대표적인 교량에 대하여 수행
- 산출된 최대단면력(휨모멘트, 축력, 전단력, 비틀림모멘트)에 대한 안전성을 관련 시방서에 근거하여 검토·확인
- 사장교, 현수교와 같은 특수교량은 풍하중에 대한 안정성을 반드시 검토
- 구조계산에 따른 전산프로그램은 검증된 것을 사용
- 개략 구조계산에 따른 주요 구조물의 표준단면도 및 표준구조상세도를 작성

한편 기본설계시 설계자는 계약문서에 의해 사업내용을 충분히 파악하고, 해당사업에 대한 발주자의 의도를 정확하게 파악하며, 설계 및 제반법규 등을 조사한다. 해당사업의 기본계획, 기본설계보고서에 대하여 관공서 자료, 관련설계자료 등을 참고하여 추가 조사항목, 수집할 자료 등 설계를 위해 필요한 정보가 검토된다.

2.3 실시설계

실시설계란 기본설계를 구체화하여 구조물을 정확하게 시공하는데 필요한 모든 설계로서,

시공을 위한 설계이다. 따라서 시공에 필요한 주의사항을 시공계획서에 기술하여 시공담당자에게 설계자의 의도를 충분히 전달할 수 있어야 한다.

설계자는 발주자가 제시하는 입찰공고, 입찰안내서와 관공서자료 등으로부터 사업의 개요, 목적, 범위, 설계방침, 용역성과품 범위 등 설계업무수행에 관련된 정보를 획득하고, 축적된 설계기술을 활용하여 용역성과품을 작성하는 것이다. 이러한 실시설계 과정은 관련 법규 및 규정 - 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률, 건설기술관리법 등 - 에 의하여 통제된다.

실시설계단계는 설계기준 검토, 구조해석, 설계도면 작성, 공사시방서 작성, 건설사업비 산출 등으로 구성된다. 따라서 실시설계는 타당성조사 보고서, 기본설계 검토결과, 유사 규모의 시설물 자료 등 관련 설계자료를 이용하여 실시설계단계에서 구조계산서, 실시설계도면, 공사시방서, 설계내역서 등을 작성하며, 설계심의단계에서 지적사항이 있을 경우에는 이를 반영하게 된다.

실시설계업무도 계획단계와 설계단계로 구분할 있으며, 그 상세 내용은 다음과 같다.

(1) 교량 계획단계

기본설계에서 검토되지 않은 모든 교량에 대해 경제성, 시공성, 안전성, 미관성, 유지관리의 각각의 장단점을 검토하여 결정한다.

① 지간구성
- 상부구조형식, 사용재료 등을 고려하여 적정지간 계획
- 하상 또는 해저면 까지의 수심, 지형 등과 기초지반 상태를 고려하여 지간 계획
- 계획홍수위 및 홍수량을 고려하여 적정지간을 계획하고 홍수시 수위상승으로 기존 제방에 미치는 영향을 최소화
- 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로)이 갖는 적정폭을 고려하여 지간 계획
- 주변 경관과 조화를 고려하여 지간 구성

② 상부구조 형식
- 하중 종류, 크기, 하부구조에 미치는 영향을 고려
- 승차감을 고려, 가능하면 연속구조로 계획
- 교차시설(도로, 철도, 선박의 항로)을 고려, 적정 형하고를 유지할 수 있도록 계획
- 제작, 가설 등을 고려, 적정 형식을 계획
- 내구성과 유지관리 등을 고려, 적정 구조형식 계획
- 신축이음은 상부구조 형식 및 연장, 사용재료 등을 고려하여 선정

③ 하부구조 및 기초형식
- 부구조 형식, 폭, 사용재료, 하중 크기 등을 고려하여 하부구조 및 기초형식 계획
- 내진설계를 고려, 상·하부구조 연결부(내진받침, 면진받침, 강결구조 등)를 검토
- 지지층까지 심도, 지반상태 등을 고려, 기초형식 계획
- 하부구조는 하천 흐름에 방해가 되지 않도록 계획
- 자재, 장비의 운반 및 진입, 공사방법 등을 고려, 적정 구조형식 계획
- 홍수, 파랑에 의한 세굴, 손상 등을 고려, 적정 구조형식 계획
- 받침은 하중 크기, 상부구조 형식, 지간구성 등을 고려, 선정

④ 공법선정
- 계획시설물의 규모, 위치 및 지형, 지질, 동원가능 장비 성능, 수효, 가설 제작장 설치 가능 여부, 공사소요기간, 가설공사비 등을 검토하여 계획

- 주변시설, 인근 주민에 미치는 소음, 진동, 교통혼잡을 최소화할 수 있는 공법 결정
- 하천 또는 해상공사중 토사유출 등에 의한 주변 오염 여부

(2) 교량 설계단계

기본 설계용역의 결과를 참조하여 다음과 같은 사항을 확정하고 상세설계를 수행한다.

① 설계기준
- 소요차로, 폭원구성, 구조물 연장
- 구조물 설계방법과 내진설계 등급
- 계획홍수량 및 계획홍수위
- 설계하중의 종류, 크기 및 부가하중
- 사용재료의 종류 및 특성(재질, 강도)
- 조수간만의 차, 설계파고, 조류 속도
- 설계기준, 시방서, 지침, 편람 등을 규정

② 공법검토

앞의 교량계획단계에서 ④ 공법선정과 동일한 방법으로 검토한다.

③ 구조설계
- 조사 및 계획업무 결과로 선정된 최적의 구조형식에 따라 상부구조, 하부구조, 기초구조의 단면을 설정하고, 구조물의 안전성, 내구성, 사용성 등을 검토한 후 상세설계
- 관련 시방서 및 규정, 지침에 따라 세부사항 검토후 설계
- 구조물의 각 단면을 상세하게 선정하고, 관련 설계기준에 규정된 해석방법으로 모델링하여 구조계산에 필요한 단면계수를 산출
- 주하중 및 부가하중을 선정하여 최대단면력이 산출되도록 하중재하 위치를 결정
- 지진력 계산은 구조물 형식, 형태를 고려, 계산방법 결정
- 설계방법에 따른 하중계수, 강도감소계수 등을 적용
- 시공방법 및 순서를 고려하여 구조계산 수행
- 산출된 최대단면력(휨모멘트, 축력, 전단력, 비틀림모멘트)에 대한 안전성, 내구성, 사용성 등을 검토·확인
- 상부구조의 처짐, 하부구조의 전도 및 활동, 기초구조의 지지력, 변위 등을 검토
- 구조물에 국부적으로 작용하는 하중 및 단면력을 산정하고, 안전성을 확인
- 사장교, 현수교와 같은 특수교량은 풍하중에 대한 안정성을 반드시 검토
- 강도설계 및 피로설계에 따른 상세사항을 관련 기준에 따라 설계
- 하중집중부에 대한 상세설계를 관련 기준에 따라 설계
- 받침부와 상하구조물 연결구조를 상세히 검토하여 설계
- 온도변화에 따른 구조물의 변위 및 구조물 단면력을 상세히 검토하여 설계
- 구조계산에 따른 전산프로그램은 검증된 것을 사용
- 구조계산에 필요한 가시설물을 상세히 검토하여 설계

④ 교면포장설계
- 상부구조 형식을 고려하여 적정 포장방법 고려
- 소음, 진동과 승차감을 고려, 선정
- 추정 교통량, 기후 등을 기초하여 설계
- 차량하중에 의한 충격과 우수 등 기상조건을 고려, 교면 구조물이 보호될 수 있도록 설계
- 교면 구조물과 부착성이 좋고 반복되는 휨응력에 견딜 수 있도록 마모층과 방수층을 설계

- 도로와의 연결부, 갓길 등의 포장은 차량, 폭우에 의해 세굴 또는 파손되지 않도록 설계
- 소성변형을 고려, 적정 포장공법 설계

⑤ 부대시설설계
- 도로 조명기준 등에 의해 가로등 간격, 높이, 밝기 등을 검토
- 선박 운항을 고려, 관련규정에 따른 항로표시 등을 설치
- 선박의 충돌로 인한 하부구조의 피해를 막기 위해 방충시설 검토
- 난간, 방호책, 중앙분리대, 경계석 등의 크기, 재질을 검토하여, 교량의 안전기능을 확보하도록 설계
- 교명주 등은 발주처와 협의하여 위치, 크기, 재료를 결정
- 다음의 유지관리시설을 검토하여 계획
  · 점검통로 및 교각 안전난간
  · 조명 및 환기시설
  · 계측기기
  · 기타 유지관리에 필요한 시설

2.4 설계단계의 통합수행

타당성조사는 발주자가 직접 시행하기 보다는 용역으로 수행하는 것이 일반적이며, 경우에 따라 기본설계와 함께 수행할 수도 있다. 기본설계와 실시설계는 분리되어 시행되지만, 사업특성 및 발주조직에 따라 동시에 발주되어 수행 가능하다. 분리 발주되는 경우 기본설계 용역의 범위는 타당성조사에서 기본계획, 조사 및 계획, 기본설계 등으로 유동적이나, 실시설계 용역의 경우에는 이전단계의 성과품이 어느 단계까지 진행되었던지 상세도면을 작성하는 것 까지가 용역의 범위가 된다.

기본설계 및 실시설계를 일괄 발주하는 경우는 기본설계·실시설계를 일괄 발주하는 경우, 실시설계 및 시공을 일괄 발주하는 경우, 턴키 방식이 있다. 이 경우에는 기본설계단계를 별도 구분하지 않지만, 일반적으로 구조물의 형식 및 가설공법이 결정되는 단계 까지를 기본설계로 간주한다. 즉 기본설계의 범위는 공사특성이나 발주청에 따라 유동적이나, 실시설계의 경우에는 공사특성에 관계없이 용역 범위와 수행절차가 유사하다.

502.3 성과품

3.1 성과품 작성의 특기사항

설계자는 입찰 및 계약 이후 30일 이내에 과업수행계획서를 제출하게 되는데, 다음과 같은 내용을 포함하여야 한다.
- 과업추진목표 및 배경
- 추진조직(인원투입계획)
- 기술용역 예정공정표
- 분야별 설계진행계획
- 부대시설 검토계획
- 관련부서 협의계획
- 책임기술자 자격증명확인서
- 보안관리계획서
- 기타

타당성조사에서 발주자는 타당성조사 용역을 발주하여 과업지시서(과업수행계획서)에 따라 현장조사 및 타당성조사가 이루어지면 타당성조사 보고서를 평가하여 평가보고서를 작성하게 된다. 따라서 조사자는 과업지시서에 내용을 숙지하여 타당성조사 보고서를 작성하여야

한다.

발주자는 사업시행계획서, 관련 법규, 사업예산에 따라 설계용역을 발주하고, 설계용역계약서 및 설계방침에 따라 실시설계가 이루어지도록 관리한다. 발주자는 설계의 품질확보를 위해 설계자문위원회를 조직·운영하거나 설계감리를 시행하게 된다. 따라서 설계자는 설계 완료전에 주요 성과물에 대한 심의를 통해 설계의 적정성을 검토하고 타당한 심의결과를 설계에 반영하여 실시설계를 확정하여야 한다.

3.2 성과품 내용

설계용역 성과품과 관련하여 일반적인 설계도서 작성기준을 "건설기술개발 및 관리 등에 관한 운영규정"에 규정하고 있으나, 설계단계별 업무 구분이 불명확하고, 또한 설계도서 작성기준이 발주처별로 상이한 실정이다. 따라서 발주처의 기준에 따라 성과품을 작성하는 것이 보통이나, 일반적으로 제출하는 성과품을 설계단계별로 서술하면 다음과 같다.

(1) 타당성 조사

설계자는 과업지시서에 따라 현장조사를 실시하고 현장조사를 바탕으로 타당성조사 및 분석을 실시하여 타당성조사보고서를 작성한다. 타당성조사의 성과품은 다음과 같다.

- 요약보고서
- 본보고서
- 부록 (교통, 토질 등)
- 도면 (후보노선도, 최적노선도, 표준횡단면도)
- 토질 및 골재원 조사자료
- 수량 및 공사비 산출서
- 교통량 조사자료
- 기타 참고자료

(2) 기본설계

기본계획의 제반조건을 바탕으로 사전조사사항, 계획 및 방침(주요설계기준, 구조물 형식선정, 단면결정 등), 개략시공법, 공정계획, 개략공사비 등의 기본적인 내용을 수행하는 것으로, 용역 성과품은 다음과 같다.

- 설계보고서
- 구조 및 수리계산서
- 토질조사 보고서
- 설계내역서
- 설계도면 : 위치도, 종단면도, 평면도, 횡단면도, 구조물도, 부대시설도, 기타

(3) 실시설계

실시설계단계에서 중요사항의 결정이 요구될 때 검사·검토를 하여 설계를 진행하고, 과업지시서상의 용역성과품에 대한 세부지침과 설계도서 작성기준 등을 반영하여 설계가 완성되도록 한다. 실시설계 용역 성과품은 다음과 같다.

- 실시설계 요약 및 종합보고서
- 구조 및 수리계산서
- 조사보고서
- 공사시방서 및 특기시방서
- 실시설계 도면

  일반도 : 교량상·하부 일반도, 종단면도, 평면도, 토질주상도 등

  시공도 : 주형 구조도, 슬래브 구조도, 하부 및 기초 구조도, 제작 캠버도, 철근가공도, PS 강봉 인장순서도, PSC빔 단부 축척도(원형의 1/5), 신축장치 등 부속장치

도면 등
- 견적서 : 설계예산서(설계설명서, 설계내역서, 일위대가표 등)
  단가산출서(중기 사용료, 단가조서, 견적서 등)
  수량산출서(총괄자재집계표, 공종별 수량집계표/자재집계표, 세부공종별 수량집계표 등)
- 용지 도서, 보상대상조서 및 인허가 도서 : 도시계획시설(변경) 결정고시 요청서류(건교부), 농지전용허가(협의) 요청서류(건교부)
- 지적고시 요청서류(구청), 도시계획 사업시행 허가 요청서류(구청), 기타
- 시공공정계획서
- 지장물조사서
- 유지관리지침서
- 단계별 교통처리계획서
- 노면복구계획서
- 기타 계약에 정한 사항

3.3 교량설계 성과품의 검토

교량설계 성과품은 발주자의 최종 승인을 거쳐 제출하게 된다. 이들 성과품의 적정성을 검토하기 위해 발주자는 설계자문위원회를 구성하여 설계심의를 실시한다. 일반적으로 설계단계에서 중요한 결정이 요구되는 경우 설계자문회의를 시행하거나 발주자에게 중간보고를 하여 결정하는데, 설계는 특별한 사유가 없는 한 자문에서 지적된 사항을 설계에 반영하여 그 조치결과를 설계자문위원회에 보고하여야 한다.

설계의 적정성을 확보할 목적으로 건설기술관리법 시행령 제39조 (설계 등의 심의 대상공사)에 따라 건설심의위원회의 심의를 받도록 되어 있으나, 동법 시행령 제38조의 7(설계자문)에 따라 발주자가 설계자문위원회를 구성·운영하는 경우에는 심의대상에서 제외한다. 그러나 설계자문 규정은 임의 규정으로 되어 있기 때문에 자문위원회의 운영이 활성화되지 못하고 있는 실정이다.

실시설계 심의는 설계종료전에 실시설계서를 작성하여 제출하면 발주처에서는 심의위원회에 실시설계 적격여부를 요청하고, 심의위원회는 설계배점표 규정에 의거, 채점하여 발주기관에 통보한다.

교량설계 성과품에 대한 검토사항을 점검할 수 있도록 도로설계편람(Ⅰ) 제1편 총칙 부록5. 교량공에 교량설계 검토 점검표를 수록하였다.

503
교량 기본 계획

503.1 교량 계획의 기본사항

교량계획시에는 노선의 선형과 지형, 지질, 기상, 교차물 등의 외부적인 제조건, 시공성, 유지관리, 경제성 및 환경과의 미적인 조화를 고려하여 가설위치 및 교량의 형식을 선정하여야 하며, 다음 각 요건을 종합적으로 고려하여 결정해야 한다.

- 가설위치와 노선 선형
- 외적 제반조건
- 구조적 안전성과 경제성
- 주행 안전성과 쾌적성
- 시공성과 유지관리성
- 표준화 및 미관
- 지역주민의 의견

503.2 교량형식 선정

2.1 형식 결정

교량형식을 선정하기 위한 기본방향은 시방서 및 제기준의 범위 내에서 총건설경비(재료비, 건설비, 유지보수비 포함)가 최소가 되도록 하고, 가능한 상부구조는 연속구조를 원칙으로 하는 것이 좋다. 교량의 형식은 다음 사항들을 고려하여 선정한다.

- 설계, 시공 및 경제적으로 유리한 선형에 적합한 형식
- 교장, 지간, 교대, 교각의 위치와 방향, 교량 하부공간 등에 적합한 형식
- 구조상 안전해야 함은 물론 상하부공을 합해서 경제성이 있는 형식
- 공사비가 같을 경우에는 시공성과 교형미, 경관설계상 유리한 형식

자동차 주행의 안정성 및 쾌적성을 좋게 하려면 구조적으로 상로교 형식이 좋고, 신축이음장치가 적은 연속교가 좋다. 특히 도시내에 가설되는 교량은 구조물 자체도 날씬한 느낌을 주는 형식이 좋으며 주위의 경관과 균형을 이루는 것도 중요하다.

2.2 경간 분할

교량의 형식별로 표준적용지간, 거더높이비(거더높이/지간)는 설계조건에 따라 다르지만, 다음과 같은 사항을 고려하여 경간을 분할한다.

(1) 미관을 고려한 경간 분할
- 연속교는 중앙 경간을 측경간 보다 크게 분할하면 안정감이 크게 됨
- 3경간일 때는 경간의 개략적 비율이 3:5:3, 4경간일 때는 3:4:4:3 이 많이 채택됨

- 교장이 길고 지형이 평탄할 때는 등경간이 좋음
- 접속교량과의 연결은 경간이 점점 변하여 조화되도록 분할

(2) 치수상의 경간 분할
- 유속이 급변하거나 하상이 급변하는 지역에는 교각을 두지 않음
- 저수로 지역에서는 경간을 크게 분할
- 하천 단면을 줄이지 않도록 하고 교각설치로 인한 수위 상승과 배수를 검토
- 하천 협소부에서는 교각수를 줄임
- 유로가 일정하지 않은 하천에서는 가급적 장경간 선택
- 동일하천에 교량이 평행할 때는 경간분할을 같게 하거나 하나씩 건너뛰는 형식
- 유목, 유빙이 많은 하천에서는 교각수를 줄이고 이들이 걸리지 않는 구조로 함

(3) 경제상의 경간 분할
- 상부구조와 하부구조의 단위길이당 건설비가 같거나 상부구조 공사비가 하부구조보다 약간 클 때 최적
- 기초지반이 불량할 때 장경간이 유리, 기초지반이 양호할 때 단경간이 유리
- 하저지반이 불균일할 때는 각 구간별로 나누어 경제성을 검토한 후 경간을 분할함

2.3 상부구조 형식선정

교량의 상부구조 형식을 선정할 때에는 경제성, 안전성, 시공성이 좋고 주변경관과 조화된 구조물이어야 하므로 다음 조건을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

- 구조적 측면
  - 교량가설 최적위치 선정
  - 교량의 외적 제요건 만족
  - 구조상 안전성 및 경제성
  - 시공의 확실성, 용이성 및 공기 고려
  - 구조물의 표준화 도모
  - 단순하고 저렴한 유지보수

- 미적 측면
  - 주변 경관 및 구조물과의 조화
  - 구조의 형식미

소음이나 진동 등의 환경조건이 문제가 되는 지역에서는 강교 보다 철근콘크리트교나 프리스트레스트 콘크리트교가 많이 채택되고 있다.

2.4 하부구조(교대 및 교각) 형식선정

하부구조 형식은 상부구조 형식의 특징, 상부공의 가설공법 등 상부구조계획과 서로 연관시켜 구조적 안전성, 경제성, 교량 입지조건에 따른 시공의 안전성 및 간편성, 교량미관 및 유지관리 측면 등을 고려하여 하부구조 형식을 선정하여야 한다.

2.5 기초구조 형식선정

(1) 교량하부구조의 기초형식 선정은 기초지반의 지질조건, 수심, 유속, 상부구조형식 등과 아래의 중점사항을 고려하여 선정하여야 한다.

- 하천변 지반여건
- 수상구간에서의 시공성
- 구조적인 안전성 확보

- 지진 및 온도변화에 의한 수평력 저항
- 세굴의 영향
- 유수저항계수가 작은 단면 선택
- 측방유동에 관한 검토

(2) 하부 구조물 설치에 따른 수위상승의 영향을 검토하여야 한다.

503.3 교량의 구조시설 기준

도로교의 폭원구성, 시설한계, 선형 등의 구조규격은 원칙적으로 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」에 따라 설계하여야 한다. 도로교는 도로의 일부이므로 도로의 규격에 따라 계획되어야 하고, 도로의 종류, 위치, 지형, 계획교통량에 따라 도로의 규격이 구분된다.

(1) 다리밑 공간

다리밑 공간은 교량 밑의 교차조건에 필요한 공간과 유지관리에 필요한 공간을 관련시설 및 설계기준에 따라 합리적으로 정해야 한다. 교차조건이 도로인 경우에는 4.7m 이상, 가급적 5m 이상으로 하고, 하천인 경우에는 계획홍수량에 따라 <표 503.1>의 값을 표준으로 한다. 철도와 교차하는 교량은 궤도에서의 이격거리, 철도의 건축한계 등을 고려하여 지간구성 및 교량높이를 결정하여야 한다.

(2) 경간장

경간장과 계획홍수량의 관계는 별도의 수리검토가 없는 경우 <표 503.2>에 따르는 것으로 하며, 10,000m^3/sec 이상의 하천은 별도로 검토한 후 결정하여야 한다.

<표 503.1> 하천에서의 다리밑 공간

계획홍수량(m^3/sec)	다리밑 공간(m)
200 이하	0.6 이상
200 ~ 500	0.8 ~ 1.0
500 ~ 1,500	1.0 ~ 1.2
1,500 ~ 3,500	1.2 ~ 1.5
3,500 ~ 10,000	1.5 ~ 2.0

<표 503.2> 경간장과 계획홍수량의 관계

계획홍수량(m^3/sec)	경간장(m)
200 ~ 500	20 이상
500 ~ 1,500	30 이상
1,500 ~ 3,500	40 이상
3,500 ~ 10,000	50 이상

503.4 환경 및 미관의 고려

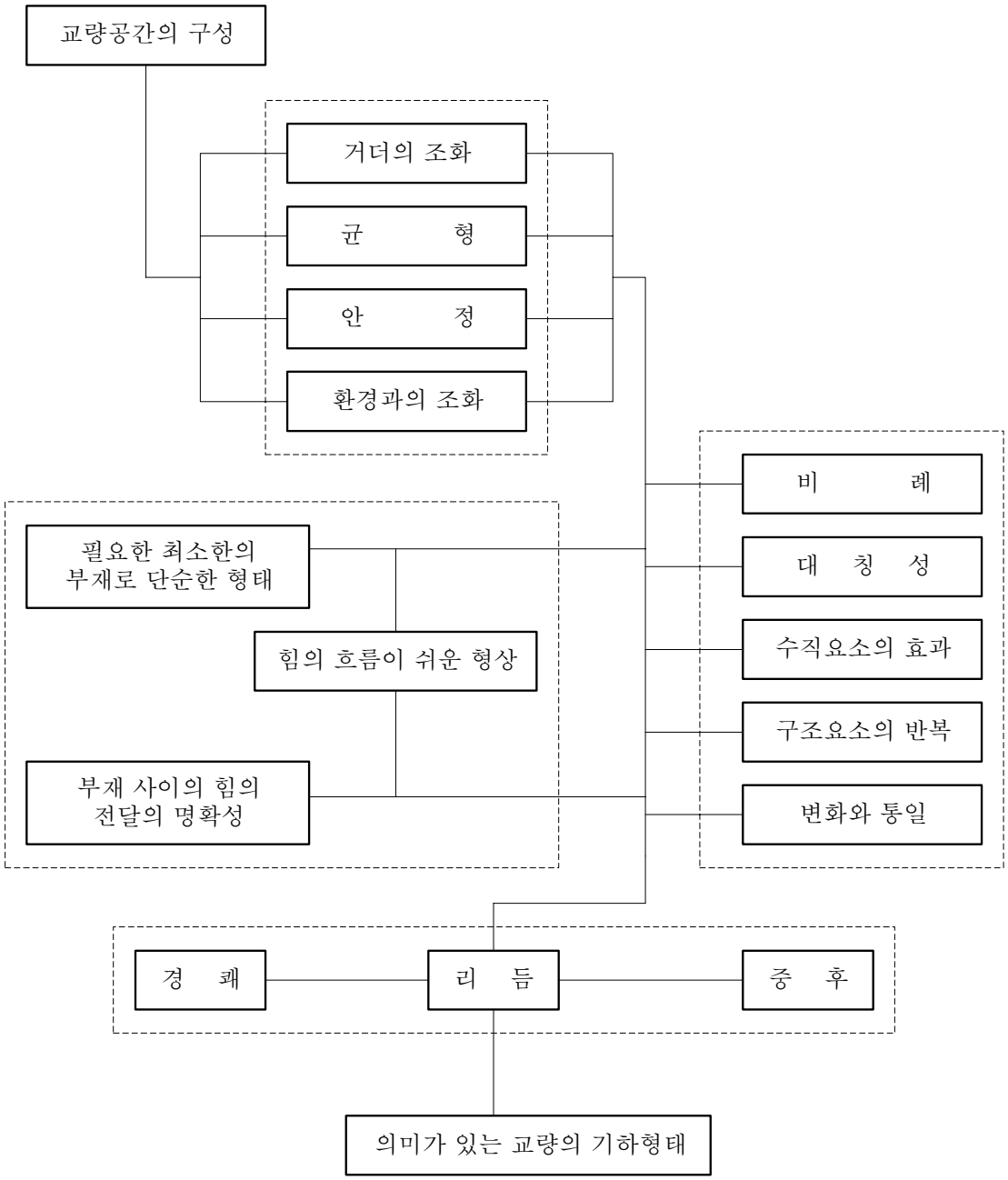
(1) 환경

교량형식 선정시에는 다음 사항에 대해 가교지점이 주위 환경에 미치는 영향을 충분히 검토한 후 형식을 결정하여야 한다.

- 공사중 진동, 소음, 수질오염 등의 영향
- 완성후 교량이 주위환경에 미치는 소음, 진동 및 수리적 변동 등의 영향
- 자연과 어우러진 환경친화성 여부

(2) 미관

교량을 계획, 설계할 경우에는 가설지점의 의미와 아름다움을 나타낼 수 있는 형태를 검토하며, 구조물과 주위경관과의 조화, 구조물의 형태 및 규모, 구조물의 질감 및 색채를 고려하는 것이 바람직하다. 이를 위한 교량의 미관 설계 과정은 <그림 503.1>과 같다.



<그림 503.1> 교량의 미관설계 과정

504
교량 조사 계획

504.1 교량의 조사

1.1 조사

조사의 기본 방침으로서는 합리적인 또는 경제적인 계획, 설계, 시공을 하기 위하여 필요한 조건을 명확히 하는 것으로 구조물의 규모, 중요성 및 가설지점의 상황 등을 충분히 고려한 후, 공학적으로 필요한 정도, 내용을 갖는 것이어야 한다.

교량은 계획과 설계, 제작과 가설로부터 유지 또는 보수까지를 포함하는 광범위한 내용으로 되어 있는데, 교량의 계획, 설계, 시공시 잘못된 조사에 의해 공기 및 공사비등에 차질을 가져오는 경우가 종종 있으므로 사전 조사가 절대적으로 중요하다.

1.2 조사내용과 조사목적

조사의 내용은 교량의 규모에 따라 다른데, 교량계획에 필요한 조사 내용으로서는 <표 504.1>에 나타내었다. 조사가 불충분한 경우 공사단계에 커다란 변경을 하는 일이 없도록 교량의 규모에 맞는 조사계획을 사전에 세우는 일이 필요하다. 특히, 기초의 조사가 불충분하여 커다란 변경을 해야하는 경우가 종종 발생하기 때문에 기초 조사시 보링(boring)의 간격 및 심도는 특히 신중하게 결정할 필요가 있다.

1.3 조사의 단계

교량을 계획하는데 있어서의 조사는 크게 나누어, 예비조사와 본조사로 나뉘고, 본조사는 구조물의 설치구역을 대상으로, 1차조사, 2차조사와 현지의 진척도에 맞게 나누어진다.

계획, 설계, 시공의 각단계에서의 필요한 조사의 위치선정을 조사계통흐름도에서 표시하면 <그림 504.1>과 같다.

교량의 계획에서 시공까지 각 단계별로 크게 계획조사, 설계조사, 시공조사를 해야 하며 계획, 설계, 시공의 각 단계에 관련된 조사를 살펴보면 다음과 같다.

① 계획단계

가교지점, 교장, 형하 공간과 구조형식 등을 결정하기 위해서 필요한 조사이다.

② 설계단계

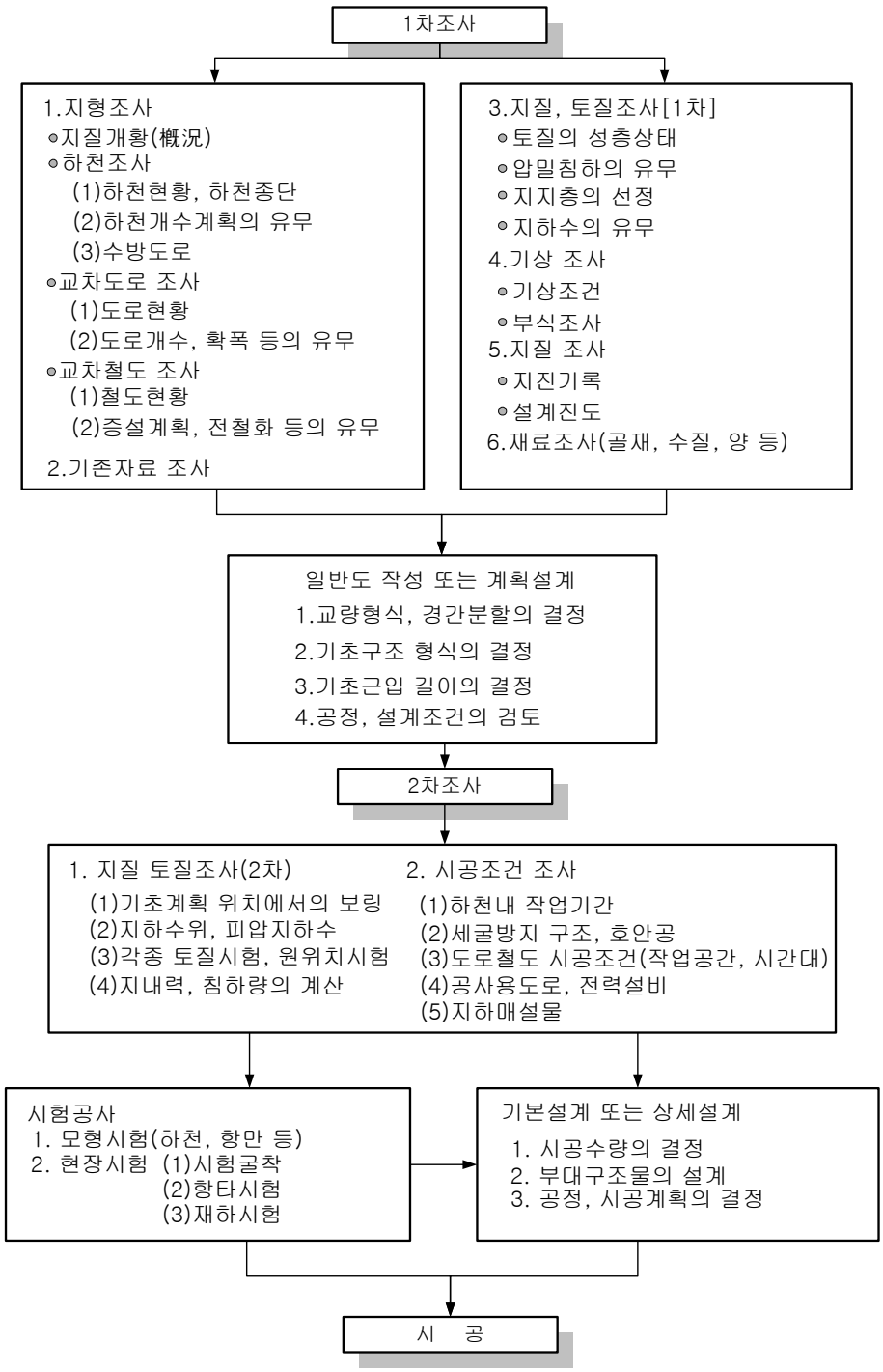
계획조사의 결과를 바탕으로 결정된 조건 아래서 공사 발주에 필요한 교량의 설계도를 작성하기 위한 조사이다.

③ 시공단계

상세 설계된 결과를 가지고 시공에 앞서 행하는 조사로 설계에 적용된 조건이 현장에 적합 한지를 조사 확인하기 위한 것과 시공상 문제가 될 점들을 공사에 앞서 미리 파악하기 위한 것이 있다.

<표 504.1> 조사의 종류

조사종류	조사내용	조사목적
지형조사	· 지형도 작성	· 가교위치, 교장, 경간분할 결정
지질조사	· 지질역사, 지질자료 수집 · 지질도 작성 · 물리탐사	· 가교위치, 교장, 경간분할 결정 · 하부공 위치선정과 구조계획
교차도로 조사	· 교차도로, 철도 등의 폭원, 교량높이, 건축한계, 횡단구조, 종단구배 등의 상황 및 장래계획 조사 · 지하매설물의 조사	· 교장, 경간분할, 다리밑 공간, 시공방법의 선정
하천조사	· 하천횡단형상 · 유량, 유속, 고수위, 저수위, 하천구배 등의 형상 및 장래계획 조사 · 항해선박의 조사	· 경간분할, 다리밑 공간, 교각형상, 기초, 근입깊이의 선정 · 시공시기, 시공방법의 선정 · 월류방지 소요단면의 결정 · 경간분할, 교각형상, 시공방법의 결정, 충돌하중의 결정
바다,하천,늪의 조사	· 조수위, 파고, 조류조사 · 항해선박의 조사	· 계획고의 선정 · 수압, 시공시기, 시공방법의 선정 · 경간분할, 교각형상, 충돌하중의 결정
토질조사	· 보링 · 표준관입시험 · 토질시험 · 테스트 핏트 · Pressure Meter 테스트 · 지하수위 측정	· 하부공의 설계 · 지지층의 선정, 허용지내력의 결정 · 흙의 단위중량결정, 내부마찰각, 점착력의 결정 · 압밀침하량의 산정 · 시공방법의 선정
지진조사	· 지진기록, 지진피해 기록의 조사 · 지반상시 미진동측정 · 지진기반의 확인	· 설계진도의 결정
기상조사	· 기상관측 기록의 조사 (풍속, 온도, 강설, 천후)	· 온도변화의 결정, 풍하중, 설하중의 결정 · 피복두께의 선정, 재료의 선정, 시공시기 및 방법의 선정
교량 첨가물 조사	· 교량위치의 지하매설물조사 · 상수도, 하수도, 전력, 통신선 등의 신설계획 조사	· 첨가물의 치수, 중량의 결정
부식조사	· 기존구조물의 부식상황 조사 · 유기물 조사, pH조사 · 도료에 대한 시험	· 사용재료의 선정 · 방청방법의 결정
재료조사	· 콘크리트용 골재 및 물의 품질과 물량조사	· 재료의 선정 및 적산
시공조사	· 재료운반로의 현황조사	· 운반될 최대부재의 결정 · 공사용 도로계획



주1) 지형, 지질의 변화가 심한 가교지점 및 기초의 규모가 대단히 큰 경우에 대해서는 상당수의 보링을 실시하고, 지층의 넓이, 흐름등을 명확히 할 필요가 있음.
주2) 필요에 따라 시공조건 조사는 1차조사만으로 하는 경우가 있음.

<그림 504.1> 조사계통 흐름도

504.2 시험

지반을 구성하는 흙은 다른 토목재료에 비해서 아주 복잡하므로 본조사를 실시할 때에는 하부구조의 형식이나 규모 등에 따라 적절한 시험방법을 선택하지 않으면 안된다. 본조사에서 시행되는 시험방법과 대상지반에서 구해지는 사항과의 관계는 <표 504.2>와 같다.

<표 504.2> 조사방법과 조사사항과의 관계

시험 방법	시험방법의 분류	대상지반의 종류	시료의 흐트러짐(○) 않흐트러짐(×)	조사 위치	조사 사항
1.보링	1)로타리보링	모든지반		원위치	토질, 층두께,
	2)오가보링	점성토,사질토		원위치	심도,지하수위
	3)왓슈보링	연약점성토, 연약사질토		원위치	
2.샘플링	1)코아튜브	모든지반	(○)	원위치	시료채취,RQD(암)
	2)고정피스톤식 신월샘플러	연약점성토, 사질토	(×)	원위치	시표채취
	3)데니손샘플러	경질점성토	(×)	원위치	시표채취
	4)샌드샘플러	사질토	(×)	원위치	시표채취
	5)호일샘플러	연약점성토	(×)	원위치	시표채취
	6)삼중관식 샘플러	사질토	(×)	원위치	시표채취
	7)블록샘플링	점성토, 암	(×)	원위치	시표채취
3.사운딩	1)표준관입시험	사질토,점성토		원위치	N치, 시료채취
	2)베인전단시험	연약점성토		원위치	전단강도
	3)정적 콘 관입 시험	연약점성토, 사질토		원위치	콘 지지력
	4)스웨덴식 샘플링	사질토,점성토		원위치	관입저항치

<표 504.2> 조사방법과 조사사항과의 관계 [계속]

시험 방법	조사방법의 분류	대상지반의 종류	시료의 흐트러짐(○) 않흐트러짐(×)	조사 위치	조사 사항
4. 토	1)물리특성시험	모든지반	(○) (×)	실내	입도, 컨시스턴시, 밀도, 함수비
질	2)일축압축시험	점성토, 암	(×)	실내	일축압축강도, 변형계수
및	3)삼축압축시험	모든지반	(×)	실내	점착력, 전단저항각, 변형계수
암	4)직접전단시험	사질토,점성토	(×)	실내	전단저항각,변형계수
석	5)압밀시험	점성토	(×)	실내	압축지수, 압밀계수, 압밀항복응력
시					
험	6)초음파 전파시험	암	(×)	실내	초음파 전파속도
	7)크리프시험	암	(×)	실내	크리프계수
	8)침수붕괴도 시험	암	(×)	실내	침수 붕괴도
5.지하수 조사	1)지하수위측정	모든지반		원위치	지하수위
	2)간극수압측정	모든지반		원위치	간극수압
	3)유향,유속측정	모든지반			유향, 유속
	4)투수시험	모든지반		원위치	투수계수
				실내	
	5)호일샘플러	연약점성토	(×)	원위치	시표채취
	6)삼중관식 샘플러	사질토	(×)	원위치	시표채취
	7)블록샘플링	점성토, 암	(×)	원위치	시표채취

<표 504.2> 조사방법과 조사사항과의 관계 [계속]

시험 방법	시험방법의 분류	대상지반의 종류	시료의 흐트러짐(○) 않흐트러짐(×)	조사 위치	조사 사항
6. 재하 시험	1)지반의 평판 재하시험	모든지반		원위치	연직지지력, 지반반력계수
	2)공내수형 재하시험	모든지반		원위치	변형계수
	3)말뚝의 연직 재하시험	모든지반		원위치	연직지지력, 말뚝의 축방향 스프링정수
	4)말뚝의 수평 재하시험	모든지반		원위치	지반반력계수
	5)말뚝의 인발 시험	모든지반		원위치	인발 저항력
	6)블록전단시험	암		원위치	점착력, 전단저항각
7. 물리탐사 및 물리검층	1)탄성파 탐사	모든지반		원위치	탄성파속도,지질구조
	2)음파 탐사	모든지반		원위치	탄성파속도,지질구조
	3)전기 탐사	모든지반		원위치	지질구조, 지하수위
	4)속도 검층	모든지반		원위치	탄성파속도,지질구조
	5)PS 검층	모든지반		원위치	탄성파속도,지질구조
	6)전기 검층	모든지반		원위치	지하수위, 지질구조
	7)밀도 검층	모든지반		원위치	밀도, 지질구조

2.1 물리탐사 및 물리검층

물리탐사 및 물리 검층 중 주로 쓰이는 것을 <표 504.3>에 요약하였다. 이들의 탐사 및 검층으로 측정되는 각종 물리량은 지반의 역학적, 공학적 성질을 그대로 나타낸 것이 아니고 어디까지나 전체의 지반 상태를 나타내는 것임을 인식하고 조사를 병용해서 그의 해석에 틀림이 없도록 함이 대단히 중요하다.

<표 504.3> 물리탐사 및 물리검층 방법

구분	측정방법	측정항목	조사사항
물리탐사법 (지표탐사법)	탄성파 탐사	탄성파 속도	지질구조, 기초의 깊이, 지반의 상대적 (硬軟)
	음파 탐사	음향 임피던스	해저지형, 지질구조
	전기 탐사	자연전위, 방사능	지질구조, 지하수위
	기 타	자기량, 방사능	
물리검층법 (공내탐사법)	속도 검증	P파 속도	지층구성, 지반의 상대적경도
	PS 검층	P파 속도, S파 속도	지층구성, 지반의 동적 성질, 지반의 상대적 경연
	전기 검층	자연전위, 비저항	지층구성, 대수층
	밀도 검층	γ선 강도	지층구성, 밀도
	기 타	열중성자, 수온	함수비, 지하수의 용출

505
설계 기본 사항

505.1 개요

본 장에서는 예비 및 기본설계를 통해 최종적으로 결정된 교량의 상세설계를 수행함에 있어서 고려되어야할 구체적인 설계내용 중 가장 기본이 되는 사항에 대해 기술하였다. 특히, 본 장의 대부분 내용은 2000년 개정된 도로교설계기준[이후 도설로 표기] 제2장 설계일반사항의 일부에 해당하는 것으로서 설계기준의 내용과 참고문헌을 바탕으로 정리하고, 설계기준에서 언급되지 않고 있으나 편람을 이용하는 실무설계자의 편의를 위해 필요하다고 판단되는 내용을 추가적으로 기술하였다.

505.2 설계방법 및 설계기준

예전의 설계방법 및 절차는 하중에 의한 작용력의 해석과 재료의 강도에 대한 기술자의 확신에 기초하였으나, 해석기술이 향상되고 재료의 품질관리가 향상됨에 따라 많은 변화를 거치며 발전해 왔다. 종래에는 허용응력설계법(ASD ; Allowable Stress Design)이 유일한 설계법이었으며 현재까지도 많은 부분에서 사용되고 있다. 1960년대 초반부터 강재에는 소성설계법(Plastic Design)이, 콘크리트에는 강도설계법(SD ; Strength Design)이 선진국의 시방서에 채택되기 시작하였고, 1980년대에 이르러 명칭은 다르지만 원칙적으로 구조신뢰성이론에 기초한 동일한 설계이론인 하중저항계수설계법(LRFD ; Load and Resistance Factor Design)과 한계상태설계법(LSD ; Limit State Design)이 미국과 유럽을 비롯한 선진각국의 설계방법으로 일반화되고 있을 뿐만 아니라 이러한 설계법으로 설계기준을 통일하려는 움직임이 국제적으로 활발히 진행되고 있다. 우리나라도 1983년부터 콘크리트 구조물에는 강도설계법을 채택하고, 1996년 발행된 콘크리트표준시방서와 1999년 개정된 콘크리트구조설계기준[이후 콘설로 표기]에서부터는 허용응력설계법을 별도설계법으로 칭하였다. 강구조물에 대해서는 아직도 허용응력설계법이 사용되고 있으나, 1996년 발행된 도로교표준시방서의 부록에 하중저항계수설계법을 도입하여 참고하도록 하였다. 그러므로 하중저항계수설계법/한계상태설계법이 곧 실무에서 사용될 전망이므로 실무설계기술자들의 관심과 교육이 요구된다.

따라서, 본 절에서는 교량설계에 사용되는 설계법의 기초개념과 관련 설계기준에 대하여 간략하게 요약하였다.

2.1 설계방법

2.1.1 허용응력설계법

허용응력설계법은 재료가 공칭항복응력에 도달하면 파손이 일어난다고 하는 기준과 이상적인 Hooke의 법칙, 즉 선형탄성거동에 의한 구조물내의 응력이 허용응력을 넘을 수 없다는 가정에 기초를 두고 있어 일명 탄성설계법(elastic design)이

라고 한다. 허용응력은 재료와 단면성질·사용하중·2차응력·잔류응력 등에 대해 충분한 여유를 두고 과거의 경험으로부터 결정된다. 일반적으로 사용하중 하에서 구조물이 거의 탄성적으로 거동하는 강구조물의 설계에서는 아직까지 탄성이론에 의한 허용응력설계법이 많이 이용되고 있으며, 재료적 비탄성거동을 하는 콘크리트구조물에서도 ① 변형은 중립축으로부터 거리에 비례하며, ② 콘크리트의 탄성계수는 일정하고, ③ 콘크리트의 휨인장응력은 무시한다는 세 가지 가정을 전제로 하여 콘크리트를 탄성체로 보고 탄성이론을 적용한다.

대부분의 기준은 항복점의 응력을 적당한 안전율로 나누어줌으로써 최대허용응력을 결정하고 있는데, 이때의 안전율은 식(505.1)과 같이 규정함으로써 얻어진다. 설계기준이 이와 같이 안전율 n(≥1)만큼 허용되는 응력의 한계를 설정했기 때문에 허용응력설계라고 불리게 되었다.

$$\text{안전율} = \frac{\text{저 항}(R)}{\text{하중효과}(Q)} = \frac{\sigma_y}{\sigma_y/n} = n \qquad (505.1)$$

허용응력설계법은 초창기의 정역학적 정정인 강구조물의 설계를 위해 개발되었으므로 다른 재료와 다른 수준의 여용성(redundancy)을 갖는 구조에는 명료하게 반드시 적용되지는 않는다. 따라서, 철근콘크리트구조물의 설계에서는 재료의 비선형·비탄성거동을 이해하고 오래 전부터 강도설계법을 사용했다. 이는 콘크리트의 물성이 시간과 주어진 조건에 따라 변하는 비선형재료이므로 재료물성을 정확히 추정할 수 없지만 조건에 무관하게 비교적 정확히 규명할 수 있는 유일한 값이 한계상태에서의 콘크리트강도, 즉 극한강도(ultimate strength)이기 때문이다.

허용응력설계법과 관련하여 도·설 2.2에서도 강교와 강재교각은 이 설계법을 따르고 콘크리트교와 콘크리트 교대, 교각 등은 원칙적으로 강도설계법을 따르되 허용응력설계법도 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 허용응력설계법을 적용함에 있어 필요한 하중조합과 증가계수는 도·설 2.2.2.2에 강교, 콘크리트교, 하부구조로 분류되어 제시되어 있다. 또한, 강교, 콘크리트교, 하부구조의 각 재료 및 조건별 허용응력이 각각 도·설 2.2.2.3, 2.2.2.4, 2.2.2.5에 주어져 있으며 각 교량형식에 대한 보다 상세한 허용응력설계법에 관련된 기준은 강교의 경우 도·설 3.3에, 콘크리트교의 경우 도·설 4.5.2에 자세히 제시되어 있다. 또한 콘크리트와 철근에 관한 허용응력이 콘·설 부록 Ⅰ.3에도 제시되어 있다.

2.1.2 강도설계법

강도설계법은 앞에서 간단하게 언급한 바와 같이 부재의 파괴상태 또는 파괴에 가까운 상태에 기초한다. 따라서, 구조부재의 가장 중요한 성질은 그 부재의 실제 강도이다. 그러나 설계시 사용하는 공칭강도는 이러한 실제 강도와 다를 수밖에 없으며 이는 실제 시공된 구조물과 실재료강도의 불가피한 변동성과 기타의 여러 가지 이유 때문이다. 뿐만 아니라 작용하는 하중 역시 어떤 범위의 오차를 가지고 어느 정도 예측할 수 있을 뿐이지 작용하중의 실제 크기는 알지 못한다.

따라서, 구조부재가 안전하기 위해서는 공칭강도 S_n은 예상되는 강도의 결함을 고려하여 강도감소계수 ϕ에 의하여 감소시켜야 하고, 설계기준에 규정된 설계하중 L은 있을 수 있는 초과하중을 고려하여 하중계수 γ에 의하여 증가시켜야 한다. 따라서 식(505.2)와 같은 관계가 만족되어야 한다.

$$\phi S_n \geq \Sigma \gamma_i L_i = \gamma_d D + \gamma_l L = U \qquad (505.2)$$

여기서, D : 사용 고정하중(service dead load)에 의한 단면력, L : 사용활하중(service live load)에 의한 단면력, γ_d, γ_l : 각 하중에 대한 하중계수, ϕS_n: 설계강도(design strength), U: 소요강도(required strength) 또는 계수화된(factored) 설계작용외력.

사용하중(service load)이란 하중계수를 곱하기 전의 하중으로서 공용하중 또는 실작용하중이라고도 하며 허용응력설계법에서의 설계하중과 같은 크기의 하중이다. 설계강도가 계수화된 작용외력(극한외력)보다 크게 되도록 설계하는 것이 강도설계법(strength design)이라 한다. 소요강도는 사용하중에 하중계수를 곱해서 구하기 때문에 이 설계법을 하중계수설계법(load factor design)이라고도 한다.

설계를 위한 하중조합 규정과 강도감소계수 및 하중계수는 도·설 2.2.3.2와 콘·설 3.3.2에 자세히 제시되어 있다. 또한 설계강도는 도·설 2.2.3.3에 제시되어 있으며 콘크리트 교량에 대한 강도설계법에서는 공칭강도에 설계기준에서 제시하고 있는 강도감소계수를 곱하여 산정하고, 강교에 대한 하중계수설계법에서는 계산된 최대공칭강도를 그대로 설계강도로 사용한다. 콘크리트교에 대한 보다 상세한 강도설계법에 관련된 기준은 도·설 4.4와 콘·설 제3장에서 자세히 기술하고 있다.

마지막으로 강도설계법에 의해 설계된 휨부재는 그 강도외에 반드시 사용성 검토를 수행하여 이의 충족여부를 확인하여야 한다. 따라서 휨부재는 사용하중 작용시 처짐과 하중의 반복작용에 따른 철근의 피로응력 한계, 또는 휨균열을 조절하기 위한 철근의 배근조건도 충족되어야 한다.

2.1.3 하중저항계수설계법

구조물 또는 부재가 파괴 또는 파괴에 가까운 상태로 되어 그 기능을 완전히 상실한 상태를 극한한계상태(ultimate limit state)라 하고, 처짐·균열·진동 등이 과대하게 일어나서 정상적인 사용상태의 필요조건을 만족하지 않게 된 상태를 사용한계상태(serviceability limit state)라고 한다. 하중저항계수설계법(LRFD)과 한계상태설계법(LSD)은 이러한 한계상태로 되는 확률이 구조물의 모든 부재가 동일한 한계상태 파괴모드에 대하여 일정한 값이 되도록 하려는데 목적을 두고 있다.

구조물에 작용하는 실제의 하중과 재료의 실제강도는 일정한 분포형태를 가지는 무작위변량이라는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러므로 작용하중 및 재료강도의 변동을 고려하여 확률론적으로 구조물의 안전성을 평가해야 옳을 것이다. 이러한 뜻에서 하중저항계수설계법이나 한계상태설계법은 안전성의 척도를 구조물이 파괴될 확률(파괴확률), 또는 구조물이 파괴되지 않을 확률(신뢰성)로 나타내려고 한다. 그렇기 위해서는 작용하중이나 재료강도 등에 관한 통계자료가 충분히 있어야 한다. 그러나 현재의 단계에서는 그러한 자료가 충분하지 못하기 때문에 하중과 재료강도에 대한 부분안전계수(partial safety factor)를 도입함으로써, 이 방법에로의 접근을 시도하고 있다.

이와 같이 부분안전계수를 사용하는 설계기준은 미국의 AISC, NBS(National Bureau of Standards), 캐나다의 CSA(Canadian Standard Association)과 같이 전체저항에 대한 하나의 안전계수(total resistence factor)를 사용하는 하중저항계수설계법과 일본의 JCSS(Joint Committee on Structural Safety), 유럽의 BS(British Standards), CEB (Comit' Europeen du Beton)와 같이 부분저항계

수(partial resistance factor)를 사용하는 한계상태 설계법으로 크게 구분할 수 있다. 우리나라에서는 1996년 발행된 도로교표준시방서에 하중저항계수설계법을 부록으로 수록하고 있다. 따라서 국내에서는 하중저항계수법을 기준으로 하고 있으므로 이에 대해 기술하기로 한다.

하중저항계수설계법은 종래의 허용응력 중심의 허용응력설계법과는 달리 부재나 상세요소의 극한내력강도 또는 한계내력에 기초를 두고, 극한 또는 한계상태하중에 의한 부재력이 부재의 극한 또는 한계내력을 초과하지 않도록 하는 설계법이다. 따라서 이 설계법은 종래의 강도설계법이나 소성설계법과 설계기준의 형식(design format)면에서는 유사하다. 그러나 하중 및 저항관련 안전모수, 즉 계수안전율의 결정을 종래의 설계법에서 하듯이 주로 오랜 기간의 경험에만 의존하여 확정적으로 결정하지 않고 하중과 구조저항 관련 모든 불확실성을 확률·통계적으로 처리하는 구조신뢰성이론에 기초하여 보정(calibration)함으로써 구조물의 일관성 있는 적정수준의 안전율 즉, 신뢰성(reliability)을 갖도록 하는 보다 합리적이고 새로운 설계법이다.

하중저항계수설계는 일반적으로 다음과 같은 과정들을 거치게 된다.

① 구조물에 발생 가능한 모든 한계상태 관련 파괴(파손)모드의 확인
② 각 한계상태에 적정한 안전수준의 결정
③ 설계자에 의한 지배적이고 주요한 한계상태를 고려한 구조단면의 설계

보통 구조물의 설계문제에서 ①, ②단계는 한계상태설계 관련 기준에 구조물의 종류·형태·특성별로 규정되어 있다. 즉, 설계기준에는 어떠한 한계상태를 고려하여 특정한 구조물이나 구조요소를 어떻게 설계할 것인가와 이에 따른 하중 및 저항관련 안전계수들이 함께 규정되어 있다. 대개의 경우, 설계자는 일반적으로 고려되는 구조물의 가장 위험한 한계상태의 결정으로부터 출발하면서 ③단계만 수행하면 된다. 설계기준에 규준화되어 있지 않은 비정상적인 구조물에 대해서는 설계자가 세 가지 단계를 모두 고려해야 한다. 실제로 한계상태설계는 종래의 구조설계절차와 동일한 것이지만, 다만 여러 가지 지배적이거나 주요한 거동과 관련된 한계상태를 모두 구체적으로 고려하고 체계적으로 정식화하여 설계한다는 점이 재래적인 설계법과는 다르다.

이상과 같이 설계함에 있어 구조안전도는 구조수명간에 실제로 작용하는 하중들의 조합에 대해 구조물에 발생하는 최대외력과 구조물의 실제강도 및 강성이 결정하는 최소저항의 크기와 이들과 관련된 모든 불확실성의 정도에 따라 달라지며 어느 경우에도 구조수명간의 실제하중과 실제저항을 정확하게 예측하기란 절대로 불가능하다. 따라서 구조물의 안전도나 사용성은 구조물의 실제강도나 저항이 구조수명간에 작용하는 최대하중을 지지할 수 있는 확률 즉, 신뢰도에 기초하여 표현할 수밖에 없다. 따라서 구조물의 안전도와 신뢰도는 불확실량들의 통계적인 추정에 기초한 확률모형, 즉 구조신뢰성방법에 의해 파괴확률 p_f(또는 신뢰성지수 β)를 척도로 하여 해석해야 하고, 종래에 사용해오던 공칭안전율도 신뢰성지수와 저항 및 하중의 통계적 불확실량(평균·분산)의 함수로 유도되어야 한다.

구조안전도를 추정함에 있어 또 하나의 복잡한 요인은 구조물의 안전도가 구조요소의 동일한 파괴모드에 대해서도 구조물이 정정 또는 부정정의 여부에 따라서도 크게 달라진다는 점이다. 뿐만 아니라 대개의 경우 각종 하중과 저항에 관한 불확실량이나 이들의 모델링, 해석 및 예측관련 불

확실량 등의 통계적 자료가 부족하여 정확하게 추정할 수 없는 반면에 계산되는 확률값은 저항의 매우 작은 값과 하중의 매우 큰 값 부근에서 이들의 극치분포에 따라 매우 민감하게 변한다. 더구나 이들 저항과 하중관련 불확실성 중에는 인적오차(human error, gross error)와 같이 통계적으로나 확률적으로 취급하기 곤란한 것들도 있다. 따라서 구조물의 실제 안전도·실제 신뢰도는 미지인 경우가 대부분이며, 대개는 인적오차문제는 별도로 취급하고, 공칭안전도·공칭신뢰도를 구조신뢰성방법으로 해석하여 구조안전도를 추정한다.

하중저항계수설계법과 관련한 실제적 설계기준은 1996년 발행된 도로교표준시방서 부록에 각 구조물별로 자세히 기술되어있으므로 참조하여 활용하면 된다.

2.2 설계기준

국내에서는 건설교통부를 비롯한 정부기관의 주관으로 공공단체나 학회 등의 관련 관리주체가 설정되어 구조물 설계 및 시공시 적용할 각종 설계기준 및 지침 등과 건설공사기준을 제정하고 있다. 건설교통부의 건설기술개발 및 관리 등에 관한 운영규정(1998)에 따르면 건설공사와 관련된 기준은 사실상 법령이나 다름없는 건설공사기준과 하위기술기준(표준도·지침·편람·기술지도서·업무요령 등)으로 나누어진다. 각종 건설공사에 사용되는 설계기준은 그 종류가 다양하고 지속적으로 개정작업을 거치며 세부적인 사항들에 대한 기준들이 계속해서 제정되고 있다. 이러한 건설공사기준 가운데 교량의 설계 및 시공과 관련된 건설공사기준을 정리하면 <표 505.1>과 같다. <표 505.2>에는 건설공사기준 이외에 교량의 설계와

<표 505.1> 건설공사기준 종류별 관리주체 및 소관부서

관리주체	시공기준	설계기준	소관부서 (건설교통부)
대한토목학회	토목공사표준일반시방서	-	건설기술심의관실
한국콘크리트학회	콘크리트표준시방서	콘크리트구조설계기준 (공통기본분야)	건설기술심의관실
대한건축학회	-	강구조한계상태설계기준	주택도시국
한국지반공학회	-	구조물 기초설계기준	건설기술심의관실
한국도로교통협회	도로공사표준시방서 도로교표준시방서	도로설계기준 도로교설계기준	도로심의관실
한국강구조학회	-	강구조설계기준 (토목분야)	건설기술심의관실
한국지진공학회	-	주요시설물 내진설계기준	건설기술심의관실 도로심의관실 주택도시국 등
한국도로공사	고속도로공사전문시방서	-	건설기술심의관실 (도로심의관실지원)

[건설교통부, 건설기술개발 및 관리 등에 관한 운영규정, 1998.2]

관련하여 활용되고 있는 일반적인 하위기술기준의 종류를 나타내고 있다.

구조물의 설계자는 대상구조물에 따라 반드시 적용해야하는 법규와 시방서 및 관련기준 등의 규정에 적합하도록 설계하게 된다. 그러나 이러한 기준이나 시방서 등은 설계를 위한 일반적인 지침만을 제공할 뿐이며 올바른 설계를 위해서는 올바른 판단과 경험이 필요하다. 이는 아무리 많은 기준이 제정된다고 하더라도 모든 상황을 전부 포함할 수는 없기 때문이다.

<표 505.2> 교량관련 설계기준의 분류

분류	해 당 기 준	발행기관	발행 또는 최근개정년도
기준	• 구조물기초 설계기준	건설부	1987
	• 철근콘크리트구조 계산기준		1997
	• 하중기준		1997
	• 시설물 내진설계기준		1997
	• 도로공사 설계기준	건설교통부	1998
	• 도로교설계기준	한국도로교통협회	2000
	• 콘크리트구조설계기준	한국콘크리트학회	1999
지침	• 도로교 하부구조 설계지침		1997
	• 도로 포장설계/시공지침		1997
	• 강도로교 상세부설계지침	건설교통부	1997
	• 콘크리트 교량의 신축이음장치 설계 및 시공지침		예정
	• 토목섬유 설계 및 시공지침		예정
	• 고속도로 교량의 내진설계지침	한국도로공사	1997
	• 콘크리트교량 가설 특수공법 설계·시공·유지관리지침	건설부	1994
편람	• 철근콘크리트 설계예제집	한국콘크리트학회	2000
	• 도로설계 실무편람	한국도로공사	1996
	• 강구조 설계편람	한국강구조학회	1995
	• 시설물 설계 및 시공편람	서울특별시	1995
요령	• 도로설계요령	한국도로공사	1992
	• 강도로교 시공·검사 실무요령	건설교통부	1995
	• 교좌장치의 종류 및 관리요령	건설교통부	1995
지도서	• 프리플렉스합성형의 설계제작 및 시공지도서	대한토목학회	1993(개정중)
표준도	• 도로교 상부구조 표준도		1979
	• 도로교 하부구조 표준도		1979
	• 조립식 가교각 표준도		1975
	• 고속도로 건설공사 표준도	한국도로공사	1999

505.3 설계하중

교량을 설계할 때 고려해야할 하중은 교량을 구성하고 있는 각 부재에 응력이나 변형을 발생하게 하는 모든 외력과 내력으로, 시공중에 작용하는 하중과 완성 후에 작용하는 모든 하중이다. 구조물 설계에 있어서 부재의 응력을 정확하게 계산해야 함은 물론이지만 이에 못지 않게 중요한 것은 정확한 하중의 산정이다. 구조물에 작용하는 하중은 일반적으로 관련 설계기준에 명시되어 있다. 그러나 이러한 설계기준은 설계를 위한 일반적인 지침만을 제공할 뿐이며 올바른 설계를 위한 하중의 산정은 설계자의 올바른 판단과 경험이 필요하다.

이러한 하중들 중에서 교량설계에 적용하는 하중은 교량의 형식이나 교량 가설지점의 조건에 따라 하중의 종류 및 하중조합 조건이 적절히 결정되어야 하며, 하중의 특성·작용빈도·교량에 미치는 영향 등에 따라 주하중·부하중·특수하중 등으로 분류한다. 교량의 주요부분 설계시 항상 작용하고 있다고 볼 수 있는 하중을 주하중이라 하고, 항상 작용한다고 볼 수 없으나 때때로 작용한다고 볼 수 있으며 하중조합시에 반드시 고려해야 하는 하중을 부하중이라 한다. 또 교량 주요부분을 설계할 때 교량의 종류·구조형식·가설지점의 상황 등의 조건에 따라 특별히 고려해야 할 하중을 특수하중이라 한다.

구조물에 작용하는 하중은 고정하중(dead load)과 활하중(live load)으로 대별할 수 있다. 고정하중이란 구조물 자체의 중량을 말하며, 활하중이란 구조물이 완공된 후 그 위에 작용하는 하중이나 작용력을 말한다. 활하중은 차량과 같이 스스로 움직이는 이동하중(moving load)과 기구나 장비 같이 위치를 이동시킬 수 있는 가동하중(moveable load)으로 나누어 생각할 수 있다. 뿐만 아니라 물체의 이동에 의한 충격하중(impact load), 구조물에 작용하는 풍하중(wind load), 설하중(snow load), 지진하중(seismic load) 등도 활하중에 포함된다.

교량의 설계등급에 관한 정의는 활하중에 의해 나타내어진다. 도로교를 설계할 때 쓰이는 활하중은 표준트럭하중(DB-하중) 또는 차선하중(DL-하중), 보도 등의 등분포하중 등이다. DB 및 DL-하중은 미국 도로교설계기준(AASSHTO)에서 제시하고 있는 HS 및 HL-하중과 동일한 형식을 가지고 있다. 단, 과거에는 미국기준의 1등급인 HS-20에 상당하는 총중량 32.4tonf의 DB-18을 1등급으로 사용하였으나 최근에는 차량 중량화 추세를 반영하여 1등급에는 총중량 43.2tonf의 DB-24를 사용하고 있다. 바닥판과 바닥틀에 큰 응력을 발생시키는 하중과 주형에 큰 응력을 발생시키는 하중은 분포범위에 따라 다르므로 바닥판과 바닥틀의 설계에는 일반적으로 DB-하중을 사용하고 주형의 설계에는 DB 또는 DL-하중을 사용한다.

<표 505.3>에는 도·설 2.1에서 규정하고 있는 하중의 종류와 이에 따른 목차를 보여주고 있으므로 해당 내용을 참조하여 적용하면 된다. 콘·설에서는 3.2절에 설계하중의 종류에 대해 간략하게 기술하고 있다. 특히, 도·설 2.1.13의 지진하중은 6장의 내진설계편에서 정하는 규정을 따르도록 정하고 있다. 또한 2등교와 3등교와 같이 작은 트럭하중을 가지고 설계하는 교량에 간혹 대단히 큰 하중이 통과하는 일이 있으므로 초과하중에 대한 검토를 각 설계법에 따라 수행하여야 하는데 허용응력법과 강도설계법에 대한 규정이 도·설 2.1.5에 제시되어 있다.

<표 505.3> 도·설의 하중규정에 관한 목차

하중의 종류	해당 절	하중의 종류	해당 절
주하중(P)		12. 지진의 영향(E)	2.1.13
1. 고정하중(D)	2.1.2	**주하중에 상당하는 특수하중(PP)**	
2. 활하중(L)	2.1.3	13. 설하중(SW)	2.1.14
3. 충격(I)	2.1.4	14. 지반변동의 영향(GD)	2.1.15
4. 프리스트레스(PS)	2.1.6	15. 지점이동의 영향(SD)	2.1.15
5. 콘크리트 크리프의 영향(CR)	2.1.7	16. 파압(WP)	2.1.16
6. 콘크리트 건조수축의 영향(SH)	2.1.7	17. 원심하중(CF)	2.1.17
7. 토압(H)	2.1.8	**특수하중(PA)**	
8. 수압(F)	2.1.9	18. 제동하중(BK)	2.1.17
9. 부력 또는 양압력(B)	2.1.10	19. 가설시하중(ER)	2.1.18
부하중(S)		20. 충돌하중(CO)	2.1.19
10. 풍하중(W)	2.1.11	21. 기타	
11. 온도변화의 영향(T)	2.1.12		

505.4 사용재료

교량의 사용목적을 달성하면서 안전하고 경제적으로 설계하기 위해 설계자는 먼저 구조물에 사용되는 재료의 성질을 충분히 이해하고 있어야 한다. 최근 교량은 여러 종류의 재료를 사용하여 건설되고 있으며, 교량의 각 구성요소마다 최상의 재료를 선정하는 것은 설계자에게 중요한 일이다. 그러므로 서로 다른 재료로 건설되는 두 형식의 교량이 타당성에서 비슷할 경우, 두 형식을 모두 대안으로 설계하여 초기 건설비용뿐만 아니라 유지보수비용을 포함한 교량수명간 총비용을 고려하여 보다 경제적인 교량을 선택하는 것이 중요하다.

강재와 콘크리트는 교량을 건설할 때 사용되는 대표적인 재료들이며, 다른 재료들은 대부분이 난간·교좌장치·신축이음장치 등 교량의 부대시설 등에 사용되고 있다. 최근에는 첨단 복합신소재를 교량의 주 구조재료로 사용하는 경우도 있으나, 인도교와 같은 경량의 교량이나 장대교량의 고강도 신소재 케이블, 프리훼브 상판구조 정도에 그치고 있으며 일반 교량에의 사용은 아직도 실용화 단계에 이르지 못하고 있다.

따라서, 교량의 대표적 구조재료인 콘크리트와 강재의 재료적 성질을 이해하는 것은 매우 중요하므로 각 재료의 기본적인 물성뿐만 아니라 최근 성능과 품질이 눈부시게 발전한 고성능 콘크리트와 고성능 강재의 특성 및 물성에 대해 참고문헌을 통해 충분히 습득하여야 한다.

교량설계시 고려해야하는 각 재료의 일반적인 물성치들은 도·설 2.3과 콘·설 2.2를 참조하고, 도·설의 각 장에 교량형식별로 제시된 추가적인 물성치들을 함께 적용한다.

505.5 신축이음, 받침 및 기타

교량의 신축이음은 다분히 설계적 내용보다는 제품적 사양이 지배적이므로 설계기준의 규정 및 편람에 명문화하여 두기 어렵다. 다만, 신축이음의 형식결정에서 중요한 요소는 교량의 신축량이므로 먼저 신축량으로 형식을 결정하고 동시에 내구성, 평탄성, 배수성과 수밀성, 시공성, 보수성 및 경제성을 종합적으로 고려하여 결정한다. 이 경우 신축량의 산정은 도·설 2.4.2.3의 가동받침의 이동량산정 규정을 따르도록 하고 있다.

받침은 상부구조에서 전달된 하중을 확실히 하부구조에 전달하고 온도변화와 탄성변형에 의한 상부구조의 신축 및 처짐에 의한 회전 등에 충실하게 작동하여야 하며, 지진, 바람 등에 대해서 안전하도록 설계하여야 한다. 받침은 상부구조의 형식, 지간길이, 지점반력, 내구성, 시공성 등에 의해 그 형식과 배치 등이 결정된다. 특히, 곡선교나 사교 등은 지점반력의 작용기구, 신축과 회전방향을 충분히 검토하여 받침의 형식과 배치 등을 결정하여야 한다. 받침에 대한 설계규정은 도·설 2.4.2에 제시되었으므로 참조한다. 뿐만 아니라 본 편람 510장의 신축이음과 받침에 관한 보다 상세한 내용을 참조하면 된다.

교량의 주부재는 아니지만 이용자의 안전과 원활한 교통흐름을 위해 필요한 부대구조물 및 부속시설과 관련하여 각종 설계상 규정이 도·설 2.4에 제시되어 있으며, <표 505.4>에는 부대 및 부속구조물의 종류에 따른 설계기준과 설계요령의 목차를 보여주고 있으므로 해당 내용을 참조하여 적용하면 된다.

<표 505.4> 도·설과 도로설계요령(도·요)의 부대 구조물 및 부속시설에 관한 목차

시설의 종류	도·설	도·요
1. 방호울타리	2.4.3	8-2 6.7
2. 연석	2.4.4	8-2 6.5
3. 배수	2.4.5	8-2 6.6
4. 교면포장	2.4.6	-
5. 부속시설 - 검사로 - 낙교방지장치 - 낙하물방지책 - 중앙분리대 추락방지망	2.4.7	 8-2 6.3 8-2 6.4 8-2 6.8 8-2 6.9
6. 첨가물	2.4.8	-

505.6 교량해석

교량설계란 주어진 하중에 대하여 교량이 파괴되지 않도록 재료, 구조 등을 결정하는 것이다. 따라서, 적절히 가정한 설계하중에 대하여 교량의 거동을 해석하는 것이 설계에 있어서 중요한 부분이다.

최근에 와서 교량구조에 대한 이해가 증가하고 복잡한 계산을 수행할 수 있는 컴퓨터 및 응용프로그램이 널리 보급됨에 따라 교량의 구조거동 해석에 여러 가지의 방법을 적용할 수 있게 되었다. 특히, 다양한 컴퓨터 프로그램이 교량해석용으로 사용되고 있으며, 단순한 공식에서 유한요소법에 이르기까지 다양한 해석법이 프로그램에 사용되고 있다. 또한 교량의 거동에 대한 이론적·실험적 자료가 축적됨에 따라 파괴에 기준하여 설계를 좀 더 실제적으로 하고자 하는 노력이 진행되고 있고 교량의 한계상태설계 개념을 설계기준화하는데 필요한 자료가 축적되고 있다. 교량의 구조가 간단한 경우에는 파괴의 한계상태를 해석하기에 충분한 자료를 얻을 수 있어 소성힌지, 항복선이론 등을 사용할 수 있다. 그러나 최근까지 콘크리트 교량 또는 강교량에 대한 대부분의 설계 또는 해석은 탄성응력-변형율 거동을 가정하는 것에 기초하고 있으며 탄성이론에 의한 해석방법들은 한계상태 해석의 기본적 도구가 되기도 한다. 도로교표준시방서[1996]의 부록 제3장에 구조해석에 대한 규정을 비교적 자세히 제시하고 있으며, 여기에서도 평형조건과 적합조건을 만족시키며 재료의 응력-변형율 관계를 이용하는 어떠한 해석법도 사용할 수 있다고 규정하고 있다.

교량에 작용하는 활하중은 주로 차량하중, 즉 이동하중이다. 따라서, 교량을 설계하기 위해서는

<표 505.5> 교량의 해석방법

구조조건 \ 해석방법		직교성 판이론	직교성 판이론 -설계도표	유한요소	유한대판	격자해석	입체뼈대	유한차분
상판형식	슬래브	○	○	○	○	○		○
	중공슬래브	○	○	○	○	○		○
	슬래브-보			○	○	○		
	합 성	○	○	○	○	○		○
	직교성	○	○	○	○	○		○
	박 스			○	○	△	○	
평면형태	직 교	○	○	○	○	○	○	○
	사 교			○		○	○	○
	곡선교	○		○	○	○	○	○
	임의형태			○		○	○	○
지지형식	단순지지	○	○	○	○	○	○	○
	연속지지	○		○	○	○	○	○
	임의지지			○		○	○	○

각 부재의 거동에 미치는 영향(즉, 변위, 응력, 변형율 등)이 가장 크게 되는 하중의 위치를 찾고 그에 따른 거동을 해석하여야 한다. 이를 위해서는 영향선(influence line)과 포락선(envelop line)이 필요하며, 이에 대한 개념을 각종 참고문헌을 참조하여 충분히 이해해야만 한다.

6.1 해석방법

해석방법은 교량형식, 평면형태, 지지형식 등에 따라 여러 해석방법이 적용될 수 있으며 <표 505.5>에는 조건별로 각 해석방법의 적용성을 비교하여 제시하였다. 또한 이러한 해석방법은 2차원 및 3차원 해석방법으로 분류할 수도 있다. 2차원 해석방법에서는 교량 상판을 판이나 또는 상호연결된 격자로 이상화한다. 판해석을 하는 경우에는 직교성 판방정식을 Fourier급수에 의하여 해석하거나, 유한차분법에 의해 해석할 수 있다. 또한 판이론에 의거한 설계도표를 이용하여 근사해석을 할 수도 있다.

판을 이산화된 유한 크기의 삼각형 또는 사각형의 요소들이 조합된 것으로 모형화하는 유한요소법을 사용하여 교량을 해석할 수 있다. 이 방법에서는 유한요소들이 각 절점에서 연결된 것으로 간주하고 주어진 하중 및 반력과 이에 대응되는 절점변위간의 시스템방정식을 구성하고 이를 해석하여 미지의 절점변위를 구한다. 응력과 변형율은 이 결과에 기초하여 해석될 수 있다. 교량축을 따라 교량지간과 같은 길이를 가진 종방향의 대판으로 교량이 구성된 것으로 가정하는 유한대판법도 유한요소의 일종으로 볼 수 있다. 유한요소법은 3차원해석에 사용될 수 있고, 가장 일반적이고 강력한 전산해석법이며 복잡한 문제에 대해서는 이것이 거의 유일한 방법이 될 수도 있다. 그러나 유한요소법은 요소의 수가 증가함에 따라 계산시간이 증가하여 비경제적일 수도 있다. 따라서, 보다 간단한 문제에 대해서는 다른 방법들이 효율적일 수 있으므로 설계자는 대상교량의 특성에 따라 적절한 해석방법을 선택하여야만 한다.

교량을 상호연결된 보가 강결된 절점에 의하여 연결된 것으로 근사화하는 방법도 일반적이다. 2차원 상판의 경우는 격자해석이 되고, 3차원의 경우는 입체뼈대해석이 된다. 이들 방법은 구조해석의 강성도법에 기준하여 쉽게 전산화할 수 있다.

교량의 동적거동을 해석하기 위하여 구조요소의 강성도, 질량 및 감쇠특성을 모델링하여야 한다. 해석시 사용하는 최소자유도수는 필요한 고유진동수의 개수와 가정된 모드의 정확도를 바탕으로 결정한다. 해석모델과 해석방법의 정확도는 조화있게 고려되어야 한다.

일반적으로 차량이나 풍하중으로 인한 진동의 해석은 교량설계에서 고려하지 않고 있다. 차량이 교량을 통과할 때에는 정적인 상태가 아니지만, 교량을 따라서 차량하중을 여러 위치에 정적으로 재하하여 해석하고 동적효과는 이동차량에 의하여 발생한 동적응답에 관한 충격계수를 적용하여 고려한다. 그러나 유연도가 큰 교량이나 교량의 움직임에 의해서 진동이 발생하는 교량의 길고 가는 부재에서는 동적하중효과가 충격계수를 고려한 허용치를 초과할 수 있다. 진동이 문제가 되는 대부분의 교량에서는 구조물 자체의 자연감쇠력은 매우 작은 것으로 알려져 있다. 따라서 유연도가 큰 연속교량은 특히 진동에 취약한 구조적 특성을 가질 수 있으므로 이동 활하중에 대한 동적해석이 필요하게 된다. 또한 내진해석은 505.9장의 내용에 따라 적절하게 동적해석을 수행한다.

6.2 해석프로그램

전술한 바와 같이, 최근 컴퓨터의 눈부신 발전과 더불어 유한요소법의 이론에 기초한 응용구조해석프로그램이 사용자 위주의 편리한 기법으로 개발됨에 따라 많은 설계자들은 전산화 구조해석을 수행하고 있다. 그러나 대부분의 프로그램은 특정한 가정에 기초하여 작성되었기 때문에 각각의 특성이 있으며 설계자들은 이들 특성을 정확히 파악하고 실무에 적용하여야 할 것이다. 특히, 전산화 구조해석의 결과는 무조건 옳다라는 판단을 하는 경우가 많은데, 유한요소법에 의한 해석의 경우 대상교량의 구조거동에 기초한 구조해석 모델링과 사용 요소(element)에 따라 그 결과의 신뢰성 여부가 다르게 되므로 주의를 기울여야 한다.

이와 같이 구조물의 거동과 해석 및 설계이론에 대한 확실하고 올바른 이해 없이 단순히 응용프로그램의 기교적인 기법만을 익혀 전산화 구조해석을 수행하는 것은 특별히 주의하여야 한다. 또한 구조모델링 방법이나 입력자료에 대한 올바른 검증과 출력결과의 확실한 평가가 없이 컴퓨터 출력결과만 맹신하여서는 안되며 고전적인 구조해석법 또는 다른 전산화 구조해석방법 등으로 재검토하여 확인후 사용하는 것이 바람직하다.

<표 505.6>에는 현재 전산화 구조해석 및 설계에서 흔히 사용하고 있는 상용화된 응용프로그램의 일부 특징에 대해 간략히 비교하여 나타내었다. 전술한 바와 같이 각 응용프로그램은 나름대로의 특성이 있으므로 설계자는 설계하고자 하는 대상교량의 해석 및 설계목적에 따라 각 응용프로그램의 특성에 대한 면밀한 검토를 바탕으로 적절한 프로그램을 이용하여 해석 및 설계를 수행하여야 한다. 또한 일반 설계실무에서 자체적으로 개발하거나 일반적으로 통용되고 있는 소규모 응용프로그램은 신뢰받을 수 있는 학회나 공인 검증기관을 통해 검증을 수행하는 것이 바람직하며 향후 인증제도를 구축하는 방향으로 추진되어야 할 것이다.

<표 505.6> 구조해석 및 설계 응용프로그램의 개략 비교

프로그램	주 요 기 능	비고
ABAQUS	• 선형・비선형 정적 해석, 동적해석 • Transient 비선형 동적해석 • 크리프와 건조수축 해석, 구조진동해석, Fracture mechanics	범 용 설계지원
ADINA	• 2차원, 3차원 선형, 비선형 해석, 접촉문제 해석, 좌굴해석 • 균열 진행을 수반한 파괴해석 • Small & large deformation, Large strain • 온도를 고려한 탄・소성 및 크리프 해석	범 용
ANSYS	• 콘크리트 재료 및 요소의 비선형 해석 • 동적해석, 좌굴해석 및 최적설계 모듈 포함	범 용 설계지원
DIANA	• 콘크리트 및 암반의 균열해석, RC 및 PSC 구조물의 파괴거동 해석 • 장대교량의 동적 비선형 해석, 교량의 시공단계별 해석 • 항만구조물의 내진 해석 • 콘크리트 수화열에 의한 온도 및 균열분포 해석 • 크리프 및 건조수축 해석, 부착 거동을 고려한 철근 및 텐던모델링	범 용 설계지원
GT-STRUDL	• 선형 동적해석, 비선형 정적해석 • 철골 및 콘크리트 구조설계(부재 최적설계, 물량산출)	범 용
LUSAS	• 선형, 비선형 해석 • 시간에 따른 응력 및 변위해석, 비선형-동적해석 • 고유치 해석(좌굴해석, 내진・내풍해석), 피로해석(S-N Curve)	범 용
MARC	• 비선형 접촉해석, Material Library(소성재료, 비금속재료, polymer 등) • 열응력해석, 진동해석, 콘크리트의 균열해석	범 용
MIDAS	• 정・동적해석, P-Delta 해석 • 한국강구조 기준과 AISC(ASD, LRFD)기준에 대한 설계기능	범 용 설계지원
NASTRAN	• 선형 정적해석, 진동해석, 비선형 해석 • 공탄성해석(static aeroelastic, dynamic aeroelastic, flutter 해석) • Adaptive 해석, 설계최적화 • 대형구조물 해석	범 용 설계지원
NISA	• 선형・비선형 정적 해석, 동적해석 • 구조최적설계	범 용 설계지원
RM	• PSC-BOX교량 (FCM, MSS, ILM, FSM공법 등)해석 • 장대교량 해석 및 Steel box 교량해석, 시공 단계별 해석 • 단면 물성치 자동계산, 크리프와 건조수축 해석 • 동적해석, 좌굴해석	교량전용 설계지원
SAP2000	• 하중조합, 이동하중(DB, DL, 철도)에 의한 교량해석 • 비선형 해석(Isolator, Damper, Gap, Hook요소) • 미국, 영국, 캐나다, 유럽기준에 따른 RC 및 철골부재 설계	범 용 설계지원
SFRAME	• 시공단계별 PSC segment 해석	교량전용
TANGO	• 강교량, 콘크리트교량, 강합성교, 사장교 해석 • AASHTO, OHBDC 이동하중 산정, ACI-209, CEB-FIP 기준고려	교량전용

506
강 교

506.1 일반사항

1.1 사용강재

(1) 일반

강판은 KS D 3503(일반구조용 압연강재), KS D 3515(용접구조용 압연강재) 및 KS D 3529 (용접구조용 내후성 열간 압연강재)의 규격을 따른다.

접합용 강재에 대해서는 KS B 1010(마찰접합용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트)의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다.

용접재료에 대해서는 KS D 7004(연강용 피복 아크용접봉), KS D 7006(고장력강용 피복 아크용접봉) 및 KS D 7024(서브머지드 아크용접용 강선 및 용제)의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다.

판의 두께에 따른 강재 종류 선택은 <표 506.1>, <표 506.2> 및 <표 506.3>을 기준으로 함을 원칙으로 한다. 단, 기온이 현저하게 저하되는 지방에서는 강종 선정에 특별한 주의를 기울여야 한다.

(2) 강재 선정의 기본 방침

강교에 사용하는 강재는 <표 506.1>과 아래의 원칙에 따라 가능한 한 저강도인 것을 사용한다.

① A재는 판두께 25mm까지 사용한다.

② B재는 판두께 40mm까지 사용한다.

③ C재는 판두께 40mm 이상의 것에 대해서 적용하며, 50mm 이상의 것에 대해서는 용접구조용 압연강재로 선정한다.

(3) 판두께에 의한 강재의 선정

판두께에 의한 강재의 선정은 통상의 지역의 경우 <표 506.1>을 적용하고, 한냉지에 있어서는 <표 506.2>에 따르는 것이 좋다.

또 특히 최저기온이 -35℃ 이하가 되는 특별한 한냉지의 경우 <표 506.3>을 따른다.

여기에 기술되어있는 내용은 강교 부재에 적용하는 것이며, 받침 혹은 신축장치와 같은 부속물의 제작과 관련해서는 여기의 적용을 받지 않는다.

(4) 2축응력을 받는 강재

2축응력이 지배적인 부재에 사용되는 강판은 크로스롤(2방향롤)재를 쓴다.

(5) 형강의 선정

2차부재의 설계에 있어서는 조립부재를 사용하는 것보다 형강류를 사용하는 것이 좋다.

(6) 부재의 연결용 재료

부재의 현장이음은 원칙적으로 고장력볼트 마찰접합에 의한다. 또 사용하는 고장력볼트의 종류는 F8T 또는 F10T로 한다.

<표 506.1> 판두께에 따른 강재종류 선정기준

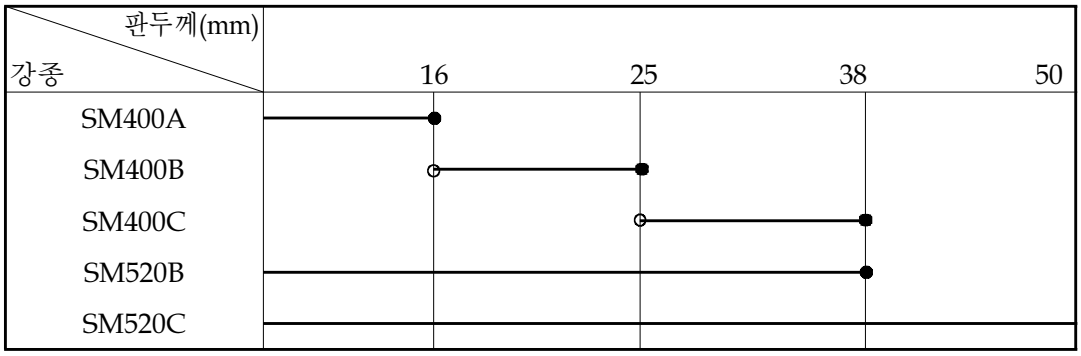
강종 \ 판두께(mm)		6	8	16	25	32	40	50	100
비용접 구조용강	SS400		●						●
용접구조용강	SM400A		●			●			
	SM400B		●				●		
	SM400C		●						●
	SM490A		●		●				
	SM490B		●				●		
	SM490C		●						●
	SM490YA		●	●					
	SM490YB		●				●		
	SM520B		●				●		
	SM520C		●						●
	SM570		●						●
용접구조용강	SMA41A		●		●				
	SMA41B		●				●		
	SMA41C		●					●	
	SMA50A		●	●					
	SMA50B		●				●		
	SMA50C		●					●	
	SMA58		●					●	

주) : 1. 판두께가 8mm 미만의 강재에 대해서는 [도・설 3.6.2.7 강바닥판 구조세목]에 따른다.
2. 판두께 40mm를 초과하는 강재에 대해서는 허용응력 감소를 고려해야 한다.
3. 판두께 25mm로부터 32mm 사이의 SM490YB는 진정 강괴로 제조되어야 한다.

<표 506.2> 한냉지에 대한 강종의 선정

강종 \ 판두께(mm)	25	38	50
SM400A	●		
SM400B	○	●	
SM520B	●	●	
SM520C	●		●

<표 506.3> 특별한 한냉지에 대한 강종의 선정



<표 506.4> 강교에서의 하중조합 및 증가계수

하 중 조 합		증가계수
1	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향	1.15
2	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중	1.25
3	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향+풍하중	1.35
4	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+풍하중+제동하중	1.25
5	주하중+주하중에 해당하는 특수하중+충돌하중	1.70
6	풍하중만 고려할 때	1.20
7	제동하중만 고려할 때	1.20
8	활하중 및 충격 이외의 주하중+지진의 영향	1.50
9	가설시 하중	1.25

(7) 강판두께의 허용차

강판두께의 허용차는 KS D 3500(열간 압연 강판 및 강대(鋼帶)의 형상, 치수, 중량과 그 허용오차)에 있는 두께 허용오차를 적용하고 (-)측의 허용오차가 공칭두께의 1% 이내이어야 한다.

1.2 허용응력

(1) 일반

주하중 및 부하중에 해당하는 특수하중을 고려하는 경우의 허용응력은 <표 506.4>에 주어진 증가계수를 다음의 (2), (3)에 규정한 허용응력에 곱한 값으로 한다.

가설하중으로 시공시의 풍하중 또는 지진의 영향을 고려하는 경우에는 [도·설 2.2.2.2]에서 규정하고있는 증가계수와는 별도로 가교지점의 조건, 시공중의 구조물 등을 고려하여 가설시의 계산과 본 구조물에 대한 계산에 사용되는 여러 조건이 같은 정밀도를 갖는 경우에만 적용한다. 특히 가설기간이 길거나 또는 국내에서 최초로 시도되는 신공법에서는 허용응력을 증가시키지 않는다.

(2) 강재의 허용응력

구조용 강재의 허용축방향인장응력 및 허용축방향휨인장응력은 <표 506.5>와 같다.

<표 506.5> 구조용 강재의 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(kgf/cm^2)

강 종 / 강재 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40 이하	1,400	1,900	2,100	2,600
40 초과 75 이하	1,300	1,750	2,000	2,500
75 초과 100 이하			1,950	2,450

<표 506.6> 구조용 강재의 허용전단응력 및 허용지압응력(kgf/cm^2)

응력종류		판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM409Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
전단응력		40 이하	800	1,100	1,200	1,500
		40 초과 75 이하	750	1,000	1,150	1,450
		75 초과 100 이하			1,100	1,400
지압응력	강판과 강판사이의 지압응력	40 이하	2,100	2,800	3,100	3,900
		40 초과 75 이하	1,950	2,600	3,000	3,750
		75 초과 100 이하			2,900	3,650
	헬츠공식으로 산출하는 경우	40 이하	6,000	7,000	-	-
		40 초과 75 이하				
		75 초과 100 이하				

<표 506.7> 용접부의 허용응력(kgf/cm^2)

강 종			SM400 SMA41		SM490		SM490Y SM520 SMA50			SM570 SMA58		
강판두께(mm)			40 이하	40 초과 100 이하	40 이하	40 초과 100 이하	40 이하	40 초과 75 이하	75 초과 100 이하	40 이하	40 초과 75 이하	75 초과 100 이하
공장용접	전단면 용입 홈용접	압축응력	1,400	1,300	1,900	1,750	2,100	2,000	1,950	2,600	2,500	2,450
		인장응력	1,400	1,300	1,900	1,750	2,100	2,000	1,950	2,600	2,500	2,450
		전단응력	800	750	1,100	1,000	1,200	1,150	1,100	1,500	1,450	1,400
	필렛용접, 부분용입 홈용접	전단응력	800	750	1,100	1,000	1,200	1,150	1,100	1,500	1,450	1,400
현 장 용 접			공장용접에 준하는 품질을 얻을 수 없는 경우에 있어서 상기의 90%로 한다.									

구조용 강재의 허용축방향압축응력은 식 (506.1)에 의해 산출한 값으로 한다.

$$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao} \quad (506.1)$$

여기서,

f_{ca} : 허용축방향압축응력(kgf/cm^2)

f_{cag} : 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(kgf/cm^2)([도・설 3.3.2.1 참조])

f_{cal} : 국부좌굴에 대한 허용응력 (kgf/cm^2)([도・설 3.4.2.1, 3.4.2.2 및 3.4.2.3 참조])

f_{cao} : 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력의 상한값(kgf/cm^2) ([도・설 3.3.2.1 참조])

구조용 강재의 허용전단응력 및 허용지압응력은 <표 506.6>과 같다.

(3) 용접부 및 이음용 강재의 허용응력

용접부의 허용응력은 <표 506.7>과 같으며, 고장력볼트의 허용응력은 <표 506.8>, <표 506.9>, <표 506.10> 및 <표 506.11>과 같다.

<표 506.8> 마찰이음용 고장력볼트의 허용응력 (kgf)(1볼트 1마찰면 마다)

볼트등급 / 나사호칭	F 8 T	F 10 T	S 10 T(주)
M 20	3,100	3,900	3,900
M 22	3,900	4,800	4,800
M 24	4,500	5,600	5,600

(주) S 10 T : T/S 볼트의 기계적 성질에 따른 등급을 나타내는 기호

<표 506.9> 지압이음용 고장력볼트의 허용전단응력(kgf/cm^2)

볼트의 등급	B 8 T	B 10 T
허용전단응력	1,500	1,900

<표 506.10> 지압이음용 고장력볼트의 허용지압응력(kgf/cm^2)

모재 및 거세트판의 강종 / 강재 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM409Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40 이하	2,400	3,200	3,600	4,600
40 초과 75 이하	2,200	3,000	3,400	4,400
75 초과 100 이하			3,300	4,300

<표 506.11> 앵커볼트 등의 허용응력(kgf/cm^2)

응력종류	부재종류	SS400	SM 30C	SM 35C
전단응력	앵커볼트	600	700	800
	핀	1,000	1,200	1,400
	다듬볼트	900	1,080	1,200
휨 응 력	핀	1,900	2,300	2,600
지압응력	다듬볼트	2,100	2,500	2,800
	핀(회전을 동반하지 않는 경우)	2,100	2,500	2,800
	핀(회전을 동반하는 경우)	1,050	1,250	1,400

(4) 허용피로응력

반복응력을 받는 부재와 이음부의 설계시 최대응력이 앞에서 언급한 기본허용응력을 초과하지 않아야 하며, 또한 응력범위는 <표 506.12>에 규정된 허용피로응력범위를 초과하지 않아야 한다.

설계시 최대응력범위의 반복횟수는 교통량과 하중조사 및 특별한 고려사항이 없으면 <표 506.13>에 따른다.

허용피로응력은 활하중이나 풍하중을 포함하는 하중조합에 대해 적용한다.

고정하중과 풍하중의 조합에 따른 응력반복 횟수는 특수한 경우를 제외하고는 10만회로 한다.

<표 506.12> 허용피로응력범위

상세범주	허용응력범위 f_{sr}(kgf/cm^2)(3)			
	10만회	50만회	200만회	200만회 이상
다재하경로구조(1)				
A	4,420	2,600	1,680	1,680
B	3,440	2,030	1,260	1,120
B′	2,740	1,610	1,010	840
C	2,500	1,470	910	700 840(4)
D	1,960	1,120	700	490
E	1,540	910	560	310
E′	1,120	640	400	180
F	1,050	840	630	560
단재하경로구조(2)				
A	3,510	2,030	1,680	1,680
B	2,740	1,610	1,120	1,120
B′	2,180	1,260	770	770
C	1,960	1,120	770 840(4)	630 770(4)
D	1,540	910	560	350
E(5)	1,190	700	420	160
E′	840	490	280	90
F	840	630	490	420

주) : 1) 한부재의 파괴로 인하여 전체적인 파괴가 일어나지 않도록 한 구조물
2) 한부재의 파괴만으로 전체 구조가 붕괴되는 구조물
3) 응력범위는 최대응력과 최소응력의 대수차를 의미한다.
4) 거더 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접의 경우
5) 단재하 경로 구조물의 경우 플랜지의 두께가 2cm 이상이면 부분 용접한 덮개판을 사용하지 않는다.

<표 506.13> 응력 반복횟수

주부재(종방향)		
도로의 종류	트럭하중	차선하중[1]
고속도로, 국도 및 주간선도로	2백만[2]	50만
기타도로	10만	10만
윤하중을 받는 횡방향 부재와 상세부		
도로의 종류	트럭하중	
고속도로, 국도 및 주간선도로	2백만 이상	
기타도로	50만	

주) : 1) 종방향 부재는 트럭하중에 의해 반드시 검토해야 한다.
2) 표준트럭하중 1차선 재하시의 경우에도 반드시 피로검토를 해야하며, 이 경우 설계응력반복회수는 2백만회 이상으로 한다.

1.3 구조계산

(1) 계산이론

계산이론은 격자이론을 따르는 것을 원칙으로 한다. 다만 단순한 형태의 교량, 그리고 검토를 위한 경우에는 Guyon-Massonet이론에 따라도 좋다.

(2) 계산모델

구조계에 적합한 구조모델을 선정하여야 한다. 특히 사교의 경우에는 지점부 수직브레이싱 및 지점 위의 수직브레이싱을 포함한 해석모델로 해석한다.

(3) 하중분배

하중분배를 하면 불리한 경우를 제외하고는 일반적으로 하중분배를 한다.

(4) 가정 강도

계산에 사용하는 주거더 및 분배 수직브레이싱의 가정 강도와 실 부재의 강도차이는 5% 이하로 하는 것이 좋다.

(5) 가정 고정하중

가정 고정하중과 실 고정하중과의 차이는 5% 이하로 하는 것이 좋다.

1.4 브레이싱

(1) 일반

교량에서는 수평브레이싱 및 수직브레이싱을 설치하는 것을 원칙으로 한다. 특히 2거더 플레이트거더교에서는 수평브레이싱을 두어 횡방향 좌굴 위험에 충분한 주의를 기울여야 한다.

(2) 수직브레이싱과 수평브레이싱의 구조

복사재(復斜材) 형식의 수직브레이싱 또는 수평브레이싱을 사용할 경우에는 부재의 교점을 서로 연결하여야 한다.

브레이싱으로 사용하는 I형강의 최소치수는 75mm×75mm로 한다.

(3) 지점부 브레이싱

교량의 지점부에서는 원칙적으로 상부 브레이싱에 작용하는 전 횡하중을 받침부에 원활하게 전달할 수 있는 지점부 브레이싱(교문브레이싱 포함)을 두어야 한다.

1.5 연결

1.5.1 일반

(1) 부재연결 일반

부재의 연결은 작용응력에 대해여 설계하는 것으로 한다.

주요 부재의 연결은 작용응력에 대해 설계하는 외의 경우라도 모재 전강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계한다. 단, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다.

부재의 연결부 구조는 다음의 사항을 만족하도록 설계하여야 한다.

① 연결부 구조가 단순하여 응력전달을 확실히 할 것

② 구성하는 각 재편에 있어서 가능한 한 편심이 일어나지 않게 할 것

③ 유해한 응력집중이 생기지 않을 것

④ 유해한 잔류응력이나 2차응력이 생기지 않도록 할 것

⑤ 연결부에서 단면이 변하는 경우 작은 단면을 기준으로 연결의 제규정을 적용하여야 한다.

(2) 용접, 고장력볼트의 병용

부재의 연결에 용접과 고장력볼트를 병용하는 경우에는 다음의 규정을 따라야 한다.

① 홈용접을 이용한 맞대기이음과 고장력볼트의 마찰이음 병용 및 응력 방향에 평행한 필렛용접과 고장력볼트 마찰이음을 병용하는 경우에는 이들이 각각 응력을 분담하는 것으로 본다. 단, 그 분담의 상태에 대해서는 충분한 검토를 통해 적용한다.

② 응력과 직각방향인 필렛용접과 고장력볼트 마찰이음은 병용하여서는 안 된다.

③ 용접과 고장력볼트의 지압이음을 병용해서는 안된다.

1.5.2 용접이음

(1) 용접의 종류와 적용

용접선에 직각방향으로 인장응력을 받는 이음에는 전단면 용입홈용접을 사용함을 원칙으로 하며, 부분용입홈용접을 하여서는 안 된다.

플러그(plug)용접과 슬롯(slot)용접을 주요 부재에 사용해서는 안된다. 부득이 사용할 경우에는 응력의 전달을 고려하여야 한다.

여기에 언급되지 않은 용접이음의 분류 및 표시방법은 [강도로교상세부설계지침]의 부록 I에 따른다.

(2) 용접부의 유효 두께

응력을 전달하는 용접부의 유효 두께는 이론상의 목두께로 한다([도·설 3.5.2.2 참조]).

전단면 용입홈용접의 목두께는 <그림 506.1>과 같이 취하고 두께가 서로 다를 경우에는 얇은 부재의 두께로 한다.

<그림 506.1> 전단면 용입홈용접의 목두께

부분 용입홈용접의 목두께는 <그림 506.2>와 같은 용입 깊이로 한다.

<그림 506.2> 부분 용입홈용접의 목두께

필렛용접의 목두께는 <그림 506.3>과 같이 이음의 루트를 꼭지점으로 하는 이등변 삼각형의 높이로 한다.

(a) 등각의 경우

(b) 부등각의 경우
(s : 크기, a : 목두께)
<그림 506.3> 필렛용접의 목두께

(3) 용접부의 유효길이

용접부의 유효길이는 이론상의 목두께를 가지는 용접부의 길이로 한다. 다만, 전단면 용입 홈용접에서, 용접선이 응력방향에 직각이 아닌 경우에는, 실제적인 유효길이를 응력에 직각인 방향에 투영시킨 길이로 할 수 있다.

필렛용접에서 끝돌림용접을 실시할 경우에는 끝돌림용접길이는 유효길이에 포함시키지 않는다.(<그림 506.4>, <그림 506.5> 및 <그림 506.6> 참조).

<그림 506.4> 용접의 유효길이

<그림 506.5> 용접의 유효길이

<그림 506.6> 용접의 유효길이

(4) 필렛용접의 치수

필렛용접은 등치수로 하는 것을 원칙으로 한다.

주요 부재의 응력을 전달하는 필렛용접의 치수는 다음의 제한 내에 있는 것을 표준으로 한다. 다만, 모재 최소치수가 8mm 이상인 경우에는 필렛용접 치수를 6mm 이상으로 한다.

$$t_1 > S \geq \sqrt{2\,t_2} \qquad (506.2)$$

여기서,

t_1 : 얇은 쪽의 모재의 두께(mm)

S : 치수(mm)

t_2 : 두꺼운 쪽의 모재의 두께(mm)

S : 크기, a : 목두께, c : 덧살

<그림 506.7> 용접의 크기

(5) 필렛용접의 최소 유효길이

주요 부재의 필렛용접 유효길이는 필렛용접의 크기 S의 10배 이상, 80mm 이상으로 한다.

(6) 맞대기용접 이음

단면이 차이가 나는 주요 부재의 맞대기 이음에 있어서는 두께 및 폭을 서서히 변화시켜 길이방향의 경사가 1/5 이하가 되게 한다.

<그림 506.8> 단면이 다른 주요 부재의 맞대기 이음

(7) 겹침이음

응력을 전달하는 겹침이음에서는 2줄 이상의 필렛용접을 하는 것을 원칙으로 하고, 겹침길이는 얇은 부재 두께의 5배 이상 되게 하여야 한다. 축방향력을 받는 부재의 겹침이음에서, 측면 필렛용접 만을 사용하는 경우에는 다음의 규정을 만족하여야 한다.

① 용접선의 간격은 얇은 쪽 강판 두께의 16배 이하로 함을 원칙으로 한다. 단, 인장력만을 받는 경우 용접선의 간격을 얇은 쪽 두께의 20배 이하로 한다. 부득이 20배를 초과하는 경우에는 판의 솟음을 방지하는 대책을 강구하여야 한다.

② 필렛용접의 길이는 용접선의 간격보다 크게 하여야 한다.

$l > 5t$
l : 부재의 겹침길이
t : 얇은쪽 판두께

(a) 겹이음

$l > b$
$b < 16t$ 혹은 $20t$)
l : 부재의 겹침길이
t : 얇은쪽 판두께

(b) 축방향력을 받는 부재끝의 겹이음

<그림 506.9> 겹침이음의 필렛용접

(8) T이음

T이음에 쓰이는 필렛용접 또는 부분용입홈용접은 이음의 양쪽에 배치하여야한다. 다만, 횡방향의 변형에 대해서 저항할 수 있는 구조일 때는 한쪽만으로도 좋다.

<그림 506.10> T이음

재편의 교각이 60°미만이거나, 또는 120°를 초과하는 T이음에서는 전단면용입홈용접을 쓰는 것을 원칙으로 한다.

필렛용접 또는 부분용입홈용접을 사용하는 경우에는 응력의 전달을 기대할 수 없다.

<그림 506.11> 교각이 60°미만 또는 120°를 초과하는 T이음

(9) 축방향력 또는 전단력을 받는 용접이음의 응력

이음에 축방향력 또는 전단력이 작용하는 경우의 용접부에 생기는 응력은 식 (506.3)에 의해 계산하며, 다만 필렛용접 및 부분 용입홈용접의 경우에 생기는 응력은 작용하는 힘의 종류에 관계없이 항상 전단응력을 받는 것으로 보고 식 (506.4)로 계산한다.

$$f = \frac{P}{\Sigma a l} \quad (506.3)$$

$$\nu = \frac{P}{\Sigma a l} \quad (506.4)$$

여기서,

f : 용접부에 생기는 수직응력 (kgf/cm^2)

ν : 용접부에 생기는 전단응력 (kgf/cm^2)

P : 용접부에 작용하는 외력(kgf)

l : 용접의 유효길이(cm)

a : 용접의 유효두께(목두께)(cm)

(10) 휨모멘트를 받는 용접이음부의 응력

휨모멘트를 받는 용접이음부에 생기는 응력은 다음 식으로 계산한다.

· 전단면 용입홈용접

$$f = \frac{M}{I} y \quad (506.5)$$

· 필렛용접

$$\nu = \frac{M}{I} y \quad (506.6)$$

여기서,

f : 용접부에 생기는 수직응력 (kgf/cm^2)

ν : 용접부에 생기는 전단응력 (kgf/cm^2)

M : 용접부의 설계에 쓰이는 휨모멘트($kgf \cdot cm$)

I : 목두께를 이음면에 전개한 단면의 중립축 둘레의 단면2차 모멘트(cm^4)

y : 목두께를 이음면에 전개한 단면의 중립축에서 응력을 계산하는 점까지의 거리(cm)

(11) 용접이음부의 합성응력의 검토

축방향력, 휨모멘트 및 전단력을 동시에 받는 용접이음에서는 식 (506.7) 또는 식 (506.8)을 만족하여야 한다.

· 전단면 용입홈용접

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu_s}{\nu_a}\right)^2 \leq 1.2 \qquad (506.7)$$

· 필렛용접

$$\left(\frac{\nu_b}{\nu_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu_s}{\nu_a}\right)^2 \leq 1.0 \qquad (506.8)$$

여기서,

f : 축방향력과 휨모멘트에 의한 수직응력(kgf/cm^2)

f_a : 허용인장응력(kgf/cm^2)

ν_b : 축방향력과 휨모멘트에 의한 전단응력(kgf/cm^2)

ν_s : 전단력에 의한 전단응력 (kgf/cm^2)

ν_a : 허용전단응력(kgf/cm^2)

1.5.3 고장력볼트 이음

(1) 일반

고장력볼트의 이음에는 마찰이음, 지압이음 및 인장이음이 있다. 지압이음은 우리나라의 경우 사용 예가 없으나 마찰이음에 비해 허용응력을 50% 높게 잡아 어느 정도 유효한 이음이지만 주요부재에는 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다. 인장이음은 앵커부재 또는 받침부의 고정, 라멘 모서리 등에 사용한 예가 있으나 볼트에 일어나는 부가응력의 정도, 이음부의 강성, 이음부재편에 일어나는 응력상태 등의 변동폭이 이음부의 구조세목 여하에 따라 매우 커서 일반적인 기준을 제시할 단계가 아니다. 따라서 고장력볼트의 이음은 마찰이음을 원칙으로 한다.

(2) 볼트, 너트 및 와셔

마찰이음에 쓰이는 볼트, 너트 및 와셔는 KS B 1010에 규정된 제1종 및 제2종의 M20, M22 및 M24를 사용하는 것을 표준으로 한다.

(3) 볼트의 허용력

본 설계편람의 "1.2 허용응력 (3) 용접부 및 이음용 강재의 허용응력"의 <표 506.8>에 따른다.

(4) 볼트의 구멍

부재의 순단면적을 산정하는 경우의 볼트구멍의 직경은 접합법에 따라 적절한 형태의 것을 정한다.

(5) 볼트의 중심간격

볼트의 최소중심간격은 <표 506.14>에 나타낸 값을 표준으로 한다. 단, 특별한 경우에는 볼트직경의 3배까지 작게 할 수 있다.

<표 506.14> 볼트의 최소 중심간격(mm)

볼트의 호칭	최소 중심간격
M24	85
M22	75
M20	65

고장력볼트의 최대중심간격은 <표 506.15>에 나타낸 값 중에서 작은 것을 택하여야한다.

<표 506.15> 볼트의 최대 중심간격(mm)

볼트의 호칭	최대 중심간격		
	p		g
M24	170	12t 지그재그인 경우 : $15t - \frac{3}{8}g$ 단 12t 이하	24t 단, 300 이하
M22	150		
M20	130		

여기서, t : 외측판 또는 형강의 두께(mm)
p : 볼트의 응력방향의 간격(pitch)(mm)
g : 볼트의 응력에 직각방향의 간격(gauge) (mm)

인장부재의 누빔볼트의 응력방향의 최대 중심간격은 <표 506.15>의 규정에도 불구하고 24t로 한다. 단, 300mm를 초과하지 않도록 한다.

<그림 506.12> 볼트의 피치와 간격

<그림 506.13> 누빔볼트의 간격

(6) 연단거리

볼트구멍의 중심으로부터 판의 연단까지의 최소거리는 <표 506.16>에 나타낸 값으로 한다.

<표 506.16> 볼트구멍의 중심으로부터 연단까지의 최소거리(mm)

볼트의 호칭	최소 연단거리	
	전단연, 수동개스절단연	압연연, 다듬질연, 자동개스절단연
M24	42	37
M22	37	32
M20	32	28

볼트구멍의 중심으로부터 연단까지의 최대거리는 표면의 판두께의 8배로 한다. 단, 150mm를 넘어서는 안 된다.

(7) 볼트의 최소 개수

이음에는 한 볼트무리에 최소 2개 이상의 고장력볼트를 사용하여야 한다.

<그림 506.14> 1개의 볼트 무리

(8) 볼트의 설계

① 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우

$$\rho = \frac{P}{n} \leq \rho_a \qquad (506.9)$$

여기서,

ρ : 볼트 1개에 작용하는 힘(kgf)

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kgf)

P : 축방향력(kgf)

n : 볼트의 개수

② 휨모멘트가 작용하는 판을 연결하는 경우

$$\rho = \frac{M}{\Sigma y_i^2} y_i \leq \frac{y_i}{y_n} \rho_a \qquad (506.10)$$

여기서,

ρ : 볼트 1개에 작용하는 힘(kgf)

ρ_a : 볼트 1개의 허용응력(kgf)

M : 휨모멘트(kgf · cm)

y_i : 볼트로부터 중심축까지의 거리(cm)

Σ : 접합선 한쪽 편에 있는 볼트군의 집합

y_n : 가장자리의 볼트의 중심축으로부터의 거리. 다만, 같은 연결부의 플랜지를 볼트로 연결한 경우에는 중심축으로부터 플랜지의 압축연 또는 인장연까지의 거리(cm)

③ 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결하는 경우

$$\sqrt{(\rho_P + \rho_m)^2 + \rho_s^2} \leq \rho_a \qquad (506.11)$$

여기서,

ρ_p : 축방향력에 의한 볼트 1개의 작용력(kgf)

ρ_m : 휨모멘트에 의한 볼트 1개의 작용력(kgf)

ρ_s : 전단력에 의한 볼트 1개의 작용력(kgf)

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(kgf)

④ 휨에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 경우

$$\rho_h = \frac{VQ}{I} \frac{p}{n} < \rho_a \qquad (506.12)$$

여기서,

ρ_h : 수평방향으로 연결하는 볼트에 작용하는 힘(kgf)

V : 계산하는 단면에 작용하는 전단력(kgf)

Q : 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선의 외측의 단면1차모멘트(cm^3)

I : 부재의 총단면의 중립축에 대한 단면2차모멘트(cm^4)

p : 볼트의 피치(cm)

n : 접합선 직각방향의 볼트의 수

ρ_a : 볼트 1개의 허용응력(kgf)

(9) 이음판의 설계

① 인장력이 작용하는 판의 이음판은 아래의 (10)에서 규정하는 순단면에 생기는 응력이 허

용응력 이하가 되도록 설계하여야 한다.

② 압축력이 작용하는 판의 이음판은 총단면에 생기는 응력이 [도·설 3.3.2.1]에 규정된 허용압축응력의 상한값 이하가 되도록 설계하여야 한다.

③ 휨모멘트가 작용하는 판의 이음판은 식(506.13)을 만족하도록 설계하여야 한다.

$$f = \frac{M}{I} y \le f_a \qquad (506.13)$$

여기서,

f : 이음판의 연단에 생기는 응력 (kgf/cm^2)

M : 이음판에 작용하는 휨모멘트 ($kgf \cdot cm$)

I : 부재의 중립축에 관한 이음판의 총단면의 단면2차모멘트 (cm^4)

y : 부재의 중립축으로부터 이음판의 연단까지의 거리(cm)

f_a : [도·설 3.3.2.1]에 규정된 허용응력(kgf/cm^2)의 상한값(본 설계편람의 "1.2 허용응력" 참조)

(10) 순단면적의 계산

① 인장재의 순단면적은 재편의 순폭과 판두께의 곱으로 한다. 이 경우 재편의 순폭은 그 총폭으로부터 볼트구멍에 의해 잃은 폭을 뺀 값으로 한다.

② 부재의 순단면적을 산정할 때의 볼트구멍의 지름은 볼트의 공칭지름에 3mm를 더한 값으로 한다.

③ 볼트를 엇갈리게 체결한 재편의 순폭은 총폭으로부터 고려하는 단면의 최초의 볼트구멍에 대해 그 볼트구멍의 지름을 공제하고, 이하 순차적으로 각 볼트구멍에 대해 다음 식으로 구한 w를 공제한 값으로 한다.

$$w = d - \frac{p^2}{4g} \ (mm) \qquad (506.14)$$

여기서,

d : 볼트구멍의 지름(볼트의 공칭지름+3mm)(mm)

p : 하중이 작용하는 방향의 엇갈린 볼트의 중심간격(mm)

g : 하중이 작용하는 방향과 직각인 방향의 간격(mm)

④ T형, H형 등의 조립단면의 순단면적은 각 재편마다 위의 방법으로 구한 순단면적의 총합으로 하고, 압연형강의 경우에도 이것에 준해야 한다. 다만, L형강, ㄷ형강에서는 <그림 506.15>와 같이 전개한 모양에 대하여 순단면적을 산출한다.

<그림 506.15> L형강의 전개방법

1.5.4 연결 위치

연결위치는 기본적으로 <그림 506.16>에 표시된 위치가 바람직하며, 천공에 의한 단면보강을 하지 않아도 좋을 위치를 선정하는 것이 좋다. 수직브레이싱의 간격 및 배치, 중간 보강재 배치 등과의 중첩을 피하도록 한다.

<그림 506.16> 연결 위치

1.6 부재에 관한 일반사항

1.6.1 총칙

(1) 2차응력

일반적으로 교량구조에 있어서는 2차응력의 발생이 부득이 하나 응력계산 시에는 이를 무시한다. 따라서 구조의 각 부재는 부재의 편심, 격점의 강성, 단면의 급변, 가로보의 처짐, 부재길이의 변화에 의한 바닥틀의 변형, 자중에 의한 부재의 처짐 등의 영향에 의해 생기는 2차응력이 될 수 있는 한 작아지도록 설계하여야 한다.

(2) 부재의 세장비

부재의 세장비는 <표 506.17>에 표시된 값 이하라야 한다.

<표 506.17> 부재의 세장비

부 재		세장비(l/γ)
압축부재	주요부재	120
	2차부재	150
인장부재	주요부재	200
	2차부재	240

여기서,
l : 인장부재의 경우 골조길이, 압축부재의 경우 유효좌굴길이(cm)
γ : 부재 총단면의 단면회전반경(cm)

여기서 주요부재란 주구조와 바닥틀을 말하며, 2차부재란 주요부재 외의 2차적인 기능을 가진 부재를 말한다.

수직브레이싱이나 수평브레이싱은 주요 부재로서의 기능을 부여하지 않을 때는 2차부재로 보아 설계해도 되지만, 교량을 입체적으로 해석하여 설계하는 경우의 수평브레이싱이나 수직브레이싱은 2차부재로 다루어서는 안 된다.

1.6.2 축방향 인장력을 받는 골조 부재

(1) 유효단면적

인장부재의 유효단면적은 순단면적으로 한다(본 설계편람의 1.5.3 (4) 및 (10) 참조).

(2) 편심에 의한 유효단면적 감소

L형강 및 ㄷ형강을 거세트플레이트의 편측에만 설치하는 경우 편심의 영향을 고려하여 설계한다. 단, 통상의 경우 그 유효단면적으로부터 돌출다리길이의 1/2을 뺀 단면으로 산정한다(<그림 506.17> 참조).

<그림 506.17> L형강의 유효 단면적

그러나 트러스의 상부브레이싱 등에서 종종 볼 수 있는 거세트 편측에 부착된 2쌍의 L형강

이 타이플레이트 등으로 연결되어 있고 편심을 고려할 필요가 없는 경우에는 전순단면적을 유효로 보아도 좋다(<그림 506.18> 참조).

<그림 506.18> 타이플레이트에 연결된 L형강의 유효단면적

2쌍의 L형강이 하나의 거세트플레이트의 양측에 부착된 인장재에서는 전순단면적을 유효로 보아도 좋다(<그림 506.19> 참조).

<그림 506.19> 거세트 양측에 부착된 경우의 L형강 유효단면적

이상의 규정은 세장비의 산정시에는 고려할 필요가 없으며, 단면2차반경은 부재의 총단면적에 대해 산출해도 좋다.

1.6.3 축방향 압축력을 받는 골조 부재

(1) 압축응력을 받는 판 및 보강판

압축응력을 받는 양연지지판의 두께는 <표 506.18>, 압축응력을 받는 보강된 판에 대해서는 <표 506.19>의 값 이상으로 하여야 한다. 다만 가설시에만 일시적으로 압축응력을 받는 경우의 판두께는 식 (506.15), 그리고 보강된 판의 판두께는 식 (506.16)을 만족하여야 한다.

$$t \geq \frac{b}{80i} \qquad (506.15)$$

다만, $t \geq \frac{b}{220}$

여기서, t : 판두께(cm)

b : 판의 고정연 사이의 거리(cm)

i : $i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0$, 응력구배계수

ϕ : 응력구배, $\phi = \frac{f_1 - f_2}{f_1}$

f_1, f_2 : 각각 판의 양연에서의 응력(kgf/cm^2)

<표 506.18> 압축응력을 받는 양연지지판의 최소 판두께(cm)

강 종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40 이하	$\frac{b}{56i}$	$\frac{b}{48i}$	$\frac{b}{46i}$	$\frac{b}{40i}$
40 초과 75 이하	$\frac{b}{58i}$	$\frac{b}{50i}$		
75 초과 100 이하			$\frac{b}{48i}$	$\frac{b}{42i}$

<표 506.19> 압축응력을 받는 보강된 판의 최소 판두께(cm)

강 종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40 이하	$\frac{b}{56\,i\,n}$	$\frac{b}{48\,i\,n}$	$\frac{b}{46\,i\,n}$	$\frac{b}{40\,i\,n}$
40 초과 75 이하	$\frac{b}{58\,i\,n}$	$\frac{b}{50\,i\,n}$		
75 초과 100 이하			$\frac{b}{48\,i\,n}$	$\frac{b}{42\,i\,n}$

단, $f_1 \geq f_2$이며 압축응력을 정(+)으로 한다(<그림 506.20> 참조).

<그림 506.20> 압축과 휨에 의한 연응력

<그림 506.21> 판의 고정연 사이의 거리

$$t \geq \frac{b}{80\,i\,n} \qquad (506.16)$$

여기서, t : 보강된 판의 판두께(cm)

b : 보강된 판의 폭(cm)

n : 종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수($n \geq 2$)(<그림 506.22> 참조)

$i = 0.65(\frac{\phi}{n})^2 + 0.13(\frac{\phi}{n}) + 1.0$

응력구배계수,

ϕ : 응력구배, $\phi = \frac{f_1 - f_2}{f_1}$

f_1, f_2 : 각각 보강된 판의 양연의 응력(kgf/cm^2)

단, $f_1 \geq f_2$이며 압축응력을 정(+)으로 한다(<그림 506.23> 참조).

<그림 506.22> 보강된 판의 전폭

<그림 506.23> 보강된 판의 연응력

보강재로 보강된 판에 대해서는 다음의 규정을 만족하여야 한다.

1) 종방향 보강재의 강종은 보강되는 판의 강종과 동등 이상의 것이어야 한다.

2) 4)항에 의해 산출된 종방향 보강판 1개의 단면2차모멘트 I_l 및 단면적 A_l은 각각 식 (506.17) 및 식 (506.18)을 만족하여야 한다.

$$I_l \geq \frac{bt^3}{10.92}\gamma_l^* \qquad (506.17)$$

$$A_l \geq \frac{bt}{10n} \qquad (506.18)$$

여기서, t : 보강된 판의 두께(cm)

b : 보강된 판의 폭(cm)

n : 종방향 보강재에 의해서 나누어지는 패널의 수

γ_l^* : 3)항에 의해 산출되는 종방향 보강재의 소요강비

3) 종방향 보강재의 소요강비 γ_l^*는 다음과 같이 산출한다.

① $\alpha \leq \alpha_o$이면서 4)항에 의해 산출된 횡방향 보강재 1개의 단면2차모멘트 I_l이 식 (506.20)을 만족하는 경우

$$\begin{aligned}\gamma_l^* &= 4\alpha^2 n(\frac{t_0}{t})^2(1+n\delta_l) - \frac{(\alpha^2+1)^2}{n} \quad (t \geq t_0)\\ &= 4\alpha^2 n(1+n\delta_l) - \frac{(\alpha^2+1)^2}{n} \quad (t < t_0)\end{aligned} \qquad (506.19)$$

$$I_l \geq \frac{bt^3}{10.92}\cdot(\frac{1+n\gamma_l^*}{4\alpha^3}) \qquad (506.20)$$

② 횡방향 보강재가 없거나 ①의 규정을 만족하지 않는 경우

$$\begin{aligned}\gamma_l^* &= \frac{1}{n}\left[\left\{2n^2(\frac{t_0}{t})^2 \times(1+n\delta_l)-1\right\}^2-1\right] \quad (t \geq t_0)\\ &= \frac{1}{n}\left[\{2n^2(1+n\delta_l) -1\}^2-1\right] \quad (t < t_0)\end{aligned} \qquad (506.21)$$

여기서, α : 보강판의 형상비, $\alpha = \frac{a}{b}$ (<그림 506.24> 참조)

α_o : 한계 형상비, $\alpha_0 = \sqrt[4]{1+n\gamma_l}$

a : 횡방향 보강재의 간격(cm)

δ_l : 종방향 보강재 1개의 단면적 비,

$$\delta_l = \frac{A_l}{b\cdot t}$$

γ_l : 사용된 종방향 보강재의 강비,

$$\gamma_l = \frac{I_l}{\frac{bt^3}{10.92}}$$

t_0 : <표 506.20>에 표시된 보강되는 판의 두께(cm)

<표 506.20> 판두께, t_0(cm)

강 종	t_0
SS400 SM400 SMA41	$\frac{b}{28\,i\,n}$
SM490	$\frac{b}{24\,i\,n}$
SM490Y SM520 SMA50	$\frac{b}{22\,i\,n}$
SM570 SMA58	$\frac{b}{22\,i\,n}$

여기서, i : 응력구배계수,

$i = 0.65(\frac{\phi}{n})^2 + 0.13(\frac{\phi}{n}) + 1.0$

<표 506.21> 구멍 뚫린 판

강 종	최소 판두께 (cm)	안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대 폭(cm)
SS400 SM400 SMA41	d/50	13t
SM490	d/40	11t
SM490Y SM520 SMA50	d/40	11t
SM570 SMA58	d/35	10t

여기서, t : 구멍 뚫린 판의 두께(cm), d : 안쪽 용접선 간의 거리(cm),
e : 안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 거리(cm)

<그림 506.24> 보강된 판의 종횡 치수비

4) 보강재의 단면2차모멘트는 다음의 규정에 의해 산출한다.

① 보강재가 한쪽 면에만 보강되는 경우에는 보강되는 판의 보강재 쪽 표면에 관한 단면2차모멘트로 한다.

② 보강재가 양쪽 면에 보강되는 경우에는 보강되는 판의 중립면에 관한 단면2차모멘트로 한다.

(2) 구멍 뚫린 판

구멍 뚫린 판의 최소 판두께 및 안쪽 용접선으로부터 구멍까지의 최대 폭은 <표 506.21>에 표시된 값으로 한다.

<그림 506.25> 구멍 뚫린 판

응력방향으로 잰 구멍의 길이는 구멍 폭의 2배 이하로 한다.

응력방향으로 잰 구멍과 구멍간의 판의 길이는 d보다 커야 한다. 다만 단부 구멍의 연단에서 구멍 뚫린 판의 단부까지의 거리는 1.25d보다 커야 한다.

구멍 연단의 곡률반경은 40mm 이상이어야 한다.

(3) 유효단면적

압축부재의 유효단면적은 총단면적으로 한다.

(4) L형 및 T형 압축부재(편심에 의한 휨모멘트의 영향)

① <그림 506.26>과 같이 플랜지가 거세트판에 연결된 L형 및 T형 압축부재는 다음의 식을 사용해도 좋다.

<그림 506.26> L형 및 T형 단면을 가진 압축부재

$$\frac{P}{A_g} \le f_{ca}(0.5 + \frac{l/\gamma_x}{1,000}) \qquad (506.22)$$

여기서, P : 축방향 압축력(kgf)

A_g : 부재의 총단면적(cm^2)

f_{ca} : l/γ_x을 사용하여 본 편람의 "1.2 허용응력 (2) 강재의 허용응력"의 규정으로부터 계산한 허용압축응력(kgf/cm^2)

l : 유효좌굴길이(cm)

γ_x : 단면의 중심을 지나고 거세트판 면에 평행한 축(<그림 506.26>의 X축)에 관한 단면 회전반경(cm)

② ①항에 따르지 않는 경우에는 그 부재단면의 중심을 지나 거세트판 면에 평행한 축에 대한 편심으로 생기는 휨모멘트 및 축방향압축력을 받는 부재로서 [도·설 3.4.3]의 규정에 따라 부재를 설계한다. 다만, f_{ca}는 허용압축응력의 상한치를 사용한다. 이때 편심압축력은 거세트판 면내에 작용하는 것으로 하고, 단면회전반경은 휨변형이 생기는 축에 관한 것을 사용한다.

1.6.4 휨모멘트를 받는 골조 부재

(1) 압축응력을 받는 판 및 보강판

본 편람의 "1.6.3 축방향 압축력을 받는 골조부재 (1) 압축응력을 받는 판 및 보강판"의 규정에 따른다.

(2) 유효단면적

인장측 플랜지에 볼트 등의 구멍이 있는 경우에는 구멍에 의한 단면적의 손실을 고려한다.

(3) 처짐, 부정정력 등을 계산하는 경우의 유효단면적

처짐, 부정정력 등을 계산하는 경우의 유효단면적은 총단면적으로 한다.

(4) 외측플랜지판

외측플랜지는 1장의 판으로 함을 원칙으로 하며, 다음의 규정을 따른다.

① 외측플랜지판의 두께는 내측플랜지판 두께의 1.5배 이하로 한다.

② 압축플랜지에 사용하는 외측플랜지판의 두께는 외측플랜지 폭의 1/24 이상으로 한다.

③ 인장플랜지에 사용하는 외측플랜지의 판두께는 외측플랜지 폭의 1/32 이상으로 한다.

④ 외측플랜지판의 길이는 거더 높이의 2배에 100cm를 더한 값 이상으로 하여야 한다.

⑤ 외측플랜지판의 양단에는 이론값 보다 각각 30cm 이상, 또 외측플랜지판 폭의 1.5배 이상의 여유 길이를 두어야 한다.

⑥ 인장측에 사용되는 외측플랜지판의 양단은 외측플랜지를 제외하고 계산한 플랜지의 연응력이 90% 되는 곳까지 연장하여야 한다.

압축플랜지 : $t_1 \leq 1.5t_2$ 단 $t_1 \geq b/24$
인장플랜지 : $t_1 \leq 1.5t_2$ 단 $t_1 \geq b/32$

<그림 506.27> 외측 플랜지의 판두께

$b/a \geq 2$
$a \geq 0.4t$ 단 $a \geq 7$mm
$c \geq 10t$ 단 $c \geq 100$mm
$r \geq$ b/10 단 $r \geq 10$mm

<그림 506.28> 부등치수의 연속필렛용접

⑦ 외측플랜지판의 단부에 사용하는 필렛용접은 부등치수의 연속필렛용접으로하고 응력이 매끄럽게 전달되도록 배려하여야한다(<그림 506.28> 참조).

1.6.5 전단력 혹은 전단력과 비틀림모멘트를 받는 골조 부재

(1) 전단력을 받는 경우의 유효단면적

전단력을 받는 경우의 유효단면적은 부재의 단면형상에 따라 적절하게 정하는 것으로 한다 [도・설 3.8.2.2 및 3.8.2.3 참조].

1.6.6 면내력을 받는 판

(1) 최소 판두께와 최대 판두께

최소 판두께는 6mm를 표준으로 하고, 최대 판두께는 50mm를 표준으로 한다.

(2) 보강재, 폭두께비

본 편람의 “1.6.3 축방향 압축력을 받는 골조부재 (1) 압축응력을 받는 판 및 보강판”의 <표 506.18> 및<표 506.19>에 따른다.

1.6.7 면외력을 받는 판

(1) 최소 판두께와 최대 판두께

최소 판두께는 3.2mm를 표준으로 하고, 최대 판두께는 50mm를 표준으로 한다.

(2) 처짐

강바닥판의 경우 데크플레이트의 윤하중에 의한 처짐은 종리브 간격의 1/500 이하로 하는 것이 좋다.

506.2 바닥판 및 바닥틀

2.1 바닥판

2.1.1 철근콘크리트 바닥판

(1) 일반

바닥판의 지간장은 지지거더(세로보, 가로보, 주거더 등)의 간격으로부터 결정된다. 이때 지지거더가 충분히 강성을 가져야하고, 지지거더의 처짐의 차이가 적어야 한다.

(2) 바닥판 지간 및 두께

① 적용범위

변장비가 1:2 이상인 철근콘크리트 바닥판의 설계에 적용한다. 또 [도・설 3.6.1 철근콘크리트 바닥판]의 규정에 의해 설계하는 경우에는 바닥판의 전단력을 생략할 수 있다.

② 바닥판의 지간

바닥판의 지간은 주철근의 방향으로 잰 지지보의 중심간격으로 한다. 그러나 단순판에 대해서는 주철근 방향으로 잰 순지간에 지간 중앙의 바닥판 두께를 더한 길이가 위의 지간보다 작은 경우에는 이것을 지간으로 한다(<그림 506.29> 및 <그림 506.30> 참조).

사교의 지간은 주철근 방향으로 재는 것으로 한다(<그림 506.31> 참조).

<그림 506.29> 단순판의 지간

(a) 주철근이 차량진행방향에 직각인 경우

(b) 주철근이 차량진행방향에 평행인 경우

<그림 506.30> 캔틸레버판의 지간

<그림 506.31> 사교 바닥판의 지간

③ 바닥판의 최소두께

차도부분의 바닥판 최소두께는 <표 506.22>에서 얻어지는 값과 22cm 중 큰 값으로 한다.

보도부 바닥판의 최소전두께는 14cm를 표준으로 한다.

<표 506.22> 차도부분 바닥판의 최소두께(cm)

판의 구분	바닥판 지간의 방향	
	차량진행방향에 직각	차량진행방향에 평행
단 순 판	$4L + 13$	$6.5L + 15$
연 속 판	$3L + 13$	$5L + 15$
캔틸레버판	$0 < L \leq 0.25$ $28L + 18$ $L > 0.25$ $8L + 23$	$24L + 15$

여기서 L : 본 편람의 "2.1.1 (2) ② 바닥판의 지간"에 나타낸 바닥판의 지간(cm)

캔틸레버판의 최소두께는 <그림 506.32>에 나타낸 것처럼 잰다.

<그림 506.32> 캔틸레버 판의 최소 전두께

(3) 바닥판의 설계 휨모멘트

① 주철근 방향이 차량진행방향에 직각인 경우(지간 : 0.6m~7.3m)

ⅰ) 단순판의 폭 1m에 대한 활하중모멘트

DB-24 : $\frac{L+0.6}{9.6} P_{24}$

DB-18 : $\frac{L+0.6}{9.6} P_{18}$ (506.23)

DB-13.5 : $\frac{L+0.6}{9.6} P_{13.5}$

여기서,

L : 바닥판의 계산지간(m)

P_{24} : DB-24하중에 대하여 9,600 kgf

P_{18} : DB-18하중에 대하여 7,200 kgf

$P_{13.5}$: DB-13.5 하중에 대하여 5,400 kgf

ⅱ) 바닥판이 3개 이상의 지점을 가진 연속판의 경우 위의 식 (506.23)의 값에 0.8배를 취한다.

ⅲ) 캔틸레버판에 작용하는 윤하중의 분포폭

$$E = 0.8X + 1.14 \quad (506.24)$$

여기서,

X : 하중점에서 지지점까지의 거리(m)

ⅳ) 캔틸레버판에 작용하는 윤하중의 분포폭 E에 대한 폭 1m당 휨모멘트

$$M = \frac{P}{E} X \ (kgf \cdot m) \quad (506.25)$$

② 주철근 방향이 차량진행방향과 평행한 경우

ⅰ) 단순판의 윤하중 분포폭

$$E = 1.2 + 0.06L \quad (506.26)$$

여기서, E값은 2.1m 이하일 것

지간 15m 이하의 단순판의 단위폭당 휨모멘트는 개략 다음과 같다.

DB-24 : $1,800L$ $(kgf \cdot m/m)$

DB-18 : $1,340L$ $(kgf \cdot m/m)$ (506.27)

DB-13.5 : $1,000L$ $(kgf \cdot m/m)$

여기서,

L : 바닥판의 지간(m)

연속판의 휨모멘트는 적당한 이론방식으로 구한다.

ii) 캔틸레버판에 작용하는 윤하중의 분포폭 및 폭 1m당 휨모멘트

$$E = 0.35X + 0.98 \quad (506.28)$$

여기서, E값은 2.1m 이하일 것

$$M = \frac{P}{E} X \ (kgf \cdot m) \quad (506.29)$$

③ 종방향 단부거더

주철근의 방향이 차량진행방향과 평행할 때에는 종방향 단부거더가 있어야 한다.

단부거더의 설계에 사용되는 활하중 휨모멘트의 크기는 다음과 같다.

단순거더 $M = 0.10\ PL$ $(kgf \cdot m/m)$

연속거더 $M = 0.08\ PL$ $(kgf \cdot m/m)$ (506.30)

여기서,

P : 윤하중

L : 종방향 단부거더의 지간(m)

연속지간의 경우, 좀더 정확한 해석을 함으로써 활하중에 의한 휨모멘트의 크기를 줄일 수 있다.

④ 배력철근

가) 배력철근의 양은 정모멘트 구간에 필요한 주철근에 대한 비율로 나타내는데, 다음의 식을 이용하여 산정한다.

i) 주철근이 차량진행방향에 직각인 경우

$\frac{120}{\sqrt{L}}$ 과 67% 중 작은 값 이상

여기서 L : 바닥판의 지간(cm)

ii) 주철근이 차량진행방향에 평행인 경우

$\frac{55}{\sqrt{L}}$ 과 50% 중 작은 값 이상

여기서 L : 바닥판의 지간(cm)

나) 주철근이 차량진행방향에 직각인 경우, 캔틸레버부를 제외한 구간에서는 위에서 산정된 배력철근을 바닥판 지간 중앙부의 1/2 구간에 배근하며, 나머지 구간에는 산정된 배력철근량의 50% 이상만 배근하여도 좋다.

다) 배근되는 배력철근량은 온도 및 건조수축에 대한 철근량 이상이어야 한다. 이때 바닥판 단면에 대한 온도 및 건조수축 철근량의 비는 0.2% 이다.

(4) 고정하중에 의한 설계 휨모멘트

등분포 고정하중에 의한 바닥판의 단위폭(m)당의 설계 휨모멘트는 <표 506.23>과 같다.

<표 506.23> 등분포 고정하중에 의한 바닥판의 단위폭당 설계 휨모멘트 $(kgf \cdot m/m)$

판의 구분	휨모멘트의 종류	바닥판 경간방향의 휨모멘트
단순판	경간휨모멘트	$+ w\ l_d^2/8$
캔틸레버판	지점휨모멘트	$- w\ l_d^2/2$
연속판	경간휨모멘트	$+ w\ l_d^2/10$
	지점휨모멘트	$- w\ l_d^2/10$

여기서, w : 등분포 고정하중(kgf/cm^2), l_d : 고정하중에 대한 바닥판의 경간(m)

(5) 주거더 단부의 바닥판

① 주거더 단부의 차도부분의 바닥판은 단부 바닥판거더(단가로보) 및 단부브래킷 등으로 지지시키는 것이 좋다. 이 경우 단가로보 및 단부브래킷 등은 단독으로 윤하중에 저항하여야 한다.

② 주거더 단부의 중간지간의 바닥판을 단가로보 등으로 지지하지 않는 경우, 주거더 단부로부터 바닥판 지간의 1/2 사이에 있는 바닥판에 대해서는, 주거더 단부 이외의 중간지간에 있는 바닥판에서 필요한 철근량의 2배를 주철근으로 배치하여야 한다.

③ 주거더 단부의 캔틸레버거더의 바닥판을 브래킷 등으로 지지하지 않는 경우, 주거더 단부 이외의 캔틸레버부 바닥판에서 필요한 주철근량의 2배를 주철근량으로 배치하여야 한다. 그러나 이 부분에는 주거더 단부 이외의 캔틸레버부 바닥판의 상측에 배력철근량의 2배의 배력철근을 배치하여야 한다.

④ 주거더 단부의 차도부분 바닥판은 바닥판 두께를 헌치 높이만큼 증가시켜야 한다.

⑤ 주거더 단부의 바닥판 두께를 증가시킨 부분의 길이는 다음 식을 참고로 하여 구하는 것이 좋다.

비합성거더의 주거더 단부 및 세로보 단부의 경우 :

$$L_E = \frac{1}{2} \cdot L \text{ 또는 } L_E = \frac{1}{2} \cdot L'$$

합성거더의 주거더 단부의 경우 :

$$L_E = \frac{2}{3} \cdot L \text{ 또는 } L_E = \frac{2}{3} \cdot L'$$

여기서,

L_E : 거더 단부의 바닥판두께 증가부분의 길이

L : 교축직각방향의 바닥판 지간

L' : 받침선에 평행한 바닥판 지간

(6) 바닥판 헌치

① 바닥판에는 강재 주거더 위에 헌치를 설치하는 것이 좋다.

② 바닥판 헌치의 경사는 1:3보다 완만하게 하는 것이 좋다. 헌치의 기울기가 1:3을 넘을 때는 1:3까지만 설계상 바닥판의 유효단면으로 간주한다.

③ 높이 8cm 이상의 헌치에는 헌치 아래면을 따라 주거더의 직각방향으로 가외철근을 배치하는 것이 좋다. 이 경우 가외철근은 D13 이상으로 한다.

2.1.2 강바닥판

(1) 일반

① 강바닥판은 i) 주거더의 일부로서의 작용, ii) 바닥판 및 바닥틀로서의 작용에 대해 안전하게 설계되어야 한다.

② 1등교로 설계하는 교량에서 가로리브 설계에 쓰이는 단면력은다음 식에 의해 계산된 할증계수를 곱한 값을 설계단면력으로 한다.

$k = k_0$ $(L \leq 4)$

$k = k_0 - (k_0-1)\times(L-4)/6$ $(4 < L \leq 10)$

$k = 1.0$ $(L > 10)$

단, $k_0 = 1.0$ $(B \leq 2)$

$k_0 = 1.0+0.2\times(B-2)$ $(2 < B \leq 3)$

$k_0 = 1.2$ $(B > 3)$

여기서,

L : 가로리브의 지간(m)

B : 가로리브의 간격(m)

<표 506.24> 리브가 있는 바닥판의 유효폭

구 분		
바닥판의 강성계산과 고정하중에 의한 휨효과 계산을 위한 리브의 단면값	$a_0 = a$	$a_0 + e_0 = a + e$
윤하중에 의한 휨효과 계산시 사용하는 리브의 단면값	$a_0 = 1.1a$	$a_0 + e_0 = 1.3(a + e)$

③ 활하중에 의한 충격계수는 세로리브에 대해 0.3, 가로리브에 대해서는 $\frac{15}{40+L}$로 계산한다. 이때 지간 L은 가로리브의 지간이다.

(2) 바닥틀에 대한 바닥강판의 유효폭

종방향 보강재 혹은 종방향 리브의 상부플랜지 역할을 하는 바닥판의 유효폭은 <표 506.24>의 규정을 따른다.

(3) 바닥강판의 최소두께

바닥강판의 최소두께 t(mm)는 다음 식(506.31)으로 구한 값 이상이어야 한다.

차도부분 $t = 0.043b$ 단, $t \geq 14mm$

주거더로서의 작용 일부를 받는 보도부

$t = 0.025b$ 단, $t \geq 10mm$ (506.31)

여기서, b : 세로리브의 간격(mm)

(4) 구조세목

① 세로리브는 특별한 경우를 제외하고 가로리브의 복부를 통하여 연속시키는 것이 좋다.

② 강바닥판의 온도차에 의한 영향은 다음의 <그림 506.33>과 같은 온도분포를 고려한다.

<그림 506.33> 강바닥판의 온도분포

③ 세로리브의 최소 두께는 개단면인 경우 6mm, 폐단면인 경우 8mm로 한다.

④ 강바닥판의 세로리브는 폐단면 리브를 표준으로 하고, 곡선교나 교량폭이 변하는 경우 부분적으로 개단면 리브를 사용할 수 있다.

⑤ 세로리브의 배치는 아래에 표시한 것을 원칙으로 한다.

일반부 : 300mm≤e, a≤340mm
주거더부근 : 70mm≤e_1≤340mm

<그림 506.34> 폐단면 세로리브

일 반 부 : 300mm≤e
주거더부근 : 170mm≤e_1≤250mm

<그림 506.35> 개단면 세로리브

⑥ 가로리브는 바닥강판을 상부플랜지로 복부판과 하부플랜지로 구성된 I형 단면으로 한다. 가로리브의 간격(세로리브의 지간)은 폐단면 세로리브를 사용하는 경우에는 2~3m, 개단면 세로리브를 사용하는 경우에는 1.3~2m를 표준으로 한다.

⑦ 강바닥판의 단부는 단부 세로리브의 단면력 증가 등을 고려하여 충분히 보강한다.

2.2 바닥틀

2.2.1 바닥틀 지간

(1) 가로보의 지간은 가로보의 방향으로 잰 주거더에 붙은 복부판의 중심간격으로 한다.

<그림 506.36> 가로보의 지간

(2) 세로보의 지간은 세로보의 방향으로 잰 가로보의 중심간격으로 한다.

<그림 506.37> 세로보의 지간

2.2.2 바닥틀 윤하중

(1) 세로보의 자동차 윤하중 분포
윤하중의 세로방향 분포는 없다고 가정한다.
① 세로보의 휨모멘트 계산에 쓰이는 하중
ⅰ) 내측 세로보 또는 주거더
1차선의 경우 $(L/2.10)\times P \quad L\le 3.00$
2차선 이상인 경우

$$(L/1.65)\times P \quad L\le 4.20 \quad (506.32)$$

여기서, L : 세로보의 간격(m)
P : 자동차 후륜 혹은 전륜하중

세로보의 간격이 1차선인 경우 3.0m, 2차선의 경우 4.20m를 초과할 때는 바닥판을 단순거더로 가정하여 산출한 세로보 위의 반력으로 한다.

ⅱ) 외측 세로보 또는 주거더
바닥판을 단순거더로 가정하여 산출한 세로보 위의 반력으로 한다. 4개 이상의 세로보가 있을 경우의 외측 세로보에 대한 윤하중의 반력은 다음 값 이상이어야 한다.

$$\begin{cases} (L/1.65)\times P & L\le 1.80 \\ [(L/(1.2+0.25L)]\times P & 1.80\le L<4.20 \end{cases} \quad (506.33)$$

여기서, L : 외측 세로보와 인접 내측 세로보 사이의 간격(m)

P : 자동차 후륜 혹은 전륜하중

L이 4.20m를 초과할 때는 바닥판을 단순거더로 가정하여 산출한 세로보 위의 반력으로 한다.

② 세로보의 전단력 계산에 쓰이는 하중

전단력을 결정하려는 점에 놓인 윤하중의 가로방향 분포는 없다고 가정하며, 다른 위치의 윤하중은 휨모멘트계산시와 같은 분포를 하는 것으로 본다.

③ 외측 세로보의강성은 내측 세로보의 강성 이상이어야 한다.

④ 1격간 또는 인접하는 가로보 사이에 있는 모든 세로보 강도의 총계는 그 격간에 재하되는 활하중 및 고정하중을 지지하는데 충분한 강도 이상이어야 한다.

(2) 가로보의 자동차 윤하중 분포

윤하중의 횡방향 분포는 없다고 가정한다.

① 가로보의 휨모멘트 계산에 쓰이는 하중

$$(L/1.80)\times P \quad L\le 1.80 \quad (506.34)$$

여기서, L : 가로보의 중심간격(m)

P : 자동차 후륜하중

가로보의 간격이 1.80m를 초과할 때는 바닥판을 단순거더로 가정하여 산출한 가로보 위의 반력으로 한다.

② 가로보의 전단력 계산에 쓰이는 하중

전단력을 결정하는 점에 놓인 윤하중의 세로방향 분포는 없다고 가정하며, 다른 위치의 윤하중은 휨모멘트계산시와 같은 분포를 하는 것으로 본다.

2.2.3 세로보의 휨모멘트 및 전단력

(1) 휨모멘트

연속 세로보의 중앙지점의 휨모멘트를 위와 같이 계산하지 않을 경우 그 전후에 트럭하중을 재하하여야 한다. 이때 충격은 고려하지 않는다.

<표 506.25> 연속 세로보의 휨모멘트(kgf · m)

단 지 간		$0.9M_0$
중 간 지 간		$0.8M_0$
중간지점	$L<12$	$-0.7M_0$
	$L\ge 12$	$-(0.22+0.04L)M_0$

여기서, M_0 : 단순보로 본 지간 중앙의 휨모멘트 (kgf · m)

L : 세로보의 지간(m)

(2) 전단력

전단력은 단순거더로 가정하여 계산한다.

2.2.4 바닥틀보

(1) 바닥틀보의 평면 배치

바닥틀보는 주거더에 직각이 되게 배치하는 것을 원칙으로 한다. 단 경사각이 70°이상인 경우에는 경사각 방향으로 배치해도 좋다.

(2) 바닥틀보의 설계모델 및 연결부의 구조

바닥틀보의 설계에 쓰이는 계산모델 및 바닥틀 단부의 주거더(주구)와의 연결부분 구조는 <표 506.26>과 같다.

<표 506.26> 바닥틀보의 설계모델 및 연결부의 구조

구조의 종류	계산모델	연결부의 구조
트러스의 주구에 설치하는 경우	양단 힌지의 단순보	전단력에 의한 구조로 함
박스거더에 설치하는 경우	양단 고정보	휨모멘트 및 전단력을 전달하는 구조로 함

506.3 설계일반사항

3.1 플레이트거더교

3.1.1 설계일반

[도・설 3.8.1 적용범위]에 의하면 I형 단면, π형 단면 및 상자형 단면의 주거더를 주구조로 하는 상부구조의 설계에 대한 사항을 플레이트거더에서 규정하고 있다. 그러나 본 편람에서는 일반적으로 플레이트거더교와 박스거더교를 별개의 형식으로 보고 설계하고 있으므로 상자형 단면으로 구성되는 박스거더교는 3.2절에서 기술하도록 하고, 여기에서는 주로 I형 단면으로 구성되는 플레이트거더교를 그 대상으로 삼는다. 그러나 일반사항을 설명하는 본 항에서는 박스거더교를 포괄적으로 포함하여 기술한다.

(1) 플레이트거더의 형식

① 플레이트거더교와 박스형거더교의 장단점

가. 플레이트거더교

ⅰ) 중량이 가볍고 제작이 용이하며, 경제적이다.

ⅱ) 응력의 상태가 간단하다.

ⅲ) 현장이음 등의 시공이 용이하다.

ⅳ) 가설 중 횡전도를 일으키기 쉽다.

ⅴ) 비틀림에 대한 저항성이 약하다.

ⅵ) 단일 부재로는 강성이 작기 때문에 부재 길이가 길면 수송 중 및 가설 중 주의를 요한다.

나. 박스형거더교

ⅰ) 완성상태의 안정감과 미관이 좋다.

ⅱ) 대형블럭의 가설 유니트화가 가능하다.

ⅲ) 거더 높이를 낮게 할 수 있어 장대지간의 경우에도 거더 하부공간의 확보가 가능하다.

ⅳ) 비틀림 강성이 크고, 편심하중에 대한 하중분배성이 좋으므로 특히 곡선교에 유리하다.

ⅴ) 지간이 짧은 경우 플레이트거더에 비해 강재 중량이 많이 나가므로 제작비가 비싸진다.

ⅵ) 단면변화의 자유도가 적다.

ⅶ) 플레이트거더에 비해 응력상태가 복잡하다.

ⅷ) 구속응력이나 잔류변형이 생기기 쉽고 제작시 주의를 요한다.

② 형식 결정시 유의사항

- 평면선형 : 비틀림 강성이 작으므로 가급적 직선구간에 설치
- 종단선형 : 종단선형에는 제약이 거의 없기 때문에 종곡선 구간에도 적용 가능하다.
- 사각 : 사각이 심하면 부반력 발생, 보의 부등휨에 의한 비틀림 발생으로 슬래브의 파손이 우려되므로 일반적 기준으로 50° 이하로 계획한다.

③ 지간의 구성

- 비합성 연속보 : 35~60m, 형고비(h/L) = 1/20
- 합 성 연속보 : 40~70m, 형고비(h/L) = 1/22

(2) 플레이트거더교의 종류

① 주거더 구성에 의한 분류

- 플레이트거더 병렬교 (다주거더교)
- 단일 박스거더교
  - 단실박스거더교

· 다실박스거더교
- 박스거더 병렬교
② 평면형상에 의한 분류
- 직교
- 사교
- 곡선교
③ 바닥판에 의한 분류
- RC 슬래브 바닥판 : 합성여부에 따라 합성, 비합성으로 분류 가능
- 강바닥판교
④ 지지조건에 의한 분류
- 단순형
- 연속형
- 캔틸레버형

<그림 506.38> 플레이트거더교의 종류

(3) 플레이트거더교의 구조형식

① 플레이트거더교의 구조

플레이트거더교는 얇은 강판을 조립·용접 등에 의하여 연결한 형식을 가진다. 지간이 10~25m 정도의 플레이트거더교에는 단일 성형된 압연 I형강을 주로 이용하지만, 지간이 커지면 단일부재로는 저항할 수 없게 되므로 적당한 치수의 강판을 조합한 플레이트거더가 이용되고 있다. 이러한 형태에는 I형 단면, Ⅱ형 단면, 상자형 단면이 있으며, I형 단면이 기본적으로 단순플레이트거더에 사용된다.

② 주거더 간격

주거더 간격은 철근콘크리트 바닥판의 지간이 되는 경우가 많다. 주거더 간격을 크게 하면 철근콘크리트 바닥판이 두꺼워져 바닥판에 의한 자중이 커진다. 또 주거더 간격을 작게 해서 주거더의 개수를 늘리면 강재중량이 커져 비경제적이다. 따라서 주거더 간격과 바닥판의 관계에 대한 분석을 통해 경제적인 간격과 단면을 결정하여야 한다.

③ 합성작용

바닥판에서는 철근콘크리트 바닥판 뿐만 아니라 I형강 격자 바닥판 등이 있는데 철근콘크리트 바닥판이 저렴하고 또 시공이 비교적 용이하므로 많이 사용된다. 철근콘크리트 바닥판과 강거더와의 연결상태에 따라 슬래브앵커를 사용한 연결강도가 작은 비합성거더와 전단연결재(shear connector)를 사용한 연결강도가 큰 합성거더로 분류된다.

(4) 플레이트거더교의 장·단점

(가) 장점

① 단면을 구성하는 부재의 수가 적기 때문에 구조가 단순하다. 따라서 단면의 응력상태를 명확하게 알 수 있다.

② 구조가 단순하기 때문에 유지관리가 용이하다.

③ 외관이 좋다.

④ 부재의 수가 적으므로 제작이 쉽다.

⑤ 용접구조가 최적으로 쓰일 수 있다. 구조

물의 중량에 비하여 용접량을 줄일 수 있고 또한 자동용접이 가능하여 제작을 자동화할 수 있다.

⑥ 구조계 전체의 붕괴를 제외하면 파괴가 단계적으로 진행되므로 순간적인 파괴가 일어나지 않아 높은 안전율을 확보할 수 있다.

(나) 단점

① 복부판이 얇은 판으로 구성되어 있으므로 판의 변형, 특히 좌굴에 대한 주의가 필요하다. 따라서 복부판을 보강재로 보강하여야 한다.

② 비교적 큰 블록으로 제작하기 때문에 운반과 가설상의 제약을 받는 경우가 있다.

③ 비틀림에 대한 저항성이 작으므로 주의하여야 한다.

3.1.2 일반제원의 계획

(1) 주거더의 개수 및 배치

일반적으로 복부의 높이를 높게 하여 주거더의 개수를 적게 하는 것이 강재의 중량을 줄일 수 있으므로 경제적이라고 하지만 주거더의 개수와 배치에 있어서는 다음의 사항을 유의하여야 한다.

① 철근콘크리트 바닥판의 경우 중차량의 증가에 기인하는 파손 사례를 감안하면 지지거더의 간격을 최대 3m 정도로 하고, 대형차량 통행시의 바퀴의 위치가 바닥판 지간의 중앙부근이 되지 않도록 거더를 배치하는 것이 바람직하다.

② 바닥판의 캔틸레버부에는 큰 휨모멘트가 가해지므로 캔틸레버부를 길게 하지 않는 것이 좋다. 그러나 캔틸레버부를 너무 작게 하면 빗물이 직접 주거더에 닿게 되므로 통상적으로 캔틸레버부의 길이를 1.0~1.5m 정도로 하는 것이 좋다.

③ 바닥판의 캔틸레버부와 중간부의 배근이 연속성을 유지할 수 있는 거더의 배치가 바람직하다.

④ 병렬거더의 경우 각 거더의 강성이 거의 같도록 하는 배치가 좋다. 즉 각 거더가 받는 휨모멘트가 비슷한 크기가 되어 같은 단면의 거더를 이용하는 것이 제작 상에도 유리하다.

⑤ 배수 시설이 주거더 위에 놓이지 않도록 한다.

⑥ 교량 부속물과의 배치를 미리 고려한다.

(2) 복부의 높이

주로 휨모멘트에 대한 플랜지의 응력에 의해 단면이 결정되며, 복부판의 전단응력은 거더의 높이가 낮은 경우 연속 거더의 지점 부근을 제외하고 비교적 여유가 있다. 따라서 저항 휨모멘트에 대해 기여가 적은 복부판의 단면적을 적게 하고 복부판의 높이를 크게 하는 것이 경제적이라고 하지만, 복부판의 높이는 교량의 교차조건에 따라 교하공간의 제약에 지배되는 경우가 많다. 한편 설계상의 제약조건은 다음과 같은 사항에 영향을 받는다.

① [도·설 3.8.4 복부판]의 규정

가. 비합성 플레이트거더의 복부판

- 복부판의 두께는 <표 506.27>의 값 이상이어야 한다.
- 계산응력이 허용응력에 비해 작을 때에는 <표 506.27>의 분모에 $\sqrt{\frac{\text{허용휨압축응력의상한치}}{\text{계산휨압축응력}}}$의 값을 곱하되 이 값이 1.2배를 넘어서는 안된다.
- 수평보강재를 3단 이상 사용시의

<표 506.27> 비합성 플레이트거더의 복부판 최소 두께

강 종	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
수평보강재가 없을 때	$\frac{b}{152}$	$\frac{b}{130}$	$\frac{b}{123}$	$\frac{b}{110}$
수평보강재 1단을 사용할 때	$\frac{b}{256}$	$\frac{b}{220}$	$\frac{b}{209}$	$\frac{b}{188}$
수평보강재 2단을 사용할 때	$\frac{b}{310}$	$\frac{b}{310}$	$\frac{b}{294}$	$\frac{b}{262}$
수평보강재를 3단 이상 사용할 때	플레이트거더의 최소 복부판 두께는 임의로 정할 수 있다. 다만, 보강재로 구분되는 패널의 국부좌굴응력은 [도·설 3.4.2.3]에 의하여 검토하여야 한다.			

여기서, b : 상하 양플랜지의 순간격(cm)

강재 위치는 패널의 국부응력을 고려하여 결정한다.

<그림 506.39> 복부판의 응력과 수평보강재의 위치

나. 합성 플레이트거더의 복부판

· 합성전

합성전 고정하중에 의해 발생하는 강재의 최대휨압축응력이 허용휨압축응력 보다 작을 때는 <표 506.27>에 규정된 비합성 플레이트거더 복부판의 최소 두께 값에 $\sqrt{\frac{\text{최대휨압축응력}}{\text{허용휨압축응력의 상한치}}}$를 곱할 수 있다.

· 합성후

합성후 정모멘트 구간에서는 <표 506.27>의 b 대신 압축응력상태에 있는 복부판의 높이, b_c에 2를 곱한 값을 사용한다. 다만, b_c가 0인 경우에는 복부판에 휨응력에 의한 국부좌굴이 발생하지 않으므로 최소두께의 규정을 적용시킬 필요가 없다.

부모멘트를 받는 구간에서는 <표 506.27>을 적용시킨다.

② 합성거더인 경우 중립축의 위치 및 바닥판 작용과 주거더 작용의 합성응력과의 관계

③ 거더 높이와 플랜지 폭, 플랜지 두께와의 관계

④ 처짐 제한과의 관계

(3) 강재의 중량

강교는 강재의 중량이 경제성과 직결되므로 제원의 계획시 고려 대상으로 삼아야 한다.

(4) 하중분배 작용

하중분배효과의 판정은 비틀림강성이 없는 주거더, 가로보로 구성된 I거더병렬교의 경우 격자剛度 Z가 다음의 식 (506.35)가 하나의 파라메터로 이용된다.

$$Z = \frac{I_a}{I}\left(\frac{l}{2a}\right)^3 \qquad (506.35)$$

여기서,

I_a : 가로보의 단면2차모멘트(cm^4)

I : 주거더의 단면2차모멘트(cm^4)

l : 지간장(연속거더에서는 등가지간장)(cm)

a : 주거더의 간격(cm)

Z가 작아짐과 동시에 주거더 상호간의 상대변위에 따라 바닥판에 부등침하가 생기고, 이에 따른 바닥판의 휨모멘트가 커진다. 이 휨모멘트가 바닥판 파손의 한 원인이라고 생각되기 때문에 Z=10 이상으로 하는 것이 좋다. 한편 Z=25 이상이 되어도 하중분배효과가 증가하지 않으므로 Z를 더 이상 크게 할 필요는 없다.

3.1.3 주거더의 설계

(1) 복부판

복부판의 설계 시에는 먼저 본 편람의 "3.1.2 (2) 복부의 높이"에 기술한 것을 참고로 하여 결정하는 것 외에 다음과 같은 사항을 고려한다.

① 복부판은 가능한 한 용접이음을 하지 않고 하나의 판으로 할 것

② 복부판의 두께가 얇으면 2단 이상의 수평보강재를 두어야 하므로 용접량이 많아져 용접변형을 일으킬 우려가 있으므로 너무 얇은 판을 사용하지 않도록 할 것

③ [도·설 3.8.2.2 복부판의 전단응력] 및 [도·설 3.8.4 복부판]의 규정에 따를 것

(2) 플랜지

플랜지의 단면설계는 다음과 같은 조건을 충족하도록 한다.

① [도·설 3.8.2.1 플레이트거더의 휨응력] 및 [도·설 3.3.2.1 구조용강재의 허용응력]의 규정을 만족할 것

② 압축플랜지는 [도·설 3.4.2.2 압축력을 받는 자유돌출판]의 규정을 만족할 것

③ [도·설 3.8.3.1 자유 돌출부의 판두께]의 규정에 따라 자유 돌출부 폭의 1/16 이상을 판두께로 할 것

④ 커버플레이트를 사용하는 경우에는 [도·설 3.8.3.3 외측 플랜지판]의 규정에 따를 것

⑤ 합성거더의 경우 전단연결재가 설치되는 플랜지의 두께는 [도·설 3.8 플레이트거더]에서 규정하는 것 외에 [도·설 3.9.6 강재 주거더의 플랜지 두께]에 따라 10mm 이상으로 할 것

⑥ 플랜지 폭은 바닥판의 지간장의 산출과 관계가 있으므로 주의할 것([도·설 3.6.1.3 바닥판의 지간] 참조)

⑦ 플랜지 폭은 복부판 높이의 1/3 정도를 최대로 함. 이는 플랜지 폭을 복부판 높이에 비해 매우 크게 할 경우 전단지연에 의해 플랜지 단면의 응력분포가 균일하지 않을 우려가 있기 때문임(<그림 506.40>).

<그림 506.40> I거더의 응력분포

⑧ 플랜지의 최소폭은 200mm로 함. 또 복부판 높이의 1/5 정도 이상으로 하는 것이 좋음.

⑨ 통상의 I거더의 경우 플랜지의 최대 두께는 40mm 정도로 함

⑩ 다주거더의 경우 각 거더의 플랜지는 가능한 한 두께를 통일하는 것이 바람직함. 주거더 플랜지는 그 저항모멘트가 작용휨모멘트를 포함하도록 단면변화를 시키는데, 이 경우 판두께를 동일하게 하고, 판의 폭을 변화시키는 것이 좋으며, 판두께와 판폭을 동시에 변화시키는 것은 휨모멘트가 급변하는 곳 등 부득이한 곳에 제한적으로 사용함.

판두께는 가능한 얇게 하고 판폭을 충분히 크게 하여 단면을 선택하도록 함. 또 단면변화점에서는 응력의 흐름을 원활하게 하기 위해 판폭, 판두께 모두 1/5 보다 완만하게 단면변화(taper)를 시킴

(3) 보강재

가. 하중 집중점의 보강재

① 플레이트거더의 지점 및 가로보, 세로보, 수직브레이싱 등의 연결부와 같은 집중하중점에는 반드시 보강재를 설치하여야 한다.

② 지점부에 설치하는 수직보강재는 압축력을 받는 기둥으로 보고 [도·설 3.3.2.1 구조용강재의 허용응력]의 허용축방향압축응력에 따라 설계한다. 이때 보강재 전단면과 복부판 가운데 보강재 부착부에서 양쪽으로 각각 복부판 두께의 12배(총24t)까지를 유효단면이라고 생각할 수 있다. 그러나 전체 유효단면은 보강재 단면의 1.7배를 넘어서는 안된다.

③ 허용응력의 계산에 사용하는 단면회전반경은 복부판의 중심선에 대해 구하고, 유효좌굴길이는 플레이트거더 높이의 1/2(스캘럽 등에 의한 단면 손실을 고려하지 않음)로 한다.

<그림 506.41> 하중 집중점 보강재의 유효단면적

④ 보강재와 복부판의 연결은 보강재가 집중하중 전부를 받는 것으로 보고 설계하여야 한다.

⑤ 보강재 돌축각의 판두께는 [도·설 3.4.2.2 압축응력을 받는 자유돌출판]의 규정을 만족하여야 한다.

⑥ 지점상의 보강재는 양쪽에 대칭으로 설치하도록 하고 상·하연 플랜지까지 연장시키는 것을 원칙으로 한다.

⑦ 지점부 보강재 부근에서는 큰 압축력과 수평전단력이 발생하므로 스캘럽을 설치하는 것 보다 보강재 모서리를 치핑(chipping)하여 용접량을 줄이는 것이 효과적이며, 복부판의 용접도 완전홈용접으로 하는 구조가 바람직하다. 단, 지점부에사 완전홈용접을 실시하는 구간길이는 $l = a/2 + a$로 하고, 중간지점부에서는 $l = 2a$로 한다. 여기서 a는 받침장치의 길이이다.

나. 수직보강재

[도·설 3.8.5.1 수직보강재의 간격], [도·설 3.8.5.2 수직보강재의 강도], [도·설 3.8.5.3 수직보강재의 부착방법] 및 [도·설 3.8.5.4 수직보강재의 강종]의 각 규정을 만족하도록 설계한다.

통상적인 설계과정은 다음과 같다.

① 가로보, 수직브레이싱 사이를 가능한 등

간격으로 하고 보강재 배치를 가정한다.

② 등간격으로 배치를 가정한 구간에서는 휨응력의 최대, 전단응력의 최대가 되는 판넬에 대해 [도・설 3.8.5.1 수직보강재의 간격]에 따라 조사한다. 이 조건을 만족하지 않는 경우에는 분할 수를 증가하여 재검토한다.

이 경우 주의하여야 할 사항은 다음과 같다.

ⅰ) 단부에 촘촘하게 배치하는 것은 피한다.

ⅱ) 거더의 이음위치와의 관계에 주의한다.

ⅲ) 복부판의 용접이음은 수직보강재로부터 100mm 이상 떨어진 위치로 한다.

ⅳ) 수평브레이싱의 설치위치에 가능한 수직보강재를 배치하고 복부판을 보강하여 국부변형을 막는 것이 좋다. 이 경우 거세트의 절취는 <그림 506.42>의 구조로 하는 것이 좋다.

ⅴ) 보강재가 플랜지의 외측으로 돌출하지 않도록 한다. 부득이 돌출하는 경우에는 <그림 506.43>과 같이 한다.

ⅵ) 수직브레이싱, 이음 등과의 위치관계로부터 [도・설 3.8.5.1 수직보강재의 간격]에서 규정하고 있는 계산상 필요한 간격보다 조밀하게 배치하는 경우에는 보강재의 강도는 계산상 필요로 하는 간격으로 조사하면 된다.

<그림 506.42> 수평브레이싱의 거세트 절취

<그림 506.43> 중간수직보강재

ⅶ) 상・하부플랜지와 수직보강재 사이의 연결은 아래의 <표 506.28>과 같은 원칙으로 한다. 교번응력을 받는 부분의 수직보강재와 상・하부플랜지의 접합부는 용접을 하는 것을 원칙으로 한다.

다. 수평보강재

수평보강재는 [도・설 3.8.6.1 수평보강재의 위치], [도・설 3.8.6.2 수평보강재의 강도], [도・설 3.8.6.3 수평보강재의 부착방법] 및 [도・설 3.8.6.4 수평보강재의 강종]의 각 규정을 만족하도록 설계한다.

수평보강재는 복부판의 좌굴강도를 높이고 복부판두께가 비경제적으로 두꺼워지지 않도록 하는 역할을 하지만, 제작 측면에서는 수평보강재의 단수를 다단으로 하고 복부판 두께를 줄이는 것이 바람직하지 않다. 최대복부판 높이와 수평보강재의 사용 단수의 관계를 [도・설 3.8.4 복부판]에 따라 나타낸 것이 <표 506.29>이다.

ⅰ) 보강재의 배치

수평보강재는 수직보강재와 같은 면에 부착해도 되고, 반대 면에 부착해도 상관없으나 외

<표 506.28> 상・하부플랜지와 수직보강재 사이의 연결

위치	지점부	수직 브레이싱 및 세로보가 설치되는 부분		기타	
휨모멘트의 부호	부	정	부, 교번부	정	부, 교번부
개념도					

(주) 곡선거더의 경우에는 metal touch부도 용접한다.

측거더에는 교량 중심방향으로 설치하는 것이 미관상 좋다. 특히 연속교의 중간지점부근에는 브레이싱의 연결판이 있으므로 주의하여 설치한다.

ii) 수직보강재와의 교차부

수평보강재와 수직보강재의 순간격은 자동용접을 고려하여 35mm를 표준으로 하고, <그림 506.44>와 같은 구조로 한다.

<표 506.29> 수평보강재와 최대복부판높이(mm)

수평보강재의 사 용 단 수	복부판 두 께	최 대 복 부 판 높 이			
		SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
수평보강재가 없을 때	10	1,520	1,300	1,230	1,100
	11	1,672	1,430	1,353	1,210
	12	1,824	1,560	1,476	1,320
	13	1,976	1,690	1,599	1,430
수평보강재 1단을 사용할 때	10	2,560	2,200	2,090	1,880
	11	2,816	2,420	2,299	2,068
	12	3,072	2,640	2,508	2,256
	13	3,328	2,860	2,717	2,444
수평보강재 2단을 사용할 때	10	3,100	3,100	2,940	2,620
	11	3,410	3,410	3,234	2,882
	12	3,720	3,720	3,528	3,144
	13	4,030	4,030	3,822	3,406

(단위 : mm)

<그림 506.44> 수직보강재와의 교차부

iii) 이음판과의 교차부

이음판과 수평보강재와의 순간격은 20mm를 표준으로 하며, 수평보강재 단부는 가설시 연결작업 중의 사고를 방지하기 위해 절단하는 것이 바람직하다(<그림 506.45>). 또한 복부판의 현장 이음부에서는 수평보강재를 생략하여도 좋다.

(단위 : mm)

<그림 506.45> 이음부의 수평보강재

3.1.4 분배가로보 및 분배수직브레이싱의 설계

주거더의 하중분배를 고려하는 방법으로는 분배가로보를 이용하는 방법과 분배수직브레이싱을 이용하는 방법이 있다.

(1) 분배가로보의 설계

분배가로보를 이용하는 경우 그 배치가 문제이다. <그림 506.46>은 가로보의 개수의 영향을 나타내는 설계 예이며, 이에 따르면 가로보의 개수를 늘려도 그 효과가 적은 것을 알 수 있다.

<그림 506.46> 분배가로보의 개수와 분배효과의 관계

H. Leonhardt의 연구에 따르면 가로보를 같은 간격으로 배치한 경우의 환산격자강도(지간 중앙의 등가인 1개의 분배가로보로 환산한 경우)는 근사적으로 다음의 식 (506.36)으로 주어진다.

$$Z' = i\frac{I_a}{I}\left(\frac{L}{2a}\right)^3 = iZ \qquad (506.36)$$

여기서,

Z' : 환산격자강도

Z : 지간 중앙에 1개의 가로보의 경우의 격자강도

i : 환산계수

가로보가 1개 혹은 2개 일 경우 : $i = 1.0$

가로보가 3개 혹은 4개 일 경우 : $i = 1.6$

가로보가 5개 혹은 6개 일 경우 : $i = 2.6$

I_a : 가로보의 단면2차모멘트

I : 주거더의 단면2차모멘트

L : 지간장(연속거더의 경우는 등가지간장)

a : 주거더의 간격

상기의 내용으로 볼 때 분배가로보가 5~6개이어도 1~2개의 경우의 2.6배에 지나지 않아 비경제적이다. 통상의 제작 측면의 치수를 생각할 때 $Z = 10$ 이상을 확보하는 것이 용이하기 때문에 4개 이상을 이용하여 $Z = \infty$ ($\fallingdotseq 25$)에 가까운 것으로부터 $Z = 25/1.6 \fallingdotseq 15$ 정도의 분배가로보를 1개 또는 3개 정도까지 배치하는 것이 경제적이다.

단, 지간이 길어지는 경우 지간 중앙에 배치한 1개의 가로보에 따른 분배효과는 지간방향으로 일정한 거리 이상 영향을 미치지 않으므로 분배가로보 간격은 20m 이하로 억제하고 있다([도·설 3.8.8.1 수직브레이싱] 참조). 따라서 지간장 35m~40m 이하의 경우는 지간 중앙에 1개, 40m 이상의 경우에는 지간중앙과 그 양측으로 총 3개를 사용하는 것이 좋다.

분배가로보 자체의 설계는 다음과 같이 한다.

① 일반적으로 분배가로보는 응력의 여유가 있는 단면을 채택하는 것이 좋다. 먼저 주거더의 강도를 결정하고 격자강도 $Z = 10 \sim 15$가 되도록 가로보 단면을 결정한다.

② I거더병렬인 경우 외측 주거더와의 연결은 전단력만 전달해도 좋지만 볼트 수에 여유를 갖도록 한다. 내측 주거더와의 연결은 전단력과 휨모멘트를 전달하는 구조로 한다.

③ 가로보의 높이는 적어도 주거더의 1/2 이상의 높이로 한다.

④ 분배가로보는 DL하중에 의해 설계한다. 단 바닥판을 거쳐 하중이 전달되는 경우에는 DB하중에 대해 응력을 검토한다.

가운데 주거더와 가로보의 연결에 대해서는 <표 506.30>과 같이 한다.

연결판의 용접은 <그림 506.47>과 같이 하고, 슬리트의 구조는 <그림506.48>과 같이 한다. 노면의 횡단구배 등으로 인해 주거더의 상단이 동일한 높이가 아닐 때의 처리방법은 <그림 506.49>의 3가지 방법이 있으나 (C)의 경우가 시공성이 좋다.

<그림 506.47> 연결판의 용접

<그림 506.48> 슬리트부의 구조

<표 506.30> 주거더와 가로보의 연결

구분	연결판을 이용하는 방법	브래킷법	슬리트법
연결구조			
장점	• 현장시공이 용이 • 주거더의 폭이 작아 수송 간편	• 응력의 전달 확실 • 연결강도가 큼	• 현장시공 용이
단점	• 상하플랜지 각 이음의 응력분담이 커짐 • 바닥판 거푸집 시공 불편 • 연결판 용접시 주의 필요	• 볼트의 개수가 많아짐 • 플랜지에 2축응력이 발생 • 주거더의 폭이 증대되어 수송에 불편	• 슬리트 가공시간 소요 • 상하플랜지 각 이음의 응력분담이 커짐 • 주거더의 폭이 약간 커져 수송에 불편 • 바닥판 거푸집 시공 불편

<그림 506.49> 주거더 플랜지의 취급

(2) 분배수직브레이싱의 설계

분배수직브레이싱은 DL하중에 의해 1차부재로 설계한다. 또 분배수직브레이싱을 구성하는 각 부재의 연결, 주거더와의 연결도 1차부재로 취급한다. 이 방법의 득실은 다음과 같다.

① 주거더 사이의 상대변위가 가장 큰 위치에 강성이 큰 분배가로보를 배치하면 하중분배작용이 가장 효과적으로 된다. 이런 의미에서 수직브레이싱에 의해 하중을 분배시키는 방법은 분배가로보를 이용하는 방법에 비해 효율이 다소 떨어진다.

② 교면 전체에 대해 강성이 큰 수직브레이싱에 의해 주거더의 상대변위를 억제하기 때문에 철근콘크리트바닥판에서는 무리한 응력을 발생시키는 일이 없어 좋다.

분배수직브레이싱에 대해서는 다음과 같은 환산단면2차모멘트를 이용하는 것이 좋다.

$$I_s = \frac{4h^2 A_1}{9} \times \frac{1}{1 + \frac{A_1}{3A_2 \sin^3\theta}} \qquad (506.37)$$

여기서,

I_s : 분배수직브레이싱의 환산단면 2차모멘트

h : 분배수직브레이싱의 높이

A_1 : 현재의 단면적

A_2 : 사재의 단면적

θ : 사재와 주거더와의 교각

<그림 506.50> 분배수직브레이싱의 계산 모델

3.1.5 중간수직브레이싱 및 단부수직브레이싱의 설계

(1) 중간수직브레이싱의 설계

중간수직브레이싱은 다음과 같은 기능을 갖는 것으로 고려한다.

① 주거더의 전도를 방지하고 안정시키며, 주거더를 계산시의 모델대로 보로서 거동하도록 하는 역할을 한다.

② 주거더의 상대변위를 억제하고 바닥판을 보호함과 동시에 하중분배작용에 기여한다. 단분배가로보를 사용하는 경우 수직브레이싱에 의한 분배효과는 잉여내력으로 계산에 포함시키지 않는다.

③ 횡하중에 대해 주거더, 수평브레이싱 및 중간수직브레이싱에 의한 평면트러스계를 형성한다.

④ 가설시의 위치결정에 필요한 부재이다.

이상의 기능에 대해 엄밀한 응력해석을 하는 것은 설계를 매우 복잡하게 하며, 종래의 수직브레이싱에 의존하여도 통상 응력 상의 문제는 없다. 그러나 다음의 사항에 주의하여야 한다.

i) 각 부재는 [도·설 3.4.7.2 수직브레이싱과 수평브레이싱의 구조] 및 [도·설 3.4.1.4 부재의 세장비]의 규정을 만족할 것

ii) 적어도 횡하중에 의한 힘에 대해 응력을 검토할 것

<그림 506.51> 횡하중에 의한 응력 검토

구조상세에 대해서는 다음의 치수에 주의하여야 한다.

S_1 : 거푸집, 도장의 작업성을 위해 100mm 이상
S_2 : 단부수직브레이싱이나 수평브레이싱의 치수, 받침의 소울플레이트 등으로부터 결정
S_3 : 용접길이의 조사를 위한 공간
S_4 : 10~15mm를 표준으로 하고 수직브레이싱의 사용이 용이하게 할 것

<그림 506.52> 중간수직브레이싱의 구조상세

거세트와 수직보강재의 관계는 편심을 적게 하기 위해 가능한 한 <그림506.53>과 같이 하는 것이 좋다. 그 외의 상세치수는 <그림 506.54>에 나타낸다.

<그림 506.53> 거세트와 수직보강재의 연결

R=15정도
d_1, d_2, d_3=10, d_4=40, d_5=30 (단위:mm)

<그림 506.54> 기타의 구조상세

(2) 단부수직브레이싱의 설계

단부수직브레이싱은 다음과 같은 기능을 갖는 것으로 고려한다.

① 주거더의 위치를 확보하고 비틀림변형을 구속한다. 즉, 연직하중, 수평하중 등에 의해 주거더에 가해지는 비틀림모멘트를 받침위치에서 연직력의 성분으로 변환한다.

② 통상 교량 단부의 바닥판을 두껍게 증가시켜 단부수직브레이싱의 상현재와 결합시키지만 이 상현재는 윤하중을 지지할 수 있도록 설계한다.

이러한 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 충복(充腹)형식의 단부가로보가 강성이 큰 경우가 좋지만 경제성, 교대위치의 도장이 어렵기 때문에 작업성을 고려하여 수직브레이싱 형식을 선택한다.

<그림 506.55> 단부수직브레이싱의 형식

수직브레이싱의 형식으로는 V형과 역V형이 있으나 단부수직브레이싱의 경우에는 윤하중을 부담하기 때문에 역V형의 방법이 효과적이다. 어떤 경우에도 상현재는 구형강(溝形鋼) 등을 이용하고, 슬래브와 일치되도록 바닥판과 결합시킨다.

또 횡하중에 대해 단부수직브레이싱을 설계하는 것 외에, 위에 기술한 단부수직브레이싱의 상현재는 DB하중을 지지할 수 있는 단면을 선택한다.

구조치수 상 주의하여야 할 사항은 <그림 506.56>과 같다.

주(1) : 주거더플랜지와 바닥틀 상부면은 일치시키는 것이 거푸집 시공상 좋다.
따라서 다주거더의 경우 교량 단부의 상부플랜지 두께를 어느 정도 맞추는 것이 좋다.
S_1 : 10~15mm를 표준으로 한다. 사교나 폭이 넓은 바닥틀을 사용하는 경우에는 가설이 곤란한 경우가 있다.
S_2 : 70~90mm를 표준으로 한다.
S_3 : 볼트 작업이 용이하도록 250~300mm를 표준으로 한다.

<그림 506.56> 단부수직브레이싱의 구조상세

3.1.6 수평브레이싱의 설계

수평브레이싱은 다음과 같은 기능을 갖는 것으로 고려한다.

① 지진하중, 풍하중 등의 수평하중을 지점까지 전달한다.

② 가설시의 위치 결정재 이다.

③ 하부플랜지의 횡방향 진동을 방지한다.

④ 주거더와 공동으로 일종의 준상자형거더를 형성한다.

통상적으로 ①의 기능에 대해 해석되어 설계되지만 바닥판 또는 수직브레이싱 등이 수평브레이싱의 기능을 갖는 있는 경우에는 생략해도 관계없는 경우가 있다. 일반적으로 상로플레이트거더에서는 상부수평브레이싱을 생략하여 설계하는 경우가 많다. 또한 지간장 25m 이하에서는 강한 수직브레이싱이 있는 경우 하부수평브레이싱도 생략할 수 있다([도·설 3.8.8.2 수평브레이싱] 참조).

수평브레이싱의 형식 선정 상의 기본은 다음과 같다.

ⅰ) 지간 전장에 걸쳐 적어도 1열의 수평브레이싱을 배치할 것. 단부 부근에만 설치하는 것은 바람직하지 않음

ⅱ) 주거더가 3개 이상인 경우 적어도 2열의 수평브레이싱을 배치할 것

ⅲ) 지점부근은 수평하중을 모든 받침에 균등하게 분산시키는 것으로 할 것

수평브레이싱의 배치 예는 <그림 506.57>과 같다.

<그림 506.57> 수평브레이싱의 배치

수평브레이싱에 가해지는 지진하중 및 풍하중은 등분포하중으로서 교축직각방향으로 작용하므로 아래와 같이 취급한다. 또한 풍하중은 수평브레이싱 부재력이 최대가 되는 위치에 임의의 길이에 걸쳐 작용하는 것으로 본다.

풍하측에 가해지는 하중은 풍상측의 1/2([도・설 2.1.11 풍하중])이며, [도・설]에 주어진 풍하중의 값은 풍상 및 풍하의 합계이지만 설계에서는 풍상측의 수평브레이싱이 그 전풍하중을 부담할 수 있도록 하는 것이 좋다.

또한 강바닥판교 혹은 지간에 비해 폭원이 넓고 주거더에 견고하게 결합된 철근콘크리트 바닥판을 갖는 교량에서는 바닥판이 풍하중의 1/2을 부담한다고 하여 하부수평브레이싱에는 전풍하중의 1/2을 부담시켜 설계해도 좋다.

지진하중은 전체 면적에 분포하여 가해진다고 생각할 수 있기 때문에 양측의 2열의 하부수평브레이싱이 각각 전하중의 1/2씩 부담하는 것으로 설계한다. 또 이 경우 상술한 조건을 갖는 바닥판에는 전하중의 1/2을 부담시키면 좋다.

3.1.7 거더 단부의 절취부의 설계

도시 내의 고가교 등에 있어서는 거더 아래의 공간제약으로 인해 거더 단부를 절취하는 경우가 있다. 이러한 경우는 비교적 간단하고 자주 이용됨에도 불구하고 구체적인 설계법이 명확하게 되어있지 않다. 또 종래의 예에서도 구조상세에 대해 신중한 배려가 없어 설계에 있어 충분한 주의가 필요하다.

현재 일반적으로 사용되는 절취부 형상은 <그림 506.58>과 같으며, 노치부는 가급적 곡선처리하는 것을 원칙으로 한다.

설계상 주의할 점을 열거하면 다음과 같다.

① 절취부 복부판의 전단응력은 응력집중의 영향을 고려하여 단순보로 설계한 값의 1.7배로 한다.

② 절취부 하부플랜지의 휨응력 역시 응력집중의 영향을 고려하여 단순보로 설계한 값의 1.7배로 한다.

③ 절취부도 일반부와 같이 휨과 전단에 의한 합성응력의 검토를 한다. 이 경우 각각 응력의 값은 ①, ②에 따른다.

<그림 506.58> 절취부 형상

④ 절취부의 용접부의 응력집중은 ①의 전단응력으로 복부판의 응력검토를 해 놓으면 별도로 검토할 필요가 없다.

⑤ 끼워 넣는 플랜지의 길이 l은 거더의 절취깊이 h' 정도로 한다(<그림 506.59>).

⑥ 끼워 넣는 플랜지 단부에는 보강재를 설치하지 않아도 좋다.

⑦ 보강재의 단면적은 절취한 하부플랜지 단면의 70% 이상으로 한다(<그림 506.59>).

⑧ 끼워 넣는 플랜지 선단의 복부판에도 복부판에도 응력집중의 영향을 보이므로 복부판 두께의 변화위치는 끼워 넣는 플랜지의 선단으로부터 $h/5$ 이상 떨어진 지점에서 하고 그 사이는 절취부와 동일한 복부판 두께로 한다(<그림 506.59>).

<그림 506.59> 거더 절취부

3.1.8 받침부의 설계

받침부의 설계상 주의 사항은 다음과 같다.

① 소울플레이트와 주거더 하부플랜지 및 단부보강재와의 치수관계에 주의 할 것

② 주거더의 구배 및 처짐회전각과 받침의 허용회전량의 크기에 주의할 것

③ 소울플레이트의 용접비이드, 세트볼트 등이 받침에 닿지 않게 치수를 검토할 것

④ 폭원이 큰 교량의 경우 교축지각방향의 온도변화의 영향에 대해서도 고려할 것

⑤ 소울플레이트의 두께는 최소두께를 22mm로 할 것

3.2 상자형교

3.2.1 일반사항

통상 박스거더교(상자형교)는 지간장 40~80m의 교량에 적용된다. 이 경우 보통은 철근콘크리트 바닥판을 사용하지만 지간이 80m 이상으로 되면 강바닥판이 이용되는 경우가 많다. 강바닥판박스거더교에서는 단일박스의 경우 캔틸레버부를 길게 하고, 병렬박스거더교의 경우에는 주거더의 간격을 넓게 하는 것이 경제적이다. 박스거더교의 설계에 있어서는 제작, 가설에 대한 배려를 염두에 둘 필요가 있다. 이는 일반적으로 단면이 I형거더에 비해 크고, 수송이나 가설법에 따라 형상 등이 결정되는 경우가 많기 때문이다. 또 구조강도 상에서도 완성상태에 이르기까지 안전성을 충분히 검토하는 것이 요구된다. 즉, 박스거더의 강성이 큰 점이 특징이지만 그 반면 전형적인 박판구조물로서 응력분포의 불균일, 변형의 증대, 혹은 국부좌굴의 불안정성 등의 악영향을 일으키기 쉬워 그와 같은 현상을 방지하는 기본적인 조건을 구비하도록 설계시점에 고려하여야 한다.

설계방법은 I형거더의 설계에 준한다. 단, 다실박스거더의 경우에는 전단응력의 흐름이 복잡해지기 때문에 보다 상세한 전단류 이론을 이용하여 검토하여야 한다.

3.2.2 일반제원의 계획

(1) 거더높이

일반적인 거더높이는 <그림 506.60>과 같다.

(a) 단일 박스거더

<그림 506.60> 강교 최대거더높이-박스거더

(2) 강재의 중량

박스거더의 강재의 중량은 <그림 506.61>과 같다.

(b) 병렬 박스거더

(c) 곡선 박스거더

<그림 506.62> 박스거더교의 단면치수

<그림 506.61> 강교 m^2당 강재의 중량(총중량)-박스거더

(3) 단면형상의 선정

박스거더 단면치수를 정리한 것이 <그림 506.62>이다.

거더높이가 매우 높은 박스단면형상은 박스거더로서의 특징을 상실하기 때문에 그다지 이용되지 않지만 연속거더 중간지점 등에서 특수한 사정이 있는 경우에 이용된다. 극단적으로 편평한 박스단면형상은 거더의 높이가 제한되

는 경우에 이용되며, 단면변형이나 플랜지의 유효폭의 문제에 관해 충분한 검토가 필요하다.

박스단면형상의 결정에는 수송상의 제한도 고려할 필요가 있다.

3.2.3 주거더의 설계

주거더의 설계는 통상의 I형단면 플레이트거더에 준하여도 좋으나 플랜지의 설계시에는 다음의 조건을 고려한다.

① [도·설 3.8.2.1 플레이트거더의 휨응력]에 따라 계산된 인장응력 및 압축응력이 [도·설 3.3.2.1 구조용 강재의 허용응력]의 "표3.3.1 및 표3.3.4"에 규정되는 허용응력을 초과하지 않을 것

② [도·설 3.8.2.1 플레이트거더의 휨응력] 식 (3.8.1)의 단면2차모멘트 산정시 전단지연을 고려해 [도·설 3.8.3.4 플랜지의 유효폭]을 적용한다.

③ [도·설 3.3.2.1 구조용 강재의 허용응력]에 규정되어있는 바와 같이 박스거더는 충분한 횡방향 강성을 갖고 있기 때문에 휨허용응력은 인장허용응력과 같은 값을 이용하는 것이 좋다.

④ 압축플랜지의 판두께는 [도·설 3.4.2 압축응력을 받는 판 및 보강판]의 규정을 만족할 것. 단 충분한 보강재를 배치할 때는 고정단거리 b로서 복부판 중심간격을 대신하여 이용하는 것이 좋다.

⑤ 압축플랜지는 좌굴에 대해 충분한 안전성을 가져야 한다. 따라서 용접에 의한 초기 뒤틀림이나 잔류응력의 영향을 피하기 위해 판두께를 크게 하고, 보강재의 수를 작게 하는 것이 바람직하다.

⑥ 인장플랜지의 판두께는 [도·설 3.8.3.2 박스거더의 플랜지 두께]의 박스거더의 인장플랜지의 규정에 의해 $b/80$ 이상으로 한다. 단 b에 대해서는 압축플랜지와 같은 형태로 생각해도 좋다.

⑦ 바닥판이 합성된 박스거더의 전단연결재 설치 플랜지는 I단면 플레이트거더에 준해도 된다.

⑧ 하부플랜지의 돌출길이는 바닥판 지보공의 지지용에 100~150mm 정도 늘려 잡는 것이 보통이지만 지보공이 필요하지 않은 경우에는 용접변형을 고려하여 복부판 외면에서 15~30mm 정도 짧게 하는 것이 좋다.

(a) 동바리공 필요시 (b) 동바리공 블필요시

<그림 506.63> 하부플랜지의 돌출길이

⑨ 부재축을 통하여 플랜지의 두께가 변하는 경우에는 복부판의 용접과 내부 보강판의 제작 및 용접을 고려하여 내부면을 동일면에 일치시키도록 하는 것을 원칙으로 한다.

<그림 506.64> 판이음

보강재의 설계는 다음의 제반 조건을 만족하도록 설계한다.

① [도・설 3.4.2.2 압축응력을 받는 자유돌출판], [도・설 3.4.2.3 압축응력을 받는 보강된 판]의 판두께, [도・설 3.4.2.4 보강재]에 근거하여 보강재 간격, 소요강성, 강종 등을 선정한다.

② 강바닥판에 대해서는 보통 종리브, 횡리브도 응력계산으로부터 단면을 결정한다. 이 경우 횡리브의 강도를 [도・설 3.4.2.4 보강재]의 "식(3.4.5)"에 의해 계산하면 과대한 것이 되므로 강바닥판에 대해서는 이를 적용하지 않는다.

③ 종횡보강재의 교차점에서는 돌림용접을 하며, 다음과 같은 구조로 한다.

(a) 세로보강재에 인장력이 작용하는 경우의 구조

(b) 세로보강재에 압축력이 작용하는 경우의 구조

<그림 506.65> 보강재 교차부의 구조

④ 플랜지에 대하여 종방향보강재를 부착하는 경우 그 부착 각도는 용접시공성을 고려하여 플랜지면에 직각으로 부착하는 것을 원칙으로 한다.

<그림 506.66> 보강재의 설치 각도

⑤ 미관상의 이유로 박스 외측면을 평탄하게 맞출 필요가 있는 경우 종보강재의 용접이음은 <그림 506.67>과 같이 할 수 있다.

<그림 506.67> 용접이음

3.2.4 다이아프램의 설계

(1) 다이아프램의 효과

하중(주로 활하중)이 거더에 편심으로 작용하기도 하고 윤하중이 직접 플랜지에 작용하는 경우를 생각하면 거더단면은 원래의 형상을 유지하지 못하고 <그림 506.68>의 (a), (b)와 같이 변형을 일으킨다. 이를 약칭하여 단면변형이라고 한다. 이와 같은 단면변형을 일으키면 박스거더는 현저하게 강성의 저하와 국부응력의 증대를 초래하여 본래의 박스거더의 특성을 상실하게 된다. 따라서 이와 같은 일이 발생하지 않도록 충분한 강성을 갖는 다이아프램을 적당한 간격으로 배치할 필요가 있다.

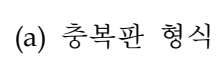
<그림 506.68> 박스거더의 단면변형

다이아프램의 효과를 요약하면 다음과 같다.

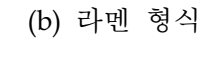
① 단면형상을 유지한다.

② 강성을 증대시켜 응력을 감소시킨다.

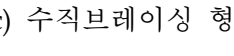
③ 국부 집중하중을 원활하게 거더에 전달한다.



(a) 충복판 형식



(b) 라멘 형식



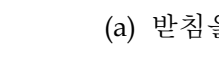
(c) 수직브레이싱 형식

<그림 506.69> 중간다이아프램의 표준형식

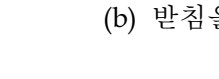
(2) 다이아프램의 형상

다이아프램의 표준적인 형상은 <그림 506.69> 및 <그림 506.70>에 나타낸 것과 같다.

일반적으로 중간다이아프램은 제작, 가설 및 부속물 설치의 필요성으로부터 충복판 방식의 경우라도 개구부를 갖는 경우가 많다. 이 경우 다이아프램의 성상이 충복판에 가까운지 라멘에 가까운지는 개구부의 크기에 따라 정해진다.



(a) 받침을 2개 사용하는 경우



(b) 받침을 1개 사용하는 경우

(단위 : mm)

<그림 506.70> 지점부 다이아프램의 보강구조

개구율 ρ를 다음의 식 (506.38)과 같이 정의하는 경우, $\rho \leq 0.4$ 이면 충복판으로 고려하고, $0.4 < \rho < 0.8$의 범위에서는 양자의 중간적인 성질을 나타낸다.

$$\rho = \sqrt{\frac{A'}{A}} = \sqrt{\frac{bh}{BH}} \qquad (506.38)$$

<그림 506.71> 개구율

(3) 중간다이아프램의 소요간격 및 강도

다이아프램의 설계에 관해 [도·설 3.8.8.1 수직브레이싱]의 "(1)"에서 규정하는 대로 지점에는 수직브레이싱을 설치 할 것, 또"(2)"에서 I 단면 플레이트거더의 규정 "중간수직브레이싱은 6m 또는 플랜지 폭의 30배 이내의 간격으로 설치 할 것"을 준용하도록 강조한다.

박스거더의 단면형상을 유지하기 위해 적당한 간격으로 중간다이아프램을 설치하여야 한다. 또 가로보 및 브라킷 설치부에는 작용력의 전달을 원활하게 하기 위해 중간다이아프램을 설치한다.

(가) 다이아프램의 간격은 다음 식 (506.39)를 만족하도록 결정하는 것이 좋다.

$$\begin{aligned} &L_D \leq 6 && (L_u \leq 50) \\ &L_D \leq 0.14 L_u - 1 && (L_u \geq 50) \\ &\text{단, } L_D \leq 20 \end{aligned} \qquad (506.39)$$

여기서 L_D : 다이아프램의 간격(m)

L_u : 등분포하중에 대한 등가지간장(m)이지만 단순거더의 경우에는 [도·설 3.8.3.4 플랜지의 유효폭]으로 이용되는 등가지간장을 사용함

이것을 그림으로 나타내면 <그림 506.72>의 실선 아래의 영역이 된다. 단, 이 한계는 도로교에 있어서 생각할 수 있는 편심 활하중 하에서 박스단면의 과대한 변형을 방지하는 것을 목적으로 하며, 바닥틀과의 관계나 제작, 운반, 가설의 상황에서는 L_D가 12m를 초과하면 2차적인 다이아프램을 중간에 설치하는 것도 고려할 수 있다.

<그림 506.72> 다이아프램의 간격

<그림 506.72>의 점선은 큰 f_{DW}를 일으키는 교량형식인 강바닥판 단실박스거더교에 편심 활하중을 재하시킨 경우에 f_{DW}/f_a가 2%, 4%, 6%로 되는 한계를 나타낸다. 지간이 커지면 f_a의 속에서 고정하중에 의한 응력 f_d가 차지하는 비율이 증가하고, 활하중에 의한 응력

f_{l+i}의 비율은 감소하기 때문에 f_{DW}를 최대로 하는 재하상태의 휨응력 즉, f_d+f_{l+i}는 f_a에 상당히 근접하게 된다. 그러므로 식 (506.39)는 지간이 작은 부분에서는 f_{DW}가 큰 값까지 허용하고, 지간장이 길면 이것을 약간 엄격하게 억제하도록 결정한다.

(나) 다이아프램의 강성 K는 다음의 식 (506.40)을 만족하여야 한다.

$$K \geq 20 \frac{EI_{DW}}{L_D^3} \tag{506.40}$$

여기서,

K : 다이아프램의 강성

L_D : 다이아프램의간격(식 (306.39)에서 주어지는 값)

I_{DW} : 박스거더의 단면형상에 대한 정수

E : 강재의 탄성계수

식 (506.40)에 나타낸 I_{DW}는 다음의 식으로 구한다.

$$\begin{aligned} I_{DW} = \frac{1}{3}\Big\{ & \alpha_1^2 F_u \left(1+\frac{2b_1}{B_u}\right)^2 \\ & + \alpha_2^2 F_l \left(1+\frac{2b_2}{B_l}\right)^2 \\ & + 2\left(\alpha_1^2 - \alpha_1\alpha_2 + \alpha_2^2\right) F_h \Big\} \end{aligned} \tag{506.41}$$

여기서,

F_u : 상부플랜지의 총단면적(리브 포함)

F_l : 하부플랜지의 총단면적(리브 포함)

F_h : 복부 1개의 단면적

B_u : 상부플랜지의 복부판 중심간격

B_l : 하부플랜지의 복부판 중심간격

b_1 : 상부플랜지의 돌출폭

b_2 : 하부플랜지의 돌출폭

<그림 506.73> 박스단면의 기호

또 α_1, α_2는 <그림 506.74>에 나타낸 단면변형에 따른 함수의 값으로 다음 식 (506.42)에 의해 계산한다.

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{e}{e+f}\frac{B_u+B_l}{4}H \\ \alpha_2 &= \frac{f}{e+f}\frac{B_u+B_l}{4}H \end{aligned} \tag{506.42}$$

단,

$$\begin{aligned} e &= \frac{I_l}{B_l} + \frac{B_u+2B_l}{12}F_h \\ f &= \frac{I_u}{B_u} + \frac{2B_u+B_l}{12}F_h \end{aligned} \tag{506.43}$$

여기서,

I_u : 리브를 포함하는 상부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

I_l : 리브를 포함하는 상부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

H : 복부의 높이

<그림 506.74> 박스단면의 단면변형에 따른 함수

(다) 다이아프램의 강성은 다음 식 (506.44)로 산출하며, 식 (506.40)을 만족하여야 한다.

① 충복판 방식

$$K = 4GAt_D \tag{506.44}$$

여기서,

G : 강의 전단탄성계수

A : 폐단면부의 판두께 중심선으로 둘러 쌓인 부분의 면적

t_D : 다이아프램의 판두께

② 라멘 방식(<그림 506.75>)

$$K = \frac{48E\left(\frac{b}{I_u} + \frac{b}{I_l} + \frac{6h}{I_h}\right)}{\frac{3h^2}{I_h^2} + \frac{2bh}{I_u I_h} + \frac{2bh}{I_h I_l} + \frac{b^2}{I_u I_l}} \tag{506.45}$$

여기서,

b : 수직부재의 중립축 거리

h : 상하부재의 중립축 거리

I_u : 라멘의 상부 부재의 단면2차모멘트(상부플랜지 판두께의 24배까지 유효하다고 생각함)

I_l : 라멘의 하부 부재의 단면2차모멘트(하부플랜지 판두께의 24배까지 유효로 함)

I_h : 라멘의 수직부재의 단면2차모멘트(복부판 판두께의 24배까지 유효로 함)

<그림 506.75> 라멘구조 방식의 다이아프램

단 식 (506.38)로 정의되는 개구율 ρ가 $0.4 < \rho < 0.8$의 범위에 있는 경우에는 <그림 506.76>에 나타낸 것과 같은 보정계수 β를 이용하여 다음의 식 (506.46)에 따라 강도를 보정한다.

$$K' = \beta \cdot K \tag{506.46}$$

여기서,

K' : 라멘의 수정 강도

β : <그림 506.76>에 나타낸 보정계수

K : 식 (506.45)에서 계산된 강성

H : 박스거더 복부판 높이
B : 박스거더 복부판 간격
A_f : 다이아프램 칼라플레이트 단면적
A_w : 다이아프램 복부판 단면적(<그림506.71> 참조)

<그림 506.76> 강성의 보정계수

③ 수직브레이싱 방식(<그림 506.77>)

X형인 경우

$$K = 8EA^2\frac{A_b}{L_b^3} \tag{506.47}$$

V형인 경우

$$K = 2EA^2\frac{A_b}{L_b^3} \qquad (506.48)$$

여기서,

A : 폐단면부의 판두께 중심선으로 둘러쌓인 부분의 면적

A_b : 사재 1개 단면적

L_b : 사재의 길이

<그림 506.77> 수직브레이싱 방식의 다이아프램

(4) 중간다이아프램의 응력검토

① 충복판 방식의 다이아프램 응력검토

충복판 방식의 경우는 다음 식 (506.49)로 나타내는 전단응력에 대해 검토한다.

$$\tau_u = \frac{B_l}{B_u} \cdot \frac{T_d}{2At_D}$$

$$\tau_h = \frac{T_d}{2At_D} \qquad (506.49)$$

$$\tau_l = \frac{B_u}{B_l} \cdot \frac{T_d}{2At_D}$$

여기서,

τ_u : 다이아프램 상연의 전단응력

τ_h : 다이아프램 측연의 전단응력

τ_l : 다이아프램 하연의 전단응력

B_u, B_l : 식 (506.41) 참조

t_D, A : 식 (506.44) 참조

T_D : <그림 506.79> 참조

<그림 506.78> 다이아프램의 응력

② 라멘 방식의 다이아프램 응력검토

다이아프램 응력은 <그림 506.79> 및 <그림 506.80>에 나타낸 것과 같은 계산모델로 검토한다.

T_D : 다이프램에 작용하는 마찰모멘트
T_C : 선하중에 의한 토크
T_U : 분포하중에 의한 단위길이당 토크
L_D : 다이아프램의 간격
h, I_U, I_l, I_h : 식 (506.45) 참조

<그림 506.79> 국부집중하중이 없는 라멘방식 다이아프램의 계산모델

<그림 506.80> 국부집중하중을 받는 라멘방식 다이아프램의 계산모델

③ 수직브레이싱 방식의 다이아프램 응력검토

X형인 경우

$$N_b = \frac{L_b}{4A} \cdot T_d \qquad (506.50)$$

V형인 경우

$$N_b = \frac{L_b}{2A} \cdot T_d \qquad (506.51)$$

식 (506.50) 및 식 (506.51)에서 산출된 축력은 다음 식 (506.52)을 만족하여야 한다.

$$N_b \le f_{ca} \cdot A_b \qquad (506.52)$$

여기서,

N_b : 사재의 축력

L_b, A_b : 식 (506.47) 및 식 (506.48) 참조

A : 폐단면부의 판두께 중심선으로 둘러 쌓인 부분의 면적

T_d : <그림 506.79> 참조

(5) 지점 위의 다이아프램의 응력검토

박스거더 지점부에는 박스거더의 단면형상을 유지하고, 또한 박스거더 복부판으로부터의 전단력을 받침에 원활하게 전달하기 위하여 지점위에 다이아프램을 설치한다.

지점 위의 다이아프램은 매우 중요한 부재이다. 그러나 그 응력전달기구가 복잡하고 합리적인 설계법이 확립되어있지 않다. 따라서 근사적으로 다음과 같은 조건을 고려하여 응력을 검토하도록 한다.

① 지압응력의 검토

받침 바로 위의 다이아프램의 응력은 다음 식 (506.53)으로 계산한다.

$$f_b = \frac{R_V}{A_s + B_a \cdot t_D} \qquad (506.53)$$

여기서,

R_V : 연직반력

A_s : 지점 위 보강재의 면적, 단 스캘럽에 의한 단면손실을 제함

B_e : 다이아프램의 유효폭

= 소울플레이트 폭 B + 하부플랜지 판두께 $t_f \times 2$

t_D : 다이아프램의 판두께

② 연직방향응력의 검토

연직방향응력은 다음 식 (506.54)로 계산한다.

$$f_V = \frac{R_V}{A_s + B_e \cdot t_D} \qquad (506.54)$$

여기서,

B_a' : 다이아프램의 유효폭([도·설 3.8.7.1 하중 집중점의 보강재]에 따른다)

<그림 506.81> 지압에 대한 유효단면

연직방향응력의 분포형상은 다이아프램 하단에서 최대가 되는 삼각형분포로 한다.

<그림 506.82> 다이아프램의 연직방향 응력

③ 수평방향응력의 검토

<그림 506.83>에 나타낸 휨모멘트 및 전단력에 대해 검토한다. 이러한 응력은 (b)에서 구한 f_V를 이용하고, [도・설 3.8.2.5 2축응력상태의 검산]의 "식 (3.8.6)"에 따라 2축응력의 검토를 한다.

<그림 506.83> 다이아프램의 휨모멘트와 전단력

3.2.5 받침부의 설계

구조모델의 가정과 실제 시공의 차이를 가능한 한 적게 한다고 하는 의미에서, 특히, 받침의 수는 그것이 교량 전체의 전도에 관하여 안전한 범위에서 가능한 적은 것이 좋다. 예를 들어 박스거더 병렬교에서는 1박스에 1개의 받침으로 하는 구조는 비틀림에 대한 고정모멘트를 지점 위의 가로보의 휨강성으로 받게 되므로 부의 반력을 대폭 경감하는 효과가 있고, 또 받침 시공시의 오차에 따른 구조상의 불안을 해소할 수 있다.

받침은 시공성을 위해 소요 작업 높이를 확보하여야 한다.

3.3 사교 및 곡선교

3.3.1 사교

(1) 일반

교량에서 사각이란 도로중심선(교축방향의 중심선)이 받침선과 이루는 각도(90°이하의 각도) θ를 일컫는 것이며, 각이 좌측 혹은 우측에 있는지에 따라 <그림 506.84>와 같이 정한다.

<그림 506.84> 사각의 종류

일반적으로 사교에서는 편심재하의 경우뿐만 아니라 교축 중심에 실린 하중에 의해서도 주거더에 비틀림이 발생한다. 또 직교의 경우와는 달리 사각이 작아지는 만큼 주거더의 휨모멘트가 작아지고 가로보의 휨모멘트가 증가한다. 이 경향은 주거더의 비틀림강성이 큰 경우에 뚜렷이 나타난다. 또한 사교의 휨모멘트 최대는 외측 주거더 지간 중앙보다 둔각부에 옮겨지는 결과를 초래하여 최대휨모멘트의 분포가 대칭성을 갖지 않는다.

더욱이 사각이 작아지면 주거더 단부 부근의 바닥판의 응력분포가 복잡하기 때문에 파손을 일으키기 쉽거나 받침 반력에 큰 영향을 주는 수가 있으므로 주의를 요한다. 이와 같은 이유로 거더 단부의 바닥판이 중요한 역할을 하는 합성거더의 사각은 60°이상으로 하는 것이 바람직하다.

강교의 주거더와 하중분배가로보 또는 수직브레이싱의 구성방식은 <그림 506.84>와 같은 2가지 방법이 있다.

(a)는 사방향으로 교차시키는 격자형식이며, 일반적으로 70°보다 큰 경우에 이용된다. (b)는 직각방향 교차의 격자형식으로서 사각이 70°미만인 경우에도 이용된다. 그 장단점을 비교하면 다음과 같다.

① (b)는 주거더 상호간의 캠버(솟음)차이가 생기기 때문에 가조립, 가설시의 위치를 고려할 필요가 있다.

② (b)는 주거더와 가로보, 수직브레이싱의 연결을 제외하고 제작이 용이하다.

③ (b)는 (a)에 비해 하중분배효과가 크다.

<그림 506.85> 하중분배 가로보 혹은 수직브레이싱의 조립

(2) 설계법

사교의 계산법은 종래에는 다음과 같은 방법 등이 이용되어 왔다.

① 사방향 교차 이방성판으로 치환하고 그 기초방정식을 추차법에 의해 계산하는 방법 (Guyon-Massonnet 방법의 응용)

② 격자이론의 적용 (F. Leonhardt, H. Homberg의 방법을 확장하여 응용)

③ 변형법을 이용한 격자구조계산

그러나 ①, ②에 의한 방법은 범용성을 상실하여 실제의 계산에 적용하는 데는 약간 곤란한 점이 있어서 현재는 컴퓨터의 발달로 ③을

이용하여 계산하는 경우가 많다. 이 경우 교량의 단부 부근의 가로보에 분배기능을 갖게 하면 구조를 어렵게 하기 때문에 피하는 것이 좋다.

(3) 가조립, 가설공법

I단면의 직교격자형식에서 사각이 작은 경우에는 주거더 상호의 캠버차이(<그림 506.86>)가 커지므로 주거더와 가로보의 연결이 매우 어렵다.

따라서 제작, 가설방법으로는 크게 나누어 다음과 같은 방법을 따른다.

① 각 주거더 사이의 캠버 차이에 맞춘 평행사변형의 수직브레이싱을 제작한다.

② 교량 완성시의 주거더에 맞춘 장방형 거푸집의 수직브레이싱을 제작한다.

①의 방법의 경우 가설시에 특별한 조치를 강구하지 않아도 수직브레이싱은 용이하게 설치할 수 있지만 교량 완성시에 주거더가 비틀리게 된다.

②의 방법의 경우에는 교량 완성시에 주거더를 연직으로 하는 것이 가능하지만 가설시에 수직브레이싱을 설치하는 것은 곤란하며, 아래와 같은 특별한 조치를 강구하여야 한다.

ⅰ) 프리트위스팅공법
가설시 주거더를 소정의 위치까지 비틀어 수직브레이싱, 수평브레이싱을 조립하고 주거더의 비틀림을 확인한 후 수직브레이싱 설치부의 확공을 한다.

ⅱ) 잭업-잭다운공법
거더를 캠버차의 양만큼 미리 상승시켜 놓고 바닥판 타설 후 하강한다.

ⅲ) 물(모래)하중공법
바닥판의 중량 정도의 물 또는 모래를 재하시켜 놓고 수직브레이싱을 조립한다.

ⅳ) 핀구조공법
수직브레이싱의 사재의 한쪽 볼트를 조이지 않고 처짐이 구속되지 않는 상태로 놓은 다음바닥판 타설 후 체결한다.

ⅴ) 구멍확장공법
주거더와 수직브레이싱의 조임볼트를 길게 확공하여 놓고 바닥판 타설 후 고장력볼트를 체결한다.

<그림 506.86> 솟음차의 영향

(4) 구조세목

(가) 교량 단부의 구조

교량 단부의 수직브레이싱의 연결방법은 <그림 506.87>에 나타낸 2가지의 방법이 있다.

(a)는 d거더의 지점부에 3개의 부재를 연결하기 때문에 세부구조가 복잡해진다. 또 단부 수직브레이싱에도 힘이 전달되므로 실제로 각 거더에 발생하는 응력도 복잡한 상태가 된다.

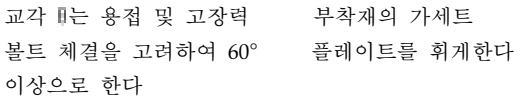
즉, 단부의 중간수직브레이싱은 d거더의 지점부에서 단부수직브레이싱에 의해 횡방향 변위가 구속되며, 또한 받침부분이 움직일 수 있어서 통상의 계산가정과 일치하지 않는다.

(b)는 세부구조가 (a)에 비해 간편하며, 받침의 반력분포 영향도 그다지 없지만 단부 부근의 주거더에 비틀림이 발생하기 때문에 주의하여야 한다.

<그림 506.87> 교량 단부의 수직브레이싱 설치방법

(나) 수직보강재의 설치방법

수직브레이싱 등을 설치하기 위해서는 수직보강재를 <그림 506.88>과 같이 한다.



<그림 506.88> 수직보강재 설치방법

(다) 수평보강재와 수직보강재의 접합

수평보강재와 돌림용접을 하고 <그림 506.89>와 같이 한다.

<그림 506.89> 수평보강재와 수직보강재의 접합

(라) I거더의 거더단부 형상

상부플랜지는 신축이음의 설치나 바닥판 타설상태에서 플랜지의 전폭을 경사지게 자르지만, 하부플랜지는 플랜지의 폭의 1/2을 경사지게 자르는 것만으로 충분하다(<그림 506.90>).

<그림 506.90> I거더 거더단부의 형상

(마) 박스거더의 다이아프램 방향

다이아프램은 지점을 제외하고 박스거더 직각으로 설치하는 것이 다이아프램의 강성을 높이고 제작도 용이하다(<그림 506.91>).

<그림 506.91> 박스거더 다이아프램의 방향

(바) 수평브레이싱의 조립방법

수평브레이싱 단면구성의 상태에서 <그림 506.92>의 (a), (b)를 각각 적절히 이용한다. (b)의 경우는 수직브레이싱이 수평브레이싱의 역할을 겸하고 있음을 고려하여야 한다.

<그림 506.92> 수평브레이싱의 조립

3.3.2 곡선교

(1) 일반

[도・설 3.8.2.3 비틀림모멘트를 고려하는 범위]에 의하면 구조물의 성질 상 비틀림에 의한 영향을 무시할 수 없는 경우에는 순수비틀림에 의한 전단응력과 뒴비틀림에 의한 전단응력의 합계 및 뒴비틀림에 의한 수직응력을 계산하기 위해 규정하고 있다.

거의 모든 곡선교는 구조물의 성질 상 비틀림의 영향을 무시할 수 없으며, 사각이 작은 사교 혹은 직선교라고 하더라도 큰 편심하중이 재하되면 비틀림의 영향을 고려하여야 한다.

곡선교에서는 주거더의 곡률이 특별히 작은 경우를 제외하고 대부분의 경우 비틀림에 의한 응력이 커지기 때문에 비틀림에 의한 영향을 고려하여야 한다. 다시 말해 곡선교에서는 비틀림에 대한 조치가 가장 큰 문제이다. 아래에 곡선교에 비틀림이 가해진 경우의 취급방법에 대한 개요를 기술한다.

(가) 비틀림을 받는 경우의 교량구조

교량구조는 단일 부재를 복잡하게 조립하여 구성하기 때문에 비틀림이 가해지면 거동 역시 복잡해진다. 비틀림의 문제는 크게 나누어 개별 단일 부재의 비틀림에 대한 저항거동과 주거더, 수직브레이싱, 가로보 등으로 구성된 복합구조 전체의 저항거동으로 나누어 생각한다.

전자는 참고자료가 많고 일반적으로 잘 알려진 역학적인 거동이므로 여기서는 생략한다. 박스형 단면 부재는 비틀림에 대해 큰 저항성을 갖지만, I형 단면 부재는 이른바 개단면 부재로서 비틀림 저항이 적어 비틀림에 의해 큰 변형을 받는 동시에 뒴을 일으킨다(<그림 506.93>). 뒴이 구속되거나 비틀림에 의한 회전각의 변화율(<그림 506.93>의 $d\phi/dx$)가 일정하지 않은 경우에는 단면의 길이방향(x축 방향)의 응력이 발생한다. 이것이 뒴비틀림응력 f_w이다.

<그림 506.93> 단일부재의 비틀림

구조전체가 비틀림에 저항하는 경우 역시 본질적으로는 단일부재와 동일하지만 단일부재의 뒴에 상당하는 것은 이와 같은 구조계 내의 주거더의 휨변형으로 변환되어 나타난다고 생각할 수 있다.

지금 <그림 506.94>에 나타낸 2개의 I형단면의 주거더로 구성된 교량의 중앙에 비틀림모멘

트 T가 작용하는 경우를 예로 들어 보자. 각각의 주거더에 비틀림강성이 거의 없으므로 단일부재로는 큰 비틀림변형을 일으키지만 2개의 주거더가 충분한 전단강성을 갖는 가로보로 연결되어있다면 2개의 주거더는 일체를 이루는 단면으로 비틀림에 저항하게 된다. 즉, 가해진 비틀림모멘트는 연직력으로 이루어진 1쌍의 우력으로 변환되어 주거더의 휨강성에 의한 저항을 받는다. <그림 506.94>에 나타낸 것처럼 $P = \pm T/a$이며, P에 의해 주거더에 생기는 휨응력이 교량 전체의 구조계를 1개의 부재로 간주하는 경우의 뒴비틀림응력에 상당하는 것이다.

<그림 506.94> I거더교의 비틀림

<그림 506.95>와 같이 비틀림강성이 매우 큰 박스주거더로 구성된 교량구조에 비틀림모멘트가 가해지면 각각의 박스주거더가 비틀림에 저항함과 동시에 <그림 506.94>의 예와 마찬가지로 휨강성에 의해서도 저항한다.

T : 비틀림모멘트

$T = P \cdot a + T_1 + T_2$

<그림 506.95> 2박스거더교의 비틀림

이상과 같이 교량의 전체적인 구조계로 비틀림에 저항할 때 비틀림의 대부분의 량은 휨응력으로 변환된 형태를 갖지만 각각의 주거더도 단면성상에 부응한 비틀림 저항을 한다. 주거더가 박스거더인 경우에는 비틀림저항이 커서 그 관계는 <그림 506.95>에 나타낸 것과 같지만 I형단면의 주거더인 경우에는 각 주거더에서 저항하는 비틀림모멘트의 량이 대단히 작고, 또 발생하는 뒴비틀림응력도 작기 때문에 일반적으로 설계에서 이를 무시하고 있다. 그러나 플랜지의 폭이 넓은 경우에는 무시할 수 없는 량이 발생할 수도 있으므로 주의하여야 한다.

(나) 비틀림에 의한 응력의 계산과 α값

[도·설 3.8.2.3 비틀림모멘트를 고려하는 범위]에 의하면 구조물의 성질 상 비틀림에 의한 영향을 무시할 수 없는 경우 즉, 설계 상 비틀림을 고려하는 경우의 비틀림에 의한 응력 취급방법을 파라메터를 α로 하여 다음 식 (506.55)로 비틀림상수를 계산하도록 하고 있다.

$$\alpha = l\sqrt{\frac{GK}{EI_w}} \qquad (506.55)$$

여기서,

l : 지점간의 부재길이(cm)

G : 전단탄성계수(kgf/cm)

K : 순수비틀림상수(cm^4)

E : 탄성계수(kgf/cm^2)

I_w : 뒴비틀림상수(cm^6)

즉, $\alpha > 10$의 경우에는 뒴비틀림에 의한 응력이 현저히 작아지기 때문에 계산을 생략하고, 순수전단응력에 의한 비틀림을 검토하는 것으로 충분하다. $\alpha < 0.4$의 경우에는 순수비틀림에 의한 응력은 무시할 수 있을 만큼 작기 때문에 뒴비틀림에 의한 전단응력과 수직응력의 검토를 하면 된다. 또한 $0.4 \le \alpha \le 10$의 범위에서는 순수비틀림과 뒴비틀림에 의한 응력을 모두 계산하여 검토하여야 한다.

곡선교 구조계 전체를 단일 곡선부재로 치환하여 취급하는 경우에 뒴비틀림응력을 무시할 수 있는 범위는 식 (506.56)과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha &> 10 + 40\Phi \quad (0 \le \Phi < 0.5) \\ \alpha &> 30 \quad (0.5 \le \Phi) \end{aligned} \tag{506.56}$$

여기서,

Φ : 곡선부재의 1경간 회전 중심각(라디안)

곡선교 전체를 단일부재로 치환하여 α값을 구하는 경우, 일반적으로 단일박스거더교 이외에는 뒴비틀림의 영향을 무시할 수 없다.

뒴비틀림 응력을 무시할 수 없는 곡선교의 설계계산은 일반적으로 동심원 상에 나란한 각 주거더의 단면정수를 정리한 단일 곡선부재로서 해석한 후 그 결과를 각 주거더에 분배하는 방법으로 계산한다.

α값에 의한 검산은 각각 부재에 대해서도 적용하여야 하며, 비틀림에 대한 지간장 l은 편이상 수직브레이싱, 가로보 등의 간격을 취하는 것이 가능하므로 I형단면 주거더에서는 α값이 0.4 이하, 박스주거더의 경우는 30~100으로 되는 것이 보통이다.

(다) 곡선격자거더

교량구조가 비틀림을 받는 경우, 각 주거더가 가로보 등으로 결합되어 있으면 전단면이 일체가 된 거동으로 되며, 주거더의 휨강성에 의해 대부분의 비틀림모멘트에 저항하는 경우에 대해서는 (1)에서 설명하였다. 이 관계를 격자거더교에 대해 그림으로 나타낸 것이 <그림 506.96>이다. 이는 I거더병렬교에 편심하중 P가 가해진 경우를 예로 든 것이다.

<그림 506.96> (a)는 P가 가해진 경우의 각 주거더플랜지의 응력분포를 나타낸다. 이것은 (b)~(e)의 각 작용에 대한 응력으로 분해할 수 있다. 즉,

$$f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 \tag{506.57}$$

격자거더는 일반적으로 각 부재의 뒴비틀림 강성을 고려하지 않는 해석이 이루어지므로 각각의 주거더의 뒴비틀림응력 f_3는 계산되지 않는다. 따라서 격자거더의 계산으로부터 구한 하부플랜지 응력 f는 다음과 같이 된다.

$$f = f_1 + f_2 + f_4 \tag{506.58}$$

또 교량의 전단면을 일체로 보아 단일부재로 간주하여 구한 뒴비틀림응력 f_w는 다음과 같이 된다.

$$f_w = f_2 + f_3 \tag{506.59}$$

$$f_s = \pm 0.106 \frac{f}{RZ_f}\left(A_f + \frac{A_w}{3}\right)\lambda^2 \quad (506.60)$$

여기서,

f : 상부 또는 하부플랜지의 휨응력($f_1+f_2+f_4$)

R : 주거더의 곡률반경

A_f : 상부 또는 하부플랜지의 단면적

A_w : 중립축으로부터 상부 또는 하부플랜지까지의 복부판의 단면적

Z_f : 플랜지폭 중앙의 수직축에 관한 상부 또는 하부플랜지의 단면계수

λ : 플랜지의 고정점간 거리

박스주거더로 된 곡선격자거더에서는 윗 식 중 Z_f가 현저하게 크기 때문에 f_s는 거의 계산할 필요가 없다.

<그림 506.96> 플랜지에 작용하는 수직응력

전단면을 일체로 하였으므로 주거더의 상대변위에 따른 응력 f_4는 격자강도 Z가 충분히 큰 경우에는 무시할 만큼 작다. 또 f_3는 (1)에서 설명한 바와 같이 일반적으로 작기 때문에 무시한다.

곡선교를 격자거더로 취급하는 경우의 비틀림과 응력의 관계는 이상의 설명과 같지만, 격자거더에 의한 해석은 부재의 절점 사이를 직선으로 취급하기 때문에 주거더가 절점 사이에서 곡선으로 작용하는 경우, 플랜지의 응력에 만곡에 의해 일어나는 부가응력 f_s를 가산하여야 한다. f_s는 <그림 506.97>에 나타낸 분포로 되며, 다음 식 (506.60)으로 계산한다.

<그림 506.97> 플랜지의 만곡에 의한 부가응력

f_s의 값은 <그림 506.98>에 나타낸 주거더의 경우, 아래의 계산처럼 된다.

<그림 506.98> 부가응력 f_s의 계산단면

$A_f = 40 \times 2.2 = 88 cm^2$

$\frac{A_w}{3} = 80 \times 0.9/3 = 24 cm^2$

$R = 100\,m$

$\lambda = 5\,m$

$f = 800\,kgf/cm^2$로 하면

$Z_f = \frac{40^2 \times 2.2}{6} = 587 cm^3$

$$f_s = \pm 0.106 \frac{f}{RZ_f}\left(A_f + \frac{A_w}{3}\right)\lambda^2$$

$$= \pm 0.106 \times \frac{800}{10,000 \times 587} \times (88 + 24) \times 500^2$$

$$= \pm 404 kgf/cm^2$$

플랜지의 응력은 곡선의 내·외측에서 각각 $\Sigma f = 800 \pm 404 = 1,204\,kgf/cm^2$ 및 396kgf/cm^{2}이다.

(2) 곡선거더의 설계

(가) 주거더의 형식과 설계

곡선교의 주거더에 박스거더를 이용하면 α 값으로 알 수 있듯이 뒴비틀림응력이 작아지고, 부가응력 f_s도 계산할 필요 없을 정도의 크기이므로 구조적으로 유리하다. 그러나 지간이 작은 경우에는 경제성을 고려해 I거더병렬교를 채택하는 것이 좋다.

곡선교의 주거더 형식에 의한 분류는 <그림 506.99>와 같다. 형식의 선택기준은 주거더의 강성이 같은 직선교에 비해 처짐의 증가가 5% 이하가 되는 조건을 고려하는 경우 <그림 506.100>과 같다.

(a) I거더 병렬교

(b) 박스거더 병렬교

(c) 단일박스거더교

<그림 506.99> 곡선교의 주거더 형식

주거더형식의 선택은 폭원의 크기에도 관계가 있으나 <그림 506.100>의 기준에 따르면 중심각이 5°~ 15°에서는 I거더병렬교가 유리하고, 15°~ 20°에서는 단일박스거더교가 유리하다. <그림 506.100>으로부터 중심각이 25°를 초과하면 설계에 상당히 무리가 있고, 중심각 5°이하에서는 직선교에 가까운 성질을 나타낸다.

<그림 506.100> 곡선교의 주거더 형식의 선택기준

단일박스거더교로 설계하는 경우에는 공식집을 이용하여 비교적 쉽게 계산할 수 있다. 이때 좌우의 받침 반력이 현저히 차이가 나므로 주의하여야 한다.

I거더병렬교, 박스거더병렬교의 경우는 동일한 형식의 직선교와 비교한 휨모멘트, 처짐, 반력 등의 변화율을 <그림 506.101>의 (a)~(d)를 이용하여 구하고 각 부재단면을 가정하여 설계계산을 수행한다.

불규칙한 형상을 갖는 곡선교의 설계계산은 임의형상의 격자거더에 대한 변형법의 적용을 통해 구하며 컴퓨터를 이용한다.

(나) 가로보

곡선교의 가로보는 비틀림 전달기구 중 가장 중요한 역할을 하기 때문에 충복단면을 사용하여 충분한 강성을 갖도록 하고, 주거더와 강결하는 것을 원칙으로 한다. 가로보의 단면을 개략적으로 계산하여 가정하고자 하는 경우에는 다음의 식을 이용한다.

$$M = M_0 \times \frac{\lambda}{R} \qquad (506.61)$$

여기서,

M : 가로보에 작용하는 휨모멘트

M_0 : 가로보 설치 위치에서의 주거더의 휨모멘트

λ : 가로보의 간격

R : 곡률반경

가로보의 간격은 특히, I거더병렬교의 경우 본 편람의 "3.3.2 (1) (다) 곡선격자거더"에 기술한 f_s를 작게 하기 위해서라도 직선교인 경우보다 좁게 설정하여 4~5m로 하는 것이 바람직하다.

(다) 수평브레이싱

I거더병렬의 곡선교에서는 상부와 하부에 수평브레이싱을 설치하는 것을 원칙으로 한다. 이는 가설시 및 완성 후의 교량 전체의 전도 혹은 좌굴에 대한 안정성을 높이고, 플랜지에 발생하는 부가응력을 경감하기 위한 것이다. 상·하부수평브레이싱을 주거더와 공동으로 작용하는 것으로 취급하는 준박스거더구조는 이론적으로 해명하기 어려운 부분이 있으므로 사용하지 않는 것이 좋다.

(a) 3-I형 주거더 (c) 2련 박스거더

(b) 4-I형 주거더 (d) 3련 박스거더

<그림 506.101> 곡선격자거더의 휨모멘트, 처짐, 반력

상・하부수평브레이싱과 주거더가 연결되는 위치에서는 횡하중 이외에 주거더 플랜지로부터 <그림 506.102>에 표시한 P_1, P_2의 주하중에 의한 부가응력이 가해진다.

<그림 506.102> 수평브레이싱의 부가응력

$$P_1 = \frac{\sin\theta_2}{\sin(\theta_1+\theta_2)} P_0 \qquad (506.62)$$

$$P_2 = \frac{\sin\theta_1}{\sin(\theta_1+\theta_2)} P_0$$

단, $P_0 = \dfrac{f\left(A_f + \frac{1}{3}A_w\right)}{R} \dfrac{(\lambda_1+\lambda_2)}{2}$

또 수평브레이싱의 단면에는 준박스거더 작용을 고려하여 순수비틀림모멘트에 의한 전단력을 가산하는 것을 원칙으로 한다.

(라) 강재 중량의 가정 및 기타 재료

① 강재 중량의 가정 (L : 지간장(m))

비합성단순I거더

$$W = 6.3L \sim 9.0L (kgf/m^2)$$

단순I거더

$$W = 4.0L \sim 6.3L$$

단순박스거더(합성, 비합성)

$$W = 4.8L \sim 8.6L$$

연속곡선거더

$$W = 5.0(L-10) \sim 5.0(L+30)$$

② 최적복부높이

단순비합성I거더 $L = 20 \sim 30m$

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{11} \sim \frac{1}{15}$$

단순박스거더 $L \fallingdotseq 40m$

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{25} \sim \frac{1}{30}$$

③ 주거더의 가정강비

$$I_0/I_i = 0.024\Phi + 1$$

여기서,

I_0 : 외측거더의 단면2차모멘트

I_i : 외측거더의 단면2차모멘트

Φ : 중심각(도)

(3) 곡선거더의 받침

(가) 일반

곡선교는 지점의 약간의 변위가 교량 전체의 특성에 큰 영향을 주기 때문에 받침의 시공에 매우 주의를 기울여야 하지만 설계에 있어서도 가능한 한 부반력이 생기지 않도록 검토하여야 하고, 지점상의 가로보를 가능한 강성이 큰 구조로 하는 등의 배려가 필요하다.

곡선교를 하나의 만곡들보로 치환하여 구조계산을 하는 경우 주거더의 지지조건은 비틀림에 대해 완전 고정으로 되기 때문에 박스거더를 주거더로 이용하는 경우에는 특별히 이론상의가정과 실제가 차이가 나지 않도록 충분히 비틀림에 강한 구조로 한다. 곡선격자거더로 취급하는 경우에는 주거더의 지점의 비틀림에 대한 구속의 성질을 실제에 부합하게 해석할 수 있다는 장점이 있다.

(나) 가동받침의 회전축과 이동방향

곡선교에 있어서는 가동받침의 회전축과 이동방향이 일치하지 않기 때문에 고정받침으로

서는 피보트받침, 받침판받침이 적당하고, 가동받침으로는 받침판받침이 적당하다. 롤러받침을 사용하는 경우에는 핀의 방향과 롤러의 방향에 각도를 주는 것이 일반적이지만 강거더가설의 정밀도를 엄격히 요구한다. 1개 롤러형의 받침은 그 특성이 곡선교에 적합하지 않다.

가동받침의 이동방향은 이것과 고정받침을 직선으로 연결한 방향으로 하는 것이 원칙이지만 거더 단부에서의 교면의 어긋남이 발생되어 신축이음이나 낙교방지장치 등에 나쁜 영향을 주므로 거더의 접선방향으로 받침의 이동방향을 향하게 하고 횡방향의 구속력에 견디도록 받침을 설계하는 것도 하나의 방법이다. 이 경우에는 온도변화에 따른 횡방향의 구속력이 상부구조에 미치는 영향에 대해서도 설계시 충분히 고려하여야 한다.

(다) 고정받침의 반력

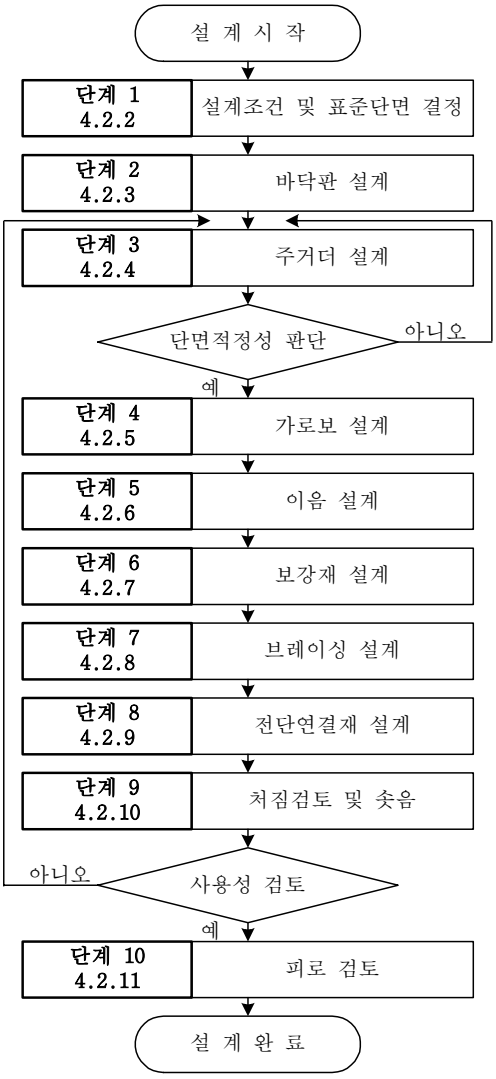
가동받침을 거더의 접선방향으로 배치하는 경우 고정받침의 지진시의 최대반력이 증가한다는 보고가 있으나 중심각이 30°까지는 2% 정도이므로 무시할 수 있다. 연속곡선교에서는 고정받침의 위치에 따라 최대수평반력의 차이가 거의 없으므로 가동받침의 신축량을 작게 하도록 하부공에 특별히 문제가 없는 한 중간지점을 고정으로 한다.

연속곡선교에서는 고정받침뿐만 아니라 가동받침도 중간지점 상의 연직반력이 곡률 내측의 받침에 큰 정반력을 일으키는 수가 있으므로 주의하여야 한다. 이것은 중간지간 하중에 의한 뒴비틀림효과가 원인이다.

506.4 플레이트거더교의 설계

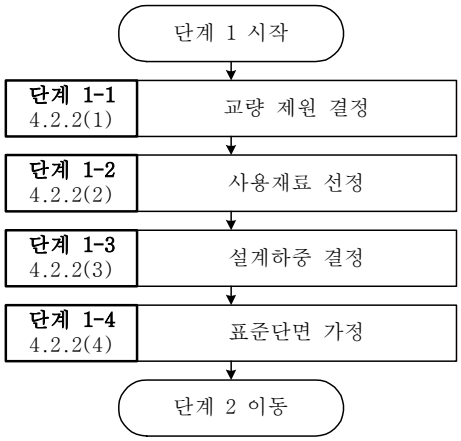
4.1 설계 흐름도의 구성

4.1.1 주설계단계



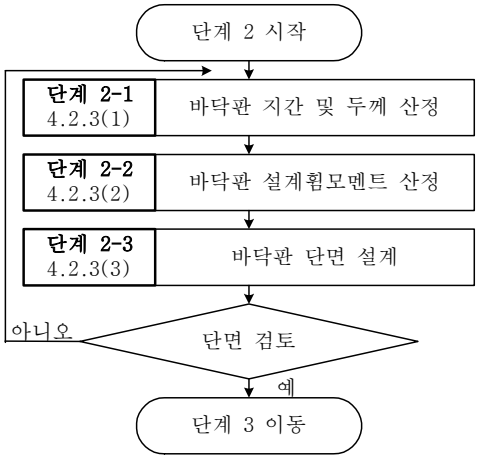
<그림 506.103> 주설계흐름도

4.1.2 [단계 1] 설계조건 및 표준단면 결정



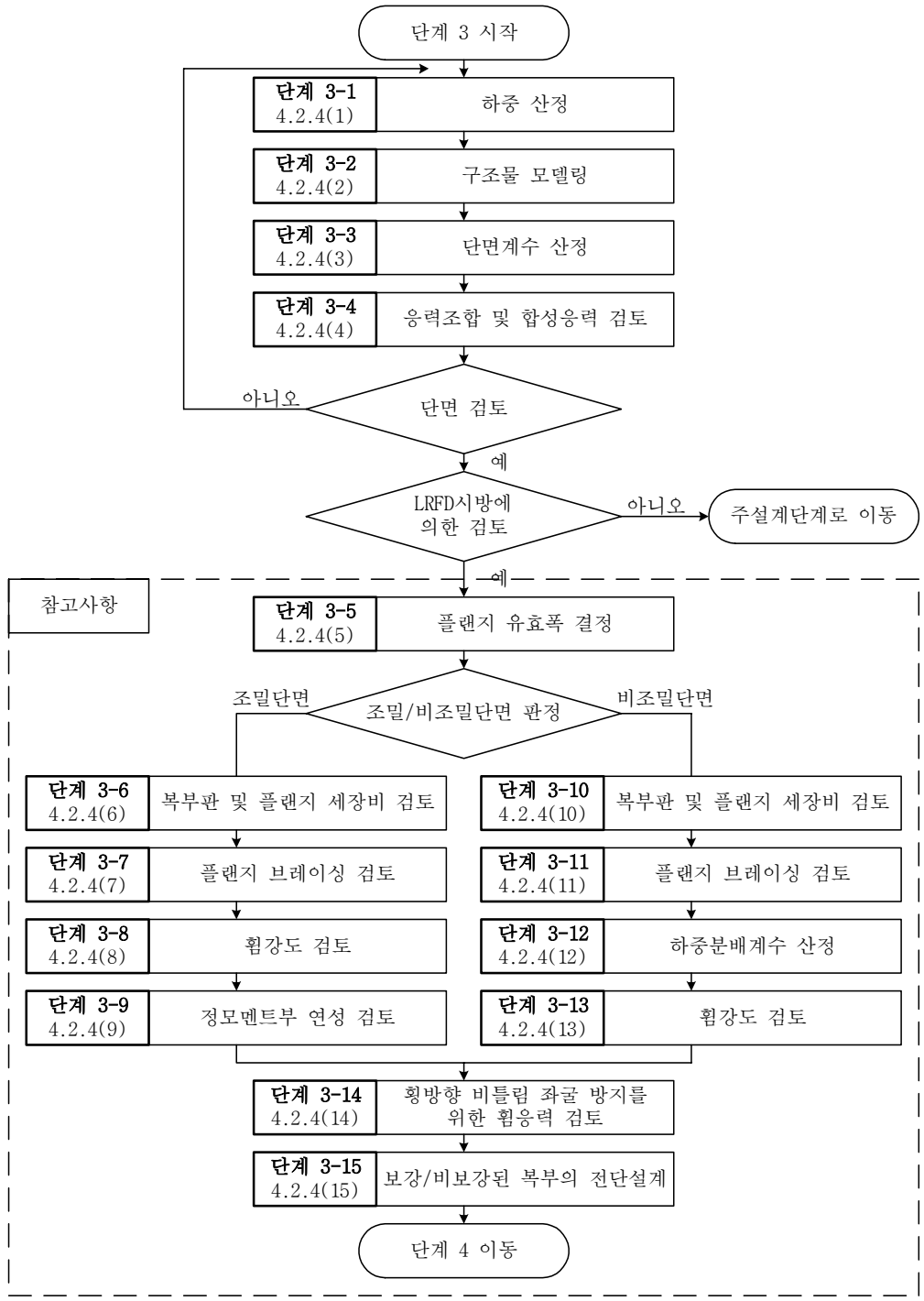
<그림 506.104> 설계조건 및 표준단면 결정

4.1.3 [단계 2] 바닥판 설계



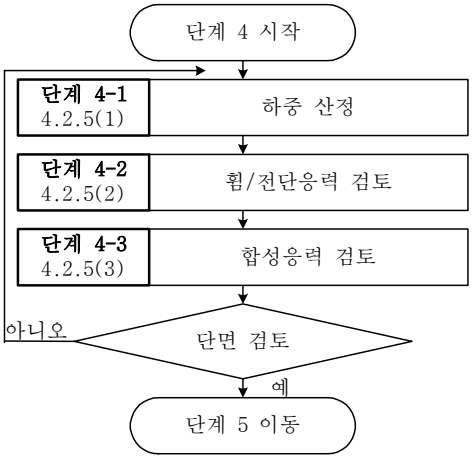
<그림 506.105> 바닥판 설계

4.1.4 [단계 3] 주거더 설계



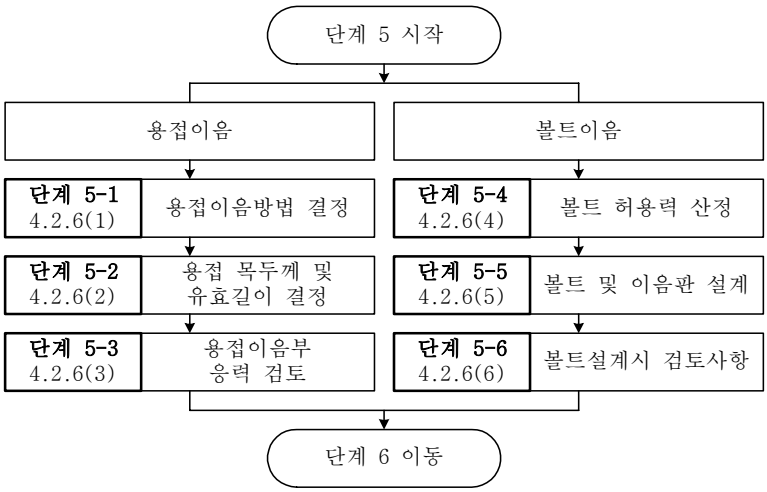
<그림 506.106> 주거더 설계

4.1.5 [단계 4] 가로보 설계



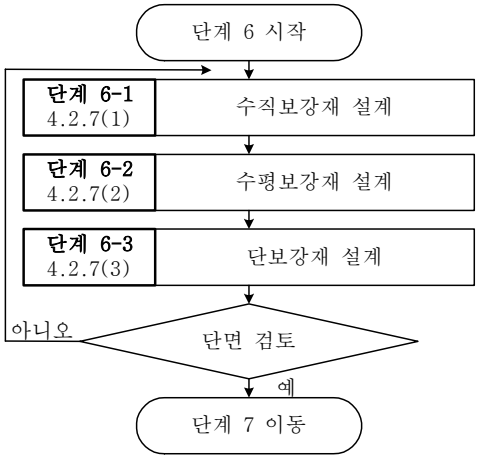
<그림 506.107> 가로보 설계

4.1.6 [단계 5] 이음 설계



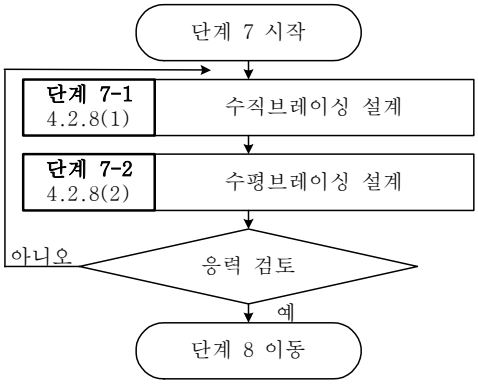
<그림 506.108> 이음 설계

4.1.7 [단계 6] 보강재 설계



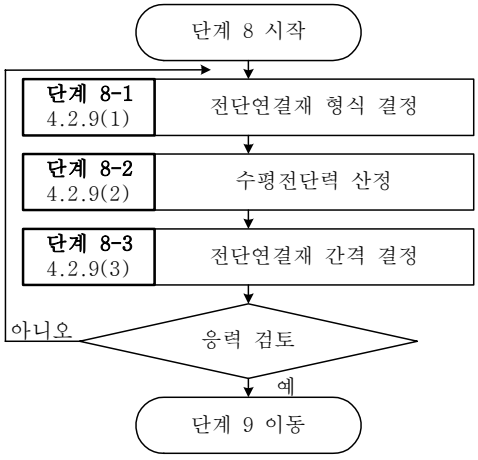
<그림 506.109> 보강재 설계

4.1.8 [단계 7] 브레이싱 설계



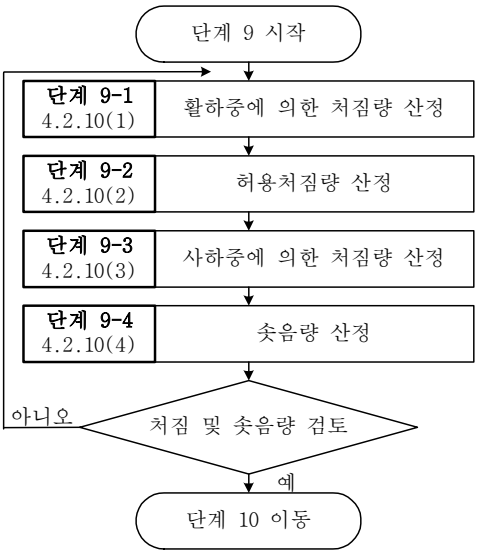
<그림 506.110> 브레이싱 설계

4.1.9 [단계 8] 전단연결재 설계



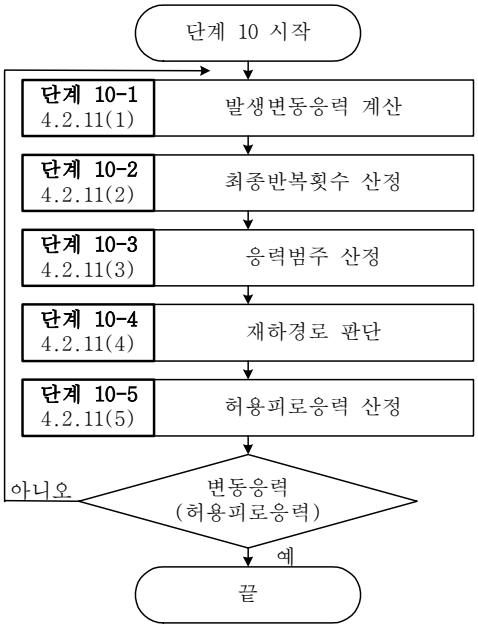
<그림 506.111> 전단연결재 설계

4.1.10 [단계 9] 처짐검토 및 솟음



<그림 506.112> 처짐검토 및 솟음

4.1.11 [단계10] 피로 검토



<그림 506.113> 피로 검토

4.2 설계단계별 고려사항

4.2.1 주설계단계

(1) 설계조건(교량 개요의 파악, 교량 연장 및 폭원 결정, 교량 설계방법 결정)

① [도·설 1.3 교량의 등급]의 규정에 따라 설계 활하중의 크기를 결정한다.

② 교량의 차로폭은 [도·설 1.5.2 구조규격]에 따라 적용한다.

③ 비합성거더 및 합성거더에서의 주거더 및 부부재의 설계방법은 [도·설 2.2.2 허용응력설계법]을 적용하며, 바닥판 콘크리트의 설계방법은 [도·설 2.2.3 강도설계법]에 따른다.

(2) 사용재료(재료 일반, 재료의 허용응력, 재료특성 파악)

① [도·설 2.3 사용재료] 및 [도·설 3.2.5 강재의 선정]에 따라 재료를 선택한다.

② 재료의 허용응력은 [도·설 3.3 허용응력]의 규정을 따른다.

③ 설계계산에 사용하는 재료의 물리상수는 [도·설 2.3.3 설계계산에 사용하는 물리상수]에 따른다.

(3) 설계계산

플레이트거더교 각 부재의 설계에 있어서 [도·설 2.2.2 허용응력설계법]에 규정된 하중조합에 의해 발생하는 응력이 구조형식에 따라 규정된 허용응력 이하인지를 검사하는 것으로 한다.

4.2.2 [단계 1] 설계조건 및 표준단면 결정

(1) 교량 제원 결정

국도 또는 고속도로에 가설되는 교량의 제원을 파악하고 접속도로와 교통량에 의해 [도·설 1.3 교량의 등급]에 따라 교량을 3등급으로 나누어서 설계한다.

(2) 사용재료 선정

[도·설 2.3 사용재료] 및 [도·설 3.2.5 강재의 선정]에 따라 사용재료를 선택한다.

(3) 설계하중 선정

플레이트거더교의 설계에는 [도·설 2.1.1 하중의 종류]에 규정된 주하중, 부하중, 주하중에 상당하는 특수하중, 부하중에 상당하는 특수하중에 대하여 고려하여야 한다.

(4) 표준단면 가정

① 교량의 형식(국도, 고속도로) 및 용도(본선, 램프)에 따라 차로수 및 차로폭이 결정되면, 이에 적합한 주거더수를 결정한다. 또한 지간장별 작용하중에 저항하는 최적의 주거더크기(폭, 높이)뿐만 아니라, 가설지의 지형을 고려하여 차량 운반이 가능한 주거더의 크기도 함께 검토한다.

② 상·하부 플랜지 및 복부, 가로보 및 세로보 단면의 결정은 [도·설 3.8.3 플랜지] 및 [도·설 3.8.4 복부판]에 따른다.

③ 보강재의 간격 및 단면의 결정은 [도·설 3.8.5 수직보강재] 및 [도·설 3.8.6 수평보강재]에 따른다.

④ I형 단면 플레이트거더교의 경우 일반적으로 휨에 의한 플랜지의 응력이 지배적이고, 복부판의 단면적을 적게 하는 것이 효율적인 단면을 얻게 된다. 따라서 주거더의 갯수는 적고 주거더 간격이 넓은 편이 경제적이라고 할 수 있다. 주거더의 간격은 철근콘크리트 바닥

판의 지간제한 때문에 4.0m까지만 할 수 있게 되어 현재 주거더 간격을 3.0m 내외로 배치하는 경우가 많으며, 기타 주거더를 배치할 때는 다음 사항에 대한 주의가 필요하다.

- 차륜하중의 재하위치를 고려한다.
- 외측 주거더와 내측 주거더의 하중부담의 균형을 고려한다.
- 바닥판 돌출부의 휨모멘트와 바닥판지간 중앙의 휨모멘트를 될 수 있는 대로 비슷하게 한다.
- 배수구, 부설재 등이 장해가 되면 안된다.

⑤ 복부판의 경제적 높이는 주거더간격, 사용강재의 종류에 따라서도 다르며, 일반적으로 다음 사항을 고려하여 결정하여야 한다.

- 소요거더 하 공간과 계획노면 높이의 관계
- 경제적 거더 높이
- 복부판 높이와 복부판 두께에 관한 설계기준 규정
- 플랜지 폭, 플랜지 단면적
- 수송상의 제한

4.2.3 [단계 2] 바닥판의 설계

(1) 바닥판 지간 및 두께 산정

① 적용범위는 변장비가 1:2 이상인 철근콘크리트 바닥판으로 한다.

② 바닥판의 지간은 [도·설 3.6.1.3 철근콘크리트 바닥판]에 따라 결정하며, 단면가정을 위한 철근콘크리트 바닥판의 최소두께는 [도·설 3.6.1.5 바닥판의 최소두께]에 따른다.

(2) 바닥판 설계휨모멘트 산정(고정하중·활하중 산정, 충격계수 산정)

① 바닥판 단면검토를 위한 고정하중 및 활하중의 적용은 [도·설 2.1.2 고정하중] 및 [도·설 2.1.3 활하중], 그리고 [도·설 3.6.1.4 바닥판의 설계 휨모멘트]에 따른다.

② 충격하중은 [도·설 2.1.4 충격]에 의해 산정된 충격계수를 활하중에 곱한 값으로 한다.

(3) 바닥판 단면 설계(주철근 및 배력철근량 산정)

① 주철근량 및 배력철근량의 산정은 [도·설 3.6.1.6~6.1.11]에 따라 철근의 지름, 덮개, 주철근 및 배력철근의 간격 등의 규정을 만족하도록 설계한다.

② 합성거더인 경우의 바닥판 설계는 ①항에 제시된 것 외에 [도·설 3.9.4 바닥판]의 규정도 만족하도록 설계하여야 한다.

(4) 사용성 검토(균열검토, 피로응력 검토)

① 콘크리트 구조물에 외력이 가해지면 인장부에 균열이 발생하게 되며, 지나친 균열부에 노출된 철근은 부식이 쉽게 되므로 균열에 대한 적절한 고려를 하여야 한다. 많은 시험과 실제 구조물과 관찰에 의해 밝혀진 균열폭에 영향을 주는 요인들은 다음과 같다.

- 이형철근을 사용하면 균열폭을 최소화 할 수 있다.
- 철근은 인장축 콘크리트면에 직경이 작은 철근으로 골고루 분포시켜 균열폭을 최소화할 수 있다(콘크리트 면적에 대한 총철근 보강비율).
- 균열폭은 콘크리트 덮개에 비례한다.
- 부재가 하중을 받을 경우 철근응력의 증가에 비례한다.
- 콘크리트의 인장강도, 부재의 크기와 형상

② 상기와 같은 요인들을 고려하여 균열폭을

최소화하여야 하며 R.C부재의 균열폭을 제한하기 위하여 다음 식을 사용한다.

$$w = 1.08 \times R \times f_s \times \sqrt[3]{dc \times A} \times 10^{-5} \text{ (mm)}$$

③ 허용균열폭 w_a(mm) [도·설 4.4.9.4]에 따른다.

4.2.4 [단계 3] 주거더 설계

(1) 하중산정

① 주거더 설계를 위한 고정하중은 [도·설 2.1.2 고정하중]에 따라 합성전 고정하중과 합성후 고정하중을 구분하여 산정한다.

② 활하중은 [도·설 2.1.3 활하중]에 따라 설계 차로폭을 결정하고 차량하중(DB) 및 차선하중(DL)을 재하하며, 충격하중은 [도·설 2.1.4 충격]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다.

(2) 구조물 모델링

① 교량의 상부는 각 주거더와 가로보, 세로보를 격자형태로 모델링하며 평면 곡선 및 Skew 효과를 고려한 3차원 모델링을 원칙으로 한다. 이때 플레이트거더교가 합성거더일 경우 주거더 및 가로보는 상부 바닥판의 단면 강성도 고려한다.

② 고정하중은 주거더의 강재 자중 및 콘크리트 바닥판의 자중을 고려하며, 바닥판 자중은 2차원 모델을 사용하여 거더에 반력으로 산정한 후 그 반력을 3차원 상부 모델에 재하한다.

③ 활하중은 각 거더에 편심하중으로 재하하며 경간별 및 차로별로 가장 불리한 하중조합을 도출한다. 차량 및 차선하중의 재하는 콘크리트 슬래브에 의한 하중의 횡분배 효과를 고려하여 최대로 불리한 경우의 주거더에 대하여 설계하여야 한다.

(3) 단면계수 산정

각 단면에 대하여 합성전, 합성후로 나누어 시공단계에 합당한 단면계수를 산정한다.

(4) 응력조합 및 합성응력 검토

① 휨모멘트에 의한 판형단면의 휨응력은 탄성이론에 따라 평면상태를 유지하는 경우에 한하여 [도·설 3.8.2.1 플레이트거더의 휨응력]에 따라 산정한다.

② 판형에서 휨에 의한 전단응력의 단면내 분포는 판형과 같은 얇은 단면의 경우, 전단력이 각 부재의 중앙선에 대하여 흐른다는 전단류(剪斷流) 이론에 의한 것을 엄밀해로 본다. 그러나 판형의 경우는 전단력의 대부분을 복부판에서 받아 지지하고, 복부판내에는 응력분포가 균일하게 분포되므로 [도·설 3.8.2.2 복부판의 전단응력]에 따라 산정하도록 한다.

③ 휨모멘트에 의한 휨응력과 휨에 따르는 전단응력에 대하여 설계할 경우 각 응력이 각각의 허용응력 안에 들어오더라도 합성응력이 허용응력을 초과하여 위험하게 될 경우를 고려하여 [도·설 3.8.2.4 합성응력의 검산]에 따라 합성응력을 검토하여야 한다.

④ 합성응력의 검토는 휨응력과 전단응력이 다같이 허용응력의 45%를 초과할 경우에 대해서만 수행하도록 한다.

⑤ 주거더의 플랜지와 라멘 가로보의 플랜지가 직접 연결되는 경우와 같이 주거더의 2방향 응력이 작용하는 부분에 대해서는 [도·설 3.8.2.5 2축응력 상태의 검산]에 따라 검토가 이루어져야 한다.

4.2.5 [단계 4] 가로보 설계

(1) 하중 산정

① 가로보 설계를 위한 고정하중은 [도・설 2.1.2 고정하중]에 따라 산정한다.

② 활하중은 [도・설 2.1.3 활하중]에 따라 설계 차로폭을 결정하고 차량하중(DB) 및 차선하중(DL)을 재하하며, 충격하중은 [도・설 2.1.4 충격]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다.

③ 기타 가로보에 작용하는 하중에 대해서는 [도・설 2.1 하중]에 따라 산정한다.

(2) 휨/전단응력 검토

휨모멘트에 의한 판형단면의 휨응력은 [도・설 3.8.2.1 플레이트거더의 휨응력]에 따라 산정하며, 복부판의 휨에 따르는 복부판의 전단응력은 [도・설 3.8.2.2 복부판의 전단응력]에 따라 산정한다.

(3) 합성응력 검토

① 휨모멘트에 의한 휨응력과 휨에 따르는 전단응력에 대하여 설계할 경우 각 응력이 각각의 허용응력 안에 들어오더라도 합성응력이 허용응력을 초과하여 위험하게 될 경우를 고려하여 [도・설 3.8.2.4 합성응력의 검산]에 따라 합성응력을 검토하여야 한다.

② 합성응력의 검토는 휨응력과 전단응력이 다같이 허용응력의 45%를 초과할 경우에 대해서만 수행하도록 한다.

4.2.6 [단계 5] 이음 설계

(1) 용접이음방법 결정

응력을 전단하는 용접이음에는 전단면(全斷面) 용입홈용접, 부분 용입홈용접 또는 연속 필렛용접을 쓰도록 하며, 용접이음방법의 결정은 [도・설 3.5.2.1 용접의 종류와 적용]에 따르도록 한다.

(2) 용접 목두께 및 유효길이 결정

① 응력을 전달하는 용접부의 목두께는 [도・설 3.5.2.2 용접부의 유효 두께]에 따라 산정한다.

② 용접부의 유효길이는 이론상의 목두께를 가지는 용접부의 길이로 하며, [도・설 3.5.2.3 용접부의 유효길이]에 따라 산정하도록 한다.

③ 필렛용접의 경우 필렛용접 치수 및 최소 유효길이는 [도・설 3.5.2.4 필렛용접의 치수] 및 3.5.2.5 필렛용접의 최소 유효길이]에 따른다.

(3) 용접이음부 응력 검토

① 용접이음에 축방향력 또는 전단력이 작용하는 경우 용접부에 발생하는 응력은 [도・설 3.5.2.6 축방향력 또는 전단력을 받는 용접이음의 응력]에 따라 산정한다.

② 휨모멘트를 받는 용접이음부에 발생하는 응력은 [도・설 3.5.2.7 휨모멘트를 받는 용접이음부의 응력]에 따라 산정한다.

③ 축방향력, 휨모멘트 및 전단력을 동시에 받는 용접이음에서는 [도・설 3.5.2.8 용접이음부의 합성응력의 검토]에 따라 합성응력에 대한 검토가 이루어져야 한다.

(4) 볼트 허용력 산정

볼트의 허용력은 [도・설 3.5.3.4 볼트의 허용력]의 규정에 따라 산정한다.

(5) 볼트 및 이음판 설계

① 고장력볼트를 사용한 볼트의 설계는 [도・설 3.5.3.5 볼트의 설계]에 따른다.

② 고장력볼트 이음에 있어서 이음판의 설계는 [도・설 3.5.3.6 이음판의 설계]에 따른다.

(6) 볼트설계시 검토사항

① 볼트설계시 인장재 순단면적의 계산은 [도・설 3.5.3.7 순단면적의 계산]에 따른다.

② 볼트의 최소/최대 중심간격은 [도・설 3.5.3.8 볼트의 최소 중심간격] 및 [도・설 3.5.3.9 볼트의 최대 중심간격]에 따르며, 연단거리는 [도・설 3.5.3.10 연단거리]에 따라 검토하여야 한다.

③ 연결하려는 부재 또는 재편 사이에 채움판을 넣을 경우 [도・설 3.5.3.13 채움판]의 규정에 따라야 한다.

4.2.7 [단계 6] 보강재 설계

(1) 수직보강재 설계

① 복부판 높이와 복부판 두께가 "본 편람의 <표 506.27>"에 표시한 이상의 경우에는 복부판에 필히 수직보강재를 설치하여야 한다. 수직보강재의 간격은 형고보다 좁게 택하는 것이 보통이고, 수직브레이싱간격은 등간격으로 배치하는 경우가 많다. 수직보강재의 간격을 조사하는 관계식은 [도・설 3.8.5.1 수직보강재의 간격]에 따라 정한다. 여기서, b는 상하 양플랜지의 순간격(cm)를 나타낸다.

② 연속형의 지점상에 있어서 전단응력이 비교적 큰 부분에서는 수직보강재의 간격이 좁아질 가능성이 있다. 이 경우에는 복부판 두께를 증가시켜 전단응력을 작게 하거나, 플랜지 휨응력에 여유를 주어 보강재간격이 극단적으로 좁게되는 것을 방지하여야 한다.

③ 수직보강재의 강도는 [도・설 3.8.5.2 수직보강재의 강도]에 따라 검토되어야 한다.

(2) 수평보강재 설계

① 복부판에는 복부판 두께와 복부판 높이의 관계로부터 계산에 따라 필요개수의 수평보강재를 [도・설 3.8.6.1 수평보강재의 위치]에 따라 설치하여야 한다. 수평보강재는 복부판의 한쪽에만 배치하고 돌출길이가 수직보강재보다 짧도록 하는 것이 일반적이며, 복부판의 좌굴파형의 마디가 되고 반드시 주거더가 내하력한계에 이를 때까지 좌굴되지 않을 정도의 강도를 지닐 필요가 있다. 그 필요강도는 [도・설 3.8.6.2 수평보강재의 강도]에 따른다.

② 수평보강재의 강재종류는 그 설치 위치의 복부판에 발생되는 최대응력과 같은 응력을 받는 것으로 하여 정하여야 하며, 보통 수직보강재와 수평보강재의 단부는 35mm 사이를 두고 설치하는 것이 일반적이다. 또한 복부판의 현장이음부에서는 수평보강재를 생략할 수 있으며, 보강재의 돌출부와 두께의 관계는 압축력을 받는 자유돌출부의 규정에 따르며, 복부판 응력이 낮은 곳에 설치한 보강재는 복부판응력과 같은 응력을 받고 있는 것으로 하여 두께를 줄여도 좋다.

(3) 단보강재 설계

지점 및 가로보・세로보・수직브레이싱 등의 연결부와 같이 하중이 집중되는 점에서는 보강재를 [도・설 3.8.7 하중 집중점의 보강재]에 따라 설계하여야 한다.

4.2.8 [단계 7] 브레이싱 설계

(1) 수직브레이싱 설계

① 수직브레이싱은 [도·설 3.8.8.1 수직브레이싱]에 따라 설계하도록 한다. 단, I형 단면 및 ㅍ형 단면의 플레이트거더교에서는 수직브레이싱 간격을 6m 이내로 설계하되 플랜지폭의 30배를 넘지 않는 간격으로 중간수직브레이싱을 설계하여야 한다. 또한 수직브레치싱은 주거더간격·수평브레이싱의 구조·현장이음의 위치 등을 고려하여 지간을 대략 등분하여 배치한다.

② 수직브레이싱을 하중분배거더로 하여 설계하는 경우에는 중간주거더과의 연결부에서 휨모멘트가 충분히 전달될 수 있는 구조가 되도록 하여야 하며, 이때 수직브레이싱은 주요부재로서 DL하중에 의하여 설계하여야 한다. 또한 지점상에는 필히 주거더간을 연결하는 단부 수직브레이싱을 설치하여야 한다.

(2) 수평브레이싱 설계

① 지간이 25m를 초과하는 경우 횡하중을 받침에 전달하기 위하여 수평브레이싱을 [도·설 3.8.8.2 수평브레이싱]에 따라 설계하도록 한다. 일반적으로 상부 수평브레이싱은 바닥판으로 대용하므로 하부수평브레이싱이 횡하중의 1/2을 받는 것으로 설계한다. 횡하중으로는 풍하중과 지진하중을 고려한다.

② 수평브레이싱의 평면은 보통 수직브레이싱의 하부면과 일치하도록 설치한다. 수평브레이싱 부재에는 일반적으로 L형단면 또는 ㄷ형단면이 사용되나 너무 작은 부재를 사용하면 강성이 부족하므로 최소 L형강을 75mm×75mm로 한다.

③ 수평브레이싱의 부재는 일반적으로 연결판에 플랜지의 한 면이 연결되도록 한다. 이 경우 인장부재의 경우에는 그 유효단면적의 감소, 압축부재의 경우에는 축력의 편심에 의한 영향을 고려할 필요가 있다.

④ 상로플레이트거더교에서 주거더가 강상판 또는 철근콘크리트 바닥판과 결합되어 있어 횡방향 좌굴 등의 변형에 견딜 수 있을 때에는 상부수평브레이싱을 생략할 수 있다.

⑤ 지간이 25m 이하이면서 튼튼한 수직브레이싱이 있고 바닥판이 주거더를 충분히 고정시키고 있다고 볼 수 있는 경우에는 하부수평브레이싱에서도 생략할 수 있으나 수평브레이싱은 가설시에 거더의 형상을 유지하는데 필요하므로 함부로 생략하지 않는 것이 좋다. 한편 곡선교의 경우에는 하부수평브레이싱을 생략할 수 없다.

4.2.9 [단계 8] 전단연결재 설계

(1) 전단연결재 형식 결정

전단연결재의 설계에 있어서 합성효과, 사용장소, 시공의 난이 등을 고려하여 [도·설 3.9.5.1 전단연결재의 종류] 중에서 선택하도록 한다.

(2) 수평전단력 산정

① 전단연결재는 각종 하중의 조합에 의한 강재들보와 바닥판 콘크리트 사이의 전단력이 가장 크게 되는 경우에 대해서 설계하며, 허용응력의 증가를 고려해서는 안된다[도·설 3.9.5.2].

② 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 바닥판 콘크리트와 강재들보의 온도차에 의해 전단연결재에 작용하는 전단력은 [도·설 3.9.5.3 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 바닥판 콘크리트와 강재 주거더의 온도차에 의해서 생기는 전단력]에 따라 산정한다.

(3) 전단연결재 간격 결정

전단연결재의 최대 및 최소간격은 [도·설 3.9.5.4 전단연결재의 최대 간격] 및 [도·설 3.9.5.5 전단연결재의 최소 간격]의 규정에 따른다.

4.2.10 [단계 9] 처짐 검토 및 솟음

(1) 활하중에 의한 처짐량 산정

① 처짐검토를 위해 충격을 제외한 활하중만을 재하하여 처짐량을 산정하도록 한다.

② 설계트럭하중만으로 얻은 처짐값과 설계차선하중과 조합된 설계트럭하중의 25%에 의해 얻은 처짐값 중 큰 값을 처짐검토를 위한 처짐값으로 사용할 수도 있다[AASHTO LRFD 3.6.1.3.2].

(2) 허용처짐량 산정

충격을 포함하지 않은 활하중에 의한 강교의 주거더 및 가로보의 최대처짐은 [도·설 3.2.3 처짐의 허용값]에서 규정한 값 이하라야 하며, 처짐은 부재의 총단면적으로 계산한다.

(3) 고정하중에 의한 처짐량 산정

(4) 솟음량 산정

① 지간 25m이상의 판형에서는 [도·설 3.8.9.1 솟음] 및 [도·설 3.9.7 솟음]에 따라 솟음량을 산정한다. 일반적으로 고정하중을 재하시켰을 때 발생하는 처짐만큼 미리 솟음을 주어 차후 고정하중이 실제로 재하되었을 때 처짐량이 발생하지 않도록 함을 원칙으로 한다.

② AASHTO LRFD 시방에서는 고정하중에 의한 처짐(솟음)에 의한 사용성의 검토를 위해 [AASHTO LRFD 3.4.1 Load Factors and Load Combinations] 중 ServiceⅡ하중조합에 해당하는 하중을 재하하여 처짐량을 산정하도록 하고 있으므로 참조하여도 좋다.

4.2.11 [단계10] 피로 검토

(1) 발생변동응력 계산

활하중에 의해 발생하는 최대응력과 최소응력의 대수차인 응력범위를 산출한다.

(2) 최종반복횟수 산정

최종반복횟수는 [도·설 3.3.4.2 설계응력반복횟수]에 따라 산정하도록 한다.

(3) 응력범주 산정

응력의 종류 및 범주는 [도·설 3.3.4.1 허용피로응력범위]의 <표 3.3.12>에 따라 적용한다.

(4) 재하경로 판단

단재하 및 다재하 경로 구조물의 결정은 [도·설 3.3.4.1 허용피로응력범위]에 따른다.

(5) 허용피로응력 산정

부재의 허용피로응력은 [도·설 3.3.4.1 허용피로응력범위]에 따라 산정하도록 한다.

4.3 설계예

4.3.1 설계조건 [단계 1]

(1) 형 식 : 플레이트거더교

(2) 연 장 : 40.00m

(3) 폭 원 : 12.14m

(4) 사 각 : 90°

(5) 설계 하중

① 고정하중 : 콘크리트 = 2.5 tonf/m^3

아스팔트콘크리트 = 2.3 tonf/m^3

② 활 하 중 : DB-24, DL-24

③ 충격계수 : $i = \frac{15}{40+L}$

(6) 사용재료 및 물리상수

① 콘크리트

• 설계기준강도 : $f_{ck} = 270$ kgf/cm^2

• 탄 성 계 수 : $E_c = 4,270 \times w^{1.5} \times \sqrt{f_{ck}} = 277,345$ kgf/cm^2

② 철근 (SD 40)

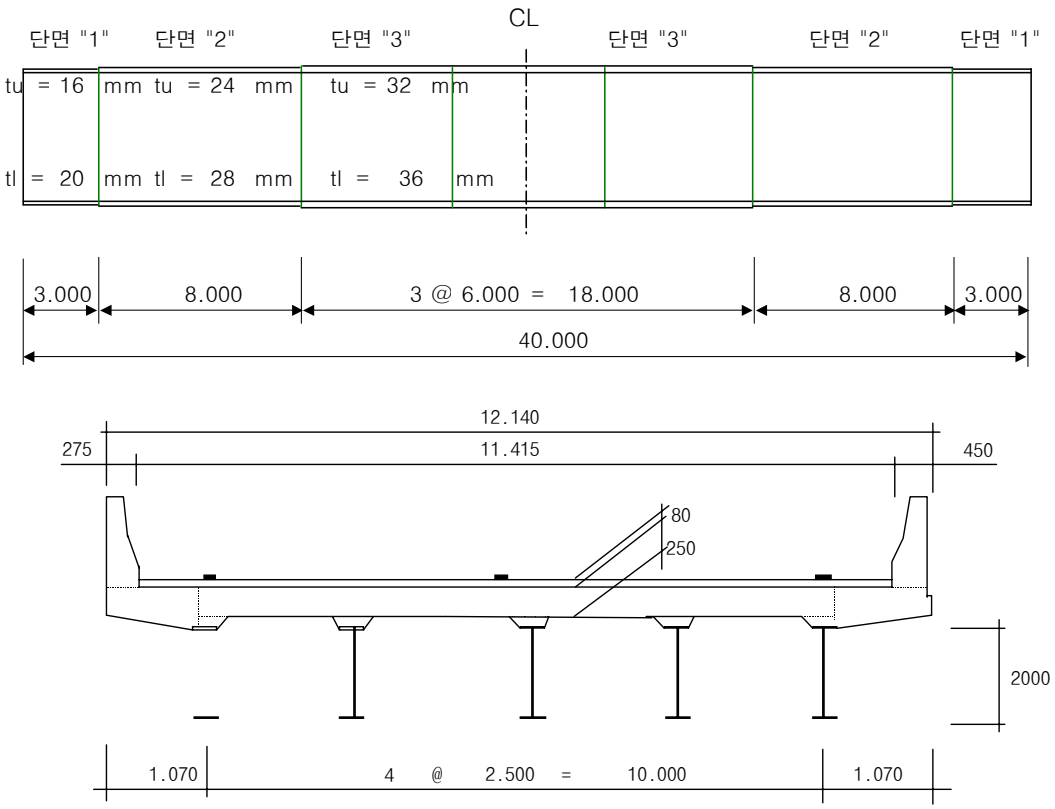
• 항 복 응 력 : $f_y = 4,000$ kgf/cm^2

• 탄 성 계 수 : $E_c = 2,000,000$ kgf/cm^2

③ 강재

• 탄 성 계 수 : $E_s = 2,100,000$ kgf/cm^2

4.3.2 표준 단면 가정 [단계 1]



<예제그림 506.4-1> 단면가정

4.3.3 바닥판 설계 [단계 2]

(1) 바닥판의 두께 검토 [단계 2-1][도·설 3.6.1.5]

① 중앙부

$L = 2.5$ m

$D = (3 \times L) + 13 = 20.5$ cm

$D_{req} = 20.5$ cm $\quad D_{used} = 25.0$ cm $> D_{req}$ ——> O.K

② 캔틸레버 (방호벽)

$L = 1.070 - 0.450 - 0.300 - 0.117 = 0.203$ m

$D = (28 \times L) + 18 = 23.7$ cm

$D_{req} = 23.7$ cm $\quad D_{used} = 33.0$ cm $> D_{req}$ ——> O.K

③ 캔틸레버 (중앙분리대)

$L = 1.070 - 0.275 - 0.117 = 0.378$ cm

$D = (8 \times L) + 23 = 26.0$ cm

$D_{req} = 26.0$ cm $\quad D_{used} = 33.0$ cm $> D_{req}$ ——> O.K

(2) 하중 산정 및 단면력 검토 [단계 1-2, 단계 1-3]

① 중앙부

가. 고정하중

• 아스팔트콘크리트 포장 : $0.08 \times 2.3 = 0.184$ tonf/m^2

• 자 중 : $0.25 \times 2.5 = 0.625$ tonf/m^2

$W_d = 0.809$ tonf/m^2

$M_d = \frac{(0.809 \times 2.5^2)}{10} = 0.506$ tonf·m

나. 활하중

$M_{1+i} = \frac{(L + 0.6)}{9.6} \times P_{24} \times (1 + i) \times 0.8$

지간 $L = 2.5$ m, $\quad P_{24} = 9.6$ tonf

$i = \frac{15}{(40 + L)} = 0.353 > 0.3$ ————> $i_{used} = 0.3$

$M_{1+i} = 3.224$ tonf·m

∴극한모멘트

$M_u = 1.3 M_d + 2.15 M_{1+i} = 7.589$ tonf·m

다. 단면 검토

콘크리트 설계강도 = 270 kgf/cm^2 철근의 항복 강도 (f_y) = 4,000 kgf/cm^2

극한모멘트 (M_u) = 7.589 tonf·m 강도감소계수 - 휨 = 0.85

극한전단력 (S_u) = 0 tonf 강도감소계수 - 전단 = 0.80

극한축하중 (N_u) = 0 tonf

단면폭 (B) = 100 cm

단면높이 (d) = 21 cm

$$a = \frac{A_s \times f_y}{\phi \times f_{ck} \times b} \quad \text{(1)}$$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{(2)}$$

식 (1)을 식 (2)에 대입하여 정리하면

$$\frac{A_s^{\,2} \times f_y^{\,2}}{\phi \times 2 \times b \times f_{ck}} - A_s \times f_y \times d + \frac{M_u}{\phi} = 0$$

근의 공식에 대입하여 풀면

$a = 348.584$ $b = -84,000$ $c = 892,813$

$\therefore A_s = 11.14$ cm^2

$$\min A_s = \frac{0.80\sqrt{f_{ck}}}{f_y} \times b \times d = 6.90 \text{ cm}^2$$

$$\min A_s = \frac{14}{f_y} \times b \times d = 7.35 \text{ cm}^2$$

$\therefore \min A_s = \max(6.90, 7.35) = 7.35$ cm^2

$A_{s,req} = 11.14$ cm^2

$A_{s,use} =$ H16@125 mm = 15.89 cm^2

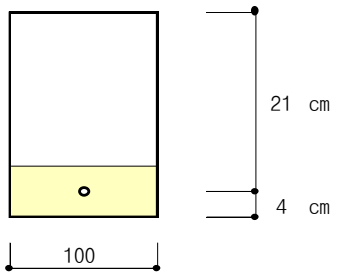
$$P_{\max} = 0.75 \times 0.85 \times k \times \frac{f_{ck}}{f_y} \times \frac{6000}{6000 + f_y} = 0.0219$$

$$P = \frac{A_s}{b \times d} = 0.00757 < P_{\max} \longrightarrow \text{O.K}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 2.769 \text{ cm}^2$$

$$\phi M_n = \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 10.596 \text{ tonf·m} > \text{Mu} \longrightarrow \text{O.K}$$

라. 사용성 검토



<예제그림 506.4-2>

모멘트 ($M = M_d + M_{l+i}$) : 3.730 tonf-m
단면폭 (b) : 100.00 cm
단면높이 (h) : 25.00 cm
피복 (h') : 4.00 cm
단면유효높이 (d) : 21.00 cm
유효인장 단면높이 (H') : 8.00 cm
사용 인장철근 (A_s) : 15.89 cm^2
1단 H16@125 (N_1) : 8 EA

• 허용균열폭 (W_a)

$W_a = 0.005 \times C$ (콘크리트의 최소 덮개) $= 0.160$ mm

• 균열폭 (W)

$$W = 1.08 \times R \times f_s \times \sqrt[3]{(dc \cdot A)} \times 10^{-5} \text{mm}$$

$R = 1.35$ (바닥판)

$$A = \frac{b \cdot H'}{N_1} = \frac{100.00 \times 8.00}{8} = 100.00 \text{ cm}^2/\text{EA}$$

$$f_s = \frac{M}{A_s \times \left(D - \frac{x}{3}\right)}$$

x (중립축의 높이) $=$ k × d

$$k = -n \times p + \sqrt{(n \times p)^2 + 2 \times n \times p}$$

$n = 8$

$$p = \frac{A_s}{b \times d} = 0.00757$$

$$k = -8 \times 0.00757 + \sqrt{8 \times 0.00757)^2 + 2 \times 8 \times 0.00757} = 0.2926$$

$x = 0.2926 \times 21.000 = 6.145$ cm

$$f_s = \frac{3.730 \times 10^5}{15.89 \times \left(21.00 - \frac{6.145}{3}\right)}$$

$= 1,238.652$ kgf/cm^2 < $f_{sa} = 0.6 \times f_y = 2,400$ kgf/cm^2 ——> O.K

$Z = f_s(d_c \times A)^{1/3} = 9,126.466$ kgf/cm^2 < 23,170 kgf/cm^2 ——> O.K

$$W = 1.08 \times 1.35 \times 1,238.652 \times \sqrt[3]{4.00 \times 100.00} \times 10^{-5}$$

$= 0.133$ mm < 0.160 mm ——————————————————> O.K

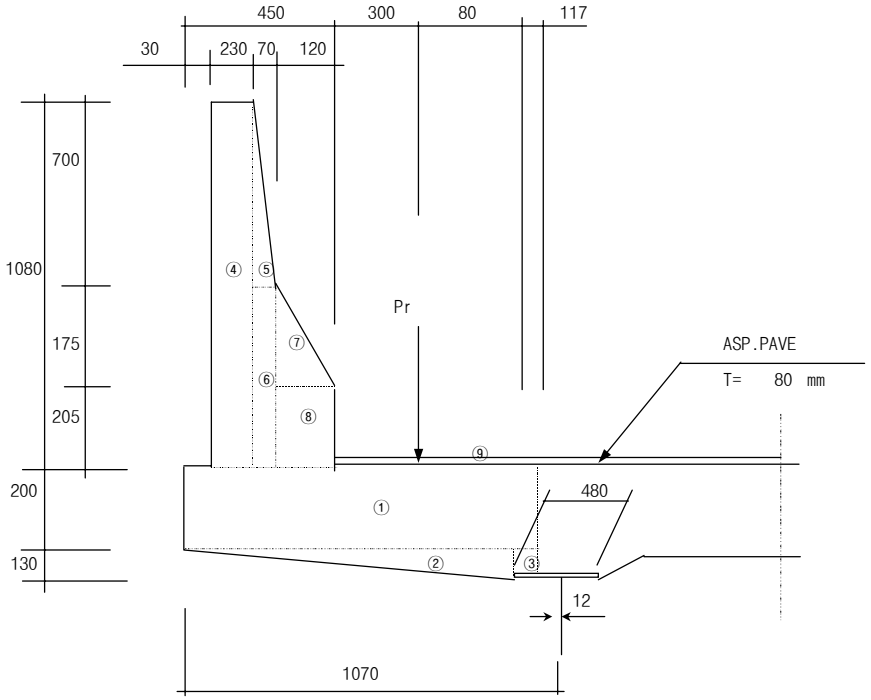
• 피로응력한계 검토

SD40 철근을 사용할 경우 철근의 인장 및 압축응력범위가 1,500 kgf/cm^{2}보다 작을 경우 피로에 대하여 검토하지 않아도 좋다[도·설 4.4.9.6].

f_s = 1,238.652 kgf/cm^2 < 1,500 kgf/cm^2 ——> 피로 검토 필요 없음

② 캔틸레버부 (방호벽)

가. 고정하중



<예제그림 506.4-3> 캔틸레버부(방호벽)

<예제표 506.4-1> 캔틸레버부(방호벽)

NO.	계 산 식	중량(tonf)	x(m)	모멘트(tonf·m)
①	0.200×0.947×2.5 =	0.474	0.474	0.224
②	0.130×0.830×2.5×0.5 =	0.135	0.277	0.037
③	0.117×0.130×2.5 =	0.038	0.059	0.002
④	0.230×1.080×2.5 =	0.621	0.802	0.498
⑤	0.070×0.700×2.5×0.5 =	0.061	0.664	0.041
⑥	0.380×0.070×2.5 =	0.067	0.652	0.043
⑦	0.175×0.120×2.5×0.5 =	0.026	0.577	0.015
⑧	0.205×0.120×2.5 =	0.062	0.557	0.034
⑨	0.080×0.497×2.3 =	0.091	0.249	0.023
	Σ	1.574		0.918

나. 활하중

$E = 0.8X + 1.14 = 1.298$, $X = 0.197$ m

$i = \frac{15}{40 + L} = 0.363 > 0.3$

$i_{used} = 0.3$

$M_{1+i} = \frac{P}{E} \times X \times (1+i) = 1.895$ tonf·m

• 가, 나에서

Used $M_u = 1.3 M_d + 2.15 M_{1+i} = 5.267$ tonf·m

다. 단면 검토

콘크리트 설계강도	= 270 kgf/cm^2	철근의 항복강도 (f_y)	= 4,000 kgf/cm^2
극한모멘트 (M_u)	= 5.267 tonf·m	강도감소계수 - 휨	= 0.85
극한전단력 (S_u)	= 0 tonf	강도감소계수 - 전단	= 0.80
극한축하중 (N_u)	= 0 tonf		
단면폭 (B)	= 100 cm		
단면높이 (d)	= 27 cm		

$$a = \frac{A_s \times f_y}{\phi \times f_{ck} \times b} \quad \text{(3)}$$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{(4)}$$

식 (3)을 식 (4)에 대입하여 정리하면

$$\frac{A_s^{\,2} \times f_y^{\,2}}{\phi \times 2 \times b \times f_{ck}} - A_s \times f_y \times d + \frac{M_u}{\phi} = 0$$

근의 공식에 대입하여 풀면

$a = 348.584$ $b = -108,000$ $c = 619,635$

$\therefore A_s = 5.85$ cm^2

$\min A_s = \frac{0.80\sqrt{f_{ck}}}{f_y} \times b \times d = 8.87$ cm^2

$\min A_s = \frac{14}{f_y} \times b \times d = 9.45$ cm^2

$\therefore \min A_s = \max(8.87, 9.45) = 9.45$ cm^2

$A_{s,req} = 5.85$ cm^2

$A_{s,use} =$ H16@125 mm = 15.89 cm^2

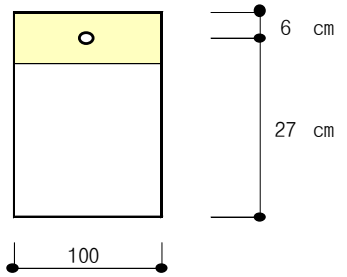
$$P_{\max} = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f_{ck}}{f_y} \times \frac{6000}{6000 + f_y} = 0.0219$$

$$P = \frac{A_s}{b \times d} = 0.00590 < P_{\max} \longrightarrow \text{O.K}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 2.769 \text{ cm}^2$$

$$\phi M_n = \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 13.837 \text{ tonf·m} > M_u \longrightarrow \text{O.K}$$

라. 사용성 검토



<예제그림 506.4-4>

모멘트 (M_u)	: 2.813 tonf·m
단면폭 (b)	: 100.00 cm
단면높이 (h)	: 33.00 cm
피복 (h')	: 6.00 cm
단면유효높이 (d)	: 27.00 cm
유효인장 단면높이 (H')	: 12.00 cm
사용 인장철근 (A_s)	: 15.89 cm^2
1단 H 16 @ 125 (N_1)	: 8 EA

- 허용 균열폭 (W_a)

$W_a = 0.005 \times C$ (콘크리트의 최소 덮개) $= 0.260$ mm

- 균열폭 (W)

$$W = 1.08 \cdot R \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{(dc \cdot A)} \times 10^{-5} \text{mm}$$

$R = 1.35$(바닥판)

$$A = \frac{b \cdot H'}{N_1} = \frac{100.00 \times 12.000}{8} = 150.00 \text{ cm}^2/\text{EA}$$

$$f_s = \frac{M}{A_s \times \left(D - \frac{x}{3}\right)}$$

x (중립축의 높이) $=$ k × d

$$k = -n \times p + \sqrt{(n \times p)^2 + 2 \times n \times p}$$

$n = 8$

$$p = \frac{A_s}{b \times d} = 0.00588$$

$$k = -8 \times 0.00588 + \sqrt{(8 \times 0.00588)^2 + 2 \times 8 \times 0.00588} = 0.263$$

$x = 0.263 \times 27.00 = 7.111$ cm

$$f_s = \frac{2.813 \times 10^5}{15.89 \times \left(27.00 - \frac{7.111}{3}\right)}$$

$= 718.754$ kgf/cm^2 $<$ $f_{sa} = 0.6 \times f_y = 2,400$ kgf/cm^2 ———> O.K

$Z = f_s(d_c \times A)^{1/3} = 6,939.494$ kgf/cm^2 $<$ 23,170 kgf/cm^2 ———> O.K

$W = 1.08 \times 1.35 \times 718.754 \times \sqrt[3]{(6.00 \times 150.00)} \times 10^{-5}$

$= 0.101$ mm $<$ 0.260 mm ————————————————> O.K

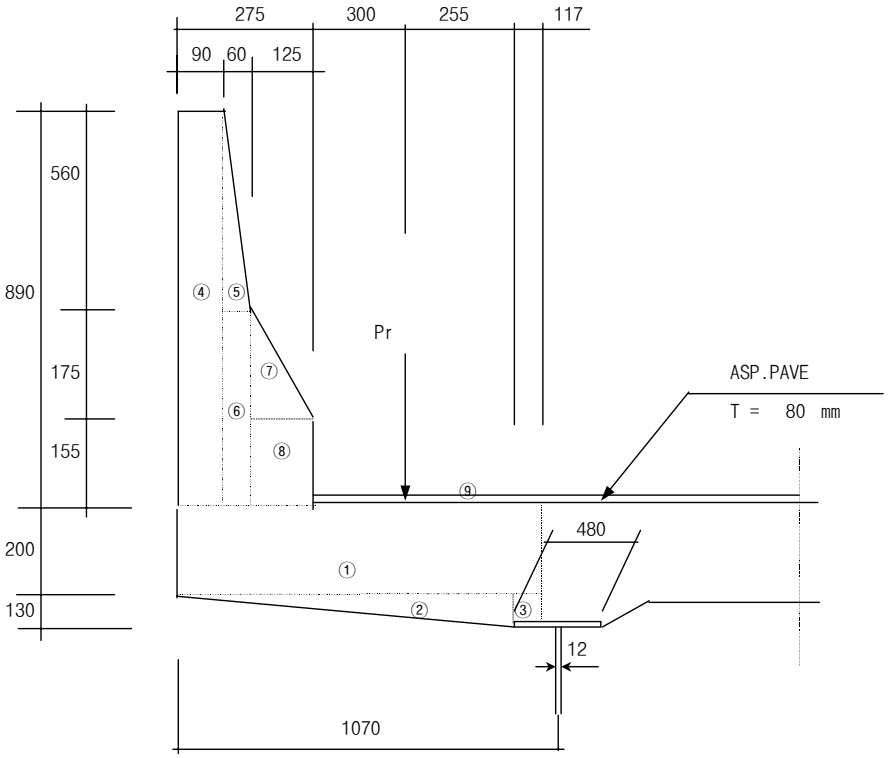
• 피로응력한계 검토

SD40 철근을 사용할 경우 철근의 인장 및 압축응력범위가 1,500 kgf/cm^{2}보다 작을 경우 피로에 대하여 검토하지 않아도 좋다[도·설 4.4.9.6].

$f_s = 718.754$ kgf/cm^2 $<$ 1,500 kgf/cm^2 ————> 피로 검토 필요 없음

③ 캔틸레버부 (중앙분리대)

가. 고정하중



<예제그림 506.4-5> 캔틸레버부(중앙분리대)

<예제표 506.4-2> 캔틸레버부(중앙분리대)

NO.	계 산 식	중량(tonf)	x(m)	모멘트(tonf·m)
①	0.200×0.947×2.5 =	0.474	0.474	0.224
②	0.130×0.836×2.5×0.5 =	0.136	0.396	0.054
③	0.117×0.130×2.5 =	0.038	0.059	0.002
④	0.090×0.890×2.5 =	0.200	0.902	0.180
⑤	0.060×0.560×2.5×0.5 =	0.042	0.837	0.035
⑥	0.330×0.060×2.5 =	0.050	0.827	0.041
⑦	0.175×0.125×2.5×0.5 =	0.027	0.755	0.021
⑧	0.155×0.125×2.5 =	0.048	0.735	0.036
⑨	0.080×0.672×2.3 =	0.124	0.336	0.042
	Σ	1.138		0.634

나. 활하중

$E = 0.8X + 1.14 = 1.438$, $X = 0.372$ m

$i = \frac{15}{40 + L} = 0.372 > 0.3$

$i_{used} = 0.3$

$M_{1+i} = \frac{P}{E} \times X \times (1+i) = 3.229$ tonf·m

• 가, 나에서

Used $M_u = 1.3 M_d + 2.15 M_{1+i} = 7.768$ tonf·m

다. 단면 검토

콘크리트 설계강도 = 270 kgf/cm^2 철근의 항복강도 (f_y) = 4,000 kgf/cm^2

극한모멘트 (M_u) = 7.768 tonf · m 강도감소계수 - 휨 = 0.85

극한전단력 (S_u) = 0 tonf 강도감소계수 - 전단 = 0.80

극한축하중 (N_u) = 0 tonf

단면폭 (B) = 100 cm

단면높이 (d) = 27 cm

$$a = \frac{A_s \times f_y}{\phi \times f_{ck} \times b} \quad \text{——————————} \quad (5)$$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{——————————} \quad (6)$$

식 (5)를 식 (6)에 대입하여 정리하면

$$\frac{A_s{}^2 \times f_y{}^2}{\phi \times 2 \times b \times f_{ck}} - A_s \times f_y \times d + \frac{M_u}{\phi} = 0$$

근의 공식에 대입하여 풀면

$a = 348.584 \qquad b = -108,000 \qquad c = 913,876$

$\therefore A_s = 8.71 \text{ cm}^2$

$$\min A_s = \frac{0.80\sqrt{f_{ck}}}{f_y} \times b \times d = 8.87 \text{ cm}^2$$

$$\min A_s = \frac{14}{f_y} \times b \times d = 9.45 \text{ cm}^2$$

$\therefore \min A_s = \max(8.87, 9.45) = 9.45 \text{ cm}^2$

$A_{s,req} = 8.71 \text{ cm}^2$

$A_{s,use} =$ H16@125 mm = 15.89 cm^2

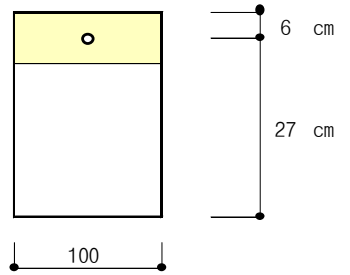
$$P_{\max} = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f_{ck}}{f_y} \times \frac{6000}{6000 + f_y} = 0.0219$$

$$P = \frac{A_s}{b \times d} = 0.00590 < P_{\max} \longrightarrow \text{O.K}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 2.769 \text{ cm}^2$$

$$\phi M_n = \phi \times As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 13.837 \text{ tonf·m} > M_u \longrightarrow \text{O.K}$$

라. 사용성 검토



<예제그림 506.4-6>

모멘트($M = M_d + M_{l+i}$) : 3.864 tonf·m
단면폭 (b) : 100.00 cm
단면높이 (h) : 33.00 cm
피복 (h') : 6.00 cm
단면유효높이 (d) : 27.00 cm
유효인장 단면높이 (H') : 12.00 cm
사용 인장철근 (A_s) : 15.89 cm^2
1단 H 16 @ 125 (N_1) : 8 EA

- 허용 균열폭 (W_a)

$W_a = 0.005 \times C$ (콘크리트의 최소 덮개) $= 0.260$ mm

- 균열폭 (W)

$W = 1.08 \times R \times f_s \times \sqrt[3]{(d_c \times A)} \times 10^{-5}$mm

$R = 1.35$ (바닥판)

$$A = \frac{b \cdot H'}{N_1} = \frac{100.00 \times 12.000}{8} = 150.00 \text{ cm}^2/\text{EA}$$

$$f_s = \frac{M}{A_s \times \left(D - \frac{x}{3}\right)}$$

x (중립축의 높이) = k × d

$$k = -n \times p + \sqrt{(n \times p)^2 + 2 \times n \times p}$$

$N = 8$

$$P = \frac{A_s}{b \times d} = 0.00588$$

$$k = -8 \times 0.00588 + \sqrt{(8 \times 0.00588)^2 + 2 \times 8 \times 0.00588)} = 0.263$$

$$x = 0.263 \times 27.000 = 7.111 \text{ cm}$$

$$f_s = \frac{3.864 \times 10^5}{15.890 \times \left(27.00 - \frac{7.111}{3}\right)}$$

$= 987.387 \text{ kgf/cm}^2 < f_{sa} = 0.6 \times f_y = 2,400 \text{ kgf/cm}^2$ ———> O.K

$Z = f_s(d_c \times A)^{1/3} = 9,533.116 \text{ kgf/cm}^2 < 23,170 \text{ kgf/cm}^2$ ——> O.K

$$W = 1.08 \times 1.35 \times 987.387 \times \sqrt[3]{(6.00 \times 150.00)} \times 10^{-5}$$

$= 0.139 \text{ mm} < 0.260 \text{ mm}$ ————————————————> O.K

• 피로응력 한계 검토

SD40 철근을 사용할 경우 철근의 인장 및 압축응력범위가 1,500 kgf/cm²보다 작을 경우 피로에 대하여 검토하지 않아도 좋다[도·설 4.4.9.6].

$f_s = 987.387 \text{ kgf/cm}^2 < 1,500 \text{ kgf/cm}^2$ ————> 피로 검토 필요 없음

④ 배력근 산정[도·설 3.6.1.4(4)]

주철근이 차량 진행 진행방향에 직각

$120\sqrt{L}$ 과 67% 중 작은 값 사용

$120\sqrt{L}$ = 76% 이므로 67% 사용

$A_{s,use}$ = H13@120 mm = 10.56 cm²

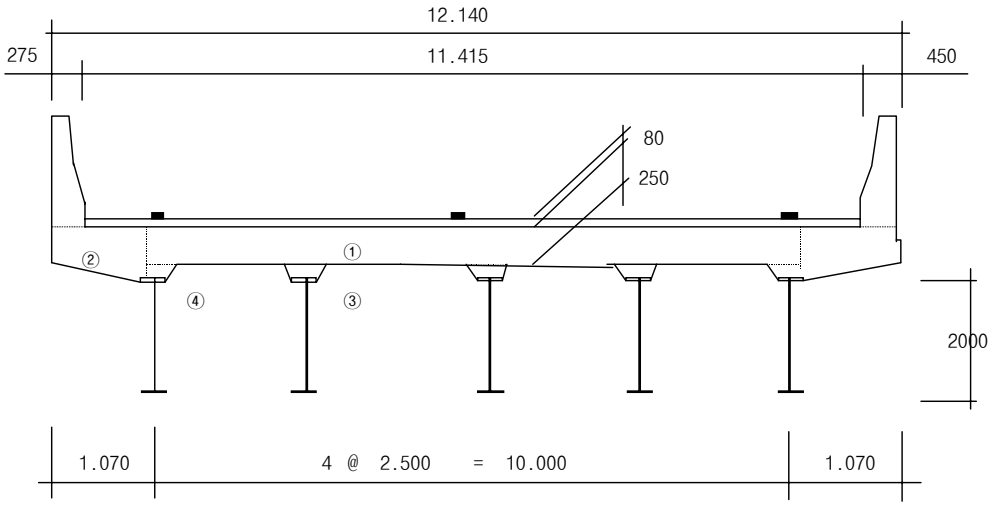
약 67% 이므로 ————> O.K

배근되는 배력 철근량은 바닥판 단면에 대한 온도 및 건조 수축 철근량의 비 (0.2%) 이상이어야 한다.

- 바닥판 철근비 = $\frac{A_s + A_{s'}}{A_g} = \frac{15.89 + 10.56}{2,700} = 0.004 > 0.002$

————> O.K

4.3.4 거더 설계 [단계 3]



<예제그림 506.4-7> 거더단면

(1) 하중 산정 [단계 3-1]

① 합성전 고정하중

• 강재 총중량을 145.680 tonf라 하면, 상판 단위 m^2당 작용하는 강재자중 W_s는 다음과 같다.

$$W_s = 145.680 / (40.000 \times 12.140) = 0.300 \text{ tonf/m}^2$$

• $0.25 \times 10.234 \times 2.5$	=	6.396	tonf/m
• $(0.47 + 0.13 + 0.04) \times 2^{ea}$ (바닥판설계참고)	=	1.293	tonf/m
• $((0.48 + 0.96) \times 0.5 \times 0.08) \times 2.5 \times 5^{ea}$	=	0.720	tonf/m
•강재 (0.3×12.140)	=	3.642	tonf/m
합 계	=	12.051	tonf/m

$$W_{d1} = \frac{12.051}{12.140} = 0.993 \text{ tonf/m}^2$$

② 합성후 고정하중

아스팔트콘크리트 0.08 × 2.3 = 0.184 tonf/m^2

방 호 벽(바닥판 설계참조) = 0.837 tonf/m^2

중앙분리대(바닥판 설계참조) = 0.367 tonf/m^2

③ 활하중

충격계수(i)

$$\frac{15}{40 + L} = 0.188 < 0.3 \qquad L = 40 \text{ , } i = 0.188$$

교 폭 : $W_c = 12.140 - 0.275 - 0.45 = 11.415$ m

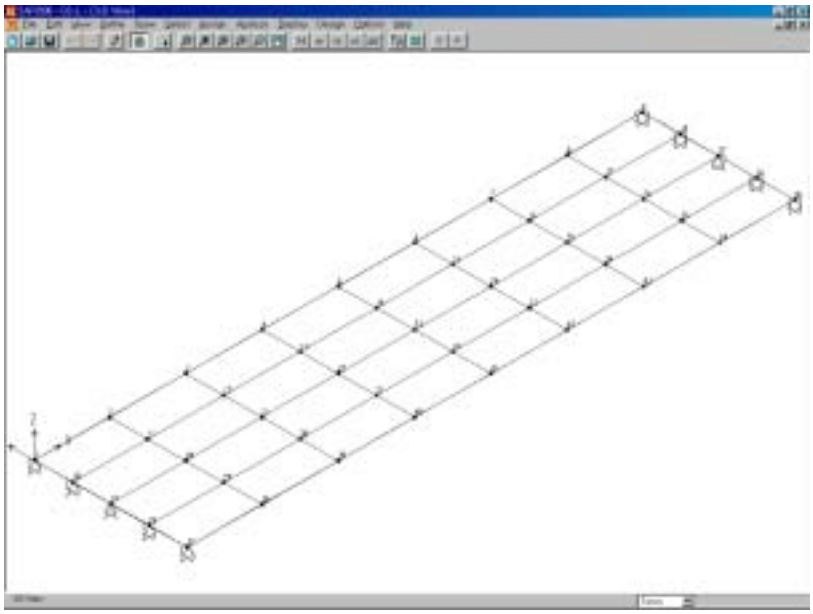
설계차선수 : $N = \frac{11.415}{3} = 3.805$ m ————————> 3차선 재하

설계차선폭 : $W = \frac{11.415}{3} = 3.805$ m > 3.6 m

※ $W = 3.60$ m로 적용, 활하중은 DL-24 , DB-24 재하

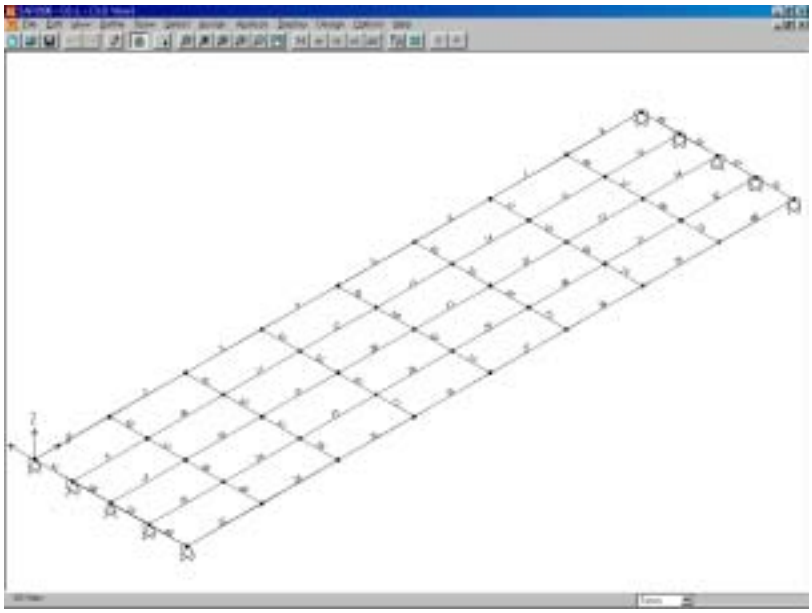
(2) 구조물 모델링 [단계 3-2]

① 절점번호



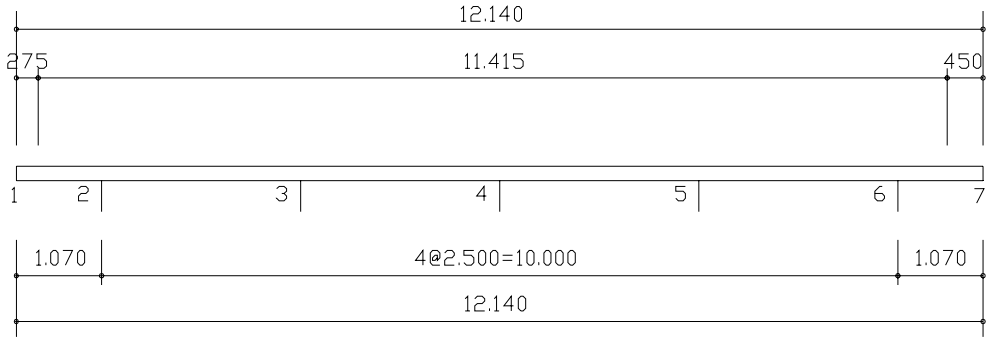
<예제그림 506.4-8> 절점번호

② 부재번호



<예제그림 506.4-9> 부재번호

(3) GRID 해석을 위한 각 거더별 재하하중 배분율 산정 [단계 3-2]

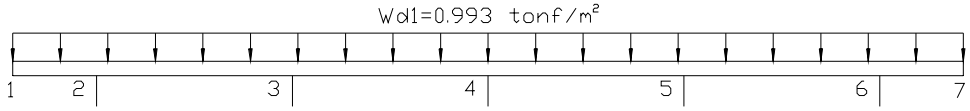


<예제그림 506.4-10> 거더단면

<예제표 506.4-3> 단면특성

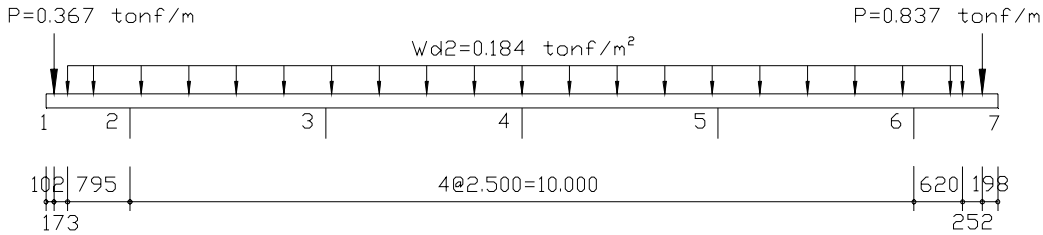
구 분	바닥판의 단면 특성
A	$0.25 \times 1.0 = 0.25\ cm^2$
I	$1.0 \times 0.25^3 / 12 = 0.001302\ m^4$

① CASE 1 (합성전 고정하중)



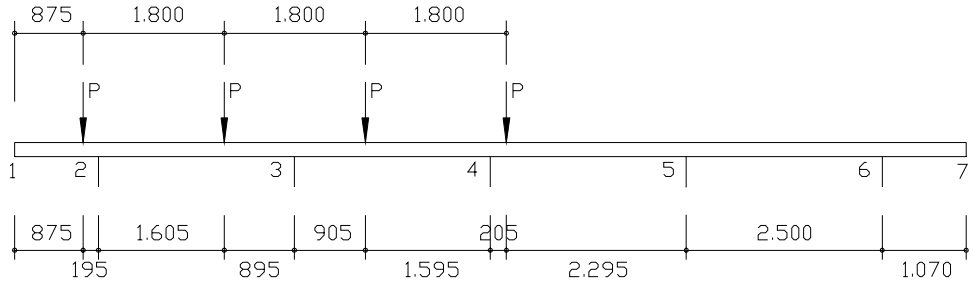
<예제그림 506.4-11> Case 1 합성전 고정하중

② CASE 2 (합성후 고정하중)



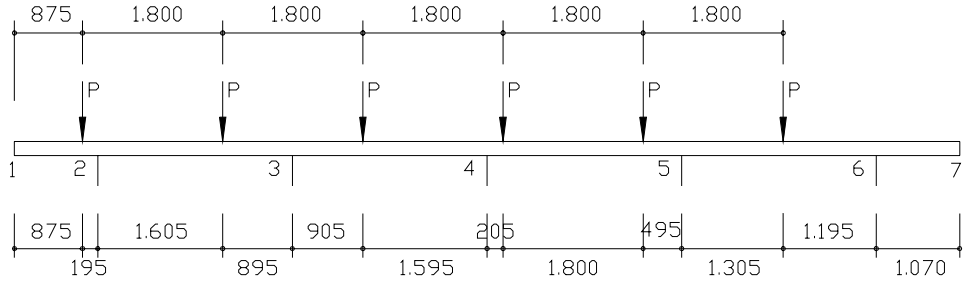
<예제그림 506.4-12> Case 2 합성후 고정하중

③ CASE 3 (DB-24 단위하중 재하 : 중앙분리대측) - 2차선 재하



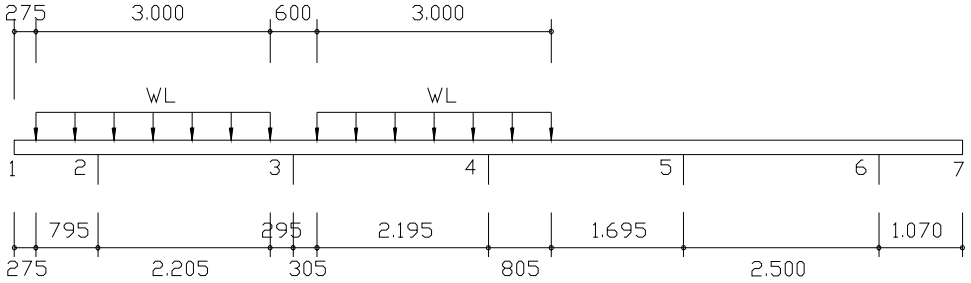
<예제그림 506.4-13> Case 3 DB-24 단위하중 2차선 재하(중앙분리대측)

④ CASE 4 (DB-24 단위하중 재하 : 중앙분리대측) - 3차선 재하



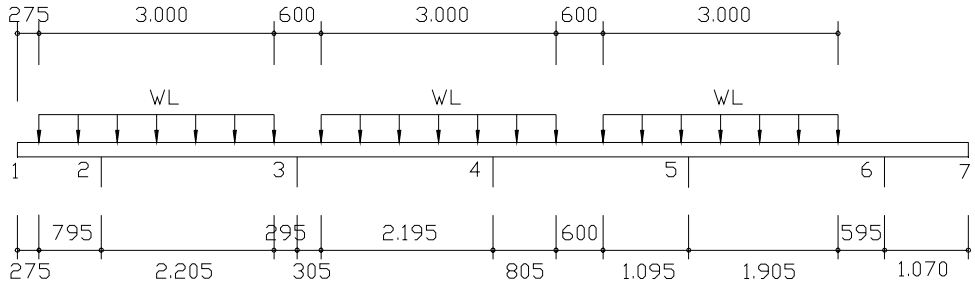
<예제그림 506.4-14> Case 4 DB-24 단위하중 3차선 재하(중앙분리대측)

⑤ CASE 5 (DL-24 단위하중 재하 : 중앙분리대측) - 2차선 재하



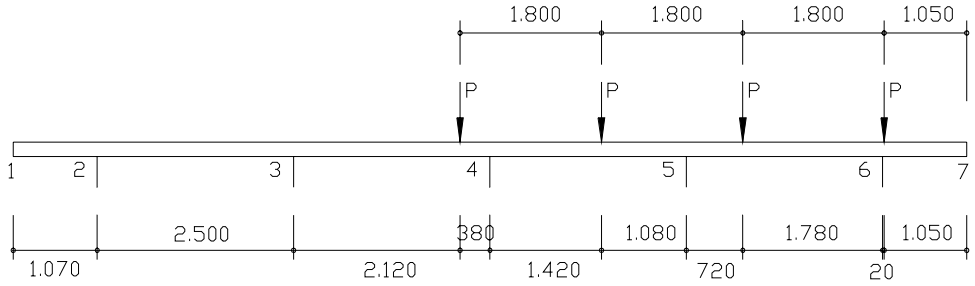
<예제그림 506.4-15> Case 5 DL-24 단위하중 2차선 재하(중앙분리대측)

⑥ CASE 6 (DL-24 단위하중 재하 : 중앙분리대측) - 3차성 재하



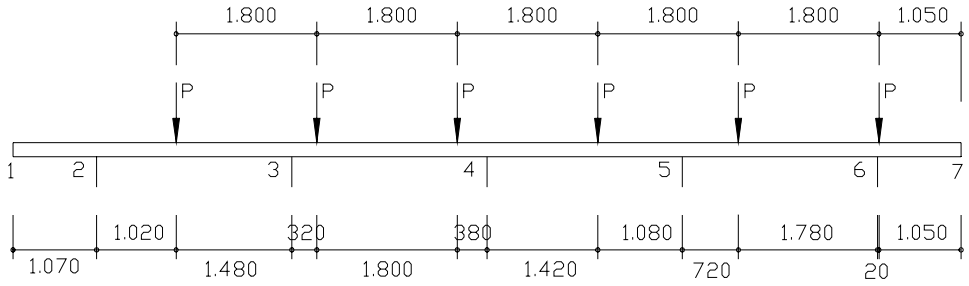
<예제그림 506.4-16> Case 6 DL-24 단위하중 3차선 재하(중앙분리대측)

⑦ CASE 7 (DB-24 단위하중 재하 : 방호벽측) - 2차선 재하



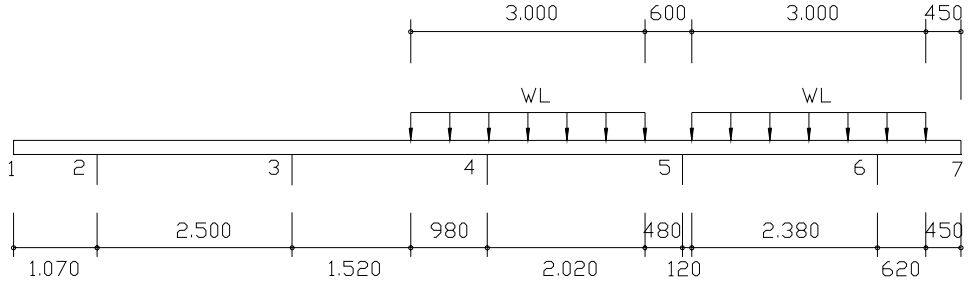
<예제그림 506.4-17> Case 7 DB-24 단위하중 2차선 재하(방호벽측)

⑧ CASE 8 (DB-24 단위하중 재하 : 방호벽측) - 3차선 재하



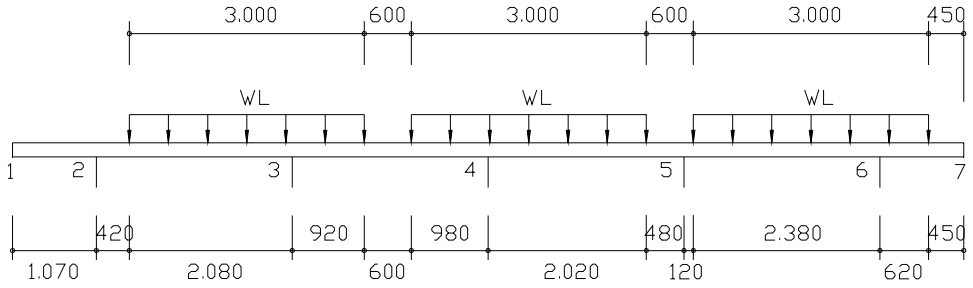
<예제그림 506.4-18> Case 8 DB-24 단위하중 3차선 재하(방호벽측)

⑨ CASE 9 (DL-24 단위하중 재하 : 방호벽측) - 2차선 재하



<예제그림 506.4-19> Case 9 DL-24 단위하중 2차선 재하(방호벽측)

⑩ CASE 10 (DL-24 단위하중 재하 : 방호벽측) - 3차선 재하



<예제그림 506.4-20> Case 10 DL-24 단위하중 3차선 재하(방호벽측)

(4) 각 거더별 하중 집계

<예제표 506.4-4> 각 거더별 하중 집계

하중 \ 주형			G1	G2	G3	G4	G5	비 고
고정하중		합성전	2.330	2.447	2.500	2.447	2.330	
		합성후	0.914	0.226	0.630	0.016	1.523	
충격 계수 (i)			0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	
DB-24 (중앙분리대측)	2차선 재하	단위하중	1.286	1.426	1.283	0.007	-0.001	(DB-24) $P_r = 9.6$ $P_f = 2.4$
		Pr	14.664	16.258	14.627	0.084	-0.013	
		Pf	3.666	4.064	3.657	0.021	-0.003	
	3차선 재하 (×0.9)	단위하중	1.288	1.414	1.336	1.604	0.359	
		Pr	13.217	14.515	13.710	16.459	3.685	
		Pf	3.304	3.629	3.428	4.115	0.921	
DL-24 (중앙분리대측)	2차선 재하	단위하중	1.924	2.128	1.963	-0.020	0.005	(DL-24) $W_l = 1.27$ $P_m = 10.8$ $P_s = 15.6$
		Wl	0.968	1.070	0.987	-0.010	0.002	
		Pm	8.229	9.102	8.397	-0.087	0.019	
		Ps	11.887	13.147	12.129	-0.126	0.028	
	3차선 재하 (×0.9)	단위하중	1.925	2.126	1.994	2.436	0.519	
		Wl	0.871	0.962	0.903	1.103	0.235	
		Pm	7.408	8.184	7.676	9.378	1.996	
		Ps	10.755	11.882	11.145	13.615	2.898	
DB-24 (방호벽측)	2차선 재하	단위하중	-0.011	0.068	1.326	1.477	1.141	(DB-24) $P_r = 9.6$ $P_f = 2.4$
		Pr	-0.122	0.770	15.118	16.846	13.007	
		Pf	-0.031	0.192	3.780	4.212	3.252	
	3차선 재하 (×0.9)	단위하중	0.443	1.627	1.308	1.482	1.140	
		Pr	4.550	16.698	13.428	15.212	11.698	
		Pf	1.138	4.174	3.357	3.803	2.925	
DL-24 (방호벽측)	2차선 재하	단위하중	-0.008	0.062	2.039	2.199	1.707	(DL-24) $W_l = 1.27$ $P_m = 10.8$ $P_s = 15.6$
		Wl	-0.004	0.031	1.026	1.106	0.859	
		Pm	-0.034	0.265	8.721	9.406	7.302	
		Ps	-0.049	0.382	12.597	13.587	10.548	
	3차선 재하 (×0.9)	단위하중	0.650	2.455	1.972	2.219	1.704	
		Wl	0.294	1.111	0.892	1.004	0.771	
		Pm	2.503	9.449	7.589	8.542	6.559	
		Ps	3.634	13.719	11.018	12.401	9.523	

(5) 단면력 집계

① 모멘트

<예제표 506.4-5> 모멘트 전산 처리 결과(G1) (단위 : tonf·m)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	210.172	53.064	148.895	201.959	412.132	
3	361.308	88.102	237.521	325.623	686.931	
4	451.983	108.327	287.360	395.688	847.671	
5	482.183	114.956	301.668	416.624	898.807	
6	451.983	108.327	287.361	395.688	847.671	
7	361.308	88.102	237.522	325.624	686.931	
8	210.172	53.065	148.896	201.960	412.132	
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-6> 모멘트 전산 처리 결과(G2) (단위 : tonf·m)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
11	211.326	47.955	136.092	184.047	395.374	
12	361.746	84.517	215.399	299.916	661.662	
13	452.032	106.731	261.353	368.084	820.115	
14	482.144	114.147	275.322	389.469	871.613	
15	452.032	106.730	261.353	368.084	820.115	
16	361.746	84.517	215.399	299.916	661.661	
17	211.327	47.955	136.092	184.047	395.374	
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-7> 모멘트 전산 처리 결과(G3) (단위 : tonf·m)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
20	211.728	49.855	133.637	183.492	395.221	
21	361.993	87.554	208.297	295.851	657.844	
22	452.095	111.729	248.687	360.416	812.511	
23	482.146	120.094	260.918	381.012	863.158	
24	452.095	111.729	248.687	360.416	812.511	
25	361.993	87.554	208.297	295.851	657.844	
26	211.729	49.855	133.637	183.492	395.221	
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-8> 모멘트 전산 처리 결과(G4) (단위 : tonf·m)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
29	211.326	58.171	134.985	193.156	404.482	
30	361.746	104.915	212.284	317.198	678.944	
31	452.032	133.455	257.093	390.548	842.580	
32	482.144	142.947	270.650	413.598	895.742	
33	452.032	133.455	257.093	390.548	842.580	
34	361.746	104.915	212.283	317.198	678.944	
35	211.327	58.171	134.985	193.156	404.482	
36	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-9> 모멘트 전산 처리 결과(G5) (단위 : tonf·m)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
38	210.172	80.492	140.809	221.301	431.473	
39	361.308	131.262	226.375	357.637	718.944	
40	452.983	160.196	274.737	434.933	886.916	
41	482.183	169.657	288.767	458.424	940.607	
42	451.983	160.196	274.737	434.933	886.916	
43	361.308	131.263	226.375	357.637	718.945	
44	210.172	80.493	140.810	221.302	431.474	
45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

② 전단력

<예제표 506.4-10> 전단력 전산 처리 결과(G1) (단위 : tonf)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
1	47.859	12.898	38.588	51.486	99.345	
2	36.052	9.293	30.551	39.844	75.896	
3	23.960	6.330	25.480	31.810	55.770	
4	11.865	3.611	21.299	24.909	36.774	
5	-0.215	0.959	17.529	18.488	18.273	
6	-12.310	-1.760	-19.181	-20.941	-33.251	
7	-24.402	-4.723	-23.693	-28.416	-52.818	
8	-36.209	-8.328	-29.779	-38.107	-74.316	
9	-47.859	-12.898	-38.588	-51.486	-99.345	

<예제표 506.4-11> 전단력 전산 처리 결과(G2) (단위 : tonf)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
10	48.383	10.156	39.883	50.039	98.421	
11	36.201	7.877	31.210	39.087	75.288	
12	24.175	5.008	27.724	32.731	56.906	
13	12.140	2.048	24.498	26.546	38.686	
14	0.095	-0.918	21.269	20.351	20.446	
15	-11.940	-3.878	-18.256	-22.133	-34.073	
16	-23.966	-6.747	-22.040	-28.787	-52.754	
17	-36.148	-9.026	-27.219	-36.244	-72.392	
18	-48.383	-10.156	-39.883	-50.039	-98.421	

<예제표 506.4-12> 전단력 전산 처리 결과(G3) (단위 : tonf)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
19	48.596	11.546	38.453	49.999	98.594	
20	36.303	9.115	29.582	38.697	75.000	
21	24.270	6.410	25.679	32.089	56.359	
22	12.260	3.248	22.269	25.517	37.777	
23	0.240	-0.098	19.225	19.127	19.367	
24	-11.770	-3.260	-17.524	-20.783	-32.554	
25	-23.803	-5.965	-21.184	-27.149	-50.952	
26	-36.096	-8.396	-26.728	-35.123	-71.219	
27	-48.596	-11.546	-38.453	-49.999	-98.594	

<예제표 506.4-13> 전단력 전산 처리 결과(G4) (단위 : tonf)

CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
28	48.383	11.674	40.351	52.025	100.408	
29	36.201	9.389	31.493	40.881	77.083	
30	24.175	5.748	28.085	33.833	58.007	
31	12.140	1.938	24.929	26.867	39.007	
32	0.095	-1.858	21.763	19.905	20.000	
33	-11.940	-5.668	18.290	12.622	0.682	
34	-23.966	-9.309	-21.840	-31.149	-55.115	
35	-36.148	-11.594	-26.997	-38.591	-74.739	
36	-48.383	-11.674	-40.351	-52.025	-100.408	

<예제표 506.4-14> 전단력 전산 처리 결과(G5) (단위 : tonf)

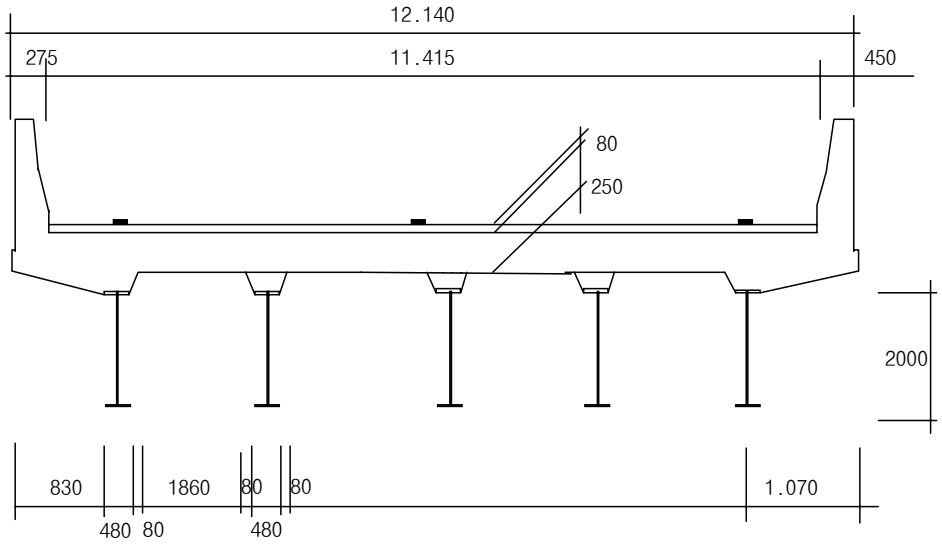
CASE / 절점	합 성 전	합 성 후			계	비 고
	고정하중	고정하중	활하중	소 계		
37	47.859	19.906	35.975	55.882	103.741	
38	36.052	13.962	28.547	42.509	78.561	
39	23.960	9.594	23.655	33.249	57.210	
40	11.865	5.700	19.563	25.263	37.128	
41	-0.215	1.915	15.865	17.781	17.566	
42	-12.310	-1.979	-18.068	-20.048	-32.358	
43	-24.402	-6.347	-22.464	-28.811	-53.213	
44	-36.209	-12.291	-28.162	-40.453	-76.663	
45	-47.859	-19.906	-35.975	-55.882	-103.741	

③ 반력

<예제표 506.4-15> 반력 전산 처리 결과 (단위 : tonf)

절점 \ CASE		합 성 전	합 성 후			계	비고
		고정하중	고정하중	활하중	소계		
G1	1	46.941	13.578	38.999	52.577	99.517	
	9	49.941	13.578	38.999	52.577	99.517	
G2	10	48.988	9.022	40.730	49.752	98.740	
	18	48.988	9.022	40.730	49.752	98.740	
G3	19	49.224	10.921	38.546	49.467	98.691	
	27	49.224	10.921	38.546	49.467	98.691	
G4	28	49.988	8.980	40.175	49.155	98.143	
	36	49.988	8.980	40.175	49.155	98.143	
G5	37	46.941	23.679	36.063	59.742	106.683	
	45	46.941	23.679	36.063	59.742	106.683	

(6) 바닥판의 유효폭 산정 [단계 3-2]



<예제그림 506.4-21> 바닥판의 유효폭

① 캔틸레버 구간

$b_1 = 0.83\ \text{m} \qquad L = 40\ \text{m} \qquad \frac{b_1}{L} = \frac{0.83}{40} = 0.021 < 0.05$

$\therefore\ \lambda_{L1} = b = 0.83\ \text{m}$

$2b_2 = 1.86\ \text{m} \qquad \therefore\ b_2 = \frac{1.86}{2} = 0.93\ \text{m}$

$\frac{b_2}{L} = \frac{0.93}{40} = 0.023 < 0.05$

$\therefore\ \lambda_{L2} = b = 0.93\ \text{m}$

② 중간 바닥판 구간

$2b_2 = 1.86\ \text{m} \qquad \therefore\ b_2 = \frac{1.86}{2} = 0.93\ \text{m} \qquad L = 40\ \text{m}$

$\frac{b_2}{L} = \frac{0.93}{40} = 0.023 < 0.05$

$\therefore\ \lambda_L = b = 0.93\ \text{m}$

③ 유효폭 산정

- 외측 구간

$B_1 = \lambda_{L1} + 0.560 + \lambda_{L2} = 0.830 + 0.560 + 0.930 = 2.320\ \text{m}$

- 내측 구간

$B_2 = \lambda_{L2} + 0.640 + \lambda_{L2} = 0.930 + 0.640 + 0.930 = 2.500\ \text{m}$

(7) 단면 계수 산정 및 응력 검토 [단계 3-3 , 단계 3-4]

① 최대 정모멘트 단면

$M_{d1} = 482.18$ tonf·m $M_{d2} = 169.66$ tonf·m $M_1 = 301.67$ tonf·m

$S_{d1} = -0.21$ tonf $S_{d2} = 1.92$ tonf $S_1 = 17.53$ tonf

가. 합성전 (1)

<예제표 506.4-16> 합성전 단면계수

부재	L(mm)	T(mm)	A(cm^2)	Y(cm)	$A\cdot Y$(cm^3)	$A\cdot Y^2$(cm^4)	I_0(cm^4)
상부플랜지	480	32	153.6	205.2	31,519	6,467,641	131
복부판	12	2,000	240.0	103.6	24,864	2,575,910	800,000
하부플랜지	650	36	234.0	1.8	421	758	253
Σ			627.6		56,804	9,044,310	800,384

$y_{su} = 116.29$ cm $y_{sl} = 90.51$ cm

$I_{zz} = I_o + A \times y^2 - A \times y_{sl}^2 = 4,703,389$ cm^4

$I_{yy} = I_{o_{yy}} + A \times z^2 = 637,829$ cm^4

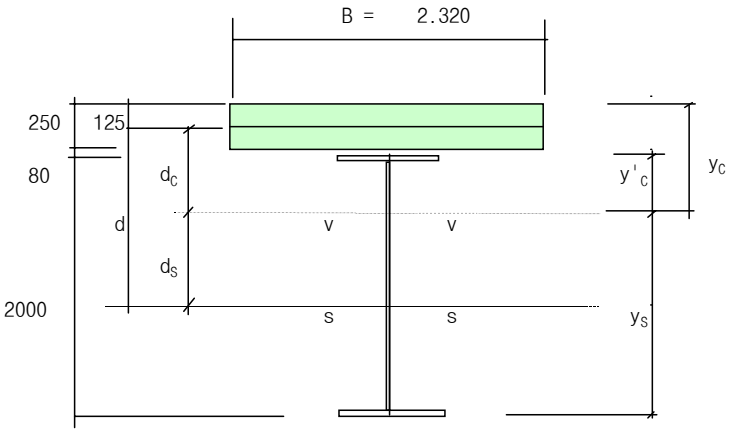
- 합성전 휨모멘트에 의한 응력

$f_{su} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{su} = -1,192.183$ kgf/cm^2

$f_{sl} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{sl} = 927.892$ kgf/cm^2

나. 합성후 (2)

바닥판 유효폭 $B = 2.320$ m $n = 8$



<예제그림 506.4-22> 바닥판의 유효폭(최대정모멘트 단면)

$A_c = 5,800.0\ \text{cm}^2 \quad I_c = 302,083\ \text{cm}^2 \quad d = 133.590\ \text{cm}$

$\frac{A_c}{n} = 725.000\ \text{cm}^2 \quad \frac{I_c}{n} = 37,760\ \text{cm}^4$

$y_c = \frac{(627.600 \times 14.090 + 725.000 \times 12.500)}{(627.600 + 725.000)} = -74.485\ \text{cm}$

$y_c' = -74.485 + 25.00 + 8.00 - 3.20 = -44.685\ \text{cm}$

$y_s = 206.800 - 44.685 = 162.115\ \text{cm}$

$d_c = -74.485 + 12.500 = -61.985\ \text{cm}$

$d_s = 146.090 - 74.605 = 71.605\ \text{cm}$

$I_v = I_s + A_s \times d_s^2 + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c}{n} \times d_c^2 = 10,744,598\ \text{cm}^4$

- 합성후 휨모멘트에 의한 응력

$f_{cu} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{n \cdot I_v} \cdot y_c = -40.842\ \text{kgf/cm}^2$

$f_{cl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{n \cdot I_v} \cdot y_c' = -24.502\ \text{kgf/cm}^2$

$f_{su} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_c' = -196.017\ \text{kgf/cm}^2$

$f_{sl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_s = 711.138\ \text{kgf/cm}^2$

- 전단응력

$V_{su} = \frac{(S_{d1} + S_{d2} + S_l)}{A_w} = 80.121\ \text{kgf/cm}^2$

다. 크리프에 의한 응력 (3)

$n_1 = n\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right) = 16 \quad \phi_1 = 2.0$

$\frac{A_c}{n_1} = \frac{5,800}{16} = 362.5\ \text{cm}^2$

$\frac{I_c}{n_1} = \frac{302,083}{16} = 18,880\ \text{cm}^2$

$A_{v1} = 627.600 + 362.500 = 990.1\ \text{cm}^2$

$y_{c1} = \frac{627.6 + 146.09 + 362.5 \times 12.50}{627.6 + 362.5} = -97.179\ \text{cm}$

$y_{c1}' = -97.179 + 33.00 - 3.20 = -67.379\ \text{cm}$

$y_{s1} = 206.800 - 67.379 = 139.421\ \text{cm}$

$$d_{c1} = -97.179 + 12.500 = -84.679 \text{ cm}$$

$$d_{s1} = 146.090 - 97.179 = 48.911 \text{ cm}$$

$$I_{v1} = I_s + A_s \times {d_{s1}}^2 + \frac{I_c}{n_1} + \frac{A_c}{n_1} \times {d_{c1}}^2 = 8,822,986 \text{ cm}^4$$

$${\gamma_c}^2 = \frac{I_c}{A_c} = \frac{302,083,333}{5,800} = 52.083 \text{ cm}^2$$

$$\frac{{\gamma_c}^2}{d_c} = \frac{52.083}{-61.985} = -0.840 \text{ cm}$$

크리프 발생 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력 N_c

$$N_c = \left(\frac{M_{d2}}{n \cdot I_v}\right) \times d_c \times A_c = -70,958.709 \text{ kgf}$$

$$P_\phi = N_c \cdot \left(\frac{2\phi}{2 + \phi_1}\right) = -70,958.709 \text{ kgf}$$

$$M_\phi = P_\phi \cdot \left(d_{c1} + \frac{\gamma_c^2}{d_c}\right) = 6,068,317.835 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$E_{c1} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot \phi_1 = \frac{E_c}{\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right)} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot y = \frac{f_c}{\left(1 + \frac{2.0}{2}\right)} \times 2.0 = f_c$$

$$f_{cud} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c = -14.701 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cul} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c' = -8.820 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cu1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}\right) - f_{cud} = 6.044 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}'\right) - f_{cul} = 1.444 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}' = -118.010 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{s1} = 24.223 \text{ kgf/cm}^2$$

라. 건조수축에 의한 영향 (4)

$$\phi_2 = 2\phi_1 = 4.0 \qquad \varepsilon_s = 18 \times 10^{-5}$$

$$n_2 = n\left(1 + \frac{\phi_2}{2}\right) = 24$$

$$\frac{A_c}{n_2} = \frac{5,800}{24} = 241.667 \text{ cm}^2$$

$$\frac{I_c}{n_2} = \frac{302,083}{24} = 12,586.792 \text{ cm}^4$$

$$A_{v2} = 627.600 + 241.67 = 869.267 \text{ cm}^4$$

$$y_{c2} = \frac{627.600 \times 146.09 + 241.67 \times 12.50}{627.600 + 241.667} = -108.950 \text{ cm}$$

$$y_{c2}' = -108.950 + 33.000 - 3.20 = -79.150 \text{ cm}$$

$$y_{s2} = 206.800 - 79.150 = 127.650 \text{ cm}$$

$$d_{c2} = -108.950 + 12.500 = -96.450 \text{ cm}$$

$$d_{s2} = 146.090 - 108.950 = 37.140 \text{ cm}$$

$$I_{v2} = I_s + A_s \times d_{s2}^{\ 2} + \frac{I_c}{n_2} + \frac{A_c}{n_2} \times d_{c2}^{\ 2} = 7,829,806.567 \text{ cm}^4$$

$$E_{c2} \cdot \varepsilon_s = \frac{E_s}{n_2} \cdot \varepsilon_s = -15.750 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_2 = E_s \cdot \varepsilon_s \cdot \frac{A_c}{n_2} = -91,350.000 \text{ kgf}$$

$$M_{y2} = P_2 \cdot d_{s2} = 8,810,707.500 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$f_{cu2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2} \right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 6.263 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2}' \right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 7.660 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{c2}' = -194.154 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{s2} = 38.553 \text{ kgf/cm}^2$$

마. 온도차에 의한 응력 (5)

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \qquad t = \pm 10 \text{ ℃}$$

$$\varepsilon_t = \alpha \cdot t = 1.2 \times 10^{-4}$$

$$E_0 = \frac{E_s}{n} = 262,500$$

$$A_v = 627.600 + \frac{5,800.000}{8} = 1,352.600 \text{ cm}^2$$

$$P_1 = \frac{E_s \cdot \varepsilon_s \cdot A_c}{n} = \pm 182,700.000 \text{ kgf}$$

$$M_v = P_1 \cdot d_c = -11,324,659.500 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \ , \quad 11,324,659.500 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$f_{cu} = \frac{1}{n}\left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c\right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -4.803 \text{ kgf/cm}^2,\ 4.803 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl} = \frac{1}{n}\left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_{c'}\right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -8.729 \text{ kgf/cm}^2,\ 8.729 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c' = 182.171 \text{ kgf/cm}^2\ ,\ -182.171 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_s = -35.794 \text{ kgf/cm}^2\ ,\ 35.794 \text{ kgf/cm}^2$$

바. 응력조합

<예제표 506.4-17> 응력조합(최대정모멘트 단면) (단위 : kgf/cm^2)

NO.	응 력	SLAB TOP-CON'C	STEEL TOP	STEEL BOTTOM
1.	합 성 전	0.000	-1,192.183	927.892
2.	합 성 후	-40.842	-196.017	711.138
3.	크리프에 의한 영향	6.044	-118.010	24.223
4.	건조수축에 의한 영향	6.263	-194.154	38.553
5.	온도차에 의한 영향	-4.803	-182.171	35.794
6.	(1)+(2)	-40.842	-1,388.200	1,639.030
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
7.	(1)+(2)+(3)+(4)	-28.535	-1,700.365	1,701.807
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
8.	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)	-33.338	-1,882.535	1,737.601
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
9.	(1)+(2)+(3)+(4)-(5)	-23.732	-1,518.194	1,666.013
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
전단응력	전단응력	80.121		
	허용응력	1,100.000		
합성응력	$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = 0.808 < 1.2$			

※ 휨압축플랜지의 허용응력 검토

$$\frac{A_W}{A_C} = 1.563 < 2.0 \qquad \frac{l}{b} = 10.4 > 4 \text{ cm}$$

$$f_{sa} = 1,900 - 38\left(\frac{l}{b} - 4.0\right) = 1,656.17 > 1,192.183$$

사. 항복에 대한 안전도 검사

$$\Sigma f = 1.3 \times \text{고정하중} + 2.1 \times \text{활하중} + \text{크리프} + \text{건조수축} + \text{온도변화}$$

$$f_{cu} = 1.3 \times 14.701 + 2.1 \times 26.141 + 4.803$$

$$= 78.81 \text{ kgf/cm}^2 < f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0 \text{ kgf/cm}^2 \longrightarrow \text{O.K}$$

$$f_{cl} = 1.3 \times 8.820 + 2.1 \times 15.682 + 1.444 + 7.660 + 8.729$$

$= 62.23\ \text{kgf/cm}^2 < f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0\ \text{kgf/cm}^2$ ——> O.K

$f_{su} = 1.3 \times (1,192.183 + 70.557)$

$+ 2.1 \times 125.459 + 118.010 + 194.154 + 182.171$

$= 2,399.36\ \text{kgf/cm}^2 < f_y = 3,200\ \text{kgf/cm}^2$ ————> O.K

$f_{sl} = -1.3 \times (927.892 + 255.979)$

$- 2.1 \times 455.159 - 24.223 - 38.553 - 35.794$

$= -2,593.44\ \text{kgf/cm}^2 < f_y = -3,200\ \text{kgf/cm}^2$ ————> O.K

② 2.5m 지점

$M_{d1} = 112.08\ \text{tonf·m}$ $M_{d2} = 44.81\ \text{tonf·m}$ $M_1 = 78.92\ \text{tonf·m}$

$S_{d1} = 42.03\ \text{tonf}$ $S_{d2} = 16.10\ \text{tonf}$ $S_1 = 33.80\ \text{tonf}$

가. 합성전 (1)

<예제표 506.4-18> 합성전 단면계수

부재	L(mm)	T(mm)	A(cm^2)	Y(cm)	$A\cdot Y$(cm^3)	$A\cdot Y^2$(cm^4)	I_0(cm^4)
상부플랜지	480	16	76.8	202.8	15,575	3,158,618	16
복부판	12	2,000	240.0	102.0	24,480	2,496,960	800,000
하부플랜지	650	20	130.0	1.0	130	130	43
Σ			446.8		40,185	5,655,708	800,060

$y_{su} = 113.66\ \text{cm}$ $y_{sl} = 89.94\ \text{cm}$

$I_{zz} = I_o + A \times y^2 - A \times y_{sl}^2 = 2,841,543\ \text{cm}^4$

$I_{yy} = I_{o_{yy}} + A \times z^2 = 586,467\ \text{cm}^4$

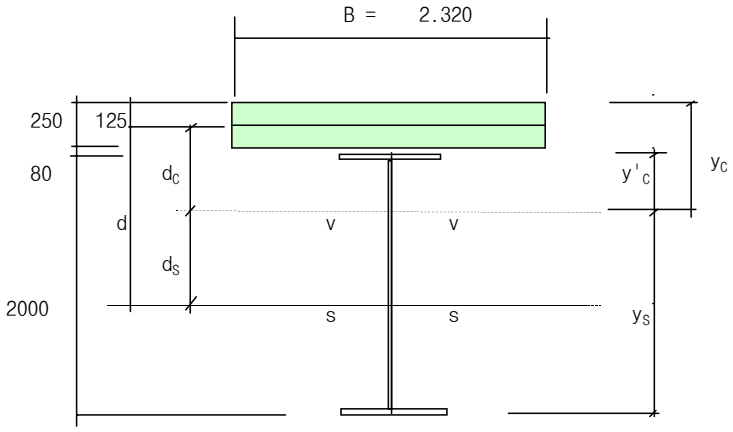
- 합성전 휨모멘트에 의한 응력

$f_{su} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{su} = -448.298\ \text{kgf/cm}^2$

$f_{sl} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{sl} = 354.742\ \text{kgf/cm}^2$

나. 합성후 (2)

바닥판 유효폭 $B = 2.320\ \text{m}$ $n = 8$



<예제그림 506.4-23> 바닥판의 유효폭(2.5m 지점)

$A_c = 5,800.0\ \text{cm}^2 \qquad I_c = 302,083\ \text{cm}^2 \qquad d = 132.560\text{cm}$

$\frac{A_c}{n} = 725.000\ \text{cm}^2 \qquad \frac{I_c}{n} = 37,760\ \text{cm}^4$

$y_c = \frac{446.800 \times 145.060 + 725.000 \times 12.500}{447.800 + 725.000} = -63.044\ \text{cm}$

$y_c' = -63.044 + 25.00 + 8.00 - 1.60 = -31.644\ \text{cm}$

$y_s = 203.600 - 31.644 = 171.956\ \text{cm}$

$d_c = -63.044 + 12.500 = -50.544\ \text{cm}$

$d_s = 145.060 - 63.044 = 82.016\ \text{cm}$

$I_v = I_s + A_s \times d_s^{\,2} + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c}{n} \times d_c^{\,2} = 7,736,913\ \text{cm}^4$

- 합성후 휨모멘트에 의한 응력

$f_{cu} = \frac{M_{d2} + M_l}{n \cdot I_v} \cdot y_c = -12.603\ \text{kgf/cm}^2$

$f_{cl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{n \cdot I_v} \cdot y_c' = -6.326\ \text{kgf/cm}^2$

$f_{su} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_c' = -50.607\ \text{kgf/cm}^2$

$f_{sl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_s = 275.003\ \text{kgf/cm}^2$

- 전단응력

$V_{su} = \frac{(S_{d1} + S_{d2} + S_l)}{A_w} = 383.037\ \text{kgf/cm}^2$

다. 크리프에 의한 응력 (3)

$$n_1 = n\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right) = 16 \qquad \phi_1 = 2.0$$

$$\frac{A_c}{n_1} = \frac{5,800}{16} = 362.5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{I_c}{n_1} = \frac{302,083}{16} = 18,880 \text{ cm}^2$$

$$A_{v1} = 446.800 + 362.500 = 809.3 \text{ cm}^2$$

$$y_{c1} = \frac{446.8 + 145.06 + 362.5 \times 12.50}{446.8 + 362.5} = -85.684 \text{ cm}$$

$$y_{c1}' = -85.684 + 33.00 - 1.60 = -54.284 \text{ cm}$$

$$y_{s1} = 203.600 - 54.284 = 149.316 \text{ cm}$$

$$d_{c1} = -85.684 + 12.500 = -73.184 \text{ cm}$$

$$d_{s1} = 145.060 - 85.684 = 59.376 \text{ cm}$$

$$I_{v1} = I_s + A_s \times {d_{s1}}^2 + \frac{I_c}{n_1} + \frac{A_c}{n_1} \times {d_{c1}}^2 = 6,377,133 \text{ cm}^4$$

$${\gamma_c}^2 = \frac{I_c}{A_c} = \frac{302,083,333}{5,800} = 52.083 \text{ cm}^2$$

$$\frac{{\gamma_c}^2}{d_c} = \frac{52.083}{-50.544} = -1.030 \text{ cm}$$

크리프 발생 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력 N_c

$$N_c = \left(\frac{M_{d2}}{n \cdot I_v}\right) \times d_c \times A_c = -21,225.673 \text{ kgf}$$

$$P_\phi = N_c \cdot \left(\frac{2\phi}{2 + \phi_1}\right) = -21,225.673 \text{ kgf}$$

$$M_\phi = P_\phi \cdot \left(d_{c1} + \frac{\gamma_c^2}{d_c}\right) = 1,575,242.096 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$E_{c1} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot \phi_1 = \frac{E_c}{\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right)} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot y = \frac{f_c}{\left(1 + \frac{2.0}{2}\right)} \times 2.0 = f_c$$

$$f_{cud} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c = -4.565 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cul} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c' = -2.291 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cu1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}\right) - f_{cud} = 1.603 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}' \right) - f_{cul} = -0.186 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}' = -39.636 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{s1} = 10.656 \text{ kgf/cm}^2$$

라. 건조수축에 의한 영향 (4)

$$\phi_2 = 2\phi_1 = 4.0 \qquad \varepsilon_s = 18 \times 10^{-5}$$

$$n_2 = n \left(1 + \frac{\phi_2}{2} \right) = 24$$

$$\frac{A_c}{n_2} = \frac{5,800}{24} = 241.667 \text{ cm}^2$$

$$\frac{I_c}{n_2} = \frac{302,083}{24} = 12,586.792 \text{ cm}^4$$

$$A_{v2} = 446.800 + 241.67 = 688.467 \text{ cm}^4$$

$$y_{c2} = \frac{(446.800 \times 145.06 + 241.67 \times 12.50)}{(446.800 + 241.667)} = -98.529 \text{ cm}$$

$$y_{c2}' = -98.529 + 33.000 - 1.60 = -67.129 \text{ cm}$$

$$y_{s2} = 203.600 - 67.129 = 136.471 \text{ cm}$$

$$d_{c2} = -98.529 + 12.500 = -86.029 \text{ cm}$$

$$d_{s2} = 145.060 - 98.529 = 46.531 \text{ cm}$$

$$I_{v2} = I_s + A_s \times {d_{s2}}^2 + \frac{I_c}{n_2} + \frac{A_c}{n_2} \times {d_{c2}}^2 = 5,610,086.085 \text{ cm}^4$$

$$E_{c2} \cdot \varepsilon_s = \frac{E_s}{n_2} \cdot \varepsilon_s = -15.750 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_2 = E_s \cdot \varepsilon_s \cdot \frac{A_c}{n_2} = -91,350.000 \text{ kgf}$$

$$M_{y2} = P_2 \cdot d_{s2} = 7,858,749.150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$f_{cu2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2} \right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 4.471 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2}' \right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 6.303 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{c2}' = -226.722 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{s2} = 58.486 \text{ kgf/cm}^2$$

마. 온도차에 의한 응력 (5)

$\alpha = 12 \times 10^{-6}$ $t = \pm 10\,℃$

$\varepsilon_t = \alpha \cdot t = 1.2 \times 10^{-4}$

$E_0 = \frac{E_s}{n} = 262,500$

$A_v = 446.800 + \frac{5,800.000}{8} = 1,171.800\ \mathrm{cm}^2$

$P_1 = \frac{E_s \cdot \varepsilon_s \cdot A_c}{n} = \pm 182,700.000\ \mathrm{kgf}$

$M_v = P_1 \cdot d_c = -9,234,388.800\ \mathrm{kgf \cdot cm},\ 9,234,388.800\ \mathrm{kgf \cdot cm}$

$f_{cu} = \frac{1}{n}\left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c\right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -2.605\ \mathrm{kgf/cm}^2, 2.605\ \mathrm{kgf/cm}^2$

$f_{cl} = \frac{1}{n}\left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_{c'}\right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -7.290\ \mathrm{kgf/cm}^2, 7.290\ \mathrm{kgf/cm}^2$

$f_{su} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c' = 193.683\ \mathrm{kgf/cm}^2, -193.683\ \mathrm{kgf/cm}^2$

$f_{sl} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_s = -49.324\ \mathrm{kgf/cm}^2,\ 49.324\ \mathrm{kgf/cm}^2$

바. 응력조합

<예제표 506.4-19> 응력조합(2.5m 지점) (단위 : $\mathrm{kgf/cm}^2$)

NO.	응 력	SLAB TOP-CON'C	STEEL TOP	STEEL BOTTOM
1.	합 성 전	0.000	-448.298	354.742
2.	합 성 후	-12.603	-50.607	275.003
3.	크리프에 의한 영향	1.603	-39.636	10.656
4.	건조수축에 의한 영향	4.471	-226.722	58.486
5.	온도차에 의한 영향	-2.605	-193.683	49.324
6.	(1)+(2)	-12.603	-498.905	629.744
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
7.	(1)+(2)+(3)+(4)	-6.530	-765.263	698.886
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
8.	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)	-9.135	-958.946	748.210
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
9.	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)	-3.925	-571.581	649.562
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
전단응력	전단응력	383.037		
	허용응력	1,100.000		
합성응력	$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = 0.314 < 1.2$			

※ 휨압축플랜지의 허용응력 검토

$\frac{A_W}{A_C} = 3.125 > 2.0$

$\frac{I}{b} = 10.4 > 4$ cm

$f_{sa} = 1,900 - 38\left(\frac{I}{b} - 4.0\right) = 1,656.17 > 448.30$

사. 항복에 대한 안전도 검사

$\Sigma f =$ 1.3 × 고정하중 + 2.1 × 활하중 + 크리프 + 건조수축 + 온도변화

$f_{cu} = 1.3 \times 4.565 + 2.1 \times 8.038 + 2.605$

$= 25.42$ kgf/cm^2 $< f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0$ kgf/cm^2 ———> O.K

$f_{cl} = 1.3 \times 2.291 + 2.1 \times 4.035 + 0.186 + 6.303 + 7.290$

$= 25.23$ kgf/cm^2 $< f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0$ kgf/cm^2 ———> O.K

$f_{su} = 1.3 \times (448.298 + 18.329) + 2.1 \times 32.278 + 39.636 + 226.722 + 193.683$

$= 1,134.44$ kgf/cm^2 $< f_y = 3,200$ kgf/cm^2 ————> O.K

$f_{sl} = -1.3 \times (448.298 + 99.603)$

$- 2.1 \times 175.400 - 10.656 - 58.486 - 49.324$

$= -1,077.45$ kgf/cm^2 $< f_y = -3,200$ kgf/cm^2 ————> O.K

③ 10.0m 지점

$M_{d1} = 361.31$ tonf·m $M_{d2} = 131.26$ tonf·m $M_1 = 226.37$ tonf·m

$S_{d1} = 23.96$ tonf $S_{d2} = 9.59$ tonf $S_1 = 23.66$ tonf

가. 합성전 (1)

<예제표 506.4-20> 합성전 단면계수(10.0m 지점)

부 재	L(mm)	T(mm)	A(cm^2)	Y(cm)	$A \cdot Y$(cm^3)	$A \cdot Y^2$(cm^4)	I_0(cm^4)
상부플랜지	480	24	115.2	204.0	23,501	4,794,163	55
복 부 판	12	2,000	240.0	102.8	24,672	2,536,282	800,000
하부플랜지	650	28	182.0	1.4	255	357	119
Σ			537.2		48,428	7,330,802	800,174

$y_{su} = 115.05$ cm $y_{sl} = 90.51$ cm

$I_{zz} = I_o + A \times y^2 - A \times y_{sl}^2 = 3,765,316$ cm^4

$$I_{yy} = I_{o_{yy}} + A \times z^2 = 612,148 \text{ cm}^4$$

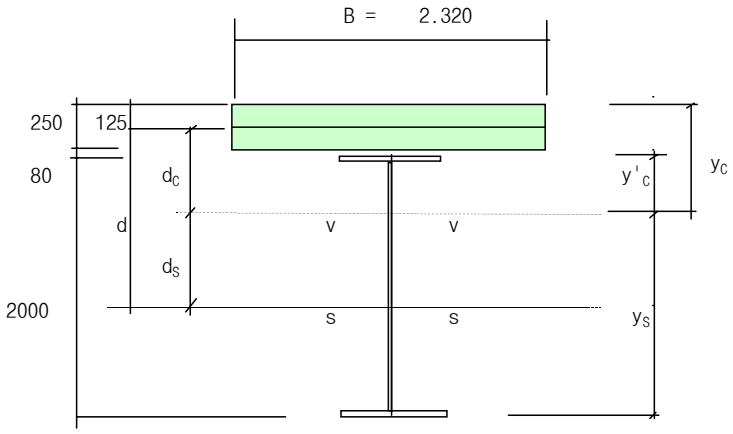
- 합성전 휨모멘트에 의한 응력

$$f_{su} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{su} = -1,103.976 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{sl} = 865.045 \text{ kgf/cm}^2$$

나. 합성후 (2)

바닥판 유효폭 $B = 2.320$ m $n = 8$



<예제그림 506.4-24> 바닥판의 유효폭(10.0m 지점)

$$A_c = 5,800.0 \text{ cm}^2 \quad I_c = 302,083 \text{ cm}^2 \quad d = 133.150\text{cm}$$

$$\frac{A_c}{n} = 725.000 \text{ cm}^2 \quad \frac{I_c}{n} = 37,760 \text{ cm}^4$$

$$y_c = \frac{537.200 \times 145.060 + 725.000 \times 12.500}{537.200 + 725.000} = -69.169 \text{ cm}$$

$$y_c' = -69.169 + 25.00 + 8.00 - 2.40 = -38.569 \text{ cm}$$

$$y_s = 205.200 - 38.569 = 166.631 \text{ cm}$$

$$d_c = -69.169 + 12.500 = -56.669 \text{ cm}$$

$$d_s = 145.060 - 69.169 = 76.481 \text{ cm}$$

$$I_v = I_s + A_s \times d_s^2 + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c}{n} \times d_c^2 = 9,273,616 \text{ cm}^4$$

- 합성후 휨모멘트에 의한 응력

$$f_{cu} = \frac{M_{d2} + M_l}{n \cdot I_v} \cdot y_c = -33.344 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{n \cdot I_v} \cdot y_c' = -18.593 \ \text{kgf/cm}^2$$

$$f_{su} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_c' = -148.741 \ \text{kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_s = 642.612 \ \text{kgf/cm}^2$$

- 전단응력

$$V_{su} = \frac{(S_{d1} + S_{d2} + S_l)}{A_w} = 238.373 \ \text{kgf/cm}^2$$

다. 크리프에 의한 응력 (3)

$$n_1 = n\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right) = 16 \qquad \phi_1 = 2.0$$

$$\frac{A_c}{n_1} = \frac{5,800}{16} = 362.5 \ \text{cm}^2$$

$$\frac{I_c}{n_1} = \frac{302,083}{16} = 18,880 \ \text{cm}^2$$

$$A_{v1} = 537.200 + 362.500 = 899.7 \ \text{cm}^2$$

$$y_{c1} = \frac{537.2 + 145.65 + 362.5 \times 12.50}{537.2 + 362.5} = -92.002 \ \text{cm}$$

$$y_{c1}' = -92.002 + 33.00 - 2.40 = -61.402 \ \text{cm}$$

$$y_{s1} = 205.200 - 61.402 = 143.798 \ \text{cm}$$

$$d_{c1} = -92.002 + 12.500 = -79.502 \ \text{cm}$$

$$d_{s1} = 145.060 - 92.002 = 53.648 \ \text{cm}$$

$$I_{v1} = I_s + A_s \times d_{s1}^{\ 2} + \frac{I_c}{n_1} + \frac{A_c}{n_1} \times d_{c1}^{\ 2} = 7,621,546 \ \text{cm}^4$$

$$\gamma_c^{\ 2} = \frac{I_c}{A_c} = \frac{302,083.333}{5,800} = 52.083 \ \text{cm}^2$$

$$\frac{\gamma_c^{\ 2}}{d_c} = \frac{52.083}{-56.669} = -0.919 \ \text{cm}$$

크리프 발생 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력 N_c

$$N_c = \left(\frac{M_{d2}}{n \cdot I_v}\right) \times d_c \times A_c = -58,153.181 \ \text{kgf}$$

$$P_\phi = N_c \cdot \left(\frac{2\phi}{2 + \phi_1}\right) = -58,153.181 \ \text{kgf}$$

$$M_\phi = P_\phi \cdot \left(d_{c1} + \frac{\gamma_c^2}{d_c}\right) = 4,676,736.969 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$E_{c1} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot \phi_1 = \frac{E_c}{\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right)} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot y = \frac{f_c}{\left(1 + \frac{2.0}{2}\right)} \times 2.0 = f_c$$

$$f_{cud} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c = -12.238 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cul} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c' = -6.824 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cu1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}\right) - f_{cud} = 4.670 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}'\right) - f_{cul} = 0.429 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}' = -102.314 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{s1} = 23.601 \text{ kgf/cm}^2$$

라. 건조수축에 의한 영향 (4)

$$\phi_2 = 2\phi_1 = 4.0 \qquad \varepsilon_s = 18 \times 10^{-5}$$

$$n_2 = n\left(1 + \frac{\phi_2}{2}\right) = 24$$

$$\frac{A_c}{n_2} = \frac{5,800}{24} = 241.667 \text{ cm}^2$$

$$\frac{I_c}{n_2} = \frac{302,083}{24} = 12,586.792 \text{ cm}^4$$

$$A_{v2} = 537.200 + 241.67 = 778.867 \text{ cm}^4$$

$$y_{c2} = \frac{537.200 \times 145.06 + 241.67 \times 12.50}{537.200 + 241.667} = -104.336 \text{ cm}$$

$$y_{c2}' = -104.336 + 33.000 - 2.40 = -73.736 \text{ cm}$$

$$y_{s2} = 205.200 - 73.736 = 131.464 \text{ cm}$$

$$d_{c2} = -104.336 + 12.500 = -91.836 \text{ cm}$$

$$d_{s2} = 145.650 - 104.336 = 41.314 \text{ cm}$$

$$I_{v2} = I_s + A_s \times d_{s2}^{\,2} + \frac{I_c}{n_2} + \frac{A_c}{n_2} \times d_{c2}^{\,2} = 6,733,028.966 \text{ cm}^4$$

$$E_{c2} \cdot \varepsilon_s = \frac{E_s}{n_2} \cdot \varepsilon_s = -15.750 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_2 = E_s \cdot \varepsilon_s \cdot \frac{A_c}{n_2} = -91,350.000 \text{ kgf}$$

$$M_{y2} = P_2 \cdot d_{s2} = 8,389,218.600 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$f_{cu2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2} \right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 5.446 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2}' \right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 7.035 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{c2}' = -209.159 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{s2} = 46.516 \text{ kgf/cm}^2$$

마. 온도차에 의한 응력 (5)

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \qquad t = \pm 10 \text{ ℃}$$

$$\varepsilon_t = \alpha \cdot t = 1.2 \times 10^{-4}$$

$$E_0 = \frac{E_s}{n} = 262,500$$

$$A_v = 537.200 + \frac{5,800.000}{8} = 1,262.200 \text{ cm}^2$$

$$P_1 = \frac{E_s \cdot \varepsilon_s \cdot A_c}{n} = \pm 182,700.000 \text{ kgf}$$

$$M_v = P_1 \cdot d_c = -10,353,426.300 \text{ kgf} \cdot \text{cm}, 10,353,426.300 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$f_{cu} = \frac{1}{n} \left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c \right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -3.754 \text{ kgf/cm}^2, 3.754 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl} = \frac{1}{n} \left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_{c'} \right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -8.024 \text{ kgf/cm}^2, 8.024 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c' = 187.807 \text{ kgf/cm}^2 , -187.807 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_s = -41.286 \text{ kgf/cm}^2 , 41.286 \text{ kgf/cm}^2$$

바. 응력조합

<예제표 506.4-21> 응력조합(10.0m 지점) (단위 : kgf/cm^2)

NO.	응 력	SLAB TOP-CON'C	STEEL TOP	STEEL BOTTOM
1.	합 성 전	0.000	-1,103.976	865.045
2.	합 성 후	-33.344	-148.741	624.612
3.	크리프에 의한 영향	4.670	-102.314	23.601
4.	건조수축에 의한 영향	5.446	-209.159	46.516
5.	온도차에 의한 영향	-3.754	-187.807	41.286
6.	(1)+(2)	-33.344	-1,252.717	1,507.657
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
7.	(1)+(2)+(3)+(4)	-23.228	-1,564.190	1,577.774
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
8.	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)	-26.981	-1,751.998	1,619.060
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
9.	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)	-19.474	-1,376.383	1,536.488
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
전단응력	전단응력	238.373		
	허용응력	1,100.000		
합성응력	$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = 0.737 < 1.2$			

※ 휨압축플랜지의 허용응력 검토

$$\frac{A_W}{A_C} = 2.083 > 2.0$$

$$\frac{I}{b} = 10.4 > 4 \text{ cm}$$

$$f_{sa} = 1,900 - 38\left(\frac{I}{b} - 4.0\right) = 1,656.17 > 1,103.98$$

사. 항복에 대한 안전도 검사

$$\Sigma f = 1.3 \times \text{고정하중} + 2.1 \times \text{활하중} + \text{크리프} + \text{건조수축} + \text{온도변화}$$

$$f_{cu} = 1.3 \times 12.238 + 2.1 \times 21.106 + 3.754$$

$$= 63.99 \text{ kgf/cm}^2 < f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0 \text{ kgf/cm}^2$$

————> O.K

$$f_{cl} = 1.3 \times 6.824 + 2.1 \times 11.769 + 0.429 + 7.035 + 8.024$$

$$= 49.07 \text{ kgf/cm}^2 < f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ——> O.K}$$

$$f_{su} = 1.3 \times (1,103.976 + 54.592)$$

$$+ 2.1 \times 94.149 + 102.314 + 209.159 + 187.807$$

$= 2,203.13\ \text{kgf/cm}^2 < f_y = 3,200\ \text{kgf/cm}^2$ ————> O.K

$f_{sl} = -1.3 \times (865.045 + 235.855)$

$- 2.1 \times 406.756 - 23.601 - 46.516 - 41.286$

$= -2,396.76\ \text{kgf/cm}^2 < f_y = -3,200\ \text{kgf/cm}^2$ ————> O.K

④ 13.0m 지점

$M_{d1} = 422.70\ \text{tonf·m}$ $M_{d2} = 153.19\ \text{tonf·m}$ $M_1 = 259.01\ \text{tonf·m}$

$S_{d1} = 16.97\ \text{tonf}$ $S_{d2} = 5.03\ \text{tonf}$ $S_1 = 20.15\ \text{tonf}$

가. 합성전 (1)

<예제표 506.4-22> 합성전 단면계수(13.0m 지점)

부 재	L(mm)	T(mm)	A(cm^2)	Y(cm)	$A\cdot Y$(cm^3)	$A\cdot Y^2$(cm^4)	I_0(cm^4)
상부플랜지	480	32	153.6	205.2	31,519	6,467,641	131
복 부 판	12	2,000	240.0	103.6	24,864	2,575,910	800,000
하부플랜지	650	36	234.0	1.8	421	758	253
Σ			627.6		56,804	9,044,310	800,384

$y_{su} = 116.29\ \text{cm}$ $y_{sl} = 90.51\ \text{cm}$

$I_{zz} = I_o + A \times y^2 - A \times y_{sl}^2 = 4,703,385\ \text{cm}^4$

$I_{yy} = I_{o_{yy}} + A \times z^2 = 637,829\ \text{cm}^4$

- 합성전 휨모멘트에 의한 응력

$$f_{su} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{su} = -1,045.122\ \text{kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \left(\frac{M_{d1}}{I_s}\right) \cdot y_{sl} = 813.432\ \text{kgf/cm}^2$$

나. 합성후 (2)

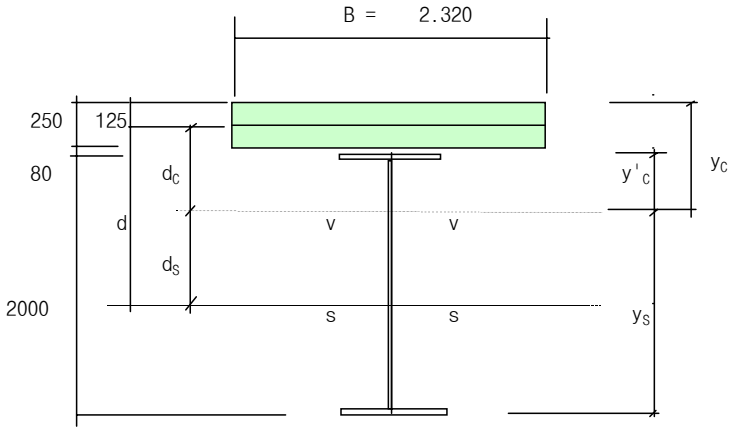
바닥판 유효폭 $B = 2.320\ \text{m}$ $n = 8$

$A_c = 5,800.0\ \text{cm}^2$ $I_c = 302,083\ \text{cm}^2$ $d = 133.590\ \text{cm}$

$$\frac{A_c}{n} = 725.000\ \text{cm}^2 \qquad \frac{I_c}{n} = 37,760\ \text{cm}^4$$

$$y_c = \frac{(627.600 \times 14.090 + 725.000 \times 12.500)}{(627.600 + 725.000)} = -74.485\ \text{cm}$$

$y_c' = -74.485 + 25.00 + 8.00 - 3.20 = -44.685\ \text{cm}$



<예제그림 506.4-25> 바닥판의 유효폭(13.0m 지점)

$y_s = 206.800 - 44.685 = 162.115$ cm

$d_c = -74.485 + 12.500 = -61.985$ cm

$d_s = 146.090 - 74.605 = 71.605$ cm

$$I_v = I_s + A_s \times d_s^2 + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c}{n} \times d_c^2 = 10,744,598 \text{ cm}^4$$

- 합성후 휨모멘트에 의한 응력

$$f_{cu} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{n \cdot I_v} \cdot y_c = -35.719 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{n \cdot I_v} \cdot y_c' = -21.428 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_c' = -171.427 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_s = 621.929 \text{ kgf/cm}^2$$

- 전단응력

$$V_{su} = \frac{(S_{d1} + S_{d2} + S_l)}{A_w} = 175.586 \text{ kgf/cm}^2$$

다. 크리프에 의한 응력 (3)

$$n_1 = n\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right) = 16 \qquad \phi_1 = 2.0$$

$$\frac{A_c}{n_1} = \frac{5,800}{16} = 362.5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{I_c}{n_1} = \frac{302,083}{16} = 18,880 \text{ cm}^2$$

$$A_{v1} = 627.600 + 362.500 = 990.1 \text{ cm}^2$$

$$y_{c1} = \frac{627.6 + 146.09 + 362.5 \times 12.50}{627.6 + 362.5} = -97.179 \text{ cm}$$

$$y_{c1}' = -97.179 + 33.00 - 3.20 = -67.379 \text{ cm}$$

$$y_{s1} = 206.800 - 67.379 = 139.421 \text{ cm}$$

$$d_{c1} = -97.179 + 12.500 = -84.679 \text{ cm}$$

$$d_{s1} = 146.090 - 97.179 = 48.911 \text{ cm}$$

$$I_{v1} = I_s + A_s \times d_{s1}^{\,2} + \frac{I_c}{n_1} + \frac{A_c}{n_1} \times d_{c1}^{\,2} = 8,822,986 \text{ cm}^4$$

$$\gamma_c^{\,2} = \frac{I_c}{A_c} = \frac{302,083.333}{5,800} = 52.083 \text{ cm}^2$$

$$\frac{\gamma_c^{\,2}}{d_c} = \frac{52.083}{-61.985} = -0.840 \text{ cm}$$

크리프 발생 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력 N_c

$$N_c = \left(\frac{M_{d2}}{n \cdot I_v}\right) \times d_c \times A_c = -64,072.188 \text{ kgf}$$

$$P_\phi = N_c \cdot \left(\frac{2\phi}{2 + \phi_1}\right) = -64,072.188 \text{ kgf}$$

$$M_\phi = P_\phi \cdot \left(d_{c1} + \frac{\gamma_c^2}{d_c}\right) = 5,479,389.446 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$E_{c1} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot \phi_1 = \frac{E_c}{\left(1 + \frac{\phi_1}{2}\right)} \cdot \frac{f_c}{E_c} \cdot y = \frac{f_c}{\left(1 + \frac{2.0}{2}\right)} \times 2.0 = f_c$$

$$f_{cud} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c = -13.275 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cul} = \frac{M_{d2} \times 10^5}{n \times I_v} \times y_c' = -7.964 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cu1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}\right) - f_{cud} = 5.458 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl1} = \frac{1}{n_1} \cdot \left(\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}'\right) - f_{cul} = 1.304 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{c1}' = -106.558 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl1} = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi}{I_{v1}} \cdot y_{s1} = 21.873 \text{ kgf/cm}^2$$

라. 건조수축에 의한 영향 (4)

$\phi_2 = 2\phi_1 = 4.0 \qquad \varepsilon_s = 18 \times 10^{-5}$

$n_2 = n\left(1 + \frac{\phi_2}{2}\right) = 24$

$\frac{A_c}{n_2} = \frac{5,800}{24} = 241.667 \text{ cm}^2$

$\frac{I_c}{n_2} = \frac{302,083}{24} = 12,586.802 \text{ cm}^4$

$A_{v2} = 627.600 + 241.67 = 869.267 \text{ cm}^4$

$y_{c2} = \frac{627.600 \times 146.09 + 241.67 \times 12.50}{627.600 + 241.667} = -108.950 \text{ cm}$

$y_{c2}' = -108.950 + 33.000 - 3.20 = -79.150 \text{ cm}$

$y_{s2} = 206.800 - 79.150 = 127.650 \text{ cm}$

$d_{c2} = -108.950 + 12.500 = -96.450 \text{ cm}$

$d_{s2} = 146.090 - 108.950 = 37.140 \text{ cm}$

$I_{v2} = I_s + A_s \times {d_{s2}}^2 + \frac{I_c}{n_2} + \frac{A_c}{n_2} \times {d_{c2}}^2 = 7,829,806.481 \text{ cm}^4$

$E_{c2} \cdot \varepsilon_s = \frac{E_s}{n_2} \cdot \varepsilon_s = -15.750 \text{ kgf/cm}^2$

$P_2 = E_s \cdot \varepsilon_s \cdot \frac{A_c}{n_2} = -91,350.000 \text{ kgf}$

$M_{y2} = P_2 \cdot d_{s2} = 8,810,707.500 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$

$f_{cu2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2}\right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 6.263 \text{ kgf/cm}^2$

$f_{cl2} = \frac{1}{n_2} \cdot \left(\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_2}{I_{v2}} \cdot y_{c2}'\right) - E_{c2} \cdot \varepsilon_s = 7.660 \text{ kgf/cm}^2$

$f_{su2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{c2}' = -194.154 \text{ kgf/cm}^2$

$f_{sl2} = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2}}{I_{v2}} \cdot y_{s2} = 38.553 \text{ kgf/cm}^2$

마. 온도차에 의한 응력 (5)

$\alpha = 12 \times 10^{-6} \qquad t = \pm 10 ℃$

$\varepsilon_t = \alpha \cdot t = 1.2 \times 10^{-4}$

$E_0 = \frac{E_s}{n} = 262,500$

$$A_v = 627.600 + \frac{5,800.000}{8} = 1,352.600 \text{ cm}^2$$

$$P_1 = \frac{E_s \cdot \varepsilon_s \cdot A_c}{n} = \pm 182,700.000 \text{ kgf}$$

$$M_v = P_1 \cdot d_c = -11,324,659.500 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \ , \quad 11,324,659.500 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$f_{cu} = \frac{1}{n}\left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c\right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -4.803 \text{ kgf/cm}^2, \ 4.803 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cl} = \frac{1}{n}\left(\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_{c'}\right) \pm E_c \times \varepsilon_t = -8.729 \text{ kgf/cm}^2, \ 8.729 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{su} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_c' = 182.171 \text{ kgf/cm}^2 \ , \ -182.171 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v}{I_v} \cdot y_s = -35.794 \text{ kgf/cm}^2 \ , \ 35.794 \text{ kgf/cm}^2$$

바. 응력조합

<예제표 506.4-23> 합성전 단면계수(13.0m 지점) (단위:kgf/cm^2)

NO.	응 력	SLAB TOP-CON'C	STEEL TOP	STEEL BOTTOM
1.	합 성 전	0.000	-1,045.122	813.432
2.	합 성 후	-35.719	-171.427	621.929
3.	크리프에 의한 영향	5.458	-106.558	21.873
4.	건조수축에 의한 영향	6.263	-194.154	38.553
5.	온도차에 의한 영향	-4.803	-182.171	35.794
6.	(1)+(2)	-35.719	-1,216.548	1,435.360
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
7.	(1)+(2)+(3)+(4)	-23.997	-1,517.260	1,495.786
	허용응력	-81.000	-1,900.000	1,900.000
8.	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)	-28.800	-1,699.431	1,531.580
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
9.	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)	-19.195	-1,335.090	1,459.992
	허용응력	-93.150	-2,185.000	2,185.000
전단응력	전단응력	175.586		
	허용응력	1,100.000		
합성응력	$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2 = 0.663 < 1.2$			

※ 휨압축플랜지의 허용응력 검토

$$\frac{A_W}{A_C} = 1.563 > 2.0$$

$$\frac{I}{b} = 10.4 > 4 \text{ cm}$$

$$f_{sa} = 1,900 - 38\left(\frac{I}{b} - 4.0\right) = 1,656.17 > 1,045.12$$

사. 항복에 대한 안전도 검사

$$\Sigma f = 1.3 \times \text{고정하중} + 2.1 \times \text{활하중} + \text{크리프} + \text{건조수축} + \text{온도변화}$$

$$f_{cu} = 1.3 \times 13.275 + 2.1 \times 22.444 + 4.803$$

$$= 69.19 \text{ kgf/cm}^2 < f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ———> O.K}$$

$$f_{cl} = 1.3 \times 7.964 + 2.1 \times 13.465 + 1.304 + 7.660 + 8.729$$

$$= 56.32 \text{ kgf/cm}^2 < f_y = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot f_{ck} = 162.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ———> O.K}$$

$$f_{su} = 1.3 \times (1,045.122 + 63.710) + 2.1 \times 107.717 + 106.558 + 194.154 + 182.171$$

$$= 2,150.57 \text{ kgf/cm}^2 < f_y = 3,200 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ————> O.K}$$

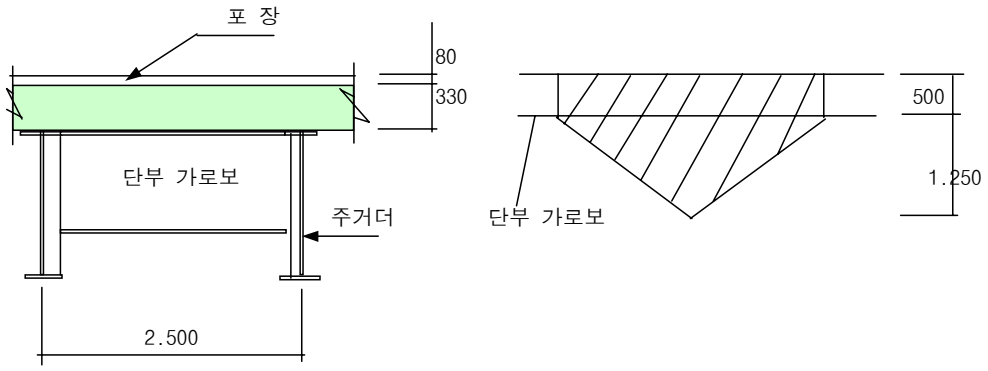
$$f_{sl} = -1.3 \times (813.432 + 231.136) - 2.1 \times 390.792 - 21.873 - 38.553 - 35.794$$

$$= -2,274.82 \text{ kgf/cm}^2 < f_y = -3,200 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ————> O.K}$$

4.3.5 가로보 설계 [단계 4]

(1) 단부 가로보의 설계

단부 가로보는 단부 바닥판의 보강을 위한 구조부재이므로 바닥판의 자중 및 윤하중에 의해 휨응력이 발생할 뿐만 아니라 풍하중 또는 지진하중에 의한 횡방향력에 의해서도 단면에 압축응력이 발생하게 된다. 따라서 단부가로보는 바닥판의 자중 및 윤하중에 의한 휨모멘트와 함께 풍하중 또는 지진하중 등의 횡방향 하중에 의한 발생력을 더하였을 때에 대해서도 설계되어야 한다.



<예제그림 506.4-26> 단부 가로보

① 하중 산정 [단계 4-1]

풍하중 및 지진하중 중 큰 값을 판별하기 위해 각 하중에 대한 증가계수로 나눈 값, 즉 상시환산하중으로 비교하도록 하며, 이 때 풍하중은 바닥판과 가로보가 1/2씩 부담하는 것으로 간주한다.

가. 풍하중

풍하중 강도 P_w

교량 총높이 $(D) = 1.08 + 0.20 + 0.13 + 2.0 = 3.41$ m

교량 총폭 $(B) = 12.140$ m

$$\frac{B}{D} = 3.56 < 8$$

$$P_w = 400 - 20\left(\frac{B}{D}\right) \cdot D = 1,121 \text{ kgf/m} \geq 600$$

$$\text{P} = 1.121 \times 40 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1.2} = 4.672 \text{ tonf}$$

나. 지진하중

전체 고정하중 $W_d = 15.355$ tonf/m

$$H_e = 15.355 \times 0.5A = 1.075 \text{ kgf}$$

$$P_e = 1.075 \times 40 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1.5} = 3.583 \text{tonf}$$

$$\therefore P = 4.672 \text{ tonf}$$

다. 윤하중에 의한 모멘트

윤하중에 의한 휨모멘트를 바닥판과 가로보와의 이중보로 설계한다.

$$q_1 = (0.08 \times 2.3 + 0.33 \times 2.5) \times 0.5 = 0.505 \text{ tonf/m}$$

$$q_2 = (0.08 \times 2.3 + 0.33 \times 2.5) \times 1.250 = 1.261 \text{ tonf/m}$$

$$M_{dl} = \frac{0.505 \times 2.5^2}{8} + \frac{1.261 \times 2.5^2}{12} = 1.051 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_{l+i} = \frac{9.6 \times 2.5 \times 1.3}{4} = 7.800 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$\therefore \sum M = 8.851 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

② 단면계산 [단계4-2, 단계4-3]

<예제표 506.4-24> 부재단면

상부 플레이트	180 × 10 SM400
복 부 판	900 × 10 SM400
하부 플레이트	180 × 10 SM400

$A_s = 126.000\ \text{cm}^2 \qquad I_s = 135,282\ \text{cm}^4$

$M = 8.851\ \text{tonf} \cdot \text{m} \qquad P = 4.672\ \text{tonf}$

$f_u = \frac{P}{A} + \frac{M}{I} \cdot y_u = 338.040\ \text{kgf/cm}^2$

$f_l = \frac{P}{A} + \frac{M}{I} \cdot y_l = 338.040\ \text{kgf/cm}^2 < f_{ca} = 1,400\ \text{kg/cm}^2$

③ 허용 휨압축 플랜지의 허용응력 검토 [단계4-2, 단계4-3]

$A_w = 90.0 \times 1.0 = 90.0\ \text{cm}^2 \qquad A_c = 18.0 \times 1.0 = 18.0\ \text{cm}^2$

$\frac{A_w}{A_c} = 5.000 > 2.0$

$K = \sqrt{3 + \left(\frac{A_w}{2 \cdot A_c}\right)} = 2.345$

$\frac{9}{K} = 3.838 \qquad \frac{l}{b} = 13.889$

$\therefore \frac{9}{K} < \frac{l}{b} \le 30$

$f_{ca} = 1,400 - 12\left(K \times \frac{l}{b} - 9\right) = 1,117.132\text{kg/cm}^2 > f_u = 338.04\text{kg/cm}^2 (\ y_u = 86)$

4.3.6 이음설계 [단계 5]

(1) 13.0 m 지점

$M_{d1} = 422.70$ tonf · m $M_{d2} = 153.19$ tonf · m $M_{d3} = 259.01$ tonf · m

$S_{d1} = 16.97$ tonf $S_{d2} = 5.03$ tonf $S_{d3} = 20.15$ tonf

$I_s = 4,703,389$ cm^4 $I_v = 10,744,580$ cm^4

$y_{su} = -116.29$ cm $y_c' = -44.685$ cm

$y_{sl} = 90.51$ cm $y_s = 162.115$ cm

<예제표 506.4-25> 단면형상

상부 플랜지판	480 × 32 (SM490)
복 부 판	12 × 2,000 (SM490)
하부 플랜지판	650 × 36 (SM490)

단면 응력 검토

$$f_{su} = \frac{M_{d1}}{I_s} \cdot y_{su} + \frac{(M_{d2} + M_l)}{I_v} \cdot y_c = -1,216.55 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{sl} = \frac{M_{d1} \cdot y_{sl}}{I_s} + \frac{(M_{d2} + M_l) \cdot y_s}{I_v} = 1,435.36 \text{ kgf/cm}^2$$

$$v_{su} = \frac{S_{d1} + S_{d2} + S_l}{A_w} = 175.586 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{\min} = 1,900 \times 0.75 = 1,425 \text{ kgf/cm}^2$$

$f_{su} < f_{\min}$ $f_{sl} > f_{\min}$

∴주요부재의 연결은 그 작용력에 대해 설계하되 모재 전강도의 적어도 75% 이상의 강도로 설계해야 하므로 상면은 1,425 kgf/cm^2, 하면은 발생응력값인 1,435 kgf/cm^{2}으로 계산한다.

① 상부플랜지 이음

이음판 SM490 ($f_{sa} = 1,900$ kgf/cm^2 , $v_a = 1,100$ kgf/cm^2)

사용 볼트 고장력볼트 M22 F10T (2면 전단)

$\rho_a = 4,800$ kgf ————> $\rho_a = 9,600$ kgf

가. 볼트갯수

모재 PL. = 480 × 32 ————> $A_s = 153.60$ cm^2

모재강도 $\rho_l = -1,217$ kgf/cm^2

주요부재의 연결은 그 작용력에 대해 설계하되 모재 전강도의 적어도 75% 이상의 강도를 설계해야 하므로,

모재강도 $= 0.75\, f_{sa} = 0.75 \times 1,900 = 1,425$ kgf/cm^2 을 사용한다.

필요한 볼트수 $n_{req} = \dfrac{A_s \times \text{모재강도}}{\rho_a} = 22.8$ 개

사용 볼트수 $n_{use} = 26$ 개

나. 이음판

필요한 순단면적 $A_{req} = \dfrac{1,425 \times 153.60}{1,900} = 115.2$ cm^2

1 - Spl plate : $480 \times 22 = 105.60$ cm^2

2 - Spl plate : $210 \times 22 = 92.40$ cm^2

Total $A = 198.00$ cm^2

$A_{req} = 115.2$ cm^2 < $A_{use} = 198.0$ cm^2

다. 볼트의 응력 검토

- 수직응력에 의한 ρ_m

$\rho_m = \dfrac{p}{n} = \dfrac{1,425 \times 153.60}{26} = 8,418.462$ kgf/EA

- 휨전단응력에 의한 ρ_s

$\rho_s = \dfrac{Q \times S}{I_s} \times \dfrac{p}{n} = -289.366$ kgf/EA

Q = 접합선 외측의 부재 총단면에 대한 단면 1차 모멘트

$= (48 \times 3.2) \times (-116.3 + 1.6) = -17,616,384$ cm^3

$I_s = 4,703,389$ cm^4

S = 합성전·후 전단력 = 42.14 tonf

n = 접합선에 평행인 볼트의 수 = 6.0개

p = 접합선에 직각인 볼트의 피치 = 11.0 cm

- 작용력과 전단력의 합성 볼트력

$\rho = \sqrt{\rho_m^2 + \rho_s^2} = 8,423.433$ kgf/ea < $\rho_a = 9,600$ kgf/ea

② 하부 플랜지 이음

이음판 SM490 ($f_{sa} = 1,900$ kgf/cm^2, $v_a = 1,100$ kgf/cm^2)

사용 볼트 = 고장력볼트 : M22 F10T(2면 전단)

ρ_a = 4,800 kgf ————> ρ_a = 9,600 kgf

가. 볼트갯수

모재 PL. = 650×36 ————> A_s = 234.00 cm^2

모재강도 ρ_l = 1,435 kgf/cm^2

필요한 볼트수 $n_{req} = \frac{A_s \times \text{모재강도}}{\rho_a}$ = 34.7 개

사용볼트수 n_{use} = 42 개

나. 이음판

필요한 순단면적 $A_{req} = \frac{1,425 \times 234.00}{1,900}$ = 175.5 cm^2

1 - 이음판 : 650×22 = 143.00 cm^2

2 - 이음판 : 300×22 = 132.00 cm^2

Total A = 275.00 cm^2

이음판의 순단면적

$$A_{net} = A - \frac{(\text{볼트직경} + 3\ mm) \times \text{연결판두께} \times \text{사용볼트수}}{\text{열수}} \times 2 = 209.0 cm^2$$

A_{req} = 175.5 cm^2 < A_{net} = 209.0 cm^2

다. 모재응력 검토(볼트구멍 단면적 공제)

$$f_s = \frac{1,425 \times (65 \times 3.6)}{(65 - 6 \times 2.5) \times 3.6} = 1,852.500\ kgf/cm^2 \le f_{sa} = 1,900\ kgf/cm^2$$

라. 볼트의 응력 검토 ρ_m

- 직응력에 의한 ρ_m

$$\rho_m = \frac{p}{n} = \frac{1,425 \times 234}{42} = 7,939.29\ kgf/EA$$

- 휨전단응력에 의한 ρ_s

$$\rho_s = \frac{Q \times S}{I_s} \times \frac{p}{n} = 196.173\ kgf/EA$$

Q = 접합선 외측의 부재 총단면에 대한 단면 1차 모멘트

= $(65 \times 3.6) \times (162.1 - 1.8) = 37,513.710\ cm^3$

I_s = 10,744,579.613 cm^4

S = 합성전·후 전단력 = 42.14 tonf

n = 접합선에 평행인 볼트의 수 = 6 개

p = 접합선에 직각인 볼트의 피치 = 8.0 cm

- 작용력과 전단력의 합성 볼트력

$$\rho = \sqrt{\rho_m^2 + \rho_s^2} = 7,941.464 \text{ kgf/EA} < \rho_a = 9,600 \text{ kgf/EA}$$

③ 복부의 이음

가. 볼트설계

- 볼트 1개의 휨 작용력

$$\sum y_i^2 = 3\text{열} \times (89.0^2 + 79.0^2) \times 2 + 2\text{열} \times (10.0^2 + 20.0^2 + \cdots\cdots + 70.0^2) \times 2$$

$$= 140,972 \text{ cm}^2$$

- 휨모멘트 성분

$$M_w = \frac{f \cdot t_w \cdot h_w^2}{6} = 11,400,000 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\rho_m = \frac{M_w}{\Sigma y_i^2} \cdot y_i = 7,197 \text{ kgf/EA}$$

- 볼트 1개의 전단응력

$$\rho_s = \frac{S}{\text{볼트수}} = 957.740 \text{ kgf/EA}$$

- 볼트의 합성응력

$$\rho = \sqrt{\rho_m^2 + \rho_s^2} = 7,260.62 \text{ kgf/EA} < \rho_a = 9,600 \text{ kgf/EA}$$

나. 이음판 설계

- 사용 이음판

4 PL. : $180 \times 10 \times 510 = 72.00 \text{ cm}^2$

2 PL. : $350 \times 10 \times 1,480 = 296.00 \text{ cm}^2$

Total $A = 368.00 \text{ cm}^2 > A_w = 200 \times 1.2 = 240 \text{ cm}^2$

복부의 이음판은 다음 식을 만족해야 된다.

$$f_u = \frac{M_{sw}}{{}_sI_w} \cdot y_{su} + \frac{M_{vw}}{{}_vI_w} \cdot y_{vu} \le f_a$$

$$f_l = \frac{M_{sw}}{{}_sI_w} \cdot y_{sl} + \frac{M_{vw}}{{}_vI_w} \cdot y_{vl} \le f_a$$

f_u = 이음판의 상연응력 f_l = 이음판의 하연응력

M_{sw} = 복부에 작용하는 합성전 고정하중에 의한 휨모멘트 (kgf · cm)

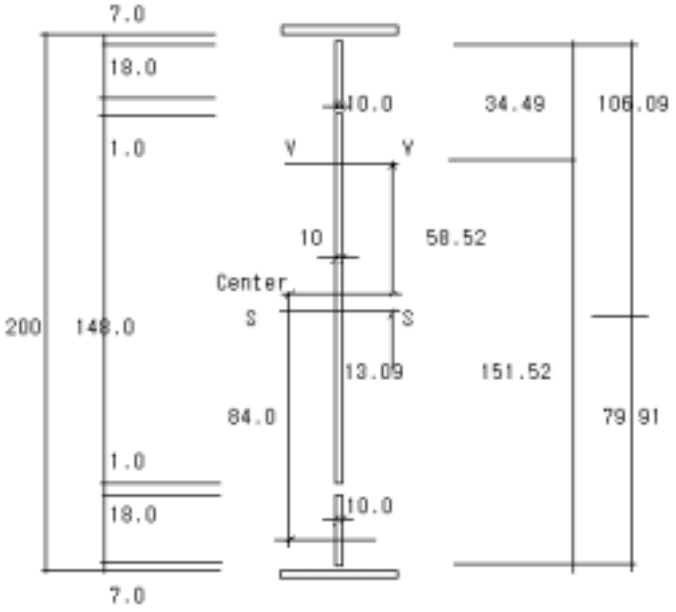
M_{vw} = 복부에 작용하는 합성후 하중에 의한 휨모멘트 (kgf · cm)

${}_sI_w$ = 강재보 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면 2차 모멘트 (cm^4)

${}_vI_w$ = 합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면 2차 모멘트 (cm^4)

y_{su}, y_{sl} = 강재보 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리 (cm^4)

y_{vu}, y_{vl} = 합성 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리 (cm^4)



<예제그림 506.4-27> 이음판

<예제표 506.4-26> 이음판의 단면계수

단 면	A (cm^2)	Y (cm)	A · y^2 (cm^4)	I_0 (cm^4)
2 PL 180 × 10	36.0	-84.00	254,016	254,988
2 PL 1,460 × 10	296.0	0.00	0	540,299
2 PL 180 × 10	36.0	84.00	254,016	254,988
Σ	368.0		508,032	1,050,275

$$ {}_sI_w = \left(\frac{2t_{sc} \cdot h_{sc}^{\,3}}{12} + 4t_{mc} \cdot h_{mc} \cdot y_{mc}^{\,2} \right) + (2t_{sc} \cdot h_{sc} + 4t_{mc} \cdot h_{mc}) D_s^{\,2} $$

$$ = 1,113,331 \ \text{cm}^4 $$

$$ {}_vI_w = \left(\frac{2t_{sc} \cdot h_{sc}^{\,3}}{12} + 4t_{mc} \cdot h_{mc} \cdot y_{mc}^{\,2} \right) + (2t_{sc} \cdot h_{sc} + 4t_{mc} \cdot h_{mc}) D_v^{\,2} $$

$$ = 2,310,309 \ \text{cm}^4 $$

$$ M_{sw} = \frac{M_{d1} \cdot {}_sI_w}{I_s} = 10,005,727 \ \text{kgf/cm}^2 $$

$$ M_{vw} = \frac{(M_{d2} + M_l) \cdot {}_sI_w}{I_v} = 8,863,133 \ \text{kgf/cm}^2 $$

$$f_u = \frac{M_{sw} \cdot y_{su}}{{}_sI_w} + \frac{M_{vw} \cdot y_{vu}}{{}_vI_w} = 1,085.75 \text{ kgf/cm}^2 < f_a = 1,900 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_l = \frac{M_{sw} \cdot y_{sl}}{{}_sI_w} + \frac{M_{vw} \cdot y_{vu}}{{}_vI_l} = 1,299.43 \text{ kgf/cm}^2 < f_a = 1,900 \text{ kgf/cm}^2$$

(2) 용접 상세설계

필렛용접은 용접치수의 최소치를 6mm 이상으로 하고, 필렛용접부의 하중 전달 능력이 모재의 능력을 넘는 것을 방지하기 위해 최대치를 다음과 같이 제한한다[도설 3.5.2.4].

$$t_1 > S > \sqrt{2 \cdot t_2}$$

t_1 : 얇은 쪽의 모재 두께(mm)

t_2 : 두꺼운 쪽의 모재 두께 (mm)

S : 용접치수 (mm)

① 기본 용접 치수

- $t_2 = 36$ mm일 때,

$\sqrt{(2 \times 36)} = 8.49$ $\therefore S = 9$ mm

- $t_2 = 32$ mm일 때,

$\sqrt{(2 \times 32)} = 8.00$ $\therefore S = 9$ mm

- $t_2 = 28$ mm일 때,

$\sqrt{(2 \times 28)} = 7.48$ $\therefore S = 8$ mm

- $t_2 = 24$ mm일 때,

$\sqrt{(2 \times 24)} = 6.93$ $\therefore S = 7$ mm

- $t_2 = 20$ mm일 때,

$\sqrt{(2 \times 20)} = 6.32$ $\therefore S = 7$ mm

- $t_2 = 16$ mm일 때,

$\sqrt{(2 \times 16)} = 5.66$ $\therefore S = 6$ mm

② 복부와 플랜지의 용접치수

$$t_1 > s > \sqrt{2 \cdot t_2}$$

- $t_1 = 12$ mm, $t_2 = 36$ mm 일 때

$\sqrt{(2 \times 36)} = 8.49$ $\therefore S = 9$ mm

용접목두께는 $S = 9$ mm로 설계할 때

$t_{we} = 0.9 \times 2 \times 0.707 = 1.27$ cm

- 전단력이 제일 많이 작용하는 단지점부의 전단력은

$S_{d1} = 47.859$ tonf $\quad S_{d2} = 19.906$ tonf

$S_{l,\max} = 35.975$ tonf $\quad S_{l,\min} = -1.130$ tonf

$I_s = 2,841,543$ cm^4 $\quad I_v = 7,736,913$ cm^4

$y_{su} = -113.66$ cm $\quad y_{sl} = 89.94$ cm

$y_{c'} = -31.64$ cm $\quad y_s = 171.96$ cm

- 용접면에 발생하는 전단응력 v는

$$Q_{us} = (48 \times 1.6) \times (-112.060) = -8,606 \text{ cm}^3$$

$$Q_{ls} = (65 \times 2.0) \times 89.74 = 11,666 \text{ cm}^3$$

$$Q_{uv} = \left(\frac{232 \times 25}{8} + 48 \times 1.6\right) \times -33.244 = -28,525 \text{ cm}^3$$

$$Q_{lv} = (65 \times 2.0) \times 169.956 = 22,094 \text{ cm}^3$$

$$v_u = \frac{S_{d1} \times Q_{us}}{I_s \times t_{we}} + \frac{(S_{d2} + S_{l,\max}) \times Q_{uv}}{I_v \times t_{we}} = -350.98 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\geq v_a = 1,100 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{————> O.K}$$

$$v_l = \frac{S_{d1} \times Q_{ls}}{I_s \times t_{we}} + \frac{(S_{d2} + S_{l,\max}) \times Q_{lv}}{I_v \times t_{we}} = 352.13 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\geq v_a = 1,100 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{————> O.K}$$

4.3.7 보강재 설계 [단계 6]

(1) 수직 보강재 [단계 6-1]

① 중앙부 (수평보강재 1단 사용)

가. 수직보강재 간격 검토[도·설 3.8.5.1]

a = 수직보강재의 간격 = 125.0 cm

b = 상하플랜지의 간격 = 200 cm

t = 복부판의 두께 = 1.2 cm

$\frac{a}{b} = 0.625 < 0.8$

f = 복부판의 연단 압축응력 = 1,882.54 kgf/cm^2

v = 복부판의 전단응력 = 80.121 kgf/cm^2

$$\left[\frac{b}{100 \cdot t}\right]^4 \cdot \left[\frac{f}{9500^2} + \frac{v}{950 + 810(b/a)^2}\right]^2 = 0.308 < 1$$

나. 수직보강재 강도 검토[도·설 3.8.5.2]

보강재판 150×12 사용

$$\gamma = 8.0 \times \left(\frac{b}{a}\right)^2 = 20.48$$

$$I_{req} = \frac{bt^3}{10.92} \cdot \gamma = 648.16 \text{ cm}^4$$

복부판에 대한 단면2차모멘트

$$I_t = \frac{1.2}{3} \times 15.0^3 = 1350.0 > I_{req} = 648.16 \text{ cm}^4 \longrightarrow \text{O.K}$$

수직보강재의 돌출각 폭, 두께 규정

$$\frac{200}{30} + 5.0 = 11.7 \text{ cm} < 15.0 \text{ cm} \longrightarrow \text{O.K}$$

$$\frac{15}{13} = 1.15 \text{ cm} < 1.2 \text{ cm} \longrightarrow \text{O.K}$$

(2) 수평 보강재[도·설 3.8.6] [단계 6-2]

① 중앙부

가. 위치 검토

1단 사용시 압축플랜지에서 0.20b 부근으로 정한다.

$h = 0.2 \times 200 = 40$ cm

나. 수직보강재 강도

보강재 PL. 130×12 사용

$$\gamma = 30.0 \times \left(\frac{a}{b}\right) = 18.75$$

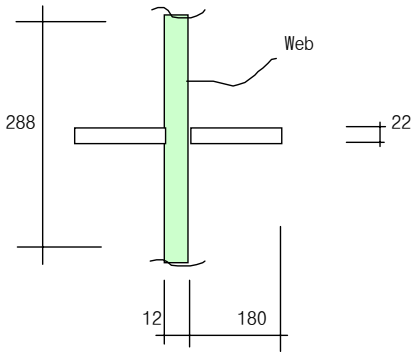
$$I_{req} = \frac{bt^3}{10.92} \cdot \gamma = 593.41 \text{ cm}^4$$

복부판에 대한 단면2차모멘트

$$I_t = \frac{1.2}{3} \times 13.0^3 = 878.80 > I_{req} = 593.41 \text{ cm}^4 \quad \text{————————> O.K}$$

(3) 단부 보강재[도·설 3.8.7] [단계 6-3]

단부 보강재 최대 반력이 생기는 반력 계산



<예제그림 506.4-28> 단부 보강재

반력 (R) = 106.683 tonf

보강재 단면 (SM490)

2 - PL	180	×	22	=	79.200 cm^2
1 - PL	288	×	12	=	34.560 cm^2
				A_s	= 113.760 cm^2

$$1.7A_s = 134.64 \text{ cm}^2 > A_s = 113.760 \text{ cm}^2 \quad \text{————————> O.K}$$

$$I_y = 2 \times \left(\frac{2.2}{3} \times 18.6^3\right) = 9,438 \text{ cm}^4$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 9.108 \text{ cm}$$

$$l = \frac{b}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ cm}$$

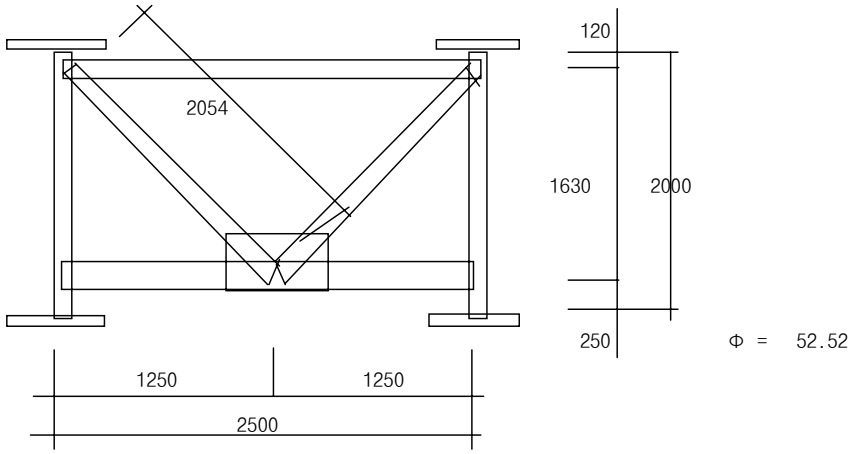
$$\frac{l}{\gamma} = 10.979 < 15$$

$$f_{ca} = 1,900 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f = \frac{P}{A} = 937.79 \text{ kgf/cm}^2 < f_{ca} = 1,900 \text{ kgf/cm}^2$$

4.3.8 브레이싱 설계 [단계7]

(1) 수직브레이싱 설계 [단계 7-1]



<예제그림 506.4-29> 수직브레이싱

<예제표 506.4-27> 브레이싱 부재 제원

현 재	단 면	단면적	γ(cm)	l(cm)	l/γ	l/γ(max)
상현재	100 × 100 × 10	19.0	3.83	250	65.27	150
사 재	90 × 90 × 10	17.0	3.42	163	47.66	150
하현재	100 × 100 × 10	19.0	3.83	250	65.27	150

① 하중 선정

가. 풍하중

풍하중 강도 P_w

교량 총높이 $(D) = 1.08 + 0.20 + 0.30 + 20.0 = 21.580$ m

교량 총폭 $(B) = 12.140$ m

$\frac{B}{D} = 0.56 < 8$

$w_w = 1,121.20$ kgf/m ≥ 600

$$P_w = 1.121 \times 40 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1.2} = 4.67 \text{ tonf}$$

나. 지진하중

전체 고정하중 : $W_d = 15.355$ tonf/m

$H_e = 15.355 \times 0.5A = 1.075$ tonf

$$P_e = 1.075 \times 40 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1.5} = 3.583 \text{ tonf}$$

$\therefore P = 34.955$ tonf

② 단면 설계

가. 상현재

$P = 34.955$ tonf

$f_c = \frac{P}{A} = 1839.74$ kgf/cm^2 > $f_{ca} = 576.41$ kgf/cm^2

$\gamma = 3.830$ cm

상현재 길이 $l = 250$ cm

$\frac{l}{\gamma} = 65.274 < 93$

$f_{cal} = 1,400 - 8.4 \cdot \left(\frac{l}{\gamma} - 20\right) = 1,020$ kgf/cm^2

$f_{ca} = f_{cal} \times \left(0.5 + \frac{l/\gamma}{1000}\right) = 576.41$ kgf/cm^2

나. 사 재

$P = 4.672 \times \frac{1}{\cos\theta} = 7.677$ tonf

$f_c = \frac{P}{A} = 451.58$ kgf/cm^2 < $f_{ca} = 595.63$ kgf/cm^2

$\gamma = 3.420$ cm

사재 길이 $l = 205.4$ cm

$\frac{l}{\gamma} = 60.058 < 93$

$f_{cal} = 1,400 - 8.4 \cdot \left(\frac{l}{\gamma} - 20\right) = 1,064$ kgf/cm^2

$f_{ca} = f_{cal} \times \left(0.5 + \frac{l/\gamma}{1000}\right) = 595.63$ kgf/cm^2

다. 하현재

$P = 34.955$ tonf

$f_c = \frac{P}{A} = 245.88$ kgf/cm^2 < $f_{ca} = 576.41$ kgf/cm^2

$\gamma = 3.830$ cm

하현재 길이 $l = 250$ cm

$\frac{l}{\gamma} = 65.274 < 93$

$f_{cal} = 1,400 - 8.4 \cdot \left(\frac{l}{\gamma} - 20\right) = 1,020$ kgf/cm^2

$f_{ca} = f_{cal} \times \left(0.5 + \frac{l/\gamma}{1000}\right) = 576.41$ kgf/cm^2

(2) 수평브레이싱 설계 [단계 7-2]

① 하중산정

가. 풍하중

풍하중은 2조의 브레이싱과 바닥판이 1/2씩 부담하므로

$P_w = 1,121.20$ kgf/m > 600 kgf/m

브레이싱에 작용하는 풍하중

$$P_w = 1.121 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1.2} = 0.234 \text{ tonf/m}$$

나. 지진하중

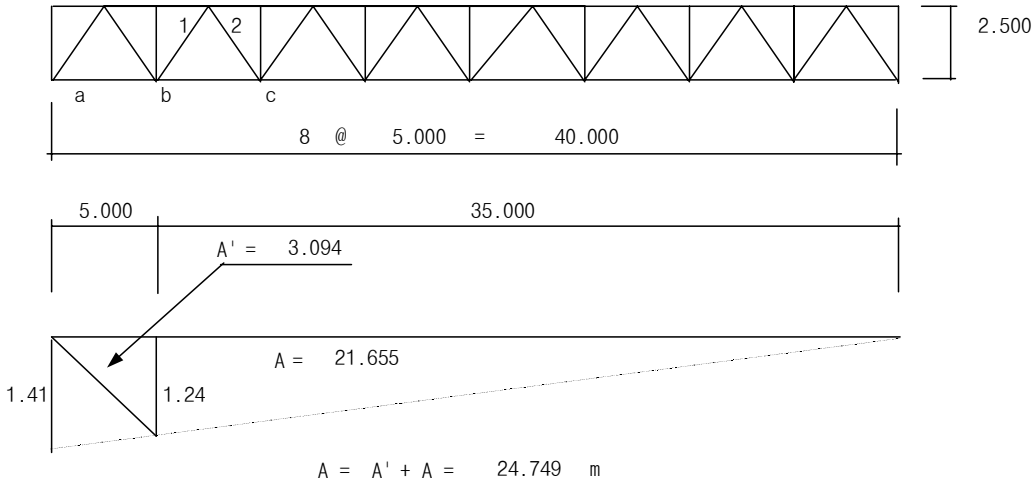
전체 고정하중 : $W_d = 15.355$ tonf/m , 수평진도 $k_h = 0.14$

$H_e = 15.355 \times 0.07 = 1.075$ tonf

$$P_e = 1.075 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{1.5} = 0.179 \text{ tonf/m}$$

$\therefore P = 0.234$ tonf/m

② 단면계산



<예제그림 506.4-30> 수평브레이싱

- 브레이싱의 사재 L-130×130×9 사용하면 $A = 22.7$ cm^2

$P = 5.781$ tonf

$f_c = \frac{P}{A} = 254.22$ kgf/cm^2 < $f_{ca} = 472.92$ kgf/cm^2

- 세장비 검토

$\frac{l}{\gamma_{\min}} = \frac{354}{2.57} = 137.569 < 150$ ————> O.K

- 허용압축응력 f_{ca}

$$\frac{l}{\gamma_y} = \frac{354}{5.06} = 69.872$$

$$f_{cag} = 1400 - 8.4\left(\frac{l}{\gamma_y} - 2.0\right) = 829.87 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cag}' = f_{cag} \times \left(0.5 + \frac{l/\gamma_y}{1000}\right) = 472.92 \text{ kgf/cm}^2$$

③ 볼트 설계

이음판의 두께 = 10 mm

고장력볼트는 M22 , F10T 로 하면,

ρ_a = 4,800 kgf/개 (1면 마찰)

$n = \frac{P}{\rho_a} = 1.2$개 ————> 3개 사용

4.3.9 전단연결재 설계 [단계 8]

(1) 전단연결재 형식 결정 [단계 8-1]

플레이트 거더와 바닥판의 일체거동을 위한 전단연결재로 스터드를 사용한다.

- 사용 스터드 제원

  직경 = 22 mm

  높이 = 150 mm

(2) 수평전단력 산정 [단계 8-2]

① 전단력에 의한 수평력

• 정의 휨모멘트를 받는 구간

$$H_0 = \left(\frac{S}{I_v}\right) \times \left(\frac{A_C}{n}\right) \times d_v$$

여기서, S = 전단력(합성후 고정하중 + 활하중)

I_v = 합성단면의 단면 2차 모멘트

A_c = 상부 바닥판의 단면적

n = 탄성 계수비

d_v = 도심축에서 상부 바닥판 도심까지의 거리

<예제표 506.4-28> 전단력에 의한 수평력

단 면	S(tonf)	A_c / n(cm^2)	d_v(cm)	I_v(cm^4)	H_o(kgf/cm)
단 부	55.882	725.0	-31.644	7,736,913	165.70
2.5m 지점	49.895	725.0	-38.569	9,273,616	150.45
10.0 m 지점	33.249	725.0	-61.985	10,744,579	139.07

③ 종하중에 의한 수평력

가. 건조수축에 의한 수평력

$$H_s = 2 \cdot \frac{N_{cs}}{a}$$

여기서, N_{cs} = 건조수축에 의한 수직력

a = 주간격

$a = 250$ cm $\qquad \frac{L}{10} = 400$ cm

$\therefore\ a < \frac{L}{10}$ 이므로 250 cm

※ 건조수축에 의한 수직력 N_{cs}

$\varepsilon_s = 0.00018$ $\phi_s = 4$

$N_s = N\left(1 + \frac{\phi_s}{2}\right) = 24$

$D = 132.560$ cm

$I_c = 302,083$ cm^4 $A_c = 5,800.0$ cm^2

$I_s = 2,841,543$ cm^4 $A_s = 446.8$ cm^2

$P_s = E_s \cdot \varepsilon_s \cdot \frac{A_c}{N_s} = 91,350$ kgf

$F_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{A_c}{N_s \times A_s}\right)} + \left(\frac{A_c \times D^2}{I_c + N_s \times I_s}\right) = 0.330$

$N_{cs} = P_s \times F_s = 30,161$ kgf

따라서 $H_s = 2 \cdot \frac{N_{cs}}{a} = 241.29$ kgf/cm

나. 온도 변화에 의한 수평력

$H_t = 2 \cdot \frac{N_{ct}}{a}$ 여기서, N_{ct} = 온도차에 의한 수직력

a = 주간격

$a = 250$ cm $\frac{L}{10} = 400$ cm

$\therefore a < \frac{L}{10}$ 이므로 250 cm

※ 온도차에 의한 수직력 N_t

$f_t = 0.000012$ $\Delta T = 10.0$ ℃

$D = 132.560$ cm

$I_c = 302,083$ cm^4 $A_c = 5,800.0$ cm^2

$I_s = 2,841,543$ cm^4 $A_s = 446.8$ cm^2

$P_t = E_s \cdot f_s \cdot \Delta t \cdot \frac{A_c}{N} = 182,700$ kgf

$F_t = \frac{1}{\left(1 + \frac{A_c}{N \times A_s}\right)} + \left(\frac{A_c \times D^2}{I_c + N_s \times I_s}\right) = 0.142$

$N_{ct} = P_t \times F_t = 25,925$ kgf

따라서 $H_t = 2 \cdot \frac{N_{ct}}{a} = 207.40$ kgf/cm

(3) 전단연결재의 간격 결정 [단계 8-3]

교축방향 $5d$, 10 cm $<$ d_o $<$ 60 cm

교축직각방향 $d + 3.0$ cm $<$ d_o $<$ 60 cm

• 스터드의 내하력 계산[도·설 3.9.5.6]

$d = 22$ mm $H = 150$ mm

$\frac{H}{d} = 6.818 > 5.5$

∴ 허용 전단력은

$Q_a = 30 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 2,386$ kgf/EA

스터드는 최대 60 cm , 최소 10cm 간격으로 배치한다.

$Q_a = 2,386 \times 3 = 7,158$ kgf

<예제표 506.4-29> 전단 연결재의 간격 결정

위 치	H_o	$H_o + H_t$	$H_s + H_t$	Q_a	$d_{o,req}$	$d_{o,use}$
단 부	165.70	373.10	448.69	7,158	15.95	10
2.5m 지점	150.45	-	-	7,158	47.58	30
10.0m 지점	139.07	-	-	7,158	51.47	50

H_o = 정모멘트부에서의 전단력에 의한 수평력

H_t = 온도변화에 의한 수평력

H_s = 건조수축에 의한 수평력

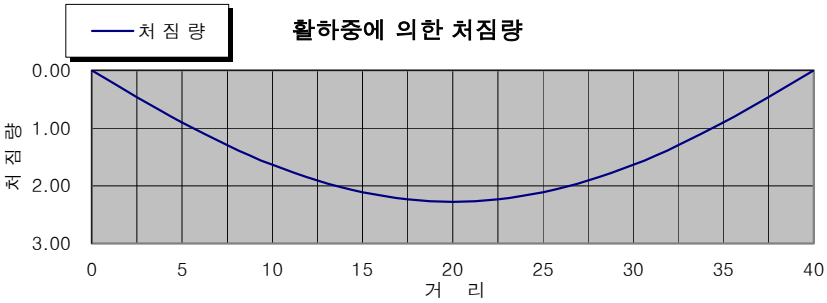
4.3.10 처짐검토 및 솟음 [단계 9]

(1) 처짐 검토

① 사용 활하중에 의한 처짐량 (최대처짐 발생 거더) [단계 9-1]

(단위: cm)

절점	처 짐 량
1	0.000
2	0.009
3	0.016
4	0.021
5	0.023
6	0.021
7	0.016
8	0.009
9	0.000



<예제그림 506.4-31> 활하중에 의한 처짐량

② 허용처짐량 [단계 9-2]

교량구조물의 휨부재는 사용 활하중 (충격하중 포함)으로 구조물의 강도나 실제 하중에 지장을 주는 처짐 또는 그외 변형이 일어나지 않도록 충분한 강성을 갖게 설계하여야 한다.

강교의 허용최대처짐량은 아래와 같다[도·설 3.2.3].

<예제표 506.4-31> 허용처짐량 (지간장 : m)

교 량 형 식		최 대 처 짐	
종 류	지 간	단면 지지보 및 연속보	게르바보의 캔틸레버부
철근콘크리트 바닥판이 있는 플레이트 거더	L ≤10m	L /2,000	L/1,200
	10 < L ≤ 40m	L/(20,000/L)	L/(12,000/L)
	L > 40m	L/500	L/300
기타 바닥판이 있는 플레이트거더		L/500	L/300

$$\therefore \text{ 허용처짐량 } \Delta_a = \frac{L}{20,000/L} = \frac{40.0}{20000/40.0} = 0.08 \text{ m} = 8 \text{ cm}$$

③ 처짐 검토

$\Delta_{max} = 2.275$ cm < $\Delta_a = 8.000$ cm ————> O.K

(2) 솟음량 산정 [단계 9-3, 단계 9-4]

<예제표 506.4-32> 솟음량 전산처리결과 (G1) (단위 : cm)

case / 절점	거 더 자 중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	계	비고
1	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	1.045	2.414	0.358	3.817	
3	1.871	4.323	0.645	6.839	
4	2.395	5.533	0.829	8.757	
5	2.577	5.955	0.892	9.424	
6	2.395	5.533	0.829	8.757	
7	1.871	4.323	0.645	6.839	
8	1.045	2.414	0.358	3.817	
9	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-33> 솟음량 전산처리결과 (G2) (단위 : cm)

case / 절점	거 더 자 중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	계	비고
10	0.000	0.000	0.000	0.000	
11	1.047	2.419	0.340	3.806	
12	1.874	4.330	0.616	6.820	
13	2.398	5.542	0.794	8.734	
14	2.581	5.963	0.856	9.400	
15	2.398	5.542	0.794	8.734	
16	1.874	4.330	0.616	6.820	
17	1.047	2.419	0.340	3.806	
18	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-34> 솟음량 전산처리결과 (G3) (단위 : cm)

case / 절점	거더자중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	계	비 고
19	0.000	0.000	0.000	0.000	
20	1.048	2.421	0.358	3.827	
21	1.876	4.334	0.649	6.859	
22	2.400	5.546	0.837	8.783	
23	2.582	5.967	0.903	9.452	
24	2.400	5.546	0.837	8.783	
25	1.876	4.334	0.649	6.859	
26	1.048	2.421	0.358	3.827	
27	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-35> 솟음량 전산처리결과 (G4) (단위 : cm)

case / 절점	거더자중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	계	비 고
28	0.000	0.000	0.000	0.000	
29	1.047	2.419	0.420	3.886	
30	1.874	4.330	0.762	6.966	
31	2.398	5.542	0.984	8.924	
32	2.581	5.963	1.062	9.606	
33	2.398	5.542	0.984	8.924	
34	1.874	4.330	0.762	6.966	
35	1.047	2.419	0.420	3.886	
36	0.000	0.000	0.000	0.000	

<예제표 506.4-36> 솟음량 전산처리결과 (G5) (단위 : cm)

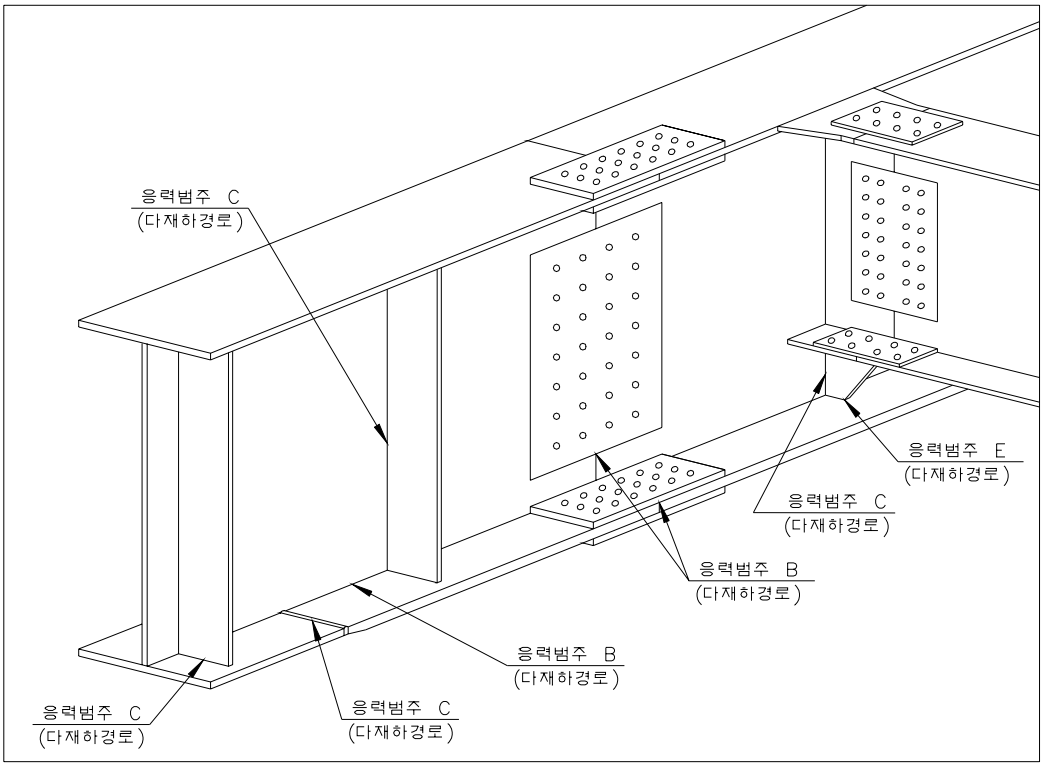
case / 절점	거 더 자 중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	계	비고
37	0.000	0.000	0.000	0.000	
38	1.045	2.414	0.535	3.994	
39	1.871	4.323	0.962	7.156	
40	2.395	5.533	1.233	9.161	
41	2.577	5.955	1.327	9.859	
42	2.395	5.533	1.233	9.161	
43	1.871	4.323	0.962	7.156	
44	1.045	2.414	0.535	3.994	
45	0.000	0.000	0.000	0.000	

4.3.11 피로 검토 [단계 10]

(1) 피로설계 개요

반복응력을 받는 부재와 이음부의 설계시 최대응력은 기본허용응력을 초과하지 않아야 하며, 응력범위는 허용피로응력범위를 초과하지 않아야 한다. 특히, 플레이트거더교의 피로응력 상세범주 및 재하경로는 다음 그림에 따라야 한다.

본 설계에서는 종, 횡방향 부재에 대해 고장력볼트 이음부분과 바닥판의 용접이음부에 대한 피로 검토를 수행하였다.



<예제그림 506.4-32> 플레이트거더교의 피로응력 상세범주 및 재하경로

(2) 고장력볼트 이음부분 피로검토

① 발생변동응력 [단계 10-1]

$f_{\max} = f_d + f_{l,\max}$ f_d = 고정하중의 응력

$f_{\min} = f_d + f_{l,\min}$ $f_{l,\max}$ = 활하중의 최대응력

$\triangle f = f_{\max} - f_{\min}$ $f_{l,\min}$ = 활하중의 최소응력

$M_{d1} = 422.703$ tonf·m $M_{d2} = 153.191$ tonf·m

$M_{l,\max} = 259.007$ tonf·m $M_{l,\min} = -9.438$ tonf·m

$I_s = 4,703,389$ cm^4 $I_v = 10,744,580$ cm^4

$y_{su} = -116.290$ cm $\quad y_{sl} = 90.51$ cm

$y_{c'} = -44.685$ cm $\quad y_s = 162.115$ cm

$$f_{\max,u} = \frac{M_{d1}\times 10^5}{I_S}\times y_{su} + \frac{(M_{d2}+M_{l,\max})\times 10^5}{I_v}\times y_c' = -1,216.55 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{\max,l} = \frac{M_{d1}\times 10^5}{I_s}\times y_{sl} + \frac{(M_{d2}+M_{l,\max})\times 10^5}{I_v}\times y_s = 1,435.36 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{\min,u} = \frac{M_{d1}\times 10^5}{I_s}\times y_{su} + \frac{(M_{d2}+M_{l,mim})\times 10^5}{I_v}\times y_c' = -1,112.76 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{\min,L} = \frac{M_{d1}\times 10^5}{I_s}\times y_{su} + \frac{(M_{d2}+M_{l,\min})\times 10^5}{I_v}\times y_s = 1,058.81 \text{ kgf/cm}^2$$

$\Delta f_u = f_{\max,u} - f_{\min,u} = -1,216.55 - (-1,112.76) = 103.79$ kgf/cm^2

$\Delta f_l = f_{\max,l} - f_{\min,l} = 1,435.36 - 1,058.81 = 376.552$ kgf/cm^2

② 설계응력반복횟수, 응력범주, 재하경로 결정 [단계 10-2, 단계 10-3, 단계 10-4]

가. 설계응력반복횟수

- 설계응력반복횟수는 트럭하중 2백만회를 적용한다.

나. 응력범주

- 고장력볼트 이음부분은 연결재에 면외휨을 일으키는 축방향응력을 받는 연결부를 제외한, 고장력볼트 마찰이음 전단면에서의 모재로 볼 수 있으므로 응력범주는 B로 한다.

다. 재하경로

- 부재의 파괴만으로 전체 구조가 붕괴되지 않는 다재하경로구조로 간주한다.

③ 허용피로응력 [단계 10-5]

- 허용응력범위 $= 1,260$ kgf/cm^2

④ 피로응력 검토

$\Delta f_u = 103.79$ kgf/cm^2 $<$ $f_{sr} = 1,260$ kgf/cm^2 ==========> O.K

$\Delta f_L = 376.55$ kgf/cm^2 $<$ $f_{sr} = 1,260$ kgf/cm^2 ==========> O.K

(3) 수직보강재 끝단부 검토 (중앙부 최대인장부)

① 발생변동응력 [단계 10-1]

$M_{d1} = 482.183$ tonf·m $\quad M_{d2} = 169.657$ tonf·m

$M_{l,\max} = 301.668$ tonf·m $\quad M_{l,\min} = -9.707$ tonf·m

$I_s = 4,703,389\ \text{cm}^4$ $I_v = 10,744,580\ \text{cm}^4$

$y_{su} = -116.290\ \text{cm}$ $y_{sl} = 90.510\ \text{cm}$

$y_c' = -44.685\ \text{cm}$ $y_s = 162.115\ \text{cm}$

y_j = 압축측연단으로부터 수직보강재 끝단까지 거리 = 3.6 + 2.5 = 6.1 cm

용접부에서의 $f_{\max}$, $f_{\min}$ 을 구하면

$$f_{sl,\max} = \frac{M_{d1} \times 10^5}{I_S} \times (y_{sl} - y_j) + \frac{(M_{d2} + M_{l,\max}) \times 10^5}{I_v} \times (y_s - y_j)$$

$$= 1,549.74\ \text{kgf/cm}^2$$

$$f_{sl,\min} = \frac{M_{d1} \times 10^5}{I_s} \times (y_{sl} - y_j) + \frac{(M_{d2} + M_{l,\max}) \times 10^5}{I_v} \times (y_s - y_j)$$

$$= 1,125.80\ \text{kgf/cm}^2$$

$\Delta f = f_{\max} - f_{\min} = 1,549.74 - 1,125.80 = 423.94\ \text{kgf/cm}^2$

② 설계응력반복횟수, 응력범주, 재하경로 결정 [단계 10-2, 단계 10-3, 단계 10-4]

가. 설계응력반복횟수

- 설계응력반복횟수는 트럭하중 2백만회를 적용한다.

나. 응력범주

- 거더의 복부판이나 플랜지에 설치된 수직보강재 용접 끝단부의 응력범주는 C로 한다.

다. 재하경로

- 부재의 파괴만으로 전체 구조가 붕괴되지 않는 다재하경로구조로 간주한다.

③ 허용피로응력 [단계 10-5]

- 허용응력범위 = 910 kgf/cm²

④ 피로응력 검토

$\Delta f = 423.94\ \text{kgf/cm}^2 < f_{sr} = 910\ \text{kgf/cm}^2$ ==========> O.K

(4) 맞대기 이음부 플랜지 플레이트 부재 검토

① 발생변동응력 [단계 10-1]

$M_{d1} = 482.183\ \text{tonf·m}$ $M_{d2} = 169.657\ \text{tonf·m}$

$M_{l,\max} = 301.668\ \text{tonf·m}$ $M_{l,\min} = -9.707\ \text{tonf·m}$

$I_s = 4,703,389\ \text{cm}^4$ $I_v = 10,744,580\ \text{cm}^4$

$y_{su} = -116.290\ \text{cm}$ $y_{sl} = 90.510\ \text{cm}$

$y_{c'} = -44.685$ cm $\quad y_s = 162.115$ cm

$$f_{\max} = \frac{M_{d1} \times 10^5}{I_s} \times y_{sl} + \frac{(M_{d2} + M_{L,\max}) \times 10^5}{I_v} \times y_s = 1,639.03 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{\min} = \frac{M_{d1} \times 10^5}{I_s} \times y_{sl} + \frac{(M_{d2} + M_{l,\min}) \times 10^5}{I_v} \times y_s = 1,198.52 \text{ kgf/cm}^2$$

$\Delta f = f_{\max} - f_{\min} = 1,639.03 - 1,198.52 = 440.51$ kgf/cm^2

② 설계응력반복횟수, 응력범주, 재하경로 결정 [단계 10-2, 단계 10-3, 단계 10-4]

가. 설계응력반복횟수

- 설계응력반복횟수는 트럭하중 2백만회를 적용한다.

나. 응력범주

- 맞대기 이음부 플랜지 플레이트 부재는 연결부재의 변화부가 없고 1:2.5 이하인 변화부 경사를 갖는 완전용입홈용접된 이음부나 인접부의 모재와 용접금속(용접덧살을 제거하지 않고 비파괴 검사를 실시한 경우)로 보아 응력범주는 C로 한다.

다. 재하경로

- 부재의 파괴만으로 전체 구조가 붕괴되지 않는 다재하경로구조로 간주한다.

③ 허용피로응력 [단계 10-5]

- 허용응력범위 $= 910$ kgf/cm^2

④ 피로응력 검토

$\Delta f = 440.51$ kgf/cm^2 $<$ $f_{sr} = 910$ kgf/cm^2 ==========> O.K

(5) 플랜지-복부 용접부 검토

① 발생변동응력 [단계 10-1]

$S_{d1} = 47.859$ tonf $\quad S_{d2} = 19.906$ tonf

$S_{l,\max} = 35.975$ tonf·m $\quad S_{l,\min} = -1.130$ tonf·m

$I_s = 2,841,543$ cm^4 $\quad I_v = 7,736,913$ cm^4

$y_{su} = -113.66$ cm $\quad y_{sl} = 89.94$ cm

$y_c' = -31.644$ cm $\quad y_s = 171.956$ cm

전단력이 크게 작용하는 단부 지점부의 전단력은

$Q_{us} = 48 \times 1.6 \times (-112.060) = -8,606$ cm^3

$Q_{ls} = 65 \times 2.0 \times 89.74 = 11,666$ cm^3

$$Q_{uv} = \frac{232 \times 25}{8} + 48 \times 1.6 \times (-33.244) = -28,525 \text{ cm}^3$$

$$Q_{lv} = 65 \times 2.0 \times 169.956 = 22,094 \text{ cm}^3$$

용접목두께는 $S = 9$ mm로 설계할 때

$$t_{we} = 0.9 \times 2 \times 0.707 = 1.27 \text{ cm}$$

용접면에 발생하는 전단응력 v는

$$v_{u,\max} = \frac{S_{d1} \times Q_{us}}{I_s \times t_{we}} + \frac{(S_{d2} + S_{l,\max}) \times Q_{uv}}{I_v \times t_{we}} = -275.80 \text{ kgf/cm}^2$$

$$v_{l,\max} = \frac{S_{d1} \times Q_{ls}}{I_s \times t_{we}} + \frac{(S_{d2} + S_{l,\max}) \times Q_{lv}}{I_v \times t_{we}} = 279.80 \text{ kgf/cm}^2$$

$$v_{u,\min} = \frac{S_{d1} \times Q_{us}}{I_s \times t_{we}} + \frac{(S_{d2} + S_{l,\min}) \times Q_{uv}}{I_v \times t_{we}} = -174.85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$v_{l,\min} = \frac{S_{d1} \times Q_{ls}}{I_s \times t_{we}} + \frac{(S_{d2} + S_{l,\min}) \times Q_{lv}}{I_v \times t_{we}} = 201.60 \text{ kgf/cm}^2$$

발생변동응력 범위는

$$\Delta v = v_{u,\max} - v_{u,\min} = 100.95 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta v = v_{l,\max} - v_{l,\min} = 78.192 \text{ kgf/cm}^2$$

② 설계응력반복횟수, 응력범주, 재하경로 결정 [단계 10-2, 단계 10-3, 단계 10-4]

가. 설계응력반복횟수

- 설계응력반복횟수는 트럭하중 2백만회를 적용한다.

나. 응력범주

- 플랜지-복부 용접부는 응력방향과 평행하게 연속필렛용접으로 접합되어 있는 부분으로 인장 또는 교번응력을 받게 되며, 응력범주는 B로 한다.

다. 재하경로

- 부재의 파괴만으로 전체 구조가 붕괴되지 않는 다재하경로구조로 간주한다.

③ 허용피로응력 [단계 10-5]

- 허용응력범위 = 1,260 kgf/cm^2

④ 피로응력 검토

$\Delta f = 100.95 \text{ kgf/cm}^2 < f_{sr} = 1,260 \text{ kgf/cm}^2$ ==========> O.K

$\Delta f = 78.19 \text{ kgf/cm}^2 < f_{sr} = 1,260 \text{ kgf/cm}^2$ ==========> O.K

4.3.12 **신축량 산정**

$\Delta L = \Delta L_t + \Delta L_s + \Delta L_c + \Delta L_f$ (설치 여유량)

① 온도변화에 의한 이동량(ΔL_t)

ΔT = 온도변화 : -10 ~ 40 ℃

α = 선팽창 계수 : 12×10^{-6}

$\Delta L_T = \Delta T \cdot \alpha \cdot L = 50 \times 1.2 \times 10^{-5} \times L = 0.60L$ (mm)

② 콘크리트 건조수축에 의한 이동량 (ΔL_s)

(플레이트거더교이므로 고려하지 않음)

③ 콘크리트 크리프에 의한 이동량(ΔL_c)

(플레이트거더교이므로 고려하지 않음)

(소 계) $\Delta L' = \Delta L_t + \Delta L_s + \Delta L_c = 0.60L$ mm

④ 신축 여유량(ΔL_f)

(하중에 의한 단부의 회전 및 시공오차 등으로 신축의 변위량은 여유량으로서 예상하여 기본 신축량(소계)의 20%에 일률적으로 10mm를 더하는 것으로 하였음)

(합 계) $\Delta L = \Delta L' + \Delta L_f = 0.6L + (0.6L \times 0.20 + 10) = 0.72L$

⑤ 신축량 계산(ΔL) (지간장 $L = 40.00$ m)

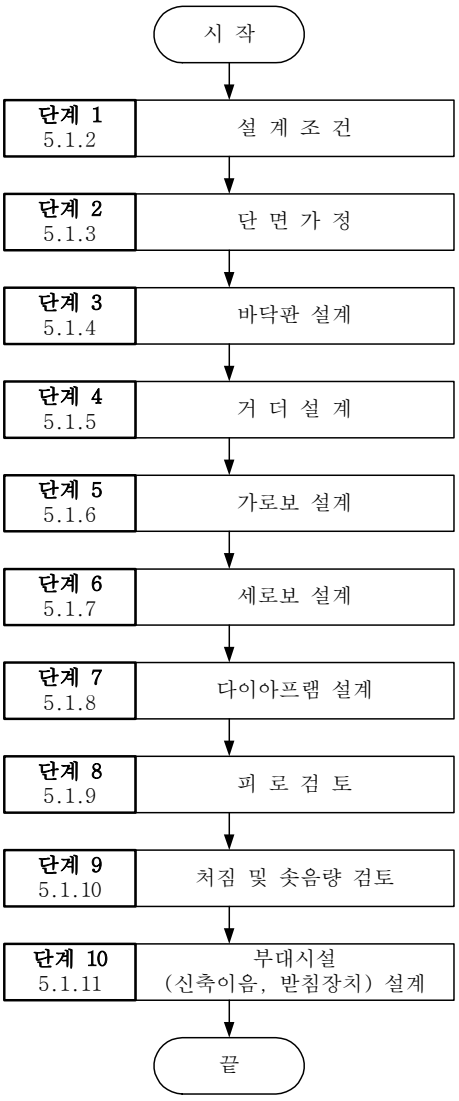
$\Delta L = 0.720 \times 40 = 28.800$ mm

사용 신축이음 NO. 50 (유간장 : 55)

506.5 강박스거더교의 설계

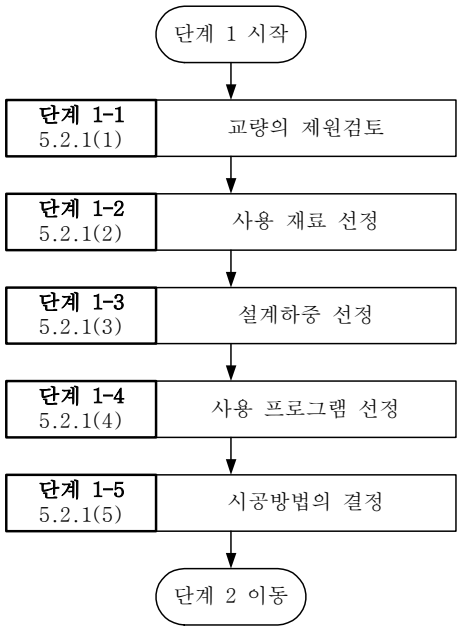
5.1 설계 흐름도의 구성

5.1.1 주설계 단계



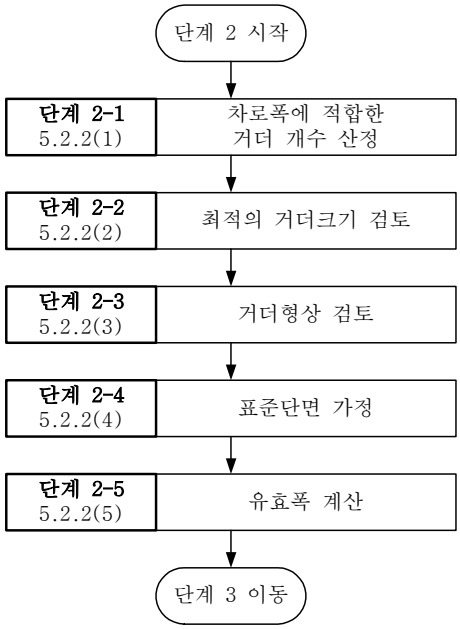
<그림 506. 114> 주설계흐름도

5.1.2 [단계 1] 설계 조건



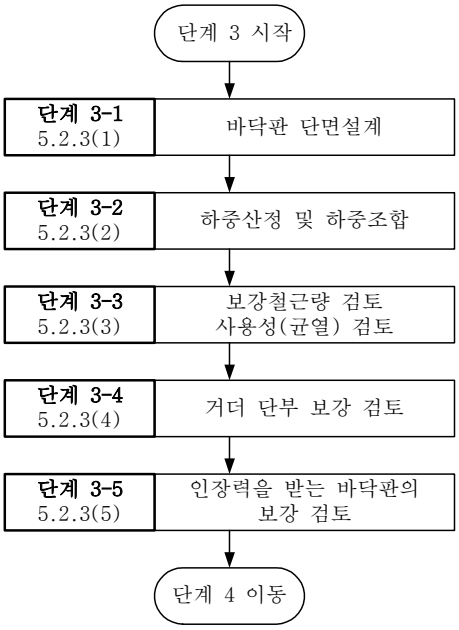
<그림 506. 115> 설계 조건

5.1.3 [단계 2] 단면 가정



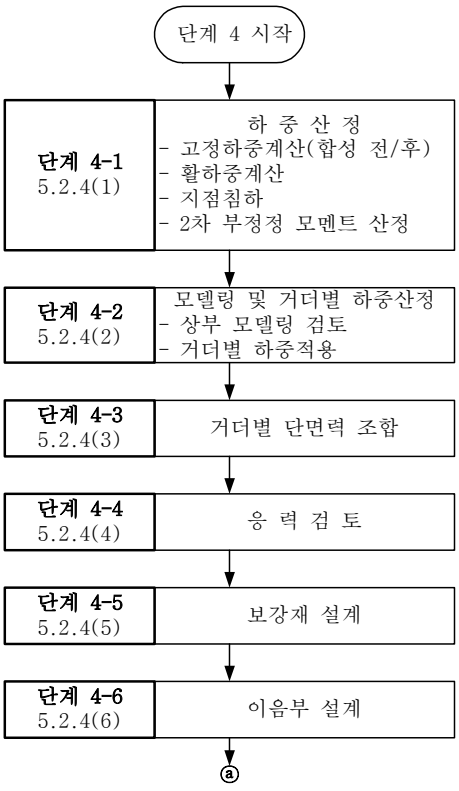
<그림 506. 116> 단면 가정

5.1.4 [단계 3] 바닥판 설계

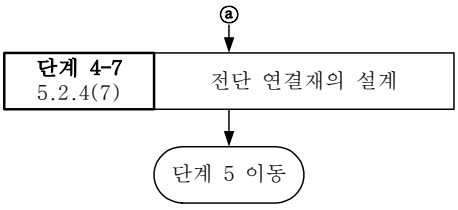


<그림 506. 117> 바닥판 설계

5.1.5 [단계 4] 거더 설계

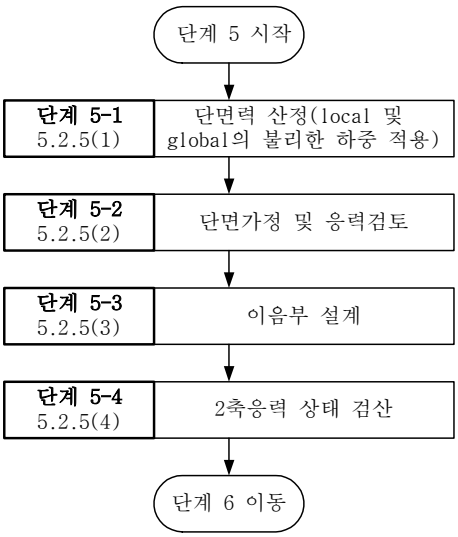


<그림 506. 118> 거더 설계



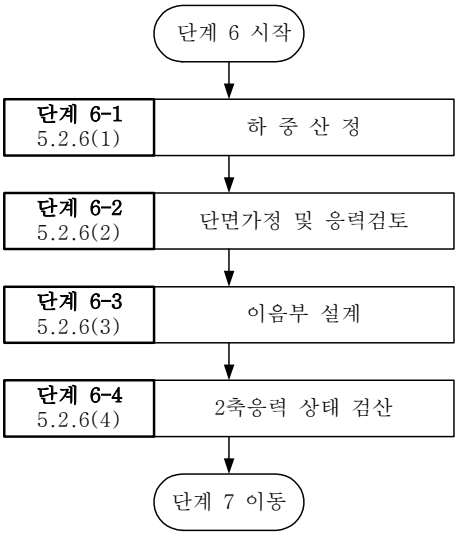
<그림 506. 118> 거더 설계(계속)

5.1.6 [단계 5] : 가로보의 설계



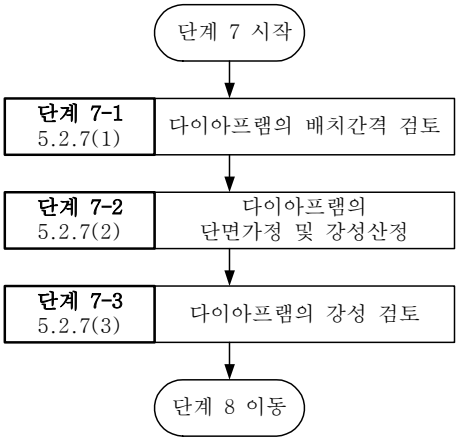
<그림 506. 119> 가로보의 설계

5.1.7 [단계 6] : 세로보의 설계



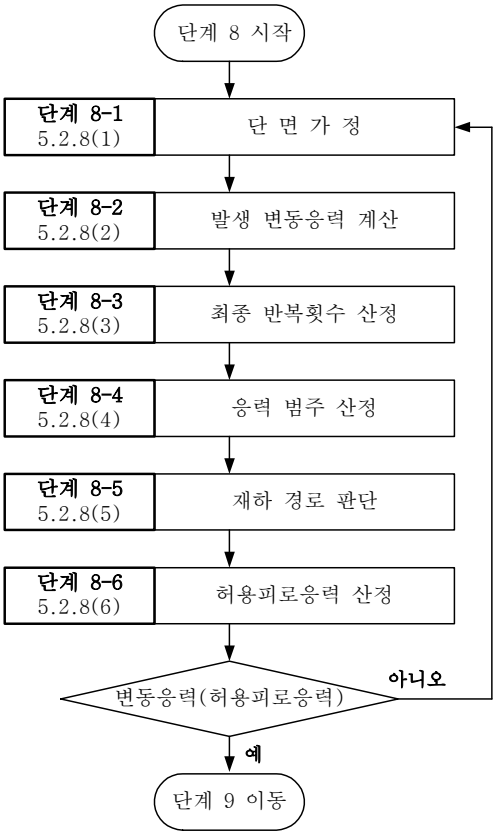
<그림 506. 120> 세로보의 설계

5.1.8 [단계 7] : 다이아프램의 설계



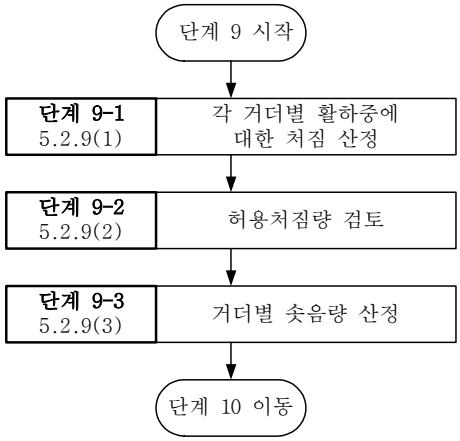
<그림 506. 121> 다이아프램의 설계

5.1.8 [단계 8] : 피로 검토



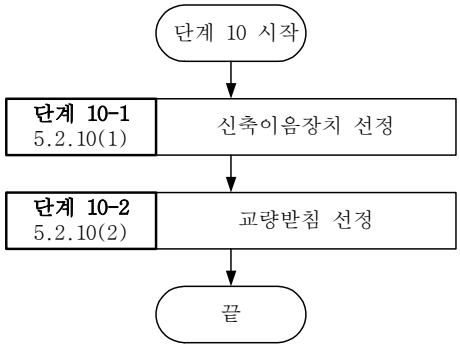
<그림 506. 122> 피로 검토

5.1.9 [단계 9] : 처짐 및 솟음량 검토



<그림 506. 123> 처짐 및 솟음량 검토

5.1.10 [단계 10] : 부대시설 설계



<그림 506. 124> 부대시설 설계

5.2 설계단계별 고려사항

강박스거더교의 설계관련 일반사항으로서 설계 초기에 전반적으로 고려하여야 할 내용을 정리한 것으로, 이는 전체적인 설계흐름을 이해하는데 있어서 필수적이다. 설계자는 강박스거더교의 설계에 앞서 본 설계흐름을 파악하여 설계의 효율성을 증대시킬 뿐만 아니라 혹시 발생할지도 모를 검토항목의 누락을 방지할 수도 있다.

5.2.1 [단계 1] 설계조건

(1) 교량의 제원

국도 또는 고속도로에 가설되는 교량의 제원을 파악하고 접속도로와 교통량에 의해 [도·설 1.3 교량의 등급]의 규정에 따라 교량을 3등급으로 나누어서 설계한다. 1등교는 DB-24, 2등교는 DB-18, 3등교는 DB-13.4로 설계한다.

일반적으로 강상형교는 40~50m 지간에 많이 적용되며, 최근에는 연속교에서 50m를 초과하는 경우에 대해서도 사용한다. 또한 교량의 사각이 45°까지도 적용이 가능하나 일반적으로 사각이 60°이상에 적용하는 것이 바람직하다.

(2) 사용재료 선정(재료 일반, 재료의 허용응력, 재료특성 파악)

① [도·설 2.3.1 강재] 및 [도·설 2.3.2 콘크리트] 그리고 [도·설 3.2.5 강재의 선정]에 따라 재료를 선택한다.

강종 선정시 강박스거더교의 주부재에 대해서는 SM490을 적용하고, 강박스거더교의 부부재에 대해서는 SM400을 적용한다. 주부재와 부부재의 구분은 다소의 이견은 있으나 한국도로공사의 [도로설계 실무편람 P.8-9]에 의하면 플랜지, 복부판, 종리브, 수평보강재, 세로보, 지점보강재, 이음판 및 소울플레이트를 주부재라 하며, 가로보, 횡리브, 수직보강재 및 격벽을 일반적으로 부부재라 한다.

② 재료의 허용응력은 [도·설 2.2.2.3 강교에서의 허용응력] 및 [도·설 2.2.2.4 콘크리트교에서의 허용응력]의 규정, 그리고 [도·설 3.3 허용응력] 및 [도·설 3.13.3 허용응력]의 규정을 따른다.

③ 설계계산에 사용되는 재료의 물리상수는 [도·설 2.3.3 설계계산에 사용하는 물리상수]에 따른다

(3) 설계하중 선정

① 강박스거더교의 설계에서 고려하여야할 하중은 고정하중, 활하중, 충격, 프리스프레스, 콘크리트의 크리프와 건조수축, 토압, 수압, 부력 또는 양압력에 해당되는 주하중, 풍하중, 온

<표 506.31> 1997년도 고속도로 신설 및 확장공사 교량 실시설계 자료, 한국도로공사

상부형식	적용 최소 사각	적 용 사 각 분 포							총개소
		40° 이하	40° ~50°	50° ~60°	60° ~70°	70° ~80°	80° ~90°	직교	
강박스거더교	45°	-	6 (3.7%)	6 (3.7%)	17 (10.4%)	23 (14.1%)	7 (4.3%)	104 (63.8%)	163 (24.11%)

도변화의 영향, 지진의 영향 등에 해당되는 부하중, 설하중, 지반변동의 영향, 지점이동의 영향, 파압, 원심하중에 해당되는 주하중에 상당하는 특수하중 및 제동하중, 가설시하중, 충돌하중에 해당되는 부하중에 상당하는 특수하중으로 구분되며 이에 대한 자세한 내용은 [도·설 2.1 하중]에 나타낸다. 이중에서 교량설계시 가장 일반적으로 사용되는 하중은 다음과 같다.

② 고정하중 및 활하중의 적용은 [도·설 2.1.2 고정하중] 및 [도·설 2.1.3 활하중]에 따르며, 충격하중은 [도·설 2.1.4 충격]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다. 특히 활하중 재하시 주거더의 단면력(모멘트, 비틀림)이 최대가 되도록 차량하중을 여러 경우에 대하여 재하시킨다.

③ 크리프와 건조수축, 온도변화하중의 적용은 [도·설 2.1.7 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향] 및 [도·설 2.1.12 온도변화]에 따른다.

④ 지점침하의 영향은 [도·설 2.1.15 지반변동 및 지점이동의 영향]에 의거하여 부등침하량을 결정한다.

(4) 사용 프로그램 선정

강박스거더교 설계시 곡선교 및 사교 뿐만 아니라 직선교에 대해서도 활하중의 편재하를 고려한 3차원 모델링을 적용한다. 따라서 강박스거더교의 구조해석에 사용되는 프로그램은 3차원 격자모델이 가능한 공인된 프로그램이어야 하며, 활하중의 편심재하가 가능한 것이어야 한다.

(5) 시공방법의 결정

시공방법에 따라 합성거더(바닥판과 강재 주거더의 반합성)교량 및 비합성거더 교량으로 구분한다. 또한 가설공법에 따라 시공중의 구조계가 완성후 구조계와 상이한 경우는 시공중 및 완성후의 교량으로 구분하여 설계한다. 특히 I.L.M 공법 등 가설단계에 따라 구조계가 변화되는 경우에는 각 시공 단계별로 구조해석을 수행하여야 한다.

5.2.2 [단계 2] 단면가정

(1) 차로폭에 적합한 주거더 개수 산정

교량의 형식별(국도, 고속도로) 및 용도별(본선, 램프)로 차로수 및 차로폭이 결정되면, 이에 적합한 최적의 주거더수를 산정한다.

주거더수는 국도와 고속도로 구분없이 2차로인 경우에는 주거더의 수를 2개, 3차로인 경우에는 주거더의 수를 3개로 계획하는 것이 일반적이다.

(2) 최적의 주거더 크기 검토

지간장과 박스크기 지간장별 작용하중에 저항하는 최적의 주거더크기(폭, 높이)뿐만 아니라, 가설지의 지형을 고려하여 차량 운반이 가능한 주거더의 크기도 함께 검토한다. 도로상을 주행하는 차량에 적재한 적재물의 크기는 관계법령(도로차량운송법, 도로법, 도로교통법) 및 규정(강도로교상세부설계지침, 강구조편람, 고속도로운행제한차량관리지침)에 의하여 그 크기만큼 제한하고있으며, 실제 시공의 예를 보면 중량과 높이 제한에는 엄격히 적용하고 있으므로 거더의 폭과 높이는 가급적 3.0m 이내, 제작길이는 10.0m 내외, 제작중량은 20.0ton 이내로 하는 것이 바람직하다. 일반적인 지간장과 주거더의 높이와의 관계식은 다음과 같다(1997년도 고속도로 신설 및 확장공사 교량 실시설계 자료, 한국도로공사).

$$H=\frac{(L-30)}{37.5}+2.05$$

여기서, H : 주거더 높이, L : 지간장

상기의 식을 적용하면 지간이 50m인 강박스 교량에 대해서는 주거더 높이를 2.5m로 결정하는 것이 일반적이나, 주변 현장 및 설계조건 등을 고려하여 주거더 높이를 설계자가 조정할 수 있다.

(3) 주거더 형상 검토

① 주거더의 단면형상을 제형 및 상자형에 대하여 검토한다. 특히 제형을 고려하는 경우는 연직력에 대한 수평 분력 등을 상세 검토하여 복부와 플랜지 연결부의 용접 설계에도 유의하여야 한다.

② 교량의 경제성, 구조적 특성 및 교량 가설지의 주변 경관을 감안하여 교축방향으로 직선형 및 곡선형(변단면)에 따른 주거더의 형상을 검토한다. 일반적으로 장지간(55m이상) 교량 및 미관이 요구되는 경우에 곡선형(변단면) 주거더를 적용한다.

③ 주거더의 평면선형, 주거더 형상 및 가설조건을 고려하여 받침(1받침, 2받침)를 검토한다. 일반적으로 평면선형상 곡률반경이 작은 곡선형 교량일 경우 받침의 부반력 방지를 위해 받침 계획시 1받침를 적용한다.

(4) 표준단면 가정

① 상·하부 플랜지 및 복부의 폭과 두께의 결정은 부재력(모멘트, 전단력)에 근거하며, [도·설 3.8.3 플랜지] 및 [도·설 3.8.4 복부판]에 따른다. 또한 플랜지 및 복부의 최소 두께는 10mm로 하며, 플랜지의 최대 두께는 38mm 이내가 바람직하나, 최근에는 설계자의 판단에 따라 강재 최대 두께를 100mm 이내로 결정하는 경우도 있다.

② 수직, 수평, 종방향, 횡방향 보강재의 간격 및 단면의 결정은 [도·설 3.4.2.4 보강재], [도·설 3.8.5 수직보강재] 및 [도·설 3.8.6 수평보강재]에 따른다. 복부의 수평보강재는 2단을 설치하는 것을 표준으로 하나, 복부의 두께가 10mm 이하일 경우에만 수평보강재를 1단으로 하는 것이 일반적이다[강도로교상세부설계지침, P.73]. 그러나 최근에는 설계자의 판단에 따라 복부 두께와 상관없이 주거더 높이 및 복부의 응력 검토에 기초하여 수평보강재를 1단 또는 2단으로 결정하는 경우도 있다. 현행 설계에서는 일반적으로 종리브의 간격은 300mm를 최소간격으로 하며[강도로교상세부설계지침, P.73], 수직보강재 및 횡방향 보강재의 간격은 2.5m, 격벽간격은 5.0m를 일반적으로 적용한다.

③ 가로보 및 세로보의 단면 결정은 [도·설 3.8.3 플랜지] 및 [도·설 3.8.4 복부판]에 따르며, 격벽의 단면 결정은 [도·설 3.8.7 하중 집중점의 보강재]에 따른다.

(5) 유효폭 계산

① 강재 플랜지의 유효폭 산정은 [도·설 3.8.3.4 플랜지의 유효폭]에 따른다.

② 콘크리트 바닥판의 유효폭 산정은 [도·설 3.9.2.4 바닥판의 유효폭]에 따른다.

5.2.3 [단계 3] 바닥판 설계

(1) 바닥판 단면 설계

① 철근콘크리트 바닥판의 경우 [도·설 3.6.1.1~3] 또는 박스의 복부 및 세로보를 지점으로 하는 연속보로 고려하여 설계를 수행하

고, 단면가정을 위한 바닥판의 최소두께 규정은 [도・설 3.6.1.5 바닥판의 최소두께]에 따른다.

② 주거더를 지지점으로 하는 바닥판의 간격은 내구성을 고려하여 3.0m 이하가 되도록 하는 것이 바람직하나, 사다리꼴처럼 변단면 바닥판일 경우에는 3.3m까지 확장하여도 좋다[강도로교상세부설계지침, P.41]. 그리고 상부플랜지 위의 바닥판은 바닥판의 구배를 고려하여 구배가 작을 경우 바닥판의 높이 변화가 적으므로 상부플랜지와 바닥판을 일체로 계획하나, 구배가 클 경우에는 바닥판의 높이 변화가 크므로 바닥판에 헌치를 계획하여 바닥판과 상부플랜지에 일정한 간격을 계획한다.

③ 바닥판은 시공시 일방향으로 연속타설하기 때문에 기타설된 지점부의 콘크리트에 인장응력에 의한 균열발생 가능성이 있으므로 이에 대한 검토가 반드시 수행되어야 한다. 또한 콘크리트 타설을 용이하게 하기 위해 데크플레이트 또는 가설용 브래킷을 적용할 경우 이에 대한 구조적 검토를 반드시 수행하여야 한다.

(2) 하중 산정 및 하중 조합

① 바닥판 단면검토에 적용하는 단면력은 바닥판을 연속보로 고려하여 고정하중 및 활하중을 적용하고, 이때 적용규정은 [도・설 2.1.2 고정하중] 및 [도・설 2.1.3 활하중]에 따른다. 이러한 단면력 산정 이외에 [도・설 3.6.1.4 바닥판의 설계 휨모멘트]에 따르기로 한다. 바닥판을 연속보로 고려하여 단면력 산정시에는 다음의 규정을 따른다.

② 충격하중은 [도・설 2.1.4 충격]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다

③ 방호벽에 작용하는 충돌하중 및 풍하중의 적용은 [도・설 2.4.3..3 난간] 및 [도・설 2.1.11 풍하중]에 따른다.

④ 하중의 조합은 [도・설 2.2.3.2 설계하중조합]에 의하여 여러 하중조합중 가장 불리한 하중조합을 산정한다.

(3) 보강 철근량 검토

① 바닥판의 휨에 대한 설계 및 배력철근량의 산정은 (2) 하중산정 및 하중조합 규정에서 나타낸 단면력을 적용한다.

② 콘크리트 바닥판의 휨균열 검토는 [도・설 4.4.9.4 균열의 검토]에 따른다.

③ 주철근 및 배력철근의 산정은 [도・설 3.6.1.6 철근의 지름 및 배근]에 따라 철근의 지름 선택, 덮개, 주철근 및 배력철근 간격 등의 규정을 만족하도록 설계한다.

(4) 주거더 단부 보강 검토

주거더 단부 바닥판의 보강은 [도・설 3.6.1.11 주거더 단부의 바닥판]에 따라 주철근 및 배력철근을 설계한다.

(5) 인장력을 받는 바닥판의 보강 검토

인장력을 받는 바닥판의 보강은 [도・설 3.9.2.3 인장력을 받는 바닥판의 배근]에 따라 교축방향 철근량 및 주장률을 검토한다.

5.2.4 [단계 4] 주거더 설계

(1) 하중 산정

① 주거더 설계를 위한 고정하중은 [도・설 2.1.2 고정하중]에 따라 합성전 고정하중과 합성후 고정하중을 구분하여 산정한다.

② 활하중은 [도・설 2.1.3 활하중]에 따라 설

계 차선폭을 결정하고 차량하중(DB) 및 차선하중(DL)을 재하하며, 충격하중은 [도·설 2.1.4 충격]에 의해 충격계수를 산정하여 활하중의 충격효과를 고려한다.

③ 지점침하의 영향을 고려하는 경우 부정정 구조물에서 지반의 압밀침하 등으로 인하여 장기간에 걸친 지점의 이동 및 회전의 영향을 고려하여야 할 경우에는 최종 이동량을 추려하여 단면력을 산정하여야 하며, 탄성계산에서 구한 단면력을 그대로 설계에 사용한다.

④ 2차 부정정력 산정을 위한 하중은 [도·설 2.1.7 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향] 및 [도·설 2.1.12 온도변화]에 따른다.

(2) 모델링 및 거더별 하중 산정

① 교량의 상부는 각 주거더와 가로보, 세로보를 격자형태로 모델링하며 평면 곡선 및 사각 효과를 고려한 3차원 모델링을 원칙으로 한다. 이때 강박스거더교가 합성거더일 경우 주거더 및 가로보는 상부 바닥판의 단면 강성도 고려한다. 그러나 세로보는 바닥판의 강성을 고려하지 않는다.

② 고정하중은 주거더의 강재 자중 및 콘크리트 바닥판의 자중을 고려하며, 바닥판 자중은 2차원 모델을 사용하여 거더 및 세로보에 반력으로 산정한 후 그 반력을 3차원 상부 모델에 재하한다. 고정하중 산출은 [도·설 2.1.2 고정하중]에 따른다.

③ 활하중은 각 거더에 편심하중으로 재하하며 경간별 및 차로별로 가장 불리한 하중조합을 도출한다(세로보에는 활하중을 재하하지 않는다). 차량 및 차선하중의 재하는 가까운 거더에만 편심하중으로 재하시키는 방법을 주로 사용하는데 이는 콘크리트 바닥판에 의한 하중의 횡분배 효과는 미고려되었으나, 주거더 설계는 최대로 불리한 경우의 주거더에 대하여 경간별 및 차로별로 가장 불리한 하중조합을 적용하여 설계하므로, 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것을 원칙으로 한다. 이 방법 이외에 인접한 2개의 주거더 각각에 대하여 하중분배를 고려하여 편심하중을 적용하는 경우도 있으나, 일반적이지는 않다. 이상과 같은 방법은 격자모델이 바닥판이라는 판거동을 정확하게 모사하지 못하기 때문이다. 최근에는 이러한 격자모델 이외에도 바닥판의 판거동을 가능한 정확하게 반영하기 위해서 바닥판을 판모델로, 주거더를 뼈대모델로 모델링하는 2층 모델링을 적용하기도 한다. 활하중의 세부규정은 [도·설 2.1.3 활하중]에 따른다.

(3) 거더별 단면력의 조합

주거더, 가로보 및 세로보의 단면력은 전단력, 휨모멘트 및 비틀림모멘트 각각에 대하여 가장 불리하도록 조합한다.

(4) 응력 검토

① 합성전 및 합성후 응력 검토는 [도·설 3.8.2.1 플레이트거더의 휨응력] 및 [도·설 3.9.3.1 허용응력]에 따른다. 이때 부재의 국부좌굴 발생 가능성을 고려하여 허용응력은 국부좌굴을 고려한 감소된 허용응력을 적용한다.

② 2차 부정정력(크리프, 온도차, 건조수축)에 의한 응력은 [도·설 3.9.2.6~8]에 따라 산정된 응력을 추가하여 바닥판 콘크리트 및 강재 주거더의 응력을 검토한다.

③ 항복에 대한 검토는 [도·설 3.9.3.2 항복에 대한 안전도의 검사]에 따라 고정하중의 1.3배와 활하중(충격 포함)의 2.1배, 프리스트레스, 크리프 및 건조수축, 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 하중조합에 대하여 검사한다.

④ 전단 및 비틀림 응력의 검토는 [도·설 3.8.2.2 복부판의 전단응력] 및 [도·설 3.8.2.3 비틀림모멘트를 고려하는 범위]에 따른다.

⑤ 휨응력과 전단응력의 합성응력에 대한 검토는 [도·설 3.8.2.4 합성응력의 검산]에 따른다.

(5) 보강재 설계

① 수직보강재의 설계는 [도·설 3.8.5 수직보강재]에 따라 설치 간격, 강성 및 크기 등을 검토한다.

② 수평보강재의 설계는 [도·설 3.8.6 수평보강재]에 따라 설치 위치(배열) 및 강성 등을 검토한다.

③ 종방향 및 횡방향 보강재의 설계는 [도·설 3.4.2.4 보강재]에 따라 플랜지 및 복부판의 최소두께, 보강재의 두께 및 소요강비 등을 검토한다.

④ 받침부 보강재의 설계는 [도·설 3.8.7 하중 집중점의 보강재]에 따라 허용응력 및 보강재 돌출각의 판두께 등을 검토한다.

(6) 이음부 설계

플랜지와 복부, 종방향 보강재의 볼트 이음 설계는 [도·설 3.5.3 고장력볼트 이음]에 따라 볼트 및 이음판을 검토한다.

(7) 전단연결재의 설계

합성강박스거더교일 경우 전단연결재의 설계는 [도·설 3.9.5 전단연결재]에 따라 배치간격과 배치구간 길이 등을 검토한다.

5.2.5 [단계 5] 가로보의 설계

(1) 단면력 산정

가로보의 단면력은 주거더를 지점으로 고려하여 영향선 종거로 계산하는 Local 방법과 3차원 격자모델에서 산정하는 Global 방법에서 산정된 단면력 중 불리한 경우를 적용한다. 이러한 방법은 주거더를 격자모델로 수행할 경우 현재까지 설계에서 가장 보편적으로 사용되는 방법이다.

(2) 단면 가정 및 응력 검토

가로보의 단면은 거더를 일반적으로 적용하나, 형하공간 등 지형적인 여건에 의해 박스구조로 계획하는 경우도 있다. 가로보의 응력은 형상에 따른 구조적 특성치를 적용하여, 가로보의 휨응력 및 전단응력은 [도·설 3.8.2.1~2]에 따라 산출한다.

(3) 이음부 설계

플랜지와 복부의 이음부 설계는 [도·설 3.5.3 고장력볼트 이음]에 따라 볼트 및 이음판을 검토한다.

(4) 2축응력 상태 검산

주거더와 가로보가 직접 연결되어 2방향 응력이 작용하는 부분의 검토는 [도·설 3.8.2.5 2축응력 상태의 검산]에 따른다.

5.2.6 [단계 6] 세로보의 설계

(1) 단면력 산정

세로보의 단면력은 [단계 5]의 가로보 설계에서와 동일하게 Local 방법과 Global 방법에서 산정한 단면력 중 불리한 경우를 적용한다.

(2) 단면 가정 및 응력 검토

세로보의 휨응력 및 전단응력은 [도·설

3.8.2.1～2]에 따라 산출한다.

(3) 이음부 설계

플랜지와 복부의 이음부 설계는 [도・설 3.5.3 고장력볼트 이음]에 따라 볼트 및 이음판을 검토한다.

(4) 2축응력 상태 검산

가로보와 세로보가 직접 연결되어 2방향 응력이 작용하는 부분의 검토는 [도・설 3.8.2.5 2축응력 상태의 검산]에 따른다.

5.2.7 [단계 7] 다이아프램의 설계

(1) 다이아프램의 배치간격 검토

다이아프램의 간격은 6.0m 이내에서 결정하며, 일반적으로 5.0m 간격으로 설치한다.

(2) 다이아프램의 단면 가정 및 강성 산정

다이아프램의 단면형식은 충복판, 라멘구조 및 수직 브레이싱 방식이 있으며, 각 경우의 강성 산정은 본 편람의[3.2.4 다이아프램의 설계]에 따르며, 규정된 필요강성보다 크도록 결정한다.

5.2.8 [단계 8] 피로 검토

(1) 단면 가정

피로검토시의 단면은 주거더 설계에서 결정된 단면으로 가정한다.

(2) 발생 변동 응력 계산

활하중에 의해 발생하는 최대응력과 최소응력의 대수차인 응력범위를 산출한다.

(3) 최종 반복횟수 산정

설계시 최대응력범위의 반복횟수는 교통량과 하중조사 및 특별한 고려사항이 없으면 [도・설 3.3.4.2 설계응력반복횟수]에 따른다.

(4) 응력 범주 산정

부재의 용접 연결부의 형상과 위치에 따른 응력 범주는 [도・설 3.3.4.1 허용피로응력범위]에 따른다.

(5) 재하경로 판단

단재하 및 다재하 경로 구조물의 결정은 [도・설 3.3.4.1 허용피로응력범위]에 따른다

(6) 허용피로응력 산정

활하중에 의한 응력범위는 [도・설 3.3.4.1 허용피로응력범위]에 규정된 허용피로응력범위를 초과하지 않아야 한다. 허용범위를 초과할 경우 초기에 가정된 단면을 수정하여야 한다.

5.2.9 [단계 9] 처짐 및 솟음량 검토

(1) 활하중에 대한 처짐 산정

충격하중을 포함한 활하중에 의한 강교의 주거더 및 가로보의 처짐은 부재의 총단면적으로 계산한다.

(2) 허용처짐량 검토

거더에서 산정된 최대 처짐이 [도・설 3.2.3] 규정의 허용처짐 이내가 되는지 검토한다.

(3) 거더별 솟음량 산정

시공중 솟음관리를 위해 거더별 솟음량을 산정한다.

5.2.10 [단계 10] 부대시설 설계

(1) 신축이음장치 산정

[도・설 2.4.2.3 가동받침의 이동량] 규정에 따라 신축이음장치를 결정한다.

(2) 교량받침 산정

교량받침에 최대 반력이 발생되도록 여러 경우에 대해 하중을 재하한다. 이때 하중계수는 적용하지 않으며, 산정된 최대 반력 이상의 용량을 갖는 교량 받침을 결정한다.

5.3 설계예

5.3.1 [단계 1] 설계기준

(1) [단계 1-1] 교량의 제원

① 형식 : 강박스거더교

② 등급 : 1등교

③ 연장 : 45.0+3@60.0+55.0+45.0 = 325.0 m

④ 폭원 : 10.24 m

(2) [단계 1-2] 사용 재료

강재(주부재) : SM490 - 상·하 플랜지, 복부판, 종방향 보강재, 수평보강재, 지점보강재, 주부재 이음판, 소울플레이트, 받침부 다이아프램

(부부재) : SM400 - 가로보, 횡방향 보강재, 일반부 다이아프램, 수직보강재, 세로보

부부재 이음판 : fy = 4000kgf/cm^2

콘 크 리 트 : fck = 270kgf/cm^2

(3) [단계 1-3] 설계 하중

① 고정하중

바닥판 자중, 거더 자중, 포장, 난간, 기타 하중을 포함한 항상 상재되는 하중.

② 활하중

- 설계차로수 : 3차로
- 본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.
- DL-24하중 : - 차로당 하중의 점유폭 = 3.00m
  - 차로당 등분포하중 W_ℓ = 1.27tonf/m
  - 모멘트 계산시 집중하중 Pm = 10.80tonf
  - 전단력 계산시 집중하중 Ps = 15.60tonf
- DB-24 하중
  - 전륜 하중 = 2.40tonf
  - 후륜 하중 = 9.60tonf

[도·설 2.1.3] 활하중 규정을 적용한 하중 재하

③ 충격계수[도·설 P.9]

- I = 15 / (40 + L) ≤ 0.3 , L : 지간(m)

④ 온도차

- ΔT = ± 10˚C
- 선팽창계수 α = 0.000012

⑤ 탄성계수비

- 주거더의 탄성변형, 부정정력 및 단면응력을 계산하는 경우에 강재와 바닥판 콘크리트의 탄성계수비 n은 8을 표준으로 한다.

⑥ 바닥판 콘크리트의 건조수축

- 건조수축 계수 : $\varepsilon_s = 0.00018$
- 크리프 계수 : $\phi_2 = 2\phi_1 = 4.0$
- 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n \times (1 + \phi_2 / 2) = 24$

⑦ 바닥판 콘크리트의 크리프

- 크리프 계수 : $\phi_1 = 2.0$
- 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n \times (1 + \phi_1 / 2) = 16$

⑧ 지점 침하에 의한 영향

각 받침부(교각 혹은 교대)는 부등침하가 20mm씩 일어날 수 있다고 가정하고 임의의 단면에 대해 가장 불리한 단면력 및 반력을 구한다[도로설계요령 제3권 교량편, P.383].

(4) [단계 1-4] 프로그램 선정

① 구조물의 해석시 3차원 해석과 2차원 평면 프레임의 해석이 가능한 프로그램을 사용하였다.

② 3차원 모델링 상에서 각 거더에 대해 부반력의 제어를 위하여 1거더 1받침으로 하고, 가로보를 모델링에 포함시켜 하중의 횡분배에 대한 모든 영향을 고려하여 해석하였다.

③ 활하중의 재하에 대해서는 편심을 가지는 이동하중의 재하를 이용하여 해석하였으며, 그 해석 결과는 하중의 조합을 이용하여 가장 불리한 단면력을 도출하였다.

(5) [단계 1-5] 시공 및 구조해석 방법

① 반합성으로 시공한다. 즉, 완성된 강거더에 지주 없이 콘크리트를 타설하여 그 하중을 모두 강거더가 부담하게 하며, 콘크리트가 완전 경화된 후 활하중이 작용하는 구조적 기능을 가진다. 만일, 지주(시공을 위한 가설 지주)를 사용하게 된다면, 콘크리트 타설시에는 그 직전에 지주를 해체하여 강거더만으로 콘크리트 하중을 부담하도록 한다.

② 본 교량의 각 거더 사이의 단면력 및 활하중에 대한 허용 처짐은 각 거더에 근접한 위치로 활하중을 편재하시켜 3차원 모델링을 사용하여 해석하므로서 안전측의 단면력을 구하고, 비틀림과 처짐에 관한 솟음량의 산정에 정확성을 기한다.

③ 본 교량은 거더에서 플랜지의 두께를 변화시킴으로서 전체 교량의 강성에 대한 균형을 이루고 활하중에 의한 처짐이 허용한계 내에 들어오도록 하였으며 교량 받침부에 대해서는 차후의 유지보수를 고려하여 충분한 안전율을 가지도록 설계하였다.

④ 1차 고정하중의 해석에 대한 모델은 비합성의 강성을 가지는 구조물이고, 2차 고정하중 및 활하중의 해석에 대한 모델은 합성의 강성을 갖는 구조물로 치환되었다(강성매트릭스의 재구성).

5.3.2 [단계 2] 단면가정

(1) [단계 2-1] 거더 개수 산정

① 폭원이 10.24m인 2차로 교량이므로 거더는 2개를 사용한다.

② 거더와 거더 사이의 내측 바닥판 길이가 3.0m를 초과할 경우 세로보를 계획한다. [강도로교상세부설계지침, P.41]

(2) [단계 2-2, 2-3, 2-4] 거더 형상 및 표준단면 결정

① 수평 보강재는 PL 130×10를 사용하여 1단으로 배치하며, 압축부의 변화에 따른 배치의 위치는 보강재 배치도에 의한다.

② 전 구간에 대하여 종방향 보강재는 PL 150×12를 사용한다.
- 압축부에는 5개의 종방향 보강재를 배치하고,
- 인장부에는 2개의 종방향 보강재를 배치한다.

③ 수직 보강재는 복부에서 전단응력에 저항하고 좌굴을 방지하기 위하여 PL 150×12를 사용한다.

④ 횡방향 보강재는 콘크리트 바닥판과 밀착되어 있는 압축 플랜지나, 인장연에 대해서는 압축좌굴을 고려하지 않아도 되어 비교적 강성이 작아도 무리가 없으나, 보수시 비합성의 영향을 고려하여 PL 280×12 와 PL CAP - 100×10을 사용하였다. 따라서, 상·하연의 플랜지에 대한 횡방향 보강재의 배치는 종방향 보강재(종방향 보강재)와의 강성비를 고려하여 보강재 배치도에 의해 설치한다.

⑤ 전 교량에 있어서 비틀림 방지를 위한 중간 다이아프램은 5.00m의 간격에 하나씩 배치하고, 받침부에 대해서는 받침부 보강재의 계산에 따른 다이아프램의 두께를 사용한다. 이때, 강교의 점검을 위한 내부 다이아프램 구멍의 크기는 다이아프램 계산에 의한다.

⑥ 전 교량의 구간에 있어서 횡분배를 위한 가로보는 5.00m에 1개소씩 배치하며, 그 단면 제원은 가로보의 계산에 의한다.

⑦ 단면 변화(플랜지 및 복부)의 용접 위치는 플랜지와 복부가 동일한 위치에서 용접이 되지 않도록 주의하여야 한다.

⑧ 주부재로 사용된 강재는 SM490B이며, 강재의 허용응력은 1900kgf/cm^{2}이다.

⑨ 표준 단면(Typical Section Type)

단 면 의 제 원 표

단면 형식	플랜지 (mm)		거더 높이	복부	종방향 보강재 (EA)		최대응력 (kgf/cm^2)	최대응력의 허용응력에 대한 비
	상부	하부	(m)	(mm)	상연	하연		
[1]	12	12	1.80	10	5	2	1402.34	73.81%
[2]	14	16	1.80	10	5	2	1520.29	80.02%
[3]	22	24	1.8～2.18	10	2	5	1627.40	85.65%
[4]	28	32	2.18～2.5	12	2	5	1638.39	86.23%

- 전 구간에 대하여 종방향 보강재는 PL 150 ×12 를 사용한다.

(3) [단계 2-5] 강재 플랜지 및 바닥판 유효폭의 계산[도・설 P.128, 141]

① 경간의 중앙부 : 정모멘트 구간

- 유효폭의 계산 지간이 가장 짧은 측경간에 대해서 검토

ⓐ 강재 플랜지

Lo = 45.00m ⇒ L = 0.8Lo = 36.00m, b =1.20m

b/L = 0.0333 따라서, λ = 1.20m

∴ 유효폭 $\lambda s1$ = 0.10 × 2 + 1.20 × 2 = 2.60m

∴ 유효폭 비 = 1.00

ⓑ 콘크리트 바닥판

b1 = 1.100m, b/L = 0.03056, 따라서 λ1 = 1.100m

b2 = 1.200m, b/L = 0.03333, 따라서 λ2 = 1.200m

b3 = 0.813m, b/L = 0.02257, 따라서 λ3 = 0.813m

b4 = 1.090m, b/L = 0.03028, 따라서 λ4 = 1.090m

∴ 유효폭 λc1 = 1.100 + 1.20 × 4 + 0.813 × 4 + 1.090 = 10.24m

∴ 유효폭 비 = 1.00

② 교각 구간 : 중간받침부 구간

ⓐ 강재 플랜지

L = 21.00m, b = 1.20m

b/L = 0.05714 따라서, λ = 1.07m

∴ 유효폭 λs2 = 0.10 × 2 + 1.07 × 2 = 2.34m

∴ 유효폭 비 = 0.90016

ⓑ 콘크리트 바닥판

- b1 = 1.100m, b/L = 0.05238, 따라서 λ1 = 0.995m
- b2 = 1.200m, b/L = 0.05714, 따라서 λ2 = 1.070m
- b3 = 0.813m, b/L = 0.03869, 따라서 λ3 = 0.766m
- b4 = 1.090m, b/L = 0.05190, 따라서 λ4 = 0.988m

∴ 유효폭 λc2 = 0.995 + 1.070 × 4 + 0.766 ×4 + 0.988 = 9.328m

∴ 유효폭 비 = 0.91095

◆ 강재 플랜지의 유효폭 비 (Ks)

◆ 콘크리트 바닥판의 유효폭 비 (Kc)

5.3.3 [단계 3] 바닥판 설계

(1) [단계 3-1, 3-2, 3-3] 바닥판(캔틸레버부)의 설계

• 내민 바닥판의 총길이 : L = 1.10m

① 바닥판의 최소 두께

ⓐ 내민 바닥판의 윤하중에 대한 길이 : Lc = 0.25m

ⓑ 캔틸레버 끝단의 바닥판 두께 : Te = 25.0cm

ⓒ Tc_min =25.0cm

∴ 내민 바닥판의 두께 : Tc = 27.0cm > Tc_min = 25.0cm ⇒ O.K

② 하중과 단면력의 계산

ⓐ 고정하중

- 콘크리트 단위중량 : γc = 2.50tonf/m^3
- 포 장 단위중량 : γp = 2.30tonf/m^3
- 포 장 두 께 : Tp = 8.00cm

구 분	두께	길이	중량	팔길이	모멘트	비 고
바 닥 판	0.260	1.050	0.683	0.518	0.354	단위:tonf, m
포 장	0.080	0.550	0.101	0.275	0.028	
방호벽, 기타하중			0.476	0.800	0.381	
⇒ ΣMd					0.762	

ⓑ 활하중[도·설 P.6~9]

- 충격 계수 : I = 15 / (40 + Lc) = 0.373 > 0.30 ⇒ ∴ I =0.30
- 1등급 교량, Pr = 9.60tonf
- 충격을 고려한 후륜 하중 산정 : P = 12.48tonf
- 윤하중 분포 폭 : E = 1.34m

- 작용 활하중 모멘트 : $M_1 = (P \times Lc) / E = 2.33tonf \cdot m$

ⓒ 방호벽(중앙분리대)에 작용하는 충돌하중

- 설계 기준 속도 : $V = 80.0km/hr$

- $Mco = (V / 60)^2 \times 0.75 + 0.25 = 1.58tonf \cdot m$

ⓓ 방호벽에 작용하는 풍하중

- 방호벽 높이 : $H = 1.18m$

- $Mw = 0.15 \times H^2 / 2 = 0.104tonf \cdot m$

③ 적용되는 계수 하중

☞ 여러가지 하중조합 중에서 가장 불리한 경우를 사용[도·설 2.2.2.2 및 2.2.3.2]

ⓐ 고정하중과 활하중만 고려시의 하중계수 : LF_D = 1.30, LF_L = 2.15

ⓑ 모든 하중 고려시 : LF_D = 1.30, LF_L = 1.30, LF_W = 1.30, LF_CO = 1.30

⇒ Muⓐ = 5.997tonf·m, Muⓑ = 6.212tonf·m

∴ 설계 저항 모멘트 Mu = 6.212tonf·m

④ 사용 철근량의 계산

fck= 270.00kgf/cm^2 fy = 4000.00kgf/cm^2

Mu = 6.212tonf·m k_1 = 0.850

B = 100.00cm H = 27.00cm

d = 21.00cm d′ = 6.00cm

⇒ 소요철근량 As = 9.039cm^2, As_min = 7.350cm^2, As_max = 46.086cm^2

사용철근량 As = 15.888cm^2 → H16 - 8.00EA(C.T.C 12.50cm) ⇒ O.K

$\phi Mn = 10.596tonf \cdot m > Mu = 6.212tonf \cdot m \Rightarrow$ O.K

$Pmin = 0.0035 < P = 0.00757 < Pmax = 0.02195 \Rightarrow$ O.K

- 전단력의 설계는 [도·설 P.104, 108]에 의거 바닥판의 최소 두께 및 지간을 적용하였으므로 생략한다.
- 허용 균열 검토 : 옥외구조물

M = 4.778tonf·m

$x = k\,d = 6.153cm$ ($k = -n\,p + \sqrt{\{(n\,p)^2 + 2\,n\,p\}} = 0.293$)

$fs = M / \{As\,(d - x/3)\} = 1587.206kgf/cm^2 < 0.6\,fy = 2400.00kgf/cm^2 \Rightarrow$ O.K

ⅰ) 휨철근의 분포를 제한하는 양 (Z) : 인장구역에서의 철근의 분포를 검토

$Z = fs \cdot \sqrt[3]{(dc \cdot A)} = 15324kgf/cm < Zc = 23170kgf/cm \Rightarrow$ O.K

($A = 2\,y \times b$ / 철근수 = 150cm)

ⅱ) 균열폭 (w)

$w = 1.08\beta fs \sqrt[3]{(dc \cdot A)/100000} = 0.232mm < wc = 0.260mm \Rightarrow$ O.K

($\beta = d_1 / d_2 = 20.847 / 14.847 = 1.404$)

⑤ 배력 철근량[도・설 P.107]

ⓐ 주철근에 대한 배력 철근의 비율 : pd = 120/√Lc = 240.00% > p_max = 67.00%

∴ 적용 비율 p = 67.00%

ⓑ 소요철근량 Asd = As × 0.67 = 10.645cm^2

ⓒ 배력 철근 : 상 부 = 13.240cm^2 →H16 - 6.667EA(C.T.C 15.00cm)

하 부 = 6.620cm^2 →H16 - 3.333EA(C.T.C 30.00cm) ⇒ O.K

(2) [단계 3-4] 거더 단부 바닥판의 보강[도・설 P.110～111]

• 단부에서 차도부근의 바닥판은 이곳에서 연속성이 단절되므로 일반부의 바닥판에 비하여 커다란 휨모멘트가 발생한다. 또한 신축장치가 있으므로 차량하중으로 인한 충격이 거더 단부바닥판에 작용하게 되므로 이에 대한 보강을 하여야 한다.

① 내민 바닥판(캔틸레버 바닥판)의 철근 보강

ⓐ Req'd As = 2 × 필요 철근량 = 21.378cm^2

∴ 주철근 보강의 사용철근량 As = 30.968cm^2 → H22-8.00EA (C.T.C 12.50cm)

⇒ O.K

ⓑ 소요철근량 Asd = 2×단부 이외의 내민 바닥판의 배력철근량 = 21.290cm^2

∴ 배력근 보강의 사용철근량 As = 25.807cm^2 →H22-6.667EA (C.T.C 15.00cm)

⇒ O.K

상부의 배력근을 보강 (하부의 배력근은 원래의 배력철근을 그대로 사용한다.)

② 중간 바닥판의 철근 보강

ⓐ 소요철근량 As = 2 × 필요 철근량 = 25.262cm^2

∴ 주철근 보강의 사용철근량 As = 30.968cm^2 →H22 - 8.000EA(C.T.C 12.50cm)

⇒O.K

ⓑ 단부 보강 철근의 배치가 필요한 최소 거리

: 바닥판 지간의 $\frac{1}{2}$보다 커야 하므로, L = 1.20m 이상의 구간을 보강한다.

(3) [단계 3-5] 인장력을 받는 바닥판의 배근[도・설 P.140～141]

• 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 유효로 하는 설계를 하는 경우에는 바닥판에 작용하는 전 인장력을 철근이 받도록 하여야 한다.

• 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 무시하고 설계를 하는 경우에는 바닥판 콘크리트 단면적의 2% 이상의 교축방향 철근을 배근하여야 한다. 이 경우 철근의 총주변장의 바닥판 콘크리트의 단면적에 대한 비, 즉 주장율은 0.045cm/cm^{2}이상으로 하면 좋다. 또한 바닥판 작용에 대처하기 위하여 배치된 철근을 교축방향 철근의 일부로 볼 수 있다.

• 철근은 고정하중에 의한 휨모멘트 부호가 변하는 점을 지나서 바닥판 콘크리트

의 압축측에 정착시켜야 한다.

① Ast′ = Tm × 단위폭(100cm) × 0.02 = 44.00cm^2

사용철근량 As = 67.560cm^2 →H25 - 13.333EA(C.T.C 15.00cm) : 상하부에 1:1 배근

⇒O.K

② 균열 예방을 위한 주장율 검토

- 주장율 : μ = π × 철근 직경 × 사용 갯수 / (단위폭 × Tm)

= 0.048cm/cm^2 > 0.045cm/cm^2⇒ O.K

5.3.4 [단계 4] 거더의 설계

(1) [단계 4-1] 하중 선정

① 고정하중의 계산

- 횡방향으로 거더에서의 수직 변위를 구속하여 2차원 모델링 상에서 반력을 구하고, 이를 거더에 대한 편심하중으로 환산하여 3-차원 모델링의 구조물에 재하시켜 단면력을 구한다.
- 사용 프로그램
  - 2차원 평면 및 3차원 FRAME 해석 프로그램
- 2차원 하중(복부의 반력)을 3차원 해석에 대한 하중으로 복부의 위치에 작용시킨다.
  - 합성전과 합성후의 등가 고정하중은 동일한 모델을 사용(단, 강성 매트릭스는 재구성 된다).

가. 합성전 고정하중

ⓐ 강박스거더의 자중

- 단면적 × 10.598tonf : 강재의 단위 중량(7.850) × 1.35
- 구조계산 시에는 보강재의 하중을 고려하여 강재의 단위 중량을 35% 할증하여 계산한다.

ⓑ 고정하중 1 : 콘크리트 바닥판의 하중

- 속채움은 스치로폴을 사용하는 경우도 있으나, 우수의 침입에 의한 부식을 방지하기 위하여 콘크리트로 하중을 가정하였다(안전측의 설계).

W1 = 2.50 × 0.250 = 0.6250tonf/m

W2 = 2.50 × 0.270 = 0.6750tonf/m

W3 = 2.50 × 0.324 = 0.8100tonf/m

W4 = 2.50 × 0.220 = 0.5500tonf/m

W5 = 2.50 × 0.293 = 0.7325tonf/m

W6 = 2.50 × 0.301 = 0.7525tonf/m

W7 = 2.50 ×(0.400 + 0.332) ×0.111 / 5.00 = 0.0406tonf/m(가로보 헌치)

W8 = 2.50 ×(0.400 + 0.207) ×0.069 / 5.00 = 0.0209tonf/m(가로보 헌치)

W9 = 2.50 ×(0.400 + 0.259) ×0.086 / 5.00 = 0.0283tonf/m(가로보 헌치)

W10= 2.50 ×(0.400 + 0.142) ×0.047 / 5.00 = 0.0127tonf/m(가로보 헌치)

ⓒ 데크플레이트 하중

- 690 ×1.6t ×75 적용
- W1(데크플레이트 자중) = 0.0197tonf/m^2
- W2(콘크리트 채움 중량) = (0.118+0.088) ×0.075 ×3 ×2.5 / (2 ×0.690)
  = 0.0840conf/m^2
- Wd = W1 + W2 = 0.1037tonf/m^2

나. 합성후 고정하중 : 고정하중 2

W (포장) = 2.30 × 0.080 = 0.184tonf/m

P1 (난간) = 0.476tonf/m

P2 (중앙분리대) = 0.368tonf/m

◇ 고정하중 재하도

• 고정하중 1 : 콘크리트 바닥판 및 데크플레이트(단위 : tonf/m)

• 고정하중 2 : 포장, 난간, 중앙분리대 (단위 : tonf, tonf/m)

② 활하중의 계산

가. 설계 차로폭 결정[도・설 P.8]

ⓐ Wc = 10.240 - 0.775 =9.465m ⇒ 3차로 설계

ⓑ W = Wc / N = 3.155m < 3.600m ⇒ ∴ 설계 차로폭 = 3.155m

나. 충격계수[도・설 P.9]

경간 No.	1	2	3	4	5	6
충격	0.176	0.150	0.150	0.150	0.158	0.176

다. 하중의 재하

ⓐ LOAD CASE GROUP No.1

- DL-24 및 DB-24 하중은 3.155m의 차로폭에 대해 좌측 편재하, 우측 편재하 각 경우에 대해 각 거더에 작용하는 편심하중을 3차원 모델링에 재하한다.

ⓑ LOAD CASE GROUP No.2 : 경간에 대한 각개의 차로별 하중재하를 조합

- 이때, 경간에 재하 가능한 모든 경우의 차로에 따른 활하중 재하를 조합

ⓒ LOAD CASE GROUP No.3

- 1,2 혹은 3차로 이상의 재하에 대해 가장 불리한 단면력을 일으키는 하중의 조합을 발생시킨다.
- LOAD CASE GROUP No.2에서 구한 단면력을 각 차로의 조합에 따라 가장 불리한 단면력을 도출하는 하중조합 코드를 이용하여 가장 불리한 차로 재하에 대한 단면력을 도출한다.

ⓓ 고정하중에 대한 경우는 지속하중이므로 무조건적으로 하중을 조합시킨다.

ⓔ 활하중의 경우는 경간의 재하에 따른 최소 및 최대값을 산출한다.

- 3차로의 경우는 0.9배, 4차로 이상의 경우는 0.75배하여 가장 불리한 단면력을 산출한다.

◇ 활하중 재하도

○좌측 편재하시

○우측 편재하시

• DB-24 하중 재하도

Pf = 4.80 tonf, Pr = 19.2 tonf

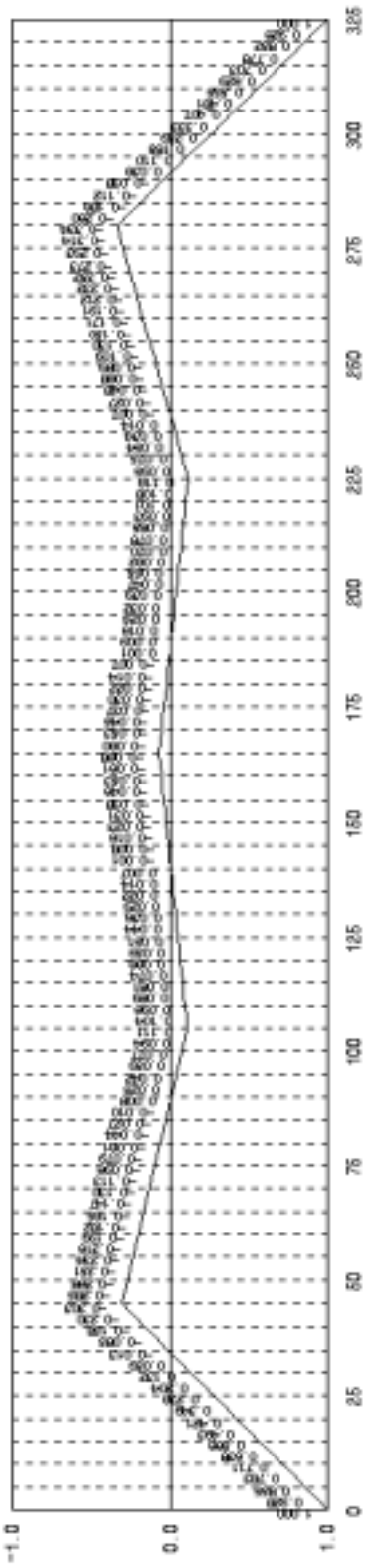
• DL-24 하중 재하도

W = 1.27 tonf/m, Pm = 10.8 tonf, Ps = 15.6 tonf

라. 지점침하 및 2차부정정 모멘트 산정

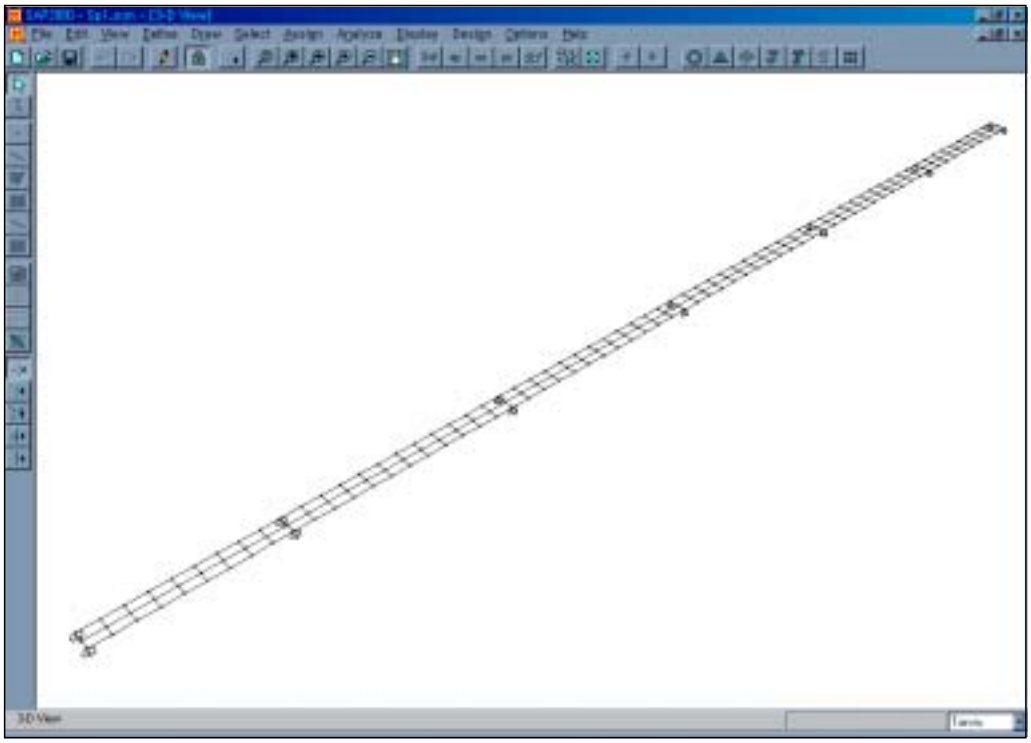
콘크리트-강재의 합성거더교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재와 콘크리트의 온도차에 의한 응력이 발생한다. 더구나 강합성거더교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이 하중을 2차 모멘트라고 한다.

이때, 부정정계의 휨모멘트를 구하기 위하여 교량의 양단에 단위 모멘트를 가한 후 그때 각 절점에서의 모멘트(이 값을 영향계수 K라 함)를 구하여 이를 단면에 대한 응력검토 시에 이용함으로서 2차 모멘트에 의한 부정정 응력을 합리적으로 도출하여 안전한 설계가 되도록 하였다. 그리고 이 값은 프로그램 내에서 입력시킨다.



(2) [단계 4-2] 모델링

① 해석 모델

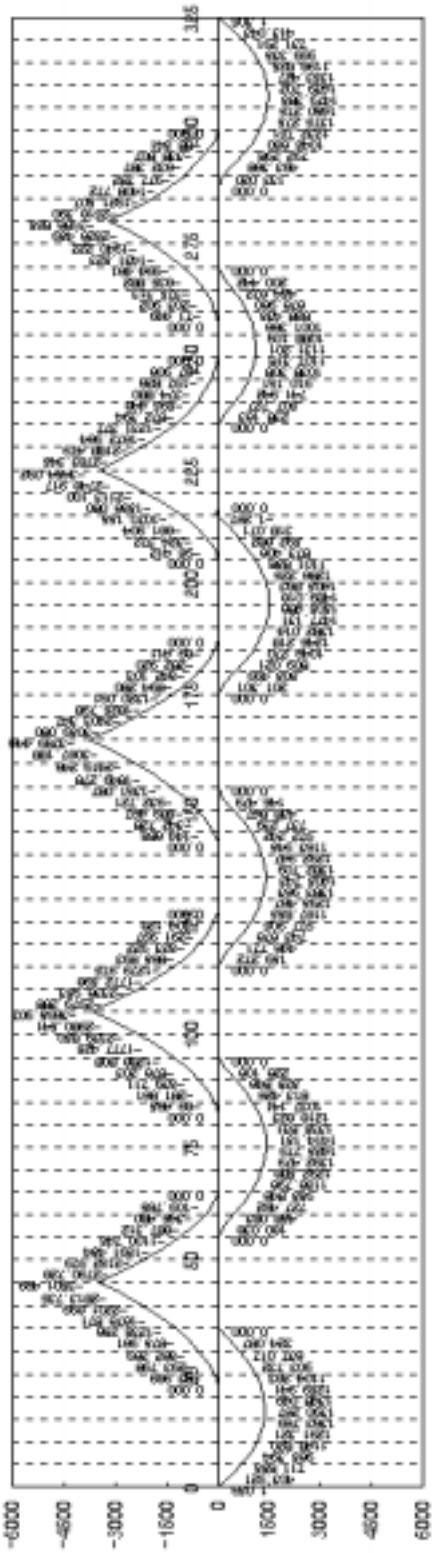


② 절점번호

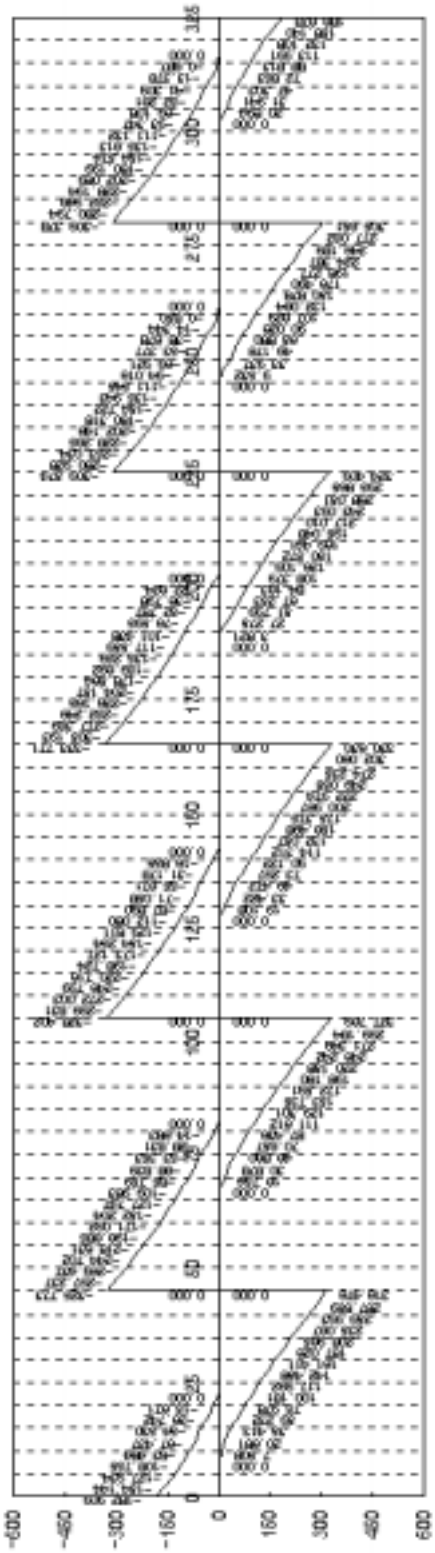
③ 요소번호

(3) [단계 4-3] 거더별 단면력 조합

① 휨모멘트도 (거더-2)



② 전단력도 (거더-2)



③ 거더 최대부재력(거더-2)

단면형식 1 : 요소 264 - 1/4

단면형식 2 : 요소 239 - 4/4

단면형식 3 : 요소 233 - 1/4

단면형식 4 : 요소 233 - 4/4

이음형식 A : 요소 240 - 4/4

이음형식 B : 요소 231 - 3/4

이음형식 C : 요소 232 - 4/4

요소 번호	요소 위치	모멘트							
		합성전	합성후	활하중+	활하중-	침하+	침하-	합계+	합계-
264	0.25	517.731	128.697	418.876	-111.573	38.578	-38.578	1103.882	496.277
239	1.00	606.830	150.882	679.886	-346.152	67.888	-67.888	1505.486	343.671
233	0.25	-1325.600	-310.706	286.702	-915.876	181.875	-181.875	-1167.730	-2734.058
233	1.00	-1919.199	-442.396	307.414	-1221.476	207.373	-207.373	-1845.809	-3789.444
240	1.00	559.549	139.069	639.468	-329.192	68.077	-68.077	1405.863	301.048
231	0.75	-404.191	-95.998	351.181	-501.184	130.639	-130.639	-18.370	-1132.012
232	1.00	-1146.968	-270.209	285.728	-827.353	173.259	-173.259	-958.191	-2417.790

요소 번호	요소 위치	전단력							
		합성전	합성후	활하중+	활하중-	침하+	침하-	합계+	합계-
264	0.25	37.306	9.233	50.140	-30.211	4.399	-4.399	101.078	11.928
239	1.00	-3.868	-0.882	49.569	-41.059	6.797	-4.399	51.799	-52.787
233	0.25	146.668	32.776	101.789	-27.840	6.799	-6.797	288.032	144.804
233	1.00	169.423	37.459	116.948	-21.265	6.799	-6.799	330.063	178.818
240	1.00	22.044	5.488	57.636	-33.946	6.979	-6.799	92.146	-13.393
231	0.75	99.836	23.960	83.572	-24.162	6.785	-6.979	214.153	92.850
232	1.00	136.555	31.699	100.749	-18.707	6.811	-6.785	275.815	142.736

요소 번호	요소 위치	비틀림							
		합성전	합성후	활하중+	활하중-	침하+	침하-	합계+	합계-
264	0.25	5.149	-2.571	92.592	-59.245	0.010	-0.010	95.179	-56.677
239	1.00	-3.375	3.116	45.447	-93.935	0.005	-0.005	45.192	-94.200
233	0.25	5.454	-2.279	117.767	-101.586	0.027	-0.027	120.970	-98.438
233	1.00	2.227	1.853	98.091	-125.313	0.027	-0.027	102.198	-121.259
240	1.00	-0.990	2.414	46.010	-93.345	0.005	-0.005	47.439	-91.926
231	0.75	6.368	-0.782	80.761	-95.521	0.013	-0.013	86.271	-89.947
232	1.00	4.299	0.717	81.450	-113.096	0.013	-0.013	86.479	-108.093

④ 가로보 및 세로보 최대부재력

가로보 : 요소 401 - 4/4

세로보 : 요소 140 - 0/4

요소번호	요소위치	모멘트							
		합성전	합성후	활하중+	활하중-	침하+	침하-	합계+	합계-
401	1.00	2.223	-2.714	70.534	-30.567	0.013	-0.013	70.005	-31.072
140	0.00	11.939	1.591	8.222	-3.258	0.647	-0.647	22.398	9.625

요소번호	요소위치	전단력							
		합성전	합성후	활하중+	활하중-	침하+	침하-	합계+	합계-
401	1.00	3.590	-0.617	18.156	-25.910	0.025	-0.025	21.153	-22.963
140	0.00	-0.218	0.038	0.879	-0.773	0.111	-0.111	0.810	-1.064

요소번호	요소위치	비틀림							
		합성전	합성후	활하중+	활하중-	침하+	침하-	합계+	합계-
401	1.00	-0.003	-0.130	0.736	-1.010	0.026	-0.026	0.628	-1.170
140	0.00	0.000	0.000	0.003	-0.003	0.000	0.000	0.003	-0.003

(4) [단계 4-4, 4-5] 응력검토 및 보강재 설계

- 단면이 변화되는 모든 부분에 대해서 응력검토를 수행한다. 본 예제에서는 정모멘트의 1단면에 대해서만 수행한다.

① 일반조건(단부 : 정모멘트 발생 개소)

가. 바닥판 콘크리트

폭 = 512.00cm

두께 = 25.00cm

헌치 = 5.00cm

fck = 270.00kgf/cm^2

Econc = 250000kgf/cm^2

Kconc = 1.000000

나. 강박스거더

사용 강종 : SM490B

상부 종방향 보강재 :5EA (Space =40.0cm)

하부 종방향 보강재 :2EA (Space =80.0cm)

박스 폭 = 240.0cm(비틀림 폭)

Esteel = 2100000kgf/cm^2

Ksteel = 1.000000

다. 바닥판 콘크리트, 강재

1) N = 8 [도・설 P.142]

α_tem = 0.000012, Δ_temp = ±10.0˚C

Ac = 12800.0cm^2 Ac / N = 1600cm^2

Ic = 666666.7cm^4 Ic / N = 83333.33cm^4

2) ϕ_creep = 2.0 Ac / Nc = 800.00cm^2

N_creep = 16 Ic / Nc = 41666.67cm^4

3) ϕ_shrinkage = 4.0

N_shrinkage = 24 Ac / Ns = 533.33cm^2

ε_shrinkage = 0.00018 Ic / Ns = 27777.78cm^4

부 재	L(cm)	T(cm)	A(cm^2)	Y(cm)	A × Y	A × Y^2	Io
상부플랜지	260.0	1.2	312.0	181.8	56721.6	10311986.9	37.4
상부플랜지 (전단면)			312.0		56721.6	10311986.9	37.4
상부종방향 보강재	15.0	1.2	90.0	173.7	15633.0	2715452.1	1687.5
복부판	180.0	1.0	360.0	91.2	32832.0	2994278.4	972000.0
하부종방향 보강재	15.0	1.2	36.0	8.7	313.2	2724.8	675.0
하부플랜지	264.0	1.2	316.8	0.6	190.1	114.0	38.0
하부플랜지 (전단면)			316.8		190.1	114.0	38.0
∑ (유효 단면적)			1114.8		105689.9	16024556.3	974438.0
∑ (전체 단면적)			1114.8		105689.9	16024556.3	974438.0

ⓐ 박스거더(순단면적)

Ysu = 87.59cm Ast = 1114.8cm^2

Ysℓ = 94.81cm Is = 6978945.1cm^4

ⓑ 박스거더(전단면적)

Ysu = 87.59cm Ast = 1114.8cm^2

Ysℓ = 94.81cm Is = 6978945.1cm^4

ⓒ 박스거더 및 바닥판

구분	단위	N=8(NET)	N=8(GROSS)	N=16(GROSS)	N=24(GROSS)	비고
Yvu	cm	25.66	25.66	43.69	53.59	
Tvi	cm	156.74	156.74	138.71	128.81	
Dvc	cm	43.16	43.16	61.19	71.09	
Av	cm^2	2714.80	2714.80	1914.80	1648.13	
Avx Y	cm^3	425529.88	425529.88	265609.88	212303.21	
Iv_m	cm^4	14318889.17	14318889.17	12164816.61	10991078.29	

② 작용하중

Md1 (합성전) = 517.731tonf · m

Md2 (합성후) = 128.697tonf · m

Ml (활하중) = 457.454tonf · m

전단력 = 101.078tonf

비틀림모멘트 = 95.179tonf · m

③ 허용응력

fca = -81.00kgf/cm^2

fsa = 1900.00kgf/cm^2

fsy = 3200.00kgf/cm^2

va = 1100.00kgf/cm^2

④ 응력검토

구 분	단면2차 모멘트(cm^4)	팔길이(cm) C_con	Ftop	Fbtm	응력(kgf/cm^2) f_con	f_Ft	f_Fb
(1) 합성전	6978945.1	-	87.594	94.806	-	-649.81	703.32
(2) 고정하중합성후	14318889.2	55.656	25.656	156.744	-6.25	-23.06	140.88
활하중 합성후					-22.23	-81.96	500.76
[합성후의 응력]					-28.48	-105.02	641.64
※ A. 합성 : (1) + (2)					-28.48	-754.83	1344.96
허용응력					-81.00	-1900.00	1900.00
비율(%)					35.16	39.73	70.79
(3) 크리프 효과[도 · 설 P142]					2.76	-46.32	11.74
(4) 건조수축효과[도 · 설 P142]					6.11	-192.19	45.64
※ B. 합성 : (1)+(2)+(3)+(4)					-19.61	-993.34	1402.34
허용응력					-81.00	-2185.00	1900.00
비율(%)					24.20	45.46	73.81
(5) 온도[도 · 설 P142]					-2.98	-179.70	-41.96
※ 합성 : (1)+(2)+(3)+(4)+(5)					-22.59	-1173.04	1360.38
허용응력					-93.15	-2470.00	2185.00
비율(%)					24.25	47.49	62.26
(6) 항복에 대한 안전도 검사[도 · 설 P144]							
※ 1.3×[고정하중]+2.1×[활하중]+(3)+(4)+(5)					-57.78	-1465.06	2206.43
허용응력					-162.00	-3200.00	3200.00
비율(%)					35.67	45.78	68.95
							O.K
(7) 전단 및 비틀림 응력						389.75	
i) 비틀림에 의한 값 (2×F×t) = 87338.4cm^3						108.98	
ii) 전단 영향 = 360.0cm						280.77	
허용응력						1100.00	
비율(%)						35.43	
(8) 합성휨응력 및 전단응력[도 · 설 P126]					휨	전단	
					0.738	0.354	
검토 : 0.67					≤ 1.2	⇒	O.K

☆ 주부재(플랜지, 복부판, 종방향 종방향 보강재, 수평 보강재)의 강종 : SM490B

☆ 보강재(수직 보강재, 횡방향 보강재)의 강종 : SM400B

⑤ 수직 및 수평보강재

복부 [Bw × Tw] =180.0×1.00cm^2

사용 수평보강재 : 1열

수직보강재의 간격 : A = 125.00cm

수직보강재 [Bv × Tv] = 15.00×1.20cm^2

수평보강재 [Bh × Th] = 13.00×1.00cm^2

1) 수직보강재

상부 플랜지 응력 : Fu = -754.83kgf/cm^2

하부 플랜지 응력 : Fl = 1344.96kgf/cm^2

압축응력(-) : F = -754.83kgf/cm^2 (Yc = 65.569cm)

전단응력 : v_au = 389.75kgf/cm^2

ⓐ 간격 검토[도·설 P.132~135] : A / Bw = 0.69 ≤ 1.50 ⇒ O.K

1열 수평보강인 경우

A / Bw ≤ 0.80 ⇒ 검토 : 0.297 ≤ 1.00 ⇒ O.K

ⓑ 보강재 검토[도·설 P.132~135]

$\nu = 8 \times (Bw / A)^2 = 16.589$

$I'req = Bw \cdot Tw^3 / 10.92 \times \nu = 273.44cm^4$

$I'ver = Tv \cdot Bv^3 / 3 = 1350.00cm^4 > I'req$ ⇒ O.K

ⓒ 플레이트 길이 및 두께의 검토

Bv_min = Bw / 30 + 5 = 11.00cm < Bv = 15.00cm ⇒ O.K

Tv_min = Bv / 13 = 1.15cm < Tv = 1.20cm ⇒ O.K

2) 수평보강재

ⓐ 플레이트 길이 및 두께의 검토

$\nu = 30 \times (A / Bw) = 20.833$

$I'req = Bw \cdot Tw^3 / 10.92 \times \nu = 343.41cm^4$

$I'hor = Th \cdot Bh^3 / 3 = 732.33cm^4 > I'req$ ⇒ O.K

Th_min = Bh /16 = 0.81cm [도·설 P.136] < Th = 1.00cm ⇒ O.K

ⓑ 응력검토[도·설 P.136] 플랜지 선단으로부터의 거리 = 37.20cm

fsa = 1900.00 kgf/cm^2 [도·설 P.136]

fhor = (Yc - Dis) / Yc × F = 326.588kgf/cm^2 < fsa ⇒ O.K

⑥ 종방향 보강재 및 횡방향 보강재

플랜지 길이(박스폭) : 260.00×1.20cm (Wing = 10.00cm)

종방향 판넬의 수 : N = 6EA

종방향 보강재 : 15.00×1.20cm (Br × Tr)

횡방향 보강재 : 28.00×1.20cm (Bs × Ts)

10.00×1.00cm (Bs'× Ts')

횡방향 보강재의 간격 : A = 125.00cm

보강된 플랜지의 폭 : Bf = 240.00cm (Cell Width)

보강된 플랜지의 두께 : Tf = 1.20cm

복부 높이 : Bw = 180.00cm

복부 높이 : Tw = 1.00cm

1) 플랜지 두께 검토[도·설 P.80]

상부플랜지 응력 : Fu = -754.83kgf/cm^2

하부플랜지 응력 : Fl = 1344.96kgf/cm^2

ϕ = (F1 - F2) / F1 = 0.00

f = 0.65·(ϕ / N)^2 + 0.13·(ϕ / N) + 1.0 = 1.00

Tmin = Bf / (48·f·N) = 0.833cm < Tf ⇒ O.K

2) 복부 두께 검토[도·설 P.131]

T′min = Bw / 220 = 0.818cm

Tmin = T′min / 1.2 = 0.682cm < Tw ⇒ O.K

3) 종방향 보강재의 단면적 및 강성 검토[도·설 P.84]

To = Bf / (24·f·N) = 1.667cm

α = A / Bf = 0.521

A′req = Bf × Tf / (10·N) = 4.80cm^2

종방향 보강재의 단면적 : A_rib = 18.00cm^2 > A′req ⇒ O.K

I_rib = Tr ×Br^3 / 3 = 1350.00cm^4

I_trans = (Ts×Bs^3 / 3) + [Ts'^3 ×Bs′/12 + (Ts′×Bs′) × (Ts′/2 + Bs)^2]

= 16904.13cm^4

δ_1 = A_rib / (Bf×Tf) = 0.0625

γ_1 = I_rib / (Bf×Tf^3 / 10.92) = 35.547

α_o = $\sqrt[4]{(1 + N \cdot \gamma_1)}$ = 3.8260

i) $\alpha \le \alpha$_o 인 경우

ⓐ Tf ≥ to 인 경우 : γ = 16.999

ⓑ Tf < to 인 경우 : γ = 8.682

ii) i) 이외의 경우

ⓐ Tf ≥ to 인 경우 : γ = 6014.741

ⓑ Tf < to 인 경우 : γ = 3042.961

☞ 검토결과 i) - ⓑ ⇒ γ = 8.682

I_trans ≥ (Bf·Tf^3 / 10.91)·(1+N·γ)/(4 α^3) = 3571.30cm^4 ⇒ O.K

I_rib ≥ (Bf·Tf^3 / 10.92)·γ = 329.743cm^4 ⇒ O.K

(5) [단계 4-6] 이음부(splice)의 설계

- 부재의 이음은 작용응력에 대하여 설계하는 것을 원칙으로 한다
- 주요 부재의 이음은 위의 규정을 따르는 외에, 적어도 모재의 전강도의 75%이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 단, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다.
- 부재의 이음부 구조는 다음 사항을 만족하도록 설계하여야 한다.
  - 이음부의 구조가 단순하여, 응력의 전달이 확실할 것
  - 구성하는 각 재편에 있어서, 가급적 편심이 일어나지 않도록 할 것
  - 해로운 응력 집중이 생기지 않도록 할 것
  - 해로운 잔류응력이나 2차응력이 생기지 않도록 할 것
- M22볼트에 대한 볼트의 최소 중심간격 : 75mm
- M22볼트에 대한 볼트의 최대 중심간격 : 150mm
- M22볼트에 대한 볼트의 중심에서 판의 연단까지의 최소 거리 : 37mm

[이음판 표] - 반쪽면 기준

이음판 구분	사용재료								비고
	상측		하측		복부		종방향 보강재		
	플레이트	볼트	플레이트	볼트	플레이트	볼트	플레이트	볼트	
A	14	26×3	16	26×3	10	3×2	12	4	상측은 모재의 두께임
	10		10		10	2×13	10		
B	22	26×4	24	26×4	10	3×2	12	4	
	12		14		10	2×13	10		
C	22	26×4	24	26×4	12	3×2	12	4	
	12		14		10	2×16	10		

① 일반조건(중간부 : 정모멘트 발생 개소)

가. 바닥판 콘크리트

폭 = 512.00cm

두께 = 25.00cm

헌치 = 5.00cm

fck = 270.00kgf/cm^2

Econc = 250000kgf/cm^2

Kconc = 1.000000

나. 강박스거더

사용강재 : SM490B

Up-rib : 5EA(간격 = 40.0cm)

Low-rib : 2EA(간격 = 80.0cm)

박스폭 = 240.0cm(전폭)

Esteel = 2100000kgf/cm^2

Ksteel = 1.000000

다. 바닥판콘크리트, 강재

1) N = 8 [도·설 P.142]

α_tem = 0.000012, Δ_temp = ±10.0˚C

Ac = 12800.0cm^2 Ac / N = 1600cm^2

Ic = 666666.7cm^4 Ic / N = 83333.33cm^4

2) ϕ_creep = 2.0 Ac / Nc = 800.00cm^2

N_creep = 16 Ic / Nc = 41666.67cm^4

3) ϕ_shrinkage = 4.0

N_shrinkage = 24 Ac / Ns = 533.33cm^2

ε_shrinkage = 0.00018 Ic / Ns = 27777.78cm^4

부 재	L(cm)	T(cm)	A(cm^2)	Y(cm)	A × Y	A × Y^2	Io
상부플랜지	260.0	1.4	364.0	182.3	66357.2	12096717.6	59.5
상부플랜지 (전단면에 대해)			364.0		66357.2	12096917.6	59.5
상부종방향 보강재	15.0	1.2	90.0	174.1	15669.0	2727972.9	1687.5
복부판	180.0	1.0	360.0	91.6	32976.0	3020601.6	972000.0
하부종방향 보강재	15.0	1.2	36.0	9.1	327.6	2981.2	675.0
하부플랜지	264.0	1.6	422.4	0.8	337.9	270.3	90.1
하부플랜지 (전단면에 대해)			422.8		337.9	270.3	90.1
Σ (유효단면)			1272.4		115667.7	17848743.6	974512.1
Σ (전단면)			1272.4		115667.7	17848743.6	974512.1

ⓐ 박스거더 (순단면)

Ysu = 92.09cm Ast = 1272.4cm^2

Ys*l* = 90.91cm Is = 8308463.5cm^4

ⓑ 박스거더 (전단면)

Ysu = 92.09cm Ast = 1272.4cm^2

Ys*l* = 90.91cm Is = 8308463.5cm^4

ⓒ 박스거더 및 바닥판

구분	단위	N=8(NET)	N=8(GROSS)	N=16(GROSS)	N=24(GROSS)	비고
Yvu	cm	31.05	31.05	49.79	59.73	
Tvi	cm	151.95	151.95	133.21	123.27	
Dvc	cm	48.55	48.55	67.29	77.23	
Av	cm^2	2872.40	2872.40	2072.40	1805.73	
Avx Y	cm^3	436467.72	436467.72	276067.72	222601.05	
Iv_m	cm^4	16904725.13	16904725.13	14249699.58	12850111.05	

② 작용외력

Md1 (합성전) = 559.249tonf · m

Md2 (합성후) = 139.069tonf · m

Ml (활하중) = 707.545tonf · m

전단력 = 92.146tonf

비틀림모멘트 = 91.926tonf · m

③ 허용응력

fca = -81.00kgf/cm^2

fsa = 1900.00kgf/cm^2

fsy = 3200.00kgf/cm^2

va = 1100.00kgf/cm^2

④ 응력검토

구 분	단면2차 모멘트(cm^4)	팔길이(cm) C_con	Ftop	Fbtm	응력(kgf/cm^2) f_con	f_Ft	f_Fb
(1) 합성전	8308463.5	-	92.095	90.905	-	-619.90	611.89
(2) 고정하중합성후	16904725.1	61.048	31.048	151.952	-6.28	-25.54	125.01
활하중합성후					-31.94	-129.95	635.99
[합성 후의 응력합계]					-38.22	-155.49	761.00
※ A. 합성 : (1) + (2)					-38.22	-755.39	1372.89
허용응력					-81.00	-1900.00	1900.00
비율(%)					47.18	40.81	72.26
(3) 크리프 효과[도・설 P142]					2.82	-46.10	10.00
(4) 건조수축 효과[도・설 P142]					6.57	-184.01	37.71
※ B. 합성 : (1)+(2)+(3)+(4)					-28.83	-1005.49	1420.60
허용응력					-81.00	-2185.00	1900.00
비율(%)					35.59	46.02	74.77
(5) 온도 영향[도・설 P142]					-3.62	-176.32	-35.58
※ 합성 : (1)+(2)+(3)+(4)+(5)					-32.44	-1181.81	1385.02
허용응력					-93.15	-2470.00	2185.00
비율(%)					34.83	47.85	63.39
(6) 항복응력에 대한 안전도 검토[도・설 P144]							
※ 1.3×[고정하중]+2.1×[활하중]+(3)+(4)+(5)					-78.85	-1518.39	2341.26
항복응력					-162.00	-3200.00	3200.00
비율(%)					48.67	47.45	73.16
							O.K
(7) 전단 및 비틀림 응력						361.04	
ⅰ) 비틀림에 의한 값 (2×F×t) = 87338.4cm^3						105.08	
ⅱ) 전단 영향 = 360.0cm						255.96	
허용응력						1100.00	
비율(%)						32.82	
(8) 휨응력 및 전단응력 조합[도・설 P126]					휨	전단	
					0.738	0.328	
				검토 : 0.667 ≤ 1.2	⇒	O.K	

사용 플레이트 : SM490B Fsa = 1900.00kgf/cm^2 [도・설 P.55]

사용 고장력볼트 : M22(F10T) Pa = 4800.00kgf [도・설 P.65]

전단력 (복부판 당) : S = 46.073tonf A_web = 180.00cm^2

비틀림모멘트 : Mt = 91.926tonf・m Jt = 87483.0cm^3

가. 상부 플랜지

이음부의 휨응력 : Fa = 1425.00kgf/cm^2 [도・설 P.90]

상부 플랜지 : Bu × Tu = 260.0×1.4cm (Wing = 10.0cm)

상부 플랜지 단면적 : Au = 364.0cm^2
판넬의 수(Nr) 및 종방향 보강재 간격(Sr) : Nr × Sr = 6 × 40.0cm
종방향 보강재 간격 당 볼트 수 : Nb = 4EA
선단과 볼트 사이의 거리 = 5.00cm [도・설 P.101]
볼트와 볼트 사이의 거리 = 10.00cm [도・설 P.100]
소요볼트 수 : N'req = Au × Fa / (2 × Pa) = 54.03EA
1열당 사용볼트 수 : Nr × Nb + 2 = 26EA
소요볼트 열 : 2.078 ⇒ 3열
실제 사용볼트 열수 : 3열
반쪽 이음판당 사용볼트 수 : 78EA
이음볼트 당 전단응력 : Fs = 1203.466kgf/ea
이음볼트 당 휨응력 : Fm = 6650.00kgf/ea
∴ f_bolt = √ (Fs^2 + Fm^2) = 6758.020kgf < 2Pa = 9600.00kgf ⇒ O.K
사용 이음판 재료
이음판 (1) : 260.0cm×1.0cm (Ts) - 1EA
이음판 (2) : 37.5cm×1.0cm - 6EA
이음판 (3) : 8.0cm×1.0cm - 2EA

이음판의 전체 길이 : Lt = 501.0cm
이음판의 전체 면적 : At = 501.0cm^2
☞ 플랜지 이음판 두께의 검토 ☜
모재의 소요 단면적 : Ar′ = Au × Fa / Fsa = 273.0cm^2
모재의 총 단면적 (∵ 압축부이므로) = Bu × Tu = 364.0cm^2 > Ar′ ⇒ O.K
T're_splice = Au × Fa/(Lt × Fsa : 전단면) = 0.545cm < Ts ⇒ O.K
f_splice = Au × Fa/(Lt × Ts : 전단면) = 1035.33kgf/cm^2 < Fsa⇒ O.K

나. 하부 플랜지
이음부의 휨응력 : Fa = 1425.000kgf/cm^2 [도・설 P.90]
하부 플랜지 : BI × TI = 264.0×1.6cm (Wing = 12.0cm)
하부 플랜지 단면적 : Au = 424.0cm^2
판넬 수(Nr) 및 종방향 보강재 간격(Sr) : Nr × Sr = 3 × 80.0cm
종방향 보강재 간격 당 볼트 수 : Nb = 8EA
선단과 볼트 사이의 거리 = 5.00cm [도・설 P.101]
볼트와 볼트 사이의 거리 = 10.00cm[도・설 P.100]
소요 볼트 수 : N'req = Au × Fa / (2 × Pa) = 62.70EA
1열당 사용 볼트 수 : Nr × Nb + 2 = 26EA
소요 볼트 열 : 2.412 ⇒ 3열

실제 사용 볼트 열수 : 3열
반쪽 이음판당 사용볼트 수 : 78EA
이음볼트의 전단응력 : Fs = 1203.47kgf/ea
이음볼트의 휨응력 : Fm = 7716.92kgf/ea
∴ f_bolt = √ (Fs^2 + Fm^2) = 7810.20kgf < 2Pa = 9600.00kgf ⇒ O.K
사용 이음판 재료
이음판 (1) : 264.0cm×1.0cm (Ts) - 1EA
이음판 (2) : 75.5cm×1.0cm - 3EA
이음판 (3) : 8.0cm×1.0cm - 2EA

이음판의 길이 : Lt = 506.5cm
이음판의 단면적 : At = 506.5cm^2
☞ 플랜지 이음판 두께의 검토 ☜
모재의 소요 단면적 : Ar′ = Au × Fa / Fsa = 316.8cm^2
모재의 총 단면적 (∵ 압축부이므로) = Bu × Tu = 318.4cm^2 > Ar′ ⇒ O.K
T′re_splice = Au×Fa/(Lt × Fsa : 전단면) = 0.841cm < Ts ⇒ O.K
f_splice = Au×Fa/(Lt × Ts : 전단면) = 1598.725kgf/cm^2 < Fsa ⇒ O.K

다. 종방향 보강재 이음판
이음부의 허용응력 : Fa = 1425.00kgf/cm^2 [도・설 P.90]
종방향 보강재 플레이트 : Br × Tr = 15.0×1.2cm
종방향 보강재 플레이트의 면적 : Ar = 18.0cm^2
볼트 수 / 종방향 보강재 1열 = 1.0EA
선단과 볼트 사이의 거리 = 5.00cm [도・설 P.101] ⇒ O.K
피치(응력방향) = 8.00cm [도・설 P.100] ⇒ O.K
볼트와 볼트 사이의 거리 = 8.246cm [도・설 P.100] ⇒ O.K
소요 볼트 수 : N′req = Ar × Fa / (2 × Pa) = 2.67EA
반쪽 이음판당 사용 볼트 수 = 4EA
사용 이음판 재료
종방향 보강재 판 이음 : 12.0cm×1.0cm - 2EA
총 이음판 길이 : Lt = 24.0cm
☞종방향 보강재 이음판 두께 검토 ☜
T′re_splice = Ar/[2×Min(직거리, 사거리)]×Fa/Fsa = 0.711cm < Ts ⇒ O.K

라. 복부판 이음
비합성 상태의 휨모멘트 (Md1) = 559.249tonf・m
합성 상태의 휨모멘트 (Md2) = 139.069tonf・m
합성 상태의 휨모멘트 (Ml) = 707.545tonf・m

비틀림 폭(박스) : Wt = 240.0cm
복부판 높이 : Hw = 180.0cm
복부판 두께 : Tw = 1.0cm
복부 단면적 : Aw = 180.0cm^2
ⓐ 모멘트 플레이트
상부 플랜지 응력 : Fu = 1425.000kgf/cm^2 (-775.389)
하부 플랜지 응력 : Fl = 1425.000kgf/cm^2 (1372.889)
거리
단면2차회전반경의 중심으로부터 플랜지 상단까지의 거리 : *Ysu = 91.50cm
단면2차회전반경의 중심으로부터 플랜지 하단까지의 거리 : Ysl = 91.50cm
플랜지 단부부터 첫번째 볼트까지의 거리 : go = 8.50cm
첫번째 볼트부터 두번째 볼트까지의 거리 : g1 = 10.00cm
두번째 볼트부터 마지막 볼트까지의 거리 : g_1 = 0.00cm
전볼트로부터 첫번째 볼트 : g2 = 11.50cm
전볼트로부터 두번째 볼트 : g3 = 10.00cm
계산
b_1 = go + g1 / 2 = 13.50cm
Fo = Max(Fu,Fl) = 1425.00kgf/cm^2
F_1 = Fo / *Ys × [*Ys - (go + g1/2)] = 1214.75kgf/cm^2
P_1 = (Fo + F_1) / 2 × b_1 × Tw = 17818.34kgf
소요 볼트 수
N'req = P_1 / (2 × Pa) = 1.86EA
허용 사용 볼트 수 = 2EA(1열당)
b_3 = (g2 + g3) / 2 = 10.750cm
F_2 = Fo / *Ys × [*Ys - (go + g1 + g_1 + g2/2)] = 1047.34kgf/cm^2
F_3 = Fo / *Ys × [*Ys - (go + g1 + g_1 + g2 + g3/2)] = 879.92kgf/cm^2
P_3 = (F_2 + F_3) / 2 × b_3 × Tw = 10358.99kgf
소요 볼트 수
N'req = P_3 / (2 × Pa) = 1.08EA
허용 사용 볼트 수 = 2EA(1열당) 이상
실제 사용 볼트 수 = 3(Nm)EA × 2열
ⓑ 전단 플레이트
N'req = S / (2 × Pa) = 4.80EA
허용 사용 볼트 수 = 5EA(1열당) 이상
실제 사용 볼트 수 = 13(Ns)EA × 2열

⇒ 사용 볼트 수(모멘트 플레이트×2+전단 플레이트)=38EA (반쪽 이음판에 대해)

☞ 볼트 1개당 허용력 검토 ☜

모멘트 플레이트 : Fm_1 = P_1 / Nm = 5939.45kgf/ea

전단 플레이트 : Fm_3 = P_3 / Ns = 5179.50kgf/ea

전단에 의해 : F_sh = S / N_total = 1355.09kgf/ea

비틀림에 의해 : F_to = Mt × Hw / (Jt × Tw × N_total) = 556.30kgf/ea

∴ Fm = 5939.45kgf/ea ∴ Fs = 1911.39kgf/ea

⇒ f_bolt = $\sqrt{(\ Fm^2 + Fs^2\ )}$ = 6239.43kgf < 2Pa = 9600.00kgf ⇒ O.K

☞ 이음판 두께 검토 ☜

< 사용 이음판 재료 >

이음판	L	T	A	Y	A×Y	A×Y^2	I_O	비고
4-모멘트	20.00	1.00	80.00	76.50	6120.00	468180.00	2666.67	
4-전 단	131.00	1.00	524.00	0.00	0.00	0.00	749363.67	
4-모멘트	20.00	1.00	80.00	76.50	6120.00	468180.00	2666.67	
합 계	684.00	Asp = 684.00			12240.00	936360.00	754697.00	

이음판의 총길이 [모멘트 + 전단] : Lt = 684.00cm

⇒ T're_sp = 2×Aw /[Lt - N_line×(Dia+0.3)×4]×Fa/Fsa=0.525cm < Ts ⇒ O.K

☞ 복부 이음판 응력 검토 ☜

ⓐ 박스거더 단면

Ysu = 92.10cm Ysl = 90.91cm Is = 8308463.5cm^4

Yvu = 31.05cm Yvl = 151.95cm Iv = 16904725.1cm^4

ⓑ 이음판 단면

Ysus = 86.50cm Ysls = 86.50cm Iss = 1691057.0cm^4

ⓒ 박스거더 단면과 이음판 단면의 관계

ⅰ) 비합성 단면에 대하여

Ds (박스 단면중심 ~ 이음판 중심) = 0.81cm

sIw = Iss + Asp × Ds^2 = 1691500.4cm^4

sIw' = (Tw × Hw^3 / 12 + Aw × Ds^2) × 2 = 972233.4cm^4

Msw = Md1 × sIw' / Is = 65.442tonf · m

YSU(박스 단면중심 ~ 이음판 상연) = Ysus - Ds = 85.70cm

YSL(박스 단면중심 ~ 이음판 하연) = Ysls + Ds = 87.31cm

ⅱ) 합성 단면에 대하여

Dv (박스 단면중심 ~ 이음판 중심) = 61.85cm

vIw = Iss + Asp × Dv^2 = 4307838.6cm^4

vIw′ = (Tw × Hw^3 / 12 + Aw × Dv^2) × 2 = 2349253.5cm^4

Mvw = (Md2 + Ml) × vIw′ / Iv = 117.654tonf · m

YVU(박스 단면중심 ~ 이음판 상연) = Ysus - Dv = 24.65cm

YVL(박스 단면중심 ~ 이음판 하연) = Ysls + Dv = 148.35cm

⇒ f_upper = Msw×YSU/sIw + Mvw×YVU/vIw

= 398.86kgf/cm^2 < Fsa ⇒ O.K

⇒ f_lower = Msw×YSL/sIw + Mvw×YVL/vIw

= 742.95kgf/cm^2 < Fsa ⇒ O.K

(6) [단계 4-7] 전단 연결재의 설계

◈ 단면형태 ① 구간 (단부)

① 사용 스터드

ⓐ 직경(d) = 22.00mm

ⓑ 스터드 길이(H) = 150.00mm

② 합성후의 고정하중과 활하중에 의한 전단력 = 101.206tonf

③ 계산 단면의 콘크리트 제원 및 물성치 : 전단면을 유효한 것으로 본다.

ⓐ 폭 = 512.00cm

ⓑ 두께 = 50.00cm

ⓒ 강도 = 270.00kgf/cm^2

ⓓ 간격 = 5.00cm

ⓔ N = Es/E = 8

ⓕ N_2 (Shr.) = 24

ⓖ εs = 0.000180

ⓗ α = 0.000012

④ 강재 및 합성단면의 제원 (전단면 유효)

ⓐ A-steel= 1114.80cm^2

ⓑ I-steel = 6978945.1cm^4

ⓒ d_non = 87.60cm

ⓓ D = 116.40cm

ⓔ Iv = 14318889.2cm^4

ⓕ E-steel = 2100000kgf/cm^2

ⓖ A-conc = 25600.00cm^2

ⓗ I-conc = 5333333.3cm^4

ⓘ d_vc = 43.16cm

ⓙ ΔT = 10.00˚C

⑤ 전단 연결재의 간격에 대한 설계기준의 검토

ⓐ 교축방향(종방향) 배치의 최대 간격 = 60.00cm, 최소 간격 = 11.00cm

ⓑ 교축직각방향(횡방향)의 최소 간격 = 5.20cm

ⓒ 플랜지 연단에서 스터드의 최소순연단길이 = 2.50cm

⑥ 단부받침부 전단 연결재를 배치하는 구간의 길이[도·설 P.146]

ⓐ 총경간 길이 = 325.00m

ⓑ 전단에 대한 유효 길이 : a = 512.00cm

⑦ 각 단면에 설치되는 스터드의 갯수 및 허용 수평 전단력(Qa)

ⓐ $H / d = 6.818 \geq 5.5 \Rightarrow Qa = 30 \cdot d^2 \cdot \sqrt{fck} = 2385.88kgf/EA$

ⓑ 각 단면에 배치되는 전단연결재 수 (No / Section) = 8

∴ 허용수평전단력 : Ha = 19087.04kgf/Section

⑧ 전단연결재 설계에 적용되는 최대 수평전단력(F_H)

ⓐ 합성 후 하중에 의한 수평전단력 :

$Hv = S \cdot d_vc \cdot Ac / (N \cdot Iv) = 976.08kgf/cm$

ⓑ 온도변화에 의한 수평전단력 : Ht [도·설 P.147]

$Q_1 = Ac/(N \cdot As) = 2.87$ $Q_2 = Ac \cdot D^2 / (Ic + N \cdot Is) = 5.67$

$Ft = 1.0/(1 + Q_1 + Q_2) = 0.11$ $Ht = 2 \times (Pt \cdot Ft)/a = 330.17kgf/cm$

ⓒ 건조수축에 의한 수평전단력 : Hs

$Ps = Es \cdot \varepsilon s \cdot Ac / N_2 = 403200.0kgf$

$Q_3 = Ac/(N_2 \cdot As) = 0.96$ $Q_4 = Ac \cdot D^2 / (Ic + N_2 \cdot Is) = 2.01$

$Fs = 1.0/(1 + Q_3 + Q_4) = 0.25$ $Hs = 2 \times (Ps \cdot Fs)/a = 397.37kgf/cm$

ⓓ 전단연결재 설계에 적용되는 최대 수평 ; 바닥판과 강거더의 접합으로 인하여 접합면에 발생하는 수평전단력의 방향성을 고려하여 다음의 ①과 ②중에서 최대값을 사용한다.

① Hv + Ht = 306.24kgf/cm ② Hs + Ht = 727.54kgf/cm

∴ F_H = 1306.24kgf/cm

⇒ 소요 스터드 간격 : Ss = Ha / F_H = 14.61cm

∴ 실제 사용 스터드 간격 = 12.50cm

5.3.5

[단계 5] 가로보의 설계

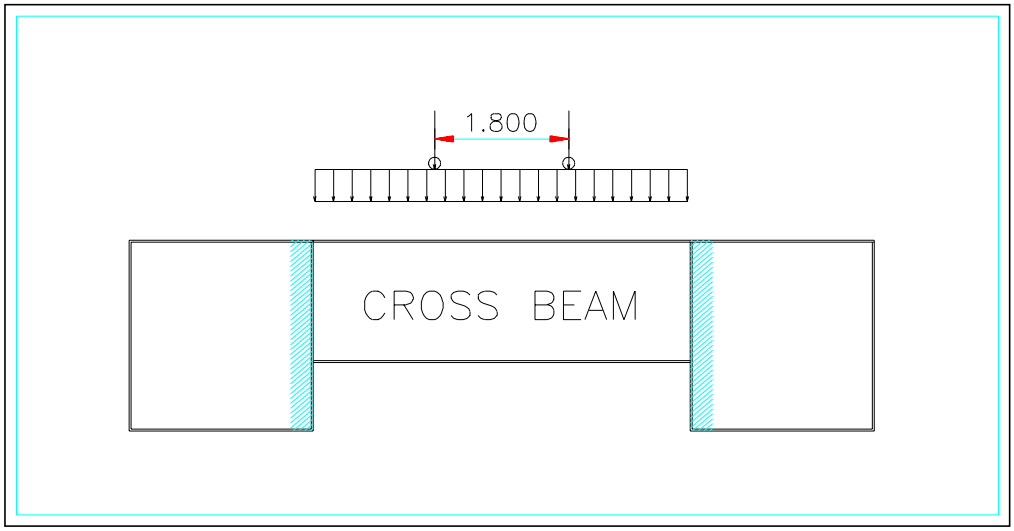
☆ 가로보의 거동

- 가로보는 그 거동을 국부효과와 전체효과로 구분하여 생각할 수 있으며, 각각의 경우에 대한 단면력을 비교하여 안전하도록 설계하여야 한다.

a) 국부효과

- 박스 거더에 가로보가 고정되어 있다고 가정하여 발생하는 결과의 단면력

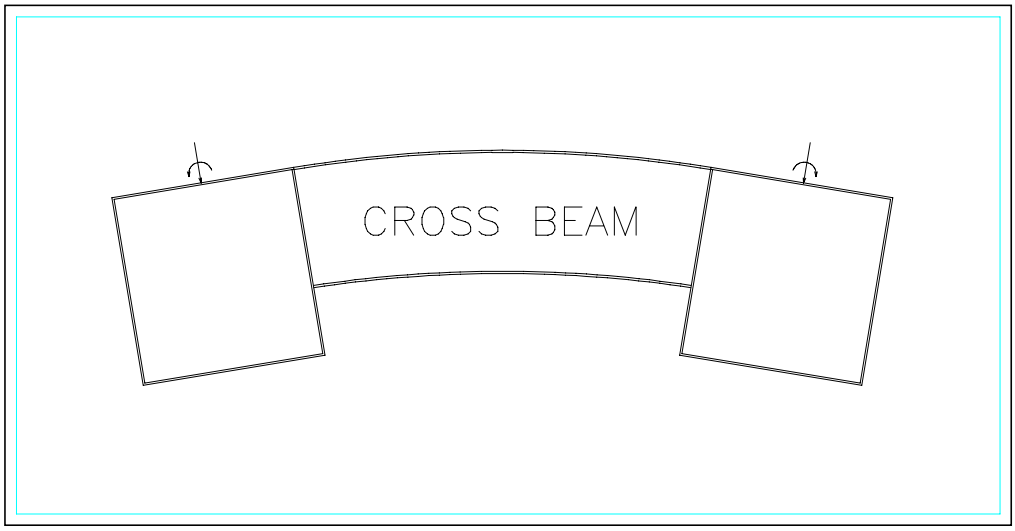
CROSS 1



b) 전체효과

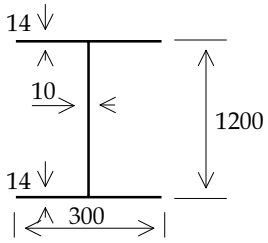
- 고정하중 및 활하중의 편재하에 의한 박스거더의 변형에 의해 발생하는 단면력
- 3차원해석 결과 중에서 가로보 및 세로보의 단면력을 적용한다.

CROSS 2



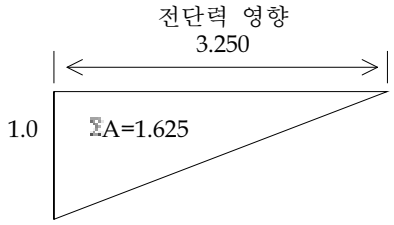
(1) 가로보의 단면력 산정

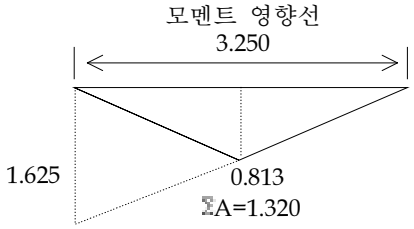
(단위 : cm)



구 분	폭	두께	면적
상부 플랜지	30.0	1.4	42.0
복 부 판	120.0	1.0	120.0
하부 플랜지	30.0	1.4	42.0
Σ면적			204.0
Σ면적(할증:35%)			275.0

① 고정하중



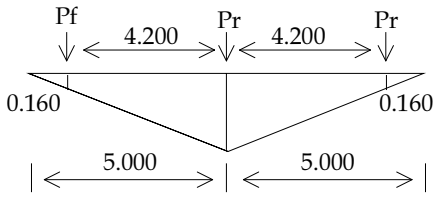


(단위 : tonf, m)

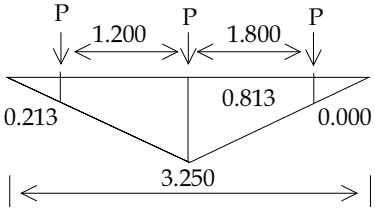
구 분	두께	γ	폭	전단력	종거	모멘트	비고
포 장	0.080	2.30	5.00	1.495	0.813	1.215	
바닥판	0.250	2.50	5.00	5.078	0.813	4.126	
헌 치	0.050	2.50	0.40	0.081	0.813	0.066	
강 중	0.028	0.40		0.351	0.813	0.285	
Σ고정하중				7.006		5.692	

② 활하중

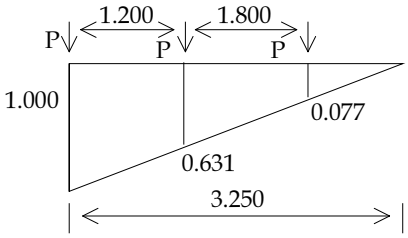
(a)



(b) 모멘트



(c)전단력



ⓐ 가로보의 길이 : L=3.25m

ⓑ 충격계수 = 15/(40+L)=0.347⇒0.30

ⓒ 차륜하중 : Pr(후륜하중) = 9.60tonf

ⓓ P(활하중) = Pr×(1.0+Impact)×Σ{종거(a)}

ⓔ 단면력 : 모멘트=P×Σ{종거(b) : 모멘트}

전단력=P×Σ{종거(c) : 전단력}

구분	(1)	(2)	(3)	Σ종거	단면력
종거ⓐ	0.040	1.000	0.160	1.200	P=14.976
종거ⓑ	0.813	0.213	-	1.025	M=15.350
종거ⓒ	1.000	0.631	0.077	1.708	S=25.574

③ 작용 단면력

ⓐ 휨모멘트 : M_dead + M_live = 21.04tonf · m

ⓑ 전 단 력 : S_dead + S_live = 32.58tonf

(2) [단계 5-2] 가로보의 응력 검토

사용 플레이트 : SM400A Fsa = 1234.426kgf/cm^2

사용 고장력볼트 : M22(F10T) Pa =4800.00kgf [도 · 설 P.65]

이음부의 허용응력 : Fa = 948.46kgf/cm^2 [도 · 설 P.90]

가로보 길이 : L = 325.00cm

작용 모멘트 : Mo = 70.06 tf · m : 전체효과

작용 전단력 : Sf = 32.580 tonf : 국부효과

부 재	판	두께	면적	I×1	Yo	A×Y^2
상부 플랜지 (Bu×TU)	30.00	1.40	42.00	6.9	60.7	154748.6
복부판 (Hw×Tw)	120.00	1.00	120.00	144000.0	-	-
하부 플랜지(Bl×TL)	30.00	1.40	42.00	6.9	60.7	154748.6
합 계	180.00		204.00	144013.7		309497.2

I_total [cm^4] = 453510.9

허용응력[도 · 설 P.61～62]

Aw / Ac = 2.857, L / Bu = 10.833

1) Aw/Ac ≤ 2 인 경우

ⓐ L / Bu ≤ 4.5 ⇒ 1400

ⓑ 4.5 < L / Bu ≤ 30.0 ⇒ 1400 - 24 × (L / Bu - 4.5)

2) Aw/Ac > 2 인 경우

K = √(3 + Aw / (2×Ac)) = 2.10

ⓐ K × L / Bu ≤ 9.0 ⇒ 1400

ⓑ 9.0 / K < L / Bu ≤ 30.0 ⇒ 1400 - 12 × (K × L / Bu - 9.0)

검토결과 : 2) - ⓑ ⇒ F_a = 1234.43 kgf/cm

Tau_a = 800.00 kgf/cm^2

☞ 응력 검토 ☜

1) F = Mo / I_total × Y_dis = 948.46 kgf/cm^2 < F_a ⇒ O.K

2) Tau = Sf / Aw = 271.50 kgf/cm^2 < Tau_a ⇒ O.K

(3) [단계 5-3] 이음판 설계

① 상부 및 하부 플랜지

소요 볼트 수 : N'req = Au × Fa / (2 × Pa) = 4.15 EA

반쪽 이음판의 사용 볼트 수 = 6EA

선단부터 볼트까지의 거리 = 4.00 cm [도·설 P.101] ⇒ O.K

피치(응력방향) = 8.00 cm [도·설 P.100] ⇒ O.K

볼트간 거리 = 8.00 cm [도·설 P.100] ⇒ O.K

사용 이음판 재료

이음판 (1) : 30.0 cm × 1 cm (Ts) - 1 EA

이음판 (2) : 14.0 cm × 1 cm - 2 EA

총이음판 길이 : Lt = 58.0 cm

☞ 플랜지 이음판 두께 검토 ☜

T're_splice = Au /[Min(직거리,사거리)] × Fa / Fsa = 0.672 cm < Ts ⇒ O.K

모재의 소요단면적 : A_r' = Au × Fa / Fsa = 32.27 cm^2

모재의 순단면적 = [Bu-N_Line×(Dia+0.3)]×Tu = 35.00cm^2 > A_r' ⇒ O.K

f_sp = Au×Fa/{[Lt - N_Line×(Dia + 0.3)×2]×Ts} = 829.90kg/cm^2 < Fsa ⇒ O.K

② 복부판의 이음

ⓐ 모멘트 플레이트

거리

단면2차회전반경의 도심에서 플랜지 상단까지의 거리 : Y = 61.40 cm

플랜지 선단으로부터 첫번째 볼트까지의 거리 : go = 10.00 cm

첫번째 볼트로부터 두번째 볼트까지의 거리 : g1 = 10.00 cm

두번째 볼트로부터 마지막 볼트까지의 거리 : g_1 = 0.00 cm

전볼트로부터 첫번째 볼트까지의 거리 : g2 = 10.00 cm

전볼트로부터 두번째 볼트까지의 거리 : g3 = 10.00 cm

계산

b_1 = go + g1 / 2 = 15.00cm

Fo = 상부 플랜지의 응력 = 948.46 kgf/cm^2

F_1 = Fo / Y ×[Y - (go + g1 / 2)] = 716.75 kgf/cm^2

P_1 = (Fo + F_1) / 2 × b_1 × Tw = 12489.11 kgf

소요 볼트 수

N'req = P_1 / (2 × Pa) = 1.30 EA

허용 사용 볼트 수 = 2 EA(1열당)

b_3 = (g2 + g3) / 2 = 10.00 cm

F_2 = Fo / Y × [Y - (go + g1 + g_1 + g2 / 2)] = 562.28 kgf/cm^2

F_3 = Fo / Y × [Y - (go + g1 + g_1 + g2 + g3 / 2)] = 407.81 kgf/cm

P_3 = (F_2 + F_3) / 2 × b_3 × Tw = 4850.44 kgf

소요 볼트 수

N'req = P_3 / (2 × Pa) = 0.51 EA

허용 사용 볼트 수 = 1 EA(1열당) 이상

실제 사용 볼트 수 = 2(Nm)EA × 2열

ⓑ 전단 플레이트

소요 볼트 수

N'req = S / (2 × Pa) = 3.39 EA

허용 사용 볼트 수 = 4 EA

실제 사용 볼트 수 = 2 × 7[(Ns)EA × 열]

⇒ 사용 볼트 수(모멘트 플레이트×2+전단플레이트)=22 EA (반쪽 이음판에 대해)

☞ 볼트 한 개당 허용력 검토☜

모멘트 플레이트 : Fm_1 = P_1 / Nm = 6244.55 kgf/ea

전단 플레이트 : Fm_3 = P_3 / Ns = 2425.22 kgf/ea

전단에 의해 : F_sh = S / N_total = 1480.91 kgf/ea

∴ Fm = 6244.55 kgf/ea ∴ Fs = 1480.91 kgf/ea

⇒ f_bolt = √(Fm^2 + Fs^2) = 6417.75 kgf < 2Pa = 9600.00 kgf ⇒ O.K

☞ 복부 이음판 두께 검토 ☜

< 사용 이음판 재료>

이음판	L	T	A	Y	A×Y	A×Y^2	Io	비고
2-모멘트	19.00	1.00	38.00	44.50	1691.00	75249.50	1143.17	
2-전 단	70.00	1.00	140.00	0.00	0.00	0.00	57166.67	
2-모멘트	19.00	1.00	38.00	44.50	1691.00	75249.50	1143.17	
합 계	216.00	Asp = 216.00			3382.00	150499.00	59453.00	

이음판 총길이 [모멘트 +전단] : Lt = 216.00 cm

⇒ T're_sp = Aw/[Lt - N_line×(직경 + 0.3)×2]×Fa/Fsa = 0.573cm < Ts ⇒ O.K

☞ 복부 이음판 응력 검토 ☜

ⓐ 가로보 단면에 대해

Ysu = 61.40cm Ysl = 61.40cm Is = 453510.9 cm^4

ⓑ 이음판 단면에 대해

Ysus = 54.00cm Ysls = 54.00cm Iss = 209952.0 cm^4

ⓒ 가로보 단면과 이음판 단면의 관계

Ds (가로보 단면중심 ~ 이음판 중심) = 0.00 cm

sIw = Iss + Asp × Ds^2 = 209952.0 cm^4

sIw'= Tw × Hw^3 /12 + Aw × Ds^2 = 144000.0 cm^4

Msw = Mo × sIw' / Is = 22.244 tonf · m

YSU(가로보 단면중심 ~ 이음판 상연) = Ysus - Ds = 54.00 cm

YSL(가로보 단면중심 ~ 이음판 하연) = Ysls + Ds = 54.00 cm

⇒ f_upper = Msw × YSU / sIw = 572.12 kgf/cm^2 < Fsa ⇒ O.K

⇒ f_lower = Msw × YSL / sIw = 572.12 kgf/cm^2 < Fsa ⇒ O.K

(4) [단계 5-4] 2축 응력의 검토 : 가로보 위치의 거더 응력의 검토 [도 · 설 P.126]

ⓐ 가로보 위치에서 거더의 응력 : fx = 1402.34 kgf/cm^2

V = 627.14 kgf/cm^2

ⓑ 거더에 사용된 강재 : SM490B ⇒ fa = 1900.00 kgf/cm^2

Va = 1100.00 kgf/cm^2

ⓒ 가로보의 휨에 의한 응력 : fy = 948.46 kgf/cm^2

ⓓ $[fx / fa]^2 - [fx / fa] \times [fy / fa] + [fy / fa]^2 + [v / va]^2 \leq 1.2$

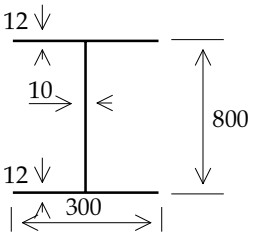
= 0.751 < 1.2 ⇒ O.K

5.3.6 [단계 6-1] 세로보의 설계

- 세로보의 거동은 5. 가로보의 설계에서 설명한 가로보의 거동과 동일하다.

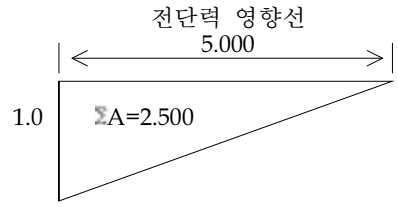
(1) 세로보의 단면력 산정

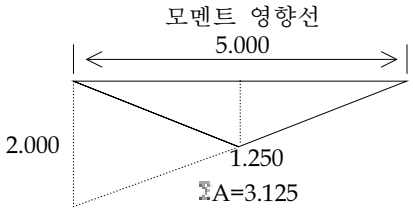
(단위 : cm)



구분	폭	두께	면적
상부 플랜지	30.0	1.2	36.0
복 부 판	80.0	1.0	80.0
하부 플랜지	30.0	1.2	36.0
Σ 면적			152.0
Σ 면적(할증:35%)			205.2

① 고정하중



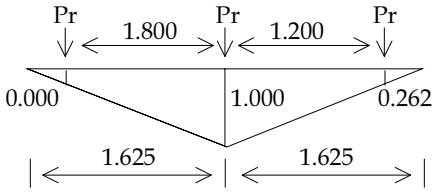


(단위 : tonf, m)

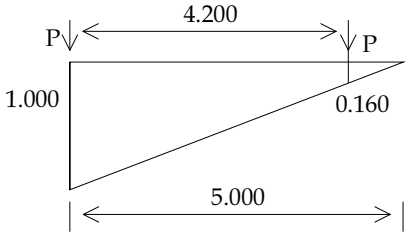
구 분	두 께	γ	폭	전단력	종 거	모멘트	비 고
포 장	0.080	2.30	1.625	0.748	1.25	0.934	
바 닥 판	0.250	2.50	1.625	2.539	1.25	3.174	
헌 치	0.050	2.50	0.400	0.125	1.25	0.156	
강 중	0.021	7.85		0.403	1.25	0.503	
Σ 고정하중				3.814		4.768	

② 활하중

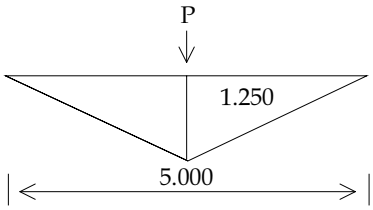
(a)



(c)전단력



(b) 모멘트



ⓐ 세로보의 길이 : L = 5.00 m

ⓑ 충격 계수 : Impact =15/(40+L)=0.333⇒0.30

ⓒ 차륜 하중 : Pr (후륜하중) = 9.60tonf

ⓓ P(활하중) = Pr × (1.0 ＋충격계수) ×Σ{종거(a)}

ⓔ 단면력 : 모멘트 = P × Σ{종거(b) : 모멘트}

전 단 = P × Σ{종거(c) : 전단력}

구분	(1)	(2)	(3)	Σ종거	단면력
종거ⓐ	-	1.000	0.262	1.262	P = 15.744
종거ⓑ	1.250	-	-	1.250	M = 19.680
종거ⓒ	1.000	0.160	-	1.160	S = 18.263

③ 작용 단면력

ⓐ 휨모멘트 : M_dead + M_live = 24.448 tonf · m

ⓑ 전 단 력 : S_dead + S_live = 22.077 tonf

(2) [단계 6-2] 세로보의 응력 검토

사용 플레이트 : SM400B Fsa = 1102.48 kgf/cm^2

사용 고장력볼트 : M22 (F10T) Pa = 4800.00 kgf [도 · 설 P.65]

이음부의 허용응력 : Fa = 826.86 kgf/cm^2 [도 · 설 P.90]

세로보 길이(고정점간의 거리) : L = 500.00 cm

작용 모멘트 : Mo = 24.448 tf · m : 국부효과

작용 전단력 : Sf = 22.077 tonf : 국부효과

부 재	판	두께	면적	Ix1	Yo	A×Y^2
상부 플랜지 (Bu×TU)	30.00	1.20	36.00	4.3	40.6	59341.0
복부판 (Hw×Tw)	80.00	1.00	80.00	42666.7	-	-
하부 플랜지 (Bl×Tl)	30.00	1.20	36.00	4.3	40.6	59341.0
합 계	140.00		152.00	42675.3		118681.9

I_total [cm^4] = 161357.2

허용응력[도 · 설 P.61, P.62]

Aw/Ac = 2.22 , L / Bu = 16.67

1) Aw/Ac ≤ 2 인 경우

ⓐ L/Bu ≤ 4.5 ⇒ 1400

ⓑ 4.5 < L / Bu ≤ 30.0 ⇒ 1400 - 24 × (L / Bu - 4.5)

2) Aw/Ac > 2 인 경우

K = √(3 + Aw / (2×Ac)) = 2.03

ⓐ K × L / Bu ≤ 9.0 ⇒ 1400

ⓑ 9.0 / K < L / Bu ≤ 30.0 ⇒ 1400 - 12 × (K × L / Bu - 9.0)

검토결과 : 2) - ⓑ ⇒ F_a = 1102.48 kgf/cm^2

Tau_a = 800.00 kgf/cm^2

☞ 응력 검토 ☜

1) F = Mo / I_total × Y_dis = 624.24 kgf/cm^2 < F_a ⇒ O.K

2) Tau = Sf / Aw = 275.97 kgf/cm^2 < Tau_a ⇒ O.K

(3) [단계 6-3] 이음판 설계

① 상부 및 하부 플랜지

소요 볼트 수 : N′req = Au × Fa / (2 × Pa) = 3.10 EA

반쪽 이음판 사용 볼트 수 = 3 EA (Zig-Zag)

선단으로부터 볼트까지의 거리 = 4.00 cm [도·설 P. 101] ⇒ O.K

피치(응력방향) = 8.00 cm [도·설 P. 100] ⇒ O.K

볼트와 볼트간 거리 = 8.00 cm [도·설 P. 100] ⇒ O.K

사용 이음판 재료

이음판 (1) : 30.0 cm × 1 cm(Ts) - 1 EA

이음판 (2) : 14.0 cm × 1 cm - 2 EA

이음판 총길이 : Lt = 58.0 cm

☞ 플랜지 이음판 두께 검토 ☜

T′re_splice = Au/[Min(직거리, 사거리)] × Fa / Fsa = 0.563 cm < Ts ⇒ O.K

모재의 소요단면적 : A_r′ = Au × Fa / Fsa = 27.00cm^2

모재의 순단면적 = [Bu - N_Line ×(Dia + 0.3)]× Tu = 33.00cm^2 >A_r′ ⇒ O.K

f_sp = Au×Fa/{[Lt - N_Line×(Dia + 0.3)×2]×Ts} = 561.64 kgf/cm^2 < Fsa ⇒ O.K

② 복부 이음판

ⓐ 모멘트 플레이트

거리

단면2차회전반경의 도심에서 플랜지 상단까지의 거리 : Y = 41.20 cm

플랜지 선단으로부터 첫번째 볼트까지의 거리 : go = 10.00 cm

첫번째 볼트로부터 두번째 볼트까지의 거리 : g1 = 10.00 cm

두번째 볼트로부터 마지막 볼트까지의 거리 : g_1 = 0.00 cm

전볼트로부터 첫번째 볼트까지의 거리 : g2 = 10.00 cm

전볼트로부터 두번째 볼트까지의 거리 : g3 = 10.00 cm

계산

b_1 = go + g1 / 2 = 15.00 cm

Fo = 상부 플랜지의 응력 = 826.86 kgf/cm^2

F_1 = Fo / Y ×[Y - (go + g1 / 2)] = 525.82 kgf/cm^2

P_1 = (Fo + F_1) / 2 × b_1 × Tw = 10145.11 kgf

소요 볼트 수

N′req = P_1 / (2 × Pa) = 1.06 EA

허용 사용 볼트 수 = 2 EA(1열당)

b_3 = (g2 + g3) / 2 = 10.00 cm

F_2 = Fo / Y × [Y - (go + g1 + g_1 + g2 / 2)] = 325.13 kgf/cm^2

F_3 = Fo / Y × [Y - (go + g1 + g_1 + g2 + g3 / 2)] = 124.43 kgf/cm^2

P_3 = (F_2 + F_3) / 2 × b_3 × Tw = 2247.78 kgf

소요 볼트 수

N'req = P_3 / (2 × Pa) = 0.23 EA

허용 사용 볼트 수 = 1 EA(1열당) 이상

실제 사용 볼트 수 = 2(Nm)EA × 2열

ⓑ 전단 플레이트

소요 볼트 수

N'req = S / (2 × Pa) = 2.30 EA

허용 사용 볼트 수 = 3 EA 이상

실제 사용 볼트 수 = 3(Ns)EA × 2열

⇒ 사용 볼트 수(모멘트 플레이트×2+전단 플레이트)=14 EA(반쪽 이음판에 대해)

☞ 볼트 한 개당 허용력 검토 ☜

모멘트 플레이트 : Fm_1 = P_1 / Nm = 5072.56 kgf/ea

전단 플레이트 : Fm_3 = P_3 / Ns = 1123.89 kgf/ea

전단에 의해 : F_sh = S / N_total = 1576.95 kgf/ea

∴ Fm = 5072.56 kgf/ea ∴ Fs = 1576.95 kgf/ea

⇒ f_bolt = $\sqrt{(Fm^2 + Fs^2)}$ = 5312.03 kgf < 2Pa = 9600.00 kgf ⇒ O.K

☞ 복부 이음판 두께 검토 ☜

< 사용 이음판 재료 >

이음판	L	T	A	Y	A×Y	A×Y²	Io	비 고
2-모멘트	19.00	1.00	38.00	24.50	931.00	22809.50	1143.17	
2-전 단	30.00	1.00	60.00	0.00	0.00	0.00	4500.00	
2-모멘트	19.00	1.00	38.00	24.50	931.00	22809.50	1143.17	
합 계	136.00	Asp = 136.00			1862.00	45619.00	6786.33	

이음판 총길이 [모멘트 +전단] : Lt = 136.00 cm

⇒ T're_sp = Aw/[Lt - N_line×(직경 + 0.3)×2]×Fa/Fsa = 0.594 cm < Ts ⇒ O.K

☞ 복부 이음판 응력 검토 ☜

ⓐ 세로보 단면에 대해

Ysu = 41.200 cm Ysl = 41.20 cm Is = 161357.2 cm^4

ⓑ 이음판 단면에 대해

Ysus = 34.000 cm Ysls = 34.00 cm Iss = 52405.3 cm^4

ⓒ 세로보 단면과 이음판 단면의 관계

Ds (세로보 단면중심 ~ 이음판 중심) = 0.00 cm

sIw = Iss + Asp × Ds^2 = 52405.3 cm^4

$sIw' = Tw \times Hw^3 / 12 + Aw \times Ds^2 = 42666.7\ cm^4$

$Msw = Mo \times sIw' / Is = 6.465\ tonf \cdot m$

YSU(세로보 단면중심 ~ 이음판 상연) = Ysus - Ds = 34.00 cm

YSL(세로보 단면중심 ~ 이음판 하연) = Ysls + Ds = 34.00 cm

$\Rightarrow$ $f_upper = Msw \times YSU / sIw = 419.42\ kgf/cm^2 < Fsa$ $\Rightarrow$ O.K

$\Rightarrow$ $f_lower = Msw \times YSL / sIw = 419.42\ kgf/cm^2 < Fsa$ $\Rightarrow$ O.K

(4) [단계 6-4] 2축 응력의 검토 : 세로보 위치의 가로보 응력의 검토[도・설 P.126]

ⓐ 세로보 위치에서 가로보의 응력 : $fx = 948.46\ kgf/cm^2$

$v = 271.50\ kgf/cm^2$

ⓑ 가로보에 사용된 강재 : SM400A $\Rightarrow$ $fa = 1400.00\ kgf/cm^2$

$va = 800.00\ kgf/cm^2$

ⓒ 세로보의 휨에 의한 응력 : $fy = 624.24\ kgf/cm^2$

ⓓ $[fx / fa]^2 - [fx / fa] \times [fy / fa] + [fy / fa]^2 + [v / va]^2 \leq 1.2$

$= 0.471 < 1.2 \Rightarrow$ O.K

5.3.7 [단계 7] 다이아프램의 설계

(1) [단계 7-1, 7-2] 다이아프램 간격 및 강성 산정

① 검토 위치 : 단부 받침부

② 다이아프램의 허용 최대 간격 (등가지간장 Lu $\leq$ 50 m 이므로) : Ld = 6.00 m

비틀림 변형 구속을 위한 다이아프램의 배치 간격 = 5.00 m $\leq$ Ld $\Rightarrow$ O.K

③ 다이아프램의 강성 검토

ⓐ 강재 탄성계수 : $Es = 2100000\ kgf/cm^2$

ⓑ 강재 포아송비 : $\nu = 0.3$

ⓒ 전단 탄성계수 : $G = 807692\ kgf/cm^2$

ⓓ 거더의 제원

(단위 : cm, EA)

구분	폭원	두께	돌출길이	종방향 보강재수	종방향 보강재간격	단면적	단면2차 모멘트
ⅰ. 상부플랜지	240.00	1.20	10.00	5		402.00	2045610.8
종방향보강재	15.00	1.20			40.00		
ⅱ. 하부플랜지	240.00	1.20	12.00	2		352.80	1897578.7
종방향보강재	15.00	1.20			80.00		
ⅲ. 복부	220.00	1.00				220.00	

ⓔ 다이아프램의 제원 : 두 께 : Td = 1.40 cm

단면적 : Aw = 182.00 cm^2

ⅰ. 구멍 제원 : 폭원(Bh) × 높이(Hh) = 50.00 cm × 90.00 cm

바닥플랜지 ~ 구멍중심의 거리 : Ch = 80.00 cm

수직부재의 중립축 거리 : B = 145.00 cm

상하부재의 중립축 거리 : H = 155.00 cm

ⅱ. 커버플레이트 : 폭원(Cl) × 높이(Ct) = 10.00 cm × 1.00 cm

면 적 : Af = 20.00 cm^2

ⓕ 다이아프램의 소요강성 계산

$\kappa = I\ell / B\ell + (Bu + 2\times B\ell) \times Fh / 12 = 21106.58$

$\lambda = Iu / Bu + (B\ell + 2\times Bu) \times Fh / 12 = 21723.38$

$\alpha = \kappa / (\kappa + \lambda) \times (Bu + B\ell) \times H / 4 = 13009.90$

$\beta = \lambda / (\kappa + \lambda) \times (Bu + B\ell) \times H / 4 = 13390.10$

$ID = \frac{1}{3} \times [\alpha^2 \times Fu \times (1 + 2 \times Bt / Bu) + \beta^2 \times F\ell \times (1 + 2 \times Bb / B\ell)^2$

$+ 2 \times (\alpha^2 - \alpha \times \beta + \beta^2) \times Fh] = 77702123376\ cm^4$

∴ 소요강성 : $K'req = 20 \times Es \times ID / Ld^3 = 15108746212\ cm^4$

④ 다이아프램의 강성

ⓐ 개구율 : $R = \sqrt{(A'/ A)} = 0.29194\ (R \leq 0.4) \Rightarrow$ 충복판 방식

ⓑ 다이아프램의 강성

K (충복판 방식) = 4 × Gs × (B × H) × Td = 101656153846 cm^4

K > K'req = 15108746212 cm^4 ⇒ O.K

(2) [단계 7-3] 다이아프램의 응력 검토

① 제 원

· 다이아프램의 강종 : SM490

· 다이아프램의 허용 응력

허용 휨 응 력 : fsa = 1900.00 kgf/cm^2

허용 전단응력 : va = 1100.00 kgf/cm^2

허용 지압응력 : fba = 2800.00 kgf/cm^2

· 받 침 반 력

Rv = 194.44 tonf

② 지압응력 (fb)

· 지압면적(A)

ⅰ. 받침부보강재 : 폭(Bs) × 두께(TS) = 15.00 cm × 1.40 cm

갯 수 : N = 4 EA

단 면 적 : A_stiff = 84.00 cm^2

ii. 다이아프램 : Be(유효폭) = B + 2 tf = 68.400 cm
B(소울플레이트 폭) = 66.00 cm
tf(하부플랜지 두께) = 1.20 cm
td(두께) = 1.40 cm
단 면 적 : A_dia = 95.76 cm^2

∴ 지압 면적 : Ab = A_stiff + A_dia =179.760 cm^2

· 지압응력 : fb = Rv_max / Ab = 1081.642 kgf/cm^2 < fba ⇒ O.K

③ 수직응력 (fv)

: 수직응력은 받침부 보강재와 다이아프램의 유효 단면적이 전체 수직 반력을 받을 때의 응력으로 받침부 보강재의 설계에서 계산되었음(받침부 보강재의 설계 참조).

· 수직응력 : fv = 1361.60 kgf/cm^2 < fba ⇒ O.K

④ 모멘트 및 전단력 산정 (양쪽 복부를 받침부로 가정)

ΣM_web2 = 0 ; R_web1 = 97.218 tonf M_max = 116.662 tonf · m

ΣV = 0 ; R_web2 = 97.218 tonf S_max = 97.218 tonf

· 단면 제원

< 폐 단 면 (받 침 부) >

(단위 : cm)

구분	B	H	A	Y	A · Y	$A \cdot Y^2$	Io
상부플랜지	28.80	1.20	34.56	-110.60	-3822.336	422750.362	4.147
상부다이아프램	1.40	220.00	308.00	-	-	-	1242266667
하부다이아프램	-	-	-	-	-	-	-
하부플랜지	28.80	1.20	34.56	110.60	3822.336	422750.362	4.147
Σ			377.120			845500.723	1242274.961

< 개 단 면 (개 구 부) >

(단위 : cm)

구 분	B	H	A	Y	A · Y	$A \cdot Y^2$	Io
상부플랜지	28.80	1.20	34.56	-110.60	-3822.336	422750.362	4.147
상부다이아프램	1.40	85.00	119.00	-67.50	-8032.500	542193.750	71647.917
하부다이아프램	1.40	45.00	63.00	87.50	5512.500	482343.750	10631.250
하부플랜지	28.80	1.20	34.56	110.60	3822.336	422750.362	4.147
Σ			251.12		-2520.000	1870038.223	82287.461

· 중 립 축 편 심: $e_y = A \cdot Y / A$ [(-)부호가 중립축에서 상향방향임.]

폐단면(받침부) : e_y = 0.00cm 개단면(개구부) : e_y = -10.035 cm

· 단면 2차모멘트: $Is = Io + A \cdot Y^2 - A \cdot e_y^2$

폐단면(받침부) : Is = 2087775.7 cm^4 개단면(개구부) : Is = 1927037.4 cm^4

ⅰ. 휨 응 력 : fh = M・Y / I (M = 116.66 tonf・m)

폐단면(받침부) : fhu = 621.37 kgf/cm^2 개단면(개구부) : fhu = 612.45 kgf/cm^2

fhl = 621.37 kgf/cm^2 fhl = 612.45 kgf/cm^2

fh_max = 621.37 kgf/cm^2 < fsa = 1900.00 kgf/cm^2 ⇒ O.K

ⅱ. 전 단 응 력 : v = S / A_dia

폐단면(받침부) : s = 97.22 tonf 개단면(개구부) : s = 97.22 tonf

폐단면(받침부) : v = 315.64 kgf/cm^2 개단면(개구부) : v = 534.17 kgf/cm^2

v_max = 534.17 kgf/cm^2 < va = 1100.00 kgf/cm^2 ⇒ O.K

⑤ 2축응력상태의 검산 [도・설 P 126] : 수직방향과 수평방향의 2축응력상태가 발생.

$(fv/fa)^2 - (fv/fa)\cdot(fh/fa) + (fh/fa)^2 + (v/va)^2$

= 0.47 [폐단면(받침부)] ≤ 1.20 ⇒ O.K

= 0.62 [개단면(개구부)] ≤ 1.20 ⇒ O.K

5.3.8 [단계 8] 피로검토

(1) 피로 설계 개요

① 개요

반복응력을 받는 부재와 이음부의 설계시 최대응력은 기본 허용응력을 초과하지 않아야 하며, 응력범위는 허용피로응력 범위를 초과해서는 안된다. 허용피로응력 범위, 응력의 종류와 범주 및 설계응력 반복횟수는 [도・설 P.65~ 73]에 제시되었으며, 대표적인 검토단면 일부만 다음과 같이 나타내었다.

<피로해석 단계>

② 검토방법

피로응력의 검토 방법에는 국내 도로교 설계기준에 의거한 방법과 AASHTO시방서에 의한 검토 방법이 있으나, 본 설계에서는 국내 도로교 설계기준에 의한 방법을 이용하여 검토한다.

: 설계하중 이하의 반복적인 활하중에 의한 응력 차<도・설 P.73>

: <도・설 P.66>

: 단재하 혹은 다재하 경로 구조물 <도・설 P.66>

: <도・설 P.66>

(2) [단계 8-1, 8-2, 8-3, 8-4, 8-5] 거더(단재하)의 피로 검토

① 피로설계 검토 대상 부위의 설정

- 활하중에 의한 모멘트 차가 크게 발생되는 경간의 정모멘트부와 부모멘트부를 선택하여 응력에 대해 검토하고, 이 응력이 허용피로응력보다 작은 경우 안전한 것으로 판다한다.

② 허용피로응력 범위 [도・설 P.66]

- 재하경로 : 단재하경로 (한 부재의 파괴로 전체 구조가 붕괴되는 구조물 : 주부재)
- 응력반복횟수 [도・설 P.73]
- 응력범위는 활하중에 의한 최대응력과 최소응력의 대수차 임.
  (인장응력은 압축부와 부호가 반대이다.)

<설계응력 반복 횟수>

도로의 종류	트럭하중	차선하중	비 고
고속도로, 국도 등 주간선도로	200 만	50 만	◉
기 타 도 로	10 만	10 만	

<허용피로응력범위>

재 하 경 로	응력 범주	허용피로응력범위 , fsr (kgf/cm^2)				비 고
		10 만회	50 만회	200 만회	200 만회이상	
다재하경로 구 조 물	B	3440	2030	1260	1120	
	C	2500	1470	910	700	
	D	1960	1120	700	490	
	E	1540	910	560	310	
단재하경로 구 조 물	B	2740	1610	1120	1120	
	C	1960	1120	700	630	◉
	D	1540	910	560	350	
	E	1190	700	420	160	

③ 허용 응력 검토 (Design Step 8.6)

- 단면에 대한 제원은 본 상부 구조계산서 거더 설계 중 응력 검토 참조

구 분			요소 번호	활하중 모멘트 (tonf · m)		단면 2차 모멘트 (cm^4)	응력(kgf/cm^2)				비고
구간	단면 형태	하중 형태		(+) / (-)	합계		상연응력 Ysu	상연응력 fsu	하연응력 Ysl	하연응력 fsl	
정모멘트구간	1	DB24	264-1	417.53 / 77.57	495.10	14318889	25.66	88.71	156.74	541.97	O.K
		DL24	264-1	418.88 / 111.57	530.45			95.04		580.67	O.K
	2	DB24	239-4	553.21 / 138.07	691.28	16904725	31.05	126.96	151.95	621.37	O.K
		DL24	239-4	679.89 / 346.15	1026.04			188.45		922.28	O.K
부모멘트구간	3	DB24	233-1	111.59 / 390.77	502.36	22020448	103.84	236.89	123.36	281.43	O.K
		DL24	233-1	286.70 / 915.88	1202.58			567.09		673.70	O.K
	4	DB24	233-4	139.47 / 441.40	580.87	32907519	121.79	214.97	134.21	236.91	O.K
		DL24	233-4	307.41 / 1221.48	1528.89			565.83		623.55	O.K

④ 피로응력에 대한 안전 판단

- 경간의 중앙부와 교각부에서 발생된 피로응력이 허용피로응력보다 작으므로 피로에 대한 안정성을 확보하고 있다.

(3) [단계 8-1, 8-2, 8-3, 8-4, 8-5] 2차부재(다재하)의 피로 검토

① 피로설계 검토 대상 부위의 설정

- 활하중에 의한 모멘트 차가 크게 발생되는 정모멘트부와 부모멘트부를 선택하여 응력에 대해 검토하고, 이 응력이 허용피로응력보다 작은 경우 안전한 것으로 판단한다.

② 허용피로응력범위 [도・설 P.66]

- 재하경로 : 다재하경로 (한 부재의 파괴로 전체적인 파괴가 일어나지 않도록 한 구조물 : 2차부재)
- 응력반복횟수[도・설 P.66]
- 응력범위는 활하중에 의한 최대응력과 최소응력의 대수차 임.
  (인장응력은 압축부와 부호가 반대이다.)
- 플랜지와 종방향 보강재와의 용접부, 수직. 수평보강재 및 가로보 이음판과 복부판과의 용접부는 응력범주 B로 검토하고, 플랜지와 수직보강재와의 용접부는 응력범주 E로 피로응력을 검토한다.

<응력반복횟수>

연평균일교통량(AADT)	DB - 24	DL - 24	비 고
2500 이상	200 만	50 만	◉
2500 이하	50 만	10 만	

<허용피로응력범위>

재 하 경 로	응 력 범 주	허용피로응력범위 , fsr (kgf/cm^2)				비 고
		10 만회	50 만회	200 만회	200 만회 이상	
다재하경로 구 조 물	B	3440	2030	1260	1120	◉
	C	2500	1470	910	700	
	D	1960	1120	700	490	
	E	1540	910	560	310	◉
단재하경로 구 조 물	B	2740	1610	1120	1120	
	C	1960	1120	700	630	
	D	1540	910	560	350	
	E	1190	700	420	160	

③ 허용응력 검토 (Design Step 8.6)

- 단면에 대한 제원은 본 상부 구조계산서 거더 설계 중 응력 검토 참조

구분			요소 번호	활하중 모멘트 (tonf · m)		단면 2차 모멘트 (cm^4)	응력(kgf/cm^2)				비고
구간	검토 위치	하중 형태		(+) (-)	합계		상연응력 Ysu	상연응력 fsu	하연응력 Ysl	하연응력 fsl	
정모멘트구간	ⓐ,ⓑ	DB24	범주B 범주E	553.21 / 138.07	691.28	16904725	31.05	126.96	151.95	551.37	O.K
	ⓐ,ⓑ	DL24	범주B 범주E	679.89 / 346.15	1026.04			188.45		902.28	O.K
부모멘트구간	ⓐ,ⓑ	DB24	범주B 범주E	139.47 / 441.40	580.87	32907519	121.79	214.97	134.21	236.91	O.K
	ⓐ,ⓑ	DL24	범주B 범주E	307.41 / 1221.48	1528.89			565.83		623.55	O.K

④ 피로응력에 대한 안전 판단

- 활하중에 의한 모멘트차가 크게 발생되는 정모멘트부와 부모멘트부에서 발생된 피로응력이 허용 피로응력보다 작으므로 피로에 대한 안정성을 확보하고 있다.

(4) 전단연결재의 피로검토

① 개요

전단연결재의 간격은 하나의 열에 있는 모든 전단연결재의 허용수평전단력 범위 ($\sum Zr$)를 수평 전단력 범위(Sr)로 나누어 결정된다.

② 전단연결재에 작용하는 수평전단력 범위(Sr) (Design Step 8. 1)

$Sr = Vr \cdot Q / I$

Sr : 바닥판과 거더 접합부에서의 수평전단력 범위

Vr : 충격을 고려한 활하중만에 의한 전단력 범위

전단력 범위는 최대 전단력과 최소 전단력의 차이이다.

Q : 합성단면의 중립축에 대한 단면1차 모멘트

정모멘트 구간 : 콘크리트의 단면적을 고려하여 계산한 값

부모멘트 구간 : 바닥판의 철근 단면적만 고려하여 계산한 값

I : 단면2차모멘트

정모멘트 구간 : 합성단면에 대한 값

부모멘트 구간 : 철근 단면적을 제외한 거더만에 대한 값

③ 하나의 전단연결재가 받을 수 있는 허용수평전단력 범위 (Zr)

β (반복 횟수에 따른 계수) [단계 8.2, 8.3, 8.4, 8.5]

반복 횟수	β	비고
10만	915	
50만	745	
200만	550	
200만 이상	385	◉

d = 2.20 cm (스터드의 직경)

H = 15.00 cm(스터드의 높이)

$Zr = \beta \cdot d^2 = 1863.40$

n = 8 EA (거더 당 횡방향 스터드 개수)

$\sum Zr = \sum(\beta \cdot d^2) = 14907.20$

④ 피로 검토 [단계 8.6]

가. 단부 받침부

Sr = Vr · Q / Iv = 472.43

Vr = 97.97 tonf

Q = 69048.85 cm^3

Iv = 14318889.2 cm^4

Ac = 12800.00 cm^2

Dvc = 43.16 cm

N = 8 (탄성계수비)

※ 전단연결재 간격 검토

$\sum Zr$ / Sr = 31.6 cm > 사용 전단연결재 간격 = 12.5 cm ⇒ O.K

나. 중간받침부

Sr = Vr · Q / Iv = 936.02

Vr = 138.21 tonf

Q = 222859.84 cm^3

Iv = 32907518.8 cm^4

Ac = 12800.00 cm^2

Dvc = 139.29 cm

N = 8 (탄성계수비)

※ 전단연결재 간격 검토

$\sum Zr$ / Sr = 15.9 cm > 사용 전단연결재 간격 = 12.5 cm ⇒ O.K

5.3.9 [단계 9] 활하중 처짐에 대한 사용성 검토

(1) 활하중 처짐에 대한사용성 검토

① 거더-1

(단위 : m)

절점	변 위			회 전		
	교축방향	교축직각방향	연직방향	교축방향	교축직각방향	연직방향
1	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	-0.0013	0.0000
2	0.0000	0.0000	-0.0122	-0.0004	-0.0012	0.0000
3	0.0000	0.0000	-0.0229	-0.0006	-0.0011	0.0000
4	0.0000	0.0000	-0.0305	-0.0007	-0.0008	0.0000
5	0.0000	0.0000	-0.0341	-0.0008	-0.0005	0.0000
6	0.0000	0.0000	-0.0330	-0.0007	-0.0007	0.0000
7	0.0000	0.0000	-0.0276	-0.0006	-0.0014	0.0000
8	0.0000	0.0000	-0.0193	-0.0004	-0.0017	0.0000
9	0.0000	0.0000	-0.0098	-0.0002	-0.0019	0.0000
10	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0018	0.0000
11	0.0000	0.0000	-0.0111	-0.0003	-0.0017	0.0000
12	0.0000	0.0000	-0.0234	-0.0005	-0.0015	0.0000
13	0.0000	0.0000	-0.0357	-0.0007	-0.0013	0.0000
14	0.0000	0.0000	-0.0464	-0.0009	-0.0010	0.0000
15	0.0000	0.0000	-0.0538	-0.0011	-0.0007	0.0000
16	0.0000	0.0000	-0.0570	-0.0011	-0.0007	0.0000
17	0.0000	0.0000	-0.0554	-0.0011	-0.0010	0.0000
18	0.0000	0.0000	-0.0492	-0.0009	-0.0016	0.0000
19	0.0000	0.0000	-0.0389	-0.0007	-0.0023	0.0000
20	0.0000	0.0000	-0.0264	-0.0005	-0.0025	0.0000
21	0.0000	0.0000	-0.0130	-0.0003	-0.0026	0.0000
22	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0024	0.0000
23	0.0000	0.0000	-0.0130	-0.0003	-0.0022	0.0000
24	0.0000	0.0000	-0.0266	-0.0005	-0.0019	0.0000
25	0.0000	0.0000	-0.0398	-0.0007	-0.0015	0.0000
26	0.0000	0.0000	-0.0509	-0.0009	-0.0011	0.0000
27	0.0000	0.0000	-0.0581	-0.0011	-0.0007	0.0000
28	0.0000	0.0000	-0.0607	-0.0011	-0.0008	0.0000
29	0.0000	0.0000	-0.0583	-0.0011	-0.0011	0.0000
30	0.0000	0.0000	-0.0512	-0.0009	-0.0018	0.0000
31	0.0000	0.0000	-0.0402	-0.0007	-0.0024	0.0000
32	0.0000	0.0000	-0.0269	-0.0005	-0.0026	0.0000
33	0.0000	0.0000	-0.0132	-0.0003	-0.0026	0.0000
34	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0024	0.0000
35	0.0000	0.0000	-0.0135	-0.0003	-0.0022	0.0000

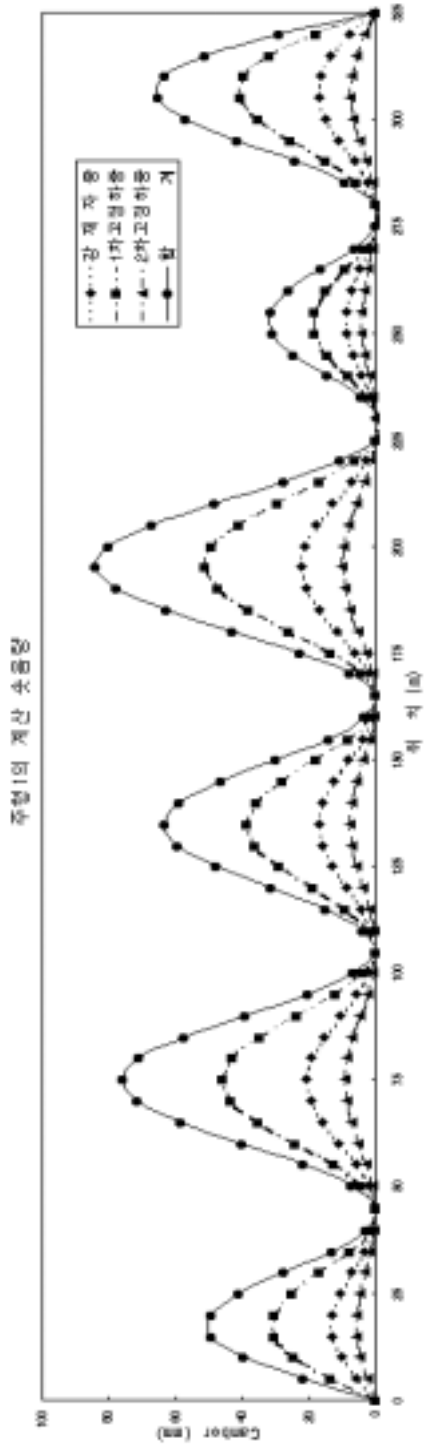
절점	변 위			회 전		
	교축방향	교축직각방향	연직방향	교축방향	교축직각방향	연직방향
36	0.0000	0.0000	-0.0274	-0.0005	-0.0018	0.0000
37	0.0000	0.0000	-0.0407	-0.0007	-0.0014	0.0000
38	0.0000	0.0000	-0.0516	-0.0009	-0.0009	0.0000
39	0.0000	0.0000	-0.0585	-0.0011	-0.0006	0.0000
40	0.0000	0.0000	-0.0607	-0.0011	-0.0007	0.0000
41	0.0000	0.0000	-0.0579	-0.0011	-0.0012	0.0000
42	0.0000	0.0000	-0.0505	-0.0009	-0.0018	0.0000
43	0.0000	0.0000	-0.0393	-0.0007	-0.0024	0.0000
44	0.0000	0.0000	-0.0262	-0.0005	-0.0026	0.0000
45	0.0000	0.0000	-0.0127	-0.0003	-0.0025	0.0000
46	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0023	0.0000
47	0.0000	0.0000	-0.0111	-0.0002	-0.0020	0.0000
48	0.0000	0.0000	-0.0222	-0.0005	-0.0016	0.0000
49	0.0000	0.0000	-.0324	-0.0007	-0.0012	0.0000
50	0.0000	0.0000	-0.0400	-0.0008	-0.0007	0.0000
51	0.0000	0.0000	-0.0437	-0.0009	-0.0005	0.0000
52	0.0000	0.0000	-0.0430	-0.0009	-0.0008	0.0000
53	0.0000	0.0000	-0.0381	-0.0008	-0.0013	0.0000
54	0.0000	0.0000	-0.0298	-0.0007	-0.0018	0.0000
55	0.0000	0.0000	-0.0198	-0.0005	-0.0020	0.0000
56	0.0000	0.0000	-0.0095	-0.0002	-0.0019	0.0000
57	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0017	0.0000
58	0.0000	0.0000	-0.0096	-0.0002	-0.0014	0.0000
59	0.0000	0.0000	-0.0191	-0.0004	-0.0010	0.0000
60	0.0000	0.0000	-0.0274	-0.0006	-0.0006	0.0000
61	0.0000	0.0000	-0.0329	-0.0008	-0.0001	0.0000
62	0.0000	0.0000	-.0343	-0.0009	-0.0004	0.0000
63	0.0000	0.0000	-0.0311	-0.0008	-0.0011	0.0000
64	0.0000	0.0000	-0.0237	-0.0007	-0.0018	0.0000
65	0.0000	0.0000	-0.0129	-0.0004	-0.0023	0.0000
66	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	-0.0025	0.0000

○ 허용처짐량 = 경간 / 500 = 60 / 500 = 0.012 m [도・설. P.53]

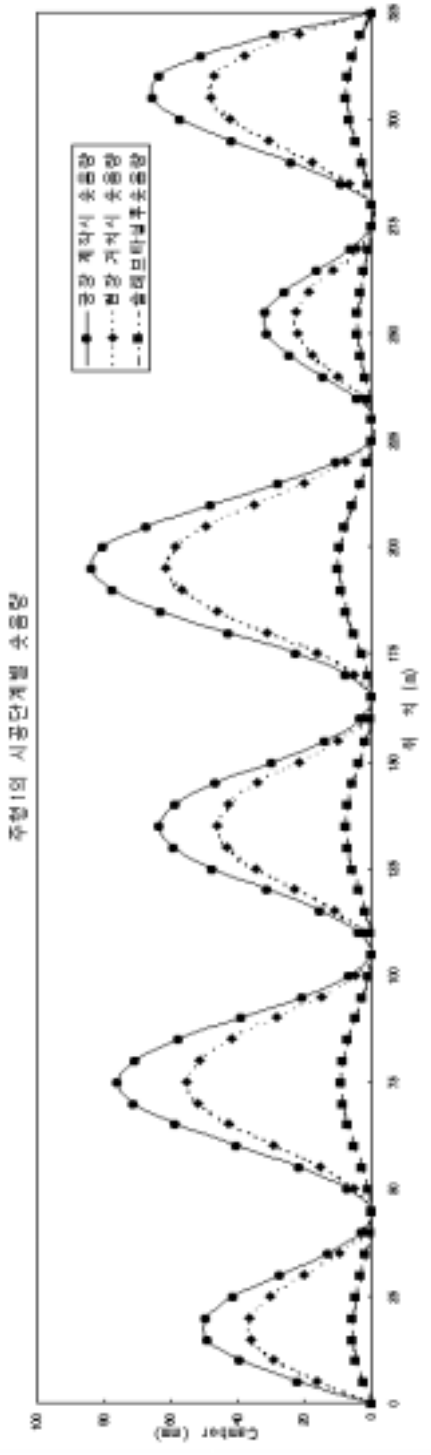
==>> 모든 절점에서 허용처짐량 이내이므로 사용성을 만족한다.

(2) 솟음량 산정

ⓐ 거더 1의 계산 솟음량



ⓑ 거더 1의 시공단계별



5.3.10 [단계 10] 신축이음장치 및 받침장치 설계

(1) 신축이음장치 설계

① 설계 일반사항

거더 높이 : H = 2.500 m

온도 (max) : Tmax = 40.000 ℃

온도 (min) : Tmin = -10.000 ℃

선팽창 계수 : α = 0.000012

탄성계수 : E = 2100000kgf/cm^2

받침회전 : δ= 1 / 150 rad

설치 여유량 : Lex_1 = 10.0 mm

부가 여유량 : Lex_2 = 0.0 mm

☞ 교량받침 제원 ☜

(단위 : m)

경간번호	1	2	3	4	5	6	7
X 좌표	0.00	45.00	105.00	165.00	225.00	280.00	325.00
거 리	165.00	120.00	60.00	0.00	60.00	115.00	160.00
구속조건	가동	가동	가동	고정	가동	가동	가동
	(exp.j)						(exp.j)

☞ 온도변화에 의한 이동량 ☜ (T = 15.0 ℃ 표준, 단위 : mm)

$\Delta Lt = \alpha \cdot L \cdot \Delta t \cdot 1000$ ⇒ $\Delta Lt(+) = 0.300 \times L$ $\Delta Lt(-) = -0.300 \times L$

경간번호	1	2	3	4	5	6	7
ΔLt(+)	49.5	36.0	18.0	0.0	18.0	34.5	48.0
ΔLt(-)	-49.5	-36.0	-18.0	0.0	-18.0	-34.5	-48.0

☞ 활하중으로 인한 거더의 처짐에 의한 이동량 ☜

$\Delta Lr = \frac{2}{3} H \cdot (1 / 150) \cdot 1000 = 11.1$ mm

② 가동받침의 이동량 계산

$\Delta L(Bearing) = \Delta Lt + \Delta Lr + Lex_1$

경간번호	1	2	3	4	5	6	7
ΔLt(+)	70.6	46.0	28.0	0.0	28.0	44.5	69.1
ΔLt(-)	-59.5	-46.0	-28.0	0.0	-28.0	-44.5	-58.0

③ 신축 이음량 계산

ΔL(신축량) = $\Delta Lt + \Delta Lr + Lex_1 + Lex_2$

경간번호	1(시점)	2(시점)
ΔLt(+)	59.5	58.0
ΔLt(-)	-70.6	-69.1
합계	130.1	127.1

※ NOTE : 1. 설계자는 계산된 신축이음량을 기초로 하여 본 이음량보다 큰 용량을 가진 신축이음장치를 선정한다.

2. 상기의 가동 받침 이동량과 신축 이음량 계산은 가설시 온도 15℃를 기준으로 계산한 것이므로, 가설시 온도가 15℃가 아닐 경우에는 현장 상황에 맞게 재검토 되어야 한다.

(2) 교량받침 설계

① 설계 일반사항

풍하중에 의한 반력 산정 (교대)

· 교량 상부 총폭 : B = 10.24 m

· 거더의 높이 : D_1 = 2.50 m

· 거더의 갯수 : N = 2 EA

· 난간(바닥판과 포장 포함)의 높이 : D_2 = 1.43 m

· 중앙분리대(포장 상단부터)의 높이 : D_3 = 0.81 m

· 교량 상부 총높이 : $D = D_1 + D_2$ = 3.93 m

· 해석하는 받침에 풍하중의 영향을 미치는 교량 상부의 길이 : L = 22.50 m

· 교량 상부에 작용하는 풍하중(W)

$B / D = 2.606 < 8.00 \Rightarrow w = [400 - 20 (B / D)] \quad (\geq 600 / D)$

$= 347.89 \ Kgf/m^2 \geq 152.67 \ kgf/m^2$

$\therefore \ W = 1/2 \times (347.89 \times 22.50) = 3913.74 kgf/m = 3.91 \ tonf/m$ (활하중 재하시)

· 풍하중에 의한 비틀림모멘트(Mt)

ⓐ 풍상측 부재 : $Mt_1 = W D^2 / 2 = 30.22$ tonf.m

ⓑ 풍하측 부재 : $Mt_2 = (W/2)[D_3^2 + (N-1) D_1^2]/2 = 6.76$ tonf · m

$\therefore \ Mt = Mt_1 + Mt_2 = 36.98$ tonf · m

· 비틀림모멘트에 의한 각 받침의 반력(Rt) : $Rt = Mt \cdot x / \Sigma x^2$

(x : 교량 중심에서 각 받침까지의 거리, $\Sigma x^2 = 15.96 \ m^2$)

교량받침	x (m)	Mt · x	Rt(tonf)
1	2.83	104.47	6.55
2	2.83	104.47	6.55

② 풍하중에 의한 반력 산정 (교각)

· 교량 상부 총폭 : B = 10.24 m

· 거더의 높이 : D_1 = 2.50 m

· 거더의 갯수 : N = 2 EA

· 난간(바닥판과 포장 포함)의 높이 : D_2 = 1.43 m

· 중분대(포장 상단부터)의 높이 : D_3 = 0.81 m

· 교량 상부 총높이 : $D = D_1 + D_2 = 3.93$ m

· 해석하는 받침에 풍하중의 영향을 미치는 교량 상부의 길이 : L = 60.00 m

· 교량 상부에 작용하는 풍하중(W)

$B / D = 2.61 < 8.00 \Rightarrow w = [400 - 20 (B / D)] \ (\geq 600 / D)$

$= 347.89 \text{ kgf/m}^2 \geq 152.67 \text{ kgf/m}^2$

$\therefore W = 1/2 \times (347.89 \times 60.00) = 10436.64 \text{ kgf/m} = 10.44 \text{ tonf/m}$

(활하중 재하시)

· 풍하중에 의한 비틀림모멘트(Mt)

ⓐ 풍상측 부재 : $Mt_1 = W D^2 / 2 = 80.60$ tonf · m

ⓑ 풍하측 부재 : $Mt_2 = (W/2) [D_3^2 + (N- 1) D_1^2] / 2 = 18.02$ tonf · m

$\therefore Mt = Mt_1 + Mt_2 = 98.62$ tonf · m

· 비틀림모멘트에 의한 각 받침의 반력(Rt)

(x : 교량 중심에서 각 받침까지의 거리, $\Sigma x^2 = 15.96 \text{ m}^2$)

교량받침	x (m)	Mt · x	Rt(tonf)
1	2.83	278.59	17.45
2	2.83	278.59	17.45

③ 교량받침용량 선정을 위한 반력집계표 (단위 : tonf)

		절점번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	고정하중 합 계	풍하중	지점 침하	활하중	총반력	받침 용량
교각5	받침1	1	75.218	20.669	95.887	6.545	4.144	75.693	182.269	250
	받침2	201	81.418	18.476	99.894	6.545	4.144	80.045	190.628	250
교각6	받침1	10	322.960	80.404	403.364	17.454	10.610	175.063	606.491	700
	받침2	210	340.741	73.828	414.569	17.454	10.610	183.806	626.439	700
교각7	받침1	22	323.327	81.146	404.473	17.454	13.285	185.237	620.449	700
	받침2	222	342.540	74.106	416.646	17.454	13.285	194.399	641.784	700
교각8	받침1	34	327.710	82.067	409.777	17.454	13.854	187.010	628.095	700
	받침2	234	346.917	75.032	421.949	17.454	13.854	196.186	649.443	700
교각9	받침1	46	308.820	77.299	386.119	17.454	14.558	180.423	598.554	700
	받침2	246	327.223	70.562	397.785	17.454	14.558	189.282	619.079	700
교각10	받침1	57	304.866	75.802	380.668	17.454	11.958	169.760	579.840	700
	받침2	257	322.117	69.439	391.556	17.454	11.958	178.342	599.310	700
교대2	받침1	66	78.960	21.705	100.665	6.545	4.435	74.787	186.432	250
	받침2	266	84.892	19.590	104.482	6.545	4.435	78.974	194.436	250

④ 하부구조계산을 위한 반력집계표 (단위 : tonf)

		절점번호	고정하중	활 하 중		
				1차선 재하	2차선 재하	3차선 재하
교각5	받침1	1	95.887	1.891	24.989	67.516
	받침2	201	99.894	53.092	80.045	73.765
교각6	받침1	10	403.364	3.646	59.316	155.787
	받침2	210	414.569	120.494	183.806	171.551
교각7	받침1	22	404.473	3.109	61.772	164.117
	받침2	222	416.646	127.744	194.399	180.678
교각8	받침1	34	409.777	3.931	63.469	166.451
	받침2	234	421.949	128.644	196.186	183.055
교각9	받침1	46	386.119	3.864	61.287	160.647
	받침2	246	397.785	124.128	189.282	176.731
교각10	받침1	57	980.668	3.438	57.216	150.955
	받침2	257	391.556	117.052	178.342	166.021
교대2	받침1	66	100.665	1.915	24.949	66.775
	받침2	266	104.482	52.237	78.974	72.836

507
철근콘크리트교

507.1 개요

1.1 RC교의 일반사항

철근콘크리트 교량은 1890년대 말 프랑스의 Hennebique에 의해 비롯되었고, 이후 스위스의 Robert Maillart가 1901년 철근콘크리트 교량을 설계했으며 스위스의 라인강을 횡단하는 3힌지 박스단면 교량을 건설하였다. 프랑스의 Freyssinet는 1930년 Elom강 횡단교로 다경간으로 된 장경간 철근콘크리트 아치교를 건설하였으며 경간장은 178m에 달하였다. 1930년대 콘크리트 교량의 경간장은 슬래브 이용시 최대 12m이고 슬래브와 T형보 이용시 보높이와 경간장 비는 12로서 최대 경간장은 30m정도였다. 현재까지도 단순 철근콘크리트 교량은 일반적으로 30m이하 지간에 주로 사용되고 있다.

철근콘크리트 재료는 내구성・강성・경제성 등이 좋으며 원하는 교량 형식을 비교적 쉽게 만들 수 있다. 콘크리트 사용의 장점은 구조물의 모양을 다양하게 할 수 있다는 것이다. 그러나 적절한 교량형식을 선정하는데 있어서 일반적으로 건설비용이 결정 기준으로 된다. 이러한 교량형식의 선정은 사하중의 활하중에 대한 비율・외관・형고 제약・형하고・제한된 공기・인건비 및 현장 교통 소통의 어려움과 같은 요소에 의해 달라지므로 이를 충분히 고려하여야 한다.

1.2 RC교의 형식

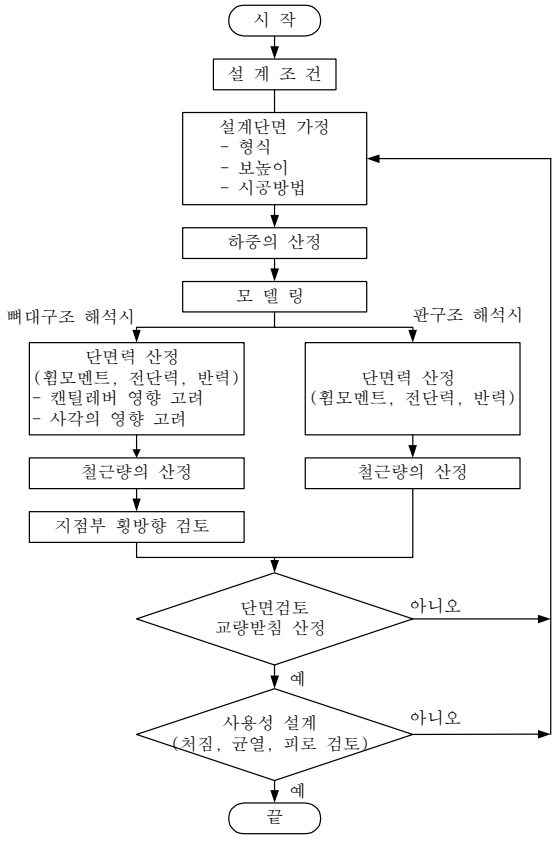
콘크리트교량을 상부구조 형식에 따라 나누어보면 일반적으로 슬래브교, T형교, 박스교 및 다양한 형식의 라멘교가 있다. 이러한 교량들은 단경간 단순교 또는 다경간 연속교로 이용될 수 있다.

본장에서는 철근콘크리트 교량에서 대부분을 차지하고 있는 슬래브교, 라멘교의 특징과 설계에 관한 일반사항에 대해 자세히 살펴보고 기타 교량은 간략히 기술한다.

507.2 RC교의 설계일반

2.1 구조해석방법

철근콘크리트교에 대한 설계단면력의 산정에 있어서 슬래브교는 판이론으로 빔교는 격자이론에 의해 실시하는 것이 일반적이며 구조해석은 [도・설 제4장] 콘크리트교편에 따라 해석한다. 판구조 해석과 뼈대(frame) 구조해석을 고려한 철근콘크리트 교량의 일반적인 설계흐름도를 도식화하면 <그림 507.1>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 507.1> RC교의 설계흐름도

2.2 사용성 설계

강도설계법에 의한 하중계수와 강도에 대하여 설계된 휨 부재는 균열·피로에 대한 시방규정과 휨 철근의 배근에 대한 규정을 만족하여야 한다. 또한 처짐 조절에 대한 시방규정도 충족되어야 한다[도·설 4.4.9.1].

2.2.1 처짐 제한

교량구조물의 휨부재는 사용하중과 충격에 의해 구조물 강도나 공용중 해로운 영향을 주는 처짐이나 변형이 발생하지 않도록 충분한 강성으로 설계되어야 한다. 처짐계산에 의해 더 작은 두께를 사용할 수 있는 경우를 제외하고는 상부구조물 최소높이는 <표 507.1>에 따라도 좋다[도·설 4.4.9.5].

<표 507.1> 높이가 일정한 부재의 최소높이

상부구조의 형식	최소높이(m)	
	단순지간	연속지간
주철근이 차량 진행 방향에 나란하거나 직각인 교량 슬래브	1.2(S+3)/30	(S+3)/30
T형거더	0.070S	0.065S
박스거더	0.060S	0.055S
보행구조거더	0.033S	0.033S

[주] 높이가 변하는 부재가 사용되는 경우 위의 값은 정모멘트와 부모멘트 단면의 상대적 강성변화를 감안하여 조정될 수 있다.
S : 받침부와 일체로 되어있지 않는 부재에서는 순경간에 부재의 두께를 더한 값으로서, 이 값이 받침부의 중심간 거리를 초과할 수 없음. 연속구조물과 뼈대구조물 해석에서 휨모멘트를 구할 때 사용하는 경간은 받침부 중심간거리[도·설 4.2.2.9].

2.2.2 균열검토

콘크리트의 휨균열을 조절하기 위해서는 인장철근이 최대 인장구역내에 적절히 분포되어야 한다[도·설 4.4.9.4]. 휨모멘트 및 축방향력에 의한 콘크리트의 인장응력이 콘크리트의 설계 인장강도의 60%보다 작을 경우에는 휨균열 검토를 요구하지 않으며, 인장철근의 설계하중강도가 3,000kgf/cm2 이상인 경우에는 사용하중에 의한 휨균열폭을 다음 식 (507.1)에 의해 구하고 균열폭이 <표 507.2>의 허용균열폭 w_a 이하가 되도록 하여야 한다.

$$w = 1.08 R f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} (mm) \qquad (507.1)$$

여기서, R : 단면의 주철근의 도심으로부터 중립축까지의 거리에 대한 단면의 인장부 연단에서부터 중립축까지의 거리의 비, 보에 대

한 값은 1.2, 슬래브에 대한 값은 1.35를 취하여도 좋다.

f_s : 사용하중에서 계산된 철근의 응력(kgf/cm^2), 개략적인 균열상태를 알고자 하는 경우에는 0.6 σ_y를 취하여 검토할 수 있다.

d_c : 최대인장연단에서 이 연단에 가장 가까이 놓여있는 철근중심까지의 콘크리트의 피복두께(cm)

A : 주인장 철근 주위의 인장부 콘크리트 단면적을 철근의 개수로 나눈 유효인장단면적(cm^2)

<표 507.2> 허용균열폭

강재의 종류	강재의 부식에 대한 환경조건			
	건조한 환경	일반환경	부식성 환경	극심한 부식성 환경
철근	0.006C	0.005C	0.004C	0.0035C
PS강재	0.005C	0.004C	-	-

여기서, C : 최외단 인장철근(주철근)의 표면과 콘크리트 표면사이의 콘크리트의 최소피복두께(mm)

2.2.3 피로검토

이 규정은 하중중에서 변동하중이 차지하는 비율이 많거나 작용빈도가 많아서 피로에 대한 안전성검토를 필요로 하는 경우를 위해 규정하고 있다. 보 및 슬래브의 피로에 대하여는 휨 및 전단에 대하여 검토하는 것이 일반적이며, 기둥의 피로에 대하여는 검토하지 않아도 좋지만 휨모멘트나 축방향 인장력의 영향이 큰 경우에는 보에 준하여 검토하도록 한다[도·설 4.4.9.6].

피로 안전성 검토가 필요한 경우, 철근 응력이 <표 507.3>의 값을 만족하면 피로에 대하여 검토할 필요가 없으나 초과시에는 적절한 방법으로 피로 검토를 하여야 한다. 콘크리트 슬래브에 대한 피로검토는 활하중에 의한 콘크리트 슬래브 모멘트변화가 큰 곳에서(주로 지간의 중앙점이 검토대상이 됨) 최대모멘트와 최소모멘트에 의한 응력을 어느 한계 이내에 들도록 하여 검토하며 주로 주철근방향이 차량진행방향에 평행한 슬래브에 대해 검토한다. 이것은 차량진행방향으로의 모멘트 변화가 크기 때문이며 강교편의 근사방법에 따라 설계되는 주철근의 방향이 차량 진행방향에 직각인 콘크리트 바닥판에 대해서는 응력차이가 크지 않아서 피로응력의 한계를 고려할 필요가 없다.

<표 507.3> 피로를 고려하지 않아도 되는 철근의 응력범위

철근의 종류	철근의 인장 및 압축응력의 범위(kgf/cm^2)
SD30	1,300
SD35	1,400
SD40	1,500

사용하중하에서 활하중 충격의 반복작용에 의하여 발생되는 피로현상을 감소하기 위한 제한으로 피로검토가 필요한 구조부재의 높은 응력을 받는 부분에서 철근을 구부리는 것은 피하여야 한다.

507.3 RC교량 형식별 설계주요 사항

3.1 슬래브교

3.1.1 일반사항

일반적으로 교량의 상판슬래브는 종·횡방향으로 주부재에 의해 지지되며 차량의 주행면이 되므로 평탄한 상태를 유지하여야 하며, 반복재하되는 교통하중에 의한 휨과 전단에 대한 저항강도를 발휘하여야 한다. 반면 슬래브교는 상대되는 2변이 자유스런 직사각형 판을 주구조로 한 교량이다.

3~7.5m 정도의 짧은 지간에 대해서는 1방향 슬래브교가 경제적이며 10m 정도까지도 사용되고 있다. 속빈슬래브교는 10~15m 정도까지의 지간에 사용되며, 경우에 따라 직사각형 모양의 속빈슬래브교를 사용하기도 한다. 연속슬래브교에서는 지간길이를 20~30m 정도까지 가설할 수 있다. 이와 같은 슬래브교의 특징으로는 다음과 같은 것이 있다.

- 단면특성상 균열안전율이 비교적 크다.
- 장경간에서는 사하중이 증가하여 불리하며 단순경간의 경우 15m이하에서 널리 사용된다.
- 보 높이를 줄일 수 있으므로 형고의 제약을 받는 곳에서 유리하다.
- 거푸집이 간단하고 콘크리트 타설시 수평이음을 두지 않고 마무리할 수 있으므로 시공이 비교적 용이하고 확실하다.

슬래브교의 용이한 가설을 위해서는 다음과 같은 사항에 유의하여 단면계획 및 설계를 실시하는 것이 바람직하다.

(1) 단면 계획시 고려사항

① 경제성을 높이기 위해 캔틸레버 부분을 길게 할 수 있으나, 상판 가장자리의 단면력이 커지므로 이에 대한 구조해석이 필요하고 교량받침 배치에 신중하여야 한다.

② 연속슬래브 구조에서는 지점부에 헌치를 두거나 이에 상응하는 철근 보강이 필요하나 일반적으로 적절한 헌치를 두는 것이 구조적으로 유리하다.

③ 교량 계획시 사각이 없도록 교량을 직교로 설계하는 것이 좋으나 불가피하게 사각이 요구될 때에는 가급적 영향이 적은 75°이내로 계획함이 구조적으로 유리하다.

④ 적용지간의 범위는 단지간에서 5~15m, 연속교에서 10~30m 정도이다.

<표 507.4> 슬래브교량의 슬래브 두께

구분	교량형식	지간구성	슬래브두께	h/L
1	연속교	L=2@10=20m	60cm	1/17
2	연속교	L=11.5+13.5+11.5=36.5m	70cm	1/19
3	연속교	L=12+2@15+12=54m	75cm	1/20
4	연속교	L=12.5+15+12.5=40m	80cm	1/19
5	연속교	L=2@15=30m	85cm	1/18
6	단순교	L=10m	60cm	1/17
7	단순교	L=12m	75cm	1/16

(2) 슬래브 두께 결정

형고는 구조형식·지간·사각에 따라 다르며 [도·설 4.4.9.5]의 규정과 같이 처짐을 제한할 수 있는 최소두께 이상이어야 한다. 또한 구조물 계획시 고려되어야 할 h/L(슬래브 두께/지간길이)의 비는 기존에 설계된 슬래브 교량에 대하여 조사한 결과 1/16 ~ 1/20 정도가 적당한 것으로 알려져 있다. [도로설계실무편람 1.1].

(3) 헌치크기 결정

교각부는 일반구간보다 단면력이 커서 교량 전체에 걸쳐 슬래브 두께를 증가시킬 경우 경제적 손실이 커지므로 경제적인 설계를 위해서 일반적으로 교각부에는 헌치를 설치한다. 헌치의 크기는 단면적 크기에 의해 결정되므로 일괄적으로 그 크기를 결정할 수는 없으며, 헌치구간도 설치구간을 길게 할 경우 교각부의 강성이 커져 정모멘트의 감소효과가 나타난다. 설계자가 어느정도의 구간에 걸쳐 헌치를 둘 것인가를 각 구조물에 따라서 적절하게 결정하여야 하나 <그림 507.2>와 같이 일반적으로 헌치의 크기는 일반 구간보다 30~50cm 더 크게 하고 헌치길이는 일반구간의 1/3 ~ 1/6 정도가 적당하다.

<그림 507.2> 헌치 크기의 결정

3.1.2 설계일반

[도·설 4.8.2]의 RC슬래브교 설계일반사항을 정리하면 다음과 같다.

① 슬래브교의 단면력은 설계하중에서 고려되는 DB하중과 DL하중을 동시에 고려하여 그 중에서 최대의 단면력으로 설계하여야 하며, 슬래브교 난간에 작용하는 축방향력 및 차량방호책에 작용하는 충돌하중 영향을 고려하여야 하는 바 이는 [도로안전시설 설치 및 관리지침-교량용 방호울타리편]을 참조하도록 한다.

② 속빈슬래브교를 제외한 슬래브교에서 선형받침이나 이와 근사한 형상으로 지지되는 교량의 경우 전단력에 대한 검토를 생략할 수 있는데, 이는 선형 또는 이와 근사한 형상으로 지지된 속빈슬래브교를 제외한 슬래브교는 반력이 받침선상에 분포되어 작용하므로 일반적으로 전단력에 대하여 안전하기 때문이다.

③ 속빈슬래브교의 전단력 검토는 설계계산을 쉽게 할 수 있도록 콘크리트 부분의 폭의 총합과 동일한 복부폭을 갖는 T형보의 단면으로 간주해도 좋다. <그림 507.3>의 속빈슬래브교 가상 T형 단면은 전단응력 검토시에만 사용하며, 이 단면에 발생하는 전단력의 크기는 다음절의 구조해석에서 제시하는 해석방법에 의해 결정된다.

(a) 속빈 슬래브교의 단면형상

(b) 가상 T형단면

<그림 507.3> 속빈슬래브교의 가상 T형 단면

여기서,

h_1 : 속빈부분상의 최소두께(cm)

h_0 : 슬래브의 두께(cm)

d_1 : 속빈부분과 슬래브측면의 최소폭(cm)

d_2 : 속빈부분간의 최소폭(cm)

B : 슬래브의 전폭

b : 환산복부폭(cm)

<그림 507.3> 속빈슬래브교의 가상 T형 단면

(계속)

3.1.3 구조해석

(1) 구조해석 일반

① 슬래브교의 단면력은 원칙적으로 판이론에 의한 실용적 방법을 이용하여 프레임해석을 실시하여 계산한다. 단 연속 슬래브교, 라멘 슬래브교와 같이 지지조건이 복잡한 경우 또는 곡선교와 사교 같은 경우에는 격자이론과 유한요소법 등에 의하여 해석하여도 좋으나, 간단한 유한대판법 해석은 사용하지 않는 것이 바람직하다. 속빈슬래브교는 이방성판으로 단면력을 계산하는 것이 바람직하지만, [도·설 4.8.4]에 규정된 최소치수 규정을 만족하는 경우 등방성판으로 보고 단면력을 계산하여도 좋다. 또 KS F4204에 규정된 슬래브교용 프리스트레스트 콘크리트보를 사용한 슬래브교와 같이 프리캐스트보를 나란히 놓은 슬래브교에서 보의 직각방향으로 프리스트레스를 도입하여 필요한 강성을 갖도록 설계한 경우에는 등방성판으로 보고 단면력을 계산하여도 좋다.

② 보도, 차도 구별이 없고 차도쪽 캔틸레버 부분의 내민 길이가 0.25m이하인 슬래브교는 캔틸레버 부분이 없는 슬래브교 처럼 단면력을 산정하여도 좋으며 캔틸레버 부분이 있는 슬래브교의 구조해석은 캔틸레버 부분에 작용하는 하중 및 강성의 영향을 고려하여 [도·설 4.7]의 바닥판 규정에 따라 설계하여야 한다.

③ 지점반력과 받침선 방향의 단면력은 받침종류, 받침 간격 및 사각 등에 의하여 그 분포가 변화하기 때문에 이를 고려하여 계산하여야 한다.

(2) 슬래브교의 지간 및 휨모멘트

① 고정하중에 의한 휨모멘트는 하중이 슬래브 전면에 일정하게 분포된 것으로 간주하여 계산하지만, 덮개, 난간 등 편재하중의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 재하위치의 영향을 고려하여 휨모멘트를 계산하여야 한다. [도·설 4.8.3.2]

② 캔틸레버판이 있거나 또는 받침 종류, 받침 간격, 사각으로 인하여 지점반력과 받침선 방향의 단면력 분포가 변화하는 경우에 대하여 단면력을 계산할 때에는 슬래브교의 지간을 직슬래브교에서는 받침중심간격인 l_n으로 하고, 사각 45°이상의 경사슬래브교에서는 식(507.2)로 결정한다. 그러나 사각이 75°이상인 경우에는 사각의 영향이 작으므로 경사지간 l_s를 슬래브의 전체폭으로 나눈 값(l_s/B)에 관계없이 지간 l은 경사지간 l_s로 하여도 좋으며 l_s/B가 작아짐에 따라 본문에 규정된 지간에 따라 설계하면 과대 휨모멘트에 대하여 설계할 수 있기 때문에 l_s/B가 0.5이하가 될 때에는 판이론에 따라 해석하는 것이 좋다.

$$\begin{aligned} l &= l_s && (l_s/B) \geq 1.5 \\ l &= (l_s + l_n)/2 && (l_s/B) < 1.5 \end{aligned} \qquad (507.2)$$

여기서

l : 슬래브의 지간

l_s : 경사지간(m)

l_n : 받침의 중심간격(m)

B : 슬래브의 폭(m)

ϕ : 사각

(a) l_s/B<1.5인 경우

(b) l_s/B≥1.5인 경우

<그림 507.4> 경사슬래브교의 지간방향

③ 슬래브교의 휨모멘트를 판이론에 따라 계산하면 복잡하다. 따라서 지간이 10m이하 단순 슬래브교의 활하중(충격을 포함)에 의한 지간 중앙에서의 지간 방향 및 지간 직각방향의 단위폭(1m)당 설계휨모멘트는 각각 <표 507.5> 및 <표 507.6>에 따라 계산해도 좋다.

④ 지간이 10m를 넘는 단순슬래브교의 활하중에 의한 지간 중앙에 발생하는 지간 방향의 단위폭(1m)당 설계휨모멘트는 보도 등에 35 kg/m^{2}의 등분포하중을 재하하고 차도에는 DL 하중의 주재하하중을 만재하여 산출한 휨모멘트를 슬래브 전폭으로 나눈값으로 하는 것이 가능하다. 또한 지간 중앙에 발생한 지간 직각방향의 단위폭당 설계휨모멘트는 <표 507.6>에 따라 계산해도 된다.

<표 507.5> 활하중(충격 포함)에 의한 지간

적용범위		
1등교	보도등과 차도부분과의 구별이 있는 경우	S<7.7 0.75m≤H B<13
		7.75m≤S 0.75m≤H 13.0m≤B≤
	보도등과 차도부분과의 구별이 없고 B	
2등교의 경우는 1등교의		

여기서, l : 상기 ②에서 규정한 슬래브의 지간(m)
S : 차도부분의 폭(m)
H : 보도 등의 폭(m)
B : 슬래브교의 전폭(m) (<그림 507.4> 참조

3.2 라멘교

3.2.1 일반사항

부재의 절점들이 강결되어 있는 뼈대 구조물을 라멘이라고 하는데 평면교차를 피하여 도로나 철도를 넘어가는 입체 교차교, 이를 가로지르는 암거 등에 채용하는 형식이다.

실제의 라멘 구조물은 입체라멘이지만 평면라멘으로 모델링하여 해석하는 것이 보통이다. 철근 콘크리트 라멘구조는 상·하부구조가 연속되어 있어 구조물을 일체화시킬 수 있는 장점이 있다.

강구조물이나 목구조물 부재는 리벳, 볼트, 용접 또는 못으로 연결된다. 이와 같은 연결부가 높은 강성을 갖도록 특별히 설계하지 않는 한 소정의 모멘트를 다른 부재에 충분하게 전달하지 못하게 된다. 그러나 철근 콘크리트 구조물의 절점 부위는 철근이 연속되어 있고 콘크리트도 연속 타설되기 때문에 일체화된 구조

<표 507.6> 활하중(충격 포함)에 따른 지간 직각방향의 휨모멘트(tonf·m/m)

적용범위			설계휨모멘트	
			정(+)모멘트	부(-)모멘트
1등교	직각 슬래브		0.25 l +1.0	-(0.25 l +1.0)
	사각 슬래브	$\phi \geq 45°$ l_s/B <0.5	0.25 l +1.0	-(0.25 l +1.0)
		$\phi \geq 45°$ $l_s/B \geq 0.5$	(2- ϕ/90) (0.25 l +1.0)	-(2- ϕ/90) (0.25 l +1.0)
2등교의 경우는 1등교의 70%				

여기서, l : 상기 ②에서 규정한 슬래브교의 지간(m)
l_n : 경사슬래브교의 지간(m) <그림 507.4> 참조
B : 슬래브교의 폭(m) (<그림 507.4> 참조)
ϕ : 사각

로 된다. 따라서 철근 콘크리트 연속보나 라멘에서는 하중이 어느 한 부재에만 작용하더라도 다른 부재에 변형과 응력이 일어나게 된다. 이러한 특성을 지닌 RC 라멘교의 특징은 다음과 같다.

① 신축이음이 없고 강결 구조이므로 내진 저항성이 크다.

② 장경간에는 고정하중의 증가로 불리하며 단순경간의 경우 15m이하가 주로 사용된다.

③ 보높이가 낮으므로 형고 제약시나 도로폭이 작은 마을진입로 횡단시 널리 사용된다.

라멘교의 용이한 가설을 위해서는 설계전 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

- 지반고와 계획고 차가 10m이상인 곳에는 피토고를 두어 계획하는 것이 바람직하다.
- 처짐 및 균열의 영향이 크므로 15m이내의 경간에 사용하여야 한다.

3.2.2 설계일반

라멘교는 주형과 기둥이 강결된 것으로 설계하며, 슬래브교, T형교, 박스거더교 등의 단면형상의 고유 사항에 대해서는 도로교 설계기준과 콘크리트구조 설계기준의 해당 규정에 따른다. 그러나 라멘교 기둥 및 벽에 토압이나 수압이 작용하는 경우에는 [도·설 제5장] 하부구조편의 관련 규정을 적용하여 설계하여야 한다.

3.2.3 구조해석

몇 개의 경간을 가진 연속보나 간단한 라멘의 해석에는 3연 모멘트법·최소일의 원리·변형일치의 방법 등 고전적인 해법이 주로 사용되어 왔다. 그러나 복잡한 실제 구조물을 위와 같은 방법으로 해석한다는 것은 매우 번거롭다. 따라서 상호 연관된 처짐각법과 모멘트분배법이 철근콘크리트의 부정정보와 라멘의 기본적인 해석수단으로 오랫동안 사용되어 왔다. 근래에는 전자 계산기에 의한 매트릭스 구조해석법으로 대체되어 모든 구조해석이 컴퓨터에 의해 이루어 지고 있다. 부정정 구조물의 근사

해법이나 모멘트계수법은 단면력의 신속한 추정에 유리하다. 이러한 근사해법은 예비설계 및 정밀해의 검사에 유용하며 중요도가 떨어지는 구조물에서는 최종설계에 이용될 수 있다[도・설 4.12.3].

(a) 단면변화를 무시해도 좋은 경우

(b) 단면변화를 무시할 수 없는 경우

<그림 507.5> 라멘의 축선

(1) 구조해석으로 단면력을 계산할 때의 라멘 축선은 콘크리트 전단면을 유효로 하는 부재단면의 도심축선에 일치시키는 것을 원칙으로 한다.

(2) 기둥의 축선의 하단은 기둥이 기초구조와 일체로 강결된 경우에는 기초구조의 상면으로 하고 힌지구조에 결합되어 있는 경우에는 힌지의 중심으로 한다. 기초의 침하 또는 회전이 무시될 수 없다고 생각되는 경우에는 기초를 등가스프링으로 치환하여 해석하는 것이 바람직하다.

(3) 기둥과 보의 절점부에 특히 큰 헌치가 있는 경우나 보부재 또는 기둥부재의 부재두께가 매우 큰 경우에는 강역의 영향을 무시할 수 없다. 이와 같은 경우에는 일반적으로 아래의 방법으로 구하는 강역[<그림 507.6>참조]을 고려하여 라멘구조해석을 행하는 것이 바람직하다.

(a) 등단면인 경우 (b) 변단면인 경우(1)

(c) 변단면인 경우(2)

<그림 507.6> 라멘교 절점부에서의 강역

3.2.4 라멘 부재 절점부

(1) 라멘부재의 절점부는 이에 접속하는 부재상호간에 단면력이 확실하게 전달되도록 하여야 한다.

<그림 507.7> 라멘단절점부에 휨모멘트가 작용할 경우의 응력분포

(2) 라멘의 절점 즉 부재들의 접합부에는 매우 큰 모멘트와 전단력이 작용한다. 그러므로 절점부는 접합되는 부재들이 서로 단면력을 확실하게 전달할 수 있도록 모서리에 헌치를 두어 이 부분의 모멘트는 증가시키고 경간 모멘트는 감소시키도록 한다. 절점부에서 수평부재의 모멘트에 대한 위험단면은 <그림 507.8>과 같이 연직부재의 전면으로 간주하며, 연직부재의 위험단면은 수평부재의 하면으로 본다.

(a) 보 부재 (b) 기둥 부재

<그림 507.8> 헌치의 유효부분

라멘 절점부의 설계휨 모멘트는 다음과 같이 취하도록 규정되어 있다[도·설 4.12.4]. 즉 헌치나 단면변화의 영향을 고려하여 라멘을 해석한 경우에는 설계모멘트로서 <그림 507.9>(a)와 같이 연직부재 전면의 모멘트를 사용한다. 균일단면으로 보고 라멘을 해석한 경우에는 <그림 507.9>(b)와 같이 기둥 중심선의 모멘트를 설계 모멘트로 본다. 즉 균일단면으로 보고 계산한 모멘트도를 <그림 507.9>(b) 처럼 오른쪽으로 이동시킨 모멘트도를 설계에 사용한다.

(a) 헌치와 단면변화의 영향을 고려해서 해석하는 경우

(b) 헌치와 단면변화의 영향을 무시하고 해석하는 경우

<그림 507.9> 수평부재의 모멘트에 대한 위험단면

(3) 절점부의 모서리에는 휨모멘트의 작용방향에 따라 <그림 507.10>과 같이 균열이 발생하려는 경향이 있으므로 철근을 보강하여야 한다[도·설 4.12.5].

(a) 외측인장의 경우

<그림 507.10> 절점부에 발생하는 균열

<그림 507.11>(a)에서 보여주는 휨모멘트가 단절점부에 작용하는 경우에는 대각선방향의 단면에 인장응력 σ_t가 생긴다. 이 인장응력에 대하여 모멘트에 저항하는 철근을 배치하여야 한다. 또 절점부에서 <그림 507.11>(b)와 같은 휨모멘트가 작용하면, 절점부 대각선 방향으로 인장응력이 작용하므로 큰 휨모멘트가 작용하는 경우에는 경사각방향으로 철근을 배치해서 보강하는 것이 좋다.

절점부에는 많은 철근이 교차해서 배치되기 때문에 주철근의 이음은 가능한 한 두지 않는 것이 좋다. 절점부에서 접합되는 부재들의 주철근이 절점부에서 끝날 경우에는 갈고리를 붙여서 정착하는 것이 좋다.

(b) 내측인장의 경우

<그림 507.11> 라멘 단 절점부에 생기는 인장응력

3.3 T형교

3.3.1 일반사항

T형교는 구형 웨브와 폭이 넓은 상부플랜지로 구성된다. 10～25m 정도까지의 지간에 대해서는 현장타설 콘크리트의 T형교가 사용된다. T형교의 주형과 일체로 된 콘크리트 바닥판은 가로방향을 지간으로 하는 슬래브로 작용하는 동시에 주형에 대하여는 압축 플랜지로 작용한다. 즉 주형은 T형 단면보로 된다. 이러한 교량은 단순지지의 단지간으로 사용되기도 하고 또는 2경간 이상의 연속교로 사용되기도 한다. 연속교로 할 경우 지간은 20～30m 정도이다.

하부구조 시공후 대체적으로 일체 시공하는 것이 보통이며 일체식 시공은 연속교의 형태일 경우에 더욱 유리한 구조가 되며 하중부담능력 즉 부재 저항이 증대된다. T형보의 특징으로는 양의 모멘트에는 유리하나 부모멘트에 대해서는 다소 복잡할 수 있다.

3.3.2 설계일반 및 구조해석

T형교는 주형의 부등 처짐이나 비틀림 변형이 바닥판, 받침 구조에 나쁜 영향을 주는 수가 있으므로 주형 직각방향의 강성을 높이기 위하여 가로보를 두는 것을 원칙으로 한다. 사각이 45°미만인 경우 가로보를 주형의 직각방향으로 두지만 이 때 비틀림변형에 대한 충분한 검토가 필요하다. 또 사각이 45°이상인 경우 가로보는 받침선에 평행하게 설치하는 것이 좋다. 중간가로보의 설치는 [도·설 4.2.1.8(2)]의 규정을 따른다.

T형교는 주형과 가로보로 이루어진 격자구조로 볼 수 있기 때문에 격자이론에 의하여 단면력을 계산하는 것을 원칙으로 한다. 다만 직교 혹은 사각이 70°보다 큰 사교에서 바닥판의 지간이 짧고 판구조로 볼 수 있는 단면형상의 교량에 대하여는 직교이방성 판이론에 따라 단면력을 계산하여도 무방하다[도·설 4.9.3].

또한 보도, 차도 구별이 없는 경우, 보도, 차도의 구별이 있어도 보도가 양측에 설치된 경우, 캔틸레버 슬래브의 내민 길이가 주형 간격의 1/2 이하인 경우, 그리고 상기 설계일반에 규정된 것처럼 가로보가 설치된 경우에는 다음과 같은 방법에 따라 주형의 단면력을 계산할 수 있다.

고정하중은 전체 고정하중에 의한 단면력을 주형의 개수로 나눈 값을 주형의 단면력으로 하며 활하중은 차도부분의 폭에 주재하하중을 만재시키고 보도에 보도활하중을 만재시켜서 구한 단면력을 주형의 개수로 나눈 값으로 하는데, <표 507.7>에 제시한 이형(耳形)계수 α, 그 밖의 형태의 거더에는 β를 곱하여 주형의 단면력으로 할 수 있다.

다만 보도, 차도의 구별이 있는 경우와 차도부분의 폭이 큰 경우에 <표 507.7>의 계수들을 사용하여 설계하면 단면력이 크게 되므로 이 값의 적용시 주의를 요한다.

<표 507.7> 계수 α 및 β의 값

차도부분의 폭(m)	α	β
5.5m 이상	1.1	0.95
5.5m 미만	1.0	1.0

T형교를 격자이론에 의하여 해석하면 비틀림모멘트가 생기게 되는데 그 대부분은 변형적합 비틀림모멘트이다. 또 비틀림균열 발생 이후의 비틀림강성은 발생 전의 1/10정도로 저하되어 균열 발생 이후의 비틀림거동을 추정하기가 매우 어렵게 된다. 이러한 점을 고려하여 격자구조이론에 의하여 T형교의 단면력을 계산한 경우에는 주형 및 가로보의 비틀림 강성을 무시하고 해석할 수 있다. 그러나 사각이 70°미만인 사교의 경우에는 비틀림의 영향이 크게 나타나므로 비틀림강성을 고려하여 격자구조이론에 의하여 해석을 수행하고 비틀림에 대한 검토를 하도록 한다. 또 단면력을 계산할 때에 가로보 플랜지의 유효폭은 전단면이 유효한 것으로 보며, 응력계산을 할 때는 가로보 플랜지의 유효폭은 도로교 설계기준의 플랜지 유효폭에 대한 규정을 따르도록 한다.

3.4 박스거더교

3.4.1 일반사항

주형이 박스단면으로 된 교량을 박스거더교라고 하며 T형교보다 긴 중간 정도 지간의 콘크리트교에 종종 사용된다. 철근 콘크리트 박스거더 교량은 보통 29~43m 정도의 경간에 적용한다. 이보다 더 긴 경간장이 요구되는 경우에는 부재규격 증가로 고정하중이 증가하게 되어 비효율적인 교량 형식이 되므로 PSC 교량 형식을 적용하는 것이 바람직하다.

철근 콘크리트 박스거더 교량은 상부에 박스거더보다 더 큰 폭의 슬래브가 놓이며, 수직방향의 웨브, 하부 플랜지로 구성된다. 웨브의 폭은 23㎝ 정도가 일반적이다. 바닥판 플랜지는 상대적으로 얇은 14㎝ 정도이며 상판 슬래브, 웨브 및 바닥판 슬래브는 각각 구조단위별로 동바리를 이용한 현장타설 방식으로 시공된다.

철근 콘크리트 박스거더 교량은 노선에 평면곡선이 도입되어 비틀림저항이 크게 요구되는 경우 유리하다. 인터체인지의 램프에 설치되는 교량은 곡선반경이 작은 평면곡선이 요구되는 관계로 콘크리트 박스교량을 채용하며 이 경우 박스 단면 전체가 비틀림에 저항하는 것으로 설계한다.

교량설계시 교량의 미관과 조형미를 고려하여 종종 경사형 웨브와 헌치형 거더가 사용되기도 하며 박스의 하부 모서리를 완만한 곡선으로 처리하여 상판 박스 거더가 너무 육중해 보이지 않도록 하기도 한다. 상부구조를 하부구조와 일체식으로 시공하면 시공효율 뿐만 아니라 미관과 조형미도 수려해지고 교각 캡핑을 박스 내부에 설치할 수 있으며 교각을 상부구조와 직접연결식으로 처리할 수도 있다.

일반적인 적용 경간장은 40m내외로서 보높이와 경간장의 비는 보통 0.055가 적용되고 있다. 헌치형의 박스구조로 할 경우 보높이와 경간장의 비는 최소 0.05, 최대 0.08 정도를 적용한다.

3.4.2 설계 일반 및 구조해석

단일박스 거더교와 다중박스 거더교는 박스거더부의 전단면을 하나의 거더로 보고 단면력을 계산하는 것이 보통이다. 그러나 교량의 전폭과 지간의 비가 0.5 이상인 비교적 교폭이 넓은 다중박스 거더교는 직교 이방성 판이론이나 격자이론에 의해 단면력을 계산하는 것이 좋다. 편재하중에 의한 비틀림 모멘트에 대하여는 이로 인한 전단응력과 휨인장력을 검사해 보아야 한다. 다주형 박스 거더교는 주형의 비틀림 강성이 크고 하중분배도 좋기 때문에 원칙적으로 격자이론에 의해 단면력을 계산하여야 한다. 그러나 교량의 전폭과 지간의 비가 0.5이상인 다주형 박스 거더교에서 소정위치에 격벽을 둘 경우에는 주재하하중을 교량의 차도부에 만재하고 계산한 단면력을 주형의 수로 나누어서 구한 단면력으로 각 주형을 설계하여도 좋다. 단 단일박스거더교 및 다중박스거더교에서 사각이 70°를 넘으면 격자이론에 따르지 않고 보이론에 따라 해석해도 좋다[도·설 4.10.3].

다주형박스거더교에 박스거더를 결합하는 가로보를 두지 않으면 교축직각방향의 강성이 작아지고 하중분배작용이 좋지 않게 되어 거더간의 휨의 차이 및 비틀림에 의하여 바닥판에 큰 모멘트가 생기게 된다. 따라서 지점이외에 지간 내에도 가로보 및 격벽을 두는 것을 원칙으로 한다. 지간내에 가로보 및 격벽을 둘 경우

일반적으로 지간 중앙에 배치하는 것이 효과가 크지만 지간이 길 때에는 40m정도의 간격으로 배치하는 것이 좋다. 단일박스거더교 및 다중박스거더교에 대하여도 지점이외에 1지간에 1개 이상의 격벽을 두도록 한다.

박스거더교의 전단응력 계산에 쓰이는 복부폭은 복부의 축선에 직각방향의 복부폭을 사용한다. 예를 들면 경사진 복부의 경우에는 전단흐름에 직각방향의 폭을 사용하면 된다.

복부폭이 플랜지 두께의 4배를 넘거나 보강리브가 있는 박스거더교 등에 대하여는 플랜지에 생기는 수평전단응력에 대하여 검토하는 것이 좋다[도·설 4.10.2].

하부 플랜지와 복부의 응력은 박스거더를 상하 플랜지와 복부로 구성된 라멘구조로 보고 해석하여도 좋다[도·설 4.10.4].

<그림 507.12> 플랜지에 생기는 수평 전단응력의 분포

3.5 연속형교

주형이 2경간 이상 연속된 교량을 연속형교라고 한다. 철근 콘크리트교의 대부분은 연속형교가 가능하다. 여기서는 연속형교에서 특별히 고려해야 할 사항에 대해서만 언급한다.

3.5.1 활하중의 재하방법

활하중은 생각하는 단면에 가장 불리한 응력상태가 되도록 재하하여야 한다. 이를 위해 연속보의 영향선을 이용해야 한다. 즉 지간 중앙의 정모멘트가 최대로 되도록 하중을 재하하고, 또한 중간지점부의 부모멘트가 최대로 되도록 재하하여야 한다.

3.5.2 중간지점의 설계모멘트

연속형교의 중간지점의 휨모멘트도는 이론상으로는 <그림 507.13>에 보인 것처럼 뾰족하게 되지만, 실제로는 받침부의 폭, 주형의 높이, 가로보 등의 영향을 받아 지점반력 R이 어떤 폭 a에 분포하기 때문에 그림처럼 둥글게 된다. 따라서 [도·설 4.11.3]에서는 중간받침부의 주형 설계모멘트로서 다음식 M_1을 주고 있다.

<그림 507.13> 중간지점의 휨모멘트

$$M_1 = M - \frac{\omega a^2}{8} \geq 0.9M \qquad (507.3)$$

여기서 M_1 : 중간 받침부 주형의 설계모멘트

M : 중간지점의 이론 모멘트

$$\omega = \frac{R}{a}$$

R : 중간지점의 반력

a : 교축방향에 대한 반력의 분포 폭

$$a = 2y_c$$

중간 받침부에서 주형의 하면에는 지점반력이 직접 작용하기 때문에 계산으로 구한 휨응력보다 큰 응력이 작용한다. 그러므로 이 부분에는 가외철근을 충분히 배치해야 한다. 연속교에서 고정받침은 될 수 있는대로 중앙에 가까운 지점에 두는 것이 좋다.

507.4 바닥판

콘크리트 거더로 지지되고 경간과 한변의 길이비(변장비)가 1:2를 넘는 철근콘크리트 바닥판의 설계에 적용한다[도・설 4.7].

4.1 바닥판의 경간 및 두께

(1) 단순판 및 연속판에 작용하는 트럭하중 및 고정하중에 대한 경간은 <그림 507.14>와 같이 하며, 캔틸레버판에 작용하는 트럭하중 및 고정하중에 대한 경간은 <그림 507.15>와 같이 한다.

(a) 직교의 경우

(b) 사교의 경우

<그림 507.14> 단순판 및 연속판의 경간

(2) 차도부분 바닥판의 최소두께는 22cm 또는 <표 507.8>에 나타낸 값중 큰 값으로 하며, 여기서 캔틸레버판 최소두께는 지지보 복부 전면에서의 두께를 일컫는다. 한편 보도부분의 바닥판 최소두께는 14cm로 한다.

<표 507.8> 차도부분 바닥판의 최소두께

바닥판 경간의 방향 / 바닥판의 구분		차량진행방향에 직각	차량진행방향에 평행
단순판		4L+13	6.5L+15
연속판		3L+13	5L+15
캔틸레버판	L≤0.25	28L+18	24L+15
	L＞0.25	8L+23	

여기서, L : 트럭하중에 대한 바닥판의 경간

(a) 차량진행방향에 직각으로 있는 경우

(b) 차량진행방향으로 있는 경우

<그림 507.15> 캔틸레버판의 경간

4.2 설계휨모멘트

4.2.1 단순판 및 연속판

(1) 주철근이 차량진행방향에 직각

단순판의 폭 1m 당 활하중 휨모멘트는 다음 식으로 계산한다.(충격은 별도 고려)

$$DB-24=(L+0.6)P_{24}/9.6$$
$$DB-18=(L+0.6)P_{18}/9.6 \quad (507.4)$$
$$DB-13.5=(L+0.6)P_{13.5}/9.6$$

여기서 L : 바닥판의 경간(m)

P_{24} : DB24하중에 대하여 9,600kg

P_{18} : DB18하중에 대하여 7,200kg

$P_{13.5}$: DB13.5하중에 대하여 5,400kg

바닥판이 3개 이상의 지점을 가진 연속슬래브의 정·부 휨모멘트는 상기 값의 0.8배를 취한다. 캔틸레버판에 작용하는 윤하중은 다음과 같은 폭에 분포한다고 가정한다.

$$E=0.8X+1.14 \quad (507.5)$$

여기서 E는 1개의 차륜이 분포되는 바닥판 폭(m)

이때 폭 1m당 휨모멘트는

$$M=\frac{P}{E}X(kg\cdot m) \quad (507.6)$$

여기서 X는 하중점에서 지지점 까지의 거리, P는 트럭의 한 개의 후륜하중

(2) 주철근이 차량진행방향에 평행

윤하중이 분포되는 바닥판 E는 다음 식으로 계산하며, 2.1m 보다 작아야 한다.

$$E=1.2+0.06L \quad (507.7)$$

단순판에서 폭 1m당 휨모멘트(충격 별도 고려)는 15m이하 경간에 대해 다음과 같다.

DB24하중에 대하여 1,800L(kg·m/m)
DB18하중에 대하여 1,340L(kg·m/m)
DB13.5하중에 대하여 1,000L(kg·m/m)

연속바닥판의 휨모멘트는 적합한 이론 방식으로 구하여야 한다.

4.2.2 캔틸레버 바닥판

캔틸레버판 위에 작용하는 윤하중은 다음 폭에 분포하는 것으로 간주한다.

$$E = 0.35X + 0.98 < 2.1m \quad (507.8)$$

이때 폭 1m당 휨모멘트는

$$M = \frac{P}{E} X(kg \cdot m) \quad (507.9)$$

4.2.3 사변이 지지된 바닥판

(1) 사변이 지지되어 양방향으로 철근 보강하는 교량 바닥판의 경우, 짧은 경간 방향으로 전달되는 하중 비율은 [도·설 4.7.5.3]의 식을 따른다.

(2) 바닥판의 길이가 바닥판 폭의 1.5배 이상인 경우, 전체 하중을 횡방향 철근이 받는다고 산정할 수도 있다.

(3) 어느 한 방향에 대해 구한 하중 분포폭을 다른 방향의 하중분포폭으로도 사용할 수 있다. 해석을 통해 얻어진 휨모멘트는 설계시 바닥판 경간의 중앙부 1/2 구간에 적용하며, 나머지 구간에 대해서는 중앙부에 소요되는 철근량의 50% 이상을 배근하면 된다. 지지보의 설계시 지지보에 전달되는 하중의 크기가 지지보를 따라서는 일정하지 않다는 사실을 고려할 수 있다.

4.2.4 등분포 고정하중에 의한 휨모멘트

등분포고정하중에 의한 바닥판의 단위 폭당 설계휨모멘트는 다음 <표 507.9>와 같다.

4.2.5 종방향 단부보

(1) 주철근이 차량진행방향과 평행한 경우에는 단부보를 설치하여야 하며, 단부보 설계에 사용하는 휨모멘트는 다음과 같다[도·설 4.7.5.5].

단순판 : $0.1\ PL(kg \cdot m/m)$
연속판 : $0.08\ PL(kg \cdot m/m)$

(2) 연속경간의 경우, 정확한 해석을 통해 활하중에 의한 휨모멘트 크기를 줄일 수 있다.

<표 507.9> 등분포 고정하중에 의한 바닥판 단위폭당 설계휨모멘트

판의 구분	휨모멘트의 종류	바닥판 지간방향의 휨모멘트
단순판	지간 휨모멘트	$+\omega l_d^2/8$
캔틸레버판	지점 휨모멘트	$-\omega l_d^2/2$
연속판	지간 휨모멘트	$+\omega l_d^2/10$
	지점 휨모멘트	$-\omega l_d^2/10$

여기서, w : 등분포 고정하중
l_d : 고정하중에 대한 바닥판의 지간

4.2.6 진입부 바닥판

상기 설계식들은 지지되지 않은 단부 바닥판의 효과를 포함하고 있지 않다. 따라서 교량 진입부 또는 경간 내부의 바닥판의 연속성이 단절되는 곳의 바닥판은 격벽이나 다른 적절한 방법으로 지지시키는 것이 좋다. 이때 격벽은 트럭하중에 의해 발생되는 휨모멘트와 전단력을 지지할 수 있을 정도로 설계되어야 한다.

4.2.7 배력철근

집중하중으로 작용하는 활하중을 수평방향으로 분산시키기 위해, 바닥판에는 주철근 방향에 직각으로 배력철근을 배근하여야 한다[도·설 4.7.5.7].

4.3 철근의 종류와 배치

(1) 철근은 이형철근을 사용하고 13, 16, 19, 22mm를 표준으로 한다.

(2) 철근의 중심간격은 10cm ~30cm로 한다. 단 바닥판 지간방향의 인장주철근 중심간격은 바닥판 두께를 초과하지 않아야 한다.

(3) 바닥판에 배근되는 주철근과 배력철근은 겹이음 방법을 이용하여 연속적으로 배근하는 것이 좋다.

(4) 철근은 단면의 압축측에 적어도 인장측 철근의 1/2을 배치하는 것이 좋다.

(5) 사교 받침부 부근에서 바닥판 지간방향의 철근은 받침선 방향으로 배치한다.

4.4 헌치

(1) 바닥판에는 지지보 위에 헌치를 두는 것을 원칙으로 한다.

(2) 바닥판 헌치의 기울기는 1:3 보다 완만하게 하는 것을 원칙으로 한다.

(3) 헌치에는 내부에 철근을 배치하는 것을 원칙으로 하며, 13mm 이상으로 한다.

4.5 캔틸레버판 단부 및 가로보상의 바닥판

(1) 캔틸레버판 단부에 작용하는 설계휨모멘트는 M_d+2M_l로 한다. 여기서 M_d 및 M_l은 고정하중과 충격을 포함한 캔틸레버판의 트럭하중에 의한 설계휨모멘트이다. 단 철근콘크리트 바닥판의 경우 거더 단부외에 캔틸레버판에서 필요한 철근량의 2배를 배치하는 것이 좋다.

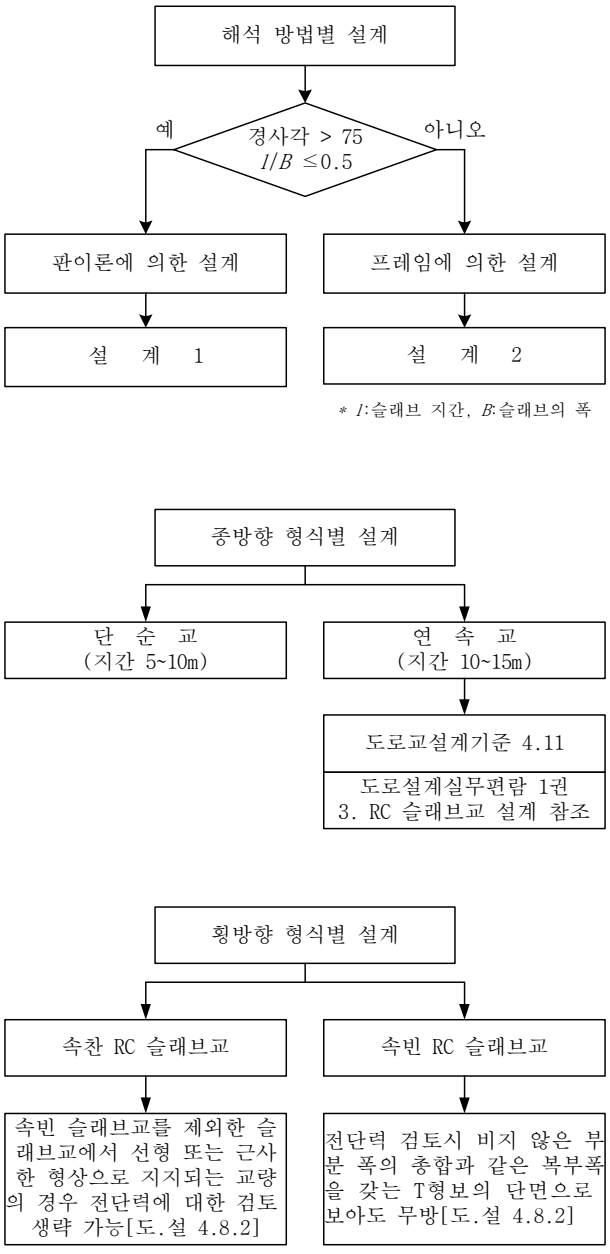
(2) 바닥판 지간방향이 차량진행방향에 직각이고, 가로보로 지지되는 바닥판의 설계는 다음과 같다.

① 가로보 위의 상판에서 바닥판 지간에 직각인 방향의 설계휨모멘트는 상기 “4.2 설계휨모멘트”에 규정한 바닥판 지간방향에 직각방향의 휨모멘트와 크기가 같고 부호가 다른 휨모멘트로 한다.

② 설계휨모멘트에 대해 가로보 위쪽에 배치하는 강재는 가로보 옆면에서 바닥판 지간의 1/6 이상 또는 50cm 이상의 범위에 배치하여 정착시킨다.

507.5 RC 슬래브교의 설계

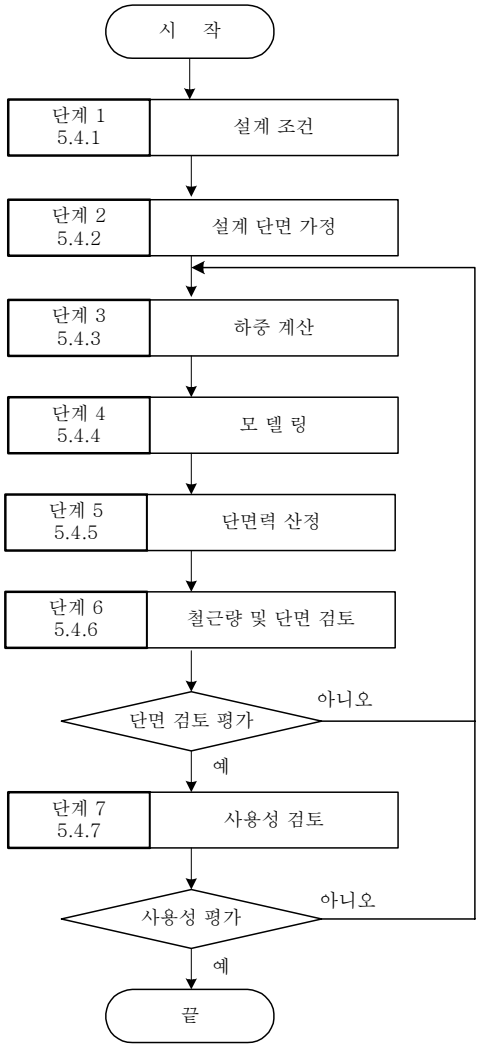
5.1 설계흐름도의 구성



<그림 507.16> 설계흐름도 구성

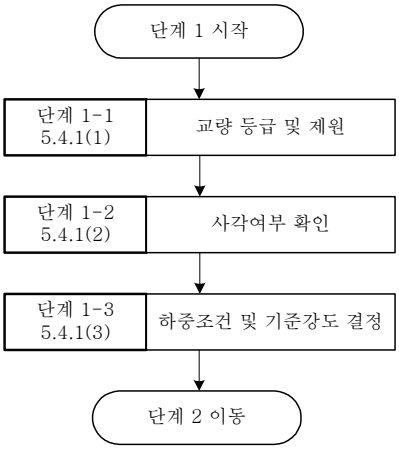
5.2 판이론에 의한 설계 흐름

5.2.1 주설계단계



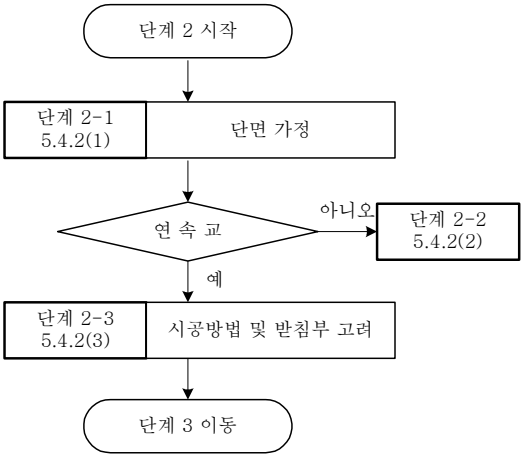
<그림 507.17> 주설계단계

5.2.2 [단계 1] 설계 조건



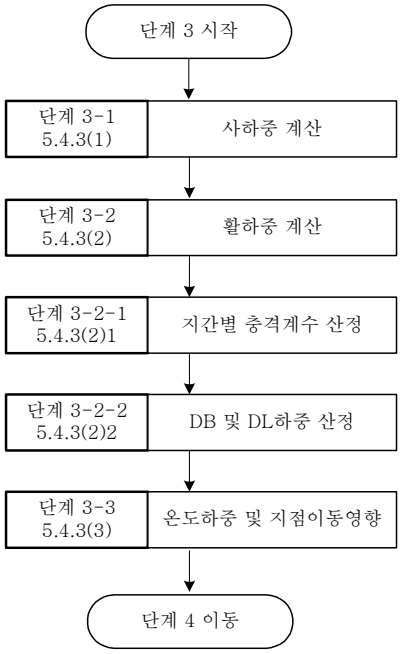
<그림 507.18> 설계조건

5.2.3 [단계 2] 설계단면가정



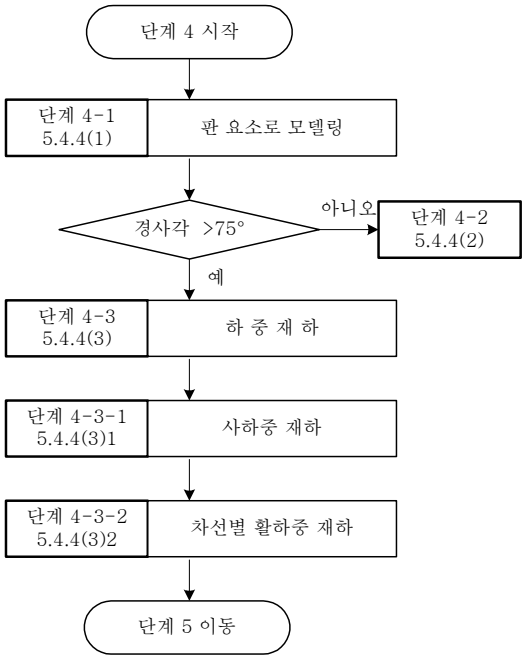
<그림 507.19> 설계단면 가정

5.2.4 [단계 3] 하중 계산



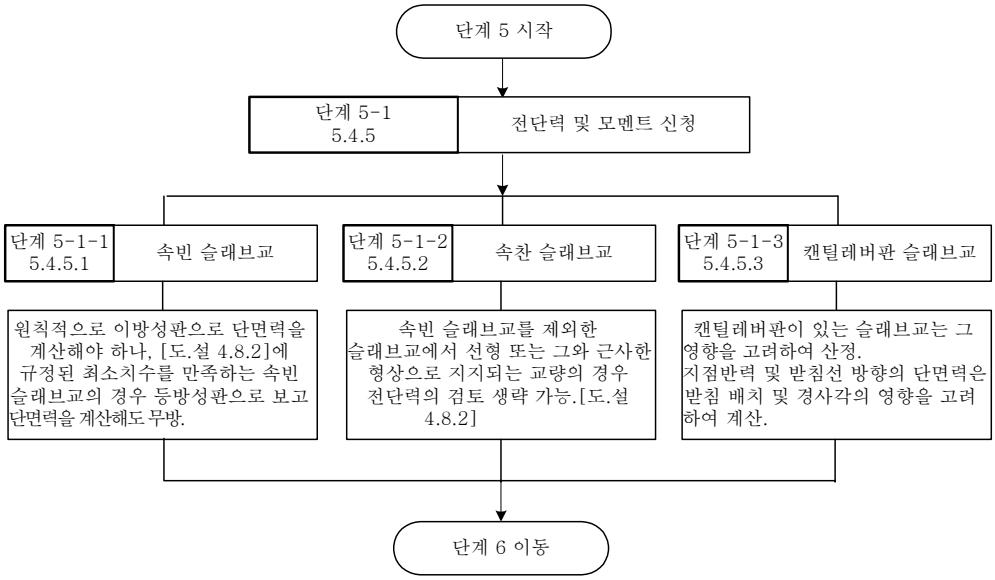
<그림 507.20> 하중계산

5.2.5 [단계4] 모델링



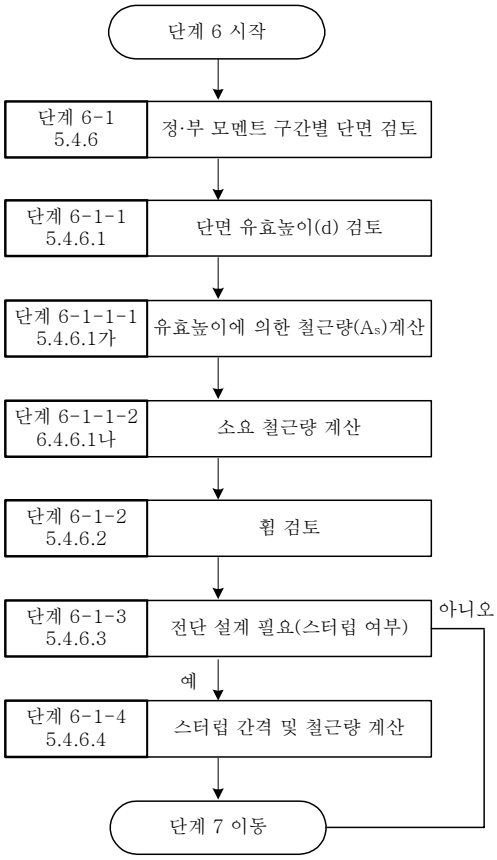
<그림 507.21> 모델링

5.2.6 [단계 5] 단면력 산정



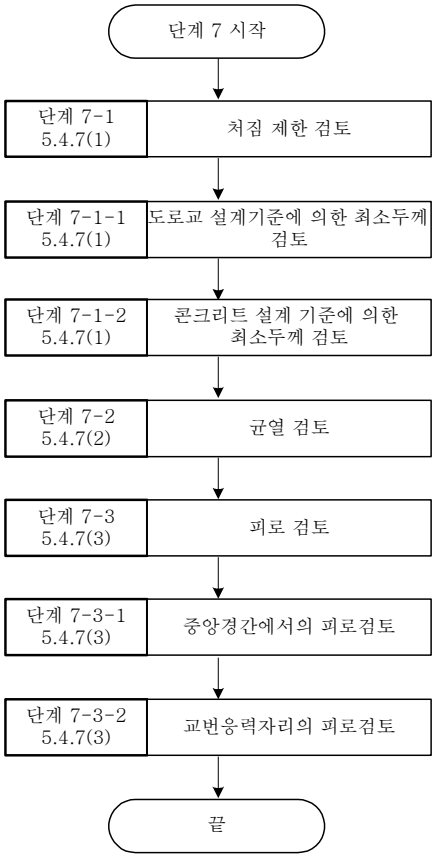
<그림 507.22> 단면력 산정

5.2.7 [단계 6] 철근량 계산 및 단면검토



<그림 507.23> 철근량 계산 및 단면검토

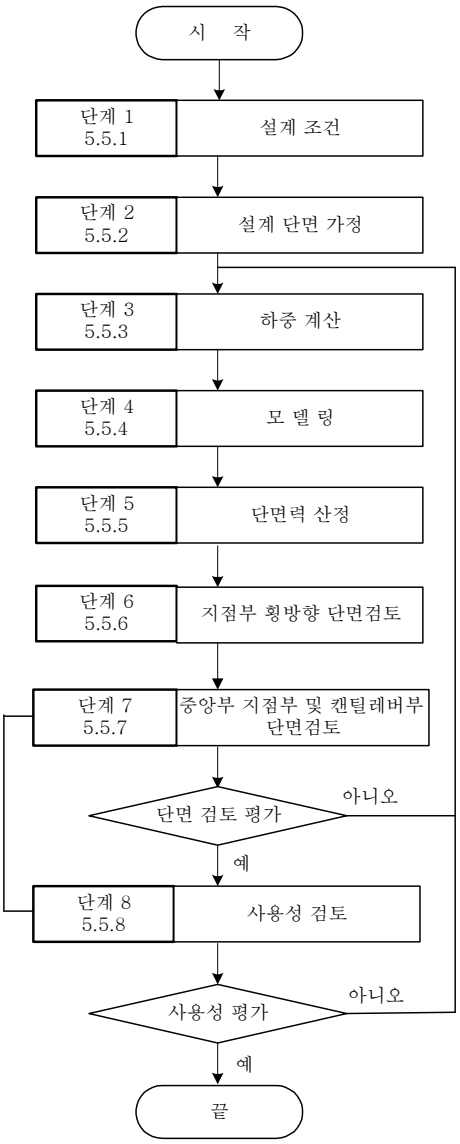
5.2.8 [단계 7] 사용성 검토



<그림 507.24> 사용성 검토

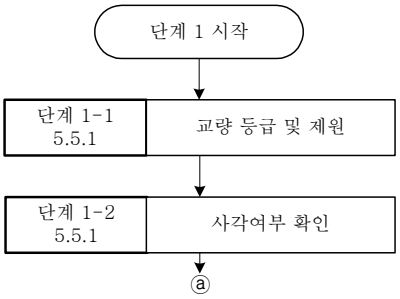
5.3 프레임에 의한 설계 흐름

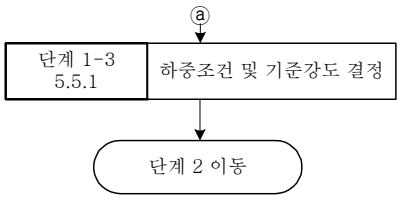
5.3.1 주설계단계



<그림 507.25> 주설계단계

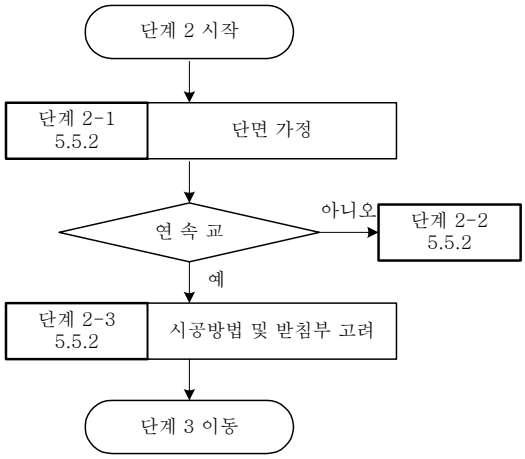
5.3.2 [단계 1] 설계 조건





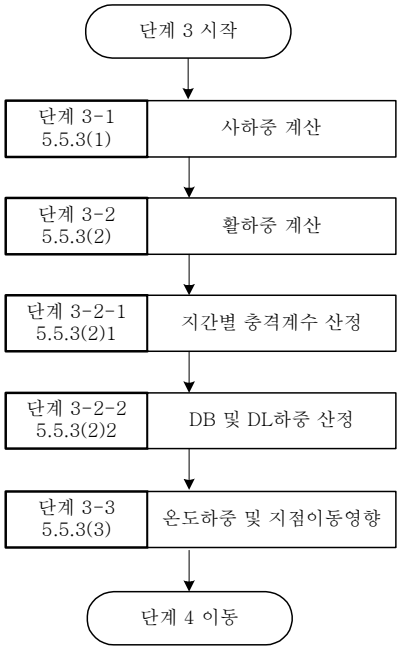
<그림 507.26> 설계조건

5.3.3 [단계 2] 설계단면가정



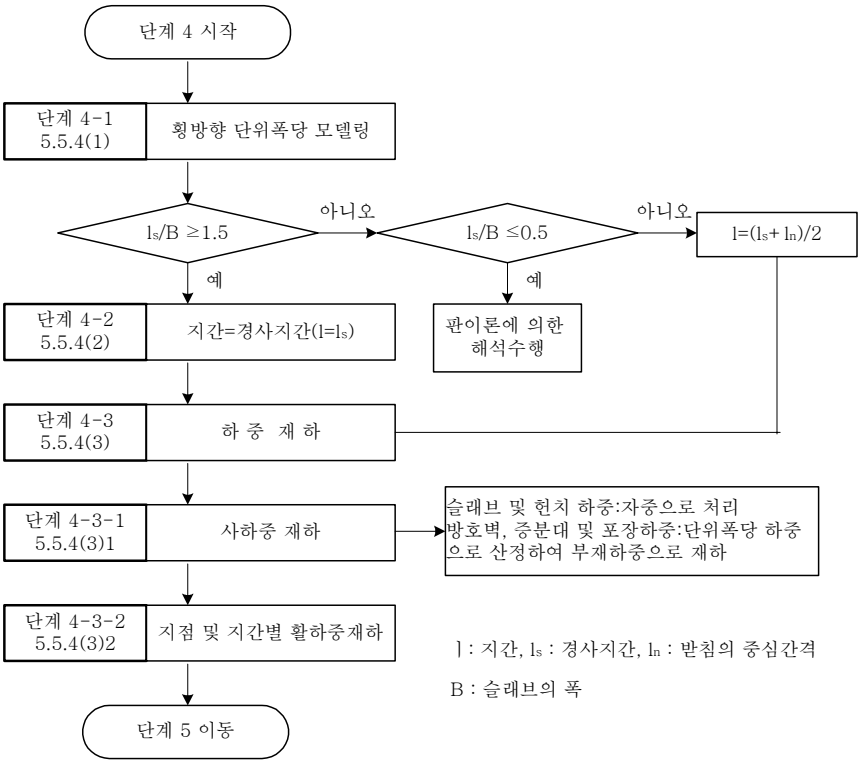
<그림 507.27> 설계 단면 가정

5.3.4 [단계 3] 하중 계산



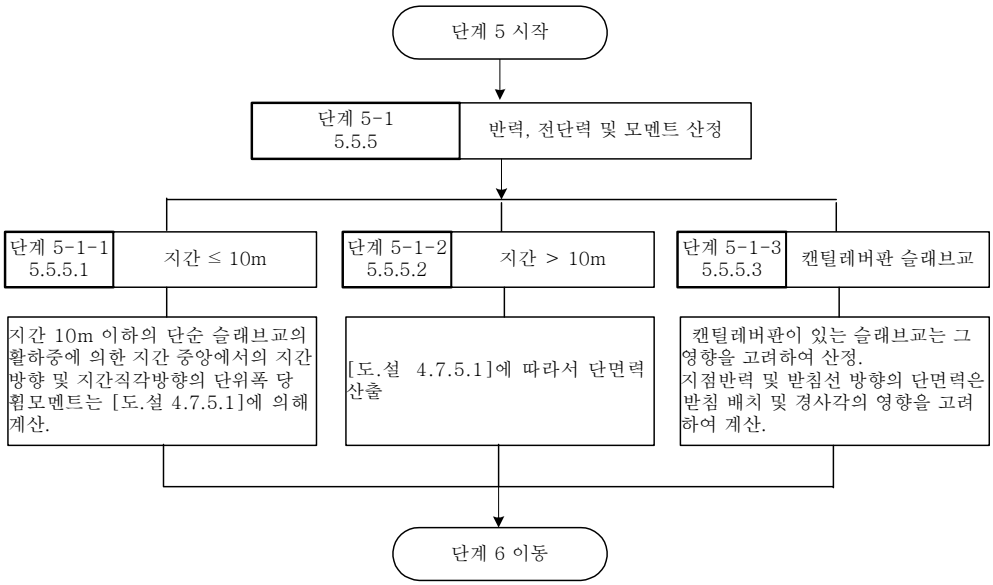
<그림 507.28> 하중계산

5.3.5 [단계 4] 모델링



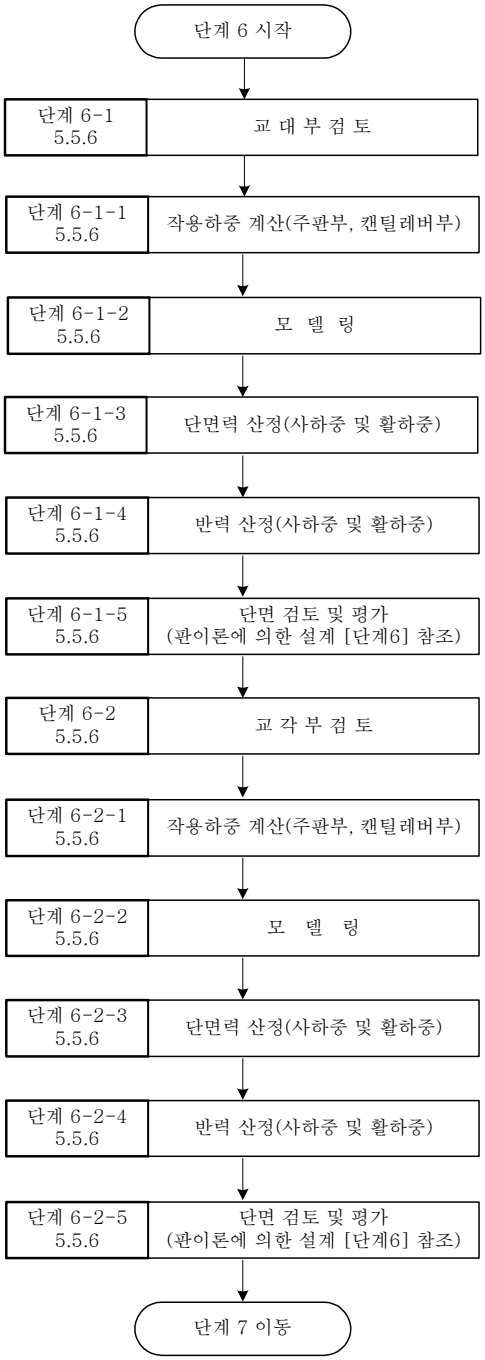
<그림 507.29> 모델링

5.3.6 [단계 5] 단면력 산정



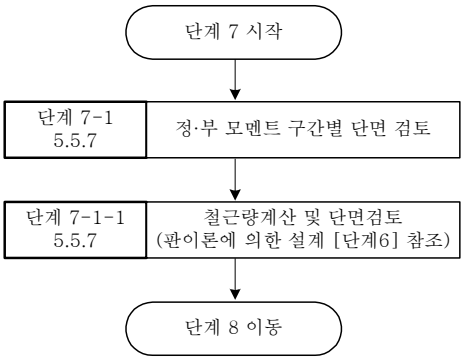
<그림 507.30> 단면력 산정

5.3.7 [단계6] 지점부 횡방향 검토



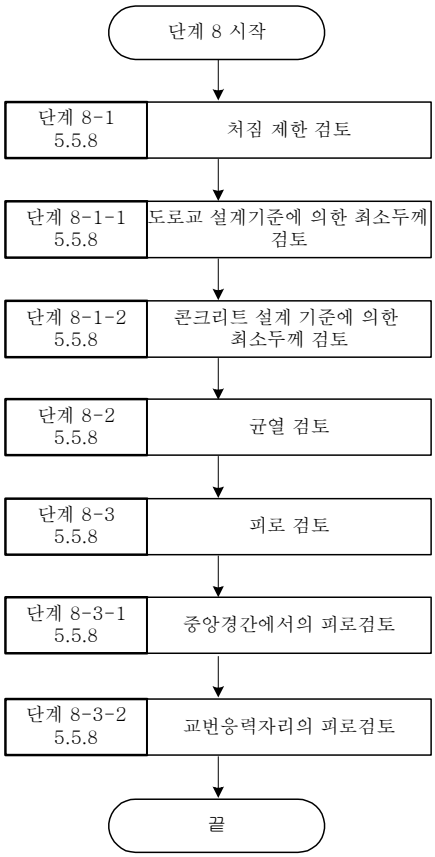
<그림 507.31> 지점부 횡방향 검토

5.3.8 [단계7] 중앙부, 지점부 및 캔틸레버 단면 검토



<그림 507.32> 중앙부, 지점부 및 캔틸레버 단면검토

5.3.9 [단계8] 사용성 검토



<그림 507.33> 사용성 검토

5.4 판 해석에 의한 설계단계별 고려사항

5.4.1 [단계 1] 설계조건

(1) [단계 1-1] 교량 등급 및 제원[도・설 1.3, 1.5]

① 교통량이 많거나 중차량 통과가 빈번한 특수산업시설에 인접한 지방도, 시도 및 군도상의 교량은 1등급교로 설계함을 원칙으로 한다. 다만 일일 계획교통량이 1,000대 미만인 경우에 지방도, 시도 및 군도상의 교량을 2등급교로 설계할 수 있다. 교통량이 극히 적은 경우에는 예외적으로 담당기술자의 판단에 의하여 3등급교로 설계할 수 있다.

② 교량의 폭원 구성, 건축한계, 선형 등은 도로의 구조・시설기준에 관한 규정에 따른다. 단면 계획시 캔틸레버 부분을 길게 하면 다소의 경제성을 높일 수 있으나, 캔틸레버 영향을 감안한 구조계산시 주판의 가장자리가 불리해지므로 이에 대한 구조해석이 필요하며, 교좌장치 배치에 신중하여야 한다.

③ 연속슬래브 구조에서는 지점부에 헌치를 두거나 이에 상응하는 철근보강이 필요하나, 일반적으로 적절한 헌치를 두는 것이 구조적으로 유리하다.

(2) [단계 1-2] 사각 여부

교량 계획시 사각이 없도록 교량을 직교로 설계하는 것이 좋으나 불가피하게 사각이 요구될 때에는 가급적 영향이 적은 75° 이내로 계획함이 구조적으로 유리하다.

(3) [단계 1-3] 하중조건 및 기준강도 결정

교량설계에 적용하는 하중은 교량의 형식이나 교량 가설지점의 조건에 따라 하중의 종류 및 하중조건이 적절히 결정되어야 한다.

5.4.2 [단계 2] 설계단면가정

(1) [단계 2-1] 단면 가정

① 철근 콘크리트 차도측 바닥판의 최소 두께는 22cm 또는 “4.1 바닥판의 지간 및 두께”의 <표 507.8>에 있는 값 중 큰 값으로 한다[도・설 4.7.3]. <표 507.8>의 캔틸레버 바닥판의 최소두께는 지지점에서의 두께를 의미한다. 여기서, L은 트럭하중에 대한 바닥판의 경간(m)을 의미한다.

② 처짐계산을 생략할 수 있는 경우의 휨부재의 최소높이 및 두께는 <표 507.10>의 규정에 의거한다.[콘・설 p78]

<표 507.10> 처짐을 계산하지 않는 경우의 보 또는 1방향 슬래브의 최소 두께

부 재	최소두께, h			
	단순지지	1단 연속	양단 연속	캔틸레버
	큰 처짐에 의해 손상되기 쉬운 칸막이벽이나 기타 구조물을 지지 또는 부착하지 않은 부재			
1방향 슬래브	L/20	L/24	L/28	L/10
보 리브가 있는 1방향 슬래브	L/16	L/18.5	L/21	L/8

<표 507.10>의 값은 일반콘크리트(w_c = 2.3 tonf/m^3)와 설계기준항복강도 4,000kgf/cm^2 철근을 사용한 부재에 대한 값이며 다른 조건에 대해서는 그 값을 수정하여야 한다. 1.5~2.0tonf/m^3 범위의 단위체적질량을 갖는 구조용 경량콘크리트에 대해서는 계산된 h값에 (1.65~0.31 w_c)를 곱해야 하나, 1.09보다 작지 않아야 한다. f_y가 4,000kgf/cm^2 이외인 경우에는 계산된 h값에 (0.43+ f_y/7,000)를 곱하여야 한다.

③ 캔틸레버 부분을 길게하면 다소 경제성을 높일 수 있으나 캔틸레버 영향을 감안한 구조계산시 주판의 가장자리가 불리해지므로 이에 대한 구조해석이 필요하고 교좌장치 배치에 신중하여야 한다.

④ RC슬래브에서 장경간은 사하중의 증가로 불리해지므로 단순경간의 경우 15m이하에서 널리 사용하는데 보통 적용지간의 범위는 단지간에서 5~12m, 연속교에서 10~18m정도이다.

⑤ 형고는 구조형식, 지간, 사각의 각도에 따라 틀리며 [도·설 4.4.9.5]에 규정된 처짐의 제한 최소 두께 이상이어야 한다. 우리나라에서 사용된 일반적인 RC슬래브교량에 대하여 형고비를 조사한 결과 16~20정도가 적당할 것으로 사료되며 결과치는 "3.1 슬래브교"의 <표 507.4>와 같다.

⑥ 연속교의 경우, 교각부와 연속지점부는 일반구간보다 단면력이 커서 전교량에서 슬래브 두께를 키울 경우 비경제적인 설계가 되므로 경제적인 설계를 위하여 일반적으로 교각에 헌치를 설계한다. 헌치의 크기는 단면적의 크기에 의해 결정되므로 일률적으로 그 크기를 정할 수는 없으나, 헌치의 설치구간을 길게 할 경우 교각부의 강성이 커져 정 모멘트의 감소 효과가 나타나므로, 설계자가 어느 구간만큼 헌치를 두는 것이 적당한지는 각 구조물에 따라 설계자가 결정할 사항이다. 그러나, 일반적으로 헌치의 크기는 일반구간보다 30~50cm정도 크게 하고 헌치의 기울기는 1/3~1/6정도로 하는 것이 적당하다.

(2) [단계 2-2] 단순교

일반 단순교는 [도·설 4.8]을 참조한다.

(3) [단계 2-3] 시공방법 및 받침부 고려

연속슬래브 구조에서는 온도변화, 건조수축, 프리스트레스 힘 등에 의하여 변형이 구속되어 부정정력이 발생하므로 이에 대한 고려와 시공방법 및 받침부 조건을 고려한 구조 해석을 해야 한다[도·설 4.11.3].

5.4.3 [단계 3] 하중계산

(1) [단계 3-1] 고정하중 계산

슬래브 자중은 범용해석프로그램의 쉘요소로 모델링하여 요소 자중으로 계산한다. 포장하중은 단위면적 당 하중으로 계산하여 등분포 하중으로 재하하도록 계산한다. 방호벽과 중분대의 하중은 각 단면별로 나누어 절점에 작용할 수 있도록 계산한다[도·설 2.1.2].

(2) [단계 3-2] 활하중 계산

바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우의 활하중으로 [도·설 2.1.3]에 의거하여 활하중을 재하한다.

① [단계 3-2-1] 지간별 충격계수 산정

지간별 충격계수의 산정은 [도·설 2.1.4]에 의거한다.

② [단계 3-2-2] DB 및 DL하중 산정[도·설

2.1.3]

DB하중과 DL하중은 [도·설을 따르며, DB하중의 크기는 <표 507.11>과 같다.

가. 차도부분에는 DB하중을 재하한다. DB하중은 한 개의 교량에 대하여 종방향으로는 차로당 1대를 원칙으로 하고, 횡방향으로는 재하가능한 대수를 재하하되 설계부재에 최대응력이 일어나도록 재하한다. 교축 직각 방향으로 볼 때, DB하중의 최외측 차륜중심의 재하위치는 차도부분의 단부로부터 30cm로 한다. 지간이 특히 긴 세로보나 슬래브교는 DL하중으로도 검토하여 불리한 응력을 주는 하중을 사용하여 설계한다.

나. 보도 등에는 500kgf/m^2의 등분포하중을 재하한다.

다. 궤도에는 궤도의 차량하중과 DB하중 가운데 설계부재에 불리한 응력을 주는 것을 재하한다. 궤도의 차량은 차량 수에 제한이 없는 것으로 보고 설계부재에 가장 불리한 응력을 주도록 재하한다. 차량의 점유폭과 하중은 해당 궤도의 규정을 따른다.

(3) [단계 3-3] 온도하중 및 지점이동의 영향

슬래브 상면과 하면의 온도차는 5°C로 한다. 부정정 구조물에서 지반의 압밀 침하 등으로 인하여 장기간에 걸친 지점의 이동 및 회전의 영향을 고려해야 할 경우에는 최종 이동량을 추정하여 단면력을 산정하여야 한다. 단면력의 산정은 탄성계산에 따른다[도·설 2.1.12. 2.1.15].

5.4.4 [단계 4] 모델링

(1) [단계 4-1] 판요소로 모델링

슬래브를 유한요소법을 이용하여 2차원 또는 3차원 삼각형, 사각형의 요소로 모델링하면 불규칙적 기하형태, 이방성 거동, 비탄성 거동 등 복잡한 구조계를 지점조건 및 사각을 고려하여 정확하게 모델링할 수 있으며, 슬래브에 작용하는 모든 하중을 정확히 재하할 수 있어 정확한 단면력과 지점반력을 얻을 수 있다[도·설 4.8.3.1].

(2) [단계 4-2] 사교

경사지간(l_s)과 슬래브 전체폭(B)의 비(l_s/B)가 0.5이하가 될 때에는 판이론에 따라 해석하는 것이 좋다[도·설 4.8.3.1, 4.8.3.2]. 지점부에 탄성받침을 사용하는 경우 스프링으로 모델링한다.

(3) [단계 4-3] 하중 재하

① [단계 4-3-1] 고정하중 재하

RC슬래브교의 슬래브 자중은 쉘 요소의 자중으로 처리하고 포장층은 등분포하중으로, 그리고 방호벽과 증분대는 계산한 자중을 절점하중으로 치환하여 load하중으로 처리한다.

② [설계단계 4.3.2] 차선별 활하중 재하

<표 507.11> DB하중

교량등급	하 중 W(tonf)	총중량 1.8W(tonf)	전륜하중 0.1W(kgf)	후륜하중 0.4W(kgf)
1 등교	DB-24	43.2	2,400	9,600
2 등교	DB-18	32.4	1,800	7,200
3 등교	DB-13.5	24.3	1,350	5,400

5.4.5 [단계 5] 단면력 산정

(1) [단계 5-1] 전단력 및 모멘트 산정

① [단계 5-1-1] 속빈 슬래브교

원칙적으로 이방성판으로 단면력을 계산해야 하나, [도·설 4.8.4(1)]에 규정된 최소치수 25cm를 만족하는 속빈 슬래브교의 경우 등방성판으로 보고 단면력을 계산해도 무방하다. 전단력을 검토할 경우 비지 않은 부분의 폭의 총합과 같은 복부폭을 갖는 T형보의 단면으로 보아도 좋다.

② [단계 5-1-2] 속찬 슬래브교

속빈 슬래브교를 제외한 슬래브교에서 선형 또는 그와 근사한 형상으로 지지되는 교량의 경우 전단력 검토는 생략 가능하다[도·설 4.8.2].

③ [단계 5-1-3] 캔틸레버판 슬래브교

캔틸레버 부분에 작용하는 하중과 강성의 영향을 고려한 해석을 한다. 또한 지점반력 및 받침선 방향의 단면력은 받침 배치 및 경사각의 영향을 고려하여 계산한다[도·설 4.8.3].

5.4.6 [단계 6] 철근량 계산 및 단면 검토

(1) [단계 6-1] 정·부 모멘트 구간별 단면 검토

강도 설계법에 의하여 사용하중에 대한 하중계수와 하중조합을 [도·설 2.2.3.2]의 규정에 의거하여 정리하면 다음과 같다.

$$U=1.3D+2.15(L+I) \quad (507.10)$$

$$U=1.3D+1.3(L+I)+1.3G$$

여기서, D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

L : 활하중 또는 이에 따른 단면력

I : 충격 또는 이에 따른 단면력

G : 부등침하, 온도하중 또는 이에 따른 단면력

① [단계 6-1-1] 단면 유효높이(d) 검토

가. [단계 6-1-1-1] 유효높이에 의한 철근량(A_s) 계산

나. [단계 6-1-1-2] 소요철근량 계산[도·설 4.7.5]

(가) [단계 6-1-1-1]에서 계산된 철근량으로 소요 주철근량을 산정한다. 또, 바닥판에는 집중하중으로 작용하는 활하중을 수평방향으로 분산시키기 위해 주철근의 직각방향으로 배력철근을 배치하여야 한다. 배력철근량은 계산된 주철근량의 백분율로 산정하며 다음과 같다[도·설 4.7.5.7]. 여기서 L은 바닥판의 경간(m)를 의미한다.

- 주철근이 차량진행방향의 직각인 경우는 $120/\sqrt{L}$ 과 67% 중 작은값 이상으로 산정한다.
- 주철근이 차량 진행방향에 평행한 경우 $55/\sqrt{L}$과 50% 중 작은 값 이상으로 산정한다.

(나) 주철근이 차량진행방향에 직각인 경우, 캔틸레버부를 제외한 구간에서는 위에서 산정된 배력철근을 바닥판 경간 중앙부의 1/2 구간에 배근하며, 나머지 구간에 산정된 배력철근량의 50% 이상만 배근하여도 좋다.

(다) 배근되는 배력철근량은 온도 및 건조수축에 대한 철근량 이상이어야 한다. 이때 바닥판 단면에 대한 온도 및 건조수축 철근량의 비는 0.2%이다.

(라) [도·설 4.7.6.2(4)]에서는 설계에서 고려한 것과 반대방향의 모멘트가 발생하는 예기치 않은 경우에도 철근콘크리트의 바닥판이 어느 정도의 저항을 할 수 있도록 압축 측에도 인장철근의 1/2이상을 배치하도록 규정하고 있다.

② [단계 6-1-2] 휨 검토

철근비($p=A_s/bd$) 및 설계모멘트(ϕM_n)를 계산하고 허용치와 비교·검토한다.

③ [단계 6-1-3] 전단 설계 필요(스터럽 여부) 검토[도·설 4.4.6]

전단력이 발생되는 지점부는 전단 검토에 의하여 전단철근 필요여부를 결정한다.

④ [단계 6-1-4] 스터럽 간격 및 철근량 계산

전단 철근을 필요로 되는 경우, [도·설 4.4.6.3]에 의거하여 전단설계를 실시한다.

5.4.7 [단계 7] 사용성 검토

강도설계법에 의해 설계된 휨부재는 그 강도 이외에 사용성이 반드시 충족되어야 한다. 따라서 휨부재는 사용하중 작용시 처짐이 [도·설 4.2.2.4]에 따라 조절되어야 할 뿐 아니라 하중의 반복작용에 따른 철근의 피로응력한계, 또 휨균열을 조절하기 위한 철근의 배근 조건도 충족되어야 한다.

(1) [단계 7-1] 처짐제한 검토

처짐계산에 의해 좀 더 작은 두께를 사용할 수 있는 경우를 제외하고는 상부 구조물의 최소 두께는 "2.2.1 처짐 제한"의 <표 507.1>에 따라도 좋다[도·설 4.4.9.5]. 변단면 부재가 사용되는 경우, <표 507.1>의 값은 정의 모멘트와 부의 모멘트, 단면의 상대적 강성의 변화를 감안하여 조정될 수 있다. <표 507.1>은 권장값이므로 필요하다면 처짐계산에 의해 확인하는 것이 바람직하다.

(2) [단계 7-2]균열 검토

① [콘·설 1.4.4.2], [도·설 4.4.9.4]

휨모멘트 및 축력에 의한 콘크리트의 인장응력이 콘크리트의 설계기준인장강도의 60%보다 작을 경우에는 휨균열을 검토하지 않아도 된다. 인장철근의 설계기준항복강도 3000㎏f/㎠ 이상인 경우 사용하중에 의한 휨균열폭은 다음 식에 의하여 구하고 균열폭이 "2.2.2 균열검토"의 <표 507.2>의 허용균열폭 w_a이하가 되도록 하여야 한다.

$$w = 1.08\beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} \ (\mathrm{mm}) \qquad (507.11)$$

여기서, f_s는 휨모멘트를 철근의 단면적과 내부 모멘트 팔길이를 곱한 값으로 나누어 구하여야 한다. 이러한 계산 대신에 철근의 설계기준 항복강도 f_y의 60%를 취할 수 있다. 그리고 β_c의 값은 보에 대하여 1.2, 슬래브에 대하여 1.35로 할 수 있다.

② 도로교 시방서 기준(1996)(Ⅲ.4.7.3)

콘크리트의 휨균열을 조절하기 위해서는 인장철근의 최대 인장구역내에 적절히 분포되어야 한다. 인장철근의 설계항복강도 f_y가 2,800 (kgf/cm^2)을 초과하는 경우에는 정 및 부의 최대 모멘트 단면에서의 철근의 크기 및 간격은 사용하중 하에서 계산된 철근의 응력 f_s (kgf/cm^2)가 다음 식으로 구한 값을 초과할 수 없다.

$$f_s = \frac{z}{(d_c A)^{1/3}} \le 0.6 f_y \qquad (507.12)$$

여기서,

A : 주인장 철근 주위의 콘크리트 단면적을 철근이나 철선의 개수로 나눈 유효인장단면적으로, 그 중심축은 철근의 중심축과 같다.

d_c : 인장연단에서 이 연단에 가장 가까이 위치한 철근의 중심까지의 콘크리트

덮개의 두께(cm)

z : 휨철근의 분배를 제한하는 수량

여기서 z값은 보통의 경우 내부구조물에 대해서는 30,350kg/cm, 외부구조물에 대해서는 23,170kg/cm을 초과할 수 없다.

(3) [단계 7-3] 피로 검토

콘크리트 슬래브의 피로검토는 활하중에 의한 콘크리트 슬래브 모멘트 변화가 큰 곳에서(주로 지간의 중앙점이 검토 대상이 됨) 최대 모멘트와 최소 모멘트에 의한 응력을 어느 한계 이내에 들도록 하여 검토하며 [AASHTO 8.16.8.3, 도·설 4.4.9.6], 주로 콘크리트 슬래브, 콘크리트 박스교 등의 주철근이 차량 진행방향에 평행한 슬래브에 대해 검토한다. 이것은 차량 진행방향으로의 모멘트 변화가 크기 때문이며 차량 진행방향의 직각 방향은 응력 차이가 크지 않아서 검토할 필요성이 적다. 사용하중하에서 활하중과 충격에 의해 야기되는 직선철근의 최대 인장응력과 최소 인장응력사이의 범위는 다음 식의 값을 초과할 수 없다.

$$f_g = 1,630 - 0.33 f_{\min} \qquad (507.13)$$

여기서, f_g = 응력범위 (㎏/㎠)

$f_{\min}$ = 최소응력 수준으로, 인장은 정, 압축은 부의 값 (㎏/㎠)

높은 응력범위의 구역에서는 주철근을 구부리는 일은 피해야 한다. 강교편의 근사방법에 따라 설계되는 주철근의 방향이 차량 진행방향에 직각인 콘크리트 바닥판에 대해서는 피로응력 한계를 고려할 필요가 없다.

5.5 프레임해석에 의한 설계단계별 고려사항

5.5.1 [단계 1] 설계조건

판 해석에 의한 설계단계별 고려사항 [단계 1] 참조

5.5.2 [단계 2] 설계단면 가정

판 해석에 의한 설계단계별 고려사항 [단계 2] 참조

5.5.3 [단계 3] 하중 계산

(1) [단계 3-1] 고정하중 계산

SAP에 의한 모델링의 경우 고정하중은 SAP의 자중으로 계산하거나, 방호벽 증분대, 포장하중은 별도로 계산하여 부재하중으로 계산한다. 슬래브, 방호벽 증분대, 포장 등의 하중을 자중으로 처리하지 않고 부재하중이나 절점하중으로 고정하중을 계산하고자 하는 경우에는 각 단면별로 단위길이당 하중으로 환산하는 방식을 사용한다.

(2) [단계 3-2] 활하중 계산

바닥판과 바닥틀을 설계하는 경우의 활하중으로 [도·설 2.1.3]의 규정에 의거하여 활하중을 재하한다. 프레임에 의한 설계에서는 횡방향에 대하여 단위폭(1m)당 하중을 계산한다.

① [단계 3-2-1] 지간별 충격계수 산정

판 해석에 의한 설계단계별 고려사항 [단계 3-2] 참조

② [단계 3-2-2] DB 및 DL하중 산정[도·설

2.1.3]

판 해석에 의한 설계단계별 고려사항 [단계 3-2] 참조

(3) [단계 3-3] 온도하중 및 지점이동의 영향 [도・설 2.1.12, 2.1.15]

슬래브교에서는 종방향에 대하여 가동단 받침을 사용할 경우 온도하중에 의한 응력은 없다. 슬래브 상면과 하면의 온도차는 5℃로 한다. 지점이동의 영향은 도로설계요령 3권(p229)에 의하여 최종침하량을 1cm로 가정하여 계산한다.

5.5.4 [단계 4] 모델링

(1) [단계 4-1] 횡방향 단위폭당 모델링

슬래브교를 횡방향 단위폭당 모델링하여 단위폭당의 단면력을 계산한다. 2차원 모델링으로 해석이 간단하지만 사각에 의한 예각부와 둔각부의 지점 반력차이, 캔틸레버부가 있는 경우의 해석, 그리고 지점의 위치에 따른 영향을 고려한 해석이 곤란하다. 따라서 단순 직교에 적용하는 것이 좋다.

(2) [단계 4-2] 지간=경사지간($l = l_s$)

경사슬래브에 있어서 75°이하의 사각을 가지는 경우 판해석법을 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 사각이 75°이상인 경우에는 사각의 영향이 작으므로 경사 지간(l_s)을 슬래브의 전체폭(B)으로 나눈 값에 관계없이 지간(l)을 경사지간(l_s)으로 하여도 좋다.

(3) [단계 4-3] 하중 재하

① [단계 4-3-1] 고정하중 재하

슬래브 및 헌치하중은 SAP 모델링에서 자중으로 처리하고 방호벽, 중분대 및 포장하중 등은 단위폭(1m) 당 하중으로 산정하여 부재하중으로 재하한다.

② [단계 4-3-2] 차선별 활하중 재하

5.5.5 [단계 5] 단면력 산정

(1) [단계 5-1] 반력, 전단력 및 모멘트 산정

① [단계 5-1-1] 지간 ≤ 10m

지간 10m이하의 단순 슬래브교의 활하중(충격을 포함)에 의한 지간 중앙에 있어서의 지간방향 및 지간 직각방향의 단위폭(1m) 당 설계휨모멘트는 판이론에 따라 계산하면 다소 복잡하다. 따라서 [도・설 4.7.5.1]를 참조하여 계산해도 무방하다.

② [단계 5-1-2] 지간 > 10m

지간이 10m를 넘는 단순슬래브교의 활하중에 의한 지간 중앙에 발생하는 지간 방향의 단위폭(1m)당의 설계휨모멘트는 보도 등에 350kg/㎡의 등분포하중을, 차도부분에 DL하중의 주재하중을 만재하고 산출한 휨모멘트를 슬래브의 전폭으로 나눈 값으로 하는 것이 가능하다. 또한, 지간 중앙에 발생한 지간 직각방향의 단위폭(1m) 당의 설계 휨모멘트는 [도・설 4.7.5.1]에 따라 계산하는 것이 가능하다.

③ [설계단계 5-1-3] 캔틸레버판 슬래브교

캔틸레버 부분에 작용하는 하중과 강성의 영향을 고려한 해석을 한다. 또한 지점반력 받침선 방향의 단면력은 받침 배치 및 경사각의 영향을 고려하여 계산한다[도・설 4.8.3].

5.5.6 [단계 6] 지점부 횡방향 단면검토

RC슬래브교를 프레임으로 해석하는 경우는

지점부 횡방향 단면 검토를 해야한다.[도로설계요령 3권 5.7.4]

(1) 연속 슬래브 지점의 설계를 하는 경우에는 연속 슬래브의 지점을 포함하여 모멘트 0인 점 사이의 거리를 지간으로 하고, 받침 반력을 집중하중으로 하는 가상 단순 받침 슬래브로 구조해석을 해도 좋다.

(2) 연속 슬래브지점 교축직각방향의 설계는 교축직각방향에 대한 받침조건을 만족시키기 위해 지점에 생기는 전단력을 지지하는 보로서 구조해석을 하는 것으로 한다.

(3) 고정하중 및 활하중에 의한 반력은 받침선상, 주판폭내에 등분포하중으로 작용하는 것으로 생각한다. 이 때 활하중은 받침선상 각 단면에 최대응력이 생기도록 재하한다.

(4) 받침간격이 크게 되는 경우에는 교축 직각방향 휨모멘트를 줄이기 위해 받침수를 늘여 받침간격을 단축하는 것으로 한다. 받침수가 3개 이상인 경우 가로보는 연속보로 해석하는 것을 원칙으로 한다.

5.5.7 [단계 7] 중앙부,지점부 및 캔틸레버 단면 검토

판 해석에 의한 설계고려사항 [단계 6] 참조

5.5.8 [단계 8] 사용성 검토

판 해석에 의한 설계고려사항 [단계 7] 참조

5.6 설계예(프레임 해석)

5.6.1 [단계 1] 설계조건

(1) [단계 1-1] 교량 등급 및 제원

① 형 식 : R.C 슬래브교 (단순교)

② 연 장 : 12.0m

③ 폭 원 : 25.8m

④ 교량등급 : 1등교

(2) [단계 1-2] 사각여부

사 각 : 90°(직교)

(3) [단계 1-3] 하중조건 및 기준강도 결정

① 사용재료

가 콘크리트 (보통 포틀랜드 시멘트)

- 설계기준강도 : f_{ck} = 270kgf/cm^2
- 탄성계수 : $E_c = 15000\sqrt{270} = 2.5 \times 10^5$kgf/cm^2
- 선팽창계수 : $\alpha = 1.0 \times 10^5$

나 철 근

- 항복 강도 : f_y = 4000kgf/cm^2 (SD 40)
- 탄성계수 : E_s = 2,040,000kgf/cm^2

② 하중조건

가 사하중

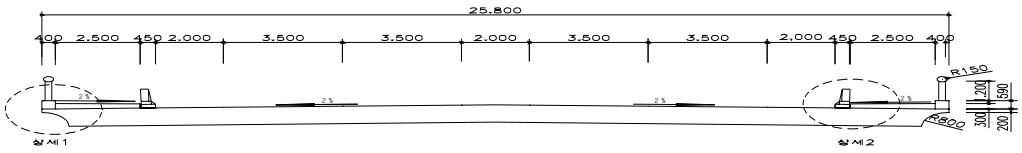
- 철근콘크리트의 단위중량 : γ_c = 2.5tonf/m^3
- 포장의 단위중량 : $\gamma_{포장}$ = 2.3tonf/m^3

나 활하중

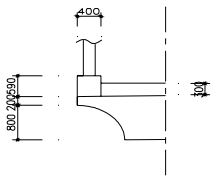
- DB-24, DL-24에 의한 부재력 중에서 불리한 것으로 적용
- 충격계수 $i = \dfrac{15}{(40+L)} \leq 0.3$

다 지점침하 : 10mm의 지점변위를 적용하며, Case별로 구한다.

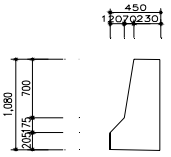
5.6.2 [단계 2] 설계단면가정



(a) 가정단면



(b) 상세 1



(c) 상세 2

(1) [단계 2-1]슬래브 두께 검토 : 콘크리트 설계기준(P.78)

$$\therefore \quad \frac{\ell}{16} = \frac{12.0}{16} = 0.75 < 1.0\text{m}$$

(2) [단계 2-2] 계산 지간 산정

도로교 설계기준에서는 사각을 갖는 슬래브의 경우, 경사지간과 교폭의 비에 따라 계산지간을 달리하고 있다.

$$\ell_s / B = 12.0 / 25.8 = 0.465 < 1.5$$

위와 같은 규정을 적용할 수 있으나, 사각이 75°이상인 경우 사각의 영향이 작으므로 경사지간 ℓ_s를 슬래브 전체폭으로 나눈 값(ℓ_s/B)에 관계없이 지간 ℓ은 경사지간 ℓ_s로 하여도 좋다는 규정을 적용한다.

5.6.3 [단계 3] 하중계산

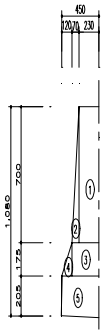
- 횡방향에 대하여 단위폭(1m)당 하중을 계산한다.
- 슬래브, 방호벽, 중분대, 포장 등의 하중을 단위폭으로 환산하여 적용한다.

(1) [단계 3-1] 사하중 계산

① 슬래브

- $(0.2+0.8)\times 25.8\times 2.5 - \frac{\pi\times(0.8)^2}{4}\times 2.0\times 2.5 = 61.987(\mathrm{tonf/m})$

② 방호벽



번호	산 식	중 량	팔길이	모멘트
①	0.17×0.23×2.5	0.403	0.115	0.0463
②	1/2×0.07×0.7×2.5	0.061	0.283	0.0170
③	0.175×0.3×2.5	0.131	0.180	0.0240
④	1/2×0.175×0.12×2.5	0.026	0.370	0.0100
⑤	0.42×0.205×2.5	0.215	0.240	0.0520
계	Σ	0.836		0.1610

≒ 0.163m

③ 포장하중

0.08 × 20.1 × 2.3 = 3.698tonf/m

④ 보도하중

2 × 0.3 × 2 × 2.5 = 3.0tonf/m

⑤ 방음벽 하중

0.59 × 0.4 × 2 × 2.5 = 1.18tonf/m

고정하중 전체 환산하중

W_d = 61.987 + 0.836 + 3.698 + 3.000 + 1.18 ≒ 70.7014/24.2 ≒ 2.9215tonf/m^2

(2) [단계 3-2] 활하중 계산

① 횡방향에 대하여 단위폭(1m)당 하중을 계산한다.

② 교폭 : 25.8m, 연석간 교폭 : 20.1m

③ 차선재하수 : 20.1/3.00 ≒ 6.7 ∴ 6차선 재하 가능

④ [단계 3-2-1] 충격계수

$$i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+12.0} = 0.2884 \leq 0.3$$

⑤ 유효폭

$$E_a = 1.2 + 0.06 \cdot \ell = 1.2 + 0.06 \times 12.0 \fallingdotseq 1.92$$

⑥ [단계 3-2-2] 차선별 단위폭당 활하중

가 2차선 재하시

$$P_r = \frac{4P(H_i)}{L} = \frac{4 \times 9.6 \times (1+0.2884)}{(4.8+1.92)} \fallingdotseq 7.365(\text{tonf})$$

$$P_f = \frac{4 \times 2.4 \times (1+0.2884)}{(1.92+4.8)} \fallingdotseq 1.840(\text{tonf})$$

각 차선 재하별 활하중을 계산하면 다음과 같다.

단위폭 당 활하중(단위 : tonf) P_r = 9.6tonf, P_f = 2.4tonf

재 하 차선수	2차선		3차선		4차선		5차선		6차선	
	P_r	P_f	P_r	P_f	P_r	P_f	P_r	P_f	P_r	P_f
활하중	7.362	1.840	6.871	1.710	5.782	1.445	5.901	1.475	5.946	1.486
비 고	○									

나 어느 설계부재의 최대응력이 3차선 이상의 활하중 동시 재하로 인해 발생하는 경우, 그 활하중 응력을 다음 백분율로 감소시킨다.

3차선 : 90% , 4차선 이상 : 75%

다 지간이 특별히 긴 단순 세로보나 슬래브교의 경우, 또는 이들을 연속형식으로 하는 경우에는 DL하중으로도 검토하여 불리한 응력을 주는 하중을 사용하여 설계한다.

(3) [단계 3-3] 온도하중

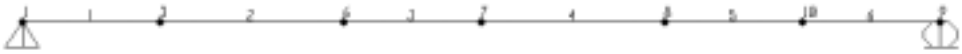
슬래브의 상면과 하면의 온도차 및 신축이음량을 산정하기 위한 교축방향의 온도변화는 각각 10℃로 한다.

(4) [단계 3-3] 지점침하

연속보나 라멘구조, 교각과 같은 부정정 구조물에서는 지반의 부등침하 등으로 발생하는 기초구조물의 침하, 수평이동, 회전 등에 의하여 부재력이 증가되는 곳이 발생하므로 그 영향을 고려한다.

5.6.4 [단계 4] 모델링

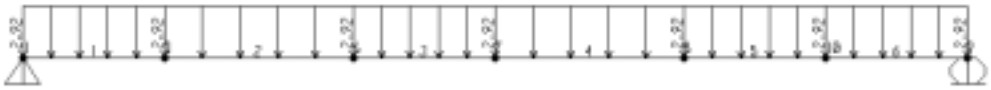
(1) [단계 4.1] 횡방향 단위폭당 모델링



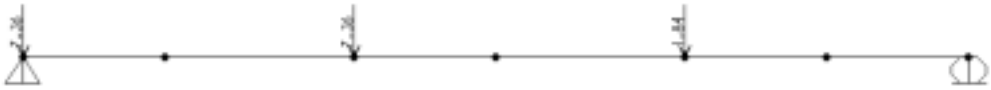
<Frame 요소를 사용한 SAP2000 모델링>

(2) [단계 4-3] 하중재하

① [단계 4-3-1] 고정하중



② [단계 4-3-2] 활하중



< Case 1 >

< Case 2 >

※ 최대 반력, 전단력 및 모멘트가 발생하도록 재하한다.

(3) SAP2000 입력 데이타

```
; File D:\rc슬래브\설계예제\frame.$2k saved 6-15-00 14:22:47 in Ton-m

SYSTEM
   DOF=UX,UZ,RY   LENGTH=m   FORCE=Ton   PAGE=SECTIONS
JOINT
   1   X=-3.5   Y=.5   Z=1
   3   X=-1.7   Y=.5   Z=1
   6   X=.7   Y=.5   Z=1
   7   X=2.5   Y=.5   Z=1
```

```
    8  X=4.9  Y=.5  Z=1
    9  X=8.5  Y=.5  Z=1
    10  X=6.7  Y=.5  Z=1
  RESTRAINT
    ADD=1  DOF=U1,U3,R3
    ADD=9  DOF=U3,R3
  PATTERN
    NAME=DEFAULT
  MATERIAL
    NAME=STEEL  IDES=S  M=.798142  W=7.833413
      T=0  E=2.038902E+07  U=.3  A=.0000117  FY=25310.5
    NAME=CONC  IDES=C  M=.2448012  W=2.402616
      T=0  E=2531051  U=.2  A=.0000099
    NAME=OTHER  IDES=N  M=.2448012  W=2.402616
      T=0  E=2531051  U=.2  A=.0000099
  FRAME SECTION
    NAME=FSEC1  MAT=STEEL  SH=R  T=1,1  A=1  J=.1408333
I=8.333334E-02,8.333334E-02  AS=.8333333,.8333333
  FRAME
    1  J=1,3  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
    2  J=3,6  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
    3  J=6,7  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
    4  J=7,8  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
    5  J=8,10  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
    6  J=10,9  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
  LOAD
    NAME=DEAD
      TYPE=DISTRIBUTED SPAN
        ADD=1  RD=0,1  UZ=2.9215,2.9215
        ADD=2  RD=0,1  UZ=2.9215,2.9215
        ADD=3  RD=0,1  UZ=2.9215,2.9215
        ADD=4  RD=0,1  UZ=2.9215,2.9215
        ADD=5  RD=0,1  UZ=2.9215,2.9215
        ADD=6  RD=0,1  UZ=2.9215,2.9215
        ADD=1  RD=0,1  UZ=-2.9215,-2.9215
```

```
        ADD=2   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=3   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=4   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=5   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=6   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=1   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=2   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=3   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=4   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=5   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
        ADD=6   RD=0,1   UZ=-2.9215,-2.9215
    NAME=DB
      TYPE=FORCE
        ADD=1   UZ=-7.362
        ADD=6   UZ=-7.362
        ADD=8   UZ=-1.84
    NAME=DB2
      TYPE=FORCE
        ADD=3   UZ=-7.362
        ADD=7   UZ=-7.362
        ADD=10   UZ=-1.84
OUTPUT
; No Output Requested
END
; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
; If changes are made to the analysis data above, then the following data
; should be checked for consistency.
SAP2000 V7.10 SUPPLEMENTAL DATA
    GRID GLOBAL   X "1"   -3.5
    GRID GLOBAL   X "2"   -2.5
    GRID GLOBAL   X "3"   -1.7
    GRID GLOBAL   X "4"   -1.5
    GRID GLOBAL   X "5"   -.5
    GRID GLOBAL   X "6"   .5
    GRID GLOBAL   X "7"   .7
```

```
GRID GLOBAL X "8" 1.5
GRID GLOBAL X "9" 2.5
GRID GLOBAL X "10" 3.5
GRID GLOBAL X "11" 4.9
GRID GLOBAL X "12" 6.7
GRID GLOBAL X "13" 8.5
GRID GLOBAL Y "14" -.5
GRID GLOBAL Y "15" .5
GRID GLOBAL Z "16" 0
GRID GLOBAL Z "17" 1
MATERIAL STEEL FY 25310.5
MATERIAL CONC FYREBAR 42184.18 FYSHEAR 28122.78 FC 2812.278 FCSHEAR 2812.278
STATICLOAD DEAD TYPE OTHER
STATICLOAD DB TYPE OTHER
STATICLOAD TEMP TYPE OTHER
STATICLOAD DB2 TYPE OTHER
END SUPPLEMENTAL DATA
```

5.6.5 [단계 5] 반력 및 단면력 산정

(1) [단계 4]에 의하여 산정된 단위폭당 반력 및 단면력은 다음 표와 같다.

(단위 : tonf/m)

	반 력	전 단 력		휨 모 멘 트	
		지점부	중앙부	지점부	중앙부
사 하 중	17.53	17.53	0	0	52.59
DB 24	12.70	12.70	0	0	30.37

5.6.6 [단계 6] 지점부 횡방향 단면 검토

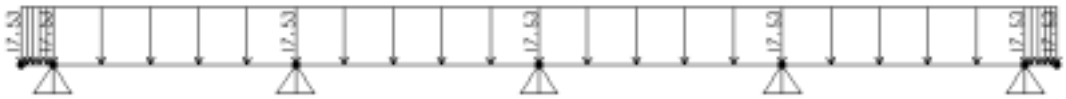
단순교의 경우 [단계 6-1]에 의한 교대부 검토를 따르고, 연속교의 경우, [단계 6-2]를 추가로 고려하여 교각부 검토를 실시한다.

(1) [단계 6-1-1] 작용하중 계산

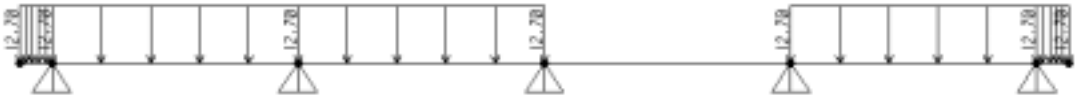
w_d = 17.53tonf/m, w_ℓ = 12.70tonf/m

(2) [단계 6-1-2] 모델링

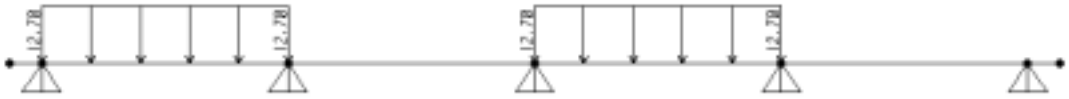
① Load Case



(a) 사하중



(b) 활하중(1)



(c) 활하중(2)

② SAP2000 입력 데이타

```
; File D:\rc슬래브\설계예제\횡방향검토.$2k saved 6-15-00 14:17:18 in Ton-m
SYSTEM
   DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ  LENGTH=m  FORCE=Ton  PAGE=SECTIONS
JOINT
   1  X=-3.5   Y=.5   Z=1
   2  X=-2.7   Y=.5   Z=1
   3  X=3.35   Y=.5   Z=1
   4  X=9.4    Y=.5   Z=1
   5  X=15.45  Y=.5   Z=1
   6  X=21.5   Y=.5   Z=1
   7  X=22.3   Y=.5   Z=1
RESTRAINT
   ADD=2   DOF=U1,U2,U3,R1,R3
   ADD=3   DOF=U1,U2,U3,R1,R3
   ADD=4   DOF=U1,U2,U3,R1,R3
   ADD=5   DOF=U1,U2,U3,R1,R3
   ADD=6   DOF=U1,U2,U3,R1,R3
PATTERN
```

```
  NAME=DEFAULT
MATERIAL
  NAME=STEEL  IDES=S  M=.798142  W=7.833413
    T=0  E=2.038902E+07  U=.3  A=.0000117  FY=25310.5
  NAME=CONC  IDES=C  M=.2448012  W=2.402616
    T=0  E=2531051  U=.2  A=.0000099
  NAME=OTHER  IDES=N  M=.2448012  W=2.402616
    T=0  E=2531051  U=.2  A=.0000099
FRAME SECTION
  NAME=FSEC1 MAT=CONC SH=R T=1.2,1 A=1.2 J=.1984394 I=.144,.1 AS=1,1
FRAME
  1  J=1,2  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
  2  J=2,3  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
  3  J=3,4  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
  4  J=4,5  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
  5  J=5,6  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
  6  J=6,7  SEC=FSEC1  NSEG=4  ANG=0
LOAD
  NAME=DEAD
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=1  RD=0,1  UZ=-17.53,-17.53
      ADD=2  RD=0,1  UZ=-17.53,-17.53
      ADD=3  RD=0,1  UZ=-17.53,-17.53
      ADD=4  RD=0,1  UZ=-17.53,-17.53
      ADD=5  RD=0,1  UZ=-17.53,-17.53
      ADD=6  RD=0,1  UZ=-17.53,-17.53
  NAME=DB1
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=1  RD=0,1  UZ=-12.7,-12.7
      ADD=2  RD=0,1  UZ=-12.7,-12.7
      ADD=3  RD=0,1  UZ=-12.7,-12.7
      ADD=5  RD=0,1  UZ=-12.7,-12.7
      ADD=6  RD=0,1  UZ=-12.7,-12.7
  NAME=DB2
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
```

```
        ADD=2   RD=0,1   UZ=-12.7,-12.7
        ADD=4   RD=0,1   UZ=-12.7,-12.7
  OUTPUT
  ; No Output Requested
  END
  ; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.
  ; If changes are made to the analysis data above, then the following data
  ; should be checked for consistency.
  SAP2000 V7.10 SUPPLEMENTAL DATA
    GRID GLOBAL  X "1"   -3.5
    GRID GLOBAL  X "2"   -2.7
    GRID GLOBAL  X "3"   -2.5
    GRID GLOBAL  X "4"   -1.5
    GRID GLOBAL  X "5"   -.5
    GRID GLOBAL  X "6"   .5
    GRID GLOBAL  X "7"   1.5
    GRID GLOBAL  X "8"   2.5
    GRID GLOBAL  X "9"   3.35
    GRID GLOBAL  X "10"   3.5
    GRID GLOBAL  X "11"   9.4
    GRID GLOBAL  X "12"   15.45
    GRID GLOBAL  X "13"   21.5
    GRID GLOBAL  X "14"   22.3
    GRID GLOBAL  Y "15"   -.5
    GRID GLOBAL  Y "16"   .5
    GRID GLOBAL  Z "17"   0
    GRID GLOBAL  Z "18"   1
    MATERIAL STEEL FY 25310.5
    MATERIAL CONC FYREBAR 42184.18 FYSHEAR 28122.78 FC 2812.278
FCSHEAR 2812.278
    CONCRETESECTION FSEC1 COLUMN  COVER .1 REBAR RR-3-3
    STATICLOAD DEAD TYPE DEAD
    STATICLOAD DB1 TYPE OTHER
    STATICLOAD DB2 TYPE DEAD
  END SUPPLEMENTAL DATA
```

(3) [단계 6-1-4] 단면력 산정

각 하중 종류별 단면력을 계산하여 정리하면 다음과 같다.

	단면력	사 하 중	활 하 중	하중조합(1.3D+ 2.15L)
지 점 부	Moment	-60.39	-48.74	-183.298
	Shear	63.03	46.42	181.742
중 앙 부	Moment	46.88	49.86	168.143
	Shear	0	0	0

(4) [판해석 단계 6-1-5] 단면 검토 및 평가

① 지점부

가 [단계 6-1] 설계조건

- 설계기준강도(f_{ck}) = 270.00kgf/cm^2
- 철근항복강도(f_y) = 4,000kgf/cm^2
- 단면 폭(b) = 100.00cm
- 유효 높이(d) = 95.00cm
- 극한 모멘트(M_u) = 183.30tonf/m
- 극한 전단력(S_u) = 181.742tonf

나 [단계 6-1-1-2] 소요 철근량 계산

- A_s(계산철근량) = 60.06cm^2
- 적용철근량 : 96.36cm^2 (H29@100) H29@200 (중첩철근)
- 압축철근 : 64.24cm^2 (H29@10), 소요배력근량 : 10.42cm^{2}이상 ← 적용배력근량 : H13@100=12.67cm^2

다 [단계 6-1-2] 휨검토(중앙부)

- $P = A_s / b \times d = 0.00676 < P_{max} = 0.75 \times P_b = 0.221$ O.K
- $M_n = f_y \times A_s \times (d-a/2) = 230.52$tonf/m $> 215.64(M_u/p_{hi})$ O.K

라 [단계 6-2-3,4] 전단검토

슬래브에서의 최소전단철근 검토는 필요없으므로 생략함(콘・설 P139)

② 중앙부

가 [단계 6-1] 설계조건

- 설계기준강도(f_{ck}) = 270.00kgf/cm^2
- 철근항복강도(f_y) = 4,000kgf/cm^2
- 단면 폭(b) = 100.00cm
- 유효 높이(d) = 95.00cm
- 극한 모멘트(M_u) = 168.14tonf/m
- 극한 전단력(Su) = 0.000tonf

나 소요 철근량 계산

• A_s(계산철근량) = 54.81cm²

• 적용철근량 : 96.36cm² (H29@100) H29@200 (중첩철근)

• 압축철근 : 64.24cm² (H29@10), 소요배력근량 : 10.42cm²이상 ← 적용배력근량 : H13@100=12.67cm²

다 [단계 6-1-2] 휨검토(중앙부)

• $P = A_s / b \times d = 0.00676 < P_{max} = 0.75 \times P_b = 0.221$ O.K

• $M_n = f_y \times A_s \times (d-a/2) = 231.69$tonf/m > 197.82($M_u$/phi) O.K

라 [단계 6-1-3,4] 전단검토

∴ 전단철근 불필요

5.6.7 [단계 7] 중앙부, 지점부 및 캔틸레버부 단면검토

(1) 중앙부 및 지점부 검토

① 하중계산

가 중앙부

• $M_u = 1.3 \times 52.59 + 2.15 \times (30.37) = 133.6625$(tonf · m/m)

• $S_u = 1.3 \times (0) + 2.15 \times (0) = 0$

나 지점부

• $M_u = 1.3 \times (0) + 2.15 \times (0) \fallingdotseq 0$

• $S_u = 1.3 \times 17.53 + 2.15 \times 12.7 \fallingdotseq 50.094$(tonf/m)

② 단면검토(판해석 설계의 [단계 6] 참조)

가 설계조건

• 설계기준강도(f_{ck}) = 270.00kgf/cm²

• 철근항복강도(f_y) = 4,000kgf/cm²

• 단면 폭(b) = 100.00cm

• 유효 높이(d) = 95.00cm

• 극한 모멘트(M_u) = 133.66tonf/m

• 극한 전단력(S_u) = 50.940tonf

나 소요 철근량 계산

• A_s = 43.09cm² ← 사용철근 : 64.2cm² (H29@100)

• 압축철근 = 32.1cm² (도·시 P.193) ← H29@200, 배력철근 = 34.64% → 22.3cm² 이상(최대 67%) → 적용배력근 19.4cm² (H22@200)

다 휨검토(중앙부)

• $P = A_s / b \times d = 0.00676 < P_{max} = 0.75 \times P_b = 0.221$ O.K

• $M_n = f_y \times A_s \times (d-a/2) = 234.31tonf/m > 157.25(M_u/phi)$ O.K

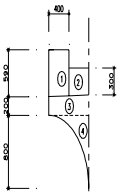
라 전단검토

∴ 전단철근 불필요

(2) 캔틸레버부 단면검토

① 하중산정

가 사하중



구분	하 중 (tonf/m)	작용 거더	휨 모멘트
①	0.4×0.59×2.5 = 0.59	0.2	0.118
②	0.3×0.4×2.5 = 0.3	0.3	0.090
③	0.8×0.2×2.5 = 0.4	0.4	0.160
④	$(0.64-\frac{\pi\times(0.8)^2}{4}\times\frac{1}{4})\times2.5=0.51$	$0.8\times\frac{2}{3}$	0.2719
Σ	1.8	0.356	0.640

나 풍하중

• 활하중 재하시 : 150kgf/cm²

• 활하중 비재하시 : 300kgf/cm²을 각각 재하시킴.

$$M = 0.3\times\frac{1.0}{2}\times(0.5+0.2) = 0.105\,(tonf\cdot m)$$

② 하중조합

• $M_u = 1.3 \times 0.64 = 0.832tonf/m$

• $M_{u2} = 1.3 \times 0.64 + 0.5 \times 1.3 \times 0.105 = 0.900tonf/m$

• $S_u = 1.3 \times 1.8 = 2.34tonf/m$

③ 단면검토(판 해석 설계 [단계 6] 참조)

가 설계조건

• 설계기준강도(f_{ck}) = 270.00kgf/cm²

• 철근항복강도(f_y) = 4,000kgf/cm²

• 단면 폭(b) = 100.00cm

• 유효 높이(d) = 75.00cm

• 극한 모멘트(M_u) = 0.90tonf/m

• 극한 전단력(S_u) = 2.340tonf

나 소요 철근량 계산

• As = 0.35cm² ← 사용철근 : 19.4cm² (H22@200)

• 압축철근 = 19.4cm² (H22@200), 소요배력근량(%) = 15.87% ← 3.078cm² 이상

(최대 50%)

적용배력근 : 19.4cm² (H22@200)

다 휨검토(중앙부)

• $P = A_s / b \times d = 0.00856 < P_{max} = 0.75 \times P_b = 0.221$ O.K

• $M_n = f_y \times A_s \times (d-a/2) = 192.52 tonf/m > 1.06(M_u/phi)$ O.K

5.6.8 [단계 8] 사용성 검토

(1) [단계 8-1] 처짐제한 검토

최소두께 = 1.2(S +3) / 30 = 1.2(13 + 3) / 30 = 0.640m < 0.900m ∴ O.K

(2) [단계 8-2] 균열검토(콘크리트설계기준(1999) 적용)

지점부 M = 109.13(tonf · m/m (net))

$w = 1.08 R f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} \times 10^{-5} (mm)$

R = 1.35 , d_c = 7cm

A = 7.0 × 2 × 100 / 10EA = 140cm²

$f_s = M/(A_s(d-x/3)) = 109.13 \times 10^5 / \{64.240 \times (95-26.505/3)\} = 1971 (kgf/cm^2)$

$Z = 1971 \sqrt[3]{7 \times 140} = 1957 kgf/cm < 25,50 kgf/cm$ ∴ O.K

$w = 1.08 \times 1.35 \times 1957 \times 10^{-5} = 0.00285(mm) < 0.005C = 0.25(mm)$

(3) [단계 8-3] 피로검토

중간경간에서의 모멘트 변화에 의한 피로검토를 하면 다음과 같다.

이 경우 최대 모멘트는 기존 계산서의 값을 참고하며, 최소 모멘트는 사하중 만이 작용하였을 경우로 고려한다.

$M_{max} = 52.59 + 30.37 = 82.96 (tonf \cdot m)$

$M_{min} = 52.59 (tonf \cdot m/m)$

A_s = H29 × 10 = 64.240(cm²)

$$f_{smax} = \frac{M}{A_s \times j \times d} = \frac{82.96 \times 10^5}{64.240 \times 0.911 \times 95} = 1492.180 (kgf/cm^2)$$

$$f_{smix} = \frac{52.59 \times 10^5}{64.240 \times 0.911 \times 95} = 945.922 (kgf/cm^2)$$

$\Delta\sigma = \sigma_{smax} - \sigma_{smax} = 546.257 (kgf/cm^2)$

$\sigma_f = 1630 - 0.33\sigma_{smin} = 1630 - 0.33 \times 945.922 = 1317.845 (cm^2)$

$= 1317.845 (kgf/cm^2) > 546.257 (kgf/cm^2)$ O.K

5.7 설계예 (판 해석)

5.7.1 [단계1] 설계조건

(1) [단계 1-1] 교량 등급 및 제원

① 형 식 : R.C 슬래브교 (단순교)

② 연 장 : 12.0m

③ 폭 원 : 25.8m

④ 교량등급 : 1등교

(2) [단계 1-2] 사각여부

사 각 : 70°

(3) [단계 1-3] 하중조건 및 기준강도 결정

① 사용재료

가 Concrete (보통 Concrete Cement)

- 설계기준강도 : f_{ck} = 270kgf/cm^2
- 탄성계수 : $E_c = 15000\sqrt{270} = 2.5 \times 10^5$kgf/cm^2
- 선팽창계수 : $\alpha = 1.0 \times 10^5$

나 철 근

- 항복 강도 : f_y = 4000kgf/cm^2 (SD 40)
- 탄성계수 : E_s = 2,040,000kgf/cm^2

② 하중조건

가 사하중

- 철근콘크리트의 단위중량 : γ_c = 2.5tonf/m^3
- 포장의 단위중량 : γ포장 = 2.3tonf/m^3

나 활하중

- DB-24, DL-24에 의한 부재력 중에서 불리한 것으로 적용
- 충격계수 $i = \frac{15}{(40+L)} \leq 0.3$

다 지점침하 : 10mm의 지점변위를 적용하며, Case별로 구한다.

5.7.2 [단계 2] 설계 단면가정

판해석에 의한 계산 [단계2] 참조

(1) 슬래브 두께 검토

판 해석에 의한 설계 고려사항 <표 507.10>에 의거하여 슬래브 두께를 검토한다.

$$\therefore \quad \frac{\ell}{16} = \frac{12.0}{16} = 0.75 < 1.0\text{m}$$

5.7.3 [단계 3] 하중계산

(1) [단계 3-1] 사하중

① 슬래브 자중

• SAP2000의 쉘요소로 모델링하고 요소 자중으로 자동계산

② 포장

• 단위면적당 하중으로 계산하여 모델링한 요소에 등분포로 재하

• $P = 0.08 \times 2.3 = 0.18\text{tonf/m}^2$

③ 방호벽

프레임에 의한 설계 예 참조

④ 보도하중

$0.3 \times 2.5 = 0.75\text{tonf/m}^2$

⑤ 캔틸레버부

프레임에 의한 설계 예 참조

(2) [단계 3-2] 활하중

① 교폭 : B = 25.8m

② 연석간 교폭 : 20.1m

③ 차선재하수 : 20.1/3.00 ≒ 6.7 ∴ 6차선 재하 가능

④ 충격계수

$$i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+12.0} = 0.2884 \leq 0.3$$

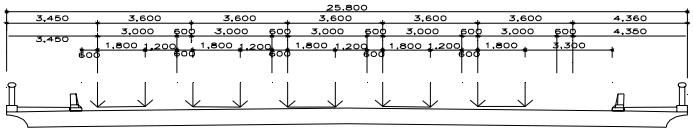
⑤ [단계 3-2-1] 활하중 재하

$P_f = 2.4 \times 0.75 \times 1.288 = 2.318$

$P_r = 9.6 \times 0.75 \times 1.288 = 9.2736$

⑥ [단계 3-2-2] DB 및 DL하중

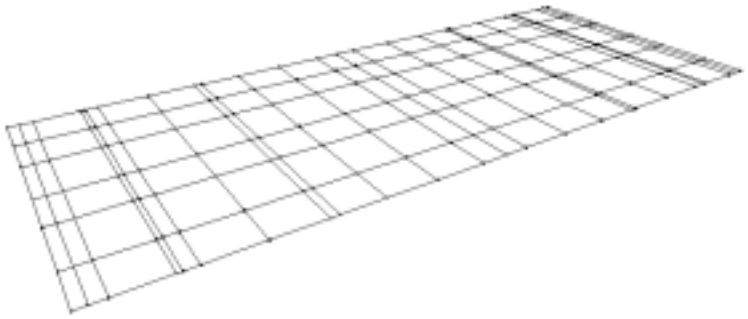
DB 및 DL하중은 [단계 3-2-2]에 의거하여 산정한다.



< 횡방향 하중 재하 >

5.7.4 [단계 4] 모델링

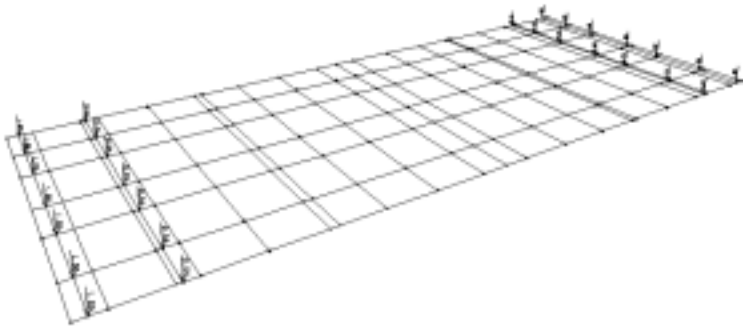
(1) [단계 4-1] RC 슬래브를 사각형의 판요소로 모델링한다. 횡방향에 대하여 그림과 같이 방호벽, 보도, 받침 위치 등과 활하중 재하 거리를 감안하여 분할하였다.



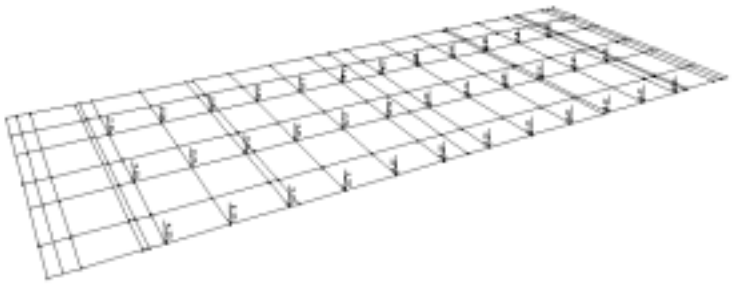
< RC 슬래브교 모델링 >

(2) [단계 4-3] 하중재하

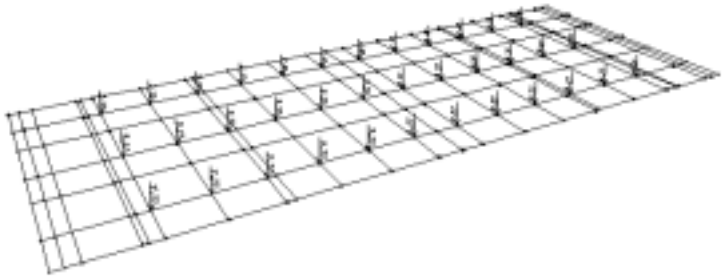
① [단계 4-3-1] 고정하중



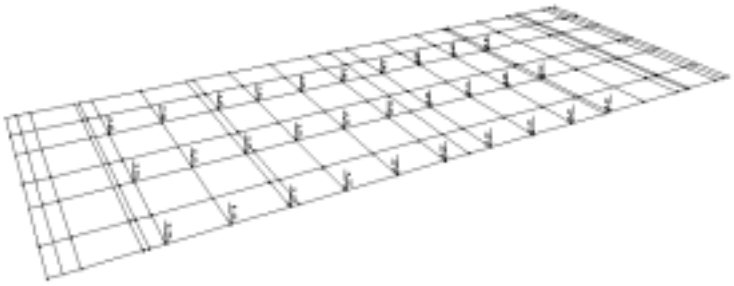
② [단계 4-3-2] 활하중



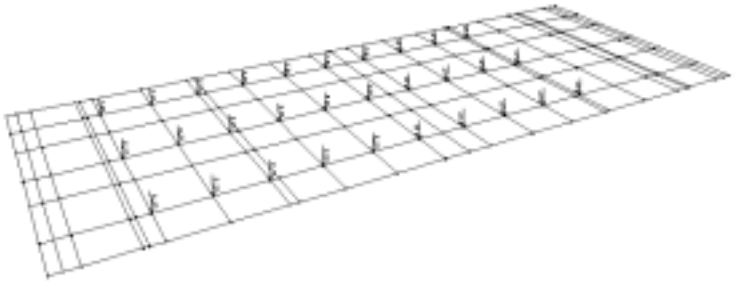
(a) Load Case 1



(b) Load Case 2



(c) Load Case 3



(d) Load Case 4

* 최대단면력이 발생하도록 재하한다.

③ SAP2000 입력 데이타

; File D:\rc슬래브\설계예제\판해석.$2k saved 6-16-00 11:19:44 in Ton-m

```
SYSTEM
DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ
LENGTH=m
FORCE=Ton
PAGE=SECTIONS
JOINT
  1  X=0  Y=0  Z=0
  2  X=.356  Y=0  Z=0
  3  X=.8  Y=0  Z=0
  4  X=2.356  Y=0  Z=0
  5  X=2.519  Y=0  Z=0
  6  X=2.956  Y=0  Z=0
  7  X=4.756  Y=0  Z=0
  8  X=6.556  Y=0  Z=0
  9  X=6.85  Y=0  Z=0
  10  X=8.356  Y=0  Z=0
  11  X=10.156  Y=0  Z=0
  12  X=11.956  Y=0  Z=0
  13  X=12.9  Y=0  Z=0
  14  X=13.756  Y=0  Z=0
  15  X=15.556  Y=0  Z=0
  16  X=17.356  Y=0  Z=0
  17  X=18.95  Y=0  Z=0
  18  X=19.156  Y=0  Z=0
  19  X=20.956  Y=0  Z=0
  20  X=22.756  Y=0  Z=0
  21  X=23.281  Y=0  Z=0
  22  X=23.444  Y=0  Z=0
  23  X=25  Y=0  Z=0
  24  X=25.444  Y=0  Z=0
  25  X=25.8  Y=0  Z=0
  26  X=.655  Y=1.8  Z=0
  27  X=1.011  Y=1.8  Z=0
  28  X=1.455  Y=1.8  Z=0
  29  X=3.011  Y=1.8  Z=0
  30  X=3.174  Y=1.8  Z=0
  31  X=3.611  Y=1.8  Z=0
  32  X=5.411  Y=1.8  Z=0
  33  X=7.211  Y=1.8  Z=0
  34  X=7.505  Y=1.8  Z=0
  35  X=9.011001  Y=1.8  Z=0
  36  X=10.811  Y=1.8  Z=0
  37  X=12.611  Y=1.8  Z=0
  38  X=13.555  Y=1.8  Z=0
  39  X=14.411  Y=1.8  Z=0
  40  X=16.211  Y=1.8  Z=0
  41  X=18.011  Y=1.8  Z=0
  42  X=19.605  Y=1.8  Z=0
  43  X=19.811  Y=1.8  Z=0
  44  X=21.611  Y=1.8  Z=0
  45  X=23.411  Y=1.8  Z=0
  46  X=23.936  Y=1.8  Z=0
  47  X=24.099  Y=1.8  Z=0
  48  X=25.655  Y=1.8  Z=0
  49  X=26.099  Y=1.8  Z=0
  50  X=26.455  Y=1.8  Z=0
  51  X=1.528  Y=4.2  Z=0
  52  X=1.884  Y=4.2  Z=0
  53  X=2.328  Y=4.2  Z=0
  54  X=3.884  Y=4.2  Z=0
  55  X=4.047  Y=4.2  Z=0
  56  X=4.484  Y=4.2  Z=0
  57  X=6.284  Y=4.2  Z=0
  58  X=8.084001  Y=4.2  Z=0
  59  X=8.378  Y=4.2  Z=0
  60  X=9.884  Y=4.2  Z=0
  61  X=11.684  Y=4.2  Z=0
  62  X=13.484  Y=4.2  Z=0
  63  X=14.428  Y=4.2  Z=0
  64  X=15.284  Y=4.2  Z=0
  65  X=17.084  Y=4.2  Z=0
  66  X=18.884  Y=4.2  Z=0
  67  X=20.478  Y=4.2  Z=0
  68  X=20.684  Y=4.2  Z=0
  69  X=22.484  Y=4.2  Z=0
  70  X=24.284  Y=4.2  Z=0
  71  X=24.809  Y=4.2  Z=0
  72  X=24.972  Y=4.2  Z=0
  73  X=26.528  Y=4.2  Z=0
  74  X=26.972  Y=4.2  Z=0
  75  X=27.328  Y=4.2  Z=0
  76  X=2.184  Y=6  Z=0
  77  X=2.54  Y=6  Z=0
  78  X=2.984  Y=6  Z=0
  79  X=4.54  Y=6  Z=0
  80  X=4.703  Y=6  Z=0
  81  X=5.14  Y=6  Z=0
  82  X=6.94  Y=6  Z=0
  83  X=8.74  Y=6  Z=0
  84  X=9.033999  Y=6  Z=0
```

85 X=10.54 Y=6 Z=0
86 X=12.34 Y=6 Z=0
87 X=14.14 Y=6 Z=0
88 X=15.084 Y=6 Z=0
89 X=15.94 Y=6 Z=0
90 X=17.74 Y=6 Z=0
91 X=19.54 Y=6 Z=0
92 X=21.134 Y=6 Z=0
93 X=21.34 Y=6 Z=0
94 X=23.14 Y=6 Z=0
95 X=24.94 Y=6 Z=0
96 X=25.465 Y=6 Z=0
97 X=25.628 Y=6 Z=0
98 X=27.184 Y=6 Z=0
99 X=27.628 Y=6 Z=0
100 X=27.984 Y=6 Z=0
101 X=3.057 Y=8.4 Z=0
102 X=3.413 Y=8.4 Z=0
103 X=3.857 Y=8.4 Z=0
104 X=5.413 Y=8.4 Z=0
105 X=5.576 Y=8.4 Z=0
106 X=6.013 Y=8.4 Z=0
107 X=7.813 Y=8.4 Z=0
108 X=9.613 Y=8.4 Z=0
109 X=9.907 Y=8.4 Z=0
110 X=11.413 Y=8.4 Z=0
111 X=13.213 Y=8.4 Z=0
112 X=15.013 Y=8.4 Z=0
113 X=15.957 Y=8.4 Z=0
114 X=16.813 Y=8.4 Z=0
115 X=18.613 Y=8.4 Z=0
116 X=20.413 Y=8.4 Z=0
117 X=22.007 Y=8.4 Z=0
118 X=22.213 Y=8.4 Z=0
119 X=24.013 Y=8.4 Z=0
120 X=25.813 Y=8.4 Z=0
121 X=26.338 Y=8.4 Z=0
122 X=26.501 Y=8.4 Z=0
123 X=28.057 Y=8.4 Z=0
124 X=28.501 Y=8.4 Z=0
125 X=28.857 Y=8.4 Z=0
126 X=3.712 Y=10.2 Z=0
127 X=4.068 Y=10.2 Z=0
128 X=4.512 Y=10.2 Z=0
129 X=6.068 Y=10.2 Z=0
130 X=6.231 Y=10.2 Z=0
131 X=6.668 Y=10.2 Z=0
132 X=8.467999 Y=10.2 Z=0
133 X=10.268 Y=10.2 Z=0
134 X=10.562 Y=10.2 Z=0
135 X=12.068 Y=10.2 Z=0
136 X=13.868 Y=10.2 Z=0
137 X=15.668 Y=10.2 Z=0
138 X=16.612 Y=10.2 Z=0
139 X=17.468 Y=10.2 Z=0
140 X=19.268 Y=10.2 Z=0
141 X=21.068 Y=10.2 Z=0
142 X=22.662 Y=10.2 Z=0
143 X=22.868 Y=10.2 Z=0
144 X=24.668 Y=10.2 Z=0
145 X=26.468 Y=10.2 Z=0
146 X=26.993 Y=10.2 Z=0
147 X=27.156 Y=10.2 Z=0
148 X=28.712 Y=10.2 Z=0
149 X=29.156 Y=10.2 Z=0
150 X=29.512 Y=10.2 Z=0
151 X=4.367 Y=12 Z=0
152 X=4.723 Y=12 Z=0
153 X=5.166999 Y=12 Z=0
154 X=6.723 Y=12 Z=0
155 X=6.886 Y=12 Z=0
156 X=7.322999 Y=12 Z=0
157 X=9.123001 Y=12 Z=0
158 X=10.923 Y=12 Z=0
159 X=11.217 Y=12 Z=0
160 X=12.723 Y=12 Z=0
161 X=14.523 Y=12 Z=0
162 X=16.323 Y=12 Z=0
163 X=17.267 Y=12 Z=0
164 X=18.123 Y=12 Z=0
165 X=19.923 Y=12 Z=0
166 X=21.723 Y=12 Z=0
167 X=23.317 Y=12 Z=0
168 X=23.523 Y=12 Z=0
169 X=25.323 Y=12 Z=0
170 X=27.123 Y=12 Z=0
171 X=27.648 Y=12 Z=0
172 X=27.811 Y=12 Z=0
173 X=29.367 Y=12 Z=0
174 X=29.811 Y=12 Z=0
175 X=30.167 Y=12 Z=0

```
RESTRAINT
  ADD=3   DOF=U1,U2,U3
  ADD=9   DOF=U1,U2,U3
  ADD=13   DOF=U1,U2,U3
  ADD=17   DOF=U1,U2,U3
  ADD=23   DOF=U1,U2,U3
  ADD=153   DOF=U3
  ADD=159   DOF=U3
  ADD=163   DOF=U3
  ADD=167   DOF=U3
  ADD=173   DOF=U3
PATTERN
  NAME=DEFAULT


MATERIAL
  NAME=STEEL   IDES=S   M=.798142   W=7.833413
    T=0   E=2.038902E+07   U=.3   A=.0000117   FY=25310.5
  NAME=CONC   IDES=C   M=.001   W=2.4026
    T=0   E=2531051   U=.2   A=.0000099
  NAME=OTHER   IDES=N   M=.2448012   W=2.402616
    T=0   E=2531051   U=.2   A=.0000099
SHELL SECTION
  NAME=SSEC1   MAT=CONC      TYPE=Shell   TH=1
  NAME=SSEC2   MAT=OTHER      TYPE=Plate   TH=1
SHELL
   1   J=1,2,26,27   SEC=SSEC2
   2   J=2,3,27,28   SEC=SSEC2
   3   J=3,4,28,29   SEC=SSEC1
   4   J=29,4,30,5   SEC=SSEC1
   5   J=5,6,30,31   SEC=SSEC1
   6   J=31,6,32,7   SEC=SSEC1
   7   J=7,8,32,33   SEC=SSEC1
   8   J=33,8,34,9   SEC=SSEC1
   9   J=9,10,34,35   SEC=SSEC1
  10   J=35,10,36,11   SEC=SSEC1
  11   J=36,11,37,12   SEC=SSEC1
  12   J=37,12,38,13   SEC=SSEC1
  13   J=38,13,39,14   SEC=SSEC1
  14   J=39,14,40,15   SEC=SSEC1
  15   J=40,15,41,16   SEC=SSEC1
  16   J=41,16,42,17   SEC=SSEC1
  17   J=42,17,43,18   SEC=SSEC1
  18   J=43,18,44,19   SEC=SSEC1
  19   J=44,19,45,20   SEC=SSEC1
  20   J=45,20,46,21   SEC=SSEC1
  21   J=46,21,47,22   SEC=SSEC1
  22   J=47,22,48,23   SEC=SSEC1
  23   J=48,23,49,24   SEC=SSEC2
  24   J=49,24,50,25   SEC=SSEC2
  25   J=50,75,49,74   SEC=SSEC2
  26   J=74,73,49,48   SEC=SSEC2
  27   J=73,72,48,47   SEC=SSEC1
  28   J=72,71,47,46   SEC=SSEC1
  29   J=71,70,46,45   SEC=SSEC1
  30   J=70,69,45,44   SEC=SSEC1
  31   J=68,43,69,44   SEC=SSEC1
  32   J=68,67,43,42   SEC=SSEC1
  33   J=67,66,42,41   SEC=SSEC1
  34   J=66,65,41,40   SEC=SSEC1
  35   J=39,40,64,65   SEC=SSEC1
  36   J=64,63,39,38   SEC=SSEC1
  37   J=63,62,38,37   SEC=SSEC1
  38   J=62,61,37,36   SEC=SSEC1
  39   J=61,60,36,35   SEC=SSEC1
  40   J=60,59,35,34   SEC=SSEC1
  41   J=59,58,34,33   SEC=SSEC1
  42   J=58,57,33,32   SEC=SSEC1
  43   J=57,56,32,31   SEC=SSEC1
  44   J=56,55,31,30   SEC=SSEC1
  45   J=55,54,30,29   SEC=SSEC1
```

46 J=54,53,29,28 SEC=SSEC1
47 J=53,52,28,27 SEC=SSEC2
48 J=52,51,27,26 SEC=SSEC2
49 J=127,126,102,101 SEC=SSEC2
50 J=127,102,128,103 SEC=SSEC2
51 J=101,76,102,77 SEC=SSEC2
52 J=76,51,77,52 SEC=SSEC2
53 J=103,102,78,77 SEC=SSEC2
54 J=78,77,53,52 SEC=SSEC2
55 J=128,103,129,104 SEC=SSEC1
56 J=104,103,79,78 SEC=SSEC1
57 J=79,78,54,53 SEC=SSEC1
58 J=129,104,130,105 SEC=SSEC1
59 J=104,79,105,80 SEC=SSEC1
60 J=130,105,131,106 SEC=SSEC1
61 J=105,80,106,81 SEC=SSEC1
62 J=131,106,132,107 SEC=SSEC1
63 J=107,106,82,81 SEC=SSEC1
64 J=132,107,133,108 SEC=SSEC1
65 J=108,107,83,82 SEC=SSEC1
66 J=79,54,80,55 SEC=SSEC1
67 J=80,55,81,56 SEC=SSEC1
68 J=81,56,82,57 SEC=SSEC1
69 J=82,57,83,58 SEC=SSEC1
70 J=58,59,83,84 SEC=SSEC1
71 J=84,59,85,60 SEC=SSEC1
72 J=108,83,109,84 SEC=SSEC1
73 J=109,84,110,85 SEC=SSEC1
74 J=85,60,86,61 SEC=SSEC1
75 J=110,85,111,86 SEC=SSEC1
76 J=86,61,87,62 SEC=SSEC1
77 J=111,86,112,87 SEC=SSEC1
78 J=87,62,88,63 SEC=SSEC1
79 J=112,87,113,88 SEC=SSEC1
80 J=113,88,114,89 SEC=SSEC1
81 J=88,63,89,64 SEC=SSEC1
82 J=114,89,115,90 SEC=SSEC1
83 J=89,64,90,65 SEC=SSEC1
84 J=115,90,116,91 SEC=SSEC1
85 J=90,65,91,66 SEC=SSEC1
86 J=116,91,117,92 SEC=SSEC1
87 J=92,91,67,66 SEC=SSEC1
88 J=117,92,118,93 SEC=SSEC1
89 J=92,67,93,68 SEC=SSEC1
90 J=118,93,119,94 SEC=SSEC1
91 J=93,68,94,69 SEC=SSEC1
92 J=119,94,120,95 SEC=SSEC1
93 J=94,69,95,70 SEC=SSEC1
94 J=120,95,121,96 SEC=SSEC1
95 J=95,70,96,71 SEC=SSEC1
96 J=121,96,122,97 SEC=SSEC1
97 J=96,71,97,72 SEC=SSEC1
98 J=122,97,123,98 SEC=SSEC1
99 J=98,97,73,72 SEC=SSEC1
100 J=73,74,98,99 SEC=SSEC2
101 J=99,74,100,75 SEC=SSEC2
102 J=123,98,124,99 SEC=SSEC2
103 J=124,99,125,100 SEC=SSEC2
104 J=151,126,152,127 SEC=SSEC2
105 J=152,127,153,128 SEC=SSEC2
106 J=153,128,154,129 SEC=SSEC1
107 J=154,129,155,130 SEC=SSEC1
108 J=155,130,156,131 SEC=SSEC1
109 J=156,131,157,132 SEC=SSEC1
110 J=157,132,158,133 SEC=SSEC1
111 J=158,133,159,134 SEC=SSEC1
112 J=134,133,109,108 SEC=SSEC1
113 J=159,134,160,135 SEC=SSEC1
114 J=134,109,135,110 SEC=SSEC1
115 J=160,135,161,136 SEC=SSEC1
116 J=135,110,136,111 SEC=SSEC1
117 J=161,136,162,137 SEC=SSEC1
118 J=137,136,112,111 SEC=SSEC1
119 J=162,137,163,138 SEC=SSEC1
120 J=137,112,138,113 SEC=SSEC1
121 J=163,138,164,139 SEC=SSEC1
122 J=138,113,139,114 SEC=SSEC1
123 J=164,139,165,140 SEC=SSEC1
124 J=139,114,140,115 SEC=SSEC1
125 J=165,140,166,141 SEC=SSEC1
126 J=141,140,116,115 SEC=SSEC1
127 J=166,141,167,142 SEC=SSEC1
128 J=142,141,117,116 SEC=SSEC1
129 J=167,142,168,143 SEC=SSEC1
130 J=142,117,143,118 SEC=SSEC1
131 J=168,143,169,144 SEC=SSEC1
132 J=143,118,144,119 SEC=SSEC1
133 J=169,144,170,145 SEC=SSEC1
134 J=145,144,120,119 SEC=SSEC1
135 J=170,145,171,146 SEC=SSEC1
136 J=145,120,146,121 SEC=SSEC1
137 J=171,146,172,147 SEC=SSEC1
138 J=146,121,147,122 SEC=SSEC1
139 J=172,147,173,148 SEC=SSEC1

```
  140  J=148,147,123,122  SEC=SSEC1        ADD=12  UZ=-1
  141  J=173,148,174,149  SEC=SSEC2        ADD=13  UZ=-1
  142  J=149,148,124,123  SEC=SSEC2        ADD=14  UZ=-1
  143  J=174,149,175,150  SEC=SSEC2        ADD=15  UZ=-1
  144  J=150,149,125,124  SEC=SSEC2        ADD=16  UZ=-1
LOAD                                       ADD=17  UZ=-1
  NAME=LOAD1                               ADD=18  UZ=-1
    TYPE=FORCE                             ADD=19  UZ=-1
      ADD=5   UZ=-.836                     ADD=20  UZ=-1
      ADD=21  UZ=-.836                     ADD=21  UZ=-1
      ADD=30  UZ=-.836                     ADD=22  UZ=-1
      ADD=46  UZ=-.836                     ADD=27  UZ=-1
      ADD=55  UZ=-.836                     ADD=28  UZ=-1
      ADD=71  UZ=-.836                     ADD=29  UZ=-1
      ADD=80  UZ=-.836                     ADD=30  UZ=-1
      ADD=96  UZ=-.836                     ADD=31  UZ=-1
      ADD=105 UZ=-.836                     ADD=32  UZ=-1
      ADD=121 UZ=-.836                     ADD=33  UZ=-1
      ADD=130 UZ=-.836                     ADD=34  UZ=-1
      ADD=146 UZ=-.836                     ADD=35  UZ=-1
      ADD=155 UZ=-.836                     ADD=36  UZ=-1
      ADD=171 UZ=-.836                     ADD=37  UZ=-1
      ADD=2   UZ=-1.8                      ADD=38  UZ=-1
      ADD=24  UZ=-1.8                      ADD=39  UZ=-1
      ADD=27  UZ=-1.8                      ADD=40  UZ=-1
      ADD=49  UZ=-1.8                      ADD=41  UZ=-1
      ADD=52  UZ=-1.8                      ADD=42  UZ=-1
      ADD=74  UZ=-1.8                      ADD=43  UZ=-1
      ADD=77  UZ=-1.8                      ADD=44  UZ=-1
      ADD=99  UZ=-1.8                      ADD=45  UZ=-1
      ADD=102 UZ=-1.8                      ADD=46  UZ=-1
      ADD=124 UZ=-1.8                      ADD=55  UZ=-1
      ADD=127 UZ=-1.8                      ADD=56  UZ=-1
      ADD=149 UZ=-1.8                      ADD=57  UZ=-1
      ADD=152 UZ=-1.8                      ADD=58  UZ=-1
      ADD=174 UZ=-1.8                      ADD=59  UZ=-1
    TYPE=GRAVITY  ELEM=SHELL               ADD=60  UZ=-1
      ADD=110 UZ=-1                        ADD=61  UZ=-1
      ADD=3   UZ=-1                        ADD=62  UZ=-1
      ADD=4   UZ=-1                        ADD=63  UZ=-1
      ADD=5   UZ=-1                        ADD=64  UZ=-1
      ADD=6   UZ=-1                        ADD=65  UZ=-1
      ADD=7   UZ=-1                        ADD=66  UZ=-1
      ADD=8   UZ=-1                        ADD=67  UZ=-1
      ADD=9   UZ=-1                        ADD=68  UZ=-1
      ADD=10  UZ=-1                        ADD=69  UZ=-1
      ADD=11  UZ=-1                        ADD=70  UZ=-1
```

ADD=71 UZ=-1
ADD=72 UZ=-1
ADD=73 UZ=-1
ADD=74 UZ=-1
ADD=75 UZ=-1
ADD=76 UZ=-1
ADD=77 UZ=-1
ADD=78 UZ=-1
ADD=79 UZ=-1
ADD=80 UZ=-1
ADD=81 UZ=-1
ADD=82 UZ=-1
ADD=83 UZ=-1
ADD=84 UZ=-1
ADD=85 UZ=-1
ADD=86 UZ=-1
ADD=87 UZ=-1
ADD=88 UZ=-1
ADD=89 UZ=-1
ADD=90 UZ=-1
ADD=91 UZ=-1
ADD=92 UZ=-1
ADD=93 UZ=-1
ADD=94 UZ=-1
ADD=95 UZ=-1
ADD=96 UZ=-1
ADD=97 UZ=-1
ADD=98 UZ=-1
ADD=99 UZ=-1
ADD=106 UZ=-1
ADD=107 UZ=-1
ADD=108 UZ=-1
ADD=109 UZ=-1
ADD=111 UZ=-1
ADD=112 UZ=-1
ADD=113 UZ=-1
ADD=114 UZ=-1
ADD=115 UZ=-1
ADD=116 UZ=-1
ADD=117 UZ=-1
ADD=118 UZ=-1
ADD=119 UZ=-1
ADD=120 UZ=-1
ADD=121 UZ=-1
ADD=122 UZ=-1
ADD=123 UZ=-1
ADD=124 UZ=-1
ADD=125 UZ=-1
ADD=126 UZ=-1
ADD=127 UZ=-1
ADD=128 UZ=-1
ADD=129 UZ=-1
ADD=130 UZ=-1
ADD=131 UZ=-1
ADD=132 UZ=-1
ADD=133 UZ=-1
ADD=134 UZ=-1
ADD=135 UZ=-1
ADD=136 UZ=-1
ADD=137 UZ=-1
ADD=138 UZ=-1
ADD=139 UZ=-1
ADD=140 UZ=-1
TYPE=UNIFORM
ADD=6 UZ=-.184
ADD=7 UZ=-.184
ADD=8 UZ=-.184
ADD=9 UZ=-.184
ADD=10 UZ=-.184
ADD=11 UZ=-.184
ADD=12 UZ=-.184
ADD=13 UZ=-.184
ADD=14 UZ=-.184
ADD=15 UZ=-.184
ADD=16 UZ=-.184
ADD=17 UZ=-.184
ADD=18 UZ=-.184
ADD=19 UZ=-.184
ADD=30 UZ=-.184
ADD=31 UZ=-.184
ADD=32 UZ=-.184
ADD=33 UZ=-.184
ADD=34 UZ=-.184
ADD=35 UZ=-.184
ADD=36 UZ=-.184
ADD=37 UZ=-.184
ADD=38 UZ=-.184
ADD=39 UZ=-.184
ADD=40 UZ=-.184
ADD=41 UZ=-.184
ADD=42 UZ=-.184
ADD=43 UZ=-.184
ADD=62 UZ=-.184
ADD=63 UZ=-.184
ADD=64 UZ=-.184
ADD=65 UZ=-.184

ADD=68 UZ=-.184
ADD=69 UZ=-.184
ADD=70 UZ=-.184
ADD=71 UZ=-.184
ADD=72 UZ=-.184
ADD=73 UZ=-.184
ADD=74 UZ=-.184
ADD=75 UZ=-.184
ADD=76 UZ=-.184
ADD=77 UZ=-.184
ADD=78 UZ=-.184
ADD=79 UZ=-.184
ADD=80 UZ=-.184
ADD=81 UZ=-.184
ADD=82 UZ=-.184
ADD=83 UZ=-.184
ADD=84 UZ=-.184
ADD=85 UZ=-.184
ADD=86 UZ=-.184
ADD=87 UZ=-.184
ADD=88 UZ=-.184
ADD=89 UZ=-.184
ADD=90 UZ=-.184
ADD=91 UZ=-.184
ADD=92 UZ=-.184
ADD=93 UZ=-.184
ADD=109 UZ=-.184
ADD=110 UZ=-.184
ADD=111 UZ=-.184
ADD=112 UZ=-.184
ADD=113 UZ=-.184
ADD=114 UZ=-.184
ADD=115 UZ=-.184
ADD=116 UZ=-.184
ADD=117 UZ=-.184
ADD=118 UZ=-.184
ADD=119 UZ=-.184
ADD=120 UZ=-.184
ADD=121 UZ=-.184
ADD=122 UZ=-.184
ADD=123 UZ=-.184
ADD=124 UZ=-.184
ADD=125 UZ=-.184
ADD=126 UZ=-.184
ADD=127 UZ=-.184
ADD=128 UZ=-.184
ADD=129 UZ=-.184
ADD=130 UZ=-.184
ADD=131 UZ=-.184
ADD=132 UZ=-.184
ADD=133 UZ=-.184
ADD=134 UZ=-.184
ADD=3 UZ=-.75
ADD=22 UZ=-.75
ADD=27 UZ=-.75
ADD=46 UZ=-.75
ADD=55 UZ=-.75
ADD=56 UZ=-.75
ADD=57 UZ=-.75
ADD=98 UZ=-.75
ADD=99 UZ=-.75
ADD=106 UZ=-.75
ADD=139 UZ=-.75
ADD=140 UZ=-.75
NAME=DB1
TYPE=FORCE
ADD=6 UZ=-9.2736
ADD=7 UZ=-9.2736
ADD=8 UZ=-9.2736
ADD=10 UZ=-9.2736
ADD=11 UZ=-9.2736
ADD=12 UZ=-9.2736
ADD=14 UZ=-9.2736
ADD=15 UZ=-9.2736
ADD=16 UZ=-9.2736
ADD=18 UZ=-9.2736
ADD=19 UZ=-9.2736
ADD=20 UZ=-9.2736
ADD=56 UZ=-9.2736
ADD=57 UZ=-9.2736
ADD=58 UZ=-9.2736
ADD=60 UZ=-9.2736
ADD=61 UZ=-9.2736
ADD=62 UZ=-9.2736
ADD=64 UZ=-9.2736
ADD=65 UZ=-9.2736
ADD=66 UZ=-9.2736
ADD=68 UZ=-9.2736
ADD=69 UZ=-9.2736
ADD=70 UZ=-9.2736
ADD=106 UZ=-2.318
ADD=107 UZ=-2.318
ADD=108 UZ=-2.318
ADD=110 UZ=-2.318
ADD=111 UZ=-2.318
ADD=112 UZ=-2.318

ADD=114 UZ=-2.318
ADD=115 UZ=-2.318
ADD=116 UZ=-2.318
ADD=118 UZ=-2.318
ADD=119 UZ=-2.318
ADD=120 UZ=-2.318
NAME=DB2
TYPE=FORCE
ADD=31 UZ=-9.2736
ADD=32 UZ=-9.2736
ADD=33 UZ=-9.2736
ADD=35 UZ=-9.2736
ADD=36 UZ=-9.2736
ADD=37 UZ=-9.2736
ADD=39 UZ=-9.2736
ADD=40 UZ=-9.2736
ADD=41 UZ=-9.2736
ADD=43 UZ=-9.2736
ADD=44 UZ=-9.2736
ADD=45 UZ=-9.2736
ADD=82 UZ=-9.2736
ADD=83 UZ=-9.2736
ADD=85 UZ=-9.2736
ADD=86 UZ=-9.2736
ADD=87 UZ=-9.2736
ADD=89 UZ=-9.2736
ADD=90 UZ=-9.2736
ADD=91 UZ=-9.2736
ADD=93 UZ=-9.2736
ADD=94 UZ=-9.2736
ADD=95 UZ=-9.2736
ADD=131 UZ=-2.318
ADD=132 UZ=-2.318
ADD=133 UZ=-2.318
ADD=135 UZ=-2.318
ADD=136 UZ=-2.318
ADD=137 UZ=-2.318
ADD=139 UZ=-2.318
ADD=140 UZ=-2.318
ADD=141 UZ=-2.318
ADD=143 UZ=-2.318
ADD=144 UZ=-2.318
ADD=145 UZ=-2.318
NAME=DB3
TYPE=FORCE
ADD=6 UZ=-9.2736
ADD=7 UZ=-9.2736
ADD=8 UZ=-9.2736
ADD=10 UZ=-9.2736
ADD=11 UZ=-9.2736
ADD=12 UZ=-9.2736
ADD=14 UZ=-9.2736
ADD=15 UZ=-9.2736
ADD=16 UZ=-9.2736
ADD=18 UZ=-9.2736
ADD=56 UZ=-9.2736
ADD=57 UZ=-9.2736
ADD=58 UZ=-9.2736
ADD=60 UZ=-9.2736
ADD=61 UZ=-9.2736
ADD=62 UZ=-9.2736
ADD=64 UZ=-9.2736
ADD=65 UZ=-9.2736
ADD=66 UZ=-9.2736
ADD=68 UZ=-9.2736
ADD=106 UZ=-2.318
ADD=107 UZ=-2.318
ADD=109 UZ=-2.318
ADD=110 UZ=-2.318
ADD=111 UZ=-2.318
ADD=112 UZ=-2.318
ADD=114 UZ=-2.318
ADD=115 UZ=-2.318
ADD=116 UZ=-2.318
ADD=118 UZ=-2.318
NAME=DB4
TYPE=FORCE
ADD=31 UZ=-9.2736
ADD=32 UZ=-9.2736
ADD=33 UZ=-9.2736
ADD=35 UZ=-9.2736
ADD=36 UZ=-9.2736
ADD=37 UZ=-9.2736
ADD=39 UZ=-9.2736
ADD=40 UZ=-9.2736
ADD=41 UZ=-9.2736
ADD=43 UZ=-9.2736
ADD=81 UZ=-9.2736
ADD=82 UZ=-9.2736
ADD=83 UZ=-9.2736
ADD=85 UZ=-9.2736
ADD=86 UZ=-9.2736
ADD=87 UZ=-9.2736
ADD=89 UZ=-9.2736
ADD=90 UZ=-9.2736
ADD=91 UZ=-9.2736

```
        ADD=93   UZ=-9.2736
        ADD=131   UZ=-2.318
        ADD=132   UZ=-2.318
        ADD=133   UZ=-2.318
        ADD=135   UZ=-2.318
        ADD=136   UZ=-2.318
        ADD=137   UZ=-2.318
        ADD=139   UZ=-2.318
        ADD=140   UZ=-2.318
        ADD=141   UZ=-2.318
        ADD=143   UZ=-2.318


  OUTPUT
  ; No Output Requested
  END

  ; The following data is not required for analysis. It is written here as a
backup.
  ; This data will be used for graphics and design if this file is imported.
  ; If changes are made to the analysis data above, then the following data
  ; should be checked for consistency.
  ; Any errors in importing the following data are ignored without warning.
  SAP2000 V6.11 SUPPLEMENTAL DATA
    GRID GLOBAL  X "1"  0
    GRID GLOBAL  Y "2"  0
    GRID GLOBAL  Z "3"  0
    GRID GLOBAL  X "4"  29.015
    GRID GLOBAL  Y "5"  12
    MATERIAL STEEL FY 25310.5
    MATERIAL CONC FYREBAR 42184 FYSHEAR 28123 FC 2812.278 FCSHEAR
2812.278
    STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD
    STATICLOAD DB1 TYPE OTHER
    STATICLOAD DB2 TYPE OTHER
    STATICLOAD DB3 TYPE OTHER
    STATICLOAD DB4 TYPE OTHER
  END SUPPLEMENTAL DATA
```

5.7.5 [단계 5] 단면력 산정

(1) 반력

(단위 : tonf)

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
고정하중	85.261	91.418	92.789	95.207	38.760
DB 24	6.968	39.986	43.662	33.639	4.416

(2) 전단력 및 휨모멘트

	중 앙 부		지 점 부	
	전 단 력	모 멘 트	전 단 력	모 멘 트
고정하중	3.47	46.93	63.779	0
DB 24	62.24	19.42	35.640	0

(3) 사용 받침 산정

R = 92.789 + 43.662 = 136.451tonf < 175tonf ∴ 175tonf 사용

5.7.6 [단계 6] 철근량 계산 및 단면 검토

(1) [단계 6-1] 하중계산

① 중앙부

- $M_u = 1.3 \times 46.93 + 2.15 \times (19.42) = 102.762(\text{tonf} \cdot \text{m/m})$
- $S_u = 1.3 \times 3.47 + 2.15 \times 2.24 = 9.327$

② 지점부

- $M_u = 1.3 \times (0) + 2.15 \times (0) \fallingdotseq 0$
- $S_u = 1.3 \times 63.779 + 2.15 \times 35.64 \fallingdotseq 159.538(\text{tonf/m})$

(2) [단계 6-1-1] 단면검토

① 설계조건

- 설계기준강도(f_{ck}) = 270.00kgf/cm^2
- 철근항복강도(f_y) = 4,000kgf/cm^2
- 단면 폭(b) = 100.00cm
- 유효 높이(d) = 95.00cm

• 극한 모멘트(M_u) = 102.762tonf/m (중앙부)

• 극한 전단력(S_u) = 159.538tonf (지점부)

= 9.327tonf (중앙부)

② [단계 6-1-1-2] 소요 철근량 계산

• A_s = 32.80cm² ← 사용철근 : 64.2cm² (H29@100)

• 압축철근 = 32.1cm² (도·시 P.193) ← H29@200, 배력철근 = 34.64% → 22.3cm² 이상(최대 67%) → 적용배력근 19.4cm² (H22@200)

③ [단계 6-1-2] 휨검토(중앙부)

• $P = A_s / b \times d = 0.00676 < P_{max} = 0.75 \times P_b = 0.221$ O.K

• $M_n = f_y \times A_s \times (d-a/2) = 236.61 tonf/m > 120.90(M_u/phi)$ O.K

5.7.7 [단계 7] 사용성 검토

(1) [단계 7-1] 처짐의 제한

최소두께 = 1.2(S +3) / 30

= 1.2(13 + 3) / 30

= 0.640m < 0.900m ∴ O.K

(2) [단계 7-2] 균열검토(콘크리트설계기준(1999) 적용)

중앙부 : M = 66.35tonf.m/m

$$w = 1.08 R f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} \times 10^{-5} (mm)$$

R = 1.35 , d_c = 7cm

n = 8, $p = A_s/bd = 64.240 / (100 \times 95) = 0.00676$

$k = -np + \{(np)^2 + 2np\}1/2 = -(8 \times 0.00676) + \{(8 \times 0.00676)^2 + 2(8 \times 0.00676)\}1/2$

$= 0.279$

$x = k \cdot d = 0.279 \times 95 = 26.505cm$

$$f_s = \frac{M}{A_s(d-x/3)} = \frac{66.35 \times 10^5}{64.24 \times (95 - 26.505/3)} = 1198.683(kgf/㎠)$$

$A = 7.0 \times 2 \times 100 / 10EA = 140(cm^2)$

$$Z = 1198.683 \sqrt[3]{7 \times 140} = 11906.379(kgf/cm)$$

$$w = 1.08 \times 1.35 \times 11906.379 \times 10^{-5} (mm) = 0.0045(mm) < 0.005C = 0.25$$ O.K

(3) [단계 7-3] 피로검토

M_{max} = 46.93 + 19.42 = 66.350(tonf · m)

M_{min} = 49.93(tonf · m/m)

A_s = H29 × 10 = 64.240(cm^2)

$$f_{smax} = \frac{M}{A_s \times j \times d} = \frac{82.96 \times 10^5}{66.350 \times 0.911 \times 95} = 1193.420(kgf/cm^2)$$

$$f_{smin} = \frac{46.93 \times 10^5}{64.240 \times 0.911 \times 95} = 844.117(kgf/cm^2)$$

$\Delta f = f_{smax} - f_{smin} = 349.303(kgf/cm^2)$

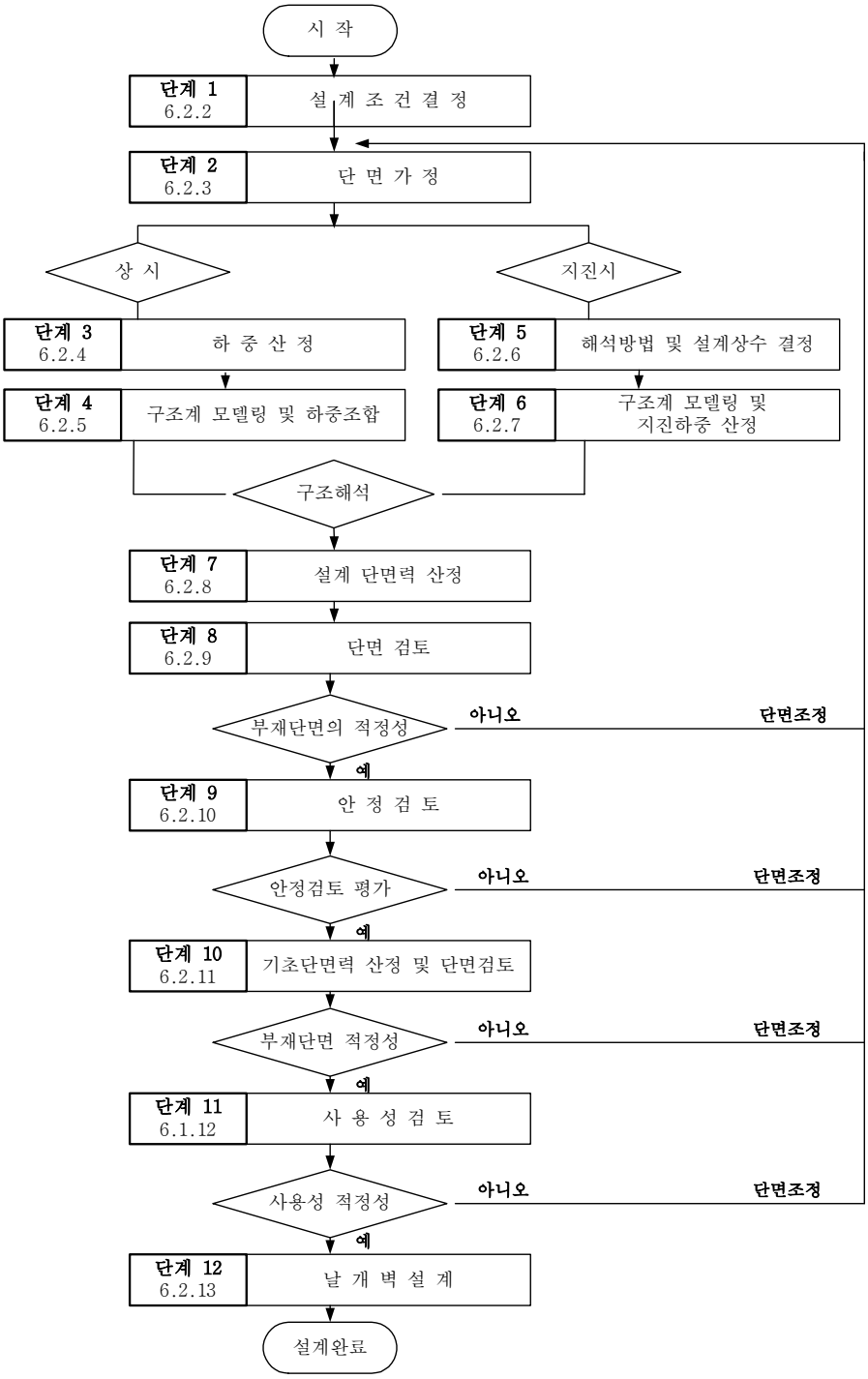
$f_f = 1630 - 0.33 f_{smin} = 1630 - 0.33 \times 349.303 = 1514.73(cm^2)$

$= 1514.73(kgf/cm^2) > 349.303(kgf/cm^2)$ O.K

507.6 RC 라멘교의 설계

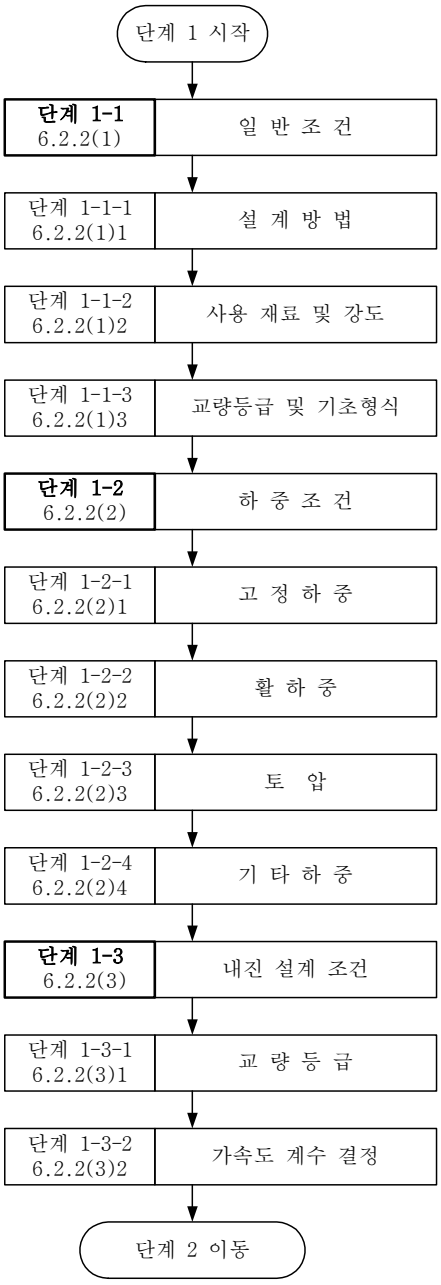
6.1 설계흐름도의 구성

6.1.1주설계 단계



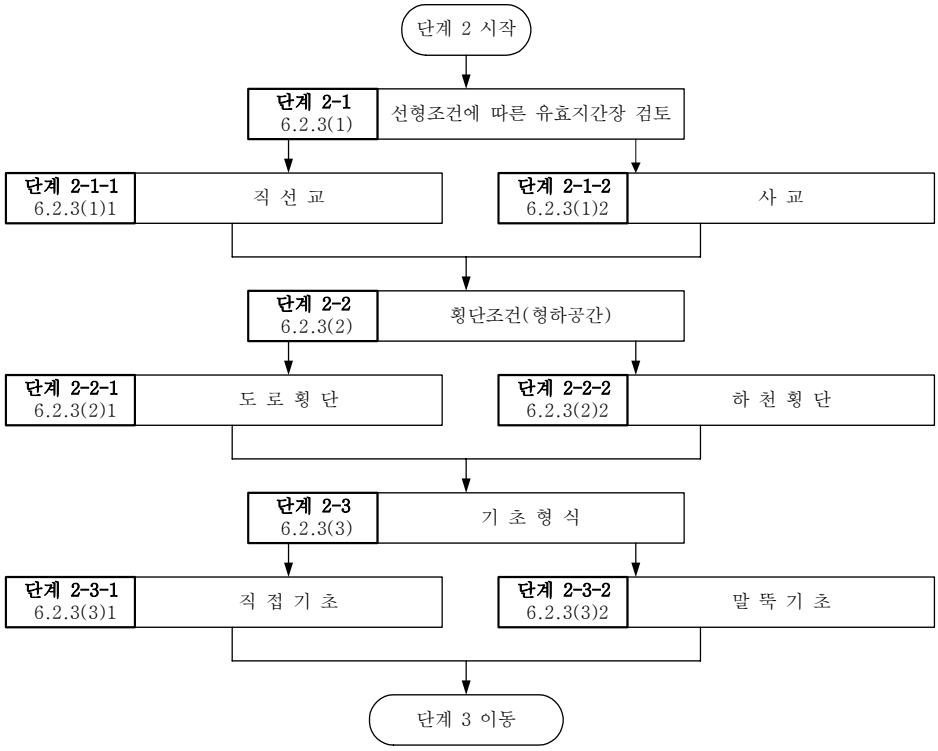
<그림 507.34> 주설계단계

6.1.2 [단계 1] 설계조건 결정



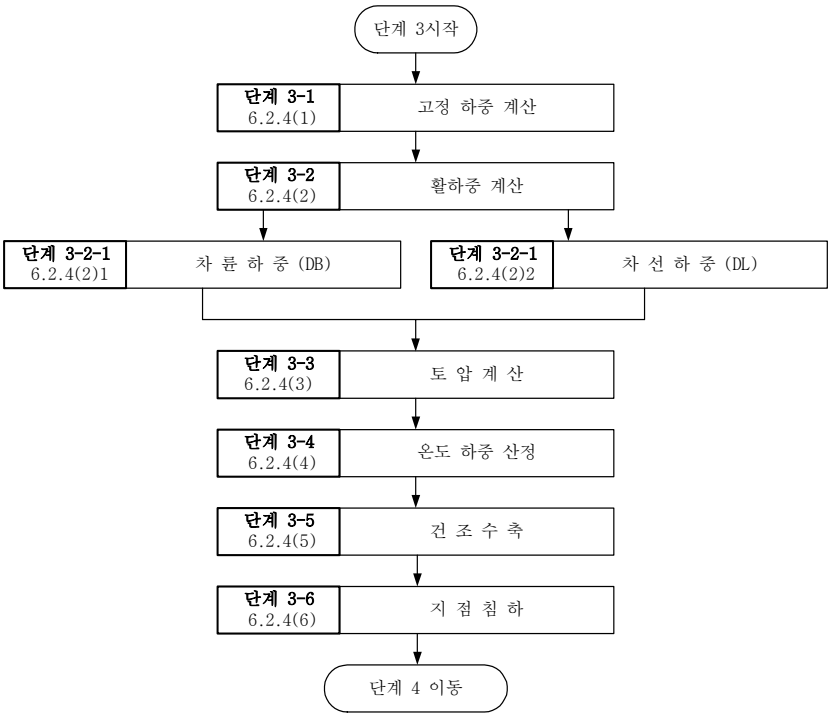
<그림 507.35> 설계조건 결정

6.1.3 [단계 2] 단면가정



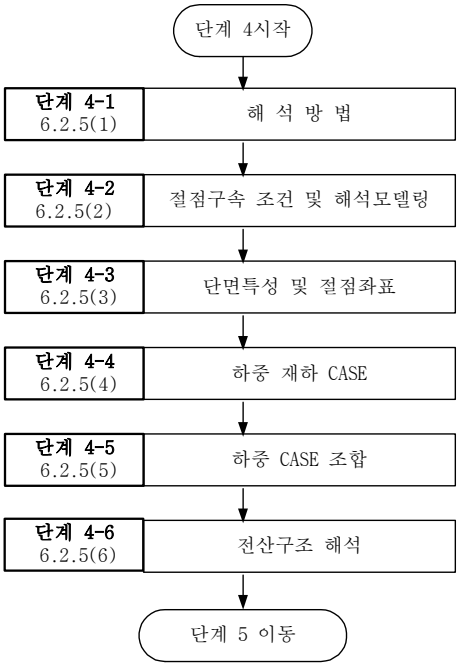
<그림 507.36> 단면가정

6.1.4 [단계 3] (상시)하중 산정



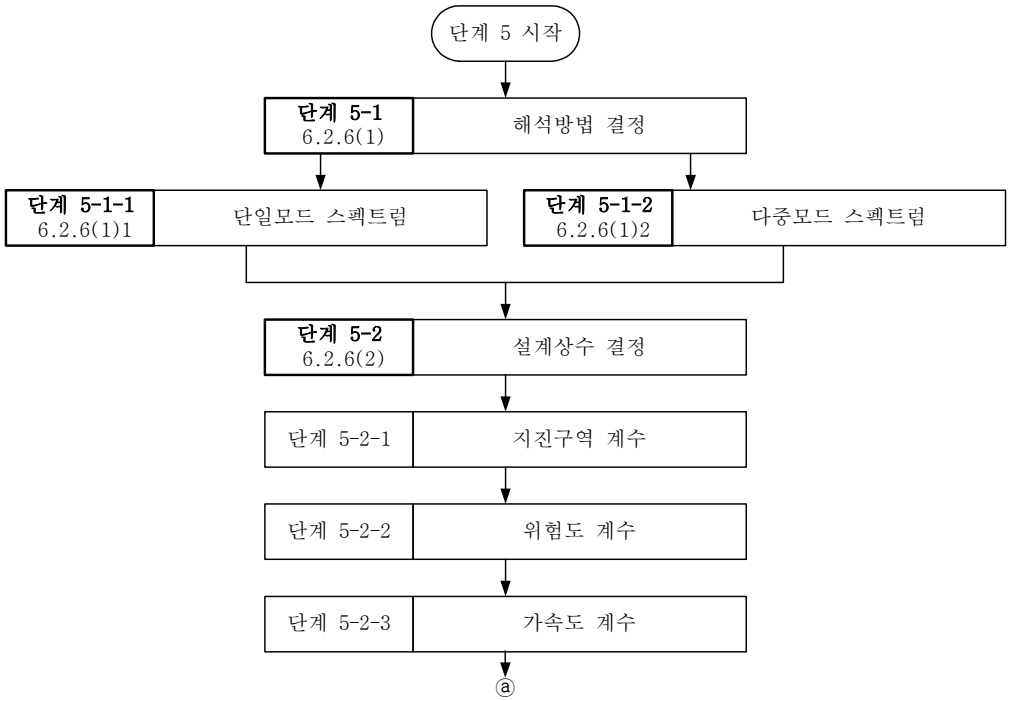
<그림 507.37> (상시) 하중산정

6.1.5 [단계 4] (상시) 구조계 모델링 및 하중조합

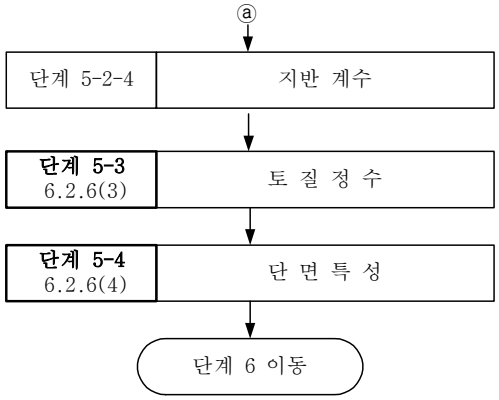


<그림 507.38> (상시) 구조계 모델링 및 하중조합

6.1.6 [단계 5] (지진시) 해석방법 및 설계상수 결정

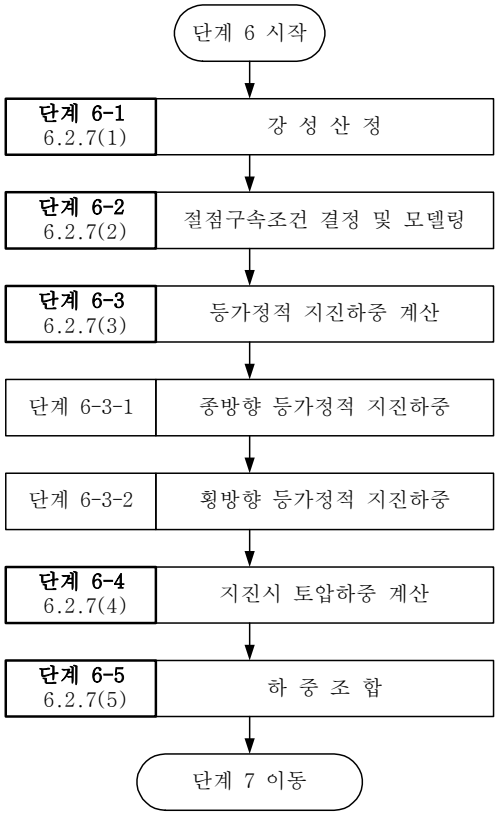


<그림 507.39> (지진시) 해석방법 및 설계상수 결정



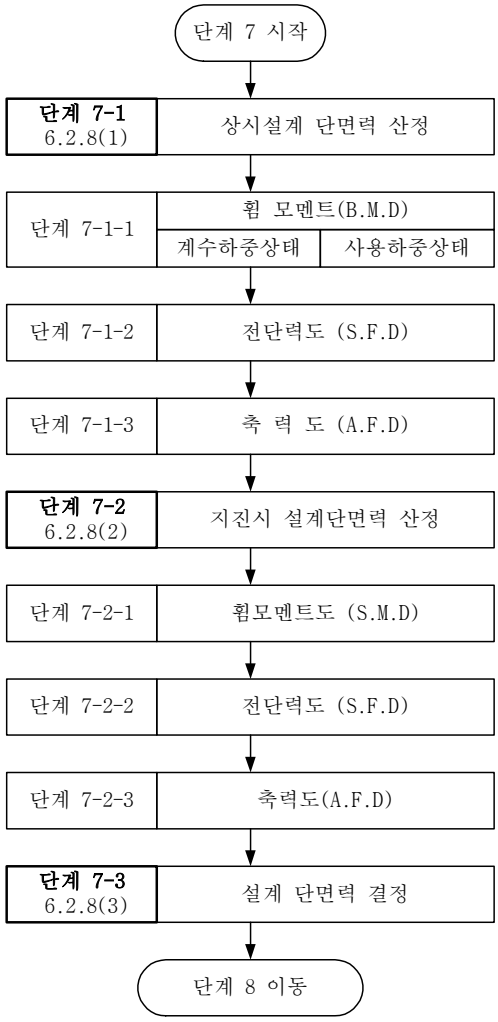
<그림 507.39> (지진시) 해석방법 및 설계상수 결정 (계속)

6.1.7 [단계 6] (지진시) 구조계 모델링 및 지진하중 산정



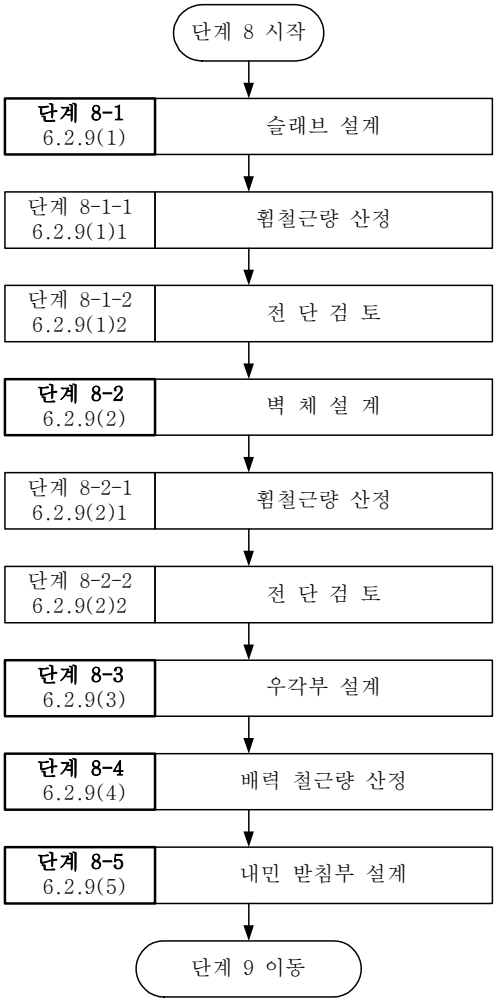
<그림 507.40> (지진시) 구조계 모델링 및 지진하중 산정

6.1.8 [단계 7] 설계단면력 산정



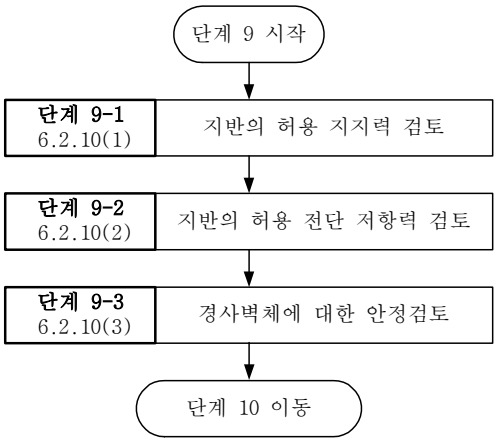
<그림 507.41> 설계단면력 산정

6.1.9 [단계 8] 단면검토



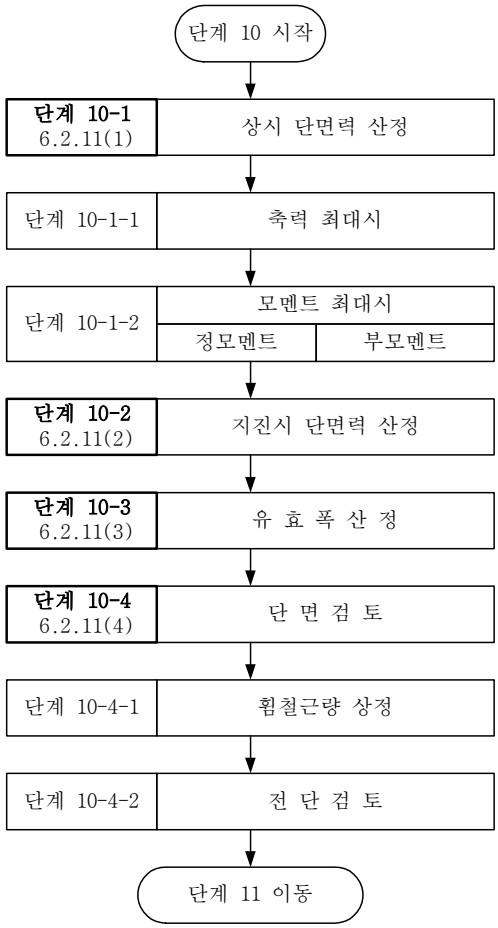
<그림 507.42> 단면검토

6.1.10 [단계 9] 안정검토



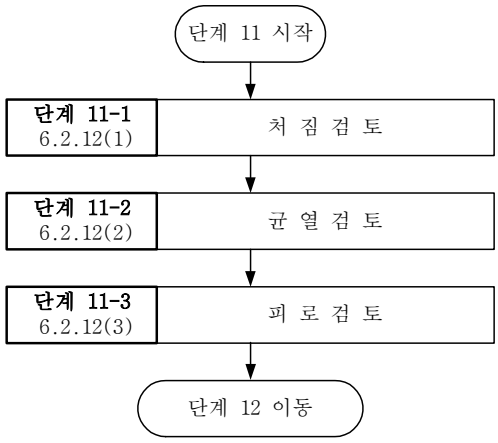
<그림 507.43> 안정검토

6.1.11 [단계 10] 기초단면력 산정 및 단면검토



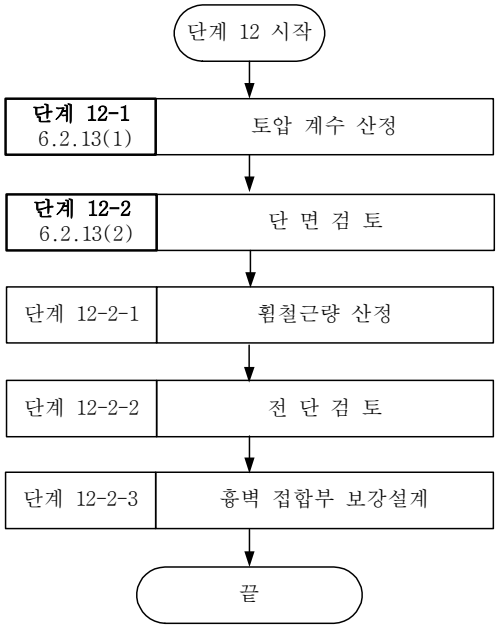
<그림 507.44> 기초단면력 산정 및 단면검토

6.1.12 [단계 11] 사용성 검토



<그림 507.45> 사용성 검토

6.1.13 [단계 12] 날개벽 설계



<그림 507.46> 날개벽 설계

6.2 설계단계별 고려사항

6.2.1 주설계 단계

설계착수와 동시에 현장조건을 고려하여 교량의 형식을 결정하고 형식결정에 따라 전체적인 설계흐름을 파악한다.

6.2.2 [단계 1] 설계조건 결정

(1) 일반조건

① 설계방법

[도·설 4.2.2]에 따른다.

콘크리트교의 주단면 설계는 강도설계법으로 수행한다.

② 사용재료 및 강도

[도·설 2.3.1]에 따라 이형철근의 단위중량과 표준치수를 결정한다.

[도·설 2.3.2]에 따라 콘크리트 재료 및 강도를 결정한다.

③ 교량등급 및 기초형식

[도·설 1.3]에 따라 1등교 DB-24, 2등교 DB-18, 3등교 DB-13.5을 결정한다. 또한 [도·설 5.5.2]에 따라 지형 및 지질조건, 구조물의 특성, 시공조건, 환경조건 등을 고려하여 얕은기초(직접기초), 깊은기초(PILE 기초)를 선정한다.

(2) 하중조건

① 고정하중

[도·설 2.1.2]에 따른다.

② 활 하 중

[도·설 2.1.3]에 따르며, [도·설 2.1.4]에 따라 충격계수를 산정하여 충격효과를 고려한다.

③ 토압

[도·설 2.1.8]에 따라 교량등급에 관계없이 상시는 정지토압을, 지진시는 Mononobe-Okabe 토압을 재하한다.

④ 기타 하중

[도·설 2.1.7, 2.1.12]에 따라 크리프 및 건조수축, 온도변화를 고려한다.

[도·설 2.1.15]에 따라 지점침하를 고려한다.

(3) 내진설계조건

① 교량등급

[도·설 6.3.2]의 내진등급과 설계지진수준을 따른다.

② 가속도계수 결정

[도·설 6.3.1.2]에 따른다.

6.2.3 [단계 2] 단면가정

(1) 선형조건에 따른 유효지간장 검토

① 직 선 교

[도·설 4.8.3.2]의 구조해석에 따르며, 교량중심을 축선으로 한 지간으로 설계한다.

② 사 교

[도·설 4.8.3.2]의 슬래브판의 경간 및 휨모멘트에 따른다.

(2) 횡단조건(형하공간)

① 도로횡단

[도·설 1.5.3]의 교차조건에 따른다.

[도로의 시설기준에 관한 규칙]에 따르면 형하고를 H=4.5m 이상으로 규정하고 있으나 도로교 설계기준에 따라 4.7m 이상 가급적 5m 이상 확보하도록 한다.

② 하천횡단

[도·설 1.5.3]의 교차조건에 따른다.

하천교에 있어서는 해당 하천의 최대 홍수위

(H.W.L)를 구한 후 여유고를 합하여 교량의 형하고를 구하는 것이 일반적인 방법이다.

(3) 기초형식

① 직접기초

[도・설 5.6]에 따른다.

② 말뚝기초

[도・설 5.8]에 따른다.

6.2.4 [단계 3] (상시) 하중산정

(1) 고정하중

[도・설 2.1.2]에 따르며, 실중량이 명백한 것은 그 값을 사용한다.

(2) 활하중

① 차륜하중(DB)

[도・설 2.1.3]에 따르며, 충격계수 포함한다.

차도부분에는 DB 하중을 재하한다. DB 하중은 1개의 교량에 대하여 종방향으로는 차선당 1대를 원칙으로 하고, 횡방향으로는 재하 가능한 대수를 재하하되 설계부재에 최대응력이 일어나도록 재하한다.

3차선 이상에 활하중을 동시 재하함에 따라 설계부재에 최대응력이 발생하는 경우에는 활하중 응력을 백분율로 감소시킨다. (3차선 90%, 4차선 이상 75%)

② 차선하중(DL)

[도・설 2.1.3]에 따르며 충격계수를 포함한다.

DL 하중의 점유폭은 3m로 한다.

(3) 토 압

[도・설 5.5.9]에 따른다.

고정벽에 작용하는 토압을 적용하며, 교량등급에 관계없이 교대배면 지표면 상재하중 q=1 tonf/㎡을 재하한다.

(4) 온도하중 산정

[도・설 2.1.12]에 따른다.

(5) 건조수축

[도・설 2.1.7]에 따른다.

(6) 지점침하

[도・설 2.1.15]에 따른다.

콘크리트교에 대해서는 탄성계산에서 구한 단면력의 50%를 설계계산에 적용한다.

(20mm×50%=10mm 적용)

6.2.5 [단계 4] (상시) 구조계 모델링 및 하중조합

(1) 해석방법

[도・설 4.12.3]의 구조해석을 따른다.

(2) 절점 구속조건 결정 및 모델링

[도・설 4.12.3]의 구조해석 규정을 따른다.

(3) 단면특성계산

[도・설 4.12.3]의 구조해석 규정을 따른다.

(4) 하중재하 CASE

- CASE. 1 ---------- 고 정 하 중
- CASE. 2 ---------- 활 하 중
- CASE. 3 ---------- 전 토 압
- CASE. 4 ---------- 온도하중(+△T°)
- CASE. 5 ---------- 온도하중(-△T°)
- CASE. 6 ---------- 건조수축
- CASE. 7 ---------- 지점침하

<표 507.12> 하중계수 조합(계수하중 검토시)

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	전토압	온도하중 (⊿T)	온도하중 (-⊿T)	건조수축	지점침하	비 고
Comb.1	1.3		1.7					
Comb.2	1.3		0.65					
Comb.3	1.3	2.15	1.7					
Comb.4	1.3	2.15	0.65					
Comb.5	1.3	1.3	1.7	1.3			1.3	
Comb.6	1.3	1.3	1.7		1.3	1.3	1.3	
Comb.7	1.3	1.3	0.65	1.3			1.3	
Comb.8	1.3	1.3	0.65		1.3	1.3	1.3	
Comb.9	1.25		1.65	1.25			1.25	
Comb.10	1.25		1.65		1.25	1.25	1.25	
Comb.11	1.25		0.65	1.25			1.25	
Comb.12	1.25		0.65		1.25	1.25	1.25	

※ 건조수축은 -15℃의 온도하중으로 변환 설계됨.
(건조수축율 : 15×10^{-5}, 온도 선팽창 계수 : 1.0×10^{-5})

$$\therefore \quad \triangle T^{\circ} = \frac{15\times10^{-5}}{1.0\times10^{-5}} = 15℃$$

(5) 하중 CASE 조합

[도・설 2.2.3]의 설계하중조합에 따른다.

① 계수하중 검토시

계수하중 검토시 하중계수 조합은 <표 507.12>를 따른다.

② 사용하중 검토시

사용하중 검토시 하중계수 조합은 <표 507.13>을 따른다.

6.2.6 [단계 5] (지진시) 해석방법 및 설계상수 결정

(1) 해석방법 결정

단일모드 스펙트럼해석법을 기본으로 하며 정밀한 해석을 요하는 교량에 대해서는 다중모드 스펙트럼해석법을 적용한다.

① 단일모드 스펙트럼

[도・설 6.5.3]에 따라 계산한다.

② 다중모드 스펙트럼

[도・설 6.5.4]에 따라 계산한다.

(2) 설계상수 결정

[도・설 6.3]의 일반사항에 따른다.

(3) 토질정수

다음과 같은 지반조사 결과를 근거로 토질정수를 결정한다.

표준관입시험(N), 흙의 내부 마찰각(Ψ), 흙의 변형계수(E_0), 흙의 전단탄성계수(G), 포아송비(ν)

(4) 단면특성 계산

<표 507.13> 하중계수 조합(사용하중 검토시)

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	전토압	온도하중 (⊿T)	온도하중 (-⊿T)	건조수축	지점침하	비 고
Comb.13	1.0	1.0	1.0					
Comb.14	1.0	1.0	0.5					
Comb.15	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0	
Comb.16	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	
Comb.17	1.0	1.0	0.5	1.0			1.0	
Comb.18	1.0	1.0	0.5		1.0	1.0	1.0	
Comb.19	1.0		1.0				1.0	
Comb.20	1.0		0.5				1.0	

설계교량과 전체모델의 질량중심 유지를 위해 전단면에 대한 강성산정을 원칙으로 한다.

6.2.7 [단계 6] (지진시) 구조계 모델링 및 지진하중 산정

(1) 강성산정

[도・시 제5편 6.4]에 따라 기초와 교대의 강성을 계산한다.

(2) 절점구속조건 및 모델링

① 절점구속 조건의 결정

연직방향의 하단은 지반의 부재간의 상대변위가 없는 면으로 하고, 직접기초인 경우 기초부의 횡방향 강성이 기둥 또는 벽체의 강성보다 현저히 큰 경우 분리해석방법을 적용하기 위해 기초상면을 설계기준면으로 한다.

강성벽체인 경우 회전강성과 이동강성을 설계기준면상 등가집중 스프링으로 치환하여 적용한다.

등가집중 스프링은 연결부 벽체에 관성 중심에 작용하나 탄소성 지반상의 벽체모형에는 적합치 않으므로 설계지반면상의 집중스프링으로 모델링한다. 이때 관성중심의 이동에 따른 강성행렬에 off diagonal의 항이 추가되나 무시하기로 한다.

② 모델링

구조물의 질량을 집중시키고, 이 절점 사이를 질량이 없는 적절한 요소로 연결한다. 이 연결 요소로는 보통 보요소를 사용하게 되며, 특수한 경우 강체 요소 또는 스프링 요소(또는 트러스 요소)를 병용하게 되므로 연결요소의 강성계산을 위한 부재단면 성질을 산정해야 한다. 여기서, 강체요소 및 스프링 요소의 단면성질은 보요소의 단면성질의 계산방법과 동일하게 적용한다.

(3) 등가정적 지진하중 산정

[도・설 6.5.3]에 따른다.

(4) 지진시 토압하중

[도・설 6.6.3.2]에 따라 Mononobe-Okabe의

<표 507.14> 하중계수 조합

하중 / 하중조합	종방향 등가정적 지진하중	횡방향 등가정적 지진하중	고 정 하 중	지진시 토압	비 고
Comb. 1	1.0	0.3	1.0	1.0	
Comb. 2	1.0	0.3	1.0	0.65	
Comb. 3	0.3	1.0	0.3	0.3	
Comb. 4	0.3	1.0	0.3	0.195	

의사-정적해석방법을 이용한다. 가속도계수 A가 0.25 이하일 때는 지진에 의한 수직하중의 영향이 적으므로 생략할 수 있으며 P_A, P_{EH}의 합력작용점은 다음의 식으로 작용점을 계산한다.

$$h = \frac{(P_A \cdot H/3) + (P_{EH} \cdot 0.6H)}{P_{AE}} \quad (507.14)$$

여기서,

P_{AE} : 지진시 주동토압에 의한 라멘교 벽체에 작용하는 total Force
(정적주동토압 + 동적주동토압).

P_A : 정적주동토압(작용점 H/3)

P_{EH} : 수평방향지진에 의한 동적주동토압 (0.6H)

H : 벽체 높이

(5) 하중조합

[도·설 2.2.3]의 설계하중 및 [도·설 6.4.4]의 직교 지진력의 조합에 따른다.

① 하중재하 CASE

- CASE. 1 ---------- 종방향 등가정적 지진하중
- CASE. 2 ---------- 횡방향 등가정적 지진하중
- CASE. 3 ---------- 고정하중
- CASE. 4 ---------- 지진시 토압하중

② 하중 CASE 조합

하중 CASE 조합은 <표 507.14> 하중계수 조합을 따른다.

직선교이며 직교인 경우 1축 방향 구조해석에 의한 2축 방향 분격이 발생치 않으므로 위의 하중조합은 간단해지며, 횡방향 강성이 매우 크므로 횡방향 해석을 생략할 수 있다.

6.2.8 [단계 7] 설계단면력 산정

[도·설 4.12.4] 및 [도·설 4.4.6]에 따른다.

상시 및 지진시를 비교하여 지배적인 단면력을 결정한다.

6.2.9 [단계 8] 단면검토

(1) 슬래브 설계

① 휨철근량 산정

[도·설 4.3.6]의 규정에 따른다.

② 전단검토

[도·설 4.4.6]의 규정에 따른다.

(2) 벽체설계

① 휨철근량 산정

[도・설 4.3.6]의 규정에 따른다.

② 전단검토

[도・설 4.4.6]의 규정에 따른다.

(3) 우각부 설계

[도・설 4.12.5] 및 [콘크리트 구조설계기준 15.3]의 구조상세 규정에 따른다.

(4) 배력철근량 산정

[도・설 4.7.5.7] 및 [콘크리트 구조설계기준 5.7]의 수축, 온도철근 규정에 따른다.

(5) 내민 받침부 설계

[도・설 4.4.6.8] 및 [콘크리트구조 설계기준 7.8]의 브래킷과 내민받침에 의한 전단설계의 규정에 따른다.

6.2.10 [단계 9] 안정검토

본 편람 “509. 하부구조 및 내진설계” 적용

6.2.11 [단계 10] 기초단면력 산정 및 단면검토

본 편람 “509. 하부구조 및 내진설계” 적용

6.2.12 [단계 11] 사용성 검토

(1) 처짐검토

[도・설 4.4.9.5]에 따른다.

(2) 균열검토

[도・설 4.4.9.4] 및 [콘・설 4.2]의 규정에 따른다.

(3) 피로검토

[도・설 4.4.9.6]에 따른다.

6.2.13 [단계 12] 날개벽 설계

본 편람 “509. 하부구조 및 내진설계” 적용

6.2.14 [단계 13] 주철근 조립도 작성

6.3 설계예

6.3.1 [단계 1] 설계조건 결정

(1) [단계 1-1] 일반조건

① 설계방법 : 강도설계법

② 사용재료 및 설계기준강도

· 콘크리트

- f_{ck} = 270 kgf/㎠ - E_c = 2.5×10^5 kgf/㎠

· 철 근

- f_y = 4000 kgf/㎠ - E_s = 2.00×10^6 kgf/㎠

③ 교량등급 및 기초형식

· 교량등급 : 1등교

· 기초형식 : 직접기초

(2) [단계 1-2] 하중조건

① 고정하중

· 철근 콘크리트 : 2.5 tonf/㎥

· 아 스 팔 트 : 2.3 tonf/㎥

· 토 사 : 2.0 tonf/㎥

② 활 하 중

· DB - 24, DL - 24 적용

③ 토 압

· γ_t = 2.00 tonf/㎥ , ø = 35°

· 정지토압계수 사용 : K_s = 1 - sinø = 0.426

(3) [단계 1-3] 내진설계 조건

① 교량등급 : 내진 1등급교

② 가속도 계수 (A) = 0.154

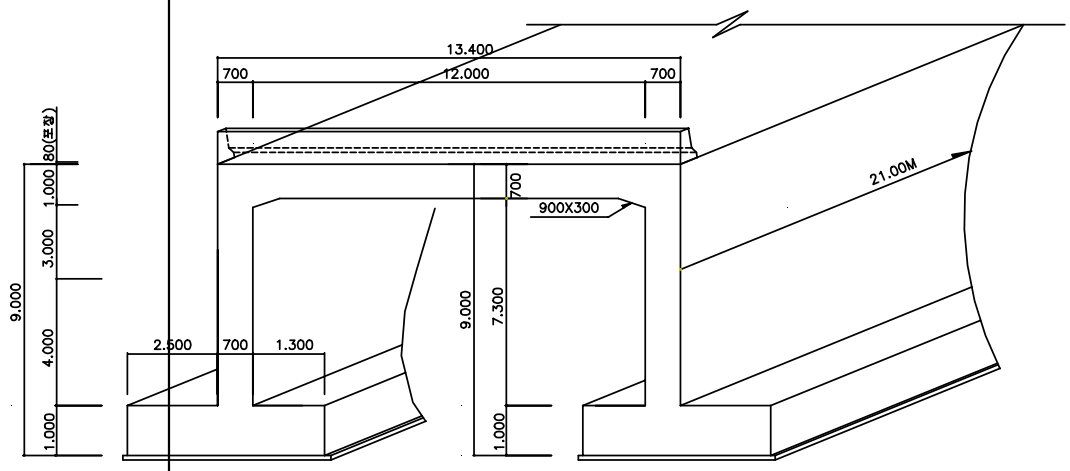
(4) [단계 1-4] 참고문헌

· 도로교 설계기준 (건설교통부)

· 콘크리트 구조설계기준 (건설교통부)

· 철근 콘크리트 설계 편람 (건설교통부)

6.3.2 [단계 2] 단면가정



(1) [단계 2-1] 선형조건에 따른 유효지간장 검토

- ℓ_s = 12.700m
- B = 21.000m

∴ ℓ_s/B < 1.5 이므로 슬래브 지간은 12.700m를 적용함.

6.3.3 [단계 3] (상시)하중 산정

(1) [단계 3-1] 고정하중

① 상부 슬래브 (W_1)

- 슬래브 자중 : 0.700 × 2.50 = 1.750
- 방 호 벽 : {(0.397/EA × 2EA × 2.50/21.000 = 0.095
- ASCON : 0.080 × 2.30 = 0.184
- 헌 치 : (0.300 × 0.900) / 2 × 2.50 × 2EA / 12.700 = 0.053

계 : 2.082 tonf/㎡

② 외 측 벽 체 (W_{P1})

- W_{P1} = 0.700 × 2.50 = 1.750 tonf/㎡

(2) [단계 3-2] 활 하 중

- 설계 유효 지간장 : 12.700 m
- 유효폭 산정

E = 1.2 + 0.06 L = 1.2 + 0.06 × 12.700 = 1.962 m < 2.10

따라서, E = 1.962 m

◦ 충격 계수

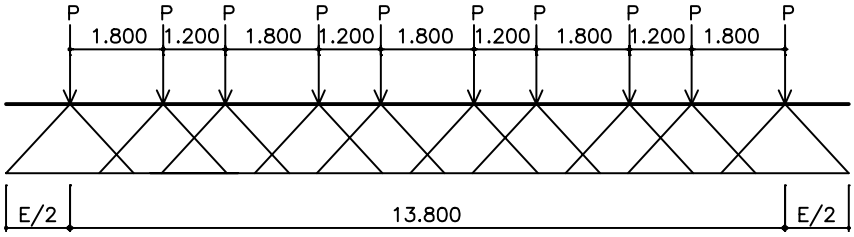
$$i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+12.700} = 0.285 < 0.30 \quad \therefore \ i = 0.285$$

◦ 설계 차선수 산정

16.4 < W_c < 20.1 (도・설 P8) ∴ 5차선 재하

∴ 설계 차선폭은 3.00m를 적용한다.

◦ 차선 수에 따른 활하중 산정



- DB - 24

* 2차선 재하시

$$P_n = \frac{4P(1+i)}{L}$$

$$P_r = \frac{4\times 9.6\times(1+0.285)}{6.762} = 7.297 \text{ tonf}$$

$$P_f = \frac{4\times 2.4\times(1+0.285)}{6.762} = 1.824 \text{ tonf}$$

* 3차선 재하시

$$P_n = \frac{6P(1+i)}{L}$$

$$P_r = \frac{6\times 9.6\times(1+0.285)}{9.762}\times 0.9 = 6.824 \text{ tonf}$$

$$P_f = \frac{6\times 2.4\times(1+0.285)}{9.762}\times 0.9 = 1.706 \text{ tonf}$$

* 4차선 재하시

$$P_n = \frac{8P(1+i)}{L}$$

$$P_r = \frac{8\times 9.6\times(1+0.285)}{12.762}\times 0.75 = 5.800 \text{ tonf}$$

$$P_f = \frac{8\times 2.4\times(1+0.285)}{12.762}\times 0.75 = 1.450 \text{ tonf}$$

* 5차선 재하시

$$P_n = \frac{10P(1+i)}{L}$$

$$P_r = \frac{10\times 9.6\times(1+0.285)}{15.762} \times 0.75 = 5.992\,\text{tonf}$$

$$P_f = \frac{10\times 2.4\times(1+0.285)}{15.762} \times 0.75 = 1.467\,\text{tonf}$$

∴ 2차선 재하시가 가장 불리하므로 2차선을 재하시킨다.

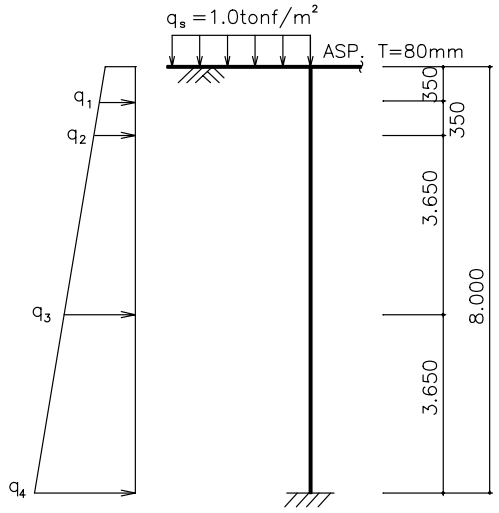
- DL - 24

$W_L = 1.270 \times (1+0.285) \times 1/3.00 = 0.544$ tonf/m

$P_m = 10.80 \times (1+0.285) \times 1/3.00 = 4.626$ tonf

$P_s = 15.60 \times (1+0.300) \times 1/3.00 = 6.682$ tonf

(3) [단계 3-3] 토 압



◦ 전설계 토압

$q_1 = 0.426 \times (1.00 + 2.30 \times 0.080 + 2.00 \times 0.350) = 0.803$ tonf/㎡

$q_2 = 0.803 + 0.426 \times 2.00 \times 0.350 = 1.101$ tonf/㎡

$q_3 = 1.101 + 0.426 \times 2.00 \times 3.650 = 4.211$ tonf/㎡

$q_4 = 4.211 + 0.426 \times 2.00 \times 3.650 = 7.321$ tonf/㎡

(4) [단계 3-4] 온도하중

◦ 선팽창 계수 : $\alpha = 1.0\times10^{-5}$

◦ 온 도 차 : ±10℃ (단면의 최소두께가 70cm이상)

· 바닥판과 기타부분의 온도차 : ±5℃

(5) [단계 3-5] 건조수축

· -15℃의 온도하중으로 변환 설계됨.

· 건조 수축률 : $\varepsilon = 15 \times 10^{-5}$

· 온도 선팽창성 지수 : $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$

$$\Delta T = \frac{\varepsilon}{\alpha} = \frac{15\times10^{-5}}{1.0\times10^{-5}} = 15℃$$

(6) [단계 3-6] 지점침하

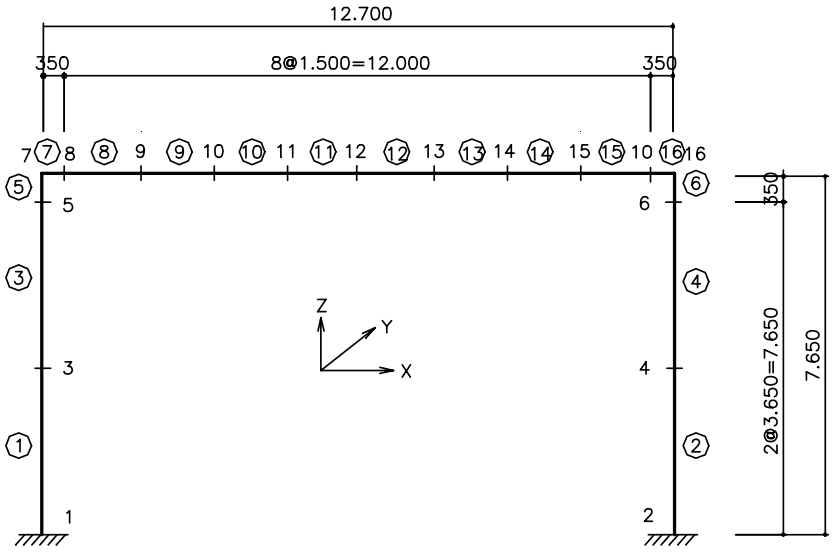
지점 침하값은 20mm으로 추정함. (콘크리트교에서는 탄성설계력의 50%를 적용 →지점침하 10mm로 탄성해석 적용 : 도·설 P23)

6.3.4 [단계 4] (상시) 구조계 모델링 및 하중조합

(1) [단계 4-1] 해석방법 : 2차원 프레임 요소로 해석

(2) [단계 4-2] 절점구속조건 및 해석 모델링

· 벽체와 기초가 강결된 경우로 기초상면을 고정단으로 간주



(3) [단계 4-3] 단면특성 및 절점좌표

① 단면 특성

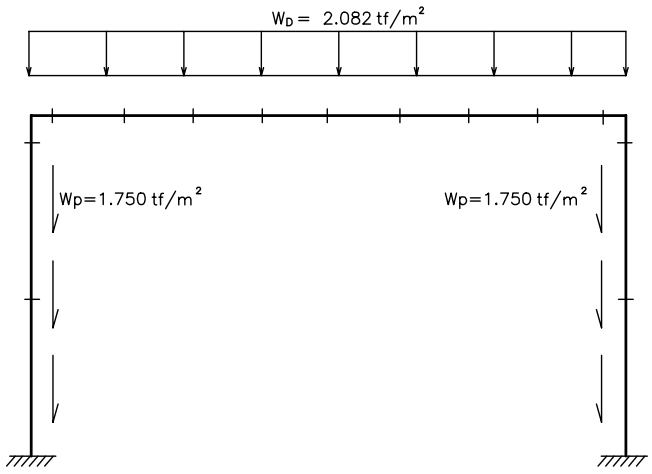
번호	단 면 적 (m^2)	단면 2차 모멘트 (m^4)	부 재
1	$1.00 \times 0.700 = 0.700$	$1.00 \times 0.700^3/12 = 0.02858$	1 ~ 16

② 절점 좌표

절 점	x	z	절 점	x	z
1	0.000	0.000	10	3.350	7.650
2	12.700	0.000	11	4.850	7.650
3	0.000	3.650	12	6.350	7.650
4	12.700	3.650	13	7.850	7.650
5	0.000	7.300	14	9.350	7.650
6	12.700	7.300	15	10.850	7.650
7	0.000	7.650	16	12.350	7.650
8	0.350	7.650	17	12.700	7.650
9	1.850	7.650			

(4) [단계 4-4] 하중재하 CASE

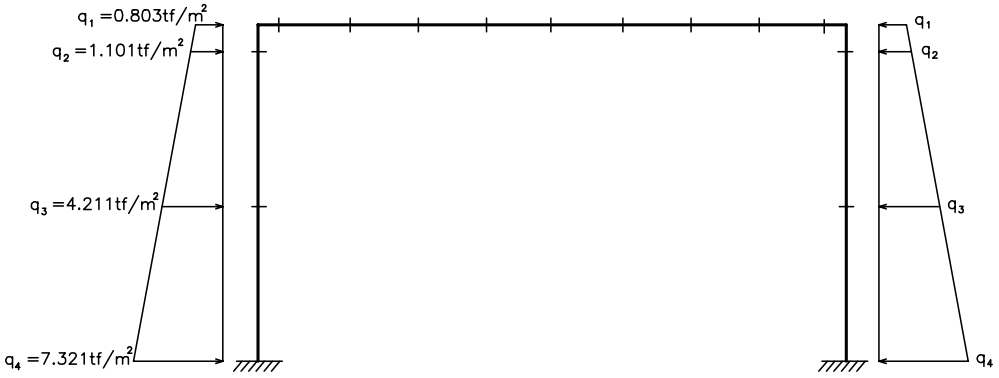
① LOAD CASE 1 : 고정하중



② LOAD CASE 2 : 활 하 중

- SAP Bridge Module 사용

③ LOAD CASE 3 : 전설계토압



④ LOAD CASE 4 : 온도 하중 1

· 온도차 : ΔT_x = +10℃, ΔT_z = +5℃

⑤ LOAD CASE 5 : 온도 하중 2

· 온도차 : ΔT_x = -10℃, ΔT_z = -5℃

⑥ LOAD CASE 7 : 건조 수축

· 온도차 : ΔT_x = -15℃, ΔT_z = -15℃

⑦ LOAD CASE 8 : 지점 침하

지점 침하량은 10mm를 적용한다. (At Joint "1")

(5) [단계 4-5] 하중 CASE 조합

[도·설 2.2.3.2] 설계하중조합에 따르며, 라멘교 하중조합은 다음과 같다.

① 계수 하중 검토시

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	전토압	온도 하중 (+ΔT℃)	온도 하중 (-ΔT℃)	건조 수축	지점 침하
COMB. 1	1.3		1.7				
COMB. 2	1.3		0.65				
COMB. 3	1.3	2.15	1.7				
COMB. 4	1.3	2.15	0.65				
COMB. 5	1.3	1.3	1.7	1.3			1.3
COMB. 6	1.3	1.3	1.7		1.3	1.3	1.3
COMB. 7	1.3	1.3	0.65	1.3			1.3
COMB. 8	1.3	1.3	0.65		1.3	1.3	1.3
COMB. 9	1.25		1.65	1.25			1.25
COMB.10	1.25		1.65		1.25	1.25	1.25
COMB.11	1.25		0.65	1.25			1.25
COMB.12	1.25		0.65		1.25	1.25	1.25

· 건조수축은 -15℃의 온도하중으로 변환 설계됨.

(건조수축율 : 15×10^{-5}, 온도 선팽창 계수 : 1.0×10^{-5})

$$\Delta T = \frac{\varepsilon}{\alpha} = \frac{15\times10^{-5}}{1.0\times10^{-5}} = 15℃$$

② 사용하중 검토시

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	전토압	온도 하중 (+ΔT℃)	온도 하중 (-ΔT℃)	건조 수축	지점 침하
COMB. 13	1.0	1.0	1.0				
COMB. 14	1.0	1.0	0.5				
COMB. 15	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0
COMB. 16	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0
COMB. 17	1.0	1.0	0.5	1.0			1.0
COMB. 18	1.0	1.0	0.5		1.0	1.0	1.0
COMB. 19	1.0		1.0				1.0
COMB. 20	1.0		0.5				1.0

③ 전산해석(SAP2000) INPUT DATA(상시)

```
SYSTEM
   DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ   LENGTH=m   FORCE=Ton   LINES=59
JOINT                                   RESTRAINT
   1   X=0          Y=0   Z=0            ADD=1   DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
   2   X=12.7       Y=0   Z=0            ADD=2   DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
   3   X=0          Y=0   Z=3.65         ADD=3   DOF=U2,R1,R3
   4   X=12.7       Y=0   Z=3.65         ADD=4   DOF=U2,R1,R3
   5   X=0          Y=0   Z=7.3          ADD=5   DOF=U2,R1,R3
   6   X=12.7       Y=0   Z=7.3          ADD=6   DOF=U2,R1,R3
   7   X=0          Y=0   Z=7.65         ADD=7   DOF=U2,R1,R3
   8   X=.35        Y=0   Z=7.65         ADD=8   DOF=U2,R1,R3
   9   X=1.85       Y=0   Z=7.65         ADD=9   DOF=U2,R1,R3
   10  X=3.35       Y=0   Z=7.65         ADD=10  DOF=U2,R1,R3
   11  X=4.85       Y=0   Z=7.65         ADD=11  DOF=U2,R1,R3
   12  X=6.35       Y=0   Z=7.65         ADD=12  DOF=U2,R1,R3
   13  X=7.85       Y=0   Z=7.65         ADD=13  DOF=U2,R1,R3
   14  X=9.35       Y=0   Z=7.65         ADD=14  DOF=U2,R1,R3
   15  X=10.85      Y=0   Z=7.65         ADD=15  DOF=U2,R1,R3
   16  X=12.35      Y=0   Z=7.65         ADD=16  DOF=U2,R1,R3
   17  X=12.7       Y=0   Z=7.65         ADD=17  DOF=U2,R1,R3

PATTERN
   NAME=TEMP
   NAME=PRES
MATERIAL
   NAME=1FR   IDES=N
      T=0   E=2500000   U=.3   A=.00001
```

```
  NAME=STEEL  IDES=S  M=.798142  W=7.833414
    T=0  E=2.038902E+07  U=.3  A=.0000117  FY=25310.51
  NAME=CONC  IDES=C  M=.2448012  W=2.402616
    T=0  E=2531051  U=.2  A=.0000099
FRAME SECTION
 NAME=1 MAT=1FR A=.7 J=0 I=.02858,0 AS=0,0 T=1,1
FRAME
   1  J=1,3     SEC=1  NSEG=4  ANG=180
   2  J=2,4     SEC=1  NSEG=4  ANG=180
   3  J=3,5     SEC=1  NSEG=4  ANG=180
   4  J=4,6     SEC=1  NSEG=4  ANG=180
   5  J=5,7     SEC=1  NSEG=4  ANG=180
   6  J=6,17    SEC=1  NSEG=4  ANG=180
   7  J=7,8     SEC=1  NSEG=4  ANG=0
   8  J=8,9     SEC=1  NSEG=4  ANG=0
   9  J=9,10    SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  10  J=10,11   SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  11  J=11,12   SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  12  J=12,13   SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  13  J=13,14   SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  14  J=14,15   SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  15  J=15,16   SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  16  J=16,17   SEC=1  NSEG=4  ANG=0
LOAD
  NAME=1
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=7    RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=8    RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=9    RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=10   RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=11   RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=12   RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=13   RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=14   RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=15   RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=16   RD=0,1  UZP=-2.082,-2.082
      ADD=1    RD=0,1  U1=-1.75,-1.75
      ADD=2    RD=0,1  U1=-1.75,-1.75
      ADD=3    RD=0,1  U1=-1.75,-1.75
      ADD=4    RD=0,1  U1=-1.75,-1.75
      ADD=5    RD=0,1  U1=-1.75,-1.75
      ADD=6    RD=0,1  U1=-1.75,-1.75
  NAME=2
  NAME=3
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=1   RD=0,1  U2=-7.321,-4.211
      ADD=3   RD=0,1  U2=-4.211,-1.101
      ADD=5   RD=0,1  U2=-1.101,-.803
```

```
        ADD=2   RD=0,1   U2=7.321,4.211
        ADD=4   RD=0,1   U2=4.211,1.101
        ADD=6   RD=0,1   U2=1.101,.803
    NAME=4
      T Y P E = T E M P E R A T U R E
ELEM=FRAME
        ADD=7   T=10
        ADD=7   T2=5
        ADD=7   T3=0
        ADD=8   T=10
        ADD=8   T2=5
        ADD=8   T3=0
        ADD=9   T=10
        ADD=9   T2=5
        ADD=9   T3=0
        ADD=10  T=10
        ADD=10  T2=5
        ADD=10  T3=0
        ADD=11  T=10
        ADD=11  T2=5
        ADD=11  T3=0
        ADD=12  T=10
        ADD=12  T2=5
        ADD=12  T3=0
        ADD=13  T=10
        ADD=13  T2=5
        ADD=13  T3=0
        ADD=14  T=10
        ADD=14  T2=5
        ADD=14  T3=0
        ADD=15  T=10
        ADD=15  T2=5
        ADD=15  T3=0
        ADD=16  T=10
        ADD=16  T2=5
        ADD=16  T3=0
    NAME=5
      T Y P E = T E M P E R A T U R E
ELEM=FRAME
        ADD=7   T=-10
        ADD=7   T2=-5
        ADD=7   T3=0
        ADD=8   T=-10
        ADD=8   T2=-5
        ADD=8   T3=0
        ADD=9   T=-10
        ADD=9   T2=-5
        ADD=9   T3=0
        ADD=10  T=-10
        ADD=10  T2=-5
        ADD=10  T3=0
        ADD=11  T=-10
        ADD=11  T2=-5
        ADD=11  T3=0
        ADD=12  T=-10
        ADD=12  T2=-5
        ADD=12  T3=0
        ADD=13  T=-10
        ADD=13  T2=-5
        ADD=13  T3=0
        ADD=14  T=-10
        ADD=14  T2=-5
        ADD=14  T3=0
        ADD=15  T=-10
        ADD=15  T2=-5
        ADD=15  T3=0
        ADD=16  T=-10
        ADD=16  T2=-5
        ADD=16  T3=0
    NAME=6
      T Y P E = T E M P E R A T U R E
ELEM=FRAME
        ADD=1   T=-15
        ADD=1   T2=0
        ADD=1   T3=0
        ADD=2   T=-15
        ADD=2   T2=0
        ADD=2   T3=0
        ADD=3   T=-15
        ADD=3   T2=0
        ADD=3   T3=0
        ADD=4   T=-15
        ADD=4   T2=0
        ADD=4   T3=0
        ADD=5   T=-15
        ADD=5   T2=0
        ADD=5   T3=0
        ADD=6   T=-15
        ADD=6   T2=0
        ADD=6   T3=0
        ADD=7   T=-15
```

```
      ADD=7   T2=0
      ADD=7   T3=0
      ADD=8   T=-15
      ADD=8   T2=0
      ADD=8   T3=0
      ADD=9   T=-15
      ADD=9   T2=0
      ADD=9   T3=0
      ADD=10   T=-15
      ADD=10   T2=0
      ADD=10   T3=0
      ADD=11   T=-15
      ADD=11   T2=0
      ADD=11   T3=0
      ADD=12   T=-15
      ADD=12   T2=0
      ADD=12   T3=0
      ADD=13   T=-15
      ADD=13   T2=0
      ADD=13   T3=0
      ADD=14   T=-15
      ADD=14   T2=0
      ADD=14   T3=0
      ADD=15   T=-15
      ADD=15   T2=0
      ADD=15   T3=0
      ADD=16   T=-15
      ADD=16   T2=0
      ADD=16   T3=0
  NAME=7
    T Y P E = R E S T R A I N T
DISPLACEMENT
      ADD=1   UZ=-.01
LANE
  NAME=1
    PATH=7
    PATH=8
    PATH=9
    PATH=10
    PATH=11
    PATH=12
    PATH=13
    PATH=14
    PATH=15
    PATH=16
VEHICLE
  NAME=1   TYPE=GEN
    P=1.824
    D=4.2,4.2   P=7.297
    D=4.2,9   P=7.297
  NAME=2   TYPE=GEN
    W=.544   PM=4.626   PXM=6.682
VEHICLE CLASS
  NAME=1
    VEHI=1
  NAME=2
    VEHI=2
BRIDGE RESPONSE
  ELEM=JOINT   TYPE=DISP
    ADD=*
  ELEM=JOINT   TYPE=REAC
    ADD=*
  ELEM=FRAME
    ADD=*
MOVING LOAD
  QUICK=0   CORR=N   TOL=.0001
  NAME=1   RF=1
    CLASS=1     LANE=*     LMIN=1
LMAX=1
  NAME=102   RF=1
    CLASS=2     LANE=*     LMIN=1
LMAX=1
COMBO
                N A M E = 1 B R
TYPE=ENVE
    MOVE=1   SF=1
    MOVE=102   SF=1
  NAME=1EN
    LOAD=1   SF=1.3
    LOAD=3   SF=1.7
  NAME=2EN
    LOAD=1   SF=1.3
    LOAD=3   SF=.65
  NAME=3EN
    LOAD=1   SF=1.3
    LOAD=3   SF=1.7
    COMB=1BR   SF=2.15
  NAME=4EN
    LOAD=1   SF=1.3
    LOAD=3   SF=.65
    COMB=1BR   SF=2.15
```

```
NAME=5EN
  LOAD=1  SF=1.3
  LOAD=3  SF=1.7
  LOAD=4  SF=1.3
  COMB=1BR  SF=1.3
  LOAD=7  SF=1.3
NAME=6EN
  LOAD=1  SF=1.3
  LOAD=3  SF=1.7
  LOAD=5  SF=1.3
  LOAD=6  SF=1.3
  COMB=1BR  SF=1.3
  LOAD=7  SF=1.3
NAME=7EN
  LOAD=1  SF=1.3
  LOAD=3  SF=.65
  LOAD=4  SF=1.3
  COMB=1BR  SF=1.3
  LOAD=7  SF=1.3
NAME=8EN
  LOAD=1  SF=1.3
  LOAD=3  SF=.65
  LOAD=5  SF=1.3
  LOAD=6  SF=1.3
  COMB=1BR  SF=1.3
  LOAD=7  SF=1.3
NAME=9EN
  LOAD=1  SF=1.25
  LOAD=3  SF=1.65
  LOAD=4  SF=1.25
  LOAD=7  SF=1.25
NAME=10EN
  LOAD=1  SF=1.25
  LOAD=3  SF=1.65
  LOAD=5  SF=1.25
  LOAD=6  SF=1.25
  LOAD=7  SF=1.25
NAME=11EN
  LOAD=1  SF=1.25
  LOAD=3  SF=.65
  LOAD=4  SF=1.25
  LOAD=7  SF=1.25
NAME=12EN
  LOAD=1  SF=1.25
  LOAD=3  SF=.65
  LOAD=5  SF=1.25
  LOAD=6  SF=1.25
  LOAD=7  SF=1.25
NAME=13EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=1
  COMB=1BR  SF=1
NAME=14EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=.5
  COMB=1BR  SF=1
NAME=15EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=1
  LOAD=4  SF=1
  COMB=1BR  SF=1
  LOAD=7  SF=1
NAME=16EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=1
  LOAD=5  SF=1
  LOAD=6  SF=1
  COMB=1BR  SF=1
  LOAD=7  SF=1
NAME=17EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=.5
  LOAD=4  SF=1
  COMB=1BR  SF=1
  LOAD=7  SF=1
NAME=18EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=.5
  LOAD=5  SF=1
  LOAD=6  SF=1
  COMB=1BR  SF=1
  LOAD=7  SF=1
NAME=19EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=1
  LOAD=7  SF=1
NAME=20EN
  LOAD=1  SF=1
  LOAD=3  SF=.5
  LOAD=7  SF=1
NAME=ALLENVE  TYPE=ENVE
  COMB=1EN  SF=1
  COMB=2EN  SF=1
  COMB=3EN  SF=1
```

COMB=4EN SF=1
COMB=5EN SF=1
COMB=6EN SF=1
COMB=7EN SF=1
COMB=8EN SF=1
COMB=9EN SF=1
COMB=10EN SF=1
COMB=11EN SF=1
COMB=12EN SF=1
COMB=13EN SF=1
COMB=14EN SF=1
COMB=15EN SF=1
COMB=16EN SF=1
COMB=17EN SF=1
COMB=18EN SF=1
COMB=19EN SF=1
COMB=20EN SF=1

6.3.5 [단계 5] (지진시) 해석방법 및 설계상수 결정

(1) [단계 5-1] 해석방법

· 단일모드 스펙트럼 해석법

(2) [단계 5-2] 내진설계 상수 결정

① 지진구역계수 : Ⅰ구역(0.11)

② 위험도 계수 : 1.4

③ 가속도 계수(A) : 0.11 × 1.4 = 0.154

④ 지 반 계 수 : Ⅱ(1.2)

(3) [단계 5-3] 토질정수

· N = 40

· ϕ : 흙의 내부 마찰각 (35°)

· $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Kh}{1-K_0}\right) = 11.860°$

· E_0 = 흙의 변형 계수 (E_0 = 280N = 11200 tonf/m^2)

· G = 흙의 전단 탄성 계수

$$\left(G = \frac{E_0}{2\cdot(1+\upsilon)} = 4,148\ tf/m^2\right)$$

· υ = 포와송의 비 (사질토 : 0.35)

(4) [단계 5-4] 단면특성

· A_x = 0.700 ×21.000 = 14.700 m^2

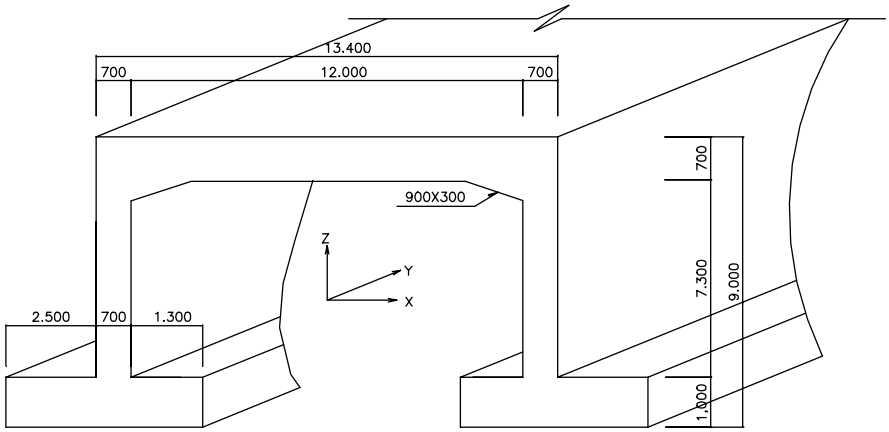
· I_y = 1/12 × 21.000 ×0.70^3 = 0.600 m^4

· I_z = 1/12 × 0.70 ×21.000^3 = 540.225 m^4

6.3.6 [단계 6] 구조계 모델링 및 지진하중 산정

(1) [단계 6-1] 강성 산정

① 교 대 - 뒷채움토 강성 산정



가 종방향 (교축방향 : X-DIR) 변위 강성

$K_s = 0.425 \cdot E_0 \cdot B$

$= 0.425 \times 11{,}200 \times 21.000$

$= 99{,}960$ tonf/m

나 횡방향 (교축 직각 방향 : y - DIR) 회전 강성

$K_R = 0.072 \cdot E_0 \cdot B \cdot H^2$

$= 0.072 \times 11{,}200 \times 21.000 \times 7.650^2$

$= 991{,}043$ tonf/m

다 Y축, Z축으로의 변위 강성과 X와 Z축에 대한 회전 강성은 무시함.

라 기초 상단으로 위치 전환

· $h_1 = 0.37H = 0.37 \times 7.650 = 2.831$ m

δ_x	θ_y	δ_x	θ_y
K_s	$h_1 \cdot K_s$	99,960	282,987
$h_1 \cdot K_s$	$h_1^2 \cdot K_s + K_R$	282,987	1,792,179

② 벽 체 - 기초 강성 계산

가 변위 강성

(가) X축 방향의 변위 강성

· $R_0 = \sqrt{\frac{4B \square L}{\pi}}$ R_0 : 유효 기초 반지름 (m)

$= \sqrt{\frac{4\times4.50\times21.00}{\pi}}$

= 10.969 / 2 ≒ 5.485 m

· $K_0 = \frac{8G\square R_0}{2-\nu}$ K_0 : 유효 반지름으로 계산된 강성 (tonf/m)

$= \frac{8\times4,148\times5.485}{2-0.35}$ = 110,312 tonf/m

$\frac{L}{B} = \frac{21.00}{4.50} = 4.667 \Rightarrow \alpha = 1.18$ (형상 계수) (도 · 시 P810)

$\frac{D}{R} = \frac{1.00}{5.485} = 0.182 \Rightarrow \beta = 1.30$ (근입 계수) (도 · 시 P811)

· $K_S = \alpha \cdot \beta \cdot K_0$ K_S : 수정된 기초의 변위 강성 (tonf/m)

= 1.18 × 1.30 × 110,312 = 169,219 tonf/m

K_S : 수정된 기초의 변위 강성 (tonf/m)

(나) Y축 방향의 변위 강성

· K_0 = 110,312 tonf/m

∴ X축 방향으로의 강성은 Y축 방향으로 강성과 같다.

$\frac{L}{B} = \frac{21.00}{4.50} = 4.667 \Rightarrow \alpha = 1.07$ (형상 계수) (도 · 시 P810)

$\frac{D}{R} = \frac{1.0}{5.485} = 0.182 \Rightarrow \beta = 1.30$ (근입 계수) (도 · 시 P811)

· $K_S = \alpha \cdot \beta \cdot K_0$ K_S : 수정된 기초의 변위 강성 (tonf/m)

= 1.07 × 1.30 × 110,312 = 153,444 tonf/m

(다) Z축 방향의 변위 강성

· $K_0 = \frac{4G\cdot R_0}{1-\nu} = \frac{4\times4,148\times5.485}{1-0.35}$ = 140,011 tonf/m

$\frac{L}{B} = \frac{21.00}{4.50} = 4.667 \Rightarrow \alpha = 1.13$ (형상 계수)

$\frac{D}{R} = \frac{1.0}{5.485} = 0.182 \Rightarrow \beta = 1.12$ (근입 계수)

· $K_S = \alpha \cdot \beta \cdot K_0$

= 1.13 × 1.12 × 140,011 = 177,198 tonf/m

나 회전 강성

(가) X축 방향의 회전 강성

· $R_0 = \frac{1}{2}\left[\frac{(2B)\square(2L)^3}{3\pi}\right]^{1/4}$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{(2\times4.50)\square(2\times21.00)^3}{3\pi}\right]^{1/4} = 8.155 / 2 = 4.077 \text{ m}$$

· $K_0 = \frac{8G\square R_0^{\ 3}}{3(1-\nu)}$

$$= \frac{8\times4,148\times4.077^3}{3(1-0.35)} = 1,153,231 \text{ tonf/m}$$

$\frac{L}{B} = \frac{21.00}{4.50} = 4.667 \Rightarrow \alpha = 1.20$ (형상 계수)

$\frac{D}{R} = \frac{1.0}{4.077} = 0.245 \Rightarrow \beta = 1.40$ (근입 계수)

· $K_R = \alpha \cdot \beta \cdot K_0$

$= 1.20 \times 1.40 \times 1,153,231 = 1,937,428$ tonf/m

(나) Y축 방향의 회전 강성

· $R_0 = \frac{1}{2}\left[\frac{(2B)^3 \cdot (2L)}{3\pi}\right]^{1/4}$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{(2\times4.50)^3\square(2\times21.000)}{3\pi}\right]^{1/4} = 3.775 / 2 = 1.887 \text{ m}$$

· $K_0 = \frac{8G\square R_0^{\ 3}}{3(1-\nu)}$

$$= \frac{8\times4,148\times1.887^3}{3(1-0.35)} = 114,343 \text{ t/m}$$

$\frac{L}{B} = \frac{21.000}{4.50} = 4.667 \Rightarrow \alpha = 1.18$ (형상 계수)

$\frac{D}{R} = \frac{1.0}{1.887} = 0.530 \Rightarrow \beta = 1.90$ (근입 계수)

· $K_R = \alpha \cdot \beta \cdot K_0$

$= 1.18 \times 1.90 \times 114,343 = 256,357$ tonf/m

(다) Z축 방향의 비틀림 강성

· $R_0 = \frac{1}{2}\left[\frac{4BL \cdot (4B^2+4L^2)}{6\pi}\right]^{1/4}$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{(4\times4.50\times21.00)\times(4\times4.50^2+4\times21.00^2)}{6\pi}\right]^{1/4}$$

$= 6.935 / 2 = 3.467$ m

· $K_0 = \frac{16G\square R_0^{\ 3}}{3} = \frac{16\times4,148\times3.467^3}{3} = 921,932$ tonf/m

$\frac{L}{B} = \frac{21.00}{4.50} = 4.667 \Rightarrow \alpha = 1.19$ (형상 계수)

$$\frac{D}{R} = \frac{1.0}{3.467} = 0.288 \Rightarrow \beta = 2.0 \text{ (근입 계수)}$$

· $K_R = \alpha \cdot \beta \cdot K_0$

$= 1.19 \times 2.0 \times 921{,}932 = 2{,}194{,}198$ tonf/m

③ 벽 체 - 뒷채움토 강성과 벽체 - 기초 강성의 조합

· $K_{\mathbb{I}x}$ = 99,960 (벽체) + 169,219 (기초) = 269,179 t/m

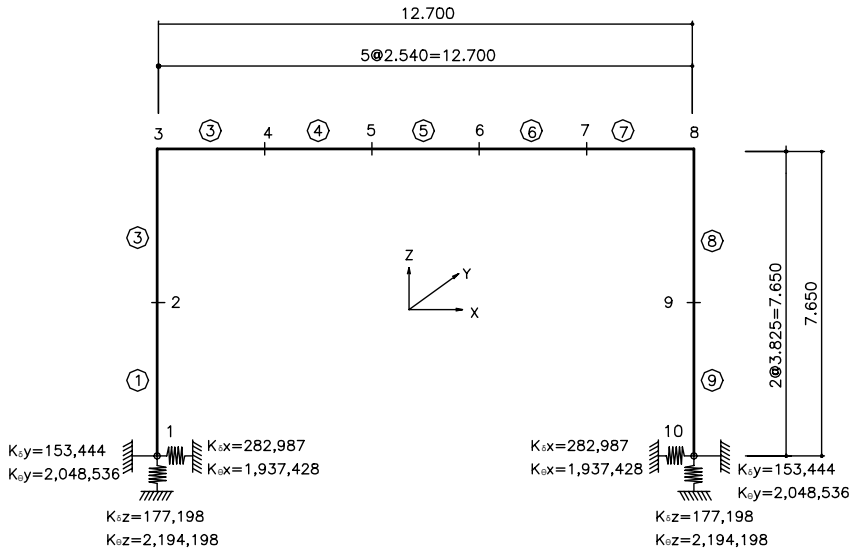
· $K_{\mathbb{I}y}$ = 1,792,179 (벽체) + 256,357 (기초) = 2,048,536 t/m (기초)

벽체와 기초의 조합강성

$K_{\mathbb{I}x}$	$K_{\mathbb{I}y}$	$K_{\mathbb{I}z}$	$K_{\mathbb{II}x}$	$K_{\mathbb{II}y}$	$K_{\mathbb{II}z}$
269,179	-	-	-	282,987	-
-	153,444	-	-	-	-
-	-	177,198	-	-	-
-	-	-	1,937,428	-	-
282,987	-	-	-	2,048,536	-
-	-	-	-	-	2,194,198

* : off - diagonal 계수 값은 무시

(2) [단계 6-2] 절점 구속조건 결정 및 해석 모델링



(3) [단계 6-3] 등가 정적 지진하중 산정

① 종방향 지진하중 산정

가 상부 구조 자중 계산

· A S C O N : 0.080 × 20.000 × 2.30 = 3.680 tonf/m

· 슬 래 브 : 0.70 × 21.000 × 2.50 = 36.750 tonf/m

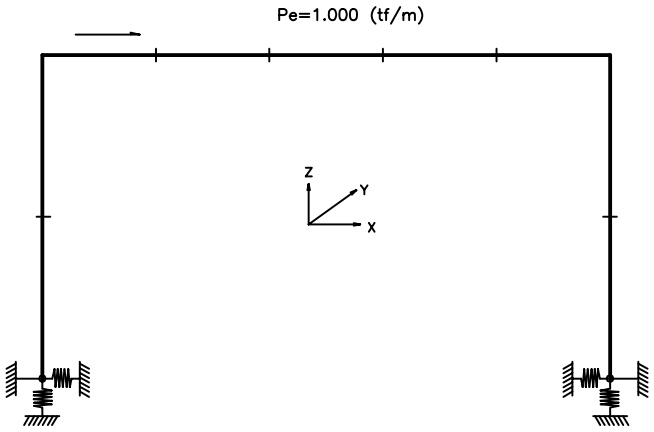
· 방 호 벽 : 0.397/EA × 2.50 ×2EA = 1.985 tonf/m

· 헌 치 : (0.30 × 0.90)/2×2.50×21.00×2EA×1/12.700 = 1.116 tonf/m

계 : 43.531 tonf/m

∴ W(x) = 43.531 tonf/m

나 상부 구조 각 부재에 종방향으로 단위 하중(1 tonf/m)재하 및 변위 계산



· 최대변위 V(x) = 3.560×10^{-4}m

다 α · β · γ 계수값 산정

· W(x) = 43.531 t/m

· $\alpha = \int_0^L \cdot V_s(x) \cdot dy = 3.560\times10^{-4}\times12.700 = 4.521\times10^{-3}\ m^2$

◦ $\beta = \int_0^L \cdot W(x) \cdot V_s(x) \cdot dy = 43.531\times3.560\times10^{-4}\times12.700$

$= 0.197$ tonf.m

◦ $\gamma = \int_0^L \cdot W(x) \cdot V_s(x)^2 \cdot dy = 43.531\times(3.560\times10^{-4})^2\times12.700$

$= 0.7007\times10^{-4}$ tonf.m^2

라 교량의 주기 계산

◦ $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{P_0 \cdot g \cdot \alpha}}$

$= 2\pi\times\sqrt{\frac{0.7007\times10^{-4}}{1\times9.81\times4.521\times10^{-3}}}$

$= 0.250$ (sec)

g : 중력가속도 (9.81 $m/\sec^2$)

P_0 : 가상 정적 단위하중 (1 $tonf/m$)

마 탄성지진 응답계수 계산

◦ $C_s = \frac{1.2 \cdot (A) \cdot (S)}{T^{2/3}}$

$= \frac{1.2 \times 0.154 \times 1.20}{0.250^{2/3}}$

$= 0.559 \; > \; 2.5 \times 0.154(A) = 0.385 \qquad \therefore \; C_s = 0.385$ 사용

A : 가속도 계수 $(0.11 \times 0.14 = 0.154)$

S : 토질 형상 특성에 대한 무차원계수

바 등가 정적 지진하중 계산

◦ $P_e = \frac{\beta \cdot C_s}{\gamma} \cdot W(x) \cdot V_S(x)$

$= \frac{0.197 \times 0.385}{0.7007 \times 10^{-4}} \times 43.531 \times 3.560 \times 10^{-4}$

$= 16.774$ tonf/m

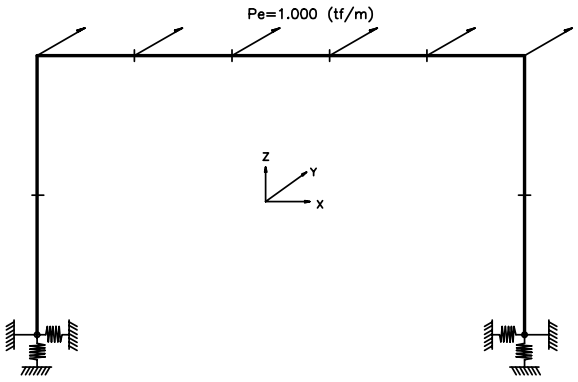
② 횡방향 지진하중 산정(생략가능 : 횡방향 강성이 매우 큼)

가 상부 구조 자중 계산

· A S C O N	: 0.080 × 20.000 × 2.30	= 3.680 tonf/m
· 슬 래 브	: 0.70 × 21.000 × 2.50	= 36.750 tonf/m
· 방 호 벽	: 0.397/EA × 2.50 ×2EA	= 1.985 tonf/m
· 헌 치	: (0.30×0.90)/2×2.50×21.00×2EA×1/12.700	= 1.116 tonf/m
	계	: 43.531 tonf/m

∴ W(y) = 43.531 tonf/m

나 상부 구조 각 부재에 횡방향으로 단위 하중(1 tonf/m)재하 및 변위 계산



절 점	변위V(y) (m)
3	2.339×10^{-4}
4	2.340×10^{-4}
5	2.341×10^{-4}
6	2.341×10^{-4}
7	2.340×10^{-4}
8	2.339×10^{-4}

다 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 계수값 산정

· W(y) = 43.531 tonf/m

◦ $\alpha = \int_0^L \cdot V_s(y) \cdot dy = 0.00297\ m^2$

◦ $\beta = \int_0^L \cdot W(y) \cdot V_s(y) \cdot dy = 0.129\ tonf \cdot m$

◦ $\gamma = \int_0^L \cdot W(y) \cdot V_s(y)^2 \cdot dy = 3.027 \times 10^{-5}\ tonf \cdot m^2$

라 교량의 주기 계산

◦ $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{P_0 \cdot g \cdot \alpha}}$ g : 중력가속도 (9.81 m/ sec^2)

$= 2\pi \times \sqrt{\frac{3.027 \times 10^{-5}}{1 \times 9.81 \times 0.00297}}$ P_0 : 가상 정적 단위하중(1tonf/m)

$= 0.203$ (sec)

마 탄성지진 응답계수 계산

◦ $C_s = \frac{1.2 \cdot (A) \cdot (S)}{T^{2/3}}$

$= \frac{1.2 \times 0.154 \times 1.20}{0.203^{2/3}}$

$= 0.642 > 2.5 \times 0.154(A) = 0.385$ $\therefore C_s = 0.385$ 사용

A : 가속도 계수 ($0.11 \times 0.14 = 0.154$)

S : 토질 형상 특성에 대한 무차원계수

바 등가 정적 지진하중 계산

◦ $P_e = \frac{\beta \cdot C_s}{\gamma} \cdot W(y) \cdot V_s(y)$

$= \frac{0.129 \times 0.385}{3.027 \times 10^{-5}} \times 43.531 \times V(y)$

$= 71,423 \cdot V(y)$ tonf/m

횡방향 하중에 대한 변위 및 횡방향 등가 지진 하중

절점	변위 V(y) (m)	길이 (Iy) (m)	Vy×Iy (tonf)	Vy×Wy×Iy (tonf·m)	Vy^2×Wy×Iy (tonf·㎡)	P_e (tonf/m)
3	2.339×10^{-4}	2.540	0.000594	0.02586	6.049×10^{-6}	16.706
4	2.340×10^{-4}	2.540	0.000594	0.02587	6.054×10^{-6}	16.713
5	2.341×10^{-4}	2.540	0.000594	0.02588	6.059×10^{-6}	16.720
6	2.341×10^{-4}	2.540	0.000594	0.02588	6.059×10^{-6}	16.720
7	2.340×10^{-4}	2.540	0.000594	0.02587	6.054×10^{-6}	16.713
계		12.700	0.00297	0.12936	3.027×10^{-5}	

(4) [단계 6-4] 지진시 토압하중 산정

① 지진시 주동토압

· 지진시 주동토압계수(Mononobe - Okabe식 적용)

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta\cos^2\beta\cos(\theta+\beta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\theta-i)}{\cos(\theta+\beta+\delta)\cdot\cos(\beta-i)}}\right]^2}$$

= 0.3138

여기서, γ_t = 2.0 tonf/㎥

ϕ = 35°

$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{K_h}{1-K_v}\right)$ = 4.403

δ(흙과 교대사이의 마찰각) = 0°

K_h(수평 가속도계수) = 0.5A = 0.077

K_v(연직지반 가속도계수) = 고려하지 않음

i (뒷채움 흙의 경사각) = 0°

β(흙의 표면에서의 경사) = 0°

· 지진시 주동토압

$$P_{AE} = \frac{1}{2}\cdot K_{AE}\cdot\gamma\cdot H^2 = \frac{1}{2}\times 0.3138\times 2.0\times 7.65^2\times 21.00$$

= 385.652 tonf

② 상시 주동토압

· 상시 주동토압계수

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi-\theta)}{\cos^2\theta\cdot\cos(\theta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\cdot\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\theta+\delta)\cdot\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2}$$

여기서, γ_t = 2.0 t/㎥

ϕ = 35°

θ = 0

δ = 0°

· 상시 주동토압

$$P_A = \frac{1}{2}\cdot K_A\cdot\gamma\cdot H^2 = \frac{1}{2}\times 0.271\times 2.0\times 7.65^2\times 21.00$$

= 335.052 tonf

③ 지진시 주동토압(P_{AE})의 작용점 산정

ΔP_{AE} = 385.652 - 333.052 = 52.600 tonf

$$h = \frac{(P_A \cdot H/3) + (\triangle P_{AE} \cdot 0.6H)}{P_{AE}}$$

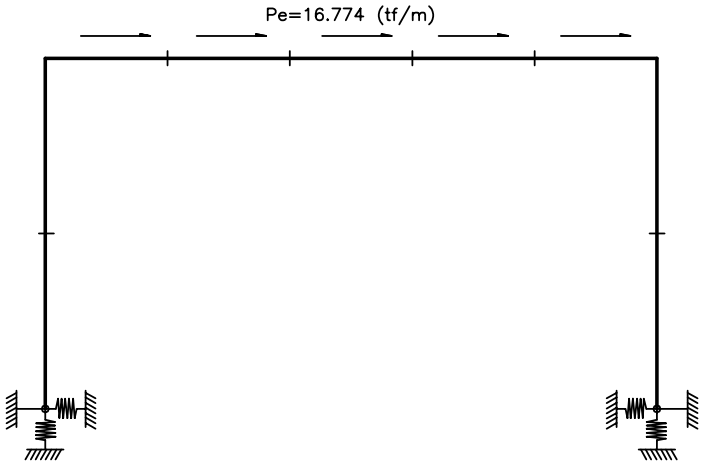
$$= \frac{(333.052 \times 7.65/3) + (52.60 \times 0.6 \times 7.65)}{385.652}$$

$$= 2.828 \text{ m}$$

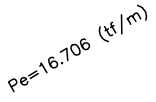
(5) [단계 6-5] 하중조합

① 하중재하 CASE

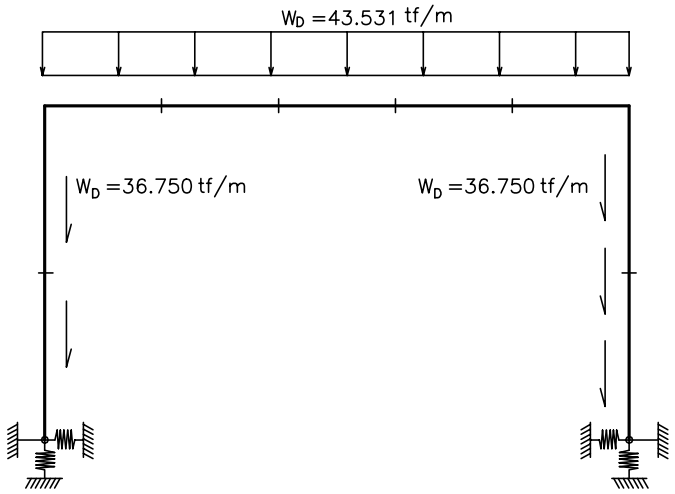
가 LOAD CASE 1 : 종방향 지진하중



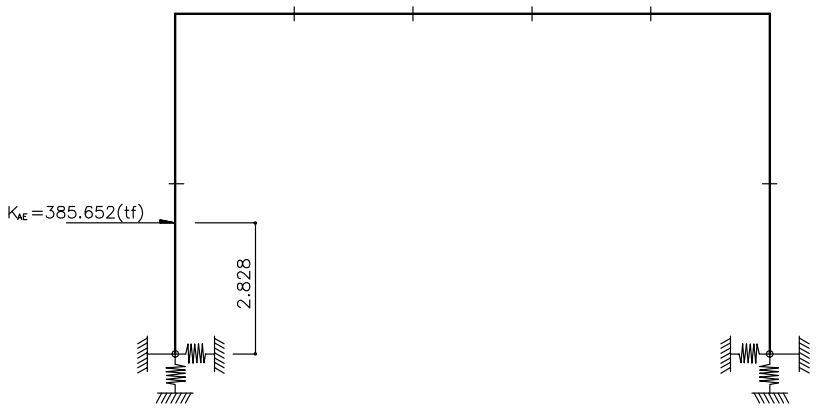
나 LOAD CASE 2 : 횡방향 지진하중



다 LOAD CASE 3 : 고정하중



라 LOAD CASE 4 : 지진시 토압하중



② 하중조합

- 설계지진력 = 탄성해석에 의한 설계지진력 ÷ R (응답수정계수)
- 상부슬래브 및 벽식교각 : 1.0
- 기둥 또는 교각과 기초 : 1.0

하중 / 하중조합	종방향 등가정적 지진하중	횡방향 등가정적 지진하중	고정하중	지진시 토압하중	비 고
COMB. 1	1.0	0.3	1.0	1.0	
COMB. 2	1.0	0.3	1.0	0.65	
COMB. 3	0.3	1.0	0.3	0.3	
COMB. 4	0.3	1.0	0.3	0.195	

- 횡방향 하중조합 생략가능

(횡방향 강성이 매우 크며 직선교이며 직교이므로 2축 방향 분력이 발생치 않음)

③ 전산해석(SAP2000) INPUT DATA(지진시)

— 단위하중 작용시(종,횡방향변위 산정시) —

```
SYSTEM
  DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ  LENGTH=m  FORCE=Ton  LINES=59
JOINT
  1  X=0       Y=0  Z=0
  2  X=0       Y=0  Z=3.825
  3  X=0       Y=0  Z=7.65
  4  X=2.54    Y=0  Z=7.65
  5  X=5.08    Y=0  Z=7.65
  6  X=7.62    Y=0  Z=7.65
  7  X=10.16   Y=0  Z=7.65
  8  X=12.7    Y=0  Z=7.65
  9  X=12.7    Y=0  Z=3.825
  10 X=12.7    Y=0  Z=0
PATTERN
  NAME=TEMP
  NAME=PRES
SPRING
ADD=1  U1=282987 U2=153444 U3=177198 R1=1937428 R2=2048536 R3=2194198
ADD=10 U1=282987 U2=153444 U3=177198 R1=1937428 R2=2048536 R3=2194198
MATERIAL
  NAME=1FR  IDES=N
    T=0  E=2500000  U=.3  A=0
  NAME=STEEL  IDES=S  M=.798142  W=7.833414
    T=0  E=2.038902E+07  U=.3  A=.0000117  FY=25310.51
  NAME=CONC  IDES=C  M=.2448012  W=2.402616
    T=0  E=2531051  U=.2  A=.0000099
FRAME SECTION
  NAME=1 MAT=1FR A=14.7 J=0 I=.6,540.225 AS=0,0 T=1,1
FRAME
  1  J=1,2  SEC=1  NSEG=4  ANG=180
  2  J=2,3  SEC=1  NSEG=4  ANG=180
  3  J=3,4  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  4  J=4,5  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  5  J=5,6  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  6  J=6,7  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  7  J=7,8  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  8  J=8,9  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
```

```
  9  J=9,10  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
LOAD
  NAME=1
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=3  RD=0,1  U1=1,1
      ADD=4  RD=0,1  U1=1,1
      ADD=5  RD=0,1  U1=1,1
      ADD=6  RD=0,1  U1=1,1
      ADD=7  RD=0,1  U1=1,1
  NAME=2
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=3  RD=0,1  U3=1,1
      ADD=4  RD=0,1  U3=1,1
      ADD=5  RD=0,1  U3=1,1
      ADD=6  RD=0,1  U3=1,1
      ADD=7  RD=0,1  U3=1,1
COMBO
  NAME=1
    LOAD=1  SF=1
    LOAD=2  SF=1
— 등가정적지진하중 작용시(하중조합) —
SYSTEM
  DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ  LENGTH=m  FORCE=Ton  LINES=59

JOINT
  1  X=0       Y=0  Z=0
  2  X=0       Y=0  Z=3.825
  3  X=0       Y=0  Z=7.65
  4  X=2.54    Y=0  Z=7.65
  5  X=5.08    Y=0  Z=7.65
  6  X=7.62    Y=0  Z=7.65
  7  X=10.16   Y=0  Z=7.65
  8  X=12.7    Y=0  Z=7.65
  9  X=12.7    Y=0  Z=3.825
  10 X=12.7    Y=0  Z=0

PATTERN
  NAME=TEMP
  NAME=PRES

SPRING
```

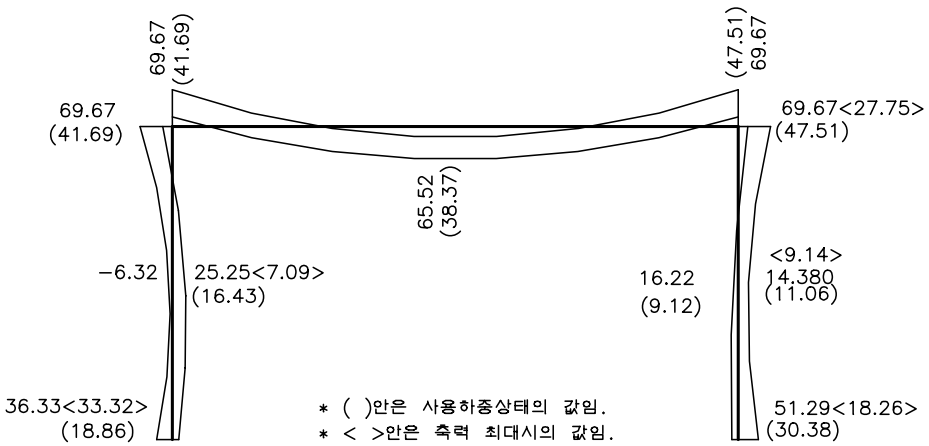
```
 ADD=1 U1=282987 U2=153444 U3=177198 R1=1937428 R2=2048536 R3=2194198
 ADD=10 U1=282987 U2=153444 U3=177198 R1=1937428 R2=2048536 R3=2194198

MATERIAL
  NAME=1FR  IDES=N
    T=0  E=2500000  U=.3  A=0
  NAME=STEEL  IDES=S  M=.798142  W=7.833414
    T=0  E=2.038902E+07  U=.3  A=.0000117  FY=25310.51
    NAME=CONC  IDES=C  M=.2448012  W=2.402616
    T=0  E=2531051  U=.2  A=.0000099

FRAME SECTION
  NAME=1 MAT=1FR A=14.7 J=0 I=.6,540.225 AS=0,0 T=1,1
FRAME
  1  J=1,2  SEC=1  NSEG=4  ANG=180
  2  J=2,3  SEC=1  NSEG=4  ANG=180
  3  J=3,4  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  4  J=4,5  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  5  J=5,6  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  6  J=6,7  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  7  J=7,8  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  8  J=8,9  SEC=1  NSEG=4  ANG=0
  9  J=9,10  SEC=1  NSEG=4  ANG=0

LOAD
  NAME=1
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=3  RD=0,1  U1=16.774,16.774
      ADD=4  RD=0,1  U1=16.774,16.774
      ADD=5  RD=0,1  U1=16.774,16.774
      ADD=6  RD=0,1  U1=16.774,16.774
      ADD=7  RD=0,1  U1=16.774,16.774
  NAME=2
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
      ADD=3  RD=0,1  U3=16.706,16.713
      ADD=4  RD=0,1  U3=16.713,16.72
      ADD=5  RD=0,1  U3=16.72,16.72
      ADD=6  RD=0,1  U3=16.72,16.713
      ADD=7  RD=0,1  U3=16.713,16.706
  NAME=3
    TYPE=DISTRIBUTED SPAN
```

```
        ADD=3   RD=0,1   U2=-43.531,-43.531
          ADD=4   RD=0,1   U2=-43.531,-43.531
        ADD=5   RD=0,1   U2=-43.531,-43.531
        ADD=6   RD=0,1   U2=-43.531,-43.531
        ADD=7   RD=0,1   U2=-43.531,-43.531
        ADD=1   RD=0,1   U1=-36.75,-36.75
        ADD=2   RD=0,1   U1=-36.75,-36.75
        ADD=8   RD=0,1   U1=36.75,36.75
        ADD=9   RD=0,1   U1=36.75,36.75
    NAME=4
      TYPE=CONCENTRATED SPAN
          ADD=1   RD=.7393464   U2=-385.652

COMBO
  NAME=COMB1
    LOAD=1   SF=1
    LOAD=2   SF=.3
    LOAD=3   SF=1
    LOAD=4   SF=1
  NAME=COMB2
    LOAD=1   SF=1
    LOAD=2   SF=.3
    LOAD=3   SF=1
    LOAD=4   SF=.65
  NAME=COMB3
    LOAD=1   SF=.3
    LOAD=2   SF=1
    LOAD=3   SF=1
    LOAD=4   SF=.3
  NAME=COMB4
    LOAD=1   SF=.3
    LOAD=2   SF=1
    LOAD=3   SF=1
    LOAD=4   SF=.195
  NAME=ENV   TYPE=ENVE
    COMB=COMB1   SF=1
    COMB=COMB2   SF=1
    COMB=COMB3   SF=1
    COMB=COMB4   SF=1
```

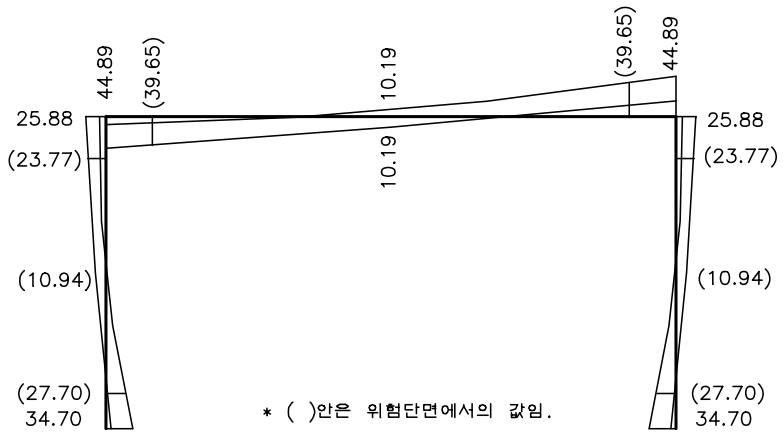
6.3.7 [단계 7] 설계단면력 산정

(1) [단계 7-1] 상 시

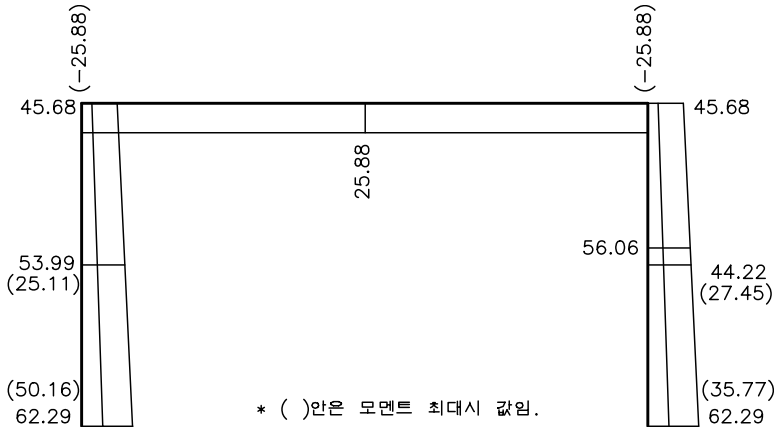
① B.M.D (tonf · m)



② S.F.D (tonf)

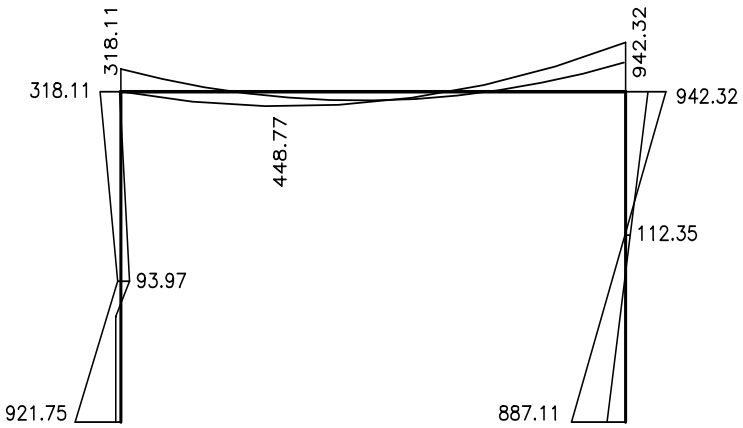


③ A.F.D (tonf)

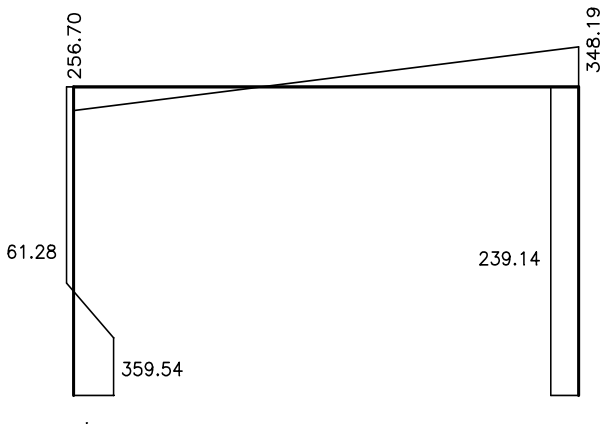


(2) [단계 7-2] 지 진 시

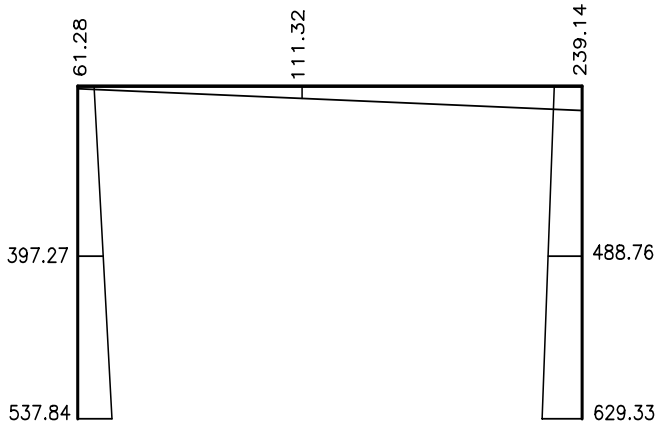
① B.M.D (tonf · m)



② S.F.D (tonf)



③ A.F.D (tonf)



④ 설계지진력 = 탄성해석에 의한 설계지진력 ÷ R (응답수정계수)

- 상부슬래브 및 벽식교각 : 1.0
- 기둥 또는 교각과 기초 : 1.0

- 하중조합 부재력 (지진하중+고정하중+토압) : 단면 검토시

부재	구 분	모 멘 트 (tonf·m)	전 단 력 (tonf)	축 력 (tonf)
1	단위폭 부재력	-921.750×1/21.00 = -43.893	359.54×1/21.00 = 17.121	-537.84×1/21.00 = -25.611
2	단위폭 부재력	-318.11×1/21.00 = -15.148	61.28×1/21.00 = 2.918	-397.27×1/21.00 = -18.918
3	단위폭 부재력	-318.11×1/21.00 = -15.148	256.70×1/21.00 = 12.224	-61.28×1/21.00 = 2.918
4	단위폭 부재력	458.23×1/21.00 = 21.820	-	-111.32×1/21.00 = 5.301
7	단위폭 부재력	-942.32×1/21.00 = 44.872	348.19×1/21.00 = 16.580	-239.14×1/21.00 = -11.388
8	단위폭 부재력	-942.32×1/21.00 = 44.872	239.14×1/21.00 = 11.388	-488.76×1/21.00 = -23.274
9	단위폭 부재력	887.11×1/21.00 = 42.243	239.14×1/21.00 = 11.388	-629.33×1/21.00 = 29.968

(3) [단계 7-3] 부재력 집계표

① 상 시 (지점침하 부재력 포함)

구 분	위 치	모멘트(tonf·m)	전단력 (tonf)	축력 (tonf)
벽 체	하단 - 외측	51.29	27.70	62.29
벽 체	하단 - 내측	25.25	27.70	62.29
벽 체	중앙 - 외측	14.380	10.94	53.99
벽 체	중앙 - 내측	25.25	10.94	53.99
벽 체	상단 - 외측	69.67	23.35	45.68
슬 래 브	지점 - 상부	69.67	43.010	-
슬 래 브	중앙 - 하부	62.52	10.190	-

② 지 진 시

구 분	위 치	모멘트(tonf·m)	전단력 (tonf)	축 력 (tonf)
벽 체	하단 - 외측	43.893	17.121	25.611
벽 체	하단 - 내측	42.243	11.388	29.968
벽 체	중앙 - 외측	-	11.388	23.274
벽 체	중앙 - 내측	4.475	11.388	23.274
벽 체	상단 - 외측	44.872	11.388	11.388
슬 래 브	지점 - 상부	44.872	16.580	-
슬 래 브	중앙 - 하부	21.820	-	-

* 1. 대부분 상시의 부재력이 지배적으로 크다.
2. 벽체 하단부(내측) 부재력만 지진시가 큼.
- 상시와 지진시 모두 검토

6.3.8 [단계 8] 단면검토

(1) [단계 8-1] 슬래브 설계

① 휨철근량 산정

- 콘크리트 설계기준강도 f_{ck} = 270 kgf/㎠
- 철근항복강도 f_y = 4000 kgf/㎠ (β_1=0.850)
- 균형철근비 $\rho_b = (0.85*k_1*f_{ck}/f_y)*[6000/(6000+f_y)]$ = 0.0293
- 최대철근비 $\rho_{max}= 0.75*\rho_b$ = 0.0219
- 최소철근비 $\rho_{min} = \max(14/f_y, 0.80\sqrt{f_{ck}}/f_y)$ = 0.0035
- 휨 강도감소계수 Φ_f= 0.85
- 전단 강도감소계수 Φ_v = 0.80

>> 슬래브-지점 (상면)

설계단면력 : 모멘트 M_u = 69.67 tonf.m

사용단면 : 두께 H = 100.0 cm 폭 B = 100.0 cm

사용철근 : H22@125(A_s= 30.97㎠) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 92.00 cm

R_u = M_u*100000/(B*D^2) = 8.23

소요철근비 ρ_{req} =0.85*f_{ck}/f_y*[1-√{1-2*$R_u/(\Phi_f$*0.85*$f_{ck})$}] = 0.0025

(4/3)*ρ_{req} < ρ_{min} ===> ρ_{req} = (4/3)*ρ_{req} = 0.0033 사용

소요철근량 $A_{s\ req}$ = ρ_{req} * B * D = 30.35 ㎠

사용철근량 A_s = 30.97 ㎠ > 소요철근량 $A_{s\ req}$ .. 만족

사용철근비 ρ= A_s/(B*D) = 0.0034

설계모멘트강도 Φ_f*M_n=Φ_f*A_s*D*[f_y*(1-0.59*ρ*f_y/f_{ck})]/100000=94.03 tonf.m

> 설계모멘트 M_u = 69.67 tonf.m ... 만족

>> 슬래브-중앙 (하면)

설계단면력 : 모멘트 M_u = 62.52 tonf.m

사용단면 : 두께 H = 70.0 cm 폭 B = 100.0 cm

사용철근 : H25@125(A_s= 40.54㎠) 철근중심 d_c = 6.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 64.00 cm

R_u = M_u*100000/(B*D^2) = 15.26

소요철근비 ρ_{req} =0.85*f_{ck}/f_y*[1-√{1-2*$R_u/(\Phi_f$*0.85*$f_{ck})$}] = 0.0047

ρ_{min} < ρ_{req} < ρ_{max} ===> 단면가정 만족

소요철근량 $A_{s\ req}$ = ρ_{req} * B * D = 29.95 ㎠

사용철근량 A_s = 40.54 ㎠ > 소요철근량 $A_{s\ req}$ .. 만족

사용철근비 ρ= A_s/(B*D) = 0.0063

설계모멘트강도Φ_f*M_n = Φ_f*A_s*D*[f_y*(1-0.59*ρ*f_y/f_{ck})]/100000= 83.34 tonf.m

> 설계모멘트 M_u = 62.52 tonf.m ... 만족

② 전단검토

>> 슬래브 (지점부)

설계단면력 : 모멘트 M_u = 69.67 tonf.m 전단력 V_u = 39.65 tonf

사용단면 : 두께 H = 70.0 cm 폭 B = 100.0 cm

사용철근 : H22@125(A_s= 30.97㎠) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

콘크리트 설계전단강도 Φ_v*V_c = Φ_v*0.53*√(f_{ck})*B*D/1000 = 43.20 tonf

$V_u \le \Phi_v$*V_c ... 전단보강철근 필요없음

사용전단철근 : 철근(D_s)=H13 다리수(N_s)= 2.0 EA 간격(s)= 15.0 cm

철근 설계전단강도 Φ_v*V_s = Φ_v*A_v*f_y*D/(s*1000) = 33.52 tonf

설계전단강도 Φ_v*V_n = Φ_v*V_c + Φ_v*V_s = 76.71 tonf

> 설계전단력 V_u = 39.65 tonf ... 만족

(2) [단계 8-2] 벽체설계

① 휨철근량 산정

· f_{ck} = 270 kgf/cm2 f_y = 4000 kgf/cm^2 (β_1=0.850)

· Φ_c = 0.70 Φ_f = 0.85 Φ_v = 0.80

>> 상단-외측(축력 최대시=모멘트 최대시)

M_u = 69.67 tonf.m P_u = 44.89 tonf e = M_u/P_u =155.20 cm

H = 80.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@125 (A_s= 30.97 cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 72.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g =1836000 kgf

C_{s1}= A_s * f_y = 123872 kgf C_{s2}= A_s' * f_y = 0 kgf

X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2}) = 37.98 cm

d''= X_p - h + d = 29.98 cm

- 평형상태

c_b = 6000/(6000+f_y)*D = 43.20 cm a_b = β_1*c_b = 36.72 cm

C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B = 842724 kgf

T = A_s * f_y = 123872 kgf C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck}) = 0 kgf

- 균형하중 및 편심

P_b = C_c + C_s - T = 718852 kgf = 718.85 tonf

M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d'' = 23654354 kgf.cm = 236.54 tf.m

e_b = M_b/P_b = 32.91 cm

e_b < e ---> 인장 파괴

* 공칭 강도

c = 10.01 cm, a = β_1*c = 8.51 cm 라 가정하면

f_s = 6000*(D-c)/c =37142.79 kgf/cm^2 > f_y --> f_s = f_y

f_s'= 6000*(c-d')/c = 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> f_s'= f_y

C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B = 195334 kgf

C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck}) = 0 kgf T = A_s*f_s = 123872 kgf

P_n = C_c + C_s - T = 71462 kgf = 71.46 tonf

M_n'= C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d') = 13232757 kgf.cm = 132.33 tonf.m

e' = e + d'' =185.18 cm

오차 = | e' - $M_{n'}/P_n$ | = 0.006 cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

ΦP_n = 71.46 tonf < 0.1 f_{ck} A_g = 216.00 tonf

$\Phi = \Phi_f - (\Phi_f-\Phi_c)*P_n/0.1\ f_{ck}\ A_g$ = 0.800

$\Phi*P_n$ = 57.20 tonf > P_u = 44.89 tonf ..... 만족

$\Phi*M_n = \Phi*(P_n*e)$ = 88.77 tonf.m > M_u = 69.67 tonf.m ..... 만족

>> 중앙-외측(축력 최대시)

M_u = 9.14 tonf.m P_u = 44.22 tonf $e = M_u/P_u$ = 20.58 cm

H = 70.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@250 (A_s= 15.48 cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 $D = H - d_c$ = 62.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g$ =1606500 kgf

$C_{s1}= A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_{s2}= A_s' * f_y$ = 0 kgf

$X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2})$ = 34.00 cm

$d''= X_p - h + d$ = 26.00 cm

- 평형상태

$c_b = 6000/(6000+f_y)*D$ = 37.20 cm $a_b = \beta_1*c_b$ = 31.62 cm

$C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B$ = 725679 kgf

$T = A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf

- 균형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T$ = 663743 kgf = 663.74 tonf

$M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d''$ = 16263323 kgf.cm = 162.63 tf.m

$e_b = M_b/P_b$ = 24.50 cm

$e_b > e$ ---> 압축파괴

* 공칭 강도

c = 42.12 cm, $a = \beta_1*c$ = 35.80 cm 라 가정하면

$f_s = 6000*(D-c)/c$ = 2831.52 kgf/cm^2 < f_y

$f_s'= 6000*(c-d')/c$ = 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s'= f_y$

$C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B$ =821693 kgf

$C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf $T = A_s*f_s$ = 43843 kgf

$P_n = C_c + C_s - T$ = 777849 kgf = 777.85 tonf

$M_n'= C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d')$ = 36235164 kgf.cm = 362.35 tf.m

$e' = e + d''$ = 46.57 cm

오차 = | e′ - M_n'/P_n | = 0.010 cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

Φ_c*P_n = 544.49 tonf > P_u = 44.22 tonf ..... 만족

$\Phi_c*M_n = \Phi_c*(P_n*e)$ = 112.04 tf.m > M_u = 9.14 tonf.m ..... 만족

>> 중앙-외측(모멘트 최대시)

M_u = 14.38 tf.m P_u = 27.45 tonf e = M_u/P_u = 52.39 cm

H = 70.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@250 (A_s= 15.48 cm2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g$ =1606500 kgf

$C_{s1}= A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_{s2}= A_s' * f_y$ = 0 kgf

$X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2})$ = 34.00 cm

$d''= X_p - h + d$ = 26.00 cm

- 평형상태

$c_b = 6000/(6000+f_y)*D$ = 37.20 cm $a_b = \beta_1*c_b$ = 31.62 cm

$C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B$ = 725679 kgf

$T = A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf

- 균형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T$ = 663743 kgf = 663.74 tonf

$M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d''$ = 16263323 kgf.cm = 162.63 tf.m

$e_b = M_b/P_b$ = 24.50 cm

e_b < e ---> 인장 파괴

* 공칭 강도

c = 11.66 cm, $a = \beta_1*c$ = 9.91 cm 라 가정하면

$f_s = 6000*(D-c)/c$ =25901.38 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s = f_y$

$f_s'= 6000*(c-d')/c$ = 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s'= f_y$

$C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B$ = 227476 kgf

$C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf $T = A_s*f_s$ = 61936 kgf

$P_n = C_c + C_s - T$ = 165540 kgf = 165.54 tonf

$M_n'= C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d')$ = 12976149 kgf.cm = 129.76 tf.m

e′ = e + d″ = 78.38 cm

오차 = | e′ - M_n'/P_n | = 0.003 cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

ΦP_n = 165.54 tonf < 0.1 f_{ck} A_g = 189.00 tonf

$\Phi = \Phi_f - (\Phi_f-\Phi_c)*P_n/0.1\ f_{ck}\ A_g$ = 0.719

$\Phi*P_n$ = 118.96 tonf > P_u = 27.45 tonf ..... 만족

$\Phi*M_n = \Phi*(P_n*e)$ = 62.32 tf.m > M_u = 14.38 tonf.m ..... 만족

>> 중앙-내측(축력 최대시)

M_u = 16.22 tf.m P_u = 56.06 tonf e = M_u/P_u = 28.93 cm

H = 70.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@250 (A_s= 15.48 cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g$ =1606500 kgf

$C_{s1}= A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_{s2}= A_s' * f_y$ = 0 kgf

$X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2})$ = 34.00 cm

$d''= X_p - h + d$ = 26.00 cm

- 평형상태

$c_b = 6000/(6000+f_y)*D$ = 37.20 cm $a_b = \beta_1*c_b$ = 31.62 cm

$C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B$ = 725679 kgf

$T = A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf

- 균형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T$ = 663743 kgf = 663.74 tonf

$M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d''$ = 16263323 kgf.cm = 162.63 tf.m

$e_b = M_b/P_b$ = 24.50 cm

e_b < e ---> 인장 파괴

* 공칭 강도

c = 30.22 cm, $a = \beta_1*c$ = 25.69 cm 라 가정하면

$f_s = 6000*(D-c)/c$ = 6308.96 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s = f_y$

$f_s'= 6000*(c-d')/c$ = 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s'= f_y$

$C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B$ = 589554 kgf

$C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf $T = A_s*f_s$ = 61936 kgf

$P_n = C_c + C_s - T$ = 527618 kgf = 527.62 tonf

$M_n'= C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d')$ = 28979920 kgf.cm = 289.80 tf.m

e' = e + d'' = 54.93 cm

오차 = | e' - M_n'/P_n | = 0.005 cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

ΦP_n = 369.33 tonf > 0.1 f_{ck} Ag = 189.00 tonf

$\Phi = \Phi_c$ = 0.700

$\Phi * P_n$ = 369.33 tonf > P_u = 56.06 tonf ..... 만족

$\Phi * M_n = \Phi * (P_n * e)$ = 106.86 tf.m > M_u = 16.22 tonf.m ..... 만족

>> 중앙-내측(모멘트 최대시)

M_u = 25.25 tf.m P_u = 25.11 tonf e = M_u/P_u =100.56 cm

H = 70.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@250 (A_s= 15.48 cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g$ =1606500 kgf

$C_{s1} = A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_{s2} = A_s' * f_y$ = 0 kgf

$X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2})$ = 34.00 cm

$d'' = X_p - h + d$ = 26.00 cm

- 평형상태

c_b $6000/(6000+f_y)*D$=37.20 cm $a_b = \beta_1 * c_b$ = 31.62 cm

$C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B$ = 725679 kgf

$T = A_s * f_y$ = 61936 kgf $C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf

- 균형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T$ = 663743 kgf = 663.74 tonf

$M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d''$ = 16263323 kgf.cm = 162.63 tf.m

$e_b = M_b/P_b$ = 24.50 cm

e_b < e ---> 인장 파괴

* 공칭 강도

c = 5.99 cm, $a = \beta_1 * c$ = 5.09 cm 라 가정하면

$f_s = 6000*(D-c)/c$ =56119.34 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s = f_y$

$f_s' = 6000*(c-d')/c$ = 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s' = f_y$

$C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B$ = 116820 kgf

$C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf $T = A_s*f_s$ = 61936 kgf

$P_n = C_c + C_s - T$ = 54884 kgf = 54.88 tonf

$M_n' = C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d')$ = 6945530 kgf.cm = 69.46 tf.m

e′ = e + d′′ =126.56 cm

오차 = | e′ - M_n'/P_n | = 0.006 cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

ΦP_n = 54.88 tonf < 0.1 f_{ck} A_g = 189.00 tonf

$\Phi = \Phi_f - (\Phi_f-\Phi_c)*P_n/0.1\ f_{ck}\ A_g$ = 0.806

$\Phi*P_n$ = 44.26 tonf > P_u = 25.11 tonf ..... 만족

$\Phi*M_n = \Phi*(P_n*e)$ = 44.51 tf.m > M_u = 25.25 tonf.m ..... 만족

>> 하단-외측(축력 최대시)

M_u = 36.32 tf.m P_u = 62.29 tonf e = M_u/P_u = 58.31 cm

H = 70.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@125 (A_s= 30.97 cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g$ =1606500 kgf

$C_{s1}= A_s * f_y$ = 123872 kgf $C_{s2}= A_s' * f_y$ = 0 kgf

$X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2})$ = 33.07 cm

d′′= X_p - h + d = 25.07 cm

- 평형상태

$c_b = 6000/(6000+f_y)*D$ = 37.20 cm $a_b = \beta_1*c_b$ = 31.62 cm

$C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B$ = 725679 kgf

T = $A_s * f_y$ = 123872 kgf $C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf

- 균형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T$ = 601807 kgf = 601.81 tonf

$M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d''$ = 18433526 kgf.cm = 184.34 tf.m

$e_b = M_b/P_b$ = 30.63 cm

e_b < e ---> 인장 파괴

* 공칭 강도

c = 18.19 cm, a = β_1*c = 15.46 cm 라 가정하면

$f_s = 6000*(D-c)/c$ =14450.09 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s = f_y$

$f_s'= 6000*(c-d')/c$ = 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s'= f_y$

$C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B$ = 354854 kgf

$C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck})$ = 0 kgf T = A_s*f_s = 123872 kgf

$P_n = C_c + C_s - T$ = 230982 kgf = 230.98 tonf

$M_n' = C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d') = 19257552$ kgf.cm = 192.58 tf.m

$e' = e + d'' = 83.38$ cm

오차 = $| e' - M_n'/P_n | = 0.002$ cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

$\Phi P_n =$ 230.98 tonf < $0.1 f_{ck} A_g =$ 189.00 tonf

$\Phi = \Phi_f - (\Phi f - \Phi_c) * P_n / 0.1 f_{ck} A_g = 0.667 < \Phi_c$

$= \Phi_c = 0.700$

$\Phi * P_n =$ 161.69 tonf > $P_u =$ 62.29 tonf ..... 만족

$\Phi * M_n = \Phi * (P_n * e) =$ 94.28 tf.m > $M_u =$ 36.32 tonf.m ..... 만족

>> 하단-외측(모멘트 최대시)

$M_u =$ 51.29 tf.m $P_u =$ 35.77 tonf $e = M_u/P_u =$143.39 cm

H = 70.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@125 ($A_s =$ 30.97 cm^2) 철근중심 $d_c =$ 8.00 cm

유효두께 $D = H - d_c =$ 62.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g =$1606500 kgf

$C_{s1} = A_s * f_y =$ 123872 kgf $C_{s2} = A_s' * f_y =$ 0 kgf

$X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2}) =$ 33.07 cm

$d'' = X_p - h + d =$ 25.07 cm

- 평형상태

$c_b = 6000/(6000+f_y)*D =$ 37.20 cm $a_b = \beta_1 * c_b =$ 31.62 cm

$C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B =$ 725679 kgf

$T = A_s * f_y =$ 123872 kgf $C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck}) =$ 0 kgf

- 균형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T =$ 601807 kgf = 601.81 tonf

$M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d'' =$ 18433526 kgf.cm = 184.34 tf.m

$e_b = M_b/P_b =$ 30.63 cm

$e_b < e$ ---> 인장 파괴

* 공칭 강도

c = 9.67 cm, $a = \beta_1 * c =$ 8.22 cm 라 가정하면

$f_s = 6000*(D-c)/c =$32451.95 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s = f_y$

$f_s' = 6000*(c-d')/c =$ 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s' = f_y$

$C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B =$ 188724 kgf

$C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck}) =$ 0 kgf $T = A_s*f_s =$ 123872 kgf

$P_n = C_c + C_s - T =$ 64852 kgf = 64.85 tonf

$M_n' = C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d') =$ 10924903 kgf.cm = 109.25 tf.m

$e' = e + d'' =$168.46 cm

오차 = $| e' - M_n'/P_n |$ = 0.005 cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

$\Phi P_n =$ 64.85 tonf < $0.1 f_{ck} A_g =$ 189.00 tonf

$\Phi = \Phi_f - (\Phi_f-\Phi_c)*P_n/0.1 f_{ck} A_g = 0.799$

$\Phi*P_n =$ 51.79 tonf > $P_u =$ 35.77 tonf ..... 만족

$\Phi*M_n = \Phi*(P_n*e) =$ 74.26 tf.m > $M_u =$ 51.29 tonf.m ..... 만족

>> 하단-내측(지진시)

$M_u =$ 42.24 tf.m $P_u =$ 29.97 tonf $e = M_u/P_u =$140.96 cm

H = 70.0 cm B = 100.0 cm

인장철근 : H22@125 (A_s= 30.97 cm2) 철근중심 $d_c =$ 8.00 cm

유효두께 $D = H - d_c =$ 62.00 cm

* 균형하중 산정

- 소성중심

$C_c = 0.85 * f_{ck} * A_g =$1606500 kgf

$C_{s1} = A_s * f_y =$ 123872 kgf $C_{s2} = A_s' * f_y =$ 0 kgf

$X_p = [C_c*H/2+C_{s1}*d_c+C_{s2}*(H-d')]/(C_c+C_{s1}+C_{s2}) =$ 33.07 cm

$d'' = X_p - h + d =$ 25.07 cm

- 평형상태

$c_b = 6000/(6000+f_y)*D =$ 37.20 cm $a_b = \beta_1*c_b =$ 31.62 cm

$C_c = 0.85*f_{ck}*a_b*B =$ 725679 kgf

$T = A_s * f_y =$ 123872 kgf $C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck}) =$ 0 kgf

- 균형하중 및 편심

$P_b = C_c + C_s - T =$ 601807 kgf = 601.81 tonf

$M_b = C_c*(d-a_b/2-d'')+C_s*(d - d'- d'')+T*d'' =$ 18433526 kgf.cm = 184.34 tf.m

$e_b = M_b/P_b =$ 30.63 cm

$e_b < e$ ---> 인장 파괴

* 공칭 강도

c = 9.75 cm, $a = \beta_1*c =$ 8.28 cm 라 가정하면

$f_s = 6000*(D-c)/c =$32168.77 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s = f_y$

$f_s' = 6000*(c-d')/c =$ 6000.00 kgf/cm^2 > f_y --> $f_s' = f_y$

C_c = 0.85 * f_{ck} * a * B = 190124 kgf

C_s = A_s'*(f_s'-0.85*f_{ck}) = 0 kgf T = A_s*f_s = 123872 kgf

P_n = C_c + C_s - T = 66252 kgf = 66.25 tonf

M_n'= C_c * (D - a / 2) + C_s * (D - d′) = 11000158 kgf.cm = 110.00 tf.m

e′ = e + d′′ =166.03 cm

오차 = | e′ - M_n'/P_n | = 0.008 cm < 0.01 .... 가정만족

* 강도 검토

ΦP_n = 66.25 tonf < 0.1 f_{ck} A_g = 189.00 tonf

Φ = Φ_f - (Φ_f-Φ_c)*P_n/0.1 f_{ck} A_g = 0.797

Φ*P_n = 52.83 tonf > P_u = 29.97 tonf ..... 만족

Φ*M_n = Φ*(P_n*e) = 74.47 tf.m > M_u = 42.24 tonf.m ..... 만족

② 전단검토

>> 벽체 (상단부)

설계단면력 : 모멘트 M_u = 62.70 tf.m 전단력 V_u = 23.17 tonf

사용단면 : 두께 H = 70.0 cm 폭 B = 100.0 cm

사용철근 : H22@125(A_s= 30.97cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

콘크리트 설계전단강도 Φ_V*V_c = Φ_V*0.53*$\sqrt{}$(f_{ck})*B*D/1000 = 43.20 tonf

0.5*Φv*V_c < V_u ≤ Φv*V_c ... 최소 전단보강철근 필요

소요 A_V/s = 최소 A_V/s = (3.5*B)/f_y = 0.09 cm^2/cm

사용전단철근 : 철근(D_s)=H13 다리수(N_s)= 2.0 EA 간격(s)= 15.0 cm

사용간격 s = 15.0 cm < 최소간격 = min (60cm, 0.5D) = 31.0 cm ... 만족

사용철근량 A_V = 철근면적*N_s = 2.53 cm^2 > 소요철근량 A_V = 1.31 cm^2..만족

철근 설계전단강도 Φv*V_s = Φv*A_V*f_y*D/(s*1000) = 33.52 tonf

설계전단강도 Φv*V_n = Φv*V_c + Φv*V_s = 76.71 tonf

> 설계전단력 V_u = 23.17 tonf ... 만족

>> 벽체 (중앙부)

설계단면력 : 모멘트 M_u = 25.25 tf.m 전단력 V_u = 11.39 tonf

사용단면 : 두께 H = 70.0 cm 폭 B = 100.0 cm

사용철근 : H22@125(A_s= 30.97cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

콘크리트 설계전단강도 Φv*V_c = Φv*0.53*$\sqrt{}$(f_{ck})*B*D/1000 = 43.20 tonf

V_u <= 0.5*Φv*V_c ... 전단보강철근 필요없음.

>> 벽체 (하단부)

설계단면력 : 모멘트 M_u = 52.29 tf.m 전단력 V_u = 27.70 tonf

사용단면 : 두께 H = 70.0 cm 폭 B = 100.0 cm

사용철근 : H22@125(A_s= 30.97cm^2) 철근중심 d_c = 8.00 cm

유효두께 D = H - d_c = 62.00 cm

콘크리트 설계전단강도 $\Phi v*V_c = \Phi v*0.53*\sqrt{(f_{ck})}*B*D/1000$ = 43.20 tonf

$0.5*\Phi v*V_c < V_u \leq \Phi v*V_c$ ... 최소 전단보강철근 필요

소요 A_V/s = 최소 $A_V/s = (3.5*B)/f_y$ = 0.09 cm^2/cm

사용전단철근 : 철근(D_s)=H13 다리수(N_s)= 2.0 EA 간격(s)= 15.0 cm

사용간격 s = 15.0 cm < 최소간격 = min (60cm, 0.5D) = 31.0 cm ... 만족

사용철근량 A_V = 철근면적*N_s = 2.53 cm^2 > 소요철근량 A_V = 1.31 cm^2..만족

철근 설계전단강도 $\Phi v*V_s = \Phi v*A_V*f_y*D/(s*1000)$ = 33.52 tonf

설계전단강도 $\Phi v*V_n = \Phi v*V_c + \Phi v*V_s$ = 76.71 tonf

> 설계전단력 V_u = 27.70 tonf ... 만족

(3) [단계 8-3] 우각부 설계

- 콘크리트 기준강도 f_{ck} = 270 kgf/㎠
- 콘크리트 허용인장응력 $f_{ta} = 0.42\sqrt{f_{ck}}$ = 6.90 kgf/㎠
- 철근항복강도 f_y = 4000 kgf/㎠
- 철근허용응력 f_{sa} = 1800 kgf/㎠

>> 슬래브-지점부

설계단면력 : 사용하중 모멘트 M_0= 47.51 tf.m

구조물단면 : 슬래브 두께 A = 70.0 cm 벽 두 께 B = 70.0 cm

헌치수직거리 C = 30.0 cm 수평거리 D = 90.0 cm

사용철근 : 2 - H16@125 (A_s = 31.78 ㎠)

추가철근 : A_s' = 15.49 ㎠(H22@125×1/2)

총 철 근 : A_g = 47.27 ㎠

a = b = (A*D + C*B + C*D) / (C + D) = 92.50 cm

$R = \sqrt{(a^2 + b^2)}$ = 130.8 cm

최대인장응력 $f_{max}=5*M_0/(R^2*W)$=13.88 kgf/㎠ > f_{ta} ... 철근보강 필요

소요 $A_g = 2*M_0/(R*f_a)$ = 40.35 ㎠ < 사용 A_g = 47.27 ㎠ ... 만족

(4) [단계 8-4] 배력철근량 산정

배력철근량 규정 (도·설 P343)

- 주철근이 차량진행 방향에 평행일 때

$$\frac{55}{\sqrt{L}} = \frac{A_s'}{A_s} \times 100 < 50(\%)$$

여기서, A_s : 주철근량(소요철근량)

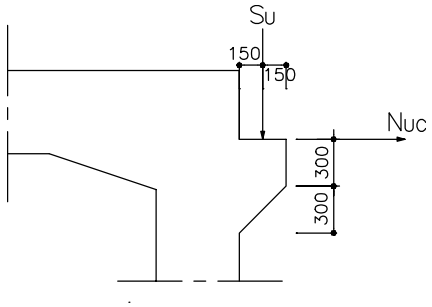
A_s' : 배력철근량

- $\frac{55}{\sqrt{L}} = \frac{55}{\sqrt{12.700}} = 15.433$
- 최소철근량(온도, 건조수축) : $A_s = 0.002bd = 0.002\times100\times64.0 = 12.800$ ㎠
- 소요 철근량 : $A_s = 29.950$ ㎠
- 사용 배력철근 : H16@150, $A_s = 13.200$ ㎠

철근비 = $\frac{13.200}{29.950} = 44.073$ %

∴ 15.433 < 44.073 < 50% O.K !

(5) [단계 8-5] 내민 받침부(브라켓) 설계



$\frac{a}{d} = \frac{150}{520} = 0.288 < 1$

∴ 브라켓은 전단력 작용방향으로 균열이 발생한다.

① 상부 반력

S_d = 2.916 tonf S_l = 9.070 tonf

② 브라켓 자중

$\frac{(0.300+0.600)}{2}\times0.300\times2.50 = 0.338$ tonf

③ 설계 하중

$S_u = 1.3\times(2.916+0.388)+2.15\times9.070 = 23.796$ tonf

$N_{uc} = 0.2\square S_u = 0.2\times23.796 = 4.759$ tonf

④ 단면 설계

$$A_{vf} = \frac{S_u}{\phi\square\mu\square f_y} = \frac{23.796\times10^3}{0.80\times1.4\times4000} = 5.312 \text{ cm}^2$$

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \square f_y} = \frac{4.759\times10^3}{0.85\times4000} = 1.400\ cm^2$$

$$A_f = \frac{M_u}{\phi \square f_{y\square}\left(d - \frac{a_1}{2}\right)}$$

$$a_1 = \frac{fy \cdot A_f}{0.85 \cdot fck \cdot b} = \frac{4000\times A_f}{0.85\times270\times100} = 0.174\ A_f$$

$M_u = S_u \square a + N_{uc}(h-d) = 23.796\times0.15 + 4.759\times(0.6-0.52) = 3.950\ t\cdot m$

$$A_f = \frac{3.950\times10^5}{0.85\times4000\times\left(52 - \frac{0.174\ A_f}{2}\right)}$$

$3.950 \times 10^5 = 176800\ A_f - 295.8\ A_f^2$

Req A_f = 2.243 ㎠

$$A_{s1} = \frac{2}{3}A_{vf} + A_n = \frac{2}{3}\times5.452 + 1.400 = 5.035\ cm^2$$

$$A_{s2} = A_f + A_n = 2.243 + 1.400 = 3.643\ cm^2$$

CHECKING $A_{s(min)} = 0.04 \cdot f_{ck}/f_y \cdot b \cdot d$

$= 0.04\times270/4000\times100\times52 = 14.04$ ㎠ $> A_{s1}$

∴ 사용철근 : H22@250 A_s : 15.500 ㎠

$A_h = 0.5 \times (A_s - A_n)$

$= 0.5 \times (15.500 - 1.400)$

$= 7.050$ ㎠

∴ 사용철근 : H16 - 2LEG(2EA) A_s : 7.944 ㎠

6.3.9 **[단계 9] 안정검토**

"509. 하부구조 및 내진설계" 적용

6.3.10 **[단계 10] 기초 단면력 산정 및 단면검토**

"509. 하부구조 및 내진설계" 적용

6.3.11 **[단계 11] 사용성 검토**

(1) [단계 11-1] 처짐검토

① 처짐검토가 필요치 않는 최소두께 검토 (콘.설 P78)

- ℓ = 1270 cm

$t_{min} = \frac{1.2\times(\ell + 300)}{30} = \frac{1.2\times(1270 + 300)}{30} = 62.80\ cm < 70\ cm$

∴ 처짐검토 필요 없음.

(2) [단계 11-2] 균열검토

콘크리트 설계기준강도 f_{ck} = 270 kgf/㎠

철근항복강도 f_y = 4000 kgf/㎠ 탄성계수비 n= 8

>> 슬래브-지점부

사 용 하 중 모 멘 트 : M_0 = 47.51 tf.m

사 용 단 면 두 께 : H = 100.00 cm 폭 : B = 100.00 cm

부식에 대한 환경조건 : 부식성 환경 ($0.004t_c$)

사용철근 주철근 : 8.0 -H25(A_s= 40.54 ㎠) 피복 : d_{c1}= 8.00 cm

허용 균열폭 $W_a = 0.004t_c$ = 0.270 mm

---> t_c = 최외단철근덮개 = d_{c1} - 주철근 D/2 = 67.50 mm

철근중심거리 $d_{cg} = d_{c1}$ = 8.00 cm

철근비 $p = A_s/[(H-d_{cg})*B]$ = 0.0044

중립축비 $k = -np + \sqrt{[2np + (np)^2]}$ = 0.2326 , j = 1 - k/3 = 0.9225

휨균열폭 $W = 1.08 * \beta_c * f_s * \sqrt[3]{(d_c * A)} / 100000$ = 0.19422 mm

---> $f^s = M_0/(A_s*j*d)$ = 1381.04 kgf/㎠

$\beta_c = (H-k*d)/(D-k*d)$ = 1.113

d_c = 8.00 cm

$A = 2*d_{cg}*B$/철근 총갯수 = 200.00 ㎠

휨균열폭 W = 0.19422 mm < 허용휨균열폭 W_a = 0.2700 mm .... 만족

>> 슬래브-중앙부

사 용 하 중 모 멘 트 : M_0 = 38.37 tf.m

사 용 단 면 두 께 : H = 70.00 cm 폭 : B = 100.00 cm

부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 ($0.005t_c$)

사용철근 주철근 : 8.0 -H25 (A_s= 40.54 ㎠) 피복 : d_{c1}= 6.00 cm

허용 균열폭 $W_a = 0.005t_c$ = 0.237 mm

---> t_c = 최외단철근덮개 = d_{c1}-주철근 D/2 = 47.50 mm

철근중심거리 $d_{cg} = d_{c1}$ = 6.00 cm

철근비 $p = A_s/[(H-d_{cg})*B]$ = 0.0063

중립축비 $k = -np + \sqrt{[2np + (np)^2]}$ = 0.2717 , j = 1 - k/3 = 0.9094

휨균열폭 $W = 1.08 * \beta_c * f_s * \sqrt[3]{(d_c * A)} / 100000$ = 0.19141 mm

---> $f_s = M_0/(A_s*j*d)$ = 1626.28 kgf/㎠

$\beta_c = (H-k*d)/(D-k*d)$ = 1.129

d_c = 6.00 cm

A = 2*d_{cg}*B/철근 총갯수 = 150.00 ㎠

휨균열폭 W = 0.19141 mm < 허용휨균열폭 W_a = 0.23750 mm .... 만족

>> 벽체-상단부

사 용 하 중 모 멘 트 : M_0 = 47.51 tf.m

사 용 단 면 두 께 : H = 80.00 cm 폭 : B = 100.00 cm

부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 (0.005t_c)

사용철근 주철근 : 8.0 -H25 (A_s= 40.54 ㎠) 피복 : d_{c1}= 8.00 cm

허용 균열폭 W_a = 0.005t_c = 0.273 mm

---> t_c = 최외단철근덮개 = d_{c1}-주철근 D/2 = 54.50 mm

철근중심거리 d_{cg} = d_{c1} = 8.00 cm

철근비 p = A_s/[(H-d_{cg})*B] = 0.0056

중립축비 k = -np + √[2np + $(np)^2$] = 0.2585 , j = 1 - k/3 = 0.9138

휨균열폭 W = 1.08 * β_c * f_s * $\sqrt[3]{(d_c * A) / 100000}$ = 0.25872 mm

---> f_s = M_0/(A_s*j*d) = 1781.30 kgf/㎠

β_c = (H-k*d)/(D-k*d) = 1.150

d_c = 8.00 cm

A = 2*d_{cg}*B/철근 총갯수 = 200.00 ㎠

휨균열폭 W = 0.25872 mm < 허용휨균열폭 W_a = 0.27250 mm .... 만족

>> 벽체-중앙부

사 용 하 중 모 멘 트 : M_0 = 16.43 tf.m

사 용 단 면 두 께 : H = 70.00 cm 폭 : B = 100.00 cm

부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 (0.005t_c)

사용철근 주철근 : 8.0 -H22 (A_s= 30.97 ㎠) 피복 : d_{c1}= 8.00 cm

허용 균열폭 W_a = 0.005t_c = 0.345 mm

---> t_c = 최외단철근덮개 = d_{c1}-주철근 D/2 = 69.00 mm

철근중심거리 d_{cg} = d_{c1} = 8.00 cm

철근비 p = A_s/[(H-d_{cg})*B] = 0.0050

중립축비 k = -np + √[2np + $(np)^2$] = 0.2455 , j = 1 - k/3 = 0.9182

휨균열폭 W = 1.08 * β_c * f_s * $\sqrt[3]{(d_c * A) / 100000}$ = 0.13786 mm

---> f_s = M_0/(A_s*j*d) = 932.01 kgf/㎠

β_c = (H-k*d)/(D-k*d) = 1.171

d_c = 8.00 cm

A = 2*d_{cg}*B/철근 총갯수 = 200.00 ㎠

휨균열폭 W = 0.13786 mm < 허용휨균열폭 W_a = 0.34500 mm ... 만족

>> 벽체-하단부

사 용 하 중 모 멘 트 : M_0 = 30.38 tf.m

사 용 단 면 두 께 : H = 70.00 cm 폭 : B = 100.00 cm

부식에 대한 환경조건 : 일반 환경 ($0.005t_c$)

사용철근 주철근 : 8.0 -H22 (A_s= 30.97 ㎠) 피복 : d_{c1}= 8.00 cm

허용 균열폭 $W_a = 0.005t_c$ = 0.280 mm

---> t_c = 최외단철근덮개 = d_{c1}-주철근 D/2 = 56.00 mm

철근중심거리 $d_{cg} = d_{c1}$ = 8.00 cm

철근비 $p = A_s/[(H-d_{cg})*B]$ = 0.0050

중립축비 $k = -np + \sqrt{[2np + (np)^2]}$ = 0.2455 , $j = 1 - k/3$ = 0.9182

휨균열폭 $W = 1.08 * \beta_c * f_s * \sqrt[3]{(d_c * A) / 100000}$ = 0.25492 mm

---> $f_s = M_0/(A_s*j*d)$ = 1723.33 kgf/㎠

$\beta_c = (H-k*d)/(D-k*d)$ = 1.171

d_c = 8.00 cm

$A = 2*d_{cg}*B/$철근총갯수 = 200.00 ㎠

휨균열폭 W = 0.25492 mm < 허용휨균열폭 W_a = 0.28000 mm .... 만족

(3) [단계 11-3] 피로검토

- 상부슬래브 중앙부
- $n = E_s / E_c = 2000000 / 15000\sqrt{270} = 8$
- $P = A_s / bd = 40.540 / (100 \times 64) = 0.0063$
- $j = 1 - (k/3) = 1 - (0.2711/3) = 0.9096$ $k = \sqrt{(np)^2 + 2np} - np = 0.2711$
- M_{max} = 8.370 t·m M_{min} = 16.640 t·m
- $f_t = 1630 - 0.33 \cdot f_{s\ min}$
- $f_{s\ max} = M / P\,bj\,d^2$

$= (38.37 \times 10^5) / (0.0063 \times 100 \times 0.9096 \times 64^2) = 1634.710$ kg/㎠

- $f_{s\ min} = M / P\,bj\,d^2$

$= (16.640 \times 10^5) / (0.0063 \times 100 \times 0.9096 \times 64^2) = 708.928$ kg/㎠

- $f_l = 1630 - 0.33 \times 708.928$

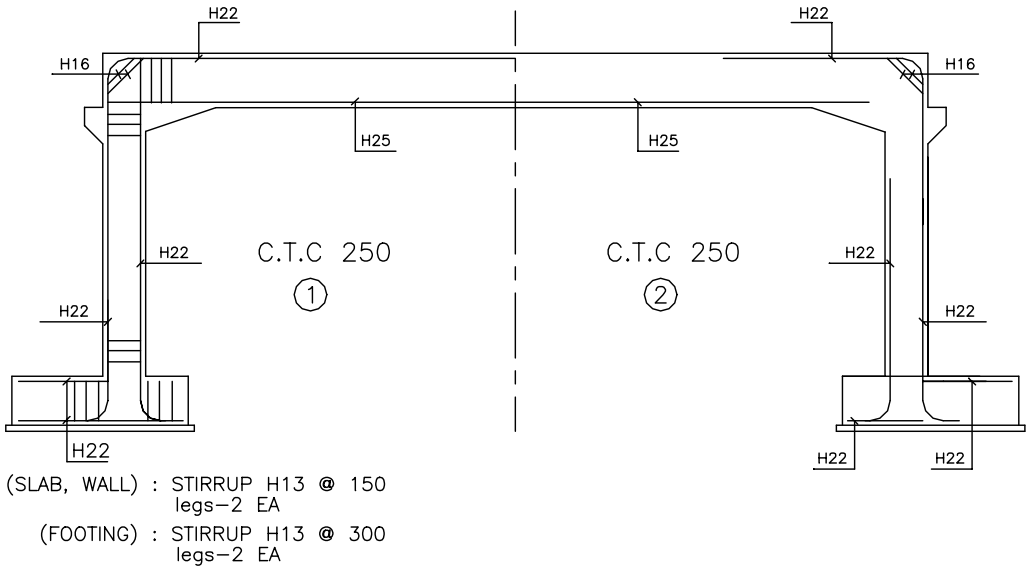
$= 1396.054$ kg/㎠ > $f_{s\ max} - f_{s\ min}$ = 925.782 kg/㎠ ∴ O.K !

6.3.12 [단계 12] 날개벽 설계

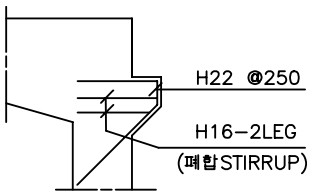
"509. 하부구조 및 내진설계" 적용

6.3.13 [단계 13] 주철근 조립도

(1) 본 체



(2) 브라켓



508
프리스트레스트 콘크리트교

508.1 개요

1.1 PSC교의 일반사항

1.1.1 PSC의 개념

프리스트레스트 콘크리트(이후 PSC)의 개념은 "외력에 의하여 일어나는 응력을 소정의 한도까지 상쇄할 수 있도록 미리 인공적으로 그 응력의 분포와 크기를 정하여 내력을 준 콘크리트"라고 정의할 수 있으며, 응력개념·강도개념·하중평형 개념의 세 가지 기본적인 개념에 근거하고 있다. 이러한 개념 및 구조물에의 적용은 19세기말부터 이루어졌다. 그러나 교량에의 적용은 콘크리트의 응력도입기술 및 고강도 강선과 콘크리트의 부착 문제 등 여러 가지 실험적인 노력으로 다양한 프리스트레싱 기술의 개발이 이루어진 1900년대 중반에서야 이루어졌다. 그 후 제2차 세계대전으로 인한 강재의 부족은 PSC가 비약적으로 발전하게 되는 계기가 되었으며 이로 말미암아 건설분야에서 철근콘크리트보다 더 다양하게 이용되기에 이르렀다.

1.1.2 PSC교의 종류 및 가설방법

PSC 교량은 단면형상 및 구조형식, 가설공법 등에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 일반적인 형식은 합성형교·슬래브교·박스거더교·사장교·아치교·라멘교 등으로 분류될 수 있으며, 국내에서는 주로 합성형교·슬래브교·박스거더교·사장교 등이 사용되고 있다.

PSC 교량의 종류만큼이나 가설방법 또한 다양하다. 특히 PSC 박스거더 교량의 경우 가설공법에 따라 설계방법이 좌우되기도 한다. 일반적으로 많이 사용되는 PSC 교량가설공법을 크게 지보재의 사용 유무에 따라 분류하면 <표 508.1>과 같다. 각 공법은 특수한 가설장비·가설방식에 따라 보다 세부적으로 분류될 수 있다.

짧은 지간을 가지고 낮은 형고비가 필요할 경우 PSC 슬래브교, 보통의 지간을 갖는 경우는 PSC 합성형교, 장지간을 가지며 시공이 난이하여 특수 가설공법이 필요한 경우는 PSC 박스거더교의 형식이 주로 적용되고 있다.

1.1.3 사용재료

(1) 콘크리트

PSC 교량에 쓰이는 콘크리트는 압축강도가 높고, 건조수축과 크리프가 작아야 한다. 특히 설계에서 사용한 압축강도가 현장시공시에도 확실하게 얻어져야 한다. PSC 교량에 사용되는 콘크리트 재료의 일반적인 기준은 도·설 2.3.2와 도·설 4.1.8을 따르며, 설계계산에 사용되는 물리상수는 도·설 2.3.3과 도·설 4.2.3을 따른다.

(2) PS강재 및 철근

PSC 교량에 사용되는 PS강재 및 철근은 도·설

<표 508.1> PSC 교량 가설공법의 분류

동바리	콘크리트	가설공법
사용	현장타설	• 전체지지식(Full Staging Method; FSM)
		• 지주지지식
		• 거더지지식
미사용	현장타설	• 캔틸레버공법(Free Cantilever Method; FCM)
		• 이동식 비계공법(Movable Scaffolding System; MSS)
		• 연속압출공법(Incremental Launching Method; ILM)
	프리캐스트	• 프리캐스트 거더공법
		• 프리캐스트 세그먼트공법(Precast Segment Method; PSM)

4.1.8과 도·설 4.6.1.5의 규정을 따르며, PS강재 및 철근과 관련된 재료 일반사항은 도·설 2.3.1을, 설계계산에 사용되는 물리상수는 도·설 2.3.3과 도·설 4.2.3.2를 따른다.

(3) 정착장치 및 접속장치

정착장치 및 접속장치는 PS강재가 보증인장강도를 발휘할 수 있는 구조 및 강도를 가져야 한다. 따라서 새로운 공법이나 사용실적이 없는 경우에는 시험을 통해 각 장치의 특징을 충분히 파악하고 각각의 공법이 갖는 특징을 충분히 살리도록 고려해서 사용해야 한다[도로설계요령(이후 도·요) 8-2 4.2.3]. 포스트텐션용 정착장치 및 접속장치에 대한 규정은 도·설 4.6.4.3을 따른다.

(4) 쉬스

쉬스의 크기는 PS강재와 시공조건에 대해 가장 적합한 단면을 선택해야 한다[도·요 8-2편 4.2.4]. 일반적으로 쉬스의 단면은 <표 508.2>를 사용할 수도 있다. 쉬스의 내면지름은 긴장재 지름보다 6mm 이상 커야 한다. 또한 쉬스의 내부단면적은 긴장재 단면적의 2배 이상이어야 한다. 쉬시의 선

<표 508.2> 쉬스의 단면

종 류	규 격	내경(cm)	단면적(cm^2)
PS강연선	7-ø12.7	5.4	22.90
	12-ø12.7	6.6	34.21
	15-ø12.7	8.0	50.27
	19-ø12.7	9.0	63.62
	15-ø15.2	9.0	63.62
	19-ø15.2	10.0	78.54
	24-ø15.2	11.0	95.03
PS강봉	ø23	3.5	9.62
	ø26	3.5	9.62
	ø32	4.5	15.90

정시 다음 사항을 고려해 결정하여야 한다.

① 그라우트의 주입이 충분하고 확실하게 할 수 있을 것
② 긴장시 마찰저항을 증대시키지 않을 것
③ 쉬스 내에서 PS강재의 편심이 크게 되지 않을 것
④ 부재단면에 대해 여유를 갖고 배치 할 수 있을 것
⑤ 쉬스 내의 PS강재 삽입이 용이할 것
⑥ 포스트 텐션 공법인 경우 강연선을 후삽입하기 위하여 쉬스 직경을 한 단위 위로 설계할 것.

(5) 그라우트

그라우트는 재령 28일의 압축강도가 210kgf/cm^2 이상이고, PS강재가 콘크리트 부재와 충분히 부착될 수 있어야 한다[도·요 8-2 4.2.5]. 일반적으로 그라우트는 강도발현 보다 덕트 속의 완전한 충진과 PS강재의 녹발생 방지, PS강재와의 부착에 치중한다. 따라서, 설계에서는 그라우트한 덕트단면을 계산에 포함시키지 않는 것을 원칙으로 한다.

1.2 적용범위

본 편람에서는 현재 국내에서 일반적으로 설계·시공되고 있는 PSC 교량형식에 대한 설계 주요사항에 대해서 다루며, 설계기준[도·설] 및 지침[콘크리트 교량 가설 특수공법 설계, 시공, 유지관리 지침(이후 콘·지)]의 범위를 벗어나는 특수한 형식의 PSC 교량형식은 포함하지 않는다.

508.2 설계일반사항의 경우 대부분의 일반적인 PSC 교량에 공히 적용되는 사항을 관련 기준 및 문헌에 근거하여 기술하였고, 508.3~5에서는 지면의 제약상 설문 및 자문에 기초하여 대표적 PSC 교량중 선정된 3가지 형식(PSC 합성거더교, FSM에 의한 박스거더교, ILM에 의한 박스거더교)에 국한하여 실시설계 내용을 다루었다. 설계예의 경우 공사여건 및 주변 자연환경에 따른 다양한 조건이 발생할 수 있고 이러한 모든 경우의 조건에 대하여 세부설계내용 및 수치예를 다룰 수 없으므로 본 편람에서는 다음과 같은 조건의 교량형식에 대해서만 구체적인 설계예제를 다루었다.

① PSC 합성거더교 : 단순교, 직교, 보도 없음, 중앙분리대 있음.
② FSM에 의한 박스거더교 : 6경간 연속교, 곡교, 보도 있음, 중앙분리대 없음.
③ ILM에 의한 박스거더교 : 8경간 연속교, 직교, 보도 없음, 중앙분리대 있음.

508.2 PSC교의 설계 일반사항

2.1 설계 개요

PSC 교량은 다양한 형식과 설계방법으로 인하여 설계시 각 형식에 따른 특수한 문제를 고려하여야 한다. PSC 교량 전반에 걸친 일반적인 설계 관련사항은 도·설의 제 4장 콘크리트교편과 본 편람의 505장을 참고하고, PSC 박스거더교의 특수공법에 대한 세부내용은 별도의 지침인 콘·지를 활용하도록 한다. 또한 현재까지 가장 일반적으로 사용되어온 PSC 합성거더교의 경우 한국도로공사의 표준단면에 의해 제작된 프리캐스트 거더를 설계에 활용한다.

2.2 예비설계

503장에서 자세히 언급한 바와 같이 교량가설지점의 여건과 경제성·미관 등을 종합적으로 고려하여 적절한 PSC 교량형식을 결정하여야 한다.

예비설계에서는 상부 구조형식, 프리스트레스 도입방식, 교량의 연장, 교량의 폭원, 지간, 하중조건, 교량의 등급 등을 결정한다. PSC 합성거더교의 경우 거더의 간격, 슬래브교의 경우 평면선형·사각의 크기 등을 결정하고, 박스거더교의 가설공법 및 종·횡단 유형 등을 결정한다.

2.2.1 경간분할

PSC 합성거더교의 경우 일반적으로 한국도로공사 표준단면과 같은 기존 연구자료에 따라 경간을 분할하고, PSC 슬래브교의 경우 주로 단순교 또는 20m이상의 연속교에 적용한다. 경간분할시 교각배치는 지반조건과 밀접한 관계가 있지만, 경간길이 비율에 따라 상부구조의 부재력이 큰 영향을 받을 뿐만 아니라 시공도 많은 변화가 오게 되므로 가능하면 등간격으로 교각을 배치하는 것이 좋다. 등간격배치일 경우에 설계자가 어려움을 겪는 것은 가장 경제적인 설계를 위하여 측경간 길이를 얼마로 할 것인가 하는 문제이다. 일반적으로 3경간 연속보에서는 휨모멘트를 고려할 때 양측경간은 $0.75l \sim 0.8l$(l은 중앙경간장)로 하는 것이 역학적으로 가장 바람직한 것으로 알려져 있다. 이 값은 3경간 이상일 경우에도 마찬가지로 적용할 수 있다.

그러나 연속압출공법으로 연속교를 가설할 경우에는 이상적으로 경간분할을 해도 가설시의 캔틸레버부 길이 등에 의해 형고 등 단면제원이 결정되며, 연속압출공법에서도 측경간 길이를 압출가설시와 가설후의 최대단면력 감소에 따른 공사비 절감 등을 고려할 때 연속교량의 경제적인 측경간 비율인 $0.75l \sim 0.80l$로 결정하는 것이 바람직하다.

그리고 캔틸레버 공법에서는 휨모멘트외에도 측경간의 교대에 연결되는 상부구조시공 문제와 고정하중의 작용형태, 프리스트레싱 형태, 그리고 부정정 효과 등을 모두 고려해야만 한다. 이런 여러 조건을 고려할 경우 가장 적합한 측경간 길이는 $0.65l \sim 0.7l$인 것으로 알려져 있다. 캔틸레버 공법일 경우 측경간이 $0.5l$보다 많이 길어지면 어쩔 수 없이 동바리를 사용해서 시공해야 하고, $0.5l$ 보다 짧게 되면 동바리 없이 캔틸레버로 시공할 수 있으나 교대 지점의 부반력(상향력)에 대해 안정할 수 있도록 상부구조를 교대에 고정시키든지, 또는 속을 채워서 자중을 늘리는 등의 방법을 사용해야만 한다. 그러므로 측경간 길이는 상향력의 안정에 대해 별도의 대책을 세우지 않아도 되는 범위내에서 가능한 한 가장 짧도록 하는 것이 바람직하다. 이 길이는 문헌을 토대로 볼 때 한 세그먼트내지 두 세그먼트 정도를 더 붙이면 되는 것으로 알려져 있다. 이 정도 길이로 시공하게 되면 인접경간을 연결하기 전에 안정을 위한 임시하중재하를 인접경간에 하면서 교대측 캔틸레버를 동바리 없이 기존 작업차와 거푸집을 이용해서 시공할 수 있다[콘·지 I 2-2.1].

2.2.2 가설공법 선정

합성거더교나 슬래브교에 비해 박스거더교의 경우에는 가설공법에 따라 다양한 시공방법이 있으므로 먼저 적절한 가설공법을 선정하여야 한다. 가설공법을 선정할 때는 하부조건과 경제성 등을 고려하여 결정한다. 일반적으로 교하공간이 비교적 높지 않고 기초지반조건이 양호하며 중소지간 규모의 교량에 동바리 설치가 용이한 곳에는 경제적인 공법으로 FSM공법을 사용한다. 또한 중소지간 규모의 교량에 동바리 설치가 곤란한 경우에는 ILM공법이나 MSS공법을 적용할 수 있으나 ILM공법은 평면 및 종단선형이 직선이거나 단곡선일 경우에만 적합하고 MSS공법은 곡선반경이 매우

적은 경우에는 비경제적일 수도 있다. 이외에 지간이 비교적 크고 동바리 설치가 곤란한 경우에는 FCM공법을 적용하는 것이 유리하다.

2.2.3 종단면 유형결정

표준단면을 사용하는 PSC 합성거더교의 경우 일반적으로 종단면의 변화는 없다. 그러나 박스거더의 경우, 종단면 기본형태는 일반적으로 <그림 508.1>과 같이 분류될 수 있다. 설계와 시공의 편이성만을 고려한다면 (a) 혹은 (b)처럼 거더높이를 일정하게 하는 것이 편리하다. 그러나 경간장이 60m 정도를 초과하게 되면 자중이 전체하중에서 차지하는 비중이 증가하게 되고, 교각위치에서 발생되는 상부구조 휨모멘트가 과대하게 되므로 거더높이를 변화시키는 것이 역학적으로 볼 때 유리하다. 거더높이를 변화시킬 때는 교하공간 조건이 허용된다면 거더하면을 (e)처럼 원호나 2차포물선 형태로 설치하는 것이 시공이나 미관측면에서 바람직하지만, 중앙부 거더높이가 너무 작을 경우는 1차식과 2차식의 중간형태로 완화시키기도 하고, 교하공간이 허용되지 않을 때는 3차곡선 형태나 (c), (d)처럼 특수한 형태로 설계한다.

도심교량, 교하공간 여유가 거의 없는 교량, 부착시설(수도관, 전기케이블 등)이 많은 교량 등은 60m 이상의 경간장에 대해서도 등단면으로 설계하는 경우도 있다. 외국의 경우 미관을 고려하여 140m 경간장의 교량도 (b)형으로 설계한 예가 있다. 또한 역학적인 측면에서 볼 때 경간장 60m 정도가 변단면 설계의 임계치로 볼 수 있는데 국내의 경우도 대부분 60m 내외를 경계로 변단면 설계를 실시하고 있다[콘ㆍ지 I 2-2.3].

<그림 508.1> 박스거더의 종단면 기본형태

2.2.4 횡단면 유형결정

합성거더교에서는 깊은 보(deep beam)나 bulb-tee보 등 특수한 형태의 거더를 사용하지 않는 경우에는 표준단면을 채택하고, 박스거더교의 경우의 횡단면 유형은 일반적으로 <그림 508.2>와 같이 분류될 수 있다. 이때 박스의 수가 많을수록 복부수가 증가되고 거푸집 작업이 늘어나며 시공이 복잡해지게 된다. 그러므로 시공측면에서 볼 때 박스의 수를 감소시키는 것이 좋으며 가능하면 단일박스(single cell)로 설계하는 것이 바람직하다. 그리고 단일박스 구조로 하면 복부두께가 증가하게 되므로, 콘크리트 타설과 텐던 및 철근배치가

용이하고 텐던정착을 복부에 직접할 수 있으며, 복부의 유효두께도 늘어나므로 역학적으로 유리한 단면이 된다. 그러나 교폭이 넓을 경우에는 단일박스 구조로 하면 횡방향 휨모멘트가 과대하게 되므로 교폭이 적정한도를 초과할 경우는 복부수를 증가시킨 다중박스(multi-cell) 또는 다주형 박스(multi-box)가 바람직하다. 외국에서 일반적으로 적용되고 있는 횡단면 유형별 교폭 적용범위는 다음과 같다.

① 단일박스 : 교폭 ≤ 13m
② 2중박스 : 13m < 교폭 ≤ 18m
③ 2주형 박스(twin box) : 18m < 교폭 ≤ 25m

그러나 전술한 바와 같이 단일박스 구조의 여러 가지 장점으로 인하여 근래에는 교폭이 13m를 초과하는 경우에도 단일박스 구조를 선택하는 예가 외국의 경우 점차 증가하고 있다. 국내의 경우, 기존의 도로교표준시방서[1996]에 의해 캔틸레버 길이가 복부중앙선 간격의 0.45배를 초과하지 않도록 규정(철근콘크리트 박스거더교에 적절함.)하고 있어 단일박스 구조의 선택을 어렵게 하고 있었으나 새롭게 개정된 도·설 4.15.6.4에는 이러한 규정이 다소 수정이 되어 부득이 초과할 경우에는 상세한 구조해석을 수행하여 고려하도록 되었으므로 설계자의 단일박스 구조의 선택 폭이 넓어졌다.

미관이 양호하고 고정하중 저감효과가 있도록 복부를 경사지게 하는데, 일반적으로 그 경사도는 1/4~1/5 정도가 적절하다. 복부경사도가 크게되면 플랜지와 복부의 연결부에 다소 큰 단면력이 발생한다. 그러나 경간장이 45m 이하로 짧을 경우는 교각위치에서의 휨모멘트가 과대하지 않으므로 장경간일 경우에 비해 하부플랜지폭을 더 감소시키는 것이 구조적으로 유리하며, 변단면 장경간 교량은 거푸집 작업의 난이도를 고려하여 가능하면 복부를 수직으로 설계함이 바람직하다[콘·지 I 2-2.3].

2.2.5 케이블 종류 및 PS강재 긴장공법의 선정

현재 사용되고 있는 대부분의 PSC 공법은 각각 도입 하중(ton)이 다른 케이블을 2, 3 종류 또는 그 이상 사용하고 있다. 따라서 설계시에 어떤 케이블을 쓸 것인가 하는 것이 문제가 된다. 일반적으로 케이블의 길이가 길어짐에 따라 케이블의 도입 ton수가 큰 케이블(대형 케이블)이 경제적이라고

<그림 508.2> 박스거더교의 횡단면 유형

알려져 있다. 그러나 대형 케이블이 유리하다고 해도 소요 프리스트레스량과 조화를 이루지 않는다면 오히려 비경제적인 결과를 초래한다.

구조적인 면에서도 가능한 한 여러 개의 PS강재를 조밀하게 배치하는 것이 부재단면에 프리스트레스를 보다 균등히 도입할 수 있다는 의미에서 바람직하다.[도·요 8-2 4.3.3].

일반적으로 긴장공법, 구조계, 시공방법 등을 결정하는 시점에 PS강재 긴장공법도 선정하는 것이 합리적인 방법이다. 예를 들어, 연속구조계로 하는 경우 시공방법으로서는 거더 전장에 걸쳐 동바리 방식으로 시공하든가, 분할방식에 의해 동바리를 교체하여 시공하든가, 단순프리캐스트 거더를 연속시키든가, 혹은 캔틸레버 거더방식에 의해 가설한 후 연속구조로 하든가, 기타 재긴장을 필요로 하는 구조로 할 것인지를 입지조건, 시공방법의 선정, 공사기간 등을 결정할 때 동시에 결정하는 것이 좋고 긴장공법 역시 확실한 것을 선정한다.

일반적으로 발주도면에는 PS강재 종류 및 긴장력과 PS강재의 긴장방법은 명시되나, PS강재의 정착구 자재의 제품은 명시하지 않으므로 안전성을 확인하여 자재 선정시 공급승인원을 얻은 후 결정하여야 한다.

2.3 기본설계

PSC 합성거더교는 표준도의 단면을 기준으로 하며, PSC 박스거더교의 기본설계에서는 계획에 따른 형고비 결정, 바닥판 설계, 하부플랜지 설계, 복부설계, PS강재 배치계획, 기본도 작성, 물량산출 등 기본적인 설계사항을 다룬다.

2.3.1 형고비 결정

박스거더교의 형고비는 경제성과 미관을 동시에 고려하여 결정하고, 하부 건축한계에 의해 제한을 받는다. 형고비가 증가하면 콘크리트 물량이 증가하고 PS강재 물량이 감소하며, 형고비가 감소하면 콘크리트 물량이 감소하고 PS강재 물량은 증가하게 된다. 일반적으로 외국에서 설계되고 있는 일반적인 형고비는 <표 508.3>과 같다[콘·지 I 2-3.1].

<표 508.3> 외국의 일반적인 형고비 설계기준

유 형		형 고 비	
		일반범위	상용범위
변단면	교각 위치	16 ~ 24	18 ~ 20
	경간 중앙	30 ~ 60	40 ~ 50
등 단 면		15 ~ 30	18 ~ 22

국내의 사례를 공법별로 살펴보면 FSM 및 MSS 단일박스 구조는 대부분 형고비가 17~20 사이에 있으며, ILM 단일박스 구조는 15~17 사이에 주로 분포되어 있다. FSM 2박스 구조의 경우는 17~23 사이에, 그리고 ILM 2박스 구조는 16~21 사이에 주로 분포되어 있다. FCM 공법을 적용한 교량은 모두 변단면으로 설계되어 있으며 교각에서의 형고비는 17~18 사이에 분포되어 있고 경간 중앙에서는 42~53 사이에 분포되어 있다[콘·지 I 2-3.1].

2.3.2 바닥판 설계

바닥판의 구조적 기능은 다음과 같다.

① 자중과 활하중을 복부로 전달하는 횡방향 슬래브 기능
② 횡방향 변형(distortion)에 저항하는 횡방향 뼈대구조 요소로서의 기능

③ 종방향 휨에 대한 종방향 인장 및 압축재로서의 기능
④ 단면 비틂(torsion)에 저항하는 종방향 전단벽(shear wall) 기능
⑤ 수평하중에 의해 발생하는 휨에 저항하는 종방향 복부로서의 기능

구조적인 측면에서의 바닥판 설계는 주로 ①의 기능에 의해 좌우된다. 그러므로 복부위치에서의 횡방향 배근은 복부주위에서만 충분히 활용된다. 바닥판의 단면적은 종방향 휨에 대해서는 일반적으로 충분하다. 그러므로 실제 설계에서의 바닥판 두께는 일반적으로 횡방향 모멘트, 설계기준상의 최소두께 규정, 철근배근 등의 시공성 확보에 의해 지배된다[콘·지 I 2-3.2].

바닥판 설계를 위한 관련 제규정에 대해서는 도·설 4.7에 자세히 제시되어 있으며 이를 적용한다. 특히, 박스거더의 바닥판인 경우의 최소두께 규정은 도·설 4.6.10을 따른다. 또한 박스거더의 바닥판과 관련된 국내외의 각종 통계적 자료는 콘·지 I 2-3.2를 참조하면 된다.

2.3.3 하부플랜지 및 복부의 설계

(1) 하부플랜지 설계

하부플랜지의 길이는 하부구조와의 미적인 조화와 시공성 등에 의해 결정되고, 2.2.4절에서 기술한 복부경사도를 사용하면 하부플랜지 폭은 종속적으로 결정될 수 있다. 하부플랜지 두께는 경간중앙에서는 시공성에 의해 결정되며, 지점부에서는 종방향 휨모멘트의 지배를 받게된다.

PSC 박스거더의 하부플랜지 최소두께 및 철근배근과 같은 관련사항에 대하여 도·설 4.6.10의 구조상세에 자세히 제시되어 있으므로 참조하면 된다. 또한 하부플랜지와 관련하여 각종 통계적 자료는 콘·지 I 2-3.3을 참조하면 된다.

(2) 복부설계

복부의 구조적 기능은 다음과 같다.

① 종방향 휨에 대한 복부로서의 기능
② 비틂에 대한 종방향 전단벽 기능
③ 연직축 둘레의 휨모멘트에 대한 종방향 인장 및 압축재로서의 기능
④ 바닥판과 하부플랜지에 대한 고정효과 및 횡단면 변형에 대해 저항성을 제고하는 횡방향 뼈대구조 요소로서의 기능

구조적인 측면에서의 복부설계는 최대전단(①, ②)과 고정하중에 의한 횡방향 휨(④)의 합성효과, 혹은 최대 횡방향 휨(④)과 고정하중에 의한 전단(①, ②)의 합성효과에 의해 지배된다. 직선교일 경우는 ②의 효과는 미세하므로 무시할 수 있다.

경간 중앙부에서의 복부두께는 구조적인 측면보다는 배근, PS강재 배치, 콘크리트 타설 등의 시공성에 의해 결정된다. 따라서 공법 및 횡단면 형태에 따라 상이한 두께로 설계된다.

또한 현장타설일 경우는 덕트간 순간격을 덕트직경 이상 확보하는 것이 좋다.

반면에 지점부에서는 복부두께가 종방향 최대전단력 및 횡방향 휨모멘트에 의해 지배된다.

복부를 기본설계할 때 고려할 제원은 복부경사도와 복부두께이다. 복부경사도는 상부구조 콘크리트 물량에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 거푸집과 하부구조 물량에도 영향을 미친다. 그러므로 부모멘트가 과대하지 않은 중경간 교량일 경우는 부모멘트에 대해 압축플랜지 역할을 하는 하부플랜지의 면적을 감소시켜도 무방하므로 복부를 경사지게 하는 것이 효율적이다[콘·지 I 2-3.4].

PSC 교량의 복부두께에 관련된 설계규준은 도·설 4.6.2.5와 4.10.6에 제시되어 있다. 또한 박스거더의 복부에 관련된 각종 통계적 자료는 콘·지 I 2-3.4를 참조하면 된다.

2.3.4 PS강재의 배치계획

각 PSC 교량형식에 따른 PS강재의 배치계획은 후술할 2.5절에 각 교량형식별로 언급되어 있으므로 이를 참조하여 결정한다. PS강재와 관련된 설계규정으로서 PS강재의 배치규준은 도·설 4.7.6.3을 따르며, PS강재의 피복두께와 간격에 대한 규준은 도·설 4.6.4.2를 적용한다.

2.3.5 PSC 박스거더의 횡단면 치수

박스거더의 횡단면 치수는 도·설 4.15.6.4의 (3)항 규정을 만족하도록 계획하여야 한다.

2.4 상세설계

2.4.1 일반사항

설계는 프리스트레스를 도입할 때부터 구조물의 수명기간 동안 받을 수 있는 모든 위험한 하중단계에서의 강도(강도설계)와 사용상태에서의 거동(허용응력설계)을 기초로 수행한다. 프리스트레스트 콘크리트의 상세설계와 관련된 설계기준은 도·설 4.6.3에 제시되어 있으며, 설계이론 및 일반 고려사항과 기본가정 등에 대해서는 도·설 4.6.3.1에 제시되어 있으므로 참조한다.

(1) 하중

PSC 교량의 설계에 적용되는 하중은 도·설 2.1과 본 편람 505.4를 참고한다. 특수한 경우에는 각각에 맞는 하중의 종류와 크기를 정할 필요가 있다. 특히, 부정정구조물의 경우 온도변화, 크리프, 건조수축 등에 대해서 반드시 고려하여야 하며, 가설공법에 따라 교량의 시공중 받을 수 있는 가장 불리한 하중조합에 대하여 그 안전을 검토하여야 한다.

(2) 유효플랜지폭

상부구조 형식별 유효플랜지폭은 도·설 4.2.2.6을 적용하여 계산하고, 구조해석시에는 도·설 4.15.6.2 의 규정에 의거 해석하여야 한다.

(3) 구조해석

구조해석은 설계에서 가정되어진 구조물이 설계기준의 요구조건을 만족하는지 검사하기 위해 필수적인 과정이다. 특히, PSC 박스거더교의 경우는 대부분이 세그멘탈 공법에 의해 시공되므로 시공 단계별 구조해석이 필요하며, 또 현장치기 포스트텐션 교량의 경우 작업하중으로 인해 응력이 발생하므로 이를 계산에 고려하여야 하며, 프리스트레싱에 의한 2차모멘트의 영향을 고려해야 한다.

PSC 박스거더는 판구조 요소들의 복합체이므로 실제거동은 매우 복잡하고, 횡방향과 종방향의 거동이 상호 연계되어 나타나지만 일반적으로는 종방향과 횡방향 거동을 분리시켜 구조해석을 실시한다.

PSC 박스거더교의 구조해석에서 사용될 수 있는 방법들은 <표 508.4>와 같다. 이중 ①~⑧은 비교적 간단하게 해석할 수 있는 방법이고, ⑨~⑫는 컴퓨터를 이용하여야만 해석할 수 있는 복잡한 방법이다. 그러나 최근의 구조해석은 대부분 컴퓨터를 이용한 유한요소법을 사용하고 있다. 참고로 각 해석방법의 이용에 대해 살펴보면 다음과 같다.

①의 해석법은 일반적인 들보이론으로서 횡방향 휨모멘트 효과를 고려할 수 없지만, 종방향 해석에 이 방법을 사용하여 거더높이나 복부두께 등을 결정하고, ⑧의 방법에 의해 상부 바닥판을 설계하며 ④~⑥의 해석법에 의해 뒴(warping)이나

<표 508.4> 박스거더 구조해석 방법별 특성

해석방법	해석범위						
	종방향 휨	순수 비틂	횡단면 변형	뒴	횡단면 변형뒴	전단 뒤짐	국부 효과
① 들보이론	○	○					
② Knittel			○				
③ Richmond			○		○		
④ Kupfer			○		○		
⑤ Kollbrunner and Hajdin				○			
⑥ BEF 유사법			○		○		
⑦ Reissner						○	
⑧ 영향면							○
⑨ 격자법	○	○	○				
⑩ 절판법	○	○	○	○	○	○	○
⑪ 유한대판법	○	○	○	○	○	○	○
⑫ 유한요소법	○	○	○	○	○	○	○

[콘·지 I 2-4.1] 참조

횡단면 변형(distortion)의 영향을 고려하면 된다.

②～④, ⑥의 방법은 횡단면 변형해석에만 적용하는 것이고 ⑦은 전단지연(shear lag) 효과만을 고려할 수 있다. 강박스거더교처럼 두께가 매우 얇을 때는 전단지연이 큰 영향을 미치지만 콘크리트 교량에서는 영향이 크지 않으며, 이것을 고려할 경우 유효폭 개념을 도입하면 된다.

⑨의 방법은 횡방향 효과를 충분히 반영할 수 없으며 다중박스거더교일 경우에 일반적으로 적용된다.

⑩～⑫의 방법은 PSC 박스거더교에 발생될 수 있는 모든 효과를 고려할 수 있으나 입출력 자료가 복잡하고 프로그램의 배경이론을 충분히 숙지해야만 신뢰할 수 있는 해석을 할 수 있다[도·요 I 2-4.1].

가. 종방향 구조해석

박스거더교의 대표적인 단면형상에는 단일박스거더, 다중박스거더, 다주형박스거더의 3종류가 있다. 각 단면형상, 교폭 및 지간의 비에 따라 주거더의 단면력을 산출할 때의 해석이론이 다르므로 기본설계된 박스거더에 적합한 해석이론을 이용하는 것이 가장 중요하다. 판이론을 적용하면 모든 경우에 적합하지만 실무에서는 일반적으로 단순한 해석이론을 적용할 수 있다.

(가) 단일박스거더교 : 단일박스거더교는 비틀림강성이 크고 활하중에 대한 하중분배도 양호하므로 박스거더 전단면을 하나의 거더로 보고 교축방향 단면력을 산출할 수 있다. 사각이 70° 이하인 경우는 단일박스거더교에도 격자구조이론을 이용하거나 판요소를 이용해서 단면력을 산출하는 것이 좋다.

(나) 다주형박스거더교 : 다주형박스거더교는

판이론을 적용하지 않는다면 격자구조이론을 적용하여 주거더 단면력을 산출하는 것이 원칙이다. 이 경우 각 박스거더를 하나의 거더로 하고 격벽이 각 박스거더를 연결하는 격자구조로 모델링하는 것이 일반적이다. 따라서 단면정수의 산정은 각 박스거더마다의 단면적, 단면2차모멘트 이외에 비틀림강성을 계산할 필요가 있다. 또한 격벽에 관해서도 단면정수를 구해야만 한다. 다주박스거더교의 경우 지점상 및 지간내에 격벽을 설치해야 한다. 격벽이 없으면 주거더 직각방향의 강성이 작게되어 하중분배가 나쁘고 주거더 상호의 처짐차이 및 비틀림에 의한 변형에 의해 상판에 균열이 발생할 가능성이 매우 크다. 곡선교에서는 일반적으로 활하중 편재시의 비틀림모멘트에 의한 휨응력의 검토는 생략해도 좋으나 비틀림모멘트에 의해 추가되는 전단응력은 반드시 고려해야 한다.

(다) 다중박스거더교 : 다중박스거더교는 교량의 전폭과 지간의 비(전폭/지간)가 0.5 이하의 경우 박스거더 전단면을 하나의 보로 보고 교축방향 단면력을 산출할 수 있다. 그러나 0.5 이상의 비교적 폭이 큰 다중박스거더의 경우는 판요소를 사용하여 유한요소해석을 하든지, 직교이방성판이론(Guyon-Massonnet 방법) 또는 격자구조이론에 의해 단면력을 산출하는 것이 원칙이다.

나. 횡방향 구조해석

횡방향 구조해석시 PSC 합성거더교에서는 풍하중, 지진하중, 지점침하, 원심하중 및 제동하중 등은 고려하지 않으며 온도하중에 대한 검토는 일반적으로 생략한다. 그러나, PSC 박스거더교에서는 온도하중을 고려하여 해석하여야 한다. 또한 교면상에 방음벽 등 특수 가시설물이 영구적으로 설치되는 경우에는 이에 대한 하중을 고려하여 부재 검토를 실시하여야 한다. 프리스트레스 하중은 횡방향 프리스트레싱을 실시할 때만 고려된다. 활하중은 일반적으로 특수한 경우를 제외하고는 DB하중에 대해서 검토한다.

횡방향 구조해석의 경우 PSC 박스거더교에 작용하는 DB하중에 대해 실시할 수 있는 방법을 대별하면 다음과 같다.

㉮ 도·설의 설계휨모멘트를 사용하여 국부 휨모멘트를 구한 뒤 뼈대구조 해석하는 방법
㉯ 도·설의 설계휨모멘트를 사용하여 하중분포폭을 결정한 뒤 뼈대구조 해석하는 방법
㉰ 영향면을 사용하여 국부휨모멘트를 구한 뒤 뼈대구조 해석하거나 절점하중에 대한 횡방향 해석을 할 수 있는 방법을 사용하는 것
㉱ 복부를 고정단으로 하여 DB하중을 재하해서 바닥판을 유한요소법으로 해석하고, 동일한 하중에 대해 박스거더 횡단면을 뼈대구조로 구조해석한 뒤, 두 값의 비교분석을 통해 분포폭을 결정하고, DB하중을 감소시켜 뼈대구조모델에 수정된 하중을 재하하는 방법
㉲ 절판법, 유한대판법, 유한요소법 등을 사용하여 정밀 해석하는 방법

(4) PS강재의 응력 계산

PS강재의 응력 계산에 있어서는 PS강재의 릴랙세이션, 콘크리트의 탄성변형 및 이에 따른 PS강재의 인장응력의 감소, 콘크리트의 크리프 및 건조수축, PS강재와 쉬스의 마찰, PS강재의 정착시 슬립량, 하중에 의한 PS강재의 응력 등에 대하여 고려하여야 한다.

특히, 프리스트레스의 손실에 대한 자세한 설계기준은 프리스트레싱 직후의 손실(정착장치의 활동에 의한 손실량, 긴장재와 쉬스 사이의 마찰에 의한 손실량, 콘크리트의 탄성수축에 의한 손실량)과 프리스트레싱 후 시간에 따라 발생하는 손

실(콘크리트의 크리프에 의한 손실량, 콘크리트의 건조수축에 의한 손실량, PS강재의 릴랙세이션에 의한 손실량), 그리고 프리스트레스 전체 손실량의 간이계산법으로 분류하여 도·설 4.6.3.4에 주어져 있으므로 이를 적용해도 무방하다.

또한, PS강재의 허용응력은 프리텐션 부재의 프리스트레스 도입 직전, 포스트텐션 부재의 프리스트레싱된 긴장재의 정착 직후와 프리스트레스 손실이 일어난 후 사용하중 상태로 구별하여 도·설 4.6.3.3의 (1)항에 규정되어 있으므로 이를 적용한다.

하중에 의한 PS강재의 응력은 각각의 하중단계에 따른 응력증가량을 계산하고, 각 재하단계 마다 허용응력 이내임을 확인하여야 한다. 이는 도로교의 경우 하중에 의한 PS강재 응력의 증가량은 일반적으로 크지 않지만, PS강재의 허용응력 가까이까지 긴장하는 경우에는 하중에 의한 PS강재의 응력증가에 따라 허용응력을 초과할 우려가 있기 때문이다. 또한 거더의 자중에 의한 PS강재의 응력증가량이 비교적 큰 경우에는 긴장시에 이 증가량을 고려하여야 한다. 응력변동이 큰 PS강재는 피로강도를 저하시키게 되므로 활하중에 의한 PS강재의 응력증가량은 10kgf/mm^{2}를 넘지 않도록 설계한다.

도입 프리스트레스량은 마찰계수 등이 설계시와 달라질 가능성이 있고 설계대로 프리스트레스량을 도입할 있다고 볼 수 없으므로 설계시 2~3%의 여유를 예상해도 좋다.

(5) 콘크리트의 응력 계산

교량가설공법을 충분히 고려한 가설단계와 가설 완료 후 설계하중에 의한 콘크리트 응력을 계산하여야 하며, 또한 크리프와 건조수축에 의한 프리스트레스의 손실이 일어나기 전의 일시적 응력과 모든 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력 및 균열응력, 정착부의 지압응력 등을 계산한다. 각 하중단계 및 조건에서의 허용응력은 도·설 4.6.3.3의 (2)항에 규정되어 있으므로 이를 적용한다.

(6) 극한강도 검사

극한강도의 검사는 휨강도, 철근 및 PS강재의 제한, 전단 및 비틀림설계 등을 고려하여 검사하여야 한다.

일반적으로 휨강도의 검사에 있어서 PSC 부재는 규정된 사용하중하에서 축력과 휨을 동시에 받으면 비균열 단면으로 가정한다. 단면성질을 계산하는데 있어 프리텐션 부재와 그라우팅을 한 포스트텐션 부재에서는 부착된 보강재의 환산단면적을 사용한다. 긴장재의 부착전과 열린 덕트의 단면적은 제외된다.

최대 강재량의 제한에 있어서 PSC 부재는 극한강도에 도달했을 때 PS강재가 항복하도록 설계한다. 또 프리스트레스 되지 않은 철근 및 최소 PS강재량은 위험단면에서의 극한모멘트가 파괴계수에 기초를 하여 계산한 균열모멘트보다 최소한 1.2배 이상이 되도록 배치하여야 한다.

철근의 경우는 보의 극한인장강도에 기여하는 것으로 고려한다. 이때 철근은 항복한 것으로 가정하며, 철근에 의한 인장력은 철근단면적에 철근의 항복강도를 곱한 것으로 계산한다. 항복응력보다 작은 응력이 발생하는 보강철근은 변형도 적합조건을 적용한 해석에 의해서 철근의 응력을 계산한다.

전단 및 비틀림설계에 있어서는 일반적으로 다음과 같은 사항을 고려한다.

① 속 빈 슬래브와 기초를 제외한 PSC 휨부재는 전단과 사인장응력에 대해 보강해야 한다. 중공 슬래브에 대해서는 전단에 대해 검토를

해야하며, 극한전단력이 콘크리트가 부담하는 전단강도의 ½보다 작으면 전단에 대한 보강은 생략해도 좋다.

② 전단철근은 부재축에 직각방향으로 있는 스터럽 또는 부재축에 직각방향으로 위치한 용접된 강선으로 이루어진다. 전단철근은 압축연단으로부터 d만큼 연장되어야 하고 피복규정은 다른 철근과의 근접이 허용되는 한도내에서 부재의 압축면 및 인장면에 가깝게 배근해야 한다. 전단철근이 설계항복강도를 발휘하도록 전단철근의 양끝을 철근의 정착규정에 따라 정착해야 한다.

③ 작용하중에 의한 반력이 부재의 단부 부근에 압축력을 유발할 때 지점면으로부터 ½h 보다 작은 거리에 위치한 단면은 ½h 지점에서 계산한 극한전단력에 대한 전단설계를 한다.

④ 프리캐스트 세그멘탈 상자형 거더의 복부에는 가설하중에 의한 전단력을 전달하기 위해서 전단연결재를 설치한다. 특히 교각 근처에 있는 세그먼트에서는 전단연결재의 반대의 전단응력이 발생할 수 있다.

상기의 강도에 대한 설계규준은 도·설 4.6.3.5에 휨강도에 대해서, 도·설 4.6.3.8에는 전단 및 비틀림에 대해 제시하고 있으며, 이때 철근 및 PS강재의 제한(연성 한계)에 대해서는 도·설 4.6.3.6에, 철근의 사용에 대해서는 도·설 4.6.3.7에 규정되어 있으므로 이를 적용한다.

(7) 사용성 설계

PSC교량의 설계는 프리스트레스를 도입할 때부터 구조물의 수명기간 동안 받을 수 있는 모든 위험한 하중단계에서의 강도(강도설계)와 사용상태에서의 거동(허용응력설계)을 기초로 수행한다. 이때 설계된 부재는 규정된 강도조건에 적합해야 한다.

사용성 설계의 규준은 도·설 4.4.9.3의 허용균열폭과 도·설 4.4.9.4의 균열의 검토에 관하여, 도·설 4.4.9.5에는 처짐제어 및 계산에 관하여, 도·설 4.4.9.6에는 피로에 대한 안전성 검토에 관하여 각각 제시되어 있으므로 이를 따라 적용하면 된다.

2.4.2 PSC 합성거더교

PSC 합성거더교는 주로 경간장이 짧고 길이가 긴 교량에서 적용되는 형식이다. 보통 적용되는 거더의 길이는 25~35m 정도이며, 이 길이가 크레인 등을 이용하여 인상 및 조립하는데 가장 용이하고 과다한 모멘트를 받지 않는다. 경간장이 40~50m 정도로 길어지고, 교량의 길이가 긴 경우에는 PSC 합성거더교보다는 일반적으로 PSC 박스거더교가 더 효과적이다. 국내에서 쓰이는 일반적인 PSC 합성거더는 25m, 30m의 한국도로공사 표준단면 프리캐스트 거더를 사용한다.

일반적으로는 PSC 합성거더 형식의 교량은 프리캐스트의 PSC 거더를 가설장소에 운반하여 전단연결재 등으로 현장치기 바닥판과 합성시켜서 거더와 바닥판이 일체작용을 하도록 하는 방법이다. 보통 이 방법에서는 바닥판을 3경간 정도씩 연속화 처리하여 재료의 내구성(신축이음장치의 유지보수)과 승차감이 향상되도록 하고 있으나, 실제로 거더가 연속이 아니고 해석도 연속으로 하지 않으나 근사적으로 바닥판에 생기는 부모멘트의 영향에 대해서는 활하중 연속합성구조로 중간지점부를 설계하는 것이 바람직하다.

(1) 설계시 유의사항

① 일반적으로 PSC 합성거더는 직선이므로 곡선평면상에 설치할 경우는 지간중앙부 캔틸레버 길이의 확장으로 인하여 외측 거더에

과대한 하중이 재하될 우려가 있으므로 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.

② 캔틸레버의 길이(외측 거더 중앙에서 바닥판 끝단까지의 거리)는 거더간 거리의 $\frac{1}{2}$이하로 하는 것이 좋으며, 캔틸레버에 과대한 고정하중이나 특수하중이 재하될 경우에는 주거더의 충분한 검토가 필요하다.

③ 가능한 내·외측 거더의 응력이 비슷하게 될 수 있도록 단면계획의 충분한 검토가 필요하다.

④ 지점부에서는 바닥판을 연속처리 할 경우 일어나는 부모멘트의 영향을 고려하여 바닥판에 종방향 철근을 배근하여 균열을 최소화시킨다.

⑤ 받침 중심간 거리 및 좌표산정시와 받침 상면에 소울플레이트(Sole Plate)를 부착할 경우에는 반드시 교량의 종단구배를 고려하여야 한다.

(2) 단면의 가정

횡단면 및 종단면 등을 가정한다. 이때 주거더의 단면은 한국도로공사의 PSC거더 표준도나 기존의 설계자료 등을 참고로 하여 결정한다.

(3) 바닥판의 설계

① 캔틸레버판

우선 바닥판 및 포장에 대한 고정하중을 구하여 고정하중에 대한 단면력을 구한다. 그리고 팔길이와 충격계수를 구하여 활하중에 대한 단면력을 구하고 단부와 그 외의 부분에 대해 하중계수를 고려하여 극한모멘트를 산정한다. 이 극한모멘트를 이용하여 캔틸레버판의 단부 및 일반부에 대해 소요철근량을 산정하고 배근한다.

캔틸레버판에 방음벽이 설치되거나, 차량 충돌하중을 고려할 필요가 있을 경우에는 이들 하중을 포함한 설계하중에 대해 캔틸레버의 위험단면 및 지지부 단면도 검토하여야 한다.

② 연속판

고정하중 및 활하중에 대한 단면력을 구하여 극한모멘트를 산정하고 캔틸레버판과 마찬가지로 철근을 배근한다. 또한 배력철근도 고려해주어야 한다.

가. 바닥판의 지간 : 단순판 및 연속판, 캔틸레버판에 작용하는 트럭하중 및 고정하중에 대한 지간은 도·설 4.7.3 바닥판의 경간을 참고하여 결정한다.

나. 바닥판의 최소두께 : 바닥판의 최소두께 규준은 바닥판을 철근콘크리트와 프리스트레스 콘크리트로 구분하여 차도부분과 보도부분에 대해 도·설 4.7.4에 제시되어 있으므로 이를 따른다.

다. 바닥판의 설계휨모멘트 및 응력의 검사[도·설 4.7.5] : 윤하중의 접지면적을 고려한 정밀해석방법이 아닌 경우에 적용할 수 있는 간략식이 단순판 및 연속판과 캔틸레버판으로 구분되어 각각 도·설 4.7.5.1과 4.7.5.2에 주어져 있다. 또한 사변이 지지된 바닥판의 휨모멘트를 산정하기 위한 제반규준이 도·설 4.7.5.3에 제시되어 있고 등분포 고정하중에 의한 휨모멘트의 산정식은 도·설 4.7.5.4에 제시되어 있다. 주철근의 방향이 차량진행방향에 평행할 때에는 종방향으로 단부보가 있어야 하는데 이에 대한 규준은 도·설 4.7.5.5에 주어져 있다.

(가) 진입부 바닥판 : 이상에서 제시된 간략설계식들은 지지되지 않은 단부 바닥판의 효과를 포함하고 있지 않다. 따라서 교량의 진입부 또는 경간 내부 바닥판의 연속성이 단

절되는 곳의 바닥판은 격벽이나 다른 적절한 방법으로 지지를 시키는 것이 좋다. 이때 격벽은 트럭 윤하중에 의해 발생되는 휨모멘트와 전단력을 지지할 수 있을 정도로 설계되어야 한다[도·설 4.7.5.6].

(나) 배력철근의 배근 : 집중 활하중을 횡방향으로 분포시키기 위하여 바닥판에는 주철근 방향에 직각으로 배력철근을 배치해야 한다. 상세 내용은 도·설 4.7.5.7의 내용을 따른다.

(다) 프리스트레스에 의한 부정정 휨모멘트 : 연속바닥판에 프리스트레스를 도입하는 경우에는 프리스트레싱에 의해 생기는 부정정 휨모멘트를 고려해야 한다. 다만, 부정정 휨모멘트가 작게 일어나도록 PS강재를 배치하는 경우에는 이 부정정 휨모멘트를 무시할 수 있다[도·설 4.7.5.8].

(라) 바닥판의 응력검사 : 바닥판의 응력은 전술한 규정에 따라 계산된 설계휨모멘트를 이용하여 산정하며 설계휨모멘트의 방향과 강재의 배치방향이 다를 때에는 설계휨모멘트 방향에 대한 강재의 유효단면적을 사용하거나 또는 프리스트레스힘의 분력을 이용하여 설계를 수행하여야 한다[도·설 4.7.5.9].

(4) 주거더의 설계

① 단면제원

응력 및 강도의 계산에 사용되는 설계상수를 구하기 위한 단면의 제원을 구한다. PSC 합성거더교의 경우는 여러 가지의 하중단계를 가지므로 내측거더와 외측 거더에 대하여 유효폭을 산정하고 총단면, 순단면, PS강재의 환산단면, 바닥판을 합성한 환산단면에 대하여 단면의 특성치(단면적, 단면계수, 단면2차모멘트 및 도심등)를 구하여야 한다. 주거더는 내측 거더와 외측 거더로 분리하여 설계하게 된다. 이때 합성단면의 유효 플랜지폭은 도·설 4.2.2.6의 규준을 따른다.

② 단면력 산정

가. 고정하중에 의한 모멘트 및 전단력 : 계산된 하중값(주거더, 격벽, 바닥판, 포장 및 방호벽의 자중 등)을 이용하여 하중을 적절하게 모델링하고 각각의 계산할 절점에서의 모멘트 및 전단력을 산출한다.

(가) 주거더 : 주거더의 콘크리트 블록(헌치부분) 등을 고려한 주거더 전체의 자중을 고려한다.

(나) 바닥판 및 격벽 : 바닥판과 거더는 합성전 단계에 작용하는 고정하중으로서 바닥판의 중량, 바닥판 거푸집 중량, 격벽의 중량 등을 계산한다. 이 단계에서의 하중은 동바리 설치 및 거푸집 조립에 따라 다르게 고려하여야 한다.

(다) 포장 및 방호벽 : 바닥판과 거더의 합성후 단계에 해당하는 고정하중이며 외측 거더는 포장과 방호벽의 자중에 대해서, 내측 거더는 포장자중에 대해서 계산한다.

나. 활하중에 의한 모멘트 및 전단력 : 도·설 규정의 활하중을 가장 불리하게 재하시켜 계산할 각각의 절점에서의 단면력을 구한다.

다. 단면력의 집계 : 가장 불리하게 작용하는 휨응력 및 휨강도, 전단강도를 구하기 위하여 내측 거더 및 외측 거더에 대하여 거더 자중과 전술한 합성전의 고정하중, 합성후의 고정하중, 활하중의 4가지 단계별로 발생하는 전단력 및 모멘트를 지간 중앙부나 지점부 등 계산해야 할 각각의 절점에 대하여 정리한다.

③ 휨응력 산정 및 프리스트레스 계산(지간 중앙 설계단면)

단면에 가장 크게 발생하는 응력을 구하기 위하

여 거더의 자중, 합성전의 고정하중, 합성후의 고정하중, 활하중의 4가지 단계별로 가장 큰 모멘트가 발생하는 점의 모멘트를 구한다. 각각의 단계별로 구한 값을 단계별 단면계수로 나누어 콘크리트에 발생하는 가장 큰 휨응력을 구한다.

가. 소요 PS강연선 개수의 약산 : 유효계수를 가정하여 강연선의 인장력을 구하고 각 강연선의 유효 응력을 가정하여 인장력을 구한다. 이를 이용하여 구하려는 소요 강연선의 개수를 계산한다.

나. 프리스트레스 도입 직후의 응력 : 프리스트레스의 도입은 바닥판 슬래브를 타설하기 전에 이루어지므로 이 단계에서 고려되어야 할 하중은 거더의 자중과 초기손실만을 고려한 유효 프리스트레스 하중만을 고려하게 된다. 초기 손실만을 고려한 유효 프리스트레스를 구하기 위하여 우선 긴장할 초기 응력를 가정하고 PS강연선과 쉬스 사이의 마찰에 의한 손실, PS강연선의 활동에 의한 손실, 콘크리트의 탄성변형에 의한 손실을 계산한다. 이를 이용하여 콘크리트의 상연부와 하연부에서의 프리스트레스에 의한 응력을 구하고 주거더의 자중에 의한 콘크리트의 상하연부의 응력을 구하여 프리스트레스의 도입 직후의 응력을 구한다.

다. 설계하중 작용시의 응력 : 설계하중이 작용하는 단계는 합성단면일 경우이며 이때는 장기손실이 일어난 후의 유효 프리스트레스를 고려하여야 한다. 고려하여야 할 장기 손실은 콘크리트의 건조수축 및 크리프에 의한 손실, PS강연선의 릴랙세이션에 의한 손실 등이 있으며, 전술한 2.4.1 (4)항을 따라 계산하여 유효 프리스트레스를 구한다. 이를 바탕으로 나.항과 마찬가지 방법으로 설계하중 작용시 콘크리트의 상하연부의 응력을 구한다.

라. 설계하중 작용시의 휨응력의 합성 : 위에 구한 프리스트레스 도입 직후와 설계하중 작용시의 응력을 조합하여 주거더에 대하여 프리스트레스와 각 단계별의 하중의 조합이 허용응력의 범위 내에 있는지 검토한다. 또 바닥판 슬래브에 대해서도 허용응력의 범위 내에 있는지 검토한다. 이때 조건을 만족하지 못하면 다시 단면을 새롭게 가정하고 다시 설계한다.

④ PS강연선의 검토

PS강연선의 배치형상 및 응력에 대하여 다음과 같은 방법으로 검토한다.

가. 강연선의 배치 : PS강연선의 배치로부터 길이를 구하고 이로부터 각 강선별 강선배치 포물선 함수를 얻는다. 이를 이용하여 각 강선별 주거더 중심으로부터의 거리에 따른 거더 하단에서의 강선 높이를 산출하여 강선의 배치형상을 얻는다.

나. PS강연선의 인장력 : PS강연선은 긴장시의 응력과의 차이는 무시할 수 있으므로 초기 손실이 일어 난 후에 가장 큰 응력을 받는다고 볼 수 있다. 따라서 초기 손실인 PS강연선과 쉬스 사이의 마찰에 의한 영향, PS강연선의 활동에 의한 영향, 콘크리트의 탄성변형에 의한 영향을 강선의 긴장순서별로 계산하여 PS강연선의 인장력을 계산한다. 이때 이 값이 강선의 허용인장력보다 작은지 검토해야 한다.

다. PS강연선의 신장량 : 위에서 구한 결과들을 이용하여 PS강연선의 신장량을 구한다.

⑤ 극한강도에 대한 검토

가. 휨강도 검토 : 극한휨강도는 보통 휨모멘트가 가장 크게 발생하는 부분인 지간중앙단면에 대하여 검토하게 된다. 최대모멘트를

받은 단면은 최종 바닥판 환산단면이므로 이 때의 단면저항모멘트를 구하고 극한하중 작용시의 휨모멘트의 값과 비교하여 검토한다. 이때 파괴응력 f_{ps}의 산정은 설계기준 규정이나 변형률적합조건의 근사식을 이용하여 구한다. 이에 관한 자세한 사항은 도·설 4.6.3.5를 따른다.

나. 전단강도 검토 : 보통 전단력이 가장 크게 발생하는 지점부에서 전단강도를 검토하게 된다. 우선 휨균열 발생시와 전단균열 발생시에 콘크리트가 부담하는 전단강도를 구하여 그중 작은 값을 콘크리트가 견딜 수 있는 전단강도로 보고 극한전단력을 구하여 도·설 4.6.3.8에 따라 전단철근의 배치를 결정한다.

⑥ 수평전단설계

합성거더교에서의 주거더와 바닥판의 결합은 전단철근이 연결재의 역할을 하게된다. 우선은 전단철근의 극한전단력을 바탕으로 전단응력을 구한 뒤 허용치 이내에 있는지 검토한다.

⑦ 사인장 파괴 검토

PSC 거더는 휨 이외의 다른 원인에 의한 파괴에 대해서도 안전해야 한다. 그러한 파괴는 휨파괴보다 더 위험할지도 모르며, 또 갑작스럽게 예고 없이 일어날 지도 모른다. 사인장 파괴라고 불리는 휨전단 파괴가 그것이다. 또한 거더는 축방향으로 비틀림을 받는 수도 있다. 이 비틀림모멘트가 콘크리트에 사인장 응력을 증가시킨다.

⑧ 처짐

발생하는 모든 휨모멘트를 고려하여 처짐값을 구한다. 우선 프리스트레스에 의해 발생하는 모멘트를 계산하고, 내측 거더, 외측 거더에 대하여 고정하중에 의한 처짐(하향), 프리스트레스에 의한 처짐(상향), 활하중에 의한 처짐(하향)을 계산한다. 그 결과가 허용처짐값 이내에 드는지 검토한다.

⑨ 정착구역의 설계[도·설 4.6.3.9와 4.6.3.10]

가. 정착장치의 위치

(가) 정착장치의 위치는 각 설계단면에 소요 프리스트레스가 충분히 분포되어 도입될 수 있도록 택하여야 한다. 이때의 프리스트레스의 분포는 정착장치에서 33° 40′ ($\tan\beta = \frac{2}{3}$)의 방향으로 분포하는 것으로 가정한다.

(나) 부재의 중간부에 정착장치를 설치하는 경우는 원칙적으로 활하중에 의한 응력 변동이 작은 곳으로서 중립축에 가까운 위치로 하고 동시에 가능한 한 중간 격벽의 위치를 택하여야 한다.

(다) 정착장치는 거더의 복부에 두는 것을 원칙으로 하고, 부득이 상부플랜지, 하부플랜지 혹은 복부단면에 붙여서 정착하는 경우에는 정착장치 부근에 생기는 인장응력에 대해 충분히 보강한다. 그리고 포스트텐션 방식의 프리캐스트 거더 등으로서 PS강연선을 구부려 올려 상부플랜지 상단에 정착하는 경우 구부려 올린 강연선은 전길이의 $\frac{1}{2}$ 이하의 개수로 한다. 또한 거더 단부의 도심선과 프리스트레스의 합력이 될 수 있는 한 일치될 수 있도록 하기 위하여 거더 단부에 있어서의 정착장치는 그 도심선에 대해 균등하게 배치하는 것이 좋다.

나. 정착구역 보강

(가) PSC 부재에서 PS강재를 정착시키는 부분을 단블럭(end block)이라고 하며 프리스트레스는 이 단블럭을 통하여 부재단면에 도입된다. 단블럭의 길이는 집중적인 응력상태로부터 탄성이론으로 계산된 이론상의 응력 분포로 되는 단면까지의 거리를 말한다. 또한, 정착구역에서의 파열인장과 할렬인장에 대비하여 폐합스터럽을 촘촘히 상하부에 정착시킨다.

(나) 단부보강 스터럽에 의한 인장력 :

$T=M_{\max}/(h-x)$, 여기서 $M_{\max}$는 보강철근이 받아야 할 최대모멘트이고, x는 $h/2$내에 배치된 수직 스터럽의 도심으로부터 부재단까지의 거리이다.

(다) 필요한 보강철근의 양 : $A_t = T/f_{sa}$

(라) 포스트텐션보의 정착구역에서는 파열 및 할렬구역에서의 수직인장응력 외에 지압판에서의 축방향 압축력의 집중(지압응력)이 문제로 된다. 그래서 설계기준에서는 정착으로 인한 콘크리트의 지압응력이 다음의 값을 넘지 않도록 규정하고 있다[콘·설 9.3.1].

㉮ 긴장재 정착직후 :

$$f_b = 0.7 f_{ci}' \sqrt{\frac{A_{b'}}{A_b} - 0.2} \le 1.1 f_{ci}' \qquad (508.1)$$

㉯ 프리스트레스 손실후 :

$$f_b = 0.5 f_{ck} \sqrt{\frac{A_{b'}}{A_b}} \le 0.9 f_{ck} \qquad (508.2)$$

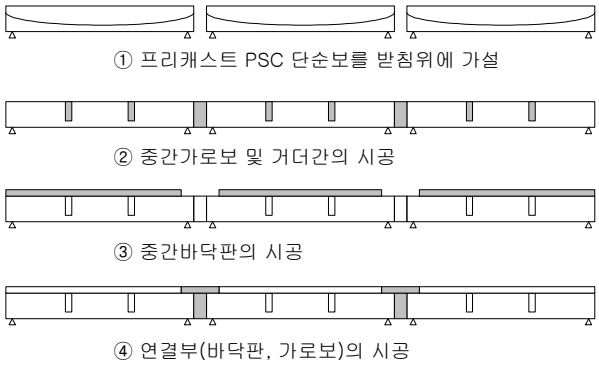
여기서, A_b는 정착판의 면적(cm^2)이고, $A_{b'}$는 정착판의 도심과 동일한 도심을 가지도록 부재단부에 정착판의 닮은꼴을 가장 크게 그렸을 때의 도형의 면적(cm^2)을 뜻한다.

(마) 지압판의 귀퉁이에서 바깥쪽으로 향하여 할렬균열이 발생하려는 경향이 있고, 또 정착구역에서 복부의 외측면으로 파열될 우려가 있기 때문에 정착판 바로 뒤에는 철근을 추가배치 할 필요가 있다.

(5) 단순보의 바닥판 연속처리

PSC 합성거더교를 연속교 형식으로 할 경우 교각위의 거더 접합구간을 현장타설 콘크리트로 연결하게 되며 일반적인 시공순서는 <그림 508.3>과 같다.

연속교 형식으로 할 경우 연결부의 지점은 2개의 받침으로 지지하는 형식을 원칙으로 한다.



<그림 508.3> PSC 합성거더교 시공순서

지점상의 연속처리부를 검토할 때는 주형 연결후에 작용하는 하중에 의한 단면력을 사용하며, 고정하중 작용시는 원칙적으로 정(+)의 휨모멘트가 작용하지 않는 상태로 하는 것이 바람직하다. 그리고 단순교로 제작설치된 PSC 거더가 연속화된 구조시스템으로 해석된 경우, 주형 연결전에는 단순보로서, 연결후에는 탄성받침을 갖는 연속보로서 구한 단면력으로 산정할 수 있다. 단, 정(+)의 휨모멘트는 연속보로서 구한 수치를 10% 증가시키는 것으로 한다. 그리고 주형 연결후에 생기는 크리프 및 건조수축에 의한 2차응력은 단면에 불리하게 작용할 때만 고려한다.

연결부의 단면산정시 부(-)의 휨모멘트에 대한 설계단면은 연결부 단면으로 하고 단면형태는 <그림 508.4>와 같이 PSC 거더의 단면형상을 웨브로 하고 도·설 4.2.2.6에 규정된 유효폭을 압축플랜지의 유효폭으로 한다. 정(+)의 휨모멘트에 대한 단면은 부(-)의 휨모멘트를 받는 경우와 같도록 하고 프리스트레스 및 격벽의 영향을 무시하고 철근콘크리트 단면으로 계산한다.

<그림 508.4> 연결부 설계단면

그러나 현재 국내에서 설계되고 있는 이러한 연속처리방법은 시간이 경과함에 따라 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 모멘트 재분배를 고려치 않기 때문에 결국 부모멘트 구간의 바닥판에 균열을 발생시켜왔다. 따라서 단순보에 가까운 거동을 하게 되어 정모멘트 구간에 큰 모멘트가 발생하고 처짐, 진동이 증가하므로 열화손상의 한 원인이 되어왔다. 그러므로 합리적인 연속화 방안이 지속적으로 강구되어야 할 것이다.

2.4.3 PSC 슬래브교

슬래브교는 상대되는 2변이 자유스런 직사각형 판을 주구조로 하는 교량이며, 종방향의 구조형식에 따라서 단순 슬래브교, 연속 슬래브교로 분리한다.

슬래브교는 횡단면의 형상에 따라서 RC 슬래브교와 같이 속이 찬 PSC 슬래브교와 속이 빈 PSC 중공슬래브교로 구분하며 속 빈 PSC 슬래브교는 속 찬 PSC 슬래브교보다 자중이 25%정도 가벼우므로 지간을 늘릴 수 있는 장점이 있다. 그러나 최근 속 빈 슬래브는 시공성이 나쁘고 균열발생 가능성이 높아 사용성에 문제가 되고 있는 실정이다. 또한 콘크리트 타설시 중공관이 움직이지 않도록 고정시설을 할 필요가 있고, 전단에 대한 검토에 유의해야 한다.

(1) 설계시 유의사항

PSC 슬래브교의 설계시에는 사각이 없도록 교량연장을 길게 함이 좋으나 불가피하게 사각이 요구될 경우 가급적 영향이 적은 70° 이상으로 계획함이 구조적으로 유리하다. 또 캔틸레버 부분을 길게 하면 다소의 경제성을 높일 수 있으나, 캔틸레버의 영향을 감안한 구조계산시에는 주판의 가장자리가 불리해지므로 이에 대한 구조해석이 필요하고 교좌장치의 배치에 신중하여야 한다. 신축이음장치와 교좌장치는 가능한 한 배제하는 것이 유리하며, 단일 경간 슬래브구조로 하는 경우에는 라멘교로 하는 것이 여러 가지로 편리하며 연속 슬래브구조로 하는 경우에는 지점부에 헌치를 두거나 이에 상응하는 철근보강이 필요하나 일반적으로는 적절한 헌치를 두는 것이 구조적으로 유리하다.

PSC 슬래브교의 경우 RC 슬래브교와 설계과정이 거의 비슷하므로 설계과정은 대부분 간략히 설명하였으나 PS강재의 배치에 관련된 부분에 대해서는 상세히 설명하였다.

(2) 단면의 가정

횡단면 및 종단면에 대해 기존의 설계자료를 참고로 하여 가정한다.

(3) 단면력 산정

① 구조해석

슬래브교의 해석은 판이론에 따라 수행하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 연속 슬래브교, 라멘 슬래브교 등과 같이 지지조건이 복잡한 경우 혹은 곡선교, 사교와 같은 경우에는 격자이론과 유한요소법 등에 의해 해석하여도 좋으나, 간단한 유한대판법으로는 구조해석을 하지 말아야 한다.

② 모델링

가. 판이론 해석 : 도·설 4.8.3의 규정을 따라 해석하거나, 실무에서는 유한요소법을 이용하여 모델링한다. 슬래브의 해석은 판이론을 통하여 하는 것이 사각에 의한 지점부, 캔틸레버부 등의 정확한 결과를 얻을 수 있다.

나. 뼈대구조해석 : 이 방법은 슬래브교를 횡방향 단위폭으로 모델링 하여 종방향 단면력을 계산하므로 해석이 간단하다. 하지만 사각이 있는 경우에 예각부와 둔각부의 지점반력 차이나 캔틸레버부가 있는 해석, 그리고 지점의 위치에 따른 영향 등의 해석이 곤란하다. 슬래브교의 사각, 캔틸레버에 의한 영향은 Nielsen-Vogt도표나 Olsen도표에 의해 고려하거나 프리스트레스 영향평가를 위한 해석을 위하여 유한대판법 모델 등을 사용할 수 있다. 그리고 횡방향 단면부재에 대한 검토도 필요하다.

③ 횡방향 단면부재 검토(뼈대구조 해석)

연속슬래브 지점의 설계를 하는 경우에는 연속슬래브의 지점을 포함하여 모멘트가 '0'인 점 사이의 거리를 지간으로 하고, 받침 반력을 집중하중으로 하는 가상 단순받침 슬래브로 구조해석을 해도 된다.

(4) PS강재의 배치

① 일반사항

가. 포스트텐션 방식의 PSC 슬래브에서 PS강재 배치는 주로 포물선 형상을 사용하며 단순지지보에서의 PS강재 배치는 지간 중앙부에 최대의 효과를 가져올 수 있도록 하나의 포물선 곡선으로 배치한다.

나. PS강재의 최소반지름 규정은 쉬스를 사용할 때 쉬스 지름의 100배를 사용하고 긴장재 쉬스관의 곡률반경은 6m 이상으로 하되 부득이한 경우 3m 이상을 사용하며 이때는 콘크리트 내에 구속철근을 배치하여야 한다.

다. 일반적으로 PS강재 배치형상을 단순보와 연속보로 구분하여 예시하면 다음과 같다.

(a) 단순보의 PS강재 배치

(b) 3연속 경간에서의 PS강재 배치

<그림 508.5> PS강재 배치

② PS강재 배치선형도

PS강재 배치선형도는 일반적으로 단곡선, 포물선형, 혼합형이 있으며 가장 많이 사용되는 경우는 포물선형이다. 포물선형의 PS강재 배치선형을 예시하면 <그림 508.6>과 같다.

PS강재의 배치에 관련된 설계기준의 규정은 도·설 4.8.4 (4)항에 제시되어 있으므로 참조한다.

(5) 프리스트레스 계산

① 긴장력 산정

긴장시 응력은 설계기준의 최대응력 이하로 구하고 가정된 PS강재량으로 긴장력을 산정한다.

② 프리스트레스의 손실량 계산[도·설 4.6.3.4]

가. 프리스트레스 도입 직후의 손실량 : 마찰손실량, 콘크리트의 탄성수축에 의한 손실량, 정착장치의 활동에 의한 손실량 등을 설계기준의 규정에 따라 정한다.

(a) 포물선 부분의 선형

(b) 기울기를 갖는 포물선

<그림 508.6> PS강재 배치선형도

나. 장기손실량 : 크리프에 의한 손실량, 건조수축에 의한 손실량, 릴랙세이션에 의한 손실량을 규정에 의거하여 결정한다.

③ 최종 프리스트레스 힘 결정

설계하중에서의 손실량의 합계를 고려하여 최종적인 프리스트레스 힘을 결정한다.

(6) 프리스트레스에 의한 2차모멘트(secondary moment) 계산

① 편심거리의 계산

단면계수, 프리스트레스 힘 및 편심거리의 식들은 최대모멘트 단면에 대한 것들이다. 지간에 따라 휨모멘트가 작아지는 곳에서는 비재하단계 때 콘크리트의 응력이 허용응력을 넘지 않게 하기 위하여 긴장재의 편심거리는 최대모멘트 단면에서의 편심보다 작게 해야한다. 또한 설계하중 하에서 콘크리트 응력이 허용응력을 넘지 않도록 하기 위하여 요구되는 최소 편심거리 또는 PS강재 도심의 상한이 있어야 한다. 즉 PS강재의 편심거리는 상한과 하한이 있다.

이러한 범위를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$e_p \le \frac{Z_1}{A_c} + \frac{M_{d1} - Z_1 f_{ti}}{P_i} \qquad (508.3)$$

$$e_p \le -\frac{Z_2}{A_c} + \frac{M_{d1} - Z_2 f_{ci}}{P_i} \qquad (508.4)$$

$$e_p \le \frac{Z_1}{A_c} + \frac{M_t - Z_1 f_{cs}}{RP_i} \qquad (508.5)$$

$$e_p \le -\frac{Z_2}{A_c} + \frac{M_t - Z_2 f_{ts}}{RP_i} \qquad (508.6)$$

여기서, $M_t = M_{d1} + M_{d2} + M_l$, $RP_i = P_e$

Z_1, Z_2 : 각각 상·하면에서의 단면계수

f_{ci}, f_{ti} : 각각 프리스트레스 도입 직후의 허용휨압축응력과 허용휨인장응력

f_{cs}, f_{ts} : 각각 프리스트레스의 모든 감소 후 설계하중하에서의 허용휨압축응력과 허용휨인장응력

A_c, R : 콘크리트 단면적과 유효율

M_{d1}, M_{d2} : 각각 보의 자중과 추가 고정하중에 의한 휨모멘트

M_l : 활하중에 의한 휨모멘트

P_i, P_e : 각각 초기 및 유효 프리스트레스 힘

앞의 식 (508.3), (508.4)는 프리스트레스 도입 직후의 허용응력의 조건으로부터 얻은 식이고, 식 (508.5), (508.6)은 프리스트레스의 모든 손실 후 설계하중이 작용할 때의 허용응력의 조건으로부터 구한 것이다.

식 (508.3) 및 (508.4)는 편심거리의 하한을 나타내며, 식 (508.5) 및 (508.6)은 상한을 나타낸다. 만

약 단면치수 및 긴장재의 인장력이 부재의 전 길이에 걸쳐서 일정하다면 식 (508.3)과 (508.4), 식 (508.5)와 (508.6)의 곡선은 각각 서로 평행하게 되며 편심거리는 안쪽의 두 곡선으로 결정된다. 일반적으로 식 (508.4)와 식 (508.6)에 의하여 편심거리의 범위가 정해진다. 이러한 관계를 나타낸 것이 <그림 508.7>이다. 즉, 그림의 제한범위 내에 긴장재의 도심이 있어야만 콘크리트 응력이 허용응력 이하로 되는 것이다. 따라서 일부 긴장재가 이 범위밖에 위치하더라도 긴장재 전체의 도심은 반드시 이 범위 내에 있어야 하는 것이다. 단면치수, 특히 단면 높이가 너무 크거나 프리스트레스 힘이 과다하면 그 제한범위가 너무 넓어지고, 반대로 단면 높이가 너무 작거나 프리스트레스 힘이 너무 작으면 긴장재 배치범위가 단면 밖으로 나가거나 너무 좁게 된다. 이러한 경우에는 단면을 수정하거나 프리스트레스 힘을 수정하여 다시 계산해야 한다.

② 위치별 유효 프리스트레스의 계산

절점별로 프리스트레스는 선형변화한다고 가정하여 유효프리스트레스를 구한다.

③ 단부 모멘트 계산

편심거리와 유효프리스트레스를 이용하여 단부모멘트를 계산한다.

④ 프리스트레스 도입에 의한 2차모멘트 계산

경간별로 구한 값을 이용하여 프리스트레스에 의한 2차모멘트를 구한다.

<그림 508.7> 긴장재 도심의 범위

(7) 응력 검토

설계하중 및 프리스트레스에 의한 콘크리트의 응력을 프리스트레스 도입직후와 모든 프리스트레스 손실이 완료된 설계하중 작용시로 나누어 계산하여 경간의 중앙부, 지점부 및 변곡점부에 대한 합계 단면응력을 검토한다.

(8) 극한강도 검토

각 경간의 중앙점 및 지점부에 대해 극한하중, 응력, 사용 강재지수, 저항모멘트 등을 계산한다.

(9) 균열하중 검토

각 경간의 중앙점 및 지점부에 대해 설계기준의 규정에 의한 균열하중을 검토한다.

(10) 정착구 배면 검토

① 정착구의 형식 및 용도

정착장치의 결정은 프리스트레스가 결정이 된 후에 이루어진다. 일반적인 정착구의 형식 및 용도를 요약하면 다음과 같다.

가. 인장 정착구 : 프리스트레스 도입위치에 설치하는 정착구(콘크리트 타설, 양생 후 PS강재를 삽입하는 경우 고정정착구의 설치시에도 사용)

나. 고정 정착구 : 프리스트레스를 도입하지 않는 위치에 설치하는 정착구(콘크리트 타설 전 PS강재를 설치하는 경우)

다. 연결 정착구 : 인장 정착구와 고정 정착구를 겸용한 정착구(콘크리트 타설, 양생 후 PS강재를 삽입하여 1단계 인장을 한 다음 PS강재를 교체하여 고정 정착구를 설치하는 경우 사용)

② 배치방법

PS강재의 배치는 도·설 4.8.4의 (4)항의 규정에 따라 실시한다.

③ 정착장치의 위치 및 정착구 보강

PSC 합성거더교의 내용을 참고한다.

④ 정착구 배면의 콘크리트 지압응력

가. 허용지압응력의 검토 : 프리스트레스 도입 직후, 설계하중 작용시의 허용지압응력을 검토한다.

나. 콘크리트의 지압응력 계산 : 프리스트레스 도입 직후와 설계하중 작용시의 콘크리트의 지압응력을 계산한다.

다. 정착구 배면의 보강 검토 : 정착구의 횡단면 및 교축 직각방향에 대하여 단면력을 계산하고 이에 대해 보강할 철근량을 계산하여 철근을 배근한다.

(11) 인장철근량 검토

휨인장응력에 의한 소요 철근량 및 건조수축, 온도차에 의한 최소 철근량을 계산하여 인장철근량을 계산한다. 또 바닥판에 대하여 종방향 철근량을 계산하여 검토한다.

(12) 제작 솟음량 계산

구조해석 결과를 이용하여 고정하중에 의한 처짐량 및 프리스트레스에 의한 솟음량을 계산하여 두 결과를 합해 실제 제작 솟음량을 계산한다.

(13) 활하중에 의한 처짐 검토

외측경간 및 중앙경간에서의 최대처짐량을 구하여 설계기준의 규정에 만족하는지를 검토한다.

2.4.4 MSS공법에 의한 PSC 박스거더교

(1) 개설

① 개요

이동식 비계공법(MSS ; Movable Scaffolding System)은 교량상부구조를 시공할 때 거푸집이 부착된 특수한 이동식 비계를 이용하여 한 경간씩 시공해 나가는 공법이다. 이 공법은 동바리공법(FSM ; Full Staging Method)과 유사하므로 기계화된 타 공법에 비해 구조계산이 비교적 단순하고 텐던배치도 복잡하지 않지만, 상부슬래브와 복부, 하부슬래브를 분할 타설하여 각각 프리스트레스를 도입하는 경우에는 구조계산 및 텐던배치 등의 시공이 복잡해지기도 한다. 그러나 대형장비를 사용하므로 상부구조와 교각설계시 장비중량을 반드시 고려해야 하며, 시공단계별 구조해석을 실시해야 한다. 또한 교량구조물 뿐만 아니라 이동식 비계 자체도 시공단계별 구조해석을 실시하여 시공중 안전성 및 안정성을 확보해야 한다.

② 이동식 비계공법 계획시 유의사항

이동식 비계공법은 기본적으로 동바리 시공을 전제로 한 계획과 차이가 없지만 다음 항목을 고려할 필요가 있다.

가. 단면형상에는 중공슬래브교, T형 거더교, 박스거더교 등 특별한 제약이 없지만, 기계화 시공의 효율성을 높이고 급속 시공을 꾀하기 위해서는 동일단면이 연속해 있을 필요가 있다. 이동식 비계공법은 대형 기계장비를 사용하므로, 동바리 공법 등 지상식 비계 시공과 비교할 경우 초기 투자비가 막대하기 때문에 교장이 길어야 경제성이 있다. 외국의 실적으로 볼 때 일반적으로 동바리 공법으로 시공이 가능한 평이한 조건에서 15경간 정도 이상의 경간수가 하부이동식 비계를 선정하는 경계선으로 파악되고 있다.

나. 적용 경간, 적용 교폭은 비계보의 강성, 주유압잭 등 가설장비의 능력에 의해 결정되지만, 일반적으로 하부이동식 비계로 시공되는 교량의 경간길이는 30~60m 범위이고, 60m 이상인 교량의 경우에는 이동식 비계의 장비제작비가 증가하므로 비 경제적이 될 수도 있지만, 현장사정상 채택하는 경우에는 중간에 가지주(假支柱) 등을 설치하고 사용한다. 이동식 비계를 사용하여 시공하는 교량의 교폭은 20m 이하의 범위로 적당한데, 이는 교폭이 지나치게 커지면 교량 상부구조 자중이 커지고, 이동식 비계의 제작비가 증가하기 때문이다.

다. 이동식 비계공법은 시공속도, 교하교통에 대한 안전성 등의 측면에서 볼 때 우수하므로 이러한 점도 계획시 충분히 고려되어야 한다.

(2) 하중

① 개요

이 절에서는 이동식 비계공법 교량설계시 특별히 고려해야 할 하중에 대해 기술하였다. 여기서 기술되지 않은 하중은 본 편람의 505.3 또는 도·설 2.1을 참조하면 된다.

② 하중조건

이동식 비계에 의해서 가설되는 연속교의 단면력 계산시 고려할 하중은 다음과 같다.

가. 콘크리트 상부 자중에 의한 등분포하중(W_d)

나. 이동식 비계자중에 의한 후방지지점 반력(P_g)

다. 타설된 콘크리트 자중에 의한 후방지지점 반력(P_c)

이동식 비계로 연속교를 시공할 때 비계보의 전방은 교각브래킷으로 지지되고, 후방은 시공이음부(보통, 교각에서 경간길이/5 만큼 내민부분)에서 약 0.5~1.0m 정도 안쪽으로 들어온 위치에서 현수재 등으로 지지된다.

첫 번째 경간에 콘크리트를 타설할 때 하중상태는 <그림 508.8>의 (a)와 같다. 첫 번째 경간의 프리스트레스 도입 후, 이동식 비계를 이동시켜 다음 경간의 타설을 준비할 때는 <그림 508.8>의 (b)처럼 P_g가 후방지지점 위치에 작용해 단면력이 증가된다.

두 번째 경간에 콘크리트를 타설할 때 이동식 비계의 후방지지점에는 <그림 508.8>의 (c)와 같이 P_c가 이 위치에 부가되어 작용하고 이것에 의해 단면력이 증가된다.

이동식 비계를 이용하면 <그림 508.8>의 (d)와 같이 그 때까지 후방지지점에 작용하고 있던 하중은 제거되고, 새로이 타설된 콘크리트 자중이 2경간 연속교에 작용한다.

세 번째 경간을 타설하기 위해 이동식 비계를 이동시키면, P_g는 후방지지점에 위치하고, <그림 508.8>의 (e)와 같은 하중상태가 된다. 이와 같은 하중상태를 계속 반복하면서 연속교를 시공한다.

③ 크리프 및 건조수축

크리프 및 건조수축에 대한 사항은 이동식 비계공법의 공정을 참조해서 시간의 영향을 고려한다.

(3) 종방향 구조해석

① 개요

이동식 비계에 의해 연속교를 1경간씩 분할해서 시공하는 것은 통상 한번에 비계보 위에서 연속교를 시공하는 동바리 시공과 다음과 같은 점이 서로 다르다.

가. 시공단계마다 콘크리트 상부하중과 이동식 비계 자중이 작용하는 구조계가 다르기 때문에 탄성휨모멘트 자체가 동바리 시공과 다르다.

나. 탄성이론으로 구한 휨모멘트 이외에 콘크리

(a) 1경간 타설시 하중상태

(b) 2경간 타설 준비시 하중상태

(c) 2경간 타시 하중상태

(d) 3경간으로 이동시 하중상태

(e) 3경간 타설 준비시 하중상태

<그림 508.8> 연속교 시공단계에서의 하중상태

트 크리프 현상에 의해 부정정휨모멘트가 발생한다. 더욱이 이 경우에 각 경간마다 콘크리트의 재령이 다르기 때문에 크리프 현상도 달라 전체 경간 시공 후에도 부정정모멘트는 변화하게 된다. 따라서, 이동식 비계에 의해서 분할 시공되는 연속교의 휨모멘트는 이상의 두 가지 사항에 유의하여 계산되어야 한다.

② 휨모멘트 계산

이동식 비계로 연속교를 시공할 때 전술한 것처

럼 구조계가 변화되므로, 도·설 4.2.2.3에 명시된 바와 같이 콘크리트 재령차에 의한 크리프, 건조수축 등의 영향을 고려하여 휨모멘트를 계산해야 한다. 이때 고려할 지속하중은 교량 상부구조의 자중, 프리스트레스 힘, 건조수축의 영향 등으로 한다.

크리프에 의한 부정정력은 엄밀하게는 구조계가 변화할 때의 콘크리트 재령으로부터 구조계 각 부의 크리프계수를 구하여, 지속하중에 의한 단면력을 고려해서 산출된다. 따라서, 위와 같은 엄밀계산은 구조계가 변화하는 횟수가 많아짐에 따라 복잡하게 되며, 컴퓨터 구조해석을 실시하는 경우가 많다. 한편, 크리프에 의한 부정정력을 근사적으로 계산하는 한 방법으로 다음 식으로 반력의 변화량을 계산하여 부정정력을 산출할 수도 있다.

$$\Delta R_{\phi} = (R_o - R_l)(1 - e^{-\phi}) \qquad (508.7)$$

여기서, R_{ϕ} : 크리프에 의해서 발생하는 반력의 변화량(kgf)

R_o : 최종구조계를 동바리로 한번에 시공한다고 가정할 경우의 고정하중 및 프리스트레스에 의한 반력(kgf)

R_l : 최종구조계가 완성되기 전의 구조에 있어서 고정하중 및 프리스트레스에 의한 반력(kgf)

ϕ : 최종구조계가 완성된 후의 각 부재에 있어서 크리프계수의 평균값

(4) PS강재 배치

이동식 비계공법을 사용하는 교량의 상부구조에 대한 PS강재 배치방법은 한 경간씩 현장타설하는 동바리 공법의 경우와 유사하다. PS강재를 배치하는 두 가지 유형과 각 유형별 특성은 다음과 같다.

① 유형 1 : 텐던 일부만 시공이음부에서 정착시키고 나머지는 연속으로 배치하는 방법

<그림 508.9>에서 볼 수 있는 바와 같이 텐던의 일부는 시공이음부에서 정착시키고 연결구로 연결접속시키며, 일부는 연속 배치하는 방법이다.

이 방법은 시공이음부에서 정착력이 작은 장점이 있다. 중간지점부 근처에서의 복부두께는 약간 증가시켜야 하지만 2열 정착하는 경우보다는 복부두께를 감소시킬 수 있다. 비계를 제거할 때 텐던 일부에 긴장력이 도입되어 있지 않은 상태이므로 시공단계에서의 극한강도, 균열, 변형 등에 대한 안전도를 검사해야만 한다.

② 유형 2 : 지점부위에서 텐던을 엇갈리게 중복배치하는 방법

<그림 508.10>에서 볼 수 있는 바와 같이 중간지점부에서 엇갈리게 배치하는 방법으로서 다음의 두 가지 정착구역 배치법이 있다.

가. 방법 1 : 인장정착구(live anchor)를 시공이음 표면에 두고 다음 경간 프리스트레스를 위한 고정정착구(dead anchor)를 시공이음부 뒤쪽 복부속에 배치한다. 이 방법으로 하면 복부두께 증가를 대부분 피할 수 있다. 다음 경간을 위한 모든 텐던이 기 시공된 경간 지점부에 묻혀져야만 한다. 여기서, 도·설 4.15.6.4 (2)의 규정에 의해 동일 단면위치에 종방향 포스트텐션닝 긴장재의 50% 이상의 이음부가 있어서는 안되나 단지 개념적인 설명을 위해 이 규정과 다르게 <그림 508.9>가 제시되어 있음을 주지하기 바란다.

나. 방법 2 : 지점을 중심으로 시공이음부와 반대쪽에 돌출부(build-out)를 만들어서 덕트를 묻은 뒤 시공하는 방법이다. PS강재는 필요한 시기에 언제든지 밀어 넣거나 빼는 방법으로 배치할 수 있다. 정착구는 시공후에

<그림 508.9> 유형 1의 텐던 배치방법

<그림 508.10> 유형 2의 텐던 배치방법

<그림 508.11> 유형 3의 텐던 배치방법

도 접근가능하므로 그라우팅 하기 전에 2차 프리스트레스를 실시할 수도 있다.

전술한 두 가지 방법에 있어서 모든 텐던은 비계를 제거하기 전에 긴장된다. 연결구는 필요없으며 엇갈리게 중복 배치되는 길이가 충분할 경우에는 지점근처의 프리스트레스 힘은 두배가 된다. 특히, "방법 2"를 사용하면 프리스트레스 단계를 자유로이 조절할 수 있으므로 크리프와 건조수축에 의한 프리스트레스 손실을 상당히 감소시킬 수 있다. "방법 1"의 주된 단점은 아직 시작되지 않은 경간을 위한 텐던이 기시공 경간에 일체로 묻혀져야만 한다는 것이다. "방법 2"의 경우는 복부의 돌출부를 사용하여 엇갈리게 중복 배치하는 텐던부위의 상세가 상당히 복잡해질 수도 있다.

그러나 이동식 비계공법의 특징인 기계화 시공측면에서는 시공이음부에만 정착구를 설치하는 유형 1 보다 시공성이 떨어진다.

③ 유형 3 : 혼합 배치 방법

전술한 세 가지 유형을 자유로이 조합하면 <그림 508.11>과 같이 혼합된 방식의 텐던 배치를 할 수도 있다. 텐던 배치를 단순하면서도 효율적으로 배치하면 마찰손실을 충분히 감소시킬 수 있으나 내부 거푸집 형태를 일률적으로 하는 것에 대해 충분히 고려해야만 한다.

(5) 교각 설계

이동식 비계공법으로 교량을 건설하는 경우에는 이동식 비계 특성을 고려하여 교각을 설계하여야 한다. 이동식 비계 특성을 고려한 교각유형은 <그림 508.12>에 있는 바와 같이 6가지로 대별될 수 있다.

(a)는 일반적으로 많이 사용하는 방법으로서 120cm×40cm(비계유형에 따라 다름)의 요철부를 교각 설계시 고려해야 하며 요철부에 작용하는 연

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

<그림 508.12> 교각 브래킷 지지유형

직력에 대한 응력검토를 실시해야 한다. (b)는 교각에 미리 홈을 내어서 H형강을 걸쳐서 이동식 비계를 지지하는 방식으로서 교각 설계시 수직력에 대한 응력검토를 실시해야 한다. (c)와 (d)는 교각에 현수재나 강재를 사용하여 걸치는 방법으로서 교각에 구멍을 낼 필요가 없으며 연직력에 대한 응력검토를 실시하면 된다.

(a)~(d)는 교각이 높거나 하부 지반조건이 좋

지 않을 때 사용하는 방법이며, (a), (c), (d)는 브래킷이 구동식일 경우에 일반적으로 사용되고 있으며 (b)는 비구동식 브래킷일 때 사용하는 방식이다. 하부조건이 양호하고 교각 높이가 비교적 낮을 경우는 (e)처럼 지반에 직접 형강이나 트러스재로 지지해서 브래킷의 지점으로 설정할 수도 있다.

(6) 처짐(캠버) 곡선

이동식 비계로 연속교를 분할 시공하는 경우에는 시공단계별로 처짐관리가 이루어져야 한다. 프리스트레스 및 크리프에 의한 처짐값은 각 시공단계마다 계산해야 한다. 일반적으로 고려해야 하는 처짐은 다음과 같다.

① 이동식 비계의 자중에 의한 비계보의 처짐
② 교량 상부구조의 자중에 의한 비계보의 처짐
③ 후방 지지현수재 지점반력에 의한 비계보 및 교량 상부구조의 처짐
④ 분할 시공시 교량 상부구조의 자중에 의한 교량 상부구조의 처짐
⑤ 프리스트레스 및 크리프에 의한 교량 상부구조의 처짐

따라서, 이동식 비계공법을 적용하는 교량일 경우에는 매 시공단계마다 전술한 처짐값을 모두 고려한 처짐도를 작성하고, 이에 상응하는 캠버도를 작성하여 이동식 비계의 외부거푸집을 이 캠버도에 맞춰 유압잭 등으로 설치할 수 있어야 한다.

(7) 구조계산서 검토 및 설계도 기재사항

① 구조계산서 검토 및 기재사항

이동식 비계공법 적용 교량의 구조계산서에는 다음과 같은 사항들이 기재되고 검토되어야 한다.

가. 설계기준

(가) 설계조건 : 구조형식, 교량등급, 시공방법, 경간분할, 교폭

(나) 사용설계기준 및 사용프로그램

(다) 사용재료

㉮ 콘크리트 : 설계기준강도, 프리스트레스 도입 강도, 단위중량, 탄성계수, 선팽창계수, 크리프계수, 건조수축계수, 허용압축·인장응력(프리스트레스 도입 직후, 사용하중 작용시)

㉯ 철근 : 철근의 종류(SD), 항복응력, 허용응력

㉰ PS강선 및 강봉 : 종류, 지름, 단면적, 탄성계수, 극한응력, 항복응력, 허용인장응력(긴장시, 정착직후), 정착장치 활동량, 마찰손실(곡률마찰계수, 파상마찰계수), 크리프·건조수축에 의한 손실, 릴랙세이션율

(라) 단면제원 : 종단면형태 및 시공이음 위치, 횡단면 형태 및 치수

나. 설계하중

(가) 하중항목

㉮ 고정하중 : 철근콘크리트, 포장, 강재

㉯ 추가 고정하중 : 난간, 연석

㉰ 활하중 : 차량하중(DB, DL), 보도하중, 충격계수

㉱ 작업하중

㉲ 가설장비하중 : 이동식 비계, 작업크레인(필요시) 등

㉳ 지점침하

㉴ 종방향 온도변화

㉵ 상부슬래브와 복부 및 하부슬래브의 온도차에 의한 영향

㉶ 풍하중 : 가설시 풍하중, 완성후 풍하중

㉷ 지진하중

㉸ 받침의 마찰력

㈑ 선박충돌하중(필요시)
㈒ 콘크리트 타설오차
㈓ 기타하중
(나) 종방향 설계하중 항목
㉮ 시공시 설계하중 : 주형 자중(자중오차 포함), 추가 고정하중(포장, 난간 등), 작업하중, 이동식 비계하중 등
㉯ 완성후 설계하중 : 활하중, 지점침하, 온도변화, 풍하중, 지진하중 등
(다) 횡방향 설계하중 항목 : 주형 자중, 추가 고정하중(포장, 난간), 활하중 등
(라) 이동식 비계 설계하중 : 주형 자중, 거푸집 자중 등
(마) 하중조합
㉮ 설계하중조합
㉯ 극한하중조합
다. 종방향 해석 및 설계
(가) 시공단계설정 : 시공단계, 시공하중, 시공시간 등
(나) 해석모델링
(다) 지점경계조건
(라) 단면상수 산출근거 : 단면적, 단면2차모멘트, 비틈단면2차모멘트 등
(마) 작용하중 산출근거 : 각 하중항목에 대한 산출근거
(바) 해석모델링
(사) 하중재하 방법 : 활하중의 재하방법
(아) 설계단면력 산출근거 : 하중조합 및 단면력 크기
(자) 철근 및 강재 배치
(차) 시공시 및 시공완료후의 응력검토 : 설계단면력에 대한 응력검토 및 도식화
(카) 극한하중 작용시 안전도 검사
(타) 시공시 및 작용시 안전도 검사
라. 횡방향 해석 및 설계
(가) 해석모델링
(나) 지점경계조건 및 지점의 강성결정 방법
(다) 단면상수 산출근거 : 단면적, 단면2차모멘트, 비틈단면2차모멘트 등
(라) 작용하중 산출근거 : 각 하중항목에 대한 산출근거
(마) 하중재하 방법 : 활하중의 재하방법
(바) 설계단면력 산출
(사) 위험단면의 응력검토
(아) 극한하중 작용시 안전도 검사
(자) 강재 및 철근 배치
마. 이동식비계 브래킷 지지부 응력 검사
바. 정착구 설계
(가) 정착구 해석방법 또는 해석모델
(나) 설계하중
(다) 정착구 응력검토
(라) 철근배근
사. 받침 및 신축이음장치 설계
(가) 지점반력
(나) 최대횡력
(다) 이동량 등
아. 처짐관리용 곡선 작성
(가) 시공단계별 처짐도
(나) 시공단계별 캠버도
(다) 시공단계별 거푸집 설치곡선(현장타설공법)

② 설계도 기재사항

이동식 비계공법 적용 교량의 설계도에는 다음과 같은 사항들이 기재되어야 한다.

가. 설계 일반사항 : 노선명 및 가교위치, 교량명, 책임기술자, 설계년월일
나. 설계 기준
(가) 사용재료
㉮ 콘크리트 : 설계기준강도, 프리스트레스 도입 강도, 단위중량, 탄성계수, 선

팽창계수, 크리프계수, 건조수축계수, 허용압축·인장응력(프리스트레스 도입직후,사용하중작용시)

㉯ 철근 : 철근의 종류(SD), 항복응력, 허용응력

㉰ PS강선 및 강봉 : 종류, 지름, 단면적, 탄성계수, 극한응력, 항복응력, 허용인장응력(긴장시, 정착직후), 정착장치 활동량, 마찰손실(곡률마찰계수, 파상마찰계수), 크리프·건조수축에 의한 손실, 릴랙세이션율

(나) 단면제원 : 종단면 형태 및 시공이음 위치, 횡단면 형태 및 치수

다. 설계 상세사항

(가) 교각 일반도 및 상세도(브래킷 지지부분 상세 포함)

(나) 각 주형단면의 일반도 및 상세도

(다) 기타 설계검토 단면의 일반도 및 상세도

(라) PS강재의 배치 및 긴장순서 : PS강재 배치도, 긴장순서, 긴장력, 신장량

(마) 정착구 상세도

(바) 철근 배근도 및 철근재료표

(사) 시공순서도

(아) 처짐관리용 곡선 : 각 시공단계별 처짐곡선, 캠버곡선, 거푸집 설치곡선

라. 가설 관련 상세사항

(가) 이동식 비계 관련 개략도

(나) 응력 및 처짐 계산에 사용한 이동식 비계 중량

(다) 가교각 및 가시설과 관련된 개략도

(라) 이동식 비계 제거시 프리스트레스 도입량 및 관련 텐던 위치

(마) 기타 가설시 주의사항

2.4.5 ILM공법에 의한 PSC 박스거더교

(1) 개설

① 개요

연속압출공법(ILM ; Incremental Launching Method)이란 교량의 상부구조물을 교대 또는 제1교각의 후방에 설치한 박스거더 제작장에서 1세그먼트씩 제작하고 제작된 세그먼트에 평형 압축력을 포스트텐션 방식으로 도입시켜 기 제작된 박스거더와 일체화시킨 후, 압출장치에 의해 박스거더를 교축방향으로 밀어내는 공법이다. 연속압출공법에 의해 교량을 가설하는 경우 시공 중에 발생하는 박스거더의 응력이 완성된 후에 발생하는 박스거더의 응력보다 크게되는 수도 있다. 따라서, 유해한 균열을 발생시키지 않고 가설을 완료하기 위해서는 완성 후에 대해서 뿐만 아니라 압출시공 중에 대해서도 박스거더 단면의 응력을 검토해야만 한다. 일반적으로 압출시공 중에 자중 등에 의해 발생하는 교번응력에 대해서는 1차 PS강재에 의해 프리스트레스를 도입해서 대처하고, 압출완료 후에 부가적인 고정하중이나 활하중 등에 의해 발생하는 응력에 대해서는 2차 PS강재에 의해 프리스트레스를 도입해서 대처하고 있다. 단 1차 PS강재라고 해서 반드시 압출시공 중에만 필요한 PS강재를 배치하는 것에 한하지 않고 경우에 따라서는 압출시공 중뿐만 아니라 완성 후의 설계단면력을 고려해서 압출시공중에 필요한 PS강재 이외의 추가적인 PS강재를 미리 배치하는 경우도 있다.

일반적으로 압출시공시 박스거더에 발생하는 단면력을 저감시킬 목적과 박스거더의 압출이 원활하게 될 수 있도록 가이드적인 역할을 하게 할 목적으로 박스거더의 선단에 강재로 된 압출노즈를 설치하며, 교량의 경간이 길 때에는 압출노즈의 설치와 함께 교대와 교각 또는 교각과 교각 사

이에 가교각을 설치하기도 한다.

한편 연속압출공법으로 시공하는 교량에 있어서 부재단면의 응력검토 뿐만 아니라 압출시공 중의 박스거더의 안정, 즉 전도 및 활동에 대한 안전도를 검토해야만 한다. 전도 및 활동은 직접 낙교로 이어지는 문제이므로 충분히 현지상황을 고려하여 안전성을 확인해야만 한다.

② 적용범위

가. 적용대상 : 대부분의 공법이 박스거더가 가설되는 지점에서 박스거더의 제작 또는 가설을 수행하기 때문에, 가설지점에서 보행자나 교통의 보행 또는 통행에 지장을 초래한다. 그러나 연속압출공법에서는 보행이나 통행이 없는 교대 또는 제1교각의 후방 등에 박스거더 제작장과 압출장치를 위치시켜 제작과 가설을 수행하기 때문에 보행이나 통행에 지장을 초래하지 않는다. 연속압출공법은 안전성도 뛰어나기 때문에 기존의 도로 위를 횡단하는 교량의 가설에 많이 채용되어 왔다.

나. 구조형식 : 시공시 박스거더의 안전성, 경제성 등의 관점에서 볼 때 일반적으로 3경간 이상의 연속교에 적용하는 것이 바람직하다.

연속압출공법에 의하여 가설된 교량은 대부분이 연속교이며, 수평선을 강조한 미관상 좋은 교량으로서 교량의 평면적인 형상은 직선형 뿐만 아니라 곡선형도 가능하다. 지반상태가 변위가 크게 발생하는 연약지반으로 되어 있어 연속교의 적용이 곤란한 경우에는 시공시에 연속구조로 하여 압출을 실시한 후 지점에서 절단하여 단순교로 만들기도 한다.

연속보의 최대 압출가능 길이는 압출장치와 교량의 자중과 압출반력 및 종단구배의 상호연관성에 따라 제약을 받는다. 압출가능한 교량길이는 일반적으로 300~500m 정도로 되어 있으나 최근에는 압출장치의 용량증가로 1000m 이상의 장대교량도 1방향 압출을 행하고 있는 추세이다. 국내에서도 교장 1050m의 황산대교가 1방향 압출로 시공되었다. 압출 최대경간길이는 압출시 선단부에서 발생하는 휨모멘트를 감소시키는 방법에 따라 결정되는 것으로 이는 압출노즈의 길이, 가교각의 사용유무에 따라 경제성이 좌우되므로 교량설계시 신중하게 검토하여야 한다.

(2) 설계

① 기본설계

가. 선형 : 연속압출공법으로 시공하는 교량의 경우, 박스거더 하면이 압출시공시 미끄럼받침 위의 동일평면을 통과해야 하므로 박스거더 하면의 선형은 직선 또는 단일 원곡선이어야 한다. 도로교의 경우 평면선형에 대해서 곡률반경이 작을 뿐만 아니라 횡단구배 및 크로소이드 곡선이 들어간 교량이 많다. 또한 종단구배가 클 수도 있으며 심지어 교량구간 내에서 종단구배가 변화할 수도 있다. 따라서 연속압출공법의 적용시 교량선형에의 대처가 가능한지를 우선적으로 검토해야 한다.

(가) 평면선형 : 평면선형이 직선 또는 단일 원곡선인 경우 아무런 문제가 없으나, 교량이 크로소이드 곡선 구간 또는 크로소이드 곡선과 원곡선의 조합된 구간에 가설될 경우, 평면상에 가상 원곡선을 설치해 평면곡선과의 차를 바닥판의 캔틸레버부에서 조정한다. 평면곡선과의 차의 크기는 크로소이드 파라메타(A)의 크기 및 곡률반경(R)의 크기, 크로소이드 곡선구간의 길이 등에 의해 영향을 받는다.

(나) 종단구배 : 교량 압출구간 전체의 종단

구배가 일정한 직선이거나 압출구간의 종단곡선이 단일 원곡선이면 종단곡선에 따라 압출하면 된다. 그러나 교량구간의 종단구배가 직선에서 원곡선으로 변화하거나 하면, 근사원호 곡선으로 대처해 종단선형과의 차가 포장 오차범위 내에 있게 하거나 바닥판 두께의 국부적인 미소증가 조정에 의해 대처하여야 한다. 이러한 경우 이외에는 종단곡선의 위치를 미세조정하든지 그렇지 못할 경우에는 연속압출공법을 선택하지 않는 것이 바람직하다.

나. 경간분할 : 일반적으로 동바리 공법에 의해 연속교를 가설할 경우 이상적인 경간분할은 단부 경간과 내부 중앙경간과의 비가 약 1:1.2 정도이다. 그러나 연속압출공법으로 연속교를 가설할 경우에는 이상적으로 경간분할을 해도 시공시의 캔틸레버부 길이 등에 의해 형고 등 단면제원이 결정되며, 연속압출공법에서도 측경간 길이를 압출가설시와 가설후의 최대 단면력 감소에 따른 공사비 절감 등을 고려할 때 연속교량의 경제적인 측경간 비율인 $0.75l \sim 0.80l$로 결정하는 것이 바람직하다.

다. 단면형태 : 연속압출공법에 적용하는 박스거더의 단면형상은 일반적으로 단일박스단면을 사용하지만 특별한 조건하에서는 2중박스 단면, 더블 T형 단면 등을 사용하며, 거푸집 전용에 유리하게끔 대개는 전단면을 동일한 외형으로 사용한다. 박스거더의 단면형상은 압출시공시의 받침위치 및 반력을 고려하여 정하며, 전단면이 받침 위를 통과하므로 전단면에 대하여 받침 위의 단면으로서 검토한다. 받침중심선과 복부중심선은 일치시키는 것이 원칙이나 시공조건에 따라서 이것이 불가능한 경우에는 헌치를 크게 하는 등, 받침의 반력에 의해 하부플랜지에 과대한 응력이 발생하지 않도록 헌치의 크기·형상 등을 검토할 필요가 있다(<그림 508.13> 참조). 박스거더 하단부의 측면은 횡방향 가이드가 기능을 발휘할 수 있도록 수직구간을 설치하는 것이 바람직하다. 한편, 비대칭 단면의 경우 압출시공중의 비틀림에 대한 검토뿐만 아니라 받침에 하중의 편심이 발생할 수도 있으므로 이에 대한 검토도 있어야 한다.

라. 형고 : 일반적으로 연속압출공법으로 가설하는 교량의 단면높이는 동바리공법으로 가설하는 교량의 단면높이(형고비 = 18~23)보다 약간 높으며, 실시예를 보아도 대부분 형고비가 15~17로 되어 있다. 이것은 가

<그림 508.13> 헌치의 형상

설시 휨모멘트가 매우 크므로 가설용 PS강재를 효율적으로 사용하기 위해 형고를 높게 하는 것이 경제적으로 되기 때문이라고 판단된다. 일반적으로 경간이 길어질수록 형고비는 작아지며, 경간이 짧아질수록 형고비가 커진다.

마. 단면제원

(가) 바닥판 및 하부플랜지 : 바닥판의 두께는 도·설의 관련 시방규정을 고려하여 결정하여야 하며, 바닥판에 배치하는 횡방향 PS강재와 1차 PS강재와의 관계, 1차 PS강재 중 일부를 중간에 정착하는 경우에 필요한 연결용 정착장치의 크기 등을 고려해서 결정한다. 최악의 재하상태에 대해 바닥판중 캔틸레버 고정단부에서 허용범위 이상의 균열이 발생하지 않도록 횡방향 PS강재를 배치하든지 캔틸레버 고정단부의 두께를 크게 하든지 하는 등의 조치를 강구하여야 한다. 하부플랜지의 두께는 사용하는 1차 PS강재의 크기, 1차 PS강재 중 일부를 중간에 정착하는 경우에 필요한 연결용 정착장치의 크기 등을 고려해서 결정한다. 일반적으로 바닥판 및 하부플랜지의 단면두께 고려시 여기에 정착시키는 1차 압출용 텐던 규격은 큰 규격보다 작은 규격을 여러 개 배치하는 것이 구조적으로 유리하다.

(나) 복부 : 연속압출공법에서는 완성계의 경간중앙 부근의 단면에서도 압출시공시에는 교각을 통과하기 때문에 상당히 큰 전단력이 발생하게 된다. 또한 지점 부근의 단면에서도 압출시공시에는 2차 PS강재를 배치하여 대처하도록 한다. 복부의 두께를 두껍게 하여 대처하는 것은 고정하중을 증가시키고 전단력을 증가시키므로 그다지 좋은 방법은 아니다. 따라서 복부의 두께는 수직 PS강재를 배치할 경우 수직 PS강재의 필요량 및 수직 PS강재와 2차 PS강재, 바닥판 배치용 PS강재와의 상호관계 등을 고려하여 결정하여야 한다.

② 상세설계

가. 압출방식의 선정 및 압출설비의 배치 : 압출력을 가하는 방식에 따라 분산 압출방식과 집중 압출방식으로 구분한다. 분산 압출방식은 압출시공시에 지점이 되는 위치에 수직잭과 압출잭을 설치하여 각 지점에서 압출력을 분산하여 가하는 방식이며, 집중 압출방식은 한 장소에서 압출력을 가하는 방식이다. 집중 압출방식의 경우, 압출력에 대한 반력대가 필요하며 lifting and pushing 방식, pulling 방식, pushing 방식 및 일본 특유의 공법인 RS공법 등으로 구분한다. 압출시공시에 발생하는 단면력에 대처하기 위하여 1차 PS강재를 배치하므로 불필요한 1차 PS강재의 사용을 감소시키기 위하여 압출노즈를 사용하는 방안, 가교각을 사용하는 방안, 중앙경간이 길은데도 불구하고 가교각을 설치할 수 없는 경우 양측에서 압출하여 중간에서 접합하는 방안, 탑과 케이블을 이용하는 방안 등의 여러 가지 방안에 대하여 종합적으로 검토해야 한다. 박스거더 제작장의 위치 및 압출설비의 배치 위치는 자재 반입로, 교통로의 근접상황, 다른 공사와의 경합 등 안전성, 시공성, 경제성을 검토하여 적절히 결정하여야 한다.

나. 박스거더의 세그먼트 분할 : 공법개발 초기에는 세그먼트 1개의 길이가 6~10m 정도이었으나 최근에는 공기의 단축을 위해 20~25m 정도의 길이로 세그먼트를 제작한다. 세그먼트의 분할은 교장, 경간장, 시공시 박스거더의 최대 캔틸레버부 길이, 제작장

의 크기, 공기, 이음부의 위치, 거푸집의 전용횟수 등을 고려하여 결정하여야 한다. 세그먼트의 이음부는 지점위치나, 완성구조계에 있어서 단면력이 크게 발생하는 위치를 피하여야 하며, 2차 PS강재의 정착위치 부근은 보강철근, 거푸집 등이 복잡하여 세그먼트의 이음부로서는 일반적으로 부적당하므로 이곳을 피하는 것이 좋다. 세그먼트 분할시 1사이클의 공정은 공기, 공사비에 미치는 영향이 크므로 반드시 고려하여야 하며, 세그먼트 길이의 통일 등을 고려하여야 한다. 이외에 1세그먼트 제작에 소요되는 콘크리트, PS강재, 철근 등의 물량, 철근 및 PS강재의 길이와 이음부와의 관계 등 시공성을 고려하여야 한다. 압출장치의 설치수나 압출반력의 제약에 따라 최대연속압출 경간수가 결정되는 경우도 있으므로 세그먼트 분할시 이에 대한 검토도 있어야 한다.

다. 박스거더의 안정성 검토 : 연속압출공법의 시공시 안정성에 대해서는 박스거더의 전도 및 활동에 대해서 검토할 필요가 있다.

(가) 전도 : 박스거더의 전도에 대한 검토를 행하는데 있어서는 특히 압출 초기에 검토를 하는 것이 중요하다. 예를 들어 <그림 508.14>에 표시한 바와 같이 압출노즈의 선단이 제2지점 P1에 도달하기 직전의 상태에서 제1지점에 관한 안정성을 검토하여 전방으로 전도하지 않을지를 확인해야 한다. 박스거더의 안정을 검토할 경우는 일반적으로 가장 불안정한 상태에서 회전에 대하여 1.3 이상의 안전율을 확보하도록 하여야 한다.

$$\frac{M_R}{M_r} = \text{안전율}(\ > 1.3) \qquad (508.8)$$

여기서, M_r : 전도모멘트

$$M_r = D_2 \cdot l_2 + D_3 \cdot l_3 + EM \cdot l_M + EQ_{D1} \cdot h_1 + EQ_{D2} \cdot h_2 + EQ_{D3} \cdot h_3 + EQ_{D4} \cdot h_4$$

M_R : 저항모멘트($M_R = D_1 \cdot l_1$)

D_1 : A_1 후방 거더의 중량
D_2 : A_1 전방 거더의 중량
D_3 : 압출노즈의 중량
EM : 가설하중
EQ_{D1}, EQ_{D2}, EQ_{D3}, EQ_{D4}, : D_1, D_2, D_3, EM에 대한 지진시 수평력

<그림 508.14> 전도에 관한 안정성 검토

<그림 508.15> 활동에 관한 안정성 검토

전도에 대한 안정이 얻어지지 않은 경우에는 작업장의 위치를 후방으로 이동하던가 또는 A1～P1 사이에 가교각을 설치하거나 하여 안전하게 시공이 이루어지도록 조치를 강구하여야 한다.

(나) 활동 : 압출작업의 초기단계에서 박스거더가 활동하게 되면 전도할 염려도 있으므로 충분히 안정성을 검토할 필요가 있다(<그림 508.15> 참조).

라. 압출노즈 : 압출시공시 박스거더는 정·부모멘트를 번갈아 받게 되므로 교번응력이 발생한다. 이 교번응력에 대처하기 위하여 1차 PS강재로서 축방향 압출력을 도입하는데, 단면에 축방향 압축력을 도입하여 대처하는 데는 한계가 있으므로 대개는 박스거더에 작용하는 응력을 경감시키기 위하여 압출노즈를 사용한다. 압출노즈의 길이는 시공시 박스거더의 응력에 영향을 주는 주요한 요인으로 최대경간장 통과시에 발생하는 박스거더의 단면력, 한번에 압출시키지 않으면 안되는 구간장 등을 고려하여 결정한다. 압출노즈의 길이와 박스거더 단면력과의 관계는 일반적으로 압출노즈 길이를 시공시 최대경간장의 0.6～0.7배 보다 짧게 하면 압출시공시 부모멘트가 급격히 증가하고 이것보다 길게 하면 부모멘트의 크기가 약간 변화할 뿐이므로, 압출노즈의 길이는 최대경간장의 0.6～0.7배 정도로 하는 것이 좋다. 압출노즈의 단위길이당 중량과 길이에 따른 휨모멘트의 변화는 <그림 508.16>과 같다. 상대휨강성계수(압출노즈 휨강성/박스거더 휨강성)도 박스거더의 단면력 변화에 큰 영향을 미치는 인자로서 압출노즈는 압출시공시 박스거더에 과대한 단면력이 생기지 않도록 수직휨, 수평휨, 좌굴에 대하여 소요의 강성을 가져야 한다. 즉, 압출노즈는 압출시공시 단면력을 감소시킬 수 있는 충분한 강성을 가져야 하며, 지진시 등의 수평력에 대해서도 필요한 휭강성을 가져야 한다. 연속압출공법을 적용하는 교량단면의 비틀림강성은 상당히 커서 제작 등에 의한 오차는 압출노즈에 작용하는 반력의 불균형을 크게 하기 때문에 압출노즈는 수직휨 및 복부판의 좌굴에 대해서 충분한 보강을 해야한다. 상대휨강성계수를 K라 할때, K값의 변화에 따른 전체적인 압출단계에서의 최대지점모멘트 변화는 <그림 508.17>과 같다.

$$K = \frac{E_s I_s}{E_c I_c} \qquad (508.9)$$

(a)

(b)

<그림 508.16> 압출노즈의 단위길이당 중량과 길이에 따른 휨모멘트의 변화

여기서, E_s, E_c : 압출노즈와 박스거더의 탄성계수

I_s, I_c : 압출노즈와 박스거더의 단면2차모멘트

곡선교의 시공에 압출노즈를 사용하는 경우, 시공하는 교량의 평면선형 및 종단선형을 고려하여 형상을 정해 압출시공중 박스거더에 유해한 응력이 발생하지 않도록 해야 한다. 평면선형이 직선이 아닌 경우, 압출노즈도 곡선형으로 하는 것이 시공상은 바람직하다. 그러나 이와 같이 하면 압출노즈의 제작 및 전용이 곤란할 뿐만 아니라 압출노즈의 shift량(압출축선에 대한 압출노즈의 연직 벗어남량)이 10cm 미만인 경우 압출노즈의 설계단면응력이 문제시되지 않을 경우 직선형의 압출노즈를 사용해도 무방하나 받침 편기영향 및 가이드 통과방안 등의 시공성을 면밀히 검토하여야 한다. 또한 압출노즈의 하부플랜지 두께는 단면응력이 충분할지라도 용접성 및 압출시공성, 복부강판 제작시공성 등을 고려하여 동일한 강판두께로 통일하는 것이 바람직하다.

압출노즈의 shift량이 10cm 이상인 경우 미

<그림 508.17> 압출노즈의 휨강성에 따른 최대지점모멘트의 변화

끄럼받침의 폭이 커지게 되고 영구받침의 배치와 관련해서 교대 또는 교각에서 여분의 공간이 필요되기도 하고 압출노즈의 횡방향 이동량이 크지게 되기 때문에 압출작업이 어렵게 된다. 따라서 곡률반경이 <표 508.5>보다 작은 경우에는 shift량이 10cm 이하가 되도록 압출노즈의 중간부를 꺾어 절선형상으로 하는 것이 좋다. 박스거더와 압출노즈의 연결부 설계는 휨모멘트와 전단력에 대하여 안전하도록 수행하여야 한다. 휨모멘트에 의하여 연결부의 접합면에서 발생하는 휨압축응력은 콘크리트의 허용휨압축응력 이하여야 한다. 지진하중을 포함하지 않는 하중조합(고정하중, 가설하중, 프리스트레스, 압출력, 기타)에 대해서는 연결부의 접합면에서 휨인장응력이 발생해서는 안되며, 지진하중을 포함한 하중조합에 대해서는 접합면에서 휨인장응력이 발생해도 좋다. 그러나 휨인장응력이 발생해도 좋은 경우에는 인장력이 발생하는 부분에 배치된 PS강재를 인장철근으로 간주하고 접합면에 발생하는 인장력의 합력을 그 부분에 배치

<표 508.5> 압출노즈의 길이에 대한 최소곡률반경

압출노즈의 길이 l(m)	25	30	35	40	45	50
곡률반경 R(m)	400	600	800	1000	1300	1600

한 PS강재의 단면적으로 나눈 응력과 PS강재의 인장응력의 합이 PS강재 항복응력의 90% 이하가 되도록 해야 한다. 또한 인장력의 합력을 PS강재의 단면적으로 나눈 응력이 2700kgf/cm^2 이하이어야 한다. 한편, 연결부에 작용하는 전단력은 다음식에 의해 계산되는 허용전단력 이하이어야만 한다.

$$S_r = \frac{P_e \cdot \mu}{F} \qquad (508.10)$$

여기서, S_r : 허용전단력(tonf)

P_e : 연결부에 배치한 PS강재의 유효 프리스트레스 힘(tonf)

μ : 마찰계수(0.5)

F : 안전율(2)

단, 전단력에 저항하기 위하여 전단키 등 별도의 전단저항장치를 설치한 경우에는 그의 영향을 고려하여도 좋다.

마. 가교각 : 가교각은 <그림 508.18>에서와 같이 용도상 3종류로 구분한다. 가교각 A는 시행경간부에 설치하는 구조물로서, 초기재령의 콘크리트 박스거더에 작용하는 단면력을 감소시키는 역할을 하며 가교각 B는 제1경간부에 설치하는 구조물로서 주로 압출시공 초기에 박스거더의 전도방지 역할을 한다. 가교각 C는 시공 경간장이 큰 경우 설치하는 구조물로서 박스거더에 발생하는 단면력을 감소시키는 역할을 한다. 장경간 시공시 가교각 C는 압출노즈와 병행하여 많이 사용한다. 일반적으로 가교각을 설치하는 경우 가교각 설치의 필요성 여부, 박스거더의 안정성, 가교각의 경제성 등을 고려하여야 한다. 가교각은 압출시공시의 하중에 대해 침하 및 변형이 작은 구조이어야 한다. 변위량은 압출시공시의 박스거더자중, 재하 정하중, 풍하중, 가설받침의 마찰력, 지진의 영향, 반력의 불균형 등을 고려하여 산정한다.

바. 박스거더의 응력

(가) 개요 : 연속압출공법에서는 압출시공시에 박스거더가 점차 이동하여 단면력이 변화하므로 압출시공시 단계별로 박스거더의 응력을 검토하여야 한다. 1차 프리스트레스 도입 직후의 상태, 압출시공시의 상태, 2차 프리스트레스 도입 직후의 상태, 크리프·건조수축 등이 완료된 후의 상태 등에 대하여 응력을 검토하여야 하며 그 외에 응력변화가 예상되는 상태에 대해 필요에 따라 응력을 검토하여야 한다. 가교각을 사용한 경우 압출완료 후 가교각의 철거에 따라 구조계가 변화하여 박스거더의 단면력이 갑자기 변할 수도 있으므로 이에 대한 검토를 행해

<그림 508.18> 가교각

야 한다. 완성구조계에서 뿐만 아니라 압출시공시의 응력검토에 있어서도 지진의 영향을 고려하여야 하며 특히 지진시에 대비해 받침부의 응력과 보강이 충분한지에 대한 검토를 하여야 한다. 압출시공시 지진이 발생하여도 박스거더가 낙하하지 않도록 낙교방지 장치를 설치해야 하며 압출시공시의 수평진도는 설계진도의 $\frac{1}{2}$인 것으로 한다. 일반적으로 연속압출공법에서는 연속형으로 가설하는 것이 유리하지만 지반조건 등에 따라 압출시공 후 절단하여 단순형으로 만드는 것이 유리한 경우도 있다. 이와 같이 단순형을 연결하여 압출하는 경우, 연결강봉 및 1차 PS강재의 일부는 압출시공 완료후 프리스트레스 힘을 풀어주는데 프리스트레스 힘을 풀어줌에 따라 박스거더의 응력상태가 변화하여 일시적으로 위험한 응력상태가 될 수도 있으므로 이 상태에 대한 응력검토도 행해야 한다. 압출시공시의 단면력을 계산하는데 있어서는 미리 입안된 가설계획에 기초를 두고 압출시공시의 구조계를 결정한 후, 압출노즈와 박스거더가 연결된 다경간 연속보로서 구조계산을 하여야 한다. 단면력 산정시 박스거더와 압출노즈의 강성차, 가교각 및 교각의 탄성변형, 박스거더 제작장에서의 박스거더의 지지조건 등을 고려하여야 한다.

(나) 프리스트레스의 손실 : 크리프 및 건조수축에 의한 프리스트레스의 감소량은 1차 PS강재 및 2차 PS강재 프리스트레싱시의 콘크리트 재령을 고려하여 정해야 한다. 이때 콘크리트의 크리프계수, 건조수축계수 및 PS강재의 릴랙락세이션은 도·설에 의한다. 1차 PS강재의 접합부 구조는 나중에 타설한 세그먼트의 PS강재 도입 프리스트레스가 먼저 타설한 세그먼트에 배치되어 있는 PS강재에 도입될 수 있는 구조로 되어 있다. 따라서 크리프, 건조수축에 의한 1차 PS강재 프리스트레스 감소량의 산정에 이용하는 먼저 타설한 세그먼트의 콘크리트 재령은 최단 1사이클 공정을 7일 정도라고 생각할 때 나중에 타설한 세그먼트의 1차 PS강재를 프리스트레싱하는데 10일 정도가 걸리므로 프리스트레싱시 콘크리트의 재령을 10일로 하는 것이 좋으며, 잭응력 결정시는 설계기준 규정값의 최대인장응력 이하로 결정하여야 한다.

(다) 지점침하 : 압출시공시의 지점침하 영향이 박스거더에 미치지 않도록 지점높이를 조정하는 것을 원칙으로 하므로 압출시공시의 지점침하에 대하여 박스거더에 특별한 보강은 하지 않는 것으로 한다. 즉, 압출시공시에 가교각 및 지점에서는 탄성변형, 침하 등이 발생하여 박스거더의 휨모멘트, 전단력 및 비틀림모멘트에 영향을 주기 때문에 지점침하의 영향을 고려하여야 하나 높이 조정 기능이 있는 압출장치를 이용하여 높이를 조정하므로 지점침하에 대하여 특별한 검토를 할 필요가 없다. 단, 시공관리상 지점침하의 허용치를 알아둘 필요가 있으며, 집중 압출방식중 lifting and pushing 방식의 경우에 있어서는 압출장치가 설치되어 있는 위치에서 압출시 1cm 정도의 상향처짐이 발생할 것을 예상하여 설계에 고려하는 것이 바람직하다. 한편, 박스거더의 설계에 있어서 압출시공 완료 후의 고정하중, 활하중에 의한 지점침하는 당연히 고려해야 한다.

사. 기타

(가) 받침 : 압출시공에 이용하는 미끄럼받침은 가설받침으로서만 사용하는 형식과 가설

받침과 영구받침을 겸하게 하는 형식이 있으며 두 형식 모두 박스거더로부터의 하중에 대하여 안전하게 설계되어져야 한다. 받침을 박스거더의 복부 아래쪽에 배치하면 받침으로부터의 반력을 직접 복부에 전달하기 때문에 합리적이며 PS강재와 스토퍼를 배치하기가 용이하다. 따라서, 받침의 설치위치는 박스거더의 복부 아래쪽에 배치하는 것으로 한다. 압출시공 완료 후 영구받침을 설치하는 형식에서는 압출장치의 위치를 피해 지점 위 격벽에 영구받침을 설치할 수도 있으나 받침의 고정방법, 시공성, 격벽의 안전성, 받침의 부반력에 대한 대처 등 설계상의 충분한 검토를 행해야 한다.

(나) 보강철근 : 박스거더 하면은 압출시공시에 일시적으로 받침위치가 되므로 받침반력에 의한 지압응력에 견디도록 보강철근을 배치하는 것을 검토해야 한다. 즉, 박스거더의 복부 아래쪽이 전장에 걸쳐 수압면이 되기 때문에 그 범위에 대해서 보강철근을 배치하도록 한다(<그림 508.19> 참조).

<그림 508.19> 지압면의 보강철근

(다) 세그먼트의 가접합 : 주형을 가접합하여 연속압출을 하고 압출완료 후 가접합부를 절단할 경우, 가접합면의 사각은 90° 에 가까운 것이 바람직하나 사각 70° 인 경우도 가접합면이 직선형상일 때 접합면에 횡마멸이 생기지 않는 것이 실험으로 확인되었으므로 접합면의 사각은 70° 까지 이어도 좋다. 사가 70° 이하의 경우는 원칙적으로 사용하지 않지만 접합면에 전단키 등을 사용하여 형의 일체화를 도모한 경우에는 65° 정도까지 완화하여도 좋다(<그림 508.20> 참조). 가접합부는 PS강재로 결합하는 것으로 하며 접합부에는 지진하중을 고려하지 않은 하중조합에 대해 휨인장응력이 발생하지 않도록 한다. 전단에 대해서는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$S < \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot P_e \qquad (508.11)$$

여기서, S : 가접합부에 작용하는 최대전단력

μ: 콘크리트와 콘크리트의 마찰계수(0.5)

P_e : 가접합부에 작용하는 PS강재의 프리스트레스 힘

<그림 508.20> 세그먼트의 가접합부

(3) PS강재 배치

바닥판, 복부, 하부플랜지에 배치되는 1차 PS강

재 및 2차 PS강재의 일반적인 배치예는 <그림 508.21>과 같다.

① 1차 PS강재

가. 일반 : 1차 PS강재는 바닥판 및 하부플랜지에 직선으로 배치하는데 1차 PS강재의 편심량이 크게되면 부정정 2차응력이 크게 되어 설계가 복잡해지므로 가급적이면 주형의 도심위치로부터 편심량이 작게되게 배치한다. 박스거더 부착물의 위치 및 2차 PS강재 위치 등을 피하여야 하며, 한 단면에서 이음부가 50%이하가 되도록 이음부의 위치를 분산시켜야 한다. 또한 정착장치의 피복 및 간격은 정착장치의 부식 및 콘크리트의 지압을 고려하여 결정한다.

나. 1차 PS강재의 접합부 구조 : 1차 PS강재의 접합부 구조는 나중 타설한 세그먼트의 1차 PS강재 도입 프리스트레스를 먼저 타설한 세그먼트의 1차 PS강재에 도입할 수 있는 구조로 되어있는 것을 사용한다. 연속압출공법에서는 콘크리트 타설 후 얼마 지나지 않아 바로 1차 프리스트레스를 가하기 때문에 크리프, 건조수축에 의하여 프리스트레스의 감소가 크게 일어난다. 따라서 프리스트레스의 감소를 작게하기 위해서 나중 타설한 세그먼트의 1차 PS강재 도입 프리스트레스를 먼저 타설한 세그먼트의 1차 PS강재에 도입할 수 있는 접합부 구조를 이용하도록 한다(<그림 508.22> 참조).

② 2차 PS강재

압출시공시에 받침 반력에 의한 지압의 영향을 직접 받는 박스거더의 복부 아래쪽에 배치하는 2차 PS강재의 쉬스의 피복 및 간격은 받침반력에 의하여 콘크리트에 균열 등의 손상이 가지 않도록 해야 한다.

경간중앙단면 부근의 2차 PS강재는 박스거더 복부 아래쪽에 배치하지만 압출시공시에는 이 위치가 일시적으로 받침부가 되므로 강재 쉬스의 피

<그림 508.21> PS강재의 배치예(1차 PS강재 및 2차 PS강재)

<그림 508.22> 1차 PS강재의 접합부 구조

복 및 간격에 대한 배려가 필요하다.

주형의 하부플랜지 시공에 있어 미끄럼면에서 쉬스까지의 순피복두께(S)는 쉬스 외경의 1.5배와 다음 규정치 보다 작아서는 안된다.

ⅰ) 지간장이 50m 이하인 경우 : S = 0.1m

ⅱ) 지간장이 50m 보다 크고 55m 이하인 경우 : S = 0.12m

ⅲ) 지간장이 55m 보다 큰 경우 : S = 0.15m

미끄럼판의 삽입시 콘크리트 단부로부터의 최소 연단거리는 8cm 이상이어야 한다(<그림 508.23> 참조). 참고로 AASHTO(1994)의 시방서에서는 연단거리를 최소 7.5cm 이상, 피복두께도 최소 15cm 이상으로 규정하고 있다.

<그림 508.23> 하부플랜지의 시공

복부의 하면에 대한 응력을 검토할 때에는 반드시 쉬스의 공극을 고려하여야 한다. 공극에 의한 편심이나 하중의 도입시 <그림 508.24>와 같이 고려한다.

<그림 508.24> 하중의 전달

한편, 쉬스 간격에 대해서는 다음 식을 만족해야 한다.

$$\frac{f_c}{2} \rangle \frac{\alpha \cdot R_{\max}}{(b - n\phi) \cdot l} \qquad (508.12)$$

여기서, f_c : 박스거더 수압면이 최대반력을 받을 때의 콘크리트의 압축강도

α : 시공오차에 의한 반력의 불균형계수

R_{max} : 박스거더 수압면이 받는 최대반력

b : 주형의 복부두께
n : 동일 평면상에 있는 쉬스의 개수
ϕ : 쉬스의 외경
l : 주형수압면의 교축방향의 길이

2차 PS강재의 배치방법에는 강재를 복부의 내부에 배치하는 내부 프리스트레싱 방식과 강재를 바깥으로 노출시키고 시공이음의 위치에 돌출부를 만들어 정착과 연결을 실시하는 외부 프리스트레싱 방식 등 두 가지가 있다(<그림 508.25> 참조).

외부 프리스트레싱 방식에는 다음과 같은 특징이 있다.

i) 복부에 쉬스를 배치할 필요가 없으므로 복부 내부의 응력 전달이 원활하게 이루어지고 복부의 두께도 얇게 할 수 있다.
ii) 복부의 외측에 배치되어 있기 때문에 콘크리트 타설시 쉬스 내에 콘크리트 등이 유입될 가능성이 적다.
iii) 쉬스와의 마찰에 의한 프리스트레스의 감소

(a) 내부 프리스트레싱 방식

(b) 외부 프리스트레싱 방식

<그림 508.25> 2차 PS강재의 배치방법

(a) 상향압출 (b) 하향압출

<그림 508.26> 압출방향의 경사

를 줄일 수 있다.

ⅳ) 유지보수가 가능하다.

ⅴ) 정착구 주변과 선형 변화가 있는 곳에 대한 검토가 필요하다.

(4) 하부구조

압출시에 교각과 기초에 작용하는 하중은 교량 완성후에 작용하는 하중과 많은 차이가 있다. 즉, 압출시공시에 상부구조는 교각의 주두부를 미끄러져서 압출이 진행되게 되어 있어 교각에는 커다란 수평력이 작용하고, 또한 교각의 좌굴길이가

가설후 보다 더 크게 된다. 특히, 집중 압출방식의 경우 압출장치가 설치되는 곳에는 큰 수평력이 집중하여 작용하기 때문에 압출장치가 설치되는 곳의 하부구조는 수평변위에 충분히 저항이 가능한 구조이어야 한다.

교각에 작용하는 수평력 발생요인중 가장 크게 영향을 미치는 것은 압출방향의 경사로서, 상향압출(upward launching)과 하향압출(downward launching)로 나눌 수 있다(<그림 508.26> 참조).

① 상향압출

가. $\theta > \phi$

압출방향의 경사각이 마찰각 보다 클 때 수평력은 다음과 같다.

$\alpha = \theta + \phi$라 하면

$$H = V\tan(\theta+\phi) = V\tan\alpha \quad (508.13)$$

θ와 ϕ가 작은 값일 경우에는

$$H = V(\gamma+\rho) \quad (508.14)$$

나. $\theta < \phi$

경사각이 마찰각 보다 작을 때 수평력은 다음과 같다.

$$H = V(\gamma+\rho) \quad (508.15)$$

② 하향압출

가. $\theta > \phi$

경사각이 마찰각 보다 클 때 $\alpha = \theta - \phi$일 때부터 미끄러지기 시작한다. 따라서 교각에서의 수평력은 압출방향과 반대방향이다.

$$H = V\tan(\theta-\phi) \quad (508.16)$$

θ와 ϕ가 작은 값일 경우에는

$$H = V(\gamma-\rho) \quad (508.17)$$

ρ는 압출면의 평탄도 등 압출여건에 따라 변할 수도 있으므로 압출장치 및 교각의 설계시에는 $H = \gamma V$로 간주하여 계산하며 세그먼트를 하향으로 압출할 때는 잭에 의해서 압출을 조절한다.

제한력(restraining force)은 다음과 같이 계산한다.

$$F = N(\tan\theta - \tan\phi)$$
$$F = N(\gamma-\rho) \quad (508.18)$$

설계시에는 $F = N\gamma$로 계산한다.

나. $\theta < \phi$

경사각이 마찰각 보다 작을 때 교각에 작용하는 수평력은 압출방향과 같다.

$$H = V(\gamma-\rho) \quad (508.19)$$

ρ는 압출여건에 따라 변할 수도 있으므로 교량의 미끄러짐을 방지하기 위하여 제동장치를 설치하는 것이 바람직하다.

(5) 구조계산서 검토 및 설계도 기재사항

① 구조계산서 검토 및 기재사항

가. 설계기준

연속압출공법 적용 교량의 구조계산서에는 다음과 같은 사항들이 기재되고 검토되어야 한다.

(가) 설계조건 : 구조형식, 교량등급, 시공방법, 경간분할, 교폭

(나) 사용설계기준 및 사용프로그램

(다) 사용재료

㉮ 콘크리트 : 설계기준강도, 프리스트레스를 도입하여도 좋을 때의 강도, 압출을 시작하여도 좋을 때의 강도, 단위중량, 탄성계수, 선팽창계수, 크리프계수, 건조수축계수, 허용압축·인장응력(프리스트레스 도입직후, 사용하중 작용시)

㉯ 철근 : 철근의 종류(SD), 항복응력, 허용응력

㉰ PS강선 및 강봉 : 종류, 지름, 단면적, 탄성계수, 극한응력, 항복응력, 허용인장응력(긴장시, 정착직후), 정착장치 활동량, 마찰손실(곡률마찰계수, 파상마찰계수), 크리프·건조수축에 의한 손실, 릴랙세이션율

(라) 단면제원 : 종단면형태 및 시공이음 위치, 횡단면 형태 및 치수

나. 설계하중

(가) 하중항목

㉮ 고정하중 : 철근콘크리트, 포장, 강재

㉯ 추가 고정하중 : 난간, 연석

㉰ 활하중 : 차량하중(DB, DL), 보도하중, 충격계수

㉱ 작업하중

㉲ 가설장비하중 : 압출노즈 등

㉳ 지점침하

㉴ 종방향 온도변화

㉵ 단면내의 온도변화

㉶ 풍하중 : 가설시 풍하중, 완성후 풍하중

㉷ 지진하중

㉸ 받침의 마찰력

㉹ 선박충돌하중(필요시)

㉺ 박스거더 제작장 및 받침 설치오차

㉻ 기타하중

(나) 종방향 설계하중 항목

㉮ 시공시 설계하중

㉯ 완성후 설계하중

(다) 횡방향 설계하중 항목 : 박스거더 자중, 추가 고정하중(포장, 난간), 활하중 등

(라) 압출노즈 설계하중 : 박스거더 자중, 압출노즈 자중 등

(마) 하중조합

㉮ 설계하중조합

㉯ 극한하중조합

다. 종방향 해석 및 설계

(가) 시공단계설정 : 시공단계, 시공하중, 시공시간 등

(나) 해석모델링

(다) 지점경계조건 및 지점의 강성결정 방법

(라) 단면상수 산출근거 : 단면적, 단면2차모멘트, 비틈단면2차모멘트 등

(마) 작용하중 산출근거 : 각 하중항목에 대한 산출근거

(바) 하중재하 방법 : 활하중의 재하방법

(사) 설계단면력 산출근거 : 하중조합 및 단면력 크기

(아) 압출시공시 및 완성시의 부재의 콘크리트 및 PS강재의 응력 검토, 단면력도 작성

(자) 철근 및 PS강재 배치

(차) 압출시공시 및 완성시의 휨모멘트, 전단력에 관한 저항단면력도

(카) 극한하중 작용시 안전도 검사

라. 횡방향 해석 및 설계

(가) 해석모델링

(나) 지점경계조건 및 지점의 강성결정 방법

(다) 단면상수 산출근거 : 단면적, 단면2차모멘트, 비틂단면2차모멘트 등

(라) 작용하중 산출근거 : 각 하중항목에 대한 산출근거

(마) 하중재하 방법 : 활하중의 재하방법

(바) 설계단면력 산출 근거 : 하중조합 및 단면력 크기

(사) 철근 및 PS강재 배치

(아) 위험단면의 응력검토

(자) 극한하중 작용시 안전도 검사

마. 기타

(가) 압출노즈의 응력 검사

(나) 가교각의 응력 검사

(다) 압출노즈와 박스거더 연결부의 응력 검사

(라) 지점부 격벽의 응력 검사

(마) 압출장치 설치부의 안정성 검사

바. 정착구 설계

(가) 정착구 해석방법 또는 해석모델

(나) 설계하중

(다) 정착구 응력검토

(라) 철근배근

사. 받침 및 신축이음장치 설계

(가) 지점반력

(나) 최대수평력

(다) 이동량 등

② 설계도 기재사항

연속압출공법 적용 교량의 설계도에는 다음과 같은 사항들이 기재되어야 한다.

가. 설계 일반사항 : 노선명 및 가교위치, 교량명, 책임기술자, 설계년월일

나. 설계기준

(가) 사용재료

㉮ 콘크리트 : 설계기준강도, 프리스트레스를 도입하여도 좋을 때의 강도, 압출을 시작하여도 좋을 때의 강도, 단위중량, 탄성계수, 선팽창계수, 크리프계수, 건조수축계수, 허용압축·인장응력(프리스트레스 도입직후, 사용하중 작용시)

㉯ 철근 : 철근의 종류(SD), 항복응력, 허용응력

㉰ PS강선 및 강봉 : 종류, 지름, 단면적, 탄성계수, 극한응력, 항복응력, 허용인장응력(긴장시, 정착직후), 정착장치 활동량, 마찰손실(곡률마찰계수, 파상마찰계수), 크리프·건조수축에 의한 손실, 릴랙세이션율

(나) 단면제원 : 종단면 형태 및 시공이음 위치, 횡단면 형태 및 치수

(다) 설계 상세사항

㉮ 교각 일반도 및 상세도

㉯ 각 박스거더 단면의 일반도 및 상세도

㉰ 기타 설계검토 단면의 일반도 및 상세도

㉱ 첫 번째 세그먼트 상세도

㉲ 1·2차 PS강재의 배치 및 프리스트레싱 순서 : 1·2차 PS강재 배치도, 프리스트레싱 순서, 프리스트레스 힘, 신장량

㉳ 정착구 상세도

㉴ 철근 배근도 및 철근재료표

㉵ 시공순서도

(라) 가설 관련 상세사항

㉮ 박스거더 제작장의 설치도

㉯ 압출노즈의 구조도(참고도)

㉰ 압출노즈와 박스거더의 접합부 상세도

㉱ 압출노즈와 박스거더의 연결 프리스트레스 힘

㉲ 가교각의 구조도(참고도)

㉳ 압출시공시의 받침의 배치 및 받침의 상세도

㉴ 압출장치의 배치 및 구조도

㉵ 압출설비의 배치도(평면, 측면)

㉶ 박스거더 연결구조 상세도(단순거더의 연속압출의 경우)

2.4.6 FCM공법에 의한 PSC 박스거더교

(1) 개설

캔틸레버 공법(FCM ; Free Cantilever Method)은 교량하부에 동바리를 설치하지 않고 특수한 가설장비를 이용하여 교각 또는 교대에서 순차적으로 한 세그먼트씩 내민 시공을 함으로써 교량을 가설하는 방법이다. 캔틸레버 공법을 크게 분류하면 현장타설 캔틸레버 공법(cast-in place cantilever method)과 프리캐스트 캔틸레버 공법(precast c-antilever method)으로 분류한다.

현장타설 캔틸레버 공법의 특징은 다음과 같다.

① 동바리를 필요로 하지 않으므로 깊은 계곡이나 하천, 해상 그리고 교통량이 많은 위치에 적용할 경우 경제성이 높다.

② 세그먼트 제작에 필요한 모든 장비를 갖춘 이동식 작업차를 이용하여 시공하므로 커다란 가설장비를 사용하지 않아도 장대교량의 시공이 가능하다.

③ 3~5m 씩 세그먼트로 나누어 시공하므로 상부구조를 변단면으로 시공할 수 있다.

④ 대부분의 작업이 이동식 작업차 내에서 실시되므로 기후조건에 관계없이 품질, 공정 등의 시공관리를 확실하게 행할 수 있다.

⑤ 거푸집 설치, 콘크리트 타설, 프리스트레싱 작업 등 모든 작업이 동일하게 반복수행되므로 시공속도가 빠르고 작업인원도 적게 필요하며 작업원의 숙련도가 빨라 작업을 능률적으로 행할 수 있다.

⑥ 각 시공단계마다 오차의 수정이 가능하므로 시공 정밀도를 높일 수 있다.

⑦ 구조계산 및 설계가 다른 형식의 교량보다 복잡하다.

프리캐스트 캔틸레버 공법의 특징은 다음과 같

다.

① 취급이 편리한 치수, 경량의 세그먼트로 분할하여 시공할 수 있으므로 대형구조물, 복잡한 형상의 구조물에도 비교적 쉽게 시공할 수 있다.

② 세그먼트는 일정한 장소에서 제작되므로 콘크리트의 품질관리가 용이하고 세그먼트를 연속적으로 제작하므로 인력관리 및 거푸집 전용이 가능하다.

③ 세그먼트 제작을 하부공사와 병행해서 실시할 수 있으므로 현장타설 방식에 비해서 공기를 단축시킬 수 있다.

④ 상부구조 가설시 콘크리트는 상당한 재령에 도달해 있으므로 가설후에 발생하는 크리프, 건조수축 등에 의한 소성변형이 적게 발생하여 프리스트레스의 감소량 등이 작아져 유리하다.

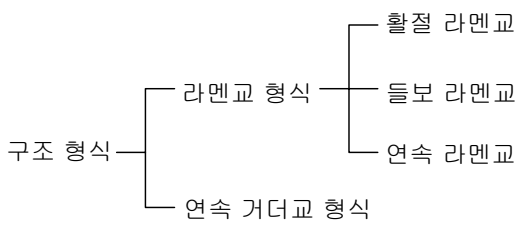
⑤ 세그먼트의 운반, 가설을 위해 비교적 대형의 장비가 필요하다.

⑥ 세그먼트의 제작 및 야적을 위해 넓은 장소가 필요하다.

⑦ 선형관리가 현장타설 방식에 비해 복잡하고 오차수정이 어렵다.

(2) 캔틸레버 공법 교량의 구조형식

캔틸레버 공법으로 시공하는 교량의 완공후의 구조형식은 다음과 같이 라멘교 형식과 연속거더교 형식으로 분류할 수 있다.



① 라멘교 형식

라멘교는 상·하부 구조를 일체화시킨 교량형식으로 다음과 같은 장·단점이 있다.

가. 장점

(가) 상·하부 구조가 일체로 되어 있어 받침장치가 불필요하고 연속구조인 경우에는 신축이음장치가 적어지므로 주행성이 좋아지고 유지관리가 감소한다.

(나) 다경간 형식에서는 지진시 수평력을 각 교각에 분산시켜 설계할 수 있고 교각 하단에 작용하는 휨모멘트도 작아지므로 지진시에 유리하게 되는 경우가 많다.

(다) 부정정구조이므로 부재의 일부가 항복하여도 응력의 재분배가 이루어져 갑작스런 구조계 전체의 파괴를 방지할 수 있다.

(라) 캔틸레버 공법을 적용할 때 불균형모멘트에 저항하기 위한 가설 고정장치가 불필요하다.

나. 단점

부정정구조이므로 프리스트레스, 온도, 콘크리트의 건조수축, 크리프, 기초의 부등침하 등에 의한 영향이 크다.

이상과 같은 장·단점이 있으나 이들은 교량가설 위치의 지형, 지질, 구조물의 형상, 치수, 시공조건 등에 의해 좌우되므로 라멘교 형식을 채택하는 경우에는 이상의 조건들에 대한 충분한 검토가 필요하다.

다. 활절 라멘교

캔틸레버 공법으로 시공한 뒤 <그림 508.27>과 같이 중앙이음부를 활절(hinge)로 처리하는 교량형식이다. 이 구조형식의 장·단점은 다음과 같다.

(가) 장점

㉮ 정정구조계이므로 구조해석 및 설계가

<그림 508.27> 활절 라멘교

쉬우며, 가설중의 휨모멘트와 완성후의 휨모멘트가 일치하므로 텐던 배치가 간단하며 텐던양도 적다.

㉯ 크리프나 온도변화에 의한 내부 구속력이 발생하지 않는다.

㉰ 교각기초가 부등침하하는 경우에 연속거더교에 비해 그 영향이 적기 때문에 연약지반에도 적용할 수 있다.

(나) 단점

㉮ 모멘트 재분배가 이루어지지 않으므로 연속교 형식에 비해 교량 내하력이 작아진다.

㉯ 활절부분은 설계와 시공이 어렵고 장기적으로 볼 때 활절부분에서 여러 가지 문제점이 발생되어 유지관리 비용이 많이 든다.

㉰ 교대측 경간길이가 인접 경간길이의 $\frac{1}{2}$ 이하일 때는 박스거더 자체가 교대 위쪽으로 들릴 염려가 있으므로 교대에 박스거더를 고정시키든지, 아니면 교대축 박스거더를 무겁게 하여 안정성을 확보해야 한다.

㉱ 위의 단점들 보다 더욱 심각한 결점은 긴장재의 릴랙세이션이나 콘크리트의 크리프에 대해 지나치게 민감한 거동을 한다는 것이다. 즉, 경간중안에 있는 활절로 인해 크리프에 의한 연직처짐이나 변형각에 대해 구속력이 없게 됨에 따라 장기적인 변형이 크게 일어나게 되어 차량의 주행성에 문제를 야기시키고 미관상의 문제점도 유발시킨다.

위에서 언급한 여러 문제점이나 결점 때문에 오늘날 국내·외적으로 이 방식을 더 이상 사용하지 않고 있다. 다만, 아래와 같은 상황에서 활절 라멘교가 어느 정도 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

<그림 508.28> 게르버 라멘교

<그림 508.29> 연속 라멘교

㉮ 경간길이가 짧거나 형고비(경간길이/형고)가 작은 경우 또는 등단면인 경우에는 중앙 활절에서의 장기처짐을 보다 정확하게 예측할 수 있고 탄성처짐이 작으면 장기처짐 또한 작아지므로 어느 정도 적용성이 있을 것이다.

㉯ 텐던량을 설계기준에서 일반적으로 요구하는 양보다 더 넣어서 긴장력을 많이 도입하면 장기변형에 의한 수직변위를 상당히 줄일 수 있다.

㉰ 부착시키지 않은 긴장재(외부 긴장재)를 중앙 활절 근처에 추가로 배치함으로써 중앙의 처짐을 줄일 수 있다.

라. 게르버 라멘교

기초침하 등에 의해 지점간 부등침하가 발생할 가능성이 있는 지역에는 연속교 형식이 별로 좋지 않다. 이런 지형조건을 고려하면서 활절 라멘교에 비해 처짐각 차이가 크지 않도록 고안된 방식이 바로 <그림 508.28>에 있는 것처럼 중앙에 독립된 게르버를 걸치는 방법이다. 그러나 구조적인 특성 때문에 3경간 교량의 경우 양쪽 교대측 경간이 매우 짧은 경우에만 적용성이 좋고 적정비율은 교대측 경간이 중앙경간에 대해 ⅓ 정도일 때이다.

중앙에 걸치는 게르버보는 주로 정모멘트만 받으므로 굳이 박스단면을 쓸 필요없이 캔틸레버 부분과 복부수만 같게 한 I형이나 T형 단면을 사용해서 자중을 줄일 수도 있다. 그러나 이 형식도 활절 라멘교 방식과 마찬가지로 내하력이 작고 신축이음장치가 많은 단점이 있다.

마. 연속 라멘교

이 형식은 캔틸레버부 시공후 이음부를 <그림 508.29>와 같이 현장타설 또는 프리캐스트 세그먼트로 연결시키고 긴장력을 도입시켜 일체화시킨 것이다. 이 형식은 신축이음장치가 적어지므로 주행성이 좋고 교각의 받침 또한 불필요하므로 유지관리가 쉽다. 고차 부정정구조이므로 내진, 내풍에 강한 특징을 갖기 때문에 최근 시공예가 증가하고 있다.

이 구조계는 일반적으로 연속 거더교 형식에 비해서 고차 부정정이고 프리스트레스, 온도, 콘크리트의 건조수축, 크리프, 기초의 부등침하에 의한 영향을 많이 받게 되고 항상 교각기초에 수평력이 작용하는 단점이 있다. 그러나 지진하중 등에 의한 수평력을 각 교각에 분산시켜 설계할 수 있고 받침에 소요되는 비용이 적다는 등의 이유에서 연속 거더교 형식보다 경제적인 점이 있다.

다경간 연속 라멘교 형식은 콘크리트 크리프, 건조수축의 영향, 프리스트레스, 온도변

화의 영향 등에 의한 거더의 신축량이 크고 교각의 변형량도 크기 때문에 소성이 큰(즉, 연성이 큰) 높은 교각을 갖는 교량구조에 적합하다.

② 연속 거더교 형식

연속 거더교는 박스거더를 2경간 이상 연속시키고 박스거더가 교각과 교대 위에 설치된 받침으로 지지되는 교량형식이다. 연속 거더교 형식을 캔틸레버 공법으로 가설할 때에는 가설중에 발생하는 불균형모멘트에 저항하기 위한 가설 고정장치를 추가로 설치해야 하는 점과 공용중에 발생되는 받침의 유지관리 등이 단점이다. 받침의 형식과 기능에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

가. 단일 고정방식(<그림 508.30> 참조)

단일 고정방식은 고정받침을 1개만 설치하고 다른 받침은 모두 가동받침으로 하는 연속 거더교 형식이다. 온도 및 지진하중 등에 의한 상부구조의 수평력이 1개의 고정교각(고정받침이 설치되는 교각)에 집중되기 때문에 고정교각을 크게 만들어야 한다. 종방향 온도변화, 크리프 및 건조수축 등에 의한 부정정력은 발생하지 않는다.

나. 복수 고정방식(<그림 508.31> 참조)

복수 고정방식은 고정받침을 다수 설치하고 지진하중 등에 의한 수평력을 다수의 교각으로 분산시키는 연속 거더교 형식이다. 고정교각의 크기를 단일 고정방식의 경우보다 작게 할 수 있지만 온도변화, 크리프, 건조수

<그림 508.30> 연속 거더교(단일 고정방식)

<그림 508.31> 연속 거더교(복수 고정식)

<그림 508.32> 연속 거더교(스토퍼 방식)

축 등에 의한 부정정력이 발생한다. 온도변화 등의 영향에 대해서는 교각의 연성을 고려해 해석하는 방식 또는 지반의 변형을 고려해 해석하는 방식이 있다.

다. 스토퍼 방식(<그림 508.32> 참조)

이 방식은 고정교각을 1개 또는 여러 개 설치하고 다른 가동교각에 스토퍼 또는 댐퍼를 추가로 설치하는 연속 거더교 형식이다. 이 스토퍼에 의해 지진하중 등에 의한 과도한 수평력은 교각으로 분산되고 온도변화 등에 의한 박스거더의 신축은 구속되지 않는다. 스토퍼는 박스거더 하단에 설치된 凸과 교각상단에 설치된 凹를 결합시키는 구조이며 수평력을 흡수하기 위해 凹부에 고무패드, 판스프링 또는 점도가 큰 액체를 주입시키는 방법을 사용한다. <그림508.33>은 스토퍼의 구조를 나타내는 것이다. 이와 같은 스토퍼 외에 최근에는 유압실린더를 이용한 기계적인 방식이 사용되는 드문 경우도 있지만 특수한 예이며, 현재 이 부분에 대해서는 연구 개발중이다. 내진설계를 고려하지 않는 경우 수평력은 주로 온도하중, 차량의 제동하중에 의한 양이고 이 양에 대해서는 받침을 설계할 수 있었으나 내진설계를 고려하게 되면 수평력이 받침이 담당할 수 없을 정도로 과도해지는 경우가 발생할 수 있는데 이때 스토퍼나 면진받침을 이용하여 효과적으로 이 문제에 대처할 수 있다.

(3) 캔틸레버 공법 교량의 교각형식

캔틸레버 공법으로 시공되는 교량의 교각은 시공중 및 시공후의 모든 하중에 대해서 안전하도록 설계해야 한다. 특히, 캔틸레버부 가설중에 발생하는 커다란 불균형모멘트 및 변형을 교각이 부담해야 하므로 각별한 주의가 요구된다. 캔틸레버 공법으로 시공되는 교량의 교각형태는 다양한 것들이 사용되고 있지만 교량의 구조형식과 가설위치의 지형, 지질 및 미관 등을 고려해서 적절한 것을 선정해야 한다.

① 교각의 종류

캔틸레버 공법에 사용되는 교각은 다음과 같은 것들이 있다.

ⅰ) 모멘트 저항교각(moment resisting pier)

ⅱ) 연성 양주교각(piers with twin flexible legs)

ⅲ) 연성 단주교각(single flexible pier)

(a) 액체 사용 스토퍼

(b) 판스프링 사용 스토퍼

<그림 508.33> 스토퍼 형상

가. 모멘트 저항교각

모멘트 저항교각은 캔틸레버부 시공중 발생하는 불균형모멘트를 주두부가 위치하는 1개의 교각 강성으로 저항하는 교각형태이다. 따라서 교각의 단면은 커지게 되는 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 교각형태이다.

교각 높이가 낮지만 교각 강성이 큰 모멘트 저항교각을 사용한 연속 라멘교의 경우에는 콘크리트의 부피변화(건조수축, 크리프, 온도팽창 등에 의한)와 프리스트레스에 의한 2차응력의 영향으로 교각과 상부구조의 접합부에 대단히 큰 응력이 발생되므로 주의해야 한다. 즉, 접합부에 응력집중으로 인한 균열 등의 향후 문제가 발생될 가능성이 대단히 크다. 따라서 이와 같은 경우에는 상부구조가 교축방향(종방향)으로 이동할 수 있는 연속 거더교 구조를 사용하는 것이 바람직하다. 연속 거더교 구조는 시공중 안정성을 위해 가설 고정장치를 설치하거나 가지주를 설치해야 한다.

나. 연성 양주교각

연성 양주교각은 강성이 비교적 작은 2개의 기둥 구조로 된 교각형태로서 캔틸레버부 시공중 및 시공후에 발생하는 교축방향의 수평력이 양주의 연성으로 조절되어 교각상단과 상부구조 사이의 접합부에서의 응력집중을 방지할 수 있게 된다. 이런 형태 교각은 <그림 508.34>와 같은 강결구조와 <그림 508.35>와 같은 받침구조가 있다. 이 형태의 교각은 다음과 같은 장점이 있다.

(가) 두 개의 지지점이 있으므로 수직하중에 대해서 효과적이다.

(나) 수평연성이 크므로 연속교의 신축에 보다 효과적으로 대응할 수 있다.

(다) 간단한 브레이싱 등으로 캔틸레버 시공중 안정성을 확보할 수 있다.

양주는 온도하중 등에 의한 교축방향의 이동량에 대처할 만큼의 연성을 가져야 함은 물론이고 차량의 제동하중을 흡수하고 구조물의 전체 안정성을 확보할 수 있을 만큼의 충분한 강성을 지녀야 한다. 양주는 경사지게 하거나 수직으로 배치할 수 있다. 양주가 경사져 있으면 휨모멘트를 감소시킬 수 있으며 양주가 끝단에서 힌지구조로 결합되거

<그림 508.34> 양주 교각(강결구조)

<그림508.35> 양주 교각(받침구조)

나 양주의 부재축이 기초면으로 수렴하면 휨모멘트가 상쇄되거나 최소화되어 기초에는 <그림 508.34>와 같이 균등한 응력분포가 나타난다. 이 구조는 마치 라멘이나 아치와 유사하게 되며 교축방향의 수평력에 의한 비틈에 대해서 한쪽 주는 인장, 다른 한쪽 주는 압축상태에 있게 된다. 이와 같은 인장력에 대처하기 위해 양쪽 주 모두를 프리스트레스 하는 경우도 있다. 이와는 달리 양주가 수직인 경우에는 아치 효과가 없으므로 수평력에 의한 비틈에 대해서 양쪽 기둥의 휨저항만으로 안정성을 확보하도록 해야 한다. 한편, 이런 형식의 교각설계시 주의할 사항은 안정성과 좌굴문제이다. 교각의 강성이 비교적 작기 때문에 전체구조 및 시공중인 구조의 안정성과 교각의 국부좌굴에 대한 검토를 반드시 행해야 한다.

다. 연성 단주교각

연성 단주교각은 강성이 비교적 작은 1개의 교각을 주두부에 설치하는 교량형태이다. 강성이 작기 때문에 시공중의 불균형모멘트에 저항하기 위한 가지주 등을 설치해야 한다. 이 형태의 교각은 교각 높이가 큰 연속라멘교에 적합하다.

② 교각의 단면형태

캔틸레버 공법의 교량에 사용되는 교각의 단면형태는 다음과 같은 것들이 사용된다.

ⅰ) 속빈단면
ⅱ) 속찬단면
ⅲ) I 또는 H형 단면
ⅳ) 프리캐스트 단면

미국의 설계자들은 속찬단면이 경제적인 것으로 인식하고 있으나, 유럽에서는 속빈단면이 시공중·후에도 더 효과적이고 경제적인 것으로 생각하고 있다. 경우에 따라서는 I, H형 단면이 사용되기도 하는데 이 단면들은 비틈강성이 작기 때문에 균형 캔틸레버 시공시 가설하중, 특히 풍하중에 대한 상부구조의 변형을 제한시킬 필요가 있다. 최근에는 프리캐스트 속빈단면을 사용하여 수직 프리스트레스를 시키는 방법이 사용되기도 한다.

(4) 설계하중 및 하중조합

캔틸레버 공법으로 시공되는 교량의 설계시 다음과 같은 하중을 고려해야 한다. 각 항목들은 교량의 규모, 가설위치 등에 따라 적절히 선택되며 본 항에 포함되지 않은 사항에 대해서는 도·설을 참조한다.

① 종방향 설계하중
가. 주형자중, 추가 고정하중(포장, 난간 등)
나. 작업하중
다. 가설장비하중(작업차, 이동작업거더) 시공시 하중
라. 종방향 프리스트레스
마. 크리프, 건조수축, 릴랙세이션
바. 활하중(DB, DL, 보도하중)
사. 지점침하
아. 종방향의 온도변화
자. 단면내의 온도변화 시공완료후 하중
차. 풍하중, 지진하중
카. 받침의 마찰력
타. 선박충돌하중 등

② 횡방향 설계하중
가. 주형자중
나. 추가 고정하중(포장, 난간 등)
다. 활하중(DB, 보도하중)
라. 횡방향 프리스트레스 등

③ 가설 고정장치 설계하중

연속 거더교를 캔틸레버 공법으로 가설할 때 가설 고정장치를 설치해야 하는데 이를 설계하기 위해서는 교각위치에서 불균형모멘트가 최대로 되도록 다음과 같은 하중을 작용시킨다. 이때 고려되는 구조계는 불균형모멘트가 최대로 되는 상태, 즉 캔틸레버부 길이가 최대일 때이다.

가. 구조의 고정하중

나. 균형 캔틸레버공법에서 생기는 하중의 차이로서 한쪽 캔틸레버에 작용된 고정하중의 2%

다. 작업하중 : 시공중의 분포 활하중으로 한쪽에 50kgf/m^2, 다른 쪽에 25kgf/m^2를 취함.

라. 특수 건설장비로서 가설에 필요한 이동식운반 건설장비 등에 의해 구조물에 작용되는 최대하중, 기타하중.

마. 건설장비 즉 세그먼트의 인양시의 동적효과로 인한 충격하중으로서 통상 10%를 취함.

바. 세그먼트의 불균형, 세그먼트 인양순서의 과오, 기타 비정상적인 조건 때문에 생기는 하중

사. 풍하중 상향력으로서, 한쪽에만 25kgf/m^2의 재하

아. 프리캐스트 세그먼트하중의 급격한 제거나 작용시 생기는 것으로서 정적하중의 2배의 충격하중이 작용.

자. 크리프와 건조수축

차. 온도하중

④ 하중조합

캔틸레버 공법 적용 교량을 설계하기 위해서는 도설을 참조하여 시공시의 설계하중들에 대한 하중조합 및 시공후의 설계하중들에 대한 하중조합을 이용하여 설계하고, 또한 극한하중에 대한 하중조합을 이용하여 안전도를 검사해야 한다.

(5) 단면형태

① 횡방향 단면형태

캔틸레버 공법을 적용하는 PSC 박스거더의 횡단면 형태는 교량규모 및 가설설비의 능력에 따라 단일, 2중, 또는 3중의 박스단면을 사용할 수 있으며, 다른 공법의 경우와 큰 차이가 없지만 단면형태 및 크기는 공사비에 크게 영향을 미치므로 여러 가지 제반조건을 감안해서 결정해야 한다. 일반적으로 사용되는 세그먼트의 중량은 50~80tonf 정도이지만 세그먼트의 단면형태, 크기는 다음과 같은 사항들을 고려해 결정한다. 횡방향 단면형태 및 단면상세에 대해서는 전술한 2.2, 2.3, 2.4를 참조하면 된다.

가. 세그먼트 가설장비의 인양능력

나. 제작장에서 인양장비의 능력(프리캐스트)

다. 세그먼트 운반장비의 능력(프리캐스트)

라. 공기

마. 거푸집의 운영(프리캐스트)

바. 프리스트레스 도입방법(내부 긴장방식, 외부 긴장방식) 및 철근 배근

사. 콘크리트 타설 등

위와 같은 사항들을 고려하여 세그먼트의 형태 및 크기가 개략적으로 결정되며 설계자는 다음과 같은 사항들을 고려하여 세부적인 상세를 결정해야 한다.

가. 세그먼트의 크기는 가능한 한 일정하게 유지시킬 것

나. 세그먼트는 직선으로 제작할 것(프리캐스트)

다. 전단키의 위치, 형상은 일정하게 유지시킬 것(프리캐스트)

라. 바닥판의 두께, 복부두께, 헌치 형상 등은 일정하게 할 것(프리캐스트)

마. 형고가 변하는 경우에는 복부를 수직으로 하고 하부플랜지폭이 변화되지 않도록 하

여 시공성을 높이도록 할 것

바. 콘크리트 타설을 쉽게 하도록 모서리 부분을 완화시킬 것

사. 凹凸부위는 거푸집 탈형을 용이하게 하는 형태로 할 것(프리캐스트)

아. 정착구(정착돌기)나 덕트의 위치는 가능한 일정한 위치로 배열하여 작업성을 높일 것

자. 격벽의 설치 개수와 위치에 주의할 것

일반적으로 사용되는 프리캐스트 세그먼트의 단면형태는 <그림 508.36>과 같다.

② 종방향 단면형태 및 형고 결정

가. 종방향 단면형태

일반적으로 캔틸레버 공법에 의해서 시공되는 교량은 경간길이가 길고 시공중의 구조계가 캔틸레버 형식이므로 주두부에 커다란 부모멘트가 작용하게 되며 고정하중과 활하중의 비가 약 10:1 가까이 되기 때문에 고정하중을 작게하는 것이 경제적이므로 형고를 변화시키는 것이 바람직하다. 이러한 형고의 변화와 함께 하부플랜지의 두께도 변화시켜 주두부에 가까울수록 두께가 증가한다. 그러나 프리캐스트 캔틸레버 공법인 경우에는 세그먼트 제작방법에 따라 종방향 단면형태가 결정된다. 즉, long line방식에 의해서 세그먼트를 제작하는 경우에는 형고를 변화시킬 수 있으나 short line방식인 경우에는 형고를 변화시키기 곤란하므로 등단면을 사용한다.

형고를 변화시키는 방법은 2차 포물선, 3차 곡선, cosine함수를 이용한 곡선 등 다양하며, 시공성 및 미관을 고려하여 결정한다.

나. 형고 결정 방법

캔틸레버 공법 교량의 주두부 및 중앙부의 형고를 결정하기 위해서는 다음과 같은 작업을 수행한다.

(가) 기존의 유사한 교량의 형고를 참조한다.

(나) 교각에서 좌·우로 $\frac{1}{2}$ 경간만큼 캔틸레버된 구조에 전하중을 재하시켰을 때 주두부에 발생되는 부모멘트에 대응할 수 있는 필요 단면강성을 구해 이것을 주두부 형고의 상한치로 본다.

<그림 508.36> 프리캐스트 세그먼트 단면형상

(다) 중앙경간위치의 형고를 구하기 위해서는 중앙단면 폐합 후, 연속교의 정모멘트 구간을 단순보로 놓고 이 위에 전하중을 재하시켰을 때 발생되는 중앙경간 위치의 정모멘트에 대응할 수 있는 필요단면 강성을 구해 이것을 중앙경간 위치의 형고의 하한치로 본다. 활절 라멘교인 경우에는 전단력으로 중앙경간 위치의 형고가 결정된다.

(라) 중앙부의 최소형고를 결정하고 주두부의 형고변화 폭을 결정한 다음, 하부플랜지의 두께를 각각의 형고에 대해서 변화시키면서 주두부 하부플랜지에 걸리는 최대 압축응력의 여유치를 계산한다.

(마) 위에서 계산된 최대 압축응력이 허용응력에 비해서 너무나 안전한 것을 제외시킨다.

(바) 위의 방법으로 계산된 응력검토 외에 PS강재량, 콘크리트, 철근량 등도 함께 고려하고 또 교하공간의 활용성 등을 고려해 최적형고를 결정한다.

③ 기존 교량의 경간길이와 형고의 관계

캔틸레버 공법에 의해 시공된 교량의 구조형식별 최대경간길이와 형고(경간 중앙부, 주두부)의 관계를 <표 508.6>에 나타내었다(이것들은 일본에서 시공된 1970년 이후의 교량들에 대한 것이고, 등형고와 특수한 구조, 형상은 제외된 것임.)

일반적으로 형고비는 활절 라멘교의 경간 중앙부를 제외하고 구조형식과 무관하게 대체로 일정한 값을 나타낸다. 즉, 주두부의 형고는 어느 구조형식을 채택하더라도 가설단계의 구조계(즉, 캔틸레버가 최대인 상태) 및 가설하중에 의해서 결정되기 때문이다. 연속교의 경우에는 경간중앙의 단면력이 연속거더와 연속라멘교가 큰 차이를 보이지 않으므로 두 구조계의 경간중앙의 형고가 비슷하게 되며, 활절 라멘교에서는 경간중앙의 단면력이 전단력만 존재하게 되므로 형고가 연속교의 경우보다 작아진다.

가. 주두부의 형고비 : 17~ 18

나. 경간중앙의 형고비 : 38~40(150m 이상)
29~38(50~150m 이내)
38~61(활절 라멘교)

(6) 경간분할

캔틸레버 공법을 적용하는 교량의 경간분할은 다른 공법에 비해 자유스러운 것이 커다란 특징이며 장점이다. 이것은 교량 하부조건의 영향을 크게 받지 않기 때문이다. 경간분할시 고려해야할 사항은 가설지점의 지형, 지질, 가설장비의 능력,

<표 508.6> 경간길이와 형고의 관계식(일본의 경우)

구조형식	위치	회귀식 H : 형고(m) L : 최대경간(m)	데이터 수	상관계수
활절 라멘교	경간중앙		125	0.94
	주두부	H= 0.060L-0.273	125	0.98
연속 거더교	경간중앙	H= 0.023L+0.367	128	0.87
	주두부	H= 0.055L+0.024	128	0.95
연속 라멘교	경간중앙	H= 0.022L+0.626	72	0.75
	주두부	H= 0.055L+0.546	72	0.88

경제성 등이며, 경간분할 방법은 등경간 분할 및 부등경간 분할이 있다.

① 등경간 분할

경간분할은 1차적으로 가설지점의 지형, 지질과 밀접한 관계가 있지만, 경간 길이비율에 따라 상부구조의 부재력이 큰 영향을 받고, 시공도 이에 따라 많은 변화가 오게 되므로 가능하면 등간격으로 분할하는 것이 좋다. 측경간의 경우 균형캔틸레버 공법에서는 휨모멘트, 측경간의 교대에 연결되는 상부구조의 시공문제, 고정하중의 작용형태, 프리스트레싱 형태, 부정정 효과 등을 고려하여 측경간을 분할 시킨다. 이런 여러 조건을 고려할 경우 가장 적합한 측경간길이는 $0.65l \sim 0.7l$ (여기서, l은 인접경간의 길이임.)인 것으로 알려져 있다. 이 정도의 측경간 분할이면 교대에 상향력이 발생하지 않고 하향의 힘이 작용한다(<그림 508.37>의 방법1).

측경간이 $0.5l$ 보다 상당히 커지면 동바리 또는

<그림 508.37> 등경간 분할

<그림 508.38> 부등경간 분할

<그림 508.39> 규칙적인 부등경간 분할

(a) 등단면

(b) 변단면

<그림 508.40> 세그먼트 분할

가지주를 사용해서 시공하고, 0.5l 정도 또는 그 이하인 경우에는 동바리 없이 캔틸레버로 시공할 수 있으나 교대 부분에서 발생하는 상향력에 대해 안정할 수 있도록 상부구조를 교대에 고정시키든지 또는 단면을 확대하여 자중을 늘리는 등의 방법을 사용해야 한다(<그림 508.37>의 방법2).

교량의 구조형식이 연속교 형식이고, 측경간을 인접경간 보다 먼저 연속화시키는 경우에는 중량이 큰 1～2개의 세그먼트를 캔틸레버로 시공하여 상향력에 대처한다(<그림 508.37> 방법 3). 인접경간을 연속화시킨 후에 측경간을 연속시키는 경우에는 교대와 교각에 발생된 반력을 잭 등으로 조정하고 받침의 상대높이를 조절하면 같은 효과를 얻을 수 있다.

② 부등경간 분할

가설지점의 지형, 지질 등에 의해 등경간으로 분할하는 것이 비경제적인 경우가 발생한다. 즉, 계곡이나 깊은 하천, 해상 등에 교량을 가설하면 상대적으로 하부구조 공사비가 많아 들게 되고, 또 특별한 목적상(수로확보, 미관 등) <그림 508.38>과 같이 중앙부의 경간을 길게 하고, 측경간의 경간을 작게 배치하는 것이 더 경제적일 때는 부등으로 배치한다. 이때 중앙부의 경간길이 L과 측경간의 길이 l의 평균에 해당하는 조정용 경간(λ)을 설치하면 단면력을 개선시키는데 도움이 된다.

$$\lambda \fallingdotseq 0.5(L + l) \qquad (508.20)$$

한편, <그림 508.39>와 같이 계곡에 교량을 건설할 때 미관을 위해서 경간 길이를 교각높이에 따라 규칙적으로 변화시킬 수 있다.

(7) 세그먼트 분할

① 현장타설 캔틸레버 공법의 세그먼트 분할

현장타설 캔틸레버 공법에서 세그먼트의 크기는 시공기간 및 작업의 효율성에 많은 영향을 미

치게 된다. 세그먼트의 크기는 가설장비의 용량에 좌우된다. 세그먼트의 길이는 3~5m 정도가 가장 많이 사용되며, 각 세그먼트의 중량이 같도록 교각에 가까운 쪽은 짧게 하고 중앙으로 갈수록 길게 하는 것이 보통이다. 한편, 공기가 문제가 될 경우에는 세그먼트 길이를 모두 같게 하여 작업(F/T ; Form Traveller)은 다소 무겁더라도 공기를 단축하는 효과를 얻도록 하는 방법이 사용되기도 한다. 주두부의 길이는 작업차의 설치(1대, 2대)와 주두부 설치용 동바리 및 거푸집의 설치조건 등을 감안하여 결정한다.

<그림 508.40>의 (a)처럼 박스거더가 등단면인 경우에 세그먼트의 길이는 한 종류가 되지만, (b)처럼 박스거더가 변단면인 경우에는 작업차가 작업할 수 있는 최대 세그먼트 내에서 단계적으로 세그먼트 길이를 변화시키고, 어떤 일정한 구간 내에서는 세그먼트 길이를 같게 하여 시공성을 향상 시키도록 한다.

세그먼트 길이를 결정하는 방법은 <그림 508.41>에서 타설되는 세그먼트의 콘크리트의 중량에 의한 지지점 A에 대한 휨모멘트를 사용되는 작업차가 지지할 수 있는 최대모멘트(M)와 같게 하여 구할 수 있다. 한편, 교량단면이 2중, 3중인 경우에는 작업차의 각 프레임에 작용하는 하중이 균등하지 않을 수도 있으므로 세그먼트 길이 결정시 이를 고려해야 한다.

$$M = W \times L = \omega A l \times L \qquad (508.21)$$

$$L = \frac{l}{2} + a \qquad (508.22)$$

$$\therefore l = -a + \left(a^2 + \frac{2M}{\omega A}\right)^{0.5} \qquad (508.23)$$

여기서,

M : 작업차의 최대용량(t·m)

W : 세그먼트 무게(tonf)

ω : 콘크리트 단위중량(2.5tonf/m^3)

A : 세그먼트 단면적(m^2)

l : 세그먼트 길이(m)

a : 작업차의 지지점 위치(보통 0.5m)

<그림 508.41> 세그먼트 길이

② 프리캐스트 캔틸레버 공법의 세그먼트 분할

프리캐스트 캔틸레버 공법의 세그먼트 분할은 세그먼트의 제작방법에 따라 달라진다. 즉, 롱라인(long line)공법인 경우에는 한 경간의 전체 선형이 작업대에서 조절되므로 세그먼트 분할은 세그먼트의 인양장비나 운반장비의 능력에 따라 분할되더라도 큰 문제가 없다. 그러나 숏라인(short line)방법인 경우에는 세그먼트 분할이 세그먼트의 제작거푸집과 밀접한 관련을 가지므로 이와 연관하여 분할을 실시해야 한다. 즉 거푸집의 측대면과 바닥거푸집이 항상 수직을 이룬다는 점에 주의하면서 세그먼트를 분할해야 한다. <그림 508.42>에는 종단선형 및 평면선형에 의한 세그먼트의 인양 및 가설장비의 능력 내에서 세그먼트의 크기가 결정되어야 한다.

(8) 텐던 배치

① 개요

캔틸레버 공법으로 시공되는 교량의 주텐던은 시공중 발생하는 부모멘트에 저항하기 위해 주형

(a) 종단선형에 의한 세그먼트 분할 (b) 평면선형에 의한 세그먼트 분할

<그림 508.42> 프리캐스트 세그먼트 분할

(a) 3경간 연속교

(b) 휨모멘트도

(c) 텐던 배치

<그림 508.43> 휨모멘트와 텐던의 배치형태

의 상부에 배치되는 캔틸레버 텐던과 캔틸레버 시공후 연결부(key segment)를 시공하고 연속화 시켰을 때 발생하는 정모멘트에 저항하기 위해 박스거더의 하부에 배치되는 연결텐던(continuity tendon)이 있다. 이들 텐던은 교축방향으로 배치되므로 종방향 텐던으로 분류된다. <그림 508.43>은 휨모멘트와 종방향 텐던의 배치형태를 나타내는 것으로 캔틸레버 공법은 긴장력을 효과적으로 사용하는 공법임을 알 수 있다. <그림 508.44>와 <그림 508.45>는 캔틸레버 텐던과 연결텐던의 배치예를 나타내는 것이다. 종방향 텐던외에 박스거더의 바닥판에 설치되어 바닥판의 횡방향 텐던(transverse tendon), 박스거더의 복부 전단력에 저항하기 위한 복부 전단 텐던(shear tendon)도 배치된다.

<그림 508.44> 캔틸레버 텐던의 배치예

<그림 508.45> 연결텐던의 배치예

② 종방향 텐던

가. 캔틸레버 텐던

이 텐던은 캔틸레버 시공시 세그먼트의 자중 및 가설하중에 의해 발생되는 부모멘트에 저항하기 위해 배치되는 것으로 매 세그먼트가 가설될 때마다 단계적으로 긴장되는 텐던이다. 이 텐던의 시공을 위하여 바닥판에 배치되는 것이 일반적이지만, 경우에 따라서는 복부까지 경사지게 배치하여 복부 전단력을 상쇄시키기도 한다. 중앙에 활절을 갖는 활절 라멘교인 경우에는 이 텐던만 필요하게 된다.

캔틸레버 교량에 사용되는 긴장재는 인장력이 작은 긴장재를 다수 사용하는 것보다 1개당 프리스트레싱을 크게 할 수 있는 것을 적게 사용하는 것이 시공상 유리하다. 일부 국가에서 긴장재로서 강봉을 사용하고 있는데, 강도가 적다는 점과 텐던배치가 곡선인 경우에는 선형유지 등의 문제가 있으므로 강선이 유리하다.

캔틸레버 텐던의 배치방법은 복부쪽으로 경사지게 배치하여 복부에 정착시키는 방법(경사배치)과 바닥판에 정착시키는 방법(수평배치)이 있다.

(가) 경사배치 방법

긴장력에 의한 상향의 수직력을 효과적으로 이용하기 위해 복부쪽으로 텐던을 휘어 배치하는 방법이다. 일반적으로 텐던의 정착은 각 세그먼트의 단부(이음부) 복부에서 행해진다. 따라서, 복부두께는 긴장력에 의한 집중하중에 충분히 저항할 수 있도록 설계되어야 하며, 복부두께가 얇은 경우나 콘크리트 강도가 작은 경우에는 <그림 508.46>과 같이 덕트를 따라서 균열이 발생할 가능

성이 있다. 이 균열은 정착구 배면에 수직방향의 프리스트레스를 도입하거나 철근보강을 실시함으로써 방지할 수 있다. 한편, 세그먼트의 하단부에서는 긴장력의 경사분력에 의한 전단력이 평형을 이루지 않으므로 수직방향으로 스터럽을 설치하여 평형을 이루게 한다. 텐던이 <그림 508.47>처럼 하부플랜지와 복부의 접합부(헌치부)에서 정착되는 경우에는 이러한 문제가 생기지 않는다.

형고가 변화하는 변단면 교량에서는 <그림 508.48>처럼 정착구의 위치(d'), 텐던과 세그먼트의 이음부가 교차하는 위치(d)를 일정하게 유지시키도록 한다. 이렇게 되면 텐던의 경사(α_i)는 매 세그먼트마다 변하게 되고, 지점 부근에서 최대경사를 갖게 되어 전단력이 가장 큰 부분의 전단응력을 감소시킬 수 있게 된다. 형고가 일정한 등단면 교량에서는 <그림 508.49>처럼 텐던의 배치가 인접 세그먼트로 평행 이동된 것처럼 배치된다. 연결텐던의 경우에도 같은 방법으로 배치된다.

최근의 몇몇 교량에서는 세그먼트 사이의 이음부에서 텐던을 정착하지 않고 <그림 508.50>과 같이 박스거더 내부에 설치된 돌기(buttress) 또는 리브(rib)에서 정착시키는 방법을 사용하기도 했다. 이렇게 하면 다음과 같은 장점이 있다.

㉮ 박스거더 내부에서 긴장작업, 정착작업, 그라우트 작업 등을 안전하고 손쉽게 행할 수 있다.

㉯ 세그먼트 가설시에는 가설되는 세그먼트의 자중분만큼만 캔틸레버 텐던을 배치시켜 긴장할 수 있으므로 시공속도가 향상되며, 현장 연결부 시공후 추가의 캔틸레버 텐던을 배치시켜 긴장한다.

그러나 이와 같은 텐던의 배치는 정교한 시공기술과 과도한 마찰손실을 유발시키므로 주의를 요한다. 정착돌기는 복부와 바닥판에 정착력을 분산시키기 위해 바닥판과 복부의 경계부에 설치하는 것이 일반적인 방법이다. 또 2개의 텐던이 교차해서 정착되는 교차 정착식과 바닥판 내에 정착부를 설치

<그림 508.46> 복부에 정착된 캔틸레버 텐던

<그림 508.47> 복부와 하부플랜지의 접합부에 정착된 캔틸레버 텐던

<그림 508.48> 변단면 교량의 캔틸레버 텐던 배치

<그림 508.49> 등단면 교량의 캔틸레버 텐던 배치

<그림 508.50> 정착돌기에 의한 정착방법

하는 매입 정착식이 있다.

(나) 수평배치 방법

이 방법은 텐던이 바닥판 내에 모두 배치되는 것으로 측면에서 보면 거의 직선이고 평면에서 보면 오늬모양을 갖는 배치 형식이다. 텐던의 정착위치는 세그먼트 단부의 복부와 바닥판의 접합부(헌치부) 또는 박스거더 내부에 설치된 돌기이다. 이와 같이 수평으로 텐던을 배치하면 긴장력에 의한 전단력의 감소를 기대하기 곤란하므로 복부에 수직 프리스트레스 또는 추가 스터럽을 배치해야 하는 단점이 있으나 다음과 같은 장점도 있다.

㉮ 설계, 시공의 단순화가 가능하다.

㉯ 곡률 및 파상 마찰손실 감소로 인한 긴장력의 효율적 이용이 가능하다.

㉰ 긴장재의 쉬스 내의 배치(삽입)가 쉽다.

㉱ 복부에 텐던이 배치되지 않으므로 복부 두께를 얇게 할 수 있고, 높이가 큰 복부 콘크리트의 타설이 보다 용이해진다.

한편, 형고가 일정한 등단면의 경우는 하부플랜지의 곡률로 인한 전단력의 감소효과(resal effect)가 없으므로 수직 프리스트레싱이 변단면보다 더 많이 필요하게 된다. 수평배치된 텐던의 설계와 배치는 휨모멘트로 결정되고, 복부의 전단강도는 수직 프리스트레싱 또는 전단철근에 의해 전적으로 확보되도록 설계한다.

나. 연결 텐던

이 텐던은 캔틸레버부 시공이 끝난 후 연결부를 시공하고 연속화시키는 구조형식에 필요한 것으로, 연속화 이후 시간경과에 따라 발생하는 정모멘트에 저항하도록 설치된 텐던이다. 이 텐던이 사용됨으로써 별개의 구조물이었던 양쪽의 캔틸레버 구조물이 하나의 구조물을 형성하므로 이를 일체텐던(integration tendon)이라고도 한다. 이 텐던은 주로 하부 플랜지에 정착되지만 바닥판까지 휘어 배치되는 경우도 있다. 연결텐던은 정착위치에 따라 <그림 508.51>과 같이 여러 형태로 배치될 수 있다.

(가) 복부를 따라 경사져 올라 바닥판에 설치된 정착부에 정착되는 (A)의 경우에 캔틸레버 텐던이 경사져 배치되어 있으면 복부에서 이 텐던은 캔틸레버 텐던과 서로 중복된다. 따라서, 복부에는 다수의 경사 텐던이 중복 배치되고, 복부의 전단강도가 저하되므로 직경이 작은 철근으로 전단보강을 해야 한다. 한편, 바닥판에 위치한 연결텐던은 정착구를 타고 물이 스며들 가능성이 있으므로 이 부분은 철저한 방수처리가 필요하다.

(나) 하부플랜지 또는 복부와의 접합부에 설치된 정착돌기에서 정착되는 (B)의 경우는 캔틸레버 텐던의 수평배치와 유사하게 배치된다.

(다) 지점부에서는 캔틸레버 텐던의 역할을 하고, 경간 중앙에서는 연결텐던 역할을 하는 텐던배치(C)

<그림 508.51> 연결텐던의 배치형태

연결텐던은 하부플랜지의 축선을 따라 배치된다. 형고가 변화할 때는 하부플랜지의 축선이 곡선이 되므로 이 축선을 따라 배치된 연결텐던은 아래 방향으로 힘을 작용시키고, 이 힘에 대해서 하부플랜지의 횡방향 휨이 저항해야 한다. 한편, 하부플랜지에 작용하는 교축방향의 압축응력은 상향의 힘을 유발시키고, 이것은 연결텐던에 의한 하향의 힘을 어느 정도 상쇄시킨다. 그러나 하부플랜지의 자중과 활하중, 온도하중 등에 의해서 하향의 응력은 증가되고, 이것이 텐던에 의한 하향의 응력과 중첩되어 이에 대한 충분한 철근보강 조치를 하지 않으면 하부플랜지에는 균열이 발생하게 된다. 곡률에 따라 다르겠지만 어떤 경우에는 연결텐던의 곡률에 의한 하향의 응력이 자중에 의한 것보다 4~5배 이상인 예도 있으므로 주의를 요한다. 또한 도면에서 제시된 곡률과 실제 시공시 설치되는 텐던의 곡률이 서로 다르게 되어 실제로는 계산보다 더 많은 배근이 필요하게 된다는 점을 주지해야 한다. <그림 508.52>는 위에서 설명한 사항을 나타내고

<그림 508.52> 하부플랜지에 배치된 연결텐던의 곡률효과

있다.

한편, 세그먼트가 서로 만나는 부분, 즉 이음부에서 쉬스는 보통의 경우에 제 위치에 놓이게 되지만, 연성 쉬스를 사용하거나 인접 세그먼트의 상대변위가 과도해지면 이 부분에서 쉬스의 각도가 불연속해질 수 있다. 이러한 경우에는 이 부분의 마찰손실이 클 뿐만 아니라 긴장력이 <그림 508.53>과 같이 불연속 부위에 집중되어 하향의 집중하중이 작용되고, 이로 인해 하부플랜지의 내호면(內弧面)에 국부적인 할열과 파열이 발생될 가능성이 있다. 이러한 문제는 연성덕트를 강성 쉬스로 교체하고, 시공시 쉬스의 불연속을 방지함으로써 해결 가능하다. 키세그먼트와 인접한 세그먼트의 이음부에는 쉬스 둘레의 보강철근을 배치하여 국부적인 파손을 방지하는 방법도 고려할 수 있다.

<그림 508.53> 쉬스 배치 실수에 의한 국부응력

연결텐던을 하부플랜지에 설치된 정착돌기에서 정착시킬 때 한 단면 내에 여러 개의 정착구를 설치하면 긴장력에 의해서 정착구 배면에 <그림 508.54>와 같이 인장균열이 발생할 가능성이 있으므로 주의해야 한다. 프리캐스트 세그먼트 교량인 경우에는 이음부를 통과하는 철근이 없으므로 이음부에서 균열이 발생하게 될 가능성이 많다. 이 부분에 대한 상세사항은 콘·지 Ⅱ 5-3.14 세그먼트 제작 및 시공시 주의사항을 참조하도록 한다.

다. 종방향 텐던의 배치형상과 긴장력의 손실

캔틸레버 공법에서는 다수의 이음부가 있으므로 긴장력 도입시 강재의 마찰손실이 표준식으로 계산한 것보다 크게 된다. 즉, 각 이음부에서 쉬스의 예측치 못한 경사 및 곡률이 발생되므로 마찰손실 계산시 이를 고려하여야 한다. 이러한 사항은 이음부에서 쉬스를 연결(coupled)할 수 없는 프리캐스트 세그먼트교인 경우에 특히 중요하다. 마찰손실을 감소시키는 방안은 다음과 같은 방법이 있다.

(가) 쉬스의 직경을 약간 크게 한다.

(나) 설계 및 시공시 텐던의 불연속을 제한한다.

(다) 텐던의 곡률반경을 크게한다.

그러나 마찰손실을 감소시키기 위한 가장 좋은 방법은 수평으로 텐던을 배치하는 것이다. 수평배치는 쉬스의 배치작업이 쉽고 설계 또한 간편하므로 많이 사용되고 있으며, 특히 프리캐스트 세그먼트교인 경우에는 품질관리가 용이하다. 곡선형으로 텐던을 배치하는 경우에는 쉬스의 분할이 최소가 되도록 해야 한다.

라. 종방향 텐던양 및 배치시 주의사항

(가) 텐던양 계산 흐름도

<그림 508.54> 정착돌기 배면의 균열

종방향 텐던량은 구조물의 허용응력 및 배치 가능성으로부터 결정되며 현장타설 캔틸레버 공법의 텐던양 계산 흐름도는 <그림 508.55>와 같다.

(나) 텐던 배치시 주의사항

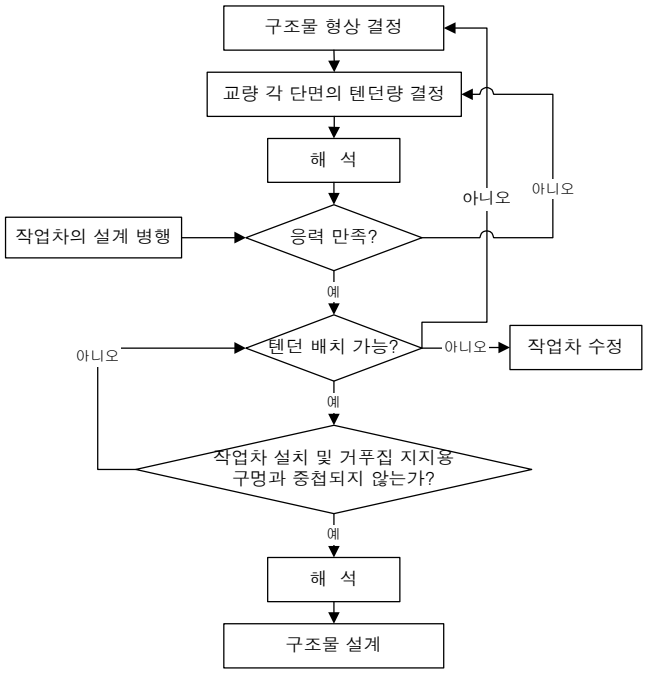
설계 및 시공시 다음 사항을 고려하여 종방향 텐던을 배치시킨다.

㉮ 정착위치의 결정 : 정착위치는 시공성을 위하여 단면의 일정한 위치에 결정하는 것이 좋다. 이때 사용될 정착구의 크기 등을 고려하며, 연단거리 및 긴장시 작업공간 등도 동시에 검토되어야 한다.

㉯ 작업차 운용을 위한 구멍의 위치 및 크기 결정 : 현장타설 캔틸레버 공법의 경우 작업차는 기시공된 세그먼트에 고정되어 다음 세그먼트를 가설하므로 바닥판 및 하부플랜지에 구멍이 생기게 된다. 따라서, 모든 텐던의 위치는 이러한 구멍과 교차되어서는 안되며 이를 피하는 선형이 되도록 해야 한다.

㉰ 텐던 정착부의 최소거리 : 설치되는 텐던은 배치형상이 곡선을 이루더라도 정착부에서는 최소의 직선선형을 확보하여야 한다. 이 길이는 텐던의 크기 및 사용되는 정착구에 따라 다르므로 텐던 배치시 주의해야 한다.

㉱ 텐던의 최소 곡률반지름 : 대부분의 경우 텐던은 시공성 및 구조적인 이유로 인하여 정착되는 위치가 일정하므로 텐던 선형이



<그림 508.55> 종방향 텐던양 결정 흐름도

정착부 부근에서 곡선을 이루게 된다. 이러한 곡선은 최소 곡률반지름으로 제한을 받게 되고 사용되는 정착구에 따라 정해지므로 주의해야 하며, 이 반지름은 텐던의 단위가 클수록 증가하게 된다. 특히, 하부의 연결 텐던의 정착부 부근에서는 작은 반지름이 형성되어 응력집중에 의한 균열이 발생할 가능성이 크므로 엄밀한 검토가 필요하다.

㈐ 사용될 잭의 크기 : 사용될 잭의 크기 및 성능을 파악하여 긴장할 수 있는 공간을 확보하도록 정착부 블록의 위치 및 크기를 결정하여야 한다. 특히, 박스거더 내부에서 긴장하는 경우에는 작업공간이 확보되도록 주의해야 한다.

㈑ 횡방향 텐던의 사용유무 : 횡방향 텐던이 사용되는 경우에는 종방향 텐던을 횡단면의 캔틸레버 연단으로부터 적당한 거리만큼 유지시켜 횡방향 텐던의 설치에 지장이 없도록 해야 한다.

㈒ 복부전단 텐던의 사용유무 : 복부 텐던을 사용하게 되면 종방향 텐던과 서로 간섭되므로 복부 양측의 헌치에 정착부를 설치하여 양방향의 텐던이 각각 정착될 수 있도록 한다.

③ 횡방향 텐던

캔틸레버 공법 교량의 횡방향 텐던은 다른 공법으로 시공되는 교량의 횡방향 텐던과 설치 목적이 동일하다. 횡방향 텐던은 바닥판 및 하부플랜지의 길이가 길어 철근 보강만으로는 횡방향 모멘트에 저항하기 곤란할 때 사용된다. 횡방향 텐던용으로 사용되는 강재는 비교적 직경이 작은 것을 사용하여 횡방향 텐던의 배치간격을 작게 하고, 종방향 텐던에 영향을 주지 않도록 하며, 바닥판의 두께를 증가시키지 않도록 해야 한다. 횡방향 텐던의

배치간격은 작용되는 응력으로 결정되지만, 복부 전단 텐던의 위치와 만나지 않도록 간격이 조정되어야 한다. 한편, 받침이 복부 밑에 위치하지 않는 교각 및 교대의 격벽은 횡방향 텐던을 설치하는 것이 바람직하다.

④ 복부전단 PS강재

복부전단 PS강재는 종방향 텐던이 경사 배치되지 않아 전단응력의 감소를 기대할 수 없는 경우나 복부에 횡방향의 휨이 크게 작용할 때 배치시켜 복부의 전단강도를 증대시키는 역할을 한다. 복부전단 PS강재의 배치는 수직 또는 경사로 배치시킬 수 있으나 경사 배치는 시공상 어려움이 있으므로 수직으로 배치하는 것이 일반적이다. 현장타설 캔틸레버 공법의 경우에 복부전단 PS강재가 작업차의 지지점 역할을 동시에 수행하도록 배치시킴으로써 시공성을 향상시킬 수 있다. 따라서, 작업차의 지지위치가 복부전단 PS강재의 위치 결정에 중요한 요인이며, 이를 고려하여 복부전단 PS강재의 간격이 조정되어야 한다.

(9) 구조해석

① 종방향 구조해석

가. 개요

현장타설 캔틸레버 공법 교량은 콘크리트의 시간의존성 특성인 크리프 및 건조수축의 영향을 많이 받고, 구조계의 변화에 따른 응력재분배 현상을 크게 받는 구조이다. 즉, 세그먼트를 순차적으로 시공하게 됨에 따라 각 세그먼트의 콘크리트의 재령차에 의해서 크리프 및 건조수축 양이 달라지게 되고, 정정구조계를 현장 연결부의 시공에 의해서 부정정구조계로 전환시킴으로써 단면력의 변화가 발생한다.

정정구조계의 경우에는 크리프에 의해서 단지 처짐의 증가 및 긴장력의 손실만이 존재하게 되지만, 캔틸레버 공법 교량과 같이 정정구조물이 연결되어 부정정구조물이 되는 경우에는 처짐의 증가에 따라 구조물이 구속되어 있어 부정정력이 발생하게 된다. 이러한 부정정력으로 인하여 구조물의 단면력(응력)의 변화가 있게 되는데 이를 응력재분배(stress redistribution)라 한다. 이러한 응력재분배는 시간의 함수인 크리프의 진행에 따라 계속 발생하므로, 응력재분배 역시 시간경과에 따라 진행이 계속된다.

<그림 508.56>과 같이 양단이 각기 고정된 두 개의 캔틸레버 구조를 살펴본다. <그림 508.57>은 이 구조의 시간 경과에 따른 처짐 및 단면력의 변화를 나타내는 것이다. (a)는 시공이 완료된 직후이고, (b)는 중앙에 활절을 갖는 구조계로 두 캔틸레버를 연결시키고 일정시간이 경과한 후의 처짐 및 단면력을 나타낸 것이다. 크리프에 비례해 처짐이 증가될뿐 응력의 재분배는 일어나지 않는다. 그러나, (c)는 중앙부를 연속으로 처리한 경우로서 크리프계수가 1.5이므로 처짐이 δ=15.0 만큼 발생해야 하는데 중앙부의 연속화로 인해 δ=12.0의 처짐이 발생한다. 또, 중앙부의 연결로 인한 구조계의 변화는 모멘트의 변화를 발생시켜 지점부에서는 -100에서 -90으로 감소하고, 중앙부는 0에서 +10으로 증가된다. 즉, 이것은 부재 내에서 응력의 변화가 일어나고 부재 전체가 응력을 부담하는 경향을 보이므로 응력재분배가 일어났다고 말한다. 크리프 해석을 통하여 응력재분배의 영향을 구할 수 있으며, 이것은 시간 경과와 밀접한 관계가 있고, 각 시공단계 및 구조물 각 부분의 재령차이 등을 고려해야 하므로 매우 복잡한 계산을 수행해야 한다.

따라서, 캔틸레버 공법으로 시공되는 교량의 구조해석은 하중 경우 수가 많고, 시공단계별로 경계조건이 변화하고, 크리프, 건조수축 등의 시간의존적 영향 때문에 일반범용 구조해석 프로그램으로는 적용하기가 곤란하고, 전용프로그램을 사용하여야 한다. 전용해석 프로그램을 사용한다 하더라도 설계자는 다음과 같은 사항에 대해서 정확히 이해하고 있어야 한다.

(가) 시공단계 및 각 시공단계의 시공시간에 대한 정확한 이해

(나) 시공단계별로 재하되는 설계하중에 대한 정확한 이해

(다) 시공단계마다 변화되는 경계조건에 대한 정확한 이해

(라) 사용프로그램의 구조모델링 기법 및 재료 모델링에 대한 정확한 이해 등

만일 이중에서 어느 하나라도 잘못되면 시공시 커다란 오차를 유발할 수 있다. 또 설계시 설정한 시공단계 및 설계하중이 현장 여건상 차이를 나타내면 재계산을 수행해야 한다. 캔틸레버 공법 적용 교량은 다른 어떤 공법보다도 설계자와 시공자의 긴밀한 협조가 필요하다.

나. 시공단계의 설정

캔틸레버 공법 적용 교량을 해석하기 위해서는 시공단계의 설정과 각 단계의 가설하중, 시공시간을 산정해야 한다. 이와 같은 목적을 위해 설계공정표를 설계단계에서 작성하여야 한다. 시공단계는 현장타설인 경우와 프리캐스트인 경우에 따라 달라지고, 각 공법에 대해서도 교량의 구조형식, 교량규모 등에 따라 각기 달라져 일률적으로 말할 수 없지만 일반적인 시공단계는 다음과 같으며, 시공단계의 상세에 대해서는 콘크리트의 시공편을 참조한다.

(가) 주두부 및 기준 세그먼트의 시공단계

(나) 캔틸레버의 시공단계

(다) 측경간의 시공단계

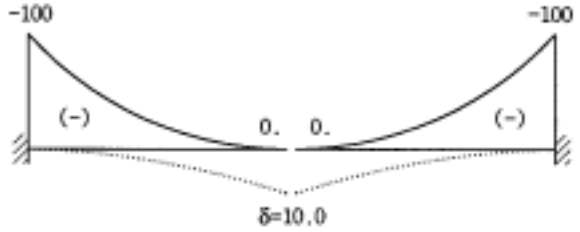
(라) 측경간 연결부의 시공단계

(마) 중앙경간 연결부의 시공단계

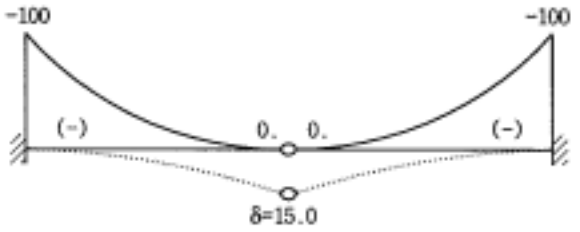
(바) 가설고정장치의 해체단계

(사) 교량 완공 후 및 사용단계

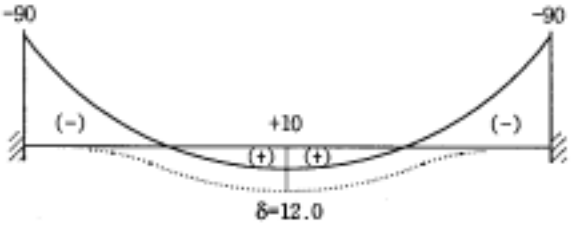
<그림 508.56> 시공직후의 캔틸레버 구조



(a) 시공직후의 단면력 및 처짐(t=0)



(b) 중앙을 활절로 연결한 구조의 단면력 및 처짐(t=100일)



(c) 중앙을 연속화한 구조의 단면력 및 처짐(t=100일)

<그림 508.57> 크리프 효과

(아) 크리프 변형의 완료단계

한편, 시공시간의 산정은 다음과 같은 사항들을 고려하여 결정한다.

(가) 동원되는 가설장비(작업차 또는 이동작업거더 등)의 능력과 댓수

(나) 주두부의 시공 소요시간

(다) 가설장비의 시공 소요시간

(라) 세그먼트의 가설시간

㉮ 가설장비의 이동, 설치시간(매 세그먼트 가설시)

㉯ 거푸집의 설치시간

㉰ 철근 및 쉬스의 배치시간

㉱ 콘크리트의 타설시간

㉲ 양생시간

㉳ 긴장작업 및 그라우트 작업 소요시간

(마) 측경간의 시공시간

(바) 현장 연결부의 시공시간

(사) 기타 현장사정(공자중지 이후 공사재개 사이 시간 등)

다. 시공단계시 경계조건

캔틸레버 공법은 시공단계에 따라 지지점의 경계조건이 달라지므로 주의해야 한다. 보통은 다음과 같은 네 가지 경우로 분류할 수 있다.

(가) 주두부 시공 및 가설고정장치 설치후

(나) 세그먼트(캔틸레버부) 시공시

(다) 현장 연결부(key segment) 시공후(측경간 연결부, 중앙 연결부)

(라) 교량 완성후

<그림 508.58>은 3경간 연속교의 현장타설 캔틸레버 공법으로 시공할 때의 시공과정을 나타내는 것이다. 프리캐스트 캔틸레버 공법의 시공과정도 가설장비만 다를 뿐 큰 차이가 없다. <그림 508.59>는 프레임 요소로 교량을 모델링했을 때의 각각의 경우에 대한 교각 지지점의 경계조건을 예시한 것이다. 한편, 현장타설 공법이 적용된 <그림 508.58>의 3경간 연속 거더교에 대해서 시공단계, 설계하중 및 교각두부의 지지점 경계조건에 대해서 예시하면 <표 508.7>과 같다.

라. 설계단면력

캔틸레버 공법 교량의 설계단면력을 계산하기 위해서는 시공단계에 따른 구조계의 변화 및 경계조건의 변화, 크리프 효과 등을 고려하면서 각 시공단계에 적합한 설계하중에 대해서 휨모멘트, 전단력, 비틈모멘트 등을 산출하고, 이들 설계하중의 조합에 의한 최대·최소의 단면력이 설계단면력이다.

마. 시공단계시 처짐

캔틸레버 공법 교량은 시공단계에 따른 하중의 변화, 구조계의 변화와 콘크리트의 시간의존적 특성에 의한 탄·소성 변형에 의해 처짐이 계속 변하게 된다. 시공단계시 처짐을 계산하는 것은 이 처짐의 양을 역으로 한 솟음(camber) 곡선을 작성하기 위함이다. 보통 처짐곡선은 주두부의 기준선을 기준(수평선)으로 제작된다. 처짐곡선은 아래의 처짐항목을 각 시공단계, 구조계 변화에 따라 정밀도가 입증된 계산 프로그램을 사용하여 구한다.

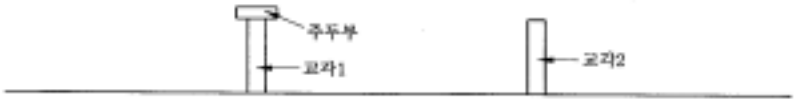
(가) 처짐항목

캔틸레버 공법 교량의 처짐계산시 다음과 같은 항목들을 고려해야 한다.

㉮ 세그먼트(박스거더) 및 격벽 자중에 의한 처짐

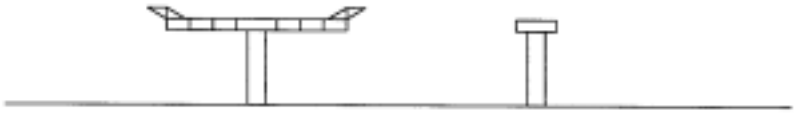
㉯ 프리스트레스에 의한 처짐

㉰ 크리프, 건조수축, 릴랙세이션에 의한 처짐

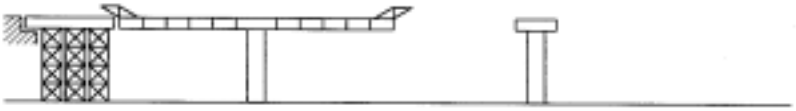


(a) 교각1의 주두부 시공

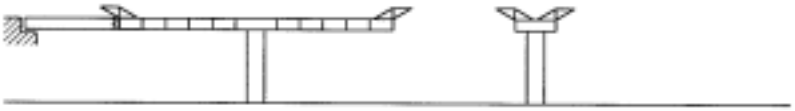
(b) 작업차 설치



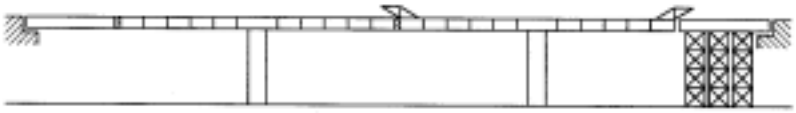
(c) 세그먼트의 순차시공 및 교각2의 주두부 시공



(d) 측경간 시공 및 측경간 연결부 시공

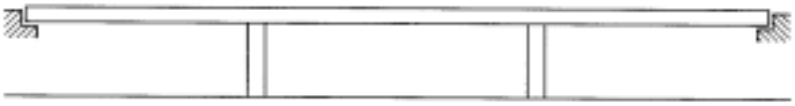


(e) 측경간 동바리 철거 및 작업차를 교각2에 이동



(f) 교각2의 세그먼트 순차시공 및 측경간 시공, 측경간 연결부 시공

(g) 중앙연결부 시공 및 가설고정장치 해체



(h) 교량완성

<그림 508.58> 3경간 연속교의 현장타설 캔틸레버 공법 시공과정

(a) 주두부 시공시

(b) 캔틸레버부 시공시

(c) 연결부 시공후

(d) 구조물 완성후

여기서, 0 : 자유, 1 : 구속

<그림 508.59> 각 시공단계에 따른 지점의 경계조건

<표 508.7> 3경간 연속교의 구조해석을 위한 조건 예시

시공단계	시공상세	설계하중	교각두부의 지지점 경계조건	참고사항
교각 두부 및 받침 설치	교각1의 두부 시공(가설 고정용 강봉 매입)	·	·	·
	교각 받침 및 콘크리트 가 받침 설치	·	·	·
주두부 시공	주두부 타설 및 양생	자중, 크리프 및 건조수축(C+S), 수화열	·	주두부 시공시 수화열 균열예방을 위한 수화열 해석이 필요
	가설 고정장치 설치	·	고정지지점	가설 고정장치에 의한 주두부의 응력 검사요. 구조해석은 이 이후부터 시작됨
	주두부 텐던 긴장	텐던 긴장력	〃	·
작업차 설치	주두부에 작업차 설치	작업차(F/T) 하중	〃	F/T하중은 사용되는 작업차마다 다름
세그먼트 시공 및 측경간의 동바리 시공	세그먼트 1,2의 타설 및 양생	1,2 세그먼트의 자중, C+S 및 주두부의 C+S	〃	·
	캔틸레버 텐던 긴장	텐던 긴장력	〃	·
	작업차를 다음 시공위치로의 이동	이전 위치의 F/T하중 제거 및 현위치의 F/T하중 재하	〃	·
	세그먼트 i, (i+1)의 타설 및 양생	i, (i+1) 세그먼트의 자중, C+S 및 주두부에서 (i-1) 세그먼트의 C+S	〃	·
	캔틸레버 텐던 긴장	텐던 긴장력	〃	·
	작업차 제거	F/T하중 제거	〃	·
측경간 연결부 시공 (key seg. 시공)	위의 작업진행 동안에 시공된 측경간부의 동바리 시공부와 캔틸레버 시공부의 현장연결(key seg.)	key seg. 자중, C+S 및 주두부에서 캔틸레버 끝단 세그먼트까지의 C+S	힌지지지점	측경간 연결부 시공후 가설 고정장치의 일부를 해방함
	하부 연결텐던 긴장	텐던 긴장력	〃	·
교각2의 시공반복	작업차 제거 후, 교각2의 주두부로 이동, 위의 작업 반복후 이하의 작업시행	위의 설계하중 반복	위의 경계조건과 동일함	·
중앙 연결부 시공 (key seg. 시공)	교각1과 교각2의 중앙연결부 시공(key seg. 공사)	key seg. 자중, C+S 및 전체 세그먼트의 C+S	교각2의 지지점이 힌지에서 로울러로 바뀜	중앙연결부 시공후 가설 고정장치를 완전히 해방함. 교각2의 받침이 가동받침인 경우
작업차 제거	작업차 제거	F/T하중 제거	〃	작업차의 제거는 중앙연결부 시공전에 행할 수도 있음
마무리 시공	교면공 시공(포장, 난간, 보도 등)	추가사하중	〃	·
시공완료	시공완료	·	·	C+S의 효과를 ∞시간까지 계산함

㉱ 작업차 자중과 작업차의 철거에 의한 처짐
㉲ 추가 고정하중(포장, 난간, 중앙분리대)에 의한 처짐
㉳ 정적하중에 의한 처짐
㉴ 측경간 자중에 의한 처짐
㉵ 현장 연결부용 거푸집 자중에 의한 처짐
㉶ 연결부용 거푸집 철거에 의한 처짐
㉷ 연결부 콘크리트 자중에 의한 처짐
㉸ 가설 고정장치의 철거에 의한 처짐
㉹ 온도하중에 의한 처짐
㉺ 교각의 변형에 의한 처짐
㉻ 지점반력 조정에 의한 처짐 및 기초침하에 의한 처짐 등

(나) 처짐계산 구조계

처짐을 계산하는 구조계는 다음과 같은 시공단계이며, 각 시공단계의 시간경과 및 지점경계조건을 포함시켜 계산을 실시한다.

㉮ 세그먼트(캔틸레버부) 시공시
㉯ 현장 연결부 시공후(측경간 연결부, 중앙연결부)
㉰ 교량 완성후

(다) 처짐곡선

<그림 508.60>은 3경간 연속교의 각 시공단계별 처짐곡선을 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 처짐은 시공단계별로 계속 변하고 있다.

(라) 솟음곡선(camber curve)

위에서 계산된 처짐곡선을 반대로 한 곡선과 최종 선형곡선을 합한 곡선으로 교량 시공곡선이다. <그림 508.61>은 <그림 508.60>의 중앙 경간부에서의 솟음곡선을 나타낸

<그림 508.60> 3경간 연속교의 시공단계별 처짐곡선

<그림 508.61> 솟음곡선

것이다. 각 시공단계에서의 솟음곡선을 설계자는 계산하여 시공자에게 제공하여야 한다. 시공단계의 솟음곡선은 최종 완성계의 상태를 기본으로 해서 역으로 추적, 각 시공단계의 처짐량을 순차적으로 빼감으로써 구해진다. 만일, 시공단계나 가설하중 등 설계조건이 변경된 경우에는 이를 고려한 새로운 캠버곡선을 마련해야 한다.

② 횡방향 구조해석

캔틸레버 공법 교량의 횡방향 해석방법은 다른 공법의 경우와 동일하지만 프리캐스트 캔틸레버 공법인 경우에는 시공단계별로 <표 508.8>과 같은 구조계에 대해서도 검토해야 한다.

(10) 가설고정장치

① 시공시 불균형모멘트 및 변형

<표 508.8> 프리캐스트 캔틸레버 공법의 횡방향 해석 구조계

	세그먼트 제작 및 가설완료후	세그먼트 분리, 횡이동, 야적, 운반시	세그먼트 인양시
지지상태			
단면력도			
비 고	설계하중에 대해 횡방향 설계를 행하면 생략함	바닥판 및 하부플랜지의 단면력에 대해서 철근을 보강시켜 대처함	설계시 단면력에 거의 일치하도록 반복 계산하여 인양점의 간격을 결정함

캔틸레버 공법에 의해 연속교를 시공하는 경우 주두부에는 시공중의 여러 가지 원인에 의한 불균형모멘트 및 변형이 발생하게 되는데, <그림 508.62>와 같은 불균형 모멘트 및 변형이 예상된다. 각 항목은 다음과 같다.

가. 교축직각방향에 대한 휨모멘트(M_{yy})

(가) 캔틸레버 공법에 의한 시공시 가장 중요한 항목임.

(나) 양측 캔틸레버부위 자중 차이(콘크리트 타설 및 시공오차)

(다) 가설하중의 편재하

(라) 작업차의 무게 또는 위치 차이

(마) 양측 캔틸레버에 작용하는 풍하중에 의한 상향력 차이

나. 교축방향에 대한 비틈모멘트(M_{zz}) : 시공중 수평풍하중이 양측 캔틸레버부에 서로 다르게 작용함에 따라 발생

다. 교축방향에 대한 비틈모멘트(M_{xx})

(가) 곡선교인 경우에는 반드시 고려해야 함.

(나) 직선교인 경우에는 작업하중의 편기 및 박스거더의 편기에 의해서 발생되지만, 직선교인 경우에는 박스거더의 비틈강성이 충분히 크므로 이 영향은 미미함.

라. 교축방향의 변위(D_x)

(가) 교축방향의 작용력에 의해서 발생됨.

(나) 온도하중에 의한 교축방향력

(다) 지진하중의 교축방향력

마. 교축직각방향의 변위(D_y) : 교축직각방향의 풍하중

② 가설고정장치 종류

위에서 언급된 시공중 불균형모멘트와 변형에 저항하기 위해서 가설고정장치를 설치해야 한다. 가설고정장치는 교각의 강성에 따라 달라지며, 일반적으로 교량이 라멘교 형식인 경우에는 이 가설고정장치는 불필요하다.

<그림 508.62> 주두부의 불균형 모멘트 및 변형

가. 교각의 강성이 충분한 경우

교각의 강성 및 크기가 충분한 경우에는 <그림 508.63>과 같이 주두부와 교각 사이의 가설고정장치를 설치하여 주두부와 교각을 일체화시킴으로써 모든 불균형모멘트 및 변형을 교각의 강성으로 저항하도록 한다. 이때 설치되는 가설고정장치에는 다음과 같은 것들이 있다.

(가) 가받침 : 본받침의 양측에 콘크리트 또는 유압잭 등으로 가받침을 설치하여 불균형모멘트(M_{yy})에 의한 압축력과 박스거더 자중에 의한 압축력에 저항한다.

(나) PS강봉 : 교각 가설시 미리 매입된 PS강봉을 주두부 상단에서 긴장하여 정착시킴으로써 불균형모멘트(M_{yy}, M_{zz})에 의한 인장력에 저항한다.

(다) H형강 : 지진하중, 온도하중에 의한 교축방향변위(D_x), 교축직각방향의 변위(D_y) 및 교각축방향에 대한 비틈모멘트(M_{zz})에 저항한다.

(라) X형 철근 : 지진하중이 큰 경우에는 (다)의 방법이 효과적이나 풍하중이 지배적인

<그림 508.63> 가설고정장치

경우에는 X형 철근을 설치하여 교축직각방향의 변위(D_y) 및 교각축방향에 대한 비틈모멘트(M_{zz})에 저항한다.

(마) 한편, 콘크리트 가받침의 전단마찰력과 H형강 또는 X형 철근의 전단력은 교축방향, 교축직각방향의 변위에 저항한다.

나. 교각의 강성이 불충분한 경우

교각의 강성 또는 교각의 크기가 불충분한 경우에 주두부와 교각사이에 가설고정장치를 설치하여 주두부와 교각을 일체화시키면, 교각의 안정성이 문제가 되어 구조물이 붕괴될 수 있다. 따라서 이런 경우에는 가교각 또는 가고정 강봉을 별도로 설치해서 시공중의 불균형모멘트에 저항하도록 해야 한다. 가교각을 설치할 때는 가교각의 응력검토를 반드시 행해야 하고, 좌굴에 대한 충분한 안정성을 확보해야 한다. 가교각 및 가고정 강봉의 설치예는 <그림 508.64> 와 <그림 508.65>와 같다.

<그림 508.64> 가교각의 설치

<그림 508.65> 가고정 강봉의 설치

③ 가설고정장치의 설계

가. 설계시 고려사항

가설고정장치를 설계할 때 주두부와 교각의 접합부에 대한 검토뿐만 아니라 교각의 검토도 필요하고, 경우에 따라서는 기초구조에 대한 검토도 행해야 한다. 가설고정장치의 설계에 있어서 시공중의 각종 하중상태에 대해서 충분히 안전하도록 계획해야 함은 물론이고, 가설고정장치의 철거까지 고려하여 계획해야 한다. 즉, PS강봉의 프리스트레싱, 가받침 콘크리트의 분쇄, 수평저항용 형강 및 강봉의 절단 등이 좁고, 높은 장소에서 이루어지는 작업이므로 계획시 충분히 검토해야 한다.

나. 설계하중 및 구조계

대상구조계는 불균형모멘트 및 변형을 최대로 유발시키는 구조를 선택한다. 즉, 캔틸레버부가 최대가 된 상태를 대상구조계로 선정한다.

다. 설계방법

(가) 교각의 강성이 충분한 경우

<그림 508.66>과 같이 주두부에 교축직각방향의 불균형모멘트(M_o), 수직력(N), 수평력(H)이 작용하는 경우에 박스거더의 전도를 방지하기 위한 가설고정장치를 다음과 같이 설계한다. 가설고정장치를 설계하기 위한 총 불균형모멘트는 캔틸레버 시공중 발생하는 불균형모멘트(M_o)와 수평력(H)에 의한 모멘트를 합한 값이다. 이때 수평력은 주로 지진하중에 의해서 발생되는 양이다. 즉,

$$M = M_o + H \cdot h \tag{508.24}$$

<그림 508.66> 가설고정장치의 작용력

㉮ PS강봉 설계 : 불균형모멘트(M) 및 수직력(N)에 의한 인장력에 대해서 설계한다. <그림 508.66>에서 강봉의 설치간격을 l이라 할때, 강봉 위치에서의 반력은 다음과 같다. 여기서, 강봉의 설계인장력은 본받침을 고려한 3점 받침구조에 대해서 계산한다. 이는 설계인장력을 더 크게 취함으로써 안전성을 확보하기 위함이다.

$$R_1' = \frac{N}{3} - \frac{M}{l} \tag{508.25}$$

$$R_2' = \frac{N}{3} + \frac{M}{l} \tag{508.26}$$

사용되는 PS강봉 1개의 면적을 A_p, 강봉의 극한강도를 f_{pu}라면, 강봉의 긴장응력은 $f_j = 0.5 f_{pu}$이므로 PS강봉 1개의 긴장력은 $P_j = 0.5 A_p f_{pu}$이다. 따라서 소요 강봉수 n은 다음

과 같다.

$$n = \frac{R_1'}{P_j} = \frac{R_1'}{0.5A_p f_{pu}} \quad (508.27)$$

㈏ 가받침 설계 : 불균형모멘트(M) 및 수직력(N)에 의한 압축력에 대해서 설계한다. <그림 508.66>에서 가받침의 설치간격을 l이라 할때, 가받침 위치에서의 반력은 다음과 같다. 여기서, 가받침의 설계압축력은 본받침을 무시한 2점 받침구조에 대해서 계산한다. 이는 설계압축력을 더 크게 취함으로써 안전성을 확보하기 위함이다.

$$R_1 = \frac{N}{2} - \frac{M}{l} \quad (508.28)$$

$$R_2 = \frac{N}{2} + \frac{M}{l} \quad (508.29)$$

가받침 콘크리트의 설계기준강도를 f_{pu}라 하고, 가받침 소요면적을 A_b, 지지하는 콘크리트의 면적을 A_c라 하면, 허용지압응력은 $f_b = 0.25(A_c/A_b)^{0.5} f_{ck}$이다. 가받침은 위에서 계산된 R_2와 ㈎에서 계산된 강봉의 긴장력 $n(0.5A_p f_{pu})$를 더한 값을 지지해야 한다. 따라서, 필요한 가받침의 단면적(A_b)은 다음과 같다.

$$A_b = \frac{16 \cdot (R_2 + 0.5nA_p f_{pu})^2}{A_c f_{ck}^2} \quad (508.30)$$

㈐ 기타 가설고정장치의 설계 : 위의 가설고정장치 외에 H형강, X형 철근 등에 대해서도 필요한 설계단면력을 계산하여 설계한다. 한편, 가받침에 작용하는 전단마찰응력은 다음과 같이 계산한다.

$$\text{전단마찰응력} = \frac{\frac{N}{2} + 0.5nA_p f_{pu}}{A_b} \times \zeta \quad (508.31)$$

여기서, ζ= 마찰계수로서 보통 0.5를 취함.

(나) 교각의 강성이 불충분한 경우

교각의 강성이 작아 시공중 발생되는 불균형모멘트에 교각이 저항할 수 없는 경우에는 교각 근처에 가교각 또는 가고정 강봉을 설치하여 불균형모멘트에 저항하도록 한다. 불균형모멘트(M) 및 수직력(N)에 의한 압축력에 대해서 가교각을 설계한다.

㈎ 1개의 가교각을 설치하는 경우 : <그림 508.67>과 같이 1개의 가교각을 설치했을 때 교각 및 가교각에 작용되는 힘은 다음과 같다.

ⅰ) 교각에 작용하는 힘 : $N - M/l$

ⅱ) 가교각에 작용하는 힘 = M/l

<그림 508.67> 1개의 가교각

㈏ 2개의 가교각을 설치하는 경우 : <그림 508.68>과 같이 2개의 가교각을 설치했을 때 교각 및 가교각에 작용되는 힘은 다음과 같다.

ⅰ) 교각에 작용하는 힘 : $(1-2\rho)N$

ⅱ) 가교각 ①에 작용하는 힘 :

$\rho N + M/(2l) \geq M/l$

iii) 가교각 ②에 작용하는 힘 :

$$\rho N - M/(2l) \geq 0$$

여기서, ρ는 가교각 ①, ②와 교각의 상대 강성비로서 가교각의 강성이 같은 경우 $\rho = 1/3$이다.

가교각 ②에 인장력이 발생하게 되면 정착 문제 등의 복잡한 일이 발생하므로 가능하면 이 부분에도 압축력이 작용하도록 해야 한다. 또, 가교각의 최소단면치수는 가교각에 작용하는 최소의 압축력이 (M/l) 이상인 것으로 보고 결정해야 한다. 가교각을 설계할 때는 좌굴 및 기초의 침하에 특히 주의해야 한다.

<그림 508.68> 2개의 가교각

라. 곡선교의 가설고정장치 설계

곡선교에서는 가설고정장치에서 고려되는 모든 불균형모멘트 및 변형외에 교량의 곡률효과에 의한 비틈모멘트가 추가된다. 따라서, 이 비틈모멘트에 의한 효과만큼의 PS 강봉 및 가받침이 추가로 더 소요된다. <그림 508.69>와 같이 세그먼트 i의 중량을 W_i, 세그먼트 i의 무게중심이 교각 중신에서 편기된 양을 S_i라 하고, 작업차의 중량을 W_t, 작업차의 무게중심이 교각 중심에서 편기된 양을 S_t라 할 때 교각중심에 대한 비틈모멘트는 다음과 같다.

$$M_T = \sum_{i=1}^{n} W_i S_i + \sum_{i=1}^{m} W_t S_t \qquad (508.32)$$

여기서, n : 세그먼트 수, m : 작업차 수

<그림 508.69> 곡선교

④ 가설고정장치의 철거

강봉 및 고강도 철근은 컷터(cutter)로 철거하고, 철거 후 구멍은 교각부는 일반적으로 모르터로 채우고, 주두부는 무수축 모르터로 충진한다.

주두부와 교각부와의 접촉면은 비닐시트 등으로 처리하고, 콘크리트 철거는 코아 컷터로 쇄공(碎孔)해, 포쇄기(breaker) 등으로 분할 철거한다. H형강은 컷터로 철거되며 철거후 구멍을 무수축 모르터로 충진한다.

(11) 프리캐스트 세그먼트 이음부

① 이음부 종류

프리캐스트 세그먼트 이음부는 현장타설 이음방식, 모르터 이음방식, 그라우트 이음방식, 전단키 이음방식 등이 있으며 현장 여건에 따라 적절한 것을 선택한다.

가. 현장타설 이음방식

프리캐스트 세그먼트의 접합을 현장타설 콘크리트로 행하는 방식은 에폭시 수지계 접착제에 의한 접합방법이 개발되기 이전에 많이 사용하던 이음방식이다. 이 방식은 이음부의 콘크리트가 완전히 경화한 후에 프리스트레싱을 하여 접합을 하므로 비교적 시공법이 간단하며, 이음부의 폭은 0.15~1.0m의 범위의 것이 많이 사용된다.

이음부의 거푸집은 콘크리트 풀이 새지 않도록 충실해야 하며, 양생을 촉진하여 프리스트레싱을 빨리 실시하기 위해 증기양생을 할 수도 있다. 프리스트레싱을 실시하기 전의 이음부 콘크리트 압축강도는 180kgf/cm^2 이상이어야 한다. 이음부 콘크리트 품질이 인접 세그먼트의 품질보다 나쁠 수 있으므로 설계 및 시공시 주의해야 한다.

나. 모르터 이음방식

프리캐스트 세그먼트 접합을 모르터로 행하는 이음방식이며, 이때 많이 사용되는 모르터는 잘 섞여야 하고 슬럼프값이 '0'이어야 한다. 골재 크기는 최대 5mm 이하이어야 한다. 이 방식에 의한 이음부의 폭은 10mm~40mm 정도이다. 모르터는 조금씩 이음부에 주입되고 다져져 굳혀야 한다. 이음부에 하중이 작용하기 전에 이음부의 모르터 압축강도가 규정치에 도달했는지 검사해야 한다. 이음부의 모르터 품질이 인접한 세그먼트 콘크리트의 품질보다 낮을 수 있으므로 설계 및 시공시 주의해야 한다.

모르터 이음방식은 다음과 같은 시공상의 문제가 있다.

(가) 이음부의 두께는 수 mm부터 수십 mm로 한정되어 있기 때문에 내구성을 만족시키는 충분한 강도를 가진 모르터의 배합 및 시공법을 결정해야 한다.

(나) 이음부의 폭이 타설높이에 비해 작거나 횡폭이 넓은 이음부에 충분한 채움을 하기 위해서는 상당한 검토가 필요하다. 만약 충분한 채움이 이루어졌다고 가정해도 프리캐스트 세그먼트에 의한 모르터 배합수의 흡수에 의해 배합수가 부족하게 된다.

(다) 사용하는 모르터는 가능하면 세그먼트 콘크리트와의 밀착성 때문에 경화시 다소 팽창하는 모르터를 사용하는 것이 좋다.

(라) 이음부의 모르터에는 굵은 골재를 사용하지 않고, 보강철근 등의 배치도 일반적으로 행하지 않으므로 모르터 강도는 세그먼트 콘크리트보다 상당히 높아야 한다. 이음부에 커다란 인장응력이 발생하면 균열이 집중하고 균열폭도 세그먼트 부분보다 상당히 크게 되므로 압축영역의 감소에 의한 파괴형상에 의해 휨강도를 결정하는 것이 바람직하다.

다. 그라우트 이음방식

그라우트 이음부의 폭은 대략 5mm~25mm 정도이다. 그라우트 이음부의 시공은 중력식 혹은 압력방식에 의한다. 어느 경우든 그라우트가 새지 않도록 주의해야 한다. 중력식 그라우팅이 사용될 때는 그라우트의 공기함유를 최소로 해야 한다. 이는 사용전 손이나 기계로 그라우트를 천천히 휘저으면 된다. 압축식 그라우팅은 매우 세심한 준비를 요한다. 그라우팅 장비상태가 좋아야 하고 장비 고장으로 인한 작업중단을 가져오지 않도록 주의해야 한다. 이음부는 압력이 새지 않도록 밀봉해야 하고 개스킷과 함께 거푸집을 사용하는 것이 바람직하다. 거푸집 윗 부분에 공기구멍을 설치하여 그라우팅 작업 후에 구멍을 열어 침전이 생기면 그라우트가 올라올 수 있도록 한다. 이음부에 하중이 작용하기 전에 그라우트 압축강도가 규정치에 도달했는지 검사해야 한다. 연결부의 그라우트 품질은 인접한 세그먼트에서 콘크리트의 그라우트보다 낮을 수 있으므로 주의해야 한다.

라. 전단키 이음방식

세그먼트 이음부의 복부 또는 바닥판에 전단키를 설치하여 전단력 및 경사진 방향의

압축력을 전달하는 방식으로 프리캐스트 세그먼트 교량에 가장 많이 사용되는 이음부 방식이다. 이 방식에 의한 이음키는 <그림 508.70>과 같이 복부에 설치된 전단키와 세그먼트의 가설작업을 쉽게 하기 위해 가이드키(안내키)가 있다.

<그림 508.70> 전단키와 가이드키

전단키는 복부 등에 요철형이나 파형으로 돌기를 만드는 것이 일반적이지만, 하부플랜지에 생기는 국부적인 전단력에 저항하기 위해 하부플랜지에 설치하는 경우도 있다. 어떤 경우이든 가설하중 작용시, 극한하중 작용시에 대해서 안전하도록 설계해야 한다. 특히, 이음부에 접착제를 사용하는 경우 접착제가 굳기전에는 접착제의 강도를 기대할 수 없으므로 가설시 자중이나 긴장력에 의한 전단력 및 비틈모멘트 모두를 전단키가 받도록 설계해야 한다. 한편, 가이드키는 시공시 조립성을 높일 목적으로도 이용되므로 바닥판이나 하부플랜지에 설치되는 수가 많다. 전단키는 그 용도 및 재료 등에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

(가) 작용(목적)에 의한 분류

㉮ 전단키 : 주로 복부와 하부플랜지에 설치(전단, 비틈에 저항)

㉯ 가이드키 : 주로 바닥판과 하부플랜지에 설치(조립성을 높임)

(나) 사용재료에 따른 분류

㉮ 강재키 : 링(ring)형, 앵커볼트형

㉯ 콘크리트키 : 요철형, 반원형, 파형

(다) 전단키 수에 따른 분류

㉮ 단일키 : 복부에 다면이 큰 하나의 전단키만 설치함.

㉯ 다중키 : 복부에 단면이 작은 다수의 전단키를 설치함.

(라) 접착제 사용유무

㉮ 접착제 사용키 : 이음부에 에폭시 등의 접착제를 사용함.

㉯ 건식키 : 이음부에 접착제를 사용하지 않음.

과거의 프리캐스트 세그멘탈 교량에서는 접착제를 사용한 콘크리트제 단일키가 주로 사용되었으나, 오늘날의 프리캐스트 세그멘탈 교량에서는 접착제를 사용한 콘크리트제 다중키가 대부분 사용된다. 특히, 최근에 출현한 외부 프리스트레싱을 이용하는 프리캐스트 세그멘탈 교량에서는 내부식성 쉬스를 사용함에 따라 건식키를 사용하기도 한다. 단일키를 사용할 때 가설시의 전단력은 접착제가 경화되지 않은 상태이므로 전단키가 모든 가설하중을 부담하도록 설계해야 하며, 가설완료 후의 전단력은 대부분 이음부에 도포된 접착제가 부담하는 것으로 설계된다. 그런데 접착제는 온도, 습도 등의 환경요인에 민감하게 반응하여 그 신뢰성에 의심이 가고, 실제 접착제의 불량에 의한 문제점이 발생된 예가 많이 나타나 이를 개선한 것이 다중키이다. 다중키는 가설시와 가설완료 후에도 모든 전단력을 다중키가 부담하는 것으로 설계된 것이며, 접착제의 구조역학적 기능을 무시하는 점이 단일키와 다른 것이다.

② 이음부 설계

프리캐스트 세그멘탈 교량의 이음부는 휨모멘트, 축력, 전단력, 비틈모멘트에 의한 힘을 전달해야 하고, 일체식으로 만들어진 이음부와 동일한 기능과 안전성을 갖도록 설계해야 한다. 또 이음부에 교축방향 철근이 연속해서 배치되어 있지 않는 경우에는 설계하중(고정하중+활하중)과 온도하중에 의한 작용력에 대해서 완전 프리스트레스가 되도록 해야하며, 설계하중을 초과하는 활하중에 의한 이음부의 균열을 방지하기 위해 이음부의 사인장 응력이 허용치 이내에 있어야 하고, 극한하중 작용시 소요의 안전도를 확보하도록 설계하여야 한다. 이외에도 시공시의 캔틸레버 텐던에 의한 하연 콘크리트의 인장응력에 대한 고려나, 시공하중에 대한 조사도 필요하다. 이음부 및 전단키의 설계흐름도는 <그림 508.71>과 같다.

가. 설계하중 작용시의 검토

(가) 휨응력 검토

프리캐스트 세그먼트의 이음부는 축방향 철근이 연속해 배치되어 있지 않으므로 설계하중 작용시에는 완전 프리스트레싱 상태로 설계한다.

(나) 사인장 응력 검토

비틈이 발생하는 경우에는 이것을 고려해서 사인장 응력을 검토한다.

나. 초과하중 작용시의 검토

프리캐스트 세그먼트의 이음부는 일반의 활하중을 초과하는 큰 활하중이 작용해도 균열이 집중해서 발생하지 않도록 검토해야 한다. 도·설 4.15.4에 의하면 초과하중 작용시에 대해서도 검토하여 다음 식으로 산출되는 콘크리트 인장응력에 대해서 조사하도록 규정하고 있다. 이 경우 허용휨인장응력은 설계기준강도가 400kgf/cm^2 정도의 콘크리트에 대해서 250kgf/cm^{2}이다.

(가) 보(거더) : $f_o+1.7f_t$

(나) 바닥판 : $f_o+1.7f_{ts}+0.5f_{tg}$

여기서,

f_o : 활하중 및 충격 이외의 주하중에 의한 콘크리트의 휨인장응력(kgf/cm^2)

f_t : 활하중 및 충격에 의한 콘크리트의 휨인장응력(kgf/cm^2)

f_{ts} : 활하중 및 충격에 의한 바닥판으로서의 콘크리트의 휨인장응력(kgf/cm^2)

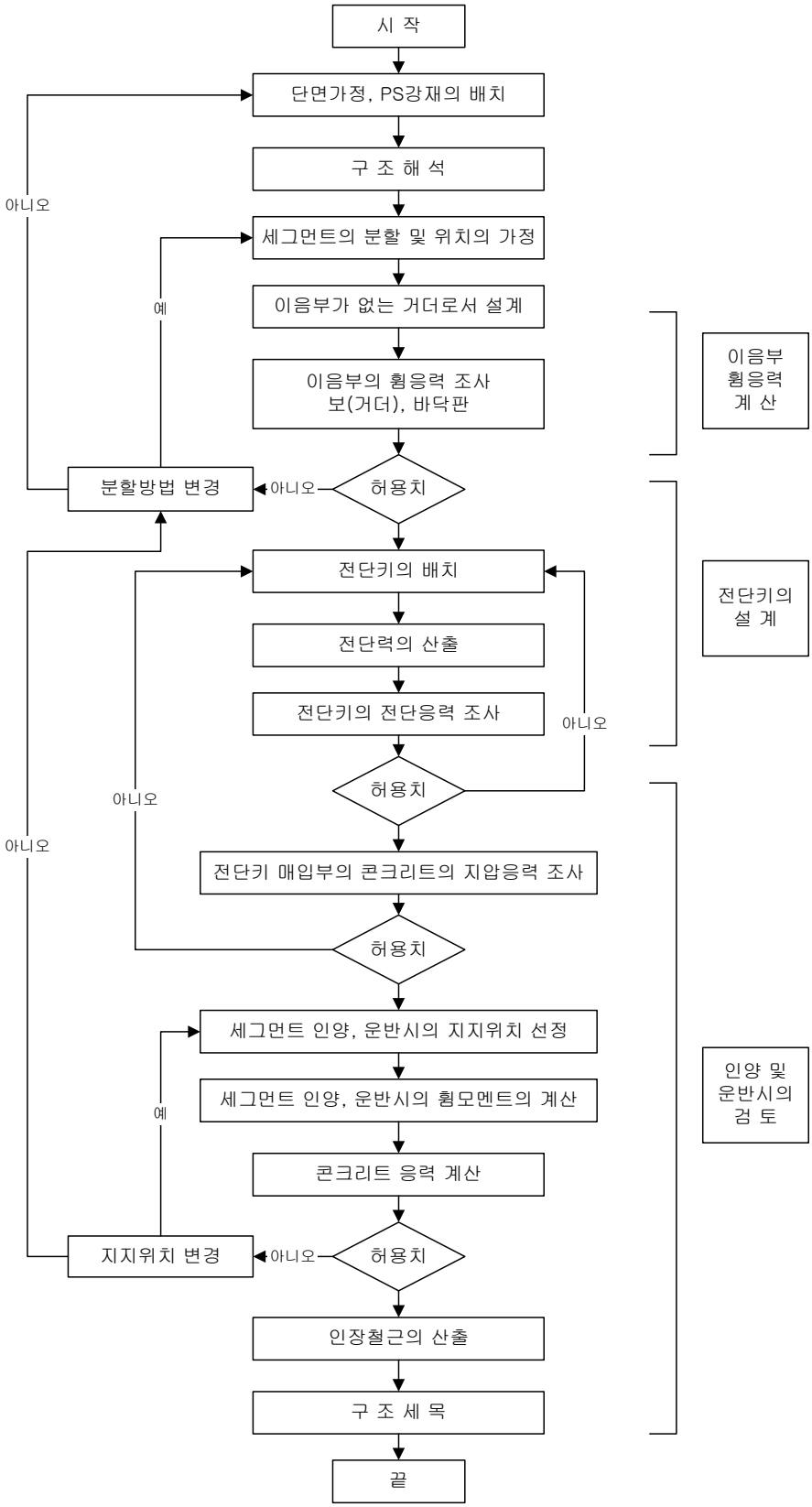
f_{tg} : 활하중 및 충격에 의한 거더로서의 콘크리트의 휨인장응력(kgf/cm^2)

한편, 바닥판에 위치한 이음부에 대해서는 대형차량의 교통량에 의한 할증을 고려해도 좋다. 초과하중 작용시의 콘크리트의 허용휨인장응력은 설계하중 작용시의 허용휨인장응력을 70% 할증시킨 것으로, 설계기준강도가 300kgf/cm^2 정도인 콘크리트에서는 이 기준에 의하면 12kgf/cm^2 ×1.7 ≒ 20kgf/cm^{2}이다.

또한 도로교와 달리 활하중 비율이 비교적 명확한 철도교에서는 설계하중 작용시의 이음부 허용휨응력을 10kgf/cm^{2}으로 하고, 초과하중에 대한 조사는 행하지 않는다.

다. 극한하중 작용시의 검토

극한하중 작용시 파괴에 대한 안전도 조사를 프리캐스트 세그먼트의 이음부에서 행할 필요가 있다. 또 비틈이 작용하는 구조인 경우는 배치된 축방향 PS강재의 단면적이 휨모멘트와 전단력, 비틈모멘트에 저항하기 위해 각각 필요한 인장강재량 이상으로 배치되었나를 확인해야 한다. 즉,



<그림 508.71> 이음부 및 전단키의 설계흐름도

$$\sum A_p \geq A_{p,m} + A_{p,s} + A_{p,t} \qquad (508.33)$$

여기서,

$A_{p,m}$: 이음부 위치에서 전단력 또는 비틈모멘트가 최대·최소가 되도록 재하된 극한하중에 의한 극한휨모멘트와 PS강재에 의한 저항휨모멘트가 같게될 때의 축방향 PS강재의 단면적

$A_{p,s}$: 전단력 또는 비틈모멘트가 최대·최소가 되도록 재하된 극한하중에 의한 전단력에 대해서 필요한 축방향 인장강재의 단면적

$A_{p,t}$: 전단력 또는 비틈모멘트가 최대·최소가 되도록 재하된 극한하중에 의한 비틈모멘트에 대해서 필요한 축방향 인장강재의 단면적

$$A_{p,s} = \frac{d}{d_s} \cdot \frac{1}{f_{py}} \cdot \frac{1}{\cos\alpha_s} \cdot \sum\left(\frac{S_h'}{2} \cdot \frac{\sin\theta - \cot\theta \cdot \cos\theta}{\sin\theta + \cos\theta}\right) \qquad (508.34)$$

$$A_{p,t} = 1.25\frac{b_t + h_t}{b_t \cdot h_t} \cdot \frac{M_t}{f_{sy}} \qquad (580.35)$$

여기서,

d : 유효높이

d_s : 부재 압축연에서 전단용 인장강재 도심까지의 거리

α_s : 전단용 축방향 강재가 부재축과 이루는 각도

f_{py} : 강재의 항복응력

S_h' : 전단력 또는 비틈모멘트가 최대, 최소가 도는 재하에 의해 산출한 극한하중 작용시의 전단력

θ : 사인장철근이 부재축과 이루는 각도

b_t, h_t : 횡방향 철근 도심선의 폭과 높이, 또는 중공단면의 경우에 있어서는 부재도심을 둘러싼 장방형의 폭과 높이

f_{sy} : 철근의 항복응력

M_t : 전단력 또는 비틈모멘트가 최대 또는 최소로 되는 재하에 의해 산출한 극한하중 작용시의 비틈모멘트

③ 전단키 설계

가. 복부전단키 설계

프리캐스트 세그먼트 이음부에는 가설중의 단차를 방지하고 작용 전단력에 저항하기 위한 전단키를 복부에 설치하며, 가설시 세그먼트의 방향성을 유지하도록 가이드키를 바닥판 또는 하부플랜지에 설치한다. 아래에는 콘크리트제 전단키에 대한 설계에 대해서 설명한다.

(가) 가설하중 작용시 설계전단력

전단키는 세그먼트 중량 W, 또는 프리스트레스에 의한 연직분력 P_v를 고려한 하중에 대해서 저항하도록 설계하며 전단키의 설계전단력 S는 다음 식 중 큰 값으로 한다.

$$S = W \pm \sum_{i=1}^{n} P_i \sin\alpha_i \qquad (508.36)$$

여기서,

W : 세그먼트 중량(kgf)

P_i : i번째 PS강재의 긴장력(kgf)

α_i : 이음부와 강재의 교차각

전단키의 전단응력은 다음식으로 계산한다.

$$\tau = \frac{S}{A_c} \qquad (508.37)$$

여기서, A_c : 전단키의 단면적

<그림 508.72> 전단키에 작용하는 전단력

위 식으로 계산한 전단키 콘크리트의 전단응력이 가설시의 허용전단응력($0.25\sqrt{f_{ck}}$)을 넘지 않으면, 전단키의 전단저항능력은 충분하지만 약간의 여유를 두기위해 소량의 가외철근을 배치하는 것이 보통이다. 한편, 전단키의 전단응력이 허용전단응력을 초과하고, 최대값($2.1\sqrt{f_{ck}}$) 이하인 경우에는 전단키 콘크리트가 부담할 전단력 이외의 전단력에 대해서는 철근이 부담하도록 철근을 배치해야 한다. 이때 배치해야 할 철근량은 다음 식으로 계산한다.

$$A_s = \frac{S - A_c \tau_a}{f_{sa}} \qquad (508.39)$$

여기서,

A_c : 전단키의 단면적

τ_a : $0.25\sqrt{f_{ck}}$(콘크리트 허용전단응력)

f_{sa} : 배치할 철근의 허용인장응력

(나) 극한하중 작용시 설계전단력

전단력과 비틈모멘트가 동시에 작용하는 경우에 대한 극한하중 작용시의 전단키의 검토를 다음 하중으로 행한다.

$$S_k = S_{si} + S_{ti} \qquad (508.40)$$

$$S_{si} = \frac{S_u}{N} \qquad (508.41)$$

$$S_{ti} = \frac{M_{tu} \cdot d_{i(\max)}}{\sum_{i=1}^{N} d_i^2} \qquad (508.42)$$

여기서, S_k : 전단키 1개당 설계전단력

S_{si} : 전단키 1개당 극한하중에 의한 전단력

S_{ti} : 전단키 1개당 비틈모멘트에 의한 전단력

S_u : 이음부의 극한하중 작용시의 극한전단력

M_{tu} : 이음부의 극한하중 작용시의 비틈모멘트

N : 이음부의 전단키 갯수

d_i : 전단중심에서 각각의 전단키까지의 거리

<그림 508.73> 극한하중 작용시의 설계전단력

(다) 철근량 산정

앞에서 구한 설계전단력을 이용하여 다음과 같이 계산된 철근량을 전단키에 배근한다.

<그림 508.74> 전단키의 철근배근 및 철근량

그림에서,

A_e, A_e' : 보강철근 단면적(cm^2)

A_b, A_b' : 스터럽 단면적(cm^2)

A_v, A_v' : 수직방향 보강철근 단면적(cm^2)

f_{sa} : 철근의 허용인장응력(kgf/cm^2)

S : 전단키의 설계하중(kgf)

a : 지점에서 하중작용점까지의 거리(cm), $= H/2$

나. 하부 플랜지의 전단키

형고가 변하는 경우에 하부 플랜지는 단면 도심에 대해 경사져 있기 때문에, 하부 플랜지에는 국부적인 전단력이 발생한다. 따라서, 이 힘에 의한 엇갈림이 일어나지 않도록 하부플랜지에 전단키를 설치하는 것이 좋다. 하부 플랜지의 전단키에 작용하는 수평력과 전단력은 다음 식으로 계산한다.

$$N_h = \frac{f_{c1}+f_{c2}}{2} \cdot t \cdot B \qquad (508.43)$$

$$N_v = N_h \cdot \tan\theta \qquad (508.44)$$

여기서,

t : 하부플랜지두께

B : 하부플랜지폭

f_{c1}, f_{c2} : 하부플랜지의 하연 및 상연에서의 압축응력

θ : 하부플랜지의 경사각

N_h : 하부플랜지에 작용하는 수평방향 힘

N_v : 하부플랜지에 작용하는 수직방향의 힘으로서 전단키 설계용 전단력

④ 콘크리트 전단키의 구조세목

가. 사다리꼴 전단키

사다리꼴 전단키는 다음과 같은 것을 표준으로 하는 것이 좋다(<그림 508.76> 참조).

$5cm \le H \le h/4$

C(피복) $\ge 2.5cm$

$\frac{H}{1.5} \le V \le H$

l(보강철근 정착길이) $\ge 30\phi$, $\theta = 45 \sim 60°$

<그림 508.75> 하부플랜지에 위치한 전단키

<그림 508.76> 사다리꼴 전단키

나. 반구형 전단키

일반적으로 반구형은 가설시 손상이 적으나 복부폭이 얇은 경우에는 부적당하다. 형상은 다음을 표준으로 하는 것이 좋다(<그림 508.77> 참조).

<그림 508.77> 반구형 전단키

$5cm \leq H \leq D/3$

C(피복) $\geq 2.5cm$

l(보강철근 정착길이) $\geq 30\phi$

다. 파형 전단키

파형 전단키(다중키)의 형상은 다음을 표준으로 하는 것이 좋다. 파형 전단키에는 철근이 배근되지 않고 전단키 배면에 철근을 배근시킨다(<그림 508.78> 참조).

$5cm \leq H \leq 10cm$

$3H \leq V \leq 5H$

한편, 위에서 예시한 전단키들의 접합시 접합 압축응력을 계산하는 경우에 전단키의 형상에 의한 작용 전단력의 축방향력(T) 성분이 발생되므로 이것을 고려할 필요가 있다. 이때 축방향력은 다음 식으로 구한다.

$$T = S \tan\alpha \qquad (508.45)$$

여기서, S는 작용 전단력이고, 각도 α는 각각의 전단키 예도를 참조하면 된다.

<그림 508.78> 파형 전단키

(12) 구조계산서 검토 및 설계도 기재사항

① 구조계산서 검토 및 기재사항

캔틸레버 공법 적용 교량의 구조계산서에는 다음과 같은 사항들이 기재되고 검토되어야 한다.

가. 설계기준

(가) 설계조건 : 구조형식, 교량등급, 시공방법, 경간분할, 교폭

(나) 사용 설계기준 및 사용 프로그램

(다) 사용재료

㉮ 콘크리트 : 설계기준강도, 프리스트레스를 도입 강도, 단위중량, 탄성계수, 선팽창계수, 크리프계수, 건조수축계수, 허용압축·인장응력(프리스트레스 도입 직후, 사용하중 작용시)

㉯ 철근 : 철근의 종류(SD), 항복응력, 허용응력

㉰ PS강선 및 강봉 : 종류, 지름, 단면적, 탄성계수, 극한응력, 항복응력, 허용인장응력(긴장시, 정착직후), 정착장치 활동량, 마찰손실(곡률마찰계수, 파상마찰계수), 크리프·건조수축에 의한 손실, 릴랙세이션율

(라) 단면제원 : 종단면형태 및 세그먼트 중량, 횡단면 형태 및 치수(주두부 세그먼트, 일반 세그먼트 등)

나. 설계하중

(가) 하중항목

㉮ 고정하중 : 철근콘크리트, 포장, 강재

㉯ 추가 고정하중 : 난간, 연석

㉰ 활하중 : 차량하중(DB, DL), 보도하중, 충격계수

㉱ 작업하중

㉲ 가설장비하중 : 작업차, 이동작업거더 등

㉳ 지점침하

㉴ 종방향 온도변화

㉵ 단면내의 온도변화

㉶ 풍하중 : 가설시 풍하중, 완성후 풍하중

㉦ 지진하중
㉧ 받침의 마찰력
㉨ 선박충돌하중(필요시)
㉩ 콘크리트 타설오차
㉪ 기타하중

(나) 종방향 설계하중 항목
㉮ 시공시 설계하중 : 박스거더 자중(자중오차 포함) 추가 고정하중(포장, 난간 등), 작업하중, 작업차하중 등
㉯ 완성후 설계하중 : 활하중, 지점침하, 온도변화, 풍하중, 지진하중 등

(다) 횡방향 설계하중 항목 : 박스거더 자중, 추가 고정하중(포장, 난간), 활하중 등

(라) 가설고정장치 설계하중 항목 : 박스거더 자중, 콘크리트 타설오차, 작업하중, 작업차하중, 수평풍하중, 연직풍하중, 지진하중 등

(마) 작업차 설계하중 : 박스거더 자중, 거푸집 자중 등

(바) 하중조합
㉮ 설계하중조합
㉯ 극한하중조합

다. 종방향 해석 및 설계
(가) 시공단계설정 : 시공단계, 시공하중, 시공시간 등
(나) 해석모델링
(다) 지점경계조건 및 지점의 강성결정 방법
(라) 단면상수 산출근거 : 단면적, 단면2차모멘트, 비틈단면2차모멘트 등
(마) 작용하중 산출근거 : 각 하중항목에 대한 산출근거
(바) 하중재하 방법 : 활하중의 재하방법
(사) 설계단면력 산출근거 : 하중조합 및 단면력 크기
(아) 철근 및 PS강재 배치
(자) 시공시 및 시공완료후의 응력검토 : 설계단면력에 대한 응력검토 및 도식화
(차) 극한하중 작용시 안전도 검사

라. 횡방향 해석 및 설계
(가) 해석모델링
(나) 지점경계조건 및 지점의 강성결정 방법
(다) 단면상수 산출근거 : 단면적, 단면2차모멘트, 비틈단면2차모멘트 등
(라) 작용하중 산출근거 : 각 하중항목에 대한 산출근거
(마) 하중재하 방법 : 활하중의 재하방법
(바) 설계단면력 산출 근거 : 하중조합 및 단면력 크기
(사) 위험단면의 응력검토
(아) 극한하중 작용시 안전도 검사
(자) PS강재 및 철근배치

마. 가설 고정장치 설계
(가) 설계단면력의 산출근거
(나) 고정장치의 설계상세 : PS강봉, 가받침, X형 철근, H형강, 가지주 등

바. 주두부 해석 및 설계
(가) 설계하중 및 산출근거
(나) 해석방법 및 해석 모델링 : 경우에 따라서는 수화열 해석이 필요함.
(다) 응력검토
(라) 강재 및 철근배치
(마) 주두부 동바리 및 거푸집 설계상세

사. 현장 연결부 설계
(가) 설계하중 및 산출근거
(나) 상대변위 방지를 위한 변형검토
(다) 거푸집 응력 및 변형검토

아. 프리캐스트 이음부 및 전단키 설계
(가) 설계하중 및 산출근거
(나) 응력검토
(다) 극한하중작용시 안전도 검사
(라) 이음부 철근배근

자. 프리캐스트 캔틸레버 공법의 임시고정 긴장봉 설계
(가) 설계하중
(나) 설계상세
차. 정착부 설계
(가) 정착부 해석방법 또는 해석모델
(나) 설계하중 및 해석결과
(다) 정착부 응력검토
(라) 철근배근
카. 받침 및 신축이음장치 설계
(가) 지점반력
(나) 최대횡력
(다) 이동량 등
타. 처짐관리용 곡선 작성
(가) 시공단계별 처짐도
(나) 시공단계별 캠버도
(다) 시공단계별 거푸집 설치곡선(현장타설공법)
파. 가설장비 및 가설구조물의 검토
(가) 가설장비(작업차, 이동 작업거더 등)의 안전성 검토
(나) 가설장비의 응력검토
(다) 가설장비의 처짐검토
(라) 동바리 및 거푸집의 응력 및 처짐검토

② 설계도 기재사항

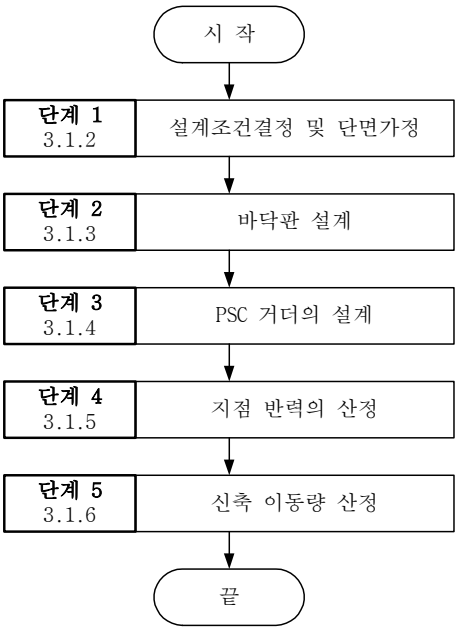
캔틸레버 공법 적용 교량의 설계도에는 다음과 같은 사항들이 기재되어야 한다.

가. 설계 일반사항 : 노선명 및 가교위치, 교량명, 책임기술자, 설계년월일
나. 설계기준
(가) 사용재료
㉮ 콘크리트 : 설계기준강도, 프리스트레스를 도입 강도, 단위중량, 탄성계수, 선팽창계수, 크리프계수, 건조수축계수, 허용압축·인장응력(프리스트레스 도입 직후, 사용하중 작용시)
㉯ 철근 : 철근의 종류(SD), 항복응력, 허용응력
㉰ PS강선 및 강봉 : 종류, 지름, 단면적, 탄성계수, 극한응력, 항복응력, 허용인장응력(긴장시, 정착직후), 정착장치 활동량, 마찰손실(곡률마찰계수, 파상마찰계수), 크리프·건조수축에 의한 손실, 릴랙세이션율
(나) 단면제원 : 종단면 형태 및 세그먼트 분할치수, 세그먼트 중량, 횡단면 형태 및 치수(주두부 세그먼트, 일반 세그먼트 등)
(다) 설계 상세사항
㉮ 교각 일반도 및 상세도
㉯ 주두부 받침 및 가설고정장치 상세도
㉰ 주두부 상세도
㉱ 각 박스거더 단면의 일반도 및 상세도
㉲ 기타 설계검토 단면의 일반도 및 상세도
㉳ PS강재의 배치 및 긴장순서 : PS강재 배치도, 긴장순서, 긴장량, 신장량
㉴ 정착부 상세도
㉵ 철근 배근도 및 철근재료표
㉶ 시공순서도
㉷ 처짐관리용 곡선 : 각 시공단계별 처짐곡선, 캠버곡선, 거푸집 설치곡선
(라) 가설 관련 상세사항
㉮ 가설장비(작업차, 이동 작업거더 등) 관련 개략도
㉯ 주두부 및 세그먼트 시공 및 제작용 동바리 및 거푸집 상세도
㉰ 가교각 및 가시설과 관련된 개략도
㉱ 세그먼트 제작장 및 야적장의 배치도
㉲ 기타 가설시 주의사항

508.3 PSC 거더교의 설계

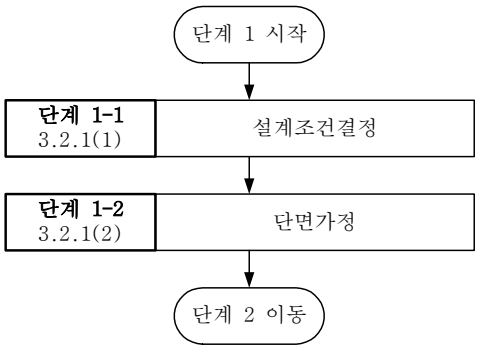
3.1 설계흐름도

3.1.1. 주설계단계



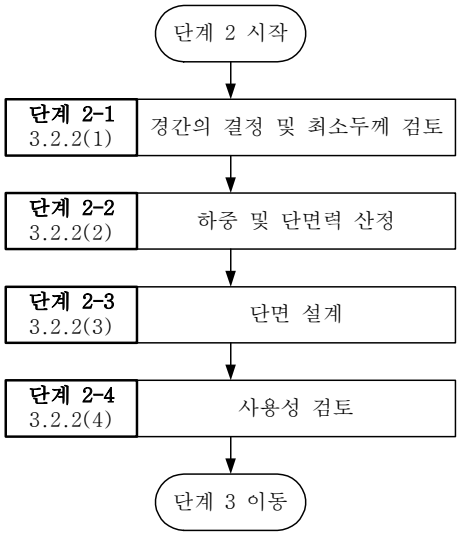
<그림 508.79> 주설계흐름도

3.1.2 [단계 1] 설계조건 결정 및 단면 가정



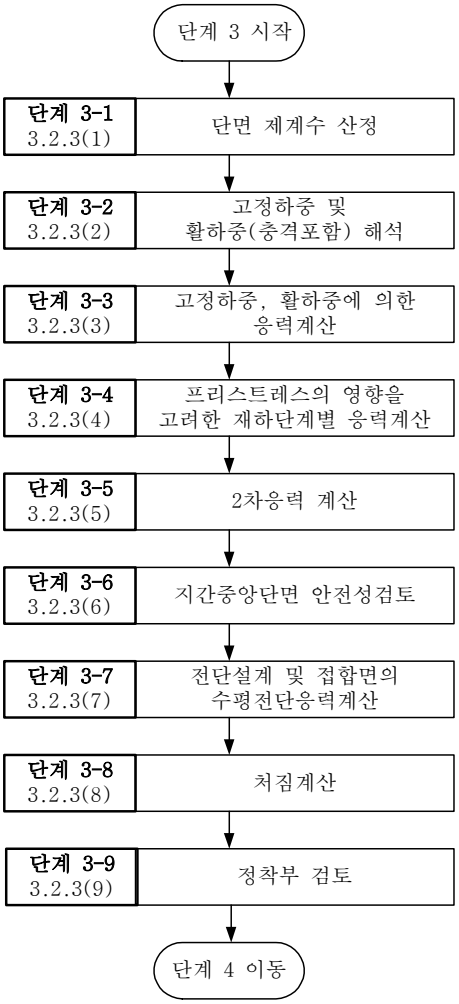
<그림 508.80> 설계조건 결정 및 단면가정

3.1.3 [단계 2] 바닥판(중간 및 캔틸레버 바닥판)의 설계



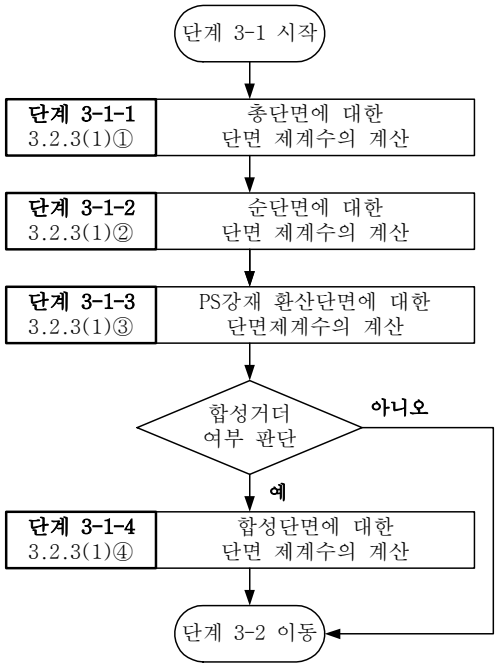
<그림 508.81> 바닥판의 설계

3.1.4 [단계 3] PSC 거더의 설계



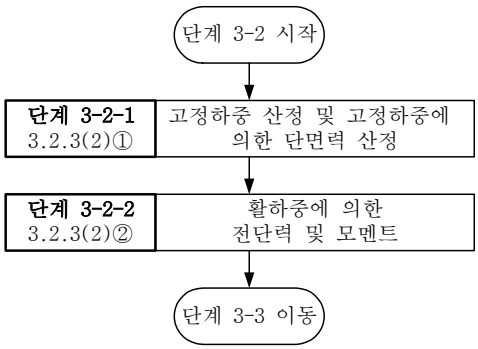
<그림 508.82> PSC 거더의 설계

(1) [단계 3-1] 단면 제계수 산정



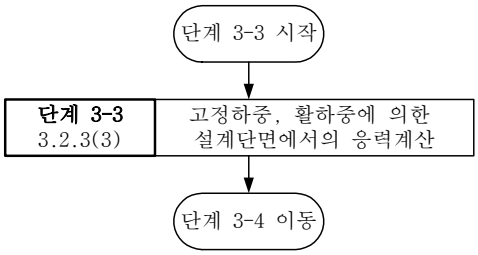
<그림 508.83> 단면 제계수 산정

(2) [단계 3-2] 고정하중 및 활하중 해석



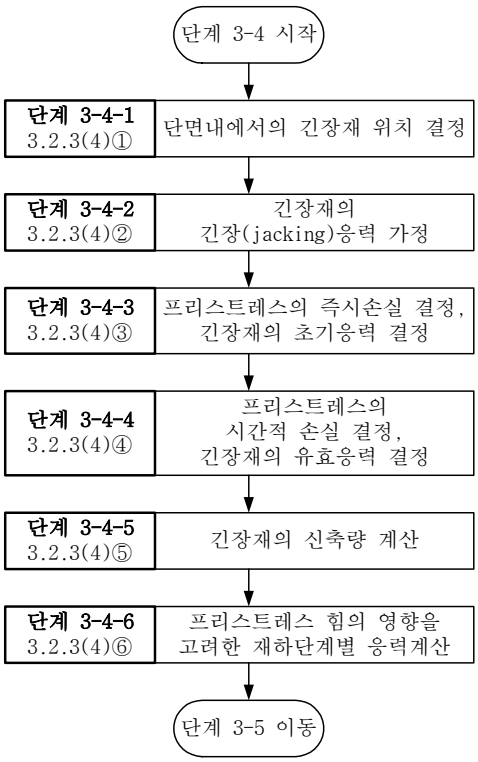
<그림 508.84> 고정하중 및 활하중 해석

(3) [단계 3-3] 고정하중 및 활하중에 의한 응력계산



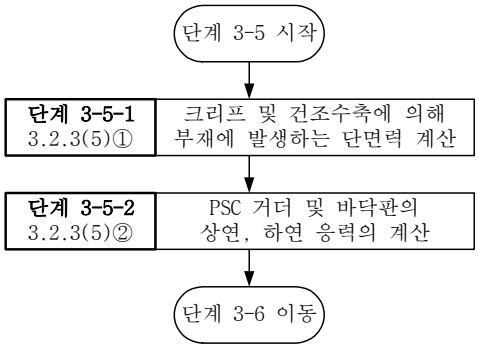
<그림 508.85> 고정하중 및 활하중에 의한 응력계산

(4) [단계 3-4] 프리스트레스



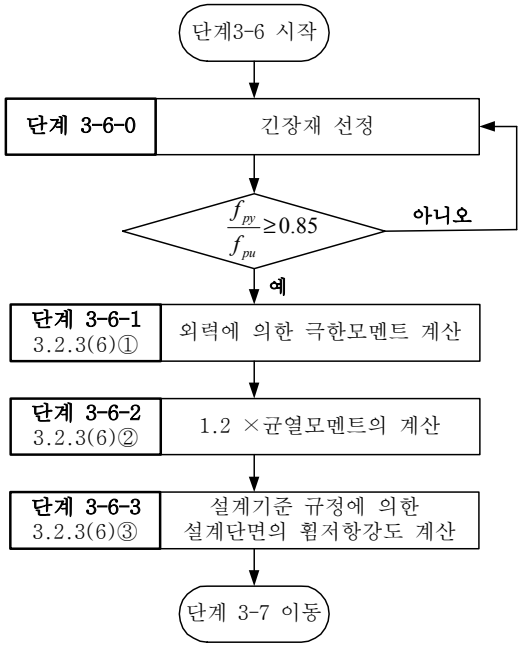
<그림 508.86> 프리스트레스

(5) [단계 3-5] 2차응력 계산



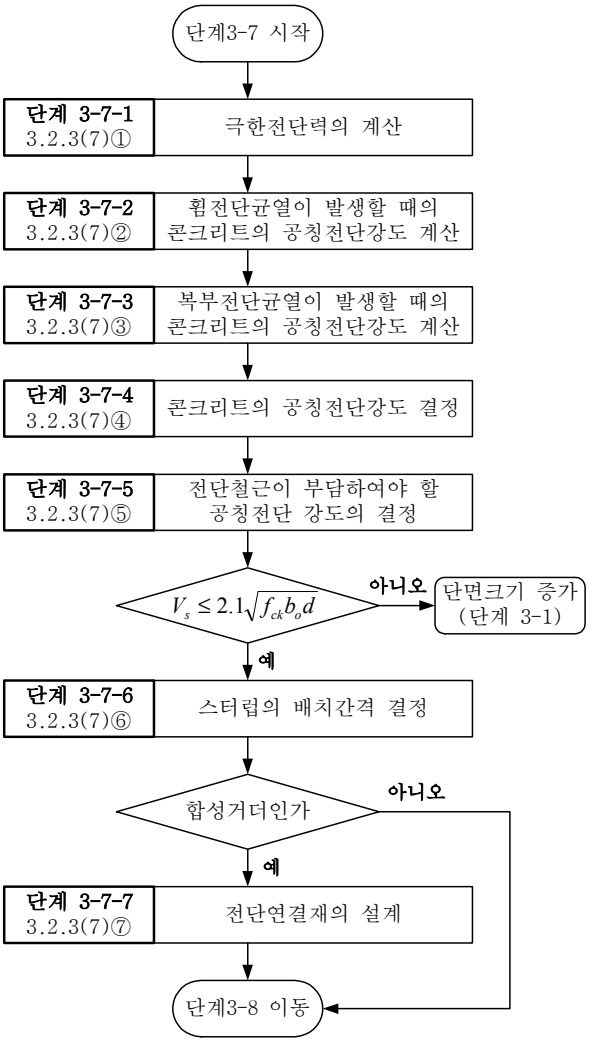
<그림 508.87> 2차응력 계산

(6) [단계 3-6] 휨 극한 안전성 검토



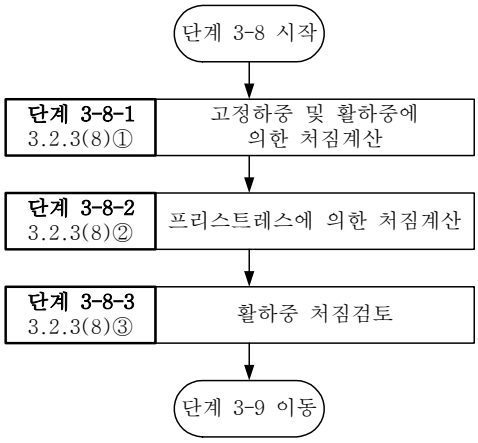
<그림 508.88> 휨 극한 안전성 검토

(7) [단계 3-7] 전단강도 계산 및 전단검토



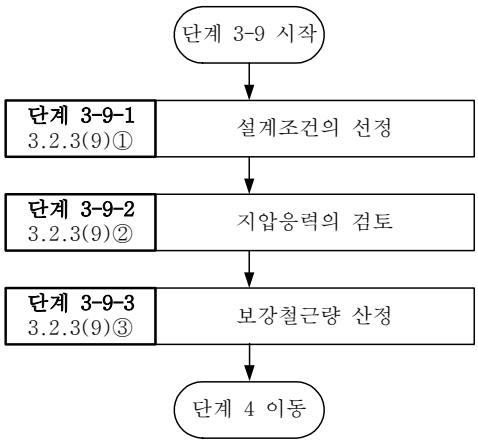
<그림 508.89> 전단강도 계산 및 전단검토

(8) [단계 3-8] 처짐 계산



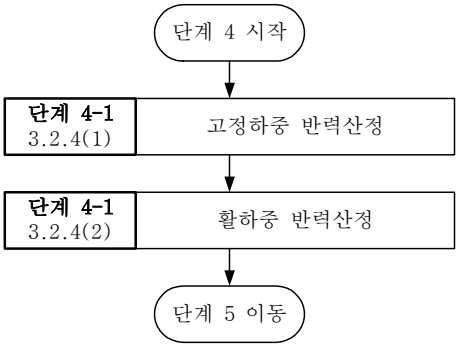
<그림 508.90> 처짐 계산

(9) [단계 3-9] 정착부 검토



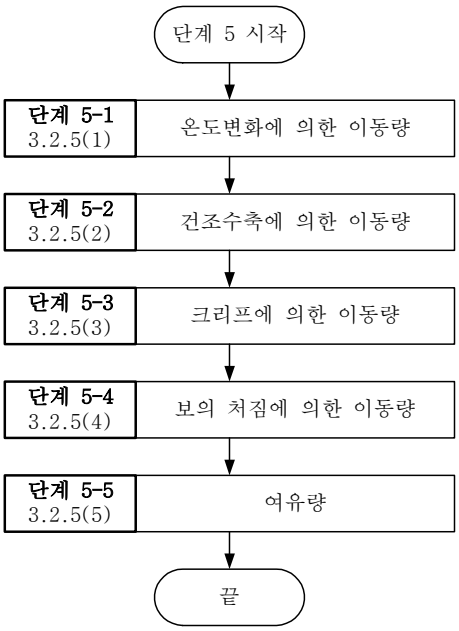
<그림 508.91> 정착부 검토

3.1.5 [단계 4] 지점반력의 산정



<그림 508.92> 지점반력의 산정

3.1.6 [단계 5] 신축이동량 산정



<그림 508.93> 신축이동량 산정

3.2 설계단계별 고려사항

3.2.1 [단계 1] 설계조건 결정 및 단면가정

(1) [단계 1-1] 설계조건 결정

① 교량등급은 [도·설 1.3]의 규정에 따른다.

② 콘크리트, PS강재, 철근 등 주요 사용 재료는 [도·설 2.3]의 규정을 만족해야 한다. 또한 사용재료의 허용응력은 [도·설 2.2.2.4]의 규정에 따른다.

③ 강도 설계법을 적용하는 경우 [도·설 2.2.3]의 설계하중조합과 강도감소계수를 적용하여야 한다.

(2) [단계 1-2] 단면가정

① 단면은 기존의 설계를 참고하고 지간, 거더간격, 거더높이 등을 복합적으로 고려하여 가정한다.

② PSC 거더는 직선이므로 평면곡선상에 설치할 경우에는 곡률변화에 의해 캔틸레버의 길이가 추가적으로 돌출되어 외측거더에 과대한 하중이 재하될 수도 있으므로 사전에 충분한 검토가 필요하다.

③ 캔틸레버의 길이(외측거더 중앙에서 바닥판 끝단까지의 거리)는 내측거더 간격의 반 이하로 줄여 외측거더에 불필요하게 과하중이 재하되지 않도록 하는 것이 좋다.

3.2.2 [단계 2] 바닥판(중간 및 캔틸레버 바닥판)의 설계

콘크리트교의 바닥판은 윤하중을 직접 지지할 뿐만 아니라 거더로서의 기능을 갖는 부재이다. 바닥판의 설계는 중간 및 캔틸레버 바닥판에 대하여 개별적으로 수행한다.

바닥판은 다른 부재에 비교하여 손상 사례가 많다는 사실이 나타내듯이 가장 가혹한 조건하에 설치되어 있어 손상을 받기 쉬우므로 설계상의 규정으로 바닥판 두께의 제한 등의 조치가 취해져 오고 있다. 바닥판은 균열에 수분이

침입하여 노화가 촉진된다는 것이 실험결과로도 보고되어 있으므로 바닥판의 내구성을 향상시키기 위해서는 설계상의 대책뿐만 아니라 콘크리트의 품질관리, 적절한 시공관리에도 유의하는 것이 필요하며 바닥판으로의 수분 침투에 의한 노화방지대책으로서 방수층 등을 설치하여야 한다.

(1) [단계 2-1]경간의 결정 및 최소두께 검토

① 경간의 결정

콘크리트교의 바닥판 경간에 대한 규준은 [도·설 4.7.3]의 규정에 따른다.

② 최소두께 검토

바닥판의 최소두께 검토는 [도·설 4.7.4]의 규정에 따른다.

(2) [단계 2-2] 하중 및 단면력의 산정

① 하중의 산정

중간 바닥판의 경우 설계단면력 산정을 위한 하중으로서 일반적으로 고정하중과 활하중만을 고려한다. 캔틸레버판의 경우 고정하중, 활하중 외에 풍하중, 충돌하중 등에 의한 영향을 추가적으로 고려하여 가장 큰 단면력을 발생시키는 하중조합을 선택하여야 한다.

② 단면력의 산정

활하중에 의한 단면력은 [도·설 4.7.5.1] 및 [도·설 4.7.5.2]의 규정에 의거하여 단면력을 산출한다. 일반적으로 바닥판의 경우 강도설계법으로 설계되어지며, 이때의 하중조합은 [도·설 2.2.3.2]의 규정에 따른다.

(3) [단계 2-3] 단면 설계

① 주철근의 설계

단면의 폭과 높이, 콘크리트의 설계기준강도, 철근의 항복강도, 극한 모멘트, 유효높이 등은 주어진 값이므로 직사각형 단철근보에 대한 극한강도 설계이론을 이용하여 필요철근량을 산정한다.

필요철근량 산정후 철근비가 최대·최소철근비 규정을 만족하는지를 검토한다.

② 배력철근의 설계

배력철근은 [도·설 4.7.5.7]의 규정에 의하여 산정한다.

③ 구조상세

[도·설 4.7.6]의 규정에 따른다.

(4) [단계 2-4] 사용성 검토

[도·설 4.4.9]의 규정에 따른다.

3.2.3 [단계 3] PSC 거더의 설계

(1) [단계 3-1] 단면 제계수 산정

PSC 거더교는 시공순서나 시공조건에 따라 동일 단면내의 응력분포가 다르기 때문에 미리 산정한 조건에 따라 바닥판 합성전, 합성후의 각각의 시공단계마다 응력을 산출하여 단면의 각 부분에 대한 응력을 조사해야만 한다. 산정한 시공 공정이 실제의 공정과 달리 휨응력에 영향을 미칠 경우에는 재차 응력의 조사를 하는 것이 좋다.

PSC 거더의 응력해석시 단면계수는 거더의 전단면에 걸쳐 인장응력이 발생하지 않거나 균열이 발생하지 않을 정도로 작다고 가정하여 RC 거더와는 달리 전단면이 유효한 것으로 보아 계산한다. 응력의 정밀해를 구하기 위해선 긴장재를 부착시키기 전의 계산에 있어서는 덕트의 단면을 공제한 단면(순단면)에 대한 계수를, 부착시킨 긴장재 및 보강철근이 있는 단면에 대한 계산에 있어서는 이들을 콘크리트 단면으로 환산한 단면(PS강재 환산단면)에 대한 계수를 사용해야 한다. 합성교의 경우에는 환

산단면(바닥판 합성단면)에 대한 합성환산 단면계수를 사용해야 한다.

① [단계 3-1-1] 총단면에 대한 단면 제계수

PSC 거더 전단면이 균일한 콘크리트 단면인 것으로 가정한 단면을 나타낸다.

② [단계 3-1-2] 순단면에 대한 단면 제계수

총단면에서 덕트 단면을 공제한 단면을 나타낸다.

③ [단계 3-1-3] PS강재 환산단면에 대한 단면 제계수

순단면에서 강연선을 콘크리트 단면으로 환산한 단면을 나타낸다.

④ [단계 3-1-4] 합성단면에 대한 단면 제계수

PS강재 환산단면 + 바닥판 단면을 나타낸다.

콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 2차 응력 산정을 위해 사용하는 단면계수 및 탄성계수는 거더와 바닥판 각각에 대한 계수를 사용한다. 비합성 및 합성거더 교량의 응력 및 처짐계산시 사용하는 거더의 단면계수 및 탄성계수는 <표 508.9>에 나타낸 바와 같다.

(a) 총단면 (b) 순단면

(c) PS강재환산단면 (d) 바닥판 합성단면

<그림 508.94> 응력계산에 사용하는 각종 단면

<표 508.9> 단면계수 및 탄성계수

구분 / 하중	비합성보 (프리 텐션)		합성보 (포스트 텐션)		비 고
	단면계수	탄성계수	단면계수	탄성계수	
프리스트레스	PS강재 환산단면	프리스트레스 도입시	순단면	프리스트레스 도입시	
자 중	PS강재 환산단면	프리스트레스 도입시	순단면	프리스트레스 도입시	
합 성 전 고 정 하 중	PS강재 환산단면	교면 포장시	PS강재 환산단면	바닥판타설시	비합성보인 경우 고정하중
합 성 후 고 정 하 중			바닥판 합성단면	바닥판타설시	비합성보 해당없음
활 하 중	PS강재 환산단면	교면 포장시	바닥판 합성단면	바닥판타설시	

(2) [단계 3-2] 고정하중 및 활하중 해석

① [단계 3-2-1] 고정하중 산정 및 고정하중에 의한 단면력 산정

합성거더교의 설계시 고려해야 할 고정하중으로는 자중, 바닥판, 가로보, 교면포장, 난간, 방호책, 보도 등에 의한 하중이 있으며, 다중보교량 설계시 고려해야 할 고정하중으로는 자중, 가로보, 교면포장, 난간, 방호책, 보도 등에 의한 하중이 있다. 이들은 재하시기에 따라 합성교의 경우 자중, 합성전 고정하중, 합성후 고정하중 등으로 구분할 수 있으며, 비합성거더의 경우 자중, 추가고정하중 등으로 구분할 수 있다. 상기 고정하중은 모두 등분포 하중인 것으로 가정할 수 있으나 가로보의 경우는 여러 개의 집중하중이 보에 작용하는 것으로서 가정되어져야 한다[<그림 508.95> 참조].

(a) 등분포하중

가로보가 5개인 경우

(b) 가로보

<그림 508.95> 고정하중 분포

② [단계 3-2-2] 활하중에 의한 전단력 및 모멘트

가. 충격계수

[도・설 2.1.4]의 규정에 따른다.

나. 횡분배계수

AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges(16th Edition) 3.23.2.3.1.2에 의거하여 외측거더의 경우 단순 내민보로 가정하여 얻어진 반력을 횡분배계수로 정한다. 내측거더의 경우는 AASHTO 3.22의 TABLE 3.23.1에 의거하여 2차선 이상이면서 거더간격이 4.2m 이하인 경우 (거더간격/1.65)를 횡분배계수로 정한다. 이외에도 횡분배계수는 다른 경험식, 격자구조이론, 직교이방성판이론, 3차원 해석 등 보다 정밀한 이론에 의하여 구하여도 좋다.

다. 임의점에서의 최대 단면력 결정

(a) 1점 재하

(b) 2점 재하

(c) 3점 재하

<그림 508.96> 절대최대모멘트

DB하중 재하시 보의 절대 최대 모멘트는 보의 중앙 또는 중앙점 인접부근의 하중재하점에서 발생되어지며 <그림 508.96>과 같은 재하상태에 따른다. 이때 절대최대 모멘트는 보의 중앙에서 발생되어지는 것으로 가정한다. DL하중 재하시 해석은 고정하중 해석과정과 동일하게 하되 집중하중의 영향을 추가로 고려하여야 한다.

(3) [단계 3-3] 고정하중 및 활하중에 의한 응력계산

단면에 발생되는 응력의 계산시 단면은 전단면이 유효한 것으로 본다.

(2)의 ①, ②에 의한 해석에 의하여 구해진 힘과 <표 508.9>의 단면계수를 이용하여 응력을 결정한다.

(4) [단계 3-4] 프리스트레스

① [단계 3-4-1] 단면내에서의 긴장재 위치 결정

긴장재 배치 형상의 수, 지점 및 중앙부에서의 단면내 긴장재의 위치 등을 결정한다.

② [단계 3-4-2] 긴장재의 긴장(jacking)응력 가정

[도·설 4.6.3.3(1)] PS강재의 허용응력에 규정된 값 이하의 범위에서 긴장응력을 가정한다.

③ [단계 3-4-3] 프리스트레스의 즉시손실 결정 및 긴장재의 초기응력 결정

[도·설 4.6.3.4(1)]의 규정에 따른다.

④ [단계 3-4-4] 프리스트레스의 시간적 손실 결정 및 긴장재의 유효응력 결정

[도·설 4.6.3.4(2)]의 규정에 따른다.

⑤ [단계 3-4-5] 긴장재의 신축량 계산

긴장재의 신축량을 계산하여 시공시 긴장응력의 측정과 더불어 시공이 원활히 이루어지는지에 대한 지표로써 활용한다. 긴장시에는 마찰손실만이 발생하므로 신축량 계산시 긴장재의 마찰손실만을 고려하는 것으로 한다.

⑥ [단계 3-4-6] 프리스트레스의 영향을 고려한 재하단계별 응력계산

[도·설 4.14.2.1]의 규정에 따른다.

(5) [단계 3-5] 2차응력 계산

합성거더교의 경우 바닥판이 합성된 후에는 바닥판과 프리캐스트 보가 합성된 시점에서 각각의 콘크리트 건조수축과 크리프 특성 차이에 따라 2차적인 내부 응력이 발생한다. 일반적으로 건조수축차에 따라 발생하는 응력은 설계상 불리하게 작용하며, 크리프 차에 의해 발생하는 응력은 유리하게 작용한다.

① [단계 3-5-1] 크리프 및 건조수축에 의한 단면력 계산

가. 크리프에 의한 단면력

$$N_c = -\frac{K'}{C^2 - BF}\left[P\{B(y_1' \cdot e_p - {r_{c1}}^2) - C \cdot e_p\} + M_{d1}(C - By_1')\right] - \frac{K'}{C^2 - BF}\left[M_{d2}(C - By_1')\right] \quad (508.46)$$

$$M_c = -\frac{K'}{BF - C^2}\left[P\{C(y_1' \cdot e_p - {r_{c1}}^2) - F \cdot e_p\} + M_{d1}(F - Cy_1')\right] - \frac{K'}{BF - C^2}\left[M_{d2}(F - Cy_1')\right] \quad (508.47)$$

여기서, $B = 1 + m$

$C = y_1' - my_2$

$F = {y_1'}^2 + {r_{c1}}^2 + m{r_{c2}}^2 + {my_2}^2$

$K = \frac{\phi_\infty}{1 + \phi_\infty}$

$$K' = \frac{\phi_t}{1+\phi_\infty}$$

ϕ_∞ : 콘크리트 초기재령부터 T = ∞ 까지의 크리프계수

ϕ_t : 바닥판을 합성한 후부터 T = ∞ 까지의 크리프계수

P : PS강재의 긴장력(단면력을 계산하는 시점에서의 크리프, 릴랙세이션 및 건조수축에 의한 프리스트레스의 감소량을 고려하지 않으면 안된다. 프리스트레스를 준 후부터 합성할 때까지가 3개월 이상 경과할 경우에는 릴랙세이션은 끝난 것으로 보아도 좋다.(kgf)

M_{d1} : 거더의 고정하중에 의한 휨모멘트 (kgf · cm)

M_{d2} : 현장치기 바닥판의 고정하중에 의한 휨모멘트 (kgf · cm)

A_{c1} : 거더의 단면적 (cm^2)

I_{c1} : 거더의 단면 2차 모멘트 (cm^4)

$r_{c1}{}^2 = I_{c1} / A_{c1}$

E_{c1} : 거더의 종탄성계수 (kgf/cm^2)

A_{c2} : 현장치기 바닥판의 단면적 (cm^2)

I_{c2} : 현장치기 바닥판의 단면 2차 모멘트 (cm^4)

$r_{c2}{}^2 = I_{c2} / A_{c2}$

E_{c2} : 현장치기 바닥판의 종탄성계수 (kgf/cm^2)

나. 건조수축에 의한 단면력

$$N_S = \varepsilon_s \cdot E_{c1} \cdot I_{c1} \frac{B}{BF - C^2} \cdot \frac{1}{1 + \phi_\infty} \quad (508.48)$$

$$M_S = \varepsilon_s \cdot E_{c1} \cdot I_{c1} \frac{C}{C^2 - BF} \cdot \frac{1}{1 + \phi_\infty} \quad (508.49)$$

여기서, ε_s : 보와 바닥판의 건조수축차

② [단계 3-5-2] 거더 및 바닥판의 상·하연응력

가. 크리프에 의한 응력

크리프에 의해 단면에 작용하는 축력 및 휨모멘트가 계산되면 바닥판의 상연응력 f_{c2}', 하연응력 f_{c2} 및 보의 상연응력 f_{c1}', 하연응력 f_{c1}은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$f_{c2}' = -\frac{N_c}{A_{c2}} - \frac{M_c - N_c \cdot y_2}{I_{c2}} \cdot y_2'$$

$$f_{c2} = -\frac{N_c}{A_{c2}} + \frac{M_c - N_c \cdot y_2}{I_{c2}} \cdot y_2$$

$$f_{c1}' = \frac{N_c}{A_{c1}} + \frac{M_c + N_c \cdot y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1'$$

$$f_{c1} = \frac{N_c}{A_{c1}} - \frac{M_c + N_c \cdot y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1' \quad (508.50)$$

나. 건조수축에 의한 응력

건조수축에 의해 단면에 작용하는 축력 및 휨모멘트가 계산되면 바닥판의 상연응력 f_{s2}', 하연응력 f_{s2} 및 보의 상연응력 f_{s1}', 하연응력 f_{s1}은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$f_{s2}' = -\frac{N_s}{A_{c2}} - \frac{M_s - N_s \cdot y_2}{I_{c2}} \cdot y_2'$$

$$f_{s2} = -\frac{N_s}{A_{c2}} + \frac{M_s - N_s \cdot y_2}{I_{c2}} \cdot y_2$$

$$f_{s1}' = \frac{N_s}{A_{c1}} + \frac{M_s + N_s \cdot y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1'$$

$$f_{s1} = \frac{N_s}{A_{c1}} - \frac{M_s + N_s \cdot y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1 \quad (508.51)$$

<그림 508.97> 2차응력의 계산을 위한 기호 정의

(6) [단계 3-6] 휨 극한 안전성 검토

교량의 파괴시 휨파괴 양상은 다음과 같은 세가지 형태로서 구분한다.

ⅰ) 균열의 발생과 동시에 PS강재도 파단하는 형태로서 돌발적인 파괴양상을 나타낸다.

ⅱ) PS강재응력이 항복강도 이상으로 된 후에 콘크리트가 압축파괴를 일으키는 형태로서 저보강 PSC보에서 발생하기 쉬우며 연성파괴 형태이므로 바람직스러운 파괴양상을 나타낸다.

ⅲ) PS강재응력이 항복강도에 이르기 전에 콘크리트가 압축파괴를 일으키는 형태로서 과보강 PSC보에서 발생하기 쉬우며, 인성이 작은 결점이 있으므로 취성파괴양상을 나타낸다.

RC보의 과소철근보, 과다철근보와는 달리 PSC보에 있어서 과보강보, 저보강보의 구별은 강재지수에 의하며, 강재지수는 강재비, 콘크리트의 강도, PS강재의 강도 등에 의한 영향을 고려하여 결정한다. 특별한 경우를 제외하고 PSC보는 연성파괴를 보장하기 위하여 저보강보로 설계되어야 한다.

긴장재의 유효 프리스트레스 응력이 극한응력의 1/2이상인 경우에는 설계기준의 규정에 따라 휨 저항강도를 계산해도 좋으나 1/2미만인 경우 변형율적합조건(strain compatibility analysis)에 의하여 휨 저항강도를 계산해야 한다. 휨 저항강도는 극한하중에 의한 휨모멘트보다 커야 되며, 균열모멘트의 1.2배보다도 커야 된다.

극한하중에 대한 안전도의 검토는 최대 모멘트가 발생하는 지간중앙단면에 대해서만 실시하며, 이외의 단면에서는 검토를 하지 않더라도 안전한 것으로 간주한다.

① [단계 3-6-1] 외력에 의한 극한모멘트

고정하중과 활하중에 하중계수를 곱하여 부재에 발생되는 최대 극한모멘트를 계산한다.

② [단계 3-6-2] 균열모멘트

콘크리트의 파괴계수를 기초로 하여 균열 모멘트를 계산한다.

③ [단계 3-6-3] 설계단면의 휨저항강도 계산

[도·설 4.6.3.5] , [도·설 4.6.3.6] 및 [콘·설 9.5]의 규정에 따른다.

(7) [단계 3-7] 전단강도계산 및 전단검토

사용하중에 하중계수를 곱한 하중을 극한하중 또는 설계하중이라 하고, 극한하중에 의한

전단력을 극한전단력 또는 설계전단력이라고 한다. 강도설계법에 관한 설계기준의 규정과 가정에 따라 계산한 부재단면의 전단강도를 공칭전단강도라고 한다.

① [단계 3-7-1] 극한 전단력의 계산

강도설계법의 하중조합에 의하여 부재에 발생하는 극한전단력을 계산한다.

② [단계 3-7-2] 휨전단균열시 콘크리트의 전단강도

[도·설 4.6.3.8 (2) ②]의 규정에 따른다.

③ [단계 3-7-3] 복부전단균열시 콘크리트의 전단강도

[도·설 4.6.3.8 (2) ③]의 규정에 따른다.

④ [단계 3-7-4] 콘크리트의 공칭전단강도

②와③의 값 중 작은 값을 공칭전단강도로 한다.

⑤ [단계 3-7-5] 전단철근이 부담하여야 할 공칭 전단강도

[도·설 4.6.3.8 (3)]의 규정에 따른다.

⑥ [단계 3-7-6] 스터럽의 배치간격

[도·설 4.6.3.8 (3)]의 규정에 따른다.

⑦ [단계 3-7-7] 접합면의 수평 전단응력

합성거더교의 경우 휨을 받으면 거더와 바닥판 사이에 활동이 일어나서 <그림 508.98>과 같이 변형될 것이다. <그림 508.98>에서 보는 바와 같이 수평활동을 방지하지 않으면 거더와 바닥판은 분리된 보로 작용하게 될 것이므로, 완전합성을 이루기 위하여 거더와 바닥판 사이의 접합면에 작용하는 전단력의 전달방법을 마련하여야 한다.

합성단면의 접합면적이 넓은 경우 전단력의 전달은 두 콘크리트 사이의 점착력과 마찰력만으로 충분하다. 그러나, 합성단면의 접합면적이 좁은 경우 콘크리트 사이의 점착력과 마찰력만으로는 전단력을 전달하지 못하므로, 거더에 사용한 스터럽을 위쪽으로 연장시켜서 바닥판 콘크리트속에 정착하는 것이 보통이며, 특별한 경우 거더 상부와 바닥판에 전단연결재를 두는 수도 있다.

수평전단설계는 [도·설 4.6.3.8(4)]의 규정에 따른다.

(8) [단계 3-8] 처짐계산

PSC교량은 고강도재료가 사용되고 보다 정밀하게 시공되기 때문에 RC교량보다 날씬하며, 활하중에 대한 고정하중의 비가 낮아서 장지간이 될 수도 있으므로 처짐에 주의해야 한다.

① [단계 3-8-1] 하중에 의한 처짐

각 하중에 대한 처짐계산시 단면계수 및 탄성계수는 <표 508.9>의 계수를 사용한다. 단순교에서의 최대 처짐은 지간 중앙에서 발생하므로 저침에 대한 검토는 지간중앙에 대해서만 실시하는 것으로 한다.

② [단계 3-8-2] 프리스트레스에 의한 처짐

프리스트레스에 의한 처짐은 상향처짐이며 긴장재 배치형상에 따라 계산식이 다르게 된다.

<그림 508.98> 합성거더교의 수평활동

프리스트레스 도입시의 프리스트레스에 의한 부재의 초기탄성 처짐은 다음과 같이 계산한다.

가. 직선형상 긴장재의 경우

$$d_{pr} = -\frac{P_i \cdot e_1 \cdot L^2}{8EI} \quad (508.52)$$

나. 절선형상 긴장재의 경우

$$d_{pr} = -\frac{P_i e_1 L^2}{8EI} - \frac{P_i e_2}{EI}\left(\frac{L^2}{8} - \frac{X^2}{6}\right) \quad (508.53)$$

다. 포물선형상 긴장재의 경우

$$d_{pr} = -\frac{P_i e_1 L^2}{8EI} - \frac{5P_i e_2 L^2}{48EI} \quad (508.54)$$

여기서,

d_{pr} : 초기 프리스트레스에 의한 처짐 (지간중앙)

P_i : 초기 프리스트레스 힘

e_1 : 지점에서의 편심거리 (하향+)

e_2 : 지점과 중앙점에서의 긴장재간의 거리 (하향+)

X : 지점에서 절곡점까지의 거리

L : 지간

E : 탄성계수

I : 단면2차 모멘트

③ [단계 3-8-3] 활하중 처짐검토

[도▪설 4.4.9.5(3)]의 규정에 따른다.

(9) [단계 3-9] 정착부 검토

① [단계 3-9-1] 설계조건의 선정

정착부에는 집중된 프리스트레스힘을 횡방향으로 분산시켜 단면 전체에 선형의 응력분포가 되도록 하는 콘크리트 부분으로, 철근의 가공·조립·설치의 허용오차, 골재크기, 콘크리트 치기 및 치밀한 경화에 대해 고려되어야 한다. 따라서, 정착장치 공급자가 제시하는 값을 면밀히 검토한 후 설계조건을 선정하여야 한다.

② [단계 3-9-2] 지압응력의 검토

정착부에서 발생하는 지압응력은 [도·설 4.6.3.3(2)④]의 규정에 따른다.

③ [단계 3-9-3] 보강철근량의 산정

파열력은 정착장치 앞부분에 긴장재 축에 횡방향으로 작용하는 정착구역내의 인장력으로 [도·설 4.6.3.9]의 규정에 따른다.

3.2.4 [단계 4] 지점반력의 산정

(1) [단계 4-1] 고정하중반력 산정

지점부에서 고정하중에 의해 발생되는 최대 전단력을 하부에 전달되는 고정하중 반력으로 한다. 구조 해석시 지간장을 받침간 거리로 가정한 경우 지간부 외측으로 돌출된 부분에 대해서는 약간의 증가·보정이 필요하다.

(2) [단계 4-2] 활하중반력 산정

지점부에서 활하중에 의해 발생되는 최대 전단력을 하부에 전달되는 활하중 반력으로 한다.

3.2.5 [단계 5] 신축이동량 산정

(1) [단계 5-1] 온도변화에 의한 이동량

[도▪설 2.4.2.3]의 규정에 따르며, 도로설계요령 제3권 제8-2편 6.2.4의 규정을 따를 수도 있다.

(2) [단계 5-2] 건조수축에 의한 이동량

[도▪설 2.4.2.3]의 규정에 따르며, 도로설계요령 제3권 제8-2편 6.2.4의 규정을 따를 수도 있다.

(3) [단계 5-3] 크리프에 의한 이동량

[도·설 2.4.2.3]의 규정에 따르며, 도로설계요령 제3권 제8-2편 6.2.4의 규정을 따를 수도 있다.

(4) [단계 5-4] 보의 처짐에 의한 이동량

[도·설 2.4.2.3]의 규정에 따르며, 도로설계요령 제3권 제8-2편 6.2.4의 규정을 따를 수도 있다.

(5) [단계 5-5] 여유량

[도·설 2.4.2.3]의 규정에 따르며, [도로설계요령 제3권 제8-2편 6.2.4]의 규정을 따를 수도 있다.

3.3 설계예

3.3.1 [단계 1] 설계조건 결정 및 단면가정

(1) [단계 1-1] 설계조건

① 교량제원

- 형 식 : PSC I형거더교
- 교량등급 : 1등교(차량전용)
- 교 장 : 29.9 m (신축여유량 미포함)
- 폭 원 : 20.9 m
- 지 간 : 29.1 m
- 거더간격 : 2.35 m

② 하중

- 활 하 중 : DB - 24
- 충격계수

$$I = \frac{15}{40 + L} \leq 0.30$$

③ 사용재료

가. 콘크리트

i) 바 닥 판

· $f_{ck} = 270$ kgf/cm^2

ii) PSC 거더

· $f_{ck} = 400$ kgf/cm^2

나. 강 재

i) 바 닥 판 : SD 40

ii) PSC 거더

· SD 30

· SWPC7B 12.7mm 7연선, 저릴랙세이션 강연선 사용

· 쉬스관 ϕ66 사용

④ 허용응력

가. 바닥판 콘크리트

· 허용 휨 압축응력 : $f_{ca} = 0.4 f_{ck} = 108$ kgf/cm^2

나. 프리스트레스 콘크리트 (PSC 거더)

i) 프리스트레스 도입시의 압축강도

· $f_{ci} = 0.8 f_{ck} = 320$ kgf/cm^2

ii) 프리스트레스 도입 직후

· 허용 휨 압축응력 : $0.55 f_{ci} = 176$ kgf/cm^2

· 허용 휨 인장응력 : $0.8\sqrt{f_{ci}} = 14.31$ kgf/cm^2

iii) 설계하중 작용시

· 허용 휨 압축응력 : $0.4 f_{ck} = 160$ kgf/cm^2

· 허용 휨 인장응력 : $0.8\sqrt{f_{ck}} = 16$ kgf/cm^2 (해변지역으로 가정)

다. PS강재(저릴랙세이션 강재)

· 극한강도(f_{pu}) : 19,000 kgf/cm^2

· 항복강도(f_{py}) : 16,000 kgf/cm^2

i) 허용 최대 긴장응력

· $0.9 f_{py} = 14,400$ kgf/cm^2

ii) 정착 직후 정착부에서의 응력

· $0.7 f_{pu} = 13,300$ kgf/cm^2

iii) 손실이 일어난후 사용하중 상태에서의 응력

· $0.8 f_{py} = 12,800$ kgf/cm^2

⑤ 탄성계수

· 콘크리트

$$E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} \quad (f_{ck} \le 300 \text{ kgf/cm}^2)$$
$$E_c = 10,500\sqrt{f_{ck}} + 70,000 \quad (f_{ck} > 300 \text{ kgf/cm}^2)$$

· 철근 및 PS강연선

$$E_s = 2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

⑥ 마찰계수

가. 곡률마찰계수

· $\mu = 0.25$ /rad

나. 파상마찰계수

· $\kappa = 0.005$ /m

(2) [단계 1-2] 단면가정

① 평면도 및 종단면도

② 횡단면도

③ 단면상세도

3.3.2 [단계 2] 바닥판의 설계

(1) 중간 바닥판의 설계

① [단계 2-1] 경간결정 및 최소두께검토

가. 중간바닥판의 지간 : $L = 2.350 - 0.700 = 1.650$ m

나. 바닥판의 최소두께

$t_{mim} = 3L + 13 = 3 \times 1.65 + 13 = 17.95$ cm

다. 중간 바닥판의 두께 : $t = 25.00$ cm $>$ $t_{mim} = 17.95$ cm $\therefore$ O.K

② [단계 2-2] 하중 및 단면력의 산정

가. 고정하중 (Dead Load)

구 분	두 께(m)	단위중량(tonf/㎥)	하 중(tonf/m)
바닥판	0.250	2.500	0.625
포 장	0.080	2.300	0.184
$\Sigma \omega_d$			0.809

$\therefore M_d = (\Sigma \omega_d \cdot l^2) / 10 = (0.809 \times 1.650^2) / 10 = 0.220$ tonf · m

나. 활하중 (Live Load) : DB-24 , $P_r = 9.600$ tonf

· 충격계수 (I)

$$I = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 1.65} = 0.360 > 0.3$$

$\therefore \quad I = 0.300$

$$\therefore \quad M_l = \frac{L + 0.6}{9.6} \times P_\gamma \times (1 + I) \times 0.8$$

$$= \frac{1.65 + 0.6}{9.6} \times 9.6 \times (1 + 0.3) \times 0.8$$

$= 2.340$ tonf · m

다. 극한 하중(M_u)의 산정

$\therefore \quad M = 1.3 \cdot M_d + 2.15 \cdot M_l = 5.317$ tonf · m (2.560 : 사용하중)

③ [단계 2-3] 단면설계

가. 주철근

$f_{ck} = 270.0$ kgf/cm^2 , $f_y = 4{,}000$ kgf/cm^2, $M_u = 5.317$ tonf · m

$b = 100.0$ cm, $d = 19.0$ cm, $d' = 6.0$ cm, $\phi = 0.85$, $k_1 = 0.85$

$M_n = M_u/\phi = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d \cdot a - 1/2 \cdot 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot a^2$ 에서

$0.425 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot a^2 - 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d \cdot a + M_u/\phi = 0$

$11{,}475\, a^2 - 436{,}050\, a + 625{,}567.7 = 0$: (a에 대한 2차 방정식)

$\therefore \quad a = 1.493$ cm

필요철근량 : $A_s = 0.85 \cdot (f_{ck}/f_y) \cdot a \cdot b = 8.568$ cm^2

사용철근량 : $A_s = 15.89$ cm^2 H16 × 8.00 EA (C.T.C 125 mm)

시공의 편의를 위하여 H16 철근을 12.5cm 중심간격으로 상·하면에 직선 배치

$M_d = 0.85^2 \cdot f_{ck} \cdot a' \cdot b \cdot (d - a'/2)$ ← $a' = 2.769$ cm

$= 9.516$ tonf · m 〉 $M_u = 5.317$ tonf · m $\therefore$ O.K

$p_{\max} = 0.75 \cdot p_b$

$$= 0.75 \times 0.85 \times \frac{270}{4{,}000} \times 0.85 \times \frac{6{,}000}{6{,}000 + 4{,}000}$$

$= 0.0219$

$p_{mim} = 14/f_y = 0.0035 \ < \ p = 0.0084 \ < \ p_{\max} = 0.0219$

나. 배력 철근

· 주철근에 대한 배력 철근의 비율(ρ)

$$\rho_d = \frac{120}{\sqrt{L}} = \frac{120}{\sqrt{1.65}} = 93.4\% \ > \ \rho_{\max} = 67\%$$

$\therefore \rho = 67.0\%$

필요철근량 : $A_{sd} = A_s \cdot 0.67 = 8.568 \times 0.67 = 5.74$ cm^2

사용철근량 : $A_{sd} = 13.24\ \text{cm}^2$ H16×6.667EA (C.T.C.150 mm)

④ [단계 2-4] 사용성 검토

가. 균열검토

$M_{ser} = 2.560\ \text{tonf·m}$, $p = 0.0084$, $n = \frac{E_s}{E_c} = 8.114$

$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.307$

$x = kd = 5.828\ \text{cm}$

$$f_s = \frac{M_{ser}}{A_s(d - x/3)}$$

$$= \frac{2.56 \times 10^5}{15.888 \times (19 - 5.828/3)}$$

$= 944.7\ \text{kgf/cm}^2 < 0.6 f_y = 2{,}400\ \text{kgf/cm}^2$ ∴ O.K

균열폭(ω)

$$R = \frac{19.172}{13.172} = 1.456$$

$$\omega = 1.08 R f_s \sqrt[3]{d_c A} \cdot 10^{-5}$$

$$= 1.08 \times 1.456 \times 944.7 \times \sqrt[3]{6 \times 150} \times 10^{-5}$$

$= 0.143\ \text{mm} < \omega_a = 0.005 C = 0.260\ \text{mm}$ ∴ O.K

나. 처짐검토

주철근이 차량 진행방향에 나란하거나 직각인 연속 바닥판의 최소두께는 다음과 같다.

$t_{\min} = (S + 3)/30 = (1.65 + 3)/30 = 0.155\ \text{m}$

$t = 25.00\ \text{cm} > t_{\min} = 15.50\ \text{cm}$ 이므로 처짐에 대하여 안전하다.

다. 피로검토

SD 40 은 철근의 응력범위가 $1{,}500\ \text{kgf/cm}^2$이하일 경우에 피로를 고려하지 않아도 된다.

$M = 2.340\ \text{tonf·m}$, $x = 5.828$

$f_s = M/(A_s \times (d - x/3))$

$= 863.4\ \text{kgf/cm}^2$ 이므로 피로에 대하여 안전하다.

(2) 캔틸레버판의 설계

① [단계 2-1] 두께산정 및 검토

가. 캔틸레버 바닥판의 지간 : (고정하중에 의한) $L = 0.700\ \text{m}$

(활하중에 의한) $L = 0.700 - 0.3 - 0.450 = 0.000$ m

나. 바닥판의 최소두께

$t_{min} = 28L + 18 = 28 \times 0.000 + 18 = 18.00$ cm

다. 캔틸레버 바닥판의 두께 : $t = 25.00$ cm 〉 $t_{min} = 18.00$ cm ∴ O.K

② [단계 2-2] 하중 및 단면력의 산정

가. 고정하중(Dead Load)

· 방호벽

구 분		두 께(m)	길 이(m)	단위중량 (tonf/㎥)	팔길이(m)	모멘트 (tonf.m)
바닥판		0.250	0.700	2.500	0.350	0.153
포 장		0.080	0.250	2.300	0.125	0.006
방호벽	①	1.080	0.230	2.500	0.555	0.345
	②	0.730	0.070	2.500	0.399	0.051
	③	0.293	0.120	2.500	0.304	0.027
ΣMd						0.581

나. 활하중 (Live Load) : $DB-24$, $P_r = 9.600$ tonf

· 충격계수 (I)

$$I = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0} = 0.375 \text{ 〉 } 0.3$$

$\therefore I = 0.300$

· 윤하중 분포폭 (E)

$E = 0.8 \times x + 1.14 = 1.140$ m

(여기서, $x = 0.7 - 0.3 - 0.45 = -0.050$ 이므로, $x = 0.000$임)

$\therefore\ M_l = P_\gamma(1+i)x/E = 9.6\times(1+0.3)\times 0/1.14$

$= 0.000$ tonf · m

다. 방호벽에 작용하는 충돌하중

설계기준속도 $V = 100.0$ km/hr

$M_{co} = \left(\frac{V}{60}\right)^2 \cdot 0.75 + 0.25 = 2.333$ tonf · m

라. 방호벽에 작용하는 풍하중

$B/D = 20.9/3.33 = 6.28 < 8.00$ 이므로

$\omega = [400 - 20\cdot(B/D)]\cdot D = 914.0$ kgf/m $>$ 600.0 kgf/m

$\therefore\ \omega = 0.914$ tonf/m

$\therefore\ M_\omega = \omega\cdot H/2 = 0.914\times 1.080/2 = 0.494$ tonf · m

마. 극한 하중(M_u)의 산정

$M_u = 1.3\times M_d + 2.15\times M_l = 0.756$ tonf · m (0.581 : 사용하중)

$M_u = 1.3\times M_d + 1.3\times M_w = 1.397$ tonf · m (1.075 : 사용하중)

$M_u = 1.3\times M_d + 1.3\times M_l + 0.650\times M_w = 1.077$ tonf · m (1.075 : 사용하중)

$M_u = 1.25\times M_d + 1.25\times M_l + 0.625\times M_w = 1.035$ tonf · m (1.075 : 사용하중)

$M_u = 1.3\times M_d + 1.3\times M_l + 1.3\times M_{co} = 3.789$ tonf · m (2.915 : 사용하중)

$M_u = 1.2\times M_d + 1.2\times M_w + 1.2\times M_{co} = 4.090$ tonf · m (3.408 : 사용하중)

$\therefore M_u = 4.090$ tonf · m (3.408 : 사용하중)

③ [단계 2-3] 단면설계

가. 주철근

$f_{ck} = 270.0$ kgf/cm^2 , $f_y = 4{,}000$ kgf/cm^2, $M_u = 4.090$ tonf · m

$b = 100.0$ cm, $d = 19.0$ cm, $d' = 6.0$ cm, $\phi = 0.85$, $k_1 = 0.85$

$M_n = M_u/\phi = 0.85\cdot f_{ck}\cdot b\cdot d\cdot a - 1/2\cdot 0.85 f_{ck}\cdot b\cdot a^2$ 에서

$0.425\cdot f_{ck}\cdot b\cdot a^2 - 0.85\cdot f_{ck}\cdot b\cdot d\cdot a + M_u/\phi = 0$

$11{,}475\,a^2 - 436{,}050\,a + 481{,}147.1 = 0$: (a에 대한 2차 방정식)

$\therefore\ a = 1.137$ cm

필요철근량 : $A_s = 0.85\cdot(f_{ck}/f_y)\cdot a\cdot b = 6.526$ cm^2

사용철근량 : $A_s = 15.89$ cm^2 H16 × 8.00EA (C.T.C 125mm)

시공의 편의를 위하여 H16 철근을 12.5cm 중심간격으로 상·하면에 직선 배치

$M_d = 0.85^2 \cdot f_{cR} \cdot a' \cdot b \cdot (d - a'/2)$ ← $a' = 2.769$ cm

$= 9.516$ tonf · m 〉 $M_u = 4.090$ tonf · m ∴ O.K

$$p_{\max} = 0.75 \cdot p_b = 0.75 \times 0.85 \times \frac{270}{4,000} \times 0.85 \times \frac{6,000}{6,000 + 4,000}$$

$= 0.0219$

$p_{\min} = 14/f_y = 0.0035 \ < \ p = 0.0084 \ < \ p_{\max} = 0.0219$

나. 배력 철근

· 주철근에 대한 배력 철근의 비율(ρ)

$$\rho_d = \frac{120}{\sqrt{L}} = \frac{120}{\sqrt{0.7}} = 143.4\% \ 〉 \ \rho_{\max} = 67\%$$

$\therefore \rho = 67.0\%$

필요철근량 : $A_{sd} = A_s \cdot 0.67 = 6.526 \times 0.67 = 4.37$ cm^2

사용철근량 : $A_{sd} = 13.24$ cm^2 H16 × 6.667 EA (C.T.C 150 mm)

④ [단계 2-4] 사용성 검토

가. 균열 검토

$M_{ser} = 3.408\ tonf \cdot m$, $p = 0.0084$, $n = \frac{E_s}{E_c} = 8.114$

$$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.307$$

$x = kd = 5.828$ cm

$$f_s = \frac{M_{ser}}{A_s(d - x/3)}$$

$$= \frac{3.408 \times 10^5}{15.888 \times (19 - 5.828/3)}$$

$= 1,257.6$ kgf/cm^2 〈 $0.6 f_y = 2,400$ kgf/cm^2 ∴ O.K

균열폭(ω)

$$R = \frac{19.172}{13.172} = 1.456$$

$\omega = 1.08 R f_s \sqrt[3]{d_c A} \cdot 10^{-5}$

$= 1.08 \times 1.456 \times 1257.6 \times \sqrt[3]{6 \times 150} \times 10^{-5}$

$= 0.191$ mm 〈 $\omega_a = 0.005 C = 0.260$ mm ∴ O.K

나. 피로검토

SD 40은 철근의 응력범위가 1,500 kgf/cm^{2}이하일 경우에 피로를 고려하지 않아도 된다.

$M = 0.000$ tonf · m

$$f_s = \frac{M}{A_s \times (d - x/3)}$$

$= 0.0$ kgf/cm^2 이므로 피로에 대하여 안전하다.

3.3.3 [단계 3] PSC 거더의 설계

(1) [단계 3-1] 단면 제계수 산정

① [단계 3-1-1] 총단면에 대한 단면 제계수의 계산

번 호	B	H	A	y	$A \cdot y$	$A \cdot y^2$	I_o
①	70	18	1,260	9.000	11,340	102,060	34,020
②	25	10	250	21.333	5,333	113,774	1,389
③	20	159	3,180	97.500	310,050	30,229,875	6,699,465
④	23	22	506	169.667	85,852	14,566,167	13,606
⑤	66	23	1,518	188.500	286,143	53,937,956	66,919
계			6,714		698,718	98,949,832	6,815,399

$$y_{t1} = \frac{\Sigma(A_i \times y_i)}{\Sigma A} = \frac{698,718}{6,714} = 104.1 \text{ cm}$$

$$y_{b1} = 200 - 104.1 = 95.9 \text{ cm}$$

$$I_{c1} = I_o + \Sigma(Ay^2) - (\Sigma A)(y_{t1})^2$$

$$= 6,815,399 + 98,949,832 - 6,714 \times 104.1^2$$

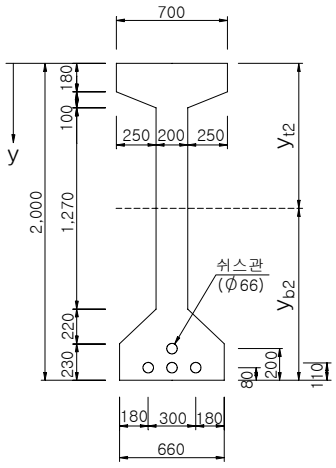
$$= 33,006,889 \text{ cm}^4$$

$$Z_{t1} = \frac{I_{c1}}{y_{t1}} = \frac{33,006,889}{104.1} = 317,069 \text{ cm}^3$$

$$Z_{b1} = \frac{I_{c1}}{y_{b1}} = \frac{33,006,889}{95.9} = 344,180 \text{ cm}^3$$

$$r_1^2 = \frac{33,006,889}{6,714} = 4,916 \text{ cm}^2$$

② [단계 3-1-2] 순단면에 단면 제계수의 계산



쉬스관 Φ66 × 4EA (A=136.848 cm2)

구 분	A	y	$A \cdot y$	$A \cdot y^2$	I_o
총 단 면	6,714		698,718	98,949,832	6,815,399
쉬스관	-137	189	-25,893	-4,893,777	
계	6,577		672,825	94,056,055	6,815,399

$$y_{t2} = \frac{\Sigma(A_i \times y_i)}{\Sigma A} = \frac{672,825}{6,577} = 102.3 \text{ cm}$$

$$y_{b2} = 200 - 102.3 = 97.7 \text{ cm}$$

$$I_{c2} = I_o + \Sigma(Ay^2) - (\Sigma A)(y_{t1})^2$$

$$= 6,815,399 + 94,056,055 - 6,577 \times 102.3^2$$

$$= 32,041,242 \text{ cm}^4$$

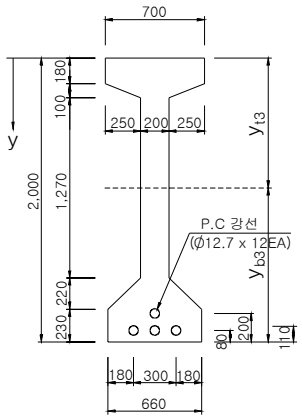
$$Z_{t2} = \frac{I_{c2}}{y_{t2}} = \frac{32,041,242}{102.3} = 313,209 \text{ cm}^3$$

$$Z_{b2} = \frac{I_{c2}}{y_{b2}} = \frac{32,041,242}{97.7} = 327,955 \text{ cm}^3$$

$$e_{p2} = 97.7 - 11.0 = 86.7 \text{ cm}$$

$$Z_{t2} = \frac{32,041,242}{86.7} = 369,564 \text{ cm}^3$$

③ [단계 3-1-3] PS강재 환산단면에 대한 단면제계수의 계산



USE $\phi 12.7 \times 12^{EA} = 0.9871 \times 12 = 11.845\ \text{cm}^2$

$$n_p = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,000,000}{10,500\sqrt{400} + 70,000} = 7.143$$

$$A = 11.845 \times 4^{EA} \times 7.143 = 338.435\ \text{cm}^2$$

구 분	A	y	$A \cdot y$	$A \cdot y^2$	I_o
순 단 면	6,577		672,825	94,056,055	6,815,399
PS강연선	338	189	63,882	12,073,698	
계	6,915		736,707	106,129,753	6,815,399

$$y_{t3} = \frac{\Sigma(A_i \times y_i)}{\Sigma A} = \frac{736,707}{6,915} = 106.5\ \text{cm}$$

$$y_{b3} = 200 - 106.5 = 93.5\ \text{cm}$$

$$I_{c3} = I_o + \Sigma(Ay^2) - (\Sigma A)(y_{t1})^2$$

$$= 6,815,399 + 106,129,753 - 6,915 \times 106.5^2$$

$$= 34,513,493\ \text{cm}^4$$

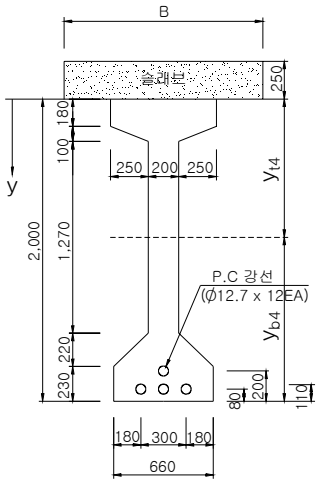
$$Z_{t3} = \frac{I_{c3}}{y_{t3}} = \frac{34,513,493}{106.5} = 324,070\ \text{cm}^3$$

$$Z_{b3} = \frac{I_{c3}}{y_{b3}} = \frac{34,513,493}{93.5} = 369,128\ \text{cm}^3$$

$$e_{p3} = 93.5 - 11.0 = 82.5\ \text{cm}$$

$$Z_{p3} = \frac{34,513,493}{82.5} = 418,345\ \text{cm}^3$$

④ [단계 3-1-4] 합성단면에 대한 단면 제계수의 계산



$$n_c = \frac{15,000\sqrt{270}}{10,500\sqrt{400} + 70,000} = 0.880$$

가. 외측거더

$b_1 = 105.0 + 10 = 115.0$ cm (바닥판연단에서 거더 중심까지의 거리)

유효폭 산정

$$\left.\begin{aligned} 6t + b_1 &= 6 \times 25 + 115.0 = 265.0 \\ l/12 + b_1 &= 2910/12 + 115.0 = 357.5 \\ l/2 + b_1 &= 215/2 + 115.0 = 222.5 \end{aligned}\right\} \text{ 작은 값 사용}$$

$B = 0.880 \times 222.5 = 195.8$ cm

$A = 195.8 \times 25.0 = 4895$ cm^2

구 분	A	y	$A \cdot y$	$A \cdot y^2$	I_o
PS강연선 환산단면	6,915		736,707	106,129,753	6,815,399
바 닥 판	4,895	-12.5	-61,188	764,844	254,948
계	11,810		675,519	106,894,597	7,070,347

$$y_{t4} = \frac{\Sigma(A_i \times y_i)}{\Sigma A} = \frac{675,519}{11,810} = 57.2 \text{ cm}$$

$y_{b4} = 200 - 57.2 = 142.8$ cm

$$I_{cA} = I_o + \Sigma(Ay^2) - (\Sigma A)(y_{tA})^2$$

$$= 7,070,347 + 106,894,597 - 11,812 \times 57.2^2$$

$$= 75,317,970 \text{ cm}^4$$

$$Z_{tA} = \frac{I_{cA}}{y_{tA}} = \frac{75,317,970}{57.2} = 1,316,748 \text{ cm}^3$$

$$Z_{bA} = \frac{I_{cA}}{y_{bA}} = \frac{75,317,970}{142.8} = 527,437 \text{ cm}^3$$

$$y_s = 57.2 + 25 = 82.2 \text{ cm}$$

$$Z_s = \frac{75,317,970}{82.2} = 916,277 \text{ cm}^3$$

$$e_{pA} = 142.8 - 11.0 = 131.8 \text{ cm}$$

$$Z_{pA} = \frac{75,317,970}{131.8} = 571,457 \text{ cm}^3$$

나. 내측거더

유효폭 산정

$12t + b_0 = 12 \times 25 + 70 = 370.0$

양쪽 거더 중심간 거리 $= 235.0$

$l/4 = 2910/4 = 727.5$

} 작은 값 사용

$$B = 0.880 \times 235 = 206.8 \text{ cm}$$

$$A = 206.8 \times 25.0 = 5170 \text{ cm}^2$$

구 분	A	y	$A \cdot y$	$A \cdot y^2$	I_o
PS 강연선 환산단면	6,915		736,707	106,129,753	6,815,399
바 닥 판	5,170	-12.5	-64,625	807,813	269,271
계	12,085		672,082	106,937,566	7,084,670

$$y_{tA} = \frac{\Sigma(A_i \times y_i)}{\Sigma A} = \frac{672,082}{12,085} = 55.6 \text{ cm}$$

$$y_{bA} = 200 - 55.6 = 144.4 \text{ cm}$$

$$I_{cA} = I_o + \Sigma(Ay^2) - (\Sigma A)(y_{tA})^2$$

$$= 7,084,670 + 106,937,566 - 12,085 \times 55.6^2$$

$$= 76,663,150 \text{ cm}^4$$

$$Z_{t1} = \frac{I_{c1}}{y_{t1}} = \frac{76,663,150}{55.6} = 1,378,834 \text{ cm}^3$$

$$Z_{b1} = \frac{I_{c1}}{y_{b1}} = \frac{76,663,150}{144.4} = 530,908 \text{ cm}^3$$

$y_s = 55.6 + 25 = 80.6$ cm

$$Z_s = \frac{76,663,150}{80.6} = 951,156 \text{ cm}^3$$

$e_{p1} = 144.4 - 11.0 = 133.4$ cm

$$Z_{p1} = \frac{76,663,150}{133.4} = 574,686 \text{ cm}^3$$

(2) [단면 3-2] 고정하중 및 활하중 해석

① [단면 3-2-1] 고정하중산정 및 고정하중에 의한 단면력 산정

가. 고정하중 산정

(가) 주거더와 가로보 연결부 중량

(0.3 × 1.27 × 0.23 + 0.23 × 0.22 × 1/2 × 0.3)×2.5×2EA	= 0.476 tonf
0.23 × 0.23 × 1/2 × 1.27 × 2.5 × 4EA	= 0.336 tonf
0.23 × 0.23 × 1/2 × 0.22 × 1/3 × 2.5 × 4EA	= 0.019 tonf
0.23 × 0.094 × 1/2 × 0.3 × 2.5 × 2EA	= 0.016 tonf
0.23 × 0.23 × 1/2 × 0.094 × 1/3 × 2.5 × 4EA	= 0.008 tonf
계	0.855 tonf

(나) 가로보 중량

㉮ 외측거더

· 중앙부

$$w = \{1.77 \times 1.69 - (0.18 \times 0.02 + 0.02 \times 0.008 \times 1/2) \times 2\text{EA}\} \times 0.3 \times 2.5 \times 1/2 = 1.119 \text{ tonf}$$

· 단 부

$$w = \{1.77 \times 1.69 - (0.18 \times 0.02 + 0.02 \times 0.008 \times 1/2) \times 2\text{EA}\} \times 0.4 \times 2.5 \times 1/2 = 1.492 \text{ tonf}$$

㉯ 내측거더

· 중앙부

$w = 1.119 \times 2\text{EA} = 2.238$ tonf

· 단 부

$w = 1.492 \times 2EA = 2.984$ tonf

(다) 거더중량

· 일반부

$w = 0.671 \times 2.5 = 1.678$ tonf/m

· 단 부

$w = 1.678 + (1.270 + 1.582) \times 1/2 \times 0.23 \times 2.5 \times 2EA$

$= 3.318$ tonf/m

· 거더 총중량

$w = \{3.318 \times 0.6 + (3.318 + 1.678) \times 1/2 \times 3.4 + 1.678 \times 10.95\}$

$\times 2EA + 0.855 \times 5EA = 61.991$ tonf

나. 고정하중에 의한 단면력 산정

(가) 거더자중

$R_A = R_B = 3.318 \times 0.2 + (3.318 + 1.678) \times 1/2 \times 3.4 + 1.678 \times 21.9/2 + 0.855 \times 5/2 = 29.678$ tonf

$M_2 = 29.678 \times 3.6375 - 1.678 \times 3.63752/2 - 1.640 \times 0.2 \times (3.6375 - 0.1) - 0.5 \times 1.640 \times 3.4 \times (3.6375 - 0.2 - 3.4/3) = 89.240$ tonf · m

$M_3 = 29.678 \times 7.275 - 1.678 \times 7.2752/2 - 1.640 \times 0.2 \times (7.275 - 0.1) - 0.5 \times 1.640 \times 3.4 \times (7.275 - 0.2 - 3.4/3) - 0.855 \times (7.275 - 4.85) = 149.953$ tonf · m

$M_4 = 29.678 \times 10.9125 - 1.678 \times 10.9132/2 - 1.640 \times 0.2 \times (10.9125 - 0.1) - 0.5 \times 1.640 \times 3.4 \times (10.9125 - 0.2 - 3.4/3) - 0.855 \times (10.9125 - 4.85) - 0.855 \times (10.9125 - 9.7) = 187.477$ tonf · m

M_5 = 29.678 × 14.55 - 1.678 × 14.552/2 - 1.640 × 0.2 × (14.55 - 0.1)
- 0.5 × 1.640 × 3.4 × (14.55 - 0.2 - 3.4/3) - 0.855 × (14.55- 4.85)
- 0.855 × (14.55 - 9.7) = 200.169 tonf · m

S_2 = 29.678 - 1.678 × 3.6375 - 1.640 × 0.2 - 0.5 × 1.640 × 3.4
= 20.458 tonf

S_3 = 26.678 - 1.678 ×7.275 - 1.640 × 0.2 - 0.5 × 1.640 × 3.4 - 0.855
= 13.450 tonf

S_4 = 26.678 - 1.678 × 10.9125 - 1.640 × 0.2 - 0.5 × 1.640 × 3.4 - 0.855
× 2 = 6.541 tonf

S_5 = 26.678 - 1.678 × 14.55 - 1.640 × 0.2 - 0.5 × 1.640 × 3.4 - 0.855 × 2
= 0.437 tonf

(나) 합성전 고정하중

㉮ 외측거더

· 하중산정

바닥판 중량 w_s = 0.25 × 2.5 × (1.050 + 2.350 × 1/2) = 1.391 tonf/m

거푸집 중량 : 바닥판 중량의 10%로 추정 · 계산

w_f = 1.391 × 0.1 = 0.139 tonf/m

가로보 중량 w_c = 1.119 tonf/EA

· 단면력 산정

$R_A = R_B$ = (1.391 + 0.139) × 29.1/2 + 1.119 × 5/2 = 25.059 tonf

M_2 = 25.059 × 3.6375 - (1.391 + 0.139) × 3.63752/2 = 85.030 tonf · m

M_3 = 25.059 × 7.275 - (1.391 + 0.139) × 7.2752/2 - 1.119 × (7.275 -
4.85) = 139.103 tonf · m

M_4 = 25.059 × 10.9125 - (1.391 + 0.139) × 10.91252/2 - 1.119 ×
(10.9125 - 4.85) - 1.119 × (10.9125 - 9.7) = 174.217 tonf · m

M_5 = 25.059 × 14.55 - (1.391 + 0.139) × 14.552/2 - 1.119 × (14.55 -
4.85) - 1.119 × (14.55 - 9.7) = 186.375 tonf · m

S_2 = 25.059 - (1.391 + 0.139) × 3.6375 = 19.494 tonf

S_3 = 25.059 - (1.391 + 0.139) × 7.275 - 1.119 = 12.809 tonf

S_4 = 25.059 - (1.391 + 0.139) × 10.9125 - 1.119 × 2 = 6.125 tonf

S_5 = 25.059 - (1.391 + 0.139) ×14.55 - 1.119 × 2 = 0.560 tonf

㈏ 내측 거더

· 하중산정

바닥판 중량 w_s = 0.25 × 2.350 × 2.5 = 1.469 tonf/m

거푸집 중량 : 바닥판 중량의 10%로 추정·계산

w_f = 1.469 ×0.1 = 0.147 tonf/m

가로보 중량 w_c = 2.238 tonf/EA

· 단면력 산정

$R_A = R_B$ = (1.469 + 0.147) × 29.1/2 + 2.238 × 5/2 = 29.108 tonf

M_2 = 29.108 × 3.6375 - (1.469 + 0.147) × 3.63752/2 = 95.189 tonf·m

M_3 = 29.108 × 7.275 - (1.469 + 0.147) ×7.2752/2 - 2.238 × (7.275 - 4.85) = 163.570 tonf·m

M_4 = 29.108 × 10.9125 - (1.469 + 0.147) × 10.91252/2 - 2.238 × (10.9125 - 4.85) - 2.238 ×(10.9125 - 9.7) = 205.141 tonf·m

M_5 = 29.108 × 14.55 - (1.469 + 0.147) × 14.552/2 - 2.238 × (14.55 - 4.85) - 2.238 × (14.55 - 9.7) = 219.903 tonf·m

S_2 = 29.108 - (1.469 + 0.147) × 3.6375 = 23.230 tonf

S_3 = 29.108 - (1.469 + 0.147) × 7.275 - 2.238 = 15.114 tonf

S_4 = 29.108 - (1.469 + 0.147) × 10.9125 - 2.238 × 2 = 6.997 tonf

S_5 = 29.108 - (1.469 + 0.147) × 14.55 - 2.238 × 2 = 1.119 tonf

(다) 합성후 고정하중

· 하중산정

방호벽 중량 w_b = 0.837 tonf/m

중앙분리대 중량 w_{cb} = 0.780 tonf/m

포장 중량 w_p = 0.08 × 2.3 × (20.9 - 0.450 × 2 - 0.570) = 3.575 tonf/m

$\therefore\ w = (2w_b + w_{bc} + w_p) / 9 = 0.670$ tonf/m

· 단면력 산정

$R_A = R_B$ = 0.670 × 29.1 × 1/2 = 9.749 tonf

M_2 = 9.749 × 3.6375 - 0.670 × 3.63752/2 = 31.029 tonf · m

M_3 = 9.749 × 7.275 - 0.670 × 7.2752/2 = 53.194 tonf · m

M_4 = 9.749 × 10.9125 - 0.670 × 10.91252/2 = 66.493 tonf · m

M_5 = 9.749 × 14.55 - 0.670 × 14.552/2 = 70.928 tonf · m

S_2 = 9.749 - 0.670 × 3.6375 = 7.312 tonf

S_3 = 9.749 - 0.670 × 7.275 = 4.875 tonf

S_4 = 9.749 - 0.670 × 10.9125 = 2.438 tonf

② [단계 3-2-2] 활하중에 의한 전단력 및 모멘트

가. 충격계수

$$I = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+29.1} = 0.217 < 0.3 \quad \therefore I = 0.217$$

나. 외측거더

(가) 횡분배 계수

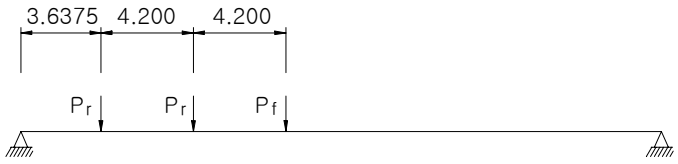
횡분배계수 = $1.000 + (2.35-1.8)/2.35 = 1.234$

$\therefore\ P_r$ = 1.234 × 9.6 × 1.217 = 14.417 tonf

P_f = 1.234 × 2.4 × 1.217 = 3.604 tonf

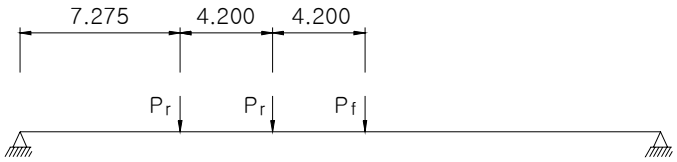
(나) 전단력 산정

S_1 = (14.417 × 29.1 + 14.417 × 24.9 + 3.604 × 20.7) / 29.1 = 29.317 tonf



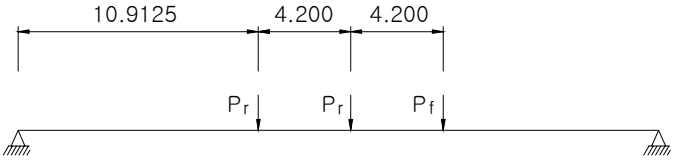
S_2 = (14.417 × 25.4625 + 14.417 × 21.2625 + 3.604 × 17.0625) / 29.1

= 25.262 tonf



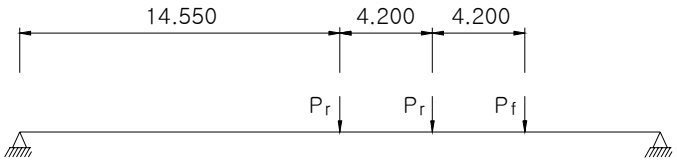
S_3 = (14.417 × 21.825 + 14.417 × 17.625 + 3.604 × 13.425) / 29.1

= 21.207 tonf



S_4 = (14.417 × 18.1875 + 14.417 × 13.9875 + 3.604 × 9.7875) / 29.1

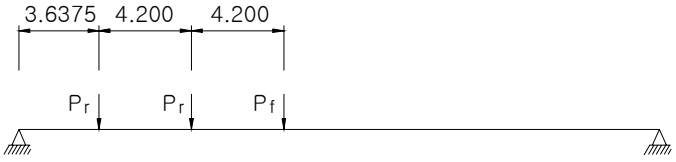
= 17.153 tonf



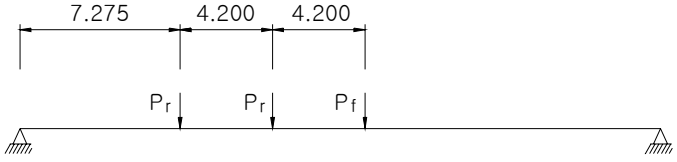
S_5 = (14.417 × 14.55 + 14.417 × 10.350 + 3.604 × 6.150) / 29.1

= 13.098 tonf

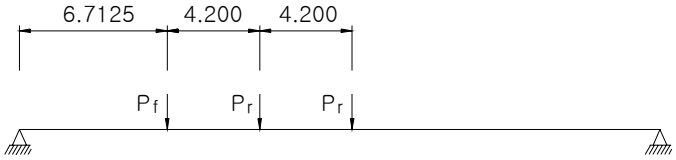
(다) 모멘트 산정



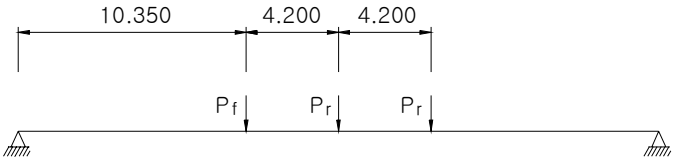
M_2 = 25.262 × 3.6375 = 91.891 tonf · m



M_3 = 21.207 × 7.275 = 154.281 tonf · m



M_4 = (3.604 × 22.3875 + 14.417 × 18.1875 + 14.417 × 13.1875) / 29.1
× 10.9125 - 3.604 × 4.2 = 184.745 tonf · m



M_5 = (14.417 × 18.75 + 14.417 × 14.55 + 3.604 × 10.35) / 29.1 × 14.55
- 14.417 × 4.2 = 198.142 tonf · m

다. 내측거더

(가) 횡분배 계수

$$\text{횡분배계수} = \frac{2.35}{1.65} = 1.424$$

∴ P_r = 1.424 × 9.6 × 1.217 = 16.637 tonf

P_f = 1.424 × 2.4 × 1.217 = 4.159 tonf

(나) 전단력 산정

S_1 = (16.637 × 29.1 + 16.637 × 24.9 + 4.159 × 20.7) / 29.1 = 33.831 tonf

S_2 = (16.637 × 25.4625 + 16.637 × 21.2625 + 4.159 × 17.0625) / 29.1
= 29.152 tonf

S_3 = (16.637 × 21.825 + 16.637 × 17.625 + 4.159 × 13.425) / 29.1
= 24.639 tonf

S_4 = (16.637 × 18.1875 + 16.637 × 13.9875 + 4.159 × 9.7875) / 29.1
= 19.794 tonf

S_5 = (16.637 × 14.55 + 16.637 × 10.350 + 4.159 × 6.150) / 29.1
= 15.115 ton

(다) 모멘트 산정

M_2 = 29.152 × 3.6375 = 106.040 tonf · m

M_3 = 24.639 × 7.275 = 179.249 tonf · m

M_4 = (4.159 × 22.3875 + 16.637 × 18.1875 + 16.637 × 13.1875) / 29.1
× 10.9125 - 4.159 × 4.2 = 213.193 tonf · m

M_5 = (16.637 × 18.75 + 16.637 × 14.55 + 4.159 × 10.35) / 29.1 × 14.55
- 16.637 × 4.2 = 228.653 tonf · m

③ 단면력 집계

구 분		절점	거더자중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활 하 중	계
외측거더	전단력	1	29.678	25.059	9.749	29.317	93.803
		2	20.458	19.494	7.312	25.262	72.526
		3	13.450	12.809	4.875	21.207	52.341
		4	6.541	6.125	2.438	17.153	32.260
		5	0.437	0.560	0.000	13.098	14.095
	모멘트	2	89.240	85.030	31.029	91.891	297.190
		3	149.953	139.103	53.194	154.281	496.531
		4	187.477	174.217	66.493	184.745	612.932
		5	200.169	186.375	70.928	198.142	655.614
내측거더	전단력	1	29.678	29.108	9.749	33.831	102.366
		2	20.458	23.230	7.312	29.152	80.152
		3	13.450	15.114	4.875	24.639	58.078
		4	6.541	6.997	2.438	19.794	35.770
		5	0.437	1.119	0.000	15.115	16.671
	모멘트	2	89.240	95.189	31.029	106.040	321.498
		3	149.953	163.570	53.194	179.249	545.966
		4	187.477	205.141	66.493	213.193	672.304
		5	200.169	219.903	70.928	228.653	719.653

(3) [단계 3-3] 고정하중 및 활하중에 의한 휨응력

거더 및 바닥판 $f = \frac{M}{Z}$

PS 강연선 $f = \frac{n \cdot M}{Z}$, $n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.0\times10^6}{2.8\times10^5} = 7.143$

① 외측거더

구 분	모멘트 (tonf · m)	단면계수 (cm^3)	콘크리트 단면 휨응력 (kgf/cm^2)				PS강연선 (kgf/cm^2)
			바닥판 상연	PSC 거더			
				상연	하연	PS강연선 도심위치	
거더 자중	200.169	Z_{t2} = 313,209		63.909			
		Z_{b2} = 327,955			-61.036		
		Z_{p2} = 369,564				-54.164	
합성전 고정 하중	186.375	Z_{t3} = 324,070		57.511			
		Z_{b3} = 369,128			-50.491		
		Z_{p3} = 418,345				-44.551	318.225
합성후 고정 하중	70.928	Z_{t4} = 1,316,748		5.387			
		Z_{b4} = 527,437			-13.448		
		Z_s = 916,277	7.741				
		Z_{p4} = 571,457				-12.412	88.657
활하중	198.142	Z_{t4} = 1,316,748		15.048			
		Z_{b4} = 527,437			-37.567		
		Z_s = 916,277	21.625				
		Z_{p4} = 571,457				-34.673	247.670
계	655.614		29.366	141.855	-162.542	-145.800	654.552

② 내측거더

구 분	모멘트 (tonf · m)	단면계수 (cm^3)	콘크리트 단면 휨응력 (kgf/cm^2)				PS강연선 (kgf/cm^2)
			바닥판 상연	PSC 거더			
				상연	하연	PS 강연선 도심위치	
거더 자중	200.169	Z_{t2} = 313,209		63.909			
		Z_{b2} = 327,955			-61.036		
		Z_{p2} = 369,564				-54.164	
합성전 고정 하중	219.903	Z_{t3} = 324,070		67.857			
		Z_{b3} = 369,128			-59.574		
		Z_{p3} = 418,345				-52.565	375.472
합성후 고정 하중	70.928	Z_{t4} = 1,378,834		5.144			
		Z_{b4} = 530,908			-13.360		
		Z_s = 951,156	7.457				
		Z_{p4} = 574,686				-12.342	88.159
활하중	228.653	Z_{t4} = 1,378,834		16.583			
		Z_{b4} = 530,908			-43.068		
		Z_s = 951,156	24.039				
		Z_{p4} = 574,686				-39.787	284.202
계	719.928		31.496	153.493	-177.038	-158.858	747.833

(4) [단계 3-4] 프리스트레스

① 단면내에서의 긴장재 위치 결정

가. 소요 PS강연선 갯수의 약산

· 유효계수 $\eta = P_e / P_t = 0.8$로 가정 $\therefore P_t = P_e / 0.8$

· PS강연선의 소요 인장력(P_t)

$$P_e = \frac{\Sigma f_t - f_{ct}}{1 + \frac{y_{b2}}{\gamma_c^2} e_{p2}} A_c$$

여기서, Σf_t : 내측 거더의 하연 휨인장응력

f_{ct} : 허용 휨인장응력

A_c : 거더의 순단면적

y_{b2} : 거더 순단면의 도심에서 하연까지의 거리

γ_c : 거더 순단면의 단면2차반경

e_{p2} : 거더 순단면의 도심과 쉬스관 도심과의 거리

$$P_e = \frac{\Sigma f_t - f_{ct}}{1 + \frac{y_{b2}}{\gamma_c^2} e_{p2}} A_c = \frac{(177.038 - 16.00) \times 6577}{1 + \frac{97.7}{32,041,242 / 6,577} \times 86.7}$$

$= 386,729$ kgf

$$\therefore \quad P_t = \frac{P_e}{0.8} = \frac{386,729}{0.8} = 483,412 \text{ kgf} = 483.412 \text{ tonf}$$

· 강연선 1 SET의 인장력(P_t')

$$P_t' = 0.8 \times f_{py} \times A_p = 0.8 \times 16,000 \times (0.9871 \times 12)$$

$= 151,619$ kgf $= 151.619$ tonf

· 소요 PS강연선 SET 갯수(n)

$n = P_t / P_t' = 483.412 / 151.619 = 3.19$ EA

∴ PS강연선 4 SET 사용

나. PS강연선의 배치

· 강연선을 포물선 형상으로 배치

강연선 번호	H_{end}	H_{middle}	h	l	a	α (rad)	L
1	1.500	0.200	1.300	29.6	0.00593499	0.173901189	29.75155509
2	1.086	0.080	1.006	29.6	0.00459277	0.135117626	29.69092331
3	0.700	0.080	0.620	29.6	0.00283053	0.083588559	29.63459426
4	0.294	0.080	0.214	29.6	0.00097699	0.028910861	29.60412524
계				118.4		0.421518235	118.68119790
평 균				29.6		0.105379559	29.67029948

거더 중심으로부터 거리에 따른 거더 하단에서 강연선까지의 높이 산출

$y = a \cdot x^2 + 0.08$ (강연선 ②,③,④)

$= a \cdot x^2 + 0.20$ (강연선 ①)

(단위 : m)

강연선 번호	0.0	3.6375	7.275	10.9125	14.80
1	0.20	0.279	0.514	0.907	1.5000
2	0.08	0.141	0.323	0.627	1.0860
3	0.08	0.117	0.230	0.417	0.7000
4	0.08	0.093	0.132	0.196	0.2940

② 긴장재의 긴장(jacking)응력 가정

강연선 번호	긴장순서	긴장응력 (kgf/cm^2)	긴장력 (kgf)
1	1	12,728	150,800
2	2	12,399	146,900
3	3	12,027	142,500
4	4	11,647	138,000
평 균		12,200	144,500

$f_{pt1} = (0.9 \times f_{py}) \times 0.845 = 0.9 \times 16,000 \times 0.845 = 12,200\ kgf/cm^2$: 가정치

③ 프리스트레스의 즉시손실 결정

가. PS강연선과 쉬스 사이의 마찰에 의한 손실량

$x = L/2 = 29.6703/2 = 14.8351$ m : 정착단에서 거더 중심까지의 강연선의 평균길이

곡률 마찰계수 $\mu = 0.25$ (1/rad)

파상 마찰계수 $\kappa = 0.005$ (1/m)

$\kappa \cdot x + \mu \cdot \alpha = 0.005 \times 14.8351 + 0.25 \times 0.105379559 = 0.10052$

$\therefore f_{pf} = f_{pt1}(1 - e^{-(\kappa x + \mu\alpha)}) = 12,200 \times (1 - e^{-0.10052}) = 1,167\ kgf/cm^2$

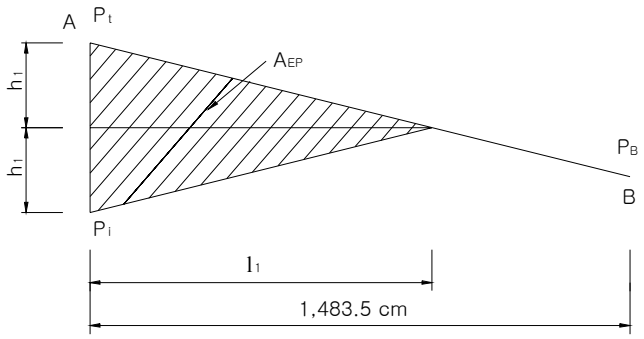
나. 정착장치 활동량에 의한 손실량

· PS 강연선과 쉬스 사이에 마찰이 있는 경우

$$\Delta l = \frac{A_{EP}}{A_p \cdot E_p}$$

$\therefore\ A_{EP} = \Delta l \cdot A_p \cdot E_p = 0.6 \times 0.9871 \times 12 \times 4EA \times 2,000,000$

$= 56,856,960\ \text{kgf} \cdot \text{cm}$



마찰에 의한 손실은 직선으로 변한다고 가정한다.

$P_t = 12,200 \times 11.845 \times 4 = 578,036\ \text{kgf}$

$P_B = (12,200 - 1,167) \times 11.845 \times 4 = 522,744\ \text{kgf}$

$\Delta P_t = P_t - P_B = 578,036 - 522,744 = 55,292\ \text{kgf}$

$l_1 : h_1 = 1483.51 : 55,292, \qquad h_1 = l_1 \times 55,292 / 1483.51$

$$A_{EP} = \frac{1}{2} \times l_1 \times h_1 \times 2EA$$

$$= \frac{55,292}{1483.51} \times l_1^{\,2}$$

$$\therefore\ l_1 = \sqrt{56,856,960 \times \frac{1,483.51}{55,292}} = 1,235.1\ \text{cm}$$

$= 12.351\ \text{m} < 14.8351\ \text{m}$

∴ 정착장치의 활동량에 의한 손실이 중앙단면에는 영향을 미치지 않음.

다. 콘크리트 탄성수축에 의한 손실량

$$f_{pel} = 0.5 \times \frac{E_s}{E_{ci}} \times f_{cir} = 0.5 \times \frac{E_s}{E_{ci}} (f_{ctg'} + f_{dog})$$

E_s : PS 강연선의 탄성계수

E_{ci} : 프리스트레스 도입시의 콘크리트의 압축강도

$(= 10,500\sqrt{f_{ci}} + 70,000 = 10,500\sqrt{320} + 70,000 = 257,830\ \text{kgf/cm}^2)$

f_{cir} : 정착직후 거더의 고정하중과 프리스트레스힘에 의해 발생하는 긴장재 중심에서의 콘크리트 응력으로서 최대모멘트가 발생하는 단면에서 계산

$f_{ctg'}$: 순단면에서 프리스트레스에 의한 PS강연선 도심위치에서의 응력

f_{dog} : 거더 자중에 의한 PS강연선 도심위치에서의 응력

$f_{pt} = f_{pt1} - f_{pf} - f_{ps} = 12,200 - 1,167 - 0 = 11,033\ \mathrm{kgf/cm^2}$

$P_t' = N \times f_{pt} \times A_p = 4 \times 11,033 \times 11.845 = 522,743\ \mathrm{kgf}$

$$f_{ctg'} = \frac{P_t'}{A_c} + \frac{P_t' \times e_{p2}}{Z_{p2}} = \frac{522,743}{6,577} + \frac{522,743 \times 86.7}{369,564}$$

$= 202.12\ \mathrm{kgf/cm^2}$ (압축)

$$f_{dog} = \frac{M_d}{Z_{p2}} = \frac{200,169 \times 10^5}{369,564} = -54.16\ \mathrm{kgf/cm^2}$$ (인장)

(M_d : 거더 자중에 의한 절점5의 모멘트)

$$f_{cir} = \frac{N-1}{N} f_{ctg'} + f_{dog} = \frac{3}{4} \times 202.12 - 54.16 = 97.43\ \mathrm{kgf/cm^2}$$

$$\therefore\ f_{pel} = 0.5 \times \frac{E_s}{E_{ci}} \times f_{cir} = 0.5 \times \frac{2,000,000}{257,830} \times 97.43$$

$= 377.88\ \mathrm{kgf/cm^2}$

라. PS강연선의 초기응력 결정

$f_{pt} = f_{pt1} - f_{pf} - f_{ps} - f_{pel}$

$= 12,200 - 1,167 - 377.88 = 10,655\ \mathrm{kgf/cm^2}$

④ 프리스트레스의 시간적 손실 결정

가. 콘크리트 건조수축에 의한 손실량

$\therefore\ \Delta f_{psh} = 0.8 \times (1,190 - 10.5 \times H_r)$

(H_r : 주위의 연평균 상대습도, 국내 평균 상대습도 = 70%)

$= 0.8 \times (1,190 - 10.5 \times 70) = 364.0\ \mathrm{kgf/cm^2}$

나. 콘크리트 크리프에 의한 손실량

$\therefore\ \Delta f_{pcr} = 12 \times f_{cir1} - 7 \times f_{cds}$

(f_{cds} : 프리스트레스를 가할 당시 존재하는 고정하중을 제외한 그 후 모든 고정하중에 의해 발생하는 PS강연선 중심에서의 콘크리트 응력)

· 외측거더

$$f_{cir1} = \frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t \cdot e_{p2}}{Z_{p2}} - \frac{M_d}{Z_{p2}}$$

$$= \frac{504,834}{6,577} + \frac{504,834 \times 86.7}{369,564} - \frac{200,169 \times 10^5}{369,564}$$

$= 76.76 + 118.44 - 54.16 = 141.04\ \mathrm{kgf/cm^2}$

$f_{cds} = 44.551 + 12.412 = 56.963\ \mathrm{kgf/cm^2}$ (휨응력 참조)

$\therefore\ \Delta f_{pcr} = 12 \times 141.04 - 7 \times 56.963 = 1,293.74\ \mathrm{kgf/cm^2}$

· 내측거더

$f_{cds} = 52.565 + 12.342 = 64.907$ kgf/cm^2 (휨응력 참조)

$\therefore \Delta f_{pcr} = 12 \times 141.04 - 7 \times 64.907 = 1,238.13$ kgf/cm^2

다. PS강연선의 릴랙세이션에 의한 손실량

- 저릴랙세이션 강연선 사용.

$\therefore \Delta f_{pr} = 350 - 0.07 \times \Delta f_{pf} - 0.1 \times \Delta f_{pel} - 0.05 \times (\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr})$

Δf_{pf} : 고려되는 시점인 $0.7 f_{pu}$ 이하에서 마찰손실에 의한 응력 감소량

Δf_{pel} : 콘크리트 탄성수축에 의한 손실량

Δf_{psh} : 콘크리트 건조수축에 의한 손실량

Δf_{pcr} : 콘크리트 CREEP에 의한 손실량

· 외측거더

$\therefore \Delta f_{pr} = 350 - 0.07 \times 1,167 - 0.1 \times 377.88 - 0.05 \times (364 + 1,293.74)$

$= 147.64$ kgf/cm^2

· 내측거더

$\therefore \Delta f_{pr} = 350 - 0.07 \times 1,167 - 0.1 \times 377.88 - 0.05 \times (364 + 1,238.13)$

$= 150.42$ kgf/cm^2

라. PS강연선의 유효응력 결정

(가) 외측거더

· PS강연선의 유효인장응력

$f_{pe} = f_{pt} - \Delta f_{psh} - \Delta f_{pcr} - \Delta f_{pr}$

$= 10,655 - 364.00 - 1,293.74 - 147.64 = 8,849.62$ kgf/cm^2

· 유효계수

$$\eta = \frac{f_{pe}}{f_{pt}} = \frac{8,849.62}{10,655} = 0.831$$

(나) 내측거더

· PS강연선의 유효인장응력

$f_{pe} = f_{pt} - \Delta f_{psh} - \Delta f_{pcr} - \Delta f_{pr}$

$= 10,655 - 364.00 - 1,238.13 - 150.42 = 8,902.45$ kgf/cm^2

· 유효계수

$$\eta = \frac{f_{pe}}{f_{pt}} = \frac{8,902.45}{10,655} = 0.836$$

⑤ 긴장재의 신장량 계산

$$\Delta l = \frac{P_t + P_{t1}}{A_p \cdot E_p} \times \text{강연선길이}$$

강연선 번호	긴장순서	P_t (tonf)	P_{t1} (tonf)	강연선 길이 ($L/2$, cm)	Δl (cm)
1	1	150,800	136,977	1,487.58	18.070
2	2	146,900	133,077	1,484.55	17.545
3	3	142,500	128,677	1,481.73	16.961
4	4	138,000	124,177	1,480.21	16.381

⑥ 프리스트레스 힘의 영향을 고려한 재하단계별 응력계산

가. 프리스트레스 도입 직후의 콘크리트 응력

· 프리스트레스에 의한 콘크리트 응력

$$P_t = N \times f_{pt} \times A_p = 4 \times 10,655 \times 11.845 = 504,834 \text{ kgf}$$

$$\therefore f_{ct}\,(\text{상연응력}) = \frac{P_t}{A_c} - \frac{P_t \times e_{t2}}{Z_{t2}} = \frac{504,834}{6,577} - \frac{504,834 \times 86.7}{313,209}$$
$$= -62.99 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\therefore f_{cb}\,(\text{하연응력}) = \frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t \times e_{t2}}{Z_{b2}} = \frac{504,834}{6,577} + \frac{504,834 \times 86.7}{327,955}$$
$$= 210.22 \text{ kgf/cm}^2$$

· 거더자중에 의한 콘크리트 응력

$$\therefore f_{ct}\,(\text{상연응력}) = \frac{M_d}{Z_{t2}} = \frac{200,169 \times 10^5}{313,209} = 63.91 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\therefore f_{cb}\,(\text{하연응력}) = \frac{M_d}{Z_{b2}} = \frac{200,169 \times 10^5}{327,955} = -61.04 \text{ kgf/cm}^2$$

· 프리스트레스 도입 직후의 콘크리트 응력

$$\therefore f_{ct}\,(\text{상연응력}) = -62.99 + 63.91 = 0.92 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\therefore f_{cb}\,(\text{하연응력}) = 210.22 - 61.04 = 149.18 \text{ kgf/cm}^2$$

나. 유효 프리스트레스

· 외측거더

$$f_{ct}(\text{상연응력}) = \eta \times f_{ct} = 0.831 \times -62.99 = -52.34 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{cb}(\text{하연응력}) = \eta \times f_{cb} = 0.831 \times 210.22 = 174.69 \text{ kgf/cm}^2$$

(프리스트레스에 의한 콘크리트 응력)

· 내측거더

$$f_{ct}(\text{상연응력}) = \eta \times f_{ct} = 0.836 \times -62.99 = -52.66 \text{ kgf/cm}^2$$

f_{cb}(하연응력) = $\eta \times f_{cb}$ = 0.836 × 210.22 = 175.74 kgf/cm^2

다. 설계하중 작용시의 휨응력

・외측거더

(단위 : kgf/cm^2)

구 분		프리스트레스 도입직후			설계하중 작용시		
		프리스트레스	거더의 자중	계	유효 프리스트레스	총하중 (고정하중・활하중)	계
거 더	상연	-62.99	63.91	0.92	-52.34	141.855	89.515
	하연	210.22	-61.04	149.18	174.69	-162.542	12.148
PS 콘크리트 허용응력		(인장)14.31 < 계 < 176(압축)			(인장) 16 < 계 < 160 (압축)		
바닥판						29.366	29.366
바닥판 콘크리트 허용응력					(압축) 0.0 < 계 < 108 (압축)		

(-) : 인장, (+) : 압축

・내측거더

(단위 : kgf/cm^2)

구 분		프리스트레스 도입직후			설계하중 작용시		
		프리스트레스	거더의 자중	계	유효 프리스트레스	총하중 (고정하중・활하중)	계
거 더	상연	-62.99	63.91	0.92	-52.66	153.493	100.833
	하연	210.22	-61.04	149.18	175.74	-177.038	-1.298
PS 콘크리트 허용응력		(인장)14.31 < 계 < 176(압축)			(인장) 16 < 계 < 160 (압축)		
바닥판						31.496	31.496
바닥판 콘크리트 허용응력					(압축) 0.0 < 계 < 108 (압축)		

(-) : 인장, (+) : 압축

(5) [단계 3-5] 2차응력 계산

① 크리프 및 건조수축에 의한 단면력 계산

가. 크리프에 의한 단면력 계산

(가) 외측거더

$$N_\phi = -\frac{K'}{C^2-BF}[P\{B(y_1'e_{p1}-r_{c1}^2)-C\cdot e_{p1}\}+M_{d1}(C-B\cdot y_1')]$$
$$-\frac{K}{C^2-BF}M_{d2}(C-B\cdot y_1')$$

$$M_\phi = -\frac{K'}{BF-C^2}[P\{C(y_1'e_{p1}-r_{c1}^2)-F\cdot e_{p1}\}+M_{d1}(F-C\cdot y_1')]$$
$$-\frac{K}{BF-C^2}M_{d2}(F-C\cdot y_1')$$

$$m = \frac{E_{c1}I_{c1}}{E_{c2}I_{c2}} = \frac{2.8\times10^5\times34,513,493}{2.465\times10^5\times289,714} = 135.3$$

$$B = 1+m = 1+135.3 = 136.3$$

$$C = y_1' - m\,y_2 = 106.5 - 136.3\times12.5 = -1,585$$

$$F = y_1'^2 + r_{c1}^2 + m\,r_{c2}^2 + m\,y_2^2$$
$$= 106.5^2+\frac{34,513,493}{6,915}+136.3\times\frac{289,714}{5,562.5}+136.3\times12.5^2$$
$$= 44,729$$

$$P = \frac{(10655+8902.45)}{2}\times0.9871\times4\times12 = 463,324\ \text{kgf}$$

$$K = \frac{\phi_\infty}{1+\phi_\infty} = \frac{3.8}{1+3.8} = 0.792$$

$$K' = \frac{\phi_t}{1+\phi_\infty} = \frac{2.4}{1+3.8} = 0.500$$

$$N_\phi = -\frac{0.500}{1,585^2-136.3\times44,729}[463,324\{136.3(106.5\times82.5-\frac{34,513,493}{6,915})$$
$$+1,585\times82.5\}+200.169\times10^5\times(-1,585-136.3\times106.5)]$$
$$-\frac{0.792}{1,585^2-136.3\times44,729}\times186.375\times10^5\times(-1,585-136.3\times106.5)$$
$$= -69,379\ \text{kgf}$$

$$M_\phi = -\frac{0.500}{136.3\times44,729-1,585^2}[463,324\{-1,585(106.5\times82.5-\frac{34,513,493}{6,915})$$
$$-44,729\times82.5\}+200.169\times10^5\times(44,729+1,585\times106.5)]$$
$$-\frac{0.792}{136.3\times44,729-1,585^2}\times186.375\times10^5\times(44,729+1,585\times106.5)$$
$$= -848,307\ \text{kgf}\cdot\text{cm}$$

(나) 내측거더

$$m = \frac{E_{c1}I_{c1}}{E_{c2}I_{c2}} = \frac{2.8\times10^5\times34,513,493}{2.465\times10^5\times305,990} = 128.1$$

$$B = 1+m = 1+128.1 = 129.1$$

$$C = y_1' - m\,y_2 = 106.5 - 128.1\times12.5 = -1,495$$

$$F = y_1'^2 + r_{c1}^2 + m r_{c2}^2 + m y_2^2$$
$$= 106.5^2 + \frac{34,513,493}{6,915} + 128.1 \times \frac{305,990}{5,875} + 128.1 \times 12.5^2$$
$$= 43,021$$

$$K = \frac{\phi_\infty}{1+\phi_\infty} = \frac{3.8}{1+3.8} = 0.792$$

$$K' = \frac{\phi_t}{1+\phi_\infty} = \frac{2.4}{1+3.8} = 0.500$$

$$N_\phi = -\frac{0.500}{1,495^2 - 129.1 \times 43.021}[463,324\{129.1(106.5 \times 82.5 - \frac{34,513,493}{6,915})$$
$$+ 1,495 \times 82.5\} + 200.169 \times 10^5 \times (^-1,495 - 129.1 \times 106.5)]$$
$$- \frac{0.792}{1,495^2 - 129.1 \times 43,021} \times 219.903 \times 10^5 \times (^-1,495 - 129.1 \times 106.5)$$
$$= ^-83,155 \text{ kgf}$$

$$M_\phi = -\frac{0.500}{129.1 \times 43,021 - 1,495^2}[463,324\{^-1,495(106.5 \times 82.5 - \frac{34,513,493}{6,915})$$
$$- 43,021 \times 82.5\} + 200.169 \times 10^5 \times (43,021 + 1,495 \times 106.5)]$$
$$- \frac{0.792}{129.1 \times 43,021 - 1,495^2} \times 219.903 \times 10^5 \times (43,021 + 1,495 \times 106.5)$$
$$= ^-1,027,375 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

나. 건조수축에 의한 단면력 계산

(가) 외측거더

$$N_s = \varepsilon_s E_{c1} I_{c1} \frac{B}{BF - C^2} \frac{1}{1+\phi_\infty}$$

$$M_s = \varepsilon_s E_{c1} I_{c1} \frac{C}{C^2 - BF} \frac{1}{1+\phi_\infty}$$

$$N_s = \frac{0.0001 \times 2.8 \times 10^5 \times 34,513,493 \times 136.3}{136.3 \times 44,729 - 1,585^2} \times \frac{1}{1+3.8}$$
$$= 7,655 \text{ kgf}$$

$$M_s = \frac{0.0001 \times 2.8 \times 10^5 \times 34,513,493 \times (-1,585)}{1,585^2 - 136.3 \times 44,729} \times \frac{1}{1+3.8}$$
$$= 89,028 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

(나) 내측거더

$$N_s = \frac{0.0001 \times 2.8 \times 10^5 \times 34,513,493 \times 129.1}{129.1 \times 43,021 - 1,495^2} \times \frac{1}{1+3.8}$$
$$= 7,831 \text{ kgf}$$

$$M_s = \frac{0.0001 \times 2.8 \times 10^5 \times 34,513,493 \times (-1,495)}{1,495^2 - 129.1 \times 43,021} \times \frac{1}{1+3.8}$$
$$= 90,686 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

② PSC 거더 및 바닥판의 응력계산

가. 크리프에 의한 응력계산

(가) 외측거더

$$f_{c2}' = -\frac{N_\phi}{A_{c2}} - \frac{M_\phi - N_\phi y_2}{I_{c2}} \cdot y_2'$$

$$= -\frac{-69,379}{5,562.5} - \frac{-848,307 + 69,379 \times 12.5}{289,714} \times 12.5$$

$$= 11.656 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c2} = -\frac{N_\phi}{A_{c2}} + \frac{M_\phi - N_\phi y_2}{I_{c2}} \cdot y_2'$$

$$= -\frac{-69,379}{5,562.5} + \frac{-848,307 + 69,379 \times 12.5}{289,714} \times 12.5$$

$$= 13.289 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c1}' = \frac{N_\phi}{A_{c1}} + \frac{M_\phi + N_\phi y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1'$$

$$= \frac{-69,379}{6,915} + \frac{-848,307 - 69,379 \times 106.5}{34,513,493} \times 106.5$$

$$= -35.451 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c1} = \frac{N_\phi}{A_{c1}} - \frac{M_\phi + N_\phi y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1$$

$$= \frac{-69,379}{6,915} - \frac{-848,307 - 69,379 \times 106.5}{34,513,493} \times 93.5$$

$$= 12.282 \text{ kgf/cm}^2$$

(나) 내측거더

$$f_{c2}' = -\frac{-83,155}{5,875} - \frac{-1,027,375 + 83,155 \times 12.5}{305,990} \times 12.5$$

$$= 13.661 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c2} = -\frac{-83,155}{5,875} + \frac{-1,027,375 + 83,155 \times 12.5}{305,990} \times 12.5$$

$$= 14.647 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c1}' = \frac{-83,155}{6,915} + \frac{-1,027,375 - 83,155 \times 106.5}{34,513,493} \times 106.5$$

$$= -42.523 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{c1} = \frac{-83,155}{6,915} - \frac{-1,027,375 - 83,155 \times 106.5}{34,513,493} \times 93.5$$

$$= 14.750 \text{ kgf/cm}^2$$

나. 건조수축에 의한 응력계산

(가) 외측거더

$$f_{s2}' = -\frac{N_s}{A_{c2}} - \frac{M_s - N_s y_2}{I_{c2}} \cdot y_2'$$

$$= -\frac{7,655}{5,562.5} - \frac{89,028 - 7,655 \times 12.5}{289,714} \times 12.5$$

$$= -1.09 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{s2} = -\frac{N_s}{A_{s2}} + \frac{M_s - N_s y_2}{I_{c2}} \cdot y_2$$

$$= -\frac{7,655}{5,562.5} + \frac{89,028 - 7,655 \times 12.5}{289,714} \times 12.5$$

$$= -1.66 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{s1}' = \frac{N_s}{A_{c1}} + \frac{M_s + N_s y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1'$$

$$= \frac{7,655}{6,915} + \frac{89,028 + 7,655 \times 106.5}{34,513,493} \times 106.5$$

$$= 3.90 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{s1} = \frac{N_s}{A_{c1}} - \frac{M_s + N_s y_1'}{I_{c1}} \cdot y_1$$

$$= \frac{7,655}{6,915} - \frac{89,028 + 7,655 \times 106.5}{34,513,493} \times 93.5$$

$$= -1.34 \text{ kgf/cm}^2$$

(나) 내측거더

$$f_{s2}' = -\frac{7,831}{5,875} - \frac{90,686 - 7,831 \times 12.5}{305,990} \times 12.5$$

$$= -1.04 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{s2} = -\frac{7,831}{5,875} + \frac{90,686 - 7,831 \times 12.5}{305,990} \times 12.5$$

$$= -1.63 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{s1}' = \frac{7,831}{6,915} + \frac{90,686 + 7,831 \times 106.5}{34,513,493} \times 106.5$$

$$= 3.99 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{s1}' = \frac{7,831}{6,915} - \frac{90,686 + 7,831 \times 106.5}{34,513,493} \times 93.5$$

$$= -1.37 \text{ kgf/cm}^2$$

(6) [단계 3-6] 휨 극한안전성 검토

① 외력에 의한 극한 모멘트 계산

· 외측거더

$M_u = 1.3 \times (\Sigma$고정하중$) + 2.15 \times (\Sigma$활하중$)$

$= 1.3 \times (200.169 + 186.375 + 70.928) + 2.15 \times 198.142$

$= 1,020.719$ tonf · m

· 내측거더

$M_u = 1.3 \times (\Sigma$고정하중$) + 2.15 \times (\Sigma$활하중$)$

$= 1.3 \times (200.169 + 219.903 + 70.928) + 2.15 \times 228.653$

$= 1,129.904$ tonf · m

② 균열모멘트 계산

가. 외측거더

$f_{외력} + f_{pe} + f_{cr}' = -2.0\sqrt{400}$

여기서, $f_{외력}$: [단계 3-3] 참조

f_{pe} : 유효프리스트레스에 의한 응력

f_{cr}' : 균열이 발생되기 위한 추가적인 응력

M_{cr}' : 균열이 발생되기 위한 추가적인 모멘트

$$f_{외력} + f_{pe} + f_{cr}' = -61.036 - 50.491 - 13.448 - 37.567 + 174.69 - \frac{M_{cr}'}{527,437}$$

$= -2.0\sqrt{400} = -40.0$

$\therefore M_{cr}' = (12.148 + 40) \times 527,437 = 275.05$ tonf · m

$\therefore M_{cr} = 200.169 + 186.375 + 70.928 + 198.142 + 275.047$

$= 930.661$ tonf · m

$1.2 M_{cr} = 1,116.79$ tonf · m

나. 내측거더

$$f_{외력} + f_{pe} + f_{cr}' = -61.036 - 59.574 - 13.360 - 43.068 + 175.74 - \frac{M_{cr}'}{530,908}$$

$= -2.0\sqrt{400} = -40.0$

$\therefore M_{cr}' = (-1.298 + 40) \times 530,908 = 205.472$ tonf · m

$\therefore M_{cr} = 200.169 + 219.903 + 70.928 + 228.653 + 205.472$

$= 925.125$ tonf · m

$1.2 M_{cr} = 1,110.15$ tonf · m

③ 휨저항강도의 계산

가. 외측거더

$B = 222.5$ cm

$b_1 = 20.00$ cm : 복부 두께

$d = 200.0 + 25.0 - 11.0 = 214.0$ cm : 바닥판 상단에서 강연선 도심간 거리

$A_p = 4 \times 11.845 = 47.380$ cm^2 : PS강연선 총단면적

$f_{pe} = 8,849.62$ kgf/cm^2 : PS강연선의 유효인장응력

$0.5 f_{pu} = 0.5 \times 19,000 = 9,500$ kgf/cm^2 (f_{pu} : PS강연선의 극한강도)

$\therefore f_{pe} < 0.5 f_{pu}$

$f_{ps} = 0.93 \times f_{pu} = 0.93 \times 19,000 = 17,670$ kgf/cm^2 (가정치)

$A_p \cdot f_{ps} = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot 0.85 \cdot x \cdot B$ 에서

$$x = \frac{47.380 \times 17,670}{0.85 \times 0.85 \times 270 \times 222.5} = 19.29 \text{ cm}$$

$a = 0.85 \cdot x = 0.85 \times 19.29 = 16.40$ cm < 25 cm $\therefore$ 직사각형 부재로 취급

$$\varepsilon_p = \frac{d - x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} + \varepsilon_{pe}$$

여기서, ε_{cu} : 콘크리트 압축연단에서의 최대변형율 (= 0.003)

$$\varepsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{E_p} = \frac{8,849.62}{2,000,000} = 0.004425$$

$$\varepsilon_p = \frac{214.0 - 19.29}{19.29} \times 0.003 + 0.00425 = 0.0347 > 0.015$$

$\therefore f_{ps} = 0.93 \cdot f_{pu} = 17,670$ kgf/cm^{2}로 사용함.

극한저항모멘트

$$\phi M_n = \phi \{A_p \times f_{ps} \times (d - a/2)\}$$

$$= 0.85 \times 47.380 \times 17,670 \times (214.0 - 16.40 / 2)$$

$$= 1,464.522 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$\therefore \phi M_n \geq M_u$, $\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$

나. 내측거더

$B = 235.0$ cm

$b_1 = 20.00$ cm : 복부 두께

$d = 200.0 + 25.0 - 11.0 = 214.0$ cm : 바닥판 상단에서 강연선 도심간 거리

$A_p = 4 \times 11.845 = 47.380$ cm^2 : PS강연선 총단면적

$f_{pe} = 8,902.45$ kgf/cm^2 : PS강연선의 유효인장응력

$0.5 f_{pu} = 0.5 \times 19,000 = 9,500$ kgf/cm^2 (f_{pu} : PS강연선의 극한강도)

$\therefore\ f_{pe} < 0.5 f_{pu}$

$f_{ps} = 0.93 \times f_{pu} = 0.93 \times 19,000 = 17,670\ \text{kgf/cm}^2$ (가정치)

$A_p \cdot f_{ps} = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot 0.85 \cdot x \cdot B$ 에서

$$x = \frac{47.380 \times 17,670}{0.85 \times 0.85 \times 270 \times 235.0} = 18.26\ \text{cm}$$

$a = 0.85 \cdot x = 0.85 \times 18.26 = 15.52\ \text{cm} < 25\ \text{cm}$ $\therefore$ 직사각형 부재로 취급

$$\varepsilon_p = \frac{d - x}{x} \cdot \varepsilon_{cu} + \varepsilon_{pe}$$

여기서, ε_{cu} : 콘크리트 압축연단에서의 최대변형율 (= 0.003)

$$\varepsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{E_p} = \frac{8,902.45}{2,000,000} = 0.004451$$

$$\varepsilon_p = \frac{214.0 - 18.26}{18.26} \times 0.003 + 0.004451 = 0.0366 > 0.015$$

$\therefore\ f_{ps} = 0.93 \cdot f_{pu} = 17,670\ \text{kgf/cm}^2$로 사용함.

극한저항모멘트

$$M_d = \phi M_n = \phi \{A_p \times f_{ps} \times (d - a/2)\}$$

$$= 0.85 \times 47.380 \times 17,670 \times (214.0 - 15.52/2)$$

$$= 1,467.653\ \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$\therefore\ \phi M_n \geq M_u$, $\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$

(7) [단계 3-7] 전단설계

① 극한전단력

전단력이 큰 내측거더에 대해 검토

가. 절점 1 (지점)

$$V_u = 1.3 \times (\Sigma\text{고정하중}) + 2.15 \times (\Sigma\text{활하중})$$

$$= 1.3 \times (29.678 + 29.108 + 9.749) + 2.15 \times 33.831$$

$$= 161.832\ \text{tonf}$$

나. 절점 3 (지점에서 7.275m 이격부)

$$V_u = 1.3 \times (\Sigma\text{고정하중}) + 2.15 \times (\Sigma\text{활하중})$$

$$= 1.3 \times (13.450 + 15.114 + 4.875) + 2.15 \times 24.639$$

$$= 96.445\ \text{tonf}$$

② 휨전단균열이 발생할 때의 콘크리트의 공칭전단강도

가. 절점 1 (지점)

$V_{ci} = 0.16\sqrt{f_{ck}} \cdot b_o \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{\max}}$

여기서, $M_{cr} = \frac{I_{c2}}{y_t}(1.6\sqrt{f_{ck}} + f_{pe} - f_d)$

$\left(f_{pe} = \frac{0.836\times504,834}{6,915} + \frac{0.836\times504,834\times(93.5-89.5)}{369,128} = 65.61\ \mathrm{kgf/cm^2} \right)$

$= \frac{34,513,493}{93.5}(1.6\times\sqrt{400} + 65.61 - 0) = 360.31\ \mathrm{tonf\cdot m}$

$V_d = 29.678$ tonf : 거더자중에 의한 전단력

$b_o = 20.0$ cm : 복부 두께

$d = 200.0 - (29.4 + 70.0 + 108.60 + 150.00)/4$

$= 110.50\ \mathrm{cm} < 0.8\times h = 0.8\times200.0 = 160.0\ \mathrm{cm}$

$\therefore\ d = 160.0$ cm 적용함.

$V_i = 1.3\times(\Sigma$거더자중을 제외한 고정하중$) + 2.15\times(\Sigma$활하중$)$

$= 1.3\times(29.108 + 9.749) + 2.15\times33.831 = 123.251$ tonf

$M_{\max} = 0\ \mathrm{tonf\cdot m}$ (단지점부이므로)

$V_{ci} = 0.16\times\sqrt{400}\times20.0\times160.0 + 29,678 + \frac{123,251\times360.31\times10^5}{0.0}$

$= \infty$

나. 절점 3 (지점에서 7.275m 이격부)

$V_{ci} = 0.16\sqrt{f_{ck}} \cdot b_o \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{\max}}$

여기서, $M_{cr} = \frac{I_{c2}}{y_t}(1.6\sqrt{f_{ck}} + f_{pe} - f_d)$

$\left(f_{pe} = \frac{0.836\times504,834}{6,915} + \frac{0.836\times504,834\times(93.5-30.0)}{369,128} = 133.670\ \mathrm{kgf/cm^2} \right)$

$= \frac{34,513,493}{93.5}\left(1.6\times\sqrt{400} + 133.670 - \frac{149.953\times10^5}{327,955}\right) = 442.76\ \mathrm{tonf\cdot m}$

$V_d = 13.450$ tonf : 거더자중에 의한 전단력

$b_o = 20.0$ cm : 복부 두께

$d = 200.0 - (13.2 + 23.0 + 32.3 + 51.4)/4$

$= 170.03\ \mathrm{cm} < 0.8\times h = 0.8\times200.0 = 160.0\ \mathrm{cm}$

$\therefore\ d = 170.03$ cm 적용함.

V_i = 1.3 × (Σ거더자중을 제외한 고정하중) + 2.15 × (Σ활하중)

= 1.3 × (15.114 + 4.875) + 2.15 × 24.639 = 78.960 tonf

M_{max} = 1.3 × (Σ거더자중을 제외한 고정하중) + 2.15 × (Σ활하중)

= 1.3 × (163.570 + 53.194) + 2.15 × 179.249 = 667.179 tonf

$$V_{ci} = 0.16 \times \sqrt{400} \times 20.0 \times 170.03 + 13,450 + \frac{78,960 \times 442.76 \times 10^5}{667.179}$$

= 76.732 tonf

③ 복부전단균열이 발생할 때의 콘크리트의 공칭전단강도

가. 절점 1 (지점)

$V_{cw} = (0.93\sqrt{f_{ck}} + 0.3 f_{pc}) \cdot b_o \cdot d + V_p$

$P_e = f_{pe} \times A_p = 0.836 \times 10,655 \times 47.3808 = 422,048$ kgf

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A_c} = \frac{422,048}{6,915} = 61.033 \text{ kgf/cm}^2$$

$V_p = P_e \times \sin\alpha = 422,048 \times \sin(0.10537955) = 44,393$ kgf

$V_{cw} = (0.93 \times \sqrt{400} + 0.3 \times 61.033) \times 20.0 \times 160.0 + 44,393$

= 162,505 kg = 162.505 tonf

나. 절점 3 (지점에서 7.275m 이격부)

$V_{cw} = (0.93\sqrt{f_{ck}} + 0.3 f_{pc}) \cdot b_o \cdot d + V_p$

$P_e = f_{pe} \times A_p = 0.836 \times 10,655 \times 47.3808 = 422,048$ kgf

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A_c} = \frac{422,048}{6,915} = 61.033 \text{ kgf/cm}^2$$

$V_p = P_e \times \sin\alpha = 422,048 \times \sin(0.05206143) = 21,962$ kgf

$V_{cw} = (0.93 \times \sqrt{400} + 0.3 \times 61.033) \times 20.0 \times 170.0 + 21,962$

= 147,478 kg = 147.478 tonf

④ 콘크리트의 공칭전단강도

가. 절점 1 (지점)

$\therefore V_c = \min [V_{ci}, V_{cw}] = \min [\infty, 162.505] = 162.505$ tonf

나. 절점 3 (지점에서 7.275m 이격부)

$\therefore V_c = \min [V_{ci}, V_{cw}] = \min [76.732, 147.478] = 76.732$ tonf

⑤ 전단철근이 부담하여야 할 전단강도

가. 절점 1 (지점)

$\phi V_c = 0.8 \times 162.505 = 130.004$ tonf

$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 161.833 - 130.004 = 31.828$ tonf

$V_s = 39.785$ tonf $< 1.06 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d = 67.840$ tonf

나. 절점 3 (지점에서 7.275m 이격부)

$\phi V_c = 0.8 \times 76.732 = 61.386$ tonf

$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 96.445 - 61.386 = 35.059$ tonf

$V_s = 43.824$ tonf $< 1.06 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d = 72.093$ tonf

⑥ 스터럽의 배치간격

가. 절점 1 (지점)

사용 철근량 : D16 × 2EA = 1.986 × 2 = 3.972 cm^2

$$\therefore \text{전단철근 간격}(s) \le \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{3.972 \times 3,000 \times 160.0}{39,785} = 47.922 \text{ cm}$$

나. 절점 3 (지점에서 7.275m 이격부)

사용 철근량 : D16 × 2EA = 1.986 × 2 = 3.972 cm^2

$$\therefore \text{전단철근 간격}(s) \le \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{3.972 \times 3,000 \times 170.03}{43,824} = 46.232 \text{ cm}$$

⑦ 전단연결재의 설계

전단력이 큰 내측거더에 대해 검토

합성후 고정하중에 의해 접합면에 작용하는 전단응력

$$\tau_d = \frac{9,749}{70 \times (225 - 89.5)} = 1.028 \text{ kgf/cm}^2$$

합성후 활하중에 의해 접합면에 작용하는 전단응력

$$\tau_l = \frac{33,831}{70 \times (225 - 89.5)} = 3.567 \text{ kgf/cm}^2$$

크리프·건조수축에 의해 접합면에 작용하는 전단응력

$$\tau_{c+s} = \frac{N_\phi + N_s}{a \cdot b} = \frac{83,155 - 7,831}{70 \times 235} = 4.579 \text{ kgf/cm}^2$$

온도차에 의해 접합면에 작용하는 전단응력

$$V_t = \alpha \times \triangle T \times E \times A$$

$$= 1.0 \times 10^{-5} \times 5 \times 15,000 \times \sqrt{270} \times (235 \times 25) = 72,402 \text{ kgf}$$

$$\therefore \tau_t = \frac{V_t}{a \cdot b} = \frac{72,402}{70 \times 235} = 4.401 \text{ kgf/cm}^2$$

$1.3 \times \tau_d + 2.15 \times \tau_l = 1.3 \times 1.028 + 2.15 \times 3.567$

$= 9.005 \text{ kgf/cm}^2 \leq 0.8 \times 24.5 = 19.6 \text{ kgf/cm}^2$

$1.3 \times \tau_d + 1.3 \times \tau_l + 1.3 \times (\tau_{c+s} + \tau_t)$

$= 1.3 \times 1.028 + 1.3 \times 3.567 + 1.3 \times (4.579 + 4.401)$

$= 17.651 \text{ kgf/cm}^2 \leq 0.8 \times 24.5 = 19.6 \text{ kgf/cm}^2$

∴ 접촉면을 청결하고 부유물이 없게끔 하며, 대략 0.7cm 깊이로 표면을 일부러 거칠게한 후 최소전단연결재 이상을 사용

사용철근량 : $D16 \times 2EA = 1.986 \times 2 = 3.972 \text{ cm}^2$

∴ 전단연결재 간격(s) $\leq \frac{A_v \cdot f_y}{3.5 \cdot b_v} = \frac{3.972 \times 3,000}{3.5 \times 70.0} = 48.64 \text{ cm}$

(8) [단계 3-8] 처짐계산

① 자중, 고정하중 및 활하중에 의한 처짐계산

가. 자중, 고정하중에 의한 처짐

$$\delta = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot E_c \cdot I}$$

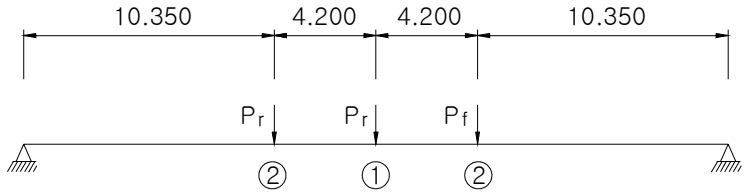
L : 전체 지간 = 29.1 m

E_c : 거더의 탄성계수 $= 10,500\sqrt{400} + 70,000 = 280,000 \text{ kgf/cm}^2$

I : 단면 2차 모멘트 (순단면 또는 PS강연선 환산 단면)

구 분	외 측 주 형			내 측 주 형		
	M (tonf · m)	I (cm4)	δ (cm)	M (tonf · m)	I (cm4)	δ (cm)
거 더	200.169	32,041,242	1.968	200.169	32,041,242	1.968
합성전 고정하중	186.375	34,513,493	1.701	219.903	34,513,493	2.007
합성후 고정하중	70.928	75,317,970	0.297	70.928	76,663,150	0.291
계			3.966			4.266

나. 활하중에 의한 처짐



(가) 외측거더

$$\delta_1 = \frac{P_r \cdot L^3}{48 \cdot E_c \cdot I_{c4}} = \frac{14.417\times10^3\times2,910^3}{48\times280,000\times75,317,970} = 0.351 \text{ cm}$$

$$\delta_2 = \frac{P_r}{48 \cdot E_c \cdot I_{c4}}(3\times L^2\times1,035-4\times1,035^3) + \frac{P_f}{48 \cdot E_c \cdot I_{c4}}\{3\times L^2\times(L-840-1,035)-4\times(L-840-1,035)^3\}$$

$$= \frac{14.417\times10^3}{48\times280,000\times75,317,970}(3\times2,910^2\times1,035-4\times1,035^3) + \frac{3.604\times10^3}{48\times280,000\times75,317,970}\{3\times2,910^2\times(2,910-840-1,035) - 4\times(2,910-840-1,035)^3\}$$

$$= 0.389 \text{ cm}$$

$$\therefore \delta = \delta_1+\delta_2 = 0.351+0.389 = 0.740 \text{ cm}$$

(나) 내측거더

$$\delta_1 = \frac{P_r \cdot L^3}{48 \cdot E_c \cdot I_{c4}} = \frac{16.637\times10^3\times2,910^3}{48\times280,000\times76,663,150} = 0.398 \text{ cm}$$

$$\delta_2 = \frac{P_r}{48 \cdot E_c \cdot I_{c4}}(3\times L^2\times1,035-4\times1,035^3) + \frac{P_f}{48 \cdot E_c \cdot I_{c4}}\{3\times L^2\times(L-840-1,035-4\times(L-840-1,035)^3\}$$

$$= \frac{16.637\times10^3}{48\times280,000\times76,663,150}(3\times2,910^2\times1,035-4\times1,035^3) + \frac{4.159\times10^3}{48\times280,000\times76,663,150}\{3\times2,910^2\times(2,910-840-1,035) - 4\times(2,910-840-1,035)^3\}$$

$$= 0.441 \text{ cm}$$

$$\therefore \delta = \delta_1+\delta_2 = 0.398+0.441 = 0.839 \text{ cm}$$

② 프리스트레스에 의한 처짐계산

$$P_i = 10,655\times47.38 = 504,834 \text{ kgf}$$

$$\delta_p = -\frac{P_i e_1 L^2}{8EI} - \frac{5 P_i e_2 L^2}{48EI}$$

$$= -\frac{504,834\times(97.7-89.5)\times 2,910^2}{8\times 2.8\times 10^5\times 32,041,242} - \frac{5\times 504,834\times(89.5-11.0)\times 2,910^2}{48\times 2.8\times 10^5\times 32,041,242}$$

$$= -4.373 \text{ cm}$$

③ 활하중 처짐검토

· 허용처짐

$$\delta_a = \frac{L}{800} = \frac{29.1\times 10^2}{800} = 3.638 \text{ cm}$$

· 외측거더

$\delta = 0.740$ cm $< \delta_a$; $O.K$

· 내측거더

$\delta = 0.839$ cm $< \delta_a$; $O.K$

PSC거더의 시공단계별 처짐은 콘크리트의 성질 및 프리스트레스 도입시기, 바닥판 타설 시기 등 시공진행 과정에 의해서도 영향을 받는다. PSC거더의 초기 재령에 긴장력이 도입되어 졌다고 가정하고, 약 2개월후에 바닥판이 타설되어져 합성작용을 한다고 가정할때, 그리고 각각의 크리프 계수를 3.8, 2.4라 할 때, 내측주형에 대한 시공단계별 처짐은 다음과 같다.

· 프리스트레스 도입시

$\delta_{S1} = 1.968 - 4.385 = -2.417\ cm$(상향)

· 바닥판 타설시

$$\delta_{S2} = 1.968 - 4.385 + 2.007 + (3.8 + 2.4)\times(1.968 - 4.385)$$

$$= -3.794 cm(\text{상향})$$

· 사용하중 작용시

$$\delta_{S3} = 1.968 - 0.836\times 4.385 + 2.007 + 0.291$$

$$+ (3.8 - 2.4)(1.968 - 4.385)$$

$$+ 2.4\times(1.968 - 0.836\times 4.385 + 2.007 + 0.291)$$

$$+ 0.839$$

$$= -0.504 cm(\text{상향})$$

(9) [단계 3-9] 정착부 설계

① 설계 조건의 선정

· 정착판 규격

$24.0 \times 24.0 = 576.0\ \mathrm{cm}^2$

· 긴장력 표

구 분	긴장력 (P_t)	초기 프리스트레스 (P_i)	유효 프리스트레스 (P_e)
긴장재 1	150,800	131,709	109,450
긴장재 2	146,900	128,302	106,619
긴장재 3	142,500	124,460	103,426
긴장재 4	138,000	120,529	100,160

· 초기 프리스트레스 (= 긴장력 (P_t) × 즉시 손실율)

즉시 손실율 $= 10,655 / 12,200 = 87.34\,\%$

· 유효 프리스트레스 (= 초기 프리스트레스 (P_i) × 유효계수)

유효계수 : $\eta = 0.831$ (내 · 외측거더 중 작은값)

· 단부 및 Anchor 상세

② 지압응력 검토

가장 불리하게 작용하는 긴장재 1에 대해서 검토

가. 긴장재 정착 직후

· 허용지압응력

$$f_{api} = 0.7 \cdot f_{ci} \left(\frac{A_b'}{A_b} - 0.2\right)^{0.5} \le 1.1 f_{ci}$$

여기서, f_{ci} : 프리스트레스 도입시의 압축강도 ($= 320\ \mathrm{kgf/cm}^2$)

A_b' : 정착판의 도심과 일치하는 정착판의 닮음꼴을 부재단부에 가장 크게 그렸을때 그 도형의 면적

$(= 41.40 \times 41.40 = 1,713.96\ \text{cm}^2)$

A_b : 정착판의 면적 $(= 576.0\ \text{cm}^2)$

$$f_{api} = 0.7 \times 320 \times \left(\frac{1,713.96}{576.0} - 0.2\right)^{0.5}$$

$$= 373.189\ \text{kgf/cm}^2 > 1.1 \times 320.0 = 352.0\ \text{kgf/cm}^2$$

· 실제로 작용하는 지압응력

$$f_{b1} = \frac{P_t}{A_e}$$

여기서, A_e : 정착판의 유효면적 $(= 576.0 - \pi D^2/4 = 489.41\ \text{cm}^2)$

$$f_{b1} = 150,800 / 489.41$$

$$= 308.13\ \text{kgf/cm}^2 < 352.0\ \text{kgf/cm}^2 \quad \therefore O.K$$

나. 프리스트레스 손실 발생후

· 허용지압응력

$$f_{api} = 0.5 \cdot f_{ck}\left(\frac{A_{b'}}{A_b}\right)^{0.5} \le 0.9 f_{ck}$$

$$= 0.5 \times 400 \times (1,713.96 / 576.0)^{0.5}$$

$$= 345.0\ \text{kgf/cm}^2 < 360.0\ \text{kgf/cm}^2$$

· 실제로 작용하는 지압응력

$$f_{b1} = \frac{P_t}{A_e} = 109,450 / 489.41$$

$$= 223.64\ \text{kgf/cm}^2 < 345.0\ \text{kgf/cm}^2 \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 보강철근량의 산정

$$T_{burst} = 0.25 \sum P_u \left(1 - \frac{a}{h}\right) + 0.5\, P_u \sin\alpha$$

여기서, T_{burst} : 파열력

a : 정착판의 일변길이 (24.0×24.0)

h : 정착단면의 치수

P_u : 긴장재의 긴장력

$$T_{burst} = 0.25 \times 578,200 \times \left(1 - \frac{24.0 \times 4}{200}\right)$$

$$+ 0.5 \times 578,200 / 4 \times \sin 0.105379559$$

$$= 82,768\ \text{kgf}$$

$\therefore$ 철근은 최대긴장력에 대하여 $0.6 f_y$ 이하의 응력을 받도록 설계하여야 한다.

$$f_s = 0.6 \times f_y = 0.6 \times 3,000 = 1,800\ \text{kgf/cm}^2$$

필요철근량, $As = T_{burst} / fs = 82,768 / 1,800 = 45.98\ cm^2$

$$e = \frac{2,000}{2} - \frac{294\times4 + 406\times3 + 386\times2 + 414}{4} = 105\ mm$$

$$d_{burst} = 0.5\,(h - 2e) + 5\,e\sin\alpha$$

$$= 0.5 \times (200 - 2\times10.5) + 5 \times 10.5 \times \sin 0.105379559$$

$$= 95.0\ cm$$

$$T_{spall} = 0.02 \times P_u = 0.02 \times 578,200/4 = 2,891\,\text{kgf}$$

$$f_s = 0.6 \times f_y = 0.6 \times 3,000 = 1,800\ \text{kgf/cm}^2$$

필요철근량, $As = T_{spall} / fs = 2,891 / 1,800 = 1.606\ cm^2$

3.3.4 [단계 4] 지점반력의 산정

(1) [단계 4-1] 고정하중 반력산정

[단계 3-2]의 ③ 단면력 집계 참조.

(단위 : tonf)

구 분	거더자중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	계
외측거더	29.678	25.059	9.749	64.486
내측거더	29.678	29.108	9.749	68.535

(2) [단계 4-2] 활하중 반력산정

[단계 3-2]의 ③ 단면력 집계 참조.

・외측거더 : 29.317 tonf

・내측거더 : 33.831 tonf

3.3.5 [단계 5] 신축이동량 산정

(1) [단계 5-1] 온도 변화에 의한 이동량

$\Delta \ell_t = 0.4\,L = 0.4 \times 30 = 12.0$ mm

(2) [단계 5-2] 건조수축에 의한 이동량

$\Delta \ell_s = 0.1\,L = 0.1 \times 30 = 3.0$ mm

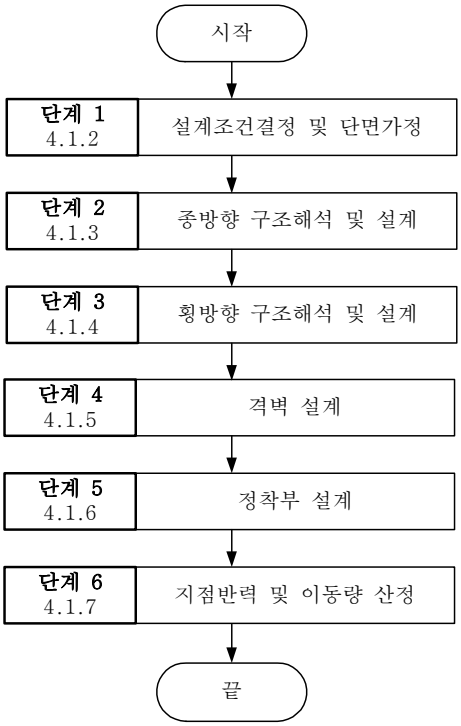
(3) [단계 5-3] 크리프에 의한 이동량

	$\Delta \ell_c = 0.2L = 0.2 \times 30 = 6.0$ mm
(4)	[단계 5-4] 신축 여유량 : ($\Delta \ell$t +$\Delta \ell$s +$\Delta \ell$c)의 20% + 10 $\Delta \ell_a = 0.14L + 10 = 0.14 \times 30 + 10 = 14.2$ mm ∴ 총 신 축 량 $\Delta = 0.84L + 10 = 0.84 \times 30 + 10 = 35.2$ mm

508.4 FSM에 의한 PSC 박스 거더교의 설계

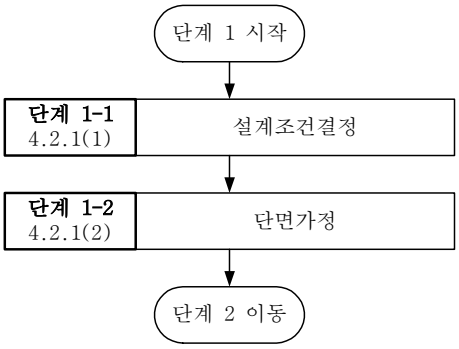
4.1 설계흐름도

4.1.1 주설계단계



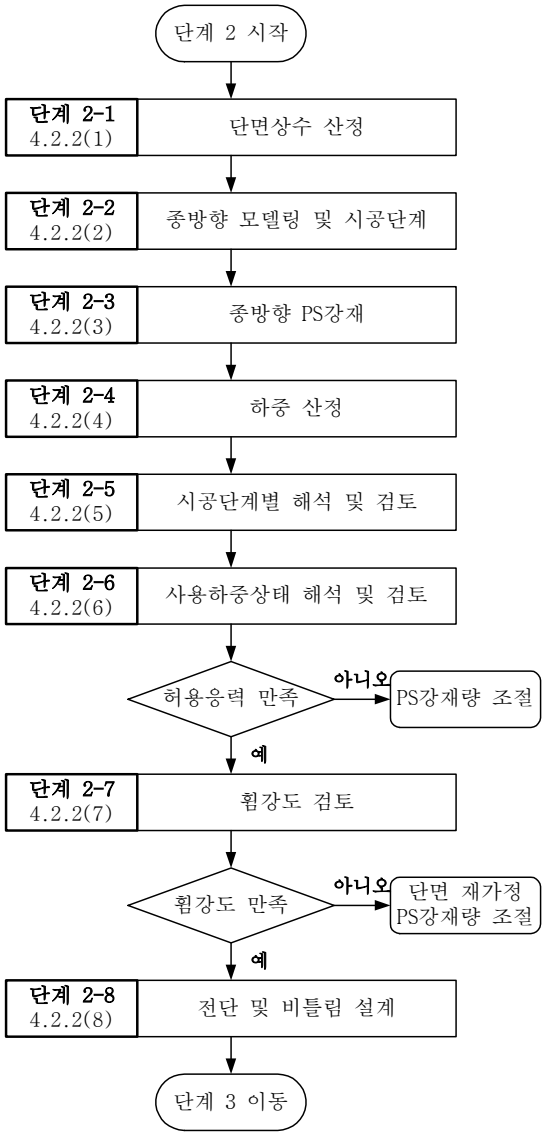
<그림 508.99> 주설계흐름도

4.1.2 [단계 1] 설계조건결정 및 단면가정



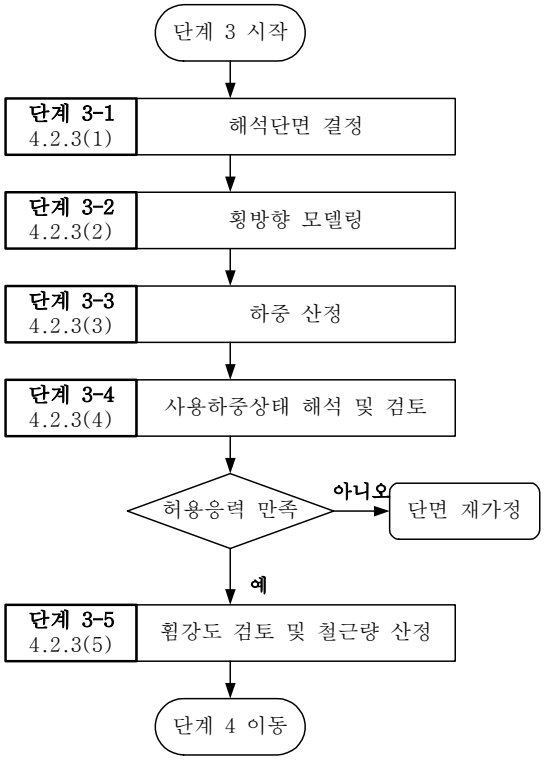
<그림 508.100> 설계조건결정 및 단면가정

4.1.3 [단계 2] 종방향 구조해석 및 설계



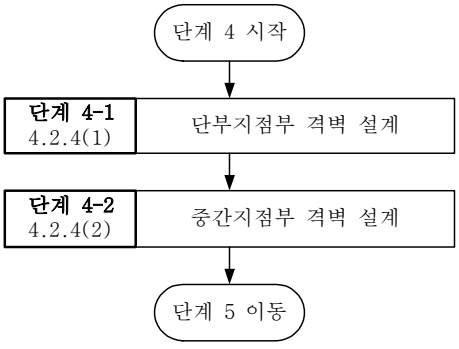
<그림 508.101> 종방향 구조해석 및 설계

4.1.4 [단계 3] 횡방향 구조해석 및 설계



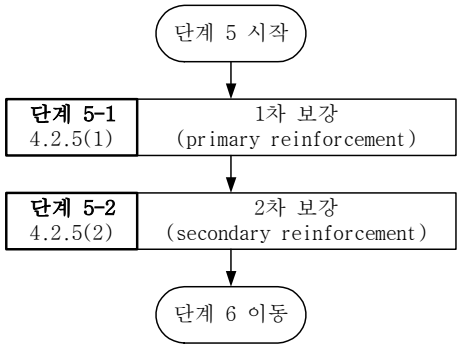
<그림 508.102> 횡방향 구조해석 및 설계

4.1.5 [단계 4] 격벽 설계



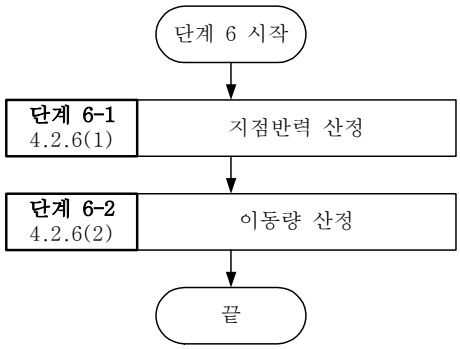
<그림 508.103> 격벽 설계

4.1.6 [단계 5] 정착부 설계



<그림 508.104> 정착부 설계

4.1.7 [단계 6] 지점반력 및 이동량 산정



<그림 508.105> 지점반력 및 이동량 산정

4.2 설계단계별 고려사항

4.2.1 [단계 1] 설계조건결정 및 단면가정

(1) [단계 1-1] 설계조건 결정

① 교량등급은 [도·설 1.3]의 규정에 따른다.

② 콘크리트, PS강재, 철근 등 주요 사용재료는 [도·설 2.3]의 규정을 만족해야 한다. 또한 사용재료의 허용응력은 [도·설 2.2.2.4]의 규정을 따른다.

③ 설계방법은 [도·설 2.2.3]의 설계하중조합과 강도감소계수를 사용한 강도설계법에 의한

다. 그러나 사용하중상태의 단면의 응력 검토 등의 일부에 허용응력법[도·설 2.2.2]을 사용할 수 있다.

④ 사용 전산프로그램은 프리스트레스의 영향을 고려할 수 있고 그 신뢰성이 검증된 프로그램이어야 한다. 따라서 프리스트레스를 고려할 수 있는 PSC교량 전문 해석프로그램을 사용하는 것이 바람직하다.

(2) [단계 1-2] 단면가정

① FSM에 의해 가설되는 교량의 단면은 일반부, 시공이음부, 중간지점부, 단부지점부 등으로 구성된다.

② 시공이음부 단면은 프리스트레스 도입을 위하여 정착단을 설치해야하므로 이를 고려하여 단면을 가정한다.

4.2.2 [단계 2] 종방향 구조해석 및 설계

(1) [단계 2-1] 단면상수 산정

① 보통콘크리트를 사용하고 종방향, 횡방향 포스트텐션 방식을 도입한 프리캐스트 및 현장치기 콘크리트의 단일박스 거더교, 다중박스 거더교의 단순교와 연속교의 설계에서 구조해석, 휨모멘트 및 전단력의 영향을 계산하기 위한 단면의 성질은 유효플랜지폭을 사용한다. 유효플랜지폭상의 비대칭하중의 영향은 무시해도 좋다[도·설 4.15.6.2].

② 슬래브가 거더와 일체로 간주되는 보통의 슬래브 지간과 거더간격을 갖는 현장치기 박스거더에서는 슬래브의 전폭이 압축에 유효하다고 본다.

③ 단면의 유효폭은 [도·설 4.15.6.2]의 규정에 따라 계산한다.

(2) [단계 2-2] 종방향 모델링 및 시공단계

① 교량의 선형 및 단면 형태를 고려하여 해석 모델을 결정한다.

② 종방향 시스템 모델링 방법은 각 단면 모양(단일 박스거더, 다주형 박스거더, 다중 박스거더) 및 교폭과 지간의 비에 따라 달라질 수 있다. 판이론을 적용하면 모든 경우에 적합한 설계가 가능하다. 각 단면 형상에 따라 가용한 모델링 방법의 자세한 내용은 [콘·지 I-2-4.2.5]를 참조한다.

③ FSM에 의해 가설되는 교량은 매경간별로 시공단계를 결정하여야 한다. 그리고 시공단계를 고려하여 매경간 상부구조 시공이 진행되는 동안의 해석이 필수적이고 또한 이러한 해석결과를 조합하여 최대·최소 단면적 등을 찾아서 설계하여야 한다. 따라서 교량 구조물 전체를 모델링하여 콘크리트 박스 세그먼트를 활성화(activation) 시켜가며 경간진행 단계별로 구조해석을 수행한다.

④ 지간내의 각 위치에 따라 일반부, 시공이음부, 중간지점부, 단부지점부 등으로 구성되므로, 각 위치에 따라 해당단면의 단면상수에 대한 정확한 입력이 필요하다.

(3) [단계 2-3] 종방향 PS강재의 배치

① 종방향으로 필요한 PS강재량을 가정하고, 이에 따라 PS강재의 배치계획을 세운다.

② FSM에 의한 교량의 상부구조에 대한 PS강재 배치방법은 MSS의 경우와 유사하며 다음과 같은 유형이 있다[콘·지 I-3-4].

- 모든 텐던을 동일한 위치에서 접속장치(coupler)를 사용하여 접속시키는 방법
- 텐던 일부만 시공이음부에서 정착시키고, 나머지는 연속으로 배치하는 방법
- 지점부위에서 텐던을 엇갈리게 중복배치

하는 방법
- 혼합배치 방법

③ 일반적으로 혼합배치 방법을 사용하여 PS 강재의 배치를 단순하면서도 효율적으로하여 마찰손실을 감소시킨다.

(4) [단계 2-4] 하중 산정

FSM으로 시공되는 PSC 박스거더교는 MSS, ILM, FCM 등 특수가설공법으로 시공되는 박스거더교와 같이 특별한 하중(경계조건변화, 가설장비에 의한 하중 등)을 고려하지 않아도 되므로 일반적으로 도로교설계기준 및 콘크리트 구조설계기준의 하중을 적용한다.

① 고정하중
- 자중 : 콘크리트 박스의 자중 및 격벽(diaphragm) 하중을 산정
- 2차 고정하중 : 포장, 방호벽, 난간, 중분대 등을 산정
- 고정하중의 적용은 [도·설 2.1.2]에 따른다.

② 프리스트레스
- 가정한 PS강재량에 대하여 초기 프리스트레스 도입력을 결정
- 프리스트레스 손실을 고려
  - 즉시 손실 : 정착장치에서의 슬립량, PS강재와 쉬스사이의 마찰, 콘크리트의 탄성수축
  - 장기 손실 : 콘크리트의 크리프, 콘크리트의 건조수축, PS강재의 릴렉세이션
- 프리스트레스의 적용은 [도·설 2.1.6]에 따른다.
- 구조적 효율성을 고려하여 최적의 프리스트레스 강선량을 결정

③ 크리프 및 건조수축
- 시공단계에 따라 각 부재가 서로 다른 재령을 갖는 경우의 크리프 및 건조수축 효과 고려
- 콘크리트의 크리프 계수 및 건조수축 변형률 산정을 위한 각 시공단계별 시공일수 계산
- 각 시공단계별 콘크리트의 크리프 계수 및 건조수축 변형률 산정
- 콘크리트의 크리프와 건조수축에 대한 영향은 [도·설 2.1.7]을 따르며, 크리프 계수 및 건조수축 변형률 산정은 [도·설 4.2.3.3, 4.2.3.4] 또는 [콘·설 2.2.2]에 따른다.

④ 활하중
- 하중등급, 충격계수, 설계차선수, 재하차선에 의한 감소율을 고려하여 차량하중을 산정
- 하중재하는 휨모멘트가 최대인 경우와 비틀림 모멘트가 최대인 경우로 구분
- 활하중의 적용은 [도·설 2.1.3, 2.1.4]에 따른다.

⑤ 온도변화의 영향
- 상하연 온도변화 : $\triangle T = \pm 5℃$
- 종방향 온도변화 : $\triangle T = \pm 15℃$
- 가동받침의 이동량 산정시 종방향 온도변화 : $\triangle T = -5℃ \sim +35℃$
- 온도변화의 적용은 [도·설 2.1.12]에 따른다.

⑥ 지점이동
- 지점이동의 적용은 [도·설 2.1.15]에 따른다.

⑦ 풍하중
- 상부구조에 작용하는 풍하중 산정 : 교축직각방향으로 수평재하
- 풍하중의 적용은 [도·설 2.1.11]에 따른다.

⑧ 기타하중
- 위의 하중 이외에 추가로 고려할 필요가 있는 하중경우(예 : 가설시 하중, 충돌하중)는 [도·설 2.1]에 따른다.

(5) [단계 2-5] 시공단계별 해석 및 검토

① FSM에 의해 가설되는 교량은 경간단위별로 가설하며, 이에 따른 시공순서를 고려하여 시공단계별 해석을 수행한다. 따라서 경간단위별로 시공순서를 가정한다.

② 시공단계에 따라 구조계의 변화가 일어나고 하중조건이 변화한다. 따라서 시공순서에 따라 각 시공단계별로 고려해야 할 하중을 구분하고, 시공단계별 해석시 고려한다.

③ 각 시공단계에 따라 교량 시공위치에서의 단면력도를 나타낸다.

④ 시공단계에 따라 콘크리트 박스단면의 상연응력과 하연응력을 나타내고, 콘크리트의 허용응력을 만족하는지에 대한 검토를 수행한다. 시공단계에 따라 콘크리트의 허용응력을 초과하는 경우에는 단면을 재가정하거나 PS강재량을 조절하여 시공단계에서의 응력에 대한 안전을 만족하도록 한다.

(6) [단계 2-6] 사용하중상태 해석 및 검토

① 사용하중별로 단면력도를 나타낸다.

- 자중, 2차 고정하중, 프리스트레스, 크리프 및 건조수축, 활하중, 온도하중, 지점침하

② 사용하중상태에서 콘크리트 박스 단면의 상연응력과 하연응력을 구하고, 허용응력을 만족하는지 여부를 검토한다. 콘크리트의 허용응력을 초과하는 경우에는 단면을 재가정하거나 PS강재량을 조절하여 사용하중상태에서 응력에 대한 안전을 만족하도록 한다.

③ 각 하중에 대하여 조합하고, 하중조합은 [도·설 2.2.2]에 따른다.

④ 또한 다음과 같은 방식으로 하중조합을 할 수 있다.

ⅰ) POST-TENSIONING (T) + SELF WEIGHT (G1)

ⅱ) T + G1 + SUPERIMPOSED DEAD LOAD (G2)

ⅲ) T + G1 + G2 + MAX EFFECT OF LIVE LOAD (P-MAX)

ⅳ) T + G1 + G2 + MIN EFFECT OF LIVE LOAD (P-MIN)

ⅴ) T + G1 + G2 + P-MAX + MAX EFFECT OF ADDITIONAL LOADS (ADD-MAX)

ⅵ) T + G1 + G2 + P-MIN + MIN EFFECT OF ADDITIONAL LOADS (ADD-MIN)

건조수축 및 크리프가 일어나기 전과 후에 대하여 각각 응력을 검토한다. 이때 각각 하중의 하중계수는 1.0이다.

(7) [단계 2-7] 휨강도 검토

① 계수하중을 조합하여 하중조합 중에 가장 불리한 상태의 최대·최소 단면력(계수 모멘트, 전단력, 비틀림 모멘트)을 결정한다.

② 하중계수를 사용한 계수하중의 하중조합은 [도·설 2.2.3.2]에 따른다.

③ 하중계수를 사용하여 하중조합을 수행한 후 이에 따른 휨, 축방향력, 전단 및 비틀림에 대한 극한외력을 적용하여 최대 부재력을 계산한다.

④ 휨강도 검토는 [도·설 4.6.3.5]에 따라 수행하고, 철근량을 산정한다.

⑤ 최대/최소 강재량 검토는 [도·설 4.6.3.6]에 따라 수행한다.

(8) [단계 2-8] 전단 및 비틀림 설계

① 전단 및 비틀림 설계는 [도·설 4.6.3.8]에 따라 수행한다.

② 전단 및 비틀림에 대하여 검토를 수행하고, 필요한 철근량을 산정한다.

4.2.3 [단계 3] 횡방향 구조해석 및 설계

(1) [단계 3-1] 해석 단면

① 단면이 위치에 따라 지간내에서 변화하는 경우, 단면변화가 크게 발생하거나 큰 하중이 작용하는 단면을 해석단면으로 한다.

② FSM에 의해 가설하는 교량의 경우는 일반부 단면에 대하여 횡방향 구조해석 및 설계를 수행한다.

(2) [단계 3-2] 횡방향 모델링

① 횡방향 해석은 상부구조의 횡단면을 교축방향으로 단위길이를 갖는 뼈대(frame)구조로 모델링하여 해석하는 방법 외에 유한요소법(FEM)이나 격자해석(grillage analysis) 등으로 해석하는 방법이 있다.

② 횡방향 구조해석에 대한 자세한 내용은 [콘·지 I-2-4.3.2]에 언급되어 있다.

③ 일반적으로 횡방향 해석을 위하여 충분한 정확도를 가지면서 계산이 간편한 뼈대구조 해석법이 사용되고 있다. 따라서 교축방향으로 단위길이를 갖는 뼈대구조로 모델링한다. 그러나 보다 정밀하고 정확한 해석이 요구되는 경우에는 유한요소법 등의 정밀해석방법을 사용하여 해석을 수행한다.

(3) [단계 3-3] 하중 산정

① 고정하중

- 자중 및 2차 고정하중을 고려한다.
- 고정하중의 적용은 [도·설 2.1.2]에 따른다.

② 횡방향 프리스트레스

- 상부슬래브의 캔틸레버 길이가 길수록 미관에 좋지만, 보통 3~3.5m를 초과하는 경우에는 횡방향 프리스트레스를 도입하여 구조적으로 해결하는 것이 바람직하다.
- PS강재량을 가정하고, 배치계획을 세운다.

③ 활하중 : DB하중

뼈대구조 해석시 일반적으로 등분포 하중은 그대로 적용시켜도 되지만, 집중하중(윤하중 등)의 경우는 하중의 위치 및 단면의 강성에 따라 분포가 다르게 된다. 따라서 교축방향 단위길이에 집중하중이 미치는 영향을 뼈대구조 해석전에 미리 결정하여 슬래브나 벽체를 설계하는데 적용해야 한다.

따라서 활하중(DB하중)에 대해서 윤하중 분포폭을 결정한 후 박스 횡단면에 대한 뼈대구조 해석을 수행한다. 구해진 윤하중 분포폭으로 하중(집중하중)을 나누어 길이방향(종방향) 당 하중 및 이에 대한 단면력을 계산한다.

가. 윤하중 분포폭을 결정하는 방법

(가) 도로교설계기준에 의한 방법

박스단면에서 주철근은 보통 차량진행 방향에 직각일 때 DB-24의 경우 분포폭은 캔틸레버의 경우, E = 0.8X + 1.14(X는 하중점에서 지지점까지의 거리(m))로 규정하고 있으며 내부지간에서는 직접 모멘트를 산출할 수 있도록 되어 있다[도·설 4.7.5]. 그러나 박스단면의 경우, 대부분의 교량이 서로 다른 강성비의 뼈대를 형성하고 있으며, 헌치효과 등이 경우에 따라 상당히 다르므로 일률적으로 설계기준의 공식을 적용할 때 실제와 거리가 먼 결과를 얻을 수도 있다. 따라서 영향면을 이용한 방법이나 유한요소 판해석에 의한 방법이 많이 적용된다.

(나) 영향면에 의한 방법

영향선의 이차원적인 거동을 나타내는 영향면은 적용할 영향면도를 결정하여 단면력을 계산한 후에 뼈대해석을 통해 분포폭을 고려치

않은 윤하중에 의한 단면력을 나누어 분포폭을 결정한다. 그러나 이 방법 역시 다양한 구조물 형상을 모두 나타내기는 어려우므로, 근래에는 유한요소해석에 의한 방법도 적용되고 있다.

(다) 유한요소 판해석에 의한 방법

분포폭 산정개념은 영향면에 의한 방법과 동일하나 모든 해석조건을 실제와 가장 가깝게 모델링, 해석하여 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

상부슬래브를 슬래브의 두께에 따라 변단면을 가지는 유한요소판으로 모델링하고, 충격계수를 고려한 차량하중을 재하하여 단면력을 산출한다. 유한요소 판해석에 의한 결과를 보해석결과와 비교하여 영향계수를 산정하고, 콘크리트 박스거더의 횡방향 해석시 이를 고려한 하중을 재하하여 단면설계를 수행한다.

내측 슬래브의 단부와 중앙부에 발생하는 휨모멘트에 대하여 각각 산정한 후, 구조물에 불리한 영향을 주는 경우를 내측슬래브의 윤하중 분포폭으로 선택한다. 그리고 캔틸레버부에 대해서도 최대 휨모멘트를 유발하는 경우를 윤하중분포폭으로 선택한다.

유한요소 판해석으로 구한 최대모멘트를 M이라 하고, 보해석으로 구한 모멘트를 M′이라 하면 M<M′이므로, 윤하중 분포폭 E = M′/M을 계산한다.

나. 윤하중 분포폭을 고려한 차량하중 산정

윤하중 분포폭(E)을 사용하여 하중(P)을 P/E 하중으로 감소시켜 보해석을 수행한다.

④ 온도하중

- 상하연 온도변화 : △T = ± 5℃

⑤ 설계에 사용되는 하중은 도로교설계기준에 주어진 일반적인 하중 외에 가설방법이나 구조물의 기하형상 등에 의하여 추가로 발생되는 하중이 고려되어야 한다.

(4) [단계 3-4] 사용하중상태 해석 및 검토

① 사용하중별 단면력도

- 자중, 2차 고정하중, 횡방향 프리스트레스, 활하중, 온도하중

② 사용하중상태 응력검토 : 상연응력, 하연응력

(5) [단계 3-5] 휨강도 검토 및 철근량 산정

① 계수하중을 조합하여 가장 불리한 상태의 최대·최소 단면력을 결정한다.

② 계수하중의 하중조합은 [도·설 2.2.3.2]에 따른다.

③ 휨강도 검토는 [도·설 4.6.3.5]에 따라 수행하고, 철근량을 산정한다.

4.2.4 [단계 4] 격벽 설계

(1) [단계 4-1] 단부지점부 격벽 설계

① 콘크리트 박스거더는 T형거더에 비하여 횡방향 강성이 강하나, 격벽이 없으면 주형직각방향의 강성감소로 인하여 바닥판, 받침 등의 구조에 해로운 영향을 미칠 수 있으므로 단부와 중간지점부에는 격벽을 설치하는 것을 원칙으로 하며, 충분한 폭을 가져야 한다.

② 일반적으로 50m 지간의 교량에 대하여 단부 지점에서는 2.0m 정도의 구간에 격벽을 설치한다.

③ 격벽을 해석하기 위하여 대체로 유한요소법에 의하여 격벽의 주압축응력과 주인장응력의 궤적을 구하고 스트럿-타이 모델을 구성한다. 해석 모델링으로 구한 단면력을 토대로 수평, 수직 방향 철근량을 산정한다.

④ 2차원 스트럿-타이 모델 구성이 어려운 3차원 구조의 경우에는 유한요소해석법에 의하여 소요철근을 산정할 수 있다.

(2) [단계 4-2] 중간지점부 격벽 설계

① 일반적으로 50m 지간의 교량에 대하여 중간지점부에서는 1.5m 정도의 구간에 격벽을 설치한다.

② 중간지점부의 경우도 단부지점부와 유사한 방법으로 스트럿-타이 모델을 구성하여 단면력을 구하고 수평, 수직 방향 철근량을 산정한다.

4.2.5 [단계 5] 정착부 설계

(1) [단계 5-1] 1차 보강

① 정착장치를 포함한 국소구역의 단면과 보강철근은 긴장재의 힘을 주위의 콘크리트 구조에 안전하게 전달해야 하고, 이때의 하중의 전달을 위하여 지압판 형식이나 특수정착장치(나선철근, 스터럽, 기타)를 사용해도 좋지만, 어느 것이든 국소구역의 하중을 정착장치로부터 일반구역으로 안전하고 확실하게 전달할 수 있는 기능이 확인된 것을 사용해야 한다.

② 프리스트레스를 도입하기 위하여 정착구가 설치된 시공이음부에 대하여 정착부 보강에 대한 설계를 수행한다.

③ 정착부 설계는 [도·설 4.6.3.9, 4.15.6.3(5)]의 규정에 따른다.

④ 일반적으로 정착부의 보강은 1차 보강(primary reinforcement)과 2차 보강(secondary reinforcement)으로 이루어진다. 이중 1차 보강은 정착부 주변의 최소부재 치수와 관계된다.

(2) [단계 5-2] 2차 보강

① 정착부에서 프리스트레스 힘이 전단면에 분포하기까지의 구간에 대하여 2차 보강을 한다.

② 프리스트레스 힘에 의하여 정착부 주위를 보강하여 균열이 발생하지 않도록 복부, 상부슬래브, 하부슬래브에 대하여 작용하는 파열력(bursting force)을 구하여 보강 철근량을 산정한다.

4.2.6 [단계 6] 지점반력 및 이동량 산정

(1) [단계 6-1] 지점반력 산정

① 지속하중과 변동하중에 대하여 교대 및 교각에서 발생하는 반력을 산정한다.

② 지점반력은 사용받침의 용량을 결정하는데 사용된다.

(2) [단계 6-2] 이동량 산정

① 온도변화, 크리프 및 건조수축, 활하중, 프리스트레스의 영향을 고려하여 가동받침의 이동량을 산정한다.

② 가동받침의 이동량 산정은 [도·설 2.4.2.3]의 규정을 따른다.

4.3 설계예

4.3.1 [단계 1] 설계조건결정 및 단면가정

(1) [단계 1-1] 설계조건결정

① 교량제원

- 상부형식 : PSC 단일 박스거더교
- 교량등급 : 1등교(차량전용)
- 교량연장 : 6@50.0m = 300.0m
- 교 폭 : 15.70m
- 곡률반경 : 1,410m
- 가설공법 : 전체지지식(Full Staging Method; FSM)
- 프리스트레스 도입 방식 : Post-tensioning 방식

② 주요 사용재료

- 콘크리트

- 설계기준강도 : $f_{ck} = 400$ kgf/cm^2
- 탄성계수 : $E_c = 2.8\times10^5$ kgf/cm^2
- 프리스트레스 도입시의 콘크리트의 압축강도 $f_{ci}' = 280$ kgf/cm^2
- 허용응력

프리스트레스 도입직후, 손실 발생전

허용 휨압축응력 : $0.55f_{ci}' = 149$ kgf/cm^2

허용 휨인장응력 : $0.8\sqrt{f_{ci}'} = 13.1$ kgf/cm^2

(보조 철근사용시 : $1.6\sqrt{f_{ci}'} = 26.3$ kgf/cm^2)

사용 하중 작용시, 손실 발생후

허용 휨압축응력 : $0.4f_{ck} = 160$ kgf/cm^2

허용 휨인장응력 : $1.6\sqrt{f_{ck}} = 32.0$ kgf/cm^2

균열응력 : $f_{ru} = 2.0\sqrt{f_{ck}} = 40.0$ kgf/cm^2

- PS 강재

- 사용기준 : KSD 7002, SWPC 7B
- 항복강도 : $P_y = 22.6$ tonf/strand ($f_{py} = 16,000$ kgf/cm^2 이상)
- 인장강도 : $P_u = 26.6$ tonf/strand ($f_{pu} = 19,000$ kgf/cm^2 이상)

- 탄성계수 : $E_p = 2.0\times10^6$ kgf/cm^2
- PS 강재의 허용응력

  정착후 정착부에서의 응력 : $f_{psa} = 0.7f_{pu} = 13,300$ kgf/cm^2

  손실 발생후 사용하중 상태에서의 응력 : $f_{psa} = 0.8f_{py} = 12,800$ kgf/cm^2
- 사용 텐던단위 : 6-22(ϕ15.2mm-22)
- 사용 덕트 크기 : 110/113mm
- 긴장력 : $f_{pj} = 0.7f_{pu}$ (인장강도의 75%)
- 마찰계수

  곡률 마찰계수 : μ = 0.3/rad

  파상 마찰계수 : k = 0.006/m
- 정착시 슬립량(wedge draw-in) : 6mm

· 철근 (SD40)

- 항복강도 : $f_y = 4,000$ kgf/cm^2
- 탄성계수 : $E_s = 2.0\times10^6$ kgf/cm^2

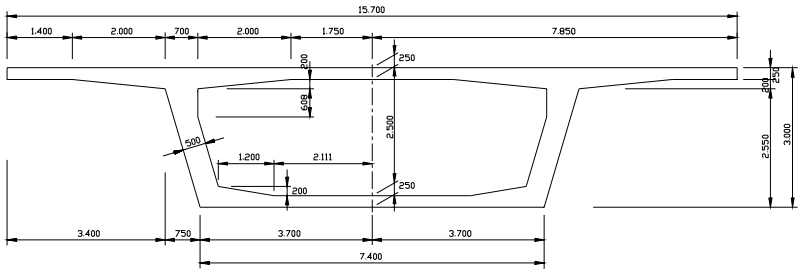
③ 사용 전산프로그램

· RM-SPACE FRAME(오스트리아, TDV)

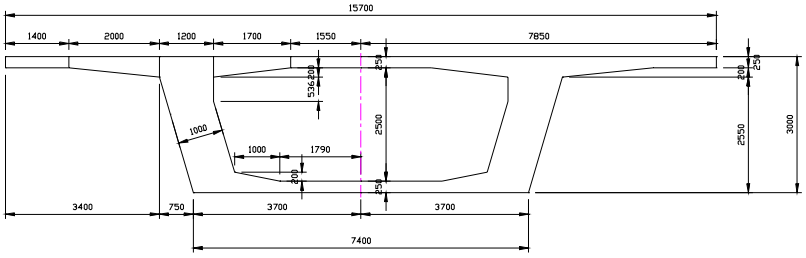
· NISA(미국, Engineering Mechanics Research Corporation) : 횡방향 해석시 윤하중 분포폭 산정에 사용

(2) [단계 1-2] 단면가정

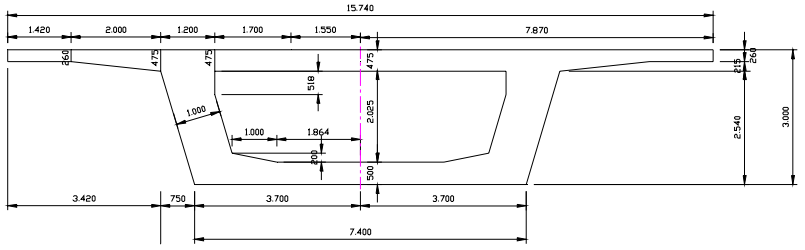
① 일반부



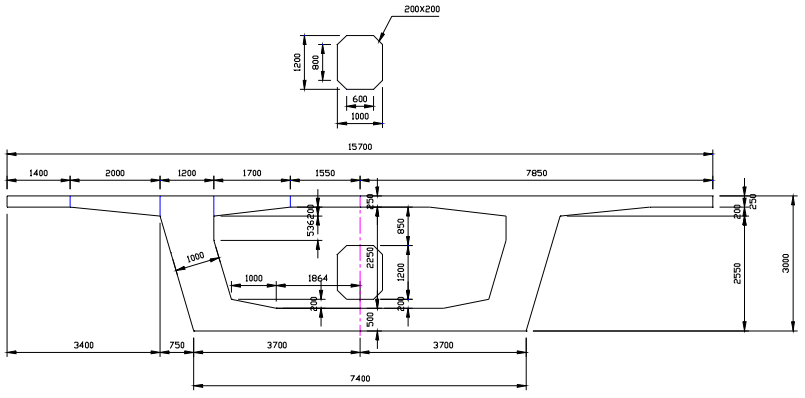
② 시공이음부



③ 중간지점부



④ 단부지점부



4.3.2 [단계 2] 종방향 구조해석 및 설계

(1) [단계 2-1] 단면상수 산정

① 유효폭 계산

가. 일반부

◦ 단부경간

위치	L	L_i=0.8L	b	b/L_i	b_f-ratio	B_f
상부슬래브	50	40	3.75	0.094	0.94	3.525
하부슬래브	50	40	3.243	0.081	0.95	3.081
캔틸레버	50	40	3.348	0.084	0.95	3.181

◦ 내측경간

위치	L	L_i=0.6L	b	b/L_i	b_f-ratio	B_f
상부슬래브	50	30	3.75	0.125	0.88	3.300
하부슬래브	50	30	3.243	0.108	0.9	2.919
캔틸레버	50	30	3.348	0.112	0.9	3.013

나. 시공이음부

◦ 단부경간

위치	L	L_i=0.8L	b	b/L_i	b_s-ratio	B_s
상부슬래브	50	40	3.25	0.081	0.76	2.470
하부슬래브	50	40	2.722	0.068	0.83	2.259
캔틸레버	50	40	3.348	0.084	0.76	2.544

◦ 내측경간

위치	L	L_i=0.6L	b	b/L_i	b_s-ratio	B_s
상부슬래브	50	30	3.25	0.108	0.66	2.145
하부슬래브	50	30	2.722	0.091	0.72	1.960
캔틸레버	50	30	3.348	0.112	0.66	2.210

다. 중간지점부

◦ 단부경간

위치	L	L_i=0.8L	b	b/L_i	b_s-ratio	B_s
상부슬래브	50	40	3.25	0.081	0.76	2.470
하부슬래브	50	40	2.758	0.069	0.83	2.289
캔틸레버	50	40	3.348	0.084	0.76	2.544

◦ 내측경간

위치	L	L_i=0.6L	b	b/L_i	b_s-ratio	B_s
상부슬래브	50	30	3.25	0.108	0.66	2.145
하부슬래브	50	30	2.758	0.092	0.72	1.986
캔틸레버	50	30	3.348	0.112	0.66	2.210

라. 단부지점부

◦ 단부경간

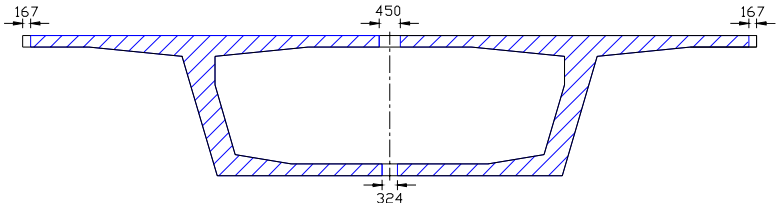
위치	L	L_i=0.8L	b	b/L_i	b_s-ratio	B_s
상부슬래브	50	40	3.25			3.250
하부슬래브	50	40	2.758			2.758
캔틸레버	50	40	3.348	0.084	0.76	2.544

◦ 내측경간

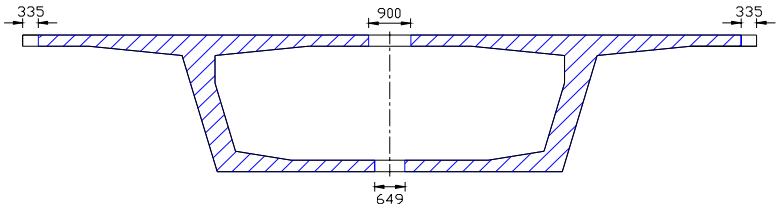
위치	L	L_i=0.6L	b	b/L_i	b_s-ratio	B_s
상부슬래브	50	30	3.25			3.250
하부슬래브	50	30	2.758			2.758
캔틸레버	50	30	3.348	0.112	0.66	2.210

② 유효폭을 고려한 단면

일반부 단면에 대하여 계산한 유효폭을 고려한 단면을 나타내면 다음과 같다.



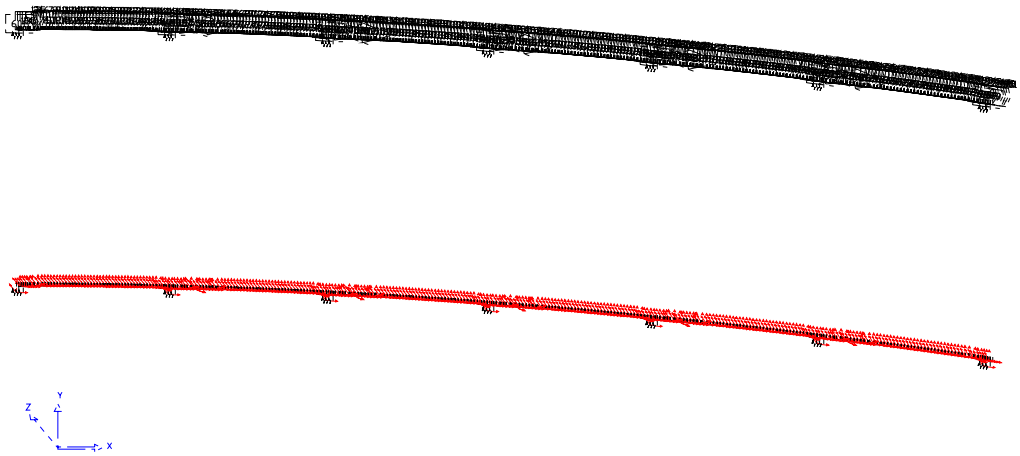
단부경간



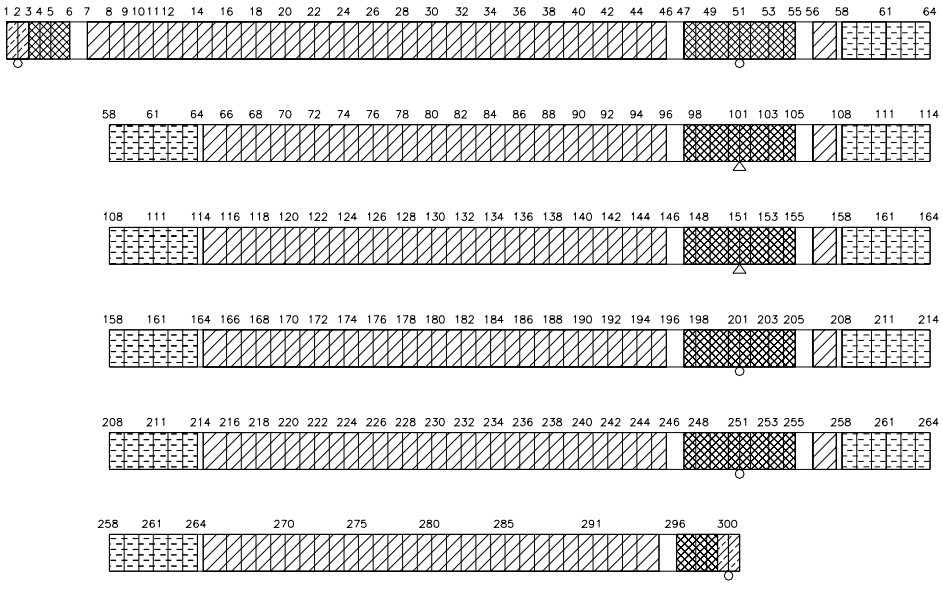
내측경간

(2) [단계 2-2] 종방향 모델링 및 시공단계

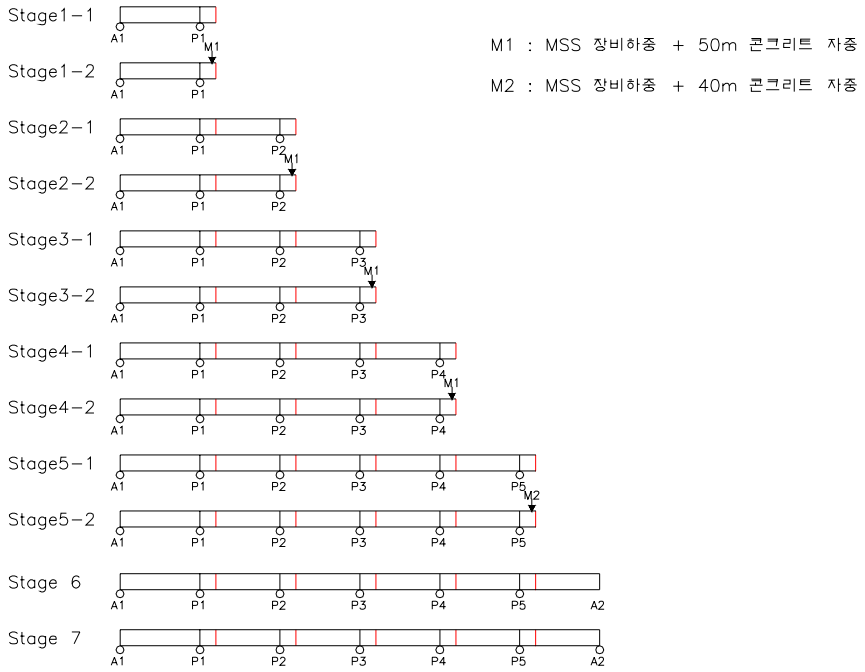
① 구조물의 기하형상



② 시스템 모델링



③ 시공단계



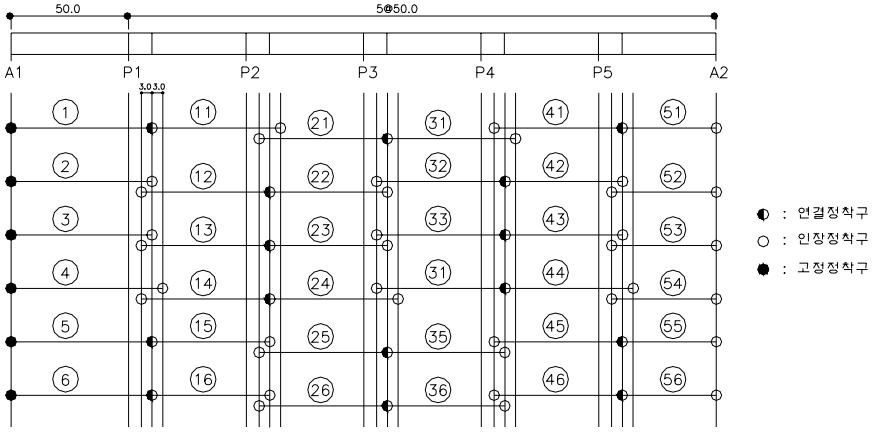
→ FSM과 MSS은 거의 유사하지만, MSS에서는 시공 중에 M1, M2 하중이 작용하고, FSM에서는 M1, M2 하중이 작용하지 않음

(3) [단계 2-3] 종방향 PS강재

① 긴장력(jacking force)

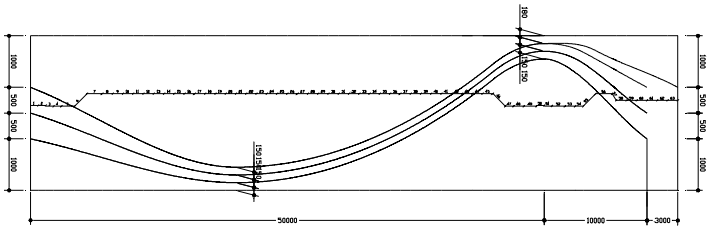
$P_j = 0.70\,P_u$ ($= 18.62$ tonf/strand) : 인장강도의 70%

② PS강재량 및 배치계획

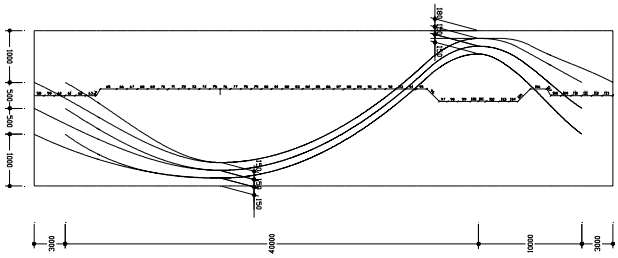


각 복부(web)당 텐던 배치계획

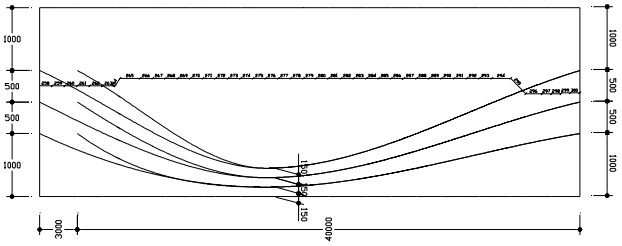
교량전체의 텐던 배치형상



span 1의 텐던 배치형상



span 2 ~ span 5의 텐던 배치형상



span 6의 텐던 배치형상

(4) [단계 2-4] 하중 산정

① 고정하중

◦ 콘크리트 박스 자중 : $\gamma_c = 2.5$ tonf/m^3

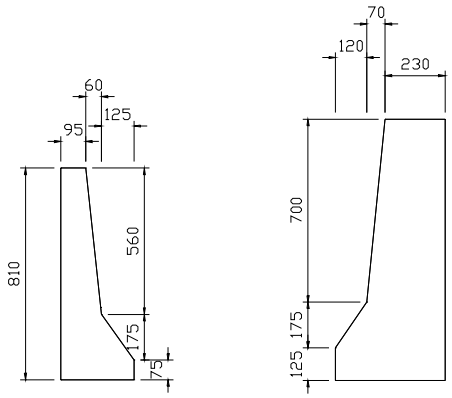
◦ 2차 고정하중

- 아스팔트 포장 : $\gamma_a = 2.3$ tonf/m^3 (두께 $h_a = 80$ mm)

$W_1 = 2.3 \times 0.08 \times (15.74 - 0.45 - 0.28)$

$= 2.762$ tonf/m

- 방호벽



A_1 A_2

A_1 = 0.129 m^2 A_2 = 0.301 m^2 $A = A_1 + A_2$ = 0.430 m^2

W_2 = 0.430×2.5 = 1.075 tonf/m

- 난간

W_3 = 0.1 × 2 = 0.20 tonf/m

$\therefore W = W_1 + W_2 + W_3$

= 2.762 + 1.075 + 0.200 = 4.037 tonf/m

② 프리스트레스

PS강재량 및 배치계획에 따라 시공단계별로 프리스트레스력을 도입하여 고려한다.

③ 크리프 및 건조수축

가. 시간경과에 따른 크리프 계수와 건조수축 변형도 산정

◦ 조건

- 시멘트 : 보통(1종) 시멘트
- 지속하중 재하시의 콘크리트 재령 : t_0 = 5일
- 콘크리트가 외기 중에 노출되었을 때의 재령 : t_s = 3일
- 상대습도 : 70% (가정)
- 외기 또는 양생온도 : T = 20℃
- 적용기준 : 콘크리트구조설계기준 2.2.2

나. 크리프와 건조수축의 산정을 위한 시공일수 계산

stage	span 1	span 2	span 3	span 4	span 5	span 6
stage 1-1	20					
stage 1-2	60					
stage 2-1	80	20				
stage 2-2	120	60				
stage 3-1	140	80	20			
stage 3-2	180	120	60			
stage 4-1	200	140	80	20		
stage 4-2	240	180	120	60		
stage 5-1	260	200	140	80	20	
stage 5-2	300	240	180	120	60	
stage 6	320	260	200	140	80	60
stage 7	10000	10000	10000	10000	10000	10000

다. 시간경과에 따른 크리프 계수와 건조수축 변형도 산정

age (day)	크리프 계수 $\triangle\phi(t,t_o)$	건조수축 변형도 $\triangle\varepsilon_{sh}(t,t_s)$	age (day)	크리프 계수 $\triangle\phi(t,t_o)$	건조수축 변형도 $\triangle\varepsilon_{sh}(t,t_s)$
20	0.646	-0.2070E-04	200	0.153	-0.7383E-05
60	0.578	-0.2440E-04	240	0.212	-0.1230E-04
80	0.298	-0.1186E-04	260	0.125	-0.6427E-05
120	0.349	-0.1730E-04	300	0.179	-0.1099E-04
140	0.199	-0.8897E-05	320	0.106	-0.5753E-05
180	0.261	-0.1418E-04	10000	1.064	-0.2630E-03

④ 활하중

- 하중등급 : 1등교

W_l = 1.27 tonf/m P_m = 10.8 tonf/m P_s = 15.6 tonf/m

- 충격계수

$$i = \frac{15}{40+L} \leq 0.3$$

L = 50.0m 일 때 i = 0.1667

- 설계차선수

W_c : 연석간의 교폭 W : 설계차선폭 N : 설계차선수

W_c = 15.70 - 0.45 - 0.28 = 15.01 m

$\therefore N$ = 4 lane ($12.8 \leq W_c \leq 16.4$)

$W = W_c / N$ = 15.01 / 4 = 3.753 > 3.6 m

$\therefore W$ = 3.6 m

- 재하차선에 의한 감소율

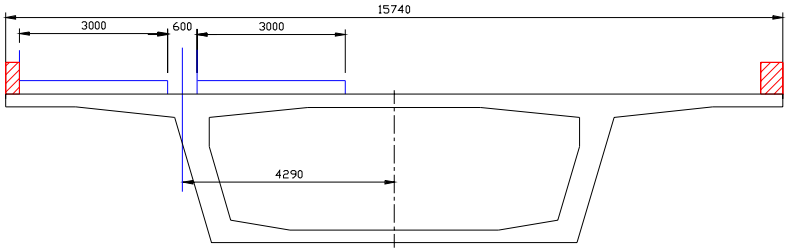
4차선 이상 : 75%

◦ 차량하중의 산정

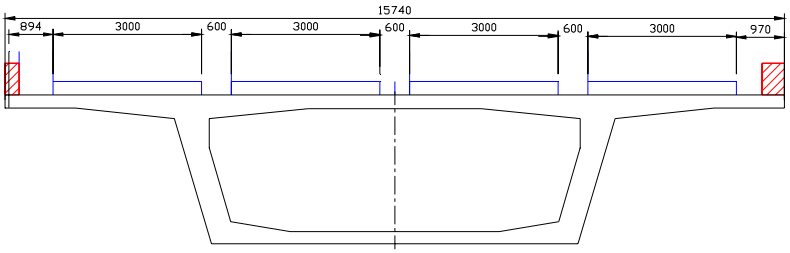
하중	4 차선	2 차선
	50m	50m
W_l (tonf/m)	4.445	2.963
P_m (tonf)	37.801	25.201
P_s (tonf)	54.602	36.401

◦ 하중재하

- 비틀림 모멘트 최대인 경우



- 휨모멘트 최대인 경우



⑤ 온도변화

◦ 선팽창계수 : α = 0.00001

◦ 상하연 온도변화 (gradient) : ΔT = ±5℃

◦ 종방향 온도변화 (global) : ΔT = ±15℃

◦ 이동량 산정시 종방향 온도하중 (global) : ΔT = ±30℃

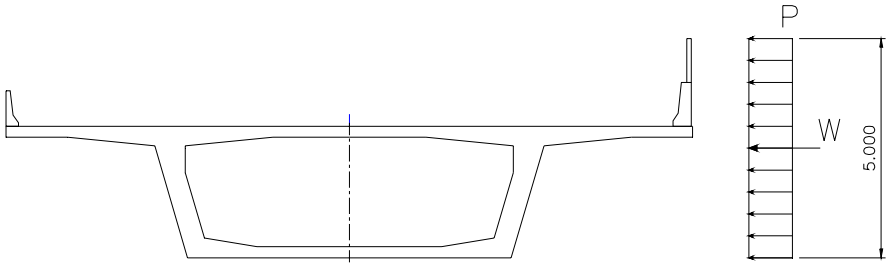
⑥ 지점침하

각각의 지점인 교대(abutment)와 교각(pier)에서 각각 10mm가 불리하게 일어난다고 가정한다.

⑦ 풍하중

◦ 재하방법 : 교축직각방향으로 수평재하

◦ 상부구조에 작용하는 풍하중 산정



풍압 $p = 300\ \text{kgf/m}^2$

$w = 0.3 \times 5 = 1.5\ \text{tonf/m}$

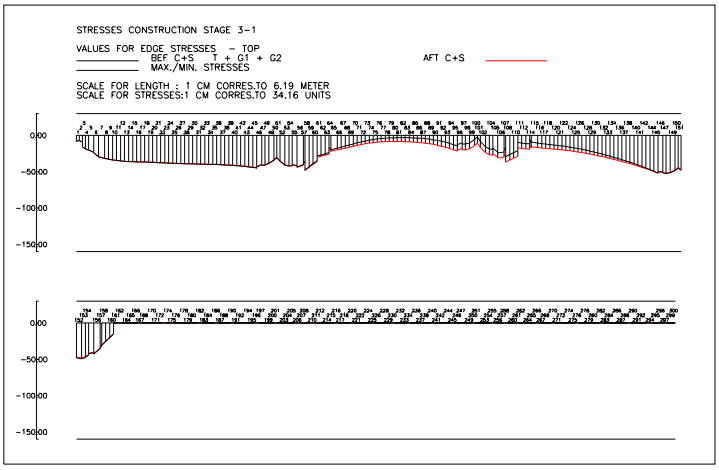
(5) [단계 2-5] 시공단계별 해석 및 검토

① 시공단계별 해석

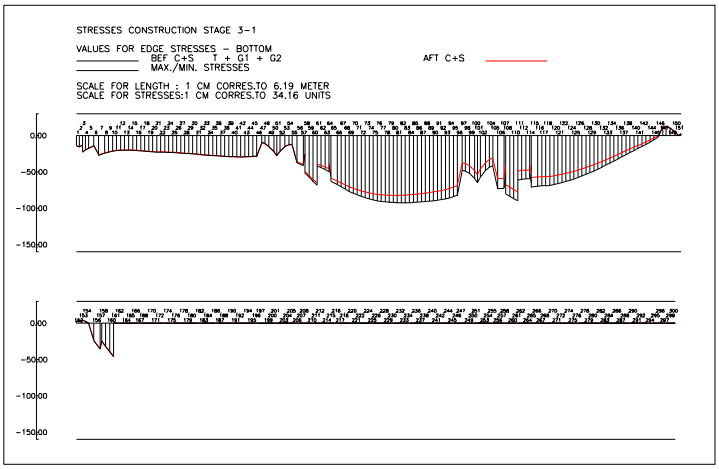
다음의 과정을 매 시공 단계마다 반복적으로 수행한다.

순서	사용 모듈명	내 용
1	SYSAK	현재의 시공단계에서의 SYSTEM ACTIVATION
2	LASTF	각 시공단계에서 해당하중 도입 - 자중
3	VORLA	각 시공단계에서 해당 텐던에 프리스트레스 도입
4	KRILA	크리프와 건조수축 도입
5	NOSPA	응력을 계산
6	SPADD	계산된 응력을 파일에 저장 (다음단계에서 사용됨)

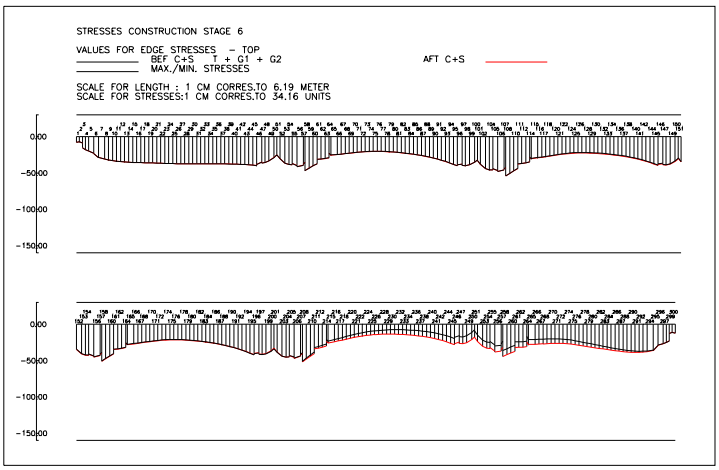
② 시공단계별 응력검토 (예 : 시공단계 3-1, 시공단계 6)



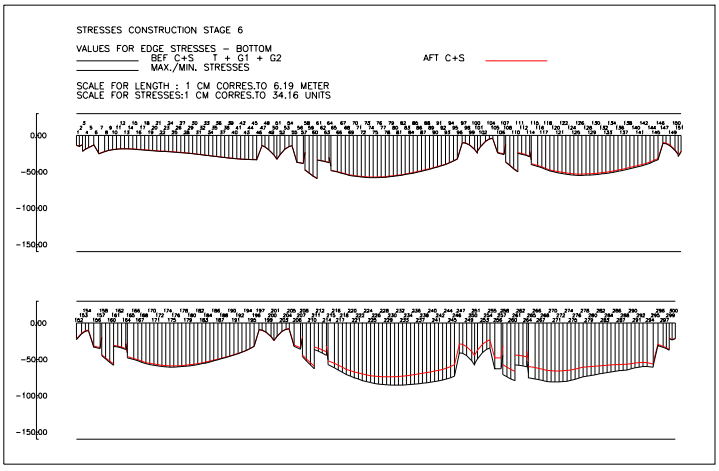
시공단계 3-1에서의 단면상연에 작용하는 응력도



시공단계 3-1에서의 단면하연에 작용하는 응력도



시공단계 6에서의 단면상연에 작용하는 응력도

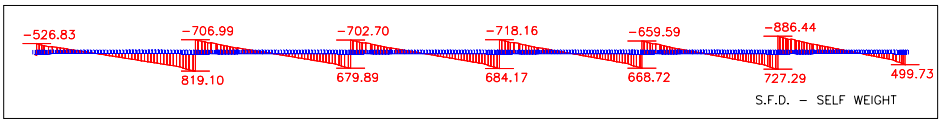


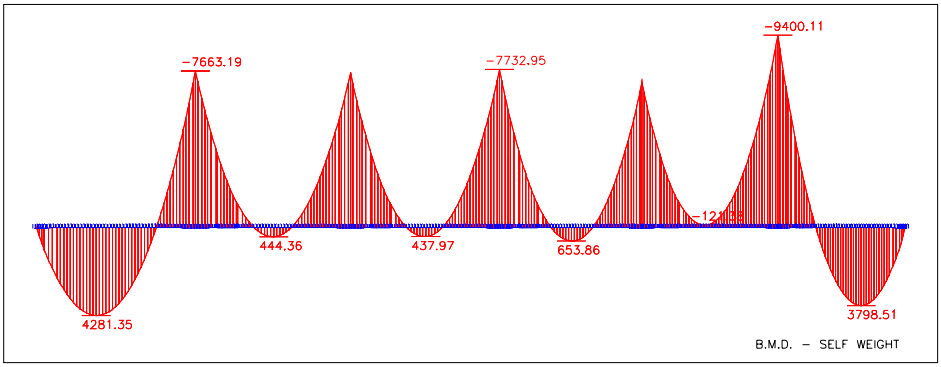
시공단계 6에서의 단면하연에 작용하는 응력도

(6) [단계 2-6] 사용하중상태 해석 및 검토

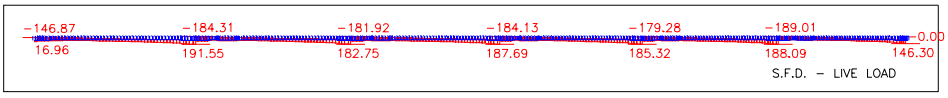
① 사용하중별 단면력도 (예 : 자중, 활하중, 지점침하)

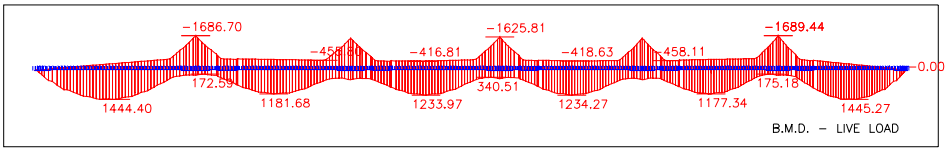
- 자중
- 2차 고정하중
- 프리스트레스
- 크리프 및 건조수축
- 활하중
- 온도하중
- 지점침하



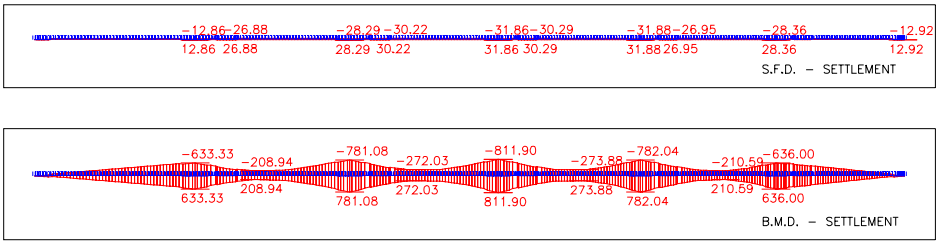


자중에 의한 전단력도와 휨모멘트도





활하중에 의한 전단력도와 휨모멘트도



지점침하에 의한 전단력도와 휨모멘트도

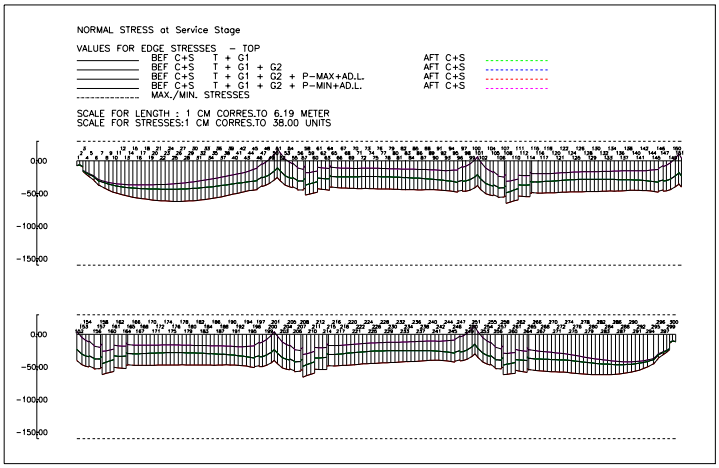
② 사용하중상태의 응력검토

◦ 하중조합 경우

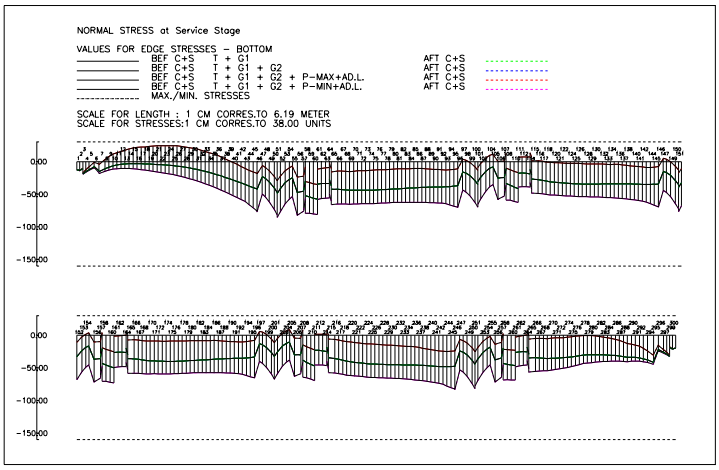
- POST-TENSIONING (T) + SELF WEIGHT (G1)
- T + G1 + SUPERIMPOSED DEAD LOAD (G2)
- T + G1 + G2 + MAX EFFECT OF LIVE LOAD (P-MAX)
- T + G1 + G2 + MIN EFFECT OF LIVE LOAD (P-MIN)
- T + G1 + G2 + P-MAX + MAX EFFECT OF ADDITIONAL LOADS (ADD-MAX)
- T + G1 + G2 + P-MIN + MAX EFFECT OF ADDITIONAL LOADS (ADD-MIN)

건조수축 및 크리프가 일어나기 전과 후에 대하여 각각 응력을 검토한다.
각각 하중의 하중계수는 1.0 이다.

◦ 사용하중 재하시 단면상연에 작용하는 응력도



◦ 사용하중 재하시 단면하연에 작용하는 응력도



(7) [단계 2-7] 휨강도 검토

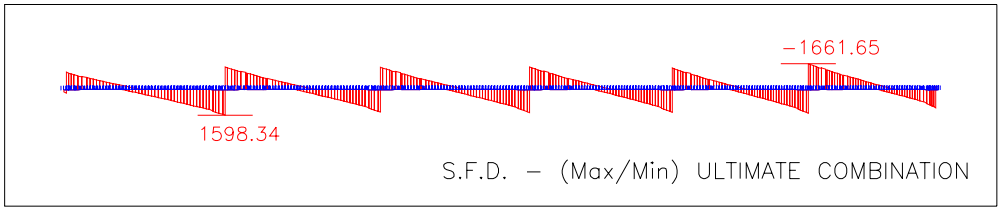
① 설계단면력

가. 설계하중조합

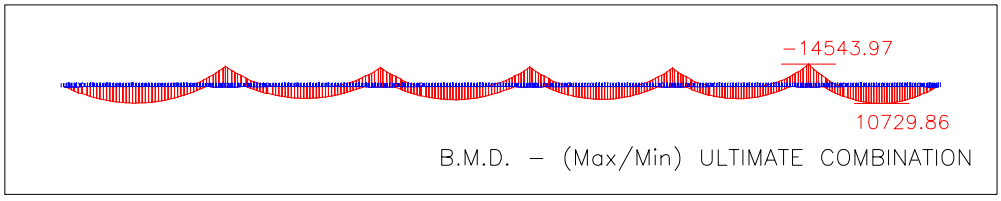
하중계수를 사용하여 하중조합을 수행한 후 이에 따른 휨, 축방향력, 전단 및 비틀림력에 대한 극한외력을 적용하여 부재의 휨강도 검토 및 기타 부재의 설계를 수행하였다.

나. 설계 단면력도

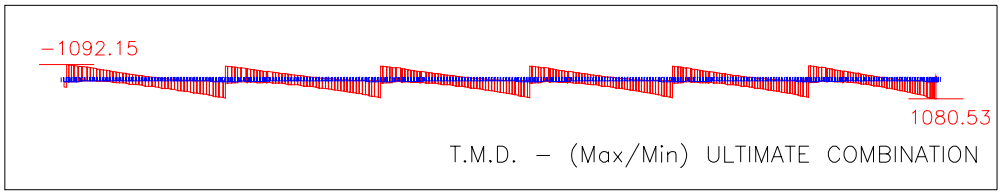
◦ 계수하중에 의한 전단력도



◦ 계수하중에 의한 휨모멘트도



◦ 계수하중에 의한 비틀림 모멘트도



② 휨강도 검토

가. 지간 중앙부(node 279)

◦ f_{ps} 계산

$M_u = 10729.86 \text{ tonf} \cdot \text{m}$

$b_0 = 1574.0\ cm, \quad d_p = 300.0 - \frac{15+30+45}{3} = 270.0 \text{ cm}$

$A_{ps} = 1.387 \times 22 \times 6 \times 2 = 366.168 \text{ cm}^2$

$\rho_p = \frac{366.168}{1574 \times 270} = 0.0008616$

$\gamma_p = 0.4$

$\beta_1 = 0.85 - \frac{(400 - 280)}{10} \times 0.007 = 0.766$

$f_{ps} = f_{pu}[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_{ck}}]$

$= 19000\ [1 - \frac{0.40}{0.766} \cdot 0.0008616 \cdot \frac{19000}{400}]$

$= 18593.946 \text{ kgf/cm}^2$

$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b}$

$= \frac{366.168 \cdot 18593.946}{0.85 \cdot 400 \cdot 1574}$

$= 12.72 \text{ cm} \ < \ 27.5 \text{ cm} \ \rightarrow$ 직사각형 단면

◦ PSC 부재의 휨강도 계산

$\phi M_n = \phi \left[A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d_p - \frac{a}{2}) \right]$

$= 0.85 \left[366.168 \cdot 18593.946 \cdot (270 - \frac{12.72}{2}) \right]$

$= 15257.458 \text{ tonf} \cdot \text{m} \ > \ M_u = 10729.86 \text{ tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore$ O.K

◦ 강재지수 검토

최대 강재비 q_p는

$$q_p = \rho_p \times \frac{f_{ps}}{f_{ck}}$$

$$= 0.0008616 \times \frac{18593.946}{400} = 0.04005$$

$$0.36\beta_1 = 0.276$$

$q_p \le 0.36\beta_1$ $\therefore$ O.K.

나. 지점부 (node 251)

· f_{ps} 계산

$M_u = 14543.97$ tonf · m

$b_0 = 740\ cm,\quad d_p = 300.0 - \frac{18+33+48}{3} = 267$ cm

$A_{ps} = 1.387 \times 22 \times 6 \times 2 = 366.168\ \text{cm}^2$

$$\rho_p = \frac{366.168}{740 \times 267} = 0.0018533$$

$\gamma_p = 0.4$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{(400 - 280)}{10} \times 0.007 = 0.766$$

$$f_{ps} = f_{pu}\left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_{ck}}\right]$$

$$= 19000\left[1 - \frac{0.40}{0.766} \cdot 0.0018533 \cdot \frac{19000}{400}\right]$$

$= 18126.578\ \text{kgf/cm}^2$

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b}$$

$$= \frac{366.168 \cdot 18126.578}{0.85 \cdot 400 \cdot 740}$$

$= 26.38$ cm $<$ 50.0 cm $\rightarrow$ 직사각형 단면

· PSC 부재의 휨강도 계산

$$\phi M_n = \phi\left[A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d_p - \frac{a}{2})\right]$$

$$= 0.85\left[366.168 \cdot 18126.578 \cdot (267 - \frac{26.38}{2})\right]$$

$= 14319.369$ tonf · m

※ 연속거더 교량의 중간지점상의 설계 휨모멘트 계산

중간지점상의 휨모멘트는 보이론으로는 지점상에서 뾰족한 분포를 나타내나 실제 거더에서는 받침부폭, 거더의 높이, 가로보 등의 영향을 받으므로 [도·설 4.11.3]에 의하여 설계휨모멘트를 구하면 다음과 같다.

$$M_1 = 14543.97 - \frac{3015.8 \cdot 3.4774^2}{8 \cdot 2.67}$$

$$= 12836.667 < 13089.573$$

$\therefore \quad M_1 = 13089.573 \text{ tonf} \cdot \text{m}$

$\phi M_n = 14319.369 \text{ tonf} \cdot \text{m} > M_1 = 13089.573 \text{ tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore$ O.K

◦ 강재지수 검토

최대 강재비 q_p는

$$q_p = \rho_p \times \frac{f_{ps}}{f_{ck}}$$

$$= 0.0018533 \times \frac{18126.578}{400} = 0.084$$

$0.36\beta_1 = 0.276$

$q_p \le 0.36\beta_1 \quad \therefore$ O.K.

(8) [단계 2-8] 전단 및 비틀림 설계

① 전단 설계

◦ 최대 전단력이 작용하는 지점에 대한 검토

(node 253 : 지점면으로부터 h/2 떨어진 지점)

$V_u = 1536.4 \text{ tonf}, \quad M_u = 11459.5 \text{ tonf} \cdot \text{m}$

$d_p = 267 \text{ cm}, \quad I = 12.7375 \times 10^8 \text{ cm}^4, \quad y_t = 109.33 \text{ cm}^2$

$f_{pe} \fallingdotseq 104.2 \text{ kgf/cm}^2, \quad f_{pc} \fallingdotseq 40.971 \text{ kgf/cm}^2$

$$M_{cr} = \frac{I}{y_t}(1.6\sqrt{f_{ck}} + f_{pe})$$

$$= 12.7375 \times \frac{10^8}{109.33}(1.6\sqrt{400} + 104.2)$$

$$= 15867.99 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

◦ 휨전단균열 및 복부전단균열에 대한 콘크리트 공칭강도 계산

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d_p + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{\max}}$$

$$= 0.16\sqrt{400} \cdot 120 \cdot 267 + \frac{1536.4 \times 15867.99}{11459.5} \times 10^3$$

$$= 2229.984 \text{ tonf}$$

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f_{ck}} + 0.3 f_{pc}) \cdot b_w \cdot d$$

$$= (0.93\sqrt{400} + 0.3 \cdot 40.971) \cdot 120 \cdot 267$$

$$= 989.76 \text{ tonf}$$

◦ 전단 보강 철근 계산

$$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c)\cdot s}{\phi \cdot f_y \cdot d}$$

$$= \frac{(1536.4 - 0.8\cdot 989.76)\cdot 100}{0.8\cdot 4\cdot 267}$$

$$= 87.148 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{vt} = 21.787 \ \text{cm}^2/\text{leg/web/m}$$

◦ 전체 보강 철근량

횡방향 해석에 의한 필요 철근량 : $A_s = 25.807 \ \text{cm}^2/\text{leg/web/m}$

$$21.787 + \frac{25.807}{2} = 34.691 \ \text{cm}^2/\text{m/leg}$$

→ H29@150 간격으로 배치 $A_{s,\,used} = \frac{6.424}{0.15} = 42.827 \ \text{cm}^2/\text{leg/web/m}$

② 비틀림 설계

최대 비틀림 모멘트가 작용하는 지점에 대한 검토 (node 2)

$$T_{cr} = 0.26\sqrt{f_{ck}}\cdot\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\cdot\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{1.06\sqrt{f_{ck}}}}$$

$$= 0.26\sqrt{400}\cdot\frac{(472200)^2}{3748}\cdot\sqrt{1+\frac{41.537}{1.06\sqrt{400}}}$$

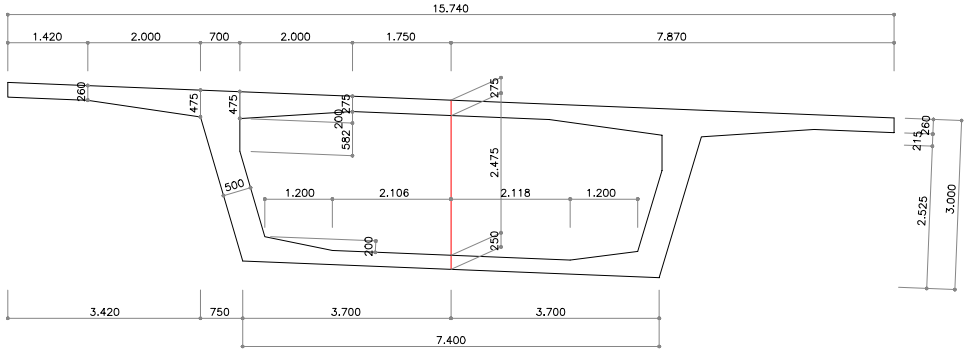
$$= 5321.691 \ \text{tonf}\cdot\text{m}$$

$T_u = 1092.15 \ \text{tonf}\cdot\text{m} \ < \ \phi T_{cr} = 0.8\times 5321.691 = 4257.353 \ \text{tonf}\cdot\text{m}$

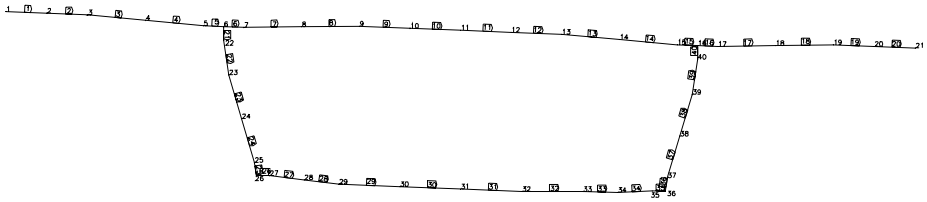
∴ 비틀림에 대하여 고려할 필요 없음

4.3.3 [단계 3] 횡방향 구조해석 및 설계

(1) [단계 3-1] 해석 단면



(2) [단계 3-2] 횡방향 모델링



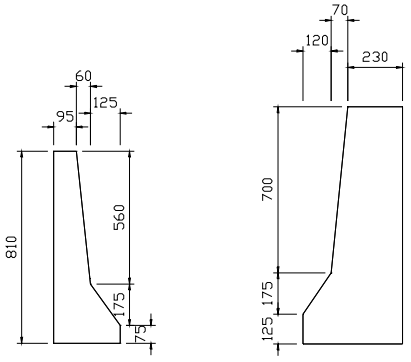
(3) [단계 3-3] 하중 산정

① 고정하중

◦ 콘크리트 박스 자중 : $\gamma_c = 2.5\ \text{tonf/m}^3$

◦ 2차 고정하중 : 방호벽, 난간, 아스팔트 포장

- 방호벽



A_1 A_2

단면적 : $A_1 = 0.129\ \text{m}^2,\ A_2 = 0.301\ \text{m}^2$

단위 중량 : $\gamma_c = 2.5\ \text{tonf/m}^3$

- 난간 : $F_0 = 0.1\ \text{ton/m}$

- 작용하중 $F_1 = \gamma \times A_1 + F_0 = 2.5 \times 0.129 + 0.1 \cong 0.4225\ \text{tonf/m}$

$F_2 = \gamma \times A_2 + F_0 = 2.5 \times 0.301 + 0.1 \cong 0.8525\ \text{tonf/m}$

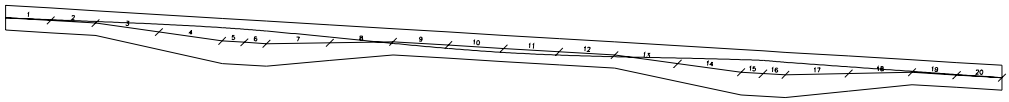
◦ 아스팔트 포장

- 포장두께 : $h_a = 80\ \text{mm}$

- 단위중량 : $\gamma_a = 2.3\ \text{tonf/m}^3$

- 작용하중 : $F_a = \gamma_a \times h_a = 2.3 \times 0.08 = 0.184\ \text{tonf/m/m}$

② 횡방향 프리스트레스

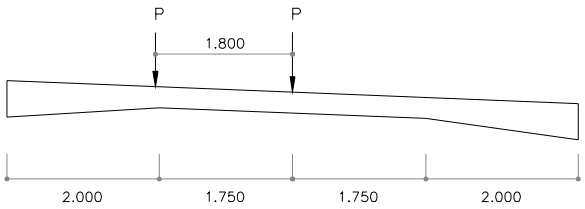


- 사용텐던 단위 : 6-4 (ϕ15.2mm-4), C.T.C. 500 mm
- 사용 덕트 : 20×70mm(Flat Duct)
- 긴장력 : $f_{pj} = 0.70 f_{pu}$
- 마찰계수
  - 곡률마찰계수 : μ = 0.3/rad
  - 파상마찰계수 : k = 0.006/m

③ 온도하중 : 상부 슬래브에 ±5℃의 온도차 적용

④ 활하중

- 중앙슬래브
  - 하중재하 위치 : 영향선을 이용하여 최대 정모멘트와 부모멘트를 발생시키는 위치 결정



  - 충격계수 i = 0.3
  - 유한요소 판해석

    단부 휨모멘트 : -7.984 tonf·m, 중앙부 휨모멘트 : 3.483 tonf·m
  - 보해석

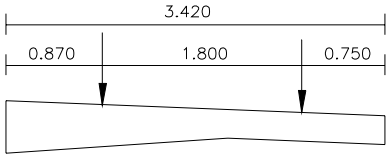
    단부 휨모멘트 : -32.52 tonf·m, 중앙부 휨모멘트 : 10.02 tonf·m
  - 윤하중 분포폭

윤하중 분포폭은 단부와 중앙부에 발생하는 휨모멘트에 대하여 각각 산정한 후, 구조물에 불리한 영향을 주는 경우를 분포폭으로 선택한다.

단부 : E = -32.52/-7.984 = 4.073, 중앙부 : E = 10.02/3.483 = 2.877

∴ 중앙슬래브부의 윤하중 분포폭 : 2.877

- 캔틸레버
  - 하중재하 위치



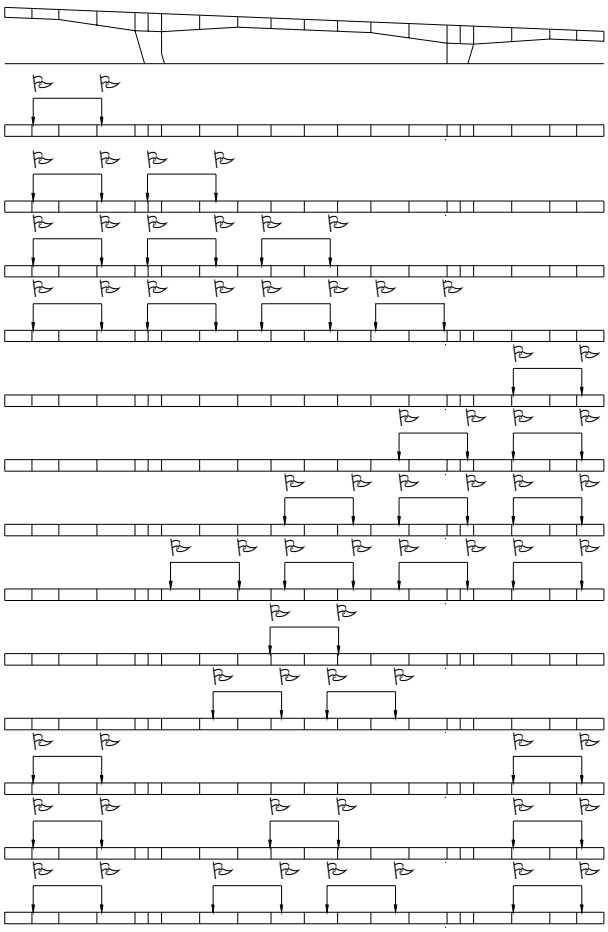
- 충격계수 i = 0.3
- 유한요소 판해석

  단부 휨모멘트 : 11.903 tonf·m
- 보해석

  단부 휨모멘트 : 44.38 tonf·m
- 윤하중 분포폭

  캔틸레버부의 윤하중 분포폭 : E = 44.38/11.903 = 3.728

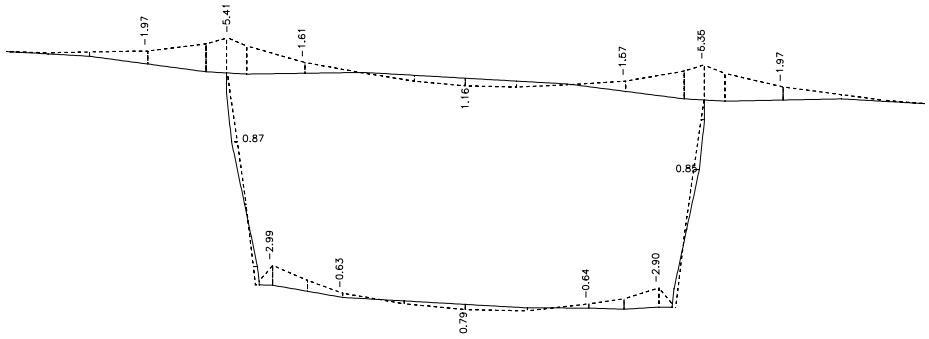
· 활하중 조합



(4) [단계 3-4] 사용하중상태 해석 및 검토

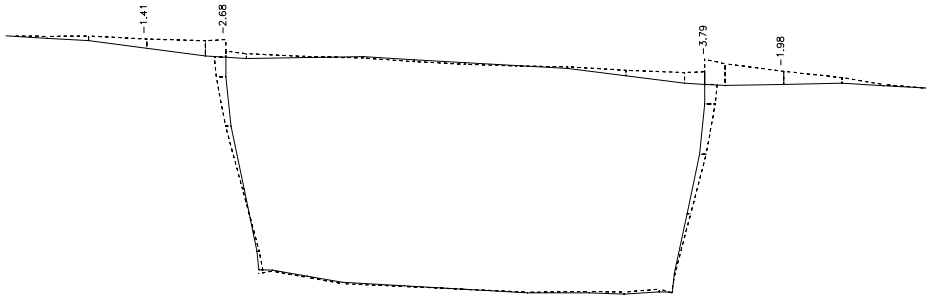
① 사용하중별 단면력도 (예 : 자중, 2차 고정하중, 활하중)

- 자중에 의한 모멘트도



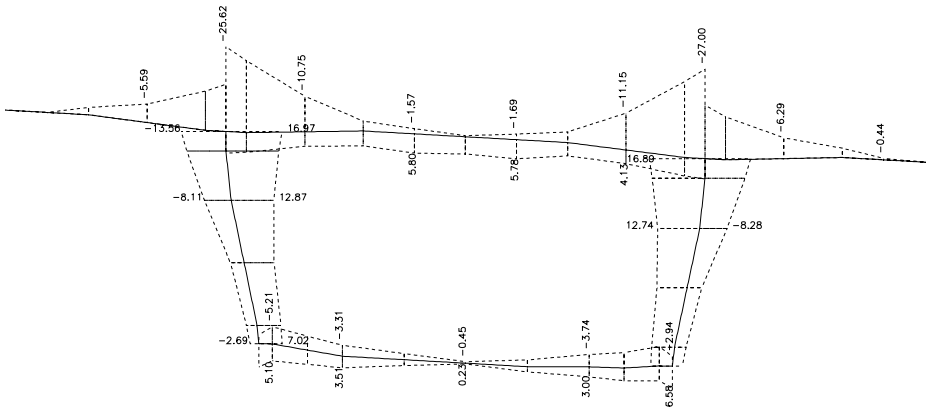
B.M.D. – SELF WEIGHT

- 2차 고정하중에 의한 모멘트도



B.M.D. – 2nd DEAD LOAD

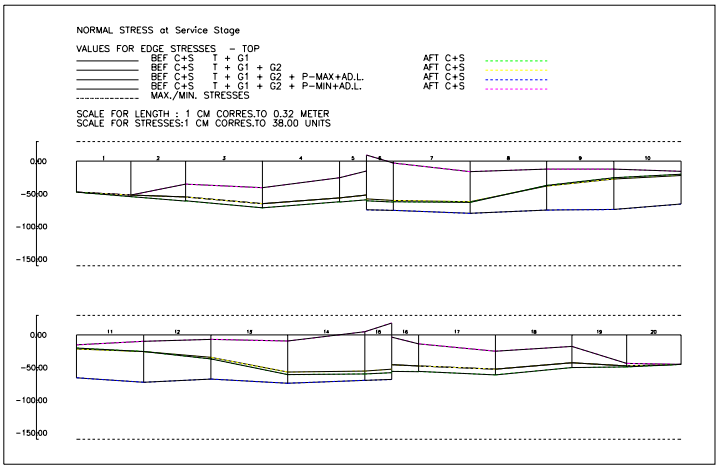
- 활하중에 의한 모멘트도



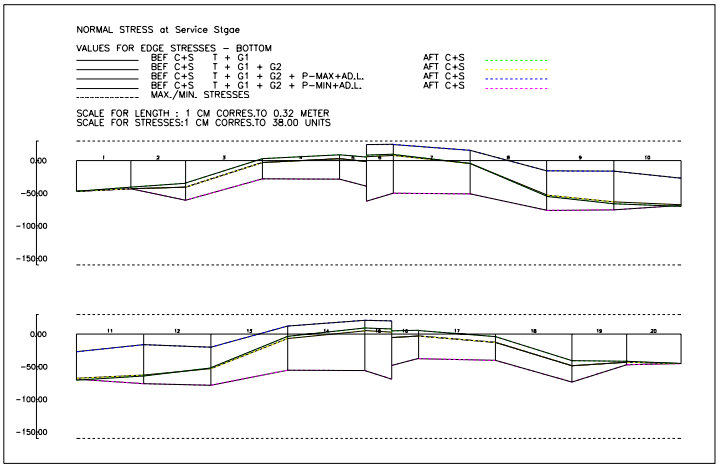
B.M.D. – LIVE LOAD

② 사용하중상태의 응력검토

◦ 사용하중 재하시 단면상연에 작용하는 응력도

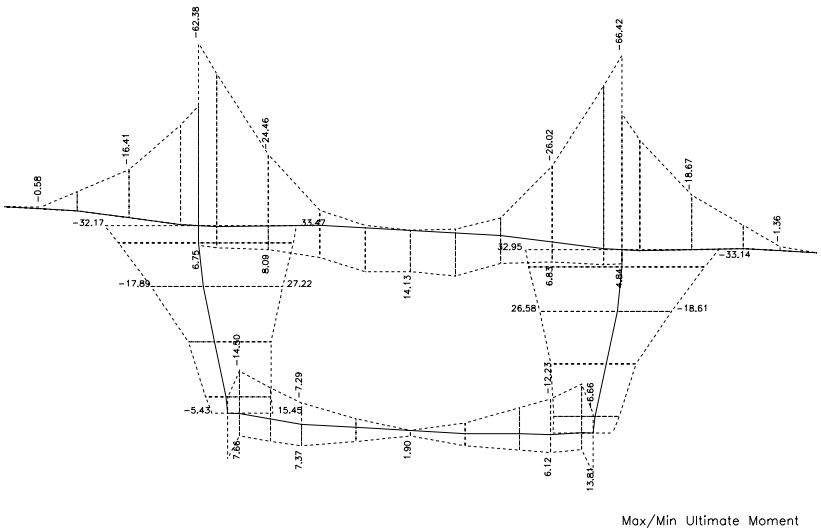


◦ 사용하중 재하시 단면하연에 작용하는 응력도



(5) [단계 3-5] 휨강도 검토 및 철근량 산정

① 설계단면력



② 휨강도 검토

가. 상부슬래브(top slab) 단면 검토

◦ 검토 단면

- 캔틸레버부 단부, 최대 부모멘트 발생지점 : Node 17
- 중앙슬래브 단부, 최대 부모멘트 발생지점 : Node 15
- 중앙슬래브 중앙부, 최대 정모멘트 발생지점 : Node 10

◦ 예 : 중앙슬래브 중앙부, 최대 정모멘트 발생지점 (Node 10)

- 단면 및 긴장재 제원

단면 높이	$H = 27.5$ cm
긴장재 위치 (from bottom)	$e_p = 9.5$ cm
유효높이	$d_p = H - e_p = 18.0$ cm
긴장재의 배치간격	$s_p = 50$ cm
긴장재 단면적	$A_p = 4 \times A_{p0} \times \frac{100}{s_p} = 11.096$ cm^2
PS 강재비	$\rho_p = \frac{A_p}{100 \times d_p} = 6.164 \times 10^{-3}$
긴장재의 인장강도	$f_{pu} = 19000$ kgf/cm^2
강연선 1개의 단면적	$A_{p0} = 1.387$ cm^2
콘크리트 설계기준강도	$f_{ck} = 400$ kgf/cm^2
$\beta_1 = 0.766$, $\gamma_p = 0.40$	

- 철근 배치 및 철근비

철근 중심까지의 덮개	cover $= 6.0$ cm
유효높이	$d = H -$ cover $= 21.5$ cm
철근의 배근간격	$s_b = 15$ cm
인장철근량 (H16@150)	$A_{s1} = 1.986 \times \frac{100}{s_b} = 13.24$ cm^2
인장철근비	$\rho = \frac{A_{s1}}{100 \times d} = 3.19 \times 10^{-3}$
압축철근량 (H16@150)	$A_{s2} = 1.986 \times \frac{100}{s_b} = 13.24$ cm^2
압축철근비	$\rho' = \frac{A_{s2}}{100 \times d} = 3.19 \times 10^{-3}$

- 강재지수 검토 및 휨강도 검토

강재가 부착된 부재에서의 공칭 강도에 대하여 산출한 강재의 응력

$$f_{ps} = f_{pu}\left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1}\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_{ck}} + \frac{d}{d_p}(\rho - \rho')\right]\right]$$

$$\therefore \quad f_{ps} = 1.6095 \times 10^4 \ \text{kgf/cm}^2$$

강재가 부착된 부재의 공칭 모멘트강도

$$M_n = A_p f_{ps} d_p \left(1 - 0.59 \frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}}\right)$$

$$\therefore \quad M_n = 2.744 \times 10^6 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\phi M_n = 2.333 \times 10^6 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

외력에 의한 계수 모멘트

$$M_u = 15.04 \times 10^5 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

단면 검토

$\phi M_n \geq M_u$ $\quad \therefore$ O.K.

강재지수의 제한

$$q_p = \rho_p \frac{f_{ps}}{f_{ck}} \qquad \therefore \quad q_p = 0.248$$

$$0.36\,\beta_1 = 0.276$$

$q_p \leq 0.36\,\beta_1$ $\quad \therefore$ O.K.

균열 모멘트 검토

$$f_{pe} = 59.13 \ \text{kgf/cm}^2$$

$$M_{cr} = \frac{100 \cdot H^3}{12 \cdot \frac{H}{2}} (1.6\sqrt{f_{ck}} + f_{pe})$$

$$\therefore \quad M_{cr} = 1.149 \times 10^6 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\phi M_n = 2.333 \times 10^6 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$1.2\ M_{cr} = 1.378 \times 10^6 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\therefore \quad \phi M_n > 1.2\ M_{cr}$$

나. 하부슬래브(bottom slab) 단면 검토

◦ 검토 단면

- 바닥 슬래브 단부, 최대 부모멘트 발생지점 : Node 35
- 바닥 슬래브 최대 정모멘트 발생지점 : Node 28

◦ 예 : 바닥 슬래브 단부, 최대 부모멘트 발생지점 (Node 35)

- 단면 제원, 철근 배치 및 철근비

단면 높이 $H = 45$ cm

철근 중심까지의 덮개 $\text{cover} = 5$ cm

유효높이 $d = H - \text{cover} = 40$ cm

- 휨강도 검토 (압축철근 무시, 단철근 직사각형 해석)

균형철근비 $\rho_b = 0.85\,\beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y}\left(\frac{6000}{6000 + f_y}\right) = 0.039$

최대철근비 $\rho_{\max} = 0.75\,\rho_b = 0.03$

최소철근비 $\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} = 3.5\times10^{-3}$

공칭강도 $M_n = A_s f_y d\left(1 - 0.59\frac{\rho_{req} f_y}{f_{ck}}\right)$

계수하중 $M_u = \phi M_n,\quad M_u = 16.44\times10^5$ kgf · cm

필요철근량 산정 $M_u = \phi\,\rho_{req}\,100\,d\,f_y d\left(1 - 0.59\frac{\rho_{req} f_y}{f_{ck}}\right)$

윗 식을 ρ_{req}에 대해 정리하면,

$$\rho_{req} = 1.6949\times10^{-2}\sqrt{f_{ck}}\,\frac{50\,d\sqrt{\phi}\sqrt{f_{ck}} - \sqrt{2500\,\phi\,d^2 f_{ck} - 59\,M_u}}{d\sqrt{\phi}\,f_y}$$

$$\therefore\quad \rho_{req} = 3.116\times10^{-3}$$

최소철근비 검토 $\rho_{\min} = 3.5\times10^{-3}$ $\quad\therefore\quad \rho_{\min} \geq \rho_{req}$

철근량 산정 $A_{s.req} = \rho_{\min}\,100\,d = 14.00$ cm^2/m

H19@150을 배근한다. $\Rightarrow\quad A_{s.used} = 2.865\,\frac{100}{15}$

$$\therefore\quad A_{s.used} = 19.1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

최대철근비 검토 $\rho_{used} = \frac{A_{s.used}}{100\,d} = 6.452\times10^{-3}$

$$\rho_{\max} \geq \rho_{used} \qquad \therefore\ \text{O.K.}$$

다. 복부(web) 단면 검토

◦ 검토 단면

- 복부 최대 모멘트 발생지점 : Node 22

◦ 예 : 복부 최대 모멘트 발생지점 (Node 22)

- 단면 및 긴장재 제원

단면 높이 $H = 47.5$ cm

긴장재 위치 (from top) $e_p = 10.0$ cm

유효높이 $d_p = H - e_p = 37.5$ cm

긴장재의 배치간격 $s_p = 50$ cm

긴장재 단면적 (0.6''-4) $A_p = 4 \times A_{p0} \times \frac{100}{s_p} = 11.096$ cm^2

PS 강재비 $\rho_p = \frac{A_p}{100 \times d_p} = 2.959 \times 10^{-3}$

긴장재의 인장강도 $f_{pu} = 19000$ kgf/cm^2

강연선 1개의 단면적 $A_{p0} = 1.387$ cm^2

콘크리트 설계기준강도 $f_{ck} = 400$ kgf/cm^2

$\beta_1 = 0.766$, $\gamma_p = 0.40$

- 철근 배치 및 철근비

철근 중심까지의 덮개 cover $= 6.0$ cm

유효높이 $d = H -$ cover $= 41.5$ cm

철근의 배근간격 $s_b = 15$ cm

인장철근량 (H16@150) $A_{s1} = 1.986 \times \frac{100}{s_b} = 13.24$ cm^2

인장철근비 $\rho = \frac{A_{s1}}{100 \times d} = 3.19 \times 10^{-3}$

압축철근량 (H16@150) $A_{s2} = 1.986 \times \frac{100}{s_b} = 13.24$ cm^2

압축철근비 $\rho' = \frac{A_{s2}}{100 \times d} = 3.19 \times 10^{-3}$

- 강재지수 검토 및 휨강도 검토

강재가 부착된 부재에서의 공칭강도에 대하여 산출한 강재의 응력

$$f_{ps} = f_{pu}\left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1}\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_{ck}} + \frac{d}{d_p}(\rho - \rho')\right]\right]$$

$$\therefore \quad f_{ps} = 1.7606 \times 10^4 \ \text{kgf/cm}^2$$

강재가 부착된 부재의 공칭 모멘트강도

$$M_n = A_p f_{ps} d_p \left(1 - 0.59 \frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}}\right)$$

$$\therefore \quad M_n = 6.763 \times 10^6 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\phi M_n = 5.748 \times 10^6 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

외력에 의한 계수 모멘트

$M_u = 37.67 \times 10^5$ kgf · cm

단면 검토

$\phi M_n \geq M_u$ ∴ O.K.

강재지수의 제한

$q_p = \rho_p \frac{f_{ps}}{f_{ck}}$ ∴ $q_p = 0.13$

$0.36 \beta_1 = 0.276$

$q_p \leq 0.36 \beta_1$ ∴ O.K.

균열 모멘트 검토

$f_{pe} = 49.55$ kgf/cm^2

$$M_{cr} = \frac{100 \cdot H^3}{12 \cdot \frac{H}{2}} (1.6 \sqrt{f_{ck}} + f_{pe})$$

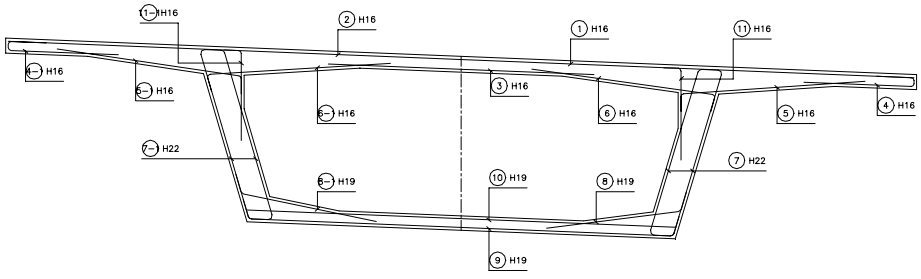
∴ $M_{cr} = 3.067 \times 10^6$ kgf · cm

$\phi M_n = 5.748 \times 10^6$ kgf · cm

$1.2 M_{cr} = 3.68 \times 10^6$ kgf · cm

∴ $\phi M_n > 1.2 M_{cr}$

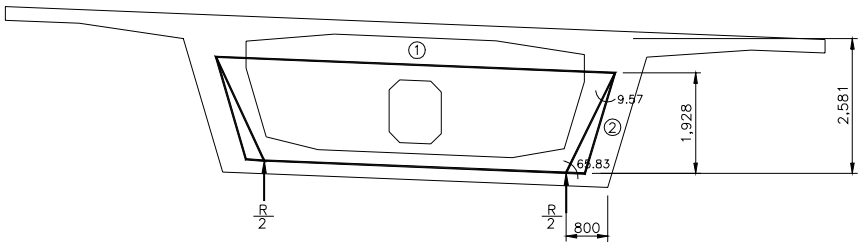
라. 철근배근 상세



4.3.4 [단계 4] 격벽 설계

(1) [단계 4-1] 단부지점부 격벽 설계

① 스트럿-타이 모델 형상



② 부재 ①의 설계

- 단부지점부에서의 반력 : $R = 1,088.6$ tonf
- 상부 ① 부재에 발생하는 부재력

$$T_1 = \frac{R}{2}\times\left(\frac{1}{\tan\beta}-\frac{1}{\tan(\alpha+\beta)}\right)$$
$$= \frac{1088.6}{2}\times\left(\frac{1}{2.228}-\frac{1}{3.839}\right)$$
$$= 102.496 \text{ tonf}$$

여기서, α = 9.57°, β = 65.83°

- 필요 철근량 산정

$$A_{s,req.} = \frac{T_1}{\phi\times f_y}$$
$$= \frac{102.496}{0.85\times 4} = 30.146 \text{ cm}^2$$

- 배근 철근량

H22@150, 2 layer 사용 (교축방향 : 5 layer)

$A_{s,used} = 3.871 \text{ cm}^2\times 2 \text{ layer}\times 5 \text{ layer} = 38.71 \text{ cm}^2 > A_{s,req.}$ ∴ O.K

③ 부재 ②의 설계

- 단부지점부에서의 반력 : $R = 1,088.6$ tonf
- 상부 ② 부재에서 발생하는 부재력

$$T_2 = \frac{R}{2}\times\frac{H_1}{H}\times\frac{1}{\sin(\alpha+\beta)}$$
$$= \frac{1088.6}{2}\times\frac{2.2}{3}\times\frac{1}{0.9677}$$
$$= 412.472 \text{ tonf}$$

- 필요 철근량 산정

$$A_{s,\,req.} = \frac{T_2}{\phi \times f_y}$$

$$= \frac{412.472}{0.85 \times 4} = 124.04 \ \text{cm}^2$$

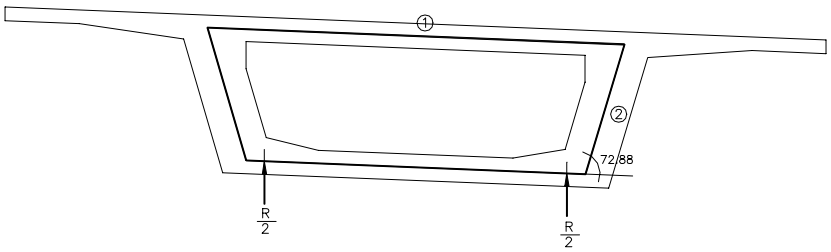
◦ 배근 철근량

H25@150, 6 layer 사용 (교축방향 : 5 layer)

$A_{s,\,used} = 5.067\ \text{cm}^2 \times 6\ \text{layers} \times 5\ \text{layer} = 152.01\ \text{cm}^2 > A_{s,\,req.}$ ∴ O.K

(2) [단계 4-2] 중간지점부 격벽 설계

① 스트럿-타이 모델 형상



가. 부재 ①의 설계

◦ 중간지점부 교각에서의 반력 : $R = 2{,}430.4$ tonf

◦ 상부 ① 부재에 발생하는 부재력

$$T = \frac{R}{2 \cdot \tan\theta} = \frac{2430.4}{2 \cdot \tan 72.88} = 377.309 \ \text{tonf}$$

◦ 필요 철근량 산정

$$A_{s,\,req.} = \frac{T_1}{\phi \times f_y} = \frac{374.309}{0.85 \cdot 4.0} = 110.091 \ \text{cm}^2$$

◦ 배근 철근량 검토

: 횡방향 해석으로부터 일반부 단면 상부슬래브에 H16@150, H16@150 배근

$$A_{s,\,placed} = (1.986 + 1.986) \times \frac{200}{15} = 52.96 \ \text{cm}^2 < A_{s,\,req} \quad \therefore \ \text{N.G.}$$

H25@150 추가 배근

$$A_{s,\,add} = 5.067 \times \frac{200}{15} = 67.56 \ \text{cm}^2$$

$\therefore A_{s,\,used} = A_{s,\,placed} + A_{s,\,add} = 52.96 + 67.56 = 120.52\ \text{cm}^2 > A_{s,\,req.}$ ∴ O.K

나. 부재 ②의 설계

◦ 단지점부 교각에서의 반력 : $R = 2{,}430.4$ tonf

◦ 상부 ② 부재에 발생하는 부재력

$$P = \frac{R}{2 \cdot \sin\theta} \frac{H_1}{H} = \frac{2430.4}{2 \cdot \sin 72.88} \frac{2.2}{3.0} = 932.46 \ \text{tonf}$$

◦ 필요 철근량 산정

$$A_{s,\,req.} = \frac{P}{\phi \times f_y} = \frac{932.46}{0.85 \times 4} = 274.25 \ \text{cm}^2$$

◦ 배근 철근량 검토

: 횡방향 해석으로부터 일반부 단면 복부에 H22@150 2EA 배근

$$A_{s,\,placed} = 3.871 \times \frac{200}{15} \times 2 = 103.23 \ \text{cm}^2 < A_{s,\,req.} \quad \therefore \ \text{N.G.}$$

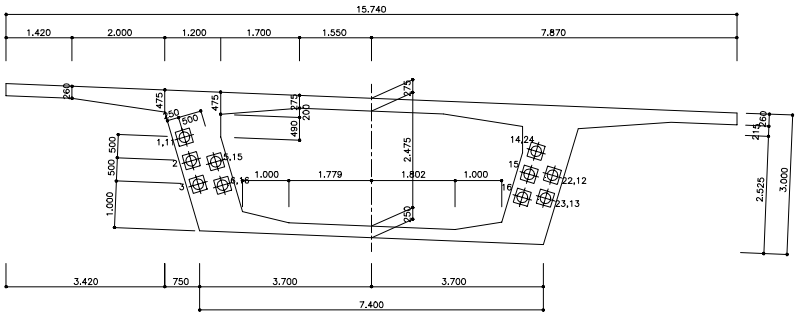
H25@150 3EA 추가 배근

$$A_{s,\,add} = 5.067 \times \frac{200}{15} \times 3 = 202.68 \ \text{cm}^2$$

$$\therefore \ A_{s,\,used} = A_{s,\,placed} + A_{s,\,add} = 103.23 + 202.68 = 305.91 \ \text{cm}^2 > A_{s,\,req.} \therefore \ \text{O.K}$$

4.3.5 [단계 5] 정착부 설계

일반적으로 정착부의 보강은 1차 보강(primary reinforcement)과 프리스트레스힘이 전단면에 분포하기까지의 구간(≒d, 일반적으로 박스의 높이)의 2차 보강(secondary reinforcement)으로 이루어진다. 이중 1차 보강은 정착부 주변의 최소 부재 치수와 관계된다. 다음 그림은 시공이음부 정착부의 단면형상이다.



정착부의 단면형상

(1) [단계 5-1] 1차 보강

파열력(bursting force) : F_{bst}

인장력 : P_j = 438.9 tonf (in case of 6－22)

Primary Prism 크기 : y_0 = 50 cm

정착판 크기 : y_{p0} = 31.5 cm

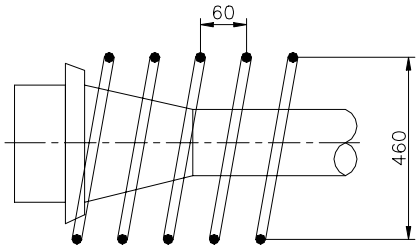
$$F_{bst} = 0.3 \cdot P_j \cdot (1 - \frac{y_{p0}}{y_0})$$

$$F_{bst} = 0.3 \times 438.9 \times (1 - \frac{0.315}{0.5}) = 48.72 \ \text{tonf}$$

$$A_{s,\,bst} = \frac{F_{bst}}{f_{allow}} = \frac{48.72}{0.6\times4} = 20.3\ \text{cm}^2\ \text{(SD40 철근 사용)}$$

※ 1차 보강은 primary prism 내에서 파열력에 대하여 철근으로 보강하게 되는데, 이 경우처럼 primary prism의 크기가 작은 경우에는 격자철근보다 나선형 철근을 사용하는 것이 더 효과적이다.

→ H19 - 나선철근 사용시

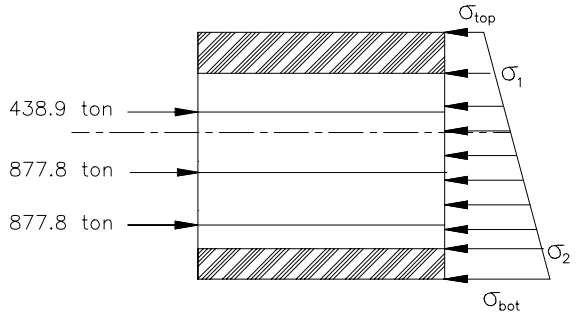


나선회수 : 6-22인 경우 5회

사용철근 $A_s = 2\times2.865\times5 = 28.65\,\text{cm}^2$

∴ 60mm 간격으로 H19 나선철근 5회 배근

(2) [단계 5-2] 2차 보강



$f=-\frac{P}{A}+\frac{My}{I}$ 식으로부터 상연과 하연에서의 응력값은 다음과 같다.

$$f_{top} = -\frac{2194.5}{12.367} - \frac{438.9\times0.2285}{10.30} + \frac{877.8\times0.2715}{10.30} + \frac{877.8\times0.7715}{10.30}$$

$$= -98.283\ \text{tonf/m}^2$$

$$f_{bot} = -\frac{2194.5}{12.367} + \frac{438.9\times0.2285}{7.1416} - \frac{877.8\times0.2715}{7.1416} - \frac{877.8\times0.7715}{7.1416}$$

$$= -291.603\ \text{t/m}^2$$

단면의 상하부 슬래브에서 복부와 접하는 부분에서의 응력은 다음과 같다.

$$f_1 = -98.283 - \frac{192.32\times0.348}{3} = -120.708\ \text{tonf/m}^2$$

$$f_2 = -98.283 - \frac{192.32\times2.685}{3} = -269.565 \text{ tonf/m}^2$$

◦ 평균높이 계산

상부 슬래브 :

$$H_t = \{1.42\cdot0.25+(0.26+0.475)\cdot2\cdot0.5+(0.475+0.275)\cdot1.7\cdot0.5 +0.275\cdot1.55\}/7.87$$

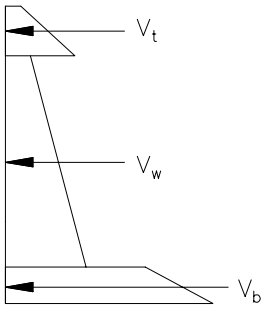
$$H_t = 0.348 \text{ m}$$

하부 슬래브 :

$$H_b = \{1.779\cdot0.25+(0.45+0.25)\cdot0.5+1.042\cdot0.45\}/3.7$$

$$H_b = 0.342 \text{ m}$$

유효폭 길이를 고려하여 상하부에 작용하는 압축력을 계산하였다.



$$V_t = \frac{1}{2}\times(98.283 + 120.708)\times0.348\times6.286$$

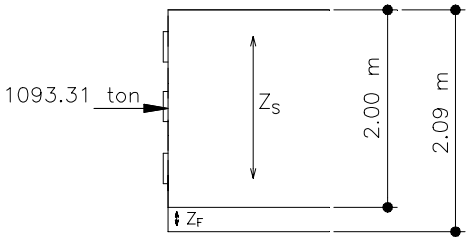
$$= 239.64 \text{ tonf}$$

$$V_w = 2194.5-479.27-621.82 = 1094.31 \text{ tonf}$$

$$V_b = \frac{1}{2}\times(291.603 + 269.565)\times0.342\times3.24$$

$$= 310.91 \text{ tonf}$$

① 복부



$$Z_s = 0.3\times V\times\left(1-\frac{a}{h_1}\right) = 0.3\times1093.41\times\left(1-\frac{0.945}{2.09}\right) = 179.71 \text{ tonf}$$

Z_F = assumes to be 4% of V = 43.73 tonf

$$A_{s,\,req} = \frac{179.71}{0.6\times4} = 74.88\ \text{cm}^2$$

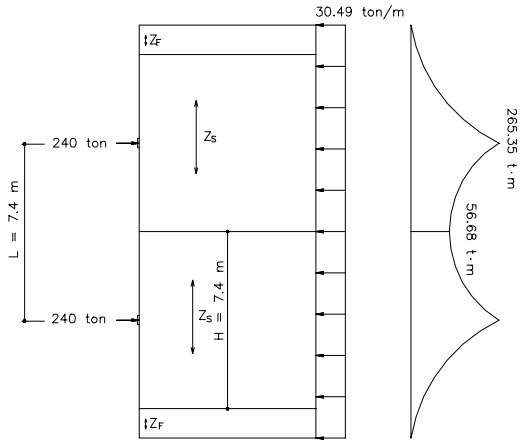
◦ 철근배근

H22@150 으로 배근

$A_{s,\,provided} = 3.871\times2\times13 = 100.65\ \text{cm}^2 > A_{s,\,req}$ O.K

(200 cm / 15 cm = 13.33 = 13 layer)

② 상부슬래브



$$Z_s = 0.3\times V\times\left(1-\frac{a}{h_2}\right) = 0.3\times240\times\left(1-\frac{0.315}{7.4}\right) = 68.94\ \text{tonf}$$

Z_F = assumes to be 4% of V = 9.6 tonf

$$A_{s,\,req} = \frac{68.94}{0.6\times4} = 28.73\ \text{cm}^2$$

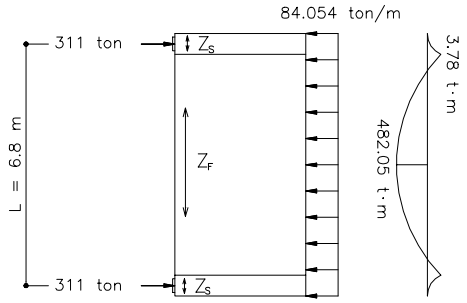
◦ 철근배근

H16@150 으로 배근

$A_{s,\,provided} = 1.986\times2\times20 = 79.44\ \text{cm}^2 > A_{s,\,req}$ O.K

(300 cm / 15 cm = 20 layer)

③ 하부슬래브



$$Z_F = \frac{M}{0.67\times L} = \frac{482.05}{0.67\times6.8} = 105.81\ \text{tonf}$$

$$A_{s,\,req} = \frac{105.81}{0.6\times4} = 44.09\ \text{cm}^2$$

- 철근배근

H19@150 으로 배근

$A_{s,\,provided} = 4\times2.865\times2 = 22.92\ \text{cm}^2 < A_{s,\,req}$ N.G

(60 cm / 15 cm = 4 layer)

H19@150 종방향 4 layer 추가 배근

$A_{s,\,provided} = 4\times2.865\times2 + 4\times2.865\times2 = 45.84\ \text{cm}^2 > A_{s,\,req}$ O.K

4.3.6 [단계 6] 지점반력 및 이동량 산정

(1) [단계 6-1] 지점반력 산정

① 검토 대상

- 교대(abutment) 1 ~ 2
- 교각(pier) 1 ~ 4

② 예 : 교각 1의 지점의 전체반력(total reaction) 및 받침반력(bearing reaction)

하중구분 \ 반력성분			전체반력			받침반력			
			N	M_t	H_z	R_{max}	R	R_{min}	H_{max}
지속하중	고정하중		-1754.1	41.3	0	-884.2	-877.1	-869.9	0.0
	프리스트레스		37.3	-52.9	0.5	9.5	18.7	27.8	0.5
	크리프 및 건조수축		8.2	-47.9	2.4	-4.2	4.1	12.4	2.4
	계		-1708.6	-59.5	2.9	-878.8	-854.3	-829.8	2.9
변동하중	활하중	$P_{y,min.}$	-325.5	1.4	0	-163.0	-162.8	-162.5	0.0
		M_x	-216.4	-788.2	0.9	-244.1	-108.2	27.7	0.9
	지점부등침하	$P_{y,max.}$	41.2	-20	0.1	17.2	20.6	24.0	0.1
		$P_{y,min.}$	-41.2	20	-0.1	-24.0	-20.6	-17.2	-0.1
	온도차	$P_{y,max.}$	20.5	-23.7	1.3	6.2	10.3	14.3	1.3
		$P_{y,min.}$	-20.5	23.7	-1.3	-14.3	-10.3	-6.2	-1.3
	풍하중	$P_{z,max.}$	0	-279.9	84.4	-48.3	0.0	48.3	84.4
		$P_{z,min.}$	0	279.9	-84.4	-48.3	0.0	48.3	-84.4
	계	$P_{y,max.}$	-154.7	325	86.7	-187.9	-77.4	114.3	86.7
		$P_{y,min.}$	-387.2	-1111.8	-85.8	-330.7	-193.6	-137.6	-85.8
총 계		$P_{y,max.}$	-1863.3	265.5	89.6	-1066.7	-931.7	-715.5	89.6
		$P_{y,min.}$	-2095.8	-1171.3	-82.9	-1209.5	-1047.9	-967.4	-82.9

- 받침의 반력 : 전체반력에서 비틀림의 영향을 고려하여 실제로 2개의 받침에 작용하는 반력을 구함

(2) [단계 6-2] 이동량 산정

① 검토 대상

- 교대 1 ~ 2
- 교각 1 ~ 4

② 가동받침의 이동량 산정

시공직후부터 교량의 수명이 다할 때까지의 전 이동량과 시공직전까지의 프리셋 값(preset value)를 이용하여 산정한다

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_c + \Delta l_s$$

Δl : 계산 이동량

Δl_t : 온도 변화에 의한 이동량

Δl_c : 크리프에 의한 이동량

Δl_s : 건조수축에 의한 이동량

③ 예 : 교대 1, 교각 2, 교각 4

단위(mm), 줄음량(-), 늘음량(+)

구분 \ 위치			교대 1 (Ele. 601)	교각 2 (Ele. 603)	교각 4 (Ele. 605)
계산 이동량	온도차	+	36.65	0.00	23.06
		-	-36.65	0.00	-23.06
	크리프 및 건조수축		44.95	0.00	-31.98
	계	+	36.65	0.00	23.06
		-	8.31	0.00	-55.04
거더의 처짐에 의한 이동량		+	6.67	6.67	6.67
		-	-6.67	-6.67	-6.67
여유량		+	10.00	10.00	10.00
		-	-10.00	-10.00	-10.00
전 이동량		+	53.32	16.67	39.73
		-	-8.36	-16.67	-71.71
preset value	프리스트레스		23.51	3.65	-7.96
	크리프 및 건조수축		51.51	8.71	-21.80
	계		75.02	12.36	-29.75

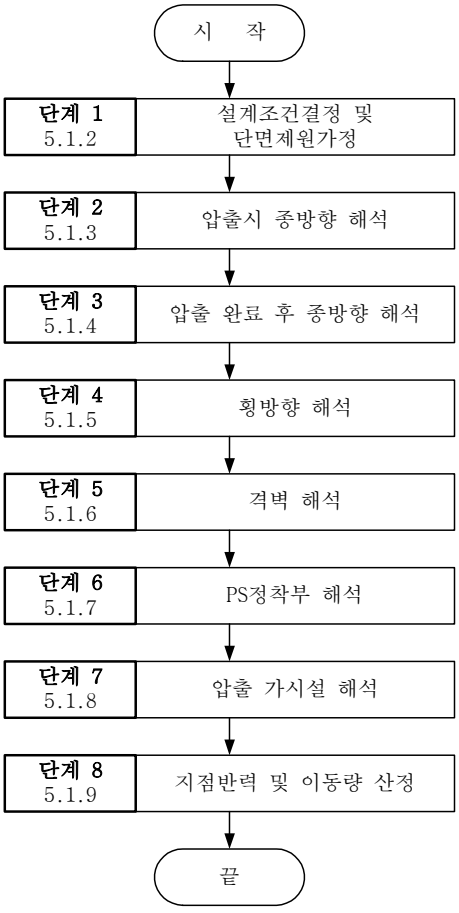
※ expansion joint 설치시 온도 : 15℃

※ 온도변화 범위 : -15℃ ~ +35℃

508.5 ILM에 의한 PSC 박스 거더교의 설계

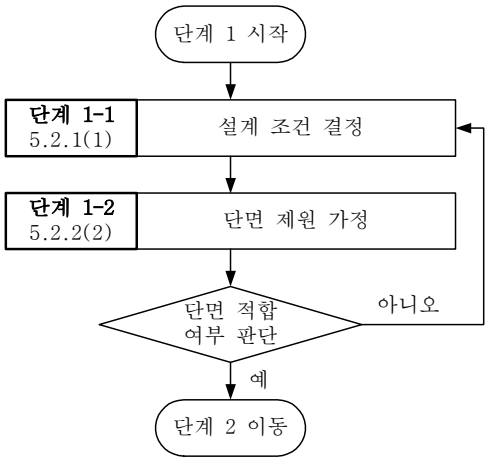
5.1 설계흐름도

5.1.1 주설계 단계



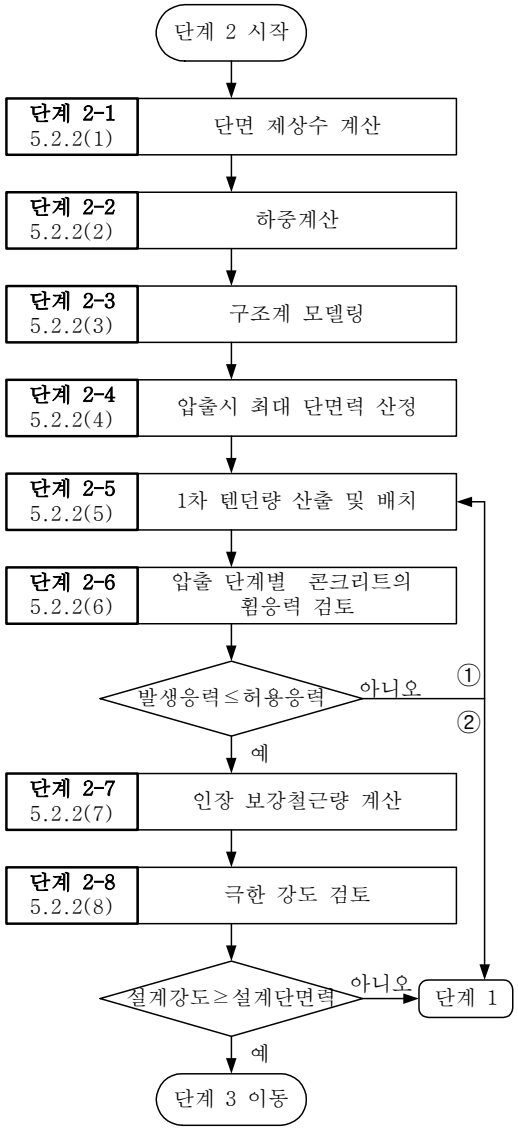
<그림 508.106> 주 설계 흐름도

5.1.2 [단계 1] 설계조건결정 및 단면제원가정



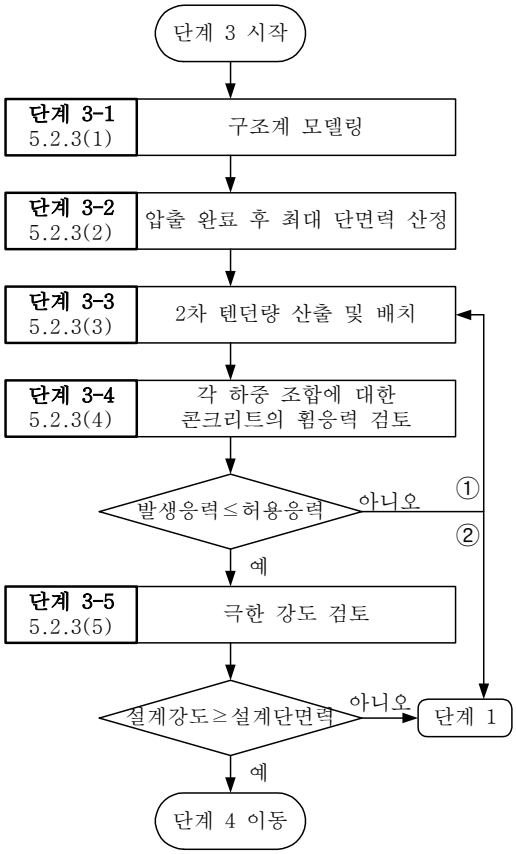
<그림 508.107> 설계조건결정 및 단면제원가정

5.1.3 [단계 2] 압출시 종방향 해석



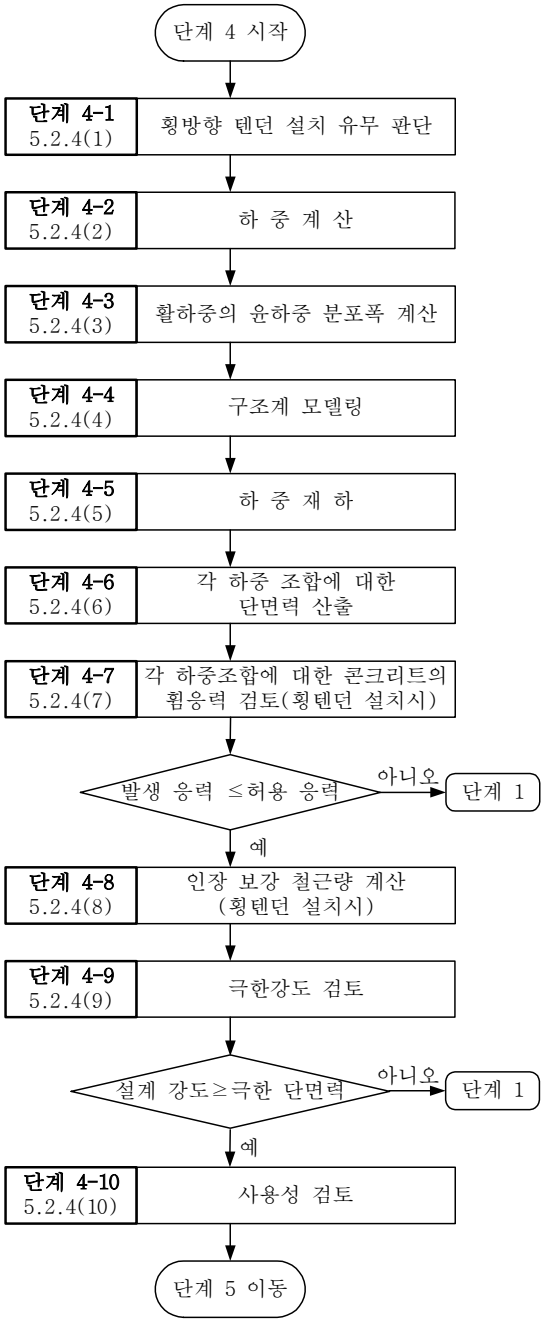
<그림 508.108> 압출시 종방향 해석

5.1.4 [단계 3] 압출 완료 후 종방향 해석



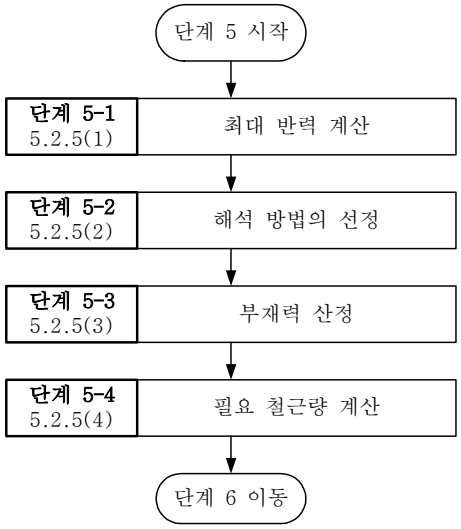
<그림 508.109> 압출 완료 후 종방향 해석

5.1.5 [단계 4] 횡방향 해석



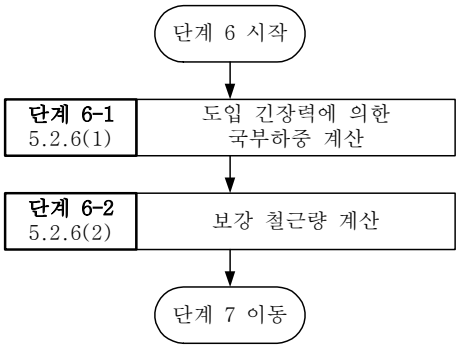
<그림 508.110> 횡방향 해석

5.1.6 [단계 5] 격벽 해석



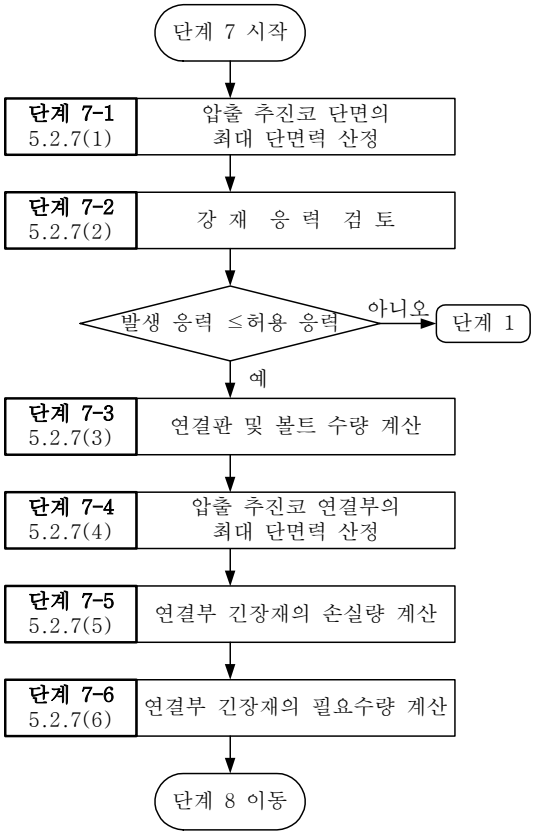
<그림 508.111> 격벽 해석

5.1.7 [단계 6] PS 정착부 해석



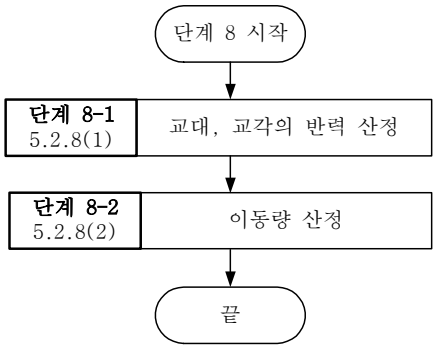
<그림 508.112> PS 정착부 해석

5.1.8 [단계 7] 압출 가시설 해석



<그림 508.113> 압출 가시설 해석

5.1.9 [단계 8] 지점 반력 및 이동량 산정



<그림 508.114> 지점 반력 및 이동량 산정

5.2 설계 단계별 고려사항

5.2.1 [단계 1] 설계 조건 결정 및 단면 제원 가정

(1) [단계 1-1] 설계 조건 결정

① 교량 등급은 [도·설 1.3]의 규정에 따른다. 일반적으로 ILM에 의한 PSC 박스거더교의 경우 1등교로 적용한다.

② 교량의 폭원 구성 및 선형 등의 구조규격은 관련 프로젝트 규정에 따른다.

③ 주요 사용재료 및 허용응력은 [도·설 2.3 및 2.2.2.4]의 규정을 따른다.

④ 설계방법은 [도·설 2.2]의 허용응력설계법 및 극한강도설계법을 적절하게 선택하여 적용한다. 즉, 종방향 설계는 허용응력설계법 및 극한강도설계법을 적용하고, 횡방향 설계는 원칙적으로 극한강도설계법을 적용하나, 횡방향 텐던 설치시 두 설계법을 모두 적용하여야 한다.

⑤ 사용 전산 프로그램은 시공단계에 따른 구조계의 변화와 크리프·건조수축 효과 및 프리스트레스의 영향을 고려할 수 있는 검증된 프로그램을 사용하여야 한다. 단, 프로그램만에 의한 해석결과에 대해 수계산이나 근사적인 방법에 의한 검토 확인 없이 그 결과를 그대로 설계에 적용하는 경우 설계오류를 범할 수 있으므로, 내부적으로 수계산 또는 근사적인 검토를 수행하거나 유사 설계 결과와 비교하는 것이 바람직하다.

(2) [단계 1-2] 단면 제원 가정

① 상부 구조

상·하부 플랜지의 제원은 아래 사항은 물론 1차 텐던용 정착구의 배열 및 크기와 철근 배근상태 등을 고려하여 결정하여야 한다. 또한

복부 두께도 2차 텐던용 쉬스관의 배열 및 크기와 배근 상태 등을 상호 고려하여 결정한다.

가. 플랜지 제원

상부플랜지 제원은 [도・설 4.7.4.2(1), 4.10.6(1), 4.15.6.4(3)①②④]를 고려하여 결정하고, 하부플랜지 제원은 [도・설 4.10.6(2), 4.15.6.4(3)①]을 고려하여 결정한다.

또한, ILM에 의한 PSC 박스거더교 시공시 상, 하부 플랜지의 시공 이음부(연결부)에는 연결 정착구(coupler)가 배치되므로 정착구의 크기 및 배치와 배근상태 등의 시공성을 고려하여 플랜지 두께를 결정하여야 한다.

나. 복부 제원

복부제원은 [도・설 4.3.2(1), 4.15.6.4(3)③]을 고려하여 결정하여야 하며, 철근 배근, 텐던 배치 및 콘크리트 타설 등의 시공성 측면도 고려하여야 한다.

다. 형고 제원

형고는 안전성, 경제성 및 미관을 고려하여 정하며 하부 건축한계의 제한을 받는다. 형고 제원은 [콘・지 Ⅰ-3.1] 및 [도・설 4.4.9.5(2)]를 참고하여 결정한다.

② 압출 추진코(nose)

가. 압출 시공시 상부 구조에 발생하는 단면력을 감소시키고 기시공된 lateral guide의 좌, 우측 사이를 상부 박스 저면폭과 동일한 압출 추진코를 먼저 통과하게 함으로써 추진방향을 유도하는 역할을 할 목적으로 상부구조 선단에 설치한다. 압출 추진코 자체의 중량을 감소시키기 위해 주로 판형(plate girder) 형식이 쓰이며, 최대 경간장의 0.6~0.7 배 정도로 하는 것이 좋다.

나. 압출 추진코의 휨강성이 상부 주형의 휨강성에 비해 현저히 적으면 압출 시공시 상부 주형(main girder)에 과대한 단면력이 발생하므로 수직 및 수평 휨, 좌굴에 대하여 소요의 강성을 가져야 한다.

압출 추진코의 소요 강성에 대한 자세한 내용은 [콘・지 I-4-2.2.4]의 압출노즈를 참고한다.

5.2.2 [단계 2] 압출시 종방향 해석

압출시 종방향 해석은 시공 단계별 응력 및 안전성 검토를 수행하여야 하며, [도・설 4.15.6.2(5)]를 참고한다.

(1) [단계 2-1] 단면 제상수 계산

① 주형의 제상수 계산시 유효 플랜지폭을 고려하여야 한다. 즉, 유효 플랜지폭은 축방향 응력에 대해서는 전단면적이 유효하고, 휨에 의한 응력에 대해서 적용되어져야 한다. 단, 극한강도 검토시에는 전 플랜지 폭이 유효한 것으로 보고 계산하여도 좋다[도・설 4.15.6.2].

② 유효폭은 [도・설 4.10.3(5), 4.15.6.2(3)]의 규정을 따른다.

(2) [단계 2-2] 하중 계산

① 고정하중

가. 주형 단면의 하중 및 교대 및 교각부, 격벽(diaphragm) 하중을 계산한다.

나. 또한 유지보수 텐던용 블록과 2차 연속 텐던용 정착구 등의 하중도 고려하여야 한다.

② 2차 고정하중

포장, 방호벽, 중앙 분리대와 방음벽 등의 하중을 고려한다.

③ 활하중

활하중 및 충격의 적용은 [도・설 2.1.3, 2.1.4]에 따른다.

④ 기타 하중

가. 압출 추진코 자중을 고려한다.

나. 프리스트레스힘의 적용은 [도·설 2.1.6, 4.6.3.4]에 따른다.

다. 크리프와 건조 수축은 [도·설 2.1.7, 4.2.3.3, 4.2.3.4]의 규정을 따른다.

라. 풍하중은 방음벽 등의 설치 필요시 [도·설 2.1.11]을 고려한다.

마. 온도 하중의 적용은 [도·설 2.1.12]에 따른다.

바. PSC 연속보에서는 지점의 압밀침하에 의해 연직 변위가 생기고 주형에 휨응력이 발생하므로 통상의 경우 부등 침하량 δ= 10mm로 하여 주형에 생기는 휨응력을 검토하여야 한다 [도로설계요령 제3권 제8-2편 4.10.1].

사. 가설 하중은 [도·설 2.1.18]에 따른다.

(3) [단계 2-3] 구조계 모델링

① 교량의 평면 선형 및 단면 형태를 고려하여 모델링한다.

② 교량 전체길이에 대하여 표준 경간을 10~20 등분한 간격으로 부재를 나누어 각 가설단계별 해석이 가능토록 모델링하고, 압출 추진코도 동일한 간격으로 구분하도록 한다. 예를 들면 50 m 경간의 경우, 5.0~2.5m로 등분한 간격으로 부재를 나누어 해석할 수 있다.

③ 모델링시 상부 주형과 압출 추진코는 물론 제작장과 가교각 등도 고려하여야 한다.

(4) [단계 2-4] 압출시 최대 단면력 산정

① 주형의 상·하부 슬래브와 압출 추진코 연결부용 PS강재량을 산정하기 위해 압출시 주형과 압출 추진코의 최대 모멘트를 산정하여야 한다.

② 주형의 압출이 진행됨에 따라 단면력이 변화하므로 각 단계별로 주형의 콘크리트 응력이 검토되어야 한다.

③ 일반적으로 압출 추진코와 주형의 연결부가 교각상에 위치할 때 최대 경간에서 최대 정모멘트가 발생하고 압출 추진코가 교각상에 위치하기 직전에 최대 부모멘트가 발생한다.

④ 상기 사항을 기준으로 주형의 중앙부, 지점부 등에서 발생하는 최대단면력을 산출한다.

(5) [단계 2-5] 1차 텐던량 산출 및 배치

1차 텐던은 그 정착 방법에 따라 2-Cycle 방식과 3-Cycle 방식이 있으며, 적용 방식은 설계자의 판단에 따라 결정할 수 있다. 단, 3-Cycle 방식을 적용할 경우에는 2-Cycle 방식에 비하여 연결 정착구의 갯수가 약 1/3정도 감소되나, 정착구의 규격이 증대되기 때문에 상부구조의 플랜지 제원 결정시 특히 유의하여야 한다.

① 필요 프리스트레스 힘 (F_{top}, F_{bot})의 계산

압출 단계에서 발생한 최대 모멘트를 이용하여 필요 프리스트레스 힘을 구한다.

가. 주형에 발생하는 콘크리트 최대 휨 응력의 계산

$$f_{top} = \frac{-M_{\max}}{Z_{1\,top}}$$
$$f_{bot} = \frac{-M_{\max}}{Z_{1\,bot}} \qquad (508.55)$$

여기서, M_{max} : 압출 단계에서 상부 사하중과 가설하중에 의한 최대모멘트

Z_{1top}, Z_{1bot} : 상하부 주형의 단면 계수

나. 콘크리트 상연의 휨 인장 응력 (보조 철근 사용 조건) 계산

$$f'_{top} = -f_{top} + f_{ta} \qquad (508.56)$$

여기서, f'_{top} : 콘크리트 상연 인장 응력

f_{top} : 콘크리트 상연의 최대 응력

f_{ta} : 콘크리트의 허용 힘 인장 응력

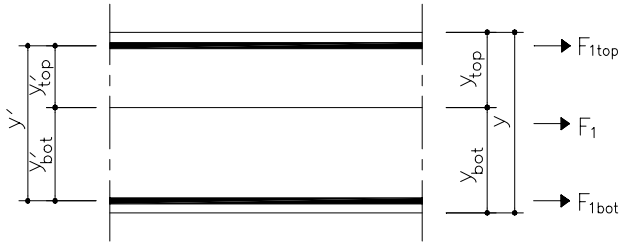
다. 필요 프리스트레스 힘 (F_{1top}, F_{1bot})의 계산

$$F_1 = f'_{top} \times A_1 \quad (508.57)$$

여기서, A_1 : 상부 주형의 단면적

$$\therefore \quad F_{1top} : \frac{y'_{bot}}{y'} \times F_1$$

$$F_{1bot} : \frac{y'_{top}}{y'} \times F_1$$



<그림 508.115> 필요 프리스트레스 힘

② 사용 강연선 수의 가정

③ 프리스트레스 손실량의 산정

프리스트레스의 즉시 및 장기 손실량은 [도・설 4.6.3.4]을 적용한다.

④ 총 손실량에 저항할 필요 프리스트레스 힘($F2$) 산정

⑤ 사용 강연선에 의한 프리스트레스 힘이 총 필요 프리스트레스 힘보다 큰가를 검토한다.

(6) [단계 2-6] 압출 단계별 콘크리트의 휨응력 검토

① 압출 시공 단계별 콘크리트의 상・하연 발생 휨응력이 허용휨압축응력 및 허용휨인장응력 이내인지 검토하여야 한다. 즉, [상・하연 발생 휨 응력] ≤ [허용 휨 압축응력 및 허용 휨 인장응력]을 만족해야 한다.

② 콘크리트의 허용응력은 [도・설 2.2.2.4(2)]를 따른다.

(7) [단계 2-7] 인장 보강 철근량 계산

콘크리트의 상・하연에서 발생하는 최대 휨 인장응력을 부담하는 필요 인장 보강 철근량을 산정한다.

(8) [단계 2-8] 극한 강도 검토

① 설계 단면력 (M_u, V_u)은 [도・설 2.2.3.2 (2)]에 준하여 산정한다.

② 부재 설계 휨강도 ($\phi \cdot M_n$) 및 전단강도 ($\phi \cdot V_n$)는 각각 [도・설 4.6.3.5, 4.6.3.8]에 준하고, $\phi \cdot M_n \geq M_u$ 및 $\phi \cdot V_n \geq V_u$를 만족하여야 한다.

③ 단, ILM공법으로 상부 구조물을 시공하는 경우 압출 시공시의 M_u는 압출완료 후의 M_u보다 적게 발생하므로, 압출 시공시에는 일반적으로 전단강도만 검토한다.

5.2.3 [단계 3] 압출 완료 후 종방향 해석

압출 완료 후 종방향 해석은 [도・설4.15.6.2 (5)]에 준하여 수행한다.

(1) [단계 3-1] 구조계 모델링

압출 완료 후의 완성된 교량을 모델링한다.

(2) [단계 3-2] 압출 완료 후 최대 단면력 산정

① 2차 연속 텐던량을 산정하기 위해 주형의 최대 모멘트를 산정하여야 한다.

② 2차 고정하중, 활하중, 지점 침하, 온도하중, 크리프와 건조수축에 의한 최대 단면력을 산정한다.

(3) [단계 3-3] 2차 텐던량 산출 및 배치

① 2차 텐던은 압출 시공 완료 후의 단면력을 부담하기 위해 일반적으로 복부에 포물선 또는 원곡선의 형상으로 배치한다. 설계 하중에 의한 발생 응력에 대해서는 물론 극한강도에 대한 안전이 확보되도록 배치하여야 한다.

텐던 배치 형상에 무리가 없는 곡선으로 배치하고, 급격한 각도로 설치되어 프리스트레스의 무리한 손실이 발생하지 않도록 세심한 주의가 필요하다.

② 유지 보수용 텐던(external tendon) 배치는 [도·설 4.15.6.3(5)⑨⑩]의 규정을 따른다. 텐던 배치시 텐던과 주형 내부 돌출물 등과 공간상 저촉되지 않도록 주의하여야 한다.

③ 경간 중앙부 배치용 2차 텐던

가. PSC 박스거더 경간 중앙부 최대 정모멘트의 산정

$$+M_{max} = (M_{LL}+M_{ST}+M_{TEM}+M_{CR}+M_{AD}) \quad (508.58)$$

여기서, M_{LL} : 활하중에 의한 모멘트

M_{ST} : 지점침하에 의한 모멘트

M_{TEM} : 온도변화에 의한 모멘트

M_{CR} : 크리프 및 건조수축에 의한 모멘트

M_{AD} : 2차 고정하중에 의한 모멘트

나. 텐던의 편심거리 산정 (e_b)

쉬스관 피복 및 시공성을 고려하여 편심거리(e_p : 주형 도심과 텐던과의 거리)를 산정한다.

다. 초기 인장력 (P_j) 및 유효 인장력 (P_e)의 산정

일반적으로 전체 손실량을 감안한 유효 인장력은 초기 인장력의 70%로 가정한다.

라. 하연 콘크리트의 응력 검토 (f_{bot})

다음의 관계식을 만족시키는 텐던량을 산정한다.

$$f_{bot} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e_p}{I} \cdot y_{bot} - \frac{M_{\max}}{I} \cdot y_{bot} \geq 0 \quad (508.59)$$

④ 지점부 배치용 2차 텐던

가. PSC 박스거더 지점부 최대 부모멘트의 산정

상기 경간 중앙부와 같은 방법으로 최대 부모멘트($-M_{max}$)를 산정한다.

나. 텐던의 편심거리 산정 (e_p)

다. 상연 콘크리트의 응력 검토 (f_{top})

다음의 관계식을 만족시키는 텐던량을 산정한다.

$$f_{top} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e_p}{I} \cdot y_{top} - \frac{M_{\max}}{I} \cdot y_{top} \geq 0 \quad (508.60)$$

(4) [단계 3-4] 각 하중조합에 대한 콘크리트의 휨응력 검토

① 각 하중조합은 [도·설 2.2.2.2(2)]에 준하며, 콘크리트의 상·하연 발생 휨응력이 허용 휨 압축응력 및 허용 휨 인장응력 이내인지 검토하여야 한다. 즉, [상·하연 발행 휨 응력] ≤ [허용 휨 압축응력 및 허용 휨 인장응력]을 만족해야 한다.

② 콘크리트의 허용응력은 [도·설 2.2.2.4(2)]를 따른다.

(5) [단계 3-5] 극한 강도 검토

① 설계단면력(M_u, V_u)은 [도·설 2.2.3.2(2)]에 준하여 산정한다.

② 부재 설계 휨강도($\phi \cdot M_n$) 및 전단강도

($\phi \cdot V_n$)는 각각 [도·설 4.6.3.5, 4.6.3.8]에 준하고, $\phi \cdot M_n \geq M_u$ 및 $\phi \cdot V_n \geq V_u$를 만족하여야 한다.

또한, [도·설 4.6.3.6(2)] 및 [콘·설 9.5.2(3)]의 $\phi M_n \geq 1.2\ M_{cr}$의 규정을 만족해야 한다.

5.2.4 [단계 4] 횡방향 해석

횡방향 해석시 단면 모델링 및 해석은 [도·설 4.10.4, 4.15.6.2(4), 4.7.5]를 고려하여 수행한다.

(1) [단계 4-1] 횡방향 텐던 설치 유무 판단

① 횡방향 텐던의 설치는 [도·설 4.15.6.4(3)②]를 고려하여 정할 수 있다.

② 주로 상부 슬래브의 횡방향 텐던은 광폭(wide width)의 슬래브에 설치하여 외력 모멘트를 부담하도록 하고 있다. ILM 공법 특성상 압출용 텐던 인장 도입에 의한 세그먼트(segment) 접합부의 종방향 균열과 콘크리트 수축에 의해 압출용 쉬스관을 따라 종방향 균열이 발생하고 사용년한 중 활하중에 의한 균열이 발생할 수 있으므로, 교량 상부 가설 중 상부 슬래브 바닥판의 균열을 억제하고 사용년한 중의 내구성을 증대시키기 위하여 횡방향 텐던을 도입할 수 있다.

(2) [단계 4-2] 하중 계산

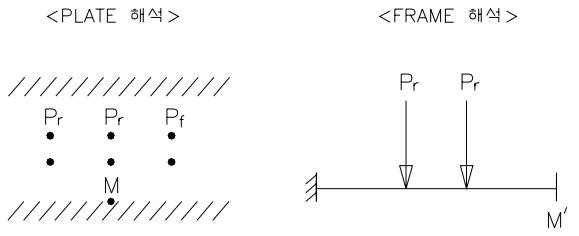
횡방향 설계에 있어서는 다음 하중을 고려한다.

① 1차 고정하중
② 2차 고정하중
③ 활하중 및 충격 하중
④ 온도 하중
⑤ 풍하중
⑥ 건조 수축
⑦ 프리스트레스 힘(횡방향텐던 설치시 고려)

(3) [단계 4-3] 활하중의 윤하중 분포폭 계산

① PSC 주형 바닥판에 작용하는 활하중의 윤하중 분포폭을 구하기 위해 판해석을 수행하여 윤하중이 바닥판에 분포되는 영향을 검토하고 하중 분포폭을 계산한 후 [도·설 4.7.5]에 의한 하중 분포폭과 비교하여 주형 횡방향의 프레임(frame) 해석을 수행한다.

② 즉, 판해석으로 구한 모멘트를 M이라 하고 프레임 해석으로 구한 모멘트를 M'라 하면 통상적으로 $M < M'$이므로 윤하중 분포폭 ($E = M'/M$)을 계산하여 DB 하중을 분포폭으로 나눈 하중 (P/E)과 도로교설계기준에 의한 하중 분포폭으로 나눈 하중과 비교하여 큰 하중으로 횡방향 해석을 수행한다.



<그림 508.116> 판해석과 프레임해석에 의한 모멘트

(4) [단계 4-4] 구조계 시스템 모델링

주형 각 부재의 정확한 단면력을 얻기 위해 플랜지와 복부사이의 헌치부 등의 변단면을 고려하여 모델링하여야 한다.

(5) [단계 4-5] 하중 재하

사하중 등의 부동 하중은 정위치에 재하시키고, 활하중 및 풍하중 등의 변동하중은 최대 단면력을 줄 수 있는 곳에 재하시켜야 한다.

(6) [단계 4-6] 각 하중조합에 대한 단면력 산출

하중 조합의 적용은 [도·설 2.2.2.2(2), 2.2.3.2(2)]에 따르고, 각 단면의 최대 단면력을 산출한다.

(7) [단계 4-7] 각 하중 조합에 대한 콘크리트의 휨응력 검토 (횡방향 텐던 설치시)

① 각 하중 조합별 콘크리트의 상·하연 발생 휨응력이 허용 휨 압축응력 및 허용 휨 인장응력 이내인지 검토하여야 한다. 즉, [상·하연 발행 휨 응력] ≤ [허용 휨 압축응력 및 허용 휨 인장응력을 만족해야 한다.

② 콘크리트의 허용응력은 [도·설 2.2.2.4(2)]를 따른다.

(8) [단계 4-8] 인장 보강 철근량 계산 (횡방향 텐던 설치시)

콘크리트 상·하연에서 발생하는 최대 휨 인장응력을 부담하는 필요 인장 보강 철근량을 산정하여야 한다.

(9) [단계 4-9] 극한 강도 검토

① 설계 단면력 (M_u, V_u)은 [도·설 2.2.3.2(2)]에 준하여 산정한다.

② 부재 설계 휨강도 ($\phi \cdot M_n$) 및 전단강도 ($\phi \cdot V_n$)는 각각 [도·설 4.6.3.5, 4.6.3.8]에 준하고, $\phi \cdot M_n \geq M_u$ 및 $\phi \cdot V_n \geq V_u$를 만족하여야 한다.

(10) [단계 4-10] 사용성 검토

① 균열 검토는 [도·설 4.4.9.4]를 따른다.

② 피로 검토는 [도·설 4.4.9.6]을 따른다.

③ 처짐 검토는 [도·설 4.4.9.5(3)]의 규정에 준한다.

5.2.5 [단계 5] 격벽 해석

격벽은 하중 횡분배 작용과 비틀림에 대하여 안전하기 위해 설치하는 것으로, 그 형상이 불연속성을 지니고 상부구조의 하중이나 프리스트레스힘에 의한 집중하중이 가해지기 때문에 격벽 내부에는 응력 분포가 일정하지 않고 불연속과 교란된 성질을 띄게 된다. 따라서 격벽 해석을 통해 안전성 확보를 확인하여야 한다.

(1) [단계 5-1] 최대 반력 계산

하중 계산과 하중 포함을 고려한 교대 및 교각의 최대 반력을 계산한다.

(2) [단계 5-2] 해석 방법의 선정

일반적으로 격벽을 유한요소(FEM)로 모델링하여 해석한 결과로부터 직접 필요 강재량을 구하거나, 종방향 해석의 결과 중 격벽이 설치된 지점부의 전단력과 비틀림 모멘트를 주형의 도심을 흐르는 전단류를 산정하고, 압축을 받는 스트럿(strut)과 인장을 받는 타이(tie)의 스트럿-타이 모델을 구성하여 해석한 결과로부터 필요 강재량을 구할 수 있다.

(3) [단계 5-3] 부재력 산정

부재력(F)을 해석 결과로 부터 구한다.

(4) [단계 5-4] 필요 철근량 계산

$$A_s = \frac{1}{\phi} \cdot \frac{F}{f_y} \qquad (508.61)$$

여기서, ϕ : 강도 감소 계수

F : 부재력

f_y : 철근의 설계기준 항복 강도

5.2.6 [단계 6] PS 정착부 해석

포스트텐셔닝(Post-tensioning) 정착 장치 부근에는 프리스트레스의 큰 지압의 영향 및 그곳에서 떨어진 부분의 각각의 발생 인장력 등에 대한 해석을 수행하여 보강 철근량을 산정해야 한다.

(1) [단계 6-1] 도입 긴장력(jacking force)에 의한 국부하중 계산

(2) [단계 6-2] 보강 철근량 계산

5.2.7 [단계 7] 압출 가시설 해석

(1) [단계 7-1] 압출 추진코 단면의 최대 단면력 산정

압출 시공 중 압출 추진코 단면의 최대 모멘트 및 최대 전단력을 산정한다.

(2) [단계 7-2] 강재 응력 검토

① 검토 단면의 상·하연 응력 및 전단 응력을 검토하여야 하며, [도·설 3.3.2.1]에 준한다.

② 강재 응력 검토시 휨 압축응력에 대한 계산에서 국부좌굴을 고려한 허용 응력검토도 수행하여야 한다.

(3) [단계 7-3] 볼트(bolt) 수량 계산 및 연결판 검토

① 연결판의 응력을 검토하고, 인장부는 볼트구멍(bolt hole)을 공제한 단면으로 검토해야 한다.

② 볼트 검토는 [도·설 3.3.2.3(2)]에 따른다.

(4) [단계 7-4] 압출 추진코 연결부의 최대 단면력 산정

압출 추진코 연결부의 최대 정·부모멘트를 산정한다.

(5) [단계 7-5] 연결부 긴장재의 손실량 계산

긴장재의 즉시 손실량 및 장기 손실량을 고려한 유효 프리스트레스 응력을 계산한다.

손실량 계산은 [도·설 4.6.3.4]의 규정을 따른다.

(6) [단계 7-6] 연결부 긴장재의 필요 수량 계산

상부 및 하부의 연결부 긴장재의 필요 수량을 계산한다.

5.2.8 [단계 8] 지점 반력 및 이동량 산정

(1) [단계 8-1] 교대, 교각의 반력 산정

각 하중별 반력을 산정한다.

(2) [단계 8-2] 이동량 산정

이동량은 [도·설 2.4.2.3]의 규정을 적용한다.

5.3 설계예

5.3.1 [단계 1] 설계조건 결정 및 단면가정

(1) [단계 1-1] 설계조건 결정

① 교량 제원

- 상부 구조 형식 : PSC 박스거더(ILM)
- 교량 연장 : L = 39.95+7@47.0+39.95 = 408.9 m
- 교량 폭원 : B = 9.0 m
- 단면 형고 : H = 3.0 m
- 종단 구배 : i = (+)0.865 %
- 평면 선형 : R = 0(직선 구간)
- 교량 등급 : 1등교

② 사용재료 및 허용응력

가. 콘크리트

- 설계 기준 강도 : f_{ck} = 400 kgf/cm^2
- 탄성 계수 : $E_c = 10{,}500\sqrt{f_{ck}} + 70{,}000$ = 280,000 kgf/cm^2
- 단위 중량 : γ_c = 2.5 tonf/m^3
- 초기 압축 강도 : $f_{ci} = 0.8 f_{ck}$ = 320 kgf/cm^2
- 허용 응력
- 크리프와 건조수축에 의한 손실이 일어나기 전의 일시적 응력

- 허용 휨 압축응력 : $f_{cai} = 0.55 f_{ci} = 0.55\times320$ = 176 kgf/cm^2
- 허용 휨 인장응력 :

부착 철근 미사용시 $f_{tai} = 0.80\sqrt{f_{ci}} = 0.80\times\sqrt{320}$ = 14.3 kgf/cm^2

단, 부착 철근 사용시 : $1.60\sqrt{f_{ci}} = 1.60\sqrt{320}$ = 28.6 kgf/cm^2=> 적용

- 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력

- 허용 휨 압축응력 : $f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 0.4\times400$ = 160 kgf/cm^2
- 허용 휨 인장응력 :

부착 철근 사용시 : $f_{ta} = 1.60\sqrt{f_{ck}} = 1.60\times\sqrt{400}$ = 32 kgf/cm^2 => 적용

심각한 부식에 노출된 상태 : $0.80\sqrt{f_{ck}} = 0.80\times\sqrt{400}$ = 16 kgf/cm^2

- 균열 응력

$f_{ru} = 2.0\sqrt{f_{ck}} = 2.0\times\sqrt{400}$ = 40 kgf/cm^2

- 선팽창 계수

$\alpha = 1.0\times10^{-5}$

· 크리프 계수(ϕ_c) :

$\phi(t, t') = \phi_0 \cdot \beta_c (t, t')$

· 건조 수축율(ε_{cs}) :

$\varepsilon_{cs} (t, t_s) = \varepsilon_{sho} \cdot \beta_s(t - t_s)$

나. 철근 (SD 40)

· 항복 응력 : f_y = 4,000 kgf/cm^2

· 탄성 계수 : $E_s = 2.0\times10^6$ kgf/cm^2

· 허용 응력

- 바닥판, 경간 10 m이하의 슬래브교 : f_{sa} = 1,600 kgf/cm^2

- 일반적인 부재 : f_{sa} = 1,800 kgf/cm^2

다. 강연선

· 사용 기준 : KSD 7002, SWPC 7B - ϕ12.7mm(0.5" strand)

· 항복 강도 : f_{py} = 16,000 kgf/cm^2

· 인장 강도 : f_{pu} = 19,000 kgf/cm^2

· 단면적 : A_p = 98.71 mm^2

· 탄성 계수 : $E_p = 2.0\times10^6$ kgf/cm^2

· 단위 중량 : γ_p = 0.774 kgf/m

· 허용 응력

- 인장 작업시 : $f_{pi} = 0.90 f_{py} = 0.90\times16{,}000 = 14{,}400$ kgf/cm^2

- 정착 후 정착부에서의 응력 : $f_{pa} = 0.70 f_{pu} = 0.70\times19{,}000 = 13{,}300$ kgf/cm^2

- 손실발생 후 사용하중 상태에서의 응력 : $f_{pa} = 0.80 f_{py} = 0.80\times16{,}000 = 12{,}800$ kgf/cm^2

· 사용 텐던(tendon) 규격

- 1차 텐던 (central tendon) : $7^T-\phi12.7$ mm, $12^T-\phi12.7$ mm

- 2차 텐던 (continuous tendon) : $15^T-\phi12.7$ mm

- 횡방향 텐던 (transverse tendon) : 미배치

· 도입 긴장력(jacking force)

- 1차 텐던 : $0.9 f_{py} \cdot A_p$

- 2차 텐던 : $0.9 f_{py} \cdot A_p$

· 마찰 계수

- 곡률 마찰계수 : μ = 0.3 /rad

- 파상 마찰계수 : κ = 0.0066 /m

· wedge draw-in : 6mm

라. 강봉 (ø36mm)

- 항복 강도 : f_{py} = 835 N/mm^2 = 8,515 kgf/cm^2
- 인장 강도 : f_{pu} = 1,030 N/mm^2 = 10,503 kgf/cm^2
- 단면적 : A_p = 10.2 cm^2
- 탄성 계수 : E_p = 2.0×10^6 kgf/cm^2
- 단위 중량 : w_p = 8.27 kgf/m
- 도입 긴장력

  $0.8f_{py} \cdot A_p$
- 마찰 계수

- 곡률 마찰계수 : μ = 0.20 /rad

- 파상 마찰계수 : κ = 0.0010 /m

마. 추진코

- 사용 강종 : SM 400
- 허용 응력(가설시 허용응력 증가계수 1.25 사용)
- 허용 휨 압축응력

f_{ca} = M_{in}(국부좌굴 고려시의 허용응력, 국부좌굴 미고려시의 허용응력)×1.25

- 허용 휨 인장응력

f_{ta} = 1,400×1.25 = 1,750 kgf/cm^2

- 허용 전단응력

τ_{sa} = 800×1.25 = 1,000 kgf/cm^2

③ 상부 제작 공기 가정

가. 제작 및 압출 시공

- 첫 번째 세그먼트 및 마지막 세그먼트 제작 소요일수 : 30일 /seg
- 일반 세그먼트 제작 소요일수 : 12일 /seg

나. 내부 작업 시공

- 2차 텐던 정착부 및 격벽부 시공, 긴장 작업 : 90일

다. 기타 작업

- sliding pad 제거 및 받침 고정작업 : 50일

④ 받침 배치 검토

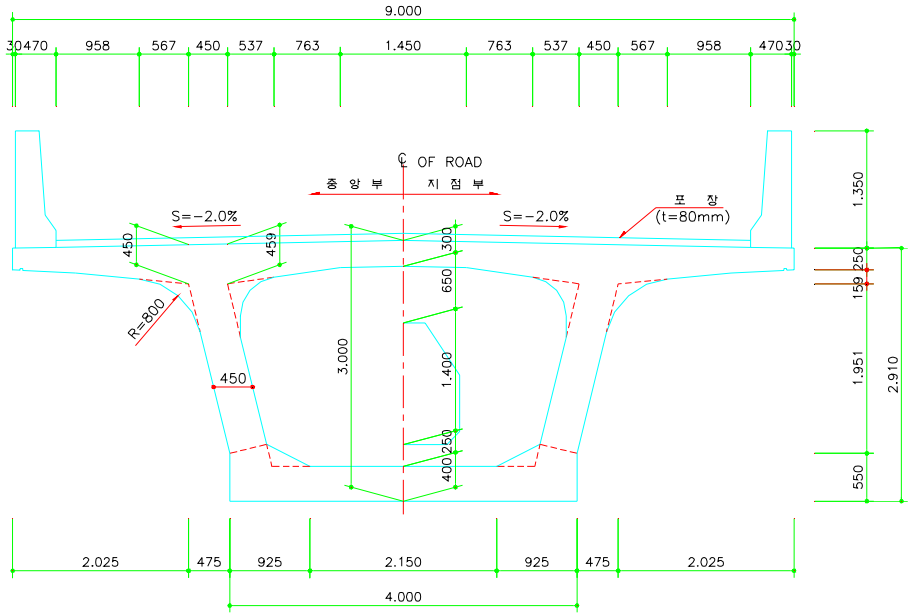
- 교량 총 연장이 408.9 m이고 교각의 평균 높이가 30 m이상이므로 교각 P_4 및 P_5에 고정단 받침을 설치함.

⑤ 사용 전산 프로그램

- 종방향 해석 : RM-SPACE FRAME
- 횡방향 해석 : SAP 2000

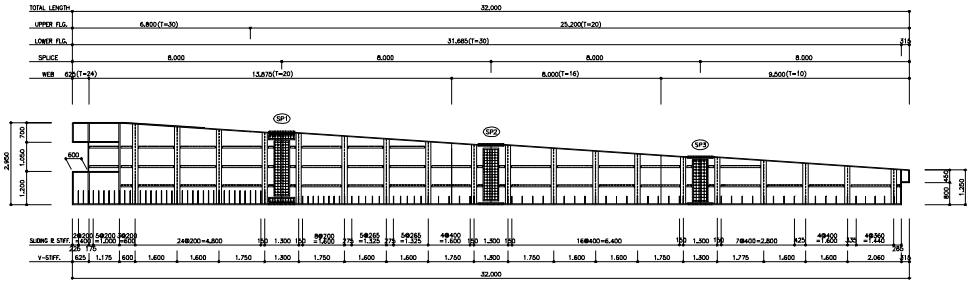
(2) [단계 1-2] 단면제원 가정

① 상부 구조

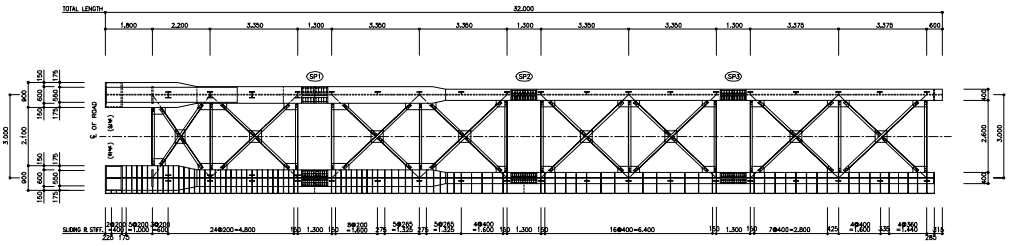


② 압출 추진코

측 면 도



평 면 도



5.3.2 [단계 2] 압출시 종방향 해석

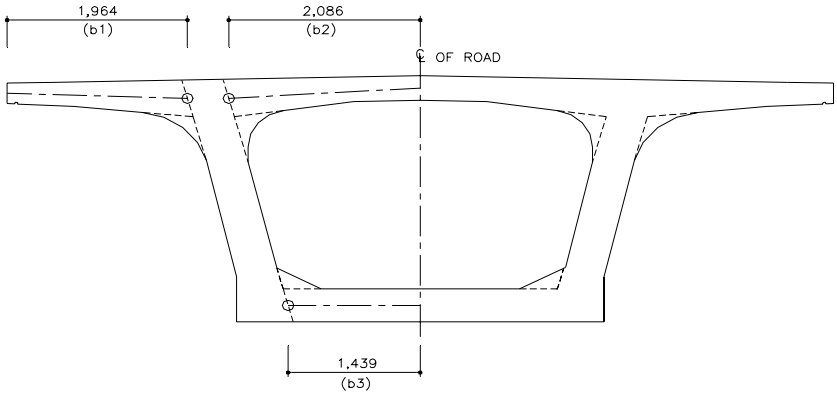
(1) [단계 2-1] 단면 제상수 계산

① 상부 주형

가. 유효폭 산정

(가) 유효폭 산정을 위한 경간장(L_i)

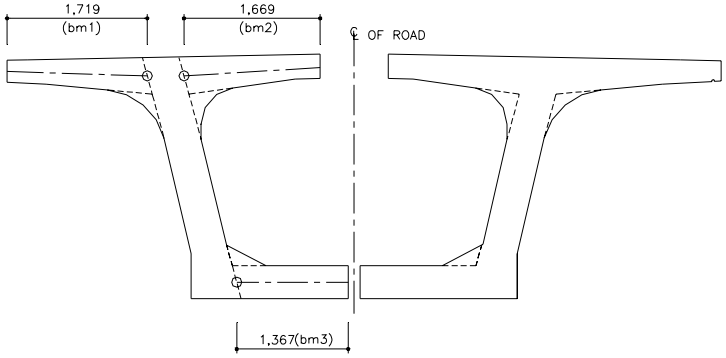
- 측경간 : L_i = 39.95×0.8 = 31.96 m
- 중앙 경간 : L_i = 47.00×0.6 = 28.20 m



(나) 각 부재별 유효폭 산정

구 간		b_1	b_1/L_i	b_2/L_i	b_3/L_i	b_m/b	b_m	b_f/b	b_f
측경간	b_1	1.964	0.060			0.890	1.748	0.975	1.915
	b_2	2.086		0.065		0.870	1.815	0.970	2.023
	b_3	1.439			0.045	0.990	1.425	0.990	1.425
중앙경간	b_1	1.964	0.068			0.875	1.719	0.970	1.903
	b_2	2.086		0.074		0.800	1.669	0.920	1.919
	b_3	1.439			0.051	0.950	1.367	0.990	1.425

(다) 유효폭 고려시 단면



나. 단면 제상수 계산

- 단면적 : A = 7.0915 m^2
- 단면 2차 모멘트 : I_z = 7.8738 m^4 , I_y = 31.7972 m^4
- 비틂 상수 : J = 13.8045 m^4
- 도심 위치 : y_{top} = 1.249 m , y_{bot} = 1.751 m

② 압출 추진코

구 분	플랜지 ($b_f \times t_f$)		복부($b_w \times t_w$) (mm)	단면적 (cm^2)	단면2차 모멘트 (cm^4)	도심 위치(cm)	
	상부(mm)	하부(mm)				y_{top}	y_{bot}
단면-1	400×20	400×30	1210×10	640.0	1752038.0	69.8	55.2
-2	400×20	400×30	1310×10	658.2	2049413.0	74.7	59.4
-3	400×20	400×30	1449×10	687.8	2591301.0	82.6	66.3
-4	400×20	400×30	1597×10	717.4	3208188.0	90.5	73.2
-5	400×20	400×30	1672×10	734.4	3646113.0	90.3	81.9
-6	400×20	400×30	1820×16	982.4	5001120.0	96.8	90.2
-7	400×20	400×30	1880×16	1001.6	5389897.0	99.9	93.1
-8	400×20	400×30	2113×16	1076.2	7073704.0	111.7	104.6
-9	400×20	400×30	2201×20	1280.4	8497899.0	115.6	109.5
-10	400×20	400×30	2349×20	1339.6	943902.0	123.0	116.9
-11	400×20	400×30	2497×20	1398.8	11536608.0	130.5	124.2
-12	400×20	400×30	2582×20	1432.8	12520176.0	134.8	128.4
-13	600×30	600×30	2720×20	1808.0	20320382.7	139.0	139.0
-14	900×30	900×30	2868×20	2227.2	30539196.1	146.4	146.4
-15	900×30	900×30	2890×24	2467.2	32676307.6	147.5	147.5

(2) [단계 2-2] 하중 계산

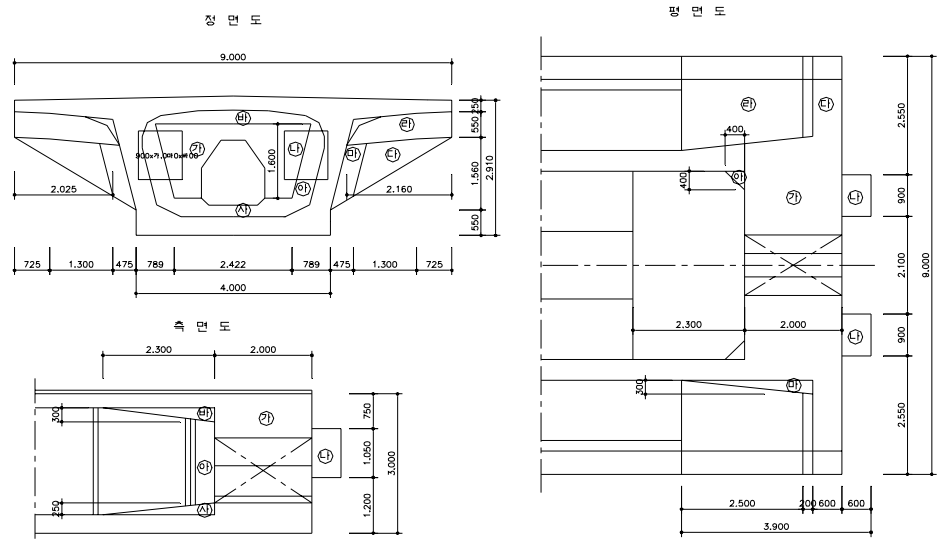
① 1차 고정하중

가. 주형 하중

- 콘크리트 단위중량(γ_c = 2.5 $tonf/m^3$)을 입력, 프로그램으로 자동 재하

∴ 7.0915×2.5 = 17.729 tonf/m

나. 1-세그먼트(1'st seg)



㉮ : 31.350 tonf

㉯ : 1.418 tonf

㉰ : 6.709 tonf

㉱ : 4.985 tonf

㉲ : 4.237 tonf

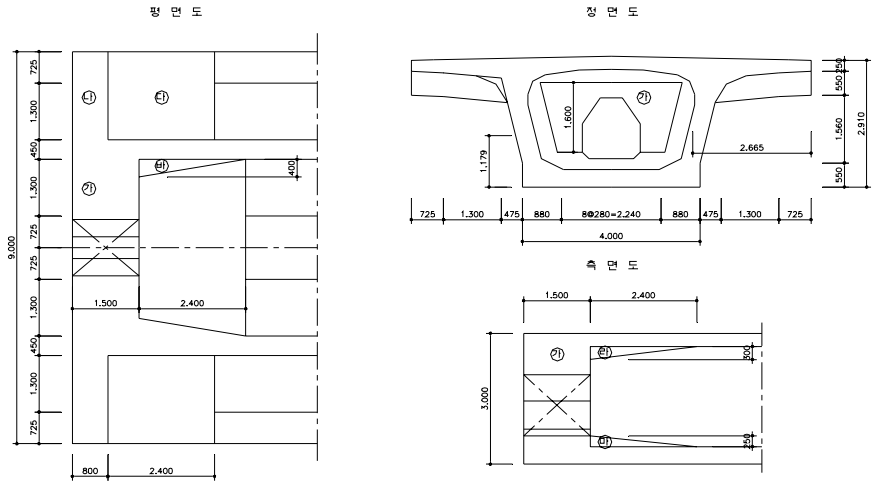
㉳ : 2.761 tonf

㉴ : 1.741 tonf

㉵ : 0.640 tonf

계 : 53.841 tonf

다. 19-세그먼트(last seg) 단부 보강



㉮ : 22.965 tonf

㉯ : 5.456 tonf

㉰ : 5.527 tonf

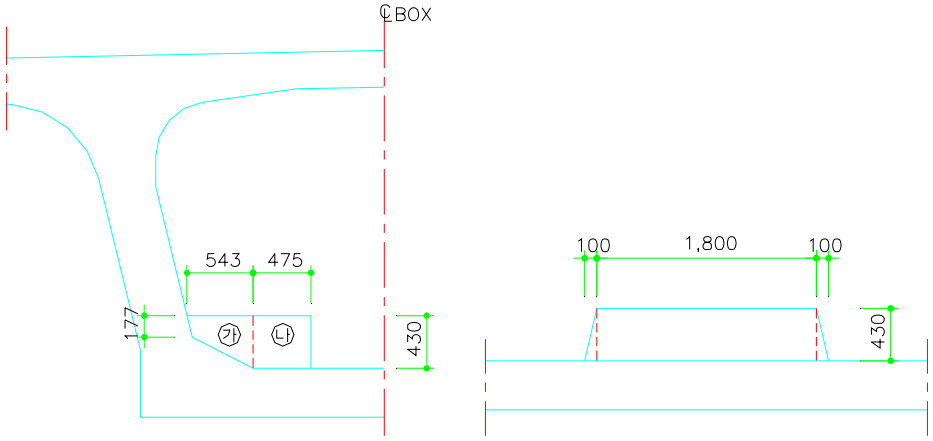
㉱ : 2.761 tonf

㉲ : 1.817 tonf

㉳ : 3.840 tonf

계 : 42.366 tonf

라. 유지보수용 긴장재 방향 변환 블록



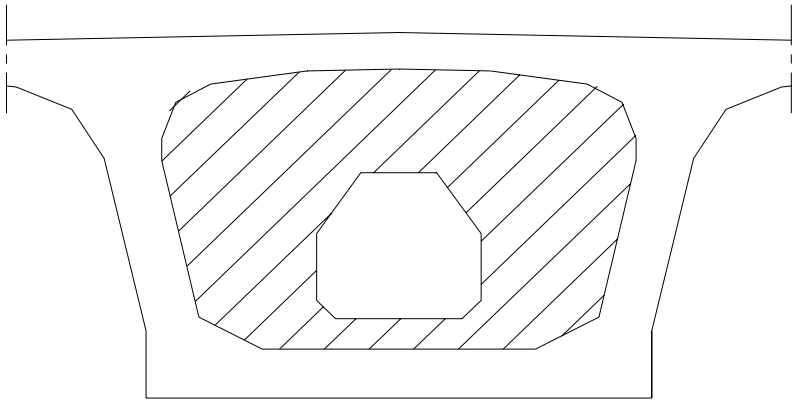
㉮ : 0.783 tonf

㉯ : 0.970 tonf

계 : 1.753 tonf/ea

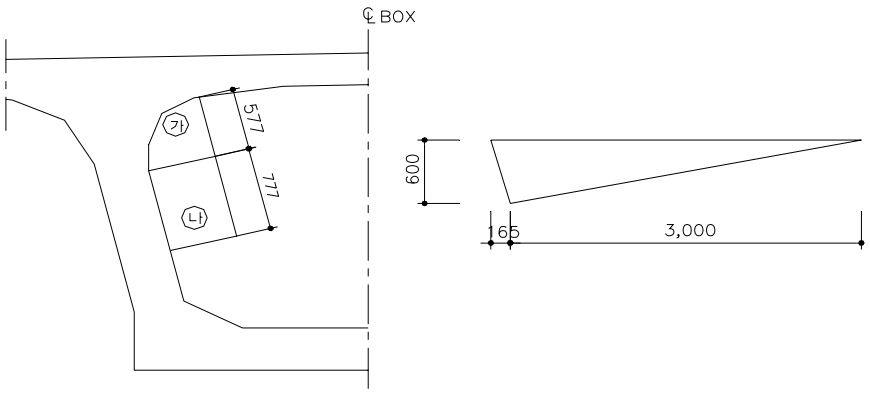
∴ $1.753 \times 2^{ea} = 3.506$ tonf

마. 교각부 격벽



22.965 tonf

바. 2차 텐던용 정착구 블럭



㉮ : 1.034 tonf

㉯ : 1.844 tonf

계 : 2.878 tonf/ea

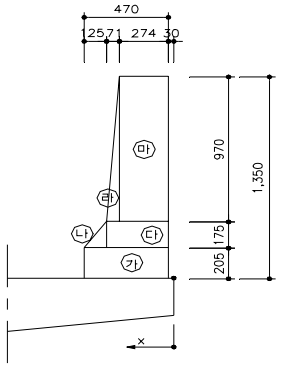
∴ $2.878\times2^{ea} = 5.756$ tonf

② 2차 고정하중

가. 아스팔트 포장

$W_p = 0.08\times2.3\times(9.0-0.5\times2^{ea}) = 1.472$ tonf/m

나. 방호벽



번 호	하 중 (tonf)		x(m)	$V\cdot x$ (tonf-m)
㉮	0.470×0.205×2.5 =	0.241	0.265	0.064
㉯	1/2×0.125×0.175×2.5 =	0.027	0.417	0.011
㉰	0.345×0.175×2.5 =	0.151	0.203	0.031
㉱	1/2×0.071×0.970×2.5 =	0.086	0.328	0.028
㉲	0.274×0.970×2.5 =	0.664	0.167	0.111
합 계		1.169		0.245

작용점 $x = \frac{0.245}{1.169} = 0.210$ m , 합 계 : 1.169×2EA = 2.338 tonf/m

③ 활하중

가. 설계 차로폭(W) 및 차로수 산정

· 교폭(W_c) = 9.0-0.5×2ea = 8.0 m

$W = \frac{W_c}{N} = \frac{8.0}{2} = 4.0$ m > 3.6 m 이므로 설계 차로폭 = 3.6 m

· 6.0 < W_c = 8.0 < 9.1 이므로 설계 차로수(N) = 2

나. 충격 계수

(가) 측경간 (L=47.0 m)

$I = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+39.95} = 0.188 < 0.3$

(나) 중앙 경간 (L=39.95 m)

$I = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+47.0} = 0.172 < 0.3$

다. 하중

(가) DB-24 (2차선 재하)

구 분	전륜 하중 (P_f)	후륜 하중 (P_r)
측 경 간	P_f = 2.4×(1+0.188)×4 = 11.405 tonf	P_r = 9.6×(1+0.188)×4 = 45.619 tonf
중앙 경간	P_f = 2.4×(1+0.172)×4 = 11.251 tonf	P_r = 9.6×(1+0.172)×4 = 45.005 tonf

(나) DL-24 (2차선 재하)

㉮ 모멘트 계산시

구 분	집중 하중	등분포 하중
측 경 간	P_m = 10.8×2×1.188 = 25.661 tonf	W_m = 1.270×2×1.188 = 3.018 tonf
중앙 경간	P_m = 10.8×2×1.172 = 25.315 tonf	W_m = 1.270×2×1.172 = 2.977 tonf

㈏ 전단력 계산시

구 분	집중 하중	등분포 하중
측 경 간	P_s = 15.6×2×1.188 = 37.066 tonf	W_m = 3.018 tonf/m
중앙 경간	P_m = 15.6×2×1.172 = 36.566 tonf	W_m = 2.977 tonf/m

④ 기타 하중

가. 압출 추진코 자중

W_N = 62.067 tonf

나. 프리스트레스 힘

(가) 긴장력

㉮ 1차 텐던

· 7^T-ø12.7 mm : P_J = 16,000×0.9×0.9871×7 = 99.500 tonf

· 12^T-ø12.7 mm : P_J = 16,000×0.9×0.9871×12 = 170.571 tonf

㉯ 2차 텐던

· 15^T-ø12.7 mm : P_J = 16,000×0.9×0.9871×15 = 213.214 tonf

(나) 프리스트레스 손실

프리스트레싱 직후 및 시간적인 손실은 프로그램으로 자동 계산

다. 크리프와 건조수축[도・설 4-4.2.3.3, 4-4.2.3.4]

· $\phi(t,\ t') = \phi_0 \cdot \beta_c\ (t,\ t')$

· $\varepsilon_{cs}\ (t,\ t_s) = \varepsilon_{sho} \cdot \beta_s(t - t_s)$

라. 풍하중

(가) 단면 형상

B/D = 9.0/4.35 = 2.069

여기서, D = 3.0+1.35 = 4.35 m

$\therefore\ 1 < B/D < 8$

(나) 풍하중 계산

· W_w = [400-20(B/D)]

= 400-20×2.069

= 359 kgf/m

마. 온도 하중

(가) 온도 변화

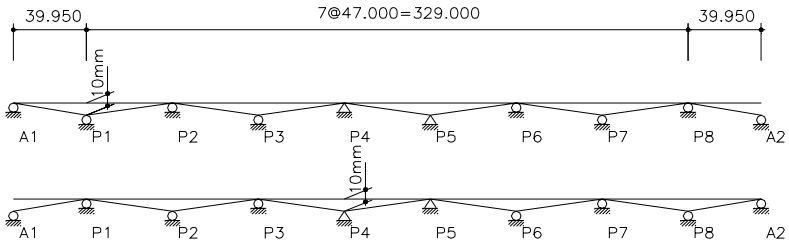
- 온도 승강 = ±15℃

(나) 바닥판과 기타 부분의 온도차

- 온도차 = ±5℃

바. 지점침하 [도로설계요령 제3권 제8-2편 4.10.1]

- δ = ±10mm

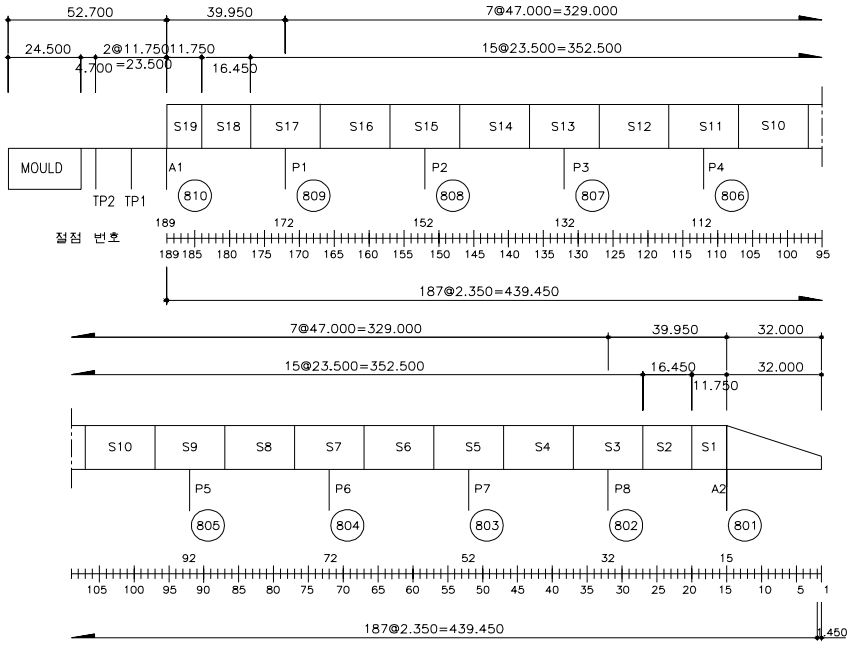


사. 가설 하중

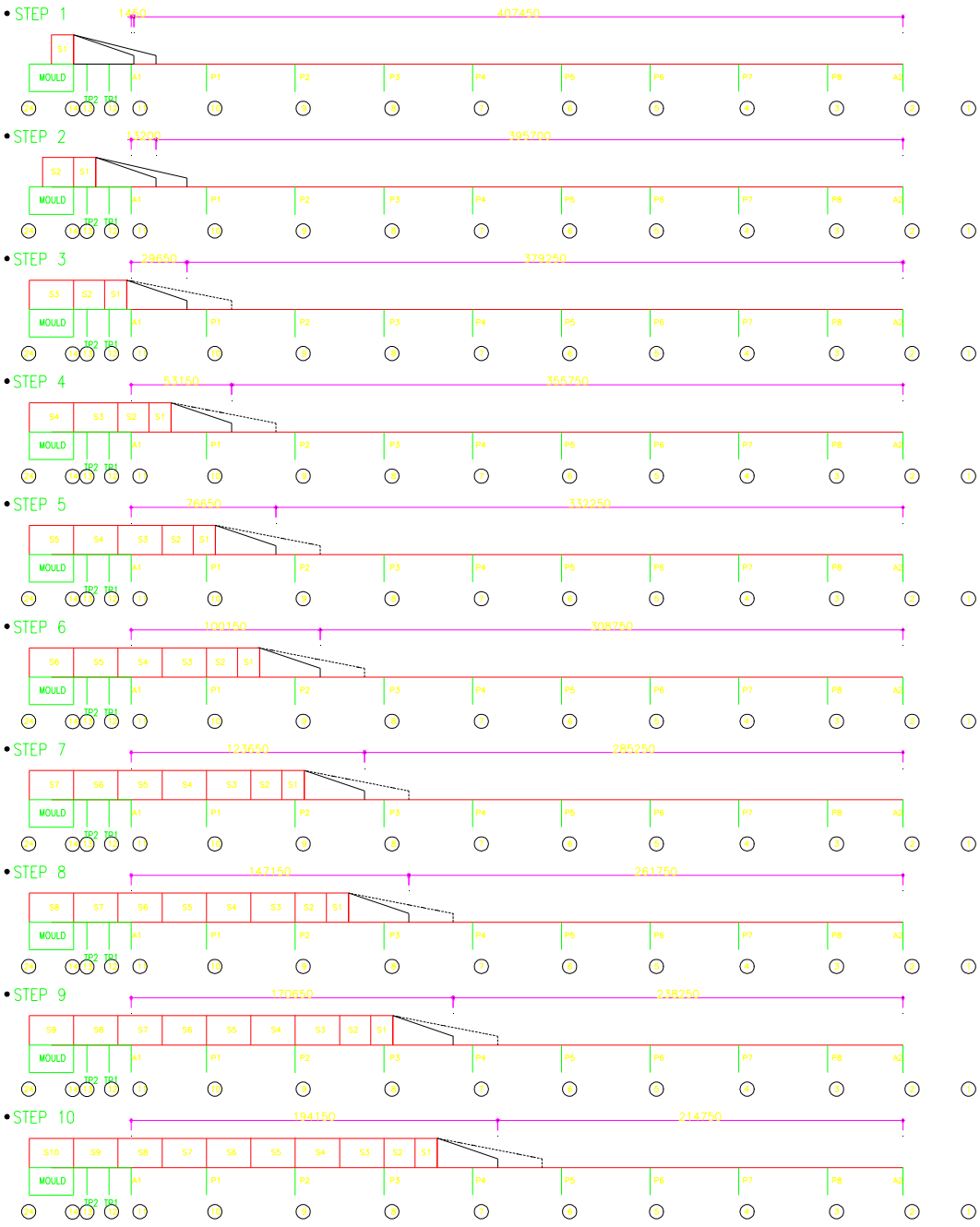
- 시공 중 종방향으로 있는 두 인접 받침 사이에 5mm, 제작장과 압출장치 사이에 2mm의 시공 오차 고려

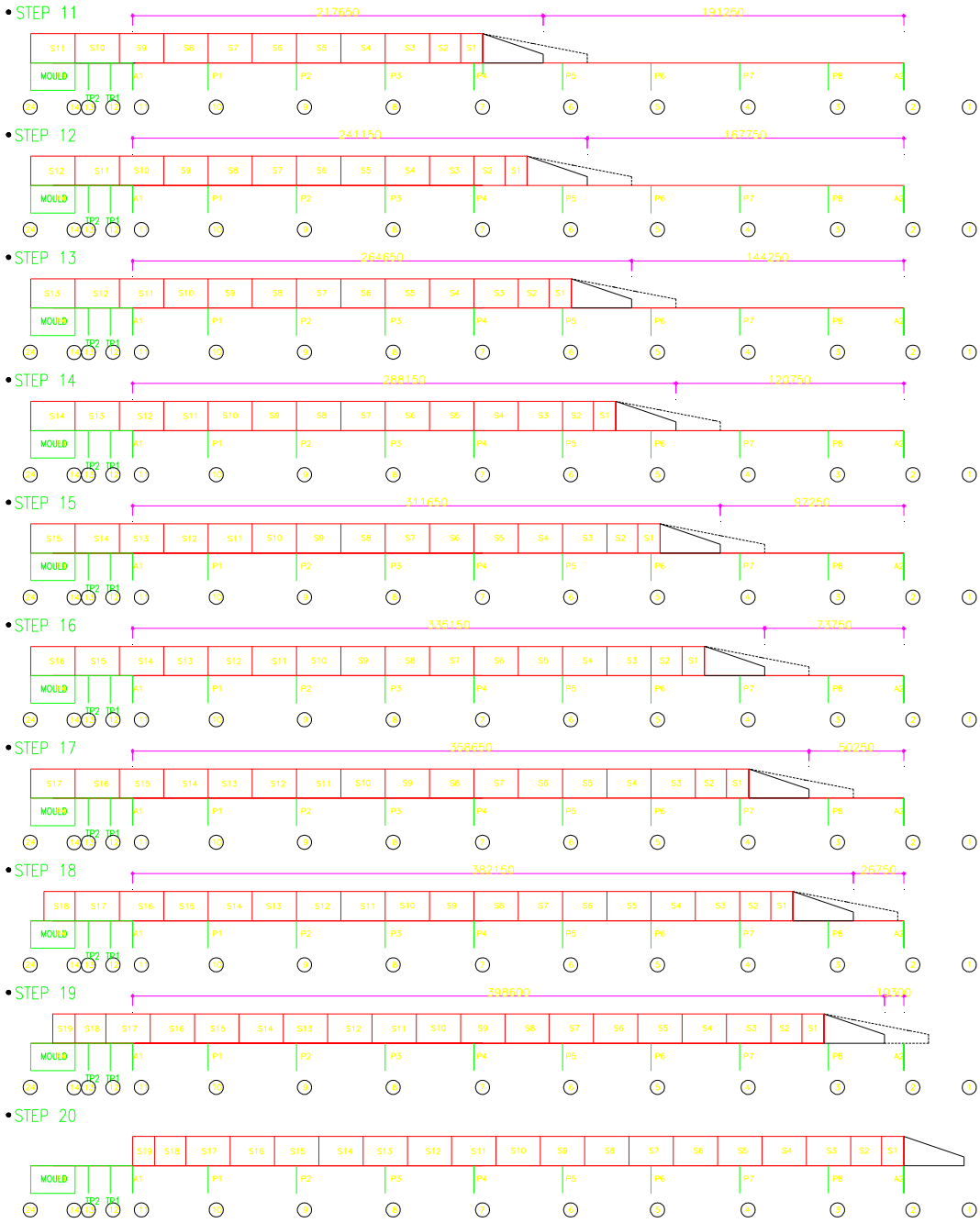
(3) [단계 2-3] 구조계 모델링

① 구조계 모델링



② 압출 시공단계 모델링


• STEP 1
1450
407450
• STEP 2
13200
395700
• STEP 3
29650
379250
• STEP 4
53150
355750
• STEP 5
76650
332250
• STEP 6
100150
308750
• STEP 7
123650
285250
• STEP 8
147150
261750
• STEP 9
170650
238250
• STEP 10
194150
214750
MOULD
TR2 TR1


• STEP 11
217650
191250
• STEP 12
241150
167750
• STEP 13
264650
144250
• STEP 14
288150
120750
• STEP 15
311650
97250
• STEP 16
335150
73750
• STEP 17
358650
50250
• STEP 18
382150
26750
• STEP 19
398600
10300
• STEP 20
MOULD
TP2 TP1

(4) [단계 2-4] 압출시 최대 단면력 산정

구 분	절점 번호	발생 단계(step)	1 차 고정하중+가설하중
정모멘트 최대 (tonf-m)	21	6 단계	2,953.200
부모멘트 최대 (tonf-m)	27	8 단계	-4,700.300

(5) [단계 2-5] 1차 텐던량 산출 및 배치

① 최대 모멘트에 의한 콘크리트 응력

- M_{max} = -4,700.300 tonf-m
- A_c = 7.0915 m^2
- I_z = 7.8738 m^4 , y_{top} = 1.249 m , y_{bot} = 1.751 m

$$\therefore f_{top} = \frac{-4,700.300\times10^5}{7.8738\times10^8}\times124.9 = -74.6 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_{bot} = \frac{-4,700.300\times10^5}{7.8738\times10^8}\times175.1 = 104.5 \text{ kgf/cm}^2$$

② 보조철근 사용시 콘크리트 상연응력

f_{top} = -74.6+28.6 = -46.0 kgf/cm^2

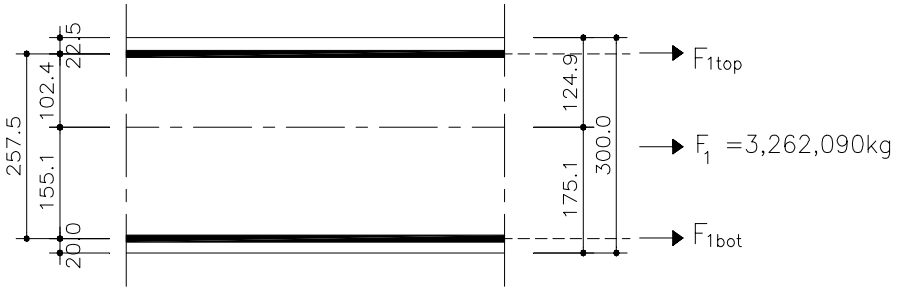
여기서, $28.6 = 1.60\sqrt{f_{ci}'} = 1.60\sqrt{320}$ (보조철근 사용시 콘크리트의 허용 휨 인장응력)

③ 최대 부모멘트에 저항할 필요 프리스트레스 힘(F_1)

F_1 = 46.0×70,915 = 3,262,090 kgf

$$F_{1top} = \frac{155.1}{257.5}\times3,262,090 = 1964.9 \text{ tonf}$$

$$F_{1bot} = \frac{102.4}{257.5}\times3,262,090 = 1297.2 \text{ tonf}$$



④ 사용 강연선 수의 가정

가. 상부 슬래브 : $N_{top} = 7^{T}\times6^{ea}+12^{T}\times14^{ea} = 210^{ea}$

나. 하부 슬래브 : $N_{bot} = 12^{T}\times9^{ea} = 108^{ea}$

다. e_p (텐던 도심과 주형 도심과의 편심거리)

- $A_p \cdot y = 108^{ea}\times0.2+210^{ea}\times(3.0-0.225) = 604.35$ ea-m
- $A_p = 210+108 = 318^{ea}$
- $y = A_p \cdot y/A_p = 604.35/318 = 1.900$m

$\therefore\ e_p = 1.900-1.751 = 0.149$m

⑤ 프리스트레스 손실량

가. 긴장재와 쉬스사이의 마찰에 의한 손실량

$\Delta f_{pf} = f_{PJ}\ \{1-e^{-(\mu\alpha+kl)}\}$

여기서, Δf_{PJ} : 14,400 kgf/cm^2 (긴장력에 의한 긴장재의 응력)

μ : 0.3 /rad (곡률마찰계수)

α : 0 rad (긴장재의 각 변화)

k : 0.0066 /m (파상마찰계수)

$\Delta f_{pf} = 14{,}400\ \{1-e^{-(0.3\times0+0.0066\times25)}\} = 2{,}190$ kgf/cm^2

단, 2-cycle로 텐던배치시 손실량은 상기값의 1/2로 가정할 수 있으므로 $\Delta f_{pf} = 1{,}095$kgf/cm^2

나. 탄성 수축에 의한 손실량

$$\Delta f_{pel} = 0.5\ \frac{E_p}{E_{ci}} \cdot f_{cir}$$

여기서, $E_p = 2.0\times10^6$ kgf/cm^2

$E_{ci} = 10{,}500\sqrt{f_{ci}}+70{,}000 = 10{,}500\sqrt{320}+70{,}000 = 257{,}830$ kgf/cm^2

$f_{cir} = f_{cpi} - f_g$ (정착 직후 고정하중과 프리스트레스 힘에 의해 발생되는 긴장재 중심에서의 콘크리트 응력)

$$= \frac{P_i}{A_c}+\frac{P_i \cdot e_p^2}{I_c}-\frac{M_d \cdot e_p}{I_c}$$

$$= \frac{4{,}174.841}{7.0915}+\frac{4{,}174.841}{7.8738}\times0.149^2-\frac{4{,}700.3}{7.8738}\times0.149$$

$= 511.5$ tonf/m^2 $= 51.2$ kgf/cm^2

단, $P_i = 0.7 \cdot f_{pu} \cdot A_p$ (정착 직후 긴장재의 허용 인장력)

$= 0.7\times19{,}000\times0.9871\times318 = 4{,}174{,}841$ kgf

$$\therefore\ \Delta f_{pel} = 0.5\times\frac{2{,}000{,}000}{257{,}830}\times51.2 = 198.6\ \text{kgf/cm}^2$$

다. 크리프에 의한 손실량

$\Delta f_{pcr} = 12f_{cir} - 7f_{cds}$

여기서, $f_{cir} = 51.2$ kgf/cm^2

$f_{cds} = M_{ds} \cdot \frac{e_p}{I_c}$ (프리스트레스를 가한 이후의 모든 고정하중에 의해 발생되는 긴장재 중심에서의 콘크리트 응력)

$= 0$

$\therefore \Delta f_{pcr} = 12 \times 51.2 = 614.4$ kgf/cm^2

라. 건조수축에 의한 손실량

$\Delta f_{psh} = 0.80\ (1{,}190 - 10.5H_r)$

$= 0.80 \times (1{,}190 - 10.5 \times 70) = 364$ kgf/cm^2

마. 긴장재의 릴락세이션에 의한 손실량

$\Delta f_{pr} = 350 - 0.07\Delta f_{pf} - 0.1\Delta f_{pel} - 0.05(\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr})$

$= 350 - 0.07 \times 1{,}095 - 0.1 \times 51.2 - 0.05 \times (364 + 614.4) = 219.3$ kgf/cm^2

$\therefore$ 총 손실량 $\Delta f_p = 1{,}095 + 198.6 + 614.4 + 364 + 219.3 = 2{,}491.3$ kgf/cm^2

⑥ 총 손실량에 저항할 필요 프리스트레스 힘(F_2)

$F_2 = A_p \cdot \Delta f_p$

$= 0.9871 \times 318 \times 2{,}491.3 = 782{,}014$ kgf

⑦ 총 필요 프리스트레스 힘(F)

$F = F_1 + F_2 = 3{,}262{,}090 + 782{,}014 = 4{,}044{,}104$ kgf

⑧ 사용 강연선에 의한 프리스트레스 힘(F_{used})

$F_{used} = 0.7 \cdot f_{pu} \cdot A_p$

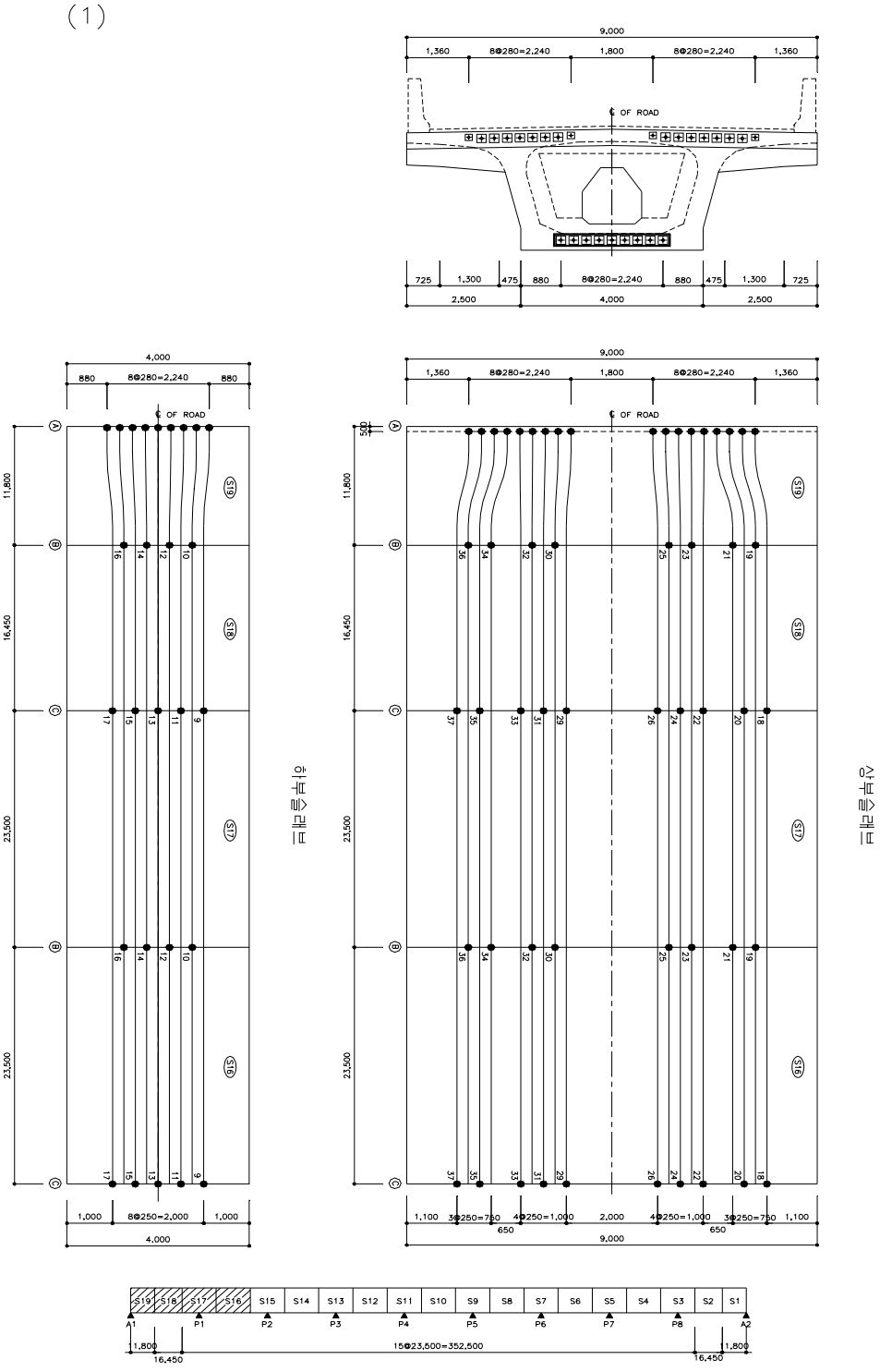
$= 0.7 \times 19{,}000 \times 0.9871 \times 318 = 4{,}174{,}841$ kgf $>$ $F = 4{,}044{,}104$ kgf (OK)

이상과 같이 최대 부모멘트에 대한 콘크리트의 인장응력을 상쇄하기 위한 사용 텐던수($N_{top} = 210^{ea}$, $N_{bot} = 108^{ea}$)는 적절하며, 최대 정모멘트에 저항할 사용 텐던수도 같은 방법으로 산정한다.

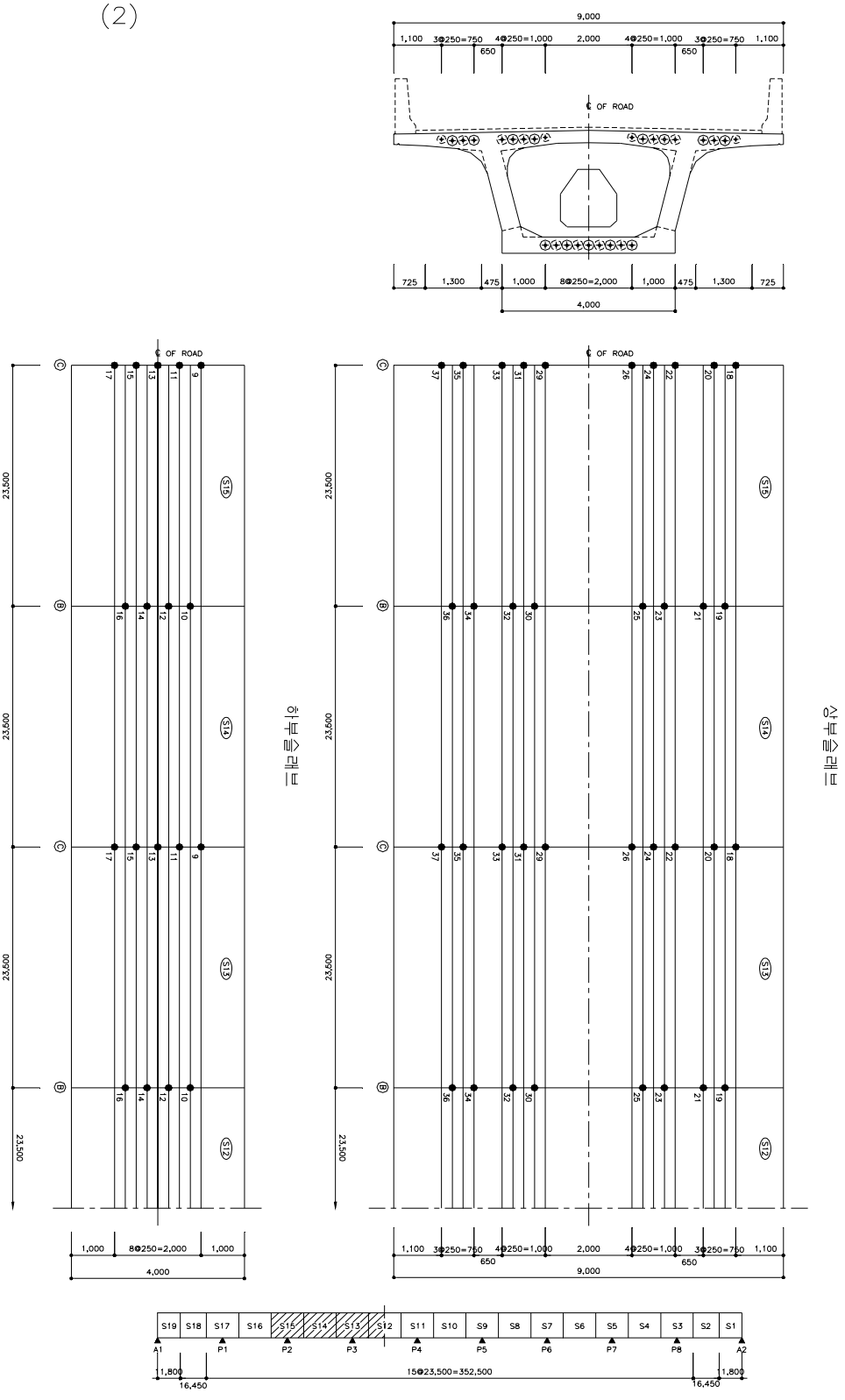
바. 1차 텐던의 배치

- 다음과 같이 2-cycle로 배치하기로 한다.

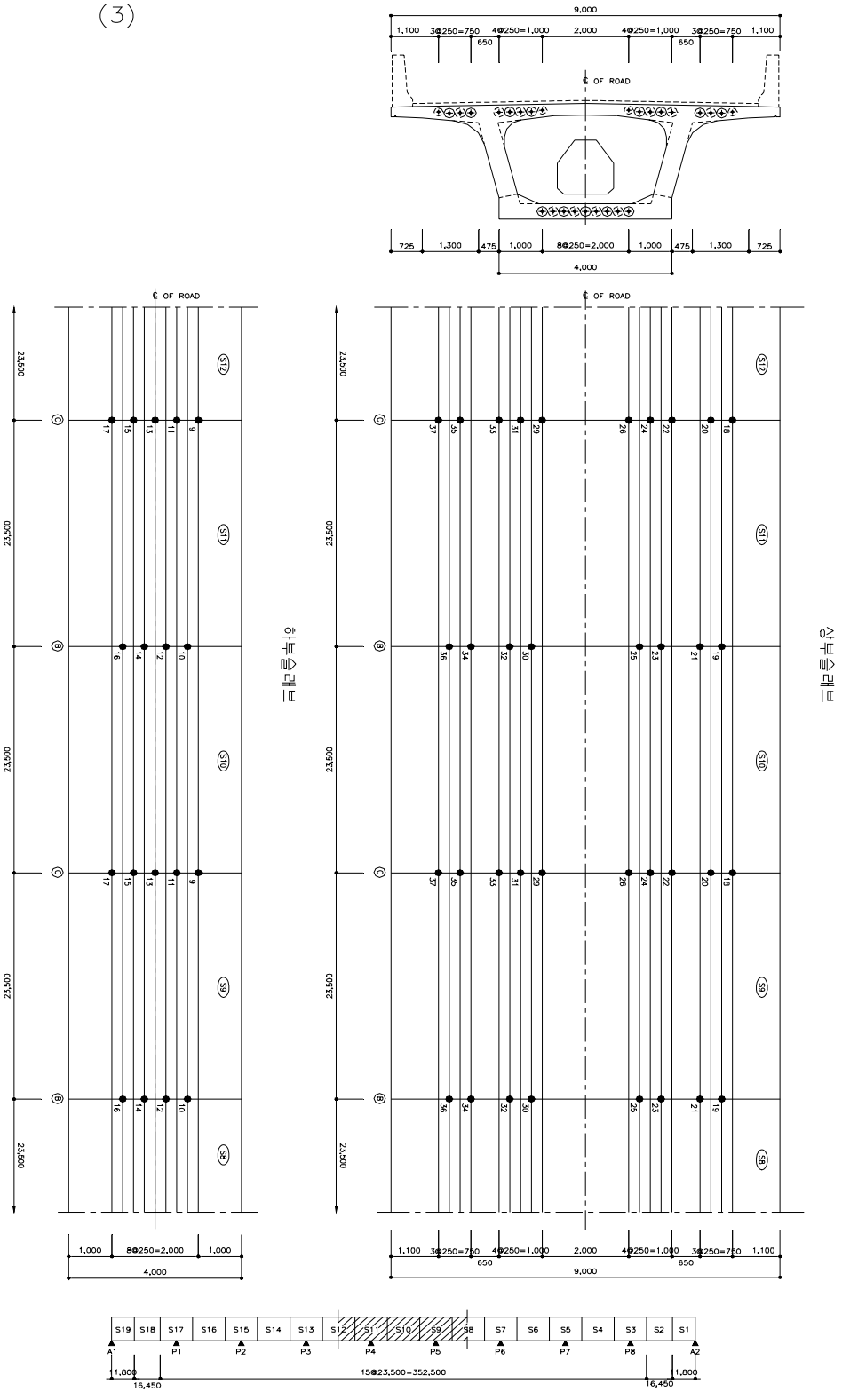
(1)


9,000
1,360
8@280=2,240
1,800
8@280=2,240
1,360
℄ OF ROAD
725
1,300
475
880
8@280=2,240
880
475
1,300
725
2,500
4,000
2,500
4,000
880
8@280=2,240
880
℄ OF ROAD
하부슬래브
상부슬래브
11,800
16,450
23,500
23,500
S19
S18
S17
S16
1,000
8@250=2,000
1,000
1,100
3@250=750
4@250=1,000
2,000
4@250=1,000
3@250=750
1,100
650
650
S19 S18 S17 S16 S15 S14 S13 S12 S11 S10 S9 S8 S7 S6 S5 S4 S3 S2 S1
A1 P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 A2
1,800
16,450
15@23,500=352,500
16,450
1,800

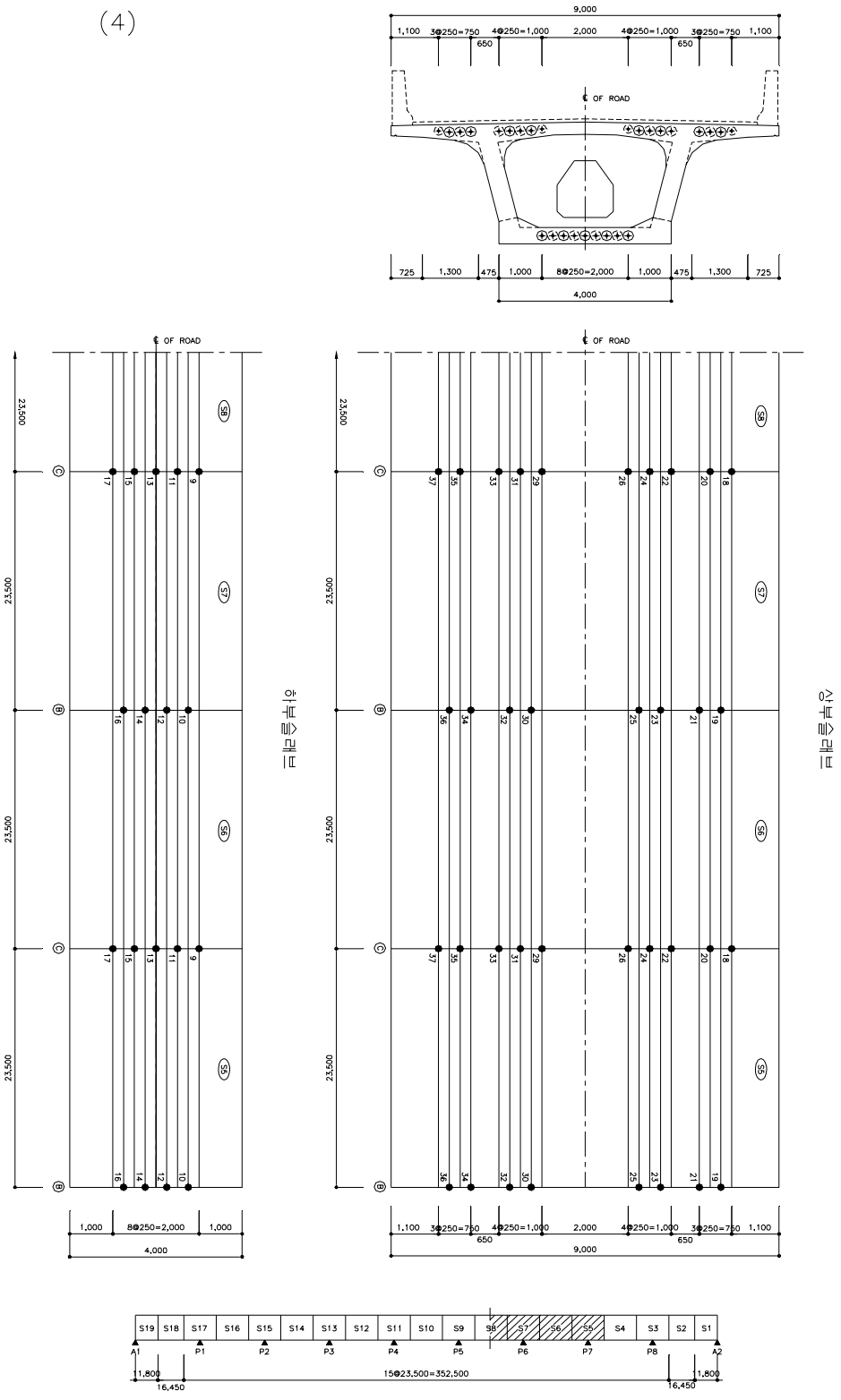
(2)


9,000
1,100 3@250=750 4@250=1,000 2,000 4@250=1,000 3@250=750 1,100
650
650
℄ OF ROAD
725 1,300 475 1,000 8@250=2,000 1,000 475 1,300 725
4,000
하부플랜지
상부플랜지
23,500
S19 S18 S17 S16 S15 S14 S13 S12 S11 S10 S9 S8 S7 S6 S5 S4 S3 S2 S1
A1 P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 A2
1,800
16,450
15@23,500=352,500

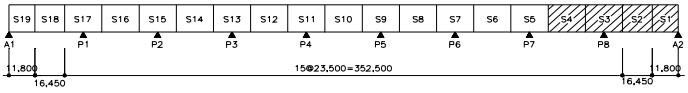
(3)

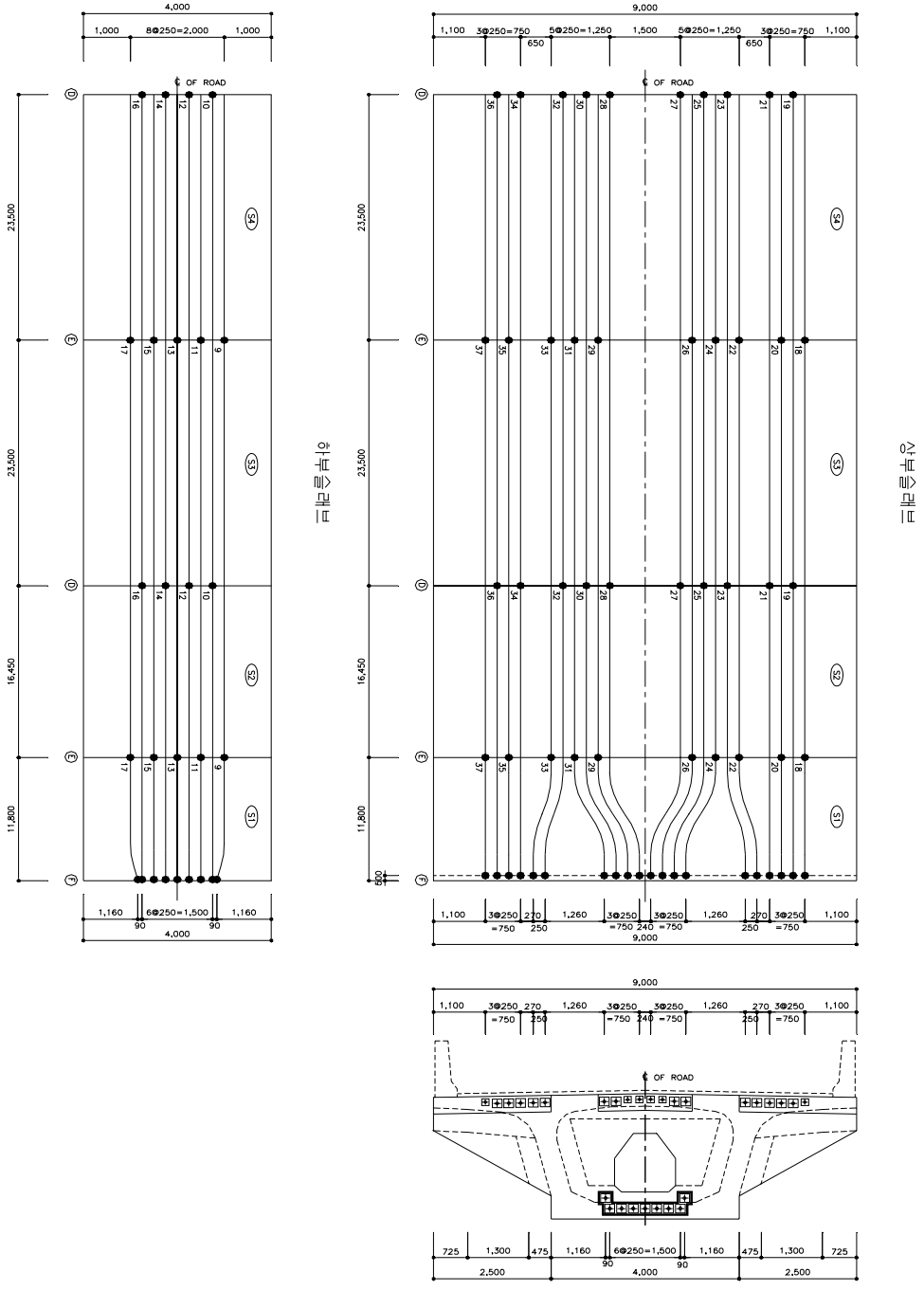

9,000
1,100 3@250=750 4@250=1,000 2,000 4@250=1,000 3@250=750 1,100
650
650
℄ OF ROAD
725 1,300 475 1,000 8@250=2,000 1,000 475 1,300 725
4,000
℄ OF ROAD
23,500
S12
S11
S10
S9
S8
17 15 13 11 9
16 14 12 10
하부슬래브
℄ OF ROAD
37 35 33 31 29 27 26 24 22 20 18
36 34 32 30 28 25 23 21 19
상부슬래브
1,000 8@250=2,000 1,000
4,000
1,100 3@250=750 4@250=1,000 2,000 4@250=1,000 3@250=750 1,100
650
650
9,000
S19 S18 S17 S16 S15 S14 S13 S12 S11 S10 S9 S8 S7 S6 S5 S4 S3 S2 S1
A1 P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 A2
11,800
16,450
15@23,500=352,500
11,800
16,450

(4)


9,000
1,100 3@250=750 4@250=1,000 2,000 4@250=1,000 3@250=750 1,100
650
650
℄ OF ROAD
725 1,300 475 1,000 8@250=2,000 1,000 475 1,300 725
4,000
℄ OF ROAD
23,500
1,000 8@250=2,000 1,000
4,000
하부슬래브
℄ OF ROAD
23,500
1,100 3@250=750 4@250=1,000 2,000 4@250=1,000 3@250=750 1,100
650
650
9,000
상부슬래브
S19 S18 S17 S16 S15 S14 S13 S12 S11 S10 S9 S8 S7 S6 S5 S4 S3 S2 S1
A1 P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 A2
11,800
15@23,500=352,500
11,800
16,450
16,450

(5)


S19 S18 S17 S16 S15 S14 S13 S12 S11 S10 S9 S8 S7 S6 S5 S4 S3 S2 S1
A1 P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 A2
11,800
16,450
15@23,500=352,500
11,800
16,450


4,000
1,000 8@250=2,000 1,000
9,000
1,100 3@250=750 5@250=1,250 1,500 5@250=1,250 3@250=750 1,100
650
650
℄ OF ROAD
23,500
16,450
11,800
S4
S3
S2
S1
1,160 6@250=1,500 1,160
90
90
4,000
1,100 3@250=750 270 1,260 3@250=750 3@250=750 1,260 270 3@250=750 1,100
250
250
9,000
725 1,300 475 1,160 6@250=1,500 1,160 475 1,300 725
2,500
4,000
2,500

(6) [단계 2-6] 압출 단계별 콘크리트의 휨응력 검토

① 최대 압축응력 결과

구 분	절점번호	발생 응력(kgf/cm^2)	허용 응력(kgf/cm^2)	판정	발생 단계
상 연	25	-106.5	-176.0	OK	18 단계
하 연	27	-150.3	-176.0	OK	17 단계

② 최대 인장응력 결과

구 분	절점번호	발생 응력(kgf/cm^2)	허용 응력(kgf/cm^2)	판정	발생 단계
상 연	27	22.0	28.6	OK	17 단계
하 연	21	17.6	28.6	OK	18 단계

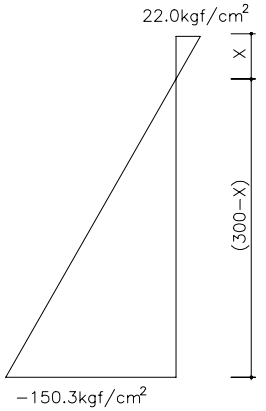
(7) [단계 2-7] 인장 보강 철근량 계산

① 최대 인장 응력

f_{top} = 22.0 kgf/cm2 < f_{ta} = 28.6 kgf/cm^2 (OK)

f_{bot} = -150.3 kgf/cm2 < f_{ca} = -176.0 kgf/cm^2 (OK)

② 인장 철근량 계산



· 인장응력 발생 구간

$$\frac{150.3+22.0}{300} = \frac{22.0}{x}$$

$\therefore$ x = 38.305 cm

· 발생 인장력 계산

T = 1/2×22.0×38.305×900 = 379,220 kgf

$A_{s(req)} = \frac{T}{f_{sa}}$ = 379,220/1,600 = 237.0 cm^2

(8) [단계 2-8] 극한 강도 검토

① 설계 단면력 (V_u, M_n)

가. 설계 전단력(V_u) : 절점 번호-31

· V_u = 1.3 V_D + 1.0 V_G + 1.0 V_p

여기서, V_D = 고정하중

V_G = 크리프 및 건조 수축

V_P = 프리스트레스 힘

$\therefore\ V_u$ = 675.4 tonf

나. 설계 모멘트(M_u)

· $M_u = 1.3\ M_D + 1.0\ M_G + 1.0\ M_p$

$\therefore\ M_u$ = 6,511 tonf-m

② 전단강도(ϕV_n) 검토

가. 콘크리트가 부담하는 전단강도

(가) 휨 전단강도(V_{ci})

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{\max}} \geq 0.45\sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d$$

여기서, f_{ck} = 400 kgf/cm^2

b_w = 43.7×2 = 87.4 cm

d = 0.8h = 0.8×300 = 240 cm

V_d = 519.5 tonf

$V_i = V_u - V_d$ = 675.4-519.5 = 155.9 tonf

$M_{max} = M_u - M_d$ = 6,511.0-5,008.4 = 1,502.6 tonf-m

$$M_{cr} = \frac{I_y}{y_t}(1.6\sqrt{f_{ck}} + f_{pe} - f_d)$$

y_t = 121.4 cm

I_y = 8.4087×10^{8}cm^4

$$f_{pe} = \frac{P_e}{A_g} + P_e \cdot e_p \cdot \frac{y_t}{I_g}$$

P_e = 2,460 tonf

A_g = 7.0915×10^4 cm^2

$e = y_t - d'$

= 121.4-22.5 = 98.9 cm

$$f_{pe} = \frac{2,460\times10^3}{7.0915\times10^4} + 2,460\times10^3\times98.9\times\frac{121.4}{8.4087\times10^8}$$

= 69.8 kgf/cm^2

$$f_d = \frac{M_d}{I_g} \cdot y_t$$

$$= \frac{5,008.4\times10^5}{8.4087\times10^8}\times121.4$$

= 72.3 lgf/cm^2

$$M_{cr} = \frac{8.4087\times10^8}{121.4}(1.6\sqrt{400}+69.8-72.3)$$

= 204,330,025 kgf-cm = 204.3 tonf-m

$\therefore\ V_{ci} = 0.16\sqrt{400}\times87.4\times240+519.5\times10^3+\frac{155.9\times10^3\times204.3\times10^5}{1502.6\times10^5}$

= 69,123.2+519,500.0+21,196.8

= 609,820.0 kgf = 609.820 tonf > $0.45\sqrt{400}\times87.4\times240$ = 188.784 tonf

(나) 복부 전단강도(V_{cw})

◦ $V_{cw} = (0.93\sqrt{f_{ck}}+0.3f_{pc})\cdot b_w\cdot d+V_p$

여기서, $f_{pc} = \frac{P_e}{A_g}$

$= \frac{2,460\times10^3}{7.0915\times10^4}$ = 34.7 lgf/cm^2

V_p = 0

$\therefore\ V_{cw} = (0.93\sqrt{400}+0.3\times34.7)\times87.4\times240$

= 621,099.4 kgf = 621.100 tonf

∴ 콘크리트가 부담하는 전단력(V_c)

$V_c = V_{ci}$ = 609.820 tonf

나. 전단철근이 부담하는 전단강도(ø · V_s)

ø · $V_s = V_u$ - ø · V_c

= 675.4-0.8×609.820 = 187.544 tonf < ø · $(2.12\sqrt{f_{ck}}\cdot b_w\cdot d)$

= $0.8\times2.12\times\sqrt{400}\times87.4\times240$

= 711,506 kgf = 711.506 tonf

(가) 필요 철근량($A_{V\text{-}req}$)

◦ $A_{V\text{-}req} = \frac{(V_u-\phi\cdot V_s)\cdot s}{\phi\cdot f_y\cdot d}$

$= \frac{187.544\times10^3\times12.5}{0.8\times4,000\times240}$ = 3.052 cm^2

(나) 최소 철근량($A_{V\text{-}min}$)

◦ $A_{V\text{-}min} = 3.5\cdot\frac{b_w\cdot s}{f_y}$

$= 3.5\times\frac{87.4\times12.5}{4,000}$ = 0.956 cm^2 < $A_{V\text{-}req}$ = 3.052 cm^2

(다) 사용 철근량($A_{V\text{-}used}$)

◦ $A_{V\text{-}used} = 3.5\cdot\frac{b_w\cdot s}{f_y}$

$$= \frac{12.160 \times 4,000 \times 240}{12.5}$$

= 933,888 kgf = 933.888 tonf

다. 전단 강도($ø \cdot V_n$)

$ø \cdot V_n = ø(V_c + V_s)$

여기서, V_c = 609.820 tonf

$$V_s' = 933.888 \text{ tonf} > V_s = \frac{711.506}{0.8} = 889.383 \text{ tonf}$$

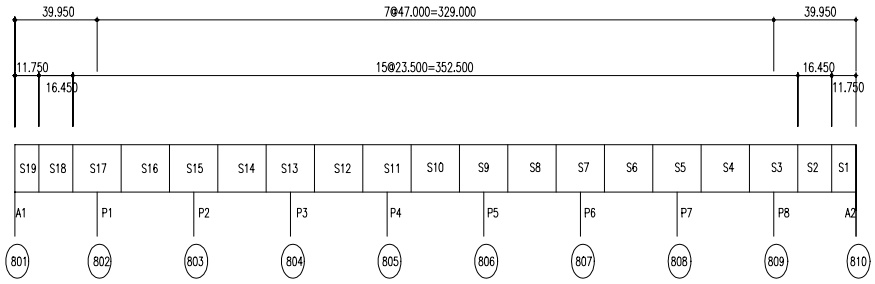
$\therefore ø \cdot V_n = 0.8 \times (609.820+889.383)$

= 1,199.362 tonf

V_n = 675.400 tonf < $øV_n$ = 1,199.362 tonf (OK)

5.3.3 [단계 3] 압출 완료 후 종방향 해석

(1) [단계 3-1] 구조계 모델링



단, 교각 P4, P5는 실제 교각 높이 및 단면상수를 적용하여 모델링함.

(2) [단계 3-2] 최대 단면력 산정 (모멘트)

구 분	절점 번호	고정 하중	활하중	지점침하	온도변화	크리프 및 건조수축	합 계 (tonf-m)
중앙부	22	497.1	726.0	208.9	188.8	35.5	1,656.3
지점부	32	-795.9	-875.4	-507.4	-458.6	86.3	-2,551.0

여기서, 고정하중은 거더 자중을 제외한 모든 1차 고정하중 및 2차 고정하중을 고려한 모멘트임. 즉, 1차 텐던이 압출시의 주형자중 및 가설하중을 부담하고 2차 텐던이 압출완료 후의 모든 하중을 부담하는 것으로 가정함.

(3) [단계 3-3] 2차 텐던량 산출 및 배치

① 경간 중앙부 배치용 2차 텐던량 산출

$+M_{max}$ = 1,656.3 tonf-m

$$f_{top} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e_p}{I} \cdot y_{bot} - \frac{M_{\max}}{I} \cdot y_{bot} \geq 0$$

$$P_e \geq \left(\frac{M_{\max}}{I} \cdot y_{bot}\right) / \left(\frac{1}{A} + \frac{e_p \cdot y_{bot}}{I}\right)$$

$$P_e \geq \left(\frac{1,656.3}{7.8738} \times 1.751\right) / \left(\frac{1}{7.0915} + \frac{1.476 \times 1.751}{7.8738}\right)$$

여기서, e_p = 1.751-0.275 = 1.476 m

$P_e \geq$ 784.9 tonf

- 전체 손실량을 감안한 강연선의 유효 인장응력을 초기 인장응력의 70%로 가정하면

  f_{pe} = 0.9×16,000×0.7 = 10,080 kgf/cm^2

- 강연선 1ea의 유효 인장력(P_e)

  $P_e = f_{pe} \times A_p$

  = 10,080×0.9871 = 9,950.0 kgf = 9.950 tonf

- $R_{eq} \cdot N_{bot} = \frac{784.9}{9.950}$ = 78.9 ea

- 15^T×ø12.7mm 사용시 78.9 /15 = 5.3 ea → $15^T \times 8^{ea}$ 사용

② 지점부 배치용 2차 텐던량 산출

$-M_{max}$ = -2,551.0 tonf-m

$$f_{top} = \frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e_p}{I} \cdot y_{top} - \frac{M_{\max}}{I} \cdot y_{top} \geq 0$$

$$P_e \geq \left(\frac{M_{\max}}{I} \cdot y_{top}\right) / \left(\frac{1}{A} + \frac{e_p \cdot y_{top}}{I}\right)$$

$$P_e \geq \left(\frac{2,551.0}{7.8738} \times 1.249\right) / \left(\frac{1}{7.0915} + \frac{0.849 \times 1.249}{7.8738}\right)$$

여기서, e_p = 1.249-0.4 = 0.849 m

$P_e \geq$ 1,467.8 tonf

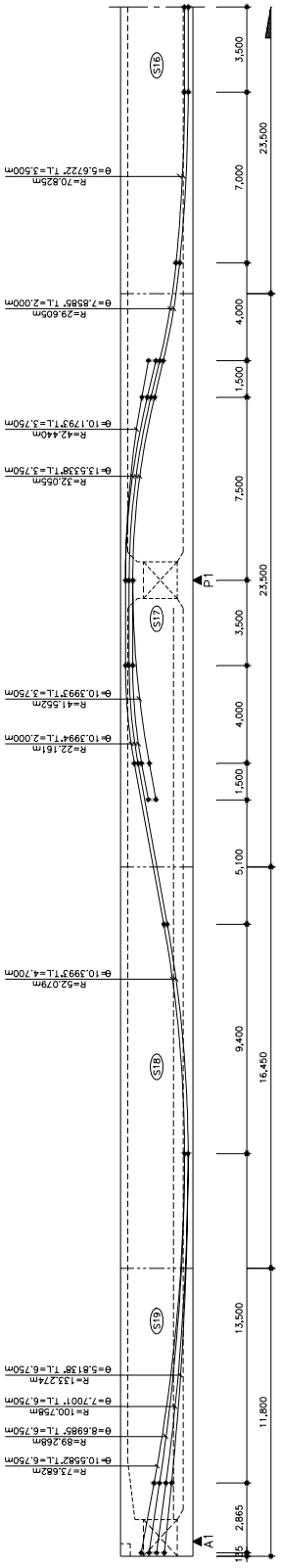
- 경간 중앙부와 같은 방법으로

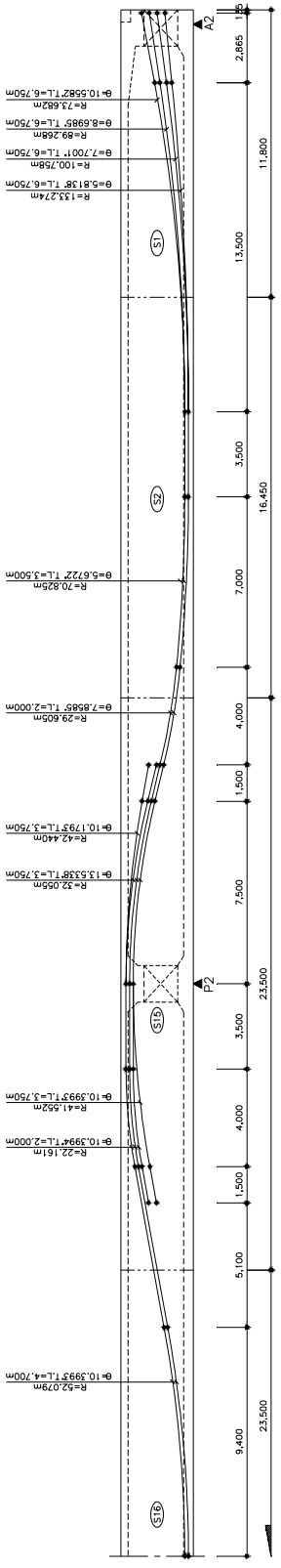
$$R_{eq} \cdot N_{bot} = \frac{1,467.8}{9.950} = 147.5 \text{ ea}$$

- 147.5 /15 = 9.8^{ea} → $15^T \times 12^{ea}$ 사용

③ 2차 텐던 배치

- 다음과 같이 배치하기로 한다.


A1
P1
S16
S17
S18
S19
R=73.682m θ=10.5582°T.L=6.750m
R=89.268m θ=8.6985° T.L=6.750m
R=100.758m θ=7.7001° T.L=6.750m
R=133.274m θ=5.8138° T.L=6.750m
R=22.161m θ=10.3994°T.L=2.000m
R=41.552m θ=10.3993°T.L=3.750m
R=52.079m θ=10.3993°T.L=4.700m
R=70.825m θ=5.6722° T.L=3.500m
R=29.605m θ=7.8585° T.L=2.000m
R=42.440m θ=10.1793°T.L=3.750m
R=32.055m θ=13.5338°T.L=3.750m
3,500
7,000
4,000
1,500
7,500
3,500
4,000
1,500
5,100
9,400
13,500
11,800
2,865
105
23,500
16,450


A2
P2
S1
S2
S15
S16
R=73.682m θ=10.5582°T.L=6.750m
R=89.268m θ=8.6985° T.L=6.750m
R=100.758m θ=7.7001° T.L=6.750m
R=133.274m θ=5.8138° T.L=6.750m
R=22.161m θ=10.3994°T.L=2.000m
R=41.552m θ=10.3993°T.L=3.750m
R=52.079m θ=10.3993°T.L=4.700m
R=70.825m θ=5.6722° T.L=3.500m
R=29.605m θ=7.8585° T.L=2.000m
R=42.440m θ=10.1793°T.L=3.750m
R=32.055m θ=13.5338°T.L=3.750m
2,865
105
11,800
13,500
3,500
16,450
7,000
4,000
1,500
7,500
3,500
4,000
1,500
5,100
9,400
23,500

(4) [단계 3-4] 각 하중조합에 대한 콘크리트의 휨응력 검토

① 하중조합 1 : 고정하중+활하중+지점침하 (허용응력 증가계수 : 1.0)

가. 최대 압축 응력

구 분	절점 번호	발생 응력(kgf/cm^2)	허용 응력(kgf/cm^2)	판 정
상 연	24	-94.9	-160	OK
하 연	32	-147.1	-160	OK

나. 최대 인장 응력

구 분	절점 번호	발생 응력(kgf/cm^2)	허용 응력(kgf/cm^2)	판 정
상 연	-	-	32	OK
하 연	-	-	32	OK

② 하중조합 2 : 고정하중+활하중+지점침하+온도변화 (허용응력 증가계수 : 1.15)

가. 최대 압축 응력

구 분	절점 번호	발생 응력(kgf/cm^2)	허용 응력(kgf/cm^2)	판 정
상 연	24	-108.4	-184	OK
하 연	32	-167.6	-184	OK

나. 최대 인장 응력

구 분	절점 번호	발생 응력(kgf/cm^2)	허용 응력(kgf/cm^2)	판 정
상 연	-	-	36.8	OK
하 연	-	-	36.8	OK

(5) [단계 3-5] 극한 강도 검토

① 최대 단면력(하중계수 미고려) 결과

가. 최대 휨 모멘트(M_z) (단위 : tonf)

구분	절점	고 정 하 중	활하중	온도 변화	지점 침하	크리프 및 건조수축	P/T 부정정력	합 계
중앙부	22	2,540.7	726.0	188.8	208.9	42.4	-235.2	3,471.6
	42	1,962.8	713.0	401.0	33.1	71.3	-408.6	2,772.6
	62	2,046.0	743.5	359.5	7.9	55.3	-240.4	2,971.8
	82	2,023.3	747.3	373.8	0.8	20.3	-254.6	2,912.3
	102	2,030.8	748.4	372.1	0.0	92.4	-226.2	3,017.5
	122	2,023.6	747.3	373.8	0.8	18.3	-244.6	2,919.2
	142	2,045.1	743.5	359.5	7.9	53.3	-236.5	2,972.8
	162	1,965.8	713.0	401.0	33.2	44.2	-223.1	2,934.1
	182	2,524.8	731.7	188.8	208.9	19.9	-82.8	3,591.3
지점부	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	32	-4,222.1	-875.4	-458.6	-507.2	102.9	-571.3	-6,531.7
	52	-3,995.3	-922.9	-343.8	-573.5	39.7	-245.9	-6,041.7
	72	-4,055.8	-944.4	-376.6	-589.3	70.9	-235.0	-6,130.2
	92	-4,040.7	-949.1	-372.1	-591.0	92.2	-232.6	-6,093.3
	112	-4,040.8	-947.2	-376.5	-591.0	-29.9	-261.5	-6,246.9
	132	-4,055.2	-944.4	-376.6	-589.4	66.4	-227.8	-6,127.0
	152	-3,997.5	-922.9	-343.8	-573.5	40.1	-245.2	-6,042.8
	172	-4,214.1	-875.4	-458.6	-507.2	48.3	-201.0	-6,208.0
	189	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0

나. 최대 전단력(Q_y) (단위 : tonf)

구분	절점	고 정 하 중	활하중	온도 변화	지점 침하	크리프 및 건조수축	P/T 부정정력	합 계
지점부	15	-380.1	-90.5	-11.5	-12.7	-2.6	14.3	-483.1
	32	-520.4	-120.0	-2.5	-23.0	1.3	-6.9	-671.5
	52	-514.3	-121.3	-0.7	-24.7	-0.7	-0.2	-661.0
	72	-515.9	-121.8	-0.4	-25.1	2.2	0.8	-660.2
	92	-515.6	-122.0	-0.4	-25.1	0.0	-0.3	-663.5
	112	-515.3	-122.0	-0.4	-25.1	-2.0	-0.7	-665.5
	132	-516.8	-121.8	-0.7	-24.7	0.6	0.4	-663.0
	152	-511.0	-121.3	-2.5	-23.0	-0.2	-0.9	-658.9
	172	-544.0	-120.0	-11.5	-12.7	1.2	-5.0	-692.0
	189	-373.2	-89.7	-11.5	-12.7	1.2	-5.0	-490.9

다. 최대 비틀림 모멘트(M_T) (단위 : tonf-m)

구분	절점	고 정 하 중	활하중	온 도 변 화	지 점 침 하	크리프 및 건조수축	P/T 부정정력	풍하중	합 계
지점부	15	0.0	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	26.7
	32	0.0	25.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	26.3
	52	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	41.7
	72	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	41.7
	92	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	41.7
	112	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	41.7
	132	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	41.7
	152	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.7
	172	0.0	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7
	189	0.0	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.6

② 하중 조합에 의한 설계 단면력(하중계수 고려) 결과

가. 휨모멘트 최대인 경우의 설계 단면력

구 분	절 점 번 호	설계 단면력			비 고
		휨모멘트 (tonf-m)	전단력 (tonf)	비틂 모멘트 (tonf-m)	
중앙부	182	4,772.6	-54.4	68.8	하중조합 : 1.3D+2.15L+1.0PT
지점부	32	-8,319.9	-843.6	3.2	하중조합 : 1.3D+1.3L+1.3G+1.0PT

나. 전단력 최대인 경우의 설계 단면력

구 분	절 점 번 호	설계 단면력			비 고
		휨모멘트 (tonf-m)	전단력 (tonf)	비틂 모멘트 (tonf-m)	
지점부	172	-7,533.6	-970.2	5.3	하중조합 : 1.3D+2.15L+1.0PT

다. 비틂 모멘트 최대인 경우의 설계 단면력

구 분	절 점 번 호	설계 단면력			비 고
		휨모멘트 (tonf-m)	전단력 (tonf)	비틂 모멘트 (tonf-m)	
지점부	172	-5,734.1	-794.1	88.6	하중조합 : 1.3D+2.15L+1.0PT

③ 극한 강도 검토

가. 휨 강도 검토

· f_{ck} = 400 kgf/cm^2, f_{pu} = 19,000 kgf/cm^2, f_{py} = 16,000 kgf/cm^2

· $\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{16,000}{19,000} = 0.842 \fallingdotseq 0.85 \rightarrow \gamma_p = 0.4$

· $\beta_1 = 0.85 - \frac{f_{ck}-280}{70} \times 0.05 = 0.764$

(가) 정모멘트 최대 (절점 182)

· M_u = 4,772.6 tonf-m, d_p = 300-25 = 275cm, d = 300-20 = 280cm, b = 900cm

· $A_p = 0.9871 \times (15 \times 8^{ea} + 12 \times 9^{ea})$ = 225.059 cm^2

· A_s = H16×38^{ea} = 1.986×38 = 75.468 cm^2

· $f_{ps} = f_{pu}\left[1-\frac{\gamma_p}{\beta_1}\times\left\{\rho_p\cdot\frac{f_{pu}}{f_{ck}}+\frac{d}{d_p}\left\{\rho\cdot\frac{f_y}{f_{ck}}-\rho'\frac{f_y}{f_{ck}}\right\}\right\}\right]$

$= 19{,}000\times\left[1-\frac{0.4}{0.764}\times\left\{0.00091\times\frac{19{,}000}{400}+\frac{280}{275}\times\left\{0.00030\times\frac{4{,}000}{400}\right\}\right\}\right]$

$= 19{,}000\times0.976 = 18{,}544\ \text{kgf/cm}^2$

여기서, $\rho_p = \frac{A_p}{b\cdot d_p} = \frac{225.059}{900\times275} = 0.00091$

$\rho = \frac{A_s}{b\cdot d} = \frac{75.468}{900\times280} = 0.00030\text{addht}$

· $q_p = \rho_p\cdot\frac{f_{ps}}{f_{ck}}$

$= 0.00091\times\frac{18{,}544}{400} = 0.042 < 0.36\beta_1 = 0.36\times0.764 = 0.275$

· $a = \frac{A_p\cdot f_{ps}}{0.85f_{ck}\cdot b}$

$= \frac{225.059\times18{,}544}{0.85\times400\times900} = 13.6\text{cm} < 30\text{cm} \rightarrow$ 사각형 단면

· $\phi\cdot M_n = \phi\left[A_p\cdot f_{ps}\cdot d_p\left\{1-0.59\left(\frac{\rho_p\cdot f_{ps}}{f_{ck}}+\frac{d}{d_p}\cdot\frac{\rho\cdot f_y}{f_{ck}}\right)\right\}\right.$

$\left.+As\cdot fy\left\{1-0.59\left(\frac{d_p}{d}\cdot\frac{\rho_p\cdot f_{ps}}{f_{ck}}+\frac{\rho\cdot f_y}{f_{ck}}\right)\right\}\right]$

$=0.85\times\left[225.059\times18{,}544\times275\times\left\{1-0.59\times\left(\frac{0.00091\times18{,}544}{400}+\frac{280}{275}\times\frac{0.00030\times4{,}000}{400}\right)\right\}\right.$

$\left.+75.468\times4{,}000\times\left\{1-0.59\times\left(\frac{275}{280}\times\frac{0.00091\times18{,}544}{400}+\frac{0.00030\times4{,}000}{400}\right)\right\}\right]$

$= 0.85\times[1{,}147{,}710{,}876\times\{1-0.59\times0.0452\}+301{,}872\times\{1-0.59\times0.0444\}]$

$= 0.85\times1{,}117{,}397{,}687 = 949{,}788{,}034\ \text{kgf}\cdot\text{cm} = 9{,}497.880\ \text{tonf-m}$

∴ $\phi\cdot M_n = 9{,}497.880\ \text{tonf-m} > M_u = 4{,}772.600\ \text{tonf-m}$ (OK)

(나) 부모멘트 최대 (절점 32)

· M_u = -8,319.9 tonf-m, d_p = 300-40 = 260cm, d = 300-22.5 = 277.5cm, b = 400cm

· $A_p = 0.9871\times(15\times12^{ea}+12\times14^{ea}+7\times6^{ea}) = 384.969\text{cm}^2$

· A_s = H16×170^{ea} = 1.986×170 = 337.620 cm^2

· $f_{ps} = f_{pu}\left[1-\frac{\gamma_p}{\beta_1}\times\left\{\rho_p\cdot\frac{f_{pu}}{f_{ck}}+\frac{d}{d_p}\times\left\{\rho\cdot\frac{f_y}{f_{ck}}-\rho'\cdot\frac{f_y}{f_{ck}}\right\}\right\}\right]$

$= 19{,}000\times\left[1-\frac{0.4}{0.764}\times\left\{0.00370\times\frac{19{,}000}{400}+\frac{277.5}{260}\times\left\{0.00304\times\frac{4{,}000}{400}\right\}\right\}\right]$

$= 19{,}000\times0.891 = 16{,}929\ \text{kgf/cm}^2$

여기서, $\rho_p = \frac{A_p}{b \cdot d_p} = \frac{384.969}{400 \times 260} = 0.00370$

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{337.620}{400 \times 277.5} = 0.00304$

· $q_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f_{ck}}$

$= 0.00370 \times \frac{16,929}{400} = 0.157 < 0.36\beta_1 = 0.36 \times 0.764 = 0.275$

· $a = \frac{A_p \cdot f_{ps}}{0.85 f_{ck} \cdot b}$

$= \frac{384.969 \times 16,929}{0.85 \times 400 \times 400} = 47.9\text{cm} > 40\text{cm} \rightarrow$ 플랜지를 갖는 단면

· $\phi \cdot M_n =$

$$\phi\left[A_{pw} \cdot f_{ps} \cdot d_p\left(1 - 0.59\frac{A_{pw} \cdot f_{ps}}{b_0 \cdot d_p \cdot f_{ck}}\right) + A_s \cdot f_y(d - d_p) + 0.85 f_{ck}(b - b_o) \cdot t \cdot (d_p - 0.5t)\right]$$

$$= 0.85 \times \left[229.309 \times 16,929 \times 260 \times \left\{1 - 0.59 \times \frac{229.309 \times 16,929}{87.4 \times 260 \times 400} + \right\} + 337.620 \times 4,000 \times (277.5 - 260) + 0.85 \times 400 \times (400 - 87.4) \times 37.5 \times (260 - 0.5 \times 37.5)\right]$$

$= 0.85 \times [1,009,312,736 \times \{1 - 0.59 \times 0.4271\} + 985,171,462.5]$

$= 0.85 \times 1,740,148,491 = 1,479,126,218$ kgf · cm $= 14,791.262$ tonf-m

$\therefore \phi \cdot M_n = 14,791.262$ tonf-m $> M_u = 8,319.9$ tonf-m (OK)

여기서, $A_{pw} = A_p + (A_s \cdot f_y / f_{ps}) - A_{pf}$

$= 384.969 + (337.620 \times 4,000/16,929) - 235.433 = 229.309$ cm^2

$A_{pf} = 0.85 f_{ck}(b - b_o) \cdot$ tonf $/ f_{ps}$

$= 0.85 \times 400 \times (400 - 2 \times 43.7) \times 37.5/16,929 = 235.433$ cm^2

나. 균열 모멘트 검토

(가) 정모멘트 최대 (절점 182)

· $M_{cr} = (f_{ru} + f_{pe}) Z_c$

$= \frac{I_g}{y_t}(2.0\sqrt{f_{ck}} + \frac{P_e}{A_g}) + P_e \cdot e_p$

$= \frac{8.4087 \times 10^8}{178.6}(2.0 \times \sqrt{400} + \frac{2,582 \times 10^3}{7.0915 \times 10^4}) + 2,582 \times 10^3 \times 153.6$

$= 359,746,344 + 396,595,200 = 756,341,544$ kgf-cm $= 7,563.415$ tonf-m

여기서, $e_p = d_p - y_{top} = 275 - 121.4 = 153.6$ cm

$y_t = 178.6$ cm (단면 도심에서 인장측 연단까지의 거리)

$d_p = 300 - 25 = 275$ cm (압축측 연단에서 프리스트레스힘의 중심까지의 거리)

y_{top} = 300-178.6 = 121.4 (단면도심에서 압축측 연단까지의 거리)

· $1.2M_{cr}$ = 1.2×7,563.415 = 9,076.098 tonf-m < ø · M_n = 9,497.880 tonf-m (OK)

(나) 부모멘트 최대 (절점 32)

· $M_{cr} = (f_{ru}+f_{pe})Z_c$

$$= \frac{I_g}{y_t}(2.0\sqrt{f_{ck}} + \frac{P_e}{A_g}) + P_e \cdot e_p$$

$$= \frac{8.4087\times10^8}{121.4}\times(2.0\times\sqrt{400} + \frac{4,264\times10^3}{7.0915\times10^4}) + 4,264\times10^3\times81.4$$

= 693,532,971+347,089,600 = 1,040,622,571 kgf-cm = 10,406.226 tonf-m

여기서, $e_p = d_p - y_{bot}$ = 260-178.6 = 81.4 cm

y_t = 121.4 cm (단면 도심에서 인장측 연단까지의 거리)

d_p = 300-40 = 260 cm (압축측 연단에서 프리스트레스힘의 중심까지의 거리)

y_{top} = 300-121.4 = 178.6 (단면도심에서 압축측 연단까지의 거리)

· $1.2M_{cr}$ = 1.2×10,406.226 = 12,487.471 tonf-m < ø · M_n = 14,791.262 tonf-m(OK)

다. 전단 강도 검토(절점 172)

(가) 콘크리트가 부담하는 전단강도

㉮ 휨 전단 강도(V_{ci})

· $V_{ci} = 0.16\sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{\max}} \geq 0.45\sqrt{f_{ck}} \cdot b_w \cdot d$

여기서, f_{ck} = 400 kgf/cm^2

b_w = 43.7×2 = 87.4 cm

d = 0.8h = 0.8×300 = 240 cm

V_d = -544.0 tonf

$V_i = V_u - V_d$ = 963.1-544.0 = 419.1 tonf

$M_{max} = M_u - M_d$ = 7,533.6-4,214.1 = 3,319.5 tonf-m

$$M_{cr} = \frac{I_g}{y_t}(1.6\sqrt{f_{ck}} + f_{pe} - f_d)$$

y_t = 121.4 cm

I_g = 8.4087×10^{8}cm^4

$$f_{pe} = \frac{P_e}{A_g} + Pe \cdot e_p \cdot \frac{y_t}{I_g}$$

P_e = 4,128 tonf

A_g = 7.0915×10^4 cm^2

e_p = 81.4 cm

$$f_{pe} = \frac{4,128\times10^3}{7.0915\times10^4} + 4,128\times10^3\times81.4\times\frac{121.4}{8.4087\times10^8}$$

$= 106.7\ \text{kgf/cm}^2$

$$f_d = \frac{M_d}{I_g}\cdot y_t$$

$$= \frac{4,214.1\times10^5}{8.0487\times10^8}\times121.4$$

$= 63.6\ \text{kgf/cm}^2$

$$M_{cr} = \frac{8.4087\times10^8}{121.4}(1.6\sqrt{400}+106.7-63.6)$$

$= 520,175,758\ \text{kgf-cm} = 5,201.758\ \text{tonf-m}$

$$\therefore\ V_{ci} = 0.16\sqrt{400}\times87.4\times240+544.0\times10^3+\frac{419.1\times10^3\times5,201.758\times10^5}{3,319.5\times10^5}$$

$= 67,123.2+544,000+656,743$

$= 1,267,866\ \text{kgf} = 1,267.866\ \text{tonf} > 0.45\sqrt{400}\times87.4\times240 = 188.784\ \text{tonf}$

㈏ 복부 전단 강도(V_{cw})

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f_{ck}} + 0.3f_{pc})\cdot b_w\cdot d + V_p$$

여기서, $f_{pc} = \frac{P_e}{A_g}$

$$= \frac{4,128\times10^3}{7.0915\times10^4} = 58.2\ \text{kgf/cm}^2$$

$V_p = 0$

$$\therefore\ V_{cw} = (0.93\sqrt{400}+0.3\times58.2)\times87.4\times240$$

$= 756,395\ \text{kgf} = 756\ \text{tonf}$

∴ 콘크리트가 부담하는 전단력 (V_c)

$V_c = V_{cw} = 756\ \text{tonf}$

(나) 전단철근이 부담하는 전단강도($\phi\cdot V_s$)

$$\phi\cdot V_s = V_u - \phi\cdot V_c = 970.2-0.8\times756 = 365.4\ \text{tonf} < \phi(2.12\sqrt{f_{ck}}\cdot b_w\cdot d)$$

$= 0.8\times2.12\sqrt{400}\times87.4\times240 = 711,506\ \text{kgf} = 711.506\ \text{tonf}$

(다) 전단철근 검토

㉮ 필요 철근량(A_{v1})

$$A_{v1} = \frac{(V_u-\phi\cdot V_c)\cdot s}{\phi\cdot f_y\cdot d}$$

$$= \frac{365.4\times10^3\times12.5}{0.8\times4,000\times240} = 5.947\ \text{cm}^2\ /\text{복부 2개당}$$

㈏ 최소 철근량($A_{v\text{-}min}$)

$$A_{v\text{-}min} = 3.5\times \frac{b_w \cdot s}{f_y}$$

$$= 3.5\times \frac{87.4\times 12.5}{4,000} = 0.956\ \text{cm}^2 < A_{v\text{-}req} = 5.947\ \text{cm}^2/\text{복부 2개당}$$

㈐ 실제 필요 철근량($A_{v\text{-}req}$)

$A_{v\text{-}req} = A_{v1}+0.5A_{v2}+A_t$

여기서, A_{v1} : 복부 1개당 필요한 사인장 철근량 (=5.947 /2 = 2.974 cm^2 /복부 1개당)

A_{v2} : 복부에 생기는 휨모멘트에 저항하는데 필요한 철근량 (=9.802cm^2)

A_t : 비틂에 저항하는 필요 철근량 (=0)

$\therefore A_{v\text{-}req} = 2.974+0.5\times(9.802/8)+0 = 3.587\ \text{cm}^2$

$A_{v\text{-}used} = \text{H22}\times 2^{ea} = 3.871\times 2^{ea} = 7.742\ \text{cm}^2 > A_{v\text{-}req} = 3.587\ \text{cm}^2$

라. 비틀림 검토

(가) $T_u < \phi \cdot T_{cr}$ 의 경우 : 비틀림 설계 무시

T_u = 계수 비틀림 모멘트

$$T_{cr} = 0.26\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{A_{cp}^{\ 2}}{P_{cp}}\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{1.06\sqrt{f_{ck}}}}$$

여기서, P_{cp} = 전단면의 둘레의 길이

A_{cp} = 콘크리트 단면의 바깥둘레로 둘러싸인 단면적

f_{pc} = 유효 프리스트레스 힘으로 인한 콘크리트 도심에서의 압축응력

(나) 비틀림 고려 여부 판단

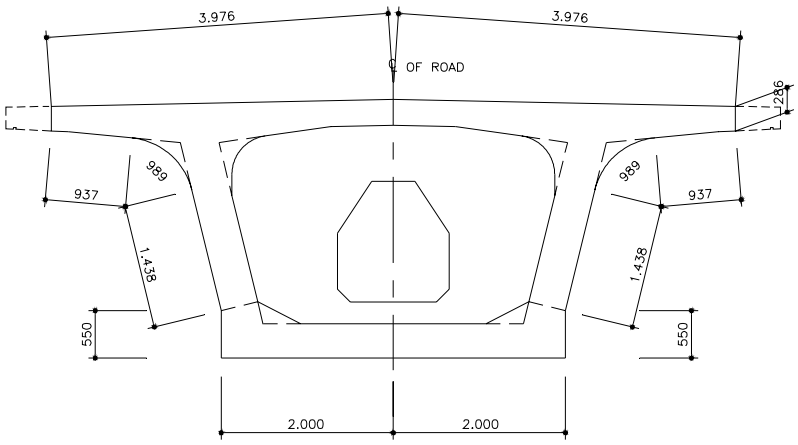
- T_u = 88.6 t-m
- $P_{cp} = (3.976+0.286+0.937+0.989+1.438+0.55+2.0)\times 2^{ea}$

  $= 20.352$ m
- $A_{cp} = 14.5048\ \text{m}^2$
- $f_{pc} = \frac{P_e}{A_g} = \frac{4,128\times 10^3}{7.0915\times 10^4} = 58.2\ \text{kgf/cm}^2$
- $(0.26\sqrt{f_{ck}}) \cdot \frac{A_{cp}^{\ 2}}{P_{cp}}\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{1.06\sqrt{f_{ck}}}}$

$$= 0.8\times 0.26\sqrt{400}\times \frac{(14.5048\times 10^4)^2}{20.352\times 10^2}\sqrt{1+\frac{58.2}{1.06\sqrt{400}}}$$

= 83,224,663 kgf-cm = 832.2 tonf-m

$\therefore T_u$ = 88.6 tonf-m $< \phi \cdot T_{cr}$ = 832.2 tonf-m 이므로 비틀림 설계를 생략함.



5.3.4 [단계 4] 횡방향 해석

(1) [단계 4-1] 횡방향 텐던 설치 유무 판단

- 복부나 헌치 순간격이 4.5m 이상일 때는 횡방향 프리스트레싱을 도입하도록 규정
  →상부 슬래브에 헌치가 있으므로 헌치 순간격 기준으로 검토
- 헌치 순간격 (헌치 1:3 유효)

L = 4.050-(0.459-0.3)×3×2ea = 3.096m < 4.5m

여기서, 4.050 = (0.537+0.763)×2+1.450

∴ 횡방향 텐던은 설치하지 않기로 함.

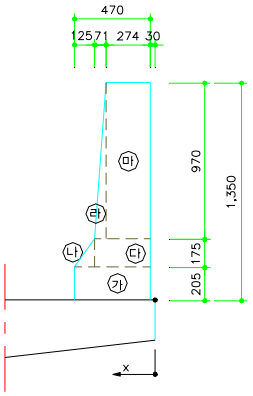
(2) [단계 4-2] 하중 계산

① 1차 고정하중 : γ_c = 2.5tonf/m^3(프로그램 자동계산)

② 2차 고정하중

가. 아스팔트포장(T = 80mm, γ = 2.3tonf/m^3) : W = 0.08×2.3 = 0.184tonf/m^2

나. 방호벽



번호	하 중(tonf)		x(m)	$V \cdot x$ (tonf-m)
가	0.47×0.205×2.5 =	0.241	0.265	0.064
나	1/2×0.125×0.175×2.5 =	0.027	0.417	0.011
다	0.345×0.175×2.5 =	0.151	0.203	0.031
라	1/2×0.071×0.970×2.5 =	0.086	0.328	0.028
마	0.274×0.970×2.5 =	0.664	0.167	0.111
합계		1.169		0.245

작용점 $x = \frac{0.245}{1.169} = 0.210$m ∴ 합 계 : 1.169 x 2EA = 2.338 tonf/m

③ 활하중 및 충격하중

가. 활하중 : (DB-24 하중적용) , P_f = 2.4tonf , P_r = 9.6tonf

나. 충격하중 (충격계수) : $I = \frac{15}{40+L} \leq 0.3$

· 캔틸레버 슬래브 : $I = \frac{15}{40+1.225} = 0.364$ 〉 0.3이므로 0.3 적용

· 내측 슬래브 : $I = \frac{15}{40+4.050} = 0.341$ 〉 0.3이므로 0.3 적용

④ 온도 하중

가. 온도차 : 상하부 플랜지 온도차에 의한 하중이므로 ±5℃로 고려 하였으며

$\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$으로 하였다.

나. 온도변화 : 온도변화는 ±15℃로 고려한다.

⑤ 풍하중

가. 단면 형상

B/D = 9.0/4.35 = 2.069 → $1 \leq B/D < 8$, D = 3.0+1.35 = 4.35m

나. 풍하중 산정

W_w = [400 - 20 (B/D)] = (400 - 20 x 2.069) = 359 kgf/m

⑥ 건조 수축

건조수축율이 15×10^{-5} 이므로 -15℃에 해당하는 온도 하중으로 계산한다.

(3) [단계 4-3] 활하중의 윤하중 분포폭 계산

① 윤하중 분포폭 계산

가. 도로교설계기준 기준

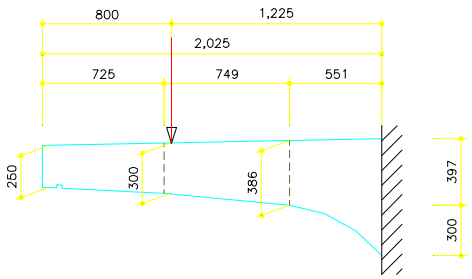
· 캔틸레버부 : E = 0.8L + 1.14

· 내 측 부 : E = (2.4×L) / (0.6+L)

나. 유한요소 해석법

판해석에서 구한 최대 모멘트를 M이라 하고, 프레임(frame) 해석으로부터 구한 모멘트를 M'라하면 $M<M'$ 이므로 분포폭 $E=M'/M$을 계산하여 DB하중을 윤하중 분포폭으로 나눈 하중 (P/E)과 도로교 설계기준에 의한 윤하중 분포폭으로 나눈 하중과 비교하여 큰 하중으로 감소시켜 박스 횡단면에 대한 프레임 해석을 수행한다.

② 유효 분포폭 계산



가. 캔틸레버부

(가) 도로교설계기준에 의한 유효 분포폭

· $E = 0.8L + 1.14 = 0.8 \times 1.255 + 1.14 = 2.144$m

(나) 유한 요소 해석법에 의한 분포폭

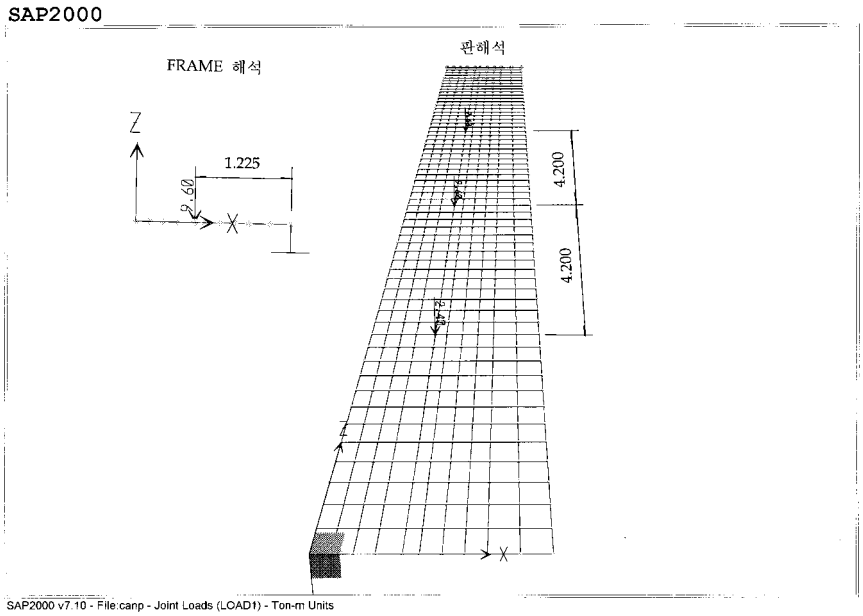
· M'(frame) = 12.05 tonf · m , M (plate) = 5.203 tonf · m/m

· $E = M'/M = 12.05/5.203 = 2.316$m

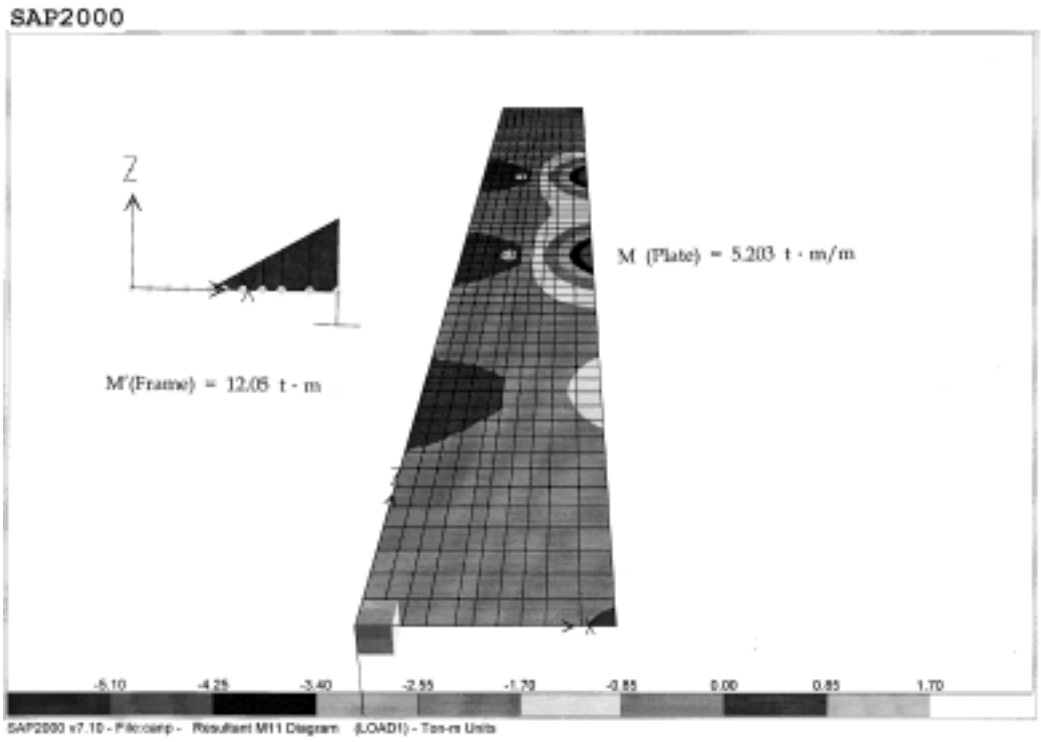
(다) 설계 분포폭

· 도로교 설계기준에 의한 분포폭(E=2.144m)보다 유한 요소법에 의한 분포폭 (E=2.316m)보다 작으므로 E = 2.144m (도로교설계기준) 적용

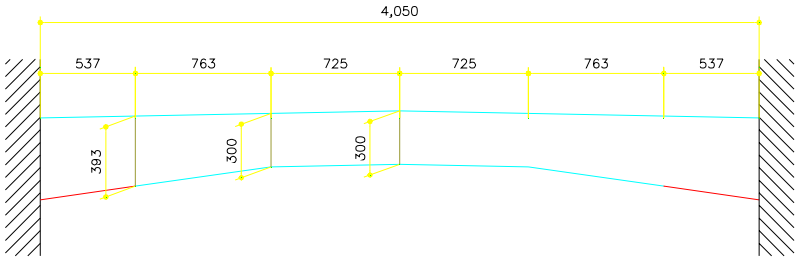
(라) 전산 input (하중재하)



(마) 전산 output (moment diagram)



나. 내측부



(가) 도로교설계기준에 의한 유효 분포폭

$\cdot E = \frac{2.4\times L}{0.6+L} = \frac{2.4\times 4.050}{0.6+4.050} = 2.090\text{m}$

(나) 유한 요소 해석법에 의한 분포폭

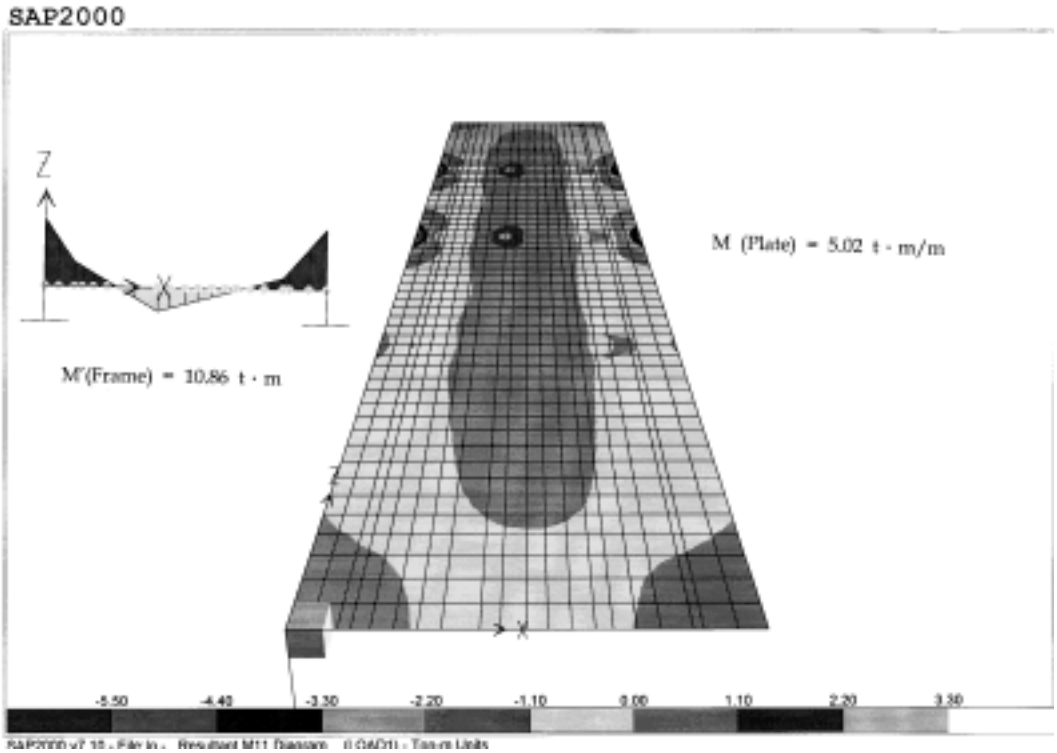
$\cdot M'(\text{frame}) = 10.86\ \text{tonf}\cdot\text{m}$, $M(\text{plate}) = 5.02\ \text{tonf}\cdot\text{m/m}$

$\cdot E = M'/M = 10.86/5.02 = 2.163\text{m}$

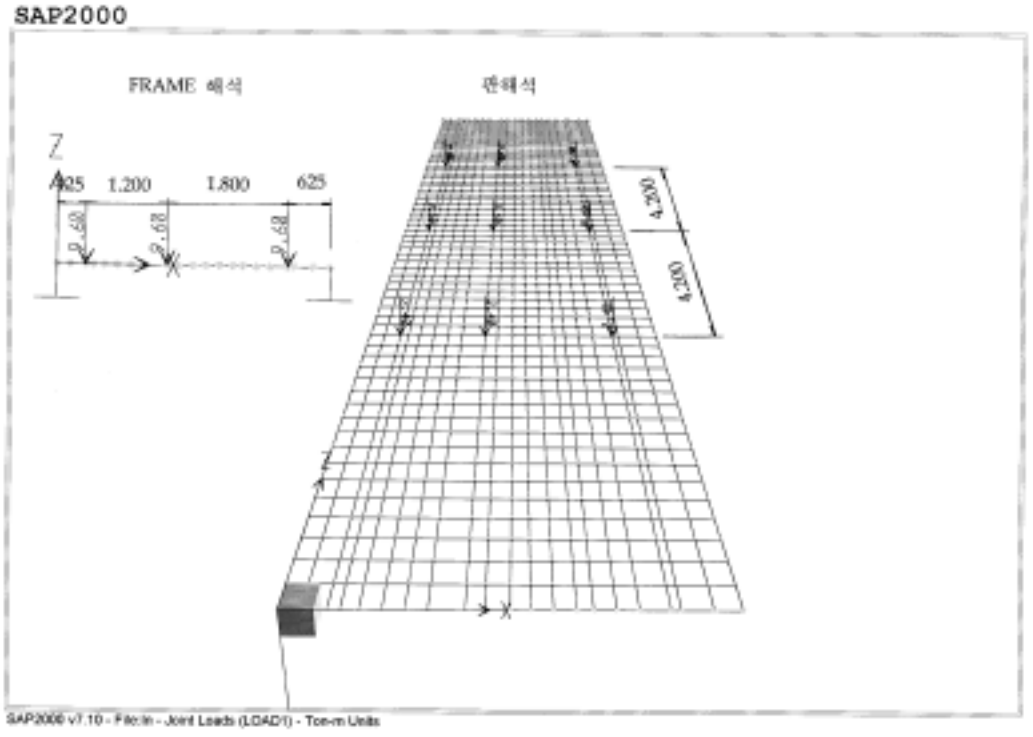
(다) 설계 분포폭

· 도로교설계기준에 의한 분포폭(E=2.090m)보다 유한 요소법에 의한 분포폭 (E=2.163m)보다 작으므로 E = 2.090m (도로교설계기준) 적용

(라) 전산 input (하중재하)



(마) 전산 output (moment diagram)



③ 작용 활하중

가. 캔틸레버부

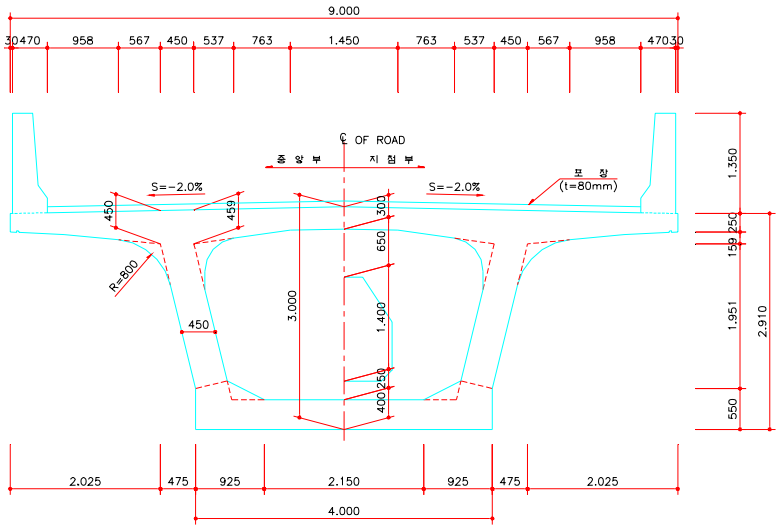
P = (9.6/2.144) x 1.3 = 5.821tonf/m

나. 내측부

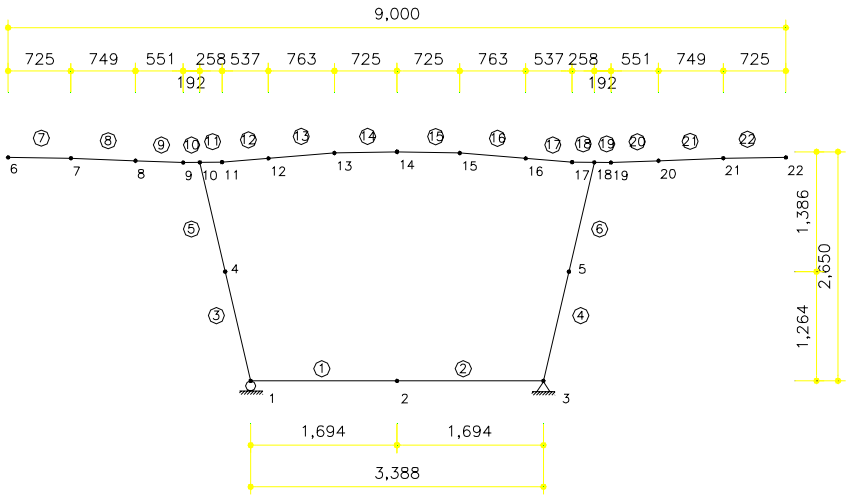
P = (9.6/2.090) x 1.3 = 5.971tonf/m

(4) [단계 4-4] 구조계 시스템 모델링

① 단면제원

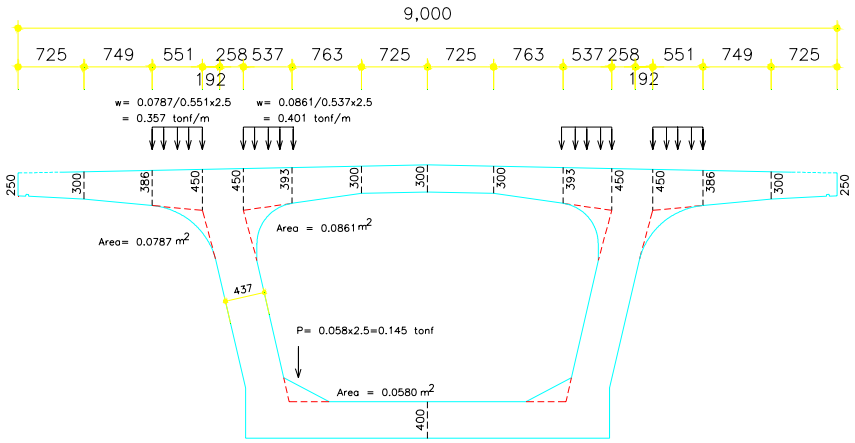


② 모델링

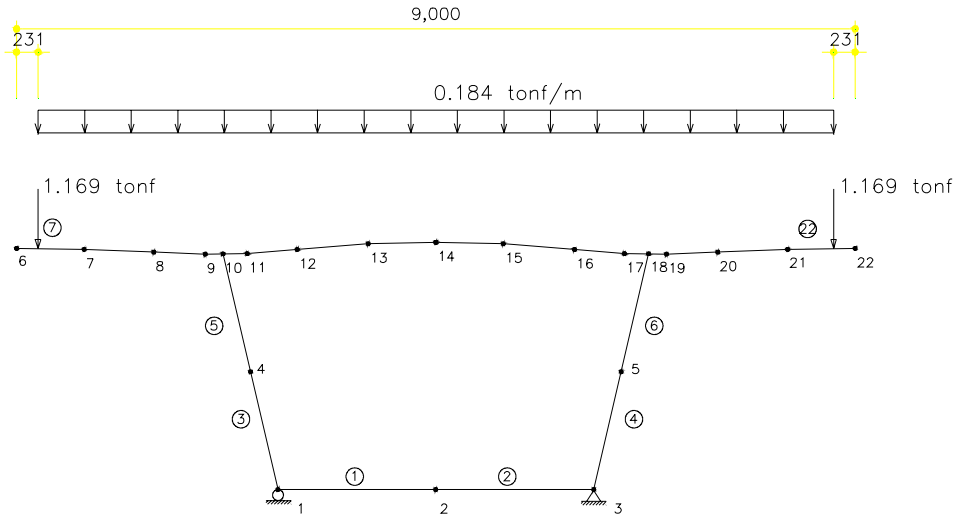


(5) [단계 4-5] 하중 재하

① 1차 고정하중 : γ_c = 2.5tonf/m^3(프로그램 자동계산) , 헌치 하중 직접 재하



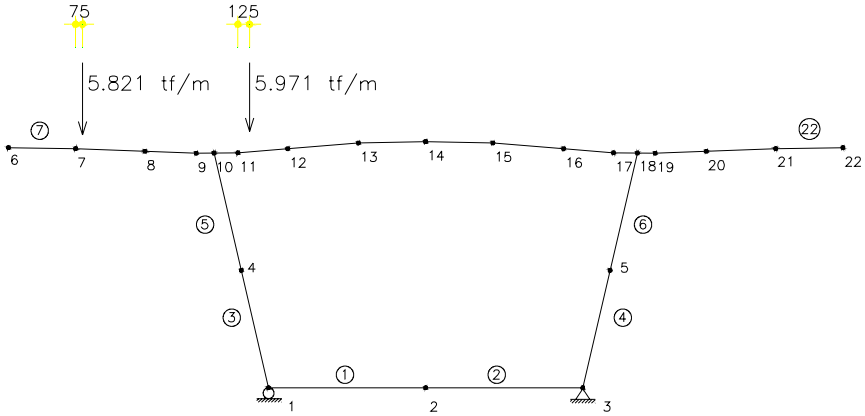
② 2차 고정하중



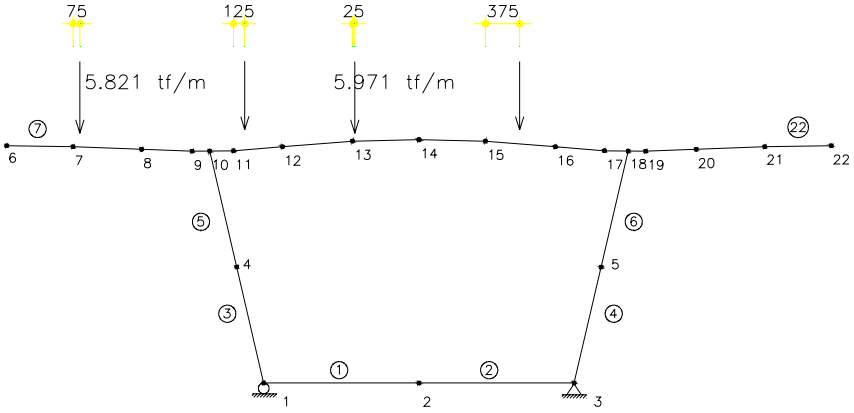
③ 활하중 및 충격하중

가. 캔틸레버부 최대 부모멘트

(가) 1차선 재하

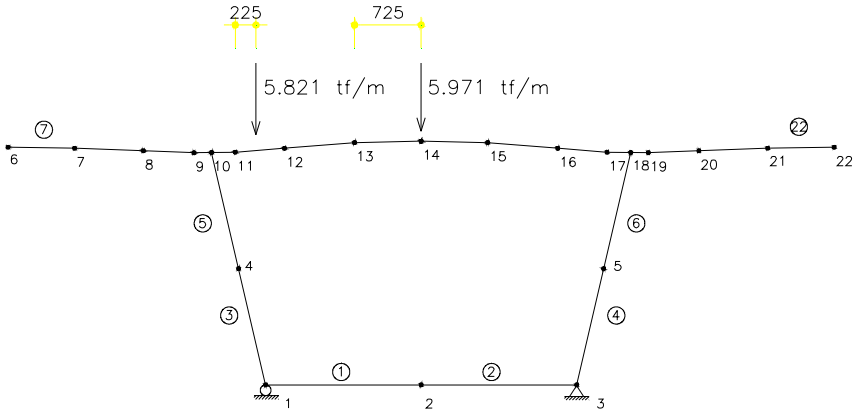


(나) 2차선 재하

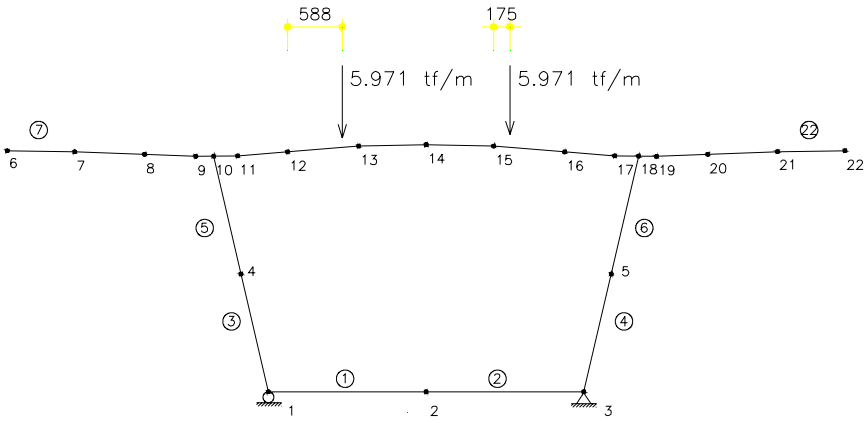


나. 내측 중앙부 정모멘트

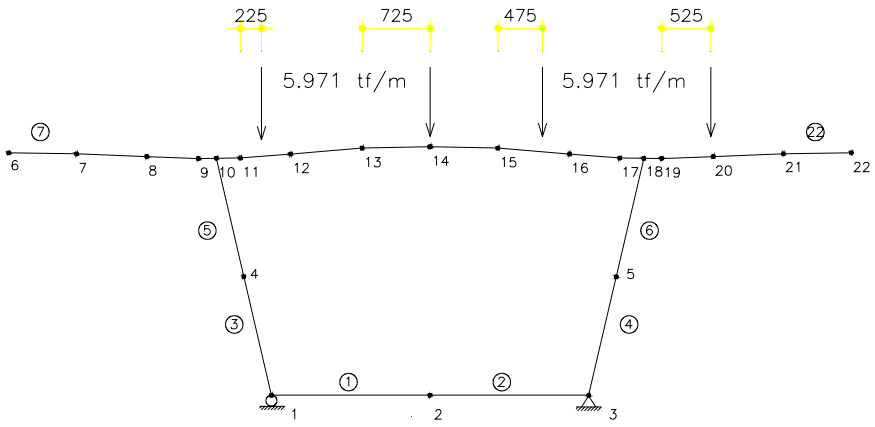
(가) CASE 1



(나) CASE 2



(다) CASE 3



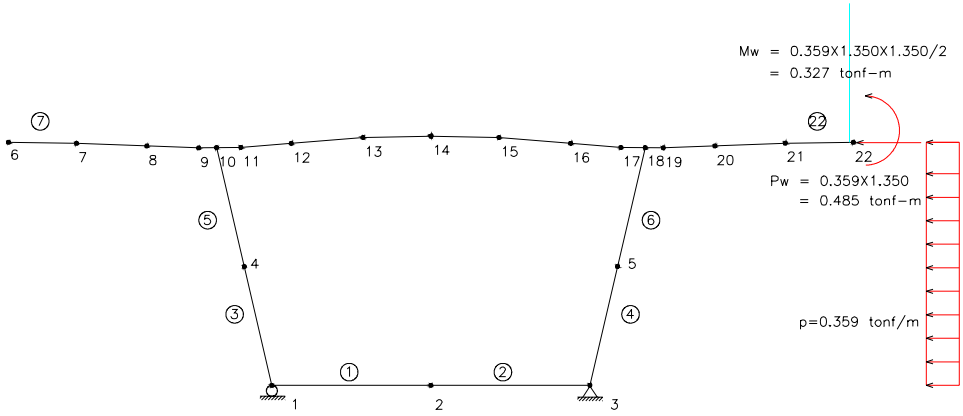
④ 온도 하중

가. 온도차 : ΔT_1 = ±5℃ (상부 슬래브에만 작용)

나. 온도변화 : ΔT_1 = ±15℃ (전부재에 작용)

⑤ 풍하중

가. 활하중 비재하시



나. 활하중 재하시 : 활하중 비재하시 작용하중의 1/2값 적용

⑥ 건조 수축

ΔT_1 = -15℃ (전부재에 작용)

(6) [단계 4-6] 각 하중 조합에 대한 단면력 산출

① 하중 조합

・CASE 1 : 1.3×고정하중 + 2.15×활하중

・CASE 2 : 1.3×(고정하중 + 활하중 + 온도하중 + 건조수축)

・CASE 3 : 1.3×(고정하중 + 활하중 + 풍하중)

② 단면력 산출

구 분	모멘트 (tonf · m/m)	전단력(tonf/m)	하중조합	부 재
상부 슬래브 단부	30.34	31.68	CASE 1	11
상부 슬래브 중앙부	8.98	6.79	CASE 1	14
벽 체	9.89	7.17	CASE 1	6
하부 슬래브 단부	9.22	6.90	CASE 1	1
하부 슬래브 중앙부	7.60	4.24	CASE 1	2

(7) [단계 4-7] 각 하중 조합에 대한 콘크리트의 휨응력 검토

: 횡방향 텐던 미설치로 검토 생략

(8) [단계 4-8] 인장 보강 철근량 계산

: 횡방향 텐던 미설치로 검토 생략

(9) [단계 4-9] 극한 강도 검토

① 상부 슬래브 단부 (부재-11)

Var. M_u(tonf-m) V_u(tonf) f_y(kgf/cm^2) f_{ck}(kgf/cm^2) ø d(cm) b(cm)

Data 30.340 31.680 4000 400 0.850 39.000 100

가. 휨모멘트 검토

$a = A_s \times f_y / (ø \times f_{ck} \times b)$ -------> (1)

$M_u / ø = A_s \times f_y \times (d - a / 2)$ ------> (2)

식 (1) 을 식 (2) 에 대입 하여 정리하면

$[f_y^2 / (ø \times 2 \cdot f_{ck} \cdot b)] \cdot A_s^2 - [f_y \cdot d] \cdot A_s + M_u / ø$

근 의 공식 에 대입 하면

Cal. A_s = 23.730 cm^2

P_{min} = 14 / f_y = 0.003500

P_{max} = 0.75 x k x ø x (f_{ck} / f_y) x (6120 / (6120 + f_y))

= 0.032770 (여기서 k = 0.850)

P = Cal. A_s / (b x d) = 0.006085

$P_{min} < P < P_{max}$ ====> 과소 철근보

Req'd A_s = 23.730 cm^2

Used A_s = H22 @ 125 = 30.97 cm^2

$a = f_y \times A_s / (0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 3.643 cm

$øM_n = ø \times A_s \times f_y \times (d - a / 2)$ = 39.146 tonf-m

> M_u = 30.340 tonf-m OK

나. 전단 검토

V_c = 0.53 x √(f_{ck}) x b x d = 41.340 tonf

øV_c = 0.8 x V_c = 33.072 tonf > V_u = 31.680 tonf OK

(전단 철근 필요 없음)

② 상부 슬래브 중앙부 (부재-14)

Var.	M_u(tonf-m)	V_u(tonf)	f_y(kgf/cm^2)	f_{ck}(kgf/cm^2)	ø	d(cm)	b(cm)
Data	8.980	6.790	4000	400	0.850	25.000	100

가. 휨모멘트 검토

a = A_s x f_y / (ø x f_{ck} x b) ------> (1)

M_u / ø = A_s x f_y x (d - a / 2) ------> (2)

식 (1) 을 식 (2) 에 대입 하여 정리하면

[f_y^2/ (ø x 2 . f_{ck} . b)] . A_s^2- [f_y . d] . A_s + M_u / ø

근 의 공식 에 대입 하면

Cal. A_s = 10.841 cm^2

P_{min} = 14 / f_y = 0.003500

P_{max} = 0.75 x k x ø x (f_{ck} / f_y) x (6120 / (6120 + f_y))

= 0.032770 (여기서 k = 0.850)

P = Cal. A_s / (b x d) = 0.004337

P_{min} < P < P_{max} ====> 과소 철근보

Req'd A_s = 10.841 cm^2

Used A_s = H16 @ 125 = 15.89 cm^2

a = f_y x A_s / (0.85 x f_{ck} x b) = 1.869 cm

øM_n = ø x A_s x f_y x (d - a / 2) = 13.000 tonf-m

> M_u = 8.980 tonf-m OK

나. 전단 검토

V_c = 0.53 x √(f_{ck}) x b x d = 26.500 tonf

øV_c = 0.8 x V_c = 21.200 tonf > V_u = 6.790 tonf

(전단 철근 필요 없음)

③ 벽 체 (부재-6)

Var.	M_u(tonf-m)	V_u(tonf)	f_y(kgf/cm^2)	f_{ck}(kgf/cm^2)	ø	d(cm)	b(cm)
Data	9.890	7.170	4000	400	0.850	40.000	100

가. 휨모멘트 검토

a = A_s x f_y / (ø x f_{ck} x b) ------> (1)

M_u / ø = A_s x f_y x (d - a / 2) ------> (2)

식 (1) 을 식 (2) 에 대입 하여 정리하면

$[f_y^2 / (ø \times 2 . f_{ck} . b)] . A_s^2 - [f_y . d] . A_s + M_u / ø$

근 의 공식 에 대입 하면

Cal. A_s = 7.352 cm^2

P_{min} = 14 / f_y = 0.003500

P_{max} = 0.75 x k x ø x (f_{ck} / f_y) x (6120 / (6120 + f_y))

= 0.032770 (여기서 k = 0.850)

P = Cal. A_s / (b x d) = 0.001838

P_{min} > P < P_{max} ====> 4/3 Cal. A_s 철근량 사용

Req'd A_s = 9.802 cm^2

Used A_s = H22 @ 125 = 30.97 cm^2

a = f_y x A_s / (0.85 x f_{ck} x b) = 3.643 cm

$øM_n$ = ø x A_s x f_y x (d - a / 2) = 40.198 tonf-m

> M_u = 9.890 tonf-m OK

나. 전단 검토

V_c = 0.53 x $\sqrt{}$(f_{ck}) x b x d = 42.400 tonf

$øV_c$ = 0.8 x V_c = 33.920 tonf > V_u = 7.170 tonf OK

(전단 철근 필요 없음)

④ 하부 슬래브 단부 (부재-1)

Var.	M_u(tonf-m)	V_u(tonf)	f_y(kgf/cm^2)	f_{ck}(kgf/cm^2)	ø	d(cm)	b(cm)
Data	9.220	6.900	4000	400	0.850	35.000	100

가. 휨모멘트 검토

$a = A_s \times f_y / (ø \times f_{ck} \times b)$ ------> (1)

$M_u / ø = A_s \times f_y \times (d - a / 2)$ ------> (2)

식 (1) 을 식 (2) 에 대입 하여 정리하면

$[f_y^2 / (ø \times 2 . f_{ck} . b)] . A_s^2 - [f_y . d] . A_s + M_u / ø$

근 의 공식 에 대입 하면

Cal. A_s = 7.852 cm^2

P_{min} = 14 / f_y = 0.003500

P_{max} = 0.75 x k x ø x (f_{ck} / f_y) x (6120 / (6120 + f_y))

= 0.032770 (여기서 k = 0.850)

P = Cal. A_s / (b x d) = 0.002243

P_{min} > P < P_{max} ====> 4/3 Cal. A_s 철근량 사용

Req'd A_s= 10.469 cm^2

Used A_s = H19 @ 250 = 11.46 cm^2

a = f_y x A_s / (0.85 x f_{ck} x b) = 1.348 cm

ϕM_n = ø x A_s x f_y x (d - a / 2) = 13.375 tonf-m

> M_u = 9.220 tonf-m OK

나. 전단 검토

V_c = 0.53 x √(f_{ck}) x b x d = 37.100 tonf

ϕV_c = 0.8 x V_c = 29.680 tonf > V_u = 6.900 tonf OK

(전단 철근 필요 없음)

⑤ 하부 슬래브 중앙부 (부재-2)

Var.	M_u(tonf-m)	V_u(tonf)	f_y(kgf/cm^2)	f_{ck}(kgf/cm^2)	ø	d(cm)	b(cm)
Data	2.740	3.730	4000	400	0.850	35.000	100

가. 휨모멘트 검토

a = A_s x f_y / (ø x f_{ck} x b) ------> (1)

M_u / ø = A_s x f_y x (d - a / 2) ------> (2)

식 (1) 을 식 (2) 에 대입 하여 정리하면

[f_y^2/ (ø x 2 . f_{ck} . b)] . A_s^2- [f_y . d] . A_s + M_u / ø

근 의 공식 에 대입 하면

Cal. A_s = 2.312 cm^2

P_{min} = 14 / f_y = 0.003500

P_{max} = 0.75 x k x ø x (f_{ck} / f_y) x (6120 / (6120 + f_y))

= 0.032770 (여기서 k = 0.850)

P = Cal. A_s / (b x d) = 0.000660

P_{min} > P < P_{max} ====> 4/3 Cal. A_s 철근량 사용

Req'd A_s= 3.082 cm^2

Used A_s = H16 @ 125 = 15.89 cm^2

a = f_y x A_s / (0.85 x f_{ck} x b) = 1.869 cm

ϕM_n = ø x A_s x f_y x (d - a / 2) = 18.402 tonf-m

> M_u = 2.740 tonf-m OK

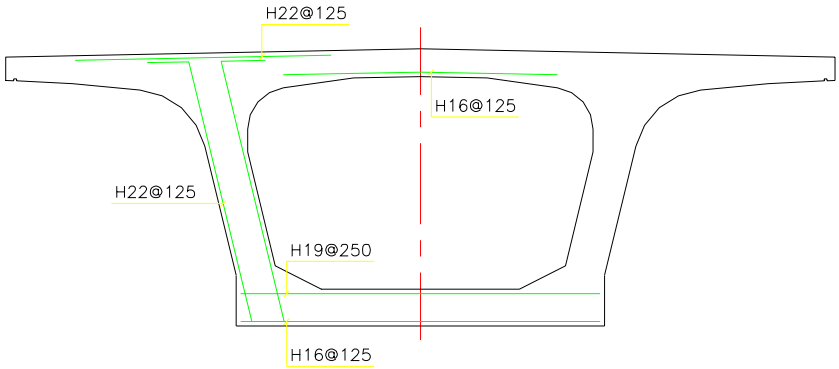
나. 전단 검토

V_c = 0.53 x √(f_{ck}) x b x d = 37.100 tonf

ϕV_c = 0.8 x V_c = 29.680 tonf > V_u = 3.730 tonf OK

(전단 철근 필요 없음)

⑥ 주철근 조립도



(10) [단계 4-10] 사용성 검토

① 균열검토

가. 상부 슬래브 단부 (부재-11)

(가) 응력 산정

M = 15.45 tf · m H = 45cm 피복 : 6cm

$$n=\frac{Es}{Ec}=\frac{2,040,000}{280,000}=7.3$$

A_s=30.97cm^2 , $P=\frac{30.97}{100\times39}=0.00794$

$$k=-np+\sqrt{np^2+2np}=-7.3\times0.00794+\sqrt{7.3\times0.00794^2+2\times7.3\times0.00794}$$

= 0.283cm

$x=k\cdot d$ = 0.283 x 39 = 11.04cm

$$f_s=\frac{M}{As\cdot(d-\frac{x}{3})}=\frac{15.45\times10^5}{30.97\cdot(39-\frac{11.037}{3})}$$

= 1,412.4 kgf/cm^2 〈 0.6 f_y = 2,400 kgf/cm^2

(나) 균열폭 검토

$$\beta_c=\frac{\text{인장부 연단으로부터 중립축까지의 거리}}{\text{주철근 도심으로부터 중립축까지의 거리}}=\frac{33.963}{27.963}=1.215$$

W_a = 0.005 t_c = $0.005(60-\frac{22}{2})=0.245$ mm (허용 균열폭)

d_c = 6cm , A = $2\cdot\frac{Y_b}{N}=2\times6\times\frac{100}{8}=150$ cm^2

W = $1.08\times\beta_c\times f_s\times\sqrt[3]{d_c\times A}\times10^{-5}$ (발생 균열폭)

= $1.08\times1.215\times1,412.4\times\sqrt[3]{6\times150}\times10^{-5}$

= 0.179 mm 〈 0.245 mm OK

나. 상부 슬래브 중앙부 (부재-14)

(가) 응력 산정

M = 4.46 tf · m H = 30cm 피복 : 5cm

$$n=\frac{Es}{Ec}=\frac{2,040,000}{280,000}=7.3$$

A_s=15.89cm^2 , $P=\frac{15.89}{100\times25}=0.0064$

$$k=-np+\sqrt{np^2+2np}=-7.3\times0.0064+\sqrt{7.3\times0.0064^2+2\times7.3\times0.0064}$$

= 0.259

$x=k\cdot d$ = 0.259 x 25 = 6.475cm

$$f_s=\frac{M}{As\cdot(d-\frac{x}{3})}=\frac{4.46\times10^5}{15.89\cdot(25-\frac{6.475}{3})}$$

= 1,229 kgf/cm^2 〈 0.6 f_y = 2,400 kgf/cm^2

(나) 균열폭 검토

$$\beta_c=\frac{\text{인장부 연단으로부터 중립축까지의 거리}}{\text{주철근 도심으로부터 중립축까지의 거리}}=\frac{23.525}{18.525}=1.270$$

W_a = 0.005 t_c = $0.005(50-\frac{16}{2})=0.210$ mm (허용 균열폭)

d_c = 5cm , A = $2\cdot\frac{Y_b}{N}=2\times5\times\frac{100}{8}=125$ cm^2

W = $1.08\times\beta c\times f_s\times\sqrt[3]{dc\times A}\times10^{-5}$ (발생 균열폭)

= $1.08\times1.270\times1,229\times\sqrt[3]{5\times125}\times10^{-5}$

= 0.144 mm 〈 0.210 mm OK

② 피로검토

가. 상부 슬래브 단부 (부재-11)

f_s = 1,412 kgf/cm^2 〈 1,500 kgf/cm^2 (SD40의 철근의 인장응력범위)

∴ 피로에 대한 안전성 검토 생략

나. 상부 슬래브 중앙부 (부재-14)

f_s = 1,229 kgf/cm^2 〈 1,500 kgf/cm^2 (SD40의 철근의 인장응력범위)

∴ 피로에 대한 안전성 검토 생략

③ 처짐 검토

· 캔틸레버 길이 : 2.025m

· 작용 처짐량 = 0.56mm < 허용 처짐량 = 6.8mm (L/300=2025/300) OK

5.3.5 [단계 5] 격벽 해석

(1) [단계 5-1] 최대 반력 계산

① 반력 최대인 경우

· 고정하중 반력 R_d = 1087.5/2 = 543.75 tonf/shoe

· 활하중 반력 R_l = 231.6/2 = 115.8 tonf/shoe

· 극한하중 조합에 의한 최대반력

R = 1.3 x 543.75 + 2.15 x 115.8 = 955.845 tonf

② 비틀림 모멘트 최대인 경우

· 고정하중 반력 R_d = 543.75 tonf/shoe

· 활하중 반력 R_l = 115.8 tonf/shoe

· 활하중 비틀림 모멘트 M_t = 47.9 tonf · m

· 극한하중 조합에 의한 반력 및 비틀림 모멘트

R = 1.3 x 543.75 + 2.15 x 115.8 = 955.845 tonf

R_w = 955.845 / 2.684 = 356.127 tonf

M_t = 47.9 x 2.15 = 102.985 tonf · m

· 전단 흐름

M_t = 102.985 tonf · m

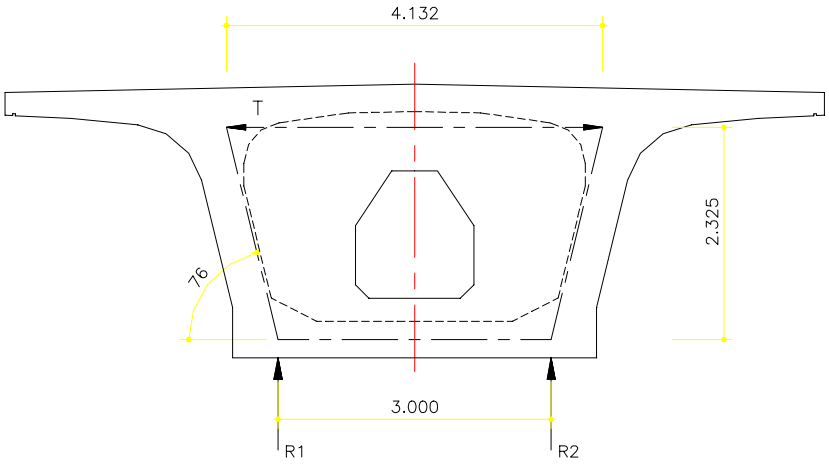
A_m = (4.270 + 3.0) / 2 x 2.650 = 9.633 m^2

$$f = \frac{M_t}{2A_m} = \frac{102.985}{2\times 9.633} = 5.345\ tonf/m$$

(2) [단계 5-2] 해석 방법의 선정 (strut-tie 모델 사용)

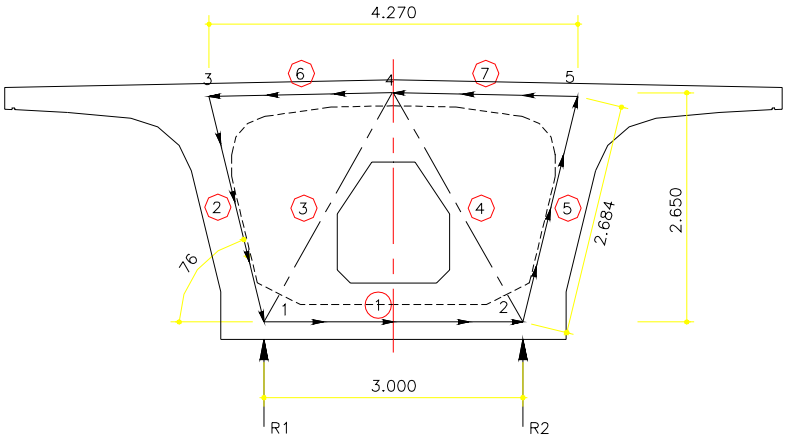
① 반력 최대인 경우

· 모델링



② 비틀림 모멘트 최대인 경우

· 모델링



(3) [단계 5-3] 부재력 산정

① 반력 최대인 경우

$$T = \frac{955.845 \times 0.566}{2.325} = 232.692 \text{ tonf}$$

② 비틀림 모멘트 최대인 경우

가. 부재-6 : T = 11.61 tonf

나. 부재-4 : T = 1.61 tonf

(4) [단계 5-4] 필요 철근량 계산

① 반력 최대인 경우

· Req'd $A_{s1} = \frac{232.692 \times 10^3}{0.85 \times 4,000} = 68.439 \text{ cm}^2$

· Used A_{s1} = H25-3ea-6layer = 5.067×3×6 = 91.206 cm^2

② 비틀림 모멘트 최대인 경우

가. 부재-6

· Req'd $A_{s2} = \frac{11.61 \times 10^3}{0.85 \times 4,000} = 3.415 \text{ cm}^2$

· Used A_{s2} = H22-6ea+H16-12ea = 3.871×6+1.986×12=47.058 cm^2

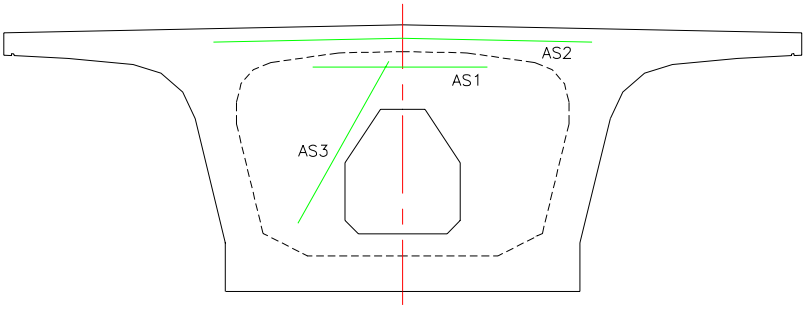
(즉, 상부 슬래브의 상, 하면 주철근으로 충분함)

나. 부재-4

· Req'd $A_{s3} = \frac{1.61 \times 10^3}{0.85 \times 4,000} = 0.474 \text{ cm}^2$

· Used A_{s3} = H19-2ea = 2.865×2 = 5.73 cm^2

③ 주철근 조립도



5.3.6 [단계 6] PS 정착부 해석

(1) [단계 6-1] 도입 긴장력에 의한 국부하중 계산

① 중간 정착부(2차 텐던)

가. 정착구 배면의 콘크리트 지압응력 검토

· 사용 정착구 : 15/12.7mm , 정착판 크기 : 256 x 256mm

(가) 프리스트레스 도입직후

· P_t = 0.9 x 16,000 x 0.9871 x 15T = 213.192 tonf

㉮ 허용 지압응력

i) 콘크리트의 지압응력

$$f_{ba} = 0.7 \times f_{ck} \times \sqrt{\frac{A_b'}{A_b}} - 0.2 \leq (1.1\, f_{ck})$$

여기서

· 정착판의 단면적(A_b) = 25.6 x 25.6 = 655.4 cm^2

· 정착판 유효단면적(A_e) = $655.4 + \frac{\pi \times 19.5^2}{4} - \frac{\pi \times 8.1^2}{2}$

= 851.0 cm^2

· 정착판의 닮은꼴 단면적(A_b') = 60.0 x 60.0 = 3,600 cm^2

$$f_{ba} = 0.7 \times 400 \times \sqrt{\frac{3,600}{851.0}} - 0.2$$

= 562.1 kgf/cm^2 > (1.1 f_{ck} = 440.0 kgf/cm^2)

→ f_{bat} = 440.0 kgf/cm^2

ii) 작용 지압응력

$$f_{ci} = \frac{P_t}{A_e} = \frac{213.192\times10^3}{851.0} = 250.5 \text{ kgf/cm}^2 \ < \ 440.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

(나) 설계하중 작용시

· P_t = 0.8 x 16,000 x 0.9871 x 15T = 189.5 tonf

㉮ 허용 지압응력

i) 콘크리트의 지압응력

$$f_{bae} = 0.5 \times f_{ck} \times \sqrt{\frac{A_b'}{A_b}} \ \leq \ (0.9\ f_{ck})$$

$$= 0.5 \times 400 \times \sqrt{\frac{3,600}{851.0}}$$

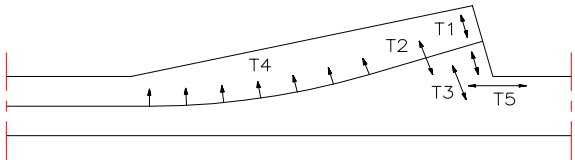
$$= 411.4 \text{ kgf/cm}^2 \ > \ (0.9\ f_{ck} = 360.0 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$\rightarrow f_{bae} = 360.0 \text{ kgf/cm}^2$$

㉯ 작용 지압응력

$$f_{bi} = \frac{P_e}{A_e} = \frac{189.5\times10^3}{851.0} = 222.7 \text{ kgf/cm}^2 < 360.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

나. 정착부의 국부 인장력 계산



(가) 정착구 배면에 대한 spalling force (T_1)

· spalling force (T_1) = 0.04 x P_j = 0.04 x 213.192 = 8.528 tonf

(나) 정착구 배면에 대한 bursting force (T_2)

㉮ 수평방향(T_{2h}) = 0.3 x P_j x {1 - (d_a/d_{sp})}

= 0.3 x 213.192 x (1-256/600) = 36.669 tonf

㉯ 수직방향(T_{2v}) = 0.3 x P_j x {1 - (d_a/d_{sp})}

= 0.3 x 213.192 x (1-256/500) = 31.211 tonf

㉰ 전단마찰력 (T_3)

· V_u = P_j = 213.192 x 2ea = 426.384 tonf

㉱ 텐던 곡률에 의한 radial force (T_4)

· P_j = 213.192 x 2ea = 426.384 tonf

· radial force(T_4) = P/R = 426.384 / 6.0 = 71.064 tonf/m

· R_{min} = 6.0m

㉲ horizontal force (T_5)

· P = 0.25 x 213.192 x 2ea = 106.596 tonf

② 시·종점부 정착부(2차 텐던)

가. 정착부의 국부 인장력 계산

(가) 정착구 배면에 대한 spalling force

· spalling force (T_1) = 0.04 x P_j = 0.04 x 213.192 = 8.528 tonf

(나) 정착구 배면에 대한 bursting force

㉮ 수평방향(T_{2h}) = 0.3 x P_j x {1 - (d_a/d_{sp})}

= 0.3 x 213.192 x (1-256/618) = 37.464 tonf

㉯ 수직방향(T_{2v}) = 0.3 x P_j x {1 - (d_a/d_{sp})}

= 0.3 x 213.192 x (1-256/330) = 14.342 tonf

㉰ 텐던 곡률에 의한 radial force

· P_j = 213.192 x 1EA = 213.192 tonf

· radial force = P/R = 213.192 / 6.0 = 35.532 tonf/m

· R_{min} = 6.0m

③ 시공이음부 정착부(1차 텐던)

가. 정착부의 국부 인장력 계산(12/12.7mm)

(가) 정착구 배면에 대한 spalling force

· spalling force (T) = 0.04 x P_j = 0.04 x 170.571 = 6.823 tonf

(나) 정착구 배면에 대한 bursting force

수평방향(T_h) = 0.3 x P_j x {1 - (d_a/d_{sp})}

= 0.3 x 170.571 x (1-250/370) = 16.596 tonf

④ 유지보수용 블록의 텐던 곡률에 의한 radial force (19/12.7mm)

· P_j = 0.9 x 16,000 x 0.9871 x 19^T = 270.071 tonf

· radial force = P/R = 270.071 / 6.0 = 45.012 tonf/m

· R_{min} = 6.0m

(2) [단계 6-2] 보강 철근량 계산

① 중간 정착부(2차 텐던)

가. 정착구 배면의 콘크리트 지압응력 검토

보강철근 필요 없음.

나. 정착부의 국부 인장력

(가) 정착구 배면에 대한 spalling force (T_1)

· Req'd A_s = 8.528 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 3.553 cm^2

· Used A_s = H19-2ea = 2.865 x 2 = 5.730 cm^2 > 3.553 cm^2 OK

이때, 주철근을 정착구 배면에 최대한 밀착(≒50mm)시킨다.

(나) 정착구 배면에 대한 bursting force (T_2)

㉮ 수평방향(T_{2h})

· Req'd A_s = 36.669 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 15.279 cm^2

· Used A_s = H19-2ea x 5Layer = 2 x 2.865 x 5 = 28.650 cm^2 > 15.279 cm^2 OK

㉯ 수직방향(T_{2v})

· Req'd A_s = 31.211 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 13.005 cm^2

· Used A_s = H19-2ea x 4Layer = 2 x 2.865 x 4 = 22.920 cm^2 > 13.005 cm^2 OK

㉰ 전단마찰력 (T_3)

· Req'd $A_s = \frac{V_u}{\phi \mu f_y}$ = 426.384 x 10^3 / (0.8 x 0.6 x 4000) = 221.9 cm^2

여기서, μ(마찰계수) : 0.6λ(일부러 거칠게 하지 않는 굳은 콘크리트에 새로 친 콘크리트)

λ= 1.0(보통콘크리트)

· Used A_s

수평방향 : 4-H19 x 15Layer = 4 x 2.865 x 15 = 171.90 cm^2

수직방향 : 2-H19 x 9Layer = 2 x 2.865 x 9 = 51.57 cm^2

∴ 171.90 + 51.57 = 223.5 cm^2 > 221.9 cm^2 OK

㉱ 텐던 곡률에 의한 radial force (T_4)

· Req'd A_s = 71.064 x 10^3 / (0.5 x 4000) = 35.532 cm^2/m

· Used A_s = H19-2ea x 8 = 2.865 x 2 x 8 = 45.840 cm^2 > 35.532 cm^2 OK

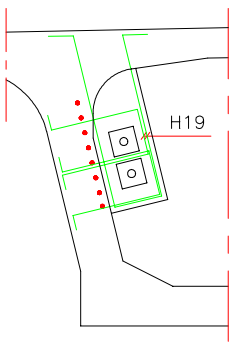
㉲ horizontal force (T_5)

· Req'd A_s = 106.596 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 44.415 cm^2

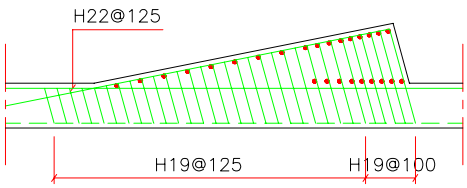
· Used A_s = 8-H22 + 종철근 : 8-H16

= 8 x 3.871 + 8 x 1.986 = 46.856 cm^2 > 44.415 cm^2 OK

정 면 도



평 면 도



② 시·종점부 정착부(2차 텐던)

가. 정착부의 국부 인장력

(가) 정착구 배면에 대한 spalling force

· Req'd A_s = 8.528 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 3.553 cm^2

· Used A_s = H19-2ea = 2.865 x 2 = 5.730 > 3.553 cm^2 OK

이때, 주철근을 정착구 배면에 최대한 밀착(≒50mm)시킨다.

(나) 정착구 배면에 대한 bursting force

㉮ 수평방향

· Req'd A_s = 37.464 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 15.610 cm^2

· Used A_s = H19-2ea x 3Layer = 2 x 2.865 x 3 = 17.190 cm^2 > 15.610 cm^2 OK

㉯ 수직방향

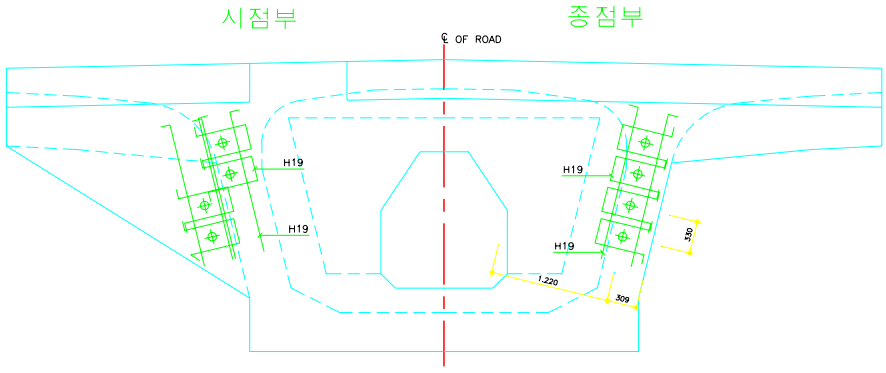
· Req'd A_s = 14.342 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 5.976 cm^2

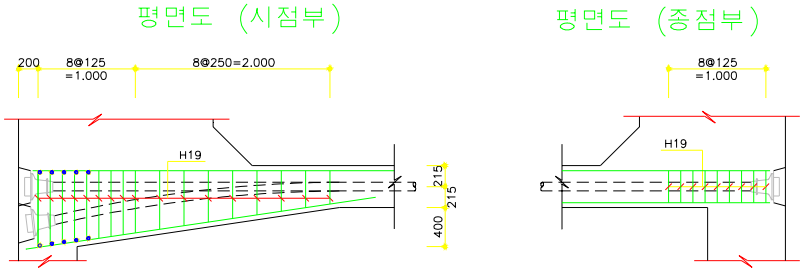
· Used A_s = H19-2ea x 2Layer = 2 x 2.865 x 2 = 11.460 cm^2 > 5.976 cm^2 OK

㉰ 텐던 곡률에 의한 radial force

· Req'd A_s = 35.532 x 10^3 / (0.5 x 4000) = 17.766 cm^2/m

· Used A_s = H19-2ea x 4 = 2.865 x 2 x 4 = 22.920 cm^2 > 17.766 cm^2 OK





③ 시공이음부 정착부(1차 텐던)

가. 정착부의 국부 인장력

(가) 정착구 배면에 대한 spalling force

· Req'd A_s = 6.823 x 103 / (0.6 x 4000) = 2.843 cm^2

· Used A_s = H22+H16 = 3.871 + 1.986 = 5.857 > 2.843 cm^2 OK

이때, 주철근을 정착구 배면에 최대한 밀착(≒50mm)시킨다.

(나) 정착구 배면에 대한 bursting force

· Req'd A_s = 16.596 x 10^3 / (0.6 x 4000) = 6.915 cm^2

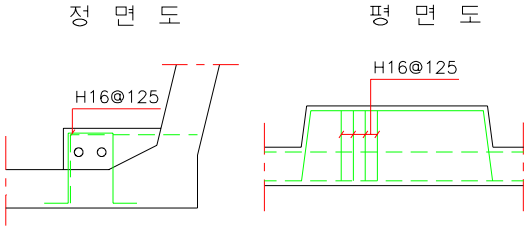
· Used A_s = H22x2layer + H16x2layer = 2x3.871 + 2x1.986 = 11.714 cm^2

> 6.915 cm^2 OK

④ 유지보수용 블록의 텐던 곡률에 의한 radial force (19/12.7mm)

· Req'd A_s = 45.012 x 10^3 / (0.5 x 4000) = 22.506 cm^2/m

· Used A_s = H19-2ea x 8 = 1.986 x 2 x 8 = 31.776 cm^2 > 22.506 cm^2 OK

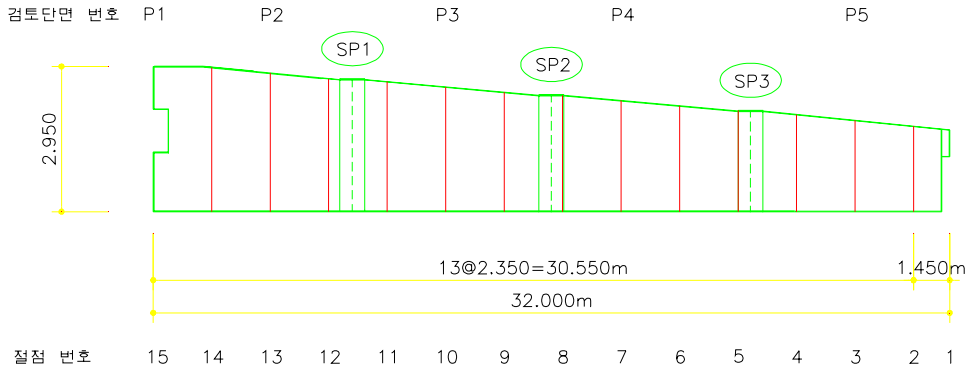


5.3.7 [단계 7] 압출 가시설 해석

(1) [단계 7-1] 압출 추진코 단면의 최대 단면력 산정

① NOSE 단면 가정

· 사용 부재 : SM400



② 검토단면의 제원 및 최대 단면력

검토 위치	플랜지 ($b_f \times t_f$) (mm)		웨브 ($H_w \times t_w$) (mm)	단면2차 모멘트 (cm^4)	y_{top} (cm)	y_{bot} (cm)	최대 단면력	
	상부	하부					M_{max} (kgf · cm)	V_{max} (kgf)
P1	900×30	900×30	2,890×24	16,338,154	147.5	147.5	$1{,}096.80\times10^5$	73.50×10^3
P2	600×30	600×30	2,720×20	10,160,191	139.0	139.0	759.90×10^5	62.90×10^3
P3	600×20	600×30	2,349×20	6,323,420	128.8	111.1	380.05×10^5	39.20×10^3
P4	400×20	400×30	1,880×16	2,672,635	103.7	89.3	154.60×10^5	20.70×10^3
P5	400×20	400×30	1,439×10	1,295,650	82.6	66.3	27.94×10^5	11.50×10^3
SP1	600×20	600×30	2,554×20	7,693,638	139.3	121.1	605.99×10^5	66.33×10^3
SP2	400×20	400×30	2,113×16	3,510,767	115.7	100.6	211.81×10^5	29.98×10^3
SP3	400×20	400×30	1,672×10	1,798,830	95.0	77.2	75.30×10^5	8.64×10^3

(2) [단계 7-2] 강재 응력 검토

① 검토 단면 1(P1)

가. 허용 응력

(가) 허용 휨 압축 응력

i) 국부 좌굴을 고려하지 않은 경우

· $\frac{A_w}{A_f} = \frac{693.6}{270} = 2.569$ (A_w / A_c > 2)

· $k = \sqrt{3+\frac{A_w}{2A_f}} = \sqrt{3+\frac{693.6}{2\times270}} = 2.070$

· $\frac{\ell}{b_f} = \frac{180}{90} = 2 < \frac{9}{k} = \frac{9}{2.070} = 4.348$

==> f_{sa1} = 1,400 kgf/cm^2

ii) 국부 좌굴을 고려한 경우

· $b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{90 - 2.4}{2} = 43.8$ cm

· $\frac{b}{t_f} = \frac{43.8}{3} = 14.6 > 13.1$

==> $f_{sa2} = 240{,}000 \left(\frac{b}{t_f}\right)^2 = 1{,}126$ kgf/cm²

iii) 허용 휨 압축 응력

· $f_{sac} = 1.25 \times 1{,}126 = 1{,}407.5$ kgf/cm²(min value in the f_{sa1} , f_{sa2})

(나) 허용 휨 인장 응력

· $f_{sat} = 1.25 \times 1{,}400 = 1{,}750$ kgf/cm²

(다) 허용 전단 응력

· $\tau_{sa} = 1.25 \times 800 = 1{,}000$ kgf/cm²

나. 응력 검토

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{1{,}096.8 \times 10^5}{16{,}338{,}154} \times 147.5 = 990.2$kgf/cm² < f_{sac}=1,407.5 kgf/cm² ∴OK

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{1{,}096.8 \times 10^5}{16{,}338{,}154} \times 147.5 = 990.2$kgf/cm² < f_{sat}=1,750 kgf/cm² ∴OK

· $\tau = \frac{V}{A_w} = \frac{73.5 \times 10^3}{693.6} = 106.0$ kgf/cm² < τ_{sa} = 1,000 kgf/cm² ∴OK

② 검토 단면 2(P2)

가. 허용 응력

(가) 허용 휨 압축 응력

i) 국부 좌굴을 고려하지 않은 경우

· $\frac{A_w}{A_f} = \frac{544}{180} = 3.02$ (A_w / A_c > 2)

· $k = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_f}} = \sqrt{3 + \frac{544}{2 \times 180}} = 2.124$

· $\frac{\ell}{b_f} = \frac{335}{60} = 5.58 > \frac{9}{k} = \frac{9}{2.124} = 4.237$

==> $f_{sa1} = 1{,}400 - 12\left(k \cdot \frac{\ell}{b_f} - 9\right) = 1{,}365.7$ kgf/cm²

ii) 국부 좌굴을 고려한 경우

· $b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{60 - 2.0}{2} = 29.0$ cm

· $\frac{b}{t_f} = \frac{29.0}{3} = 9.67 < 13.1$

==> f_{sa2} = 1,400 kgf/cm^2

iii) 허용 휨 압축 응력

· f_{sac} = 1.25×1,365.7 = 1,707 kgf/cm^2(min value in the f_{sa1}, f_{sa2})

(나) 허용 휨 인장 응력

· f_{sat} = 1.25 × 1,400 = 1,750 kgf/cm^2

(다) 허용 전단 응력

· τ_{sa} = 1.25 × 800 = 1,000 kgf/cm^2

나. 응력 검토

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{757.9\times10^5}{10,160,191} \times 139.0$=1,037kgf/cm^2 < f_{sac}=1,707 kgf/cm^2 ∴OK

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{757.9\times10^5}{10,160,191} \times 139.0$=1,037kgf/cm^2 < f_{sat}=1,750 kgf/cm^2 ∴OK

· $\tau = \frac{V}{A_w} = \frac{62.9\times10^3}{544}$ = 115.6 kgf/cm^2 < τ_{sa} = 1,000 kgf/cm^2 ∴OK

③ 검토 단면 3(P3)

가. 허용 응력

(가) 허용 휨 압축 응력

i) 국부 좌굴을 고려하지 않은 경우

· $\frac{A_w}{A_f} = \frac{469.8}{180}$ = 2.61 (A_w / A_c > 2)

· $k = \sqrt{3+\frac{A_w}{2A_f}} = \sqrt{3+\frac{469.8}{2\times180}} = 2.075$

· $\frac{\ell}{b_f} = \frac{335}{60} = 5.6 > \frac{9}{k} = \frac{9}{2.075} = 4.337$

==> $f_{sa1} = 1,400 - 12\left(k\cdot\frac{\ell}{b_f} - 9\right) = 1,369$ kgf/cm^2

ii) 국부 좌굴을 고려한 경우

· $b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{60 - 2.0}{2}$ = 29.0 cm

· $\frac{b}{t_f} = \frac{29.0}{3} = 9.67 < 13.1$

==> f_{sa2} = 1,400 kgf/cm^2

iii) 허용 휨 압축 응력

· f_{sac} = 1.25×1,369 = 1,711 kgf/cm^2(min value in the f_{sa1}, f_{sa2})

(나) 허용 휨 인장 응력

· f_{sat} = 1.25 × 1,400 = 1,750 kgf/cm²

(다) 허용 전단 응력

· τ_{sa} = 1.25 × 800 = 1,000 kgf/cm²

나. 응력 검토

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{380.05\times10^5}{6,323,420} \times 128.8$=774.1kgf/cm² < f_{sac}=1,711 kgf/cm² ∴OK

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{380.05\times10^5}{6,323,420} \times 111.1$=667.7kgf/cm² < f_{sat}=1,750 kgf/cm² ∴OK

· $\tau = \frac{V}{A_w} = \frac{39.2\times10^3}{469.8}$ = 83.4 kgf/cm² < τ_{sa} = 1,000 kgf/cm² ∴OK

④ 검토 단면 4(P4)

가. 허용 응력

(가) 허용 휨 압축 응력

i) 국부 좌굴을 고려하지 않은 경우

· $\frac{A_w}{A_f} = \frac{300.8}{120}$ = 2.507 (A_w / A_c > 2)

· $k = \sqrt{3+\frac{A_w}{2A_f}} = \sqrt{3+\frac{300.8}{2\times120}} = 2.062$

· $\frac{\ell}{b_f} = \frac{335}{40}$ = 8.375 > $\frac{9}{k} = \frac{9}{2.062}$ = 4.365

==> $f_{sa1} = 1,400 - 12\left(k\cdot\frac{\ell}{b_f} - 9\right)$ = 1,300.8 kgf/cm²

ii) 국부 좌굴을 고려한 경우

· $b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{40 - 1.6}{2}$ = 19.2 cm

· $\frac{b}{t_f} = \frac{19.2}{3}$ = 6.4 < 13.1

==> f_{sa2} = 1,400 kgf/cm²

iii) 허용 휨 압축 응력

· f_{sac} = 1.25×1,300.8 = 1,626 kgf/cm²(min value in the f_{sa1}, f_{sa2})

(나) 허용 휨 인장 응력

· f_{sat} = 1.25 × 1,400 = 1,750 kgf/cm²

(다) 허용 전단 응력

· τ_{sa} = 1.25 × 800 = 1,000 kgf/cm²

나. 응력 검토

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{154.6\times10^5}{2,672,635} \times 103.7$ = 599.9kgf/cm² < f_{sac}=1,626 kgf/cm² ∴OK

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{154.6\times10^5}{2,672,635} \times 89.3 = 516.6 kgf/cm^2 < f_{sat}=1,750\ kgf/cm^2$ ∴OK

· $\tau = \frac{V}{A_w} = \frac{20.7\times10^3}{300.8} = 68.8\ kgf/cm^2 < \tau_{sa} = 1,000\ kgf/cm^2$ ∴OK

⑤ 검토 단면 5(P5)

가. 허용 응력

(가) 허용 휨 압축 응력

i) 국부 좌굴을 고려하지 않은 경우

· $\frac{A_w}{A_f} = \frac{143.9}{120} = 1.2$ (A_w / $A_c \le 2$)

· $k = 2.0$

· $\frac{\ell}{b_f} = \frac{337.5}{40} = 8.4 > 4.5$

==> $f_{sa1} = 1,400 - 24\left(\frac{\ell}{b_f} - 4.5\right) = 1,305.5\ kgf/cm^2$

ii) 국부 좌굴을 고려한 경우

· $b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{40 - 1.0}{2} = 19.5\ cm$

· $\frac{b}{t_f} = \frac{19.5}{3} = 6.5 < 13.1$

==> $f_{sa2} = 1,400\ kgf/cm^2$

iii) 허용 휨 압축 응력

· $f_{sac} = 1.25\times1,305.5 = 1,632\ kgf/cm^2$(min value in the f_{sa1}, f_{sa2})

(나) 허용 휨 인장 응력

· $f_{sat} = 1.25 \times 1,400 = 1,750\ kgf/cm^2$

(다) 허용 전단 응력

· $\tau_{sa} = 1.25 \times 800 = 1,000\ kgf/cm^2$

나. 응력 검토

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{27.94\times10^5}{1,295,650} \times 82.6 = 178.1 kgf/cm^2 < f_{sac}=1,632\ kgf/cm^2$ ∴OK

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{27.94\times10^5}{1,295,650} \times 66.3 = 143 kgf/cm^2 < f_{sat}=1,750\ kgf/cm^2$ ∴OK

· $\tau = \frac{V}{A_w} = \frac{11.5\times10^3}{143.9} = 80.0\ kgf/cm^2 < \tau_{sa} = 1,000\ kgf/cm^2$ ∴OK

(3) [단계 7-3] 볼트 수량 계산 및 연결판 검토

① 사용부재 및 작용 응력 계산

가. 사용부재 제원

(가) 주부재(모재)

· 사용 부재 : SM 400 , f_{sa} = 1,400 kgf/cm²

· 모재의 최소 허용응력 f_a = 1,050 kgf/cm² ($f_a = 0.75 f_{sa}$)

(나) 볼트

· 사용 볼트 : M22 (F10T) 1볼트 1마찰일 때 허용력 F_{bolt} = 4,800 kgf

나. 작용 응력 계산

(가) 이음판 1

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{605.99 \times 10^5}{7,693,638} \times 139.3$ = 1,097.2 kgf/cm² > f_a = 1,050 kgf/cm²

$\therefore f$ = 1,097.2 kgf/cm²

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{605.99 \times 10^5}{7,693,638} \times 121.1$ = 953.8 kgf/cm² < f_a = 1,050 kgf/cm²

$\therefore f$ = 1,050 kgf/cm²

(나) 이음판 2

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{211.81 \times 10^5}{3,510,767} \times 115.7$ = 698.0 kgf/cm² < f_a = 1,050 kgf/cm²

$\therefore f$ = 1,050 kgf/cm²

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{211.81 \times 10^5}{3,510,767} \times 100.6$ = 606.9 kgf/cm² < f_a = 1,050 kgf/cm²

$\therefore f$ = 1,050 kgf/cm²

(다) 이음판 3

· $f_c = \frac{M}{I} y_{top} = \frac{75.30 \times 10^5}{1,798,830} \times 95.0$ = 397.6 kgf/cm² < f_a = 1,050 kgf/cm²

$\therefore f$ = 1,050 kgf/cm²

· $f_t = \frac{M}{I} y_{bot} = \frac{75.30 \times 10^5}{1,798,830} \times 77.2$ = 323.1 kgf/cm² < f_a = 1,050 kgf/cm²

$\therefore f$ = 1,050 kgf/cm²

② 볼트 수량 계산 및 연결판 검토

가. 이음판 1

(가) 상부플랜지(upper flange)(2면 마찰) : 압축응력 작용시

· $f_a < f_{c1}$ ==> f = 1,097.2 kgf/cm² $\therefore P = f \times A_u$ = 131,664 kgf

㉮ 볼트 수량 계산

· 최소 볼트 갯수 $N = \frac{P}{2 \cdot F_{bolt}}$ N = 13.7 EA

· 사용 볼트 개수 줄수 : 4줄, 줄당 : 6개 = 24 EA $\therefore$ OK

㈏ 연결판 검토

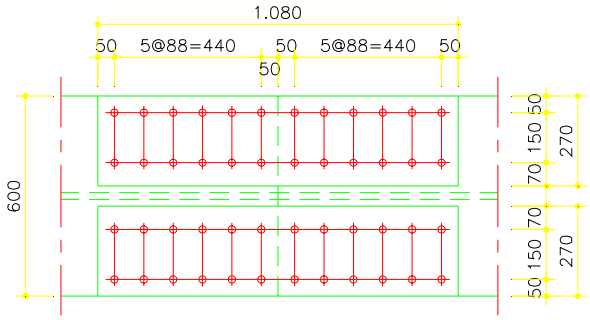
· 만족 조건 : A_n (사용 플레이트 단면적) > A_{req} (모재 순단면적)

· 사용 플레이트

플레이트 1 : $A_1 = 60 \times 1.6 = 96\ cm^2$

플레이트 2 : $A_2 = 27 \times 1.6 = 43.2\ cm^2$

· 전체면적 : $A_n = A_1 + 2A_2 = 182.4\ cm^2 > A_{req} = A_u = 120\ cm^2$ ∴ OK



(나) 하부 플랜지(lower flange) (1면 마찰) : 인장응력 작용시

· $f_a > f_{t1}$ ==> $f = 1{,}050\ kgf/cm^2$ ∴ $P = f \times A_\ell = 189{,}000\ kgf$

㉮ 볼트 수량 계산

· 최소 볼트 갯수 $N = \dfrac{P}{F_{bolt}}$ $N = 39.4\ EA$

· 사용 볼트 개수 줄수 : 6줄, 줄당 : 7개 = 42 EA ∴ OK

㈏ 연결판 검토

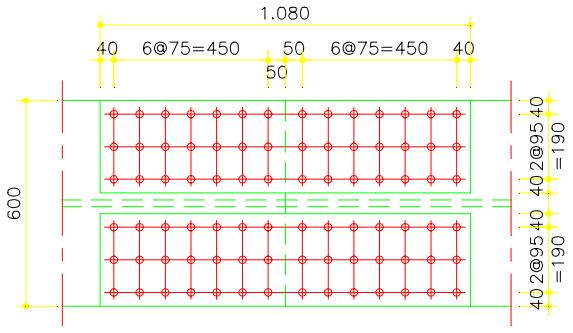
· 만족 조건 : A_n (사용 플레이트 단면적) > A_{req} (모재 순단면적)

· 사용 플레이트

플레이트 : $A = 27 \times 3.8 = 102.6\ cm^2$

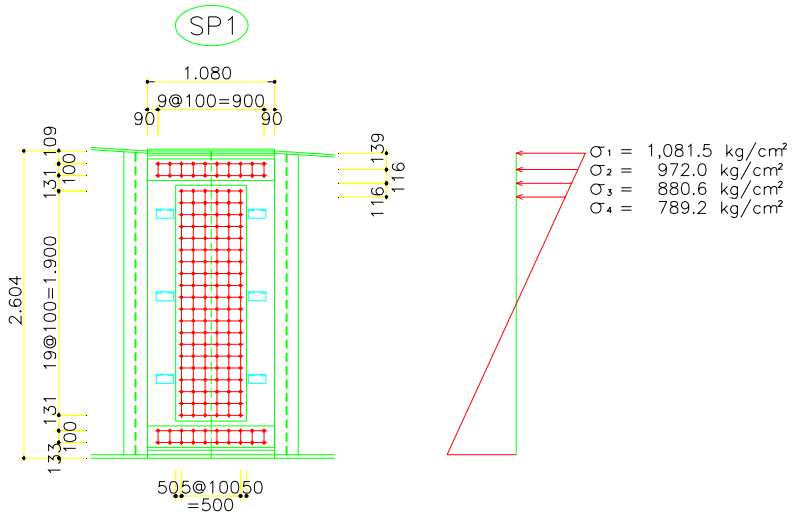
· 필요한 순단면적(A_{req}) : $A_{req} = \dfrac{1{,}050 \times (60 \times 3)}{1{,}400} = 135\ cm^2$

· 전체면적 : $A_n = 2A\text{-}\{(2.2+0.3)^{cm} \times 3.8^{cm} \times 6^{EA}\} = 148.2cm^2 > A_{req} = 135\ cm^2$ ∴ OK



(다) 웨브(web) 검토

㉮ 볼트 수량 및 볼트력 계산



i) 수직력에 의한 볼트 수량 및 볼트력

· 제1열 : $P = \frac{f_1+f_2}{2} \cdot A_{pl} = \frac{1,081.5+972}{2} \times 13.9 \times 2 = 28,543.65$ kgf

- 최소 볼트 개수 $N = \frac{P}{2F_{bolt}} = \frac{28,543.65}{2 \times 4,800} = 3.0$ EA

- 사용 볼트 갯수 : 5 EA > 3 EA ∴ OK

- 볼트력 : $P_1 = \frac{28,543.65}{5EA} = 5,709$ kgf/EA

· 제3열 : $P = \frac{f_3+f_4}{2} \cdot A_{pl} = \frac{880.6+789.2}{2} \times 11.6 \times 2 = 19,369.68$ kgf

- 최소 볼트 개수 $N = \frac{P}{2F_{bolt}} = \frac{19,369.68}{2 \times 4,800} = 2.0$ EA

- 사용 볼트 갯수 : 3 EA > 2 EA ∴ OK

- 볼트력 $P_2 = \frac{19,369.68}{3EA} = 6,457$ kgf/EA

ii) 전단력에 의한 볼트 수량 및 볼트력

· $V = 66.33 \times 10^3$kgf

- 최소 볼트 개수 $N = \frac{V}{2F_{bolt}} = 6.9$ EA

- 사용 볼트 개수 : 60 EA > 6.9 EA ∴ OK

- 볼트력 $P_s = \frac{66.33 \times 10^3}{80 \times 2} = 415.0$ kgf/EA

iii) 수직력과 전단력에 의한 볼트력의 합성

· $P = \sqrt{6,457^2 + 415^2} = 6,470.3$ kgf/EA < $4,800 \times 2 = 9,600$ kgf/EA ∴OK

㈏ 연결판 검토

· 2PL 180 × 16 × 1080 : $A_1 = 18 \times 1.6 = 28.8\ cm^2$

· 2PL 2000 × 16 × 600 : $A_2 = 200 \times 1.6 = 320\ cm^2$

· $I_1 = \frac{1.6 \times 18^3}{12} = 777.6\ cm^4$, $I_2 = \frac{1.6 \times 200^3}{12} = 1{,}066{,}666.67\ cm^4$

· $I = 2I_1 + 2I_2 + A_1 \times 123.4^2 + A_1 \times 102.8^2 + 2A_2 \times 10.3^2 = 2{,}945{,}693.7\ cm^4$

· $M_w = M \cdot \frac{I}{I_s} = 605.99 \times 10^5 \times \frac{2{,}945{,}693.7}{7{,}693{,}638} = 23{,}201{,}779.5\ kgf \cdot cm$

$\therefore f = \frac{M_w}{I} y = \frac{23{,}201{,}779.5}{2{,}945{,}693.7} \times 132.4$

$= 1{,}043.0\ kgf/cm^2 < 1{,}400\ kgf/cm^2$ OK

나. 이음판 2

(가) 상부플랜지 (2면 마찰) : 압축응력 작용시

· $f_a > f_{c1}$ ==> $f = 1{,}050\ kgf/cm^2$ $\therefore P = f \times A_u = 84{,}000\ kgf$

㉮ 볼트 수량 계산

· 최소 볼트 갯수 $N = \frac{P}{2 \cdot F_{bolt}}$ $N = 8.75$ EA

· 사용 볼트 개수 줄수 : 4줄, 줄당 : 6개 = 24 EA $\therefore$ OK

㉯ 연결판 검토

· 만족 조건 : A_n (사용 플레이트 단면적) > A_{req} (모재 순단면적)

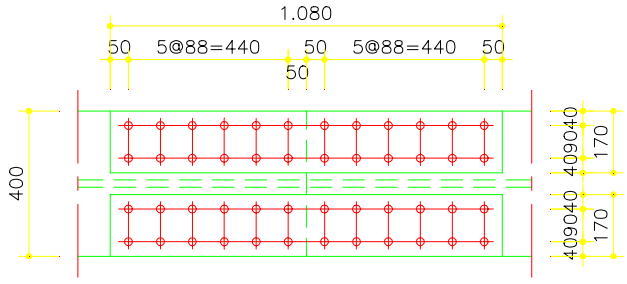
· 사용 플레이트

플레이트 1 : $A_1 = 40 \times 1.6 = 64\ cm^2$

플레이트 2 : $A_2 = 17 \times 1.6 = 27.2\ cm^2$

· 필요한 순단면적(A_{req}) : $A_{req} = \frac{1{,}050 \times (40 \times 2)}{1{,}400} = 60\ cm^2$

· 전체면적 : $A_n = A_1 + 2A_2 = 118.4\ cm^2 > A_{req} = 60\ cm^2$ $\therefore$ OK



(나) 하부 플랜지 (1면 마찰) : 인장응력 작용시

· $f_a > f_{t1}$ ==> $f = 1{,}050\ kgf/cm^2$ $\therefore P = f \times A_\ell = 126{,}000\ kgf$

㉮ 볼트 수량 계산

· 최소 볼트 갯수 $N = \frac{P}{F_{bolt}}$ $N = 26.25$ EA

· 사용 볼트 개수 줄수 : 4줄, 줄당 : 7개 = 28 EA ∴ OK

㈏ 연결판 검토

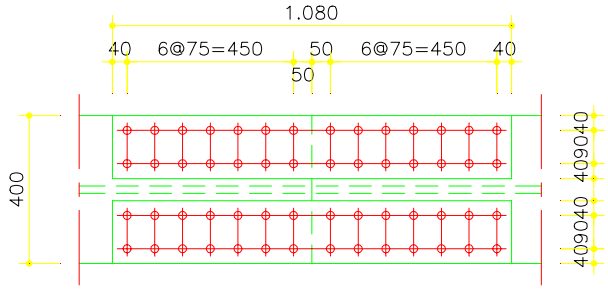
· 만족 조건 : A_n (사용 플레이트 단면적) > A_{req} (모재 순단면적)

· 사용 플레이트

플레이트 : $A = 17 \times 5 = 85.0\ cm^2$

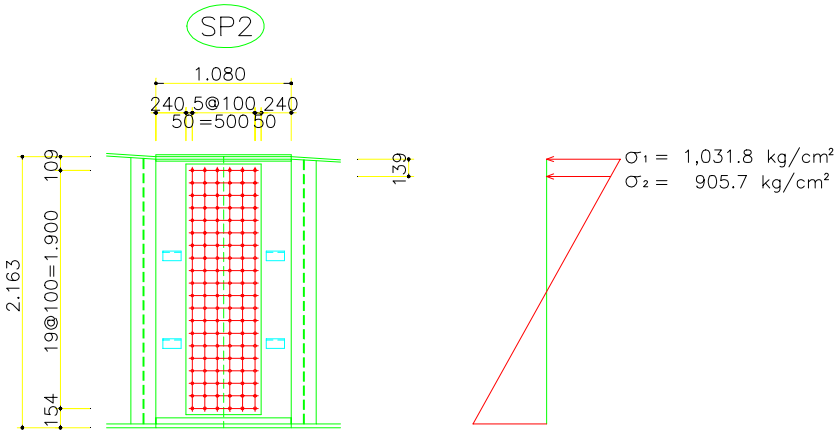
· 필요한 순단면적(A_{req}) : $A_{req} = \frac{1,050 \times (40 \times 3)}{1,400} = 90\ cm^2$

· 전체면적 : $A_n = 2A\text{-}\{(2.2+0.3)^{cm} \times 5^{cm} \times 4^{EA}\} = 120 cm^2 > A_{req} = 90\ cm^2$ ∴ OK



(다) 웨브 검토

㉮ 볼트 수량 및 볼트력 계산



i) 수직력에 의한 볼트 수량 및 볼트력

· 제1열 : $P = \frac{f_1+f_2}{2} \cdot A_{pl} = \frac{1,031.8+905.7}{2} \times 13.9 \times 1.6 = 21,545$ kgf

- 최소 볼트 개수 $N = \frac{P}{2F_{bolt}} = \frac{21,545}{2 \times 4,800} = 2.24$ EA

- 사용 볼트 갯수 : 3 EA > 2.24EA ∴ OK

- 볼트력 : $P = \frac{21,545}{3EA} = 7,182$ kgf/EA

ii) 전단력에 의한 볼트 수량 및 볼트력

· V = 29.975 × 10^3kgf

- 최소 볼트 개수 $N = \frac{V}{2F_{bolt}}$ = 3.12 EA

- 사용 볼트 개수 : 60 EA > 3.12 EA ∴ OK

- 볼트력 : $P_s = \frac{29.975 \times 10^3}{60 \times 2}$ = 249.8 kgf/EA

iii) 수직력과 전단력에 의한 볼트력 합성

· $P = \sqrt{7,182^2 + 249.8^2}$ = 7,186.3 kgf/EA < 4,800×2 = 9,600 kgf/EA ∴ OK

㈏ 연결판 검토

· 2PL 2000 × 12 × 600 : A = 200 × 1.2 = 240 cm^2

· $I_0 = \frac{1.2 \times 200^3}{12}$ = 800,000 cm^4

· $I = 2I_0 + 2A \times 9.8^2$ = 1,646,099.2 cm^4

· $M_w = M \cdot \frac{I}{I_s}$ = 211.81×10^5× $\frac{1,646,099.2}{3,510,767}$ = 9,931,170.9 kgf · cm

∴ $f = \frac{M_w}{I} y = \frac{9,931,170.9}{1,646,099.2} \times 109.8$

= 662.4 kgf/cm^2 < 1,400 kgf/cm^2 OK

다. 이음판 3

(가) 상부플랜지 (2면 마찰) : 압축응력 작용시

· $f_a > f_{c1}$ ==> f = 1,050 kgf/cm^2 ∴ $P = f \times A_u$ = 84,000 kgf

㉮ 볼트 수량 계산

· 최소 볼트 갯수 $N = \frac{P}{2 \cdot F_{bolt}}$ N = 8.75 EA

· 사용 볼트 개수 줄수 : 4줄, 줄당 : 6개 = 24 EA ∴ OK

㈏ 연결판 검토

· 만족 조건 : A_n (사용 플레이트 단면적) > A_{req} (모재 순단면적)

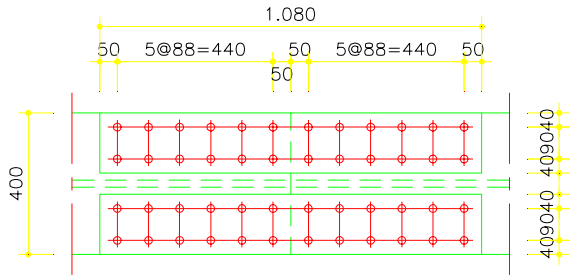
· 사용 플레이트

플레이트 1 : A_1 = 40×1.4 = 56 cm^2

플레이트 2 : A_2 = 17×1.4 = 23.8 cm^2

· 필요한 순단면적(A_{req}) : $A_{req} = \frac{1,050 \times (40 \times 2)}{1,400}$ = 60 cm^2

· 전체면적 : $A_n = A_1 + 2A_2$ = 103.6 cm^2 > A_{req} = 60 cm^2 ∴ OK



(나) 하부플랜지 (1면 마찰) : 인장응력 작용시

· $f_a > f_{t1}$ ==> f = 1,050 kgf/cm^2 ∴ $P = f \times A_\ell$ = 126,000 kgf

㉮ 볼트 수량 계산

· 최소 볼트 갯수 $N = \dfrac{P}{F_{bolt}}$ N = 26.25 EA

· 사용 볼트 개수 줄수 : 4줄, 줄당 : 7개 = 28 EA ∴ OK

㉯ 연결판 검토

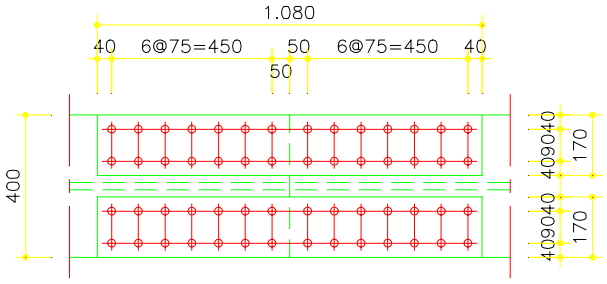
· 만족 조건 : A_n (사용 플레이트 단면적) > A_{req} (모재 순단면적)

· 사용 플레이트

플레이트 : $A = 17 \times 5 = 85.0$ cm^2

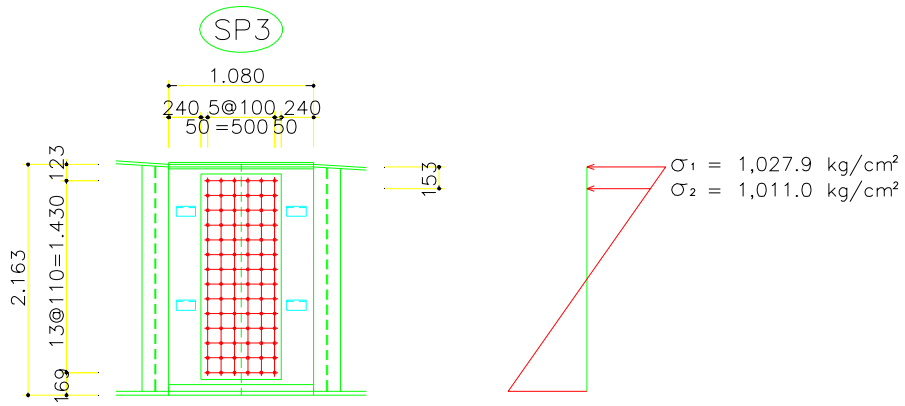
· 필요한 순단면적(A$_{req}$) : $A_{req} = \dfrac{1,050 \times (40 \times 3)}{1,400} = 90$ cm^2

· 전체면적 : $A_n = 2A - \{(2.2+0.3)^{cm} \times 5^{cm} \times 4^{EA}\} = 120 cm^2 > A_{req} = 90$ cm^2 ∴ OK



(다) 웨브 검토

㉮ 볼트 수량 및 볼트력 계산



i) 수직력에 의한 볼트 수량 및 볼트력

· 제1열 : $P = \frac{f_1+f_2}{2} \cdot A_{pl} = \frac{1,027.9+1,011}{2} \times 15.3 \times 1.0 = 15,598$ kgf

- 최소 볼트 개수 $N = \frac{P}{2F_{bolt}} = \frac{15,598}{2 \times 4,800} = 1.62$ EA

- 사용 볼트 갯수 : 3 EA > 1.62 EA ∴ OK

- 볼트력 : $P = \frac{15,598}{3EA} = 5,199$ kgf/EA

ii) 전단력에 의한 볼트 수량 및 볼트력

· $V = 8.635 \times 10^3$kgf

- 최소 볼트 개수 $N = \frac{V}{2F_{bolt}} = 0.9$ EA

- 사용 볼트 개수 : 42 EA > 0.9 EA ∴ OK

- 볼트력 : $P_s = \frac{8.635 \times 10^3}{42 \times 2} = 102.8$ kgf/EA

iii) 수직력과 전단력에 의한 볼트력 합성

· $P = \sqrt{5,199^2 + 102.8^2} = 5,200$ kgf/EA < 4,800×2 = 9,600 kgf/EA ∴ OK

㉯ 연결판의 계산

· 2PL 1530 × 12 × 600 : $A = 153 \times 1.2 = 183.6$ cm²

· $I_0 = \frac{1.2 \times 153^3}{12} = 358,157.7$ cm⁴

· $I = 2I_0 + 2A \times 11.2^2 = 762,377$ cm⁴

· $M_w = M \cdot \frac{I}{I_s} = 75.295\times10^5\times\frac{762,377}{1,798,830} = 3,191,139$ kgf · cm

$\therefore f = \frac{M_w}{I} y = \frac{3,191,139}{762,377} \times 87.7$

$= 367.1$ kgf/cm^2 < 1,400 kgf/cm^2 OK

(4) [단계 7-4] 압출 추진코 연결부의 최대 단면력 산정

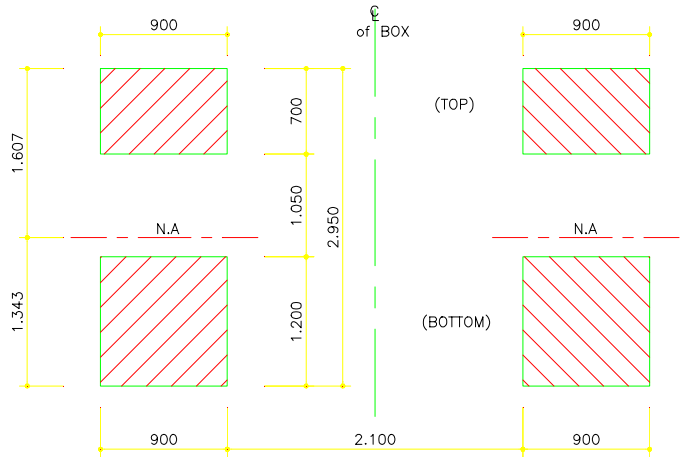
① 최대 단면력

· 최대 정 모멘트 $+M_{max} = 1,994.1$ tonf · m

· 최대 부 모멘트 $-M_{max} = -765.2$ tonf · m

· 최대 전단력 $V_{max} = -339.8$ tonf

② 추진코 연결부 단면의 특성



구 분	A(cm^2)	y(cm)	$A \cdot y$(cm^3)	$A \cdot y^2$(cm^4)	I (cm^4)
상부플레이트(90×70-2EA)	12,600	260	3,276,000	8.52E+08	5,145,000
하부플레이트(90×120-2EA)	21,600	60	1,296,000	7.78E+07	25,920,000
Total	34,200		4,572,000	9.30E+08	31,065,000

가. 전 단면적 : $A_t = 34,200$ cm^2

나. 도심의 계산

· $y_\ell = \Sigma(A \cdot y) / A_t = 4,572,000 / 34,200 = 133.7$ cm

· $y_u = 295 - 133.7 = 161.3$ cm

다. 단면 2차 모멘트 (I_t)

· $I_t = 31,065,000 + 12,600\times126.3^2 + 21,600\times73.3^2 = 349,380,798$ cm^4

라. 단면 계수 (Z_u, Z_ℓ)

· $Z_u = I_t / y_u = 349,380,798 / 161.3 = 2,166,031$ cm^3

· $Z_\ell = I_t / y_\ell = 349,380,798 / 133.7 = 2,613,170$ cm^3

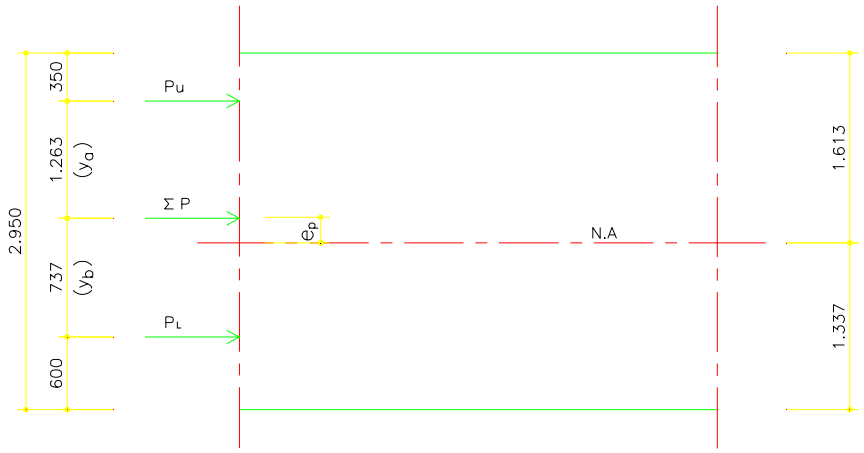
마. 단면 핵 계산

· $r^2 = I_t / A_t$ = 349,380,798 / 34,200 = 10,216 cm^3

· $y_u' = r^2 / y_\ell$ = 10,216 / 133.7 = 76.4 cm

· $y_\ell' = r^2 / y_u$ = 10,216 / 161.3 = 63.3 cm

③ 강봉의 편심량 계산



· 설계 단면력에 저항하기 위한 합력 ΣP 와 작용점 e_p는 단면의 핵 정리에 의해 다음과 같이 크기 및 범위가 제한된다.

$$e_p + \frac{(+)M_{max}}{\Sigma P} \le y_u' \quad \text{------- (1)}$$

$$-e_p + \frac{(-)M_{max}}{\Sigma P} \le y_\ell' \quad \text{------- (2)}$$

$$\therefore \frac{|(+)M_{max}| + |(-)M_{max}|}{\Sigma P} \le y_u' + y_\ell'$$

$$\frac{2,759.3}{\Sigma P} \le 1.397 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \Sigma P \ge 2,759.3 / 1.397 = 1,975 \text{ tonf}$$

$\therefore e_p \le 0.764 - 1,994.1 / 1,975 = -0.246$ m

따라서, 합력 ΣP의 작용 위치는 도심으로부터 0.246m 만큼 아래에 작용한다.

(5) [단계 7-5] 연결부 긴장재의 손실량 계산

① 재료 특성 (ø 36 mm)

· f_{pu} = 1,030 N/mm^2 = 10,503 kgf/cm^2 , f_{py} = 835 N/mm^2 = 8,515 kgf/cm^2

· A_p = 10.2 cm^2 , E_p = 2.0×10^6 kgf/cm^2 , E_c = 2.8×10^5 kgf/cm^2

② 초기 인장응력

· $f_{pj} = 0.8f_{py}$ = 0.8×8,515 = 6,812 kgf/cm^2

③ 허용 응력

· f_{pa1} = 0.7f_{pu} = 7,352 kgf/cm^2(프리스트레스 도입 직후)

· f_{pa2} = 0.8f_{py} = 6,812 kgf/cm^2(사용하중 상태)

④ 25%의 손실을 고려한 강봉 개수

· P_e = 0.75×6,812×10.2×10^{-3} = 52.1 tonf/ea

- $P_U = \frac{y_b}{y_a + y_b} \times \sum P = \frac{0.487}{1.99} \times 1{,}994 =$ 488 tonf ⇒ USE ø 36×16 ea

- $P_L = \frac{y_a}{y_a + y_b} \times \sum P = \frac{1.503}{1.99} \times 1{,}994 =$ 1,506 tonf ⇒ USE ø 36×40 ea

⑤ 손실량 산정

가. 긴장재와 쉬스사이의 마찰에 의한 손실량

$\Delta f_{pf} = f_{PJ}\{1-e^{-(\mu\alpha+kl)}\}$

여기서, Δf_{PJ} : 6,812 kgf/cm^2 (긴장력에 의한 긴장재의 응력)

μ : 0.2 /rad (곡률마찰계수)

α : 0 rad (긴장재의 각 변화)

k : 0.0010 /m (파상마찰계수)

Δf_{pf} = 6,812 $\{1-e^{-(0.2\times0+0.0010\times2.7)}\}$ = 18.4 kgf/cm^2

나. 탄성 수축에 의한 손실량

$$\Delta f_{pe1} = 0.5\frac{E_p}{E_{ci}} \cdot f_{cir}$$

여기서, E_p = 2.0×10^6 kgf/cm^2

E_{ci} = 10,500$\sqrt{f_{ci}}$+70,000 = 10,500$\sqrt{400}$+70,000 = 280,000 kgf/cm^2

f_{cir} = f_{cpi} - f_g (정착 직후 고정하중과 프리스트레스 힘에 의해 발생되는 긴장재 중심에서의 콘크리트 응력)

$$= \frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i \cdot e_p^2}{I_c} - \frac{M_d \cdot e_p}{I_c}$$

$$= \frac{4{,}199.520}{7.0915} + \frac{4{,}199.520}{7.8738} \times 0.246^2 - 0$$

= 624.5 tonf/m^2 = 62.5 kgf/cm^2

단, $P_i = 0.7 \cdot f_{pu} \cdot A_p$ (정착 직후 긴장재의 허용 인장력)

= 0.7×10,503×10.2×56 ea = 4,199.520 tonf

e_p = 0.246m

$$\therefore f_{pel} = 0.5 \times \frac{2{,}000{,}000}{280{,}000} \times 62.5 = 223.2 \text{ kgf/cm}^2$$

다. 크리프에 의한 손실량

Δf_{pcr} = 12f_{cir} - 7f_{cds}

여기서, f_{cir} = 62.5 kgf/cm^2

f_{cds} = M_{ds} · $\frac{e_p}{I_c}$ (프리스트레스를 가한 이후의 모든 고정하중에 의해 발생되는 긴장재 중심에서의 콘크리트 응력)

= 0

∴ Δf_{pcr} = 12×62.5 = 750 kgf/cm^2

라. 건조수축에 의한 손실량

Δf_{psh} = 0.80 (1,190-10.5H_r)

= 0.80×(1,190-10.5×70) = 364 kgf/cm^2

마. 긴장재의 릴락세이션에 의한 손실량

Δf_{pr} = 210.0 kgf/cm^2

∴ 총 손실량 Δf_p = 18.4+223.2+750+364+210 = 1,565.6 kgf/cm^2

바. 유효 프리스트레스 산정

· 초기 프리스트레스

f_{pi} = f_{pj} - ($\triangle f_{pf}$ + $\triangle f_{pel}$)

= 6,812 - (18.4 + 223.2)

= 6,570.4 kgf/cm^2

· 유효 프리스트레스

f_{pe} = f_{pi} - ($\triangle f_{pcr}$ + $\triangle f_{psh}$ + Δf_{pr})

= 6,570.4 - (750 + 364 + 210)

= 5,246.4 kgf/cm^2 < 0.8 f_{py} = 6,812 kgf/cm^2 OK

· 유효율 $R = \frac{f_{pe}}{f_{pj}} = \frac{5,246.4}{6,812}$ = 77.1%

(6) [단계 7-6] 압출 추진코 연결부 긴장재의 필요수량 계산

① 강봉의 총 수량

· P_e = f_{pe} × A_p = 5,246.4 × 10.2 = 53,513.3 kgf/ea = 53.513 tonf/ea

· $\sum N$ = $\sum P$ / P_e

= 1,994 / 53.513 = 37.3 ea

② 연결용 강봉의 배치

· 상부 연결용 강봉

N_U = P_U / P_e = 735/53.513 = 13.7 ea ⇒ USE ø 36×16 ea

· 하부 연결용 강봉

N_L = P_L / P_e = 1,259/53.513 = 23.5 ea ⇒ USE ø 36×40 ea

∴ N = N_U + N_L = 16 + 40 = 56 ea > $\sum N$ = 37.3 ea OK

③ 전단 검토

· $V_n = A_{Vf} \cdot f_v \cdot \mu$ (전단마찰 철근이 전단면에 수직한 경우)

· Req'd $A_{Vf} = V_u/(\phi \cdot f_v \cdot \mu)$

· $f_v = f_{py} = 835\ N/mm^2 = 8{,}515\ kgf/cm^2$ ($A_p = 10.2\ cm^2$)

· μ = 0.7λ(볼트 스터드에 의하거나 철근에 의해 구조강에 정착된 콘크리트의 경우) = 0.7 × 1.0 (일반 콘크리트의 경우)

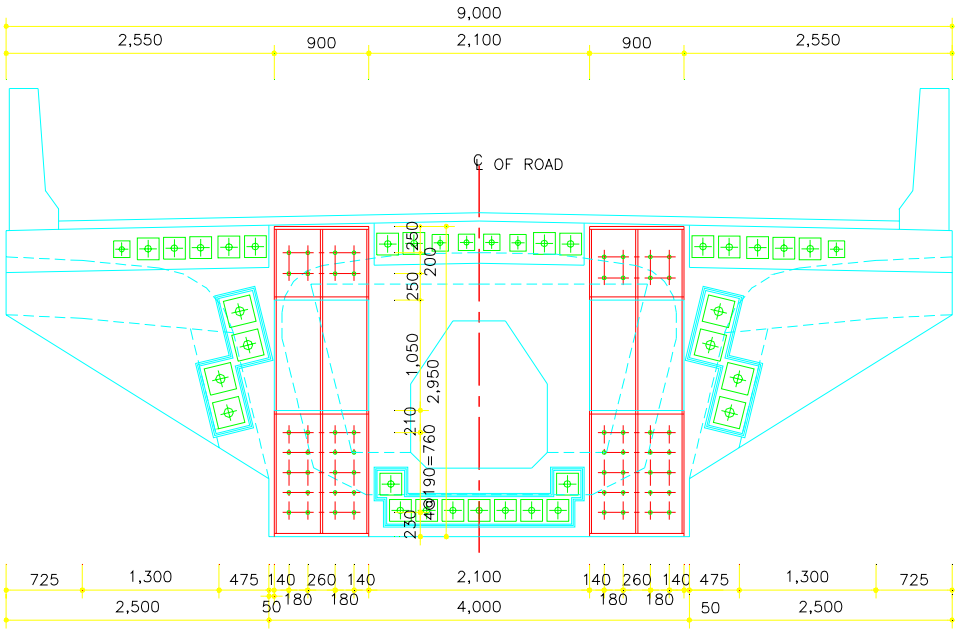
· Req'd $A_{Vf} = V_u/(\phi \cdot f_v \cdot \mu)$

$= 1.3 \times 339.8 \times 10^3/(0.8 \times 8{,}515 \times 0.7) = 92.6\ cm^2$

· 필요 강봉 수량 = 92.6/10.2 = 9.1 ea 이상

· 사용량 = φ36×56 ea > 9.1 ea OK

강봉의 인장에 대한 저항값만 고려해도 충분히 전단에 저항할 수 있으나, 연속 압출공법 특성상 상부구조와 추진코의 연결부는 압출 시공중 장시간 반복하중에 의한 피로하중을 받을 뿐만 아니라, 연결부의 파괴는 곧 낙교로 이어지기 때문에 원활하고 안전한 압출 시공을 위해 전단키(shear key)를 보강□설치하기로 한다.



5.3.8 [단계 8] 지점반력 및 이동량 산정

(1) [단계 8-1] 교대 및 교각의 반력 산정

① 수직 반력 (단위 : tonf)

구 분	A1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	A2
고정하중	380.1	1,087.5	1,047.2	1,054.9	1,044.6	1,045.1	1,054.8	1,047.5	1,086.3	373.2
활 하 중	93.7	231.6	235.2	237.9	236.5	236.6	237.9	235.2	231.6	92.4
온도변화	11.5	14.0	3.2	1.2	0.4	0.4	1.2	3.2	14.0	11.5
지점침하	12.7	35.7	47.8	49.9	50.1	50.7	50.1	47.8	35.7	12.7
PT 부정정력	-14.3	21.2	-6.7	-1.1	1.1	0.4	-1.1	1.3	4.1	-5.0
크리프 및 건조수축	2.6	-3.9	2.0	-2.8	2.1	2.0	-2.6	0.7	-1.4	1.2
합 계	486.3	1,386.1	1,328.7	1,340.0	1,334.8	1,335.2	1,340.3	1,335.7	1,370.3	486.0

② 수평 반력 (단위 : tonf)

구 분	P4	P5	비 고
고정하중	-	-	
활 하 중	-	-	
온도변화	7.2	7.2	
지점침하	-	-	
PT 부정정력	18.5	18.5	
크리프 및 건조수축	54.4	54.4	
합 계	80.1	80.1	

여기서, P_4 및 P_5는 고정단 받침 사용

(2) [단계 8-2] 이동량 산정

교량의 이동량 결정조건인 온도변화, 처짐, 크리프 및 건조수축, 프리스트레스힘 등을 고려하여 가동받침의 이동량 및 신축이음 장치의 규격을 검토[도□설 2.4.2.3]하여야 한다. 본 설계 예에서는 생략함

509

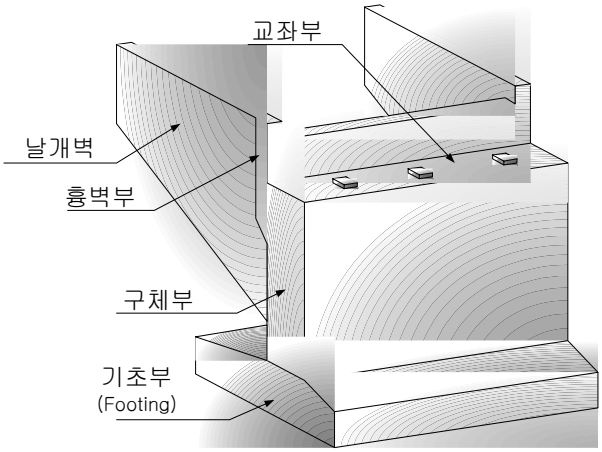
하부구조 및 내진설계

509.1 하부구조 및 내진설계의 일반사항

1.1 교대설계의 일반

1.1.1 개요

교대는 교량의 양끝단을 받치며, 교량의 상부하중과 배면 성토의 토압이나 지표재하중 등을 지지하면서 교대 자중을 포함하여 기초에 전달하는 역할을 한다. 교대의 각부 명칭을 나타내면 <그림 509.1>과 같다.



<그림 509.1> 교대의 각부 명칭

흉벽부 : 교좌부 위쪽의 배면 토압과 표면재하중을 지지하는 부분

교좌부 : 상부의 하중을 받는 교좌장치가 놓이는 부분

구체부 : 교대의 구체로서 상부하중과 배면 토압을 지지하는 부분

기초부 : 교대가 받는 모든 하중을 기초에 전달하는 부분

날개벽 : 토압과 재하하중을 지지하는 부분

1.1.2 교대의 종류

교대의 형식은 크게 상부구조의 결합형태에 따라 가동교대와 고정교대로 분류되며, 형상 및 구조형태에 의해 다음과 같이 분류할 수 있다.

(1) 중력식 교대

교대 본체의 자중을 크게 하여 구체단면에는 압축응력만 생기는 교대로서 구조가 간단하고 시공이 용이하지만 구체 중량이 크기 때문에 기초에 미치는 영향은 커진다. 양호한 지반이 얕은 곳에 있는 지역에 직접기초로서 적용되는 사례가 많다. 일반적으로 이 형식의 경제적 높이는 $4\,m$ 정도이다.

(2) 반중력식 교대

중력식과 유사한 구조형식이지만 단면의 형상이 비대칭을 이루며 구체 배면이나 기초의 일부에 인장력이 발생한다. 인장력에 대해서는 철근을 배치하여 단면을 보강하는 동시에 자중의 경감을 도모한다. 일반적으로 $4\sim6\,m$ 정도 높이의 교대에 이용한다.

(3) 역T형식 교대

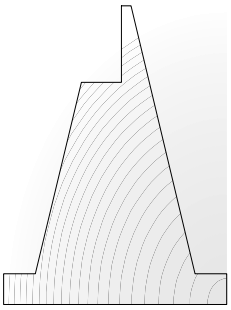
구체자중이 작고 흙의 중량으로 안정을 유지하므로 경제적이며, 다른 교대형식에 비교하여 뒷채움부의 시공도 용이하다. 높이 $12\,m$ 정도까지의 일반적인 지반조건에 적용한다.

(4) 뒷부벽식 교대

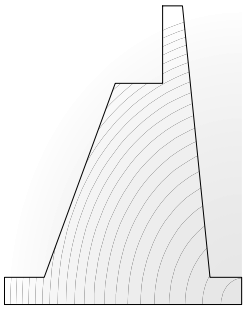
높이 $10\,m$ 정도 이상일 때 역T형식 교대 보다 많은 형식이지만 뒷부벽의 배근이나 콘크리트 타설에 어려움이 따른다. 또 배면 뒷채움부의 시공이 곤란하다.

(5) 라멘식 교대

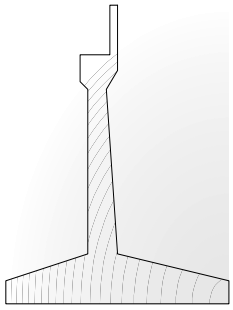
교대 위치에 교차도로(제방도로)가 있는 경우 교대를 교축방향으로 박스단면으로 하고 차도를 박스내에 넣어 박스 라멘 교대로 하지만, 사각이 있는 경우는 박스가 길어지므로 채광을 위해서나 보도, 차도의 분리를 위해 2연(連) 박스 라멘 교대로 한다.



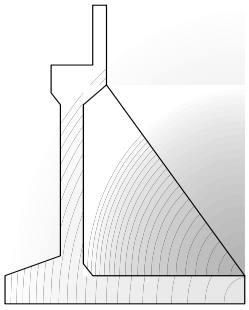
(a) 중력식 교대



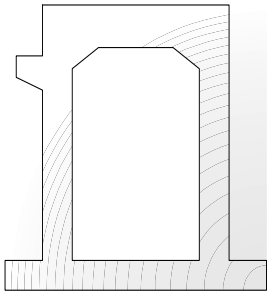
(b) 반중력식 교대



(c) 역T형식 교대



(d) 뒷부벽식 교대



(e) 라멘식 교대

<그림 509.2> 교대의 종류

1.1.3 교대의 형식

교대의 형식은 구조적으로 안정하고 경제적이어야 하며, 교대의 높이에 따라 일반적으로 적용되는 형식은 <표 509.1>에 나타내었다.

1.1.4 다리밑 공간

하천, 도로 또는 철도 등의 교차 조건에 의하여 교량 및 하부구조의 일반적인 형식이 결정되어진다. 따라서 하부구조 계획시 상부구조의 형식 외에 교량의 다리밑 공간에 대한 고려와 지장물 등의 위치의 확인이 필요하다. 다리밑 공간은 "503.3절"을 참조하여 계획한다.

1.1.5 상부구조의 하중 규모

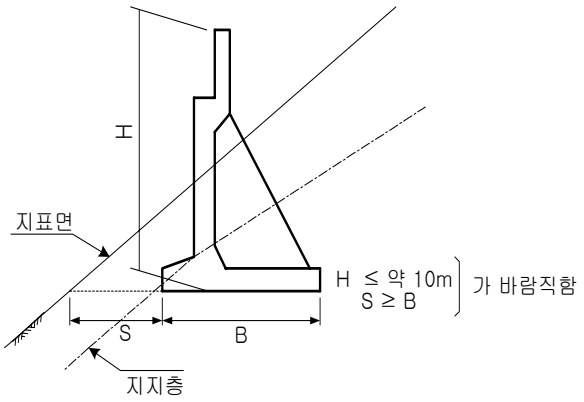
상부구조의 형식은 하부에 전달되는 하중에 직접적으로 영향을 미치며, 상부구조의 하중에 따라 교대의 형식을 고려할 필요가 있다. 일반적으로 콘크리트교는 강교에 비하여 자중이 무거우므로 하부구조의 단면크기에 큰 영향을 미친다.

<표 509.1> 교대의 선정기준

교대형식	높 이(m)				비 고
	10		20	30	
중 력 식	4				
반중력식	6				
역T형식	6	12			
뒷부벽식					
라 멘 식		15			
박 스 형		12			
중간이음식		15			

1.1.6 지반의 경사도 확인

사면 상에 임의의 교대를 선정하는 경우는 교대의 높이 및 사면과의 위치관계에 따라 교대높이를 $10m$ 정도로 하고 있지만 시공성, 장래의 안정성 등을 종합적으로 판단하여 결정할 필요가 있다. 또한, 앞판에서 지표면까지의 수평여유폭(S)에 대해서는 사면경사, 지지층 깊이 등을 감안해야 하고, 사면에 의한 지지력 감소, 장시간에 걸친 사면안정 등의 문제 때문에 교대 저면폭에 상당하는 앞면 여유폭을 확보하는 것이 필요하다.



<그림 509.3> 교대의 높이와 사면과의 관계

1.1.7 지지층의 깊이 결정

기초지반의 지지근입(깊은기초)에 따라 교량 하부구조의 공사비가 늘어나므로 교량의 지간분할에 따른 총 공사비 관점에 따라 하부구조의 기초형식을 결정할 필요가 있다. 기초상부에서 장래 지반선까지의 근입깊이는 동결심도를 고려하여 결정하지만 하천에서는 세굴심도를 고려하여 다음 각 항목을 충분히 검토후 적용하여야 한다.

- 하천의 흐름, 바다, 호수의 파랑에 의한 하상 저하
- 지하매설물 및 인접구조물의 영향
- 동결작용을 받는 깊이
- 지하수위
- 시공성과 경제성

1.1.8 근접시공 유무

교량의 하부공은 타구조물이 근접하여 있을 경우 직접적으로 영향을 미치므로 설계 및 시공시 근접시공에 따른 기초의 영향을 검토한 후 하부구조의 형식을 선정하여야 한다.

1.2 교각설계의 일반

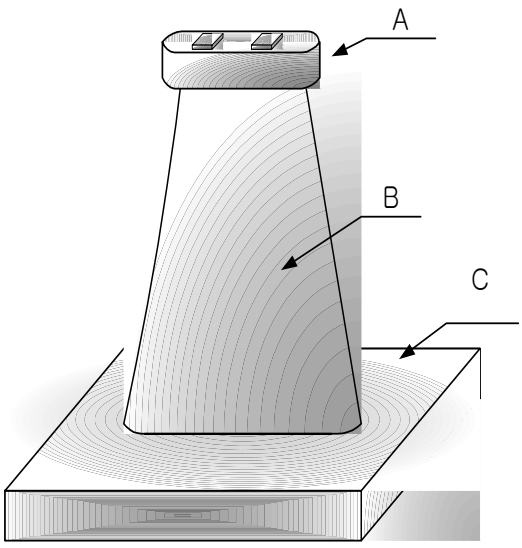
1.2.1 개요

교각은 상부구조가 2경간 이상이 되는 경우에 설치되며, 상부구조의 하중과 교각의 자중을 안전하게 기초지반에 전달하는 구조물이다.

일반적으로 교각의 계획 혹은 설계에 있어서 가설지점에 관계가 있는 하천, 도로, 철도 등의 관련 자료들로부터 제시된 각종 조건은 교각의 구조계산에서 고려되는 설계조건보다 우선적으로 고려하여야 한다.

1.2.2 교각의 세부명칭

교각의 부분적 명칭은 <그림 509.4>에 나타내었다. A는 교좌부이며 상부구조의 지점이 되는 교좌장치가 놓이는 곳이다. B는 구체, C는 기초이다.



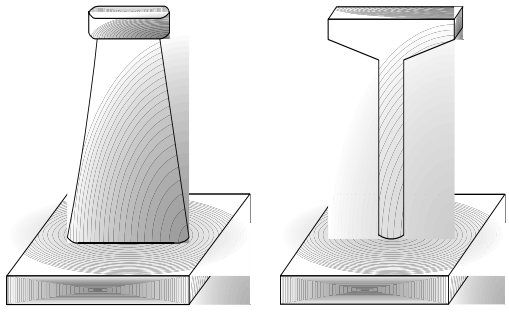
<그림 509.4> 교각의 세부명칭

1.2.3 교각의 종류 및 형식 결정

교각의 형식은 도로 및 하천 등 부대조건에 의한 외적요소에 제약을 받으며, 형식선정은 미관을 고려하고 입지조건, 구간에 따라 통일시키는 것이 필요하다. 지형조건에 따른 선정기준은 아래와 같고, 교각의 높이에 따른 선정기준은 <표 509.2>와 같다.

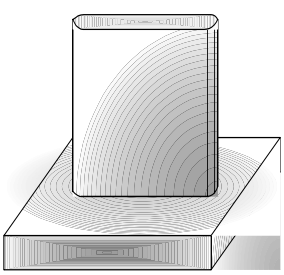
① 하천부 : 벽식교각(타원형, 특수한 원기둥식)
② 평지부 : 라멘교각, 기둥식교각, 벽식교각
③ 산간부 : 라멘교각(1층, 2층), 기둥식교각, 벽식교각
④ 도시부 : 라멘교각, 기둥식교각
⑤ 인터체인지부 : 로커교각, 라멘교각, 기둥식교각

산악지대의 교량에서는 교각높이가 $50m$ 이상이 되는 경우가 많은데, 높은 교각에 대해서는 상부구조와 함께 교량전체로서의 형식과 구조를 검토해야 하며 시공법도 검토하는 것이 바람직하다.

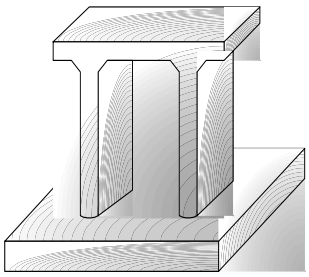


(a) 중력식 교각 (b) T형식 교각

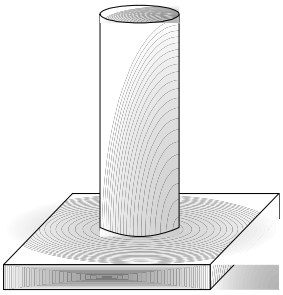
<그림 509.5> 교각의 종류



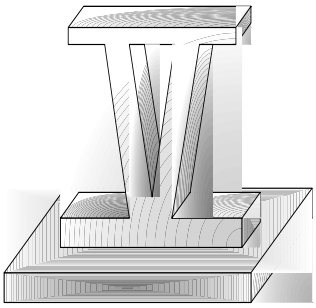
(c) 벽식 교각



(d) 라멘식 교각



(e) 단주식 교각



(f) V형 교각

<그림 509.5> 교각의 종류[계속]

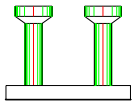
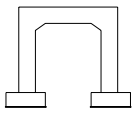
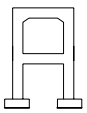
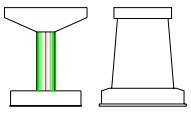
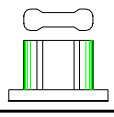
1.3 기초설계의 일반

기초의 형식은 지형 및 지질조건, 구조물의 특성, 시공조건, 환경조건 등을 고려하여 선정하여야 하며 기초형식별로 대별해서 직접기초, 케이슨기초, 말뚝기초 및 강관널말뚝기초로 나뉘어 진다. 각 기초의 설계모델은 기초의 강성과 깊이, 수평지반 저항의 고찰(지반반력의 고찰), 작용하중에 대한 기초와 지반의 하중분담을 주로 고려하여 구축되어 있다고 해도 좋다.

1.3.1 기초의 안정

이들 기초는 <표 509.3> ~ <표 509.4>의 검사 항목과 같이 지지력, 전도, 활동 및 변위량이 허용값을 넘어서는 안된다.

<표 509.2> 교각의 높이에 따른 선정기준

교각형식	높 이 (m)				비고
	10		20	30이상	
2기둥식		15			
라멘식 (1층)	5	15			
라멘식 (2층)		15	25		
벽식 기둥식					
I형			25		

<표 509.3> 각 기초의 안정검사 항목

검사항목 / 기초형식		지지력		전 도	활 동	수평변위량
		연 직	수 평			
직 접 기 초		○	(○)	○	○	-
케이슨 기초	$\beta l < 1$	○	○	-	○	-
	$1 < \beta l < 2$	○	○	-	○	○
강관널말뚝기초		○	-	-	-	○
말뚝 기초	유한장 말뚝	○	-	-	-	○
	반무한장 말뚝	○	-	-	-	○

<표 509.4> 각 기초의 안정검사의 기본과 설계법의 적용범위

기 초 형 식		검 사 내 용					기초의 강 성 평 가	설계법의 적용범위를 나타내는 βl의 표준
		전도	연 직 지 지		수평지지, 활동, 수평변위량			1 2 3 4
		전도항목	검사면	검사항목	검사항목	검사항목		
직접 기초		하중합력의 작용위치	저면	지지력	저면 【전면】	전단저항력 【수동저항력】	강체	
케이슨 기초		-	저면	지지응력	저면 전면 (설계지반력)	전단저항력 수동저항력 (수평변위량)	강체 (탄성체)	( )
강관널말뚝 기초		-	저면	지지력	설계지반력	수평변위량	탄성체	
말뚝 기초	유한장 말뚝	-	저면	지지력	설계지반력	수평변위량	탄성체	
	반무한장 말뚝							

여기서,

【 】: 전면지반의 수평저항을 기대하는 경우에 대해서만 검사를 한다.

( ): $1 < \beta l < 2$의 케이슨기초에 대해서는 기초의 강성을 평가하고 수평변위량에 대해서도 검사를 한다.

l : 기초의 유효근입깊이 (cm)

β : 기초의 특성값(cm^{-1}) , $\beta = \sqrt[4]{\frac{K_H \cdot D}{4EI}}$

EI : 기초의 휨강성 ($kgf \cdot cm^2$)

D : 기초의 폭 또는 지름 (cm)

1.3.2 기초의 형식 구분

기초는 그 형식에 따라 직접기초, 케이슨기초, 말뚝기초 및 강관널말뚝기초로 구분할 수 있는데 이는 주로 시공방법에 의한 구분이며 기초와 지반과의 상대적인 강성을 평가하는 βl에 있어서 설계법의 실용적인 적용범위를 나타내는 표준값은 <표 509.4>와 같다. 따라서 βl이 적용범위의 표준값에서 멀어지는 것에 대해서는 다른 기초 형식 선정의 검토를 하던가 별도의 설계계산 모델을 설정해서 검토할 수도 있으며, 다른한편으로는 <표 509.6>과 같은 기초형식 선정도표를 참고할 수 있다.

(1) 직접기초와 케이슨기초의 차이는 근입깊이이다. 여기서 근입깊이와 기초폭의 비를 계산하여 아래의 <표 509.5>와 같이 구분했다. 다만, $D_f/B > 1/2$의 기초라 하더라도 근입부 전면의 저항이 기대되지 못하는 경우에는 직접기초로 하여 설계하는 것이 좋다.

(2) 케이슨기초와 말뚝기초 설계법의 구분은 원칙적으로 시공법에 의하는 것으로 한다. 케이슨기초는 그 시공법에서 원칙적으로 지지력에 주변마찰력을 고려하지 않지만 말뚝기초는 주변마찰력을 기대할 수 있다.

(3) 강관널말뚝기초는 그 시공법에 말뚝기초의 시공법을 응용한 기초이고 과거의 실적 등에 의해 유한장의 탄성체로 해서 설계를 할 수 있다.

<표 509.5> 직접기초와 케이슨기초의 구분

D_f/B 기초형식	0		1/2	1
직접기초		←		
케이슨기초			→	

여기서, D_f : 유효 근입깊이 (m)

B : 기초 단변폭 (m)

<표 509.6> 기초형식 선정도표

선정조건 \ 기초형식			직접기초	타입말뚝 기초			내부굴착 말뚝기초						현장타설 말뚝기초				케이슨 기초		강관널말뚝 기초	지중연속벽 기초
							PC·PHC말뚝			강관말뚝										
				RC말뚝	PC·PHC말뚝	강관말뚝	최종타격방법	분출교반방식	콘크리트타설방식	최종타격방법	분출교반방식	콘크리트타설방식	올케이싱	리버스	어스드릴	인력	공기케이슨	오픈케이슨		
지반조건	지지층까지 상태	중간층에 극 연약층이 있음	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○
		중간층에 극 굳은층이 있음	○	×	△	△	○	○	○	○	○	○	△	○	△	○	○	△	△	○
		중간층에 조약돌이 있음 — 조약돌지름 5cm 이하	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		중간층에 조약돌이 있음 — 조약돌지름 5~10cm	○	×	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	△	○	○	○	△	○
		중간층에 조약돌이 있음 — 조약돌지름 10~50cm	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	○	○	△	×	△
		액상화하는 지반이 있음	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	지지층의 상태	지지층의 심도 — 5m 미만	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×
		지지층의 심도 — 5~15m	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	△	△
		지지층의 심도 — 15~25m	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		지지층의 심도 — 25~40m	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○
		지지층의 심도 — 40~60m	×	×	△	○	△	△	△	○	○	○	△	○	×	×	△	○	○	○
		지지층의 심도 — 60m 이상	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	○	○	○
		지지층의 토질 — 점성토(20≤N)	○	○	○	○	○	×	△	○	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○
		지지층의 토질 — 모래·모래자갈(30≤N)	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○
		경사가 큼(30정도 이상)	○	×	△	○	△	△	△	○	○	○	○	△	△	○	○	△	△	△
		지지층면의 요철이 심함	○	△	△	○	△	△	△	○	△	△	○	○	○	○	○	△	△	○
	지하수상태	지하수위가 지표면 근처	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○
		용수량이 아주 많음	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×	○	○	○	△
		지표에서 2m 이상의 피압지하수	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	○	×
		지하수 유속 3m/min 이상	×	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○	△	○	×
구조물의 특성	하중규모	연직하중이 작음(지간 20m 이하)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	△	×	×
		연직하중이 보통(지간 20~50m 이하)	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		연직하중이 큼(지간 50m 이상)	○	×	△	○	△	△	△	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○
		연직하중에 비해 수평하중이 작음	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△
		연직하중에 비해 수평하중이 큼	○	×	△	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	지지형식	지지말뚝	／	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	／	／	／	／
		마찰말뚝	／	○	○	○	／	／	／	／	／	／	○	○	○	／	／	／	／	／
시공조건	수상시공	수심 5m 미만	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	×	○	△	×	△	△	○	×
		수심 5m 이상	×	△	△	○	△	△	△	△	△	△	×	△	×	×	△	△	○	×
	작업공간이 좁음		○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	×	△
	경사말뚝의 시공		／	△	○	○	×	×	×	△	△	△	△	×	×	×	／	／	／	／
	유해가스의 영향		△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○
	주변환경	진동소음대책	○	×	×	×	△	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	×	○
		인접구조물에 대한 영향	○	×	×	△	△	○	○	△	○	○	○	○	○	△	△	△	△	○

○ : 적합성이 높음. △ : 적합성이 있음 × : 적합성이 낮음.

1.4 내진설계의 일반

1.4.1 설계지반운동

(1) 일반사항

가. 설계지반운동은 부지 정지작업이 완료된 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다.

나. 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향이 고려되어야 한다.

다. 설계지반운동은 흔들림의 세기, 주파수 내용 및 지속시간의 세 가지 측면에서 그 특성이 잘 정의되어야 한다.

라. 설계지반운동은 수평 2축 방향 성분으로 정의되며 그 세기와 특성은 동일하다고 가정할 수 있다.

마. 모든 점에서 똑같이 가진하는 것이 합리적일 수 없는 특징을 갖는 교량 건설부지에 대해서는 지반운동의 공간적 변화모델을 사용해야 한다.

(2) 가속도계수

가. 지진재해도 해석 결과에 근거하여 우리나라의 지진구역을 <표 509.7>과 같이 설정한다. 각 지진구역에서의 평균재현주기 500년 지진지반운동에 해당하는 지진구역계수는 <표 509.7>에 수록된 바와 같이 구역 I 에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07이다.

나. 평균재현주기별 최대유효지반가속도의 비를 의미하는 위험도계수 A는 <표 509.8>과 같다. 이 표에서 기준은 평균재현주기 500년 지진이다.

(3) 교량이 위치할 부지에 대한 지진지반운동의 가속도계수 A는 "1.4.2절"에서 규정된 내진등급별 설계지진의 재현주기에 해당되는 위험도계수를 지진구역에 따른 지진구역계수에 곱하여 계산한다.

<표 509.7> 지진구역 계수

지진구역	행 정 구 역[e]		구역계수
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	경기도, 강원도 남부[a], 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부[b]	
II	도	강원도 북부[c], 전라남도 남서부[d], 제주도	0.07

주:

(a) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시.

(b) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시.

(c) 강원도 북부(군,시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시.

(d) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시.

(e) 행정구역의 경계를 통과하는 교량의 경우에는 구역계수가 큰 값을 적용한다.

<표 509.8> 위험도 계수

재현주기(년)	500	1,000
위험도 계수, I	1	1.4

1.4.2 내진등급과 설계지진수준

(1) 교량의 내진등급은 <표 509.9>와 같이 교량의 중요도에 따라서 내진Ⅰ등급과 내진Ⅱ등급으로 분류한다. 단, 교량의 관할기관에서 교량의내진등급을 별도로 정할 수 있다.

(2) 교량은 <표 509.9>에서 내진등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 설계되어야 한다.

1.4.3 지반의 분류

(1) 지반의 영향은 교량의 지진하중을 결정하는데 고려되어야 한다. <표 509.10>에 명시된지반계수 S는 <표 509.11>에서 정의된 지반종류에 근거를 두고 있다.

<표 509.10> 지반계수

지반계수	지 반 종 류			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
S	1.0	1.2	1.5	2.0

(2) 지반 종류 Ⅴ는 부지의 특성 조사가 요구되는 다음 경우에 속하는 지반으로서, 전문가가작성한 부지종속 설계응답스펙트럼을 사용하여야 한다.

가. 액상화가 일어날 수 있는 흙, 퀵클레이와 매우 민감한 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반.

나. 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반

다. 매우 높은 소성을 갖은 점토지반

라. 층이 매우 두꺼우며 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토

<표 509.9> 도로교의 내진등급과 설계지진

내진등급	교 량	설계지진의 평균재현 주기
내진Ⅰ등급교	- 고속도로, 자동차 전용도로, 특별시도, 광역시도 또는 일반국도상의 교량 - 지방도, 시도 및 군도 중 지역의 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량, 해당 도로의 일일계획교통량을 기준으로 판단했을 때 중요한 교량 - 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로위를 넘어가는 고가교량	1000 년
내진Ⅱ등급교	- 내진Ⅰ등급교에 속하지 않는 교량	500 년

<표 509.11> 지반종류의 구분

지반종류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
		전단파 속도 (m/sec)	표준관입시험 (N값[a])	비배수전단강도 (kPa)
Ⅰ	경암지반 보통암지반	760 이상	-	-
Ⅱ	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	> 50	> 100
Ⅲ	단단한 토사지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
Ⅳ	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
Ⅴ	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

주 : (a) 비 점착성 토층만을 고려한 평균 N 값

<표 509.12> 응답수정계수(R)

하부구조	R	연결부분[a]	R
벽식교각	2	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝 가구(Bent) 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사말뚝을 상용한 경우	 3 2	상부구조의 한 지간내의 신축이음	0.8
단일 기둥	3	기둥, 교각 또는 말뚝 가구와 캡빔 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝가구 1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	 5 3	기둥 또는 교각과 기초	1.0
다주 가구	5		

1.4.4 응답수정계수

(1) 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건을 모두 충족시키는 경우, 교량의 각 부재와 연결부분에 대한 설계지진력은 탄성지진력을 <표 509.12>의 응답수정계수로 나눈 값으로 한다. 다만, 하부구조의 경우 축방향력과 전단력은 응답수정계수로 나누지 않는다.

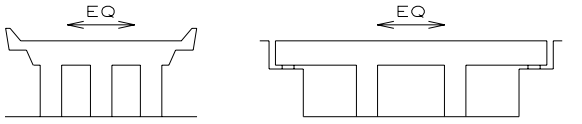
(2) 내진설계를 위해 추가로 규정한 설계요건을 충족시키지 못하는 경우, 하부구조와 연결부분에 대한 응답수정계수는 각각 1.0과 0.8을 넘지 못한다.

(3) 응답수정계수 R은 하부구조의 양 직교축 방향에 대해 모두 적용한다.

(4) 벽식교각의 약축방향은 <표 509.12>의 기둥규정을 적용하여 설계할 수 있다. 이때 응답수정계수 R은 단일기둥의 값을 적용할 수 있다.

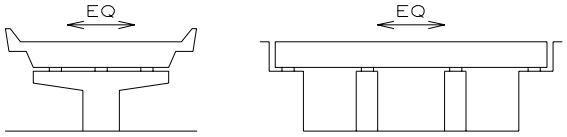
주: (a) 연결부분은 부재간에 전단력과 압축력을 전달하는 기구를 의미하며, 교량받침과

전단키가 이에 해당된다. 이 때, 응답수정계

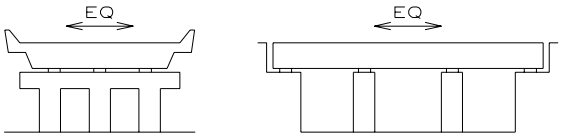


R = 5 (교축직각방향) R = 5 (교축방향)

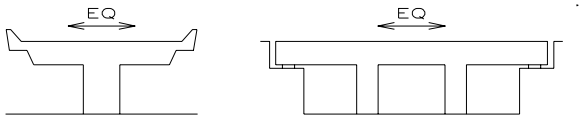
(a) 종방향모멘트 저항시스템을 갖는 횡방향



R = 3 (교축직각방향) R = 3 (교축방향)



R = 5 (교축직각방향) R = 3 (교축방향)



R = 3 (교축직각방향) R = 5 (교축방향)

(d) 종방향모멘트 저항시스템을 갖는 횡방향 단주

<그림 509.6> 방향별 응답수정계수

위의 <그림 509.6>의 (c)의 교축방향과 (d)의 교축직각방향에 대하여 R=3을 사용하는 것에 대하여 다수의 기둥의 캔틸레버로서 작용하는 경우에 지진하중이 작용하여도 다수의 기둥이 동시에 소성힌지가 발생하지 않을 것이며 기둥과 연결된 코핑 또는 상부구조의 횡방향 강성으로 부정정구조로 거동하게 되어 R=5를 사용하여도 좋다는 의견이 있을 수 있다. 그러나, 아직 연구중인 사항이므로 본 편람에서는 연구 종료에 따라 안전도에 영향이 없는 방법 즉, 차후 보강이 필요없는 방법을 우선 적용하였고, 연구결과에 따라 차후 개정하는 것으로 하였다. 또한 연구종료전이라도 설계자가 판단 적용하는 것으로 한다.

1.4.5 내진성능 확보방안

(1) 교량의 내진설계는 구조물의 동적거동에 대하여 각 구조부재가 저항하여 전체적인 교량의 붕괴를 방지하는 것으로 크게 두 가지 개념으로 구분할 수 있다.

첫째는, 구조물에 작용하는 지진력에 저항할 수 있도록 구속을 주거나 단면의 강성을 증가시키는 방안이며, 두 번째는 구조물의 주기를 크게 하거나 감쇠를 증가시켜서 지진하중의 영향을 감소시키는 방안, 즉 지진격리 방안(seismic isolation)을 사용하는 것이다.

구조물의 고유주기를 길어지게 하는 방법은 응답변위(displacement response)를 증가시키는 대신에 응답가속도(acceration response)를 현저히 감소시켜 지진력의 크기를 줄이는 방법이 있으며, 이 경우 과도한 변위에 의한 사용성 확보 및 낙교나 이탈방지를 위

한 대비가 강구되어야 한다.

인위적인 감쇠장치를 사용하는 방법은 구조물의 감쇠율을 증가시켜 응답변위와 응답가속도(acceration response)를 동시에 감쇠시켜 지진력의 크기를 줄이는 방법으로 감쇠장치(damper)의 효과가 구조해석에 의해 확실히 검증되는 경우에 적용되며 감쇠 장치 자체의 사용성, 내구성 등에 대한 검토가 필요하다.

(2) 일반적인 내진성능 확보방안

가. 1점 고정단 사용법

고정단을 1개소에 두는 방안으로 교량이 긴 경우에는 지진에 의한 수평력이 고정단 교각 1개소에 집중되므로 교각 및 기초가 비대해지므로 대부분 상당히 공사비가 증가된다. 고정단을 1개소 사용하기 위하여 교량의 연장을 작게 계획할 수 있다. 고정단 교량받침으로 지진에 의한 수평력을 지지하지 못할 경우 전단키(shear key)를 설치하여 수평력을 지지하게 된다.

나. 다점 고정단 사용

고정단 1개소로 지진수평력을 저항하지 못하는 경우 다점 고정단을 적용할 수 있다. 교각의 높이가 작은 경우에는 온도, 크리프나 건조수축의 영향이 크기 때문에 적용하기 곤란하며, 대부분 상대적으로 유연한 강성을 갖는 장대교각에서 적용이 가능하다.

다. 평상시는 1점 고정단, 지진시는 다점 고정단 사용

이를 위해선 온도나 크리프, 건조수축등의 천천히 발생하는 변위에는 저항하지 않지만 지진같은 충격에는 고정단 역할을 하는 충격전달장치(STU, shock transmission units)를 적용할 수 있다. 그러나, 기본적으로 지진시에는 개수가 많아져 주기가 짧아지므로 1점지지 보다 전체 지진력은 커지므로 지진력 분산의 효율성은 경제성과 함께 검토되어야 한다.

라. 상부와 교각을 일체로 계획

다점고정단을 사용하는 것과 마찬가지 개념으로서 높이가 높은 장대교각에서 주로 적용가능하다. 교량의 시공법와 밀접한 관계가 있다.

(3) 주기나 감쇠조절방안

가. 지진 격리받침

기초로부터 전달되는 지진력을 상부까지의 전달 경로를 분리하는 받침으로 받침의 고유기능에 주로 이력감쇠(hysteresis damping)나 마찰감쇠(frictional damping) 기능이 추가된다. 대표적인 받침으로는 탄성고무받침, 납탄성받침, 고감쇠 고무받침, 기타 마찰판을 이용한 받침 등이 이에 해당한다.

나. 외부 감쇠장치(damper) 사용

구조물의 진동응답을 줄이기 위해 지진으로부터 구조물에 들어오는 에너지를 흡수하는 장치로 받침과 별도로 설치하며 다음과 같은 종류가 있다.

① 이력감쇠기(hysteresis damper)
② 점성감쇠기(viscous damper)
③ 마찰감쇠기(frictional damper) 또는 동조질량 감쇠장치(TMD, tuned mass damper)
④ 동조액체 감쇠장치(TLD, tuned liquid damper)
⑤ 능동질량 감쇠장치(AMD, active mass damper)
⑥ Hybrid 감쇠기(HMD=TMD+AMD) 등이 이에 해당한다.

1.4.6 액상화

(1) 정의

지진에 의한 동적 전단 변형이 발생하면 간극수압이 상승하게 되고 이로 인해서 유효응력이 감소되고, 그 결과 포화 사질토가 외력에 대한 전단저항을 잃게 되는 현상을 말하는 것이다. 액상화(liquefaction)란 용어는 비배수 상태의 하중하에서 포화사질토에 일어나는 변형을 포함한 여러 가지의 현상을 관련해서 1950년대에 처음으로 사용하였으며, 현재까지도 많은 연구가 진행 중에 있다. 일반적으로 액상화는 포화된 모래가 단일하중 또는 진동하중으로 인해 전단저항이 감소하게 되어 전단응력과 같은 크기로 줄어들어 액체처럼 유동하는 현상을 말한다. 이로 인해서 일어나는 액상화는 유동액상화와 cyclic mobility로 나눌 수 있다.

(나) 종류

① 유동 액상화 : 토체(soil mass)내의 정적 평형상태의 전단응력이 액상화 상태의 흙의 전단강도보다 큰 경우에 발생하는 현상으로 유동파괴(flow failure)를 유발하는데 지진이 계속되는 동안이나 끝난 후에 발생하고 느슨한 흙에서만 발생되는데 주로 경사지에서 일어난다.

② Cyclic mobility : 포화사질토가 일정한 함수비에서 진동하중을 받아 일어나는 진행성 연화현상(progressive softening)으로서 유동액상화와는 달리 정적 전단응력이 액상화토의 전단강도보다 작은 상태에서 일어나며, 변형은 정적 전단응력과 동적 전단응력 모두에 의해서 일어나고 지진이 계속되는 동안에 점차적으로 증가한다. 측방퍼짐(lateral spreading)이라고 부르는 이러한 변형은 물에 인접하고 있는 평지나 또는 대단히 완만한 경사지반에서 발생하고 구조물이 있을 경우 큰 피해를 줄 수 있다. Cyclic mobility는 느슨한 모래와 조밀한 모래에서 모두 일어날 수 있으나, 밀도가 증가할수록 변형은 크게 감소한다.

(다) 액상화 예측방법

① Seed의 경험적 방법

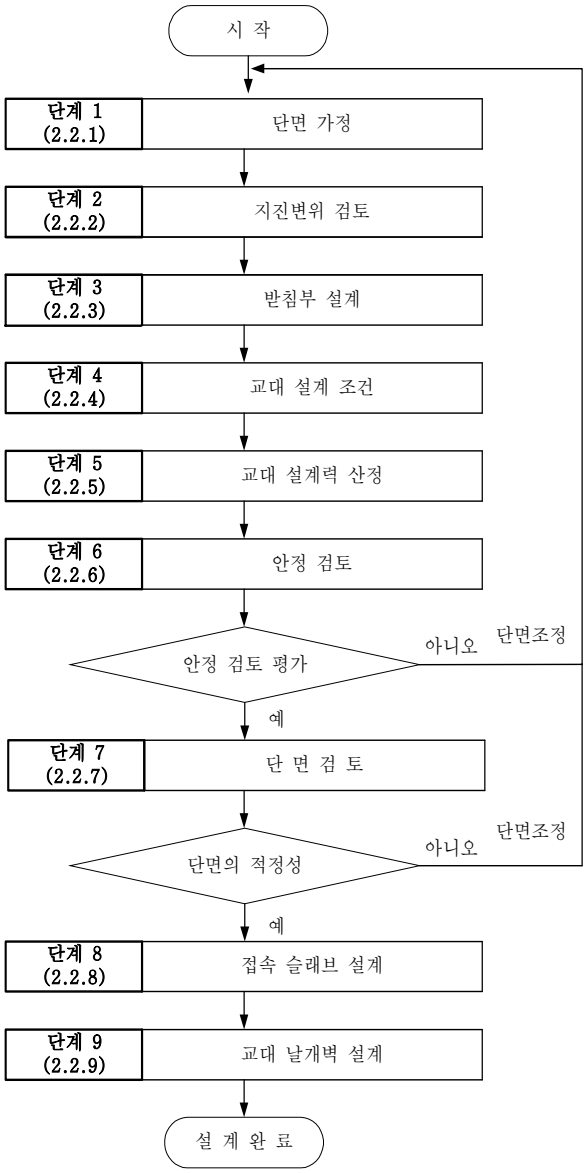
② 해석적 방법 : 실험실에서 불교란 시료의 반복시험에서 얻은 현장 액상화 강도와 지진으로 인한 전단응력을 비교하는 방법이다.

③ 경험적 방법 : 지진 규모와 진앙 거리에서부터 액상화가 일어날 현장까지의 최대거리를 바탕으로 성립된 경험적 상관관계를 이용하여 개략적인 판단을 하는 방법으로, 이 방법은 연약한 지반에서 액상화로 인한 지반파괴의 작성기준으로 이용할 수 있다.

509.2 교대 설계

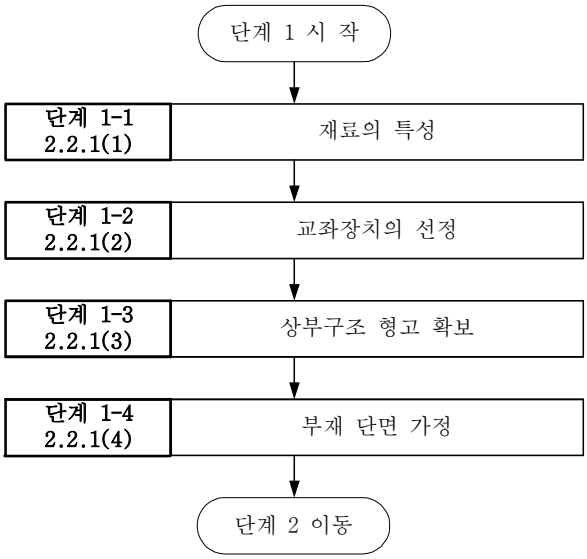
2.1 설계단계 흐름도

2.1.1 주설계단계



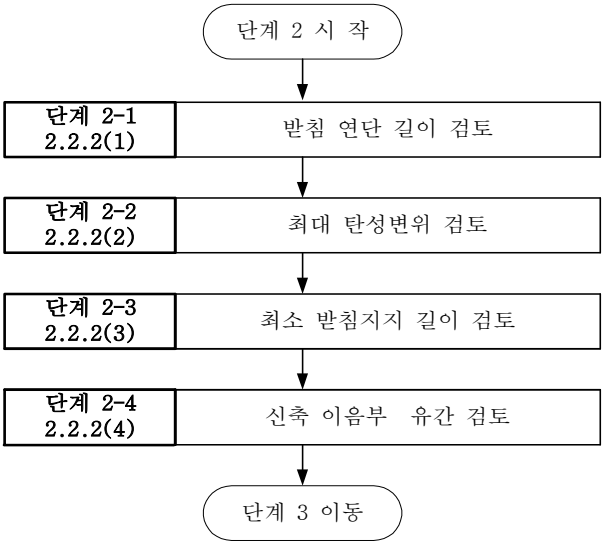
<그림 509.7> 주설계 흐름도

2.1.2 [단계 1] 단면가정



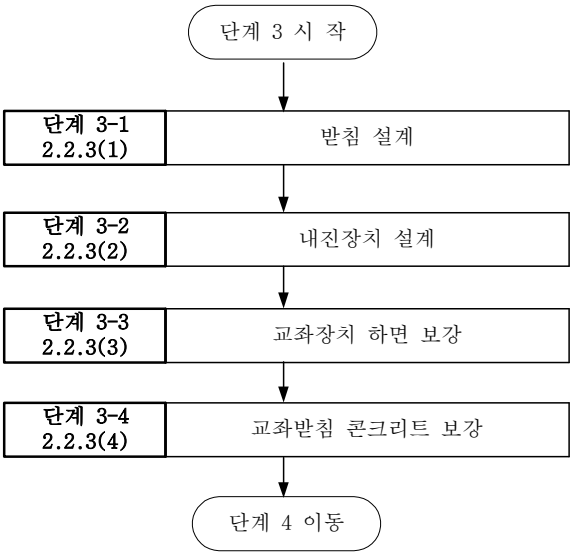
<그림 509.8> 단면가정

2.1.3 [단계 2] 지진변위 검토

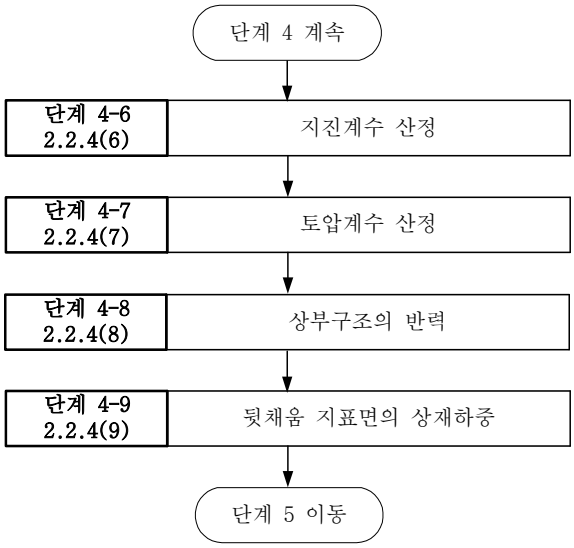


<그림 509.9> 지진변위 검토

2.1.4 [단계 3] 받침부 설계

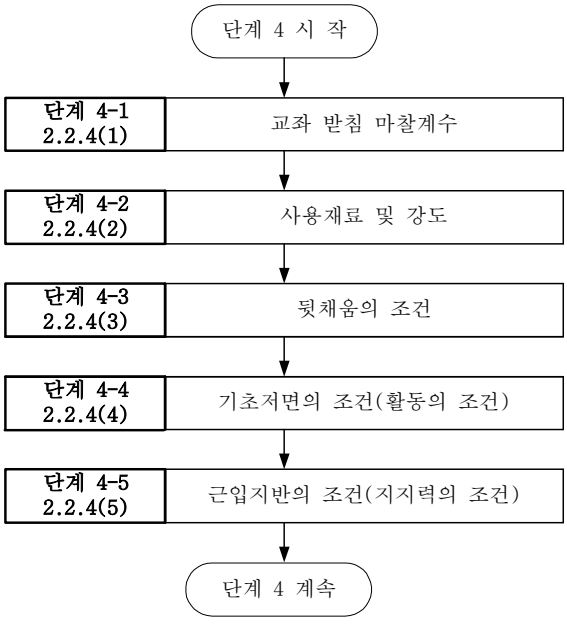


<그림 509.10> 받침부 설계



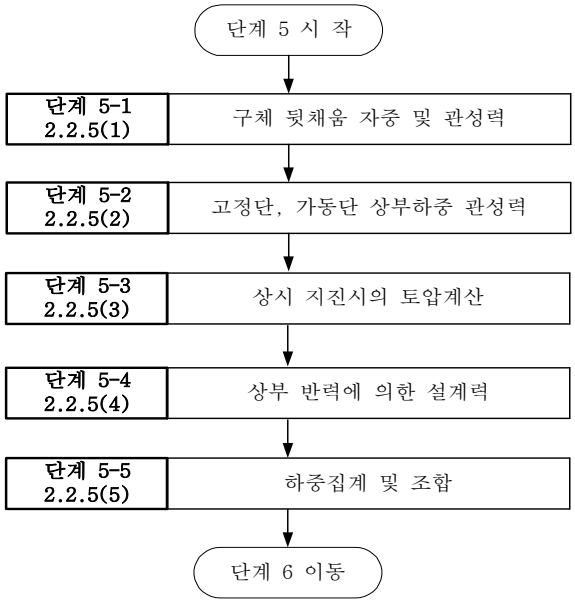
<그림 509.11> 교대 설계조건

2.1.5 [단계 4] 교대 설계조건



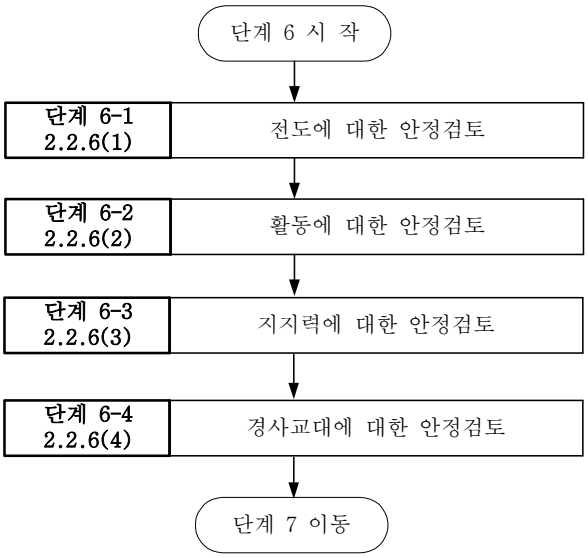
<그림 509.11> 교대 설계조건[계속]

2.1.6 [단계 5] 교대 설계력 산정



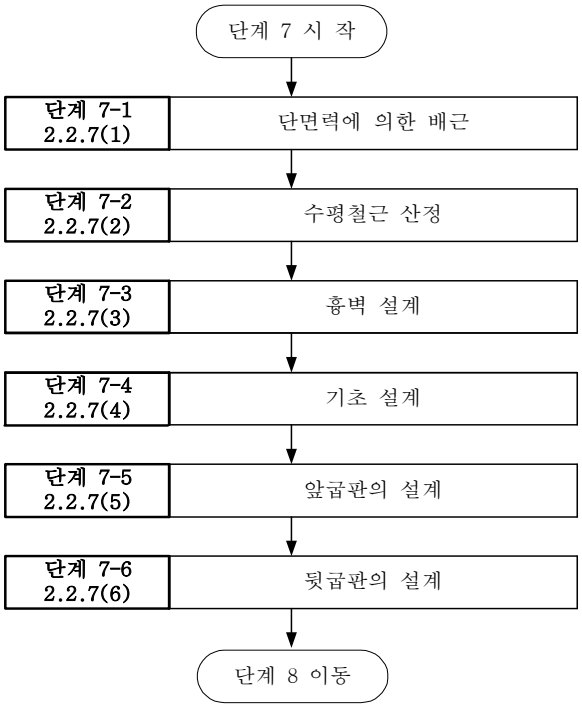
<그림 509.12> 교대 설계력 산정

2.1.7 [단계 6] 안정검토



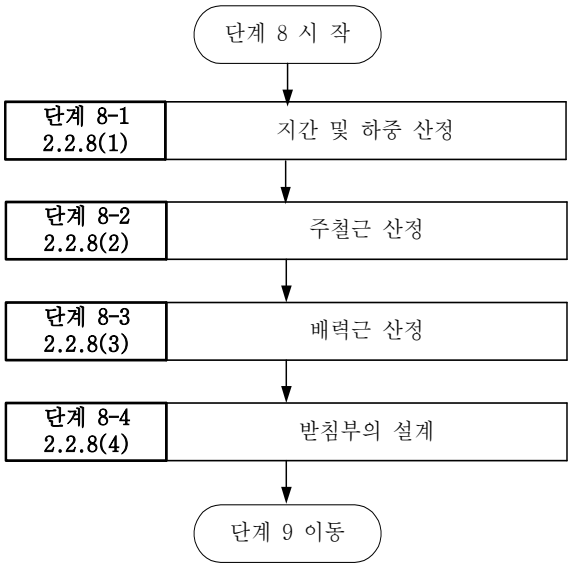
<그림 509.13> 안정검토

2.1.8 [단계 7] 단면검토



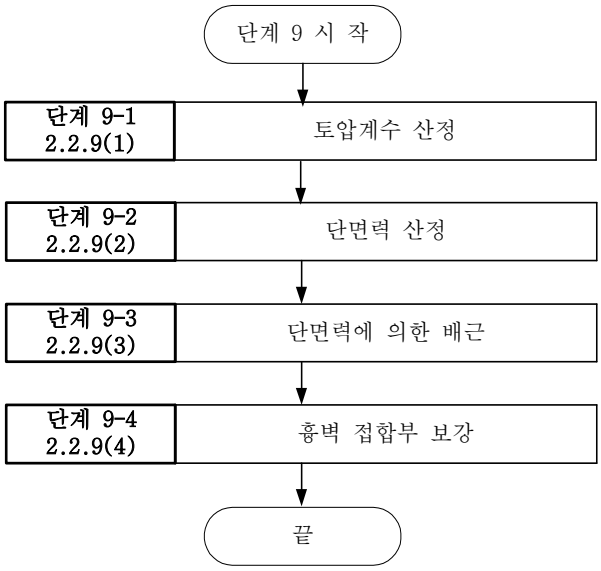
<그림 509.14> 단면검토

2.1.9 [단계 8] 접속슬래브 설계



<그림 509.15> 접속슬래브 설계

2.1.10 [단계 9] 교대 날개벽 설계



<그림 509.16> 교대 날개벽 설계

2.2 설계단계별 고려사항

2.2.1 [단계 1] 단면가정

(1) [단계 1-1] 재료의 특성

설계를 위한 사용재료의 강도를 가정한다. 교량 하부구조의 압축강도와 철근의 항복강도는 $f_{ck} = 240\ kgf/cm^2$, $f_y = 3,000\ kgf/cm^2$ 으로 하지만 현지여건과 구조검토 결과에 따라 조정하여 적용될 수 있다.

(2) [단계 1-2] 교좌장치의 선정

상부구조의 형식을 고려하여 교좌장치를 선정한 후 교대의 받침길이를 가정한다. 이때 교좌받침면의 길이는 교좌장치받침 연단길이, 교좌장치 크기, 상부의 탄성 및 지진변위, 지진에 의한 받침지지길이 등을 복합적으로 고려하여 결정한다.

(3) [단계 1-3] 상부구조 형고 확보

상부구조의 형고와 교좌받침을 포함하여 교좌장치의 유지관리 높이를 확보한 흉벽의 높이를 가정한다. 경간이 큰 PSC 상자형교나 강상자형교는 형고가 높아 흉벽의 높이가 높고 하중이 크므로 역T형 교대가 일반적이고, 형고가 작고 하중이 작은 슬래브교는 반중력식 교대가 유리하다.

(4) [단계 1-4] 부재의 단면가정

교대의 기초면에서 흉벽까지의 단면의 치수를 가정한다.

2.2.2 [단계 2] 지진변위 검토

(1) [단계 2-1] 받침 연단길이 검토

교좌면은 받침을 통하여 상부구조로부터 하중 등의 집중하중을 받는 곳이고 또 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연하여 교좌가 파손되는 경우가 있고 또 가동단에서는 받침이 벗어나 들보가 낙하하는 경우도 있다. 강재받침의 경우 받침부에 직접 설치되어 있고 받침 단부에서 받침하면 콘크리트 보강부에 균열이 발생할 가능성이 크므로 받침 단부에서 하부구조물 연단까지의 거리를 연단거리로 한다.

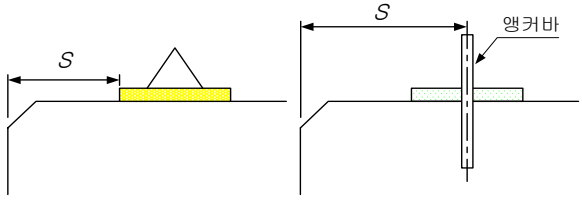
고무받침의 경우에는 받침을 고정시키기 위한 앵커볼트의 중심에서 하부구조물 연단까지의 거리가 연단거리이다. 이는 받침부의 파괴형상의 차이에서 비롯된 것이다.

사교 혹은 곡선교의 경우에는 하부구조 정부연단과의 최단거리 방향으로 연단거리를 확보해야 한다.

거더의 경간길이 100 m 이하 : S = 20 + 0.5L

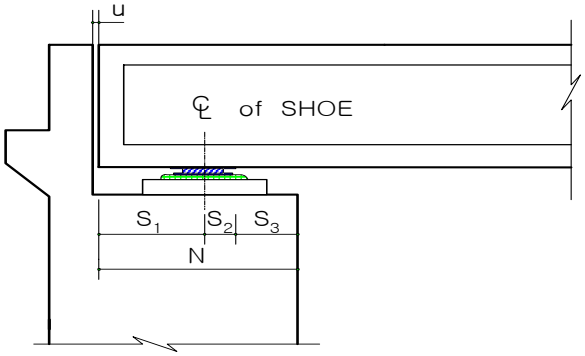
거더의 경간길이 100 m 이상 : S = 30 + 0.4L

여기서, L : 경간길이(m)

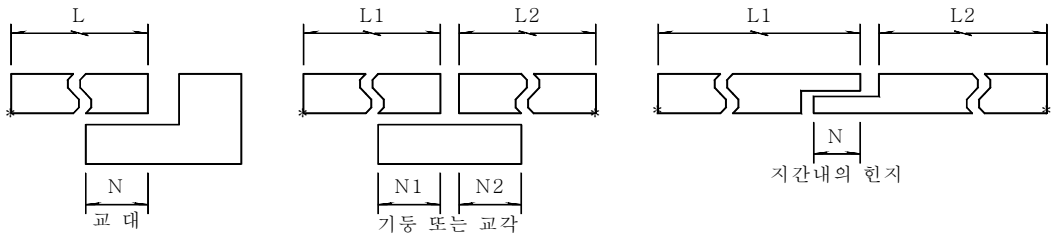


(a) 강재받침 (b) 고무받침

<그림 509.17> 받침연단거리



<그림 509.18> 교대의 연단 및 받침지지길이



<그림 509.19> 최소 받침지지길이 규정에 관한 치수

여기서,

S_1 : 주형 끝에서 교좌장치 중심까지의 거리
S_2 : 교량받침 길이의 1/2
S_3 : 교량받침 연단거리
N : 최소받침 지지길이
u : 신축이음부 유간

(2) [단계 2-2] 최대 탄성변위 검토

상부 및 하부구조를 포함하여 교대 측에서 일어나는 탄성변위를 구하여 교좌면 받침의 지지길이와 비교 검토하여 주형이 낙교하지 않도록 한다.

(3) [단계 2-3] 최소 받침지지길이

교량의 단부 부분에 있어서 지진시의 낙교를 방지하기 위하여 내진설계시 최소 받침지지길이N은 다음 값 보다 작아서는 안 된다.

$N = (200 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125\theta^2)$ (mm) 확보

여기서,

L : 인접 신축이음부까지 또는 교량단부까지의 거리. 다만, 지간내에 힌지가 있는 경우의 L은 힌지 좌우방향의 거리인 L_1과 L_2의 합

H : 기둥의 평균높이 (단경간교의 평균높이는0)

θ : 받침선과 교축직각방향의 사이각(도)

이때 최소 받침지지길이는 최대 탄성변위와 비교하여 큰 값을 적용한다.

(4) [단계 2-4] 신축이음부 유간 검토

교대의 흉벽 전면과 주형단부 사이의 유간은 상시의 신축이동량을 고려하여 유간을 검토하고 지진시는 신축이음장치가 파괴하여도 인명피해에 영향이 적고 보수가 가능하므로 파괴를 허용하는 것으로 보아 유간은 지진시의 최대 탄성변위 또는 독립식 교대의 예상 변위(250Amm) 이상으로 신축이음부 유간을 설계한다. 또한 지진시 상부구조에 과도한 변위가 예상될 때 흉벽 부분에 이탈장치(knock-off)를 두어 상부구조가 이탈장치의 교대 뒷채움 흙의 방향으로 이동을 허용하여 교대 뒷채움 흙의 수동토압과 지반의 소성변형으로 충돌에 의한 영향을 완화하는 목적으로 이탈장치를 검토한다.

2.2.3 [단계 3] 받침부 설계

(1) [단계 3-1] 받침 설계

교좌장치의 수직력, 수평력과 변위에 의해 교좌장치를 선정하여 받침설계를 한다. 이때 교좌장치는 풍하중 등의 하중에 견딜 수 있어야 하며, 특히 지진시에는 중요연결구조로 완전한 강도를 유지하기 위하여 1.0(교각) 및 0.8

(상부구조와 교대)의 응답수정계수 R값을 고려하여 탄성 지진력과 같거나 크게 받침설계를 하여야 한다.

(2) [단계 3-2] 내진장치 설계

교좌장치가 지진시 수평력을 초과할 때 지진시 구조계를 유지시키기 위하여 별도의 내진장치(shear key 또는 damper 등)를 설치한다.

(3) [단계 3-3] 교좌장치 하면 보강

① 연직하중에 대한 보강

교좌장치 하면에는 연직하중에 의한 인장응력이 발생하므로 교축방향 및 교축직각방향으로 아래의 식으로 구한 철근량을 배근한다.

$$A_{sn1} = \frac{1}{4}(1 - \frac{b_1}{b_c})\frac{P}{f_{sa}} \quad (509.1)$$

여기서, A_{sn1} : 연직력에 대한 철근량 (cm^2)

P : 연직하중 (kgf)

b_1 : 연직하중의 작용폭 (cm)

b_2 : P의 작용점으로부터 교좌장치 외측까지의 거리 (cm)

b_c : 연직하중의 분포폭

($b_c = 2\times b_2 \le 5\times b_1$)

② 수평하중에 대한 보강

교좌장치 하면에는 수평하중에 대한 보강철근으로서 아래의 식에서 구한 철근량을 교축방향과 교축직각방향을 구분하여 연직하중에 의한 철근량에 더하여 배근한다.

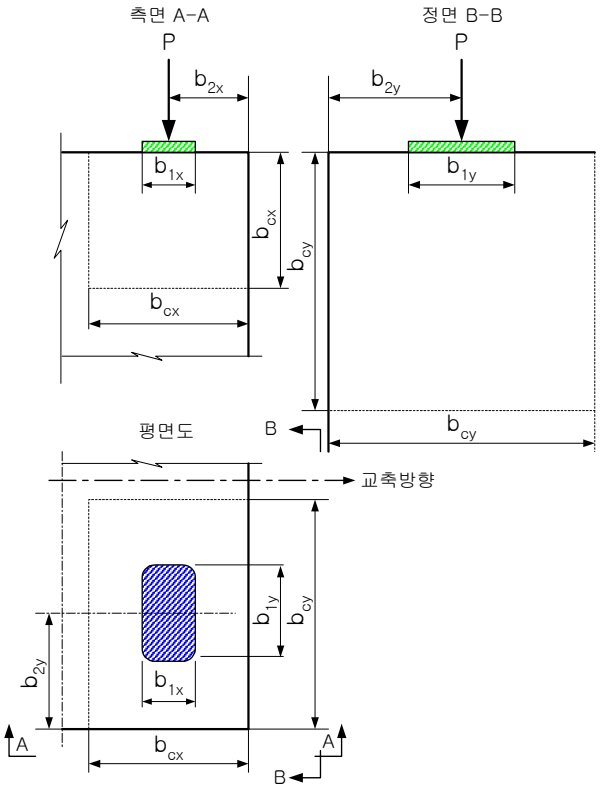
$$A_{sn2} = H/f_{sa} \quad (509.2)$$

여기서,

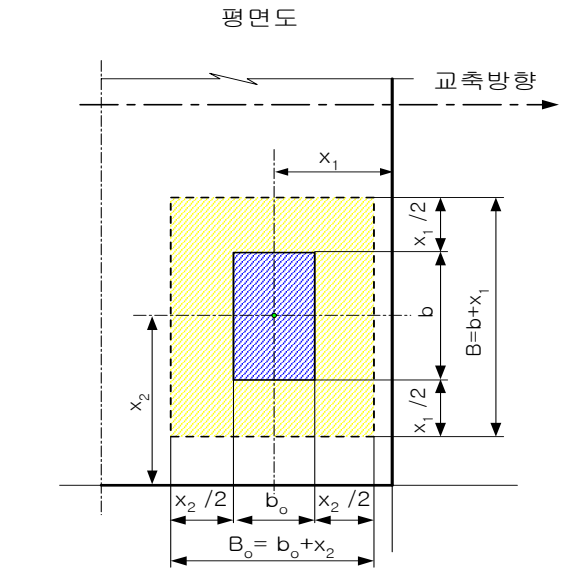
A_{sn2} : 수평하중에 대한 수평철근량 (cm^2)

H : 교좌장치에 작용하는 수평하중 (kgf)

f_{sa} : 철근의 허용인장응력 (kgf/cm^2)



<그림 509.20> 연직하중에 대한 보강철근



<그림 509.21> 교좌받침 보강철근의 유효범위

(4) [단계 3-4] 교좌받침 콘크리트 보강

수평하중에 의해 교좌받침과 하부구조 상면 사이의 전단응력에 대하여 수직철근의 전단마찰로 보강한다.

$A_s = H / f_{sa}$ (전단마찰 계산시의 마찰계수 μ=1.0 적용)

여기서 , A_s : 수평보강 철근량 (cm^2)

H : 수평력 (kgf)

f_{sa} : 철근의 허용인장응력 (kgf/cm^2)

2.2.4 [단계 4] 교대 설계조건

(1) [단계 4-1] 교좌받침 마찰계수

상부하중의 관성력 및 가동받침의 수평력을 산정할 때 가동받침의 마찰계수를 사용하도록 한다. 고무받침 계열의 받침은 전단변형에 대하여 수평저항을 하지만 겉보기의 정지마찰계수는 0.15로 하여도 무방하다.

온도변화에 따른 받침의 마찰에 의해 일어나는 수평력은 원칙적으로 사하중에 받침의 정지마찰계수를 곱한 것으로 하지만 경우에 따라서는 과대한 값이 될 수 있으므로 주의하여야 한다.

(2) [단계 4-2] 사용재료 및 강도

① 콘크리트

콘크리트의 설계기준강도는 [도・설 2.3.2.2]의 규정을 만족해야 하며, 설계 및 시공의 경험상 하부구조의 경우 다음 값을 표준으로 한다.

단위중량 : $\gamma_c = 2.5\ tonf/m^3$

압축강도 : $f_{ck} = 240\ kgf/cm^2$

② 철 근(SD 30)

항복강도 : $f_y = 3,000 kgf/cm^2$

(3) [단계 4-3] 뒷채움의 조건

교대의 뒷채움 흙의 경우 양질의 뒷채움재로 채운 후 다짐을 원칙으로 하며, 흙의 단위중량은 성토시 모래 및 자갈지반의 경우로 할 수 있다.

(4) [단계 4-4] 기초 저면의 조건 (활동의 조건)

기초 저면에 있어서 토압에 의하여 기초 저면에 전단력이 발생한다. 이때 기초 저면의 허용 전단력은 기초가 수평으로 활동하는 것을 방지하고 수평력을 지반에 전달하도록 충분히 지지지반에 관입시켜야 한다. 이때 허용전단력

<표 509.13> 가동받침의 마찰계수

마찰기구	받침의 종류	마찰계수
회전마찰	롤러(roller) 및 로커(rocker)받침	0.05
활동마찰	불소수지 받침판받침	0.10
	고력(高力)황동주물 받침	0.15
	주철의 선받침	0.20
	강재의 선받침	0.25

을 구하는 방법으로 [도・설]에서는 마찰각과 부착력을 고려한 방법을 제시하고 있다. 따라서 교대의 활동에 대한 저항을 검토할 경우에는 지반에 맞는 흙의 물성값을 선정해야 한다.

$$H_u = C_b A' + V\tan\phi_b \qquad (509.3)$$

여기서 ,

H_u : 기초 저면과 지반과의 사이에 작용하는 전단저항력(*tonf*)

C_b : 기초 저면과 지반과의 부착력($tonf/m^2$)

ϕ_b : 기초 저면과 지반과의 마찰각(degree)

A′ : 기초 저면의 유효 재하면적(m^2)

V : 기초 저면에 작용하는 연직하중(*tonf*) 다만 부력을 뺀 값으로 한다.

여기서,

Ψ : 지지지반의 전단저항각(degree)

C : 지지지반의 점착력($tonf/m^2$)

$\phi = 15 + \sqrt{15N}$

$\phi_b = \frac{2}{3}\phi$ (ϕ_b: 마찰각)

$\mu = \tan\phi_b$

(5) [단계 4-5] 근입지반의 조건(지지력의 조건)

지반의 허용연직지지력은 하중의 편심, 경사, 지반조건, 기층조건 및 기초의 침하량을 고려하여 정하여야 한다. 이 경우 지반의 극한지지력에 대하여 안전율은 평상시 3과 지진시 2를 확보해야 한다. 이때 직접기초의 지지력은 [도・설 5.6.4]의 규정에 따라 구할 수 있다.

(6) [단계 4-6] 지진계수 산정

"2.2.2절, 단계2-4"의 신축이음부의 유간 산정에서와 같이 독립식 교대가 예상변위의 허용변위량을 확보하고 교대가 영구변위를 허용한 경우의 진도계수는 다음과 같다.

변위를 허용한 교대(250Amm)일 때

$$K_h = A/2 \qquad (509.4)$$

타이백이나 경사말뚝에 의해 수평이동이 구속된 교대에서는 흙의 강도를 발휘하기 위해 충분히 변위를 발생하지 않는 경우 뒷채움 흙의 관성력으로 인한 수평토압이 Mononobe-Okabe 공식에 의한 값보다 크므로 최대 지반가속도(A)와 함께 안전율 1.5를 사용하여 $K_h = 1.5A$ 를 사용한다.

<표 509.14> 마찰각과 부착력

조 건	마찰각 ϕ_b (마찰계수 $\tan\phi_b$)	부착력
흙과 콘크리트	$\phi_b = (2/3)\phi$	$C_b = 0$
흙과 콘크리트 사이에 율석을 부설하는 경우	$\tan\phi_b = 0.6$, $\phi_b = \phi$ 중 작은쪽	$C_b = 0$
암과 콘크리트	$\tan\phi_b = 0.6$	$C_b = 0$
흙과 흙 또는 암과 암	$\phi_b = \phi$	$C_b = C$

(7) [단계 4-7] 토압계수의 산정

토압계수의 산정은 평상시 [도·설 5.5.9]에 따라 Coulomb의 토압계수를 적용하고, 지진시의 토압계수는 [도·설 6.6.3.2]에 따라 Mono-nobe-Okabe의 토압공식을 사용한다.

(8) [단계 4-8] 상부구조의 반력

교대의 경우 토압이 교대의 전폭에 걸쳐 균일하게 작용하므로 편의상 상부구조에 작용하는 반력을 고정하중과 활하중으로 구분하여 단위폭으로 환산하여 작용시킨다.

(9) [단계 4-9] 뒷채움 지표면의 상재하중

평상시 뒷채움 지표면의 상재하중은 교량등급에 관계없이 $q = 1.0\ tonf/m^2$으로 한다.

이것은 교대의 벽면치수에 비해 재하면적이 큰 경우로, 흉벽의 경우 재하면적이 작아 깊이가 깊어짐에 따라 토압이 감소하므로 깊이 방향의 감소를 고려하면 된다.

2.2.5 [단계 5] 교대 설계력 산정

(1) [단계 5-1] 구체, 뒷채움 자중 및 관성력

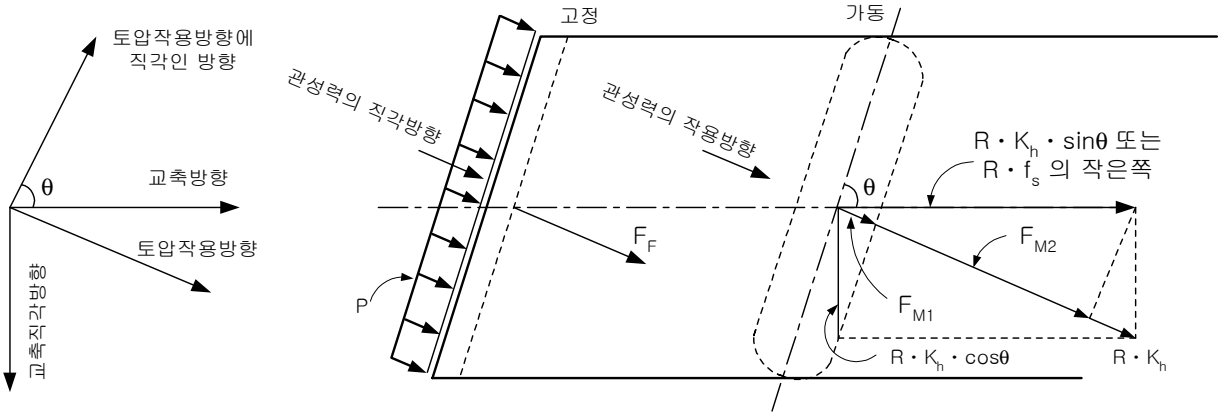
구체, 뒷채움의 자중을 중력방향에 대하여 구하고, 지진시 구체 및 뒷채움 자중에 의한 관성력을 K_h비 만큼의 수평력으로 환산한다.

(2) [단계 5-2] 고정단·가동단 상부하중 및 관성력

고정단 및 가동단의 상부하중에 대한 관성력

<표 509.15> 토압 작용면의 벽면 마찰각

교대의 종류	계산의 종류	마찰각의 종류	벽면마찰각	
			평상시 δ	지진시 $\delta\varepsilon$
중력식 교대	안정계산 벽의 단면계산	흙과 콘크리트	$\phi/3$	0
역 T 형 부벽식 교대	안정계산	없음	0	0
	벽의 단면계산	흙과 콘크리트	$\phi/3$	0



<그림 509.22> 경사교대의 지진시 수평력

을 교대 경사를 고려하여 산정한다.

· 고정단 하부구조에 작용하는 수평력

$$F_F = W_d \cdot K_h - \sum F_{M1} \qquad (509.5)$$

· 가동단 하부구조에 작용하는 수평력

$$F_M = F_{M1} + F_{M2} \qquad (509.6)$$

다만,

$$F_{M1} = R \cdot K_h . \cos^2\theta \qquad (509.7)$$

$$F_{M2} = R \cdot K_h . \cos^2\theta (K_h . \sin\theta \le f_s \text{일 때})$$

$$= R \cdot f_s . \sin\theta (K_h . \sin\theta > f_s \text{일 때}) \quad (509.8)$$

여기서,

W_d : 들보의 전 사하중 (*tonf*)

K_h : 설계수평진도

R : 생각하고 있는 하부구조에 작용하고 있는 지진시의 상부로부터 연직반력(*tonf*)

f_s : 가동받침의 마찰계수

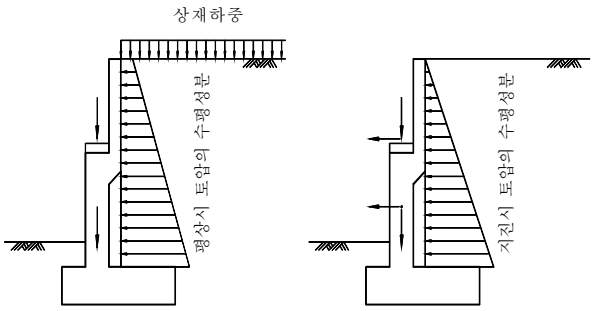
(3) [단계5-3] 상시, 지진시의 토압계산

상시 토압은 삼각형분포로 교대 밑면으로부터 H/3 위치에 작용하고, 지진시 토압의 경우 상시 토압의 분력은 교대 밑면으로부터 H/3에 작용하고 추가적인 동적 영향이 0.6H의 높이에 작용한다고 가정하여 토압의 분력 위치를 구하지만, 대부분의 경우에는 토압이 균등하게 분포되어 있고 그 높이는 H/2로 가정한다.

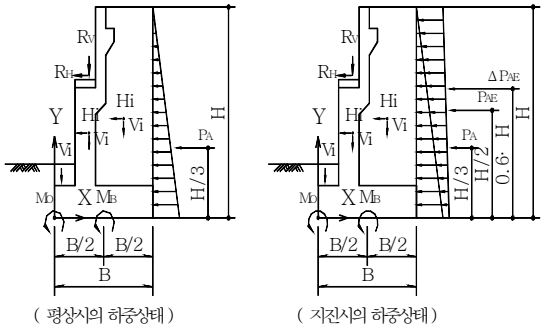
- 토압의 작용면은 다음 규정에 의한다.

· 뒷굽의 내민 길이가 20~30cm 이하로 짧은 반중력식 또는 중력식 교대는 구체콘크리트 배면으로 한다

· 역T형과 부벽식 교대의 경우 벽의 단면 계산에서는 구체콘크리트 배면 안정계산에서는 뒤쪽 연단에서 연직인 가상배면으로 한다.



<그림 509.23> 단면검토시의 하중상태



<그림 509.24> 안정검토시의 하중상태

(4) [단계 5-4] 상부반력에 의한 설계력

상부반력 및 관성력에 의한 수평, 연직, 모멘트를 산정한다.

(5) [단계 5-5] 하중집계 및 조합

안정검토(상시, 가설시, 지진시) 및 단면설계를 위한 하중조합은 [도·설 2.2.3.2]의 규정에 따른다.

- 안정 검토시

U = 1.0D + 1.0(L + i) + 1.0H + 1.0Q

U = 1.0D + 1.0H + 1.0Q + 1.0E

- 단면 검토시

U = 1.3D + 2.15(L + i) + 1.7H + 1.3Q

U = 1.0D + 1.0H + 1.0Q + 1.0E

2.2.6 [단계 6] 안정검토

(1) [단계 6-1] 전도에 대한 안정

기초저면에 대한 하중의 작용위치는 바닥면의 중심으로부터 평상시에 대해서는 저면 폭의 1/6, 지진시에 대해서는 1/3보다 내측에 있어야 한다.

$$X_o = \frac{(M_r - M_o)}{V} \qquad (509.9)$$

단, $e = \frac{B}{2} - X_o$

여기서,

V : 기초저면에 작용하는 전연직력(*tonf*)

M_r : 원점 O를 중심으로 하는 전저항 모멘트 ($tonf \cdot m$)

M_o : 원점 O를 중심으로 하는 전도 모멘트 ($tonf \cdot m$)

따라서,

평상시에 있어서 $X_o \geq B/3$ 또는 $e \leq B/6$

지진시에 있어서 $X_o \geq B/6$ 또는 $e \leq B/3$

이때 원점 O를 중심으로 할 때 전도가 일어나지 않게 하기 위해서는 $M_r > M_o$ 이어야 하며 평상시의 안전율이 2.0배 이상이어야 한다.

안전율 $S.F = M_r/M_o \geq 2.0$ (지진시 1.5)

(2) [단계 6-2] 활동에 대한 안정

기초저면에 작용하는 수평하중에 대해서, 지반저면에 대한 허용 전단저항력은 평상시 1.5 이상 지진시 1.2 이상의 안전율을 갖지 않으면 안된다. 직접기초의 전단저항력은 기초 저면과 지반 사이의 점착력 및 마찰력에 의하여 결정된다.

$$H_u = C_b A' + V \tan \phi_b \qquad (509.10)$$

안전율 $S.F = H_r/H_o \geq 1.5$ (지진시 1.2)

(3) [단계 6-3] 지지력에 대한 안정

확대기초는 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로 취급되는 두께를 원칙으로 한다. 이 때, 확대기초의 두께가 충분히 확보될 경우 강체로 하여 지반의 반력을 구할 수 있다.

① 하중의 작용위치가 저면 핵 내에 있는 경우 (사다리꼴분포)

$$Q_{\max,\min} = \frac{V}{LB} \pm \frac{6M}{LB^2} = \frac{V}{LB}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \qquad (509.11)$$

단, $e = \frac{M}{V}$

② 하중의 위치가 저면의 핵 외에 있는 경우

(삼각형분포)

최대 지반반력을 허용지지력과 비교검토 한다.

$$Q_{max} = \frac{2V}{Lx} \qquad (509.12)$$

단, 저면의 작용폭 $x = 3(\frac{B}{2} - e)$

여기서,

V : 기초저면에 작용하는 연직하중(*tonf*)

M : 기초저면 도심에 작용하는 모멘트 ($tonf \cdot m$)

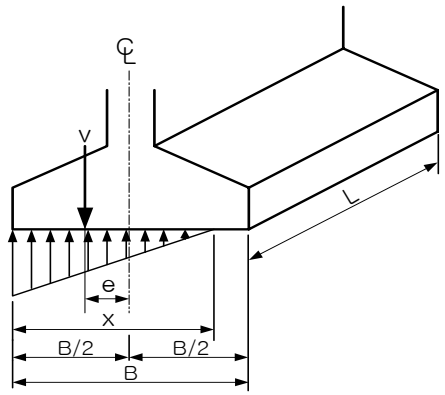
e : 하중의 편심거리 (m) , M = V · e

B : 기초폭 (m)

L : 기초의 길이 (m)

Q_{max} : 기초저면에 있어서 최대 지반반력 ($tonf/m^2$)

Q_{min} : 기초저면에 있어서 최소 지반반력 ($tonf/m^2$)



<그림 509.25> 기초저면의 반력도

(4) [단계 6-4] 경사교대에 대한 안정

경사교대의 경우 토압이 배면의 직각면으로 작용하여 성토로서 메워지지 않은 경우에 대한 검토와 상부구조의 수평력에 의한 지진력의 방향 등을 검토해야 한다. 교축방향과의 경사각 θ가 75°보다 큰 경우에는 경사교대의 영향이 적어 검토할 필요는 없으나 75°보다 경사각이 작고 또한, 교대 폭이 좁을 경우 계산으로 안전이 충분히 확인된 경우 이외에는 토압이 집중되는 기초의 저면을 중심부 기초와 같이 확대하는 것이 좋다.

2.2.7 [단계 7] 단면검토

(1) [단계 7-1] 단면력에 의한 배근

① 역T형교대

벽체의 단면계산에서는 지진시의 토압을 구체콘크리트 배면에 직접 작용시키고, 뒷굽의 재하 토사의 관성력은 고려하지 않아도 된다.

벽의 확대기초와의 접합부를 고정단으로 한 캔틸레버보로서 설계한다. 벽의 하단의 두께는 단면에 작용하는 축력, 휨모멘트 및 전단력으로 정하나, 벽에는 전단력에 저항시키기 위한 전단철근을 쓰게 되면 콘크리트를 타설하는데 방해가 되므로 전단철근을 쓰지 않아도 좋은 두께로 하는 것이 바람직하다.

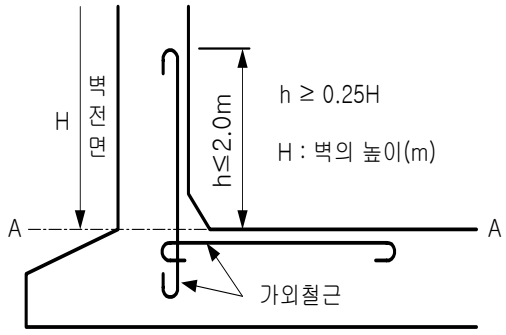
② 부벽식교대

부벽식 교대의 벽은 부벽으로만 지지된 연속보로 하여도 좋다. 이 경우 벽과 확대기초의 접합부에는 상당량의 가외철근을 각각 배면과 상면에 가까이 배근해야 한다. 이 철근량은 벽과 확대기초의 접합단면에 있어서 배력철근과 같은 정도의 양을 사용하면 좋다. 다만, 확대기초의 두께가 두꺼운 경우는 확대기초 뒷면의 가외철근을 생략해도 좋다.

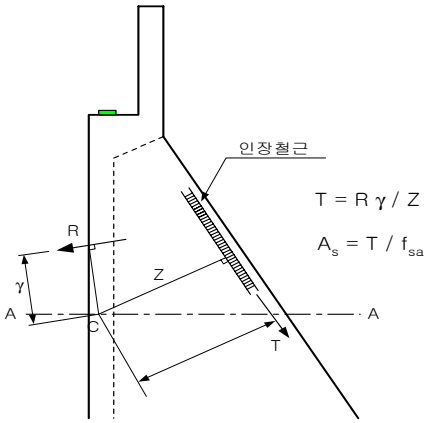
연속보로서 설계하는 경우의 휨모멘트 및 전단력은 다음 값으로 해도 좋다.

· 지간 휨모멘트 및 지점모멘트 $\pm \omega l^2 / 10$

· 전단력 $\omega \cdot l/2$



<그림 509.26> 가외철근



<그림 509.27> 부벽 배면의 철근배치

여기서,

w : 보의 단위폭당 토압 ($tonf/m^2$)

l : 부벽의 중심간격 (m)

벽의 두께는 시공이 확실히 되도록 $30cm$이상으로 하는 것이 좋다.

부벽은 부벽간의 중심간격에 작용하는 수평하중에 대하여 휨모멘트와 전단력을 계산한다. 휨모멘트에 대한 인장철근은 부벽의 배면에 연해서 경사지게 배치한다. 그 단면적은 보의 높이가 변화하는 쐐기형의 보로 간주하고 구하는 것이 좋으나, 간단히 하기 위해 T형 단면에서 콘크리트의 전압축응력이 연직벽 두께의 중심에 작용하는 것으로 가정해서 <그림 509.27>과 같이 구해도 좋다. 또한, 계산의 편의를 도모하기 위해 축력을 무시하고 있다. 따라서 축력이 큰 경우는 단면의 압축측이 위험하게 되는 경우가 있으므로 콘크리트의 휨압축응력에 대해서도 검토하여야 한다.

③ 중력식 및 반중력식 교대

축방향 편심하중을 받는 무근콘크리트 부재의 콘크리트 응력은 다음 식에 의하여 산출하도록 한다.

$$f_c = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e}{W} \qquad (509.13)$$

여기서,

f_c : 콘크리트 단면의 연응력 (kgf/cm^2)

N : 축방향력 (kgf)

A : 콘크리트의 전단면적 (cm^2)

e : 콘크리트 단면의 도심축으로부터 축방향력 작용점까지의 거리 (cm)

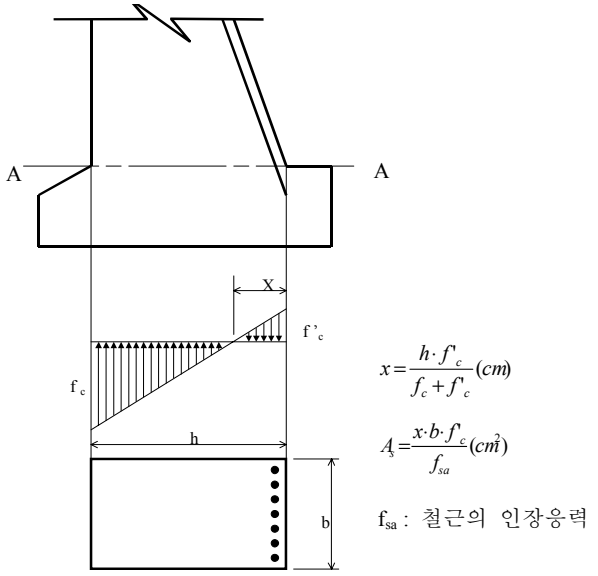
W : 콘크리트 단면의 도심축에 관한 단면계수 (cm^2)

이 때 무근 콘크리트로서 설계한 구체의 전인장응력이 그 허용 휨인장응력을 넘는 경우 콘크리트에서 전인장응력을 철근으로 부담시키지 않으면 안된다. 이때 철근의 단면적은 단면에 생긴 전인장응력을 <그림 509.28>과 같이 철근의 허용 인장응력으로 나누어 얻어진 값으로 하면 좋다.

(2) [단계 7-2] 수평철근 산정

교대 벽체의 최소 수평철근은 [콘·설 11.3]의 규정에 따른다.

※ 도로교표준시방서(1996) Ⅵ-5.2.5 해설에 의하면 수평철근의 벽의 높이 1m 당 5cm^2 이



<그림 509.28> 인장응력이 생기는 무근 콘크리트

상, 중심간격 30cm 이하로 배치하는 것을 권장하고 있다. 이 값은 벽체의 두께가 큰 경우 벽체의 수평철근 규정보다 많은 차이가 있다. 실제 교대 벽체 전면의 경우 벽체의 두께가 크므로 완공시 온도 및 건조수축의 고려시 $5cm^2$ 이상의 수평철근 적용이 타당할 것으로 판단되나, [콘·설 11.3]의 최소 철근비 규정은 온도 및 건조수축의 최소철근량이 아닌 벽체 평면내에서 수평전단력을 받는 벽체의 최소 전단철근비의 개념으로 교대벽체도 일반벽체와 동일하게 최소전단철근비를 적용하였다.

(3) [단계 7-3] 흉벽설계

윤하중 및 토압에 의한 단면력을 산정한다. 윤하중과 같이 재하면적이 작고 비교적 짧은 시간에 재하되는 것에 대해서는 깊이와 더불어 토압강도는 작아지므로, 윤하중에 의한 하중강도를 합력이 지표에서 $1\,m$ 범위의 하중을 외력으로 생각하여 나타낸 윤하중 단면력 M_p 및 S_p 와 토압을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_p = 11.46\,K_a\,.\,(h - 0.36) \qquad (509.14)$$

$$S_p = 11.46\,k_a \qquad (509.15)$$

$$P_h = 1/2 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot h_2\,.\cos\delta \qquad (509.16)$$

$$M_e = 1/3 \cdot P_h \cdot h \qquad (509.17)$$

여기서,

P_x : 길이 x 에서 윤하중강도($tonf/m^2$)

M_p : 윤하중에 의한 휨모멘트 ($tonf\cdot m/m$)

S_p : 윤하중에 의한 전단력 ($tonf/m$)

P_h : 토압 ($tonf/m$)

γ : 흙의 단위 중량 ($tonf/m^2$)

δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면 마찰각 ($\delta=\Psi/3$)

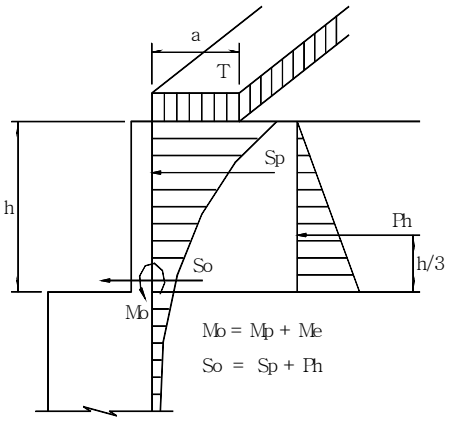
K_a : Coulomb의 토압에 의한 주동토압계수

h : 흉벽의 높이 (m)

(4) [단계 7-4] 기초설계

기초부의 휨 부재의 최소철근량은 [콘·설 6.3.2(4)]의 규정에 따른다.

※ 콘크리트 구조설계기준(2000) 6.3.2(4)의 해설에 의하면 구조체를 지지하는 슬래브와 전면기초는 슬래브로 보아 온도규정에 의한 최소철근비를 규정하고 있다. 따라서 일반적인 확대기초의 경우 온도에 의한 최소철근비를 적용하는 것이 타당하다고 판단된다. 교대기초의 경우 옹벽과는 달리 상부하중이 기초에 전달되므로 기초와 같이 구조슬래브로 보아 온도에 의한 최소철근비를 적용하는지 보의 최소철근비 규정을 적용하는지 명확치 않으나 편람에서는 온도에 의한 최소철근비 규정을 적용하였다.



<그림 509.29> 윤하중에 의한 하중상태

(5) [단계 7-5] 앞굽판의 배근

휨모멘트의 위험단면은 벽체 전면으로 하고 전단력에 대해서는 확대기초에 압축력이 작용하기 때문에 부재단면에 작용하는 인장력은 작은 값으로 된다. 따라서 전단응력의 위험단면은 벽체 전면에서 d 위치한 곳으로 검토한다.

(6) [단계 7-6] 뒷굽판의 배근

휨모멘트의 위험단면 및 전단응력의 위험단면을 벽체 배면으로 한다.

뒷굽판의 경우 앞굽과는 반대로 뒷굽의 상면에서 인장력이 발생하는 부분으로 전단의 위험단면은 벽체와의 접합부에서 검토되어야 한다.

2.2.8 [단계 8] 접속슬래브 설계

(1) [단계 8-1] 지간 및 하중 산정

접속슬래브 길이(교축방향)의 70%를 지간으로 한 단순보로 계산해도 좋다. 접속슬래브의 하중은 고정하중과 윤하중으로 재하하기로 한다. 충격계수는 0.3으로 한다.

(2) [단계 8-2] 주철근 산정

윤하중의 분포폭은 [도·설 4.7.5.1]의 규정에 따라 주철근이 차량진행방향과 평행한 경우로 산정한다.

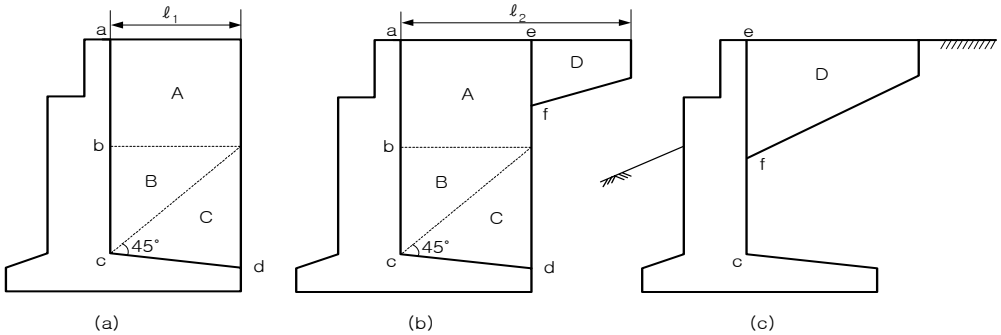
$$E = 1.2 + 0.06L < 2.1m \qquad (509.18)$$

$$P_s = P(1 + i)/E \qquad (509.19)$$

여기서, E : 윤하중분포폭

P_s : 윤하중

P : DB하중의 1륜하중



<그림 509.30> 날개벽 형상

고정하중은 등분포하중으로, 윤하중은 집중하중으로 하여 단면력 및 철근량을 산정한다.

(3) [단계 8-3] 배력근 산정

주철근이 차량진행방향에 평행할 때로 [도·설 4.7.5.7]의 규정에 따른다.

55/√L와 최대 주철근의 50% 중 작은 값 이상으로 하며, 배근되는 배력철근량은 온도 및 건조수축 철근량의 비 0.2%이상이 되도록 하여야 한다.

(4) [단계 8-4] 받침부의 설계

고정하중반력 및 윤하중 브라켓에 전달되는 내민받침에 대한 전단설계를 한다.

2.2.9 [단계 9] 교대 날개벽 설계

(1) [단계 9-1] 토압계수 산정

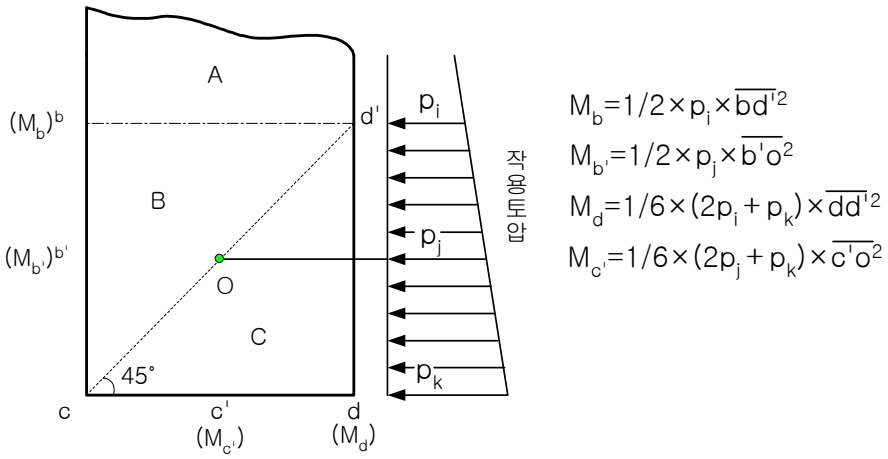
날개벽의 경우 교대 앞벽과 날개벽이 U자 형상으로 되는 교대에 있어서는 내부를 채운 흙이 활하중에 의해 끊임없이 전압되는 등으로 날개벽 접속부에 균열이 발생한 예가 대단히 많다.

따라서 날개벽의 토압은 정지토압 이상의 토압발생 가능성이 있어 적어도 정지토압으로 설계한다.

(2) [단계 9-2] 단면력 산정

측벽형 및 평행형 날개벽의 경우로 나누어 관용법 또는 2변 고정판의 경우로 설계한다. 날개벽의 형상과 2변지지 날개벽에 대한 설계 모멘트는 <그림 509.30>, <그림 509.31>과 같다.

<그림 509.31> 중에서 A, D 부분은 a-b 및 e-f에 지지된 캔틸레버보로서 설계한다. 이때 a-b 및 e-f 의 설계는 캔틸레버보에 A, D부분에 작용하는 토압 합력을 작용시켜 구해지는 고정단 단면력을 a-b 및 e-f 부분에 등분포시켜서 구해도 좋다. 또한 B, C에 대해서는 b-c 및 c-d에 지지된 캔틸레버보로서 설계한다. 이 경우 b-c 및 c-d를 b-b′, b′-c 및 c-c′, c′-d 의 두 구간으로 분할하여 각각의 구간에서 가장 불리한 장소에서 계산한 단면력으로 설계하는 것이 좋다.



<그림 509.31> 2변지지 날개벽의 설계

<그림 509.31>에 있어서 b-b′ 구간은 b점에 있어서의 단위길이 당 모멘트 M_b에 의하여 설

계하고 같은 방법으로 b′-b는 $M_{b'}$, c-c′는 $M_{c'}$, c-d는 M_d에 의해서 설계하는 것이 좋다.

(3) [단계 9-3] 단면력에 의한 배근

평행형 날개벽과 2변지지 날개벽에서 구한 단면력으로 날개벽에 철근으로 보강한다. 특히 2변지지 날개벽의 경우 지지면이 두 방향이므로 두 방향 모두에 만족한 배근을 해야 한다.

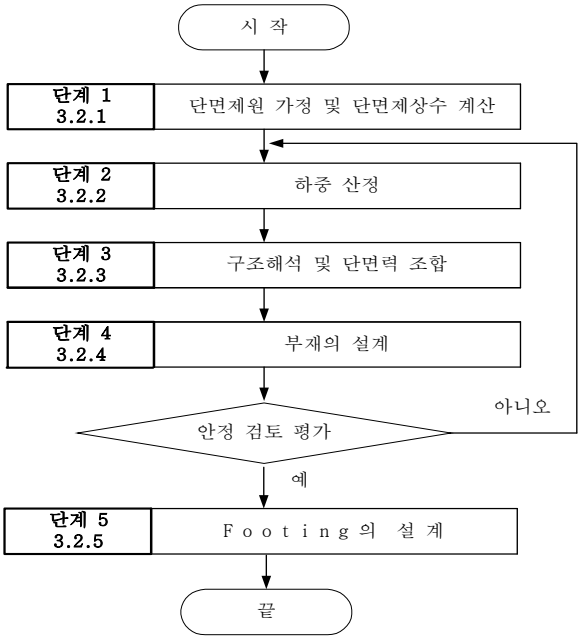
(4) [단계 9-4] 흉벽 접합부 보강

평행형의 날개벽은 수평 주철근을 흉벽배력근(수평철근) 방향에 정착시키지 않으면 안되므로 흉벽의 벽두께나 수평철근량이 날개벽보다 작은 경우는 흉벽에 보강철근을 추가해 둘 필요가 있다.

509.3 교각설계

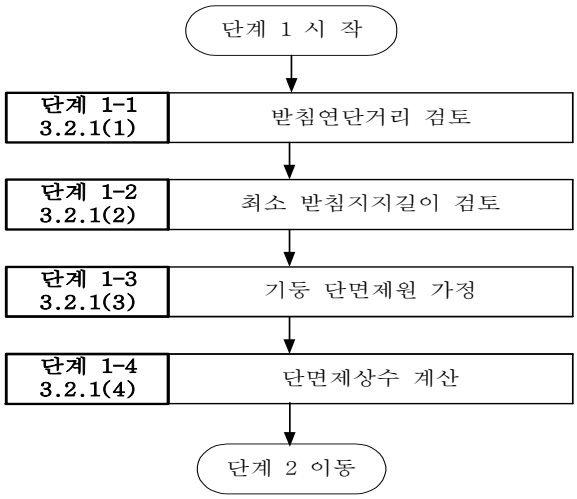
3.1 설계단계 흐름도

3.1.1 주설계단계



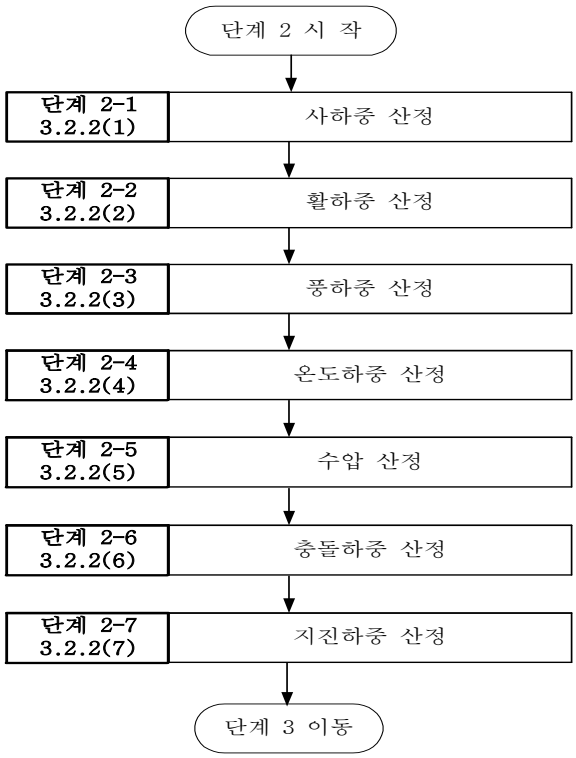
<그림 509.32> 주설계흐름도

3.1.2 [단계 1] 단면제원 가정 및 단면제상수 계산



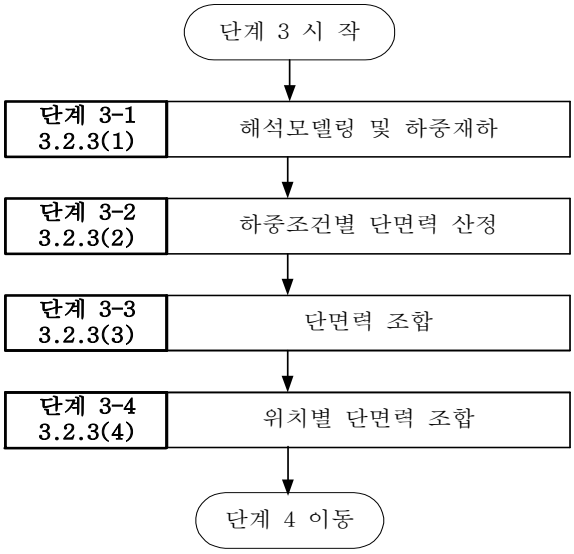
<그림 509.33> 단면제원 가정 및 단면제상수 계산

3.1.3 [단계 2] 하중산정



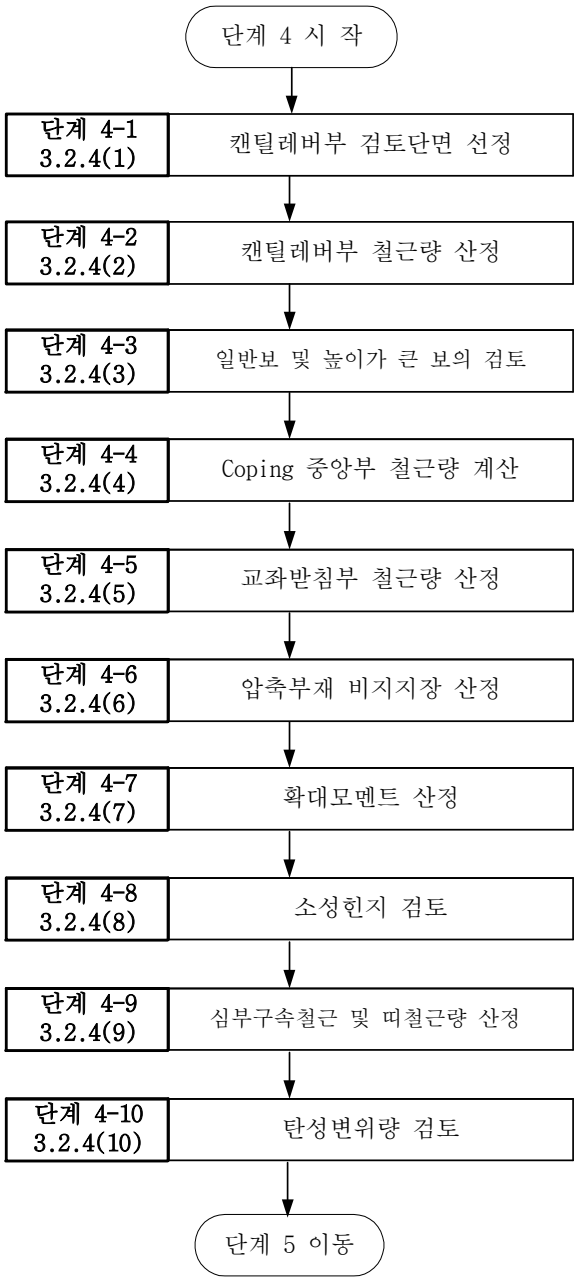
<그림 509.34> 하중산정

3.1.4 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합



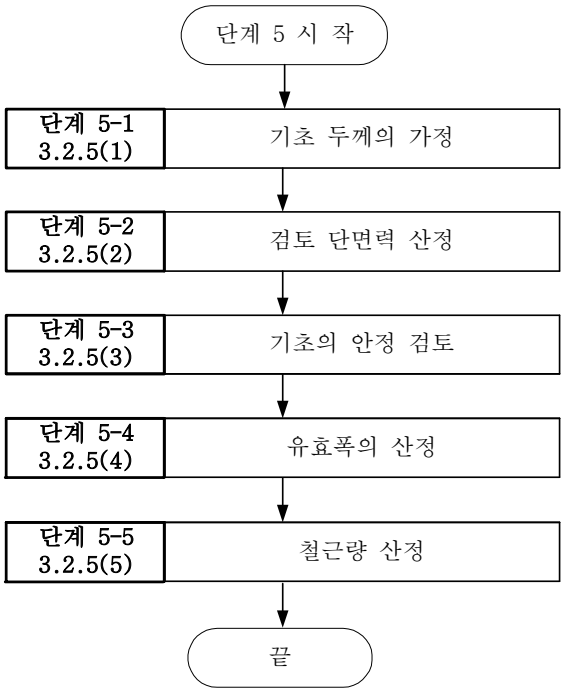
<그림 509.35> 구조해석 및 단면력 조합

3.1.5 [단계 4] 부재의 설계



<그림 509.36> 부재의 설계

3.1.6 [단계 5] Footing의 설계



<그림 509.37> Footing의 설계

3.2 설계단계별 고려사항

3.2.1 [단계 1] 단면제원 가정 및 단면제상수 산정

(1) [단계 1-1] 받침연단거리 검토

교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터의 집중하중을 받는 곳이고, 또 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부연단거리까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연하여 교좌가 파손되는 경우가 있으며, 또한 가동단에서는 받침이 벗어나 들보가 낙하 하는 경우도 있다. 그러므로 하부구조 정부에 있어서 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부연단 사이의 거리 $S(cm)$는 규정값 이상을 사용하도록 하고 있다."2.2.2절, 단계 2-1 참조"

(2) [단계 1-2] 최소 받침지지길이 검토

교량의 끝부분에 있어서 지진시에 낙교를 방지하기 위하여 내진설계시 최소 받침지지길이 N는 다음 값보다 작아서는 안된다.

$$N=(200+1.67L+6.66H)(1+0.000125\theta^2)(mm) \quad \text{---(509.20)}$$

여기서,

L : 인접 신축이음부 또는 교량단부까지의 거리(mm)

H : 기둥의 평균높이 mm)

(3) [단계 1-3] 기둥 단면제원 가정

기둥 단면은 지나치게 크게 하면 필요철근보다 최소철근에 의해 설계되어 비경제적이 되고, 반대로 지나치게 작게 할 경우 철근에 의해 단면의 강도가 크게 향상되지 않아 하중을 견디어낼 수 없으므로, 최적단면을 결정할 수 있으면서도 안정성을 확보할 수 있도록 결정되어야 한다.

(4) [단계 1-4] 단면제상수의 산정

단면의 면적, 전단면적(shear area), 2차모멘트 등의 상수들을 적절히 산정한다.

3.2.2 [단계 2] 하중계산

(1) [단계 2-1] 고정하중 산정

① 상부구조로부터의 고정하중반력

② 교각 자중

(2) [단계 2-2] 활하중 산정

하부구조의 설계에 사용되는 활하중은 구조물에 가장 불리한 영향을 주도록 재하하여야 한다.

(3) [단계 2-3] 풍하중 산정

① 상부구조에 작용하는 풍하중

판형교에 작용하는 풍하중은 교량 하나의 교축방향길이 $1\,m$ 당 <표 509.16>에 나타난 값으로 한다.

여기서, B : 교량 총폭(m)

D : 교량 총높이(m)

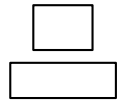
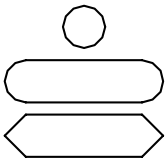
<표 509.16> 판형교의 풍하중

단면형상	풍하중 (kgf/m^2)
1 ≤ B/D < 8	[400-20(B/D)] D ≥ 600
8 ≤ B/D	240 D ≥ 600

<표 509.17> 하부구조에 작용하는 풍하중

구체의 단면형상		풍하중 (kgf/m^2)
원형 및 트랙형	활하중 재하시	75
	활하중 비재하시	150
각 형	활하중 재하시	150
	활하중 비재하시	300

<표 509.18> 교각의 저항계수, K

교각의 유수방향	단면의 형상	계수
→ →		0.07
→ → →		0.04
→		0.02

② 하부구조에 작용하는 풍하중

하부구조에 직접 작용하는 풍하중은 교축방향과 교축직각방향에 작용하는 수평하중으로 한다. 풍하중의 크기는 풍향방향의 유효연직투영면적에 대하여 <표 509.17>의 값으로 한다.

또한, 기둥이 풍향에 대해 2개가 앞뒤로 늘어서 있을 때는 다음과 같이 재하한다. 기둥이 직경의 2배 이상 떨어져 있는 경우는 단일 부재가 2개 존재한다고 생각하여 풍하중측 부재에는 <표 509.17>의 값을 재하한다. 이 외의 경우에는 풍하중측 부재에 재하하는 풍하중은 <표 509.17>의 0.5배로 한다.

③ 활하중에 대한 풍하중

활하중이 재하될 때에는 교면상 1.5 m의 위치에서 $150kg/m$의 풍하중이 활하중에 대하여 작용하는 것으로 본다.

④ 태풍이나 돌풍에 취약한 지역

폭풍시의 하중을 재하하고 폭풍시의 안전율을 적용한다.

(4) [단계 2-4] 온도하중 산정

상부구조의 온도에 의한 변형을 교각 상단에 가했을 때의 교각 변위에 의한 등가하중과 상부자중에 대한 교좌받침의 마찰력 중 작은 값을 사용한다.

(5) [단계 2-5] 수압의 산정

유수압은 유수방향에 대한 교각의 연직투영면적에 작용하는 수평하중으로 하고 다음 식에 의하여 산출한다.

$$P = K \cdot V^2 \cdot A \qquad (509.21)$$

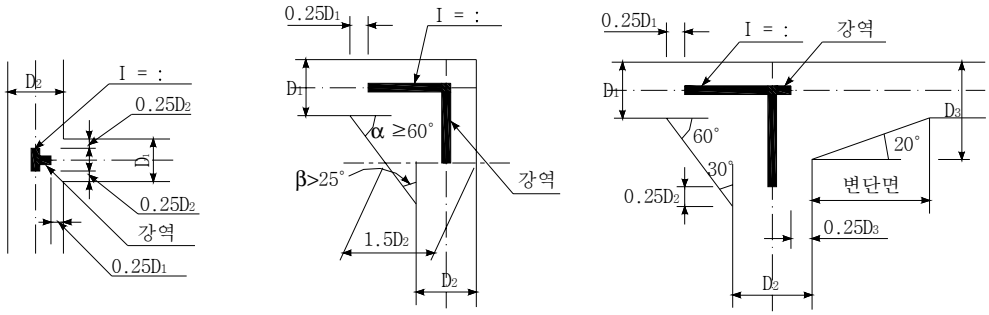
여기서,

P : 유수압($tonf$)

K : <표 509.18>에 나타난 교각의 형상에 따라 정해지는 계수

V : 최대유속 (m/s)

A : 교각의 연직투영면적 (m^2)



(a) 등단면의 경우 (b) 변단면의 경우(1) (c) 변단면의 경우(2)

<그림 509.50> 라멘교 절점부에서의 강역

(6) [단계 2-6] 충돌하중의 산정

자동차, 유목, 선박 등이 교각과 충돌할 우려가 있는 경우에 이것을 설계에 고려하여야 한다.

(7) [단계 2-7] 지진하중의 산정

내진해석에 의한 교축방향과 교축직각방향의 지진하중을 고려하여야 한다.

3.2.3 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합

(1) [단계 3-1] 해석 모델링 및 하중재하

해석모델의 절점은 단면력을 정리해야 하는 위치와 단면상수가 변화되는 곳, 그리고 하중재하 위치를 적절히 나누어 주어야만 한다.

하중의 재하는 하중의 특성에 따라 집중하중 및 분포하중으로 재하한다. 또한, 기둥과 보의 지점부에 특히 큰 헌치가 있는 경우나 보부재 또는 기둥 부재의 부재두께가 매우 큰 경우에는 강역의 영향을 고려하여야 한다.

① 부재 단부가 다른 부재와 접합할 때는 그 부재단에서 부재 두께의 1/4 안쪽점에서부터 절점까지로 한다.

② 부재가 그 축선에 대해 25°이상 경사진 헌치를 갖는 경우에는 부재 두께의 1.5배가 되는 점에서부터 절점까지로 한다. 다만, 헌치의 경사가 60°이상의 경우는 헌치의 시점부터 부재 두께의 1/4 안쪽 점에서부터 절점까지로 한다.

(2) [단계 3-2] 하중조건별 단면력 산출

각 하중 조건별로, 검토단면별로 단면력을 산출한다.

(3) [단계 3-3] 단면력의 조합

교각의 설계에서 부재설계시는 균열검토, 기초검토시는 하중의 조합을 고려하여야 하며, 일반적인 경우 교각의 설계에서 고려해야 하는 하중조합은 다음과 같다.

① 고정하중 + 활하중

② 고정하중 + 풍하중

③ 고정하중 + 활하중 + 온도변화의 영향, 건조수축, 크리프 영향, 프리스트레스의 영향

④ 고정하중 + 지진의 영향

교각의 설계에서 작용하는 하중은 고정하중, 활하중, 풍하중, 수압, 지진하중, 온도하중 등 여러 가지 하중이 있을 수 있으며, 교각지점의 상황에 따라서 각 하중을 시방규정에 따라 조합하여 사용하여야 한다.[도・설 P27, P32]

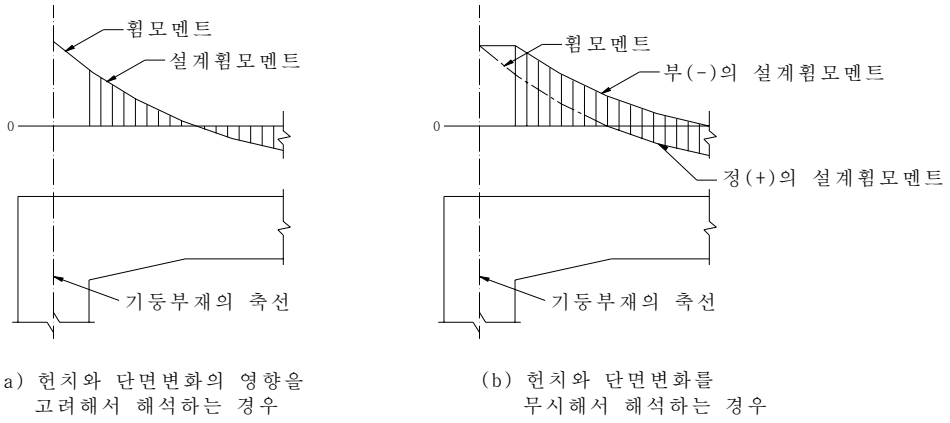
또한, 기둥 설계시 최소 축하중 및 최대 모멘트, 또는 최대 편심에 대하여 설계할 경우 각각의 고정하중 계수를 적용하여 기둥의 안정성을 확인하여야 한다. [도・설 P33]

(4) [단계 3-4] 위치별 단면력 정리

조합된 단면력을 각 위치별로 부재설계 및 균열검토용으로 정리한다.

부재 절점부에 작용하는 설계 휨모멘트는 <그림 509.39>와 같이 결정한다.

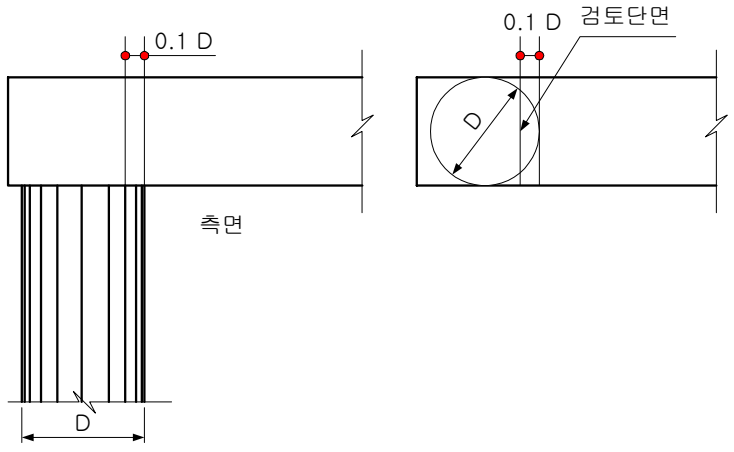
부재 절점부에 대한 설계 전단력은 변단면 및 헌치의 영향이 작기 때문에 단면력의 이동은 하지 않는다. 단, 기둥 단면이 원형인 경우 단면력은 <그림 509.40>과 같이 취한다.



(a) 헌치와 단면변화의 영향을 고려해서 해석하는 경우

(b) 헌치와 단면변화를 무시해서 해석하는 경우

<그림 509.51> 라멘부재 절점부의 설계 휨모멘트



<그림 509.52> 기둥단면이 원형인 경우의 설계단면

3.2.4 [단계 4] 부재의 설계

(1) [단계 4-1] 캔틸레버부 검토단면의 선정

캔틸레버부는 전단경간에 대한 깊이의 비가 1.0 이하인 경우에 대해서는 코벨로서 검토하고, 1.0 이상인 경우는 일반보로서 검토한다. 그러나 가급적 일반보가 되도록 단면을 선정하는 것으로 하여 수평철근 과다배치로 인한 시공성 저하를 예방토록 한다.

(2) [단계 4-2] 캔틸레버부 철근량 계산

[콘・설 제6장, 제7장]을 참조하여 평상시 및 지진시에 대한 교량받침에 작용하는 수직력 및 수평력과 코핑의 관성력을 산출하여 이에 견딜 수 있게 주철근 및 수평방향 저항 철근을 적절히 배근하여야 한다.

(3) [단계 4-3] 일반보 및 높이가 큰 보의 검토

중앙부는 전단경간에 대한 깊이의 비가 5보다큰 경우 일반보로서 검토하고, 5보다 작은 경우 높이가 큰 보로서 검토한다. 높이가 큰 보의 경우 최소수평전단철근의 배근으로 경제성 및 시공성이 저하될 수 있으므로 가급적 일반보가 되도록 단면을 선정하는 것으로 한다.

(4) [단계 4-4] 코핑중앙부 철근량 계산

[콘・설 제6장, 제7장]을 참조하여 계산한다.

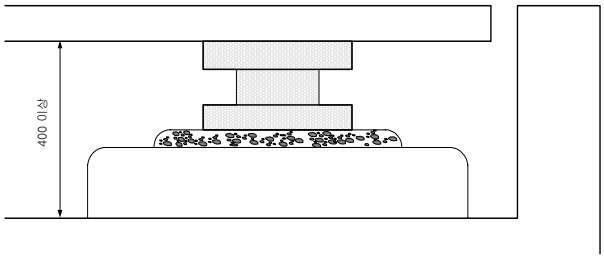
(5) [단계 4-5] 교좌받침부 철근량 산정

① 교좌장치 하면 보강철근

교좌장치 하면 보강철근의 적용기준은 명확히 제시되어 있지 않으나 한국도로공사의 「교좌장치 받침부 형하공간 및 보강철근 설계기준 검토」와 참고문헌 5의 「구조물 시리즈 2권」에 의하여 보강철근을 계산한다."2.2.3절 단계 3-3 참조"

③ 교좌장치부 거더밑 공간 확보

교좌장치의 유지관리를 위한 공간을 확보하여 교좌장치에 대한 접근관찰의 용이성 확보와 교좌장치 교체를 위하여 교좌장치부 거더밑 공간을 $40cm$ 확보하여야 한다.



<그림 509.53> 교좌장치 거더밑 공간 확보

(6) [단계 4-6] 압축부재 비지지장의 계산

압축부재의 비지지장은 교각 상단으로부터 기초 상단까지로 한다.

(7) [단계 4-7] 확대모멘트의 계산

횡방향 상대변위가 방지되어 있지 않는 일반적인 기둥은 $\frac{kl_u}{r}$ 의 값이 22를 초과할 경우 확대모멘트를 계산하여 적용하여야 한다. 장주효과를 고려해야 하는 압축부재의 기준 및 설계확대모멘트의 산정시 [도・설 P262]를 참조한다.

여기서,

k : 압축부재의 유효길이계수

l_u : 압축부재의 비지지장

r : 회전반지름

(8) [단계 4-8] 소성힌지 검토

기둥은 지진시 소성여부를 판단하여 소성힌지부 계산을 하여야 한다. 소성여부 판단은 응답수정계수가 고려되지 않은 지진력을 P-M 상관도로 검토하여 ϕM_n 이내일 경우 탄성거동

을 하는 것으로 보아 심부구속철근을 배근하지 않고 이상일 경우는 시방조건에 의해 소성힌지부 설계를 수행한다.

(9) [단계 4-9] 심부구속철근 및 띠철근량 산정

원형띠철근은 용접 또는 기계적 정착장치 등으로 정착 및 이음에 대한 거동이 확보된 경우, 나선철근과 동일한 역할을 기대할 수 있으며, 원형띠철근량 계산은 나선철근량 계산식에 의한다. 나선 또는 원형띠철근을 사용한 경우, 결속철근은 심부구속철근으로 계산하여서는 안된다.

띠철근에 대한 심부구속 철근량 계산식은 원래 원형나선철근에서 유도된 식으로 사각기둥에서만 규정하므로 나선철근의 규정식에 대한 띠철근의 안전율비를 고려하여 횡방향 철근의 총단면적 A_{sh}을 구한다.

심부철근의 최소설치구간은 기둥 최대단면치수, 기둥 순높이의 1/6 또는 $45cm$ 이상으로 기둥에 배근하여야 하며, 기초에서는 기둥 치수의 0.5배 이상 , $38cm$ 이상 연장 배근하며 일반띠 철근량은 전단검토를 통하여 산정한다.

(10) [단계 4-10] 탄성변위량 검토

지진에 대한 탄성해석결과의 탄성변위와 최소 받침지지길이와 비교하여 큰 값을 적용한다.

3.2.5 [단계 5] Footing의 설계

(1) [단계 5-1] 기초 두께의 가정

확대기초는 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로서 취급되는 두께를 가져야 함을 원칙으로 한다. 또한, 확대기초 상면의 경사는 원칙적으로 1:2 보다 완만하도록 한다.

확대기초의 두께를 정하는 요인은 다음과 같다.

① 부재로서 필요한 두께

가. 휨모멘트에 대하여

나. 전단력에 대하여

다. 펀칭전단력에 대하여 필요한 두께

② 강체로서 취급되는 두께

확대기초의 설계는 말뚝과 기둥이나 벽구조물의 접속부로서 각각 확대기초에 고정지지 되어 있다는 전제에서 설계체계가 정리되어 있다. 즉, 확대기초는 말뚝 혹은 기둥이나 벽에 비하여 어느 정도의 강도가 필요하게 된다. 따라서 여기에서 확대기초는 강체로서 취급되는 두께를 갖는 것을 원칙으로 하였다.

확대기초를 강체로서 취급하느냐, 취급하지 않느냐는 지반반력 및 말뚝반력에 미치는 확대기초의 강성의 영향을 고려해서 판정하는 것으로 하고 확대기초가 다음 식을 만족할 때, 이를 강체로 보면 된다.

$$\beta\lambda \le 1.0 \qquad (509.22)$$

여기서,

$\beta = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot k}{E \cdot h^3}} (m^{-1})$

$k = k_v$: 직접기초인 경우

k_p : 말뚝기초인 경우

k_v : 연직방향 지반반력계수($tonf/m^3$)

k_p : 환산지반반력계수($tonf/m^3$)

$k_p = K_v \cdot \frac{n \cdot M}{L \cdot B}$

K_v : 1개 말뚝의 축방향 스프링정수($tonf/m$)

L : 확대기초의 폭(m)

B : 확대기초의 길이(m)

n : 말뚝의 열수

m : 말뚝의 행수

E : 확대기초의 탄성계수($tonf/m^2$)

h : 확대기초의 평균두께(m)

λ : 확대기초의 환산 돌출길이(m)로서 확대기초의 형식에 따라 다음과 같이 정한다

㉮ 독립확대기초 및 벽확대기초의 경우

$$\lambda = \max(l,\ b)$$

다만,

$l \geq L/2$ 이면 $l = L/2$

$b \geq B/2$ 이면 $b = B/2$

㉯ 연속확대기초의 경우

$$\lambda = \frac{a \cdot (\lambda^2 + e^2)}{\lambda' + e} \qquad (509.23)$$

여기서,

$\lambda' = \max(l,\ b)$

$a = 1.3$

다만, 암반 등 변형계수가 큰 지반상에 설치되는 직접기초의 확대기초에 대해 윗 식의 강성평가식을 적용하는 경우 강체로 보아야 할 확대기초의 두께는 현저하게 두꺼워지는 경향이 있다. 일반적으로 이와 같은 지반에서는 허용되는 지반 반력에 여유가 있고 변형도 작은 것이라 생각되므로 비교적 단단한 지반상에 설치되는 확대기초에 대해서는 확대기초 두께의 상한값을 확대기초 긴변의 1/5 정도로 보아도 좋다.

이 때 확대기초 설계에서는 확대기초의 탄성거동을 고려할 필요는 없고 강체 확대기초와 같은 방식으로 설계하면 된다.

또한, 입지조건에 의해 충분한 확대기초 두께를 얻지 못할 경우, 큰 지하매설물이 확대기초 아래에 위치해 있기 때문에 1개의 확대기초 중에서 말뚝 배치가 한곳에 치우치게 되어 환산지반반력계수가 불균일하게 되는 경우, 혹은 확대기초의 치수가 크기 때문에 확대기초 두께도 현저하게 두꺼워질 경우 등에서는 확대기초를 탄성체로 하여 설계해도 좋다. 이런 경우에는 해석모델을 설정하는데 있어서 설계가 안전하게 되도록 충분히 검토를 해 둘 필요가 있다.

(2) [단계 5-2] 검토단면력 계산

① 휨모멘트의 계산

가. 독립확대기초 및 벽확대기초

설계단면은 직사각형단면의 기둥 또는 벽모양의 경우 전면으로 하고, 원형단면 기둥의 경우는 기둥외면에서 기둥지름의 1/10 내측으로 들어간 위치에서 연직단면으로 한다.

설계단면에 있어서 휨모멘트는 기둥 또는 벽 앞면의 확대기초 전면적에 작용하는 하중에 의하여 생기는 휨모멘트에 유효폭비 만큼 증가시킨 값으로 한다.

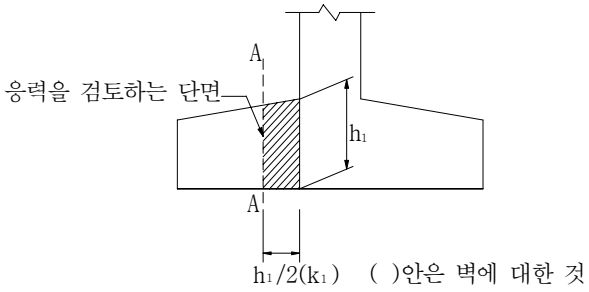
나. 연속확대기초

연속확대기초의 캔틸레버보로서 작용하는 부분은 독립확대기초와 같이 설계하도록 한다. 기둥사이의 확대기초부는 연속보로서 설계하도록 한다. 다만, 기둥에 비하여 확대기초의 강도가 작은 경우는 기초구조물을 포함한 일체의 구조형식의 라멘부재로서 설계하는 것이 좋다.

② 전단응력의 계산

확대기초에 생기는 콘크리트의 평균전단응력은 다음 규정에 의하도록 한다.

가. 기둥 혹은 벽부근에 있어서 콘크리트의 평균전단응력은 <그림 509.42>에서 나타낸 부재단면 A-A에 대하여 검토하도록 하며, 또한 사선부분의 전단철근은 A-A단면에 대하여 산출되는 철근량을 배치하도록 한다.



<그림 509.54> 평균전단응력을 검토하는 단면

나. 확대기초 단면의 설계는 다음 식에 의하는 것으로 한다.

$Vu \leq \Phi Vn = \Phi (Vc + Vs)$

여기서,

Vc : 콘크리트가 부담하는 공칭전단강도

Vs : 철근이 부담하는 공칭전단강도

$$V_c = \left(0.5\sqrt{f_{ck}} + 176\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d$$
$$= 0.53\sqrt{f_{ck}} b_w d$$

여기서,

bw : 복부의 폭(cm)

d : 검토할 단면의 유효높이(cm)

Vu : 부재단면에 작용하는 전단력(kgf)

M : 부재단면에 작용하는 휨모멘트(kgf · cm)

ρ_w : As / bw · d

③ 단면력 산정시 확대기초의 상재토사에 극도의 차가 있는 것, 하천내 구조물과 같이 세굴되어 상재토의 두께가 변화하는 것 등 확대기초 주목 개소에 따라서는 상재하중의 고려는 위험측으로, 안전측으로 되는 경우 단면검토시 및 안정검토시 각각의 예상되는 상황을 고려하여 안전측으로 되는 하중상태로 설계하여야 한다.

(3) [단계 5-3] 기초의 안정검토

기초의 안정성검토는 전도, 활동, 지지력에 대하여 수행하여야 하며 기초의 변위량은 허용변위량을 초과하여서는 안된다. 기초의 허용변위량은 상부구조에 유해한 영향을 미치지 않도록 제한하여야 한다.

직접기초 및 케이슨 기초는 양질의 지지층에 지지되어 있어야 한다. 직접기초는 그 지지기구로 보아서, 측면마찰에 의하여 수직하중을 분담 지지한다는 것은 거의 기대할 수 없으므로, 사질토 및 자갈모래층에 있어서는 충분한 강도를, 점성토에서는 압밀의 염려가 없는 양질의 층을 각각 필요로 한다. 케이슨기초에서는 일반적으로 저면의 치수가 크기 때문에 말뚝기초에 비해서 케이슨기초 주변의 저항보다는 저면지지에 의한 저항이 훨씬 크다. 따라서 지지력을 유지하고 경제적이고 또한 확실하게 발휘시키려면 양질인 지지층에 도달시키는 것은 말뚝기초 때보다 더 한층 필요하게 된다. 말뚝기초는 상부구조의 형식과 기능, 말뚝의 지지기구, 시공성을 고려하여 적절한 근입깊이를 결정하여야 한다. 강관널말뚝기초는 타입공법에 의한 선단지지를 원칙으로 하고 있으며 또한, 우물통부의 하단구속을 지반에 의해 기대하는 구조체이기 때문에 양질인 지지층에 관입시킬 필요가 있다.

평상시에 있어서 설계상의 지반면을 정하기 위해서는 오랫동안에 걸쳐서 안정된 토층이어야 하고, 지지력이 기대될 수 있는지 여부의 판단이 필요하다.

(4) [단계 5-4] 유효폭의 산정

① 휨모멘트에 대한 확대기초의 유효폭은 다

음 식에 의함을 원칙으로 한다.

$$b = t_c + 2d \le B \qquad (509.26)$$

여기서,

b : 유효폭 (cm)

B : 확대기초전폭 (cm)

t_c : 교각구체폭 (cm)

d : 확대기초 유효높이 (cm)

② 전단력에 대한 확대기초의 유효폭은 확대기초 전폭으로 하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 말뚝 간격이 현저히 큰 경우는 ①항에 준해서 유효폭을 정하도록 한다.

(5) [단계5-5] 철근량 계산

철근의 배치는 다음 규정에 의함을 원칙으로 한다.

① 독립확대기초 및 벽확대기초

가. 철근량을 산정할 때는 유효폭 b, 유효높이 d인 직사각형 단면에 대한 철근량 A_{S1}과 확대기초전폭 B, 유효높이 d의 전단면을 유효로 하는 철근량 A_{S2}를 계산한다.

나. 유효폭 b의 범위에는 A_{S1}의 철근량을 같은 간격으로 배치한다.

다. 유효폭 b 이외의 범위에는 A_{S2}와 1/2 A_{S1} 중에서 큰 쪽의 철근량을 배근한다.

라. 윗면 철근은 아랫면 철근의 1/3 이상 배근한다.

마. 확대기초의 주철근은 2방향 철근을 원칙으로 하고 배근방향은 말뚝배치를 고려하여야 한다.

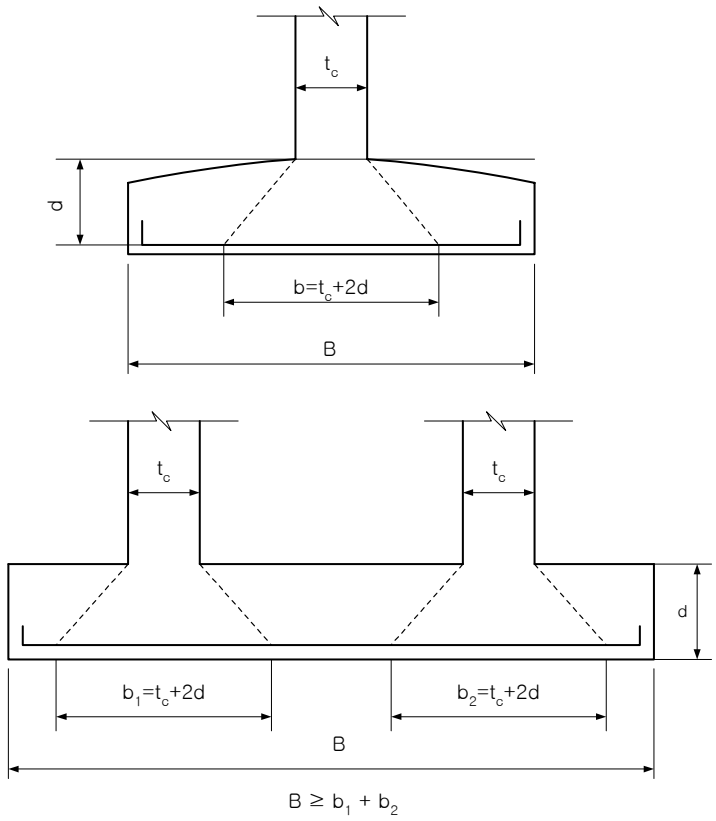
바. 말뚝에 인발력(引拔力)이 생기는 경우는 윗면을 철근으로 배근한다.

② 연속확대기초

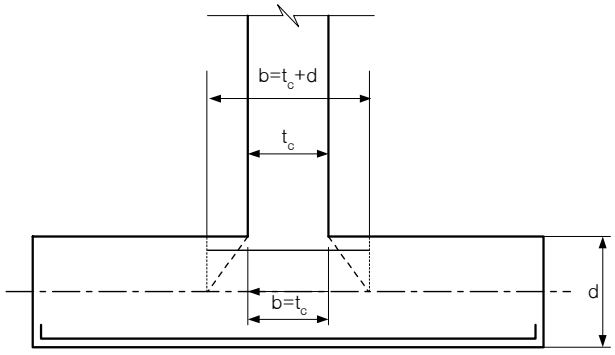
가. 연속확대기초의 캔틸레버보로 작용되는 부분의 철근배근은 독립확대기초 혹은 벽확대기초에 준한다.

나. 연속확대기초부는 연속보로 하여 ①항의 가.에 준해서 구한 철근량 A_{S2}(유효폭을고려), A_{S3}(전단면 유효)를 ①항의 나., 다.를 바탕으로 하여 배근한다.

③ 윗면 철근의 배치, 주철근의 배근방향 및 말뚝에 인발력이 생기는 경우의 주철근의 배치는 ①항의 라., 마. 및 바.에 준한다.



<그림 509.43> 확대기초 응력 계산상의 유효폭

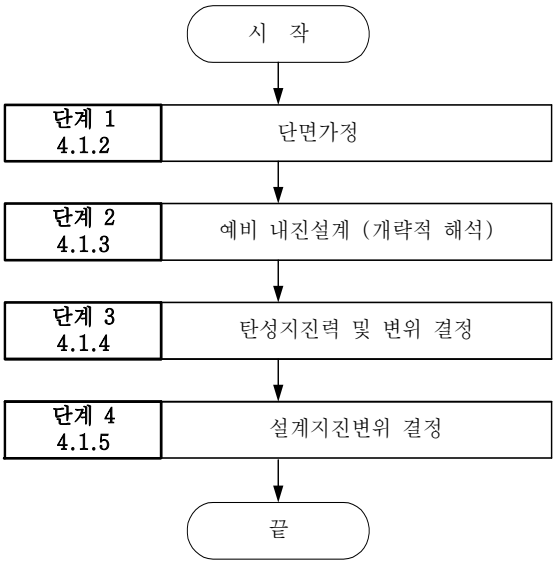


<그림 509.44> 확대기초 윗면 주철근 응력계산상의 유효폭

509.4 내진설계

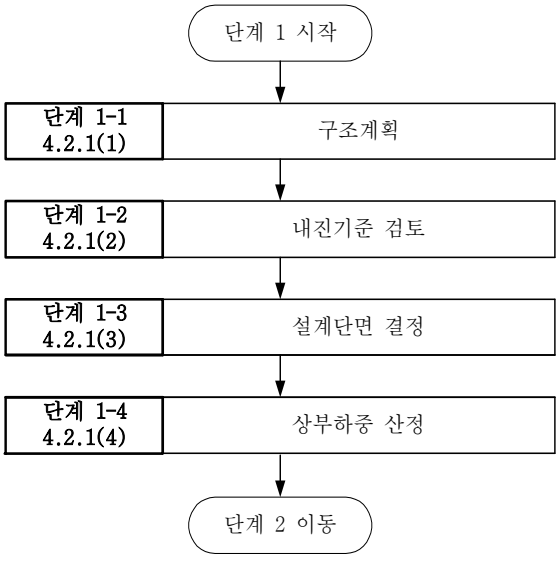
4.1 설계단계 흐름도

4.1.1 주설계단계



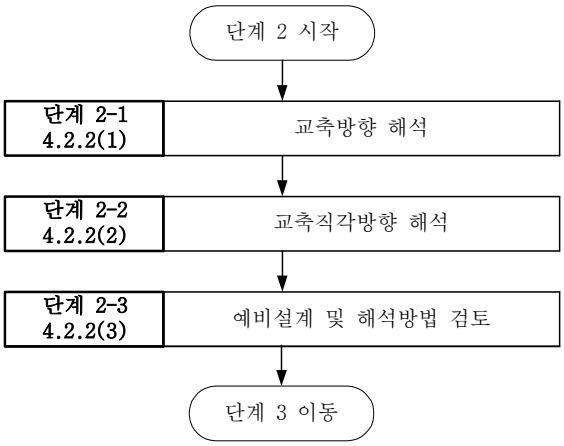
<그림 509.45> 주설계흐름도

4.1.2 [단계 1] 단면가정



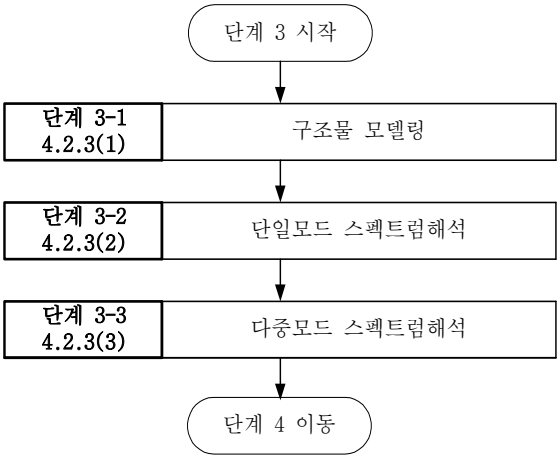
<그림 509.46> 단면가정

4.1.3 [단계 2] 예비내진설계(개략적 해석)



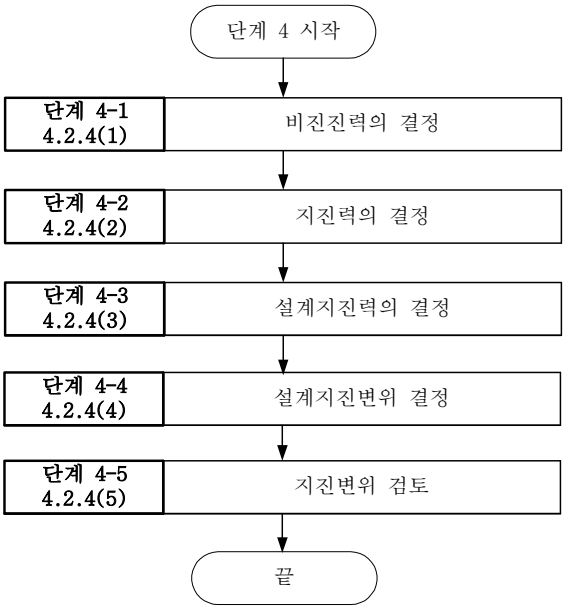
<그림 509.47> 예비내진설계(개략적 해석)

4.1.4 [단계 3] 탄성지진력 및 변위결정



<그림 509.48> 탄성지진력 및 변위결정

4.1.5 [단계 4] 설계지진변위 결정

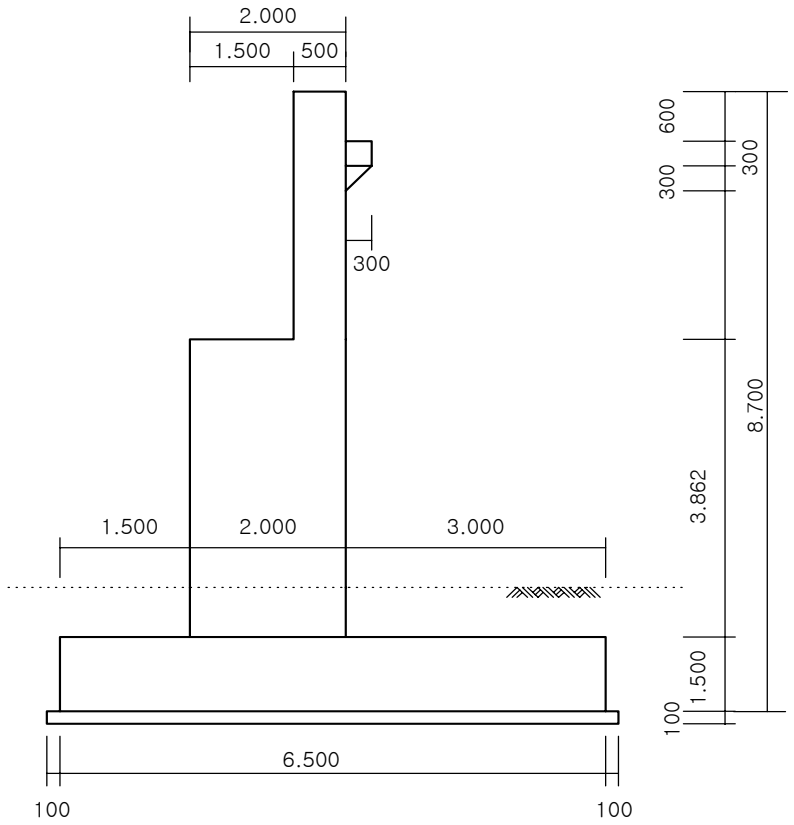


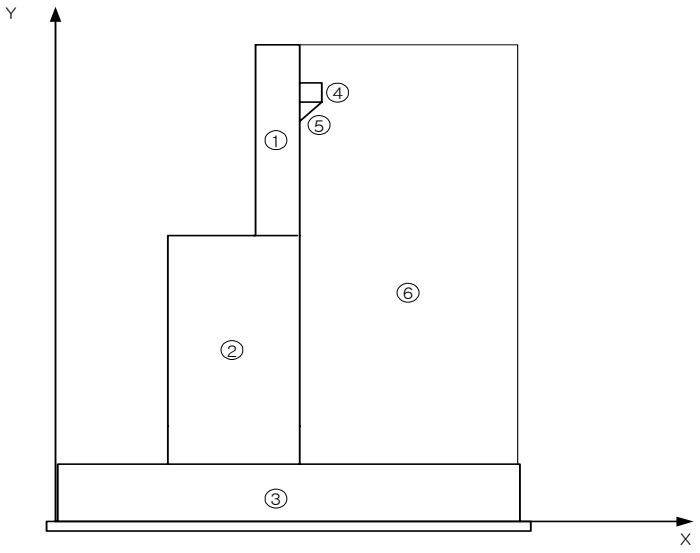
<그림 509.49> 설계지진변위 결정

2.3 역T형식 교대 설계예

2.3.1 [단계 1] 단면가정

- 상부구조
  - 구조형식 : 강상자형교
  - 교량등급 : 1등급 (내진 1등급)
  - 지 간 : 55.0 + 60.0 + 60.0 + 55.0 = 230.0 m
- 하부구조
  - 구체 형식 : 철근 콘크리트 역T형식 교대
  - 기초 형식 : 직접기초
  - 폭 원 : 10.50 m





(1) [단계 1-1] 재료의 특성

설계를 위한 사용재료의 강도를 가정한다. 교량하부구조의 강도는 일반적으로 $f_{ck} = 240 kgf/cm^2$, 철근 $f_y = 3,000 kgf/cm^2$으로 하지만 현지여건과 구조검토 결과에 따라 조정 적용될 수 있다.

(2) [단계 1-2] 교좌장치의 선정

상부구조의 형식을 고려하여 교좌장치를 선정하며 교대의 받침길이를 가정한다. 이때 교좌받침면의 길이는 교좌장치받침 연단길이, 교좌장치 크기, 상부의 탄성 및 지진변위, 지진에 의한 받침지지 길이 등을 복합적으로 고려하여 결정한다.

(3) [단계 1-3] 상부구조 형고 확보

상부구조의 형고와 교좌 받침을 포함하여 교좌장치의 유지관리 높이를 확보한 흉벽의 높이를 가정한다. 경간이 큰 PSC 상자형교나 강상자형교의 경우 형고가 높아 흉벽의 높이가 높고 하중이 크므로 역T형 교대가 일반적이고 형고가 작고 하중이 작은 슬래브교량의 경우 반중력식 교대가 유리하다.

(4) [단계 1-4] 부재의 단면가정

교대의 기초면에서의 흉벽까지의 단면의 치수를 가정

2.3.2 [단계 2] 지진 변위 검토

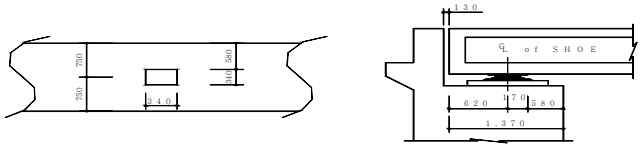
(1) [단계 2-1] 받침 연단길이 검토

교량받침은 연직하중 160 *tonf* Pot받침으로 가정하였고 받침의 크기는 340 *mm* 정도로 연단거리 검토함.

① 연단거리

$$S = 20 + 0.5 \cdot L = 20 + 0.5 \cdot 55$$

$$= 47.5\ cm \text{ 이상 필요}$$



② 160 *tonf* 받침의 연단거리 58.0 *cm* > 47.5 *cm* *O.K*

(2) [단계 2-2] 최대 탄성 변위 검토

지진시에 대한 탄성해석의 종방향 변위는 97.8 *mm*이다.

(3) [단계 2-3] 최소 받침지지 길이

① 받침지지 길이

사각이 90°이므로 받침선과 교축직각방향의 사잇각은 0°

$$N = (200 + 1.67 \times L + 6.66 \times H)(1 + 0.000125 \times \theta^2)\ mm$$

$$= 200 + 1.67 \times 230 + 6.66 \times 12 = 664.0\ mm$$

② 실제 받침지지 길이

$$N = 1,370\ mm > 664.0\ mm \quad O.K$$

(4) [단계 2-4] 신축 이음부 유간 검토

· 독립식교대의 예상 변위 = 250 · A = 38.5 *mm*

· 지진시 최대 탄성 변위 = 97.8 *mm*

따라서, 신축 이음부 유간 130 *mm* 사용.

2.3.3 [단계 3] 받침부 설계

(1) [단계 3-1] 받침설계

교량받침은 Pot받침으로 가정하였고 연직하중 160 *tonf* 용량의 Pot받침은 32 *tonf* 내외의 수평저항력을 가진다.

· 160 *tonf* 의 Pot받침의 지진시 허용수평력 = 32.0 *tonf*

· 탄성지진력 : 20.916 *tonf*

(2) [단계 3-2] 내진 장치 설계

· 탄성 받침 허용수평력 32.0 *tonf* > 탄성 지진력 26.145 *tonf*($R=0.8$)

∴ 내진장치 불필요

(3) [단계 3-3] 교좌장치 하면 보강

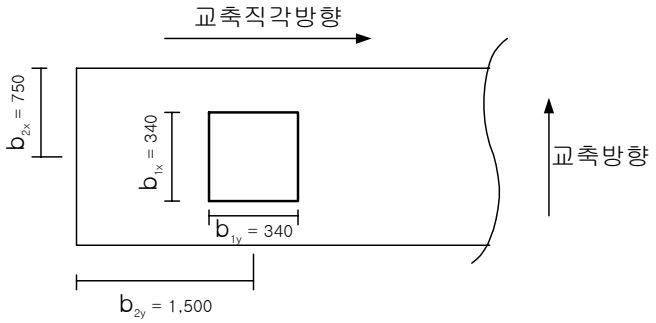
· 교좌받침에 작용하는 하중

- 연직하중 : 79.956 *tonf*(고정하중) + 39.899 *tonf*(활하중) = 119.855 *tonf*
- 수평하중

교축방향 : $79.956 \times 0.1/1.15 = 6.952$ *tonf* (온도변화의 영향고려)

교축직각방향 : $26.145/1.33 = 19.658$ *tonf* (탄성지진력)

① 연직하중에 대한 보강



$b_{1x} = 340\ mm$ $b_{1y} = 340\ mm$

$b_{2x} = 750\ mm$ $b_{2y} = 1,500\ mm$

$b_{cx} = 2 \times b_{2x} = 2 \times 75 = 150\ cm < 5 \times b_{1x} = 170\ cm$

$b_{cy} = 2 \times b_{2y} = 2 \times 150 = 300\ cm > 5 \times b_{1y} = 170\ cm$

$$A_{sx1} = \frac{1}{4}\times\left(1 - \frac{b_{1x}}{b_{cx}}\right)\times\frac{P}{f_{sa}}$$
$$= \frac{1}{4}\times\left(1 - \frac{34}{150}\right)\times\frac{119.855\times10^3}{1,500}$$
$$= 15.44\ cm^2$$

$$A_{sy1} = \frac{1}{4}\times\left(1 - \frac{b_{1y}}{b_{cy}}\right)\times\frac{P}{f_{sa}}$$
$$= \frac{1}{4}\times\left(1 - \frac{34}{170}\right)\times\frac{119.855\times10^3}{1,500}$$
$$= 15.98\ cm^2$$

② 수평하중에 대한 보강

$$A_{sx2} = \frac{H_x}{f_{sa}} = \frac{6.952\times10^3}{1,500}$$
$$= 4.63\ cm^2$$

$$A_{sy2} = \frac{H_y}{f_{sa}} = \frac{19.680\times10^3}{1,500}$$
$$= 13.11\ cm^2$$

③ 철근 보강 범위

· 교축직각방향 철근보강 범위

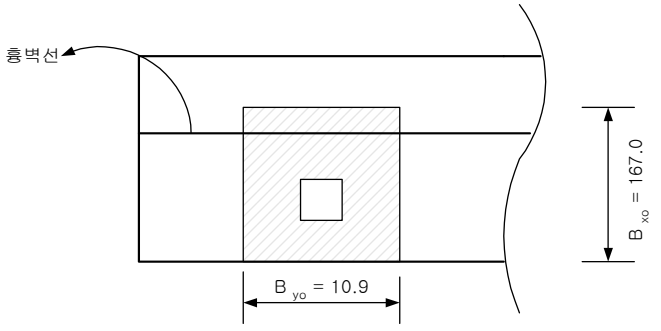
$$B_{xo} = b_{1x} + b_{2y} = 34 + 150 = 184\ cm$$

여기서, 교좌의 중심에서 연단까지 거리 $75\ cm$가 $B_{xo}/2 = 92.0\ cm$ 보다 작으므로 보정 필요

$$B_{xo}' = b_{2x} + \frac{B_{xo}}{2} = 75 + 92 = 167\ cm$$

· 교축방향 철근보강 범위

$$B_{yo} = b_{1x} + b_{2x} = 34 + 75 = 109\ cm$$



④ 철근량 산정

- 교축방향 : $A_{sx} = A_{sx1} + A_{sx2} = 15.44 + 4.63 = 20.07\ cm^2$

- $B_{yo} = 109.0\ cm$ 범위내에서 $D16 - 11EA$

$A_s = 1.968 \times 11 = 21.65\ cm^2$

- 교축 직각 방향 : $A_{sy} = A_{sy1} + A_{sy2} = 15.98 + 13.11 = 29.09\ cm^2$

- $B_{xo} = 167.0\ cm$ 범위내에서 $D16 - 15EA$

$A_s = 1.968 \times 15 = 29.520\ cm^2$

(4) [단계 3-4] 교좌받침 콘크리트 보강

- 교축방향 : $A_{s1} = \frac{H_{sx}}{f_{sa}} = 4.63\ cm^2$

사용철근 $D16 - 5EA$

$A_s = 1.968 \times 5 = 9.93\ cm^2$

- 교축직각방향 : $A_{s2} = \frac{H_{sy}}{f_{sa}} = 11.62\ cm^2$

사용철근 $D16 - 7EA$

$A_s = 1.968 \times 7 = 13.90\ cm^2$

2.3.4 [단계 4] 교대 설계조건

(1) [단계 4-1] 교좌받침 마찰계수

· 받침의 종류 : Pot 받침

· 마찰계수 : 0.10

(2) [단계 4-2] 사용재료 및 강도

재료	단위중량 ($tonf/m^3$)	재료	구분	설계기준강도 (kgf/cm^2)
철근콘크리트	2.5	콘크리트	압축강도	240
뒷채움흙	2.0	철근	항복강도	3,000
물	1.0			

(3) [단계 4-3] 뒷채움의 조건

· 양질이고 충분히 다져지는 재료를 사용

· 단위중량 ($\gamma_t = 2.0\, tonf/m^3$)

· 전단 저항각 ($\phi = 35^\circ$)

(4) [단계 4-4] 기초 저면의 조건 (활동의 조건)

교대의 활동검토를 위한 조건으로 활동면을 기준으로 한다.

· 기초저면 지반의 $N = 30$

· 전단 저항각 $\phi = 15 + \sqrt{15N} = 36.213^\circ$

· 지반 마찰각 $\phi_B = \frac{2}{3}\phi = 24.142^\circ$

· 마찰계수 $\mu = \tan\phi_B = 0.448$

(5) [단계 4-5] 근입지반의 조건

· 지반의 허용 연직지지력은 지반조건, 시공조건 등을 조사후 도로교 설계기준에 따라 결정하여야 하며 예제는 지반의 지지력을 가정하여 작성하였다.

· 최대 지반반력 (가정치)

평상시 : $60\ tonf/m^2$, 지진시 $90\ tonf/m^2$

(6) [단계 4-6] 지진계수 산정

· 내진1등급교량으로 지진구역은 I 구역으로 가속도계수를 산정

· 지진구역계수 0.11 , 위험도계수 1.4

· 가속도계수(A) = 지진구역계수 × 위험도계수 = 0.11×1.4 = 0.154

· 수평지진계수 $k_h = \frac{A}{2} = 0.077$ (변위를 허용하는 교대)

(7) [단계 4-7] 토압계수 산정

- 평상시 토압계수 (coulomb)산정

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta \cdot \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\cdot\sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta)\cdot\cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

- 지진시 토압계수(Mononobe-Okabe) 산정

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\beta \cdot \cos(\delta + \theta + \beta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\cdot\sin(\phi - \alpha - \theta)}{\cos(\beta + \delta + \theta)\cdot\cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

구 분	평상시		지진시	
	안정검토	벽체검토	안정검토	벽체단면
ϕ(deg)	35.0	35.0	35.0	35.0
α(deg)	0	0	0	0
β(deg)	0	0	0	0
δ(deg)	0	11.667	0	0
k_h	0	0	0.077	0.077
토압계수	0.271	0.251	0.314	0.314

(8) [단계 4-8] 상부구조의 반력

· 상부 고정하중 $= \frac{307.304}{10.5} = 29.267\ tonf/m$

· 상부 활하중 $= \frac{161.501}{10.5} = 15.381\ tonf/m$

(9) [단계 4-9] 뒷채움 지표면의 상재하중

· $q_o = 1.0\ tonf/m^2$

2.3.5 [단계 5] 교대 설계력 산정

(1) [단계 5-1] 구체, 뒷채움 자중 및 관성력

구체 및 뒷채움의 자중 및 중심을 구하고 관성력을 수평지진계수비 만큼의 수평력을 계산한다.

(2) [단계 5-2] 고정단 · 가동단 상부하중 및 관성력

상부하중 작용시 설계수평진도 $K_h = A \cdot S = 0.154 \cdot 1.2 = 0.185$

상부하중의 반력 $R = 29.267\ tonf/m$

$F_{m1} = R \cdot K_h . \cos^2\theta = 0$

$F_{m2} = R \cdot f_s . \sin\theta = 29.267 \times 0.1 \times 1.0 = 29.267$

($K_h . \sin\theta = 0.185 > f_s = 0.1$ 일 때)

관성력 $F_m = F_{m1} + F_{m2} = 29.267\ tonf/m$

구분	번호	체적	연직력	관성력	팔길이		모멘트	
		m^3	*tonf*	*tonf*	수평 X_i	수직 Y_i	M_x	M_y
구체	①	1.669	4.173	0.321	3.25	7.031	13.561	2.259
	②	7.724	19.310	1.487	2.50	3.431	48.275	5.101
	④	0.090	0.225	0.017	3.65	7.950	0.821	0.138
	⑤	0.045	0.113	0.009	3.60	7.700	0.407	0.067
	소계	9.528	23.820	1.834	2.647	4.124	63.062	7.565
기초	③	9.750	24.375	1.877	3.25	0.750	79.219	1.408
흙	ⓐ	21.465	42.930	3.306	5.009	5.083	215.019	16.801
	소계	21.465	42.930	3.306	5.009	5.083	215.019	16.801
총계		40.743	91.125	7.017	-	-	357.300	25.774

여기서 수평지진계수 $k_h = 0.077$

※[도·설 6.4.5]에 의하면 단경간교의 경우 수평지진력의 산정시 가속도계수에 지반의 영향을 고려하여 지반계수를 곱한 값을 사용한다. 연속교 교대의 경우 고정하중에 대한 지진수평력을 구할 경우 지반의 영향을 고려하여 설계수평진도계수를 구하였다.

(3) [단계 5-3] 평상시, 지진시 토압계산

① 안정검토시

· 평상시 토압($H = 8.7\ m$)

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$$
$$= \frac{1}{2} \times 0.271 \times 2.0 \times 8.7^2 \times \cos 0^\circ$$
$$= 20.511\ tonf$$

· 지진시 토압($H = 8.7\ m$)

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \times K_{ae} \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$$
$$= \frac{1}{2} \times 0.314 \times 2.0 \times 8.7^2 \times \cos 0^\circ$$
$$= 23.752\ tonf$$

② 단면검토시

· 평상시 토압($H = 7.2\ m$)

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$$
$$= \frac{1}{2} \times 0.251 \times 2.0 \times 7.2^2 \times \cos 11.667^\circ$$
$$= 12.735\ tonf$$

· 지진시 토압($H = 7.2\ m$)

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \times K_{ae} \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$$
$$= \frac{1}{2} \times 0.314 \times 2.0 \times 7.2^2 \times \cos 0^\circ$$
$$= 16.268\ tonf$$

(4) [단계 5-4] 상부반력에 의한 설계력

구분	수직력	수평력	팔길이		모멘트	
			X	Y	M_x	M_y
고정하중	29.267	2.927	2.250	5.362	65.851	15.693
활하중	15.381	-	2.250	-	34.607	-

(5) [단계 5-5] 하중집계 및 조합

① 평상시 하중집계

구분	수직력	수평력	팔길이		모멘트	
			X	Y	$M_{저항}$	$M_{전도}$
교대구체	23.820	-	2.647	4.124	63.062	-
교대기초	24.375	-	3.250	0.750	79.219	-
배면토사	42.930	-	5.009	5.083	215.019	-
상부고정하중	29.267	-	2.250	5.362	65.851	-
배면토압	-	20.511	6.500	2.900	-	59.483
배면밖의 과재하중	-	2.358	6.500	4.350	-	10.256
과재하중	3.000	-	5.000	-	15.000	-
상부활하중	15.381	-	2.250	-	34.607	-
전도 및 활동 안전 검토	91.125	20.511			357.300	59.483
기초 지지력 안전 검토	138.773	22.869	Mr - Mo = 403.020		472.758	69.738

② 지진시 하중조합

구분	수직력	수평력	팔길이		모멘트	
			X	Y	$M_{저항}$	$M_{전도}$
교대구체	23.820	1.834	2.647	4.124	63.062	7.565
교대기초	24.375	1.877	3.250	0.750	79.219	1.408
배면토사	42.930	3.306	5.009	5.083	215.019	16.801
상부고정하중	29.267	2.927	2.250	5.362	65.851	15.693
배면토압	-	23.752	6.500	4.350	-	103.323
전도 및 활동 안전 검토	120.392	33.696			423.150	144.789
기초 지지력 안전 검토	120.392	33.696	Mr - Mo = 278.361		423.150	144.789

③ 안정 검토시 하중조합

U = 1.0D + 1.0(L + I) + 1.0H

U = 1.0D + 1.0H + 1.0E

④ 단면 검토시 하중조합

U = 1.3D + 2.15(L + I) + 1.7H

U = 1.0D + 1.0H + 1.0E

2.3.6 [단계 6] 안정검토

(1) [단계 6-1] 전도에 대한 안정

① · 평상시(상부구조 설치전, 노면 활하중 비재하시)

$$F_s = \frac{M_{저항}}{M_{전도}} = \frac{357.300}{59.483} = 6.007 > 2.0 \Rightarrow O.K$$

② · 지진시

$$F_s = \frac{M_{저항}}{M_{전도}} = \frac{423.150}{144.789} = 2.923 > 1.5 \Rightarrow O.K$$

(2) [단계 6-2] 활동에 대한 안정

① · 평상시

$$\mu(\text{마찰계수}) = \tan\phi_B = 0.448$$

$$F_s = \frac{\mu \times \text{수직력}}{\text{수평력}} = \frac{0.448 \times 91.125}{20.511} = 1.991 > 1.5 \Rightarrow O.K$$

② ・지진시

μ(마찰계수) $= \tan\phi_B = 0.448$

$$F_s = \frac{\mu\times\text{수직력}}{\text{수평력}} = \frac{0.448\times120.392}{33.696} = 1.59 > 1.20 \Rightarrow O.K$$

(3) [단계 6-3] 지지력에 대한 안정

① 평상시

$$M = V\times\xi$$

$$\Rightarrow 403.020 = 138.773\times\xi$$

$$\therefore\ \xi = 2.904\ m$$

・ 편심거리(e) $= \frac{B}{2} - \xi = \frac{6.50}{2} - 2.904$

$$= 0.346\ m \le \frac{B}{6} = 1.083 \Rightarrow O.K$$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6\cdot e}{B}\right) = \frac{138.773}{6.5}\times\left(1 + \frac{6\times0.346}{6.5}\right) = 28.168\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6\cdot e}{B}\right) = \frac{138.773}{6.5}\times\left(1 - \frac{6\times0.346}{6.5}\right) = 14.531\ tonf/m^2$$

・ 단위 면적당 최대 지반반력

$Q_a = 60\ ton/m^2$ (가정치)

$\therefore Q_{\max} = 28.168 < 60.0\ ton/m^2 \Rightarrow O.K$

② 지진시

$$M = V\times\xi$$

$$\Rightarrow 278.361 = 120.392\times\xi$$

$$\therefore\ \xi = 2.312\ m$$

・ 편심거리(e) $= \frac{B}{2} - \xi = \frac{6.50}{2} - 2.312$

$$= 0.938\ m \le \frac{B}{3} = 2.167 \Rightarrow O.K$$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6\cdot e}{B}\right) = \frac{120.392}{6.5}\times\left(1 + \frac{6\times0.938}{6.5}\right) = 34.557\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6\cdot e}{B}\right) = \frac{120.392}{6.5}\times\left(1 - \frac{6\times0.938}{6.5}\right) = 2.487\ tonf/m^2$$

・ 단위 면적당 최대 지반 반력

$Q_a = 90\ tonf/m^2$ (가정치)

$\therefore Q_{\max} = 34.557 < 90.0\ tonf/m^2 \Rightarrow O.K$

2.3.7 [단계 7] 단면설계

(1) [단계 7-1] 단면력에 의한 배근

① 평상시 ($K_a = 0.251$, 벽체계산높이 $= 7.20\ m$, 작용높이 $(H/3) = 2.40\ m$)

구분	수식	전단력	팔길이	모멘트	하중계수
토압	$\frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta \times 1.7$	21.650	2.400	51.960	1.7
노면하중	$K_a \times Q \times H \times \cos\delta \times 1.7$	3.007	3.600	10.825	1.7
평상시의 단면력		24.657		62.785	극한값

② 지진시 ($K_{ae} = 0.314$, 벽체계산높이 $= 7.20\ m$, 작용높이 $(H/2) = 3.60\ m$)

구분	수식		전단력	팔길이	모멘트	하중계수
토압	$\frac{1}{2} \times K_{ae} \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta \times 1.0$		16.268	3.600	58.565	1.0
상부하중	고정하중 반력고려	29.267	2.927	3.862	11.303	1.0
구체하중	①,②,④,⑤ 관성력	23.820	1.834	2.624	4.814	1.0
지진시의 단면력			21.029		74.681	극한값

③ 설계에 사용하는 단면력

- 극한 모멘트 (M_u) = 74.681 $tonf \cdot m$ ⇒ 내진설계시 단면력 사용
- 극한 전단력 (S_u) = 24.657 $tonf \cdot m$ ⇒ 평상시설계시 단면력 사용
- 사용 철근량 계산

구분	비고	구분	비고
압축강도	240 kgf/cm^2	인장강도	3,000 kgf/cm^2
M_u	74.681 $tonf \cdot m$	감소계수	0.85
폭원	100 cm	높이	200 cm
피복	10 cm	유효높이	190 cm
Req´ A_s	15.507 cm^2	응력깊이(a)	2.280 cm

④ 휨철근 보강

· 사용철근 : $A_s = D19 \times 8.0\,(C.T.C\ 12.5\ cm) = 22.920\ cm^2$

$P_{\min} = 0.182\,\% < \frac{A_s}{bd} = 0.121\,\% < P_{\max} = 2.89\,\%$

$P_{\min} = \frac{0.80\sqrt{f_{ck}}}{f_y} = 0.413\,\%,\ \frac{14}{f_y} = 0.47\,\%$ 중 큰값

$Req'\ A_s \times \frac{4}{3} = 0.182\,\%$ 중 최소값

$P_{\max} = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f_{ck}}{f_y} \times \frac{6,000}{6,000 + f_y} = 2.89\,\%$

⑤ 전단철근 보강

$\frac{1}{2}\phi V_c = \frac{1}{2}\,0.8 \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times bd = 62.401\ tonf > V_n = 24.657\ tonf$

$\therefore$ 전단 철근 보강 불필요

⑥ 벽체 사용성 검토

· 단면력(사용하중)

$$M_{wall} = \frac{62.785}{1.7} = 36.932\ tonf \cdot m$$

· 앞굽판 사용성검토

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3,000\ kgf/cm^2$
M_{wall}	$36.932\ tonf \cdot m$	철근비	0.0012063
탄성계수비(n)	8	중립축비(k)	0.1296
중립축(x)	$26.626\ cm$	A	$250\ cm$
f_s	$886.370\ kgf/cm^2$	t_c	$90.5\ mm$

· 사용철근 : $A_s = D19 \times 8.0\,(C.T.C\ 12.5\ cm) = 22.920\ cm^2$

$\beta_c = \frac{h - x}{d - x} = 1.06\ ,\ D_c = 10.0\ cm$

$\omega_a = 0.005\,t_c = 0.4525\ mm$ (습윤환경)

$\omega = 1.08\,\beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} = 0.1377\ mm < \omega_a \quad O.K$

(2) [단계 7-2] 수평철근 산정

· 사용철근

$A_s = D22 \times 6.667 + D22 \times 6.667 = 51.616\ cm^2$

:앞, 뒤 $C.T.C\ 15.0\ cm$로 배근

$P_{\min} = 0.25\% < \frac{A_s}{bh} = 0.258\% \Rightarrow O.K$

(3) [단계 7-3] 흉벽 설계

① 벽체(토압, 노면 활하중)의 계산 높이 H=3.338 m , 마찰각(δ) = 11.667°

구분	수식	전단력	팔길이	모멘트	하중계수
토압	$\frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta \times 1.7$	4.653	1.113	5.179	1.7
노면하중	$11.46 \times K_a \times 1.7$	4.888	2.978	14.556	1.7
평상시의 단면력		9.541		19.735	극한값

② 사용철근량 계산

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3{,}000\ kgf/cm^2$
M_u	$19.735\ tonf \cdot m$	감소계수	0.85
폭원	$100cm$	높이	$50cm$
피복	$10cm$	유효높이	$40cm$
Req′ A_s	$20.086\ cm^2$	응력깊이	$2.954cm$

③ 휨철근 보강

· 사용철근 : $A_s = D19 \times 8.0\ (C.T.C\ 12.5\ cm) = 22.920\ cm^2$

$P_{\min} = 0.467\% < \frac{A_s}{bd} = 0.573\% < P_{\max} = 2.89\%$

$P_{\min} = \frac{0.80\sqrt{f_{ck}}}{f_y} = 0.413\%,\ \frac{14}{f_y} = 0.47\%$ 중큰값

$Req'\ A_s \times \frac{4}{3} = 0.67\%$

$P_{\max} = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f_{ck}}{f_y} \times \frac{6{,}000}{6{,}000 + f_y} = 2.89\%$

④ 전단철근 보강

$\frac{1}{2}\phi V_c = \frac{1}{2}\times 0.8\times 0.53\times\sqrt{f_{ck}}\times bd = 13.137\ tonf > V_n = 9.541\ tonf$

∴ 전단 철근 보강 불필요

⑤ 흉벽 사용성 검토

· 단면력(사용하중)

$$M_{wall} = \frac{19.735}{1.7} = 11.609\ tonf\cdot m$$

· 앞굽판 사용성검토

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3,000\ kgf/cm^2$
M_{wall}	$11.609\ tonf\cdot m$	철근비	0.00573
탄성계수비(n)	8	중립축비(k)	0.260397
중립축(x)	$10.416\ cm$	A	$250\ cm$
f_s	$1386.61\ kgf/cm^2$	t_c	$90.5\ mm$

· 사용철근 : $A_s = D19\times 8.0\,(C.T.C\ 12.5\ cm) = 22.920\ cm^2$

$\beta_c = \frac{h-x}{d-x} = 1.338$, $D_c = 10.0\ cm$

$\omega_a = 0.005\,t_c = 0.4525\ mm$ (습윤환경)

$\omega = 1.08\,\beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A}\times 10^{-5} = 0.2719\ mm < \omega_a \quad O.K$

⑥ 수평 철근 산정

· 사용철근

$$A_s = D16\times 3.334 + D16\times 3.334 = 13.243\ cm^2$$

: 앞,뒤 C.T.C 30.0cm로 배근하고 날개벽 철근과 비교하여 배면쪽은 날개벽 철근량 이상으로 보강한다.

(4) [단계 7-4] 기초설계

① 평상시

- 하중계수 : 토압, 상재노면 활하중의 수평력 = 1.70, 고정하중 = 1.3, 활하중 = 2.15

구 분		수직력	수평력	팔길이		모멘트	하중계수
				X	Y		
교대 구체		30.966	-	2.952	2.418	81.980	1.3
교대 기초		31.688	-	3.250	0.750	102.984	1.3
배면 토사		55.809	-	5.009	5.083	279.525	1.3
상부 고정하중		38.047	-	2.250	5.362	85.606	1.3
배면 토압		-	34.869	-	2.900	-101.120	1.7
배면 밖의 과재하중		-	4.008	-	4.350	-17.435	1.7
과재 활하중		6.450	-	5.000	-	32.250	2.15
상부 활하중		33.069	-	2.250	-	74.406	2.15
계수 하중	뒷굽판 단면력	118.463	34.869			363.369	상부하중제외
	앞굽판 단면력	196.029	38.877			538.187	상부하중포함
사용 하중	뒷굽판 단면력	91.125	20.511			297.817	사용하중조합
	앞굽판 단면력	138.773	22.869			403.02	사용하중조합

· 뒷굽판의 최대 단면력을 위한 지반반력(상부구조 시공전, 노면 활하중이 없는 경우)

$$363.360 = 118.463 \times \xi \text{ 에서 } \xi = 3.067\ m$$

· 편심거리 $= \frac{B}{2} - \xi = 3.250 - 3.067 = 0.183 < \frac{B}{6} = 1.083\ m$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{118.463}{6.5} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.183}{6.5}\right) = 21.304\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{118.463}{6.5} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.183}{6.5}\right) = 15.146\ tonf/m^2$$

· 앞 굽판의 최대 단면력을 위한 지반(상부구조 시공후 활하중 재하시)

$$538.187 = 196.029 \times \xi \text{ 에서 } \xi = 2.745\ m$$

편심거리 $= \frac{B}{2} - \xi = 3.250 - 2.745 = 0.505 < \frac{B}{6} = 1.083\ m$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{196.029}{6.5} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.505}{6.5}\right) = 44.217\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{196.029}{6.5} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.505}{6.5}\right) = 16.100\ tonf/m^2$$

② 지진시 (상부 고정하중 고려)

- 하중계수 : 토압 = 1.0, 고정하중 = 1.0, 지진시 수평전도에 의한 관성력 = 1.0

구 분	수직력	수평력	팔길이		모멘트
			X	Y	
교대 구체	23.820	1.834	2.647	4.124	55.497
교대 구체	24.375	1.877	3.250	0.750	77.811
배면 토사	42.930	3.306	5.009	5.083	198.218
상부 고정하중	29.267	2.927	2.250	5.362	50.158
배면 토압	-	23.752	-	4.350	-103.323
지반 반력을 위한 하중 총계	120.392	33.696	-	-	278.361

$278.361 = 120.392 \times \xi$ 에서 $\xi = 2.312\,m$

편심거리 $= \frac{B}{2} - \xi = 3.250 - 2.312 = 0.938 < \frac{B}{6} = 1.083\,m$

$\Rightarrow$사다리꼴분포 !

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{120.392}{6.5} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.938}{6.5}\right) = 34.557\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{120.392}{6.5} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.938}{6.5}\right) = 2.487\ tonf/m^2$$

③ 사용성 검토시 기초반력

· 하중계수 : 토압, 상재노면 활하중의 수평력 = 1.0, 고정하중 = 1.0, 활하중 = 1.0

- 뒷굽판의 최대 단면력을 위한 지반반력(상부구조 시공전, 노면활하중이 없는 경우)

$297.817 = 91.125 \times \xi$ 에서 $\xi = 3.268\,m$

편심거리 $= \frac{B}{2} - \xi = 3.250 - 3.268 = -0.018 < \frac{B}{6} = 1.083\,m$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{91.125}{6.5} \times \left(1 + \frac{6 \times -0.018}{6.5}\right) = 13.783\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{91.125}{6.5} \times \left(1 - \frac{6 \times -0.018}{6.5}\right) = 14.255\ tonf/m^2$$

뒷굽모멘트 검토 단면에서의 반력 $Q_{mom} = 14.037\ tonf/m^2$

-앞굽판의 최대 단면력을 위한 지반반력(상부구조 시공후 활하중 재하시)

$403.020 = 138.773 \times \xi$ 에서 $\xi = 2.904\,m$

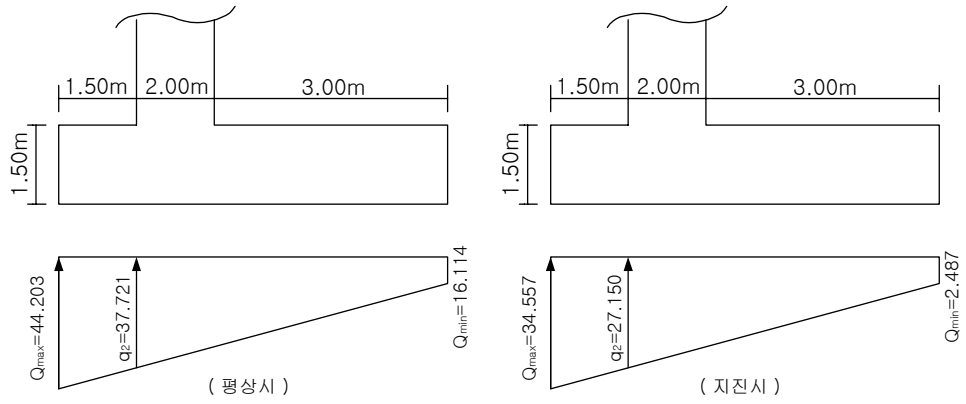
편심거리 $= \frac{B}{2} - \xi = 3.250 - 2.904 = 0.346 < \frac{B}{6} = 1.083\,m$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{138.773}{6.5} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.346}{6.5}\right) = 28.168\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{138.773}{6.5} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.346}{6.5}\right) = 14.531\ tonf/m^2$$

앞굽모멘트 검토 단면에서의 반력 $Q_{mom} = 25.021\ tonf/m^2$

(5) [단계 7-5] 앞굽판 배근



① 평상시의 단면력 계산

- 단면력

$$M_{rea} = 37.721 \times \frac{1.5^2}{2} + \frac{1}{2} \times (44.203 - 37.721) \times 1.5^2 \times \frac{2}{3}$$
$$= 47.297\ tonf \cdot m$$

전단위험단면은 벽체전면에서 $d = 1.4\,m$ 만큼 떨어진 곳에 위치하므로 전단에 대하여 안전하다.

- 기초 앞굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{toe} = 1.3\times1.5\times1.5\times2.50\times\frac{1.5}{2}$$
$$= 5.484\ tonf\cdot m$$

∴ 따라서 $M_u = M_{rea} - M_{rea} = 47.297 - 5.484 = 41.813\ tonf\cdot m$

② 지진시의 단면력 계산

- 단면력

$$M_{rea} = 27.156\times\frac{1.5^2}{2} + \frac{1}{2}\times(34.557 - 27.156)\times1.5^2\times\frac{2}{3}$$
$$= 36.101\ tonf\cdot m$$

- 기초 앞굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{toe} = 1.0\times1.5\times1.5\times2.50\times\frac{1.5}{2}$$
$$= 4.219\ tonf\cdot m$$

∴ 따라서 $M_u = M_{rea} - M_{rea} = 36.101 - 4.219 = 31.882\ tonf\cdot m$

· 평상시와 지진시를 비교한 최대 설계단면력 선택

- 극한모멘트 $M_u = 41.813\ tonf\cdot m$ ⇔ 평상시 설계단면력

- 극한전단력 $S_u = 30.079\ tonf$ ⇔ 평상시 설계단면력

· 사용철근량 계산

구분	비고	구분	비고
압축강도	240 kgf/cm^2	인장강도	3,000 kgf/cm^2
M_u	41.813 $tonf\cdot m$	감소계수	0.85
폭원	100 cm	높이	150 cm
피복	10 cm	유효높이	140 cm
Req′ A_s	11.785 cm^2	응력깊이	1.733 cm

⇒ 휨철근 보강

사용철근 : $A_s = D22\times8.0\,(C.T.C\ 12.5\ cm) = 30.968\ cm^2$

· $P_{\min} = 0.200\,\% < \frac{A_s}{bd} = 0.221\,\% < P_{\max} = 2.89\,\%$

⇒ 전단철근 보강

전단위험단면이 벽제 전면에서 $d = 1.4\,m$ 만큼 떨어진 곳에 위치하므로 전단에 대하여 안전하다.

③ 앞굽판 사용성 검토

· 단면력

$$M_{rea} = 25.021 \times \frac{1.5^2}{2} + \frac{1}{2} \times (28.168 - 25.021) \times 1.5^2 \times \frac{2}{3}$$
$$= 30.509\ tonf \cdot m$$

· 기초 앞굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{toe} = 1.0 \times 1.5 \times 1.5 \times 2.5 \times \frac{1.5}{2} = 4.219\ tonf \cdot m$$

$$\therefore\ M_u = M_{rea} - M_{toe} = 30.509 - 4.219 = 26.290\ tonf \cdot m$$

· 앞굽판 사용성검토

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3{,}000\ kgf/cm^2$
M_{wall}	$11.609\ tonf \cdot m$	철근비	0.00573
탄성계수비(n)	8	중립축비(k)	0.260397
중립축(x)	$10.416\ cm$	A	$250\ cm$
f_s	$1386.61\ kgf/cm^2$	t_c	$90.5\ mm$

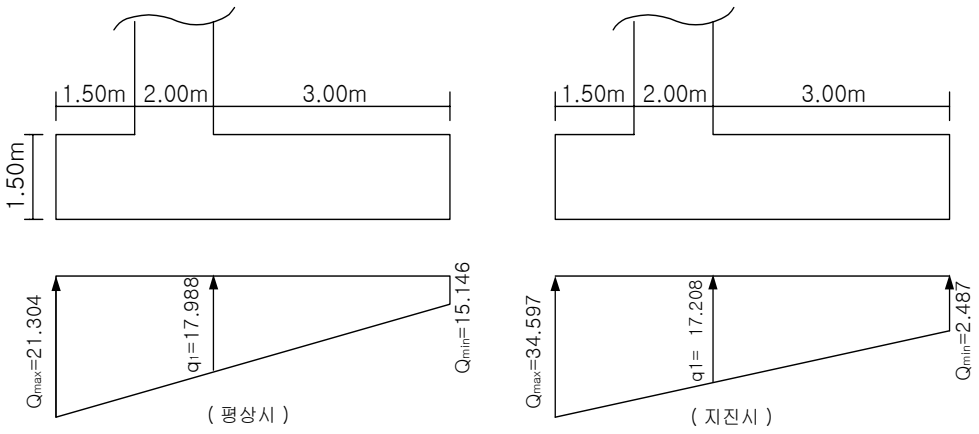
· 사용철근 : $A_s = D22 \times 8.0\,(C.T.C\ 12.5\ cm) = 30.968\ cm^2$

$\beta_c = \frac{h - x}{d - x} = 1.086$, $D_c = 10.0\ cm$

$\omega_a = 0.005\,t_c = 0.445\ mm$ (습윤환경)

$\omega = 1.08\,\beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} = 0.1024\ mm < \omega_a$ $O.K$

(6) [단계 7-6] 뒷굽판의 설계



① 평상시의 단면력 계산

- 단면력

$$M_{rea} = 15.153\times\frac{3.0^2}{2} + \frac{1}{2}\times(17.989 - 15.153)\times3.0^2\times\frac{1}{3}$$

$$= 72.441\ tonf\cdot m$$

$$S_{rea} = (17.989 + 15.153)\times3.0\times\frac{1}{2}$$

$$= 49.712\ tonf$$

- 기초 뒷굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{hel} = 1.3\times3.0\times1.5\times2.50\times\frac{3.0}{2}$$

$$= 21.938\ tonf\cdot m$$

$$S_{hel} = 1.3\times3.0\times1.5\times2.50$$

$$= 14.625\ tonf$$

- 기초 뒷굽판의 배면중량에 의한 단면력

$$M_{sol} = 55.809\times(5.009 - 3.50) = 84.216\ tonf\cdot m$$

$$S_{sol} = 55.809\ tonf$$

$\therefore$ 따라서 $M_u = M_{hel} + M_{sol} - M_{rea}$

$= 21.938 + 84.193 - 72.441 = 33.690\ tonf \cdot m$

$S_u = S_{hel} + M_{sol} - M_{rea}$

$= 14.625 + 55.809 - 49.712 = 20.722\ tonf$

② 지진시의 단면력 계산

- 단면력

$$M_{rea} = 2.487 \times \frac{3.0^2}{2} + \frac{1}{2} \times (17.288 - 2.487) \times 3.0^2 \times \frac{1}{3}$$

$= 33.393\ tonf \cdot m$

$$S_{rea} = (17.288 + 2.487) \times 3.0 \times \frac{1}{2}$$

$= 29.663\ tonf$

- 기초 뒷굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{hel} = 1.0 \times 3.0 \times 1.5 \times 2.50 \times \frac{3.0}{2}$$

$= 16.875\ tonf \cdot m$

$S_{hel} = 1.0 \times 3.0 \times 1.5 \times 2.50$

$= 11.250\ tonf$

- 기초 뒷굽판의 배면중량에 의한 단면력

$M_{sol} = 42.930 \times (5.009 - 3.5)$

$= 64.764\ tonf \cdot m$

$S_{sol} = 42.930\ tonf$

$\therefore$ 따라서 $M_u = M_{hel} + M_{sol} - M_{rea}$

$= 16.875 + 64.764 - 33.393$

$= 48.246\ tonf \cdot m$

$S_u = S_{hel} + M_{sol} - S_{rea}$

$= 11.250 + 42.930 - 29.663$

$= 24.517\ tonf$

· 평상시와 지진시를 비교한 최대 설계단면력 선택

- 극한모멘트 $M_u = 48.246\ tonf \cdot m$ ⇔ 내진설계시의 단면력

- 극한전단력 $S_u = 24.517\ tonf$ ⇔ 내진설계시의 단면력

· 사용철근량 계산

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3,000\ kgf/cm^2$
M_u	$48.246\ tonf \cdot m$	감소계수	0.85
폭원	$100\ cm$	높이	$150\ cm$
피복	$10\ cm$	유효높이	$140\ cm$
Req′ A_s	$13.612\ cm^2$	응력깊이	$2.002\ cm$

⇒ 휨철근 보강

사용철근 : $A_s = D22 \times 8.0\ (C.T.C\ 12.5\ cm) = 30.968\ cm^2$

· $P_{\min} = 0.200\ \% < \frac{A_s}{bd} = 0.221\ \% < P_{\max} = 2.89\ \%$

⇒ 전단철근 보강

$\phi V_c = 0.8 \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times bd = 91.960\ tonf > V_n = 24.517\ tonf$

∴ 전단철근 보강 불필요

③ 뒷굽판 사용성 검토

· 단면력

$$M_{rea} = 14.037 \times \frac{3.0^2}{2} + \frac{1}{2} \times (14.255 - 14.037) \times 3.0^2 \times \frac{2}{3}$$
$$= 63.821\ tonf \cdot m$$

· 기초 뒷굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{hel} = 1.0 \times 3.0 \times 1.5 \times 2.5 \times \frac{3.0}{2} = 16.875\ tonf \cdot m$$

· 기초 뒷굽판의 배면중량에 의한 단면력

$$M_{sol} = 42.930 \times (5.009 - 3.50) = 64.781\ tonf \cdot m$$

∴ $M_u = M_{hel} + M_{sol} - M_{rea} = 16.875 + 64.781 - 63.821 = 17.835\ tonf \cdot m$

· 뒷굽판 사용성검토

구분	비고	구분	비고
압축강도	240 kgf/cm^2	인장강도	3,000 kgf/cm^2
M_{wall}	17.835 $tonf \cdot m$	철근비	0.0022120
탄성계수비(n)	8	중립축비(k)	0.171262
중립축(x)	23.977 cm	A	250 cm
f_s	436.275 kgf/cm^2	t_c	89.0 mm

· 사용철근 : $A_s = D22 \times 8.0 (C.T.C\ 12.5\ cm) = 30.968\ cm^2$

$\beta_c = \frac{h-x}{d-x} = 1.086$, $D_c = 10.0\ cm$

$\omega_a = 0.005 t_c = 0.445\ mm$ (습윤환경)

$\omega = 1.08 \beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} = 0.0694\ mm < \omega_a \quad O.K$

2.3.8 [단계 8] 접속슬래브 설계

(1) [단계 8-1] 지간 및 하중산정

· 접속 슬래브의 지간 길이 $L_s = 6.00\ m$

설계지간 $L_c = 0.7 \times L_s = 4.20\ m$

· 설계 등분포고정하중

접속판 위의 포장 $\omega_{dp} = 2.30 \times 0.20 = 0.460\ tonf/m$

접속판의 자중 $\omega_{dw} = 2.50 \times 0.40 = 1.000\ tonf/m$

- 설계모멘트의 계산

· 고정하중 $\omega_d = \omega_{dp} + \omega_{dw} = 1.460\ tonf/m$

$$M_d = \frac{\omega_d \times L_c^2}{8} = 3.219\ tonf \cdot m$$

· 활하중(DB-24)

충격계수 $i = \frac{15}{40 + L_c} = 0.339 > 0.3 \therefore i = 0.3$

윤하중 분포폭 $E = 1.20 + 0.06 \times L_c = 1.420 < 2.1\ m \therefore E = 1.420$

슬래브 단위폭에 작용하는 윤하중

$$P_s = \frac{P_r}{E} = \frac{9.6}{1.4} = 6.612\ tonf$$

$$M_l = \frac{1}{4} \times P_s \times L_c (1 + i)$$

$$= \frac{1}{4} \times 6.612 \times 4.2 \times (1 + 0.3)$$

$$= 9.025\ tonf \cdot m$$

· 모멘트 합계

$$M_u = 1.3 \times M_d + 2.15 \times M_l = 23.588\ tonf \cdot m$$

(2) [단계 8-2] 주철근 산정

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3{,}000\ kgf/cm^2$
M_u	$23.588\ tonf \cdot m$	감소계수	0.85
폭원	$100cm$	높이	$40cm$
피복	$8cm$	유효높이	$32cm$
Req′ A_s	$31.135cm^2$	응력깊이	$4.579cm$

⇒ 휨철근 보강

사용철근 : $A_s = D25 \times 8.0\ (C.T.C\ 12.5\ cm) = 40.536\ cm^2$

· $P_{\min} = 0.200\ \% < \frac{A_s}{bd} = 1.267\ \% < P_{\max} = 2.89\ \%$

(3) [단계 8-3] 배력근 산정

· 배력철근량 $= \frac{55}{\sqrt{L_c}} = 26.837\ (\%)$

$\therefore 40.536 \times 0.268 = 10.864\ cm^2$

사용철근 : $A_s = D16 \times 6.667\ (C.T.C\ 15.0\ m) = 13.240\ cm^2$

· $P_{\min} = 0.2\ \% < \frac{A_s}{bH} = 0.33\ \%$ $O.K$

(4) [단계 8-4] 받침부 설계

① 하중산정

· 접속 슬래브에서 전달되는 고정하중

$$S_d = \omega_d \times L_c = 1.46 \times 4.2 = 6.12\ tonf$$

· 활하중 : DB-24

$$S_l = 9.6\ tonf$$

$$S_u = 1.3 \times S_d + 2.15 \times S_l = 28.612\ tonf$$

② 제한 전단강도(작은값 선정)

$$S_n : \quad 0.2 \times f_{ck} \times b \times d = 240\ tonf$$

$$56 \times b \times d = 280\ tonf$$

$$\phi S_n = 192\ tonf > S_u = 28.612\ tonf$$

③ 전단마찰 철근의 설계

$$f_y = 3{,}000\ kgf/cm^2,\ f_{ck} = 240\ kgf/cm^2$$

$$\mu = 1.4 \times \lambda = 1.4 \times 1.0 = 1.4 \text{(일체로 타설된 콘크리트)}$$

$$A_{vf} = \frac{S_u}{(\phi \times f_y \times \mu)} = \frac{28.612 \times 10^3}{(0.8 \times 3{,}000 \times 1.4)} = 8.515\ cm^2$$

④ 휨철근의 계산

$$N_{uc} = 0.2 \times S_u = 5.722\ tonf$$

$$M_{uc} = S_u \times a + N_{uc} \times (h - d)$$

$$= 28.612 \times 0.15 + 5.722 \times 0.1 = 4.864\ tonf \cdot m$$

$$a = 0.599\ cm \text{로 가정}$$

$$A_f = \frac{M_{uc}}{\left[\phi \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)\right]} = 4.087\ cm^2$$

$$a = \frac{A_f \times f_y}{(0.85 \times f_{ck} \times b)} = 0.599\ cm$$

⑤ 직접 인장철근의 계산

$$A_n = \frac{N_{uc}}{(\phi \times f_y)} = 2.725\ cm^2$$

⑥ 주 인장철근의 계산

A_s의 단면적은 $(A_f + A_n)$와 $(\frac{2\times A_{vf}}{3} + A_n)$중 큰값

$(A_f + A_n) = 4.078 + 2.725 = 6.803\ cm^2$

$\left(\frac{2\times A_{vf}}{3} + A_n\right) = 5.677 + 2.725 = 8.402\ cm^2$

$A_s = \left[(A_f + A_n), \left(2\times\frac{A_{vf}}{3} + A_n\right)\right]$중 최대 $\Rightarrow 8.402\ cm^2$

$A_{s-\min} = 0.04\times\frac{f_{ck}}{f_y}\times b\times d = 16.00\ cm^2$

⑦ 전단철근의 계산

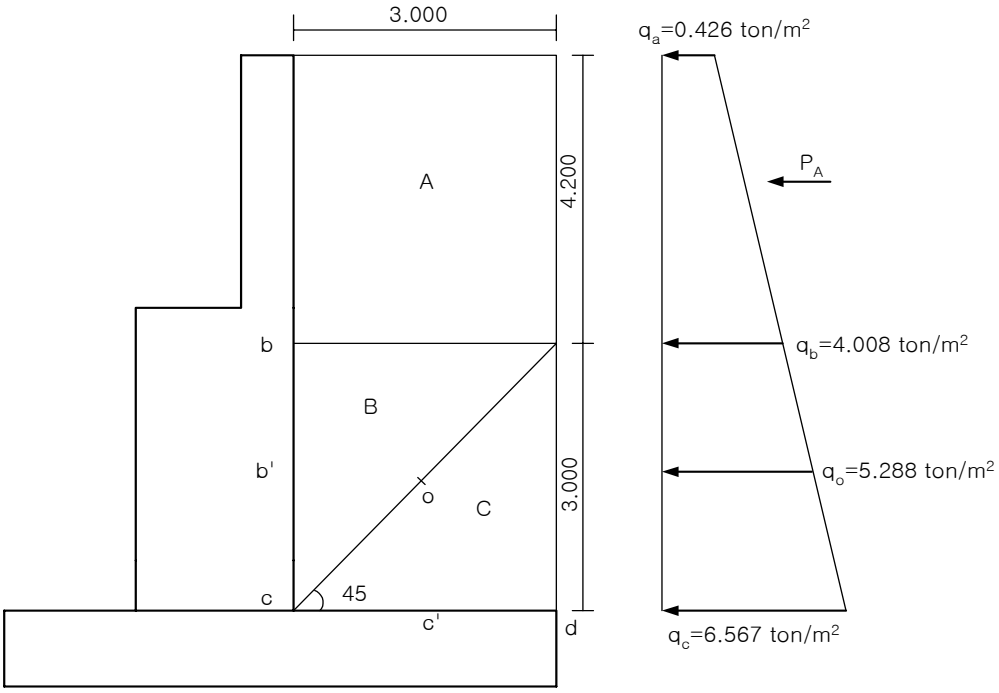
전단철근 A_h는 $0.5\times(A_s - A_n)$이상, A_s에 인접한 유효 깊이의 $2/3d$내에 배치

$A_{hmin} = 0.5\times(A_s - A_n) = 2.838\ cm^2$

사용 철근량 $D16\times 8EA = 15.888\ cm^2$(폐합스터럽) $>$ A_{hmin}

$S_{\max} = \frac{(2/3d)}{\text{철근의 총수}} = \frac{33.33}{2} = 16.667\ cm$

따라서, 폐합 스터럽 간격을 15.0 cm로 배근한다.



2.3.9 [단계 9] 교대 날개벽 계산

(1) [단계 9-1] 토압계수 산정

· 정지토압계수 사용 $K_o = 1 - \sin\phi = 0.426$

(2) [단계 9-2] 단면력 산정

① 측벽형 날개벽 단면력

· 각 위치에서의 토압

$q_a = Q \times K_o = 0.426 \ tonf/m^2$

$q_b = 0.426 + K_o \times \gamma \times 4.2 = 4.008 \ tonf/m^2$

$q_c = 0.426 + K_o \times \gamma \times 7.2 = 6.567 \ tonf/m^2$

$q_o = 0.426 + K_o \times \gamma \times 5.7 = 5.288 \ tonf/m^2$

② 단면 a-b에 대한 단면력

$P_A = (q_a + q_b) \times \frac{1}{2} \times 3.0 \times 4.20$

$= (0.426 + 4.008) \times \frac{1}{2} \times 3.0 \times 4.2 = 27.937 \ tonf$

$M_{ab} = P_A \times \frac{3.0}{2} = 41.909\ tonf \cdot m$

$S_{ab} = P_A = 27.937\ tonf$

∴ 단위 길이당의 설계 극한단면력

$M_{ab} = 1.70 \times \frac{41.909}{4.20} = 16.963\ tonf \cdot m$

$S_{ab} = 1.70 \times \frac{27.937}{4.20} = 11.309\ tonf$

③ 단면 b-b′에 대한 극한단면력

$M_B = S_B \times 3.0 \times \frac{1}{2} = 30.664\ tonf \cdot m$

$S_B = 1.7 \times P_b \times 3.0 = 20.443\ tonf$

④ 단면 c′-d에 대한 극한단면력

$M_c = 1.7 \times \frac{1}{6} \times (2 \times P_b + P_c) \times 3.0^2 = 37.188\ tonf \cdot m$

$S_c = 1.7 \times (P_b + P_c) \times \frac{1}{2} \times 3.0 = 26.967\ tonf$

(3) [단계 9-3] 단면력에 의한 배근

① 단면 a-b의 철근량 계산

구분	비고	구분	비고
압축강도	240 kgf/cm^2	인장강도	3,000 kgf/cm^2
M_u	16.963 $tonf \cdot m$	감소계수	0.85
폭원	100 cm	높이	50 cm
피복	8 cm	유효높이	42 cm
Req′ A_s	16.304 cm^2	응력깊이	2.398 cm

⇒ 휨철근 보강

사용철근 : $A_s = D19 \times 8.0\ (C.T.C\ 12.5\ cm) = 22.920\ cm^2$

· $P_{min} = 0.200\,\% < \frac{A_s}{bd} = 0.546\,\% < P_{max} = 2.890\,\%$

⇒ 전단철근 보강

$\phi V_c = 0.8 \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times bd = 27.588\ tonf > V_n = 11.309\ tonf$

$16.963\ tonf \cdot m$∴ 전단 철근 보강 불필요

⇒ 배력철근량 산정

온도 및 건조수축에 대한 단면의 최소철근비 0.2% 이상 배근

필요 $A_s = 0.002 \times 100 \times 50 = 10\ cm^2$ 이므로

$D16 \times 6.667\ (C.T.C\ 15.0\ cm) = 13.24\ cm^2$ 으로 배근

② 단면 b-b′의 철근량 계산

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3,000\ kgf/cm^2$
M_u	$30.664\ tonf \cdot m$	감소계수	0.85
폭원	$100\ cm$	높이	$50\ cm$
피복	$8\ cm$	유효높이	$42\ cm$
Req′ A_s	$30.231\ cm^2$	응력깊이	$4.446\ cm$

⇒ 휨철근 보강

사용철근 : $A_s = D22 \times 8.0\ (C.T.C\ 12.5\ cm) = 30.968\ cm^2$

· $P_{min} = 0.200\,\% < \frac{A_s}{bd} = 0.737\,\% < P_{max} = 2.890\,\%$

⇒ 배력철근량 산정(단면 a-b와 동일)

⇒ 전단철근 보강

$\phi V_c = 0.8 \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times bd = 27.588\ tonf > V_n = 20.443\ tonf$

∴ 전단 철근 보강 불필요

③ 단면 c′-d의 철근량 계산

구분	비고	구분	비고
압축강도	$240\ kgf/cm^2$	인장강도	$3,000\ kgf/cm^2$
M_u	$37.188\ tonf \cdot m$	감소계수	0.85
폭원	$100\ cm$	높이	$50\ cm$
피복	$8\ cm$	응력깊이	$5.461\ cm$
Reg′ As	$37.183\ cm^2$	유효높이	42cm

⇒ 휨철근 보강

사용철근 : $A_s = D25 \times 8.0\,(C.T.C\,12.5\,cm) = 40.536\,cm^2$

· $P_{\min} = 0.200\,\% < \frac{A_s}{bd} = 0.965\,\% < P_{\max} = 2.890\,\%$

⇒ 배력철근량 산정(단면 a-b와 동일)

⇒ 전단철근 보강

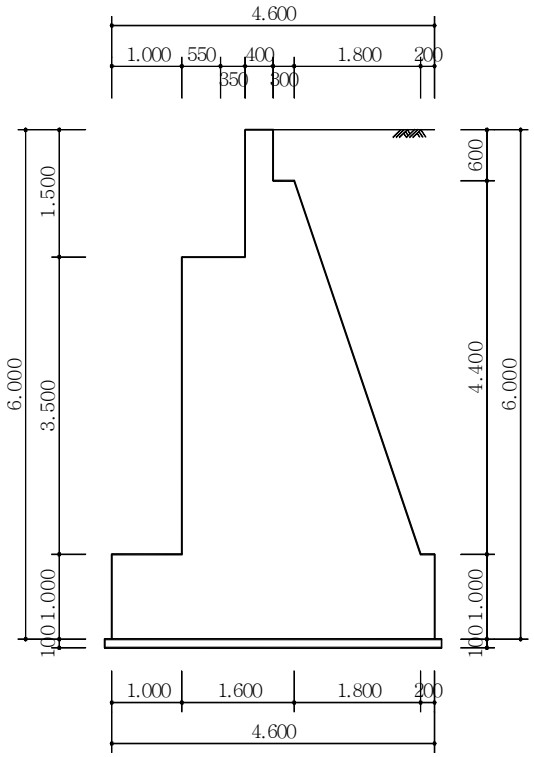
$\phi V_c = 0.8 \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times bd = 27.588\,tonf > V_n = 26.967\,tonf$

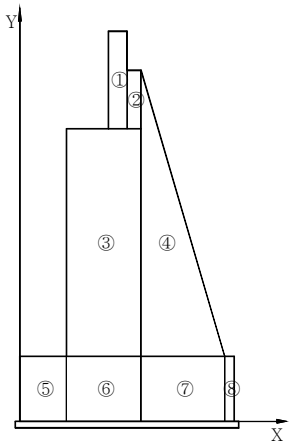
∴ 전단 철근 보강 불필요

2.4 반중력식 교대 설계예

2.4.1 [단계 1] 단면가정

- 상부구조
  - 구조형식 : R.C. 슬래브교
  - 교량등급 : 1등급 (내진 1등급)
  - 지 간 : 11.0 + 14.0 + 14.0 + 11.0 = 50.0 m
- 하부구조
  - 구체 형식 : 콘크리트 반중력식 교대
  - 기초 형식 : 직접기초
  - 폭 원 : 10.50 m





(1) [단계 1-1] 재료의 특성

설계를 위한 사용재료의 강도를 가정한다. 반중력식교대의 강도는 일반적으로 $f_{ck} = 210 kgf/cm^2$, 철근 $f_y = 3,000\ kgf/cm^2$으로 하지만 현지여건과 구조검토 결과에 따라 조정 적용될 수 있다.

(2) [단계 1-2] 교좌장치의 선정

상부구조의 형식을 고려하여 교좌장치를 선정하며 교대의 받침길이를 가정한다. 이때 교좌받침면의 길이는 교좌장치받침 연단길이, 교좌장치 크기, 상부의 탄성 및 지진변위, 지진에 의한 받침지지 길이 등을 복합적으로 고려하여 결정한다.

(3) [단계 1-3] 상부구조 형고 확보

상부구조의 형고와 교좌 받침을 포함하여 교좌장치의 유지관리 높이를 확보한 흉벽의 높이를 가정한다. 경간이 큰 PSC 상자형교나 강상자형교의 경우 형고가 높아 흉벽의 높이가 높고 하중이 크므로 역T형 교대가 일반적이며 형고가 작고 하중이 작은 슬래브교량의 경우 반중력식 교대가 유리하다.

(4) [단계 1-4] 부재의 단면가정

교대의 기초면에서의 흉벽까지의 단면의 치수를 가정

2.4.2 [단계 2] 지진변위 검토

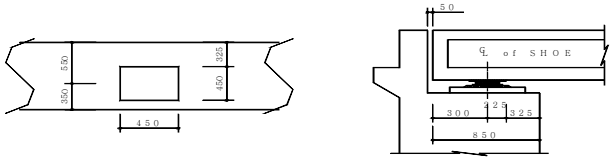
(1) [단계 2-1] 받침 연단길이 검토

교량받침은 연직하중 $65\ tonf$ 탄성받침으로 가정하였고 받침의 크기는 $450\ mm$로 가정하여 연단거리 검토함.

· 연단거리

$$S = 20 + 0.5 \cdot L = 20 + 0.5 \cdot 11$$

$$= 25.5\ cm \text{ 이상 필요}$$



· $65\ tonf$ 받침의 연단거리 $32.5\ cm > 25.5\ cm$ $O.K$

※ 탄성받침의 고무받침과 같은 종류로 연단거리는 앵커로부터 적용하나 일반적인 보강탄성 받침은 앵커와 탄성받침이 분리되어 있어 연단거리 기준이 명확치 않으므로 안전측으로 강재받침과 같이 받침끝에서 정하였음.

(2) [단계 2-2] 최대 탄성 변위 검토

지진시에 대한 탄성 해석시 종방향 변위는 $43\ mm$이다.

(3) [단계 2-3] 최소 받침지지 길이

· 받침지지 길이

사각이 90°이므로 받침선과 교축직각방향의 사잇각은 0°

$$N = (200 + 1.67 \times L + 6.66 \times H)(1 + 0.000125 \times \theta^2)\ mm$$

$$= 200 + 1.67 \times 50 + 6.66 \times 12 = 363.4\ mm$$

· 실제 받침지지 길이

$$N = 850\ mm > 363.4\ mm \quad O.K$$

(4) [단계 2-4] 신축 이음부 유간 검토

· 독립식교대의 예상변위 $= 250 \cdot A = 38.5\ mm$

· 지진시 최대 탄성변위 $= 43\ mm$

· 따라서, 신축 이음부 유간 $50\ mm$ 사용.

2.4.3 [단계 3] 받침부 설계

(1) [단계 3-1] 받침설계

교량받침은 탄성 받침으로 가정하였고 연직하중 $65\ tonf$ 의 용량의 탄성받침은 9.6 $tonf$ 내외의 수평저항력을 가진다.

· $65\ tonf$의 탄성 받침의 지진시 허용 수평력 $= 9.6\ tonf$

· 탄성지진력 : $7.5\ tonf$

(2) [단계 3-2] 내진 장치 설계

· 탄성 받침 허용수평력 $9.6\ tonf$ > 탄성 지진력 $9.37\ tonf(R = 0.8)$

∴ 내진장치 불필요

(3) [단계 3-3] 받침부 보강 철근 산정

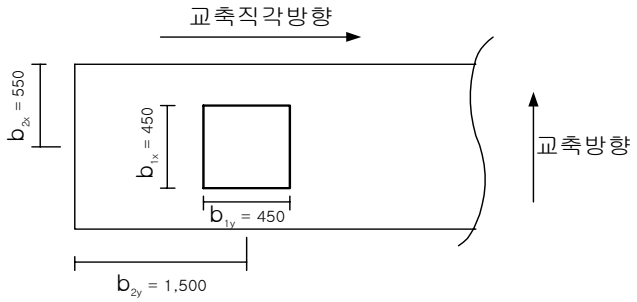
· 교좌받침에 작용하는 하중

- 연직하중 : 21.19 $tonf$ (고정하중) + 24.51 $tonf$ (활하중) = 45.70 $tonf$
- 수평하중

교축방향 : 8.37 / 1.33 = 6.293 $tonf$ (탄성지진력)

교축직각방향 : 9.37/1.33 = 7.045 $tonf$ (탄성지진력)

① 연직하중에 대한 보강



$b_{1x} = 450\ mm \qquad b_{1y} = 450\ mm$

$b_{2x} = 550\ mm \qquad b_{2y} = 1{,}500\ mm$

$b_{cx} = 2\times b_{2x} = 2\times 55 = 110\ cm < 5\times b_{1x} = 225\ cm$

$b_{cy} = 2\times b_{2y} = 2\times 150 = 300\ cm > 5\times b_{1y} = 225\ cm$

$$A_{sx1} = \frac{1}{4} \times \left(1 - \frac{b_{1x}}{b_{cx}}\right) \times \frac{P}{f_{sa}}$$
$$= \frac{1}{4} \times \left(1 - \frac{45}{110}\right) \times \frac{45.70 \times 10^3}{1,500}$$
$$= 4.50\ cm^2$$

$$A_{sy1} = \frac{1}{4} \times \left(1 - \frac{b_{1y}}{b_{cy}}\right) \times \frac{P}{f_{sa}}$$
$$= \frac{1}{4} \times \left(1 - \frac{45}{225}\right) \times \frac{45.70 \times 10^3}{1,500}$$
$$= 6.09\ cm^2$$

② 수평하중에 대한 보강

$$A_{sx2} = \frac{H_x}{f_{sa}} = \frac{6.293 \times 10^3}{1,500}$$
$$= 4.20\ cm^2$$

$$A_{sy2} = \frac{H_y}{f_{sa}} = \frac{7.045 \times 10^3}{1,500}$$
$$= 4.70\ cm^2$$

③ 철근 보강 범위

· 교축직각방향 철근보강 범위

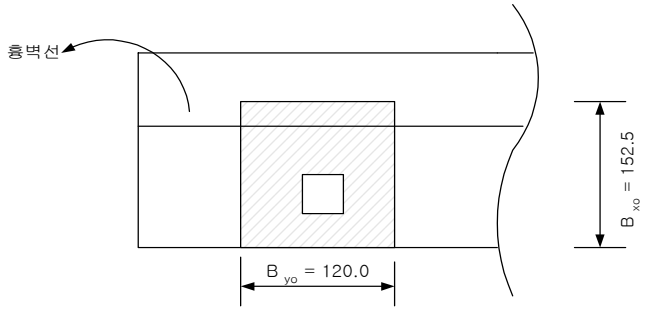
$B_{xo} = b_{1x} + b_{2y} = 45 + 150 = 195\ cm$

여기서, 교좌의 중심에서 연단까지 거리 $55\ cm$가 $B_{xo}/2 = 97.5\ cm$ 보다 작으므로 보정 필요.

$$B_{xo}' = b_{2x} + \frac{B_{xo}}{2} = 55 + 97.5 = 152.5\ cm$$

· 교축방향 철근보강 범위

$B_{yo} = b_{1x} + b_{2x} = 45 + 75 = 120\ cm$



④ 철근량 산정

- 교축방향 : $A_{sx} = A_{sx1} + A_{sx2} = 4.50 + 3.72 = 8.22\ cm^2$

- $B_{yo} = 120.0\ cm$ 범위내에서 $D13 - 8EA$

$A_s = 1.267 \times 8 = 10.136\ cm^2$

- 교축 직각 방향 : $A_{sy} = A_{sy1} + A_{sy2} = 6.09 + 4.17 = 10.26\ cm^2$

- $B_{xo} = 152.5\ cm$ 범위내에서 $D16 - 9EA$

$A_s = 1.267 \times 9 = 11.403\ cm^2$

(4) [단계 3-4] 교좌받침 콘크리트 보강

- 교축방향 : $A_{s1} = \frac{H_{sx}}{f_{sa}} = 4.20\ cm^2$

사용철근 $D13 - 5EA$

$A_s = 1.267 \times 5 = 6.34\ cm^2$

- 교축직각방향 : $A_{s2} = \frac{H_{sy}}{f_{sa}} = 4.70\ cm^2$

사용철근 $D13 - 7EA$

$A_s = 1.267 \times 7 = 8.87\ cm^2$

2.4.4 [단계 4] 교대 설계 조건

(1) [단계 4-1] 교좌받침 마찰계수

· 받침의 종류 : 탄성 받침

· 마찰계수 : 0.15

(2) [단계 4-2] 사용재료 및 강도

재료	단위중량 ($tonf/m^3$)	재료	구분	설계기준강도 (kgf/cm^2)
무근콘크리트	2.35	콘크리트	압축강도	210
뒷채움흙	2.0	철근	항복강도	3,000
물	1.0			

(3) [단계 4-3] 뒷채움의 조건

· 양질이고 충분히 다져지는 재료를 사용

· 단위중량 ($\gamma_t = 2.0\, tonf/m^3$)

· 전단 저항각 ($\phi = 35^\circ$)

(4) [단계 4-4] 기초 저면의 조건(활동의 조건)

교대의 활동검토를 위한 조건으로 활동면을 기준으로 한다.

· 마찰계수 $\mu = \tan\phi_B = 0.60$: 암과 콘크리트

(5) [단계 4-5] 근입지반의 조건(지지력의 조건)

· 지반의 허용 연직지지력은 지반 조건, 시공조건 등을 조사후 도로교 설계기준에 따라 결정하여야 하며 예제에서는 지반의 지지력을 가정하여 작성하였다.

· 최대 지반반력 (가정치)

평상시 : $60\ tonf/m^2$, 지진시 $90\ tonf/m^2$

(6) [단계 4-6] 지진 계수 산정

· 내진1등급교량으로 지진구역은 I 구역으로 가속도계수를 산정

· 지진구역계수 0.11 , 위험도계수 1.4

· 가속도계수(A) = 지진구역계수 × 위험도계수 = 0.11×1.4 = 0.154

· 수평지진계수 $k_h = \frac{A}{2} = 0.077$ (변위를 허용하는 교대)

(7) [단계 4-7] 토압계수 산정

- 평상시 토압계수 (coulomb)산정

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta \cdot \cos(\delta + \beta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\cdot\sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta)\cdot\cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

- 지진시 토압계수(Mononobe-Okabe) 산정

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\beta\cos(\delta + \theta + \beta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\cdot\sin(\phi - \alpha - \theta)}{\cos(\beta + \delta + \theta)\cdot\cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

구 분	평상시	지진시
ϕ(deg)	35.0	35.0
α(deg)	22.249	22.249
β(deg)	0	0
δ(deg)	11.667	0
k_h	0	0.077
토압계수	0.444	0.505

(8) [단계 4-8] 상부구조의 반력

· 상부고정사하중 $= \frac{101.670}{10.5} = 9.683\ tonf/m$

· 상부 활하중 $= \frac{121.410}{10.5} = 11.563\ tonf/m$

(9) [단계 4-9] 뒷채움 지표면 상재하중

$q_o = 1.0\ tonf/m^2$

2.4.5 [단계 5] 교대 설계력 산정

(1) [단계 5-1] 구체, 뒷채움 자중 및 관성력

· 구체 및 뒷채움의 자중 및 중심을 구하고 관성력을 수평지진계수비 만큼의 수평력을 계산한다.

구분	번호	체적	연직력	관성력	팔길이		모멘트	
		m^3	tonf	tonf	수평 X_i	수직 Y_i	M_x	M_y
벽체부	①	0.600	1.410	0.109	2.100	5.250	2.961	0.570
	②	0.270	0.635	0.049	2.450	4.950	1.555	0.252
	③	5.600	13.160	1.013	1.800	2.750	23.688	2.787
	④	3.960	9.306	0.717	3.200	2.467	29.779	1.768
	소계	10.430	24.511	1.887	2.366	2.843	29.779	5.366
기초부	⑤	1.000	2.350	0.181	0.500	0.500	1.175	0.090
	⑥	1.600	3.760	0.290	1.800	0.500	6.768	0.145
	⑦	1.800	4.230	0.326	3.500	0.500	14.805	0.163
	⑧	0.200	0.470	0.036	4.500	0.500	2.115	0.018
	소계	4.600	10.810	0.832	2.300	0.500	24.863	0.416
총계		15.030	35.321	2.720	-	-	82.846	5.782

여기서 수평지진계수 $k_h = 0.077$

(2) [단계 5-2] 고정단·가동단 상부하중 및 관성력

· 상부하중 작용 시 설계수평진도 $K_h = A \cdot S = 0.154 \times 1.2 = 0.185$

· 상부하중의 반력 $R = 9.683\ tonf/m$

$F_{m1} = R \cdot K_h . \cos^2\theta = 0$

$F_{m2} = R \cdot f_s . \sin\theta = 9.683 \times 0.15 \times 1.0 = 1.452$

($K_h . \sin\theta = 0.185 > f_s = 0.15$ 일 때)

관성력 $F_m = F_{m1} + F_{m2} = 1.452\ tonf/m$

※ page 509-38과 동일함.

(3) [단계 5-3] 평상시, 지진시 토압계산

① 안정검토시

· 평상시 토압 ($H = 6.0\,m$)

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta + \beta)$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.444 \times 2.0 \times 6.0^2 \times \cos 33.916^\circ$$

$$= 13.250\ tonf$$

· 지진시 토압 ($H = 6.0\,m$)

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \times K_{ae} \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta + \theta)$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.505 \times 2.0 \times 6.0^2 \times \cos 22.249^\circ$$

$$= 16.815\ tonf$$

② 단면검토시

· 평상시 토압 ($H = 5.0m$)

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta + \theta)$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.444 \times 2.0 \times 5.0^2 \times \cos 33.249^\circ$$

$$= 9.201\ tonf$$

· 지진시 토압 ($H = 5.0m$)

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \times K_{ae} \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta + \theta)$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.505 \times 2.0 \times 5.0^2 \times \cos 22.249^\circ$$

$$= 11.677\ tonf$$

(4) [단계 5-4] 상부반력에 의한 설계력

구분	수직력	수평력	팔길이		모멘트	
			X	Y	M_x	M_y
고정하중	9.683	1.452	1.550	4.500	15.008	6.536
활하중	11.563	-	1.550	-	17.922	-

(5) [단계 5-5] 하중집계 및 조합

① 평상시 하중집계

구분	수직력	수평력	팔길이		모멘트	
			X	Y	$M_{저항}$	$M_{전도}$
교대구체	24.511	-	2.366	2.843	57.983	-
교대기초	10.810	-	2.300	0.500	24.863	
상부고정하중	9.683	-	1.550	4.500	15.008	-
배면토압	8.909	13.250	3.833	2.000	34.150	26.500
배면밖의 과재하중	1.485	2.208	3.450	3.000	5.123	6.625
상부활하중	11.563	-	1.550	-	17.922	-
전도 및 활동 안전 검토	44.229	13.250			116.996	26.500
기초 지지력 안전 검토	66.960	15.458	Mr - Mo = 121.925		155.050	33.125

② 지진시 하중조합

구분	수직력	수평력	팔길이		모멘트	
			X	Y	$M_{저항}$	$M_{전도}$
교대구체	24.511	1.887	2.366	2.843	57.983	5.366
교대기초	10.810	0.832	2.300	0.500	24.863	0.416
상부고정하중	9.683	1.452	1.550	4.500	15.008	6.536
배면토압	6.879	16.815	3.450	3.000	23.732	50.445
전도 및 활동 안전 검토	51.882	20.987			121.586	62.763
기초 지지력 안전 검토	51.882	20.987	Mr - Mo = 58.823		121.586	62.763

· 안정 검토시 하중조합

U = 1.0D + 1.0(L + I) + 1.0H

U = 1.0D + 1.0H + 1.0E

· 단면 검토시 하중조합

U = 1.3D + 2.15(L + I) + 1.7H

U = 1.0D + 1.0H + 1.0E

2.4.6 [단계 6] 안정검토

(1) [단계 6-1] 전도에 대한 안정

① · 평상시(상부구조 설치전, 노면 활하중 비 재하시)

$$F_s = \frac{M_{저항}}{M_{전도}} = \frac{116.996}{26.500} = 4.415 > 2.0 \Rightarrow O.K$$

② · 지진시

$$F_s = \frac{M_{저항}}{M_{전도}} = \frac{121.6}{62.763} = 1.937 > 1.5 \Rightarrow O.K$$

(2) [단계 6-2] 활동에 대한 안정

① · 평상시

μ(마찰계수) = $\tan\phi_B = 0.6$ 암과 콘크리트

$$F_s = \frac{\mu \times 수직력}{수평력} = \frac{0.60 \times 44.229}{13.250} = 2.003 > 1.5 \Rightarrow O.K$$

② · 지진시

μ(마찰계수) = $\tan\phi_B = 0.60$ 암과 콘크리트

$$F_s = \frac{\mu \times 수직력}{수평력} = \frac{0.60 \times 51.882}{20.987} = 1.483 > 1.20 \Rightarrow O.K$$

(3) [단계 6-3] 지지력에 대한 안정

① · 평상시

$$M = V \times \xi$$

$$\Rightarrow 121.925 = 66.960 \times \xi$$

$$\therefore \xi = 1.821\,m$$

· 편심거리(e) $= \frac{B}{2} - \xi = \frac{4.60}{2} - 1.821$

$= 0.479\,m \leq \frac{B}{6} = 0.767 \Rightarrow O.K$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{66.960}{4.6} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.479}{4.6}\right) = 23.654 \ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{66.960}{4.6} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.479}{4.6}\right) = 5.459 \ tonf/m^2$$

· 단위 면적당 최대 지반 반력

$Q_a = 60 \ ton/m^2$ (가정치)

$\therefore Q_{\max} = 23.654 < 60.0 \ ton/m^2 \Rightarrow O.K$

② · 지진시

$$M = V \times \xi$$

$$\Rightarrow 58.823 = 51.882 \times \xi$$

$$\therefore \ \xi = 1.134 \ m$$

· 편심거리(e) $= \frac{B}{2} - \xi = \frac{4.60}{2} - 1.134$

$= 1.166 \ m \leq \frac{B}{3} = 1.533 \Rightarrow O.K$

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{51.882}{4.6} \times \left(1 + \frac{6 \times 1.166}{4.6}\right) = 28.436 \ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{51.882}{4.6} \times \left(1 - \frac{6 \times 1.166}{4.6}\right) = -5.878 \ tonf/m^2$$

· 하중의 분포가 삼각형이므로 지반반력을 수정하여 사용한다.

$x = 3 \times (\frac{B}{2} - \text{편심거리}) = 3 \times (\frac{4.6}{2} - 1.166) = 3.401 \ m$

$$Q_{\max} = \frac{2 \times V}{x} = \frac{2 \times 51.882}{3.451} = 30.507 \ tonf/m^2$$

· 단위 면적당 최대 지반반력

$Q_a = 90 \ tonf/m^2$ (가정치)

$\therefore Q_{\max} = 30.507 < 90.0 \ tonf/m^2 \Rightarrow O.K$

2.4.7 [단계 7] 단면검토

(1) [단계 7-1] 단면력에 의한 배근

① 평상시 ($K_a = 0.444$, 벽체계산높이 $= 5.00 \ m$, 작용높이 $(H/3) = 1.667 \ m$)

구분	수식	수직력	전단력	팔길이	모멘트	비고
상부하중	고정하중 반력만을 고려	9.683				
구체하중	설계지반면 이상의 구체	24.511				
토압	$\frac{1}{2}\times K_a\times\gamma\times H^2\times\cos(\delta+\theta)$	6.187	9.201	1.667	15.336	
노면하중	$K_a\times Q\times H\times\cos(\delta+\theta)$	1.237	1.840	2.500	4.601	
평상시의 단면력		41.617	11.042		19.936	

· 휨응력

$$e = \frac{M}{N} = \frac{19.936}{41.617} = 0.479\ m\ \ 47.903\ cm$$

$$A = 34{,}000\ \ cm^2\ ,\quad W = \frac{100\times 340^2}{6} = 1{,}926{,}667\ \ cm^3$$

$$f_{c1} = \frac{N}{A}+\frac{Ne}{W} = 2.259\ kgf/cm^2\ (\text{압축})$$

$$f_{c2} = \frac{N}{A}+\frac{Ne}{W} = 0.189\ kgf/cm^2\ (\text{압축})$$

$f_{c1} = 2.259\ kgf/cm^2 < f_{ca} = 0.25\ f_{ck} = 52.5\ kgf/cm^2$이므로

∴ 철근보강 불필요

· 전단응력

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{11.042\times 10^3}{34{,}000}$$

$$= 0.324\ kgf/cm^2 < \tau_a = 0.25\sqrt{f_{ck}} = 3.621\ kgf/cm^2$$

∴ 철근보강 불필요

② 지진시 ($K_{ae} = 0.505$, 벽체계산높이 $= 5.00\ m$, 작용높이 $(H/2) = 2.50\ m$)

구분	수식	수직력	전단력	팔길이	모멘트	비 고
토압	$\frac{1}{2}\times K_{ae}\times\gamma\times H^2\times\cos(\delta+\theta)$	4.777	11.677	2.500	29.193	
상부하중	고정하중 반력만을 고려	9.683	1.452	3.500	5.084	
구체하중	설계지반면 이상의 구체	24.511	1.887	1.843	3.479	
지진시의 단면력		38.970	15.017		37.755	

· 휨응력

$$e = \frac{M}{N} = \frac{37.755}{38.970} = 0.969\ m = 96.882\ cm$$

$$A = 34{,}000\ cm^2\ ,\quad W = \frac{100\times 340^2}{6} = 1{,}926{,}667\ cm^3$$

$$f_{c1} = \frac{N}{A} + \frac{Ne}{W} = 3.106\ kgf/cm^2 \text{ (압축)}$$

$$f_{c2} = \frac{N}{A} + \frac{Ne}{W} = -0.813\ kgf/cm^2 \text{ (인장)}$$

평상시 $f_{ta} = 0.42\sqrt{f_{ck}} = 6.08\ kgf/cm^2 \le 5.0\ kgf/cm^2$

지진시 $f_{ta}' = f_{ta}\times 1.5 = 7.5\ kgf/cm^2$

$f_{c2} < f_{t'a}'$ 이므로 철근보강 불필요

· 전단응력

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{15.017\times 10^3}{34{,}000} = 0.442\ kgf/cm^2 < \tau'_a = \tau_a\times 1.5$$

∴ 철근보강 불필요

(2) [단계 7-2] 수평철근 산정

· 해당사항 없음

(3) [단계 7-3] 흉벽 설계

· 벽체와 일체형으로 검토 생략

(4) [단계 7-4] 기초설계

① 평상시

구 분	수직력	수평력	팔길이		모멘트
			X	Y	
교대 구체	24.511	-	2.366	2.843	57.983
교대기초	10.810	-	2.300	0.500	24.863
상부 고정하중	9.683	-	1.550	4.500	15.008
배면 토압	8.909	13.250	3.833	2.000	7.651
배면 밖의 과재하중	1.485	2.208	3.450	3.000	-1.502
상부 활하중	11.563	-	1.550	-	17.922
앞굽판 단면력	66.960	15.458			121.925

· 앞 굽판의 최대 단면력을 위한 지반(상부구조 시공후 활하중 재하시)

$121.925 = 66.960 \times \xi$ 에서 $\xi = 1.821\,m$

편심거리 $= \frac{B}{2} - \xi = 2.300 - 1.821 = 0.479 < \frac{B}{6} = 0.767\,m \Rightarrow$ 사다리꼴 분포 !

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{66.960}{4.6} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.479}{4.6}\right) = 23.654\ tonf/m^2$$

$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{66.960}{4.6} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.479}{4.6}\right) = 5.549\ tonf/m^2$$

② 지진시 (상부 고정하중 고려)

구 분	수직력	수평력	팔길이		모멘트
			X	Y	
교대 구체	24.511	1.887	2.366	2.843	52.617
교대기초	10.810	0.832	2.300	0.500	24.447
상부 고정하중	9.683	1.452	1.550	4.500	8.473
배면 토압	6.879	16.815	3.450	3.000	-26.713
지반 반력을 위한 하중 총계	51.882	20.987	-	-	58.823

$58.823 = 51.82 \times \xi$ 에서 $\xi = 1.134\,m$

· 편심거리 $= \frac{B}{2} - \xi = 2.300 - 1.134 = 1.166 > \frac{B}{6} = 0.767\,m \Rightarrow$ 삼각형 분포 !

$$Q_{\max} = \frac{V}{B}\left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{51.882}{4.6} \times \left(1 + \frac{6 \times 1.166}{4.6}\right) = 28.436\ tonf/m^2$$

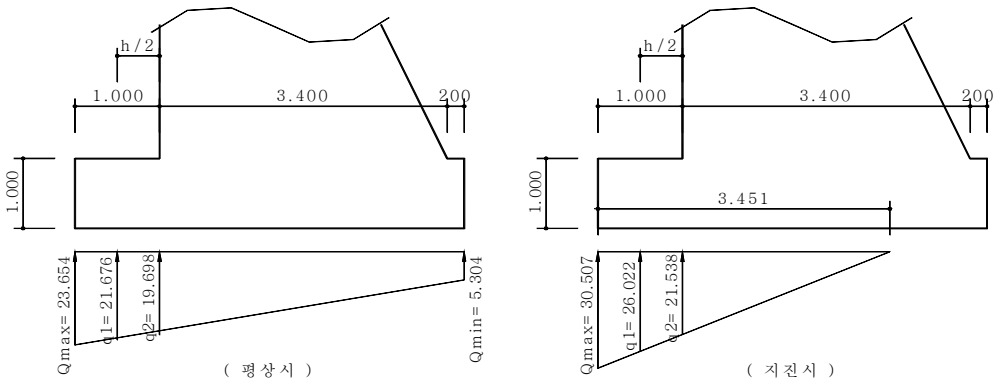
$$Q_{\min} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{51.882}{4.6} \times \left(1 - \frac{6 \times 1.166}{4.6}\right) = -5.878\ tonf/m^2$$

· 하중의 분포가 삼각형이므로 지반반력을 수정하여 사용한다.

$x = 3 \times (\frac{B}{2} - \text{편심거리}) = 3 \times (\frac{4.6}{2} - 1.166) = 3.401\,m$

$$Q_{\max} = \frac{2 \times V}{x} = \frac{2 \times 51.882}{3.401} = 30.507\ tonf/m^2$$

(5) [단계 7-5] 앞굽판 배근



① 평상시의 단면력 계산

- 단면력

$$M_{rea} = 19.698\times\frac{1.0^2}{2} + \frac{1}{2}\times(23.654 - 19.698)\times1.0^2\times\frac{2}{3}$$

$$= 11.168\ tonf\cdot m$$

$$S_{rea} = (23.654 + 21.676)\times(1.0 - 0.5)\times\frac{1}{2}$$

$$= 11.332\ tonf$$

- 기초 앞굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{toe} = 1.0\times1.0\times2.35\times\frac{1.0}{2}$$

$$= 1.175\ tonf\cdot m$$

$$S_{toe} = 1.0\times0.5\times2.35$$

$$= 1.175\ tonf$$

∴ 따라서 $M_u = M_{rea} - M_{rea} = 11.168 - 1.175 = 9.993\ tonf\cdot m$

$S_u = S_{toe} - S_{toe} = 11.332 - 1.175 = 10.157\ tonf$

② 지진시의 단면력 계산

- 단면력

$$M_{rea} = 21.538\times\frac{1.0^2}{2} + \frac{1}{2}\times(30.507 - 21.538)\times1.0^2\times\frac{2}{3}$$

$$= 13.754\ tonf\cdot m$$

$$S_{rea} = (30.507 + 26.022)\times(1.0 - 0.5)\times\frac{1}{2}$$
$$= 14.132\ tonf$$

- 기초 앞굽판의 중량에 의한 단면력

$$M_{toe} = 1.0\times1.0\times2.35\times\frac{1.0}{2}$$
$$= 1.175\ tonf\cdot m$$
$$S_{toe} = 1.0\times0.5\times2.35$$
$$= 1.175\ tonf$$

∴ 따라서 $M_u = M_{rea} - M_{rea} = 13.759 - 1.175 = 12.584\ tonf\cdot m$

$S_u = S_{toe} - S_{toe} = 14.132 - 1.175 = 12.957\ tonf$

· 평상시와 지진시를 비교한 최대 단면력 선택

지진시와 평상시의 모멘트비 12.584 / 9.993 = 1.26과 전단력비 12.957 / 10.157 = 1.28은 모두 지진시의 허용응력 증가계수 1.33미만으로 평상시의 단면력 선택

구분	비고	구분	비고
압축강도	$210\ kgf/cm^2$	인장강도	$3,000\ kgf/cm^2$
f_{ca}	$84\ kgf/cm^2$	f_{sa}	$1,500\ kgf/cm^2$
M	$9.993\ tonf\cdot m$	탄성계수비	9
폭원	$100\ cm$	높이	$150\ cm$
피복	$10\ cm$	유효높이	$140\ cm$
사용철근	$19.100\ cm^2$	응력깊이(x)	$15.955\ cm$
f_c	$14.792\ kgf/cm^2$	f_s	$617.84\ kgf/cm^2$

⇒ 휨철근 보강

사용철근 : $A_s = D19\ (C.T.C\ 15.0\ cm) = 19.100\ cm^2$

· $P_{\min} = 0.200\,\% < \frac{A_s}{bd} = 0.212\,\%$

⇒ 전단철근 보강

$V_c = 0.25\sqrt{f_{ck}}\times bd = 32.605\ tonf > V = 10.157\ tonf$

∴ 전단철근 보강 불필요

(6) [단계 7-6] 뒷굽판의 설계

・뒷굽길이가 20 cm 이하로 해당사항 없음.

2.4.8 **[단계 8] 접속슬래브 설계**

・역 T 형 교대와 동일

2.4.9 **[단계 9] 교대 날개벽 계산**

・해당사항 없음

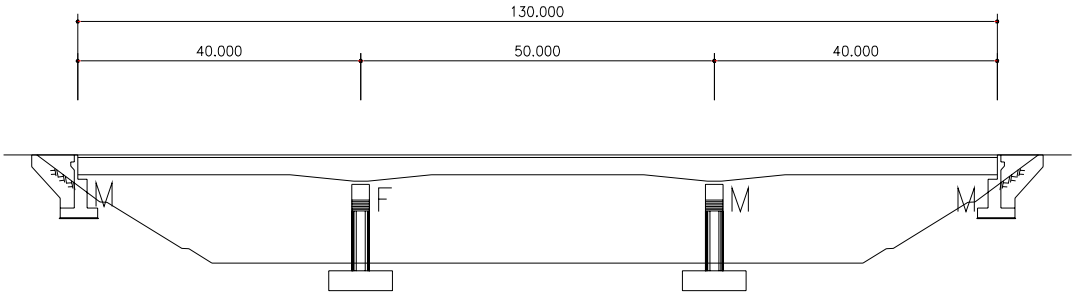
3.3 π형 교각 설계예

3.3.1 [단계 1] 단면제원가정 및 단면제상수 계산

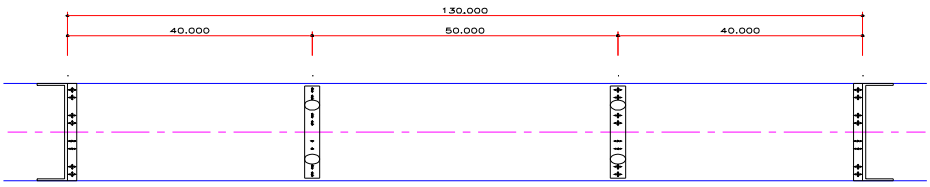
· 교각형식의 결정 및 설계조건

본 교량은 도심지의 관내도로를 횡단하여 개방감의 확보가 필요하고, 장래 교량 하단을 공용시설로 활용할 수 있도록 할 필요가 있으며, 상부형식이 4주형 강상자형교이므로, 미관이 우수하고 상부형식과의 조화미가 있는 원형기둥의 π형 교각을 선정하였다.

· 종단면도



· 평면도



· 형 식 : π형 교각
· 상부구조 : 강상자형교
· 기초형식 : 직접기초
· 활 하 중 : DB-24, DL-24

- 사용재료

· 콘크리트 : $f_{ck} = 240\ kgf/cm^2$

· 철 근 : $f_y = 3,000\ kgf/cm^2$

- 강도 감소계수

· 휨 및 인장부재 : $\phi_f = 0.85$

· 전 단 : $\phi_v = 0.80$

· 축방향 압축부재 : $\phi_c = 0.65$

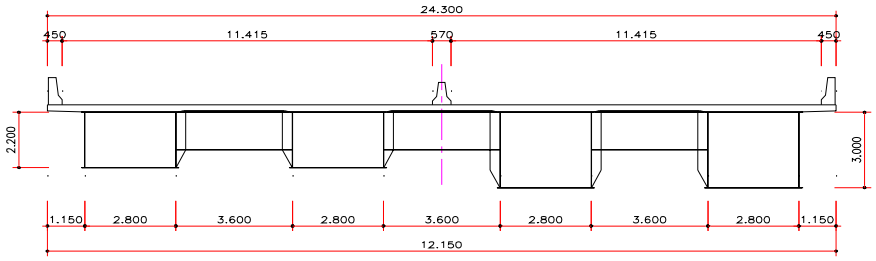
- 재료 특성

· 흙의 단위중량 : 2.0 $tonf/m^3$

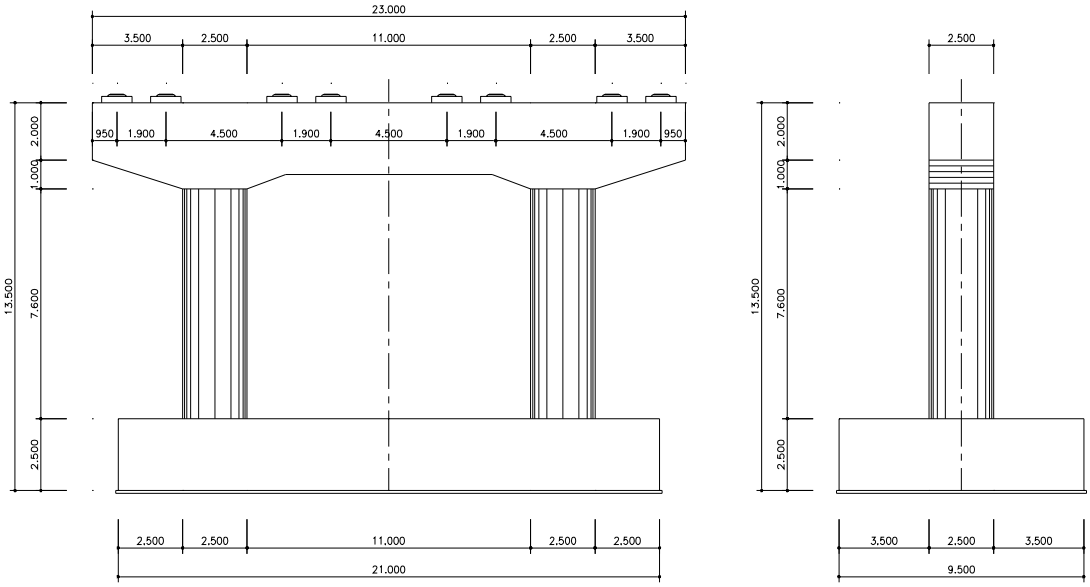
· 콘크리트의 단위중량 : 2.5 $tonf/m^3$

· 흙의 내부마찰각 : $\phi = 35^\circ$

· 상부구조도



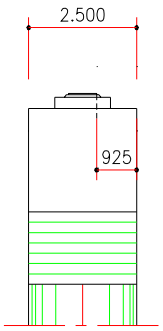
- 하부구조도



(1) [단계 1-1] 받침연단거리 검토

· 거더의 경간길이 100 m 이하 : S = 20+0.5L

$S = 20 + 0.5 \times 60 = 50\ (cm) \ < \ 92.5\ (cm) \quad O.K$



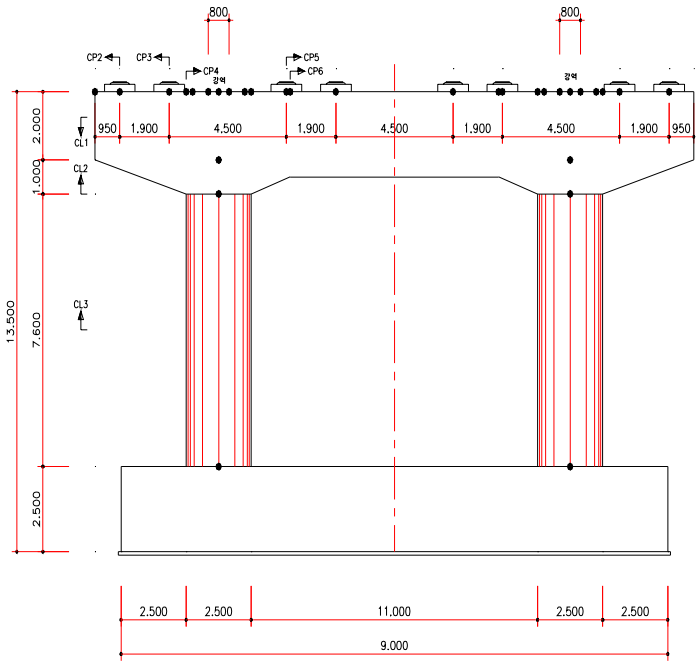
(2) [단계 1-2] 최소받침 지지길이 검토

· 연속 지점부이므로 생략

(3) [단계 1-3] 기둥단면제원 가정

· 경제성과 내구성의 확보를 위하여 지름 2.5 m의 원형 단면으로 가정함.

(4) [단계 1-4] 단면제상수의 계산



SECTION NAME	B(D)	H	A	I22	I33	비 고
CP1	2.500	2.000	5.000	2.604	1.667	
CP2	2.500	2.271	5.677	2.957	2.440	
CP3	2.500	2.814	7.035	3.664	4.642	
CP4	2.500	3.000	7.500	3.906	5.625	
CP5	2.500	2.550	6.375	3.320	3.454	
CP6	2.500	2.500	6.250	3.255	3.255	
RIGD	2.500	3.000	7.500	3.906	5.625	
CL1	11.500	2.500	28.750	316.85	14.934	
CL2	2.500	2.500	6.250	3.255	3.255	
CL3	2.500	-	4.909	1.917	1.917	

3.3.2 [단계 2] 하중계산

(1) [단계 2-1] 고정하중 산정

· 상부구조로부터의 고정하중반력

교좌번호	반력(*tonf*)
1 , 2	185.185
3 , 4	185.050
5 , 6	185.050
7 , 8	185.185

· 교각 자중

2.5 $tonf/m^3$의 값을 프로그램에서 자동재하

(2) [단계 2-2] 활하중 산정

· 상부구조로부터의 활하중반력 (*tonf*)

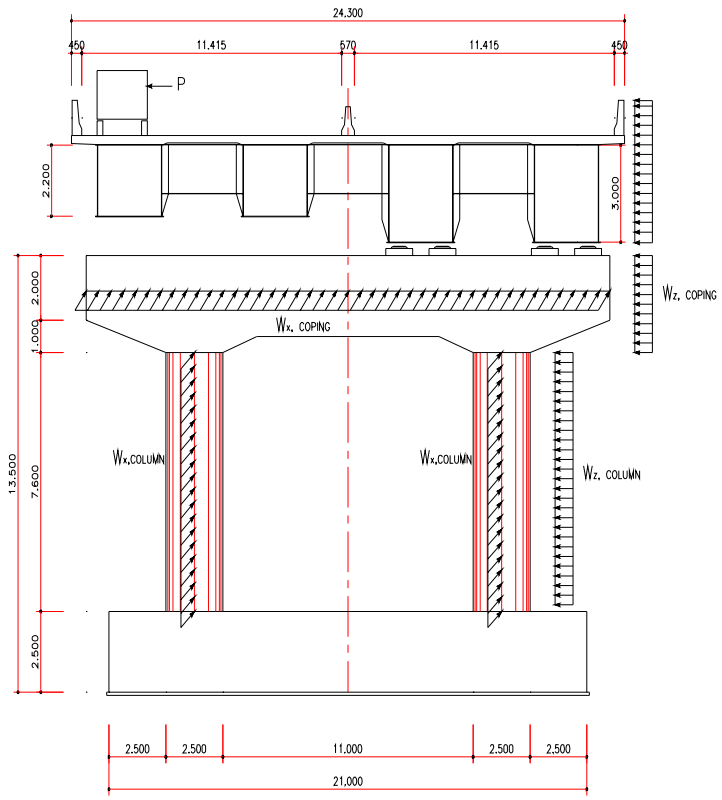
교좌번호	편재하시 반력 (*tonf*)	중앙재하시 반력 (*tonf*)	만재하시 반력 (*tonf*)
1	29.613	0.220	29.443
2	46.176	-1.049	47.006
3	46.884	27.637	42.590
4	24.857	46.347	43.639
5	-1.561	46.347	43.347
6	0.463	27.637	43.298
7	-0.098	-1.049	43.688
8	0.024	0.220	-0.268

(3) [단계 2-3] 풍하중 산정

· 상부구조에 의한 풍하중반력

교좌번호	활하중 비재하시 (*tonf*)		활하중 재하시 (*tonf*)	
	수평반력	수직반력	수평반력	수직반력
1	-	5.575	-	7.207
2	-	4.655	-	6.018
3	22.435	2.001	25.810	2.587
4	22.435	1.087	25.810	1.405
5	-	-1.087	-	-1.405
6	-	-2.001	-	-2.587
7	-	-4.655	-	-6.018
8	-	-5.575	-	-7.207

주) 활하중 재하시 교면상 1.5 m 위치에서 $150kgf/m$의 풍하중을 고려하였음.



① 교각에 작용하는 풍하중

가. 활하중 비재하시

-교축직각방향

· W,coping = 0.300 × 2.0 = 0.600 $tonf/m$

· W,column = 0.150 × 2.0 = 0.300 $tonf/m$

나. 활하중 재하시

-교축직각방향

· W,coping = 1/2 x 0.300 × 2.0 = 0.300 $tonf/m$

· W,column = 1/2 x 0.150 × 2.0 = 0.150 $tonf/m$

(4) [단계 1-4] 온도하중 산정

① 온도변화에 의한 수평변위(기준온도 15℃)

$$\delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$$

$$= 1.2\times10^{-5}\times30\times50.0 = 0.018\ m$$

② 등가수평력

$$\delta = (P \cdot L^{3)}/(3 \cdot E \cdot I)$$

$$P_h = (3 \cdot E \cdot I \cdot \delta)/L^3$$

$$= 3\times 2,323,790\times 1.917\times 2EA\times 0.018/11.0^3 = 361.434\ tonf$$

여기서,

$L = 11.0\ m$

$I = 1.917\ m^4$

$E = 15000\sqrt{f_{ck}} = 1500\sqrt{240} = 2,323,790\ tonf/m^2$

③ 교좌장치 마찰에 의한 수평력

· 상부하중 ; 1480.940 *tonf*

· $P_{h2} = \mu \cdot w = (0.10\times 1,480.940) = 148.094\ tonf$

④ LONGITUDINAL FORCE

· $P_{h2} = \mu \cdot w = (0.10\times 1,480.940) = 148.094\ tonf$

(5) [단계 2-5] 수압의 산정

· 해당사항 없음

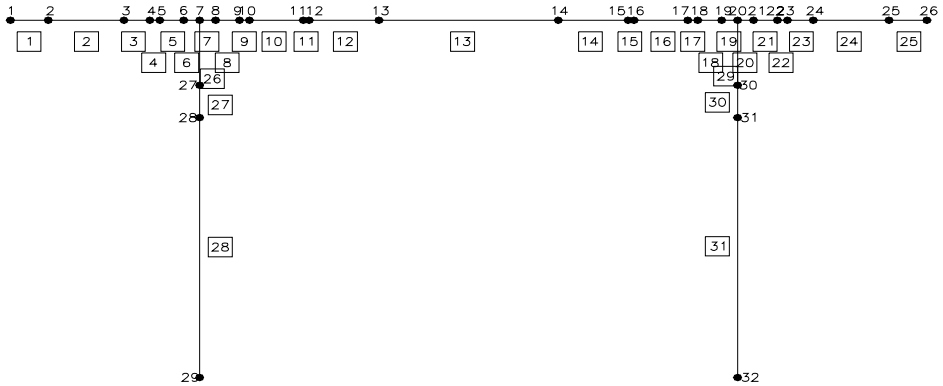
(6) [단계 2-6] 충돌하중의 산정

· 해당사항 없음

3.3.3 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합

(1) [단계 3-1] 해석 모델링 및 하중재하

① 모델링



② JOINT 좌표

1	X=11.50	Y=0	Z=0	17	X=-5.5	Y=0	Z=0
2	X=10.55	Y=0	Z=0	18	X=-5.75	Y=0	Z=0
3	X=8.65	Y=0	Z=0	19	X=-6.35	Y=0	Z=0
4	X=8.00	Y=0	Z=0	20	X=-6.75	Y=0	Z=0
5	X=7.75	Y=0	Z=0	21	X=-7.15	Y=0	Z=0
6	X=7.15	Y=0	Z=0	22	X=-7.75	Y=0	Z=0
7	X=6.75	Y=0	Z=0	23	X=-8.00	Y=0	Z=0
8	X=6.35	Y=0	Z=0	24	X=-8.65	Y=0	Z=0
9	X=5.75	Y=0	Z=0	25	X=-10.55	Y=0	Z=0
10	X=5.50	Y=0	Z=0	26	X=-11.5	Y=0	Z=0
11	X=4.15	Y=0	Z=0	27	X=6.75	Y=0	Z=-2
12	X=4.00	Y=0	Z=0	28	X=6.75	Y=0	Z=-3
13	X=2.25	Y=0	Z=0	29	X=6.75	Y=0	Z=-10.6
14	X=-2.25	Y=0	Z=0	30	X=-6.75	Y=0	Z=-2
15	X=-4.00	Y=0	Z=0	31	X=-6.75	Y=0	Z=-3
16	X=-4.15	Y=0	Z=0	32	X=-6.75	Y=0	Z=-10.6

③ 입력 DATA

```
SYSTEM
LENGTH=M  FORCE=tonf  UP=+Z  PAGE=SECTIONS
```

JOINT

P101 X= 11.500 Y= 0.000 Z= 0.000
P102 X= 10.550 Y= 0.000 Z= 0.000
P103 X= 8.650 Y= 0.000 Z= 0.000
P104 X= 8.000 Y= 0.000 Z= 0.000
P105 X= 7.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P106 X= 7.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P107 X= 6.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P108 X= 6.350 Y= 0.000 Z= 0.000
P109 X= 5.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P110 X= 5.500 Y= 0.000 Z= 0.000
P111 X= 4.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P112 X= 4.000 Y= 0.000 Z= 0.000
P113 X= 2.250 Y= 0.000 Z= 0.000
P114 X= -2.250 Y= 0.000 Z= 0.000
P115 X= -4.000 Y= 0.000 Z= 0.000
P116 X= -4.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P117 X= -5.500 Y= 0.000 Z= 0.000
P118 X= -5.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P119 X= -6.350 Y= 0.000 Z= 0.000
P120 X= -6.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P121 X= -7.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P122 X= -7.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P123 X= -8.000 Y= 0.000 Z= 0.000
P124 X= -8.650 Y= 0.000 Z= 0.000
P125 X=-10.550 Y= 0.000 Z= 0.000
P126 X=-11.500 Y= 0.000 Z= 0.000
P127 X= 6.750 Y= 0.000 Z= -2.000
P128 X= 6.750 Y= 0.000 Z= -3.000
P129 X= 6.750 Y= 0.000 Z=-10.600
P130 X= -6.750 Y= 0.000 Z= -2.000
P131 X= -6.750 Y= 0.000 Z= -3.000
P132 X= -6.750 Y= 0.000 Z=-10.600

```
RESTRAINT
ADD=P129,P132,3 DOF=ALL

MATERIAL
NAME=CONC IDES=C  M=2.5/9.81  W=2.5
T=0  E=2.32E+06  U=.15  A=.00001
NAME=NOWT IDES=C  M=0/9.81  W=0
T=0  E=2.32E+06  U=.15  A=.00001
NAME=RIGD IDES=C  M=2.5/9.81  W=2.5
T=0  E=2.32E+09  U=.15  A=.00001

FRAME SECTION
  NAME=CP1  TYPE=PRISM  MAT=CONC  SH=R T=2.000,2.5
  NAME=CP2  TYPE=PRISM  MAT=CONC  SH=R T=2.271,2.5
  NAME=CP3  TYPE=PRISM  MAT=CONC  SH=R T=2.814,2.5
  NAME=CP4  TYPE=PRISM  MAT=CONC  SH=R T=3.000,2.5
  NAME=CP5  TYPE=PRISM  MAT=CONC  SH=R T=2.550,2.5
  NAME=CP6  TYPE=PRISM  MAT=CONC  SH=R T=2.500,2.5
  NAME=RIGD TYPE=PRISM  MAT=RIGD  SH=R T=3.000,2.5
  NAME=CL1  TYPE=PRISM  MAT=NOWT  SH=R T=2.5,11.5
  NAME=CL2  TYPE=PRISM  MAT=NOWT  SH=R T=2.5,2.5
  NAME=CL3  TYPE=PRISM  MAT=CONC  SH=P T=2.5
  NAME=CP12 TYPE=NONPR  SEC=CP1,CP2  EIVAR=3,1
  NAME=CP21 TYPE=NONPR  SEC=CP2,CP1  EIVAR=3,1
  NAME=CP23 TYPE=NONPR  SEC=CP2,CP3  EIVAR=3,1
  NAME=CP32 TYPE=NONPR  SEC=CP3,CP2  EIVAR=3,1
  NAME=CP34 TYPE=NONPR  SEC=CP3,CP4  EIVAR=3,1
  NAME=CP43 TYPE=NONPR  SEC=CP4,CP3  EIVAR=3,1
  NAME=CP45 TYPE=NONPR  SEC=CP4,CP5  EIVAR=3,1
  NAME=CP54 TYPE=NONPR  SEC=CP5,CP4  EIVAR=3,1
  NAME=CP56 TYPE=NONPR  SEC=CP5,CP6  EIVAR=3,1
  NAME=CP65 TYPE=NONPR  SEC=CP6,CP5  EIVAR=3,1
  NAME=CL12 TYPE=NONPR  SEC=CL1,CL2  EIVAR=3,1
```

```
FRAME
P101   J=P101,P102   SEC=CP12
P102   J=P102,P103   SEC=CP23
P103   J=P103,P104   SEC=CP34
P104   J=P104,P105   SEC=CP4
P105   J=P105,P106   SEC=CP4
P106   J=P106,P107   SEC=RIGD
P107   J=P107,P108   SEC=RIGD
P108   J=P108,P109   SEC=CP4
P109   J=P109,P110   SEC=CP4
P110   J=P110,P111   SEC=CP45
P111   J=P111,P112   SEC=CP56
P112   J=P112,P113   SEC=CP6
P113   J=P113,P114   SEC=CP6
P114   J=P114,P115   SEC=CP6
P115   J=P115,P116   SEC=CP65
P116   J=P116,P117   SEC=CP54
P117   J=P117,P118   SEC=CP4
P118   J=P118,P119   SEC=CP4
P119   J=P119,P120   SEC=RIGD
P120   J=P120,P121   SEC=RIGD
P121   J=P121,P122   SEC=CP4
P122   J=P122,P123   SEC=CP4
P123   J=P123,P124   SEC=CP43
P124   J=P124,P125   SEC=CP32
P125   J=P125,P126   SEC=CP21
P126   J=P107,P127   SEC=CL1    ANG=90
P127   J=P127,P128   SEC=CL12    ANG=90
P128   J=P128,P129   SEC=CL3    ANG=90
P129   J=P120,P130   SEC=CL1    ANG=90
P130   J=P130,P131   SEC=CL12    ANG=90
P131   J=P131,P132   SEC=CL3    ANG=90
```

```
LOAD
NAME=DEAD SW=1.0
TYPE=FORC
ADD=P102,P103,1   UZ=-185.185
ADD=P111,P113,2   UZ=-185.050
ADD=P114,P116,2   UZ=-185.050
ADD=P124,P125,1   UZ=-185.185

NAME=LIVE1   ;편재하시
TYPE=FORC
ADD=P102   UZ=-29.613
ADD=P103   UZ=-46.176
ADD=P111   UZ=-46.884
ADD=P113   UZ=-24.857
ADD=P114   UZ=   1.561
ADD=P116   UZ=  -0.463
ADD=P124   UZ=   0.098
ADD=P125   UZ=  -0.024

NAME=LIVE2   ; 만재하시
TYPE=FORC
ADD=P102   UZ=-29.443
ADD=P103   UZ=-47.006
ADD=P111   UZ=-42.590
ADD=P113   UZ=-43.639
ADD=P114   UZ=-43.347
ADD=P116   UZ=-43.298
ADD=P124   UZ=-43.688
ADD=P125   UZ=   0.268

NAME=LIVE3   ; 중앙부 재하시
TYPE=FORC
ADD=P102   UZ=  -0.220
ADD=P103   UZ=   1.049
ADD=P111   UZ=-27.637
```

ADD=P113 UZ=-46.347
ADD=P114 UZ=-46.347
ADD=P116 UZ=-27.637
ADD=P124 UZ= 1.049
ADD=P125 UZ= -0.220

NAME=WIND-LI ; transverse wind load with Live Load
TYPE=FORC
ADD=P102 UZ=-7.207
ADD=P103 UZ=-6.018
ADD=P111 UX=-25.810 UZ=-2.587
ADD=P113 UX=-25.810 UZ=-1.405
ADD=P114 UZ= 1.405
ADD=P116 UZ= 2.587
ADD=P124 UZ= 6.018
ADD=P125 UZ= 7.207
TYPE=DIST
ADD=P126,P127,1 UX=-0.750/2
ADD=P128,P131,3 UX=-0.750/2/2

NAME=WIND-TR ; transverse wind load without Live Load
TYPE=FORC
ADD=P102 UZ=-5.575
ADD=P103 UZ=-4.655
ADD=P111 UX=-22.435 UZ=-2.001
ADD=P113 UX=-22.435 UZ=-1.087
ADD=P114 UZ= 1.087
ADD=P116 UZ= 2.001
ADD=P124 UZ= 4.655
ADD=P125 UZ= 5.575
TYPE=DIST
ADD=P126,P127,1 UX=-0.750
ADD=P128,P131,3 UX=-0.750/2

```
NAME=WIND-LO ; longitudinal wind load
TYPE=DIST
ADD=P126,P127,1,P129,3  UY=-3.45
ADD=P128,P131,3         UY=-0.750/2

NAME=TEMP
 TYPE=FORC
ADD=P102,P103,1   UY=-18.511
ADD=P111,P113,2   UY=-18.511
ADD=P114,P116,2   UY=-18.511
ADD=P124,P125,1   UY=-18.511

NAME=EQ-LO
TYPE=FORC
ADD=P102,P103,1   UX=    0.000    UY=-222.55/2
ADD=P111,P113,2   UX=-159.170/2 UY=-222.44/2
ADD=P114,P116,2   UX=    0.000    UY=-222.47/2
ADD=P124,P125,1   UX=    0.000    UY=-222.54/2

NAME=EQ-TR
TYPE=FORC
ADD=P102,P103,1   UX=    0.000    UY=-66.84/2
ADD=P111,P113,2   UX=-530.550/2 UY=-66.76/2
ADD=P114,P116,2   UX=    0.000    UY=-66.88/2
ADD=P124,P125,1   UX=    0.000    UY=-66.79/2

COMBO
 ; ULTIMATE LOAD COMBINATION
   NAME=U01                ; COMBINE 1
     LOAD=DEAD       SF=1.3
     LOAD=LIVEFULL   SF=2.15
   NAME=U02                ; COMBINE 1
     LOAD=DEAD       SF=1.3
     LOAD=LIVEECC    SF=2.15
   NAME=U03                ; COMBINE 1
```

```
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=LIVECENT    SF=2.15
NAME=U04                ; COMBINE 2
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=WINDFULL    SF=1.3
NAME=U05                ; COMBINE 3
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=LIVEFULL    SF=1.3
  LOAD=WINDHALF    SF=1.3
NAME=U06                ; COMBINE 3
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=LIVEECC     SF=1.3
  LOAD=WINDHALF    SF=1.3
NAME=U07                ; COMBINE 3
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=LIVECENT    SF=1.3
  LOAD=WINDHALF    SF=1.3
NAME=U08                ; COMBINE 4
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=LIVEFULL    SF=1.3
  LOAD=TEMP        SF=1.3
NAME=U09                ; COMBINE 4
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=LIVEECC     SF=1.3
  LOAD=TEMP        SF=1.3
NAME=U10                ; COMBINE 4
  LOAD=DEAD        SF=1.3
  LOAD=LIVECENT    SF=1.3
  LOAD=TEMP        SF=1.3
NAME=U11                ; COMBINE 5
  LOAD=DEAD        SF=1.25
  LOAD=WINDFULL    SF=1.25
  LOAD=TEMP        SF=1.25
NAME=U12                ; COMBINE 6
  LOAD=DEAD        SF=1.25
```

```
  LOAD=LIVEFULL   SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP       SF=1.25
NAME=U13                  ; COMBINE 6
  LOAD=DEAD       SF=1.25
  LOAD=LIVEECC    SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP       SF=1.25
NAME=U14                  ; COMBINE 6
  LOAD=DEAD       SF=1.25
  LOAD=LIVECENT   SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP       SF=1.25
NAME=U15                  ; COMBINE 7
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVEFULL   SF=2.15
NAME=U16                  ; COMBINE 7
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVEECC    SF=2.15
NAME=U17                  ; COMBINE 7
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVECENT   SF=2.15
NAME=U18                  ; COMBINE 8
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=WINDFULL   SF=1.3
NAME=U19                  ; COMBINE 9
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVEFULL   SF=1.3
  LOAD=WINDHALF   SF=1.3
NAME=U20                  ; COMBINE 9
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVEECC    SF=1.3
  LOAD=WINDHALF   SF=1.3
NAME=U21                  ; COMBINE 9
  LOAD=DEAD       SF=1.0
```

```
  LOAD=LIVECENT   SF=1.3
  LOAD=WINDHALF   SF=1.3
NAME=U22                ; COMBINE 10
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVEFULL   SF=1.3
  LOAD=TEMP       SF=1.3
NAME=U23                ; COMBINE 10
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVEECC    SF=1.3
  LOAD=TEMP       SF=1.3
NAME=U24                ; COMBINE 10
  LOAD=DEAD       SF=1.0
  LOAD=LIVECENT   SF=1.3
  LOAD=TEMP       SF=1.3
NAME=U25                ; COMBINE 11
  LOAD=DEAD       SF=0.95
  LOAD=WINDFULL   SF=1.25
  LOAD=TEMP       SF=1.25
NAME=U26                ; COMBINE 12
  LOAD=DEAD       SF=0.95
  LOAD=LIVEFULL   SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP       SF=1.25
NAME=U27                ; COMBINE 12
  LOAD=DEAD       SF=0.95
  LOAD=LIVEECC    SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP       SF=1.25
NAME=U28                ; COMBINE 12
  LOAD=DEAD       SF=0.95
  LOAD=LIVECENT   SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP       SF=1.25
NAME=U29                ; COMBINE 13
  LOAD=DEAD       SF=1
```

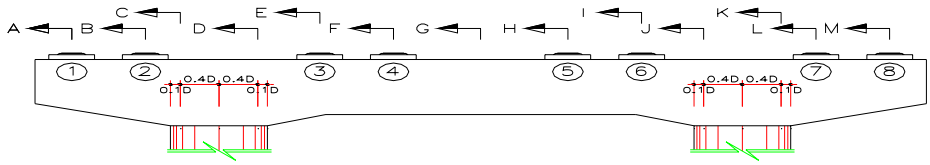
```
      LOAD=EQ-LO       SF=1
    NAME=U30                    ; COMBINE 13
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=EQ-TR       SF=1
;
; summary of comb1-comb30
;
  NAME = MAXMIN TYPE = ENVE
    COMB=U01
    COMB=U02
    COMB=U03
    COMB=U04
    COMB=U05
    COMB=U06
    COMB=U07
    COMB=U08
    COMB=U09
    COMB=U10
    COMB=U11
    COMB=U12
    COMB=U13
    COMB=U14
    COMB=U15
    COMB=U16
    COMB=U17
    COMB=U18
    COMB=U19
    COMB=U20
    COMB=U21
    COMB=U22
    COMB=U23
    COMB=U24
    COMB=U25
    COMB=U26
    COMB=U27
```

```
      COMB=U28
      COMB=U29
      COMB=U30
;
; SERVICE LOAD COMBINATION
;
   NAME=S01                    ; COMBINE 14
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEFULL    SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
   NAME=S02                    ; COMBINE 14
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEECC     SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
   NAME=S03                    ; COMBINE 14
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVECENT    SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
   NAME=S04                    ; COMBINE 15
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=WINDFULL    SF=1
   NAME=S05                    ; COMBINE 16
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEFULL    SF=1
      LOAD=WINDHALF    SF=1
   NAME=S06                    ; COMBINE 16
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEECC     SF=1
      LOAD=WINDHALF    SF=1
   NAME=S07                    ; COMBINE 16
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVECENT    SF=1
      LOAD=WINDHALF    SF=1
   NAME=S08                    ; COMBINE 17
      LOAD=DEAD        SF=1
```

```
      LOAD=WINDFULL   SF=1
      LOAD=TEMP       SF=1
    NAME=S09                  ; COMBINE 18
      LOAD=DEAD       SF=1
      LOAD=LIVEFULL   SF=1
      LOAD=WINDHALF   SF=1
      LOAD=TEMP       SF=1
    NAME=S10                  ; COMBINE 18
      LOAD=DEAD       SF=1
      LOAD=LIVEECC    SF=1
      LOAD=WINDHALF   SF=1
      LOAD=TEMP       SF=1
    NAME=S11                  ; COMBINE 18
      LOAD=DEAD       SF=1
      LOAD=LIVECENT   SF=1
      LOAD=WINDHALF   SF=1
      LOAD=TEMP       SF=1
    NAME=S12                  ; COMBINE 19
      LOAD=DEAD       SF=1
      LOAD=EQ-LO      SF=1
    NAME=S13                  ; COMBINE 19
      LOAD=DEAD       SF=1
      LOAD=EQ-TR      SF=1
;
;summary of comb1-comb13
;
    NAME=SMAXMIN TYPE=ENVE
      COMB=S01
      COMB=S02
      COMB=S03
      COMB=S04
      COMB=S05
      COMB=S06
      COMB=S07
      COMB=S08
```

```
      COMB=S09
      COMB=S10
      COMB=S11
      COMB=S12
      COMB=S13

 OUTPUT
   ELEM=JOINT   TYPE=DISP   LOAD=*
   ELEM=FRAME   TYPE=FORCE   LOAD=*

END
```

(2) [단계 3-2] 하중조건별 단면력 산출



① 코핑부

부재력		모 멘 트				
하중 \ 위치		교좌 2	SEC C	SEC G	SEC K	교좌 7
DEAD		-409.50	-788.75	362.64	-788.75	-409.50
LIVE	FULL	-56.26	-124.47	20.31	-0.02	-0.05
	ECC	-55.94	-124.75	81.75	-38.57	0.51
	CENT	-0.42	-124.75	81.75	-38.57	-0.42
WIND	FULL	-13.69	-30.95	18.05	2.00	13.69
	HALF	-10.59	-30.95	18.05	2.00	10.59
TEMP		-	-	-	-	-

부재력		전 단					
하중 \ 위치		교좌 1	교좌 2	SEC C	SEC D	교좌 3	교좌 4
DEAD		197.86	413.24	429.74	-463.07	-434.97	-220.21
LIVE	FULL	29.61	75.79	75.79	-68.33	-68.33	-21.44
	ECC	29.44	76.45	76.45	-93.93	-93.93	-51.34
	CENT	29.44	76.45	76.45	-93.93	-93.93	-51.34
WIND	FULL	-8.37	-16.73	-16.73	41.61	41.61	38.64
	HALF	-8.37	-16.73	-16.73	41.61	41.61	38.64
TEMP		-	-	-	-	-	-

부재력		전 단 (계 속)					
하중 \ 위치		교좌 5	교좌 6	SEC J	SEC K	교좌 7	교좌 8
DEAD		220.21	434.97	463.07	-429.74	-413.24	-197.86
LIVE	FULL	4.97	4.51	4.51	-0.07	-0.07	0.02
	ECC	35.65	78.95	78.95	-43.42	-43.42	0.27
	CENT	35.65	78.95	78.95	-43.42	-43.42	0.27
WIND	FULL	47.54	59.42	59.42	1.08	1.08	0.54
	HALF	47.54	59.42	59.42	1.08	1.08	0.54
TEMP		-	-	-	-	-	-

② 교좌받침부

반력	위치 / 하중		교좌 1	교좌 2	교좌 3	교좌 4	교좌 5	교좌 6	교좌 7	교좌 8
수직력	DEAD		185.185	185.185	185.050	185.050	185.050	185.505	185.185	185.185
	LIVE	FULL	29.443	47.006	42.590	43.639	43.347	43.298	43.688	-0.268
		ECC	29.613	46.176	46.884	24.857	-1.561	0.463	-0.098	0.024
		CENT	0.220	-1.049	27.637	46.347	46.347	27.637	-1.049	0.220
	WIND	FULL	5.575	4.655	2.001	1.087	-1.087	-2.001	-4.655	-5.575
		HALF	4.420	3.691	1.587	0.862	-0.862	-1.587	-3.691	-4.420
교축 직각	WINDFULL		-	-	22.435	22.435	-	-	-	-
	EQ-TR		-	-	235.340	235.340	-	-	-	-
교축	TEMP		18.511	18.511	18.511	18.511	18.511	18.511	18.511	18.511
	EQ-LO		83.260	83.260	83.215	83.215	83.245	83.245	83.270	83.270

③ 기둥 상단

위치		기 둥 1			기 둥 2		
하중 / 부재력		축력	교축직각 휨	교축 휨	축력	교축직각 휨	교축 휨
DEAD		-930.31	52.38	-	-930.31	-52.38	-
LIVE	FULL	-170.38	43.37	-	-122.37	-59.19	-
	ECC	-144.12	-9.59	-	-4.59	-8.73	-
	CENT	-170.38	43.37	-	-122.37	-59.19	-
WIND	FULL	58.34	-114.11	-	-58.34	-160.26	-
	HALF	58.34	-114.11	-	-58.34	-160.26	-
TEMP		-	-	222.13	-	-	222.13
EQ	LO	70.56	-238.38	1335.00	-70.56	-236.63	1335.00
	TR	235.18	-794.58	400.90	-235.18	-788.75	400.91
EQR*	LO	23.52	-47.68	445.00	-23.52	-47.33	445.00
	TR	78.39	-158.92	133.63	-78.39	-157.75	133.64

주) * 방향별 응답수정계수를 적용한 지진시 부재력

④ 기둥 하단

위치		기 둥 1			기 둥 2		
하중 \ 부재력		축력	교축직각 휨	교축 휨	축력	교축직각 휨	교축 휨
DEAD		-930.31	52.38	-	-930.31	-52.38	-
LIVE	FULL	-170.38	43.37	-	-122.37	-59.19	-
	ECC	-144.12	-9.59	-	-4.59	-8.73	-
	CENT	-170.38	43.37	-	-122.37	-59.19	-
WIND	FULL	58.34	-114.11	-	-58.34	-160.26	-
	HALF	58.34	-114.11	-	-58.34	-160.26	-
TEMP		-	-	222.13	-	-	222.13
EQ	LO	70.56	-238.38	1335.00	-70.56	-236.63	1335.00
	TR	235.18	-794.58	400.90	-235.18	-788.75	400.91
EQR	LO	723.52	-47.68	445.00	-23.52	-47.33	445.00
	TR	78.39	-158.92	133.63	-78.39	-157.75	133.64

⑤ 기초 (기둥 1)

하중경우 \ 부재력		축력	교축 전단	교축직각전단	교축직각 휨	교축 휨
DEAD		-1023.57	-	11.16	-32.40	-
LIVE	FULL	-170.38	-	10.92	-39.62	-
	ECC	-144.12	-	-0.09	-8.89	-
	CENT	-170.38	-	10.92	-39.62	-
WIND	FULL	58.34	-	-43.34	204.47	-
	HALF	58.34	-	-43.34	204.47	-
TEMP		-	-74.04	-	-	784.87
EQ	LO	70.56	-445.00	-80.09	370.32	4717.00
	TR	235.18	-133.64	-266.97	1234.37	1416.55
EQR	LO	70.56	-445.00	-80.09	370.32	4717.00
	TR	235.18	-133.64	-266.97	1234.37	1416.55

⑥ 기초 (기둥 2)

하중경우 \ 부재력		축력	교축 전단	교축직각전단	교축직각 휨	교축 휨
DEAD		-1023.57	-	11.16	-32.40	-
LIVE	FULL	-170.38	-	10.92	-39.62	-
	ECC	-144.12	-	-0.09	-8.89	-
	CENT	-170.38	-	10.92	-39.62	-
WIND	FULL	58.34	-	-43.34	204.47	-
	HALF	58.34	-	-43.34	204.47	-
TEMP		-	-74.04	-	-	784.87
EQ	LO	70.56	-445.00	-80.09	370.32	4717.00
	TR	235.18	-133.64	-266.97	1234.37	1416.55
EQR	LO	70.56	-445.00	-80.09	370.32	4717.00
	TR	235.18	-133.64	-266.97	1234.37	1416.55

여기서,

DEAD : 고정하중
LIVEFULL : 활하중(만재시)
LIVEECC : 활하중(편재시)
LIVECENT : 활하중(중앙부 재하시)
WINDFULL : 횡방향 풍하중 (활하중 비재하시)
WINDHALF : 횡방향 풍하중 (활하중 재하시)
TEMP : 온도하중
EQ-LO : 지진하중(1.0 x 교축 + 0.3 x 교축직각)
EQ-TR : 지진하중(0.3 x 교축 + 1.0 x 교축직각)
EQR-LO : EQ-LO / R
EQR-TR : EQ-TR / R

(3) [단계 3-3] 단면력의 조합

① 극한 하중 검토시[도·설 p32]

·평상시

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	풍하중	온도하중	비 고
COMBINE 1	1.3	2.15			2.2.1
COMBINE 2	1.3		1.3		2.2.2
COMBINE 3	1.3	1.3	1.3		2.2.3
COMBINE 4	1.3	1.3		1.3	2.2.4
COMBINE 5	1.25		1.25	1.25	2.2.5
COMBINE 6	1.25	1.25	1.25	1.25	2.2.6
COMBINE 7	1.0	2.15			2.2.1*
COMBINE 8	1.0		1.3		2.2.2*
COMBINE 9	1.0	1.3	1.3		2.2.3*
COMBINE 10	1.0	1.3		1.3	2.2.4*
COMBINE 11	0.95		1.25	1.25	2.2.5*
COMBINE 12	0.95	1.25	1.25	1.25	2.2.6*

주) * : 최소축력 조합[도·설 p33]

·지진시

하중 / 하중조합	고정하중	지진하중	비 고
COMBINE 13	1.0	1.0	2.2.7

② 사용하중 검토시[도·설 p27]

·평상시

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	풍하중	온도하중	비 고
COMBINE 14	1.0	1.0		1.0	하중조합 1
COMBINE 15	1.0	1.0	1.0		하중조합 2
COMBINE 16	1.0		1.0		하중조합 2
COMBINE 17	1.0		1.0	1.0	하중조합 3
COMBINE 18	1.0	1.0	1.0	1.0	하중조합 3

·지진시

하중 / 하중조합	고정하중	지진하중	비 고
COMBINE 19	1.0	1.0	하중조합 6

(4) [단계 3-4] 위치별 단면력 정리

① 극한하중 조합계수

하중경우 / 하중조합	DEAD	LIVE			WIND		TEMP	EQ1	EQ2	비 고
		FULL	ECC	CENT	FULL	HALF				
조합경우1	1.3	2.15								COMBINE1
조합경우2	1.3		2.15							
조합경우3	1.3			2.15						
조합경우4	1.3				1.3					COMBINE2
조합경우5	1.3	1.3				1.3				COMBINE3
조합경우6	1.3		1.3			1.3				
조합경우7	1.3			1.3		1.3				
조합경우8	1.3	1.3					1.3			COMBINE4
조합경우9	1.3		1.3				1.3			
조합경우10	1.3			1.3			1.3			
조합경우11	1.25				1.25		1.25			COMBINE5
조합경우12	1.25	1.25				1.25	1.25			COMBINE6
조합경우13	1.25		1.25			1.25	1.25			
조합경우14	1.25			1.25		1.25	1.25			
조합경우15	1.0	2.15								COMBINE7
조합경우16	1.0		2.15							
조합경우17	1.0			2.15						
조합경우18	1.0				1.3					COMBINE8
조합경우19	1.0	1.3				1.3				COMBINE9
조합경우20	1.0		1.3			1.3				
조합경우21	1.0			1.3		1.3				
조합경우22	1.0	1.3					1.3			COMBINE10
조합경우23	1.0		1.3				1.3			
조합경우24	1.0			1.3			1.3			
조합경우25	0.95				1.25		1.25			COMBINE11
조합경우26	0.95	1.25				1.25	1.25			COMBINE12
조합경우27	0.95		1.25			1.25	1.25			
조합경우28	0.95			1.25		1.25	1.25			
조합경우29	1.0							1.0		COMBINE13
조합경우30	1.0								1.0	

・NOTE : 활하중시 횡방향 풍하중의 경우 하중을 1/2 로 나누어서 넣었음.

② 사용하중 조합계수

하중경우 / 하중조합	DEAD	LIVE			WIND		TEMP	EQ1	EQ2	비 고
		FULL	ECC	CENT	FULL	HALF				
조합경우1	1.0	1.0					1.0			COMBINE14
조합경우2	1.0		1.0				1.0			
조합경우3	1.0			1.0			1.0			
조합경우4	1.0				1.0					COMBINE15
조합경우5	1.0	1.0				1.0				COMBINE16
조합경우6	1.0		1.0			1.0				
조합경우7	1.0			1.0		1.0				
조합경우8	1.0				1.0		1.0			COMBINE17
조합경우9	1.0	1.0				1.0	1.0			COMBINE18
조합경우10	1.0		1.0			1.0	1.0			
조합경우11	1.0			1.0		1.0	1.0			
조합경우12	1.0							1.0		COMBINE19
조합경우13	1.0								1.0	

③ 코핑

부재력	모멘트						
조합경우	교좌 2	C-C	D-D	G-G	J-J	K-K	교좌 7
조합경우1	345.3	1112.9	1334.5	519.1	1175.4	974.1	284.7
조합경우2	345.7	1111.7	1233.9	400.2	996.2	871.9	285.3
조합경우3	285.7	870.5	1148.1	586.9	1148.1	870.5	285.7
조합경우4	292.1	893.5	841.6	371.7	1134.9	850.5	278.3
조합경우5	327.0	1034.7	1106.8	461.0	1191.9	916.7	279.4
조합경우6	327.2	1034.0	1046.0	389.1	1083.6	854.9	279.8
조합경우7	290.9	888.1	994.1	502.0	1175.4	854.0	280.0
조합경우8	321.6	1017.7	1197.8	460.7	1101.6	933.7	284.9
조합경우9	321.8	1016.9	1137.0	388.8	993.2	871.9	285.2
조합경우10	285.5	871.1	1085.1	501.6	1085.1	871.1	285.5
조합경우11	280.9	859.1	809.3	357.4	1091.2	817.8	267.6
조합경우12	314.5	994.9	1064.2	443.2	1146.1	881.4	268.7
조합경우13	314.7	994.2	1005.8	374.2	1041.9	822.0	269.0
조합경우14	279.8	854.0	955.9	482.6	1130.2	821.2	269.3
조합경우15	279.5	911.7	1106.4	433.4	947.3	772.9	218.8
조합경우16	279.9	910.5	1005.8	314.6	768.1	670.6	219.4
조합경우17	219.8	669.3	920.0	501.2	920.0	669.3	219.8
조합경우18	226.3	692.3	613.5	286.0	906.7	649.2	212.5
조합경우19	261.2	833.5	878.7	375.3	963.8	715.5	213.6
조합경우20	261.4	832.8	817.8	303.4	855.4	653.6	214.0
조합경우21	225.1	686.9	765.9	416.3	947.3	652.8	214.2
조합경우22	255.8	816.4	969.6	375.0	873.4	732.5	219.1
조합경우23	256.0	815.7	908.8	303.1	765.1	670.7	219.4
조합경우24	219.7	669.8	856.9	416.0	856.9	669.8	219.7
조합경우25	215.0	657.9	581.1	271.7	863.1	616.5	201.8
조합경우26	248.6	793.7	836.1	357.6	917.9	680.2	202.9
조합경우27	248.8	793.0	777.6	288.5	813.7	620.7	203.2
조합경우28	213.9	652.7	727.7	397.0	902.1	619.9	203.4
조합경우29	219.4	670.8	364.1	287.7	1152.7	670.8	219.4
조합경우30	219.4	670.8	560.9	292.6	2067.8	670.8	219.4
최대	345.7	1112.9	1334.5	586.9	2067.8	974.1	285.7
최소	213.9	652.7	364.1	271.7	765.1	616.5	201.8

· 극한하중 조합시 (계속)

부재력	전 단									
조합경우	교좌 2	C-C	D-D	E-E	교좌 3	교좌 6	I-I	J-J	K-K	교좌 7
조합경우1	687.6	708.3	779.7	749.0	415.3	387.8	723.0	753.7	637.3	616.6
조합경우2	686.2	706.9	727.7	697.0	354.0	312.1	555.2	586.0	543.8	523.1
조합경우3	521.4	542.2	740.0	709.3	407.6	407.6	709.3	740.0	542.2	521.4
조합경우4	536.5	557.3	558.9	528.2	283.4	332.6	572.2	602.9	530.7	509.9
조합경우5	633.1	653.9	688.0	657.3	357.6	371.4	667.9	698.6	589.9	569.1
조합경우6	632.3	653.0	656.5	625.8	320.6	325.7	566.4	597.1	533.3	512.6
조합경우7	532.7	553.4	663.9	633.2	353.0	383.5	659.5	690.2	532.3	511.6
조합경우8	622.6	643.4	701.1	670.4	372.9	356.2	654.7	685.4	600.4	579.7
조합경우9	621.7	642.5	669.7	639.0	335.8	310.5	553.2	584.0	543.9	523.1
조합경우10	522.1	542.9	677.1	646.4	368.3	368.3	646.4	677.1	542.9	522.1
조합경우11	515.9	535.8	537.4	507.9	272.5	319.8	550.2	579.7	510.3	490.3
조합경우12	608.8	628.7	661.5	632.0	343.9	357.2	642.2	671.7	567.2	547.2
조합경우13	608.0	627.9	631.3	601.7	308.3	313.1	544.6	574.2	512.8	492.9
조합경우14	512.2	532.1	638.4	608.9	339.5	368.7	634.2	663.7	511.9	491.9
조합경우15	566.8	582.8	645.7	622.1	344.2	316.7	596.1	619.7	511.8	495.8
조합경우16	565.4	581.4	593.7	570.1	283.0	241.0	428.3	451.9	418.3	402.3
조합경우17	400.7	416.7	605.9	582.3	336.6	336.6	582.3	605.9	416.7	400.7
조합경우18	415.8	431.7	424.8	401.2	212.3	261.6	445.2	468.9	405.1	389.2
조합경우19	512.4	528.4	553.9	530.3	286.6	300.4	540.9	564.5	464.3	448.4
조합경우20	511.5	527.5	522.5	498.8	249.5	254.6	439.4	463.1	407.8	391.8
조합경우21	411.9	427.9	529.9	506.2	282.0	312.4	532.6	556.2	406.8	390.9
조합경우22	501.9	517.8	567.1	543.5	301.8	285.1	527.7	551.4	474.9	458.9
조합경우23	501.0	517.0	535.6	512.0	264.8	239.4	426.3	449.9	418.3	402.4
조합경우24	401.4	417.4	543.0	519.4	297.2	297.2	519.4	543.0	417.4	401.4
조합경우25	395.1	410.3	403.3	380.9	201.4	248.8	423.2	445.7	384.7	369.6
조합경우26	488.1	503.2	527.5	505.0	272.8	286.1	515.2	537.7	441.7	426.5
조합경우27	487.2	502.4	497.2	474.8	237.2	242.1	417.7	440.1	387.3	372.1
조합경우28	391.5	406.6	504.3	481.9	268.4	297.7	507.2	529.6	386.3	371.2
조합경우29	402.5	418.4	380.6	357.0	170.7	303.2	489.5	513.1	418.4	402.5
조합경우30	402.5	418.4	226.0	202.3	16.0	457.8	644.1	667.7	418.4	402.5
최대	687.6	708.3	779.7	749.0	415.3	457.8	723.0	753.7	637.3	616.6
최소	391.5	406.6	226.0	202.3	16.0	239.4	417.7	440.1	384.7	369.6

④ 사용하중 조합시

부재력	모멘트						
조합경우	교좌 2	C-C	D-D	G-G	J-J	K-K	교좌 7
조합경우1	247.36	782.83	921.37	354.35	847.35	718.27	219.14
조합경우2	247.53	782.26	874.59	299.08	764.01	670.70	219.42
조합경우3	219.60	670.06	834.66	385.87	834.66	670.06	219.60
조합경우4	224.69	687.31	647.42	285.90	872.99	654.21	214.10
조합경우5	251.56	795.95	851.38	354.59	916.85	705.15	214.94
조합경우6	251.72	795.38	804.60	299.32	833.51	657.58	215.22
조합경우7	223.80	683.18	764.68	386.12	904.16	656.94	215.40
조합경우8	224.69	687.31	647.42	285.90	872.99	654.21	214.10
조합경우9	251.56	795.95	851.38	354.59	916.85	705.15	214.94
조합경우10	251.72	795.38	804.60	299.32	833.51	657.58	215.22
조합경우11	223.80	683.18	764.68	386.12	904.16	656.94	215.40
조합경우12	219.39	670.76	364.08	287.73	1152.67	670.76	219.39
조합경우13	219.39	670.76	560.90	292.65	2067.80	670.76	219.39
최대	251.72	795.95	921.37	386.12	2067.80	718.27	219.60
최소	219.39	670.06	364.08	285.90	764.01	654.21	214.10

⑤ 교좌받침

· 사용하중조합시

교좌장치	교좌 1	교좌 2	교좌 3	교좌 4	교좌 5	교좌 6	교좌 7	교좌 8
평상시수직력	220.4	236.8	233.9	232.5	231.4	228.3	228.9	185.4
평상시교축직각	0.0	0.0	22.4	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0
평상시교축방향	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
지진시교축직각	0.0	0.0	235.3	235.3	0.0	0.0	0.0	0.0
지진시교축방향	83.3	83.3	83.2	83.2	83.2	83.2	83.3	83.3

⑥ 기둥

· 극한하중조합시 (기둥 상단)

위치		기 둥 1			기 둥 2		
조합경우		축력	교축직각 휨	교축 휨	축력	교축직각 휨	교축 휨
조합경우1		1519.3	165.9	0.0	1422.3	181.6	0.0
조합경우2		1465.9	80.5	0.0	1161.0	99.6	0.0
조합경우3		1313.4	264.3	0.0	1313.4	264.3	0.0
조합경우4		1147.3	19.6	0.0	1164.8	194.6	0.0
조합경우5		1373.1	65.9	0.0	1319.6	213.1	0.0
조합경우6		1340.8	14.2	0.0	1161.6	163.5	0.0
조합경우7		1248.6	125.4	0.0	1253.8	263.1	0.0
조합경우8		1375.7	135.4	288.8	1317.0	144.9	288.8
조합경우9		1343.4	83.7	288.8	1159.0	95.3	288.8
조합경우10		1251.2	194.9	288.8	1251.2	194.9	288.8
조합경우11		1103.2	18.9	277.7	1120.0	187.2	277.7
조합경우12		1320.3	63.3	277.7	1268.9	204.9	277.7
조합경우13		1289.2	13.6	277.7	1117.0	157.3	277.7
조합경우14		1200.5	120.5	277.7	1205.6	253.0	277.7
조합경우15		1252.5	145.5	0.0	1155.5	161.2	0.0
조합경우16		1199.1	60.0	0.0	894.2	79.2	0.0
조합경우17		1046.6	243.9	0.0	1046.6	243.9	0.0
조합경우18		880.6	40.1	0.0	898.0	174.2	0.0
조합경우19		1106.3	45.4	0.0	1052.9	192.7	0.0
조합경우20		1074.0	6.3	0.0	894.9	143.1	0.0
조합경우21		981.8	104.9	0.0	987.0	242.7	0.0
조합경우22		1108.9	114.9	288.8	1050.2	124.4	288.8
조합경우23		1076.6	63.2	288.8	892.2	74.8	288.8
조합경우24		984.4	174.4	288.8	984.4	174.4	288.8
조합경우25		836.4	39.3	277.7	853.2	166.7	277.7
조합경우26		1053.5	42.9	277.7	1002.1	184.5	277.7
조합경우27		1022.4	6.8	277.7	850.2	136.8	277.7
조합경우28		933.8	100.1	277.7	938.8	232.6	277.7
조합경우29		823.0	168.3	999.0	955.6	302.7	998.9
조합경우30		668.4	720.1	299.8	1110.2	850.0	299.6
P최대		1519.3	165.9	0.0	1422.3	181.6	0.0
교축직각방향 M최대		1313.4	264.3	0.0	1313.4	264.3	0.0
교축방향 M최대		1251.2	194.9	288.8	1251.2	194.9	288.8
P최소		1252.5	145.5	0.0	1155.5	161.2	0.0
교축직각방향 M최대		1046.6	243.9	0.0	1046.6	243.9	0.0
교축방향 M최대		984.4	174.4	288.8	984.4	174.4	288.8
지진시 (R미적용)	조합경우29	823.0	168.3	999.0	955.6	302.7	998.9
	조합경우30	668.4	720.1	299.8	1110.2	850.0	299.6
지진시 (R적용)	조합경우29	823.0	33.7	333.0	955.6	60.5	333.0
	조합경우30	668.4	144.0	99.9	1110.2	170.0	99.9

· 극한하중 조합시 (기둥 하단)

위치		기 둥 1			기 둥 2		
조합경우		축력	교축직각 휨	교축 휨	축력	교축직각 휨	교축 휨
조합경우1		1596.9	119.8	0.0	1499.9	104.1	0.0
조합경우2		1543.5	67.6	0.0	1238.6	48.4	0.0
조합경우3		1391.0	170.2	0.0	1391.0	170.2	0.0
조합경우4		1224.9	78.9	0.0	1242.4	190.4	0.0
조합경우5		1450.7	8.8	0.0	1397.2	170.1	0.0
조합경우6		1418.4	22.7	0.0	1239.2	136.4	0.0
조합경우7		1326.2	39.4	0.0	1331.4	210.1	0.0
조합경우8		1453.3	95.0	1020.3	1394.6	85.5	1020.3
조합경우9		1421.0	63.4	1020.3	1236.6	51.8	1020.3
조합경우10		1328.8	125.5	1020.3	1328.8	125.5	1020.3
조합경우11		1177.8	75.9	981.1	1194.6	183.1	981.1
조합경우12		1394.9	8.5	981.1	1343.5	163.5	981.1
조합경우13		1363.8	21.8	981.1	1191.6	131.2	981.1
조합경우14		1275.2	37.8	981.1	1280.2	202.0	981.1
조합경우15		1312.2	106.6	0.0	1215.2	90.9	0.0
조합경우16		1258.8	54.4	0.0	953.9	35.2	0.0
조합경우17		1106.3	157.1	0.0	1106.3	157.1	0.0
조합경우18		940.3	92.1	0.0	957.7	177.3	0.0
조합경우19		1166.0	4.3	0.0	1112.6	156.9	0.0
조합경우20		1133.7	35.9	0.0	954.5	123.2	0.0
조합경우21		1041.5	26.2	0.0	1046.7	196.9	0.0
조합경우22		1168.6	81.8	1020.3	1109.9	72.3	1020.3
조합경우23		1136.3	50.3	1020.3	951.9	38.7	1020.3
조합경우24		1044.1	112.3	1020.3	1044.1	112.3	1020.3
조합경우25		893.1	89.0	981.1	909.9	169.9	981.1
조합경우26		1110.2	4.7	981.1	1058.8	150.4	981.1
조합경우27		1079.1	35.0	981.1	906.9	118.0	981.1
조합경우28		990.5	24.7	981.1	995.5	188.8	981.1
조합경우29		882.7	259.1	3529.6	1015.2	343.0	3529.8
조합경우30		728.1	966.1	1058.6	1169.9	1041.0	1059.3
P최대		1596.9	119.8	0.0	1499.9	104.1	0.0
교축직각방향 M최대		1391.0	170.2	0.0	1331.4	210.1	0.0
교축방향 M최대		-1328.8	-125.5	1020.3	-1328.8	125.5	1020.3
P최소		1312.2	106.6	0.0	1215.2	90.9	0.0
교축직각방향 M최대		1106.3	157.1	0.0	1046.7	196.9	0.0
교축방향 M최대		-1044.1	-112.3	1020.3	-1044.1	112.3	1020.3
지진시 (R미적용)	조합경우29	882.7	259.1	3529.6	1015.2	343.0	3529.8
	조합경우30	728.1	966.1	1058.6	1169.9	1041.0	1059.3
지진시 (R적용)	조합경우29	882.7	51.8	1176.5	1015.2	68.6	1176.6
	조합경우30	728.1	193.2	352.9	1169.9	208.2	353.1

⑦ 기초

· 극한하중 조합시(기둥 1 하단기초)

조합경우		축력	교축직각 전단	교축 전단	교축직각 휨	교축 휨
조합경우1		1596.9	37.6	0.0	119.8	0.0
조합경우2		1543.5	19.5	0.0	67.6	0.0
조합경우3		1391.0	57.2	0.0	170.2	0.0
조합경우4		1224.9	14.4	0.0	78.9	0.0
조합경우5		1450.7	9.1	0.0	8.8	0.0
조합경우6		1418.4	1.9	0.0	22.7	0.0
조합경우7		1326.2	20.9	0.0	39.4	0.0
조합경우8		1453.3	30.3	96.3	95.0	1020.3
조합경우9		1421.0	19.4	96.3	63.4	1020.3
조합경우10		1328.8	42.2	96.3	125.5	1020.3
조합경우11		1177.8	13.9	92.6	75.9	981.1
조합경우12		1394.9	8.7	92.6	8.5	981.1
조합경우13		1363.8	1.8	92.6	21.8	981.1
조합경우14		1275.2	20.1	92.6	37.8	981.1
조합경우15		1312.2	33.2	0.0	106.6	0.0
조합경우16		1258.8	15.1	0.0	54.4	0.0
조합경우17		1106.3	52.8	0.0	157.1	0.0
조합경우18		940.3	18.9	0.0	92.1	0.0
조합경우19		1166.0	4.7	0.0	4.3	0.0
조합경우20		1133.7	6.3	0.0	35.9	0.0
조합경우21		1041.5	16.5	0.0	26.2	0.0
조합경우22		1168.6	25.9	96.3	81.8	1020.3
조합경우23		1136.3	14.9	96.3	50.3	1020.3
조합경우24		1044.1	37.7	96.3	112.3	1020.3
조합경우25		893.1	18.3	92.6	89.0	981.1
조합경우26		1110.2	4.3	92.6	4.7	981.1
조합경우27		1079.1	6.2	92.6	35.0	981.1
조합경우28		990.5	15.7	92.6	24.7	981.1
조합경우29		882.7	56.2	333.0	259.1	3529.6
조합경우30		728.1	221.9	99.8	966.1	1058.6
P최대		1596.9	37.6	0.0	119.8	0.0
교축직각방향 V최대		1391.0	57.2	0.0	170.2	0.0
교축방향 V최대		1453.3	30.3	96.3	95.0	1020.3
교축직각방향 M최대		1391.0	57.2	0.0	170.2	0.0
교축방향 M최대		1453.3	30.3	96.3	95.0	1020.3
지진시 (R미적용)	조합경우29	882.7	56.2	333.0	259.1	3529.6
	조합경우30	728.1	221.9	99.8	966.1	1058.6
지진시 (R적용)	조합경우29	882.7	56.2	333.0	86.4	1176.5
	조합경우30	728.1	221.9	99.8	322.0	352.9

· 극한하중 조합시(기둥 2 하단기초)

조합경우		축력	교축직각 전단	교축 전단	교축직각 휨	교축 휨
조합경우1		1499.9	37.6	0.0	104.1	0.0
조합경우2		1238.6	19.5	0.0	48.4	0.0
조합경우3		1391.0	57.2	0.0	170.2	0.0
조합경우4		1242.4	52.2	0.0	190.4	0.0
조합경우5		1397.2	51.2	0.0	170.1	0.0
조합경우6		1239.2	40.2	0.0	136.4	0.0
조합경우7		1331.4	63.0	0.0	210.1	0.0
조합경우8		1394.6	30.3	96.3	85.5	1020.3
조합경우9		1236.6	19.4	96.3	51.8	1020.3
조합경우10		1328.8	42.2	96.3	125.5	1020.3
조합경우11		1194.6	50.1	92.6	183.1	981.1
조합경우12		1343.5	49.2	92.6	163.5	981.1
조합경우13		1191.6	38.7	92.6	131.2	981.1
조합경우14		1280.2	60.6	92.6	202.0	981.1
조합경우15		1215.2	33.2	0.0	90.9	0.0
조합경우16		953.9	15.1	0.0	35.2	0.0
조합경우17		1106.3	52.8	0.0	157.1	0.0
조합경우18		957.7	47.7	0.0	177.3	0.0
조합경우19		1112.6	46.7	0.0	156.9	0.0
조합경우20		954.5	35.8	0.0	123.2	0.0
조합경우21		1046.7	58.6	0.0	196.9	0.0
조합경우22		1109.9	25.9	96.3	72.3	1020.3
조합경우23		951.9	14.9	96.3	38.7	1020.3
조합경우24		1044.1	37.7	96.3	112.3	1020.3
조합경우25		909.9	45.7	92.6	169.9	981.1
조합경우26		1058.8	44.8	92.6	150.4	981.1
조합경우27		906.9	34.2	92.6	118.0	981.1
조합경우28		995.5	56.2	92.6	188.8	981.1
조합경우29		1015.2	85.0	333.0	343.0	3529.8
조합경우30		1169.9	248.8	100.0	1041.0	1059.3
P최대		1499.9	37.6	0.0	104.1	0.0
교축직각방향 V최대		1331.4	63.0	0.0	210.1	0.0
교축방향 V최대		1394.6	30.3	96.3	85.5	1020.3
교축직각방향 M최대		1331.4	63.0	0.0	210.1	0.0
교축방향 M최대		1394.6	30.3	96.3	85.5	1020.3
지진시 (R미적용)	조합경우29	1015.2	85.0	333.0	343.0	3529.8
	조합경우30	1169.9	248.8	100.0	1041.0	1059.3
지진시 (R적용)	조합경우29	1015.2	85.0	333.0	114.3	1176.6
	조합경우30	1169.9	248.8	100.0	347.0	353.1

· 사용하중 조합시(기둥 1 하단기초)

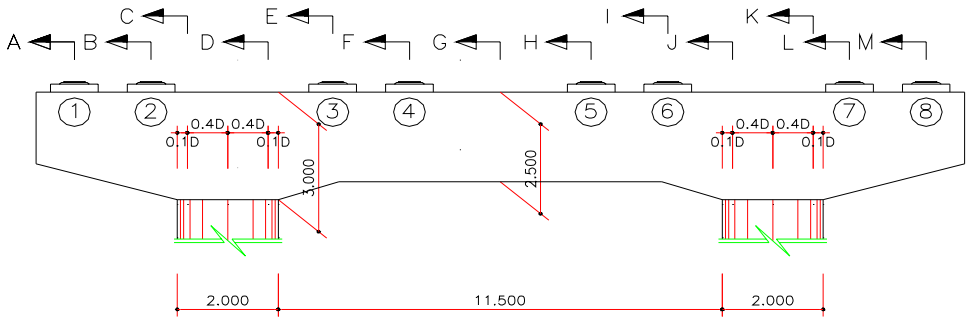
조합경우		축력	교축직각 전단	교축 전단	교축직각 휨	교축 휨
조합경우1		1117.91	74.04	23.32	73.07	784.87
조합경우2		1093.06	74.04	14.89	48.79	784.87
조합경우3		1022.13	74.04	32.43	96.54	784.87
조합경우4		942.27	-	11.11	60.69	-
조합경우5		1115.90	-	6.99	6.80	-
조합경우6		1091.05	-	1.43	17.47	-
조합경우7		1020.12	-	16.10	30.27	-
조합경우8		942.27	74.04	11.11	60.69	784.87
조합경우9		1115.90	74.04	6.99	6.80	784.87
조합경우10		1091.05	74.04	1.43	17.47	784.87
조합경우11		1020.12	74.04	16.10	30.27	784.87
조합경우12		882.71	332.97	56.23	259.07	3529.56
조합경우13		728.08	99.83	221.86	966.07	1058.55
P최대		1117.91	74.04	23.32	73.07	784.87
교축직각방향 V최대		1117.91	74.04	23.32	73.07	784.87
교축방향 V최대		1022.13	74.04	32.43	96.54	784.87
교축직각방향 M최대		1022.13	74.04	32.43	96.54	784.87
교축방향 M최대		1117.91	74.04	23.32	73.07	784.87
지진시 (R미적용)	조합경우12	882.71	332.97	56.23	259.07	3529.56
	조합경우13	728.08	99.83	221.86	966.07	1058.55
지진시 (R적용)	조합경우12	882.71	332.97	56.23	51.81	1176.52
	조합경우13	728.08	99.83	221.86	193.21	352.85

· 사용하중 조합시(기둥 2 하단기초)

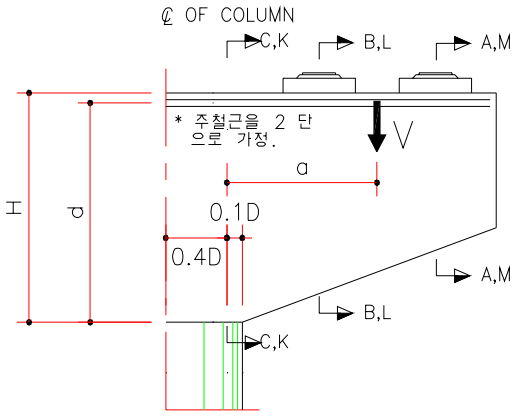
조합경우		축력	교축직각 전단	교축 전단	교축직각 휨	
조합경우1						
조합경우2						
조합경우3				74.04	96.54	784.87
조합경우4		955.69	40.12	-	146.50	-
조합경우5		1074.80	39.36	-	130.83	-
조합경우6		953.26	30.93	-	104.94	-
조합경우7		1024.15	48.47	-	161.60	-
조합경우8		955.69	40.12	74.04	146.50	784.87
조합경우9		1074.80	39.36	74.04	130.83	784.87
조합경우10		953.26	30.93	74.04	104.94	784.87
조합경우11		1024.15	48.47	74.04	161.60	784.87
조합경우12		1015.25	84.97	333.01	343.04	3529.83
조합경우13		1169.88	248.82	99.97	1041.01	1059.33
P최대		1074.80	39.36	-	130.83	-
교축직각방향 V최대		1024.15	48.47	-	161.60	-
교축방향 V최대		1072.79	23.32	74.04	65.77	784.87
교축직각방향 M최대		1024.15	48.47	-	161.60	-
교축방향 M최대		1072.79	23.32	74.04	65.77	784.87
지진시 (R미적용)	조합경우12	1015.25	84.97	333.01	343.04	3529.83
	조합경우13	1169.88	248.82	99.97	1041.01	1059.33
지진시 (R적용)	조합경우12	1015.25	84.97	333.01	68.61	1176.61
	조합경우13	1169.88	248.82	99.97	208.20	353.11

3.3.4 [단계 4] 부재의 설계

(1) [단계 4-1] 캔틸레버부 검토단면의 선정

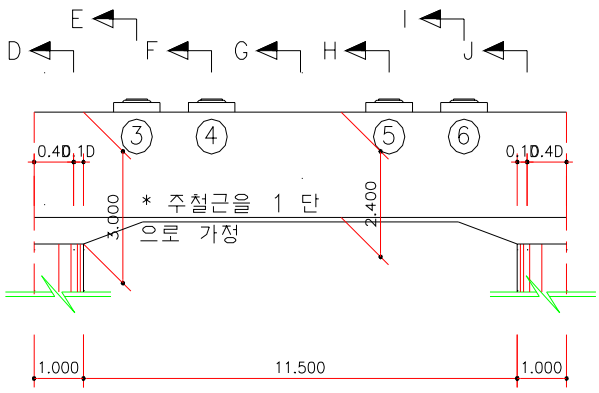


① 캔틸레버부 검토단면 선정



: C-C , B-B 단면에서 전단 및 휨을 검토하고 A-A 단면에서 전단을 검토한다.

② 내측 중앙부 검토단면 선정



: D-D, G-G, J-J 단면에서 휨을 검토하고 D-D, E-E 그리고 F-F 단면에서 전단 검토.

(2) [단계 4-2] 일반보 검토 및 코벨의 검토

① 캔틸레버부

$$a = \frac{M}{V} = \frac{1129.9}{708.3} \times 10^2 = 159.5\ cm$$

$$d = 285\ cm$$

$$\frac{a}{d} = \frac{159.5}{285} = 0.560 < 1.0$$: 코벨 검토 필요

② 내측 중앙부

$$\frac{l_n}{d} = \frac{1150}{240} = 4.792 < 5.0$$: Deep Beam 검토 필요

(3) [단계 4-3] 캔틸레버부 철근량 계산

① - <C-C> 단면

가. 작용하중

· 수직전단력 : $V_u = 708.3\ tonf$

· 수평하중

· 최소수평하중 $N_{u2} = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 708.3 = 141.66\ tonf$

· 휨모멘트

$$M_u = V_u \times a + N_u \times (h - d)$$

$$= 708.3 \times 1.595 + 141.66 \times (3.00 - 2.85) = 1150.988\ tonf \cdot m$$

나. 개별하중에 의한 철근량 계산

· 휨모멘트에 의한 철근

$M_u = 1150.988\ tonf \cdot m$

폭 $= 200\ cm$ 높이 $= 300\ cm$,

$d' = 15\ cm$, $d = 285\ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구 철근량은,

$$\frac{0.8 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 200} \times A_s^{\,2} - 0.8 \times 3000 \times 285 \times A_s + 1150.988 \times 10^5 = 0$$

$$88.235\,A_s^{\,2} - 684000\,A_s + 1150.988\times10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{684000 \pm \sqrt{684000^2 - 4\times88.235\times1150.988\times10^5}}{2\times88.235}$$

$$= 172.093\ cm^2$$

· 수평하중에 대한 철근

$$A_n = \frac{N_u}{\phi\times f_y} = \frac{141.660\times10^3}{0.8\times3000} = 59.03\ cm^2$$

· 전단마찰철근

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi\times f_y\times\mu} = \frac{708.300\times10^3}{0.8\times3000\times1.4} = 210.800\ cm^2$$

다. 주철근, 폐합스터럽 및 전단철근 산정

- 주철근

· $A_{s1} = (2/3\times A_{vf} + A_{n)} = 199.560\ cm^2$

· $A_{s2} = A_f + A_n = 231.120\ cm^2$

· $A_{s3} = 0.04\times(f_{ck}/f_y)\times b\times d = 182.40\ cm^2$

A_{s1}, A_{s2}, A_{s3} 중 큰 값 적용 As'req = 231.120 cm^2

∴ USE D29 x 19 EA - 2 단 = 244.120 cm^2

- 폐합스터럽

· $A_{s1} = 1/3\times A_{vf} = 70.27\ cm^2$

· $A_{s2} = 0.5\times(A_s - A_n) = 86.05\ cm^2$

A_{s1}, A_{s2} 중 큰 값 적용 As'req = 86.05 cm^2

∴ USE D22 - 6 EA - 4 단 = 92.904 cm^2 (A_s에 인접한 2/3 d 구간에 배치)

- 전단철근

· 설계전단력 $V_u = 708.300\ tonf$

$\phi\ V_c = \phi\times0.53\sqrt{f_{ck}}\times b\times d/1000$

$= 0.8\times0.53\sqrt{240}\times200\times285/1000$

$= 374.409\ tonf < V_u = 708.300\ tonf$

∴ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi\ V_c)/\phi$

$= (708.300 - 374.409)/0.8$

$= 417.364\ tonf$

$V_{sm} = 2.1\sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 2.1\sqrt{240} \times 200 \times 285/1000 = 1854.384\ tonf$

$V_s < V_{sm} \quad \therefore O.K$

· 필요스터럽 (배근할 스터럽 간격을 15 cm 로 하면)

$$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c) \times s}{0.8 \times f_y \times d} = \frac{(708.30 - 374.409) \times 15}{0.8 \times 3000 \times 285} = 7.322\ cm^2$$

$$A_{v\min} = \frac{3.5 \times b \times s}{f_y} = \frac{3.5 \times 200 \times 15}{3000} = 3.500\ cm^2$$

$A_{v use} = D19 - 6\ EA - C.T.C\ 150 = 17.190\ cm^2$

$V_s = A_v \times f_y \times d / s = 17.190 \times 3000 \times 285 / 15 = 979.83\ tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 1158.273\ t > Vu = 708.30\ tonf \quad \therefore O.K$

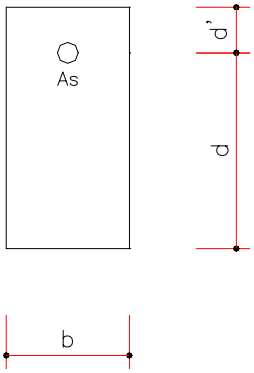
- 균열 검토

· 허용균열폭 $w_a(mm)$

강재 종류	강재의 부식에 대한 환경 조건			
	건조한 환경	습윤환경	부식성 환경	고부식성 환경
철근	0.006 t_c	0.005 t_c	0.004 t_c	0.0035 t_c
PS 강재	0.005 t_c	0.004 t_c	-	-

여기서, t_c는 최외단 철근의 표면과 콘크리트 표면사이의 콘크리트 최소덮개(mm)

단, 위의 규정은 덮개 10.0 cm이하를 표준으로 하며, 물을 저장하는 수조등과 같은 구조의 허용균열폭은 0.1 mm로 한다.



$M_u = 795.950\ tonf \cdot m$

폭 = 200 cm , 높이 = 300 cm

$d' = 15\ cm$, $d = 285\ cm$

사용철근량 = D29 @ 100 - 2 단 = 244.120 cm²

$$n = \frac{2000000}{15000\sqrt{240}} \fallingdotseq 9$$

$$p = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{244.120}{200 \times 285} = 0.004508$$

$$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np}$$

$$= -9 \times 0.004508 + \sqrt{(9 \times 0.004508)^2 + 2 \times 9 \times 0.004508}$$

$$= 0.247162$$

$$x = k \times d = 0.247162 \times 285 = 70.441\ cm$$

$$f_s = \frac{M}{\left(d-\frac{x}{3}\right)} = \frac{795.950\times10^5}{\left(285-\frac{70.441}{3}\right)} = 1184.450\ kgf/cm^2$$

$0.6 \times f_y = 0.6 \times 3000 = 1800\ kgf/cm^2$

$\therefore f_s = 1184.45\ kgf/cm^2$

$A = \frac{200\times2\times15}{38} = 157.89\ cm^2$ (철근 1개의 유효인장 면적)

β_c = 인장연단에서 중립축까지 거리 / 주철근 도심에서 중립축까지 거리

$= (300-70.441)/(285-70.441) = 1.07$

$w = 1.08 \cdot \beta_c \cdot f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \times 10^{-5}\ (mm)$

$= 1.08 \times 1.07 \times 1184.45 \times \sqrt[3]{10\times157.89} \times 10^{-5}\ (mm)$

$= 0.160\ mm$

여기서, d_c=최대인장연단에서 이 연단에 가장 가까이 놓여있는 철근중심까지의 철근 덮개 (cm)

시방서 허용균열폭 : w_a = 0.0050 x C = 0.0050 x 85.7 = 0.429 mm

$\therefore\ w = 0.160 < w_a = 0.429$ $O.K$

여기서, C = 100 - 28.6(D29의 직경) / 2 = 85.7 mm

② B-B 단면

가. 휨철근량 검토

$M_u = 345.70\ tonf \cdot m$

폭 $= 200\ cm$, 높이 $= 225\ cm$

$d' = 15\ cm$, $d = 210\ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d-\frac{a}{2}\right)$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.85\times3000^{\,2}}{1.7\times240\times200} \times A_s^{\,2} - 0.85\times3000\times210\times A_s + 345.70\times10^5 = 0$$

$$93.75\,A_s^{\,2} - 535500\,A_s + 345.70\times10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{535500 \pm \sqrt{535500^2 - 4 \times 93.75 \times 345.70 \times 10^5}}{2 \times 93.75}$$

$$= 65.303\ cm^2$$

최소 철근량 검토

$0.8 \times \sqrt{f_{ck}}\ / f_y \times b_w \times d = 173.510\ cm^2$ (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14 / f_y \times b_w \times d = 196.00\ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 196.00\ cm^2$

$A_{s,\min}(2) = 4/3 \times A_{s,req'd} = 87.07\ cm^2$ (요구철근량의 4/3 규정)

* (1), (2) 중 작은 값을 사용.

필요철근량 $= 87.07\ cm^2$

사용철근량 $= D29 - 19\ EA - 2$ 단 $= 244.120\ cm^2$

철근비 $= \frac{244.120}{200 \times 210} = 0.0058 < P_{\max} = 0.0289$ $O.K$

여기서, $P_{\max} = 0.75 \times \frac{k_1 \cdot 0.85 \cdot f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{6000}{6000 + f_y}$

$$= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.85 \times 240}{3000} \cdot \frac{6000}{6000 + 3000} = 0.0289$$

$a = \frac{244.11 \times 3000}{0.85 \times 240 \times 200} = 17.949\ cm$

$\phi M_n = 0.85 \times 244.11 \times 3000 \times (210 - 17.949/2)/100000$

$= 1251.354\ tonf \cdot m > M_u = 345.70\ tonf \cdot m$ $O.K$

나. 전단철근량 검토

설계전단력 $V_u = 687.6\ tonf$

$h = 276\ cm$, $d = 261\ cm$

$\phi\ V_c = \phi \times 0.53 \sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$

$= 0.8 \times 0.53 \sqrt{240} \times 200 \times 261 / 1000$

$= 342.880\ tonf < V_u = 687.6\ tonf$

∴ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi\ V_c) / \phi$

$= (687.6 - 342.880) / 0.8$

$= 430.90\ tonf$

$V_{sm} = 2.1 \sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 2.1 \sqrt{240} \times 200 \times 261/1000 = 1698.2\ tonf$

$V_s < V_{sm}$ $\therefore$ $O.K$

필요스터럽 (배근할 스터럽 간격을 15 cm로 하면)

$$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c)\times s}{0.8\times f_y \times d} = \frac{(687.6 - 342.880)\times 15}{0.8\times 3000\times 261} = 8.255\ cm^2$$

$$A_{v\min} = \frac{3.5\times b\times s}{f_y} = \frac{3.5\times 200\times 15}{3000} = 3.500\ cm^2$$

$A_{v\,use} = D16 - 6\ EA - C.T.C\ 150 = 11.916\ cm^2$

$\phi V_s = \phi A_v \times f_y \times d / s = 0.8\times 11.916\times 3000\times 261 / 15 = 497.612\ tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 840.492\ tonf > Vu = 687.6\ tonf$ $\therefore$ $O.K$

③ A-A 단면

설계전단력 $V_u = 330.67\ tonf$

$h = 225.3\ cm,\ d = 210.3\ cm$

$\phi V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}}\times b\times d / 1000$

$= 0.8\times 0.53\sqrt{240}\times 200\times 210.3 / 1000$

$= 276.275\ tonf < V_u = 330.670\ tonf$

$\therefore$ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi V_c)/\phi$

$= (330.67 - 276.275)/0.8$

$= 67.994\ tonf$

$V_{sm} = 2.1\sqrt{f_{ck}}\cdot b\cdot d = 2.1\sqrt{240}\times 210\times 210.3/1000 = 1436.76\ tonf$

$V_s < V_{sm}$ $\therefore$ $O.K$

필요스터럽 (배근할 스터럽 간격을 15 cm로 하면)

$$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c)\times s}{0.8\times f_y \times d} = \frac{(330.67 - 276.275)\times 15}{0.8\times 3000\times 210.3} = 1.617\ cm^2$$

$$A_{v\min} = \frac{3.5\times b\times s}{f_y} = \frac{3.5\times 200\times 15}{3000} = 3.500\ cm^2$$

$A_{v\,use} = D16 - 6\ EA - C.T.C\ 150 = 11.916\ cm^2$

$\phi V_s = \phi A_v \times f_y \times d / s = 0.8\times 11.916\times 3000\times 266.4 / 15 = 507.91\ tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 784.185\ tonf > Vu = 330.67\ tonf$ $\therefore$ $O.K$

④ C-C 단면 수평력에 대한 검토

지진력으로부터

$M_u = 111.23 \times (1.10 + 3.00) = 456.043 \ tonf \cdot m$

$V_u = 2 \times 111.23 = 224.46 \ tonf$

폭 $= 300 \ cm$, 높이 $= 200 \ cm$

$d' = 10 \ cm$, $d = 190 \ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.85 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 300} \times A_s^{\,2} - 0.85 \times 3000 \times 240 \times A_s + 456.043 \times 10^5 = 0$$

$$62.5 A_s^{\,2} - 484500 A_s + 456.043 \times 10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{484500 \pm \sqrt{484500^2 - 4 \times 62.5 \times 456.043 \times 10^5}}{2 \times 62.5}$$

$$= 95.298 \ cm^2$$

최소 철근량 검토

$0.8 \times \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b_w \times d = 235.48 \ cm^2$ (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14 / f_y \times b_w \times d = 266.00 \ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 266.00 \ cm^2$

$A_{s,\min}(2) = 4/3 \times A_{s,req'd} = 127.06 \ cm^2$ (요구철근량의 4/3 규정)

* (1), (2) 중 작은 값을 사용.

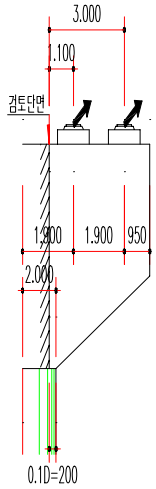
필요철근량 $= 127.06 \ cm^2$

사용철근량 $= D29 \ x \ 3 \ EA + D22 \ x \ 12 \ EA + D29 \ x \ 11 \ EA = 136.388 \ cm^2$

철근비 $= \frac{136.388}{300 \times 190} = 0.00239 \ < P_{\max} = 0.0289 \ O.K$

여기서, $P_{\max} = 0.75 \times \frac{k_1 \cdot 0.85 \cdot f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{6000}{6000 + f_y}$

$= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.85 \times 240}{3000} \cdot \frac{6000}{6000 + 3000} = 0.0289$



$a = \frac{136.388 \times 3000}{0.85 \times 240 \times 300} = 6.686\ cm$

$\phi M_n = 0.85 \times 136.388 \times 3000 \times (190 - 6.686/2)/100000$

$= 649.173\ tonf \cdot m\ >\ M_u = 456.043$ $O.K$

$\phi\ V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$

$= 0.8 \times 0.53\sqrt{240} \times 300 \times 190 / 1000$

$= 374.409\ tonf\ >\ V_u = 224.46\ tonf$

$V_u = 224.46\ tonf > 1/2\ \phi\ Vc = 187.205\ tonf$: 최소전단철근 배근

(4) [단계 4-4] 내측 중앙부 철근량 계산

① D-D, J-J 단면 휨검토

$M_u = 2067.8\ tonf \cdot m$

폭 $= 200\ cm$, 높이 $= 300\ cm$

$d' = 15\ cm$, $d = 285\ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$

위 식을 조합하여 풀면,

$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$

이므로 요구철근량은,

$\frac{0.85 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 200} \times A_s^{\,2} - 0.85 \times 3000 \times 285 \times A_s + 2067.8 \times 10^5 = 0$

$93.75\, A_s^{\,2} - 726750\, A_s + 2067.8 \times 10^5 = 0$

$A_{s'req} = \frac{726750 \pm \sqrt{726750^2 - 4 \times 93.75 \times 2067.8 \times 10^5}}{2 \times 93.75}$

$= 295.815\ cm^2$

최소 철근량 검토

$0.8 \times \sqrt{f_{ck}}\ / f_y \times b_w \times d = 235.48\ cm^2$ (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14 / f_y \times b_w \times d = 266.0\ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 266.0\ cm^2$

필요철근량 $= 295.815\ cm^2$

사용철근량 $=$ 2단 $- D32 \times 19EA = 301.80\ cm^2$

철근비 $= \frac{301.80}{200\times285} = 0.0053 \quad < \quad P_{\max} = 0.0289 \quad O.K$

여기서, $P_{\max} = 0.75\times\frac{k_1 \cdot 0.85 \cdot f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{6000}{6000+f_y}$

$= 0.75\times\frac{0.85\times0.85\times240}{3000} \cdot \frac{6000}{6000+3000} = 0.0289$

$a = \frac{301.80\times3000}{0.85\times240\times200} = 22.191 \ cm$

$\phi M_n = 0.85\times301.80\times3000\times(285-22.191/2)/100000$

$= 2107.942 \ tonf\cdot m \ > \ M_u = 2067.8 \ tonf\cdot m \qquad O.K$

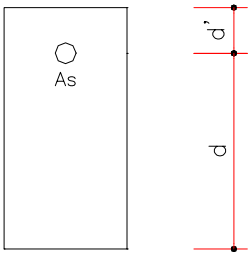
- 균열 검토

$M_u = 2067.80 \ tonf\cdot m$

폭 $= 200 \ cm$, 높이 $= 300 \ cm$

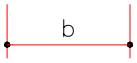
$d' = 15 \ cm$, $d = 285 \ cm$

사용철근량 = D32 @ 100 - 2 단 = 301.80 cm^2



$n = \frac{2000000}{15000\sqrt{240}} \fallingdotseq 9$

$p = \frac{A_s}{b\cdot d} = \frac{301.8}{200\times285} = 0.005295$



$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np}$

$= -9\times0.005295 + \sqrt{(9\times0.005295)^2 + 2\times9\times0.005295}$

$= 0.2647$

$x = k\times d = 0.2647\times285 = 75.445 \ cm$

$f_s = \frac{M}{\left(d-\frac{x}{3}\right)} = \frac{2067.8\times10^5}{\left(240-\frac{75.445}{3}\right)} = 2636.72 \ kgf/cm^2$

$0.6\times f_y = 0.6\times3000 = 1800 \ kgf/cm^2$

$\therefore f_s = 2636.72 \ kgf/cm^2$

$A = \frac{200\times2\times10}{38} = 157.89 \ cm^2$ (철근 1 개의 유효인장 면적)

β_c = 인장연단에서 중립축까지 거리 / 주철근 도심에서 중립축까지 거리

$= (300-75.445)/(285-75.445) = 1.072$

$w = 1.08 \cdot \beta_c \cdot f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \times 10^{-5}$ (mm)

$= 1.08 \times 1.072 \times 2636.72 \times \sqrt[3]{10 \times 157.89} \times 10^{-5}$ (mm)

$= 0.360$ mm

여기서, d_c = 최대인장연단에서 이연단에 가장 가까이 놓여있는 철근중심까지의 철근 덮개 (cm)

시방서 허용균열폭 : w_a = 0.0050 x C = 0.0050 x 84.1 = 0.421 mm

$\therefore \quad w = 0.36 < w_a = 0.421 \qquad O.K$

여기서, C = 100 - 31.8(D32 직경) / 2 = 84.1 mm

② G-G 단면 휨검토

$M_u = 586.9$ $tonf \cdot m$

폭 $= 200$ cm , 높이 $= 250$ cm

$d' = 10$ cm , $d = 240$ cm

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.85 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 200} \times A_s^{\,2} - 0.85 \times 3000 \times 240 \times A_s + 586.9 \times 10^5 = 0$$

$$93.75 A_s^{\,2} - 612000 A_s + 586.9 \times 10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{612000 \pm \sqrt{612000^2 - 4 \times 93.75 \times 586.9 \times 10^5}}{2 \times 93.75}$$

$= 97.35$ cm^2

최소 철근량 검토

$0.8 \times \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b_w \times d = 198.30$ cm^2 (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14 / f_y \times b_w \times d = 224.00$ cm^2 (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 224.00$ cm^2

$A_{s,\min}(2) = 4/3 \times A_{s,req'd} = 129.80$ cm^2 (요구철근량의 4/3 규정)

* (1), (2) 중 작은 값을 사용.

필요철근량 = 129.80 cm^2

사용철근량 = $D32$ − 19 EA = 150.910 cm^2

철근비 $= \frac{150.90}{200\times240} = 0.0031$ < P_{max} = 0.0289 $O.K$

여기서, $P_{max} = 0.75\times\frac{k_1\cdot 0.85\cdot f_{ck}}{f_y}\cdot\frac{6000}{6000+f_y}$

$= 0.75\times\frac{0.85\times0.85\times240}{3000}\cdot\frac{6000}{6000+3000} = 0.0289$

$a = \frac{150.80\times3000}{0.85\times240\times200} = 11.096\ cm$

$\phi M_n = 0.85\times150.80\times3000\times(240-11.096/2)/100000$

$= 902.16\ tonf\cdot m > M_u = 586.90\ tonf\cdot m$ $O.K$

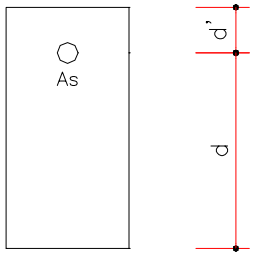
- 균열 검토

$M_u = 912.37\ tonf\cdot m$

폭 = 200 cm , 높이 = 250 cm

$d' = 10\ cm$, $d = 240\ cm$

사용철근량 = D32 @ 100 - 1 단 = 150.80 cm^2



$n = \frac{2000000}{15000\sqrt{240}} \fallingdotseq 9$

$p = \frac{A_s}{b\cdot d} = \frac{150.80}{200\times240} = 0.0031$

$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np}$

$= -9\times0.0031 + \sqrt{(9\times0.0031)^2 + 2\times9\times0.0031}$

$= 0.2113$

$x = k\times d = 0.2113\times240 = 50.703\ cm$

$f_s = \frac{M}{\left(d-\frac{x}{3}\right)} = \frac{912.37\times10^5}{\left(240-\frac{50.703}{3}\right)} = 2710.09\ kgf/cm^2$

$0.6\times f_y = 0.6\times3000 = 1800\ kgf/cm^2$

$\therefore f_s = 2710.09\ kgf/cm^2$

$A = \frac{200\times2\times10}{19} = 210.53\ cm^2$ (철근 1 개의 유효인장 면적)

β_c = 인장연단에서 중립축까지 거리 / 주철근 도심에서 중립축까지 거리

= (250 − 50.703) / (240 − 50.703) = 1.053

$w = 1.08 \cdot \beta_c \cdot f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \times 10^{-5}$ (mm)

$= 1.08 \times 1.053 \times 2710.09 \times \sqrt[3]{10 \times 210.53} \times 10^{-5}$ (mm)

$= 0.400$ mm

여기서, d_c = 최대인장연단에서 이연단에 가장 가까이 놓여있는 철근중심까지의 철근 덮개 (cm)

시방서 허용균열폭 : w_a = 0.0050 x C = 0.0050 x 84.1 = 0.421 mm

$\therefore \quad w = 0.40 < w_a = 0.421 \qquad O.K$

여기서, C = 100 - 31.8(D32 직경) / 2 = 84.1 mm

③ D-D 단면 전단검토 (Deep Beam 검토)

설계전단력 $V_u = 779.7$ $tonf$

h = 300.0 cm , d = 285.0 cm

$\phi V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$

$= 0.8 \times 0.53\sqrt{240} \times 200 \times 285.0 / 1000$

$= 374.41$ $tonf$ $< \quad V_u = 779.7$ $tonf$

$\therefore$ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi V_c) / \phi$

$= (779.7 - 374.409) / 0.8$

$= 506.614$ $tonf$

$V_{sm} = 2.1\sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 2.1\sqrt{240} \times 200 \times 285/1000 = 1854.384$ $tonf$

$V_s < V_{sm} \qquad \therefore \quad O.K$

가. 수직전단 철근량 검토

- 최소 전단철근 $= 0.0015 \times b \times S_v = 0.0015 \times 200 \times 20 = 6.00$ cm^2
- 최대 전단철근 간격 = d / 5 또는 45 cm 이하 = 38 cm 이하
  ($\because$ d / 5 = 190 / 5 = 38)
- U 형 스터럽을 수평간격 20 cm로 배근할 경우

사용철근량 $= D16 - 6EA = 11.916$ cm^2 (1단)

나. 수평전단 철근량 검토

- 최소 전단철근 $= 0.0025 \times b \times S_{vh} = 0.0025 \times 200 \times 20 = 10.00$ cm^2

- 최대 전단철근 간격 = d / 3 또는 45 cm 이하 = 45 cm 이하
(∵ d / 3 = 190 / 3 = 63.3)
- 수평전단 철근을 수직간격 20 cm로 배근할 경우
사용철근량 = $D19 - 6\ EA = 17.190\ cm^2$ (1단)

다. 위험단면 전단철근량 검토

- $l_n = 1150\ cm,\ d = 285\ cm$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s_v}\left(\frac{1 + l_n/d}{12}\right) + \frac{A_{vh}}{s_{vh}}\left(\frac{11 - l_n/d}{12}\right)\right] \times f_y \times d$$

$$= \left[\frac{11.916}{20}\left(\frac{1 + 1150/285}{12}\right) + \frac{17.190}{20}\left(\frac{11 - 1150/285}{12}\right)\right] \times 3000 \times 285$$

$$= 640.27\ \ tonf$$

$\phi V_s = \phi \times 640.27 = 512.216\ tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 374.410 + 512.216 = 886.625 > Vu = 779.700\ tonf \quad \therefore \quad O.K$

④ E-E 단면 전단검토 (Deep Beam 검토)

설계전단력 $V_u = 749.03\ tonf$

h = 250.0 cm , d = 240.0 cm

$\phi\ V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$

$= 0.8 \times 0.53\sqrt{240} \times 200 \times 240 / 1000$

$= 315.290\ tonf \quad < \quad V_u = 749.03\ tonf$

∴ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi\ V_c) / \phi$

$= (749.03 - 315.290) / 0.8$

$= 542.173\ tonf$

$V_{sm} = 2.1\sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 2.1\sqrt{240} \times 200 \times 240/1000 = 1561.587\ tonf$

$V_s < V_{sm} \quad \therefore \quad O.K$

가. 수직전단 철근량 검토

- 최소 전단철근 = $0.0015 \times b \times S_v = 0.0015 \times 200 \times 15 = 4.50\ cm^2$
- 최대 전단철근 간격 = d / 5 또는 45cm 이하 = 38cm 이하
(∵ d / 5 = 190 / 5 = 38)
- U 형 스터럽을 수평간격 15 cm로 배근할 경우
사용철근량 = $D16 - 6\ EA = 11.916\ cm^2$ (1단)

나. 수평전단 철근량 검토

- 최소 전단철근 $= 0.0025 \times b \times S_{vh} = 0.0025 \times 200 \times 20 = 10.00\,cm^2$

- 최대 전단철근 간격 = d / 3 또는 45 cm 이하 = 45 cm 이하

(∵ d / 3 = 190 / 3 = 63.8)

- 수평전단 철근을 수직간격 20 cm로 배근할 경우

사용철근량 $= D19 - 6\ EA = 17.190\ cm^2$ (1단)

다. 위험단면 전단철근량 검토

- $l_n = 1150\ cm,\ d = 240\ cm$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s_v}\left(\frac{1 + l_n/d}{12}\right) + \frac{A_{vh}}{s_{vh}}\left(\frac{11 - l_n/d}{12}\right)\right] \times f_y \times d$$

$$= \left[\frac{11.916}{15}\left(\frac{1 + 1150/240}{12}\right) + \frac{17.190}{20}\left(\frac{11 - 1150/240}{12}\right)\right] \times 3000 \times 240$$

$$= 596.220\ \ tonf$$

$\phi V_s = \phi \times 596.220 = 476.976\ tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 315.290 + 476.976 = 792.268 > Vu = 749.03\ tonf \quad \therefore \quad O.K$

⑤ F-F 단면 전단검토 (Deep Beam 검토)

설계전단력 $V_u = 445.90\ tonf,\ h = 250\ cm,\ d = 240\ cm$

$\phi V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$

$= 0.8 \times 0.53\sqrt{240} \times 200 \times 240 / 1000$

$= 315.292\ tonf \quad < \quad V_u = 445.90\ tonf$

∴ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi V_c) / \phi$

$= (445.90 - 315.290) / 0.8$

$= 163.26\ \ tonf$

$V_{sm} = 2.1\sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 2.1\sqrt{240} \times 200 \times 240/1000 = 1561.587\ tonf$

$V_s < V_{sm} \quad \therefore \quad O.K$

가. 수직전단 철근량 검토

- 최소 전단철근 $= 0.0015 \times b \times S_v = 0.0015 \times 200 \times 30 = 9.00\,cm^2\ cm^2$

- 최대 전단철근 간격 = d / 5 또는 45 cm 이하 = 38 cm 이하

(∵ d / 5 = 190 / 5 = 38)

- U 형 스터럽을 수평간격 30 cm로 배근할 경우

사용철근량 $=$ $D16$ $-$ 6 EA $=$ 11.916 cm^2 (1단)

나. 수평전단 철근량 검토

- 최소 전단철근 $= 0.0025 \times b \times S_{vh} = 0.0025 \times 200 \times 20 = 10.00$ cm^2
- 최대 전단철근 간격 = d / 3 또는 45 cm 이하 = 45 cm 이하
  (∵ d / 3 = 190 / 3 = 63.3)

- 수평전단 철근을 수직간격 20 cm로 배근할 경우
- 사용철근량 $=$ $D19$ $-$ 6 EA $=$ 17.190 cm^2 (1단)

다. 위험단면 전단철근량 검토

- $l_n = 1,150\ cm$, $d = 240\ cm$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s_v}\left(\frac{1 + l_n/d}{12}\right) + \frac{A_{vh}}{s_{vh}}\left(\frac{11 - l_n/d}{12}\right)\right] \times f_y \times d$$
$$= \left[\frac{11.916}{30}\left(\frac{1 + 1150/240}{12}\right) + \frac{17.190}{20}\left(\frac{11 - 1150/240}{12}\right)\right] \times 3000 \times 240$$
$$= 458.19 \quad tonf$$

$\phi V_s = \phi \times 458.19 = 366.552$ $tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 315.292 + 366.552 = 681.844 > Vu = 445.90$ $tonf$ $\quad \therefore \quad O.K$

(5) [단계 4-5] 압축부재 비지지장의 계산

교축직각방향 : $l_u = 7.6$ m

교축방향 : $l_u = 10.6$ m

(6) [단계 4-6] 확대모멘트의 계산

① 기둥 1

1. 부재력 요약

1) 교축방향 부재력

구 분		기둥번호	P		M_3				V_2	δ_2
			장기지속 축력	전체 축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	p_{max}	1	-1233.671	-1596.873	.000	.000	.000	.000	.000	.203
		2	-1233.671	-1499.867	.000	.000	.000	.000	.000	.242
	M_{2max}	1	-1233.671	-1390.955	.000	.000	.000	.000	.000	-.030
		2	-1233.671	-1390.955	.000	.000	.000	.000	.000	.030
	M_{3max}	1	-1233.671	-1328.773	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	-.022
		2	-1233.671	-1328.773	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	.022
최소	p_{max}	1	-948.978	-1312.180	.000	.000	.000	.000	.000	.205
		2	-948.978	-1215.173	.000	.000	.000	.000	.000	.240
	M_{2max}	1	-948.978	-1106.261	.000	.000	.000	.000	.000	-.028
		2	-948.978	-1106.261	.000	.000	.000	.000	.000	.028
	M_{3max}	1	-948.978	-1044.079	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	-.020
		2	-948.978	-1044.079	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	.020
지진	M_{2max}	1	-948.978	-728.079	.308	.000	1058.552	.000	-99.834	-8.559
		2	-948.978	-1169.877	-.308	.000	1059.328	.000	-99.966	-8.393
	M_{3max}	1	-948.978	-882.710	.107	.000	3529.559	.000	-332.967	-2.573
		2	-948.978	-1015.246	-.107	.000	3529.829	.000	-333.013	-2.512

2) 교축직각방향 부재력

구 분		기둥번호	P		M_3				V_3	δ_3
			장기지속 축력	전체 축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	p_{max}	1	-1233.671	-1596.873	.000	278.721	.000	.000	.000	.203
		2	-1233.671	-1499.867	.000	-294.407	.000	.000	.000	.242
	M_{2max}	1	-1233.671	-1390.955	.000	435.863	.000	.000	.000	-.030
		2	-1233.671	-1390.955	.000	-435.863	.000	.000	.000	.030
	M_{3max}	1	-1233.671	-1328.773	.000	321.341	1020.326	.000	-96.257	-.022
		2	-1233.671	-1328.773	.000	-321.341	1020.326	.000	-96.257	.022
최소	p_{max}	1	-948.978	-1312.180	.000	244.984	.000	.000	.000	.205
		2	-948.978	-1215.173	.000	-260.671	.000	.000	.000	.240
	M_{2max}	1	-948.978	-1106.261	.000	402.127	.000	.000	.000	-.028
		2	-948.978	-1106.261	.000	-402.127	.000	.000	.000	.028
	M_{3max}	1	-948.978	-1044.079	.000	287.605	1020.326	.000	-96.257	-.020
		2	-948.978	-1044.079	.000	-287.605	1020.326	.000	-96.257	.020
지진	M_{2max}	1	-948.978	-728.079	-1498.100	112.454	1058.552	.000	-99.834	-8.559
		2	-948.978	-1169.877	-1484.033	-112.454	1059.328	.000	-99.966	-8.393
	M_{3max}	1	-948.978	-882.710	-449.417	112.454	3529.559	.000	-332.967	-2.573
		2	-948.978	-1015.246	-445.197	-112.454	3529.829	.000	-333.013	-2.512

2. 층안정지수

$$Q = \frac{\sum P_u \cdot \Delta}{V_u \cdot l_u} \begin{matrix} > \ 0.05 : \text{비횡구속 구조물} \\ < \ 0.05 : \text{횡구속 구조물} \end{matrix}$$

여기서,

$\sum P_u$: 층전체 수직하중

Δ : 층상단 상대변위

V_u : 층전단력

l_u : 기둥길이

l_u	교축방향	교축직각방향
1	10.600	7.600
2	10.600	7.600

구 분		$\sum P_u$	교축방향				교축직각방향			
			Δ	V_u	Q	판단	Δ	V_u	Q	판단
일반	P_{max}	-3096.740	.20	.000	.059	비구속	.000	.000	.000	구 속
	M_{2max}	-2781.910	-.03	.000	.008	구 속	.000	.000	.000	구 속
	M_{3max}	-2657.546	-.02	-192.514	.000	구 속	-20.89	.000	7.303	비구속
최소	P_{max}	-2527.353	.20	.000	.049	구 속	.000	.000	.000	구 속
	M_{2max}	-2212.522	-.03	.000	.006	구 속	.000	.000	.000	구 속
	M_{3max}	-2088.158	-.02	-192.514	.000	구 속	-20.89	.000	5.738	비구속
지진	M_{2max}	-1897.956	-8.56	-199.800	.008	구 속	-21.67	-470.680	.011	구 속
	M_{3max}	-1897.956	-2.57	-665.980	.001	구 속	-72.24	-141.200	.128	비구속

3. 임계하중산정

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

여기서,

$$EI = \frac{0.4 E_c I}{1 + \beta_d}$$

$$\beta_d = \frac{\text{최대 장기지속 계수축력}}{\text{전체 계수축력}}$$

$$E_c = 2,310,000$$

1) 코핑의 강성도($I = 0.35 I_g$)

번호	교축방향				교축직각방향			
	I	EI	l	EI/l	I	EI	l	EI/l
1	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.911	.60152E+07	13.500	.44557E+06
계	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.44557E+06

2) 기둥의 강성도($I = 0.70 I_g$)

번호	교축방향				교축직각방향			
	I	EI	l	EI/l	I	EI	l	EI/l
1	.550	.18143E+07	10.600	.17116E+06	.550	.18143E+07	7.600	.23872E+06
2	.550	.18143E+07	10.600	.17116E+06	.550	.18143E+07	7.600	.23872E+06
계	.000	.00000E+00	.000	.34232E+06	.000	.00000E+00	.000	.47744E+06

· 압축부재 강성도비

$$\text{상부 } \psi = \frac{\sum (EI/l)\, col}{\sum (EI/l)\, beam}$$

$$\text{상부 } \psi = \frac{\sum (EI/l)\, col}{\sum (EI/l)\, beam}$$

도로설계기준 6.5.1로부터 k산출

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	β_d	EI	P_c	k	β_d	EI	P_c
일반	p_{max}				비횡구속	1.000	.773	.40941E+06	.69958E+05
	M_{2max}	2.000	.887	.38460E+06	.84457E+04	1.000	.887	.38460E+06	.65718E+05
	M_{3max}	2.000	.928	.37632E+06	.82639E+04				비횡구속
최소	p_{max}	2.000	.723	.42114E+06	.92481E+04	1.000	.723	.42114E+06	.71961E+05
	M_{2max}	2.000	.858	.39062E+06	.85780E+04	1.000	.858	.39062E+06	.66747E+05
	M_{3max}	2.000	.909	.38017E+06	.83484E+04				비횡구속
지진	M_{2max}	2.000	1.303	.31506E+06	.69187E+04	1.000	1.303	.31506E+06	.53835E+05
	M_{3max}	2.000	1.075	.34973E+06	.76799E+04				비횡구속

4. 횡구속 골조일 경우의 확대모멘트계산

1) 세장비검토

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \quad \leq \quad 34 - 12\,(M_1 / M_2)$$

여기서,

M_1, M_2 : 기둥 양끝단 모멘트

M_1/M_2의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때 (-)

$M_1/M_2 \geq -0.5$, $r = \sqrt{I/A}$

교축방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

직각방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	전항식	후항식	판 단	k	전항식	후항식	판 단
일반	P_{max}				비횡구속	1.000	15.20	39.16	단 주
	M_{2max}	2.000	42.40	28.00	장 주	1.000	15.20	38.69	단 주
	M_{3max}	2.000	42.40	34.00	장 주				비횡구속
최소	P_{max}	2.000	42.40	28.00	장 주	1.000	15.20	39.22	단 주
	M_{2max}	2.000	42.40	28.00	장 주	1.000	15.20	38.69	단 주
	M_{3max}	2.000	42.40	34.00	장 주				비횡구속
지진	M_{2max}	2.000	42.40	34.00	장 주	1.000	15.20	40.00	단 주
	M_{3max}	2.000	42.40	34.00	장 주				비횡구속

2) 확대모멘트

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

여기서,

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - P_u/(0.75 P_c)} \geq 1.0$$

$$C_m = 0.6 + 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4$$

기둥양단사이에 횡하중이 있는 경우 $C_m = 1.0$

$M_{2min} = P_u \cdot e_{min}$ 이상이어야함

$e_{min} = 1.5 + 0.03h$

교축방향 = 0.075

교축직각방향 = 0.075

· 교축방향 확대모멘트

구 분		C_m	P_u	P_c	δ	M_u		$\delta \cdot M_2$
						M_u	M_{umin}	
일반	p_{max}							비횡구속
	M_{2max}	.60	-1390.955	8445.718	1.000	.000	-104.322	-104.322
	M_{3max}	.60	-1328.773	8263.943	1.000	1020.326	-99.658	1020.326
최소	p_{max}	.60	-1312.180	9248.119	1.000	.000	-98.413	-98.413
	M_{2max}	.60	-1106.261	8578.003	1.000	.000	-82.970	-82.970
	M_{3max}	.60	-1044.079	8348.425	1.000	1020.326	-78.306	1020.326
지진	M_{2max}	1.00	-728.079	6918.654	1.163	1058.552	-54.606	1231.322
	M_{3max}	1.00	-882.710	7679.934	1.181	3529.559	-66.203	4168.358

· 교축직각방향 확대모멘트

구 분		C_m	P_u	P_c	δ	M_u		$\delta \cdot M_2$
						M_u	M_{umin}	
일반	p_{max}	단 주	-1596.873	69957.765	1.000	-119.761	-119.765	-119.765
	M_{2max}	단 주	-1390.955	65717.512	1.000	-170.226	-104.322	-170.226
	M_{3max}							비횡구속
최소	p_{max}	단 주	-1312.180	71961.128	1.000	-106.585	-98.413	-106.585
	M_{2max}	단 주	-1106.261	66746.843	1.000	-157.051	-82.970	-157.051
	M_{3max}							비횡구속
지진	M_{2max}	단 주	-728.079	53835.176	1.000	966.067	-54.606	966.067
	M_{3max}							비횡구속

5. 비횡구속 골조일 경우의 확대모멘트 계산

1) 세장비검토

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22$$

여기서,

$r = \sqrt{I/A}$

교축방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

직각방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	전항식	후항식	판 단	k	전항식	후항식	판 단
일반	p_{max}	2.000	42.40	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{2max}				횡 구 속				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	30.40	22.00	장 주
최소	p_{max}				횡 구 속				횡 구 속
	M_{2max}				횡 구 속				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	30.40	22.00	장 주
지진	M_{2max}				횡 구 속				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	30.40	22.00	장 주

2) 확대모멘트계수 산정

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q}$$

만일, $\delta_s > 1.5$ 이면

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \sum P_u / (0.75 \sum P_c)} \geq 1.0$$

여기서,

$\sum P_u$: 층계수 연직축력의 합

$\sum P_c$: 층방향 변위에 저항하는 모든기둥의 P_c의 합

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

여기서,

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_d}, \quad \beta_d = \frac{\text{최대 장기지속 계수축력}}{\text{전체 계수축력}}$$

구 분		교축방향					교축직각방향				
		δ_{s1}	$\sum P_u$	$\sum P_c$	δ_{s2}	δ_s	δ_{s1}	$\sum P_u$	$\sum P_c$	δ_{s2}	δ_s
일반	p_{max}	1.063	-.30967E+04	-.17735E+05	.00	1.063					횡구속
	M_{2max}					횡구속					횡구속
	M_{3max}					횡구속	-.159	-.26575E+04	.12861E+06	.000	-.159
최소	p_{max}					횡구속					횡구속
	M_{2max}					횡구속					횡구속
	M_{3max}					횡구속	-.211	-.20882E+04	.12992E+06	.000	-.211
지진	M_{2max}					횡구속					횡구속
	M_{3max}					횡구속	1.146	-.18980E+04	.12385E+06	.000	1.146

3) 확대모멘트 산정

$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$

만일, $\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck} \cdot A_g)}}$ 이면 추가로 확대를 해주어야 한다.

이때, $\delta = \frac{C_m}{1 - P_u/(0.75 \cdot P_c)}$ 이다.

$M_c = \delta M_2$

· 교축방향 확대모멘트

구 분		δ_s	M_2	검 토	C_m	P_u	δ	M_c
일반	p_{max}	1.063	.000	미 만				.000
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}							횡구속
최소	p_{max}							횡구속
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}							횡구속
지진	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}							횡구속

· 교축직각방향 확대모멘트

구 분		δ_s	M_2	검 토	C_m	P_u	δ	M_c
일반	p_{max}							횡구속
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	-.159	-125.500	미 만				-125.500
최소	p_{max}							횡구속
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	-.211	-112.324	미 만				-112.324
지진	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	1.146	303.453	미 만				303.453

구 분		P	δM_2	δM_3	CASE
일반조합	P최대	1499.867	.000	112.490	1
	교축직각방향 M최대	1331.389	.000	210.083	2
	교축방향 M최대	1328.773	1020.326	125.500	3
최소축력조합	P최소	1215.173	.000	91.138	4
	교축직각방향 M최대	1046.696	.000	196.907	5
	교축방향 M최대	1044.079	1020.326	112.324	6
지진시(R미적용)	조합경우21	1169.877	1287.586	1041.008	7
	조합경우22	1015.246	4223.993	386.858	8
지진시(R적용)	조합경우21	1169.877	429.195	208.202	9
	조합경우22	1015.246	1407.998	77.372	10

② 기둥 2

1. 부재력 요약

1) 교축방향 부재력

구 분		기둥번호	P		M_3				V_2	δ_2
			장기지속 축력	전체 축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	p_{max}	1	-1233.671	-1596.873	.000	.000	.000	.000	.000	.203
		2	-1233.671	-1499.867	.000	.000	.000	.000	.000	.242
	M_{2max}	1	-1233.671	-1390.955	.000	.000	.000	.000	.000	-.030
		2	-1233.671	-1390.955	.000	.000	.000	.000	.000	.030
	M_{3max}	1	-1233.671	-1328.773	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	-.022
		2	-1233.671	-1328.773	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	.022
최소	p_{max}	1	-948.978	-1312.180	.000	.000	.000	.000	.000	.205
		2	-948.978	-1215.173	.000	.000	.000	.000	.000	.240
	M_{2max}	1	-948.978	-1106.261	.000	.000	.000	.000	.000	-.028
		2	-948.978	-1106.261	.000	.000	.000	.000	.000	.028
	M_{3max}	1	-948.978	-1044.079	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	-.020
		2	-948.978	-1044.079	.000	.000	1020.326	.000	-96.257	.020
지진	M_{2max}	1	-948.978	-728.079	.308	.000	1058.552	.000	-99.834	-8.559
		2	-948.978	-1169.877	-.308	.000	1059.328	.000	-99.966	-8.393
	M_{3max}	1	-948.978	-882.710	.107	.000	3529.559	.000	-332.967	-2.573
		2	-948.978	-1015.246	-.107	.000	3529.829	.000	-333.013	-2.512

2) 교축직각방향 부재력

구 분		기둥번호	P		M_3				V_3	δ_3
			장기지속 축력	전체 축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	p_{max}	1	-1233.671	-1596.873	.000	278.721	.000	-119.761	37.593	.000
		2	-1233.671	-1499.867	.000	-294.407	.000	104.074	-37.593	.000
	M_{2max}	1	-1233.671	-1390.955	-126.997	435.863	86.147	-125.500	23.583	.000
		2	-1233.671	-1390.955	-126.366	-435.863	84.583	125.500	-61.524	.000
	M_{3max}	1	-1233.671	-1328.773	.000	321.341	.000	-125.500	42.155	-20.885
		2	-1233.671	-1328.773	.000	-321.341	.000	125.500	-42.155	-20.885
최소	p_{max}	1	-948.978	-1312.180	.000	244.984	.000	-106.585	33.167	.000
		2	-948.978	-1215.173	.000	287.605	.000	90.898	-33.167	.000
	M_{2max}	1	-948.978	-1041.463	-126.997	-287.605	86.147	-112.324	19.157	.000
		2	-948.978	-1046.696	-126.366	-402.127	84.583	112.324	-57.099	.000
	M_{3max}	1	-948.978	-1044.079	.000	287.605	.000	-112.324	37.729	-20.885
		2	-948.978	-1044.079	.000	-287.605	.000	112.324	-37.729	-20.885
지진	M_{2max}	1	-948.978	-728.079	-1498.100	112.454	1009.986	-43.919	-221.860	-21.669
		2	-948.978	-1169.877	-1484.033	-112.454	997.089	43.919	-248.820	-21.680
	M_{3max}	1	-948.978	-882.710	-449.417	112.454	302.987	-43.919	-56.229	-72.244
		2	-948.978	-1015.246	-445.197	-112.454	299.118	43.919	-84.971	-72.248

2. 층안정지수

$$Q = \frac{\sum P_u \cdot \Delta \ > \ 0.05 : \text{비횡구속 구조물}}{V_u \cdot l_u \ < \ 0.05 : \text{횡구속 구조물}}$$

여기서,

$\sum P_u$: 층전체 수직하중

Δ : 층상단 상대변위

V_u : 층전단력

l_u : 기둥길이

l_u	교축방향	교축직각방향
1	10.600	7.600
2	10.600	7.600

구 분		$\sum P_u$	교축방향				교축직각방향			
			Δ	V_u	Q	판단	Δ	V_u	Q	판단
일반	p_{max}	-3096.740	.24	.000	.059	비구속	.000	.000	.000	구 속
	M_{2max}	-2781.910	-.64	.000	.008	구 속	.000	.000	.000	구 속
	M_{3max}	-2657.546	-.02	-192.514	.000	구 속	-20.89	.000	7.303	비구속
최소	p_{max}	-2527.353	.24	.000	.049	구 속	.000	.000	.000	구 속
	M_{2max}	-2212.522	-.64	.000	.006	구 속	.000	.000	.000	구 속
	M_{3max}	-2088.158	-.02	-192.514	.000	구 속	-20.89	.000	5.738	비구속
지진	M_{2max}	-1897.956	-8.56	-199.800	.008	구 속	-21.67	-470.680	.011	구 속
	M_{3max}	-1897.956	-2.57	-665.980	.001	구 속	-72.24	-141.200	.128	비구속

3. 임계하중산정

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

여기서,

$$EI = \frac{0.4 E_c I}{1 + \beta_d}$$

$$\beta_d = \frac{\text{최대 장기지속 계수축력}}{\text{전체 계수축력}}$$

$$E_c = 2,310,000$$

1) 코핑의 강성도($I = 0.35 I_g$)

번호	교축방향				교축직각방향			
	I	EI	l	EI/l	I	EI	l	EI/l
1	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.911	.60152E+07	13.500	.44557E+06
계	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.44557E+06

2) 기둥의 강성도($I = 0.70 I_g$)

번호	교축방향				교축직각방향			
	I	EI	l	EI/l	I	EI	l	EI/l
1	.550	.18143E+07	10.600	.17116E+06	.550	.18143E+07	7.600	.23872E+06
2	.550	.18143E+07	10.600	.17116E+06	.550	.18143E+07	7.600	.23872E+06
계	.000	.00000E+00	.000	.34232E+06	.000	.00000E+00	.000	.47744E+06

· 압축부재 강성도비

상부 $\psi = \dfrac{\sum (EI/l)\, col}{\sum (EI/l)\, beam}$

상부 $\psi = \dfrac{\sum (EI/l)\, col}{\sum (EI/l)\, beam}$

도로설계기준 6.5.1로부터 k산출

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	β_d	EI	P_c	k	β_d	EI	P_c
일반	$p_{\max}$				비횡구속	1.000	.823	.39819E+06	.68040E+05
	$M_{2\max}$				비횡구속	1.000	.927	.37668E+06	.64364E+05
	$M_{3\max}$	2.000	.928	.37632E+06	.82639E+04				비횡구속
최소	$p_{\max}$				비횡구속	1.000	.781	.40749E+06	.69628E+05
	$M_{2\max}$				비횡구속	1.000	.907	.38062E+06	.65038E+05
	$M_{3\max}$	2.000	.909	.38017E+06	.83484E+04				비횡구속
지진	$M_{2\max}$	2.000	.811	.40068E+06	.87989E+04	1.000	.811	.40068E+06	.68466E+05
	$M_{3\max}$	2.000	.935	.37510E+06	.82370E+04				비횡구속

4. 횡구속 골조일 경우의 확대모멘트계산

1) 세장비검토

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \quad \leq \quad 34 - 12\,(M_1 / M_2)$$

여기서,

M_1, M_2 : 기둥 양끝단 모멘트

M_1/M_2의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때 (-)

$M_1/M_2 \geq -0.5$, $r = \sqrt{I/A}$

교축방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

직각방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	전항식	후항식	판 단	k	전항식	후항식	판 단
일반	P_{max}				비횡구속	1.000	15.20	38.24	단 주
	M_{2max}				비횡구속	1.000	15.20	39.63	단 주
	M_{3max}	2.000	42.40	34.00	장 주				비횡구속
최소	P_{max}				비횡구속	1.000	15.20	38.13	단 주
	M_{2max}				비횡구속	1.000	15.20	39.71	단 주
	M_{3max}	2.000	42.40	34.00	장 주				비횡구속
지진	M_{2max}	2.000	42.40	34.00	장 주	1.000	15.20	40.00	단 주
	M_{3max}	2.000	42.40	34.00	장 주				비횡구속

2) 확대모멘트

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

여기서,

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - P_u/(0.75 P_c)} \geq 1.0$$

$$C_m = 0.6 + 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4$$

기둥양단사이에 횡하중이 있는 경우 $C_m = 1.0$

$M_{2min} = P_u \cdot e_{min}$ 이상이어야함

$e_{min} = 1.5 + 0.03h$

교축방향 = 0.075

교축직각방향 = 0.075

· 교축방향 확대모멘트

구 분		C_m	P_u	P_c	δ	M_u		$\delta \cdot M_2$
						M_u	M_{umin}	
일반	p_{max}							비횡구속
	M_{2max}							비횡구속
	M_{3max}	.60	-1328.773	8263.943	1.000	1020.326	-99.658	1020.326
최소	p_{max}							비횡구속
	M_{2max}							비횡구속
	M_{3max}	.60	-1044.079	8348.425	1.000	1020.326	-78.306	1020.326
지진	M_{2max}	1.00	-1169.877	8798.931	1.215	1059.328	-87.741	1287.586
	M_{3max}	1.00	-1015.246	8327.040	1.197	3529.829	-76.143	4223.993

· 교축직각방향 확대모멘트

구 분		C_m	P_u	P_c	δ	M_u		$\delta \cdot M_2$
						M_u	M_{umin}	
일반	p_{max}	단 주	-1499.867	68039.811	1.000	104.074	-112.490	-112.490
	M_{2max}	단 주	-1331.389	64363.981	1.000	210.083	-99.854	210.083
	M_{3max}							비횡구속
최소	p_{max}	단 주	-1215.173	69628.335	1.000	90.898	-91.138	-91.138
	M_{2max}	단 주	-1046.696	65037.887	1.000	196.907	-78.502	196.907
	M_{3max}							비횡구속
지진	M_{2max}	단 주	-1169.877	68465.916	1.000	1041.008	-87.741	1041.008
	M_{3max}							비횡구속

5. 비횡구속 골조일 경우의 확대모멘트 계산

1) 세장비검토

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \quad \leq \quad 22$$

여기서,

$r = \sqrt{I/A}$

교축방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

직각방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	전항식	후항식	판 단	k	전항식	후항식	판 단
일반	p_{max}	2.000	42.40	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{2max}	2.000	42.40	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	30.40	22.00	장 주
최소	p_{max}	2.000	42.40	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{2max}	2.000	42.40	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	30.40	22.00	장 주
지진	M_{2max}				횡 구 속				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	30.40	22.00	장 주

2) 확대모멘트계수 산정

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q}$$

만일, $\delta_s > 1.5$ 이면

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \sum P_u / (0.75 \sum P_c)} \geq 1.0$$

여기서,

$\sum P_u$: 층계수 연직축력의 합

$\sum P_c$: 층방향 변위에 저항하는 모든기둥의 P_c의 합

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

여기서,

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_d}, \quad \beta_d = \frac{\text{최대 장기지속 계수축력}}{\text{전체 계수축력}}$$

구 분		교축방향					교축직각방향				
		δ_{s1}	$\sum P_u$	$\sum P_c$	δ_{s2}	δ_s	δ_{s1}	$\sum P_u$	$\sum P_c$	δ_{s2}	δ_s
일반	p_{max}	1.076	-.30967E+04	-.17735E+05	.00	1.076					횡구속
	M_{2max}	1.192	-26575E+04	-.16528E+05	.00	1.192					횡구속
	M_{3max}					횡구속	-.159	-.26575E+04	.12861E+06	.000	-.159
최소	p_{max}	1.061	-25274E+04	.18196E+05	.00	1.061					횡구속
	M_{2max}	1.145	-20882E+04	.16697E+05	.00	1.145					횡구속
	M_{3max}					횡구속	-.211	-.20882E+04	.12992E+06	.000	-.211
지진	M_{2max}					횡구속					횡구속
	M_{3max}					횡구속	1.147	-.18980E+04	.12385E+06	.000	1.147

3) 확대모멘트 산정

$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$

만일, $\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck} \cdot A_g)}}$ 이면 추가로 확대를 해주어야 한다.

이때, $\delta = \frac{C_m}{1 - P_u/(0.75 \cdot P_c)}$ 이다.

$M_c = \delta M_2$

· 교축방향 확대모멘트

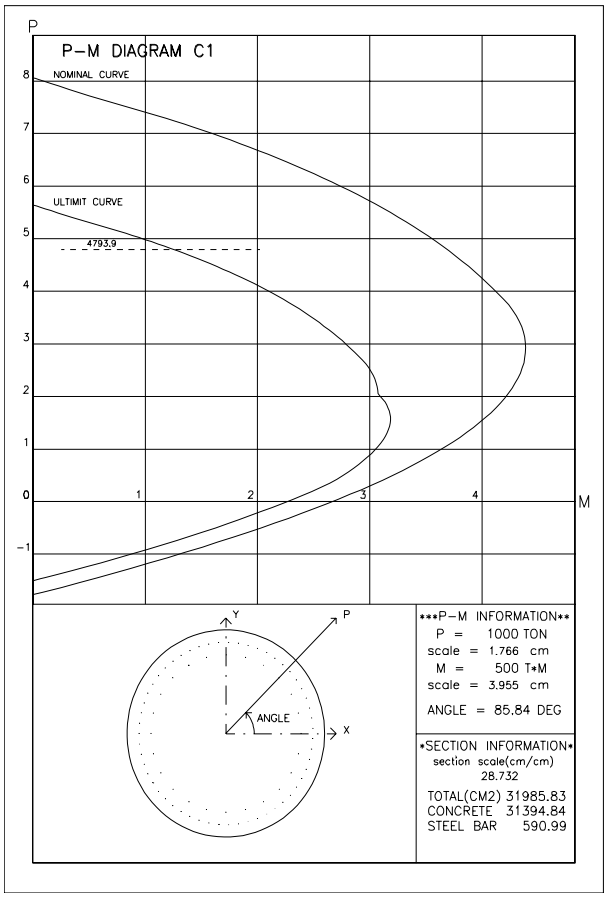
구 분		δ_s	M_2	검 토	C_m	P_u	δ	M_c
일반	P_{max}	1.076	.000	미 만				.000
	M_{2max}	1.192	.000	미 만				.000
	M_{3max}							횡구속
최소	P_{max}	1.061	.000	미 만				.000
	M_{2max}	1.145	.000	미 만				.000
	M_{3max}							횡구속
지진	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}							횡구속

· 교축직각방향 확대모멘트

구 분		δ_s	M_2	검 토	C_m	P_u	δ	M_c
일반	P_{max}							횡구속
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	-.159	125.500	미 만				125.500
최소	P_{max}							횡구속
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	-.211	112.324	미 만				112.324
지진	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	1.147	386.8583	미 만				386.858

구 분		P	δM2	δM3	CASE
일반조합	P최대	1499.867	.000	112.490	1
	교축직각방향 M최대	1331.389	.000	210.083	2
	교축방향 M최대	1328.773	1020.326	125.500	3
최소축력조합	P최소	1215.173	.000	91.138	4
	교축직각방향 M최대	1046.696	.000	196.907	5
	교축방향 M최대	1044.079	1020.326	112.324	6
지진시(R미적용)	조합경우21	1169.877	1287.586	1041.008	7
	조합경우22	1015.246	4223.993	386.858	8
지진시(R적용)	조합경우21	1169.877	429.195	208.202	9
	조합경우22	1015.246	1407.998	77.372	10

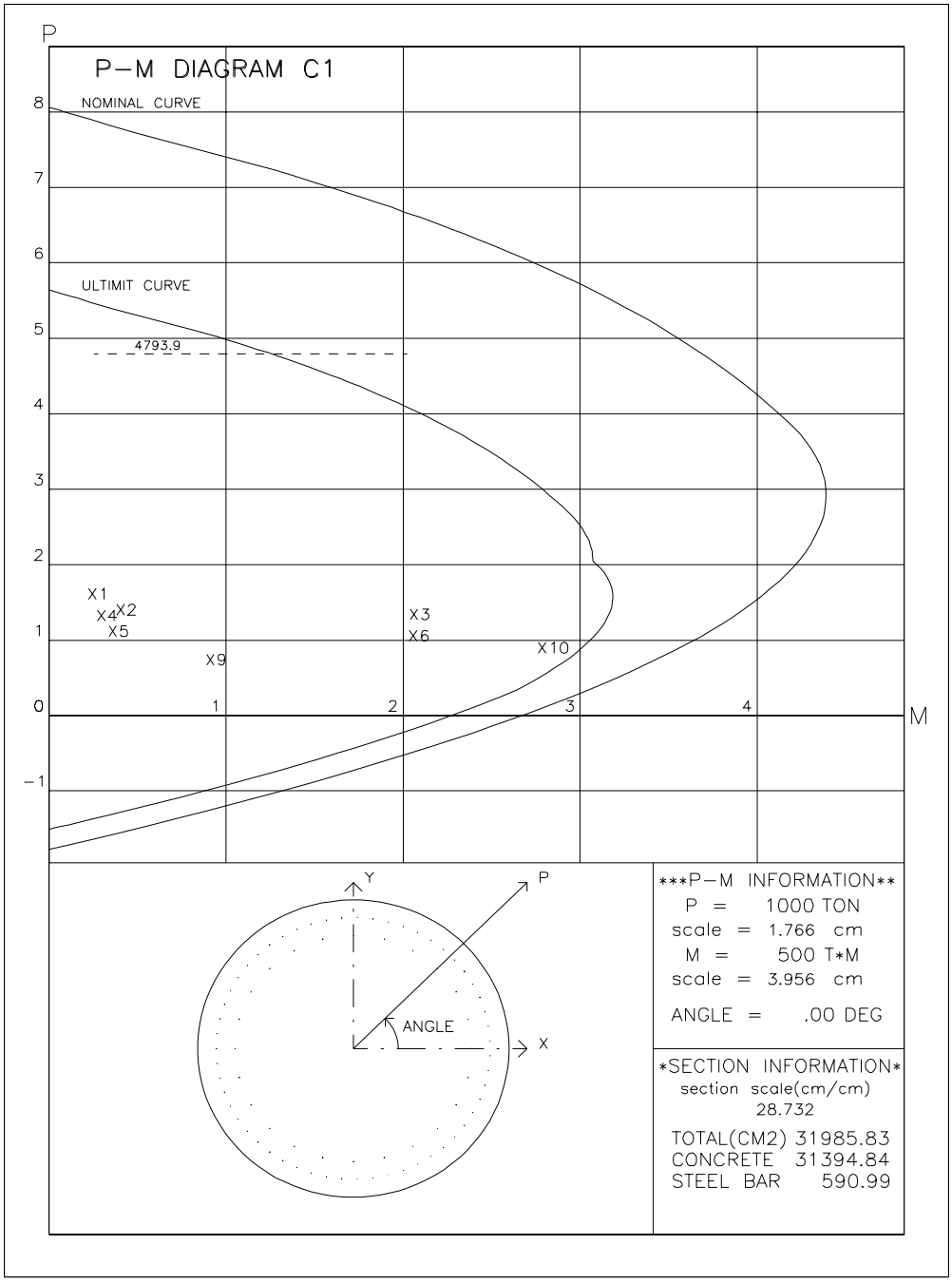
(7) [단계 4-7] 소성힌지 검토



철근량 : D32@100 + D29@200 으로 2단 배근

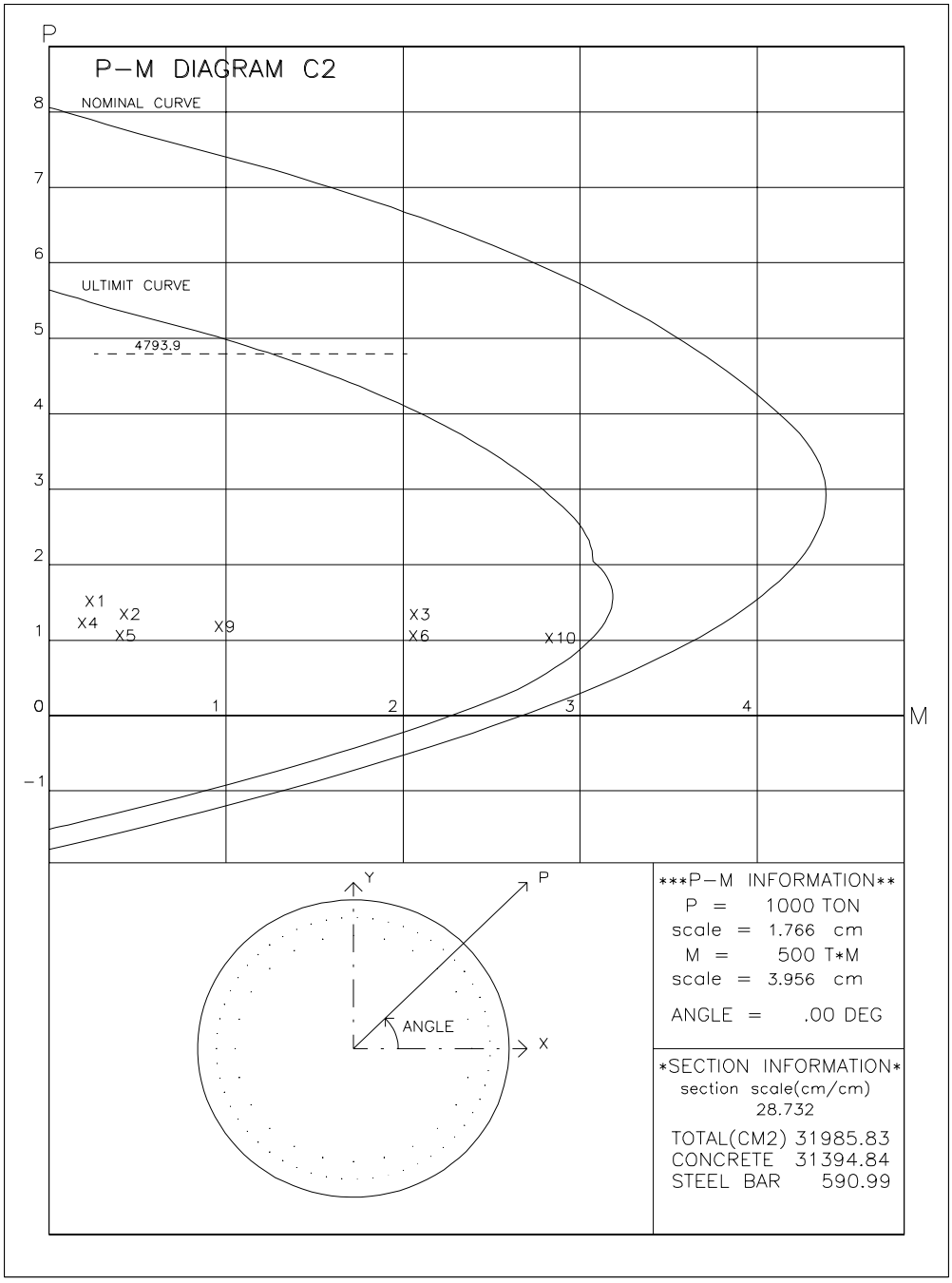
조합 경우 29에서와 같이 응답수정계수를 적용시키지 않은 경우, 단면이 공칭한계를 넘어서므로 소성힌지가 발생됨을 확인할 수 있다.

· 기둥 1 CASE 1~6, 9, 10 에 대한 PM 상관도



* CASE 7, 8은 응답수정계수를 적용하지 않은 지진시로서, 공칭한계가 넘어감을 확인하였으므로 위의 P-M 상관도에서는 수록하지 않았으며, 평상시와 응답수정계수를 적용한 지진시에 대해서 위와 같이 안정성을 검토하였다.

· 기둥 2 CASE 1~6, 9, 10 에 대한 P-M 상관도



* CASE 7, 8은 응답수정계수를 적용하지 않은 지진시로서, 공칭한계가 넘어감을 확인하였으므로 위의 P-M 상관도에서는 수록하지 않았으며, 평상시와 응답수정계수를 적용한 지진시에 대해서 위와 같이 안정성을 검토하였다.

(8) [단계 4-8] 심부구속철근 및 띠철근량 계산

① 횡방향 보강재 검토

- 전단력 산정

$V_{max} = \sqrt{85.0^2 + 333.0^2} = 343.68\ tonf$ (지진시 조합)

- 인장철근들의 도심과 압축연단까지의 거리 d

$$Z_s = \frac{2}{\pi} \times \left(\frac{h}{2} - d' \right) = \frac{2}{\pi} \times \left(\frac{100}{2} - 17 \right) = 52.839\ cm$$

$$d = \frac{h}{2} + Z_s = \frac{200}{2} + 52.839 = 152.839$$

- 전단력 검토

$$V_n = \frac{V_{max}}{\phi} = \frac{343.68}{0.8} = 429.60\ tonf$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 0.53\sqrt{240} \times 200.0 \times 152.839 / 1000 = 253.076\ tonf$$

$$Vs = V_n - Vc = 429.60 - 253.076 = 176.524\ tonf$$

- 필요 전단철근량

$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$ 로 부터

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} = \frac{176.524 \times 10}{3000 \times 154.113} = 3.818\ cm^2$$

사용철근량 $= D19 - 2\ EA = 5.730\ cm^2$ (1단)

② 심부구속 철근량 산정

$$P_s = 0.45 \cdot \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right]$$ [도·설 V 식 6.8.1]

또는

$$P_s = 0.12 \cdot \frac{f_{ck}}{f_y}$$ [도·설 V 식 6.8.1]

중 큰 값 적용.

A_c : 기둥심부의 면적 $\left(= \frac{\pi \cdot (181.72)^2}{4} = 25935.54\ cm^2\right)$

A_g : 기둥의 전단면적 $\left(= \frac{\pi \cdot (200.00)^2}{4} = 31415.93\ cm^2\right)$

가. $P_s = 0.45 \cdot \frac{240}{3000} \cdot \left[\frac{31415.93}{25935.54} - 1 \right] = 0.0076$

나. $P_s = 0.12 \cdot \frac{240}{3000} = 0.0096$

이므로 [가.]결과 $P_s = 0.0096$ 사용

띠철근 연직간격 $S = 10.0\ cm$로 가정하고 $d = 181.72\ cm$

$$A_{sh} = \frac{P_s \cdot S \cdot d}{4} = \frac{0.0096 \times 10.0 \times 181.72}{4} = 4.361\ cm^2$$

$\therefore$ use D25 = $5.067\ cm^2$

* 원형 띠철근은 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 이음하여 정착 및 이음에 대한 거동을 확보하여야 한다.

③ 심부구속 철근 설치구간 검토

심부철근의 최소설치구간은

· 기둥의 최소단면치수 : $200\ cm$

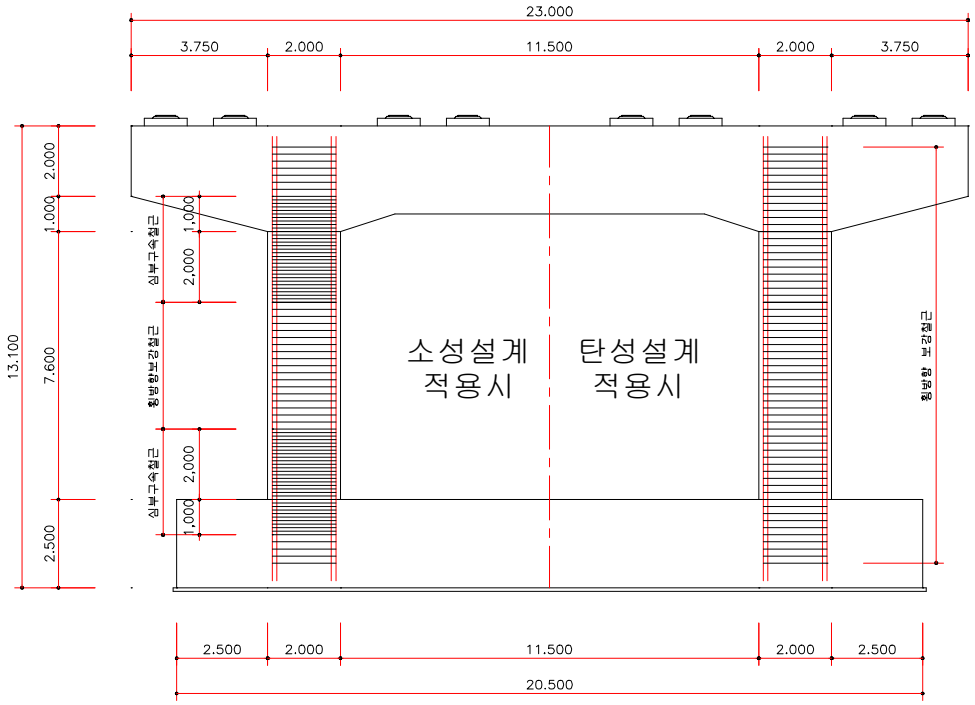
· 기둥 순높이의 1/6(=760.0/6=127 cm)

· $45\ cm$

로부터 $200.0\ cm$ 이상 배치하고, 기둥하단에서는

· 기둥치수의 0.5배이상 연장 (0.5D = 100.0 cm)

· 38 cm 이상으로부터 100.0 cm 이상 배치한다.

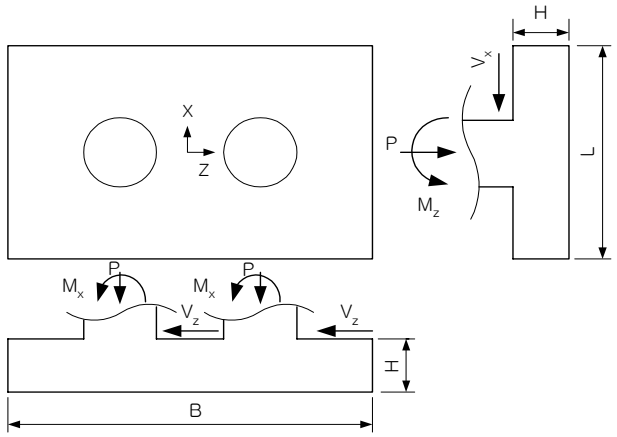


(9) [단계 4-9] 탄성변위량 검토

- 연속지점부이므로 생략

3.3.5 [단계 5] Footing의 설계

(1) [단계 5-1] 기초의 단면 가정



제원 : B = 20.5 *m*, L = 7.0 *m* , H = 2.5 *m*

- FOOTING 자중

$W = B \times L \times H \times 2.5 = 896.875\ tonf$

(2) [단계 5-2] 단면력 및 기초의 안정 검토

① 평상시

가. 축력 최대시

- 기초상단 부재력

$P = 1117.91\ tonf/column > 2235.82\ tonf$

$V_x = 23.32\ tonf/column \rightarrow 46.64\ tonf$

$V_z = 74.04\ tonf/column \rightarrow 148.08\ tonf$

$M_z = 784.87\ tonf \cdot m/column \rightarrow 1569.74\ tonf \cdot m$

$M_x = 73.07\ tonf \cdot m/column \rightarrow 164.14\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 3122.695\ tonf$

· 교축방향

$M_r = (W + P) \times L/2 = 10964.433\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 1686.34\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1878.62\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 2.962\ m$

$e = L/2 - a = 0.538\ m < L/6 = 1.167\ m$ → 사다리꼴분포 O.K

전도안전율 $= M_r / M_o = 6.502 > 2.0$ ∴ O.K

활동안전율 $= H_u / V_x = 40.301 > 1.5$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 31.898,\ 11.764\ tonf/m^2$

$q_{max} = 31.898 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

· 교축직각방향

$M_r = (W + P) \times B/2 = 32110.124\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x + V_z \times H = 516.34\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1877.617\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 10.089\ m$

$e = B/2 - a = 0.165\ m < B/6 = 3.417\ m$ → 사다리꼴분포 O.K

전도안전율 $= M_r / M_o = 62.188 > 2.0$ ∴ O.K

활동안전율 $= H_u / V_z = 12.693 > 1.5$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$q_{max,min} = \sum V / (L \times B) \times (1 \pm 6e/B) = 22.885,\ 20.776\ tonf/m^2$

$q_{max} = 22.885 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

나. 교축방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1117.91\ tonf/column \rightarrow 2235.82\ tonf$

$V_x = 23.32\ tonf/column \rightarrow 46.64\ tonf$

$V_z = 74.04\ tonf/column \rightarrow 148.08\ tonf$

$M_z = 784.87\ tonf \cdot m/column \rightarrow 1569.74\ tonf \cdot m$

$M_x = 73.07\ tonf \cdot m/column \rightarrow 146.14\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 3132.695\ tonf$

$M_r = (W + P) \times L/2 = 10964.433\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 1686.34\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 2.962\ m$

$e = L/2 - a = 0.538\ m < L/6 = 1.167\ m$ → 사다리꼴분포 O.K

전도안전율 = $M_r / M_o = 6.502 > 2.0$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 31.898,\ 11.764\ tonf/m^2$

$q_{max} = 31.898 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

다. 교축직각방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1022.13\ tonf/column \rightarrow 2044.26\ tonf$

$V_x = 32.43\ tonf/column \rightarrow 64.86\ tonf$

$V_z = 74.04\ tonf/column \rightarrow 148.08\ tonf$

$M_z = 784.87\ tonf \cdot m/column \rightarrow 1569.74\ tonf \cdot m$

$M_x = 96.54\ tonf \cdot m/column \rightarrow 193.08\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 2941.135\ tonf$

$M_r = (W + P) \times L/2 = 30146.634\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 563.28\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 10.058\ m$

$e = B/2 - a = 0.192\ m < B/6 = 3.417\ m$ → 사다리꼴분포 O.K

전도안전율 = $M_r / M_o = 53.52 > 2.0$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$q_{max,min} = \sum V / (L \times B) \times (1 \pm 6e/B) = 21.647,\ 19.344\ tonf/m^2$

$q_{max} = 21.647 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

라. 교축방향 전단력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1022.13\ tonf/column \rightarrow 2044.26\ tonf$

$V_x = 32.43\ tonf/column \rightarrow 64.86\ tonf$

$V_z = 74.04\ tonf/column \rightarrow 148.08\ tonf$

$M_z = 784.87\ tonf \cdot m/column \rightarrow 1569.74\ tonf \cdot m$

$M_x = 96.54\ tonf \cdot m/column \rightarrow 193.08\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 2941.135\ tonf$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1764.681\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

활동안전율 $= H_u / V_x = 27.208 > 1.5$ ∴ O.K

마. 교축직각방향 전단력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1117.91\ tonf/column \rightarrow 2235.82\ tonf$

$V_x = 23.32\ tonf/column \rightarrow 46.64\ tonf$

$V_z = 74.04\ tonf/column \rightarrow 148.08\ tonf$

$M_z = 784.87\ tonf \cdot m/column \rightarrow 1559.74\ tonf \cdot m$

$M_x = 73.07\ tonf \cdot m/column \rightarrow 146.14\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 3132.695 tonf$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1879.617\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

활동안전율 $= H_u / V_x = 12.693 > 1.5$ ∴ O.K

② 지진시-1 (하중조합 12)

가. 축력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 882.71\ tonf/column \rightarrow 1765.42\ tonf$

$V_x = 56.23\ tonf/column \rightarrow 112.46\ tonf$

$V_z = 332.97\ tonf/column \rightarrow 665.94\ tonf$

$M_z = 1176.52\ tonf \cdot m/column \rightarrow 2353.04\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$M_x = 51.814\ tonf \cdot m/column \rightarrow 103.628\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$\sum V = W + P = 2662.295$

· 교축방향

$M_r = (W + P) \times L/2 = 9318.033\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + S_x \times H = 2634.190\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1597.377\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 2.511\ m$

$e = L/2 - a = 0.989\ m < L/3 = 2.333\ m$ ∴ O.K

활동안전율 $= Hu / Vx = 14.204 > 1.5$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$e = 0.989\ m < L/6 = 1.167m$ → 지반반력은 사다리꼴이다.

$e < L/6$ 일 때,

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/2) = 34.280,\ 2.825\ tonf/m^2$

$q_{max} = 34.28 < q_a = 90\ tonf/m^2$ ∴ O.K

· 교축직각방향

$M_r = (W + P) \times B/2 = 27288.524\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x + V_z \times H = 1768.678\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1597.377\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 9.586\ m$

$e = B/2 - a = 0.664\ m < B/3 = 6.833\ m$ → O.K

활동안전율 $= H_u / V_z = 2.399 > 1.5$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$e = 0.664\ m < B/6 = 3.417m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < B/6$ 일 때,

$q_{max,min} = \sum V / (L \times B) \times (1 \pm 6e/B) = 22.158,\ 14.947\ tonf/m^2$

$q_{max} = 22.158 < q_a = 90\ tonf/m^2$ ∴ O.K

③ 지진시-2 (하중조합 13)

가. 축력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 728.03\ tonf/column \rightarrow 1456.06\ tonf$

$V_x = 221.86\ tonf/column \rightarrow 443.72\ tonf$

$V_z = 99.83\ tonf/column \rightarrow 199.66\ tonf$

$M_z = 352.85\ tonf \cdot m/column \rightarrow 705.7\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$M_x = 193.214\ tonf \cdot m/column \rightarrow 386.428\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$\sum V = W + P = 3698.85$

· 교축방향

$M_r = (W + P) \times L/2 = 8235.273\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 1815.0\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1411.761\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 2.729\ m$

$e = L/2 - a = 0.771\ m < L/3 = 2.729\ m \rightarrow$ O.K

활동안전율 $= H_u / V_x = 3.182 > 1.2 \quad \therefore$ O.K

지지력 검토

$e = 0.773\ m < L/6 = 1.167m \rightarrow$ 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < L/6$ 일 때,

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 27.233,\ 5.561\ tonf/m^2$

$q_{max} = 27.233 < q_a = 90\ tonf/m^2 \quad \therefore$ O.K

· 교축직각방향

$M_r = (W + P) \times B/2 = 24117.584\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x + V_z \times H = 885.578\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1411.791\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 9.874\ m$

$e = B/2 - a = 0.376\ m < B/3 = 6.833\ m \rightarrow$ O.K

활동안전율 $= H_u / V_z = 7.071 > 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 지지력 검토

$e = 0.376\ m < B/6 = 3.417m \rightarrow$ 지반반력은 사다리꼴분포이다.

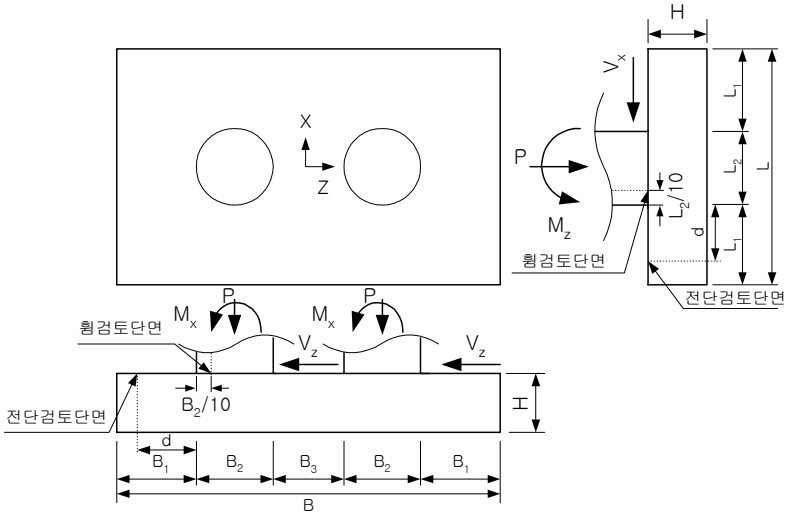
$e < B/6$ 일 때,

$q_{max,min} = \sum V / (L \times B) \times (1 \pm 6e/B) = 18.201,\ 14.592\ tonf/m^2$

$q_{max} = 18.201 < q_a = 90\ tonf/m^2 \quad \therefore$ O.K

(3) [단계 5-3] 단면검토

① 평상시



- 기초제원

$L_1 = 2.50\,m$, $L_2 = 2.0\,m$, $L = 7.0\,m$

$B_1 = 2.50\,m$, $B_2 = 2.0\,m$, $B_3 = 11.5\,m$, $B = 20.50\,m$

$H = 2.5\,m$, $d = 2.4\,m$

- FOOTING 자중 (하중계수 포함)

$W = 1.3 \times (B \times L \times H \times 2.5) = 1165.938\ tonf$

- 유효폭 계산 (휨모멘트 계산시)

· 교축방향

$B' = 2 \times (B_2 + 2d) = 13.6 \ < \ B = 20.5 \quad \therefore B' = 13.6$

· 교축직각방향

$L' = L_2 + 2d = 6.8 \ < \ L = 7 \quad \therefore L' = 6.8$

가. 축력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1596.9\ tonf/column \rightarrow 3193.8\ tonf$

$V_x = 0\ tonf/column \rightarrow 0\ tonf$

$V_z = 38.6\ tonf/column \rightarrow 77.2\ tonf$

$M_z = 0\ tonf \cdot m/column \rightarrow 0\ tonf \cdot m$

$M_x = 119.8\ tonf \cdot m/column \rightarrow 239.6\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 4090.675$

· 교축방향

$M_r = (W + P) \times L/2 = 14317.363\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 0\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 3.5\ m$

$e = L/2 - a = 0\ m < L/6 = 1.167\ m \rightarrow$ 사다리꼴 분포

$e < L/6$ 일때

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 28.506,\ 28.506\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{max} + L_1/L \times (q_{min} - q_{max}) = 28.506\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{max} + (L_1 - d) / L \times (q_{min} - q_{max}) = 28.506\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{max} \times L_1 \times 2/3\ L_1 + 1/2 \times q_{mom} \times L_1 \times 1/3\ L_1) - 1.3\ (L_1 \times H \times 2.5 \times L_1/2)\} \times B/B' = 96.004\ tonf \cdot m/m$

$V_u = (q_{max} + q_{shear})/2 \times (L_1 - d) - 1.3\ (L_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 2.038\ tonf/m$

· 교축직각방향

$M_r = (W + P) \times B/2 = 41929.419 tonf \cdot m$

$M_o = M_x + V_z \times H = 432.6\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 10.144\ m$

$e = B/2 - a = 0.106\ m < B/6 = 3.417\ m \rightarrow$ 사다리꼴 분포

$e < B/6$ 일때

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 29.391,\ 27.622\ tonf/m^2$

나. 교축방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1453.3\ tonf/column \rightarrow 2906.6\ tonf$

$V_x = 96.3\ tonf/column \rightarrow 192.6\ tonf$

$V_z = 30.3\ tonf/column \rightarrow 60.6\ tonf$

$M_z = 340.1\ tonf \cdot m/column \rightarrow 680.2\ tonf \cdot m$

$M_x = 19.0\ tonf \cdot m/column \rightarrow 38.0\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 3803.475\ tonf$

$M_r = (W + P) \times L/2 = 13312.163\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 1161.7\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 3.195\ m$

$e = L/2 - a = 0.305\ m < L/6 = 1.167\ m \rightarrow$ 사다리꼴 분포

$e < L/6$ 일때

$q_{\max,\min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 33.434,\ 19.576\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{\max} + L_1/L \times (q_{\min} - q_{\max}) = 28.485\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{\max} + (L_1 - d) / L \times (q_{\min} - q_{\max}) = 33.236\ tonf/m^2$

$M_u = (1/2 \times q_{\max} \times L_1 \times 2/3\ L_1 + 1/2 \times q_{mom} \times L_1 \times 1/3\ L_1)$

$- 1.3\ (L_1 \times H \times 2.5 \times L_1/2) \times B/B' = 111.447\ tonf \cdot m/m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (L_1 - d) - 1.3\ (L_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 2.521\ tonf/m$

다. 교축직각방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1391.0\ tonf/column \rightarrow 2782.0\ tonf$

$V_x = 96.3\ tonf/column \rightarrow 192.6\ tonf$

$V_z = 30.3\ tonf/column \rightarrow 60.6\ tonf$

$M_z = 340.1\ tonf \cdot m/column \rightarrow 680.2\ tonf \cdot m$

$M_x = 30.3\ tonf \cdot m/column \rightarrow 60.6\ tonf \cdot m$

$\sum V = W + P = 3678.875\ tonf$

$M_r = (W + P) \times B/2 = 37708.469\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x + V_z \times H = 189.50\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 10.198\ m$

$e = B/2 - a = 0.052\ m < B/6 = 3.417\ m \rightarrow$ 사다리꼴 분포

$e < L/6$ 일때

$q_{\max,\min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 26.027,\ 25.247\ tonf/m^2$

② 지진시-1 (하중조합 29)

가. 축력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1015.2\ tonf/column \rightarrow 2030.4\ tonf$

$V_x = 333.0\ tonf/column \rightarrow 666.0\ tonf$

$V_z = 85.0\ tonf/column \rightarrow 170.0\ tonf$

$M_z = 1176.6\ tonf \cdot m/column \rightarrow 2353.2\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$M_x = 114.3\ tonf \cdot m/column \rightarrow 228.6\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$\sum V = W + P = 2927.275$

· 교축방향

$M_r = (W + P) \times L/2 = 10245.463\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 4018.2\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 2.127\ m$

$e = L/2 - a = 1.3737\ m > L/6 = 1.167\ m \rightarrow$ 삼각형 분포

$e > L/6$ 일때, $x = 3[L/2 - e] = 6.381\ m$

$q_{max,min} = 2\sum V / (B \times x) = 44.756\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{max}/x \times (x - L_1) = 27.221\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{max}/x + (x - L_1 - d) = 44.055\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{max} \times L_1 \times 2/3\ L_1 + 1/2 \times q_{mom} \times L_1 \times 1/3\ L_1) - 1.3\ (L_1 \times H \times 2.5 \times L_1/2)\} \times B/B' = 145.017\ tonf \cdot m/m$

$V_u = (q_{max} + q_{shear})/2 \times (L_1 - d) - 1.3\ (L_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 3.628\ tonf/m$

· 교축직각방향

$M_r = (W + P) \times B/2 = 30004.569\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x + V_z \times H = 653.6\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 10.027\ m$

$e = B/2 - a = 0.223\ m < B/6 = 3.417\ m \rightarrow$ 사다리꼴 분포

$e < B/6$ 일때

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 21.731,\ 19.068\ tonf/m^2$

③ 지진시-2 (하중조합 30)

가. 축력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1169.9\ tonf/column \rightarrow 2339.8\ tonf$

$V_x = 100.0\ tonf/column \rightarrow 200.0\ tonf$

$V_z = 248.8\ tonf/column \rightarrow 497.6\ tonf$

$M_z = 353.1\ tonf \cdot m/column \rightarrow 706.2\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$M_x = 347.0\ tonf \cdot m/column \rightarrow 694.0\ tonf \cdot m$ (R 적용)

$\sum V = W + P = 3236.675\ tonf$

· 교축방향

$M_r = (W + P) \times L/2 = 11328.363\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z + V_x \times H = 1206.2\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 3.127\ m$

$e = L/2 - a = 0.373\ m < L/6 = 1.167\ m \rightarrow$ 사다리꼴 분포

$e < L/6$ 일때

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 29.766,\ 15.344\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{max} + L_1/L \times (q_{min} - q_{max}) = 24.615\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{max} + (L_1 - d) / L \times (q_{min} - q_{max}) = 29.560\ t/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{max} \times L_1 \times 2/3\ L_1 + 1/2 \times q_{mom} \times L_1 \times 1/3\ L_1)$

$- 1.3\ (L_1 \times H \times 2.5 \times L_1/2)\} \times B/B' = 93.852\ tonf \cdot m/m$

$V_u = (q_{max} + q_{shear})/2 \times (L_1 - d) - 1.3\ (L_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 2.154\ tonf/m$

· 교축직각방향

$M_r = (W + P) \times B/2 = 33175.919\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x + V_z \times H = 1938.0\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o) / \sum V = 9.651\ m$

$e = B/2 - a = 0.599\ m < B/6 = 3.417\ m \rightarrow$ 사다리꼴 분포

$e < B/6$ 일때

$q_{max,min} = \sum V / (B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 26.510,\ 18.601\ tonf/m^2$

④ 교축직각방향 단면력 산출

- 입력 DATA

```
system
length=m force=tonf up=+z DOF=UX,UZ,RY

joints
   1  X=-10.250
   2  X=-10.150
   3  X= -7.750
   4  X= -6.750
   5  X= -5.750
   6  X= -3.350
   7  X=  0.000
   8  X=  3.350
   9  X=  5.750
  10  X=  6.750
  11  X=  7.750
  12  X= 10.150
  13  X= 10.250

RESTRAINTS
  ADD=4   DOF=UX,UZ
  ADD=10 DOF=    UZ

MATERIAL
  NAME=CONC IDES=C W=2.5 M=2.5/9.81
     E=2.32E6

FRAME SECTION
  NAME=FOOT TYPE=PRISM MAT=CONC SH=R T=2.5,1.0

FRAME
  1 J=1,2 SEC=FOOT NSEG=4
    GEN=1,12,1 IINC=1 JINC=1
```

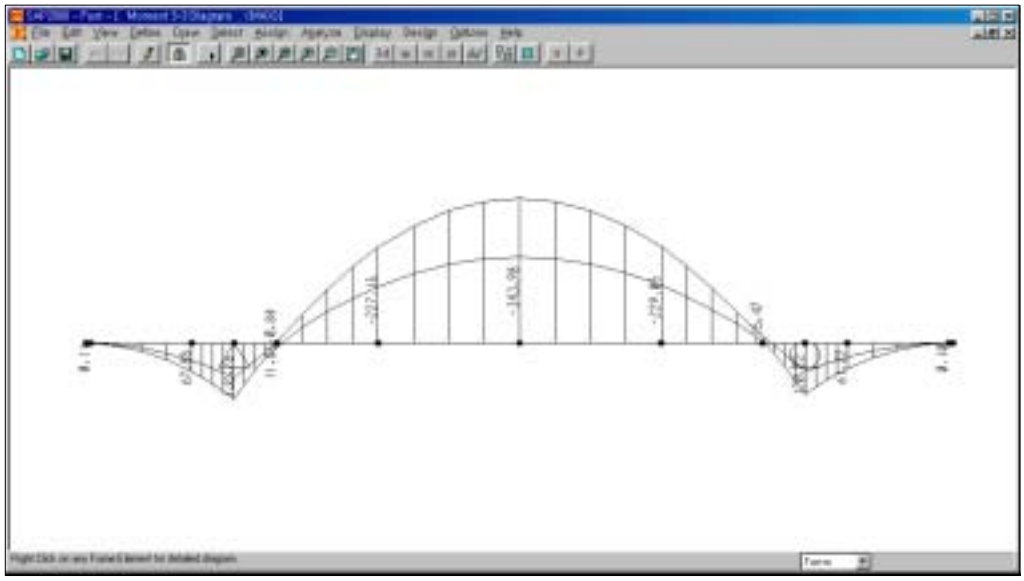
```
LOAD
 NAME=DEAD SW=1.3

 NAME=PMAX   TYPE=DIST
    ADD=1  RD=0,1  UZ=29.931,29.92
    ADD=2  RD=0,1  UZ=29.92,29.649
    ADD=3  RD=0,1  UZ=29.649,29.537
    ADD=4  RD=0,1  UZ=29.537,29.424
    ADD=5  RD=0,1  UZ=29.424,29.154
    ADD=6  RD=0,1  UZ=29.154,28.777
    ADD=7  RD=0,1  UZ=28.777,28.399
    ADD=8  RD=0,1  UZ=28.399,28.129
    ADD=9  RD=0,1  UZ=28.129,28.016
    ADD=10  RD=0,1  UZ=28.016,27.904
    ADD=11  RD=0,1  UZ=27.904,27.633
    ADD=12  RD=0,1  UZ=27.633,27.622

  NAME=MMAX   TYPE=DIST
    ADD=1  RD=0,1  UZ=26.027,26.023
    ADD=2  RD=0,1  UZ=26.023,25.932
    ADD=3  RD=0,1  UZ=25.932,25.894
    ADD=4  RD=0,1  UZ=25.894,25.856
    ADD=5  RD=0,1  UZ=25.856,25.764
    ADD=6  RD=0,1  UZ=25.764,25.637
    ADD=7  RD=0,1  UZ=25.637,25.51
    ADD=8  RD=0,1  UZ=25.51,25.418
    ADD=9  RD=0,1  UZ=25.418,25.38
    ADD=10  RD=0,1  UZ=25.38,25.342
    ADD=11  RD=0,1  UZ=25.342,25.251
    ADD=12  RD=0,1  UZ=25.251,25.247

  NAME=EQ1   TYPE=DIST
    ADD=1  RD=0,1  UZ=21.731,21.718
    ADD=2  RD=0,1  UZ=21.718,21.406
    ADD=3  RD=0,1  UZ=21.406,21.276
```

```
    ADD=4  RD=0,1  UZ=21.276,21.146
    ADD=5  RD=0,1  UZ=21.146,20.835
    ADD=6  RD=0,1  UZ=20.835,20.4
    ADD=7  RD=0,1  UZ=20.4,19.964
    ADD=8  RD=0,1  UZ=19.964,19.653
    ADD=9  RD=0,1  UZ=19.653,19.523
    ADD=10  RD=0,1  UZ=19.523,19.393
    ADD=11  RD=0,1  UZ=19.393,19.081
    ADD=12  RD=0,1  UZ=19.081,19.068

  NAME=EQ2   TYPE=DIST
    ADD=1  RD=0,1  UZ=26.51,26.471
    ADD=2  RD=0,1  UZ=26.471,25.545
    ADD=3  RD=0,1  UZ=25.545,25.16
    ADD=4  RD=0,1  UZ=25.16,24.774
    ADD=5  RD=0,1  UZ=24.774,23.848
    ADD=6  RD=0,1  UZ=23.848,22.556
    ADD=7  RD=0,1  UZ=22.556,21.263
    ADD=8  RD=0,1  UZ=21.263,20.337
    ADD=9  RD=0,1  UZ=20.337,19.951
    ADD=10  RD=0,1  UZ=19.951,19.566
    ADD=11  RD=0,1  UZ=19.566,18.64
    ADD=12  RD=0,1  UZ=18.64,18.601

COMBO
  NAME=PMAX
    LOAD=DEAD
    LOAD=PMAX

  NAME=MMAX
    LOAD=DEAD
    LOAD=MMAX

  NAME=EQ1
    LOAD=DEAD
```

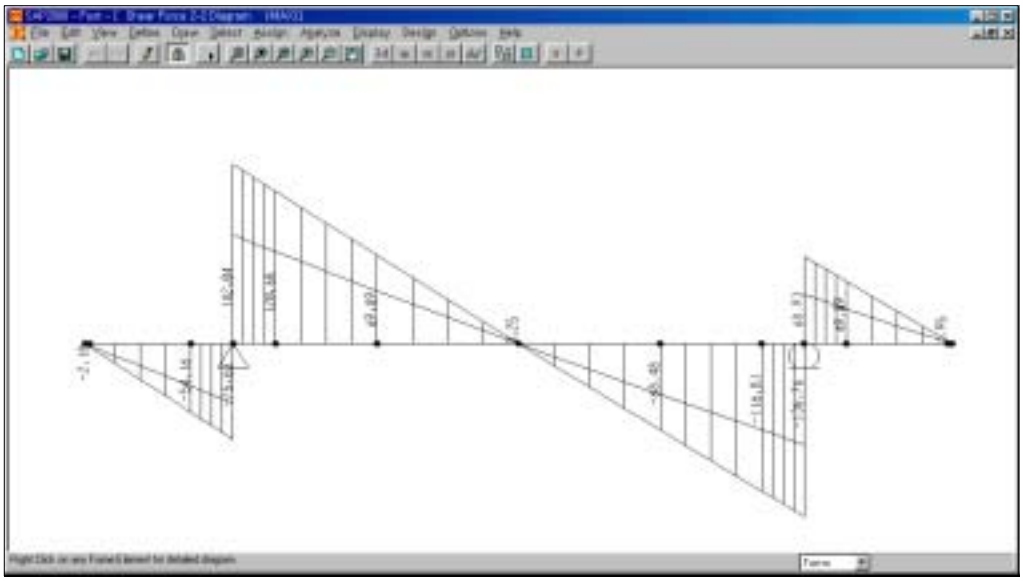
```
    LOAD=EQ1

  NAME=EQ2
    LOAD=DEAD
    LOAD=EQ2

  NAME=MAX  TYPE=ENVE
    COMB=PMAX
    COMB=MMAX
    COMB=EQ1
    COMB=EQ2

END
```

- 최대 단면력도

・모멘트도



· 전단력도



(4) [단계 5-4] 철근량 검토

① 철근량 집계

구 분		교 축 방 향		교 축 직 각 방 향			비 고
		$M_u(tonf \cdot m)$	$V_u(tonf)$	$M_u(tonf \cdot m)$ (내부지간부)	$M_u(tonf \cdot m)$ (내민보부)	$V_u(tonf)$	
상 시	축력최대	96.004	2.038	343.98	67.85	69.89	
	교축방향 모멘트 최대	111.447	2.521				
	교축직각방향 모멘트 최대			291.68	55.84	58.90	
지진시	조합 1	145.017	3.628	204.45	42.18	41.93	
	조합 2	93.852	2.154	240.36	56.45	50.76	
최 대		145.017	3.628	343.98	67.85	69.89	

② 철근량 산정 (교축방향)

$M_u = 145.017\ tonf \cdot m$

폭 $= 100\ cm$, 높이 $= 250\ cm$

$d' = 10\ cm,\ d = 240\ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b\ ,\ T = f_y \cdot A_s$

$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.85 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 100} \times A_s^{\,2} - 0.85 \times 3000 \times 240 \times A_s + 145.017 \times 10^5 = 0$$

$$187.5\, A_s^{\,2} - 61200\, A_s + 145.017 \times 10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{612000 \pm \sqrt{612000^2 - 4 \times 187.5 \times 145.017 \times 10^5}}{2 \times 187.5}$$

$$= 23.87\ cm^2$$

최소 철근량 검토

$0.8 \times \sqrt{f_{ck}}\ / f_y \times b_w \times d =$ 99.15 cm^2 (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14 / f_y \times b_w \times d =$ 112.00 cm^2 (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) =$ 112.00 cm^2

$A_{s,\min}(2) = 4/3 \times A_{s,req'd} =$ 31.83 cm^2 (요구철근량의 4/3 규정)

$A_{s,\min}(3) = 0.002 \times b \times d =$ 48.00 cm^2 (온도철근량 규정)

* (1), (2) 중 작은 값과 (3)을 비교하여 큰 값을 사용.

· 필요철근량 = 48.00 cm^2

· 사용철근량 = D29 @ 100 = 64.24 cm^2

철근비 $= \frac{64.24}{100 \times 240} = 0.0027 \quad < P_{\max} = 0.0289 \quad O.K$

여기서, $P_{\max} = 0.75\times\frac{k_1\cdot 0.85\cdot f_{ck}}{f_y}\cdot\frac{6000}{6000+f_y}$

$= 0.75\times\frac{0.85\times0.85\times240}{3000}\cdot\frac{6000}{6000+3000} = 0.0289$

$a=\frac{64.24\times3000}{0.85\times240\times100}=9.447\ cm$

$\phi M_n = 0.85\times64.24\times3000\times(240-9.447/2)/100000$

$= 385.411\ tonf\cdot m\ >\ M_u = 145.017\ tonf\cdot m$ O.K

③ - 철근량 산정 (교축직각방향 - 내부지간부)

$M_u = 343.98\times7.0/6.8 = 354.1\ tonf\cdot m$

폭 $=100\ cm$, 높이 $=250\ cm$

$d' = 15\ cm$, $d = 235\ cm$

$C = 0.85\ f_{ck}\cdot a\cdot b$, $T = f_y\cdot A_s$

$M_u = \phi\times A_s\times f_y\times\left(d-\frac{a}{2}\right)$

위 식을 조합하여 풀면,

$\frac{\phi\cdot f_y^{\,2}}{1.7\cdot f_{ck}\cdot b}\cdot A_s^{\,2} - \phi f_y\cdot d\cdot A_s + M_u = 0$

이므로 요구철근량은,

$\frac{0.85\times3000^{\,2}}{1.7\times240\times100}\times A_s^{\,2} - 0.85\times3000\times235\times A_s + 354.10\times10^5 = 0$

$187.5\,A_s^{\,2} - 599250\,A_s + 354.10\times10^5 = 0$

$A_{s'req} = \frac{599250\ \pm\ \sqrt{599250^2-4\times187.5\times354.10\times10^5}}{2\times187.5}$

$= 60.225\ cm^2$

최소 철근량 검토

$0.8\times\sqrt{f_{ck}}\ /f_y\times b_w\times d = 97.08\ cm^2$ (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14/f_y\times b_w\times d = 109.67\ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 109.67 \ cm^2$

$A_{s,\min}(2) = 4/3 \times A_{s,req'd} = 80.30 \ cm^2$ (요구철근량의 4/3 규정)

$A_{s,\min}(3) = 0.002 \times b \times d = 47.00 \ cm^2$ (온도철근량 규정)

* (1), (2) 중 작은 값과 (3)을 비교하여 큰 값을 사용.

필요철근량 $= 80.30 \ cm^2$

사용철근량 $=$ 2 단 $-$ $D25$ @ 100 $= 101.34 \ cm^2$

철근비 $= \frac{101.34}{100 \times 235} = 0.0043 \ < P_{\max} = 0.0291 \ O.K$

여기서, $P_{\max} = 0.75 \times \frac{k_1 \cdot 0.85 \cdot f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{6000}{6000 + f_y}$

$= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.85 \times 240}{3000} \cdot \frac{6000}{6000 + 3000} = 0.0289$

$a = \frac{101.34 \times 3000}{0.85 \times 240 \times 100} = 14.903 \ cm$

$\phi M_n = 0.85 \times 101.34 \times 3000 \times (235 - 14.903/2)/100000$

$= 588.024 \ tonf \cdot m \ > \ M_u = 354.097 \ tonf \cdot m \qquad O.K$

④ - 철근량 산정 (교축직각방향 - 외측 내민보부)

$M_u = 67.85 \times 7.0/6.8 = 69.846 \ tonf \cdot m$

폭 $= 100 \ cm$, 높이 $= 250 \ cm$

$d' = 10 \ cm$, $d = 240 \ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$

위 식을 조합하여 풀면,

$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.85\times3000^2}{1.7\times240\times100}\times A_s^2 - 0.85\times3000\times240\times A_s + 69.846\times10^5 = 0$$

$$187.5\,A_s^2 - 612000\,A_s + 69.846\times10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{612000 \pm \sqrt{612000^2 - 4\times187.5\times69.846\times10^5}}{2\times187.5}$$

$$= 11.453\ cm^2$$

최소 철근량 검토

$0.8\times\sqrt{f_{ck}}/f_y\times b_w\times d = 99.15\ cm^2$ (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14/f_y\times b_w\times d = 112.00\ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 112.00\ cm^2$

$A_{s,\min}(2) = 4/3\times A_{s,req'd} = 15.270\ cm^2$ (요구철근량의 4/3 규정)

$A_{s,\min}(3) = 0.002\times b\times d = 48.00\ cm^2$ (온도철근량 규정)

* (1), (2) 중 작은 값과 (3)을 비교하여 큰 값을 사용.

필요철근량 $= 48.00\ cm^2$

사용철근량 $= D29\ @\ 100 = 64.24\ cm^2$

철근비 $= \frac{64.24}{100\times240} = 0.0027 \quad < P_{\max} = 0.0289 \quad O.K$

여기서, $P_{\max} = 0.75\times\frac{k_1\cdot 0.85\cdot f_{ck}}{f_y}\cdot\frac{6000}{6000+f_y}$

$$= 0.75\times\frac{0.85\times0.85\times240}{3000}\cdot\frac{6000}{6000+3000} = 0.0289$$

$a = \frac{64.24\times3000}{0.85\times240\times100} = 9.447\ cm$

$\phi M_n = 0.85\times64.24\times3000\times(240-9.447/2)/100000$

$= 385.411\ tonf\cdot m > M_u = 69.846\ tonf\cdot m \qquad O.K$

⑤ 전단 검토 (교축방향)

$$\phi\ V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$$

$$= 0.8 \times 0.53\sqrt{240} \times 100 \times 240 / 1000$$

$$= 157.646\ tonf \quad > \quad V_u = 3.628\ tonf$$

∴ 전단철근 보강 불필요

⑥ 전단 검토 (교축직각방향)

$$\phi\ V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$$

$$= 0.8 \times 0.53\sqrt{240} \times 100 \times 235 / 1000$$

$$= 154.362\ tonf \quad > \quad V_u = 69.890\ tonf$$

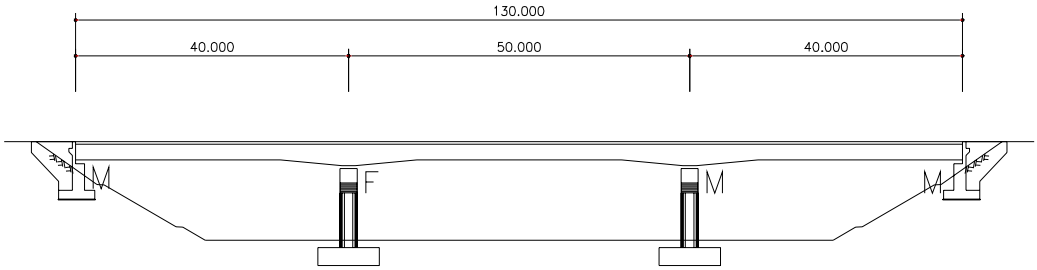
∴ 전단철근 보강 불필요

3.4 T형 교각 설계예

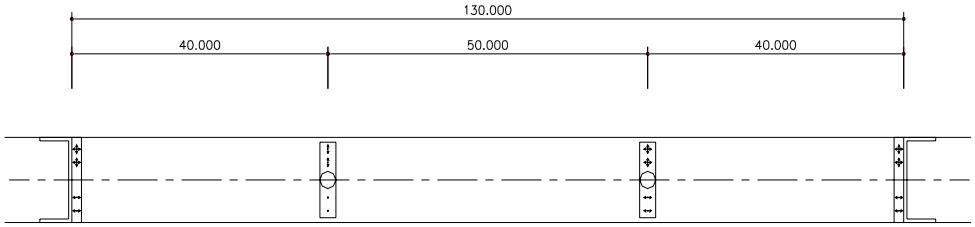
3.4.1 [단계 1] 단면제원가정 및 단면제상수 계산

본 교량은 도심지의 관내도로를 횡단하여 개방감의 확보가 필요하고, 장래 교량 하단을 공용시설로 활용할 수 있도록 할 필요가 있으며, 상부형식이 2주형 강상자 형교라서, 미관이 우수하고 상부형식과의 조화미가 있는 원형기둥의 T형 교각을 선정하였다.

・종단면도



・평면도



- 형 식 : T형교각
- 상부구조 : 강상자형교
- 기초형식 : 직접기초
- 활 하 중 : DB-24, DL-24
- 사용재료

・콘크리트 : $f_{ck} = 240\ (kgf/cm^2)$

・철 근 : $f_y = 3000\ (kgf/cm^2)$

- 강도 감소계수

· 휨 및 인장부재 : $\phi_f = 0.85$

· 전 단 : $\phi_v = 0.80$

· 축방향 압축부재 : $\phi_c = 0.65$

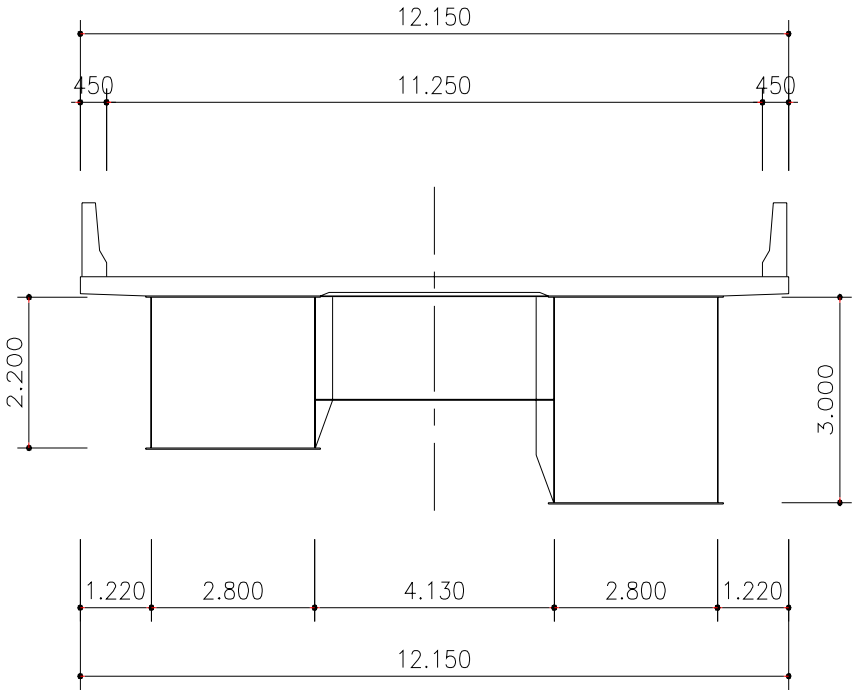
- 재료 특성

· 흙의 단위중량 : $2.0\ (tonf/m^3)$

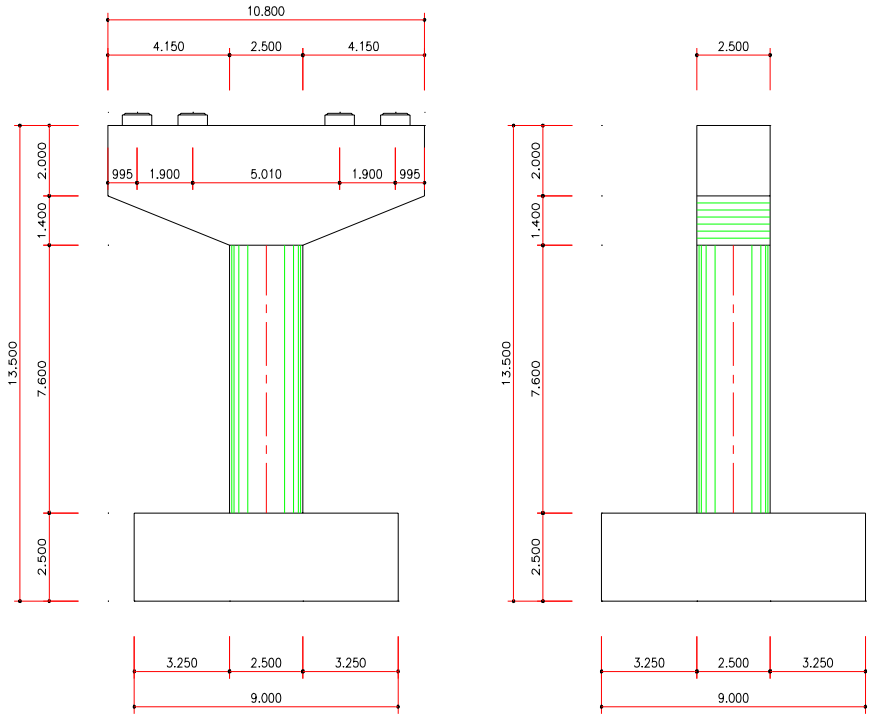
· 콘크리트의 단위중량 : $2.5\ (tonf/m^3)$

· 흙의 내부마찰각 : $\phi = 35^\circ$

· 상부구조도



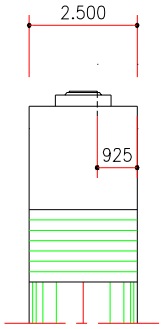
· 하부구조도



(1) [단계 1-1] 받침연단거리 검토

· 거더의 경간길이 100 m 이하 : S = 20+0.5L

$S = 20 + 0.5 \times 50 = 45\ (cm) \ < \ 92.5\ (cm) \quad O.K$



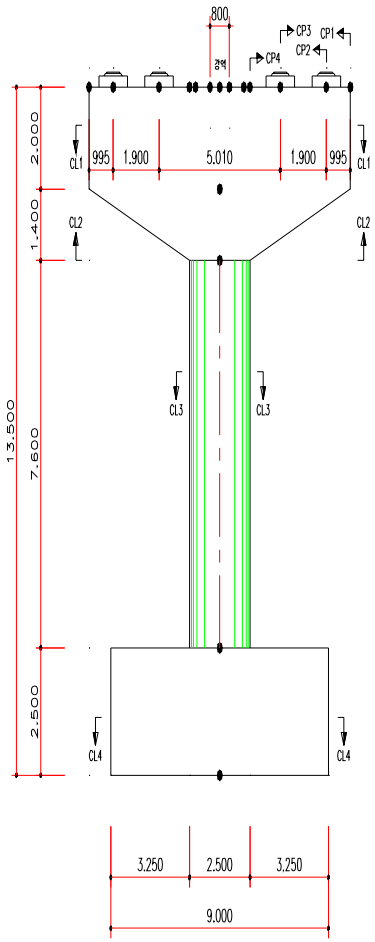
(2) [단계 1-2] 최소받침 지지길이 검토 [도·설 P462]

· 연속 지점부이므로 생략

(3) [단계 1-3] 기둥단면제원 가정

경제성과 내구성의 확보를 위하여 지름 2.5 m의 원형 단면으로 가정함.

(4) [단계 1-4] 단면제상수의 계산



SECTION NAME	B(D)	H	A	I22	I33	비 고
CP1	2.500	2.000	5.000	2.604	1.667	
CP2	2.500	2.336	5.840	3.042	2.656	
CP3	2.500	2.977	7.443	3.876	5.497	
CP4	2.500	3.400	8.500	4.427	8.188	
RIGD	2.500	3.400	8.500	4.427	8.188	
CL1	10.800	2.500	27.000	262.440	14.063	
CL2	2.500	2.500	6.250	3.255	3.255	
CL3	2.500	-	4.909	1.917	1.917	
CL4	9.000	9.000	81.000	546.750	546.750	

3.4.2 [단계 2] 하중계산

(1) [단계 2-1] 고정하중 산정

· 상부구조로부터의 고정하중반력 (*tonf*)

교좌번호	반력 (*tonf*)
1	198.309
2	204.939
3	204.939
4	198.309

· 교각 자중

2.5 $tonf/m^3$의 값을 프로그램에서 자동재하

(2) [단계 2-2] 활하중 산정

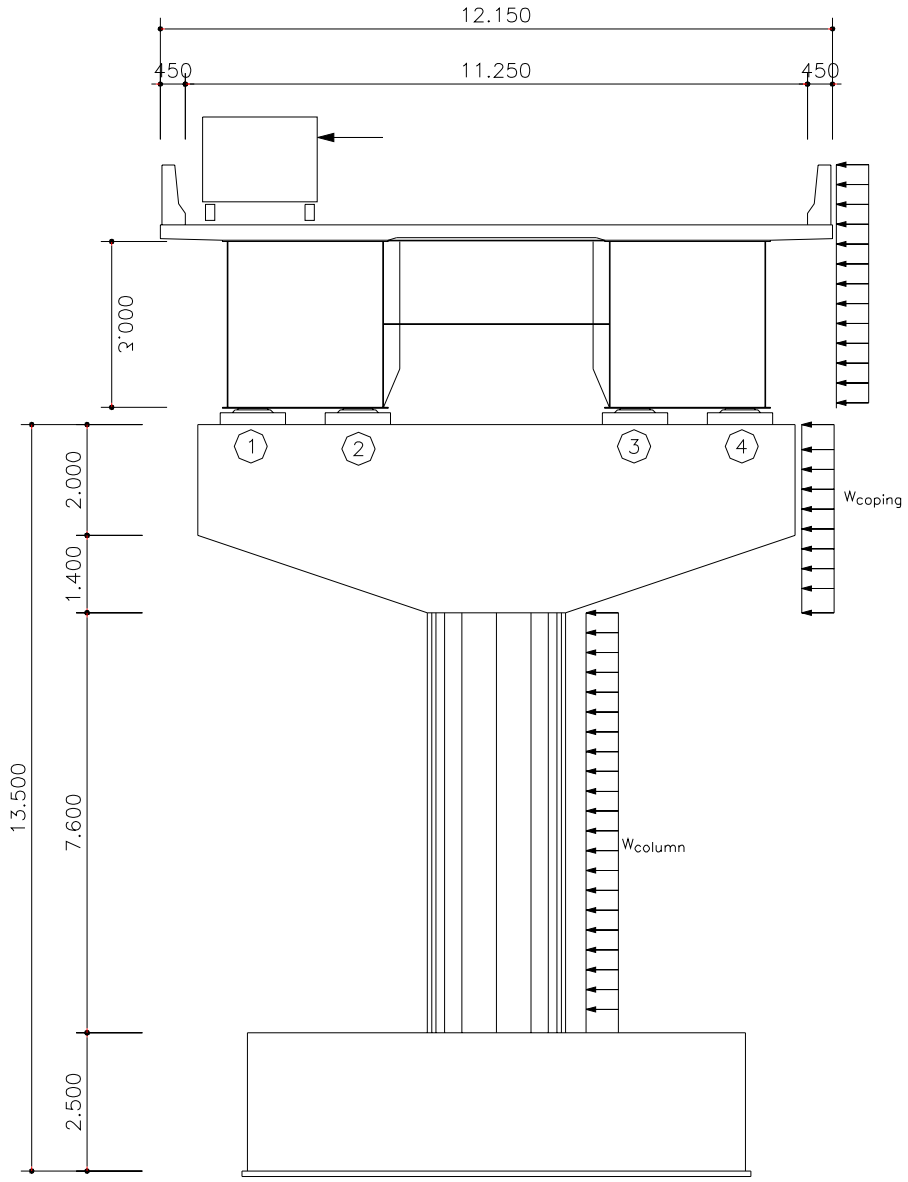
· 상부구조로부터의 활하중반력

교좌번호	편재하시 반력 (*tonf*)	만재하시 반력 (*tonf*)
1	30.108	26.562
2	49.374	45.708
3	26.437	52.386
4	-8.347	7.067

(3) [단계 2-3] 풍하중 산정

· 상부구조에 작용하는 풍하중반력

교좌번호	활하중 비재하시 (*tonf*)		활하중 재하시 (*tonf*)	
	수평반력	수직반력	수평반력	수직반력
1	-	11.989	-	8.782
2	-	6.833	-	5.006
3	28.247	-6.833	17.499	-5.006
4	28.247	-11.989	17.499	-8.782



① 교각에 작용하는 풍하중

가. 활하중 비재하시

· Wcoping = 0.300 × 2.5 = 0.750 $tonf/m$

· Wcolumn = 0.150 × 2.5 = 0.375 $tonf/m$

나. 활하중 재하시

- 교축직각방향 (Z-AXIS)

· Wcoping = 1/2 x 0.300 × 2.5 = 0.375 $tonf/m$

· Wcolumn = 1/2 x 0.150 × 2.5 = 0.1875 $tonf/m$

(4) [단계 1-4] 온도하중 산정

① 온도변화에 의한 수평변위(기준온도 15℃)

$\cdot \delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$

$= 1.2\times10^{-5}\times30.0\times50.0 = 0.018$

② 등가수평력

$\cdot \delta = (P \cdot L^{3)}/(3 \cdot E \cdot I)$

$P_h = (3 \cdot E \cdot I \cdot \delta) / L^3$

$= (3/11.0^3)\times2323790\times1.917\times1EA\times0.018 = 150.610\ tonf$

여기서,

$L = 11.0\ m$

$I = 1.917\ m^4$

$E = 1500\sqrt{f_{ck}} = 1500\sqrt{240}$

③ 교좌장치 마찰에 의한 수평력

· 상부하중 : 806.5 *tonf*

$\cdot\ P_{h2} = \mu \cdot w = (0.10\times806.5) = 80.7\ tonf$

④ LONGITUDINAL FORCE

$\cdot\ P_h = 80.7\ tonf$

(5) [단계 2-5] 수압의 산정

· 해당사항 없음

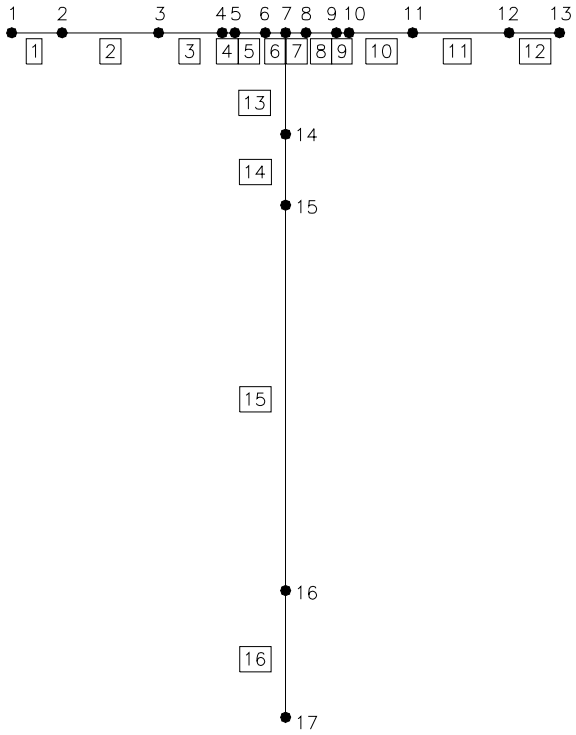
(6) [단계 2-6] 충돌하중의 산정

· 해당사항 없음

3.4.3 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합

(1) [단계 3-1] 해석 모델링 및 하중재하

① 모델링



② JOINT 좌표

1	X= -5.400	Z= 0.000
2	X= -4.405	Z= 0.000
3	X= -2.505	Z= 0.000
4	X= -1.250	Z= 0.000
5	X= -1.000	Z= 0.000
6	X= -0.400	Z= 0.000
7	X= 0.000	Z= 0.000
8	X= 0.400	Z= 0.000
9	X= 1.000	Z= 0.000
10	X= 1.250	Z= 0.000
11	X= 2.505	Z= 0.000
12	X= 4.405	Z= 0.000
13	X= 5.400	Z= 0.000
14	X= 0.000	Z= -2.000

15 X= 0.000 Z= -3.400
16 X= 0.000 Z=-11.000
17 X= 0.000 Z=-13.500

③ 입력 DATA

```
SYSTEM
 LENGTH=M   FORCE=tonf   UP=+Z   PAGE=SECTIONS

 JOINT
1       X= -5.400   Z=   0.000
2       X= -4.405   Z=   0.000
3       X= -2.505   Z=   0.000
4       X= -1.250   Z=   0.000
5       X= -1.000   Z=   0.000
6       X= -0.400   Z=   0.000
7       X= 0.000   Z=   0.000
8       X= 0.400   Z=   0.000
9       X= 1.000   Z=   0.000
10      X= 1.250   Z=   0.000
11      X= 2.505   Z=   0.000
12      X= 4.405   Z=   0.000
13      X= 5.400   Z=   0.000
14      X= 0.000   Z=   -2.000
15      X= 0.000   Z=   -3.400
16      X= 0.000   Z=   -11.000
17      X= 0.000   Z=   -13.200

RESTRAINT
ADD= 17   DOF=ALL

MATERIAL
NAME=CONC     W=2.5   ; concrete
E=2.32E6      U=0.15   A=1.0E-5
NAME=NOWT     ; concrete without weight
E=2.32E6      U=0.15   A=1.0E-5
```

```
 NAME=RIGD     W=2.5   ;rigid
 E=2.32E8      U=0.15   A=1.0E-5

 FRAME SECTION
 NAME=CP1      TYPE=PRISM   MAT=CONC   A=5 J=10    &
I=1.667,2.604   AS=5,5   SH=G
 NAME=CP2      TYPE=PRISM   MAT=CONC   A=5.84 J=10    &
I=2.656,3.042   AS=5.84,5.84   SH=G
 NAME=CP3      TYPE=PRISM   MAT=CONC   A=7.443 J=10    &
I=5.497,3.876   AS=7.443,7.443   SH=G
 NAME=CP4      TYPE=PRISM   MAT=CONC   A=8.5 J=10    &
I=8.188,4.427   AS=8.5,8.5   SH=G
 NAME=RIGD      TYPE=PRISM   MAT=RIGD   A=8.5 J=10    &
I=8.188,4.427   AS=8.5,8.5   SH=G
 NAME=CL1      TYPE=PRISM   MAT=NOWT   A=27 J=10    &
I=14.063,262.44   AS=27,27   SH=G
 NAME=CL2      TYPE=PRISM   MAT=NOWT   A=6.25 J=10    &
I=3.255,3.255   AS=6.25,6.25   SH=G
 NAME=CL3      TYPE=PRISM   MAT=CONC   A=4.909 J=10    &
I=1.917,1.917   AS=4.909,4.909   SH=G
 NAME=CL4      TYPE=PRISM   MAT=CONC   A=81 J=10    &
I=546.75,546.75   AS=81,81   SH=G

   NAME=CP12  TYPE=NONPR   SEC=CP1,CP2   EIVAR=3,1
   NAME=CP21  TYPE=NONPR   SEC=CP2,CP1   EIVAR=3,1
   NAME=CP23  TYPE=NONPR   SEC=CP2,CP3   EIVAR=3,1
   NAME=CP32  TYPE=NONPR   SEC=CP3,CP2   EIVAR=3,1
   NAME=CP34  TYPE=NONPR   SEC=CP3,CP4   EIVAR=3,1
   NAME=CP43  TYPE=NONPR   SEC=CP4,CP3   EIVAR=3,1
   NAME=CL12  TYPE=NONPR   SEC=CL1,CL2   EIVAR=3,1

  FRAME
    1   J= 1, 2   SEC=CP12
    2   J= 2, 3   SEC=CP23
    3   J= 3, 4   SEC=CP34
```

```
  4  J= 4, 5  SEC=CP4
  5  J= 5, 6  SEC=CP4
  6  J= 6, 7  SEC=RIGD
  7  J= 7, 8  SEC=RIGD
  8  J= 8, 9  SEC=CP4
  9  J= 9, 10  SEC=CP4
  10  J= 10, 11  SEC=CP43
  11  J= 11, 12  SEC=CP32
  12  J= 12, 13  SEC=CP21
  13  J= 7, 14  SEC=CL1  ANG=90
  14  J= 14, 15  SEC=CL12  ANG=90
  15  J= 15, 16  SEC=CL3  ANG=90
  16  J= 16, 17  SEC=CL4  ANG=90

LOAD
NAME=DEAD
  TYPE=GRAV  ELEM=FRAME
    ADD=1,12,1  UZ=-1   ; COPING
    ADD=15,16,1  UZ=-1  ; COLUMN & FOOTING
  TYPE=FORC
    ADD=2  UX=0  UY=0  UZ=-198.3091
    ADD=3  UX=0  UY=0  UZ=-204.9391
    ADD=11  UX=0  UY=0  UZ=-204.9394
    ADD=12  UX=0  UY=0  UZ=-198.3089
NAME=LIVEFULL  ; 만재시
  TYPE=FORC
    ADD=2  UX=0  UY=0  UZ=-26.562
    ADD=3  UX=0  UY=0  UZ=-45.708
    ADD=11  UX=0  UY=0  UZ=-52.386
    ADD=12  UX=0  UY=0  UZ=-7.067
NAME=LIVEECC  ;편재시
  TYPE=FORC
    ADD=2  UX=0  UY=0  UZ=-30.108
    ADD=3  UX=0  UY=0  UZ=-49.374
```

```
      ADD=11   UX=0   UY=0   UZ=-26.437
      ADD=12   UX=0   UY=0   UZ=8.347
  NAME=WINDFULL
;      transverse wind load without live load
    TYPE=FORC
      ADD=2   UX=0   UY=0   UZ=-11.989
      ADD=3   UX=0   UY=0   UZ=-6.833
      ADD=11   UX=-28.247   UY=0   UZ=6.833
      ADD=12   UX=-28.247   UY=0   UZ=11.989
    TYPE=DIST
      ADD=13,14,1          U3=.750
      ADD=15               U3=.375
  NAME=WINDHALF
;      transverse wind load with live load
    TYPE=FORC
      ADD=2   UX=0   UY=0   UZ=-8.782
      ADD=3   UX=0   UY=0   UZ=-5.006
      ADD=11   UX=-17.499   UY=0   UZ=5.006
      ADD=12   UX=-17.499   UY=0   UZ=8.782
    TYPE=DIST
      ADD=13,14,1          U3=.375
      ADD=15               U3=.1875
  NAME=TEMP
    TYPE=FORC
      ADD=2   UX=0   UY=20.175   UZ=0
      ADD=3   UX=0   UY=20.175   UZ=0
      ADD=11   UX=0   UY=20.175   UZ=0
      ADD=12   UX=0   UY=20.175   UZ=0
  NAME=EQ-LO
    TYPE=FORC
      ADD=2   UX=0   UY=-112.705   UZ=0
      ADD=3   UX=0   UY=-112.705   UZ=0
      ADD=11   UX=-26.325   UY=-112.705   UZ=0
      ADD=12   UX=-26.325   UY=-112.705   UZ=0
```

```
NAME=EQ-TR
  TYPE=FORC
    ADD=2   UX=0   UY=-33.87   UZ=0
    ADD=3   UX=0   UY=-33.87   UZ=0
    ADD=11   UX=-87.75   UY=-33.87   UZ=0
    ADD=12   UX=-87.75   UY=-33.87   UZ=0

COMBO
; ULTIMATE LOAD COMBINATION
  NAME=1                    ; COMBINE 1
    LOAD=DEAD        SF=1.3
    LOAD=LIVEFULL   SF=2.15
  NAME=2                    ; COMBINE 1
    LOAD=DEAD        SF=1.3
    LOAD=LIVEECC    SF=2.15
  NAME=3                    ; COMBINE 2
    LOAD=DEAD        SF=1.3
    LOAD=WINDFULL   SF=1.3
  NAME=4                    ; COMBINE 3
    LOAD=DEAD        SF=1.3
    LOAD=LIVEFULL   SF=1.3
    LOAD=WINDHALF   SF=1.3
  NAME=5                    ; COMBINE 3
    LOAD=DEAD        SF=1.3
    LOAD=LIVEECC    SF=1.3
    LOAD=WINDHALF   SF=1.3
  NAME=6                    ; COMBINE 4
    LOAD=DEAD        SF=1.3
    LOAD=LIVEFULL   SF=1.3
    LOAD=TEMP        SF=1.3
  NAME=7                    ; COMBINE 4
    LOAD=DEAD        SF=1.3
    LOAD=LIVEECC    SF=1.3
    LOAD=TEMP        SF=1.3
```

```
NAME=8                    ; COMBINE 5
  LOAD=DEAD        SF=1.25
  LOAD=WINDFULL   SF=1.25
  LOAD=TEMP        SF=1.25
NAME=9                    ; COMBINE 6
  LOAD=DEAD        SF=1.25
  LOAD=LIVEFULL   SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP        SF=1.25
NAME=10                   ; COMBINE 6
  LOAD=DEAD        SF=1.25
  LOAD=LIVEECC    SF=1.25
  LOAD=WINDHALF   SF=1.25
  LOAD=TEMP        SF=1.25
NAME=11                   ; COMBINE 7
  LOAD=DEAD        SF=1
  LOAD=LIVEFULL   SF=2.15
NAME=12                   ; COMBINE 7
  LOAD=DEAD        SF=1
  LOAD=LIVEECC    SF=2.15
NAME=13                   ; COMBINE 8
  LOAD=DEAD        SF=1
  LOAD=WINDFULL   SF=1.3
NAME=14                   ; COMBINE 9
  LOAD=DEAD        SF=1
  LOAD=LIVEFULL   SF=1.3
  LOAD=WINDHALF   SF=1.3
NAME=15                   ; COMBINE 9
  LOAD=DEAD        SF=1
  LOAD=LIVEECC    SF=1.3
  LOAD=WINDHALF   SF=1.3
NAME=16                   ; COMBINE 10
  LOAD=DEAD        SF=1
  LOAD=LIVEFULL   SF=1.3
```

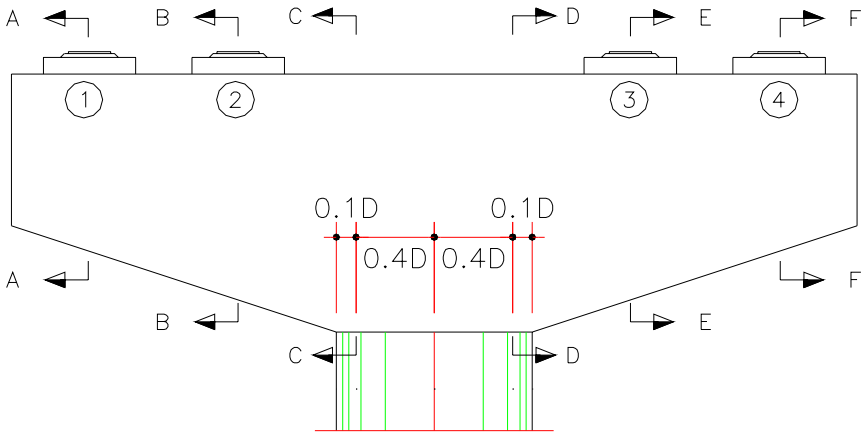
```
      LOAD=TEMP        SF=1.3
    NAME=17                    ; COMBINE 10
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEECC     SF=1.3
      LOAD=TEMP        SF=1.3
    NAME=18                    ; COMBINE 11
      LOAD=DEAD        SF=0.95
      LOAD=WINDFULL    SF=1.25
      LOAD=TEMP        SF=1.25
    NAME=19                    ; COMBINE 12
      LOAD=DEAD        SF=0.95
      LOAD=LIVEFULL    SF=1.25
      LOAD=WINDHALF    SF=1.25
      LOAD=TEMP        SF=1.25
    NAME=20                    ; COMBINE 12
      LOAD=DEAD        SF=0.95
      LOAD=LIVEECC     SF=1.25
      LOAD=WINDHALF    SF=1.25
      LOAD=TEMP        SF=1.25
    NAME=21                    ; COMBINE 13
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=EQ-LO       SF=1
    NAME=22                    ; COMBINE 13
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=EQ-TR       SF=1
;
;summary of comb1-comb22
;
    NAME=MAXMIN  TYPE=ENVE
      COMB=1
      COMB=2
      COMB=3
      COMB=4
      COMB=5
```

```
      COMB=6
      COMB=7
      COMB=8
      COMB=9
      COMB=10
      COMB=11
      COMB=12
      COMB=13
      COMB=14
      COMB=15
      COMB=16
      COMB=17
      COMB=18
      COMB=19
      COMB=20
      COMB=21
      COMB=22
;
; SERVICE LOAD COMBINATION
;
   NAME=S1                    ; COMBINE 14
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEFULL    SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
   NAME=S2                    ; COMBINE 14
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEECC     SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
   NAME=S3                    ; COMBINE 15
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=WINDFULL    SF=1
   NAME=S4                    ; COMBINE 16
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEFULL    SF=1
```

```
      LOAD=WINDHALF   SF=1
    NAME=S5                    ; COMBINE 16
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEECC     SF=1
      LOAD=WINDHALF    SF=1
    NAME=S6                    ; COMBINE 17
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=WINDFULL    SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
    NAME=S7                    ; COMBINE 18
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEFULL    SF=1
      LOAD=WINDHALF    SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
    NAME=S8                    ; COMBINE 18
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=LIVEECC     SF=1
      LOAD=WINDHALF    SF=1
      LOAD=TEMP        SF=1
    NAME=S9                    ; COMBINE 19
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=EQ-LO       SF=1
    NAME=S10                   ; COMBINE 19
      LOAD=DEAD        SF=1
      LOAD=EQ-TR       SF=1
;
;summary of combS1-combS10
;
    NAME=SMAXMIN TYPE=ENVE
      COMB=S1
      COMB=S2
      COMB=S3
      COMB=S4
      COMB=S5
```

```
        COMB=S6
        COMB=S7
        COMB=S8
        COMB=S9
        COMB=S10

    OUTPUT
      ELEM=JOINT   TYPE=DISP   LOAD=*
      ELEM=FRAME   TYPE=FORCE   LOAD=*

END
```

(2) [단계 3-2] 하중조건별 단면력 산출



① 코핑

부재력		모멘트			
하중경우 \ 위치		교좌2	SEC C	SEC D	교좌3
DEAD		-437.70	-1134.62	-1134.62	-437.70
LIVE	FULL	-50.47	-159.23	-102.90	-13.43
	ECC	-57.21	-176.83	-11.37	15.86
WIND	FULL	-22.78	-51.11	51.11	22.78
	HALF	-16.69	-37.44	37.44	16.69
TEMP		0.00	0.00	0.00	0.00

부재력		전단					
하중경우 \ 위치		교좌1	교좌2	SEC C	SEC D	교좌3	교좌4
DEAD		211.79	448.28	478.60	-478.60	-448.28	-211.79
LIVE	FULL	26.56	72.27	72.27	-59.45	-59.45	-7.07
	ECC	30.11	79.48	79.48	-18.09	-18.09	8.35
WIND	FULL	11.99	18.82	18.82	18.82	18.82	11.99
	HALF	8.78	13.79	13.79	13.79	13.79	8.78
TEMP		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

② 교좌받침부

부재력방향	하중경우 \ 위치		교좌1	교좌2	교좌3	교좌4
수직력	DEAD		198.31	204.94	204.94	198.31
	LIVE	FULL	26.56	45.71	52.39	7.07
		ECC	30.11	49.37	26.44	-8.35
	WIND	FULL	11.99	6.83	-6.83	-11.99
		HALF	8.78	5.01	-5.01	-8.78
교축직각	WINDFULL		0.00	0.00	28.25	28.25
	EQ-TR		0.00	0.00	87.75	87.75
교축방향	TEMP		20.18	20.18	20.18	20.18
	EQ-LO		112.71	112.71	112.71	112.71

③ 기둥하단

위치		기둥하단		
하중경우 \ 부재력		P	M2	M3
DEAD		1092.97	0.00	0.00
LIVE	FULL	131.72	69.15	0.00
	ECC	97.57	226.85	0.00
WIND	FULL	0.00	795.84	0.00
	HALF	0.00	504.70	0.00
TEMP		0.00	0.00	887.70
EQ	LO	0.00	579.15	4959.02
	TR	0.00	1930.50	1490.28
EQR*	LO	0.00	193.05	1653.01
	TR	0.00	643.50	496.76

* 방향별 응답수정계수를 적용한 지진시 부재력

④ 기초하단

하중경우 \ 부재력		P	V3	V2	M2	M3
DEAD		1538.47	0.00	0.00	0.00	0.00
LIVE	FULL	131.72	0.00	0.00	69.15	0.00
	ECC	97.57	0.00	0.00	226.85	0.00
WIND	FULL	0.00	61.89	0.00	932.00	0.00
	HALF	0.00	37.70	0.00	587.64	0.00
TEMP		0.00	0.00	80.70	0.00	1065.24
EQ	LO	0.00	52.65	450.82	694.98	5950.82
	TR	0.00	175.50	135.48	2316.60	1788.34
EQR*	LO	0.00	52.65	450.82	463.32	3967.22
	TR	0.00	175.50	135.48	1544.40	1192.22

* 방향별 응답수정계수를 적용한 지진시 부재력

여기서,

DEAD : 고정하중

LIVEFULL : 활하중(만재시)

LIVEECC : 활하중(편재시)

WINDFULL : 횡방향 풍하중 (활하중 비재하시)

WINDHALF : 횡방향 풍하중 (활하중 재하시)

TEMP : 온도하중

EQ-LO : 지진하중(1.0 x 교축 + 0.3 x 교축직각)

EQ-TR : 지진하중(0.3 x 교축 + 1.0 x 교축직각)

EQR-LO : EQ-LO / R

EQR-TR : EQ-TR / R

(3) [단계 3-3] 단면력의 조합

① 극한 하중 검토시[도·설 p32]

·평상시

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	풍하중	온도하중	비 고
COMBINE 1	1.3	2.15			3.3.1
COMBINE 2	1.3		1.3		3.3.2
COMBINE 3	1.3	1.3	1.3		3.3.3
COMBINE 4	1.3	1.3		1.3	3.3.4
COMBINE 5	1.25		1.25	1.25	3.3.5
COMBINE 6	1.25	1.25	1.25	1.25	3.3.6
COMBINE 7	1.0	2.15			3.3.1
COMBINE 8	1.0		1.3		3.3.2
COMBINE 9	1.0	1.3	1.3		3.3.3
COMBINE 10	1.0	1.3		1.3	3.3.4
COMBINE 11	0.95		1.25	1.25	3.3.5
COMBINE 12	0.95	1.25	1.25	1.25	3.3.6

· 지진시

하중 / 하중조합	고정하중	지진하중	비 고
COMBINE 13	1.0	1.0	내진편

② 사용 하중 검토시[도 · 설 p27]

· 평상시

하중 / 하중조합	고정하중	활하중	풍하중	온도하중	비 고
COMBINE 14	1.0	1.0	0.5		하중조합 2
COMBINE 15	1.0		1.0		하중조합 2
COMBINE 16	1.0	1.0		1.0	하중조합 1
COMBINE 17	1.0		1.0	1.0	하중조합 3
COMBINE 18	1.0	1.0	0.5	1.0	하중조합 3

· 지진시

하중 / 하중조합	고정하중	지진하중	비 고
COMBINE 19	1.0	1.0	하중조합 6

(4) [단계 3-4] 위치별 단면력 정리

· 극한하중 조합계수

하중경우 / 하중조합	DEAD	LIVE		WIND		TEMP	EQ1	EQ2	비 고
		FULL	ECC	FULL	HALF				
조합경우1	1.3	2.15							COMBINE1
조합경우2	1.3		2.15						
조합경우3	1.3			1.3					COMBINE2
조합경우4	1.3	1.3			1.3				COMBINE3
조합경우5	1.3		1.3		1.3				
조합경우6	1.3	1.3				1.3			COMBINE4
조합경우7	1.3		1.3			1.3			
조합경우8	1.25			1.25		1.25			COMBINE5
조합경우9	1.25	1.25			1.25	1.25			COMBINE6
조합경우10	1.25		1.25		1.25	1.25			
조합경우11	1.0	2.15							COMBINE7
조합경우12	1.0		2.15						
조합경우13	1.0			1.3					COMBINE8
조합경우14	1.0	1.3			1.3				COMBINE9
조합경우15	1.0		1.3		1.3				
조합경우16	1.0	1.3				1.3			COMBINE10
조합경우17	1.0		1.3			1.3			
조합경우18	0.95			1.25		1.25			COMBINE11
조합경우19	0.95	1.25			1.25	1.25			COMBINE12
조합경우20	0.95		1.25		1.25	1.25			
조합경우21	1.0						1.0		COMBINE13
조합경우22	1.0							1.0	

· NOTE : 활하중시 횡방향 풍하중의 경우 하중을 1/2 로 나누어서 넣었음.

· 사용하중 조합계수

하중경우 / 하중조합	DEAD	LIVE		WIND		TEMP	EQ1	EQ2	비 고
		FULL	ECC	FULL	HALF				
조합경우1	1.0	1.0				1.0			COMBINE14
조합경우2	1.0		1.0			1.0			
조합경우3	1.0			1.0					COMBINE15
조합경우4	1.0	1.0			1.0				COMBINE16
조합경우5	1.0		1.0		1.0				
조합경우6	1.0			1.0		1.0			COMBINE17
조합경우7	1.0	1.0			1.0	1.0			COMBINE18
조합경우8	1.0		1.0		1.0	1.0			
조합경우9	1.0						1.0		COMBINE19
조합경우10	1.0							1.0	

① 코핑

· 극한하중조합시

부재력	모멘트				부재력	모멘트			
위치 / 하중경우	교좌2	SEC C	SEC D	교좌3	위치 / 하중경우	교좌2	SEC C	SEC D	교좌3
조합경우1	-677.52	-1817.36	-1696.25	-597.88	조합경우13	-467.31	-1201.06	-1068.19	-408.09
조합경우2	-692.00	-1855.19	-1499.45	-534.91	조합경우14	-525.00	-1390.30	-1219.73	-433.47
조합경우3	-598.63	-1541.45	-1408.57	-539.40	조합경우15	-533.76	-1413.17	-1100.73	-395.39
조합경우4	-656.31	-1730.68	-1560.12	-564.78	조합경우16	-503.31	-1341.63	-1268.40	-455.16
조합경우5	-665.07	-1753.55	-1441.12	-526.70	조합경우17	-512.07	-1364.50	-1149.40	-417.08
조합경우6	-634.62	-1682.02	-1608.79	-586.47	조합경우18	-444.29	-1141.78	-1014.01	-387.34
조합경우7	-643.38	-1704.88	-1489.79	-548.39	조합경우19	-499.76	-1323.73	-1159.73	-411.74
조합경우8	-575.60	-1482.16	-1354.40	-518.65	조합경우20	-508.18	-1345.72	-1045.30	-375.14
조합경우9	-631.07	-1664.12	-1500.11	-543.05	조합경우21	-437.70	-1134.62	-1134.62	-437.70
조합경우10	-639.49	-1686.11	-1385.69	-506.45	조합경우22	-437.70	-1134.62	-1134.62	-437.70
조합경우11	-546.21	-1476.98	-1355.87	-466.57	최대	-437.70	-1134.62	-1014.01	-375.14
조합경우12	-560.69	-1514.80	-1159.06	-403.60	최소	-692.00	-1855.19	-1696.25	-597.88

· 극한하중조합시(계속)

부재력	전단					
위치 / 하중경우	교좌1	교좌2	SEC C	SEC D	교좌3	교좌4
조합경우1	332.44	738.14	777.56	-750.00	-710.59	-290.52
조합경우2	340.06	753.65	793.07	-661.07	-621.65	-257.38
조합경우3	290.91	607.23	646.65	-597.71	-558.29	-259.74
조합경우4	321.28	694.64	734.06	-681.55	-642.13	-273.10
조합경우5	325.89	704.01	743.43	-627.77	-588.35	-253.06
조합경우6	309.86	676.71	716.13	-699.47	-660.05	-284.52
조합경우7	314.47	686.09	725.51	-645.70	-606.28	-264.48
조합경우8	279.73	583.87	621.78	-574.72	-536.82	-249.75
조합경우9	308.92	667.92	705.82	-655.33	-617.43	-262.60
조합경우10	313.35	676.93	714.84	-603.63	-565.72	-243.33
조합경우11	268.90	603.66	633.98	-606.42	-576.10	-226.99
조합경우12	276.52	619.16	649.49	-517.49	-487.17	-193.85
조합경우13	227.38	472.75	503.07	-454.13	-423.81	-196.21
조합경우14	257.74	560.15	590.48	-537.97	-507.64	-209.56
조합경우15	262.35	569.53	599.85	-484.19	-453.87	-189.52
조합경우16	246.32	542.23	572.55	-555.89	-525.57	-220.98
조합경우17	250.93	551.60	581.93	-502.12	-471.79	-200.94
조합경우18	216.19	449.39	478.20	-431.14	-402.34	-186.22
조합경우19	245.38	533.44	562.24	-511.75	-482.95	-199.06
조합경우20	249.81	542.45	571.26	-460.05	-431.24	-179.79
조합경우21	211.79	448.28	478.60	-478.60	-448.28	-211.79
조합경우22	211.79	448.28	478.60	-478.60	-448.28	-211.79
최대	340.06	753.65	793.07	-431.14	-402.34	-179.79
최소	211.79	448.28	478.20	-750.00	-710.59	-290.52

· 사용하중조합시

부재력	모멘트			
조합경우	교좌2	SEC C	SEC D	교좌3
조합경우1	-488.17	-1293.86	-1237.53	-451.13
조합경우2	-494.91	-1311.45	-1145.99	-421.84
조합경우3	-460.48	-1185.73	-1083.52	-414.92
조합경우4	-504.86	-1331.30	-1200.09	-434.44
조합경우5	-511.59	-1348.89	-1108.55	-405.16
조합경우6	-460.48	-1185.73	-1083.52	-414.92
조합경우7	-504.86	-1331.30	-1200.09	-434.44
조합경우8	-511.59	-1348.89	-1108.55	-405.16
조합경우9	-437.70	-1134.62	-1134.62	-437.70
조합경우10	-437.70	-1134.62	-1134.62	-437.70
최대	-437.70	-1134.62	-1083.52	-405.16
최소	-511.59	-1348.89	-1237.53	-451.13

② 교좌받침

· 사용하중조합시

교좌장치	교좌1	교좌2	교좌3	교좌4
상시수직력	240.41	261.15	252.32	196.59
상시교축직각	0.00	0.00	28.25	28.25
상시교축방향	20.18	20.18	20.18	20.18
지진시교축직각	0.00	0.00	87.75	87.75
지진시교축방향	112.71	112.71	112.71	112.71

③ 기둥

・극한하중조합시

위치		기둥하단		
조합경우		P	M2	M3
조합경우1		1704.07	148.67	0.00
조합경우2		1630.64	487.73	0.00
조합경우3		1420.86	1034.59	0.00
조합경우4		1592.10	746.00	0.00
조합경우5		1547.71	951.02	0.00
조합경우6		1592.10	89.89	1154.01
조합경우7		1547.71	294.91	1154.01
조합경우8		1366.22	994.79	1109.63
조합경우9		1530.87	717.31	1109.63
조합경우10		1488.18	914.44	1109.63
조합경우11		1376.18	148.67	0.00
조합경우12		1302.75	487.73	0.00
조합경우13		1092.97	1034.59	0.00
조합경우14		1264.21	746.00	0.00
조합경우15		1219.82	951.02	0.00
조합경우16		1264.21	89.89	1154.01
조합경우17		1219.82	294.91	1154.01
조합경우18		1038.32	994.79	1109.63
조합경우19		1202.98	717.31	1109.63
조합경우20		1160.29	914.44	1109.63
P최대		1704.07	148.67	0.00
교축직각방향 M최대		1420.86	1034.59	0.00
교축방향 M최대		1592.10	89.89	1154.01
P최소		1038.32	994.79	1109.63
교축직각방향 M최대		1092.97	1034.59	0.00
교축방향 M최대		1264.21	89.89	1154.01
지진시(R미적용)	조합경우21	1092.97	579.15	4959.02
	조합경우22	1092.97	1930.50	1490.28
지진시(R적용)	조합경우21	1092.97	193.05	1653.01
	조합경우22	1092.97	643.50	496.76

④ 기초

· 극한하중조합시

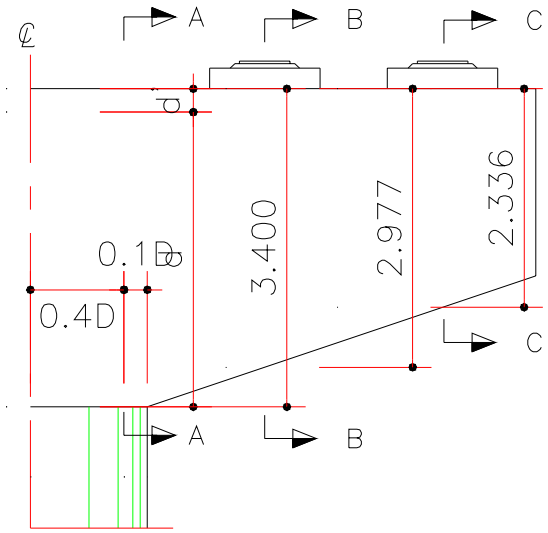
조합경우		P	V3	V2	M2	M3
조합경우1		2283.22	0.00	0.00	148.67	0.00
조합경우2		2209.79	0.00	0.00	487.73	0.00
조합경우3		2000.01	80.46	0.00	1211.60	0.00
조합경우4		2171.25	49.01	0.00	853.82	0.00
조합경우5		2126.86	49.01	0.00	1058.83	0.00
조합경우6		2171.25	0.00	104.91	89.89	1384.81
조합경우7		2126.86	0.00	104.91	294.91	1384.81
조합경우8		1923.09	77.37	100.88	1165.00	1331.55
조합경우9		2087.74	47.12	100.88	820.98	1331.55
조합경우10		2045.06	47.12	100.88	1018.11	1331.55
P최대		2283.22	0.00	0.00	148.67	0.00
교축직각방향 V최대		2000.01	80.46	0.00	1211.60	0.00
교축방향 V최대		2171.25	0.00	104.91	89.89	1384.81
교축직각방향 M최대		2000.01	80.46	0.00	1211.60	0.00
교축방향 M최대		2171.25	0.00	104.91	89.89	1384.81
지진시 (R미적용)	조합경우21	1538.47	52.65	450.82	694.98	5950.82
	조합경우22	1538.47	175.50	135.48	2316.60	1788.34
지진시 (R적용)	조합경우21	1538.47	52.65	450.82	463.32	3967.22
	조합경우22	1538.47	175.50	135.48	1544.40	1192.22

· 사용하중조합시

조합경우		P	V3	V2		
						1065.24
조합경우3		1538.47	61.89	0.00	932.00	0.00
조합경우4		1670.20	37.70	0.00	656.78	0.00
조합경우5		1636.04	37.70	0.00	814.49	0.00
조합경우6		1538.47	61.89	80.70	932.00	1065.24
조합경우7		1670.20	37.70	80.70	656.78	1065.24
조합경우8		1636.04	37.70	80.70	814.49	1065.24
P최대		1670.20	0.00	80.70	69.15	1065.24
교축직각방향 V최대		1538.47	61.89	0.00	932.00	0.00
교축방향 V최대		1670.20	0.00	80.70	69.15	1065.24
교축직각방향 M최대		1538.47	61.89	0.00	932.00	0.00
교축방향 M최대		1670.20	0.00	80.70	69.15	1065.24
지진시 (R미적용)	조합경우9	1538.47	52.65	450.82	694.98	5950.82
	조합경우10	1538.47	175.50	135.48	2316.60	1788.34
지진시 (R적용)	조합경우9	1538.47	52.65	450.82	463.32	3967.22
	조합경우10	1538.47	175.50	135.48	1544.40	1192.22

3.4.4 [단계 4] 부재의 설계

(1) [단계 4-1] 캔틸레버부 검토단면의 선정



· A-A단면 및 B-B단면에서 전단 및 휨을 검토하고 C-C단면에서 전단을 검토한다.

(2) [단계 4-2] 일반보 검토 및 코벨의 검토

① A-A단면에서

$$a = \frac{M}{V} = \frac{1855.2}{793.1} \times 10^2 = 233.9 \ cm$$

$$d = 325 \ cm$$

$$\frac{a}{d} = \frac{233.9}{325} = 0.720 < 1.0 \ \therefore \text{ 코벨 검토 필요}$$

(3) [단계 4-3] 캔틸레버부 철근량 계산

① A-A단면

가. 작용하중

· 수직전단력 : $V_u = 793.1 \ tonf$

· 수평하중

· 최소수평하중 $N_{u2} = 0.2 \times V_u = 0.2 \times 793.1 = 158.62 \ tonf$

· 휨모멘트 :

$$M_u = V_u \times a + N_u \times (H - D)$$

$$= 793.1 \times 2.339 + 158.62 \times (3.4 - 3.25) = 1878.993 \ tonf \cdot m$$

나. 개별하중에 의한 철근량 계산

· 휨모멘트에 의한 철근 (A_f)

$M_u = 1878.993\ tonf \cdot m$

폭 $= 250\ cm$, 높이 $= 340\ cm$

$d' = 15\ cm,\ d = 325\ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b\ ,\ T = f_y \cdot A_s$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.8 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 250} \times A_s^{\,2} - 0.8 \times 3000 \times 325 \times A_s + 1878.993 \times 10^5 = 0$$

$$70.588\, A_s^{\,2} - 780000\, A_s + 1878.993 \times 10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{780000 \pm \sqrt{780000^2 - 4 \times 70.588 \times 1878.993 \times 10^5}}{2 \times 70.588}$$

$$= 231.896\ cm^2$$

· 수평하중에 대한 철근 (A_n)

$$A_n = \frac{N_u}{\phi \times f_y} = \frac{158.62 \times 10^3}{0.8 \times 3000} = 66.09\ cm^2$$

· 전단마찰철근 (A_{vf})

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi \times f_y \times \mu} = \frac{793.1 \times 10^3}{0.8 \times 3000 \times 1.4} = 236.04\ cm^2$$

다. 주철근, 폐합스터럽 및 전단철근 산정

- 주철근

· $A_{s1} = (2/3 \times A_{vf} + A_n) = 223.45\ cm^2$

· $A_{s2} = A_f + A_n = 297.99\ cm^2$

· $A_{s3} = 0.04 \times (f_{ck}/f_y) \times b \times d = 260.00\ cm^2$

A_{s1}, A_{s2}, A_{s3} 중 큰 값 적용 As(req) = 297.99 cm^2

∴ USE D29 - 24 EA - 2 단 = 308.35 cm^2

- 폐합스터럽

· $A_{s1} = 1/3 \times A_{vf} = 78.68\ cm^2$

· $A_{s2} = 0.5 \times (A_s - A_n) = 115.79\ cm^2$

A_{s1}, A_{s2} 중 큰 값 적용 $A_{s(req)}$ = 115.79 cm^2

∴ USE D25 - 6 EA - 5 단 = 152.0 cm^2 (As에 인접한 2/3 d 구간에 배치)

- 전단철근

· 설계전단력 $V_u = 793.100\ tonf$

$\phi\ V_c = \phi \times 0.53\sqrt{f_{ck}} \times b \times d / 1000$

$= 0.8 \times 0.53\sqrt{240} \times 250 \times 325/1000$

$= 533.70\ tonf \ < \ V_u = 793.10\ tonf$

∴ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi\ V_c) / \phi$

$= (793.1 - 533.7) / 0.8$

$= 324.25\ tonf$

$V_{sm} = 2.1\sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 2.1\sqrt{240} \cdot 250 \cdot 325/1000 = 2643.31\ tonf$

$V_s < V_{sm}$ ∴ $O.K$

필요스터럽 (배근할 스터럽 간격을 15 cm로 하면)

$$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c) \times s}{0.8 \times f_y \times d} = \frac{(793.1 - 533.70) \times 15}{0.8 \times 3000 \times 325} = 4.989\ cm^2$$

$$A_{v\min} = \frac{3.5 \times b \times s}{f_y} = \frac{3.5 \times 250 \times 15}{3000} = 4.375\ cm^2$$

$A_{v use} = D16 - 6\ EA - CTC\ 150 = 11.916\ cm^2$

$V_s = A_v \times f_y \times d / s = 11.916 \times 3000 \times 325 / 15 = 774.54\ tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 1153.332\ tonf > V_u = 793.1\ tonf$ ∴ $O.K$

- 균열 검토

· 허용균열폭 $w_a(mm)$ t_c

강재 종류	강재의 부식에 대한 환경 조건			
	건조한 환경	습윤환경	부식성 환경	고부식성 환경
철근	0.006 t_c	0.005 t_c	0.004 t_c	0.0035 t_c
PS 강재	0.005 t_c	0.004 t_c	-	-

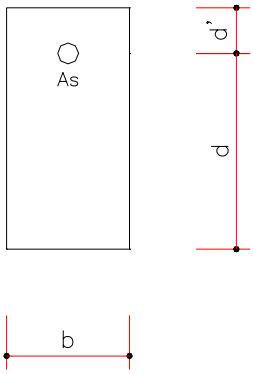
여기서, t_c는 최외단 철근의 표면과 콘크리트 표면사이의 콘크리트 최소덮개

(mm) 단, 위의 규정은 덮개 10.0 cm 이하를 표준으로 하며, 물을 저장하는 수조 등 과 같은 구조의 허용균열폭은 0.1 mm 로 한다.

$M_u = 1374.4\ tonf \cdot m$

폭 = 250 cm, 높이 = 340 cm

$d' = 15\ cm$, $d = 325\ cm$



사용철근량 = D29@100 - 2 단 = 308.35 cm2

$$n = \frac{2000000}{15000\sqrt{240}} = 8.61 \fallingdotseq 9$$

$$p = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{308.35}{250 \times 325} = 0.0038$$

$$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np}$$

$$= -9 \times 0.0038 + \sqrt{(9 \times 0.0038)^2 + 2 \times 9 \times 0.0038}$$

$$= 0.2294$$

$$x = k \times d = 0.2294 \times 325 = 74.565\ cm$$

$$f_s = \frac{M}{\left(d - \frac{x}{3}\right)} = \frac{1374.4 \times 10^5}{\left(325 - \frac{74.565}{3}\right)} = 1485\ kgf/cm^2$$

$$0.6 \times f_y = 0.6 \times 3000 = 1800\ kgf/cm^2$$

$$\therefore f_s = 1485\ kgf/cm^2$$

$$A = \frac{250 \times 2 \times 15}{48} = 156.25\ cm^2 \quad (\text{철근 1 개의 유효인장 면적})$$

β_c = 인장연단에서 중립축까지 거리 / 주철근 도심에서 중립축까지 거리

$$= (340 - 74.565) / (325 - 74.565) = 1.06$$

$$w = 1.08 \cdot \beta_c \cdot f_s \times \sqrt[3]{d_c \cdot A} \times 10^{-5}\ (mm)$$

$$= 1.08 \times 1.06 \times 1485 \times \sqrt[3]{10 \times 156.25} \times 10^{-5}\ (mm)$$

$$= 0.2\ mm$$

여기서, d_c = 최대인장연단에서 이연단에 가장 가까이 놓여있는 철근중심까지의 철근 덮개 (cm)

시방서 허용균열폭 : $w_a = 0.0050 \times C = 0.0050 \times 85.7 = 0.429 mm$

$\therefore\ w = 0.2 < w_a = 0.429$ $O.K$

여기서, C = 100.0 - 28.6(D29의 직경)/2 = 85.7 mm

② B-B단면

가. 휨철근량 검토

$M_u = 692.0\ tonf \cdot m$

폭 $= 250\ cm$, 높이 $= 297.7\ cm$

$d' = 15\ cm$, $d = 282.7\ cm$

$C = 0.85 f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.85 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 250} \times A_s^{\,2} - 0.85 \times 3000 \times 282.7 \times A_s + 692.0 \times 10^5 = 0$$

$$75 A_s^{\,2} - 720885 A_s + 692.0 \times 10^5 = 0$$

$$A_{s'req} = \frac{720885 \pm \sqrt{720885^2 - 4 \times 75 \times 692.0 \times 10^5}}{2 \times 75}$$

$$= 96.971\ cm^2$$

· 최소 철근량 검토

$0.8 \times \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b_w \times d = 291.97\ cm^2$ (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14 / f_y \times b_w \times d = 329.82\ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 329.82\ cm^2$

$A_{s,\min}(2) = 4/3 \times A_{s,req'd} = 129.30\ cm^2$ (요구철근량의 4/3 규정)

* (1), (2) 중 작은 값을 사용.

필요철근량 $= 129.30\ cm^2$

사용철근량 $= D29 - 24\ EA - 2$단 $= 308.36\ cm^2$

철근비 $= \frac{308.36}{250 \times 282.7} = 0.0044 \ < P_{\max} = 0.0289$ $O.K$

$$P_{\max} = 0.75 \times \frac{k_1 \cdot 0.85 \cdot f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{6000}{6000 + f_y}$$

$$= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.85 \times 240}{3000} \cdot \frac{6000}{6000 + 3000} = 0.0289$$

$$a = \frac{308.36 \times 3000}{0.85 \times 240 \times 250} = 18.139\ cm$$

$\phi M_n = 0.85\times308.36\times3000\times(282.7-18.139/2)/100000$

$= 2151.606\ tonf\cdot m\ >\ M_u = 692.0 \qquad O.K$

나. 전단철근량 검토

설계전단력 $V_u = 753.7\ tonf$

$h = 297.7\ cm,\quad d = 282.7\ cm$

$\phi\ V_c = \phi\times0.53\sqrt{f_{ck}}\times b\times d/1000$

$= 0.8\times0.53\sqrt{240}\times250\times282.7/1000$

$= 464.234\ tonf\ <\ V_u = 753.7\ tonf$

∴ 전단철근 보강필요

$V_s = (V_u - \phi\ V_c)/\phi$

$= (753.6 - 464.234)/0.8$

$= 361.707\ tonf$

$V_{sm} = 2.1\sqrt{f_{ck}}\cdot b\cdot d = 2.1\sqrt{240}\times250\times282.7/1000 = 2321.172\ tonf$

$V_s < V_{sm} \quad \therefore\ O.K$

필요스터럽 (배근할 스터럽 간격을 15 cm 로 하면)

$$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c)\times s}{0.8\times f_y\times d} = \frac{(753.6 - 464.234)\times15}{0.8\times3000\times282.7} = 6.397\ cm^2$$

$$A_{v\min} = \frac{3.5\times b\times s}{f_y} = \frac{3.5\times250\times15}{3000} = 4.375\ cm^2$$

$A_{v use} = D16 - 6\ EA - C.T.C\ 150 = 11.916\ cm^2$

$\phi V_s = \phi A_v\times f_y\times d\ /\ s = 0.8\times11.916\times3000\times282.7\ /\ 15 = 538.985\ tonf$

$\phi(V_c + V_s) = 1003.22\ t\ >\ V_u = 753.7\ tonf \quad \therefore\ O.K$

③ C-C단면

설계전단력 $V_u = 340.1\ tonf$

$h = 233.6\ cm,\quad d = 218.6\ cm$

$\phi\ V_c = \phi\times0.53\sqrt{f_{ck}}\times b\times d/1000$

$= 0.8\times0.53\sqrt{240}\times250\times218.6/1000$

$= 358.973\ tonf\ <\ V_u = 340.1\ tonf\ >\ \frac{1}{2}\phi V_c = 179.486\ tonf$

∴ 최소전단철근 보강필요

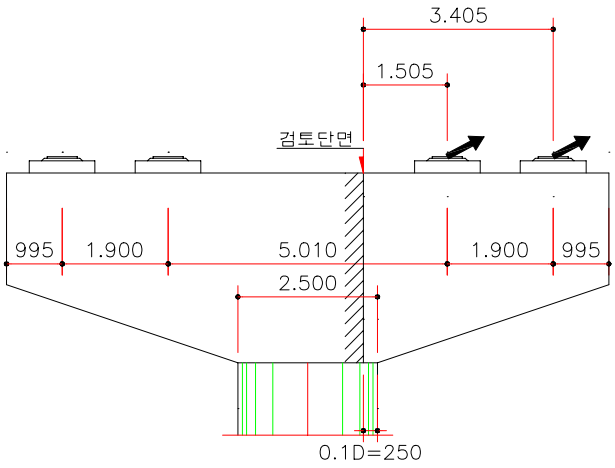
(배근할 스터럽 간격을 15 cm로 하면)

$$A_{v\min} = \frac{3.5 \times b \times s}{f_y} = \frac{3.5 \times 250 \times 15}{3000} = 4.375\ cm^2$$

$$A_{v\,use} = D16 - 6\ EA - C.T.C\ 150 = 11.916\,cm^2$$

$$A_{v\,use} > A_{v\min} \quad \therefore \quad O.K$$

④ A-A단면 수평력에 대한 검토



지진력으로부터 코핑의 종방향 모멘트를 구하면

$M_u = 112.705 \times (1.505 + 3.405) = 553.382\ tonf \cdot m$

$V_u = 2 \times 112.705 = 225.41\ tonf$

폭 $= 340\ cm$, 높이 $= 250\ cm$

$d' = 10\ cm$, $d = 240\ cm$

$C = 0.85\ f_{ck} \cdot a \cdot b$, $T = f_y \cdot A_s$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

위 식을 조합하여 풀면,

$$\frac{\phi \cdot f_y^{\,2}}{1.7 \cdot f_{ck} \cdot b} \cdot A_s^{\,2} - \phi\, f_y \cdot d \cdot A_s + M_u = 0$$

이므로 요구철근량은,

$$\frac{0.85 \times 3000^{\,2}}{1.7 \times 240 \times 340} \times A_s^{\,2} - 0.85 \times 3000 \times 240 \times A_s + 553.382 \times 10^5 = 0$$

$$55.147\, A_s^{\,2} - 612000\, A_s + 553.382 \times 10^5 = 0$$

$$A_{s'\,req} = \frac{612000 \pm \sqrt{612000^2 - 4 \times 55.147 \times 553.382 \times 10^5}}{2 \times 55.147}$$

$$= 91.171\ cm^2$$

$0.8\times\sqrt{f_{ck}}/f_y\times b_w\times d = 337.10 \ \ cm^2$ (콘크리트 강도에 의한 최소규정)

$14/f_y\times b_w\times d = 380.80 \ \ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_{s,\min}(1) = 380.80 \ \ cm^2$

$A_{s,\min}(2) = 4/3\times A_{s,req'd} = 121.56 \ \ cm^2$ (요구철근량의 4/3 규정)

* (1), (2) 중 작은 값을 사용.

필요철근량 $= 121.56 \ cm^2$

사용철근량 = D29-2EA(상부휨철근)+D25-5EA(수평전단철근)+D29-15EA(추가철근)

= $134.543 \ cm^2$

철근비 $= \frac{134.543}{340\times240} = 0.0016 \ \ < \ P_{\max} = 0.0289 \ \ \therefore O.K$

$$P_{\max} = 0.75\times\frac{k_1\cdot 0.85\cdot f_{ck}}{f_y}\cdot\frac{6000}{6000+f_y}$$

$$= 0.75\times\frac{0.85\times0.85\times240}{3000}\cdot\frac{6000}{6000+3000} = 0.0289$$

$a = \frac{134.543\times3000}{0.85\times240\times340} = 5.82 \ cm$

$\phi M_n = 0.85\times134.543\times3000\times(240-5.82/2)/100000$

$= 813.419 \ tonf\cdot m \ > \ M_u = 551.368 \quad \therefore \ O.K$

$\phi \ V_c = \phi\times0.53\sqrt{f_{ck}}\times b\times d/1000$

$= 0.8\times0.53\sqrt{240}\times340\times240/1000$

$= 535.996 \ tonf \ > \ V_u = 225.41 \ tonf$

$V_u < 1/2\,\phi\,Vc = 267.998 \ tonf$: 전단철근 불필요

(5) [단계 4-5] 압축부재 비지지장의 계산

$l_u = 11.0 \ m$

(6) [단계 4-6] 확대모멘트의 계산

1. 부재력 요약

1) 교축방향 부재력

구 분		기둥번호	P		M_3				V_2	δ_2
			장기지속 축력	전체 축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	p_{max}	1	-1420.864	-1704.068	.000	.000	.000	.000	.000	-1.838
	M_{2max}	1	-1420.864	-1420.864	.000	.000	.000	.000	.000	-9.845
	M_{3max}	1	-1420.864	-1547.707	.000	.000	-1154.010	.000	104.910	-3.645
최소	p_{max}	1	-1092.972	-1376.176	.000	.000	.000	.000	.000	-1.838
	M_{2max}	1	-1092.972	-1092.972	.000	.000	.000	.000	.000	-9.845
	M_{3max}	1	-1092.972	-1219.816	.000	.000	-1154.010	.000	104.910	-3.645
지진	M_{2max}	1	-1092.972	-1092.972	.000	.000	1490.280	.000	-135.480	-17.358
	M_{3max}	1	-1092.972	-1092.972	.000	.000	4959.020	.000	-450.820	-5.207

2) 교축직각방향 부재력

구 분		기둥번호	P		M_3				V_2	δ_2
			장기지속 축력	전체 축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	p_{max}	1	-1420.864	-1704.068	.000	148.666	.000	148.666	.000	.000
	M_{2max}	1	-1420.864	-1420.864	181.813	.000	1034.586	.000	-73.442	.000
	M_{3max}	1	-1420.864	-1547.707	.000	294.907	-1154.010	294.907	.000	10.455
최소	p_{max}	1	-1092.972	-1376.176	.000	148.666	.000	148.666	.000	.000
	M_{2max}	1	-1092.972	-1092.972	181.813	.000	1034.586	.000	-73.442	.000
	M_{3max}	1	-1092.972	-1219.816	.000	294.907	.000	294.907	.000	10.445
지진	M_{2max}	1	-1092.972	-1092.972	.000	.000	1930.500	.000	-175.500	-13.501
	M_{3max}	1	-1092.972	-1092.972	.000	.000	579.1500	.000	-52.650	-44.924

2. 층안정지수

$$Q = \frac{\sum P_u \cdot \Delta}{V_u \cdot l_u} \begin{array}{l} > 0.05 : \text{비횡구속 구조물} \\ < 0.05 : \text{횡구속 구조물} \end{array}$$

여기서,

$\sum P_u$: 층전체 수직하중

Δ : 층상단 상대변위

V_u : 층전단력

l_u : 기둥길이

l_u	교축방향	교축직각방향
1	10.600	7.600
2	10.600	7.600

구 분		$\sum P_u$	교축방향				교축직각방향			
			Δ	V_u	Q	판단	Δ	V_u	Q	판단
일반	p_{max}	-1704.068	-1.84	.000	.285	비구속	.000	.000	.000	구속
	M_{2max}	-1420.864	-9.85	.000	1.272	비구속	.000	-73.442	.000	구속
	M_{3max}	-1547.707	-3.65	104.910	.005	구속	10.46	.000	1.471	비구속
최소	p_{max}	-1376.176	-1.84	.000	.230	비구속	.000	.000	.000	구속
	M_{2max}	-1092.972	-9.85	.000	.987	비구속	.000	-73.442	.000	구속
	M_{3max}	-1219.816	-3.65	104.910	.004	구속	10.46	.000	1.159	비구속
지진	M_{2max}	-1092.972	-17.36	-135.480	.013	구속	-13.50	-175.500	.008	구속
	M_{3max}	-1092.972	-5.21	-450.820	.001	구속	-44.92	-52.650	.085	비구속

3. 임계하중산정

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

여기서,

$$EI = \frac{0.4 E_c I}{1 + \beta_d}$$

$$\beta_d = \frac{\text{최대 장기지속 계수축력}}{\text{전체 계수축력}}$$

$$E_c = 2,310,000$$

1) 코핑의 강성도($I = 0.35 I_g$)

번호	교축방향				교축직각방향			
	I	EI	l	EI/l	I	EI	l	EI/l
1	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00
계	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00	.000	.00000E+00

2) 기둥의 강성도($I = 0.70 I_g$)

번호	교축방향				교축직각방향			
	I	EI	l	EI/l	I	EI	l	EI/l
1	1.342	.44283E+07	11.000	.40257E+06	1.342	.44283E+07	11.000	.40257E+06
계	.000	.00000E+00	.000	.40257E+06	.000	.00000E+00	.000	.40257E+06

· 압축부재 강성도비

상부 $\psi = \dfrac{\sum (EI/l)\, col}{\sum (EI/l)\, beam}$

상부 $\psi = \dfrac{\sum (EI/l)\, col}{\sum (EI/l)\, beam}$

[도 · 설 6.5.1]로부터 k산출

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	β_d	EI	P_c	k	β_d	EI	P_c
일반	$p_{\max}$				비횡구속	2.000	.834	.96592E+06	.19697E+05
	$M_{2\max}$				비횡구속	2.000	1.000	.88565E+06	.18060E+05
	$M_{3\max}$	2.000	.918	.92350E+06	.18832E+05				비횡구속
최소	$p_{\max}$				비횡구속	2.000	.794	.98724E+06	.20131E+05
	$M_{2\max}$				비횡구속	2.000	1.000	.88565E+06	.18060E+05
	$M_{3\max}$	2.000	.896	.93423E+06	.19051E+05				비횡구속
지진	$M_{2\max}$	2.000	1.000	.88565E+06	.18060E+05	2.000	1.000	.88565E+06	.18060E+05
	$M_{3\max}$	2.000	1.000	.88565E+06	.18060E+05				비횡구속

4. 횡구속 골조일 경우의 확대모멘트계산

1) 세장비검토

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \quad \leq \quad 34 - 12\,(M_1 / M_2)$$

여기서,

M_1, M_2 : 기둥 양끝단 모멘트

M_1/M_2의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때 (-)

$M_1/M_2 \geq -0.5$, $r = \sqrt{I/A}$

교축방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

직각방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	전항식	후항식	판 단	k	전항식	후항식	판 단
일반	p_{max}				비횡구속	2.000	35.21	22.00	장 주
	M_{2max}				장 주	2.000	35.21	31.89	비횡구속
	M_{3max}	2.000	35.21	34.00	장 주				비횡구속
최소	p_{max}				비횡구속	1.000	35.21	22.00	장 주
	M_{2max}				비횡구속	1.000	35.21	31.89	장 주
	M_{3max}	2.000	35.21	34.00	장 주				비횡구속
지진	M_{2max}	2.000	35.21	34.00	장 주	1.000	35.21	34.00	장 주
	M_{3max}	2.000	35.21	34.00	장 주				비횡구속

2) 확대모멘트

$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$

여기서,

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - P_u/(0.75 P_c)} \geq 1.0$$

$C_m = 0.6 + 0.4(M_1 / M_2) \geq 0.4$

기둥양단사이에 횡하중이 있는 경우 $C_m = 1.0$

$M_{2min} = P_u \cdot e_{min}$ 이상이어야함

$e_{min} = 1.5 + 0.03h$

교축방향 = 0.090

교축직각방향 = 0.090

· 교축방향 확대모멘트

구 분		C_m	P_u	P_c	δ	M_u		$\delta \cdot M_2$
						M_u	M_{umin}	
일반	p_{max}							비횡구속
	M_{2max}							비횡구속
	M_{3max}	.60	-1547.707	18831.712	1.000	-1154.010	-139.294	-1154.010
최소	p_{max}							비횡구속
	M_{2max}							비횡구속
	M_{3max}	.60	-1219.816	19050.527	1.000	-1154.010	-109.783	-1154.010
지진	M_{2max}	1.00	-1092.972	18060.031	1.088	1490.280	-98.367	1621.089
	M_{3max}	1.00	-1092.972	18060.031	1.088	4959.020	-98.367	5394.295

· 교축직각방향 확대모멘트

구 분		C_m	P_u	P_c	δ	M_u		$\delta \cdot M_2$
						M_u	M_{umin}	
일반	p_{max}	1.00	-1704.068	19696.762	1.130	148.666	-153.366	-173.364
	M_{2max}	.67	-1420.864	18060.031	1.000	1034.586	-127.878	1034.586
	M_{3max}							비횡구속
최소	p_{max}	1.00	-1376.176	20131.464	1.000	148.666	-123.856	163.575
	M_{2max}	.67	-1092.972	18060.031	1.000	1034.586	-98.367	1034.586
	M_{3max}							비횡구속
지진	M_{2max}	1.00	-1092.972	18060.031	1.000	1930.500	-98.367	2099.949
	M_{3max}							비횡구속

5. 비횡구속 골조일 경우의 확대모멘트 계산

1) 세장비검토

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22$$

여기서,

$r = \sqrt{I/A}$

교축방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

직각방향 $= \sqrt{0.785/3.142} = 0.500$

구 분		교축방향				교축직각방향			
		k	전항식	후항식	판 단	k	전항식	후항식	판 단
일반	p_{max}	2.000	35.21	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{2max}	2.000	35.21	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	35.21	22.00	장 주
최소	p_{max}	2.000	35.21	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{2max}	2.000	35.21	22.00	장 주				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	35.21	22.00	장 주
지진	M_{2max}				횡 구 속				횡 구 속
	M_{3max}				횡 구 속	2.000	35.21	22.00	장 주

2) 확대모멘트계수 산정

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q}$$

만일, $\delta_s > 1.5$ 이면

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \sum P_u/(0.75 \sum P_c)} \geq 1.0$$

여기서,

$\sum P_u$: 층계수 연직축력의 합

$\sum P_c$: 층방향 변위에 저항하는 모든기둥의 P_c의 합

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

여기서,

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_d}, \quad \beta_d = \frac{\text{최대 장기지속 계수축력}}{\text{전체 계수축력}}$$

구 분		교축방향					교축직각방향				
		δ_{s1}	$\sum P_u$	$\sum P_c$	δ_{s2}	δ_s	δ_{s1}	$\sum P_u$	$\sum P_c$	δ_{s2}	δ_s
일반	p_{max}	1.398	-.17041E+04	-.19697E+05	.00	1.398					횡구속
	M_{2max}	-3.681	-.14209E+04	-.18060E+05	.00	-3.681					횡구속
	M_{3max}					횡구속	-2.123	-.15477E+04	.18832E+06	.000	-2.123
최소	p_{max}	1.299	-.13762E+04	-.20131E+05	.00	1.299					횡구속
	M_{2max}	45.892	-.10930E+04	-.18060E+05	1.088	1.088					횡구속
	M_{3max}					횡구속	-6.274	-.12198E+04	.19051E+06	.000	-6.274
지진	M_{2max}					횡구속					횡구속
	M_{3max}					횡구속	1.093	-.10930E+04	.18060E+06	.000	1.093

3) 확대모멘트 산정

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

만일, $\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck} \cdot A_g)}}$ 이면 추가로 확대를 해주어야 한다.

이때, $\delta = \frac{C_m}{1 - P_u/(0.75 \cdot P_c)}$ 이다.

$$M_c = \delta M_2$$

· 교축방향 확대모멘트

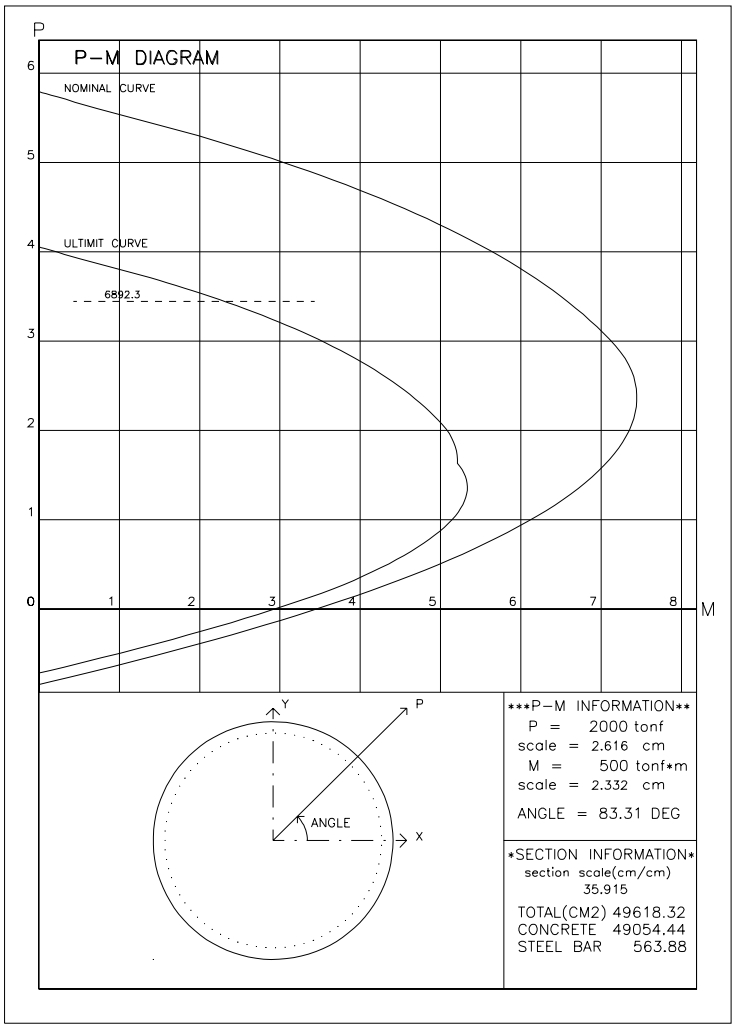
구 분		δ_s	M_2	검 토	C_m	P_u	δ	M_c
일반	p_{max}	1.398	.000	미 만				.000
	M_{2max}	-3.681	.000	미 만				.000
	M_{3max}							횡구속
최소	p_{max}	1.299	.000	미 만				.000
	M_{2max}	1.088	.000	미 만				.000
	M_{3max}							횡구속
지진	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}							횡구속

· 교축직각방향 확대모멘트

구 분		δ_s	M_2	검 토	C_m	P_u	δ	M_c
일반	p_{max}							횡구속
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	-2.123	294.9070	미 만				294.907
최소	p_{max}							횡구속
	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	-6.274	294.9074	미 만				294.907
지진	M_{2max}							횡구속
	M_{3max}	1.093	632.799	미 만				632.799

구 분		P	δM_2	δM_3	CASE
일반조합	P최대	1704.07	173.36	0.00	1
	교축직각방향 M최대	1420.86	1034.59	0.00	2
	교축방향 M최대	1592.10	294.91	1154.01	3
최소축력조합	P최소	1038.32	163.58	0.00	4
	교축직각방향 M최대	1092.97	1034.59	0.00	5
	교축방향 M최대	1264.21	294.91	1154.01	6
지진시(R미적용)	조합경우21	1092.97	2099.95	1621.09	7
	조합경우22	1092.97	632.80	5394.30	8
지진시(R적용)	조합경우21	1092.97	699.98	540.36	9
	조합경우22	1092.97	210.93	1798.10	10

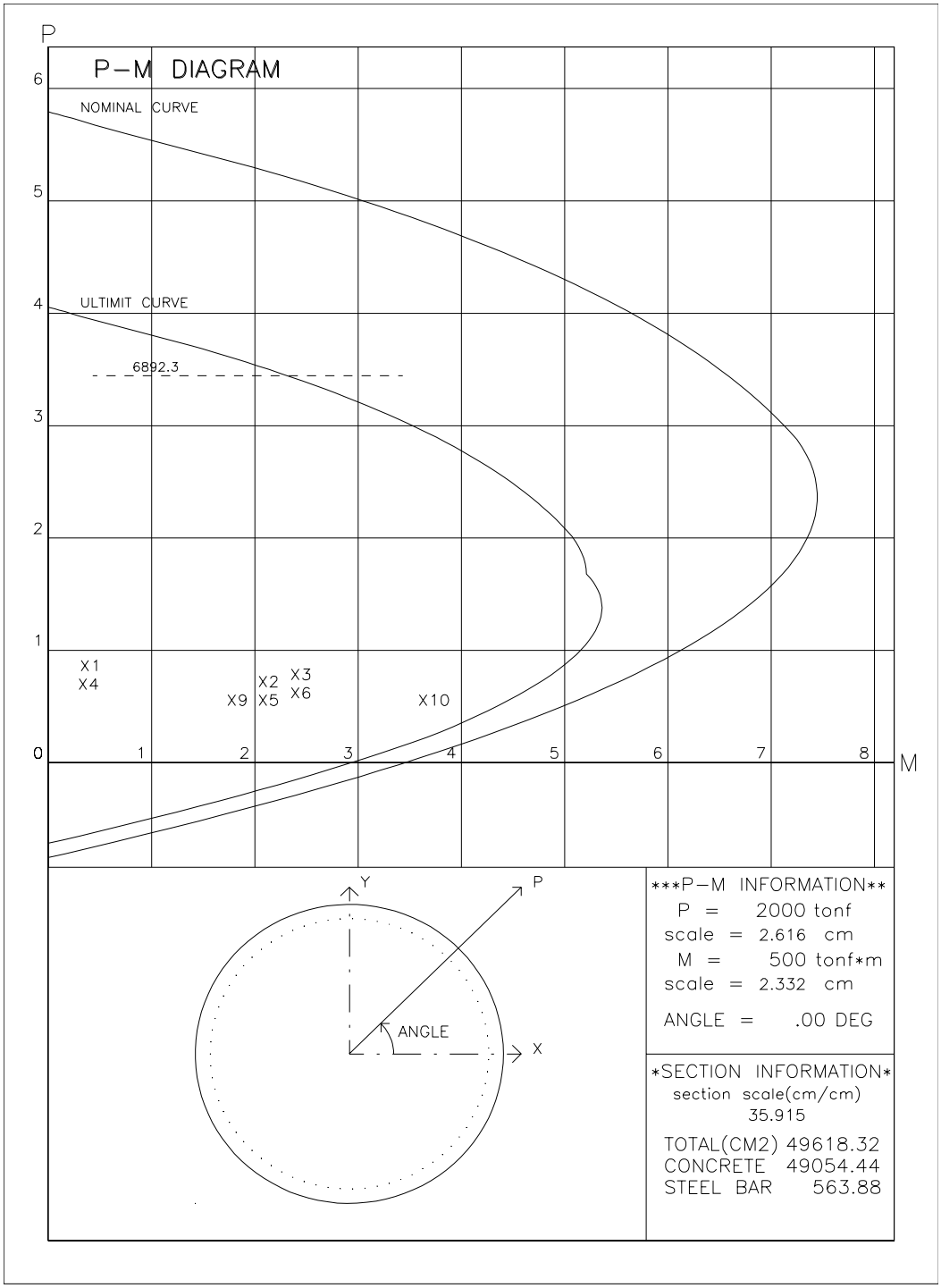
(7) [단계 4-7] 소성힌지 검토



철근량 : D32@100로 1단 배근

조합경우22에서와 같이 응답수정계수를 적용시키지 않은 경우, 단면이 공칭한계를 넘어서므로 소성힌지가 발생됨을 확인할 수 있다.

• CASE 1~6, 9~10에 대한 P-M상관도



* CASE 7,8은 응답수정계수를 적용하지 않은 지진시로서 공칭한계가 넘어감을 확인하였으므로 위의 P-M상관도에서는 수록하지 않았으며, 평상시와 응답수정계수를 적용한 지진시에 대해서 위와 같이 안전성을 검토하였다.

(8) [단계 4-8] 심부구속철근 및 띠철근량 계산

① 횡방향 보강재 검토

- 전단력 산정

$V_{\max} = \sqrt{52.7^2 + 450.8^2} = 453.87 \ \ tonf$

- 인장철근들의 도심과 압축연단까지의 거리 d

$Z_s = \frac{2}{\pi} \times (\frac{h}{2} - d') = \frac{2}{\pi} \times (\frac{250}{2} - 12) = 71.938 \ cm$

$d = \frac{h}{2} + Z_s = \frac{250}{2} + 71.938 = 196.938$

- 전단력 검토

$V_n = \frac{V_{\max}}{\phi} = \frac{453.87}{0.8} = 567.338 \ tonf$

$V_c = 0.53\sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d = 0.53\sqrt{240} \times 250.0 \times 196.938 / 1000 = 404.251 \ tonf$

$V_s = V_n - V_c = 567.338 - 404.251 = 163.087 \ tonf$

- 필요 전단철근량

$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$ 로 부터

$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} = \frac{163.087 \times 20}{3000 \times 196.938} = 5.521 \ cm^2$

사용철근량 $= D19 - 2 \ EA = 5.730 \ cm^2$ (1단)

② 심부구속 철근량 산정

$P_s = 0.45 \cdot \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right]$ [도·설 P472 식6.8.1]

또는

$P_s = 0.12 \cdot \frac{f_{ck}}{f_y}$ [도·설 P472 식6.8.2]

중 큰 값 적용.

A_c : 기둥심부의 면적 $(= \frac{\pi \cdot (226.00)^2}{4} = 40115.00 \ cm^2)$

A_g : 기둥의 전단면적 $(= \frac{\pi \cdot (250.00)^2}{4} = 49087.38 \ cm^2)$

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도($= 240 \ kgf/cm^2$)

f_y : 띠철근 또는 나선철근의 항복강도 ($= 3000 kgf/cm^2$)

가. $P_s = 0.45 \cdot \frac{240}{3000} \cdot \left[\frac{49087.38}{40115.00} - 1 \right] = 0.0081$

나. $P_s = 0.12 \cdot \frac{240}{3000} = 0.0096$

이므로 [가.]결과 $P_s = 0.0096$ 사용

띠철근 연직간격 S=10.0 cm로 가정하고 $d = 226.00\ cm$

$$A_{sh} = \frac{P_s \cdot S \cdot d}{4} = \frac{0.0096 \times 10.0 \times 226.0}{4} = 5.424\ cm^2$$

∴ use D29 = 6.424 cm^2

* 원형 띠철근은 용접 또는 기계적 연결장치 등으로 이음하여 정착 및 이음에 대한 거동을 확보하여야 한다.

③ 심부구속 철근 설치구간 검토

심부철근의 최소설치구간은

· 기둥의 최소단면치수 : 250 cm

· 기둥 순높이의 1/6(=760.0/6=126.7 cm)

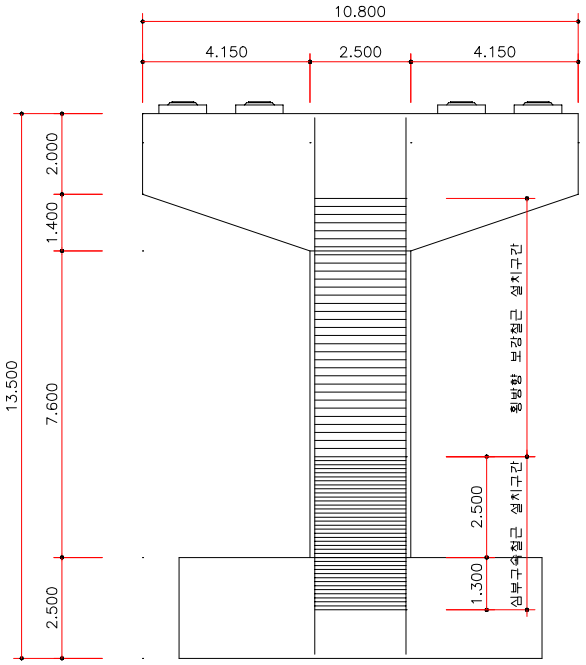
· 45 cm

로부터 250.0 cm 이상 배치하고, 기둥하단에서는

· 기둥치수의 0.5배이상 연장 (0.5D = 125.0 cm)

· 38 cm 이상

으로부터 125.0 cm 이상 배치한다.



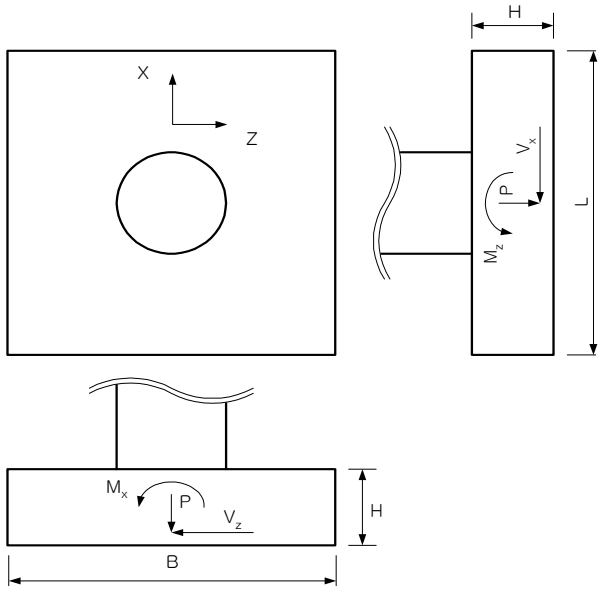
(9) [단계 4-9] 탄성변위량 검토

· 연속지점부이므로 생략

3.4.5 [단계 5] Footing의 설계

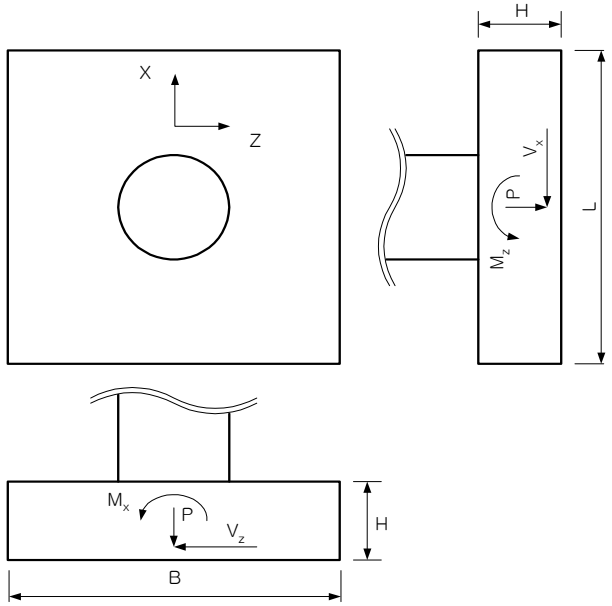
(1) [단계 5-1] 기초의 단면가정

① 평상시



제원 : $B = 9.0\,m$, $L = 9.0\,m$, $H = 2.2\,m$

② 지진시



제원 : $B = 9.0\,m$, $L = 9.0\,m$, $H = 2.2m$

(2) [단계 5-2] 단면력 및 기초의 안정 검토

① 평상시

가. 축력최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1670.2\ tonf$

$V_x = 80.7\ tonf$

$V_z = 0.1\ tonf$

$M_z = 1065.2\ tonf \cdot m$

$M_x = 69.2\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 1670.2$

· 교축방향

$M_r = P \times L/2 = 7515.9\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 1065.2\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1002.12\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 3.862\ m$

$e = L/2 - a = 0.638\ m < L/6 = 1.5\ m$ → 사다리꼴분포 O.K

전도안전율 $= M_r/M_o = 7.056 > 2.0$ ∴ O.K

활동안전율 $= H_u/V_x = 12.418 > 1.5$ ∴ O.K

지지력 검토

$q_{\max,\min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 29.39,\ 11.849\ tonf/m^2$

$q_{\max} = 29.39 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

· 교축직각방향

$M_r = P \times B/2 = 7515.9\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 69.2\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1002.12\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 4.459\ m$

$e = B/2 - a = 0.041\ m < B/6 = 1.5\ m$ → 사다리꼴분포 -- O.K

전도안전율 $= M_r/M_o = 108.611 > 2.0$ ∴ O.K

활동안전율 $= H_u/V_z = 10021.2 > 1.5$ ∴ O.K

지지력 검토

$q_{max,min} = \sum V/(L \times B) \times (1 \pm 6e/B) = 21.183,\ 20.056\ tonf/m^2$

$q_{max} = 21.183 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

나. 교축방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1670.2\ tonf$

$V_x = 80.7\ tonf$

$V_z = 0.0\ tonf$

$M_z = 1065.2\ tonf \cdot m$

$M_x = 69.2\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 1670.2$

$M_r = P \times L/2 = 7515.9\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 1065.2\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 3.862\ m$

$e = L/2 - a = 0.638\ m < L/6 = 1.5\ m$ → 사다리꼴분포 ∴ O.K

전도안전율 $= M_r/M_o = 7.056 > 2.0$ ∴ O.K

지지력 검토

$q_{max,min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 29.39,\ 11.849\ tonf/m^2$

$q_{max} = 29.39 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

다. 교축직각방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 0.1\ tonf$

$V_z = 61.9\ tonf$

$M_z = 0.1\ tonf \cdot m$

$M_x = 932.0\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 1538.5$

$M_r = P \times B/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 932\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 3.894\ m$

$e = B/2 - a = 0.606\ m < B/6 = 1.5\ m$ → 사다리꼴분포 ∴ O.K

전도안전율 $= M_r / M_o = 7.428 > 2.0$ ∴ O.K

지지력 검토

$q_{\max,\min} = \sum V/(L \times B) \times (1 \pm 6e/B) = 26.667,\ 11.32\ tonf/m^2$

$q_{\max} = 26.667 < q_a = 60\ tonf/m^2$ ∴ O.K

라. 교축방향 전단력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1670.2\ tonf$

$V_x = 80.7\ tonf$

$V_z = 0.0\ tonf$

$M_z = 1065.2\ tonf \cdot m$

$M_x = 69.2\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 1670.2$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 1002.12\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

활동안전율 $= H_u / V_x = 12.418 > 1.5$ ∴ O.K

마. 교축직각방향 전단력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 0.0\ tonf$

$V_z = 61.9\ tonf$

$M_z = 0.0\ tonf \cdot m$

$M_x = 932.0\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 1538.5$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 923.1\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

활동안전율 $= H_u / V_x = 14.913 > 1.5$ ∴ O.K

② 지진시

가. 축력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 450.8\ tonf$

$V_z = 52.7\ tonf$

$M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 463.3\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 1538.5$

· 교축방향

$M_r = P \times L/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 923.1\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 1.921\ m$

$e = L/2 - a = 2.579\ m < L/3 = 3\ m$ ∴ O.K

활동안전율 $= H_u / V_x = 2.048 > 1.2$ ∴ O.K

지지력 검토

$e = 2.579\ m > L/6 = 1.5m$ → 지반반력은 삼각형분포이다.

$e > B/6$ 일 때 $x = 3\ [L/2 - e] = 5.763\ m$

$q_{\max} = 2\Sigma V/(B \times x) = 59.325\ tonf/m^2$

$q_{\max} = 59.325 < q_a = 90\ tonf/m^2$ ∴ O.K

· 교축직각방향

$M_r = P \times B/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 463.3\ tonf \cdot m$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 923.1\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 4.199\ m$

$e = B/2 - a = 0.301\ m < B/3 = 3\ m$

활동안전율 $= H_u / V_z = 17.516 > 1.2$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$e = 0.301\ m < B/6 = 1.5m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < B/6$ 일 때

$q_{max,min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 22.805,\ 15.182\ tonf/m^2$

$q_{max} = 22.805 < q_a = 90\ tonf/m^2$ ∴ O.K

나. 교축방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 450.8\ tonf$

$V_z = 52.7\ tonf$

$M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 463.3\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$\sum V = P = 1538.5$

$M_r = P \times L/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 1.921\ m$

$e = L/2 - a = 2.579\ m < L/3 = 3\ m$ ∴ O.K

지지력 검토

$e = 2.579\ m > L/6 = 1.5m$ → 지반반력은 삼각형분포이다.

$e > B/6$ 일 때 $x = 3\ [L/2 - e] = 5.763\ m$

$q_{max} = 2\Sigma V/(B \times x) = 59.325\ tonf/m^2$

$q_{max} = 59.325 < q_a = 90\ tonf/m^2$ ∴ O.K

다. 교축직각방향 모멘트 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 135.5\ tonf$

$V_z = 175.5\ tonf$

$M_z = 1192.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 1544.4\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$\sum V = P = 1538.5$

$M_r = P \times B/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 1544.4\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 3.496\ m$

$e = B/2 - a = 1.004\ m < B/3 = 3\ m$ ∴ O.K

- 지지력 검토

$e = 1.004\ m < B/6 = 1.5m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < B/6$ 일 때

$q_{\max,\min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 31.707,\ 6.281\ tonf/m^2$

$q_{\max} = 31.707 < q_a = 90\ tonf/m^2$ ∴ O.K

라. 교축방향 전단력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 450.8\ tonf$

$V_z = 52.7\ tonf$

$M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 463.3\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$\sum V = P = 1538.5$

$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 923.1\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

활동안전율 $= H_u / V_x = 2.048 > 1.2$ ∴ O.K

마. 교축직각방향 전단력 최대시

· 기초상단 부재력

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 135.5\ tonf$

$V_z = 175.5\ tonf$

$M_z = 1192.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 1544.4\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$\sum V = P = 1538.5$

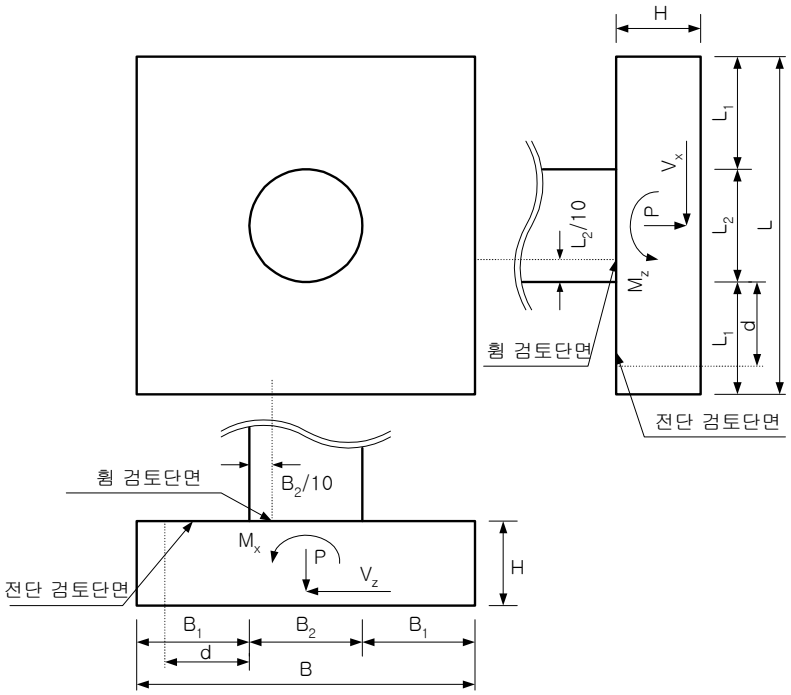
$H_u = c \cdot A' + \sum V \cdot \tan \varnothing_B = 923.1\ tonf$

여기서, $c = 0$, $\tan \varnothing_B = 0.6$

활동안전율 $= H_u / V_x = 5.26 > 1.2$ ∴ O.K

(3) [단계 5-3] 단면 검토

① 평상시



- 기초제원

$L_1 = 3.25 \quad L_2 = 2.5 \quad L = 9 \quad L_1' = L_1 + 0.1L_2 = 3.5$

$B_1 = 3.25 \quad B_2 = 2.5 \quad B = 9 \quad B_1' = B_1 + 0.1B_2 = 3.5$

$H = 2.2 \quad d = 2.05$

- 유효폭 계산 (휨모멘트 계산시)

· 교축방향

$B' = B_2 + 2d = 6.6 < L = 9 \quad \therefore B' = 6.6$

· 교축직각방향

$L' = L_2 + 2d = 6.6 < L = 9 \quad \therefore L' = 6.6$

가. 축력 최대시

$P = 2283.2\ tonf$

$V_x = 0.0\ tonf$

$V_z = 0.0\ tonf$

$M_z = 0.0\ tonf \cdot m$

$M_x = 148.7\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 2283.2\ tonf$

· 교축방향

$M_r = P \times L/2 = 10274.4\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 0\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 4.5\ m$

$e = L/2 - a = 0\ m < L/6 = 1.5\ m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < L/6$ 일때

$q_{\max,\min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 28.188,\ 28.188\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{\max} + L_1'/L \times (q_{\min} - q_{\max}) = 28.188\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{\max} + (L_1 - d)/L \times (q_{\min} - q_{\max}) = 28.188\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{\max} \times L_1' \times 2/3\ L_1' + 1/2\ q_{mom} \times L_1'\ 1/3\ L_1') - 1.3\ (L_1' \times H \times 2.5 \times L_1'/2)\} \times B/B' = 175.715\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (L1 - d) - 1.3\ (L1 - d) \times H \times 2.5$

$= 25.246\ tonf$

· 교축직각방향

$M_r = P \times B/2 = 10274.4\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 148.7\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 4.435\ m$

$e = B/2 - a = 0.065\ m < B/6 = 1.5\ m$ →지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < B/6$ 일때

$q_{\max,\min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 29.409,\ 26.966\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{\max} + B_1'/B \times (q_{\min} - q_{\max}) = 28.459\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{\max} + (B_1 - d)/B \times (q_{\min} - q_{\max}) = 29.083\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{\max} \times B_1' \times 2/3\ B_1' + 1/2\ q_{mom} \times B_1'\ 1/3\ B_1') - 1.3\ (B_1' \times H \times 2.5 \times B_1'/2)\} \times L/L' = 183.268\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (B_1 - d) - 1.3\ (B_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 26.515\ tonf$

나. 교축방향 모멘트 최대시

$P = 2171.3\ tonf$

$V_x = 104.9\ tonf$

$V_z = 0.0\ tonf$

$M_z = 1384.8\ tonf \cdot m$

$M_x = 89.9\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 2171.3$

$M_r = P \times L/2 = 9770.85\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 1384.8\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 3.862\ m$

$e = L/2 - a = 0.638\ m < L/6 = 1.5\ m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < L/6$ 일때

$q_{max,min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/L) = 38.208,\ 15.405\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{max} + L_1'/L \times (q_{min} - q_{max}) = 29.34\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{max} + (L_1 - d)/L \times (q_{min} - q_{max}) = 35.168\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{max} \times L_1' \times 2/3\ L_1' + 1/2\ q_{mom} \times L_1'\ 1/3\ L_1') - 1.3\ (L_1' \times H \times 2.5 \times L_1'/2)\} \times B/B' = 234.716\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{max} + q_{shear})/2 \times (L_1 - d) - 1.3\ (L_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 35.446\ tonf$

다. 교축직각방향 모멘트 최대시

$P = 2000.0\ tonf$

$V_x = 0.0\ tonf$

$V_z = 80.5\ tonf$

$M_z = 0.0\ tonf \cdot m$

$M_x = 1211.6\ tonf \cdot m$

$\sum V = P = 2000$

$M_r = P \times B/2 = 9000\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 1211.6\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 3.894\ m$

$e = B/2 - a = 0.606\ m < B/6 = 1.5\ m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < B/6$ 일때

$q_{max,min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 34.667,\ 14.716\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{max} + B_1'/B \times (q_{min} - q_{max}) = 26.908\ tonf/m^2$

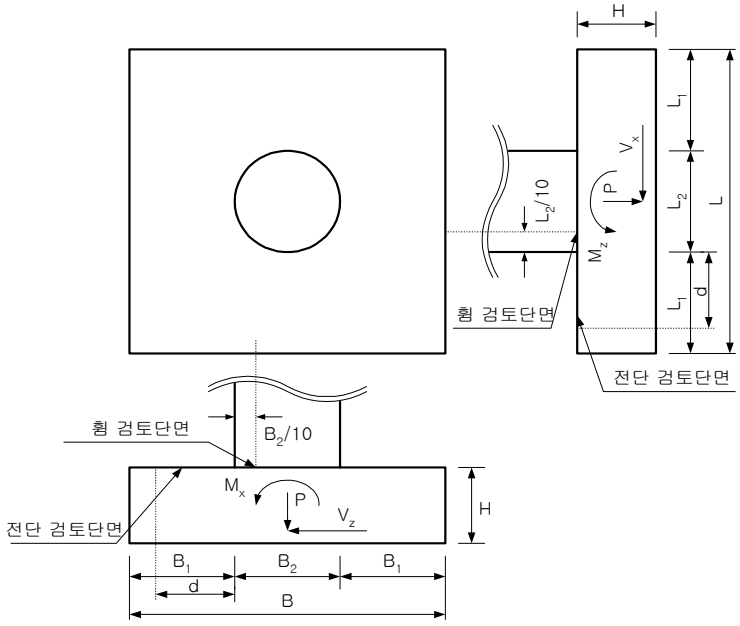
$q_{shear} = q_{\max} + (B_1 - d)/B \times (q_{\min} - q_{\max}) = 32.007\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{\max} \times B_1' \times 2/3\ B_1' + 1/2\ q_{mom} \times B_1'\ 1/3\ B_1') - 1.3\ (B_1' \times H \times 2.5 \times B_1'/2)\} \times L/L' = 208.228\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (B_1 - d) - 1.3\ (B_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 31.424\ tonf$

② 지진시



- 기초제원

$L_1 = 3.25 \quad L_2 = 2.5 \quad L = 9 \quad L_1' = L_1 + 0.1L_2 = 3.5$

$B_1 = 3.25 \quad B_2 = 2.5 \quad B = 9 \quad B_1' = B_1 + 0.1B_2 = 3.5$

$H = 2.2 \quad d = 2.05$

- 유효폭 계산 (휨모멘트 계산시)

· 교축방향

$B' = B_2 + 2d = 6.6 < L = 9 \quad \therefore B' = 6.6$

· 교축직각방향

$L' = L_2 + 2d = 6.6 < L = 9 \quad \therefore L' = 6.6$

가. 축력 최대시

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 450.8\ tonf$

$V_z = 52.7\ tonf$

$M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 463.3\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$\sum V = P = 1538.5$

· 교축방향

$M_r = P \times L/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 1.921\ m$

$e = L/2 - a = 2.579\ m > L/6 = 1.5\ m$ → 지반반력은 삼각형분포이다.

$e > L/6$ 일때 $x = 3[L/2 - e] = 5.763\ m$

$q_{\max} = 2\sum V/(B \times x) = 59.325\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{\max}/x \times (x - L_1') = 23.296\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{\max}/x \times (x - L_1' + d) = 46.972\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{\max} \times L_1' \times 2/3 \times L_1' + 1/2 \times q_{mom} \times L_1' \times 1/3 \times L_1') - 1.3 (L_1' \times H \times 2.5 \times L_1'/2)\} \times B/B' = 335.472\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (L_1 - d) - 1.3 (L_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 55.198\ tonf$

· 교축직각방향

$M_r = P \times B/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 463.3\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 4.199\ m$

$e = B/2 - a = 0.301\ m < B/6 = 1.5\ m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < B/6$ 일때

$q_{\max,\min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 22.805,\ 15.182\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{\max} + B_1'/B \times (q_{\min} - q_{\max}) = 19.841\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{\max} + (B_1 - d)/B \times (q_{\min} - q_{\max}) = 21.789\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{\max} \times B_1' \times 2/3 \times B_1' + 1/2 \times q_{mom} \times B_1' 1/3 \times B_1') - 1.3 (B_1' \times H \times 2.5 \times B_1'/2)\} \times L/L' = 122.503\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (B_1 - d) - 1.3\,(B_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 18.176\ tonf$

나. 교축방향 모멘트 최대시

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 450.8\ tonf$

$V_z = 52.7\ tonf$

$M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 463.3\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$\sum V = P = 1538.5$

$M_r = P \times L/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_z = 3967.2\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 1.921\ m$

$e = L/2 - a = 2.579\ m > L/6 = 1.5\ m \rightarrow$ 지반반력은 삼각형분포이다.

$e > L/6$ 일때 $x = 3[L/2 - e] = 5.763\ m$

$q_{\max} = 2\sum V/(B \times x) = 80.897\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{\max}/x \times (x - L_1') = 31.766\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{\max}/x \times (x - L_1' + d) = 64.052\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{\max} \times L_1' \times 2/3 \times L_1' + 1/2 \times q_{mom} \times L_1' \times 1/3 \times L_1') - 1.3\,(L_1' \times H \times 2.5 \times L_1'/2)\} \times B/B' = 479.17\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (L_1 - d) - 1.3\,(L_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 78.389\ tonf$

다. 교축직각방향 모멘트 최대시

$P = 1538.5\ tonf$

$V_x = 135.5\ tonf$

$V_z = 175.5\ tonf$

$M_z = 1192.2\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$M_x = 1544.4\ tonf \cdot m$ (응답수정계수 적용)

$\sum V = P = 1538.5$

$M_r = P \times B/2 = 6923.25\ tonf \cdot m$

$M_o = M_x = 1544.4\ tonf \cdot m$

$a = (M_r - M_o)/\sum V = 3.496\ m$

$e = B/2 - a = 1.004\ m < B/6 = 1.5\ m$ → 지반반력은 사다리꼴분포이다.

$e < B/6$ 일때

$q_{\max,\min} = \sum V/(B \times L) \times (1 \pm 6e/B) = 31.707,\ 6.281\ tonf/m^2$

$q_{mom} = q_{\max} + B_1'/B \times (q_{\min} - q_{\max}) = 21.819\ tonf/m^2$

$q_{shear} = q_{\max} + (B_1 - d)/B \times (q_{\min} - q_{\max}) = 28.317\ tonf/m^2$

$M_u = \{(1/2 \times q_{\max} \times B_1' \times 2/3 \times B_1' + 1/2 \times q_{mom} \times B_1' \times 1/3 \times B_1') - 1.3\ (B_1' \times H \times 2.5 \times B_1'/2)\} \times L/L' = 177.578\ tonf \cdot m$

$V_u = (q_{\max} + q_{shear})/2 \times (B_1 - d) - 1.3\ (B_1 - d) \times H \times 2.5$

$= 27.434\ tonf$

(4) [단계 5-4] 철근량 검토

① 철근량 집계

구 분		교축방향		교축직각방향	
		$M_u(tonf \cdot m)$	$V_u(tonf \cdot m)$	$M_u(tonf \cdot m)$	$V_u(tonf \cdot m)$
평상시	축력최대	175.715	25.246	183.268	26.515
	교축방향 모멘트최대	234.716	35.446		
	교축직각방향 모멘트최대			208.228	31.424
지진시	축력최대	335.472	55.198	122.503	18.176
	교축방향 모멘트최대	479.17	78.389		
	교축직각방향 모멘트최대			177.578	27.434
최 대		479.17	78.389	208.228	31.424

② 철근량 산정

$f_{ck} = 240\ kgf/cm$	$f_y = 3000\ kgf/cm^2$
$M_u = 479.17 tonf \cdot m$	$V_u = 78.389\ tonf$
$b = 100\ cm$	$h = 220\ cm$
$d = 205\ cm$	$d' = 15\ cm$

$0.85 \times f_{ck} \times b \times a = A_s f_y$, $M_u = \varnothing \times A_s \times f_y \times (d - a/2)$

으로부터

$(\varnothing \times fy^2) / (1.7 \times f_{ck} \times b) \times As^2 - \varnothing \times f_y \times d \times A_s + M_u = 0$

$(0.85 \times 3000^2) / (1.7 \times f_{ck} \times b) \times A_s^2 - 0.85 \times 3000 \times 205 \times A_s$

$+ 479.17 \times 10E5 = 0$

$187.5 \times A_s^2 - 522750 \times A_s + 47917000 = 0$

$A_s = 94.893\ cm^2$

$0.8 \times \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b_w \times d = 84.69\ cm^2$ (콘크리트강도에 의한 최소규정)

$14 / f_y \times b_w \times d = 95.67\ cm^2$ (철근강도에 의한 최소규정)

$A_s$min (1) $= 95.67\ cm^2$

$A_s$min (2) $= 4 / 3 \times A_s\ req'd = 126.52\ cm^2$ (요구철근량의 4/3 규정)

$A_s$min (3) $= 0.002 \times bo \times d = 41.00\ cm^2$ (온도철근)

＊ (1), (2) 중 작은 값을 (3)과 비교하여 큰 값 사용

필요철근량 = 95.67 cm^2

사용철근량 = 2단 - D22@100 = 101.34 cm^2

철근비 $= \frac{101.34}{100 \times 205} = 0.0049$ $\begin{matrix} > P_{min} = 0.0047 \\ < P_{max} = 0.0291 \end{matrix}$

$a = \frac{101.34 \times 3000}{0.85 \times 240 \times 100} = 14.903\ cm$

$\varnothing M_n = 0.85 \times 101.34 \times 3000 \times (205 - 14.903 / 2) / 100000$

$= 510.499\ tonf \cdot m > M_u = 479.17$ O.K

$\varnothing V_c = 0.8 \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}} \times b \times d = 134655.885\ kgf$

$\varnothing V_c = 134655.855\ kgf > V_u = 129340$ 전단철근 불필요

4.2 π형 교각 내진설계예

4.2.1 [단계 1] 단면 가정

(1) [단계1-1] 구조계획

· 교량 형식 : 강상자형교

· 교량 연장 : L = 40 + 50 + 40 = 130.0 m

(2) [단계 1-2] 내진기준 검토

· 가속도계수

· 지진구역 : Ⅰ (구역계수 0.11)

· 위험계수 : 1.4 (재현주기 1,000년)

· 가속도계수 : 0.11 x 1.4 = 0.154

· 내진등급 : 내진 1 등급교

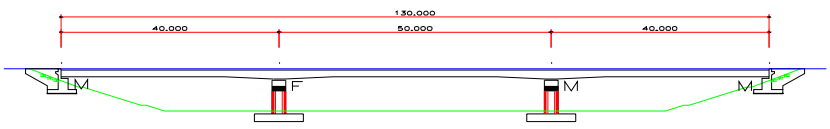
· 지반계수 : S = 1.0 (지반종류 Ⅰ)

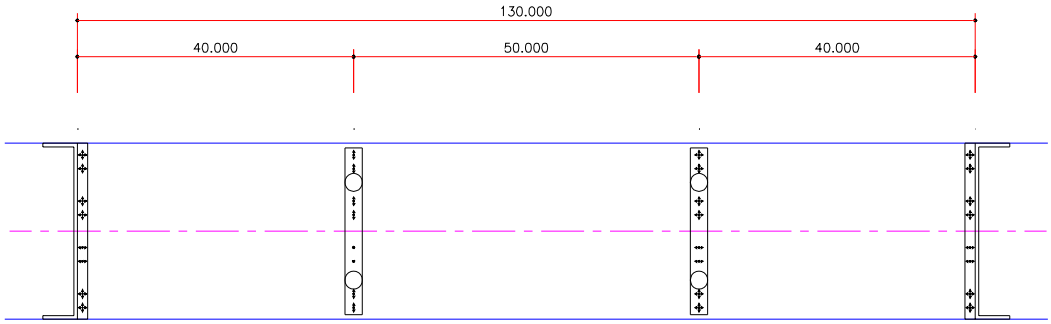
· 응답수정계수

구 조 부 재		항복시(설계기준)(R)	탄성거동시(R)
기둥(단주)		3.0	1.0
연결부	상부와 교대	0.8	0.8
	상부와 교각	1.0	1.0
기 초		3.0/2 = 1.5	1.0

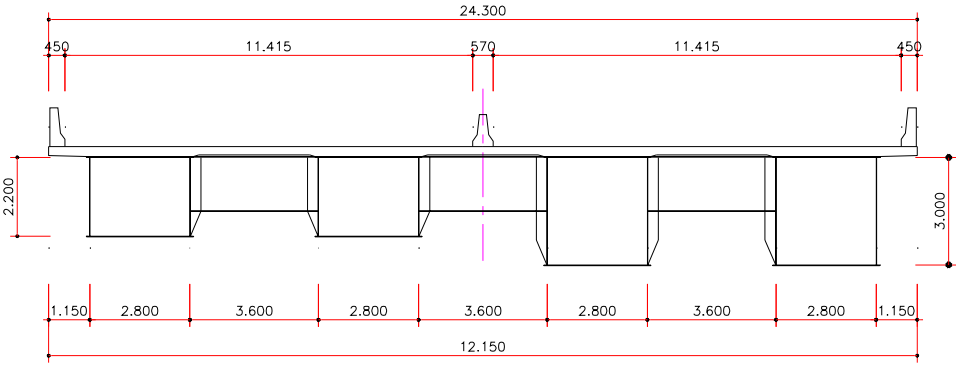
(3) [단계 1-3] 설계단면 결정

· 종평면도

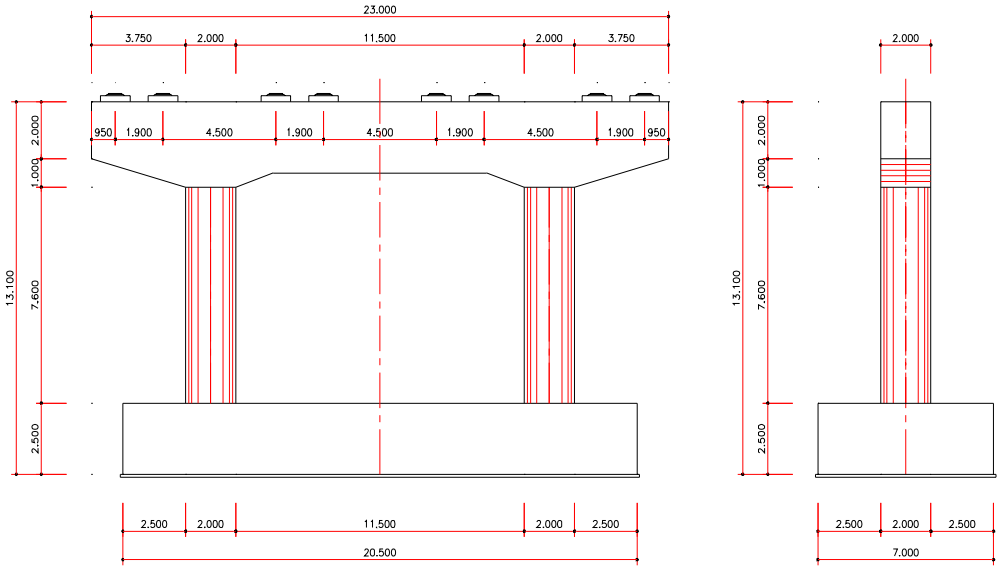




· 상부 횡단면도



· 하부 일반도



- 단면 및 재료상수

· 철근콘크리트

$$f_{ck} = 270\ kgf/cm^2\ ,\ E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} = 2.46 \times 10^5\ kgf/cm^2$$

$$f_{ck} = 240\ kgf/cm^2\ ,\ E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} = 2.32 \times 10^5\ kgf/cm^2$$

· 강재

$$f_{sa} = 1,900\ kgf/cm^2$$

- 탄성계수비 : n = 8

상부구조의 단면상수는 상부슬래브를 강재로 단면을 치환하여 강재에 대한 상수 (I_{xx}, I_{yy})를 산정하였으며, 지간부, 지점부 그리고 변단면구간으로 나누어 각각의 단면상수를 결정하였다.

· 하부구조의 단면계수

코핑 (상부)

$$A = 23.0\times2.0 = 46.000\ m^2$$

$$I_z = 23.0\times2.0^3/12 = 15.3333\ m^4$$

$$I_y = 2.0\times23.0^3/12 = 2027.83\ m^4$$

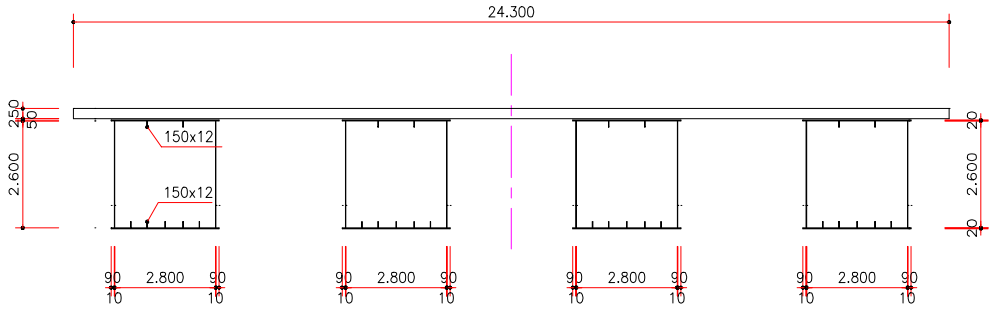
기둥

$$A = 2.0^2\times\pi/4\times2EA = 6.2832m^2$$

$$I_z = 2.0^4\times\pi/64\times2EA = 1.5708m^4$$

$$I_y = 2.0^4\times\pi/64 + A\times6.75^2\times2EA = 573.342m^4$$

(4) [단계 1-4] 상부하중 산정



① 상부공

· 슬래브 : $23.0\times0.25\times2.5$ = 14.375 $tonf/m$

· 방호벽 : $0.836\times2\,EA$ = 1.672 $tonf/m$

· 포 장 : $(23.0 - 0.45\times2)\times0.08\times2.3$ = 4.066 *tonf/m*

· 강 재 : $0.1846\times4EA\times7.85\times1.25$(25% 할증) = 7.246 *tonf/m*

($A = 3.0\times0.02\times2EA + 2.6\times0.01\times2EA + 0.15\times0.012\times7EA$ = 0.1846 m^2)

소 계 = 27.359 *tonf/m*

· 횡 빔 : $0.02076\times3.58\times(31\times3)EA\times7.85\times1.25/130$ = 0.521 *tonf/m*

총계 = 27.880 *tonf/m*

② 하부공

· 코핑부 : $\{(2.0\times3.75 + 1/2\times1.0\times3.75 + 2.0\times3.0 + 1/2\times1.5\times0.5)\times2$
$+ 11.5\times2.5\}\times2.0\times2.5$ = 301.250 *tonf*

· 기둥부 : $2.0^2\times\pi\times1/4\times7.6\times2.5$ = 59.690 *tonf*

· 지진거동에 영향을 주는 연직중량
= 상부중량 + 코핑중량 + 1/2기둥중량

③ 교축방향 단위중량

· 1 점 고정시

$W_x = 27.880 + (301.250 + 59.690\times1/2\times2EA)/130$ = 30.656 *tonf/m*

· 2 점 고정시

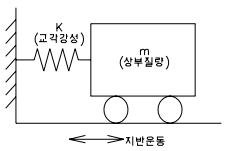
$W_x = 27.880 + (301.250 + 59.690\times1/2\times2EA)\times2EA/130$ = 33.433 *tonf/m*

④ 교축직각방향 단위중량

$W_x = 27.880 + (301.250 + 59.690\times1/2\times2EA)\times2EA/130$ = 33.433 *tonf/m*

4.2.2 [단계 2] 예비내진 설계(개략적 해석)

(1) [단계 2-1] 교축방향 해석



- 1점 고정방법

· 코핑 강성

$$K_1 = \frac{3\cdot E\cdot I_1}{h_1^3} = \frac{3\times2.32\times10^6\times15.3333}{3.0^3} = 3,952,584 \ tonf/m$$

· 기둥 강성

$$K_2 = \frac{3 \cdot E \cdot I_2}{h_2^3} = \frac{3 \times 2.32 \times 10^6 \times 1.5708}{7.6^3} = 24,905 \ tonf/m$$

· 교각 강성

$$K_{total} = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2} = 24,749 \ tonf/m$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{W_T}{g \cdot K}} = 2\pi\sqrt{\frac{30.656 \times 130}{9.81 \times 24,749}} = 0.805 \text{ sec}$$

$$C_S = \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} = \frac{1.2 \times 0.154 \times 1.0}{0.805^{2/3}} = 0.2136 < 2.5A = 0.385$$

교각상단 수평력 : 30.656 x 130.0 x 0.2136 = 851.256 *tonf*

교량받침 수평력 : 851.256 / 8EA = 106.407 *tonf*

교각하면 모멘트 : 851.256 x 10.6 = 9023.314 $tonf \cdot m$

교축방향 변위 : $\delta = \frac{V}{K} = \frac{851.256}{24,749} = 0.0344 = 34.4 \ mm$

(2) [단계 2-2] 교축직각방향 해석

교축직각방향으로 모든 교각 상단받침과 교대부가 고정이므로 내진구조계획상 지진력 처리방법의 주요 인자가 아니라고 판단되어 생략한다.

(3) [단계 2-3] 예비설계 검토 및 해석방법 검토

예비설계 결과 기둥 단면 및 교좌는 충분한 강성을 확보하는 것으로 판단되어 단면 변화없이 상세설계를 수행한다.

고정점의 위치는 온도 신축에 의한 2차 부재력 발생의 최소화를 위하여 질량중심점 중앙부와 인접한 교각에 고정점을 두었으며, 이로 인한 질량중심과 강점 중심의 편기로 비대칭 거동이 예상된다.

교량 계획에서 경간비가 크지 않고 교각이 높지 않으며 높이차가 없어 단일모드 해석으로 충분할 것 같으나, 위 내용과 관련하여 비대칭 거동이 예상되므로 단일모드 및 다중모드 스펙트럼해석법을 모두 수행하였다.

4.2.3 [단계 3] 탄성지진력 및 변위 결정

- 지진해석은 다음과 같은 두가지의 해석방법을 제시한다.

· 단일모드 스펙트럼 해석법

· 다중모드 스펙트럼 해석법

위 두가지 방법 모두에 있어서 모든 고정된 기둥과 교각 또는 교대 지점들은 동일 시점에 있어서 동일한 지반운동을 한다고 가정한다.

(1) [단계 3-1] 구조물 모델링

① 상부 구조

집중질량의 관성효과를 적절하게 분배시키기 위하여 횡빔이 위치하는 5 m 마다 절점을 분할하여 4개 주형의 보요소로 모델링하였다.

② 하부구조

상부구조의 도심과 주형하단까지는 강절(Rigid) 요소로, 교량받침은 배치상태(고정 혹은 가동)를 고려한 자유도를 설정하여 모델링한다.

코핑은 실제 단면과 동일하게 변단면으로 모델링하여 코핑의 강성도 고려한 모델링을 하였다.

기둥의 순길이는 7.6 m로 인접지간 길이의 1/3 보다 작으므로 1개의 보요소로 모델링하였다.

하부구조는 지반상태를 고려하여 직접기초가 가능한 지반계수 1.0인 지반으로 보고 고정점으로 단순하게 모델링하였다.

교대, 구체 및 뒷채움 흙의 영향은 고려하지 않았다.

③

INPUT DATA

SYSTEM

LENGTH=M FORCE=TON UP=+Z

COORDINATES

NAME=A1	X= 0	Y= 0	Z=-2.111
	X= 0	Y= 0	Z=10.0
	X= 0	Y=10	Z=-2.111
NAME=P1	X= 40	Y= 0	Z=-3.055
	X= 40	Y= 0	Z=10.0
	X= 40	Y=10	Z=-3.055
NAME=P2	X= 90	Y= 0	Z=-3.055
	X= 90	Y= 0	Z=10.0
	X= 90	Y=10	Z=-3.055
NAME=A2	X=130	Y= 0	Z=-2.111
	X=130	Y= 0	Z=10.0
	X=130	Y=10	Z=-2.111

```
JOINT
  101 X=   0.0   Y= 9.600   Z= 0.0
  107 X= 30.0   Y= 9.600   Z= 0.0
    LGEN=101,107,1
  108 X= 35.0   Y= 9.600   Z=-0.2
  109 X= 39.0   Y= 9.600   Z=-0.4
  111 X= 41.0   Y= 9.600   Z=-0.4
    LGEN=109,111,1
  112 X= 45.0   Y= 9.600   Z=-0.2
  113 X= 50.0   Y= 9.600   Z= 0.0
  119 X= 80.0   Y= 9.600   Z= 0.0
    LGEN=113,119,1
  120 X= 85.0   Y= 9.600   Z=-0.2
  121 X= 89.0   Y= 9.600   Z=-0.4
  123 X= 91.0   Y= 9.600   Z=-0.4
    LGEN=121,123,1
  124 X= 95.0   Y= 9.600   Z=-0.2
  125 X=100.0   Y= 9.600   Z= 0.0
  131 X=130.0   Y= 9.600   Z= 0.0
    LGEN=125,131,1
  131 X=130.0   Y= 9.600   Z= 0.0
  401 X=   0.0   Y=-9.600   Z= 0.0
    LGEN=101,401,100
    FGEN=101,131,1,401,100
  501 X=   0.0   Y= 9.600   Z= -1.711
  801 X=   0.0   Y=-9.600   Z= -1.711
    LGEN=501,801,100
  510 X= 40.0   Y= 9.600   Z= -2.655
  810 X= 40.0   Y=-9.600   Z= -2.655
    LGEN=510,810,100
  522 X= 90.0   Y= 9.600   Z= -2.655
  822 X= 90.0   Y=-9.600   Z= -2.655
    LGEN=522,822,100
  531 X=130.0   Y= 9.600   Z= -1.711
  831 X=130.0   Y=-9.600   Z= -1.711
```

```
      LGEN=531,831,100
CSYS=A1
 A102  X=   9.600  Y=   0.000  Z=   0.000
 A113  X=   3.200  Y=   0.000  Z=   0.000
 A114  X=  -3.200  Y=   0.000  Z=   0.000
 A125  X=  -9.600  Y=   0.000  Z=   0.000
CSYS=A2
 A202  X=   9.600  Y=   0.000  Z=   0.000
 A213  X=   3.200  Y=   0.000  Z=   0.000
 A214  X=  -3.200  Y=   0.000  Z=   0.000
 A225  X=  -9.600  Y=   0.000  Z=   0.000
CSYS=P1
 P101  X=  11.500  Y=   0.000  Z=   0.000
 P102  X=   9.600  Y=   0.000  Z=   0.000
 P103  X=   8.650  Y=   0.000  Z=   0.000
 P104  X=   7.750  Y=   0.000  Z=   0.000
 P105  X=   7.550  Y=   0.000  Z=   0.000 ; critical section
 P106  X=   7.150  Y=   0.000  Z=   0.000
 P107  X=   6.750  Y=   0.000  Z=   0.000 ; center of left pier
 P108  X=   6.350  Y=   0.000  Z=   0.000
 P109  X=   5.950  Y=   0.000  Z=   0.000 ; critical section
 P110  X=   5.750  Y=   0.000  Z=   0.000
 P111  X=   4.250  Y=   0.000  Z=   0.000
 P112  X=   4.150  Y=   0.000  Z=   0.000
 P113  X=   3.200  Y=   0.000  Z=   0.000
 P114  X=  -3.200  Y=   0.000  Z=   0.000
 P115  X=  -4.150  Y=   0.000  Z=   0.000
 P116  X=  -4.250  Y=   0.000  Z=   0.000
 P117  X=  -5.750  Y=   0.000  Z=   0.000
 P118  X=  -5.950  Y=   0.000  Z=   0.000 ; critical section
 P119  X=  -6.350  Y=   0.000  Z=   0.000
 P120  X=  -6.750  Y=   0.000  Z=   0.000 ; center of right pier
 P121  X=  -7.150  Y=   0.000  Z=   0.000
 P122  X=  -7.550  Y=   0.000  Z=   0.000 ; critical section
 P123  X=  -7.750  Y=   0.000  Z=   0.000
```

P124 X= -8.650 Y= 0.000 Z= 0.000
P125 X= -9.600 Y= 0.000 Z= 0.000
P126 X=-11.500 Y= 0.000 Z= 0.000
P127 X= 6.750 Y= 0.000 Z= -2.000
P128 X= 6.750 Y= 0.000 Z= -3.000
P129 X= 6.750 Y= 0.000 Z=-10.600
P130 X= -6.750 Y= 0.000 Z= -2.000
P131 X= -6.750 Y= 0.000 Z= -3.000
P132 X= -6.750 Y= 0.000 Z=-10.600

CSYS=P2
P201 X= 11.500 Y= 0.000 Z= 0.000
P202 X= 9.600 Y= 0.000 Z= 0.000
P203 X= 8.650 Y= 0.000 Z= 0.000
P204 X= 7.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P205 X= 7.550 Y= 0.000 Z= 0.000 ; critical section
P206 X= 7.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P207 X= 6.750 Y= 0.000 Z= 0.000 ; center of left pier
P208 X= 6.350 Y= 0.000 Z= 0.000
P209 X= 5.950 Y= 0.000 Z= 0.000 ; critical section
P210 X= 5.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P211 X= 4.250 Y= 0.000 Z= 0.000
P212 X= 4.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P213 X= 3.200 Y= 0.000 Z= 0.000
P214 X= -3.200 Y= 0.000 Z= 0.000
P215 X= -4.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P216 X= -4.250 Y= 0.000 Z= 0.000
P217 X= -5.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P218 X= -5.950 Y= 0.000 Z= 0.000 ; critical section
P219 X= -6.350 Y= 0.000 Z= 0.000
P220 X= -6.750 Y= 0.000 Z= 0.000 ; center of right pier
P221 X= -7.150 Y= 0.000 Z= 0.000
P222 X= -7.550 Y= 0.000 Z= 0.000 ; critical section
P223 X= -7.750 Y= 0.000 Z= 0.000
P224 X= -8.650 Y= 0.000 Z= 0.000

```
 P225   X= -9.600   Y=   0.000   Z=   0.000
 P226   X=-11.500   Y=   0.000   Z=   0.000
 P227   X=   6.750   Y=   0.000   Z= -2.000
 P228   X=   6.750   Y=   0.000   Z= -3.000
 P229   X=   6.750   Y=   0.000   Z=-10.600
 P230   X= -6.750   Y=   0.000   Z= -2.000
 P231   X= -6.750   Y=   0.000   Z= -3.000
 P232   X= -6.750   Y=   0.000   Z=-10.600
RESTRAINTS
  ADD=A102,A202,100  DOF=ALL
  ADD=A113,A213,100  DOF=ALL
  ADD=A114,A214,100  DOF=ALL
  ADD=A125,A225,100  DOF=ALL
  ADD=P129,P132,3,P229,100  DOF=ALL

MATERIAL
  NAME=CONC  IDES=C   M=2.5/9.81   W=2.5
    T=0   E=2.32E+06   U=.15   A=.00001
  NAME=NOWT  IDES=C   M=0/9.81      W=0
    T=0   E=2.32E+06   U=.15   A=.00001
  NAME=RIGD  IDES=C   M=2.5/9.81   W=2.5
    T=0   E=2.32E+09   U=.15   A=.00001
  NAME=STEEL1  IDES=S  M=27.359/4/0.374/9.81  W=27.359/4/0.374
    T=0   E=2.0E+07   U=.3   A=0
  NAME=STEEL2  IDES=S  M=7.85*3.6/6.4*1.25/9.81  W=7.85*3.6/6.4*1.25
    T=0   E=2.0E+07   U=.3   A=0
  NAME=LINK   IDES=N   W=0.0  M=0.0/9.81
    E=2.1E+07  U=0.3  A=1.2E-5

FRAME SECTION
;
; 상부 강상자용 FRAME SECTION
;
  NAME=1   MAT=STEEL1  A=0.366  J=1  I= 0.311,  0.764  AS=0.044,0.12
  NAME=2   MAT=STEEL1  A=0.374  J=1  I= 0.439,  0.780  AS=0.052,0.12
```

```
  NAME=3   MAT=STEEL1 A=0.592 J=1 I= 0.592, 0.795 AS=0.060,0.12
  NAME=CR  MAT=STEEL2 SH=I T=1.524,0.24,0.012,0.01,0.24,0.012
  NAME=RI  MAT=LINK   A=1 J=1 I=1000,1000 AS=1000,1000
  NAME=12  TYPE=NONPR SEC=1,2 EIVAR=3,1
  NAME=23  TYPE=NONPR SEC=2,3 EIVAR=3,1
  NAME=32  TYPE=NONPR SEC=3,2 EIVAR=3,1
  NAME=21  TYPE=NONPR SEC=2,1 EIVAR=3,1
;
; SECTION DATA FOR PIER
;
  NAME=CP1     TYPE=PRISM   MAT=CONC   SH=R  T=2.000,2.0
  NAME=CP2     TYPE=PRISM   MAT=CONC   SH=R  T=2.253,2.0
  NAME=CP3     TYPE=PRISM   MAT=CONC   SH=R  T=2.760,2.0
  NAME=CP4     TYPE=PRISM   MAT=CONC   SH=R  T=3.000,2.0
  NAME=CP5     TYPE=PRISM   MAT=CONC   SH=R  T=2.500,2.0
  NAME=RIGD    TYPE=PRISM   MAT=RIGD   SH=R  T=3.000,2.0
  NAME=CL1     TYPE=PRISM   MAT=NOWT   SH=R  T=2.0,11.5
  NAME=CL2     TYPE=PRISM   MAT=NOWT   SH=R  T=2.0,2.0
  NAME=CL3     TYPE=PRISM   MAT=CONC   SH=P  T=2.0
;
  NAME=CP12  TYPE=NONPR  SEC=CP1,CP2   EIVAR=3,1
  NAME=CP21  TYPE=NONPR  SEC=CP2,CP1   EIVAR=3,1
  NAME=CP23  TYPE=NONPR  SEC=CP2,CP3   EIVAR=3,1
  NAME=CP32  TYPE=NONPR  SEC=CP3,CP2   EIVAR=3,1
  NAME=CP34  TYPE=NONPR  SEC=CP3,CP4   EIVAR=3,1
  NAME=CP43  TYPE=NONPR  SEC=CP4,CP3   EIVAR=3,1
  NAME=CP45  TYPE=NONPR  SEC=CP4,CP5   EIVAR=3,1
  NAME=CP54  TYPE=NONPR  SEC=CP5,CP4   EIVAR=3,1
  NAME=CL12  TYPE=NONPR  SEC=CL1,CL2   EIVAR=3,1

FRAME
  G101  J=101,102 SEC=1 NSEG=4
    GEN=G101,G106,1,G401,100
  G107  J=107,108 SEC=12
    GEN=G107,G407,100
```

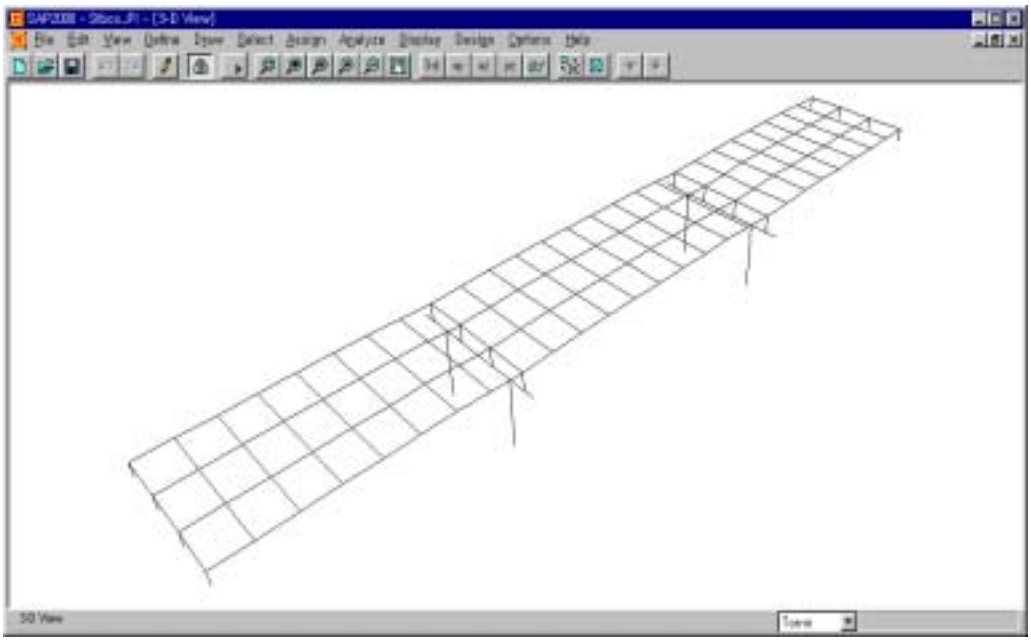
```
G108 J=108,109 SEC=23
  GEN=G108,G408,100
G109 J=109,110 SEC=3
  GEN=G109,G110,1,G409,100
G111 J=111,112 SEC=32
  GEN=G111,G411,100
G112 J=112,113 SEC=21
  GEN=G112,G412,100
G113 J=113,114 SEC=1
  GEN=G113,G118,1,G413,100
G119 J=119,120 SEC=12
  GEN=G119,G419,100
G120 J=120,121 SEC=23
  GEN=G120,G420,100
G121 J=121,122 SEC=3
  GEN=G121,G122,1,G421,100
G123 J=123,124 SEC=32
  GEN=G123,G423,100
G124 J=124,125 SEC=21
  GEN=G124,G424,100
G125 J=125,126 SEC=1
  GEN=G125,G130,1,G425,100
CR101 J=101,201 SEC=CR IOFF=1.4 JOFF=1.4
  GEN=CR101,CR131,1,CR301,100
  DEL=CR109,CR111,2,CR309,100
  DEL=CR121,CR123,2,CR321,100
A1G1 J=101,501 SEC=RI
  GEN=A1G1,A1G4,1 IINC=100 JINC=100
P1G1 J=110,510 SEC=RI
  GEN=P1G1,P1G4,1 IINC=100 JINC=100
P2G1 J=122,522 SEC=RI
  GEN=P2G1,P2G4,1 IINC=100 JINC=100
A2G1 J=131,531 SEC=RI
  GEN=A2G1,A2G4,1 IINC=100 JINC=100
;
```

```
; FRAME DATA FOR SHOE
;
   A1SH1 J=501,A102 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   A1SH2 J=601,A113 SEC=RI JREL=U2    ,R1,R2,R3
   A1SH3 J=701,A114 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   A1SH4 J=801,A125 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3

   P1SH1 J=510,P102 SEC=RI JREL=    U3,R1,R2,R3
   P1SH2 J=610,P113 SEC=RI JREL=       R1,R2,R3
   P1SH3 J=710,P114 SEC=RI JREL=    U3,R1,R2,R3
   P1SH4 J=810,P125 SEC=RI JREL=    U3,R1,R2,R3

   P2SH1 J=522,P202 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   P2SH2 J=622,P213 SEC=RI JREL=U2     R1,R2,R3
   P2SH3 J=722,P214 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   P2SH4 J=822,P225 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3

   A2SH1 J=531,A202 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   A2SH2 J=631,A213 SEC=RI JREL=U2    ,R1,R2,R3
   A2SH3 J=731,A214 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   A2SH4 J=831,A225 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
;
; FRAME DATA FOR P1
;
CSYS=P1
    P101   J=P101,P102   SEC=CP12
    P102   J=P102,P103   SEC=CP23
    P103   J=P103,P104   SEC=CP34
    P104   J=P104,P105   SEC=CP4
    P105   J=P105,P106   SEC=CP4
    P106   J=P106,P107   SEC=RIGD
    P107   J=P107,P108   SEC=RIGD
    P108   J=P108,P109   SEC=CP4
    P109   J=P109,P110   SEC=CP4
    P110   J=P110,P111   SEC=CP45
```

```
    P111   J=P111,P112   SEC=CP5
    P112   J=P112,P113   SEC=CP5
    P113   J=P113,P114   SEC=CP5
    P114   J=P114,P115   SEC=CP5
    P115   J=P115,P116   SEC=CP5
    P116   J=P116,P117   SEC=CP54
    P117   J=P117,P118   SEC=CP4
    P118   J=P118,P119   SEC=CP4
    P119   J=P119,P120   SEC=RIGD
    P120   J=P120,P121   SEC=RIGD
    P121   J=P121,P122   SEC=CP4
    P122   J=P122,P123   SEC=CP4
    P123   J=P123,P124   SEC=CP43
    P124   J=P124,P125   SEC=CP32
    P125   J=P125,P126   SEC=CP21

    P126   J=P107,P127   SEC=CL1   ANG=90
    P127   J=P127,P128   SEC=CL12   ANG=90
    P128   J=P128,P129   SEC=CL3   ANG=90
    P129   J=P120,P130   SEC=CL1   ANG=90
    P130   J=P130,P131   SEC=CL12   ANG=90
    P131   J=P131,P132   SEC=CL3   ANG=90

CSYS=P2
    P201   J=P201,P202   SEC=CP12
    P202   J=P202,P203   SEC=CP23
    P203   J=P203,P204   SEC=CP34
    P204   J=P204,P205   SEC=CP4
    P205   J=P205,P206   SEC=CP4
    P206   J=P206,P207   SEC=RIGD
    P207   J=P207,P208   SEC=RIGD
    P208   J=P208,P209   SEC=CP4
    P209   J=P209,P210   SEC=CP4
    P210   J=P210,P211   SEC=CP45
    P211   J=P211,P212   SEC=CP5
```

```
    P212   J=P212,P213   SEC=CP5
    P213   J=P213,P214   SEC=CP5
    P214   J=P214,P215   SEC=CP5
    P215   J=P215,P216   SEC=CP5
    P216   J=P216,P217   SEC=CP54
    P217   J=P217,P218   SEC=CP4
    P218   J=P218,P219   SEC=CP4
    P219   J=P219,P220   SEC=RIGD
    P220   J=P220,P221   SEC=RIGD
    P221   J=P221,P222   SEC=CP4
    P222   J=P222,P223   SEC=CP4
    P223   J=P223,P224   SEC=CP43
    P224   J=P224,P225   SEC=CP32
    P225   J=P225,P226   SEC=CP21

    P226   J=P207,P227   SEC=CL1    ANG=90
    P227   J=P227,P228   SEC=CL12   ANG=90
    P228   J=P228,P229   SEC=CL3    ANG=90
    P229   J=P220,P230   SEC=CL1    ANG=90
    P230   J=P230,P231   SEC=CL12   ANG=90
    P231   J=P231,P232   SEC=CL3    ANG=90

LOAD
NAME=DEAD   SW=1
NAME=LONG
  TYPE=DIST
    ADD=G101,G130,1,G401,100  RD=0,1  UX=1.0/4,1.0/4
NAME=TRANS
  TYPE=DIST
    ADD=G101,G130,1,G401,100  RD=0,1  UY=1.0/4,1.0/4

MODE
  TYPE=EIGEN   N=25      TOL=0.001

END
```

· 전체 모델링



설계지반면은 기초 상단으로 한다.

(2) [단계 3-2] 단일모드 스펙트럼해석

· 교축방향 지진력 산출

상부 슬래브에 단위 길이당 $1\ tonf/m$의 등분포 하중을 재하하여 변위를 구한다. 위에서 구한 변위를 이용하여 탄성지진력을 산출한다.

하부 교각의 질량에 의한 지진력은 코핑 상단에 집중질량으로 재하하였다.

예) Node 108일 경우 ($v_{(s)}$ = 0.01444 m)

$$W = \frac{1}{2} \times (5.004 + 4.005) \times 27.880 = 125.5855\ \ tonf$$

$$\alpha = \int_0^L v_s(x)\,dx = \Sigma\ (v_s \cdot \text{길이})$$

$$\Delta\alpha = \int v_s(x)\,dx = (v_s \cdot \text{길이}) = 0.01444 \times \frac{1}{2} \times (5.004 + 4.005) = \ 0.06504$$

$$\beta = \int_0^L w(x) v_s(x)\,dx = \Sigma\ (v_s \cdot W)$$

$$\Delta\beta = \int w(x) v_s(x)\,dx = (v_s \cdot W) = 0.01444 \times 125.5855\ \ = \ \ 1.81331$$

$$\gamma = \int_0^L w(x) v_{s(x)}^2\,dx = \Sigma\ (v_s^2 \cdot W)$$

$$\Delta\gamma = \int_0^L w(x) v_{s(x)}^2 dx = (v_s^2 \cdot W) = 0.01444^2 \times 125.5855 = 0.02618$$

$$T_e = 2\pi\sqrt{\frac{\gamma}{P_0 g \alpha}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.83073}{1.0\times 9.81\times 1.88718}} = 1.33097 \text{ (sec)}$$

$$C_S = \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} = \frac{1.2\times 0.154\times 1.0}{1.33097^{2/3}} = 0.18328 < 2.5A = 0.385$$

$$P_e = \frac{\beta \cdot C_s \cdot W \cdot v_s}{\gamma} = \frac{57.37334\times 0.18328\times 125.5855\times 0.01444}{0.83073}$$

$$= 22.9522 \text{ (tonf)}$$

node[주]	$v_{(s)}$	길이	W	Δα	Δβ	Δv	P_e
101	0.01447	5.0000	69.7000	0.03618	1.00860	0.01460	12.7665
102	0.01447	5.0000	139.4000	0.07235	2.01715	0.02919	25.5322
103	0.01447	5.0000	139.4000	0.07234	2.01697	0.02918	25.5300
104	0.01447	5.0000	139.4000	0.07233	2.01667	0.02917	25.5262
105	0.01446	5.0000	139.4000	0.07232	2.01625	0.02916	25.5209
106	0.01446	5.0000	139.4000	0.07230	2.01572	0.02915	25.5142
107	0.01446	5.0040	139.4558	0.07231	2.01587	0.02914	25.5161
108	0.01444	4.0050	125.5855	0.06504	1.81331	0.02618	22.9522
109	0.01442	1.0000	69.7697	0.03608	1.00605	0.01451	12.7341
110	0.01442	1.0000	27.8800	0.01442	0.40199	0.00580	5.0883
111	0.01442	4.0050	69.7697	0.03609	1.00612	0.01451	12.7351
112	0.01445	5.0040	125.5855	0.06507	1.81420	0.02621	22.9634
113	0.01447	5.0000	139.4558	0.07239	2.01821	0.02921	25.5457
114	0.01449	5.0000	139.4000	0.07243	2.01925	0.02925	25.5588
115	0.01450	5.0000	139.4000	0.07249	2.02097	0.02930	25.5806
116	0.01451	5.0000	139.4000	0.07255	2.02258	0.02935	25.6010
117	0.01452	5.0000	139.4000	0.07260	2.02407	0.02939	25.6198
118	0.01453	5.0000	139.4000	0.07265	2.02543	0.02943	25.6371
119	0.01454	5.0040	139.4558	0.07272	2.02749	0.02948	25.6632
120	0.01455	4.0050	125.5855	0.06556	1.82783	0.02660	23.1359
121	0.01457	1.0000	69.7697	0.03645	1.01626	0.01480	12.8634
122	0.01457	1.0000	27.8800	0.01457	0.40612	0.00592	5.1405
123	0.01457	4.0050	69.7697	0.03646	1.01637	0.01481	12.8649

124	0.01457	5.0040	125.5855	0.06562	1.82944	0.02665	23.1564
125	0.01457	5.0000	139.4558	0.07288	2.03188	0.02960	25.7187

node주)	$v_{(s)}$	길이	W	Δα	Δβ	Δv	P_e
126	0.01457	5.0000	139.4000	0.07287	2.03172	0.02961	25.7167
127	0.01458	5.0000	139.4000	0.07289	2.03226	0.02963	25.7235
128	0.01458	5.0000	139.4000	0.07291	2.03267	0.02964	25.7287
129	0.01458	5.0000	139.4000	0.07292	2.03297	0.02965	25.7325
130	0.01459	5.0000	139.4000	0.07293	2.03315	0.02965	25.7348
131	0.01459		69.7000	0.03646	1.01660	0.01483	12.8678
P107,P120	0.01411		337.3780	0.00000	4.75917	0.06713	60.2396
P207,P220	0.00000		337.3780	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000
계				1.88718	57.37334	0.83073	

T	1.33097474
C_s	0.183275046

주) 길이에 대해서는 NODE가 아니고 ELEMENT이므로 NODE당 길이는 평균한 값을 사용함.

・교축직각방향에 대하여도 교축방향과 동일한 방법으로 단면력 산출

(3) [단계 3-3] 다중모드 스펙트럼해석

① 지진해석

지진해석은 본 예제에서 Eigen value 해석법으로 진동 모드수 25 가지의 동적해석을 수행하였다.

부재력과 변위의 조합은 제곱합 평방근법(SRSS : Square Root of the Sum of the Squares)을 사용하였다.

② 스펙트럼 해석

탄성지진 응답계수는 아래와 같이 구한다. [도・설 P464]

$$C_{SM} = \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} < 2.5A \quad \text{(지진격리장치 미사용시)}$$

여기서, C_{SM} 은 모드별 탄성지진 응답계수이며, T_M 은 각 모드별 진동모드의 주기임.

모드별 주기 및 진동수

MODE	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	EIGENVALUE (RAD/TIME)**2
1	1.349709	0.740900	4.655214	21.671015
2	0.738619	1.353878	8.506669	72.363421
3	0.473537	2.111766	13.268616	176.056183
4	0.432128	2.314128	14.540093	211.414292
5	0.373845	2.674903	16.806912	282.472302
6	0.365791	2.733802	17.176986	295.048840
7	0.318619	3.138546	19.720065	388.880970
8	0.291605	3.429302	21.546940	464.270606
9	0.287105	3.483048	21.884634	478.937217
10	0.263331	3.797498	23.860384	569.317946
11	0.242426	4.124969	25.917948	671.740013
12	0.227406	4.397422	27.629815	763.406699
13	0.212249	4.711446	29.602886	876.330833
14	0.197658	5.059235	31.788112	1010.484
15	0.180828	5.530115	34.746740	1207.336
16	0.175560	5.696059	35.789397	1280.881
17	0.168943	5.919157	37.191162	1383.182
18	0.152679	6.549674	41.152815	1693.554
19	0.148899	6.715980	42.197748	1780.650
20	0.132502	7.547069	47.419633	2248.622
21	0.130302	7.674487	48.220223	2325.190
22	0.117818	8.487685	53.329700	2844.057
23	0.107040	9.342289	58.699333	3445.612
24	0.104080	9.607991	60.368787	3644.390
25	0.100422	9.957934	62.567543	3914.697

모드별 질량참여율

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	1.349709	91.6603	0.0000	0.0002	91.6603	0.0000	0.0002
MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
2	0.738619	0.0000	0.0014	0.0000	91.6603	0.0014	0.0002
3	0.473537	0.0000	77.8176	0.0003	91.6603	77.8190	0.0004
4	0.432128	0.1007	0.0002	0.1163	91.7610	77.8192	0.1167
5	0.373845	7.8059	0.0000	0.0000	99.5669	77.8192	0.1167
6	0.365791	0.0000	0.0044	0.0000	99.5669	77.8236	0.1167
7	0.318619	0.0001	0.0133	0.0000	99.5671	77.8369	0.1167
8	0.291605	0.0131	0.0000	0.0113	99.5801	77.8369	0.1281
9	0.287105	0.0000	12.6859	0.0006	99.5801	90.5228	0.1287
10	0.263331	0.0000	0.0816	0.0001	99.5801	90.6045	0.1287
11	0.242426	0.0000	0.0005	61.9401	99.5801	90.6050	62.0688
12	0.227406	0.0000	0.0006	0.0000	99.5801	90.6056	62.0688
13	0.212249	0.0000	2.0972	0.0005	99.5801	92.7028	62.0693
14	0.197658	0.0000	0.0000	0.0000	99.5801	92.7028	62.0693
15	0.180828	0.0000	0.0006	0.0000	99.5801	92.7035	62.0693
16	0.175560	0.0000	0.0000	0.0000	99.5801	92.7035	62.0693
17	0.168943	0.0000	0.7273	0.0001	99.5801	93.4309	62.0694
18	0.152679	0.0000	0.0005	0.0000	99.5801	93.4313	62.0694
19	0.148899	0.0000	0.0141	0.0001	99.5802	93.4454	62.0695
20	0.132502	0.0000	0.0485	0.0001	99.5802	93.4940	62.0696
21	0.130302	0.0021	0.0001	0.0098	99.5822	93.4941	62.0794
22	0.117818	0.0000	0.0000	0.0001	99.5822	93.4941	62.0795
23	0.107040	0.0000	0.2373	0.0002	99.5822	93.7314	62.0797
24	0.104080	0.0000	0.0007	0.0001	99.5822	93.7321	62.0797
25	0.100422	0.0000	0.1056	0.0001	99.5822	93.8377	62.0798

4.2.4 [단계 4] 탄성지진력 및 변위 결정

(1) [단계 4-1] 비지진력의 결정

・고정하중 혹은 기타 비지진력 산정 - 평상시 일반해석 참조.

(2) [단계4-2] 지진력의 결정

- 방향별 지진력 산출

・방향별 교좌 수평력 산출(거더당)

구 분			교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
			교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
A1	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	0.00	-	66.19
		다중	-	0.06	-	97.97
	G3	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G4	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
P1	G1	단일	166.54	-	0.07	-
		다중	141.61	-	5.85	-
	G2	단일	166.44	0.00	0.04	470.68
		다중	143.24	0.05	5.69	438.67
	G3	단일	166.44	-	0.14	-
		다중	143.25	-	5.11	-
	G4	단일	166.54	-	0.03	-
		다중	141.62	-	5.92	-
P2	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	0.00	-	457.42
		다중	-	0.07	-	437.86
	G3	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G4	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
A2	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	0.00	-	60.35
		다중	-	0.03	-	94.78
	G3	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G4	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-

· 방향별 교각 기둥 지진력 산출(전단력)

구 분			교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
			교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
P1	좌	단일	-363.11	0.01	0.06	251.01
		다중	309.55	0.05	4.35	225.99
	우	단일	-363.11	-0.01	-0.06	293.39
		다중	309.62	0.05	4.39	269.32
P2	좌	단일	-	0.04	-	244.83
		다중	61.96	0.06	0.03	225.64
	우	단일	-	-0.04	-	286.32
		다중	62.14	0.06	0.02	268.94

· 모멘트 (교축방향 = 교축방향 모멘트, 교축직각방향 = 교축직각방향 모멘트)

· 기둥상단

구 분			교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
			교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	좌	단일	1089.32	0.03	0.10	807.20
		다중	920.86	0.17	7.64	720.03
	우	단일	1089.32	-0.03	-0.10	1007.67
		다중	920.74	0.17	7.50	924.54
P2	좌	단일	-	0.19	-	787.13
		다중	166.25	0.26	0.08	718.88
	우	단일	-	-0.19	-	983.38
		다중	165.95	0.24	0.04	923.27

· 기둥하단

구 분			교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
			교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	좌	단일	3848.92	-0.02	-0.34	-1100.51
		다중	3273.45	0.19	25.40	997.62
	우	단일	3848.92	0.02	0.34	-1222.10
		다중	3273.88	0.19	25.88	1122.36
P2	좌	단일	-	-0.13	-	-1073.55
		다중	637.18	0.21	0.17	996.07
	우	단일	-	0.12	-	-1192.63
		다중	638.21	0.19	0.14	1120.74

・지진력의 조합

1.0 × ｜종방향 해석에 의한 단면력｜ + 0.3 × ｜횡방향 해석에 의한 단면력｜

0.3 × ｜종방향 해석에 의한 단면력｜ + 1.0 × ｜횡방향 해석에 의한 단면력｜

・교좌 수평력 산출(거더당)

구 분			COMBO1		COMBO2	
			교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
A1	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	19.86	-	66.19
		다중	-	29.45	-	97.99
	G3	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G4	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
P1	G1	단일	166.52	-	49.89	-
		다중	143.37	-	48.34	-
	G2	단일	166.43	141.20	49.89	470.68
		다중	144.95	131.65	48.66	438.68
	G3	단일	166.49	-	50.08	-
		다중	144.78	-	48.08	-
	G4	단일	166.54	-	49.94	-
		다중	143.40	-	48.41	-
P2	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	137.23	-	457.42
		다중	-	131.43	-	437.89
	G3	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G4	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
A2	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	18.10	-	60.35
		다중	-	28.46	-	94.79
	G3	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G4	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-

· 교각 기둥 지진력 산출(전단력)

구 분			COMBO1		COMBO2	
			교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
P1	좌	단일	-363.09	75.31	-108.87	251.02
		다중	310.86	67.84	97.21	226.01
	우	단일	-363.12	88.01	-108.99	293.39
		다중	310.94	80.84	97.28	269.33
P2	좌	단일	-	73.49	-	244.84
		다중	61.97	67.75	18.62	225.66
	우	단일	-	85.86	-	286.30
		다중	62.15	80.74	18.66	268.96

· 모멘트 (교축방향 = 교축방향 모멘트, 교축직각방향 = 교축직각방향 모멘트)

· 기둥상단

구 분			COMBO1		COMBO2	
			교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	좌	단일	1089.35	242.19	326.89	807.21
		다중	923.15	216.17	283.90	720.08
	우	단일	1089.29	302.27	326.70	1007.66
		다중	922.99	277.53	283.72	924.59
P2	좌	단일	-	236.33	-	787.19
		다중	166.28	215.93	49.96	718.96
	우	단일	-	294.83	-	983.32
		다중	165.95	0.24	0.04	923.27

· 기둥하단

구 분			COMBO1		COMBO2	
			교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	좌	단일	3848.92	-0.02	-0.34	-1100.51
		다중	3273.45	0.19	25.40	997.62
	우	단일	3848.92	0.02	0.34	-1222.10
		다중	3273.88	0.19	25.88	1122.36
P2	좌	단일	-	-0.13	-	-1073.55
		다중	637.18	0.21	0.17	996.07
	우	단일	-	0.12	-	-1192.63
		다중	638.21	0.19	0.14	1120.74

(3) [단계 4-3] 설계지진력의 결정

· 구조부재 및 연결부 설계지진력

① 교좌 수평력 (거더당)

구 분	A1		P1		P2		A2	
	교축	교축직각	교축	교축직각	교축	교축직각	교축	교축직각
G1	-	-	166.52	-	-	-	-	-
G2	-	97.99	166.43	470.68	-	457.42	-	94.79
G3	-	-	166.49	-	-	-	-	-
G4	-	-	166.54	-	-	-	-	-
R	0.8		1.0				0.8	
G1	-	-	166.52	-	-	-	-	-
G2	-	122.49	166.43	470.68	-	457.42	-	118.49
G3	-	-	166.49	-	-	-	-	-
G4	-	-	166.54	-	-	-	-	-

② 기둥전단 및 모멘트

구 분	P1 좌		P1 우		P2 좌		P2 우	
	교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
전단	310.86	251.02	310.94	293.39	61.97	244.84	62.15	286.30
상단모멘트	1089.35	807.21	1089.29	1007.66	166.28	787.19	165.96	983.32
하단모멘트	3848.82	997.68	3849.03	1122.42	637.23	996.14	638.25	1120.80
R	3	5	3	5	3	5	3	5
상단모멘트	363.116666666	161.442	363.096666666	201.532	55.426666666	157.438	55.32	196.664
하단모멘트	1282.94	199.536	1283.01	224.484	212.41	199.228	212.75	224.16

(4) [단계 4-4] 설계지진변위 결정

- 지진변위 검토

단일 모드시 (단위 : *m*)

구분	A1	P1	P2	A2
G1	0.0810	-	0.0814	0.0811
G2	0.0811	-	0.0815	0.0811
G3	0.0811	-	0.0815	0.0811
G4	0.0810	-	0.0815	0.0811

다중 모드시 (단위 : m)

구분	A1	P1	P2	A2
G1	0.0689	-	0.0692	0.0689
G2	0.0691	-	0.0694	0.0691
G3	0.0691	-	0.0694	0.0691
G4	0.0689	-	0.0693	0.0689

4.3 T형 교각 내진설계예

4.3.1 [단계 1] 단면 가정

(1) [단계1-1] 구조계획

· 교량 형식 : 강상자형교

· 교량 연장 : L = 40 + 50 + 40 = 130.0 m

(2) [단계 1-2] 내진기준 검토

· 내진등급 : 내진 1등급교

· 가속도계수 : 0.11 X 1.4 = 0.154

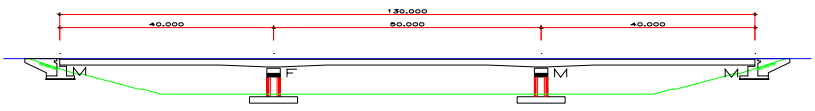
· 지반계수 : S = 1.0 (지반종류 Ⅰ)

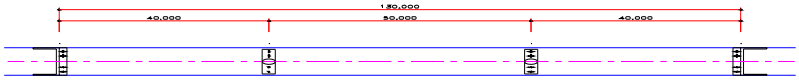
· 응답수정계수

구 조 부 재		항복시(설계기준) R	탄성거동시 R
기둥(단주)		3.0	1.0
연결부	상부와 교대	0.8	0.8
	상부와 교각	1.0	1.0
기 초		3.0 / 2 = 1.5	1.0

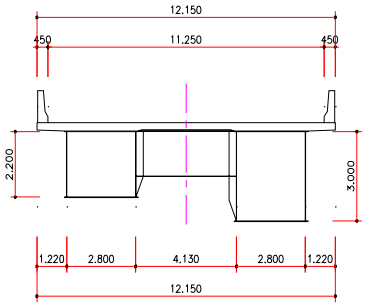
(3) [단계 1-3] 설계단면 결정

· 종평면도

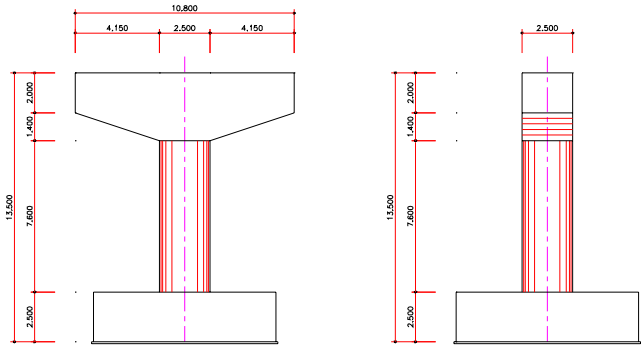




· 상부 횡단면도



· 하부 일반도



· 단면 및 재료상수

· 철근콘크리트

$$f_{ck} = 270\ kgf/cm^2\ ,\ E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} = 2.46 \times 10^5\ kgf/cm^2$$

$$f_{ck} = 240\ kgf/cm^2\ ,\ E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} = 2.32 \times 10^5\ kgf/cm^2$$

· 강재

$$f_{sa} = 1,900\ kgf/cm^2$$

· 탄성계수비 : n = 8

상부구조의 단면상수는 상부슬래브를 강재로 단면을 치환하여 강재에 대한 상수 (I_{xx}, I_{yy})를 산정하였으며, 지간부, 지점부 그리고 변단면구간으로 나누어 각각의 단면상수를 결정하였다.

· 하부구조의 단면계수

코핑 (상부)

$$A = 10.8\times2.5 = 27.000\ m^2$$

$$I_z = 10.8\times2.5^3/12 = 14.0625\ m^4$$

$$I_y = 2.5\times10.8^3/12 = 262.440\ m^4$$

코핑 (하부)

$$A = 2.5\times2.5 = 6.250\ m^2$$

$$I_z = 2.5\times2.5^3/12 = 3.2552\ m^4$$

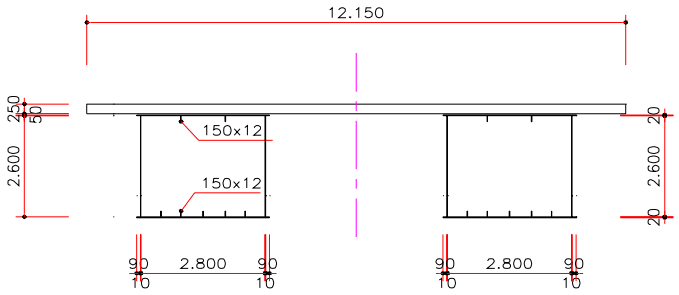
$$I_y = 2.5\times2.5^3/12 = 3.2552\ m^4$$

기둥

$$A = 2.5^2\times\pi/4 = 4.909\ m^2$$

$$I_z = I_y = 2.5^4\times\pi/64 = 1.9175\ m^4$$

(4) [단계 1-4] 상부하중 산정



① 상부공

· 슬래브 : $12.15\times0.25\times2.5$ = 7.594 $tonf/m$

· 방호벽 : $0.836\times2\ EA$ = 1.672 $tonf/m$

· 포 장 : $(12.15 - 0.45\times2)\times0.08\times2.3$ = 2.070 $tonf/m$

· 강 재 : $0.1846\times2\ EA\times7.85\times1.25$ (25% 할증) = 3.622 $tonf/m$

$(A = 3.0\times0.02\times2\,EA + 2.6\times0.01\times2\,EA + 0.15\times0.012\times7\,EA$

$= 0.1846\ m^2$)

소 계 = 14.958 $tonf/m$

· 횡 빔 : $0.02076\times4.11\times31EA\times7.85\times1.25/130$ = 0.200 $tonf/m$

총 계 = 15.158 $tonf/m$

② 하부공

· 코핑부 : $\{10.80\times2.0+(10.80+2.5)/2\times1.40\}\times2.50\times2.5$

= 187.063 $tonf$

· 기둥부 : $2.52\times\pi\times1/4\times8.850\times2.5$ = 108.606 $tonf$

· 지진거동에 영향을 주는 연직중량 = 상부중량 + 코핑중량 + 1/2기둥중량

③ 교축방향 단위중량

· 1점 고정시

$W_x = 15.158 + (187.063 + 108.606\times1/2)/130$ = 17.015 $tonf/m$

· 2점 고정시

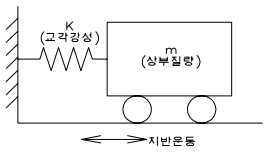
$W_x = 15.158 + (187.063 + 108.606\times1/2)\times2EA/130$ = 18.871 $tonf/m$

· 교축직각방향 단위중량

$W_x = 15.158 + (187.063 + 108.606\times1/2)\times2EA/130$ = 18.871 $tonf/m$

4.3.2 [단계 2] 예비내진 설계(개략적 해석)

(1) [단계 2-1] 교축방향 해석



- 1점 고정방법

· 코핑 강성

$$K_1 = \frac{3\cdot E\cdot I_1}{h_1^3} = \frac{3\times2.32\times10^6\times14.0625}{3.400^3} = 2,490,205\ tonf/m$$

· 기둥 강성

$$K_2 = \frac{3\cdot E\cdot I_2}{h_2^3} = \frac{3\times2.32\times10^6\times1.9175}{13.50^3} = 5,424\ tonf/m$$

· 교각 강성

$$K_{total} = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2} = 5,412 \quad tonf/m$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{W_T}{g \cdot K}} = 2\pi\sqrt{\frac{17.015\times130}{9.81\times5,412}} = 1.282 \text{ sec}$$

$$C_S = \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} = \frac{1.2\times0.154\times1.0}{1.282^{2/3}} = 0.157 < 2.5A = 0.385$$

교각상단 수평력 : $17.015\times130.0\times0.157$ = 347.276 *tonf*

교량받침 수평력 : 347.276 / 4EA = 86.819 *tonf*

교각하면 모멘트 : 347.276×11.0 = 3820.036 $tonf \cdot m$

교축방향 변위 : $\delta = \frac{V}{K} = \frac{347.276}{5,412} = 0.0642 = 64.2\ mm$

(2) [단계 2-2] 교축직각방향 해석

교축직각방향으로 모든 교각 상단받침과 교대부가 고정이므로 내진구조계획상 지진력 처리방법의 주요 인자가 아니라고 판단되어 생략한다.

(3) [단계 2-3] 예비설계 검토 및 해석방법 검토

예비설계 결과 기둥 단면 및 교좌는 충분한 강성을 확보하는 것으로 판단되어 단면 변화없이 상세설계를 수행한다.

고정점의 위치는 온도 신축에 의한 2차 부재력 발생의 최소화를 위하여 질량중심점 중앙부와 인접한 교각에 고정점을 두었으며, 이로 인한 질량중심과 강점 중심의 편기로 비대칭 거동이 예상된다.

교량 계획에서 경간비가 크지 않고 교각이 높지 않으며 높이차가 없어 단일모드 해석으로 충분할 것 같으나, 위 내용과 관련하여 비대칭 거동이 예상되므로 단일모드 및 다중모드 스펙트럼해석법을 모두 수행하였다.

4.3.3 [단계 3] 탄성지진력 및 변위 결정

- 지진해석은 다음과 같은 두가지의 해석방법을 제시한다.

· 단일모드 스펙트럼 해석법

· 다중모드 스펙트럼 해석법

위 두가지 방법 모두에 있어서 모든 고정된 기둥과 교각 또는 교대 지점들은 동일 시점에 있어서 동일한 지반운동을 한다고 가정한다.

(1) [단계 3-1] 구조물 모델링

① 상부 구조

집중질량의 관성효과를 적절하게 분배시키기 위하여 횡빔이 위치하는 5m 마다 절점을 분할하여 2개 주형의 보요소로 모델링하였다.

② 하부구조

상부구조의 도심과 주형하단까지는 강절(Rigid)요소로, 교량받침은 배치상태(고정 혹은 가동)를 고려한 자유도를 설정하여 모델링한다.

코핑은 실제 단면과 동일하게 변단면으로 모델링하여 코핑의 강성도 고려한 모델링을 하였다.

기둥의 순길이는 7.6 m로 인접지간 길이의 1/3 보다 작으므로 1 개의 보요소로 모델링하였다.

하부구조는 지반상태를 고려하여 직접기초가 가능한 지반계수 1.0인 지반으로 보고 고정점으로 단순하게 모델링하였다.

교대, 구체 및 뒷채움 흙의 영향은 고려하지 않았다.

③ INPUT DATA

Pier Standard

SYSTEM

LENGTH=M FORCE=TON UP=+Z

COORDINATES

NAME=A1 X= 0 Y= 0 Z=-2.111

X= 0 Y= 0 Z=10.0

X= 0 Y=10 Z=-2.111

NAME=P1 X= 40 Y= 0 Z=-3.055

X= 40 Y= 0 Z=10.0

X= 40 Y=10 Z=-3.055

NAME=P2 X= 90 Y= 0 Z=-3.055

X= 90 Y= 0 Z=10.0

X= 90 Y=10 Z=-3.055

NAME=A2 X=130 Y= 0 Z=-2.111

X=130 Y= 0 Z=10.0

X=130 Y=10 Z=-2.111

```
JOINT
  101 X=   0.0   Y= 3.455   Z= 0.0
  107 X= 30.0   Y= 3.455   Z= 0.0
    LGEN=101,107,1
  108 X= 35.0   Y= 3.455   Z=-0.2
  109 X= 39.0   Y= 3.455   Z=-0.4
  111 X= 41.0   Y= 3.455   Z=-0.4
    LGEN=109,111,1
  112 X= 45.0   Y= 3.455   Z=-0.2
  113 X= 50.0   Y= 3.455   Z= 0.0
  119 X= 80.0   Y= 3.455   Z= 0.0
    LGEN=113,119,1
  120 X= 85.0   Y= 3.455   Z=-0.2
  121 X= 89.0   Y= 3.455   Z=-0.4
  123 X= 91.0   Y= 3.455   Z=-0.4
    LGEN=121,123,1
  124 X= 95.0   Y= 3.455   Z=-0.2
  125 X=100.0   Y= 3.455   Z= 0.0
  131 X=130.0   Y= 3.455   Z= 0.0
    LGEN=125,131,1
  131 X=130.0   Y= 3.455   Z= 0.0
  201 X=   0.0   Y=-3.455   Z= 0.0
    LGEN=101,201,100
    FGEN=101,131,1,201,100
  301 X=   0.0   Y= 3.455   Z= -1.711
  310 X= 40.0   Y= 3.455   Z= -2.655
  322 X= 90.0   Y= 3.455   Z= -2.655
  331 X=130.0   Y= 3.455   Z= -1.711
  401 X=   0.0   Y=-3.455   Z= -1.711
  410 X= 40.0   Y=-3.455   Z= -2.655
  422 X= 90.0   Y=-3.455   Z= -2.655
  431 X=130.0   Y=-3.455   Z= -1.711
CSYS=A1
 A103   X= -3.455   Y=   0.000   Z=   0.000
 A111   X=   3.455   Y=   0.000   Z=   0.000
```

CSYS=A2

A203 X= -3.455 Y= 0.000 Z= 0.000

A211 X= 3.455 Y= 0.000 Z= 0.000

CSYS=P1

P101 X= -5.400 Y= 0.000 Z= 0.000

P102 X= -4.405 Y= 0.000 Z= 0.000

P103 X= -3.455 Y= 0.000 Z= 0.000

P104 X= -1.250 Y= 0.000 Z= 0.000

P105 X= -1.000 Y= 0.000 Z= 0.000

P106 X= -0.400 Y= 0.000 Z= 0.000

P107 X= 0.000 Y= 0.000 Z= 0.000

P108 X= 0.400 Y= 0.000 Z= 0.000

P109 X= 1.000 Y= 0.000 Z= 0.000

P110 X= 1.250 Y= 0.000 Z= 0.000

P111 X= 3.455 Y= 0.000 Z= 0.000

P112 X= 4.405 Y= 0.000 Z= 0.000

P113 X= 5.400 Y= 0.000 Z= 0.000

P114 X= 0.000 Y= 0.000 Z= -2.000

P115 X= 0.000 Y= 0.000 Z= -3.400

P116 X= 0.000 Y= 0.000 Z=-11.000

P117 X= 0.000 Y= 0.000 Z=-13.500

CSYS=P2

P201 X= -5.400 Y= 0.000 Z= 0.000

P202 X= -4.405 Y= 0.000 Z= 0.000

P203 X= -3.455 Y= 0.000 Z= 0.000

P204 X= -1.250 Y= 0.000 Z= 0.000

P205 X= -1.000 Y= 0.000 Z= 0.000

P206 X= -0.400 Y= 0.000 Z= 0.000

P207 X= 0.000 Y= 0.000 Z= 0.000

P208 X= 0.400 Y= 0.000 Z= 0.000

P209 X= 1.000 Y= 0.000 Z= 0.000

P210 X= 1.250 Y= 0.000 Z= 0.000

P211 X= 3.455 Y= 0.000 Z= 0.000

P212 X= 4.405 Y= 0.000 Z= 0.000

P213 X= 5.400 Y= 0.000 Z= 0.000

```
 P214   X=   0.000   Y=   0.000   Z= -2.000
 P215   X=   0.000   Y=   0.000   Z= -3.400
 P216   X=   0.000   Y=   0.000   Z=-11.000
 P217   X=   0.000   Y=   0.000   Z=-13.500

RESTRAINTS
  ADD=A103,A203,100 DOF=ALL
  ADD=A111,A211,100 DOF=ALL
  ADD=P117,P217,100 DOF=ALL

MATERIAL
  NAME=CONC IDES=C   M=2.5/9.81   W=2.5
    T=0   E=2.32E+06   U=.15   A=.00001
  NAME=NOWT IDES=C   M=0/9.81      W=0
    T=0   E=2.32E+06   U=.15   A=.00001
  NAME=RIGD IDES=C   M=2.5/9.81   W=2.5
    T=0   E=2.32E+06   U=.15   A=.00001
  NAME=STEEL1 IDES=S   M=14.958/2/0.374/9.81   W=14.797/2/0.374
    T=0   E=2.1E+07   U=.3   A=0
  NAME=STEEL2 IDES=S M=7.85*4.11/6.91*1.25/9.81 W=7.85*4.11/6.91*1.25
    T=0   E=2.1E+07   U=.3   A=0
  NAME=LINK   IDES=N   W=0.0 M=0.0/9.81
    E=2.1E+07 U=0.3 A=1.2E-5

FRAME SECTION
;
; 상부 강상자용 FRAME SECTION
;
  NAME=1   MAT=STEEL1 A=0.366 J=1 I= 0.311, 0.764 AS=0.044,0.12
  NAME=2   MAT=STEEL1 A=0.374 J=1 I= 0.439, 0.780 AS=0.052,0.12
  NAME=3   MAT=STEEL1 A=0.592 J=1 I= 0.592, 0.795 AS=0.060,0.12
  NAME=CR MAT=STEEL2 SH=I T=1.524,0.24,0.012,0.01,0.24,0.012
  NAME=RI MAT=LINK   A=1 J=1 I=1000,1000 AS=1000,1000
  NAME=12 TYPE=NONPR SEC=1,2 EIVAR=3,1
  NAME=23 TYPE=NONPR SEC=2,3 EIVAR=3,1
```

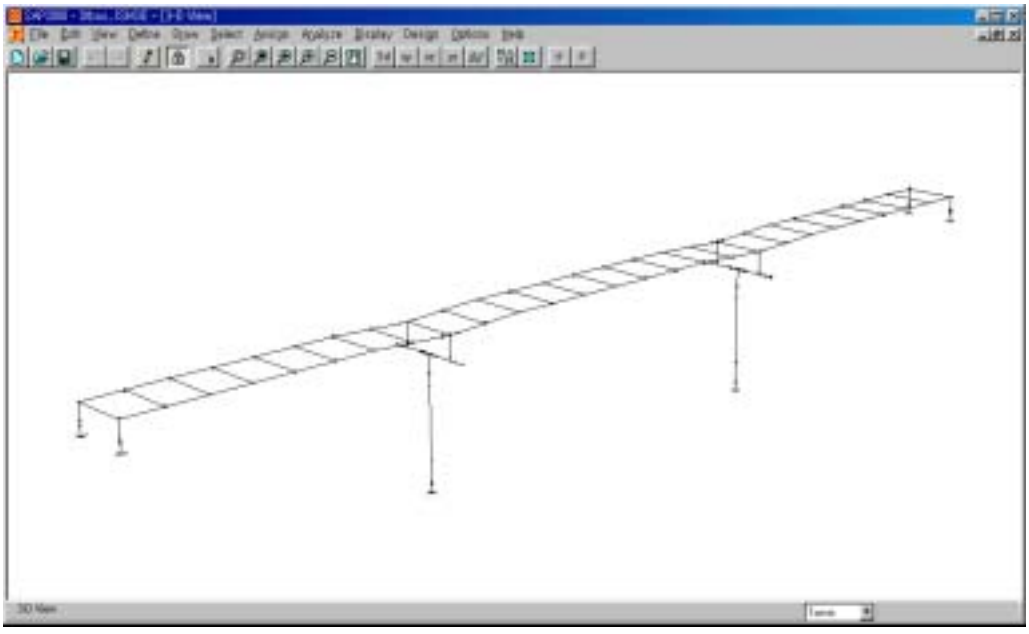
```
   NAME=32 TYPE=NONPR SEC=3,2 EIVAR=3,1
   NAME=21 TYPE=NONPR SEC=2,1 EIVAR=3,1
;
; SECTION DATA FOR PIER
;
   NAME=CP1     TYPE=PRISM  MAT=CONC   A=5 J=10    &
                I=1.667,2.604  AS=5,5  SH=G
   NAME=CP2     TYPE=PRISM  MAT=CONC   A=5.84 J=10   &
                I=2.656,3.042  AS=5.84,5.84  SH=G
   NAME=CP3     TYPE=PRISM  MAT=CONC   A=6.640 J=10   &
                I=3.903,3.458  AS=6.640,6.640  SH=G
   NAME=CP4     TYPE=PRISM  MAT=CONC   A=8.5 J=10    &
                I=8.188,4.427  AS=8.5,8.5  SH=G
   NAME=RIGD    TYPE=PRISM  MAT=RIGD   A=8.5 J=10    &
                I=8.188,4.427  AS=8.5,8.5  SH=G
   NAME=CL1     TYPE=PRISM  MAT=NOWT   A=27 J=10    &
                I=14.063,262.44  AS=27,27  SH=G
   NAME=CL2     TYPE=PRISM  MAT=NOWT   A=6.25 J=10    &
                I=3.255,3.255  AS=6.25,6.25  SH=G
   NAME=CL3     TYPE=PRISM  MAT=CONC SH=P T=2.5
   NAME=CL4     TYPE=PRISM  MAT=CONC SH=R T=9,9
;
   NAME=CP12 TYPE=NONPR  SEC=CP1,CP2  EIVAR=3,1
   NAME=CP21 TYPE=NONPR  SEC=CP2,CP1  EIVAR=3,1
   NAME=CP23 TYPE=NONPR  SEC=CP2,CP3  EIVAR=3,1
   NAME=CP32 TYPE=NONPR  SEC=CP3,CP2  EIVAR=3,1
   NAME=CP34 TYPE=NONPR  SEC=CP3,CP4  EIVAR=3,1
   NAME=CP43 TYPE=NONPR  SEC=CP4,CP3  EIVAR=3,1
   NAME=CL12 TYPE=NONPR  SEC=CL1,CL2  EIVAR=3,1

FRAME
   G101 J=101,102 SEC=1 NSEG=4
     GEN=G101,G106,1,G201,100
   G107 J=107,108 SEC=12
     GEN=G107,G207,100
```

```
G108 J=108,109 SEC=23
  GEN=G108,G208,100
G109 J=109,110 SEC=3
  GEN=G109,G110,1,G209,100
G111 J=111,112 SEC=32
  GEN=G111,G211,100
G112 J=112,113 SEC=21
  GEN=G112,G212,100
G113 J=113,114 SEC=1
  GEN=G113,G118,1,G213,100
G119 J=119,120 SEC=12
  GEN=G119,G219,100
G120 J=120,121 SEC=23
  GEN=G120,G220,100
G121 J=121,122 SEC=3
  GEN=G121,G122,1,G221,100
G123 J=123,124 SEC=32
  GEN=G123,G223,100
G124 J=124,125 SEC=21
  GEN=G124,G224,100
G125 J=125,126 SEC=1
  GEN=G125,G130,1,G225,100
CR01 J=101,201 SEC=CR IOFF=1.4 JOFF=1.4
  GEN=CR01,CR31,1
  DEL=CR09,CR11,2
  DEL=CR21,CR23,2
A1G1 J=101,301 SEC=RI
A1G2 J=201,401 SEC=RI
P1G1 J=110,310 SEC=RI
P1G2 J=210,410 SEC=RI
P2G1 J=122,322 SEC=RI
P2G2 J=222,422 SEC=RI
A2G1 J=131,331 SEC=RI
A2G2 J=231,431 SEC=RI
;
```

```
; FRAME DATA FOR SHOE
;
   A1SH1 J=301,A111 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   A1SH2 J=401,A103 SEC=RI JREL=U2    ,R1,R2,R3
   P1SH1 J=310,P111 SEC=RI JREL=    U3,R1,R2,R3
   P1SH2 J=410,P103 SEC=RI JREL=       R1,R2,R3
   P2SH1 J=322,P211 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   P2SH2 J=422,P203 SEC=RI JREL=U2    ,R1,R2,R3
   A2SH1 J=331,A211 SEC=RI JREL=U2,U3,R1,R2,R3
   A2SH2 J=431,A203 SEC=RI JREL=U2    ,R1,R2,R3
;
; FRAME DATA FOR P1
;
CSYS=P1
    P101   J=P101,P102   SEC=CP12
    P102   J=P102,P103   SEC=CP23
    P103   J=P103,P104   SEC=CP34
    P104   J=P104,P105   SEC=CP4
    P105   J=P105,P106   SEC=CP4
    P106   J=P106,P107   SEC=RIGD
    P107   J=P107,P108   SEC=RIGD
    P108   J=P108,P109   SEC=CP4
    P109   J=P109,P110   SEC=CP4
    P110   J=P110,P111   SEC=CP43
    P111   J=P111,P112   SEC=CP32
    P112   J=P112,P113   SEC=CP21
    P113   J=P107,P114   SEC=CL1   ANG=90
    P114   J=P114,P115   SEC=CL12  ANG=90
    P115   J=P115,P116   SEC=CL3   ANG=90
    P116   J=P116,P117   SEC=CL4   ANG=90
CSYS=P2
    P201   J=P201,P202   SEC=CP12
    P202   J=P202,P203   SEC=CP23
    P203   J=P203,P204   SEC=CP34
    P204   J=P204,P205   SEC=CP4
```

```
    P205   J=P205,P206   SEC=CP4
    P206   J=P206,P207   SEC=RIGD
    P207   J=P207,P208   SEC=RIGD
    P208   J=P208,P209   SEC=CP4
    P209   J=P209,P210   SEC=CP4
    P210   J=P210,P211   SEC=CP43
    P211   J=P211,P212   SEC=CP32
    P212   J=P212,P213   SEC=CP21
    P213   J=P207,P214   SEC=CL1   ANG=90
    P214   J=P214,P215   SEC=CL12  ANG=90
    P215   J=P215,P216   SEC=CL3   ANG=90
    P216   J=P216,P217   SEC=CL4   ANG=90

MODE
   TYPE=RITZ   N=50     ;   TOL=0.001

END
```

· 전체 모델링



설계지반면은 기초 하단으로 한다.

(2) [단계 3-2] 단일모드 스펙트럼해석

· 교축방향 지진력 산출

상부 슬래브에 단위 길이당 1 $tonf/m$ 의 등분포 하중을 재하하여 변위를 구한다. 위에서 구한 변위를 이용하여 탄성지진력을 산출한다.

하부 교각의 질량에 의한 지진력은 코핑 상단에 집중질량으로 재하하였다.

예) Node 108일 경우 ($v_{(s)} = 0.01358m$)

$$W = \frac{1}{2} \times (5.040 + 4.005) \times 14.936 = 67.2792 \ \ tonf$$

$$\alpha = \int_0^L v_s(x)\,dx = \Sigma\ (v_s \cdot \text{길이})$$

$$\Delta\alpha = \int v_s(x)\,dx = (v_s \cdot \text{길이}) = 0.01358 \times \frac{1}{2} \times (5.040 + 4.005) = \ 0.06115$$

$$\beta = \int_0^L w(x) v_s(x)\,dx = \Sigma\ (v_s \cdot W)$$

$$\Delta\beta = \int w(x) v_s(x)\,dx = (v_s \cdot W) = 0.01358 \times 67.2792 \ = \ 0.91333$$

$$\gamma = \int_0^L w(x) v_{s(x)}^2\,dx = \Sigma\ (v_s^2 \cdot W)$$

$$\Delta\gamma = \int_0^L w(x) v_{s(x)}^2\,dx \ = (v_s^2 \cdot W) = 0.01358^2 \times \ 67.2792 = 0.01240$$

$$T_e \ = \ 2\pi\sqrt{\frac{\gamma}{P_0 g \alpha}} \ = \ 2\pi\sqrt{\frac{0.40622}{1.0 \times 9.81 \times 1.82251}} = \ 0.94709 \ \ (\text{sec})$$

$$C_S \ = \ \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} \ = \ \frac{1.2 \times 0.154 \times 1.0}{0.94709^{\ 2/3}} \ = \ 0.22994 \ < \ 2.5A \ = \ 0.385$$

$$P_e \ = \frac{\beta \cdot C_s \cdot W \cdot v_s}{\gamma} \ = \frac{29.78297 \times 0.22994 \times 67.2792 \times 0.01358}{0.40622}$$

$$= \ 15.3978 \ \ (tonf)$$

node[주]	$v_{(s)}$	길이	W	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$	P_e
101	0.01363579	5.0000	37.3400	0.0341	0.5092	0.0069	8.5839
102	0.01363497	5.0000	74.6800	0.0682	1.0183	0.0139	17.1668
103	0.01363253	5.0000	74.6800	0.0682	1.0181	0.0139	17.1637
104	0.01362847	5.0000	74.6800	0.0681	1.0178	0.0139	17.1586
105	0.01362278	5.0000	74.6800	0.0681	1.0174	0.0139	17.1514
106	0.01361546	5.0000	74.6800	0.0681	1.0168	0.0138	17.1422

107	0.01360651	5.0040	74.7099	0.0681	1.0165	0.0138	17.1378
108	0.01357529	4.0050	67.2792	0.0612	0.9133	0.0124	15.3978
109	0.01353841	1.0000	37.3773	0.0339	0.5060	0.0069	8.5311

node[주]	$v_{(s)}$	길이	W	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	Δv	P_e
110	0.01353682	1.0000	14.9360	0.0135	0.2022	0.0027	3.4086
111	0.01354043	4.0050	37.3773	0.0339	0.5061	0.0069	8.5324
112	0.01358872	5.0040	67.2792	0.0612	0.9142	0.0124	15.4131
113	0.01363843	5.0000	74.7099	0.0682	1.0189	0.0139	17.1780
114	0.01366364	5.0000	74.6800	0.0683	1.0204	0.0139	17.2029
115	0.01368723	5.0000	74.6800	0.0684	1.0222	0.0140	17.2326
116	0.01370919	5.0000	74.6800	0.0686	1.0238	0.0140	17.2602
117	0.01372952	5.0000	74.6800	0.0687	1.0253	0.0141	17.2858
118	0.01374823	5.0000	74.6800	0.0687	1.0267	0.0141	17.3094
119	0.01376532	5.0040	74.7099	0.0689	1.0284	0.0142	17.3378
120	0.01379548	4.0050	67.2792	0.0621	0.9282	0.0128	15.6476
121	0.01381726	1.0000	37.3773	0.0346	0.5165	0.0071	8.7068
122	0.01381889	1.0000	14.9360	0.0138	0.2064	0.0029	3.4797
123	0.01382048	4.0050	37.3773	0.0346	0.5166	0.0071	8.7089
124	0.01382004	5.0040	67.2792	0.0623	0.9298	0.0129	15.6755
125	0.01382525	5.0000	74.7099	0.0692	1.0329	0.0143	17.4133
126	0.01383419	5.0000	74.6800	0.0692	1.0331	0.0143	17.4176
127	0.01384151	5.0000	74.6800	0.0692	1.0337	0.0143	17.4268
128	0.0138472	5.0000	74.6800	0.0692	1.0341	0.0143	17.4340
129	0.01385127	5.0000	74.6800	0.0693	1.0344	0.0143	17.4391
130	0.01385371	5.0000	74.6800	0.0693	1.0346	0.0143	17.4422
131	0.01385452		37.3400	0.0346	0.5173	0.0072	8.7216
P107	0.01298396		242.1330	0.0390	3.1438	0.0408	53.0019
P207	0		242.1330	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
계				1.8225	29.7830	0.4062	

T	0.9471
C_s	0.2299

주) 길이에 대해서는 NODE가 아니고 ELEMENT이므로 NODE당 길이는 평균한 값을 사용함.

・교축직각방향에 대하여도 교축방향과 동일한 방법으로 단면력 산출

(3) [단계 3-3] 다중모드 스펙트럼해석

① 지진해석

지진해석은 본 예제에서는 Ritz Vector 해석법으로 진동 모드수 50 가지의 동적해석을 수행하였다.

부재력과 변위의 조합은 완전2차조합법(CQC : Complete Quadratic Combination Technique)을 사용하였다.

② 스펙트럼 해석

탄성지진 응답계수는 아래와 같이 구한다. [도. 설 P464]

$$C_{SM} = \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T_M^{2/3}} < 2.5A \quad \text{(지진격리장치 미사용시)}$$

여기서, C_{SM} 은 모드별 탄성지진 응답계수이며, T_M 은 각 모드별 진동모드의 주기임.

・모드별 주기 및 진동수

M O D A L P E R I O D S A N D F R E Q U E N C I E S

MODE	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	EIGENVALUE (RAD/TIME)**2
1	0.970222	1.030692	6.476027	41.938923
2	0.768870	1.300610	8.171974	66.781161
3	0.500436	1.998258	12.555427	157.638751
4	0.455671	2.194564	13.788852	190.132438
5	0.436744	2.289672	14.386430	206.969381
6	0.295463	3.384521	21.265573	452.224612
7	0.287196	3.481946	21.877713	478.634339
8	0.277798	3.599733	22.617792	511.564508
9	0.244911	4.083118	25.654989	658.178436
10	0.181006	5.524670	34.712522	1204.959
11	0.172759	5.788402	36.369602	1322.748
12	0.168603	5.931100	37.266202	1388.770
13	0.166565	6.003651	37.722052	1422.953

MODE	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	EIGENVALUE (RAD/TIME)**2
14	0.142004	7.042036	44.246419	1957.746
15	0.131599	7.598861	47.745051	2279.590
16	0.127075	7.869350	49.444585	2444.767
17	0.102681	9.738887	61.191231	3744.367
18	0.098746	10.127013	63.629898	4048.764
19	0.096457	10.367348	65.139966	4243.215
20	0.095414	10.480638	65.851789	4336.458
21	0.086316	11.585384	72.793117	5298.838
22	0.084182	11.879063	74.638356	5570.884
23	0.083427	11.986570	75.313843	5672.175
24	0.082941	12.056793	75.755062	5738.829
25	0.081393	12.286024	77.195364	5959.124
26	0.078011	12.818787	80.542811	6487.144
27	0.072852	13.726505	86.246174	7438.403
28	0.071497	13.986610	87.880465	7722.976
29	0.067629	14.786541	92.906580	8631.633
30	0.056445	17.716451	111.315745	12391.195
31	0.055635	17.974236	112.935458	12754.418
32	0.054686	18.286361	114.896592	13201.227
33	0.051567	19.392086	121.844067	14845.977
34	0.047655	20.984216	131.847720	17383.821
35	0.043012	23.249466	146.080704	21339.572
36	0.041845	23.897508	150.152474	22545.765
37	0.040525	24.676125	155.044665	24038.848
38	0.037850	26.420171	166.002828	27556.939
39	0.033485	29.864277	187.642787	35209.815
40	0.032174	31.081288	195.289494	38137.986
41	0.031905	31.342833	196.932826	38782.538
42	0.027742	36.046818	226.488839	51297.194
43	0.024999	40.002047	251.340275	63171.934
44	0.021602	46.291867	290.860379	84599.760
45	0.021356	46.825732	294.214750	86562.319
46	0.017417	57.413646	360.740574	130133.762

MODE	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYC/TIME)	FREQUENCY (RAD/TIME)	EIGENVALUE (RAD/TIME)**2
47	0.013001	76.914300	483.266801	233546.801
48	0.007030	142.250154	893.784080	798849.982
49	0.007000	142.853180	897.573002	805637.293
50	0.004192	238.562635	1498.933	2.2468E+06

· 모드별 질량참여율

M O D A L P A R T I C I P A T I N G M A S S R A T I O S

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	0.970222	72.5611	0.0000	0.0006	72.5611	0.0000	0.0006
2	0.768870	0.0000	63.1321	0.0001	72.5611	63.1321	0.0007
3	0.500436	0.0000	0.0069	0.0000	72.5611	63.1390	0.0007
4	0.455671	0.0000	0.0008	0.0000	72.5611	63.1398	0.0007
5	0.436744	0.3944	0.0000	0.0763	72.9555	63.1398	0.0770
6	0.295463	0.0455	0.0000	0.0087	73.0010	63.1398	0.0857
7	0.287196	0.0000	4.7533	0.0000	73.0010	67.8931	0.0857
8	0.277798	6.9944	0.0000	0.0000	79.9954	67.8931	0.0857
9	0.244911	0.0000	0.0000	47.9986	79.9954	67.8931	48.0843
10	0.181006	0.0000	0.0000	0.0000	79.9954	67.8931	48.0843
11	0.172759	0.0000	4.9335	0.0000	79.9954	72.8266	48.0843
12	0.168603	0.0000	0.1890	0.0000	79.9954	73.0155	48.0843
13	0.166565	0.0000	0.0052	0.0000	79.9954	73.0208	48.0843
14	0.142004	0.0000	0.5410	0.0003	79.9954	73.5618	48.0846
15	0.131599	0.0059	0.0000	0.0081	80.0013	73.5618	48.0927
16	0.127075	0.0004	0.0000	0.0000	80.0016	73.5618	48.0927
17	0.102681	0.0000	0.0002	0.0000	80.0016	73.5619	48.0927
18	0.098746	0.0012	0.0000	0.7603	80.0028	73.5619	48.8530
19	0.096457	0.0015	0.0000	0.0043	80.0043	73.5619	48.8573
20	0.095414	0.0000	0.0006	0.0000	80.0043	73.5625	48.8573
21	0.086316	0.0000	0.0641	0.0005	80.0043	73.6267	48.8578
22	0.084182	0.0111	0.0002	0.0502	80.0154	73.6268	48.9080
23	0.083427	0.0000	0.5642	0.0003	80.0154	74.1910	48.9083

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
24	0.082941	0.0000	0.2155	0.0000	80.0154	74.4065	48.9083
25	0.081393	0.0000	0.8424	0.0000	80.0155	75.2489	48.9083
26	0.078011	0.0000	0.0003	0.0000	80.0155	75.2492	48.9083
27	0.072852	0.0001	0.0003	8.0418	80.0156	75.2495	56.9501
28	0.071497	0.0000	1.5678	0.0001	80.0156	76.8173	56.9502
29	0.067629	0.0000	1.5994	0.0000	80.0156	78.4167	56.9502
30	0.056445	0.0000	0.0001	4.0812	80.0156	78.4168	61.0315
31	0.055635	0.0013	0.0004	4.3118	80.0169	78.4172	65.3433
32	0.054686	0.0000	0.7623	0.0019	80.0169	79.1795	65.3452
33	0.051567	0.0013	0.0000	0.0395	80.0181	79.1795	65.3847
34	0.047655	0.0000	0.6812	0.0000	80.0181	79.8607	65.3847
35	0.043012	0.0000	0.3577	0.0799	80.0181	80.2184	65.4645
36	0.041845	0.0005	0.0064	5.4233	80.0186	80.2249	70.8879
37	0.040525	0.0070	0.0001	0.0067	80.0256	80.2250	70.8946
38	0.037850	0.0000	0.0081	0.4031	80.0256	80.2331	71.2976
39	0.033485	0.0234	0.0014	0.0714	80.0490	80.2345	71.3690
40	0.032174	0.0015	0.0934	2.6379	80.0506	80.3280	74.0069
41	0.031905	0.0001	0.1759	1.4079	80.0507	80.5038	75.4148
42	0.027742	0.0293	0.0007	0.1002	80.0800	80.5045	75.5150
43	0.024999	0.0017	0.0006	1.8857	80.0818	80.5051	77.4007
44	0.021602	0.4403	0.0151	0.0060	80.5221	80.5202	77.4067
45	0.021356	0.0488	0.1452	0.0012	80.5708	80.6654	77.4079
46	0.017417	0.1552	0.0002	0.0059	80.7261	80.6656	77.4138
47	0.013001	0.0005	0.0003	1.1631	80.7266	80.6659	78.5769
48	0.007030	0.0045	19.2493	0.0003	80.7311	99.9152	78.5772
49	0.007000	19.2608	0.0045	0.0001	99.9918	99.9197	78.5773
50	0.004192	0.0002	0.0008	18.9986	99.9920	99.9205	97.5759

4.3.4 [단계 4] 탄성지진력 및 변위 결정

(1) [단계 4-1] 비지진력의 결정

・고정하중 혹은 기타 비지진력 산정 - 평상시 일반해석 참조.

(2) [단계 4-2] 지진력의 결정

- 방향별 지진력 산출

· 방향별 교좌 수평력 산출(거더당)

구 분			교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
			교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
A1	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	-	-	32.58
		다중	-	0.08	-	45.59
P1	G1	단일	224.55	-	0.13	-
		다중	192.53	-	3.32	-
	G2	단일	224.55	-	0.13	-
		다중	192.38	0.03	3.34	159.15
P2	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	-	-	170.34
		다중	-	0.03	-	159.21
A2	G1	단일	-	-	-	-
		다중	-	-	-	-
	G2	단일	-	-	-	29.99
		다중	-	0.08	-	45.27

· 방향별 교각 기둥하단 지진력 산출(전단력)

구 분		교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
		교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
P1	단일	502.11	-	-	222.67
	다중	421.36	0.08	0.12	188.89
P2	단일	-	-	-	218.13
	다중	82.89	0.08	0.09	188.92

· 모멘트 (교축방향=교축방향 모멘트, 교축직각방향=교축직각방향 모멘트)

구 분		교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
		교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	단일	5523.21	-	-	2493.35
	다중	4618.65	0.24	0.40	2269.49
P2	단일	-	-	-	2453.13
	다중	874.23	0.25	0.29	2270.15

· 방향별 교각 기초하단 지진력 산출(전단력)

구 분		교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
		교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
P1	단일	502.11	-	-	222.67
	다중	436.63	0.11	0.14	221.67
P2	단일	-	-	-	218.13
	다중	141.26	0.17	0.19	221.06

· 모멘트 (교축방향=교축방향 모멘트, 교축직각방향=교축직각방향 모멘트)

구 분		교축방향 재하시		교축직각방향 재하시	
		교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	단일	6778.48	-	-	3050.02
	다중	5679.22	0.04	0.67	2754.25
P2	단일	-	-	-	2998.46
	다중	1118.19	0.62	0.71	2754.97

· 지진력의 조합

1.0 × | 종방향 해석에 의한 단면력 | + 0.3 × | 횡방향 해석에 의한 단면력 |

0.3 × | 종방향 해석에 의한 단면력 | + 1.0 × | 횡방향 해석에 의한 단면력 |

· 교좌 수평력 산출(거더당)

구 분			COMBO 1		COMBO 2	
			교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
A1	G1	단일	0.00	0.00	0.00	0.00
		다중	0.00	0.00	0.00	0.00
	G2	단일	0.00	9.77	0.00	32.58
		다중	0.00	13.76	0.00	45.61
P1	G1	단일	224.59	0.00	67.50	0.00
		다중	193.53	0.00	61.08	0.00
	G2	단일	224.59	0.00	67.50	0.00
		다중	193.38	38.78	61.05	129.16
P2	G1	단일	0.00	0.00	0.00	0.00
		다중	0.00	0.00	0.00	0.00
	G2	단일	0.00	51.10	0.00	170.34
		다중	0.00	48.06	0.00	159.30
A2	G1	단일	0.00	0.00	0.00	0.00
		다중	0.00	0.00	0.00	0.00
	G2	단일	0.00	9.00	0.00	29.99
		다중	0.00	13.67	0.00	45.32

· 교각 기둥하단 지진력 산출(전단력)

구 분		COMBO 1		COMBO 2	
		교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
P1	단일	502.11	66.80	150.63	222.67
	다중	421.40	56.75	126.53	188.91
P2	단일	0.00	65.44	0.00	218.13
	다중	82.92	56.76	24.96	188.94

· 모멘트 (교축방향 = 교축방향 모멘트, 교축직각방향 = 교축직각방향 모멘트)

구 분		COMBO 1		COMBO 2	
		교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	단일	5523.21	748.01	1656.96	2493.35
	다중	4618.77	681.09	1386.00	2269.56
P2	단일	0.00	735.94	0.00	2453.13
	다중	874.32	681.30	262.56	2270.23

· 교각 기초하단 지진력 산출(전단력)

구 분		COMBO 1		COMBO 2	
		교축수평	교축직각수평	교축수평	교축직각수평
P1	단일	502.11	66.80	150.63	222.67
	다중	436.67	66.61	131.13	221.70
P2	단일	0.00	65.44	0.00	218.13
	다중	141.32	66.49	42.57	221.11

· 모멘트 (교축방향 = 교축방향 모멘트, 교축직각방향 = 교축직각방향 모멘트)

구 분		COMBO 1		COMBO 2	
		교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
P1	단일	6778.48	915.01	2033.54	3050.02
	다중	5679.42	826.32	1704.44	2754.26
P2	단일	0.00	899.54	0.00	2998.46
	다중	1118.40	827.11	336.17	2755.16

(3) [단계 4-3] 설계지진력의 결정

· 구조부재 및 연결부 설계지진력

① 교좌 수평력(거더당)

구 분	A1		P1		P2		A2	
	교축	교축직각	교축	교축직각	교축	교축직각	교축	교축직각
G1	-	-	224.59	-	-	-	-	-
G2	-	45.61	224.59	129.16	-	170.34	-	45.32
R	0.8				1.0		0.8	
G1	-	-	224.59	-	-	-	-	-
G2	-	57.01	224.59	129.16	-	170.34	-	56.65

② 기둥하단부 전단 및 모멘트

구 분	P1		P2	
	교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
전단	502.11	222.67	82.92	218.13
모멘트	5523.21	2493.35	874.32	2453.13
R	3.0			
모멘트	1841.07	831.12	291.44	817.71

③ 기초의 설계 지진력

구 분	P1		P2	
	교축방향	교축직각방향	교축방향	교축직각방향
전단	502.11	222.67	141.32	221.11
모멘트	6778.48	3050.02	1118.40	2998.46
R	3.0 / 2 = 1.5			
모멘트	4518.99	2033.35	745.60	1998.97

(4) [단계 4-4] 설계지진변위 결정

- 지진변위 검토

· 단일 모드시 (단위 : *m*)

구분	A1	P1	P2	A2
G1	0.0529	-	0.0534	0.0530
G2	0.0529	-	0.0534	0.0530

· 다중 모드시 (단위 : *m*)

구분	A1	P1	P2	A2
G1	0.0446	-	0.0451	0.0445
G2	0.0446	-	0.0450	0.445

510
신축이음장치 및 받침

510.1 신축이음장치

1.1 개요

신축이음장치를 선정함에 있어서 가장 중요한 설계조건으로는 교축방향으로의 온도변화, 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 신축량과 교량의 회전변위 및 처짐량, 그리고 구조적으로 필요한 여유량 등이다. 이에 따라 적합한 신축이음장치의 종류가 결정되어야 한다.

또한 지반의 영향으로 인한 하부구조의 변형이나 변위를 고려해야 하는 등의 사항은 국내의 각종 설계기준을 참조하여 설계자가 현장여건에 따라 적절히 고려해야 한다.

한편, 지진에 의한 교대 및 교각의 변위, 토압변화에 의한 이동, 부등침하 등과 같은 특수한 조건에 의한 영향은 설계조건으로 고려하지 않는다.

1.2 종류 및 분류

신축이음장치를 구조적인 측면에서 분류하면, 신축이음장치 자체가 차량하중을 지지하지 않는 맞댐식과 신축이음장치 자체가 차량하중을 지지하는 지지식으로 분류할 수 있다(<그림 510.1>).

1.2.1 맞댐식 조인트

<그림 510.1> 신축이음장치의 분류

(1) 맹 조인트 형식

- 맞댐구조의 신축부가 교량의 표면에 노출되지 않고, 연속 포장된 아스팔트의 변형에 의해 충격 및 신축을 흡수하는 구조
- 신축량 : 0~10 mm
- 장점 : 구조가 간단하여 시공 용이

① 맹 조인트

- 철재 이음장치와 신축이 가능한 0.8mm 동판을 볼트로 바닥판 콘크리트에 고정하

고 아스팔트콘크리트를 포장
- 시공이 어렵고, 이음부 포장재가 분리 또는 탈락되는 경우가 있음

② 절삭 조인트
- 바닥판 신축부를 방수줄눈 처리하고, 포장을 5mm정도 컷터 절단한 후 줄눈 채움재로 주입 처리함
- 수명이 짧고, 절삭부 포장재 부위에 균열 발생

(2) 맞댐 시공 형식
- 포장의 시공전에 설치하는 맞댐 줄눈구조
- 바닥판 콘크리트 타설 전 시공해야 함
- 신축량 : 10~30 mm

① 줄눈판 조인트
- 교대부의 교량받침이 고정단일 경우 주로 사용하며, 바닥판 유간에 줄눈판을 삽입하는 형식
- 배수장치가 없어 방수기능에 문제 있음

② 앵글 보강 조인트
- 바닥판 압축 우각부를 앵글로 보강하는 형식
- 시공성과 보수성 불량

③ 보강 강재 조인트
- 이음장치의 플레이트를 볼트로 상부플랜지에 고정하는 형식
- 강교에서만 사용

(3) 맞댐 후시공 형식
- 포장 시공후 설치 가능한 맞댐 조인트
- 포장부를 걷어내고 줄눈 우각부를 강재 및 수지재 등으로 보강하고, 줄눈부에는 채움고무재를 삽입하여 접착하는 형식
- 평탄성이 양호

① Cut-Off 조인트
- 에폭시 몰탈부와의 접착부에 특수 고무접착제를 바르고 내후성의 네오프렌계 고무성형재를 끼워서 고정
- 평탄성이 양호하나, 접착제의 질에 따라 탈락우려 있음

② Coupling 조인트
- 격자형 철판을 앵커볼트로 고정하고 고무씰을 격자 철판에 볼트로 고정
- 고무 씰의 신축량이 Cut-Off 형식보다 다소 적음

③ Mono Cell 조인트
(동일유형 : Ace Joint - NC type)
- 측판에 앵커철근을 용접하여 단부에 설치하고 후타재 타설후 철판상단에 신축고무를 압축하여 삽입시킨 구조
- 신축량이 적은 구조물에 적합 (암거 등)

④ Rubber Top 조인트
- 앵커볼트 및 보강철근을 바닥판 상부철근에 용접·조립하고 후타재 타설후 고무조인트를 볼트로 고정
- 평탄성 양호

⑤ Gai Top 조인트
- 바닥판 단부에 파형의 강재판을 종방향으로 고정하고 중간 유간부에 고무재를 삽입하는 형식. 고무재는 방수와 신축기능을 함.
- 단순구조로 내구적
- 유간부가 파형상으로 하중이 이상적으로 분포됨. 충격과 진동이 작음
- 강판 노출 단면이 적어 주행성이 양호

(4) 고무 조인트
- 고무재와 강재를 조합시켜 바닥판 유간을 지지하는 구조
- 변형과 충격에 대한 저항능력이 큼

① 샌드위치 조인트
- 상·하판으로 구분되어 하부 강판 위에 네오프렌(Neoprene)을 샌드위치 스타일로 접착. 바닥판 상단은 강판을 부착하여 축하중에 저항함

② Transflex 조인트
- 네오프렌 안에 강철판을 삽입한 일체형식
- 충격하중 : 고무의 탄성과 강재의 강성으로 흡수, 분산
- 이 동 량 : 고무의 인장과 압축
- 전단변형 : 고무의 변형
- 시공 간편, 주행성 양호, 경제적, 저소음
- 고무판의 절삭부분이 자주 파손되어 유지보수 및 관리 문제
- 기존 콘크리트와 접착부 방수 불량

③ NB 조인트
- 트랜스플랙스 조인트의 개량형으로 네오프렌 고무 안에 강철판을 삽입한 일체식
- 고정앵커는 보강철판에 용접 고정된 너트에 현장 조립 후 콘크리트 매입되므로 유지보수시 콘크리트를 제거 후 교체 가능
- 충격하중 : 고무의 탄성과 강재의 강성으로 흡수, 분산
- 이 동 량 : 고무의 인장과 압축
- 전단변형 : 고무의 변형
- 시공 간편, 주행성 양호, 경제성 양호
- 차륜의 접촉면적을 최소화함
- 정착부분 파손시 심한 소음발생
- 고무판의 절삭부분이 자주 파손되어 유지보수 및 관리 문제
- 기존 콘크리트와 접착부 방수불량

(5) 강재 조인트

·신축량이 큰 교량에 적합한 형식이며, 내구성과 방수성이 뛰어나므로, 장대화·연속화되는 현대의 교량에 적합하며 널리 사용되는 형식

① 강핑거 조인트
- 주행성이 좋으며, 강재로 내구성이 우수
- 방수기능 우수
- 신축량 : 50~500 mm
- 부분통제만으로 보수 및 교체가 가능하므로 유지관리 용이, 교통이 혼잡한 도심 고가차도 등에 많이 사용

② 강겹침 조인트
- 강핑거 조인트 이전에 사용하였으며, 현재는 주로 보도에 사용

③ 레일 조인트
- 상부의 강재빔을 고무 씰로 연결 설치하고 하부는 가로보로 하중을 분산시킴
- 단지간에서부터 장지간의 콘크리트교, 강교 등 모든 교량에 적용이 가능하며, 특히 중교통하중과 회전변위가 큰 교량 단부에 적합하며, 현재 가장 널리 사용되고 있는 형식
- 신축량 : 80~1280 mm
- 완벽한 방수성, 내구성, 주행성이 좋음
- 구조가 다소 복잡하고 주행시 소음 발생
- 전체 교폭에 대해 일체형으로 설치되므로 보수공사 시 교체가 어려우나, 정밀시공 후 내구성 및 유지관리에 문제 없음

(6) 특수 형식

① 롤러셧터 조인트
- 롤러 셔터(Roller Shutter) 방식으로 현수교, 사장교 등 신축량이 크고 회전변위가 많은 교량에 적합함. 장대교량에 사용
- 신축량 : 400 ~ 1,200 mm
- 내구성, 주행성이 뛰어나며 소음이 적음
- 제작과 시공이 다소 복잡하고 고가임

1.3 선정 요령

1.3.1 선정시 고려사항

(1) 교량의 종류

같은 종류의 신축이음장치라도 강교에 설치하는 경우와 콘크리트교에 사용하는 경우에 차이가 있으며, 특히 PSC빔을 사용하는 경우에는 바닥판을 충분히 절단하여 후타설 부분을 두텁게 하여 강결하게 정착해야 한다.

(2) 신축량

온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여 산정하며 필요에 따라 활하중, 사각, 교대의 활동 등을 고려하여 결정하여야 한다. 도로교설계기준에는 신축이음장치의 설계신축량산정시 가동받침의 이동량 산정방법에 준하도록 규정되어 있다. 설치시의 오차와 하부구조의 예상 밖의 변위 등에 대처하기 위하여 중소지간의 교량의 경우 설치여유량 10mm와 부가여유량 20mm를 추가로 고려하여야 한다. 소교량의 경우 여유량을 과다하게 산정하는 오류를 범할 수 있다. 이에 대하여 한국도로공사에서는 신축량 산정기준 적용시 있을 수 있는 혼선에 대한 합리적인 신축량 산출기준을 수립하고자 「교량 신축량 산출기준 검토(1999.6)」를 제시하였다(<표 510.1> 참조). 종류별 사용범위에 대한 표준을 <표 510.2>에 나타내었다. 표에는 일반적으로 사용되는 범위, 실적이 있는 범위, 또는 이론적으로 사용가능하다고 생각되는 범위로 나누어 나타내었다.

(3) 내구성

일반적으로 신축이음장치의 파손은 중차량의 통과횟수에 좌우되며, 전체 교통량에 의존하지 않는다. 따라서 중차량의 교통량이 많은 도로, 즉 국도 및 주요 지방도는 내구성이 큰 신축이음장치를 선택할 필요가 있다.

<표 510.1> 교량신축량 산출기준 검토

구 분	도로교설계기준	도로설계요령	설계지침
기 본 신축량	온도신축+건조수축+크리프+빔의 회전	온도신축+건조수축+크리프	・신축장 100m이하 : 도로설계요령와 동일 ・신축장 100m이상 : 도로교설계기준과 동일
여유량	설치여유량:±10mm 부가여유량:±20mm	기본신축량의 20% + 10mm	・신축장 100m이하 : 도로설계요령과 동일 ・신축장 100m이상 : 여유량만으로 규정
특 징	・빔의 회전고려 ・여유량이 정량(±30mm)	・여유량이 정률(20%)과 정량(10mm) ・보통지방과 한랭지방으로 구분	・신축장 100m이하 : 도로설계요령의 보통지방기준 ・신축장 100m이상 : 도로교설계기준과 동일하나 여유량을 구체적으로 명시하지 않음

<표 510.2> 신축이음장치 종류별 신축량

제품 \ 신축량	100		200		300		400		500		600~1200	
맹 조인트	10											
러버탑 조인트	30											
가이탑 조인트	30	60										
모노셀 조인트	30	70										
스트립씰 조인트		100										
에이스(NB) 조인트	36		120									
트랜스플랙스 조인트	30				230							
강핑거 조인트		50								500		
레일 조인트		80										1200
롤러셧터 조인트									400			1200

(4) 평탄성

평탄성도 내구성의 일종으로 생각될 수 있다.

(5) 배수성 및 수밀성

배수성 및 수밀성 역시 내구성의 일종으로 생각될 수 있다. 낙수가 문제가 되는 경우와 신축이음장치에서 누수가 발생하여 교량받침에 부식이 문제가 되는 경우가 있다.

(6) 시공성

① 시공의 난이도

- 줄눈형식, 줄눈판형식 : 구조도 간단하고, 시공도 비교적 용이함
- 맞댐형식, 고무형식 : 일단 시공된 포장을 절단한 후 시공하므로 비교적 번거로움
- 강재핑거 형식 : 포장면 절단 후 시공하며, 평탄성을 고려 정밀한 시공이 요구됨.
- 레일 형식 : 선시공 및 후시공이 가능하며 정상적인 기능을 발휘하기 위해서는 정밀 시공이 요구됨

② 시공방법에 따른 내구성, 평탄성, 수밀성, 배수성 등의 변화

- 줄눈형식 : 제품자체가 원래 수명이 짧기 때문에 정상적인 시공이 되면 평탄성이 좋아 제품의 설계수명을 다할 수 있음
- 컷오프조인트 : 정밀 시공이 이루어질 경우 설계수명을 유지하고 평성과 수밀성이 양호함
- 줄눈판형식 : 줄눈벽의 청소 등에 따라 줄눈재의 수명이 크게 달라짐
- 핑거형, 레일형 : 정밀시공이 이루어질 경 내구수명을 유지하며, 시공의 정도에 따라 파괴나 평탄성, 수밀성이 떨어지는 경우가 있다. 그러므로 바닥판 콘크리트와의 정착을 충분히 유지하기 위하여 Block-Out부에 무수축콘크리트를 완전히 충진하는 작업이 중요함

(7) 경제성

경제성은 각 신축이음장치의 건설단가만으로 비교할 수 없다. 신축장치의 수명은 포장의 수명 정도만 유지하고 일종의 소모품으로 취급할 수밖에 없으므로 수명과 유지보수비, 도로의 성질 등을 고려하여 종합적으로 판단하여야 한다.

다음 <표 510.3>과 <표 510.4>는 현재 많이 쓰이고 있는 레일 조인트, 핑거 조인트, 트랜스플랙스 조인트 및 NB 조인트에 대하여 재질, 신축기능, 장·단점, 주의사항 및 설치현황 등을 정리한 표이다,

1.4 설계시 고려사항

신축이음장치는 신축장에 대한 변위를 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

곡선교와 사교에는 교축방향과 교축직각방향의 신축, 종단경사가 있는 교량에서 가동받침의 수평이동으로 인한 수직단차, 주형의 단부 회전에 의한 수평이동, 교대나 교각의 침하와 회전 및 수평이동에 의한 지점의 이동 등에 대하여 필요한 경우에는 이를 고려하여야 한다.

예상하지 못하거나 확실하지 않은 계산에 대해 충분한 여유간격을 확보하기 위해 신축량의 계산에 신축여유량과 설치여유량을 포함하여야 한다.

1.4.1 신축량 계산시 고려사항

(1) 온도변화

온도변화에 의한 신축량의 계산은 연중 최고온도차와 선팽창계수에 의해 계산되어야 한다. 신축량에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 전체 신축량의 50%이상을 온도변화에 의한 신축량이 차지한다.

일반적으로 교량내의 온도차에 의한 변위는 다른 영향에 비해 무시할 수 있을 정도로 작으므로 신축량 계산에는 고려하지 않는다.

(2) 건조수축과 크리프

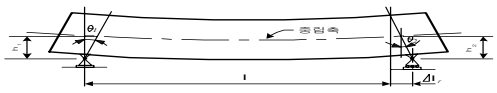
· RC 교량 : 건조수축만 고려

· PSC교량 : 건조수축과 크리프 모두 고려

신축이음장치는 건조수축과 크리프가 어느 정도 진행된 후에 설치되므로, 설치 이전의 이들에 의한 변형도를 고려하기 위해 콘크리트의 재령에 대한 저감계수 β를 사용한다.

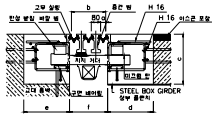
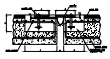
(3) 교량의 처짐에 따른 단부의 회전에 의한 변위

보가 높거나 변형하기 쉬운 교량의 경우에는 단부의 회전에 의한 변위가 고려되어야 한다. 신축이음장치가 설치된 후에 작용하는 교통하중과 같은 활하중 등의 각종 하중에 의해 교량에 처짐이 발생하며, 이로 인해 교량의 단부에는 회전변위가 발생한다. <그림 510.2>와 같이 고정받침에 대한 교량단부의 회전으로 단부는 수평으로 Δl_r과 수직으로 Δv 만큼 이동하게 된다.



<그림 510.2> 보의 처짐에 따른
단부의 회전에 의한 변위

<표 510.3> 신축이음장치 비교표(레일 및 핑거 조인트)

구 분	RAIL JOINT	FINGER JOINT
형 상		
재 질	강재Support Beam + 강재 Rail + Rubber Seal + Control Box	Steel Finger+Rubber Sheet
신 축 기 능	Spherical Bearing의 회전과 Elast. Bearing의 탄성변위 및 미끄럼에 의한 Beam의 신축작용	강 핑거의 캔틸레버식 핑거 사이 신축또는 강겹침에 의해 슬라이딩하면서 신축작용
신축량 범위	80 ~ 1280 mm	50 ~ 500 mm
장 점	◇ Rubber Seal 간격이 일정하여 주행성이 우수하며 신축량이 크고 회전변위가 큰 장대교량에서도 유리하다 ◇ 주요 구성요소가 강재로 되어 있어 내구수명이 우수하다. ◇ Rubber Seal은 이음새가 없어 방수기능은 완벽하다. ◇ 정밀 시공이 요구되나, 정밀 시공 후에는 유지관리 및 보수문제가 거의 없다.	◇ 주행성이 우수하다. ◇ 방수시트의 이음매가 없어 방수기능이 우수하다. ◇ 강재로 내구수명이 좋다. ◇ 사교나 곡교의 경우 교폭방향의 신축에 의해 핑거가 서로 맞물리지 않도록 충분히 고려하여야 한다. ◇ 부분통제만으로 보수가 가능하므로 유지관리는 비교적 용이하다. ◇ Block-Out 깊이가 상대적으로 작다
단 점	◇ 레일의 간격이 클때 소음 다소발생 ◇ 블럭아웃 깊이와 너비가 크다. ◇ 설계시 블럭아웃을 충분히 고려한 설계가 필요함.	◇ 교량의 회전에 따른 핑거의 돌출로 주행성이 나빠질 수 있다. ◇ 캔틸레버식에서는 이물질이 방수시트에 쌓여 방수기능 상실, 정기적인 청소
주의사항	◇ 정밀시공이 요구되며 단부보강 문제도 고려하여야 하므로 전문업체와의 설계단계로부터의 상담이 요망된다. ◇ 강교시 필히 설계 단계부터 제품특성에 맞는 블럭아웃과 보강이 필요	◇ 레벨조정 및 방수처리등 설치가 까다롭다. ◇프로파일 1M 단위 분할 조립후 실리콘처리로 콘크리트 접촉면과 핑거스판사이의 방수처리 요함.
설치현황	◇ 한국도로공사 및 각 지방국토 관리청 등 많은 시공사례가 있고, 최근 교량의 장대화 및 제품의 내구성/방수성에 대한 중요성의 요구에 따라 사용이 증가하고 있다.	◇ 보수, 교체공사가 용이하므로, 교통이 혼잡한 도심 고가차도 등에 널리 사용되고 있다.

<표 510.4> 신축이음장치 비교표(트랜스플랙스 및 NB 조인트)

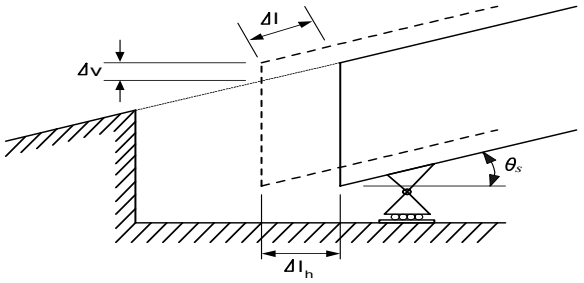
구 분	TRANSFLEX JOINT	NB JOINT
형 상		
재 질	Rubber + 강판	Rubber + 강판
신 축 기 능	고무와 강판이 일체로 제작되어 고무의 변형으로 신축작용	고무와 강판이 일체로 제작되어 고무의 변형으로 신축작용 (앵커볼트가 본체 하부에 좌우로 보트로 연결되어 일체 구조로 되어 있다.)
신축량 범위	35 ~ 230 mm	35 ~ 120 mm
장 점	◇ 표면이 고무재로 되어 있어 주행성은 비교적 좋은 편이다. ◇ Block-Out 깊이가 상대적으로작다	◇ TransFlex의 단점을 보완 개선한 제품이다. ◇ 표면의 고무층을 두껍게 하여 완충능력과 내구성을 증대시켰다 ◇ 표면적이 적고 표면에 앵커볼트 구멍이 없어 Transflex형 보다는 내마모성과 방수성이 우수하다. ◇ 표면이 고무이므로 주행성이 좋고 유간에 흡음재를 설치하면 충격흡수 및 방음효과를 증대시킨다.
단 점	◇ 내구수명이 짧다. ◇ 완벽한 방수가 어렵다. ◇ 고무의 마모가 심하며 100mm 이상의 경우 수축시 중앙부가 솟아 올라 파손이 잦고 수시로 보수가 필요하다. ◇ 진동에 의한 정착너트의 풀림으로 빈번한 파손원인이 된다. ◇ 타이어 접촉면이 많아 쉽게 마모되므로 잦은 교체가 필요하다.	◇ 내구수명이 짧다. ◇ 완벽한 방수가 어렵다. ◇ 앙카정착 너트부의 용접이 떨어질 경우 심한 소음 발생 ◇ 정착부분의 하자발생시 콘크리트를 깨고 보수해야 함.
주의사항	◇ 소교량에 적합하며, 정기적인 점검과 관리가 필수적이다.	◇ 소교량에 적합하며 신축량이 큰 교량(100mm이상)은 피하는 것이 좋다. ◇ 정기적인 유지관리 필요
설치현황	◇ 몇 년 전까지는 사용실적이 가장 많았으나 점차 교량이 장대화하고 제품 기능상의 문제점등으로 사용 빈도 가 급격히 줄어들고 있다.	◇ TransFlex Joint의 단점을 보완하여 개발되어 현재 소교량에는 가장 널리 쓰이고 있다.

(4) 지점이동의 영향

신축이음장치는 교각과 교대의 침하, 회전, 수평이동 등에 의한 변위를 원활하게 수용할 수 있어야 한다. 교각과 교대에 예상되는 수평이동량을 여유간격의 계산에 고려하여야 하며, 수평이동량이 명확하지 않으면 보의 여유간격을 충분히 확보하는 것이 바람직하다.

(5) 교량의 종단경사에 의한 변위

교량의 가동단에 시공된 받침은 통상 수평으로 설치한다. 따라서 종단경사가 큰 교량의 경우 온도에 의한 수평변위에 의하여 <그림 510.3>과 같이 수직방향으로 단차가 발생한다. 이 변위량이 작은 경우에는 그다지 큰 문제가 되지 않으나 신축량이 크고 종단경사가 큰 경우에는 신축이음장치 선정시 수평이동 Δl_h와 수직단차 Δv에 대한 영향이 고려되어야 한다.



<그림 510.3> 종단경사에 의한 단부이동

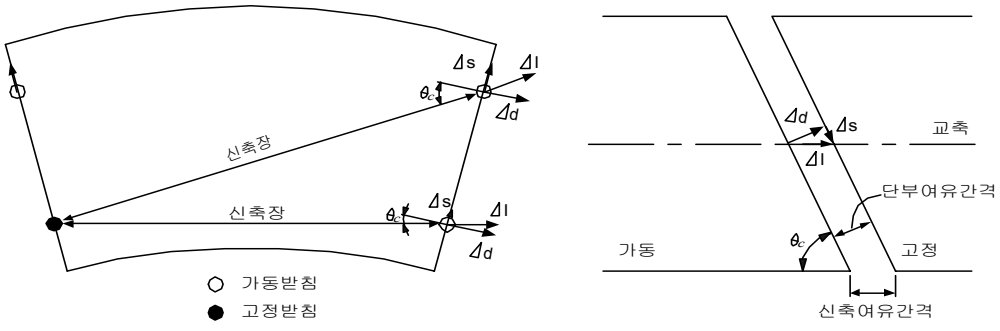
(6) 사교 및 곡선교의 변위

곡선교와 사교에서 교량 단부의 접선방향 변위에 의한 비틀림은 신축이음장치에 전단력을 발생시키므로 신축이음장치의 형식 선정과 설계 및 시공에 특히 주의하여야 한다. 받침의 구속조건과 인접구조물의 형상에 따라 가능하면 신축이음장치에 전단력이 발생하지 않도록 받침을 선정하고 설계하여야 한다.

<그림 510.4>는 고정받침으로부터 이동단부까지의 직선거리를 신축장으로 하여 계산된 신축량 Δl을 단부에 대하여 접선방향변위 ($\Delta s = \Delta l \sin\theta_c$)와 법선방향변위($\Delta d = \Delta l \cos\theta_c$)로 분리하는 것을 나타낸다.

(7) 지진에 의한 영향

지진에 의한 인접구조물과의 상대변위를 신축이음장치가 흡수할 수 있어야 하지만 우리나라는 지진 발생빈도가 적고, 신축이음장치가 파손되는 경우에도 낙교와 같은 대형사고가 발생할 우려가 적다. 또한, 지진에 의한 이동량의 예측은 매우 어렵기 때문에 신축량의 계산에 이를 고려하지 않는다.



(a) 곡선교의 변위 (b) 사교의 변위

<그림 510.4> 곡선교 및 사교의 단부변위

1.4.2 신축량의 계산 방법

신축이음장치의 선정과 설계의 기준이 되는 신축량의 계산은 온도변화, 콘크리트의 크리프와 건조수축, 교통하중에 의한 지점의 회전을 고려하여 계산된다. [도·설 2.4.2.3]에 따라 신축량은 다음의 식에 의해 계산한다.

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_s + \Delta l_c + \Delta l_r + \text{여유량}$$

여기서 Δl : 총 신축량

Δl_t : 온도변화에 의한 신축량

Δl_s : 건조수축에 의한 신축량

Δl_c : 크리프에 의한 신축량

Δl_r : 처짐에 의한 신축량

(1) 온도변화에 의한 신축량

온도변화에 의한 신축량 Δl_t는 최저온도 $T_{\min}$과 최고온도 $T_{\max}$의 차이로부터 다음과 같이 계산한다.

<표 501.5>에 제시한 온도범위는 교량상부구조의 평균온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정한 것이다 (도로공사 연구보고서,1993).

$$\Delta l_t = (T_{\max} - T_{\min})\,\alpha\, l = \Delta T\,\alpha\, l$$

여기서 α : 선팽창계수(<표 510.5> 참조)

l : 고정받침에서 고려하는 이동단부까지의 직선거리

신축이음장치가 설치될 때에 예상되는 온도 T_{set}에 대한 최대 신장량 Δl_t^{+}과 수축량 Δl_t^{-}은 다음과 같이 계산한다.

$$\Delta l_t^{+} = (T_{\max} - T_{set})\,\alpha\, l$$

$$\Delta l_t^{-} = (T_{\min} - T_{set})\,\alpha\, l$$

$$\therefore \Delta l_t = \Delta_t^{+} - \Delta_t^{-}$$

여기서 T_{set} : 신축이음장치가 설치될 때의 온도(48시간의 평균온도)

(2) 건조수축과 크리프에 의한 신축량

① 건조수축 : 콘크리트가 타설된 후부터 신축이음장치가 설치될 때까지를 다음과 같이 고려한다.

$$\Delta l_s = -\varepsilon_s\,\beta\, l$$

여기서 β : 저감계수(<표 510.6> 참조)

ε_s : 극한 건조수축 변형도

<표 510.5> 온도변화의 범위 및 선팽창계수

교 량 형 식		온도변화의 범위(℃)		선팽창계수 α(/℃)
		보통 지방	한랭 지방	
강 교	상로교	-10 ~ +40	-20 ~ +40	1.2×10^{-5}
	하로교 강바닥판교	-10 ~ +50	-20 ~ +40	1.2×10^{-5}
RC, PSC 교		-5 ~ +35	-15 ~ +35	1.0×10^{-5}
지 역		대전,구미,대구,부산,강릉,논산,전주,광주, 순천,진주,마산,창령,고령, 동서울	인천,수원,천안,영동,이천,원주,대관령,경안,진천	-

($=20\times10^{-5}$ 또는 20℃의 온도하강)

<표 510.6> 콘크리트의 건조수축 및 크리프에 대한 저감계수(β)

콘크리트의 재령(월)	0.25	0.5	1	3	6	12	24
저감계수(β)	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

<표 510.7> 교량의 강성에 따른 지점의 회전각

l/δ	400	500	600	700	800	900	1,000	1,500	2,000
θ_e(rad)	1/100	1/125	1/150	1/175	1/200	1/225	1/250	1/375	1/500

② 크리프

프리스트레스 긴장력이 도입될 때부터의 콘크리트의 재령에 따라 <표 510.6>의 저감계수 β를 사용한다.

$$\Delta l_c = -\frac{P_i}{E_c A_c}\phi\beta l$$

여기서 ϕ : 크리프 계수 (= 2.0)

P_i : 프리스트레싱 직후의 PS강재에 작용하는 인장력

A_c, E_c : 콘크리트의 단면적과 탄성계수

(3) 지점의 회전변위에 의한 신축량

지점의 회전변위 θ_e에 의한 단부의 수평 이동량 Δl_r과 수직 이동량 Δv는 각각 다음과 같이 계산한다. 연속보의 중간지점에서는 그 영향이 적으므로 무시해도 좋다. 단순보의 경우에는 가동받침에 고정단에서의 회전의 영향이 가산되어 2배가 되는 것에 주의해야 한다. 일반적으로 θ_e는 강교에서 1/150, 콘크리트교에서 1/300을 고려하면 된다.

$$\Delta l_r = -h\,\theta_e$$

$$\Delta v = a\,\theta_e$$

여기서 a : 받침의 중심에서 단부까지의 수평거리

h : 보 높이의 ⅔

지점의 회전변위는 최대 처짐에 대한 지간의 비로 표시되는 교량의 강성(l/δ)으로부터 <표 510.7>의 값을 사용하여 근사적으로 구할 수 있다.

1.4.3 설계 신축량

설계신축량 = (기본신축량) + (설치여유량) + (부가여유량)

여기서, 기본신축량 : 연중 온도변화 및 콘크리트의 건조수축과 크리프에 의한 신축량의 합으로 비교적 정확하게 계산되는 신축량이다. 지점의 회전과 이동이나 종단경사 및 곡선교 또는 사교의 변위가 심각할 것으로 예상되면 이에 대한 신축량은 기본신축량에 별도로 고려되어야 한다.

설치여유량 : ± 10 mm

부가여유량 : ±20mm(도로교설계기준), 또는 기본신축량의 20%(도로설계요령)

한편, <표 510.8>은 신축량 계산을 위한 간편식(도로설계요령)을 도표화한 것으로 일반적인 경우에는 설계신축량으로 사용해도 무방하다.

<표 510.8> 설계신축량의 간편식

(기준: 보통지방)

형식 / 구분	강 교		PSC 교	RC 교
	상 로 교	하로교, 강바닥판교		
ΔT	50℃ (-10～+40℃)	60℃ (-20～+40℃)	40℃ (-5～+35℃)	
α	1.2×10^{-5}		1.0×10^{-5}	
Δl_t	$\Delta l_t = \Delta T\alpha l = 0.6\,l$	$\Delta l_t = \Delta T\alpha l = 0.72\,l$	$\Delta l_t = \Delta T\alpha l = 0.4\,l$	
Δl_{sh}	-	-	$\Delta l_{sh} = 20\alpha\beta l = 0.1\,l$	
Δl_{cr}	-	-	$\Delta l_{cr}^{*} = \frac{\sigma_p}{E_c}\phi\beta l = 0.2\,l$	-
Δl_e^{**}	$\Delta l_e = 0.6\,l\times20\% + 10 = 0.12\,l + 10$	$\Delta l_e = 0.72\,l\times20\% + 10 = 0.14\,l + 10$	$\Delta l_e = 0.7\,l\times20\% + 10 = 0.14\,l + 10$	$\Delta l_e = 0.5\,l\times20\% + 10 = 0.10\,l + 10$
합계 Δl (설계신축량)	$\Delta l = 0.72\,l + 10$	$\Delta l = 0.86\,l + 10$	$\Delta l = 0.84\,l + 10$	$\Delta l = 0.6\,l + 10$

* 여기서는 β=0.5, $\sigma_p = 60\,kg/cm^2$, $E_c = 3.0\times10^5\,kg/cm^2$, $\phi = 2$ 로 가정

** 포장 및 활하중에 의한 거더단부의 회전 및 시공오차로 인한 신축변화량은 여유량을 예상하여 기본신축량의 20%에 일률적으로 10mm를 더하는 것으로 함

510.2 받침

2.1 개요

교량받침은 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하는 기능을 가진 장치로서 교량의 내구성, 안정성에 관련된 중요한 구조요소이다. 또한 고정하중, 활하중 등에 의해서 발생되는 변위 뿐만 아니라 온도변화 및 크리프에 의해서도 교량의 변위, 변형이 발생하므로 상·하부 구조를 별개로 한 경우 이들의 접점에 있는 받침은 그 변위를 흡수하는 구조로 하거나 변위에 의해 발생되는 하중에 저항할 수 있는 구조로 설계되어야 한다.

2.2 종류 및 분류

2.2.1 기능상의 분류

교량받침에 요구되는 3대 기능으로는 받침(支持), 굴림(回轉), 미끄러짐(移動) 기능이 있다.

종래에는 교량받침의 기능에 따라 고정받침과 가동받침으로 구분하여, 차량진행방향인 교축방향에 따라 교량지간 양단에 각기 배열하였으나, 최근에는 교폭이 점차 넓어짐에 따라 가동형은 일방향·전방향 가동받침으로 다시 구분되어 사용되고 있다.

(1) 고정받침

일종의 힌지 기능을 하며 수직·수평반력은 전달하고, 회전에 대해서는 자유롭다.

(2) 가동받침

수직반력만을 전달하며 수평 및 회전에 대해 자유롭게 움직인다. 이때 수평이동시에 약간의 수평저항이 존재하며 설계의 중요한 인자중의 하나로 고려된다.

2.2.2 구조상의 분류

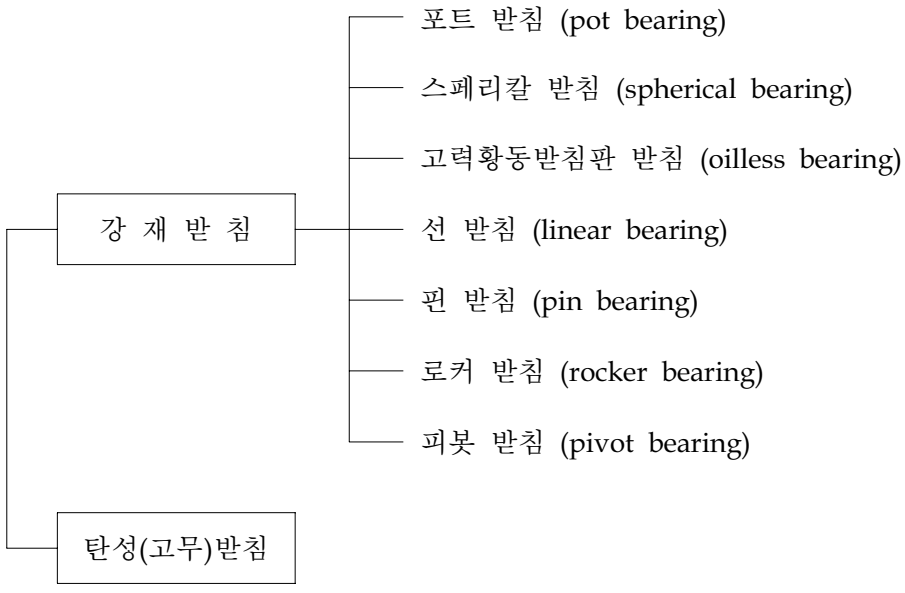
교량받침의 구조상의 분류로서는 제작에 사용된 원자재의 재질에 따라 강재를 주로 사용한 강재받침과 고무를 주요 자재로 사용한 탄성받침으로 대별할 수 있으며, 현재 널리 쓰이고 있는 교량받침의 종류별 특징과 기능은 <그림 510.5>와 같다.

(1) 포트 받침 (Pot Bearing)

현재 가장 널리 사용되어지는 교량받침의 형식인 포트 받침은 원형의 밀폐용기에 고무를 넣고 그 위에 받침판을 얹어 고무의 탄성변형에 의해 회전기능을 가지며, 미끄럼 기능은 고무판 위에 설치된 피스톤 상단에 부착된 불소수지(Polytetrafluorethylene, PTFE)판과 포트받침 바닥판의 하단에 부착된 스테인레스 스틸판 사이에 윤활유를 주입하여 이동변위에 대해 적은 마찰계수로 미끄럼 기능이 이루어진다. 이때 미끄럼판으로 사용되는 불소수지판은 내마모성, 내크리프성이 우수한 dimpled virgin PTFE판을 사용한다.

포트 받침은 용기속의 고무가 유체처럼 작용하여 수직반력을 골고루 분포시키고 받침의 높이가 낮아 회전(0.01~0.02라디안)에 대한 안전성이 우수하며 회전에 따른 하중의 편심이 작아서 유리하다. 포트받침은 한국산업규격 KS F 4424에 따라 품질규격에 적합하도록 제작되어야 한다.

지지하중은 500톤 정도, 이동량은 ±250mm 정도까지 사용되는데, 포트받침은 하중이 커질수록 다른 종류의 받침보다 경제성이 증가되기 때문에 장대교량에 적합한 형식 중의 하나이다.



<그림 510.5> 교량받침의 종류

(2) 탄성 받침(Elastomeric Bearing)

고무를 주자재로 사용한 탄성받침은 고무만을 사용재료로 한 순수탄성받침(Rubber Bearing) 받침과 내부에 1개 이상의 강판을 보강하여 하중재하시 받침 측면의 팽출현상을 억제하여 내하력을 증가시킨 적층탄성받침(Laminated Rubber Bearing)이 있으며 적층탄성받침이 교량받침으로 주로 사용된다.

천연고무 또는 합성고무를 재질로 하는 탄성받침은 별도의 다른 부품이 필요없이 설치할 수 있는 매우 간단한 형식으로서, 설치 높이가 낮고 임의의 형상으로 제작이 가능하며 특히 설계가 매우 간단하다.

사용되는 고무는 장기에 걸쳐 확실한 하중지지와 이동 및 회전 변형의 정확한 추정이 요구되므로 충분한 내하능력과 탄성적 특성을 가지는 동시에 노화 안정성이 보증되어야 한다. 즉, KS F 4420 "교량지지용 탄성받침"의 규격을 만족하는 것이어야 하며 크로로프론계 합성고무(CR) 및 천연고무(NR)가 사용되고 있다.

탄성받침은 현재 거의 모든 PSC I-Beam 교량에 사용되고 있으며, 내진설계시 지진력분담 기능으로 최근에는 일반 강교에의 적용도 점차적으로 증가되는 추세이다.

(3) 스페리칼 받침(Spherical Bearing)

스페리칼 받침은 모든 방향으로의 회전이 가능하며 수직하중은 필요에 따라 설계 가능하다.

스페리칼 받침은 고정, 일방향 가동 및 전방향 가동 받침으로 분류한다.

(4) 고력황동 받침판 받침(Bearing Plate Bearing, Oilless Bearing)

받침판의 한쪽을 평면, 다른 면은 곡면으로 하여 상, 하부판과 각각 면접촉을 시켜서 미끄럼에 의해 평면 접촉부에서 신축을, 곡면 접촉부에서 회전을 가능하게 한 받침이다.

이 받침형식은 받침판 받침 또는 Oilless Bearing이라는 이름으로 사용되어 왔다. 받침판은 기능에 따라 차이는 있지만 회전성능(0.04 라디안)이 우수하고 이 회전이 모든 방향으로 가능하기 때문에 회전이 큰 곳, 회전방향이 이동방향과 일치하지 않는 사교나 곡선교 등에도 사용하기 편리하다.

또 지진시 수평저항력이 크고 회전성능이 우수하므로 현재 단경간 철도교에 많이 사용되고 있으며 내진설계시 그 용도가 다양하기는 하지만, 대용량의 경우 받침이 대형화되는 단점이 있다. 또한, 미끄럼면에 이물질이 존재하거나 접촉면이 녹슬면 마찰계수가 증가하므로 씰링과 접촉부의 방청을 고려하여야 한다.

이 받침은 평면 접촉부, 곡면접촉부의 양면에서 미끄럼이 발생하는 구조로 하면 가동받침이 되고, 평면접촉부의 미끄러짐을 구속하고 곡면접촉만 미끄러짐이 발생하는 구조로 하면 고정받침이 된다.

(5) 평면 받침(Plane Bearing)

평면 받침은 두 장의 강판을 겹쳐 놓은 형태의 간단한 구조로서, 앵커볼트의 조절에 따라 고정 또는 가동받침으로 사용할 수 있다.

반력의 불균형이 생기기 쉬우며, 강판사이의 마찰저항이 크므로 가동받침으로 사용하는 경우에는 주의를 요한다. 단지간 교량을 제외하고는 평면받침을 사용하는 것은 바람직하지 않다.

(6) 선 받침 (Linear Bearing)

선 받침은 접합부의 한쪽은 평면, 다른 한쪽

은 원주면으로 하여 선접촉을 시켜서 마찰저항의 감소와 회전변위를 흡수할 수 있도록 한 간단한 형식의 받침이다.

(7) 롤러 받침 (Roller Bearing)

롤러 받침은 가동단에 사용하는 것으로, 1개 롤러의 경우 자체만으로 회전이 가능하나, 복수 롤러의 경우에는 핀 등과 조합하여 사용된다.

이 받침은 롤러의 수가 2개 이내에서는 반력의 분포가 분명하나 그 이상일 때는 반력의 분포가 균등하지 않다.

큰 회전이 필요한 곳에 유리하며 보통 표준형의 설계시 지지하중은 1500톤까지, 이동량은 ±200mm까지 설계하고 있다.

(8) 로커 받침 (Rocker Bearing)

로커 받침은 롤러를 변형시킨 것으로 작동원리는 롤러와 같으므로 롤러 받침의 일종이라 할 수 있다. 롤러 받침에 비해 경제성이 좋으나 수평 변위량이 허용치를 초과해서는 않도록 해야 한다.

(9) 피봇 받침 (Pivot Bearing)

피봇 받침은 상·하 피봇면의 반경비가 1.01 이상일 때 점 피봇 받침, 1.01 이하일 때 구면 피봇 받침이라 한다. 점 피봇 받침은 회전성능이 뛰어나지만, 구면 피봇 받침에 비해 수직하중 재하능력이 작기 때문에 수직하중이 큰 곳에서는 통상의 재료를 사용하면 위험하다. 모든 방향으로 회전이 가능한 이 받침의 지지하중은 보통 400톤까지, 적용지간은 25m까지의 범위에서 사용되고 있다.

(10) 핀 받침 (Pin Bearing)

핀 받침은 플레이트거더, 박스거더 등에 고정받침으로 사용되며 이동지점에서는 복수 롤러받침과 조합해서 사용한다.

지압형은 분리된 상·하부판 사이에 끼워진 핀이 지압을 받는 형식으로 상양력은 단부의 캡(cap)에 의하여 지지되는 정도이므로 상양력이 큰 곳에는 사용하지 않는다.

전단형은 상양력이 작용하는 곳에 사용하는데, 상부판과 하부판에 맞물려진 리브 사이를 핀이 관통하는 형식으로 이때 핀의 직경은 전단과 휨에 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 아치교에서는 주로 지압형 받침을 사용한다. 상·하부판은 보통 탄소강주강을 사용한다.

2.3 선정 요령

2.3.1 교량형식에 따른 받침선정

교량의 상부구조 형식에 따라 받침 형식이 일률적으로 적용되는 것은 아니지만 주로 사용되는 받침 순서로 정리하면 다음과 같다.

(1) 강교

① 강박스 거더교 : 포트 받침, 고력황동 받침판 받침, 롤러 받침

② 플레이트 거더교 : 롤러 받침, 포트 받침, 탄성 받침

③ 프리플렉스 빔교 : 탄성 받침

④ I-빔교 : 포트 받침

(2) 콘크리트교

· PSC I-빔 : 탄성 받침, 고력황동 받침판 받침

· PSC박스거더교 : 포트 받침

· 슬래브교 : 탄성 받침
· T-빔교 : 탄성 받침, 롤러 및 로커 받침
· RC박스거더교 : 탄성 받침

2.3.2 받침 선정시 고려 사항

교량받침의 선정에 있어서 다음 항목들을 고려하여 가장 적합한 것을 선정해야 한다.

- 수직 하중
- 수평 하중
- 이동량 및 방향
- 회전량 및 방향
- 마찰 계수
- 상·하부 구조의 형식과 치수
- 지점에서의 소요 받침 수
- 지반 조건 및 침하 가능성(하부구조)
- 교량의 총 연장
- 받침의 상·하부 구조의 접속부의 보강
- 유지 관리
- 미관

2.4 설계시 고려사항

교량 구조물에서 받침이 제기능을 충분히 발휘하도록 설계하려면 여러가지 하중 조건하에서 받침에 발생되는 수직/수평하중과 이동량 산정이 정확히 이루어져야 한다. 교량의 이동량은 상부구조물에 사용되는 재료적 성질이나 교량구조물에 작용되는 다양한 외력들에 의해서 발생한다.

· 온도, 습도의 변화
· 콘크리트의 크리프 및 건조수축
· 프리스트레싱
· 고정하중 또는 활하중에 의한 휨 변형
· 재료의 피로현상
· 침하 또는 지반의 이동
· 차량의 가속 또는 제동 하중
· 교량의 선형 곡률에 의한 원심력
· 지진
· 풍하중
· 가설하중

상기 요인에 따른 하중 및 이동량 산정은 그 크기뿐만 아니라 작용 방향 및 작용 기간도 고려되어야 하며, 반복(reversible) 이동량 및 반복되지 않는(irreversible) 이동량의 합은 받침의 최대 이동량을 초과해서는 안된다.

교량의 회전은 경간장, 프리스트레싱 힘, 하중 및 교량의 침하 정도에 따라 다르며 회전의 크기는 받침종류를 선택하는데 매우 중요한 요소이다.

2.4.1 설계도에 기입해야 할 사항

교량받침의 설계도에는 설계된 받침의 검토, 시공시의 편리 및 유지관리 등을 위해 다음과 같은 사항을 기입해야 한다.

① 교량받침의 배치도(이동 및 회전 방향)
② 설계 하중
· 전설계에 의한 반력 : R
· 고정하중에 의한 반력 : Rd
· 활하중에 의한 반력 : $R\ell+i$
· 온도변화, 크리프, 건조수축의 영향에 의한 반력 : Rf
· 프리스트레싱에 의한 2차 반력 : Rp
· 지진하중(교축, 교축직각방향)에 의한 반력 : Re
· 풍하중에 의한 반력 : Rw

③ 설계 이동량

· 계산 이동량 : Δl

· 온도변화에 의한 이동량 : Δl_t

· 콘크리트의 크리프, 건조수축에 의한 이동량 : Δl_c, Δl_s

· 프리스트레스에 의한 콘크리트의 탄성 변형량 : Δl_p

· 거더의 처짐에 의한 이동량 : Δl_r

· 설치 여유량 : Δl_y

④ 가동받침의 설계 마찰계수 : f

⑤ 재료표(재질과 수량)

2.4.2 받침의 설계하중

교량받침의 설계하중은 지점반력 및 그 조합 중에서 가장 불리하게 되는 값을 사용하며, 그 외에 특별히 유의할 사항은 다음과 같다.

① 수직반력

동일 선상에 배치된 각 받침의 수직반력은 시공오차와 철근콘크리트 바닥판의 강성평가 등 해석상의 오차 등을 고려해서 최소 수직반력은 ΣR/n (ΣR : 동일선상의 각 받침의 수직반력의 합계, n : 받침의 수) 이상으로 한다.

② 수평반력

수직반력과 같은 이유로 해서 지진시 최소 수평반력은 ΣH/n (ΣH : 동일선상의 전수평반력) 이상으로 한다. 또 풍하중에 의한 수평반력에 대해서도 같은 식으로 배려하여야 한다.

2.4.3 받침의 설계 이동량

가동받침은 상부구조의 온도변화, 처짐, 콘크리트의 크리프 및 건조수축, 프리스트레싱에 의한 부재의 탄성변형 등에 의해 발생되는 이동량에 대해서 여유 있는 구조로 한다.

(1) 가동받침의 이동량(계산 이동량) 산정

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_s + \Delta l_c + \Delta l_r$$

여기서, Δl : 계산 이동량

Δl_t : 온도변화에 의한 이동량

Δl_s : 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량

Δl_c : 콘크리트의 크리프에 의한 이동량

Δl_r : 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 이동량

<표 510.9> 가동받침의 이동량 산정시 온도변화 및 선팽창계수

교 량 종 류	온 도 변 화		선팽창계수 (/℃)
	보통 지방	한냉한 지방	
PSC교, RC교	- 5℃ ~ +35℃	-15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
강교(상로교)	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
강교(하로교 및 강바닥판교)	-10℃ ~ +50℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}

<표 510.10> 건조수축, 크리프의 저감계수 (β)

콘크리트의 재령(월)	0.25	0.5	1	3	6	12	24
건조수축, 크리프의 저감계수(β)	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

① 온도변화에 의한 이동량

$$\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l$$

여기서, ΔT : 온도변화 (℃)

α : 선팽창계수(/℃)

l : 신축 들보 길이

② 콘크리트의 건조수축과 크리프에 의한 이동량

$$\Delta l_s = -20 \cdot \alpha \cdot l \cdot \beta$$

$$\Delta l_c = -\frac{P_i}{E_c A_c} \cdot \phi \cdot l \cdot \beta$$

여기서, β : 건조수축, 크리프의 저감계수

P_i : 프리스트레싱 직후의 PS 강재에 작용하는 인장력

A_c : 콘크리트의 단면적

E_c : 콘크리트의 탄성계수

ϕ : 콘크리트의 크리프계수 (=2.0)

20 : 건조수축에 상당하는 온도변화

③ 거더의 처짐에 의한 이동량(활하중에 기인)[<그림 510.2> 참조]

$$\Delta l_r = \sum (h_i \times \theta_i)$$

여기서, h는 보 높이의 ⅔, θ는 강교에서 1/150, 콘크리트교에서 1/300 이다.

가동받침은 설계이동량과 최대회전각에 대하여 설계되는 것이므로 설치시 온도, 콘크리트 재령, 가설상황 등에 의하여 상·하부받침의 위치를 결정하여야 한다. 즉, 일반적으로 설계에 나타낸 표준온도하의 활하중이 재하되지 않은 상태에서 콘크리트의 건조수축, 크리프가 완료되었을 때 상·하부받침 중심이 일치하도록 설치한다. 또한 현장타설 PSC교 등은 프리스트레싱에 의한 탄성변형도 고려하여야 하므로 가동받침 상·하부판의 중심간 간격은 설치시의 상태에 따라 다음과 같이 수정된다.

$$l_m = l + \Delta l_d + \Delta l_t' + \Delta l_s + \Delta l_c + \Delta l_p$$

$$\delta = l_m - l = \Delta l_d + \Delta l_t' + \Delta l_s + \Delta l_c + \Delta l_p$$

여기서, l : 받침 설치완료시의 신축 주형 길이

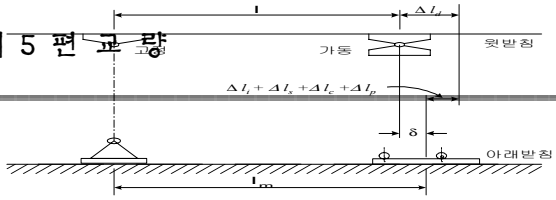
l_m : 가동받침의 하부받침 중심과 고정받침의 하부받침 중심간 거리

δ : 가동받침에서 상, 하부받침중심간 간격

Δl_d : 받침 설치완료 후 작용하는 고정하중에 의한 이동량

$\Delta l_t'$: 표준온도를 기준으로 한 온도변화에 의한 이동량

이때, <그림 510.6>에 나타낸 바와 같이 보가 신장되는 방향을 정(+)으로 한다.



<그림 510.6> 받침 위치의 산정

(2) 설계 이동량

설계 이동량 = 계산 이동량 + 설치 여유량
+ 부가 여유량

가동받침의 이동량 산정에는 상기의 계산 이동량 외에 설치할 때의 오차와 하부구조의 예상밖의 변위 등에 대처할 수 있도록 여유량을 고려하여야 한다. 이 여유량은 교량의 규모에 따라 다른데, 도로교설계기준에서는 일반 중소지간 교량의 경우에 설치 여유량 ±10mm, 부가 여유량 ±20mm, 합계 ±30mm로 보고 있다. 다만, 받침의 구조 계산시 설치 여유량 ±10mm는 반드시 고려하여야 한다.

2.4.3 받침의 배치

받침의 배치는 상부구조물의 재료적 성질이나 교량구조물에 작용되는 다양한 외력들로 인하여 발생되는 각종 하중을 확실하게 전달할 수 있도록 고려한다. 따라서 교량 상·하부구조의 형식이나 치수 등을 고려해서 상부구조의 하중이 하부구조로 무리 없이 전달될 수 있도록 계획한다.

사교 및 곡선교의 거동을 정확하게 파악하기 위해서는 3차원 해석이 필수적이다.

일반적으로 해석이나 설계시에 단순성과 정확성을 충분히 감안하여 보다 경제적이면서도 정도를 잃지 않는 해석 및 설계방법을 선택하는 것이 설계자의 고민거리가 되며, 사교의 경우 사각 70°정도를 기준으로 해서 사각을 고려하는 해석과 고려하지 않는 해석으로 구분한다. 따라서 설계대상 교량의 평면선형, 종구배 및 횡구배, 받침의 종류 등을 종합적으로 판단하여 적합한 해석 및 설계방법을 선택하여야 한다.

곡선교의 경우, 특히 램프교와 같이 곡률반경(R)이 매우 작은 경우(약 R=100m 이하)에 단부의 받침에 부반력이 발생할 가능성이 있다.

3차원 해석결과 임의의 받침(특히 곡선교의 단부 받침)에 부반력이 발생할 경우는 받침간격을 조정한다거나 받침부 높이를 조정하는 방법 등으로 부반력의 발생을 제한한다. 또한, 큰 효과를 기대하기는 어렵지만 탄성받침의 경우에는 받침반력을 다소 분배시킬 수 있어 다소 유리한 측면이 있는 등 받침의 종류에 따라서도 반력의 분배양상이 달라질 수도 있다.

사교의 경우는 사각의 정도가 매우 심한 경우를 제외하고는 대부분 부반력이 발생하지는 않는다. 그러나, 둔각부에 상대적으로 하중 (고정하중·활하중)이 집중되는 현상이 발생하게 되므로 적절한 단부보강이 이루어져야 하며, 받침규격 선정시에도 최대 받침반력의 산정에 주의를 기울여야 한다.

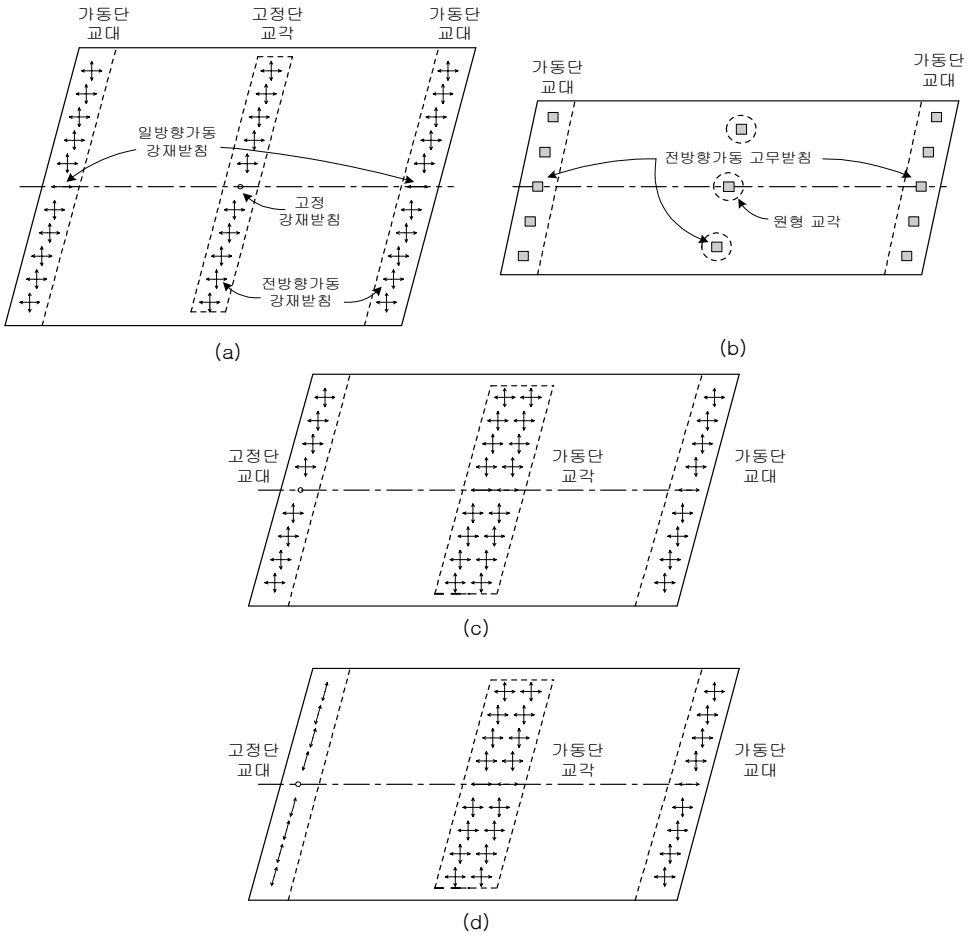
또한, 받침의 배치방향은 고정단의 일방향 가동받침의 이동방향을 사각방향으로 배치하는 것이 받침의 거동을 확실하게 할 수 있어 받침 설계개념과 부합할 뿐만 아니라, 상부 슬래브의 온도상승에 의한 단부의 변형량을 줄여 줄 수 있어 신축이음장치의 전단변형량이 감소되

는 효과도 기대할 수 있다.

(1) 사교의 교량받침 배치

사교의 경우 가동받침의 이동방향과 회전방향이 서로 일치하지 않는다. 이와 같은 경우 전방향 회전이 가능한 받침을 사용하는 것이 좋다. 이때 받침의 이동방향은 교량의 중앙선에 평행하게 설치되어야 하며, 사각의 교대나 교각에 대해 직각방향이어서는 안된다. 널리 적용되는 배치방식을 <그림 510.7(a),(b)>에 나타내었다.

<그림 510.7(c)>는 단순거더를 지점부에서 연결하여 연속교로 한 거더교의 받침 배치방법인데, 교량의 바닥판이 고정점에 대해 방사상으로 신축이 발생하므로 교각이나 교대에서 큰 수평력이 발생할 우려가 있다. 따라서, 사각이 있고 폭이 넓은 교량에서는 <그림 510.7(a)>와 같이 설치하거나 고정단에서 이러한 받침을 사용하는 경우에는 <그림 510.7(d)>와 같이 배치하므로써 신축에 의해 발생되는 수평력을 완화시켜 주는 것이 바람직하다.



<그림 510.7> 사교에서의 받침 배치법

(2) 곡선교의 교량받침 배치

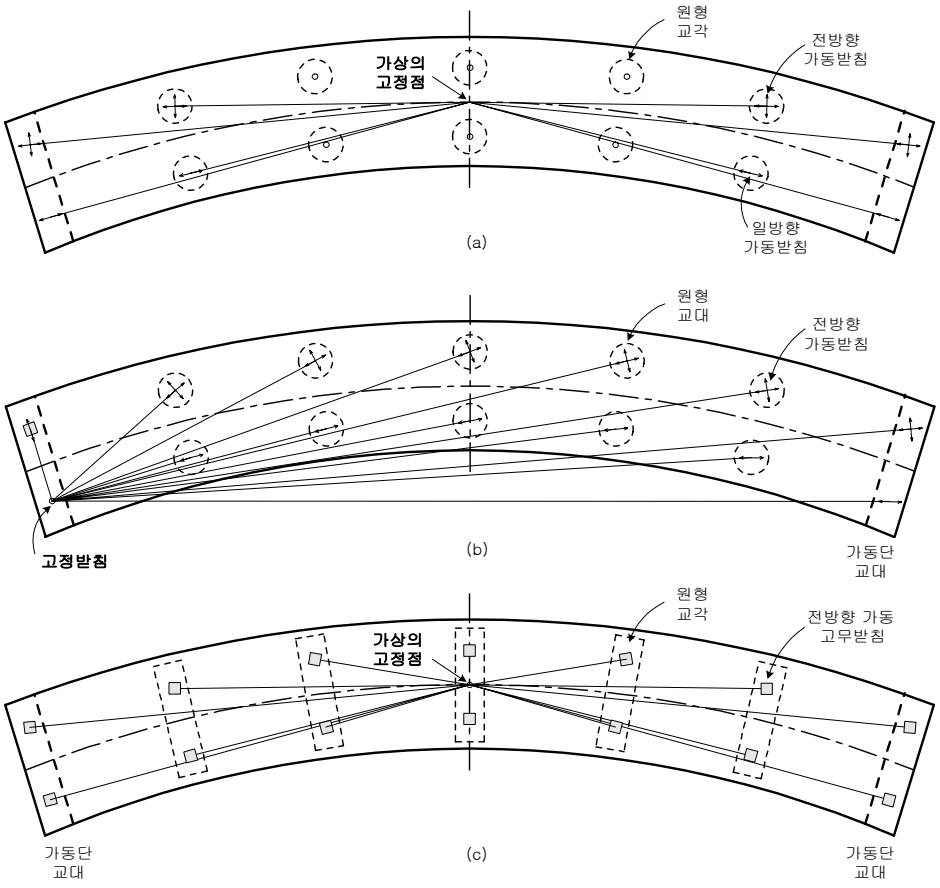
곡선교에서 가동받침의 이동방향은 고정받침에서 방사상의 현방향으로 설치하거나 곡선반경에 대해 접선방향으로 설치한다. 일반적으로 접선방향의 이동방향은 곡률이 일정한 교량에 가장 적합하며, 현방향 설치는 곡률이 일정하거나 변화하는 교량 모두에 적용된다.

<그림 510.8(a)>는 곡선교 받침 배치의 한 예로써 구조물은 휨강성이 작은 원형교각에 지지되어 있고 내부 6개의 교각에 고정받침이 설치되어 있다. 이론적인 고정점은 중앙의 2개 교각사이에 있으며, 모든 일방향 가동받침은 이 점을 향해 설치된다.

<그림 510.8(b)>는 교대에 고정점을 배치한 형태로서 교대의 휨강성이 크므로 하나의 받침만을 고정으로 하고 나머지는 전방향 가동받침으로 한다.

<그림 510.8(c)>는 구조물을 고무받침으로 지지하는 경우로서 고정점은 중앙교각의 중앙에 있는 고정핀 받침이 된다.

이들 배치형태와는 대조적으로 <그림 510.9>는 접선방향으로 이동방향을 정한 것이다. <그림 510.9(a),(b)>는 강성이 강한 중앙교각을 가진 구조물의 받침배치를 나타낸 것이다. 중앙교각과 교대사이의 휨강성이 작은 교각에는 외력에 대해 안정성을 갖도록 일방향 가동받침들을 설치한다.



<그림 510.8> 곡선교에서의 현방향 배치법

<그림 510.9(c)>에서는 상부구조가 강성이 강한 교각에 의해 지지되어 있으며, 접선방향의 이동과 외력이 모든 교각위에 균일하게 설치된 일방향 가동받침에 의해 조절된다.

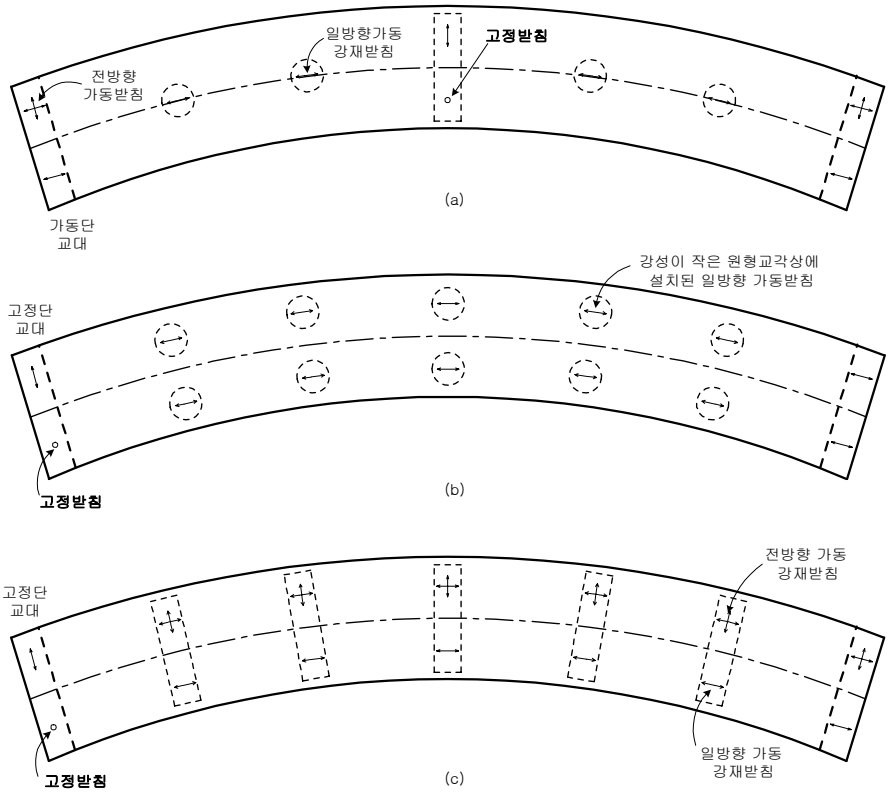
한편, 곡선교의 해석은 휨-비틂 이론에 의하는 것이 일반적이지만, 설계계산이 매우 복잡하다. 따라서 곡선반경 200m정도 이상, 한경간의 곡선 원호각이 30° 이하인 곡선 박스거더교인 경우에는 곡선장을 경간으로 하는 직교로 치환해서, 그 전폭에 활하중의 주하중을 재하시켜 설계해도 좋다[도・설 15.1절]. 또, 폐단면 상부구조의 경우 중심각 12° 이하 일 때, 개단면 상부구조일때는 중심각이 2°~5° 보다 작은 지간에서는 곡률의 영향을 무시할 수 있다고 명시하였다[도로교표준시방서, 부록편-3.6.1.2].

2.5 낙교방지장치

낙교방지장치는 주로 상하부 구조가 교량받침을 매개로 하여 결합되는 형식의 교량을 대상으로 한다. 이러한 교량에 대해서는, 각 교량의 동적거동을 고려하고, 상부구조의 낙하라고 하는 사태를 초래하지 않도록 신중히 검토할 필요가 있다.

2.5.1 개요

낙교방지장치는 가동단의 받침에서 최소받침 지지길이가 확보되지 않는 경우에 설치하는 것이 원칙이며, 낙교방지장치가 설치되더라도 접촉면이 설계지진이나 온도신장에 의해 발생하는 변위 이상으로 이격되어야 한다.



<그림 510.9> 곡선교에서의 접선방향 배치법

(1) 일반적인 낙교방지장치의 종류

낙교방지장치에는 여러 가지 방식이 있으나 크게 다음과 같이 4가지 방식으로 구별한다.

① 최소받침지지길이 확보

고정단 받침에는 필요없으며 가동단 받침의 이동방향으로 최소받침지지길이를 확보해야 하며, 최소받침지지길이가 부족한 경우에는 <그림 510.10>과 같은 방법으로 이를 확보할 수 있다.

한편, 도로교설계기준에 의하면 최소받침지지길이는 다음 식에 규정된 값과 설계지진변위에 의한 값 중 큰 값을 취하도록 하고 있다.

$$N = (200 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125\theta^2) \quad \text{(mm)}$$

여기서,

L : 인접 신축이음부까지 또는 교량단부까지의 거리(m) 다만, 지간 내에 힌지가 있는 경우의 L은 힌지 좌, 우측방향의 거리인 L1과 L2의 합으로 함

H : 다음 각 경우에 대한 평균 높이(m)

교대 : 인접 신축이음부의 교량상부를 지지하는 기둥의 평균높이.
단경간교의 평균높이는 0으로 한다.

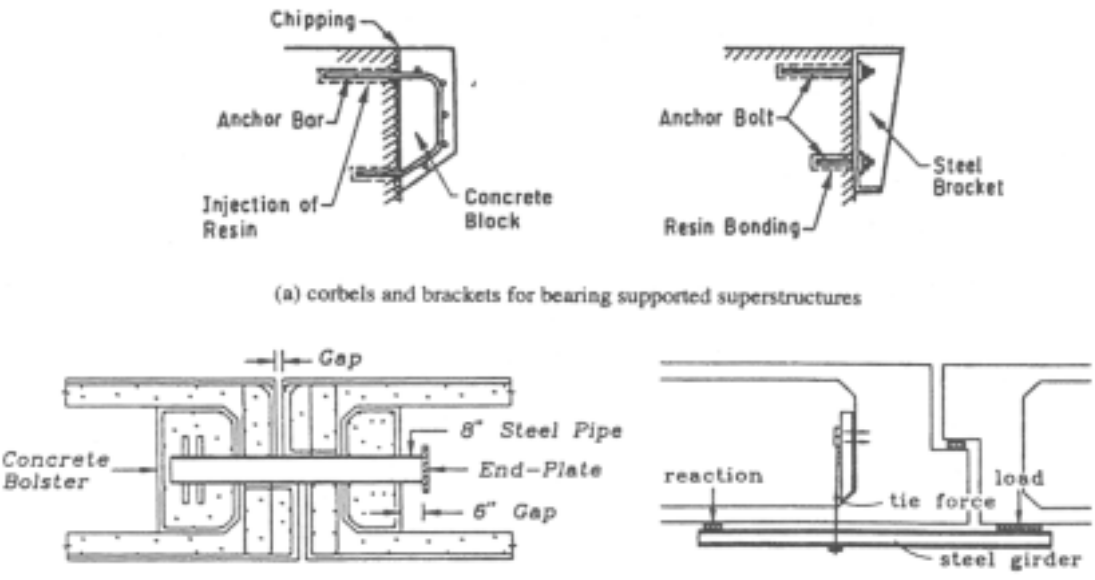
기둥 또는 교각 : 기둥 또는 교각의 평균높이

지간내의 힌지 : 인접하는 양측 기둥 또는 교각의 평균높이

θ : 받침선과 교축직각방향의 사잇각

② 낙교방지키 설치

낙교방지키는 <그림 510.11>과 같이 돌출형 블록을 사용하는 단순한 방식으로서 전단키(shear key)와 유사한 형태이나 이와 구별하기 위하여 '낙교방지키'라고 한다. 낙교방지키는 최소이격거리를 확보하여야 하며, 설계하중은 일본의 경우 고정하중 반력의 1.5배로 취하도록 하고 있으나, 국내의 경우에는 아직 규정되지 않은 상태이다. 또한 미끄럼판이 없는 일반



<그림 510.10> 최소받침지지길이 확보 방안

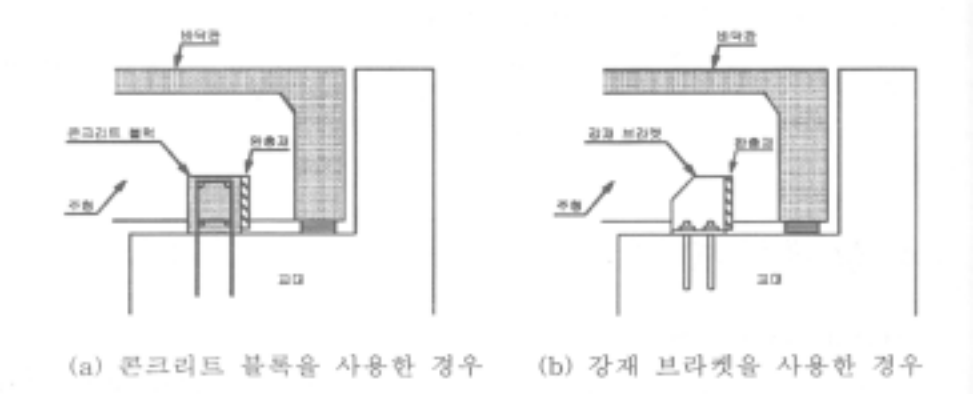
적인 탄성받침을 사용하는 경우에는 탄성받침이 설계지진에 대하여 설계되므로 별도의 낙교방지장치가 필요 없으나 발생변위에 대한 안전측의 대처방안으로 낙교방지키를 설치하는 경우에는 접촉면이 설계지진이나 온도신축에 의해 발생하는 변위보다 이격되어야 한다.

③ 주형과 하부구조를 연결케이블 등에 의하여 구속하는 장치

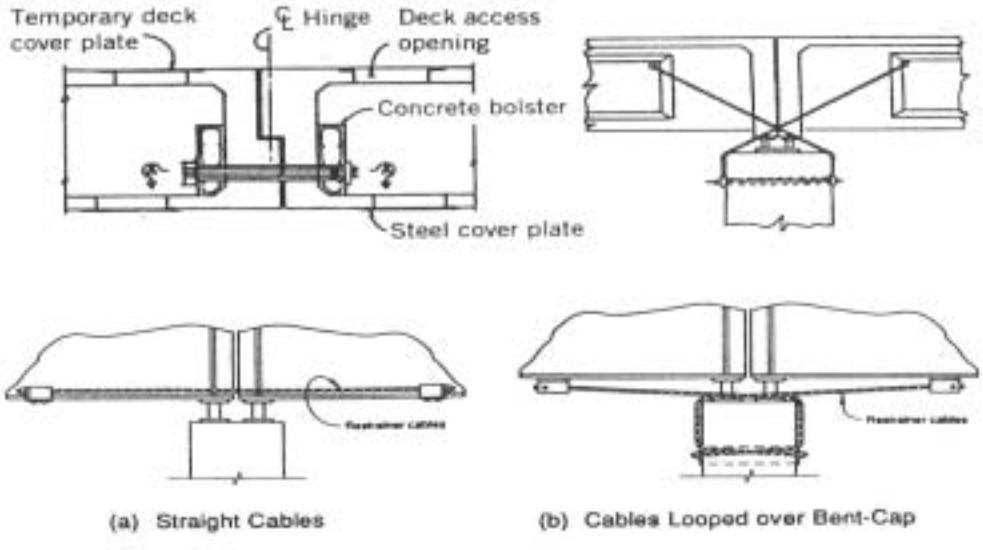
구속장치의 형태는 <그림 510.12>와 같으며, 구속장치나 낙교방지키를 사용할 때는 하부교각에 지진수평력이 전달되므로 이에 대한 검토를 병행하여야 한다.

④ 주형과 주형을 연결하는 장치

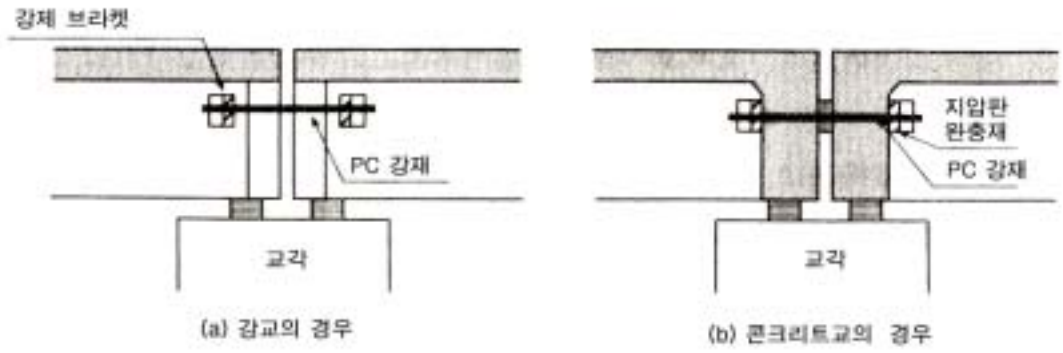
주형과 주형간을 연결하는 장치는 <그림 510.13>과 같다.



<그림 510.11> 낙교방지키의 설치



<그림 510.12> 주형과 하부구조를 연결하는 구속장치



<그림 510.13> 주형과 주형간을 연결하는 장치

(2) 고속도로교량의 내진설계지침

한국도로공사의 내진설계 지침에 의하면 낙교방지장치의 종류는 다음과 같이 구분하고 있다.

① 받침부 상부가 하부에서 이탈되지 않게 설치된 이동제한장치
② 최소 받침 연단 거리를 확보한 경우
③ 거더와 거더를 연결한 구조
④ 교대 또는 교각과 거더를 연결한 구조
⑤ 교대나 교각 또는 거더에 돌기를 설치한 경우

(3) 일본 도로교시방서

지진발생이 빈번한 일본의 경우, 1995년 고베지진에서는 낙교방지구조도 많은 피해를 입었다. 이에 따라 종래에는 최소지지길이, 낙교방지장치 및 가동받침의 이동제한장치로 구성된 바 있던 낙교방지구조를 재정리하여, 각 구성요소의 역할을 명확히 하고, 최소지지길이, 낙교방지구조, 변위제한구조, 그리고 단차방지구조로 구성되는 것을 낙교방지 시스템이라고 통칭하고, 낙교방지 시스템을 구성하는 각 요소에 요구되는 기능은 다음과 같이 분류하고 있다. 여기서 낙교방지구조라고 하는 용어는 종래의 낙교방지장치와 거의 동일하지만, 약간 좁은 의미로 사용되고 있다.

① 최소지지길이 :

하부구조 및 교량받침이 파괴되고, 상하부구조에 예상치 못한 큰 상대 변위가 발생한 경우에도 낙교는 방지한다.

② 낙교방지구조 :

최소지지길이와 동일하게, 하부구조 및 교량받침이 파괴되어 상하부구조 사이에 최소지지길이를 넘어서는 변위가 발생하지 않도록 한다.

③ 변위제한구조 :

이는 지진시 관성력에 저항하는 것을 목적으로 한 것으로, 교량받침이 손상한 경우에 상하부구조의 상대변위가 크지 않도록 하기 위한 구조이다.

④ 단차방지구조 :

받침의 높이가 큰 강재받침 등이 파손된 경우에, 노면에서 차량의 통행이 곤란하게 되는 단차가 발생하는 것을 방지한다.

2.5.2 낙교방지장치의 설치를 위한 검토가 필요한 경우

(1) 고속도로교량의 내진설계지침

낙교방지장치의 설치에 대한 한국도로공사의 내진설계지침에 따른 원칙은 다음과 같다.

① 받침의 이동제한장치 및 받침의 최소지지거리는 모든 교량에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 단 강제교각인 경우 받침의 최소지지 거리 확보는 거더간의 연결장치, 교대 또는 교각과 거더의 연결장치 및 교대, 교각 또는 거더에 돌기를 설치한 장치 중 1가지를 설치하면 [도·설 6.4.8 설계 변위]에 의한 규정을 만족시키지 않아도 좋다.

② 거더간의 연결장치, 교대 또는 교각과 거더를 연결한 것 및 교대, 교각 또는 거더에 돌기를 설치한 것 중에서 다음의 교량에 해당되면 이중 낙교방지장치를 가동단에 설치하는 것으로 한다.

가. 구조상 비교적 낙교하기 쉬운 교량

나. 낙교할 경우 피해 및 영향이 큰 교량

(2) 일본 도로교시방서

일본 도로교시방서의 경우 낙교방지시스템을 설치하는 교량은, 주로 상하부 구조가 교량받침을 매개로 하여 결합되는 형식의 교량을 대상으로 하고 있으며, 상로식 아치교, 사장교 등을 포함하여 일률적으로 규정하는 것은 아니라고 되어 있다. 또한 이러한 교량에 대해서는, 각 교량의 동적거동을 고려하고, 상부구조의 낙교라고 하는 사태를 초래하지 않도록 신중히 검토할 필요가 있으며, 과거의 지진피해 경험으로부터 다음과 같은 교량에 대해서는 특별히 주의하여 낙교방지시스템에 대한 검토가 필요하다고 언급하고 있다.

① 하부구조가 변형을 일으킬 가능성이 있는 지반에 설치되는 교량

지진시에 변형을 일으킬 가능성이 있는 지반에 설치되는 하부구조는, 지반의 액상화 및 유동화, 연질 점토층의 미끄러짐 등에 의해 큰 변위가 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우에는, 동적 해석 결과를 참고하여 최소지지길이 및 낙교방지구조의 강도를 결정하는 것이 바람직하다.

② 하부구조의 형식, 지반조건 등이 현저하게 다른 교량

한 개의 교량에 있어서 서로 다른 형식의 하부구조를 설계하는 경우, 혹은 동일한 형식의 하부구조라도 지반조건이 현저하게 다른 경우 등에서는 지진시 교량의 거동이 복잡하게 된다. 따라서, 이와 같은 교량에 대해서는 동적 해석 결과를 참고하여 최소지지길이를 결정하는 것이 좋다. 또한, 구조형식의 선택에 관계되는 사항이나, 이러한 위치에 교량바닥판이 연결되는 것을 피하고, 연속구조로 하는 방법이 바람직한 경우도 있으므로 기본설계 단계에서부터 이러한 점을 고려하는 것이 좋다.

③ 인접하는 상부구조의 형식 및 규모가 현저하게 다른 교량

서로 인접하는 상부구조의 형식 및 규모가 현저하게 다른 교량에서는, 설계진동단위 마다 서로 상이한 위상차로서 진동하기 때문에 큰 상대변위가 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우에는 서로 인접하는 상부구조 사이를 서로 연결하는 형태의 낙교방지장치는 피하는 것이 좋다. 또한, 적합한 동적 해석 결과를 참고하여 바닥판간의 충돌에 대한 영향도 고려해서 최소지지길이에 여유를 갖게 하는 것이 좋다. 일반적으로 이와 같은 배려가 필요한 교량으로서는, 서로 인접하는 교량의 중량 비가 2배 이상,

또는 2개의 설계진동단위의 고유주기 비가 1.5 배 이상이 되는 교량의 경우이다.

④ 교각이 상당히 높은 교량

교각이 상당히 높은 교량에서는, 고유주기가 길기 때문에 큰 최소지지길이가 필요하게 되는 경우가 있다. 이와 같은 교량에서는 적합한 동적 해석 결과를 참고하여 최소지지길이를 검토해야 한다.

⑤ 사교 및 곡선교

사교에서는 지진시 상부구조에 연직축에 대한 회전이 발생하는 등의 복잡한 거동이 나타나는 경우가 있다. 특히, 사각이 큰 경우 상부구조의 회전으로 인한 상부구조의 단부가 하부구조의 연단으로부터 어긋나 낙교할 가능성이 있다. 또한, 곡률이 큰 교량에 있어서도 상부구조의 회전 및 곡선 외측으로의 변위가 발생하기 때문에 큰 피해가 발생하는 경우가 있다. 이러한 형상을 갖는 교량에서는 직교와는 달리 상부구조의 비틀림이 일어나기 쉽고 이에 따른 비틀림 모드의 영향이 크므로 적합한 동적 해석 결과를 참고하여 최소지지길이를 결정함과 동시에 교축방향만이 아니라 교축직각방향으로도 낙교방지장치를 설치하여야 한다.

⑥ 하부구조의 상부 폭이 협소한 교량

가로보가 없는 교각처럼 하부구조의 상부 폭이 좁은 교량은 교량받침이 파괴되면 교축 직각방향으로 낙교할 가능성이 높으므로, 일반적으로 내진 설계상 바람직하지 않는 구조이다. 어쩔 수 없이 상부 폭이 협소한 하부구조를 적용하는 경우에는 적합한 동적 해석 결과를 참고하여 낙교방지구조를 설치하여야 한다. 또한, 교축방향만이 아니라 교축직각방향에도 변위제한구조를 설치해야 한다.

⑦ 교각내의 동일 받침선상에 받침수가 적은 교량

교각내 동일 받침선상에 한 개의 받침으로만 지지되는 교량에서는 교량받침이 손상되면 상부구조가 교축직각방향으로 낙교할 가능성이 높다. 따라서, 교축방향만이 아니라 교축직각방향에도 변위제한구조를 설치해야 한다.

참고문헌

1. 건설교통부, “강도로교 상세부 설계지침”, 1997
2. 건설교통부, “건설공사의 설계도서 작성기준”, 1998
3. 건설교통부, “도로교설계기준“, 2000
4. 건설교통부, “도로교표준시방서”, 1996
5. 건설교통부, “도로부대시설 (교량부대시설편)”, 1998
6. 건설교통부, “도로설계편람(1)”, 1999
7. 건설교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침“, 1998. 10
8. 건설교통부, “도로의 구조・시설기준에 관한 규칙-해설 및 지침”, 2000
9. 건설부, “콘크리트 교량 가설 특수공법 설계・시공・유지관리 지침”, 1994
10. 과학기술부, “토목시설물의 건설 프로세스 규명”, 1998. 8
11. 서울특별시, “시설물 설계 및 시공 편람, 2권 소규모 강교”
12. 신현묵, “프리스트레스트 콘크리트(제4판)”, 동명사, 1999
13. 신현묵, 문제길, “철근콘크리트”, 동명사, 1991
14. 조효남, “교량공학”, 구미서관, 2000
15. 한국 콘크리트학회・대한건축학회, “콘크리트구조설계기준”, 건설교통부, 1999
16. 한국강구조학회, “강구조공학”, 2000
17. 한국건설기술연구원, “경제적인 PS 콘크리트교량 건설공법에 관한 연구”, 1986
18. 한국건설기술연구원, “교량의 계획설계에 관한 연구”, 1990
19. 한국건설기술연구원, “프리캐스트 PS 콘크리트 교량의 설계에 관한 연구”, 1992
20. 한국도로공사, “고속도로 교량의 내진설계편람“, 2000
21. 한국도로공사, “교량설계실무편람-강교편”
22. 한국도로공사, “도로설계실무편람 - 제4편 구조물공”, 1996
23. 한국도로공사, “도로설계요령 제3권 교량”, 1992
24. 한국도로공사, “설계실무자료집”, 1998
25. 황학주, “최신교량공학”, 동명사, 1994
26. 日本道路協會, “鋼道路橋設計便覽”, 1980
27. 日本道路協會, “道路橋 示方書・同解說”, 1994
28. 日本土木學會, “鋼構造物設計指針 Part A (一般構造物), Part B(特殊構造物)”, 1987
29. 中井 博, 北田俊行, “鋼橋 設計 基礎”, 1992
30. “土木構造物設計シリーズ橋臺・橋脚の設計2-上“, 1980, 才 ーム
31. AASHTO, “Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridge“, 1989
32. AASHTO, “Standard Specifications for Highway Bridges (16th Edition)“, 1996
33. Collins, P. M. and Mitchell, D., “Prestressed Concrete Structures”, Prentice Hall, 1991
34. “DIN 1075”, 1981
35. Hambly, E. C., “Bridge Deck Behavior“,

E& FN SPON, 1991

36. Heins, C. P. and Lawrie, R. A., “Design of Modern Concrete Highway Bridges“, John Wiley & Sons, 1984
37. Menn, C., “Prestressed Concrete Bridges“, Bikhauser Verlag, 1986
38. Nawy, E. G., “Prestressed Concrete - A Fundamental Approach“, 2000
39. Podolny Jr., W. and Muller J. M., “Construction and Design Prestressed Concrete Segmental Bridges“, John Wiley & Sons, 1982
40. “Post-Tensioned Box Girder Bridge Manual“, PTI, 1994
41. Taly, N., “Design of Modern Highway Bridges“, McGraw-Hill, 1998
42. Tonias, D. E., “Bridge Engineering“, McGraw-Hill, 1995
43. Xanthakos, P. P., “Theory and Design of Bridges“, John Wiley & Sons, 1994

색 인

(ㄱ)

가교각 508-40, 508-83
가설고정장치 508-79
감쇠장치 509-13
강도설계법 505-2
강바닥판 506-26
강박스거더교 506-153
강역 507-9
강재의 허용응력 506-3
강판두께의 허용차 506-3
건조수축 510-10
격벽 507-13, 508-163, 508-212
격자이론 507-1, 507-12, 507-13
경간분할 503-1, 508-4, 508-34, 508-59
고장력볼트 506-12
고정하중 505-7
곡선교 506-59
교각 브래킷 508-27
교량계획 502-1, 503-1
교량등급 507-25
교량받침 510-12
교량설계편람 501-1
교량해석 505-10, 508-10, 508-24, 508-72
교량해석방법 505-11, 508-10
교량해석프로그램 505-12
교량형식선정 503-1
교좌부 509-1
구조시설기준 503-3
구체부 509-1
그라우트 508-3
극한한계상태 505-3
근입깊이 509-3
기본설계 502-2
기초두께 509-88
기초부 509-1
긴장공법 508-6
긴장재 도심 508-22

(ㄴ)

낙교방지장치 510-22
날개벽 509-1
내진등급 509-10

(ㄷ)

다리밑 공간 509-2
다이아프램 506-48
단면력 507-5
단부수직브레이싱 506-41
단일고정방식 508-53
독립확대기초 509-90
뒷부벽식 교대 509-2

(ㄹ)

라멘 507-7
라멘교 507-7, 508-50
라멘식 교대 509-2

(ㅁ)

마찰계수 509-21
모멘트저항교각 508-55
물리검층 504-6
물리탐사 504-6

(ㅂ)

바각판경간 507-15
바닥틀 506-28
바닥판 507-15, 508-14, 508-35
508-99
바닥판 연속처리 508-18
박스거더교 507-13
박스거더의 횡단면 치수 508-9
반중력식 교대 509-1
받침 505-8
받침부의 설계 506-45
받침연단거리 509-84
받침의 배치 510-19
받침의 설계이동량 510-17, 510-19
받침의 설계하중 510-17
배력철근 507-18
보강재 506-35
보강철근 508-42
복부판 506-34
복수고정방식 508-53
부벽식 교대 509-26
분배수직브레이싱 506-38
브레이싱 506-7

(ㅅ)

사각 507-4, 507-12
사교 506-56
사면경사 509-3
사용강재 506-1
사용성 설계 508-13
사용성 507-29
사용한계상태 505-3
상자형교 506-45
선형 508-33
설계기준 505-5
설계도서 502-7
설계등급 505-7
설계방법 505-1
설계신축량 510-11
설계지반운동 509-9
설계지진 509-10
설계하중 505-7, 508-24
세그먼트 분할 508-35, 508-61
세그먼트 이음부 508-84
세그먼트의 가접합 508-42
소성힌지 509-88
솟음곡선 508-78
수평브레이싱 506-43
쉬스 508-2, 508-69
스토퍼방식 508-54
스펙트럼해석 507-85
슬래브교 507-4
신축량 510-4, 510-10
신축이음 505-9
신축이음장치 510-1

실시설계 502-3

(ㅇ)

안정성 508-36
압출노즈 508-37
역T형식 교대 509-2
연결 506-7
연성단주교각 508-56
연성양주교각 508-55
연속거더교 508-53
연속압출공법(ILM) 508-32
연속형교 507-14
온도변화 510-6, 510-10
용접이음 506-8
유동파괴(flow failure) 509-14
유효단면적 506-16
유효플랜지폭 508-9
윤하중분포폭 508-162
응답수정계수 509-11
이동식비계(MSS)공법 508-23
2차모멘트 508-21
2차응력 508-103
이탈장치(knock-off) 509-19

(ㅈ)

저항계수 509-84
전단키 508-85, 508-89
절대최대모멘트 508-102
접속장치 508-2
정착구역 508-17, 508-22
정착장치 508-2, 508-17
조사계통 504-3
중간수직브레이싱 506-41
중력식 교대 509-1
지점침하 508-41
지점회전변위 510-11
지진격리받침 509-13
지진구역계수 509-9
직교이방성판이론 507-13
진행성연화현상 509-14

(ㅊ)

처짐곡선 508-30, 508-78
처짐제한 507-2
철근콘크리트 바닥판 506-23
최소 받침지지길이 509-19
추진코 508-207
축선 507-9

(ㅋ)

캔틸레버공법(FCM) 508-49
크리프 510-11

(ㅌ)

타당성조사 502-1
토압계수 509-23
T형교 507-11

(ㅍ)

판이론 507-1, 507-6
프레임해석 507-6
프리스트레스의 손실 508-11, 508-41
프리스트레스트 콘크리트 508-1
플랜지 506-34

플레이트거더교 506-30, 506-68
피로 507-3
PS강재 508-2
PS강재배치 508-159
PS강재의 배치 508-9, 508-20, 508-26, 508-42, 508-62
PSC 거더 508-100
PSC 슬래브교 508-19
PSC 합성거더교 508-13
PSC교량 508-1
PSC교의 가설공법 508-1, 508-4
PSC교의 복부 508-8, 508-35
PSC교의 종단면 유형 508-5, 508-58
PSC교의 하부플랜지 508-8, 508-35
PSC교의 횡단면 유형 508-5, 508-57

(ㅎ)

하중저항계수설계법 505-3
허용응력설계법 505-1
허용피로응력 506-6
헌치 507-5
형고비 508-7, 508-34, 508-58
활하중 505-7
휨균열 507-2
흉벽부 509-1

제 6 편 터 널

목 차

601 총론

601.1 적용범위 ····· 601-1
601.2 계획 및 설계 일반사항 ····· 601-1
601.3 용어의 정의 ····· 601-2
601.4 참조법규 ····· 601-6

602 기본계획

602.1 계획의 기본 ····· 602-1
1.1 계획의 기본 ····· 602-1
1.2 터널계획과 조사 ····· 602-1
1.3 터널계획과 환경 ····· 602-1
602.2 터널의 기본계획 ····· 602-2
2.1 평면선형 계획 ····· 602-2
2.2 종단선형 계획 ····· 602-6
2.3 내공단면 계획 ····· 602-9
2.4 방수계획 ····· 602-17
2.5 부속설비 계획 ····· 602-17
2.6 계측계획 ····· 602-18

603 조사 및 시험

603.1 조사일반 ····· 603-1
1.1 조사의 원칙 ····· 603-1
1.2 조사의 구분 ····· 603-1
603.2 조사흐름 ····· 603-2
603.3 입지환경 조사 ····· 603-4
3.1 지형조사 ····· 603-4
3.2 환경조사 ····· 603-4
3.3 지장물 조사 ····· 603-5
3.4 사토장 조사 ····· 603-6
3.5 수문조사 ····· 603-6

3.6 공사용 설비조사 ····· 603-6
3.7 보상조사 ····· 603-7
3.8 관계법규 조사 ····· 603-7
603.4 지반조사 ····· 603-7
4.1 지반조사 일반 ····· 603-7
4.2 기존자료 조사 ····· 603-8
4.3 현장답사 ····· 603-9
4.4 지표 지질조사 ····· 603-9
4.5 시추조사 ····· 603-10
4.6 시험터널 조사 ····· 603-11
4.7 지구물리탐사 ····· 603-11
4.8 시추공내 탐사 ····· 603-13
603.5 시공중 보완조사 ····· 603-14
5.1 터널 막장관찰 ····· 603-14
5.2 수평시추 ····· 603-15
5.3 터널내 탄성파 탐사 ····· 603-15
603.6 시 험 ····· 603-15
6.1 현장시험 ····· 603-15
6.2 실내시험 ····· 603-16
603.7 지반조사 성과의 정리 ····· 603-20
7.1 지반분류 ····· 603-20
7.2 조사결과의 정리 ····· 603-28

604 설계일반

604.1 터널설계의 기본개념 ····· 604-1
1.1 터널굴착과 지반거동 특성 ····· 604-1
1.2 NATM 개념의 터널공법 ····· 604-2
604.2 터널설계의 기본방향 ····· 604-2
2.1 터널설계의 목표 ····· 604-2
2.2 터널설계의 수행방향 ····· 604-3
604.3 설계방법의 선정 ····· 604-3
3.1 설계방법의 선정시 고려사항 ····· 604-3
604.4 설계의 기본요건 ····· 604-4

605 터널 지보재

605.1 터널 지보재의 설계일반 ····· 605-1
1.1 지보재의 역할 ····· 605-1
1.2 지반거동과 지보재의 상관관계 ····· 605-2
1.3 지보재 형상 및 규격의 선정 ····· 605-3
1.4 지보재로서의 콘크리트 라이닝 ····· 605-14
605.2 강지보재 ····· 605-17
2.1 강지보재의 사용 목적 ····· 605-17
2.2 강지보재의 재질 ····· 605-18
2.3 강지보재의 단면 형상 및 치수 ····· 605-19
2.4 강지보재의 이음 및 설치간격 ····· 605-22
2.5 강지보재의 간격재와 바닥판받침 ····· 605-24
605.3 숏크리트 ····· 605-27
3.1 숏크리트의 사용 목적 ····· 605-27
3.2 숏크리트 설계시 고려사항 ····· 605-27
3.3 숏크리트의 타설 방법 ····· 605-29
3.4 숏크리트의 배합 및 강도 ····· 605-31
3.5 숏크리트의 두께 ····· 605-34
3.6 섬유보강 숏크리트 ····· 605-35
605.4 록볼트 ····· 605-37
4.1 록볼트의 사용 목적 ····· 605-37
4.2 록볼트 설계시 고려사항 ····· 605-37
4.3 록볼트의 재질 및 형상 ····· 605-39
4.4 록볼트의 정착방법 ····· 605-41
4.5 록볼트의 배치 및 길이 ····· 605-45
605.5 철망 ····· 605-48
5.1 철망의 사용 목적 ····· 605-48
5.2 철망의 재질 및 규격 ····· 605-48
5.3 철망의 이음부 ····· 605-48

606 콘크리트 라이닝

606.1 콘크리트 라이닝 설계일반 ····· 606-1
1.1 콘크리트 라이닝의 역할 ····· 606-1
1.2 콘크리트 라이닝의 재료 및 강도 ····· 606-3
1.3 콘크리트 라이닝의 형상 ····· 606-3

1.4 콘크리트 라이닝의 두께 ····· 606-4
1.5 인버트 형상 및 설치 ····· 606-6
1.6 균열 방지 대책 ····· 606-6
606.2 콘크리트 라이닝 해석 ····· 606-8
2.1 콘크리트 라이닝의 설계 ····· 606-8
2.2 콘크리트 라이닝 설계 기준 ····· 606-12

607 터널해석

607.1 해석 일반 ····· 607-1
1.1 해석 수행시 기본적 고려사항 ····· 607-1
1.2 해석 프로그램의 제한사항 ····· 607-1
1.3 일반적인 터널해석 순서 ····· 607-1
607.2 해석 방법 ····· 607-3
2.1 유한요소법 ····· 607-3
2.2 유한차분법 ····· 607-5
2.3 경계요소법 ····· 607-5
2.4 개별요소법 ····· 607-5
2.5 혼합법 ····· 607-7
607.3 지반 및 지보재 모델링 ····· 607-7
3.1 지반 모델링 ····· 607-7
3.2 지보재 모델링 ····· 607-11
607.4 해석 입력치 선정 ····· 607-12
4.1 지반 특성치의 선정 ····· 607-12
4.2 측압계수의 결정 ····· 607-16
607.5 하중의 결정 ····· 607-17
5.1 하중의 종류 ····· 607-17
5.2 하중 산정시 고려 사항 ····· 607-17
5.3 하중 산정방법 ····· 607-18
607.6 해석영역과 경계조건 ····· 607-20
6.1 경계면의 위치설정 ····· 607-20
6.2 요소의 크기 및 배열 ····· 607-21
6.3 해석 영역의 설정 ····· 607-21
607.7 시공 단계별 해석 ····· 607-21
7.1 터널 시공과정 모형화 ····· 607-22
7.2 하중분배모델 ····· 607-22

7.3 강성변화모델 ····· 607-27
607.8 터널 해석결과의 평가 ····· 607-27
8.1 굴착 단계별 평가 ····· 607-27
8.2 미시적 평가와 거시적 평가 ····· 607-28
8.3 계측 결과와의 검증을 통한 평가 ····· 607-28
8.4 인접 터널과의 상호 작용 평가 ····· 607-28

608 배수 및 방수

608.1 터널굴착과 지하수의 관계 ····· 608-1
1.1 터널굴착과 지하수의 흐름 ····· 608-1
1.2 터널굴착이 미치는 영향 ····· 608-2
608.2 터널의 지하수 처리형식 ····· 608-2
2.1 지하수 처리형식의 분류 ····· 608-2
2.2 배수형 터널의 특징 ····· 608-3
2.3 비배수형 터널의 특징 ····· 608-4
2.4 배수형 터널과 비배수형 터널의 비교 ····· 608-6
608.3 배수형 터널의 적용 ····· 608-6
3.1 배수형터널의 적용조건 ····· 608-6
3.2 배수형터널의 세부사항 ····· 608-6
608.4 비배수형 터널의 적용 ····· 608-7
4.1 비배수형 터널의 적용조건 ····· 608-7
4.2 비배수형 터널의 세부사항 ····· 608-8
608.5 개착식 터널의 방수와 배수 ····· 608-9
5.1 개착식 터널의 방수개념 ····· 608-9
5.2 굴착터널과의 접속부 방수 ····· 608-9
608.6 허용누수량 ····· 608-9

609 굴 착

609.1 굴착방법 ····· 609-1
1.1 인력굴착 ····· 609-1
1.2 기계굴착 ····· 609-1
1.3 발파굴착 ····· 609-2
1.4 파쇄굴착 ····· 609-2
609.2 굴착공법 ····· 609-2
2.1 지반조건에 따른 굴착공법 분류 ····· 609-4

2.2 굴착공법 비교 ····· 609-6
2.3 굴착공법 선정 ····· 609-6
2.4 일반적 적용기준 사례 ····· 609-6
609.3 발파공법 ····· 609-9
3.1 발파계획 ····· 609-9
3.2 발파공법의 종류 ····· 609-9
3.3 심발발파 ····· 609-9
3.4 제어발파 ····· 609-11
3.5 폭약, 뇌관 및 장약 ····· 609-13
3.6 발파진동 ····· 609-17
609.4 여굴 ····· 609-23
4.1 여굴의 발생원인 ····· 609-24
4.2 과다 여굴 방지대책 ····· 609-24
4.3 여굴에 관한 규정 및 허용기준 ····· 609-25
609.5 버력 ····· 609-25
5.1 일반 ····· 609-25
5.2 버력 크기를 결정하는 요소 ····· 609-25
5.3 버력 크기의 예측 ····· 609-26
5.4 버력 반출 ····· 609-27

610 굴착보조공법

610.1 굴착보조공법의 정의 및 목적 ····· 610-1
1.1 정의 ····· 610-1
1.2 목적 ····· 610-1
610.2 적용계획 ····· 610-2
2.1 적용대상 ····· 610-2
2.2 적용계획 수립 시 고려 사항 ····· 610-2
2.3 굴착보조공법 수행절차 ····· 610-3
610.3 굴착보조공법의 선정 및 종류 ····· 610-4
3.1 보강목적에 따른 분류 ····· 610-4
3.2 공법 선정 ····· 610-4
3.3 막장 안정 보강공법 ····· 610-4
3.4 약액 주입 공법 ····· 610-13
3.5 유도 배수공법 ····· 610-20

611 계 측

611.1 계측의 정의 및 목적 ····· 611-1
1.1 계측의 정의 ····· 611-1
1.2 계측의 필요성 ····· 611-1
1.3 계측의 목적 ····· 611-1
611.2 계측 계획 ····· 611-2
2.1 계측 계획의 수립 ····· 611-2
2.2 계측 항목의 선정 ····· 611-4
2.3 계측 위치 및 측선계획 ····· 611-10
2.4 측정 빈도 ····· 611-13
2.5 계측 기기의 선정 ····· 611-15
611.3 계측 관리 ····· 611-17
3.1 계측 관리 체제 ····· 611-17
3.2 계측요원의 선정 ····· 611-17
3.3 계측 기기의 설치 ····· 611-17
3.4 계기의 유지 관리 ····· 611-20
611.4 계측 시행 ····· 611-20
4.1 터널내 관찰 조사 ····· 611-20
4.2 내공 변위 측정 ····· 611-21
4.3 천단 침하 측정 ····· 611-22
4.4 지중 변위 측정 ····· 611-23
4.5 록볼트 축력 측정 ····· 611-23
4.6 록볼트 인발 시험 ····· 611-24
4.7 라이닝 응력 측정 ····· 611-25
4.8 지표, 지중 침하 측정 ····· 611-26
611.5 계측 결과의 활용 ····· 611-28
5.1 계측 결과의 정리 ····· 611-28
5.2 계측 결과의 설계·시공에의 반영 ····· 611-28
5.3 계측관리 기준치 ····· 611-29

612 개착터널부

612.1 개착터널의 정의 ····· 612-1
612.2 개착터널의 종류 ····· 612-1
2.1 돌출형 갱문에서의 개착터널 ····· 612-2
2.2 면벽형 갱문에서의 개착터널 ····· 612-3

2.3 계곡부 통과시 개착터널 ····· 612-3
612.3 하중산정 ····· 612-3
612.4 구조 해석 ····· 612-5
4.1 지반공학적 모델(model)에 의한 2차원 해석 ····· 612-5
4.2 구조공학적 모델(model)에 의한 2차원 해석 ····· 612-5
612.5 개착터널 해석 예 ····· 612-6
5.1 지반공학적 모델에 의한 해석 예 ····· 612-6
5.2 구조공학적 모델에 의한 해석 예 ····· 612-7
612.6 접속부 처리방안 ····· 612-8

613 갱구부

613.1 일반사항 ····· 613-1
613.2 터널 연결부의 접속 ····· 613-2
613.3 갱구부의 설계 ····· 613-3
3.1 갱구부 설계 일반사항 ····· 613-3
3.2 갱구 위치 및 갱구 연결 ····· 613-5
3.3 갱구 사면 안정 검토 ····· 613-7
3.4 지보 구조 ····· 613-8
3.5 굴착 공법과 시공 순서 ····· 613-10
613.4 갱문의 설계 ····· 613-11
4.1 갱문 일반 사항 ····· 613-11
4.2 갱문의 위치 ····· 613-11
4.3 갱문의 형식 ····· 613-12
4.4 표면 마무리 ····· 613-15
4.5 관리용 시설 ····· 613-15

614 단면 확폭부 및 분기부

614.1 분기·확폭부 일반 ····· 614-1
614.2 분기·확폭부의 설계 ····· 614-1

615 수직갱 및 사갱

615.1 일반사항 ····· 615-1
1.1 수직갱 및 사갱의 계획 ····· 615-1
1.2 수직갱 및 사갱을 위한 지반조사 ····· 615-2
615.2 수직갱 설계 ····· 615-2

2.1 단면설계 ····· 615-2
2.2 굴착설계 ····· 615-3
2.3 지보재 설계 ····· 615-5
2.4 지하수처리 공법 ····· 615-9
2.5 터널바닥 및 터널외부설비 설계 ····· 615-9
615.3 사갱 설계 ····· 615-10
3.1 단면설계 ····· 615-10
3.2 굴착설계 ····· 615-12
3.3 지보재 설계 ····· 615-12
3.4 터널바닥 및 터널외부설비 ····· 615-13

616 TBM터널

616.1 TBM 일반사항 ····· 616-1
1.1 개요 ····· 616-1
1.2 TBM 구성 ····· 616-1
616.2 TBM 굴착방법 및 공법 ····· 616-2
2.1 굴착방법 ····· 616-2
2.2 굴착 작업순서 ····· 616-3
2.3 TBM에 의한 굴착공법 ····· 616-3
616.3 TBM 터널 계획 ····· 616-5
3.1 선형계획 ····· 616-5
3.2 구배계획 ····· 616-5
3.3 내공단면 계획 ····· 616-5
3.4 TBM 기종선정 ····· 616-6
3.5 작업장 계획 ····· 616-6
3.6 버력처리 계획 ····· 616-6
3.7 부속설비 계획 ····· 616-7
3.8 TBM 운영계획 ····· 616-7
3.9 계측계획 ····· 616-8
616.4 조사 및 시험 ····· 616-8
616.5 TBM 터널의 설계 ····· 616-8
5.1 설계일반 ····· 616-8
5.2 지보재 및 보조공법 설계 ····· 616-9
5.3 TBM 작업장 설계 ····· 616-9
5.4 발진터널의 설계 ····· 616-9

5.5 기타의 설비 설계 ····· 616-10

617 쉴드 터널

617.1 쉴드기계 일반사항 ····· 617-1
1.1 쉴드기계의 종류 ····· 617-1
1.2 쉴드기계의 특징 ····· 617-2
1.3. 쉴드기계의 구성 ····· 617-3
617.2 쉴드터널의 계획 ····· 617-4
2.1 선형계획 ····· 617-4
2.2 구배계획 ····· 617-4
2.3 내공단면계획 ····· 617-4
2.4 쉴드공법의 선정 ····· 617-5
2.5 작업구 및 공사기지 계획 ····· 617-5
2.6 부속설비계획 ····· 617-5
2.7 보조공법 ····· 617-5
2.8 설계도서의 작성 ····· 617-5
617.3 조사 ····· 617-5
3.1 입지조건 조사 ····· 617-5
3.2 지장물 조사 ····· 617-6
3.3 지형 및 지반조사 ····· 617-6
617.4 세그먼트의 설계 ····· 617-6
4.1 일반사항 ····· 617-6
4.2 용어 ····· 617-6
4.3 세그먼트의 종류 및 재료 ····· 617-10
4.4 세그먼트 구조 및 형상 설계 ····· 617-10
4.5 하중 ····· 617-12
4.6 세그먼트 단면력 및 기타 요소 ····· 617-13
617.5 쉴드의 제작설계 ····· 617-17
5.1 일반사항 ····· 617-17
5.2 쉴드의 구성 및 부품설계 ····· 617-17
5.3 추진기구 ····· 617-18
5.4 세그먼트 조립기구 ····· 617-18
5.5 유압, 전기, 제어기구 ····· 617-18
5.6 부속기구 ····· 617-19
617.6 뒤채움 주입재의 설계 ····· 617-19

6.1 주입재료 ····· 617-19
6.2 뒤채움 주입방법 ····· 617-19
617.7 방수설계 ····· 617-20
617.8 콘크리트 라이닝의 설계 ····· 617-20

618 환기설비

618.1 환기설비 일반 ····· 618-1
1.1 환기설비의 목적 ····· 618-1
1.2 적용범위 ····· 618-1
618.2 계획 · 조사 ····· 618-1
2.1 계획 ····· 618-1
2.2 조 사 ····· 618-3
2.3 설계에 사용하는 교통량 ····· 618-4
2.4 환기의 대상물질 및 농도 ····· 618-6
2.5 환기시설의 필요성 검토 ····· 618-13
2.6 환기방식의 선정 ····· 618-20
618.3 설 계 ····· 618-30
3.1 설계 일반 ····· 618-30
3.2 환기량 ····· 618-32
3.3 환기풍압 ····· 618-41
3.4 환기기 ····· 618-66
3.5 환기덕트 ····· 618-85
3.6 환기소 ····· 618-97
618.4 운전 제어 ····· 618-107
4.1 환기제어 ····· 618-107
4.2 제어방식 ····· 618-108
4.3 제어장치 ····· 618-109
4.4 제어상 유의사항 ····· 618-112
4.5 환기제어의 실예 ····· 618-114
618.5 공사 중 환기 ····· 618-119
5.1 환기량의 산정 ····· 618-119
5.2 환기설비(팬 및 풍관) ····· 618-121
5.3 환기방식의 선정 ····· 618-123

619 방재설비

619.1 적용 범위 ····· 619-1
619.2 설치 기준 및 설계 ····· 619-1
2.1 방재 설비의 종류 ····· 619-1
2.2 방재 설비의 설치 기준 ····· 619-3
2.3 방재 설비의 설계 ····· 619-3
2.4 방재 감시 시스템 설계 ····· 619-14
2.5 급배수 설비의 설계 ····· 619-18

620 내장설비

620.1 적용 범위 ····· 620-1
620.2 설치 기준 ····· 620-2
620.3 내장이 구비할 조건 ····· 620-2
620.4 내장의 구조 및 재료 규격 ····· 620-3
4.1 일반 내장(옆벽 내장) ····· 620-3
4.2 흡음 내장 ····· 620-6

621 조명설비

621.1 개 요 ····· 621-1
1.1 일반사항 ····· 621-1
1.2 터널 조명의 분류 ····· 621-1
1.3 조사와 계획 ····· 621-2
1.4 광원과 조명 기구 ····· 621-3
621.2 설계 ····· 621-7
2.1 기본조명 ····· 621-7
2.2 입구부 조명 ····· 621-9
2.3 연속터널 조명 ····· 621-16
2.4 출구조명, 접속도로 및 비상 조명 ····· 621-18
621.3 조명계산 ····· 621-20
3.1 기본적인 조명계산 방법 ····· 621-20
3.2 조명계산 예 ····· 621-22

참고문헌 ····· 622-1
색인 ····· 623-1

표 목 차

602 기본계획

<표 602.1> 병렬터널의 중심간격 적용 예 ····· 602-3
<표 602.2> 터널의 단면 형상 비교 ····· 602-10
<표 602.3> 설계 및 시공사례(국내 도로터널) ····· 602-11
<표 602.4> 배수구 설계사례 ····· 602-13
<표 602.5> 공동구 설계사례 ····· 602-13
<표 602.6> 2차로의 지반분류와 표준단면 ····· 602-16
<표 602.7> 3차로의 지반분류와 표준단면 ····· 602-16

603 조사 및 시험

<표 603.1> 조사단계별 조사내용 ····· 603-2
<표 603.2> 기존자료조사의 내용 ····· 603-8
<표 603.3> 현장답사시의 관찰할 사항 ····· 603-9
<표 603.4> 지표 지질조사항목 ····· 603-10
<표 603.5> 각종 물리탐사 방법이 이용하는 물성과 측정하는 현상 ····· 603-12
<표 603.6> 조사대상 지질특성에 따른 물리탐사 방법의 적용성 ····· 603-12
<표 603.7> 조사목적에 따른 실내시험법 ····· 603-17
<표 603.8> 토질시험 항목별 한국산업규격 번호 및 시험결과 이용 ····· 603-18
<표 603.9> 암석시험 종류 및 결과의 이용 ····· 603-19
<표 603.10> 통일분류법에 의한 흙의 공학적 분류방법(KS F 2324) ····· 603-21
<표 603.11> RMR 암반분류 기준 ····· 603-22
<표 603.12> Q-시스템에 이용되는 매개변수 ····· 603-25
<표 603.13> 여러 가지 요소를 고려한 종합적인 지반분류 기준 (한국도로공사) ····· 603-27

604 설계일반

<표 604.1> 설계내용의 변경사항 ····· 604-5

605 터널 지보재

<표 605.1> RMR 분류에 의한 굴착 및 지보 ····· 605-4
<표 605.2> 터널 사용목적에 따른 굴착지보비(ESR) ····· 605-5

<표 605.3> 터널 표준단면별 지보 패턴 사례 (한국도로공사) ····· 605-13
<표 605.4> 표준지보패턴의 변경 방법 및 검토 사항 ····· 605-16
<표 605.5> H형 강지보재의 냉간 가공시 최소 곡선 반경의 표준 ····· 605-18
<표 605.6> H형 강지보재의 치수 및 단면 특성 ····· 605-19
<표 605.7> 대표적인 U형 강지보재(MU-29)의 치수 및 단면 특성 ····· 605-20
<표 605.8> 표준형 3개강봉의 치수 및 단면특성 ····· 605-21
<표 605.9> H형 강지보재와 대응되는 격자지보 종류(예) (천원공업주식회사, 1997) ····· 605-22
<표 605.10> 숏크리트의 작용 효과 ····· 605-28
<표 605.11> 숏크리트 타설 방법에 따른 비교 ····· 605-29
<표 605.12> 액상 급결제와 분말형 급결제의 특성 ····· 605-33
<표 605.13> 지반별 단면 크기별 숏크리트 적용 범위 ····· 605-34
<표 605.14> 록볼트의 작용 효과 개념 ····· 605-38
<표 605.15> 록볼트로 사용되는 봉강의 기계적 성질 ····· 605-40
<표 605.16> 록볼트의 정착 방식 ····· 605-42
<표 605.17> 지반 조건에 따른 시스템 록볼트 배치 개념 ····· 605-46
<표 605.18> 록볼트의 타설 형식 ····· 605-46
<표 605.19> 철망의 종류 ····· 605-49

606 콘크리트 라이닝

<표 606.1> 콘크리트 라이닝의 기능 ····· 606-2
<표 606.2> 콘크리트와 철근의 허용응력(철근 콘크리트 설계기준, 1999) ····· 606-9
<표 606.3> 철근의 허용응력 ····· 606-9
<표 606.4> 탄성계수비(n)의 값 ····· 606-9
<표 606.5(a)> 국내 터널설계 하중조합과 하중계수(철근콘크리트 설계기준, 1999) · 606-11
<표 606.5(b)> 덴마크 터널설계 하중조합과 하중계수 (Curtis et al., 1991) ····· 606-11
<표 606.6> 강도 감소계수 (Ψ) ····· 606-12

607 터널 해석

<표 607.1> 지보재의 모델링에 적용되는 요소 종류 ····· 607-11
<표 607.2> 암석의 정탄성계수 및 동탄성계수 사례(도로설계 요령, 1992) ····· 607-14
<표 607.3> 지반 및 지보재 특성치 적용 사례(B 설계사, 1998) ····· 607-15
<표 607.4> 하중분배율 적용 예 (Case I) ····· 607-24
<표 607.5> 하중분배율 적용 예 (Case II) ····· 607-25
<표 607.6> 하중분배율 적용 예 (Case III) ····· 607-26

608 배수 및 방수

<표 608.1> 터널의 배수형식별 특징 비교 ····· 608-5
<표 608.2> 터널의 방수 등급별 허용누수량 ····· 608-10

609 굴착

<표 609.1> 굴착공법의 분류 ····· 609-3
<표 609.2> 전단면 굴착공법과 상·하반 분할 굴착공법의 비교 ····· 609-7
<표 609.3> 점보 드릴을 사용할 때 전단면 굴착공법과 상·하반 분할 굴착공법의 비교 ····· 609-8
<표 609.4> 표준 단면의 일반적 적용기준 ····· 609-8
<표 609.5> V-cut와 cylinder cut의 비교 ····· 609-12
<표 609.6> 고성능 다이나마이트 (Himite 6000) ····· 609-14
<표 609.7> 일반용 다이나마이트 (Himite 5000) ····· 609-14
<표 609.8> 갱내용 초안 폭약 ····· 609-14
<표 609.9> 함수 폭약 (KOVEX) ····· 609-15
<표 609.10> 정밀 폭약 ····· 609-15
<표 609.11> 폭약의 위력 계수(e) ····· 609-17
<표 609.12> 전색계수(d) ····· 609-17
<표 609.13> 장약계수(t) ····· 609-17
<표 609.14> 암반의 저항계수(g) ····· 609-18
<표 609.15> 발파규모 계수f(w) ····· 609-19
<표 609.16> 터널별 천공수 및 장약량 비교 ····· 609-20
<표 609.17> 발파 진동 경험식 ····· 609-21
<표 609.18> 구조물 손상기준 발파진동 허용치 ····· 609-22
<표 609.19> 암뚫기 여굴량의 표준 ····· 609-25
<표 609.20> 예상 버력 크기 ····· 609-26
<표 609.21> 용적변화율 및 단위중량의 표준 ····· 609-27

610 굴착보조공법

<표 610.1> 터널 굴착 시 용출수에 의한 문제점 ····· 610-2
<표 610.2> 굴착보조공법의 적용성 ····· 610-4
<표 610.3> 순결성 우레탄(FCU)의 재료 특성 ····· 610-8
<표 610.4> 강관보강형 다단(1단) 그라우팅공법의 일반적인 규격(대한토목학회, 1997) ····· 610-9
<표 610.5> 주입재(물-시멘트) 배합비 ····· 610-11
<표 610.6> 주입재(L/W 약액) 배합비 ····· 610-11

<표 610.7> 지반 및 지반보강 목적에 따른 일반적 지반조사 항목 ····· 610-15
<표 610.8> 주입재 선정 기본 조건 ····· 610-18
<표 610.9> 충전율 적용 예 (일본 국유철도 건설국) ····· 610-18
<표 610.10> 토사지반에서의 주입공 배치 간격(일본 국유철도 건설국) ····· 610-19

611 계측

<표 611.1> 계측항목별 평가 사항 ····· 611-6
<표 611.2> 계측항목의 선정 ····· 611-7
<표 611.3> 지반조건에 따른 계측항목의 선정 ····· 611-9
<표 611.4> 내공 변위 측정, 천단 침하 측정의 계측 간격 표준 ····· 611-11
<표 611.5> 지표 침하 측정의 터널 종단 방향 측점 간격 ····· 611-11
<표 611.6> 내공 변위, 천단 침하의 측정빈도 (D: 터널 굴착폭) ····· 611-14
<표 611.7> 터널 계측용 기기 ····· 611-16
<표 611.8> 지표, 지중 침하 측정 ····· 611-27
<표 611.9> 천단침하의 관리기준치 ····· 611-30
<표 611.10> 내공변위 관리기준치(ASCE : Franklin, 1976) ····· 611-30

613 갱구부

<표 613.1> 안정검토를 필요로 하는 절토사면 (도로설계 실무편람, 한국도로공사, 1996) ··· 613-7
<표 613.2> 갱구부 지보패턴 설치 예 ····· 613-8
<표 613.3> 갱구부 지보 구조 설계시 예상되는 문제점과 보조 공법 ····· 613-10
<표 613.4> 터널갱문의 형식과 특징 (일본 도로공단, 1985) ····· 613-13
<표 613.5> 갱문의 종류와 특징 (국내) ····· 613-14

615 수직갱 및 사갱

<표 615.1> 지반종류 및 단면 크기에 따른 숏크리트 두께 적용 범위 (한국도로공사) ····· 615-6

616 TBM 터널

<표 616.1> 교대당 작업인원 편성 예 ····· 616-7
<표 616.2> TBM 구경별 수전설비용량 계획 예 ····· 616-11

617 쉴드 터널

<표 617.1> 측방토압계수 (λ) 및 지반반력계수 (k) ····· 617-13

<표 617.2> 관용계산법 및 수정관용계산법에 의한 세그먼트 단면력의 계산식 ····· 617-14
<표 617.3> 강재 세그먼트의 형상 치수 (단위 : mm) ····· 617-15
<표 617.4> 콘크리트 평판형 세그먼트의 형상, 치수 (단위 : mm) ····· 617-15
<표 617.5> 상자형 및 평판형 세그먼트 ····· 617-16
<표 617.6> 중자형 세그먼트 ····· 617-16
<표 617.7> 테이퍼 량, 테이퍼 각 ····· 617-16

618 환기설비

<표 618.1> 승용차 환산계수 ····· 618-6
<표 618.2> 중량별 매연기준 배출량 (PIARC 기준) ····· 618-8
<표 618.3> 차종별 차량 제원 ····· 618-9
<표 618.4> 국내 차종별 CO 및 NOx의 기준배출량 ····· 618-9
<표 618.5> 표준 설계농도 ····· 618-11
<표 618.6> PIARC의 권장 허용매연농도 ····· 618-12
<표 618.7> PIARC의 권장 허용CO농도 ····· 618-12
<표 618.8> 차종별 교통환기력 계수 ····· 618-16
<표 618.9(a)> 환기방식의 특징 (양방향 교통터널) ····· 618-21
<표 618.9(b)> 환기방식의 특징 (양방향 교통터널) ····· 618-22
<표 618.10(a)> 환기방식의 특징 (일방향 교통터널) ····· 618-23
<표 618.10(b)> 환기방식의 특징 (일방향 교통터널) ····· 618-24
<표 618.10(c)> 환기방식의 특징 (일방향 교통터널) ····· 618-25
<표 618.11(a)> 환기방식의 특징(조합 환기방식 예) ····· 618-26
<표 618.11(b)> 환기방식의 특징(조합 환기방식 예) ····· 618-27
<표 618.12> 제트팬과 장착간격 ····· 618-45
<표 618.13> T자 합류관의 손실계수 ····· 618-59
<표 618.14> 송풍기의 종류와 특성 ····· 618-67
<표 618.15> 축류 송풍기의 가로형과 수직형의 비교 ····· 618-72
<표 618.16> 풍량제어방법의 비교 ····· 618-74
<표 618.17> 송풍량과 소비동력 (2대 2속도의 경우) ····· 618-77
<표 618.18> 젯트팬 사양 ····· 618-80
<표 618.19> 전기집진기의 사양 예 ····· 618-82
<표 618.20> 각종 덕트의 변형부 ····· 618-87
<표 618.21> 벽면조도 δ ····· 618-91
<표 618.22> 환기기의 조합 운전단계(노치) ····· 618-117
<표 618.23> 유해가스의 규제 목표 농도 ····· 618-119

<표 618.24> 발파 후 가스의 유해가스 ····· 618-120
<표 618.25> 디젤기관의 HP당 가스 발생량 ····· 618-120
<표 618.26> 광물성 분진의 규제 농도 ····· 618-121
<표 618.27> 환기방식의 개요와 장단점 ····· 618-123

619 방재설비

<표 619.1> 방재 설비의 설치 기준 ····· 619-4
<표 619.2> 방재 설비의 설치 위치 및 간격 ····· 619-5
<표 619.3> 대피 설비의 부속 설비 ····· 619-14
<표 619.4> 주 수조 용량 ····· 619-19
<표 619.5> 관의 종류 ····· 619-21
<표 619.6> 유속 계수의 값 ····· 619-21
<표 619.7> 관 내의 평균 유속의 최대 한도 ····· 619-22

620 내장설비

<표 620.1> 내장판의 휨파괴 하중과 바닥 간격 ····· 620-5

621 조명설비

<표 621.1> KS 측정결과에 의한 방전 램프들의 특성 ····· 621-4
<표 621.2> 플리커에 의한 불쾌감을 피하는 경우의 세가지 요인 ····· 621-7
<표 621.3> 플리커 방지를 위해 피해야 하는 조명기구 간격 ····· 621-8
<표 621.4> 기본 조명의 평균 노면휘도 값 ····· 621-8
<표 621.5> 설정되는 야외휘도 ····· 621-10
<표 621.6> 경계부 노면휘도의 결정을 위해 야외휘도에 곱하는 계수 ····· 621-10
<표 621.7> 설계속도와 안전시인거리와의 관계 ····· 621-10
<표 621.8> 입구부 조명의 조절 ····· 621-11
<표 621.9> 터널 길이가 200m 이상인 경우의 경계부 소요휘도(L_1) 및 길이(l_1) ····· 621-13
<표 621.10> 설계속도와 이행부 길이 및 터널 내 주시시간과의 관계 ····· 621-13
<표 621.11> 입구부 조명의 조도 기준(설정 야외휘도 4,000 cd/m^2) 의 경우 ····· 621-15
<표 621.12> 후속터널 입구부 조명 저감계수 ····· 621-16
<표 621.13> 설계속도와 시인거리 및 장해물의 배경길이와의 관계 ····· 621-16
<표 621.14> 출구부 접속도로의 소요 휘도 ····· 621-19
<표 621.15> 설계속도에 따른 소요 길이 ····· 621-19
<표 621.16> 보수율(M) 참고 값 ····· 621-22

그 림 목 차

602 기본계획

<그림 602.1> 구배 조정계수(CO, NO_X) ····· 602-8
<그림 602.2> 표고 보정계수(매연, CO, NO_X) ····· 602-8
<그림 602.3> 환기방식에 따른 터널단면 ····· 602-8
<그림 602.4> 내공단면 결정 순서도 ····· 602-9
<그림 602.5> 터널 단면의 구성요소 ····· 602-11
<그림 602.6> 표준단면의 구성 ····· 602-12
<그림 602.7> 검사원 통로 ····· 602-14
<그림 602.8> 내장 설치 예 ····· 602-15
<그림 602.9> 젯트 팬 부착시의 여유공간 ····· 602-15

603 조사 및 시험

<그림 603.1> 조사단계별 조사내용 ····· 603-3

605 터널 지보재

<그림 605.1> 지보재에 작용하는 응력과 굴착면의 변위관계 ····· 605-2
<그림 605.2> Q-시스템에 의한 터널 지보재 선정(Grimstad and Barton, 1993) ····· 605-6
<그림 605.3> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 1, 한국도로공사) ····· 605-7
<그림 605.4> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 2, 한국도로공사) ····· 605-8
<그림 605.5> 터널 단면 표준도 (표준단면 -3, 한국도로공사) ····· 605-9
<그림 605.6> 터널 단면 표준도 (표준단면 -4, 한국도로공사) ····· 605-10
<그림 605.7> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 5, 한국도로공사) ····· 605-11
<그림 605.8> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 6, 한국도로공사) ····· 605-12
<그림 605.9> H형 강지보재의 단면 형상 ····· 605-19
<그림 605.10> 대표적인 U형 강지보재(MU-29)의 치수 및 단면 형상 ····· 605-20
<그림 605.11> 표준형 3개강봉의 치수 및 단면형상 ····· 605-21
<그림 605.12> H형(H 100×100) 강지보재의 이음부 설계 예 ····· 605-23
<그림 605.13> U형(MU-29) 강지보재의 이음부 설계 예 ····· 605-23
<그림 605.14> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 이음부 설계 예 ····· 605-23
<그림 605.15> H형(H 100×100) 강지보재의 간격재 설계 예 ····· 605-25

<그림 605.16> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 간격재 설계 예 ····· 605-25
<그림 605.17> H형(H 100×100) 강지보재의 바닥판받침 설계 예 ····· 605-26
<그림 605.18> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 바닥판받침 설계 예 ····· 605-26
<그림 605.19> 숏크리트 타설 흐름도 ····· 605-30
<그림 605.20> 숏크리트 배합비 결정 흐름도 ····· 605-31
<그림 605.21> 숏크리트의 장·단기 강도 특성 ····· 605-32
<그림 605.22> 강섬유보강 숏크리트의 하중-변형 특성 곡선 ····· 605-36
<그림 605.23> 강섬유의 길이에 따른 한계 혼입률 ····· 605-36
<그림 605.24> 철망과 강섬유를 사용한 경우의 하중-변위 관계 ····· 605-36
<그림 605.25> 지압판의 예 ····· 605-40
<그림 605.26> 정착 방법별 록볼트의 분류 ····· 605-41
<그림 605.27> 선단 정착형(확장형) 록볼트의 예 ····· 605-44
<그림 605.28> 전면 정착형(레진형) 록볼트의 예 ····· 605-44
<그림 605.29> 록볼트 인발 시험 ····· 605-45
<그림 605.30> 상반과 하반의 철망 겹이음 예 ····· 605-49

606 콘크리트 라이닝

<그림 606.1> 지반 특성에 따른 라이닝 형상 ····· 606-4

607 터널 해석

<그림 607.1> 일반적인 터널해석 순서 ····· 607-2
<그림 607.2> 유한요소 및 유한차분법 요소망 예 ····· 607-4
<그림 607.3> 경계요소법 요소망 예 ····· 607-6
<그림 607.4> 개별요소법 요소망 예(노르웨이 요빅경기장, 1992) ····· 607-6
<그림 607.5> 개별요소법과 유한요소법 혼합 예 ····· 607-7
<그림 607.6> 선형 탄성 응력-변형율 관계 ····· 607-8
<그림 607.7> 하중 증분법 ····· 607-8
<그림 607.8> 탄소성 응력-변형율 관계 ····· 607-9
<그림 607.9> 굴진방향 설치 간격을 고려한 록볼트의 모델링 ····· 607-12
<그림 607.10> 탄성계수와 RQD와의 관계(도로설계요령, 1992) ····· 607-13
<그림 607.11> 국내 터널설계시 측압계수 결정 기준 적용 비율 ····· 607-16
<그림 607.12> Terzaghi의 암반하중 개념 ····· 607-18
<그림 607.13> 급사면에 근접하는 터널 ····· 607-20
<그림 607.14> 콘크리트 라이닝에 미치는 성층상태의 영향 ····· 607-20

<그림 607.15> 2차원 및 3차원 모델 경계조건 예 ····· 607-21
<그림 607.16> 해석영역의 설정 예 ····· 607-21
<그림 607.17> 터널 막장에서의 3차원거동 ····· 607-22
<그림 607.18> 하중분배모델의 기본 개념도 ····· 607-23
<그림 607.19> 하중분배모델 적용 예 (Case I) ····· 607-24
<그림 607.20> 하중분배모델 적용 예 (Case II) ····· 607-25
<그림 607.21> 하중분배모델 적용 예 (Case III) ····· 607-26

608 배수 및 방수

<그림 608.1> 배수형 터널에서의 지하수유입 형태 ····· 608-1
<그림 608.2> 배수형 터널의 개념도 ····· 608-3
<그림 608.3> 외부 배수형 터널의 개념도 ····· 608-3
<그림 608.4> 비배수형 터널의 개념도 ····· 608-3
<그림 608.5> 용출수 처리 대책의 실례 ····· 608-7
<그림 608.6> 지수판 설치 개념도 ····· 608-8
<그림 608.7> 누수집수관 설치 개념도 ····· 608-8
<그림 608.8> 굴착터널과 개착터널 연결부 방수 (예) ····· 608-9

609 굴착

<그림 609.1> 발파공법의 종류 ····· 609-10
<그림 609.2> 심발 공법별 천공 및 장약 ····· 609-11

610 굴착보조공법

<그림 610.1> 터널 보강 흐름도 ····· 610-3
<그림 610.2> 연결형 파이프루프 사례 ····· 610-5
<그림 610.3> 분리형 파이프루프 사례 ····· 610-5
<그림 610.4> 훠폴링 시공 표준설계단면 사례 ····· 610-7
<그림 610.5> PU-IF공법 설계 사례 ····· 610-8
<그림 610.6> 일본 도로터널의 PU-IF의 배치 및 단면도 사례 ····· 610-8
<그림 610.7> 일본 도로터널의 1막장 8개 공에 소요된 사이클 타임 사례 ····· 610-8
<그림 610.8> 강관보강형 다단 그라우팅 표준설계단면 사례 ····· 610-10
<그림 610.9> 도시고속도로 계곡부 터널 설계단면 사례 ····· 610-11
<그림 610.10> 동해신광산 터널 단층파쇄대 통과구간 사례 ····· 610-12
<그림 610.11> 경부선 통과구간 및 풍화대 구간 사례 ····· 610-12

<그림 610.12> 막장면 록볼트 설계 단면 및 시공순서 사례 ····· 610-13
<그림 610.13> 일반적인 주입재별 침투성 ····· 610-14
<그림 610.14> 주입공법의 설계 및 시공 절차 ····· 610-16
<그림 610.15> 터널굴착 시의 응력분포 상태 ····· 610-16
<그림 610.16> 터널주변의 주입 범위 계산 예 ····· 610-17
<그림 610.17> 주입공 배치 예(일본 국유철도 건설국) ····· 610-19
<그림 610.18> 터널 막장면 물빼기공의 설치 사례 ····· 610-20
<그림 610.19> 터널 내부에서 웰포인트(Well Point) 공법을 시공한 예 ····· 610-21
<그림 610.20> 유도배수를 위하여 지표에서 딥웰(Deep Well)공법을 시공한 예 ····· 610-21

611 계측

<그림 611.1> 계측 계획 절차 흐름도 ····· 611-2
<그림 611.2> 내공변위 계측의 측선 배치 예 ····· 611-12
<그림 611.3> 계측기 배치 예(정밀계측) ····· 611-13
<그림 611.4> 측정 기간의 고려 방법 ····· 611-14
<그림 611.5> 지표 침하의 측정 구간(종단 방향) ····· 611-15
<그림 611.6> 계측관리의 시행 절차 ····· 611-18
<그림 611.7> 인발시험 하중변위 곡선 ····· 611-25
<그림 611.8> 라이닝 응력계를 매설하는 방법 ····· 611-25
<그림 611.9> 매설형 계기의 배치 예 ····· 611-26
<그림 611.10> 측정대상 범위 ····· 611-27
<그림 611.11> 계측관리 흐름도 ····· 611-29
<그림 611.12> 암반의 강도-변형율에 따른 주의 레벨 ····· 611-30

612 개착터널부

<그림 612.1> 개착터널의 종류 ····· 612-1
<그림 612.2> 해석 모델 ····· 612-2
<그림 612.3> 돌출형 갱문에서의 개착터널 ····· 612-2
<그림 612.4> 면벽형 갱문에서의 개착터널 ····· 612-3
<그림 612.5> 수압 적용의 예 ····· 612-4
<그림 612.6> 해석 단면도 ····· 612-6
<그림 612.7> 해석 모델링 ····· 612-6
<그림 612.8> 최종 되메움 단계에서의 토압 분포 ····· 612-6
<그림 612.9> 콘크리트 라이닝의 변위 및 단면력도(힌지단) ····· 612-7

<그림 612.10> 콘크리트 라이닝의 변위 및 단면력도(고정단) ····· 612-7
<그림 612.11> 해석 단면도 ····· 612-7
<그림 612.12> 해석 모델링 ····· 612-7
<그림 612.13> 변위도 ····· 612-8
<그림 612.14> 모멘트도 ····· 612-8
<그림 612.15> 전단력도 ····· 612-8
<그림 612.16> 구조물 접합부 보강 상세도 ····· 612-8

613 갱구부

<그림 613.1> 가드 레일에 의한 길어깨 접속의 예 ····· 613-2
<그림 613.2> 표준적인 갱구부의 범위 ····· 613-3
<그림 613.3> 터널 중심 축선과 지형과의 관계 ····· 613-4
<그림 613.4> 면벽식인 경우 (낙석방지책설치 예) ····· 613-6
<그림 613.5> 원통절개형인 경우 (파라펫트설치 예) ····· 613-6
<그림 613.6> 갱구부근 제설비배치투시도의 예 ····· 613-17

614 단면 확폭부 및 분기부

<그림 614.1> 분기・확폭터널의 종류 ····· 614-2
<그림 614.2> 원지반조건이 비교적 양호한 때의 보강범위의 예 ····· 614-4
<그림 614.3> 원지반조건이 나쁠때의 보강범위의 예 ····· 614-4
<그림 614.4> 확폭부에서의 보강범위의 예 ····· 614-4
<그림 614.5> 양측분기 예 ····· 614-5
<그림 614.6> 직각교차 터널의 보강 예 (정면도) ····· 614-5
<그림 614.7> 터널의 확폭부 보강 예 (정면도) ····· 614-5
<그림 614.8> 터널 확폭부 보강 예 (평면도) ····· 614-6
<그림 614.9> 접속터널의 보강 예 (평면도) ····· 614-6

615 수직갱 및 사갱

<그림 615.1> 작업용 수직갱의 단면분할 사례 ····· 615-4
<그림 615.2> 수직갱 굴착공법에 따른 분류 ····· 615-4
<그림 615.3> 둔내터널 강지보재(격자지보) 설계단면 사례 ····· 615-5
<그림 615.4> 둔내터널 숏크리트(강섬유) 및 콘크리트 라이닝 설계단면 사례 ····· 615-7
<그림 615.5> NATM개념 수직갱 지보 단면도 사례(국외) ····· 615-8
<그림 615.6> 일본 나까야마 터널의 주입공법 설계 사례 ····· 615-10

<그림 615.7> 작업용 사갱의 내공단면 예 ····· 615-11
<그림 615.8> 사갱의 NATM개념 시공 시 지보패턴 사례(일본 北神터널 二幹茶屋 사갱) ··· 615-14

616 TBM 터널

<그림 616.1> TBM의 구성 ····· 616-2
<그림 616.2> 커터에 의한 굴착방식 ····· 616-3
<그림 616.3> TBM 굴착순서 ····· 616-4
<그림 616.4> TBM에 의한 굴착공법 ····· 616-4
<그림 616.5> 도로터널에서의 일반적인 TBM 단면활용 예 ····· 616-6
<그림 616.6> 교행구간 ····· 616-7
<그림 616.7> 버력처리 시스템 ····· 616-10

617 쉴드 터널

<그림 621.1> 쉴드의 분류 ····· 621-1
<그림 621.2> 쉴드의 구성 ····· 621-3
<그림 621.3> 후드 현상 ····· 621-3
<그림 621.4> 세그먼트 라이닝 ····· 621-6
<그림 621.5> 세그먼트 링의 구성 ····· 621-7
<그림 621.6> 세그먼트 링 ····· 621-7
<그림 621.7> 세그먼트 링의 단면 ····· 621-7
<그림 621.8> 세그먼트 단면 ····· 621-8
<그림 621.9> 세그먼트 각부의 명칭 ····· 621-9
<그림 621.10> 휨 모멘트, 축력, 전단력 ····· 621-11
<그림 621.11> 관용계산법에 있어서 기호사용의 일례 ····· 621-11

618 환기설비

<그림 618.1> 교통밀도 산정도 ····· 618-5
<그림 618.2> CO 가스의 인체에 대한 영향 ····· 618-7
<그림 618.3> 매연에 대한 구배속도 보정계수 ····· 618-10
<그림 618.4> 표고 보정계수(매연, CO, NOx) ····· 618-10
<그림 618.5> 구배 보정계수(CO, NOx) ····· 618-10
<그림 618.6> 속도 보정계수(CO, NOx) ····· 618-11
<그림 618.7> 자연환기의 한계길이(양방향 교통터널) ····· 618-13
<그림 618.8> 매연농도 관측 예와 자연환기의 한계(일반국도터널, 일본의 예) ····· 618-14

<그림 618.9> 자연환기의 표준(일방향 교통터널) ····· 618-14
<그림 618.10> 저항으로 된 자연환기력 ····· 618-15
<그림 618.11> 자동차의 등가저항 면적과 대형차 혼입율의 관계 ····· 618-16
<그림 618.12> 일방향 교통터널의 교통환기도 예(1) ····· 618-18
<그림 618.13> 일방향 교통터널의 교통환기도 예(2) ····· 618-18
<그림 618.14> 환기방식의 분류 ····· 618-20
<그림 618.15> 환기량 산출의 기본 흐름도 ····· 618-33
<그림 618.16> 압력선도의 예 ····· 618-42
<그림 618.17> 제트팬 환기방식의 압력관계도 ····· 618-44
<그림 618.18> 삿칼드환기방식 개요 ····· 618-46
<그림 618.19> 송기노즐에 의한 압력상승과 K_j ····· 618-47
<그림 618.20> K_j (구형단면) ····· 618-48
<그림 618.21> 터널내 풍속, 압력 및 농도분포 ····· 618-49
<그림 618.22> 송·배기 노즐 ····· 618-50
<그림 618.23> K_e와 Q_4 / Q_3 의 관계 ····· 618-51
<그림 618.24> K_j 와 Q_j / Q_r 의 관계 ····· 618-52
<그림 618.25> 집진기 부착종류 환기방식의 환기계통도 ····· 618-54
<그림 618.26(a)> 수직갱 배기환기식 계통도 (합류형) ····· 618-56
<그림 618.26(b)> 수직갱 배기환기방식의 계통도 (빠져나가는 형태) ····· 618-57
<그림 618.27(a)> T자 합류관 압력선도(계통도) ····· 618-59
<그림 618.27(b)> T자 합류관 압력선도 (계통도) ····· 618-59
<그림 618.28> 합류손실계수 ····· 618-60
<그림 618.29> 본류의 분기손실계수 ····· 618-60
<그림 618.30> 지류의 분기손실계수 ····· 618-60
<그림 618.31> 저항판의 종류 ····· 618-61
<그림 618.32(a)> 설치간격의 영향 ····· 618-61
<그림 618.32(b)> 저항판의 값에 의한 영향 ····· 618-61
<그림 618.33> 입갱 배기방식에 의한 압력선도 ····· 618-62
<그림 618.34> 송기덕트계의 압력분포(한 개의 덕트의 경우) ····· 618-63
<그림 618.35> 횡류식배기 덕트계의 압력분포 (복수 덕트의 경우) ····· 618-64
<그림 618.36> 필요말단압력과 최저 토출 풍압과의 관계 ····· 618-65
<그림 618.37> 차도내의 도식해법(양갱구송기의 예) ····· 618-66
<그림 618.38> 축류송풍기의 제원선도 ····· 618-68
<그림 618.39> 가로형축류송풍기 ····· 618-71
<그림 618.40> 수직형 축류송풍기 ····· 618-73

<그림 618.41> 속도제어 작동도 ····· 618-75
<그림 618.42> 가변피치특성 ····· 618-75
<그림 618.43> 병렬운전작동선도(2대 2속도) ····· 618-76
<그림 618.44> 병렬운전작동선도(3대 2속도) ····· 618-76
<그림 618.45> 병렬운전작동도(2대 3속도) ····· 618-76
<그림 618.46> 각종 송풍기의 소음 ····· 618-77
<그림 618.47> 2 소음의 합성계산도 ····· 618-78
<그림 618.48> 1,000형 젯트팬 구조도의 예 ····· 618-78
<그림 618.49> 600형 젯트팬 구조도 ····· 618-79
<그림 618.50> 1,000형 젯트팬 성능곡선(60Hz) ····· 618-79
<그림 618.51> 젯트팬 설치상황 ····· 618-79
<그림 618.52> 젯트팬 설치방법의 예 ····· 618-79
<그림 618.53> 일단식집진기(평판형) ····· 618-81
<그림 618.54> 이단식 전기집진기 ····· 618-81
<그림 618.55> 집진기 유니트 (15㎥/s) ····· 618-82
<그림 618.56> 터널용 집진기의 구성 예 (공기세정방식) ····· 618-83
<그림 618.57> 처리풍속과 집진율 ····· 618-84
<그림 618.58> 칸에쯔 자동차도의 터널집진기실 구조도 ····· 618-84
<그림 618.59> 터널덕트 배치 예 ····· 618-85
<그림 618.60> 덕트 전환(변경) 장치 ····· 618-89
<그림 618.61> 관의 마찰계수 계산도 ····· 618-90
<그림 618.62> 직사각형 굴절관의 휨 손실계수 ζ_b ····· 618-91
<그림 618.63(a)> 변형단면 굴절관의 휨 손실계수 ζ_b ····· 618-91
<그림 618.63(b)> 변형단면 직사각형 굴절관의 휨 손실계수 ζ_b ····· 618-92
<그림 618.64> 가이드베인 손실계수 ζ_b ····· 618-92
<그림 618.65> 원관과 각관에 의한 평류날개의 효과 ····· 618-92
<그림 618.66> 편류 날개를 사용한 휨관의 각θ와 ζ_b의 관계 ····· 618-93
<그림 618.67> 천장덕트의 휨 손실계수 ····· 618-93
<그림 618.68> 편류날개의 형상과 손실계수 ····· 618-93
<그림 618.69> 다중직각 휨 손실계수 ζ_d ····· 618-94
<그림 618.70> 다중 비직각 휨 손실계수 ζ_d ····· 618-94
<그림 618.71> 급격한 축소, 확대의 손실계수 ····· 618-95
<그림 618.72> 원형확대관 및 축소관의 손실계수 ξ_c, ξ_d ····· 618-95
<그림 618.73> 입구손실계수 ····· 618-95
<그림 618.74> 관로출구의 손실계수 ····· 618-96

<그림 618.75> 입구격자, 루버 손실계수 ····· 618-96
<그림 618.76> 금속망의 손실계수 ····· 618-96
<그림 618.77(a)> 도오메(東名)고속도로 도오미노(都夫良野)터널 동구환기소(노상식) ····· 618-98
<그림 618.77(b)> 東名고속도로 都夫良野터널 동구환기소(노상식) ····· 618-99
<그림 618.78> 중앙자동차로 小仏터널 환기소 (노상식) ····· 618-100
<그림 618.79> 名神고속도로 天王山 터널 환기소 (도로측면식) ····· 618-100
<그림 618.80> 일반국도 3호선 佐敷터널 수직갱구 환기소 ····· 618-101
<그림 618.81> 일반국도 2호선 關門터널 下關 환기소 ····· 618-102
<그림 618.82> 수도고속도로 千代田터널 三宅坂 환기소 ····· 618-102
<그림 618.83(a)> 쮸오우 惠那山터널 지하 환기소 ····· 618-103
<그림 618.83(b)> 쭈오우 자동차도 惠那山터널 지하 환기소 ····· 618-104
<그림 618.84(a)> 일반국도 31호선 魚見山터널 지하 환기소 ····· 618-104
<그림 618.84(b)> 일반국도 31호선 魚見山터널 지하 환기소 ····· 618-105
<그림 618.85(a)> 쮸오우 자동차도 惠那山터널 2기선 전기실 배치도 ····· 618-105
<그림 618.85(b)> 쮸오우 자동차도 惠那山터널 2기선 전기실 배치도 ····· 618-106
<그림 618.86> 임의 풍량 단계의 운전 예 ····· 618-108
<그림 618.87> 지네고(笹子)터널 환기패턴 ····· 618-108
<그림 618.88> 지네고(笹子)터널의 환기 제어방식의 설정 예와 풍량비 ····· 618-109
<그림 618.89> 제어장치의 구성 블럭 ····· 618-110
<그림 618.90> 일산화탄소 농도측정장치의 유로 계통 예 ····· 618-111
<그림 618.91> 루프 코일식 차량감지기의 설치 예 ····· 618-111
<그림 618.92> 제어회로 구성 블럭의 예 ····· 618-113
<그림 618.93> 제어의 흐름 ····· 618-116
<그림 618.94> 동경항 터널의 환기 기본 제어 방식 ····· 618-117
<그림 618.95> 자료처리 및 프로그램 구성 흐름도 ····· 618-118
<그림 618.96> 환기 제어 시스템 계통도 ····· 618-118

619 방재설비

<그림 619.1> 소화전 설치 단면도 예 ····· 619-7
<그림 619.2> 유도 표지판 ····· 619-10
<그림 619.3> 방재 시스템 계통도 ····· 619-15
<그림 619.4> 단자반의 배선 방식 ····· 619-16
<그림 619.5> 토출량과 펌프의 효율 관계도 ····· 619-20
<그림 619.6> 유량 계산 도표 (C=100) ····· 619-23
<그림 619.7> 유량 계산 도표 (C=130) ····· 619-24

620 내장설비

<그림 620.1> 내장판 설치 예 ····· 620-1
<그림 620.2> 터널 안의 시각 환경 개선에 따른 장애물이 보이는 방법의 차이 ····· 620-4
<그림 620.3> 세정 하중 ····· 620-5

621 조명설비

<그림 621.1> 터널 조명의 구성 ····· 621-1
<그림 621.2> 복합형광 램프와 저압나트륨 램프의 일반적 형태 ····· 621-4
<그림 621.3> 터널의 마무리와 조명기구의 형식 ····· 621-6
<그림 621.4> 4차선 대단면 조명기구 설치 예 ····· 621-6
<그림 621.5> 조명기구의 설치 배열 ····· 621-7
<그림 621.6> 입구부 조명곡선의 구성 ····· 621-12
<그림 621.7> 시인거리에 따른 경계부의 길이 관계 ····· 621-13
<그림 621.8> 터널 내 주시시간(t)에 의한 노면 소요휘도의 저하 곡선 ····· 621-13
<그림 621.9> 터널에 있어서 암순응 곡선(a) 및 완화부 노면휘도 비율(b)의 설정 ····· 621-14
<그림 621.10> 터널 길이별 입구부 소요휘도 ····· 621-14
<그림 621.11> 연속터널의 갱구간 순응휘도 변화 개념도 ····· 621-16
<그림 621.12> 터널간 거리에 따른 t점까지의 거리 및 t점의 노면휘도 저감계수(kt) ····· 621-17
<그림 621.13> 조명기구의 배열 ····· 621-20
<그림 621.14> 터널단면 위치별 조도계산 ····· 621-21
<그림 621.15> 터널 기본부 조명설계 단면도 ····· 621-23

601
총 론

601.1 적용범위

본 편람은 '터널설계기준(건설교통부, 1999)' 및 '터널표준시방서(건설교통부, 1999)'의 규정 내용을 관련 기술자들이 도로 터널설계에 쉽고 바르게 적용할 수 있도록 규정에 대한 배경과 근거 및 제반 참고자료 등을 제공한 것이다.

그러나 여러 가지 제약상 모든 규모의 터널에 대한 내용을 취급할 수 없기 때문에 2차선 도로터널을 중심으로 하되 2차선 이상의 터널에도 적용할 수 있도록 배려하였다. 또한 설계기준이나 표준시방서가 밝히고 있는 바와 같이 본 편람 역시 굴착터널(mined tunnel)를 주 대상으로 하였으며, TBM 터널이나 쉴드(shield) 터널에 대한 설계일반사항도 함께 기술하였다. 이외에 특수공법이나 특수한 지반에서의 터널 건설에 대해서는 각각의 특수성을 충분히 고려하고 별도의 유사 규정 및 관련 설계기준, 전문시방서 등을 참조하도록 하였으며, 터널공사와 관련되는 건축, 전기, 설비분야 등 토목분야 이외의 사항은 다른 관련 편람에서 다루도록 하여 본 편람에서는 이들에 대한 내용을 취급하지 않았다.

601.2 계획 및 설계 일반사항

터널의 계획·설계에 있어서는 터널의 설치 목적을 달성할 수 있도록 요구되는 규모(연장)와 기능(단면 공간, 선형, 부대 시설)을 구비하도록 해야 한다. 이때 계획·설계 단계에서부터 터널 시공상의 안정성과 운영 및 유지관리에 따른 경제성에 대해서도 충분히 검토하여야 한다. 특히 갱구의 위치 결정은 건설비뿐만 아니라 완공 후의 유지 관리비에도 큰 영향을 미치므로 이에 대해 면밀히 검토하여야 한다.

도로 터널에서는 터널 내부를 주행하는 차량의 안전을 확보하기 위해 필요한 환기, 조명, 방재 등의 부대 시설을 설치하여야 한다. 터널 부대 시설의 내용 및 규모는 터널의 연장, 교통량, 선형 등에 따라 정해지지만 이들은 터널 본체 공사의 계획·설계와 불가분의 관계가 있다. 이들의 설비에 필요한 공간을 터널 단면 내에 확보하도록 함은 필수요건임에도 불구하고 경제성만 강조하여 이의 중요성이 간과되어 터널의 기능이 떨어지게 되는 경우가 종종 발생하고 있음을 주지할 필요가 있다. 따라서 계획단계에서는 터널의 시공법은 물론 부대 시설 등의 전체적인 것을 포함한 광범위한 검토가 필요하며 이에 대한 충분한 인식도 요구된다.

터널 구조의 설계에서 가장 인지되어야할 중요한 사항중의 하나는 터널구조물이 일반 구조물에 비하여 지형, 지질 등의 지반 조건이나 시공 방법에 영향을 크게 받는다는 것이다. 즉, NATM 개념의 터널공법에서는 터널 주변 지반은 단순히 터널 구조에 작용하는 하중으로

만이 아니라 터널의 공동을 유지하는 지보 구조체 자체가 된다. 그렇기 때문에 원지반 조건은 계획 단계에서 개통 후의 유지 관리 단계에 이르기까지 터널의 안정성에 영향을 주며, 설계의 전제가 되는 자료로써 세밀히 평가되어야 할 사항이다. 그러나 터널은 굴착 전에 설계를 확정할 수 있는 원지반 조건에 관한 정확한 평가를 수행한다는 것은 현재의 기술 수준 및 경제성의 관점에서 어려울 때가 많다. 따라서 터널의 설계는 예비설계의 개념이 강하며 시공단계에서 실제의 지반조건을 확인하고 원지반이나 지보 구조의 거동을 관찰, 계측하여 실제 지반에 가장 합리적이고 경제적인 지보를 설치하도록 하여야 한다. 최근에는 기계식 굴착 공법인 TBM 터널공법이나 쉴드 터널공법이 도입되어 NATM 개념의 터널공법의 단점을 보완할 수 있도록 하고 있다.

터널은 시공법에 따라 굴착 단면의 모양이나 굴착에 따른 원지반의 거동에 차이가 있으므로 설계 방법 및 지보 구조의 형식이 다를 때가 있다. 따라서, 터널 구조의 설계에 있어서는 초기 단계부터 시공법에 대하여 고려할 필요가 있다.

이와 같이 터널은 일반 구조물이 정해진 설계 방법에 따라 구조 설계가 가능한 것과는 달리 계획·설계에 있어서는 과거의 시공 실적이나 실험 등에 의해 실증된 경험적 방법에 따라 터널 구조물로서 필요한 안정성을 가진 형상과 치수로 하고, 시공 단계에서 설계의 합리화를 도모하는 치수를 결정하여 사용한다. 그러나 실제적인 터널 구조물의 안정성은 터널이 원지반 조건이나 시공법에 크게 영향을 받으므로 그 안정성의 정도를 정량적으로 파악하기는 어려우며, 터널은 일반 구조물과는 달리 개축이나 수리가 곤란하므로 그 계획·설계 단계에서 내구성을 충분히 고려할 필요가 있다.

단계 건설의 경우에는 사전에 완성 후의 상태를 염두에 두고 전체적으로 합리적인 계획·설계가 되도록 노력하여야 한다. 가령 고속도로에서 2차선을 우선 시공하는 잠정 시공인 경우, 갱구 부근의 지형·지질 조건과 상이한 구간의 터널이나 대피 연결갱과 분기부 터널과 같이 구조적으로 복잡한 부분, 시공상의 간섭을 받기 쉬운 부분에 대해서는 장래 시공시점의 어려움을 고려하여 사전에 부분적으로 완성시켜 두는 특별한 배려가 필요하다. 또 인터체인지 등 차량 출입이 있는 부근에서 교통의 원활한 흐름이 손상될 염려가 있는 구간에 터널이 설치될 때는 처음부터 그 구간을 완성 단면으로 하는 등의 방법이 바람직하다.

이상과 같이 터널의 계획·설계에 있어서 터널을 설치하는 목적 및 터널 구조가 갖는 특징을 충분히 이해한 후에 터널이 설치되는 위치의 지형, 지질, 환경 등 여러 조건을 검토하여 터널이 안전하고 합리적으로 시공되고 나아가서 개통 후의 유지 관리도 포함된 전체적인 관점에서 경제적인 설계가 되도록 힘써야 한다.

601.3 용어의 정의

본 편람에서 사용되는 용어 중 기본이 되는 용어에 대한 정의는 다음과 같다.

- **시설한계 :** 터널 이용목적을 원활하게 유지하기 위한 공간적 한계이며 시설한계 내에는 시설물을 설치할 수 없도록 규제하고 있음
- **경사 :** 층리면, 단층면, 절리면과 같은 지질구조면의 기울기 각으로서 주향과 직각으로 만나는 연직면내에서 수평면과 지질구조면이 이루는 사이각

- **계측 :** 터널굴착에 따른 주변지반, 주변구조물 및 각 지보재의 변위 및 응력의 변화를 측정하는 방법 또는 그 행위를 말함
- **굴착공법 :** 막장면 또는 터널의 길이 방향의 굴착계획을 총칭하는 것으로서 전단면굴착, 분할굴착, 선진도갱굴착공법 등이 있음
- **굴착방법 :** 막장의 지반을 굴착하는 수단을 말하며 인력굴착, 기계굴착, 파쇄굴착, 발파굴착방법 등이 있음
- **기계굴착 :** 중장비에 부착된 브레이커, 파워쇼벨, 커터붐 등을 이용하여 굴착하는 방법을 말함. TBM, 쉴드 등에 의한 굴착도 기계굴착에 속함
- **내공변위량 :** 터널굴착후에 생기는 터널 내공의 변화량으로 통상 내공단면의 축소량을 양(+)의 값으로 함
- **뇌관 :** 폭약 또는 화약을 기폭시키기 위해 사용되는 기폭약 또는 첨장약이 장전된 관체를 말함
- **다단발파 :** 발파시 진동을 억제할 목적으로 시간차를 둔 뇌관 또는 발파기를 사용하여 단계적으로 발파하는 방법
- **단차 :** 뇌관의 폭파시간 간격
- **단층 :** 외력에 의하여 지반이 상대적으로 이동된 단열구조로서 이동면을 따라 심한 파쇄암이나 점토 등 충진물이 협재하며, 발생유형에 따라 정단층, 역단층, 충상단층(thrust fault) 등으로 구분됨
- **디스크 커터(disk cutter) :** 쉴드나 TBM 등 각종 기계굴착기에 부착되는 원반형의 커터로 회전력과 압축력에 의해 암반을 압쇄시켜 굴착함
- **뜬돌(부석) :** 낙석의 위험이 있는 암편
- **록볼트(rock bolt)** : 지반중에 정착되어 단독 또는 다른 지보재와 함께 지반을 보강하거나 지반간의 결속을 꾀하여 변위를 구속함으로써 지반의 지내력을 증가시키는 봉상의 부재
- **록볼트 인발시험 :** 록볼트의 인발내력을 평가하기 위한 시험
- **록볼트 축력 :** 지반에 설치된 록볼트에 발생하는 축방향 하중
- **막장 :** 터널내에서 굴착작업이 수행되는 최전방 지역
- **바닥부 :** 터널단면의 바닥부분을 말함
- **발진터널 :** TBM의 초기 굴착시 TBM 본체의 발진을 위한 터널로서 발파공법에 의해 굴착하며, 일반적으로 TBM 본체길이 정도의 터널이 필요함
- **발파굴착 :** 착암기나 점보드릴 등 천공장비에 의해 천공된 공에 화약을 장약하여 그 폭발력을 이용하여 암반을 굴착하는 방법
- **버력 :** 터널 굴착과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭
- **변형여유량 :** 굴착에 따른 지반 변형량에 의해 계획내공단면이 축소되지 않도록 미리 예상되는 지반 변형량 만큼 여유를 두어 굴착하는 내공 반경방향의 여유량
- **벤치(bench) :** 터널 단면을 수평면으로 분할하여 굴착하는 경우에 분할면을 벤치(bench)라 함
- **벤치길이 :** 분할굴착시 분할면의 터널 축방향의 길이
- **보조지보재 :** 막장전방에 설치하여 굴착시 지반의 자체 지보능력을 발휘하도록 도와주는 지보재로서 주지보재를 제외한 지보재의 총칭
- **섬유보강 숏크리트(fiber reinforced shotcrete) :** 숏크리트의 역학적인 특성을 보완하기 위하여 강 또는 기타 재질의 섬유를 혼합하여 타설하는 숏크리트

- **세그먼트 :** 터널, 특히 쉴드터널공법에 사용되는 라이닝을 구성하는 단위조각으로 일반적으로 철재 또는 프리캐스트 콘크리트가 있음
- **숏크리트(shotcrete) :** 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 시공하는 콘크리트
- **스프링 라인(spring line) :** 터널의 상반 아치의 시작선 또는 터널단면중 최대폭을 형성하는 점을 종방향으로 연결하는 선
- **스킵(skip) :** 수직갱을 통하여 버력 등을 운반하는 데 사용되는 운반용구를 말함
- **외판(skin plate) :** 쉴드기계에서 굴진장치, 세그먼트 조립장치 등을 감싸고 있는 원통형의 판을 말함
- **언더피닝(underpinning) :** 기존 구조물이나 기초를 변경 혹은 확대하거나 인접공사 등으로 보완이 필요할 경우 기존구조물을 보강 또는 지지하는 공법
- **이렉터(erector) :** 쉴드기의 구성요소로 세그먼트를 들어올려 링으로 조립하는데 사용하는 장치
- **RMR(Rock Mass Rating) 분류 :** 비에니아스키(Bieniawski)가 제안한 정량적인 암반분류방법이며 암석강도, RQD, 절리면 간격, 절리면 상태, 지하수 상태, 절리면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반상태를 분류하는 방법
- **RQD(Rock Quality Designation) :** 시추코아중 10cm 이상되는 코아편의 길이의 합을 시추길이로 나누어 백분율로 표시한 값으로서 암질의 상태를 나타내는데 사용함. 이때 코아의 직경은 NX규격 이상이어야 함
- **애추(talus) :** 절벽 기슭이나 산 사면에 쌓인 모난 암석의 집합체
- **어깨(shoulder) :** 터널의 천단과 스프링 라인의 중간점을 말함
- **엽리 :** 변성암에 나타나는 지질구조로 암석이 재결정 작용을 받아 같은 광물이 판상으로, 또는 일정한 띠를 이루며 형성된 지질구조를 말함
- **용출수 :** 터널의 굴착면으로부터 용출되는 지하수를 말함
- **이완영역 :** 터널굴착으로 인해 터널 주변의 지반응력이 재분배되어 다소 느슨한 상태로 되는 범위를 말함
- **인력굴착 :** 삽, 곡괭이 또는 픽햄머, 핸드브레이커 등의 소형장비를 이용하여 인력으로 굴착하는 방법
- **인버트(invert) :** 터널 단면의 바닥부분에 설치되어 터널단면을 폐합시키기 위하여 숏크리트 또는 콘크리트 등으로 설치한 지보재를 말함
- **일상계측 :** 일상적인 시공관리를 위해 실시하는 계측으로서 지표침하, 천단침하, 내공변위 측정 등이 포함된 계측
- **장대터널 :** 터널의 연장이 1,000m 이상인 터널을 말함
- **절리 :** 암반중에 발달되어 있는 비교적 일정한 방향을 갖는 갈라진 틈이며 그 양측 암석의 상대이동량이 없거나 거의 없는 불연속면
- **정밀계측 :** 정밀한 지반거동 측정을 위해 실시하는 계측으로서 계측항목이 일상계측보다 많고 주로 종합적인 지반거동 평가와 설계의 개선 등을 목적으로 수행함
- **주 지보재 :** 굴착후 시공하는 지보재로서 보조 지보재 및 콘크리트 라이닝을 제외한 지보재의 총칭이며, 강지보재, 숏크리트, 록볼트, 철망 등으로 구성됨
- **주향 :** 지층, 단층과 같은 판상의 평면과 수평면이 이루는 교선의 방향을 진북 방향으로

기준하여 측정한 방위를 말함

- **지구물리탐사(geophysical exploration) :** 지구물리학적 방법에 의해 광화대의 존재, 지하수분포의 상태, 지질특성 및 지질구조를 조사하는 방법으로서, 중력탐사, 자력탐사, 전기탐사, 전자탐사, 탄성파탐사, 방사능탐사 등이 있음
- **지반 :** 건설행위의 대상이 되는 지표 구성물질로서 토사 및 암반층을 총칭함
- **지보재 :** 굴착시 또는 굴착후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭
- **지보패턴 :** 각 지보재들의 규격, 시공위치, 시공순서, 수량 등을 일정한 형식(pattern)으로 정한 것을 말함
- **지중변위 :** 터널 굴착으로 인해 발생하는 굴착면 주변 지반의 변위로서 터널 반경방향의 변위를 말함
- **지중침하 :** 터널 굴착으로 인해 발생하는 터널 상부 지반의 깊이별 침하
- **지표침하 :** 터널 굴착으로 인해 발생하는 터널 상부 지표면의 침하
- **지하매설물 :** 지표하부에 묻혀있는 인공구조물로서 지장물이라고도 함
- **천단침하 :** 터널 굴착으로 인해 발생하는 터널 천단부의 연직방향의 침하를 말하며 기준점에 대한 하향방향의 절대 침하량을 양(+)의 천단 침하량으로 정의함
- **천정부(crown) :** 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말함
- **초기응력 :** 굴착전에 원지반이 가지고 있는 응력
- **추가볼트 :** 설계된 지보패턴에 추가하여 시공되는 록볼트
- **측벽부(wall) :** 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간을 말함
- **측선 :** 계측을 위해 설정한 측점사이의 최단거리에 해당하는 가상의 선
- **층리 :** 퇴적암이나 충적토 등이 층상으로 쌓이며 생성되는 불연속면
- **커터비트(cutter bit) :** 쉴드기의 면판에 부착하는 칼날형의 비트로 본체와 팁으로 구성되어 있음. 주로 크롬몰리브덴강, 니켈크롬몰리브덴강 등의 내마모강으로 만든 본체의 끝부분에 텅스텐, 코발트, 카본으로 만든 초경합금인 팁을 용접하여 사용함
- **커터숍(cutter shop) :** TBM작업이나 쉴드작업시, 특히 암반부 굴착시 다량 소요되는 예비 커터를 보관하며, 커터의 정비를 하는 창고
- **커터슬리트(cutter slit) :** 쉴드굴착시 굴착토를 커터헤드의 회전에 따라 쉴드기 안으로 끌어담는 역할을 하는 부분을 말함
- **커터헤드(cutter head) :** 쉴드나 TBM의 맨 앞부분에 배열 장착된 각종 커터나 비트를 부착하여 회전 굴착하는 부분을 말함
- **케이지(cage) :** 수직갱을 통하여 버력이나 작업원 등을 운반하는 데 사용되는 바구니 형상의 운반용구
- **K형 세그먼트 :** 쉴드의 세그먼트 조립시 마지막으로 끼워 넣는 세그먼트를 말함
- **콘크리트 라이닝(concrete lining) :** 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근 콘크리트의 터널 부재를 말함
- **Q-시스템 :** 바톤(Barton) 등이 제안한 정량적인 암반분류의 하나이며 RQD, 절리군수, 절리면 거칠기, 절리면 변화정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 분류하는 방법
- **테일 보이드(tail void) :** 세그먼트로 형성된

링의 외경과 쉴드기 외판의 바깥 직경사이의 원통형의 공극. 즉, 테일 스킨 플레이트의 두께와 테일 클리어런스의 두께의 합을 말함

- **테일 스킨 플레이트(tail skin plate) :** 쉴드기계의 테일부의 외판(skin plate)을 말하며 일반적으로 외판보다 약간 두꺼움
- **테일 씰(tail seal) :** 쉴드의 외판 내경과 세그먼트간의 틈이 생기는데 이곳에서 지하수 유입 또는 뒤채움 주입재의 역류를 막기 위해 쉴드 후단에 부착하는 부재를 말함
- **테일클리어런스(tail clearance) :** 테일 스킨 플레이트의 내면과 세그먼트 외면 사이의 간격
- **토피 :** 터널 천단으로부터 지표까지의 연직 두께
- **특수지반 :** 팽창성 지반, 함수미고결지반 등을 말함
- **틈새 :** 절리 등의 불연속면의 벌어진 정도
- **TCR(Total Core Recovery) :** 총시추길이에 대한 총 회수된 코아의 길이비를 백분율로 표시한 값
- **파쇄굴착 :** 유압가스, 팽창성 모르터, 특수저폭속화약 등을 이용하여 암반을 파쇄시켜 굴착하는 방법
- **편압 :** 터널 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력
- **팽창성 지반 :** 팽창성 광물을 다량 함유한 토사 혹은 암반 및 잔류지중응력이 높은 지반
- **표준지보패턴 :** 지반의 등급에 따라 미리 표준화한 지보패턴을 지칭함
- **필러(pillar) :** 굴착면 사이에 남아 있는 기둥이나 벽모양의 지반을 말함
- **함수미고결지반 :** 신생대 3기말부터 제4기에 형성된 퇴적물, 암석의 풍화대, 파쇄대 등의 미고결 또는 고결도가 낮은 지반을 말함
- **허용편차 :** 변형 여유량에 시공상 피할 수 없는 오차를 합한 값을 말함

601.4 참조법규

터널건설시 준수하여야 하는 법규내용을 모두 검토하여 관련 법규에 위배되는 설계가 되지 않도록 하여야 한다. 조사대상이 되는 주된 법규는 다음과 같다.

(1) 공해방지 및 환경보전 관계 : 자연환경 보전법, 자연공원법, 산림법, 조수보호 및 수렵에 관한 법률, 소음진동 규제법, 수질환경 보전법, 해양오염 방지법, 수도법 및 하수도법, 광업법, 지하수법, 폐기물 관리법, 토양환경 보전법 등

(2) 재해방지 관계 : 사방 사업법, 택지개발 촉진법, 농어업 재해대책법, 풍수해 대책법 등

(3) 국토개발 관계 : 국토건설 종합계획법, 국토이용 관리법 등

(4) 하천 관계 : 하천법, 공유수면 관리법, 지하수법, 온천법 등

(5) 도시계획 관계 : 도시계획법, 도시공원법 등

(6) 도로 및 교통 관계 : 도로법, 도로교통법, 철도법 등

(7) 군사 관계 : 군사기밀 보호법, 군사시설 보호법 등

(8) 문화재 관계 : 문화재 보호법, 전통구조물 보존법 등

(9) 안전 관계 : 시설물 안전에 관한 특별법, 건설기술 관리법, 산업안전 보건법 등

(10) 총포 및 화약류 단속법 등

602
기 본 계 획

602.1 계획의 기본

1.1 계획의 기본

터널계획은 터널건설의 목적 및 기능의 적합성, 공사의 안전성 및 시공성, 공법의 적용성을 우선하여 수립하되 건설비 및 유지관리비를 포함하여 경제성이 있도록 하여야 한다. 터널건설이 많이 예상되는 산간지에서의 터널 연속구간이나 전후에 높은 교각의 교량이 있을 경우에는 개개의 터널이 아닌 노선 전체적인 관점에서 계획해야 한다. 또 터널계획은 터널 환기시설, 조명시설 등으로 대표되는 유지 관리상의 제 설비가 따른다는 점에서 기능이나 역할을 충분히 인식하여 종합적, 유기적으로 이들을 결부시켜 경제적으로 계획해야 하며, 공사중의 안정성 확보 및 개통후의 주행 안전성도 고려해야 한다.

1.2 터널계획과 조사

터널계획은 지역여건, 지형상태, 토지이용 현황 및 장래전망 등 사전조사 성과를 기초로 하여 수립하여야 한다. 터널계획은 조사성과에 기초하여 지반조건, 입지조건 등을 검토한 후에 터널의 기능 및 공사의 안전을 확보함과 동시에 건설뿐만 아니라 장래의 유지관리비도 포함한 경제성을 갖추도록 힘써야 한다.

특히 터널공사는 특성상 당초 조사만으로 지형, 지질, 지하수 등의 상황, 즉 지반조건을 완전히 파악하는 것은 어려우므로, 시공중 지반상태에 따라 당초계획을 변경하는 경우가 있다. 따라서 계획단계 뿐만 아니라 시공단계와 유지관리 단계에서도 조사가 지속적으로 필요하다. 그러나 시공중의 대폭적인 설계변경은 공사기간, 공사비의 손실이 커지기 때문에 터널계획시에 조사를 철저하게 실시하고 조사결과를 잘 검토하여 큰 변경이 생기지 않도록 해야한다.

1.3 터널계획과 환경

터널계획은 공사중은 물론 유지관리시 주변환경에 유해한 영향을 미치지 않도록 하고 환경보전에 대해서도 검토하여 수립하여야 한다. 터널은 다른 도로구조에 비해 자연에 미치는 영향이 적어 일반적으로 도로건설에서 자연보호 대책은 크게 문제시되지 않는다. 그러나, 환경, 자연보호에 관한 의식이 높아짐과 동시에 자연보호 및 보전대책이 강하게 요구되고 있고, 또한 터널은 일반적으로 자연경관이 비교적 좋은 지역에 건설되므로 위치 선정시부터 터널갱구 부근이나 수직구 부근 등은 주변경관과의 조화에 대하여 충분한 배려를 해야 한다.

602.2 터널의 기본계획

2.1 평면선형 계획

2.1.1 평면선형

터널의 평면선형은 가능한 한 지반조건이 양호하고 유지관리가 용이하며 주변환경에 미치는 영향이 적은 곳을 통과하도록 결정하여야 하며 특히, 편압이 예상되는 계곡부 및 습곡지역, 애추, 용출수가 많을 것으로 조사된 지역, 안정성이 우려되는 단층 및 파쇄대지역 등은 피하는 것이 바람직하다.

터널의 평면선형은 가능한 한 직선으로 계획하되 경제성 및 시공성을 고려하여야 하며 종단선형과 상호 연계하여 조화되도록 계획하여야 한다. 계획터널이 지상구조물, 지하구조물, 터널 등 기존시설물에 근접하여 통과하는 경우에는 기존시설물의 중요도 및 구조적인 특성에 따라 터널 굴착공사로 인한 영향을 검토하여야 하며 장래지상 및 지하개발 계획을 감안하여 필요시 방호공 등의 사전대책을 수립하여야 한다. 터널의 부속시설인 환기구, 피난갱과 장대터널에서의 작업구 및 터널외부 설비, 사토장 등의 입지조건도 선형계획시 검토하여야 한다.

장대터널에서는 터널내 조명시설을 하더라도 터널 안과 밖의 밝기가 매우 다르므로 운전자가 서서히 순응할 수 있도록 일정한 곡선부 설치 등의 배려가 필요할 때도 있다. 또한 터널 안의 도로선형을 작은 곡선 반경으로 하면 회전시에 주행 안정성이 떨어지고 시거를 확보하기 위한 터널의 확폭이 필요하여 경제적이지 못하므로 이와 같은 설계는 가능한 한 피해야 한다.

도로터널에서의 설계속도와 정지시거, 최소반경 사이의 관계를 폭원구성이 y = 3.19 m (1차로 3.6/2 + 측대 1.0 + 시설대 0.39)일때의 상관관계를 예로 들면 다음과 같다.

설계속도 (km/h)	120	100	80
정지시거 C (m)	280	200	140
최소반경 R*1 (m)	3,072	1,567	768

*1 $R = \frac{C^2}{8y}$ (R : 곡선반경)

주변지형에 대하여 균형 있는 선형으로 할 것과 큰 지질구조선 가까이로 평행한 노선을 택하지 않는 등 지형, 지질면에 대해서도 검토해야 한다. 이 밖에 수직갱이나 사갱, 가로갱을 수반하는 터널일 때는 그 평면선형의 결정에 있어서 이들의 위치도 포함하여 검토해야 한다.

2.1.2 터널 갱구부 계획

터널의 갱구위치는 안정된 지반으로 지형조건이 좋은 위치에 선정하도록 하며 토지이용현황, 토피 등을 감안 시공성을 우선하여 결정하되 편압 및 사면활동의 영향이 없는 안정된 지반의 자연사면에 직교되도록 선정하는 것이 바람직하다. 터널의 갱구부근은 경사면에 접하고 토피가 작기 때문에 불안정한 곳이므로 갱구의 위치는 사면의 최대 경사각과 직교하거나 그에 가까운 곳, 사면활동이 없는 안정한 양질의 지반에 설치하도록 하여야 한다. 그러나 선형계획시 터널 전체의 선정조건의 제약으로 갱구의 위치가 편압 작용, 사면활동, 낙석, 토석류, 홍수, 눈사태, 안개 등의 불리한 위치에 설치해야 하는 경우도 있는데, 이때에는 갱문의 구조선정 및 방재설비의 설치를 고려한 후 위치를 선정해야 한다.

2.1.3 병렬터널 중심간격

터널을 2개 이상 병렬로 계획하는 경우에는 터널의 단면 크기와 굴착대상 지반의 공학적 특성을 감안하여, 터널 굴착공사로 인한 주변 지반거동 및 발파진동이 인접 터널에 나쁜 영향을 미치지 않도록 상호 충분히 이격시켜야 한다. 또한, 병렬 혹은 교차되는 형태로 설치할 경우 선행시공과 후행시공 터널 상호간의 영향을 검토한 뒤 위치선정을 해야 한다. 터널 상호간의 영향에 대해서는 지반조건이나 시공법에 따라 다르지만, 지반이 완전탄성체일 경우에는 굴착폭(D)의 2배, 연약지층인 경우에도 5배로 하면 거의 상호간에 영향을 미치지 않는다(도로설계요령(1992)). 통상적인 암반지반에서는 중심간격을 3D 이상으로 하는 것이 일반적이지만, 터널의 입지조건 때문에 이보다 근접해야만 할 경우나 연약한 지반인 경우에는 충분히 상호간에 미칠 영향에 대해 조사·검토한 뒤 시공법이나 계측 등에 대한 계획을 세워야한다. 참고로 <표 602.1> 은 국내의 기존 병렬 터널에 적용한 예를 나타낸 것이다.

그러나 일률적으로 2D~3D의 중심간격을 확보하면 접속하는 토공구간에 길고 큰 비탈면이 생기는 경우와 교량과 근접하고 있을 경우에는 공사비나 유지 관리비가 늘어나므로 이를 피하기 위해 양 갱구를 접근시키는 방법도 가능하다. 이러한 경우 단계건설을 할 때는 이미 설치된 터널에 주는 영향에 대해서도 충분히 검토할 필요가 있으며, 필요하다면 갱구부근은 미리 공사를 시행해 두는 것도 바람직하다.

또 원지반의 안정성이 충분할 때나 용지비가 많이 들 때에는 오히려 중심간격을 좁게 하는 것이 유리할 때도 있다. 이 때는 갱구부근만 근접시키고 터널 내부를 차차 넓혀나가는 방법도 가능하다. 장대터널에서는 병렬터널 간의 연결 등 유지 관리상의 문제점에 대해서도 고려해 둘 필요가 있다.

터널을 다른 구조물과 교차시키는 것은 가능한 한 피하도록 해야 하지만 부득이 하게 다른 구조물에 근접하여 터널을 설치할 경우에는 구조물 상호간에 미칠 영향을 검토하여 위치를 선정해야 한다.

<표 602.1> 병렬터널의 중심간격 적용 예

구 분 / 차선수	터 널 명	터 널 폭 (m)	굴 착 폭 D (m)	D 와 의 배 수 관 계	비 고
편도 2차로	죽 령 터 널 (중앙고속도로)	10.03	11.93	2.515D (30m)	2차로 고속도로 터널의 일반적 기준은 2.5D
	상 주 터 널 (중 부 내 륙)	11.30	12.00	2.516D (30.2m)	
	내 사 터 널 (영동고속도로)	10.86	11.86	2.530D (30m)	
편도 3차로	매 봉 터 널 (서 울 시)	12.55	14.66	2.046D (30m)	암질 매우 양호
	소 하 터 널 (제 2경인고속도로)	13.81	15.88	2.834D (45m)	급사면, 토피 20m 정도의 계곡 통과
편도 4차로	수 암 터 널 (서울 외곽순환)	17.94	19.63	2.262D (44.4m)	암질 보통

이 경우에는 터널 굴착에 따른 지표면 침하, 구조물 변위·진동, 지하수위 변화로 인한 영향을 검토하여 기설구조물에 대한 방호대책, 보조공법에 대해서도 사전에 검토한다.

일반적으로 터널이 교차할 경우에는 가능한 한 직교하도록 하는 것이 유리하다.

2.1.4 차선분리구간 선형검토

도로터널의 경우 일반적으로 병렬터널로 계획되므로 상·하행선 차선의 분리에 따른 평면선형의 원만한 접속이 필요하게 되며 여기에는 원곡선에 의한 방법과 배향곡선에 의한 방법이 있다.

(1) 선형설계기준

평면선형에 대한 최소 기준은 다음과 같으며 터널 전후의 분리 구간에도 동일한 기준이 적용된다. 아래의 값은 설계 속도 120 km/h 경우에 해당하는 값이며 100 km/h, 80 km/h일 경우는 ( )에 표기하였다.

- 최소 곡선반경 : 710m (460m, 280m)
- 최소곡선의 길이
  - 도로의 교각이 5°이상인 경우 : 140m (110m, 90m)
  - 도로의 교각이 5°미만인 경우 : 700 /θ (550 /θ , 450 /θ)
- 배향곡선사이의 직선길이
  - 양 곡선부의 크로소이드가 겹치는 길이

$$L \leq \frac{A_1 + A_2}{40}$$

L : 크로소이드 겹치는 길이(m)

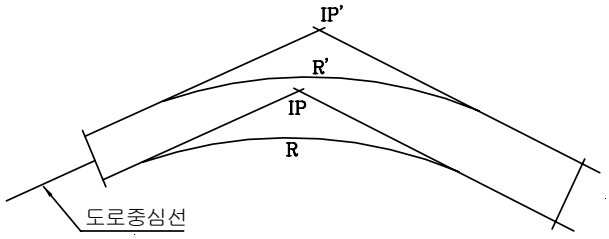
A_1, A_2 : 크로소이드 파라미터(m)

- 양 곡선부의 크로소이드를 접속시킨 직선장을 20 m 이하 또는 240 m (200m, 160m)이상으로 하여야 한다.
- 완화곡선을 생략할 수 있는 곡선반경 : 3,000 m (2,000 m, 1,500m)

(2) 원곡선에 의한 선형분리

터널 전후 구간에 원곡선이 설치된 경우는 상·하행선의 곡선 반경에 약간의 차이를 두어 분리할 수 있으며 보통의 경우는 여기에 해당된다.

차선분리 구간 시점부터는 상·하행선 각각의 내측차로 시점이 도로 중심선이 되므로 이를 기준으로 다음과 같이 각각 다른 곡선을 설치한다.



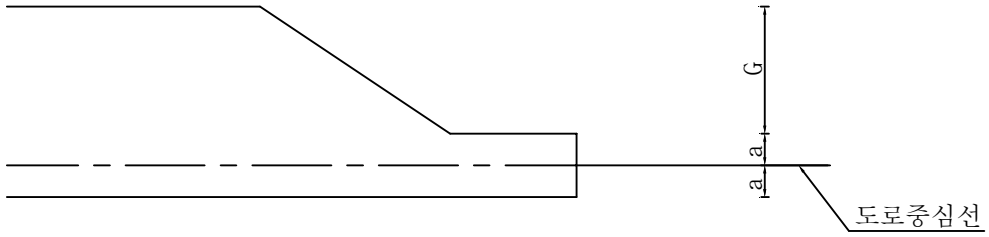
곡선반경이 지나치게 클 경우 차선분리 구간의 연장이 길어져 용지비 및 공사비가 과다해질 우려가 있고 지나치게 작을 경우는 교통사고 또는 지체의 요인이 될 수 있으므로 신중히 결정하여야 한다.

(3) 배향곡선에 의한 분리

이 방법은 터널 전후구간이 직선인 경우에 적용하며 편측분리하는 방법(1안)과 양측 분리하는 방법(2안)이 있다.

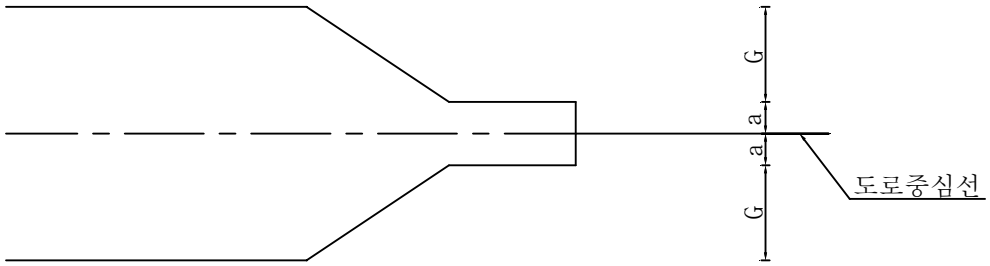
① 설치방법 개요

가. 편측분리하는 방법(1안)



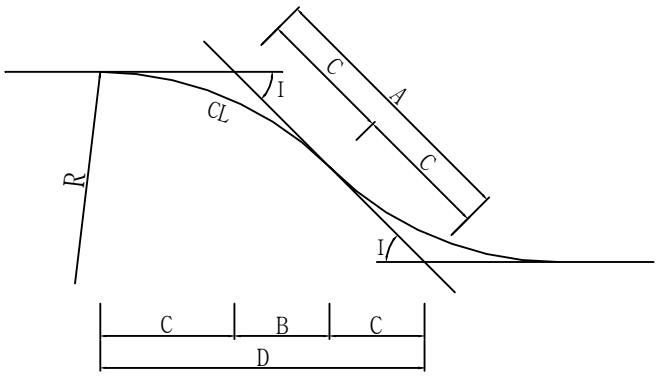
G : 분리구간 시·종점부 중심선 이격거리
a : 분리구간 시·종점부 상 하행 중심선 이격거리

나. 양측분리하는 방법(2안)



G : 분리구간 시·종점부 중심선 이격거리
a : 분리구간 시·종점부 상 하행 중심선 이격거리

② 곡선 제원의 계산방법 (최소 기준)



$A = G \div \sin I$

$B = G \div \tan I$

$C = A / 2$

$R = C \div \tan I/2$

$CL = \pi / 180 \times R \times I$

③ 적용방법

곡선제원은 다양하게 검토할 수 있으나 분리구간이 짧을수록 경제적이므로 가급적 최소제원을 적용하는 것이 유리하다.

분리구간의 시·종점부 중심선 이격거리 및 상·하행선 이격거리가 정해져 있으므로 완화곡선을 생략할 수 있는 최소곡선반경 이상의

곡선반경을 적용하면 곡선제원을 결정할 수 있는데 곡선부의 곡선장은 설계속도별로 요구되는 최소곡선장 이상의 값이어야 한다.

④ 고속도로 적용 예

가. 설계속도 V = 120 km/h 일 경우

구 분		G(m)	R(m)	CL(m)	D(m)	최소곡선장 (m)	I(°)
4 차로	편측분리	19.8	3,000	243.8	487.0	150.3	4°39′21.75"
	양측분리	9.9	12,372	350.0	699.9	350.0	1°37′15"
6 차로	편측분리	26.2	3,000	280.5	560.1	140.0	5°21′23"
	양측분리	13.1	3,000	198.3	396.3	184.9	3°47′12.5"

나. 설계속도 V = 100 km/h 일 경우

구 분		G(m)	R(m)	CL(m)	D(m)	최소곡선장 (m)	I(°)
4 차로	편측분리	19.8	2,000	199.1	397.5	110.0	5°42′11.4"
	양측분리	9.9	2,000	140.7	281.3	136.4	4°01′55"
6 차로	편측분리	26.2	2,000	229.0	457.1	110.0	6°33′41"
	양측분리	13.1	2,000	161.9	323.5	118.6	4°38′18"

⑤ 적용시 고려사항

가. 분리구간 설계시는 지형여건, 편입용지의 범위, 경제성, 시공성 등을 고려하여 적절한 방법으로 적절한 곡선을 계획하여야 하며 가급적 분리구간이 짧아지는 방법이 유리하다.

나. 터널 또는 터널 전·후 접속구간이 지형여건상 곡선으로 설치하여야 할 경우에는 터널 전·후 구간의 곡선반경 또는 I.P를 조정하여 접속거리(D)가 최소가 되고 지형여건에 맞도록 선형설계를 하여야 한다.

2.2 종단선형 계획

도로터널의 종단선형은 주행안전성, 환기, 방재설비, 배수 및 시공성을 고려하여 결정해야 하고, 경사는 배수에 지장이 없는 범위내에서

가급적 완만하게 계획하여야 하며 기능상 부합되어야 한다.

2.2.1 배수에 의한 영향

터널 개통후의 터널내부 용출수를 종단배수구에 의해 자연유출 시키려면 통상적으로 0.1% 이상의 경사가 있으면 효과적이지만, 시공중의 용출수를 자연유출 시키기 위해서는 용출수가 적을 경우에도 0.3%이상, 상당히 많은 경우 0.5%정도의 경사가 필요하다. 경사를 크게하면 시공중 작업능률이 떨어지는 시공상의 문제와 개통후에도 교통용량이 저하될 우려가 있다. 또한 노면수가 터널내로 유입되면 결빙되어 차량운행에 안전사고가 발생할 수 있으므로 터널 시·종점부의 갱구선정에 특별히 유의하여 되도록 노면수가 유입되지 않도록 하여야 한다.

2.2.2 환기에 의한 영향

기계환기를 필요로 하는 터널에서는 환기 계획상 특수한 경우를 제외하면 일반적으로 0.3~3.0% 사이의 경사로 완만하게 사용하는 것이 바람직하다.

2.2.3 계획경사 및 심도

계획경사는 터널입구에서 진행방향으로 가능한 한 상향경사가 되도록 하여 시공중 배수가 원활히 이루어지도록 계획하되 환기검토가 수반되어야 한다. 그러나 현장조건과 터널의 목적에 따라 하향경사가 불가피할 경우에는 공사중 배수설비를 별도로 계획하여야 한다. 장대터널에서 배수보다는 환기기능을 우선으로 고려할 필요가 있는 경우에는 반대로 하향경사를 채택할 수 있으나 이 경우에는 공사중 별도의 배수설비를 계획하여야 한다.

종단계획에 따른 터널의 최소토피는 터널의 구조적 안전영역의 범위가 확보되도록 결정하여야 하며, 최소토피에는 장래 예상되는 토지이용 한계심도를 반영하여야 한다.

2.2.4 공사비 추정시 종단경사에 대한 고려

종단선형 비교시 흔히 m당 동일 공사비를 적용하면서 종단경사를 크게 하여 터널의 연장을 줄이는 경향이 있다. 이는 별도의 환기가 필요치 않은 터널에서는 타당하나 환기가 필요한 터널에서 이러한 방법은 중대한 실수를 유발할 수 있다. 다음은 종단경사가 환기에 미치는 영향 및 환기량과 터널 단면적과의 관계에 대해 언급하기로 한다.

(1) 종단경사가 환기에 미치는 영향

다음 식은 소요 환기량 산정시의 경사 및 표고에 따른 보정을 나타내는 식이다.

$$Q = K_1 \cdot K_2 \cdot q \cdot L \cdot N$$

K_1 : 경사 보정계수

K_2 : 표고 보정계수

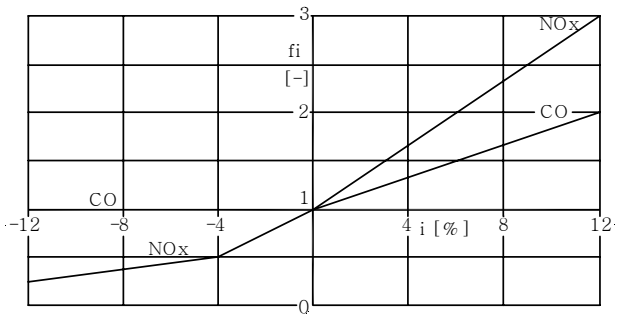
q : 환기량계수($m^3/s \cdot km$)

L : 터널연장(km)

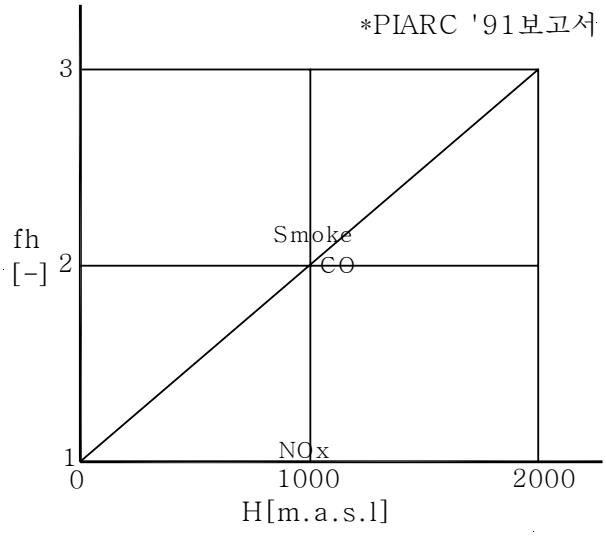
N : 교통량(대/hr)

상기 식중 표고보정계수(K_2)가 미치는 영향은 극히 미소한 차이를 보이나 경사에 따른 보정계수(K_1)의 값은 그 차이가 커서 단면적에 큰 영향을 미친다. 아래 <그림 602.1, 2>는 경사 및 표고와 보정계수(K_1, K_2)의 관계를 표

시한 것이다.



<그림 602.1> 경사 조정계수(CO, NOx)



<그림 602.2> 표고 보정계수(매연, CO, NOx)

(2) 환기량과 터널 단면적

소요 환기량 Q 로부터 터널의 단면적 (혹은 덕트의 단면적)을 산출하는 식은 아래와 같고, 환기방식에 따른 터널단면은 <그림 602.3>과 같다.

$$A = \frac{Q}{V}$$

A : 단면적

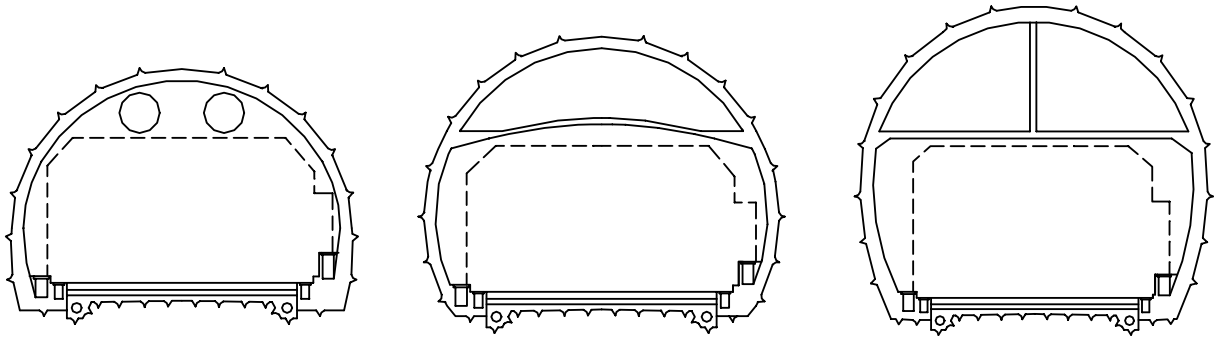
- 종 류 식 : 차도 단면적
- 반횡류식 : 덕트 단면적
- 횡 류 식 : 송기(혹은 배기) 덕트 단면적

V : 풍 속

- 종 류 식 : 차도내 풍속
- 반횡류식 및 횡류식 : 덕트내 풍속

(3) 주의사항

차도내 혹은 덕트내의 풍속이 제한을 받게 되므로 환기량이 많아지면 필연적으로 단면적의 증대가 필요하다. 따라서 환기가 필요한 터널에서 선형비교에 따른 공사비 분석을 할 경우는 환기문제에 대한 철저한 분석이 선행되어야 한다. 앞으로 터널의 장대화 경향을 고려할 때 이점은 대단히 중요할 것으로 판단된다.



종류식 반횡류식 횡류식

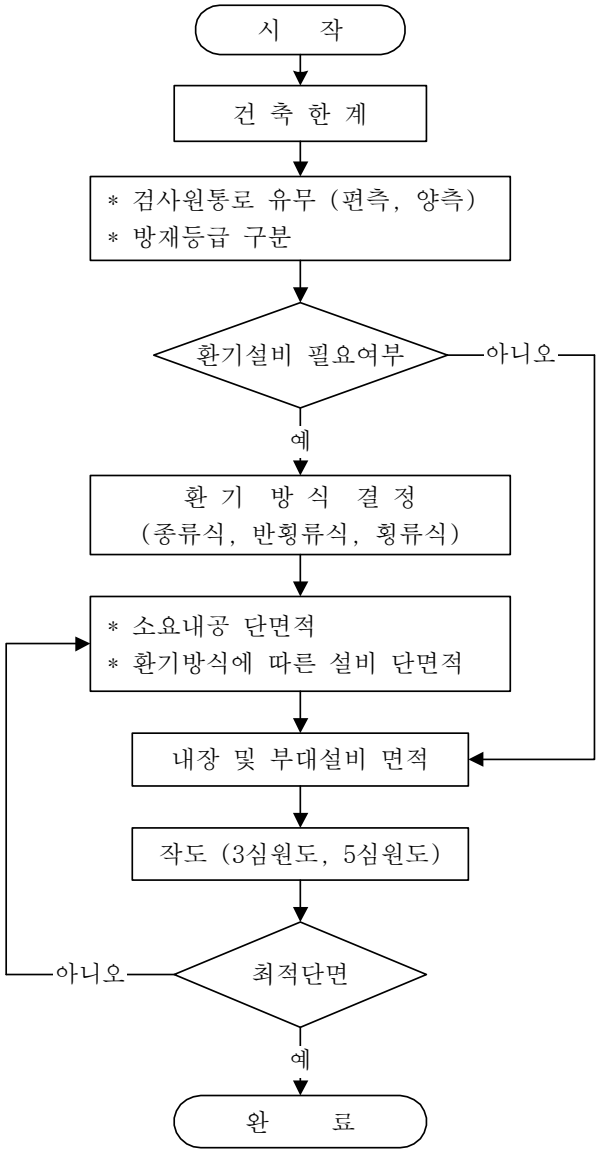
<그림 602.3> 환기방식에 따른 터널단면

2.3 내공단면 계획

2.3.1 내공단면

내공단면은 터널목적 및 기능에 따라 소요시설한계와 선형조건에 따른 확폭량, 터널내 제반설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유폭 등을 고려하여 결정해야 하며 시공오차 등에 대한 여유를 예상하여 결정해야 한다. 내공단면 결정 순서도는 <그림 602.4>와 같다.

도로터널의 내공단면은 통상 그 종별이나 등급에 따라 별도로 제시하고 있는 시설한계가 정해지고 있다. 이 시설한계 외에 환기시설, 조명시설, 비상용시설, 표식을 위한 단면을 효율적으로 배려한 다음 시공오차 등에 대한 약간의 여유를 예상하여 내공단면을 결정한다.



<그림 602.4> 내공단면 결정 순서도

이런 터널에서는 평면선형에 따라 횡단경사가 변하여 시설한계가 변하므로 이것도 고려해야 한다.

터널의 내공단면 계획시에는 지형 및 지반조건, 토피정도에 따라 2개 이상의 소단면 병렬터널이나 1개의 대단면 터널로의 채택여부를 검토하여 안전성, 시공성 및 경제성을 확보하여야 한다.

지반조건이 열악하고 주변여건상 터널시공이 장래문제를 유발할 가능성이 있는 지역에서는 가급적 소단면 병렬터널을 계획하는 것이 바람직하다.

터널의 굴착단면 계획은 내공단면을 기준으로 하여 지보재의 총 두께, 콘크리트 라이닝의 두께 및 허용편차를 고려하되, 구조적으로 유리한 형상으로 결정해야 한다.

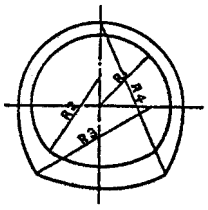
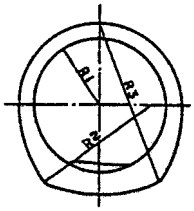
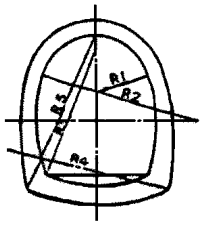
동일 작업구간내의 터널 내공단면은 가급적 동일한 규격 및 형상으로 표준화하여 시공성을 높일 수 있도록 계획하여야 한다.

내공단면이 현저하게 작은 터널을 계획할 경우에는 작업환경과 시공성을 고려하여 내공단면을 결정해야 한다.

2.3.2 터널의 단면형상

터널의 단면은 응력·변형 등에 대하여 구조적으로 안정하고 굴착량 등도 고려하여 선택하여야 하는데 최근의 도로터널에서는 대부분이 난형을 채택하고 있다. 단면형상에 따른 특성은 <표 602.2>와 같다.

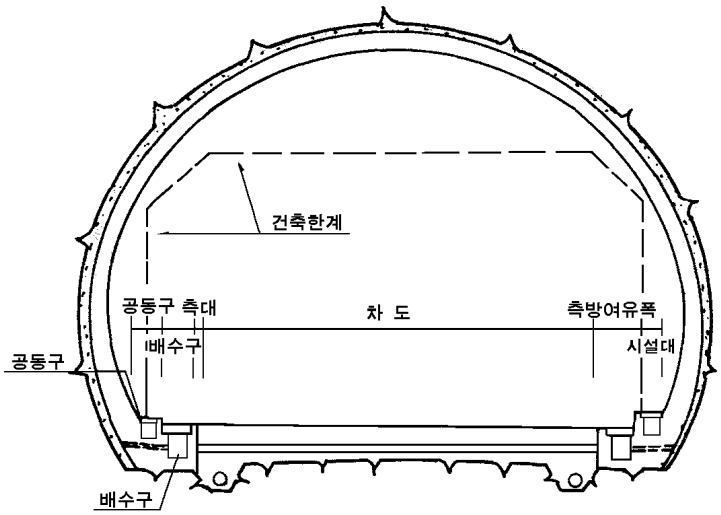
<표 602.2> 터널의 단면 형상 비교

구분 / 형상	단 면	장 점	단 점
난 형		· 구조적으로 안정 · 양수압에 안정 · 원형보다 굴착량이 적어 경제적	· 마제형보다 굴착량이 크므로 다소 비경제적
원 형		· 구조적으로 가장 안정 · 양수압에 안정	· 굴착시공이 공법에 따라 난이 · 굴착면적이 크므로 비경제적
마 제 형		· 굴착 시공성 양호 · 여굴량이 적어 경제적 · 도로터널에서 피난연락갱 단면에 적용	· 원형보다 구조적으로 다소 불안정 · 양수압에 불안정

2.3.3 터널 단면의 구성요소

터널단면의 구성요소에는 차선폭, 측대, 배수구, 공동구, 시설한계, 측방여유폭 및 시설대 등이 있으며 <그림 602.5> 와 같다.

국내에서 적용된 설계 및 시공사례에 대한 단면치수를 <표 602.3> 에 제시하였다.



<그림 602.5> 터널 단면의 구성요소

<표 602.3> 설계 및 시공 사례(국내 도로터널) (단위 : m)

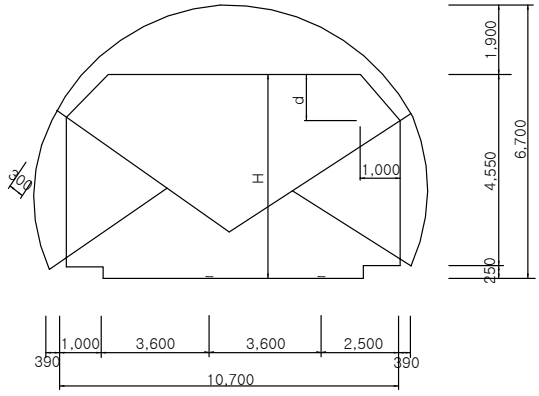
구 분	총 폭	차선폭	측 대	배수구	공동구	측방여유폭	시설대	비 고
편도 2차로 고속도로	9.98	3.60	0.25	0.55	0.59	1.00	0.39	'97 이전
편도 2차로 고속도로	11.48	3.60	0.25	0.55	0.59	2.50	0.39	'97 이후
싸릿재 터널	10.10	3.50	0.25	0.65	0.60	1.00	0.60	국도
오 운 터 널	9.98	3.50	0.25	0.65	0.59	0.90	0.59	국도
고 덕 터 널	10.31	3.50	0.25	0.55	1.06	0.80	0.65	국도

(1) 시설한계

시설한계란 차량이나 보행자의 교통안전을 보호하기 위하여 일정한 폭과 높이 및 범위 내에서는 장애가 될 만한 시설물을 설치하지 못하게 하는 공간확보의 한계이다.

내공단면은 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙의 시설한계를 만족시키는 것을 전제로 폭원은 차도, 측방여유폭 및 시설대로 구성되고 높이는 4.8m를 확보할 수 있도록 계획되어야 한다. 그러나 배수구 및 공동구의 규격, 검사원 통로의 설치, 환기시설 등의 요인으로 표준단면보다 큰 단면을 적용해야 할 경우가 있다. 따라서 설계자는 필요한 시설 및 규격을 고려하여 단면을 결정해야 한다. 터널표준단면(한국도로공사) 적용시의 단면구성은 <그림 602.6>과 같다.

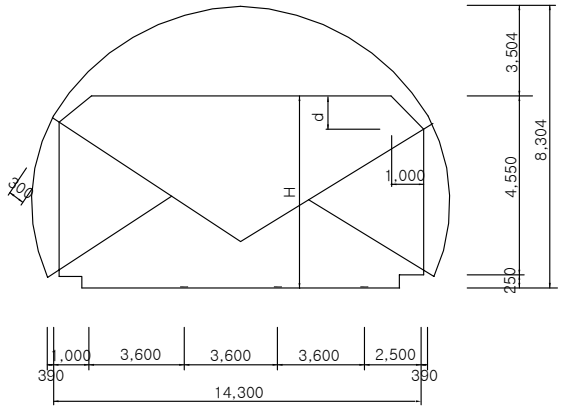
• 2차로



d = H - 4.0 (m)

- 차 도 : 7.2m (2×3.6=7.2m)
- 시 설 대 : 0.78m (2×0.39=0.78m)
- 측방여유폭 : 3.5m (1.0+2.5=3.5m)
- 총 폭 원 : 11.48m

• 3차로



d = H - 4.0 (m)

- 차 도 : 10.8m (3×3.6=10.8m)
- 시 설 대 : 0.78m (2×0.39=0.78m)
- 측방여유폭 : 3.5m (1.0 + 2.5=3.5m)
- 총 폭 원 : 15.08m

<그림 602.6> 표준단면의 구성

(2) 배수구

배수구는 터널내로 유입되는 유입수를 처리할 수 있는 단면으로 설계하여야 한다. 배수구의 기능은 터널주변 암절리면을 타고 흘러 들어오는 용출수를 처리함과 아울러 터널내부로 유입되는 노면수 및 터널내 청소 등으로 발생되는 표면수를 원활히 처리하기 위하여 설치한다. 터널표준단면(한국도로공사) 및 기존의 배수구 설계사례를 들어보면 다음 <표 602.4>와 같다.

<표 602.4> 배수구 설계사례

구 분	측벽유공관	배수구	맹암거	비 고
터널표준단면	ϕ100	'97 이전 : 330 × 400 '97 이후 : ϕ300, ϕ400	ϕ200	측벽 유공관은 10m 마다 설치하였음
영 동 터 널	ϕ100	330 × 400	ϕ200	
서울외곽터널	ϕ100	400 × 600	ϕ300	
상 주 터 널	ϕ100	좌측 : 330×467 우측 : 330×617	ϕ300	
죽 령 터 널	ϕ100	ϕ 300	ϕ400	
차 령 터 널	ϕ100	400×540	ϕ300	

(3) 공동구

공동구는 전기, 소화전, 배수관, 전선관 등 점용물을 공동 수용할 수 있는 규모로 계획하여 미관과 교통소통에 지장이 없는 위치에 설치토록 한다.

한국도로공사에서는 공동구의 크기를 자연환기시에는 300×300으로, 기계환기시에는 450×600을 권장하고 있으며, 터널표준단면(한국도로공사) 및 기존의 설계사례는 <표 602.5>와 같다.

<표 602.5> 공동구 설계사례

구 분		좌 측(mm)			우 측(mm)			비 고
		가로	세로	배수구 연결관	가로	세로	배수구 연결관	
터널표준단면		300	300	-	300	300	-	자연환기시 공동구 크기
영 동 터 널		300	300	-	300	300	-	표준단면과 동일
서울외곽터널		400	600	ϕ100	400	600	ϕ100	청계, 수리터널
상주터널	상행선	450	650	ϕ50	450	494	ϕ50	검사원 통로쪽 : 450×650
	하행선	450	500	ϕ50	450	650	ϕ50	
죽 령 터 널		400	170	ϕ50	550	900	ϕ50	
차령터널	상행선	550	800	ϕ50	430	542	ϕ50	검사원 통로쪽 : 550×800
	하행선	430	542	ϕ50	550	800	ϕ50	반대쪽 : 430×540

(4) 검사원 통로

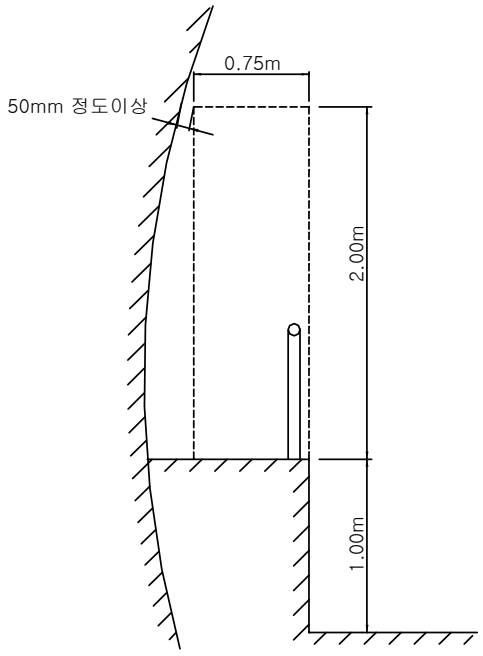
터널의 측벽부에 있는 차도시설한계이외의 여유부중 보수점검 작업원의 안전성확보를 목적으로 관리용 통로를 확보해 두는 것을 검사원 통로라 한다.

일반적으로 터널안에는 환기·조명·방재에 관한 각종 설비기기들이 설치되며 이들의 기능을 유지하기 위해서는 적정한 빈도의 보수점검 작업이 필요하지만 보수점검에 따른 교통통제를 할 경우 이용자에 대한 서비스가 저하된다. 따라서 검사원 통로는 양측에 설치되는 것이 이상적이나 건설비가 많이 들고 방재설비기기 중에서 터널 양측에 설치되는 것은 조명등을 제외하면 소수이므로 피난연락갱 위치를 고려하여 편측에 설치한다.

그러나 위와 같은 설치의 필요성에도 불구하고 검사원 통로의 설치가 주행차선의 운전자에게 상당한 심리적 부담감을 줄 우려가 있으므로 이의 설치에는 신중을 기하여야 한다.

기존 터널의 경우에도 장대터널이 아닌 경우는 이를 설치하지 않았으며 설치할 경우에도 그 설치 높이(1.0m)에 대해서는 주행자가 느낄 중압감, 시거 등을 고려하여 재검토 할 필요가 있다. 검사원 통로의 설치 예는 <그림 602.7>과 같으며, 참고로 일본도로공단의 설치기준은 다음과 같다.

- 방재등급 'A'인 터널
- 터널 연속구간에서 장기간 양방향 교통이 예상되는 방재등급 'B'인 터널
- 검사원 통로가 있는 두 개의 중간 혹은 검사원 통로가 있는 터널말단에 근접하는 터널에서 밝은 구간이 짧고 같은 통로에 의해 일상의 유지관리가 효율적으로 실행된다고 생각되는 터널



<그림 602.7> 검사원 통로

(5) 내 장

양호한 시거환경 확보와 주행조건 향상 등을 목적으로 터널벽면에 내장을 설치한다.

특히 고속도로 터널에서는 주행차량의 속도가 빠르므로 운전자에게 양호한 시거환경을 갖도록 하는 것이 중요하다.

터널 내장의 목적은 다음과 같다.

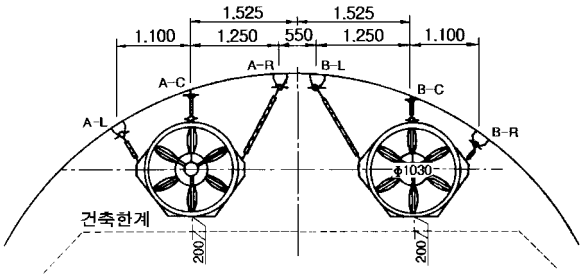
- 터널내 조명을 균등하게 반사시켜 조명효과를 향상시킨다.
- 터널벽면의 위치를 운전자에게 쉽게 인식시켜 교통의 안전을 유도한다.
- 터널벽면의 요철을 균등화하고 운전자에게 중압감을 주지 않도록 한다.
  - 배선, 배관 등의 노출을 막고 미관을 살린다.
  - 불규칙한 콘크리트 라이닝면을 조정한다.
  - 벽면에 노출된 누수 등을 눈에 띄지 않게 한다.
- 터널 안의 소음을 흡수한다.

일반적으로 내장은 다음 <그림 602.8>과 같이 좌·우측 벽면측에 설치하며 건설부에서 제시한 설치기준은 '도로의 구조·시설기준에 관한 규정 해설 및 지침(1990)'에 의하면 터널 등급 구분 'A'인 터널에는 일반내장을 설치하도록 되어 있다. 또한 갱구부근의 도로 소음을 낮추어야 할 터널에는 흡음내장을 설치할 필요가 있다. 여기서 일반내장이란 터널 안의 시각환경을 개선하는 목적으로 하는 것이며, 터널의 옆벽, 검사원통로 및 등기구 주위에 설치하는 보통의 내장을 말하며, 흡음내장이란 터널의 소음대책을 목적으로 하는데, 터널 밖의 갱구부근의 도로소음 대책을 위해 설치하는 것이다. 단, 내장은 시설한계(길어깨부 및 검사원통로부)에는 영향을 주지 않는 높이로 계획하며, 검사원통로와 측벽면에는 내장판의 설치여유폭 30mm를 확보한다.

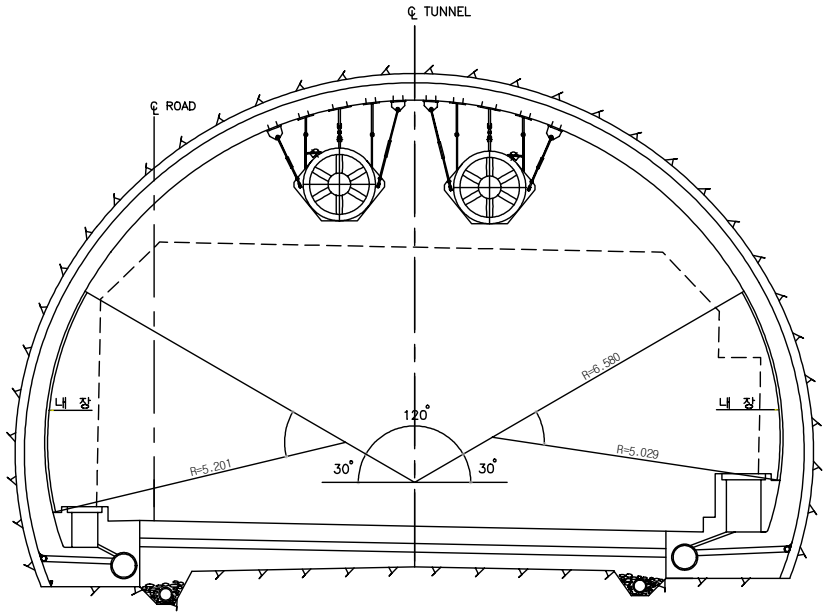
(6) 환기설비에 따른 내공단면

① 종류식(젯트 팬) 환기방식 적용시

환기설비기기로 터널단면 내에 설비하며 터널단면 형상 결정에 큰 영향을 미치는 젯트 팬은 <그림 602.9>와 같이 차도부 시설한계에서 상단여유 20cm를 두어야 한다.



<그림 602.9> 젯트 팬 부착시의 여유공간



<그림 602.8> 내장 설치 예

젯트 팬의 설치방법에는 고정식과 자유매달기식이 있는데, 터널에서의 젯트 팬 부착방법은 천장에 매다는 방식이 보통이며 젯트 팬 외경과 천장 벽면까지의 이격거리는 거의 0.5D (D : 젯트 팬 내경)를 표준으로 하되 기술적 검토와 환기용량의 부족이 없는 범위내에서 가감이 가능하다.

② 반횡류식 및 횡류식 환기방식 적용시

반횡류식 및 횡류식으로 환기시설을 할 경우에는 터널연장, 소요환기량 등에 따라 소요되는 덕트 면적이 요구되므로 덕트 칸막이, 덕트 단면적, 시설한계와 덕트 칸막이와의 여유폭 등을 고려하여 터널내공 단면적을 결정하여야 한다. 단면적은 터널연장 뿐만 아니라 차도 단면적, 차도 대표치수 등에 영향을 받으므로 필요한 차도 단면적과 덕트 단면적을 여러차례 반복 비교 평가하여 최적의 터널 단면적을 산정하여야 한다.

2.3.4 터널 표준단면

도로터널 건설에 적용하고 있는 터널 표준단면은 한국도로공사의 경우 굴착암반의 공학적 특성치와 터널의 토피 등에 따른 터널 표준단면을 굴착공법과 관련하여 <표 602.6, 7>과 같이 제시하고 설계 및 시공에 적용하고 있다. 터널단면 선정시 선행되어야 할 사항은 지반을 분류하는 지반분류방법이 정립되어야 하지만 현재는 통일된 기준이 없는 실정으로 각종 여건에 따라 혼용하고 있다.

참고로 한국도로공사에서 적용하는 지반분류(<표 603.13 참조>)에 따른 2차로의 표준단면(측방여유폭 2.5m)은 <그림 605.3, 4, 5, 6, 7, 8>과 같다.

<표 602.6> 2차로의 지반분류와 표준단면

지 반 분 류	표 준 단 면	굴 착 공 법
경 암	표준단면 - 1	전 단 면
보 통 암	표준단면 - 2	전 단 면
연 암	표준단면 - 3	전 단 면
풍 화 암	표준단면 - 4	상 · 하반 분할굴착
풍 화 암(토)	표준단면 - 5	상 · 하반 분할굴착
갱구 보강용	표준단면 - 6	상 · 하반 분할굴착

<표 602.7> 3차로의 지반분류와 표준단면

지 반 분 류	표 준 단 면	굴 착 공 법
경 암	표준단면 - 1	상 · 하반 분할굴착
보 통 암	표준단면 - 2	상 · 하반 분할굴착
연 암	표준단면 - 3	상 · 하반 분할굴착
풍 화 암	표준단면 - 4	상 · 하반 분할굴착
시 · 종 점 부	표준단면 - 5	상 · 하반 분할굴착

2.4 방수계획

지반에서의 용출수로 인하여 콘크리트 라이닝면에서 누수가 생기지 않도록 적절한 방수계획을 하여야 한다.

2.4.1 방수형식

방수형식은 콘크리트 라이닝 배면에 지하수의 배수경로를 만들어 유도배수시킴으로서 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하지 않도록 하는 배수형 방수형식과 콘크리트 라이닝 배면에 설치된 방수층이 지하수가 터널내부에 유입되는 것을 차단하여 콘크리트 라이닝이 수압을 받도록 하는 비배수형 방수형식으로 구분한다. 방수형식은 지형, 지상 토지이용현황, 토피정도, 지하수의 특성 및 수위, 터널 상부 암층의 두께 등 현장 지반조건과 터널형상 및 규모 등의 조건을 감안하여 공사의 시공성 및 경제성, 유지관리성 등을 종합 검토하여 결정해야 한다.

2.4.2 비배수형 방수

비배수형 방수형식의 터널에는 터널시공 특성에 부합되는 방수공법 및 방수재료를 선정하고 작용수압에 충분히 견딜 수 있는 콘크리트 라이닝을 계획하여야 하며 유사시 또는 과도한 누수에 대비하여 적정 용량의 배수시설을 설치하는 것이 바람직하다.

2.4.3 배수형 방수

배수형 방수형식의 터널에는 원활한 배수계통과 배수단면을 확보하여야 하며 유지 관리상 배수계통의 기능확인과 보수가 용이하도록 계획하여야 한다. 또한, 배수시설 용량은 터널내로 유입되는 유수, 벽면세정수, 화재시의 소화용수, 수분무용수 및 측벽유입수에 의한 유입량에 따라 결정하여야 한다.

2.5 부속설비 계획

환기, 조명, 비상용 시설 등의 터널 부속시설은 터널의 선형, 경사에 영향을 주기 때문에 시설계획, 시공성, 유지관리와의 관련을 종합적으로 검토하여 계획해야 한다.

터널의 부속설비는 운영시의 유지관리용 영구설비와 공사중 시공을 위한 임시설비로 구분하여 계획하여야 한다. 부속설비의 계획에는 기능의 부합성과 함께 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 검토하여 수립하여야 한다.

2.5.1 영구설비

일반적인 영구설비에는 환기설비, 전기설비, 급배수설비, 방재설비, 보안설비, 검사원의 점검설비, 대피설비 등이 있다. 영구설비 계획시에는 터널의 목적 및 기능에 따라 설비종류 및 규모를 결정하여야 한다.

2.5.2 임시설비

공사용 임시설비에는 자재저장 시설, 자재반입 및 버력처리 설비, 용수 및 배수설비, 오수 및 폐수 정화설비, 환기 및 집진설비, 전기설비, 방음 및 방진설비, 숏크리트 배합 및 타설설비, 비상급기설비 등이 있으며 설비종류 및 규모결정은 공사규모와 시행공법, 공사기간, 현장여건 등을 고려하여 결정해야 한다.

2.5.3 부속시설

도로터널에서는 특별히 환기시설, 비상용시설 등의 터널 부속시설의 계획이 도로의 교통량, 터널연장 및 종단경사와 밀접한 연관성이 있다. 이 때문에 터널의 갱구위치, 종단선형을 정할 때에는 환기소, 환기구의 위치 및 규모를 포함한 환기 및 비상용 시설의 개략적인 설계를 실시, 공사비용, 시공성, 유지관리비 등에 대한 종합적인 비교검토를 해야 한다. 특히 장대터널에서는 경제적으로 환기를 하기 위해 환기소나 환기구 등의 배치가 터널선형을 결정하게 되는 경우도 있다. 또한 조명시설 계획에서는 출입구부의 완화조명에 관한 비용이 큰 비중을 차지하기 때문에 너무 짧은 터널군에서 하면 오히려 비경제적이다.

2.6 계측계획

사전조사 결과를 기초로, 계측의 목적, 터널의 용도, 규모, 원지반조건, 주변환경조건 등을 충분히 고려하여 설계, 시공에 적합한 체계적인 계측계획을 수립하여야 한다.

터널의 계측관리 계획은 터널굴착에 따른 지반의 거동과 각 지보재의 효과를 파악하고 공사의 안정성 및 경제성을 확보하여야 하는 공사중 계측계획과 터널 준공 후 운영중의 안전을 확보하기 위하여 시행되는 유지관리 계측계획으로 구분하여 수립하여야 한다.

2.6.1 공사중 계측계획

공사중 계측계획 수립시는 계측의 목적, 문제점 및 계측항목의 선정과 위치, 측정빈도 등을 터널의 기능과 중요도에 따라 적합한 계측계획을 수립하여야 한다. 계측결과는 신속히 분석하여 시공에 반영되도록 한다.

2.6.2 공사후 계측계획

운영중 시행되는 유지관리계측은 터널의 기능과 중요도에 따라 계측의 목적을 정하고, 목적에 적합한 계측계획을 별도로 수립하여야 한다.

603
조사 및 시험

603.1 조사일반

1.1 조사의 원칙

조사는 터널의 목적 및 규모 등을 충분히 고려하여 조사내용, 순서, 방법, 범위, 정도 및 기간 등을 결정하여야 하며 터널 설계 및 시공에의 적용방법 등에 유의해서 조사성과를 표현하여야 한다.

조사는 터널의 노선선정, 설계, 시공 및 완성후의 유지관리에 중대한 영향을 미치는 사항으로 충분한 기초자료를 얻을 수 있도록 실시하여야 한다.

터널공사는 설계시의 조사 결과만으로 지반조건, 지하수 등 지반조건을 파악하는 것이 어려우므로, 시공단계에서도 계속적인 조사를 실시하여야 한다. 또한, 계획 및 설계단계에서 적용한 지반분류 기준이 시공시 조사에도 일관된 설계기준으로 적용되어야 한다.

턴키(turn-key) 프로젝트의 경우 기본조사결과를 제공하거나 노선이 유사할 경우 공동조사를 실시하여 조사의 난립으로 인한 환경훼손 및 조사비의 손실이 발생하지 않도록 하여야 한다.

1.2 조사의 구분

조사는 입지환경조사와 지반조사, 시공중 보완조사로 구분하여 실시한다.

입지환경조사는 터널건설에 영향을 미치거나 터널건설로 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사로서 지형, 환경, 지장물, 지표 수리시설과 지하수 부존특성, 공사용 설비, 보상 및 관계법규 조사를 포함한다.

지반조사는 터널건설의 기본계획 및 노선선정을 위한 예비조사, 터널노선의 결정이후 공사착공까지의 설계 및 시공계획을 위한 본조사 및 보완조사 등의 단계를 포함하여야 한다.

시공중 보완조사는 지반의 문제점과 설계당시 사회적 제약으로 실시하지 못한 조사 및 시공중 발생한 문제점에 대하여 필요할 경우에 추가조사를 계획 실시하여야 한다.

각 조사 단계에 따른 시기, 목적, 내용, 범위 등을 요약하면 <표 603.1>과 같다.

<표 603.1> 조사단계별 조사내용

조사단계		시 기	목 적	내 용	범 위
예비조사	자료조사	사업 구상에서 구체적으로 계획	터널 노선 계획	· 각종 기존자료 조사 분석 · 지표답사	대상구간의 광범위한 지역
	현장답사				
	개략조사	비교 노선 검토에서부터 노선 결정까지	터널 노선의 선정	· 지형 · 지질조건에 대한 개략조사 · 환경 · 입지조건에 대한 광역조사	계획터널노선 및 비교터널노선을 포함한 광범위한 지역
본 조 사		터널노선 결정 이후부터 공사 착공까지	설계 수행 시공계획의 수립 - 설계입력 자료 평가 - 공법 선정 - 단면해석 - 공사비 산출 등	· 상세한 지질, 지반 조사 · 터널 주변환경 및 공사에 필요한 제설비, 법규 등 조사	결정된 터널 노선 및 주변 지역
시 공 중 보완조사		시 공 중	시공 관리, 공사 통제	· 막장조사 및 계측 (터널 내부 및 주변 지반포함) · 주변환경의 영향정도 조사 · 시공관리 조사	터널 내부 및 터널시공으로 영향을 받을 우려가 있는 터널주변지역

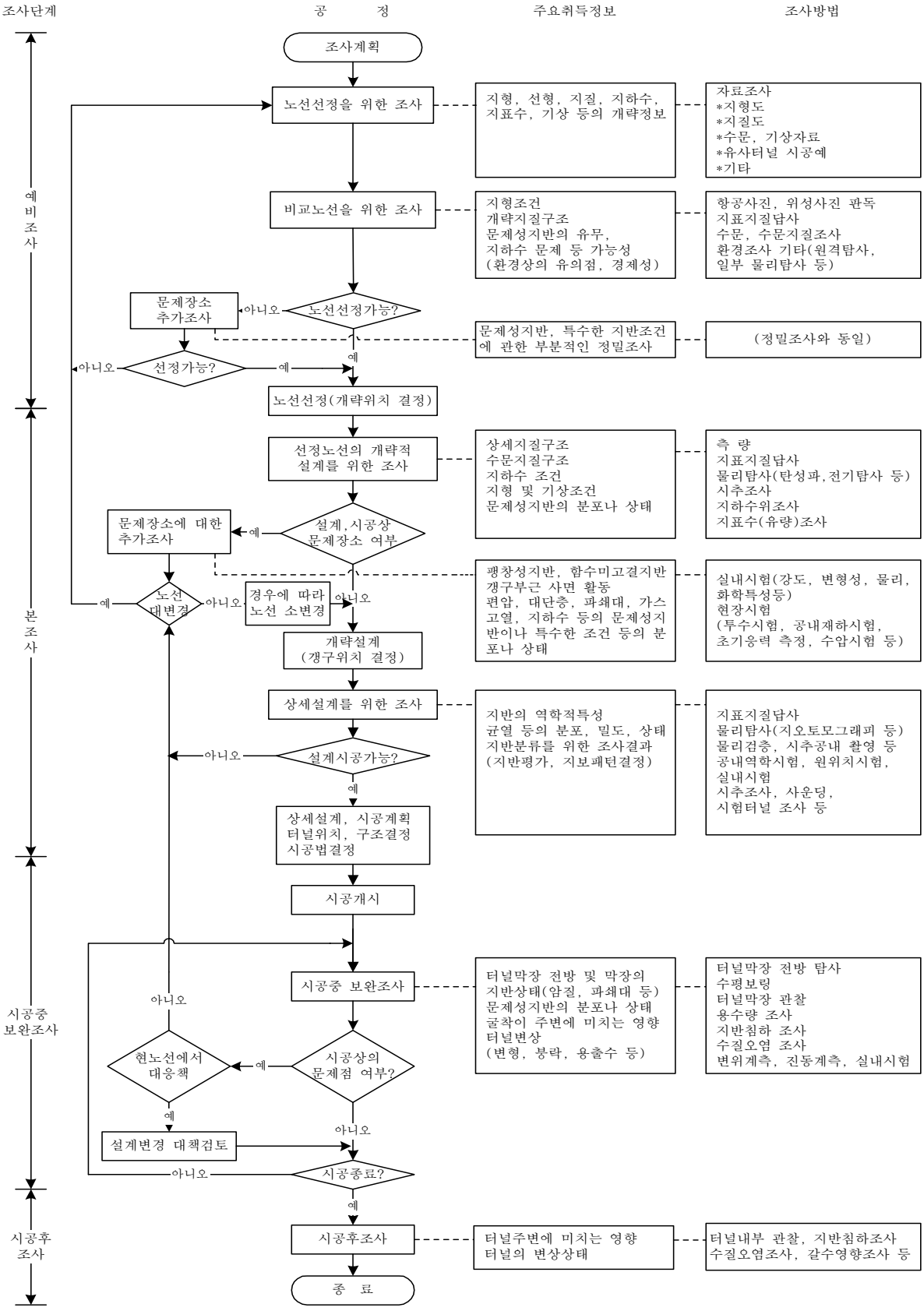
603.2 조사흐름

조사는 계획부터 유지관리까지 각 단계마다 실시된다. 이 가운데 계획단계에서 이루어지는 것은 노선선정 단계의 지형 · 지반 개략 조사, 설계 · 시공계획 단계의 상세지반조사 및 수문조사 등이다. <그림 603.1>은 조사흐름과 취득정보 및 조사방법을 나타낸 것이다.

노선선정시에는 예비조사에 의해 공구구분, 굴착공법, 공사기간, 공사비용 등을 크게 좌우하는 지반조건을 전체적으로 파악한다. 특별히 공사 실적에 있어서 보조공법의 추가, 굴착공법의 변경, 대형시공기계의 사용가능 여부 등 공사기간, 공사비용에 대폭적인 변경이 생기지 않도록 충분한 조사범위 및 총체적인 내용으로 조사를 실시하여 이것에 근거 노선을 선정하고 대략적인 공사계획을 책정한다.

설계나 시공계획시에는 지보재의 설계기초자료를 구하기 위해 상세한 지질구조나 지반구분, 지반의 특성 등에 대해 상세한 조사가 필요하다.

시공단계에서는 시공전의 조사결과에 기초하여 지반의 문제점이나 불명확한 점에 대응한 조사항목을 정리한 후에 실시, 시공중에 발생한 문제점에 대해서도 그 해결을 도모하기 위해 필요한 경우에는 신속하게 추가조사를 계획 · 실시한다. 따라서 각 조사는 시공전 초기단계부터 장기적인 시야에서 계획적으로 수행하며 동시에 각 조사단계에서 각각의 성과를 비교 검토하여 유효하게 이용해야 한다.



<그림 603.1> 조사단계별 조사내용

603.3 입지환경 조사

3.1 지형조사

터널건설에 영향을 미치거나 터널공사로 영향을 받을 수 있는 지형을 지형도나 항공사진, 인공위성사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통하여 조사하여야 한다.

3.1.1 자료조사

불안정 지형이나 재해가 예측되는 지형 즉, 애추(Talus), 붕괴지와 산사태, 눈사태, 홍수 등이 이미 발생한 장소나 이러한 우려가 있는 지형은 자료조사, 항공사진 및 인공위성사진 판독, 지표지질조사 등을 시행하여야 한다.

자료조사는 지형도(1:5000～1:50000), 지질도, 수문기상자료, 항공사진, 인공위성사진 및 과거 유사터널 시공 예 등의 자료를 수집하여 지형과 지반 및 입지여건과 관련한 기존의 모든 사항을 파악할 수 있도록 하여야 한다.

3.1.2 원격탐사

원격탐사란 물리적인 접촉이나 탐사 없이 지상물체의 특성을 파악하고자 하는 모든 활동으로써 지상, 항공기 및 인공위성 등에 설치된 분광센서나 카메라를 이용하여 대상물에서 반사되거나 방사된 에너지를 탐지, 기록하고 토지 환경 및 자원 등에 대한 정보를 얻고 해석하는 기법이다.

원격탐사를 이용하여 터널공사 지역의 광역적인 지형여건 및 수계분석, 선구조선 및 단층선, 식생 등을 종합적으로 파악할 수 있도록 하여야 한다.

3.1.3 현장조사

현장답사는 부근의 노두, 용출수, 지하수위, 배수상태, 수로 및 하천의 상태, 주변구조물의 유지상태, 지하구조물의 현황파악 등을 조사하고, 현지 주민으로부터 역사적인 재해와 환경의 변화, 과거공사에 대한 증언 등을 청취하여 참고한다.

3.2 환경조사

터널의 시공 및 운영에 따른 환경의 영향을 최소화하기 위해 자연환경, 사회환경, 생활환경 등을 조사하여야 한다. 환경조사는 기본계획 및 노선선정 단계에서 실시하는 광역 환경조사와 시공계획 수립 후 실시단계에서 수행하는 터널주변 환경조사로 구분하여 실시한다.

환경조사는 터널의 시공 및 운영에 따른 환경의 영향을 최소화하기 위한 계획 입안을 목적으로 행하는 조사와 터널시공에 의해 생기는 터널 주변환경변화의 예 즉, 환경보전대책의 입안, 대책효과의 확인을 위해 행하는 조사로 나눌 수 있다. 설계, 시공계획의 단계, 시공의 단계 및 운영후에 실시하는 조사는 주로 환경보전상 문제가 되는 지역에 대하여 실시하며 생활환경 등에 대한 항목에 대해서 상세한 조사를 하여야 한다.

3.2.1 광역 환경조사

광역 환경조사는 터널시공 및 사용에 의한 자연환경 및 사회환경에 대한 피해를 최소로 줄이기 위하여 광범위하게 실시하여야 하며, 다음 사항을 포함한다.

- 수문 : 지형 및 하곡의 성상, 하천유량, 지하수위, 물 이용 상황, 지하수에 영향을 미치는 타 공사의 유무
- 기상 : 기온, 수온, 기압, 강우, 강설, 바람 등의 영향, 눈보라와 돌풍의 발생빈도 및 현황
- 재해 : 산사태, 눈사태, 붕괴, 지진, 홍수 등의 발생지 및 피해정도
- 토지 : 토지이용 현황, 주요 구조물, 법에 의한 용도구분의 범위
- 교통 : 기존철도, 도로의 규격, 구조, 수송력 등
- 공공 시설물 : 학교, 병원, 요양소, 자연공원 등의 공공시설물의 위치 및 규모
- 문화재 : 사적, 문화재, 천연기념물 등의 위치, 규모 및 법지정의 현황
- 지하자원 : 권리설정 현황, 광산현황 및 광물의 부존상태 등
- 광산개발 : 광산의 갱도나 폐갱도의 위치 및 규모
- 기타 : 동식물의 분포상태 및 경관, 지역 개발계획 등

3.2.2 터널주변 환경조사

터널주변 환경조사는 시공에 의하여 발생되는 터널주변 환경변화의 예측, 환경보전 대책의 입안, 대책의 효과확인 등을 위하여 실시하며 다음 사항을 포함한다.

- 물 이용 현황 : 지표수 및 지하수의 수질, 수원의 현황, 탁수발생 가능성이 있는 인접공사, 유로 및 수위변화 가능성
- 소음 및 진동 : 소음, 진동, 지형, 지질, 토지이용 현황
- 지반침하 : 도로, 철도, 지하철, 건물, 구조물, 지하매설물, 광산폐광, 토지 이용 현황
- 지반과 구조물의 변형 : 건물, 구조물 상태, 지형 및 지질, 토지이용 현황, 구조물의 변형발생 가능성이 있는 인접공사
- 수질오염 : 하천의 상태, 배수상태, 수로의 상태, 법규제상태
- 대기오염 : 대기중의 유해물, 기상현황
- 교통장해 : 구조, 교통량 혼잡상태, 도로관리자, 도로주변의 환경 등

3.3 지장물 조사

지장물조사는 터널건설에 직접 지장이 있거나 영향범위에 있는 제 물건을 조사하는 것으로 터널노선 선정 및 공사시공계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 공사시공전의 계획단계에서 먼저 개략조사를 하고 그 후 공사실시 단계에서 필요에 따라 정밀조사를 한다.

터널공사전에 지역 내에 기 설치되어 있는 상·하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 지하갱도 등의 지하지장물의 종류, 심도 및 크기를 파악하여 안전한 시공을 할 수 있도록 하여야 한다.

시추조사시는 관련기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 반드시 터파기나 물리탐사를 이용하여 지하 지장물의 유무를 확인하고 유관기관과 협의하여 시행하여야 한다.

지장물 조사결과는 후속공사시 지장물 보호를 위해 활용하여야 한다.

3.4 사토장 조사

사토장계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 원 지반조건, 사토장이 주변환경에 미치는 영향 등 필요한 사항에 대하여 사전에 조사해두어야 한다.

공사중에 발생하는 버력을 처리하기 위한 사토장이 필요할 때에는 지형, 운반방식, 운반거리, 운반도로의 교통규제, 교통안전 등의 운반조건, 사토장이 주변환경에 미치는 영향, 사토후의 토지의 형태변화, 법규에 의한 규제 등에 대하여 사전에 조사하여야 한다.

사토를 위한 용지취득 및 사토에 따른 보상대상 사항에 대해 조사하여야 한다.

사토장의 계획시에 사토시 지반의 안정성, 토사유출, 유해광물에 의한 환경오염 방지에 관한 조사를 실시하여야 한다.

3.5 수문조사

수문조사는 터널공사에 동반되는 터널내 용수의 발생 유무, 용출수량 등을 예측함과 동시에 이에 기인하는 설계·시공상의 문제점 및 주변환경에 미치는 영향에 대해 검토·평가를 목적으로 하며 적절한 시기에 필요에 따라 조사를 실시해야 한다.

터널에 있어 수문조사는 막장의 자립성, 터널내 용출수의 형태와 규모, 감·갈수의 영향범위와 규모, 배수구나 양수시설 등의 계획, 설계의 평가, 검토를 가능하게 자료를 제공하도록 하여야 한다.

터널공사로 인하여 갈수가 예상되는 우물, 저수지, 용천, 하천 등에 대하여는 그 분포, 수량의 계절적 변화, 이용상황 등을 조사하여 갈수대책의 자료로 이용하여야 한다.

수문조사는 시공중 발생하는 용수나 터널공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 미리 예측하고 대처하기 위해 실시한다.

3.6 공사용 설비조사

공사용 설비계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 지형·지질 및 기상조건, 주변환경에 미치는 영향 등을 필요한 사항에 대하여 조사하여야 한다.

공사용 설비로는 터널입구 설비, 환기 및 집진설비, 운반설비, 골재 및 콘크리트 플랜트 설비, 수배전 설비, 용배수 설비, 임시건물 설비 등이 있으며, 공사용 설비계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 다음의 사항을 조사하여야 한다.

- 지형과 지질 및 기상 : 설비기능 저해 혹은 위험 가능성이 있는 지형, 지질 및 기상
- 주변환경 : 주변환경에 영향을 미치는 공사용 설비의 소음, 진동, 배수 및 교통
- 전력의 사용 : 기 가설 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수변전의 난이, 수전까지의 소요시간, 개산비용, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비운용시의 소요 전력량
- 화약고 설치계획 : 화약에 관한 법률이나 지방자치단체 조례 등
- 용수 및 배수 : 콘크리트 혼합용수, 음료수, 기타 잡용수의 취수조건, 터널시공에 수반한 용수의 처리, 세척용수의 방류조건
- 자재 및 버력운반 : 기계 및 자재의 반출입, 버력운반 등에 필요한 공사용 도로, 궤도 등의 규격, 교통량, 안전, 교통규제의 현황 및 주변도로 이용 현황

- 노무자재 : 터널외부 설비에 관계되는 콘크리트용 골재, 굳지 않은 콘크리트, 기타 자재의 공급경로, 공급사정의 현황 및 관리방법, 노무사정의 현황
- 법규, 기타에 의한 규제 : 인접 부근의 공사 유무

3.7 보상조사

공사를 하기 위한 용지취득 및 공사를 위한 권리의 취득 등 보상대상사항에 대해서 조사하여야 한다. 터널공사에 있어서의 보상대상 사항은 용지취득에 수반되는 토지, 건물, 수목 등의 매수 및 이전, 각종 권리(지상권, 지하권, 수리권, 온천권, 어업권, 광업권, 채석권 등)의 침해, 농림 및 어업 수익의 감소, 영업손실 등이 있고, 이들의 보상을 위한 자료를 얻기 위하여 착공전의 제반사항에 대하여 충분한 조사를 하여야 한다.

3.8 관계법규 조사

공사계획에 있어서 규제하는 법규의 유무, 내용, 절차, 대책 등에 대하여 사전에 조사하여야 한다. 터널건설에 있어서 법규에 의한 규제를 받는 경우에는 공사에 미치는 영향의 범위, 이에 대한 규제의 정도, 수속, 대책 등에 관하여 조사해 두어야 하며 주된 규제법은 다음과 같다.

- 공해방지 및 환경보전 관계 : 자연환경 보전법, 자연공원법, 산림법, 조수보호 및 수렵에 관한 법률, 소음진동 규제법, 수질환경 보전법, 해양오염 방지법, 수도법 및 하수도법, 광업법, 지하수법, 온천법
- 재해방지 관계 : 사방 사업법, 택지개발 촉진법, 농어업 재해대책법, 풍수해 대책법
- 국토개발 관계 : 국토건설 종합계획법, 국토이용 관리법
- 하천관계 : 하천법, 공유수면 관리법
- 도시계획 관계 : 도시계획법, 도시공원법
- 도로 및 교통관계 : 도로법, 도로교통법, 철도법
- 군사관계 : 군사기밀 보호법, 군사시설 보호법
- 문화재 관계 : 문화재 보호법, 전통구조물 보존법
- 안전관계 : 시설물 안전관리에 관한 특별법, 건설기술 관리법, 산업안전 보건법, 총포·도검·화약류 등 단속법

603.4 지반조사

4.1 지반조사 일반

지반조사는 예비조사, 본조사 및 보완조사 등의 단계로 구분하며, 소규모 공사의 경우에는 조사단계의 일부를 생략할 수 있으나 장대터널 및 도심지터널 공사 등에서는 본조사 또는 보완조사시에 정밀조사를 필요한 만큼 실시하여야 한다.

4.1.1 예비조사

예비조사는 공사계획 단계에서 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 수행하며 기존 자료조사, 항공사진 및 위성사진의 판독·분석, 현장답사 등을 실시하여 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하며 필요시에는 시추조사도 시행하여야 한다.

4.1.2 본조사

본조사는 개략조사(기본설계 단계)와 정밀조사(실시설계 단계)로 구분되며, 부지나 노선 또는 구조물의 위치가 결정된 후 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 수행하는 조사로서 지표지질조사, 물리탐사, 시추조사 및 현장시험, 실내시험 등을 포함하여야 하며, 공사의 목적이나 구조물의 종류에 따라 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 달리 할 수 있다.

설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체에는 한계성이 있으므로 불규칙적인 지반분포 구간에서는 시공시 노출되는 실제 지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 하여야 하며 설계변경에 필요한 자료를 제공하도록 하여야 한다.

4.2 기존자료 조사

항공사진, 인공위성사진, 지형도, 지질도, 토양도, 지하매설물도, 기존 구조물 도면, 지하수 현황, 터널지역을 포함한 광역 조사자료 등을 이용하여 조사지역의 현황을 파악하여야 한다.

자료조사는 지반조사의 계획 및 현장상황 등을 판단하기 위한 모든 기존자료를 수집하는데 그 목적이 있다. 자료조사의 주요 조사 사항을 열거하면 <표 603.2> 와 같다.

<표 603.2> 기존자료조사의 내용

조사대상	조 사 내 용	자료구입처
기 존 구 조 물	기존구조물의 배치, 설계도면, 시공관련자료, 현상태 등을 검토함으로서 개략적인 주변 지반조건, 지지력, 위험요소 등을 파악	현장답사 사용주 탐문
인접지역 조사자료	조사지역의 인접지역에서 실시한 조사자료를 활용하여 지반의 종류 및 조건, 지하수 분포상태 등을 파악	구·군청 인접구조물의 소유자, 설계자 한국자원연구소
지 형 도 항공사진 위성사진 고지형도	항공사진, 위성사진 및 고지형도를 이용하여 현재 및 과거의 지형상태를 조사, 분석하고 지질경계, 선구조, 파괴지형, 식생, 수계 등의 분포상태를 파악하여 시추, 골재원, 토취장, 또는 채석장 등의 조사에 활용하고 현장조사시의 시추위치, 시추장비의 진입가능성 및 시추용수의 취득가능성 등을 파악	중앙지도문화사 산림청 국립지리원
지 질 도	지층의 분포상태, 구조물에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 절리, 선구조)의 발달과 특성 및 공동의 발달유무 등을 분석하여 터널굴착조건을 예측하고 노선결정과 조사계획 수립에 반영	한국자원 연구소
토 양 도	토양도는 주로 표토의 영농자료를 제공하나 토양의 비옥도나 수분상태 등의 성질로부터 흙의 물리화학적 및 공학적 특성 추정가능	농림수산부 농어촌진흥공사
우물현황	지하수이용을 위한 우물개발 현황으로부터 지하수 부존상태, 지하수위 상태 등의 지하수특성파악	농어촌진흥공사 우물소유주

4.3 현장답사

현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반상태를 확인하거나 지역 주민들의 청문을 통하여 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하고 도상계획에 참고할 수 있도록 하여야 하며, 조사수행에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 확인하여 원활한 본 조사계획을 수립할 수 있도록 하여야 한다. 따라서, 현장답사는 반드시 경험 있는 관련기술자에 의해 이루어져야 한다. 현장답사의 결과는 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 해야 하며 이미 계획된 사항에 대해서는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 하여야 한다. 필요시에는 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역전반에 걸친 개략적인 지반조건을 조사하고 시추계획에 반영하여야 한다.

현장답사시 조사하여야 할 주요 내용은 지형변화, 대규모 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근구조물 유지상태, 지하매설물, 수송통로 등이 있다.

현장답사시에 관찰할 사항을 열거하면 <표 603.3> 과 같다.

4.4 지표 지질조사

지표 지질조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 개괄적으로 파악하여 본조사를 실시할 때에 기본 자료로 활용하고 본조사의 경제적 및 시간적 효율을 높이기 위하여 실시한다.

지표 지질조사를 통하여 단층, 습곡, 절리 등이 표시된 지질구조도 및 암종이 표시된 지질도를 작성하고 지질재해의 가능성 등을 검토하여야 한다. 지표 지질조사시에는 표층지반, 암질, 지질구조, 지하공동, 암반거동, 지표수 및 지하수 등의 사항을 조사하여 그 결과를 응용지질도(engineering geologic map)로 표시하며, 세부조사사항은 <표 603.4> 와 같다.

<표 603.3> 현장답사시에 관찰할 사항

대상구분	주 요 관 찰 사 항
지형변화	옛 제방흔적과 범위 및 수로, 철도, 성토 매립 등의 흔적이나 상태, 산사태지형을 표시하는 지역에서는 활동이나 범위
지표수 및 지하수	용출수, 우물의 수위와 그의 계절적 변동, 피압지하수의 유무, 호우, 강설시 등의 저수, 배수의 상태
인근구조물 유지상태	도로 및 철도의 제방, 교대 및 교각, 기타의 중요 구조물의 침하균열이나 경사도, 굴곡 등의 변상유무
지하매설물	상하수도, 가스관, 통신 및 전력케이블, 지하철, 지하도, 공사현장 부근에 있는 경우는 그 영향의 정도, 건물기초 등
수송통로	트럭, 중차량 출입의 제한 유무, 도로의 교통상황, 소음, 진동, 공해 등

<표 603.4> 지표 지질조사항목

구 분	세 부 조 사 항 목
표층지반	표토, 풍화토, 퇴적물의 종류(하상퇴적물, 선상지 퇴적물, 단구 퇴적물, 붕괴 퇴적물, 화산분출물)등의 분포상태 및 구성물질, 두께, 고결정도, 함수상태, 투수성, 유동성 등
암 질	암석의 종류, 입도, 조암광물과 배열, 공극상태, 압축강도, 인장강도, 탄성파 속도, 변성도 및 풍화도, 층리·엽리 등
지질구조	지질분포, 지층의 성층상태, 주향과 경사, 절리, 습곡, 단층, 파쇄대, 변질대 등
지표수 및 지하수	지표수의 유하상태, 지하수의 부존상태, 수온, 수질, 대수층의 구성, 지하수위, 대수층과 지질과의 관계, 용수상황 등
지열, 온천	고지열대, 온천용출 등
지하공동	자연공동(석회동굴 등), 광산갱도, 폐광 등의 과거갱도
암반거동	팽창성 및 유동성 지반의 유무나 분포상태, 용수에 의한 붕괴가능 지반의 유무정도나 분포상태, 편압가능성 등

일반적으로 지표 지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1/10,000 이상의 축척으로 촬영된 항공사진의 이용이 바람직하며 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다.

지표지질조사에 이용되는 지형도의 축척은 1:5,000을 기본지형도로 하며 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용할 수 있다.

4.5 시추조사

터널시공 구간내의 지반에 대한 지반종류, 지질구조, 공학적성질, 절리분포, 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 흐트러진 또는 흐트러지지 않은 시료를 채취하며, 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시한다.

4.5.1 시추종류

시추는 원칙적으로 NX규격(코아 직경 54 mm)이상의 이중 코아배럴을 사용하여 실시하며, 풍화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.

4.5.2 시추방법 및 간격

시추는 원칙적으로 수직으로 실시하되 조사목적과 현장조건을 고려하여 경사시추를 할 수 있다.

시추공의 간격은 도심터널 또는 지형이 비교적 완만한 경우에는 노선방향으로 50～200m

간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되 단층이나 파쇄대 등 터널공사에 장애가 되는 구간이나 지층이 불규칙할 경우 또는 주요구조물 등 특수한 주변여건 때문에 지반상태를 확인할 필요가 있는 경우에는 시추간격을 축소 조정하여야 한다. 단, 토피가 큰 산악지형으로 접근성이 불량한 터널에 있어서 시추심도가 상당히 깊어지는 경우 양쪽터널 갱구쪽에 각 2개소의 시추조사를 실시하고, 항공사진 판독과 탄성파탐사 결과 지반조건이 불량한 연약대에 시추조사를 실시하며 필요시 시공중에 터널입구쪽에서 시추를 실시하며 터널내에서 수평시추를 실시하여 지반상태를 확인할 수 있다.

4.5.3 시추심도 및 지하수위 측정

시추심도는 원칙적으로 터널 바닥부의 계획심도에서 터널 최대 직경의 1/2 이상의 깊이까지 실시하되 특정한 목적을 위하여 필요한 경우 심도를 증가할 수 있다.

시추공의 지하수위 측정은 시추후 24시간 후에 실시하여야 하며, 필요시 72시간 경과 후에 측정하여 안정된 수위를 산정한다.

4.5.4 시추공 폐쇄

시추공의 폐쇄는 반드시 시멘트풀이나 시멘트모르터로 폐쇄시켜야 한다. 시추공 폐쇄작업은 조사대상 지층을 지하수오염으로부터 보호하고, 하나 이상의 대수층이 있는 경우 지하수의 상하이동이나, 지하수가 섞이지 않도록 하여 완전히 메꾸어진 상태에서 지하수 유동으로 인한 오염의 확산을 방지하는 조건을 만족시켜야 한다.

4.6 시험터널 조사

특수한 지반상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정의 원위치 시험을 실시할 필요가 있을 때에는 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다.

시험터널 내에서 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 흐트러짐을 최소화하여야 한다.

시험터널 조사시에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고하여야 한다.

4.7 지구물리탐사

지구물리학적 수단에 의하여 지하의 지층, 암석에 대한 측정자료를 얻어 이로부터 지질구성, 지층의 주향 및 경사, 풍화대의 분포 두께, 단층의 유무 및 규모, 암반의 경연 등 지질상태를 판단하는 조사법을 물리탐사라 한다. 여기에는 탄성파탐사, 전기탐사, 자기탐사, 방사능탐사 등이 있다.

지표탐사에 비해 조사심도가 깊고 분해능력을 높이기 위해서는 시추공내에 송신원 또는 수신기를 삽입하여 실시하는 시추공 물리탐사 기법을 적용하는 것이 바람직하다.

지반정보를 얻기 위해 실시하는 물리탐사 기법은 반드시 현장 적용성을 검토하여야 한다. <표 603.5, 6>은 각각 각 물리탐사 방법으로부터 취득할 수 있는 물성과 조사대상 지질특성들에 따른 각 물리탐사 방법들의 적용성을 요약한 것이다.

4.7.1 탄성파탐사

탄성파탐사는 노선선정, 지하수 탐사 등 광

<표 603.5> 각종 물리탐사 방법이 이용하는 물성과 측정하는 현상

물리탐사 방법	대 비 물 성	측정에 이용되는 현상	비고
중력탐사	밀 도	중력가속도의 변화	
자력탐사	대 자 율	정적자기장의 변화	
전기비저항탐사	전기전도도	겉보기 전기비저항의 변화	
전자탐사	전기전도도, 투자율	전자기장의 강도, 위상변화	
탄성파탐사	탄성계수, 밀도	탄성파(P파, S파)속도, 진폭	

<표 603.6> 조사대상 지질특성에 따른 물리탐사 방법의 적용성

지구물리탐사종류 (기술)	지 질 특 성								
	광물종류 및 특성	암석종류 및 특성	불균질대의 위치	불균질대의 방향	불균질대의 크기	불균질대의 간격	불균질대의 조성물질	암질	밀도
중력탐사 (육상/항공)	○	○	●	○	○				●
자력탐사 (육상/항공)	○	○	●	●	●	○	●		
전기비저항탐사		○	●	○	●	○	○	○	
전자탐사 (지 표)		○	●	○	●	○	○		
탄성파 굴절법 탐사		○	●		○			●	○
탄성파 반사법 탐사		○	●	○	●	●		○	○

주) ● : 물리탐사 방법이 직접적으로 적용되는 대상 특성
○ : 2차적으로 적용가능하거나 특수한 환경에서 적용가능한 대상 특성

범위한 지역의 개략 탐사에 유효하며 보링조사와 보완하여 분석하는 것이 좋다. 탄성파 탐사를 수행할 경우에는 전파속도로부터 지층의 두께, 종류, 상대적인 지반강도 등에 관한 정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

탄성파탐사에는 굴절법과 반사법의 두 종류가 있으며 터널의 조사에는 일반적으로 굴절법에 의한 종파(P파)측정이 행해진다.

4.7.2 전기탐사

전기탐사는 지반의 전기적 성질이 서로 다른 특성을 이용하여 지하구조를 조사하는 방법으로 비저항법, 자연 전위법, 강제 분극법, 전자기법 등이 있으나 지반탐사에는 비저항법을 가장 많이 이용한다. 전기탐사를 수행할 경우에는 지층의 특성 및 지하수의 영향 등을 고려하여 해석하여야 한다.

4.7.3 전자탐사

전자탐사는 자연적 또는 인위적으로 지반에 가해진 전자기장에 의해 유도되는 전류에 의한 2차장 또는 합성장을 측정하여 지하의 전기전도도 분포를 파악하여 지층을 조사하는 방법으로서 크게 주파수영역 탐사와 시간영역 탐사로 나눌 수 있다. 주파수영역 탐사는 송신주파수에 따라 전자기장의 진폭 및 위상 성분 또는 동상 및 이상성분을 측정하며 시간영역 탐사는 2차장을 지연 시간대별로 측정한다.

4.7.4 중력 및 자력탐사

중력 및 자력탐사는 지반의 중력 및 지자기장의 변화를 측정함으로써 지질구조를 규명하는 방법이다.

4.8 시추공내 탐사

시추공내 탐사를 실시하여 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적 특성과 연계하여 구성암석, 단열상태(fracturing), 지하수 유동과 물리·화학적 성질 등의 지반정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

4.8.1 시추공 영상촬영 시스템 (BIPS)

시추공내의 불연속면의 위치 및 형상, 주향·경사의 판정, 공벽의 팽창 및 붕괴 상황의 관찰, 파쇄대의 위치 등 물리적 변형상태를 정확히 파악하기 위하여 시추공 영상촬영 시스템(BIPS : Borehole Image Processing System)을 이용하여 지하암반의 균열상태를 직접 영상(image)으로 확인하고 암반의 불연속면이나 균열의 상태 및 암질상태를 명확하게 규명하여 현장조사자료에 대한 신뢰도를 높일 수 있도록 하여야 한다.

4.8.2 시추공 텔레뷰어 탐사

시추코아 샘플에서 파악하기 어려운 지역이나 파쇄대의 정확한 방향을 규명하기 위해서 직접 시추공내를 촬영할 수 있는 시추공 텔레뷰어(borehole televiewer)를 사용할 수 있다.

시추공 텔레뷰어 탐사는 시추공 내벽에 초음파(주파수 약 1MHz)빔을 주사하여 그로부터 반사되는 초음파의 진폭 및 주시 즉, 진폭이미지 및 주시이미지를 분석한다. 여기서 진폭이

미지는 절리 및 단층의 발달상태 뿐만 아니라 상대적인 암석강도에 대한 정보를 제시한다.

4.8.3 시추공간 탄성파탐사

시추공간(crosshole) 탄성파탐사는 두 개의 시추공을 이용하여 시추공간을 전파하는 횡파(S파) 전파시간으로부터 시추공과 시추공사이의 횡파 평균속도를 심도별로 측정하는 탐사법이다. 이 방법은 시추공과 시추공사이의 수평적인 속도변화를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 측정간격은 탐사목적 및 현지암반의 상태 등에 따라 적절히 설정하여야 한다. 또한 공극(孔曲)측정을 필수적으로 수행하여 송·수신기간 거리를 정확히 산출하여야 한다.

4.8.4 지오토모그래피(Geotomography) 탐사

지표물리탐사로는 분해능(resolution)의 한계 때문에 미세한 지질적인 정보를 얻을 수 없는 경우 두 개의 시추공사이의 가장 정밀한 지질적인 정보를 얻을 수 있는 방법으로 의학계에서 많이 이용되는 CT(Computer Tomography) 촬영의 원리를 지구물리에 적용한 지오토모그래피기술이 있다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 지오토모그래피에는 탄성파, 레이다 및 비저항토모그래피가 있다.

탄성파토모그래피는 시추공 사이 지질단면에서 얻은 탄성파속도 분포로부터 암층의 구분과 지질구조대를 파악할 수 있다.

레이다토모그래피는 미세한 파쇄대 및 세밀한 지질적인 정보를 얻는데 효율적이다.

비저항토모그래피는 시추공 사이 단면의 비저항 분포를 역산하는 방법으로 암반조사, 기타 정밀을 요구하는 탐사에 많이 사용된다.

603.5 시공중 보완조사

시공중 보완조사는 조사결과에서 나타난 지반의 문제점과 시공중 발생한 문제점에 대하여 필요할 경우에 추가조사를 계획하여 실시하여야 한다. 시공중 보완조사의 목적은 막장 전방과 막장주변의 지반상태를 파악하는데 있으며 시공중 관찰되는 노출된 지반의 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반변화나 시공중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사 및 시험을 실시하여야 한다.

시공중 조사에 포함되는 터널내 상세지질조사, 수평시추, 터널내 탄성파탐사를 통하여 지층의 종류와 암질 및 지질구조 등을 파악하고 지반 물성치를 추정하여 시험이나 계측계획의 수립 및 실시에 도움이 되도록 하며, 필요시 지반해석 및 변경설계의 기초자료를 제공한다.

5.1 터널 막장관찰

현장기술자는 공사시에 노출되는 막장의 지반상태를 관찰하고 조사하여 설계시에 적용한 지반조건의 적합성을 확인해야 한다.

실제지반상태가 설계시의 적용조건과 상이하여 설계보완이 필요한 경우에는 상세지반조사를 실시하여야 한다.

막장관찰은 매 굴진장마다 실시해야 하지만, 지반조건에 따라 관찰빈도를 조정할 수 있다.

막장관찰자는 지반공학을 전공한 자 또는 동등 이상의 자격이나 경험을 구비한 자로서 막장관찰결과를 바탕으로 터널지질도를 작성할 수 있는 자야 한다.

막장관찰시에는 다음사항을 조사하고 암반분류를 실시하여 지보패턴을 조정할 수 있도록 하며, 터널지질도를 작성하여 운영시의 기본자

료로 활용할 수 있게 한다.

- 막장 붕괴여부 및 붕괴위치, 형태 및 규모
- 암종, 풍화정도, 고결정도, 강도, 암반등급 및 지층분포
- 절리, 단층 등의 주향과 경사 및 터널방향과의 관계
- 층리, 절리, 단층 등의 간격, 틈새, 충전물 유무와 상태
- 용출수 위치, 토립자 유실유무 및 유출정도
- 기타 필요한 사항

5.2 수평시추

수평시추는 막장전방의 지반조사 뿐만 아니라 지하수 조사를 목적으로 하는 경우가 많고 시추공은 물빼기공으로도 이용되고 있다. 수평시추는 일반적으로 일시공사를 중단하고 막장 또는 주변에서 천공하지만 측벽이나 노반에 작업대를 설치하여 공사의 중단 없이 천공하기도 한다. 수평시추에서 채취된 시료의 실내시험, 시추공을 이용한 검층, 공내재하시험 등을 실시한다.

5.3 터널내 탄성파 탐사

터널내 탄성파탐사는 일반적으로 터널벽면으로부터 이완된 영역의 범위를 조사하기 위해서 실시되고 있으나 최근에는 막장전방의 파쇄대탐지에도 이용되고 있다. 터널내에서 측정되는 탄성파속도치는 암석시험편을 대상으로 구한 탄성파속도치와의 대비에 의한 지반의 균열정도 파악 등에 이용된다.

603.6 시 험

6.1 현장시험

자연상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행하여야 한다.

6.1.1 현장시험의 종류

현장시험은 주로 시추공내 또는 시험터널내에서 실시하는데 일반적으로 수행하는 시험항목은 다음과 같다.

- 표준관입시험
- 지하수위 측정
- 현장투수시험
- 수압시험
- 간극수압 측정
- 베인전단시험
- 시험터널내의 현장시험
- 공내재하시험
- 흐트러진 시료 채취
- 흐트러지지 않은 시료 채취
- 각종 물리 검층
- 초기응력측정

6.1.2 표준관입시험

표준관입시험은 KS F 2318 규정에 의거한 시험방법에 따라 실시하여야 한다. 시험회수는 지층이 변할 때마다 또는 동일층이라도 1.5m 깊이마다 1회씩 실시하여야 하며 N치가 50회에 도달하더라도 관입깊이가 10cm 미만일 때

는 타격을 중지하고 그때의 관입깊이와 타격회수를 기록하여야 한다.

6.1.3 현장 투수시험

토사층에서의 현장투수시험은 투수계수를 파악하기 위하여 정수두(constant head) 또는 변수두(falling head) 시험법으로 현장투수시험을 시행하여야 하며, 주입수는 탁도가 낮은 맑은 물을 사용하여야 한다.

6.1.4 수압시험

수압시험은 암반층에서 투수계수 측정을 위한 시험으로 더블팩커 사용을 원칙으로 하며 시험단위 길이는 3.0m를 기준으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다. 주수량 측정은 주수율이 일정하게 된 후 시행하며, 각 단계별로 압력부하시간은 10분 이상 되어야 하며, 각 측정시간은 1분 간격으로 한다.

6.1.5 공내재하시험

공내재하시험은 주로 연암 및 경암층의 공학적 특성을 파악하고 설계에 필요한 입력자료인 지반의 변형계수를 측정하기 위하여 시추공내에서 실시한다. 시험은 지반강성에 적합한 허용압력을 가지는 시험기로 수행하여야 한다. 시추공내에 시험기를 삽입하여 유압이나 수압을 사용, 공벽에 압력을 가한 후 시험기 내부에 장착되어 있는 공경 측정장치를 사용하여 압력증가에 따른 공경의 변화정도, 즉 지반변위량을 측정한다.

압력조건은 다단계로 하여 반복 시험하는 것을 원칙으로 하며 풍화대 및 연암층에서는 각 압력단계에서의 크립변형을 파악하기 위하여 15, 30, 60, 120초 간격으로 측정한다.

공벽에 가한 압력과 지반의 변위량에 의거 압력-변위량 곡선을 작성하여 지반의 변형계수를 산출하여야 한다.

6.1.6 초기응력 측정

초기응력의 크기는 터널 굴착공사에 큰 영향을 미치므로, 공사의 규모나 지역 및 지질구조 특성상 초기응력을 구할 필요가 있을 경우에는 지반상태를 감안하여 응력개방법, 응력보상법, 수압파쇄법, 공내재하시험에 의한 방법 등을 활용하여 측정하여야 한다.

6.1.7 기 타

시험항목과 빈도는 공사의 특성, 현장여건 등 제반사항을 감안하여 선정하며, 상기의 시험항목 이외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다.

6.2 실내시험

실내시험은 지반조건, 터널의 규모나 길이, 지형의 변화, 지질구조 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정하여야 한다.

실내시험은 시료의 물리적, 역학적 제 시험을 행하여 지반의 공학적 특성판단에 필요한 정보를 얻기 위해 수행하며 실내시험용 시료는 현장답사, 보링공 및 시험공 조사에서 채취된 시료가 그 대상이 된다. 실내시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 건설부 발행 기술지도

서에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.

암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며 시료의 제작 및 시험방법은 국제 암반역학회(International Society for Rock Mechanics : ISRM)에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.

실내시험은 설계, 시공 및 유지관리의 기초자료로 정확성을 요하므로 자격을 가진 자가 시험기준에 입각하여 행한다. 실내시험중 물리시험은 보링공 1개소마다 적어도 3개 이상의 시료를 채취하여 행하며, 역학시험은 조사목적에 따라 시험항목을 선정하여 행한다. 특히, 암석의 경우 풍화, 균열상태, 방향성, 함수상태를 고려하여 시험한다. 조사목적에 따른 실내시험 항목들은 <표 603.7>과 같다. 또한, 토질 및 암석시험종류는 <표 603.8, 9>와 같다.

<표 603.7> 조사목적에 따른 실내시험법

조사목적 / 시험항목	기계굴착의 적부	굴착재 골버력의 이용여부	탄성파에 의한 암반대비 탐사의 평가	미고결층 투수성	대수층 구분	산사태 발생유무	팽창성 지반여부	유사현상 유무	가연성 개스 유무	산소결핍 유무	관련 규정
비 중		●	○				○	○			KS F 2518
함수율, 흡수율		●									KS F 2518
압 축 강 도	●	○	●				●				KS F 2519
인 장 강 도	○						○				-
경 도	●										JIS 2246
마 모 율	●	○									KS F 2521
안 정 성		○									KS F 2507
탄 성 파 속 도	●		●								-
포아송비, 탄성계수			○				○				-
투 수 계 수				●	●			○			KS F 2322
입 도 분 포				○			●	●			KS F 2502
팽 창 성	●					○	○				-
광 물 조 성	●					○	○			○	-
개 스 함 유 율									●	○	-
수 질					●	○				○	KS F 0100

주) ● : 특히 유효한 시험법
○ : 실시하는 편이 좋은 시험법

<표 603.8> 토질시험 항목별 한국산업규격 번호 및 시험결과 이용

시험종류		시험방법	시료의 상태	시험결과치	시험결과의 이용
입도시험 체 분 석 침강분석		KS F 2302	흐트러진 시료	입경가적곡선 균 등 계 수 곡 률 계 수	흙의 분류, 점토의 압축성 판정, 사질토의 안정성 및 액상화 판정
액성한계시험 소성한계시험 수축한계시험		KS F 2303 KS F 2304 KS F 2305	흐트러진 시료	액·소성한계, 소 성 지 수, 수 축 한 계, 컨시스턴시지수, 수축비	흙의 분류, 자연상태 점토의 안정성 판정, 흙재료의 판정, 노상 노반토의 판정, 점착성의 판정
함수비시험		KS F 2306	자연함수량이 변하지 않은 시료	함 수 비	흙의 기본적 성질계산, 예민비판정
비 중 시 험		KS F 2308	흐트러진 시료	흙입자의 비중	간극비, 포화도 계산, 흙의 침강분석
다 짐 시 험		KS F 2312	흐트러진 시료	최적함수비 최대건조밀도	노반 및 성토의 설계, 시공관리
일축압축시험		KS F 2314	흐트러지지 않은 시료 다짐시료	일축압축강도 변형계수	점성토지반의 기초, 사면, 굴착면, 옹벽 등의 안정계산
압 밀 시 험		KS F 2316	흐트러지지 않은 시료	압 축 지 수, 압 밀 계 수, 체적압축계수, 압밀항복응력	점성토 지반의 압밀침하량 및 침하시간 계산
지지력비 시험 (CBR)		KS F 2320	흐트러지지 않은 시료 다짐시료	흐트러진 시료 및 흐트러지지 않은 시료의 지지력비	휨성포장두께의 판정
투 수 시 험		KS F 2322	흐트러지지 않은 시료	흙의 투수계수	투수성 지반의 설계
직접전단시험		KS F 2343	흐트러지지 않은 시료 다짐시료	점 착 력, 내부마찰각	구조물 기초, 사면, 굴착면, 옹벽 등의 안정계산
상대밀도시험		KS F 2345	흐트러지지 않은 시료	최대단위중량 최소단위중량	흙의 다짐도 및 액상화 판정
삼축압축시험	비압밀 비배수 시험 (UU)	KS F 2346	흐트러지지 않은 시료	점 착 력 내부마찰각	점성토 지반의 기초, 사면, 굴착면, 옹벽등의 안정계산
	압밀 비배수 시험 (CU)	KS F 2346	흐트러지지 않은 시료	점 착 력 내부마찰각	유효응력에 의한 점성토지반의 안정계산
	압밀 배수 시험 (CD)	KS F 2346	흐트러지지 않은 시료	점 착 력 내부마찰각	유효응력에 의한 사질토 지반의 안정계산

<표 603.9> 암석시험 종류 및 결과의 이용

시 험 명 칭	시 험 결 과 치	시 험 결 과 의 이 용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
비 중 시 험	비 중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	2518 (석재)	○	
밀 도 시 험	습윤밀도, 건조밀도	지반내의 응력산정, 응력발생예측 지표	〃	○	
흡수율 시험	흡 수 율		〃	○	
함수량 시험	함 수 비		〃	○	D2216
공극율 시험	공 극 율		-	○	
탄성파속도시험	동적탄성계수	암반의 탄성파속도 비교로 열화도 추정	-	○	D2845
실내투수시험	투수계수	암반의 투수성 평가	-	○	D4525
침수붕괴도시험	침수시간 - 스레이킹 구분곡선	암석의 결합정도의 판단	-	○	
스레이킹시험	스레이킹 내구성지수	사면문제나 응력문제	-	○	D4644
흡수팽창시험	흡수팽창율		-	○	
팽창압시험	팽창압		-	○	
일축압축시험	압축강도, 탄성계수, 포아송비	암석의 역학적 특성	2519 (석재)	○	D2938, D3148
삼축압축시험	강도정수 (c,Ø), 암석변형특성	암석의 역학적 특성	-	○	D2664
점하중 강도시험	점하중강도	암석의 강도지수를 판단	-	○	
압열인장시험	인장강도		3032	○	D3967
절리면전단시험	c, Ø계수, 전단강도		-	○	
크립 시험	크립 계수, 변형율	구조물의 장기안정성	-	○	D4405, D4406, D4341
경 도 시 험	각종 경도지수	암석의 경도, 굴착기계에 의한 암석굴착 난이도	-	○	
마 모 시 험	마모경도	암석의 기계화 절삭, 굴진능률	-	○	

주) ○ : 제안된 시험법임

603.7 지반조사 성과의 정리

7.1 지반분류

지반은 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합하게 분류하여야 한다.

7.1.1 흙의 분류

퇴적토층, 풍화토층 등 미고결지층은 '흙의 통일분류법(USCS)'에 따라서 <표 603.10>과 같이 세분하여야 한다.

7.1.2 암반분류

암반 분류시에는 다음 사항중 필요한 사항을 선정하여 암반을 분류하여야 한다.

- 압축강도
- 탄성파속도
- 변형계수
- RQD (Rock Quality Designation)
- 불연속면의 간격 또는 빈도
- 불연속면의 상태(거칠기, 풍화도, 연속성, 틈새, 충전물의 두께와 특성 등)
- 지하수 상태
- 초기응력 상태
- 암석종류, 풍화도, 수침시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성

암반분류는 터널의 용도, 지역 및 지질특성 등을 고려하여 분류기준을 정할 수 있으며, 국내외에서 많이 적용하고 있는 비에니아스키(Bieniawski)가 제안한 RMR방법이나 바톤(Barton)이 제안한 Q-시스템을 분류기준으로 사용할 수 있다.

RMR값과 Q-시스템의 Q값과의 관계는 비에니아스키가 제시한 $RMR = 9 \ln Q + 44$ 의 관계식을 적용할 수 있다.

한국도로공사에서는 터널 표준단면과 암질에 따른 여러 가지 요소를 고려한 종합적인 암반분류기준을 <표 603.13>과 같이 제시하였다. 특히 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류하여야 한다.

<표 603.10> 통일분류법에 의한 흙의 공학적 분류방법 (KS F 2324)

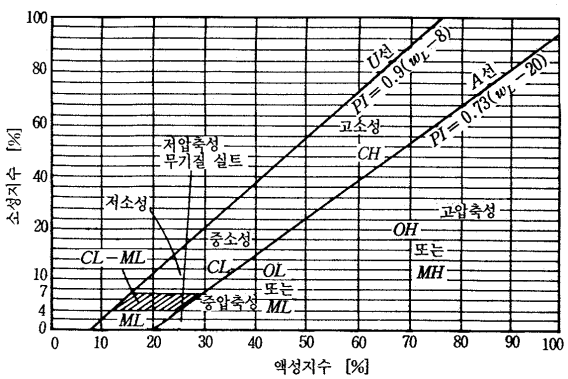
<table>
<tr><th colspan="3">주 요 구 분</th><th>분류기호</th><th>대 표 명</th><th colspan="3">분 류 방 법</th></tr>
<tr><td rowspan="7">조립토
(No.200체 통과분 50% 이하)</td><td rowspan="3">자 갈
(No. 4 체 통과분 50% 이하)</td><td rowspan="2">깨끗한 자갈</td><td>GW</td><td>입도분포 양호한 자갈, 자갈 모래 혼합토</td><td rowspan="3">입도곡선으로 모래와 자갈의 비율을 결정

세립분(No.200체 이하)의 백분율에 따라 다음과 같이 분류

5% 이하 : GW, GP, SW, SP

5%~12% : 경계선에서 이중기호 사용

12% 이상 : GM, GC, SM, SC</td><td colspan="2">$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$,
$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1 \sim 3$</td></tr>
<tr><td>GP</td><td>입도분포 불량한 자갈, 자갈 모래 혼합토</td><td colspan="2">GW 분류기준에 맞지 않는 경우</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세립분을 함유한 자갈</td><td>GM</td><td>실트질 자갈, 자갈 모래 실트 혼합토</td><td>소성도에서 A선 아래 또는 PI < 4</td><td rowspan="2">소성도에서 사선 부분에서는 이중기호로 분류한다</td></tr>
<tr><td>GC</td><td>점토질 자갈, 자갈 모래 점토 혼합토</td><td>소성도에서 A선 위 또는 PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="3">모 래
(No. 4 체 통과분 50% 이상)</td><td rowspan="2">깨끗한 모래</td><td>SW</td><td>입도분포 양호한 모래, 자갈섞인 모래</td><td colspan="2">$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$,
$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1 \sim 3$</td></tr>
<tr><td>SP</td><td>입도분포 불량한 모래, 자갈섞인 모래</td><td colspan="2">SW 분류기준에 맞지 않는 경우</td></tr>
<tr><td>세립분을 함유한 모래</td><td>SM</td><td>실트질 모래, 실트 섞인 모래</td><td>소성도에서 A선 아래 또는 PI < 4</td><td rowspan="2">소성도에서 사선 부분에서는 이중기호로 분류한다</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>SC</td><td>점토질 모래, 점토 섞인 모래</td><td>소성도에서 A선 위 또는 PI > 7</td></tr>
<tr><td rowspan="6">세립토
(No.200체 통과분 50% 이상)</td><td colspan="2" rowspan="3">실트 및 점토

LL < 50</td><td>ML</td><td>무기질 점토, 극세사, 암분, 실트 및 점토질 세사</td><td colspan="3" rowspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td>CL</td><td>저-중소성의 무기질 점토, 자갈 섞인 점토, 모래섞인 점토, 실트섞인 점토, 점성이 낮은 점토</td></tr>
<tr><td>OL</td><td>저소성 유기질 점토, 유기질 실트 점토</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">실트 및 점토

LL > 50</td><td>MH</td><td>무기질 실트, 운모질 또는 규조질 세사 또는 실트, 탄성있는 실트</td></tr>
<tr><td>CH</td><td>고소성 무기질 점토, 점질많은 점토</td></tr>
<tr><td>OH</td><td>중 또는 고소성 유기질 점토</td></tr>
<tr><td colspan="3">유 기 질 토</td><td>PT</td><td>이탄토 등 기타 고유기질토</td></tr>
</table>

(1) RMR 암반분류법

RMR(Rock Mass Rating)은 비에니아스키가 제안한 방법으로 이는 암반에 점수를 주어 암반을 평가하는 방법이다. 암반을 평가하는 방법으로는 6가지 요소, 즉 암석강도, RQD, 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 지하수, 불연속면의 방향에 대한 점수를 할당하고 이들 변수에 대한 점수를 합계하여 RMR 값을 산출한다. 암석강도는 전체 평점의 15%, 절리에 관련된 요소는 70%, 지하수 영향에 15%를 배당하여 주로 절리 등의 불연속면 특성에 의해 암반을 평가하며 산출된 암반분류 점수를 20점 단위로 묶어 5개 집단으로 분류한다. RMR 분류법에 의한 암반분류기준은 <표 603.11>과 같다.

<표 603.11> RMR 암반분류 기준

① 암반분류 평가항목 및 평점

분 류 기 준			특성치 구분 및 평점						
R1	시료강도 (MPa)	점하중강도지수	10	4	2	1	일축압축강도 이용		
		일축압축강도	250	100	50	25	5	1	
	R1 평점		15	12	7	4	2	1	0
R2	암질표시율(RQD) %		90	75	50	25			
	R2 평점		20	17	13	8	3		
R3	절리면 간격(Js) cm		200	60	20	6			
	R3 평점		20	15	10	8	5		
R4	절리면 상태(Jc)	연장 길이(m)	< 1	1~3	3~10	10~20	> 20		
		평 점	6	4	2	1	0		
		분 리 폭(㎜)	밀착	<0.1	0.1~1.0	1~5	> 5		
		평 점	6	5	4	1	0		
		거 칠 기	매우거침	거침	약간거침	매끄러움	아주 매끄러움		
		평 점	6	5	3	1	0		
		충전물두께(㎜)	없음	견고한 충전물		연약한 충전물			
				<5	>5	<5	>5		
		평 점	6	4	2	2	0		
		풍 화 도	신선함	약간풍화	중간풍화	심한풍화	완전풍화		
		평 점	6	5	3	1	0		
R5	지하수 상태	터널길이 10m당 유입량(ℓ/분) 또는 수압/주응력 비 또는 건습 상태	0 0 완전건조	10 0.1 습윤	25 0.2 젖음	125 0.5 물방울이 떨어짐	물이 흐름		
	R5 평점		15	10	7	4	0		

<표 603.11> RMR 암반분류 기준 (계속)

② 절리면의 방위와 터널 굴진방향의 상관관계

절리면의 주향이 터널 굴진방향과 수직				절리면의 주향이 터널 굴진방향과 평행		주향과 무관
내림 경사방향 굴진		오름 경사방향 굴진				
경사각 45～90°	경사각 20～45°	경사각 45～90°	경사각 20～45°	경사각 45～90°	경사각 20～45°	경사각 20°이하
매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리	양호	양호

③ 절리방향에 대한 보정

절리의 주향과 경사	매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리
보 정 점 수	0	-2	-5	-10	-12

④ 암반등급과 의미

RMR평점	100～81	80～61	60～41	40～21	20이하
암반 등급	I	II	III	IV	V
암반 상태	매우 우수	우 수	양 호	불 량	매우불량
평균 자립 시간	스팬 15m 20년	스팬 10m 1년	스팬 5m 1주일	스팬 2.5m 10시간	스팬 1m 30분
암반의 점착력 (kPa)	>400	300～400	200～300	100～200	< 100
암반의 내부 마찰각 (도)	>45°	35°～ 45°	25°～ 35°	15°～ 25°	< 15°

(2) Q-시스템 (Rock Mass Quality-System : NGI 기준에 의한 암반분류)

Q-시스템(Rock Mass Quality-System)은 NGI 연구기관(Norwegian Geotechnical Intstitute)의 Barton(1974, 1993)이 소개한 것으로, 암반상태를 정량적으로 평가(Q값)하고 이에 대한 보강방법과 보강량을 결정하는 방법이다.

Q값은 <표 603.12>와 같이 암반특성을 6요소로써 대표하여, 각 요소를 몇 등급으로 나누어서 수치화하고 여기에 해당하는 값을 다음과 같이 서로 곱하거나 나누어서 산출한다. 다음 식에서 나타난 바 6요소들은 각각 2가지 요소를 결합하여 3가지 항목으로 나뉘어져서 암괴의 크기(RQD/Jn), 암괴의 전단력(Jr/Ja), 활성응력(Jw/SRF) 등을 나타낸다.

Q값은 0.001-1,000 범위로서 매우 불량부터 매우 양호까지 9등급으로 분류하여 터널 폭과 Q값에 따른 지보방법을 제시하였다.

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

여기서, RQD : 암질표시율(%)

Jn : 절리군의 수

Jr : 절리면의 거칠기 계수

Ja : 절리면의 변질도

Jw : 절리사이의 물에 의한 저감계수

SRF : 응력감소 계수 (Stress Reduction Factor)

Q-시스템의 특징은 다음과 같다.

장 점	단 점
1. 대단면 터널에 적합. 2. 유동성, 팽창성 암반과 같은 매우 취약한 지층에도 적합. 3. 세밀한 암반분류에 따라 구체적이고 체계적인 보강방안 제시.	1. 막장관찰에서만 비교적 정확히 조사될 수 있고, 시추조사에서는 신뢰성이 떨어지므로 터널설계시 적용곤란. 2. 산출요소가 매우 복잡하고, 분석오차가 큼

<603.12> Q-시스템에 이용되는 매개변수

기 술	값	비 고	
1. 암질표시율	**RQD**		
A. 매우 불량 B. 불량 C. 보통 D. 양호 E. 매우 양호	0~25 25~50 50~75 75~90 90~100	1. RQD가 10이하인 경우에는 10을 적용 2. RQD는 5간격으로 표기한다. 즉 100, 95, 90 등	
2. 절리군의 수	**Jn**		
A. 괴상으로 절리가 전혀 없거나 또는 거의 없음 B. 1 방향의 절리군 C. 1 방향의 절리군과 불규칙한 절리 D. 2 방향의 절리군 E. 2 방향의 절리군과 불규칙한 절리 F. 3 방향의 절리군 G. 3 방향의 절리군과 불규칙한 절리 H. 4 또는 그 이상의 절리군과 불규칙한 절리가 현저하게 많음. I. 토사상으로 파쇄된 암반	0.5~1.0 2 3 4 6 9 12 15 20	1. 절리의 교차부에 대하여 (3.0×Jn) 2. 갱구부에 대하여 (2.0×Jn)	
3. 절리면의 거칠기 계수	**Jr**		
a. 절리면이 접촉하고 있는 경우 및 b. 전단변위 10cm 이하로 절리면이 접촉하는 경우			
A. 불연속성 절리 B. 거칠거나 또는 불규칙하고 파상 C. 평탄하고 파상 D. 박피상이고 파상 E. 거칠거나 또는 불규칙하고 평탄 F. 매끈매끈하고 평탄 G. 박피상이고 평탄	4 3 2 1.5 1.5 1.0 0.5	1. 관련절리군의 평균절리 간격이 3m이상인 경우는 1.0을 더함. 2. 선상구조가 최소 강도방향으로 배열되어 있을 경우는 이러한 선상구조를 갖는 평탄한 표층의 절리에 대하여 Jr = 0.5로 한다.	
c. 전단시 절리면의 접촉이 생기지 않는 경우			
H. 절리면의 접촉을 막는데 충분한 두께의 점토 광물협재 I. 절리면의 접촉을 막는데 충분한 두께의 모래, 자갈 또는 파쇄대	1.0 1.0		
4. 절리면의 변질도	**Ja**	ϕr(개략치)	
a. 절리면이 접촉하고 있을 경우			
A. 강하게 결합하고 경질로서 견고한 불투수성 충전물을 함유 B. 절리면이 불결한 상태일 뿐이고 변질되어 있지 않음. C. 절리면은 약간 변질되고 견고한 사질입자, 점토분이 없는 풍화암 등을 함유 D. 실트질 점토 또는 사질점토로 피복되고 소량의 점토를 함유 E. 연화된 또는 마찰이 작은 점토광물 즉 고령토, 운모 등으로 피복되어 있다. 또 녹니석, 활석, 석고, 흑연 등과 소량의 팽창성 점토를 함유(불연속성 피복물의 두께는 1~2mm 또는 그 이하)	0.75 1.0 2.0 3.0 4.0	(25~35°) (25~30°) (20~25°) (8~16°)	1. 잔류마찰각 ϕr는 변질물의 광물적 성질을 고려하여 개략적인 참고치로 하고 있음.
b. 전단변위 10cm이하에서 절리면이 접촉하는 경우			
F. 사질입자 점토분이 없는 풍화암 등 G. 강하게 과압밀된 비연화 점토·광물의 충전물(연속성이며 두께 < 5mm) H. 중간정도 또는 조금 과압밀되어 연화한 점토광물의 충전물(연속성이며 두께 < 5mm) J. 팽창성 점토 충전물 즉 몬모리로라이트(연속성이며 두께 < 5mm). Ja의 값은 팽창성 점토의 비율과 물의 유무에 관계됨.	4.0 6.0 8.0 8.0~12.0	(25~30°) (16~24°) (12~16°) (6~12°)	

< 603.12> Q-시스템에 이용되는 매개변수 (계속)

기 술	값	비 고		
c. 전단시 절리면의 접촉이 생기지 않는 경우				
K. 풍화 또는 파쇄된 암석 및 점토의 피상협재 L. M. (점토의 상태에 따라서 G. H 및 J를 참조) N. 실트질 점토 또는 사질점토의 피상으로 협재하며 점토 함유량은 소량 P. 점토가 두꺼운 연속성인 분포 Q. R. 나 구역 (점토의 상태에 따라서 H 및 J를 참조)	6.0, 8.0 8.0~12.0 5.0 10.0~13.0 13.0~20.0	(6~24°) (6~24°)		
5. 절리사이의 물에 의한 저감계수	**Jw**	개략의 수압 (kgf/cm^2)		
A. 건조상태에서 굴착 또는 소량의 용수, 즉 국부적으로 < 5ℓ/분 B. 중간정도의 용수 또는 중간정도의 수압, 때에 따라 절리 충전물의 유출 C. 충전물이 없고 절리가 있으며 내력이 있는 암반내의 대량의 용수 또는 높은 수압 D. 대량의 용수 또는 높은 수압, 충전물의 상당량이 유출 E. 발파시에 예외적으로 다량의 용수 또는 예외적인 높은 수압 시간과 더불어 감소 F. 예외적으로 다량의 용수 또는 예외적인 높은 수압, 수량 감소 없이 계속 유출	1.0 0.66 0.5 0.33 0.2~0.1 0.1~0.05	< 1.0 1.0~2.5 2.5~10.0 2.5~10.0 > 10 > 10	1. C에서 F항까지는 극히 개략적인 추정치, 배수공사를 시공한다면 Jw를 늘림. 2. 동결(凍結)이 있는 특별한 문제는 고려하지 않음	
6. 응력감소 계수(Stress Reduction Factor, SRF)				
a. 터널굴착시 암반에 이완이 생길 가능성이 있는 약층이 공동과 교차하고 있는 경우	**SRF**			
A. 점토 또는 화학적으로 풍화한 암석을 포함하는 약층이 복수로 있고 주변암반이 느슨해져 있다. (굴착심도에 무관) B. 점토 또는 화학적으로 풍화한 암석을 포함하는 단일 약층 (굴착심도 50m 이하) C. 점토 또는 화학적으로 풍화한 암석을 포함하는 단일 약층 (굴착심도 50m 이상) D. 내력이 있는 암반내에 복수의 전단대(점토를 함유하지 않음)가 존재하고 주변암반은 느슨해졌음(굴착심도에 무관) E. 내력이 있는 암석내에 단일 전단대(점토를 함유) (굴착심도 50m 이하) F. 내력이 있는 암반내에 단일 전단대(점토를 함유) (굴착심도 50m 이상) G. 느슨하며 충진되지 않은 절리, 절리가 심하게 발달됨 (굴착심도에 무관)	10.0 5.0 2.5 7.5 5.0 2.5 5.0	1. 문제가 되는 전단대가 공동과 교차하지 않는 경우 SRF를 25~50%이하로 낮춤. 2. 초기 응력장(측정되었을 경우)이 강한 이방성을 나타낼 경우 $5 \le \sigma_1/\sigma_3 \le 10$일 때 σ_c를 $0.8\sigma_c$로, σ_t를 $0.8\sigma_t$로 감소시킴. $\sigma_1/\sigma_3 > 10$일 때 σ_c를 $0.6\sigma_c$로 σ_t를 $0.6\sigma_t$로 감소시킴. 여기서 σ_c = 일축압축강도, σ_t = 인장강도(점재하), σ_1과 σ_3는 각각 최대, 최소 주응력임 3. 지표에서 터널상부까지 깊이가 터널폭 보다 작은 곳에서의 몇몇 사례에서는 SRF는 2.5를 5로 증대시키는 편이 좋다(H 참조)		
b. 내력이 있는 암석에서 암반응력이 문제가 되는 경우	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	**SRF**	
H. 지표 가까이에서 낮은 응력 J. 중간정도의 응력 K. 높은 응력에서 대단히 견고한 지질구조(일반적으로 안정성에 관해서는 양호하나 벽면의 안전에 관해서는 불리하게 될 가능성이 있다) L. 암석파쇄는 적다(괴상암반) M. 아주심한 암석파쇄(괴상암반)	>200 200~10 10~5 5~2.5 < 2.5	>13 13~0.66 0.66~0.33 0.33~0.16 < 0.16	2.5 1.0 0.5~2 5~10 10~20	
c. 압출성 암반 즉 암반의 높은 압력영향으로 내력이 없는 암석이 소성유동을 일으킬 경우	**SRF**			
N. 중간정도의 압출성 암반 압력 O. 격심한 압출성 암반 압력	5~10 10~20			
d. 팽창성 암반 즉 물의 유무에 지배되는 화학적 팽창성 작용을 일으킬 경우	**SRF**			
P. 중간정도의 압출성 암반 압력 R. 격심한 압출성 암반 압력	5~10 10~15			

<표 603.13> 여러 가지 요소를 고려한 종합적인 지반분류 기준 (한국도로공사)

표준 단면[1)]	지 반 분 류			Q 값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/sec)	일 축 압축강도 (kg/cm^2)	코 아 회수율 (%)
	암반	RMR	특 징					
1	경 암	100～81	안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	40 이상	70 이상	4.5 이상	1200 이상	90 이상
2	보통암	80～61	균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 층상의 암질	40～10	40～70	4.0～4.5	800～1200	70～90
3	연 암	60～41	층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	10～4	20～40	3.5～4.0	600～800	40～70
4	풍화암	40～21	물리적, 화학적으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	4～1	20 이하	3.5～2.0	250～600	40 이하
5	풍화암 (토)	20 이하	풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	1 이하	20 이하 N>100 : IV N<100 : V	2.0 이하	250 이하	

1) : 본 편람 ‘605 터널지보재의 1.3.2 표준 지보 패턴 선정사례’ 참조

7.2 조사결과의 정리

조사결과는 종합적으로 분석하여 터널의 선정, 설계 및 시공계획, 유지관리시에 이용할 수 있도록 정리하여야 한다.

조사결과를 정리할 때에는 조사목적에 맞도록 성과물을 작성하여야 한다. 특히, 조사자는 경제적이고 합리적인 설계 및 시공자료로 활용할 수 있도록 조사결과를 일반화된 방법으로 정량적으로 분류·평가하여 검토의견을 제시하여야 한다.

7.2.1 지표지질조사 결과

지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리하여야 하며 응용지질도는 터널구간을 포함하는 광역지질도(1:25,000)와 정밀응용지질도(1:5,000)로 구분하여야 한다.

7.2.2 시추조사결과

시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리하여야 하며, 지층설명은 색조, N치, 강도, 풍화도, 균열상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 물리탐사 등 기타 자료를 참고하여 터널구간의 지질단면도를 작성하여야 한다.

7.2.3 채취된 시료정리

채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리하여야 한다.

시료상자에 정리된 시추코아는 암석시험용 시료선정 전에 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에 물을 뿌린 후 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리하여야 하며 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록하여야 한다.

7.2.4 시험결과 정리

공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등 현장시험이나 물리탐사의 결과는 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리하여야 한다.

604
설계일반

604.1 터널설계의 기본개념

1.1 터널굴착과 지반거동 특성

물질에 외력을 가하게 되면 그 물질 내부에는 응력이 발생하고 동시에 변위도 발생하게 된다. 응력의 형태와 크기는 외력이 작용하는 형태와 크기에 따라 달라지고 변위의 크기는 그 물질의 성질에 따라 달라지게 된다. 모든 물질은 이렇게 외력에 대해서 거동하며 변형과 파괴에 저항하는 능력을 가지고 있는데 이의 최대저항 능력을 그 물질의 강도라고 부르고 형태에 따라 압축, 인장, 전단 등에 대한 고유값으로 나타낸다. 자연지반에는 오랜 세월을 통해 거쳐오며 자체의 응력을 보유하고 있는데 이 응력을 초기응력이라고 부른다. 이 초기응력은 그 지반의 응력이력(stress history)에 의존하게 되는데 편의상 수직응력과 수평응력으로 구분하여 취급하게 된다. 이들의 크기에 있어서는 수직응력이 수평응력보다 크기도하고 이와 반대가 되기도 하며 경우에 따라서는 최대응력이 수직도 수평도 아닌 경우도 발생하게 된다. 시공대상이 되는 자연지반은 이러한 초기응력의 다양성에도 불구하고 그 응력하에서 안정된 상태를 유지하고 있다. 즉 자연지반이 가지고 있는 응력상태는 그 지반의 고유저항값(강도)이하에서 평형상태를 유지하고 있음을 의미한다.

이러한 자연지반에 터널을 굴착하게 되면 원래의 지반응력상태가 변하게 된다. 이렇게 변화된 응력과 지반강도와의 관계에서 터널이 안정상태를 유지하기 위해서는 지보재를 필요로 하거나 그렇지 않은 경우도 발생하게 된다. 이와 같이, 터널설계에서는 지반이 발휘할 수 있는 공학적인 능력을 평가하는 방법에 따라 지반을 두 가지의 극단적인 상태로 분류할 수 있다. 첫째는 지반을 자체 지보능력이 없는 것으로 간주하거나 적극적으로 이를 활용하고자 하지 않는 경우이고, 둘째는 지반자체가 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용하고자 하는 경우이다. 전자의 경우는 터널굴착으로 인해 발생하는 모든 하중을 신설되는 터널의 지보재로 하여금 지지하도록 한다. 이 경우 하중의 크기는 지반조건과 터널의 형상과 심도 등에 따라 달라지게 된다. 다시 말하면 지반의 이완하중발생을 방지하려 하거나 지반자체의 지보능력을 적극 활용하고자 하는데 관심을 두지 않는 이른바 재래식 터널공법이다. 반면, 후자의 경우는 지반이 원래 가지고 있는 지보능력이 적게 손상되도록 굴착하고 동시에 지반이완 등을 적극 방지하여 지반자체의 지보능력을 적극적으로 활용하여 경제적인 지보재만으로도 터널의 안정상태를 유지시키는 공법으로서 초기 제안시의 이름을 아직도 사용하고 있는 NATM 개념의 터널공법이다.

1.2 NATM 개념의 터널공법

NATM 개념의 터널공법은 숏크리트, 강지보재 및 록볼트로 구성된 가축성 지보재(이하 주지보재)를 활용하여 터널 굴착면 주변의 지반 내부에 지반아치를 형성하여 이 아치로 하여금 터널의 공동을 안정되게 유지하는 지보기능을 발휘하도록 한다. 즉, 지반자체가 터널을 형성하는 주된 역할을 수행하도록 적절한 지보부재를 적정한 시기에 설치하도록 하는 노력을 필요로 하는 공법이다. 지반의 지보능력을 활용하기 위해서는 터널 내부로의 변위가 발생하도록 허용되어야 하되 변위는 굴착면 주변 지반의 강도를 상실시키지 않는 범위 이내가 되도록 하여야 한다. 또한 지반변위는 지반의 특성과 지보재의 설치시기 및 강성에 의해 좌우되기 때문에 지반의 실제 거동을 관찰해 가면서 신축성 있게 시공하도록 설계되지 않으면 안된다. 굴착 후 굴착면 주위 지반의 응력은 시간에 따라 계속 변화한다는 점과 실제 지반이 설계단계의 지반과 상이한 경우가 많다는 점을 감안할 때 이 공법은 시간성과 지반변화에 대한 합리적인 대응성을 그 골격으로 하고 있음을 알 수 있다. 즉, 지보재와 지반과의 상관관계의 문제이다.

강지보재, 숏크리트 및 록볼트 등으로 구성된 주지보재(primary support)만으로 안전성이 확보된 터널에 설치되는 콘크리트 라이닝은 터널의 수명기간 동안 구조물로서의 기능유지, 미관유지, 터널내의 시설물 보호 등의 역할을 담당한다. 그러나 주 지보재에 의해 안정이 확보된 터널이라고 할지라도 시간이 경과하면서 원지반 특성이 저하되거나 지보재 재료의 약화 등에 의해 주 지보재의 지보능력이 저하된다면 지반은 다시 평형상태를 잃게 되어 콘크리트 라이닝에 하중이 전이될 수 있다. 이 경우에는 콘크리트 라이닝이 이 하중을 안전하게 지탱할 수 있도록 하여야 한다.

604.2 터널설계의 기본방향

2.1 터널설계의 목표

터널의 설계에서는 조사결과를 바탕으로 다음 사항들을 추구하도록 하여야 한다.

(1) 안정성 : 시공시는 물론이고 완공후에도 터널의 수명기간동안 안전한 구조물로서 기능을 발휘할 수 있도록 설계하여야 한다. 특히 토사지반의 얕은 터널 또는 상부지반이나 터널 인근지역에 개발이 예상되는 경우에는 이에 대한 영향을 미리 설계에 반영하도록 하는 것이 바람직하다.

(2) 시공성 : 아무리 좋아 보이는 계획이라고 할지라도 시공성이 고려되지 않았다면 결코 좋은 설계가 될 수 없다. 시공성에서는 현장의 조건은 물론 기술수준까지를 감안하여 평가하여야 한다. 즉, 제공될 수 있는 기술력으로 수행이 가능한 설계가 되도록 하여야 한다.

(3) 경제성 : 불확실한 설계일수록 비경제성을 내포하기 쉬우므로 현장의 실제지반조건과 계측결과를 적극 활용하도록 함으로써 경제성을 도모할 수 있도록 설계하여야 한다. 특히 과도한 경쟁에 의한 비경제적인 설계가 되지 않도록 주의하여야 한다.

(4) 내구성 : 주변의 환경 등을 면밀히 분석하

여 터널의 수명기간동안 구조물의 내구성이 유지되도록 하여야 한다. 이 경우에는 지하수 영향 등도 고려하여야 한다.

(5) 유지관리의 효율성 : 터널의 구조물은 구조물 수명기간동안 유지관리가 쉬운 구조물이 되도록 설계하여야 한다. 배수형 터널의 경우에는 장기간 동안에도 배수계통의 기능이 유지될 수 있도록 설계하여야 한다.

2.2 터널설계의 수행방향

(1) 터널의 설계시에 시행되는 지반조사는 지형조건의 제약으로 인해 조사가 어려운 경우가 많기 때문에 실제 시공시의 지반조건이 설계당시 예측한 조건과 상이하게 되는 경우가 자주 발생하게 된다. 이러한 경우가 발생할 것을 고려하여 시공법 및 지보방법 등을 변경할 수 있도록 계획하여 두지 않으면 시공시에 어려움을 겪게 된다. 특히 설계시에 적용된 제반자료와 분석결과 및 예측사항을 제시하여 실제 시공조건의 판단자료가 되도록 하여야 현장조건에 적합한 방법으로의 변경이 용이하게 된다. 즉, 터널의 설계는 다른 구조물의 설계와는 달리 확정설계 개념보다는 현장조건에 따라 변경될 수 있음을 염두에 두고 실시되어야 한다. 그러나 변경사항을 내포하고 있기 때문에 근거 없이 불합리한 설계를 추구하여도 된다는 것은 결코 아니다. 조사결과에 충실하여 최적 안을 도출해 낸다 할 지라고 현장 지반변화의 다양성과 조사의 제한성에 따른 불가피한 변경이 대두될 수 있다는 점이 설계내용에 고려되어야 한다는 것이다. 변경이 적은 설계일수록 훌륭한 설계가 되는 것은 두말할 나위도 없다.

(2) 현재 국내의 터널공법은 NATM 개념의 터널공법이기 때문에 터널주변의 지반이 터널을 형성하는 주된 역할을 수행하게 된다. 따라서 터널 설계시에는 터널 주변 지반이 원래 보유하고 있는 지보능력을 손상시키지 않는 굴착방법을 적용하여야 하고 지반자체의 지보능력이 최대로 발휘될 수 있는 터널의 단면형상, 굴착공법 및 방법, 지보재 및 시공순서 등을 선정하여야 한다. 특히 원지반의 지보력이 손상되었거나 여굴이 발생할 경우에는 그 대책을 제시하여야 한다. 지반은 굴착 후 시간경과에 따라 특성이 변화하기 때문에 자칫 시간을 놓치게 되면 터널이 불안정하게 되거나 아주 비경제적으로 지보재를 시공하게 된다. 적기에 적절한 지보재가 시공되도록 설계하여야 한다.

(3) NATM 개념의 터널공법으로 터널을 구축하게 되면 터널 주변의 지반을 보호해 주도록 하여야 한다. 이 경우에 대한 특별시방을 작성하는 것이 바람직하며 터널굴착이 주변시설물에 미치는 영향도 철저히 분석하여 이에 대한 합리적인 대안을 제시하여야 한다.

(4) 터널설계에는 공사중은 물론 운용시에 대한 환기, 조명, 방재시설 등도 고려하여 이들의 역할이 잘 발휘될 수 있도록 설계하여야 한다.

604.3 설계방법의 선정

3.1 설계방법의 선정시 고려사항

(1) 지반의 거동 특성과 지보재의 지보력이 상호 연합하여 터널의 안전성이 구조물의 수명기간동안 유지될 수 있도록 하는 설계방법을 선

정하여야 한다. 이 경우 지반의 거동특성상 지보능력 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 실시하거나 지보재로 하여금 지반을 모두 지지하도록 하는 방법을 채택할 수 있다. 경우에 따라서는 쉴드, 메서쉴드, 동결공법 또는 압기공법 등을 채택할 수 있다. 이 경우는 모두 지반이 지보부재 설치기간 동안의 자립성을 유지할 수 없는 경우에 해당된다.

(2) 설계방법 선정시에는 유사조건에서의 시공실적을 적극 참조하여야 한다. 설계 당시의 유사조건 실적적용 기준이 되는 것은 조사된 지반조건의 분류가 된다.

(3) 지반의 등급이 분류되면 해당 지반 등급에 적용할 표준적인 지보패턴과 굴착방법을 정하여야 한다. 이 경우 전술한 (2)항의 유사지반조건에서의 시공실적은 물론 RMR방법 및 Q-시스템에서 제안한 지보패턴을 참조하여 지보패턴을 정할 수 있다. 단, Q-시스템에서 제안한 방법을 사용하여 섬유보강이 없는 일반 숏크리트의 두께를 정하고자 할 경우에는 섬유보강 유무에 따른 숏크리트의 특성을 감안하여 그 두께를 결정하여야 한다.

(4) 일단 지보패턴과 굴착방법과 순서가 선정되면 이에 대한 적합성을 해석적인 방법으로 검증하여야 한다. 이 때 주의하여야 하는 중요사항으로는 해석적인 검증과정에는 경계조건, 적용 입력치, 해석기법상의 제한이 있으므로 해석결과에 너무 집착하여 설계를 확정하지 않도록 하여야 한다는 것이다. 터널설계에서는 교과서적이 아닌 실제적인 경험 기술이 중요한 요소가 됨을 잊어서는 안된다.

(5) 터널설계에는 불확실한 제반요소가 많이 있다는 점을 간과해서는 안된다. 따라서 다소 보수적이면서도 경제성을 추구하는 지보패턴을 채택하되 동일한 지반조건에 대해서도 시공순서에 따라 지보패턴의 적합성이 달라질 수 있음을 주지하여야 한다.

604.4 설계의 기본요건

(1) 터널설계에 포함되어야 할 사항은 다음과 같다.

① 평면 및 종단선형
② 굴착대상지반의 분석 및 분류
③ 터널단면의 형상
④ 굴착공법 및 방법(종방향 시공법 포함)
⑤ 각종 지보재의 규격 및 시공순서
⑥ 필요한 보조공법
⑦ 방수 및 배수방법
⑧ 콘크리트 라이닝의 시공
⑨ 계측계획 및 수행방법
⑩ 각종 부대시설
⑪ 터널시공에 따른 환경영향분석
⑫ 공사시방서
⑬ 시공계획
⑭ 설계내역서
⑮ 기타 유지관리에 필요한 사항

(2) 신선한 암반을 통과하는 터널의 경우 콘크리트 라이닝의 역할을 분석하여 경우에 따라 콘크리트 라이닝을 생략할 수 있다. 이 경우 발주자와 협의하여야 하며 국내의 제반기술 환경여건도 감안하여야 한다.

(3) 설계에는 시공시의 제반여건이 설계당시의 조건과 상이함으로부터 비롯될 수 있는 문제점에 대한 조치사항을 제시하여야 하며 다음 <표 604.1>의 사항을 포함하여야 한다.

<표 604.1> 설계내용의 변경사항

주 요 항 목	주 요 내 용
지반의 재분류	· 적용지반의 분류
설계단면의 변경	· 지보재
	· 변형 여유량
	· 단면형상
적용지보패턴의 변경	· 숏크리트 두께
	· 숏크리트의 재질
	· 록볼트의 길이, 본수
	· 강지보재 설치간격 및 규격
굴착공법의 변경	· 벤치커트 공법 (코아(core)남김, 링커트 포함)
	· 선진도갱공법
	· 기타 굴착단면 분할
보조공법 도입	· 막장 안정화 대책
	· 지반보강 대책
	· 용수대책
	· 지표면 침하 대책
	· 근접 구조물 대책
단면의 폐합	· 인버트 콘크리트 (조기 시공)
	· 인버트 숏크리트 (가폐합)
	· 콘크리트 라이닝 강성 증대
	· 이중 라이닝 (임시 라이닝)
터널공법 변경	· 개착터널 공법으로 전환
	· 토공구간으로 전환
기 타	· 기타 변경이 요구되는 사항

605
터널 지보재

605.1 터널 지보재의 설계일반

1.1 지보재의 역할

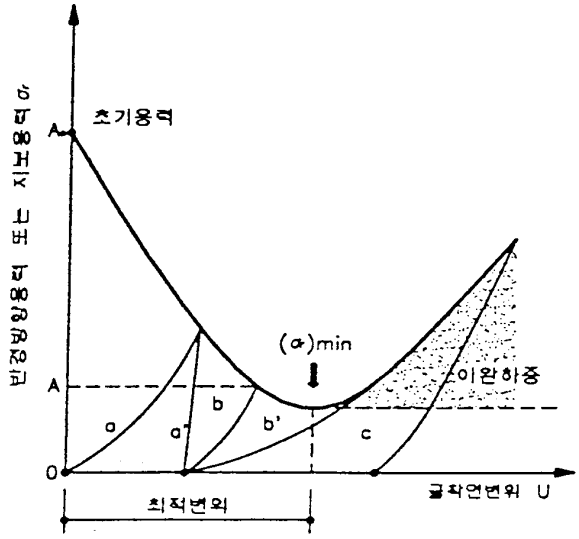
터널을 굴착하면 굴착 이전에 작용하던 초기 응력이 재분배되어 굴착면 주변의 응력은 새로운 응력 분포 상태에 이르게 된다. 즉, 굴착면 주변의 지반은 터널굴착으로 인하여 원래의 3축 응력 상태에서 새로운 2축 응력 상태가 되며, 이로 인해 소멸되는 지중응력 때문에 굴착면의 접선응력은 크게 증가하고 굴착면의 변위가 굴착공동 내측으로 발생하게 된다. 이때 증가된 접선응력이 지반의 강도보다 적으면 터널주변 지반은 적은 변위와 함께 조기에 안정되나, 발생되는 접선응력이 지반의 고유강도보다 크면 큰 변위가 발생되고 지보재로 지반을 지지하지 않으면 터널은 결국 붕괴되게 된다. 특히 실제 지반 특성과 같이 지층구성이 다양하고 불연속면도 임의적으로 존재하는 경우에는 터널 거동양상도 매우 복잡해지게 된다.

터널에서의 지보재는 터널 시공시에는 물론 터널의 수명기간동안 터널 주변의 응력이나 변위 상태 등과 상호 연합하여 일체로 거동하여 터널의 안정성을 영구적으로 보장해 주도록 설계되어야 한다. 즉, 지보재는 터널의 굴착으로 인하여 발생하는 새로운 응력 상태에 대하여 터널 주변지반과 일체가 되어, 안정된 상태에 도달하도록 설계되어야 한다. 특히, 터널 주변 지반의 거동이 지표 및 지중의 주변 구조물에 영향을 미칠 위험이 있는 경우에는 터널 굴착의 영향이 최소화할 수 있는 지보재의 규격과 시공순서를 결정하여야 한다. 또한 터널 내부에서의 작업효율성, 안정성을 고려하여 각종 지보재를 설계하여야 한다.

일반적으로 터널의 지보재는 강지보재, 록볼트, 숏크리트, 철망 등으로 구성되어 있는 주지보재와 굴착의 용이성 및 안정성 증진을 목적으로 주지보재에 추가하여 시공하는 훠폴링, 막장면 록볼트 등의 보조지보재로 구분하여 설계하여야 한다. 특별히 주변지반의 조건이 극히 불량한 경우 콘크리트 라이닝이 부분적으로 지보재의 역할을 담당하도록 설계하는 경우가 있다.

지보재의 설계에 있어서는 지반의 분류 등급과 해당 지보재의 선정에 대한 기준을 제시함으로써 시공시 실제지반조건이 설계시 예측조건과 상이할 경우 적합한 지보재로 변경할 수 있도록 하여야 한다.

1.2 지반거동과 지보재의 상관관계



<그림 605.1> 지보재에 작용하는 응력과 굴착면의 변위관계

터널의 지보재 설계시에는 대상 지반의 거동특성이 먼저 분석되어야 한다. 굴착면 주변 지반의 지보능력을 활용할 수 있을 경우에는 그만큼 지보력을 감소시킬 수 있다. 이는 지반과 지보재의 상호작용에 의해서 터널의 안정을 도모하고자 하는 설계개념이다. 다시 말하면, 주변지반이 자체지보능력이 없는 하중으로만 작용하는 경우에는 작용하는 모든 하중을 터널의 지보재가 충분한 안전율을 가지고 지지하도록 설계하며, 이때에는 강한 부재를 사용하여야 한다. 이와는 달리, 주변지반이 지보능력을 가지고 있다고 고려하는 경우에는 지반의 자체 지보능력을 최대로 활용할 수 있도록 설계하며, 약한 부재로 터널설계가 가능하다.

이러한 설계개념에서의 지보재의 역할과 지반의 거동특성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 굴착과 동시에 초기응력과 동일한 응력을 굴착면에 작용시키면 반경방향의 변위(벽면의 변위)는 발생하지 않는다. 이때, 지보재에 작용하는 하중은 초기응력과 동일하다.
- 굴착면의 변위를 허용하면 변위가 증가하면서 반경 방향으로 작용하는 하중은 감소하나 어느 한계변위를 넘으면 지반은 이완되고 반경 방향의 응력은 오히려 증가(<그림 605.1>의 곡선 b′과 c 경우)한다.
- 굴착면의 변위가 한계치를 넘지 않도록 적절히 조치하여 지보재에 가해지는 응력을 최소화한다. 즉, 지반자체의 지보능력 활용으로 최소 지지 지보재를 사용하여 굴착공동안정을 도모한다.
- 지반이 자체지보 능력이 없다고 판단 될 경우는 지반하중을 모두 지탱할 수 있는 지보재를 사용하여야 한다.
- 지보가 강하면(a′) 비경제적이고 너무 약하면(곡선 b′) 위험을 초래하게 되므로 적절한 시기에 적절한 강성의 지보를 설계하는 것이 이상적(곡선 b)이다.
- 따라서, 변위를 허용하는 가축성 지보재를 사용하여 변위를 허용하되 자체의 지보능력을 상실하지 않는 범위내에서 지보력과 지보재에 작용하는 지반응력이 평형상태가 되도록 설계하여야 한다.

이렇게 설계된 터널은 지반자체가 주 지보재 역할을 수행하며, 숏크리트, 록볼트, 강지보재 등은 지반이 이 기능을 잘 감당할 수 있도록 보조해 주는 수단이다. 이때에는, 계측으로 지보의 효과와 지반의 거동상태 등을 관측하여 시공의 안전성을 도모하여야 하며, 시공시 및 시공완료 후에도 지반 자체도 지보재이므로 터널주변 지반을 보호해 주어야 한다.

1.3 지보재 형상 및 규격의 선정

1.3.1 표준 지보 패턴의 선정

지보재는 기본적으로 터널 주변의 원지반이 보유하고 있는 지보 기능을 최대한 활용할 수 있도록 선정되어야 한다. 따라서 지보재의 선정에 있어서는 터널용도, 지반상태, 토피, 지형, 용수상태, 안정성, 경제성, 시공성 등 제반의 설계 조건을 종합적으로 고려하여 합리적인 지보재가 될 수 있도록 하여야 한다. 지보재의 설계는 터널 굴착 전에는 복잡하게 변화하는 지반특성을 정확히 파악하기가 매우 어려우므로 지반분류에서 설정한 지반등급에 따라 여러 가지 지보재를 적절히 선정한 표준 지보 패턴을 선정하고 굴착중 계측결과에 따라 필요한 경우 지보 패턴을 현장 상황에 적합하게 변경시킬 수 있도록 하여야 한다.

근래에는 터널 심도가 깊어지는 추세이므로 팽창성 지반 및 암반 등에 대해서도 각별히 주의하여야 한다.

표준 지보 패턴의 선정은 통상 아래와 같은 방법에 의한다.

(1) 여러 시공 실적에 근거하여 작성된 표준 지보 패턴을 참고로 하는 방법

여러 시공 실적에 근거하여 작성된 표준 지보 패턴을 참고하여 지보 패턴을 선정하는 것은 간편하면서도 유효한 방법이 될 수 있다. 그러나 이 방법에 의해 지보 패턴을 선정하는 경우에는 기존 시공 실적 및 경험 등을 바탕으로 한 고도의 기술적 판단이 요구된다.

(2) 인접한 현장의 사례 혹은 지반 조건이 유사한 경우의 설계 예를 참고로 하는 방법

기존의 설계 사례 중 지반 조건 및 단면 형상 등의 조건이 유사하다고 판단되는 경우에는 그 설계 사례를 참고로 하여 지보 패턴을 선정할 수 있다. 이 경우 이미 시공된 터널의 지반 조건, 시공법 등의 설계 조건 및 계측 결과 등의 정보를 가능하면 많이 수집하여 이를 정밀 분석한 후, 기존 지보 패턴에 검토된 내용을 반영시킨 적절한 지보 패턴을 새로이 선정하여야 할 필요가 있다.

(3) 해석에 의해 지보 패턴을 선정하는 방법

편압이나 통상의 변위량을 초과할 것이 예상되는 특수한 지반 조건의 경우나, 굴착 단면이 특수한 형태를 가진 경우 등과 같이 유사 설계 사례가 거의 없어 기존의 설계 사례만을 참고로 지보 패턴을 선정하기가 곤란한 경우 (1), (2) 방법 외에 해석적 방법에 의해 지보 패턴을 선정한다. 해석적 방법에는 유한 차분법, 유한 요소법, 무한 요소와 유한 요소를 혼합한 혼합법 등을 이용하여 지반 및 지보재의 안정성을 확인하는 수치 해석법과 단면 형상을 원형 등과 같이 단순한 형태로 모델화하여 탄소성 이론 등에 의해 응력 상태를 파악하는 이론적 해석 방법 등이 있다. 양자 모두 정량적 설계 방법이라는 점에서 유효한 방법이나 지반 특성을 나타내는 역학적 특성치 및 초기 지반 응력의 평가, 지보재의 적절한 모델화 등 해석상 해결하여야 할 문제가 많이 남아 있으므로 이 방법을 적용하는 데 있어서 신중한 검토가 필요하다. 자세한 터널 해석 방법은 본편람 '607 터널 해석'에서 다루었다.

1.3.2 표준 지보 패턴 선정 사례

지반조사를 통하여 설정된 지반등급에 따라

지보패턴을 선정하는 방법으로는 여러 가지가 있으나, 본 편람에서는 다음과 같이 RMR 분류 방법, Q-시스템 방법, 한국도로공사 표준지보패턴 선정 방법을 선정 사례로 소개하고자 한다. 단, 터널 설계시에는 현장조건 및 대상 터널의 목적에 따라 적합한 선정방법을 택하여야 한다.

(1) RMR 분류 방법

RMR 분류법에 의한 암반분류기준은 본 편람 '603 조사 및 시험'에 상술되어 있으며, 여기에서는 암반분류기준으로 산출된 RMR 값으로부터 지보패턴을 선정하는 방법을 아래 <표 605.1>에 나타내었다.

<표 605.1> RMR 분류에 의한 굴착 및 지보[1)]

등급	암반구분	굴 착	지 보		
			록볼트	숏크리트	강지보재
1	매우 양호한 암반 RMR : 81~100	전단면 굴진장 3m	필요한 장소에만 실시하는 국부적인 록볼트 외에는 일반적으로 지보가 필요 없음.		
2	양호한 암반 RMR : 61~80	전단면 굴진장 1.0~1.5m 막장에서 20m에 지보 설치 완료	필요시 철망을 이용하여 천장에 길이 3m, 간격 2.5m로 설치	필요한 경우 천장에 두께 50mm	없음
3	보통의 암반 RMR : 41~60	반단면 및 벤치 굴진장은 1.5~3.0m. 매 발파마다 즉시 지보 시공. 막장에서 10m에 지보 설치 완료	천장에 철망을 이용하여 천장 및 측벽에 길이 4m, 간격 1.5~2.0m로 격자상으로 설치	천장에 두께 50~100mm, 측벽에 두께 30mm	없음
4	불량한 암반 RMR : 21~40	반단면 및 벤치. 굴진장 1~1.5m. 굴착과 동시작업으로 막장에서 10m에 지보를 시공	철망을 이용하여 천장 및 측벽에 길이 4~5m, 간격 1~1.5m로 격자상으로 설치	천장에 두께 100~150mm, 측벽에 두께 100mm	필요한 지점에서는 강지보재를 1.5m 간격으로 설치
5	매우 불량한 암반 RMR : < 20	분할굴착 상부막장의 굴진장 0.5~1.5m. 굴착과 동시작업으로 지보를 설치. 발파후 될 수 있는 한 조기에 숏크리트 타설	철망을 이용하여 천장 및 측벽에 길이 5~6m, 간격 1~1.5m로 격자상으로 설치	천장에 두께 150~200mm, 측벽에 두께 150mm 및 막장에 두께 50mm	필요한 경우, 강제 래깅(lagging)과 함께 강지보재를 0.75m 간격으로 설치하고 인버트부는 폐합

1) 수직응력 25MPa이하이고 발파굴착공법으로 폭 10m인 마제형 터널 기준으로 제시됨

(2) Q-시스템 방법

Q-시스템에 의한 암반상태의 정량적인 평가(Q값) 방법은 본 편람 '603 조사 및 시험'에 상술되어 있으며, 여기에서는 Q값에 따른 지보패턴을 선정하는 방법을 서술하고자 한다.

Q값은 0.001-1,000 범위로서 매우 불량부터 매우 양호까지 9등급으로 분류하여 터널 폭과 Q값에 따른 지보방법을 제시하였다.

Q값에 의한 지보방법은 터널의 유효크기(D_e)에 따라서 결정되며, 다음과 같이 구할 수 있다.

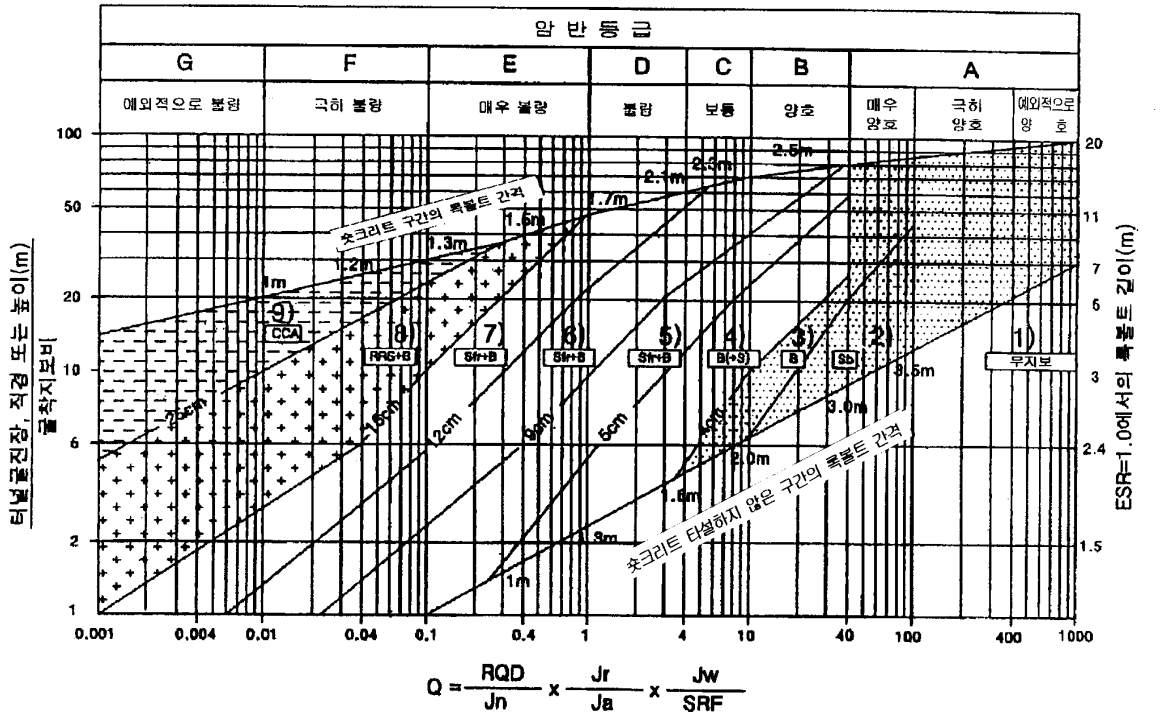
$$D_e = \frac{\text{B (터널굴진장, 직경 또는 높이)}}{\text{ESR(Excavation Support Ratio:굴착지보비)}}$$

여기에서 굴착 지보비(ESR)는 시행착오(trial and error)에 의해서 계산되는 것인데 터널의 사용목적에 따른 안정성에 관계되는 수치로서 안전율(F_S)의 역수개념이다. 굴착의 종류에 따른 굴착 지보비(ESR) 수치는 <표 605.2>와 같다. 따라서, 산정된 터널의 유효크기(D_e)와 Q값을 이용하여 터널 지보재 산정은 <그림 605.2>를 사용하여 이루어진다.

단, Q-시스템에서 제안한 방법을 사용하여 섬유보강이 없는 일반 숏크리트의 두께를 정하고자 할 경우에는 섬유보강 유무에 따른 숏크리트의 특성을 감안하여 그 두께를 결정하여야 한다.

<표 605.2> 터널 사용목적에 따른 굴착지보비(ESR)

굴 착 의 종 류	굴착지보비(ESR)
A. 일시적으로 유지되는 터널	2 ~ 5
B. 영구적인 터널, 지하수로	1.6~2.0
C. 지하저장소, 소형터널	1.2~1.3
D. 지하발전소, 지하터널, 방공호	0.9~1.1
E. 지하원자력발전소, 지하정류장, 지하경기장	0.5~0.8



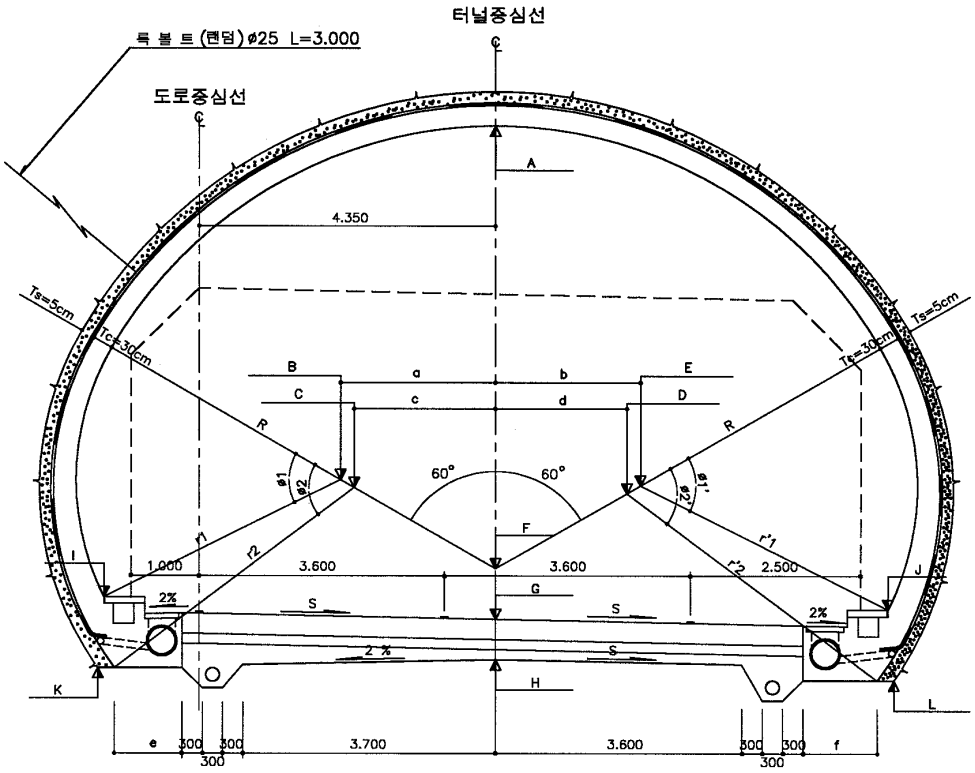
1) 무지보
2) 랜덤 볼팅
3) 시스템 볼팅
4) 시스템 볼팅, 숏크리트(4～10cm)
5) 섬유보강 숏크리트(5～9cm)와 록볼트
6) 섬유보강 숏크리트(9～12cm)와 록볼트
7) 섬유보강 숏크리트(12～15cm)와 록볼트
8) 섬유보강 숏크리트 > 15cm, 록볼트, 강지보재
9) 보강 콘크리트라이닝

<그림 605.2> Q-시스템에 의한 터널 지보재 선정(Grimstad and Barton, 1993)

(3) 한국도로공사 표준지보패턴

한국도로공사의 경우, 굴착 암반의 공학적 특성치와 터널의 토피 등에 따른 표준단면 및 표준지보패턴을 굴착공법과 관련하여 제시하고 있다. 한국도로공사가 제시하고 있는 지반분류기준은 본 편람 '603 조사 및 시험'에서 <표 603.13>에 나타내어져 있으며, 지반분류에 따른 굴착공법은 본 편람 '602 기본계획'에서 <표 602.6, 7>에 나타내어져 있다. 이러한 한국도로공사에서 적용하는 지반분류에 따른 2차선 터널에 대한 표준단면(측방여유폭 2.5m)은 <그림 605.3, 4, 5, 6, 7, 8>에 나타내어져 있으며, 표준단면별 혹은 지반분류별 표준 지보 패턴에 관한 내용은 <표 605.3>과 같다.

그러나, 이를 적용할 때는 암반의 절리 및 강도 등 현장 조사 결과와 여러 터널 지보재 형식 등을 비교, 검토한 후에 적용하는 것이 바람직하다.



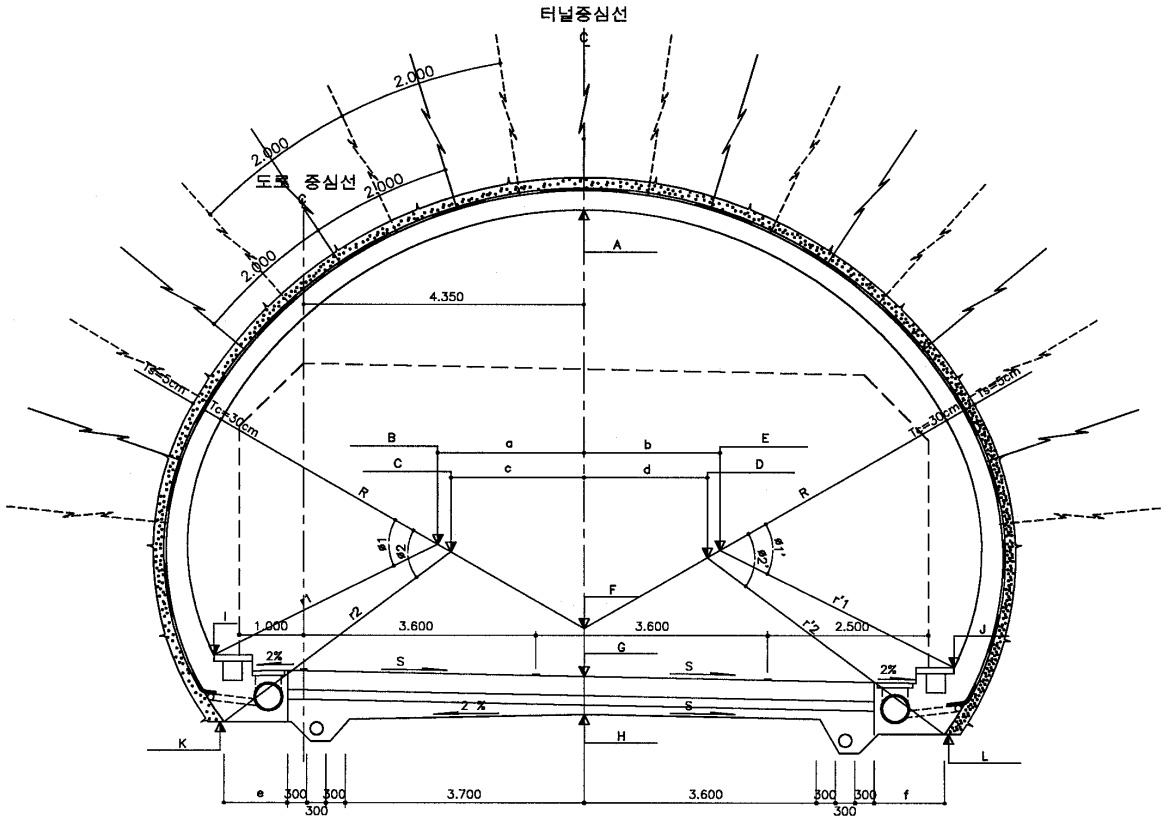
치 수 표 (1)

S (%)	a	b	c	d	e	f	R	r1	r2	r1'	r2'	ø1	ø2	ø1'	ø2'
2	2.276	2.118	2.075	1.918	0.992	1.092	6.511	3.883	4.415	4.066	4.597	56.5451093°	67.1942811°	56.7096739°	66.9355512°
3	2.369	2.132	2.173	1.937	0.975	1.076	6.539	3.803	4.330	4.078	4.603	57.2757869°	68.2291053°	57.4668474°	67.7600399°
4	2.462	2.146	2.271	1.956	0.956	1.060	6.568	3.725	4.246	4.090	4.609	58.0363456°	69.3128821°	58.2169369°	68.5765306°

치 수 표 (2)

S (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	7.263	2.066	1.950	1.859	1.975	0.752	0.000	−0.600	0.331	0.147	−0.719	−0.903
3	7.291	2.120	2.007	1.870	1.983	0.752	0.000	−0.600	0.377	0.102	−0.673	−0.948
4	7.320	2.174	2.063	1.881	1.991	0.752	0.000	−0.600	0.423	0.057	−0.627	−0.993

<그림 605.3> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 1, 한국도로공사)



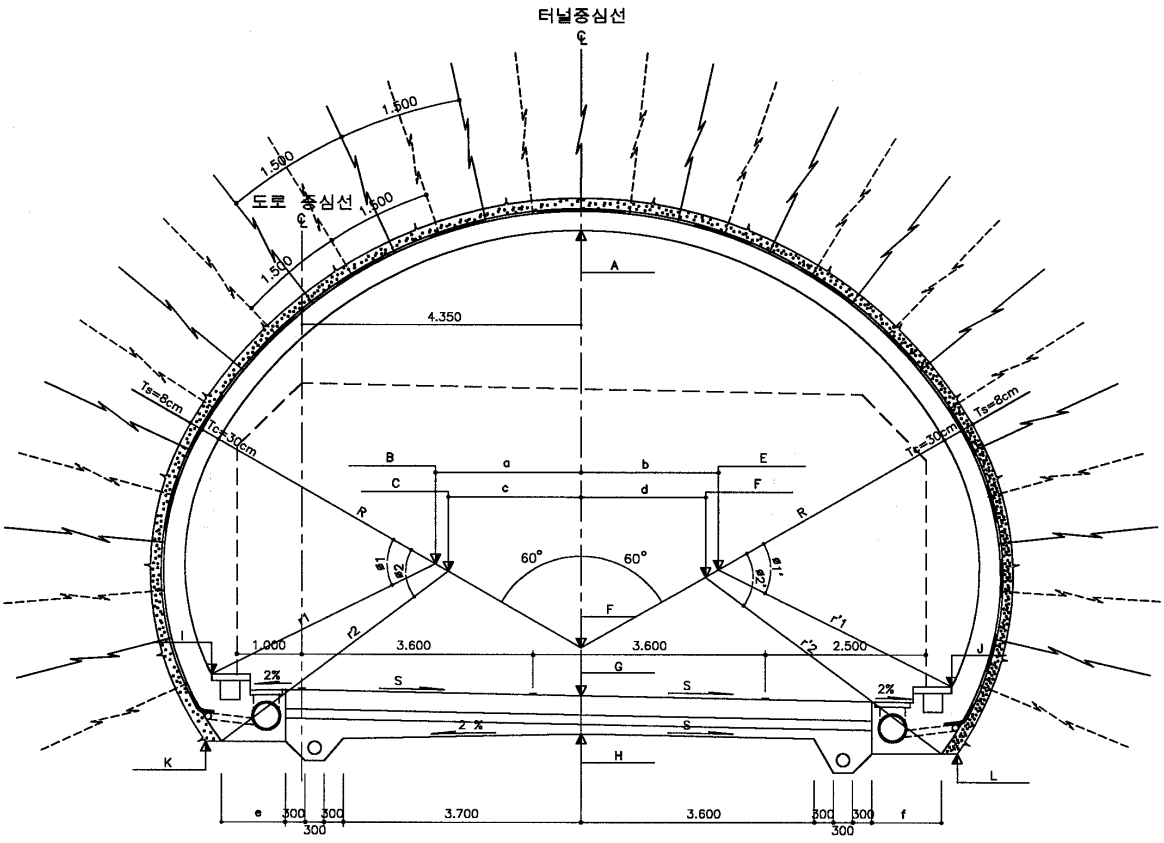
치 수 표 (1)

S (%)	a	b	c	d	e	f	R	r1	r2	r1'	r2'	ø1	ø2	ø1'	ø2'
2	2.276	2.118	2.075	1.918	0.992	1.092	6.511	3.883	4.415	4.066	4.597	56.5451093°	67.1942811°	56.7096739°	66.9355512°
3	2.369	2.132	2.173	1.937	0.975	1.076	6.539	3.803	4.330	4.078	4.603	57.2757869°	68.2291053°	57.4668474°	67.7600399°
4	2.462	2.146	2.271	1.956	0.956	1.060	6.568	3.725	4.246	4.090	4.609	58.0363456°	69.3128821°	58.2169369°	68.5765306°

치 수 표 (2)

S (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	7.263	2.066	1.950	1.859	1.975	0.752	0.000	-0.600	0.331	0.147	-0.719	-0.903
3	7.291	2.120	2.007	1.870	1.983	0.752	0.000	-0.600	0.377	0.102	-0.673	-0.948
4	7.320	2.174	2.063	1.881	1.991	0.752	0.000	-0.600	0.423	0.057	-0.627	-0.993

<그림 605.4> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 2, 한국도로공사)



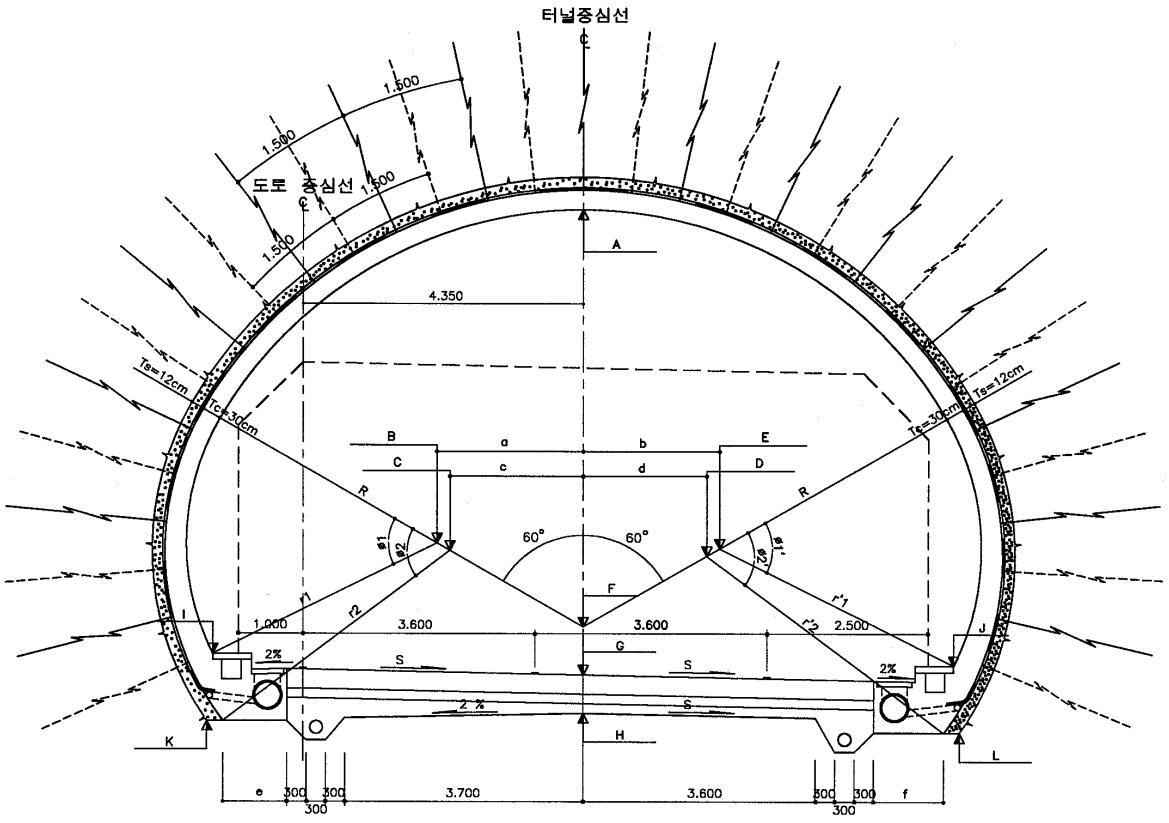
치 수 표 (1)

S (%)	a	b	c	d	e	f	R	r1	r2	r1'	r2'	ø1	ø2	ø1'	ø2'
2	2.276	2.118	2.075	1.918	0.992	1.092	6.511	3.883	4.415	4.066	4.597	56.5451093°	67.1942811°	56.7096739°	66.9355512°
3	2.369	2.132	2.173	1.937	0.975	1.076	6.539	3.803	4.330	4.078	4.603	57.2757869°	68.2291053°	57.4668474°	67.7600399°
4	2.462	2.146	2.271	1.956	0.956	1.060	6.568	3.725	4.246	4.090	4.609	58.0363456°	69.3128821°	58.2169369°	68.5765306°

치 수 표 (2)

S (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	7.263	2.066	1.950	1.859	1.975	0.752	0.000	−0.600	0.331	0.147	−0.719	−0.903
3	7.291	2.120	2.007	1.870	1.983	0.752	0.000	−0.600	0.377	0.102	−0.673	−0.948
4	7.320	2.174	2.063	1.881	1.991	0.752	0.000	−0.600	0.423	0.057	−0.627	−0.993

<그림 605.5> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 3, 한국도로공사)



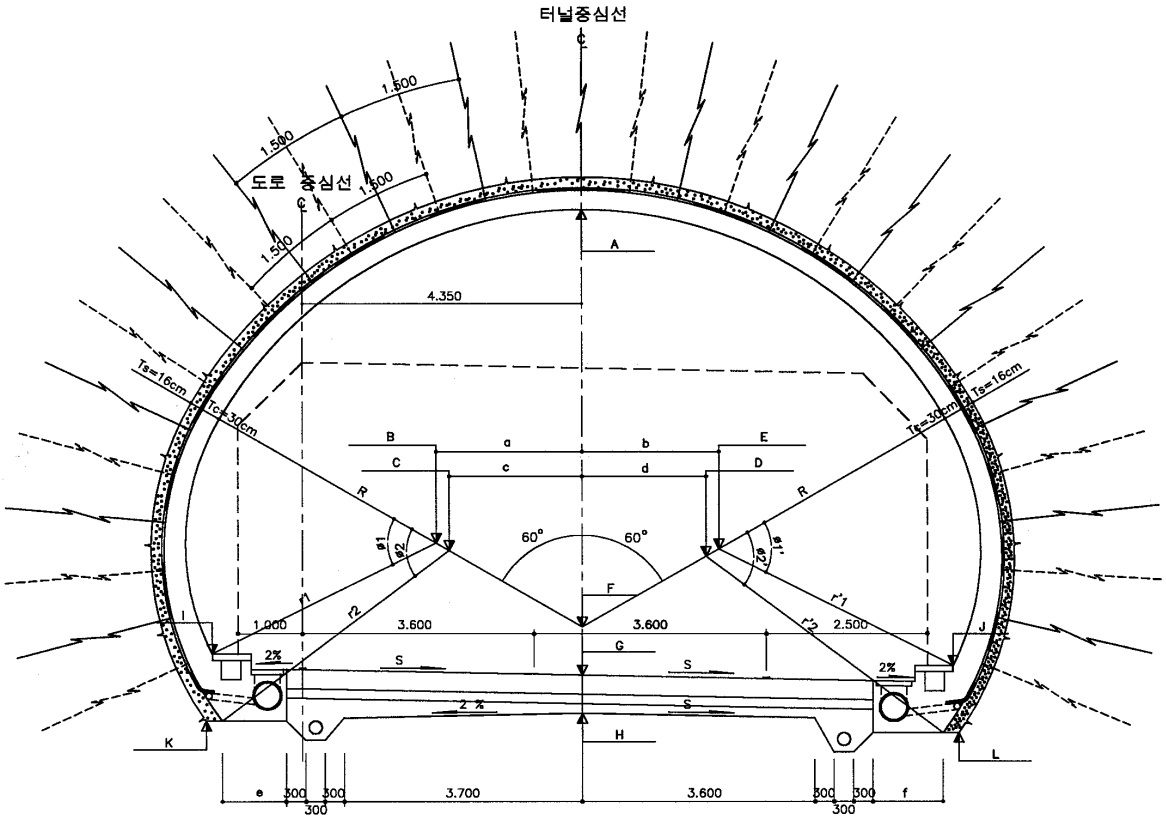
치 수 표 (1)

S (%)	a	b	c	d	e	f	R	r1	r2	r1'	r2'	ø1	ø2	ø1'	ø2'
2	2.276	2.118	2.075	1.918	0.992	1.092	6.511	3.883	4.415	4.066	4.597	56.5451093°	67.1942811°	56.7096739°	66.9355512°
3	2.369	2.132	2.173	1.937	0.975	1.076	6.539	3.803	4.330	4.078	4.603	57.2757869°	68.2291053°	57.4668474°	67.7600399°
4	2.462	2.146	2.271	1.956	0.956	1.060	6.568	3.725	4.246	4.090	4.609	58.0363456°	69.3128821°	58.2169369°	68.5765306°

치 수 표 (2)

S (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	7.263	2.066	1.950	1.859	1.975	0.752	0.000	−0.600	0.331	0.147	−0.719	−0.903
3	7.291	2.120	2.007	1.870	1.983	0.752	0.000	−0.600	0.377	0.102	−0.673	−0.948
4	7.320	2.174	2.063	1.881	1.991	0.752	0.000	−0.600	0.423	0.057	−0.627	−0.993

<그림 605.6> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 4, 한국도로공사)



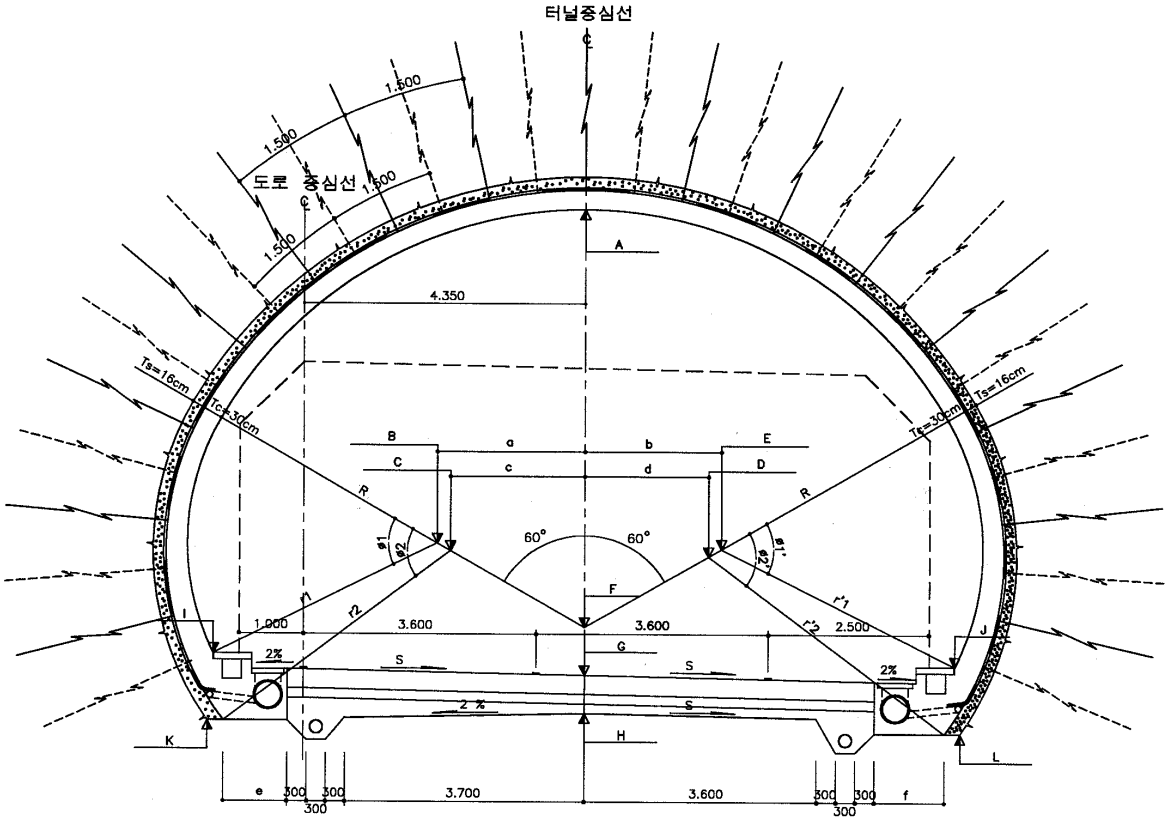
치 수 표 (1)

S (%)	a	b	c	d	e	f	R	r1	r2	r1'	r2'	ø1	ø2	ø1'	ø2'
2	2.276	2.118	2.075	1.918	0.992	1.092	6.511	3.883	4.415	4.066	4.597	56.5451093°	67.1942811°	56.7096739°	66.9355512°
3	2.369	2.132	2.173	1.937	0.975	1.076	6.539	3.803	4.330	4.078	4.603	57.2757869°	68.2291053°	57.4668474°	67.7600399°
4	2.462	2.146	2.271	1.956	0.956	1.060	6.568	3.725	4.246	4.090	4.609	58.0363456°	69.3128821°	58.2169369°	68.5765306°

치 수 표 (2)

S (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	7.263	2.066	1.950	1.859	1.975	0.752	0.000	−0.600	0.331	0.147	−0.719	−0.903
3	7.291	2.120	2.007	1.870	1.983	0.752	0.000	−0.600	0.377	0.102	−0.673	−0.948
4	7.320	2.174	2.063	1.881	1.991	0.752	0.000	−0.600	0.423	0.057	−0.627	−0.993

<그림 605.7> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 5, 한국도로공사)



치 수 표 (1)

S (%)	a	b	c	d	e	f	R	r1	r2	r1'	r2'	ø1	ø2	ø1'	ø2'
2	2.276	2.118	2.075	1.918	0.992	1.092	6.511	3.883	4.415	4.066	4.597	56.5451093°	67.1942811°	56.7096739°	66.9355512°
3	2.369	2.132	2.173	1.937	0.975	1.076	6.539	3.803	4.330	4.078	4.603	57.2757869°	68.2291053°	57.4668474°	67.7600399°
4	2.462	2.146	2.271	1.956	0.956	1.060	6.568	3.725	4.246	4.090	4.609	58.0363456°	69.3128821°	58.2169369°	68.5765306°

치 수 표 (2)

S (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	7.263	2.066	1.950	1.859	1.975	0.752	0.000	−0.600	0.331	0.147	−0.719	−0.903
3	7.291	2.120	2.007	1.870	1.983	0.752	0.000	−0.600	0.377	0.102	−0.673	−0.948
4	7.320	2.174	2.063	1.881	1.991	0.752	0.000	−0.600	0.423	0.057	−0.627	−0.993

<그림 605.8> 터널 단면 표준도 (표준단면 - 6, 한국도로공사)

<표 605.3> 터널 표준단면별 지보 패턴 사례 (한국도로공사)

터널규모	표준단면	굴착공법	숏크리트두께	록볼트			강지보재		철망 (100×100×4.8)	콘크리트라이닝두께	암반분류
				길이	간격 (m)		규격	간격 (m)			
					종	횡					
2차선	표준단면-1	전단면	5cm	3m	-	-	-	-	-	30cm	경암
	표준단면-2	〃	5cm[1)]	3m	2.0	2.0	-	-	-	〃	보통암
	표준단면-3	〃	8cm[1)]	4m	2.0	1.5	-	-	-	〃	연암
	표준단면-4	상,하반 분할굴착	12cm[1)]	4m	1.5	1.5	100×100×6×8	1.5	-	〃	풍화암
	표준단면-5	〃	16cm[1)]	4m	1.2	1.5	〃	1.2	-	〃	풍화암(토)
	표준단면-6	〃	16cm[1)]	4m	1.0	1.5	〃	1.0	-	〃	갱구보강용
3차선	표준단면-1	상,하반 분할굴착	10cm	4m	2.0	1.5	-	-	1차	40cm	경암
	표준단면-2	〃	15cm	4m	1.5	1.5	125×125×7×9	1.5	1차 및 2차[3)]	〃	보통암
	표준단면-3	〃	15cm	5m	1.0	1.0	〃	1.0	1차 및 2차[3)]	〃	연암
	표준단면-4	〃	15cm	5m	1.0	1.0	150×150×7×10	0.25 및 0.5[2)]	1차 및 2차[3)]	〃	풍화암
	표준단면-5	〃	20cm	5m	0.5	1.0	〃	0.25 및 0.5[2)]	1차 및 2차[3)]	〃	시·종점부

1) 강섬유 보강 숏크리트 적용

2), 3) 터널 단면 위치에 따라 달리 적용

1.3.3 현장계측 결과에 따른 표준 지보 패턴의 변경

터널을 안전하고 경제적이며 합리적으로 시공하기 위해서는 막장 및 터널내 관찰을 포함한 현장 계측 결과를 어떻게 설계에 반영시키느냐가 중요한 과제이다. 따라서, 막장 및 터널내 관찰, 계측 결과를 검토하여 지보재를 변경할 필요가 있다고 판단되는 경우에는 지체없이 변경하여야 한다. 지보재의 변경은 변위량의 크기, 변위 속도, 변위 수렴도, 막장의 안정성, 용출수량, 지보재의 변형 등을 고려하여 변형 여유량, 록볼트의 길이 및 본수, 숏크리트 두께 등의 변경 여부를 결정하고 필요시 근본적인 지반 등급을 평가하여 적용 지보 패턴의 변경, 굴착 단면의 형상, 시공법의 변경 등을 실시하여야 한다. 지보재의 변경은 주로 다음의 2가지 경우에 해당한다.

(1) 굴착된 구간에서의 계측 결과에 근거하여 미굴착 구간의 설계를 변경하는 경우

지반 조사 결과에 의해 선정된 지보 패턴은 표준적인 것이며, 이것은 시공중 계측 결과에 의해 현장 상황에 맞게 수정, 변경할 필요가 있다. 이 경우 지반 조건 및 변위량 등이 설계상 산정한 값과 다른 정도에 따라 지보재의 변경 내용이나 규모가 다르며, 변경을 위한 주의 사항 및 검토 사항은 <표 605.4>와 같다.

(2) 이미 굴착된 구간의 변위가 설계상 산정한 값과 크게 다르고 지반의 안정에 문제가 있다고 예상되는 경우

굴착 후 변위가 수렴하지 않는 경우, 그 대책으로는 숏크리트 두께의 증가, 록볼트의 추가 타설 등의 지보재의 증가 방법과 주입 공법 등에 의한 지반 개량 보조 공법을 고려할 수 있다. 이러한 대책으로도 변위가 수렴되지 않는 경우에는 콘크리트 라이닝 설계시 역학적 개념을 도입하여 변위를 강제적으로 구속시키는 방법을 고려할 수 있다.

1.4 지보재로서의 콘크리트 라이닝의 역할

전술한 바와 같이 주변 지반이 극히 불량한 경우에는 콘크리트 라이닝이 부분적으로 지보재 역할을 수행할 수 있다. 이렇게 지보재로 역할을 담당하는 콘크리트 라이닝은 지보 구조물로써 특수한 성격을 갖고 있다. 즉, 터널의 안전성을 확보하기 위한 지보 구조물로는 최종 단계의 것으로써, 주로 다음과 같은 3가지 경우에 고려된다.

(1) 터널의 안정성에 대한 안전율을 크게 하고자 할 경우에 콘크리트 라이닝을 부분적으로 지보재로 설계할 수 있다. 지보재는 시공성을 고려하여 시공중의 안정성을 확보하는 데 중점을 두어야 할 때가 있고, 원지반의 강도를 유효하게 이용하기 위하여 필요로 하는 최소한의 지보재로서 터널 주변 지반의 응력 재배분을 완료시키는 것이 중요하다. 따라서, 도로 터널로서의 필요한 안정성을 확보하지 못했을 경우도 있고, 파악이 힘든 지반 내부 지질 구성의 불확실성이나, 지하수의 작용에 의해 장기간에 걸쳐 지반의 변화가 발생하는 경우도 있어 이러한 경우에 안전율을 고려한 대책으로 콘크리트 라이닝이 고려된다.

(2) 다른 지보 구조물로는 변형을 제어하기가 곤란한 경우, 즉, 큰 내압이 필요할 때 콘크리트 라이닝을 지보재 개념으로 사용한다. 이때 콘크리트 라이닝은 변위를 구속하여 터널의 안정화를 도모한다.

(3) 토피가 작아 굴착에 의한 영향이 지표면에 미치는 것을 막을 필요가 있을 때나, 지반의 자립 효과를 기대하기 어렵고 변위를 최소한으로 억제해야 할 때 콘크리트 라이닝을 사용한다. 이때 콘크리트 라이닝은 굴착 후 가능한 한 빨리 시공하고 토피에 따른 지반압을 고려해야 한다.

자세한 콘크리트 라이닝의 역할 및 기능 등은 본 편람 '606 콘크리트 라이닝'을 참조하기 바란다.

<표 605.4> 표준지보패턴의 변경 방법 및 검토 사항

현상	변경방법	상세 대책안	주의 및 검토사항
지보 변위량이 예상 변위량 보다 크게 예상 되는 경우	변형 여유량의 확대	-	단, 다음과 같은 상황일 때 적용한다. • 숏크리트에 균열 등의 변형이 없는 경우 • 록볼트의 축력이 작은 경우 • 변형이 수렴하는 경우
	지보재의 증가	숏크리트의 두께, 록볼트의 길이 및 본수, 지보 패턴의 간격을 조정한다.	파쇄대, 소성화가 현저한 지반에서는 지보재의 강성을 다소 높여도 변형 억제에 효과가 없을 경우가 있다.
	단면의 폐합	가 인버트 설치 혹은 가능한 한 조기에 상·하 단면을 폐합한다.	변형 억제에 효과적인 방법이지만 일반적으로 공사비가 많이 든다.
	막장 및 막장 전방의 보강	• 경사 볼트, 미니 파이프 루우프, 막장 전면 숏크리트 타설, 막장 전면 록볼트 타설 등의 공법을 고려한다. • 위의 변경으로 효과가 없는 경우에는 지반 개량 공법 등 보조 공법을 고려한다.	팽창성 지반, 균열이 현저히 발달된 지반의 경우에 주의하여야 한다.
	굴착 단면 분할 굴착 공법의 변경	• 벤치 길이, 벤치 수의 변경을 고려한다. • 링 커트 공법의 채용을 검토한다.	기계 설비의 변경을 수반하는 경우가 많다.
지보 변위량이 예상 변위량 보다 작게 예상 되는 경우	지보재의 감소	• 암괴의 봉합 목적인 록볼트는 균열상태에 따라 적용한다. • 강지보재는 붕락 상태나 초기 변위 속도에 의하여 적용한다. • 숏크리트보다 록볼트를 우선적으로 감소 시킨다. • 굴진장을 증가시키고 지보 패턴 간격을 연장시키거나 혹은 지보 패턴을 양호한 지반 등급 측으로 하향 조정한다.	지반 변위량 및 록볼트의 축력, 숏크리트 응력 등이 작은 경우에 적용한다.
	변형 여유량의 감소	-	충분한 정밀도로 검토한다.

605.2 강지보재

2.1 강지보재의 사용 목적

강지보재는 숏크리트, 록볼트 등과 함께 터널 안정에 필요한 지보재 중의 하나이다. 따라서 산정된 작용 하중을 부담할 수 있도록 규격 및 배치 간격을 결정함과 동시에 다른 지보재, 특히 숏크리트와 일체가 되어 지보 기능을 효과적으로 발휘할 수 있도록 하여야 한다. 강지보재의 사용 목적은 터널 단면의 형상 및 크기, 굴착면의 자립성, 지반압의 크기, 지표 침하량의 제한 등에 따라 다르나 일반적으로 다음과 같이 구분할 수 있다. 단, 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 생략할 수도 있으나 이러한 경우 세심한 안정성 검토를 수행하여야 한다.

(1) 숏크리트 또는 록볼트의 지보기능이 발휘되기까지 굴착면의 안정을 도모할 필요가 있는 경우

강지보재는 설치와 동시에 충분한 강도를 갖는 지보재이므로 굴착면의 자립 시간이 짧은 토사 지반이나 균열이 발달된 지반에서 숏크리트나 록볼트의 소요 강도가 발휘되기 전에 지보 효과가 발휘된다. 그러나 설치시에 지반과의 간격이 생기기 때문에 그 배면 공극을 충진하거나 콘크리트 등으로 빠른 시간 내에 충전하지 않으면 굴착면의 조기 안정에 효과가 없게 되는 점에 주의하여야 한다.

(2) 막장면 훠폴링 등 보조공법의 반력 지지점이 필요한 경우

굴착면의 자립성이 나쁜 지반에서 굴착면 전방의 지반을 보강하기 위하여 훠폴링이나 경사볼트 등의 보조 공법을 사용하는 경우가 있는데, 이때 이들의 반력 지지점으로 강지보재가 필요한 경우가 있다. 이러한 경우, 일반적으로 강지보재의 규격이 커지면 경사 볼트 등의 경사각이 커져서 여굴을 증대시킬 우려가 있으며, 반면에 강성이 작은 강지보재를 사용할 경우에는 경사 볼트 등에서 전달되는 하중에 의해 처짐이 커질 우려가 있으므로 이러한 점을 주의하여야 한다.

(3) 큰 지압으로 인해 지보재의 강성을 증가시킬 필요가 있는 경우

숏크리트는 초기 재령에서 변형 계수가 작기 때문에 변형하기 쉽고 또한 강도도 작기 때문에 지반 조건에 따라서는 강지보재를 사용하여 숏크리트와 일체화함으로써, 지보재의 강성, 강도 등을 증가시킬 필요가 있는 경우가 있다. 즉, 붕락이 발생하기 쉬운 지반이나 지반압이 매우 큰 지반의 경우에는 숏크리트의 두께를 증가시키고 철망 등과 함께 강지보재를 사용하여 지보재의 강도 및 인성 등을 향상시킴으로써 터널의 안정을 도모할 수 있다.

(4) 지표 침하 등 지반변위의 억제가 필요한 경우

숏크리트는 초기 재령에서 변형계수가 작기 때문에 변형하기 쉽고 또한 강성이 작아, 예를 들면, 토사 지반 등에서 터널 변형이나 지표 침하를 극히 제한할 필요가 있는 경우에는 강지보재를 사용하여 숏크리트와 일체화함으로써 지반변위의 억제를 도모할 수 있다. 이러한 기능은 터널의 단면형상 유지 기능과 같은 의미로 강지보재로서 장기간 터널단면의 형상을 유지시켜 줄 수 있다.

2.2 강지보재의 재질

2.2.1 강지보재의 가공방법

강지보재는 열간 가공보다 냉간 가공 시에 그 흠을 발견하기 쉬우며 열간 가공시에는 열관리가 곤란하므로 냉간 가공하는 것을 원칙으로 한다. 따라서, 냉간으로 상당히 큰 원호로 구부려 가공한다는 점에서 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호한 강재를 쓰는 것이 좋다. 참고로, H형 강지보재의 냉간 가공시 최소 곡선 반경의 표준 및 단면적, 단면계수 등은 <표 605.5>에 나타낸 바와 같다.

2.2.2 강지보재의 재질

강지보재는 지지하여야 할 하중의 크기뿐만 아니라 숏크리트의 두께, 터널 단면의 크기, 시공법 등을 고려하여 적당한 강도, 강성을 가진 것을 선정하여야 한다. H형 및 U형 강지보재의 재질은 KS D 3503에 규정된 SS 400을 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다. 또한 격자지보형 강지보재의 재질은 소요의 강도를 충분히 발휘할 수 있는 특수강을 사용하여야 한다.

<표 605.5> H형 강지보재의 냉간 가공시 최소 곡선 반경의 표준

치수 (mm)	단면적 (cm^2)	단위 중량 (kg/m)	최소 곡선 반경 (mm)
H - 100 × 100	22	17	1,200
H - 125 × 125	30	24	1,600
H - 150 × 150	40	32	2,200
H - 175 × 175	51	40	3,500
H - 200 × 200	64	50	4,500
H - 250 × 250	92	72	5,500

2.3 강지보재의 단면 형상 및 치수

2.3.1 강지보재의 단면 형상

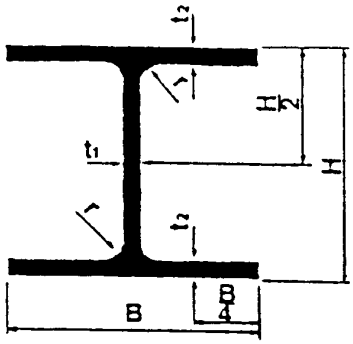
강지보재의 단면 형상은 강지보재의 설치 후에도 지반과 강지보재 사이의 공극에 숏크리트 타설이 용이하고, 숏크리트와 일체화되기 쉬운 것이 좋다. 또한, 큰 하중이 작용하는 경우에는 좌굴에 대하여 저항성이 큰 형상이 바람직하다.

강지보재로 사용되는 대표적인 단면 형상에는 H형, U형, 격자지보형(lattice girder) 등이 있으며, 일반적으로 H형(H 100~H 150 정도)이 주로 사용되고 왔고, 최근에는 격자지보형도 많이 사용되어 지는 경향을 보이고 있다.

각 단면 형상별 강지보재의 특성은 다음과 같다.

(1) H형 강지보재

H형 강지보재는 현재 국내현장에서 가장 널리 사용되고 있는 강지보재의 한 유형으로서 강지보재가 지면과 밀착된 경우 지반과 강지보재 사이에 숏크리트의 타설이 용이하지 않아 이 부분에 공극이 발생될 수 있고, 숏크리트의 두께가 얇은 경우에는 숏크리트와 강지보재의 일체성이 떨어질 수 있다는 약점이 있으나, 강성은 타 지보재보다 크고 시공실적이 많다는 강점이 있다. 일반적으로 많이 사용되어지고 있는 대표적인 단면 형상 및 특성은 <그림 605.9>와 <표 605.6>에 나타낸 바와 같다.



<그림 605.9> H형 강지보재의 단면 형상

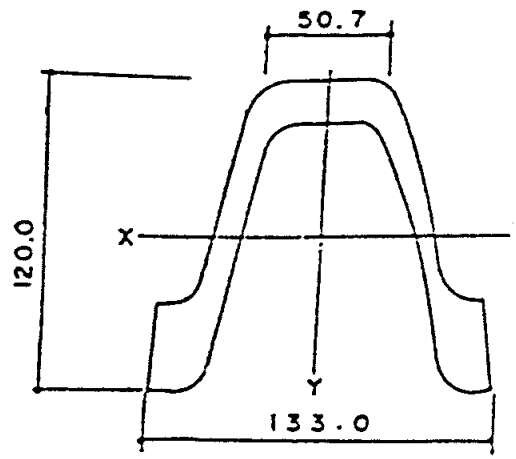
<표 605.6> H형 강지보재의 치수 및 단면 특성

치수 (mm)	표준단면치수 (mm)				단위중량 (kg/m)	단면적 (cm^2)	단면2차모멘트 (cm^4)		단면계수 (cm^3)	
	H×B	t_1	t_2	r	W	A	I_x	I_y	Z_x	Z_y
100×100	100×100	6	8	10	17.2	21.9	383	134	76.5	26.7
125×125	125×125	6.5	9	10	23.8	30.3	847	293	136	47
150×150	150×150	7	10	11	31.5	40.1	1,640	563	219	75.1
200×200	200×200	8	12	13	49.9	63.5	4,720	1,600	472	160
250×250	250×250	9	14	16	72.4	92.2	10,800	3,650	867	292

(2) U형 강지보재

U형 강지보재는 H형 강지보재의 약점을 보완해 줄 수 있는 이점이 있으나, 강성은 떨어진다. U형 강지보재의 불룩한 쪽을 지반측을 향해 설치함에 따라 강지보재와 지반사이에 숏크리트 타설이 용이하다. U형 강지보재의 이음부는 밴드(band) 등으로 고정하는 방법이기 때문에 플레이트를 맞추어 볼트에 접속하는 방법보다 시공성이 좋고 가축성 이음이 용이하다.

U형 강지보재 중 대표적인 MU-29형의 단면 형상 및 특성은 <그림 605.10>과 <표 605.7>에 나타낸 바와 같다.



(3) 격자지보재

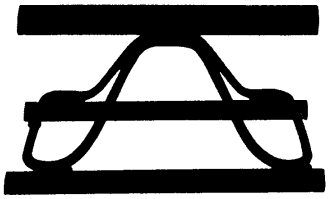
격자지보재는 강봉을 삼각형 또는 사각형으로 엮어 만들어 터널형상에 맞도록 제작한 강지보재의 한 종류로서, 다른 강지보재에 비해 가벼워 취급이 용이하고 인력과 장비소요가 적다. 또한, 훠폴링이나 파이프 루프 설치시 격자지보재 사이를 통과하도록 설치할 수 있으므로 훠폴링 설치각도를 최대한 줄일 수 있어 시공성이 좋아진다. 그러나 H형 강지보재에 비해 강성은 떨어진다.

격자지보재는 일반적으로 표준형 3개강봉, 보강형 3개강봉, 침하방지용 4개강봉으로 나뉘어 진다. 표준형 3개강봉은 대각선 모양으로 3개의 강봉으로 구성되었고, 보강형 3개강봉은 표준형과 형태상 동일하나 상부에 강봉하나를 더 결합한 형태이다. 4개강봉은 터널하부 지지지반이 연약한 경우 바닥지지재로 주로 사용되고 있다. 대표적인 표준형 3개강봉의 단면 형상 및 특성은 <그림 605.11>과 <표 605.8>에 나타낸 바와 같다.

<그림 605.10> 대표적인 U형 강지보재(MU-29)의 치수 및 단면 형상

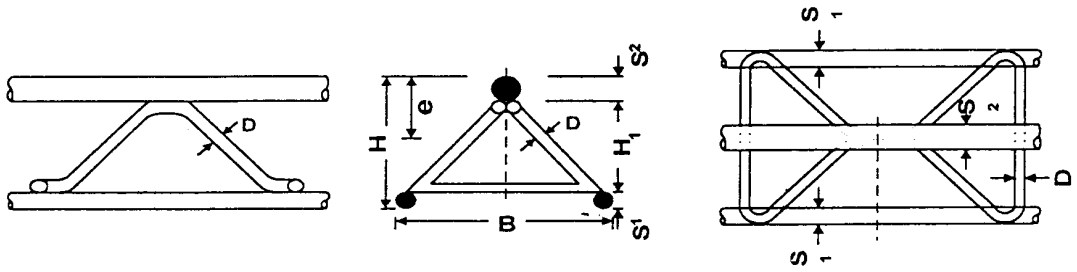
<표 605.7> 대표적인 U형 강지보재(MU-29)의 치수 및 단면 특성

단면적 (cm^2)	단위중량 (kg/m)	단면2차모멘트 (cm^4)		단면계수 (cm^3)	
		I_x	I_y	Z_x	Z_y
37.0	29.0	581.0	634.0	97.4	95.8



<그림 605.11> 표준형 3개강봉의 치수 및 단면형상

<표 605.8> 표준형 3개강봉의 치수 및 단면특성



형태	단면치수 (mm)					단면적	단위중량	단면2차모멘트 (cm^4)		단면계수 (cm^3)	
	S^1	S^2	H	B	D	(cm^2)	(kg/m)	I_x	I_y	Z_x	Z_y
50	18	26	94	100	10	10.4	10.0	138	89	29	18
	20	30	100	100	10	13.6	12.3	193	106	38	21
70	18	26	114	140	10	10.4	10.2	223	192	39	27
	20	30	120	140	10	13.6	12.5	306	232	51	33
	22	32	124	140	10	15.6	14.3	375	272	60	39
	26	34	130	140	10	19.7	17.5	501	356	71	51
95	18	26	139	180	10	10.4	10.7	359	337	51	37
	20	26	141	180	10	11.6	11.7	405	406	53	45
	20	30	145	180	10	13.4	13.1	485	407	66	85
	22	32	149	180	10	15.6	14.9	589	482	78	54
	26	34	155	180	10	19.7	18.2	774	641	92	71
115	18	26	159	220	12	10.4	11.7	491	521	61	47
	20	30	165	220	12	13.6	14.1	658	634	78	58
	22	32	169	220	12	15.6	15.9	795	752	94	68
130	18	34	175	220	12	19.7	19.2	1040	1010	109	92
	20	26	174	220	12	10.4	11.7	603	521	69	47
	22	30	180	220	12	13.6	14.1	806	634	87	58
	26	32	184	220	12	15.6	15.9	971	752	105	68
	26	34	190	220	12	19.7	19.2	1264	1010	122	92

(4) H형 강지보재에 대응되는 격자지보의 예시

격자지보는 여러 가지의 종류 중에서 현장조건을 고려하여 선정하게 되는데, 참고적으로 H형 강지보재에 대응되는 격자지보의 종류를 다음 <표 605.9>에 예시하였다. 그러나 설계자는 반드시 터널현장 조건과 격자지보 종류별 하중지지력 정도를 고려하여 적합한 격자지보의 종류를 결정하여야 한다.

<표 605.9> H형 강지보재와 대응되는 격자지보 종류(예) (천원공업주식회사, 1997)

H형 강지보재	격자지보	비고
H-100×100	LG 50-20-30 LG 70-20-30 LG 50-22-32	숏크리트의 두께 10cm 경우 (LG 50 적용)
H-125×125	LG 95-20-30 LG 95-22-32 LG 95-26-34	
H-150×150	LG 115-26-34 LG 130-26-34 보강형 격자지보	별도계산필요

2.3.2 강지보재의 치수

강지보재의 치수는 작용하중 외에 숏크리트의 두께, 강지보재의 최소 덮개, 굴착공법, 굴착방법 등을 고려하여 결정한다. 또한, 소요의 강성을 발휘하고, 좌굴, 비틀림 및 국부적인 하중에 대하여 저항성이 크고 시공능률을 높일 수 있는 것이어야 한다.

2.4 강지보재의 이음 및 설치간격

2.4.1 강지보재의 이음

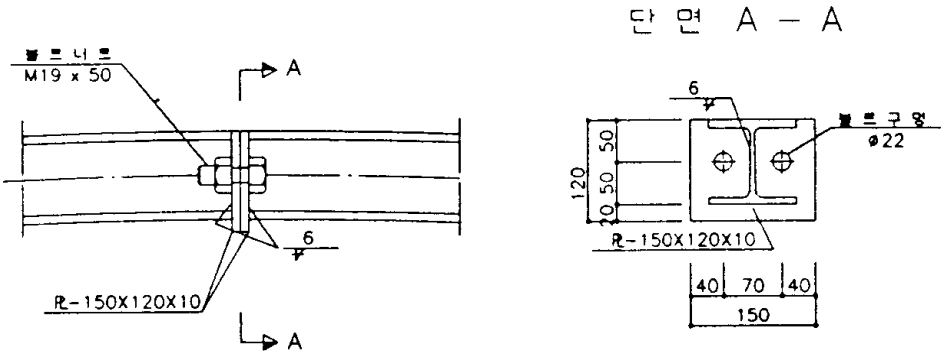
강지보재는 운반, 거치 및 시공성을 고려하여 분할 제작하되 이음개소를 최소화 하고 부재 상호간은 견고한 이음이 되도록 설계하여야 한다. 특히 구조적으로 불리한 위치에서의 이음은 가능한 한 피하도록 하며, 지보재와 이음판과의 접합은 확실히 하도록 설계하여야 한다.

대표적인 H형(H 100×100), U형(MU-29) 및 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 이음부 설계 예를 각각 <그림 605.12>, <그림 605.13> 및 <그림 605.14>에 나타내었다.

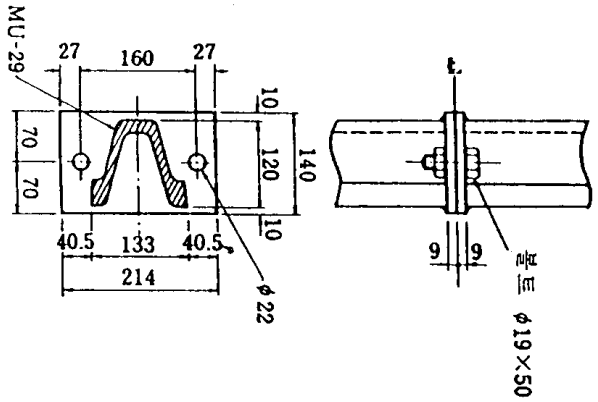
팽창성 지반 등과 같이 내공변위가 크게 발생하는 지역에서는 강지보재의 이음을 가축변형(可縮變形)이 허용되는 조인트 구조로 할 수 있다. 이 경우에는 가축 허용량 선정에 주의하여야 한다.

2.4.2 강지보재의 설치 간격

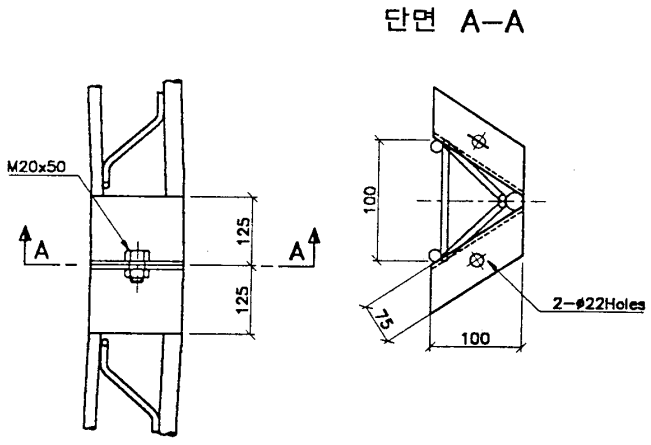
강지보재의 설치 간격은 지반특성, 사용목적, 시공법 등을 고려하여 결정하여야 하며, 상반과 하반으로 나누어 굴착하는 경우 지반조건에 따라 하반의 강지보재를 일부 생략할 수 있으며 강지보재의 설치가 필요한 경우에는 그 설치간격을 한 굴진장 이하로 함이 적절하다.



<그림 605.12> H형(H 100×100) 강지보재의 이음부 설계 예



<그림 605.13> U형(MU-29) 강지보재의 이음부 설계 예



<그림 605.14> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 이음부 설계 예

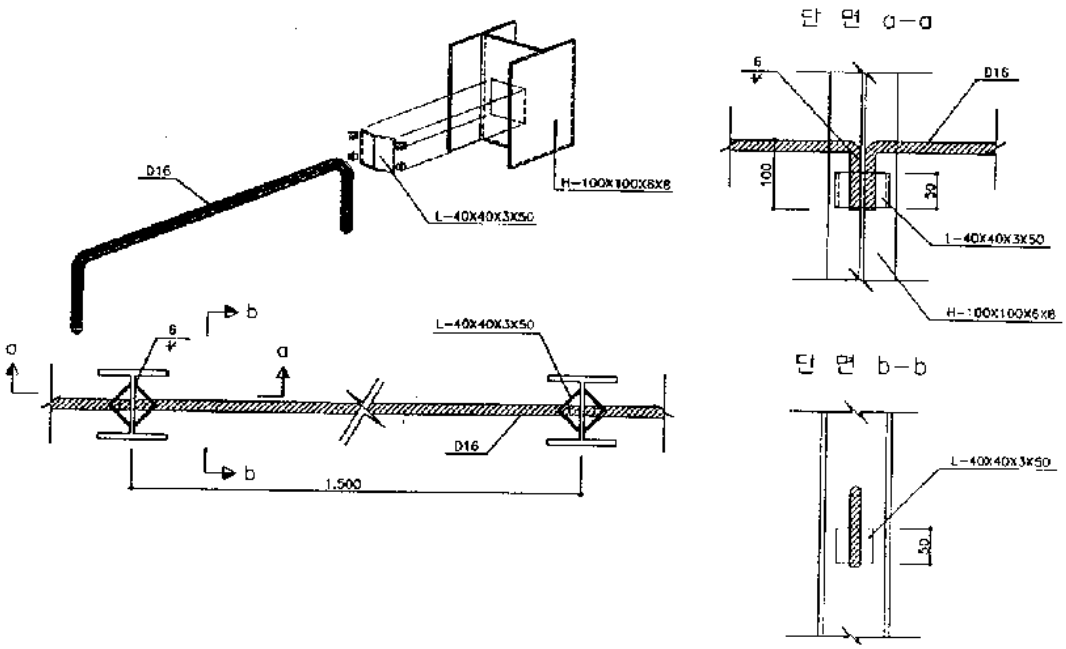
2.5 강지보재의 간격재와 바닥판받침

2.5.1 강지보재의 간격재

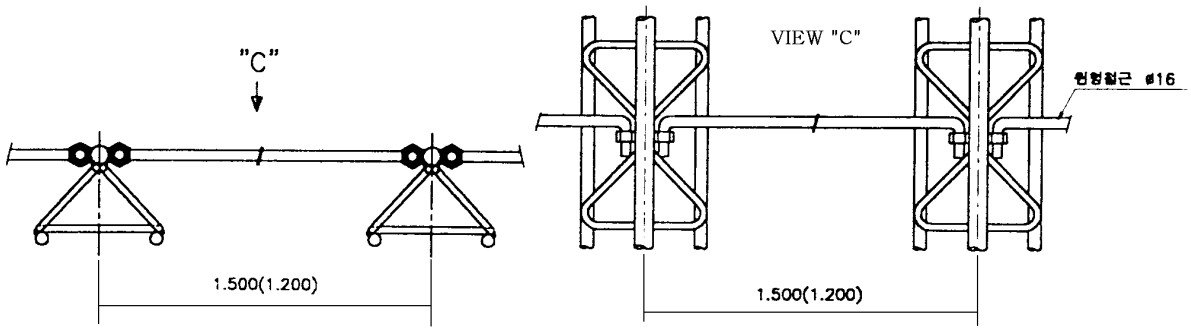
강지보재는 설치 후 숏크리트에 의해 고정되기 전까지 전도를 방지하기 위하여 강지보재 사이에 적절한 크기의 강재 간격재를 일정 간격으로 설치하여야 한다. 이때, 간격재의 형상은 숏크리트의 일체화에 저해되는 형상을 사용하여서는 안되며 그 설치간격은 1.5～2.0m로 하는 것이 좋다. 여기에서, 일체화에 저해되는 형상이라 함은 파이프 또는 L형 등 숏크리트 타설시 타설방향 뒤쪽의 숏크리트 상태가 다른쪽 숏크리트와 성질이 다르게 됨에 따른 영향과 연결재의 크기가 숏크리트 두께에 비해 필요이상으로 커짐에서 비롯된 일체성 저해 요인을 초래하는 형상을 의미한다. 대표적인 H형(H 100×100) 및 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 간격재 설계 예를 각각 <그림 605.15> 및 <그림 605.16>에 나타내었다. U형 강지보재는 현재 국내에서 거의 사용되지 않으므로 여기에서 생략하였다.

2.5.2 강지보재의 바닥판받침

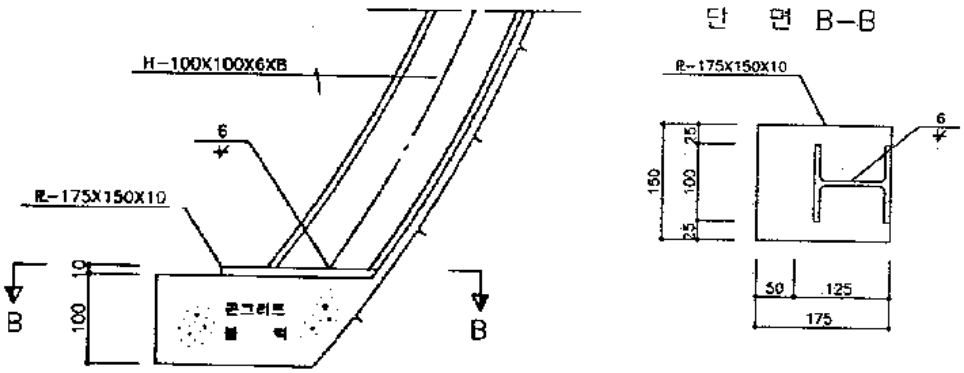
작용하중에 의한 침하를 방지하기 위하여 강지보재 하단에는 바닥판을 붙이고 필요에 따라 받침을 설치하여 충분한 지지력을 확보할 수 있도록 하여야 한다. 이러한, 강지보재 바닥판 받침에는 목재, 철근 콘크리트 블록, 강판 등을 사용할 수 있으며 강지보재에 작용하는 하중이 큰 경우는 필요에 따라 바닥보강 콘크리트를 사용하여야 한다. 대표적인 H형(H 100×100) 및 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 바닥판받침 설계 예를 각각 <그림 605.17> 및 <그림 605.18>에 나타내었다.



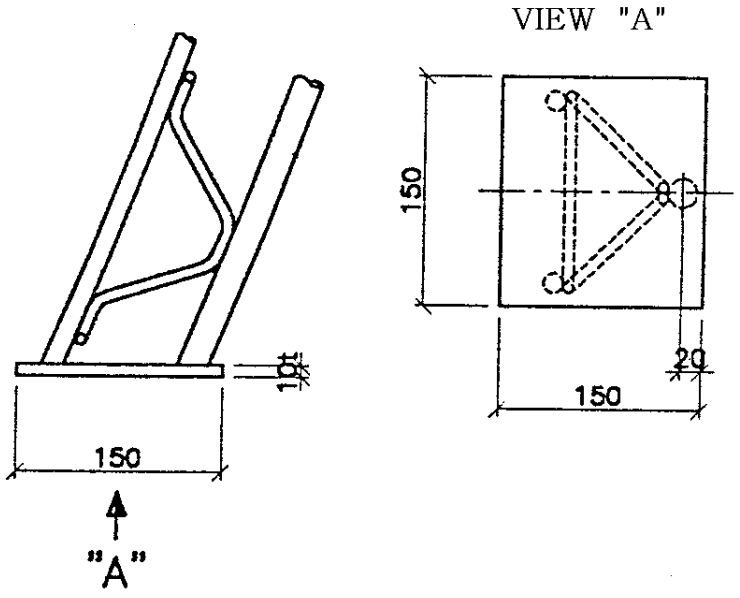
<그림 605.15> H형(H 100×100) 강지보재의 간격재 설계 예



<그림 605.16> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 간격재 설계 예



<그림 605.17> H형(H 100×100) 강지보재의 바닥판받침 설계 예



<그림 605.18> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 바닥판받침 설계 예

605.3 숏크리트

3.1 숏크리트의 사용 목적

숏크리트란 압축공기를 이용하여 굴착된 지반면에 뿜어 붙여지는 모르터 혹은 콘크리트로서 터널 지보 부재 중 가장 중요한 부재라 할 수 있다. 숏크리트는 굴착 후 빠른 시간 내에 지반에 밀착되도록 시공이 가능하고 조기 강도를 얻을 수 있으며, 굴착 단면의 형상에 크게 영향을 받지 않고 용이하게 시공이 가능한 특징을 가지고 있다.

숏크리트 적용 개념은 지반 조건, 사용목적, 시공성 등에 따라 다르나, 일반적으로 <표 605.10>에서 나타낸 바와 같은 작용 효과를 기대할 수 있다.

지반 중의 층리, 절리 등의 불연속면이 터널 지반의 거동을 지배하는 경우나 경암 지반에서와 같이 절리 등의 간격이 비교적 큰 경우의 숏크리트는 국부적인 암괴의 붕락 방지 및 약층의 보강 효과를 기대할 수 있으며, <표 605.10> 중의 ①, ④, ⑤가 그 주된 작용 효과이다. 또 절리 등의 간격이 작고 입상(粒狀)체와 같은 거동을 하는 경우에는 내압을 주는 구속 효과, 링 아치 효과 등을 기대할 수 있으며, <표 605.10> 중 ②, ③, ⑤가 그 주된 작용 효과이다. 지반의 강도가 터널 거동을 지배하는 경우에는, <표 605.10> 중 ②, ③의 효과가 기대된다. 이 경우에는 특히 록볼트 및 강지보재 등 기타 지보재와 병용하여 각각의 지보재와 숏크리트의 상호 작용을 고려하여 설계할 필요가 있다.

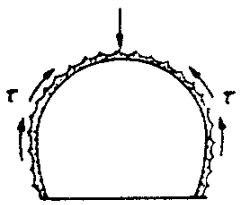
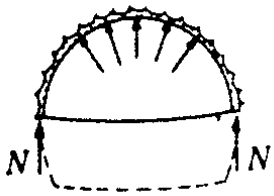
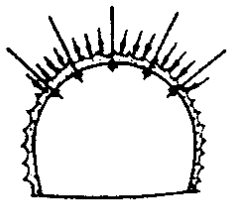
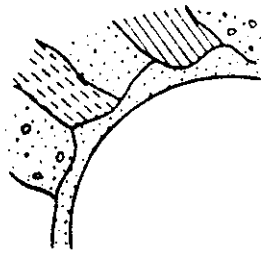
외국에서는 콘크리트 라이닝을 시공하지 않고 숏크리트만으로 터널을 완성하는 경우도 있기 때문에 이에 대한 긍정적인 접근이 필요하다고 하겠다. 이 경우 용수가 심한 지역에 대해서는 차수에 대한 별도의 대안을 마련하여야 한다.

3.2 숏크리트 설계시 고려사항

숏크리트 설계에 있어서는 그 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 배합, 강도, 두께 등을 결정할 필요가 있으나, 지보재로서 충분한 기능을 발휘하기 위하여 다음과 같은 요건을 만족시킬 수 있도록 설계하여야 한다.

- 작용하중에 대해 충분한 강도를 확보하여야 한다.
- 조기에 필요한 강도를 발휘할 수 있어야 한다.
- 지반과 충분한 부착성을 확보하여야 한다.
- 충분한 내구성을 확보하여 터널의 공용기간 동안 소요의 기능을 발휘할 수 있어야 한다.
- 반발률(rebound) 및 분진발생량을 최소화하여야 한다.
- 평활한 굴착면을 확보하여 방수 및 배수시공이 용이하여야 한다.

<표 605.10> 숏크리트의 작용 효과

숏크리트의 작용효과	개념도
① 지반과의 부착력, 전단력에 의한 저항 지반과의 부착 및 자체 전단 저항효과로 숏크리트에 작용하는 외력을 지반에 분산시키고, 터널 주변의 붕락하기 쉬운 암괴를 지지하며, 굴착면 가까이에 지반아치가 형성될 수 있도록 한다.	
② 휨압축 또는 축력에 의한 저항 지보재에 의해 지반변위가 구속되는 현상으로 인해 굴착면에 내압을 가함으로써, 굴착면 주변지반을 3축 응력상태로 유지시켜 지반 강도 저하를 방지한다. 연암이나 토사 지반 등에 작용 효과가 크다. 비교적 두꺼운 숏크리트가 한 개의 부재로서 원지반을 지지하기 때문에 될 수 있으면 빨리 링으로 폐합하는 것이 바람직하다.	
③ 지반 응력의 배분 효과 강지보재 또는 록볼트에 지반압을 전달하는 기능을 발휘한다.	
④ 약층의 보강 굴착된 지반의 굴곡부를 메우고 절리면 사이를 접착시킴으로써 응력집중현상을 피하도록 하고 약층을 보강하는 효과가 있다.	
⑤ 피복효과 굴착면을 피복하여 풍화 방지, 지수, 세립자 유출 방지 등의 피복 효과가 있다.	

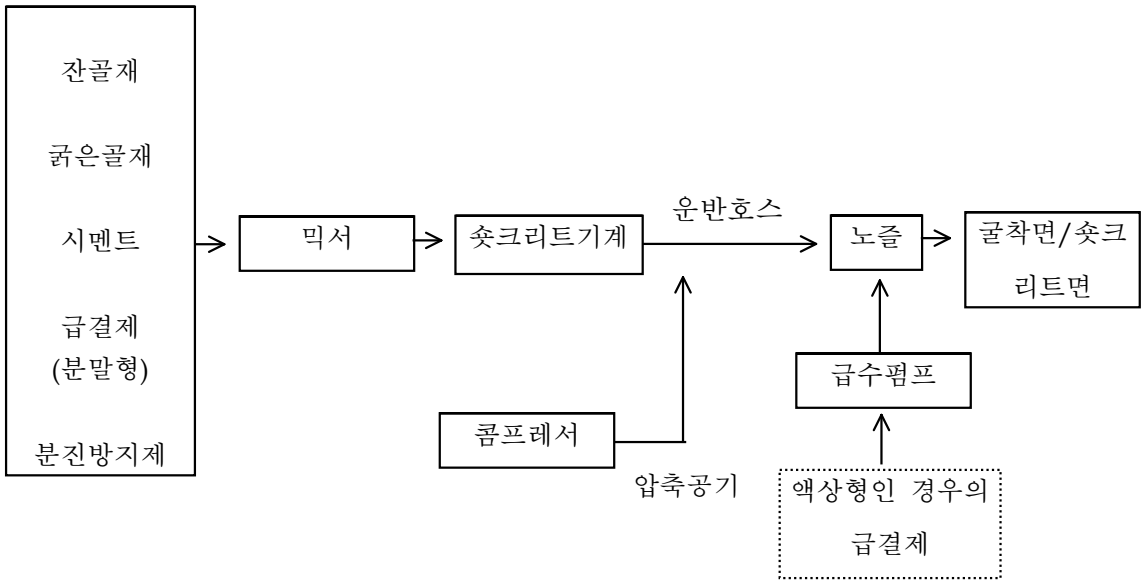
3.3 숏크리트의 타설 방법

숏크리트의 타설 방법은 배합 및 작업방법에 따라 건식과 습식으로 구분하며 필요에 따라 강(鋼) 또는 기타 재질의 섬유(fiber)를 혼합하여 사용할 수 있다. 각각의 특성은 다음 <표 605.11>과 같다. 건식은 물 이외의 재료(시멘트, 모래, 자갈)를 압축공기로 노즐까지 보내어, 노즐에서 물과 합류시켜 뿜어 붙이는 공법이고, 습식은 모든 재료를 믹서로 비빈후 압축공기와 스크류 만으로 뿜어 붙이는 공법이다. 각 공법의 타설 흐름도는 다음 <그림 605.19>와 같다.

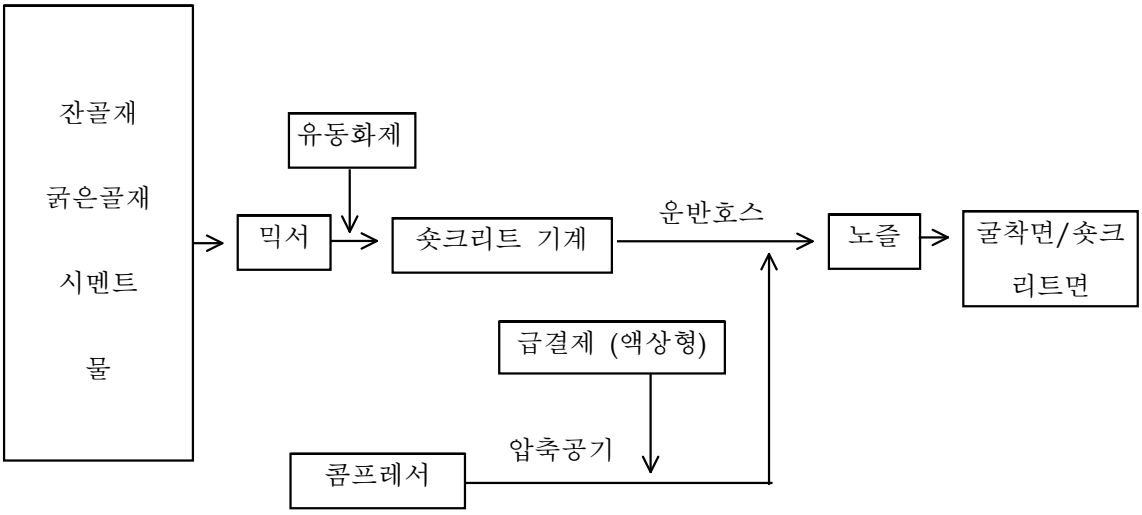
1990년대 초까지는 대부분 건식방식을 적용해 왔으나 터널과 같이 폐쇄된 공간에서는 인체에 유해한 시멘트와 급결제의 분진, 비산 등이 작업원에게 피해를 주고 시공성 저하는 물론 작업환경의 열악으로 인해 품질확보가 곤란하고 공사비 측면에서도 불리한 점등이 지적되었다. 따라서, 최근에는 습식공법을 선호하고 있다. 습식 숏크리트는 건식에 비해 분진이 거의 발생하지 않으므로 작업환경이 개선되고, 품질관리가 확실하며, 반발률 감소, 시공능력 향상으로 경제적으로 유리하다. 또한, 습식공법에 의한 기계화 시공은 건식공법보다 시공성, 환경 측면, 경제성 등에서 충분한 효과가 있다.

<표 605.11> 숏크리트 타설 방법에 따른 비교

구분	건식	습식
콘크리트의 품질	노즐에서 물과 재료가 혼합되기 때문에 품질은 작업의 숙련도, 능력에 따라 좌우된다.	물을 혼합한 각 재료들을 미리 정확히 계량하고, 또 충분히 혼합할 수 있으므로 품질관리가 용이하다.
작업의 제약	재료의 공급에 제한을 받지 않는다.	재료의 공급에 제한을 받는다.
압송거리	많다	적다
분진	비교적 많다	적다
소요 공기량	적다	많다
공기압	크다	작다
기계의 크기	작다	비교적 크다



(a) 건식



(b) 습식

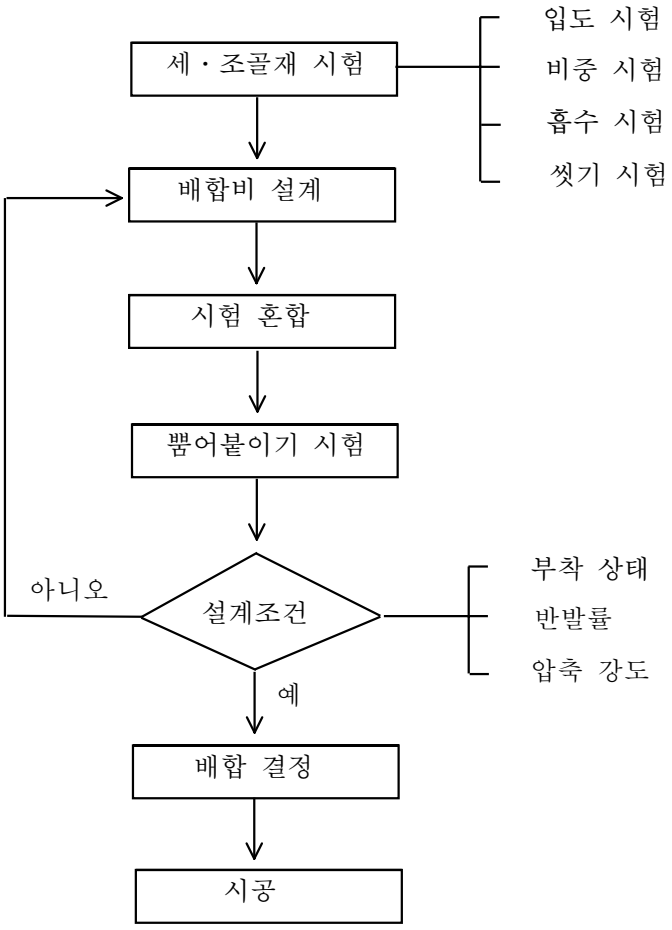
<그림 605.19> 숏크리트 타설 흐름도

3.4 숏크리트의 배합 및 강도

3.4.1 숏크리트의 배합 일반

숏크리트는 굴착 종료 후 즉시 타설하여 굴착 주변 지반의 강도 열화를 억제해야 하기 때문에, 작업 능률이 좋고 부착된 콘크리트가 자중에 의해 굴착면으로부터 떨어지지 않으며, 발파 등의 진동에 의해 견딜 수 있도록 조기에 경화시켜 강도를 발현시킬 필요가 있다.

또한, 장기적으로 지반을 지지하고 구조물로서의 기능을 유지하기 위해서는 필요한 강도 및 내구성을 가져야 한다. 숏크리트의 강도는 뿜어붙이기 방식, 시공 방법, 타설 위치, 숏크리트 두께, 지반 조건, 기온, 수온 등에 따라 달라진다. 숏크리트는 콘크리트와는 달리 일반적으로 적용할 수 있는 배합 설계법이 확립되어 있지 않으나, 터널 지보재로서 필요한 강도를 얻을 수 있도록 배합을 결정할 필요가 있으며, 그 절차는 <그림 605.20>과 같다.



<그림 605.20> 숏크리트 배합비 결정 흐름도

3.4.2 숏크리트의 강도

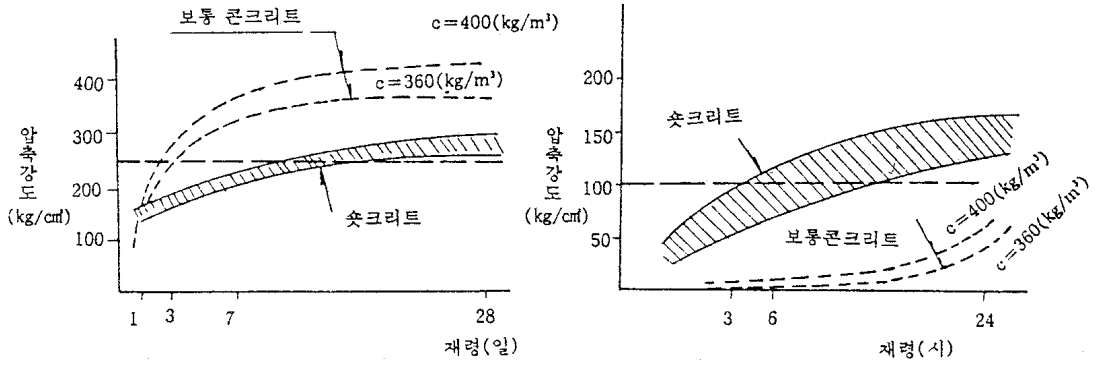
숏크리트용 시멘트는 제1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하며 잔골재는 입경 0.1mm 이하의 세립물을 포함하지 않아야 하고 굵은 골재의 최대 입경은 15mm 이하가 되어야 한다.

숏크리트의 배합은 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하며, 설계강도는 재령 1일 압축강도가 100 kg/cm^2 이상, 재령 28일 압축강도는 180 kg/cm^2 이상이 되어야 한다.

이러한 설계 강도 결정시 고려 사항은 아래와 같다.

- 지반 강도 및 지보재로서 기능
- 배합재료의 품질 및 조달의 용이도
- 시공성 및 숏크리트 타설 작업의 숙련도

참고로 숏크리트의 장단기 강도 특성을 <그림 605.21>에 나타내었다.



<장기 일축 압축 강도> <단기 일축 압축 강도>

<그림 605.21> 숏크리트의 장·단기 강도 특성

3.4.3 급결제

급결제는 작업능률을 높이고 부착된 숏크리트가 자중에 의해 박락하는 것을 방지하는 효과를 높이고 작업성을 좋게 하기 위해서 사용된다. 이러한 급결제는 숏크리트가 필요한 조기 강도를 발휘할 수 있고, 소요의 장기강도를 확보할 수 있으며 소요의 급결성이 있는 것을 선택하여야 한다.

(1) 급결제의 조건

급결제는 숏크리트의 조기강도 발현효과를 높히고 부착에 의한 반발률 감소 등의 시공성을 좋게 하기 위하여 다음의 조건이 만족되어야 한다.

- 콘크리트의 응결경화를 촉진시키며, 장기강도에 영향을 주지 않을 것
- 인체에 영향이 적을 것
- 조기강도를 발현시킬 것
- 콘크리트의 부착성을 높일 것
- 용출수 출현시 충분한 효과를 거둘 것
- 급결제량이 다소 변화하더라도 응결시간이 급변하지 말 것
- 강지보재를 사용하는 경우는 강재를 부식시키지 않을 것
- 사용상의 안전성이 확보되어 있을 것
- 흡수성이 적고 보존성이 좋을 것
- 반발률을 감소시킬 것
- 알카리-골재반응을 일으키지 않아야 할 것

(2) 급결제의 종류

급결제에는 시멘트계와 비시멘트계가 있으며 시멘트계인 경우 급결제가 다량으로 쓰일 때에는 장기강도를 저하하게 되므로 정확히 계량하는 것이 중요하다. 또한 급결제에는 분말형과 액상형이 있으며, 액상 급결제를 사용하는 경우 상대적으로 반발량과 분진의 발생이 적다. 각각의 특징을 비교하면 <표 605.12>와 같다. 건식 숏크리트 타설방법에는 액상 및 분말형 두 종류를 전부 사용할 수 있으나, 습식 숏크리트 타설방법에는 액상 급결제 만이 사용 가능하다.

<표 605.12> 액상 급결제와 분말형 급결제의 특성

구분	액상 급결제	분말형 급결제
첨가 방법 1)	물과 급결제가 미리 혼합된 상태에서 압송하여 노즐부근에서 건식 콘크리트와 혼합	숏크리트에서 건식 콘크리트가 압송되기 직전에 첨가되어 노즐부근에서 물과 혼합
압축 강도	시멘트와의 반응이 단시간에 일어나므로 조기강도 발현에 유리	물에 완전히 녹아야 반응하므로 조기강도 발현이 약간 늦다
반발율	비교적 적다	비교적 많다
분진량	비교적 적다	비교적 많다
급결제 pH	pH 13	pH 10~13

1) 여기에서는 건식타설방법에 대한 경우로써, 습식방법의 첨가방법은 <그림 605.19> 참조 바람

3.5 숏크리트의 두께

숏크리트의 설계 두께는 그 사용 목적, 지반조건, 단면의 크기 등에 따라서 결정된다. 경암에서와 같이 지반압이 전혀 작용하지 않고 암괴의 붕락 방지만을 목적으로 숏크리트를 시공하는 경우에는 설계 두께를 최소로 하는 것이 좋다. 또한, 팽창성 지반과 같이 변형이 크게 발생하고 작용하는 지반압이 큰 경우, 미고결 지반의 경우, 주변에 대한 터널 굴착 영향을 줄어야 할 필요가 있는 경우 등에는 설계 두께를 비교적 크게 할 필요가 있다.

현재까지 숏크리트 두께를 결정하기 위해 제시된 이론적·해석적인 기준은 없으며, 숏크리트의 작용 효과를 고려하고 지금까지의 설계, 시공 실적을 감안하여 설계 두께를 경험적으로 결정하여 해석적인 검증을 실시하여 확정하고 있는 실정이다. 지금까지의 숏크리트 설계 두께 적용 실적을 보면 대부분 5~25cm의 범위에 있다. 외국의 사례를 보면 이보다 훨씬 두꺼운 40~60cm를 적용한 경우도 있다. 일반적으로 도로터널의 경우 지보재로 사용되는 숏크리트의 최소두께는 5cm 이상으로 하는 것이 바람직하다.

단, 막장 임시 보강용 숏크리트 또는 단면의 크기가 소형이고 여굴이 거의 없이 굴착면이 고른 경우는 안정성에 지장이 없는 범위내에서 5cm 이하로 할 수도 있다. 또한 설계상 전단 저항력이 부족한 경우에 설계 두께를 무리하게 늘리는 것은 비경제적이 되기 쉬우므로 강지보재를 사용하거나 강섬유 또는 기타 재질의 섬유에 의한 보강을 검토할 필요가 있다.

설계 두께를 고려하는 방법으로는, 터널 단면 어느 부분의 두께도 설계 두께 이상이 되어야 한다는 최소 두께 개념과, 단면 내의 평균 두께가 설계 두께 이상이면 부분적으로 설계 두께를 만족하지 않아도 좋다고 보는 평균 두께 개념이 있다. 일반적으로 설계 두께는 최소 두께 개념에 의해 결정되나 경암 지반에서는 굴착면의 굴곡이 심하기 때문에 최소 두께 개념을 적용하면 숏크리트량이 필요 이상으로 증가할 우려가 있기 때문에 평균 두께 개념에 의해 설계 두께를 결정하는 경우가 있다. 참고로 <표 605.13>은 지반별, 단면 크기별 숏크리트 두께적용실적을 나타내고 있다.

<표 605.13> 지반별 단면 크기별 숏크리트 적용 범위

지반별 / 단면크기	경암 이상	연암	풍화암	토사
30 m^2 이하	5 cm	5~10 cm	5~10 cm	10~15 cm
30~40 m^2	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm	20 cm 내외
40~80 m^2	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm	20~25 cm
80~120 m^2	5~10 cm	10~20 cm	15~20 cm	25 cm 내외

주) 상기표는 국내외 적용실적을 지반별, 단면별로 요약한 것임

3.6 섬유보강 숏크리트

섬유보강 숏크리트는 강도증가를 포함한 지보능력의 향상을 위해 기존의 일반적인 숏크리트에 섬유(fiber)로 불리는 작은 섬유조각, 유리섬유(glass fiber), 플라스틱 섬유(plastic fiber) 등을 첨가한 숏크리트로서, 이의 사용에 있어서는 시험시공 등을 통하여 효과와 안전성, 경제성을 충분히 검토한 후 사용하여야 한다. 본 편람에서는 현재 국내 현장에서 많이 사용되어지고 있는 강섬유보강 숏크리트 (SFRS, Steel Fiber Reinforced Shotcrete)에 한하여 기술하고자 한다.

강섬유보강 숏크리트는 보통 콘크리트에 비하여 다음과 같은 특성이 있다.

- 열의 발생에 대한 저항력이 크고, 또 균열의 확대에 대한 저항력이 크다.
- 인장강도, 휨강도 및 전단강도가 높아진다 (<그림 605.22> 참조).
- 동결 융해 작용에 대한 저항력이 크다.
- 마모성, 내충격성이 크다.
- 내부식성이 크다.

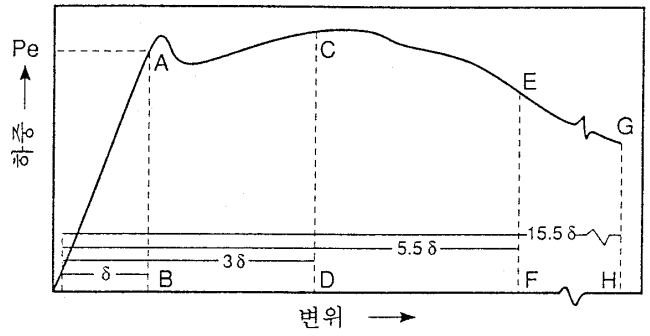
강섬유를 혼입하여 타설한 숏크리트의 전단강도는 50～70% 정도 개선되고, 인장강도나 휨강도는 20～40% 정도로 증가하며, 압축강도는 약간밖에 개선되지 않는 것으로 보고되고 있다. 따라서 지보재로서 강섬유를 사용하는 것은 주로 인장강도의 증대를 목적으로 한다. 그러나 이러한 강섬유를 사용할 경우, 절단(절단기 이용), 갈아냄(그라인더 이용), 드레인 보드 설치, 일반 모르터로 강섬유 피복 등과 같은 방법으로 강섬유에 의한 방수막 찢어짐 방지대책을 강구하여야 한다.

일반적으로 사용하는 강섬유의 인장강도는 70 kg/mm^2 이상이어야 하고, 길이는 40 mm 이하이고 직경은 0.3～0.6 mm 이며, 길이와 직경의 비는 40～60 정도이다. 숏크리트에 첨가되는 강섬유의 양은 전체용적의 1～2% 정도 혹은 전체 중량의 3～6% 정도가 적당하며 용적비 2%를 넘어서면 재료준비 및 타설이 어려워지므로 시공성이 떨어진다.

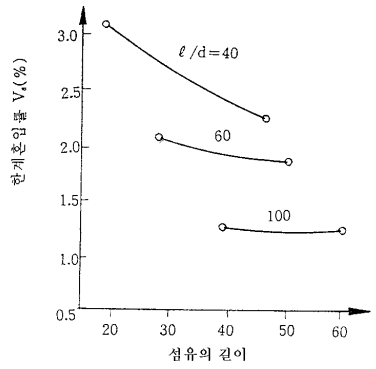
또한, 강섬유는 그 길이(ℓ) 및 길이와 직경의 비(ℓ/d)에 따른 한계 혼입률을 초과하면 강섬유가 휘거나 부러지는 현상을 보이므로 이를 고려하여야 한다. <그림 605.23>은 강섬유의 한계 혼입률과 섬유 길이와의 관계를 나타낸 것이다.

강섬유보강 숏크리트는 갱구부 및 파쇄대 등 지반 조건이 나쁘고 큰 지반압이 작용하는 경우나 교차부, 확폭부 등과 같이 구조적으로 큰 응력이 발생하는 경우에 주로 사용된다.

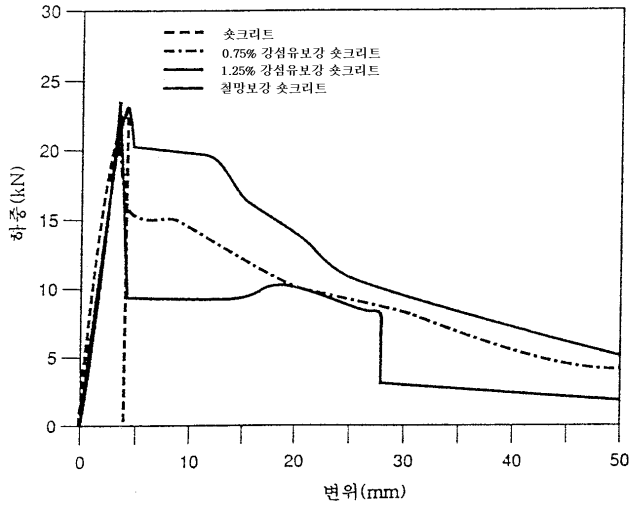
일반적인 무보강 숏크리트는 무근 콘크리트와 같이 인장응력이나 변형에 대해 취약한 측면을 보이며 취성거동(brittle behavior)을 나타내게 된다. 강섬유는 이러한 단점을 보완하기 위해 첨가되는 것으로써, 숏크리트의 균열에 대한 저항력이나 연성, 에너지 흡수성, 충격에 대한 저항력 등을 향상시키며, 무보강 숏크리트와 비교하여 볼 때 강섬유가 첨가된 숏크리트는 균열발생률이 현저하게 낮아진다. 일반적으로 무보강 숏크리트는 철망과 함께 시공되는데, 철망이 사용된 숏크리트와 강섬유보강 숏크리트의 거동에 대한 비교를 <그림 605.24>에 나타내었다. <그림 605.24>로부터 알 수 있듯이 압축강도에 있어서는 각각의 경우 별다른 차이가 발생하고 있지 않으나, 항복하중을 넘어선 이후나 최초 균열발생 이후에는 많은 차이가 나타나고 있음을 알 수 있다.



<그림 605.22> 강섬유보강 숏크리트의 하중-변형 특성 곡선



<그림 605.23> 강섬유의 길이에 따른 한계 혼입률



<그림 605.24> 철망과 강섬유를 사용한 경우의 하중-변위 관계

605.4 록볼트

4.1 록볼트의 사용 목적

록볼트는 오래전부터 사용해 온 지보 부재로써, 그 초기 단계에서는 경암 지반을 대상으로 한 선단 정착 방식이 대부분이었다. 그 후 전면 접착형의 록볼트가 개발되고 경암 지반만이 아니라 연약 지반의 영역에서도 뛰어난 지보 효과가 있다는 것이 차차 경험적으로 분명해져 현재는 광범위한 지반 조건하에서 터널의 지보재로 사용되고 있다.

록볼트는 주변 지반의 지보 기능을 유리하게 활용하기 위한 중요한 지보재이므로 지반과 일체화되어 그 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 지반 거동에 대한 작용 효과를 고려하여 설계하여야 한다. 록볼트의 주요 작용 효과를 개념적으로 나타내면 <표 605.14>와 같다.

층리 및 절리가 발달된 경암의 경우에는 암석 자체의 강도가 크므로 응력상의 문제는 발생하지 않으나 균열 등의 불연속면이 있는 암괴는 붕락이동 등의 불안정성 문제가 발생할 수 있다. 이경우 록볼트의 작용 효과로는 암괴의 붕락이동을 억제하고 암반을 일체화시키는 봉합 작용 및 지반 보강 작용 등이 기대된다.

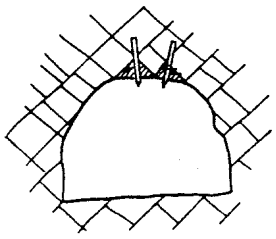
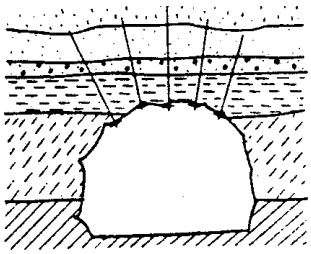
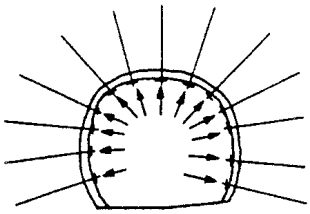
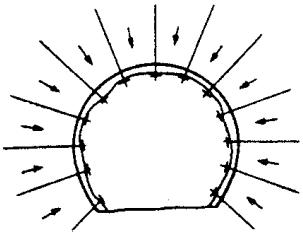
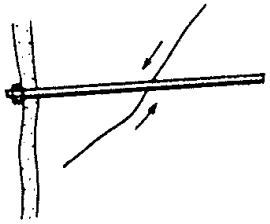
한편, 강도가 작은 연암 이하의 지반에서 터널의 굴착에 의해 주변 지반의 응력이 암석의 강도를 초과하여 넓은 영역까지 소성화되어 비교적 큰 변형이 발생되는 경우에는 록볼트로 지반의 변형을 억제하고 소성 영역의 확대를 억제함으로서 지반의 안정성을 증가시킬 필요가 있다. 이 경우의 록볼트의 작용 효과로는 아치 형성 작용, 내압 작용, 지반 보강 작용 등을 기대할 수 있다.

4.2 록볼트 설계시 고려사항

록볼트 설계시 다음사항들을 고려해야 한다.

- 록볼트 설계시에는 록볼트 자체의 항복하중과 정착방법을 면밀히 검토하고, 또한 시공성 및 시공시간 단축 등을 고려하여 cycle time에 대한 것도 검토하여야 한다.
- 숏크리트, 강지보재 등 기타 지보재와 병용하는 경우에는 각각의 지보 효과를 고려하여 종합적인 지보 기능을 평가한 후 록볼트를 설계할 필요가 있다.
- 록볼트의 작용 효과를 장기적으로 기대하는 경우에는 부식되지 않는 것으로 해야 하므로 충분한 검토가 필요하며, 특히 강산성 지반(온천, 산성 용수 등이 존재하는 지반) 및 해수의 영향을 받는 지역에서는 내부식성 재료 등을 사용하는 등의 대책을 강구하여야 한다.
- 록볼트의 작용효과 중 특히 봉합작용이 강조되어 인장력이 발생되는 경우는 발생 축력을 검토하여 볼트의 재질 및 형상을 결정하여야 하며 소요의 인발 내력에 대해서 검토하여야 한다.
- 록볼트의 재질, 지압판, 정착형식 및 정착재료의 선정 등에 있어서는 그 시공성을 검토하여야 한다.
- 굴착으로 인한 응력개방에 따라 내공변위가 크게 발생하는 경우에는 선단정착형 또는 혼합형의 록볼트 형식으로 프리스트레스를 도입할 수 있다. 프리스트레스를 도입하는 경우에는 도입된 프리스트레스가 지속적으로 유지될 수 있는 지반조건이어야 하며 프리스트레싱에 의한 록볼트의 응력이 항복강도의 80% 이내로 하는 것이 바람직하다.

<표 605.14> 록볼트의 작용 효과 개념

기능	작용효과	개념도
봉합 작용 또는 매달음 작용	발파 등에 의해 이완된 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하여 낙하를 방지하는 것으로 가장 단순한 효과이다. 균열, 절리가 발달된 지반에 있어서 숏크리트와 병용하면 비교적 작은 균열에 대해서도 효과가 있다.	
보형성 작용	터널 주변의 절리를 이루고 있는 원지반은 절리면에서 분리되어 겹침보로서 거동하나, 록볼트로 층을 이루고 있는 지반의 절리면 사이를 조여줌으로써 절리면에서의 전단력의 전달을 가능하게 하여 합성보로서 거동시키는 효과이다.	
내 압 작 용	록볼트의 인장력과 동등한 힘이 내압으로 터널 벽면에 작용하면 2축응력 상태에 있던 터널 주변 지반이 3축 응력 상태로 되는 효과가 있다. 이것은 3축 시험시 구속력(측압)의 증대와 같은 의미를 가지며 지반의 강도 혹은 내하력 저하를 억제하는 작용을 한다.	
아 치 형 성 작 용	시스템 록볼트에 의한 내압 효과로 일체화되어 내하 능력이 높아진 굴착면 주변의 지반은 내공측으로 일정하게 변형하는 것에 의해 내하력이 큰 그랜드아치를 형성한다.	
지 반 보 강 작 용	지반 내에 록볼트를 타설하면 지반의 전단 저항능력이 증대하여 지반의 내하력이 증대될 뿐만 아니라 지반의 항복 후에도 잔류강도가 증가한다. 이와 같은 현상은 록볼트에 의해 지반 전체의 공학적 특성치가 개선되는 것을 의미한다.	

4.3 록볼트의 재질 및 형상

4.3.1 록볼트의 재질 및 형상

록볼트의 재질은 원지반 조건 및 사용 목적에 따라 필요한 강도 및 인장 특성을 가진 것을 사용하여야 한다. 록볼트는 일반적으로 인장재로 사용되기 때문에 인장강도가 큰 것을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 지반의 급격한 붕괴를 방지하기 위해서는 연성(ductility)이 큰 인장 특성을 갖는 재료를 사용하여야 한다.

실험 결과에 의하면 원형 봉강은 이형 봉강에 비하여 인발 저항력이 훨씬 작기 때문에 록볼트 재료로는 통상 이형 봉강이 사용되고 있으며, 국산 이형 봉강 중 강도 및 인장 특성을 고려할 때 KS E 3132에 규정되어 있는 SD35, SD40 정도가 적합하다.

이와 같이 록볼트는 소요의 강도 이상을 가지는 이형봉강으로 제작하는 것을 원칙으로 하나 강관, 팽창성 강관 또는 이와 동일한 강도와 기능을 가지는 섬유보강 플라스틱(FRP) 등 기타 소재의 록볼트도 사용할 수 있으며, 재질 및 강도는 한국산업규격(KS)에 적합한 것이어야 한다.

록볼트 직경은 1본의 록볼트가 지탱하는 암괴의 중량 또는 지반에 필요한 전단보강력에 의해 결정할 수 있으나, 일반적으로 볼 때 D22~D29 정도가 무난할 것으로 보이며, 그동안 국내에서는 거의 대부분 D25 규격의 것이 사용되어 왔고, 이 규격을 표준으로 한다.

록볼트 재료 선정시 일반적인 기준은 없으나 사용 목적과 그간의 실적에 비추어 그 사용 지침을 개략적으로 제시하면 아래와 같다.

- 암괴의 봉합 등 록볼트에 큰 축력이 작용하지 않을 것으로 예상되는 경우 SD30, SD35 정도의 재질을 사용하며, 직경은 D22~D25 정도가 적합하다.
- 내압 효과 및 아치 형성 등을 목적으로 하고 지반의 변형이 그다지 크지 않을 경우 SD35, D25 정도의 것을 사용한다.
- 지반의 변형이 클 것으로 예상되는 경우에는 록볼트에 큰 축력이 발생되어 록볼트의 내하력을 향상시킬 필요가 있으므로, 단면적이 크고 인장강도가 큰 재료(SD35 이상, D25 이상)를 사용하며, 사용개수를 늘리는 방안을 검토하여야 한다.

한편, 막장의 안정성을 확보하기 위한 막장볼트나 확폭 예정 구간에 있어서 굴착중 안정성을 위해 사용되는 볼트 등은 시공성을 고려하여 고강도 FRP나 유리 섬유(glass fiber) 등을 재료로 한 볼트를 사용하는 경우도 있다.

한국산업규격(KS)에 제정되어 있는 봉강의 기계적 성질은 <표 605.15>와 같다.

4.3.2 지압판

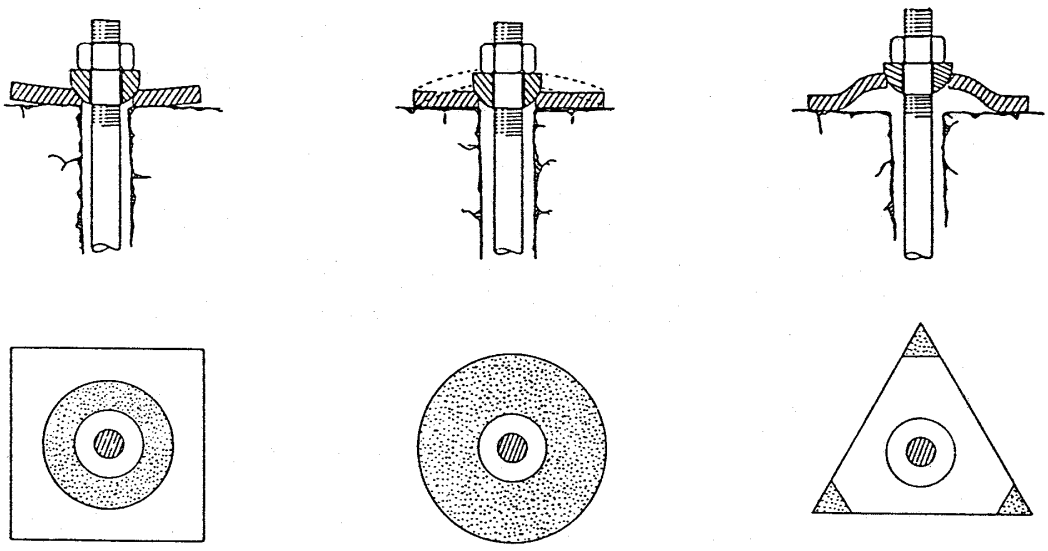
지압판은 록볼트와 숏크리트를 일체화시키는 중요한 부재이므로 예상되는 응력에 대하여 충분한 면적과 두께, 강도를 가져야 한다. 그러나, 숏크리트가 지압판에 대체적 혹은 부가적인 역할을 담당하는 것도 생각할 수 있으므로 그 선택에 있어서 이를 고려하여 하는 것이 필요한 경우도 있다.

일반적으로 평판을 사용할 경우 지압판 면적은 150 × 150 mm 정도의 규격이 적당하며, 두께는 통상 6mm 정도가 적당하나, 팽창성 지반의 경우는 9mm 정도의 두께로 하는 것이 좋다. 그러나 지반의 변형이 큰 경우에는 록볼

트가 파단되는 정도의 축력이 발생되는 경우도 있으므로 이 경우에는 지압판의 두께와 강도에 대하여 별도의 검토가 필요하다. 특별히 전면 접착형 록볼트의 경우 지압판의 설치가 필요 없을 경우도 있으므로 정밀한 검토 후에 감독관과 협의하여 필요 유무를 정할 수도 있다. 일반적으로 사용되어지고 있는 지압판의 예를 <그림 605.25>에 나타내었다. 한편, 축력이 크거나 굴착면과 수직으로 록볼트의 설치가 어려운 경우에는 구형강판을 고려해야한다.

<표 605.15> 록볼트로 사용되는 봉강의 기계적 성질

종류	재질 기호	기계적 성질		
		항복점 (kg/mm^2)	인장강도 (kg/mm^2)	연신율 (%) (시험편 2호 기준)
원형봉강	SR 30	30 이상	45 ~ 61	18 이상
이형봉강	SD 30A	30 이상	45 ~ 61	16 이상
	SD 30B	30 ~ 40	45 이상	16 이상
	SD 35	35 ~ 45	50 이상	18 이상
	SD 40	40 ~ 52	57 이상	16 이상



평판 (Flat Plate) 구형강판 (Domed Plate) 삼각형강판 (Triangular Bell Plate)

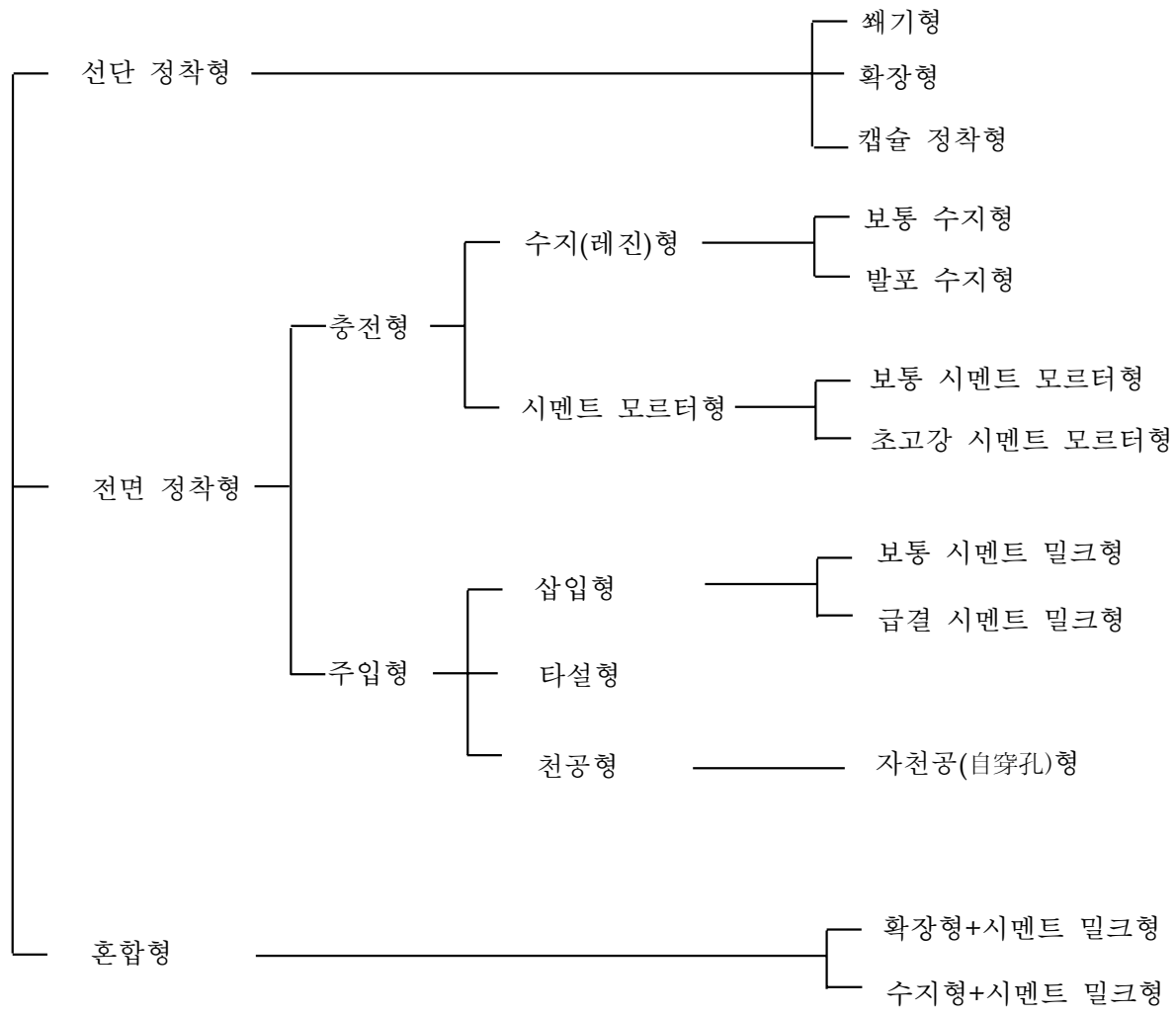
<그림 605.25> 지압판의 예

4.4 록볼트의 정착방법

4.4.1 록볼트의 정착방법

록볼트는 많은 종류가 있으나 현재 널리 사용되고 있는 종류를 그 정착 방법에 의해 분류하면 선단 정착형, 전면 접착형, 혼합형으로 대별된다(<그림 605.26> 참조). 이러한 정착방법은 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 선정하여야 한다.

종래에는 경암 지반에서는 선단 정착 방식, 연암 지반에서는 전면 접착 방식의 록볼트가 주로 사용되어 왔으나 최근에는 경암 지반에서도 전면 접착 방식이 채택되고 있다. 각 정착 방법별 정착 방법, 특징, 적용 범위는 <표 605.16>에 나타낸 바와 같다.



<그림 605.26> 정착 방법별 록볼트의 분류

<표 605.16> 록볼트의 정착 방식

정착방식	정착 방법	특징	적용범위
선단정착형	기계적으로 정착하는 쐐기형 및 확장형과 캡슐에 의한 접착형이 있으며 록볼트의 선단 정착후 너트로 조인다.	쐐기형은 자주 사용하지 않는다. 확장형 및 캡슐정착형은 봉합 효과를 목적으로 하는 경우에 사용한다. 기계식의 경우에는 정착부의 원지반 상태에 따라 정착력에 부족이 생기거나 발파에 의하여 이완 등의 문제가 있다. 그러나 확장형은 발파후 적당히 다시 조이기를 하면 적용할 수 있는 경우도 있다.	절리 또는 균열 발달이 비교적 적은 경암 또는 보통암 층에서 일부 사용된다.
전면접착형	정착 재료로 수지, 시멘트 모르터 등을 사용하거나 기계적인 방법으로 록볼트 전장을 원지반에 정착시킨다.	록볼트 전장에서 원지반을 구속한다. 원지반의 강도, 절리, 균열의 상태, 용수의 상태 및 막장의 자립성 등에 따라 여러 종류가 있다.	경암, 보통암, 연암, 토사 원지반에서 팽창성 원지반까지 적용 범위가 넓다.
혼합형	선단을 기계적으로 정착후 시멘트 밀크를 주입하는 방법과 전면 접착형의 정착 재료 충전시 선단에 급결용의 캡슐을 사용하는 방법 등이 있다.	선단 정착형과 전면 접착형을 혼합한 것이다. ① 시공 공정이 2단계에 걸쳐 이루어진다. ② 시공에 따라서는 선단의 급결성이 얻어지지 않는 경우도 있다.	① 선단을 기계적으로 정착하는 록볼트는 많이 사용되고 있지 않다. ② 팽창성 원지반 또는 프리스트레스를 도입하는 경우에 유효하다.

선단 정착 방법은 록볼트의 선단을 원지반에 정착시킨 후 터널 벽면과 볼트의 선단에 축력을 작용시켜 지반에 압축 영역을 형성시킴으로서 지반의 안정성을 향상시킴과 동시에 암괴를 봉합하는 것을 목적으로 사용되고 있다. 이 방식은 선단의 정착이 충분하지 않으면 효과가 발휘되지 않기 때문에 비교적 견고한 지반에서 사용되는 경우가 많다. 선단 정착형 중 대표적인 확장형의 예를 <그림 605.27>에 나타내었다.

전면 접착 방법은 볼트 전장에 걸쳐 정착제로서 지반과 접착되기 때문에 적용되는 지반의 범위가 넓다. 전면 정착형중 대표적인 레진형의 예를 <그림 605.28>에 나타내었다. 전면 접착형의 경우 시멘트 모르터형과 레진형을 1개소에 혼합 사용하기보다는 1개소에 단일 공법으로 적용하는 것이 바람직하다.

혼합 방법은 선단 정착 방법과 전면 접착 방법의 장점을 살릴 수 있으며, 록볼트에 프리스트레스를 도입하는 경우에 유리하다. 터널의 토피가 작은 경우 록볼트에 프리스트레스를 도입하여 지반에 강제적으로 압축 영역을 형성시킴으로서 지반의 안정성을 향상시킬 수 있으나, 이 경우에는 록볼트의 선단을 확실하게 지반에 정착시켜야 하며, 선단의 정착에는 기계식 혹은 모르터 급결제를 이용하여 조기에 경화시키는 방법 등이 사용되고 있다.

정착재료로 사용되는 시멘트 모르터는 흘러내림을 방지할 수 있는 배합비를 사용하여 시공하여야 하며, 특히 천정부에 설치되는 록볼트의 경우에는 록볼트 전면부에 캡 등을 설치하여 모르터가 흘러내리는 것을 최대한 방지하여야 한다. 또한 지반이 연약하여 록볼트 천공의 자립이 어려운 경우에는 자천공(自穿孔)형 록볼트를 사용할 수 있으며, 긴급한 록볼트 기능 도입이 요구되는 경우에는 마찰력을 즉시 발휘시킬 수 있는 구조의 록볼트를 사용하여야 한다. 이러한 록볼트의 정착재료는 제1종 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 사용하는 모래는 최대 직경이 2mm이하의 입도가 양호한 모래를 사용해야 한다.

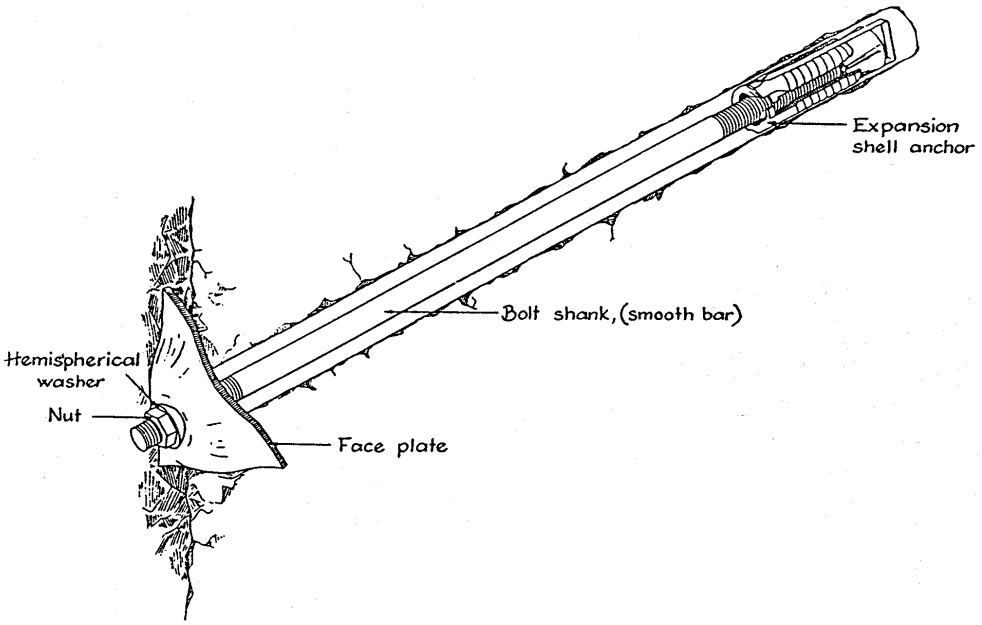
또한 최근에는 swellex라는 새로운 형태의 록볼트가 국부적으로 사용되고 있으며, 급속한 정착력이 필요한 구간이나 이외 필요시 이러한 형태의 록볼트도 고려해 볼 수 있다.

4.4.2 록볼트의 정착력

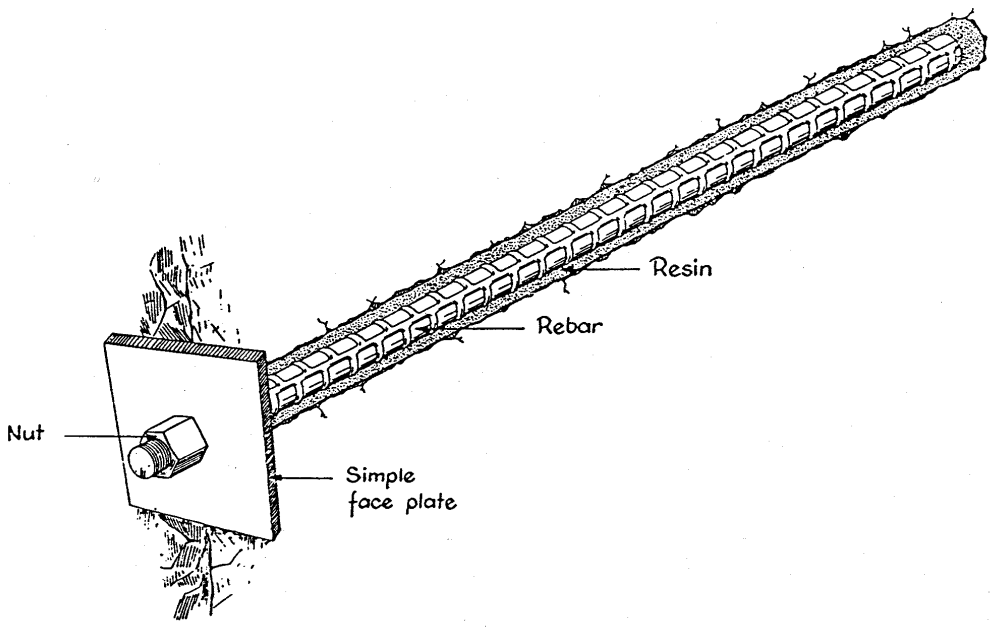
록볼트의 정착력이 충분한지 여부를 알기 위해서는 인발 시험을 통하여 그 내력을 판단해야 한다. 인발 내력은 통상 지반과 정착재료 사이에 발생되는 마찰력에 의해 얻어지기 때문에 지반 조건, 정착 형식, 정착재료, 볼트 길이, 공경 등에 따라 달라진다.

록볼트의 인발 시험 결과는 <그림 605.29>와 같이 표시된다. 일반적으로 그림 중 C 영역은 볼트의 정착 효과가 기대되지 않는 영역으로 간주하며, 인발 내력은 D 점으로 본다. 그러나 소요의 인발내력을 시험결과를 통하여 얻었다 할지라도 D점에 이르는 변위량이 록볼트의 길이에 비하여 과도한 경우에는 현장조건에 따른 충분한 검토가 필요하다.

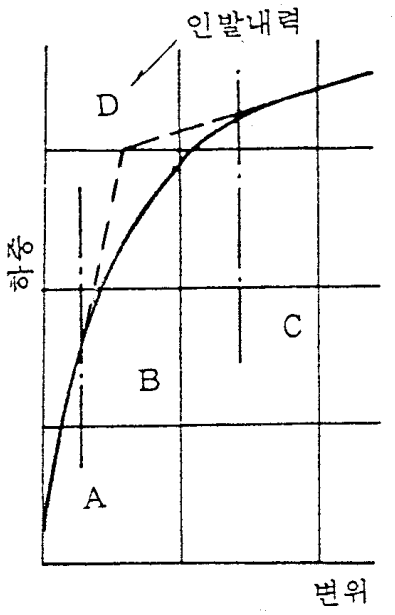
록볼트는 지반에 정착되어 주로 인장 부재로 작용하기 때문에 인발 내력은 록볼트 설계에 있어서 가장 기본적인 사항이며, 볼트의 항복 축력 및 정착부의 정착력에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.



<그림 605.27> 선단 정착형(확장형) 록볼트의 예



<그림 605.28> 전면 정착형(레진형) 록볼트의 예



<그림 605.29> 록볼트 인발 시험

4.5 록볼트의 배치 및 길이

4.5.1 록볼트의 배치

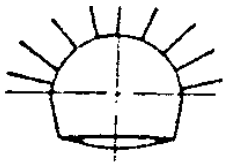
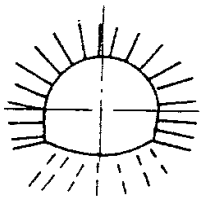
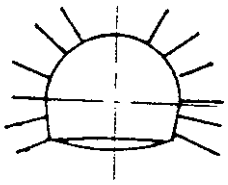
록볼트의 배치는 사용 목적에 따라 다르며, 지반 조건, 강도, 절리 간격 및 길이, 용출수의 유무, 지반의 초기 응력, 터널 단면의 크기 및 형상, 굴착 공법 등에 따라 결정된다. 록볼트는 원칙적으로 터널 굴착에 의하여 영향을 받는 영역을 보강할 수 있도록 배치하는 것이 바람직하다.

록볼트의 설계는 암반 절리 및 균열의 간격, 길이, 크기에 의해 암괴의 붕락 가능성을 산정하고 붕락이 발생하지 않도록 록볼트의 본수, 간격을 결정하는 경우와 1본의 록볼트에 의해 지보 가능한 하중 및 지보하여야 할 하중의 관계로부터 본수, 간격을 결정하는 경우가 있다. 또한 록볼트의 배치에 있어서는 터널 단면의 방사선 방향으로 굴착면에 직각으로 타설하는 것을 원칙으로 하며 인접한 록볼트 간에는 상호 작용발휘가 가능하도록 록볼트를 배치하여야 한다. 단, 록볼트를 조기에 타설할 필요가 있는 경우에는 터널진행 방향으로 경사진 경사록볼트 배치형식을 적용할 수 있다.

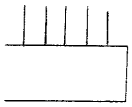
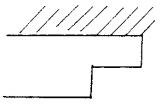
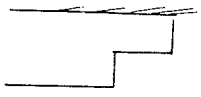
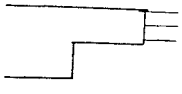
록볼트의 배치에는 랜덤 볼팅(random bolting)과 시스템 볼팅(system bolting) 방법이 있다. 전자는 굴착후 막장 상태에 따라 볼트 배치를 결정하는 방법이며, 후자는 지질 상태를 산정하고 미리 록볼트의 배치를 결정하는 방법이다. 랜덤 볼팅은 지반이 불량한 부분을 국부적으로 록볼트로 보강하는 개념이며, 시스템 볼팅은 터널 단면에 미리 정해진 형식의 록볼트를 배치하여 지반을 지보하는 개념이다. 어떤 경우에도 지반 조건이 크게 변화하는 경우에는 신속하게 록볼트 배치를 변경하여야 한다. <표 605.17>은 지반 조건에 따른 시스템 록볼트의 배치 개념을 나타낸 것이다.

록볼트의 타설 형식은 지반 조건, 시공 방법 등에 따라 다르며, <표 605.18>은 그 대표적인 형식을 나타낸 것이다.

<표 605.17> 지반 조건에 따른 시스템 록볼트 배치 개념

주요기능	적용지반	배치개념	배치개념도
봉합 효과	경암 ~ 연암	• 암괴를 봉합하여 붕락 방지 • 아치부에만 주로 배치	
내압 및 아치 형성 효과	연암 ~ 풍화암	• 시스템 록볼트 배치로 내압 및 보형성 효과를 기대 • 터널 아치부 및 측벽에 배치 • 팽창성 지반에서는 인버트부에도 배치	
전단 저항 효과	토사	• 연약지반의 전단 파괴가 지하 공동 측벽부에서부터 발생하므로 초기에 이를 방지하는 개념으로 배치 • 아치 천단부를 제외한 아치 및 측벽부에 배치	

<표 605.18> 록볼트의 타설 형식

타설형식	형식도	타설목적
일반형		터널에서 사용하는 가장 기본적 형태이다.
경사볼트		막장에 코어를 남겨 록볼트 작업공간이 부족하나 록볼트를 조기에 시공할 필요가 있는 경우 등에 적용하며, 경사각은 통상 45°~ 60°로 한다.
훠폴링		막장 천단부의 안정을 위하여 적용하며 경사각은 통상 15° 미만으로 한다.
막장볼트		막장 안정을 위해 적용하며, 유리 섬유(glass fiber) 재질의 록볼트를 사용할 수 있다.

4.5.2 록볼트의 길이

록볼트의 길이는 원칙적으로 굴착에 의한 영향 범위를 보강할 수 있도록 결정하는 것이 바람직하다. 록볼트의 길이는 지반 조건, 주요 작용 효과, 굴착 단면의 크기, 이완영역의 발달 깊이 등에 따라 조정하되 일반적으로 시공성을 고려하여 록볼트 설치 간격의 2배 이상이 가장 많이 사용되고 있으며, 1회 굴진장 및 암반의 절리상태에 따라 조정하여야 하며 지반 자체의 지보능력을 원활히 발휘할 수 있는 간격으로 배치하여야 한다.

강도가 작은 지반에서는 록볼트의 효과를 보다 유리하게 발휘시키기 위하여 표준적으로 설정된 볼트 패턴보다 볼트의 개수를 증가시키거나 볼트의 길이를 증가시켜 타설하는 경우가 있다.

록볼트의 길이는 기대하는 작용 효과에 따라 다르다. 록볼트의 작용 효과 중 봉합 작용 및 보형성 작용을 기대하는 경우에는 이완 영역 이상의 길이를 가진 록볼트를 사용하여야 한다.

내압 작용, 아치 형성 작용 및 지반 보강 작용을 기대하는 경우에는 록볼트 및 지반이 일체로서 작용하는 구조체를 형성하기 때문에 이완 영역 외까지 록볼트 길이를 확보하는 것이 반드시 필요하지는 않으나 터널 주변 지반 변형을 억제하고 작용하는 지반압을 록볼트의 인장력에 의해 지지하고자 할 경우에는 필요한 정착력을 확보하기 위한 길이를 사용하여야 한다.

록볼트 길이와 배치 간격은 Arch Theory 설계식, 광탄성 실험식 및 터널 굴착계수(ESR)를 이용한 경험식 등이 있으나, 본 편람에서는 가장 보편적으로 알려져 있는 Rabcewicz의 경험적, 실험적 산정식을 소개하고자 한다. 산정방법은 다음과 같다.

(1) 록볼트의 길이(L)

$$L \geq \frac{W}{3} \sim \frac{W}{5} \quad \text{또는} \quad L \geq t \qquad (605.1)$$

여기에서,
W : 터널 단면폭
t : 막장면과 지보 구간과의 거리

(2) 록볼트의 간격(P)

$$P \leq 0.5 \times L \quad \text{또는} \qquad (605.2)$$

$$P \leq 3 \times D \qquad (605.3)$$

여기에서, D: 블록화 할 암괴의 평균 치수

식 (605.1)의 조건은 이완이 생길 영역에 대한 조건이고, 식 (605.2)의 조건은 록볼트의 영향 범위가 중첩되기 위한 추정이며, 식 (605.3)의 조건은 각 블록 상호간의 볼팅 작용으로써 서로 관련시킬 수 있는 조건이다.

605.5 철망

5.1 철망의 사용 목적

철망은 타설된 숏크리트가 자중으로 인해 박리될 가능성이 있는 경우 또는 숏크리트의 인장강도 및 전단강도를 향상시키기 위하여 사용된다. 단, 섬유보강 숏크리트를 사용할 경우는 철망을 생략할 수 있다. 일반적으로 철망은 토사 지반에서 경암에 이르기까지 각종 지반 조건에 사용되고 있으나 지반 조건에 따라 그 사용 목적이 다르다. 예를 들면 숏크리트와 부착성이 약한 토사, 풍화암, 연암 지반에서는 철망이 시공성을 향상시키는 목적으로 사용되고 있다. 특히 토사 지반의 경우 원지반의 강도가 약하므로 숏크리트 중량에 의해 원지반으로부터 박락되는 사례가 많으므로 이 경우 눈금이 비교적 작은 철망을 사용하여 박락 현상을 방지할 수 있다.

팽창성 지반과 같은 큰 변형이 발생되는 지반은 숏크리트에 많은 균열이 발생하여 국부적으로 박리되는 수가 있으므로, 이 경우 박리 방지 및 인성 향상을 목적으로 철망을 사용한다.

5.2 철망의 재질 및 규격

경암에서 절리 및 균열이 많은 경우 돌발적인 암괴의 붕락에 대하여 숏크리트의 전단 강도의 보강 및 인성 향상을 목적으로 철망을 사용한다. 따라서 지반 조건에 따라 기대되는 철망의 효과, 시공성 등을 고려하여 철망의 종류를 선정하여야 한다. 철망은 일반적으로 KS D 7017에 규정된 용접철망을 사용하되 철망의 지름은 5mm 내외, 개구크기는 100 mm × 100 mm 또는 150 mm × 150 mm 인 철망을 표준으로 하나, 150 mm × 150 mm의 규격의 철망이 바람직하다. 일반적인 철망의 규격은 다음 <표 605.19>에 나타내어져 있다.

굴착면의 자립이 어렵고 숏크리트 타설시 숏크리트 박리가 발생하는 경우에는 숏크리트와 지반과의 부착을 증진시키기 위하여 개구크기와 철선지름이 적은 철망을 사용할 수 있다.

그러나 철망을 사용하는 경우에는 다음과 같은 문제점이 있으므로 사용에 충분한 검토가 요망된다.

- 굵은 골재의 반발률이 높아진다.
- 숏크리트에 공극이 생기기 쉽다.
- 숏크리트 층 사이에 위치하여 숏크리트 타설시 철망에 진동을 줌으로써 층 분리 현상이 발생할 수 있다.
- 철망의 정착이 어려운 경우가 많다.
- 지하수에 의한 부식이 가능하다.

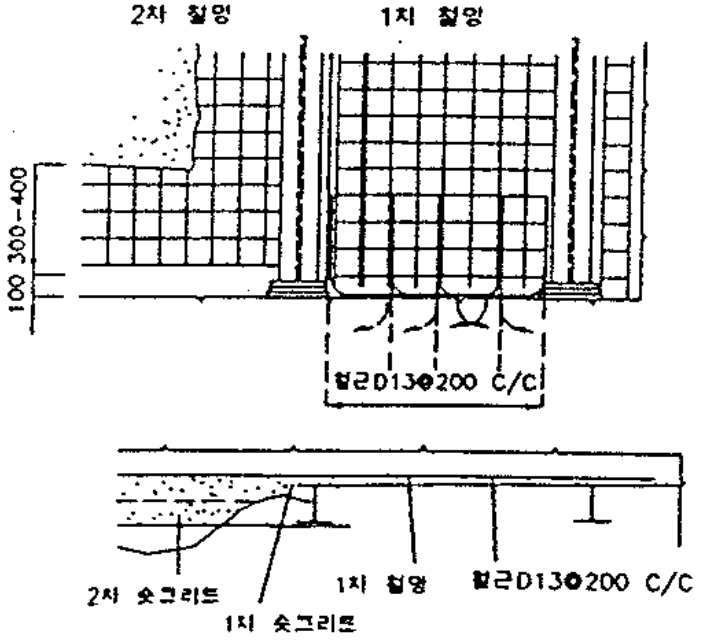
5.3 철망의 이음부

철망은 일반 철근 콘크리트 구조물에서와 같이 숏크리트의 보강재로써 종·횡방향의 겹이음을 적절히 시행하여야 한다. 겹이음은 1차 철망의 경우 횡방향 2격자(200mm 이상), 종방향 1격자(100mm 이상), 2차 철망의 경우 종·횡방향 공히 2격자(200mm) 이상 시행한다. 특히 상반과 하반, 하반과 인버트간의 시공 이음부에 각별히 주의를 기울여 시공해야하며, 철망 겹이음을 위해 철근을 이용하여야 한다(<그림 605.30> 참조). 상·하반 시공이음부의 2차 철망을 겹이음 하기 위해서는 상반 시공시 하단으로부터 약 400mm 정도 2차 숏크리트를

타설하지말아야 하며, 하반굴착동안 겹이음을
적절히 수행한 후 숏크리트를 타설한다.

<표 605.19> 철망의 종류

직경	망의 격자 (mm)
Φ5.8	150×150
Φ5.8	100×100
Φ4.8	150×150
Φ4.8	100×100
Φ4.0	150×150
Φ4.0	100×100
Φ4.0	50×50
Φ3.2	150×150
Φ3.2	100×100
Φ3.2	50×50



<그림 605.30> 상반과 하반의 철망 겹이음 예

606
콘크리트 라이닝

606.1 콘크리트 라이닝 설계일반

1.1 콘크리트 라이닝의 역할

터널의 콘크리트 라이닝은 터널 주변의 지반 상태, 환경 조건 및 주지보재의 지보능력을 고려하여 사용 목적에 적합한 설계를 하여야 한다. 또한 장기간 지반압 등의 하중에 견디고, 균열, 변형, 붕괴 등이 생기지 않는 것으로서 누수 등에 의한 침식이나 강도의 감소 등이 없는 내구적인 것이어야 한다. 일반적으로 터널 콘크리트 라이닝은 터널의 사용 개시 후에 개수한다는 것은 매우 곤란하므로, 장래 개수를 하는 일이 없도록 충분한 고려를 하여야 한다.

숏크리트, 록볼트, 강지보재 등으로 터널의 안정이 확보되거나 지반이 견고하여 풍화의 우려가 없고 사용상 지장이 없는 경우에는 콘크리트 라이닝을 생략하고 프리캐스트 판으로 라이닝을 대신하는 경우도 있으며, 이러한 경우 충분한 안전성·내구성을 고려하여야 한다.

콘크리트 라이닝은 사용 목적에 따라 구조체로서의 역학적 기능, 비배수형 터널에서의 내압기능, 영구 구조물로서의 내구성 확보 및 미관유지 기능 등을 갖으며, <표 606.1>은 이러한 콘크리트 라이닝의 기능 및 적용대상을 나타내고 있다. 설계시에는 지반 조건, 하중 조건, 구조물의 중요도 등의 제 조건을 충분히 검토하여야 한다.

또한 콘크리트 라이닝은 다음과 같은 일반적인 목적을 보유하도록 하여야 한다.

(1) 공용성 측면
① 지하수 등의 누수가 적고 수밀성이 양호한 구조물이 될 것
② 사용중 점검·보수등의 작업성이 높을것
③ 터널 내의 가선, 조명, 환기 등의 시설을 지지할 것
④ 차량 운행 중 전조등에 의한 산란이 균등할 것

(2) 강도 특성 측면
① 터널의 변형이 수렴하지 않은 상태에서 콘크리트 라이닝을 시공하는 경우에는 터널의 안정에 필요한 구속력을 가질 것
② 콘크리트 라이닝 시공 후 수압, 상재 하중 등에 의한 외력이 발생되는 경우 이를 지지할 것
③ 지질의 불균일성, 지보재 품질의 저하, 록볼트의 부식 등 불확정 요소를 고려하여 구조물로서의 안전율을 증가시킬 것
④ 사용 개시후 외력의 변화와 지반, 지보재재료의 열화에 대한 구조물로서의 내구성을 향상시킬 것
⑤ 조립식 콘크리트 라이닝(segment)의 경우 제작, 운반, 취급, 설치와 기타 시공 중에 작용하는 외력에 견딜 수 있을 것

<표 606.1> 콘크리트 라이닝의 기능

기능	적용대상	내용
구조체로서의 역학적기능	숏크리트 등으로 형성된 주지보재가 영구 구조물로서 충분한 안전율이 없다고 판단되는 경우	숏크리트에 균열이 발생하고 록볼트에 큰 축력이 작용하여 응력 저항부에 크리프 현상이 발생하거나 볼트의 부식으로 인하여 지반 응력이 콘크리트 라이닝에 전달될 가능성이 있다고 보는 경우이다.
	현장 여건으로 인하여 지반변위가 수렴되기 전에 콘크리트 라이닝을 시공하는 경우	주지보 단계에서 변위가 수렴되어야 하나 공정상의 이유로 콘크리트 라이닝을 변위 수렴 전에 시공하는 경우에는 지반압을 지탱하는 구조체로서 설계하여야 한다.
	토피가 작은 토사 지반 등에서 주변환경의 영향을 받기 쉬운 경우	토사 지반 등에서 토피가 작은 경우 지하 공동 구조물이 주변 환경에 영향을 받기 쉬우므로 적절한 상재하중에 의해 역학적 검토가 필요하며, 장차 토피의 경감이 예상되는 경우도 이를 고려하여야 한다.
	운영중 배수시설의 기능 저하로 수압이 걸릴 것으로 예상되는 경우	지하 공동 시공 후 주변 환경 조건에 의해 배수가 불가능해질 가능성이 있는 경우는 정수압을 고려하여 설계한다.
비배수 터널에서의 내압기능	비배수 터널 경우와 같이 완전 방수가 요구되는 경우	비배수 터널에서와 같이 방수쉬트를 사용 완전방수를 실시하는 경우는 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하므로 수압을 고려하여 설계한다.
영구 구조물로서의 내구성 확보 및 미관유지 기능	주지보의 내구성이 우려되는 경우	주지보가 시간의 경과에 따라 강도 저하, 박리, 차량 및 열차 진동, 지진 등으로 내구성이 우려되는 경우 영구 구조물 기능에 비교적 신뢰도가 높은 콘크리트 라이닝을 설계한다.
	유지 관리상 필요한 경우	지하 공동 내의 설비, 전기 등의 유지 관리 또는 미관상 습도 조절 등의 경우에 콘크리트 라이닝을 설계한다.

1.2 콘크리트 라이닝의 재료 및 강도

콘크리트 라이닝의 재료로는 일반적으로 구조용 현장 타설 콘크리트를 사용한다. 다만 콘크리트 라이닝의 역할에 따라 철근으로 보강된 철근 콘크리트 라이닝 또는 무근 콘크리트 라이닝으로 시공할 수 있다. 콘크리트 라이닝은 예상되는 외력(하중)에 대해 안전하도록 설계하여야 한다.

배합 설계에 있어서는 소정의 강도가 얻어지고, 충분한 내구성과 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 하여야 한다.

콘크리트 라이닝의 소요 강도는 지반 특성, 콘크리트 라이닝의 형상, 지보재의 종류 및 라이닝에 작용하는 하중의 유무에 따라 다르지만, 특별한 경우를 제외하고 설계기준 강도로서 재령 28일 강도가 210~240 kg/cm^2 정도를 표준으로 한다. 그러나 경우에 따라서는 그 이상인 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다.

단위 시멘트량, 물 시멘트비, 슬럼프 등의 설계는 상기의 강도 외에 사용 재료 및 시공조건에 따라 다르다. 통상 콘크리트 라이닝에는 보통 포틀랜드 시멘트를 쓰지만 수축 균열을 예방할 목적으로 고로 시멘트 및 중용열 시멘트를 쓰는 경우가 있으므로, 여러 면에서 단위 시멘트량의 적정치를 결정하지 않으면 안된다. 또한 비배수형 터널에서는 방수목적상 수밀 콘크리트를 사용하여야 하며, 이 경우 재령 28일 강도가 270kg/cm^2 이상이 되도록 하여야 한다.

시공법에 대해서는 최근에는 대부분 콘크리트 펌프 등의 기계가 쓰이고 있으나 이 경우 펌프 압송성이 좋은 것으로 한다. 펌프 압송성은 위커빌리티 및 컨시스턴시에 지배되기 때문에 사용 수량과 물 시멘트비를 감안하고, 가능한 한 수화열의 고양을 억제하는 것을 염두에 두고 각 배합 제원을 설계하여야 한다.

조기에 강도를 얻기 위하여 조강 시멘트 및 급결제를 쓰는 일이 있으나 이 경우 콘크리트의 장기 강도 및 콘크리트의 수밀성 확보에 악영향을 미치지 않는가에 대해 충분히 검토해야할 필요가 있다. 또 운반 시간이 길어지는 경우에는 슬럼프 변동이 생겨서 시공성이 나빠지고 양질의 콘크리트가 얻어지지 않을 염려가 있기 때문에 이들 요소도 고려하여 단위 시멘트량, 물 시멘트비, 단위 골재량 및 굵은 골재 최대 치수 등을 결정하여야 한다. 또한 플라이 애쉬 등의 혼화재 및 AE제, 유동화제, 급결제 등의 첨가제를 합리적으로 쓰도록 검토하는 방안도 필요하다.

또한, 콘크리트 라이닝에 쓰이는 골재는 양질이며 내구성 면에서 우수한 것을 쓰고, 염분 및 유기물 등의 유해 성분을 포함하고 있어 콘크리트에 해를 미칠 염려가 있는 경우에는 특별한 대책을 강구하여야 한다.

1.3 콘크리트 라이닝의 형상

일반적으로 콘크리트 라이닝의 형상은 터널 형상에 맞게 설계되어지나, 여기에서는 일반적인 형상의 개념을 설명하고자 한다. 콘크리트 라이닝의 형상은 아치형으로 하는 것이 보통이며, 소요 내공 단면을 포함하여 굴착 단면 형상에 적합하고, 또 지반압 등의 작용 하중에 충분히 견딜 수 있는 것이어야 한다. 따라서 각각의 터널에 콘크리트 라이닝의 목적(공용성, 강도 특성), 시공법 등을 고려하여 검토해야 한다. 그러나 동일한 터널과 동일한 노선 내에서 많은 형상을 이용하는 것은 거푸집의 사용 등 시공상의 편의와 완공 후의 유지 관

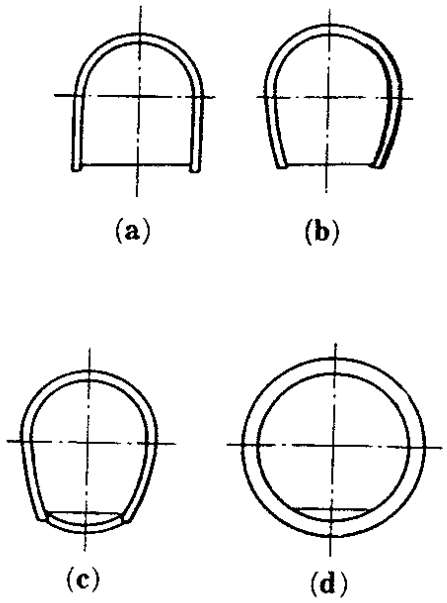
리 등에 부적절하므로 설계 조건의 변화에 따라 어느 정도 변형할 수 있는 형상을 선정하는 것이 바람직하다.

콘크리트 라이닝의 형상을 1심원, 3심원, 5심원 등의 다심원과 직선을 조합하여 아치형으로 설계하는 경우에는 아치로 무리 없이 부드러운 형상이 되게 하기 위해 원, 호, 직선 등이 접속점에서 서로 공통 접선을 가지도록 하는 것이 바람직하다.

급격한 만곡과 모서리, 요철 등의 존재는 아치에 편심 축력이 작용하여 휨모멘트를 증대시키며, 긴 직선부는 그 부분에 작용하는 하중에 의해 휨모멘트를 증가시키기 때문에 이 같은 현상을 피해야 한다.

<그림 606.1>에는 지반 조건이 악화됨에 따라 변하는 순서로 지반 특성과 콘크리트 라이닝 형상 변화와의 관계를 도시하였으며, 약간 곡률이 있는 측벽을 조합하고, 불량한 경우에는 인버트를 설치하는 것이 바람직하다. 지반압이 큰 경우에는 원형에 가까운 단면으로 지보 효과를 높일 필요가 있다.

콘크리트 라이닝의 형상은 환기, 조명 등 부속 설비와의 관계에 대해서도 충분히 고려할 필요가 있다. 또한 작업갱과 연락갱 등과의 접속 부분은 일반 부분과 다른 형상이므로 필요에 따라 보강하여야 한다. 콘크리트 라이닝에 대피소, 전기 설비 등의 수납을 위해 벽 공간을 설치하는 경우에는 콘크리트 라이닝 전체의 기능에 피해를 주지 않도록 주의하여야 한다.



<그림 606.1> 지반 특성에 따른 라이닝 형상

큰 편압을 받는 경우에는 설계 두께를 증가시키거나 철근 콘크리트 등으로 콘크리트 라이닝 강성을 증대시키는 대책을 고려해야 하며, 수동토압이 적절하게 작용하여 전체적으로 좌우의 균형이 유지되도록 인버트 콘크리트를 타설하는 방법 등으로 콘크리트 라이닝이 폐합 단면이 되게 한다. 또한, 갱구부 등에서는 보강 콘크리트를 타설하는 등의 특별한 배려가 필요한 경우도 있다.

1.4 콘크리트 라이닝의 두께

콘크리트 라이닝 두께의 설계에 있어서는 콘크리트 라이닝의 기능상 필요한 두께, 터널 단면의 크기와 형상, 지반조건, 작용하중, 수압, 사용재료, 시공법 등을 고려하여 설계 두께를 결정하여야 한다. 또한 숏크리트 등의 지보재를 설계할 때에는 콘크리트 라이닝의 두

께 확보에 대해 충분한 고려가 필요하다. 특히 숏크리트 등의 시공 오차, 지반압에 의한 터널 변형의 여유량 등을 고려하여 콘크리트 라이닝의 설계 두께가 확보되도록 설계하여야 한다.

지반이 불안정한 경우와 터널 갱구 부근 등을 제외하고는 콘크리트 라이닝의 두께는 굴착 단면적 35m^{2}인 마제형 또는 난형 터널을 기준으로 하여 30cm 정도로 정하는 것을 표준으로 하고 단면적, 지반조건 등 현장여건을 감안하여 두께도 적합하게 증감시켜야 한다.

지반이 나쁜 경우에 인장강도가 작은 무근 콘크리트로 두께를 증가시켜 휨파괴를 방지하는 것은 한계가 있기 때문에 콘크리트 라이닝 두께를 증가시키는 것보다는 콘크리트 라이닝 형상을 역학적으로 유리하게 하고 철근 콘크리트, 섬유 보강 콘크리트 등의 재료를 이용하여 휨강도를 증가시킬 필요가 있다.

철근으로 보강하여야 할 경우에는 시공성을 고려하여 두께를 산정하고 작용하중에 대하여 충분한 구조적 안전성을 보유하도록 설계하여야 한다. 이 경우 시공 이음부에 타설된 콘크리트의 품질을 향상시키고 시공성을 증진시키도록 하는 방안을 강구하여야 한다. 필요에 따라 종방향 철근을 단절시킬 수 있되 단절에 따른 보강조치를 취하여야 한다.

콘크리트 라이닝의 피복 두께는 최소 40mm가 되도록 하는 것이 타당하며, 100mm 이상으로 하는 것은 바람직하지 못하다.

1.4.1 콘크리트 라이닝 두께의 허용량

원론적으로, 구조적으로 콘크리트 라이닝의 요구 단면적을 충족시켜야 하나, 견고한 원지반에 부분적인 돌출이 있는 경우 억지로 따내기를 함으로써 도리어 원지반을 흐트러뜨려 느슨한 하중을 증대시킬 우려가 있을 경우에는 부분적인 설계두께 감소를 인정할 수 있다.

이 허용량에 대해서는 터널의 사용 목적이나 암석의 견고성에 따라서 다르므로 시공 시에는 사전에 정해 두어야 한다. 여기서는 부분적인 돌출에 한하여 설계 두께의 1/3 정도를 허용 한도로 제시하고자 하나, 그 결정에 있어서는 충분한 안정성 검토를 우선적으로 수행하여야 한다.

1.4.2 대단면, 소단면 콘크리트 라이닝의 두께

지하 환기소, 집진기실, 피난갱 및 각종의 연락갱의 환기·방재상 만들어지는 터널은 보통 터널에 비하여 그 크기나 기능이 상당히 다를 때가 있다. 이 때에는 터널 규모에 따라서 필요한 콘크리트 라이닝 설계 두께를 정하여야 한다. 이 때에도 터널의 안정 후에 안전율을 높이는 목적으로 설치하는 콘크리트 라이닝은 원지반 조건이나 터널의 기능을 고려하여 이것을 생략하는 검토가 필요하다. 또 대피갱이나 잠정 시공으로 장래 제거할 예정인 소단면 터널에서는 특별히 문제가 있는 구간을 제외하고는 콘크리트 라이닝을 생략하는 것이 바람직하다.

1.4.3 콘크리트 라이닝에 재하되는 하중

콘크리트 라이닝에 걸리는 하중은 아주 다양하며 지질 상황, 지하수의 상황, 시공법 등에 따라 크게 변화된다. 편압이 작용할 때, 토피가 작은 원지반, 큰 소성토압이 생기는 지반, 팽창성 지반, 수압이 작용하는 지반 등에 대해

서는 별도로 검토하여 설계 두께를 정하여야 한다.

단, 이러한 경우에 필요 이상으로 두께를 크게 하는 것은 굴착 단면이 커지고 하중이 증가하는 등 불리하게 되므로 휨에 강한 철근 콘크리트 구조, 섬유 보강 콘크리트로 하거나 임시 라이닝을 시공하여 안정하게 한 후 본 라이닝을 시공하는 등의 대안 검토가 필요하다. 또한 갱구부의 콘크리트 라이닝에 대해서는 본 편람 '613 갱구부'를 참조하기 바란다.

1.5 인버트 형상 및 설치

인버트의 형상 및 설치는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- 원지반의 특성에 따라 터널 단면 형상과 인버트 설치여부를 결정하여야 한다
- 특수한 지반에서는 인버트의 타설 시기에 대하여도 검토하여야 하며 특히 지반이 불량한 경우에는 숏크리트에 의한 인버트도 고려해야 한다.
- 지형 조건상 편압이 예상되는 경우 또는 콘크리트 라이닝이 구조적인 기능을 발휘하는 경우에는 인버트를 설치하는 것을 원칙으로 한다.
- 인버트는 측벽과 일체가 되어 외력에 안전하게 저항할 수 있는 형상이 되도록 하여야 한다.
- 인버트의 두께는 지형 및 지반조건에 따라 정하여야 하며 시공성 및 경제성 등도 검토하여야 한다.

1.6 균열 방지 대책

일반적으로 콘크리트 라이닝에 발생하는 균열들 중 작용하중으로 인한 인장응력의 증가로 발생되는 균열보다는 건조, 수축 등의 콘크리트 자체의 특성에 따라 주로 균열이 발생된다.

이러한 2차 효과로부터 콘크리트의 인장응력과 인장강도가 같아질 때 균열이 발생하게 되며, 철근 등의 보강을 실시하여도 균열의 발생을 피할 수는 없으나, 적절한 보강으로 균열의 폭과 분포를 통제할 수는 있다.

콘크리트 라이닝에 발생하는 균열의 주된 원인은 아래와 같다.

- 터널내 온도의 변화에 따른 온도신축
- 콘크리트 경화온도 강하에 따른 온도신축
- 터널내 습도의 저하에 의한 건조수축
- 주변의 변화에 따른 추가하중의 증가
- 콘크리트 라이닝의 두께부족
- 슬럼프(slump)가 큰 콘크리트의 타설
- 콘크리트 라이닝과 원지반과의 사이의 공극에 의한 휨모멘트 혹은 편압의 발생
- 하중의 작용
- 숏크리트와 콘크리트 라이닝면이 점접촉되었을 경우, 기건조 수축 등에 의한 인장응력의 발생
- 콘크리트 라이닝 타설시 요철이 심한 숏크리트면에서 방수재가 오목한 부위로 빨려 들어가 크라운 부의 처짐에 의한 콘크리트 라이닝의 두께 부족
- 지하수압의 작용 등

또한, 콘크리트 라이닝에 발생하는 전형적인 균열의 종류들은 아래와 같다.

- 측벽하부에 발생하는 수직균열 : 인버트 슬라브와 아치 사이 시공 이음부의 종방향 온도 변화와 건조, 수축으로 인하여 중앙부에 발생
- 터널 천단부의 중심선을 따라 발생하는 종방향 균열 : 횡방향 온도변화 및 건조, 수축 또는 터널 상부에 라이닝 채움의 부족으로 인한 터널 천단부에 발생
- 불규칙한 균열 : 콘크리트 라이닝의 두께가 균일하지 못한 경우

이들 요인에 의한 균열은 콘크리트 라이닝의 강도 특성을 저하시킴과 동시에 콘크리트의 수밀성을 현저하게 떨어뜨려 누수, 고드름, 동결 융해 등의 원인이 되며, 콘크리트 라이닝의 내구성, 안전성, 공용성 등을 해치게 된다. 따라서, 이와 같은 염려가 있는 경우에는 터널의 사용 목적, 사용 조건, 환경 조건 등을 고려하여 적절한 균열 대책을 강구하여야 한다. 특히 용수가 많은 구간 및 외부 기후의 영향을 받기 쉬운 갱구 부근 및 길이가 짧은 터널에서는 충분한 검토가 필요하다. 일반적으로 균열 방지대책 구간은 터널 입구로부터 50 m 이내로 설치하는 것이 바람직하다.

콘크리트 라이닝의 균열 방지 방법으로 효과적인 대책이 제안되지 못하고 있으나 다만 발생의 정도를 저하시키는 목적으로 다음의 사항들을 들 수 있다.

- 숏크리트와 콘크리트 라이닝의 평활한 접속 (절연)
- 콘크리트 배합시 팽창제의 첨가, 혼합시멘트, 유동화제 등을 첨가하여 수화열과 건조 수축량을 감소
- 콘크리트 라이닝의 타설 순서 조정
- 필요시 누수대책이 고려된 균열유발 줄눈의 설치
- 균열 방지용 철근, 철망배치 및 섬유보강 콘크리트 사용
- 습윤양생 실시

이들 중에서 숏크리트와 콘크리트 라이닝의 절연의 경우, 절연이나 절연공은 방수 시트 및 절연 시트를 붙이는 시공 예가 많으나, 아스팔트 에멀젼, 발포 모르터 등의 절연재의 뿜어붙이기에 의한 것도 시도되고 있다. 또한, 방수시트의 사용은 균열의 방지뿐만 아니라 방수의 효과도 있다.

콘크리트의 품질 개량은 콘크리트에 팽창제, 유동화제 등을 첨가하고 철망을 넣어서 시행하고 있지만, 균열의 발생량을 작게 하는 효과는 인정되었어도 확실성이 부족하므로 사용시에서 충분한 검토가 필요하다.

균열 발생의 위치나 방향을, 미리 설치한 줄눈으로 제어하도록 하는 유발 줄눈은 경제적이고 균열을 적게하는 효과는 있지만, 품질의 개량과 마찬가지로 확실성에는 부족한 면이 있다. 또한, 유발 줄눈으로부터 누수가 문제가 될 염려가 있는 경우에는 줄눈부의 도수공 및 콘크리트 라이닝 배면에 지수 시트 등을 설치하는 것을 검토할 필요가 있다. 이외에도 시공중 고려해야 할 사항들을 살펴보면, 콘크리트의 압축강도가 30kg/cm^2 이상 일 때 거푸집 제거, 터널 내부의 일정한 온도 유지, 통풍금지, 콘크리트 라이닝의 1회 타설 길이(10m 이하) 준수 등이 있다.

606.2 콘크리트 라이닝 해석

2.1 콘크리트 라이닝의 설계

일반적으로 콘크리트 구조물의 설계순서는 구조해석과 단면설계의 순서로 이루어지며, 작용하중이 구조물에 일으키는 응력과 변형을 구조해석으로부터 구하고, 부재단면의 안전을 검토하여 주어진 하중작용에 대해 적합한 단면을 결정하는 것이 설계절차라 할 수 있다. 역학적 성질이 복잡한 콘크리트 라이닝의 응력이나 변형을 단순히 이론에 의해 결정한다는 것은 어려움이 있지만 근래 이에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.

NATM개념의 터널공법에서는 터널 주변의 원지반 및 주지보재를 영구 복합 구조체로 보기 때문에 배수형 터널에서 콘크리트 라이닝은 단지 안전율 향상 및 미관유지 등의 목적으로 시공성 및 실적 등을 감안, 두께를 정하고 있고, 콘크리트 설계법을 이용하여 이들의 구조해석을 실시하게 된다.

따라서 본 편람에서는 콘크리트 라이닝의 설계에 일반적으로 사용되고 있는 허용응력설계법과 극한강도설계법에 관하여 설계자나 시공자의 개념 정립을 목적으로 간략하게 논하였다.

2.1.1 허용응력법

허용응력법은 다음과 같은 세 가지 가정을 전제로 한다.

- 변형은 중립축으로부터의 거리에 비례한다.
- 콘크리트의 탄성계수는 정수이다.
- 콘크리트의 휨인장응력은 무시한다.

이는 철근콘크리트를 탄성체로 보고 탄성이론으로부터 구한 콘크리트의 응력(σ_c)및 철근의 응력(σ_s)이 각각 그 허용응력(σ_{ca} , σ_{sa})을 넘지 않도록 하는 방법이며, 탄성설계법으로 불리우기도 한다.

<표 606.2>와 <표 606.3>은 콘크리트 시방서와 도로교 시방서에 규정되어 있는 콘크리트와 철근의 허용응력을 각각 보여주고 있다. 이 설계법은 탄성이론으로 응력을 해석하기 때문에 철근과 콘크리트의 탄성계수비(n)의 값이 필요하며, 보통골재를 사용한 콘크리트의 탄성계수(E_c)와 철근의 탄성계수(E_s)는 다음 식 (606.1)과 같고, 탄성계수비(n)는 식 (606.2)와 같이 된다. 이렇게 계산된 탄성계수비의 값은 가장 가까운 정수를 취하게 되는데 콘크리트 시방서에서는 <표 606.4>와 같이 나타내고 있다.

$$E_c = 15,000\sqrt{\sigma_{ck}}\ (\mathrm{kg/cm^2})$$
$$E_s = 2,040,000\ (\mathrm{kg/cm^2}) \qquad (606.1)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,040,000}{15,000\sqrt{\sigma_{ck}}} = \frac{136}{\sqrt{\sigma_{ck}}} \qquad (606.2)$$

<표 606.2> 콘크리트와 철근의 허용응력(철근 콘크리트 설계기준, 1999)

응력의 종류	부 재			허 용 응 력 (kg/cm^2)	
				콘크리트 시방서	도로교 시방서
휨압축 응력	휨 부 재			$0.4\,\sigma_{ck}$	$0.4\,\sigma_{ck}$
전단 응력	보	전단철근이 없는 경우		$0.25\sqrt{\sigma_{ck}}$	$0.25\sqrt{\sigma_{ck}}$
		전단철근이 있는 경우		$1.15\sqrt{\sigma_{ck}}$	$1.15\sqrt{\sigma_{ck}}$
	슬래브 및 확대기초	전단철근이 없는 경우	1 방향 작용	$0.25\sqrt{\sigma_{ck}}$	$0.25\sqrt{\sigma_{ck}}$
			2 방향 작용	$0.25(1+2/\beta_c)\sqrt{\sigma_{ck}} \le 0.50\sqrt{\sigma_{ck}}$	$0.46\sqrt{\sigma_{ck}}$
		전단철근이 있는 경우	1 방향 작용	$1.15\sqrt{\sigma_{ck}}$	$1.15\sqrt{\sigma_{ck}}$
			2 방향 작용	$0.75\sqrt{\sigma_{ck}}$	-

여기에서, 1) β_c : 집중하중 또는 반력의 작용면에서 긴 변의 작은변에 대한 비

2) σ_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도

<표 606.3> 철근의 허용응력

허용 인장응력, 허용 압축응력	휨 부 재	$0.5\,\sigma_y$ (단, 1,300~1,800kg/cm^2)
허용 압축응력	압축부재(나선철근 기둥, 띠철근 기둥)	$0.4\,\sigma_y$

주) σ_y : 철근의 항복강도(yield strength)

<표 606.4> 탄성계수비(n)의 값

σ_{ck} (kg/cm^2)	180	210	280	350
n	10	9	8	7

2.1.2 강도설계법

강도설계법은 부재의 파괴상태 또는 파괴에 가까운 상태를 기초로 하는데 이런 상태에 가까이 있는 부재의 강도를 극한강도라 하며, 다음의 가정에 따라 휨과 휨 및 축방향력을 받는 부재의 극한강도를 계산하도록 하고 있다.

- 철근 및 콘크리트의 변형률은 중립축으로부터의 거리에 비례한다.
- 압축측 연단에서 콘크리트의 최대 변형률은 0.003으로 가정한다.
- 항복강도(σ_y)이하에서 철근의 응력(σ_s)은 그 변형률의 E_s 배로 보며, 항복강도에 해당하는 변형률보다 더 큰 변형률에 대해서도 σ_s는 변형률에 관계없이 σ_y와 같다고 가정한다.
- 콘크리트의 인장강도는 휨계산에서 무시한다.
- 콘크리트 압축응력의 분포와 변형률 관계는 직사각형, 사다리꼴, 포물선 또는 기타 어느 형상으로든지 가정할 수 있으나, 적절한 시험에 의해 그 강도를 미리 알 수 있는 것이라야 한다.
- 앞의 사항은 다음에 정의되는 등가 직사각형 응력분포로 생각해도 무관하다. 즉, 콘크리트의 압축응력이 0.85 σ_{ck}로 균등하고, 이 응력이 압축연단으로부터 a = k_1c까지 등분포한다고 가정한다. 여기서, c는 압축연단에서 중립축까지의 거리, k_1은 σ_{ck}가 280kg/cm^{2}까지인 콘크리트에서 0.85이고, 280kg/cm^{2}에서 10kg/cm^2 씩 증가하는 데에 따라 0.85의 값을 0.007씩 감소시켜야 한다(단, $k_1 \geq 0.65$).

구조부재의 가장 중요한 성질은 그 부재의 실제 강도이다. 실제 강도는 구조물의 수명 동안 작용할 예측 가능한 모든 하중에 대하여 파괴나 다른 결함을 유발함이 없이 어느 정도의 여유를 가지고 견딜 수 있는 충분한 크기라야 한다. 그러나 공칭강도(nominal strength)는 실제의 구조부재의 강도와 다를 수도 있다. 작용하는 하중 역시 어떤 범위의 오차를 가지고 예측할 수 있을 뿐이지 작용하중의 정확한 값은 알 수 없다.

그러므로 구조부재가 안전하기 위해서, 공칭강도(S_n)는 강도의 결함을 고려하여 감소계수(ϕ)의 곱으로 감소시켜야 하고, 기준하중(specific load, *L*)은 가능한 초과하중을 고려하여 하중계수(Ⓣ)에 의하여 증가시켜야 한다. 즉, 부재의 공칭강도는 다음의 식 (606.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi S_n \geq \Sigma \gamma_i L_i \qquad (606.3)$$

여기에서,

ϕ : 강도 감소계수

S_n : 공칭강도

L_i : 부재에 동시에 작용하는 여러 하중 가운데 i 번째의 하중

γ_i : L_i의 불확실성의 정도에 따라 정해지는 하중계수

이러한 이론에 근거한 설계방법을 강도설계법(strength design method)이라고 하며, 사용하중(service load)이란 하중계수(Ⓣ)를 곱하기 이전의 하중으로서 작용하중이라고도 하며, 허용응력 설계법에서의 설계하중과 같은 크기의 하중이다.

이제 사용 사하중(service dead load)에 의한

단면력을 D, 사용 활하중(service live load)에 의한 단면력을 L이라 하고, 또 이 하중들에 대한 하중계수를 각각 γ_D , γ_L 이라고 하면, 식 (606.3)은 식 (606.4)와 같이 된다.

$$\Sigma \gamma_i L_i = \gamma_D D + \gamma_L L = U$$
$$\phi S_n \geq U \qquad (606.4)$$

여기서, ϕS_n을 설계강도(design strength), U를 소요강도(required strength)라고 하며, 설계강도가 소요강도보다 크게 되도록 설계하는 것이 강도설계법의 기본개념이다.

ϕ는 안전을 위한 계수이고, ϕ는 응력의 종류, 부재의 중요도, 시공 등에 따라 변화하는 1 보다 작은 값으로서 부재의 공칭강도에 곱해주는 안전계수이다.

또한 γ_i는 하중의 종류와 조합에 따라서 변화하는 1 보다 큰 값으로서 사용하중에 곱해주는 계수이다.

<표 606.5(a)>와 <표 606.5(b)>는 각각 국내 콘크리트 시방서 및 덴마크의 터널설계에서 적용하고 있는 하중계수를 보여주고 있으며, <표 606.6>은 하중계수와 강도 감소계수를 나타내는 표이다.

<표 606.5(a)> 국내 터널설계 하중조합과 하중계수(철근 콘크리트 설계 기준, 1999)

하중 조건	극 한 하 중	
	콘크리트 시방서	ACI 318-83
연직 활하중이 최대하중으로 작용할 경우	1.2D+1.8L+0.6L_S	1.4D+1.7L
지진하중 E가 최대 하중으로 작용할 경우	1.2D+1.6E+(0.6L+0.3L_S)	0.75(1.4D+1.7L+1.87E)
횡토압 H를 포함시켜야 할 경우	1.2D+1.8(L+H)+0.6L_S 0.9D-(1.4W or 1.6E)-1.8H	1.4D+1.7L+1.7H 0.9D+1.7H
유체압력 F를 포함시켜야 할 경우	1.2D+1.4F+1.8L+0.6L_S 0.9D-(1.4W or 1.6E)-1.4F	1.4D+1.7L+1.4F 0.9D+1.4F
변형력 T가 현저한 경우	1.5D+1.3T 1.2D+1.3T+1.8L+0.6L_S	1.4D+1.4T 0.75(1.4D+1.4T+1.7L)

1) L_S : 설하중(雪荷重), 강우하중(降雨荷重) 또는 지붕 활하중.

2) T : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력.

<표 606.5(b)> 덴마크 터널설계 하중조합과 하중계수 (Curtis et al., 1991)

하중 조건	하중 조합		
	가용 한계 상태 (serviceability limit state)	극한 한계 상태 (ultimate limit state)	사고하중 경우 (accidental load case)
구조물의 사하중	1.0	1.4	1.0
지반압과 수압	1.0	1.35	1.0
Imposed Load	1.2	1.6	
차량하중	1.1	1.6	
사고하중 경우			1.0

이와 같이 강도감소계수(ϕ) 및 하중계수(γ_i)

<표 606.6> 강도 감소계수 (Ψ)

부재 또는 하중의 종류		강도 감소계수 (ϕ)
휨부재, 휨과 축방향 인장을 겸해 받는 부재		0.85
축방향 인장부재		0.85
축방향 압축부재, 축방향 압축과 휨을 겸해 받는 부재	나선철근 부재	0.70
	기타의 부재	0.65
전단, 비틀림		0.70
콘크리트의 지압		0.60
압축부재의 안정(장주(長柱) 영향으로 모멘트 확대계수를 고려해야 하는 압축부재)		0.65
무근 콘크리트		0.55

강도 감소계수와 하중계수는 설계강도 이하로 되는 경우가 4/100 정도의 확률로 일어나며 초과하중이 작용하는 경우는 1/1000의 확률로 일어날 것을 목표로 한 것이고, 이것은 구조물의 파괴확률이 1/100,000 정도임을 알 수 있다.

2.1.3 각 설계법의 비교

이상에서 논의한 허용응력설계법과 강도설계법을 비교해 보면 다음과 같은 몇 가지 특징이 있다. 먼저, 허용응력 설계법은 계산이 매우 간편한 장점이 있는 반면에,

- 부재의 강도를 알기 어렵고,
- 파괴에 대한 두 재료의 안전도를 일정하게 하기가 곤란하며,
- 사하중 또는 활하중과 같이 서로 성질이 다른 하중들의 영향을 설계에 반영할 수 없다.

또한 강도설계법은 허용응력 설계법에 비해서 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 파괴에 대한 안전도의 확보가 확실하고,
- 하중계수에 의하여 하중의 특성을 설계에 반영할 수 있는 장점이 있으나, 서로 다른 재료의 특성을 설계에 합리적으로 반영하기 어렵고, 사용성의 확보를 위해서는 별도로 검토해야 하는 단점이 있다.

2.2 콘크리트 라이닝 설계 기준

2.2.1 콘크리트 라이닝의 설계하중 및 하중조합

일반적으로 콘크리트 라이닝의 설계는 구조해석을 위한 해석모델, 적용하중의 크기 및 조합, 입력특성치의 결정 등 공학적 판단에 의해 영향을 받으므로 특정한 구조해석 자체가 명쾌한 수단이 될 수 없는 경우가 많다.

콘크리트 라이닝의 구조해석시에 적용하는 토압에 대해서는 일반적으로 지반자체의 지보능력을 고려한 작용토압을 적용하는 것이 합리적이다. 그러나 작용토압의 유무는 지반조건에 따라 다르고, 지반이 양호할 경우는 발생하지

않게 됨을 주지하여야 한다. 해석에 있어서는 발생가능한 다양한 하중조합을 적용하여 상황에 가장 근접한 결과를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

일반적으로 터널의 형식에 따라 콘크리트 라이닝의 설계방법이 달라진다. 즉, 배수형 터널의 경우, 강지보재, 숏크리트, 록볼트 등으로 구성된 주지보재를 영구 지보재로 간주할 경우에는 모든 지반하중을 주지보재가 지탱하도록 하고 지반내의 지하수는 터널 배수구를 통해 배수함으로써 콘크리트 라이닝은 자중외에는 외력을 받지 않는 구조물로 설계된다. 반면 비배수형 터널은 지반 하중에 대해서는 배수형 터널과 동일하나 지하수 배출이 차단됨으로서 발생하는 수압을 콘크리트 라이닝이 견디도록 설계한다.

(1) 콘크리트 라이닝 설계시 고려해야할 하중

콘크리트 라이닝 설계시 고려해야할 하중들은 다음과 같다.

① 콘크리트 라이닝의 자중(사하중)
② 도로, 철도 및 기타 터널에 영향을 미치는 모든 차량 하중(활하중)
③ 토압 하중
터널의 지반조건 및 시공법 등에 따라 지반자체의 지보능력을 고려하여 토압하중을 산정하는 경우와 전 토피하중(최고와 최저 지하수위를 고려한)에 해당하는 토압하중을 고려하는 경우가 있다.
④ 수 압
비배수형 터널의 경우 최고와 최저 지하수위를 고려한 정수압을 산정한다.
⑤ 건물 하중 등

(2) 배수형 터널에서의 설계 하중조합

배수형 터널에서의 설계 하중조합 예들은 다음과 같다.

① 하중조합 1 : 콘크리트 라이닝의 자중
② 하중조합 2 : 콘크리트 라이닝의 자중 + 지반 자체 지지력을 고려한 토압 + 활하중 + 건물하중
③ 하중조합 3 : 콘크리트 라이닝의 자중 + 활하중 + 건물하중 + 전 토피하중(지반 자체의 지지력 미고려)

(3) 비배수형 터널에서의 설계 하중조합

NATM개념의 터널공법의 비배수형 터널에 대한 하중조합 설계 사례를 제 2기 서울지하철 터널 설계 및 시공관리 종합보고서에 제시된 방법을 중심으로 살펴보면 다음과 같다. 단, 여기에 언급한 내용은 하나의 사례임을 주지할 필요가 있다.

① 하중조합 1 : 콘크리트 라이닝의 자중
② 하중조합 2 : 콘크리트 라이닝의 자중 + 최고 및 최저 수위시의 정수압 (단, 하중조합 2는 주지보재가 제기능을 발휘하는 것으로 가정)
③ 하중조합 3a : 콘크리트 라이닝의 자중 + 지반 자체 지지력을 고려한 토압 + 활하중 + 최고 수위시의 정수압 + 건물하중
하중조합 3b : 콘크리트 라이닝의 자중 + 지반 자체 지지력을 고려한 토압 + 활하중 + 최저 수위시의 정수압 + 건물하중
④ 하중조합 4a : 콘크리트 라이닝의 자중 + 최고 지하수위시의 정수압 + 전 토피

하중 + 활하중 + 건물하중

하중조합 4b : 콘크리트 라이닝의 자중 + 최저 지하수위시의 정수압 + 전 토피하중 + 활하중 + 건물하중 (단, 하중조합 4a는 가장 불리한 가정조건으로 단면결정시 안전율을 감소시켜 적용)

2.2.2 콘크리트 라이닝의 작용수압

(1) 배수조건에 따른 수압의 크기

비배수형 터널에서의 수압에 대한 기존 연구결과들에 의하면 지반압과는 대조적으로 작용수압은 압력의 손실 없이 전체수두(full hydraulic head)가 작용하며, 하중작용면에 대하여 수직방향으로 모든 점에 일정한 정수두(hydrostatic head)가 작용하는 것으로 보고되어 있다(K. Szechy, 1973).

따라서 비배수형 터널은 전체 지하수위를 고려한 정수압을 적용하며, 터널이 불투수층 내에 위치하는 경우, 이 층은 함수층에 의해 누중 되어지며, 이때 배수형식에 무관하게 터널 단면에는 수압이 작용하지 않으나 전체 작용하중은 함수층의 중량을 고려해야 한다. 그리고 지하수는 직접적인 외부하중 외에도 2차 효과를 가지고 있는데 지반 또는 암반의 포화는 고유의 강도를 저하시켜 응력 - 이완 (stress - released)을 발생시키며, 따라서 터널에 작용하는 하중은 지반 또는 암반의 포화된 중량(W_{sat})을 고려해야 할 경우가 있다.

참고로 콘크리트 라이닝이 주지보재인 재래식터널공법으로 시공한 터널에서 정수압과 콘크리트 라이닝과의 관계는 라이닝의 두께와 터널 반경과의 관계를 이용하여 라이닝에 작용하는 응력을 다음과 같이 제시하였다(Dep. of ARMY Corps. of Engineers, 1978).

라이닝 두께(t)가 반경(R)의 1/10 보다 적거나 같은 경우(thin well)는,

$$\sigma_{conc.L} = -\frac{(P \times R)}{t} \quad (kg/cm^2) \qquad (606.5)$$

이며, 여기서 P는 외부수압, R은 라이닝의 중심선까지의 터널 반경이다.

또한 라이닝 두께(t)가 반경(R)의 1/10 보다 큰 경우(thick well)는,

$$\sigma_{conc.L} = -\frac{PR_2^2(R_1^2 + R^2)}{r^2(R_2^2 - r_1^2)} \quad (kg/cm^2) \qquad (606.6)$$

가 되며, 여기서 R_1과 R_2는 각각 라이닝의 내부 및 외부 반경이고 r은 라이닝 내부의 임의의 위치이다.

(2) 지반상태와 작용수압 연구 사례

T. D. O'Rourke(1984)는 토사지반과 암반중의 터널에 대하여 각각 라이닝에 작용하는 수압설계 개념을 다음과 같이 제시하고 있다. 먼저, 투수성이 양호한 사질토 및 사력토 등의 지반에서 터널이 지하수위 하부에 위치하는 경우, 라이닝의 설계는 지반의 유효응력과 전체 정수압을 모두 고려해야 하며, 비교적 불투수성 지반에 밀착된 라이닝의 경우는 전응력 상태로 휨모멘트와 축력을 계산할 수 있다.

그러나 대부분의 암반내 터널에서는 압력 주입으로부터 지하수의 유입경로들을 밀폐시켜 유입수량을 감소시키고, 수압과 접촉하는 영역을 감소시킬 수 있으므로 전체 외부 정수압을 지지할 필요가 없음을 제안하였다.

또한 국내 터널시공 자료에 의하면, 설계시 이론적으로 전 수압을 적용하지만 실제 계측결

과 모래층에서는 이론수압(정수압)이 작용하고, 모래질 점토층에서는 이론수압의 80% 정도가 작용하였음을 발표한 바 있다.

607
터 널 해 석

607.1 해석 일반

터널 해석의 목적은 터널 건설에 따른 주변 지반의 거동과 주변시설물에 미치는 영향 및 지보재의 안정성을 사전에 검토하는 데 있다. 특히, 해석결과의 분석과 적용에 있어서는 실제의 시공실적 및 경험 등이 반영되어 단순히 해석결과에만 의존하는 설계가 되지 않도록 주의하여야 한다. 또한, 터널 해석시 지반조건, 지하수조건, 터널의 형상, 시공방법 및 터널 주변지반의 지보능력을 고려하여야 하며 해석기법은 2차원 해석이나 3차원 해석을 채택할 수 있다. 2차원 해석을 실시할 경우에는 터널 굴착에 의한 3차원적 지반거동을 고려할 수 있는 방법을 모색하여야 한다.

특히, 터널의 분기부, 환기구 및 수직구와의 접합부 등 터널의 거동이 뚜렷하게 3차원적으로 발생하여 2차원적으로 해석하기 어려운 경우에는 3차원 해석을 실시하여 지반거동을 분석할 수도 있다.

1.1 해석 수행시 기본적 고려사항

터널 해석영역은 터널 굴착에 따른 영향을 충분히 파악할 수 있는 범위로 설정하여야 하며, 해석모델은 단계별 굴착의 영향이 포함되도록 하되 터널 측면은 경계요소, 무한요소 등의 탄성경계조건을 부여하는 경우를 제외하고는 터널 굴착폭의 3배 이상, 하부는 터널 높이의 2배 이상, 상부는 지표까지를 모델화시키는 것을 표준으로 한다. 단, 상부 토피가 매우 큰 경우에는 상부 지반조건의 영향이 포함될 수 있도록 별도의 모델을 적용할 수 있다.

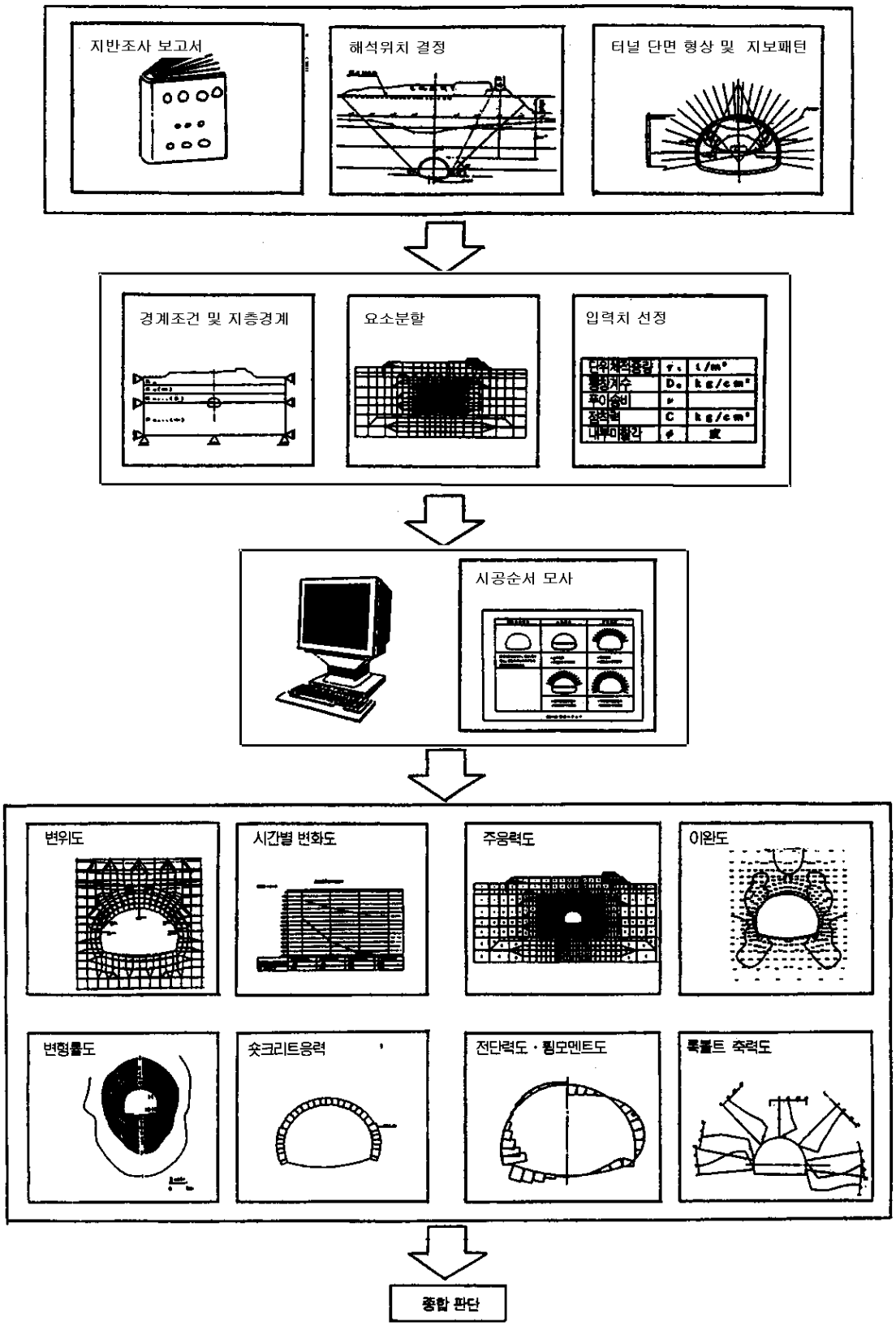
또한, 해석시 사용하는 지반 특성치는 해당 지반의 시험결과를 사용하는 것을 원칙으로 하되 공사의 규모 또는 현장 여건상 시험결과를 얻을 수 없는 경우에는 유사지반의 지반 특성치를 아주 제한적으로 준용할 수 있다. 이 경우에는 경험이 풍부한 기술자의 판단에 의해 지반 특성치들을 결정하여야 한다.

1.2 해석 프로그램의 제한사항

터널 해석에 사용되는 프로그램은 그 적합성이 확인된 것으로써 지반의 거동을 적절히 해석할 수 있는 기능을 보유한 프로그램이어야 하며 굴착단계에 따른 지반, 지보재의 변형 및 응력변화를 계산하여 터널 설계에 반영할 수 있는 프로그램을 사용하여야 한다.

1.3 일반적인 터널해석 순서

터널 굴착에 대한 해석은 일반적으로 <그림 607.1>과 같이 사전조사, 모델링, 계산, 결과출력 및 종합적인 평가의 순서로 이루어진다. 사전조사에서는 지질 조사 자료 및 터널 설계 단면, 시공법 등의 관계 자료를 바탕으로 해석



<그림 607.1> 일반적인 터널해석 순서

모델과 물성값이 설정되어 계산이 실행된다. 해석 결과로서는 지반변위 및 터널의 내공변위, 지보부재의 응력, 축력 및 모멘트 등의 수치 및 분포가 얻어지며, 지반의 거동 예측, 지보패턴의 타당성 등의 항목에 대해 검토가 이루어진다.

607.2 해석 방법

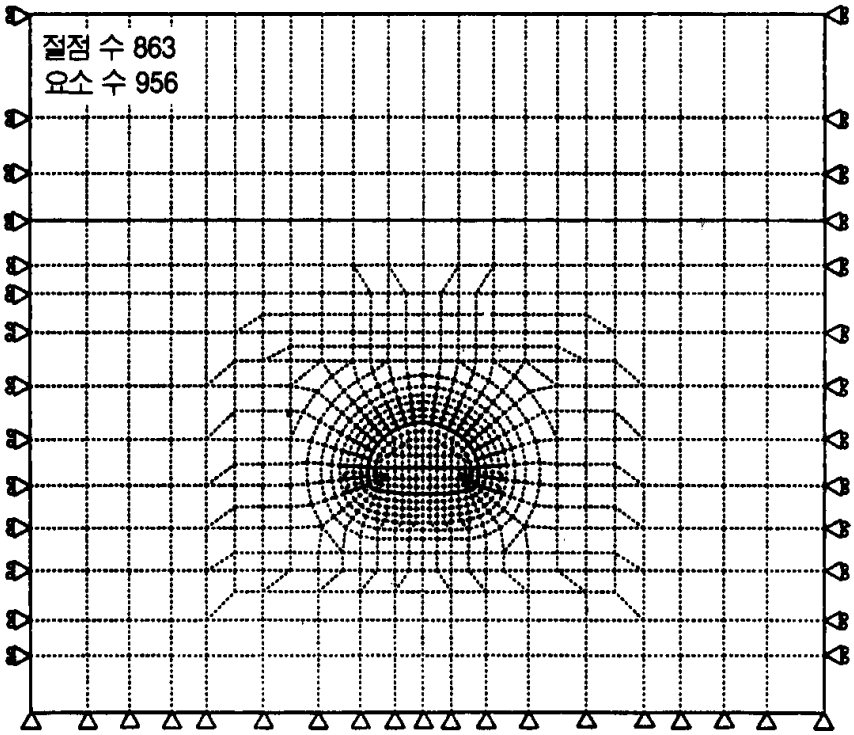
컴퓨터 및 수치해석 기법의 발달로 수치 실험적인 기법이 터널 설계에 도입되고 있으며, 특히 유한요소해석 기법이 발달함에 따라 종래의 이론해(closed form solution)로 해결할 수 없었던 매우 복잡한 해석조건에 대한 해석이 가능하게 되었다. 또한, 탄소성 모델, 점탄성 모델 등 보다 진보된 지반 구성 모델의 개발과 함께 매우 복잡한 경계조건 뿐만 아니라 지반의 이방성(anisotropy), 불균질성(heterogeneity), 비선형성(non-linearity), 불연속성(discontinuity) 등 재료 특성에 대한 해석도 가능하다. 아울러 시공과정에 대한 모사(simulation)도 가능하기 때문에 종래에는 예측이 불가능했던 터널의 거동특성도 예측이 가능하다는 이점이 있다.

일반적으로 터널 해석에 적용되는 수치해석 기법은 크게 연속체 모델, 불연속체 모델 등 두 가지로 나누어지는데, 유한요소법(finite element method), 유한차분법(finite difference method), 경계요소법(boundary element method), 개별요소법(distinct element method) 등이 여기에 속한다.

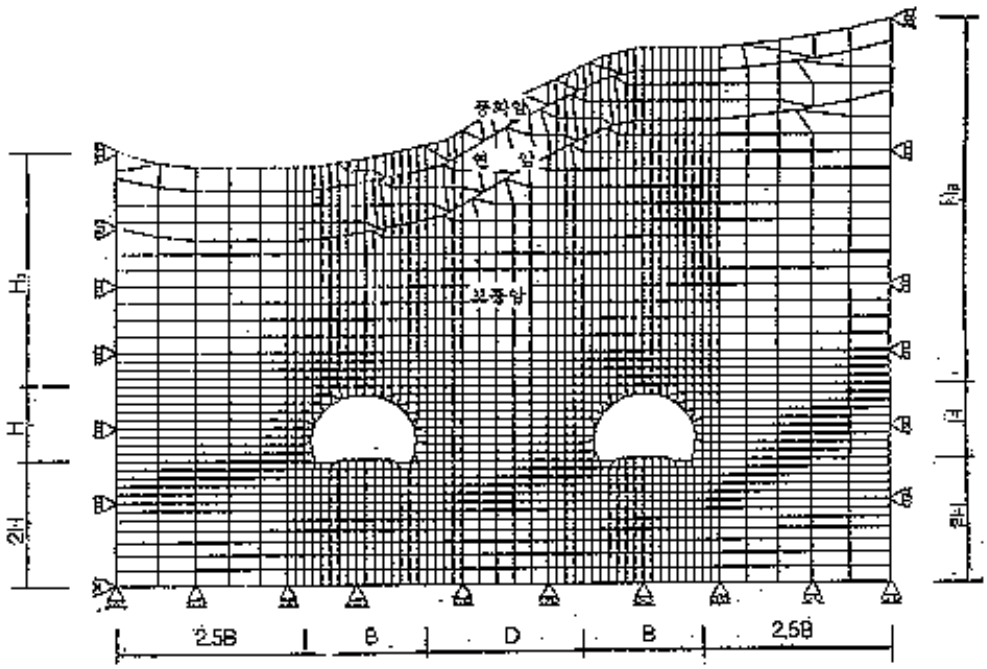
2.1 유한요소법

유한요소법은 연속체 역학에 기초하고 있는데, 지반을 가상의 유한개 요소로 분할하고, 각 요소는 절점으로 연결되어 있다고 가정하는 기법이다. 각 요소는 그 크기가 기하학적으로 정의·한정되며, 응력-변형 관계는 구성방정식(constitutive law)을 따르고, 미지수는 음해법(implicit approach)으로 풀게된다. 각 요소의 강성행렬을 조합하여 전체의 행렬을 만들고 이를 풀게됨으로서 해가 얻어진다. 한 요소에서의 응력, 변형 및 변위 등은 인접 요소로 절점을 통하여 영향을 미치며, 불연속면 등은 개별적으로 고려할 수도 있다. 이러한 유한요소법의 장점으로는 아주 복잡한 지반조건이나 터널상태를 해석할 수 있고, 구성방정식의 복잡성, 재료의 불균질성을 해석할 수 있으며, 또한 터널 굴진 영향이나 시간 의존성(time dependency) 등을 고려할 수 있다는 점이다. 그러나, 단점으로는 복잡한 문제를 해석하는 경우 많은 계산시간과 저장량이 요구되고, 이용자는 컴퓨터에 대한 상당한 지식이 필요하며, 또한, 혼합모델(hybrid model)이 아닌 경우, 인위적인 경계조건을 정의하여야 하기 때문에 결과가 경계조건의 설정에 영향을 받게 된다. <그림 607.2(a)>는 이러한 유한요소법의 요소망 구성에 대한 예를 보여주고 있다.

국내에 도입되어 많이 사용되고 있는 유한요소해석 프로그램으로는 PLASTO(일본), MISES 3(오스트리아), TAFEM(한국), GEOKST(한국), SNU-VEA(한국), ADINA(미국), TUNA, SMAP 2-D와 3-D(미국), 2D-□와 3D-□(일본), PENTAGON 2-D와 3-D(한국), DIANA(네덜란드) 등을 들 수 있으며, 이외에도 학술적인 목적으로 자체 개발하거나 외국에서 도입된 프로그램들도 다수 있는 것으로 보고되어 있다. 각 프로그램별로 특징과 적용의 한계성이 있으므로 해당 문제 해결을 위해 적절한 프로그램을



(a) 유한 요소법



(b) 유한 차분법

<그림 607.2> 유한요소 및 유한차분법 요소망 예

선정하여 사용하여야 한다.

2.2 유한차분법

유한차분법의 요소망은 기본적으로 유한요소법과 유사하나 미지수를 푸는 방법이 양해법(explicit approach)이라는 점이 다르다. 양해법은 뉴톤(Newton)의 운동법칙과 재료의 구성방정식으로부터의 가속도에서 시간간격(time step)으로 속도를 구하고 그로부터 변형을 구하게 된다.

따라서 유한요소 해석에서 필요한 행렬(matrix)이 불필요하며 동적 해석에 매우 유효하다. 이러한 유한차분법의 장점은 양해법을 사용하기 때문에 단계별 해석이 가능하고, 또한, 행렬을 형성할 필요가 없기 때문에 계산시간이 짧고 저장용량이 적게 요구되며, 큰 변위를 해석할 수 있으며, 동적해석에 유효하다. 반면, 단점으로는 정적인 문제의 경우 다른 기법에 비하여 많은 계산시간이 요구된다.

국내에서 주로 많이 사용되고 있는 유한차분법의 해석 프로그램은 대표적으로 FLAC 2-D와 3-D(미국) 등을 들 수 있다. 이러한 유한차분법의 요소망에 대한 예를 <그림 607.2(b)>에 제시하였다.

2.3 경계요소법

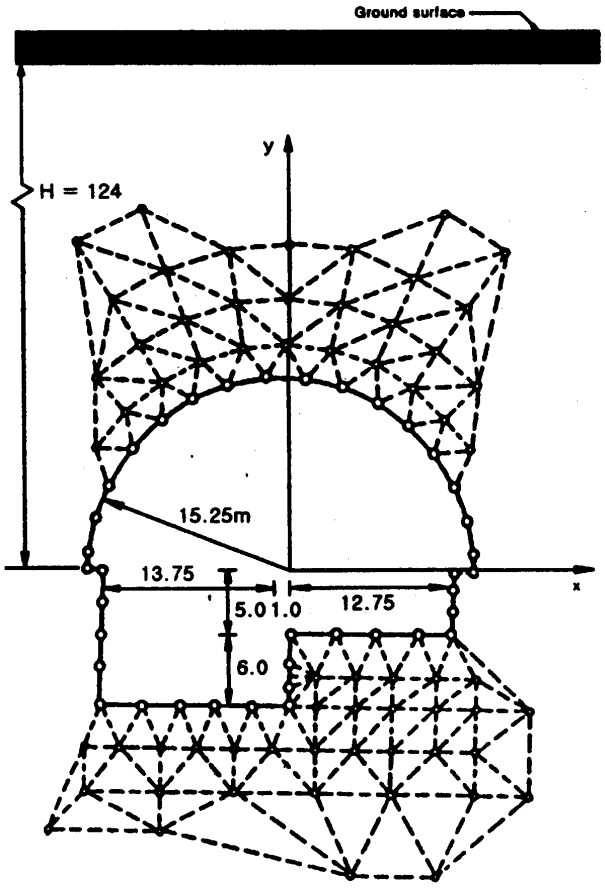
경계요소법은 유한요소법이나 유한차분법과 마찬가지로 지반을 연속체로 간주하며, 다음과 같은 점에서 유한요소법이나 유한차분법과 차이가 있다. 첫째, 경계에 해당하는 부분에 대해서만 이산화가 요구되며 이러한 경계부분에서만 수치연산이 행해진다는 점이며, 둘째는 유한요소법이나 유한차분법과는 다르게 문제의 해는 편미분방정식을 적분함으로써 구해진다는 점이다. 즉 경계의 안쪽에 위치하는 매체는 선형 편미분방정식(partial differential equation)으로 표현되며, 따라서 근사적인 정식화가 이루어진다.

이 방법의 장점으로는 풀어야 될 방정식의 수가 유한요소법에 비하여 적기 때문에 계산시간이 적게 소요되고, 입력과 출력이 용이하며, 또한, 정의된 경계가 가장 큰 관심사일 경우 경계요소법은 아주 경제적이고 효과적이다. 반면에, 단점으로는 대부분의 경계요소 프로그램은 지반을 선형(linear)거동의 재료로 고려하며, 또한, 복잡한 건설공정이나 재료의 시간의존 특성 등을 쉽게 고려할 수 없다.

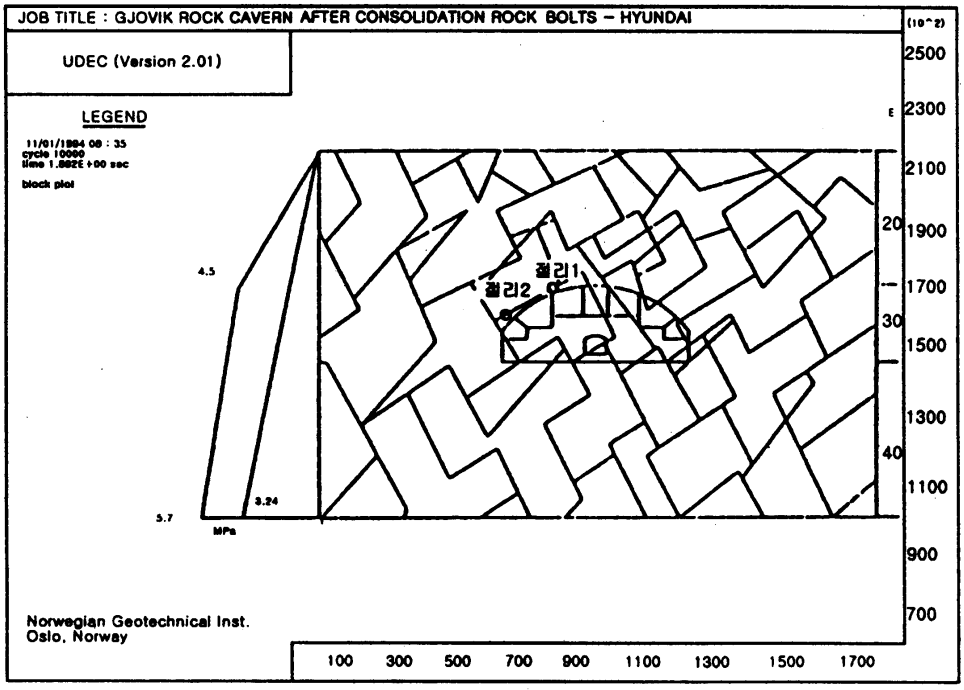
<그림 607.3>은 경계요소법의 예를 보여주고 있으며, 일번적으로 상용화된 프로그램보다는 학술적인 목적으로 사용되는 프로그램이 대다수를 차지하고 있다.

2.4 개별요소법

개별요소법은 전술한 방법과는 달리 지반을 연속체로 보지 않고 개개의 강성블록으로 모델링하며, 절리에서의 변위가 블록 자체의 변형보다 월등히 큰 경우에 효과적으로 적용할 수 있다. 즉, 터널 굴진시의 지반변위는 절리 등의 불연속면을 통해서만 발생하고 암반블록은 전혀 변형이 되지 않는다고 가정한다. 따라서 암반블록의 변위가 극히 적고, 전체 암반의 변위가 절리면 변위에 지배되는 경암반 터널 등의 해석에 유효하게 적용될 수 있다. 이 방법은 절리에 작용하는 점중력을 계산함으로서 시작되며, 각 암반블록의 가속도를 적분하여 암반블록의 새로운 위치 및 방위가 결정되고, 이



<그림 607.3> 경계요소법 요소망 예



<그림 607.4> 개별요소법 요소망 예(노르웨이 요빅경기장, 1992)

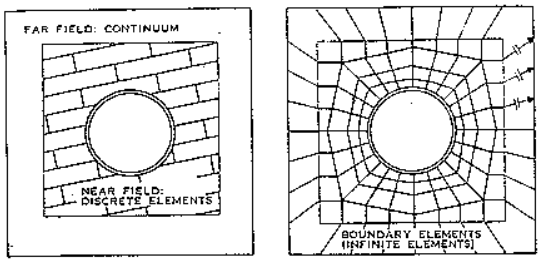
새로운 절리에 대하여 새로운 점중력이 계산되고 이를 반복하여 결과를 도출한다.

개별요소법의 장점으로는 경암반 터널에서 큰 암반블록을 대상으로 할 때 유효하며, 다른 연속체 모델에 비하여 암반블록의 큰 변위(large displacement)를 모델링하는데 적합하다. 반면에 단점으로는 절리의 방위나 위치를 입력해야 하는데, 터널 굴착전에 이러한 정보를 쉽게 얻기가 어렵고, 또한, 절리의 표면특성 및 강도 특성 등을 결정하기가 곤란하다는 문제가 있다.

국내에서 사용되고 있는 개별요소법 프로그램은 UDEC, 3-DEC(미국), NURBM(미국) 등이 있으며, 최근에는 2차원뿐만 아니라 3차원 문제를 해석할 수 있도록 개발되고 있다. <그림 607.4>는 개별요소법 요소망의 예로서 랜덤형 절리를 고려한 스웨덴의 요빅 경기장의 해석 모델이다.

2.5 혼합법

전술한 바와 같이 각 수치해석 방법은 각기 장·단점을 가지고 있기 때문에 최근에는 각 방법의 장점을 고려하여 다음 예와 같이 혼합법(hybrid model)을 적용하는 경우도 많아지고 있다. <그림 607.5>는 유한요소법과 개별요소법을 혼합한 방식을 보여주고 있으며, 주변 지반과 라이닝의 거동을 동시에 고려할 수 있도록 하기 위해 유한요소법과 보요소법을 혼합하는 경우도 볼 수 있다. 해석 대상의 특성에 따라 이러한 혼합방법을 적용하는 것이 유리한 경우가 있기 때문에 설계자의 충분한 검토에 의하여 이러한 방법을 선별적으로 사용할 수 있다.



<그림 607.5> 개별요소법과 유한요소법 혼합예

607.3 지반 및 지보재 모델링

3.1 지반 모델링

유한요소법 혹은 유한차분법 등의 연속체역학에 근거한 수치해석기법을 이용하여 터널 및 주변 지반의 거동을 해석할 경우, 해석 결과의 신뢰성은 터널의 기하학적 형상 혹은 경계조건이 적절히 모델링에 반영되었다고 가정할 때, 해석에서 적용된 지반의 응력-변형 관계를 표현하는 구성방정식(constitutive law)의 타당성에 좌우된다. 구성방정식이란 재료의 외력에 대한 응력-변형 관계를 수학적으로 표현한 것이라고 할 수 있는데 해석 모델링에서는 대상 지반의 종류 및 하중조건에 따라 재료 모델화가 적절히 이루어져야 한다.

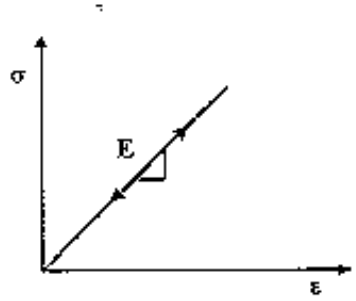
3.1.1 선형 탄성 모델

선형 탄성모델(linear elastic model)에서는 응력-변형율 관계가 일반화된 Hooke의 법칙을 따른다고 간주한다.

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

<그림 607.6>에서 보는 바와 같이 응력-변형

율 관계가 직선적으로 표현되는 경우를 말한다. 선형 탄성모델에서 필요한 재료상수는 탄성계수(E)와 포아송비(ν)이다.



<그림 607.6> 선형 탄성 응력-변형율 관계

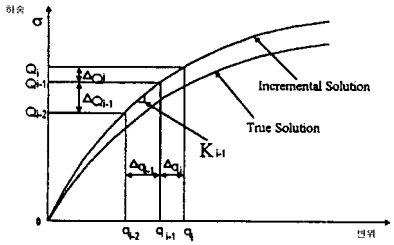
3.1.2 비선형 탄성모델

일반적으로 지반의 응력-변형율 관계는 비선형성을 나타내기 때문에 선형 탄성모델이 적합하지 않은 경우가 있다.

비선형 탄성모델의 대표적인 모델로는 Duncan-Chang Hyperbolic 모델을 들 수 있는데, 이 모델은 지반의 탄성계수는 외력에 의해 지반 내부에 발생하는 응력 수준에 따라 변화한다는데 근거를 두고 있다. 이 모델을 적용하는데 있어서는 지반의 비선형 거동을 부분 선형탄성(piecewise linear elastic)거동으로 근사화하는 하중 증분법(incremental method)을 이용한다(<그림 607.7> 참조). 즉 각 하중 재하단계에서 지반은 선형 탄성거동을 따른다고 가정하되 응력 수준에 따라 결정되는 접선탄성계수(tangential modulus)가 적용되며, 각 하중재하단계에서 응력 증분은 아래와 같은 접선탄성계수를 통해 변형 증분과 연계된다.

$$E_t = \left(1 - \frac{R_f(1-\sin\phi)(\sigma_1-\sigma_3)}{2c\cos\phi + 2\sigma_3\sin\phi}\right)^2 KP_a\left(\frac{\sigma_3}{P_a}\right)^n \quad (607.1)$$

여기서, R_f는 극한 편차응력과 파괴시의 편차응력의 비로 정의되는 재료상수이고 일반적으로 0.7 ~ 1.0의 값을 가지며, P_a는 대기압, 그리고 K와 n은 삼축압축시험 결과로부터 결정되는 지반의 재료상수이다.

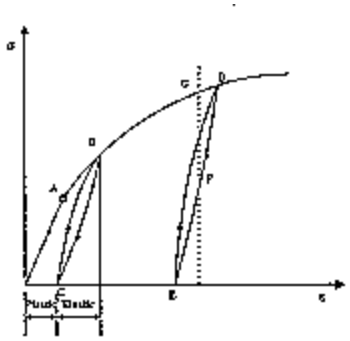


<그림 607.7> 하중 증분법

3.1.3 탄소성 모델

어떤 물체에 외력이 작용하면 응력과 변형이 발생하게 되는데, 외력을 제거하였을 경우 물체에 발생한 변형의 일부는 회복되나 나머지는 그대로 잔존하게 된다. <그림 607.8>에서 보이는 바와 같이 회복 가능한 변형을 탄성변형이라고 하며, 이와는 반대로 회복 불가능한 변형을 소성변형이라고 하는데 이와 같이 재료의 변형을 탄성 및 소성 변형으로 표현하는 모델을 탄소성 모델이라고 한다. 탄소성 모델에서는 재료의 응력수준이 항복점에 도달하기 전까지의 거동은 탄성모델로서 모사되나, 항복점에 도달한 이후의 거동은 소성거동을 따르는 것으로 가정된다. 따라서 탄소성모델을 적용하기 위해서는 항복이 시작되는 응력수준을 결정하는 항복규준(yield criteria)과 항복 후 거동을

모사하기 위한 유동법칙(flow rule)이 필요하다.



<그림 607.8> 탄소성 응력-변형율 관계

(1) 항복규준

항복규준은 응력 상태의 조합으로 표현되는 탄성 변형의 한계로 정의된다. 이러한 항복규준은 아래와 같은 형태의 항복면의 방정식으로 표현된다.

$$f(\sigma) = f(J_1, J_2, J_3) = 0 \qquad (607.2)$$

여기서, J_1, J_2, J_3는 응력 불변량이다. 만약 f< 0 이면 재료는 탄성 영역 내에 있으며, f≥0 이면 재료는 소성상태에 있게 되며, 소성이론을 토대로 소성변형이 결정된다. 지금까지 지반에 적용 가능한 많은 항복규준이 개발되어 왔으나 Mohr-Coulomb, Drucker-Prager, Hoek-Brown 등의 항복규준이 터널 해석에 많이 적용되고 있다.

① Mohr-Coulomb 항복규준

Mohr-Coulomb 항복규준에 따르면 지반의 전단강도는 항복면에서의 연직응력이 증가함에 따라 증가하며 식 (607.3)과 같이 표현된다.

$$\tau = c + \sigma \tan\phi \qquad (607.3)$$

여기서, τ는 항복면에서의 전단응력, c는 재료의 점착력, σ는 항복면에서의 연직응력, 그리고 Ψ는 재료의 내부 마찰각이다.

Mohr-Coulomb 항복규준을 응력 불변량으로 표현하고, 이를 식 (607.2)에서의 항복규준으로 표현하여 재료의 항복여부를 결정하게 된다. 그러나 이 항복규준은 중간 주응력을 고려할 수 없다는 단점을 안고 있다.

② Drucker-Prager 항복규준

Drucker와 Prager는 응력 불변량을 이용하여 모든 주응력 효과를 고려한 수정된 Mohr-Coulomb 항복규준을 제안하였으며, 이는 식 (607.4)와 같은 함수로 표현된다.

$$f = \sqrt{J_{2D}} - \alpha J_1 - k \qquad (607.4)$$

여기서, α와 k는 양의 값을 갖는 재료상수이며, J_1은 응력의 1차 불변량, J_{2D}는 편차 응력의 2차 불변량이다. Drucker-Prager 항복 규준에서 필요한 두 재료상수 α와 k는 J_1-J_{2D}평면에 도시된 Drucker-Prager 모델의 파괴 포락선의 절편 및 기울기를 의미하며 삼축 압축시험을 통해 얻어지는 점착력 c와 내부마찰각 Ψ를 이용하여 아래와 같은 식으로 표현된다.

- 삼축 압축상태

$$\alpha = \frac{2\sin\psi}{\sqrt{3}(3-\sin\psi)} \quad , k = \frac{6c\cos\psi}{\sqrt{3}(3-\sin\psi)} \qquad (607.5)$$

- 평면변형상태

$$\alpha = \frac{\tan\psi}{\sqrt{9+12\tan^2\psi}} \quad , k = \frac{3c}{\sqrt{9+12\tan^2\psi)}} \qquad (607.6)$$

증분 소성이론에서는 전술한 Mohr-Coulomb

및 Drucker-Prager 이론은 항복규준으로 사용되며, 이는 직교(normality) 및 유동 법칙과 함께 증분 응력-변형율 관계를 유도하는데 적용된다.

③ Hoek-Brown 항복규준

본 모델은 최근 많이 적용되고 있는 암석의 경험적인 파괴 규준으로서 Griffith 균열 발생 항복규준에 기반을 두고 있으며, 다양한 범위의 강도를 갖는 암석에 적용시켜 얻어진 결과를 이용하여 경험적인 방법으로 개발된 모델이다.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{mC_o\sigma_3 + sC_o^2} \qquad (607.7)$$

여기서, σ_1은 최대 주응력, σ_3는 최소 주응력, C_o는 암석의 일축압축강도, m은 경험상수(0.001 : 매우 교란된 암반 ~ 25 : 경암), s도 역시 경험상수(0 : 절리가 발달된 암반 ~ 1 : 무결암)를 사용한다.

Hoek과 Brown(1988)은 암석을 다섯 종류와 여섯 가지의 암반공학적 특성으로 분류하고, 흩트러진 및 흩트러지지 않은 암석에 대해 m 및 s의 30가지 종류를 제시하였다. 또한, Bieniawski(1973)의 RMR과 m 및 s의 관계를 다음과 같이 제시하였다.

$$m = m_i \exp\left(\frac{RMR-100}{14} I_m\right) \qquad (607.8)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR-100}{6I_s}\right) \qquad (607.9)$$

여기서, m_i는 암편의 m 값(RMR=100), I_m은 1(흩트러지지 않은 암반), 2(흩트러진 암반), I_s는 1(흩트러지지 않은 암반), 2(흩트러진 암반)을 나타낸다.

Hoek과 Brown(1988)은 또한 본 규준을 적용하는 범위에 제한을 두고 있는데, 대상 암반이 4개 이상의 불연속면을 포함하고 한 세트의 불연속면이 다른 것들보다 현저히 약하다면 이러한 암반은 이방성이므로 본 규준을 적용시킬 수 없다고 지적하였다.

(2) 유동법칙

재료의 응력상태가 항복규준에 도달하면 재료에는 소성변형이 발생한다. 이러한 소성변형의 발생을 소성 유동(plastic flow)이라고 한다. 소성이론에서 소성 변형벡터의 방향은 소성 포텐셜 함수에 의한 유동법칙을 통해 정의된다.

유동법칙은 소성 포텐셜 함수(Q)를 정의하는 방법에 따라 조합(associated) 및 비조합(non-associated) 유동 법칙으로 나눌 수 있는데 소성 포텐셜 함수를 항복함수(f)로 취하는 경우 조합 유동법칙이라 하며, 소성 포텐셜 함수와는 다른 항복 함수를 취하는 경우 비조합 유동법칙이라 한다.

일반적으로 대부분의 지반은 비조합 유동법칙을 따르는 재료로 알려져 있으나 비조합 유동법칙을 적용함으로서 얻어지는 이점보다는 이를 적용하는데서 비롯되는 수치계산의 어려움이 발생하므로 조합 유동법칙을 적용하는데 무리가 없는 것으로 알려져 있다.

3.1.4 점탄성 및 점탄소성 모델

탄성 모델에 점성을 고려한 경우를 점탄성 모델, 그리고 탄소성 모델에 점성을 고려하는 경우를 점탄소성 모델이라고 한다. 이러한 경우 계산과정이 매우 복잡하게 되며 연산 노력이 증대된다. 점탄소성 모델의 경우 지반의 탄성, 소성, 점성 거동을 고려한다는 측면에서는

주변지반의 거동을 실제의 거동에 가깝게 모사한다는 이점이 있으나, 점성 거동의 모델링이 그다지 용이하지 않다는 어려움이 있다.

이러한 점성을 고려한 모델은 터널 및 주변지반의 거동이 지보 및 라이닝의 타설 시기에 의해 많은 영향을 받는 경우 혹은 시공단계에 따른 터널의 거동 평가가 매우 중요한 경우에 채택될 수 있다.

3.2 지보재 모델링

수치해석에 있어서 해석 결과는 대상 문제의 모델링 방법에 따라 지반의 거동, 숏크리트 및 록볼트 등의 지보재에 발생하는 응력 등 해석 결과에서 많은 차이를 보일 수 있다. 따라서 지보재의 모델링에도 세심한 주의가 요구된다. 일반적으로 지보재는 여러 가지 방법으로 모델링될 수 있으나, 여기에서는 다음과 같이 실무에서 자주 혼동하는 두 가지 방법에 대하여 소개하고자 한다

(1) 연속체 요소 모델링

일반적으로 라이닝 및 숏크리트의 모델링에 적용되며, 요소 및 절점수가 많아지고 지보재 설계에 필요한 부재력을 다시 계산하여야 하는 단점이 있다.

(2) 구조 요소 모델링

보(beam)요소 혹은 봉(truss)요소와 같은 구조요소로 모델링하는 방법은 숏크리트나 록볼트의 모델링에 가장 널리 적용되는 방법으로 지보재 설계에 필요한 부재력이 자동적으로 계산되며, 절점수 또한 증가하지 않는다는 이점이 있다.

이상과 같은 지보재 모델링 방법 중 두 번째 방법이 일반적으로 가장 많이 사용된다. 숏크리트 요소는 봉요소나 보요소 또는 평면변형율 지반요소로 모델링이 될 수 있다. 원칙적으로 숏크리트 요소는 축력과 휨을 동시에 받고 있다가 휨에 대한 파괴가 일어나면 봉요소와 같이 거동하는 것으로 알려져 있다. 따라서 구조해석시 숏크리트 요소는 보요소로 해석하고, 숏크리트 요소는 연성(soft)상태와 강성(hard)상태로 구분하여 모델링함이 바람직하다.

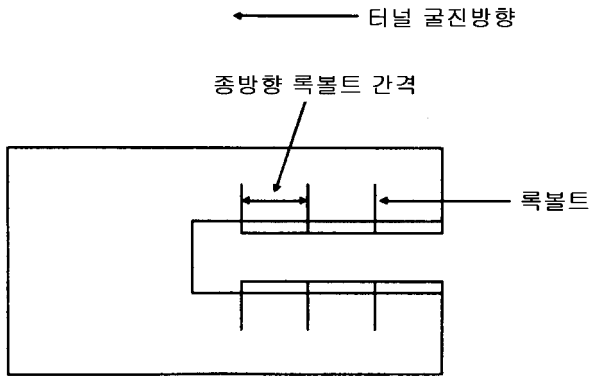
<그림 607.9>에서는 굴진 방향 설치 간격을 고려한 록볼트 모델링 방법을 보여주는 사례이다.

록볼트는 터널 굴착으로 인하여 발생하는 터널주위 지반의 이완을 줄이고 지반을 보강하기 위하여 사용되는 바, 록볼트 자체의 항복파괴와 주위 암반과의 결합(bonding)파괴를 둘 다 고려하여야 한다. <표 607.1>은 지보요소의 적용 예와 요소의 종류를 보여주고 있다.

<표 607.1> 지보재의 모델링에 적용되는 요소 종류

구 분	적용되는 요소의 종류
콘크리트 라이닝	연속체요소, 보요소
강지보재	보요소
숏크리트	보요소, 봉요소, 연속체요소
록볼트	봉요소

주) 2차원 해석을 수행하는 경우 해석에서는 단위 폭을 대상으로 모든 계산이 이루어진다. 따라서 지보재의 모델링에서는 터널 굴진 방향으로의 설치간격을 고려하여 단위 폭 당의 환산강성을 적용하여야 한다.



<그림 607.9> 굴진방향 설치 간격을 고려한 록볼트의 모델링

607.4 해석 입력치 선정

4.1 지반 특성치의 선정

터널 굴착을 모델링하는 해석에서 이용되는 주요 지반 입력치는 탄성계수 E, 포아송 비 ν, 점착력 c, 내부마찰각 Ψ 등이 있다. 이들 지반 특성치들은 원위치 시험이나 시료에 대한 실내시험을 통해 산정하는데, 수치해석에 이용될 경우에는 전문가의 충분한 공학적 판단에 의해 이를 결정해야 한다. 이들 값은 해석 결과를 근본적으로 좌우하므로, 고도의 해석 이론을 사용해도 입력치가 정확하지 않으면 해석결과를 신뢰하기가 어렵다. 따라서 실제 현장 상황을 최대한 고려할 수 있는 각종 특성치들을 사용해야 하며, 해석 결과에 전적으로 의존하는 설계가 되어서는 않되고, 실제의 시공실적 및 경험 등을 반영하여 설계를 하여야 한다.

4.1.1 탄성계수, E

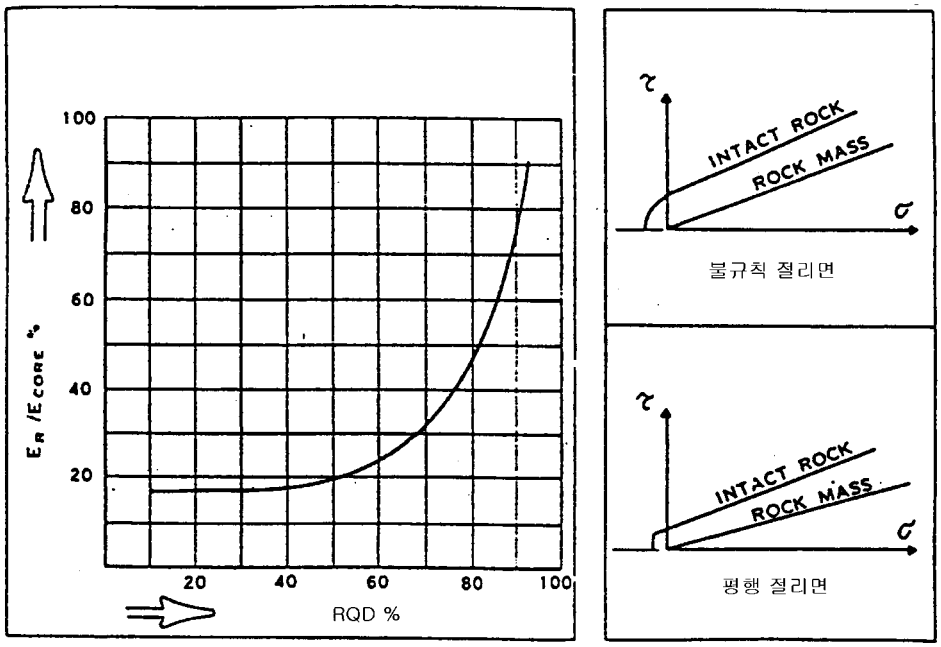
탄성계수는 해석에 가장 중요한 입력치로서 변위의 수준을 지배하는 값이다. 탄성계수는 원위치시험을 통해 구하거나 일축압축시험과 삼축압축시험과 같은 실내시험을 통해 구한다. 원위치시험에서 구해지는 탄성계수는 지반의 탄성계수를 직접 측정한 것인데, 전체 터널 지반의 극히 일부분에 대한 것이며, 현장조사(암의 종류, 절리상태, 파쇄대층, 주응력 방향 등)에 따라 지반특성치는 많은 차이가 있으므로 신중하게 선정할 필요가 있다. 즉, 수치해석에 이용되는 탄성계수는 지반을 연속체로 보고 사용하는 것이므로, 절리나 물성의 편차를 가진 지반으로서의 값을 이용해야 한다.

실내시험 결과에서 지반 물성값을 이용하여 정하는 구체적인 방법으로는 균열계수에 기초한 저감률이나 시추 결과 RQD값에 기초한 저감률을 이용하여 코어의 시험값을 낮추는 방법 등이 있다. 그밖에 지반 탄성파 속도와 신선한 코어의 초음파 탄성파 속도의 비에서 얻어진 동탄성계수 저감률을 탄성계수 저감률로 보고 구하는 방법도 제안되어 있다.

<그림 607.10>은 신선한 원지반의 탄성계수와 RQD와의 관계를 보여주고 있으며, <표 607.2>는 암석의 정탄성계수 및 동탄성계수를 보여주고 있으며, <표 607.3>은 최근 도로터널 설계에 적용된 물성치를 보여주는 예이다. 전술한 바와 같이, 여기에 제시된 물성치들은 하나의 예시로써 실제 설계시에는 해당 지반의 시험결과를 사용하여야 한다.

4.1.2 포아송비, ν

포아송비는 일축압축시험 등(<표 603.9>참조)을 통해 구하는데, 일반적으로 경암에서 0.1 ~ 0.25, 연약 지반에서 0.45 정도이다. 수치해석에서는 터널 내공변위의 형상, 즉, 천단 침하량과



<그림 607.10> 탄성계수와 RQD와의 관계(도로설계요령, 1992)

측방 변위량의 비율이 포아송비가 높은 쪽이 전단면 변형을 일으키기 쉬우므로 측방 변위량이 커진다. 포아송비는 0.48 이하 정도로 이용하는 것이 바람직하다(<표 607.3> 참조).

4.1.3 점착력, c

점착력은 해당지반의 삼축시험이나 직접전단시험을 통해 구한다(<표 603.8>참조). 지하발전소와 같은 중요 구조물에서는 원위치시험을 통해 구하기도 하는데, 사례는 많지 않다. 실내시험을 할 수 없는 경우에는 지반 등급 등을 가지고 추정하는 방법이 있으나, 기술자의 정확한 검증이 뒷받침되어야 한다.

탄성해석에서 점착력은 지반의 변형에 영향을 미치지 않으며, 국부 파괴 안전율을 평가할 때만 이용된다. 비선형 해석이나 탄소성 해석에서는 항복 규준의 파라미터이므로 해석 결과에 큰 영향을 미친다. 따라서, 점착력을 산정할 때는 시험결과 및 과거의 예 등을 참고로 하여 신중히 할 필요가 있다. 특히, 탄소성 해석에서 터널 주변에 소성영역이 넓게 분포할 경우에는 소성 영역의 분포 형상이 점착력의 크기에 큰 영향을 받으므로 주의해야 한다(<표 607.3> 참조).

4.1.4 내부 마찰각, φ

내부 마찰각은 삼축시험을 통해 구한다(<표 603.8>참조). 내부마찰각은 공시체의 크기에 영향을 거의 받지 않으므로 삼축시험의 결과가 그대로 이용되는 경우가 많다. 삼축시험을 현장 여건상 실시하지 못하는 경우에는 기존의 내부 마찰각 측정값을 지반 등급별로 분류한 도표를 이용하여 지반 등급에 따라 정할 수 있다(<표 607.3> 참조). 이때에도, 기술자의 정확한 검증이 뒷받침되어야 한다.

<표 607.2> 암석의 정탄성계수 및 동탄성계수 사례(도로설계 요령, 1992)

암종	정탄성계수 $E_s(10^3 kgf/cm^2)$	동활선탄성계수 $E_d(10^3 kgf/cm^2)$	동탄성계수 $E_v(10^3 kgf/cm^2)$	비 고		
				E_d/E_s	E_v/E_s	E_v/E_d
역암	36.7～43.9	65.4～81.5	320.3	1.8	7.9	4.4
혈암과 사암의 호층	4.2～5.8	3.7～4.8	66.7	0.9	13.3	15.5
사암	5.0～16.5	15.0～23.0	145	1.8	13.4	7.6
세립화강암	3.0～10.0	12.5～19.0 12.2～16.0	133.5 136.5	2.4 2.2	20.5 24.1	8.3 11.1
이암과 사암의 호층	8.3～8.6 13.0～17.3 12.4～19.9	8.2～49.2 17.8～77.2 20.0～89.9	49.2 61.3 71.1	3.4 3.1 3.4	5.9 4.0 4.4	1.7 1.3 1.3
반려암	10.3	20.4～22.5	-	2.1	-	-
휘록암	9.1	16.5～22	560	2.1	61.5	29.0
세립석영 섬록암	25.2	33.6～35	434	1.4	17.2	12.7
응회암	100～160 100 30～35 18～34	230～250 120～130 50～60 270～290	430 445 445 305	1.8 1.3 1.7 1.3	3.3 4.5 12.8 1.5	1.8 3.6 7.5 1.1
점판암	150～250 90	220～250 110～125	385 445	1.2 1.3	1.9 4.9	1.6 3.8
세립석영 섬록암	18.4 12.8	22～24 17～21.0	- -	1.3 1.5	- -	- -
화강암 (C_L) (C_M) (C_H)	2～9 5～25 29～50	7～19 18～57 24～80	216 257～259 218～244	2.4 2.5 1.3	39.3 17.2 5.8	16.6 6.9 4.4
비 고	□=0～5kgf/cm² (평판재하시험)	□=5±(2～3)sin2■ft (kgf/cm²) f=0.1～5Hz (동적반복시험)	(탄성파속도시험)			

주) 위의 값은 신선한 암시료 (intact rock core)의 값이므로 절리면을 포함한 암반 전체의 값을 대표하는 것이 아니므로 터널 설계시 전문가의 도움을 얻어 합리적인 값을 얻어야함.

<표 607.3> 지반 및 지보재 특성치 적용 사례(B 설계사, 1998)

구 분		육십령	수리,수암	둔내	용평	대관령	죽령	구미-현풍 (퇴적암)	평균
경암	γ(t/m^3)	2.7	2.6	2.62	2.7	2.7	2.68	2.7	2.66
	E(t/m^2)	1,500,000	2,000,000	2,000,000	800,000	1,450,000	2,000,000	2,000,000	1,800,000
	ν	0.2	0.25	0.17	0.2	0.13	0.2	0.2	0.2
	φ	50	50	47	50	50	45	45	50
	c(t/m^2)	500	500	180	200	290	200	45	300
	K$_o$	0.8	1.0	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.58-0.67 (0.62)	1.0	0.5-1.5	1.0
보통암	γ(t/m^3)	2.7	-	2.62	2.7	2.7	2.68	2.6	2.65
	E(t/m^2)	1,000,000	-	300,000	300,000	858,000	1,000,000	750,000	750,000
	ν	0.2	-	0.17	0.2	0.22	0.2	0.2	0.22
	φ	45	-	40	50	50	45	40	45
	c(t/m^2)	300	-	136	200	180	100	35	150
	K$_o$	0.8	-	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.75-0.88 (0.82)	1.0	0.5-1.5	1.0
연암	γ(t/m^3)	2.6	2.4	2.5	2.5	2.5	2.68	2.5	2.5
	E(t/m^2)	500,000	80,000	79,000	100,000	300,000	500,000	200,000	300,000
	ν	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	φ	40	40	40	45	40	40	35	40
	c(t/m^2)	100	100	50	100	50	50	25	70
	K$_o$	0.5	0.333	2.0	0.5-2.0 (1.0)	0.77	1.0	0.5-1.5	0.86
풍화암	γ(t/m^3)	2.5	2.2	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	2.26
	E(t/m^2)	40,000	4,000	35,000	30,000	36,500	100,000	100,000	50,000
	ν	0.3	0.3	0.34	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	φ	35	35	36	40	36	35	30	35
	c(t/m^2)	50	30	10	30	10	30	15	25
	K$_o$	0.5	0.43	0.52	0.5	0.43	0.5	0.5-1.5	0.5
풍화토	γ(t/m^3)	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.89
	E(t/m^2)	4,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	2,000
	ν	0.35	0.3	0.35	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35
	φ	30	30	30	35	30	30	30	30
	c(t/m^2)	3	1	-	5	-	5	5	3
	K$_o$	0.43	0.43	0.54	0.5	0.54	0.5	0.5-1.5	0.5
S/C	Soft E	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000
	Hard E	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
R/B	E	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000	21,000,000

4.2 측압계수의 결정

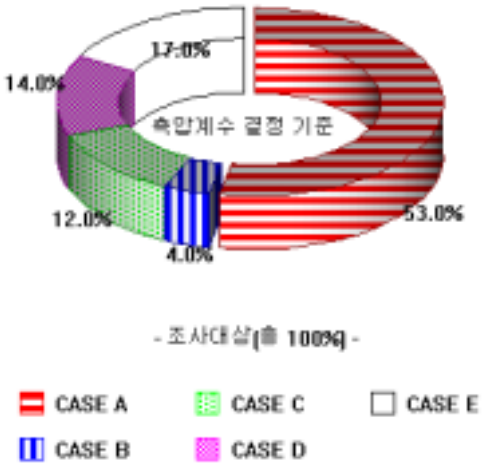
4.2.1 측압계수 결정 기준

터널 굴착이전의 초기응력을 현장에서 직접 측정하는 경우 대상 지반의 측압계수는 K_o = σ_h/σ_v의 관계를 이용하여 결정할 수 있으나, 터널설계를 위하여 현장에서 직접 초기응력을 측정하는 경우는 여러 가지 제약조건 때문에 극히 일부에 한하여 시행되고 있다. 따라서 해당 지반의 측압계수 결정은 여러 전문가들과 기존의 경험식으로부터 제안된 방법 등을 사용하여 결정하는 경우가 있으며, 다음과 같은 방법으로 요약할 수 있다.

Case A : 가정 및 유사 지반자료의 이용
Case B : 현장시험에 의한 결정
Case C : 2가지 이상의 측압계수 적용
Case D : 중력을 무응력지반에 재하
Case E : 포아송비, 경험식 등의 적용

국내에서 측압계수를 결정하는 방법은 <그림 607.11>에서 보는 바와 같이 터널의 종류에 관계없이 가정 및 유사 지반자료를 이용하는 경우(Case A)가 약 53%를 차지하고 있으며, 이때 K_o = 0.5 ~ 1.0의 값을 대부분 사용하고 있다.

Case A를 제외한 약 47%중에서 현장시험에 의한 결정(Case B)은 단지 약 4% 범위내에서 사용되는데, 수압파쇄법을 이용하는 경우는 K_o = 1.5 ~ 3.0 정도의 큰 측압계수가 산출되어 유사지반의 자료나 국내·외 문헌을 참조하여 보정하거나 혹은 임의의 감소계수(0.5) 등을 사용하여 설계에 반영하고 있다.



- 범 례 -

Case A : 가정 및 유사 지반자료의 이용 (Ko = 0.5 ~ 1.0)

Case B : 현장시험에 의한 결정 (Ko = 0.3 ~ 1.67)

Case C : 2가지 이상의 측압계수 적용 (Ko = 0.5, 1.0, 1.5)

Case D : 중력을 무응력지반에 재하

Case E : 포아송비, 경험식 등의 적용

<그림 607.11> 국내 터널설계시 측압계수 결정 기준 적용 비율

또한 Case C와 같이 임의로 가정된 2개 이상 측압계수(예, 0.5 - 1.0 - 1.5, 0.5 - 1.0 등)로 각각의 단면에 대하여 해석을 수행하고 안전한 범위 내에서 설계하는 방법, 그리고 경험식, 관계식 및 중력을 무응력 지반에 재하하는 방법(Case D, Case E)등으로 측압계수를 결정하고 있다.

4.2.2 측압계수의 결정을 위한 여러 가지 조합사례

측압계수를 결정하기 위하여 4.2.1에 기술한 바와 같이 이론식, 경험식, 유사지반의 자료 또는 현장시험 결과 등을 직접 혹은 보정을 통하여 사용하고 있으나 이들 각각의 K_o를 상호 조합하여 실제 지반에 근접시키려는 방법도 사용되고 있다. 국내 터널설계시 적용된 사례를 보면 다음과 같다.

- 이론식 $K_o = \nu/(1-\nu)$과 Sheorey의 경험식($K_o = 0.25 + 7E_{ho}(0.001 + 1/Z)$)
- 이론식 $K_o = \nu/(1-\nu)$과 Haimson의 경험식($\sigma_{ho.av.} = 0.02Z + 490(MPa)$)또는 Harget의 경험식 ($\sigma_{ho.av.} = 0.04Z + 8.13(MPa)$) 그리고 유사지반자료
- 아래와 같이 Hoek과 Brown(1980)의 경험식을 이용하여 측압계수를 결정 $0.3 + 100/Z < K_o < 0.5 + 1500/Z$
- $K_o = \nu/(1-\nu)$의 이론식과 현장시험 결과를 보정한 K_o를 상호 조합하여 결정

607.5 하중의 결정

5.1 하중의 종류

터널의 주지보재 또는 콘크리트 라이닝에 작용하는 하중으로는 지반압, 수압, 상재하중, 편압, 크리프 압력(creep pressure), 온도하중, 공기압 등이 있으며 지반조건, 터널단면의 형상과 크기, 토피, 시공방법, 지보재 및 콘크리트 라이닝의 시공시기, 방수 및 배수 형식 등을 고려하여 하중조합을 결정해야 한다.

5.2 하중 산정시 고려 사항

터널의 주지보재 또는 콘크리트 라이닝에 작용하는 하중을 산정할 때 다음과 같은 사항들을 고려하여야 한다.

- 주지보재나 콘크리트 라이닝에 작용하는 지반압의 크기는 초기응력(initial stress), 지반조건, 터널단면의 크기, 터널 상부 지반의 두께, 굴착공법, 굴착방법, 지보재, 콘크리트 라이닝의 시공시기 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- 비배수형 터널은 콘크리트 라이닝 해석시 수압을 고려하여야 한다. 배수형 터널일 경우에는 지반조건과 터널내 배수시설의 용량 및 기능을 평가하여 충분한 배수기능을 발휘하도록 배수시설을 설계하여야 한다.
- 터널 상부에 구조물이나 도로 등에 의한 하중이 작용하는 터널에서는 상재하중의 영향을 설계에 고려하여야 한다.
- 지형, 지질, 기타 등의 이유로 터널에 편압이 작용할 우려가 있는 경우에는 편압의 상태와 이에 대한 조치에 대하여 고려하여야 한다.
- 갱구부에 대해서는 지역적 특성, 터널 상부 지층의 두께, 지형, 지반조건 등에 따라 지진의 영향이 예상되는 경우에는 이의 영향을 설계에 반영할 수 있다.
- 크리프 압력은 장기간에 걸쳐 발생되는 압력으로서 지반의 시간 의존성 특성을 고려하여 산정하며 일시적인 지보인 경우에는

해석시 고려하지 않아도 된다.

- 온도 변화가 예상되어 구조물에 기능상 영향을 미친다고 판단되는 경우에는 온도하중을 고려하여야 한다.
- 공기압이 터널의 안정성에 영향을 줄 경우에는 이를 고려하여야 한다.

5.3 하중 산정방법

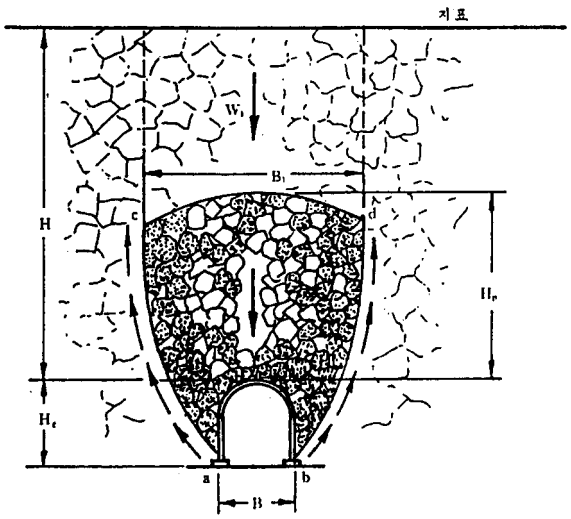
상술한 하중들 중 대표적인 하중들의 산정방법은 다음과 같다.

5.3.1 지반압

터널의 주지보재나 콘크리트 라이닝의 설계를 위해서는 터널 굴착후에 발생하게 되는 지반압의 평가가 선행되어야 한다. 일반적으로 지반압의 평가는 다음과 같은 방법을 사용할 수 있다.

(1) Terzaghi의 암반 하중(rock load) 개념을 이용한 방법

본 개념에서는 <그림 607.12>에서 보이는 바와 같이 지보재가 터널 천단 상부로부터 임의의 높이, H_p를 갖는 이완영역의 자중으로 인한 하중을 지지하는 것으로 가정한다. 이 개념은 기계식 굴착 또는 암반 보강방법이 소개되기 이전에 개발되었기 때문에 굴착 교란 효과가 적은 TBM 공법 혹은 굴착 직후 숏크리트와 록볼트 보강으로 이루어 졌을 경우에는 지반압을 과대 평가하는 단점이 있다.



<그림 607.12> Terzaghi의 암반하중 개념

(2) Q-System에 의한 지반압 평가법

Barton(1974)은 암반 분류법인 Q-System을 제안하면서 이를 이용한 터널 천단부에 작용하는 지반압을 아래와 같이 제시하였다.

$$P_{roof} = [\frac{2.0}{J_r}]Q^{-\frac{1}{3}}(kg/cm^2) \qquad (607.10)$$

절리군의 수가 2이하일 경우에는 다음 식을 사용한다.

$$P_{roof} = \frac{2.0J_n^{\frac{1}{2}}Q^{-\frac{1}{3}}}{3.0J_r}(kg/cm^2) \qquad (607.11)$$

여기에서, Q = Rock Quality Value, J_r = 절리면의 거칠기 계수, J_n = 절리군의 수이다.

(3) RMR에 의한 지반압 평가법

Bieniawski(1974)에 의해 제안된 암반의 RMR 분류법에 근거한 방법으로 지반압은 Bieniawski(1989)가 제안한 방법으로 다음과 같

이 평가 할 수 있다.

$$P = \frac{100 - RMR}{100} \gamma B \qquad (607.12)$$

여기서, γ는 지반의 단위 중량, B는 터널의 폭(직경)을 나타낸다.

(4) RSR에 의한 지반압 평가법

Wickham(1972)는 암질을 결정하는 요소들에 대한 등급을 수치화하고 요소별 수치의 합으로 암질을 분류하는 Rock Structure Rating(RSR) 분류법을 제안하면서 다음과 같은 지반압 산정식을 제안하였다.

$$W_r = \frac{D}{302} \left[\frac{6000}{RSR + B} \right] - 70 \qquad (607.13)$$

여기서, W_r은 지반압(단위 kips/ft^2), D는 터널의 직경(단위 ft)이다.

5.3.2 수압

터널의 지하수 처리 형식에 따라 라이닝 해석 시 수압을 고려할 수 있다. 배수형 터널일 경우에는 지반조건과 터널 내 배수시설의 용량 및 기능을 평가하여 충분한 배수기능을 발휘하도록 배수시설을 설계하도록 하기 때문에 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하지 않게 되지만 비배수형 터널인 경우에는 지하수위 및 지하수 흐름조건에 따른 수압을 콘크리트 라이닝 해석에 반영하여야 한다.

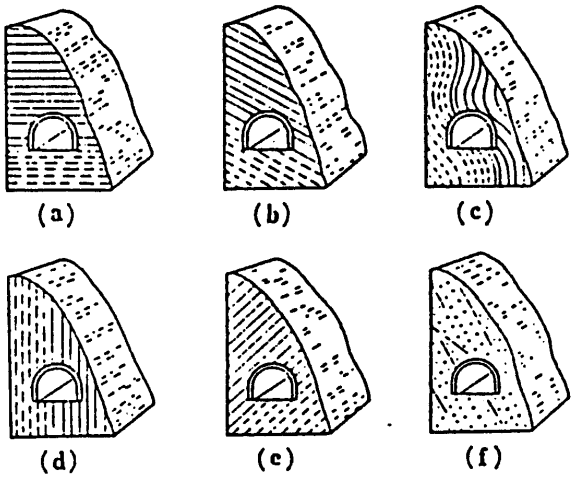
5.3.3 상재하중

토피가 작고 또 지표면에 하중이 작용하는 터널에서는 상재하중의 영향을 고려하여야 한다. 구조물이나 도로 등에 의한 작용하중이 원지반 응력에 주는 영향은 깊이에 따라 감소하므로 지보재, 라이닝에 작용하는 상재하중의 영향도 또한 토피가 클수록 경감된다. 따라서, 토피가 작을 경우에는 상재하중에 의한 영향이 지반압에 대하여 무시할 수 없는 크기가 되므로 그 영향을 충분히 고려하여야 한다. 특히, 상재하중이 터널에 대하여 평심하중(eccentric load)으로서 작용할 경우에는 특별한 주의가 필요하다.

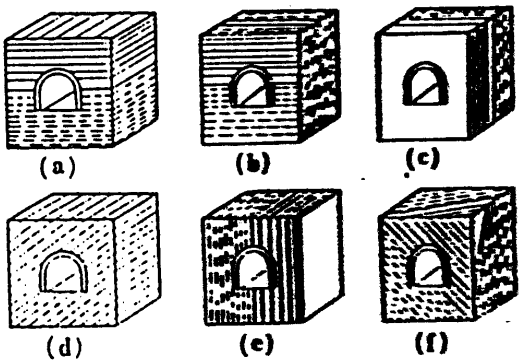
5.3.4 편압

지형, 지질, 기타 등의 이유로 터널에 편압이 작용할 우려가 있는 경우에는 편압의 상태를 고려하여 하중 결정에 반영하여야 한다. <그림 607.13>과 <그림 607.14>에는 이러한 편압을 받는 터널을 예로 들어 본 것이다.

터널이 급사면에 접근하고 있는 경우의 사면의 지층상태와의 관계가 <그림 607.13>에 나타난 바와 같다. 이들 중 (a),(e)는 안정 상태에 있으나, (b)는 지층경사와 사면 경사가 일치된 상태에 있으므로 불안정하며, 특히, 단층 또는 연약지층을 끼는 경우에는 문제가 될 수 있다. 또한 화성암 중에 (b)와 동일한 절리가 편압 등에 의해 안정성에 문제를 발생하는 경우가 있다. (c), (d)는 안정성에 관해 주의할 필요가 있다.



<그림 607.13> 급사면에 근접하는 터널



<그림 607.14> 콘크리트 라이닝에 미치는 성층상태의 영향

지층경사와 터널과의 위치관계가 <그림 607.14>에 제시되어 있는데, 이들 중 (a), (b), (c)에서는 라이닝에 작용하는 지반압은 거의 균등하지만, (d), (f)에서는 터널의 한쪽에 편압을 받는 경향이 있으며, (e)에서는 아치부분에 집중하중을 받는 경향이 있다. 또한, 굴진작업의 난이도와 지층 내지 절리의 경사각의 관계를 (b)로 설명하면, 일반적으로 앞쪽에서 굴진할 경우는 문제가 발생할 소지가 있으며, 뒤쪽에서 앞쪽으로 향해서 굴진할 경우는 그다지 큰 문제가 발생하지 않을 수 있다.

607.6 해석영역과 경계조건

해석영역은 터널 굴착시 지반의 응력 및 변위를 무시할만한 영역까지 확장하여 경계조건으로 설정하여야 한다. 프로그램특성 및 토피를 고려하여 해석결과에 최대한 영향이 없도록 정하여야 한다.

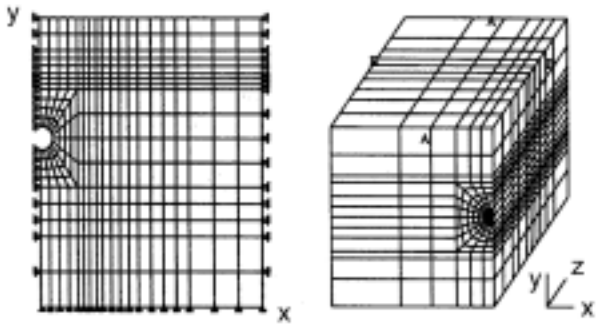
표준단면 형태별 지반상태는 시추주상도 및 측량자료를 참고하여 각 해석위치별 터널 종단 및 횡단면도를 작성하여 이용함으로써 가능한 한 실제 지형과 같은 지반상태가 되도록 하여야 한다.

6.1 경계면의 위치설정

지반의 모델링에 있어서는 무한요소(infinite element)를 적용하는 경우를 제외하고는 먼저 가상의 경계면을 설치하여 해석영역을 설정하여야 한다. 경계면은 해석 결과에 영향을 크게 주지 않는 곳에 설치하여야 하는데 일반적으로 터널 굴착으로 인한 지반의 응력변화가 발생하는 위치에서 멀리 떨어진 지점에 설치하여야 하며, 일반적으로 측면은 터널 굴착폭의 약 3배 이상 정도, 하부경계는 터널 주변으로부터 터널의 높이의 2배 이상 되는 지점에 설치하는 것이 바람직하다.

경계면을 설정한 후에는 다음과 같이 경계조건을 부여하여야 한다(<그림 607.15> 참조).

- 2차원 → 측면 경계 : x방향 변위구속.
  하부경계 : y방향 변위구속
- 3차원 → A 측면 경계 : z방향 변위구속
  B 측면 경계 : x방향 변위구속
  하부 경계 : y방향 변위구속



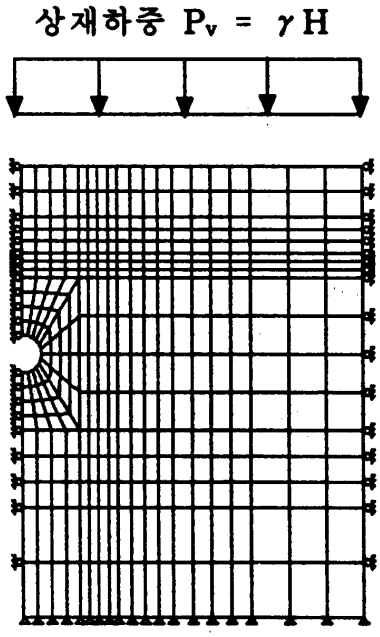
<그림 607.15> 2차원 및 3차원 모델 경계조건 예

6.2 요소의 크기 및 배열

지반의 모델링에서 중요시되는 사항은 요소의 크기 및 배열을 설정하는 것이다. 유한요소해석에 있어서 경제성을 고려하지 않고, 해석결과의 정확성만을 고려한다면, 요소의 크기는 작을수록 그리고 배열은 균일할수록 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 유한요소 해석에서 절점수에 따라 요구되는 연산시간은 기하급수적으로 증가하기 때문에 꼭 그렇게 할 수만은 없다. 따라서 예비해석을 수행하여 대상 문제에 적합한 요소의 크기를 설정하는 것이 바람직하며, 일반적으로 터널 주변과 같이 응력경사가 급한 영역에서는 작게, 외곽지역은 크게 요소화하는 것이 바람직하다.

6.3 해석 영역의 설정

심도가 깊지 않은 터널의 경우 터널 천단부위의 지반 전체를 모델링에 포함시키면 되지만, 대심도 터널의 경우 이러한 방법으로 모델링 할 경우 해석영역이 광범위해져 처리하여야 할 절점 및 요소의 수가 많아지게 되고, 특히, 3차원 해석에서는 막대한 컴퓨터 처리시간이



<그림 607.16> 해석영역의 설정 예

필요로 하게 된다. 따라서 대심도의 경우에는 경제성을 고려하여 굴착으로 인한 영향이 미치는 영역만을 모델링에 포함시키고(일반적으로 터널 천단 상부로부터 터널 높이의 3배 정도), 그 이외의 지역은 <그림 607.16>과 같이 상재하중으로 처리함으로써 해석영역을 줄여서 해석하여도 무방하다.

607.7 시공 단계별 해석

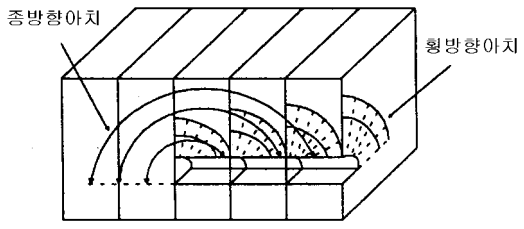
컴퓨터에 의한 수치해석으로 실제에 가까운 결과를 얻기 위해서는 실제 시공방법과 시공순서를 반드시 고려하여야 한다. 특히, 굴착과 지보재 및 라이닝의 설치는 터널시공에 영향을 주는 중요한 변수이므로 이러한 공정에 따라 지보재 및 라이닝의 특성 등이 달라지게 된다. 예를 들어 TBM 또는 Shield와 같은 기계장비에 의한 전단면 굴착에는 NATM 개념의 터널 공법에서 지보재를 사용하는 단계굴착과는 다

른 콘크리트 라이닝이 사용된다. 따라서 두 경우의 터널에 대한 굴진과 지보재 시공과정의 모형화는 당연히 달라야 한다. 터널 시공중의 막장근처에서는 3차원의 구조가 생성되며, 이에 따라 응력과 변형도 3차원으로 발생한다.

7.1 터널 시공과정 모형화

터널 막장에서의 3차원 모형은 <그림 607.17>과 같다. 막장으로부터 떨어진 거리와 관계없이 터널축과 직각방향으로 지반의 아칭현상(arching effect)이 발생하며 여기에 추가하여 터널축에 평행한 방향으로도 아칭현상이 발생한다. 두개 이상의 평면 안에 발생하는 아칭상태는 하중을 3차원으로 분산시킨다. 따라서 수치해석에 필요한 단순화는 대부분 3차원 모형을 2차원모형으로 축소시키는 일이다. 터널 막장에서의 3차원적인 응력과 하중조건은 막장부분과 굴착된 터널 주변지반의 강성과 매우 밀접한 관계가 있다.

지반강성은 굴착면에 가까울수록 감소되어 완전히 굴착된 곳에서는 '0'이다. 지반응력과 하중조건에 대한 지반강성의 영향력을 이해하므로써 모형의 단순화를 기할 수 있다.



<그림 607.17> 터널 막장에서의 3차원거동

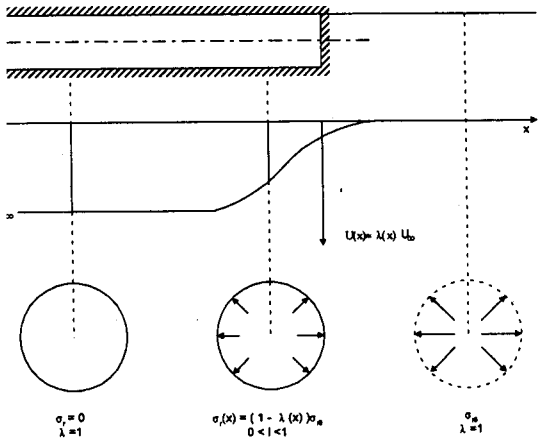
지반강성과 지반응력은 2차원 모형안에서 3차원의 효과를 만들어 내는 매개 변수로 사용되며, 막장부에서 멀어질수록 감소하는 종방향 아치효과를 모사하는 방법에 따라 크게 하중분배모델(stress distribution method)과 강성변화모델(stiffness variation method)로 분류되나, 일반적으로 하중분배모델이 많이 적용된다.

7.2 하중분배모델

하중분배모델은 막장으로부터 터널 종축방향으로 떨어진 위치에 따라 종방향 아치효과가 변화하는 경향을 반영하기 위해서 2차원 해석의 각 해석단계를 3차원 터널 축상의 각 위치와 대응시켜 해석 단계별로 굴착에 의해 발생하는 불균형 지반압을 분배하여 작용시키는 방법이다.

본 모델에서는 터널에 발생된 변위가 응력수준에 비례한다는 가정 하에 응력 분배 정도를 나타내는 하중분배율(α)을 이용하여 불균형 지반압을 조절함으로써 해석을 수행하게 된다.

하중분배율모델에서 필요한 하중분배율은 터널시공조건 및 지반조건 등에 따라서 달라지므로 시공조건을 고려하지 않고 일률적으로 적용하는 것은 많은 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 하중분배율은 시공과정을 고려하여 선택하여야 하며, 유사한 지반 및 시공조건하에서의 계측자료를 이용하거나 3차원 예비 해석을 통해 얻어지는 종방향 침하곡선을 이용하여 산정할 수 있다(<그림 607.18 참조>).



<그림 607.18> 하중분배모델의 기본 개념도

7.2.1 무지보 구간이 긴 경우(Case I)

<그림 607.19>에서는 무지보 구간이 비교적 길고 변위가 수렴된 곳에서 숏크리트가 타설되는 경우에 대한 해석과정을 보여주고 있는데, 빗금 친 부분은 굴착으로 인한 응력의 재분배가 형성되는 영역이다. 이 경우에 있어서 해석단면을 무지보 상태인 막장부와 변형 수렴부로 택하면 표에 나타난 해석과정을 거치게 된다. 상부 및 하반 숏크리트는 응력의 배분 영역밖에 타설되므로 하중 분배율은 1.0이 된다(<표 607.4> 및 <그림 607.19> 참조).

7.2.2 지반이 불량한 경우(Case II)

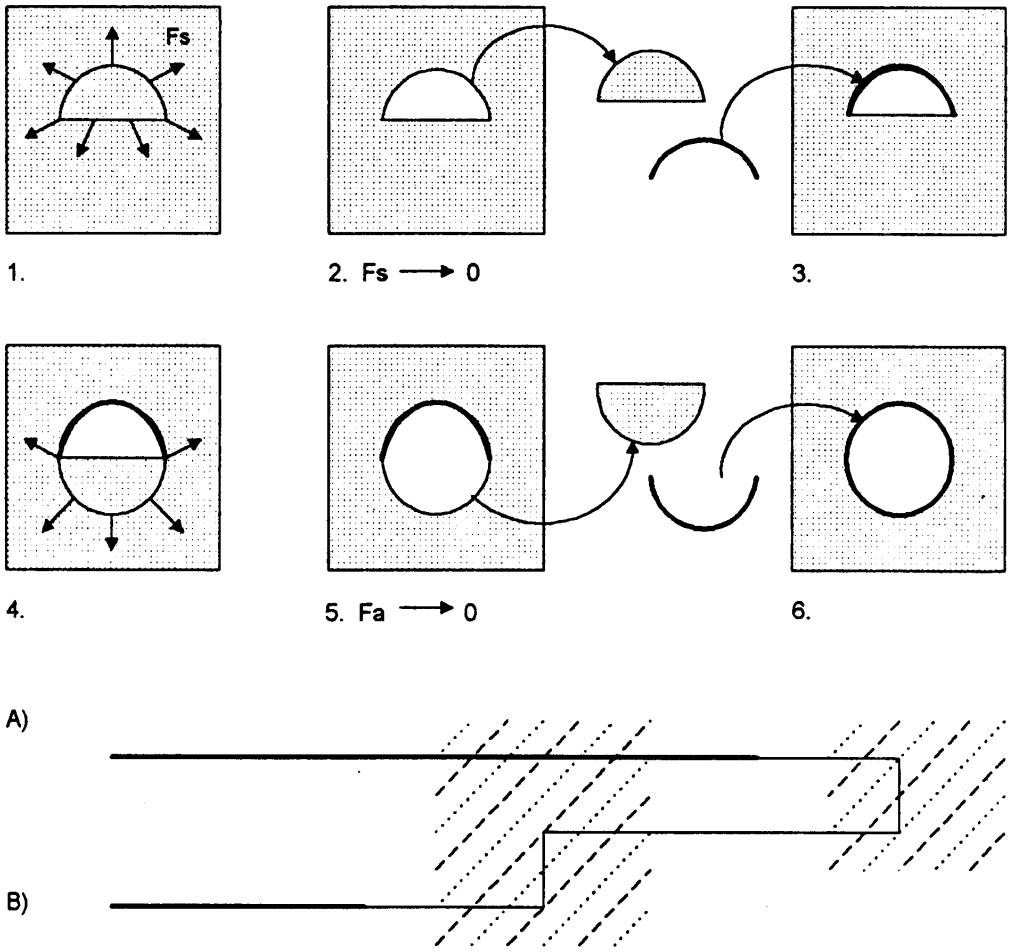
일반적으로 지반조건이 불량한 경우에는 변위를 억제할 목적으로 막장에 근접한 곳에서 지보재가 타설된다. 이러한 경우가 <그림 607.20>에 나타난 바와 같으며, 이 경우의 해석에서는 적절한 하중분배율을 이용하여 굴착으로 인한 응력 재분배 효과를 해석에 반영해야 의미 있는 해석결과를 도출시킬 수 있다. 해석단면을 막장부, 상반 숏크리트부, 하반 숏크리트부로 채택하면 <표 607.5>와 같이 8단계 해석이 이루어진다.

7.2.3 하반 굴착이 상반굴착에 접근하여 시공하는 경우(Case III)

<그림 607.21>에 나타난 바와 같이 숏벤치컷의 경우, 하반굴착이 상반굴착에 근접하여 수행되는 경우에는 상반 및 하반 굴착의 영향이 중복되게 된다. 이러한 경우에서의 해석에서는 시공과정을 충분히 고려하여 중복 영향을 반드시 고려해야 한다(<표 607.6> 참조).

<표 607.4> 하중분배율 적용 예 (Case I)

단 계	해석 과정
1	상반굴착에 해당하는 불균형 지반압(F_s) 산정
2	불균형 지반압($F=\alpha_1 \times F_s$)적용(하중분배율: $\alpha_1=1.0$)
3	상반 숏크리트타설
4	하반굴착에 해당하는 불균형 지반압(F_a) 산정
5	불균형 지반압($F=\alpha_2 \times F_a$)적용(하중분배율: $\alpha_2=1.0$)
6	하반 숏크리트 타설

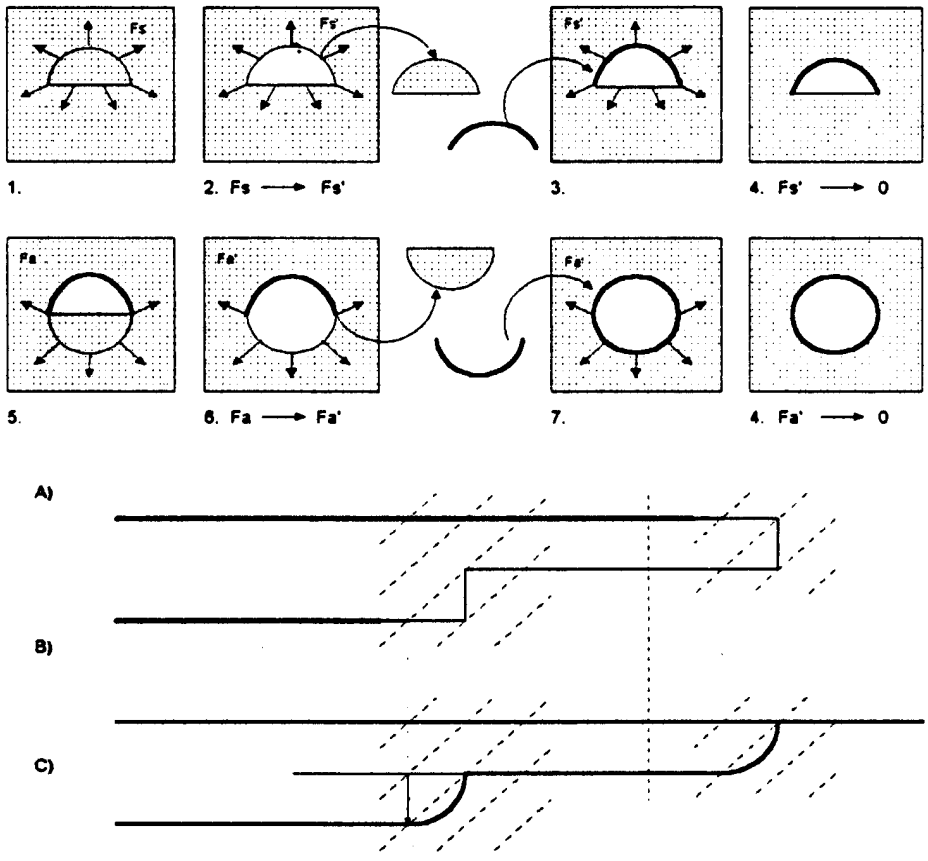


<그림 607.19> 하중분배모델 적용 예 (Case I)

<표 607.5> 하중분배율 적용 예 (Case II)

단계	해석과정
1	상반굴착에 해당하는 불균형 지반압(F_s) 산정
2	불균형 지반압($F=\alpha_1 \times F_s$)적용
3	상반 숏크리트타설
4	상반 불균형 지반압($F=\alpha_2 \times F_s$)적용($\alpha_2=1-\alpha_1$)
5	하반굴착에 해당하는 불균형 지반압(Fa) 산정
6	하반 불균형 지반압($F=\beta_1 \times F_a$)적용
7	하반 숏크리트 타설
8	하반 불균형 지반압($F=\beta_2 \times F_a$)적용($\beta_2=1-\beta_1$)

* $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$; $\beta_1 + \beta_2 = 1$

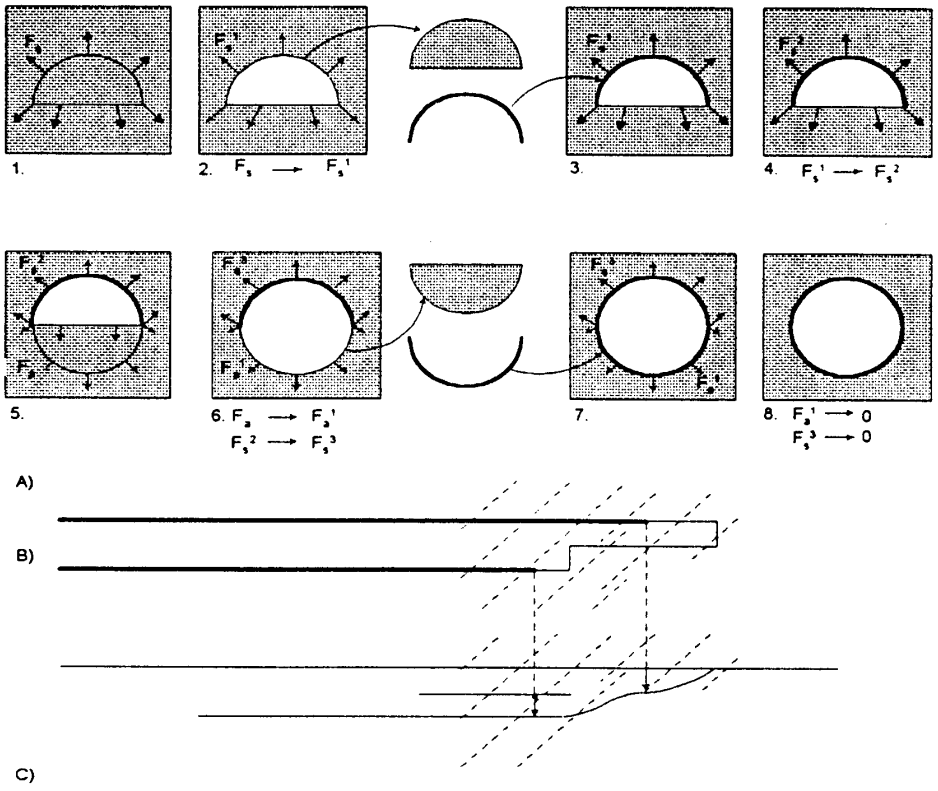


<그림 607.20> 하중분배모델 적용 예 (Case II)

<표 607.6> 하중분배율 적용 예 (Case III)

단계	해석과정
1	상반굴착에 해당하는 불균형 지반압(F_s) 산정
2	상반 불균형 지반압($F=\alpha_1 \times F_s$)적용
3	상반 숏크리트타설
4	상반 불균형 지반압($F=\alpha_2 \times F_s$)적용
5	하반굴착에 해당하는 불균형 지반압(Fa) 산정
6	상반 불균형 지반압($F=\alpha_3 \times F_s$)적용 및 하반 불균형 지반압($F=\beta_1 \times F_a$)적용
7	하반 숏크리트 타설
8	상반 불균형 지반압($F=\alpha_4' \times F_s$)적용 및 하반 불균형 지반압($F=\beta_2 \times F_a$)적용

* $\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4 = 1$; $\beta_1+\beta_2 = 1$



<그림 607.21> 하중분배모델 적용 예 (Case III)

7.3 강성변화모델

응력변수를 직접 사용하는 대신에 강성을 변화시킴으로써 응력분배와 같은 효과를 낼 수 있다. 강성의 변화는 원지반이나 숏크리트에 있어서의 강성의 감소 또는 증가를 의미한다. 지반의 강성감소는 굴착의 진행과 관계 있으며, 강성증가는 숏크리트 타설과 관계가 있다. 숏크리트(Shotcrete 또는 Grouted segment)은 시간이 경과함에 따라 강성이 증가하므로 숏크리트는 응력을 유발시킨다. 이때의 터널 주변 지반의 강성감소는 강성감소계수 β로 표시된다. 현재 국내에서는 이 방법보다는 앞서 설명한 하중분배모델을 주로 사용하고 있다.

607.8 터널 해석결과의 평가

터널 해석결과는 적절한 평가과정을 거쳐 설계에 반영되어야 하며, 아래와 같은 관점에서 검토하여야 한다.

- 굴착 단계별 평가
- 미시적, 거시적 평가
- 계측 결과와의 검증을 통한 평가
- 인접 구조물과의 상호 작용 영향 평가

  등.

8.1 굴착 단계별 평가

해석 단계에서 고려된 굴착 순서에 의거 굴착의 각 단계에 대한 각 지반요소 및 지보재의 변위, 응력, 파괴 접근도 등의 해석 결과를 검토하여 구조적인 안정성 여부를 검토하여야 한다.

8.1.1 지반변위

지표면 침하 및 인접구조물에 대한 터널의 영향은 변위를 가지고서 검토하는 경우가 많다. 지표에 건물이나 구조물이 있으면 변위를 통해 경사각을 구해 검토한다. 구조물 등의 안전성은 수치해석에서 구한 전체변위량(또는 경사각)을 각 인접구조물 허용기준치와 비교함으로써 해석한다.

굴착 단계에서 수시로 변위 계측데이터와 수치해석 결과를 비교할 수도 있다. 이때 주의해야할 점은 계측데이터에서 얻어지는 지표침하 및 내공변위는 계측기가 설치된 뒤의 변위이므로 해석 결과에서 선행 변위만큼을 빼어 비교해야 한다.

또한, 계측값과 계산값에 큰 차이가 보이는 경우에는 설정된 지반정수에 원인이 있을 때가 많으므로 재차 지반에 관한 데이터를 검토함과 동시에 역해석과 같은 방법으로 특성치를 검토할 필요가 있다.

8.1.2 지반의 안정성

지반의 안정성은 지반의 응력상태에 따라 판정되는 파괴영역 및 소성영역, 혹은 해석결과에서 얻어진 전단 변형율과 한계변형율의 비교 등을 통해 검토되는 경우가 많다. 파괴 영역을 추정할 때는 탄성해석에서는 국부 안전율, 탄소성 해석에서는 소성상태의 유무 등이 이용된다.

한편, 해석에서 얻어지는 지반의 변형율은 설계시에 각 지반의 한계변형율과 비교 검토하여 안정성을 확인하는데 사용된다. 사면 바로 밑에 터널을 굴착할 때 사면의 안정성에 관한 문제는 활동면의 방향 전단응력과 그에 수직한

방향의 저항응력의 비로서 안전율을 정의하여 검토하는 경우도 있는데, 해석 사례가 적으로므로 평가하기 어렵다. 또한, 문제가 되는 갱구부근의 활동에 관해서는 터널 축방향(종단방향)으로 미끄러지는 경우가 많아 횡단방향의 해석에서는 취급할 수 없다. 터널 축방향의 해석은 요소 중첩법과 축대칭 모델로의 치환 등 여러 가지가 시도되고 있는데, 근본적으로 3차원의 문제이므로 2차원 해석에서는 실제의 응력 분포를 재현하기가 힘들다.

8.1.3 지보부재의 안정성

강지보재, 록볼트, 숏크리트와 같은 지보 부재의 안정성은 해석에서 얻어진 응력과 각 부재의 허용응력을 비교함으로써 평가한다. 따라서, 각 지보부재의 응력을 적절히 평가할 필요가 있다.

8.2 미시적 평가와 거시적 평가

8.2.1 미시적 평가

미시적 평가는 터널 주변 지반을 연속체로 보고, 유한 요소법 등에 의해 해석을 수행하였을 경우 지반 및 지보재 등 각 요소가 재료파괴 상태에 도달했는지 여부를 판단하는 것으로 터널의 지반에 구조적 파쇄대 등이 없을 경우에는 대부분 미시적 평가에 의해 구조적 안정성을 평가한다.

8.2.2 거시적 평가

터널 주변지반에 단층 등의 구조대가 발달하여 터널의 거동을 지배할 가능성이 있는 경우는 재료 파괴상태를 검토하는 미시적 평가와 더불어 쐐기해석(wedge analysis) 등과 같은 불연속체를 대상으로 한 해석을 수행하여 거시적인 안정성 평가를 수행하여야 한다.

8.3 계측 결과와의 검증을 통한 평가

터널의 안정성 해석을 통하여 얻어진 지반 및 지보재의 변위, 응력 등의 값은 지반 성질의 복잡성으로 인한 모델링의 한계, 설계상 설정한 굴착 방법과 시공의 차이 등으로 인하여 시공중 계측결과와 상당히 상이한 결과를 나타내는 경우가 많다. 따라서 시공 중 얻어진 계측결과를 계속적으로 분석·평가하여 해석시 사용했던 입력 자료의 적합성, 지보설계의 적정성을 면밀히 검토하여야 하며, 만약 입력 자료 또는 지보설계의 부적절성이 판단되면 이를 고려한 새로운 안정성 해석을 수행하여 계측결과와 부합될 수 있도록 하여야 한다.

8.4 인접 터널과의 상호 작용 평가

터널주변 지반의 초기응력은 터널 굴착에 의하여 새로운 응력 상태로 변하게 되며, 굴착의 완료와 함께 일정한 시간이 경과하게 되면 새로운 응력 상태에서 안정을 유지한다. 이렇게 안정된 터널은 인근에서 새로운 굴착이 이루어질 경우 안정된 응력상태에 변화가 발생하며, 이러한 변화는 터널간의 거리가 가까울수록, 지반의 강도가 작을수록 큰 영향을 받는다. 따라서, 인접터널 굴착은 굴착중인 터널뿐만 아니라, 인근 터널에도 영향을 주므로 이들 상호간의 영향을 면밀히 고려하여야 한다. 예비 설

계시 인접 터널간의 이격거리는 지반조건, 터널의 형상, 인접터널과의 위치관계 등에 다라 다르나 암반 지반을 대상으로 하는 경우 최소한 새로운 터널의 폭과 높이 중 큰 값의 1.0배 이상을 유지하는 것이 좋다. 그러나 이 값은 경험치이므로 본 설계시에는 지반조건, 위치관계 들을 고려한 안정성 해석을 반드시 수행하여 그 해석 결과에 의해 평가하고 시공 중 계측을 통하여 그 안정성을 확인하여야 한다.

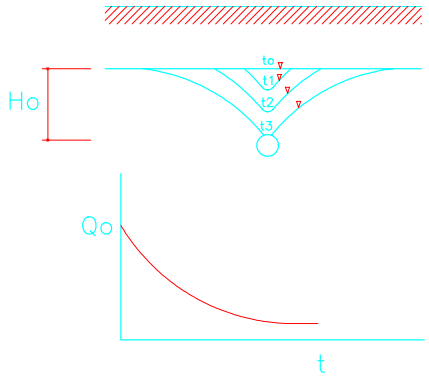
608
배수 및 방수

608.1 터널굴착과 지하수의 관계

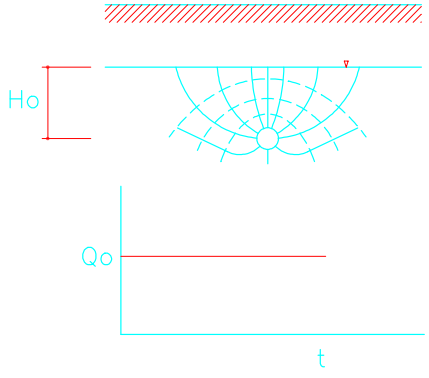
1.1 터널굴착과 지하수의 흐름

터널굴착은 대부분 지하수위 하부에서 이루어지고 굴착된 터널이 일종의 배수구 역할을 하게 되기 때문에 배수가 진행되고 시간이 경과함에 따라 원래의 지하수위는 점점 하강하게 된다. 차수 그라우팅 등의 공법을 적용한다면 터널내부로 유입되는 지하수를 일시적으로 차단할 수 있을지 모르지만 동결공법 등과 같은 특수한 지하수 처리공법을 적용하지 않는 한 장기적인 터널 시공시에는 배수로 인해 대부분 지하수위가 하강하게 된다. 하저 또는 해저터널과 같이 수위선이 지표면 이상인 경우에는 터널 시공으로 인한 수위하강현상은 거의 없게 되지만 시공시 계속적인 지하수 유출현상으로 인하여 터널 굴착면 주위의 수압은 수위에 해당되는 정수압보다 훨씬 감소하게 된다.

터널에서 계속적으로 배수하는 경우 유입되는 수량이 배출되는 수량보다 적게 되면 지하수위가 터널내부의 배수구 수면까지 하강하게 된다. 이렇게 시간의 경과에 따라 지하수위가 변화하는 흐름을 부정류라 하며 이 경우 유입되는 지하수량은 일정기간 감소과정을 거친 후 어느 시점부터는 일정한 양을 유지하게 된다(<그림 608.1(a)> 참조). 그러나 지하수의 공급량이 많고 지반의 투수성도 큰 경우에는 배출수량과 유입수량이 거의 동일하게 되거나 배출수량이 오히려 공급수량보다 적게 되어 계속적인 배수에도 불구하고 터널상부의 원래 지하수위는 크게 변화하지 않는다. 이러한 지하수의 흐름을 정상류라 한다(<그림 608.1(b)> 참조). 이 경우에는 시간경과에 따른 유입수량에도 큰 변화 없이 일정하게 된다. 따라서 지반조건과 지하수 조건 및 지하수위 보존관련 규제 조건에 따라 터널에서 배수할 것인가 아니면 배수하지 않아야 할 것인가를 결정하여야 한다.



(a) 부정류 상태



(b) 정상류 상태

<그림 608.1> 배수형 터널에서의 지하수유입 형태

터널설계시 어떤 형태의 지하수 처리공법을 채택하든지에 무관하게 시공단계에서는 지속적인 배수가 이루어지기 때문에 굴착면에서의 수압은 영(零)이 되게 된다. 그러나 터널을 완공한 후 시간이 경과하면서 배수조건이 바뀌게 되면 굴착면 주위의 수압도 변화하게 된다. 즉, 배수조건이 시공단계시보다 좋지 못하거나 배수를 실시하지 않을 경우에는 굴착면 주위의 지하수압상태가 시공단계와 다르게 된다.

1.2 터널굴착이 미치는 영향

터널굴착으로 인하여 발생할 수 있는 문제들 중 지하수와 관련된 주요사항을 언급하면 다음과 같다.

(1) 터널 시공시 지하수위의 저하로 인하여 발생하는 지반침하 문제는 터널의 배수형식에 관계없이 공통적으로 발생될 수 있는 문제이다. 왜냐하면 공사기간 동안에는 지속적으로 배수가 진행되어지기 때문이다. 다만, 지반이 점토층으로 이루어져 있어 장시간의 압밀시간이 소요되는 경우, 즉, 공사기간이 압밀기간보다 짧은 경우에는 배수형식에 따라 압밀침하 발생여부가 결정된다. 이 경우 배수형 터널에서는 비배수형 터널에 비해 추가의 압밀침하를 유발하게 된다. 그러나, 사질성을 띤 충적층의 경우 토층이 이미 과거에 지하수 하강과 상승을 경험하였다면, 배수에 따른 지하수위 하강으로 인한 지반침하는 극히 적을 것이다. 또한, 우리나라에 편재해 있는 화강풍화토(풍화암)의 경우 그 조직이 아주 치밀하기 때문에 지하수 하강으로 인한 침하는 무시할 정도로 미소하다고 볼 수 있다.

(2) 산악지와 같이 부정류의 흐름이 예상되는 지역은 전술한 바와 같이 시간이 경과하면 지하수 유입량은 크게 늘지 않는다. 또한, 지하수를 배수하는데 소요되는 비용도 과다하지 않아 유지비 상에 큰 문제도 없게 된다. 그러나, 이러한 지역이라 할지라도 비배수형 터널로 건설하게 되면 지하수위의 불확실성으로 인하여 지하수위에 해당하는 정수압이 콘크리트 라이닝에 작용되는 것으로 가정하여 설계할 수밖에 없으므로 콘크리트 라이닝의 두께가 과다해지고 필요이상의 큰 공사비가 소요되게 된다. 특히 터널의 단면이 크거나 수압이 큰 경우에는 (대심도터널) 수압을 지탱할 수 있는 콘크리트 라이닝의 설계가 거의 불가능해지게 된다.

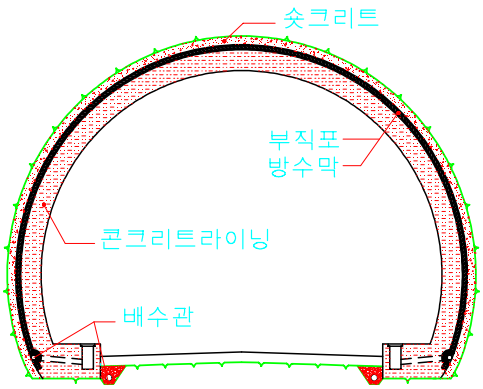
608.2 터널의 지하수 처리형식

2.1 지하수 처리형식의 분류

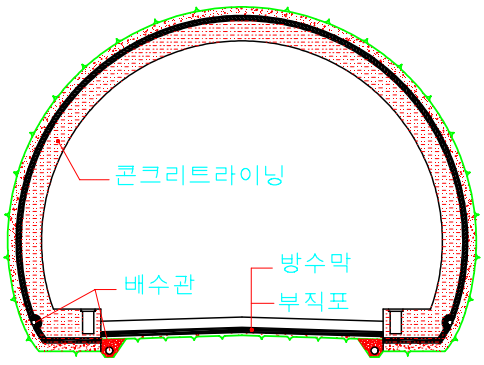
터널의 시공위치와 지반의 특성상 지하수가 굴착된 터널의 전주면을 통해서 터널내부로 떨어지거나 흐르게 되기 때문에 방수를 실시하게 되는데 쉴드터널에서는 콘크리트 세그먼트로 하여금 방수기능을 담당하도록 하고 NATM 개념의 터널공법에서는 콘크리트 라이닝과 숏크리트 사이에 방수막을 설치하여 터널내부로의 지하수 유입을 차단한다. 이때 세그먼트 또는 콘크리트 라이닝 외부의 지반에 지하수 유도 배수관을 두어 인위적으로 배수를 실시하여 콘크리트 라이닝에 지하수압이 작용하지 않도록하는 방법이 있는데 이 형식을 배수형 터널로 분류한다. 이 개념은 <그림 608.2>와 같다.

도로터널에서는 <그림 608.2>와 같이 인버트 상부(천정부와 측벽부)에만 방수막을 설치하고

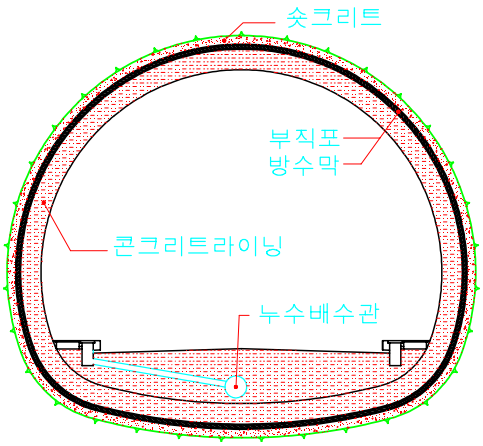
하부에서 배수하는 부분 배수형을 채택하는 경우가 대부분이지만 터널 내부로 시설물의 부식을 촉진시키는 성분을 함유한 지하수, 악취를 동반한 오수 등의 유해 지하수 유입을 방지할 필요가 있거나 이러한 지하수로부터 터널 내부 시설물이나 콘크리트 라이닝을 보호하기 위하여 콘크리트 라이닝 외부 전주면을 방수막으로 둘러싸고 방수막 외부에 배수로를 설치하여 배수하는 외부 배수형 터널도 적용할 수 있다(<그림 608.3> 참조). 반면 지하수 유도배수관을 설치하여 인위적으로 지하수를 배수하지 않는 형식을 비배수형 터널이라 정의한다(<그림 608.4> 참조). 비배수형 터널에서는 지하수위에 해당하는 지하수압이 콘크리트 라이닝에 작용하게 된다.



<그림 608.2> 배수형 터널의 개념도



<그림 608.3> 외부 배수형 터널의 개념도



<그림 608.4> 비배수형 터널의 개념도

2.2 배수형 터널의 특징

배수형 터널은 지하수압이 콘크리트 라이닝에 작용하지 않도록 하기 때문에 터널형상선정이 자유롭고 경제적인 굴착면적과 콘크리트 라이닝 단면으로 시공할 수 있으나 터널의 내구연한 동안 배수에 따른 유지관리비용을 지불하여야 한다. 지반여건상 공급되는 지하수량이 많은 경우에는 과다한 배수경비를 지출하여야 하는 경우도 발생한다. 또한 지하수위의 저하를 초래하여 지하환경을 변화시키기도 하고 경우에 따라 터널주변의 지반을 침하시켜 인접 시설물에 손상을 주기도 한다. 이 이외에도 시간이 경과하며 터널의 배수계통 기능이 저하되거나 마비되게 되면 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하게 된다.

따라서 이러한 현상이 발생하지 않도록 배수계통을 설계하고 다른 시설물과 마찬가지로 지속적인 유지관리를 실시하여야 한다. 간혹 배수형 터널의 배수기능 저하를 전제로 하여 콘크리트 라이닝에 잔류수압을 하중으로 작용시켜 설계하여야 한다는 의견이 제시되고 있지만 이 견해는 배수형 터널의 기본개념 즉, 배수형

터널이라 함은 수압이 작용하지 않도록 설계하여 건설하는 터널이라는 기본개념에 상충되는 견해임을 주목할 필요가 있다. 시간이 지나면서 부직포의 성능이 저하되거나 배수관 막힘현상이 발생할 것을 우려한다면 터널수명이 반영구적인 점을 감안할 때 지하수압은 원래의 지하수압까지로 상승할 것으로 보아야 한다. 만약 배수계통의 지속적인 기능저하는 발생하지 않기 때문에 수압상승은 어느 정도까지로 제한될 것으로 간주하여야 할 것이라면 초기단계에서 배수계통의 막힘현상에 대한 조치만 적합하게 취한다면 배수기능 저하로 인한 구조적 문제는 간단히 해소되며 더 이상의 개념혼동도 피할 수 있을 것이다. 특히 숏크리트면의 요철에 의한 배수효과 및 숏크리트면과 부직포와의 공간적인 밀착상태 등의 영향을 반영하고 지하수와 함께 지속적으로 이동하는 입자들(particles)에 대한 영향을 규명하여 어느 시점에 어느 정도의 잔류수압이 발생하게 될 것인가를 결정하여 설계에 반영한다는 것은 사실상 어렵고 그 방법을 제시한다고 할지라도 그 결과 역시 신뢰성도 크지 않다. 따라서 현 시점에서 외국의 사례나 그 동안의 경험에 비추어 보면, 잔류수압이 우려되는 곳에 대해서는 배수계통의 배수능력을 대폭 향상시켜 지하수압의 발생을 근본적으로 해소하고자 하는 배수개념이 잔류수압을 반영하여 설계하는 방안보다 더 합리적이며 배수형 터널개념에도 상충되지 않게 된다. 다만 지반조건이나 지하수 조건상 배수형 터널의 배수기능 문제가 장기적 관점에서 심각할 것으로 예상된다면 지하수처리 개념 측면에서는 배수개념의 접근보다는 비배수개념의 접근이 훨씬 합리적인 해결대안이 될 것이다. 그러나 배수형 터널에서 배수 시설의 기능저하 문제는 생각보다 복잡한 요인의 영향을 받을 수 있으므로 지속적인 현장관찰과 분석이 필요시 되고 지속적으로 발전시켜야 할 기술사항이다. 따라서 다소 보수적인 접근이 필요하고 시공현장 여건의 상세한 분석이 요구된다고 하겠다.

특히, 지하수에 콘크리트 라이닝 또는 터널 내부시설에 유해한 물질이 함유되어 있는 경우에는 지하수 성분에 대한 분석을 실시하여 이러한 유해요인으로부터 터널시설물이 보호될 수 있는 외부배수형식을 채택하는 것이 바람직하다. 또한 지반의 투수성이 크고 지하수의 공급이 무한한 경우에는 굴착면 주변을 따라 차수 그라우팅을 실시하여 유입되는 지하수량을 감소시켜야 하며 지하수량을 산정하여 유입되는 지하수량이 배수시설을 통하여 원활히 배수될 수 있도록 조치하여야 한다.

2.3 비배수형 터널의 특징

배수형 터널을 시공하게 되면 유지관리비의 증가, 지하수위의 변화, 지반조건에 따른 지반변위 및 시설물의 손상 등이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 발생시키지 않기 위해서는 비배수형 터널을 시공하여야 한다. 비배수형 터널은 지하수를 보존하여 지하수위 변동에 따른 제반 문제점들을 예방할 수 있다는 장점이 있지만 콘크리트 라이닝이 지하수위에 해당하는 지하수압에 견디도록 시공하여야 하기 때문에 터널형상에 불필요한 공간을 갖게 되는 경우가 많고 콘크리트 라이닝의 부재 단면도 두꺼워져 초기 투자비가 배수형 터널에 비해 크게 증가하게 된다.

비배수형 터널의 방수형식으로는 콘크리트 라이닝으로 하여금 방수기능을 감당하도록 하는 쉴드터널의 세그먼트 방수형식과 콘크리트 라이닝과 숏크리트 사이에 방수막을 설치하여

<표 608.1> 터널의 배수형식별 특징 비교

구 분	배수형터널	비배수형터널
형 식	• 부분배수형 : 방수막을 터널천정부와 측벽부에 설치하고 유입수를 배수층을 통하여 터널내부로 유도하여 배수 처리	· 터널 전굴착면에 방수막을 설치하여 터널내부로의 지하수의 유입을 차단
	• 외부배수형 : 방수막으로 콘크리트 라이닝 전주면을 둘러싸고 인버트의 방수막 밖에 배수구를 설치하여 배수	
장 점	· 수압을 고려하지 않으므로 구조적으로 얇은 무근 콘크리트 라이닝도 가능 · 특수 대단면 시공이 가능 · 누수시 보수가 용이 · 시공비가 적게 소요	· 지하수 처리에 따른 유지비가 감소 · 지하수위 변화가 없으므로 주변환경에 영향을 주지 않음
단 점	· 자연배수가 불가능한 경우에 유지비가 고가 · 지하수위 저하로 주변 지반 침하와 지하수 이용에 문제 발생가능	· 시공비가 고가 · 특수 대단면 또는 대심도에서는 적용이 곤란 · 누수가 발생하면 보수비가 많이 들고 완전보수가 어려움 · 콘크리트 라이닝의 두께가 커지고 경우에 따라 철근 보강 필요
적 용	· 지반조건이 양호한 곳 · 주변 구조물에 영향이 없는 곳 · 지하수 유입량이 적은곳	· 지하수의 공급이 많은 곳 · 지하수의 저하에 의한 영향이 많은 곳

방수하도록 하는 방수막 방수형식으로 크게 나눌 수 있다. 세그먼트 방수형식은 가스켓에 의한 지수와 세그먼트 자체의 수밀성 및 주입공의 폐색 등에 의해, 방수막 형식인 경우에는 방수막의 시공상태에 따라 방수능력이 크게 좌우되게 된다. 방수막 형식의 비배수형 터널에서는 방수시공이 폐쇄된 협소한 공간에서 이루어지기 때문에 방수막 시공상의 결함요인이 많고 철근 조립시 방수막이 손상되기 쉽다. 이렇게 방수막이 손상되거나 이음이 완벽하지 못하게 되면 방수기능을 상실하게 되어 막대한 초기 투자에도 불구하고 누수문제를 피하기 어렵고 이의 해결책 일환으로서 배수형 터널로 전환하는 경우가 발생할 수 있다.

2.4 배수형 터널과 비배수형 터널의 비교

터널설계 및 시공시 지하수의 흐름을 예측하기 위해서는 지반의 조건에 따라 지하수 흐름이 어떻게 변하게 되는 지를 이해하는 것이 필요하며, 이로부터 터널 배수형식이 지하수 흐름에 어떻게 영향을 미칠 후 있는지를 이해하는 것이 필요하다. 장기적인 지하수 처리 대책으로서, 배수형 터널과 비배수형 터널의 특징을 요약하면 <표 608.1>과 같다.

608.3 배수형 터널의 적용

3.1 배수형터널의 적용조건

배수형 터널의 콘크리트 라이닝에는 수압이 작용하지 않는 것으로 설계하여야 한다. 유입지하수가 많거나 장기적으로 배수기능 저하가 우려되는 지역에 대해서는 배수계통의 기능을 향상시켜 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하지 않도록 조치하여야 한다. 다음의 경우에는 배수형 터널로 시공하는 것이 바람직하다.

(1) 지반조건이 양호하여 유입수가 적은 반면 지하수위는 높은 지반조건일 경우에는 지하수 처리 비용이 저렴하기 때문에 배수형 터널을 적용하여야 한다. 이 경우 비배수형 터널을 적용하게 되면 비경제적일 뿐만 아니라 방수 기술상의 문제로 인해 누수가 계속 발생하여 투자비에 비해 터널 내부 환경이 좋지 못하게 된다. 필요이상의 누수가 발생하면 겨울철의 결빙에 따른 제반 문제들을 야기 시킬 수 있다.

(2) 지하수위가 비교적 높은 (수압이 4kg/cm^{2}이상 정도) 경우에는 터널의 안전성과 방수기술의 한계성을 감안하여 배수형 터널을 채택하는 것이 바람직하다.

(3) 주변지반 조건상 과다한 유입수가 예상되는 지역에 터널을 구축해야 하는 경우에는 유입수 양수에 따른 유지관리 비용의 절감을 위하여 터널주위 지반에 차수그라우팅을 실시하여 유입수를 최대한 감소시킨 후에 배수형 터널을 적용할 수 있다. 이 경우에는 차수그라우팅의 장기적인 성능 유지여부를 검토하여야 하며 배수계통의 기능이 저하되지 않아 유입수를 원활히 처리할 수 있도록 조치하여야 한다.

3.2 배수형터널의 세부사항

(1) 숏크리트와 방수막 사이에 부직포를 설치하여 유입지하수를 터널의 측면 하단부 또는 인버트 중앙부에 설치된 배수관으로 유도하여 배수한다. 이 때 부직포는 유입지하수를 충분히 배수시킬 수 있는 기능을 갖추도록 하여야 한다.

(2) 세립토립자를 함유한 지반에서는 부직포의 막힘현상 발생가능성을 검토하고 필요시 부직포의 두께를 증가시키거나 드레인 보드 또는 이와 동등 이상의 배수능력을 가지는 기타의 배수용 자재, 배수관 등을 추가로 설치하여 터널의 내구연한 동안 배수계통의 충분한 통수능력을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

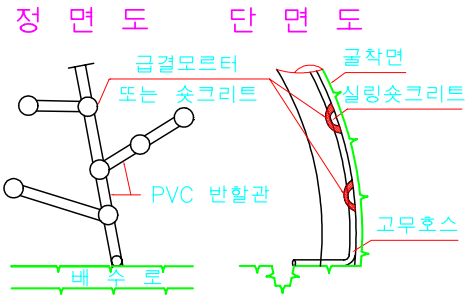
(3) 터널 내의 유입수 처리는 측방 배수관 또는 주 배수관에 의해 배수하는 것을 원칙으로 하되 배수상태의 점검이나 배수관의 청소를 위

하여 100m 이하의 간격으로 청소구를 설치하여야 한다.

(4) 인버트 부에 설치하는 주 배수관의 직경은 300mm이상이 되어야 하며 콘크리트관, 아연도강관 THP관 등을 사용할 수 있다. THP관을 주 배수관으로 사용할 경우에는 외력으로부터 관을 보호할 수 있는 조치를 강구해야 한다.

(5) 부분 배수형에서 적용하는 측방 유공배수관의 직경은 100mm 이상 또는 이와 동등이상의 통수능력이 가능한 기타의 배수관을 설치할 수 있다. 콘크리트 라이닝의 누수 또는 내부 청소수 및 비상사태에 대한 배수처리 시설도 갖추도록 하여야 한다.

(6) 시공중에도 유입수를 처리할 수 있는 적절한 배수시설을 갖추도록 하여야 하며 굴착면에서 용출수가 발생할 경우에는 용출수처리 대책을 강구하여야 한다. 이에 대한 실례 중 한가지를 소개하면 <그림 608.5>와 같다.



<그림 608.5> 용출수 처리 대책의 실례

608.4 비배수형 터널의 적용

4.1 비배수형 터널의 적용조건

비배수형 터널에 대해서는 지하수위에 해당하는 수압이 콘크리트 라이닝에 작용하는 것으로 간주하여 설계하여야 한다. 일반적으로 다음의 경우에는 비배수형 터널을 적용하는 것이 바람직하다.

(1) 터널 시공으로 인해 발생하는 지하수위 저하로 인하여 터널주위의 지반에 침하가 발생하고 인근 시설물에 영향을 미쳐 사회적 또는 경제적인 손실이 발생할 우려가 있거나 식생의 고사 또는 지하수원의 고갈방지 등의 목적으로 지하수위를 보전하여야 하는 경우에는 비배수형 터널을 적용하여야 한다.

(2) 배수형 터널을 적용할 조건이라 할지라도 지하수 유입을 차단하는 차수그라우팅 공법이 효과적이지 못할 경우 즉, 차수그라우팅으로 유입지하수량을 효과적으로 감소시킬 수 없는 경우, 또는 배수계통 기능유지가 현실적으로 불가능한 경우에는 비배수형 터널을 적용하여 터널 수명기간 동안 발생할 수 있는 문제를 사전에 제거하는 것이 바람직하다.

(3) 비배수형 터널은 방수기술상의 제한 때문에 작용하는 수압이 4kg/cm^2 이하인 경우에만 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 방수기술이 발전하게 되면 더 높은 지하수압의 경우에도 비배수형 터널 건설은 가능하게 되므로 향후 상향 조정이 필요할 것이다. 다시 말하면 지하수압이 큰 경우에는 배수형 터널을 채택하여야

한다. 이 경우 유입되는 지하수가 많게 되면 차수그라우팅 등을 적용하여 적극적으로 유입량을 줄여야 한다.

4.2 비배수형 터널의 세부사항

(1) 숏크리트와 콘크리트 라이닝 사이의 터널 전주면을 방수막으로 감싸야 한다. 이 때 방수막의 보호를 위하여 숏크리트와 방수막 사이에는 부직포를 설치하여야 한다.

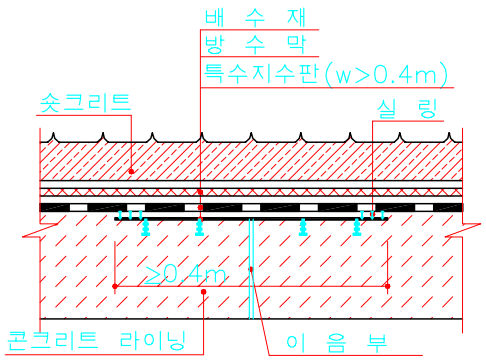
(2) 방수막의 기본적인 구비조건은 다음과 같다.

- 내구성, 내수성, 내약품성(내알카리, 내산성 등) 이 있고 연소시 유해가스의 발생량이 적어야 한다.
- 소요의 기계적 강도, 연성 및 유연성이 있고 이음부의 강도와 지수성을 유지할 수 있어야 한다.
- 시공성이 좋고 내한성이 있어야 한다.
- 방수막은 일반적으로 합성수지 계통의 쉬트를 사용하여 두께 2mm 이상의 것을 표준으로 한다.

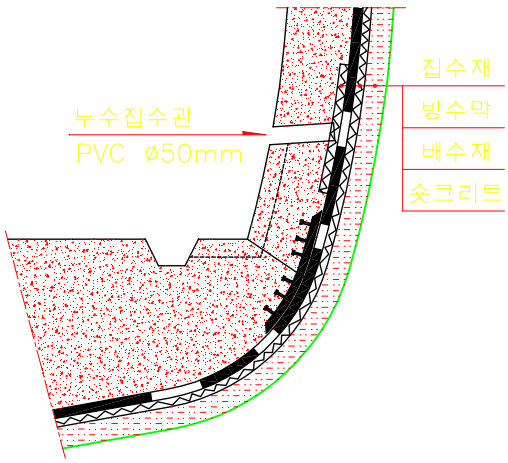
(3) 비배수형 터널에서는 대부분 콘크리트 라이닝을 철근 콘크리트로 시공하게 됨으로 철근의 이음부에는 방수막을 보호할 수 있는 조치를 취하여 시공시 방수막이 파손되지 않도록 하여야 한다. 이 경우 이 부분에 보호막을 덧붙여 주는 것이 바람직하다.

(4) 비배수형 터널의 경우 방수막에만 방수기능을 부여하지 말고 콘크리트 라이닝 자체로서도 방수기능을 감당하도록 하여야 한다. 즉, 방수막과 콘크리트 라이닝이 모두 방수기능을 발휘할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 콘크리트 라이닝을 수밀 콘크리트로 시공하도록 하여야 하며 콘크리트 라이닝의 시공이음부 및 수축, 팽창 이음부에는 반드시 지수판을 설치하도록 하여야 한다. <그림 608.6>에는 이러한 지수판의 설치사례의 일례를 나타내고 있다.

(5) 터널에서 발생되는 누수('608.7 허용누수량' 참조)를 집수하여 배수하는 누수집수관(<그림 608.7> 참조)을 설치하여야 한다.



<그림 608.6> 지수판 설치 개념도



<그림 608.7> 누수집수관 설치 개념도

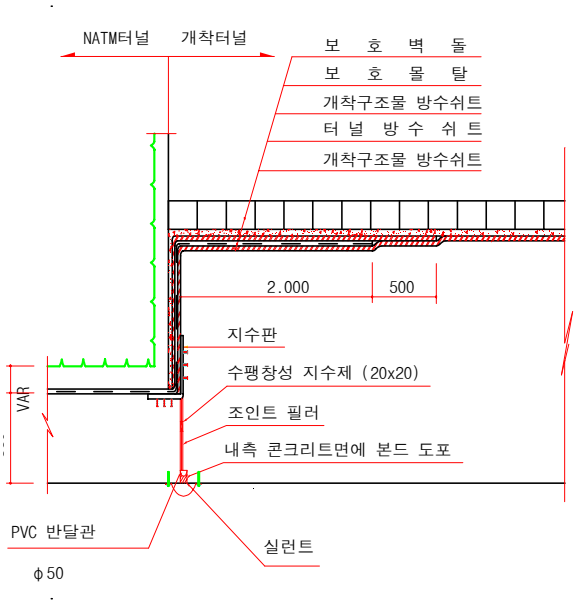
608.5 개착식 터널의 방수와 배수

5.1 개착식 터널의 방수개념

개착식 터널에서의 방수와 배수 설계시에는 NATM 개념의 터널공법의 경우에 비해 다음의 두 가지 사항을 별도로 고려하여야 한다. 첫째 인버트부를 제외한 터널주변의 지반이 완전히 교란된 지반이기 때문에 지하수 흐름에 대한 토사유송현상 등의 반응이 자연지반의 그것과는 다르다는 점이고, 둘째는 NATM 개념의 터널공법에서는 부직포 또는 드레인보드 등의 배수재가 숏크리트면과 방수막 사이에 설치되는 반면 개착식 터널에서는 대부분 방수재 또는 배수재가 매립토사와 직접 접하게 된다는 점이다. 물론 이것들과 되메움 토사와의 직접적인 접촉상태를 방지할 수는 있겠지만 숏크리트 혹은 모르터 등과 같은 재질로 일정 두께 이상으로 모두 피복하지 않는 한 숏크리트면과 같은 조건의 접촉상태를 형성하기는 어렵다. 따라서, 이러한 개착터널의 방수 및 배수개념에 있어서는 토사유송에 의한 배수시설 기능저하 가능성에 대한 충분한 대책이 강구되지 않는한 개착박스구조물의 방수 및 배수개념에 준하여 실시하는 것이 바람직하다.

5.2 굴착터널과의 접속부 방수

현재 국내에서 시공되고 있는 개착구조물의 방수막 재질과 굴착터널(통상 NATM 개념의 터널공법)에서 적용하는 방수막 재질과는 서로 상이하다. 따라서 누수가 발생하지 않도록 하는 세밀한 설계가 필요하다. 우선 두 재질의 방수막 사이에 접촉이 잘 되도록 조치하여 방수막 사이로 누수가 발생하지 않도록 하여야 한다. 이를 위해서는 충분한 겹이음길이를 확보하고 두 방수막이 떨어지지 않도록 방수접착제를 바르고 접착하여야 한다. 콘크리트 라이닝 간의 시공이음부에는 지수판을 설치하고 누수유도 배수시설로 갖추도록 하여야 한다. 굴착터널과 개착터널 구조물간 연결부 방수개념의 실례는 <그림 608.8>과 같다.



<그림 608.8> 굴착터널과 개착터널 연결부 방수 (예)

608.6 허용누수량

지하수위 하부에 터널을 건설하게 될 경우 현존하는 방수기술상 완벽한 방수를 이루어 낸다는 것은 거의 불가능하다고 보아야 한다. 이 분야에 대해서 우리나라보다 먼저 고민해 온 독일이나 영국 등의 선진국에서는 터널의 용도에 따라 요구되는 방수 등급을 정하고 각 등급별로 허용될 수 있는 누수량을 설정해 관리하고 있다. 국내에서도 비배수형 터널의 누수문

제는 공식적으로는 노출되지 않았지만 오래 전 부터 심각한 문제 중의 하나로 인지되어 왔다.

<표 608.2> 터널의 방수 등급별 허용누수량 [1)]

방수 등급	내부상태	용 도	내 부 상 태 정 의	터널연장을 기준한 허용누수량 ($\ell/m^2/day$)	
				10m	100m
1	완전건조	주거공간, 저장실, 작업실	벽면에 수분의 얼룩이 검출되지 않을 정도의 누수상태	0.02	0.01
2	거의건조	동결위험이 있는 교통터널, 정거장 터널	벽면의 국부적인 장소에 약간의 수분얼룩이 검출될 수 있는 정도, 수분의 얼룩을 건조한 손으로 접촉하여도 손에 물이 묻지 않을 정도, 흡수지 또는 신문지를 붙여보아도 붙여진 부분이 습기로 인해 변색되지 않을 정도의 누수	0.1	0.05
3	모관습윤	방수2등급 이상의 방수가 요구되지 않는 교통터널구간	벽면의 국부적인 장소에 수분얼룩이 검출되는 정도, 수분의 얼룩에 흡수지 또는 신문지를 붙였을 경우 습기로 인해 변색되지만 수분이 방울져 떨어지지 않을 정도의 누수	0.2	0.1
4	물방울이 가끔 떨어짐	시설물 터널	독립된 장소에서 물방울이 가끔 떨어지는 정도의 누수	0.5	0.2
5	물방울이 자주 떨어짐	하수 터널	독립된 장소에서 물방울이 자주 떨어지거나 방울져 흐르는 정도	1.0	0.5

1) 독일의 지하교통시설 연구협회(STUVA)의 추천값을 참조한 것임

이 누수문제는 최근 제2기 서울지하철 건설을 기점으로 표면화되면서 이에 대한 기술사항도 본격적으로 거론되기 시작하였다. 특히 부실시공이라는 획일적인 판단으로 인해 기술자들이 곤혹을 치르기로 한 부분이 기술상의 한계로 인해 기인될 수 있다는 쪽으로 인식이 전환된 것은 괄목할만한 발전이라 하겠다.

이러한 방수문제는 배수형이다, 비배수형이다 하는 방수형식에 구애되지 않고 모두 동일하게 터널내부의 조건을 어떻게 유지하여야 할 것인가를 전제로 하여 결정하여야 한다.

이를 위하여 우리여건에 맞는 우리의 기준이 없기 때문에 독일의 지하교통시설연구협회(STUVA)가 추천한 값(<표 608.2> 참조)을 참조하여 다소 보수적으로, 즉, 허용누수량을 이 값들보다 크게 하여, 우리 실정에 맞도록 발주자가 정하도록 '터널설계기준' (건설교통부, 1999)에서 제시하고 있다. 따라서 본 편람에서 다루고 있는 터널이 교통터널로서 방수 2등급 또는 3등급에 해당되므로 <표 608.2>의 방수 2, 3등급에서 제안한 값들의 2~5배에 해당되는 값을 허용누수량으로 적용할 것을 제안한다.

609
굴 착

609.1 굴착방법

굴착방법에는 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착 등이 있으며 현장여건과 지반조건을 고려하여 적합한 굴착방법을 선정하여야 한다.

일반적으로 점착력이 적거나 파쇄 혹은 팽창성 등이 심하여 굴착면의 자립시간이 짧은 지반에서는 막장의 안정을 위하여 훠폴링, 주입공법 등 굴착 보조공법을 적용하여야 하며 자세한 보조공법은 본 편람 '610 굴착보조공법'을 참조하기 바란다.

굴착방법 선정시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 원지반이 본래 가지고 있는 지보능력을 최대한 보존할 수 있으며 안정성, 경제성 및 시공성이 우수한 굴착방법을 채택하여야 한다.
- 지반조건, 지하수 유입정도, 굴착단면의 크기와 형태, 터널 연장, 근접구조물 유무와 주변 환경영향(진동, 소음 및 지표침하 등), 보조공법의 적용성을 고려하여야 한다.

1.1 인력굴착

인력굴착은 곡괭이, 삽, 착암기 등 간단한 굴착도구를 사용하여 인력으로 굴착하는 방법으로 주로 다음과 같은 조건에서 적용한다.

- 자립시간이 짧아 토사지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치하여야 하는 경우
- 진동의 영향을 크게 받는 지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치하여야 하는 경우

1.2 기계굴착

기계굴착은 쇼벨(shovel), 브레이커(baker) 등 중장비 혹은 TBM이나 쉴드 등 터널 굴진 장비를 사용하여 굴착하는 방법으로 설계시에 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 중장비에 의한 기계굴착은 절리가 심하게 발달한 파쇄암이나 풍화암 등에서 지반이완을 최소화하고 여굴을 억제하는데 적용할 수 있다.
- 굴착 중장비는 지반조건, 주위환경, 터널 단면의 크기, 형상 및 연장, 버력처리방법 등을 고려해서 시공상과 경제성 있는 기종으로 선정하여야 한다.
- TBM과 쉴드 터널의 설계는 본 편람 '616 TBM 터널', '617 쉴드터널'을 참조하기 바란다.

1.3 발파굴착

발파굴착은 가장 일반적인 암반 굴착방법으로 설계 시에 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 발파굴착은 경제성과 시공성은 양호하나 진동과 소음 등이 수반되기 때문에 지반조건 또는 주변여건에 따라서 적용여부를 결정하여야 한다.
- 발파설계는 지반조건을 고려하여 발파진동으로 인한 터널 주변 지반의 이완영역을 최소화하며 평활한 굴착면이 형성되고, 버력의 크기가 적재 및 운반에 적합하도록 수행되어야 하며, 굴착 단면의 크기 및 형상, 심발형식, 심발공, 발파공 및 주변공의 직경, 배치, 각도 및 천공깊이, 화약 종류 및 장약량, 뇌관의 형식, 발파순서, 현장 시험발파 계획 등과 같은 사항을 포함하여야 한다.
- 발파설계 시에는 발파진동이나 소음이 주변 환경에 미치는 영향을 고려하여 대책을 수립하여야 하며 엄격한 진동규제를 필요로 할 때에는 방진대책을 제시하거나 미진동 파쇄를 검토하여야 한다.
- 주변에 발파진동으로부터 보호하여야 할 시설물이나 구조물이 있는 경우, 대상 시설물 위치에서의 발파진동 허용치는 입자속도를 기준으로 <표 609.18>에서 정한 값을 준용하여 설계하여야 한다. 단, 진동에 아주 민감한 특정시설의 진동규제치는 해당 시설의 규제치를 기준으로 설계하여야 한다.
- 발파지점 주변의 주민에 대한 생활공해방지를 위한 발파진동 허용치는 환경부 제정 '진동과 소음에 관하 규정'을 준용한다. 단, 가축사육장 및 양식장, 정밀기계공장 등에 대한 인접공사의 경우에는 해당 전문가의 자문을 얻어 발파진동 허용치를 정하여야 한다.

1.4 파쇄굴착

파쇄굴착은 저 진동으로 암을 파쇄굴착하는 방법으로 인력굴착방법을 적용할 수 없는 견고한 암반에서 기계 또는 발파굴착을 채택하기 어려운 경우에 적용한다.

609.2 굴착공법

터널의 설계 및 시공 시 굴착공법의 결정은 터널의 안정성, 경제성, 공기 등을 결정하는 중요한 요소이므로 터널단면의 크기, 막장의 자립성, 원지반의 지보능력 및 지표 침하의 허용값 등 제반여건을 충분히 고려하여 결정하여야 한다. 일반적인 굴착공법의 분류는 지반조건에 따라 전단면 굴착, 수평분할 굴착, 연직 분할 굴착 및 선진 도갱 굴착공법 등으로 분류할 수 있다. 한국도로공사의 경우 도로터널 설계시 2, 3차선의 경우 지반분류에 따른 표준 단면별로 굴착공법을 정하고 있으며 4차선의 경우는 표준으로 정하여진 바는 없으나 부분단면 분할 굴착을 적용한 예가 있으므로 이를 참고하는 것이 바람직하다(<표 609.4> 참조).

<표 609.1>은 이러한 굴착공법 분류를 보여주고 있다.

<표 609.1> 굴착공법의 분류

굴 착 공 법			적용조건 (지반 및 단면의 크기)	정의
전단면 굴착			• 소단면에서 일반적인 공법 • 양호한 지반에서 중단면 이상도 가능	전단면을 1회에 굴착
분할굴착	수평 분할굴착	롱벤치	• 비교적 양호한 지반에서 중단면 이상의 일반적 시공법	L > 3D (L:벤치길이, D:터널 직경)
		쇼트벤치	• 보통 지반에서 중단면 이상의 일반적 시공법	1D < L < 3D
		미니벤치	• 연약한 지반에서 중, 소단면일 경우	L < 1D
		다단벤치	• 중단면 이상에서 막장의 자립성이 극히 불량한 경우	벤치수 3개 이상
	연직 분할굴착		• 대단면에서 지반이 비교적 불량한 경우 • 침하를 극소화할 필요가 있는 경우	연직 방향으로 분할굴착
	선진 도갱굴착		• 중대단면 터널에서 침하를 극도로 억지해야하는 경우 • 비교적 대단면으로 막장의 자립력이 부족한 경우 • 단, 다음과 같은 사항에 주의하여야 한다. - 단면확보필요 - 중벽 형상, 위치, 강성을 검토해야함	단면의 일부분을 먼저 굴착

2.1 지반조건에 따른 굴착공법 분류

2.1.1 전단면 굴착

원칙적으로 단면 전체를 1회에 굴착하는 방법으로서 지반의 자립성과 지보능력이 충분한 경우에 적용할 수 있으며, 주로 지반 상태가 양호한 중소단면의 터널에서 적용할 수 있는 공법으로 그 주된 특징은 아래와 같다.

- 굴착에 따른 응력의 재배치가 한 공정(cycle)에 완료되므로 조기에 터널을 안정화시킬 수 있는 공법이다.
- 막장이 균일하므로 작업이 단순하다.
- 기계화에 따른 급속 시공에 유리하다.
- 굴착 부분이 크기 때문에 지반 조건변화에 대한 대응성이 떨어진다.
- 단면이 큰 경우 숏크리트 및 록볼트 작업이 늦어지고 큰 작업대 등이 필요하다.

2.1.2 수평분할 굴착

일명 벤치컷(bench cut)공법이라고도 하며 단면을 여러 단계 분할하여 굴착하는 공법으로서 벤치의 단수나 길이는 굴착단면의 크기, 지반조건에 따른 설계상 인버트의 폐합시기, 투입되는 기계설비 등에 의하여 결정된다. 이 공법은 주로 지반상태가 양호하고 단면적이 큰 경우에 시공성을 높이기 위하여 적용하거나, 지반상태가 다소 불량한 경우에 막장의 자립성을 높이기 위하여 적용한다. 각 공법별 특징은 아래와 같다.

(1) 롱벤치 굴착

통상 벤치의 길이가 3D 이상으로 지반이 비교적 양호하고 시공단계에 있어서 인버트 폐합을 거의 필요로 하지 않는 경우에 채택되며 넓은 의미로는 상반 선진도갱 굴착공법도 포함된다. 이 공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점
- 상·하반 병행작업이 가능하다.
- 일반적인 장비의 운용이 용이하다.

② 단점
- 경사로를 만들지 않으면 버력이 두 번 적재된다.

(2) 쇼트벤치 굴착

벤치 길이는 보통 1D ~ 3D 정도로 공법의 적용범위가 넓고 NATM개념의 터널공법에 있어서 주류를 이루는 공법이라고 할 수 있다. 지반에 있어서는 토사에서 경암에 이르기까지 거의 모든 지반에서 적용 가능하며 크기에 있어서는 중단면 이상에서 일반적인 공법이다. 이 공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점
- 굴진 도중 지반의 변화에 대처하기가 용이하다.
- 일반적인 장비의 운용이 용이하다.

② 단점
- 상반 작업공간의 여유가 적어질 가능성이 있다.
- 경사로를 만들지 않으면 버력이 두 번 적재된다.
- 상·하반 중 한 부분만 작업이 가능하므로 작업 공정의 균형을 맞추기 어렵다.

(3) 미니벤치 굴착

팽창성 지반이나 토사지반에서 인버트의 조

기 폐합을 할 필요가 있는 경우 주로 채택되며 벤치의 길이는 터널직경의 1배 이내가 보통이다. 이 공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점
- 인버트의 조기 폐합이 가능하다.
- 침하를 최소로 억제하는 것이 가능하다.

② 단점
- 상반 작업공간의 여유가 적어질 가능성이 있다.
- 경사로를 만들지 않으면 버력이 두 번 적재된다.
- 상·하반 중 한 부분만 작업이 가능하므로 작업 공정의 균형을 맞추기 어렵다.

(4) 다단벤치 굴착

일반적으로 이 공법은 벤치의 수가 3개 이상인 분할 굴착공법으로서 막장의 자립성이 극히 불량하여 분할 굴착을 하여야 할 필요가 있는 경우에 채택되며 그 동안의 국내·외의 실적을 보면 주로 막장의 자립성 때문에 선정되는 예가 많다. 이 공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점
- 버력의 안정성을 확보하기가 용이하다.
- 대단면에서도 일반적인 장비의 운용이 가능하다.

② 단점
- 버력굴착이 각 막장에서 중복되는 일이 많다.
- 각단의 벤치의 길이가 한정된 경우는 작업공간이 협소해질 가능성이 크다.
- 일반적으로 쇼트벤치 굴착보다 변형 및 침하는 크다.

2.1.3 연직분할 굴착

하반의 지반조건은 양호하나 상반의 지반조건이 불량하여 지반의 침하량을 최대로 억제할 필요가 있는 경우나 비교적 대단면으로 막장의 지지력이 부족한 경우에 적용되는 공법이다. 따라서, 안전성 측면에서 임시 지보재를 설치할 수 있다. 막장간의 이격거리는 1D ~ 2D (D: 터널폭)를 유지하는 것이 바람직하다. 이 공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점
- 침하량을 어느 정도 억제시키는 것이 가능하다.
- 막장의 안정성을 유지하는데 유리한 공법이다.

② 단점
- 중벽으로 분할하기 위해서는 어느 정도의 단면확보가 필요하고, 시공속도가 다소 저하되는 단점이 있다.
- 작업공간의 제약으로 시공성이 저하될 우려가 있다.

2.1.4 선진도갱 굴착

주로 단면적이 특히 크거나 하저 통과구간 등 특수한 조건하에서 막장 전방의 지반 및 지하수 상태를 확인하면서 굴착하여야 하는 경우에 채택되며 측벽도갱을 이용하여 적은 굴착단면을 활용하여 굴착면을 미리 보강하여 터널의 안정을 도모하는 공법으로 연약지반에서도 침하를 적게할 수 있다는 특징이 있다. 이 공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점

- 대단면 시공에서도 침하를 최소화할 수 있다.
- 용수가 많은 경우 측벽도갱으로 배수가 가능하다.
- 대단면에서도 막장의 안정성 확보가 비교적 용이하다.

② 단점

- 일반적으로 공사비가 타 공법에 비하여 높다.
- 도갱 내벽 철거에 많은 시간과 비용이 소요된다.

2.1.5 가인버트 굴착

통상 중단면 이상에서 지반의 변형을 적극 억제하면서 시공성을 높이기 위하여 벤치의 길이를 길게 할 필요가 있을 경우에 벤치 상부에 소정량의 숏크리트를 타설하여 가인버트를 형성시키면서 굴진하는 공법이다. 이 공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

① 장점

- 상반 벤치의 길이를 크게 할 수 있으므로 상반작업공간을 넓힐 수 있다.
- 상반관통 후 하반을 시공하면 경사로가 필요 없다.

② 단점

- 상반시공 속도가 크게 저하될 가능성이 크다. 즉, 가인버트의 타설시간, 숏크리트가 일정한 강도에 달하는데 소요되는 시간, 굴착장비의 통행으로부터 인버트를 보호하기 위해 버력 메우기 시간 등 시간상실이 많다.
- 별도의 숏크리트가 필요하므로 경제성이 떨어진다.

2.2 굴착공법 비교

상기 방법 중 부분분할 굴착과 선진도갱 굴착공법은 도로터널 설계시 적용된 사례가 많지 않으므로 여기서는 전단면 굴착공법과 상·하반 분할 굴착공법에 대해서만 비교하였고, 그 결과는 다음의 <표 609.2>에 기술하였으며, 점보 드릴 사용시의 비교는 <표 609.3>에 나타내었다.

2.3 굴착공법 선정

각 굴착공법의 비교검토 결과 일반적으로 전단면 굴착이 분할 굴착공법에 비하여 시공성, 경제성에 유리하므로 암질이 비교적 좋은 구간에서는 전단면 굴착공법을 적용하는 것이 유리하며, 터널 구간 중 암질이 안좋은 구간과 터널 갱구부에서는 분할 굴착공법을 적용하는 것이 유리하다. 특히 장대 터널에서는 피난연결통로, 비상주차대 및 환기관련 지하환기소 등이 필요하고 기능별 터널 단면의 크기가 다양하므로 기존 국내의 시공실적을 비교·검토하여 합리적인 선정기준을 결정하여야 한다.

2.4 일반적 적용기준 사례

<표 609.4>는 한국도로공사에서 적용 중인 2·3차선 표준단면에 적용할 때 일반적인 적용기준을 하나의 사례로 나타낸 것으로 계획된 터널단면이 표준 단면을 적용하였다면 그 굴착공법을 <표 609.4>와 같이 적용하여도 무방할 것으로 판단된다.

<표 609.2> 전단면 굴착공법과 상·하반 분할 굴착공법의 비교

구 분	전단면 굴착 공법	상·하반 분할 굴착 공법
검토 사항	• 암질이 양호하여 지반자체가 가지고 있는 지보능력이 크므로서 막장의 자립시간이 긴 경우에 주로 적용 • 굴착에 따른 응력의 재배치가 한 공정에 완료되므로 조기에 터널을 안정화시킬 수 있는 공법이다. • 막장이 단일하므로 작업이 단순하다. • 일시에 전단면을 보강하므로 이음부(joint)의 시공불량을 방지할 수 있다. • 하단부 굴착시 발파로 인한 상부 보강의 파손 우려가 없다. • 기계화에 따른 고속 시공에 유리하다. • 버력처리 작업이 용이하다.	• 암질이 비교적 불량하여 막장의 자립시간이 비교적 짧은 경우에 주로 적용 • 하부굴착시 상부 1차 보강의 파손 우려가 있다. • 상·하반보강 이음부의 시공 불량을 유발할 수 있다. • 버력처리 작업이 용이하지 않다. • 굴착공법이 복잡하여 공기가 길어진다.

<표 609.3> 점보 드릴을 사용할 때 전단면 굴착공법과 상·하반 분할 굴착공법의 비교

항 목	전단면 굴착공법	상·하반 분할 굴착공법
천공작업	○	-
버력처리	○	-
보강공사의 일관성	○	-
굴착공사비	○	-
소요공기	○	-
품질관리	○	-
양질의 암반	○	-
연약암반	-	○
비 고	연약암반에 대하여는 지반 보강공법 등 보조공법이 필요	
적 용	경암, 보통암, 연암에 적용	풍화암, 파쇄대에 적용

주) ○ : 비교공법보다 우수

<표 609.4> 표준 단면의 일반적 적용기준

표준단면	암분류	2차선 기준		3차선 기준	
		굴착공법	1회 굴진장 (m)	굴착공법	1회 굴진장 (m)
표준단면-1	경 암	전단면 굴착	3.5	상·하반 분할굴착	2.0/3.0
표준단면-2	보통암	전단면 굴착	3.5	상·하반 분할굴착	1.5/3.0
표준단면-3	연 암	전단면 굴착	2.0	상·하반 분할굴착	1.2/2.4
표준단면-4	풍화암	상·하반 분할굴착	1.5/3.0	상·하반 분할굴착	1.0/1.0
표준단면-5	풍화암(토)	상·하반 분할굴착	1.2/1.2	상·하반 분할굴착	0.8/0.8
표준단면-6	갱구보강용	상·하반 분할굴착	1.0/1.0	-	-

주) 한국도로공사 터널 단면 표준도 참조(편람 '605 터널 지보재'에서 <그림 605. 3,4,5,6,7,8,>)

그러나 터널이란 조사, 설계, 시공 및 계측이 삼위일체가 되어야만 성공적으로 공사를 수행할 수 있으므로 지반분류 및 지보재 형식에 대한 패턴을 충분히 이해하고 사용목적과 지반조건에 부합된 적절한 조치가 필요하다.

609.3 발파공법

3.1 발파계획

발파계획을 세우는 데 있어서는 미리 정해진 굴착공법, 굴착공정을 근거로 하여 지반조건, 단면의 모양과 크기를 고려하여 우선 발파예정 진행장(천공깊이)을 정한 다음 심발 형식, 발파공배치, 화약의 종류, 장약량, 뇌관의 형식, 주변공의 간격 및 약량, 발파순서 등을 정한다. 경제적 측면에서는 굴진길이를 길게 하는 것이 바람직하나, 지반의 자립성 및 주변환경에 의하여 제약을 받게 된다. 굴진길이는 대부분 지반의 종류에 따라 다르게 되나 일반적으로 연암에서는 1.5~2.0m정도로 하며, 강지보재 설치가 필요 없는 경암지역에서는 지반의 상태에 따라 유연하게 조정이 가능하다. 다만 발파지역 주위에 미치는 진동, 소음 등에 유의하고, 장공(4.0m이상)발파도 포함하여 경제성과 안정성을 고려하여 1회 발파 굴진길이를 결정할 필요가 있다.

특히, 지상 및 지중구조물, 인가, 축사, 기타 시설에 접근하여 터널을 설치하는 경우에는, 발파진동이 이들에게 악영향을 미칠 경우가 발생하므로 주변환경에 대한 영향을 조사해서 대책을 강구하여야 한다. 발파진동의 최대치는 주로 심발발파 단계에서 발생하므로 적절한 심발발파방법을 선택하여야 한다. 진동경감대책으로서는 1회에 폭파하는 화약의 사용량을 제한하고 또 발파속도가 낮은 화약을 사용하는 등의 방법을 쓰고 있고, 또 심발발파에 순발 이외의 지발 전기 뇌관을 사용함으로써 전기뇌관의 미소한 발파시간차를 활용하여 진동을 경감할 수 있다. 발파의 기본은 적정 장약량 선정에 있고 과대장약이 되지 않도록 주의하여야 한다. 과소장약은 오히려 발파진동 및 발파음을 크게 할 때가 있다. 경우에 따라서는 현장 시험발파를 행하여 발파진동과 발파음에 대하여 측정하고 적정한 발파를 계획하여야 한다.

3.2 발파공법의 종류

터널 굴착에서는 굴착면 주변지반의 손상을 최소로 하는 것이 필수요건이므로 이를 위해 특수한 발파공법이 이용되고 있으며 발파는 큰 에너지를 짧은 시간에 방출함으로써 주변의 건물이나 인체에 손상을 입힐 우려가 많다. 이러한 손상을 일으키지 않기 위해서는 지반과 폭약의 성질을 잘 이용하여 최적의 발파공법을 적용해야 하며 심발 및 굴착면 주변공에 대한 일반적인 발파공법의 분류는 <그림 609.1>과 같다.

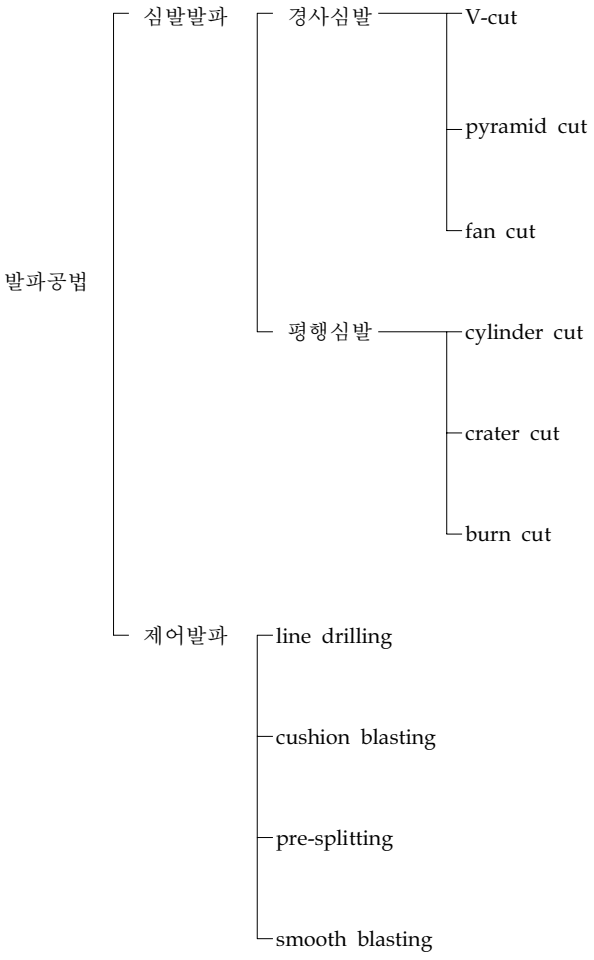
3.3 심발발파

터널발파시 가장 중요한 요소는 심발발파이다. 심발발파를 통해 2개의 자유면을 형성하므로써 확공발파가 용이해지기 때문이다. 특히, 심발발파는 주변공 발파 전에 먼저 이루어지는 자유면 형성 과정이므로 현장여건 및 지반조건을 고려하여 최적의 심발방법을 채택하여야 한다. 심발방법의 종류는 여러 가지 있으나 비교

적 많이 사용되는 심발방법에 대하여 간략하게 설명하고자 한다.

3.3.1 대표적인 심발발파의 특징

심발방법은 여러 가지가 있으나 사용되고 있는 종류는 <그림 609.1>에서 열거된 바와 같이 그 동안 국내 실적이 많은 V-cut, burn-cut, cylinder-cut 등이 있으며, 최근 건설교통부 신기술 등록을 받은 supex-cut을 들 수 있다. 이들 중 주로 많이 사용되고 있는 공법에 대한 그 특징 및 원리를 살펴보면 다음과 같다.



<그림 609.1> 발파공법의 종류

(1) V-cut

경사심발 중 가장 일반적인 심발방법으로서 충분한 발파 진행장을 얻기 위해서는 어느 정도의 폭을 필요로 한다. 즉 천공방향이 수속점으로부터 심발중심선 방향으로 향하는 것이 가장 이상적이지만 천공시 rod 조작의 한계성 때문에 소단면에서는 적용하기가 곤란하다.

그러나 일회 굴진장이 비교적 짧은 경우(L=1.5 m 이하)에는 진동으로 인하여 장약량이 극히 제한된다면 심발을 여러 단계로 나눈 다중 심발발파를 함으로써 비교적 적은 장약량으로도 소기의 목적을 달성할 수 있다. 그리고, cylinder cut와 같이 대공(통상 75 ~ 200 mm)을 천공하기 위한 특수장비를 필요로 하지 않는다. 도심지 터널에서는 진동제어로 인하여 굴진장도 짧고 단면의 크기도 중단면 이상일 뿐만 아니라 특히, 심발부에서의 진동제어를 할 필요성이 있기 때문에 적절히 활용하면 효과적인 심발방법이다.

(2) Burn cut 및 cylinder cut

Burn cut이나 cylinder cut은 공히 심발의 중앙부에 burn hole(무장약공)을 천공하여 이를 자유면으로 활용한다는 점을 기본으로 하나, burn cut은 비교적 소구경(공경 75 mm 이하)의 burn hole을, 또 cylinder cut은 대구경(공경 75 mm ~ 200 mm)의 burn hole의 목적이 기본적으로 자유면의 형성에 있으므로 심발효과면에서 보면 cylinder cut이 burn cut보다 우월하다.

Burn cut은 중앙부에 1개 혹은 수개의 Burn Hole을 천공하고 그 주변의 수평공으로부터 발파를 하여 순차적으로 발파를 해가는 방법으로 정확한 수평천공을 기본요건으로 하며 Burn hole 주변공의 장약량이 많아지고 또

Burn hole의 공경이 작아 자유면 역할을 충분히 못할 경우 진동이 커질 가능성이 높다.

Cylinder cut은 중앙부에 비교적 큰 burn hole을 1~2개 형성시켜 자유면으로 활용하므로써 burn cut에 비하여 심발효과가 확실하여 최근 터널 굴착에 가정 널리 쓰이는 방법이다.

또 burn hole의 공경이 클수록 공수가 많을수록 발파효과가 양호하므로 공간격을 좁힐 수도 있고, 장약량의 조정도 가능하여 장약량의 제한을 받는 경우 효과적인 방법이다. 특히, V-cut과는 달리 굴착폭에 제한을 받지 않아 장공 발파에 유효한 공법이다. 그러나 대구경의 천공을 하기 위해서는 특수한 장비를 필요로 하며 burn hole 천공이 정확히 수평이 되지 않으면 심발효과가 크게 저하되는 것이 단점이다.

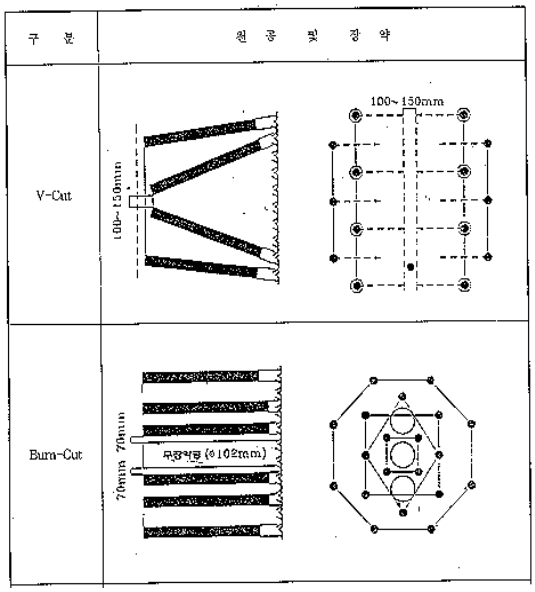
3.3.2 국내 적용 심발발파 종류 및 특징

국내 터널공사에서는 현재까지 V-cut, cylinder cut을 도입·적용하고 있는 실정이며, 여기서는 기 적용된 바 있는 V-cut와 cylinder cut에 대해서 <표 609.5>와 <그림 609.2>에서 간략하게 비교하였다.

<표 609.5>에서 본 바와 같이 천공장이 길고 숙련된 기능공에 의해 정확한 시공이 이루어질 경우에는 cylinder cut이 효과적이고, 불량 암질에서는 지보목적 상 발파당 굴진장을 1.5m 내외로 짧게 하여야 하므로 천공장이 짧을 때에 유리한 V-cut 공법을 주로 적용하고 있다.

3.4 제어발파

보통 발파공법에는 폭약의 에너지가 작용하는 방향이 확실하지 않기 때문에 암반에 큰 손



<그림 609.2> 심발 공법별 천공 및 장약

실을 주고 굴착면의 요철이 심하게 되고 때로는 균열이 굴착면 깊숙히 발달되기 쉽다. 이러한 발파로 인하여 터널의 굴착단면이 설계단면보다 커지게 되어 여굴이 많아진다. 이 경우 콘크리트 타설량도 많아지고 암반 손상에 따라 지보재도 과다하게 된다. 그러므로 설계 굴착선에서는 여굴량과 암반의 균열을 최소로 하기 위해 제어발파(controlled blasting)를 실시한다. 제어발파의 방법으로는 <그림 609.1>에 제시한 바와 같이 여러 가지 방법들이 있다.

3.4.1 스무스 블라스팅

스무스 블라스팅(smooth blasting)의 원리는 발파력의 쿳션 작용에 기초를 두는 것으로 발파충격에 의한 불규칙적인 암반의 파쇄를 방지하고 정적인 에너지를 가진 발파가스의 작용으로 암반을 파괴하여 평탄한 굴착면을 얻는 것이다. 이를 위해서는 굴착면을 따라 천공열을 평행하게 배치하고 구멍지름보다 아주 작은 지

<표 609.5> V-cut와 cylinder cut의 비교

구 분	개 요	장단점
V-cut	현재 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 공법으로 터널 중앙부로부터 일정간격의 양측에서 여유를 주어 천공하여 공저에서 일치하도록하며 각 hole은 공저에서 최소 60°각도를 갖도록 한다.	• 신자유면이 크므로 기능 미숙련 또는 천공편차, 천공면의 악조건 등으로 다소 천공이 불량하여도 비교적 목적에 가까운 굴진장을 얻을 수 있다. • 심발공을 자유면에 대하여 60°각도를 주어 천공하므로 천공길이에 비해 굴진길이가 줄어든다.
Cylinder cut	Burn cut법을 개량한 신발파법으로 인위적인 신자유면 역할을 하는 무장약공을 장약공보다 대구경으로 천공한 다음 이를 중심으로 심발공을 밀집으로 천공하여 발파하는 공법	• 심발공을 평행으로 천공하므로 V-cut과 같이 굴진길이가 줄어드는 결점을 보완하였다. • 발파에 실패할 경우 다음 발파를 위한 천공이 어렵고 잔류화약 등으로 매우 위험하다. • 심발공의 공간거리를 10~20cm로 밀집하여 평행 천공하므로 심발공 천공에 고도의 숙련을 요구하며 기능미숙, 천공편차, 천공면의 악조건 등으로 공발의 우려가 높다.

름의 폭약을 사용하여 약장약으로 발파하는 방법으로 발파에너지가 제어됨으로써 원지반의 손상을 방지하고 여굴도 줄인다. 이 방법의 장점은 아래와 같다.

- 암반에 손상이 적다. (암반자체의 강도를 저하시키지 않는 것은 NATM 개념의 터널 공법에 있어서 매우 중요함)
- 평탄한 굴착면을 얻을 수 있고 여굴이 적다.

스무스 블라스팅의 파괴 기구는 인접한 2개의 천공홀의 장약을 동시에 기폭하면 각각의 폭약으로부터 응력파가 나와서 방사상으로 전압하고, 그 응력파가 중앙에서 충돌, 간섭함으로써 인장파를 발생시켜 천공방향과 직각으로 파단이 생긴다는 것으로 설명되고 있다. 따라서 스무스 블라스팅을 위한 천공은 될 수 있는 한 후발 발파를 하지 않으면 안된다.

3.4.2 프리 스플리팅

프리 스플리팅(pre-splitting) 방법은 굴착면 주변을 먼저 발파하여 파단면을 형성하고 그 후 나머지 부분을 발파하는 방법이다. 주변의 천공 간격은 스무스 블라스팅의 경우보다 작고 장약량도 적다. 그러나, 평행천공의 정밀한 기술이 필요하고, 암반의 균열을 따라 발파에너지가 작용하므로 장약량과 천공간격을 암반조건에 맞추어 결정해야 하는 어려움이 따른다. 천공을 평행하게 접근시켜 배치하고 천공홀 지름보다 작은 지름의 폭약을 사용하여 경장약으로서 발파하는 방법으로 발파에너지의 작용방향이 제어됨으로써 원지반의 손상이 적게 되어, 발파면이 평활해져서 여굴은 물론 버력도 적어진다.

3.5 폭약, 뇌관 및 장약

3.5.1 폭약의 성질

(1) 폭속

폭약이 폭굉하는 속도를 말하며 일반적으로 폭속이 빠른 폭약은 폭력이 크고 동일 폭약일지라도 여러 가지 요인에 따라 변화한다. 보통은 내경 35m/m 철관의 밀폐상태에서 측정된 수치를 나타내며 약경이 작으면 폭속이 저하되는 현상을 볼 수 있다.

(2) 위력 (Strength)

폭약의 위력을 표시하는 방법은 여러 가지가 있으나 보통은 strength로 비교한다. Strength는 weight strength와 bulk strength의 두 가지의 종류가 있으며 주로 weight strength가 현장에서 쓰인다. Weight strength란 blasting gelatine(Nitroglycerine 92%, Nitrocellulose 8%)의 단위 중량의 위력과 비교한 수치(%)로 나타낸다.

(3) 기타성질

위 두 가지 이외에도 폭약 선정시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 비중
- 방수
- 동결
- 폭력
- 저장 및 취급의 안전도
- 유독 가스 발생량
- 순폭도 = $\frac{l}{d}$ = $\frac{\text{최대 순폭거리 } (mm)}{\text{시험약포의 지름 } (mm)}$

3.5.2 폭약의 종류

일반적으로 사용되어지는 폭약의 종류 및 특성은 다음과 같다.

(1) 다이나마이트

① 고성능 다이나마이트(<표 609.6> 참조)

- 상품명 : Himite 6000
- 약 상 : Gel 상
- 내수성 : 우수
- 가비중 : 1.4 g/cc
- S - T : -
- 순폭도 : 4
- 낙추감도 : 50cm 불폭
- 후 가스 : 양호
- 폭 속 : 6,000m/sec
- 화약력 : 11,600 $l \cdot kg/m^3$

<표 609.6> 고성능 다이나마이트
(Himite 6000)

구분 \ 종류	약 경				
	25m/m	28m/m	32m/m	36m/m	50m/m
약장 (m/m)	218	271	400	400	400
약량 (gr/본)	125	200	375	400	1000
포장단위 (본/Box)	200	125	60	50	25
kg/Box	25	25	22.5	25	25

② 일반용 다이나마이트(<표 609.7> 참조)

- 상품명 : Himite 5000
- 약 상 : Gel 상
- 내수성 : 우수
- 가비중 : 1.3 g/cc
- S - T : -
- 순폭도 : 4
- 낙추감도 : 50cm 불폭
- 후 가스 : 양호
- 폭 속 : 5,500m/sec
- 화약력 : 10,200 $l \cdot kg/m^3$

<표 609.7> 일반용 다이나마이트
(Himite 5000)

구분 \ 종류	약 경				
	25m/m	28m/m	32m/m	36m/m	50m/m
약장 (m/m)	218	271	400	400	400
약량 (gr/본)	125	200	375	400	1000
포장단위 (본/Box)	200	125	60	50	25
kg/Box	25	25	22.5	25	25

(2) 터널내용 초안폭약(<표 609.8> 참조)

- 약 상 : 분상
- 가비중 : 1.1 /cc
- S - T : -
- 순폭도 : 2
- 낙추감도 : 15cm 이상
- 후 가스 : 우수
- 폭 속 : 3,500m/sec
- 화약력 : 7,500 $l \cdot kg/m^3$

<표 609.8> 갱내용 초안 폭약

구분 \ 종류	약 경
	ϕ 28m/m
약 장	261
약 량	156.25 gr/개
포장단위	160 본/Box
kg/Box	25

(3) 함수폭약(<표 609.9> 참조)

함수폭약은 물과 산소공급제, 특수예감제 등이 적당한 비율로 함유되어 있는 겔(gel)상의 폭약이며, 일반 폭약이 흡수하면 위력이 감소하거나 불발되는데 반하여 이 폭약은 폭발성능에 물이 큰 역할을 하므로 수공에서 사용할 수 있으며 취급이 대단히 안전하다는 장점을 갖고 있다.

- 약 상 : Gel 상
- 내구성 : 우숭
- 후 가스 : 우수

(4) 정밀폭약(FINEX-I, II호)(<표 609.10> 참조)

정밀폭약(FINEX)은 여굴의 발생을 억제하고 진동을 약하게 하는 동시에 단면을 평탄하게 얻을 수 있는 특수 폭약으로 주로 터널발파, 조경발파 등에 사용되며 FINEX-I호, II호가 병용하여 쓰여진다.

<표 609.9> 함수 폭약 (KOVEX)

구분 \ 종류	K-100	K-300	K-700
폭 속	4,500 m/sec	3,500 m/sec	4,500 m/sec
낙추감도	100cm에서 불폭	100cm에서 불폭	100cm에서 불폭
가 비 중	1.1 g/cc	1.0g/cc	1.2g/cc
화 약 중	7,700 l·kg/m^3	-	-

<표 609.9> 함수 폭약 (KOVEX)(계속)

구분 \ 종류	K-100			K-300	K-700
	25 m/m	28 m/m	32 m/m	28 m/m	50 m/m
약상 (m/m)	433	350	560	183	523
액량 (gr개)	250	250	500	125	1250
포장단위 (본/Box)	100	100	50	200	20
kg / Box	25	25	25	25	25

<표 609.10> 정밀 폭약

구분 \ 종류	FINEX-Ⅰ	FINEX-Ⅱ
약 상	반 교 상	분 상
내 수 성	양 호	양 호
가 비 중	1.0 gr/cc	1.0gr/cc
S - T	47 %	65 %
폭 속	4,400 m/sec	3,900 m/sec
순 폭 도	8~10 배	2~3 배
낙추감도	40 cm 이상	50 cm 이상
화 약 력	8,400 l·kg/m	8,200 l·kg/m
후 가 스	우 수	양 호

<표 609.10> 정밀 폭약(계속)

구분 \ 종류	FINEX-Ⅰ	FINEX-Ⅱ	
	17mm	22mm	28mm
약 장 (m/m)	425	340	665
약 량 (gr/개)	100	125	390.03
포장단위 (본/Box)	250	200	64
kg/Box	25	25	25

(5) 에멀젼 폭약(Emulsion explosives)

에멀젼 폭약(emulsion explosives)은 함수 폭약의 일종으로서 기존의 함수폭약이 갖고 있는 내한성, 약상, 폭력 등을 개선한 최신 폭약이다. 함수폭약의 안정성, 내수성, 후가스 등의 장점을 보유하면서 성능이 우수한 폭약이다. 위력(폭속, 폭력 등)은 다이나마이트에는 미치지 못하나 여건이 적합한 경우 터널에 이용하면 좋은 효과를 기대할 수 있다.

① (주) 한화 제품

- 상품명 : 뉴마이트 (new mite)
- 가비중 : 1.2 g/cc
- 순폭도 : 1
- 낙추감도 : 100cm 불폭
- 폭 속 : 5,200m/sec
- 화약력 : 9,600 l·kg/m^3

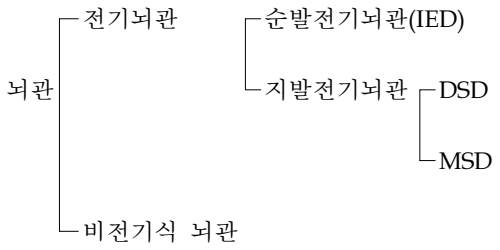
② 고려화약 제품

- 상품명 : 에뮤라이트 (emulite)
- 가비중 : 1.2 g/cc
- 순폭도 : 1
- 낙추감도 : 8 급
- 폭 속 : 5,200m/sec
- 화약력 : 9,600 l·kg/m^3

3.5.3 뇌관

(1) 뇌관의 종류

뇌관은 다음과 같은 전기뇌관 및 비전기식 뇌관으로 대별될 수 있다.



(2) 전기뇌관 (Electric Detonator)

지발전기뇌관에서 지발간격은 제품마다 약간 차이가 있으나 대략 25/1000sec 간격으로 지발되는 MSD(Milli Second Detonator)와 25/100sec 간격으로 지발되는 DSD(Deci Second Detonator)가 있다. DSD와 MSD에 대한 자세한 기술은 ' 3.6.4 발파진동의 경감 방법'에 서술되어 있다. 전기뇌관은 모든 공사에 광범위하게 쓰이고 있으며 터널 발파에 가장 중요하게 고려해야 한다.

(3) 비전기식 뇌관 (Nonelectric Detonator)

보다 정밀한 발파가 필요한 곳에서는 이 시스템의 사용에 대해 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

비전기식뇌관(NONEL)의 특징은 다음과 같다.

- 비전기식이며 압축공기에 의해 기폭되므로 기존 전기뇌관 보다 안전
- 양호한 연시 초시 정밀도로 단발발파가 가능
- NONEL 커넥터와의 조합 사용으로 연시 시간간격의 한계 극복
- 무한 단수 확보가 가능
- 결선이 단순, 용이하고 작업능률이 높음
- NONEL 커넥터에 의해 연시 시간을 조절함으로써 지발당 장약량을 줄일 수 있어 cautious blasting 공법적용에 유리
- 도화선 대신에 signal tube와 도폭선을 이용한 기폭시스템이며 delay connector에 의해 시차를 조절한다.
- 반면, 결선확인이 불가능하며, 폭음이 크다는 단점도 안고 있으며, 환경적인 문제로 현재는 사용을 안하는 추세에 있다.

3.5.4 천공간격 및 장약량

(1) 천공간격

천공간격은 발파단면적, 지반조건 등에 따라 달라지나, 이의 결정을 위하여 특별히 제시된 방법이 따로 없어 축적된 경험을 토대로 결정하는 것이 현재로서는 가장 적절한 방법이다.

(2) 공당 장약량의 결정

재래식 소형착암기에는 주로 Hauser의 식을 사용하여 결정한다. 심발공의 장약량은 식 (609.1)과 같으며, 확대발파공의 장약량은 식 (609.2)와 같다.

$$L = CW^3 \qquad (609.1)$$

$$L = C \cdot \ell \cdot W^2 \qquad (609.2)$$

여기서, L : 공당 장약량 (kg)
C : 발파계수
W : 최소저항선(m)
ℓ : 굴착진행장 (m)

발파계수 C는 다음 식 (609.3)으로 구한다.

$$C = e \cdot g \cdot d \cdot t \cdot f(w) \qquad (609.3)$$

여기서, e : 폭약의 위력 계수(<표 609.11>)

g : 암반의 저항 계수(<표 609.14>)
d : 전색 계수(<표 609.12>)
t : 장약 계수(<표 609.13>)
f(w) : 발파규모 계수(<표 609.15>)

<표 609.11> 폭약의 위력 계수(e)

구분 / 폭약의 종류	가비중	순폭도	폭속 (m/sec)	위력계수, e
Gelatine Dynamite	1.3~1.4	4~5	5,000~5,500	1.0
함수 폭약	1.1~1.2	2	3,900	1.1
초안폭약 (터널내 용)	1.0~1.1	2~3	3,000~3,500	1.1

<표 609.12> 전색계수(d)

전색 상태	전색 계수, d
모르터 전색	0.8
Sand Clay 전색	1.0
Wooden 전색	1.05

<표 609.13> 장약계수(t)

장약방법	장약계수, t
밀 장 전	0.9
보통장전	1.0
경 장 전	1.1

(3) m^3당 장약량

<표 609.16>에는 기존 V-cut 기준으로 설계에 적용된 사례와 기술자문시 화약기술사가 제시한 값을 비교한 결과를 보여주고 있다.

3.6 발파진동

3.6.1 발파진동에 영향을 주는 요인

일반적으로 발파진동에 영향을 주는 요인들은 다음과 같다.

- 화약의 종류 : 다이나마이트, 함수폭약, 고성능폭약, 정밀폭약 등
- 화약의 특성 : 폭속, 밀도
- 장약량
- 기폭방법
- 전색상태, 천공경, 장약밀도
- 자유면수
- 지반조건 : 지반의 밀도, 불연속면의 빈도
- 폭원거리 등

3.6.2 진동치를 추정하는 방법

진동은 장약량이 많을수록, 폭원에서 거리가 가까울수록 크게된다.

$$V = KW^{m}D^{-n} \qquad (609.4)$$

여기서, V : 입자속도(cm/sec)
K : 발파진동 상수
m,n : 시험에서 결정되는 상수
W : 장약량
D : 폭원에서의 거리

참고로 세계적으로 소개된 발파진동의 경험식은 <표 609.17>에 제시된 바와 같으며 서울지역의 경우 화강암 및 편마암 지층에 대하여는 별도의 추정공식을 사용하고 있다.

따라서 각 터널 사업단위로 지반 종류별로 시험발파를 실시하여 지역특성에 부합되는 발파진동 추정식을 수립함이 바람직하다.

<표 609.14> 암반의 저항계수(g)

압축강도 (kg/m^2)	암석의 종류	터널용	대발파용
2400		1.15	1.12
2200		1.07	1.06
2000	화강암, 화강섬록암, 섬록암, 쳐트	1.0	1.0
1900	안산암, 연무암	0.97	0.97
1800		0.93	0.84
1700	화강암, 화강섬록암, 섬록암, 문암, 사암, 석영, 편암, 쳐트 (중생, 고생대)	0.90	0.92
1600	사암 (고생·중생대)	0.87	0.89
1500	안산암, 현무암, 석영조면암, 쳐트, 휘록응회암, 편마암	0.83	0.86
1400	화강암, 화강섬록암, 섬록암, 응회질안산암, 화산력, 응회암, 사암 (고생·중생대)	0.80	0.83
1300	분암, 안산암, 현무암, 점판암	0.77	0.81
1200	분암, 응회질안산암, 휘록응회암, 석회암, 천매암, 석영, 편암	0.73	0.78
1100	응회질안산암, 석영조면암, 사암(제3기), 점판암, 화산력	0.69	0.75
1000	각력응회암, 편아암	0.66	0.72
900	점판암, 력암, 녹니편암	0.62	0.69
800	석영조면암, 사암 (제3기), 혈암, 반암	0.59	0.66
700	석암 (제3기), 석회암, 력암, 천매암 (변성암), 석진편암	0.55	0.63
600	혈암, 응회암, 반암, 녹니편암	0.51	0.60
500	응암, 혈암, 응회암, 석묵편암	0.47	0.58
400	이암, 콘크리트	0.43	0.55
300		0.38	0.52
200		0.35	0.49

<표 609.15> 발파규모 계수f(w)

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
암석파괴의 경우	작은 균열		균 열 이 있다.		큰버력으로 비석은 없다		작은버력으로 비석이 있다.		분쇄 비석	
Con'c파쇄기에 의한 발파	———	———								
소할발파		———	———	———						
Bench cut					———	———	———			
터널 stoping hole						———	———	———		
터널 cut hole 발파								———	———	———
대발파								———	———	———
W=0.3	0.5	0.69	0.88	1.08	1.15	1.26	1.37	1.48		
0.4	0.375	0.52	0.68	0.82	0.9	1.01	1.12	1.24		
0.5	0.3	0.42	0.55	0.68	0.75	0.86	0.97	1.08	1.20	1.30
0.6	0.25	0.36	0.47	0.58	0.65	0.76	0.87	0.98	1.10	1.20
0.7	0.21	0.31	0.41	0.50	0.58	0.69	0.80	0.91	10.3	1.13
0.8	0.19	0.28	0.36	0.45	0.52	0.64	0.74	0.86	0.97	1.07
1.0	0.15	0.225	0.3	0.38	0.45	0.56	0.67	0.78	0.09	1.0
1.2	0.13	0.19	0.26	0.32	0.4	0.51	0.62	0.74	0.85	0.95
1.5	0.1	0.12	0.22	0.28	0.35	0.46	0.57	0.68	0.80	0.90
2.0		0.10	0.18	0.22	0.3	0.41	0.52	0.64	0.75	0.86
2.5			0.15	0.20	0.27	0.38	0.49	0.60	0.73	0.83
3.0			0.13	0.18	0.25	0.36	0.47	0.58	0.71	0.82
5				0.14	0.21	0.32	0.43	0.54	0.68	0.8
10					0.18	0.29	0.40	0.52	0.61	0.81
15					0.17	0.28	0.39	0.50	0.67	0.85
20					0.16	0.28	0.39	0.50	0.69	0.89

<표 609.16> 터널별 천공수 및 장약량 비교

터널명 \ 지보형식		표준단면-1[1)]	표준단면-2	표준단면-3	표준단면-4	표준단면-5	표준단면-6	발파환기방식
자문위원	천공수/장약량(kg)	130/302	130/302	155/218	161/146	164/95	-	2차선 자연환기
	장약량(kg/m^3)	1.35	1.35	1.40	1.24	0.97	-	
죽령터널	천공수/장약량(kg)	132/257	132/257	160/163	171/118	175/93	175/93	2차선 종류식
	장약량(kg/m^3)	1.10	1.10	1.03	0.98	0.95	0.95	
상주터널	천공수/장약량(kg)	120/269	120/269	152/226	161/167	164/135	164/135	2차선 종류식
	장약량(kg/m^3)	1.15	1.15	1.43	1.39	1.38	1.38	
불모산터널	천공수/장약량(kg)	137/264	137/264	168/143	190/88	188/50	-	2차선 반횡류
	장약량(kg/m^3)	0.98	0.98	0.78	0.63	0.54	-	
수리터널	천공수/장약량(kg)	282/620	282/620	296/277	326/185	-	-	4차선 반횡류
	장약량(kg/m^3)	1.25	1.25	1.09	1.03	-	-	
박달재터널	천공수/장약량(kg)	145/261	145/261	139169	171/111	169/67	-	2차선 반횡류
	장약량(kg/m^3)	1.051	1.051	0.985	0.84	0.75	-	
차령터널	천공수/장약량(kg)	120/269	120/269	152/226	161/167	164/135	164/135	2차선 종류식
	장약량(kg/m^3)	1.13	1.13	1.093	1.054	1.020	1.019	
설계표준도	천공수/장약량(kg)	119/263	119/263	155/231	164/172	164/172	-	2차선 자연환기
	장약량(kg/m^3)	1.13	1.13	1.45	1.36	1.32	-	

1)'605 터널 지보재' 중 '1.3.2 표준패턴선정사례 참조

<표 609.17> 발파 진동 경험식

관리기준	제안자	추정식	성립조건	비고
진폭의 최대치(A)	火田 中	$A=400K \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2}$ $A=5.2K \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2}$	$15<D<250$ $250<D<1,500$	K=7.0 표토층이 파장에 비하여 깊음 K=2.5 표토층이 파장에 비하여 얇음 K=1.0 표토층이 없음
	USBM	$A=30 \cdot K \cdot (e^{-0.00469/D}+0.0143) \cdot W^{2/3}$	$152<D<1,829$ $454<W<4,536$	K=1.0 표토층이 없음 K=2.0 표토층 두께가 보통 (파장의 1/2~1/4) K=3.0 표토층 두께가 두꺼움 (파장의 1/2이상)
변위속도의 최대치(V)	Langefors	$V=K \cdot W^{0.5} \cdot D^{-0.75}$		K=300~700
	Crandell	$E \cdot R=K \cdot W^2 \cdot (50/D)^2$		K=local constant $E \cdot R=4f^2v^2$, v:진동속도
	Devine et al.	$V=K \cdot W^{0.75} \cdot D^{-2}$		
	일본화약(주)	$V=K \cdot W^{0.75} \cdot D^{-2}$	$5<D<3,000$ $0.2<W<4,000$	K=450~900 : 심발발파 K=200~500 : 확대 제어발파 K=300~700 : floor hole
	일본유지(주)	$V=K \cdot W^{0.75} \cdot D^{-1.5}$		K=80±40 : dynamite 사용시 K=60±20 : 제어발파 폭약 K=20±10 : cone 파쇄기
	吉川他	$V=K \cdot W^{0.75} \cdot D^{-1.5}$		K=100~700
	USBM	$V=K \cdot (D/W^{0.5})^n$		K=12~550, n : 상수

3.6.3 허용 진동 기준치

(1) 일반적 기준치

일반적으로 입자속도가 0.5cm/sec 미만은 안정하며, 5.0～13.5cm/sec의 범위에서는 경미한 피해가 예상되고 그 이상에서는 상당한 구조적 피해가 있다고 알려져 있다.

(2) 허용진동규제치

허용발파진동치란 진동에 의해 구조물에 피해가 발생되지 않도록 규제하는 범위의 진동치를 말하며, 일반적으로 엄밀한 의미의 허용진동치는 구조물의 크기(층수 등), 설계구조(내진설계 유무), 재질(철근 콘크리트, 블록조, 석조, 목조 등)과 건전성(결함 유무, 노후화 정도 등) 등에 따라서 개개 구조물별로 서로 상이하게 되며, 인체에 대한 허용진동치는 개개인의 진동에 대한 인내심이나 그 당시의 심리상태 등의 주관적 요소에 따라 서로 달라지게 된다.

현재 터널설계기준에서는 대상시설물 위치에서 <표 609.18>과 같은 규제치를 설정 적용하도록 규정하고 있다.

3.6.4 발파진동의 경감방법

발파진동은 장약량을 감소시키면 감소하나 장약량의 감소는 발파효과의 저하를 초래하기 쉽기 때문에 발파진동을 억제하고 파쇄효과도 충분히 얻을 수 있는 발파방법을 모색할 필요가 있다. 시험발파나 발파진동 측정결과로부터 발파진동의 피해가 예측되는 경우 다음에 열거된 진동경감방법 중 발파효과 및 경제성 등을 검토하여 최적의 방법을 선택하여야 한다. 경감방법은 진동의 발파원에서의 억제방법과 진동전파의 방지로 대별할 수 있으며 아래와 같이 요약할 수 있다.

(1) 발파원에서의 억제

① 약종에 의한 경감

저폭속 또는 특수폭약을 사용한다. 발파진동은 근본적으로 단위시간당의 발파공내의 압력상승에 의해 좌우되므로 저폭속의 폭약을 사용하므로써 어느 정도의 경감이 가능하다. 국내에서 생산되는 폭약 중 대표적인 것들의 폭속은 다음과 같다.

<표 609.18> 구조물 손상기준 발파진동 허용치

구분	진동예민 구조물	조적식(벽돌, 석재 등)벽체와 목재로 된 천정을 가진 구조물	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근 콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물	철근 콘크리트, 철근골조 및 슬래브를 갖는 대형 건축물
	문화재 등	재래가옥, 저층 일반가옥 등	저층 양옥, 연립주택 등	중, 저층 아파트, 중소상가 및 공장	내진구조물, 고층아파트, 대형건물 등
허용입자속도 (cm/sec)	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

- 고성능 다이나마이트 6,700m/sec
- 다이나마이트 5,600m/sec
- 함수폭약 4,500m/sec
- 정밀폭약 FINEX Ⅰ호 4,000m/sec
- Newmite 5,200m/sec
- ANFO 2,800~3,000m/sec

근접 발파시에 폭음과 발파진동을 억제하기 위해서 개발된 특수화약 중 대표적인 것이 미진동 파쇄기와 팽창제(Calm-Mite, S-Mite 등)이다. 미진동 파쇄기는 폭속 60m/sec, 반응열 1,300~1,500Kcal/kg 정도로 일반화약과 같이 폭력에 의한 파괴가 아니다. 또한 팽창성 파쇄재는 모재가 물과 혼합되었을 때의 수화작용에서 생기는 고열과 팽창압이 발파공벽에 작용하여 공벽에 균열이 생기게 하는 원리를 이용한 것이다.

② 장약량의 제한에 의한 방법

진동치 추정공식인 $V = K \cdot W^m \cdot D^{-n}$으로부터 알 수 있는 것과 같이 진동치는 장약의 양에 비례한다. 따라서, 시차를 두어 발파하므로서 1회에 발파되는 장약의 양(지발당 장약량)을 제한하는 방법이다. 이 방법에는 다음의 3가지가 주로 사용된다.

- DSD(Decisecond Detonator) 뇌관에 의한 분할 점화 : 발파진동의 지속시간은 극히 짧으므로 뇌관의 점화시간차를 이용하여 단발 발파를 실시함으로써 각단의 진동이 연속하지 않고 독립된 진동으로서 허용한계치 내에 들어가도록 한다.
- MSD(Milisecond Detonator) 뇌관에 의한 간섭효과 이용 : DSD는 진동이 연속되지 않도록 점화시차를 조정하였으나 MSD는 반대로 극히 짧은 시간차를 중복시켜서 진동파의 상호간섭에 의해서 진동치를 감소시키는 방법이다. 파의 간섭을 이용한 방법이기 때문에 반대로 진동치가 증가될 가능성도 있으나 발파진동의 파형이 불규칙하므로 큰 문제없이 진동의 경감이 가능하다.
- 비전기식 뇌관(NONEL)에 의한 무한단수 분할 점화 : 일반뇌관(DSD, MSD)은 사용단수가 한정되기 때문에 진동치 규제를 위해서는 부득이하게 시공이 번거롭고 공사비도 고가인 분할굴착을 계획하여야 한다. 이를 피하기 위해서 무한단수가 가능한 비전기식 뇌관을 사용하면 1회에 폭발하는 화약량을 최소화하면서 분할 발파없이 발파를 수행할 수 있다. 최근에는 도심지 발파에서 많이 사용되고 있다.

(2) 진동전파의 방지

이 방법은 근본적으로 폭원과 보호대상 시설물간에 인위적으로 진동전파 차단시설을 형성시켜 시설물에 진동이 직접 전파되는 것을 방지하는 방법이다. 대표적인 예로서는 굴착 예정선에 연하여 일정한 간격으로 다수의 빈공을 천공하여 인위적으로 파단면을 형성시킴으로서 진동이 폭원으로부터 직접 전파되는 것을 억제하는 라인 드릴링(line drilling)방법 등이 있다.

609.4 여굴

터널 숏크리트의 설계선 외측 부분에 여분으로 굴착된 것을 여굴이라 하며 화약의 낭비, 여분의 버력 반출, 콘크리트 충진량의 증가 등을 초래하여 공사비 증가의 원인이 된다.

통계에 의하면 여굴에 의해 추가 소요되는 비용은 터널공사비의 15~18%에 해당한다고 한다. 여굴은 시공상 불가피한 것임은 분명하나 시공기술에 따라 상당량을 줄일 수 있으므로 여굴을 줄이기 위한 많은 노력이 필요하다.

4.1 여굴의 발생원인

4.1.1 사용장비에 의한 원인

사용장비의 규격에 따라 여굴량이 달아진다. 예를 들면 점보 드릴과 같은 대형장비의 경우 그 장비가 크므로 많은 여굴이 발생하며 레그 드릴과 같은 소형의 경우 여굴량은 감소한다.

- 점보 드릴의 경우 드릴의 작업방향과 터널단면과 이루는 최소각 4°발생
  - 천공장 3.7m일 때 26cm 여굴 발생
  - 천공장 4.2m일 때 29cm 여굴 발생
  - 천공장 4.7m일 때 33cm 여굴 발생
- 레그 드릴의 경우 착암기 크기에 따라 천공장 1.0~2.8m일 때 10~30cm여굴 발생

4.1.2 천공위치 및 천공기능에 의한 원인

- 천공위치에 따른 작업의 난이도에 의하여 여굴량이 변화한다. 예를 들어 측벽의 경우보다는 천정부가 작업이 곤란하므로 여굴량이 증가한다.
- 작업원의 천공기능 숙련도에 따라 여굴량이 크게 변화한다. 통상 굴착 막장은 많은 요철로 불규칙하므로 주변공 위치가 경사면과 같이 난해할 때 작업원의 숙련도에 따라 여굴량이 크게 좌우된다.

4.1.3 천공 로드의 휨에 의한 원인

장공천공시 연약구조대를 따라 드릴 로드가 휘어지는 현상이 발생되는데 이로 인하여 여굴이 불규칙하게 발생한다.

4.1.4 사용 발파법에 의한 원인

현재 터널굴착에는 굴착면을 확보하기 위하여 스무스 블라스팅공법이 널리 채택되고 있다. 주변공에 다이마마이트 등 일반 폭약을 사용하는 통상의 발파법을 적용할 경우는 스무스 블라스팅에 비하여 주위지반을 크게 손상시키며 이로 인한 버력이 다량 발생하게 되고 또한 여굴량이 증가한다.

4.1.5 지질구조적인 원인

지반조건 및 터널굴착시 수시로 변화하는 지질여건에 따라 연약지반 부위 및 절리의 상호 교차지점에서 나타나는 미끄러짐현상으로 여굴이 발생한다.

4.2 과다 여굴 방지대책

도로터널 공사에서 발생되는 여굴은 그 양이 증가함에 따라 버력 반출량, 숏크리트 시공량 및 콘크리트 라이닝 시공량이 증가하게 되어 상대적으로 공사비의 증가를 초래하며 터널 지보 측면에서도 가능한 한 여굴량을 감소시키는 것이 유리하므로 이를 위하여 굴착공사시 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

- 스무스 블라스팅공법 채택
- 매 공종별 발파후 가능한 한 조속히 초기 보강(숏크리트 타설) 실시
- 적정 사용장비의 선정
- 숙련된 작업원 활용 및 기능교육 실시
- 정밀폭약 사용 및 적정량의 폭약량 사용
- 예상되는 연약지반에는 선진그라우팅 실시

4.3 여굴에 관한 규정 및 허용기준

4.3.1 여굴에 관한 기준

- 건교부 표준품셈에 명시된 터널 암뚫기 여굴량 표준은 다음과 같다.

<표 609.19> 암뚫기 여굴량의 표준

구분	아치부	측벽부	비고
여굴두께 cm	15~20	10~15	

굴착에 있어서는 라이닝의 설계 두께선 보다 외측으로 부득이 여굴이 생기게 되는데 많으면 버력반출 및 라이닝에 여분의 비용이 들뿐만 아니라 크게 굴착되었기 때문에 토압에 있어서도 불리하게 된다. 여굴의 양은 지질, 굴착방법 등에 따라 달라지나 될 수 있는대로 적어지도록, 예를 들면 경암에서는 스무스 블라스팅 등 여굴이 적어지는 방법을 채용해야 한다.

4.3.2 여굴의 설계 반영

통상 터널 굴착공사 설계시에는 건교부 표준품셈에 명시된 수치를 적용하고 있으나 실제 시공에 있어서는 전술한 각종 원인이 복합적으로 작용하여 상당한 차이를 보이고 있다.

609.5 버력

5.1 일반

터널굴착공사는 크게 천공발파, 버력처리, 보강의 3공정이 반복 진행되면서 이루어지게 된다. 버력의 크기는 버력처리 능력을 결정하는데 크게 작용되어 상대적으로 굴착경비 결정에 중요하며, 또한 버력의 이용을 위해서도 그 크기를 파악하는 것이 필요하다.

그러나 버력의 크기는 지반조건, 절리, 균열 등 지질 구조적인 여건, 발파법, 천공수, 천공장, 장약량 등 제 여건에 따라 크게 좌우되어 단정적으로 기술하기는 극히 곤란하므로 터널굴착 초기에 시험발파를 통하여 그 크기를 측정하고 이를 토대로 목적하는 크기를 결정하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다.

5.2 버력 크기를 결정하는 요소

버력 크기는 다음과 같은 요소에 의하여 결정한다.

5.2.1 지반조건 및 지질 구조적인 여건

버력의 크기는 지반조건 및 지질여건에 의하여 좌우된다. 예를 들어 퇴적층(shale)에서는 비교적 잘게 부스러지는 반면 화강암의 신선한 암반에서는 큰 덩어리의 암석이 채취될 것이다. 또한 동일한 화강암에서도 절리가 없는 균질의 암반에서는 대괴가 나타나며, 절리가 많

은 암반에서는 절리 간격에 따라 잘게 부스러지게 된다.

5.2.2 발파법

V-cut, cylinder cut 등 사용 발파공법에 의하여 버력 크기가 다소 달라지며 또한 상반, pilot 굴착, 벤치굴착 등 발파형태에 의하여도 달라진다. 예를 들어 동일한 지질여건하에서도 V- cut일 경우에는 cyliner cut에 비하여 다소 크게 부스러지게 되며, 상반, 파일롯 굴착시에는 잘게 부스러지는 반면, 벤치 굴착시에는 큰 덩어리의 암석이 발생하게 된다.

5.2.3 천공수 및 천공장

일반적으로 천공수가 많을수록 버력은 잘게 부스러지게 된다. 또한 천공장이 클수록 상대적으로 천공 직경이 크게되며 이는 저항선의 증가를 의미하므로 버력크기가 크게 나타난다.

5.2.4 장약량

장약량이 증가함에 따라 버력 크기는 적어지며 장약량의 결정은 발파공법 및 천공수와 함께 버력 크기를 조절하는데 중요하다. 과장약일 경우에 버력은 잘게 부스러지는 반면, 약장약일 경우에는 정상적인 발파가 이루어지지 않고 공발현상과 함께 암반에 균열을 형성하게 된다.

5.3 버력 크기의 예측

버력 크기는 제여건에 따라 크게 좌우되어 단정적으로 언급하기는 곤란하므로 여기에서는 아래와 같은 조건하에서 이제까지의 통상적인 도로터널 및 각종 지하공동 굴착결과 나타난 버력 크기 결과치를 토대로 다음과 같이 예상할 수 있을 것이다.

5.3.1 조건

- 지반조건 : 우리나라 전역에 널리 분포되어 있는 편마암 내지 화강암에서의 경암질
- 사용장비 : 레그 드릴, 점보 드릴
- 굴착공법 : 갤러리 굴착 (전단면 굴착), 벤치 굴착

5.3.2 예상버력 크기

<표 609.20> 예상 버력 크기

구분 / 버력 크기	레그 드릴		점보 드릴	
	갤러리(%)	벤치(%)	갤러리(%)	벤치(%)
10cm 이하	30~40	25~35	25~35	20~30
20cm 이하	20~30	15~25	20~30	15~25
30cm 이하	15~25	10~20	10~20	10~20
50cm 이하	8~18	10~20	10~20	10~20
60cm 이하	0~10	10~20	5~15	10~20
70cm 이하	0~4	0~10	0~10	5~15
합계	100%	100%	100%	100%

상기 예상치는 일반적인 터널 굴착시의 경우이며 천공수, 장약량의 증감 또는 제어발파 등으로 버력 크기를 조절할 필요가 있다. 예를 들어 발파된 버력을 골재로 사용하고자 할 경우는 대괴가 발생되지 않도록 하므로서 파쇄비용을 절감할 수 있을 것이며 석재 또는 호안공사 등에 활용코자 할 경우에는 반드시 굴착경

비와 종합적으로 검토하여 보다 경제적인 범위 안에서 계획되어야 할 것이다. 이러한 검토없이 버력을 골재로 활용하기 위하여 무한정 천공수 및 장약량을 증가시키면 파쇄비용은 감소되나 굴착경비가 더욱 증가되어 전체적으로 불리하게 되기 때문이다. 버력 크기를 조절하는 방법은 다음과 같다.

(1) 버력 크기를 보다 작게 하는 방법

- specific drilling을 증가시킨다(천공수 증가=저항선 감소).
- specific charging을 증가시킨다(장약량 증가).
- 젤라틴 다이나마이트와 같은 폭력이 큰 화약류를 사용한다.
- 가능한 천공직경을 적게 한다.

(2) 버력 크기를 보다 크게 하는 방법

- 가능한 한 specific charging을 감소시킨다.
- 가능한 한 specific drilling을 감소시킨다.
- 공간간격을 최소 저항선보다 작게 한다.
- 순발뇌관을 이용하여 1개의 발파열은 동시에 점화, 발파시킨다.

5.4 버력 반출

중소터널에서 버력반출은 터널시공 공기 중에서 1/4~1/3을 차지하는 요소이며 어떻게 합리적으로 기계를 조합시키는가에 따라 공기의 단축도 가능하며 1일당 굴착진행을 좌우하고 굴착경비에 크게 영향을 미친다. 공기 중 착공, 발파, 지보재에 요하는 시간은 터널내경, 지질 등에 의해 결정되어서 큰 단축은 곤란하나 이 버력 반출 시간은 그 터널에 합당한 기구의 조합 여하에 따라서 단축될 수 있다.

5.4.1 버력 반출량

버력반출량는 지반의 종류에 따른 용적변화율 및 여굴율을 고려하여 다음과 같이 산정하며 이때의 용적변화율은 <표 609.21>과 같다.

버력반출량 = 굴착량 × (1 + 여굴율) × 용적 변화율

<표 609.21> 용적변화율 및 단위중량의 표준

분 류	자연지반		운 반 중	
	용 적	단위중량(t/m^3)	용 적	단위중량(t/m^3)
경 암	1	2.2~2.8	1.4~1.8	1.4~2.0
연 암	1	2.0~2.5	1.3~1.7	1.3~1.9
토 사	1	1.5~2.2	1.2~1.5	1.2~1.8

5.4.2 버력 적재기

버력 적재기의 결정은 버력 반출 전반의 능률을 좌우하므로 그 터널의 내공 단면에 적당하고 또한 단시간에 적재 작업을 완료하는 기종을 선택해야 한다. 또 이것에 후속되는 기계의 능력도 고려하여야 한다. 버력 적재 능력은 지반의 경연, 단면크기, 천공, 발파상태 등의 조건에 따라 다르나 일반적으로 페이로다 2.87m^{3}를 사용한다.

5.4.3 버력 운반

버력운반은 레일식, 덤프식이 있으나 소형단

면일 경우에는 대부분 레일식을 사용한다. 그러나 일반적인 고속도로 터널의 경우는 덤프트럭을 이용하여 갱외로 버력을 반출하는 방법이 유리하다.

610
굴착보조공법

610.1 굴착보조공법의 정의 및 목적

1.1 정의

굴착보조공법은 터널굴착에 따른 주변 원지반, 주변 구조물, 터널 막장면 등의 안정을 위하여 수행하는 방법이다. 터널 굴착시 지반의 상황이나 용출수에 의해 시공이 곤란해지거나, 지보 효과가 저하되는 경우, 안전하고 효율적으로 시공하기 위해 터널의 지보재(숏크리트, 록볼트, 철망, 강지보재 등)와 병용하여 사용되는 공법으로 연약한 지반에서 터널의 안전시공을 위해 자주 채택되는 공법이다.

1.2 목적

굴착보조공법의 목적은 터널 굴착시의 안전성을 증대시키고, 터널의 수명기간 동안 안정을 도모하기 위하여 주변지반의 전단강도 증진, 침하 방지, 투수성 저하, 구조적 보강 등을 목적으로 한다.

(1) 터널의 안전성을 증대시키기 위하여 주변 지반의 전단강도를 강화한다.

지반의 전단강도는 Mohr-Coulomb 항복규준에 따라 유효응력 개념으로 식 (610.1)과 같이 표현되며, 주입재의 특성과 지반의 특성이 상호·결합하여 강도의 정수 c′ 혹은 ϕ'를 향상시킴으로써 터널 굴착시 터널의 안전성을 높이게 된다.

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \qquad (610.1)$$

여기서, τ : 전단강도(kg/cm^2)
c′ : 유효점착력(kg/cm^2)
ϕ' : 유효내부마찰각(°)
σ' : 유효연직응력(kg/cm^2)

(2) 압축특성을 개선시킨다.

안정제의 첨가, 주입 등에 의해서 토립자들을 접착하여 지반의 골조강성을 증가시키고, 압축 특성을 개선시킨다. 또한 결합물질의 간극 충전도 지반의 변형을 적게하는 원인이 되므로 터널굴착에 따른 주변 지반침하를 억제시킬 수 있다.

(3) 투수성을 저감시킨다.

시멘트 모르터, 시멘트 밀크 또는 약액 등을 사용하여 원위치 혼합이나 주입을 통한 지반의 간극 충전으로 투수성을 저하시켜서 지하수 유출에 의한 터널의 안정성 저해 요소를 감소시켜야 한다.

(4) 지반의 변형 및 파괴 방지한다.

지반강화 및 구조적 보강을 통한 터널굴착에 따른 지반의 변형 및 파괴 방지를 도모한다.

610.2 적용계획

2.1 적용대상

터널의 굴착보조공법을 적용하기 위한 주요 대상은 다음과 같다.

(1) 횡단선형에 토피가 작게 설계된 경우
(2) 지반조사 결과 지반이 연약하여 자립성이 낮을 경우
(3) 터널 인접구조물 보호를 위하여 지표나 지중변위를 억제하여야 할 필요가 있는 경우
(4) 지하수 조사로부터 용출수로 인하여 지반의 열화 및 지반이완이 진행될 수 있어 터널의 안정성 확보가 필요할 경우
(5) 기타 편토압 지역 및 심한 이방성 지반 혹은 특수 지형조건 등에 건설 예정인 경우

또한 터널 굴착시의 안정을 확보해야 할 필요성이 있을 때 그리고 터널 수명기간 동안의 안정성을 충분히 확보해야만 하는 경우에 설계단계에서의 계획을 반드시 수립하여야 한다.

2.2 적용계획 수립 시 고려 사항

터널 공사는 지하수위 아래에서 실시되는 경우가 대부분이므로 <표 610.1>에 나타낸 바와 같이 용출수에 의한 문제점 등 지하수 유입에 대한 대비를 철저히 하여야 한다. 특히, 함수미고결 지반에서의 굴착은 지하수에 의해 민감하게 영향을 받으므로 터널 굴착전 반드시 조치를 취하여야 한다.

터널 굴착시 적용되는 굴착보조공법은 '시공을 위한 일시적인 안정공법인가?' 아니면, '터널 구조물 수명기간 동안의 안정을 도모하여야 하는가? '를 우선적으로 결정하여야 한다. 특히 지반의 강도를 최대로 활용하고자 하는 경우에는 후자에 대하여 신중하게 고려하여야 한다.

적용계획 수립 시 특별히 유의해야 할 사항들은 다음과 같다.

<표 610.1> 터널 굴착 시 용출수에 의한 문제점

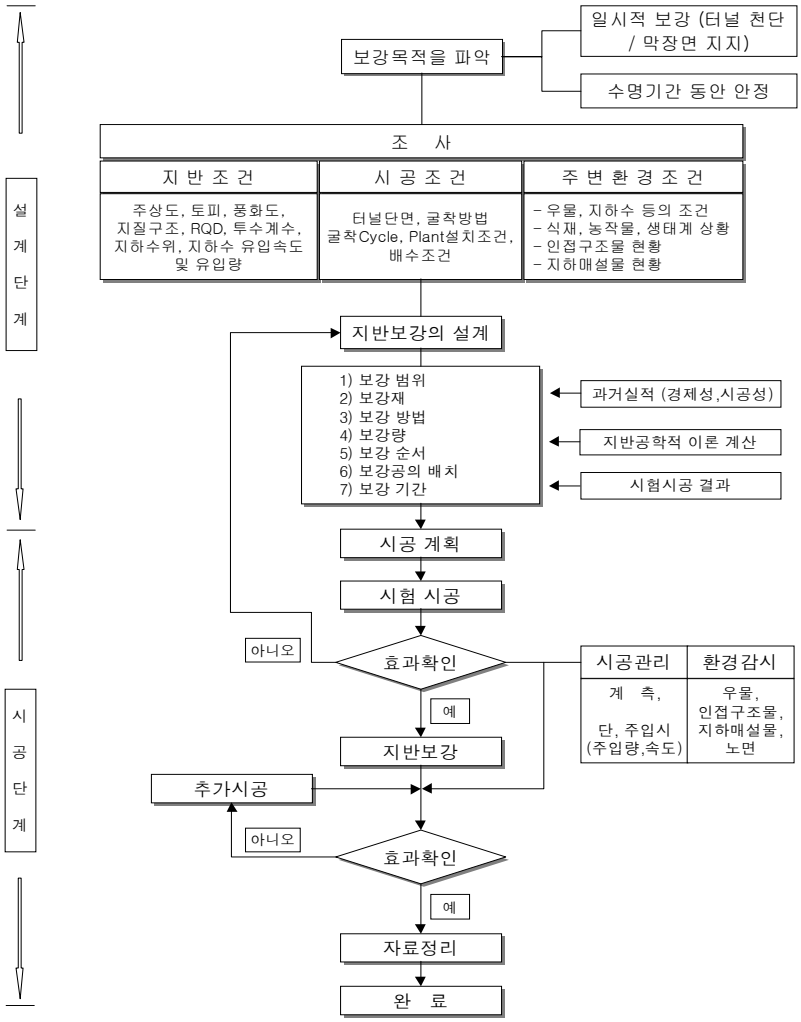
원인 또는 환경	직접 작용	굴착작업에 영향을 미치는 현상
침투성이 큰 지반	· 지반의 연약화 · 파쇄대 암석의 박리 촉진 · 점토의 팽창 · 응집력이 없는 지반의 유동화	· 지반압 증대 · 측벽의 붕괴, 낙반의 원인 · 흡수팽창, 지반의 creep · 지반의 붕괴, 자립의 저지
용출수대의 접근	· 차수벽의 파괴	· 막장 지반의 붕괴, 유실 · 갱도의 매몰
과·소 배수설비	· 배수불량	· 터널내 환경의 불량화 · 지보재 기초의 지지력 저하
집중용출수	· 유속이 크고, 수압이 큼	· 막장설비의 수몰 · 작업위험 · 공사중지
수직갱·사갱	· 펌프 배수	· 터널내 침수 · sump 및 펌프설비의 영구화
지하수의 계속적인 유출	· 지하수위 저하	· 수자원 고갈, 이용수위 저하 · 해안부의 해수 침입, 염수화

(1) 목적, 문제점 및 종류들을 명확히 설정해야 한다.
(2) 보조공법 위치 선정, 보강량, 보강구간 등을 신뢰도가 높도록 계획한다.
(3) 보강효과를 신속히 파악하여 재 설계(feed back) 하도록 한다.
(4) 긴급사태에 신속히 대응하기 위해 조치내용과 범위를 사전에 고려해야 한다.

이와 같이 터널 보조공법으로서 선행 지반보강공법은 경제성, 개량효과, 작업성 등에서 전부를 만족시키는 공법을 선정하기는 쉽지 않고, 특히 터널 진행을 저해하는 경우가 많아서 체계적이고 철저한 계획 수립을 해야 한다.

2.3 굴착보조공법 수행절차

터널 굴착보조공법의 설계 및 시공단계별 고려 사항을 흐름도로 표시하면 <그림 610.1>과 같다.



<그림 610.1> 터널 보강 흐름도

610.3 굴착보조공법의 선정 및 종류

3.1 보강목적에 따른 분류

터널 굴착보조공법은 보강목적에 따라서 '지반강화 및 구조적 보강', '지수 및 배수를 위한 공법'으로 크게 나눌 수 있고, 다시 '터널 천단부 지반의 안정'과 '막장면 지지'의 목적으로 구분할 수 있다. 아래의 보강목적에 따른 분류에는 국내에서 산악 도로 및 도심지 지하철 터널 굴착시 적용된 바 있는 공법들을 위주로 나열하였으며, 한 가지 보조공법으로 보강목적을 만족하기 어려운 경우에는 두 가지 이상의 굴착보조공법들을 병용해야 한다.

지반강화 및 구조적 보강
- 파이프루프(pipe roof)
- 훠폴링(forepoling)
- 강관보강형 다단(1단) 그라우팅
- 막장면 숏크리트 및 록볼트
- 약액주입공법
- 코어 핵

지수 및 배수
- 약액주입공법
- 물빼기공
- 웰포인트공법(well point)
- 딥 웰공법(deep well)

3.2 공법 선정

각 보조공법의 중요도는 지반조건, 지하수 상황, 터널의 용도, 터널의 규모 등에 따라서 상이하기 때문에 구체적인 보강공법의 활용 목적과 평가 방법을 명확히 설정한 뒤 지반조사 결과에 따라 현장 여건에 필요한 공법을 선정하여야 하며, 시공방법과 잘 부합하도록 충분히 검토하여야 한다.

<표 610.2>는 터널 굴착 시 국내에서 주로 적용되어온 굴착보조공법의 적용성을 개략적으로 보여주고 있는데, 합리적인 굴착보조공법의 적용은 <표 610.2>의 공법과 더불어 현장 상황에 따라 2개 혹은 3개의 지반 보강공법을 목적에 따라 병용해야 할 것이다.

<표 610.2> 굴착보조공법의 적용성

대책	목적	공 법	원지반 조건			비 고
			경암	연암	토사	
지반강화 및 구조적 보강	천단안정	파이프루프		△	△	
		경사 록볼트		△		
		훠폴링		△	△	철근, 강봉, 강관 등 사용
		강관보강형 다단(1단)그라우팅		△	○	
		약액주입공법			○	
	막장면/바닥면	막장면 숏크리트		△	○	
		막장면 록볼트		△	△	
		코어 핵		△	△	ring cut
		약액주입공법			○	
		가인버트		△	△	
용수대책	지수/배수	약액주입공법	△	○	○	
		물빼기공	△	○	○	웰포인트, 딥 웰공법 포함
		웰포인트공법			○	
		딥 웰공법			○	

주) ○ : 비교적 자주 사용되는 공법
△ : 보통 사용되는 공법

3.3 막장 안정 보강공법

도로터널 굴착에 적용 가능한 보조공법 중 막장면 안정과 천단 지반강화와 관련된 공법으로는 주로 파이프루프, 훠폴링, 강관보강형 다단(1단) 그라우팅, 막장면 숏크리트 및 록볼트,

약액주입공법 등이 있다.

특히 약액주입공법은 막장면 안정뿐만 아니라 지수공법 등 광범위하게 적용되는 중요한 공법으로써 '3.4 약액주입공법'에서 상세하게 기술하고자 한다.

3.3.1 파이프루프(Pipe Roof) 공법

터널 천단부 연약지반의 이완방지 등을 주된 목적으로 하며, 터널 내공변위를 최대한 억제하고 상부 구조물의 보호를 위해 보다 적극적으로 지지하여야 할 경우에 효과적이므로 주요 구조물 하부 통과 시 적합한 공법이다. 파이프루프 공법의 주요 용도는 다음과 같다.

- 도로, 철도 하부 시공시
- 지중 및 지상 구조물 하부 시공시
- 대단면 터널 시공시
- 터널 갱구부 시공시
- 단층 파쇄대, 붕락성 지반의 관통시

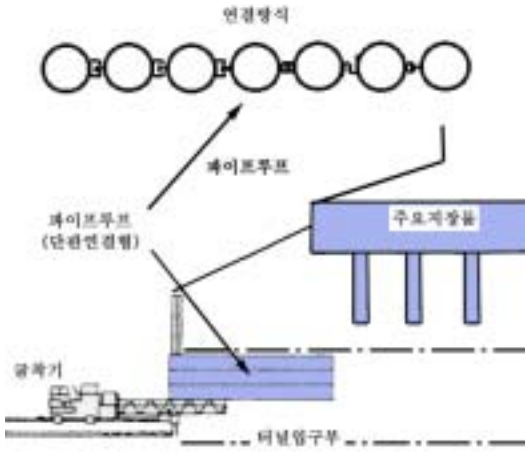
그러나 이 공법은 시공비가 고가이고, 작업대 및 플랜트(plant)설치 공간이 필요한 단점을 가지고 있으므로 세심한 검토를 바탕으로 대상 도로터널에 적용하여야 할 것이다.

(1) 강관 규격 및 설치

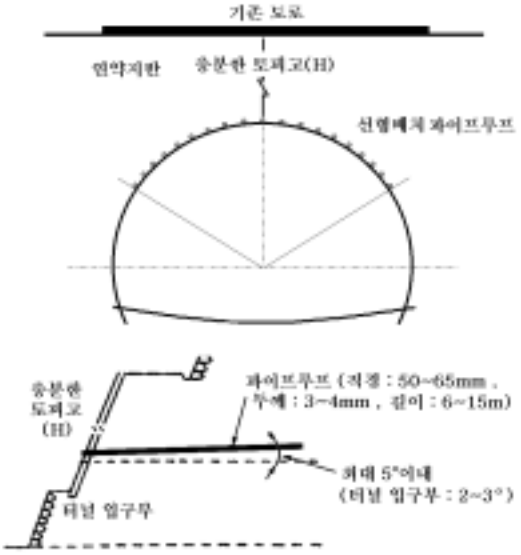
강관은 여러 종류가 있으나 일시적인 가설 지보재로 설계하는 경우에는 경제성을 고려하여 국내에서 생산되는 일반구조용 강관을 사용하는 것이 바람직하다.

강관의 규격은 가해지는 하중의 크기에 따라 변화하며, 일반적으로 강관 두께는 3 ~ 4mm이고, 직경(ϕ)은 50 ~ 300mm, 길이는 6 ~ 15m로 1회 시공 후 7 ~ 8개 막장까지 연결시킬 수 있다.

철도, 도로 등과 같이 큰 상재하중이나 주요 구조물에 근접하여 시공할 경우 큰 강성과 토사의 유출방지를 위하여 ϕ300mm이상의 대구경 강관을 연결형으로 시공하는 것이 유리하지만(<그림 610.3> 참조), 토피가 어느 정도 형성된 경우는 소, 중구경 강관을 일정 간격으로 분리 배치하는 방법이 경제적이다(<그림 610.2> 참조).



<그림 610.2> 연결형 파이프루프 사례



<그림 610.3> 분리형 파이프루프 사례

분리간격(C.T.C.)은 지반조건(점착력, 입도분포, 밀도, 균열, 지하수 등), 지반압, 강관배열위치, 굴착방법, 지보간격 등의 요소들을 검토하여 결정하며, 분리최소간격은 경험적으로 강관 직경의 약 2 ~ 2.5배 정도를 이용하고 있다.

연결형의 경우 연결 조인트의 설계가 필요한데 외부 하중에 의한 전단응력을 지지할 수 있도록 충분한 강성을 가져야 하며, 일반적으로 강관 반경의 약 1/3 ~ 1/4 배로 부착높이를 정하고 있다.

파이프 루프의 삽입 전에 지반의 충분한 그라우팅이 요구되며, 반드시 강지보재 바깥쪽에서 가능한 수평(최대 5°이내, 터널 입구부에서는 2 ~ 3°이내)으로 시공해야 한다. 이러한 여건을 만족시키기 위해서 터널 단면을 종방향으로 3 ~ 4m 구간을 300 ~ 400mm 정도로 확폭하면 파이프 루프를 정밀하게 설치할 수 있다. 그러나 수평 시공이 불가능할 때에는 훠폴링과 병용해야 효과적이며, 특히 고압 수평분사와 병용할 경우는 대상지반을 선별하여 시공해야 하는데 풍화토나 풍화암 지반에서는 그 효과가 크게 저감되고, 충적층에서는 확실한 보강 효과가 있음이 시공을 통하여 증명되었으므로 파이프 루프의 설계시 이러한 점을 충분히 고려해야 할 것이다.

(2) 파이프루프 시공 사례

국내의 파이프루프 시공 실적은 도심지 지하철 터널에서 주요 구조물 통과시 적용한 사례는 있지만, 도로터널에서는 대부분 산악지역의 양호한 지반조건과 충분한 토피고를 가지고 있기 때문에 파이프루프를 보조공법으로 시공한 사례는 매우 드물다. 그러나 풍화암 또는 절리가 심한 연암지반 뿐만 아니라 갱구부의 교차터널 구간 및 주요 구조물 하부를 낮은 토피고로 통과하는 NATM개념의 터널시점 구간에서는 설계의 고려 대상이 된다.

3.3.2 훠폴링(Forepoling) 공법

훠폴링 공법은 일시적인 지보재로서 굴착전 터널 천단부 종방향으로 설치하여 굴착면의 자유면 길이를 감소시키고, 국부적으로 낙반을 방지하여 굴착 천단부의 안정을 도모하며, 막장 전방의 지반보호 및 느슨함을 방지하기 위한 목적으로 사용한다.

훠폴링의 횡, 종간격은 굴진장, 지반하중, 지반조건 등에 따라서 조절해야 하며, 훠폴링 공법의 규격 및 설치범위는 다음과 같다.

(1) 보강재 규격 및 설치

보강재 재질은 철근, 강관 혹은 강지보말뚝을 사용하는데 철근의 직경은 25mm ϕ, 강관 파이프의 직경은 약 30 ~ 40mm ϕ을 주로 사용한다. 또한 보강재의 길이는 굴진장의 2 ~ 3배를 추천한다.

횡방향의 설치간격(C.T.C.)은 지반조건과 굴진장에 따라서 탄력적으로 조정해야 하는데 문헌마다 다소 차이는 있지만 경험적으로 약 0.3 ~ 0.8m 이내로 하고, 종방향의 설치간격은 매 막장마다 설치하는 것을 원칙으로 하나 2 막장마다 설치하는 경우도 있다. 또한 설치범위는 터널 굴착면 크라운부분에서 좌우로 약 30°~ 60°범위에 보강재를 설치한다.

설계 및 시공 시 주의사항으로는 여굴방지를 위하여 최대한 수평을 유지(설치각도 15°미만)하도록 설계하고, 강지보재와 지반을 이용하여 2점 지지가 되도록 설계하며, 안전성을 증가시키기 위해 상호 중첩되도록 설계한다. 참고로 시공 후 느슨함 방지를 위하여 천공면은

반드시 모르터 그라우팅을 실시해야 한다. <그림 610.4>는 터널 막장면 상부의 지반안정을 목적으로 훠폴링을 시공하기 위한 표준설계단면 사례이다.

(2) 훠폴링 종류

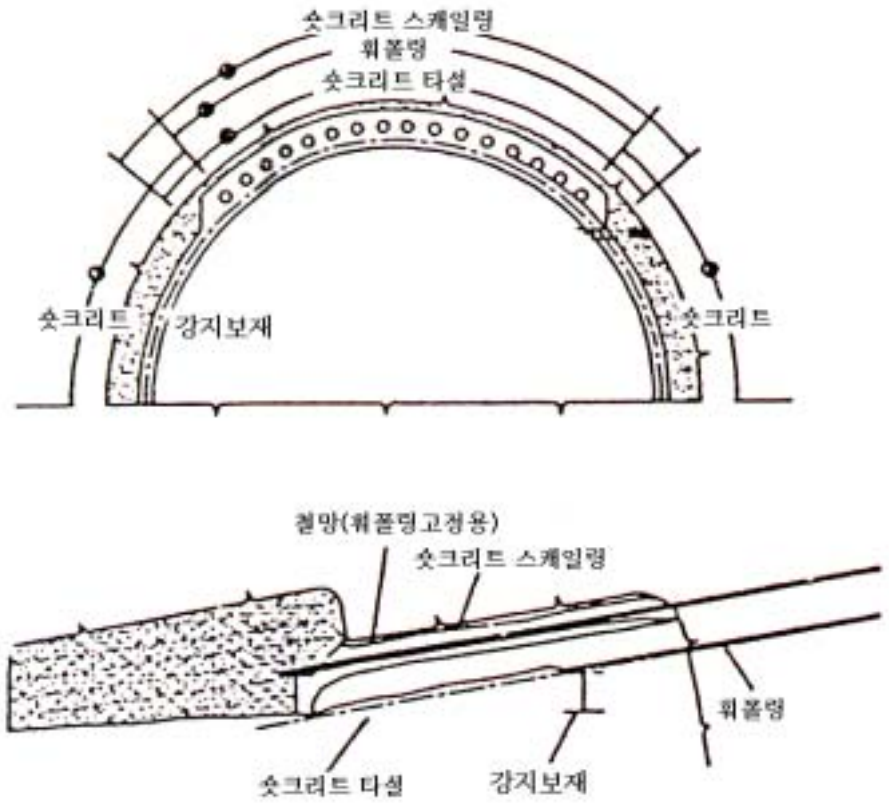
여러 형식의 훠폴링 중에서 현재 국내에서 적용되고 있는 종류들은 보강재와 주입방식에 따라서 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 천공후 철근삽입 및 모르터 채움
- 천공후 강관삽입 및 모르터 채움
- PU-IF(Poly Urethane-Injection Forepoling)
- AB Forepoling(Forepoling method with Advanced Bit) 등

훠폴링 종류 중에서 철근 및 강관삽입 방식의 설계는 전술한 '3.3.2 (1) 보강재 규격 및 설치' 부분을 참조하기 바라며, 본 절에서는 국내에서 적용된 바 있는 우레탄 압입식 PU-IF공법에 대한 특성을 설명하고자 한다.

이 공법은 불안정 지반에서 막장 상부의 안정성을 높이기 위한 보조공법으로서 주입이 가능한 롯드를 사용하여 순결성 우레탄(FCU)을 주입함으로써 막장을 보강하는 공법이다.

주입재인 FCU는 <표 610.3>에 나타낸 바와 같이 A액과 B액을 중량비, 1 : 1로 혼합하는 것으로서, 주입 직후에는 점성이 낮고 침투성이 풍부하지만 매우 짧은 시간에 점성이 높아져서 팩커나 코킹이 불필요한 특징이 있다.

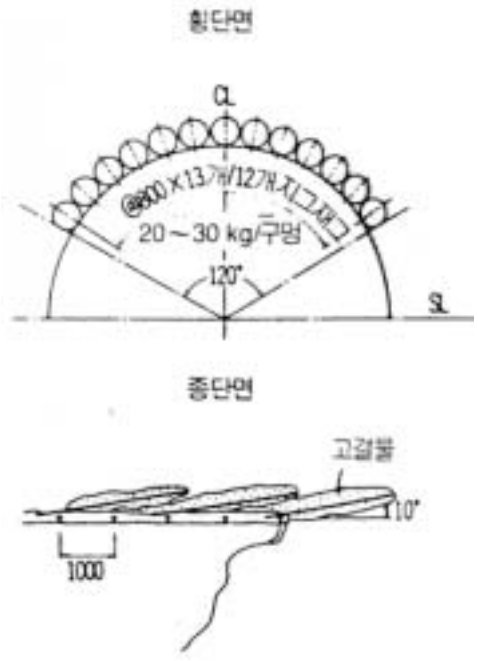


<그림 610.4> 훠폴링 시공 표준설계단면 사례

<표 610.3> 순결성 우레탄(FCU)의 재료 특성

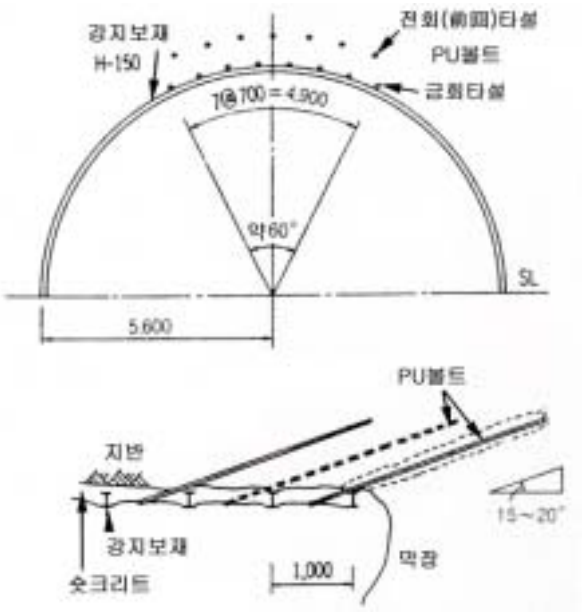
항 목		특 성
점 성	A 액	900 ± 100 CPS
	B 액	150 ± 20 CPS
겔 타임		7 ± 2초
비 중	A 액	1.052 ± 0.33
	B 액	1.236 ± 0.03
연 성		인화점 약 200℃

그러나 이 공법의 단점으로는 용출수가 많으면 반응시간이 길어지고 물에 씻길 우려가 있으므로 지하수 조건에 따라 적용에 대한 타당성을 검증해야 한다. <그림 610.5>는 PU-IF공법의 시공을 위한 표준설계단면 사례이다.



<그림 610.5> PU-IF공법 설계 사례

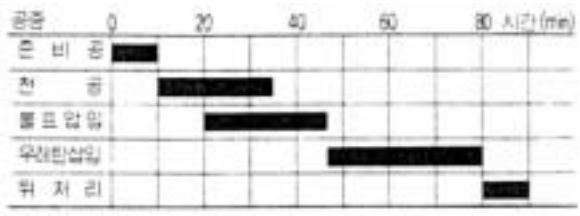
(3) 일본 도로터널 및 국내 지하철 터널의 PU-IF공법 적용 사례



<그림 610.6> 일본 도로터널의 PU-IF의 배치 및 단면도 사례

일본 도로터널의 PU-IF 공법적용 사례를 살펴보면, 막장 상황을 관찰하면서 지반이 심하게 박락되는 곳을 중심으로 <그림 610.6>과 같이 배치하고, 인접간격을 70cm, 1 막장마다 7 ~ 8개를 지그재그로 배치하였다.

1단면 8개를 장착 및 주입하는 시간은 약 90분이 소요되었고(<그림 610.7> 참조), 총 2,300개를 시공하였으며, 주입재 FCU의 사용량은 1공당 약 9kg 이었다.



1) 특히 겔타임이 긴 경우

2) 지반에 의한 침투가능한계는 주입제 종류, 겔화시간 이외에 시공법도 큰 관계가 있음

<그림 610.7> 일본 도로터널의 1막장 8개 공에 소요된 사이클 타임 사례

국내에서의 시공 사례는 부산 지하철 ○○○ 공구 교량하부 터널공사에서 PU-IF가 적용되었는데, J.S.P 그라우팅이 시공되지 않은 약 33m 구간에 적용하였다. 압입 볼트는 고강도 중공(中空)볼트로 외경 ϕ 27mm, 길이 6m의 볼트를 사용하였고, 천공 간격은 C.T.C. 70cm로 상단에 약 15°~ 30°로 상향 천공하였으며, 시공 간격은 2.4m로 총 224공을 시공하였다.

3.3.3 강관보강형 다단(1단) 그라우팅 공법

강관보강형 다단(1단) 그라우팅은 터널 주변의 사력층 및 파쇄된 연암층과 암반 절리면을 통하여 유출되는 지하수를 차단하고 활동 가능면의 봉합을 위하여 터널내에서 주로 적용되는 보조공법으로, 터널 굴착전에 강관을 적절한 형상으로 배열, 설치하고 강관을 통하여 주입재를 주입함으로써 강관과 주변 지반을 일체화시키며, 강관을 이용 그라우트재를 주입하여 차수 및 보강효과를 동시에 얻기 위하여 사용한다.

(1) 기대효과 및 적용대상

이 공법을 적용함으로써 기대되는 효과들은 다음과 같다.

- 주입재에 의한 외곽 차수효과
- 강관에 의한 beam arch형성 효과
- 상부지반압의 경감효과
- 이완영역의 감소효과
- 지표침하 및 천단침하 경감효과
- 측벽부의 변위억제 효과 등

또한 이 공법의 적용대상을 요약·정리하면 다음과 같다.

- 연약지반에서의 터널굴착
- 터널 갱구부 보강
- 도로 및 철도 등의 시설물 횡단
- 지상 및 지중구조물 주변 통과
- 사면보강 및 개착으로 인한 주변 구조물 방호 시 등

(2) 규격 및 설치

보강형 강관의 규격과 강관삽입을 위한 천공작업에 관한 규격은 다음 <표 610.4>에 나타낸 바와 같다. 이 공법의 천공방식은 일반적으로 롯드천공이 가능하지만, 공의 붕괴시 케이싱 롯드를 이용한 천공방법을 사용하기도 한다.

<표 610.4> 강관보강형 다단(1단) 그라우팅공법의 일반적인 규격(대한토목학회, 1997)

구 분	규 격
강 관	· 일반 구조용 흑관(SS-41) · 내경 : 50mm ± 3mm · 두께 : 4mm ± 2mm · 단위중량 : 5.55kg/cm^2 ± ▫ · 강관 1개 당 길이 : 3 ~ 6m 이내 · 주입스트레나 천공간격 : 0.3 ~ 0.5m · 스트레나 직경(ϕ) : 0.5mm · 스트레나 수 : 천공 위치당 4방향으로 4개
밀봉재	· 벤토나이트 + 시멘트 계통의 약제 · 목적 부위를 충분히 밀봉(Sealing)할 수 있는 특수한 제품을 사용할 수 있다. · 밀봉재는 주입 후 부피가 줄지 않아야 하며, 너무 큰 강도를 갖지 말아야 한다.

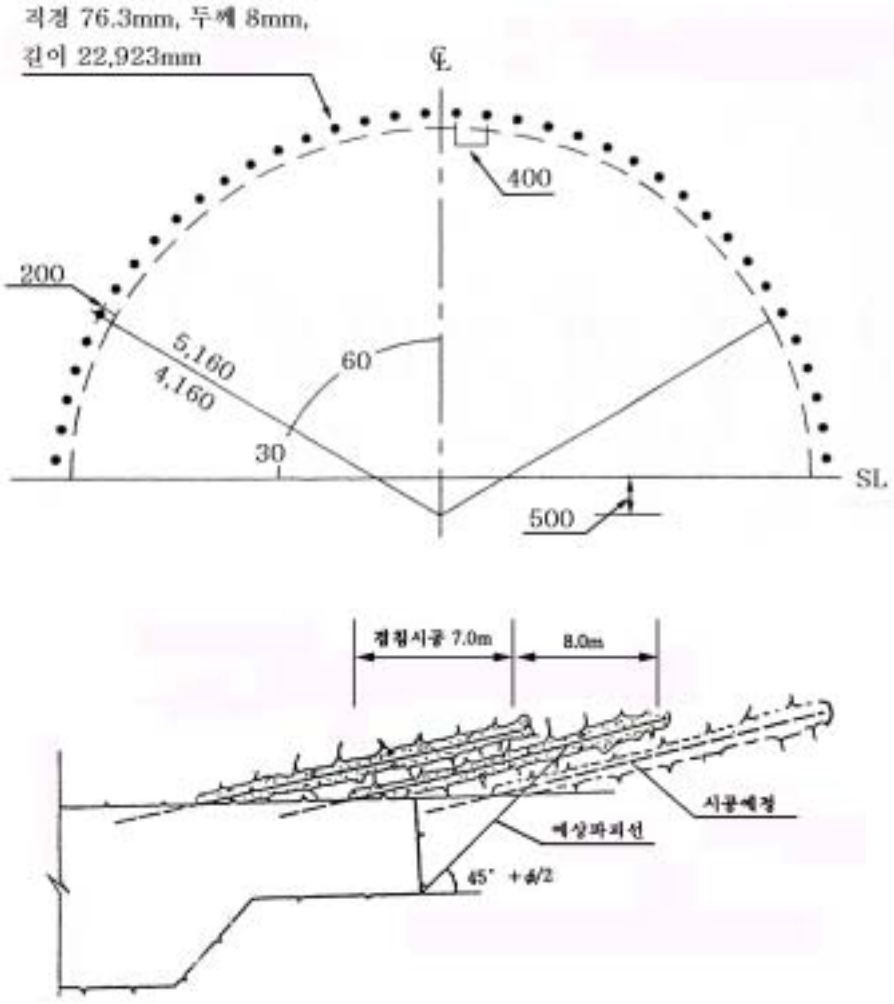
터널 현장의 지반조건 및 굴착 단면 규모, 용출수 상태 등 여러 가지 요인들에 따라 강관 설치를 위한 천공규격을 결정해야 하며, 국내

외의 터널시공 경험 및 시공 후 효과확인에 의해 일반적으로 추천되고 있는 천공규격은 다음과 같다(<그림 610.8> 참조).

- 천공직경 : 보강용 강관의 약 1.8 ~ 2.0배 (ϕ 100mm이상)
- 천공장 : 겹침 길이는 현장의 지반조건에 따라 조절하며 수평방향으로 10 ~ 18m
- 천공각도 : 갱구부에서는 상향 2°이내, 터널내부에서는 상향 15°이내로 가급적 수평을 유지
- 천공간격(C.T.C.) : 약 0.3 ~ 0.6m 이내

또한 다단식 그라우팅 주입을 위한 고려사항은 다음과 같다.

- 주입압력은 지하수의 정수압, 상재하중을 고려하여 결정한다.
- 주입압력은 공의 선단부부터 0.5m 단계로 시행하며, 현장여건을 고려하여 결정한다.
- 시멘트 현탁액 그라우트재의 배합비는 빈배합(貧配合)에서 부배합(富配合)으로 변경하여 현장 지반조건에 맞는 배합비를 선정한다(<표 610.5> 참조).



<그림 610.8> 강관보강형 다단 그라우팅 표준설계단면 사례

<표 610.5> 주입재(물-시멘트) 배합비

구 분	200 (*l*/ batch)	
	시멘트(kg)	물(*l*)
1 배합	60.0	188
2 배합	80.0	181
3 배합	100.0	152

1) 시멘트 비중 = 3.15
2) 1 batch는 200리터를 기준으로 하고, 시공 편의상 시멘트 대수는 정수로 만들어 배합 결정
3) 주입시 주입량과 압력 변화에 따라 상기 3개 배합을 조정하여 사용한다.

<표 610.6> 주입재(L/W 약액) 배합비

구 분	A 액		B 액		
	규산소다(*l*)	물(*l*)	물(*l*)	시멘트(kg)	W/C(%)
1 배합	100	100	181	60	302
2 배합	100	100	175	80	219
3 배합	100	100	168	100	168

1) 주입량 = 400 *l* , 시멘트 비중 = 3.15
2) 1 batch는 200리터를 기준으로 하고, 시공 편의상 시멘트 대수는 정수로 만들어 배합 결정
3) 주입시 주입량과 압력 변화에 따라 상기 3개 배합을 조정하여 사용한다.

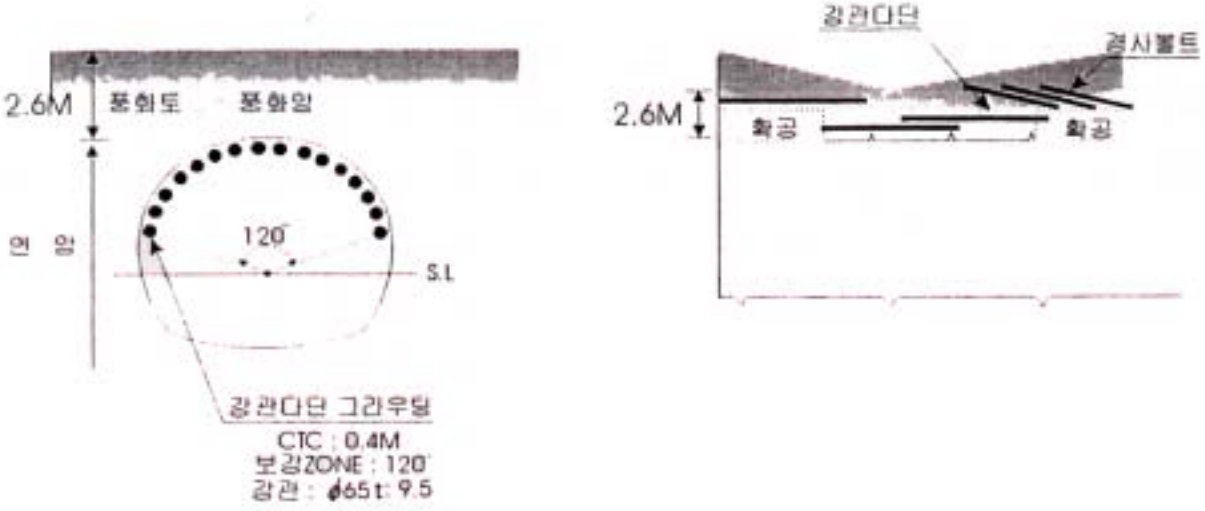
- 이상의 배합비로 주입시 소정의 압력에 도달하지 않으면 시멘트의 분량을 증가시킨다.
- L/W재를 주입할 때에는 <표 610.6>의 배합비 중 현장여건을 고려하여 선택한다.
- 주입의 종료는 설정된 한계 주입압력에 도달 시 주입을 종료하며, L/W재를 사용하여 팩커의 제거로 인한 주입재의 역류를 방지한 후, 팩커를 다음 단계로 이동하여 주입작업을 반복한다.

(3) 설계 사례

강관보강형 다단그라우팅 공법을 사용한 설계사례를 보면 다음과 같다.

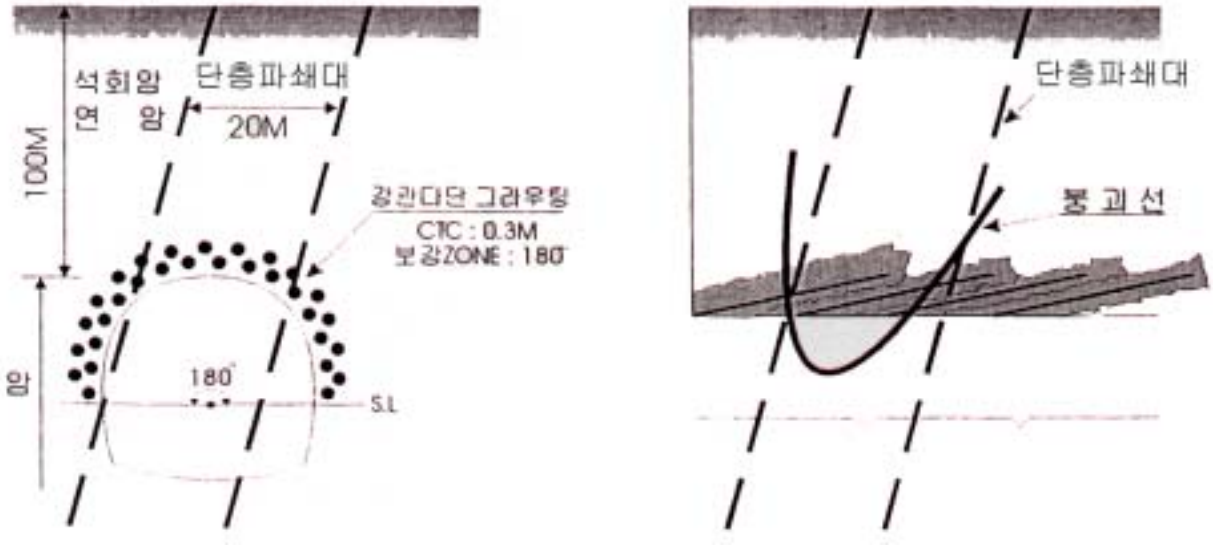
① 도시고속도로 계곡부 터널공사

도심지 고속도로 터널공사 시 터널 천단부로부터 토피고가 2.6m인 조건에서 강관보강형 다단그라우팅 공법을 적용한 사례이다.



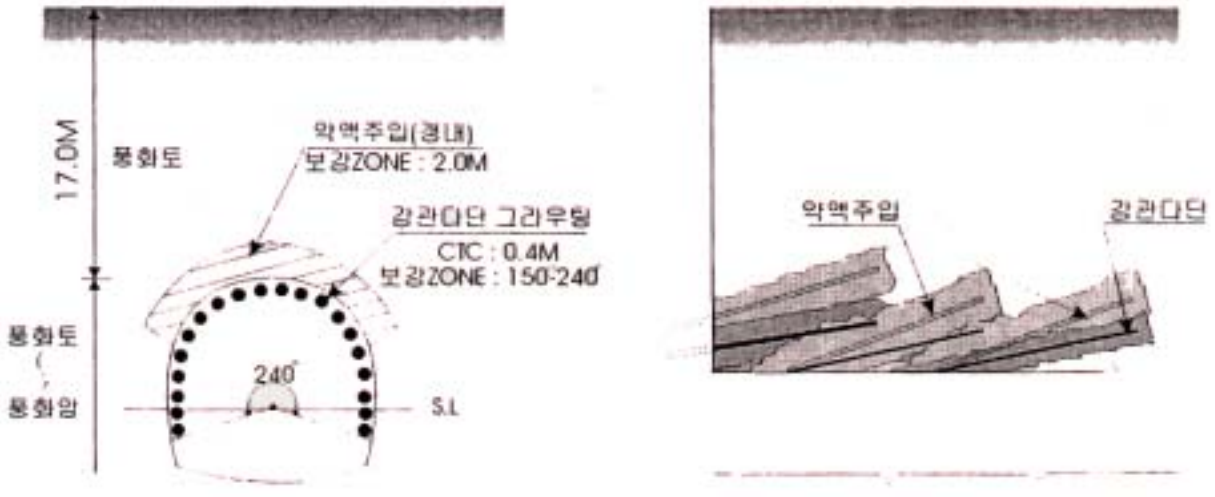
<그림 610.9> 도시고속도로 계곡부 터널 설계단면 사례

② 동해신광산 터널 단층파쇄대(Fault Zone) 통과 구간



<그림 610.10> 동해신광산 터널 단층파쇄대 통과구간 사례

③ 경부선 통과구간 및 풍화대 구간



<그림 610.11> 경부선 통과구간 및 풍화대 구간 사례

3.3.4 코어 핵(Ring Cut)

코어 핵(ring cut)공법은 막장의 자립성이 약한 지반에 대해 적용하며, 막장면으로 작용하는 힘에 저항하기 위해 코어 핵(core)를 남기는 방법이다. 핵의 길이는 보통 2 ~ 3m이고, 막장면 숏크리트와 병행할 수 있다(<그림 610.12> 참조).

3.3.5 막장면 숏크리트 타설

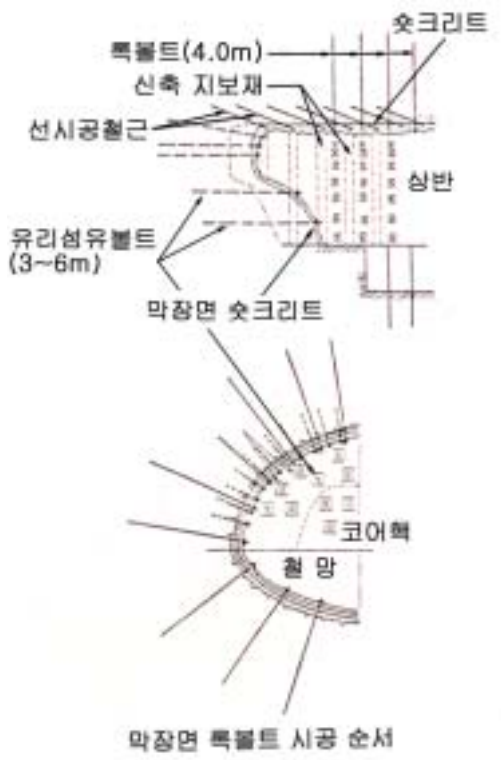
미고결 지반이나 팽창성 지반과 같이 취약한 지반에서 1회 작업시간 사이에 지반이 약화되어 붕락이 예상되는 경우에 적용한다. 막장의 상황에 따라 막장면에 약 5cm 이상의 숏크리트를 타설하여 막장면의 굴곡을 완화시켜 응력집중을 분산시키고, 암반의 절리에 따른 이동을 숏크리트의 전단저항력에 의해 막는 효과를 기대하는 것이다.

이 공법은 시공이 비교적 간편하며 특히 막장면 지지효과가 크고, 장기간 굴착작업이 중단되는 경우 막장의 강도 약화를 방지시킬 목적으로 시공한다(<그림 610.12> 참조).

3.3.6 막장면 록볼트

팽창성 지반이나 막장의 자립성이 극히 불량한 지반에서 막장면 이완방지 및 강화 대책의 하나로써 막장면에 수직으로 록볼트를 설치하는 방법이다.

록볼트의 규격은 지반의 상황에 따라 설치 개수와 설치 빈도를 결정하며, 또한 막장면 일부 혹은 전면에 설치할 것인지를 결정한다. 길이는 설치효과를 위하여 보통 1회 굴진장의 3배 정도로 약 3 ~ 6m이며, 설치 빈도는 일반적으로 1 ~ 2m^{2}당 1개를 설치하는 것이 바람직하다(<그림 610.12> 참조).



<그림 610.12> 막장면 록볼트 설계 단면 및 시공순서 사례

3.4 약액 주입 공법

3.4.1 일반사항

터널 시공중에 주변 구조물을 보호하고, 시공의 용이성 및 안정성을 도모하기 위하여 지반에 응결제를 주입·고결시켜 지반의 강도를 증가시키기도 하고, 지반의 투수성을 감소시키는 공법으로 지반특성, 주입목적에 맞도록 주입재료, 겔 시간(gel-time), 주입재 배합비율 등을 조정하여 지반개량 및 차수효과를 최대한 높여야 한다.

3.4.2 공법의 목적 및 영향인자

약액주입공법을 적용하고자 하는 목적은 다음과 같이 대별된다.

(1) 지반의 강도 증진 :

굴착에 따라 위험이 발생할 부분을 고결시킴으로서 공사를 용이하게 하고, 기초지반의 지지력을 증대시키며, 터널 굴착시 주변지반의 붕괴를 방지하고, 인접구조물 보호 및 지반압의 경감 등을 목적으로 한다.

(2) 지반의 지수성 증진 :

터널 굴착시의 지하수 유입을 억제하여 작업의 용이성을 증대시키고, 굴착에 따른 지하수위 저하를 방지하여 지반침하 및 주변환경을 보호한다.

(3) 지반의 압축성 절감 :

지반강화 및 차수성 증대에 의한 지반변형을 감소시키기 위한 목적으로 사용될 수 있다.

이 공법의 주입효과에 중요한 영향을 미치는 요인으로는 다음과 같다.

(1) 대상지반의 불균질성, 균열, 투수성 등 지반의 특성

(2) 주입재의 점성, 겔 시간(Gel-Time), 화학적 성질 등 재료의 특성

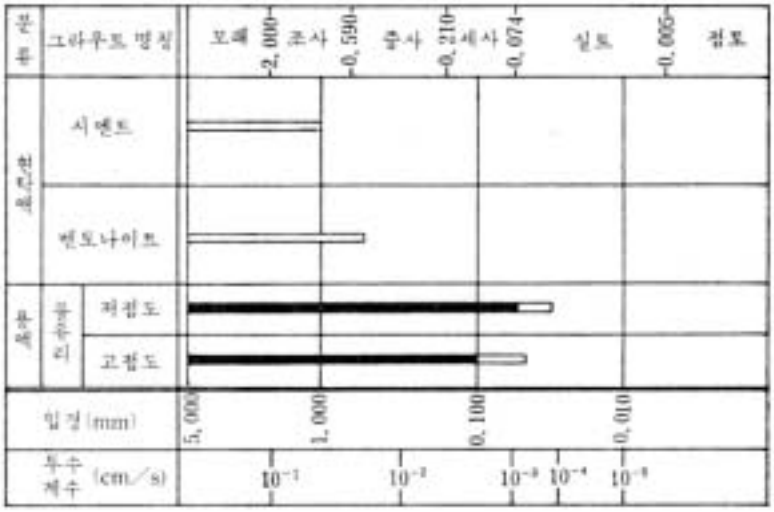
(3) 주입압력, 시공방법 등의 기술적 요소

따라서, 여러 가지 주입재 및 주입방법의 특성을 파악하여 사용목적과 대상지반에 적합한 공법을 선정해야 하고, 철저한 시공관리와 주입효과의 확인을 지속적으로 수행해야 한다.

3.4.3 주입공법의 분류

주입공법은 실시시기, 주입재료, 주입방식, 주입공 수에 따라서 구분할 수 있는데, 주입공법의 적용을 위한 기본적인 사항들은 관련문헌을 참조하기 바란다.

참고로 주입재는 지반의 침투성을 고려하여 그 적용성을 평가해야 하는데, <그림 610.13>은 주입재와 토사지반의 침투성과의 일반적인 관계를 나타내고 있다. 그러나 암반에서는 주입재의 침투가 암반 블록사이의 절리면과 파쇄



<그림 610.13> 일반적인 주입재별 침투성

대를 따라 이루어지므로 암반에서의 침투성에 관한 향후 연구가 필요하다.

- 실시 시기
  - Pre-grouting
  - After Grouting
- 주입 재료
  - 비약액계
    - 시멘트
    - 벤토나이트
    - 시멘트 + 벤토나이트
    - 모르터 등
  - 약 액 계
    - 물유리계
    - 고분자계
    - 물유리 + 비약액계
- 공내 주입 위치
  - 1단 그라우팅
  - 다단 그라우팅
- 일시 주입공 수
  - 공별 그라우팅
  - 다공식 그라우팅

3.4.4 주입공법의 설계□시공 절차

주입공법을 적용하기 위한 기본적인 설계인자는 주입범위, 주입재, 주입방식, 주입량, 주입공배치, 주입압력 및 속도 등이 있고, 일반적인 설계 및 시공순서는 <그림 610.14>와 같다.

(1) 사전조사

지반보강의 필요성과 적합한 지반보강공법을 판단하고, 선정된 공법을 설계하며 시공 및 시공관리 기준 확립과 환경보존 대책을 확립하기 위한 목적으로 사전조사를 수행한다.

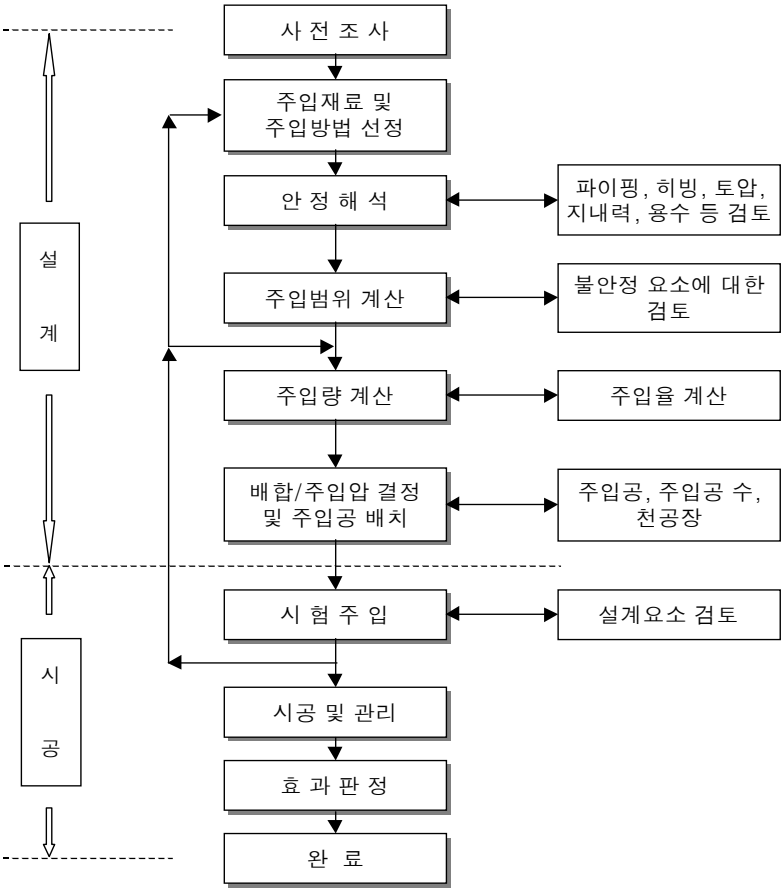
사전조사에는 <표 610.7>에 나타낸 바와 같이 크게 지반조사(현장조사, 물리시험, 역학시험, 화학시험 등)와 환경조사(지하매설물조사, 인접구조물조사 및 지하수, 우물 및 공공용수 지역조사, 식생조사 등)로 구분할 수 있다.

<표 610.7> 지반 및 지반보강 목적에 따른 일반적 지반조사 항목

흙의 종류		사질토		점토	암반	
항 목 \ 주입목적		지수	강화	강화	지수	강화
현장조사	시추주상도	○	○	○	○	○
	표준관입시험(SPT)	○	○	○	-	-
	간극수압측정	○	○	-	-	-
	SPT에 의한 샘플링	○	○	○	-	-
	신월 샘플링	-	-	○	-	-
	공내 투수시험	○	○	-	○	○
물리시험	토립자 비중	○	○	○	-	-
	자연 함수비	○	○	○	-	-
	밀 도	○	○	○	○	○
	간극비	○	○	○	-	-
	입 도	○	○	-	-	-
	컨시스턴시(액,소성)	-	-	○	-	-
역학시험	일축압축시험	-	-	○	○	○
	전단시험	-	-	-	○	○
	삼축압축시험	-	○	○	-	-
	투수시험	○	○	-	○	○
화학시험	pH조사	○	○	○	○	○
	COD조사	○	○	○	-	-
	BOD조사	○	○	○	-	-
	유화광물 조사	-	-	-	○	○

(2) 주입범위

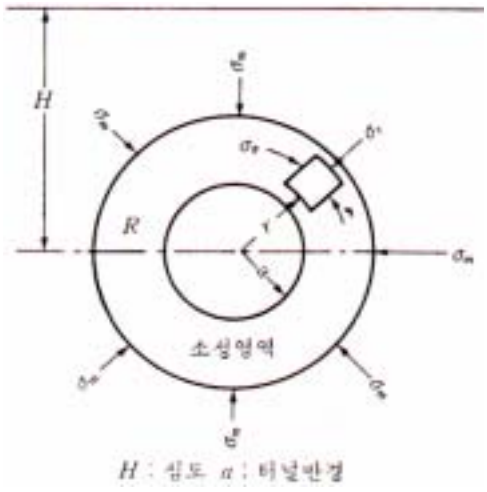
주입범위를 산정하기 위해서는 지반 및 수리학적인 계산을 바탕으로 하고, 여기에 안전율을 고려하여 결정해야 한다. 그러나 개량된 지반의 공학적 특성을 파악하는 것이 어렵고, 안정조건의 해석에 이용되는 계산식이 실제 조건과 차이가 있으며, 개량지반의 불균질 등의 요인으로 인해 이론적 계산 결과만으로 주입범위를 결정하는데는 문제점이 있다.



<그림 610.14> 주입공법의 설계 및 시공 절차

그러므로 안정계산으로 구한 결과와 과거의 시공경험을 참고하여 주입범위를 결정해야 할 것이다.

주입범위에 대한 이론적 배경은 Terzaghi의 이완영역과 터널 굴착후의 소성영역에 근거하고 있는데, 최근에는 터널 중심으로부터 일반적으로 터널 반경(a)의 약 2배 범위를 소성영역으로 보고 설계하며, 막장의 안정을 위해 지반조건, 터널 크기, 지하수 조건 등을 고려하여 종방향으로 충분히 중첩되도록 설계한다(참고적으로 일본 세이칸 터널의 경우는 반경(a)의 4 ~ 6배를 적용). <그림 610.15>에는 주입에 의해 점착력이 증가한 지반에서 터널을 굴착하였을 때, 발생되는 소성 영역을 나타낸 것으로



<그림 610.15> 터널굴착 시의 응력분포 상태

터널 외주면(a = r)에서 r = R 까지의 범위가 되고 이 범위는 다음 (식 610.3)에 의해 구할 수 있다.

B. Haimson의 응력평형방정식 :

M. K. Hubbert의 파괴조건식 : $\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r}$ (610.3 a)

$$\sigma_\theta - \sigma_r = 2c \qquad (610.3\ b)$$

하여 정리하면, 다음과 같이 σ_r 과 σ_m 에 대한 식을 얻을 수 있다. $r = R$ 일 때 적분

$$\sigma_r = \sigma_m + 2c \cdot \ln \frac{r}{R} \qquad (610.4)$$

여기에서, R(m) : 터널 중심에서 소성영역까지의 거리

c : 상 수

σ_m : 주입범위 외측에 작용하는 수직응력(kg/cm²)

그리고 r = a에서는 σ_r = 0이 되므로 식 (610.4)를 소성영역 경계 R에 의해 정리하면 식 (610.5)와 같다.

$$\ln R = \frac{\sigma_m}{2c} + \ln a \qquad (610.5)$$

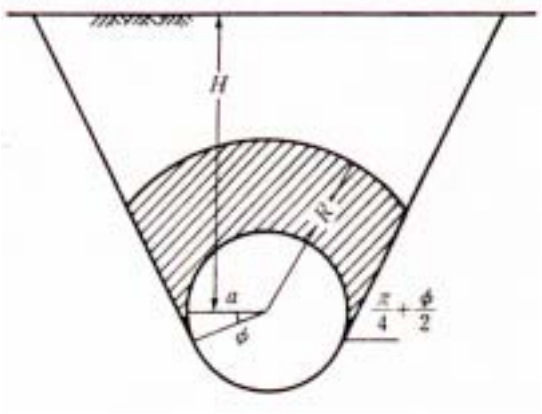
여기서, 주입범위 외측에 작용하는 응력(σ_m)을 σ_m = (H - R)γ_t라고 하면, 식 (610.5)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln R + \frac{R \cdot \gamma_t}{2c} = \frac{H \cdot \gamma_t}{2c} + \ln a \qquad (610.6)$$

여기서, 우변의 H, γ_t, c, a는 현장에서 구할 수 있는 변수들로서 반복계산에 의해 소성영역(R)을 구할 수 있다. 그리고 토질공학적 개념을 바탕으로 주입범위의 자중을 고려하면, σ_m = (H - a)γ_t가 되므로 소성영역 R은 다음 식 (610.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \mathrm{Exp}\left[(h-a)\frac{\gamma_t}{2c} + \ln a\right] \qquad (610.7)$$

<그림 610.16>에는 터널 주변의 주입영역 계산 예를 나타내었다.



<그림 610.16> 터널주변의 주입 범위 계산 예

(3) 주입재의 선정

주입공법의 적용 목적을 크게 지반강화 및 지수 등으로 구분할 수 있으며, 주입재의 특성을 고려하여 각각의 목적에 적합한 주입재를 선정해야 한다(<표 610.8> 참조).

(4) 주입량 결정

주입량은 대상 지반의 성질, 그라우트재의

<표 610.8> 주입재 선정 기본 조건

항 목			기 본 조 건
개량목적	지 수		침투성만 고려, 저점성 용액형 약액(단, 사전 처리로서 현탁형 사용)
	지반강화	침 투	침투성에 뛰어난 고결토는 어느 정도 강도가 필요. 저점성 용액형 약액
		맥 상	겔시간이 짧고, 호모겔 강도가 큰 현탁형 약액
		병 용	호모겔 강도가 크고, 고(高)침투성인 약액
	용 수		·지하수에 희석되어도 겔시간이 지연되지 않는 약액 ·급결성 고결에 뛰어난 약액(용액 또는 현탁형 ; 2중관 사용)
복합	선행주입		겔시간이 짧고, 호모겔 강도가 비교적 큰 현탁형 약액
	본 주입		선행 주입재와 반응이 좋고, 침투성이 뛰어난 약액
특수지반			사전에 시험하여 주입재를 선정 (산성, 알칼리성지반, 유기질지반)
기 타			환경 보전성 검토 (독성, 지하수 오염, 수질 혼탁 등)

주) 불연속 암반내 주입의 경우 불연속면의 투수성에 따라 선정되어야 함

침투성 등에 따라 달라지기 때문에 주입대상지반의 조건을 충분히 조사하여야 한다. 그리고 주입율(λ)은 지반의 단위체적 중에 어느 정도 주입되는가를 표시하는 정도로써 원 지반에서 주입시험에 의해 결정해야 하지만, 지반의 간극율, 압축지수, 가압도, 시공법 등에 따라서 변화하기 때문에 초기 계획단계에서는 경험에 의한 결과치를 기준으로 하고, 주입공법이 결정되면 각 공법에서 제시하는 수치를 참고하도록 한다. 일반적으로 주입량 계산은 다음 식에 의해 구할 수 있다(한국지반공학회, 1997).

$$Q = V \cdot \lambda = V \cdot n \cdot d = V \cdot n \cdot \alpha \frac{(1 + \beta/100)}{10,000} \quad (610.8)$$

여기서, n,α : 간극율 및 간극 충전율
(<표 610.9> 참조)
Q : 전체 주입량,
λ : 주입율,
β : 손실율(10 ~ 30%, 주로 10%)
V : 주입 대상이 되는 지반의 체적

<표 610.9> 충전율 적용 예 (일본 국유철도 건설국)

토 질	주입 목적	N치	간극율		간극 충전율(%)
			범위	표준치	
점토, 실트, Loam	지 수, 지반강화	0 ~ 4	65 ~ 75	70	약 40
		4 ~ 8	50 ~ 70	60	약 30
		8 ~ 15	40 ~ 60	50	약 20
모래	지 수	0 ~ 10	46 ~ 50	48	약 60
		10 ~ 30	40 ~ 48	44	약 60
		30 이상	30 ~ 40	35	약 50
	지반강화	0 ~ 10	46 ~ 50	48	약 50
		10 ~ 30	40 ~ 48	44	약 40
모래, 자갈	지 수	10 ~ 30	40 ~ 60	50	약 60
		30 ~ 50	28 ~ 40	34	
		50 이상	22 ~ 30	26	

(5) 주입공의 배치

설계된 주입량을 효과적으로 주입하기 위해서는 적절한 주입공의 배치가 중요하며, 주입공은 원칙적으로 주입재료의 유효범위가 서로 겹치도록 설계해야 한다. 주입공의 배치 및 간격은 <표 610.10>과 같이 단열배치와 복열배치로 구분할 수 있으며, 시공 깊이가 약 15m 이상인 경우에는 배치간격을 최소로 취하고, 이때 지수목적인 경우 정삼각형 복열주입방법을 적극적으로 검토하여 적용한다.

<표 610.10> 토사지반에서의 주입공 배치 간격(일본 국유철도 건설국)

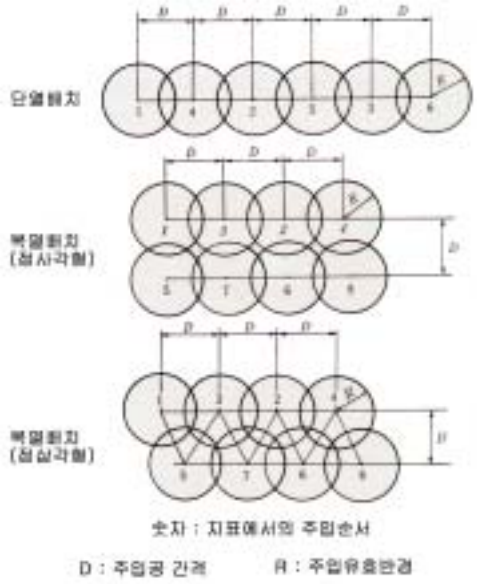
구 분	벽상주입			괴상주입
	단열 배치	복열 정사각형 / 정삼각형배치	3열 정삼각형 배치	정사각형 배치
지반 강화	0.8 ~ 1.0m	□ : 1.0 ~ 1.2m		1.0 ~ 1.5m
지 수	0.6 ~ 0.8m	△ : 0.8 ~ 1.0m	1.0 ~ 1.2m	1.0 ~ 1.2m

이외에도 국부적으로 작은 개소에서는 간격을 적게하며 경우에 따라서는 D = 0.6m 이하로 할 수 있고, 지반조건이 맥상주입 예상지역과 점성토 지반에서는 가장 적은 간격을 택하도록 한다.

<그림 610.17>은 토사지반에서의 일본 국유철도 건설국에서 제시한 주입공 배치방식 및 간격, 주입 순서 예를 보여주고 있다.

(6) 주입압력 및 주입속도

주입압력은 일반적으로 간극수압의 3 ~ 5배 이하로 조절해야 하며, 주입압을 과도하게 크게 하면 주반지반을 교란시키고, 지표 또는 주입 유효범위 밖으로 이탈하거나 주변 구조물에



단열배치	D < 2R
복열배치(정사각형)	D < 2R
복열배치(정삼각형)	$D' = \frac{\sqrt{3}}{2} R$, D < 2R

<그림 610.17> 주입공 배치 예(일본 국유철도 건설국)

나쁜 영향을 미치게 되므로 주의를 요한다.

특히 터널공사 시의 약액주입은 주로 암반을 대상으로 하기 때문에 토사지반보다는 견고한 경우가 대부분이며, 연결 혹은 단락된 불연속면에 대한 지반보강 및 지수를 목적으로 하기 때문에 고압주입(수압의 2 ~ 3배)이 요구된다.

경우에 따라서는 피압대수층의 경우 피압수가 크게 작용하는 파쇄대 주입에서 10kgf/cm^2 이상으로 시공한 사례도 보고되고 있다.

그리고 주입속도는 일반적으로 용액형은 8 ~ 20 l/min, 현탁액형은 20 ~ 30l/min으로 하며, 균열에 의한 지반파괴를 방지하기 위해서는 겔 시간이 긴 주입재를 비교적 낮은 주입속도로 주입하도록 한다.

3.5 유도 배수공법

3.5.1 일반사항

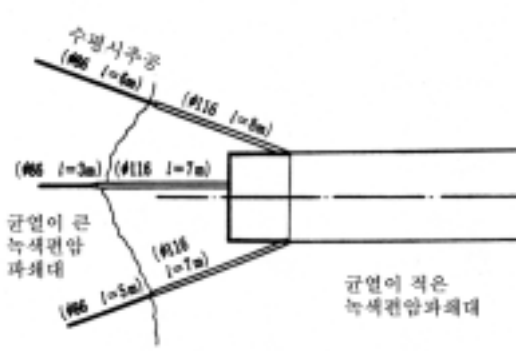
터널의 굴착에 있어서 용출수가 많은 경우에는 막장붕괴, 숏크리트의 부착 불량, 록볼트의 정착 불량, 터널의 작업능률 저하 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 용출수를 지수하는 방법(대표적으로 약액 및 시멘트계 주입공법)이 있고, 용출수를 유도 배수시키는 공법과 양자를 병용하는 경우도 있다.

용출수를 유도 배수하는 공법으로는 물빼기공, 웰포인트 공법, 딥 웰공법 등이 있는데, 지형, 지반조건, 지하수의 상황, 주변의 환경 등 지반조사 결과를 기초로 터널의 공정, 시공법 등을 고려하여 적절한 공법을 결정해야 한다.

본 절에서는 유도 배수공법 중 터널에서 적용되고 있는 물빼기공, 웰포인트, 딥 웰공법 등에 대하여 현장 적용 사례를 중심으로 간략하게 기술하였고, 이 공법들에 대한 상세한 사항들은 관련문헌들을 참조하기 바란다.

3.5.2 물빼기공

물빼기공은 일반적으로 터널 내에서 선진시추를 통하여 용출수를 유도 배수하는 방법으로, 수압, 지하수위 저하를 목적으로 한다. 물빼기공의 규격은 <그림 610.18>에 나타낸 바와 같이 직경 ϕ 86 ~ 116mm, 길이 약 5 ~ 8m 정도이며, 이 공법은 터널내 용출수량이 많은 경우에 적합하지만, 유도 배수로 인하여 세립분의 유출 등이 발생할 수 있으므로 스트레이너관(strainer)과 망사 등의 이용을 충분히 검토해야 한다.



<그림 610.18> 터널 막장면 물빼기공의 설치 사례

3.5.3 웰포인트(Well Point) 공법

웰포인트(well point)라 칭하는 집수관을 터널 바닥에 설치하고, 지반에 부압(負壓)을 걸어서 지하수를 유도 배수시키는 공법이다.

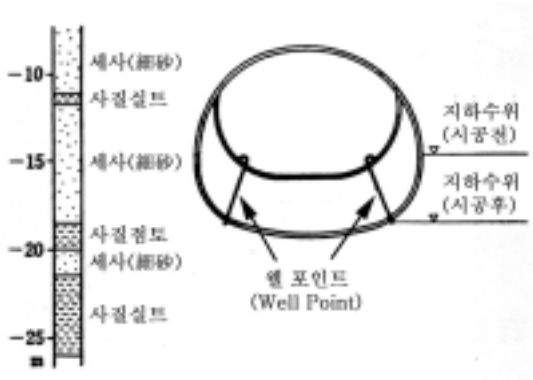
일반적으로 웰포인트 공법의 적용은 터널의 토피가 적고 용출수량이 적은 경우에 터널의 굴착과 병행하여 시공할 수 있고, 미고결 사질토 지반에서 균등 계수가 5 이하로 74 μm 이하의 세립분이 10 ~ 20% 이하의 경우일 때 적합하다. 또한 지하수위 저하 범위는 약 5 ~ 8m로서 <그림 610.19>에 나타낸 바와 같이 터널에서는 상반 굴착후 설치하거나 혹은 토피가 적은 경우 지표에서 시공할 수도 있다.

3.5.4 딥 웰(Deep Well) 공법

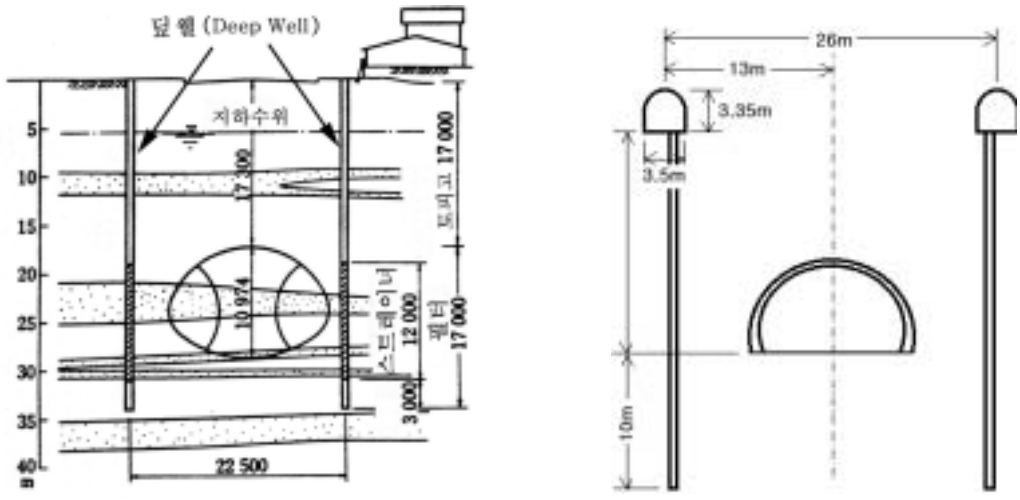
이 공법은 일반적으로 지표에서 깊은 정호(deep well)를 굴착하여 수중 펌프에 의해 배수하는 공법으로 '3.5.3 웰포인트 공법'에 비하여 다소 큰 규모의 유도 배수공법이다.

정호의 외경은 약 300mm 정도로 시공하는 예가 많으며, 이 공법의 특징으로 지표면에서 터널 노선을 따라 일정한 간격으로 설치하지 않으면 배수 효과가 저하되므로 지상 구조물 및 지장물 등이 있는 경우에는 배치에 특히 주의해야 한다(<그림 610.20> 참조).

이상과 같이 웰포인트(well point) 공법이나 딮 웰(deep well) 공법을 적용하는 경우에는 원지반의 입경 분포, 투수계수, 유도 배수량 등을 종합적으로 검토하여 적절한 공법을 선정하지 않으면 안된다. 즉, 지하수와 더불어 원지반의 세립분이 유출될 수 있으며, 유도배수량이 과다하여 원지반의 함수량을 극단적으로 저하시키면, 오히려 터널 막장면의 붕괴를 야기시킬 수도 있기 때문에 지속적으로 막장의 상태를 관찰하고, 배수량을 관리해야 한다.



<그림 610.19> 터널 내부에서 웰포인트(Well Point) 공법을 시공한 예



(a) (b)

<그림 610.20> 유도배수를 위하여 지표에서 딮웰(Deep Well)공법을 시공한 예

611
계 측

611.1 계측의 정의 및 목적

1.1 계측의 정의

터널에서의 계측이란 인간의 판단력과 계측기기의 수행력(capability)을 조합시켜 터널 구조물 자체, 굴착면 주변 지반, 인접 구조물 및 각 지보부재의 변화 양상을 측정하여 거동에 관한 공학적인 정보를 수집하는 행위로써 계측항목, 계측위치, 배치간격, 계측기기의 선정과 설치시기, 측정빈도, 결과정리 및 분석방안의 제시 등을 포함하여야 한다. 즉, 이론과 기법, 통찰과 경험, 측정 기술과 측정 기기를 이용하여 터널 건설, 유지관리와 관련한 공학적 문제해결에 필요한 정량적, 정성적인 정보를 얻는 것을 말한다.

1.2 계측의 필요성

터널 시공시에는 굴착에 의해 주변 지반에 발생하는 응력과 지반강도와의 대소 관계에 항상 유의하고 지반 자체가 갖는 내하 능력, 즉 지보 능력을 적극적으로 활용하여야 한다. 그러나 터널이 선상 구조물이라는 특수성 때문에 사전 지반 조사로부터 파악된 정보는 제한적으로 이용되며, 발생 응력이나 지반 강도는 굴착공법과 지보의 시공 방법에 의해서도 변하므로 사전에 터널 및 지반의 거동 특성을 명확하게 파악, 예측한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 시공시 각종 계측을 실시하고 계측 결과를 종합적으로 분석, 평가하여 설계, 시공에 반영해 나가는 일은 공사의 안전성과 구체적인 계측 자료의 확보 차원에서 매우 중요하다.

1.3 계측의 목적

계측의 목적은 터널굴착에 따른 지반의 거동과 각 지보재의 효과를 파악하고 공사의 안전성 및 경제성을 확보하는데 있다. 구체적인 계측의 목적은 다음과 같다.

(1) 안전성의 확인

- 주변 지반의 거동 파악
- 지보재의 효과 파악
- 반복적인 자동차 주행 구조물로서의 터널 안전성 확인
- 주변 구조물의 영향 파악

(2) 경제성의 확보

- 설계, 시공에 계측 결과를 반영하여 경제적인 공사 유도

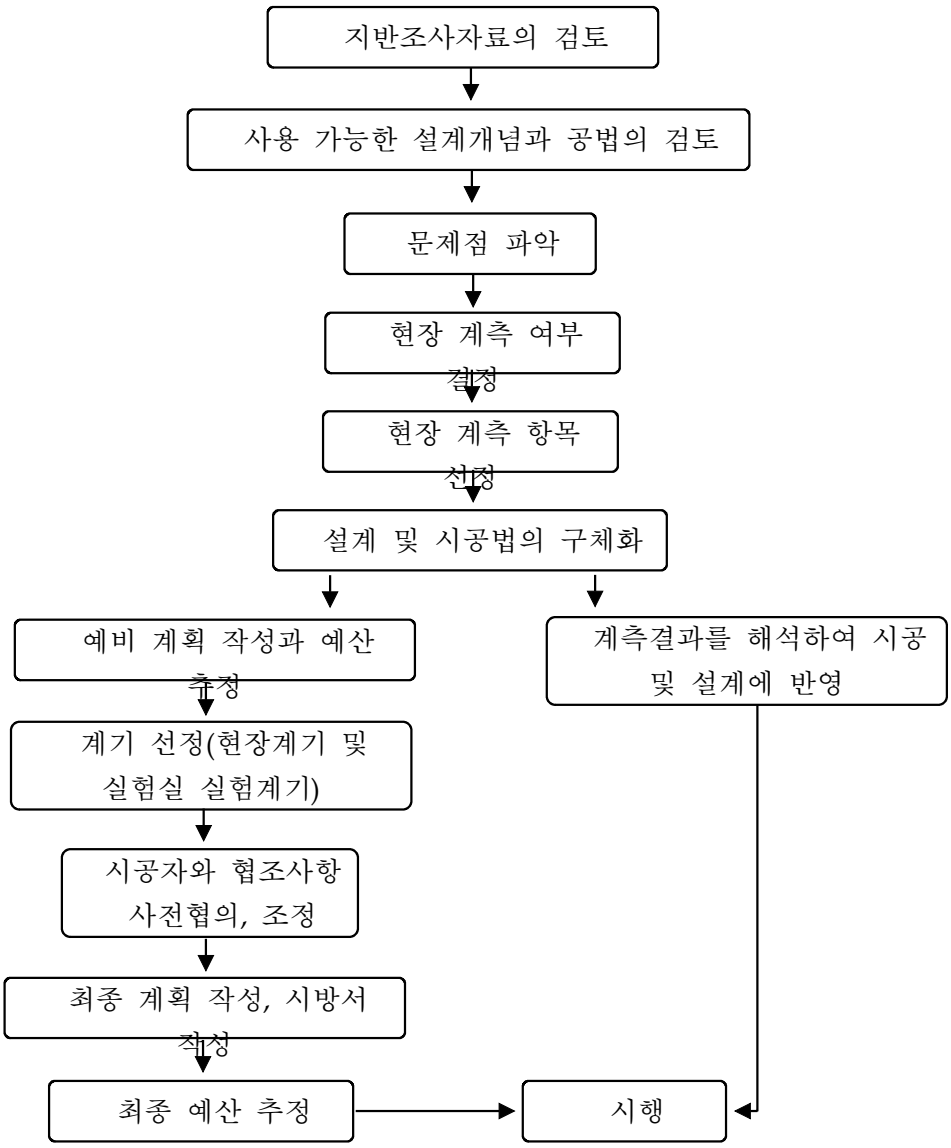
- 향후 공사 계획시의 기초 자료로 활용
- 소송, 보상을 위한 근거 자료로 활용

611.2 계측 계획

2.1 계측 계획의 수립

2.1.1 계측 계획 절차

계측 계획은 계측 목적을 보다 효율적으로 달성하기 위해 수행하는 사전 준비이며, 터널의 용도, 규모, 지반조건, 주변환경, 시공방법 등을 고려하여 터널의 굴착에 따른 지반 및 주변 구조물의 거동을 파악하고 각종 지보재의 효과를 확인하는데 적합하도록 수립하여야 한



<그림 611.1> 계측 계획 절차 흐름도

다. 기본적인 계측 계획 절차는 <그림 611.1>의 흐름도와 같다.

2.1.2 계측 관리 운용

일반적으로 계측 프로그램의 운용은 설계자 또는 감리자를 책임자로 하는 계측 전담반을 운용하는 방법, 설계자나 감리자 대신 계측 전문가가 직접 프로그램을 운용하는 방법 또는 시공자가 계측 전문가나 계측 기기 제조업자들에게 하도급을 주고 이들을 관리하는 형태로 프로그램을 운용하는 방법 등 여러 가지 방법으로 수행할 수 있다.

그러나 최근까지 계측 프로그램의 운용 현황에 대한 보고 자료를 보면 계측 전문 감리자를 활용하거나 설계 사무실 내에 계측 전담반을 두고 프로그램을 운용하는 방법이 가장 좋은 결과를 주는 방법으로 알려져 있다. 각 방법별 주요 특징은 다음과 같다.

(1) 시공자가 프로그램을 운용하는 경우

① 계측 기기 설치 및 측정 시 시공 장애와 같은 시공과 계측 사이의 불편한 요인을 최대로 줄일 수 있다.
② 계측 프로그램 자체가 시공에 포함되기 때문에 별도의 시공관리가 요구되지 않는다.
③ 계측과 시공의 일원화가 이루어지므로 계측 프로그램 운용 경비가 일반 조사 목적으로 수행되는 계측의 경우에 비해 적게 든다.
④ 일반 시공 업무가 주가 되고 계측 프로그램의 운용은 부수적인 업무로 취급되기 쉬우므로 기기 설치, 유지 관리, 측정 등이 부주의하게 수행될 수 있다.
⑤ 당초 계획된 계측 프로그램의 수정이 요구되는 경우, 추가 경비 문제, 여러 단계의 보고 계통 등으로 인해 비교적 긴 수정 시간이 소요된다.
⑥ 계측 기술자의 판단에 따라 처리할 수 있도록 하는 계측 프로그램 운용의 유연성이 부족하다. 이러한 유연성을 시방서에 명기하게 되면 업무가 과중해지고 혼란을 야기시킬 수도 있다.
⑦ 계측에 대한 관심도가 비교적 낮고 적은 비용으로 하도급자를 선정하려는 경향 때문에 하도급 측에 대한 지원이 성실하게 이루어지지 않거나 계측의 질적인 저하가 초래될 수도 있다.
⑧ 계측 기기는 실제 사용하여 성능을 점검하기 전에는 정확하게 기기 성능을 파악하기 어렵기 때문에 시공자가 양질의 기기보다 값이 싼 기기를 선정한다 해도 하도급자 측에서 이의를 제기하거나 문제점을 납득시키기가 곤란하다.

(2) 기술자가 프로그램을 운용하는 경우

① 전문 기술자가 계측 기기 선정에서부터 계측 자료 분석 단계까지 프로그램을 직접 운용한다.
② 기술자가 직접 계측 기기를 설치, 측정, 유지관리를 하게 되므로 양질의 계측 자료를 얻을 수 있다.
③ 기술자는 현장 상황에 따라 필요하다고 판단되면 계측 프로그램을 수정 보완할 수 있다.
④ 시공자 측의 협조가 요구되지만, 이는 시방서를 활용하여 해결할 수 있다.

기술자가 프로그램을 운용하는 방법으로는

현장 기술자 아래 시공 조사팀을 두는 방법과 설계자 아래 계측 전담반을 구성하거나 감리 기술자 또는 산학계의 연구 기술진을 고용하는 방법 등이 있다. 현장 기술자 아래 시공 조사팀을 두는 경우에는 현장 기술자와 하부 직원이 설계 인자를 평가하고 계측치를 분석하는데 필요한 전문지식을 갖고 있지 않거나, 계측이 수행 업무의 일부분일 수도 있어 계측에 대한 세심한 주의와 관심을 보이지 않는 경우가 많다. 또한 시공 조사 요원이 지속적으로 동일한 계측 업무를 부여받지 못하는 경우가 많으므로 경험 있는 조사원을 잃는 결과를 초래할 수 있다.

설계자 아래 계측 전담반을 구성하거나 계측 기술자를 고용하는 경우에는 향후 다른 프로젝트에서 함께 계측을 수행하거나 경험을 쌓아 갈 수 있는 장점을 갖고 있으며, 계측 기기와 관련 구조물에 대한 전문지식이 있는 자들로 구성됨에 따라 계측 프로그램을 합리적으로 운용할 수 있다. 이러한 계측 프로그램 운용 방법은 이미 미공병단, 개발 도상국 등의 공공기관이나 계측 전담반을 갖고 있는 국외의 사기업체들에 의해 그 효율성을 인정받고 있다.

2.1.3 계측 계획 수립시 유의사항

계측 계획 수립시 특별히 유의해야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 터널의 규모, 지반 조건, 설계개념, 주변환경, 시공방법, 사전 해석결과, 유사터널의 시공자료 등을 검토하여 예상되는 문제점을 도출하고 이에 따라 계측의 목적을 명확히 설정한다.
(2) 설정한 계측목적에 맞도록 계측항목, 계측위치, 계측 빈도 등을 결정하여야 한다.
(3) 계측목적과 공사현장에 적합한 계측 기기를 선정하여 계측의 신뢰도를 높일 수 있도록 계획한다.
(3) 계측 결과는 현장에서 신속히 분석하여 시공에 반영되도록 그 관리기준을 설정하여야 한다.
(4) 긴급 사태에 신속히 대응하기 위해 계측 결과의 분석 후 취할 조치의 내용과 범위를 사전에 고려한다.
(5) 계측의 측정주기를 적정하게 선정하여야 하며, 계측기는 측정이 간단하고 고장율이 적은 것으로 선택한다.
(6) 변위가 수렴되어 안정화 된 후 측정종료시기를 정해주어야 한다. 단, 유지관리 계측으로 연결되는 계측에 대해서는 측정의 빈도를 조정하여야 한다.

2.2 계측 항목의 선정

계측은 일상계측, 정밀계측, 유지관리 계측으로 구분하여 계획을 수립하여야 한다. 일상계측(계측 A)은 일상적인 시공관리를 위하여 반드시 실시해야 할 항목이며, 정밀계측(계측 B)은 지반 조건 또는 주변여건에 따라 정밀한 지반 및 구조물의 거동을 관찰할 목적으로 필요에 따라 일상계측에 추가하여 선택하는 항목이다.

유지관리계측은 일반관리 계측과 대표단면 계측으로 구분할 수 있으며 일반관리 계측은 유지관리 대상전구간에서 시행하는 주로 터널의 전반적인 안전성 확인을 위한 계측이며, 대표단면 계측은 설계·시공상의 불확실 요소가 내재되어 있거나 외력조건의 변화가 예상되는

등 특수조건을 갖는 위치에서 수행하는 계측을 말한다.

각 계측 항목의 중요도는 터널의 용도, 규모, 지반 조건, 주변환경, 시공방법 등에 따라 상이하기 때문에 구체적인 계측 결과의 활용 목적, 평가 방법을 명확히 설정한 뒤 필요한 항목을 선정하여야 한다.

계측 항목을 그 필요도에 따라 일상계측, 정밀계측, 유지관리계측으로 구분하면 다음과 같다.

(가) 일상계측(일상의 시공 관리상 반드시 실시해야 할 항목)

① 터널내 관찰 조사
② 내공 변위 측정
③ 천단 침하 측정
④ 지표 침하 측정(토피가 얕은 도심지 터널)
⑤ 록볼트 인발 시험

(나) 정밀계측(지반 조건에 따라 일상계측에 추가하여 선정하는 항목)

① 지중 변위 측정
② 록볼트 축력 측정
③ 라이닝 응력 측정(숏크리트 및 콘크리트 라이닝)
④ 지중 침하 측정
⑤ 터널내 탄성파 속도 측정
⑥ 강지보재 응력측정
⑦ 지반의 팽창성 측정
⑧ 지중 수평변위 측정
⑨ 지반 진동 측정

(다) 유지관리계측

① 일반 관리 계측
- 갱내관찰조사 : 조명, 환기상태, 온도, 습도, 콘크리트의 균열, 누수, 배수로 상태 조사
- 라이닝 변형 측정: 콘크리트 라이닝의 안정성 확인, 지보재 및 주변지반의 안정성 간접확인, 균열발생시 원인조사
- 용수량 측정 : 콘크리트 라이닝에 수압작용 여부

② 대표 단면 계측
- 토압 측정
- 간극수압측정
- 콘크리트 라이닝의 응력측정
- 철근응력측정
- 지하수위 측정

<표 611.1>은 각 항목별로 검토, 평가하여야 할 세부 사항을 나타낸 것이며, <표 611.2>는 계측항목의 선정기준을 나타낸다. 한편, 시공시 문제가 되는 지반조건에 따라 필요한 계측항목 선정기준은 <표 611.3>에 기술한 바와 같다.

<표 611.1> 계측항목별 평가 사항

계측항목	주요 평가사항	계측종별[1)]
터널내관찰조사	① 막장의 안정성 ② 암질, 파쇄대, 변질대 등의 지질상황 및 용출수상태 ③ 기 시공구간의 안정성 ④ 지반 재분류 및 재평가	A
터널내탄성파 속도 측정	① 이완영역의 변위 ② 균열대, 변질정도	B
내공변위 측정	변위량, 변위속도, 변위수렴상황에 의해 ① 주변지반의 안정성, ② 주지보재 설계, 시공의 타당성, ③ 콘크리트 라이닝 타설시기 등을 판단	A
천단침하 측정	터널 천단의 절대침하량을 측정하여 단면 변형상태를 파악하고 터널 천단의 안정성을 판단	A
지표침하 측정	① 지상에서의 굴착 영향 범위 파악 ② 지표부의 절대 침하량을 측정하고 침하구배(S)를 산출하여 구조물의 안정성 파악	A
지중변위 측정	주변지반의 이완영역의 범위를 판단하여 설계 및 시공의 타당성을 검증	B
록볼트 축력측정	록볼트의 축력측정에 의한 보강효과 확인 및 록볼트 시공의 타당성 평가	B
록볼트 인발시험	록볼트의 인발력 측정으로부터 적절한 록볼트 선택	A
라이닝 응력측정[3)]	라이닝의 내부응력상태 측정을 통한 터널의 안정성 평가	B
지중침하 측정	터널의 굴착에 따른 지표 및 지중 침하량을 측정하여 굴착이 주변 구조물에 미치는 영향 평가	B
강지보재 응력측정	① 강지보재의 응력측정에 의한 강지보재의 치수, 형상, 설치간격 등을 결정 ② 강지보재에 작용하는 토압의 크기, 방향, 측압계수 등을 추정	B
지반의 팽창성 측정	인버트의 필요성, 효과 판정	B
지중수평변위 측정	수직갱 또는 작업갱의 발파 및 굴착등으로 인한 지중의 심도별 수평 변위량 측정	B
지반진동 측정	발파진동의 측정	B

주 1) 계측종별 A는 일상계측, B는 정밀계측을 말한다.

주 2) 계측 종별이 공란인 것 혹은 본 표에 제시되지 않은 시험 및 계측 항목에 대해서는 현장 기술자 판단에 의해 실시 여부를 결정한다.

주 3) 라이닝 응력측정은 숏크리트 및 콘크리트 라이닝의 응력 측정을 모두 포함한다.

<표 611.2> 계측항목의 선정(● 실시할 필요가 많음, ○ 경우에 따라 생략 가능)

대상	계측		특히 주의할 계측지점				계측규모			비고
	항목	세부항목	팽창성지반	함수미고결지반	토피가얕은지반	갱구부근에서 지반활동 및 붕괴가능성이 있는 지반	시험항목	상세계측	간이계측	
지반·지보재·라이닝	터널내 관찰조사	암질, 지질구조 (단층, 절리방향 등), 풍화, 변질, 파쇄상황, 용출수상황	●	●	●	●	●	●	●	
	터널 변위 측정	내공변위	●	●	●	●	●	●	●	
		천단침하	○	○	●	○	●	●	○	부동점을 기준으로 하여 터널의 천단 연직방향 변위량
	지중 변위 측정	상대변위	●	○	○	○	●	●		계측단면에서 굴착후의 발생 변위 측정
		절대변위			●	○				계측단면 굴착 전부터의 발생 변위 측정
	지표 침하 측정				●	○				지표관측 포함
	지반 활동 변위	지표이동				●				
		활동면의 움직임				●				
	지반 응력 측정						○			지반조건에 따라 필요한 경우에 측정함
	터널내 탄성파 속도측정						●	○		터널의 전구간에 대해 측정
	지보재 및 라이닝의 관찰	지보판의 깨어짐, 강지보재의 변위, 록볼트 플레이트의 변형, 숏크리트 및 콘크리트라이닝의 균열				●				
	이동측정 이동측정	터널 내공단면의 이동				●				부동점을 기준으로 단면 전체의 이동 측정
		강지보재 내공단면의 변형	●	●	●	●	●	●	●	지반의 내공변위 측정과 병행
		강지보재 이동, 침하 등	●	●	●	●	●	●	●	지보재의 천단침하 측정은 지반의 침하측정과 병행

<표 611.2> 계측항목의 선정(● 실시할 필요가 많음, ○ 경우에 따라 생략 가능) (계속)

대상	계측 항목	계측 세부 항목		특히 주의할 계측지점: 팽창성 지반	함수미고결 지반	토피가 얕은 지반	갱구부근에서 지반활동 및 붕괴가능성이 있는 지반	계측규모: 시험항목	상세계측	간이계측	비고
지반·지보재·라이닝	변형측정	숏크리트	숏크리트의 내공단면 변형	○	○	○	○	○	○	○	숏크리트에서는 지반의 내공변위와 동시에 실시
			이동, 침하 등				○	●			
			균열 정도	○	○	○	○	○	○	○	육안으로 발견되는 경우 실시
	하중측정	강지보재	기초반력	●	●	●	●	●	●	●	
			쐐기에 작용하는 하중								널말뚝공법에서 실시
			응력, 변형								재래공법에서 실시
		콘크리트 라이닝	배면지압	○	○	○	○	○	○	○	
			응력, 변형	○	○	○	○	○	○	○	
		록볼트 축력		●		○		●	●		휨, 전단력 측정도행함
		숏크리트의 응력		○		○		○	○		반경방향, 접선방향으로 측정
	지보재 및 라이닝의 시험	록볼트의 인발내력		●	○	○	○	●	●		
		숏크리트의 강도특성		○		○		○	○		
		콘크리트 라이닝의 강도 특성		○		○					
용출수	지하수 조사	터널내 용출수	용출수량	●	●	●	●	●	●	●	
			수질시험		○						
			간극수압		●		○				
		선진보링	수압 및 용출수량		●						선진시추는 주로 단층파쇄대의 조사목적으로함
			투수시험		○						
			지질시험		○						
		지 표	하천시험		○	○					
			지하수위		○	○	○				
			강우(설)량		○	○	○				다른 기상조사와 종합하여 행하는 경우도 있음
			수질시험		○						

<표 611.2> 계측항목의 선정(● 실시할 필요가 많음, ○ 경우에 따라 생략 가능) (계속)

대상	계측		특히 주의할 계측지점				계측규모			비고
	항목	세부항목	팽창성지반	함수미고결지반	토피가 얕은지반	갱구부근에서 지반활동 및 붕괴가능성이 있는 지반	시험항목	상세계측	간이계측	
인접구조물	구조물 관찰	변형, 균열			●	●				
	구조물의 변위이동 측정	경사			●	●				
		수평이동, 침하			●	●				
		균열			●	●				

<표 611.3> 지반조건에 따른 계측항목의 선정

지반조건	시공시 관찰 또는 계측의 대상이 되는 현상	필요한 관찰 또는 계측항목	경우에 따라 추가되는 항목
경암지반	·균열 등의 붕괴면으로부터 암괴, 암편의 이완, 붕락	·터널내관찰 조사 ·내공변위 측정 ·천단침하 측정	
연암지반 (팽창성 지반 제외)	·암괴, 암편의 이완 또는 붕락	·터널내관찰 조사 ·내공변위 측정 ·천단침하 측정	·지중변위 측정 ·록볼트축력 측정 ·암석시료 시험 ·지표침하 측정(토피가 작은 경우)
팽창성 또는 편압이 작용하는 지반	·측벽의 압출 ·막장면의 압출 ·지반 팽창	·터널내관찰 조사 ·내공변위 측정 ·천단침하 측정 ·지중변위 측정 ·록볼트축력 측정 ·숏크리트 응력측정 ·작용하중 측정	·단면 측정 ·지보재 침하 측정 ·지반 팽창성 측정 ·라이닝 응력측정 ·암석 시료 시험
토사 지반	·지반의 이완과 이에 따른 지표침하 ·막장유출 ·인접구조물에의 영향	·터널내관찰 조사 ·내공변위 측정 ·천단침하 측정 ·지표침하 측정 ·지중변위 측정 (지중침하)	·지표(지반, 구조물) 관찰 조사 ·지중변위 측정 (경사계) ·록볼트 축력측정 ·숏크리트 응력 측정 ·작용하중 측정 ·토질시료 측정

2.3 계측 위치 및 측선계획

2.3.1 개요

계측위치는 구조물의 구조적, 재료적 취약부, 구조물 및 지반의 거동특성 등을 사전에 조사, 분석하여 가장 큰 응력 및 변위가 발생할 수 있는 부위나 외력 및 내부응력 변화에 따른 영향 범위를 명확하게 파악한 뒤, 계측목적을 고려하여 선정하는 것이 바람직하다. 그러나, 지중선, 지하철 등과 같이 연장이 긴 구조물 공사에서는 시험구간(test section)을 설정하여 집중적인 계측을 수행하는 경우가 많다.

일반적으로 계측위치는 중요한 지점, 예를 들어 교차로 부근, 중요한 구조물 부근, 지반상태와 설계가 변화되는 지점, 재료가 변경되는 지점, 과다한 변위가 우려되는 지점 등에 선정하는 것이 보통이나 공사현장이 광범위한 경우에는 전체 시공현장의 대표적인 장소를 시험구간으로 선정하고 집중적으로 계측, 관리하여 그 결과를 잔여구간에도 적용할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 시험구간은 아래와 같은 지점에 선정하는 것이 좋다.

- 비교적 단순하고 대표적인 지반상태를 갖는 지점
- 주위에 특수시설이 없는 지점
- 설계와 시공 면에서 대표적인 지점
- 기기의 설치와 그 계측이 용이하며 공사에 지장을 적게 주는 지점

2.3.2 계측위치 및 배치간격

각 계측항목 상호간의 연관성을 분석하는 것이 지반과 지보의 거동을 종합적으로 파악하고 계측의 신뢰성 향상을 도모하기 위해 중요하다. 이를 위해서 터널의 용도, 규모, 지반조건, 시공방법, 기 시공구간의 계측결과 등 터널의 여러 상황을 고려하고 계측목적에 부합하도록 터널의 종단 및 횡단방향별로 계측위치 및 배치간격을 적절히 선정하여야 한다.

일반적으로 계측항목별 계측위치는 다음 사항들을 고려하여 계획할 수 있다.

(1) 터널내 관찰 조사

터널내 관찰조사는 원칙적으로 매 굴진막장마다 실시하고 관찰 기록 양식에 1 진행 때마다 막장 상태를 기록한다. 단, 지반상태의 변화가 거의 없는 경우는 1 일에 대표적인 1~2 막장에 대해서만 기록한다.

기 시공 구간의 관찰 조사는 적어도 1일 1회 정도 수행하여 그 관찰사항을 기록한다.

(2) 내공 변위, 천단 침하, 지표 침하 측정

내공 변위 측정과 천단 침하 측정은 동일 단면에 대하여 실시하는 것을 원칙으로 하며, 두 항목 중 한 항목에 중점을 두어 여러 회 측정해야 할 경우는 예외로 할 수 있다.

내공 변위 측정, 천단 침하 측정의 계측 간격은 <표 611.4>를 표준으로 하지만 터널의 길이, 지반 변화, 굴착 진행, 시공 실적(계측 데이타) 축적 등에 의해 적절히 변경하여야 한다.

시공 초기 단계에서는 계측 간격을 좁게 하여 지반상태, 토피 또는 시공 패턴과 변위량과의 관계를 세밀하게 조사하도록 하고 지반 거동의 특성이 파악되면 계측 간격을 넓혀 터널내 관찰 조사에 의해 얻어진 정보나 토피 등에 중점을 두어 행하도록 한다. 또한 내공 변위 측정과 천단 침하 측정은 계측 B(정밀계측)의

<표 611.4> 내공 변위 측정, 천단 침하 측정의 계측 간격 표준

조 건 / 지 반	갱구부근	2D이하의 토피 (D:터널의 굴착폭)	시공초기단계	어느정도 시공이 진행된 단계
경암 지반(단층의 파쇄대 제외)	10m	10m	20m	30m～50m
연암 지반(큰 소성지압 발생 없음)	10m	10m	20m	30m
연암 지반(큰 소성 지압 발생)	10m	10m	20m	30m
토사 지반	10m	10m	10m～20m	20m

주 1) 시공의 초기 단계로는 긴 터널에서 200m 정도의 시공이 진행된 단계
2) 지반이 양호하고 균질한 경우는 표준 간격을 넓힌다.
3) 지반 변화가 심한 경우는 표준 간격을 좁힌다.

<표 611.5> 지표 침하 측정의 터널 종단 방향 측점 간격

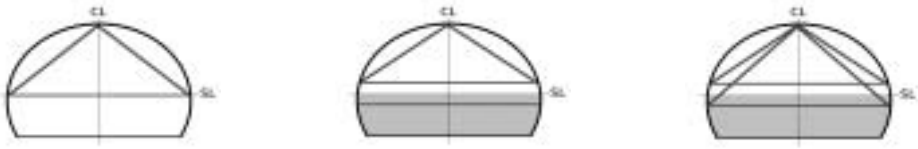
토피 h와 터널 굴착폭 D의 관계	측점 간격
2D 〈 h	20～50m
D 〈 h 〈 2D	10～20m
h ＜ D	5～10m

주 1) 시공 초기 단계나 지반상태의 변화가 심한 경우나 침하량이 큰 경우는 제시한 수치 중에서 작은 값을 취한다.(상황에 따라서는 더욱 좁게 한다.)
2) 영향을 받을 가능성이 있는 구조물의 주변에서는 간격을 좁게 한다.
3) 어느 정도 시공이 진행되고 지반이 양호하여 변화가 적고 침하량도 적은 경우에는 제시한 수치 중에 큰 값을 취한다.(상황에 따라서는 더욱 크게 할 수도 있다.)

항목이 측정되는 단면에서의 결과를 평가할 수 있도록 반드시 실시한다.

토피가 얕은 터널은 통상 토사 터널이나 연암 터널이 되는 경우가 많고, 큰 지표 침하가 발생하는 경우가 많다. 따라서, 터널 및 주변 지반의 안정성을 확보하기 위해 지표 침하 측정은 실시되어야 한다. 일반적으로 지표침하 측정은 내공 및 천단침하 측정과 함께 수행되어야 하므로 설치 간격 또한 동일하게 한다. 일반적으로 산악에 건설되는 도로터널의 특성상 갱구부외에는 지표침하측정을 거의 수행하지 못하나 철도·도로구조물 횡단 등 특별한 경우 지표 침하 측정을 수행하여야 한다.

지표침하량은 일반적으로 지반조건, 지하수위, 토피, 주변 구조물의 유무 등이나 시공법에 의해 크게 다르다. 토피를 기준으로 한 측점



전단면 3측선 반단면 4측선 반단면 6측선

<그림 611.2> 내공변위 계측의 측선 배치 예

간격(종단 방향)의 표준은 <표 611.5>와 같으며, 지표침하 측정의 측점은 내공 변위 측정, 천단 침하 측정 위치와 동일한 지점으로 하는 것이 바람직하다.

내공변위의 측선수는 <그림 611.2>를 기준으로하여 배치하되 갱구부근, 편압예상구간 등은 필요에 따라 조정할 수 있다.

천단침하측정은 내공변위 측정과 동일단면에 배치하고 그 측점은 터널의 천단부 중심점에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 터널이 전체적으로 침하 하는지를 확인하기 위해서는 천단침하와 더불어 터널의 하단부 침하량을 측정하는 것이 바람직하다.

(3) 정밀계측

정밀계측은 지반 거동의 파악과 함께 그 결과로부터 계획 설계의 타당성 혹은 초기 단계의 실시 설계를 확인하고 그 후의 설계, 시공에 반영하는 일을 주목적으로 하고 있다. 이를 위해 정밀계측은 시공 초기 단계에서 실시하는 것이 바람직하며, 계측 단면은 대표적인 지반조건 구간에서 설정하는 것이 바람직하다. 참고 자료를 얻기 위하거나 특수한 문제가 있는 곳에서 안전 관리를 목적으로 하는 경우 이외에 단층 등의 특수 구간에서 정밀계측을 실시하는 것은 계측 결과의 운용상 바람직하지 않다.

시공 길이가 짧고(200m 이하) 지반 조건이 비슷한 터널이 근접하여 시공되고 있는 경우나 지반이 안정하여 시공상의 문제가 없는 경우에는 정밀계측을 생략하는 경우도 있다. 반대로 지반 조건의 변화 등에 의해 큰 설계 변경이 이루어지면 정밀계측을 실시하는 것이 요망된다.

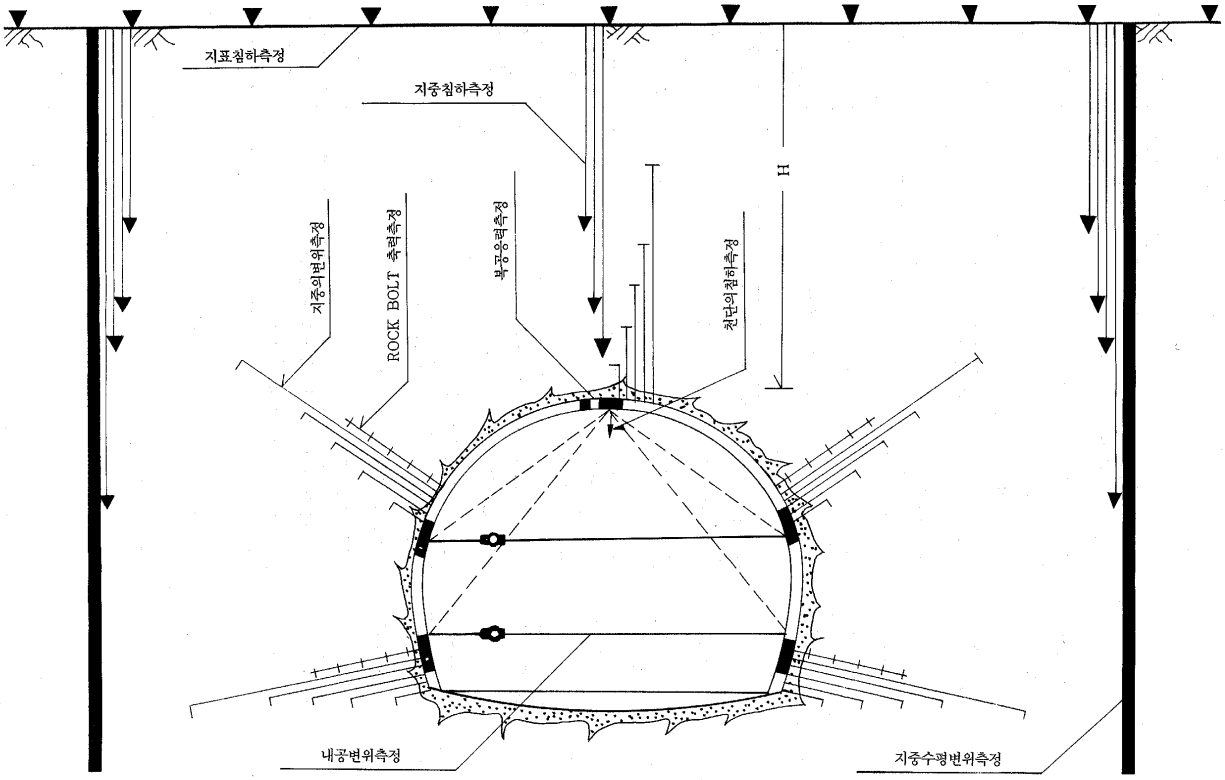
정밀계측의 측선은 일반적인 지반의 경우 500m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하지만 터널의 규모나 지반 및 주변조건 등에 따라 조정할 수 있으며, 가능한한 설계시의 터널해석 구간에 설치하여 해석결과와 시공시의 계측결과의 비교검토가 되도록 하여야 한다.

지중침하의 측정 위치는 터널 중심선상의 지표면 또는 측정이 요구되는 지점에 배치하고 깊이별로 여러 개의 측점을 계획하여야 한다.

정밀계측의 여러 항목 중, 지중변위측정, 록볼트 축력측정, 숏크리트 응력 측정 등 계기를 터널 내에 설치할 필요가 있는 항목에 대해서는 1단면마다 3~5점을 표준으로 터널의 설계패턴에 따라 효과적인 계측이 가능하도록 적절한 위치에 배치하여야 한다.

<그림 611.3>은 정밀계측항목의 일반적인 계측기 배치사례를 보여준다.

지중변위 측정은 터널 중앙에 반드시 배치되



<그림 611.3> 계측기 배치 예(정밀계측)

도록 하며, 지중변위의 경향 및 분포를 알기 위해서는 좌우에 추가 배치하도록 한다. 외부에서 터널 중앙부에 설치하는 다점식 지중변위계의 끝부분은 터널 천단 부에서 약 0.5~1.0m 거리까지 이르도록 설치하여야 한다. 지중수평변위계(경사계)의 튜브 끝부분은 터널의 영향을 받지 않는 위치까지 충분히 시공하여 위치를 고정하여야 한다. 즉 터널의 하부의 인장영역보다 길게 설치 고정하여야 한다. 또한, 일반적으로 터널의 양측에서는 1.0~1.5m의 이격거리를 두어 설치하는 것이 보통이다.

(4) 유지관리계측

유지관리계측의 위치는 구조물의 구조적, 재료적 취약부나 큰 외력 및 내부응력 변화가 예상되는 곳, 또는 지장물이 근접하여 있거나 주변지반이 열악한 구간 등을 사전에 조사, 분석하여 선정하는 것이 바람직하나 유지관리 터널의 길이가 500m를 넘는 경우는 이러한 문제구간 외에 일반구간도 계측에 포함시켜 계측을 수행하여 터널의 전체적인 안전성을 관리해 나가는 것이 바람직하다.

2.4 측정 빈도

측정 빈도는 계획시에 지반 조건과 시공 조건을 함께 고려하여 설정한 뒤 시공 과정에서 계측에 의한 지반 및 지보의 거동 상황을 참조하여 적절하게 수정하는 것이 중요하다.

일반적으로 변위와 응력의 변화는 굴착 직후

에 크지만 시간이 지나고 막장이 멀어짐에 따라 감소하는 경향이 있기 때문에 막장에 접근하여 측정하는 초기 단계에는 조밀한 측정 빈도로 정한다.

측정시 초기치는 이후 측정치의 기준이 되므로 시공 상황이 허락하는 한 막장에 근접한 위치에서 조기에 읽는 것이 중요하다. 측정시 시공 조건 등의 제약 때문에 계측 항목, 위치 등에 따라 측정 시기가 틀려지는 일이 있고 계측 결과의 평가에 지장을 주는 경우가 있으므로 읽는 시기에 주의하고, 각 계측 항목 사이에 측정 시기를 동일하게 하도록 노력하여야 한다.

(1) 내공 변위, 천단 침하, 지표침하

내공 변위와 천단 침하의 측정 빈도는 변위가 수렴할 때까지의 일수, 변위량, 굴착법 등에 따라 다르지만 기본적으로 변위 속도(1일당 변위량) 및 막장으로부터의 거리에 따라 정한다 (<표 611.6> 참조).

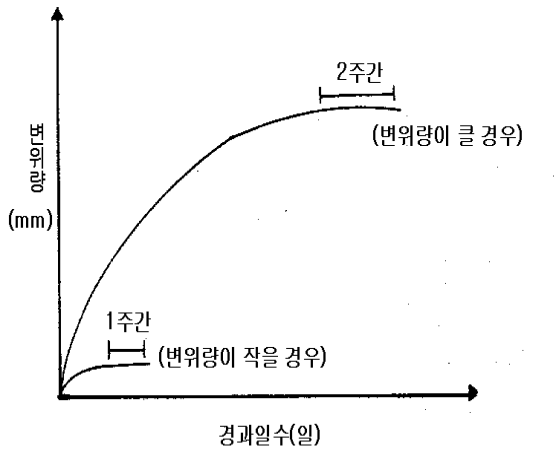
변위 속도에 의한 측정 빈도와 막장으로부터의 거리에 의한 측정 빈도 중에서 빈도가 많은 쪽을 택하는 것을 원칙으로 한다. 단, 변위의 경향이 일정한 경우에는 <표 611.6>에 나타낸 빈도에 따르지 않아도 좋다.

내공 변위 측선용 측선의 경우 변위 속도는 다르지만 변위 속도가 가장 큰 측선을 고려한 빈도에 맞추고, 같은 단면 내에서는 전측선의 측정 빈도를 같게 한다.

<표 611.6> 내공 변위, 천단 침하의 측정 빈도 (D: 터널 굴착폭)

측정빈도	변위속도	막장으로부터의 거리
2회/일	10㎜/일 이상	0~1D
1회/일	10~5㎜/일	1D~2D
1회/2일	5~1㎜/일	2D~5D
1회/주	1㎜/일 이하	5D이상

벤치 컷 공법의 경우 하반(下半) 막장의 접근에 따라 상반 측선의 측정 빈도를 높게 하여 변위의 변화를 파악할 필요가 있다. 단선 병렬 터널의 경우나 측벽 도갱 방식인 경우는 선진 보오링의 측정 빈도를 보오링이 접근함에 따라 증가시킬 필요가 있다. 측정기간은 <그림 611.4>에 나타낸 것과 같은 방법이 있다.



<그림 611.4> 측정 기간의 고려 방법

변위량이 작은 터널(내공 변위량이 복선 단면에서 50mm 이하, 단선 단면에서 25mm 이하)의 경우는 일반적으로 변위의 수렴도 빠르기 때문에 변위량이 일정치에 수렴한 후 1주일 정도 1회/2일의 빈도로 안정 상태를 확인한다. 반대로 변위량이 큰 터널(내공 변위량이 복선 단면에서 50mm 이상, 단선 단면에서 25mm 이상)의 경우는 변위량이 일정하게 수렴한 후 2주간 정도 1회/2일 빈도로 측정하여 확인해야 한다.

지표 침하 측정은 <그림 611.5>에 나타낸 바와 같이 막장 전방의 거리가 $H+h_1$(H: 토피, h_1: 상반의 높이) 또는 2D로 되는 시점(큰 쪽을 택함)에서부터 측정을 개시하고, 굴착 진행에 따라 지표면 침하가 없을 때까지(일반적으로 막장으로부터의 거리가 2D~5D) 측정한다. 단, 시공 실적에 근거하여 측정 개시점에서 침하가 발생하는 것으로 판단되면 더욱 빨리 측정을 개시한다. 측정 빈도는 1회/(1~2일)가 바람직하다.

(2) 정밀계측

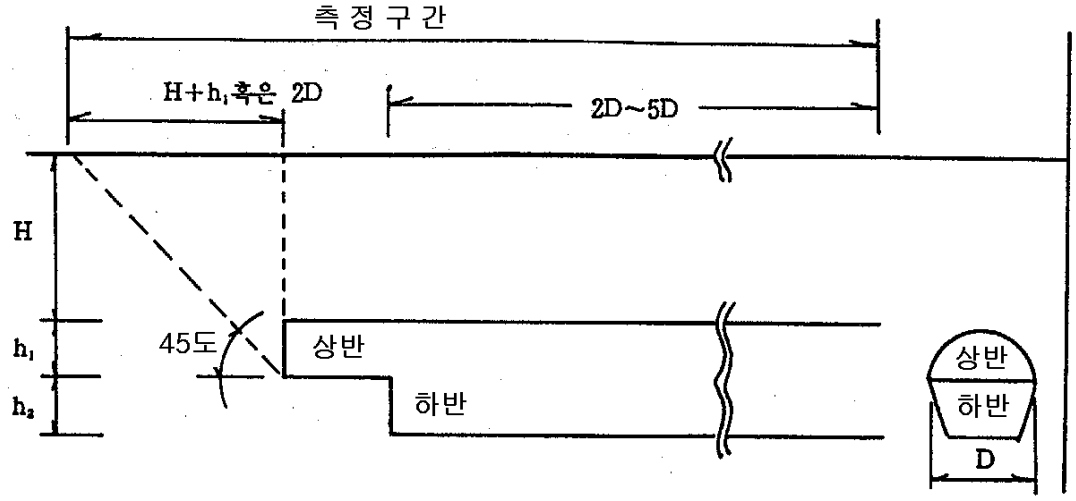
정밀계측 중 지중 변위 측정, 록볼트 축력 측정, 라이닝 응력 측정의 3개 항목에 대해서는 동일 단면에서 측정되고 있는 일상계측의 내공 변위 측정, 천단 침하 측정의 측정 빈도와 같은 빈도로 측정한다.

2.5 계측 기기의 선정

계측 기기는 전세계적으로 수많은 종류가 개발, 보급되고 있기 때문에 용도에 따라 적정 계측 기기를 선정한다는 것은 쉬운 문제가 아니다. 따라서 적정 계측 기기를 선정하기 위해서는 각별한 주의와 함께 기기 특성에 대한 사전 정보가 요구되며, 계측 기기의 검증이 필요하다.

일반적으로 계측 기기를 선정할 때는 다음과 같은 사항에 유의해야 한다.

(가) 계측 기기의 정도, 반복 정밀도, 감도, 계측 범위와 신뢰도가 계측 목적에 맞을 것



<그림 611.5> 지표 침하의 측정 구간(종단 방향)

(나) 구조가 간단하고 튼튼하며 설치가 용이할 것
(다) 계측 기기의 가격이 적절한 것
(라) 온도, 습도 등의 제반 영향 인자에 대해 자체 보정이 되거나 보정이 간단할 것
(마) 측정치에 대한 계산 과정이나 분석 절차가 간단할 것
(바) 가능한 한 측정치의 자체 검증이 이루어질 것
(사) 기기-터미널간의 연결관 또는 케이블이 물리적, 화학적 작용에 견딜 수 있을 것
(아) 지상부 터미널의 기후 변화나 물리적 피해를 견딜 수 있을 것
(자) 부식이나 전기적 방해 요인을 극복할 수 있을 것
(차) 대상터널의 길이가 긴경우는 원칙적으로 자동화 계측이 가능한 기기쪽으로 선정할 것(유지관리 계측에 필수)

계측 기기는 복잡한 것보다 간단한 것, 전기식보다는 기계식 기기, 가동 부분이 많은 것보다는 적은 쪽이 사용, 보정, 보수에 편리하다. 기기 자체에 이상이 있으면 계측 과정과 분석을 아무리 잘 하여도 정확한 결과를 얻을 수 없으므로 기기의 보정(calibration) 방법과 주기에도 유의하여야 한다. 또, 기기의 이상, 고장을 항상 염두에 두어 한 두 개의 기기 고장으로 전체 측정치가 무용지물이 되지 않도록 중요한 위치에는 기기의 수효에 항상 여유가 있도록 하여야 한다. 기기가 고장이 났을 경우나, 계측치가 계측 범위를 초과할 것이 예상되지만 재조정이 불가능할 때를 대비하여 예비 기기도 준비하여야 한다.

<표 611.7> 터널 계측용 기기

용도	계측기 종류
내공 변위 또는 천단 침하 측정	tape extensometer wire extensometer rod extensometer tape 또는 pipe scale Fiber optic sensor 3차원 광파 측정기 EL beam sensor bassett convergence system
지중 변위 측정	rod borehole extensometer wire borehole extensometer 3방향지중변위 측정기 chain-deflectometer
지중 수평 변위 측정	portable inclinometer fixed inclinometer sliding curvometer
라이닝, 지보재의 변형율 측정	vibrating wire strain gauge carlson strain gauge 전기식 strain gauge deformeter/curvometer
하중 측정	mechanical disk load cell hydraulic load cell vibrating wire load cell instrumented anchor rock anchor tensile load tester strain gauge load cell carlson load cell
전응력 측정	hydraulic stress cell pneumatic stress cell vibrating wire stress cell strain gauge stress cell AWID cell
간극 수압 측정	open stand pipe type diaphragm type

계측 기기는 용도, 작동 원리, 측정 방법, 사용 재료 등에 따라 다양한 종류로 개발, 보급되고 있으나, 일반적으로 터널 계측에 주로 이용되고 있는 기기들은 <표 611.7>과 같다.

611.3 계측 관리

3.1 계측 관리 체제

일반적으로 관측, 계측 관리의 시행 절차는 <그림 611.6>과 같으며 여기서 유의해야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 계측 결과는 반드시 공사의 진행 상태와 기온, 강우량 등 중요한 환경 상태와 함께 기록하며, 가급적 일목요연하게 도표로 정리한다.
(2) 유능한 기술자로 구성된 계측반이 계측을 전담해야 하며 계측요원은 현장에 상주한다.
(3) 계측 결과는 즉각 검토, 정리, 분석한다.
(4) 계측반 책임자의 보고 체계와 책임 한계를 분명하게 한다.

3.2 계측요원의 선정

계측요원의 선정시에는 계측목적을 정확히 이해하고 중요한 사항을 결정할 수 있는 능력을 갖춘 기술자로 선정하여야 한다.

계측은 전 공정 중 어느 한 부분만 오류가 생기더라도 해석결과는 엉뚱한 결과를 초래할 뿐 아니라 오히려 악영향을 끼칠 수도 있다. 그러므로 계측요원은 설계상의 제 과정과 시공상의 문제점을 숙지하고 계측목적을 확실히 이해하고 있어야 한다. 계측요원의 구성은 최소한 기술자 1인과 기능원 1인으로 이루어지나 현장조건, 계측상태, 측정의 난이도, 결과의 해석방법에 따라 적절히 조절하여야 한다. 계측의 중요성을 감안할 때 시공사는 발주처와 합의하여 전문 계측기관이 계측 및 분석을 전담하도록 하는 것도 바람직할 것이다.

(1) 계측요원의 자격

계측요원은 계측기기와 계측방법에 대해서 지식과 경험이 풍부하여 기기선정, 설치방법(위치, 깊이, 방향 등), 설치 수효, 계측빈도 등 계측에 관한 전반적인 중요한 사항을 직접 결정할 수 있는 능력을 보유하고 있어야 한다. 또한, 계측요원은 계측의 계획과 시행을 전담하는 단일 임무를 부여받아야만 하며, 현장에서 실측치에 대한 나름대로의 현장 판단을 가지고 예기치 못한 상황 발생시 즉시 적절한 조치를 취할 수 있어야 한다.

(2) 계측요원의 임무

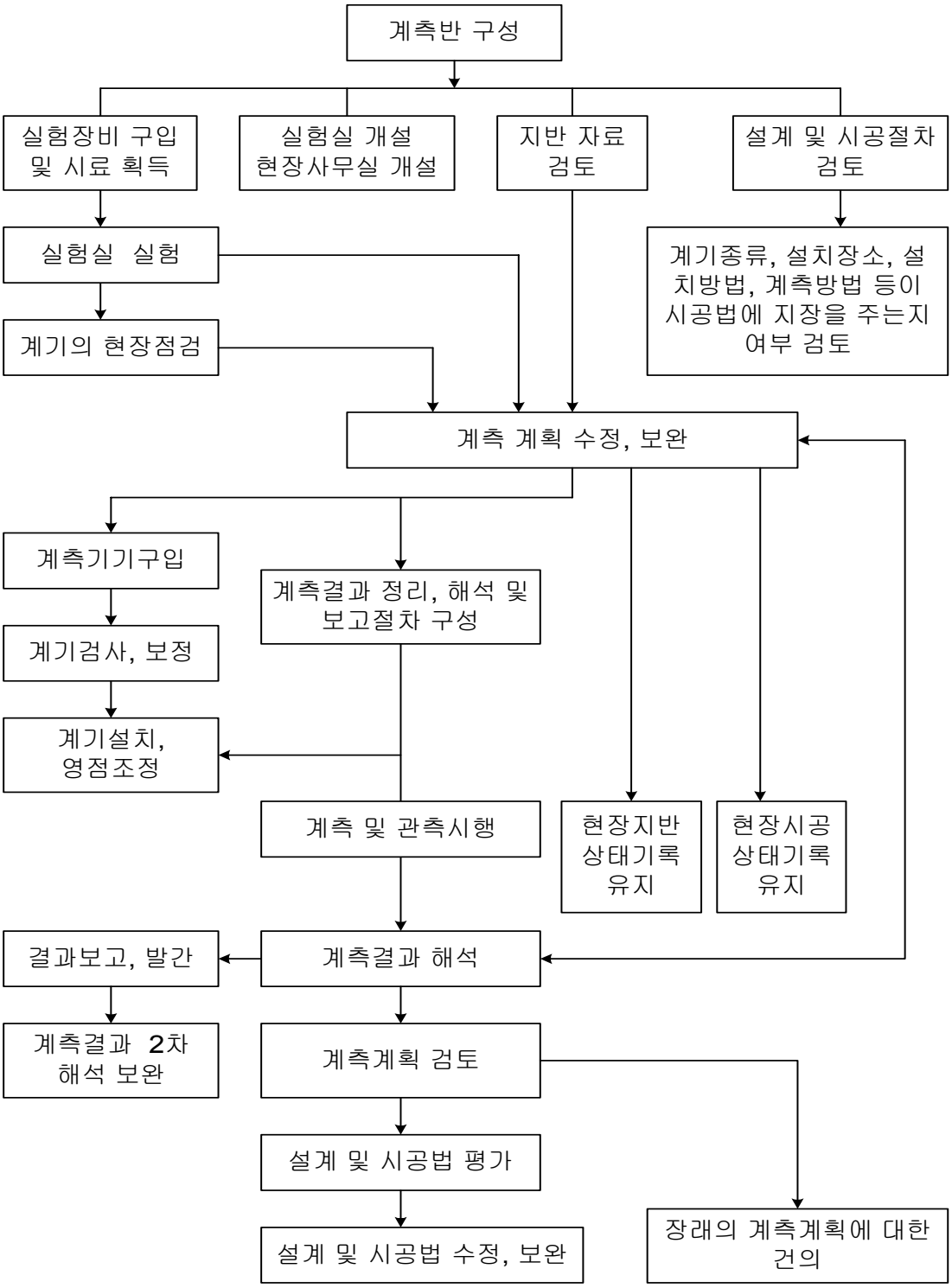
성공적인 계측은 설계자, 감독자, 시공자 등 공사에 관계하는 모든 사람의 상호 협조 없이는 불가하므로 원만한 대인관계와 원활한 의사교환 능력도 갖추어야 하고 계측결과에 따라 설계 또는 시공법을 변경하는 과정에도 어느 정도 참여해야 한다.

계측요원은 계측기의 선정, 설치, 측정 및 해석까지 계획대로 진행되고 있는지를 점검하며, 현장조건, 계측상태, 측정의 난이도 등을 고려하여 만일의 사태에 대비할 수 있도록 준비하여야 한다.

3.3 계측 기기의 설치

(1) 설치 지침

계측 기술자는 각 기기별 설치 매뉴얼을 제조업자로부터 입수, 사전에 내용을 검토하여 설치시 발생할 수 있는 제반의 문제점을 파악



<그림 611.6> 계측관리의 시행 절차

하고 이에 대한 대책을 수립해야 한다. 설치 매뉴얼은 반드시 다음과 같은 내용을 포함해야 한다.

① 설치시 필요한 장비 및 부품의 목록
② 설치시 기기 부품 배열 상태의 정확성을 파악할 수 있는 기기 구성 시스템 도면
③ 천공이 필요한 기기의 경우, 천공 조건의 명기(최대, 최소 천공 크기, 천공 벽면의 거칠기 등)
④ 기기의 상세한 조립 절차
⑤ 단계별 기기 설치 절차

(2) 설치 점검 사항

기기는 주로 공사 진행중에 설치하므로 시공에 따른 제반 영향을 직접적으로 받게되며, 때로는 예상치 못한 문제에 접하게 되어 설치상의 어려움을 겪게 된다. 따라서 원활한 기기 설치를 위해서는 계측 수행팀과 시공자 및 감리자 간의 상호 공조 체제가 구성되어야 한다.

일반적으로 기기 설치용 점검표의 구성 내용은 다음과 같다.

가. 제조업자 측에서 제공한 기기 작동과 설치에 관한 매뉴얼과 설치 계획 절차를 점검하고 문제 발생시를 대비하여 예비적인 설치 방법을 강구한다.
나. 설치시 필요한 모든 장비, 재료, 부품 등에 대한 목록을 파악한다.
다 설치 계약 조건에 따른 발주자, 시공자, 감리자, 제조업자 간의 유대 업무를 확인한다.
라. 시공 또는 환경 변화로 발생되는 손상을 방호할 계획을 수립한다.
① 고정용 읽음 장치의 경우, 방호용 함 제작
② 방호 심도까지 케이블, 호스 등의 매설 (50cm 토피 이상)
③ 발파, 그라우팅, 천공 등의 시공작업으로부터 보호
④ 번개, 폭우 등으로부터 보호
마. 매설 기기나 케이블들이 시공시 손상을 받게 되는 경우, 책임 한계에 대한 시방을 확인, 숙지한다.
바. 시공에 미치는 지장을 최소로 줄일 수 있도록 기기 설치팀과 시공자 측과의 긴밀한 협조 체계를 유지한다.
① 신속한 설치가 가능한 기기를 사용하거나, 주말 또는 야간에 기기를 설치
② 기기 설치 시간은 현장에 따라 예상 시간보다 다소 오래 걸릴 수가 있으므로 계획시 여유 있게 설치 시간을 고려
사. 기기 설치 중이나 설치 후에도 기기 작동의 정확성을 조사할 수 있는 방법을 강구한다.
아. 정확한 계측치를 얻을 수 있도록 합리적인 설치 절차를 강구한다. 변형 센서를 설치할 경우, 변형 형태를 변화시킬 수 있는 주변 재료의 다짐이나 굴착은 절차에서 제외시켜야 한다.
자. 설치에 대한 기록을 위해 현장 데이타 쉬트를 준비해야 한다. 계측치 해석 및 평가시 설치 조건을 고려할 수 있도록 설치 동안의 특기 사항 등과 주요 요소들에 대한 기록이 필요하다.

(3) 설치시 고려 사항

계측 기기의 설치는 제조회사로부터 제공받은 사용 설명서에 따라 수행하는 것이 원칙이나 현장 여건의 특수성을 감안하여 설치 절차

및 방법의 부분적인 수정이 이루어질 수도 있다. 계측 기술자는 이러한 설치 설명서를 사전에 면밀히 검토해야 한다.

기기 설치시 천공이 필요한 경우, 천공 깊이와 방향을 사전에 천공자에게 정확히 알려 주어야 하며, 천공자의 판단에 맡기는 사례가 없어야 한다.

3.4 계기의 유지 관리

계측 기기의 경우, 그 형태에 따라 유지 관리 방법에 차이가 있으나, 일반적인 유지 관리 사항으로는 다음과 같은 것을 들 수 있으며, 계측 수행자는 이를 숙지한 후 시행하여야 한다.

(1) 제조업자 측에서 제공한 매뉴얼로부터 일상 유지 절차를 수립한다.
(2) 터미널은 오염과 습기로부터 보호한다. 현장 여건에 따라 보호 캡과 방책을 설치한다. 전기 플러그에는 먼지 방지용 캡을 원칙적으로 설치해야 한다.
(3) 설치된 기기와 측정 장치의 보정 상태를 조사한다.
(4) 건전지의 규칙적인 조사를 통해 충전 및 교체를 적기에 실시하고, 기기의 일상 점검을 통해 기기 오염 및 고장시 즉각적으로 보수, 교체한다.
(5) 제조업자 측에서 제공하는 고장 수리 지침에는 파괴 형상, 조짐, 수리 등에 대한 내용이 포함되어 있어야 한다.
(6) 섬세한 기기의 경우, 운반 및 관리시 충격과 손상 방지를 위해 패드와 같은 충격 완화제를 설치한다.
(7) 계측 장비 운반시는 무거운 시공 장비와의 구별을 위해 눈에 띄는 색깔로 칠을 한 후 시행하는 것이 바람직하다.
(8) 휴대용 장비의 경우, 청결성과 건조 상태를 유지하도록 조치해야 한다.
(9) 기계식 등의 특정한 측정 장비는 주기적으로 기름칠을 하고, 전자식 측정 장치의 경우 청결하고 건조한 상태를 유지시키며, 주기적으로 측정 장치 상자의 내부를 건조시켜야 한다.

611.4 계측 시행

4.1 터널내 관찰 조사

(1) 조사의 의의

터널은 지중 구조물로써 자연 지반에 의해 터널 자체를 구성하고 있다고 말할 수 있다. 자연 지반은 불균일성, 불연속성, 이방성 등의 성질을 갖고 있으며 위치에 따라 물성의 차이가 큰 재료이다. 이 때문에 터널 굴진중 새로운 막장이 출현할 때마다 막장의 지반 상황을 관찰하고 지반 상황에 변화가 있는지에 대해 확인하여 적정한 조치를 강구할 필요가 있다. 또한 돌발적인 붕괴와 용출수도 지반 상황의 변화와 연관되는 일이 많아 막장을 스케치하고 막장 전방의 지반 상황 추정에 노력하여야 한다. 한편 기 시공 구간에 대해서도 지반 거동이 주지보재 거동에 영향을 미치기 때문에 그 균열의 발달 상태와 변화, 위치와 형태를 관찰하고 적정한 조치를 할 필요가 있다.

(2) 막장 관찰

막장 관찰은 원칙적으로 각각의 막장에 대해 실시한다. 단, 지반 변화가 거의 없는 경우에는

1일에 1막장 정도면 좋다.

관찰자는 적정 축척으로 관찰도를 작성하고 다음 사항을 기재한다. 특히, 지반 상황이 악화될 징후가 있는 경우에는 즉시 대책을 강구하여야 한다.

(가) 지층, 암석 분포, 지층의 주향, 경사
(나) 고결 정도, 풍화와 변질 정도, 경연성도
(다) 균열의 방향, 빈도, 협재물의 유무와 성상
(라) 단층의 위치와 주향, 경사, 파쇄 정도
(마) 용출수의 위치와 정도
(바) 붕괴의 위치와 형태

(3) 기 시공 구간의 관찰

기 시공 구간에 대해서는 다음과 같은 사항을 관찰한다.

(가) 록볼트
  (a) 타설 위치, 방향
  (b) 록볼트, 지지판의 이완
  (c) 지지판이 지반에 묻힌 정도
  (d) 두부의 파단
(나) 숏크리트
  (a) 두께, 지반과의 밀착
  (b) 균열(발생 위치, 종류, 폭, 길이 등)
  (c) 누수 발생 위치의 상태 및 누수량
(다) 강지보재
  (a) 변형, 좌굴 위치, 상태
  (b) 지반에 매입된 정도
  (c) 가축(可縮) 지보재의 축소 상태

변형 상태가 확인된 경우에는 위치, 종류, 규모, 기구 등을 기록한다. 필요에 따라 위치도, 스케치 등을 작성한다.

4.2 내공 변위 측정

(1) 목적

내공 변위 측정의 목적은 아래 사항을 이용하여 설계, 시공에 반영시키는 데에 있다.

(가) 터널 굴착에 따라 주변 지반의 응력은 재분배 됨과 동시에 그에 따른 변위가 발생하며, 그 후 시간 경과에 따라 안정화 상태에 도달한다.
(나) 변위는 다음 각 항, 또는 ①, ②항 모두의 성질에 영향을 받는다.
  ① 막장의 진행
  ② 지반의 재료 특성
(다) 초기 변위 속도의 대소에 따라 최종 변위의 크기가 어느 정도 예측된다.

위의 사항을 이용하고 터널내 관찰 조사 및 미리 수행된 계측 B(정밀계측)와 기존 조사 자료도 병행 분석, 그 결과를 판단하여 설계, 시공에 반영시킨다. 어떤 때에는 터널내 관찰 결과를 우선하여 신속한 대응을 요하는 경우도 있기 때문에 유연하게 대처하는 일이 중요하다.

(2) 내공 변위 측정

(가) 측정 방법

목적에 맞는 정밀도를 보장할 수 있는 내공 변위 측정용 기기를 이용하여 측점간 거리를 일정 장력을 주어 계측한다.

(나) 초기값

신속하게 초기값을 얻을 수 있도록 굴착 후 가능한 한 조기에 계측점을 설치하여 초기치를 측정하여야 한다.

(다) 계측점

계측점은 계측 도중 장력에 의한 움직임이 없도록 설치한다. 또 인력, 장비 등에 손상되지 않도록 견고하게 설치해야 하며 두부를 보호한다.

(라) 계기 선정상의 주의 사항

내공 변위용 계기는 다음 조건을 만족시키는 것이 바람직하다.

(a) 경량 계기

(b) 견고하고 내구성을 갖는 계기

(c) 목적에 맞는 정밀도를 보유한 계기

(마) 측점 볼트

측점 볼트는 다음 조건이 필요하다.

(a) 설치가 용이할 것

(b) 장력에 의한 변형이 없을 것

(c) 계기(테이프)와의 접속이 매회 동일할 것

(d) 먼지 등이 붙지 않을 것

4.3 천단 침하 측정

(1) 측정의 중요성

천단 침하 측정은 내공 변위 측정과 같이 주변 지반의 안정 확인 및 주지보재의 효과 확인을 위해 수행하며, 재래식 터널 공법에서도 천단 붕괴의 예측 목적으로 행해져 왔던 계측 항목이다. 얕은 토피에서는 내공 변위량보다도 큰 곳이 많아 지표 침하 측정만큼 중요하다. 특히 팽창성 지반압이 작용하는 곳과 같이 내공 변위가 큰 경우와 수평 지층의 구분이 뚜렷한 경우나 팽창성 지반 등에서는 천단 침하 측정이 중요하다.

(2) 측점

(가) 천단 침하 측정용 측점은 내공 변위 측선이 있는 경우, 천단의 내공 변위용 측점을 이용하는 것이 좋다.

(나) 변위가 큰 지반의 경우와 편압이 현저한 경우에는 아치부에 좌우 측점을 설정하여 침하를 측정하는 것이 바람직하다.

(다) 강지보재를 이용하는 경우에 침하가 크게 발생하면, 적당한 비율로 강지보재에도 측점을 설정하는 것이 바람직하다.

(라) 팽창성 지반의 경우는 현장 기술자의 판단에 따라 위치를 선정하고 측점을 설치하여 계측한다.

(3) 측정법

(가) 측정은 수준 측량으로 행하며 터널 외부나 터널내에 설치한 수준점을 기준으로 절대 높이(표고)를 구한다.

(나) 천단 침하 측정용 표척으로는 경량이고 신축성을 가지는 것과 매달음식 금속장치 등이 있다.

(4) 평가시의 주의

토피가 얕은 경우는 지표 침하를 우선 좁은 간격(종단 방향)으로 측정하고, 막장 전방의 변위를 제어하도록 천단 침하 측정도 병행하여 관리한다.

(5) 계측 결과의 정리

천단 침하의 계측 결과는 내공 변위와 병행하여 기록한다.

4.4 지중 변위 측정

굴착에 따른 터널 반경 방향의 지반내 변위를 측정하여 이완 형태를 파악하고 주지보재의 적부를 판단하는 자료로 삼는다. 일반적으로 심도별 지중 변위 분포와 록볼트 축력 상태 등으로 볼트의 길이가 적당한가를 판단하지만 숏크리트만으로 주지보재가 되면 숏크리트에 작용하는 배면 지반압도 추정할 수 있다.

지중 변위 측정은 일반적으로 1공으로 다측점 측정이 가능한 지중 변위계를 사용하며 터널 벽면과 측정 앵커 사이의 상대 변위를 다이알 게이지나 전기 변환식 변위계로 측정한다. 이 측정에서 가장 중요한 것은 주의 심도마다 설치하는 측점 앵커를 확실하게 지반에 정착시키는 것이다. 정착 방식은 모르터 고정 방식과 기계 고정 방식이 대표적이다.

기계 고정 방식은 모르터 고정 방식에 비해 다소 비싸지만 확실하게 지반에 고정시킬 수 있고 단시간 내에 계측을 할 수 있는 이점이 있다. 모르터 방식은 구조가 비교적 단순하며 보링공(borehole)내에 간극이 남지 않도록 완전하게 충진할 필요가 있다. 특히 용출수 지역과 단면의 윗 부분에 설치할 때에는 모르터의 유실 방지에 유의할 필요가 있다. 또한 토사 터널 등에서는 모르터와 계기가 1개의 봉과 같이 되어 지반 변위를 정확하게 감지하기가 어려우므로 충진 모르터의 강도는 지반 강도를 고려하여 배합하는 것이 필요하다.

측점수는 지반 구분과 록볼트 길이 등에 의해 달라지지만 1공에 4~6개 정도의 측점이면 지반 거동을 판단할 수 있다. 이 경우 가장 깊은 측점은 경암인 경우 볼트 길이에 2~3m를 더한 깊이에, 큰 변위가 예상되는 지반에서는 록볼트 길이의 2배로 터널 직경과 같은 깊이에 설치하도록 한다. 한편 지반 변위 측정은 동일 단면에서의 내공 변위와 천단 침하 결과를 관련시켜서 최심부(最深部)의 변위 발생 여부를 판단할 수 있다.

4.5 록볼트 축력 측정

전면 접착식 록볼트는 설치 초기에 응력이 없는 상태이며, 이후 지반의 거동에 의해 응력이 발생한다. 이 응력으로부터 축력의 크기와 분포를 구하여 설계 형식, 피치 등의 타당성을 검토하는 데에 이용한다. 허용 축력을 초과하는 축력이 발생하는 경우에는 증설 등의 대책을 강구할 필요가 있다. 인장 록볼트는 설치 당초에 장력을 도입하지만 그 후 발파 진동 등에 의한 장력변화가 있으므로 축력을 측정 관리할 필요가 있다.

측정 방법으로는 2가지가 있다. 하나는 수십 cm마다 변형 게이지를 부착하여 전기적으로 변형을 측정하고 축력을 구하는 방법이며, 다른 하나는 같은 장소에 측점을 설치하고 롯드 등에 의한 구간 길이의 변화를 기계적으로 측정하는 방법이다.

변형 게이지의 경우 충진 모르터 등의 경화열에 의한 영향을 제거하고 더미 게이지(dummy gauge)를 내장할 것과 표면 부착 저하 방지를 위한 마무리가 필요하다. 계측 볼트의 경우 실제 시공하는 패턴 볼트와 같은 모양으로 보링공에 변형이 생겨 휨응력이 발생하므로 이 같은 영향을 제거할 수 있으며, 긴 볼트를 계속하여 추가 설치하는 경우 계측 볼트도 이와 동일하게 타설할 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하다. 측점은 볼트 길이에 따르지만

3~4m 길이에 5~7점 정도면 상세한 축력 분포를 얻을 수 있다.

계기를 설치할 때에는 다음 항목에 주의하여야 한다.

(가) 보링공 내의 모르터는 선단까지 충분히 충진하여야 한다.
(나) 두부에서의 정확한 축하중 측정을 위해서는 압력 지지판과 계측 볼트가 직각이 되도록 하고 지반과의 간극은 돌이나 급결 모르터로 정형시킨다.
(다) 발파 등에 의한 계기 두부의 파손을 방호하기 위해 카바 등으로 대책을 세운다.

이 측정에서도 터널 벽면의 내공 변위 측정점과 관련시키는 일이 중요하다. 예를 들어, 록볼트의 축력은 작으나 내공 변위가 큰 경우 이완 위치가 볼트보다 더 안쪽에 있는 때도 있다.

4.6 록볼트 인발 시험

록볼트 인발 시험은 록볼트의 종류 선정 및 시공 후의 정착 효과를 판정하기 위하여 시험하는 것이다. 특히 미고결, 사질토 지반 등 록볼트의 인발 내력이 크게 기대되지 않는 경우에 중요한 시험이 된다. 이 시험은 가능한 한 굴착 초기 단계에 갱구 부근의 적당한 장소에서 실시해야 한다.

일상의 시공 관리(품질 관리)를 위한 록볼트 인발 시험은 계측으로 취급하지 않기로 한다. 본 항의 인발 시험은 이하에 나타낸 항목을 변수로 하여 비교, 검토한다.

(가) 정착 재료 및 정착 재료의 재령
(나) 록볼트 형상 및 재질
(다) 록볼트 길이
(라) 기타의 볼트 직경, 천공경의 관계, 천공 방법, 프리스트레싱의 유무 등

전면 접착 방식 록볼트의 인발 시험시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

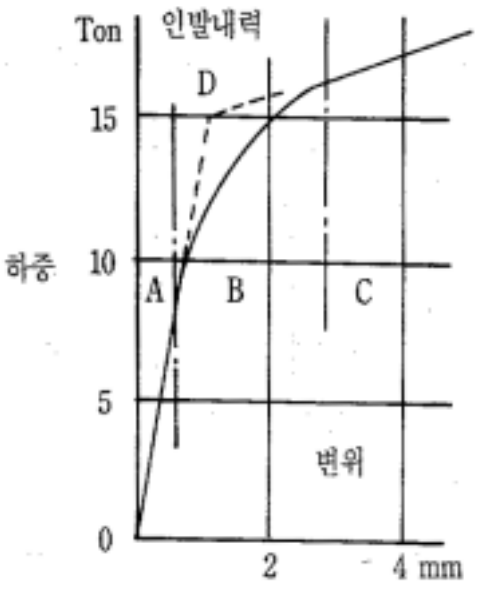
(가) 숏크리트가 시공되는 때에는 숏크리트를 파쇄하여 암반면을 노출시키든가, 우선 인발 시험용 록볼트에 숏크리트 부착 영향이 없게 한 후 천(布) 등으로 감아서 설치하고 시험을 행할 것이 요망된다.
(나) 테이프 워셔 등을 이용하여 인발 방향을 록볼트 축에 일치시키고 볼트에 휨이 발생되지 않도록 주의하여 지반과 정착재 사이에 정확한 인발 저항치가 얻어지도록 한다.

토사 지반과 같이 전단 강도가 작고 소정의 인발 내력이 얻어지지 않을 때에는 록볼트의 본수를 증가시키면서 길이를 길게 할 필요가 있다. 또 용출수 상황, 지반 상황과도 연관시켜 인발 시험에 의해 록볼트의 길이, 직경, 재질, 천공경 및 정착재의 강도 등을 신중하게 선정해야 한다. 특히 록볼트의 소요 길이에 대하여는 인발 시험과 실제 록볼트의 축력 분포가 다를 가능성이 있기 때문에 주의할 필요가 있다.

인발 시험의 재하 속도는 일반적으로 1톤/분으로 하고 시험은 록볼트 시공 후 소정의 시간이 경과한 시점에서 실시한다.

평가하는 방법은 <그림 611.7>과 같이 하중-변위 곡선을 그려 인발내력을 구한다. 인발내

력은 그림의 하중-변위 곡선에서 A영역 직선부의 접선과 C영역 접선과의 교점(D)이다. 즉 C영역은 볼트의 정착효과를 기대할 수 없는 영역으로 기대할 수 있는 영역은 D점까지이다. 일반적으로 록볼트 인발하중은 17톤 이상 나노는 록볼트를 사용하여야 하며 암반 강도가 낮아서 소정의 인발저항이 얻어지지 않으면 록볼트의 길이를 길게 할 필요가 있다.



<그림 611.7> 인발시험 하중변위 곡선

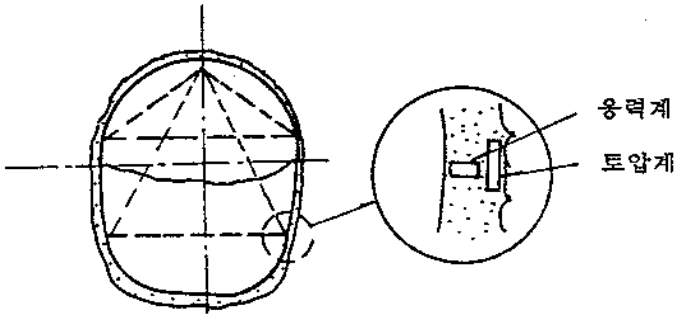
4.7 라이닝 응력 측정

숏크리트는 주변 지반을 밀착 피복하고 있어서 주변 지반의 거동에 민감하게 반응하는 부재이다. 따라서 숏크리트의 응력 상태나 균열 발생 상황을 파악하는 것은 터널의 안정을 도모하는 데에 중요하다.

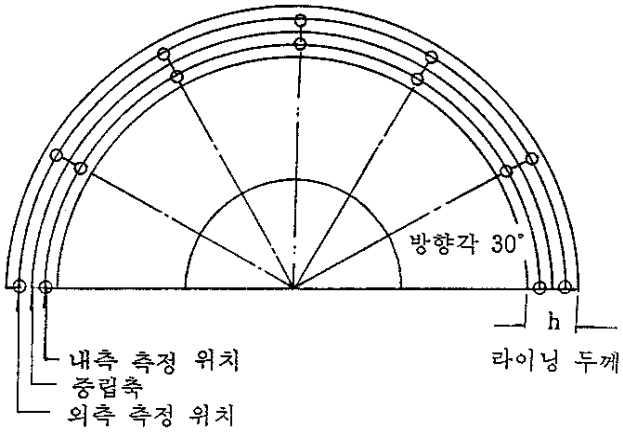
터널 주변 지반으로부터 숏크리트에 작용하는 배면 토압과 숏크리트 내에 발생하는 응력을 매설된 계기에 의해 직접 측정하는 방법을 주로 사용하고 있으며, 일반적으로 <그림 611.8>과 같이 터널 라이닝의 수직, 수평방향을 모두 설치하는 것을 기본으로 한다.

토압계는 숏크리트 시공 전에 지반을 모르터, 석고 등으로 표면처리하고 여기에 밀착시켜 설치한다. 응력계는 접선 방향 응력을 측정할 수 있도록 금속류 등을 이용하여 소정의 위치에 고정시킨다. 숏크리트는 계기를 설치한 후 간극이 생기지 않도록 신중하게 타설하여야 한다.

숏크리트에 응력계 등을 매설하면 응력 집중이 발생되는 경우가 있으므로 계기의 강성에도 주의하여야 한다.



<그림 611.8> 라이닝 응력계를 매설하는 방법



<그림 611.9> 매설형 계기의 배치 예

콘크리트 라이닝은 주지보재에 의해 터널이 안정 상태에 도달된 후에 타설하는 것이 원칙이다. 그러나 지반 상태와 시공 조건에 따라서 주지보재만으로 안정시키는 것이 반드시 기술적, 경제적으로 최선의 방법이 아닌 경우도 있을 수 있다. 이 경우에는 콘크리트 라이닝을 타설한 후 콘크리트 라이닝의 계측을 행하여 그 안전성을 확인할 필요가 있다.

계기 배치는 라이닝 전체의 거동을 파악할 수 있도록 원주 방향에 일정한 간격으로 중립축의 내외측에 <그림 611.9>와 같이 배열한다. 두께 방향의 위치에 대해서는 적절한 콘크리트 타설을 고려한다. 콘크리트 타설은 두께 h의 0.1～0.15배 정도를 표준으로 한다.

4.8 지표, 지중 침하 측정

지표 침하 측정은 천단 침하 측정과 같이 지반 안정 상태 확인 및 지보 효과를 파악할 목적으로 행하지만 여기에 추가로 터널 굴착에 의한 지표상의 영향 범위와 그 정도를 미리 파악하여 제 3자에 대한 피해 발생을 미연에 방지하기 위해서도 시행한다. 이 경우 굴착 주변 구조물에 대한 사전 조사(변형 상태, 균열 등)가 매우 중요하다. 또한 지표 침하 측정은 침하 방지를 위해 실시되었던 대책공법의 효과도 확인하면서 주변 지반의 이완 영역 추정에 유용한 자료를 제공한다.

지표 침하 측정의 중요도는 지질, 지층, 지하수, 토피, 구조물의 유무 등에 따라 다르며, 용출수 처리를 위한 지하수위 저하 공법을 이용할 경우는 <표 611.8>에 나타낸 순서대로 높게 된다.

특히, h＜D인 경우는 지반의 안정 확인상 내공 변위 측정보다 중요한 계측인 경우가 많다. 지표 침하 측정용 측점은 터널 진행 방향과 횡단 방향에 설치하며, 측점의 간격은 터널진행 방향에 대해서는 터널 중심상에,

h < D 의 경우	5.0 m 간격
D < h < 2D 의 경우	10.0 m 간격
h > 2D 의 경우	20.0 m 간격

을 하나의 표준으로 하여 취한다. 또 터널 횡단 방향에 대해서는 침하가 발생되는 범위를

<표 611.8> 지표, 지중 침하 측정

굴착폭과 토피 관계	측정 중요도	측정 필요 여부
2D 〈h	▲ 보 통	측정을 행하는 편이 좋음
D 〈h 〈2D	○ 중 요	측정이 필요
h 〈D	● 매우중요	측정이 필요

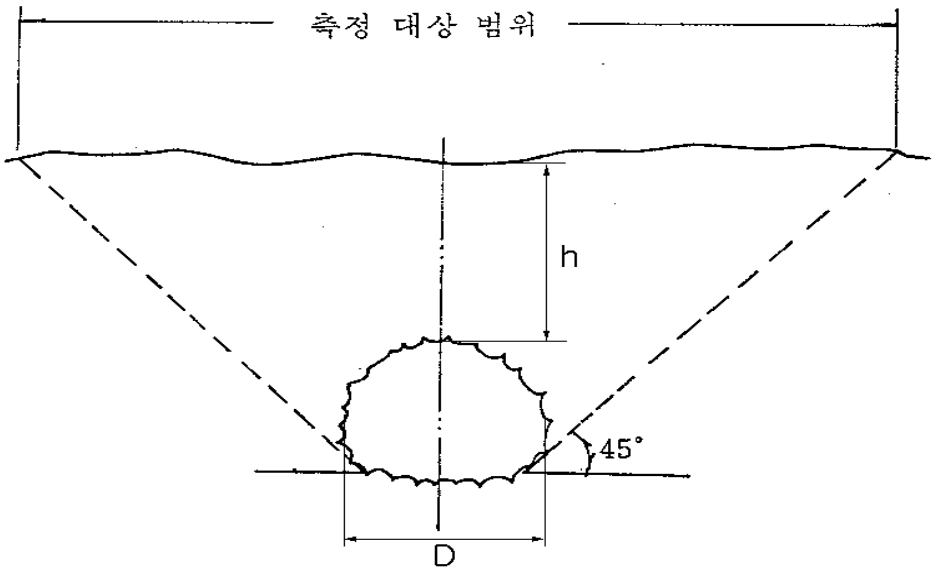
여기에서, D : 터널 굴착폭, h : 토피

구하는 것이기 때문에 <그림 611.10>에 나타낸 범위를 측정 대상으로 하여 25m 간격으로 한다. 그 범위 외에는 부동점을 설치해 둔다.

측점의 설치는 측점에 막장 굴착에 의한 침하 영향이 나타나기 전에 산정하고, 측정 기간은 침하량이 일정치에 도달할 때까지 계속한다. 이 기간은 일반적으로 막장의 거리가 2~5D가 될 때까지로 한다.

지중 침하 측정은 지중 변위 측정과 같이 터널 주변 지반의 이완 영역을 파악하거나 터널 천단 부근의 선행 침하(막장 통과 전에 발생한 침하)를 파악하기 위해 주로 시행된다.

한편, 지중 변위 측정이 주로 터널내로부터 행해지는 것에 비하여, 이 측정은 터널내 작업에 지장을 주는 일이 없고 터널 외부에서 실시되는 점이 큰 이점이다. 측정법으로는 연통관식 침하계, 층별 침하계, 지중 침하계 등을 이용하여 전기적·기계적으로 구하는 방법과 수준 측량에 의한 방법이 있다.



<그림 611.10> 측정대상 범위

611.5 계측 결과의 활용

5.1 계측 결과의 정리

계측 결과는 일상 시공 관리의 지표로 설계, 시공에 반영시키는 것이 기본이다. 이를 위해서는 원칙적으로 측정 당일에 정리하여 필요한 판단을 내려야 한다.

(1) 터널 시공 기록의 총괄표

주로 터널 전체에 대한 정보를 지질 종단면과 관련시켜 정리한다.

(2) 터널내 관찰 기록

막장 관찰 기록은 표준 양식에 기록하며 필요에 따라 막장 사진을 첨가하는 것도 효과적이다. 막장관찰결과는 터널지질도로 작성하여 유지관리시에 기초자료로 활용할 수 있도록 하여야 한다.

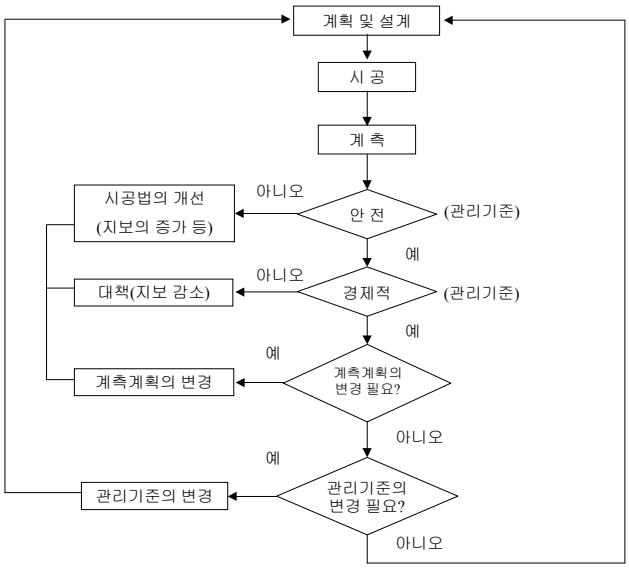
(3) 측정 결과의 경시 변화 기록

내공 변위 측정 등 경시 변화를 기록하는 양식은 다음과 같은 항목이 기입되어야 한다.

(가) 터널명, 터널 길이, 토피
(나) 막장 지반조건
(다) 굴착 일, 시, 분 및 초기치 측정 일, 시, 분
(라) 계측 항목
(마) 계기 명칭
(바) 측정 기록 표시 범례
(사) 계기 배치도
(아) 지보 패턴(숏크리트 두께, 록볼트 길이, 본수, 강지보재, 변형 여유량, 1굴진 길이 등)
(자) 날짜 기록, 진행, 막장과의 거리
(차) 막장 통과, 인버트 굴착, 볼트 증타 등에 관한 특기 사항

5.2 계측 결과의 설계□시공에의 반영

계측 결과를 시공 관리 목적으로 활용하는 순서는 <그림 611.11>과 같다. 본 장 '1.3 계측의 목적'에 나타낸 바와 같이 계측 결과를 설계, 시공에 반영시키는 목적은 첫째, 시공의 안전성을 확인하고 둘째, 경제성을 확보하는데 있다. 이를 위해서는 계측 결과를 신속하고 정확하게 반영시켜야 한다. 신속한 반영을 위해서는 터널 전장에 대해 실시하는 일상계측 항목(터널내 관찰 조사, 내공 변위 측정, 천단 침하 측정)을 적극적으로 활용할 필요가 있다. 토피가 얇은 터널에서는 지표 침하 측정을 상기 항목에 부가시킨다. 물론 정확하게 설계·시공에 반영시키기 위해서는 일상계측 항목을 숙지하고 다른 항목의 계측 결과도 병행하면서 지반 조건, 설계(지보 패턴), 시공법 등을 종합적으로 평가할 필요가 있다. 관리 기준과 이에 대응하는 대책(설계, 시공법의 수정)은 이론 해석, 수치 해석 또는 유사 조건하에서 시공된 터널 실적 등을 참고하여 계획 단계에서 준비하는 것이 바람직하다. 그러나 계획 단계에 설정된 관리 기준은 시공의 초기 단계의 표준이기 때문에 시공중에는 여러 가지 단면에 대한 지반조건, 계측치의 경시 변화, 계측 항목간의 상호 관계 등으로부터 지반 공학적인 검토를 추가하여 종합적으로 판단하는 것이 중요하다. 아울러 계측 결과에 기초하여 계획 단계에서의 관리 기준 자체나 계측 계획을 개선시키는 것이 바람직하다.

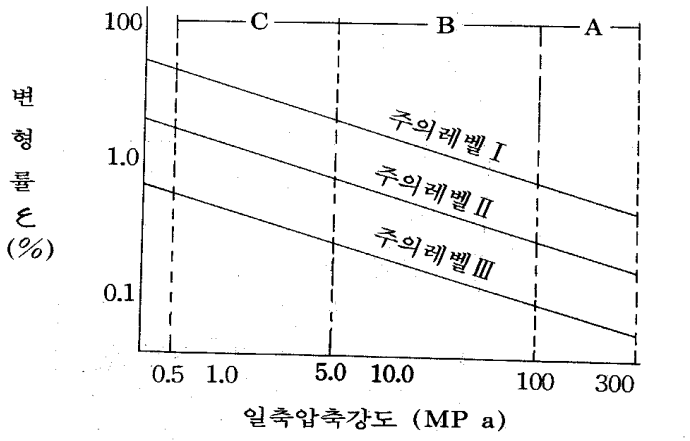


<그림 611.11> 계측관리 흐름도

5.3 계측관리 기준치

관리기준은 지반의 거동상태, 인접구조물의 안전한계와 암반 역학적인 조건에 의하여 결정되므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기가 어렵기 때문에 이론해석 및 수치해석, 혹은 유사 조건하의 시공실적을 참고하여 초기 시공실적을 토대로 관리기준을 수시로 수정해 가는 방법이 가장 합리적이고 실질적이다. 시공 중 기존설계와 계측결과의 차이가 클 경우, 실제 막장의 관찰결과를 경험적이고 정량적인 평가 후 시공 전 설계의 입력자료를 수정하고 보완하여 재 설계를 시도한다. 또한 시공 중 변화된 지반의 강도특성치 등 조건 변화를 고려하기 위하여 필요한 별도의 지반시험을 수행하고 수치해석의 입력자료를 사용한다.

실제로 지반의 상태나 시공조건 등이 다르기 때문에 엄밀한 관리 기준치를 제시하기는 어렵지만 일반적으로 추정할 수 있는 관리 기준치로서 일본의 천단 침하관리기준(일본토질학회지 1986)과 ASCE(Franklin, 1976)에서 제시되었던 기준과 처리방안을 각각 <그림 611.12>, <표 611.9> 및 <표 611.10>에 소개하였다.



<그림 611.12> 암반의 강도-변형율에 따른 주의 레벨

<표 611.9> 천단침하의 관리기준치

(터널 반경 : 5.00m) (단위 : cm)

지반 / 레벨	A (경암)	B (연암)	C (풍화암)
I	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1	1 ~ 3
II	1 ~ 1.5	1.5 ~ 4	4 ~ 9.5
III	3 ~ 4	4 ~ 11	11 ~ 27

주)

- 주의레벨 I : 지반은 안정해 있지만 이완영역의 발생한계에 달하기 때문에 굴착에 약간의 주의를 요함.
- 주의레벨 II : 이완 영역이 발생하는 것으로 간주함
- 주의레벨 III : 명확하게 이완영역이 발생하기 때문에 안전의 문제와 시공의 곤란이 예상되므로 굴착방법, 지보재 등의 변경을 요함

<표 611.10> 내공변위 관리기준치(ASCE : Franklin, 1976)

주의 레벨	관 리 기 준	처 치
1	내공변위의 속도가 막장에서 5mm/일보다 크게 된다. 또는 숏크리트에 부분적인 균열이 발생한다. 지하수가 침투한다.	책임기술자에 보고한다.
2	내공변위의 속도가 막장에서 10mm/일, 후방에서 5mm/일 보다 크게 된다. 숏크리트에 상당한 균열이 발생한다. 지하수의 침투가 있다.	책임기술자에 보고함과 동시에 지보재, 록볼트, 숏크리트를 추가 시공한다.
3	변위가 가속된다. 균열이나 지하수의 침투가 레벨 2를 더욱더 넘는다.	책임기술자에 보고한다. 굴착을 정지하고, 잠정적으로 강지보재와 긴 길이의 록볼트를 시공한다. 조사를 한다.

612
개착터널부

612.1 개착터널의 정의

개착터널은 갱구부 및 터널중간 계곡부 개착부분이나 터널과 터널 사이의 연장이 짧아 터널로 연장시키기 위해 지반을 굴착하고 구조물을 설치한 후 복개시키는 모든 터널을 말하며 설계시 지형, 지질조건, 지하수조건, 기상 등의 자연조건과 민가, 구조물의 유무 등의 사회적 조건, 경사의 안정, 편토압, 기상재해의 가능성, 주변경관과의 조화 등을 고려하여야 한다. 개착터널부는 특별한 경우를 제외하고는 갱구부 설계에 준하여 설계를 하여야 하며(<613 갱구부> 참조), 본 장에서는 일반적인 구조에 대하여 서술하고자 한다.

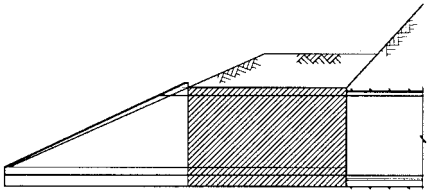
612.2 개착터널의 종류

개착터널은 터널본체와 동일한 내공단면인 터널을 연속해서 설치하여야 하며 완성후의 성토에 대한 상재하중, 토압 등의 하중을 고려하여야 한다. 따라서, 개착터널은 상기항목을 하중으로 고려하여 단면력, 지반의 지지력을 계산하여야 한다.

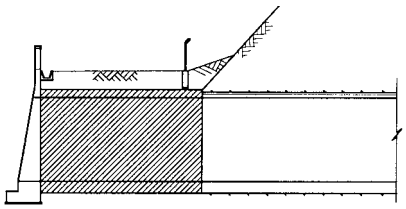
그리고 아치 칼버트 구조의 일부가 지상에 노출시에는 온도변화, 건조수축, 지진의 영향 등을 받기 쉽기 때문에 필요에 따라 이를 고려하여 설계하여야 한다.

개착터널의 종류는 크게 다음과 같이 구별할 수 있으며 아래 <그림 612.1>과 같다.

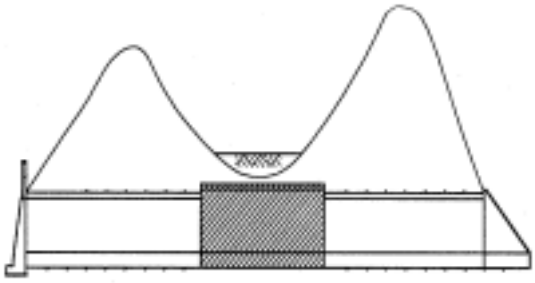
① 돌출형 갱문에서의 개착터널
② 면벽형 갱문에서의 개착터널
③ 계곡부 통과시 개착터널



(a) 돌출형 갱문에서의 개착터널



(b) 면벽형 갱문에서의 개착터널



(c) 계곡부 통과시 개착터널

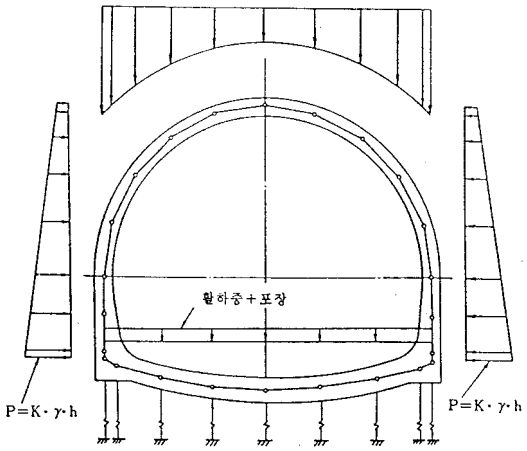
<그림 612.1> 개착터널의 종류

2.1 돌출형 갱문에서의 개착터널

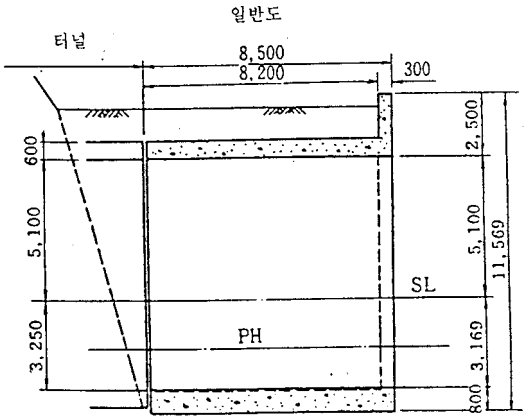
돌출형 갱문에서의 개착터널은 터널본체와 동일한 내공단면의 아치칼버트가 터널 갱구부에 연속해서 만들어지며, 완성 후에 성토에 의한 상재하중, 토압, 기타하중(적설하중 등)이 이 부분에 재하된다. 따라서, 개착터널의 설계에서는 이들 하중을 고려해서 단면력, 지반의 지지력을 계산하여야 한다. 또, 아치칼버트 구조의 일부가 되메우기 흙에서 노출되었을 때는 온도변화, 건조수축, 지진의 영향을 받기 쉬운 상태이므로 필요에 따라서 이를 고려하여 설계하여야 한다. 또한 인버트의 모양은 터널 안의 중앙배수공사의 연속성에서 터널단면과 동일한 곡률을 갖는 형상으로 하는 것을 원칙으로 하나 지지 지반이 연약하고 기초말뚝이 필요한 경우에는 수평인버트로 하는 것이 유리할 때도 있으므로 주의하여야 한다. 일반적으로 인버트 밑면이 탄성영역내의 지반에 위치할 때는, 인버트 하부의 원지반의 응력이 곡률에 스무드(smooth)하게 흐르기 때문에 터널 구조로서 유리하다.

해석 모델은 원칙적으로 <그림 612.2>와 같이 개착터널과 주변지반의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복되는 계산과정에 따라 제거하여 압축스프링요소만으로 해석하는 '탄성스프링을 고려한 변형법'에 의해 계산한다.

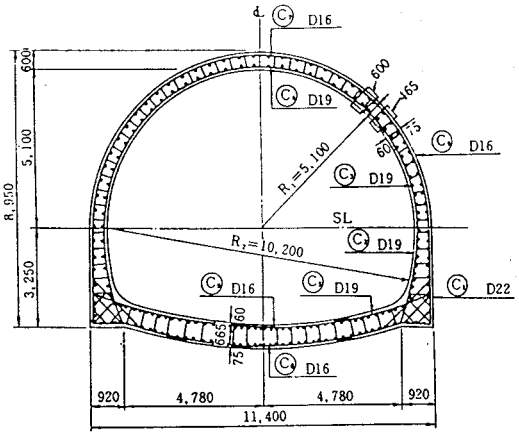
돌출형 개착터널에서의 철근배근 예는 <그림 612.3>과 같으며 암반이 노출되어 하부지반이 견고한 경우에는 인버트부의 보강을 생략할 수 있다.



<그림 612.2> 해석 모델



(a) 일반도

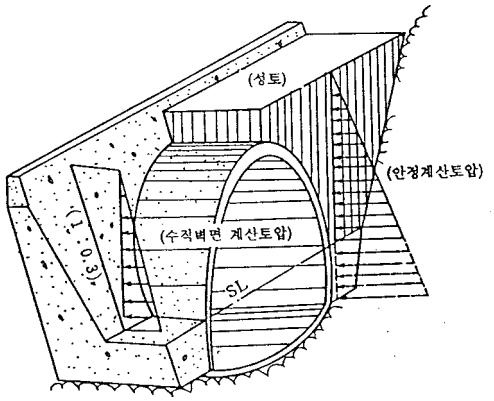


(b) 배근 예

<그림 612.3> 돌출형 갱문에서의 개착터널

2.2 면벽형 갱문에서의 개착터널

면벽형 갱문에서의 개착터널은 구조상 터널 본체에서 독립하여 외력에 저항하는 형식이다. 면벽형 갱문의 개착터널은 다음 <그림 612.4>와 같이 입체적 형상을 하고 있으므로 갱문 뒷면의 되메우기 흙에 대한 재하중과 주동토압이 작용했을 때 구조적으로 안정하여야 하며 또한 수직벽에 대해서도 외력에 대해 충분히 저항할 수 있는 단면으로 설계한다.



<그림 612.4> 면벽형 갱문에서의 개착터널

2.3 계곡부 통과시 개착터널

계곡부 통과시 터널의 상부 토피고가 낮으면 터널 굴착에 따른 붕괴의 우려가 있어 개착식 터널을 시공하는 경우가 있으며, 이때 누수가 발생될 소지가 있으므로 누수방지 대책을 수립하여야 한다. 또한, 계곡을 따라 흐르는 계곡수가 개착터널 상부의 성토재를 세굴시킬 우려가 많으므로 세굴방지를 위한 대책공법으로 U형 박스 혹은 표면마무리 구조물을 설치하여 세굴을 방지하여야 한다.

612.3 하중산정

개착터널의 설계시에는 터널의 외부에서 작용하는 하중, 자중, 터널 내부의 하중 및 이에 의해 생기는 지반반력을 고려하여야 한다. 터널의 외부에서 작용하는 하중은 터널 상부의 상재하중, 토압, 수압 등이며, 터널 내부의 하중이란 터널내의 주행하중, 자동차하중 등이다. 개착식 터널의 설계시 고려해야 할 하중들은 다음과 같다.

- 상재하중
- 토피하중
- 토압
- 수압
- 자중
- 터널 내부의 하중
- 온도변화 및 건조수축
- 지진하중
- 시공시하중

(1) 상재하중

개착터널 상부에 구조물을 설치하거나 도로가 놓이는 경우에는 이를 고려한 구조검토가 요구된다. 구조물 설치시에는 구조물의 고정하중을 상부에 분포시키며, 도로가 놓이는 경우에는 토피에 따른 노면활하중을 작용시켜 해석을 실시한다.

(2) 토피하중

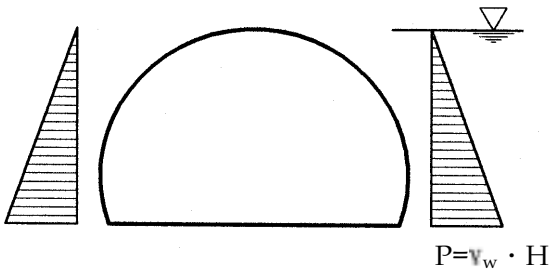
되메움에 의해 개착터널에 작용하는 하중으로 토피고에 단위중량을 곱하여 계산하며, 특히 토피고가 일정하지 않은 경우에는 하중산정에 주의하여야 한다.

(3) 토압

굴착사면과 되메움되는 흙에 의해서 터널 측벽에 작용하는 하중으로 그 지점의 연직토압과 밀접한 관계가 있다. 수평토압은 굴착사면과 개착터널 사이의 되메움 공간이 좁고 깊을수록 즉 굴착폭이 좁고 굴착사면의 경사가 급할수록 계산 값보다 작아진다.

(4) 수압

개착터널은 일반적으로 배수조건을 양호하게 하는 경우에는 수압을 고려하지 않으나 현장 지형 및 피압수 유무, 개착터널의 배수형식에 따라 수압을 고려하는 경우에는 지하수위를 고려하여야 하며 수압적용 사례는 <그림 612.5>와 같다.



<그림 612.5> 수압 적용의 예

(5) 자중

개착터널 구조물에 의한 하중으로 일반적으로 자중을 구조해석시 프로그램 내에서 자동으로 고려한다.

(6) 터널 내부의 하중

터널 내부의 하중에는 터널 내부에 설치되는 시설물에 의한 하중으로 시설물에 의한 하중 및 터널내를 운행하는 차량 및 열차하중이 있다. 일반적으로 시설물에 의한 하중은 크기가 작아 고려하지 않으나, 제트팬(jet fan)과 같이 자중이 커서 개착구조물에 영향을 주는 경우에는 반드시 고려해야 한다.

(7) 온도변화 및 건조수축

터널 입출구에 설치되는 개착터널은 구조물 내외면의 온도차에 의해 발생하는 단면력 및 건조수축의 영향에 의한 부정력을 고려해야 한다. 온도차에 의한 단면력 산출시 적용하는 온도차는 5℃이며, 건조수축에 의한 변형율은 0.00020으로 온도로 환산하면 20℃이다.

(8) 지진하중

지중구조물의 경우에는 지반과 일체로 거동하는 것으로 보아 지진하중을 고려하지 않으며 구조물이 커서 내부에 기둥이 놓이는 경우에만 별도의 해석이 요구된다.

(9) 시공시하중

되메움시 양측이 균형이 되도록 시공하여야 하며 부득이하게 편토압이 발생하는 경우에는 이에 대한 고려가 필요하다.

612.4 구조 해석

단계별 시공에 따라 개착터널에 작용하는 하중을 고려한 구조검토시 지반공학적 모델에 의한 구조물 거동의 파악 및 구조공학적 모델에 의한 구조적 안정성 확보가 모두 요구된다.

4.1 지반공학적 모델(model)에 의한 2차원 해석

개착터널 시공은 공법상, 개착터널이 시공되는 위치의 지형 및 지질에 따라 굴착폭, 굴착깊이 및 지표면 경사가 달라지며, 콘크리트 라이닝 주위에 되메움되는 토공량은 이러한 굴착 및 최종 되메움 단면 형상에 의해 결정된다. 따라서 개착터널을 시공할 경우 경제성과 자연환경을 고려하여, 안정성만 확보된다면 토공량을 최소화하기 위하여 굴착 경사는 가능한 급하게, 굴착폭은 가능한 좁게 굴착하며, 되메움 후 형성되는 지표면은 원래의 지표면 형상대로 복원하는 것이 일반적이다. 개착터널 설계시 콘크리트 라이닝에 작용하는 하중은 이러한 되메움 토공에 의한 토압이 대부분이므로 이를 적절히 고려하여 설계에 반영하여야 한다.

개착부 터널의 특징은 시공방법상, 되메움이 단계적으로 진행됨에 따라 되메움 흙을 포함한 구조체제가 형성되며, 각 단계마다 하중이 구조체제에 재하된다는 점이다. 콘크리트 라이닝에 접하여 이루어지는 되메움 흙과 콘크리트 라이닝의 상호 작용이 수반되는 이러한 과정을 수치해석적으로 재현하기 위하여, 터널축에 연직인 평면단면을 고려한다. 이러한 평면 변형율 조건은 되메움 공정이 터널 축을 따라 최소한 콘크리트 라이닝 정상까지 수 차례의 작은 단계로 나누어져 수행되기 때문에 타당한 것으로 판단된다.

수치해석시 개착부 터널의 특성상 콘크리트 라이닝의 역학적 거동에 결정적인 되메움 흙이 접촉하는 굴착사면과의 경계면 및 콘크리트 라이닝과의 경계면에 경계요소를 설치한다. 또한, 되메움 흙은 일반적으로 Mohr-Coulomb의 파괴규준과 탄소성적 응력-변형률의 구성관계를 갖는 2차원 평면변형요소로, 콘크리트 라이닝은 보(beam)요소로 모델링한다.

콘크리트 라이닝 지점부의 경계조건은 시공여건상 완전고정도 아니고 완전 힌지 조건도 아니므로, 고정단(fix end)과 힌지단(hinge end) 두 경우를 모두 고려하여 안전측 설계를 하는 것이 바람직하다.

4.2 구조공학적 모델(model)에 의한 2차원 해석

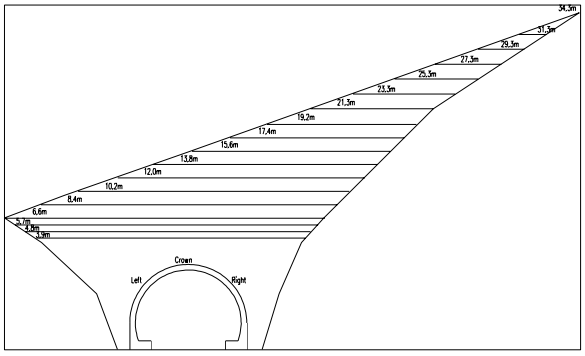
개착터널의 구조공학적 해석은 다음과 같은 해석조건을 따라 수행된다.

- 되메움지반의 경사를 고려한 편토압 조건
- 되메움 지반의 지반 특성을 고려하기 위하여 지반스프링 모델적용
- 지점조건을 완전 고정으로 보기 어려우며, 실제 구조물은 힌지조건과 완전고정의 사이에 있는 것으로 판단되어 두 경우를 모두 고려
- 콘크리트 라이닝은 보(beam)요소로 모델링 할 수 있다.
- 되메움지반의 지반특성을 고려하기 위해 지반스프링 모델을 적용
- 라이닝 footing부의 지점조건은 완전고정(fixed), 힌지조건(hinge)을 모두 적용하여 안전측설계
- 하중조합은 '콘크리트 구조설계기준'에 준함

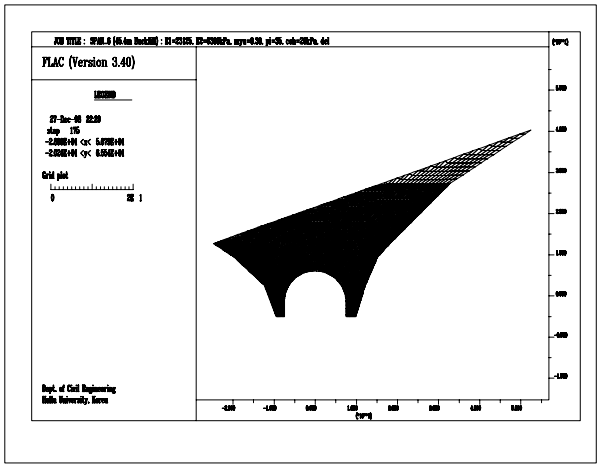
612.5 개착터널 해석 예

5.1 지반공학적 모델에 의한 해석 예

본 해석은 유한차분법을 사용한 범용 해석프로그램인 FLAC을 이용하여 복개터널의 시공단계별 해석을 수행하였고, 되메움 흙은 탄소성 모델인 Mohr- Coulomb 모델을 적용하였으며 콘크리트 라이닝은 보요소로 모델링하였다(<그림 612.6> 참조).



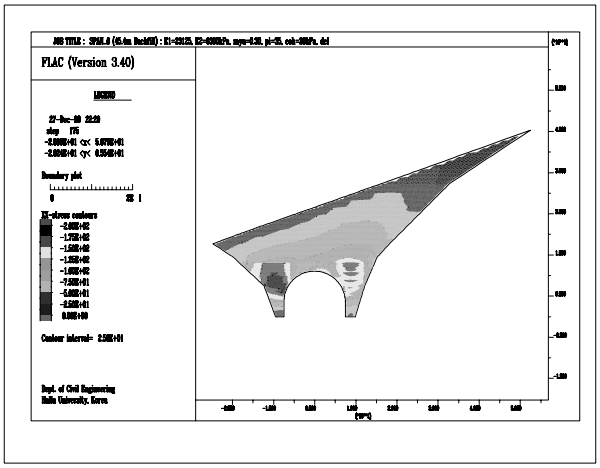
<그림 612.6> 해석 단면도



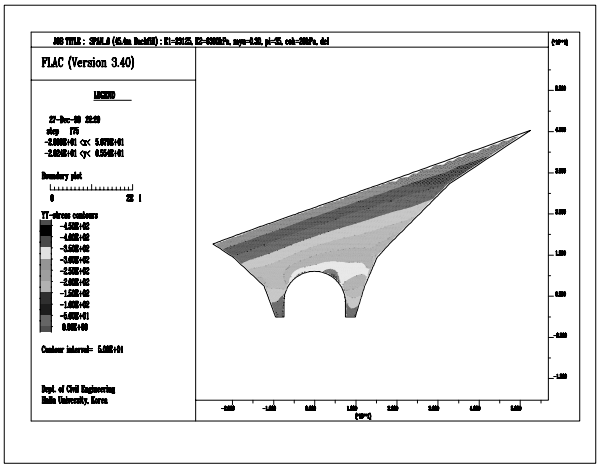
<그림 612.7> 해석 Modelling

해석 메쉬(mesh)는 실제 시공시 다짐두께를 고려하여 0.3m로 하였으며, 콘크리트 라이닝 주위를 되메움 할 때는 좌우 교대로 되메움 하는 것으로 모델링하였다(<그림 612.7> 참조).

해석결과 수평 및 수직토압분포는 <그림 612.8>과 같다.



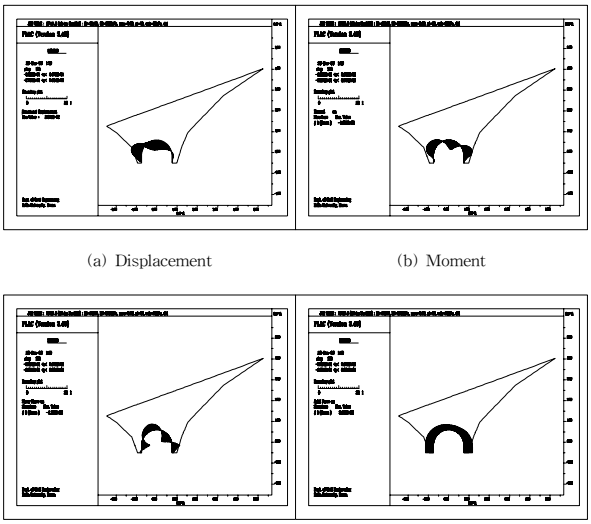
(a) 수평 토압 분포



(b) 수직 토압 분포

<그림 612.8> 최종 되메움 단계에서의 토압 분포

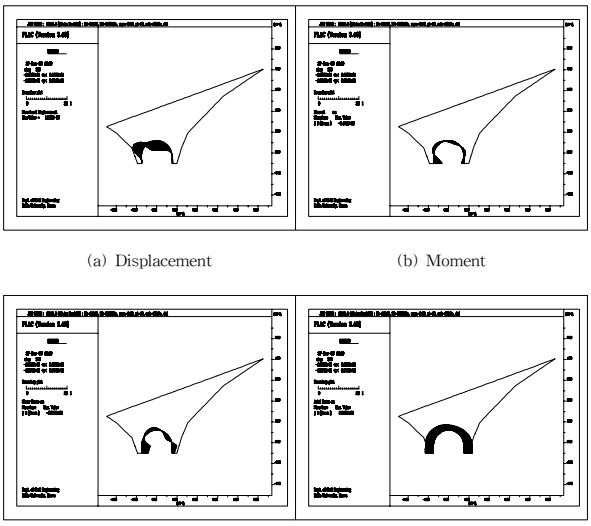
콘크리트 라이닝의 지점 경계는 시공여건상 완전 고정조건도 아니고 완전힌지조건도 아니므로 해석은 고정단과 힌지단의 두 경우를 모두 해석하였다(<그림 612.9, 10> 참조).



(a) Displacement (b) Moment

(c) Shear force (d) Axial force

<그림 612.9> 콘크리트 라이닝의 변위 및 단면력도(힌지단)



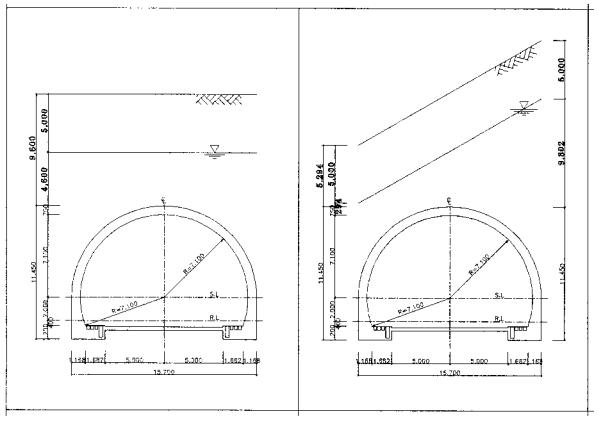
(a) Displacement (b) Moment

(c) Shear force (d) Axial force

<그림 612.10> 콘크리트 라이닝의 변위 및 단면력도(고정단)

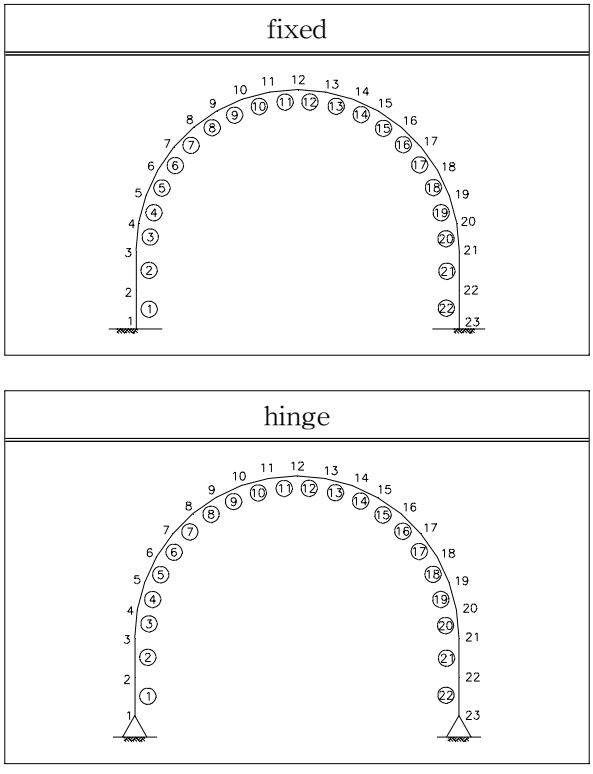
5.2 구조공학적 모델에 의한 해석 예

해석모델은 되메움 지반의 경사를 고려한 편토압 조건과 평균높이로 가정하여 해석한 경우로 구분할 수 있으며 해석단면도는 <그림 612.11>과 같다.



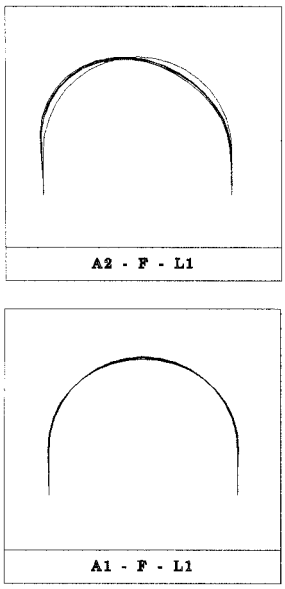
<그림 612.11> 해석 단면도

지점 조건은 완전 고정으로 보기 어려우며, 실제 구조물은 힌지조건과 완전 고정조건 사이이므로 두 가지 경우를 고려하였다(<그림 612.12> 참조).

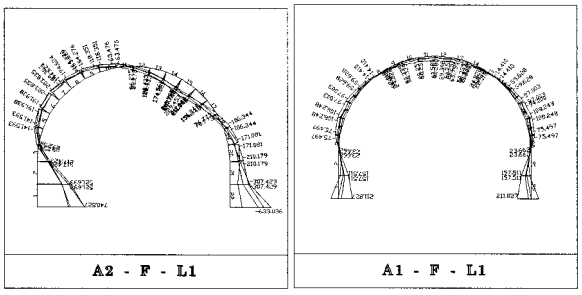


<그림 612.12> 해석 모델링

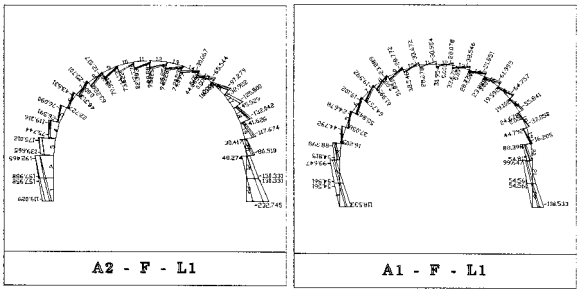
하중은 자중, 상재하중, 측면토압을 고려하였으며, 해석결과는 다음 <그림 612.13>, <그림 612.14>, <그림 612.15>와 같다.



<그림 612.13> 변위도



<그림 612.14> 모멘트도



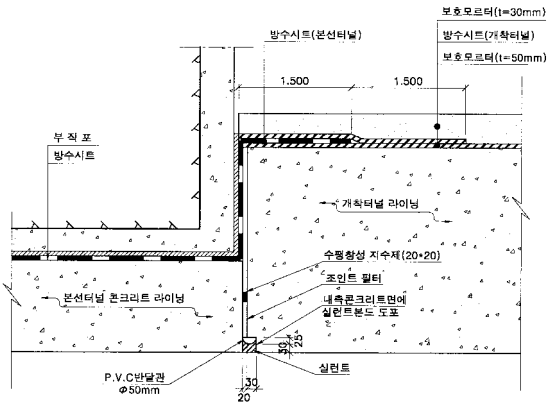
<그림 612.15> 전단력도

612.6 접속부 처리방안

갱문 구조물과 본선터널, 개착터널과 본선터널이 접합하는 개소는 양 구조간 거동차이에 따라 접합부는 분리구조로 하고 조인트를 설치하여 구조물 손상을 방지하여야 한다. 또한, 이 접속부는 2종류의 방수쉬트가 접합하는 사례가 많아 누수의 원인이 되기 때문에 방수쉬트의 선정, 방수쉬트 접합 및 누수시 용수를 처리할 수 있는 도수로 설치 등을 하여야 한다.

방수쉬트 선정시는 단일 종류의 방수쉬트를 적용하거나, 2 종류의 방수쉬트를 선정시에는 방수쉬트간 접합이 원활한 재료를 선정하여야 하며 방수쉬트 접합은 충분한 겹이음을 하여야 한다.

구조물간 부등침하가 발생할 경우 방수쉬트가 인장파손 되어 누수가 우려되기 때문에 방수쉬트의 인장 파손을 막기 위해서는 신장율이 큰 것을 사용한다. 그리고, 접합부에서는 시공후 예상하지 못한 여러 가지 이유에서 누수의 우려가 있기 때문에 만약을 대비하여 구조물 횡방향을 따라 도수로를 설치하도록 하며 접합부에서 방수쉬트 설치 및 도수로 설치 예는 다음 <그림 612.16>과 같다.



<그림 612.16>구조물 접합부 보강 상세도.

613
갱 구 부

613.1 일반사항

갱구를 설계할 때는 갱구 부근의 지형, 지반조건, 지하수, 기상 등의 자연 조건과 민가, 구조물의 유무 등의 사회적 조건 파악에 힘쓰고 사면의 안정, 기상 재해의 가능성, 주변 경관과의 조화, 차량의 주행에 미치는 영향 등을 고려하여 갱구부의 구조, 갱문, 유지관리용 시설 등의 설계를 적절히 하여야 한다.

여기서 말하는 갱구의 설계란 터널의 갱구부, 갱문 및 그 전후 도로 구간의 일부 설계를 총괄한 것이다. 따라서, 이들 개개의 설계에 있어서는 다음과 같은 여러 규정에 따라야 한다.

(1) 터널은 특수한 도로 구조물이므로 교통흐름의 연속성에 주는 영향이 적지 않다. 그 중에서도 갱구 부근은 밝은 곳과 어두운 곳이 접속하는 장소이므로 폭원의 감소, 터널 벽의 위압감, 조도 변화에 수반되는 순응성의 저하에 따른 속도 저하를 초래할 때가 있다.

갱구부 부근은 이와 같은 상태를 될 수 있는 한 경감시키면서 이 부근의 자연 경관과 갱문과의 조화를 도모하고 주행 차량을 적절하게 유도하여 주행성 확보에 힘쓰도록 하여야 한다.

(2) 갱구부는 일반적으로 지형·지질의 원지반 조건이 불안정하거나, 시공시에 터널 굴착이나 지표면 변화 등으로 슬라이딩, 경사면 붕괴, 편토압을 일으켜 그 대책이 어려울 뿐만 아니라 막대한 비용이 들 때도 있다('613.3 갱구부의 설계' 참조). 또한, 도로 이용시에도 낙석, 눈사태 등 자연 기상 재해의 영향을 받기 쉬운 곳도 있다.

이와 같이 갱구부는 터널 일반부와는 달리 문제가 생겼을 때는 그 문제가 연속적으로 진행되어 범위도 넓게 될 가능성이 있다는 것을 염두에 두어야 한다.

갱구부의 설계 조건을 사전에 정확히 파악한다는 것은 사전 조사의 정밀도나 원지반 상태의 추정에 한계가 있으므로 곤란하지만, 경사면이나 지표면에 미치는 영향을 가능한 한 정확히 예측하고 그 결과를 설계에 반영시키도록 힘써야 한다.

갱구부의 설계에는 자연 조건 이외에도 주로 토피가 적은 터널 위에 구조물 등이 있고 인가에 근접한 터널 갱구가 계획되는 등의 사회적인 조건이 가해질 경우가 있다. 따라서 갱구부의 설계에서는 터널의 시공이 이들에 미치는 영향을 파악하고 특수한 시공법의 채택, 대상 구조물의 보강 등 필요에 따라서는 환경 보전상의 대책을 고려하여야 한다.

갱구부의 시공에서 기본적인 것은 안정한 원지반을 가능한 한 이완시키지 않는 방법으로 굴착하는 것이다. 부득이하게 안정성이 염려되는 원지반에 갱구를 만들 때는 원지반을 우선 안정시킬 수 있도록 하여야 한다. 갱구부라 해

도 터널은 원지반 그 자체가 구조체이므로 굴착에 의해 원지반을 이완시켜 재료의 강도를 손상시키는 것은 가능한 피해야 한다. 또한 사전 설계가 모든 조건을 만족시킬 수는 없으므로 예측하지 못한 현상의 발생에 대해 정확한 대책을 강구할 수 있도록 갱구부 관측 체제를 충분히 해두어야 한다.

여기서 말하는 갱구부는 '613.3의 3.1 갱구부 일반사항'에서 정의되는 터널 일반부와는 다른 특수한 구조와 시공법을 필요로 하는 구조물의 범위를 말한다.

(3) 갱구의 설계에는 터널의 규모에 따라서 유지 관리용의 제반 시설을 고려해야 한다.

613.2 터널 연결부의 접속

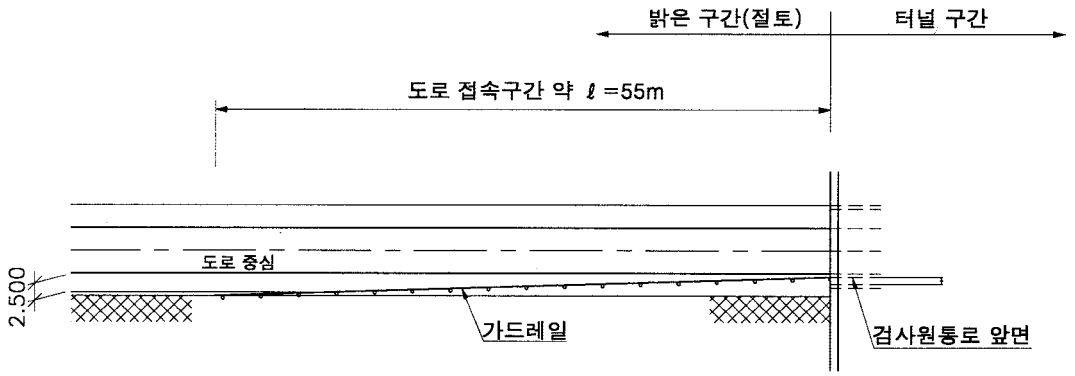
터널에 접속하는 밝은 부분의 길어깨는 적당한 길이의 접속 구간을 만들어야 한다.

일반적으로 터널의 길어깨폭은 경제적인 이유로 도로 일반부의 길어깨폭에 비하여 축소되고 있다. 급격한 길어깨폭의 변화는 운전자에 주는 심리적 압박감을 증가시켜 교통흐름의 연속성에 영향을 주게 되므로 터널 내에 진입을 원활하게 할 수 있도록 터널과 도로에 접속하는 밝은 부분 사이에 적당한 길이의 접속 구간을 만들어야 한다.

접속 구간의 도로 설계는 원칙적으로 밝은 부분과 같이 하되 접속하는 밝은 부분의 도로 구조물과의 위치 관계에 따라 소정의 접속 구간 길이를 정하여야 한다.

연결부의 접속은 보편적으로 가드 레일이나 연석으로 하며(<그림 613.1> 참조), 가드 레일은 제설 등의 유지 관리상의 편의를 위하여 설치와 제거가 가능한 구조로 하여야 한다. 이 공간은 차량 점검시 주차 공간으로 이용할 수가 있다.

또한, 조명 및 차량 주행성의 관점에서 터널 갱문을 벨마우스 모양('613.4의 4.3 갱문의 형식' 참조)으로 확장하고 위에서 언급한 접속 구간을 터널 안으로 연장하는 것도 하나의 방법이며, 현지 조건에 적합한 합리적인 설계가 필요하다.



<그림 613.1> 가드 레일에 의한 길어깨 접속의 예

613.3 갱구부의 설계

3.1 갱구부 설계 일반사항

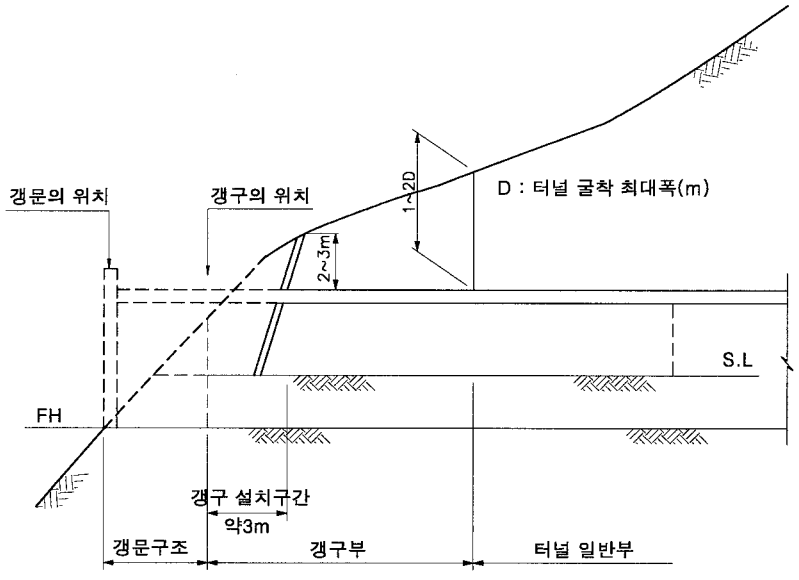
갱구부의 설계에는 아래의 항목을 검토해야 한다.

(1) 갱구의 위치 및 설치방법
(2) 갱구부로 시공되는 범위
(3) 갱구부의 굴착공법, 지보구조, 보조공법과 콘크리트 라이닝 구조
(4) 갱구사면의 안정 검토와 필요한 사면안정 공법
(5) 갱구사면의 지표수 및 지하수 배수 대책
(6) 기상 재해의 가능성과 필요한 대책 공법
(7) 지표면 침하 등 갱구 주변의 구조물에 미치는 영향

여기에서 언급하는 사항은 일본 도로공단의 '설계요령, 제9편 터널'에 제시된 내용을 참고로 기술한 것이다.

터널의 일반부는 주로 지반조건, 지질 구조, 지하수 등 원지반 내부의 조건에 따라 그 거동이 지배되는데 반해, 갱구부의 터널 거동은 지형, 기상 등의 외적 조건에 의해서도 지배된다. 따라서, 갱구부는 터널의 일반부와는 달리 특별한 구조와 시공법이 필요한 곳이다.

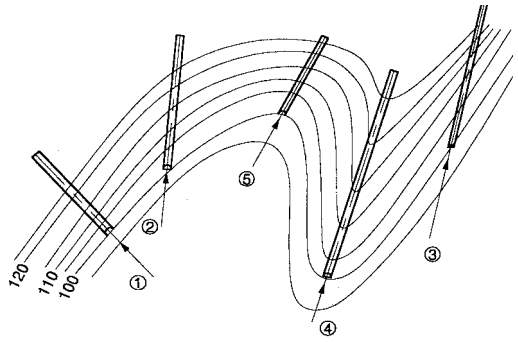
갱구부의 범위를 명확하게 나타낸다는 것은 각 터널에 따라 지형, 지반조건 및 노선의 위치 등 설계 조건이 다르기 때문에 곤란하나 터널 시공이 사면이나 지표면에 영향을 미칠 가능성이있는 범위를 갱구부라 칭하기로 하고 설계의 합리화, 단순화를 위해 다음과 같이 생각하기로 한다(<그림 613.2> 참조).



<그림 613.2> 표준적인 갱구부의 범위

보통의 갱구부는 갱문 배면에서 터널내의 그랜드 아치의 형성이 가능한 1~2D(D는 굴착폭) 정도의 토피가 확보되는 범위를 말한다. 단, 원지반 조건이 양호한 암석일 때와 홍적층 지대와 같이 지형 경사가 완만할 때에는 각 터널의 원지반 조건을 고려하여 별도로 그 범위를 정한다.

터널 갱구부의 계획은 지형이나 기상의 영향을 크게 받으므로 지형과 터널 중심 축선과는 대체로 <그림 613.3>과 같은 위치 관계가 고려되며, 그 일반적인 특성은 다음과 같다.



① 경사면 직교형
② 경사면 경사교차형
③ 경사면 평행형
④ 능선 평행형
⑤ 골짜기 진입형

<그림 613.3> 터널 중심 축선과 지형과의 관계

① 경사면 직교형

가장 이상적인 터널 축선과 경사면의 위치 관계이다. 그러나 경사면 중간에 갱구가 계획될 경우는 공사용 도로의 확보나 설치되는 도로 구조와의 관계 등 시공상의 특별한 배려가 필요하다.

② 경사면 경사교차형

터널 축선이 경사면에 대해 비스듬하게 진입하기 때문에 비대칭의 절취 경사면이나 갱문이 될 때가 있고, 유동 암반인 경우는 편토압이 작용할 때가 있다. 따라서 편토압 및 횡방향 토피 확보 여부에 대한 검토가 필요하게 된다.

③ 경사면 평행형

경사 교차가 극단적일 때이며 긴 구간에 걸쳐 골짜기 쪽의 토피가 극단적으로 얇아질 때가 있어 편토압에 대해 특별한 배려가 필요하게 된다. 이러한 이유로 이 관계는 문제가 생길 때가 많아 될수록 피해야 할 위치 관계이다.

④ 능선 평행형

터널 양측면의 토피가 극단적으로 얇아질 때가 있어 횡단면의 검토가 요구되며 암선의 좌우 비대칭일 경우가 많고 암선이 깊게될 경우가 많기 때문에 지반조사를 철저히 하여야 한다. 선형상으로는 갱구부의 굴착량이 최소가 되어 경제적이며 지반상 문제가 없다면 바람직한 방법이다.

⑤ 골짜기 진입형

일반적으로 골짜기에는 지질 구조대가 발달하고 있어 애추 등 미고결 퇴적층이 두텁게 분포하고 있고 지표수 유입과 지하수위가 높을 때가 많다. 또한 토사류, 눈사태 등의 자연 재해가 발생하기 쉬운 위치 관계이다. 부득이하게 계획되었을 경우는 지표수 배수처리를 각별히 고려하여야 하며 낙석, 산사태, 눈사태 등의 자연재해 발생 가능성에 대비하여야 한다.

환경 보전상 시공에 따르는 지표면 침하에 제약을 받을 때에는 대상 구조물의 설계 조건을 충분히 파악하고 그에 맞는 설계와 시공을 해야 한다.

또, 부득이하게 지반 활동 지대에 터널을 계획해야 할 때는 터널 시공에 앞서 갱구 밖에서의 압성토나 다짐공을 미리 시공하도록 설계를 해야 하며, 터널 안에서는 지반 활동을 유발시키지 않는 설계와 시공법을 채택해야 한다. 특

히 시공에 있어서는 원지반의 이완을 가능한 한 생기지 않게 함과 동시에 계측을 통해 지반 활동의 예측에 힘쓰도록 한다. 이와 함께 비상시의 응급대책도 아울러 고려해 두어야 한다.

3.2 갱구 위치 및 갱구 연결

갱구는 기본적으로 경사면과 직교하는 위치에 만들며, 공사용 설비의 배치에 대해서도 고려한다. 또한, 갱구 설치시 토피는 최소 2~3m 정도를 확보하여야 하며 절토면은 필요에 따라 숏크리트나 록볼트에 의한 보강을 하여 충분한 경사면의 안정성을 확보하여야 한다. 여기에서, 갱구 위치란 터널 굴진을 위한 기지, 즉 갱구로 할 위치를 말한다(<그림 613.2> 참조).

갱구와 경사면과의 관계는 '3.1 갱구부설계 일반사항'에서 기술한 것처럼 터널 축선과의 관계에서 몇 가지로 나누어지나, 이제까지의 시공 실적을 감안하여 가능한 경사면과 직교하는 위치에 선정한다. 갱구부의 원지반 조건은 그 양부(良否)의 정도에 변화 폭이 있어 복잡하므로 직교로 해도 문제가 없는 것은 아니지만, 다른 것과 비교하여 편토압이 발생하는 일이 대단히 적고 문제가 생겼을 때에도 대응하기가 쉽다. 노선 선정상의 제약을 받아 직교하기가 어려울 때도 있으나, 이 때에도 터널 축선과 경사면의 등고선과는 60°이상의 교차 각도로 하는 것이 바람직하다.

특별히 갱구부를 개착터널로 시공할 경우, '612 개착터널부'에서 서술한 것과 같이 편토압은 다음과 같이 크게 되메움 지반의 경사를 고려한 편토압 조건과 시공중 다짐 성토의 높이 차이에 의한 편토압 조건으로 나눌 수 있다.

① 되메움 지반의 경사를 고려한 편토압 조건

개착터널 해석시 하중의 산정은 되메움 지반의 평균높이를 산정하는 것이 아니라 원지반선의 경사를 고려하여야 한다.

② 시공시 다짐높이 차이에 의한 편토압

다짐 두께를 고려하여 되메움 흙의 소요 두께를 0.3m로 하여 콘크리트 라이닝 주위를 되메움할 때, 라이닝 정상까지는 좌·우 교대로 되메움하되, 이 좌·우의 성토높이 차이가 0.9m 이상 되는 경우 편토압에 대한 검토를 실시한다.

또 갱구의 위치 선정에 있어서는 가설, 공사용 도로 및 공사용 설비계획을 충분히 감안하여야 한다.

갱구 설치에 있어서는 갱구 경사면의 안정성, 지반의 지내력, 터널 중심 축선과 경사면과의 관계, 갱구 경사면 절토와 터널의 안정성, 시공법 등을 충분히 검토한 후 적절한 설계를 해야 한다. 일반적으로 갱구 경사면은 불안정한 원지반 상태일 때가 많다. 따라서 설계시에는 갱구 설치에 따른 원지반의 안정을 해치지 않도록 원지반의 이완을 극소화시켜야 한다.

갱구 설치에는 일반으로 절토가 따른다. 이 때 갱구 설치가 갱구 경사면에 미치는 영향, 주변 경관과의 조화, 갱구부의 시공법 등을 고려하여 적당한 토피를 확보해야 하나 일반적으로는 이제까지의 실적을 토대로 토피는 최소 2~3m 정도를 확보한다(<그림 613.2> 참조). 터널 길이를 짧게 하려고 갱구를 산 중앙으로 깊이 들어가면 경사면의 안정을 깨뜨려 붕괴나 지반 활동을 일으킬 염려가 있다. 특히 원지반의 애추층(talus)이 불안정할 때는 그 위험성이 크고 과대 굴착으로 인하여 주변 경관과의 조화를 이루기가 곤란하며 도로 이용시에 안전한 차량 주행에 지장을 초래할 염려가 있다.

또한, 일반적으로 갱구 부근은 암질이 좋지

않고 터널굴착시 발파진동 등에 의해 지반강도가 떨어질 가능성이 높으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

절토 경사는 갱구 설치부의 시공성과 원지반 조건에 따르나 급경사로 하는 것이 바람직하다. 그러기 위해서는 필요에 따라 비탈면 숏크리트나 록볼트에 의한 비탈면 보강도 고려하여 적극적으로 경사면의 안정화를 기하여야 한다. 일반적으로는 터널 굴착의 시공성에 요구되는 경사는 1:0.3~1:0.5로 하고 있다.

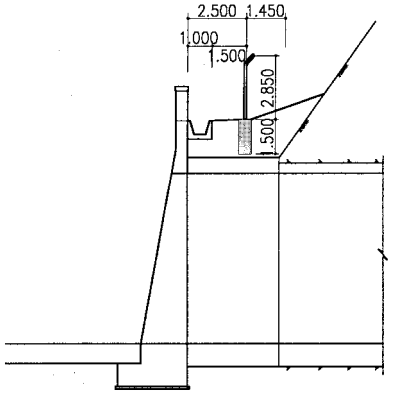
갱구부 경사면이 양호한 암질이고 적당한 경사면 경사로 놓여 있을 때는 그 경사면에 직접 갱구를 만들 수가 있다. 터널 축선이 갱구 경사면에 비스듬히 교차하고 불안정한 원지반 상태에 있을 때는 성토를 미리 시행하고 경사면의 안정을 도모한 후 터널 굴착을 해야 한다. 이 때에는 터널 굴착이 쉽고 굴착한 곳의 안정을 얻기 쉬운 성토재의 선정이 필요하다.

따라서 설계시에는 과거의 유사 사례를 참고로 하며, 이제까지의 실시 예에서 설계 조건을 설명하면 다음과 같다.

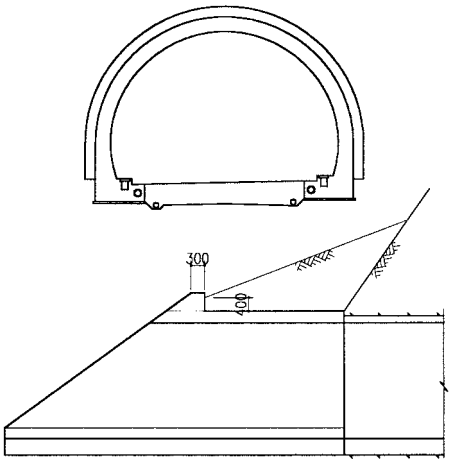
(1) 비탈면 숏크리트는 10cm정도의 두께로 할 때가 많으며, 필요에 따라 철망을 병용하기도 한다.

(2) 비탈면 보강 록볼트는 절리가 많은 원지반이나 풍화암에 대해 (1)과 병용하여 사용될 때가 많다. 볼트는 ø25~32mm의 철근으로 시멘트밀크나 모르터에 의한 전면 접착형이 일반적이며, 그 타설 간격은 2~4m^{2}에 한 개 정도가 많다. 천공 지름은 ø100~120mm로 비교적 크나 조건에 따라 무수 천공으로 할 필요가 있다. 또한 록볼트 두부 사이는 원지반의 변형에 대해 일체로 저항시키기 위한 연결 구조로 하는 것이 바람직하다. 이밖에 갱내 굴착한 곳의 보강을 목적으로 할 때가 있으나 이 때의 볼트 길이는 보통 상반반(上半盤)까지를 생각할 때가 많다.

시공이 완료된 후에 입·출구부 절취사면은 장기간 풍화, 동결융해, 집중호우로 인한 사면 붕괴 및 균열로 낙석이 발생하여 주행차량의 안전사고 우려와 사면붕괴시 유지보수의 어려움 등으로 면벽식인 경우 낙석방지책(<그림 613.4> 참조), 원통절개형인 경우(<그림 613.5> 참조)에는 파라펫트를 설치한다.



<그림 613.4> 면벽식인 경우 (낙석방지책설치 예)



<그림 613.5> 원통절개형인 경우 (파라펫트설치 예)

3.3 갱구 사면 안정 검토

(1) 일반사항

일반적으로 절토사면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 안정해석이 이루어지고 있으나, 암반 사면의 경우 불연속면의 조건에 따라 사면의 안정성 여부가 결정된다. 따라서 암반구간과 토사 및 풍화암 구간을 구분하여 사면안정검토를 실시하여야 하며 특히, 암반사면 해석시는 암반절리와 절리면의 협재물의 상태를 감안한 절리면의 강도정수를 산정하여 해석에 사용하여야 한다.

<표 613.1> 안정검토를 필요로 하는 절토사면 (도로설계 실무편람, 한국도로공사, 1996)

조 건	검 토 사 항
침식에 약한 토질	• 수침시 전단강도에 의한 풍화토의 안정검토
고결도가 낮은 토사나 풍화암	• 배수대책 • 실내시험에 의한 안정검토
풍화가 급속히 진행된 암석	• 풍화가 빠른 암반에서의 안정 검토
구성지반이 붕적층 혹은 퇴적층인 경우	• 배수대책 • 실내시험 자료에 의한 안정검토
현재까지 랜드슬라이딩이나 산허리 붕괴의 이력이 있고 불안정한 상태에 있는 지반의 경우	• 현장정밀조사 후 안정검토
지하수위가 높고 용출수가 많은 곳	• 배수대책 • 안정검토
주변의 기존구조물(철탑 등)에 나쁜 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우	• 보강대책

(2) 토층 및 풍화암사면 안정해석

사면안정 해석프로그램을 이용, 건기시와 우기시를 구분하여 해석을 실시한다.

(3) 암반사면 안정해석

① 1차 해석

현장 노출암에 대한 지표지질조사 및 시추조사의 암반 불연속면을 고려한 평사투영 해석에 의해 평면, 쐐기 및 전도파괴에 대한 개략적인 안정성 평가

② 2차 해석

1차 해석 결과 파괴가능성 내지 잠재적 파괴가능성을 가진 사면에 대하여 2차 해석을 통하여 안전율을 산출한다. 2차 해석은 파괴면을 가정한 한계평형식에 의한 해석, 쐐기파괴프로그램(SWEDGE) 및 기타 불연속면을 고려한 해석프로그램을 이용하여 실시하며, 2차 해석결과 안전율이 허용안전율에 미치지 못할 경우는 사면경사를 조정하거나 보강대책을 수립해야 한다.

(4) 설계단계에서의 안정성검토의 한계

설계단계에서는 갱구부 노출암반의 부족 등으로 지하지반상태에 대한 정보획득의 한계가 있으므로, 시공단계에서 사면절개후 geological mapping을 실시, 현장지반상태를 고려한 정밀한 사면안정검토가 필요하며 이에 따라 절토사면경사 및 보강방법에 대한 재검토가 강구되어야 한다.

3.4 지보 구조

터널 갱구부의 설계는 터널 일반부와는 달리 으로 하여 설계하며, 갱구부의 지보 구조 설계 예를 <표 613.2>에 제시하였다.

<표 613.2> 갱구부 지보패턴 설치 예

구분	굴착공법	1회 굴진장	강지보재			숏크리트 두께 (cm)	록볼트		라이닝 두께(cm)		휘 폴 링			프리 그라우팅 강관다단
			상반	하반	설치 간격		길이	설치간격 (횡방향)	측벽부 및 아치부	인버트부	천공 길이	횡방향 간격	천공각도 및 직경	
2차로	상·하반 분할굴착	1.0m	H=100	H=100	1.0m	16cm (강섬유보강)	4	1.5×1.0	30~40	필요시 설치	4~6m	0.5~0.6m 120°	5°~10° /ø=46mm	필요시 채택
	상·하반 분할굴착	0.6m	H=100	H=100	0.6m	20cm	4	1.5×1.0	30~40	필요시 설치				
3차로	상·하반 분할굴착	1.0m	H=150	H=150	0.5m	20cm ~30cm (강섬유보강)	4	1.5×1.0	40~50	필요시 설치	4~6m	0.6m 120°	5°~10° /ø=46mm	
4차로	상·하반 분할굴착 (Silot)	1.0m	H=150	H=150	1.0m	25cm (강섬유보강)	4	1.0×1.0	40~50	필요시 설치	4~6m	0.6m 120°	5°~10° /ø=46mm	

주1) 록볼트는 Resin Type과 모르터 Type 2가지를 현장에서 시험 시공을 거쳐 현장조건에 적합한 Type을선정하여 사용할수 있다.

주 2) Resin 사용기준

록볼트 길이	RESIN TYPE			계
	0200	0203	0407	
	2배팽창 초급결용	2배팽창 급결용	4배팽창 완결용	
3m	1본	1본	1본	3본
4m	1본	1본	2본	4본
5m	1본	1본	3본	5본

주3) 록볼트의 재질은 rolled thread가 있는 SD35(항복점 35kg/mm^{2}이상, 연신률 18%이상)의 표준 이형 철근을 원칙으로 한다.
(직경 25mm인 경우 항복하중은 17ton 이상이어야 한다.)
단, 강도가 양호한 암반에서 변위량 20mm 이상일때에는 항복점이 50kg/mm^2 이상의 제품을 사용한다. 또한 Bolt의 직경은 25mm를 원칙으로 한다.

주4) 록볼트는 오가, 픽크 햄머와 드리프트 등을 이용하여 1,000 R.P.M 이상으로 20~30초간 회전시키면서 BOLT를 삽입한다.

주5) 모르터 배합비 표준

W/C	물	시멘트
35%	17.2kg	40kg

주6) 휘폴링의 수량은 터널 단면내의 파쇄의 크기에 따라 설치 수량을 가감 할 수 있다.

주7) 프리그라우팅은 파괴선에 적합하게 사용하며, 암질에 따라 시행하여야 한다.

주8) 천공의 지름은 46mm, 길이는 9.0m로 한다.

주9) 천공된 구멍은 그라우팅 전에 깨끗한 물로 깨끗이 청소하여야 한다.

주10) 그라우팅의 기본 재료는 시멘트이며 시멘트량은 그라우팅의 효과에 따라 빈배합에서 부배합의 범위로 변경 할 수 있다.

주11) 그라우팅 압력은 그 양에 의해 점진적으로 증가될 수 있으며 그 최대치는 10kg/m^2 이다

주12) 발파 작업은 최소한 마지막 그라우팅 작업후 24시간 이내에 제 작업을 하여서는 안된다.

주13) 그라우팅은 암질과 그라우팅 효과에 따라 그 양을 조절 할 수 있다.

주14) 갱구부 라이닝은 여러 가지 불확실한 하중이 작용할 수 있으므로 철근 콘크리트 구조로 설치하는 것이 바람직하다.

(1) 터널 갱구부를 설계할 때는 아래와 같은 이유 때문에 터널 일반부와는 달리 될 수록 강한 지보 구조로 설치하는 것을 기본으로 하여 설계한다.

① 갱구부는 토피가 적어 적당한 그랜드 아치가 형성되기 힘들다.
② 원지반이 갖는 강도를 효과적으로 이용하기가 힘들다.
③ 전 토피 하중이 토압으로 지보재나 라이닝에 작용할 때도 있으며, 토압의 작용방향은 터널 축방향과 횡단 방향에 월등하나 일정치가 않다.
④ 간혹 지진 피해에 취약하다.

이상은 이제까지의 시공 실적에서 명백하게 드러나므로 터널 일반부와는 별도의 방법으로 설계할 필요가 있다.

터널의 지보 구조는 터널의 원지반 조건, 시공법, 시공순서, 지보의 목적을 고려하여 숏크리트, 록볼트, 강지보재를 단독 혹은 병합하여 설계하는 것이 일반적이다. 그러나 갱구부에서는 원지반 거동이 터널 일반부에 비하여 지형, 기상 조건이 악화되고 지표면 침하 억제 등의 환경 보존상 제약도 가해질 때가 있으므로 각 터널의 갱구 조건에 적합한 설계 방법을 체계화시키기란 곤란하고 복잡하다. 따라서 여기서는 <표 613.2>와 같이 갱구부의 기본적인 지보 구조를 제시하며, 각 터널의 갱구 특성에 맞추어서 적절한 보조 공법을 사용하여 설계하는 것을 원칙으로 한다. 즉, 갱구부의 지보 구조는 본선 터널의 설계와 시공법도 고려하여 강지보재 및 숏크리트를 주체로 하고 필요에 따라서 록볼트, 훠폴링을 원지반 조건에 따라 사용한다. 갱구부 지보구조 표준에 훠폴링을 표준으로 제시한 것은 갱구부가 일반적으로 현장 토질의 자립성에 문제가 있고 시공이 곤란하다는 점 때문이다. 훠폴링의 재질과 공법의 결정은 현지 조건에 적합한 것으로 해야 하며 시험 시공을 실시한 후 결정하는 것이 바람직하다.

(2) <표 613.2>의 표준은 경사면 붕괴나 지표면 침하의 원인이 되는 지내력의 크기, 편토압의 정도, 막장 천단의 붕괴 가능성, 지하수의 영향을 충분히 검토하여 선정한다.

(3) 갱구부는 <표 613.2>와 같이 갱문 뒷면 부근은 상재 하중, 갱문에 생기는 응력이 본체에 미치는 영향, 온도 변화의 영향, 건조 수축의 영향 등을 고려하여 철근 콘크리트 구조로 하여야 한다.

(4) 갱구부는 온도 변화가 크고 건조 수축에 따른 균열이 생기기 쉽고, 누수에 따른 결빙, 노면의 결빙이 안전 주행에 지장을 준다는 점을 고려하여 방수 공사를 하는 것을 원칙으로 한다. 지보 구조에 있어서는 방수공의 기능을 손상시키지 않도록 배려한다. 또 강지보재는 지보재가 단일체로 하중을 받는 것을 피하고 지보재 상호간의 타이로드, 간격 고정 이음재로 견고하게 연결하여 동시에 작용하도록 설치한다.

(5) 갱구부는 일반적으로 원지반의 안정도가 낮고 터널 굴착에 따라 그 안정을 잃을 때가 있다. 따라서 보통의 지보 구조로는 터널의 안정을 확보하기가 곤란할 때나 시공의 안정에 지장을 줄 염려가 있을 때에는 보조 공법의 적용을 고려할 필요가 있다. 보조 공법은 그 사용 목적에 따라 여러 가지가 있으므로 적용에

있어서는 사용 목적, 경제성, 시공성을 충분히 검토하여 채택해야 한다.

일반적으로 사용되는 보조 공법을 시공할 때 예측되는 문제점으로는 <표 613.3>과 같다.

<표 613.3> 갱구부 지보 구조 설계시 예상되는 문제점과 보조 공법

문제점 / 주요대책	슬라이딩	사면붕괴	지표침하	막장붕괴	편토압	지지력부족	기 타
경사면보호공	○	○					
옹 벽	○	○			○	○	
보호 절토, 압성토	○	○			○		
수직볼트	○	○			○		
앵 커 공	○	○					
수발공 (지표, 터널내)	○	○		○			웰포인트 공법, 수발 보링
지반주입(지표,터널내)	○	○		○		○	숏크리트, 록볼트
막장안정대책			○	○			
임시폐합 (가인버트)			○	○		○	

주) ○는 일반적으로 사용되는 공법임

3.5 굴착 공법과 시공 순서

터널 갱구부의 굴착 공법은 상·하반 분할굴착으로 하여도 원지반 조건에 따라서는 상반의 지내력이 부족하므로 침하하거나 터널의 안정이나 원지반의 안정을 손상시키기가 쉽다. 또한 지형상 편토압이 심하게 작용할 때는 상반 굴착시 대응이 곤란하므로 토압에 저항할 수 있는 터널구조로 하고 ring cut공법, silot공법, C.D 공법 및 측벽도갱 선진 공법을 사용한다.

이러한 원지반 조건의 일반적인 예는 다음과 같다.

① 경사교차 경사면이며 편토압지형일 때
② 애추층이 두텁고 고결도가 낮을 때
③ 지지 지반이 심한 연약 지반일 때

상반 공법(핵남기기)은 일반적으로 상반 및 숏크리트를 선행 시공하고 이것을 발판으로 상

부 반단면의 확대 굴착을 하나 측벽도갱 선진 공법일 때는 지형, 지질 조건에 따라 다르지만 일반적으로 2~3m 정도의 저설도갱을 시공한 후 본 단면을 굴착하며 점차 상반 공법에 의한 전단면의 굴착으로 확장한다. 갱구부 시공시 어떠한 공법도 터널의 안정 및 원지반의 안정을 손상시키지 않도록 하고 원지반을 약하게 하는 요인은 가능한 한 피하며, 적용되는 지보의 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 시공 순서 등에 주의를 기울여 공법을 선정하지 않으면 안된다.

갱구 설치부의 지보 구조는 갱구부의 지보 구조('3.4 지보 구조' 참조)에 준하지만 라이닝 두께는 60cm(1차, 2차 라이닝 합계 두께)로 하여 설계한다.

613.4 갱문의 설계

4.1 갱문 일반 사항

갱문의 설계에서는 원지반 조건, 주변 경관과의 조화, 차량 주행에 주는 영향, 유지 관리상의 편의를 고려하여 갱문의 위치, 형식, 구조를 정한다. 특히 갱문 배면에는 개통 후 낙석, 눈사태 등의 재해를 미연에 방지할 수 있는 대책을 필요에 따라 고려해야 한다. 또한 주변 경관과의 조화, 차량 주행에 주는 영향을 고려하고 갱구 설치 경사면을 필요에 따라 수정하는 것이 좋다. 이와 함께 자연 경사면으로부터 본선으로 빗물이 들어오는 것을 막기 위해 적절한 배수 공법도 설계하여야 한다.

4.2 갱문의 위치

갱문의 위치는 배후의 지형, 지반 조건, 단면의 크기, 인접하는 흙막이 벽과의 관계, 갱문 부위, 시공 방법 등을 충분히 고려하여 적절한 위치를 선정하여야 한다.

터널의 갱문은 일반적으로 갱구의 위치에 따라 결정될 때가 많다. 그러나 터널 개통 후에 낙석, 눈사태, 토사류 등의 자연 기상 재해가 발생하기 쉬운 장소에 갱구를 설치할 때는 이러한 재해와의 관계를 고려하여 갱문의 위치를 결정한다. 관계가 설정되었을 때에는 이것들과의 관련으로 갱문의 위치가 결정된다. 특히 갱문의 위치 결정에 있어서는 다음과 같은 사항들에 대하여 주의하여야 한다.

(1) 갱문의 위치는 지형의 횡단면이 터널 축선에 대하여 될수록 대칭이 되는 위치로 하고 편

토압을 받지 않도록 한다.

(2) 갱문의 위치는 늪이나 시냇물과는 교차하지 않도록 선정한다. 그러나 부득이할 때는 충분한 배수 시설물을 만들어 물을 처리하고 터널에 나쁜 영향을 주지 않도록 한다.

(3) 교량 구조물과 근접할 때의 갱문 위치는 원지반 조건을 고려하고 갱문 기초의 지반 반력 분포 범위와 교대의 굴착선과의 관계를 충분히 검토하여 터널에 나쁜 영향을 주지 않도록 하여야 한다.

(4) 갱문의 위치 결정은 갱구 부근에 계획된 장래의 유지 관리 시설의 배치에 대해서도 고려한다.

또한 인접한 도로와 건물 등의 영향, 갱문에 연결되는 교량과의 위치 관계 등을 고려하여 갱구의 위치를 결정하여야 한다. 이외에도 갱문 부위는 시공에 있어서 불안정한 경우가 많으므로 시공 방법을 충분히 검토할 필요가 있다. 또한 시공 시나 시공 완료 후에 작용하는 토압, 상재 하중, 지진 등의 영향을 받는 경우가 있고 온도변화가 많기 때문에 온도변화에 대한 고려를 하여야 하며 중력식 옹벽과 같이 메스 콘크리트 시공이 될 우려가 많기 때문에 건조수축 등의 영향을 고려하여 철근 등의 보강, 인버트의 단면을 폐합하는 등의 설계도 검토해야 한다.

일반적으로 갱문의 위치를 산허리 깊숙이 선정하는 것은 갱문 배후 및 갱문에 접속하는 비탈면의 안정을 저해하고 붕괴를 야기 시켜 공사 진행이 매우 곤란하며, 장래 유지 관리에도 많은 노력을 요하게 되므로 가급적 피하는 게 좋다.

4.3 갱문의 형식

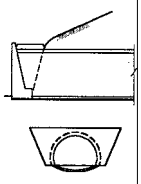
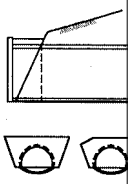
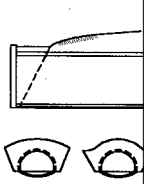
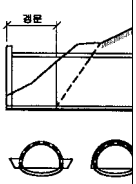
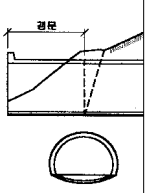
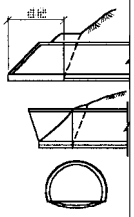
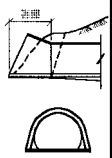
갱문은 지표 비탈면의 낙석 붕괴, 눈사태, 누수 등으로부터 갱문부를 보호하기 위한 것으로서, 갱문 자체에 변위, 침하 등이 생기지 않는 역학적으로 안정된 것이어야 하며 특히 차량 통과시 공기압의 감소 효과, 소음 방지, 눈 녹임 장치 그리고 갱문 자체의 미관, 주변의 조경 등을 복합적으로 고려해야 한다.

갱문의 종류는 크게 중력형, 면벽형, 반돌출형, 돌출형이 있다. 중력형은 비교적 경사가 급한 지형에 많이 적용되며, 면벽형은 가장 일반적인 형식으로 면벽에 작용하는 외력은 터널 축방향의 토압과 같으므로 흙막이 벽으로 설계한다. 돌출형은 갱구의 지형, 지질, 기상 등에 따라 터널의 라이닝을 채택하고 갱문 옹벽을 설치하지 않은 구조이므로 갱문부의 원지반을 이완시키는 일이 적고 안정성 및 미관이 좋으며 공기압의 감소 효과 등을 기대할 수 있는 매우 이상적인 형식이다.

한편 갱문부는 휨모멘트와 인장력이 작용하기 때문에 갱문 및 콘크리트 라이닝 설계시 필요에 따라 철근 등으로 보강하여야 한다.

갱문의 종류와 특징에 대해서는 일본도로공단의 '설계요령'을 참고로 한 <표 613.4>와 국내에서 주로 적용하고 있는 <표 613.5>가 있다.

<표 613.4> 터널갱문의 형식과 특징 (일본 도로공단, 1985)

형식 / 항목	면 벽 형			돌 출 형			
	중력·반중력식	날개식	아치날개식	파라펫트식	돌출식	원통절개식	벨마우스식
형 상							
지반조건에 따른 적용성	• 비교적 지형이 급경사인 경우와 토류옹벽 구조가 필요한 경우 • 낙석이 많을 것으로 예상되는 경우 • 배면의 배수처리가 용이한 경우	• 양측면을 절토할 경우 • 배면토압을 전면적으로 받는 경우 • 적설량이 많은 경우에는 방설공을 병용	• 비교적 지형이 완만한 경우 • 좌·우측면의 절토가 비교적 적은 경우	• 능선 끝단의 지형에서 좌우 구조물과의 관계가 적은 경우 • 적설지에서도 가능	• 압성토를 시공할 경우 • 갱구 주변의 지반조건이 좋지 않은 경우 • 적설지에서도 가능 • 갱구 주변지형의 절취 등 성형이 비교적 용이 한 경우	• 갱문주변의 지형이 완만한 경우 • 주변지반을 조경 할 필요가 있음 • 적설지에는 눈이 쌓이기 쉬움	• 지형·지질이 비교적 좋고 갱문주변이 열린 장소에 적합 가능 • 적설지에는 눈이 쌓이기 쉬움.
시 공 성	• 지반이 불량한 경우는 절토량이 많아지므로 배면 절토사면의 안정 대책 필요.	• 지반이 불량한 경우는 절토량이 많아지므로 배면 절토사면의 안정 대책 필요 • 터널 본체와 일체화된 구조로 계획	• 지형에 따라서는 일부 갱외라이닝(특히 아치부)이 필요 • 다소의 보호성토를 필요로 한다.	• 터널 본체 구조물을 갱구까지 길게 연결하여야 한다.	• 지형·지질이 안정된 경우는 가장 경제적이지만 지반이 불량하여 압성토를 할 경우는 구조물이 커진다.	• 구조물 공사비가 고가이다.	• 구조물 공사비가 고가이다.
경 관	• 중량감이 있어 안정성을 느끼나 진입시 위압감을 느끼기 쉽다.	• 중량감이 있어 안정성을 느끼나 진입시 위압감을 느끼기 쉽다.	• 아치부의 곡선이 주변지형과 조화감을 갖도록 하여야 한다.	• 갱문 벽면적이 적기 때문에 진입시 위압감을 주지 않는다. • 갱문주변지형과 조화감.	• 갱문 벽면적이 적기 때문에 진입시 위압감을 주지 않는다. • 갱문주변지형과 조화감 .	• 주변 지형을 조경함으로서 갱문과 조화를 이룸	• 진입시 위압감이 가장 적다. • 주변 지형과 조화감 양호

<표 613.5> 갱문의 종류와 특징 (국내)

구 분	중력식 옹벽형	원 통 절 개 형
장 점	• 터널 갱구부 시공이 용이 • 터널 상부 되메우기가 불필요 • 터널 상부에서 유하하는 지표수에 대한 배수 처리가 용이	• 도로와 자연스럽게 접속 유도되므로 운전자에게 안전감을 준다. • 주변 지형과 조화를 이루어 미관이 수려하다.
단 점	• 운전자에게 위압감을 줌 • 인위적 구조물 설치에 따른 주변경관과의 조화를 이루기 어려움 • 정면벽의 휘도 저하를 고려할 필요가 있음	• 갱구부 개착 터널 길이가 길다. • 갱구부 터널 상부에 인위적인 성토가 필요하다. • 특수 거푸집이 필요하고 공기가 길다. • 터널 상부 지표수에 대한 배수 처리가 필요하다.
적 용 지 형	• 갱구부 지형이 횡단상 편측으로 경사진 경우 • 배면 배수 처리가 용이한 지형 • 갱문이 암층에 위치한 경우 • 갱구부 지형이 종단상 급경사인 경우	• 지형이 편측 경사가 없고 갱문 전면 절토가 적어 개착 터널 설치후 자연스럽게 조화를 이룰 수 있는 지형
적 용 터 널	• 반월 터널(신갈~반월 고속도로, L = 323m) • 중부 2터널 (서울측, L = 237m) • 중부 3터널 (대전측, L = 384m)	• 광교 터널(신갈~반월 고속도로, L = 446m) • 광암 터널(판교~구간 고속도로, L = 780m) • 중부 1터널 (L = 298m) • 중부 4터널 (L = 495m) • 중부 2터널 (대전측) • 중부 3터널 (서울측)

4.4 표면 마무리

갱문의 벽면은 기본적으로 반사율이 낮은 마무리로 하는 것이 바람직하다.

터널의 입구조명은 터널의 설계속도와 갱구에서의 야외조도 값에 의해 결정된다.

이 야외조도란 터널입구에 접근하는 자동차의 운전자가 운전시에 보는 전방시야의 평균조도지만 이 시야 내에 차지하는 갱문의 비율은 구조형식에 따라 비교적 크고 또한 갱문면벽은 주위의 비탈면이나 나무에 비해 반사율이 높으므로 자동차가 터널 안에 진입할 때 운전자의 눈은 야외조도에 순응하고 있으므로 터널 안은 암흑으로 보인다. 즉 블랙홀현상이 생긴다. 또 터널 안으로 진입 후는 터널 안이 극도록 어둡게 보이는 현상 즉 순응의 지연현상이 생긴다. 때문에 갱문의 평면벽 반사율을 낮게 억제하는 연구가 필요하다.

조도에 대한 순응을 늦게 하는 요인은 터널의 갱문평면벽 만이 아니라 주위의 석축, 콘크리트 옹벽이나 갱문부근에 만들어진 환기소도 고조도의 대상이 되므로 갱문의 평면벽과 같은 배려가 중요하다.

갱문의 평면벽 표면마무리방법에는 여러 가지 방법이 있으나 그 시공성, 경제성, 미관 및 보수를 충분히 검토한 후 선정해야 한다. 그 중에서 갱문의 평면벽을 조면가공해서 조도저하를 도모하는 방법을 사용할 때는 철근 콘크리트 라이닝의 피복두께를 5cm정도 보통보다 두껍게하고 치핑에 의한 철근의 노출을 막는 것을 잊어서는 안된다.

4.5 관리용 시설

갱구부근에는 터널의 규모에 따라 관리용 시설의 공간을 확보하는 외에 필요에 따라서 비상시의 개구부 및 제설장을 고려해야 한다.

갱구주변에 설치되는 관리용 시설의 주 설비는 다음과 같으며, 관리용 시설의 내용 및 규모는 본 도로설계편람 '619 방재설비'에 따른다.

(1) 소화, 급수설비

급수전·송수구는 갱구에서 소화작업을 할 때에 사용하는 설비이며 수조는 이것에 급수하는 역할을 갖고 있다.

설비위치는 일반적으로 급수전·송수구는 양갱구의 주행차선쪽, 수조는 터널입구의 주행차선쪽에 설치하는 것이 바람직하며 자연수의 이용을 고려할 때는 갱문배후에 수조를 설치할 수가 있다. 급수전·송수구의 소요부지면적은 약2m^2정도, 수조는 최소로서 약 60m^3의 저수가 가능한 부지면적이 필요하나 저수량은 터널방재등급에 따라 다르기 때문에 설비면적은 필요에 따라서 확보해야 한다.

(2) 수배전설비

터널 갱구부근에는 조명·환기·방재설비에 필요한 전력의 수·배전기기 및 통신시설, 자가발전설비, 급수용펌프를 넣어두기 위해 방재등급에 따른 소요의 전기실을 설비해야 한다.

전기실은 일반적으로서 모든 터널에 한곳에 설치되지만 터널연속구간에서는 여러 개의 터널을 통합해서 설비될 때도 있다. 설계세부는 '기계전기통신설비표준설계도집'에 준하지만 최소규모라도 150m^2(15m×10m)는 필요하다.

또한 관리용 차량의 주차면적도 고려한다. 설치는 터널 입구부 주행차선쪽에 설치하는 것이 바람직하다.

(3) 기타의 설비

① 터널세정수 저장조

터널 안의 세정수는 수질오염방지법의 규제대상 외이지만 현재로는 공공수역에 직접 방류한다는 것이 곤란하며 어떠한 처리가 필요하다.

오수처리시설을 터널별로 만드는 것은 비경제적이며 일시적인 저장소를 만들어 이동식 처리차로 처리하던가 다른 장소에서 처리하는 방법이 채용되고 있다. 때문에 세정을 필요로 하는 터널에는 일시적인 저장조를 만들어야 하며 그 규모는 터널 1개당 약 $30m^3/km$의 세정수가 저장되도록 설계해야 한다.

설치위치는 갱구부근에서 저장조에서 이동식 처리차가 일시 정차할 수 있도록 배려하고 또한 공사중의 오염수 처리용 수조의 규모가 공사완료 후에 세정수의 저장조로 이용하는 것이 바람직하다. 또 일부 다단계 시공의 터널에 대해서는 장래 계획터널의 시설에 부합되도록 충분한 배려를 해야한다.

② 공동구

도로기능의 보전과 원활한 도로교통을 운용하기 위해 병열터널의 갱구에서는 전기실 및 저수조에 접속되는 전력·통신케이블, 소화전용 배수관을 연결해야 한다. 따라서 이것들의 제 설비의 수용·점검이 용이한 공동구를 만들어야 한다.

공동구는 소화전·급수전이 설치되는 쪽의 터널갱구부근이며 전기실에서 직접 연결이 되도록 설치하는 것이 바람직하다. 단, 지형상 설치가 곤란할 때나 근처에 박스 칼버트 혹은 교대가 있을 때에는 현장상황에 맞게 대처하여야 한다.

규모 및 세부설계는 '기계전기설비표준설계도집'에 준하나 최소내공단면은 폭 2.0m×높이 2.0m 가 표준이다. 또 기성품의 사용은 무방하나 이때 가능성이나 경제성을 충분히 검토하고 동등 이상의 것으로 한다.

③ 맨홀

터널 안의 전기·통신케이블 및 배수관의 밝은 부분에의 접속시설로서 전기실쪽의 갱문 직전에 맨홀을 만들어야 한다.

맨홀은 최대급으로서 $15m^2$의 굴착범위가 되므로 사전에 갱문에 접하는 절토비탈면, 옹벽과의 정합을 충분히 하여야 한다.

④ 비상용 갱구부 및 제설장

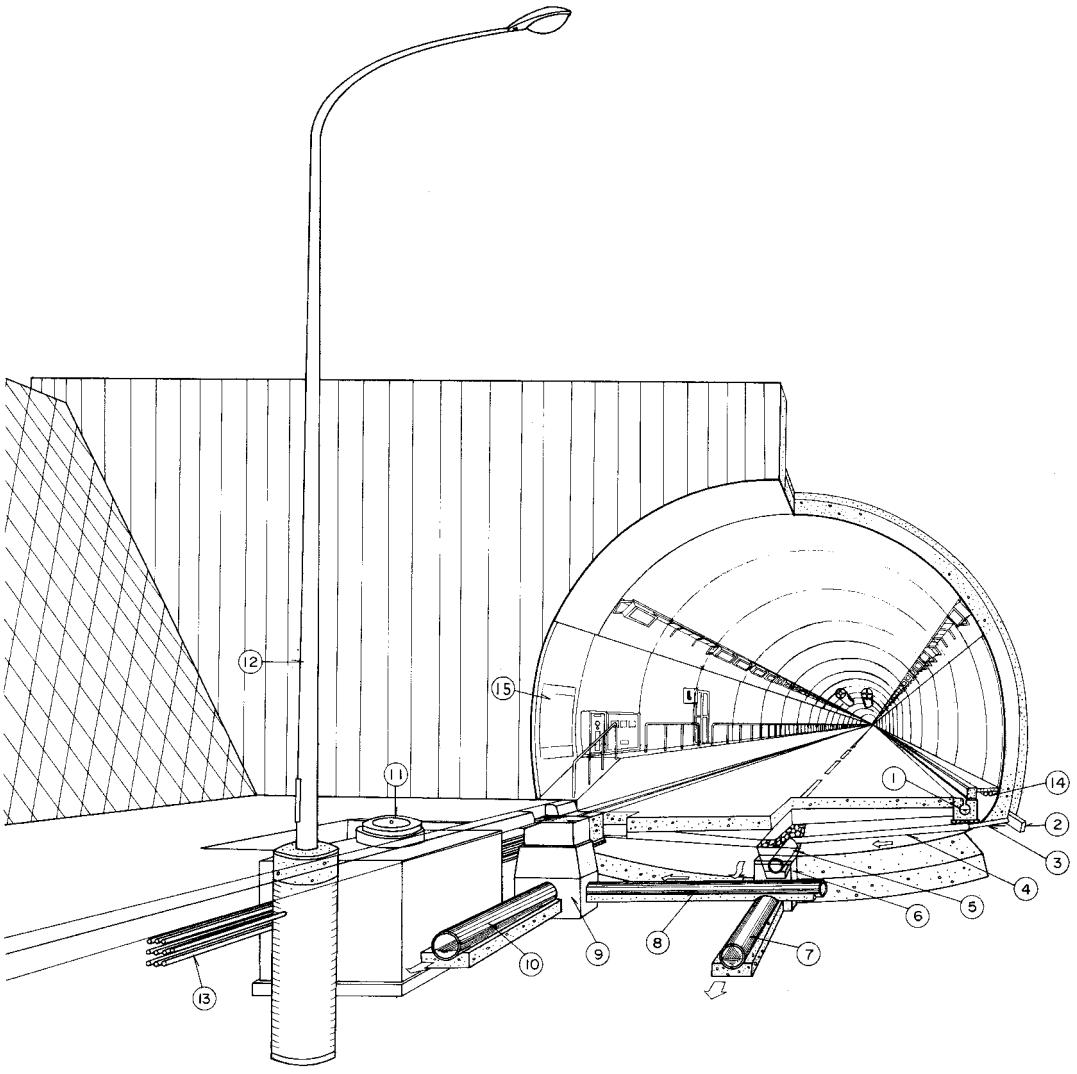
갱문의 앞면에는 터널 안에서의 사고시 교통처리를 원활하게 하기 위해 상·하선이 연결할 수 있는 갱구부를 중앙분리대에 만들어야 한다.

일반적으로 터널의 입지조건에도 따르지만 갱문에서 50~100m정도 떨어진 위치에 만들때가 많다. 또 적설지에서는 노견을 확장해서 퇴설여유폭을 만들어야 한다.

장대터널이나 터널연속구간 내에서는 필요에 따라 터널출입구에 체인 부착용의 광장을 만드는 것이 좋다.

상기와 같은 제반 설비는 <그림 613.6>과 같이 갱구부근에 집중되기 때문에 설계시 개개의 기능 및 계통을 충분히 고려하여야 한다.

번호	명 칭	번호	명 칭
①	길쪽배수구	⑨	집 수 통
②	이면배수구	⑩	종 단 관
③	횡단배수구	⑪	전력용 맨홀
④	횡단배수구	⑫	조 명 포 울
⑤	중앙배수구	⑬	전 선 관
⑥	지하집수통	⑭	통 신 관 로
⑦	종 단 관	⑮	분 전 반
⑧	횡 단 관		



<그림 613.6> 갱구부근 제설비배치투시도의 예

614
단면 확폭부 및 분기부

614.1 분기□확폭부 일반

분기부와 확폭부는 터널 일반부에 비하여 단면이 크고, 복잡하며 특수한 형상이 되기 때문에, 그 기능과 목적, 지반조건을 감안해서 터널과 주변지반의 안정을 충분히 확보하도록 설계해야 한다.

분기부와 확폭부는 당초 계획에 있어서 지반의 조건이 가장 양호하다고 예측되는 위치에 설치하는 것이 중요하다. 또, 지반의 상황에 따라서는 위치의 변경이 가능하도록 계획하는 것이 바람직하다. 그러나 위치의 변경에는 여러 가지 어려운 조건이 따르므로, 지반에 맞춘 시공상의 대응이 필요해지는 경우가 많다.

분기부와 확폭부에 있어서는 터널과 주변지반이 역학적으로 충분히 안정하고 그 시공이 가장 경제적이 되도록, 분기부와 확폭부의 형상, 시공방법 및 순서, 지보재, 콘크리트 라이닝, 보강공법 등을 검토해야 한다.

특히, 지반조건이 불량한 경우와 분기부와 확폭부의 형상이 특수한 경우에는 지반의 조사를 상세히 실시하고, 터널의 안정성에 관해 충분한 검토를 실시할 필요가 있다. 일반적으로, 이러한 경우에는 적절한 보강공법을 필요로 하는 경우가 많다.

분기부와 확폭부를 가진 터널의 대표적인 예는 다음과 같다.

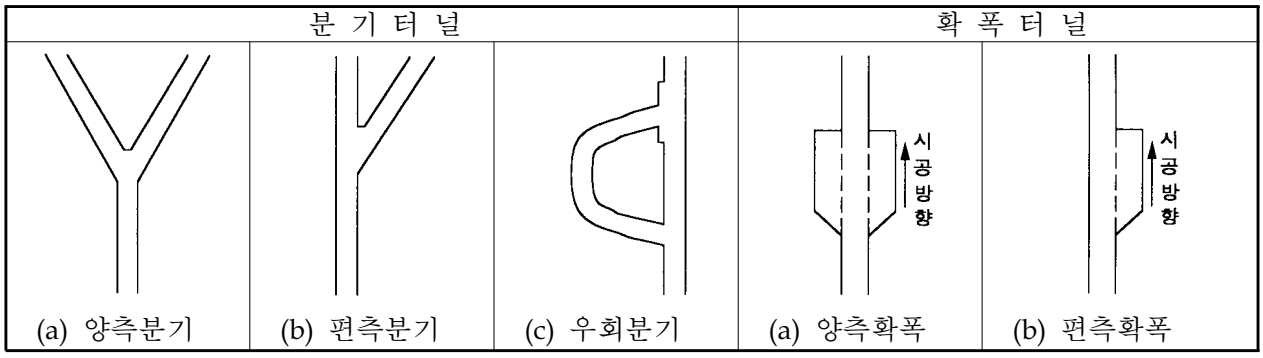
(1) 분기부의 대표적인 예
① 도로터널의 집진기기실과 환기갱 설치부
② 도로터널의 분기 및 합류점
③ 수직구와 환기갱 접속부
④ 피난연락갱과 비상주차대(혹은 본선) 터널
⑤ 기타 터널간 연결터널

(2) 확폭부의 대표적인 예
① 도로터널의 비상주차대
② 2-아치, 3-아치 터널

614.2 분기□확폭부의 설계

분기부와 확폭부의 설계에 있어서는 그 목적, 형상, 지반조건, 시공법, 시공기간 등에 유의하고, 시공시 및 완성후의 모든 단면이 안정해지도록 시공방법, 지보재, 콘크리트 라이닝, 보강공법 등을 검토해야 한다.

분기부와 확폭부는 시공과정에서 단면의 형상이 변화하고, 불안정한 구조가 되기 쉽다. 설계에 있어서는 변화하는 어느 단면에 있어서도 터널과 주변지반이 안정한 것을 확인해야 한다.



<그림 614.1> 분기·확폭터널의 종류

분기부와 확폭부에는 <그림 614.1>과 같은 종류가 있다. 분기부 터널 (a), (b)에서는 단면의 폭이 점차 확대되고 편평해진다. 그 결과, 터널과 주변지반이 불안정해지기 쉬우므로, 적절한 보강공법이 필요하다. 또, 분기후의 2개의 터널에 끼워진 필러 일부는 터널의 굴착에 따라 응력이 가장 집중되는 장소이다. 분기후의 터널은 지반조건에 따라 1D~4D의 이격거리까지 상호간에 영향을 미치고, 필러 일부의 안정을 꾀하기 위한 보강이 필요하다. 보강방법으로는 록볼트, 숏크리트 증타, 치환(콘크리트) 등이 있다. 분기 터널 (c)는, 집진기실과 환기갱의 설치부와 연락갱 등으로 계획되지만 본선터널이 통과하고 막장이 충분히 진행할 시점에서 굴착된 경우가 많다. 이 경우 안정화한 지반은 분기 터널의 굴착으로 다시 이완되게 된다.

이러한 분기 터널의 설계에서는 지반의 안정성은 분기각도가 가능한 한 직각에 가까운 것이 바람직하고 이 경우에도 분기터널 설치부, 본선터널 측벽부, 본선터널 인버트부의 적절한 보강이 필요하다. 보강범위는 터널형상, 지반조건, 보강공법 등에 따라 다르지만, 본선 터널의 축방향으로 전후 1D~2D정도로 하는 경우가 많다.

집진기실과 환기갱의 설계에서는 공기 역학상 기류의 흐름도를 고려해서 분기의 형상이 정해진다.

확폭 터널 (a)는 양측 비상주차대 시공 등으로 이용된다. 지반이 양호한 경우에는 전단면으로 확폭을 하는 것도 가능하지만, 일반적으로 단면이 크기 때문에, 중앙과 측벽부를 3부분의 터널로써 굴착하고, 최후에 격벽을 철거하는 방법이 자주 이용된다. 확폭 터널 (b)는 비상주차대 등으로 계획되지만, 확폭범위가 그다지 크지 않으므로 지보패턴의 변경으로 대처하는 경우가 많다.

분기부와 확폭부의 설계에는 아래의 방법이 유효하다.

(1) 유사조건에서 기 시공된 사례를 이용한 설계

분기부와 확폭부에 관한 기존 설계·시공사례를 상세히 조사한다. 단면형상, 지반조건, 시공법, 보조공법, 보강영역 등의 설계제원의 조사는 물론 시공시와 완공후, 터널의 거동을 충분히 조사하고 설계와 거동을 관련지어 평가할 필요가 있다.

① 지반의 안정성을 확보하기 위해 가능한 원지반조건이 양호한 장소에 선택하며 본선터널의 영향을 고려하여 과도한 이완하중이 작용하지 않도록 록볼트와 숏크리트를 이용하여 적절히 지보한다.

② 교차부의 보강범위 및 대책은 아래사항을 참조하여 설계하나 소성이 발생하기 쉬운 지반에서는 과거 유사 시공사례를 참조한다.

- 교차부에서 원지반의 집중상태는 일반구간에 비해 교차각이 90°인 경우 약 1.6배, 60°인 경우 약 2배, 30°인 경우 약 2.7배가되어 교차각이 작을수록 커진다.
- 원지반의 증가범위는 60°일 때는 약 2배, 30°일 경우는 약 4배정도 증가하는 것으로 알려져 있다.

③ 교차부의 콘크리트 라이닝 응력

- 교차부의 콘크리트 라이닝에 작용하는 이완하중은 본선부에 비해 최대 2배정도 크게 작용한다.
- 교차부의 콘크리트 라이닝은 기하형상의 아치구조가 파괴되어 축력부재로 작용하지 않고 휨부재로 작용하기도 한다.
- 아치형상이 깨어지면서 절단된 부분의 하중이 인접부의 콘크리트 라이닝에 축력으로 작용하여 축력이 증가하는데 최대 약 2.5배까지 증가하며 영향범위는 터널의 지름 정도이다.

(2) 수치해석적 방법에 의한 설계

단면형상과 지반조건이 특수하고 기존 사례를 참고로 하는 설계에서는 검토가 불충분하다고 생각되는 경우에는 수치해석이 유용하다.

분기부와 확폭부의 형상과 구조는 복잡하고 지반 아치도 일반부와 다르므로 지반을 포함한 유한요소법 등의 연속체 해석 수법이 추천된다. 분기부와 확폭부의 해석은 기본적으로 굴착과정을 포함한 3차원문제인 것을 인식하고 해석의 전제조건과 입력 파라메타를 항상 유념하면서 결과를 종합적으로 판단하는 것이 필요하다.

분기부와 확폭부의 굴착을 위한 보강공법에는 터널굴착에 일반적으로 사용되는 보조공법이 이용되는 경우가 많다. 즉, 록볼트의 본수와 길이의 증가, 숏크리트의 증가, 강지보재의 크기 변경 등의 강성강화가 주로 이용되고, 지반에 따라서는 약액주입공법, 동결공법 등이 필요에 맞게 이용된다.

분기부와 확폭부의 보강방법과 보강영역의 크기 등은 전술한 설계에 의해 결정되지만, 수치해석결과를 참고로 하는 경우는 입력 파라메타가 불명확한 보조공법이 많아 여러 가지 검토결과를 종합적으로 판단할 필요가 있다.

(3) 접속터널의 시공방법

분기부와 확폭부의 설계에 있어서는 분기부와 확폭부의 시공이 본선터널과 동시시공이냐 또는 본선터널 완성후의 시공 등의 시공 순서에도 유의할 필요가 있다. 분기부와 확폭부의 시공이 본선터널 완성 후에 실시되는 경우, 본선터널은 이미 콘크리트 라이닝으로 강한 구조물이 되므로 분기부와 확폭부의 굴착에 따른 해방응력은 콘크리트 라이닝에 직접 작용한다.

따라서 교차부 터널 공사의 시공순서를 어떻게 정하는가는 원지반의 특성을 고려하여 신중히 선정하여야 한다.

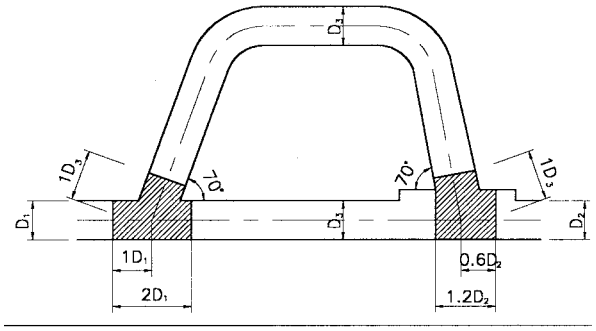
(4) 보강대책

숏크리트와 콘크리트 라이닝의 파손 등을 방지하기 위해서는 본선 구간의 거동 파악이 필

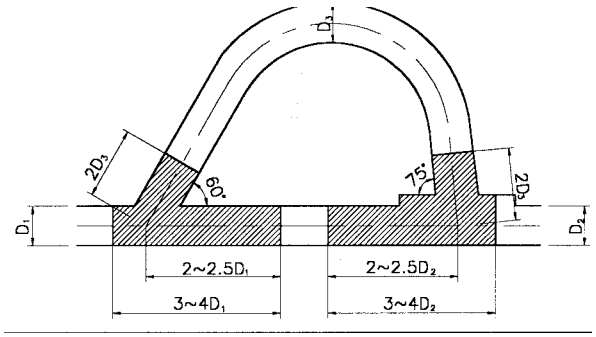
수적이며 기본적으로 다음 방법에 따른다.

① 지반의 일체화를 위해 록볼트와 숏크리트로 보강하는 것이 효과적이며 기타의 유효한 방법을 적용할 수 있으나 이완하중의 크기나 응력집중상태를 고려하여 지보량을 결정한다.

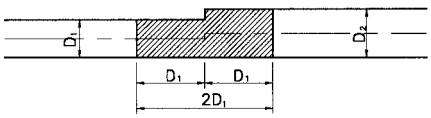
② 교차부의 라이닝은 아치형상이 파괴되어 휨모멘트가 국부적으로 커지는 경우가 있으므로 철근 콘크리트를 사용하는 것이 바람직하다.



<그림 614.2> 원지반조건이 비교적 양호한 때의 보강범위의 예



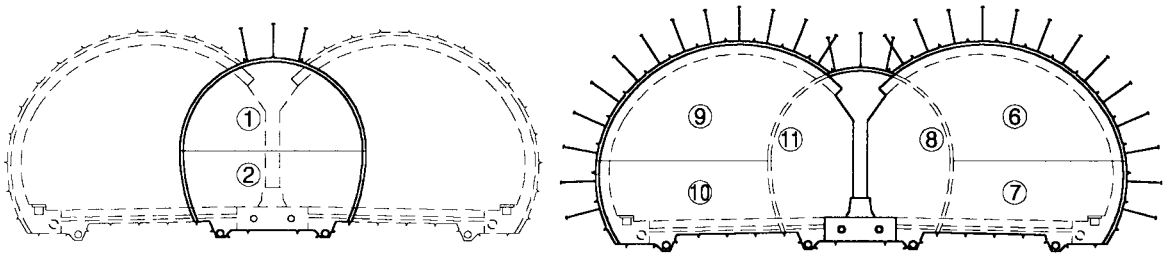
<그림 614.3> 원지반조건이 나쁠때의 보강범위의 예



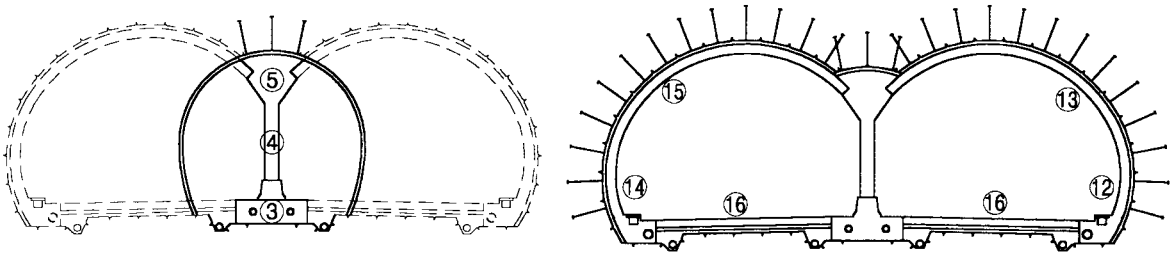
<그림 614.4> 확폭부에서의 보강범위의 예

분기부와 확폭부는 특수한 단면으로 특수한 응력상태에 있기 때문에 시공시의 계측에 따라 터널 굴착시의 안정, 지보재와 보강재의 타당성 등을 확인하는 것은 불가능하다. 또 이상시에 대비해 계측결과를 신속히 설계·시공에 피드백하는 체제를 갖출 필요가 있다.

도로터널에서 분기부 보강범위의 예를 <그림 614.2>와 <그림 614.3>에 수록하였으며, 확폭터널의 예를 <그림 614.4>에 나타내었으며 <그림 614.5~9>에 여러 가지 경우의 확폭부 혹은 분기구의 보강 예를 예시하였다.

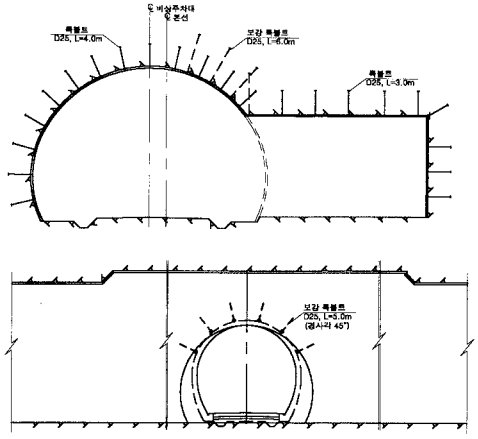


① 중앙갱 상반굴착(록볼트)
② 중앙갱 하반굴착
⑥ 우측갱 상반굴착(록볼트)
⑦ 우측갱 하반굴착
⑧ 가벽 제거
⑨ 좌측갱 상반굴착(록볼트)
⑩ 좌측갱 하반굴착
⑪ 가벽제거

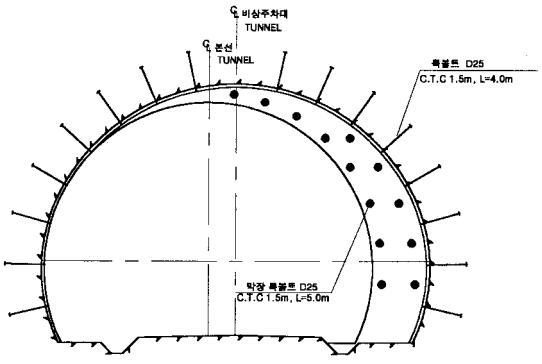


③ 중앙갱 하부 콘크리트 타설
(방수, 보호모르터, 철근)
④ 중앙갱 중벽 콘크리트 타설(철근)
⑤ 중앙갱 상부 콘크리트 타설
(방수, 보호모르터, 철근)
⑫ 우측갱 하부 콘크리트 타설
(방수, 보호모르터, 철근)
⑬ 우측갱 아치콘크리트 타설
(방수, 철근)
⑭ 좌측갱 하부 콘크리트 타설
(방수, 보호모르터, 철근)
⑮ 좌측갱 아치콘크리트 타설
(방수, 철근)
⑯ 도로포장 (배수로, 기층, 포장)

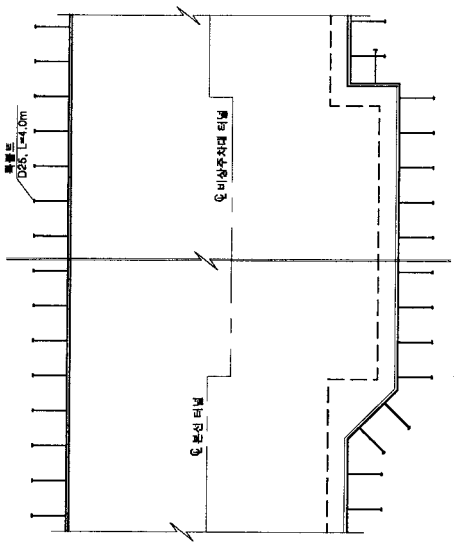
<그림 614.5> 양측분기예



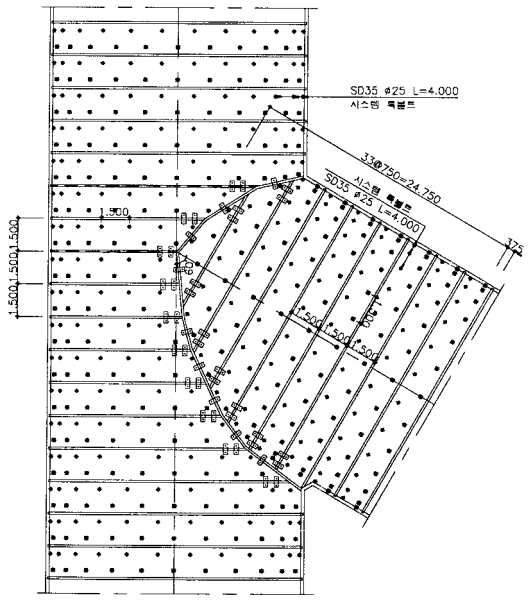
<그림 614.6> 직각교차 터널의 보강 예 (정면도)



<그림 614.7> 터널의 확폭부 보강 예 (정면도)



<그림 614.8> 터널 확폭부 보강 예 (평면도)



<그림 614.9> 접속터널의 보강 예 (평면도)

615
수직갱 및 사갱

615.1 일반사항

1.1 수직갱 및 사갱의 계획

수직갱 및 사갱의 설계는 설치의 목적, 기능에 따라 공사용 설비 및 본선 터널 또는 다른 관련 설비와의 연계를 검토하여 위치와 단면 형상, 길이 등을 결정해야 한다. 여기에서 말하는 수직갱이란 수직이거나 수직에 가까운 터널을 말하며, 사갱이란 경사진 터널을 말한다.

수직갱 및 사갱의 사용 목적은 일반적으로 장대터널, 대규모 지하공동, 광산 등의 작업갱으로 사용하며, 지하발전소의 압력수로 및 장대 도로터널에서의 작업갱 및 환기구로도 사용하기 위하여 설치한다. 최근에는 수평 갱구부의 용지취득, 환경보전 등의 필요에 따라 비교적 짧은 터널에서도 작업갱을 설치하는 예가 있으나, 산악 도로터널의 보조갱으로 수직갱을 설치하는 예는 많지 않으며, 사갱 또는 수평보조갱을 설치할 수 없는 지형에 한정하여 설치하고 있다.

일반적으로 수직갱 및 사갱을 설치하기 위하여 반드시 고려해야할 사항들을 정리하면 다음과 같다.

1.1.1 위치선정

① 수직갱 및 사갱의 위치는 사전에 충분한 지반조사를 실시한 후 용도, 지반 및 지형조건, 유입지하수, 연장 및 유지관리 등을 고려하여 경제성 있는 장소를 선정해야 한다. 유지관리하여야 할 수직갱의 경우에는 인력 및 장비수송용 승강기를 수직갱내에 설치하여야 한다.

② 시공성과 경제성 등을 고려하여 피복두께가 가능한 한 얕은 곳에 선정하고, 부지확보를 위하여 농경지는 피하도록 하며 또한 시공시에 공사용 도로의 확보가 용이한 곳으로 선정하도록 한다.

③ 수직갱 및 사갱의 굴착대상 지층에 대수층이 있거나 유입지하수가 많을 것으로 예상되는 지역은 가능한 한 피하도록 한다. 그러나 반드시 설치해야 할 경우에는 지하수위 저하, 지수 및 차수, 지반강화 등의 보조공법 적용 계획을 수립하여야 한다.

④ 사갱과 본 터널과의 교차각도는 직각을 표준으로 하되 연결부의 구조, 시공성, 차량의 선회반경 등 운행조건을 고려하여 교차각도를 별도로 정할 수 있다.

1.1.2 계획수립

① 수직갱 및 사갱을 환기, 배수, 비상용 통로 등의 본 설비로 사용하는 경우에는 향후 지하 시설의 확장에 대비하여 적절한 위치를 선정하여야 한다.

② 수직갱 및 사갱을 작업용으로 사용하는 경우에는 본 터널과 연결되는 터널바닥 설비의 배치, 측량, 완성 후의 처리 등을 고려하여 위치를 선정하여야 한다.

③ 수직갱에서는 특수한 작업기계를 사용하게 되므로 지형 및 지반조건에 적합한 장비를 선정하여 제시하고, 지하수 유입에 대비하여 안정성 및 시공성을 충분히 고려한 계획을 수립해야 한다. 특히 동절기 시공 중 지표부근의 누수로 인한 고드름 및 기타 낙하물에 대한 안전대책을 사전에 강구하여야 한다.

④ 수직갱을 작업용으로 사용한 이후에 다른 목적으로 활용하지 않는 경우에는 터널 본체 및 지표에 영향을 미치지 않도록 보강, 폐쇄, 매립 등의 적절한 방안을 계획하여야 한다.

⑤ 사갱의 설계 시에는 용도, 지반조건, 버력 및 기자재의 반출입, 터널내부 설비, 측량, 시공, 유지보수, 점검시의 안정성 등을 충분히 고려하여 위치, 유효단면, 경사, 수평부의 연장, 수평분기점의 위치, 본선 터널과의 교차각도 등을 결정해야 한다.

⑥ 사갱 수평부의 연장은 터널 내부 설비외에 측량의 정밀도, 버력설비, 차량의 교체작업 등을 고려하여 정하여야 한다.

1.2 수직갱 및 사갱을 위한 지반조사

수직갱 및 사갱의 위치 선정은 사전에 시추조사, 지반조사 등으로부터 충분히 지반, 지하수 상태 등을 조사하고 지형, 지질이 좋은 곳을 선정한다. 이 경우 수직갱의 길이를 짧게 하는 것도 필요하지만, 주변지반의 조건을 우선적으로 선정하는 것이 보다 중요하다.

갱구부근에서는 지표수, 토사 등의 유입의 우려가 많으므로 이와 같은 장소 및 지하수 유입이 예측되는 장소를 피하며, 부득이한 경우는 지하수위 저하, 지수 및 차수, 지반강화 등의 보조공법을 검토해야 한다. 일반적으로 지반조사는 수평터널에서의 조사와 대부분 유사하게 수행하며, 시추코어로부터 층서, 지반분류, 지반 물성시험, 공내검층 등을 실시한다.

그리고 시험구간의 시추코어로부터 대수층의 심도와 두께, 열극(fissure)의 크기, 발달상태, 방향에 따른 투수계수의 변화, 간극률, 간극의 범위 등을 측정하여 대수층의 특성을 정밀하게 파악해야 한다.

이외에도 야외지질조사 및 지형조사, 지장물조사 등을 통하여 시공시 접근의 용이성과 굴착공법의 선정, 부대설비 설치를 위한 공간 등을 확보하기 위한 자료로 활용한다.

615.2 수직갱 설계

2.1 단면설계

수직갱의 단면은 용도에 따른 소요내공단면, 시공법, 수직갱 내에 설치될 제 설비의 배치, 반입기자재의 크기, 지반조건 등을 종합적으로 고려하여 그 크기와 형상을 정하여야 한다.

2.1.1 단면 크기의 결정

(1) 도로터널의 환기용 수직갱

터널내의 소요환기량을 충분히 확보할 수 있는 단면적을 확보해야 한다. 즉, 수직갱의 내공은 환기계획에 기초한 소요환기량에 대해서 수직갱 내 풍속이 20m/sec(경제풍속) 정도 이하

로 되는 단면으로 결정하여야 한다. 단, 송기와 배기를 동시에 수행하는 경우에는 수직갱 단면의 중간부에 격벽판(두께 30cm)을 설치할 수 있다.

(2) 작업용 수직갱

버력 반출설비 및 반입자재의 크기에 따라 작업용 수직갱 단면이 결정되는데, 소요의 운반량을 처리하기 위한 케이지(cage) 및 스킾(skip) 등의 버력처리 설비 및 배수관, 환기관, 급기관(給氣管), 각종 배선류, 비상계단 등의 설치와 반입 기자재의 크기 등을 종합적으로 검토하여 단면을 결정해야 한다. 작업용 수직갱의 최소 내공 직경으로는 약 6.0m 정도를 표준으로 한다.

2.1.2 단면 형태

수직갱의 형상은 수직갱의 길이와 주변 지반상태에 따라 결정되는데, 일반적으로 산악지형에서의 길이가 긴 수직갱의 경우는 지반압 및 안정성을 높이기 위하여 원형으로 설계하는 경우가 많다.

<그림 615.1>는 작업용 원형 수직갱의 단면분할 계획 사례를 보여주는 그림으로서 수직갱의 단면분할은 본 편람 '2.1.1 단면 크기의 결정'에서 설명한 사항을 고려하여 결정한다.

2.2 굴착설계

2.2.1 굴착공법

수직갱의 굴착공법은 전단면 하향굴착, 전단면 상향굴착, 선진도갱 확대굴착 등으로 구분되며, 수직갱의 용도, 심도, 단면 크기, 지반조건, 입지조건, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법을 선정하여야 한다. 또한 수직갱내 발파 계획은 지반조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립해야 한다.

최근 산악지역이나 장대터널에서는 수직 환기구 및 작업구 굴착을 위하여 NATM개념 터널공법과 RBM(Raise Boring Machine) 등을 이용한 굴착공법이 적용되고 있다.

(1) 병행 축벽법(竝行 築壁法)

양질인 암반에서 적용하는 방법으로 어느 정도 깊이까지 굴착 후 라이닝의 기초를 시공하고, 스카폴드(scafold)를 작업장으로 하여 상부에서는 콘크리트 라이닝을 타설하고, 하부에서는 굴착을 진행시키는 공법이다.

(2) 전단면 상향·하향 굴착공법

경암에 속하는 암반 내에 100 ~ 200m 정도의 수직갱 굴착 시 주로 적용하는 공법으로 이 방법은 raise climber 또는 RBM(Raise Boring Machine)과 같은 기계에 의한 전단면 굴착으로 설계할 수 있다.

또한 RBM을 이용하여 선진 굴착한 후 NATM개념으로 확대 굴착하는 방법으로 국내 영동고속도로 둔내터널의 환기용 수직갱에서 이와 같은 방법으로 굴착한 바 있다.

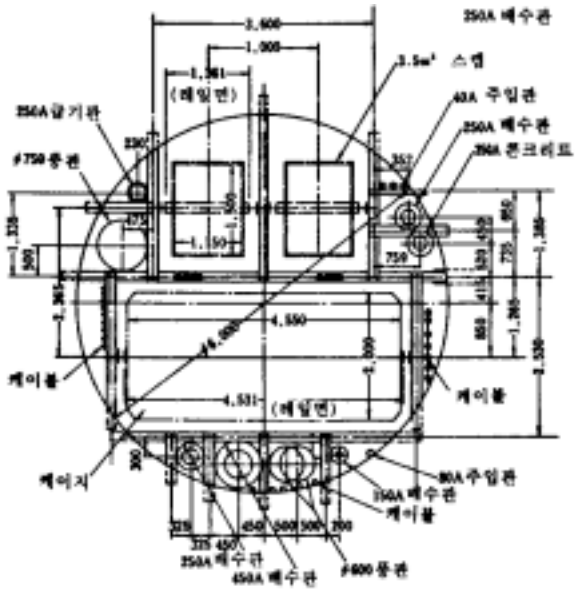
2.2.2 1회 굴진장

전단면 기계화 굴착을 제외하고, 일반적으로 수직갱의 굴착은 지반조건 및 지하수 유입량의 대소에 따라 다르지만 전체를 전단면 굴착공법으로 설계한다.

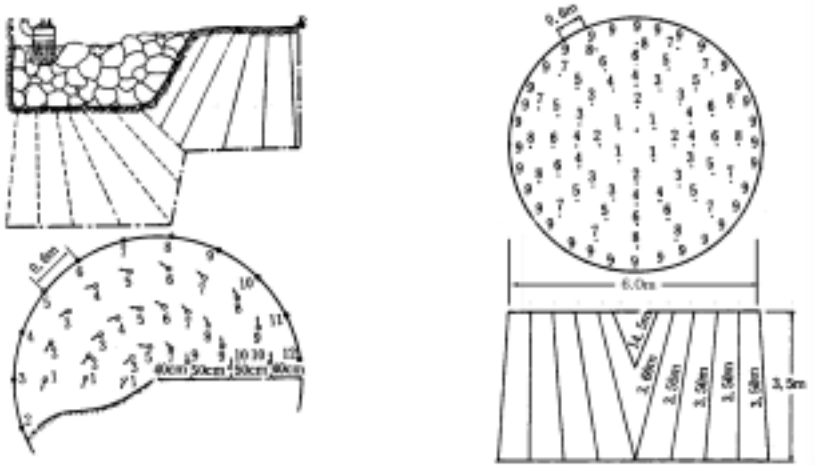
천공은 수직갱 전용 점보드릴이나 수동식 착암기로 실시하며, 지하수 유입 개소 또는 불안

정 지층에서는 기계화 설계가 불합리하다.

이때 1회 굴진장은 수직갱의 단면적, 지반상태 등에 따라 다르지만, 작업조건이 좋을 때는 약 3.0m 정도까지 실시한 사례도 있으나 대체로 약 1.2 ~ 1.5m 내외로 <그림 615.2>와 같이 분할굴착 혹은 전단면 굴착으로 설계한다.



<그림 615.1> 작업용 수직갱의 단면분할 사례



(a) 분할 굴착 (b) 전단면 굴착

<그림 615.2> 수직갱 굴착공법에 따른 분류

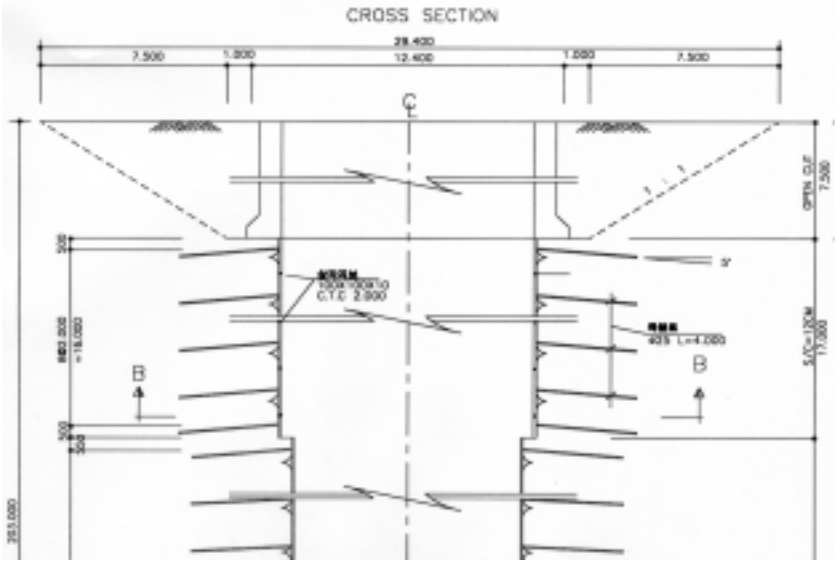
2.3 지보재 설계

수직갱의 지보재 설계는 콘크리트 라이닝 또는 강지보재가 주지보재인 공법과 록볼트 및 숏크리트가 주지보재인 공법으로 나눌 수 있으며, 지반조건, 함수대 유무, 단면형태, 심도, 시공법, 라이닝의 타설 시기 등에 따라 안전하고 능률적인 터널 내 작업이 될 수 있도록 설계해야 한다. 기본적으로 숏크리트, 록볼트, 강지보재 등의 지보재의 설계는 본 편람 '605 터널 지보재'에서 제시한 바를 준용한다.

2.3.1 강지보재

일반적으로 병행 축벽법에서는 지보재의 설계가 불필요하지만, 지보재를 필요로 하는 지반이나 공법의 경우에는 원형 단면의 수직갱에서 3 ~ 4 조의 H형 강지보재 혹은 격자지보로 보강하고, 설치간격은 1.0 ~ 1.5m 정도로 설계한다. 그러나 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 록볼트와 철망으로 대체할 수 있다.

<그림 615.3>은 둔내터널 환기용 수직갱에서 적용한 강지보재 설계 단면도로서, G.L. -7.5m ~ -17m까지의 지표부근에서 격자지보(100×100×10cm)를 C.T.C. 2m 수직 간격으로 설치하였다.



<그림 615.3> 둔내터널 강지보재(격자지보) 설계단면 사례

2.3.2 숏크리트

숏크리트의 두께를 결정하는데 있어서 일반적으로 적용할 수 있는 기준은 없는 실정으로 '605 터널 지보재'에서 제시한 바를 준용하며, 통상 기존의 설계 및 시공실적을 감안하여 약 5 ~ 25cm로 설계한다.

<표 615.1>은 한국도로공사에서 국내외 도로터널 지반별, 단면 크기별 본선 터널 단면을 위한 숏크리트 적용 실적을 요약한 표로서 경암 정도의 구간에서는 약 5cm, 환기탑 기초 갱구부의 구간은 약 15cm 정도를 적용할 수 있다고 제시하였으나, 이를 수직갱에 적용시에는 사전에 충분한 검토를 수행하여 설계하여야 할 것이다. 또한 숏크리트의 탈락방지를 위해 철망이나 섬유보강 숏크리트를 사용하여야 한다.

<표 615.1> 지반종류 및 단면 크기에 따른 숏크리트 두께 적용 범위

(한국도로공사)

종 류 / 단면 크기	숏크리트 두께(cm)			
	경 암	연 암	풍화암	토 사
30 m^2	5	5 ~ 10	5 ~ 10	10 ~ 15
30 ~ 40 m^2	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 내외
40 ~ 80 m^2	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25
80 ~ 120 m^2	5 ~ 10	10 ~ 20	15 ~ 20	25 내외

<그림 615.4>는 둔내터널에서 적용한 강섬유 숏크리트 설계 단면도로서 G.L. -17m ~ -24.5m까지는 두께 12cm, G.L. -24.5m ~ -185.5m까지는 두께 8cm, 이하 본선 접속부까지는 두께 12cm로 설계하였다.

2.3.3 록볼트

수직갱에서의 록볼트 설계는 이에 대한 기준이 아직까지 제시된 바 없기 때문에 국내 도로터널 중 수직갱을 시공한 바 있는 둔내터널 사례를 소개하면 다음과 같다.

① G.L. 7.5 ~ 17m 구간 :
D25, L = 4m, 수직 간격 2m, 수평하향 10°로 설치

② G.L. 17m ~ 연결갱 상부 11m까지 :
D25, L = 3m, 수직간격 2m, 수평하향 10°로 설치.

③ 연결갱 상부 11m ~ 연결갱 상부까지 :
D25, L = 4m, 수직간격 2m, 수평하향 10°로 설치.

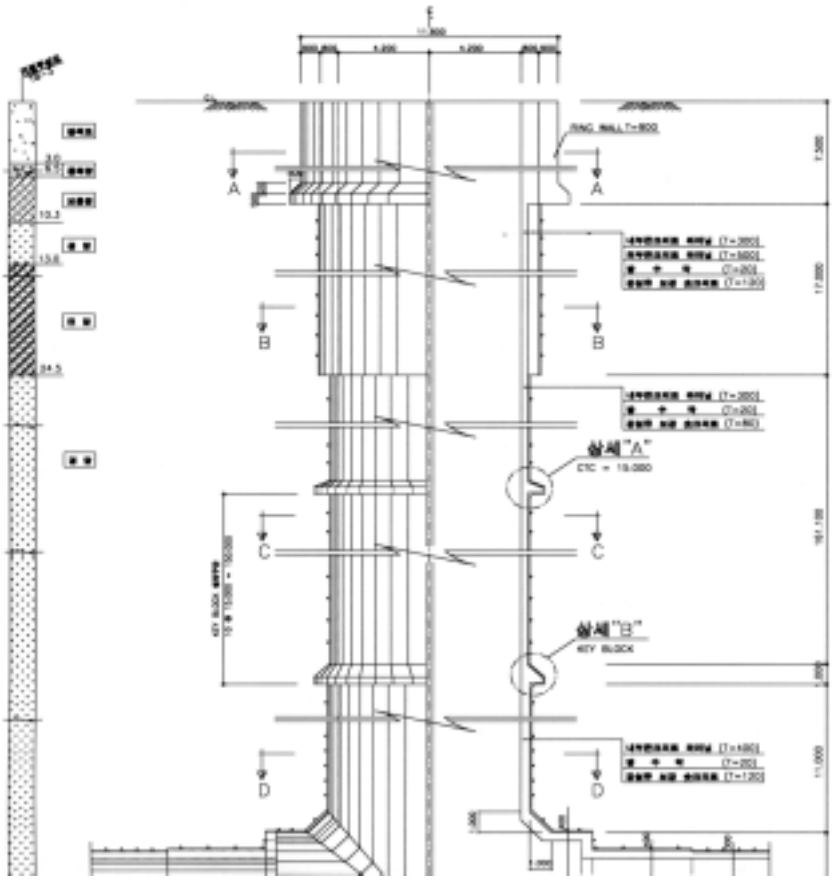
수평 터널과의 차이점으로는 수직갱의 심도에 따라 록볼트의 길이를 조절하였고, 수평방향을 기준으로 하여 하향으로 록볼트를 시공하였다.

2.3.4 콘크리트 라이닝

콘크리트 라이닝의 설계 두께는 그 목적에 부합하도록 단면의 크기와 형상, 지반특성, 심도, 작용하중, 라이닝 재료, 시공법, 시공성, 기존 시공실적 등을 고려하여 결정해야 한다.

(1) 작용하중

라이닝의 설계 두께를 결정하는 방법은 본선 터널구간에서의 설계와 마찬가지로 외력으로서의 하중 특히 지반압 및 수압의 상태와 라이닝의 역학적 작용에 따른다.



<그림 615.4> 둔내터널 숏크리트(강섬유) 및 콘크리트 라이닝 설계단면 사례

지질 구조가 복잡하여 라이닝에 가해지는 작용하중의 정확한 예측이 곤란한 경우에는 지반압이 균등하게 작용하는 것으로 가정하여 설계할 수 있다. 그러나 외국의 연구 결과에 의하면, 굴착후 측벽 작업에 착수할 때에는 내공변위가 거의 수렴한 상태로서 측벽에는 거의 지반압이 작용하지 않는다고 판단하고, 라이닝의 두께는 정수압만을 대상으로 산정하고 있다.

(2) 라이닝 설계 두께

수직갱의 라이닝 두께 산정을 위한 설계방법들은 아래에 나열한 바와 같고, 이에 대한 내용의 설명은 관련문헌들을 참조하기 바란다.

① 탄성한계내의 응력상태에서의 두꺼운 원통으로 가정한 설계(Lame의 공식)
② Coulomb 소성상태에 의한 라이닝 두께 산정(Jaeger & Cook이 제안)
③ 소성평형상태의 암반하중에 의한 라이닝 두께 산정(More 이론 확장)

참고로 지반의 변위가 수렴된 이후 라이닝을 타설하였을 경우 지반압은 무시할 수 있으나, 지하수가 정수압으로 작용할 경우 수직갱에서의 라이닝 두께를 산정하는 일반적인 공식은 다음과 같다(J. O. Bickel, T. R. Kuesel, and E. H. King, 1996).

$$t = r\left[\sqrt{\frac{\sigma/SF}{\sigma/SF - 2Po}} - 1\right] \qquad (615.1)$$

여기서,

t : 라이닝 두께(cm)

r : 수직갱 내경(cm)

σ : 콘크리트 압축강도(kg/cm^2)

SF : 안전계수(약 2.5)

Po : 외압(정수압, kg/cm^2)

국내외 수직갱 시공 실적 및 이론에 의한 라이닝 설계 두께는 하향 또는 상향 굴착시 숏크리트와 록볼트를 시공하는 경우에 시공성, 단면 크기 등을 고려하여 약 20 ~ 40cm 로 설계하며, 단면의 증감에 따라 설계 두께도 적절하게 증감시키도록 한다.

<그림 615.5>에는 연약지반 내 타원형태의 수직갱을 NATM개념으로 시공한 외국의 사례를 소개하였고, 국내의 수직갱 콘크리트 라이닝 설계 사례는 <그림 615.4>와 같다.

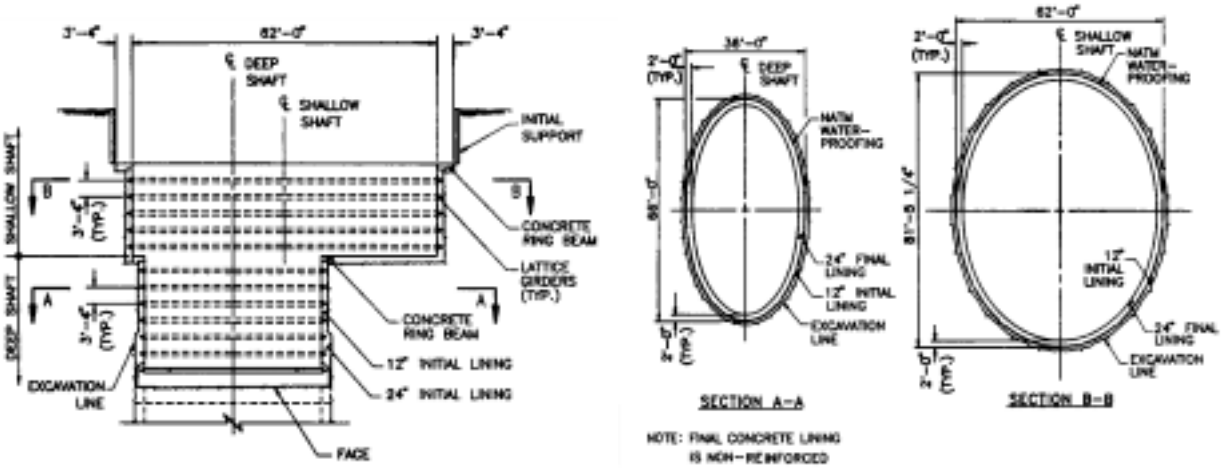
이 사례에서는 천부와 심부의 보강설계를 동일하게 적용하였는데, 굴착 후 격자지보재를 1m 간격으로 설치하였고, 숏크리트는 철망위에 30cm 두께로 타설하였다.

콘크리트 라이닝은 60cm의 두께로 타설하였고, 수직갱 내부로의 지하수 유입을 방지하기 위해 숏크리트와 라이닝 사이에 방수막을 설치하였다.

(3) 라이닝 설계 시 고려사항

수직갱의 라이닝 설계시에는 다음사항들을 고려하여야 한다.

① 하향 굴착시 굴착, 발파, 버력 처리후 즉시 측벽을 라이닝으로 유지하는 경우에는 지반압을 라이닝이 전면적으로 받는 것으로 설계하여야 한다. 따라서 불량한 지반의 경우에는 측벽붕괴를 방지하기 위해 라이닝 길이를 짧게 하고, 강지보재를 추가하는 등의 대책을 강구해야 한다.



(a) 종단면도 (b) 횡단면도

<그림 615.5> NATM개념 수직갱 지보 단면도 사례(국외)

② 하향 또는 상향 굴착시 굴착과 라이닝을 20 ~ 30m 정도로 교대로 시공하는 경우에는 굴착 후 지반변형을 지보재로 일시적으로 방지하고 지반상태에 따라 일정 구간 일시에 라이닝을 시공하는 것으로 설계할 수 있다. 이때 라이닝의 설계시 지반압은 라이닝이 지지하는 것으로 설계해야 한다.

③ 라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 설계해야 한다.

④ 라이닝에 사용되는 재료는 터널의 사용목적에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 콘크리트 타설 공법이 사용되지만, 지반조건에 따라 콘크리트 블록, 세그먼트, 라이너 플레이트(liner plate) 등으로 설계할 수 있다.

⑤ 지하수의 유입이 많거나, 유황(sulphate) 성분의 지하수가 있는 지역에서는 콘크리트 라이닝의 부식을 고려해야 하며, 지수 및 지반강화를 위한 주입공법과 cast-iron tubbing, double-steel lining 등의 설치 등을 고려해야 한다.

2.4 지하수처리 공법

수직갱 굴착은 유입 지하수의 증가에 따라 시공능률, 안전성 등이 현저하게 저하된다. 따라서 굴착 작업 중의 출수량 기준을 약 0.2 m^3/min으로 하고, 그 이상일 경우 유입 지하수처리 공법을 적용해야 한다.

일반적으로 수직갱에서의 유입 지하수처리 공법은 딥 웰(deep well)공법('610 굴착보조공법' 참조)이나 동결공법, 릴리프 홀(relief hole) 설치 등이 있으며, 지반이 연약하고 지하수의 유입수량이 과대하여 유도배수가 불가능한 경우에는 주입공법을 적용할 수 있다.

<그림 615.6>은 일본 나까야마(中山)터널의 수직갱 굴착을 위한 주입공법 설계 사례이다.

2.5 터널바닥 및 터널외부설비 설계

2.5.1 터널바닥 및 터널외부설비의 설계시 고려사항

수직갱 터널바닥설비의 설계는 스깊에의 반출물 적재 시 흘림과 유입 지하수처리, 케이지의 여유 등을 고려하여 본 터널보다 깊게 굴착해야 하며, 그 깊이는 굴착방법에 따라 다르지만 케이지 방법의 경우 약 10 ~ 15cm, 스킾방법의 경우 약 30cm 정도의 깊이가 필요하다.

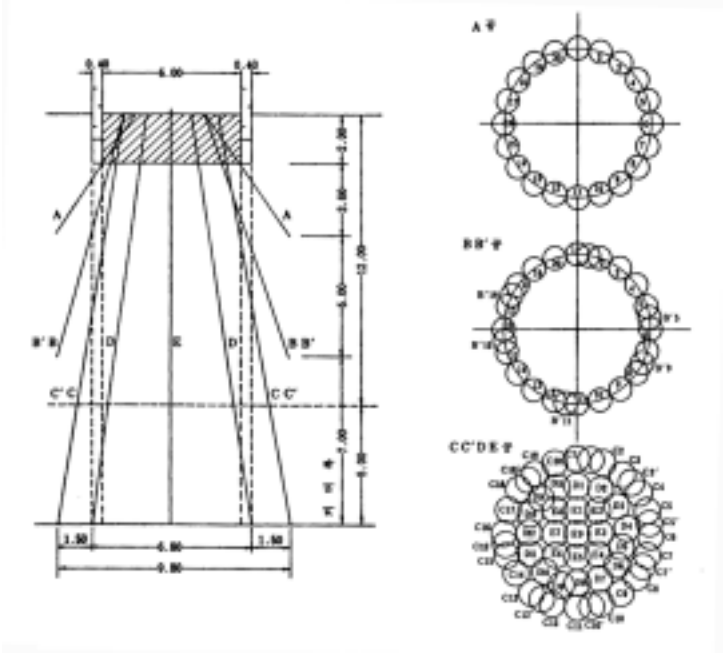
그리고 본선 터널공사와 터널외부설비가 다른 점으로 운반용 권상기와 수직갱조, 정전시의 예비 발전기가 필요하다.

이외의 터널바닥 및 터널외부설비 설계시 고려해야 할 사항들은 다음과 같다.

① 수직갱의 터널바닥설비에는 배수설비와 버력처리설비가 있으며, 지반조건, 본 터널 시공법, 운반방법, 굴진 공정 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정해야 한다.

② 수직갱 본체에 설치할 각종 부대시설 등은 지반조건, 운반방법 등을 고려하여 그 규모와 배치를 결정해야 한다.

③ 수직갱과 본 터널과의 거리가 크게 되면 연락갱의 길이가 길게되어 공기 및 경제성 면에서도 불리하게 되므로 연락갱의 길이는 가능한 20m 정도로 설계한다.



<그림 615.6> 일본 나까야마 터널의 주입공법 설계 사례

④ 정전시 배수, 인원의 터널외부 출입을 위한 예비 발전설비의 용량은 예상 용수량, 터널내작업 인원 등을 고려하여 케이지 권양기 및 배수펌프의 운전이 가능하도록 설비해야 한다.

⑤ 수직갱내 과도한 유입 지하수로 인하여 배수설비가 침수되는 경우를 대비하여, 인원 탈출을 위한 케이지 권양기와 배수펌프의 전선을 별도계통으로 나누어 배선하여야 한다.

2.5.2 배수설비 및 안전설비

① 배수설비는 예상 유입 지하수량, 이상 출수, 펌프설비의 유지 및 보수, 고장시, 정전시 등을 고려하여 여유 있게 설계하며, 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널내 배수관, 펌프장, 배전실 및 충전실, 재료 적치장 등에 대해서도 검토해야 한다.

② 비상용 경보장치(전화, 점멸장치, 사이렌 등), 소화기 설치, 비상용 가스마스크 등의 안전설비를 계획해야 한다.

615.3 사갱 설계

3.1 단면설계

사갱의 단면설계는 용도, 시공을 위한 운반설비, 작업용 통로 및 공사용 제 설비의 배치 등을 종합적으로 고려하며, 경사 및 연장은 설비의 반출입, 설치 용이성, 유지보수, 점검시의 안전성 등을 고려하여 결정해야 한다.

3.1.1 단면 크기의 결정

사갱의 내공단면 크기는 반출물의 운반방법 및 반출입 기계, 자재의 최대 치수를 검토하고, 급·배수관, 급·배기관, 작업통로(폭 0.7m × 높이 2m), 각종 배선 등의 배치에 따라 결정된다. <그림 615.7>에는 반출물 운반방법에 따른 마제형 사갱 단면과 부속설비의 배치 예를 보여주고 있다.

또한 배수관은 유입 지하수의 상태에 따라 증가시킬 수 있으므로 여유 있는 배치가 되도록 내공단면을 확보해야 하며, 기능상 요구되는 단면 형상과 시공 상 필요한 단면 형상을 동시에 만족하도록 고려할 필요가 있다.

3.1.2 경사 결정

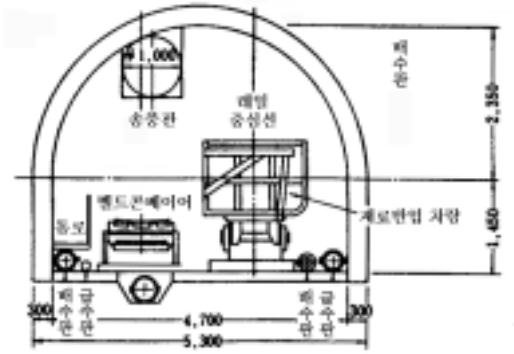
사갱의 경사는 용도, 연장, 본선 터널과의 위치관계, 지반조건, 시공법, 공기, 운전방법의 특성, 환기방법 등을 고려한 후 결정해야 한다.

사갱의 사용 목적에 따라 경사를 다르게 적용할 수 있는데, 장대터널의 작업갱, 지하발전소 등의 공사용 사갱의 경우 약 14°정도의 경사로 설계하며, 연락용 갱도 및 광산 등에서는 30°, 압력수로터널에서는 50°내외의 경사로 설계하기도 한다.

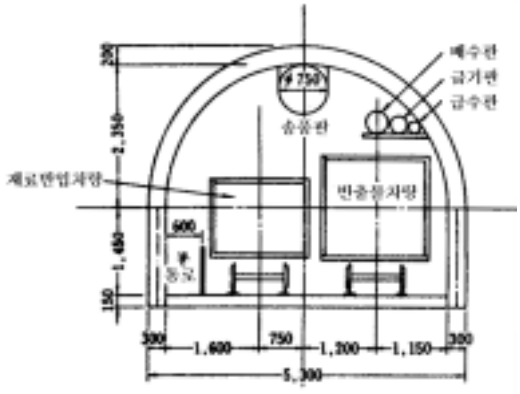
또한 버력의 반출방법에 따라서 경사 한계를 결정할 수 있는데,

① 벨트 컨베이어 방법에서는 버력의 미끌림에 따라 최대 18°까지 가능하지만, 일반적으로 1/4(약 14°)를 표준으로 하고 있다.

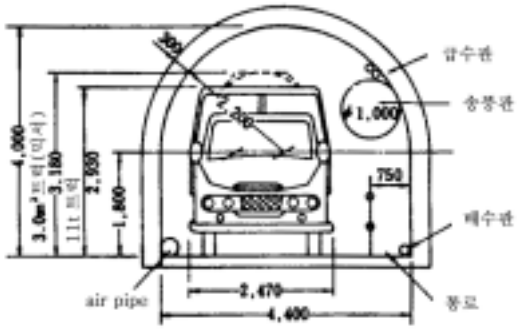
② 궤도방법에서는 권양기의 출력과 안전성, 효율성을 고려하여 1/4(약 14°)를 표준



(a) 벨트 컨베이어 방법



(b) 궤도 방법



(c) 덤프트럭 이용방법

<그림 615.7> 작업용 사갱의 내공단면 예

으로 하지만 약간 큰 16°정도까지 허용할 수 있다.

③ 덤프트럭 이용방법에서는 덤프트럭의 주행성능과 사갱 연장을 고려하여 1/8(약 7°)를 표준으로 하며, 최대 1/12.5까지 허용할 수 있다.

3.2 굴착설계

사갱의 굴착공법은 전단면 하향굴착, 전단면 상향굴착, 선진도갱 확대굴착 등으로 구분되며, 사갱의 용도, 연장, 경사, 단면의 형태 및 크기, 지반조건, 입지조건, 굴착방향, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정해야 한다.

3.2.1 굴착방법

굴착공법은 수평 터널 공사와 기본적으로 차이는 없으나 유입 지하수처리 등 부분적으로 다른 점이 있으며, 일반적으로 터널바닥에 인접하는 갱도의 이용이 곤란하기 때문에 지표상부에서 하향으로 굴착하는 방법이 주로 적용되고 있다.

굴착방법으로 인력 또는 발파 외에도 기계굴착방법도 고려할 수 있으며, 발파방법을 적용할 경우 지반 및 지하수 상태, 단면 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 발파패턴을 결정해야 한다.

3.2.2 1일 굴진장

장대 도로터널에서 작업갱을 설치하는 경우 단면의 크기는 약 20 ~ 23m^2 정도가 많고, 특별히 지질조건이 열악한 경우를 제외하고 전단면굴착을 적용한다.

1일 굴진장은 대상 지반의 상태와 굴착방법에 따라 차이가 있으나 국내외 시공실적에 따르면, 평균 1.0 ~ 2.0m/일이고, 최대 4.0 ~ 9.0m/일까지 굴착한 사례가 있다.

3.3 지보재 설계

지보재는 시공법, 지반조건 등을 고려하여 굴착 후 지반의 자체 지보능력을 발휘할 수 있도록 설계해야 하며, 수평 터널의 경우에 준하여 지보패턴을 설계하되 수평터널의 지보패턴보다 다소 보수적인 지보가 이루어지도록 설계해야 한다.

3.3.1 강지보재

작업용 사갱 굴착시 강지보재 설치 방법은,

① 연직방향 설치
② 사갱의 직각방향 설치
③ 직각과 연직방향의 중간 방향으로 설치할 수 있으며,

초기응력 및 지반상태를 고려하여 가장 적합한 방법을 선택해야 한다. 일반적으로 기존의 시공 실적에 의하면 중간각도로 설치하는 경우가 많으며, H형 강지보재의 규격은 H-100×100×6×8의 것을 사용하며, 원지반의 상태에 따라 0.9 ~ 1.5m 간격으로 설치한다.

3.3.2 숏크리트 및 록볼트

NATM개념의 터널공법으로 시공하는 작업갱에 대한 지보패턴 설계는 수평 터널공사에서

적용하고 있는 RMR 혹은 Q-System에 의한 암반 분류로부터 지보패턴을 결정하는 방법에 준하여 설계한다(본 편람 '605 터널 지보재' 참조).

기존의 시공된 사례들에 의하면, 숏크리트의 두께는 통상 약 10cm 내외로 1회 타설하였으며, 철망을 설치하여 숏크리트의 부착성과 인장강도를 증가시키도록 하였다.

그리고 록볼트는 굴착 단면이 협소한 점을 고려하여 직경 Ψ 25mm, 길이 L = 2.0m의 록볼트를 설치하였는데, 1 단면 당 록볼트 5 ~ 7개를 1.0 ~ 1.5m의 간격으로 설치하였다.

<그림 615.8>은 NATM개념의 터널공법으로 시공한 사갱의 지보패턴 사례를 나타낸 것으로 일본 北神터널 二幹茶屋 사갱에서 수행한 설계단면 이며, 지반의 상태를 고려하여 2가지 패턴으로 구분하고 있다.

3.3.3 콘크리트 라이닝

콘크리트 라이닝의 설계는 사갱의 용도, 경사, 지반조건, 시공법, 시공시기 등을 고려해야 한다.

전술한 바와 같이 사갱에서의 콘크리트 라이닝 설계도 수평 터널의 설계에 준하지만 특별히 급경사의 사갱이나 수압관로의 라이닝에 대해서는 주변지반의 상태에 따라 적절한 두께와 구조를 확보하도록 하여야 한다.

라이닝의 두께는 목적에 적합하도록 사갱단면의 형태 와 크기, 라이닝에 작용하는 하중, 지반조건, 라이닝 재료, 시공성 등을 고려해야 하며, 일반적으로 30 ~ 40cm로 설계하지만 30cm를 표준으로 하나 내압이 작용하는 사갱에서는 하중의 크기에 적절한 두께를 정해야 한다. 또한 라이닝 타설 순서는 가급적 터널바닥부에서 갱구를 향하여 순차 시공하도록 한다. 그리고 만약 연약지반이거나 혹은 유입 지하수가 많은 지반에서는 인버트의 설치를 고려해야 한다.

또한 콘크리트 라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요강도, 내구성, 양호한 품질과 시공성을 얻을 수 있도록 설계하여야 한다.

3.4 터널바닥 및 터널외부설비

사갱 내부의 터널바닥설비는 지반조건, 본 터널의 시공법, 사갱의 운반방법 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 결정해야 한다.

사갱과 본갱과의 교차부의 형상은 반출능력에 따라 반출물 열차용의 운반갱도를 설치하는 경우와 직접 교차하는 경우가 있으며, 일반적으로 후자의 형식으로 시공한 사례가 많다.

또한 사갱 수평부와 본 터널 및 운반갱도와의 교착각도는 직각이 바람직하지만 운반궤도나 기계의 운행을 고려하여 30°~ 60°정도가 일반적으로 적용되고 있다.

이외에도 터널바닥 및 터널외부설비의 설계시 고려해야 할 점으로는 다음과 같다.

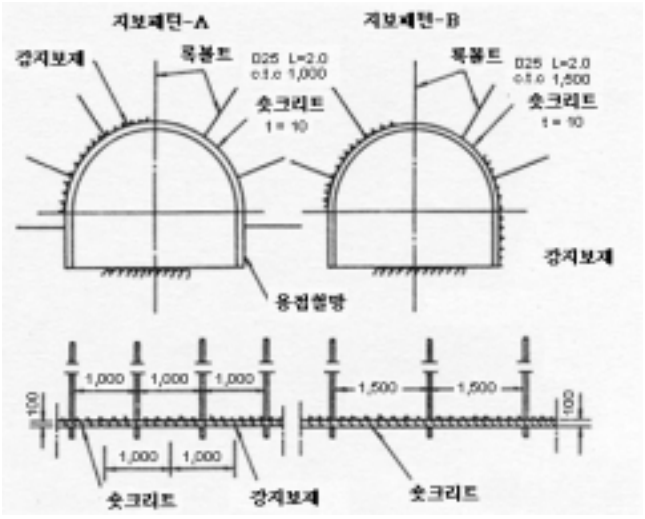
① 버력처리 설비는 경사, 연장, 접속터널의 운반방법, 안전성, 능률 등을 고려하여 선정해야 한다.

② 배수설비는 예상 지하수 유입량, 이상출수, 펌프 설비의 보수, 고장시의 예비, 정전시 등을 고려하고, 양정, 용량 등에 충분한 여유를 두도록 설비용량을 정하여야 한다.

③ 배수설비로서 사갱바닥의 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널내의 배수관, 펌프실의 규모, 터널외부의 유량계, 예비 발전설비,

등을 검토하고 이들 설비들을 유기적으로 연결하는 연락터널, 충전실, 재료적치장 등에 대해서도 검토하여야 한다.

④ 사갱의 터널외부설비의 설계 시에는 자재 운반용 권양기와 정전 시 및 이상 시 등에 대비한 예비 발전설비가 계획되어야 한다.



지보재	분 류	지보패턴-A	지보패턴-B
숏크리트	두께 (t)	10cm	10cm
	층	1	1
록볼트	직경(D)	25mm	25mm
	길이(L)	2.0m	2.0m
	수	7개 /단면	5개 /단면
	간 격	1.0m	1.5m
H형 강지보재	강 재	H-100×100×6×8	-
	간 격	1.5m	-
철 망	규 격	₩3.2×100×100	₩3.2×100×100 (일부구간 150)
	층	1	1

<그림 615.8> 사갱의 NATM개념 시공 시 지보패턴 사례(일본 北神터널 二幹茶屋 사갱)

616
TBM 터널

616.1 TBM 일반사항

1.1 개요

TBM(Tunnel Boring Machine)은 광역의 의미에서 터널의 기계화 굴착기 즉, NATM 개념의 터널공법에서 사용되는 발파공법에 의하지 않고 기계로 지반을 굴착하는 것으로 쉴드나 로드헤더 등도 이에 속한다.

일반적인 협의의 TBM은 재래의 천공 및 발파를 반복하는 시공과는 달리 폭약을 사용하지 않고 기기 전면에 장착된 커터의 회전에 의하여 터널 전단면을 절삭 또는 파쇄하여 굴진하는 터널굴착 기계이다.

TBM에 의한 터널시공은 굴착면에 상응하는 원형의 단면으로 굴착됨으로 역학적으로 안정되고, 기계화 굴착이므로 지반변형을 최소화할 뿐만 아니라 비발파 작업으로 안전하고 청결한 터널내 작업환경을 확립한 터널굴착공법이라 하겠다.

국내 도로터널의 경우는 도로터널의 전단면을 TBM으로만 시공한 예는 전무하며, TBM으로 선진도갱의 개념으로 굴착하고 NATM 개념의 터널공법으로 확공하는 TBM + NATM 병용공법(bore and blast method)을 사용하는 것이 일반적이다. 그러므로, 본 편람에서는 현재 실제 시공현장에서 사용하는 TBM(굴진)+NATM(확공)의 개념을 위주로하여 TBM 터널의 설계에 대하여 설명하고자 한다.

1.2 TBM 구성

TBM은 <그림 616.1>과 같이 본체, 후속설비 그리고 부대시설의 크게 세 가지로 구성되며 본체는 커터, 커터헤드, 추진 시스템, 클램핑 시스템, 후속설비는 벨트 컨베이어, 광차 그리고 부대시설은 버력처리장, 정화시설, 환기시설, 수전설비, 급수설비, 배수설비 등으로 구성되어 있다.

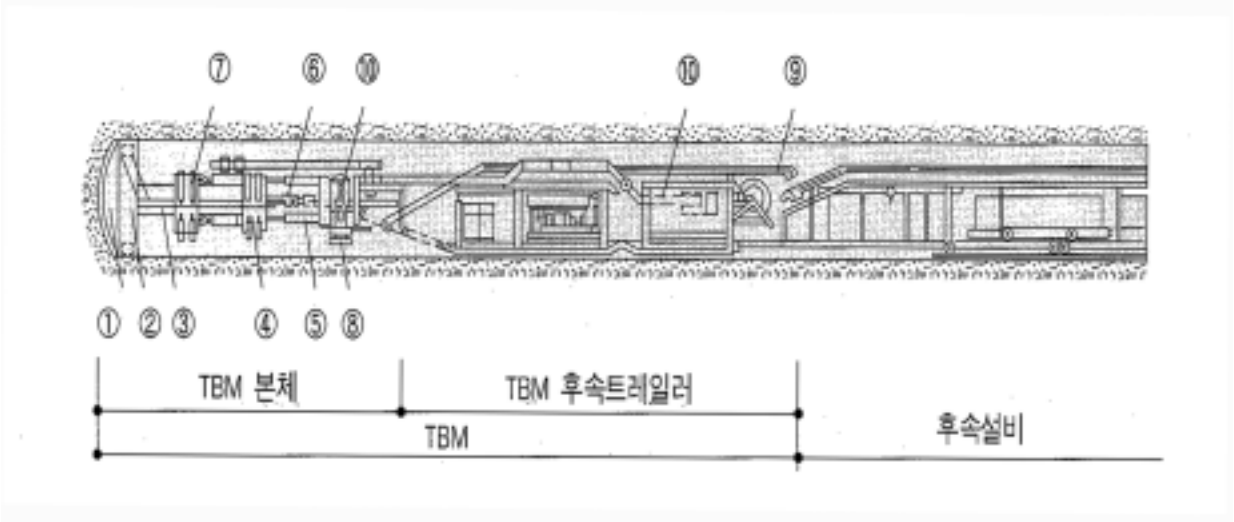
1.2.1 TBM 본체

(1) 커터헤드

배열 장착된 각종 커터의 압축력과 회전력에 의해 암석을 압쇄시켜 굴착하부에서 스크랩퍼(scraper) 및 버켓(bucket)으로 버력을 상부 또는 이너켈리(inner kelly)내에 설치된 벨트 컨베이어에 적재하여 후방으로 배출시키며 이너켈리의 전진 작동으로 전진한다.

(2) 커터헤드 자켓

커터헤드 및 쇼벨장치를 둘러싸고 있으며, 터널 벽면으로부터 떨어지는 낙반을 방지하며 커터헤드 뒷면에서 지보재 설치작업을 용이하게 해주며, TBM 클램핑 및 리셋팅시 본체 전



①커터헤드 ②커터 헤드 자켓 ③이너켈리 ④아우터켈리 ⑤추진 실린더
⑥커터헤드 드라이브 ⑦클램핑 패드 ⑧후방지지장치 ⑨벨트 컨베이어 ⑩집진기

<그림 616.1> TBM의 구성

방지지대 역할과 굴진중 커터헤드를 지지하여 본체의 진동을 감소시켜 준다.

(3) 이너켈리 및 아우터켈리

이너켈리는 추진실린더의 유압작동으로 커터헤드를 전진시키며 커터헤드를 회전시키는 커터헤드 드라이브가 있다.

전방의 주 구동부는 유압으로 착탈되는 클러치에 의해 메인베어링과 직접 연결되며, 후반부는 본체굴진방향을 조정할 수 있는 후방지지장치(rear support)와 연결되어 있다.

이너켈리를 감싸고 있는 아우터켈리(outer kelly)에는 굴착운행시 본체를 지지하기 위한 클램핑 패드 장치가 있어 기굴착된 터널벽면에 패드로 압착지지하는 장치가 있어 이를 이용하여 TBM을 굴착 전진시킨다.

1.2.2 후속 트레일러

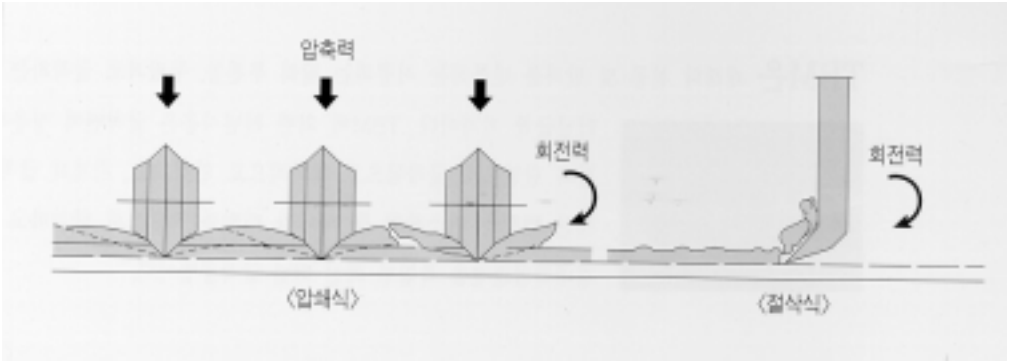
후속 트레일러는 견인롯드 또는 체인에 의하여 기계본체에 끌려다니며 커터헤드 구동에 필요한 전동모타에 의해서 작동되는 각종 유압펌프, 굴진시 발생한 분진을 처리하기 위한 집진기가 장착되어 있으며 상부에는 버력반출을 위한 벨트 컨베이어가 설치되어 있다.

616.2 TBM 굴착방법 및 공법

2.1 굴착방법

TBM의 굴착방법은 버튼커터(botton cutter)의 회전력을 이용한 절삭식과 디스크커터(disk cutter)의 회전력에 의한 압쇄식 굴착방식으로 구분된다 (<그림 616.2> 참조).

일반적으로 압축강도 300～800㎏/㎠ 정도의 풍화암 및 연암일 경우 절삭식을, 1000㎏/㎠



<그림 616.2> 커터에 의한 굴착방식

이상일 경우에는 압쇄식을 적용한다. 최근에는 압쇄식을 다양한 지질에서 적용할 수 있도록 개발하고 있다.

2.2 굴착 작업순서

클램핑 시스템과 결합된 아우터켈리는 여러 개의 클램핑 실린더, 가이드 박스(guiding box), 클램핑 패드로 구성되어 굴진중 터널 벽면에 견고하게 지지된다.

굴진중 회전하는 커터헤드는 아우터켈리안으로 미끄러져 움직이는 이너켈리에 의해 전진되며 추진 시스템에 의해 한 사이클이 끝날 때까지 굴진면을 눌러주게 된다. 그 뒤 전방 및 후방지지대를 끌고 클램핑 실린더는 수축되며, 후방지지대의 유압실린더 조정에 의해 TBM의 굴진방향은 일직선상에 재정렬하게 된다. 재정렬시 아우터켈리는 추진실린더에 의해 전방으로 이동하게 되며 클램핑 장치는 다시 터널벽면을 견고하게 지지하고 전후부 지지대를 다시 올리고 TBM은 다음 사이클에 의한 굴진을 시작한다. <그림 616.3>은 TBM에 의한 굴착작업의 순서를 나타내고 있다.

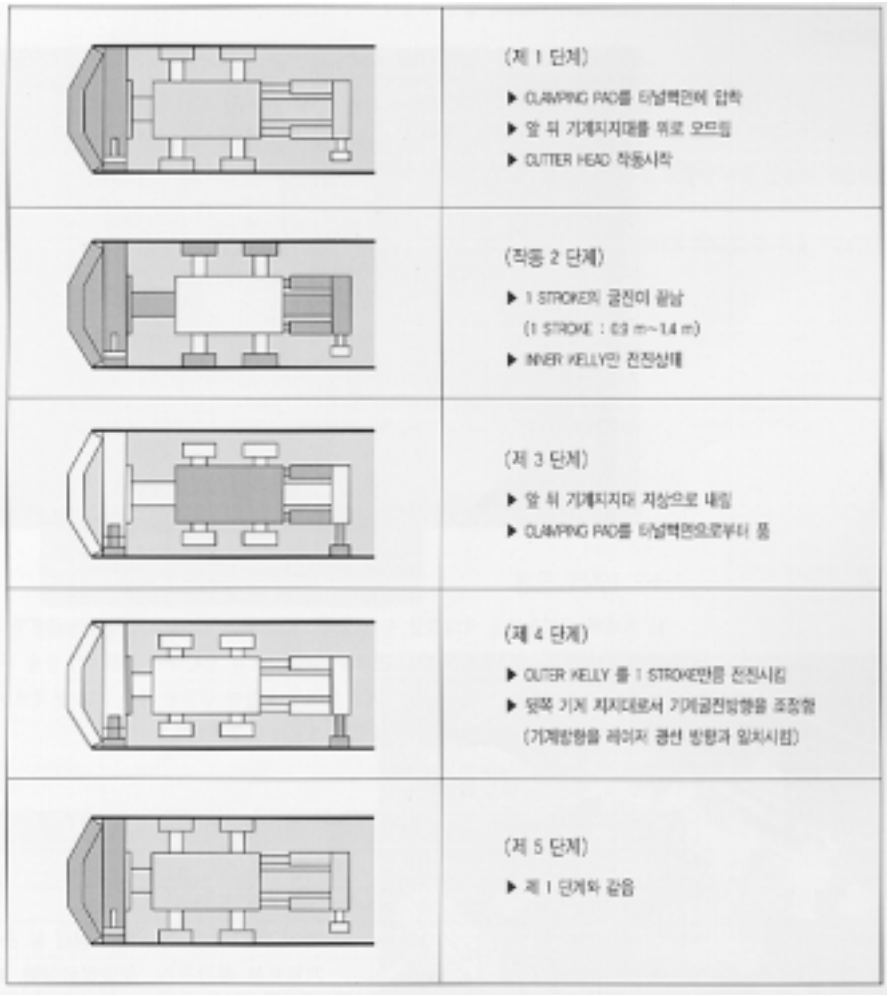
2.3 TBM에 의한 굴착공법

TBM을 이용한 터널 굴착공법에는 전단면 굴착공법, 확대형 터널굴착기(TBE:Tunnel Boring Enlarging Machine)에 의한 굴착공법, TBM 굴착 후 발파공법을 이용한 굴착공법이 있으며, <그림 616.4>에서 보는 바와 같다.

전단면 굴착공법은 구경 2.0m~8.0m까지의 터널 공사시 사용하는 빈도가 매우 높으며, 특히 장대터널에서의 적용빈도가 높고, 굴진속도가 빨라 초기 투자비가 높은 반면 TBM의 능력을 충분히 활용할 수 있다. 직경 9.0m 이상의 대구경 터널굴착시에는 순수한 TBM 굴진이 게이지(gauge) 커터의 허용 가능속도인 2.5m/sec에 의해 제한될 뿐만 아니라 구경이 클수록 커터헤드의 속도가 줄어들어 적용 빈도가 적다.

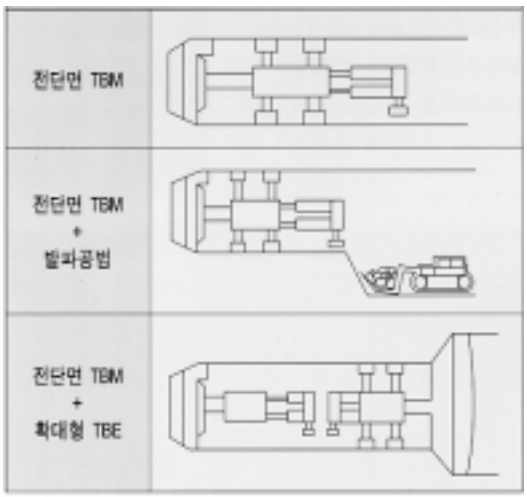
따라서, TBM에 의한 전단면 굴착에서 직경 8.0m까지는 전단면 굴착기로 굴착하지만 직경이 8.0m이상이 되면 장비의 효율, 후속설비증대, 시공성 및 경제성의 저하가 수반되기 때문에 직경 8.0m~15.0m 구경의 터널은 먼저 소구경 TBM으로 선진도갱을 굴착한 후 확대굴착기(TBE)로 굴착하는 것이 경제적이다.

도로 및 철도 터널을 대구경의 TBM이나



<그림 616.3> TBM 굴착순서

TBE로 굴착하면 굴착단면이 원형으로 필요이상의 단면굴착이 되므로 비경제적이며, 대단면의 화약 발파굴착은 발파진동으로 인한 주변피해발생 등의 문제점이 있다. TBM굴착과 발파공법을 병용하는 공법은 TBM에 의한 선진도갱 굴착후 소요단면을 확공 발파굴착하는 것으로 TBM에 의한 자유단면 확보후 발파를 시행하므로 발파진동을 대폭 감소시킬 수 있으며 사전에 지반조건의 파악이 용이하므로 확공발파시 경제적이고 적합한 대응책을 수립할 수 있는 공법이다.



<그림 616.4> TBM에 의한 굴착공법

616.3 TBM 터널 계획

3.1 선형계획

TBM을 이용한 터널건설시 평면선형은 가능한 직선이 되도록 하고 지반 및 지형조건, 터널 입구부의 입지조건, 장비의 특성, 터널 인접 구조물 등을 고려하여 결정하여야 한다.

노선은 TBM굴진 효율을 고려하여 토사지반, 단층파쇄대, 팽창성지반 등을 가급적 피하고 균질한 지반을 통과하도록 계획하여야 한다.

TBM 터널의 최소곡선반경은 TBM의 구경, 구조 및 특성, 현장여건, 후속대차의 회전반경을 감안하여 결정하여야 하며, 일반적으로 다음과 같이 산정 할 수 있다.

TBM 터널의 최소곡선반경(R)

- 소구경 TBM(구경 4.5m 이하, R) = 250m (후속대차 포함시 : 50～100m 가산)
- 대구경 TBM(구경 4.5m 이상, R) = 350m (후속대차 포함시 : 50～100m 가산)

특별히, 평면선형이 급한 각도로 변화하거나 극단적으로 작은 곡선반경 또는 도중에 다른 터널과 접속하는 경우는 이에 대한 대책을 마련하여야 한다.

터널갱구부의 위치는 TBM부속설비 설치에 필요한 공간계획을 감안하여 선정해야 한다.

3.2 구배계획

TBM 터널의 구배는 사용목적, 유지관리, 시공성을 고려하여 결정하여야 한다. 구배계획은 TBM의 굴진효율 향상 및 시공중의 용출수를 자연유하 시킬수 있도록 0.2～0.5%로 하며, TBM굴진 방향은 가급적 상향구배가 되도록 하여야 한다. 구배를 하향구배로 계획시에는 갱내의 배수 및 굴진 능률저하 등에 대하여 검토하여야 한다.

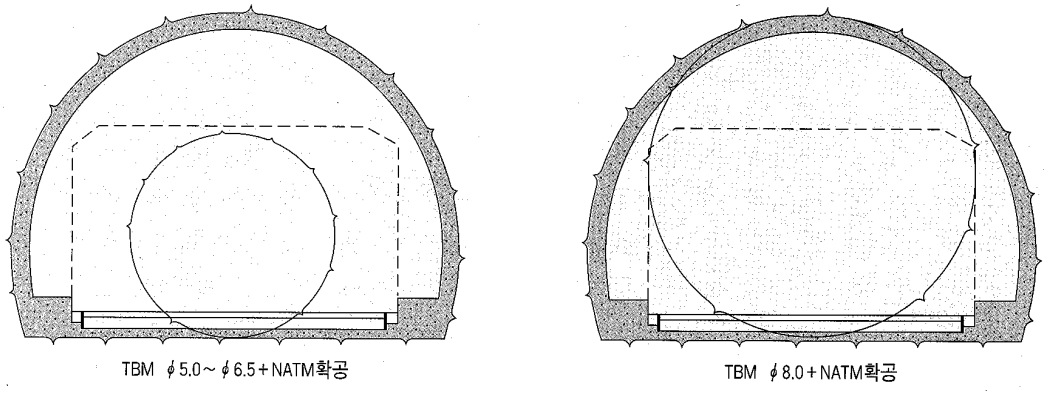
터널의 용도나 지반 및 환경조건 등에 의해 구배가 2%를 넘을 경우는 TBM의 굴진효율 저하를 고려하여 공사기간을 재검토하여야 하며, 특히 버력처리를 위한 운반장비의 견인력과 제동력에 대하여도 고려하여야 한다.

3.3 내공단면 계획

TBM 터널의 내공단면은 용도에 따라 소요의 단면적을 결정하여야 하며, 시공중 TBM 구경을 변경할 수 없는 점, TBM의 굴진오차, 사용장비의 규격, 설계 소요단면, 변형여유량, 지보 및 라이닝 두께 등도 고려하여야 한다.

내공단면의 허용 시공오차 크기는 허용변위량, 지보 및 라이닝의 시공편차, 터널의 용도, 구조물의 특성 등을 고려하여 그 크기를 합리적으로 결정하여야 한다.

<그림 616.5>는 국내 도로터널에서 사용하는 일반적인 TBM 공법의 단면활용 예로써 TBM으로 단면을 굴착하고 NATM 개념의 터널공법으로 확공하는 방식을 보여준다. <그림 616.5>의 방법이외에 상부반단면 굴착비가 상대적으로 고가이므로 상부반단면을 TBM으로 굴착하는 방법도 사용할 수 있다. 상부 반단면을 TBM으로 선굴착후 NATM으로 확공하는 방법의 장점으로는 굴착비 절감, 천단부에서 1발파 아래에 위치하므로 천장부 선형조정 용이, 진동감소효과, 사전지질 현황파악에 효과가



<그림 616.5> 도로터널에서의 일반적인 TBM 단면활용 예

크다.

3.4 TBM 기종선정

TBM 기종은 장비의 효율 및 작업여건을 고려하여 경제적이고 시공성이 좋은 기종으로 선정하여야 하며, 노선의 지반조건에 적합한 것이어야 한다.

터널의 전체노선이 전반적으로 양호한 암반상태에서는 기종제약을 많이 받지 않으며, 노선 중 일부분에서 파쇄대 부분이 나타날 경우에는 head jacket이 부착된 TBM을 적용하는 것이 좋다. 그리고, 노선중 상당 부분이 파쇄대 및 토사지반일 경우에는 double shield TBM을 사용하는 것이 바람직하다.

3.5 작업장 계획

TBM 작업장의 설계시에는 조립장의 규모와 각종 가시설에 필요한 규모를 고려하여야 한다.

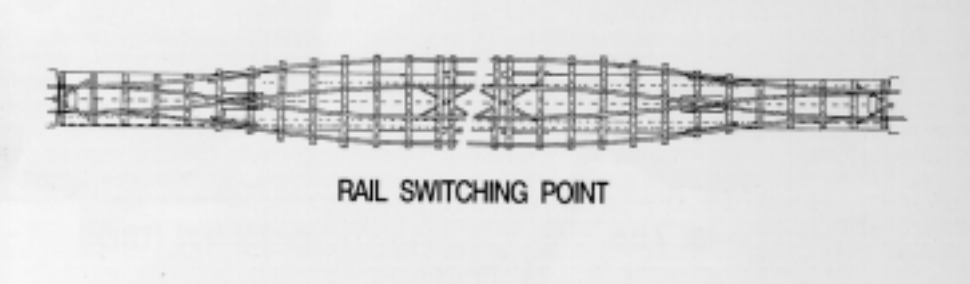
조립장의 규모는 TBM 및 후속대차의 조립에 지장이 없도록 결정하여야 하며 경제적인 설계가 되도록 계획하여야 한다.

환기설비, 수전설비, 급수 및 배수설비, 커터숍(cutter shop), 레일조립장, 침전지, 급기설비 등 각종 가시설의 기능과 규모 등을 감안한 공간계획을 하여야 한다. 또한, 암버력의 발생량을 산정하여 작업장내에서의 버력처리 계획을 수립하여야 한다.

3.6 버력처리 계획

터널내 버력처리를 위한 장비계획은 공사기간, 버력 발생량, 터널내부 환경 등을 감안하여 수립하여야 한다. 장비 계획시 가급적 굴착과 동시에 굴착량 전량이 터널 외부로 반출될 수 있는 운반체계로 결정하여야 한다.

디스크 커터에 의해 압쇄된 버력은 TBM굴착과 동시에 스크래퍼를 통해 버켓으로 운반되면 벼력슈트를 지나 본체의 콘베이어 벨트에 적재



<그림 616.6> 교행구간

된다. 터널외부로 반출시에 소구경(구경 4.5m 미만) 터널일 경우 광차와 기관차를 사용하여 반출하는 것이 일반적이다. 대구경(구경 4.5m 이상) 터널에서는 덤프트럭을 사용하나 터널연장이 길어지면 터널내 작업환경, 안전성 등을 고려하여 버력처리 방법을 결정하여야 한다.

또한 소구경 터널이면서 약 3km이상의 장대터널일 경우 버력적재, 대기시간을 최소화하며 TBM 굴진능력을 극대화하기 위해 2~3㎞마다 <그림 616.6>과 같은 운반차의 교행구간(rail switching point)을 적절히 계획하여야 한다.

3.7 부속설비 계획

환기설비, 수전설비, 전력설비, 급수 및 배수설비, 침전지, 급기설비, 커터숍 및 레일조립장 등 각종 부속설비는 기능과 시공성을 감안한 용량계산을 토대로 설계되어야 하며, 각종 설비별 특성을 고려하여 효율적인 공간배치가 되도록 하여야 한다. 또한, 터널내부의 부속설비는 작업 환경성, 안전성, 경제성을 고려하여 계획하여야 한다.

부속설비 계획은 운반장비의 통행을 감안하여 상호 간섭되지 않도록 공간계획을 수립하여야 한다.

3.8 TBM 운영계획

TBM 운영시 기계의 굴진능력을 극대화할 수 있도록 TBM 조작자와 지질기술자 및 교대작업 인원편성 등의 현장운영조직을 적절히 계획하여야 한다.

작업체제는 2교대 또는 3교대로 운영하며, 기계 가동중 정기적으로 커터의 이상, 마모를 검사하여 교환시기 등을 판단하고, 원활한 작업진행을 위해 부품 수급계획도 수립하여야 한다(<표 616.1> 참조).

<표 616.1> 교대당 작업인원 편성 예

구분 / 직종	인원	비고
작업반장	1	작업지휘
TBM 조작자	2	TBM 운전 및 관리
전공	1	TBM 고압케이블, TBM 배선점검 및 관리
기계정비공	1	기계부분 점검관리, 유압정비 능력 보유자
특별인부	2	커터의 교환 및 정비관리
보통인부	1	커터의 교환지원 및 기타지원

3.9 계측계획

계측 계획 수립시 일반적 사항에 대하여는 원칙적으로 '611장 계측'편을 따르는 것으로 하되, 기계굴착의 장점을 고려하여 계측위치, 계측항목, 계측간격, 측정빈도 등을 조정하여 경제적인 계측계획을 수립하여야 한다.

또한, TBM은 암질이 양호한 지반에 적용함을 기본으로 하지만 지반구조 다양함으로 인하여 굴착시 지반붕괴로 인한 장비의 함몰, 지반의 침하 등을 방지하기 위하여 TSP(Tunnel Seismic Predict)와 같은 막장전방을 예측할 수 있는 장비의 도입이나, 지속적인 막장관찰을 통해 사전에 전방의 지반상태를 평가할 수 있는 기술의 도입도 고려할 수 있다.

616.4 조사 및 시험

본 장에 기술되지 않은 조사 및 시험에 관한 사항에 대하여는 본 편람 '603 조사 및 시험'에서 정하는 바를 따른다.

TBM의 적용을 위한 입지환경 조사시에는 TBM 장비 운반을 위한 도로망, 교통상황조사, TBM 조립, 해체 및 공사용 부지조사, TBM에 소요되는 전력 및 용수조사와 사토장 부지조사를 반드시 실시하여야 한다.

지형 및 지반조사는 TBM터널의 노선선정, 기종선정, 지보패턴의 적용, 보조공법의 선정, 공사기간 산정 등, 설계 및 시공단계에서 중요한 자료가 되므로, 이에 대한 정확한 조사가 이루어져야 한다. 특히 TBM공법의 적용시에는 팽창성 지반 및 토사지반에서 문제가 발생 할 수 있으므로 신중한 지반조사를 실시하여야 한다.

암석구조, 단층파쇄대, 점토대, 암석강도가 현격하게 높거나 석영함량이 높은 지반 등 TBM 굴착효율을 떨어뜨리는 요인에 대하여 충분한 조사 및 시험이 실시되어야 한다.

TBM터널 시공을 위한 일반적 시험사항은 본 편람의 '603 조사 및 시험'에서 정하는 바를 따르되, TBM의 기계적인 특성을 고려하여 커터의 마모성을 평가할 수 있는 시험 및 팽윤시험(swelling test)도 추가로 실시하여야 한다.

조사 및 시험 성과의 정리는 조사 및 시험결과를 종합적으로 판단하여 터널노선 중 지질 및 시공상의 문제가 발생할 수 있는 지형 및 지질 등을 상세히 기입하여야 한다. 세부사항은 '603 조사 및 시험'에서 제시된 바를 따르며, 지반조사 및 시험결과에 따라 TBM 공법의 적용가능성과 세부 설계사항을 검토하여야 한다.

616.5 TBM 터널의 설계

5.1 설계일반

TBM 터널은 조사결과를 기초로 하여 원지반조건, 환경조건, 사용목적의 적합성, 안전성, 경제성, 시공성 등이 확보되도록 설계하여야 하며 지보재는 기계굴착의 장점을 최대한으로 활용할 수 있도록 설계하여야 한다.

또한, 시공중 관찰과 계측 결과에서 실제 지반조건이 설계시의 예측 지반조건과 상이할 시는 설계변경을 통하여 조정하여야 한다.

설계는 현장조건에 적합하도록 하여야 하며 다음 순서에 의한 항목을 반드시 검토하여야 한다.

(1) TBM 조립장
(2) 발진터널
(3) TBM 굴착
(4) 터널내버력처리
(5) 지보 및 변형 여유량
(6) 콘크리트 라이닝
(7) 인버트
(8) 배수 및 방수
(9) 보조공법
(10) 가시설
(11) 작업자 통로

5.2 지보재 및 보조공법 설계

터널 지보재는 TBM의 기계적 특성과 지보재 작업의 시공성 등을 고려하여 설계하여야 하며, 기타 일반적인 설계사항은 '605 터널지보재'를 따른다.

지보재 설계를 위한 암반분류시에는 반드시 TBM의 특성을 고려하여야 하며, TBM 터널의 지보재는 양질의 지반조건에서는 생략이 가능하다. TBM 터널 해석시에는 발파굴착에 비하여 주변 지반의 응력분포와 지반변형 특성이 상이한 점을 특별히 반영하여야 한다. TBM터널의 철망은 숏크리트의 부착력 증가와 보강효과 증가를 위하여 설치하는 철망과, 낙반 방지용 철망으로 구분하고 낙반방지용 철망은 암질상태에 따라 철망의 종류를 달리 하여야한다.

보조공법은 사용목적에 적합하고, 원지반 조건, 환경조건, 안전성, 시공성, 경제성 등이 확보되도록 설계하여야 한다.

5.3 TBM 작업장 설계

TBM 조립장은 TBM의 조립에 지장이 없도록 충분한 공간이 확보되어야 하며, TBM 조립장의 폭은 TBM 본체의 폭과 크레인 작업폭을, 조립장의 길이는 TBM 본체의 길이와 후속대차의 길이를 함께 고려하여야 한다. 일반적으로 TBM 조립시 필요한 공간의 산정은 다음과 같다.

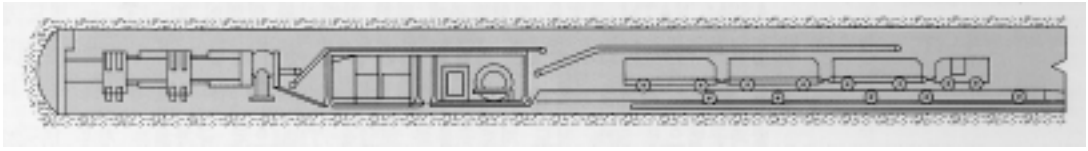
TBM 조립시 필요공간 :

- 조립장 폭(B) = TBM 본체의 폭 + 크레인 작업폭
- 조립장 길이(L) = TBM 본체의 길이 + 후속대차의 길이

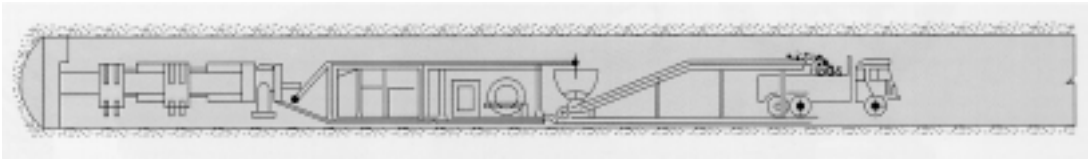
TBM에 의한 터널굴착중의 작업공간에 대해서는 환기설비, 수전설비, 급수 및 배수설비, 커터숍, 레일조립장, 침전지, 급기설비 등 각종 가시설의 기능과 규모를 감안하여 배치계획을 수립하여야 한다. 또한, 버력운반 장비의 규격에 따라 버력하치장과 버력운반장비의 대기공간을 확보하여야 한다. 버력하치장은 최소한 2~3일분의 굴착버력량을 적치할 수 있는 공간을 확보하여야 하며 버력적하가 가능하도록 필요시 석축 또는 옹벽 등을 설치하여야 한다.

5.4 발진터널의 설계

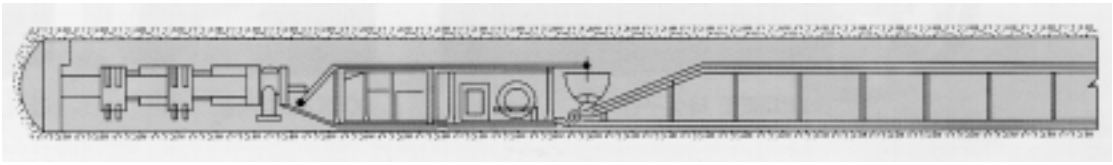
TBM 터널에서는 클램핑 패드가 측벽지지력을 이용 커터헤드를 회전시키며 굴진하므로 최초지지 및 TBM의 터널 내부로 진입을 위한 벽면지지용 발진터널을 반드시 계획하여야 한다.



(1) 광차와 기관차를 이용하는 궤도방법



(2) 덤프트럭 이용 방법



(3) 벨트 컨베이어 방법

<그림 616.7> 버력처리 시스템

발진터널은 일반적으로 재래식공법에 의해 굴착하며, 구경은 TBM이 원활히 진입할 수 있는 여유폭을 감안하여 결정하여야 하며 일반적으로

발진터널의 구경 = TBM 구경 + 30cm(여유폭)

을 표준으로 한다.

발진터널의 길이는 일반적으로 TBM의 기종별 장비 사양에 따라 변동이 있으며, 벽면지지가 필요한 TBM 본체의 길이(ℓ=10～15m)와 암반상태를 감안하여 결정하여야 한다.

또한, 발진터널은 양쪽 측면에서 TBM의 벽면지지가 가능하도록 벽면지지대를 계획하여야 한다.

5.5 기타의 설비 설계

5.5.1 버력처리 설비

터널내 버력처리 설비 설계시 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 터널내 버력처리 설비는 터널의 구경, 연장, 구배 등을 감안하여 버력처리를 가장 효율적으로 할 수 있도록 계획하여야 한다.

(2) 터널내 버력운반은 기관차와 광차를 이용하는 궤도방법, 덤프트럭 이용방법, 벨트켄베이어 방법 등이 있으며 터널의 크기, 연장, 공사기간, 버력 발생량, 터널내작업환경 등을 감안하여 결정하여야 한다 (<그림 616.7> 참조).

(3) 버력적재 및 운반시는 기설치된 지보재, 가설시설 등을 손상시키지 않도록 계획하여야 한다.

5.5.2 환기설비

환기설비 설계시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) TBM 터널에서의 터널내 환기방법과 설비는 소요환기량을 계산하고 그 결과에 따라 적합한 설계를 하여야 한다.
(2) 소요환기량은 터널내 최대 작업원에 대하여 필요한 소요환기량, 분진에 의한 소요환기량, 터널내 장비운용에 따른 소요환기량과 기타 소요환기량을 모두 합하여 산정하여야 한다.
(3) 소요환기량에 따라 환기 팬의 용량과 풍관의 구경을 결정하여야 한다.
(4) 환기방법은 소요환기량과 풍관의 구경에 따라 터널내 배치공간을 감안하여 송기식, 배기식, 송배기식 중 적합한 환기방법을 적용하여야 한다.

5.5.3 수전설비

수전설비는 한전 배전선로에서 전원을 공급받아 자가용수전설비로 부하설비를 맞게 전압을 변화시켜 TBM 및 부대시설의 전기설비에 전원을 공급하기위한 설비를 말하며, 수전설비 설계시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 수전설비는 TBM의 전력소요량과 기타 가시설에 필요한 전력소요량을 합산하여 계획하여야 한다.
(2) TBM 본체용 전력공급은 TBM굴진에 따라 고압케이블을 100~200m마다 연결하도록 계획하여야 한다.
(3) 후속설비 및 터널내 가시설용 전력공급은 터널의 길이에 따라 발생하는 선로손실 및 전압강하를 감안하여 800~1,000m마다 변압기를 설치하도록 계획하여야 한다.

<표 616.2>는 TBM직경별 수전설비용량을 계획한 일례를 보여준다.

<표 616.2> TBM 구경별 수전설비용량 계획 예

구분 / 구경	설비용량(kw)			비고
	TBM	부대시설	계	
Φ2.6m	575	400	975	부대설비: 3km이하
Φ3.0~3.2m	940	500	1,440	〃
Φ3.5m	1,140	550	1,690	〃
Φ5.0m	1,750	650	2,350	〃
Φ6.5m	2,300	750	3,050	〃
Φ8.0m	2,400	800	3,200	〃

5.5.4 급수 및 배수 설비

급수 및 배수 설비는 다음사항을 고려하여 설계하여야 한다.

(1) 급수설비는 굴착암반과 커터의 마찰열 발생을 억제하기 위하여 TBM 기종별 소요수량을 공급하기 위한 시설로 터널입구부에

물탱크를 설치하여 펌프나 수두차를 이용 막장까지 공급한다. 소요되는 급수량을 충분히 고려하여 설계하여야 하며 소요급수량에 따라 급수펌프의 동력 및 급수관의 구경을 결정하여야 한다.

(2) 소요급수량은 TBM 커터에 필요한 소요급수량, 지보재설치에 따른 소요급수량과 기타소요급수량을 모두 합하여 산정하여야 한다.

(3) 급수펌프의 동력과 급수관 구경은 TBM 헤드에서의 소요압력이 유지될 수 있도록 결정하여야 한다.

(4) 배수설비는 TBM에 의한 퇴수량과 추정된 자연용수량을 터널외로 강제배수 시키기위한 시설로 TBM에 공급된 용수 중 퇴수되는 양과 터널내의 지하수 용수량을 충분히 배수할 수 있도록 하며, 지하수맥의 존재로 다량의 지하수가 존재할 경우 등의 예측하지 못한 출수에 대비하여 예비 배수설비를 계획하여야 한다.

(5) 소요배수량은 자연용수량, TBM 퇴수량, 지보재 설치에 따른 퇴수량과 기타퇴수량 및 비상시 퇴수량을 모두 합하여 산정 하여야 한다.

(6) 소요배수량에 따라 급수펌프의 동력과 급수관의 구경을 결정하여야 한다.

(7) 장대터널에서는 TBM굴진에 따라 400~500m 간격을 기준으로 수중펌프를 설치하여 릴레이식으로 갱외 침전지로 배수시킨다.

5.5.5 침전설비

TBM굴진시 발생한 석분이 터널내부 작업용수과 혼합되어 터널내부에서 배출되는 배수상태는 석분이 콜로이드 상태로 직접배수로 배출이 곤란하다. 그러므로 탁수정화시설 즉 침전설비를 설치하여 황산알루미늄을 투입, 응집시켜 침전시킨 후 배출하여야 한다.

침전설비는 터널내의 배수용량에 따라 침전조의 규모 및 형태, 수질 및 환경보호대책을 수립하여야 한다.

5.5.6 비상급기설비

비상급기설비는 특히, 장대터널 및 지질이 불량한 지대의 터널굴착시 낙반사고 등 터널이 매몰될 경우를 대비하고, 인명피해를 예방하기 위한 설비이다.

비상급기설비는 터널연장 및 대피인원 8~15명을 기준으로 공기압축기의 용량 및 급기관의 구경을 결정하여야 한다.

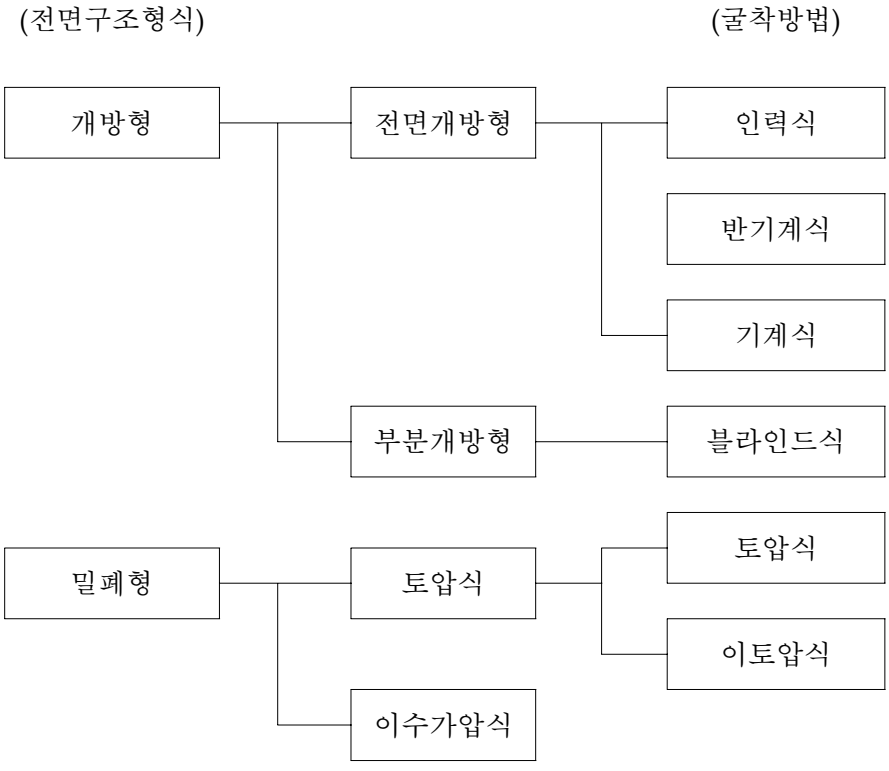
617
쉴드 터널

617.1 쉴드기계 일반사항

1.1 쉴드기계의 종류

쉴드 공법은 쉴드라고 불리는 강성이 큰 강관을 지중으로 압입하고 그 내부에서 토사의 붕괴, 유동을 방지하면서 안전하게 굴착작업 및 라이닝 타설작업을 수행하는 터널 공법이다.

쉴드의 분류는 전면의 구조형식에 따라 개방형 쉴드와 밀폐형 쉴드로 분류된다. 개방형 쉴드는 전면 개방형과 부분 개방형으로 구별된다. 전면 개방형 쉴드는 굴착방법에 의해 인력식 쉴드와 반기계식 쉴드 및 기계식 쉴드의 3가지로 분류되며, 부분 개방형 쉴드에는 블라인드식 쉴드가 있다. 밀폐형 쉴드는 토압식과 이수가압식으로 구분되며, 토압식 쉴드는 토압쉴드와 이토압쉴드로 구분된다(<그림 617.1 참



<그림 617.1> 쉴드의 분류

조>).

1.2 쉴드기계의 특징

(1) 개방형 쉴드

전면개방형쉴드는 터널 막장면의 전부 또는 대부분이 개방되어 있는 쉴드를 말하며, 막장의 자립을 전제로 하고 있다. 자립하지 않는 막장에 대해서는 보조공법에 의해, 자립조건을 만족시켜야 한다. 부분 개방형쉴드는 막장의 대부분이 밀폐되어 있지만, 그 일부에 토사 유입구를 설치하여 토사의 유입을 조절하는 것에 의해 막장의 안정을 유지하는 구조로 되어있다.

① 인력식 쉴드 : 토사의 굴착을 쇼벨, 곡괭이, 브레카 등에 의해 인력으로 작업하며, 벨트컨베이어와 굴착토 운반차 등으로 배토하는 쉴드공법이다. 이 쉴드에는 지반의 상태에 따라, 후드(hood) 기타 토류공 및 토류 등, 막장의 안정기구를 설치하는 것이 일반적이다.

② 반기계식 쉴드 : 인력식 쉴드에 굴착기, 적입기, 굴착적입겸용기 등을 조립한 것으로 굴착중의 막장은 크게 개방되어 있는 것이 많고 굴착중의 토류는 곤란하다.

③ 기계식 쉴드 : 전면에 커트헤드를 장착하여 토사의 굴착을 기계적인 연속작업으로 하는 쉴드이다. 커트헤드 등에 의해 어느 정도의 토류효과를 기대할 수 있다.

④ 블라인드식 쉴드 : 막장면을 밀폐하여, 그 일부에 조절가능한 토사 유입구를 장착한 쉴드를 말한다. 이 쉴드는 쉴드전면을 지반에 관입시켜 관입부분의 토사를 소성유동화하여 토사 유입구에 의해 배토하는 것이기 때문에 소성유동화 상태의 배토저항을 조절하는 것에 의해 막장의 안정을 꾀한다.

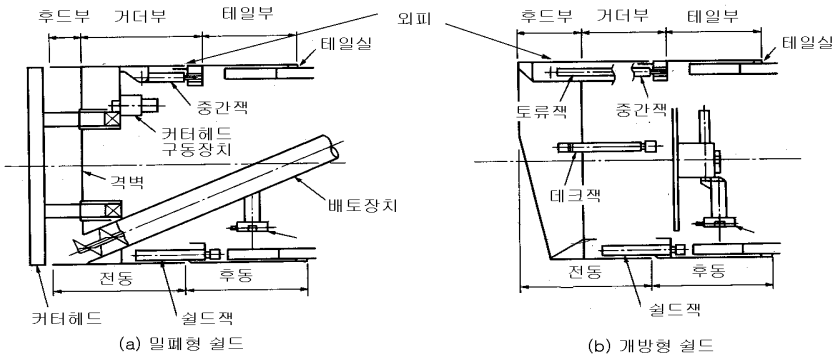
(2) 밀폐형 쉴드

격벽을 갖고 있으며 막장과 격벽 사이의 챔버(chamber)내를 토사 또는 이수로 채우고, 토사 또는 이수에 충분한 압력을 유지시켜 막장의 안정을 도모하는 구조의 기계굴착식 쉴드를 말한다.

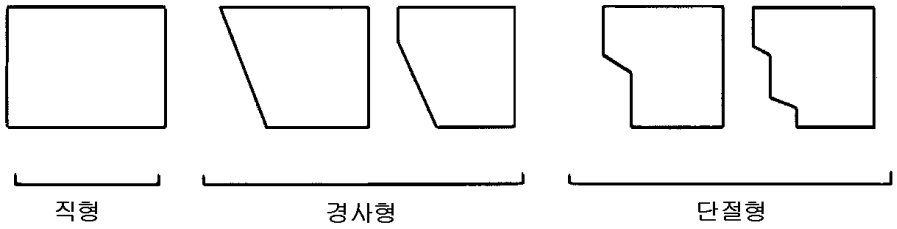
① 토압식 쉴드 : 굴착토를 이토화시켜 소정의 압력을 가하여 막장의 안정을 꾀하는 것으로 지반을 굴착하는 굴착기계, 굴착토를 교반하여 이토화 시키는 혼합기구, 굴착토를 배출하는 배토기구, 굴착토의 압력을 일정하게 유지하는 제어기구 등의 설비를 장착한 쉴드를 말한다.

- 토압 쉴드 : 회전커터헤드로 굴착, 교반한 토사를 막장과 쉴드격벽 사이에 충만시켜 쉴드의 추진력에 의해 굴착토를 가압하여 막장전체에 작용시켜 막장의 안정을 유지하면서 스크류 컨베이어 등으로 배토하는 쉴드를 말한다.
- 이토압 쉴드 : 첨가재를 주입하면서 회전커터로 굴착한 토사와 첨가재를 강제적으로 교반하여 토사를 소성유동화 시켜 토압쉴드와 같은 방법으로 막장의 안정을 유지하면서 스크류 컨베이어 등으로 배토하는 쉴드를 말한다.

② 이수가압식 쉴드 : 이수에 소정의 압력을 가하여 막장의 안정을 유지하며, 이수의 순환에 의해 굴착토의 액상수송을 시행하는 방식이다. 지반을 굴착하는 굴착기구, 이수를 순환시켜 이수에 일정한 압력을 가하기



<그림 617.2> 쉴드의 구성



<그림 617.3> 후드 현상

위한 이수 송·배수설비, 굴착수송된 이수를 분리하여 이수를 소정의 소성상태로 조정하기 위한 이수조정설비, 이수처리설비를 구비한 쉴드이다.

1.3. 쉴드기계의 구성

일반적인 쉴드기계의 구성은 <그림 617.2>와 같으며, 막장측에서부터 후드부, 거더부, 테일부의 3부분으로 나눌 수 있고, 외피는 외판(skin plate)와 그 보강재로 되어 있다.

쉴드길이는 외판 길이의 최대치를 말하는 쉴드 본체길이와 쉴드 전체길이로 구분할 수 있다.

커터헤드는 전면형상에 따라 스포크(Spoke)형과 면판형으로 분류되며, 스포크형은 커터의 실부하 토크의 저감, 굴착토사의 취입이 우수하고 면판형은 막장의 토류방지 기능과 주입재료의 막장면에서 체류를 촉진하는데 유효하므로 이를 고려하여 커터헤드의 종류를 선정하여야 한다.

커터 슬리트(cutter slit)는 커터헤드 면판의 형식을 말하며 지반조건에 따라 개구(開口)율 및 굴착기구(비트 또는 디스크 커터 등) 형식이 달라지며, 지반의 조건, 막장 안전기구 및 굴착능률을 고려하여 그 형상 및 치수를 결정해야 한다.

후드부의 형상 및 치수는 지반의 조건에 적합하도록 결정하여야 하며, <그림 617.3>과 같이 직형과 경사형, 그리고 단절형 등으로 분류된다.

617.2 쉴드터널의 계획

2.1 선형계획

(1) 쉴드터널의 선형계획은 사용목적, 설계조건, 입지조건, 지장물 및 지반조건, 시공성, 장비 등을 고려하여 가능한 한 직선으로 계획하도록 하며, 곡선으로 계획하는 경우에도 곡선반경을 가능한 한 완만하게 하여야 한다.

(2) 쉴드공법에 있어서 굴진 가능한 최소곡선반경은 지반의 조건, 굴착단면의 크기, 쉴드의 길이, 시공방법, 쉴드의 구조 및 세그먼트 등을 고려하여 설계하여야 한다.

(3) 현장 여건상 현저하게 작은 곡선반경을 적용하는 경우에는 약액주입, 쉴드의 구조 및 세그먼트의 개량, 또는 방향전환 작업구나, 지중접합 등을 검토하여야 한다.

(4) 터널을 2개이상 병렬로 시공하는 경우, 터널간의 순간격은 쉴드 굴착외경 이상을 표준으로 하되 그 이하로 근접 시공하여야 할 경우에는 지반조건을 고려하여 설계하중을 결정하여야 하고 필요에 따라 지반보강을 위한 보조공법을 적용하여야 한다.

(5) 쉴드가 교각, 교대, 중 고층건물 또는 철도나 지하 매설물 등에 근접하여 시공하거나 아래로 지나가는 경우, 이들 구조물의 설계조건이나 현황을 충분히 조사하여, 편압이나 침하 및 진동 등의 나쁜 영향을 주지 않도록 상하좌우방향으로 필요한 간격을 두어야 하며, 필요시 지반보강이나 언더피닝(underpinning) 등으로 구조물 주변에 대한 보강을 고려하여야 한다.

또한, 쉴드터널의 토피는 쉴드 굴착외경의 1.5배 이상을 원칙으로 하되, 지하구조물의 현황, 지반조건, 굴착단면적의 크기, 터널의 사용목적, 시공방법 등을 충분히 검토하여 결정하여야 한다.

2.2 구배계획

(1) 쉴드터널의 구배는 사용목적, 유지관리의 필요성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

(2) 구배기준은 시공중의 용수를 자연유하시킬 수 있도록 0.2% 이상으로 하며, 상향을 원칙으로 한다. 또한 작업구 조건이나 지장물건의 제약으로 구배가 2%를 초과하는 경우에는 배수, 쉴드의 추진, 시공중의 토사 및 재료의 운반 등 작업능률 저하와 안전을 고려하여야 한다.

2.3 내공단면계획

쉴드터널의 내공단면은 터널의 용도에 적합한 소요단면을 확보할 수 있도록 상하좌우의 선형오차, 변형 및 침하 등에 의한 시공오차를 감안하여 결정하여야 하며, 허용 시공오차는 터널 설계선형에서 상하좌우로 100～200mm를 기준으로 하되 굴착단면의 크기, 지반조건, 쉴드의 조종성, 굴진속도, 콘크리트 라이닝의 유무, 평면선형과 구배 등을 고려하여 결정하여야 한다.

쉴드터널의 단면형상은 원형을 표준으로 하되, 터널의 사용목적에 따라 다른 단면 형상을 선택할 수 있다. 이 경우 쉴드기, 세그먼트의 강도, 형상 및 시공상의 문제점에 대하여 충분히 검토하여야 한다.

2.4 쉴드공법의 선정

(1) 쉴드공법의 선정에 있어서는 쉴드 적용구간의 지반조건, 지표의 상황, 단면치수, 지하지장물, 시공연장, 터널의 선형, 공사기간 및 사용목적 등의 조건과, 굴착이나 세그먼트 조립 등의 시공성 및 작업장 용지와 굴착토사 처리방법 등도 고려하여 안전하고 경제적인 시공이 가능한 형식을 선정하여야 한다.

(2) 쉴드공법 선정시에는 개방형 또는 밀폐형 중 지반조건과 현장여건을 고려하여 가장 적합한 형식으로 선정하여야 한다.

(3) 막장에 지하구조물 또는 기초말뚝 등의 지하장애물이 있는 경우에는 지반조건 외에도 장애물의 제거나 변위발행 등을 고려, 종합적으로 판단하여 결정하여야 한다.

2.5 작업구 및 공사기지 계획

(1) 작업구는 쉴드 통과지의 지반조건과 현장여건을 고려하여 시공이 안전하고 능률적으로 행해지도록 위치, 규모 및 기능 등을 계획하여야 한다.

(2) 쉴드의 반입, 조립, 세그먼트 등의 재료 및 모든 기계기구의 반입, 굴착토사의 반출, 작업원의 출입 등을 위한 발진 작업구를 계획하여야 하며, 또 필요에 따라 방향전환용, 또는 쉴드 인양을 위해 터널 중간 또는 종점에도 작업구를 설치하여야 한다.

(3) 각 작업구의 규모와 형상은 그 사용목적 및 쉴드의 단면, 본 구조물과의 연결 등을 고려하여 결정하여야 한다.

(4) 공사기지는 터널 공사의 규모, 시공방법 등을 고려하여 작업구, 터널외부설비, 굴착토 및 재료의 집적 등을 위한 용지를 쉴드 발진작업구 부근에 충분히 확보해 두어야 한다.

2.6 부속설비계획

쉴드터널의 부속 설비는 사용목적이나 유지관리상의 필요성에 따라 배수, 환기, 방화 등의 설비와 맨홀 등을 설계에 포함하여야 한다.

2.7 보조공법

터널시공에 따른 주변 지하구조물에 침하, 손상 등의 변위가 예측되는 경우에는 사용성, 안전성, 경제성, 공사기간 및 환경조건 등을 고려하여 효과적인 보조공법을 검토하여야 한다.

2.8 설계도서의 작성

쉴드공법 설계도서에는 터널의 설치위치, 세그먼트의 형상, 길이, 단면강도 등과 함께 설계하중, 허용응력 또는 안전율, 사용재료의 종류 및 재질, 지반조건, 시공조건 등 세부사항을 명기하여야 한다.

617.3 조사

3.1 입지조건 조사

입지조건 조사는 주로 노선 설정과 쉴드공법 채용의 가부결정, 터널의 규모, 내용의 설정 등에 이용하고 공사 이행을 위한 자료로도 이용

할 수 있도록 공사용 용지확보의 난이도, 공사용 전력 및 급배수 시설, 진입로, 침사지 부지 위치 등을 조사하여야 한다.

3.2 지장물 조사

노선결정에 앞서 지상구조물, 지중매설물 및 지하구조물, 우물 등 터널굴착에 지장을 주거나 굴착 영향범위에 있는 지장물에 관하여 충분히 조사해 두어야 한다. 특히, 지중매설물의 경우 매설도면이 없거나 매설위치가 도면과 다를 수 있기 때문에 의심이 가는 구간에 대해서는 적정한 지하지장물 탐사방법을 사전에 수행하여 지장물의 위치 및 규모를 파악하여야 한다.

3.3 지형 및 지반조사

지형 및 지반조사는 노선선정, 쉴드형식의 선정, 세그먼트의 설계 등의 계획단계부터 설계시공 단계는 물론 터널 완성후의 유지관리에도 중요한 자료가 되므로 정확한 조사가 이루어지도록 하여야 한다. 특히, 지하수위가 높은 모래 자갈층이나 전석층 또는 토사와 암반의 경계부 등 쉴드공사 구간중 문제발생이 우려되는 부분에 대해서는 신중한 조사를 실시하여야 한다.

617.4 세그먼트의 설계

4.1 일반사항

(1) 본 절은 쉴드터널용 원형 세그먼트에 관한 설계 및 제작의 기준이 되는 사항을 제시한 것으로서 책임기술자로부터 구조상으로 문제가 없음을 확인받은 경우에는 원형 이외의 쉴드터널에도 준용할 수 있다.

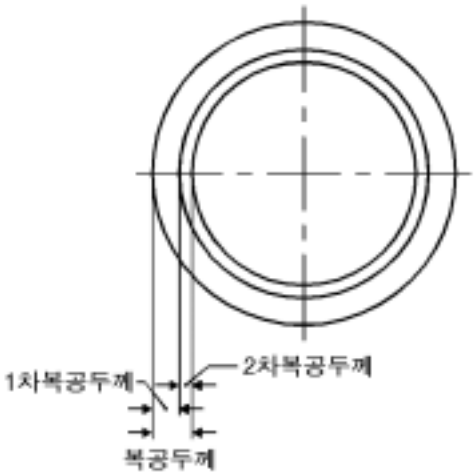
(2) 쉴드터널에서는 지반의 조건 및 터널의 단면형상, 시공법 등에 따라 터널의 역학적 거동이 상이하므로 라이닝의 설계시 이를 고려하여야 한다.

(3) 세그먼트 라이닝 설계계산서에는 계산상의 제반조건, 가정 및 계산과정을 명기하여야 한다.

4.2 용어

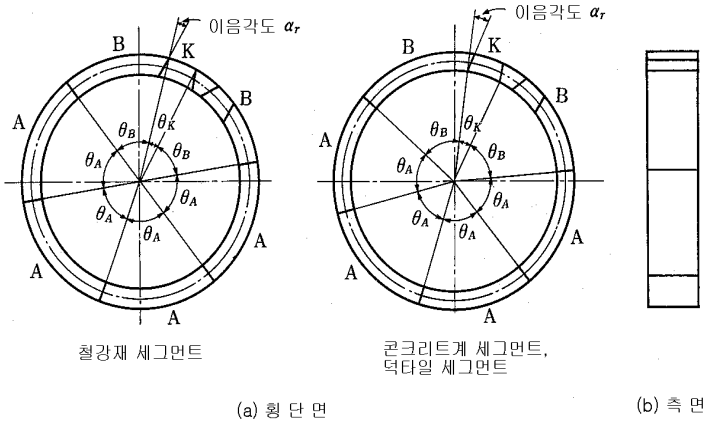
세그먼트 설계에 사용되는 용어는 다음과 같다.

(1) 라이닝 두께는 터널 횡단면에 있어서 전체 라이닝 두께를 말한다(<그림 617.4 참조>).

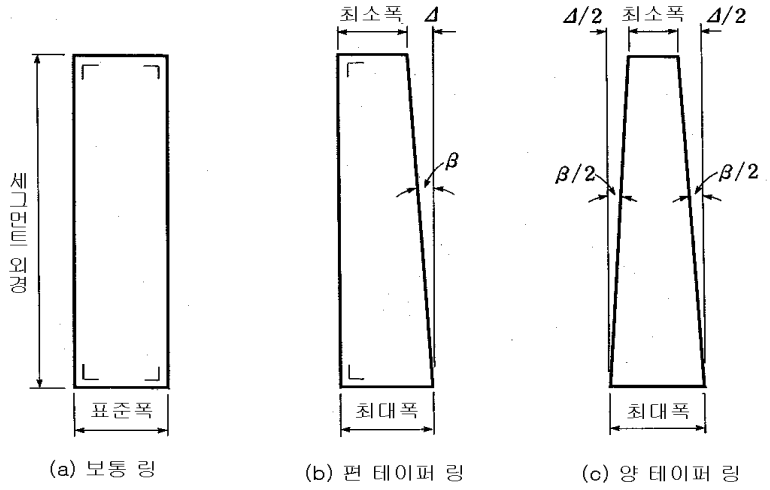


<그림 617.4> 세그먼트 라이닝

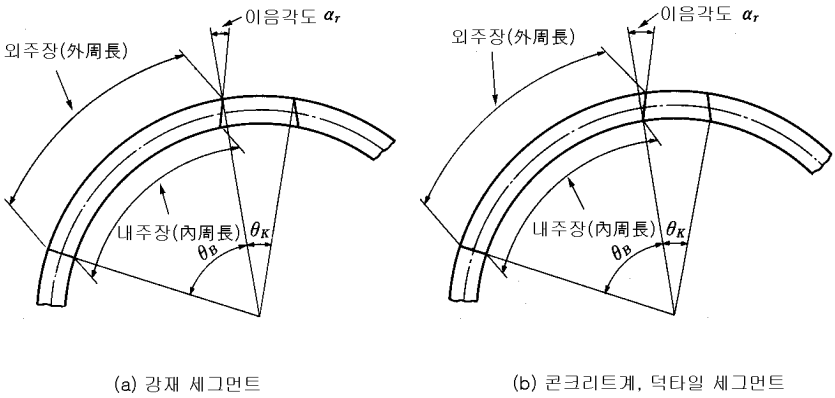
(2) 상자형 세그먼트는 거더(girder)와 이음판 또는 종 리브(rib)에 의해 둘러싸인 요부를



<그림 617.5> 세그먼트 링의 구성



<그림 617.6> 세그먼트 링



<그림 617.7> 세그먼트 링의 단면

가지는 세그먼트를 말하며, 강재 및 주철제 세그먼트(덕타일 세그먼트)에서는 상자형 세그먼트라 하고, 콘크리트계에서는 중자형 세그먼트라고 한다 (<그림 617.8> 참조).

(3) 평판형 세그먼트는 채워진 단면을 갖는 평판형의 세그먼트를 말한다(<그림 617.8>, <그림 617.9 참조).

(4) K형 세그먼트에는 터널반경방향에 테이퍼(Taper)를 두어 터널 내측으로 삽입하는 것(반경방향 삽입형 세그먼트)과 축방향에 테이퍼를 붙여서 축방향으로 삽입하는 것이 있다(축방향 삽입형 세그먼트).

(5) 분할수는 한 링을 구성하는 세그먼트 수를 말한다.

(6) 테이퍼 링은 곡선부의 시공 및 선형수정에 사용하는 테이퍼 처리한 링을 말한다. 특히, 폭이 좁은 판상은 테이퍼 플래이트 링(taper plate ring)이라 한다(<그림 617.6> 참조).

(7) 테이퍼 세그먼트는 테이퍼 링을 구성하는 세그먼트를 말한다.

(8) 테이퍼 량(Δ)은 테이퍼 링에 있어서 최대폭과 최소폭과의 차이를 말한다(<그림 617.6> 참조).

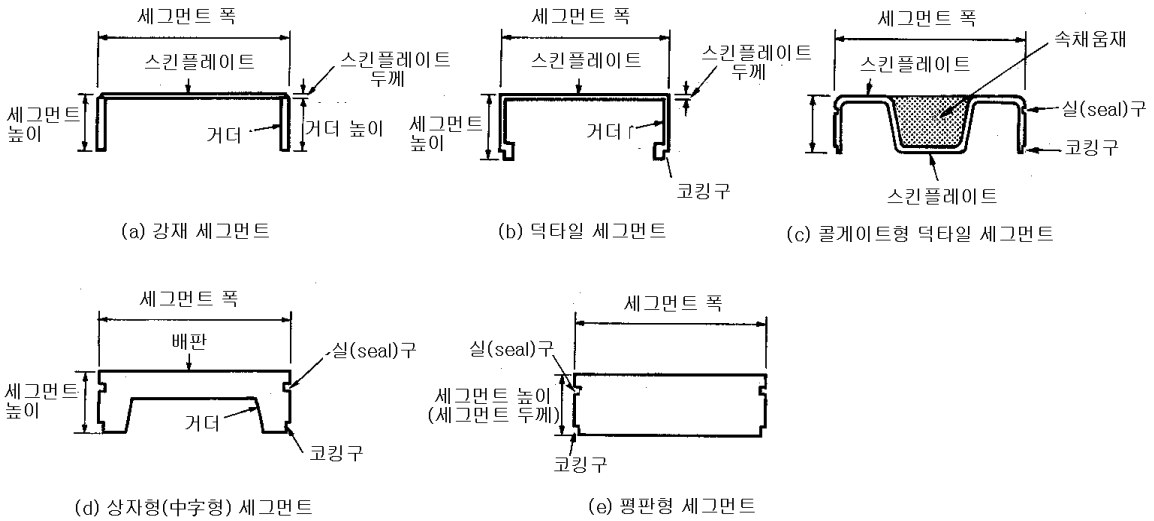
(9) 테이퍼 각(β)은 <그림 617.6>에 나타난 각도 β를 말한다.

(10) 이음 각도(α_r)는 <그림 617.5>와 <그림 617.7>에 나타낸 바와 같으며, 주로 반경방향 삽입형 K세그먼트의 경우에 사용된다.

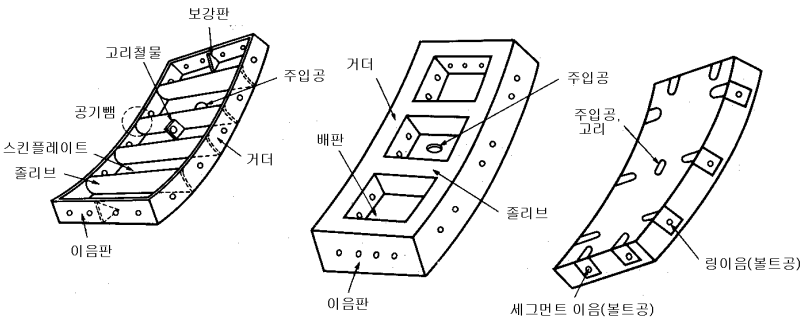
(11) 세그먼트 길이는 터널 횡단방향으로 측정한 세그먼트의 호의 길이를 말하며 외주장과 내주장으로 구분한다(<그림 617.7> 참조).

(12) 세그먼트 폭은 터널 종단방향으로 측정한 세그먼트의 치수를 말한다(<그림 617.8> 참조).

(13) 세그먼트 높이(두께)는 터널 종단면의 반경방향에서 측정한 세그먼트 측벽의 높이를 말한다. 평판형 세그먼트에서는 세그먼트 두께라고도 한다 (<그림 617.8> 참조).



<그림 617.8> 세그먼트 단면



(a) 상자형 세그먼트(강재, 주철제) (b) 상자형(中字형) 세그먼트 (c) 평판형 세그먼트

<그림 617.9> 세그먼트 각부의 명칭

(14) 거더는 상자형 세그먼트의 경우 터널 횡단방향 측벽(강재 세그먼트의 스킨 플레이트를 제외한 측벽)을 말하며, 평판형 콘크리트계 세그먼트에 있어서는 터널의 종단방향의 단면이 된다. 터널에 작용하는 외력에 저항하는 주요부분을 형성한다(<그림 617.8>, <그림 617.9> 참조).

(15) 이음은 세그먼트 이음과 링이음으로 구분하며 터널 횡단방향에 세그먼트를 연결하여 링을 형성하는 이음을 세그먼트 이음, 터널종단방향에 링 상호간을 잇는 이음을 링 이음이라고 한다.

(16) 이음판은 이음의 볼트 접합에 이용하는 판 또는 판상구조를 말한다(<그림 617.9> 참조).

(17) 세그먼트의 스킨 플래이트 및 배판은 상자형 세그먼트에 있어서 거더와 이음판 등으로 주변을 지지 받는 판을 말한다. 강재 세그먼트에 있어서는 스킨 플레이트라 하고, 콘크리트계 상자형 세그먼트에서는 배판이라고 한다(<그림 617.8>, <그림 617.9> 참조).

(18) 종 리브는 상자형 세그먼트에 있어서 터널의 종단방향을 따라 삽입하는 보강재를 말한다. 쉴드잭의 추력에 저항함과 동시에 스킨 플레이트에 작용하는 하중을 거더로 전달한다(<그림 617.9> 참조).

(19) 횡 리브는 상자형 세그먼트에 있어서 터널의 횡단방향에 따라 넣은 보강재를 말한다.

(20) 세그먼트 이음 볼트는 링을 형성하기 위해 세그먼트 상호의 연결에 사용하는 볼트를 말한다.

(21) 링 이음 볼트는 링 상호의 연결에 사용하는 볼트를 말한다.

(22) 코킹 구는 코킹을 위해 세그먼트의 측벽의 내측에 따라 설치한 홈를 말한다(<그림 617.8> 참조).

(23) 실(seal)구는 실재를 첨부하기 위해 세그먼트의 측벽에 따라 설치한 홈를 말한다(<그림 617.8> 참조).

(24) 주입공은 배면주입용 호스를 장착하기 위해 세그먼트에 설치한 구멍을 말한다(<그림 617.9> 참조).

(17) 고리는 이렉터에 매달기 위해 세그먼트에 설치한 철물을 말하며, 콘크리트계 세그먼

트에서는 주입공과 겸용하는 경우가 많다 (<그림 617.9> 참조).

(18) 보강판 강재 세그먼트에 있어서 이음판을 보강하는 삼각형상의 판을 말한다(<그림 617.9> 참조).

4.3 세그먼트의 종류 및 재료

세그먼트의 종류는 재질에 따라 크게 콘크리트, 강재, 합성(콘크리트+강재 또는 주철)세그먼트로 분류하고 형상에 따라 상자형, 평판형 세그먼트 등으로 분류할 수 있으며 터널의 용도, 세그먼트의 강도, 내구성, 시공성 및 경제성 등을 충분히 고려하여 선정하여야 한다.

세그먼트에 사용하는 재료는 한국산업규격(KS)을 표준으로 하며 무근 및 철근 콘크리트에 관해서는 건설교통부 제정 '콘크리트 구조설계기준' 및 '콘크리트 표준시방서'의 규정에 따른다.

4.4 세그먼트 구조 및 형상 설계

세그먼트 구조 및 형상 설계시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 세그먼트의 강도, 구조, 형상 등은 터널의 목적, 지반조건, 시공법 등을 고려하여 선정하여야 한다.

(2) 상자형 또는 평판형 세그먼트를 볼트이음으로 조립한 링 구조는 강성이 같은 링으로 취급할 수 있으며, 재질에 따라 콘크리트, 강재, 합성세그먼트로 구별하여 설계하여야 한다.

(3) 세그먼트의 형상치수는 사용목적, 시공성, 경제성을 고려하여 결정하여야 한다.

(4) 세그먼트의 이음 구조는 조립의 확실성과 작업성을 고려하여 결정하여야 한다.

(5) 세그먼트는 원칙적으로 수밀성을 확보하여야 한다.

(6) 뒤채움주입을 균등하게 행하기 위해 각 세그먼트에는 1개소 이상의 주입공을 설치하는 것을 기준으로 한다. 주입공의 직경은 사용하는 주입재를 고려하여 결정하여야 하지만, 일반적으로 내경 50mm를 기준으로 하며, 주입공을 고리로 사용하는 경우는 작업성은 물론, 작업의 안정성도 고려하여 주입공의 직경과 위치를 결정하여야 한다.

(7) 소구경의 철제 세그먼트를 손으로 조립하는 경우는 고리를 필요로 하지 않으나 일반 세그먼트에서는 운반, 조립 등을 위하여 고리를 설계하여야 한다.

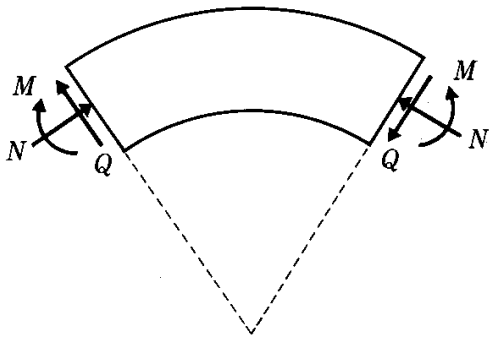
(8) 세그먼트의 이음 각도는 단면력의 전달과 조립 작업성을 고려하여 결정하여야 한다.

(9) 테이퍼 링은 터널 선형 및 시공성 등을 고려하여 설계하여야 한다.

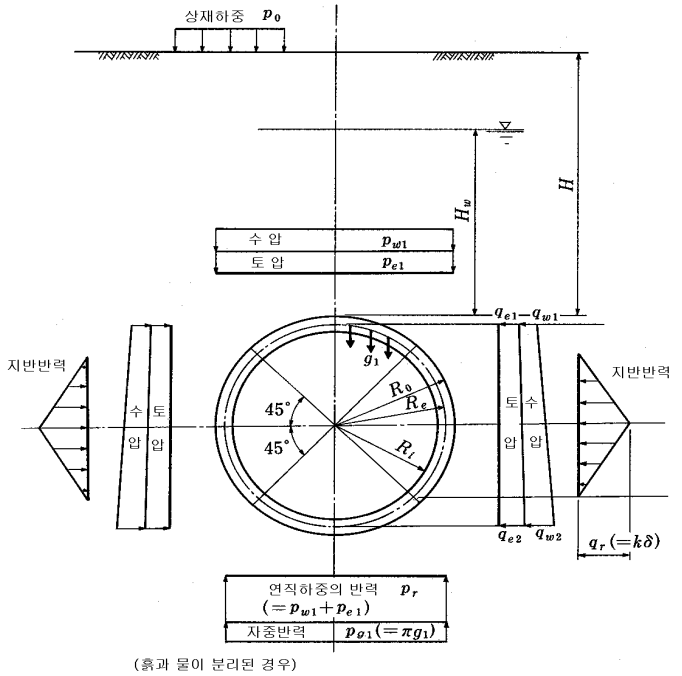
세그먼트의 구조계산시 편의를 위하여 기호는 다음과 같이 정의하며 사용예는 <그림 617.10>, <그림 617.11>과 같다.

- EC, ES, ED : 콘크리트, 강재 및 주철제 재료의 영(young)계수
- I : 단면이차 모멘트
- M, N, Q : 휨 모멘트, 축력 및 전단력을 뜻하며, 단면력의 부호는 <그림 617.10>에 나타낸 방향을 정(+)으로 한다.
- η : 휨 강성(EI)의 유효율

- ζ : 휨 모멘트의 할증율
- R_0, R_c, R_i : 일차라이닝의 외주반경, 도심반경 및 내주반경
- h : 라이닝두께 (h_1, h_2 ···일차라이닝, 이차라이닝의 두께)
- B : 세그먼트 폭
- θ : 세그먼트 단면력계산 각도(터널 천단부에서 시계방향을 정으로 하는 중심각)
- γ, γ', γ_w: 흙의 단위중량, 흙의 수중단위중량 및 물의 단위중량
- H : 라이닝 외주상의 꼭대기점에서 측정한 토피
- H_w : 라이닝 외부상으 꼭대기점에서 측정



<그림 617.10> 휨 모멘트, 축력, 전단력



<그림 617.11> 관용계산법에 있어서 기호사용의 일례

한 정수면의 높이

- P_0 : 상재하중
- W : 터널 종단방향 단위길이 당 라이닝의 자중(W_1, W_2 ··· 일차라이닝, 이차라이닝의 자중)
- g : 터널 종단방향 단위길이의 라이닝에 있어서 라이닝의 도심선에 따른 단위길이 당의 자중 (g_1, g_2 ··· 일차라이닝, 이차라이닝의 자중)
- p : 연직방향의 하중강도
- q : 수평방향의 하중강도
- λ: 측방토압계수
- k : 지반반력계수
- δ : 라이닝의 변위, 라이닝의 외력으로 향하는 것을 정(+)으로 한다.
- c : 흙의 점착력
- ϕ: 흙의 내부마찰각
- α : 이음 각도
- β : 테이퍼 각
- θ_A, θ_B θ_K : A, B, K 세그먼트의 중심각 (<그림 617.7>, <그림 617.10> 참조)

4.5 하중

세그먼트에 걸리는 하중설계시에는 연직 및 수평 토압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 지반반력, 내부하중, 시공시 하중, 병설터널의 영향, 지반침하의 영향, 지진의 영향 등을 고려하여야 한다.

(1) 연직토압은 라이닝의 정부에 작용하는 등분포하중으로 한다. 그 크기는 터널의 토피, 외경 및 지반의 조건들을 고려할 수 있는 테르쟈기(Terzaghi)식 등의 일반 계산식들을 이용하여 구한다.

(2) 수평토압은 라이닝 양측부 횡단면상의 도심직경에 걸쳐서 수평방향으로 작용하는 등변분포(사다리꼴)하중으로 하고, 그 크기는 연직방향의 토압에 측방토압계수를 곱하여 산정한다(<표 617.1> 참조).

(3) 수압은 터널 시공 중이나 향후 유지관리시의 지하수위의 변동을 고려하여 안전한 설계가 될 수 있는 지하수압을 선정하여야 한다. 여기서 연직방향의 수압은 등분포하중으로 하고 크기는 라이닝 정부의 경우 정점에 작용하는 정수압, 저부의 경우는 저점에 작용하는 정수압을 기준으로 한다. 수평방향의 수압은 등변분포하중으로 하고 그 크기는 정수압으로 한다.

(4) 자중은 라이닝 횡단면에 있어서 라이닝의 도심선에 맞게 등분포하는 연직방향의 하중으로 한다. 라이닝의 자중은 다음 식으로 계산할 수 있으나 상자형 세그먼트처럼 자중의 분포가 도심에 따라 똑같지 않은 경우에는 평균중량을 이용한다.

$$g = \frac{W}{2\pi \cdot R_c} \; (t/m^2)$$

여기서 W는 터널 종방향 라이닝의 단위 길이 당 중량 (t/m),

R_c는 라이닝의 도심반경 (m)을 말한다.

(5) 상재하중에 의한 토압의 영향은 지중의 응력전달을 고려하여 결정하여야 한다.

(6) 지반반력은 지반변위와 독립적으로 결정되는 반력과 지반변위에 종속하여 결정되는 반력으로 구별하여 적용할 수 있다.

<표 617.1> 측방토압계수 (λ) 및 지반반력계수 (k)

흙과 물의 구분	흙의 종류	λ	k(kN/㎥)	N치에 의한 기준
흙과 물 분리	매우 잘 굳은 사질토	0.35 ~ 0.45	30 ~ 50	30 ≤ N
	고결된 사질토	0.45 ~ 0.55	10 ~ 30	15 ≤ N < 30
	느슨한 사질토	0.50 ~ 0.60	0 ~ 10	N < 15
	굳은 점성토	0.35 ~ 0.45	30 ~ 50	25 ≤ N
	단단한 점성토	0.45 ~ 0.55	10 ~ 30	8 ≤ N < 25
	보통의 점성토	0.50 ~ 0.60	5 ~ 10	4 ≤ N < 8
흙과 물 일체	보통의 점성토	0.55 ~ 0.65	5 ~ 10	4 ≤ N < 8
	부드러운 점성토	0.65 ~ 0.75	0 ~ 5	2 ≤ N < 4
	매우 부드러운 점성토	0.70 ~ 0.85	0	N < 2

(7) 내부하중은 라이닝의 내측에 작용하는 하중으로, 터널시공중과 후로 분류하여 고려하여야 한다. 시공중의 경우, 쉴드의 후방대차, 토사함 등 시공에 관련한 모든 설비가 내부하중으로 작용하므로 이에 따른 구조의 안전성이 확인되어야 한다.

(8) 시공시 하중은 세그먼트의 조립에서부터 테일 보이드(tail void)에 주입한 뒤채움 주입재 등이 경화할 때까지 세그먼트에 작용하는 하중으로 쉴드잭의 추력, 뒤채움 주입압, 이렉터 조작하중 등에 대하여 검토하여야 한다. 이중 쉴드잭의 추력은 세그먼트 단면력 설계에 매우 중요한 요소로 작용한다.

(9) 지진활동의 영향이 우려되는 경우는 중요도에 따라 터널의 입지조건, 지반의 조건, 당해지역의 지진동, 터널의 구조, 형상 및 치수, 그 외 필요한 조건을 고려하여 설계하여야 한다.

(10) 터널에 근접하여 병설하는 경우에는 토질조건, 터널의 상호위치, 터널크기 등을 조사하여 하중에 상호간섭의 영향을 받는지를 검토하여야 한다.

(11) 쉴드터널 시공시 또는 완성후에 다른 구조물의 근접시공이 예상되는 경우, 그 영향을 충분히 검토하여야 한다.

(12) 연약지반 중에 터널을 축조하는 경우에는 반드시 지반침하의 영향을 검토해야 한다.

4.6 세그먼트 단면력 및 기타 요소

세그먼트 단면력은 그 구조특성을 고려하여 계산하여야 하며 적용하는 일반적인 관용계산법과 이를 일부 수정한 수정관용계산법은 <표 617.2>와 같다.

세그먼트 구조 및 형상 설계시 세그먼트의 형상치수를 정하는 중요한 요소와 고려해야할 일반적인 사항은 다음과 같다(<표 617.3>, <표 617.4> 참조).

(1) 세그먼트 링의 외경의 크기는 터널의 내공과 라이닝두께로 부터 결정된다. 세그먼트의 외경의 치수는 터널설계에 있어서 가장 기본적인 요소이다.

(2) 세그먼트의 두께는 터널단면의 크기에 따라 토질조건, 토피, 하중조건 등에서 결정되지만 터널의 사용목적이나 세그먼트의 시공성에 지배되는 경우도 있다. 시공실적에 의하면 세그먼트의 두께는 일반적으로 세그먼

<표 617.2> 관용계산법 및 수정관용계산법에 의한 세그먼트 단면력의 계산식

하 중	휨모멘트	축 력	전 단 력
연직하중 $(p_{e1}+p_{w1})$	$M=\frac{1}{4}(1-2\sin^2\theta)(p_{e1}+p_{w1})R_c^2$	$N=(p_{e1}+p_{w1})R_c\cdot\sin^2\theta$	$Q=-(p_{e1}+p_{w1})R_c\cdot\sin\theta\cdot\cos\theta$
수평하중 $(q_{e1}+q_{w1})$	$M=\frac{1}{4}(1-2\cos^2\theta)(q_{e1}+q_{w1})R_c^2$	$N=(q_{e1}+q_{w1})R_c\cdot\cos^2\theta$	$Q=(q_{e1}+q_{w1})R_c\cdot\sin\theta\cdot\cos\theta$
수평삼각형 하중 $(q_{e2}+q_{w2}-q_{e1}-q_{w1})$	$M=\frac{1}{48}(6-3\cos\theta-12\cos^2\theta+4\cos^3\theta)(q_{e2}+q_{w2}-q_{e1}-q_{w1})R_c^2$	$N=\frac{1}{16}(\cos\theta+8\cos^2\theta-4\cos^3\theta)(q_{e2}+q_{w2}-q_{e1}-q_{w1})R_c$	$Q=\frac{1}{16}(\sin\theta+8\sin\theta\cdot\cos\theta-4\sin\theta\cdot\cos^2\theta)(q_{e2}+q_{w2}-q_{e1}-q_{w1})R_c$
수평 지반반력 $(q_r=k\cdot\delta)$	$0\leqq\theta<\frac{\pi}{4}$ 인경우 $M=(0.2346-0.3536\cos\theta)k\cdot\delta\cdot R_c^2$ $\frac{\pi}{4}\leqq\theta\leqq\frac{\pi}{2}$ 인경우 $M=(-0.3487+0.5\sin^2\theta+0.2357\cos^3\theta)k\cdot\delta\cdot R_c^2$	$0\leqq\theta<\frac{\pi}{4}$ 인경우 $N=0.3536\cos\theta\cdot k\cdot\delta\cdot R_c$ $\frac{\pi}{4}\leqq\theta\leqq\frac{\pi}{2}$ 인경우 $N=(-0.7071\cos\theta+\cos^2\theta+0.7071\sin^2\theta\cdot\cos\theta)k\cdot\delta\cdot R_c$	$0\leqq\theta<\frac{\pi}{4}$ 인경우 $Q=0.3536\sin\theta\cdot k\cdot\delta\cdot R_c$ $\frac{\pi}{4}\leqq\theta\leqq\frac{\pi}{2}$ 인경우 $Q=(\sin\theta\cdot\cos\theta-0.7071\cos^2\theta\sin\theta)k\cdot\delta\cdot R_c$
자 중 $(P_{g1}=z\cdot g_1)$	$0\leqq\theta\leqq\frac{\pi}{2}$ 인경우 $M=\left(\frac{3}{8}\pi-\theta\cdot\sin\theta-\frac{5}{6}\cos\theta\right)g\cdot R_c^2$ $\frac{\pi}{2}\leqq\theta\leqq\pi$ 인경우 $M=\left(-\frac{1}{8}\pi+(\pi-\theta)\sin\theta-\frac{5}{6}\cos\theta-\frac{1}{2}\pi\cdot\sin^2\theta\right)g\cdot R_c^2$	$0\leqq\theta\leqq\frac{\pi}{2}$ 인경우 $N=\left(\theta\cdot\sin\theta-\frac{1}{6}\cos\theta\right)g\cdot R_c$ $\frac{\pi}{2}\leqq\theta\leqq\pi$ 인경우 $N=(-\pi\cdot\sin\theta+\theta\cdot\sin\theta+\pi\cdot\sin^2\theta-\frac{1}{6}\cos\theta)g\cdot R_c$	$0\leqq\theta\leqq\frac{\pi}{2}$ 인경우 $Q=\left(\theta\cdot\cos\theta+\frac{1}{6}\sin\theta\right)g\cdot R_c$ $\frac{\pi}{2}\leqq\theta\leqq\pi$ 인경우 $Q=[(\pi-\theta)\cos\theta-\pi\cdot\sin\theta\cdot\cos\theta-\frac{1}{6}\sin\theta]g\cdot R_c$
세그먼트 링 수평직경점의 수평방향 변위 (δ)	라이닝 자중에 의한 지반반력을 고려하지 않은 경우 $\delta=\frac{\{2(p_{e1}+p_{w1})-(q_{e1}+q_{w1})-(q_{e2}+q_{w2})\}R_c^4}{24(\eta\cdot EI+0.0454k\cdot R_c^4)}$ 라이닝 자중에 의한 지반반력을 고려하는 경우 $\delta=\frac{\{2(p_{e1}+p_{w1})-(q_{e1}+q_{w1})-(q_{e2}+q_{w2})+\pi g\}R_c^4}{24(\eta\cdot EI+0.0454k\cdot R_c^4)}$ 여기서, EI 는 단위폭당 휨강성이다.		

주) 일본 터널표준시방서(쉴드공법편)·동해설(1996)에서 발췌

트 외경의 4% 전후의 치수범위에 있지만, 대구경의 중자형 세그먼트에서는 5.5% 전후의 범위로 한다.

(3) 세그먼트의 폭은 세그먼트의 운반 및 조립상의 편리함, 터널 곡선구간의 시공성, 쉴드테일의 길이 등의 측면에서는 작은 것이 바람직하다. 한편, 터널연장당 세그먼트의 제작비의 저감, 누수 등의 약점으로 되기 쉬운 이음개소나 볼트구멍의 감소, 시공속도 등의 측면에서는 큰 것이 바람직하다. 세그먼트의 폭은 터널단면에 따른 시공실적을 감안하여, 경제성, 시공성을 고려한 뒤에 결

<표 617.3> 강재 세그먼트의 형상 치수 (단위 : mm)

외 경	폭	두 께	세그먼트 분할
1800 ~ 2000	750	75 100	6 분 할
2150 ~ 2550	900 1000	100 125	6 분 할
2750 ~ 3350	900 1000	100 125 150	6 분 할
3550 ~ 4050	900 1000	125 150 175	7 분 할
4300 ~ 4800	900 1000	150 175	7 분 할
5100 ~ 5700	900 1000	175 200 225	7 분 할
6000	900 1000	200 225	7 분 할
6300 ~ 6900	900 1000	250 275	7 분 할
7250 ~ 8300	900 1000	300 325 350	8 분 할

<표 617.4> 콘크리트 평판형 세그먼트의 형상, 치수 (단위 : mm)

외 경	폭	두 께	세그먼트 분할
1800 ~ 2000	900 1000	100 125	5 분 할
2150 ~ 3350	900 1000	100 125 150	5 분 할
3550 ~ 4800	900 1000	125 150 175 200	6 분 할
5100 ~ 6000	900 1000	175 200 225 250 275 300	6 분 할
6300 ~ 6900	900 1000	250 275 300	7 분 할
7250 ~ 8300	900 1000	275 300 325 350	8 분 할

<표 617.5> 상자형 및 평판형 세그먼트

볼 트 경(mm)	16	18	20	22	24	27	30	33	36
볼트공경(mm)	19	21～23	23～25	25～27	27～29	30～32	33～36	36～39	39～41

<표 617.6> 중자형 세그먼트

볼 트 경(mm)	27	30	33
볼트구경(mm)	32～33	35～38	38～41

<표 617.7> 테이퍼 량, 테이퍼 각

세그먼트의 외경 $2R_o$	$2R_o<4m$	$4m \leq 2R_o<6m$	$6m \leq 2R_o<8m$	$8m \leq 2R_o<10m$	$10m \leq 2R_o<12m$
테이퍼량 (mm)	15～45	30～80	30～90	40～90	40～70
테이퍼 각	20°～ 115°	20°～ 70°	15°～ 50°	15°～ 35°	10°～ 25°

정해야 한다.

(4) 세그먼트링의 구성은 수개의 A세그먼트와 2개의 B세그먼트 및 정점부에 마지막으로 조립되는 K세그먼트로 구성되는게 일반적이다. K세그먼트는 터널내측으로 부터 삽입하는 것(반경방향 삽입형)과 터널축방향으로 부터 삽입하는 것(축방향 삽입형) 및 이 두가지를 겸용하여 사용하는 것도 있다. 터널내측에서 삽입하는 K세그먼트(반경방향 삽입형)의 길이는 A,B세그먼트와 비교해서 작게하는 것이 좋다.

(5) 링 이음은 시공시 하중 등을 고려하여 터널 축방향의 연속성이 확보될 수 있도록 검토하여야 한다. 단 힌지계 세그먼트링에서는 세그먼트의 조립에서 뒤채움 주입재가 경화하기까지 변형을 방지하기 위해 그 구조특성을 침해하지 않는 이음을 사용함과 동시에 변형방지의 보조수단도 강구하여야 한다.

(6) 볼트 직경에 비하여 볼트 구경이 너무 크면 세그먼트에 큰 결함을 발생시켜 시공시 하중증가의 원인이 될 수도 있으므로 주의해야 한다.

(7) 세그먼트를 볼트로 결합하는 경우, 볼트구경의 표준은 <표 617.5> 및 <표 617.6>에 나타낸 바와 같다. 볼트 대신에 핀을 사용하는 경우, 구경의 여유는 <표 617.5>에 준한다.

(8) 테이퍼 링은 곡선용과 선형수정용으로 분류할 수 있으며, 일반적으로 곡선용 테이퍼 링을 선형수정용으로도 이용할 수 있다.

(9) 선형수정용의 테이퍼 링 수는 설계의 대상이 되는 터널 구간내에 준비해야 하는 모든 링 수에서 곡선용의 테이퍼 링 수를 제외한

나머지 링 수의 5% 정도를 기준으로 한다.

(10) 테이퍼 링의 최대폭은 강재 세그먼트에서는 표준폭과 비슷하든지 또는 그것보다 작은 것으로 한다.

(11) 테이퍼량은 세그먼트 폭, 세그먼트의 외경 곡선반경 및 곡선구간에서의 테이퍼 링의 사용비율과 함께 테일 클리어런스 등을 고려하여 결정하여야 한다. 테이퍼 량, 테이퍼 각의 일반기준치는 <표 617.7>과 같다.

(12) 12m를 넘는 대구경 쉴드나 특수형상의 경우는 미리 책임기술자와 협의한 다음 테이퍼 량, 테이퍼 각을 별도로 정하도록 한다.

617.5 쉴드의 제작설계

5.1 일반사항

쉴드의 제작설계와 관련한 일반사항은 다음과 같다.

(1) 쉴드는 연직 및 수평토압, 수압, 자중, 상재하중의 영향, 편향하중, 막장 전면압 등의 하중을 지지할 수 있어야 한다.

(2) 쉴드 구조는 각각의 작용하중에 대하여 쉴드 각부가 안전하고 확실하게 가동될 수 있는 구조이어야 한다.

(3) 쉴드는 무겁고 대형이므로 분할, 수송, 작업구로의 투입 등 제조건을 고려하여 제작하여야 하며, 또한 연약지반에서 쉴드를 추진하는 경우에는 쉴드의 중량 및 중심위치가 그 운전성능에 영향을 미치므로 쉴드 제작설계시 이를 고려하여야 한다.

5.2 쉴드의 구성 및 부품설계

쉴드의 구성 및 부품 설계시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 쉴드는 굴착, 추진, 라이닝 설치를 동시에 할 수 있는 기능을 갖는 장치군으로 구성되므로 외부에서 작용하는 하중에 대하여 내부를 충분히 보호할 수 있도록 설계되어야 한다.

(2) 쉴드의 외경은 외판(skin plate)의 외경을 말하며, 세그먼트 외경, 테일 클리어런스(tail clearance) 및 테일 스킨 슬레이트 두께를 고려하여 정하여야 한다.

(3) 테일 클리어런스는 20～40mm가 일반적이나 세그먼트의 형상치수, 터널의 선형, 선형수정, 테일 실(tail seal)의 설치 등을 고려하여 결정하여야 한다.

(4) 쉴드의 길이는 지반의 조건, 터널의 선형, 쉴드형식, 중절장치의 유무, 세그먼트 폭, K-세그먼트의 삽입형식 등을 고려하여 결정하여야 한다.

(5) 쉴드의 길이를 결정함에 있어서 가장 주의해야 하는 것은 그 외경과의 조화로, 운전조작면에서는 가능한 한 짧은 것을 선택하여야 한다. 단, 길이가 극단적으로 짧으면 접지압이 크게 되어 조향성이 나쁘게 되므로 이를 고려하여 길이를 결정하여야 한다.

(6) 테일부의 길이는 최소한 세그먼트의 조립이 가능한 길이가 되도록 하여야 하며, 세그먼트 조립 후, 파손부의 교체, 쉴드 잭의 수리 및 터널 곡선시공 등을 감안하여 약간의 여유를 갖도록 결정하여야 한다. 단, 기계 굴착식, 토압식 및 이토압식 쉴드에 관해서는 테일 실의 구조나 교환도 고려하여

테일부의 길이를 결정할 필요가 있다.

(7) 테일 스킨 플레이트 두께는 유해한 변형이 발생하지 않는 범위내에서 가능한 한 얇게 하여야 한다.

(8) 테일 실은 뒤채움주입재의 역류방지 및 내구성, 내압성 등을 고려하여 선정하여야 한다.

(9) 커터헤드는 지반조건에 적합하고, 그 기능이 확실히 발휘될 수 있는 것으로 선정하여야 한다.

(10) 커터 비트(cutter bit)는 지반조건에 적합하도록 그 형상, 재질, 배치를 결정해야 한다.

(11) 여굴장치는 쉴드의 조향성을 향상시키기 위한 장치로서 지반조건, 시공조건에 적합한 여굴기능이 충분히 발휘될 수 있는 것이어야 한다.

5.3 추진기구

추진기구에 대해서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 쉴드의 총추진력은 모든 추진저항의 총합에 여유를 고려하여 결정해야 한다.

(2) 쉴드잭의 선정과 배치는 쉴드의 조향성, 세그먼트의 구조, 세그먼트 조립의 시공성 등을 고려하여 정하며, 가능한 한 간단한 구조가 되도록 하고 경량으로 내구성이 크고, 보수, 교환이 용이해야 한다.

(3) 잭류는 쉴드 외판 내측에 근접하여 등간격으로 배치하고 세그먼트에 가급적 균등하중이 가해지도록 하여야 한다.

(4) 쉴드잭 스트로크의 여유는 세그먼트를 쉴드 테일 내에서 조립하는 경우에 필요하며, 또한, 쉴드의 곡선시공을 위해서 충분한 길이를 가져야 한다.

(5) 쉴드 잭의 작동속도는 지반조건 및 쉴드의 형식에 맞추어 결정해야 한다.

5.4 세그먼트 조립기구

세그먼트 조립기구에 대하여는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 이렉터(erector)는 쉴드의 형식과 규모, 세그먼트, 굴착토 처리방법, 작업주기 등을 고려하여 세그먼트의 조립이 정확하고 능률적으로 될 수 있는 것을 선정해야 한다.

(2) 이렉터의 능력은 세그먼트의 종류, 형상, 중량 및 조립순서 등을 고려하여 결정해야 한다.

5.5 유압, 전기, 제어기구

유압, 전기, 제어기구에 대하여는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 쉴드용 유압기기는 일반건설기계의 경우와 달리 고압 대용량이며 사용환경도 나쁘므로 그 선택, 설치계획에 있어서는 내구성이 있고 고효율, 저소음의 기종을 선정해야 한다.

(2) 유압기구는 자가점검장치가 있거나 점검이 용이한 것으로 선택하여 사용조건하에서 적절한 상태로 유지관리가 가능해야 한다.

(3) 유압회로는 가능한 한 간단하여 각 기기가 확실하게 작동하고, 오조작에 있어서도 위험을 발생시키지 않도록 해야 한다.

(4) 유압작동유는 유압기기에 적합한 양질의

것이어야 한다.

(5) 전기 기기류는 방수, 방습, 방진 등에 유의해야 하며 가능한 한 조작 및 점검보수에 편리한 위치에 설치하여야 한다.

(6) 제어기기는 각 기기가 확실하게 작동하여 굴착, 추진, 배토 등을 위한 기기들과 상호 연관성을 양호하게 하고 이상시에도 안전하게 대처할 수 있어야 한다.

5.6 부속기구

부속기구에 대하여는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 자세제어장치는 지반조건, 쉴드의 형식, 터널의 선형 등을 고려하여 확실한 쉴드의 자세제어가 가능한 것을 선정해야 한다.

(2) 쉴드에 탑재하는 측량장치는 쉴드의 자세, 움직임 방향의 파악 등 측량목적에 맞추어 선정하여야 한다.

(3) 뒤채움 주입장치는 주입재료, 주입방법, 주입량 등을 고려하여 확실히 충전될 수 있는 기구를 선정해야 한다.

(4) 후방대차는 쉴드 굴진을 위한 기계장치 설치 및 막장의 작업에 이용하는 재료 및 각종 작업받침대로써 기능을 지닌 것이어야 한다.

617.6 뒤채움 주입재의 설계

6.1 주입재료

세그먼트 배면공극에 주입하는 뒤채움 주입재료는 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

(1) 뒤채움 주입재료에는 시멘트 모르터, 발포성 모르터, 섬유혼합 모르터, 슬래그 또는 석탄회를 사용하는 가소성 주입재, 자갈 등 여러 가지가 있으며, 지반조건, 쉴드형식, 주입재특성 등을 고려하여 가장 적합한 재료를 선정하여야 한다.

(2) 뒤채움 주입재료는 블리딩(bleeding) 등의 재료분리를 일으키지 않고 유동성을 잃지 않은 재료, 주입 후의 경화현상 등에 따라 용적감소가 적은 재료, 지반강도에 상당하는 균일한 강도를 조기에 얻을 수 있고 설계강도 이상을 발휘할 수 있는 재료, 수밀성이 뛰어난 재료, 주변환경에 영향이 없는 무공해 재료로 선정하여야 한다.

6.2 뒤채움 주입방법

뒤채움 주입방법 계획시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

(1) 뒤채움 주입방법은 쉴드기 측면에서 추진과 동시에 주입하는 동시주입방법, 세그먼트 주입공에서 추진에 맞춰 주입하는 반동시주입방법, 1개 세그먼트 링 설치 완료시마다 주입하는 즉시주입방법이 있으며 쉴드기종과 현장 지반조건 등을 고려하여 선정하여야 한다.

(2) 뒤채움 주입압은 세그먼트 배면을 완전히 충전시킬 수 있도록 세그먼트에 작용하는 외압보다 1~2 kg/cm^2 정도 큰 압력으로 설계하여야 한다.

(3) 뒤채움 주입량은 쉴드후미의 공극크기, 주입재의 지반에 대한 침투성, 지반의 투수성, 여굴 등을 고려하여 결정하여야 한다.

617.7 방수설계

세그먼트 라이닝은 지하수압에 견딜 수 있고 방수가 될 수 있도록 반드시 세그먼트간의 이음부, 뒤채움 주입구 등에 대하여 방수설계를 하여야 한다.

방수방법의 선정시에는 쉴드터널의 사용목적과 작업환경에 적합한 방법을 선정하여야 한다.

방수에는 실, 코킹, 볼트 등이 있으며, 사용목적과 현장여건에 부합하도록 한가지 또는 여러 가지의 방법을 조합하여 사용할 수 있다.

실재에는 합성고무계, 복합고무계, 수팽창 고무계 등이 있으며, 현장조건을 고려하여 수밀성, 내구성, 압착성, 복원성, 기송성 등이 우수한 것을 선택하여야 한다.

코킹재에는 에폭시, 치오클계, 요소수지계 등의 재료가 있으며, 현장조건을 고려하여 적합한 재료를 선정하여야 한다.

617.8 콘크리트 라이닝의 설계

콘크리트 라이닝(이차 라이닝)을 시공하는 경우에는 세그먼트(일차 라이닝)의 종류와 특성, 세그먼트와 콘크리트 라이닝의 접합상황, 지반조건, 환경조건, 시공방법 등을 고려하여 그 사용목적에 맞도록 콘크리트 라이닝을 설계해야 한다.

콘크리트 라이닝의 두께는 터널의 사용목적, 시공성 및 안전성을 고려하여 결정하여야 하나 최소한 15㎝ 이상이 되도록 하여야 한다.

콘크리트 라이닝을 구조체로 이용하는 경우는 콘크리트 라이닝에 작용하는 하중 및 세그먼트의 구조특성을 고려하여 단면력 및 응력을 계산하여야 한다.

618
환기설비

618.1 환기설비 일반

1.1 환기설비의 목적

본 환기설비의 목적은 도로터널의 건설 및 유지관리에 필요한 환기부분에 대한 설계방법을 나타낸 것이다.

도로터널의 환기시설은 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제 41조에 「터널에는 안전하고 원활한 교통소통을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 도로의 계획교통량, 설계속도 및 터널 길이 등을 고려하여 환기시설 및 조명시설을 설치하여야 한다」라고 규정되어 있다.

따라서 터널의 환기시설 계획, 조사, 설계를 실시함에 있어서 본 장에서 나타내고자 하는 바를 올바르게 이해하여 이에 따른 종합적인 검토와 적절한 판단이 필요하다.

1.2 적용범위

본 장에서는 일반적인 일방향/양방향 2차선 산악터널의 경우를 주 대상으로 설정하여 설명하였으나, 터널의 시공법, 차선 수 등이 변화하여도 기본적인 방법은 동일하다.

그러나 도로의 성격, 터널의 규모, 교통조건(교통량, 차종구성 등), 입지조건 등이 현저하게 다를 경우에는 여기서 나타낸 설계방법을 적용할 수 없으므로 각 터널의 실정에 따라 적절한 검토가 실시되어야 한다.

618.2 계획□조사

2.1 계획

2.1.1 계획 일반

도로터널에서는 통행하는 자동차의 배출가스로 인해 터널내의 공기가 오염되므로 환기가 필요하다. 길이가 짧은 터널에서는 자연환기가 가능하지만 길이가 길고 교통량이 많은 터널에서는 기계환기시설을 설치해야 한다.

환기계획은 터널 전체계획의 주요한 부분이며, 터널단면형상 등과 같은 터널본체 구조를 결정하는 요소가 될 뿐만 아니라 노선 선정 등의 기본계획과도 밀접한 관계가 있기 때문에 전체 계획의 일부로서 면밀하게 계획되어야 한다. 즉, 환기계획은 환기에 큰 영향을 미치는 교통방식, 방재계획(비상용 시설)과의 관련, 주변환경에 미치는 영향 등을 고려하여 검토하면서 가장 경제적인 방식으로 기계설비를 하는 문제와 본체시공에 대한 사항을 검토하여야 하는 것으로서 합리적으로 실시되어져야 한다.

다차선 도로에서는 교통량의 추이에 따라 터널이 단계적으로 건설되는 경우가 있다. 이러한 경우의 환기계획은 양방향교통방식(왕복차

선도로터널)에서 일방향 교통(일방도로터널)으로의 변경을 고려한 최종단계의 환기계획과 조화를 이루도록 함과 동시에 일방향 교통 터널(일방도로터널)의 이점을 충분히 살려야 바람직하다. 또한 교통방식을 변경하지 않는 경우와 교통량의 변화에 따라 환기시설을 단계적으로 늘리는 경우에도 최종단계의 설비문제를 충분히 고려해야 한다. 특히, 터널 본체 구조는 개축이 극히 까다롭고 어려운 사항이므로 여유있는 계획이 바람직하다.

2.1.2 계획의 순서

환기시설의 계획 및 설계는 다음과 같은 순서에 따라 실시된다. 각 단계에서의 검토항목은 서로 밀접한 관련이 있으며 어떤 항목의 검토결과는 필요에 따라 이전의 검토항목에 반영되어 재검토를 요구하기도 한다.

(1) 터널의 노선 선정

터널의 노선 선정에 관한 검토는 일반적으로 노선의 편익, 지형, 지물, 지질 등을 고려한 후 실시된다. 그러나 터널이 장대한 경우에는 수직갱, 사갱의 위치선정, 환기규모 등의 환기계획이 노선 선정 상 중요한 항목이 된다. 이러한 경우는 개략적으로 각각 비교 안을 작성한 후 검토를 하여야 한다.

(2) 환기설계 상 필요한 자료 수집

노선이 결정되면 우선 환기계획상 필요한 자료를 수집한다. 필요한 자료는 아래와 같다.

- 교통관계 자료
- 기상관계 자료
- 환경관계 자료
- 지형・지물・지질관계 자료
- 법규관계 자료

(3) 소요 환기량의 산정

터널의 교통・선형 등을 근거로 소요 환기량을 산출한다.

(4) 환기의 기본계획 작성 (환기방식 선정)

결정된 노선에 대해서 소요 환기량 및 기상, 환경조건 등 터널의 입지조건에 따라 환기방식을 선정한다.

우선, 환기시설 필요성의 유무, 즉 자연환기의 가능성 여부를 검토 파악한다.

환기시설이 필요한 경우에는 각종 환기방식의 비교 안을 작성하여 검토하여야 하며, 이때 환기에 대한 경제성, 방재 관점에서의 안정성, 환경에 미치는 영향 등을 포함하여 종합적으로 평가해야 한다.

(5) 단면계획 및 환기력 계산

환기의 기본계획이 결정되면 덕트(duct) 등의 단면계획과 소요 환기력의 상세한 검토를 실시한다. 단면계획 및 환기력 계산은 기본계획 작성단계에서도 개략적인 검토를 실시하지만, 아래의 항목과 관련지어 상세하게 검토해야 바람직하다.

(6) 설비 제원의 결정

전항의 검토결과를 기준으로 덕트의 설계, 환기기계의 사양 및 배치결정, 환기소의 계획 및 설계를 실시한다.

설비 제원의 설계 시에는 운전제어와의 관계를 고려하여 운전, 감시, 제어설비의 설계도 병행한다.

2.2 조 사

환기시설을 계획함에 있어서는 해당터널의 교통, 기상, 환경과 지형, 지물 및 지질 등에 대하여 조사를 하여야 한다.

2.2.1 교통조사

교통에 관한 조사에는 환기량 산정의 기초가 되는 교통량, 차종구성 및 교통상황에 관한 자료가 필요하다.

자동차 배출가스는 차량의 종류에 따라서 다르며, 배출량을 산출하기 위해서는 교통량과 차종구성을 함께 파악해야 한다. 오염물질 배출량을 산정하기 위해서는 차종별 교통량을 디젤차와 가솔린차로 구분하여 조사할 필요가 있다. 이것은 디젤차가 환기량에 큰 영향을 주는 매연을 다량으로 발생시키는데 비해 가솔린차는 매연의 발생이 거의 미약하기 때문이다. 또 오염물질 배출량은 주행속도에 따라 변하기 때문에 단순히 설계속도 뿐만 아니라 교통량에 따라 변하는 주행속도에 대해서도 검토해야 한다. 즉, 소요 환기량은 교통량이 최대일 때에 반드시 최대가 된다고는 할 수 없다. 매연의 경우 교통량이 많으면 총 매연 발생량은 늘어나지만 주행속도가 낮아지므로 매연에 대한 허용농도를 높게 잡을 수 있기 때문이다.

교통조사에는 PIARC방식(국제상설도로회의, Permanent International Association of Road Congress)의 환기설계에 사용하는 교통량('618 2.3 설계에 사용되는 교통량' 참조)조사 뿐만 아니라 하루 중 시간대별 교통량 산출도 포함함으로서 환기운전제어('618.4 운전제어' 참조) 자료가 될 수 있도록 한다.

2.2.2 기상조사

터널환기에서 기상과 관련된 사항으로는 자연 환기력, 갱구 또는 환기탑에서의 배기 확산 및 흡입공기의 조건에 관한 것이 있다.

자연 환기력은 터널의 양쪽 갱구 사이 또는 갱구와 수직갱 사이에 작용하는 압력차이로서 자연환기의 원동력이 되는 것이다. 자연 환기력의 원동력은 대기의 기압차에 기초한 것과 터널 부근의 국지적인 자연풍 및 터널 내외의 온도차에 의한 것이 있지만, 자연 환기력은 수 mmAq 정도로 매우 작기 때문에 보통의 압력계로 측정하는 것은 매우 어렵다. 또 갱구 부근의 바람 및 온도측정으로 추정하는 것도 곤란하다. 따라서, 자연 환기력을 기상조사로 구하는 것은 주의 깊은 측정을 행하지 않는 한 무리이며, 자연 환기력은 터널 관통 후 터널내 풍속을 측정하여 구하는 것이 좋다.

터널에서의 배기의 확산을 예측할 필요가 있는 경우, 요구되는 기상자료는 예측방법과 예측정밀도에 따라 다르다. 관측항목으로는 갱구 부근의 국지풍속, 풍향, 연직 방향의 온도분포, 일사량 등이 있지만, 갱구 부근은 지형이 복잡하여 장소에 따라 변화가 크므로, 주변 환경에 주는 영향을 예측할 때는 연평균 값을 주로 이용하기 때문에 관측은 연간에 걸쳐 행해야 하며 적어도 대표적인 측정은 통년 측정이 바람직하다. 또 해당지역의 광역기상자료를 수집하여 관련된 것을 구하는 것도 필요할 때가 있다.

흡입공기의 조건에서는 온도, 습도, 눈, 안개 등이 문제이다. 흡입공기의 온도가 낮을 경우에는 수직갱 등의 환기덕트의 벽면에 누수가 동결하여 통기단면의 감소를 초래하여 필요한 환기를 어렵게 하거나 구조에 나쁜 영향을 주

는 경우도 생긴다. 이런 경우는 완전한 누수 방지와 단열대책이 필요하며, 이 같은 판단을 위해 기온을 조사할 필요가 있다. 또, 눈이 내리는 경우와 안개에 대한 배려가 필요한 경우도 있다.

2.2.3 환경조사

터널의 환기가 환경에 주는 영향으로 배기와 소음이 있다. 터널에서의 배기가스는 터널 밖으로 배출된 후의 확산을 고려하면 농도가 문제가 되는 일은 적다. 그러나 터널의 구조상 한 곳에 모여서 집중적으로 배출된다고 하는 점에서 배출원 주변이 환경적으로 민감한 지역일 경우 문제가 되는 수가 있다. 배기의 영향을 예측하기 위해서는 기상조건과 주위농도가 필요하다. 기상조건에 대해서는 '2.2.2 기상 조사'에서 기술한 것과 같다. 주위농도를 측정할 때에는 기존 도로나 공장 등의 영향을 고려할 필요가 있다. 이 밖에 갱구에 있어서 환경검토는 국지적인 문제로서 지형・지물의 영향을 받기 쉽기 때문에 주의가 필요하다.

환기기의 소음에 대해서는 환기소에 환기기를 설치할 경우는 비교적 용이하지만, 설계를 위해서는 암소음 측정이 필요하며 젯트팬인 경우는 교통소음도 포함하여 검토가 필요하다. 또한 환기기 소음은 특정 주파수 성분이 강하므로 주의해야 한다.

2.2.4 지형・지물・지질 조사

지형・지물・지질 조사는 모든 조사의 기초가 되며, 목적에 따른 축척 조사가 필요하다. 지형・지물・지질 조사는 환기용 수직갱, 사갱의 배치 계획의 기초자료로 이용되며, 갱구 부근의 환경 조사에서는 지형 외에 건축물의 영향을 검토할 필요가 있는 경우도 있다.

2.3 설계에 사용하는 교통량

교통류에 의해서 배출되는 유해성분 발생량이 환기량을 결정하게 되므로 터널의 환기량 산정은 교통량을 어떻게 결정하느냐에 크게 영향을 받으며 이에 따라 환기설비의 용량도 변한다. 도로터널의 환기설계에서의 교통량은 일반적으로 현시점을 대상으로 하는 것이 아니라 개통 년도를 목표로 하고 있기 때문에 해당터널의 계획 목표 년도의 설계교통량을 적용하게 되며 이 때 단순한 차량대수 뿐만 아니라 교통류의 차종구성에 대해서도 알 필요가 있다. 본 도로터널의 환기설계 방식은 PIARC 방식을 기준으로 하므로 PIARC에서 권장하는 교통밀도를 적용하여 교통량을 구하는 것을 원칙으로 한다. PIARC 방식의 환기량 계산에서는 설계속도 이하의 전 속도에 대하여 예상되는 환기량을 검토하여야 하므로 주행속도별 차종별 교통량(n_i) 자료가 필요하다. 이는 교통밀도 산정도나 교통밀도 계산식에 의해서 승용차에 대한 주행속도별 교통밀도(D: pcu/km・lane)를 구하고 이 값에, 차종별 구성비(Ψ_i) 및 승용차환산계수(r_i)를 고려하여 다음과 같이 구한다.

$$n_i = \frac{D \cdot \psi_i}{r_i} \qquad (618.1)$$

2.3.1 교통밀도

교통밀도는 도로의 단위 길이당 차량의 수를 의미하는 것으로 교통밀도 산정도와 교통밀도 산정식에 의해서 구할 수 있으나 본 편람에서

는 계산이 용이한 교통밀도 산정식을 이용하여 구하는 것을 원칙으로 한다.

(1) 교통밀도 산정도

<그림 618.1>의 그래프는 프랑스 터널연구센터(Tunnel Research Center)가 1984년에 프랑스의 Rond Point 터널, Fourviere 터널, Ambroise Pare 터널 및 Cours de Verdun 지하도에서 측정한 자료를 근거로 작성한 것으로 교통량, 교통밀도 및 차량속도의 관계를 나타내고 있으며, 관계식은 식 (618.2)와 같다.

$$D = -C \cdot I + A \qquad (618.2)$$
$$I = V \cdot D$$

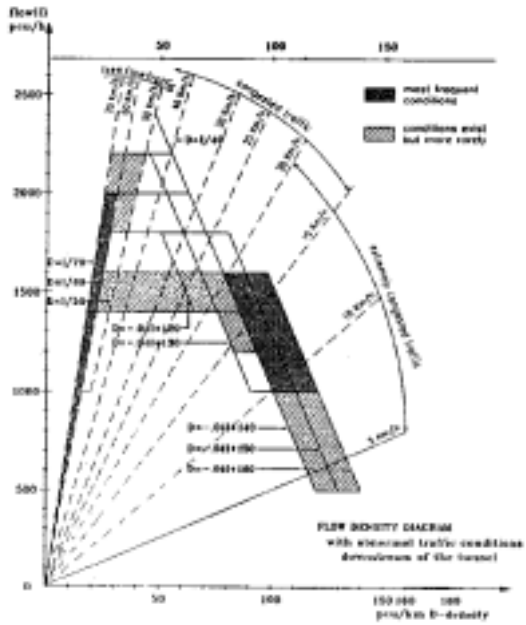
여기에서,

D : 교통밀도 [pcu/km · lane]

I : 교통량 [pcu/h · lane]

V : 차량속도 [km/h]

C, A : 산정도에 제시된 상수



<그림 618.1> 교통밀도 산정도

(2) 교통밀도 산정식

교통밀도 산정식은 식 (618.3)과 같으며 이 식은 도로의 성격에 따라 승용차 대수로 표현되는 최대교통량(M_{max})을 어떻게 적용하느냐에 따라서 도로의 설계교통량을 반영함으로서 교통밀도를 보완할 수 있는 장점이 있다.

$$D = \frac{D_o \times M_{\max}}{[D_o \times V + M_{\max} \times (1 - V/60)^2]} \qquad (618.3)$$

여기에서,

D : 교통밀도(pcu/km · lane)

D_o : 정체시 교통량

(속도 V = 0 km/h에서는 150pcu/km · lane)

M_{max} : 승용차 대수표시 최대교통량

또는 가능교통량(pcu/h · lane)

V : 주행속도(km/h)

상기의 식을 이용하여 환기량을 산정하는 경우에 최대교통량을 어떻게 적용할 것인가가 환기량을 결정하는 주요 인자가 된다. 오스트리아의 Geo Consult는 최대교통량을 일 평균 설계교통량의 10%로 하는 것이 합리적이라고 추천하고 있다. 또 '95 PIARC 보고서에 의하면 최대교통량은 주행속도 60km/h 주변에서 나타나고 평균적인 최대교통량(average peak traffic flow)은 일방향 교통터널에서는 승용차 대수로 차선 당 1800~2000대/시, 양방향교통터널에서는 차선 당 1400~1500대/시로서 이 값은 Geo Consult와 마찬가지로 일 평균 교통량의 10% 정도인 것으로 기술하고 있다. 국내의 경우 도로용량편람에 의하면 다차선 도로(터널의 경우 일방향 교통터널로 가정)의 기본교통용량(이상적인 상태의 교통량)은 설계속도 80km/h 이상

에서는 차선 당 2200대/시, 설계속도 80km/h 이하에서는 차선 당 2100대/시, 그리고 2차선 도로(터널의 경우 양방향교통터널로 가정)의 기본교통용량은 차선 당 1600대/시로 규정되어 있어서 '95 PIARC 보고서의 평균최대교통량에 비해 약 10% 정도 큰 값이다. '95 PIARC 보고서의 값이 평균값으로서 도로 이용도가 높을 경우에는 10~20% 까지도 크게 나타날 수 있다는 점을 감안하면 도로용량편람에서 제시하는 기본교통용량을 최대교통량으로 사용하는 것이 합리적일 것이다.

따라서 2차선 양방향교통터널의 경우 1600대/시/차선, 그리고 다차선 일방향교통터널의 경우는 2200대/시/차선(설계속도 80km/시 이상)과 2100대/시/차선(설계속도 80km/시 이하)를 최대교통량 M_{max}으로 정하여 식 (618.3)에 적용함으로서 PIARC 방식에서 환기량 산출에 요구되는 승용차 대수로 표시되는 주행속도별 교통밀도를 구할 수 있다.

그러나 목표 년도의 일설계 교통량의 10%가 상기에서 논의된 최대교통량에 훨씬 미치지 못하는 경우에는 교통밀도 산정시 도로의 기본교통용량보다 적은 값을 최대교통량(M_{max})으로 하는 것을 고려하는 것이 바람직하다.

2.3.2 승용차 환산계수

대형차의 승용차 환산계수(PCE : Passenger Car Equivalents)는 교통밀도 산출을 포함한 환기량 계산시 중요한 인자로서 도로의 경사 및 대형차 혼입율에 따라서 다르나 현재 국내 도로터널에 대한 승용차 환산계수는 연구된 바가 없으므로 '92 건설부 발행, 도로용량편람'에서 제시하는 값을 사용하며 그 값은 <표 618.1>과 같다.

2.4 환기의 대상물질 및 농도

2.4.1 유해성분의 종류와 영향

자동차의 배출가스 중에 함유되어 있는 유해성분의 종류는 헤아릴 수 없이 많으나 환기시설 설계의 대상이 되는 유해물질은 매연, 일산화탄소(CO) 및 질소산화물(NOx)이다.

매연은 배출가스 중에 포함된 입자상 물질의 총칭으로서 주로 디젤차량에서 배출되며 가솔린 차량의 경우는 거의 배출되지 않는다. 매연은 입자의 직경이 수 ㎛(마이크로미터) 이하의 미세한 물질로서 빛을 흡수하거나 산란시켜 터

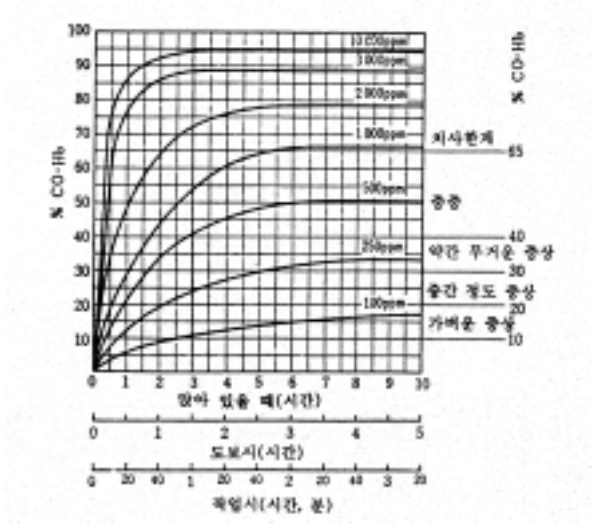
<표 618.1> 승용차 환산계수

도로구분	차량구분	지형		
		평지[1]	구릉지[2]	산지[3]
고속도로 기본구간	트럭	1.5	3.0	5.0
	버스	1.3		
2차선도로	트럭	1.9	3.5	5.5
	버스	1.6		
다차선도로	트럭	1.5	3.0	5.0
	버스	1.3		

1) 중차량이 승용차와 거의 동일한 속도를 유지할 수 있는 지형으로 종단경사가 2% 미만인 지형
2) 종단경사가 2% 이상 5% 미만인 지형
3) 종단경사가 5% 이상인 지형
*하향경사는 동등 상향경사의 1/2로 추정한다.

널 내 차량 주행시 전방 가시도를 저하시켜 안전운행에 지장을 초래하게 된다.

일산화탄소는 가솔린 차량에서 가장 많이 배출되는 오염물질로 연료의 불완전 연소로 인하여 생성되는 것으로 무색, 무취이며 혈액 중 헤모글로빈(Hb)과의 결합력이 산소보다 200배나 높아 인체에 흡수되면 CO-Hb를 형성하여 산소의 운반능력을 저하시키게 된다. 따라서 체내 산소 공급의 부족으로 신경계통에 영향을 주어 반사신경의 둔화로 운전자의 판단능력을 저하시킴으로서, 교통상황 판단의 지연으로 인한 교통사고 유발 가능성이 높아지는 것으로 알려져 있다. 참고로 <그림 618.2>는 CO 가스에 노출시 시간에 따른 혈중 CO-Hb 농도의 변화와 인간의 신체활동 별로 신체에 미치는 영향을 나타낸 것이다.



<그림 618.2> CO 가스의 인체에 대한 영향

NOx는 엔진 내에서 연료의 연소 시 고온에 의해서 공기중의 질소와 산소가 열반응하여 생성되는 것으로 배기관을 통하여 배출되는 NOx는 95% 이상이 NO(일산화질소)로서 대기중에서 여러 가지 산화물과 광화학 반응하여 NO_2(이산화질소)로 변환된다. NO_2는 NO보다 5배 이상의 독성을 가지고 있으며 호흡시 인체로 흡입된 NO_2의 95%가 기관지 내에 남아 호흡기를 약화시켜 천식환자의 기도저항을 증가시키고 폐의 기능을 감소시킨다.

농도가 100~150ppm에 30~60분 정도 노출시 위험한 정도인 것으로 알려져 있다

2.4.2 유해성분 배출량

(1) 기준배출량

터널을 통행하는 차량의 유해성분 배출량은 차종, 주행상태에 따라 다르게 나타난다. 환기설계 시 배출량을 정확하게 예측하기 위해서는 교통량, 차종구성과 차의 연령 및 주행상태에 따른 배출량의 원단위를 될 수 있는 한 상세히 설정하는 것이 바람직하다. 그러나 자동차의 유해성분 배출량은 여러 가지 요인에 의해 변화되어 매우 복잡하고, 충분한 자료를 수집하기 어려운 실정이며 특히 국내의 배출량 조사는 극히 미약하여 도로터널 환기설계에 적용할 수 있는 배출량을 직접적으로 산정하는 것은 현재로서는 불가능하다. 따라서 PIARC 방식의 배출량 산정 방식을 따라 간접적으로 국내 차종별 기준배출량을 정하여야 한다. PIARC 방식에서는 60 km/h의 속도로 해수면 고도의 평지를 주행할 때 배출되는 오염물질의 양을 기준배출량으로 정하고 이를 차량의 주행조건 즉, 주행속도, 도로터널의 표고, 경사에 따른 배출량의 변화를 보정함으로서 실 조건의 배출량을 산정하게 된다. 따라서 기준배출량은 사용연료의 종류, 엔진의 연소성능, 차량 중량에 따라 결정되는 대표값이라 할 수 있다. 오염물질의 배출량은 시대의 흐름에 따라 환경규제가 강화되고 엔진의 기술발달과 매연 제거장치 등의 개발로 매연과 같은 오염물질의 배출량이

최근 급격히 감소하고 있는 추세이다.

매연은 발생 특성상 주로 경유를 사용하는 버스, 트럭 등의 디젤차로부터 발생하며 발생의 정도는 엔진의 크기, 엔진의 기술수준 및 노후 정도, 그리고 작동상태에 따라 상당한 편차를 보인다. <표 618.2>는 '91년 PIARC 보고서에 제시된 기준배출량과 '95년 PIARC 보고서에 제시된 유럽연합기준(EURO)을 인용하였으며 단위는 m^2/h・대이다. PIARC 방식의 경우 차종분류에 의하지 않고 차량의 중량구분에 의해 매연 기준배출량을 제시하고 있다.

EEC R 49+24와 EEC 88/77은 유럽국가에서 1983년과 1992년에 각각 제정한 자동차 배출규제법, US Transient 88, 91 및 94는 미국에서 1988년, 1991년 및 1994년에 각각 제정된 배출규제법이며, pre-EURO, EURO0, EURO1, 및 EURO2는 유럽연합에서 1990년 이전, 1990년, 1992년, 및 1995년에 제정한 배출규제법에 의거 제작된 차량에 대한 기준배출량이다. 또한 No Law는 자동차 배출규제법이 마련되어 있지 않은 국가의 경우에 권장하는 기준배출량이며 주기적인 자동차 배출검사 또는 배출가스 제어장치의 장착여부에 따라 Control Yes 또는 Control No를 적용하도록 하고 있다.

국내 환기설계에서는 차량의 규격과 배출규제 수준 등이 PIARC에서 제시하고 있는 것과 상이하고 실측된 자료가 미비하며, 현재 단위출력당 매연중량(g/kw・h)으로 규제되는 매연의 농도를 PIARC에서 제시하는 차량중량별 기준배출량단위(m^2/h・대)로 환산 적용하는 데는 불확실성이 크기 때문에 그 동안 매연 기준배출량은 주로 No Law의 평균값 또는 하한값을 적용하여 왔다. 그러나 우리 나라도 대기환경보전법에 자동차 배출규제법이 마련되어 있고

<표 618.2> 중량별 매연기준 배출량 (PIARC 기준)

Trucks, Bus with diesel motors (3.5 ton 이상)					
Emission Law	Control	기준배출량 (속도 60㎞/h), [㎡/h・대]			
		중량, ton			
		5	10	20	40
No Law	no	80～130	160～250	300～400	400～600
EEC R 49 + 24	no	80	160	240	280
EEC R 49 + 24	yes	65	130	200	240
EEC 88/77	yes	50	100	160	200
US Transient 88	yes	50	100	160	200
US Transient 91	yes	30	60	100	140
US Transient 94	yes	20	40	70	110
pre-EURO	?		160	250	
EURO0	yes		100	160	
EURO1	yes		85	140	
EURO2	yes		45	75	
고속도로 설계기준(한국도로공사)		72	160	235	275

<표 618.3> 차종별 차량 제원

구 분		승용차	버 스		트 럭				
			소형	보통	소형	보통	대형	세미 트레일러	풀 트레일러
단위중량당 마력(PS/톤)		68.6	33.6	18.6	33.5	17.8	13.5	7.4	8.6
무게 [톤]	차중량	1.08	1.48	9.49	1.41	3.25	8.30	13.83	14.45
	총중량	1.37	2.20	12.16	2.39	6.22	18.55	45.02	36.45
차체 규격 [㎝]	길이	434	450	1.077	452	610	874	1831	1872
	너비	168	165	245	168	202	248	261	260
	높이	144	197	312	168	227	321	286	307
마력[PS]		94	74	226	80	111	250	332	315

규제수준도 구미 각국의 규제수준에 거의 근접하고 있는 실정임을 고려한다면 PIARC 보고서의 기준배출량 중에서 배출규제법이 적용되는 기준배출량을 국내의 차종에 적용하는 것이 바람직하다. 향후 국내 차종에 대한 기준배출량의 연구를 통하여 점진적으로 조정하여야겠지만 잠정적으로 고속도로 터널의 경우에 대해서는 한국도로공사에서 제시한 고속도로 터널 환기시설 설계기준의 적용 값을 적용하고 기타 도로에 대해서는 전문가집단의 의견과 시간대별 교통량을 포함한 상세한 교통량 분석자료로부터 해당터널에 대한 매연의 기준 배출량을 정하는 것이 바람직하다.

현재 환기설계에 적용할 수 있는 국내 차종별 분류 중량 및 출력은 '92 건설부 도로용량 편람'에서 제시하는 값 <표 618.3>을 사용하며 환기설계 시 공차율 즉, 적재차량에 대한 비적재차량의 비를 20%로 정한다. 따라서 국내 차종별 기준배출량은 PIARC의 기준배출량을 중량 보간법에 의해서 계산하여 적용한다(계산예는 '3.2.3 환기량 산정 예'를 참조).

일산화탄소 및 질소산화물은 소형차의 경우

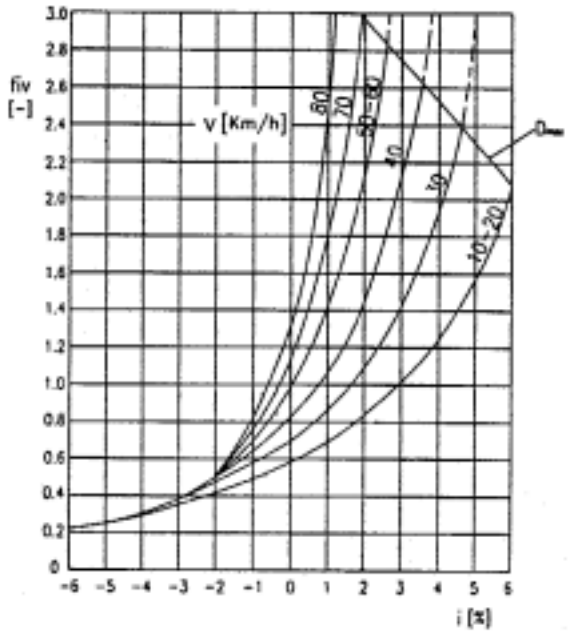
<표 618.4> 국내 차종별 CO 및 NOx의 기준배출량

구 분		승용차	버 스		트 럭			
			소형	대형 226 PS	소형	중형 111 PS	대형 250 PS	특수 323.5 PS
CO	허용기준	2.11 g/㎞	1.27 g/㎞	4.9 g/(kW・h)	1.52 g/㎞	4.9 g/(kW・h)	4.9 g/(kW・h)	4.9 g/(kW・h)
	적용값(㎥/h)	0.101	0.061	0.652	0.073	0.320	0.721	0.933
NOx	허용기준	0.25 g/㎞	0.64 g/㎞	6.0 g/(kW・h)	0.71 g/㎞	6.0 g/(kW・h)	6.0 g/(kW・h)	6.0 g/(kW・h)
	적용값(㎥/h)	0.010	0.025	0.642	0.027	0.315	0.710	0.919

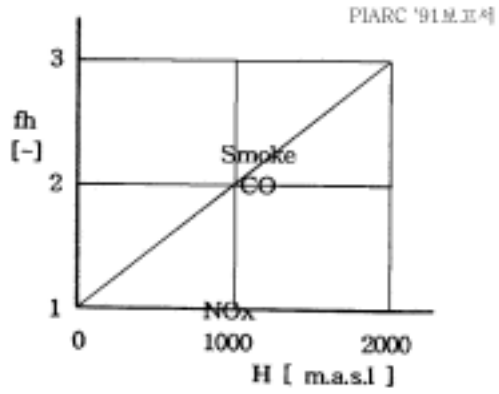
단위거리 주행 당 가스발생 중량(g/㎞), 중·대형차의 경우 단위출력 당 가스발생 중량(g/Kwh)으로 배출량이 규제되기 때문에 PIARC 방식의 기준배출량 단위(㎥/h·대)로 환산하여 적용할 수 있다. 따라서 기준배출량은 2000년 이후의 국산 제작차 오염물질 배출허용기준을 근거로 주행속도가 60km/h인 경우를 기준으로 하고 상온 1 기압을 기준으로 일산화탄소(CO)의 경우 중량/부피 비는 1.20kg/㎥, 질소산화물(NOx)의 경우 중량/부피 비는 1.5kg/㎥으로 하여 계산된 일산화탄소와 질소산화물의 기준배출량은 <표 618.4>와 같다.

(2) 기준배출량의 보정

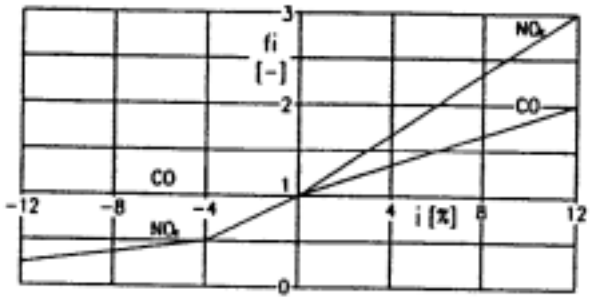
실제 조건의 도로터널에서의 차량 배출량을 산정 하기 위해서는 차량의 주행조건의 변화로 인한 배출량 변화를 보정 하여야 하는데 현재까지 국내실정으로 이에 대해 정확하게 제시된 값이 없으므로 PIARC에서 제시하고 있는 방법을 적용한다. PIARC 방식에서는 매연에 대하여는 속도·경사, 및 표고의 함수로, 일산화탄소와 질소산화물의 경우에는 속도, 경사, 및 표고의 함수로 보정하고 있다. PIARC 방식에서도 매 4년마다 개정하여 제시하고 있는데 95년 PIARC 보고서의 경우는 유럽연합의 배출규제(EURO 기준)를 바탕으로 한 배출량 보정을 하고 있지만 국내차량에 적용하는데는 다소간 어려움이 있다. 따라서 본 편람의 환기설계에는 그 동안 PIARC 방식으로의 환기설계에 적용한 사례가 있고 적용이 간편한 91년도 PIARC 보고서에 제시된 방식을 사용한다(<그림 618.3~6> 참조).



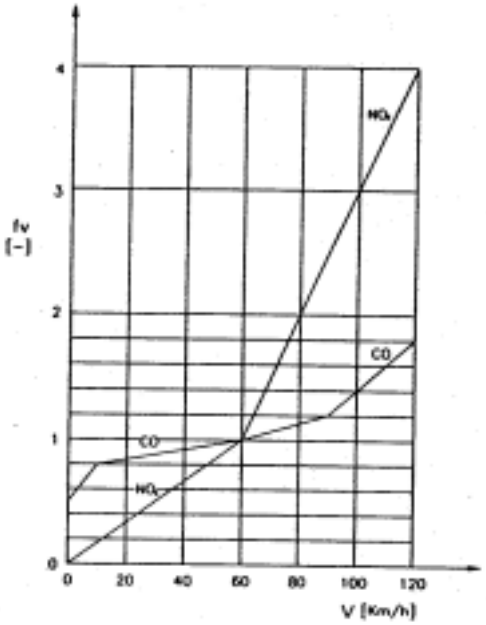
<그림 618.3> 매연에 대한 경사속도 보정계수



<그림 618.4> 표고 보정계수(매연, CO, NOx)



<그림 618.5> 경사 보정계수(CO, NOx)



<그림 618.6> 속도 보정계수(CO, NOx)

2.4.3 설계 농도

유해물질에 대한 설계농도는 터널 내부에서의 교통안전성과 쾌적성 및 유지관리작업의 안전성을 확보하는데 필요한 수치로서 환기시설을 설계할 때 기계환기에 의한 소요환기량이나 설비용량 등을 산정시 기초가 되는 터널 내의 유해성분 농도의 달성 목표 값을 원칙으로 '2.3 설계에 사용하는 교통량'에 나타낸 교통조건을 대상으로 한 것이다. '95 PIARC보고서와 국내에서 적용되는 기준을 바탕으로 차량의 주행속도에 따라 <표 618.5>에 표시한 수치를 표준으로 한다. 그러나 시대의 흐름에 따라 환경규제가 강화되고 있는 추세인지라 터널 내 유해성분에 대한 허용농도도 강화되고 있는 실정으로 본 편람에서 제시하고 있는 설계농도도 시대상황에 따라 유연하게 적용되어야 할 것이다.

현재의 차량에 대한 유해물질 배출수준을 고려하여 보면 매연이 환기설비의 설계요인이 되는 경우가 대부분이다. 특히 매연은 주행속도가 낮을수록 배출량이 크게 늘어나므로 낮은 주행속도의 교통발생빈도가 작은 경우를 대상으로 환기기를 설계하면 경제적인 측면에서 비효율적이기 때문에 매연설계농도를 적용할 수 있는 주행속도 범위를 제한할 필요가 있다. 따라서 도로의 성격에 따른 지체정도 및 지체시간을 고려하여 고속도로 터널은 60km/h 이상, 일반도로 및 지방도로 터널에는 40km/h 이상, 도심터널은 20km/h 이상에서 <표 618.5>를 적용하는 것이 바람직하다.

터널의 매연농도는 전술한 것처럼 운전자의 가시거리에 영향을 미치는 인자로 안전운행을 위해서 매우 중요하다. 현재 중량단위로 주어지는 입자의 농도와 매연 사이의 관계를 보이는 연구는 거의 없는 실정이며, 매연의 지시도로서 100m 떨어진 곳에서의 빛의 소멸계수

<표 618.5> 표준 설계농도

대 상 물 질	주 행 속 도	설 계 농 도
매연소멸계수, K_{lim} (또는 매연투과율, %)	10 ㎞/h 20~40 ㎞/h 50~80 ㎞/h	0.008~0.009 m^{-1} (45~40%) 0.007~0.008 m^{-1} (50~45%) 0.005~0.006 m^{-1} (60~55%)
일산화탄소 (CO)	10 ㎞/h 20~80 ㎞/h	150 ppm 100 ppm
질소산화물 (NOx)	전속도	25 ppm

<표 618.6> PIARC의 권장 허용매연농도

교 통 형 태	소멸계수 Klim(m-1)	τ(%), 100m 투과도
교통원활, 50～100㎞/h	0.005	60
일상적인 혼잡교통, 지체	0.007	50
극히 혼잡, 지체	0.009	40
교통 소통시 유지보수 작업	0.003	75
터널폐쇄	0.012	30

(extinction coefficient)나 매연투과율을 사용하고 있으며 관계는 식 (618.4)와 같다.

$$K = \frac{1}{L} \ln \frac{E}{E_o} \qquad (618.4)$$

여기에서,

K : 소멸계수 (extinction coefficient) [m^{-1}]

L : 100m

E_o : 기준위치에서의 광원의 세기

E : 기준위치에서의 광원이 100m 떨어진 곳에 미치는 광원의 세기

τ : 매연투과율(=E/Eo×100) [%]

매연은 시거 장애가 문제되므로 주행 상 안전한 시거를 확보하는 것이 중요하다. 안전 주행에 필요한 시거는 설계 속도에 따라 다르다. 참고로 PIARC '95 보고서에는 교통형태에 따라서 <표 618.6>에 나타낸 것과 같이 권장하고 있다.

전술한 바와 같이 일산화탄소가 인체에 주는 영향은 노출농도, 체류시간 및 노출상황에 따라 영향은 다르다. 이용자의 터널 내에서의 체류시간은 짧기 때문에 상당한 고농도라도 지장은 없지만 보수작업 시간을 고려할 때는 체류시간을 고려하여야 한다. 미국 환경보호청(EPA)의 지침에 의하면 CO 노출시 인체내의 CO-Hb의 농도를 2% 이하로 하는 것으로 규정하여 15분 노출 시 이 한계를 넘지 않는 120ppm으로 규정하고 있다. 이 값은 터널 내의 운행시간이 15분 이하인 경우에는 문제가 되지 않으나 주행속도가 저속으로 인하여 15분 이상이 소요될 수 있는 경우 문제가 될 수 있다. 참고로 PIARC '95 보고서에는 교통형태에

<표 618.7> PIARC의 권장 허용CO농도

교 통 형 태	목표년도	
	1995년	2010년
교통원활, 50～100㎞/h	100 ppm	70 ppm
일상적인 혼잡교통, 지체	100 ppm	70 ppm
극히 혼잡, 지체	150 ppm	100 ppm
교통 소통시 유지보수 작업	30 ppm	20 ppm
터널폐쇄	250 ppm	200 ppm

* $1\ ppm = \frac{1\,m^3\ 오염기체량}{10^6\,m^3}$ 에 해당함

따른 일산화탄소의 허용농도를 <표 618.7>에 나타낸 것처럼 정하고 있다.

질소산화물의 경우는 과거 일본방식의 환기설계에서는 고려되지 않았으나 최근 환경규제의 강화와 함께 PIARC 에서는 전 주행속도 구간에 대하여 25ppm을 넘지 않도록 권장하고 있다.

2.5 환기시설의 필요성 검토

환기의 종류는 자연환기와 기계환기로 크게 구분된다.

기계설비에 의한 환기검토에 앞서 터널내의 환기가 자연환기 방식으로 가능한지 여부를 검토해야 한다. 길이가 짧고 교통량이 적은 터널에서는 자연환기만으로도 충분하다.

자연환기는 기상조건에 따라서 자연풍 및 터널 내를 주행하는 자동차에 의해 발생하는 교통풍으로 터널외부로부터 신선한 공기가 통과되면서 자연스럽게 환기가 된다. 자연환기의 한계는 터널 내부의 여러 가지 조건, 교통조건(교통방향, 교통량, 차종구성, 주행속도) 및 기상조건에 따라 다르다. 특히 기상조건은 각각 터널별로 다른 것은 물론, 동일한 터널에 대해서도 시간적 계절적인 변화가 현저한 것이 보통이다.

또한 양방향 교통터널에서의 교통풍은 교통량 및 상·하행선별 교통량의 변동에 따라 시간마다 변화한다. 때문에 자연환기의 효과를 정량적으로 결정하는 것은 매우 어렵다.

2.5.1 터널의 길이 및 교통량에 의한 검토

<그림 618.7>은 양방향 교통의 도로터널의 길이와 교통량의 관계를 기계환기 시설의 유·무에 따라 표시한 것이다.

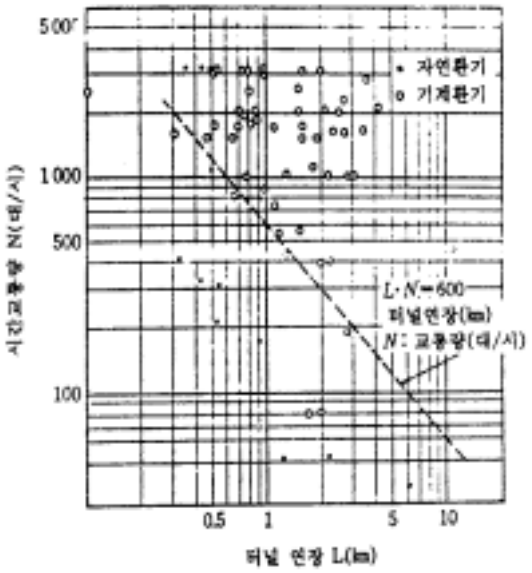
이 그림을 보면 기계환기를 실시한 터널은 다음 식 (618.5)에서 나타낸 값 이상이 된다.

$$L \cdot N = 600 \qquad (618.5)$$

여기에서,

L : 터널길이(km)

N : 시간교통량(대/h)

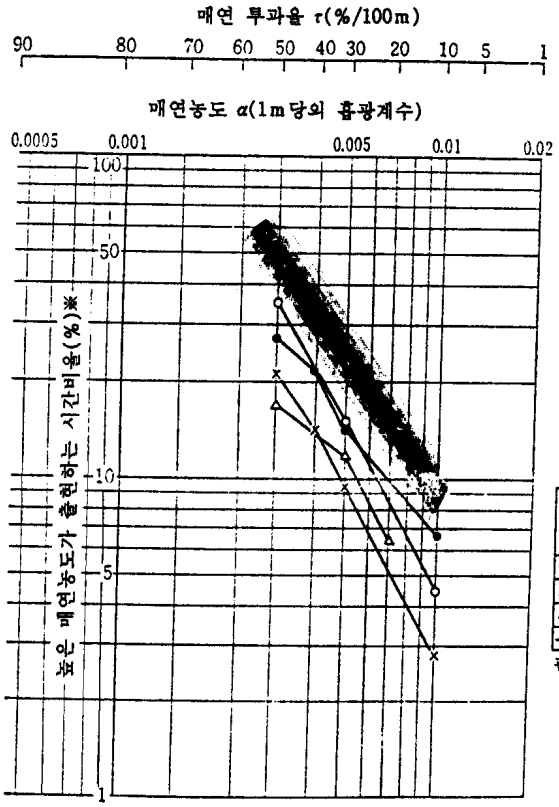


<그림 618.7> 자연환기의 한계길이
(양방향 교통터널)

<그림 618.8>은 양방향 교통터널에서 자연환기의 한계에 가깝다고 판단되는 터널의 매연농도에 대한 실태조사를 실시한 결과이며 이런 터널은 그 후 환기시설을 설치하고 있다.

일방향 교통터널의 경우는 교통환기의 효과가 한 쪽 방향으로 작용하기 때문에 자연환기의 한계는 양방향 교통터널에 비해 매우 확대된다.

<그림 618.9>는 일본의 주요 일방향 교통터널의 환기시설 유·무를 조사한 것이다. 경험적으로 판단하여 볼 때 다음과 같은 식 (618.6)



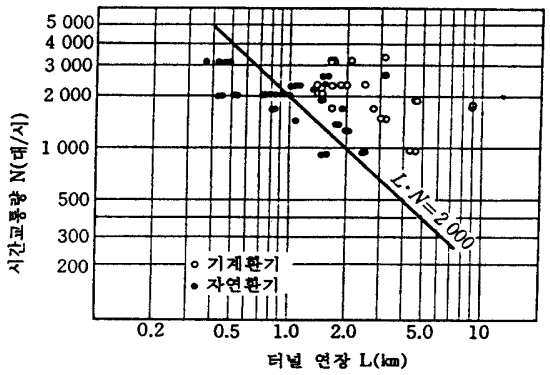
기호	터널제원 개요		관측시 교통조건		비 고 (이후의 조치)
	연장 (m)	구배 (%)	첨두시간 교통량(대/시)	디젤차 혼입률(%)	
—○—	550	3.5~0.5	1,100	25~30	제트팬 설치
—●—	970	3.0	600	5~10	〃
—×—	1,300	0.3~0.7	1,100	6~10	〃
—△—	830	0.3	590	10	〃

관측 위치 : 터널 중앙 부근

<그림 618.8> 매연농도 관측 예와 자연환기의 한계
(일반국도터널, 일본의 예)

에 나타낸 정도까지 자연환기가 가능한 것으로 판단된다.

$$L \cdot N = 2000 \qquad (618.6)$$



<그림 618.9> 자연환기의 표준
(일방향 교통터널)

전술한 식과 그림은 길이, 경사, 교통량 등이 크지 않은 평균적인 터널에서의 자연환기 한계 중 하나의 기준이며, 경사가 급한 터널, 길이가 긴 터널, 지체가 발생하기 쉬운 터널 등 특수한 경우에 적용할 때는 주의가 필요하다.

또 여기서 표시한 한계는 자연환기로 충분한 것이 아니라 그 수치에 근접한 터널 혹은 그것을 초과하는 터널에 대해 기계환기를 검토하는 것이 바람직하다는 것으로 이해하여야 한다.

2.5.2 자연환기력 및 교통환기력에 대한 검토

(1) 자연환기력

터널의 자연환기력은 양 갱구 사이의 기상조건 및 온도차에 의한 압력차와 터널 입구 또는 출구로 부는 자연풍에 의한 압력차에 의해서 발생하는 것으로 이에 대한 정확한 측정이 곤란하므로 자연환기력은 터널 내를 Un의 풍속으로 맞바람이 부는 것을 고려하여 식 (618.7)로 구한다.

$$\Delta P_{MTW} = (1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_\gamma\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \quad [\text{mmAq}] \qquad (618.7)$$

여기에서,

ΔP_{MTW} : 터널 양갱구간 자연환기력 [mmAq]

ζ_e : 터널입구 손실계수

λ : 터널벽면 마찰손실계수

L : 터널 길이 [m]

D : 터널 대표 길이 [m]

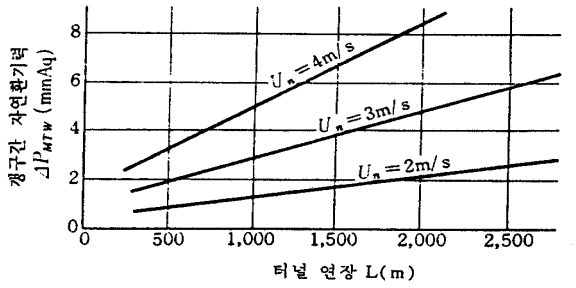
Un : 자연풍에 의한 터널내 평균풍속 [m/s]

γ : 교통공간을 나타내는 첨자

ρ : 공기밀도 [$kg_f\cdot s^2/m^4$]

실제 터널에서는 자연환기력이 항상 존재하는 것이 아니고 또한 존재하여도 시간에 따라서 자연풍이 부는 방향이 변화하여 항상 변동된다. 따라서 자연환기력을 계산할 때에도 자연풍의 속도를 0 m/s로 보는 경우와 필요한 환기풍의 방향과 반대 방향으로 자연환기풍속을 보는 경우도 있다. 일반적으로 자연풍의 풍속은 터널 관통 후부터 개통 전까지 관측이 가능한 경우를 제외하고는 파악하기가 곤란한 경우가 많다. 따라서 일반 지형조건에서는 경험적으로 2-3 m/s를 표준으로 하고 있다.

식에서 Un과 ΔP_{MTW}의 관계는 <그림 618.10>에 나타낸 것과 같다.



<그림 618.10> 저항으로 된 자연환기력

(2) 교통 환기력

교통 환기력은 터널 내를 주행하는 차량의 피스톤 효과에 의해 발생하는 것으로 자연 환기력에 비하면 큰 경우가 많으므로, 일방향 교통터널에서는 상당히 긴 터널이라도 교통흐름이 순조로운 때는 교통 환기력 만으로도 충분한 환기를 행할 수 있다. 그러나 양방향 교통터널에서는 교통 환기력이 양방향으로 서로 상쇄되어 반대로 저항으로 작용하는 수가 있으므로 비교적 짧은 터널이라도 기계환기 시설이 필요하게 된다.

일반적으로 터널 내를 주행하는 자동차의 피스톤 작용에 따라 교통 환기력은 정상적인 상태에서 아래의 식 (618.8)로 구할 수 있다.

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot n_+\cdot (V_{t(+)}-U_r)\cdot|V_{t(+)}-U_r| - \frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot n_-\cdot(V_{t(-)}+U_r)|V_{t(-)}+U_r| \qquad (618.8)$$

위의 식에서 교통환기풍속(Ur)의 방향을 기준으로 하여 +는 환기풍 방향과 동일한 방향, -는 환기풍 방향과 반대방향을 의미한다. 즉, n_+, n_-는 각각 환기풍의 방향과 동일한 방향의

<표 618.8> 차종별 교통환기력 계수

터널 내공 단면적(㎡)	143		98		75		58		42	
차 종	대형	소형	대형	소형	대형	소형	대형	소형	대형	소형
자동차의 전면투영면적 A_c (㎡)	7.11	2.31	7.11	2.31	7.11	2.31	7.11	2.31	7.11	2.31
자동차의 저항계수 ζ_c	0.74	0.48	0.92	0.53	1.09	0.59	1.31	0.66	1.68	0.78
자동차의 등가저항면적 A_m (㎡)	5.26	1.11	6.54	1.22	7.75	1.36	9.31	1.52	11.95	1.80

차량수와 반대 방향의 차량수를 나타낸다. 또 $V_{t(+)}$, $V_{t(-)}$는 차량의 주행속도를 의미한다. 또한 Am은 자동차 등가저항면적으로서 식 (618.9)로 계산한다. 식에서 첨자 s는 소형차를 의미하고 L은 대형차를 의미한다.

차량의 전면투영면적과 저항계수는 일본에서 연구된 결과를 바탕으로 해서 작성된 <표 618.8>에 제시된 값을 사용한다.

$$A_m = (1-\gamma_L)\cdot(A_c\cdot\xi_c)_s + \gamma_L\cdot(A_c\cdot\xi_c)_L \quad (618.9)$$

여기에서,

Ac : 자동차의 전면투영면적

ξ_c : 자동차의 저항계수

γ_L : 대형차 혼입율

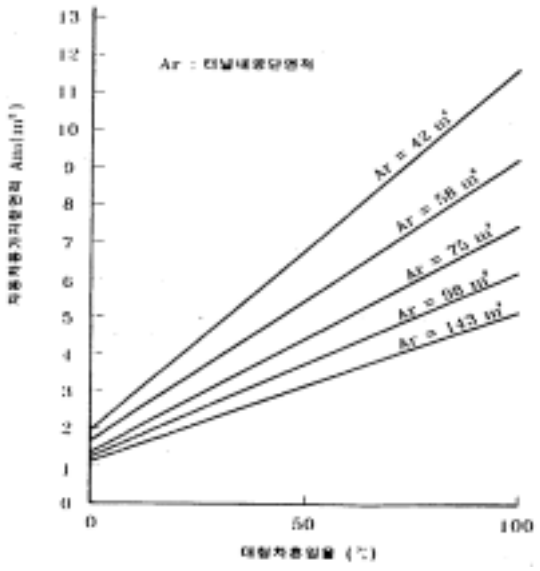
참고로 <그림 618.11>은 대형차 혼입율에 따른 자동차의 등가저항면적을 나타낸 것으로 대형차 혼입율이 동일한 경우에도 터널의 내공단면이 적은 경우에는 등가저항면적이 증대하는 것을 알 수 있다. 또 자동차의 형상에 관련된 저항계수는 점적률(자동차의 전면투영면적 / 터널내공단면적)이 크면 저항계수도 증가하여 식 (618.10)으로 표시할 수 있다.

$$Y = 0.0786X + 0.35 \quad (618.10)$$

여기에서,

Y : 저항계수,

X : 점적률(%)



<그림 618.11> 자동차의 등가저항 면적과 대형차 혼입율의 관계

(3) 교통환기도

교통환기도는 자연풍에 의한 자연환기력 및 차량에 의한 교통환기력과 차도 내 풍속의 관계를 교통량을 변수로 하여 나타낸 것으로 환기시설의 규모와 자연환기의 가능성을 검토하기 위해서 필수적으로 검토되어야 한다.

자연풍에 의한 자연환기력과 통행차량에 의

한 교통환기력 및 터널 내 저항에 대한 압력방정식은 식 (618.11)과 같다. 이 식에서 좌변은 터널 내 풍속이 Ur인 경우에 환기풍에 대한 마찰저항을 나타내는 항이다.

$$(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^2 = \pm\triangle P_t+\triangle P_{MTW} \quad (618.11)$$

차량의 통행조건과 자연풍의 방향에 따른 식 (618.11)의 부호관계를 살펴보면 다음과 같다.

① 일방향 교통터널의 경우

가. 자연풍의 방향 및 교통방향이 터널 내 풍향과 같은 경우

(Ur≥0, Un≥0 ; <그림 618.12>의 I 상한)

$$(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^2 = \frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot n\cdot(V_t-U_r)^2 + (1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \quad (618.12)$$

나. 자연풍의 방향이 터널 내 풍향 및 교통방향과 반대의 경우

(Ur≥0, Un≤0 ; <그림 618.12>의 II 상한)

$$(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^2 = \frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot n\cdot(V_t-U_r)^2 - (1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \quad (618.13)$$

다. 교통방향이 터널 내 풍향 및 자연풍의 방향과 반대의 경우

(Ur〈0, Un〈0 ; <그림 618.12>의 III 상한)

$$(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^2 = -\frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot n\cdot(V_t-U_r)^2 + (1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \quad (618.14)$$

식 (618.13)은 교통환기력이 자연환기력보다 커서 환기풍이 기대하는 방향으로 흐르는 경우이며, 식 (618.14)는 교통흐름과 역방향으로 작용하는 자연풍이 교통환기력보다 큰 경우로 결과적으로 환기풍이 기대하는 방향과 반대 방향으로 흐르는 경우로서 일반적으로 드문 경우이다.

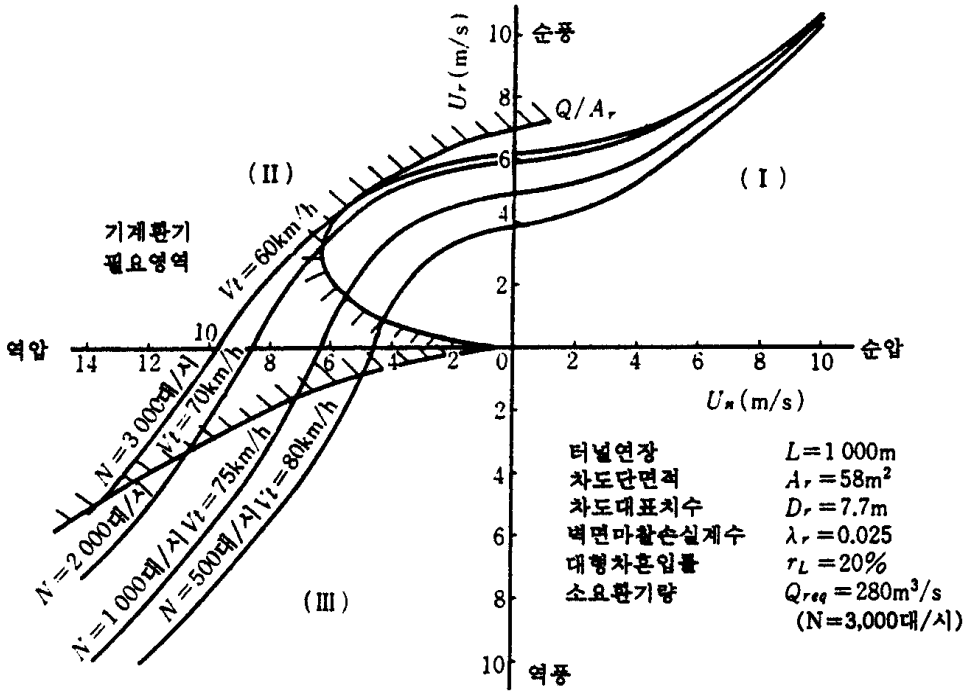
<그림 618.12>는 교통환기력과 자연풍의 풍속에 따른 터널 내 풍속을 교통량의 변화에 따라서 나타낸 것으로 빗금친 선으로 표시한 곡선(Q/Ar)은 각 교통량에 대한 소요환기량을 터널단면적으로 나눈 것으로 터널의 소요환기풍속을 나타낸다. 이 곡선을 경계로 좌측의 영역은 기계환기가 필요한 영역임을 나타낸다.

따라서 교통환기도에서는 교통환기력 및 자연풍속, 터널 내 풍속의 크기와의 관계에서 기계환기의 필요성 또는 환기기의 규모, 환기의 제어 등에 대해 알 수 있다.

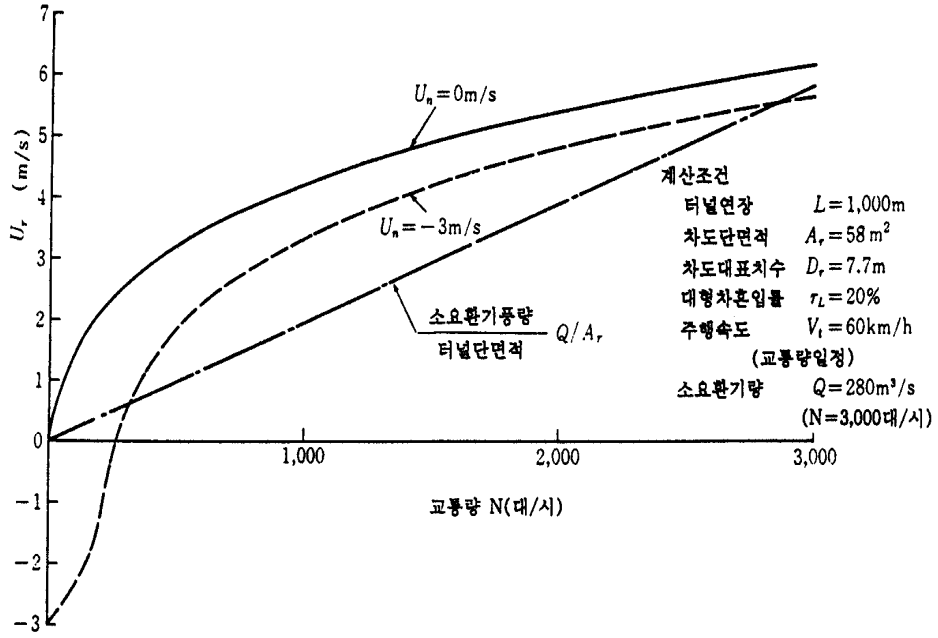
이 외에도 같은 계산 예에 의한 결과를 <그림 618.13>처럼 표시하는 방법도 있다. 예를 들면, U_n = 3.0m/s일 때, 교통량이 30대/h 정도 이하의 영역에서는 환기풍 Ur이 소요환기량에 대해 부족한 상태가 나타나지만 그 외의 영역에서는 자연환기가 충분히 성립됨을 알 수 있다.

② 양방향 교통터널의 경우

양방향 교통터널의 경우도 일방향 교통터널



<그림 618.12> 일방향 교통터널의 교통환기도 예(1)



<그림 618.13> 일방향 교통터널의 교통환기도 예(2)

의 경우에 대한 계산법을 응용하여 적용할 수 있다. 상하 방향별 교통량이 많고 차이가 있는 경우의 교통상태에서는 자연풍(Un)이 없을 때, 양방향 교통에서도 교통환기풍이 존재함으로 교통량이 많은 방향의 교통을 n_+로 하고, 그 방향으로 부는 환기풍(Ur)을 양수로 하면, 다음과 같은 세 가지 조건이 발생한다

가. 교통량이 많은 방향과 같은 방향으로 자연풍이 작용하는 경우 (Ur≥0, Un≥0)

$$(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^2 = \frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot[n_+\cdot(V_{t_{(+)}}-U_r)^2-n_-\cdot(V_{t_{(-)}}+U_r)^2] + (1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \quad (618.15)$$

나. 교통량이 많은 방향과 반대 방향으로 자연풍이 작용하는 경우 (Ur≥0, Un≤0)

$$(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^2 = \frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot[n_+\cdot(V_{t_{(+)}}-U_r)^2-n_-\cdot(V_{t_{(-)}}+U_r)^2] - (1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \quad (618.16)$$

다. 교통량이 많은 방향과 반대 방향으로 자연풍이 작용하며 자연환기력이 교통환기력보다 큰 경우 (Ur≤0, Un≤0)

$$(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^2 = \frac{A_m}{A_r}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot[n_+\cdot(V_{t_{(+)}}+U_r)^2-n_-\cdot(V_{t_{(-)}}-U_r)^2] - (1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D})_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \quad (618.17)$$

또 각 식에서 n_+와 n_-의 값이 접근하면 [ ] 내의 수치가 음의 값으로 되는 영역이 있다. 이 경우는 교통환기력이 저항이 됨을 나타내며 환기풍(Ur)은 대부분 자연풍(Un)의 크기와 방향에 지배된다.

2.6 환기방식의 선정

2.6.1 기계환기방식의 종류

기계설비에 의한 환기는 일반적으로 터널 밖의 신선한 공기를 기계환기력으로 유입시켜 오염된 공기를 희석하는 것을 말한다. 이러한 경우의 환기방식 종류는 차도내의 공기흐름의 방향에 따라 종류식, 반횡류식, 횡류식과 같은 기본적인 환기방식과 그것들의 조합된 환기방식으로 분류된다. 그리고 전기집진기에 의하여 오염된 공기를 정화하는 방식이 주로 종류환기방식과 조합하여 이용되고 있다.

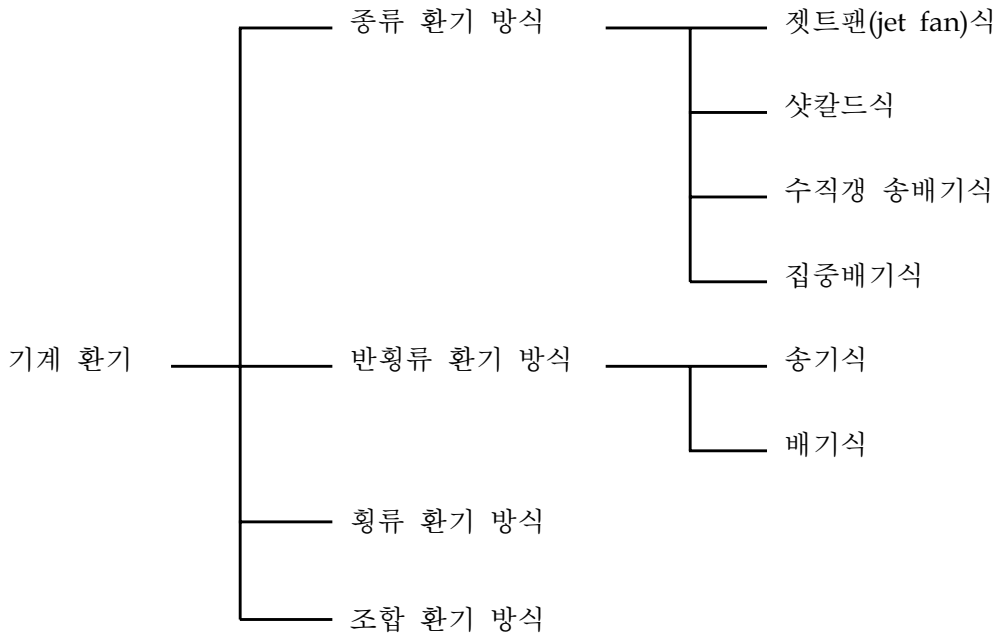
환기방식의 분류는 <그림 618.14>와 같이 요약될 수 있다.

2.6.2 환기방식의 특징

환기방식의 특징은 터널의 교통방식에 따라 크게 달라진다. 즉, 일방향 교통에서는 교통환기력을 유효하게 이용할 수 있는 종류식 환기방식이 유리하며, 양방향 교통의 경우에는 교통환기력을 기대할 수 없으므로 횡류방식이나 집중배기방식을 선택하는 것이 유리하다.

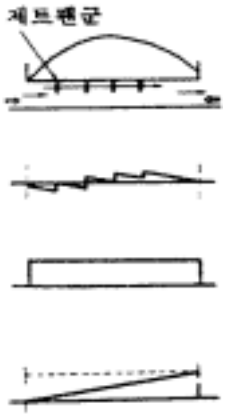
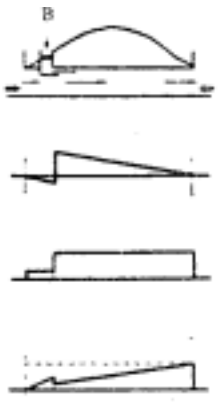
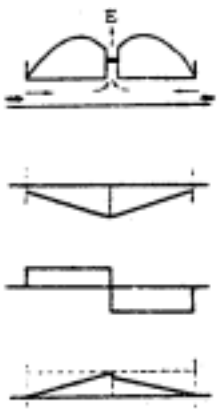
따라서 터널의 각종 조건에 따라서 각 방식을 조합하여 설계하여 보다 합리적인 방식을 선택하여야 한다.

각 환기방식에 따른 특징을 <표 618.9>~<표 618.11>에 나타내었다.

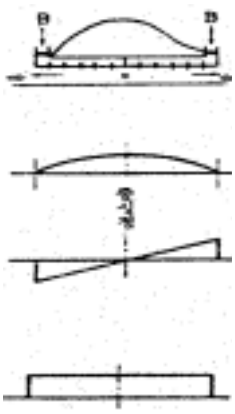
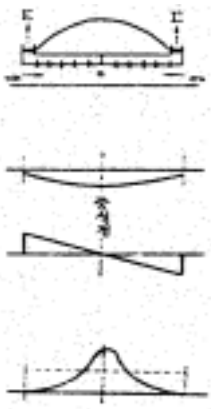
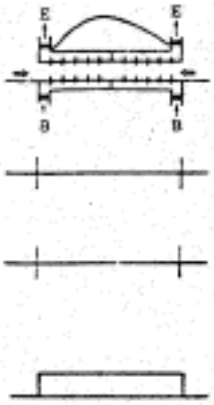


<그림 618.14> 환기방식의 분류

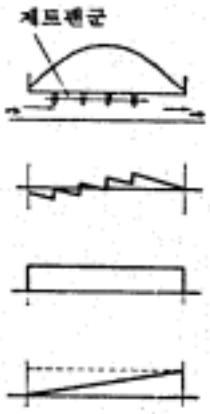
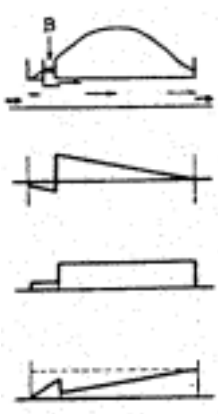
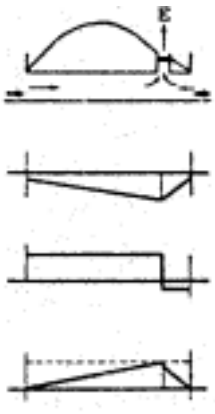
<표 618.9(a)> 환기방식의 특징 (양방향 교통터널)

환 기 방 식	종 류 식		
기본적 특징	환기는 차도를 종 방향으로 흐른다.		
대표적 형식	제 트 팬 식	샷 칼 드 식	집중 배기식
형식의 특징	제트팬 군의 승압에 의한다.	분류 송기 승압에 의한다.	양갱구 흡입, 중앙부 집중 배기
환기계 약도 차 도 내 압 차 도 풍 속 농 도 분 포			
일반적 특징	• 적용길이는 1000m 정도 이하가 표준이지만 교통량이 적은 경우와 길이가 긴 경우에도 적용이 가능하다. • 터널 공용 후에도 쉽게 환기 시설의 설치가 가능하다. • 설비비가 적게 들어 경제적이다. • 길이가 길어지고 교통량이 많아지면 설치 대수도 급격하게 증가하기 때문에 유지 관리상의 어려움이 있다. • 제트팬을 역전함으로써 양방향 환기가 가능하다. • 풍로(風路)로 차도를 이용하므로 손실이 적다. 덕트(풍로)가 불필요하므로 터널 단면이 작아도 된다. • 제트팬의 소음에 대한 검토가 필요하다.	• 적용길이는 1000m 정도 이하가 표준이지만 교통량이 적은 경우와 길이가 긴 경우에도 적용이 가능하다. • 갱구 부근의 환기소에 팬을 설치하므로 제트팬에 비해 관리가 용이하다. • 분류(噴流)가 주행차량에 주는 영향을 검토할 필요가 있다. • 환기의 방향은 일방향으로 한정된다. • 제트팬에 비해 소음대책을 세우기가 쉽다.	• 적용길이는 2000m 정도 이하가 표준이다. • 갱구로부터의 오염공기 배출을 억제할 수도 있다. • 자연풍 및 상하 교통의 변동으로 터널 좌우 구간의 환기상태에 불균형이 생긴다.

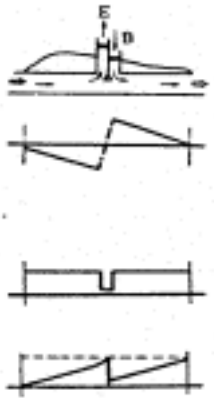
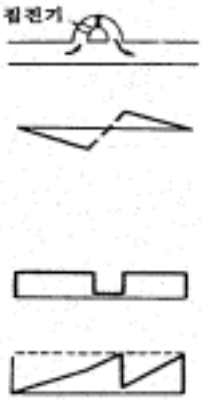
<표 618.9(b)> 환기방식의 특징 (양방향 교통터널)

환 기 방 식	반 횡 류 식		횡 류 식
기본적 특징	터널 덕트에 의해 송기, 배기되어 차도를 종류(縱流)하여 갱구에서 배기 또는 흡기된다.		송배기 양방의 터널덕트를 가져, 환기풍은 차도를 횡류(橫流)한다.
대표적 형식	송기 반횡류식	배기 반횡류식	
형식의 특징	터널 내 송기덕트에 의한 일정한 송기	터널 내 배기덕트에 의한 일정한 배기	
환기계 약도 차 도 내 압 차 도 풍 속 농 도 분 포			
일반적 특징	• 적용길이는 3000m 정도 이하가 표준이다. • 차도 내의 농도분포는 같다. • 자연풍의 영향이 적다.	• 농도가 부분적으로 높아져서 환기효율이 나쁘므로 지금까지 적용된 예는 없다. • 갱구로 배출되는 오염공기가 적으므로 갱구 부근의 환경대책 상 유효하다.	• 적용길이는 2000m 정도 이상이 표준이다. • 차도 내의 종방향 덕트가 없고 농도 분포도 일정하다. • 송,배기용의 2덕트 및 송,배풍기의 양쪽이 필요하므로 설비비와 유지비 모두 많이 든다. • 화재 시에 배연이 가능하다.

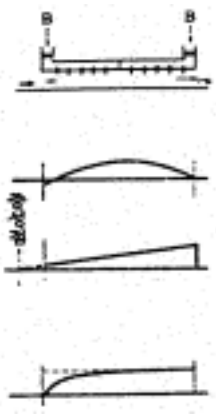
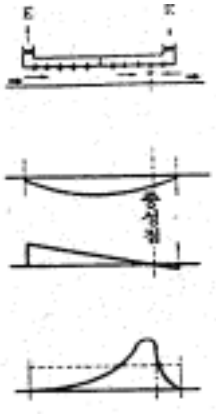
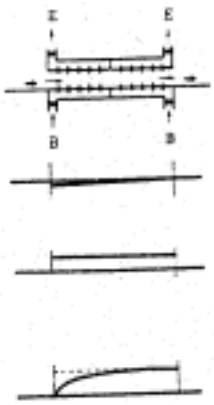
<표 618.10(a)> 환기방식의 특징 (일방향 교통터널)

환 기 방 식	종 류 식		
기본적 특징	환기는 차도를 종 방향으로 흐른다.		
대표적 형식	제 트 팬 식	샷 칼 드 식	집중 배기식
형식의 특징	제트팬 군의 승압에 의한다.	분류 송기 승압에 의한다.	양갱구 흡입, 중앙부 집중 배기
환기계 약도 차 도 내 압 차 도 풍 속 농 도 분 포			
일반적 특징	• 적용길이는 3000m 정도 이하가 표준이다. • 터널 공용 후에도 쉽게 환기 시설의 설치가 가능하다. • 설비비가 적게 들어 경제적이다. • 길이가 길어지고 교통량이 많아지면 설치 대수도 급격하게 증가하기 때문에 유지 관리상의 난점이 있다. • 풍로(風路)로 차도를 이용하므로 손실이 적다. 덕트가 불필요하므로 터널 단면이 작아도 된다. • 교통 환기력을 유효하게 이용 가능하다. • 화재시에 화재차보다 전방의 차 모두가 터널 밖으로 나갈 수 있으며, 후방차에는 연기가 오지 않으므로 안전하다. • 팬 소음에 대한 검토가 필요하다.	• 적용길이는 1000m 정도 이하가 표준이지만 교통량이 적은 경우와 길이가 긴 경우에도 적용이 가능하다. • 갱구 부근의 환기소에 팬을 설치하므로 제트팬에 비해 유지 관리가 쉽다. • 교통 환기력을 효과적으로 이용 가능하다. • 제트팬에 비해 소음대책이 쉽다.	• 적용길이는 1500m 정도 이하가 표준이다. • 갱구에서의 오염공기 배출을 억제할 수도 있다. • 교통량 변동에 대해 제어 방법이 어렵다.

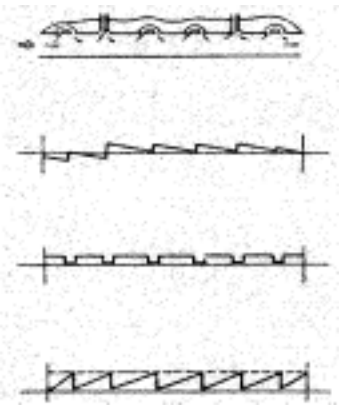
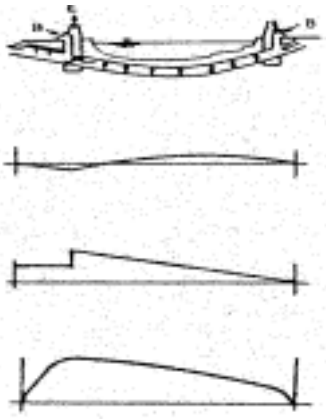
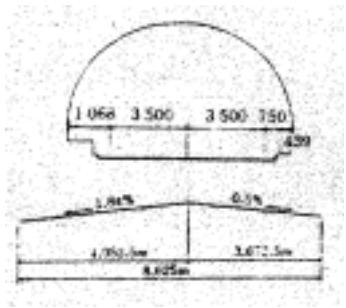
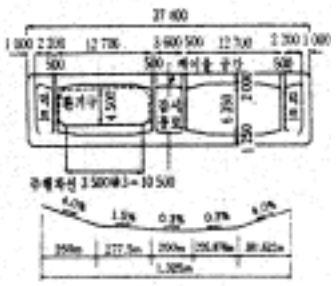
<표 618.10(b)> 환기방식의 특징(일방향 교통터널)

환 기 방 식	종 류 식	
기본적 특징	환기는 차도를 종 방향으로 흐른다.	
대표적 형식	수직갱 송배기식	전기 집진기
형식의 특징	분류 송기의 승압에 의한다.	집진 정화와 분류 송기 승압에 의한다.
환기계 약도 차 도 내 압 차 도 풍 속 농 도 분 포		
일반적 특징	• 적용 길이는 환기상 제한이 없다. • 교통 환기력을 효과적으로 이용할 수 있다. • 지하 환기소나 대형 송풍기의 설비 및 굴착비가 큼 • 주로 장대 터널에 적용	• 적용 길이는 디젤 자동차의 구성비에 관계된다. • 외관의 환기량을 저감할 수 있어서 효율이 높다. • 교통 환기력을 효과적으로 이용할 수 있다. • 일산화탄소(CO) 및 질소산화물(NO_x) 처리가 불가하다.

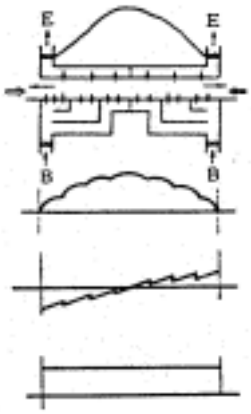
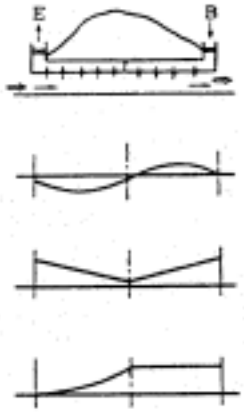
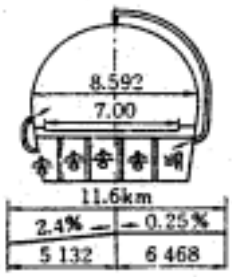
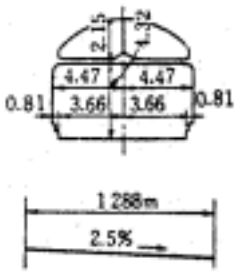
<표 618.10(c)> 환기방식의 특징(일방향 교통터널)

환 기 방 식	반 횡 류 식		횡 류 식
기본적 특징	터널 덕트에 의해 송기, 배기되어 차도를 종류(縱流)하여 갱구에서 배기 또는 흡기된다.		송배기 양방의 터널덕트를 가져, 환기풍은 차도를 횡류(橫流)한다.
대표적 형식	송기 반횡류식	배기 반횡류식	
형식의 특징	터널 내 송기덕트에 의한 일정한 송기	터널 내 배기덕트에 의한 일정한 배기	
환기계 약도 차 도 내 압 차 도 풍 속 농 도 분 포			
일반적 특징	• 적용길이는 3000m 정도 이하가 표준이다. • 교통 환기력을 저해하기 때문에 효과적으로 이용할 수 없다.	• 차도 내의 농도분포가 나빠지는 부분이 있고 환기효율이 나쁘므로 지금까지 적용된 예는 없다. • 갱구로 배출되는 오염공기가 적으므로 갱구 부근의 환경대책 상 유효하다.	• 적용길이는 2000m 정도 이상이 표준이다. • 차도 내의 종방향 덕트가 없고 농도 분포도 일정하다. • 송,배기용의 2덕트 및 송,배풍기의 양쪽이 필요하므로 설비비와 유지비 모두 많이 든다. • 화재 시에 대응이 비교적 단순하고 쉽다.

<표 618.11(a)> 환기방식의 특징(조합 환기방식 예)

환 기 방 식	수직갱 송배기 + 전기 집진기 (조합식)	송기 반횡류 + 집중 배기 (조합식)
터 널 명	에나산 터널(2 기선)	동경항 터널
소 재 지	일본 長野～岐阜	일본 동경
공 사 기 간	1978년～1985년	1969년～1978년
환기계 약도 차 도 내 압 차 도 풍 속 농 도 분 포		
표준 단면도 종 단 구 배		
길 이	8,625 m	1,325 m
차선수,방향×기수	2차선, 1방향 × 2기	3차선, 1방향 × 2기
환 기 량	1,651 ㎥/s	2 × 720 ㎥/s
송 풍 기	송배기 (2+2)×2개소 집진용 2×4 개소 : 계 16대	송기 6대 × 2개소 배기 3대 × 2개소 : 계 18대
환 기 소	6개소 (내집진용 4개소)	수직갱 2개소

<표 618.11(b)> 환기방식의 특징(조합 환기방식 예)

환 기 방 식	수직갱 송배기 / 전기 집진기 ┆ 조합식	배기 반횡류식
터 널 명	몽블랑 터널	스키렐힐 터널
소 재 지	프랑스~이탈리아	미국 펜실바니아주 피츠버그시
공 사 기 간	1959년~1964년	1948년~1953년
환기계 약도 차 도 내 압 차 도 풍 속 농 도 분 포		
표준 단면도 종 단 구 배		
길 이	11,600 m	1,288 m
차선수,방향×기수	2차선, 2방향 × 1기	2차선, 1방향 × 2기
환 기 량	1,050 ㎥/s	570 ㎥/s
송 풍 기	4대	송기 2대 × 2개소 배기 2대 × 2개소 : 계 2대
환 기 소	양 갱구 2개소	양 갱구 2개소

2.6.3 환기방식의 선정

환기방식의 선정은 터널의 길이, 소요환기량 등 기본적인 조건을 근거로 표를 참고로 실시한다. 이때 교통조건, 지형・지물・지질조건, 환기의 질, 환경조건, 화재시 환기기계의 운용, 유지관리, 경제성, 단계건설, 기타조건 등을 유의하여 종합적인 검토를 실시한 후 가장 적절한 방식을 선정해야 한다.

(1) 교통조건

교통조건에는 교통방식(일방향교통, 양방향교통), 교통량, 주행속도, 차종구성 등이 있다.

교통방식은 일방향교통터널에서는 교통환 기력을 유효하게 이용할 수 있는 종류환기방식이 유리하다. 그러나 이 환기방식은 환기력이 교통량과 주행속도 등의 영향을 직접적으로 받기 때문에 교통조건의 변동, 특히 지체발생의 가능성 및 빈도 등도 검토해 두어야 한다.

양방향교통터널에서는 교통 환기력을 기대할 수 없으므로 횡류방식이나 집중배기방식을 선택하는 것이 유리하다. 그러나 최근의 배출량 감소 경향과 젯트팬 등의 환기설비 성능 증대와 경제성을 감안하여 방재설비를 고려한 종류식의 적용도도 증대하고 있는 실정이다.

디젤차 혼입율이 높고 매연에 대한 소요환기량이 일산화탄소나 질소산화물보다 상당히 크고 터널길이가 긴 경우에는 매연을 제거할 수 있는 전기집진기를 종류환기방식과 조합하는 방식에 대한 검토를 실시해야 한다.

(2) 지형・지물・지질조건

수직갱과 사갱에서 환기구간을 분할하므로서 보다 경제적인 환기방식을 선정할 수 있다. 예를 들면 수직갱 송・배기식과 집중배기식처럼 종류환기방식의 적용범위를 넓게 하는 방법 및 반횡류환기방식 터널 내에서 집중배기를 실시하여 차도내의 풍속의 한계에서 결정된 적용길이를 확대하는 방법 등이 있다.

이러한 경우에는 환기용 수직갱과 사갱을 건설하기 쉬운 지형・지질여부가 환기방식의 우열을 좌우한다.

또한 반횡류 환기방식과 횡류 환기방식을 검토하는 경우에는 환기덕트를 위한 굴착단면의 확대가 용이한 지질인가? 하는 문제를 검토하는 것이 환기방식의 우열을 결정하는 데 영향을 미친다.

(3) 환기의 질

터널의 중요도에 따라서 교통조건 등의 변동에 영향을 받지 않는 안정성이 높은 환기방식이 요구된다.

또한 터널 내를 흐르는 차도 내 풍속이 너무 크면 보행자뿐만 아니라 고장 등으로 자동차 밖으로 나온 운전자에게도 위험하기 때문에 차도내 풍속을 일정 한도 이하로 억제시켜야 한다. 따라서 일방향 터널일 경우 최대 10m/s 이하를 상한기준으로 하며 10m/s를 표준으로 한다. 즉, 10m/s 이상으로 발생되는 터널은 환기방식의 변화에 따른 건설조건 및 건설비, 유지관리비, 방재조건 등을 충분히 검토한 후 결정한다. 또한 양방향 교통터널일 때는 8m/s 이하를 표준으로 한다.

(4) 환경조건

갱구에서 배기가 적은 환기방식을 검토하는 경우, 일방향교통터널에서는 선택배기 종류환기방식과 출구 부근에서 강제배기하는 종류식 등, 양방향교통터널에서는 집중배기 종류환기방식과 송기 반횡류와 수직갱 집중배기를 조합

한 환기방식 등이 대상이 된다.

또한 횡류 환기방식 및 배기 횡류 환기방식은 교통방식에 관계없이 갱구에서 배기가 비교적 적은 환기방식이다.

환기탑에서 배기가 문제시되는 경우에는 배기구를 높게 하여 확산희석을 도모하는 방안 등의 검토가 필요하다.

(5) 화재시의 환기기 운용

환기시설은 화재 발생시에 배연시설로서 운용되는 수가 있으므로 환기방식 선정단계에서 비상시 안전성에 대해서도 검토해 두어야 한다.

화재시의 환기시설의 운용은 교통방식에 따라 매우 다르다. 일방향교통의 경우는 화재지점에서 출구차량은 탈출할 수 있고, 환기풍의 방향과도 일치하기 때문에 종류환기방식이라도 비교적 안전을 확보하기 쉽고 배연효과도 높다. 그러나 지체 발생빈도가 높은 터널에서는 위험성을 고려해야 하므로 신중한 배려가 필요하다.

양방향교통인 경우는 사고지점의 양측에 차량이 체류할 수 있기 때문에, 피난과 피해의 확대방지를 위하여 차도를 따라 배연운전을 하는 것이 어렵다. 때문에 장대터널에서는 환기방식에 포함시켜 배려하든지 환기시설 이외의 시설로 대피대책을 도모할 필요가 있다.

횡류 환기방식은 교통방식 등에 구속되지 않는 배연기능을 가지고 있다. 또 반횡류 환기방식은 송풍기의 역전운전으로 배기 기능을 갖게 할 수 있다. 반횡류 환기에서 특별한 배연구를 설치함으로서 배연 효율을 높이는 연구를 한 예도 있다. 그러나 횡류 환기방식, 반횡류 환기방식 모두 배연능력에는 한계가 있다.

(6) 유지관리

환기기가 환기소에 설치되어 있는 경우와 젯트팬처럼 터널 내에 분산되어 설치되어 있는 경우는 환기시설의 유지관리가 상당히 다르다. 특히, 젯트팬의 경우는 일상점검이 일반적으로 곤란하며, 또한 점검을 하는 경우에도 교통을 제한해야 하는 등 유지관리가 상당히 까다롭다.

(7) 단계건설

환기시설도 단계건설을 실시할 수 있으며 이 경우에는 단계건설을 하기 쉬운 유연한 시스템이 되도록 고려할 필요가 있다.

환기시설의 단계건설에는 교통량 증가에 따라 환기능력 향상을 도모하는 경우와 교통 방식 변경(양방향교통에서 일방향교통으로)에 따른 경우가 있다. 젯트팬은 터널개통 후 교통량의 추이를 보면서 단계적으로 건설하기 쉬운 환기시설이다.

양방향교통에서 일방향교통으로 이행하는 단계건설의 경우는 각각의 교통방식에 가장 적합한 환기방식을 선택하는 것은 어렵기 때문에 종합적인 검토가 필요하다.

환기방식은 전기간을 통해 변경이 곤란하지만, 예를 들어 설명하면 양방향교통시에는 집중 배기식, 일방향교통시에는 수직갱을 송·배기용과 배기용으로 변경하는 등 약간의 변경으로 어느 쪽의 교통방식에도 적합한 방식을 선택 할 수도 있다.

(8) 경제성 비교

상기 여러 조건을 충분히 검토한 후 적절한 환기방식에 대해서 공사비, 유지비, 동력비, 유지관리비 등을 경제성을 비교하여 환기방식을 선정한다.

618.3 설 계

3.1 설계 일반

3.1.1 환기설계의 개요

환기설계는 '2.1.2 계획'의 순서로, 환기의 기본계획단계, 터널단면과 덕트단면을 결정하는 단계 및 환기시설 제원의 설계단계 등 각 검토단계마다 아래와 같이 실시해야 한다.

(1) 환기량의 설계
(2) 자연환기의 계산
(3) 기계환기의 설계
(4) 환기방식에 의한 환기구분, 환기덕트 및 연결덕트 등의 환기계에 관한 설계
(5) 환기기, 관련 전기설비 및 환기소의 설계
(6) 환기운용, 기타 사항 검토 및 설계

그러나 각 검토 항목의 내용 및 정밀도는 검토 목적에 따라 다르다.

3.1.2 환기계산에 사용하는 단위

국제적으로 통일된 단위인 국제표준화기구(ISO)의 SI단위계에서는 질량, 길이, 시간을 바탕으로 힘을 N(Newton)으로 표시하고, 압력을 Pa(Pascal=N/m^2)로 표시하고 있다. 그러나 기존의 환기에 관한 자료들은 중력을 바탕으로 한 힘(중력), 길이, 시간을 기본단위로 하는 중력단위계로 표현되어 왔다. 따라서 환기계산에 SI단위계를 이용하는데는 아직 익숙하지 않으므로 아래의 단위에 대하여는 중력단위계를 적용한다.

- 중력 및 힘 : kg_f
- 압력 : kg_f/m^2 혹은 mmAq
  (1 kg_f/m^2 = 1×10^{-3} mH_2O = 1 mmAq)
- 단위중량 : kg_f/m^3
- 밀도 : $kg_f \cdot s^2/m^4$

3.1.3 환기계산에 사용하는 기호와 단위

(1) 공간을 표시하는 기호
- L[m] : 길이
- A[m^2] : 단면적
- D[m] : 대표값
- 첨자 r : 교통공간을 표시 (예 A_r)
  b : 송기 (예 L_b)
  e : 배기 (예 D_e)
  d : 연결 (예 L_d)

(2) 교통에 관한 기호
- N[대/h] : 1개 터널당 교통량
- n[대] : 대상터널 구간내의 자동차 대수

$$n = \frac{N \times L}{3600 \times V_t}$$

- V_t[m/s] : 평균주행속도
- 첨자+ : 교통량이 많은 방향의 교통을 표시 (예 n_+)
  - : 교통량이 적은 방향의 교통을 표시 (예 n_-)
  r_L : 대형차 혼입율
  r_d : 디젤차 혼입율
- A_m[m^2] : 자동차 등가 저항면적

(3) 풍속을 표시하는 기호
- U[m/s] : 단면 평균 풍속

- 첨자 r : 교통공간 (예 U_r)
  b : 송기 덕트 (예 U_b)
  e : 배기 덕트 (예 U_e)
  d : 연결 덕트 (예 U_d)
- U_n[m/s] : 자연풍속
  (터널내를 흐르는 바람의 속도)
- W_e[m/s] : 기상풍속
  (터널 외부에 부는 바람의 속도)

(4) 압력을 나타내는 기호
- P[mmAq] : 압력
- P_T[mmAq] : 전압력
- ΔP[mmAq] : 압력차, 압력손실
- 첨자 r : 교통공간 (예 ΔP_r)
  b : 송기덕트 (예 ΔP_b)
  e : 배기덕트 (예 ΔP_e)
  d : 연결덕트 (예 ΔP_d)
  t : 교통에 의한 것 (예 ΔP_t)
  j : 분류에 의한 것 (예 ΔP_j)
- ΔP_{MTW}[mmAq] : 양 갱구간 압력차
- ΔP_G[mmAq] : 터널 갱구와 수직갱 등 갱구간의 압력차
  (수직갱 등 갱구 압력을 기준으로 함)
- P_{TOT}[mmAq] : 환기기의 소요 전압력

(5) 환기량에 관한 기호
- Q_T, Q_{CO}, Q_{NOx}[m^3/s] : 환기량
- q[m^3/s/m] : 단위길이당 환기량
- 첨자 b : 송기 (예 q_b)
  e : 배기 (예 q_e)
- Q_0 [m^3/s] : 기준환기량
- Q_{req} [m^3/s] : 소요환기량
- q_0 [m^3/대/h] : 단위기준환기량
- G : 유해성분량
- g : 단위길이당 유해성분량
- f : 보정계수
- 첨자 v : 주행속도에 의한 것 (예 f_v)
  I : 경사에 의한 것 (예 f_i)
  h : 표고에 의한 것 (예 f_h)
- K_{lim} [1/m] : 설계 매연투과 계수
- CO_{lim} [ppm] : 일산화탄소 설계농도
- NOx_{lim} [ppm] : 질소산화물 설계농도
- τ[%] : 매연투과율

3.1.4 공기흐름에 관한 설정조건과 정수

환기에서 취급하는 흐름은 국부적으로 보면 비교적 복잡하나, 거시적으로 보면 정상류 흐름으로 가정하여도 실용상 지장이 없다. 또한 검토의 대상이 되는 유속도 일반적으로 30m/s 이하인 경우가 많아 압축성의 영향은 무시할 수 있다. 환기의 대상이 되는 터널 내 공기는 차량에서 배출된 각종 유해가스와 분진을 함유, 터널 밖의 공기와는 조성이 다르지만 이것에 의한 공기성질의 차이는 거의 무시할 수 있는 범위이다. 따라서 환기계산은 공기의 흐름에 관한 아래의 여러 조건을 전제로 하여 실시하여야 한다.

(1) 비압축성 유체
터널 환기에 있어서는 공기의 압축성의 영향을 무시하고 비압축성유체로 취급한다.

(2) 정상류
덕트 및 차도내의 흐름은 시간적으로 변화하지 않는 정상류로 취급한다. 또한 자동차의 교통환기력에 대해서도 자동차 주행은 정상흐름으로 가정한다.

(3) 공기의 성질

환기하는 공기는 송·배기를 불문하고 순수 공기로 간주하고 다음의 값을 표준으로 한다.

- 비중량 : γ = 1.2 kg_f/m^3
- 밀도 : ρ = 0.1224 $kg_f \cdot s^2/m^4$
- 동점성계수 : ν = 1.52×10^{-5} m^2/s

(4) 벽면마찰 손실계수와 터널입구 손실계수

특별한 경우를 제외하고는 일반적으로 다음과 같은 수치를 사용한다.

- 차도벽면 마찰손실계수 : γ_r = 0.025
- 터널덕트 벽면 마찰손실계수 : $\gamma_b = \gamma_e$ = 0.025
- 연결덕트 벽면 마찰손실계수 : γ_a = 0.015~0.020
- 터널입구 유입 손실계수 : ζ_e = 0.6

3.2 환기량

소요환기량은 '2.4 환기대상물질 및 농도'에 표시한 수치를 만족하도록 산정한다. 현재 국내에 적용되는 소요환기량 산출방법은 일본방식과 PIARC 방식이 있으며, 본 장에서는 광범위한 국가에서 적용하고 있고 국내 적용이 보편화되고 있는 PIARC 방식으로 산정하는 것을 원칙으로 한다.

3.2.1 환기량의 산정식

환기량은 목표년도의 차종별 구성비 및 차종별 오염물질 기준배출량을 기초자료로 하여 주행속도별 환기량을 <그림 618.15>의 흐름도에 의해서 구하고 이를 비교 검토하여 결정한다.

매연, 일산화탄소, 질소산화물에 대한 소요환기량은 다음의 식들을 이용하여 산정한다. 각 식에 포함되어 있는 기준배출량(q_0^T, q_0^{CO}, q_0^{NOx}), 배출량 보정계수(f) 및 설계기준농도(K_{lim}, CO_{lim}, NOx_{lim})는 '2.4 환기의 대상물질 및 농도'를 참조하며, 차종별 교통량(n)은 '2.3 설계에 사용하는 교통량'을 참조한다.

(1) 매연에 대한 환기량

$$Q_T = \sum_{k=\text{차종}} (q_0^T \cdot f_{iv} \cdot f_h \cdot n)_k \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{K_{\lim}} \quad [m^3/s \cdot km \cdot lane]$$

(2) 일산화탄소(CO)에 대한 환기량

$$Q_{CO} = \sum_{k=\text{차종}} (q_0^{CO} \cdot f_i \cdot f_v \cdot f_h \cdot n)_k \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{10^6}{CO_{\lim}} \quad [m^3/s \cdot km \cdot lane]$$

(3) 질소산화물(NOx)에 대한 환기량

$$Q_{NOx} = \sum_{k=\text{차종}} (q_0^{NOx} \cdot f_i \cdot f_v \cdot f_h \cdot n)_k \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{10^6}{NOx_{\lim}} \quad [m^3/s \cdot km \cdot lane]$$

여기에서,

Q_T, Q_{CO}, Q_{NOx} : 오염물질별 소요환기량 [$m^3/s \cdot km \cdot lane$]

q_0^T, q_0^{CO}, q_0^{NOx} : 오염물질에 대한 기준배출량

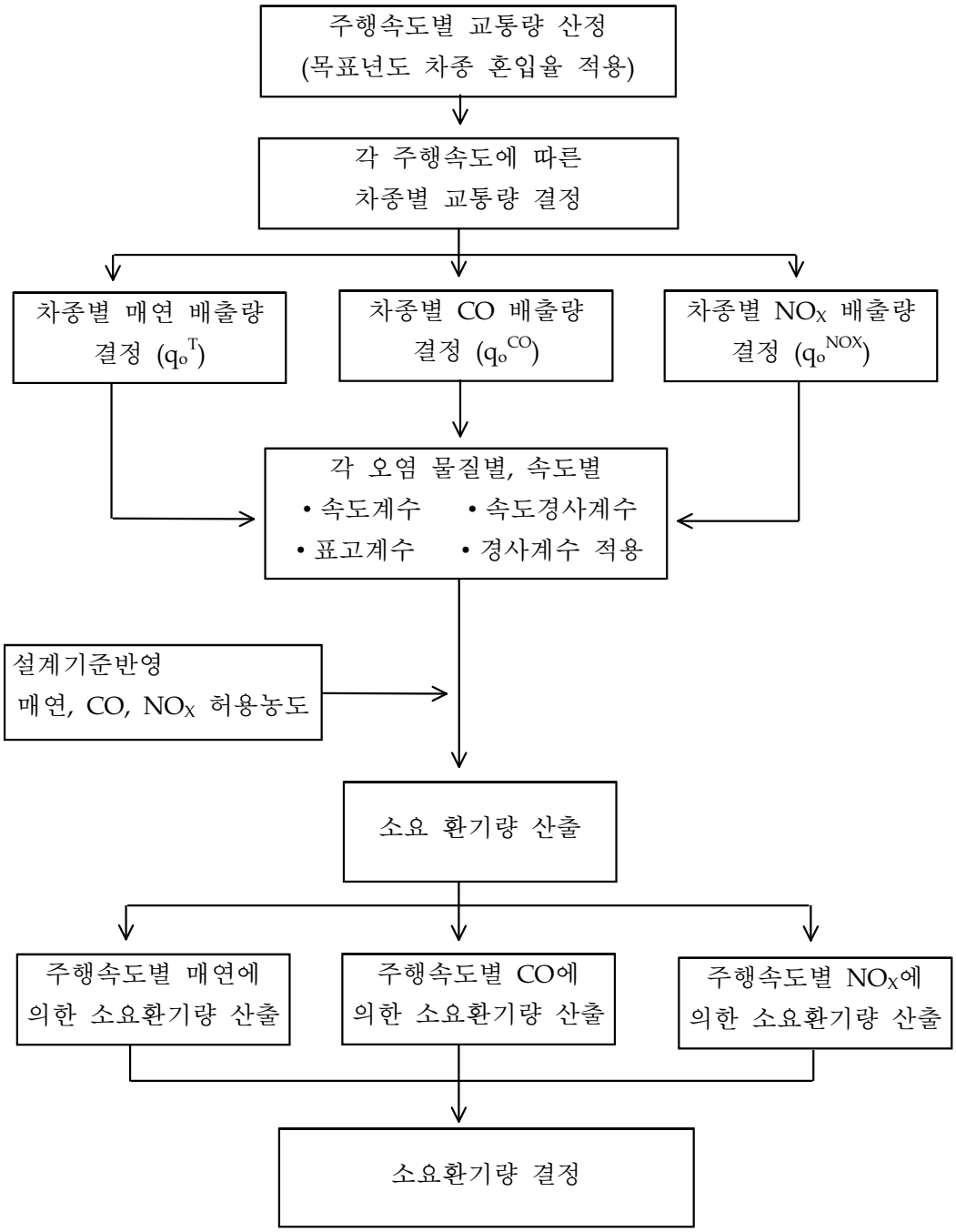
[q_0^T : $m^2/h \cdot$대, q_0^{CO} 및 q_0^{NOx} : $m^3/h \cdot$대]

f : 보정계수

[첨자 i=도로경사, v=주행속도, h=고도]

K_{lim}, CO_{lim}, NOx_{lim} : 설계기준 (설계매연투과계수, 일산화탄소 및 질소산화물의 설계농도)

n : 차종별 교통량 [대/h · km · lane]



<그림 618.15> 환기량 산출의 기본 흐름도

3.2.2 기타 유의사항

(1) 환기량 계산시 주의사항

전술한 것처럼 소요환기량은 교통상태 등에 의해 크게 좌우된다. 즉, 교통량에 비례하든가 주행속도에 따라 경사 보정계수가 변화하며 동시에 환기설계농도도 변한다.

또한 차종구성에 따라서 대폭적으로 소요 환

기량이 달라진다. 따라서 어떤 터널에서 환기량 계산을 구체적으로 실시할 경우에는 출현이 예상되는 교통상태에 대하여 충분한 검토를 실시, 예상되는 교통상태마다 환기량 계산을 실시하고 도로의 특성과 터널의 성격 및 유해성분의 배출량에 영향을 미치는 각종 요인을 정확하게 판단, 최종적인 검토의 대상이 되는 교통상태와 환기량을 결정하는 것이 바람직하다.

(2) 교통지체시의 환기량

교통지체는 교통량이 가능교통량을 초월한 상태일 때 발생하는 자연지체와 교통사고 등 이상 교통시에 발생하는 사고지체가 있다.

자연지체는 본래 도로가 갖는 서비스 정도라고는 말할 수 없으므로 일반적으로 이것을 터널 환기의 대상으로 채택하지는 않는다. 그러나 자연지체 주행이 부득이하게 발생하는 경우도 있으므로 실정을 고려하여 적절한 환기량을 산정 할 필요가 있다. 자연지체의 경우는 보통 승용차가 많은 교통으로서 매연보다는 일산화탄소가 검토대상이 되는 사례가 많다.

사고지체에 대해서 충분히 만족하는 환기량을 고려하는 것은 일반적으로 경제적인 면에서 불리하다. 그러나 사고지체가 발생한 경우에 그 터널이 가진 환기시설의 범위 내에서 환기운용을 실시할 때 어떠한 환기상태가 나타나는지 검토해 둘 필요가 있다.

또한 이 때, 바람직하지 않은 환기상태가 나타날 것이라고 예상될 때에는 엔진 정지와 교통규제를 포함한 별도의 대책도 함께 검토해 두어야 한다.

(3) 도시터널의 환기 설계 농도와 환기량

도시터널 등에서 갱구 주변의 수직갱 및 환경 조건에 따라 터널 출구에서 분출되는 환기량 또는 농도를 제한해야 한다. 이 경우 환기의 설계 농도는 터널내부 환경확보라는 조건만이 아니라 외부 환경에 미치는 영향도 포함하여 검토되어야 한다.

(4) 화재와 배연량의 관계

터널 내에 화재가 발생한 경우의 대책중 하나로 화재 초기단계와 본격 소화활동 등의 단계에서 배연 기능의 확보가 요구되는 경우가 많다. 보다 유효하고 합리적인 배연량의 산정은 기술적·경제적으로 곤란한 문제이므로 소요 환기량의 범위 내에서 효과적인 배연 기능을 발휘할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

(5) 취입공기의 오염상태

주변공기의 배경농도, 갱구 부근의 교통에 의한 배기가스, 다른 갱구로부터의 배출가스, 또는 환기탑에서의 배기·흡입 등에 의해서 환기에 사용하기 위하여 도입된 공기가 이미 어느 정도 오염되어 있는 경우가 있다. 이에 따라 나쁜 영향이 미친다고 판단될 때에는 주변의 환경조사를 실시하는 것 이외에 환기방식 및 환기량 결정에 유의해야 한다. 특히 일방향 터널의 경우 배출가스가 인접터널로 유입될 가능성이 크므로 세심한 검토를 하고 필요시에는 터널 구조물설계에 적극 반영하여야 한다.

3.2.3 환기량 산정 예

(1) 환기량 산출 설계 조건

① 터널 제원

- 터널 구분 : 2 차로 일방향 터널
- 도로 지형 구분 : 평지 적용
- 길이 : 1.0km

• 표고 및 경사 : 평균 115m 및 +0.3%

② 추정 교통량 및 구성비

목표년도	일 교통량						합 계
	승용차	버 스		트 럭			
		소형	대형	소형	중형	대형	
2020년	112,914	9,194	8,525	5,703	22,686	18,050	177,072

③ 허용농도 기준

항 목	허 용 농 도	
	차량 속도(㎞/h)	허용 값
매연투과계수(K_{lim}^{-1})	10 20～40 50～80	$0.009m^{-1}$ $0.007m^{-1}$ $0.005m^{-1}$
일산화탄소(CO)	10 20～80	150ppm 100ppm
질소산화물(NO_x)	10～80	25ppm

④ 중량별 매연 기준 배출량 : <표 616.2>의 EEC R49+24(Control yes) 규제치 적용

Trucks, Bus with Diesel motors (m>3.5 ton)				
배출규제법	q_o^T (V=60㎞/h), [㎥/h · veh]			
	truck weight (ton)			
	5	10	20	40
EEC R49+24 (Control yes)	65	130	200	240

⑤ 차종별 중량 : 공차 : 만차 = 20 : 80%로 산정

구 분	승용차	버 스		트 럭		
		소 형	대 형	소 형	중 형	대 형
공차중량(ton)	1.08	1.48	9.49	1.41	3.25	8.30
만차중량(ton)	1.37	2.20	12.16	2.39	6.22	18.55
적용중량(ton)	1.312	2.056	11.626	2.194	5.626	16.50

(2) 매연에 대한 소요 환기량

① 적용식

$$Q_T = \sum_{i=\text{차종}} (q_o^T \cdot n)_i \cdot \frac{f_{iv} \cdot f_H}{3600} \cdot \frac{1}{K_{lim}} \quad [m^3/s \cdot km \cdot lane]$$

여기에서,

Q_T : 매연에 대한 소요 환기량 [$m^3/s \cdot km \cdot lane$]

q_o^T : 매연에 대한 차종별 기준 배출량 [$m^2/h \cdot 대$]

f_{iv} : 경사 속도 보정 계수

f_H : 표고 보정 계수

K_{lim} : 매연 투과 계수 [m^{-1}]

n_i : 차종별 교통량 [$대/h \cdot km \cdot lane$]

② 차종별 기준 배출량$(q_o^T)_i$: 중량별 기준 배출량으로부터 중량보간에 의해 산정

- 승용차 : 매연 배출 없음
- 소형 버스 (2.056ton) : $2.056 \times \frac{65}{5} = 26.73$
- 대형 버스 (11.626ton) : $130 + 1.626 \times \frac{200-130}{20-10} = 141.38$
- 소형 트럭 (2.194ton) : $2.194 \times \frac{65}{5} = 28.52$
- 중형 트럭 (5.626ton) : $65 + 0.626 \times \frac{130-65}{10-5} = 73.14$
- 대형 트럭 (16.50ton) : $130 + 6.50 \times \frac{200-130}{20-10} = 175.5$

③ 주행 속도별 차종별 교통량 (n_i)

가. 목표 연도의 교통량 조사자료로부터 계산된 차종별 구성비(ϕ_i)와 설계조건에서 주어진 차종별 승용차 환산계수(PCE_i)를 이용하여 평균 차량 환산계수(γ)를 계산함

$$\gamma = \sum_i (\phi_i \times PCE_i)$$

구 분	승용차	버 스		트 럭		
		소 형	대 형	소 형	중 형	대 형
차종별 기준배출량	0	26.73	141.38	28.52	73.14	175.50

구 분	승용차	버 스		트 럭		
		소 형	대 형	소 형	중 형	대 형
차종별 교통량	112,914	9,194	8,525	5,703	22,686	18,050
ϕ_i	0.6377	0.0519	0.0481	0.0322	0.1281	0.1019
PCE_i	1.0	1.0	1.3	1.0	1.5	1.5
γ = 0.6377×1.0+0.0519×1.0+0.0481×1.3+0.0322×1.0+0.1281×1.5+0.1019×1.5 = 1.1293						

나. 설계조건에서 주어진 도로조건에 대한 주행 속도별 승용차 대수 표시 교통밀도(D_v)를 평균 차량 환산 계수(γ)로 나누어 평균 차량에 대한 주행 속도별 교통밀도(D_v^{γ})를 산출한다.

* 주어진 도로조건에서의 최대교통량은 다차선도로의 경우 기본교통용량을 최대교통량(M_{max})으로 하므로 설계속도 80km/h 이하에서 기본교통용량(승용차대수/h)은 2100대/h/차선이다. 따라서 교통밀도산정식('2.3 설계에 사용하는 교통량' 참조)을 이용하여 주행속도별 승용차 대수 교통밀도(D_v)를 구한다.

주행속도(㎞/h)	10	20	30	40	50	60	70	80
D_v(pcu/㎞ · lane)	106	80	63	51	42	35	30	26
D_v^{γ}(대/㎞ · lane)	94	71	56	45	37	31	27	23

다. 평균 차량에 대한 주행 속도별 교통밀도(D_v^{γ})에 차종별 구성비(ϕ_i)를 곱하여 주행 속도별 차종별 교통밀도(n_v)를 산정한다.

$n_v = D_v^{\gamma} \times \phi_i$

속도 (㎞/h)	승용차	버스		트럭			합계
		소형	대형	소형	중형	대형	
10	59.94	4.88	4.52	3.03	12.04	9.58	93.99
20	45.28	3.68	3.42	2.29	9.10	7.23	71.00
30	35.71	2.91	2.69	1.80	7.17	5.71	55.99
40	28.70	2.34	2.16	1.45	5.76	4.59	45.00
50	23.59	1.92	1.78	1.19	4.74	3.77	36.99
60	19.77	1.61	1.49	1.00	3.97	3.16	31.00
70	17.22	1.40	1.30	0.87	3.46	2.75	27.00
80	14.67	1.19	1.11	0.74	2.95	2.34	23.00

④ 보정 계수

가. 경사속도 보정계수(f_{iv}) : <그림 618.3>의 경사 + 0.3%에서의 속도변화에 대한 보정계수 선택

속도	10	20	30	40	50	60	70	80
f_{iv}	0.61	0.61	0.73	0.89	1.09	1.09	1.28	1.47

나. 표고 보정 계수 : <그림 618.4> 참조

전 속도 구간에서 동일하며 표고 115m에서의 값 f_H = 1.115

⑤ 매연 투과 계수

속도	10	20	30	40	50	60	70	80
K_{lim}^{-1} (m^{-1})	0.009	0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005

⑥ 매연에 대한 주행속도별 소요 환기량 결과

속도	10	20	30	40	50	60	70	80
환기량	71.75	69.68	65.76	64.42	90.83	76.10	77.84	76.15

계산식 (V = 40㎞/h의 경우)

$$\sum_{i=\text{차종}}(q_o^T \cdot n)_i = 26.73\times2.29 + 141.38\times2.13 + 28.52\times1.42 + 73.14\times5.66 + 175.5\times4.50 = 1636.1$$

$$\therefore \quad Q_T = \sum_{i=\text{차종}}(q_o^T \cdot n)_i \cdot f_{iv} \cdot f_H \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{K_{lim}} = 1636.1\times0.89\times1.115\times\frac{1}{3600}\times\frac{1}{0.007}$$

$$= 64.42 m^3/s \cdot km \cdot lane$$

(3) 일산화탄소에 대한 소요 환기량

① 적용식

$$Q_{CO} = \sum_{i=\text{차종}}(q_o^{CO} \cdot n)_i \cdot f_i \cdot f_v \cdot f_H \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{10^6}{CO_{lim}} \quad [m^3/s \cdot km \cdot lane]$$

여기에서,

Q_{CO} : CO에 대한 소요 환기량 [$m^3/s \cdot km \cdot lane$]

q_o^{CO} : CO에 대한 차종별 기준 배출량 [$m^3/h \cdot 대$]

f_i : 경사 보정계수

f_v : 속도 보정계수

f_H : 표고 보정계수

CO_{lim} : CO의 허용 농도

n_i : 차종별 교통량

② 기준 배출량 $(q_o^{CO})_i$

구 분	CO 배출 허용 기준		기준 배출량 [㎥/h · 대]
승용차, 소형 버스	2.11g/㎞ 이하		0.106
소 형 트 럭	2.11g/㎞ 이하		0.064
중 형 트 럭	111PS	4.9g/㎾ · h 이하	0.338
대 형 버 스	226PS		0.688
대 형 트 럭	250PS		0.762
특 수 트 럭	323.5PS		0.985
비고 • CO 배출 허용 기준 : 대기환경보전법 시행규칙 제 67조 별표 20 1996년 9월 14일 환경부령 제24호 • 중량차 엔진 동력 : 도로용량 편람 ('92 건설부) • 1㎥ CO = 1200g (V = 60㎞/h)			

③ 주행 속도별 차종별 교통량(n_i)

(2)의 ③과 동일 함.

④ 보정 계수

가. 경사 보정계수 [f_i] : <그림 618.5> 참조

전 속도 구간에서 동일함. f_i = 1.03

나. 속도 보정계수[f_v] : <그림 618.6> 참조

속도	10	20	30	40	50	60	70	80
f_v	0.8	0.84	0.88	0.92	0.96	1.0	1.07	1.13

다. 표고 보정계수 [f_H] : <그림618.4> 참조

전 속도 구간에 동일, f_H = 1.115

⑤ CO 허용농도 : 설계조건 참조

속 도	10	20	30	40	50	60	70	80
CO_{lim}(ppm)	150	100	100	100	100	100	100	100

⑥ 일산화탄소에 대한 주행속도별 소요 환기량 결과

속 도	10	20	30	40	50	60	70	80
환기량(㎥/s · ㎞ · lane)	36.79	43.76	36.17	30.27	26.06	22.75	21.20	19.07

계산식 (V = 40㎞/h의 경우)

$$\sum_{i=\text{차종}}(q_o^{CO}\cdot n)_i = 0.106\times28.70 + 0.106\times2.34 + 0.688\times2.16 + 0.064\times1.45 + 0.338\times5.76 + 0.762\times4.59 = 10.314$$

$$\therefore\ Q_{CO} = \sum_{i=\text{차종}}(q_o^{CO}\cdot n)_i \cdot f_i \cdot f_v \cdot f_H \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{10^6}{CO_{lim}}$$

$$= 10.314\times1.03\times0.92\times1.115\times\frac{1}{3600}\times\frac{10^6}{100}$$

$$= 30.27$$

(4) 질소산화물에 대한 소요 환기량

① 적용식

$$Q_{NO_x} = \sum_{i=\text{차종}}(q_o^{NO_x}\cdot n)_i \cdot f_i \cdot f_v \cdot f_H \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{10^6}{NO_{x\,lim}}\ \ [㎥/s\cdot㎞\cdot lane]$$

여기에서,
Q_{NOx} : NO_x에 대한 소요 환기량 [㎥/s · ㎞ · lane]
q_o^{NOx} : NO_x에 대한 차종별 기준 배출량 [㎥/h · 대]
f_i : 경사 보정계수
f_v : 속도 보정계수
f_H : 표고 보정계수
NO_{xlim} : NO_x의 허용 농도 [ppm]
n_i : 차종별 교통량

② 기준 배출량

구 분	NO_x 배출 허용 기준		기준 배출량 [㎥/h · 대]
승 용 차	0.25g/㎞ 이하		0.010
소 형 버 스	1.02g/㎞ 이하		0.041
소 형 트 럭	1.02g/㎞ 이하		0.041
중 형 트 럭	111PS	6.0g/㎾ · h 이하	0.331
대 형 버 스	226PS		0.674
대 형 트 럭	250PS		0.746
특 수 트 럭	323.5PS		0.965

비고 • NO_x 배출 허용 기준 : 대기환경보전법 시행규칙 제 67조 별표 20
1996년 9월 14일 환경부령 제24호
• 중량차 엔진 동력 : 도로용량 편람 ('92 건설부)
• 1㎥ NO_x = 1500g/㎥ (V = 60㎞/h)

③ 주행 속도별 차종별 교통량 (n_i)

(2)의 ③과 동일함

④ 보정 계수

가. 경사 보정 계수 [f_i] : <그림 618.5> 참조

전 속도 구간에 동일함. f_i = 1.06

나. 속도 보정계수[f_v] : <그림 618.6> 참조

속도	10	20	30	40	50	60	70	80
f_v	0.17	0.33	0.5	0.67	0.83	1.0	1.5	2.0

다. 표고 보정계수 [f_H] : <그림 618.4> 참조

전 속도 구간에 동일, f_H = 1.0

⑤ NO_x 허용농도 : 설계조건 참조

전 속도 구간에서 동일함 NO_{xlim} = 25ppm

⑥ 질소산화물에 대한 주행속도별 소요 환기량 결과

속 도	10	20	30	40	50	60	70	80
환기량(㎥/s · ㎞ · lane)	30.35	44.51	53.18	57.05	58.28	58.92	77.05	87.42

계산식 (V = 40㎞/h의 경우)

$$\sum_{i=\text{차종}} (q_o^{NO_x} \cdot n)_i = 0.01\times 28.70 + 0.041\times 2.34 + 0.674\times 2.16 + 0.041\times 1.45 + 0.331\times 5.76 + 0.746\times 4.59 = 7.23$$

$$\therefore \quad Q_{NO_x} = \sum_{i=\text{차종}} (q_o^{NO_x} \cdot n)_i \cdot f_i \cdot f_v \cdot f_H \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{10^6}{NO_{x\,lim}}$$

$$= 7.23\times 1.06\times 0.67\times 1.0\times \frac{1}{3600}\times \frac{10^6}{25} = 57.05$$

3.3 환기풍압

터널제원 및 소요환기량이 결정되면 환기방식의 선정과 터널덕트, 연결덕트 등의 환기계, 환기기계 사양 등의 설계검토가 가능하게 된다.

3.3.1 일반사항

(1) 환기계산의 개요

① 환기방식의 선정 단계에서는 각 환기방식의 특성을 충분히 파악하여 터널 내 농도 및

풍속분포가 교통의 안전과 쾌적성에 지장이 없도록 고려한 후에 환기계에 대한 경제성, 시공성의 검토를 실시하여 가장 적합한 환기방식을 선정한다.

② 환기방식이 결정되면 그 방식에 대한 환기계의 규모를 결정하는 단계로 들어간다. 이 단계에서는 우선, 터널제원, 환기제원의 확인을 실시하고 소요풍압 이외에 환기기계의 사양 및 설치대수 등의 설계검토를 실시해야 한다.

③ 최종 실시단계에서는 환기계의 세부적인 구조치수를 명확하게 하고 계획내용의 확인을 실시한 후 소요풍압 등을 정확하게 계산을 실시, 환기기계 사양을 결정, 환기운전시의 각종 상태(풍속, 풍압, 농도분포 등)의 예측 및 부분부하 운전특성 등을 검토해야 한다.

위의 3가지 사항을 검토하는데 각각의 환기계산은 공기의 흐름을 파악하는 면에서 본질적인 차이는 없다. 그렇지만 분·합류의 어떤 부분에 있어서 풍량 평형을 구할 때 계산 예, 또는 소요동력을 구하기 위해서 각 부분의 압력손실을 계산할 때의 유로의 형상, 치수 및 그 손실계수를 계산한 사례 등, 각 검토단계에 따라서 간단한 계산에 의한 경우와 최종적으로 정밀한 계산을 실시하는 경우에 차이점이 인정되면 구체적인 계산수법상의 차이가 있다.

이에 대해서는 환기방식 마다 다르고 교통조건 및 터널제원 등의 상정정밀도에도 좌우되기 때문에 일반적인 지침은 없고 그때의 검토목적에 따라 실시된다. 따라서 환기계산의 정밀도 등이 검토 또는 설계의 목적으로 하는 내용의 결과에 어떠한 영향을 미치는가 하는 평가를 항상 염두에 두어야 한다.

(2) 환기계산에 관한 일반적 주의사항

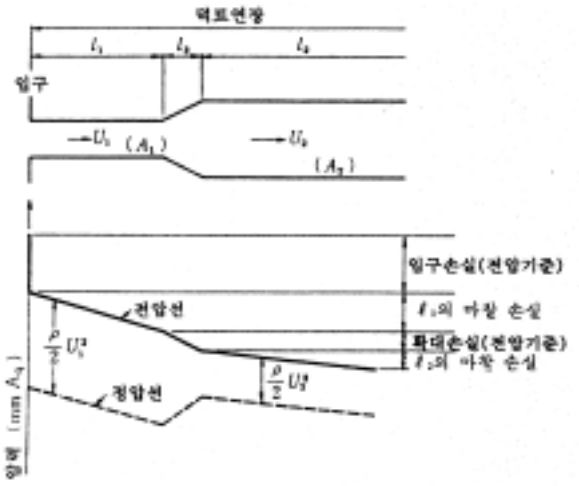
터널환기의 흐름은 차도공간, 터널덕트 및 연결덕트의 공기흐름을 대상으로 하는 것이며 일반적으로 관로(또는 덕트) 내부의 흐름에 대한 계산과 같지만 계산에 있어서는 다음과 같은 사항을 주의해야 한다.

① 유속과 압력의 변화

덕트의 치수는 각 부분에서 여러 가지로 변화하여 송풍기 등에 따라 흐름에 외력이 가해지기도 하며 그때마다 유속과 압력은 변한다.

복잡한 덕트계에 대한 환기계산은 압력선도면(풍속의 변화를 알기 쉽게 전압선과 정압선을 동시에 기입한 도면)을 병용하면 유속과 압력의 변화를 확인하기 쉽다.

매우 간단한 사례로서의 <그림 618.16>처럼,



<그림 618.16> 압력선도의 예

입구와 확대부분을 갖는 덕트에서 연속방정식은 다음과 같다.

$$A_1 \cdot U_1 = A_2 \cdot U_2 \qquad (618.18)$$

여기에서, A : 덕트단면적

U : 덕트내 풍속

또한 베르누이의 식은 「덕트 내의 저항이

있으면 덕트 내의 전압은 어디에서도 같다」처럼 나타나고 전압변화는 저항과 압력손실에 따라서 발생하며 <그림 618.16>과 같이 압력선도를 나타낼 수 있다.

확대부분 등의 압력손실은 국부저항이라 부르며, 전압기준에 표시된 손실(또는 저항)계수와 정압기준에 표시된 것이 있기 때문에 단면적이 변화하는 변형 및 구부러짐에는 사용상의 주의가 필요하다.

② 저풍속 덕트계와 고풍속 덕트계의 주의사항

덕트 내 풍속을 저속과 고속으로 구분하는 것은 관용적인 것으로 명확한 구분은 없지만 일반적으로 15㎧이하의 경우를 저속, 16㎧이상의 경우를 고속이라고 한다.

일반터널의 덕트에서는 고풍속의 영역이 많고, 차도공간에서는 거의 저속영역이다.

저속의 덕트계에서는 일반적으로 송풍기 소요 전압도 적게되므로 덕트의 변형과 휨에 의한 압력손실 등을 지나치게 적은 것으로 계산하면 결과적으로 송풍기의 풍량이 부족하여 환기량 부족을 초래할 수 있으므로 압력손실의 계산에는 충분한 배려가 필요하다.

고속의 덕트계에서는 풍속이 빨라지면 급격하게 소요 전압이 증가하여 전력비가 크게 증가하는 경향이 있으므로 덕트의 구조·치수 등의 선택과 휨·변형의 수를 적게 하는 전체적인 덕트계획이 보다 중요한 문제가 되는 경우가 많다.

③ 교통환기력의 취급

환기계산에 있어서 교통환기력은 환기계에 의해 여러 가지 형태로 영향을 받으므로 그 취급에는 주의를 기울여야 한다.

과거 일본방식의 환기계산에서는 양방향교통터널(왕복차선도로터널)에서는 교통 환기력을 보통 환기계에 대해 저항이 최대가 되는 교통량이 많은 상태에 대해 환기계산을 실시하여, 이것에 기준을 두어 환기설비 용량을 결정, 기타 교통조건에 있어서도 환기량이 부족한 경우가 발생하지 않도록 하였다. 그러나, 일방향 교통터널에서는 에너지절약을 위해 교통 환기력을 환기의 기동력으로서 유효하게 이용하기 위해, 도로의 설계교통용량을 대상으로 하여 환기계산을 실시한 결과 교통상태에 따라서는 환기량부족이 발생할 수도 있었다.

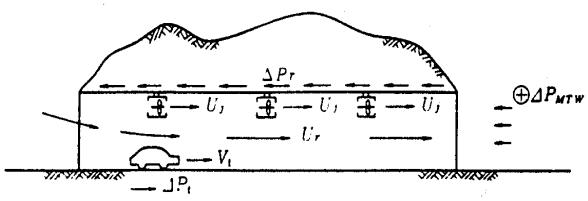
따라서 이러한 문제점을 방지하면서 적정한 환기풍압을 산정하기 위해서는 전체 주행속도에 대하여 교통 환기력을 검토하여야 한다. 즉, 각 주행속도별 교통밀도로부터 산정된 교통량으로 인한 교통 환기력과 소요 환기량 산출에서 산출된 주행속도별 소요 환기량을 적용하여 검토하여야 한다.

3.3.2 종류환기 방식의 계산

(1) 젯트팬 환기방식의 계산

젯트팬 방식의 목적은 터널 종방향으로 작용하는 교통 환기력 및 자연 환기력을 보충하는 젯트팬의 분류효과에 의한 압력상승을 발생시켜 소요 환기량을 만족하도록 하는 방식이다.

즉, <그림 618.17>에서 제트팬을 화살표 방향으로 운전하여, 주행방향(V_t)과 자연 환기력(ΔP_{MTW})이 그림과 같은 관계가 있을 때 차도내에 환기풍(U_r)이 그림에서 표시한 방향으로 흐르면, 통기저항(ΔP_r) + 저항자연풍(ΔP_{MTW}) = 교통환기력(ΔP_t) + 젯트팬 승압력(ΔP_j)의 관계가 성립된다.



<그림 618.17> 제트팬 환기방식의 압력관계도

① 젯트팬 소요대수의 산정식

젯트팬을 i대 운전할 때 1대당 승압력을 ΔP_j라고 하면 소요환기량을 만족하는 환기풍(U_r)의 수치를 근거로 다음과 같이 i를 구할 수 있다.

$$i = \frac{\Delta P_r + \Delta P_{MTW} - \Delta P_t}{\Delta P_j} \tag{618.19}$$

여기에서,

$$\Delta P_r = \left(1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right)_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 \tag{618.20}$$

$$\Delta P_{MTW} = \left(1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right)_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2 \tag{618.21}$$

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_+ \cdot (V_{t(+)} - U_r)^2 - \frac{A_t}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_- \cdot (V_{t(-)} + U_r)^2 \tag{618.22}$$

$$\Delta P_j = \rho \cdot U_j^2 \cdot \Phi \cdot (1 - \Psi) \tag{618.23}$$

U_j : 제트팬의 분류속도 (㎧)

A_j : 제트팬의 분류면적 (㎡)

Φ : A_j / A_r

Ψ : U_r / U_j

또한, 이 식은 일반식이기 때문에 일방향 교통터널에서는,

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n \cdot (V_t - U_r)^2 \tag{618.24}$$

양방향 교통터널에서 상·하 방향의 교통상태가 같을 경우($n_+ = n_-$, $A_{m+} = A_{m-}$)는,

$$\Delta P_t = -2 \cdot \frac{A_{m+}}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot 2 \cdot n_+ \cdot V_t \cdot U_r \tag{618.25}$$

식 (618.19)는 <그림 618.17>에 표시한 것처럼 저항자연풍(ΔP_{MTW})이 작용하는 경우의 식이며 순풍, 역압 (<그림 618.12>에 표시한 제2상한영역)의 것이다.

순풍에서 저항자연풍(ΔP_{MTW})이 작용하는 방향이 순압 (제 1상한) 일 때는,

$$i = \frac{\Delta P_r - \Delta P_{MTW} - \Delta P_i}{\Delta P_i}$$

환기풍의 방향과 저항자연풍 (ΔP_{MTW})과 교통환기력 (ΔP_t)이 작용하는 방향에는 항상 주의해야 한다. 식 (618.23)의 유도 및 제트팬의 대표적 제원에 대해서는 다음 항 ② 및 <표 618.17>을 참조하길 바란다.

② 제트팬 소요대수의 계산

가. 일방향교통터널

일반적인 도로터널에서는 제트팬 소요대수는 식 (618.19)에서 구한 정수 (i)를 표준으로 한다.

또한 제트팬을 2대 병렬배치하여 사용하는

경우에는 식 (618.23)에서 2대 분의 승압력(ΔP_j)를 계산하여 식 (618.19)에서 정수 (i)를 구한 것으로 한다. 또한 식 (618.21) 에 의한 U_n 의 값은 특히, 자료가 없는 경우 2~3 ㎧를 표준으로 한다.

나. 양방향 교통터널

양방향교통에서는 교통량의 변화에 따라 제트팬의 역전을 통하여 풍향방향이 변경된다. 그러나 제트팬을 빈번하게 역전시키는 것은 터널내 공기 기둥의 관성과 제트팬 전동기의 기계적 요인으로 보아 바람직하지 못하므로 여유있게 계획하여야 한다. 따라서, 역풍방향으로는 '2.3 설계에 사용하는 교통량'의 주행속도별 교통밀도산정식으로부터 구한 교통량을 적용하고 순풍방향으로는 역풍방향 주행속도보다 한 단계 낮은 주행속도와 교통량을 적용(예를 들면 역풍방향 주행속도가 60km/h일 때에 순풍방향으로 50km/h의 주행속도를 적용)하여 소요환기량을 계산하고 식 (618.19)~식 (618.23)에 따라 제트팬 대수를 결정한다. 이 때 자연풍의 방향도 단순하지 않으므로 Un = 1.5㎧(표준 2~3㎧)의 값으로 역풍방향으로 적용한다. 이 경우 순풍방향의 교통량 감소로 인한 소요환기량의 감소가 나타나기 때문에 양방향에 동일한 주행속도와 교통량을 적용하여 계산한 제트팬 대수와 비교하여 큰 쪽으로 결정하여야 한다. 이 과정을 환기설계속도의 전 구간에서 수행하여 최대 제트팬 대수를 산정하여야 한다.

다. 제트팬 장착간격

도로터널의 제트팬 설치장소는 차도상부의 시설한계를 벗어나 장착하는 것을 원칙으로 한다.

장착간격은 분류에너지가 환기풍 에너지로 충분히 치환될 수 있도록 혼합거리를 확보해야 한다. 또한 터널 내에서 화재가 발생할 경우를 대비하여 가능한 한 분산배치를 하는 것이 바람직하다.

혼합거리를 고려한 제트팬의 장착간격은 <표 618.12>의 값 이상을 표준으로 한다. 환기풍속(U_r)이 크면 혼합거리는 길고 환기풍속(U_r)이 작으면 혼합거리는 짧은 것이 좋다.

라. 제트팬 장착위치와 승압효과의 감소

도로터널의 제트팬 장착방법은 천장에서 아래로 매다는 방식이 일반적이고 제트팬 내경과 천장벽면까지의 이격거리는 거의 0.5 D (D는 제트팬 구경)을 표준으로 하고 있다. 이격 거리가 적으면 분류가 벽면에 있어서 마찰저항을 받으므로 상승압 효과가 감소한다.

마. 제트팬 승압방식의 이론

제트팬에 의한 추력 (thrust) F는 식 (618.26)과 같다.

$$F = \rho \cdot A_j \cdot U_j \cdot (U_j - U_r) \qquad (618.26)$$

또한 제트팬에 의한 승압력을 ΔP_j라고 하면,

<표 618.12> 제트팬과 장착간격

형	구경	Aj (㎡)	Uj (㎧)	갱구에서의 거리 (m)	제트팬상호간 (m)
600	630 ㎜	0.27	30	80	80
1,000	1,030 ㎜	0.83	30	140	140
1,250	1,280 ㎜	1.23	30	160	160
1,500	1,530 ㎜	1.83	30	180	180

$$F = \Delta P_j \cdot A_r \qquad (618.27)$$

이고, 식 (618.26)과 식 (618.27)에서 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

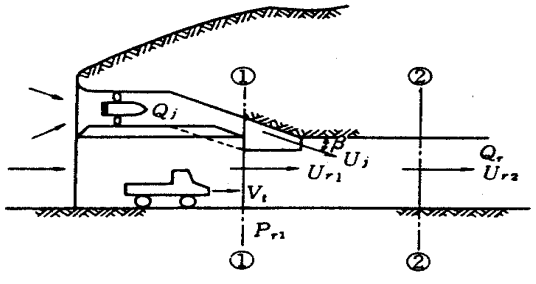
$$\Delta P_j = \rho \cdot U_j^2 \cdot (\frac{A_j}{A_r}) \cdot (1 - \frac{U_r}{U_j}) \qquad (618.28)$$

여기에서 $A_j / A_r = \Phi$, $U_r / U_j = \Psi$라고 하면 식(618.29)와 같은 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\Delta P_j = \rho \cdot U_j^2 \cdot \Phi \cdot (1 - \Psi) \qquad (618.29)$$

(2) 삿칼드 환기방식의 계산

삿칼드 방식은 비교적 대형의 분류장치(삿칼드)에 의해 압력상승을 일으키고 교통환기력을 유효하게 이용하여 이것의 합성 환기력이 터널 마찰손실, 자연 환기력 등의 저항에 견딜 수 있도록 설계·계획하는 방식이며, 젯트팬 방식과 유사한 종류이다. <그림 618.18>은 분류장치의 개요이다.



<그림 618.18> 삿칼드환기방식 개요

또한 본 방식은 대풍량의 고속분류를 차도로 흘려보내기 때문에 일방향 교통터널에 적용하는 것이 일반적이다.

① 분류장치에 의한 차도내 압력상승 ΔP_j

ΔP_j는 다음 식처럼 계산한다. <그림 618.18>에 있어서 ①단면과 ②단면으로 구분한 구간에 운동량의 법칙을 적용하면 다음과 같은 관계가 된다.

$$A_r \cdot \Delta P_j = \rho \cdot Q_r \cdot U_{r2} - \{\rho \cdot (Q_r - Q_j) \cdot U_{r1} + K_j \cdot \rho \cdot Q_j \cdot U_j \cdot \cos\beta\}$$

(압력차에 의한 힘) (618.30)

여기에서,

$$U_{r1} = \frac{Q_r - Q_j}{A_r}, \quad U_{r2} = \frac{Q_r}{A_r}$$

의 관계를 사용하여 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta P_j = 2 \cdot \frac{Q_j}{Q_r} \cdot [\frac{K_j \cdot U_j \cdot \cos\beta}{U_{r_2}} - 2 + \frac{Q_j}{Q_r}] \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_{r2}^2 \qquad (618.31)$$

여기에서,

Q_r : 소요환기량

Q_j : 분류장치풍량 (송풍기풍량)

U_j : 분류속도 (20~30 ㎧ 정도가 바람직하다.)

β : 분류와 터널 축방향과의 경사각

K_j : 송기 노즐의 승압계수

소요압력과 ΔP_j의 관계는 제트팬 환기방식의 경우와 같으므로 생략한다.

② 분류장치의 노즐 면적

분류장치의 노즐면적 A_j (㎡)은 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$A_j = \frac{Q_j}{U_j} \qquad (618.32)$$

실제의 계산에서는 분류장치의 노즐면적(A_j)의 크기에 구조상 제약이 있어, 최대로 가능한 노즐 계획을 전항의 계산에 앞서 실시해두면 유용하다.

③ 송풍기의 풍량·풍압

분류장치풍량(Q_j)이 결정되면 송풍기 풍량이 결정된다. 또한 송풍기 전압 ΔP_{TOT}는 1할의 여유를 두어,

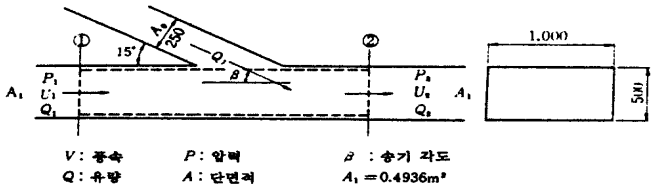
$$\Delta P_{TOT} = \left\{ \frac{\rho}{2} \cdot U_j + \Delta P_d \right\} \times 1.1 \quad (618.33)$$

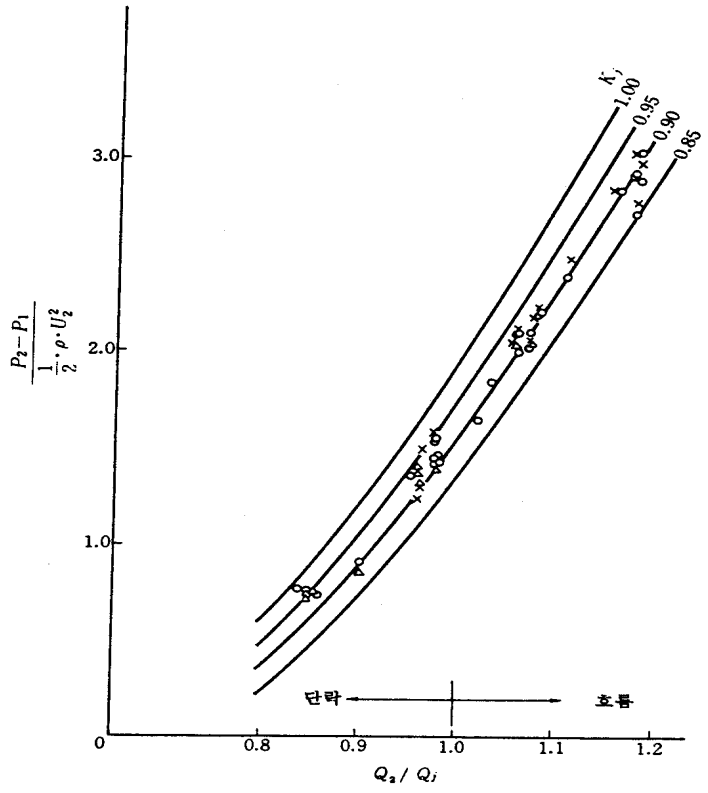
여기에서, ΔP_{TOT} : 흡입덕트 손실, 노즐 손실 등의 전압손실

본 방식의 경우 설계에 사용하는 최대 교통량에 있어서 송풍기 사양이 최대로 되는 것은 제한이 없으므로 대상이 되는 교통상태 및 각종 기상조건을 조합하여 검토하여 둘 필요가 있다.

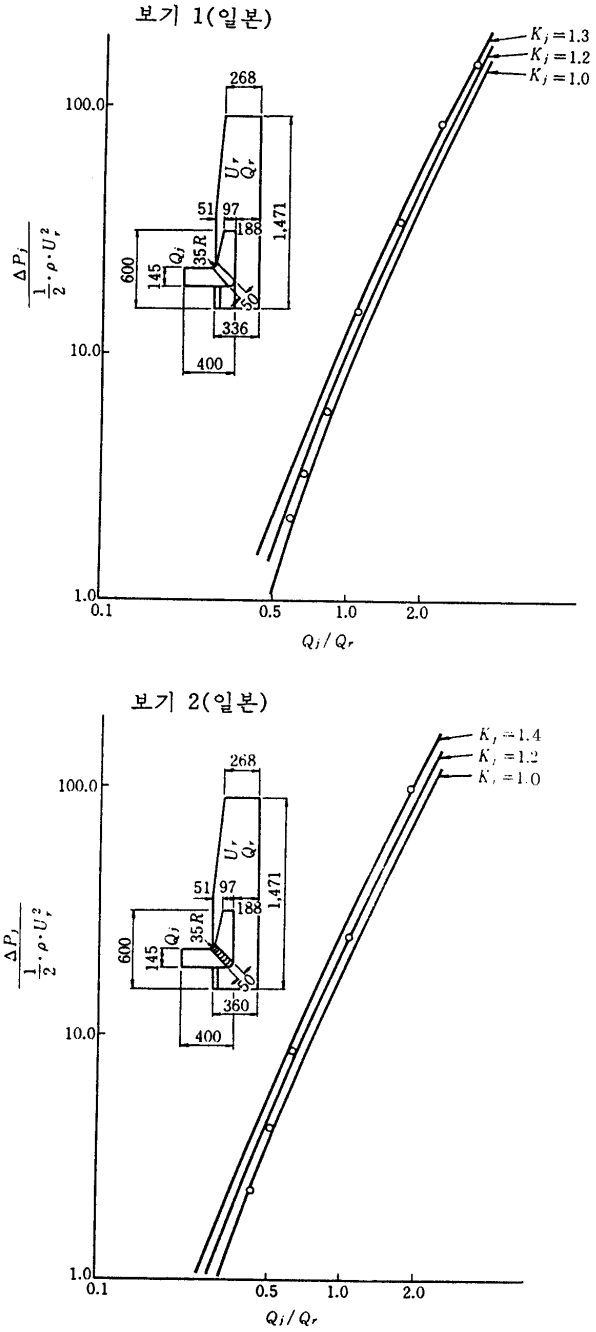
④ K_j의 값과 실험결과

식 (618.31)에 표시한 K_j, 즉 송기 노즐의 송압계수는 송기 노즐의 본갱과 합류할 때의





<그림 618.19> 송기노즐에 의한 압력상승과 K_j



<그림 618.20> K_j (구형단면)

형상 및 분류와 터널축 방향의 경사각도(β)등에 영향을 받는다고 판단된다.

K_j의 값의 사례로 일본 건설성 토목연구소의 실험보고가 있고, 그 개요는 <그림 618.19>에 표시하였다. K_j의 값은 분류의 통과영역에서는 0.95~0.90이다.

송기 노즐의 일부를 본 터널 단면 내에 만드는 계획은 마제형터널의 경우에 일반적이지만, 이 경우는 상기 β의 값에도 제약이 있다.

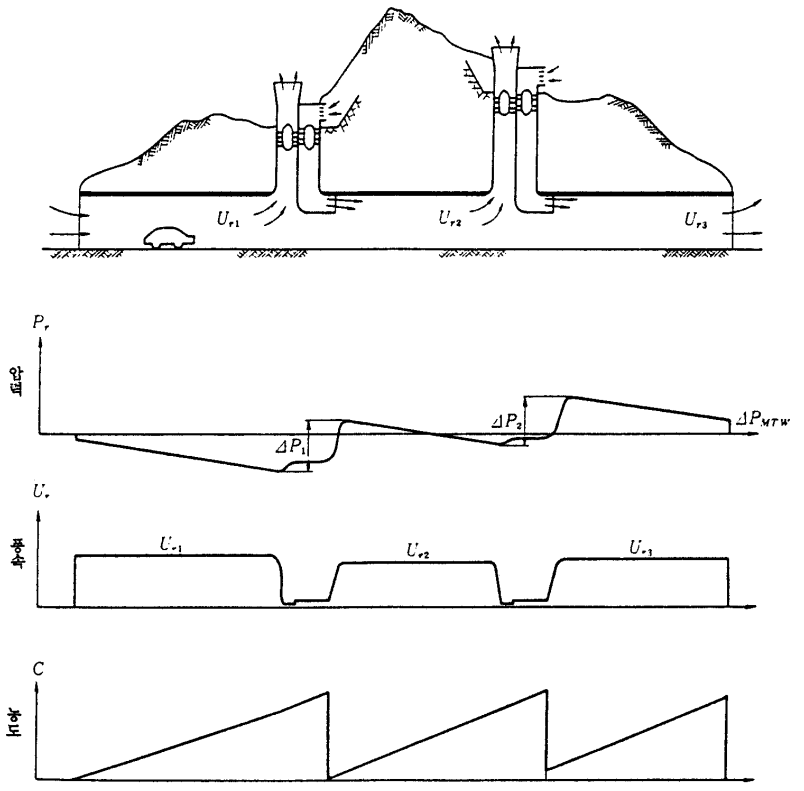
일본 도로 공단에서 실시한 실험에 의하면 송기 노즐의 차도 측면을 차도와 평행하게 경사지게 하여 (<그림 618.20> 참조) 분류의 천장면과의 마찰손실을 경감하는 경사에서 $K_j = 1.0$ 을 거의 확보할 수 있다고 한다.

⑤ 삿칼드 환기방식의 실태

삿칼드 환기방식을 단독으로 채택한 터널의 실제 예는 현재 국내에는 없으나 적용시에는 환기소의 형상과 덕트의 접속방법에 의한 연결덕트 손실, 환기량과 분류장치의 유량 및 유속의 관계 등을 충분히 비교하여 경제적으로 운용할 수 있도록 해야한다. 또한, 기타 환기 방식과 병용하는 경우는 특히 승압력의 부담비율에 대해서 상당수의 조합이 필요하므로 충분한 경제성 비교가 필요하다.

(3) 수직갱 송·배기 종류환기방식의 계산

본 환기방식은 <그림 618.21>과 같고 수직갱에 있어서 차도공간의 공기를 교환함에 따라 종류환기방식의 적용길이를 확대하는 방식을



<그림 618.21> 터널내 풍속, 압력 및 농도분포

말한다.

또한 수직갱 밑 부분의 배기 노즐과 송기 노즐 사이에 단락흐름이 발생하여 공기의 교환에 기여하지 않는 흐름이 대량 발생하지 않도록 계획하는 것이 일반적이다.

① 수직갱 송·배기 종류환기방식의 이론

이론식은 송기 노즐측과 배기 노즐측으로 나누어 각각에 운동량의 법칙을 적용한다.

가. 송기 노즐측 이론식

<그림 618.22>에서 식 (618.31)과 같은 상태로 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$P_{r4}-P_{r3}=2\cdot\left(\frac{Q_j}{Q_{r4}}\right)\cdot\left\{\frac{K_j\cdot U_j\cdot\cos\beta}{U_{r4}}-2+\left(\frac{Q_j}{Q_{r4}}\right)\right\}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_{r4}^{\,2} \quad (618.34)$$

나. 배기노즐측 이론식

<그림 618.22>의 터널단면 ①과 ②로 구분된 조사면에 운동량의 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$A_r\cdot(P_{r2}-P_{r1})=\rho\cdot Q_{r1}\cdot U_{r1}-\rho\cdot Q_{r2}\cdot U_{r2}-\rho\cdot K_e\cdot Q_e\cdot U_e \quad (618.35)$$

여기에서,

$Q_{r2}=Q_{r1}-Q_e$,

$U_{r2}=Q_{r2}/A_r$,

$A_r=Q_{r1}/U_{r1}$ 의 관계를 사용하여 Q_{r2} , U_{r2} , A_r을 삭제하면 다음과 같다.

$$P_{r2}-P_{r1}=2\cdot\left(\frac{Q_e}{Q_{r1}}\right)\cdot\left\{2-\frac{K_e\cdot U_e}{U_{r1}}-\left(\frac{Q_e}{Q_{r1}}\right)\right\}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_{r1}^{\,2} \quad (618.36)$$

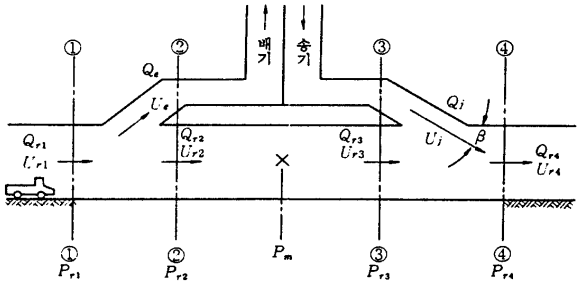
또한 수직갱을 중심으로 좌우의 구간에서 배기량을 균등하게 한 경우, $Q_{r1}=Q_{r4}=Q_r$, $Q_e=Q_f$ 라고 하면, 식 (618.34)와 식 (618.36)은 각각 다음과 같이 표시된다.

$$P_{r4}-P_{r3}=2\cdot\left(\frac{Q_j}{Q_r}\right)\cdot\left\{\left(\frac{K_j\cdot U_j\cdot\cos\beta}{U_r}-2\right)\cdot\left(\frac{Q_j}{Q_r}\right)\right\}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^{\,2} \quad (618.37)$$

$$P_{r2}-P_{r1}=2\cdot\left(\frac{Q_j}{Q_r}\right)\cdot\left\{\left(2-\frac{K_e\cdot U_e}{U_r}\right)-\left(\frac{Q_j}{Q_r}\right)\right\}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^{\,2} \quad (618.38)$$

여기에서,

- Q_r : 차도내 환기풍량
- U_r : 차도내 환기풍속
- Q_j : 송기노즐에서 차도로 불어오는 풍량
- U_j : 차도에서 배기노즐로의 배출풍속
- P_{ri} : 차도내 i 지점에 의한 압력
- β : 분류와 터널 축방향과의 경사각
- K_j : 송기노즐의 승압계수
- K_e : 배기노즐의 계수



<그림 618.22> 송·배기 노즐

② 송·배풍기의 소요풍압

송·배풍기의 풍량이 결정되면 송·배풍기의 전압력 ΔP_{TOT}는 다음의 식처럼 구할 수 있다.

$$(\Delta P_{TOT})_j = (\frac{\rho}{2} \cdot U_j^2 + \Delta P_d - P_m) \times 1.1 \quad (618.39)$$

$$(\Delta P_{TOT})_e = (\frac{\rho}{2} \cdot U_e^2 + \Delta P_d - P_m) \times 1.1 \quad (618.40)$$

여기에서,

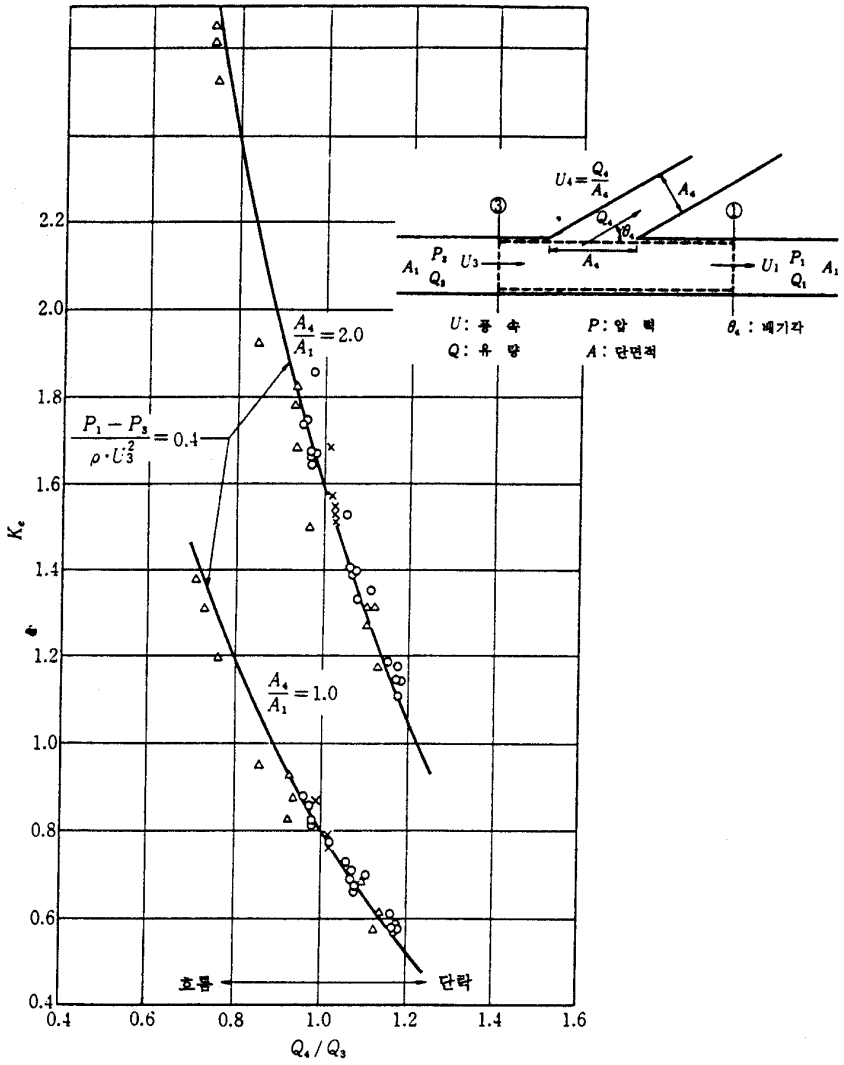
ΔP_d : 연결덕트 손실, 노즐손실 등의 전압손실

Pm : 송·배기노즐 중간의 차도전압

③ K_j와 K_e의 값

가. K_j의 값 (수치)

K_j의 값은 (2)항의 샷칼드 환기방식과 같고, 0.95~0.90의 값을 취하는 것이 바람직하다.



<그림 618.23> K_e와 Q_4 / Q_3 의 관계

나. K_e의 값

K_e의 값에 대해서는 일본 건설성 토목연구소의 실험자료에 의하면 <그림 618.23>과 같다.

즉, K_e의 값은 본류에서 배출풍량의 비율과 본류의 단면적·배출구면적(본류의 유선에 접한 면적)비에 지배되지만 더욱 연구되어야 할 사항이다.

<그림 618.23>에 표시한 실선에서의 실험범위 내에서는 식 (618.37)의 수치는 거의,

$$\frac{P_{r2}-P_{r1}}{\frac{\rho}{2}\cdot U_r^{\,2}}=0.4$$

라고 판단하여도 지장이 없음을 나타내고 있다.

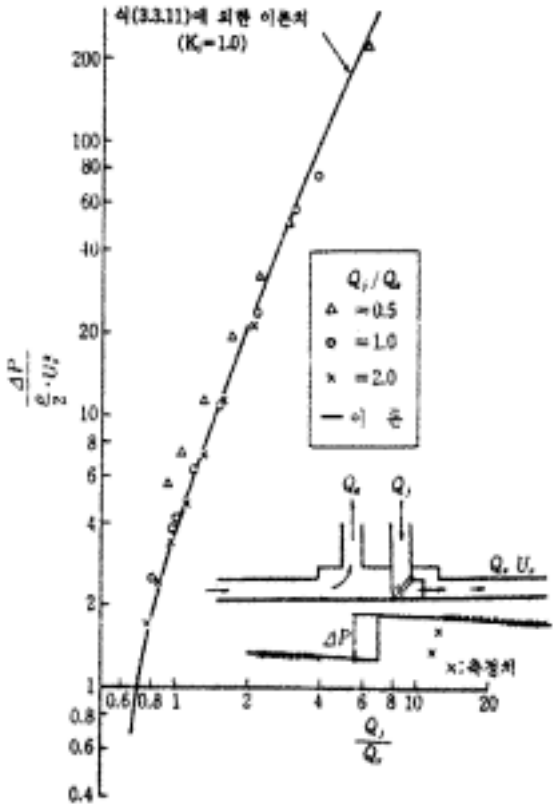
따라서 일반 차도풍속 U_r을 4~7 ㎧로 하면 배기노즐에 의한 승압력은 0.4~1.2 ㎜Aq 정도이고, 이것은 송기노즐의 승압력에 비해 극히 적다.

다. 간편한 계산방법

수직갱 송·배기 환기방식의 실제 환기운용경험이 아직 없는 현 단계에서는 수직갱 송·배기 환기장치의 승압력에 약간의 여유를 두고, 배기노즐의 승압을 무시 K_j = 1.0 으로서 송기노즐의 승압식 (618.41)에 따라 판단하다.

$$P_{r4}-P_{r1}=2\cdot\left(\frac{Q_j}{Q_r}\right)\cdot\left\{\left(\frac{U_j\cdot\cos\beta}{U_r}-2\right)+\left(\frac{Q_j}{Q_r}\right)\right\}\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_r^{\,2} \qquad (618.41)$$

앞에서 설명한 일본 건설성토목연구소의 실험자료도 이 식으로 충분히 설명되지만 별도 실행한 <그림 618.24>의 실험결과에 있어서도 실용상 문제가 없다는 사실이 판명되었다.



<그림 618.24> K_j 와 Q_j / Q_r 의 관계

④ 수직갱 송·배기 종류환기방식의 실제

본 환기방식에 의한 실제 운용경험은 없지만 유사한 환기방식인 집진기 부착 종류환기방식의 실시 예의 경험으로부터 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

가. 대상터널

교통환기력을 최대한 활용하는 환기방식이므로 일방향교통터널에 적용하는 것을 원칙으로 한다.

또한 양방향교통터널에 적용을 검토하는 경우는 단계건설을 전제로 하여 보다 빠른 시기에 일방향교통이 되도록 하는 것이 바람직하다.

나. 환기방식상의 요소

(가) 본 환기방식에서는 교통 환기력의 측면에서 차도내 풍속 6~8 ㎧ 정도의 범위에 적용하

는 것이 경제적이다.

(나) 본 환기방식의 터널 전장에 걸친 배기가스의 농도분포는 터널입구부터 거의 직선상으로 상승하여 수직갱 아래 부근에서 최고수치에 달하여, 송기구를 통과한 위치에서 급격하게 농도가 저하한 후, 거의 직선상으로 상승해 간다.

여러 장소에 수직갱이 있는 경우는 이것을 반복한다. 터널 내에 설계농도에 가까운 고농도가 나타나 위화감을 받는 경우도 있지만 교통에 의한 확산을 생각하면 시각적인 인상 외에는 문제가 없다.

(다) 수직갱 아래의 배기구와 송기구 사이의 공기흐름은 단락흐름과 통과흐름의 상태이지만 환기계획상의 설계조건은 이 사이의 흐름을 '0'으로 하여도 교통에 의한 확산작용이 있어 농도상 지장을 받지 않는 정도이다.

(라) 수직갱에 따라 구분되는 각 환기구간의 환기효과가 만족되면 이론상 터널의 한계길이는 존재하지 않는다.

(마) 교통량 증대에 의한 자연교통지체 또는 사고에 의한 교통지체 등 이상 교통상태에서는 환기상태가 악화되는 경우가 있다. 또한 방재대책과 기타 실제 운용상의 여러 가지 요소에 대해서도 배려가 필요하다. 이러한 대책은 충분한 검토가 필요하며 환기시설 이외에 교통감시제어시설의 운용도 포함한 종합적인 판단이 필요하다.

다. 환기계 계획상의 여러 가지 요소에 대한 유의점

(가) 수직갱의 위치

수직갱의 위치는 교통환기력에 따라 갱구로 들어온 환기풍이 거의 설계농도에 달하는 지점 부근에서 정하는 것이 이상적이다.

이 위치를 크게 벗어난 지형·지질일 경우는 위치선정과 동력 비교를 포함한 종합적인 경제성 비교를 실시하는 것이 바람직하다.

(나) 송기구 면적과 풍속

수직갱 송기구에 의한 차도 내 압력상승효과를 기대할 필요가 있는 환기계의 경우, 송기구에서의 분류풍속은 최대 30 ㎧를 표준으로 한다.

또한 송기구 면적은 설계상태에서 결정되지만 풍량제어 등을 목적으로 한 면적제어의 실적은 현재 없는 상태이다.

(다) 수직갱 송·배기량

수직갱에서 구분되는 환기구 중간의 수직갱 아래를 통과하는 공기량과 그 농도상태를 근거로 산정, 이에 따른 환기량을 환기구의 풍속으로 한다.

(라) 배기구 면적과 풍속

배기구는 일반적으로 차도공간(도로)에 거의 직각의 위치로 설치되는 경우가 많다. 이러한 경우 차도공간(도로) 이용자에게 미치는 영향을 적게 하기 위해서 배기구 평균단면 풍속을 약 6 ㎧ 이하로 계획하는 것이 바람직하다.

또한 차도에 접한 단면부근에는 정류격자망과 금속망 등을 설치하여 이용자의 안전을 도모해야 한다.

(4) 집진기 부착 종류환기방식의 계산

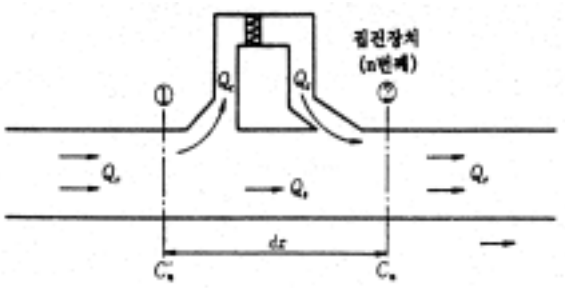
① 집진기 부착 종류 환기방식에 의한 매연농도의 개선

종류환기 방식은 특히 일방향 교통터널에 있어서 주행차량의 피스톤 작용을 유효하게 활용할 수 있는 경우에 건설비 및 환기 동력비의 면에서 유리한 경우가 많다. 터널연장이 길어지면 소요 환기량이 증가하므로 종류환기방식의 장점이 감소하지만 소요 환기량 중 일산화탄소(CO)를 대상으로 하는 것에 비해 매연을

대상으로 한 것이 압도적으로 많은 경우에 집진기를 이용하여 매연의 일부를 제거하는 방식을 도입하면 종류환기방식의 적용길이를 확대할 수 있다.

가. 집진기 부착 종류환기방식에 있어서 매연 농도의 개선

종류환기방식에 있어서 집진장치를 사이에 두고 전후의 환기계를 <그림 618.25>처럼 검사단면 ①②로 구분하면 아래와 같이 나타난다.



<그림 618.25> 집진기 부착종류 환기방식의 환기계통도

Q_r : 차도내 환기풍량 (㎥/s)

Q_c : 분진기의 처리풍량 (㎥/s)

Q_s : Q_r - Q_c

C_n' : 집진기실 직전의 차도공간 내 평균 매연 농도비

C_n : 집진기실 직후의 차도공간 내 평균 매연 농도비

단, C_n', C_n 을 절대농도로 표시하지 않고 설계농도에 대한 비율로 표시한 농도비로 표시하였다.

(예 : C_n'이 설계농도와 균등할 때 C_n'= 1.0 으로 표시한다.)

η_{VI} : VI (매연투과율) 개선율

이것의 정의에서 집진기계실 직후의 차도공간 C_n은 다음과 같은 관계가 있다.

$$Q_r \cdot C_n' - Q_c \cdot C_n' \cdot \eta_{VI} = Q_r \cdot C_n \qquad (618.42)$$

식 (618.42)에서 정리하면,

$$C_n = (1 - \alpha \cdot \eta_{VI}) \cdot C_n' \qquad (618.43)$$

즉, $\alpha = Q_c / Q_r$,

또한, 이러한 경우의 Q_s 의 농도는 C_n'에 *dx*구간의 배출량이 첨가한 농도로 되고 *dx* 구간의 소요 환기량을 dQ_{req}라고 하면 다음과 같다.

$$Q_s \text{ 의 } ② \text{ 의 단면농도} = C_n' + \frac{dQ_{req}}{Q_s}$$

일반적으로 *dx*는 50~100 m정도이고, Q_s를 너무 적게 계획하지 않는 한 거의 무시할 수 있는 정도이다.

수직갱 송·배기와 마찬가지로 C_n'이 허용농도에 이른 위치에 집진 장치를 설비하면 그 처리 풍량 Q_c는 임의의 크기로 결정 할 수 있지만, $Q_c \times \eta_{VI}$ 의 양이 다음 구간의 매연 대상 환기량으로 되기 때문에 집진 장치의 설치간격과 설치 장소 수에 영향을 미친다. 따라서 Q_c 의 선택은 대상으로 하는 터널조건에 따라 종합적인 경제성 비교를 실시하여 구한다.

② 집진 장치의 압력상승

<그림 618.25>에서 주행차량의 피스톤작용과 다른 환기시설의 기계력에 따라서 차도 내 환기풍속이 발생한 상태에서 집진 장치의 Q_c에 따라 압력상승은 특별히 기대하지 않아도 좋

다. 집진 장치는 많은 소용량 집진 장치를 터널 축 방향으로 배열·분산 배치하는 안과 터널 본갱 단면의 외측에 집진 기계실을 건설하여 대용량의 집진 장치를 수용, 이른바, 대용량 집진기실 안의 2가지 배치방식이 있다.

신설 터널의 경우 일반적으로 대용량 집진기계실 안이 채택되는 사례가 많다. 집진 장치에 Q_c가 대용량 일때는 토출구의 크기에 구조상 제약이 있기 때문에 보통 삿칼드 환기방식에 의한 송기 노즐과 같은 상태로 비교적 고풍속으로 환기를 실시하는 경우가 많다.

이 경우는 수직갱 송·배기 환기 방식과 마찬가지로 $Q_c = Q_e = Q_j$ 로 두어 압력상승 계산을 실시할 수 있다.

③ 집진기 부착 종류환기방식의 실제

본 환기방식은 그 성질이 수직갱 송·배기 환기방식과 같다고 볼 때 (3) ④에서 설명한 사항을 거의 그대로 응용할 수 있으며, 그 이외의 유의사항은 아래와 같다.

가. 집진 장치의 VI개선률

집진 장치를 환기용으로 사용함으로서 그 효율은 매연투과율의 저하를 개선하는 비율, 즉 VI 개선율로 표시된다. 이 값은 현재 공용중인 자동차도로 터널의 전기 집진 장치 조사사례에 의하면 거의 80%정도를 기대할 수 있는 것으로 나타나고 있다.

나. 집진 처리 공기이용의 한도

매연만을 대상으로 하는 한 집진 장치에 의해 개선된 공기를 재이용하는 한도는 없지만 실제 환기계획에서는 CO에 대한 설계농도 등이 있어서 이것에 따른 한도를 고려해야 한다.

현재 실용적인 재이용 한도로서는 집진기 처리 풍량의 합계가 터널입구에서 유입되는 풍량의 2배 정도이고 이것의 집진 처리공기 이용의 한도는 3회 이내이다.

일산화탄소 (CO)를 대상으로 하는 소요환기량이 이보다 적은 경우에서도 그 시점에서 신선한 공기로 교체하여 집진 장치의 배치와 기타 환기방식의 조합계획을 실시하는 것을 목표로 한다.

다. 집진장치의 전력

전기 집진기가 소비하는 전력은 공용터널의 예를 볼 때, 30 ㎥/s 의 공기를 처리하는데 거의 1kw가 사용된다.

집진 장치로서는 집진기에 공기를 도입, 다시 차도로 뿜어보내기까지 송풍기를 필요로 하고 전력이 비교적 많이 소비되어 집진 기계실내 각종 압력손실과 뿜어보내는데 필요한 압력의 계획에는 충분한 검토가 필요하다. 또한 집진기의 압력손실은 15 ㎜Aq 정도이다.

라. 집진기에 근접한 풍속분포

집진 기계실내에 집진기를 배치하는 계획과 풍로의 형상을 계획할 때는 집진기 부근의 풍속 단면분포가 가능한 균등하게 분포시킴으로서 각 집진 유니트(unit)의 VI개선률을 일정한 상태를 유지하도록 한다.

급격한 단면변화에 따른 흐름의 흐트러짐과 소용돌이가 발생하지 않도록 풍로의 형상치수를 선택해야 하며 집진기의 통과풍속은 7 ㎧ 이하로 한다.

마. 기타

화재가 발생한 때의 집진기계실 내에 연기를 취입하는 여부는 외국에서 소수의 연구 및 시행사례도 있으나 현재까지는 논란의 소지가 많으므로, 배연대책을 별도로 검토할 필요가 있다.

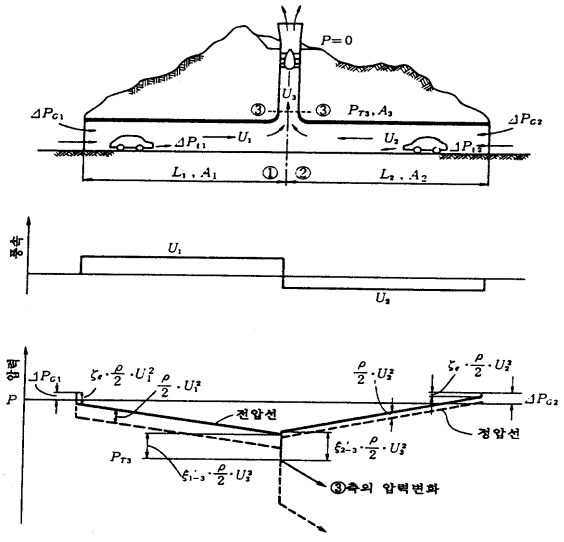
전기 집진기의 경우 매연이외에 CO, NOx 등을 제거하는 능력은 전혀 기대할 수 없다. 또한 집진기의 원리에서 오존 (O_3) 등을 발생시키기 용이하지만 실제의 장치는 이것을 허용

치 이하로 억제하게끔 되어 있다.

집진기에 의해 집진된 먼지의 처리에는 여러 가지 방법이 고려되고 있다. 예를 들면 산업폐기물로서 처리하는 것 이외에 분말을 고형화하여 저장하기 쉽도록 처리하기도 하고, 다른 물질과의 혼화제로서 적극적으로 활용하는 방법 등도 고려할 수 있다.

(5) 수직갱 배기 환기방식의 계산

수직갱 배기 환기방식은 수직갱 밑 부분을 부압으로 하여 환기풍을 실현하도록 하는 방식이며 수직갱 대신 사갱과 횡갱에 의한 경우도 포함된다. 본 환기방식은 일반적으로 양방향교통터널에 적용되며 터널 중앙부근에 수직갱 등을 설치하는 경우가 일반적이다. 이 경우의 환기계의 유로 형태는 양쪽 갱구에서 외기를 흡입, 수직갱 밑에 합류하는 T자형 유관이다(<그림 618.26(a)> 참조).



<그림 618.26 (a)> 수직갱 배기환기식 계통도 (합류형)

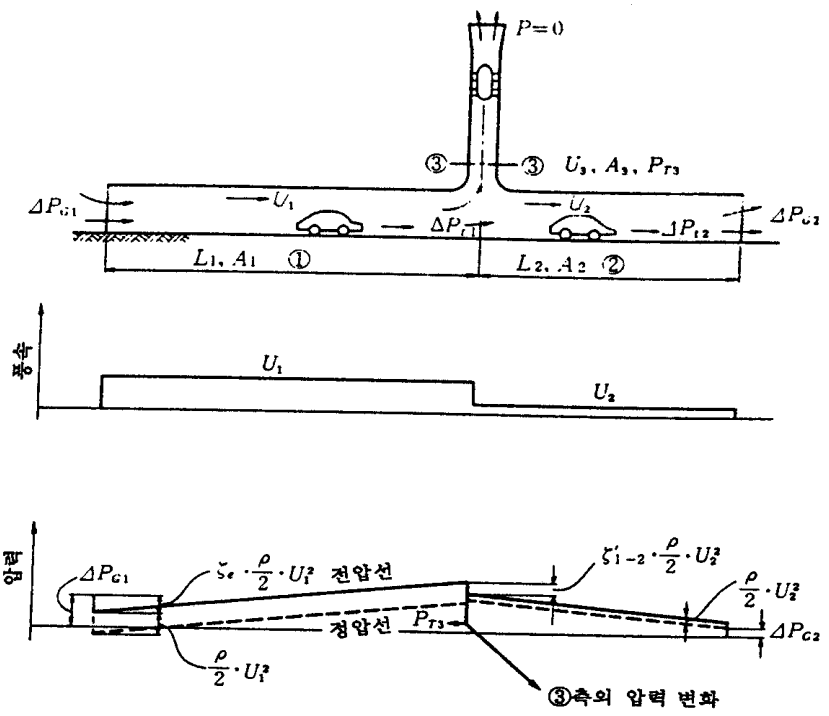
또한, 본 환기방식은 일방통행터널에 있어서 출구측의 터널입구에서의 토출공기량을 줄일 의도로 사용되는 경우도 있고, 이 경우의 환기계 유로상태는 T자 합류 흐름의 경우와 터널 출구측의 공기흐름이 역방향으로 되어 빠져나가는 흐름이 나타나는 경우가 있다(<그림 618.26 (b)> 참조).

수직갱 배기 환기방식의 일반적인 흐름형태는 교통조건 및 자연풍의 영향에 따라서 수직갱 밑부분 전후의 터널구간에 풍량의 불균형이 있을 수 있게 된다. 따라서 어떤 구간에서도 의도한 환기량이 부족하지 않도록 환기풍량에 여유를 둘 필요가 있다.

여유배기량이 지나치게 많아지면 건설비와 동력비가 많이 소요되므로, 터널 천장부분에 저항판을 설치하거나 젯트팬 환기방식을 병용하는 것도 바람직하다.

또한 양방향교통의 경우에서도 상·하방향별 교통량의 불균형과 자연풍의 영향에 따라서는 환기기 풍량이 할당되면 빠져나가는 형태의 흐름으로 되는 경우가 있다. 교통량이 적을 때에는 이러한 흐름이 나타나는 경우가 많고 일반적으로 양호한 환기상태라고 말할 수 없으므로 환기방식의 선정과 환기운용상 주의가 필요하다.

또한 터널입구의 환경보존을 목적으로 본 환기방식을 일방향 교통터널의 출구부분에 적용하는 경우에, 출구부의 토출풍량을 '0' 또는 그것에 가깝게 하는 것이 가능하지만 일반적으로는 집중 배기능력을 필요로 하는 것 이외에 차량자체가 차도공기의 일부를 갖는 현상으로 인하여 반드시 오염물질을 '0'으로 하는 계획은 실현되지 않는 경우가 있으므로 주의가 필요하다.



<그림 618.26 (b)> 수직갱 배기환기방식의 계통도 (빠져나가는 형태)

① 수직갱 배기식 환기방식에 있어서의 공기 흐름의 기초

가. 합류 흐름의 경우

<그림 618.26 (a)>에서 ΔP_G는 터널입구와 수직갱 입구사이에 존재하는 기상적 압력차를 나타내고 수직갱 입구를 기준으로 하는 점 및 대략 가압력으로서 작용하는 기간이 길다고 판단할 수 있는 점 때문에 ΔP_{MTW}와 구별하여 정의한다.

ΔP_G를 가압력으로 하고 $A_1 = A_2$ 일때의 각 U(풍속)가 <그림 618.26 (a)>에 나타난 방향으로 흐르면 수직갱 밑 부분의 합류후의 전압력 P_{T3}은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{T3} = \Delta P_{G1} + \Delta P_{t1} - \left(\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_1}{D}\right)_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^{\,2} - \xi_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^{\,2} \qquad (618.44\ (a))$$

$$P_{T3} = \Delta P_{G2} + \Delta P_{t2} - \left(\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_2}{D}\right)_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^{\,2} - \xi'_{2-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^{\,2} \qquad (618.44\ (b))$$

$$A_3 \cdot U_3 = A_1 \cdot (U_1 + U_2) \qquad (618.45)$$

ΔP_{G1} : 제 ① 구간의 터널과 수직갱 입구간의 기상적 압력차

ΔP_{G2} : 제 ② 구간의 터널과 수직갱 입구간의 기상적 압력차

ΔP_{t1} , ΔP_{t2} : 교통환기력은 다음 식처럼 나타낼 수 있다.

(n_+ 은 제① → 제②로 n_-은 제② → 제①구간으로 향하는 차량대수)

$$\Delta P_{t1} = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \{n_{+1} \cdot (V_t - U_1)^2 - n_{-1} \cdot (V_t + U_1)^2\}$$

$$\Delta P_{t2} = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \{n_{-2} \cdot (V_t - U_2)^2 - n_{+2} \cdot (V_t + U_2)^2\}$$

위의 식 중에서 ζ'_{1-3} 및 ζ'_{2-3} 은 하류 수직갱의 풍속을 기준으로 한 전압손실계수이고, 아래의 다. 항처럼 구한다.

나. 빠져나가는 흐름의 경우

<그림 618.26 (b)>에 나타난 빠져나가는 흐름의 경우, 수직갱 밑부분에 있어서 지류의 분기손실계수는 본류 (제①구간)의 풍속을 기준으로한 압력손실계수로 표시되며 본류의 제②구간의 압력변화도 다음 식처럼 나타나는 것이 일반적이다.

지류의 분기손실계수는 ζ'_{1-3} , 본류의 분기손실계수를 ζ'_{1-2} 로 각각 전압손실계수로 표현되고, 기타는 가. 항과 같으며 아래 식처럼 각 부분의 압력을 구할 수 있다.

제 ①구간의 마지막 전압력 (분기직후의 전압력) P_{T1}은,

$$P_{T1} = \Delta P_{G1} + \Delta P_{t1} - (\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_1}{D})_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad (618.46(a))$$

제 ②구간의 처음 전압력(분기직후의 전압력) P_{T2}은,

$$P_{T2} = \Delta P_{T1} - \zeta'_{1-2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad (618.46(b))$$

제 ②구간의 마지막(출구)의 전압력은,

$$\Delta P_{G2} + \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 = P_{T2} - (\lambda \cdot \frac{L_2}{D})_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 + \Delta P_{t2} \quad (618.46(c))$$

수직갱 아래의 전압력 ΔP_{T3}은,

$$P_{T3} = \Delta P_{T1} - \zeta'_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad (618.46(d))$$

위의 식에서 ζ'_{1-2} 및 ζ'_{1-3} 은 다. 항에서 구할 수 있다.

다. 합류 및 분기손실계수

T자 합류관의 경우 <그림 618.27(a)>처럼 합류부분의 혼란 등의 국부적인 현상에 영향을 미치지 않는 위치에 ①②③의 검사단면을 설치하면 다음 식처럼 관계가 성립한다.

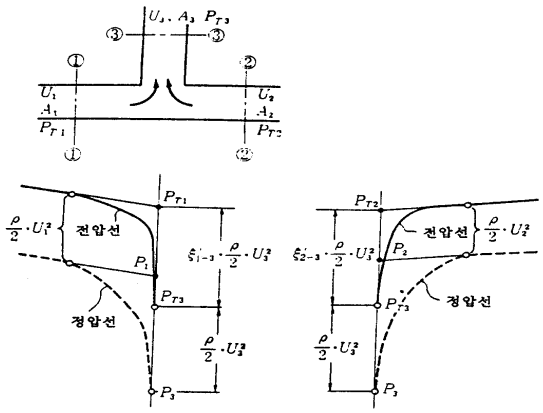
$$P_{T3} = P_{T1} - \xi'_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^2 \quad (618.47(a))$$

$$P_{T3} = P_{T2} - \xi'_{2-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^2 \quad (618.47(b))$$

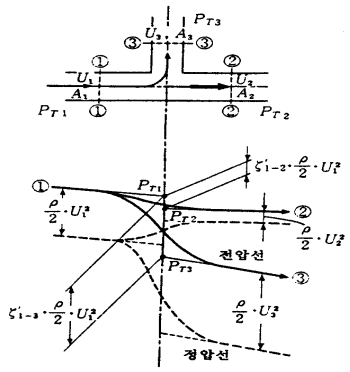
ζ'_{1-3} , ζ'_{2-3} 은 합류관의 단면적비, 유량비 , 합류각도 및 모서리 부의 형상에 따라서 영향을 받는 값으로, 그 한 가지 예를 <표 618.13>과 <그림 618.28>에 나타내었다. 또한 $U_1 = U_2$의 경우, <표 618.13>처럼 $\zeta'_{1-3} - \zeta'_{2-3} = 0$ 이므로, 식 (618.44 (a)(b))는,

$$(\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_1}{D})_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 = (\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_2}{D})_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 \cdot \Delta P_{G2} + \Delta P_{G1} - \Delta P_{t2} + \Delta P_{t1}$$

으로 나타낼 수 있다.



<그림 618.27 (a)> T자 합류관
압력선도(계통도)



<그림 618.27 (b)> T자
합류관 압력선도 (계통도)

빠져나간 흐름의 경우, <그림 618.27(b)>와 같으며 ①②③의 검사단면을 설정하면 다음 식이 성립된다.

$$P_{T2} = P_{T1} - \zeta'_{1-2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad (618.48(a))$$

$$P_{T2} = P_{T1} - \zeta'_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad (618.48(b))$$

<그림 618.27(b)>의 압력선도는 다음의 일반적인 조건을 나타내고 있다.

$U_3 > U_1$ (지류의 속도가 증가)

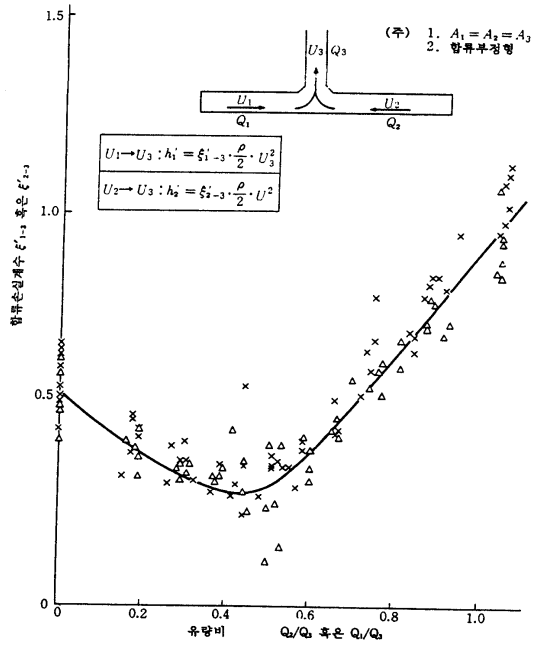
$A_1 = A_2$

ζ'_{1-2} , ζ'_{1-3} 은 분기관의 단면적비, 유량비, 분기각도 및 모서리부의 형상에 따라서 영향을 받는 값으로 그 예를 <그림 618.29>, <그림 618.30>에 나타내었다.

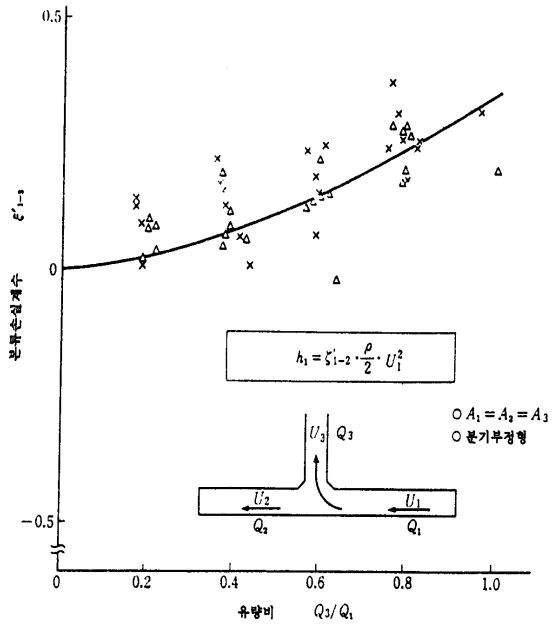
<표 618.13> T자 합류관의 손실계수

Q_1 / Q_2	Q_2 / Q_3	ζ'_{1-3}	ζ'_{2-3}	$\zeta'_{1-3} - \zeta'_{2-3}$
1.00	0	0.91	0.55	0.36
0.95	0.05	0.84	0.50	0.34
0.90	0.10	0.78	0.46	0.32
0.85	0.15	0.71	0.42	0.29
0.80	0.20	0.64	0.38	0.26
0.75	0.25	0.58	0.35	0.23
0.70	0.30	0.52	0.33	0.19
0.65	0.35	0.46	0.31	0.15
0.60	0.40	0.40	0.29	0.11
0.55	0.45	0.34	0.29	0.05
0.50	0.50	0.31	0.31	0

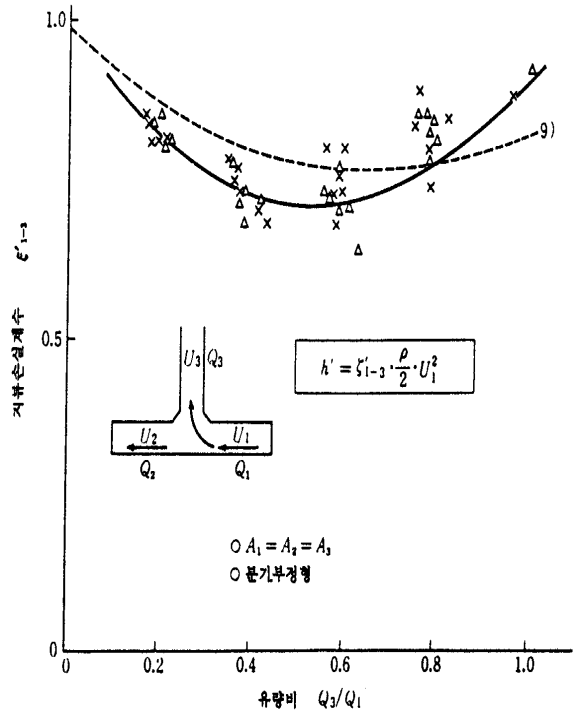
(주) 모형치수 $A_1 = A_2 = A_3 = 50$ ㎝×50 ㎝, 합류부분 모서리절단치수 5㎝ × 5㎝ 양쪽.



<그림 618.28> 합류손실계수



<그림 618.29> 본류의 분기손실계수



<그림 618.30> 지류의 분기손실계수

라. 저항판의 저항계수

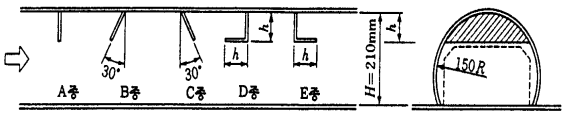
저항판에는 <그림 618.31>에 나타낸 종류가 있지만 일반적으로는 A타입이다. 저항판의 설치장소가 3곳 이상이 되면 1개 장소당 저항판의 손실계수 ζ_j 값은 안정된 값을 나타낸다.

A타입의 저항판(설치 장소수 : 3)일 때 ζ_j와 설치간격 및 치수와의 관계는 <그림 618.32(a)(b)> 와 같다.

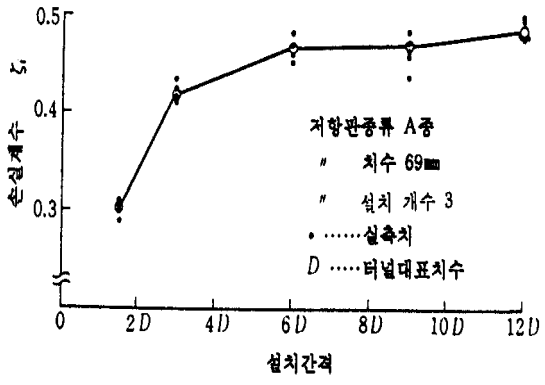
일반적으로 반원형단면 도로터널의 아치부분에 시설한계의 1배까지 저항판을 설치한 경우에 h / H = 0.23~0.31 정도이고 이러한 경우, 차도 내 풍속의 동압에 대한 손실계수로서 표시된 값은 0.35~0.45정도(A타입)이다. 압력손실은 아래의 식처럼 계산된다.

$$\Delta P = \zeta_j \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 \cdot n \qquad (618.49)$$

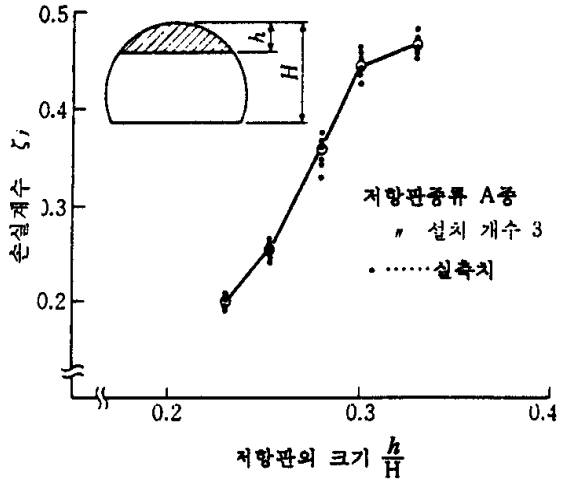
n : 저항판의 설치장소수



<그림 618.31> 저항판의 종류



<그림 618.32 (a)> 설치간격의 영향



<그림 618.32 (b)> 저항판의 값에 의한 영향

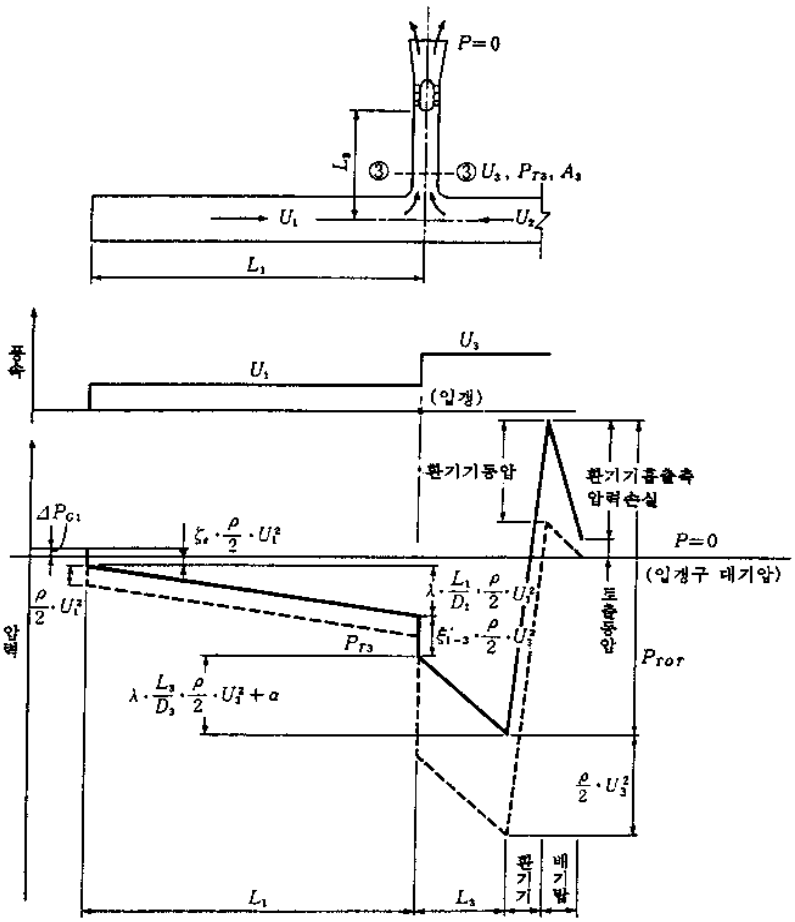
② 환기기의 소요풍압

합류흐름 또는 빠져나간 흐름의 상태를 ① 항의 이론에 따라서 구하면 각 구간의 풍량, 풍속 및 압력이 결정된다. 또한 그때의 입갱 밑부분의 전압 P_{T3}와 입갱 밑부분 이후의 손실에 따라서 환기기의 소요풍압이 결정된다.

즉, 설계상태에서 환기기의 소요풍압 P_{TOT}는 입갱(사갱 또는 횡갱) 밑부분의 전압 P_{T3}에 입갱 밑부분 이후의 연결덕트의 압력손실(전압기준)의 합계를 가산하여 계산 값에 여유 10%를 예상하여 식 (618.50)과 같이 구한다.
($U_1 > U_2$, $U_3 > U_1$, 차량이 없는 경우)

$$\Delta P_{TOT} = (P_{T3} + \Delta P_d) \times 1.1 \qquad (618.50)$$

참고로, 차량이 없는 경우의 합류흐름에 의한 합력선의 개념을 예를 들어 표시하면 <그림 618.33>과 같다.



($U_1 > U_2$, $U_3 > U_4$, 차량이 존재하지 않을 경우)

<그림 618.33> 입갱 배기방식에 의한 압력선도

3.3.3 횡류식 및 반횡류식 환기방식의 계산

(1) 송·배풍기의 소요 풍압

① 송풍기

송기형 반횡류식 및 횡류식 환기에 의한 송풍기의 소요 전체풍압은 환기탑에서 흡입된 공기가 연결덕트, 터널송기덕트, 차도를 거쳐 갱구 또는 배기구에서 배출된 여러 가지 압력손실의 총계이며 송풍기 전체풍압은 계산값에 1할의 여유를 두고 다음 식과 같이 결정한다.

송풍기전체풍압 = 1.1 ×{차도내압(터널덕트 말단부) + 필요말단압력 + 덕트정압차 + 덕트시점동압 + 연결덕트 압력손실} (618.51)

② 배풍기

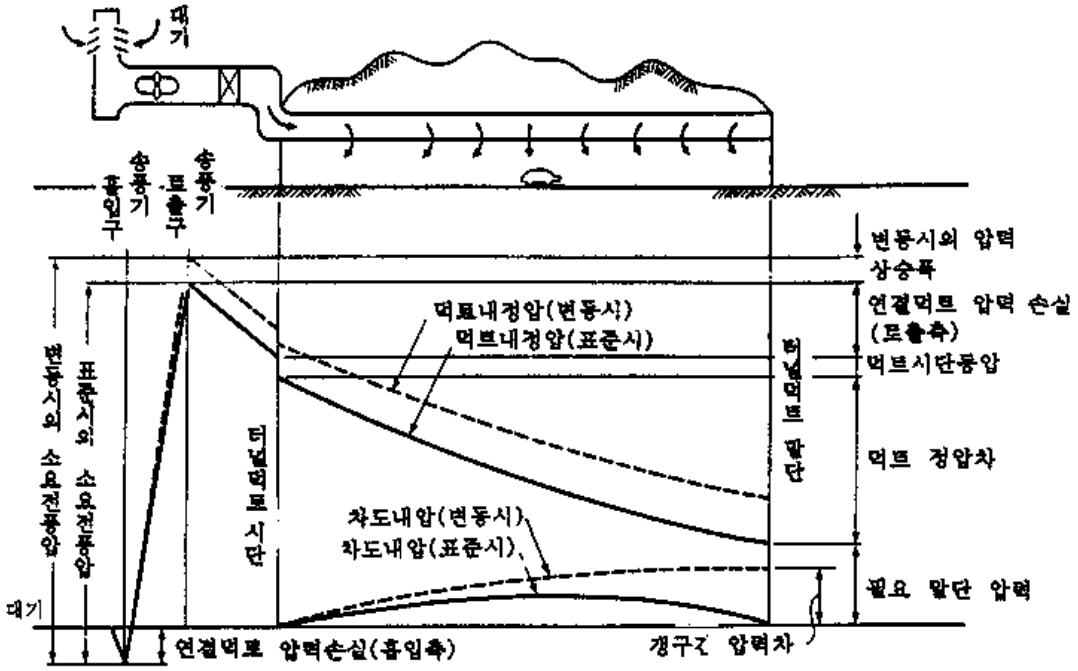
횡류식 환기에 의한 배풍기의 소요전체풍압은 송기덕트에서 차도 내에 유입된 공기가 배출공, 터널배기덕트, 연결덕트를 거쳐 환기탑에서 배출된 각종 압력손실의 총계이며 배풍기 전체풍압은 계산값에 1할의 여유를 두고 다음 식처럼 결정된다.

배풍기전체풍압 = 1.1 ×(필요시점압력 + 덕트 정압차 - 덕트말단동압 + 연결덕트 압력손실 + 대기 토출 동압) (618.52)

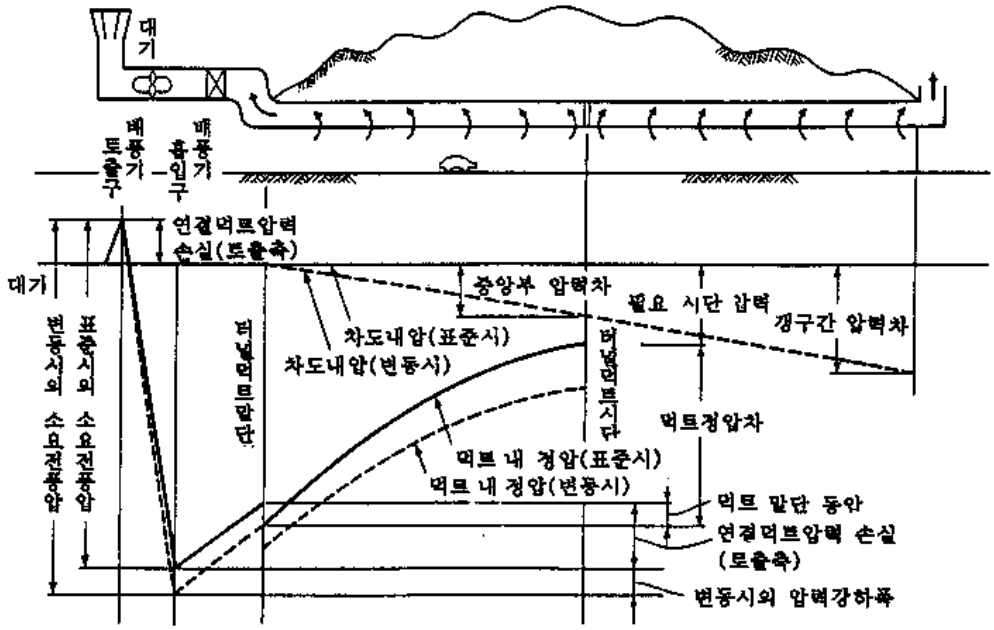
③ 환기계의 압력분포

환기계의 압력분포를 설명하면 다음과 같다. 터널의 양 갱구 사이에 자연풍, 온도차에 따른 압력차(ΔP_{MTW})가 없는 경우를 표준상태로 한다.

이 때의 환기계 압력분포는 <그림 618.34>와 <그림 618.35>에 실선으로 표시하였으나 양 갱구 사이에 압력차이가 발생하여 차도내 압력이 파선으로 변화한 경우에는 덕트시점(말단)의 압력도 차도 내 압력의 상승(강하)에 따라서 상승(강하)한다. 따라서 환기계의 전체압력은 파선으로 나타낸 변동시의 소요전체 풍압을 기준으로 결정한다.



<그림 618.34> 송기덕트계의 압력분포(한 개의 덕트의 경우)



<그림 618.35> 횡류식배기 덕트계의 압력분포 (복수 덕트의 경우)

(2) 각 부분의 압력계산

① 송기덕트 정압차 및 시점동압

터널 송기덕트의 단면적이 A_b이고 터널 축방향으로 일정한 터널 송기덕트에서 차도로 신선한 공기가 일정한 송기량 분포로 공급되는 경우, 터널 송기덕트의 풍압계산은 다음과 같다.

가. 덕트 시점풍속 : U_{bi}

$$U_{bi} = \frac{Q_b}{A_b} \qquad (618.53)$$

나. 덕트 시점동압

$$\frac{\rho}{2} \cdot U_{bi}^2 \qquad (618.54)$$

다. 덕트 정압차

덕트 시점정압 P_{bi}와 말단정압 P_{bo}의 차이는

$$P_{bi} - P_{bo} = K_b \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_{bi}^2 \qquad (618.55)$$

$$K_b = \left(\frac{\lambda}{3} \cdot \frac{L}{D} - 1\right)_b \qquad (618.56)$$

② 배기덕트 정압차 및 말단동압

터널 배기덕트 단면적 A_e가 축방향으로 일정하게, 오염공기가 차도에서 일정한 상태의 배기량분포로 배출된 경우, 터널 배기덕트의 풍압계산은 다음과 같다.

가. 덕트 말단풍속 : U_{eo}

$$U_{eo} = \frac{Q_e}{A_e} \qquad (618.57)$$

나. 덕트 말단동압

$$\frac{\rho}{2} \cdot U_{eo}^2 \qquad (618.58)$$

다. 덕트 정압차

덕트 시점정압 P_{ei}와 말단정압 P_{eo} 와의 차이는

$$P_{ei} - P_{eo} = K_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_{eo}^2 \qquad (618.59)$$

여기에서,

$$K_e = (\frac{\lambda}{3} \cdot \frac{L}{D} + 2)_e \qquad (618.60)$$

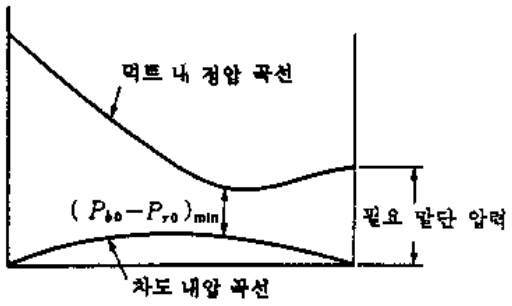
③ 송기덕트의 필요말단동압 ($P_{bo} - P_{ro}$)

송기덕트의 필요 말단동압력은 송기덕트의 말단덕트의 정압의 원점값을 결정하는 것으로, 차도내의 압력분포가 기상상태와 교통상태 등의 변화에 인하여 변화하여도 풍량분포의 균일성이 충분히 확보되도록 검토해야 한다.

필요말단압력은 일본 도우메이 고속도로 등의 실제 측정결과에 의하면,

$\Delta P_o - P_{ro} = 15$ mmAq 정도를 필요로 한다. 또한, 기상변화에 의한 갱구간 압력차 ΔP_{MTW}는 이 값에 포함되어 있다고 보는 것이 바람직하다.

송기덕트의 형상 값에 따라서 차도 내 정압과 덕트 내 정압의 관계가 <그림 618.36>처럼 되는 경우가 있다. 이러한 경우에도 필요말단압력이 위에서 설명한 것처럼 결정된다면 그림 중의 ($P_{bo} - P_{ro}$) 흡출에 필요한 압력보다 적어지는 것은 실제 터널에서는 거의 없다.



<그림 618.36> 필요말단압력과 최저 토출 풍압과의 관계

④ 배기 덕트의 필요시점 압력($P_{ri} - P_{ei}$)

배기덕트의 필요 시점압력은 배기덕트 정압의 원점을 결정하는 것이므로 차량이 통과한 직후에 일어나는 부압과 기상상태 변화에 따른 영향에 대해서 균일한 배기가 실시되도록 설계하여야 한다. 따라서 필요시점압력은 실측결과에서 10 mmAq (P_{ri} - P_{ei} = 10 mmAq) 정도가 필요로 한 것으로 판단된다.

단, 기상상태 변화에 따른 갱구간 압력차 ΔP_{MTW}는 이 값에 포함되어 있다.

⑤ 차도 내압

가. 횡류식

횡류식에 의한 표준상태의 차도 내압은 보통 '0'이고, 환기기의 소요풍압의 산정에는 이것을 '0'으로 한다.

나. 반횡류식(송기)

단위 길이당 송기량 $q_b(m^3/s/m)$ 의 분포가 일정한 송기 반횡류식환기에서는 차도 내압 분포가 다음 식처럼 계산된다. 또한 편갱구 송기식의 경우, 덕트 말단부에서의 차도 내압은 보통 '0'이며 송기기의 풍압산정에서는 이것을 '0'으로 한다.

• 중성점(U_r = 0인 점)으로부터의 거리를 x라고 하면, 차도 내 풍속 $U_r(x)$는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$U_r(x) = \frac{q_b}{A_r} \cdot x \qquad (618.61)$$

• 차도 내 정압분포 $P_r(x)$는 일방향교통터널의 터널입구부터 중성점까지는 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$P_{r*} - P_r(x_1) = (\frac{\lambda}{3} \cdot \frac{x_1}{D} + 2)_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r(x_1)^2 + \alpha \cdot \frac{x_1}{L} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left\{ V_t^2 + V_r \cdot U_r \cdot (x_1) + \frac{1}{3} \cdot U_r(x_1)^2 \right\} \qquad (618.62)$$

x_1 : 중성점에서 터널입구까지의 거리

P_{r*} : 중성점의 정압

V_t : 주행속도

$\alpha = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{N \cdot L}{3,600 \cdot V_t}$: 교통환기력계수

또한 일방향교통터널의 중성점부터 터널출구까지의 부분은 아래 식처럼 계산된다.

$$P_{r*} - P_r(x_2) = (\frac{\lambda}{3} \cdot \frac{x_2}{D} + 2)_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r(x_2)^2 - \alpha \cdot \frac{x_2}{L} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left\{ V_t^2 - V_t \cdot U_r(x_2) + \frac{1}{3} \cdot U_r(x_2)^2 \right\} \quad (618.63)$$

x_2 : 중성점으로부터 터널출구까지의 거리

양방향교통의 경우 차도 내 정압분포 $P_r(x)$는 표준상태로서 상·하행선 교통량이 같다고 가정하면 다음 식처럼 표시된다.

$$P_{r*} - P_r(x) = (\frac{\lambda}{3} \cdot \frac{x}{D} + 2)_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r{}^2(x) + \alpha \cdot \frac{x}{L} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_t \cdot U_r(x) \quad (618.64)$$

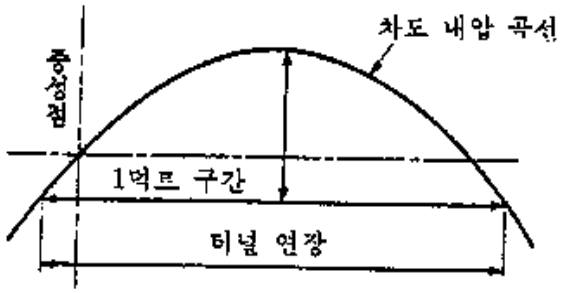
따라서 복수덕트계에 의한 환기기의 소요풍압산정식의 차도내압은 차도내압분포 곡선과 덕트구간과의 상대위치 관계에서 <그림 618.37>처럼 계산된다.

⑥ 연결덕트 압력손실

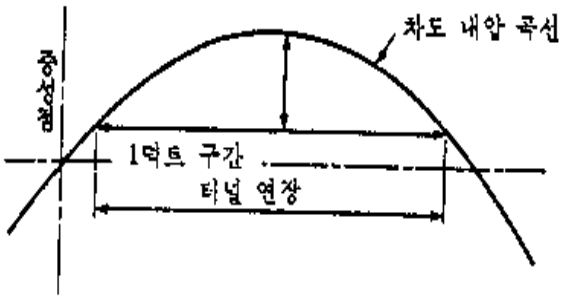
터널덕트에서 환기기를 거쳐 환기소의 흡·출구에 이르는 연결덕트의 압력손실은 다음 식처럼 계산된다.

$$P_d = \sum \xi_d \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_d{}^2 + \sum (\lambda \cdot \frac{L}{D})_d \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_d{}^2 = \frac{\rho}{2} \cdot U_{bi}{}^2 \cdot \sum \left\{ \xi_d \cdot (\frac{A_b}{A_d})^2 + (\lambda \cdot \frac{L}{D})_d (\frac{A_b}{A_d})^2 \right\} \quad (618.65)$$

ξ_d : 각 위치의 형상손실계수



(a) 중성점이 터널 내에 있을 때



(b) 중성점이 터널 밖에 있을 때

<그림 618.37> 차도내의 도식해법
(양갱구송기의 예)

λ_d : 각 위치의 마찰손실계수

U_d : 각 위치의 풍속

A_d : 각 위치의 덕트단면적

3.4 환기기

일반적으로 환기기라고 하면 송풍기, 배풍기 및 젯트팬 등을 의미하나 종류환기방식에 적용되는 전기집진기도 일종의 환기기로 포함하고 있다.

전기집진기는 차도공간의 오염공기를 신선한 공기로 환기시킬 목적은 아니지만 터널 내 공기중의 매연의 일부를 제거하여 터널 내 환경을 개선하도록 하기 위한 것이며 광범위한 의

미로는 환기기라고 말할 수 있다.

따라서 본 절에서는 송·배풍기, 젯트팬 및 집진기, 부속장치와 같이 3항목으로 구별하여 설명한다.

3.4.1 송□배풍기

(1) 송·배풍기의 형식

터널환기용으로서 사용되는 송·배풍기(이하 송풍기라고 함)는 보통 대풍량, 저풍압의 것이므로 이것에 적합한 축류송풍기를 채택하는 것이 바람직하다. 축류식은 원심식에 비해 소형이며 관로 일부를 용이하게 조립할 수 있으며 효율면에서도 다른 것에 비해 우수하지만, 가격이 비싸고 소음이 크다.

원심식은 압력상승을 용이하게 할 수 있는 형식이므로 풍압이 높아질수록 소형이 되기 때문에 필요송풍기전압이 500 mmAq정도일 때는 축류식과 원심식을 비교·검토할 필요가 있다.

또한 화재시 배연 등에 관해서는 축류식이 역전운전법의 채택에 의해 배기가 비교적 용이하지만 원심식에서는 덕트교체를 실시하면 배기운용을 할 수 없는 단점이 있다.

송풍기의 종류와 특성 비교를 <표 618.14>에 표시하였다.

(2) 송풍기의 대수

환기계(1터널덕트 혹은 1환기구간)에 송풍기를 1대만 설치하는 경우 그 송풍기가 고장으로 정지되면 그 환기계는 완전히 환기능력을 잃게된다.

<표 618.14> 송풍기의 종류와 특성

형 식		날개바퀴 형상과 주요 특징		비속도 N_s	전풍압 mmAq	전압효율 %	소 음	형 상 치 수	부 착 면 적	가격	특 성 곡 선
원심식	터보팬 (기본형)		후퇴날개 곡선 또는 직선	300 ~ 750	150 ~ 1200	65~80	中	大	大	中	
	터보팬 (날개형)		후진날개 날개형 단판	400 ~ 800	150 ~ 1200	75~85	小	大	大	中	
	레디알팬		반경방향 날개 직선 또는 곡선	200 ~ 500	200 ~ 1500	60~75	中	中	中	中	
	다익팬		전경익(前傾翼)폭이 좁은 날개다수	500 ~ 700	15 ~ 400	45~65	조금 작음	조금	조금	小	
축류식	밴축류 팬		날개형 정익(靜翼)부착	1000 ~ 2000	20 ~ 700	65~90	大	小	小	大	
	튜브 축류팬		날개형 또는 판날개무 정익없음	1800 ~ 3000	0 ~ 40	50~65	조금 큼	小	小	大	
	이중반전 축류팬		날개형 두단의 날개 바퀴가 반대로 회전	700 ~ 1200	200 ~ 700	85~90	매우 큼	小	小	大	

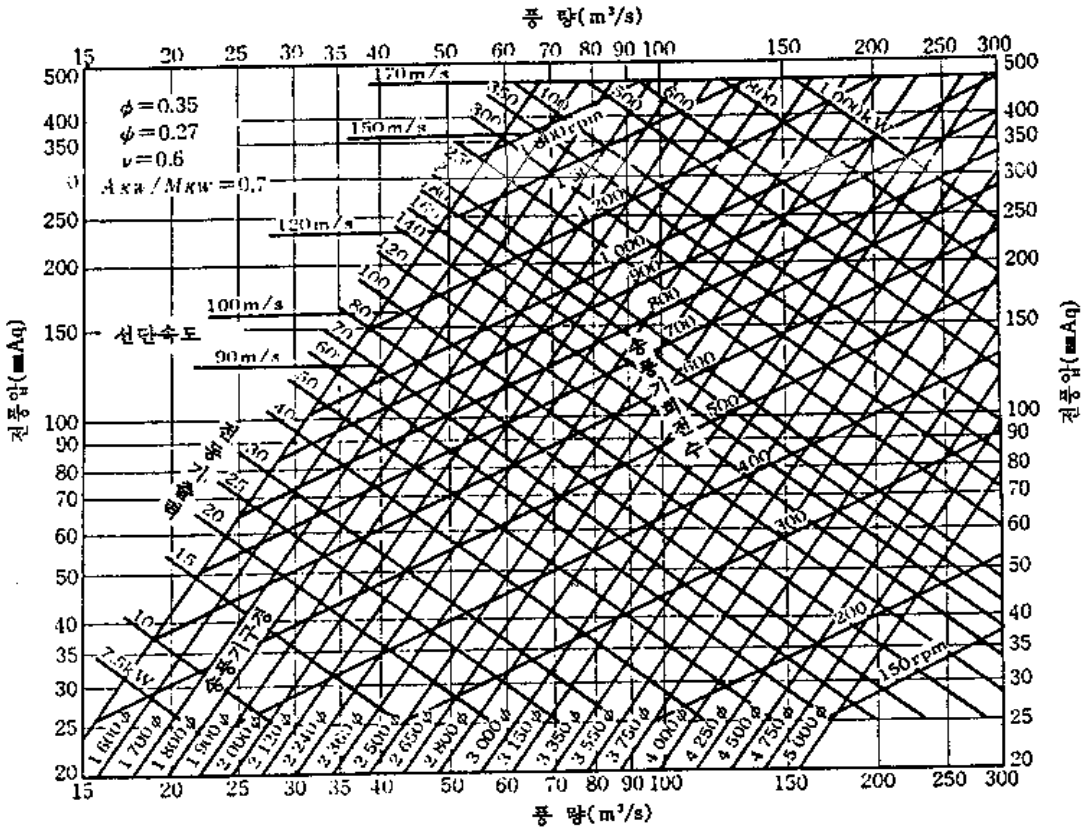
또한 1개의 환기계에 2~3대의 송풍기를 병렬설치할 경우 2대중 1대를 작동하면 65% 정도, 3대중 2대를 작동하면 80% 정도의 환기량을 확보할 수 있다. 따라서 환기방식과 터널의 운용상태에도 영향을 받지만 일반적으로는 하나의 환기계에 대해 2~3대의 송풍기를 병렬설치하여 고장 등에 대처할 수 있도록 한다.

1개의 환기계에 3대 이상의 송풍기를 병렬운전할 때 서어징 상태라고 하는 불안정한 송풍기의 운전상태가 나타나며 병렬운전의 수가 증가함에 따라 그러한 경향이 강하다. 현재 사용중의 터널에서는 3대까지 병렬 운전한 실적과 경험이 있지만 그 이상의 실적은 없다.

송풍기의 고장 등으로 장시간 환기량이 부족한 상태가 발생할 수 있는 터널에 있어서는 기존의 사례에서는 입형송풍기의 감속기와 날개예비기를 준비하는 경우도 있으며 날개바퀴형으로 구성되는 주요부분만을 예비기로서 준비한 사례도 있다. 또한 상·하행선 터널의 환기계가 2계통인 경우에 연결덕트와 교체장치의 운용에 따라서 지원송풍을 할 수 있도록 배려한 사례도 있다.

(3) 축류송풍기의 사양

축류송풍기의 사양은 사용조건에 따라 각각 다르지만 <그림 618.38>로부터 풍량 및 풍압별로 구경, 회전수, 동력에 대한 값을 알 수 있다. 예를 들면 <그림 618.38>에서 Q = 90 ㎥/s, P=70 mmAq의 경우 환기기계의 구경 2,800 ㎜Φ, 회전 450 rpm 및 전동기출력이 90 kw임을 알 수 있다.



<그림 618.38> 축류송풍기의 제원선도

즉 본 그림의 전풍압은 날개 1 단당의 전풍압을 표시한 것이며 날개부 단수의 증가에 따라 압력을 단수의 배로 할 수가 있다.

단수는 3 단을 한계로 한다. 또한 날개의 선단속도가 90~100 m / s 이하 일때는 알루미늄 합금주물제의 날개로 충분하지만 선단속도(날개끝속도)가 90~100 m / s 이상이 되면 재질과 시공상의 문제로 송풍기 가격이 고가가 되고 소음도 커지기 때문에 주의해야 한다.

① 비속도, 유량계수, 압력계수

송풍기 제원의 결정에 있어서 부착장소의 환경등에 따라 송풍기의 크기, 중량 등의 제한이 있고, 또한 사용조건(특히 풍량조절 방법)에 따라 다소 다르게 설계를 하는 등 주의가 필요하다.

일반적으로 송풍기의 비속도 N_s , 유량계수 Φ, 압력계수 Ψ는 송풍기에 적합한 값이 되지 않으면 않된다.

비속도란 어떤 송풍기의 모든 부분을 상사형으로 변경하여 풍량 $1m^3/min$, 전체풍압 1 mmAq를 얻도록 할 때의 필요회전수이며 '3.4.1 (1)'에서 설명한 각종 송풍기의 형식선정의 기준이 되는 것이다.

비속도는 다음 식에서 구한다.

$$N_s = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{\left(\frac{P}{\gamma}\right)^{\frac{3}{4}}} = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} = N \cdot \frac{7.746\sqrt{q}}{\left(\frac{P}{\gamma}\right)^{\frac{3}{4}}} = N \cdot \frac{7.746\sqrt{q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (618.66)$$

N_s : 송풍기의 비속도

N : 송풍기의 회전수 (rpm)

Q : 송풍기의 풍량 (m^3/min)

q : 송풍기의 풍량 (m^3/s)

P : 송풍기의 전체풍압 (mmAq)

H : 송풍기의 압력수두(m)

γ : 공기의 비중량 (kg_f/m^3)

N_s가 커지면 회전수와 풍량이 크고, 풍압이 적으면 N_s가 적어지며 회전수, 풍량에 비해 풍압은 커진다.

축류식에서는 N_s가 1,000~3000정도까지 제작 가능하지만 1,200~1,800의 범위에서 효율이 가장 좋다. 유량계수와 압력계수는 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

$$\Phi = \frac{C_m}{U_o} = \frac{4Q}{\pi^2 \cdot D_o^3 \cdot (1-\nu^2) \cdot N} \quad (618.67)$$

$$\Psi = \frac{H}{U_o^2/2g} = \frac{7,200 \cdot P \cdot g}{\gamma \cdot N^2 \cdot \pi^2 \cdot D_o^2} \quad (618.68)$$

Φ : 유량계수

Ψ : 압력계수

C_m : 날개부를 통과하는 기체의 축류속도(m/s)

U_o : 날개선단속도(m/s)

Q : 풍량(m^3/min)

D_o : 날개부 바깥지름 (≒송풍기의 구경)(m)

ν : boss 비(boss 지름/날개부 바깥지름)

N : 회전수(rpm)

H : 압력수두(m)

P : 전체풍압(mmAq)

g : 중력 가속도($9.8m/s^2$)

γ : 공기의 비중량(kg_f/m^3)

위의 유량계수와 압력계수는 송풍기의 성능을 송풍기의 구경 D_o과 회전수 N에 따라 무차원화한 것이며 식 (618.67), (618.68)에서 보듯이 각각 D_o, N과의 관계는 다음과 같다.

$$\Phi \propto \frac{1}{D_o^3 \cdot N}$$

$$\Psi \propto \frac{1}{D_o^2 \cdot N^2}$$

병렬운전의 조건으로서 Ψ = 0.27 이하가 안전하며 $\Phi = \Psi + (0.05 \sim 0.10)$이 안정된 특성이 있다.

보스비는 $\nu = \sqrt{(1.25 \sim 1.35)\Psi}$ 가 무난하게 압력을 얻을 수 있는 값이다.

<그림 618.38>의 선도는 $\Phi = 0.35$, $\Psi = 0.27$, $\nu = 0.6$, $A_{KW}/M_{KW} = 0.7$ 일 때의 값을 표시한 것으로서 풍량, 풍압에 따라서 개략적인 환기기의 구경, 회전수 소요동력을 알 수 있다.

② 송풍기의 동력과 전동기

송풍기의 동력은 압력이 낮기 때문에 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$A_{KW} = \frac{Q \cdot P_{TOT}}{102} \qquad (618.69)$$

$$S_{KW} = \frac{A_{KW}}{\eta} = \frac{Q \cdot P_{TOT}}{102\eta} \qquad (618.70)$$

A_{KW} : 이론공기동력(Kw)

S_{KW} : 송풍기축동력(Kw)

Q : 풍량(m^3/s)

P_{TOT} : 전체풍압(mmAq)

η : 송풍기효율(일반적으로 80%)

또한 송풍기의 축동력은 온도 및 대기압에 대해 다음과 같이 보정한다.

$$S_{KW1} = S_{KWo} \cdot \frac{273 + t_o}{273 + t_1} \cdot \frac{P_1}{P_o} \qquad (618.71)$$

S_{KW1} : t_1, P_1으로 변화할 때의 축동력

S_{KWo} : $t_o = 20℃$ $P_o = 760$ mmHg 일 때의 축동력

t_o , t_1 : 온도(℃)

P_o, P_1 : 대기압 (mmHg)

표고에 따른 대기압의 변화는 대류권(표고 11 Km이하)에서는 식 (618.72)와 같다.

$$P / P_0 = (1 - 0.022557\,H)^{5.2561} \qquad (618.72)$$

전동기의 출력,입력은 다음 식처럼 산출한다.

전동기출력 $M_{KW} = S_{KW1} \cdot (1 + \alpha)$

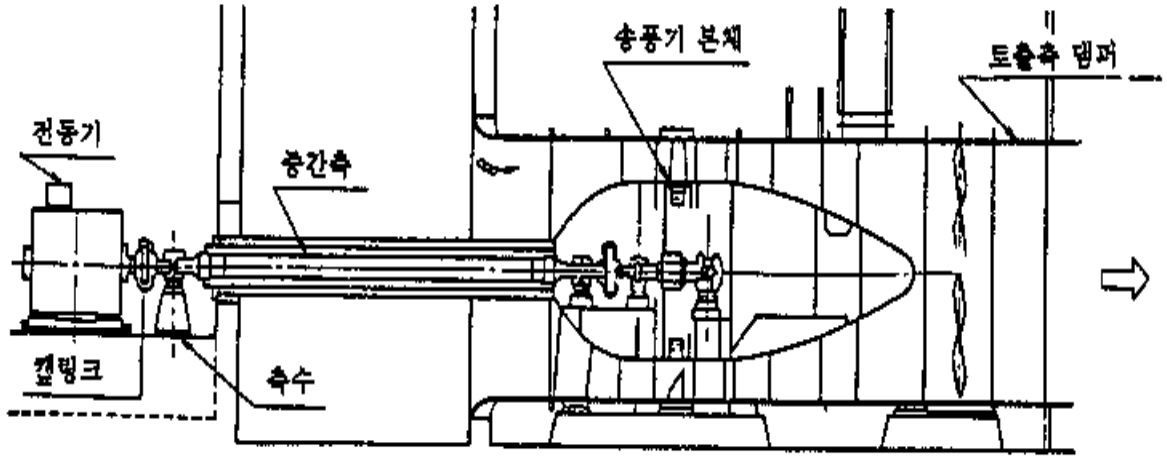
전동기입력 $M_1 = M_{KW} / \eta_m$

α : 전동기여유계수 (일반 10%)

η_m : 전동기효율 (일반 90~95%)

③ 배풍기의 내열성

터널환기시설은 터널 안에 화재 등이 발생하였을때의 대응 운용으로서 배기운전이 요구된다. 따라서 배풍 운전으로서 운용되는 경우가 많다. 그때의 연기를 함유한 고온공기의 온도가 문제가 되며(일반적으로 100℃까지의 공기온도) 따라서 공기냉각설비를 별도로 설치하는 사례가 많다.



<그림 618.39> 가로형축류송풍기

④ 축류송풍기의 설치 및 배치

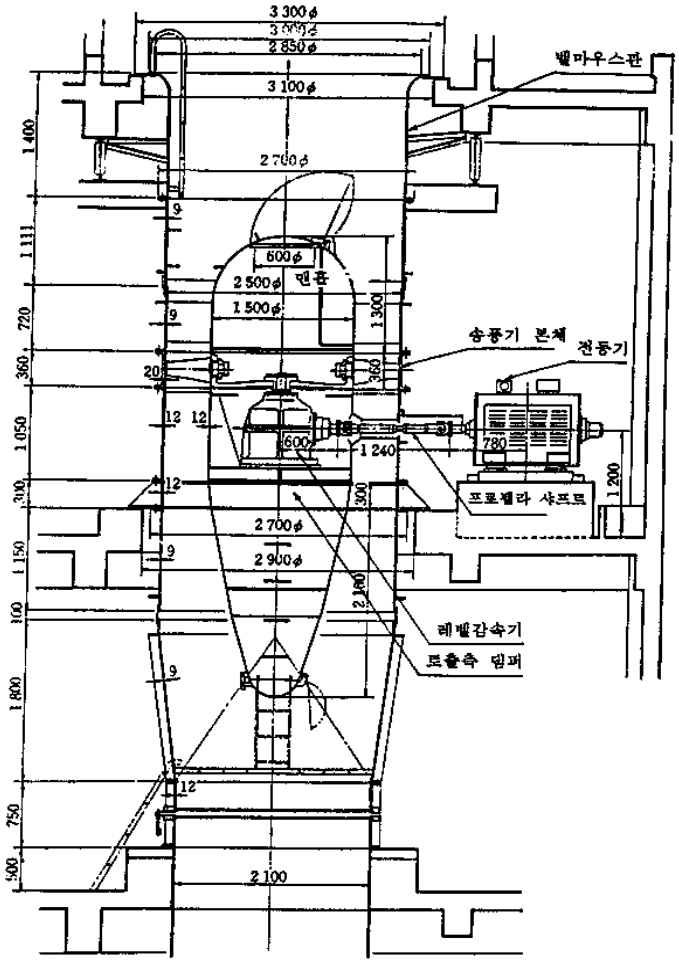
송풍기는 구조상, 수직형·가로형이 있지만 최근에는 수직형이 많이 채택되고 있다. 이것은 주로 설치면적을 줄일 수 있기 때문이다. 그러나 전동기출력이 큰 경우에는 감속기와 전동기가 원통형에 들어가지 않으므로 가로형을 채택해야 한다.

<표 618.15>에 두 가지 형태를 비교하였다. 가로형과 수직형축류송풍기의 대표적인 구조도를 <그림 618.39> 및 <그림 618.40>에 나타내었다.

<표 618.15> 축류 송풍기의 가로형과 수직형의 비교

비교항목	가로형	수직형
운영	1. 분할 및 현지 조립이 간단하며 분할구조가 가능하고 화물차 운송이 용이하다. 2. 부착장소에 천장크레인을 필요로 한다.	1. 전동기 내장의 경우는 축방향 길이가 길기 때문에 분해하지 않고 운송하는 경우, 특수트레일러와 해상운송이 필요한 경우가 있다. 2. 전동기 외장형은 축방향 길이가 짧고 일반 화물차에 의한 운송이 가능한 경우가 많다. 3. 부착장소에 체인블럭에 의한 특수크레인이 필요하다.
부착면적	1. 원통을 가로로 눕히기 때문에 부착하는 면적이 넓다. 2. 분해점검 공간을 필요로 한다.	1. 송풍기 구경보다 약간 큰 부착면적이면 충분하다. 2. 송풍기의 배치에 따라 반입로가 필요하다. 단, 이 공간은 분해점검시 공간으로 이용할 수 있다. 3. 가로형보다 부착면적은 적다.
부착높이	구경의 약 3배 이상의 천정높이를 필요로 한다.	구경 2.0～2.5배 정도의 천정높이가 필요하다. 가로형보다 천장을 낮게 할 수 있다.
보수	1. 베아링 점검, 그리이스의 교환이 용이하다. 2. 정기점검 등의 분해도, 케이싱을 외부에 부착하면 내장되어있는 각 부분은 노출되어 있으므로 점검이 용이하다. 3. 운전중에 가변피치(pitch)를 실시하는 것은 2～3년에 한번은 크게 분해하고 정기점검을 함께 실시하지만 다른 경우에 정기점검은 오버홀을 하지 않고 그리이스 팻킹, 실등의 교환, 기타 점검을 실시하면 충분하다. 4. 축심(軸芯)의 체크를 필요로 한다.	1. 내부의 점검은 분해하지 않으면 곤란하다. 2. 그리이스의 급유도 특별한 장치를 사용할 필요가 있다. 3. 3～5년에 1번 분해를 실시하고 정기점검도 한다. 분해조립이 비교적 간단하다. 4. 축수온도, 감속기 기름온도 기름면은 송풍기 외부에서 감시한다.
제작	케이싱을 상·하로 분할한다. 조절이 용이하다는 점이 장점이다.	케이싱은 축방향만으로 여러개 분할하기 때문에 합친프란지면을 기계가공, 정밀도를 높일 필요가 있다.

비교 항목	가 로 형	수 직 형
구 조	1. 횡축이되므로 베어링부등의 축봉(軸封) 장치는 비교적 간단하다. 2. 송풍기 구경에 대한 전동기 출력이 크며 전동기를 외장(外裝)으로 하면 제작가능 범위에 제한이 없다. 3. 전동기를 외장으로 할 경우에는 흡입측 또는 토출측에 곡관부를 설치할 필요가 있다. 4. 송풍기를 실외장치로 하는 것이 용이하다.	1. 수직축이 되므로 축봉부에서 기름이 새는 것을 방지하기 우해 오일실, 래비딘스등이 필요하다. 2. 전동기 내장의 경우에는 송풍기안쪽 직경보다 전동기 외경이 적으면 제작이 불가능하다. 3.전동기 내장의 경우는 화재시에 통기온도 및 설치방법등에 따라 특수형태가 되며 고가이다.



<그림 618.40> 수직형 축류송풍기

<표 618.16> 풍량제어방법의 비교

	댐퍼제어		속도제어 (극수변경)	속도제어 (무단계)	베인제어	가변핏치 제어	대수 제어
	토출측	흡입측					
효율(전동기 효율을 포함)				양		양	
구조의 용이성	①	①	④	⑤	③	⑤	②
조정범위의 크기	소	중	대	대	중	대	중
가 격	저	저	고	고	저	고	

(주) 표중의 숫자는 순위를 표시

⑤ 풍량제어 방법과 단계

풍량제어방법은 다음과 같다.

- 댐퍼(damper) 제어법
- 속도 제어법
- 베인 제어법
- 가변핏치 제어법
- 대수 제어법

이 중 제어가 용이하고 비교적 효율적이며 설비비용도 많이 들지 않는 전동기의 극수변경에 의한 속도제어법과 대수 제어법을 조합한 방법이 많이 채택되고 있다.

터널환기에 채택된 각종 제어법의 특성은 다음과 같다(<표 618.16> 참조).

가. 속도제어법

송풍기의 회전수를 N_A에서 N_B로 변화시킨 경우의 성능변화는 압력비가 적은 경우, 다음 식처럼 표시된다.

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \left(\frac{N_A}{N_b}\right) \qquad (618.73)$$

$$\frac{P_A}{P_B} = \left(\frac{N_{A)}}{N_B}\right)^2 \qquad (618.74)$$

$$\frac{L_A}{L_B} = \left(\frac{N_A}{N_B}\right)^3 \qquad (618.75)$$

Q : 풍량 (㎥/s) L : 축동력 (kw)

p : 풍압 (㎜Aq) N : 회전수 (rpm)

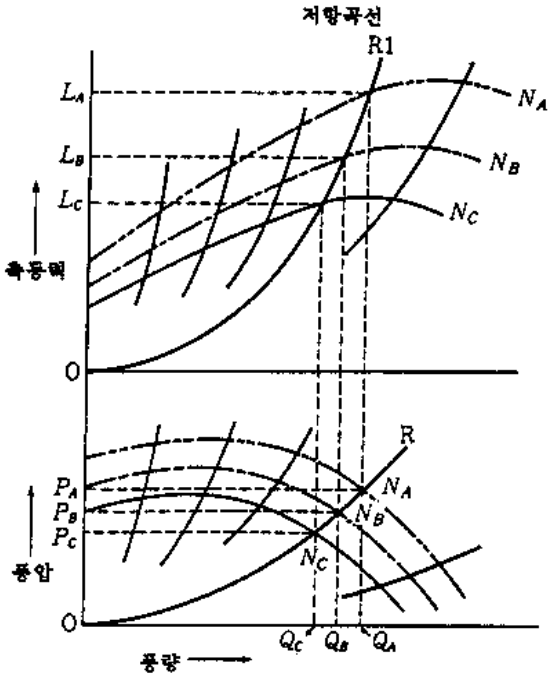
관로계의 저항이 풍량의 2배로 변화한 경우는 <그림 618.41>처럼 되고 송풍기는 회전수의 변화에 따라 고범위의 풍량조절을 실시할 수가 있다. 단, 회전수의 변화가 크면 레이놀즈수가 변화하는데 레이놀즈수 2×10^6 이하에서는 특히 급격하게 효과가 나빠진다.

나. 전동기의 속도제어법

속도제어법은 송풍기의 풍량조절에 매우 적합하지만 실제의 경우에는 구동전동기의 회전수를 변화시키는 것이 용이하지 않다. 터널환기에서 회전수를 바꾸는 방법은 다음과 같다.

(가) 무정류자(無整流子) 전동기(thyristor motor)

최근 반도체 기술을 공유하여 브러쉬(brush)와 정류자에 의한 기계적 정류기구를 제거하고 광범위의 속도제어가 가능한 무정류자 전동기(thyristor motor)가 개발되어 터널환기에 채택되고 있으나 가격이 높은 것이 단점이다.



<그림 618.41> 속도제어 작동도

(나) 극수 변환전동기

유도전동기의 극 수를 2단 또는 3단으로 바꾸는 방법은 가격도 그다지 높지 않고 비교적 간단하지만 회전수의 변화가 극 수에 의해 제약받기 때문에 단계적으로 제어된다.

이 극 수의 변화방법으로는,

• 동일 철심상에 극 수를 다르게 하여 2조 이상의 독립된 코일을 설치한 것

• 1조의 코일만을 설치하지만 중간에 사이 선을 내어 코일을 꿰이음으로써 극 수를 바꾸는 것 등이 있다. 전자는 다단속도 변화에 사용되고, 후자는 속도비 2 : 1의 경우에 사용된다.

(다) 코일형 유도전동기

전동기의 2차 회로에 저항을 삽입하여 회전수를 변화시킨다.

속도제어는 60~70%까지이며 회전수를 줄이면 2차 저항에 의한 열손실을 수반하므로 전동기의 효율은 떨어진다.

또한 집전환 및 외부저항을 필요로 하기 때문에 유지관리가 어렵다.

(라) 유체이음매

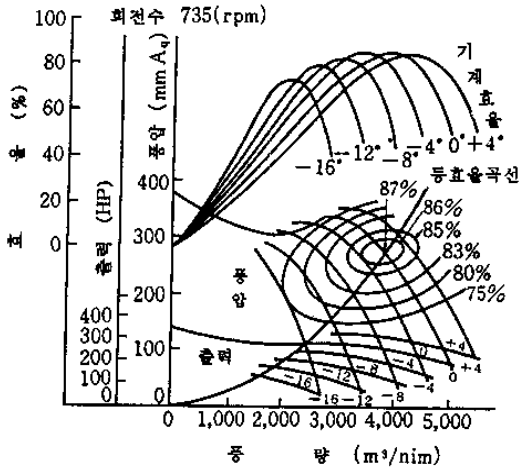
정속 전동기와 송풍기 사이에 유체이음매를 삽입하여 회전수를 변화시킨다. 이 방법은 제어범위는 넓지만 회전수가 낮아 효율이 나쁘고 부하변동에 대한 회전이 불안정하게 된다. 그렇지만 유체이음매를 사용함으로서 기동이 원활하게 되고 무리한 충격과 진동을 흡수할 수 있는 장점이 있다.

(마) 유압모터

유압식 오일모터를 사용하는 경우에는 기름탱크, 펌프구동용 전동기를 필요로 하지만 속도제어 및 역회전이 가능하다는 장점이 있다.

다. 축류, 송풍기의 가변피치 제어법

날개바퀴형의 날개 설치각을 바꾸어 풍량조절을 실시하는 방법을 가변피치제어라고 한다. 일정한 회전수로 날개의 각도를 바꾸면 축류속도 및 방향각이 변화하여 기타 제어 방법보다 부분 부하에서의 효율이 좋고 동력비가 절약된다. <그림 618.42>에 가변피치특성의 사례를 표시하였다.



<그림 618.42> 가변피치특성

날개바퀴형의 가변피치 방식은 그 조작방법으로 다음과 같이 3종류로 분류할 수 있다.

- 정지시 1매씩 날개각도를 변경하는 방법
- 정지시 동시에 날개각도를 변경하는 방법
- 운전중 가변피치로 하는 방법

일본의 경우 몇 개소 터널의 송·배풍기에 가변피치로 하는 방법을 채택하였지만 180°가변피치로 인한 구조의 복잡성 때문에 실시 사례는 적다.

최근에는 40°정도의 가변피치범위이지만 구조가 비교적 단순한 유형의 가변 피치팬과 유사한 종류의 송풍기를 사용하는 사례가 있다.

라. 대수제어법

환기기 몇대를 1조로 하여 병렬운전을 실시하고 대수를 제어해서 풍량 조절을 실시하는 방법이다. 효율은 나쁘지만 간단하게 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

단, 병렬운전은 일반적으로 2~3대 까지가 한계이다. 4대 이상인 경우, 소풍량일 때 효율이 현저히 저하하기 때문에 피하는 것이 좋다.

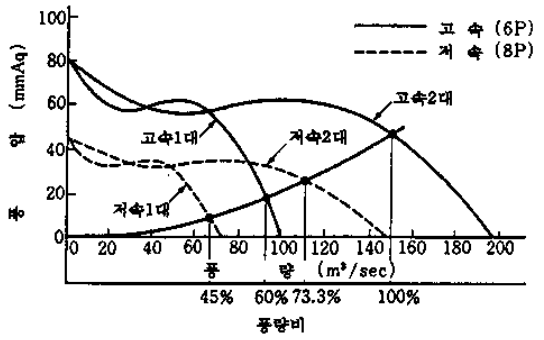
마. 풍량 제어단계의 결정

풍량단계를 결정하는 데에는 시간별 변화를 조사하여 각 단계를 결정할 필요가 있다.

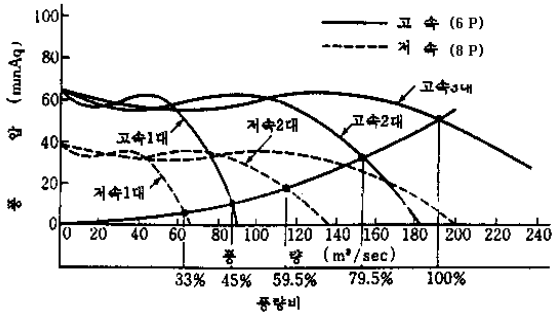
터널환기는 그 대상물(터널내 유해물질의 희석)의 적응성이 완만하기 때문에 아주 세밀한 풍량단계는 무의미하고 제어성도 나빠진다. 풍량단계는 대수와 속도의 조합에 따라 여러 단계를 설치하지만 그 대수는 보통 2~3대, 속도는 2~3종류 정도이다.

조합의 예로서 <그림 618.43>은 2대 2속도의 경우, <그림 618.44>는 3대 2속도의 경우, <그림 618.45>은 2대 3속도의 경우를 나타낸 것이다.

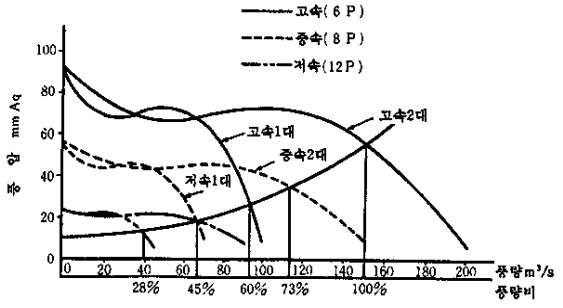
이 그림에 따라 제어단계를 선택할 경우는 소비동력을 충분히 고려하여야 한다. 예를 들어 <그림 618.43>의 2대 2속도의 경우 송풍량과 소비동력과의 관계를 표시한 것이 <표 618.17> 이다. 이러한 결과에 이른 경우 고속1대의 제어단계는 선택할 필요가 없다.



<그림 618.43> 병렬운전작동선도(2대 2속도)



<그림 618.44> 병렬운전작동선도(3대 2속도)



<그림 618.45> 병렬운전작동도(2대 3속도)

<표 618.17> 송풍량과 소비동력 (2대 2속도의 경우)

고저속운전대수	회 전 수	송 풍 량	축 동 력
고 속 2 대	100 %	100 %	100 %
저 속 2 대	75 %	73.3 %	42 %
고 속 1 대	100 %	60 %	43 %
저 속 1 대	75 %	45 %	18 %

바. 전동기의 역전

평상시 송풍용으로서 사용한 환기기를 화재 발생시 배풍용으로 사용하는 경우가 있다. 이 때 전동기의 역전이 실시된다. 삼상유도 전동기는 고정자의 코일상을 변환함에 따라 회전자계를 역전시킬 수 있다.

급속으로 역전시킬 경우, 브레이크제동을 걸어 전동기를 그대로 역전시킨다. 이때 제동력이 커지고 변화시의 전류가 커지므로 주의가 필요하다.

무정류자 전동기 (thyristor motor)에는 점고(點菰)순서의 교체에 따라 간단하게 역전시킬 수 있고 교체시에 전류가 억제된다.

⑥ 송풍기의 소음

송풍기의 소음은 일반적으로 식 (618.76)에 따라 추정할 수가 있으며 이 식을 근거로 한 계산값을 <그림 618.46> 및 <그림 618.47>에 나타내었다.

$$L_A = L_{SA} + 10 \log_{10} Q \cdot P^2 \qquad (618.76)$$

L : 소음레벨 dB (A)

L_{SA} : 비소음레벨 dB (A)

Q : 풍량 m^3/min

P : 전풍압 mmAq

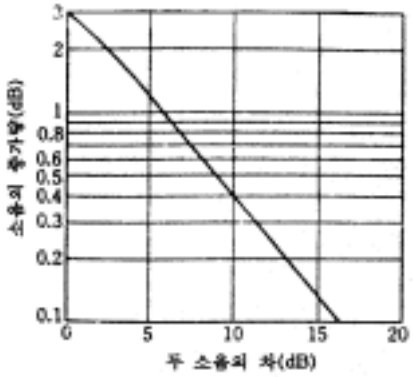
축류송풍기에서는 L_{SA} = 30 dB (A) 정도를 채택하는 것이 바람직하다. 또한 기본 주파수는 식 (618.77)에서 구할 수 있고 이 기본주파수의 1. 2. 3배의 주파수로 현저한 피크가 발생하는 것이 일반적이다.

$$F = \frac{N}{60} \cdot Z \qquad (618.77)$$

F : 기본주파수 (H_2)

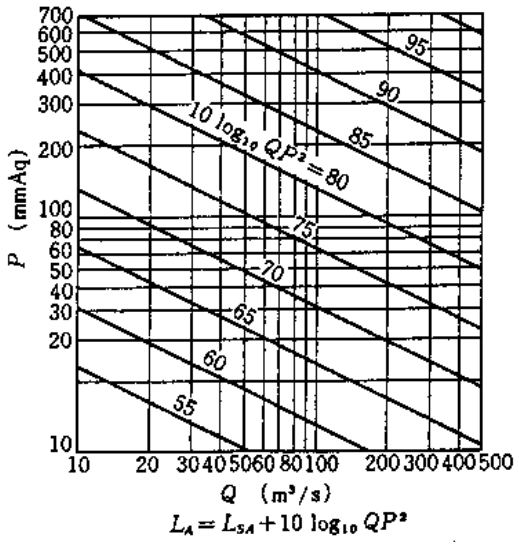
N : 송풍기의 회전수(rpm)

Z : 날개수



기 종	비소음레벨
	L_{SA} [dB (A)]
터보송풍기	14 ~ 26
익형송풍기	4 ~ 19
다익송풍기	13 ~ 23
축류송풍기	21 ~ 38

<그림 618.46> 각종 송풍기의 소음



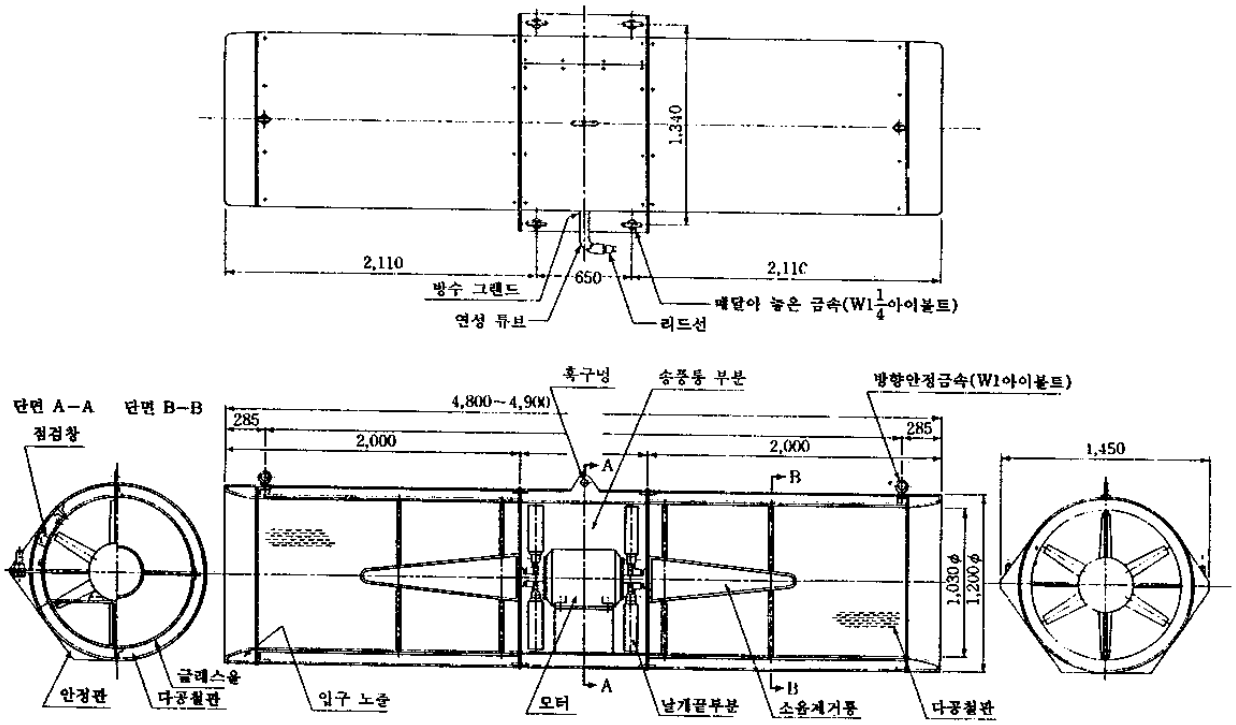
<그림 618.47> 2 소음의 합성계산도

3.4.2 제트팬

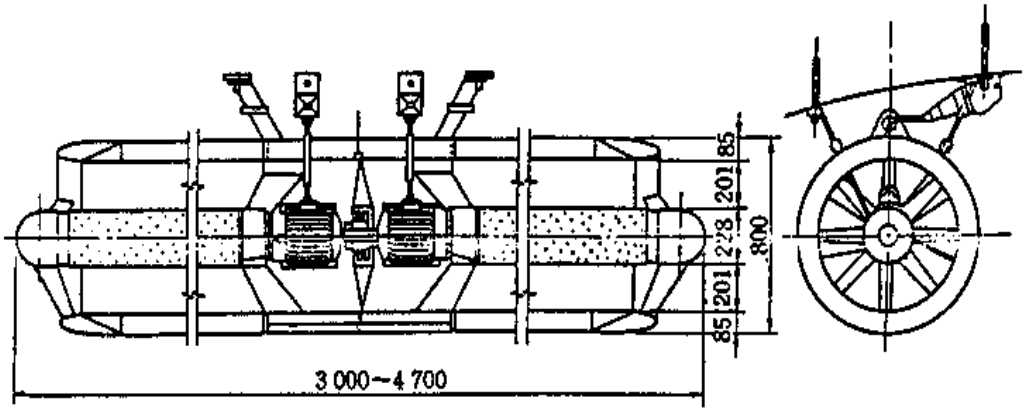
(1) 구조

제트팬의 일반적인 구조 예를 <그림 618.48> 및 <그림 618.49>에, 또한 현재 사용되고 있는 팬의 표준치수를 <표 618.18>에 표시하였다.

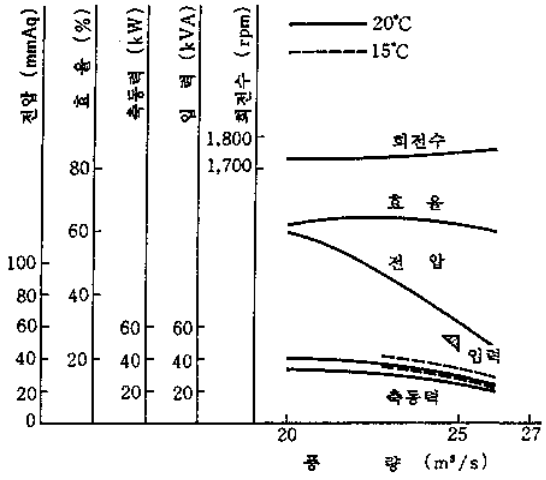
그 밖에 현재 400형이 있다. 또한 젯트팬의 성능 곡선 예를 <그림 618.50>에 나타내었다. 기존 터널 등에 설치할 때에 충분한 스페이스를 확보할 수 없는 경우는 400형~600형의 젯트팬을 사용하든가 터널을 일부 넓게 할 필요가 있다(이때에는 분류효율의 저하에 주의를 기울여야 한다).



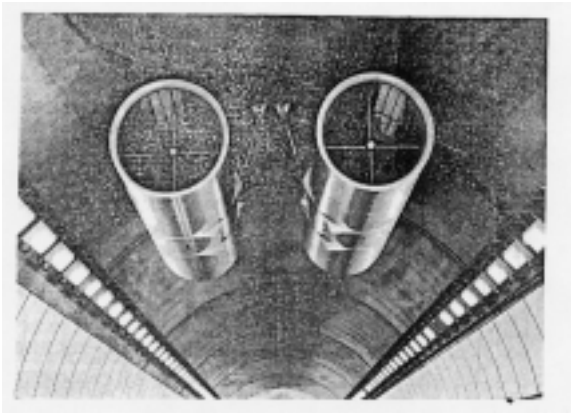
<그림 618.48> 1,000형 젯트팬 구조도의 예



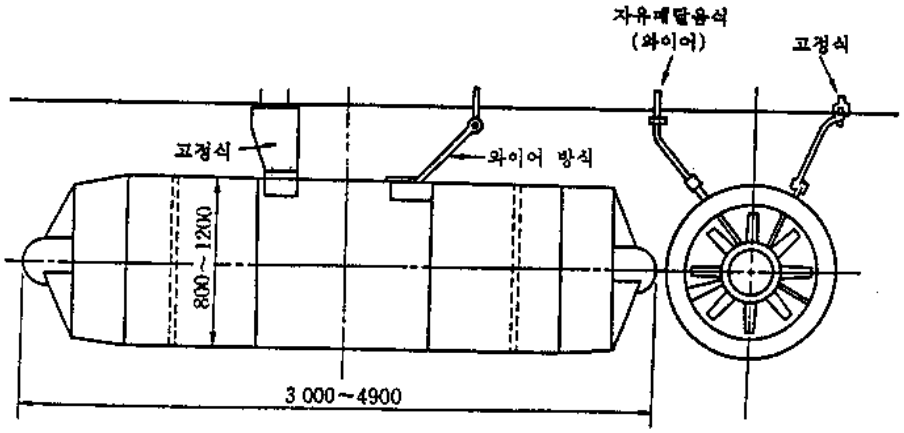
<그림 618.49> 600형 젯트팬 구조도



<그림 618.50> 1,000형 젯트팬 성능곡선(60Hz)



<그림 618.51> 젯트팬 설치상황



<그림 618.52> 젯트팬 설치방법의 예

<표 618.18> 젯트팬 사양

사양 \ 형식		JF-600	JF-1,000	JF-1,250	JF-1,500
	구경 (mm)	630	1,030	1,280	1,530
	취출평균풍속 (m/s 이상)	30	30	30	30
	효율(% 이상)	60	60	65	65
	소음(dE(A) 이하)	90	95	95	98
	전장 (mm)	3,000	4,900	5,200	5,500
	외경 (mm)	800	1,200	1,450	1,750
	(토출풍량) (㎥/s 이상)	8	25	37	55
	(유효토출면적) (㎡)	0.27	0.83	1.23	1.84
	취출방향	양방향	양방향	양방향	양방향
	전압 (V)	440 / 380	440 / 380	440 / 380	440 / 380
	출력 (kw이하)	11	30	40	55
	정격	연속	연속	연속	연속
	절연종별 (이상)	H종	H종	H종	H종
	개산중량 (kg)	600	1,300	2,100	2,700

(2) 설치방법

팬의 설치방법에는 고정식, 자유 메달기식이 있으며, 적절하게 알맞는 방식을 선택해야 한다(<그림 618.51, 52> 참조).

또한 설치에 있어서 기초볼트를 포함, 팬 본체의 강도는 실제 하중의 15배 이상으로 하는 것이 바람직하다.

또한 기초볼트는 팬의 부착 전에 재하 시험 혹은 인발 시험을 실시할 필요가 있다.

(3) 제어

제어는 대수에 의한 단계제어를 표준으로 하며 회전수 제어는 실시하지 않는 것으로 한다. 자연풍압이 과대할 때의 역전제어도 고려할 필요가 있다.

그러나 실제 팬은 단시간에 역전하여도 터널내 공기는 그 관성 때문에 역전에 몇 분 경과되므로 그 사이 오염공기가 축적되어 바람직하지 못한 상태가 된다. 그러므로 역전은 빈번하게 실시하지 않는 것이 바람직하다.

3.4.3 전기집진기 및 부속장치

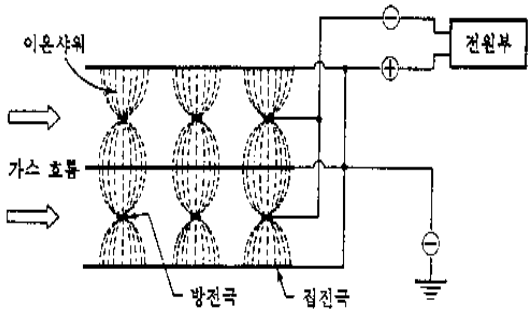
(1) 전기 집진기의 원리

미립자를 함유한 공기를 이온샤워 (ion shower) 공간에 통과시키면 미립자에 전하가 걸리고 그 중 일부는 응집, 그리고 대전된 미립자는 전계의 힘에 의해 집진기판에 부착 집진된다.

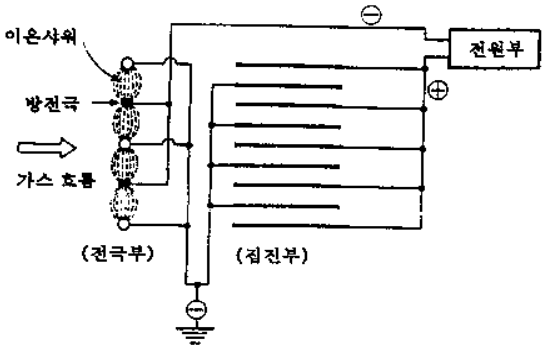
미립자에 전하를 띠게 하는 장소와 집진 장소가 동일하면 일단식 전기집진기 (<그림 618.53> 참조, 예: 콧트렐집진기)라고 부르며 각각 다른 장소에 있는 것을 2단식 전기집진기 (<그림 618.54> 참조)라고 부른다.

터널용 전기집진기는 2단식전기집진기에 속한다. 터널용 전기집진기는 저농도의 매연 미

립자를 함유한 대용량의 공기를 처리해야 하므로 집진 부분의 통과풍속을 터널 내의 일반적인 풍속인 1~5 ㎧에 비해 고속인 7 ㎧정도로 하는 것이 보편적이다. 따라서 소형으로 집진율이 높은 것이 연구, 개발되고 있는 추세에 있다.



<그림 618.53> 일단식집진기(평판형)



<그림 618.54> 이단식 전기집진기

(2) 터널용 전기집진기의 사양

터널용 집진기의 대표적인 사양 예를 <표 618.19>에 나타내었다. 이 예에 적용된 집진기 유니트를 <그림 618.55>에 나타내었다. 매우 미세한 매연입자(입자지름 0.2㎛이하가 대부분)를 함유한 공기에서 집진하기 때문에, 중량법(하이볼륨샘플러)에 의한 농도에서 구하는 집진율과 매연투과율(VI)에 의한 농도에서 구하는 VI 개선율과의 사이에 명료한 상관관계를 얻기 어렵지만 디젤차의 매연을 대상으로 한 집진기의 성능시험에 있어서 중량법으로 집진율을 80%이상 확보하면 VI 개선율도 거의 80%를 기대할 수 있다는 시험결과가 있다.

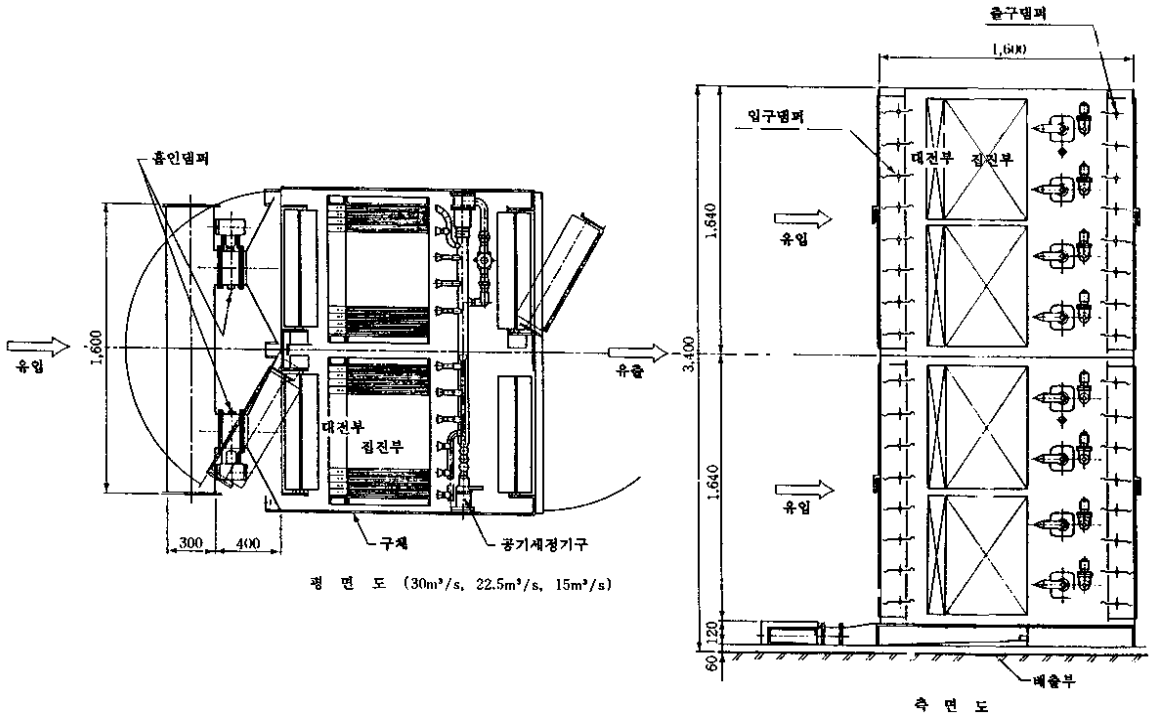
전기 집진기는 그 비용절감과 터널에 적용하는 것을 용이하게 하려는 의도에서 유니트화하고 있다. 기본 유니트는 7.5 ㎥/s 용량으로 하여 이것을 2단으로 조합시켜 15㎥/s의 용량인 것을 예시했다(<그림 618.55> 참조).

주요 부재인 집진극판에는 스테인레스를 사용하는 등, 내용연수의 향상을 도모했지만 아직 충분한 실적은 없다. 또한 방전선에 대해서는 현재 소모품으로 취급되고 있다.

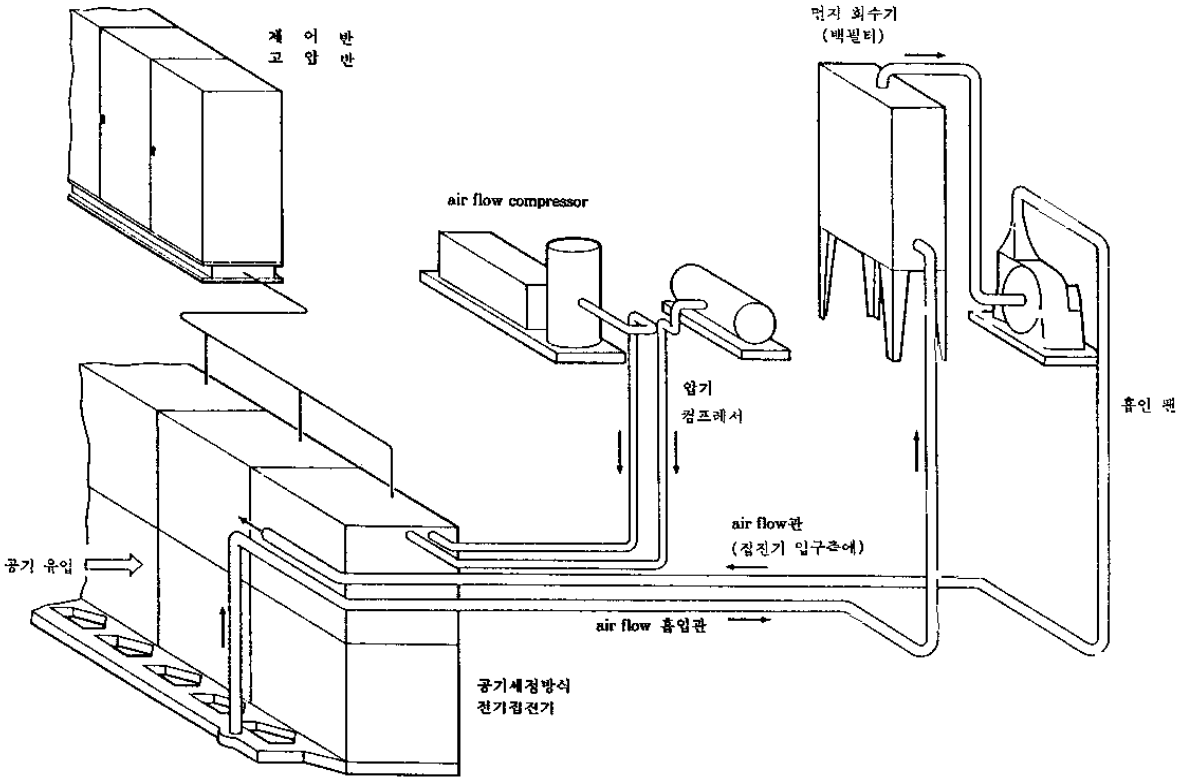
터널용 전기집진기의 구성 예는 <그림 618.56>에 표시하였다.

<표 618.19> 전기집진기의 사양 예

항 목	사양
형 식	강판제자립평판형 수평가스류 2단식
집진 처리 풍량	240 ㎥/s (120 ㎥/s × 2군)
집진기 유니트	15 ㎥/s 처리기 × 2대 × 2군 30 ㎥/s 처리기 × 3대 × 2군
포집 덕트의 세정방식	공기세정방법
집진 처리 풍속	7 ㎧
집진률	중량식 η = 80 % 이상
압력 손실	12 ㎜Aq 이하
인가 전압	대전부 DC 11 kV 집진부 DC 5.5 kV
전 원	3φ 3W 210V 60Hz
집진기 소비 전력	약 12 kW
기 타	에어블로용 콤프레샤 압기콤프레샤 흡인팬 덕트회수용 버그필터



<그림 618.55> 집진기 유니트 (15㎥/s)



<그림 618.56> 터널용 집진기의 구성예 (공기세정방식)

(3) 기타 유의사항

① 처리풍속과 집진율의 관계

처리풍속과 집진율의 관계에 대한 연구결과의 예를 <그림 618.57>에 나타내었다. 이 그림 중 실선과 파선은 어떤 풍속에서의 시험기에 의한 실측 집진율을 집진효율식인 도이취식에 적용하여 미립자계의 실효이동속도 V_e를 산출하므로서 집진율의 풍속 의존성을 계산한 예이다.

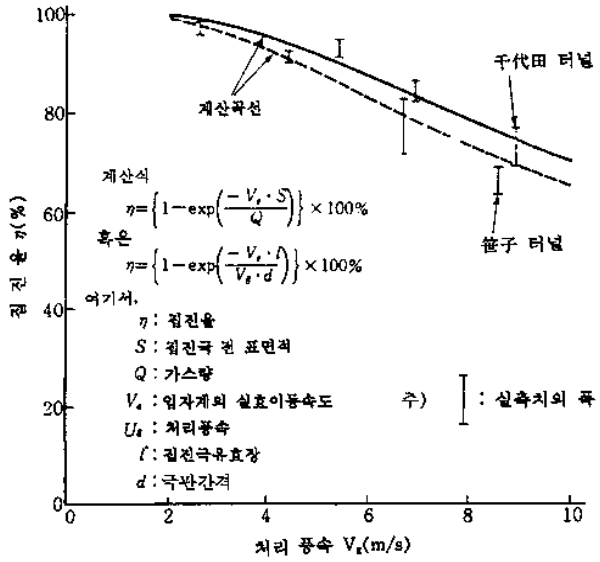
집진기 자체의 집진율을 높게 하기 위해서는 처리풍속을 낮게 하면 좋지만 터널설비 및 집진기계실의 구조·치수 등 전체 터널계획의 경제성을 고려하여 처리풍속을 높게 하는 대신에 설비를 컴팩트한 것을 채택하는 것이 바람직하다.

<표 618.19>는 처리풍속 7㎥/s에서 80%의 집진율을 얻을 수 있는 터널용 집진기 사양의 예를 나타내고 있다.

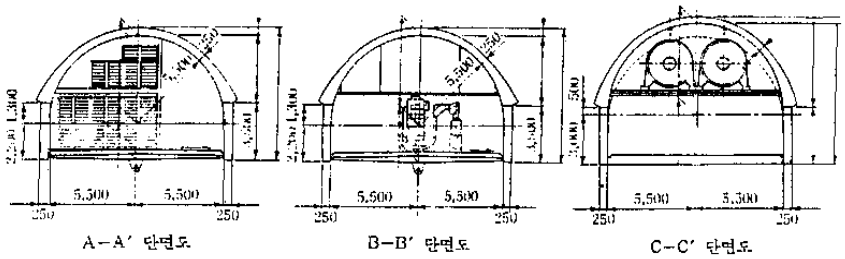
② 집진기 부근의 풍속분포

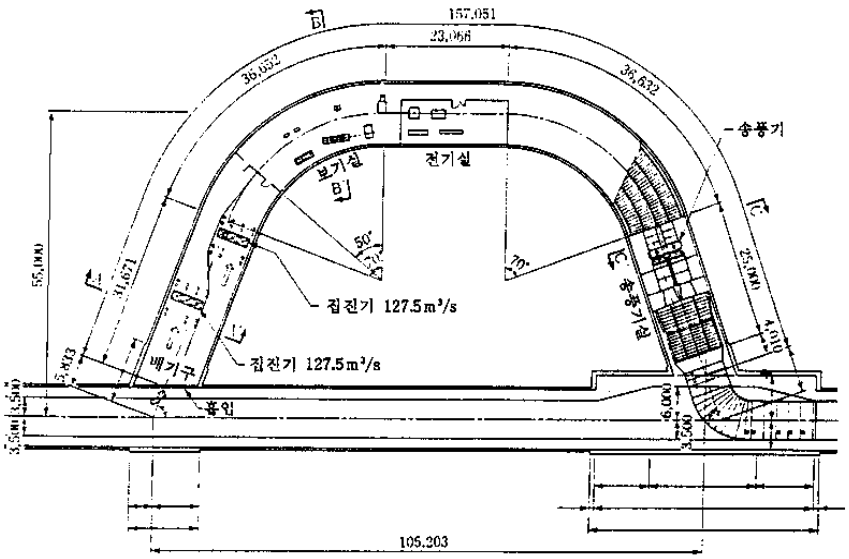
집진기 상류측의 풍속분포가 불규칙하면 적절한 집진율을 얻을 수 없기 때문에 덕트 내의 풍속분포는 가능한 일정한 상태가 되도록 배려할 필요가 있다.

또한 덕트의 경제풍속에 비해 집진기의 처리풍속은 낮기 때문에 <그림 618.58>에 표시한 집진기의 배치 예처럼 구조단면을 절약하여 집진기 부근의 풍속을 저감시키는 연구가 이루어지고 있다.

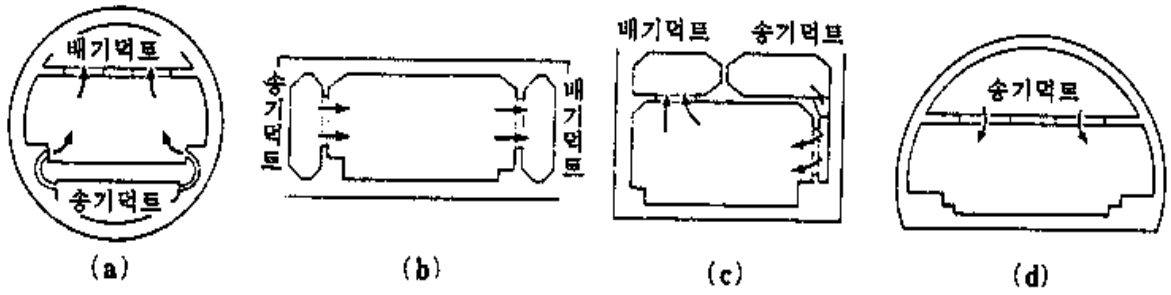


<그림 618.57> 처리풍속과 집진율





<그림 618.58> 칸에쯔 자동차도의 터널집진기실 구조도



<그림 618.59> 터널덕트 배치예

3.5 환기덕트

환기덕트는 연결덕트와 터널덕트로 구분되며, 덕트의 설계는 공기역학적으로 합리적이고 건설비, 유지비가 경제적이 되도록 설계하여야 한다.

3.5.1 터널덕트

터널덕트는 터널을 따라서 설치된 덕트를 가리키며 횡류환기방식 및 반횡류환기방식에 사용된다. 터널덕트에는 송기덕트와 배기덕트가 있고 각각 송·배기공이 설치된다. 터널덕트의 배치는 <그림 618.59>와 같다.

환기방식 및 환기량이 결정되면 터널덕트가 부담하는 송기량 혹은 배기량을 계획할 수 있다. 이러한 경우 1환기구간 길이를 길게하면 터널덕트 단면적이 커져 건설비가 많이 드는 경향이 있으므로 터널덕트 분할 수와 단면적의 관계를 터널의 입지조건, 지형조건의 각종 요소를 충분히 검토하여 경제적인 설계를 해야 한다. 여기서 1환기구간길이란 횡류와 반횡류 환기방식의 경우는 1터널덕트 구간으로 구분되고, 다른 터널덕트 구간과 풍량제어를 독립적으로 실시하는 구간의 길이를 말한다. 또한 종류환기방식의 경우는 차도공간의 공기가 교차되는 구간을 1환기 구간길이로 본다.

경제적 설계의 구체적인 순서는 다음과 같다.

(1) 환기계 비교안 작성

덕트구분수, 덕트단면적 및 관련 연결덕트를 계획하여 안을 세운다.

(2) 각 비교안의 소요동력 상정 및 비교항목에 대한 설비계획

각 비교안에 의한 설계조건을 근거로 개략적인 소요풍량의 산정을 실시, 송풍기 등의 사양과 소요동력을 상정한다. 다음에 환기소와 전기설비 등에 대한 각 비교안의 차이점을 명확하게 밝혀 건설비 상정 자료가 되도록 계획한다.

(3) 각 연도별 유지비 산정

각 비교안에 있어서 유지비의 차이는 전력비의 차이가 많으므로 주로 전력비의 추이를 산정한다.

(4) 경제성비교

각 비교안에 있어서 건설비(터널본체공, 수직갱, 천장판 등의 덕트공, 환기소, 환기기설비, 전기관계설비 등)을 산정하여 감가상각연수를 고려하여 다음 식처럼 총 비용을 산출하여 경

제성의 비교를 실시한다.

$$C = C_B(1+r)^Y + \sum_{n=1}^{Y} C_E(1+r)^{Y-n} \quad (618.78)$$

C : 총비용
C_B : 건설비
r : 년 이율
Y : 감가상각연수
C_E : 유지비 (연간전력비)

3.5.2 연결덕트

연결 덕트는 횡류환기방식 및 반횡류식에 있어서 터널덕트와 환기소를 연결하는 덕트를 말하며 종류식에 있어서는 본갱과 환기소를 연결하는 덕트를 가르키고 지하환기소방식 등에서 환기소와 대기공간을 연결하는 수직갱 등도 연결덕트에 포함된다.

환기기의 소요풍압을 산출할 때에 환기소 내 각종 덕트에 의한 압력손실을 환기소 내 압력손실이라고 지칭하기도 하지만 전체 덕트로서 취급한다.

연결덕트의 압력손실은 덕트길이에 비례하는 마찰손실에 의한 것 이외, 덕트의 변형(휨, 확대, 축소, 분기, 합류 등)에 의한 것도 고려하여야 한다. 연결덕트의 단면적, 연장, 변형 등의 계획에 있어서는 터널덕트와 같은 방법으로 경제성을 비교할 수 있다.

3.5.3 환기덕트에 관한 일반적 유의사항

(1) 환기덕트의 설계시에는 다음과 같은 사항을 유의해야 한다.

① 마찰저항을 줄이기 위해 내면을 평탄하게 한다.

② 환기덕트의 단면형상, 특히 변형부분의 형상결정에는 <표 618.20>에 표시한 주의사항을 충분히 검토하여야 한다.

③ 갱구 혹은 배기구에서 배출되는 터널내 오염공기와 환기기를 손상시키는 이물질이 흡기구에 흡입되지 않도록 해야 한다.

④ 콘크리트 시공에 있어서 마감치수가 설계치수보다 적게되지 않도록 해야 한다.

⑤ 한냉지에서 동결에 의한 덕트단면적(특히 흡·배기구 단면적)이 축소되지 않아야 한다.

⑥ 송풍기 앞의 흡입측 덕트는 편류, 선회류가 일어나지 않도록 형상에 주의해야 한다. 예를 들면 90°휨이 발생한 경우 반드시 코너베인 등을 넣어야 한다.

⑦ 환기소 내 연결덕트는 별도로 풍량제어방식, 비상시 운전방식들을 충분히 고려하여 그 형상과 교환방식을 결정해야 한다.

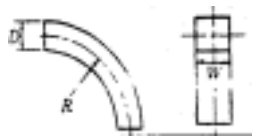
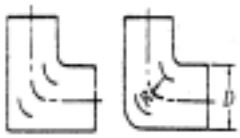
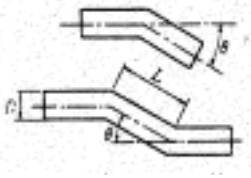
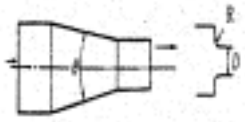
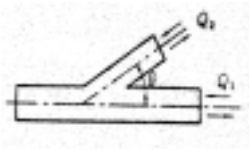
⑧ 배풍기를 터널 화재발생시에 운전할 때는 공기냉각용 설비로서 물분무장치를 배기덕트에 설치하는 것이 일반적이다.

(2) 환기덕트 내에는 조명설비, 비상용시설 등의 기기, 배관 등이 포함되어 있으므로 이러한 시설의 보수점검에 필요한 맨홀, 계단, 조명 등의 설비를 설치해야 한다.

또한 환기덕트 내에 침입한 물의 배수에 대해서도 고려해 두어야 한다.

(3) 터널덕트는 <그림 618.59>처럼 차도상부, 하부 혹은 측부에 설치되며 손상될 경우의 보수, 교체는 매우 곤란하다. 따라서 터널덕트의 설계는 특히 내구성을 중요시해야 한다. 또한 누풍이 있으면 계획한 대로 환기가 되지 않기 때문에 누풍이 없는 구조로 설계되어야 한다.

<표 618.20> 각종 덕트의 변형부

	덕트 변형부	주 의 사 항	비 고
휨굴곡		• R>1.6D이면 가이드베인을 부착 하지 않아도 된다. 구부러진 후의 흐름은 편류한다.	
휨굴곡		• R<1.6D의 경우, 코너베인을 부착하면 손실이 적어지고 편류도 적어진다. • 휨 내측은 원만하다. • 휨 외측은 원만하지 않아도 좋다.	각형베인 부분은 <그림 618.64>를, 이형베인이 없는 것은 <그림 618.63> 을 참조
굴절		• θ>30°의 굴절은 될 수 있는 한 피한다. • 연속굴절에서는 L/D 및 θ를 적당히 선택하면 손실을 꽤 줄일 수 있다. 예를 들면 θ=30°의 경우 L = 3D가 가장 좋다.	각형베인이 없는 것은 <그림 618.62> 참조, 연속(베인이 없음)은 <그림 618.70 (a) (b)> 참조
확대		• θ=6～10°가 가장 좋다. • θ=60～70°에서 손실이 최대이므로 이런 경우는 오히려 θ의 급확대가 바람직하다.	<그림 618.71> 참조
축소		• 급격하게 축소하는 것은 피한다. θ<60°이면 좋다. 또한 θ>60°의 경우 벨마우스상태로 하면 손실이 적어진다.	상동
분지·합류		• 벨마우스 반지름은 0.10이상이 좋다. 분기, 합류손실은 바람량의 비 Q_1,Q_2 및 면적비에 따라 다르기 때문에 일괄적으로 말할 수 없지만 Q는 될 수 있는한 적게한다.	이상적인 값은 0.3D 정도

차도상부에 터널덕트를 설치하는 경우, 강판, 경량기포 콘크리트판(ALC 판), PC 판 및 RC 구조 등이 사용된다. 각각 장단점이 있으므로 터널마다 여건을 고려하여 선정할 필요가 있다. 구체적인 사례는 다음 항을 참고하길 바란다.

① 구조일반

천장판의 구조는 마찰저항이 적고, 기밀성, 내식성이 우수하고 소정의 강도를 갖고 있으며 경제적인 것을 채택한다.

② 설계하중

사하중 : 마무리를 포함한 재료의 자체중량

활하중 : 풍하중

(환기계획에 따라 얻는 송·배풍시의 최대풍압) 및 하중(사람의 체중) ($100 kg_f/m^2$)

③ 처짐

사하중 및 풍하중, 하중(사람) 중에서 어느 것이든 큰 하중을 재하한 경우의 처짐량은 스판(span)의 1/500 이하로 한다.

④ 구조치수

천장판의 두께는 100㎜ 이하를 표준으로 한다. 단, 터널조명기구를 천장판 내에 부착하는 경우에는 조명기구의 중량을 고려하여 150㎜까지 증가하여도 좋다. 또한 덕트 단면에 여유가 있고 비교검토 결과, 두께를 늘리는 편이 경제적인 경우에도 그러하다.

⑤ 차도하부 혹은 차도측부에 터널덕트를 설치하는 경우, 상판 또는 측벽은 도로교 설계 시방서에 따라 설치해야 한다.

⑥ 터널덕트용 재료에 금속 특히 강재를 사용한 경우에는 녹 방지에 대해 충분히 고려하여 적절한 녹방지 조치를 강구해야 한다.

(4) 터널덕트에 풍량조절이 가능한 송·배기공을 설치시 면적 및 간격은 다음에 표기한 수치를 표준으로 한다.

① 송기공

송기공의 면적은 최대 환기량일 때 송기공에서의 토출 풍속이 6~8m/s 정도가 되도록 해야 한다. 또한 송기공의 간격은 5m를 표준으로 한다.

또한 터널덕트에서 직접 차도로 바람이 불면 환기기로부터의 거리에 따라 토출풍속이 다르지만 후류를 설치하여 일단 후류로 바람이 불도록 하면 차도로의 토출풍속을 거의 일정하게 할 수 있다.

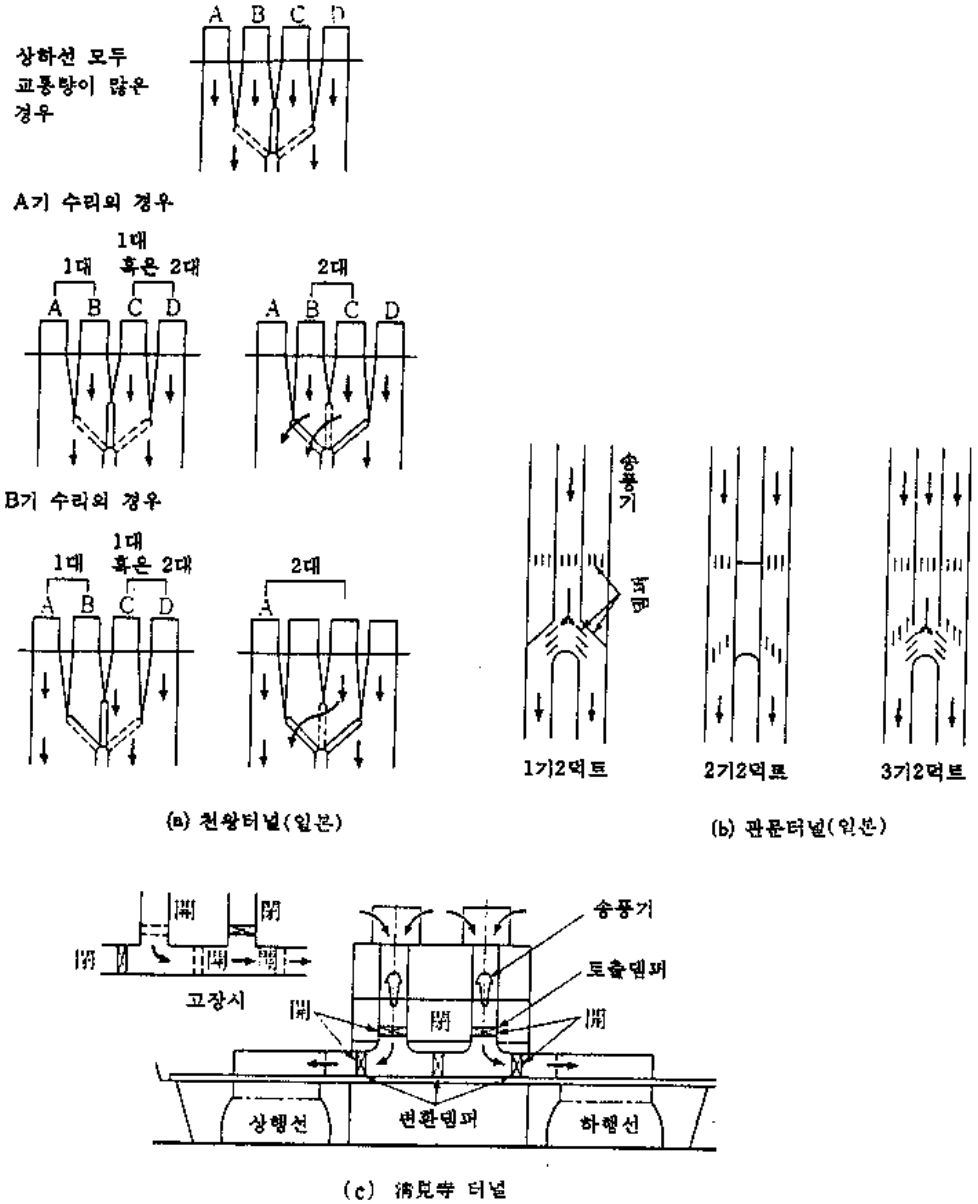
② 배기공

배기공의 면적은 최대환기량일 때 배기공에 있어서 흡입 풍속이 4m/s 이하가 되도록 하고 배기공의 간격은 송기공 간격의 2배를 표준으로 하며 위치는 송기공 간격의 중앙에 위치하도록 한다.

(5) 환기기를 2대 이상 병렬운전하는 경우는 환기기 전 또는 후에 개폐장치를 설치한다. 개폐장치에는 다익(多翼)댐퍼, 호형(戶形)댐퍼, 셔터 등이 있지만 일반적으로 다익댐퍼를 사용한다.

댐퍼는 환기기의 운전, 정지와 연동하여 개폐하고 공기가 새는 것이 적도록 해야 한다.

또한 환기계가 2계 이상 있는 경우에 비상시 및 환기기의 수리 등에 따라 1환기계에서 다른 환기계로 풍량을 배분 또는 전환이 필요한 경우에는 전환장치를 설치하는 것이 바람직하다 (<그림 618.60> 참조).



<그림 618.60> 덕트 전환(변경) 장치

3.5.4 각종 덕트의 손실계수

각종 덕트의 형상에 따른 압력손실은 다음에 표시한 각 손실계수를 사용하여 구할 수 있다.

덕트의 변형이 짧은 거리의 범위에 연속하고 있을 때는 축류 등에 의해서 예상한 것 이상의 손실이 발생하는 경우가 있다. 따라서 변형에 대비한 여유를 고려하여 손실값을 채택하는 등의 주의가 필요하다.

(1) 직관의 마찰손실

마찰에 의한 압력손실을 ΔP, 마찰계수를 λ, 관의 길이를 L, 대표지름을 D, 공기의 밀도를 ρ, 관내의 평균유속을 U라고 하면,

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U^2 \qquad (618.79)$$

λ의 값에 대해서는 여러 가지 측정이 실시되고 있으며 벽면의 상대조도 δ/D (평균 변면조도 δ와 대표지름 D의 비)와 레이놀드 수 $R_e = \frac{UD}{v}$ (v는 동점성계수)와의 관계에서 결정된 것으로 한다.

일반적으로 환기계의 레이놀드수는 크고, $10^5 \sim 10^8$ 정도인 것이 많기 때문에 거의 난류영역에 속하며, λ는 거의 δ/D 만으로 결정된다고 판단하는 것이 좋다.

따라서 대표지름D와 평균벽면조도와의 관계에서 λ(마찰계수)를 표시하면 <그림 618.61>처럼 나타낼 수 있다.

또한 δ의 각종 값은 <표 618.21>에 나타내었다. 이에 따르면 보통 콘크리트에서는 λ = 0.015～0.025가 자주 사용된다.

원형 이외의 단면을 가진 덕트에서는 일반적으로 대표지름 D(등가의 원관지름)를,

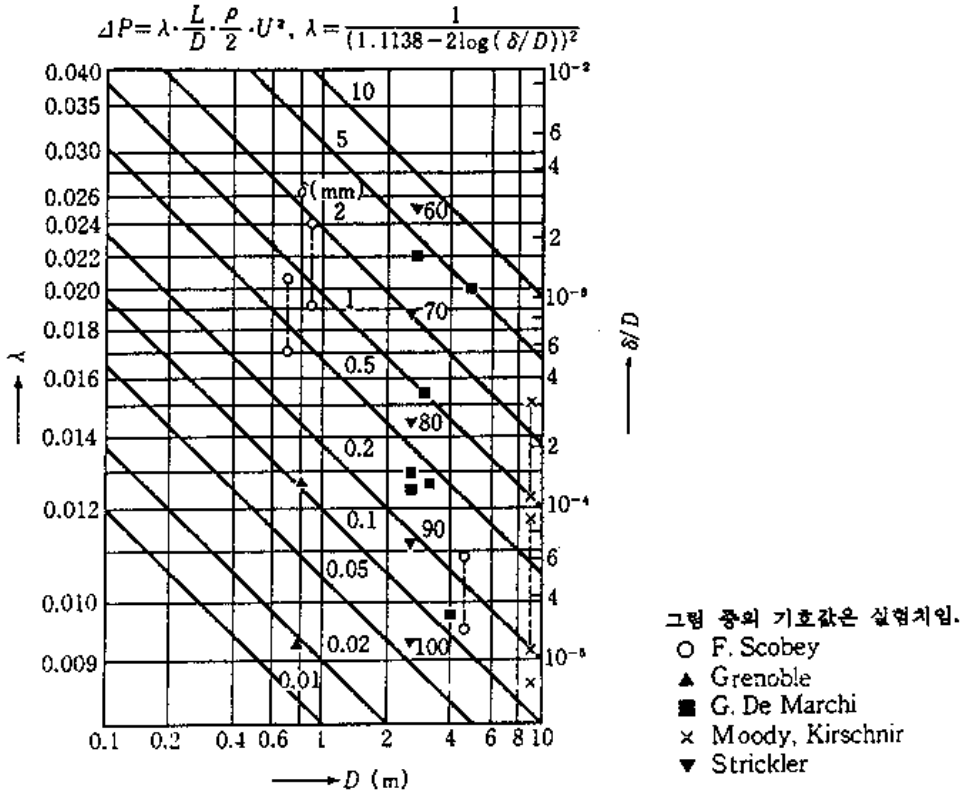
$$D = \frac{4\times\text{관 단면적}}{\text{관의 주변장}} \qquad (618.80(a))$$

또한 긴 방향단면을 가진 덕트에는,

$$D = \frac{4(a \cdot b)}{2(a+b)} = \frac{2a \cdot b}{a+b} \qquad (618.80(b))$$

여기에서, a와 b는 각각 직사각형 단면의 긴 변과 짧은 변이다.

식 (618.80(a)(b))에서 구한 D의 값을 식 (618.79)에 대입하면 된다.



<그림 618.61> 관의 마찰계수 계산도

<표 618.21> 벽면조도 δ

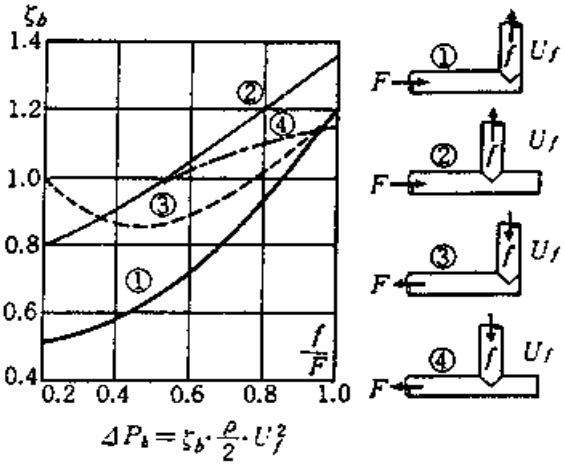
δ (㎜)	시 공 방 법
0.01～0.05	철저한 시공(실험실 값)
0.10～0.20	기름을 도포한 금속형 거푸집으로 세밀하게 시공한 경우. 눈(目)을 제거하여 비상시에 시공한 시멘트 모르터, 숏크리트, 어스베스트 시멘트관
0.20～0.30	손을 집어넣기 편리한 금속성 거푸집
0.20～0.80	매끄러운 목제형 거푸집에 종횡으로 눈이 있는 것, 시멘트 모르터 거칠은 목제형 거푸집에 종횡으로 눈이 있는 것
0.80～2.00	눈이 거칠은 시멘트벽
2.00～10.0	매우 거칠은 면

(2) 곡관과 굴절관의 손실

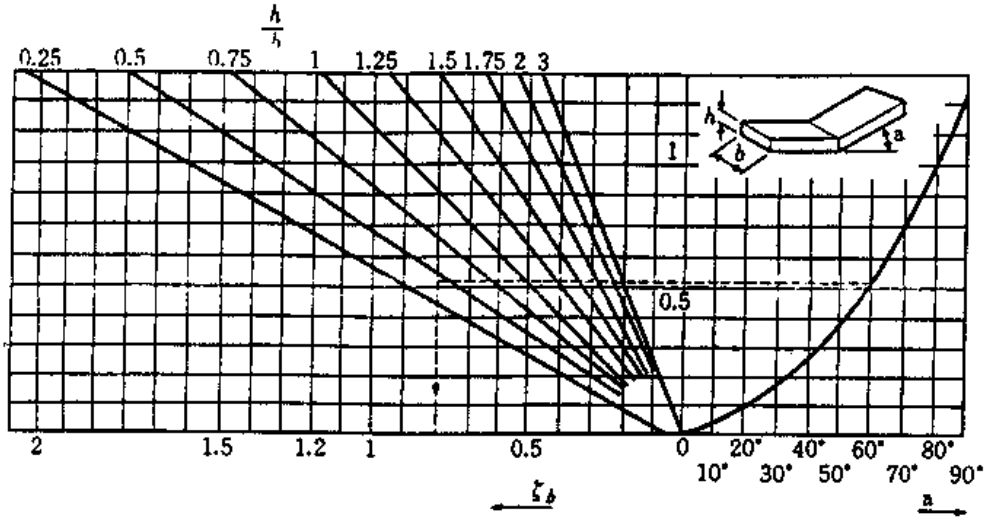
휨에 의한 손실을 ΔP_b, 손실계수를 ζ_b라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P_b = \zeta_b \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U^2 \qquad (618.81)$$

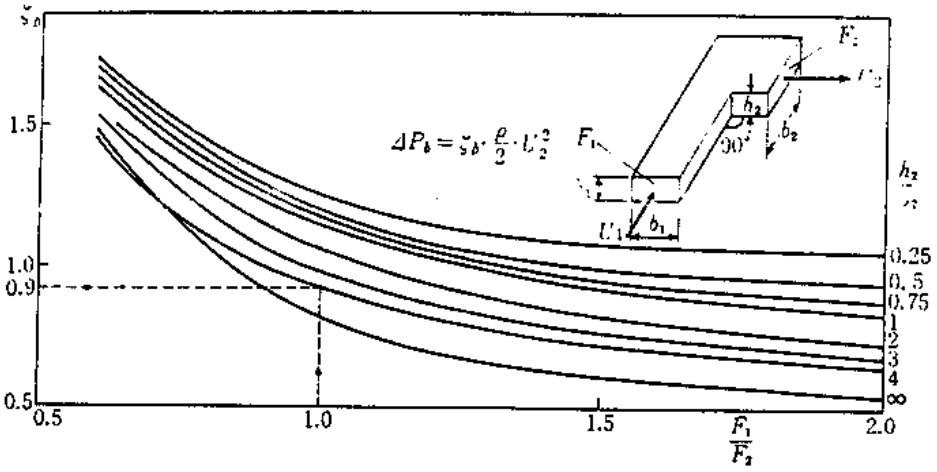
직사각형 굴절관의 휨손실계수ζ_b는 <그림 618.62>에서 구한다. 또한 원형 또는 직사각형의 변형 단면적 굴절관의 휨손실계수 ζ_b는 <그림 618.63(a)> 및 <그림 618.63(b)>에서 구하면 된다.



<그림 618.63(a)> 변형단면 굴절관의 휨 손실계수 ζ_b



<그림 618.62> 직사각형 굴절관의 휨 손실계수 ζ_b



F_1, F_2 : 단면적

<그림 618.63(b)> 변형단면 직사각형 굴절관의 휨 손실계수 ζ_b

(3) 가이드 베인 부착 곡관 또는 굴절관

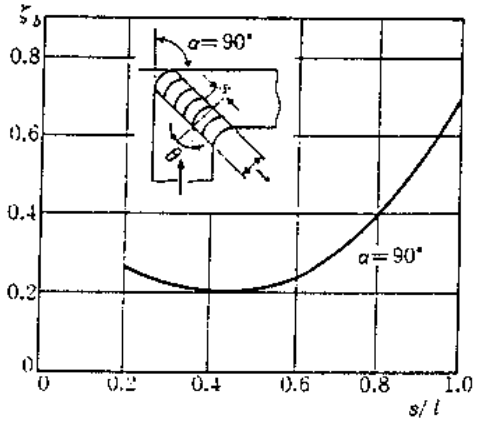
90°방향의 2차원 날개별 절현비(節弦比) s/l과 손실계수 ζ_b의 관계를 <그림 618.64>에 나타내었다.

베인 형상을 여러 가지로 변화할 때의 원형 및 사각형 굴절관의 ζ_b의 값을 <그림 618.65>에 나타내었다.

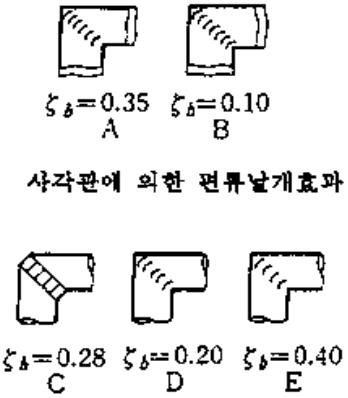
적당한 편류날개를 사용한 정사각형 단면의 급격한 굴곡에서는 휨각θ와 ζ_b의 관계는 θ가 적은 경우는 ζ_b가 거의 θ에 비례하고 θ가 60°~90°일 때에는 ζ_b가 그다지 변화하지 않는다.

휨각도의 상대치 결정에는 <그림 618.66>을 이용한다. 특수한 형상으로서 도로터널의 천장 덕트(가운데가 볼록한 형태)에 베인을 부착한 경우의 압력손실계수를 <그림 618.67>에 표시하였다.

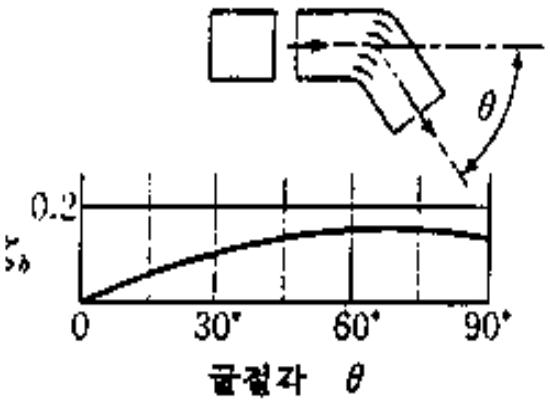
또한 <그림 618.68>은 90°휨 편류날개의 형상이 휨(굴곡)계수에 미치는 영향에 대한 시험결과이다.



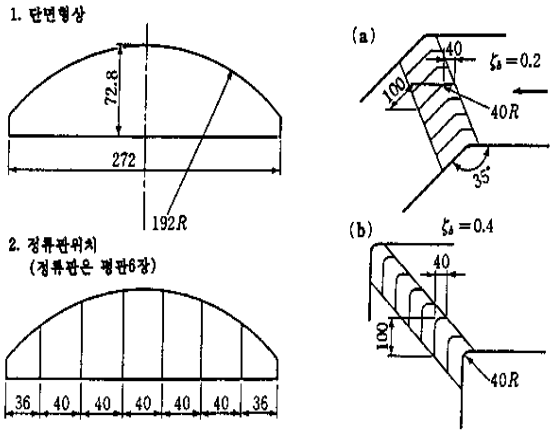
<그림 618.64> 가이드베인 손실계수 ζ_b



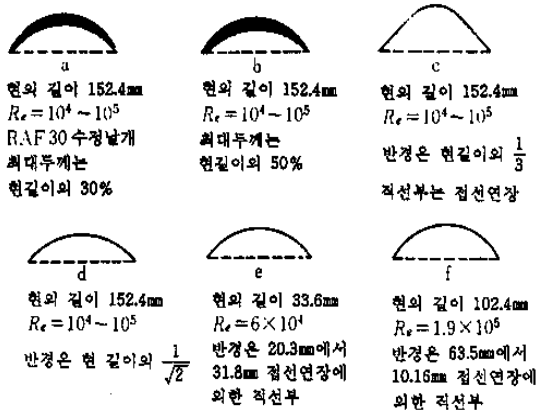
<그림 618.65> 원관과 각관에 의한 평류날개의 효과



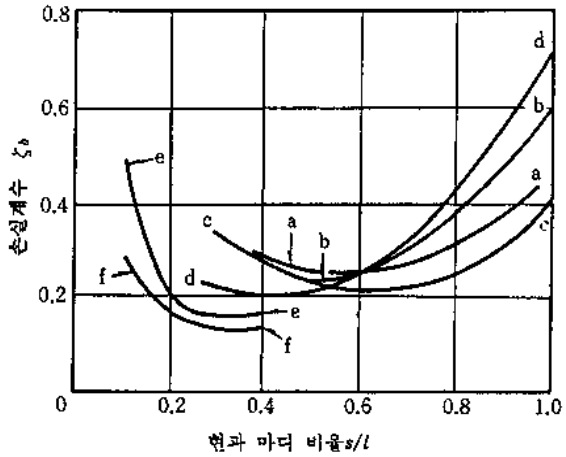
<그림 618.66> 편류 날개를 사용한 휨관의 각 θ와 ζ_b의 관계



<그림 618.67> 천장덕트의 휨 손실계수

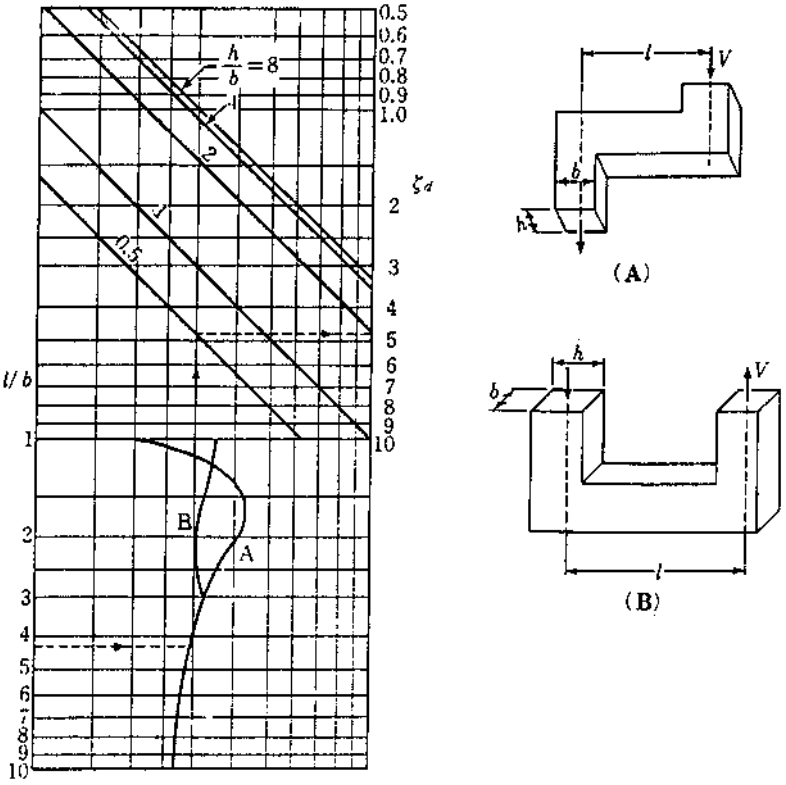


(a) 편류 날개의 형상

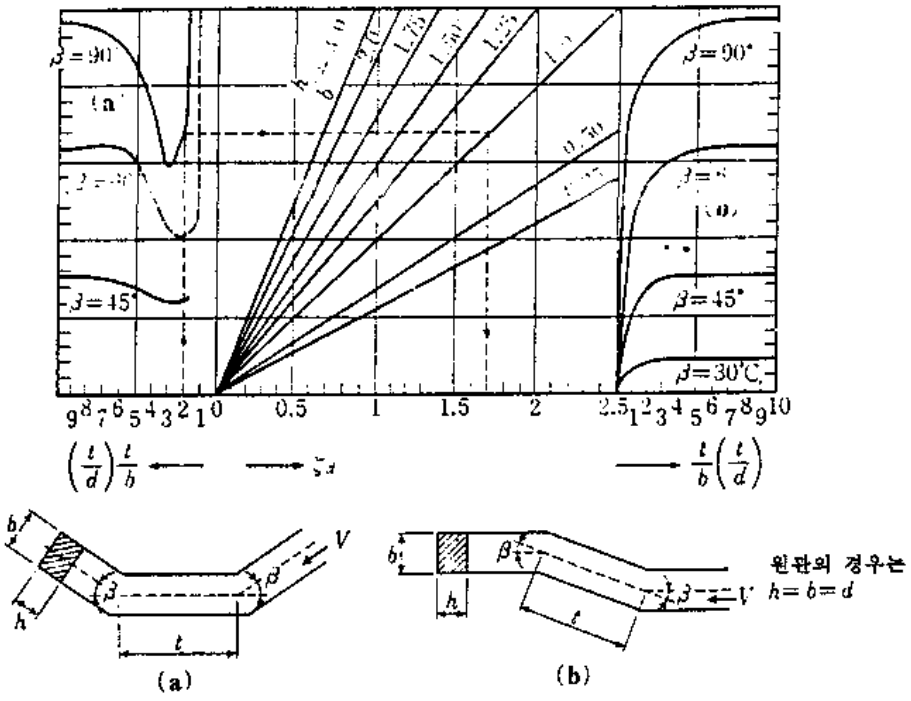


(b) 손실계수

<그림 618.68> 편류날개의 형상과 손실계수



<그림 618.69> 다중직각 휨 손실계수 ζ_d



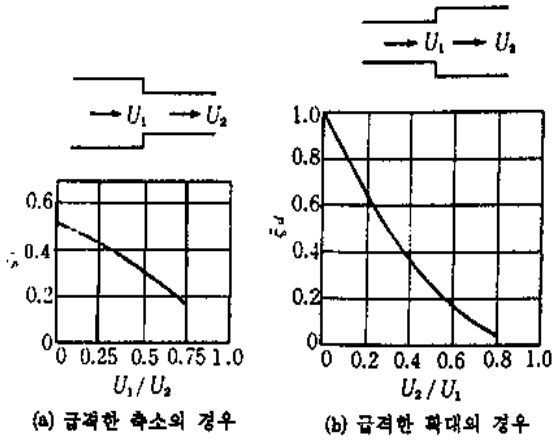
<그림 618.70> 다중 비직각 휨 손실계수 ζ_d

(4) 연속곡관 또는 굴절관

직사각형의 연속굴절관에 대해서는 <그림 618.69> 및 <그림 618.70>과 같은 자료가 있다.

(5) 축소관과 확대관

관의 급격한 축소와 확대에 대해서는 <그림 618.71>에 나타내었다. 단면적이 순차적으로 변화하는 경우도 급변하는 경우와 마찬가지로 큰 것의 풍속 U를 기준으로 하여 정의하면 관로의 손실계산이 편리하다.



<그림 618.71> 급격한 축소, 확대의 손실계수

<그림 618.72>에 원형확대관에 대한 예를 나타내었다.

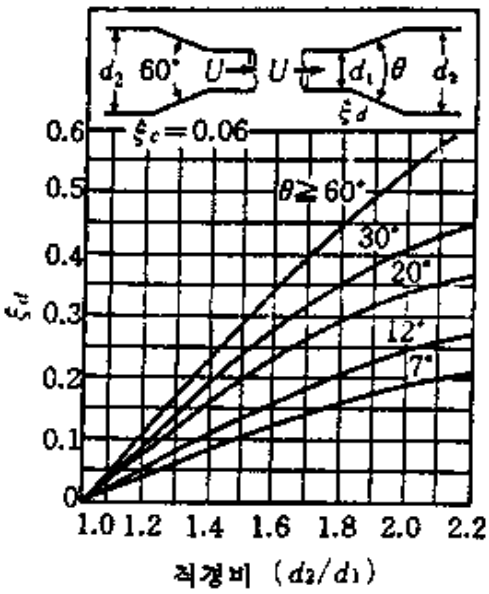
또한 축소각 60°에서의 ξ_c는 0.06으로 보는 것이 좋다.

① 급격히 축소되는 경우

$$\Delta P_c = \xi_c \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 \qquad (618.82)$$

② 급격히 확대되는 경우

$$\Delta P_d = \xi_d \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \qquad (618.83)$$



<그림 618.72> 원형확대관 및 축소관의 손실계수 ξ_c, ξ_d

(6) 분기관 및 합류관

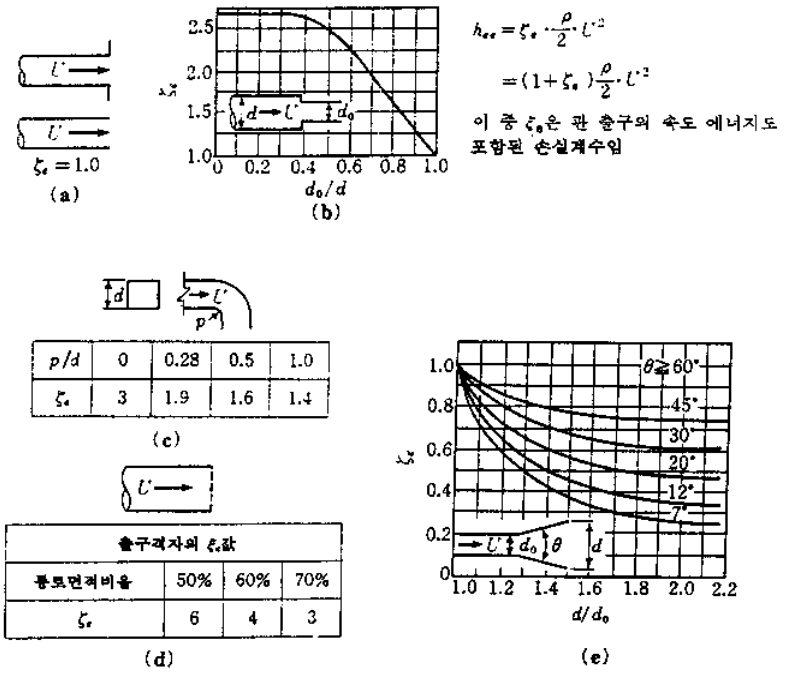
T자형 합류 및 분기관의 손실에 대해서는 '3.3.2 절'의 <그림 618.28>에 나타내었다. 또한 본·지류의 분기손실계수는 <그림 618.29>, <그림 618.30>에 나타내었다.

(7) 관로의 출입구, 기타

<그림 618.73> 및 <그림 618.74>에 각종 출구 및 입구의 손실계수를 정리하였다.

급격 축소 입구	U	$\xi_e = 0.50$
벨마우스 달린 입구	U	$\xi_e = 0.03$
호울더의 입구	U	$\xi_e = 0.85$

<그림 618.73> 입구손실계수



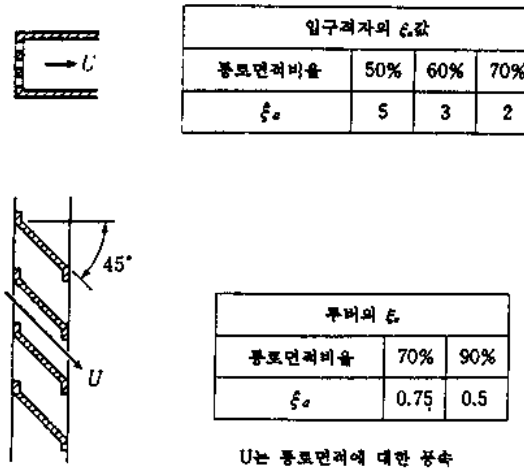
<그림 618.74> 관로출구의 손실계수

압력손실은,

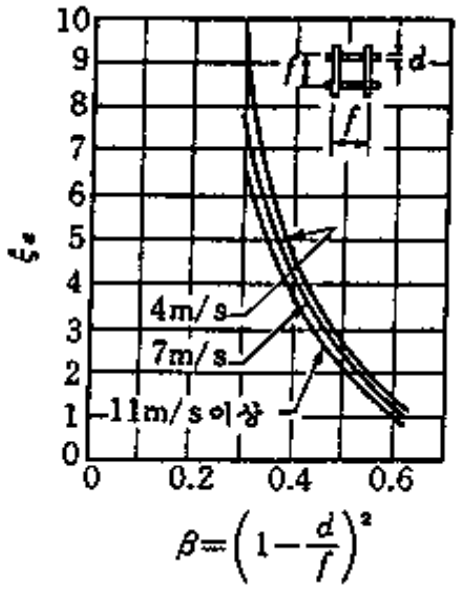
$$\Delta P_e = \zeta_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U^2 \qquad (618.84)$$

에서 구한다.

또한 흡기탑의 입구격자, 루버의 손실계수를 <그림 618.75>에, 금속망이 덮여있는 경우는 <그림 618.76>에 나타내었다.



<그림 618.75> 입구격자, 루버 손실계수



<그림 618.76> 금속망의 손실계수

3.6 환기소

환기소는 환기기, 전기설비, 제어설비, 기타 보조기기를 기능적으로 배치하여 효율적으로 환기를 실시하도록 흡·배기구 및 터널 본체와 연결덕트를 갖춘 구조로 되어야 한다.

특히 흡기구의 위치와 구조에 대해서는 횡류식 혹은 입갱 송·배기의 경우 배기구에서, 반횡류식의 경우는 터널 갱구에서 배출되는 오염공기를 흡입하지 않도록 주의할 필요가 있다.

환기소의 내부는 설치한 기기의 감시·점검·간단한 수리 등에 지장이 없도록 넓게 하고, 특히 환기기 등 대형기기에 대해서는 반·출입이 용이한 구조가 필요하다.

또한 관리원이 주재하는 환기소의 설계에 있어서는 건축관련법규에 적합하도록 하여야 한다.

환기소는 될 수 있는 한 터널 본체에 가깝고 설치되는 여러 설비의 보수점검이 용이한 위치에 설치하는 것이 바람직하다. 환기소는 일반적으로 터널 또는 환기용 입갱 등의 갱구에 설치하나, 수직갱의 밑부분의 가까운 지하에 설치하는 경우도 있다.

3.6.1 갱구 환기소

갱구 환기소는 설치하는 위치에 따라 터널 갱구부에 설치하는 경우와 입갱 등의 갱구에 설치하는 경우로 크게 구분되며 터널 갱구에 설치하는 경우는 노상에 설치하는 경우와 도로의 측면에 설치하는 경우가 있다. 어떠한 경우에도 환기소의 외관은 주위경관과 조화를 고려하여 설계할 필요가 있고 터널갱구의 노상에 설치하는 경우에는 터널에 진입하는 운전자에게 위화감을 주지 않도록 해야 한다.

갱구 환기소의 환기기에서 발생하는 소음이 제한수치 이상인 경우는 대책을 강구해야 한다. 일본에서 적용된 환기소의 예를 들어보면 노상식 환기소로서 <그림 618.77 (a)(b)>에 도오메 고속도로 도오이노(都夫良野)터널 동쪽 입구 환기소를, <그림 618.78>에 쥬오우자동차도로 고브쯔(小仏)터널 환기소를 나타내었으며, 또한 도로측면식 환기소의 예로 <그림 618.79>에 메카미(名神) 고속도로 텐오야마(天王山)터널 환기소를 나타내었다. 또한 <그림 618.3.81>의 일반국도 2호선 세끼몽(關門)터널, 시모노세끼(下關) 터널환기소를 나타내었다.

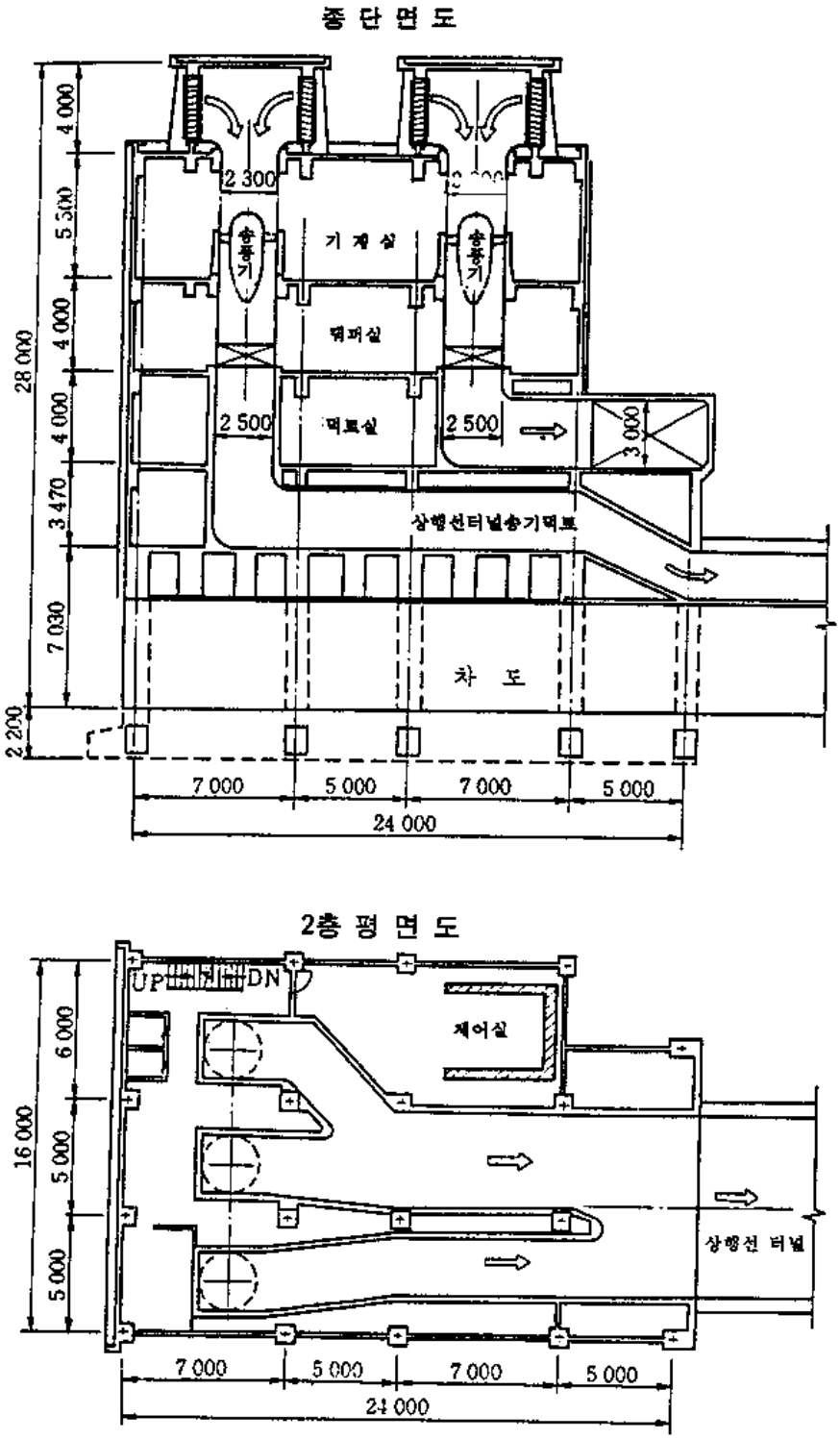
<그림 618.80>은 입갱 갱구에 설치한 사례로 일반국도 3호선 사후(佐敷)터널 환기소를, <그림 618.82>에는 수도고속도로 산타꾸(三宅)터널 환기소를 나타내었다.

3.6.2 지하 환기소

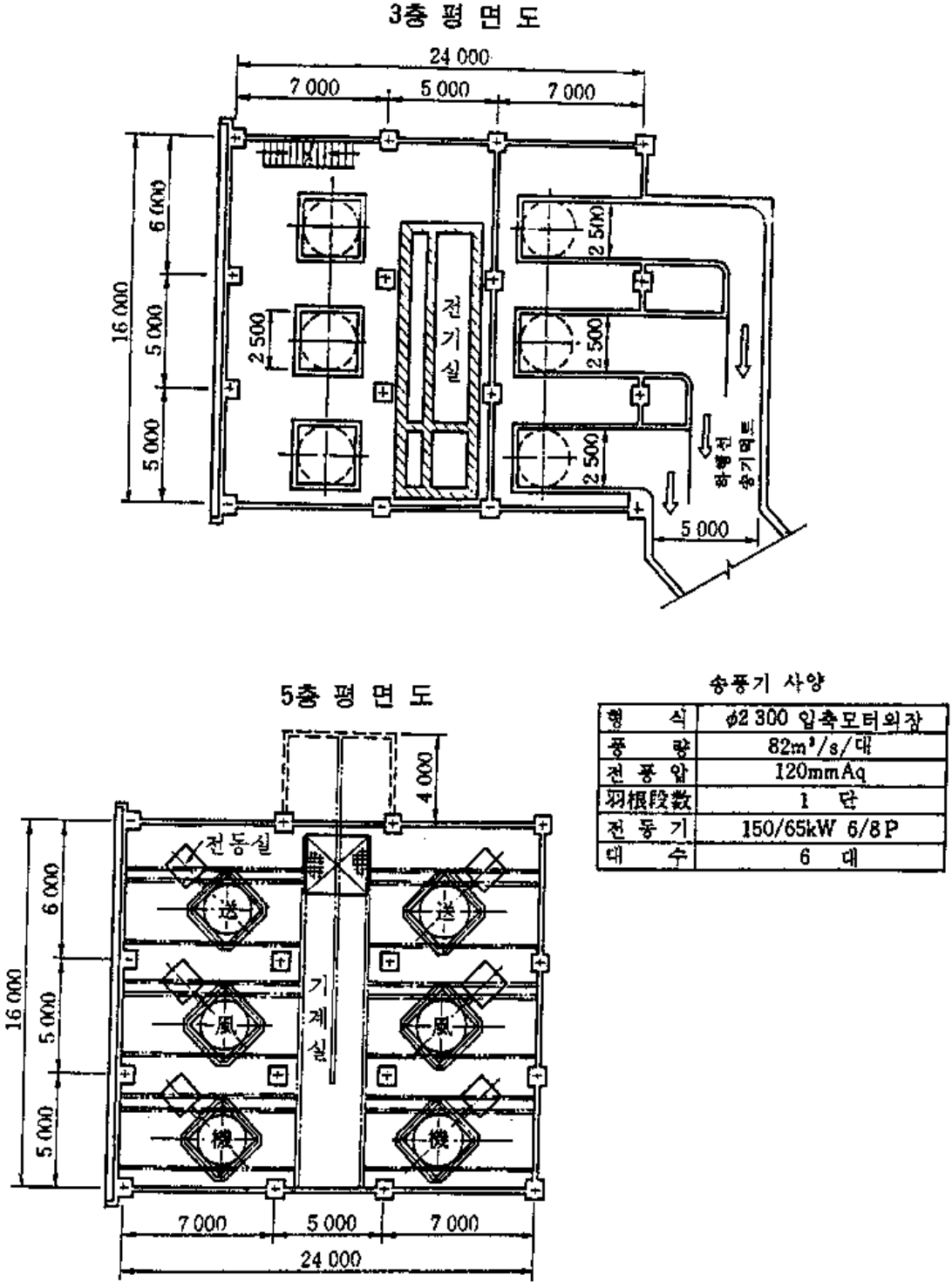
환기용 입갱이 있는 터널에 지형과 기계구조 등에 의해 갱구에 환기소를 설치하는 것이 곤란한 경우는 입갱 밑부분과 터널 사이에 지하 환기소를 설치하는 경우가 있다.

지하 환기소는 갱구 환기소에 비교하여 일반적으로 공사비가 많이 소요되지만 터널에서 직접 환기소로 진입하여 여러 설비의 유지관리를 실시하는데 편리하다.

지하 환기소에는 특히 환기소 내의 온도조절, 방진, 방습 등에 유의해야 한다. 일본에서 적용된 지하 환기소의 예로서 <그림 618.83 (a)(b)>에 중앙자동차도로 메구미나야마(惠那山)터널 환기소를 또한 <그림 618.84 (a) (b)>에 일반국도 31호선 사카미야마(魚見山)터널 환기소를 나타내었다.



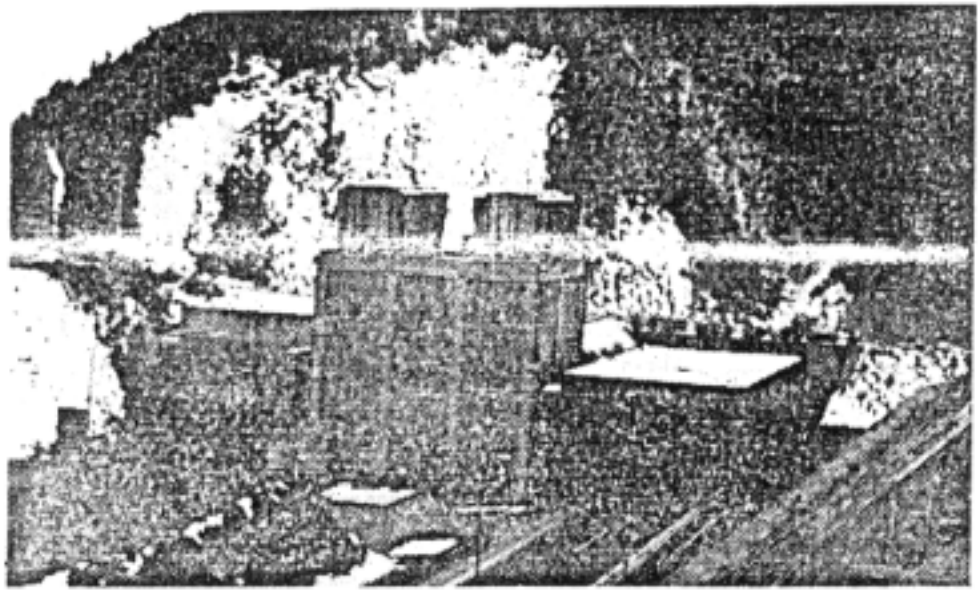
<그림 618.77(a)> 도오메(東名)고속도로 도오미노(都夫良野)터널
동구 환기소(노상식)



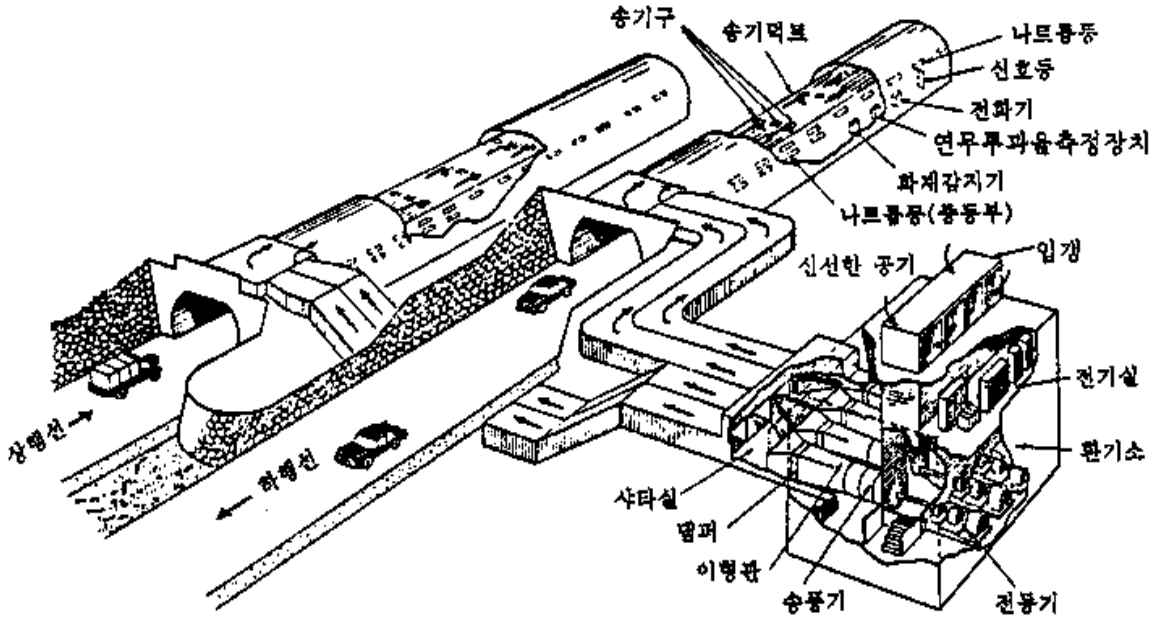
송풍기 사양

형 식	φ2 300 입축모터외장
풍 량	82m³/s/대
전 풍 압	120mmAq
羽根段数	1 단
전 동 기	150/65kW 6/8P
대 수	6 대

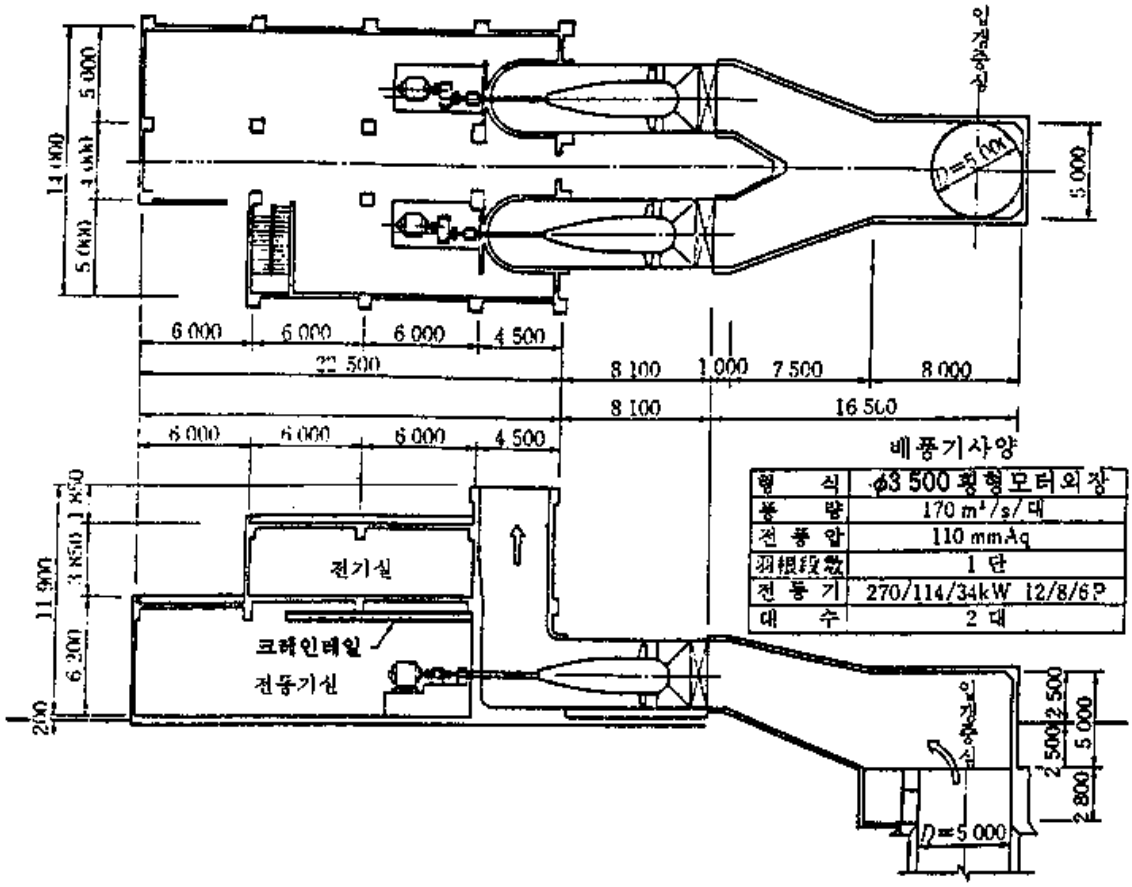
<그림 618.77(b)> 東名고속도로 都夫良野터널 동구환기소(노상식)



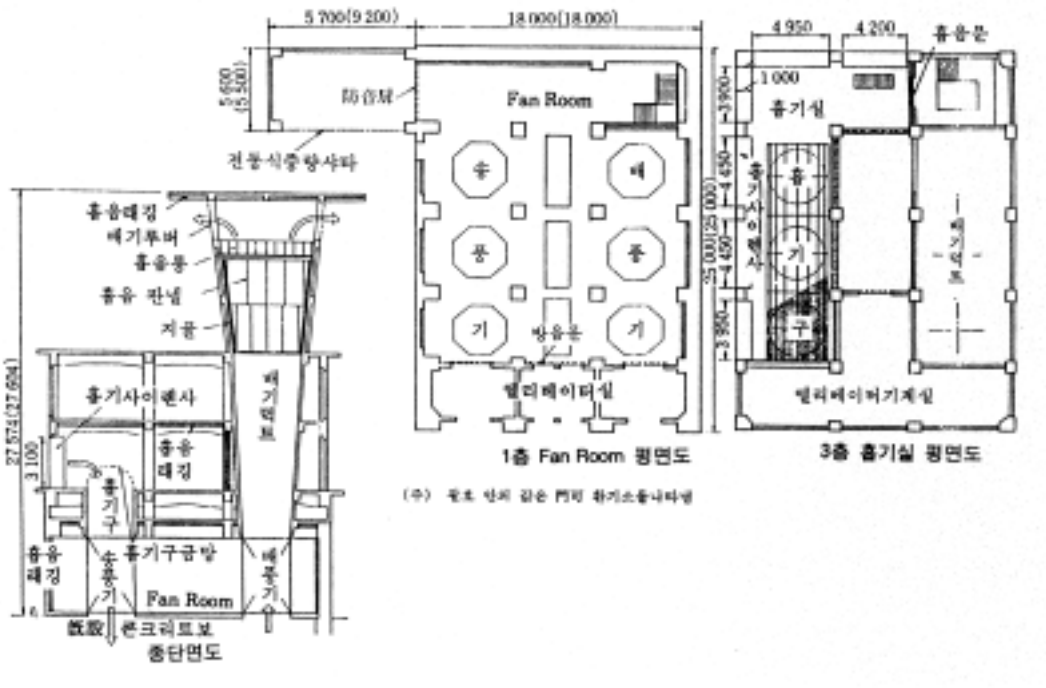
<그림 618.78> 중앙자동차로 小仏터널 환기소 (노상식)



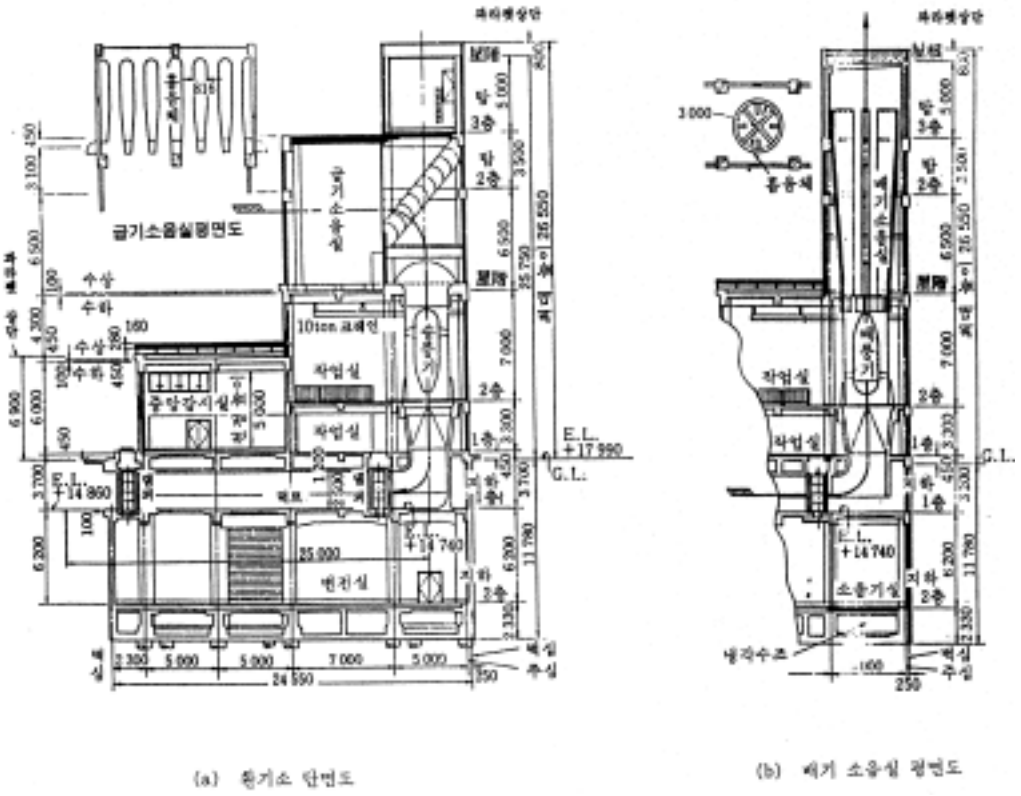
<그림 618.79> 名神고속도로 天王山 터널 환기소 (도로측면식)



<그림 618.80> 일반국도 3호선 佐敷터널 수직갱구 환기소

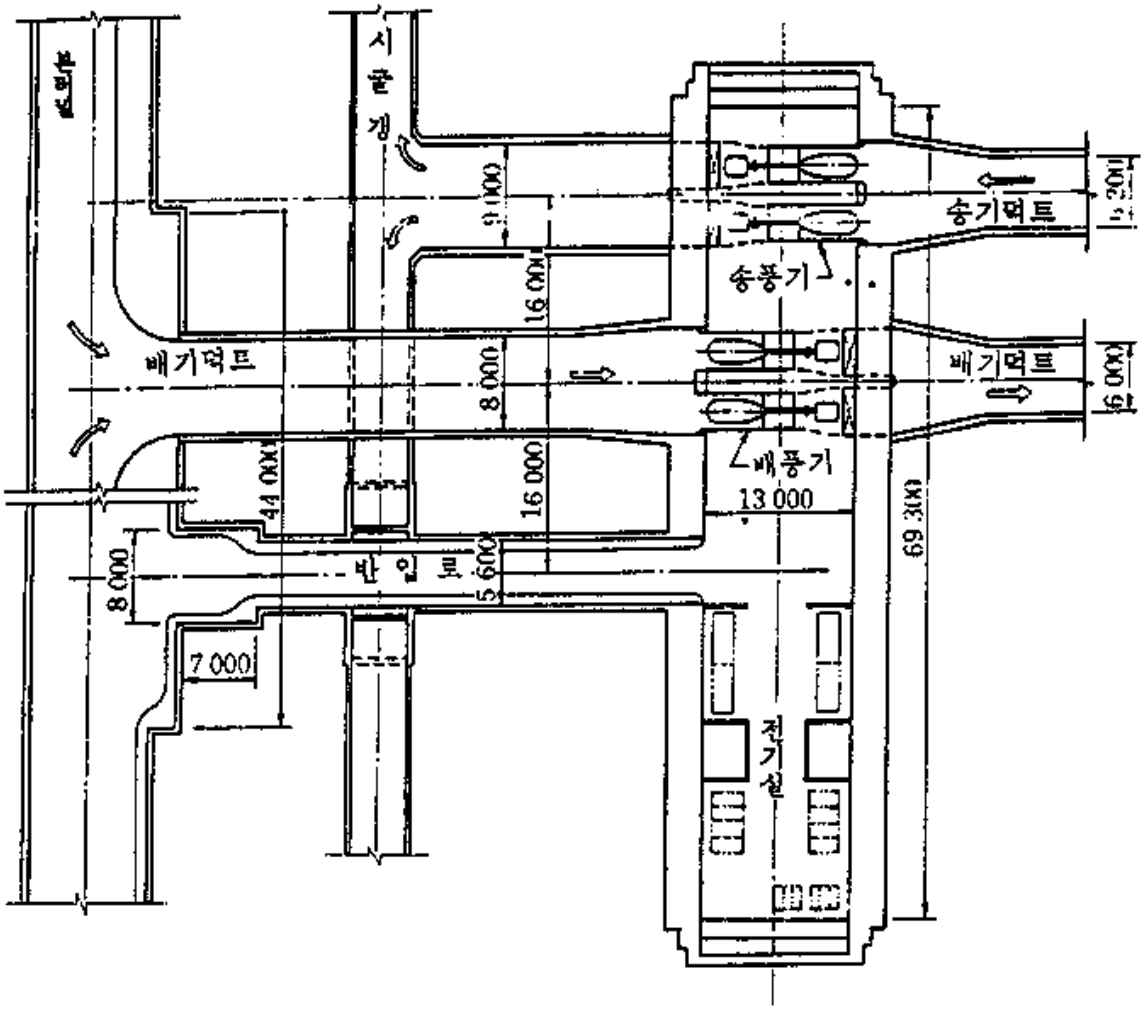


<그림 618.81> 일반국도 2호선 關門터널 下關 환기소



<그림 618.82> 수도고속도로 千代田터널 三宅坂 환기소

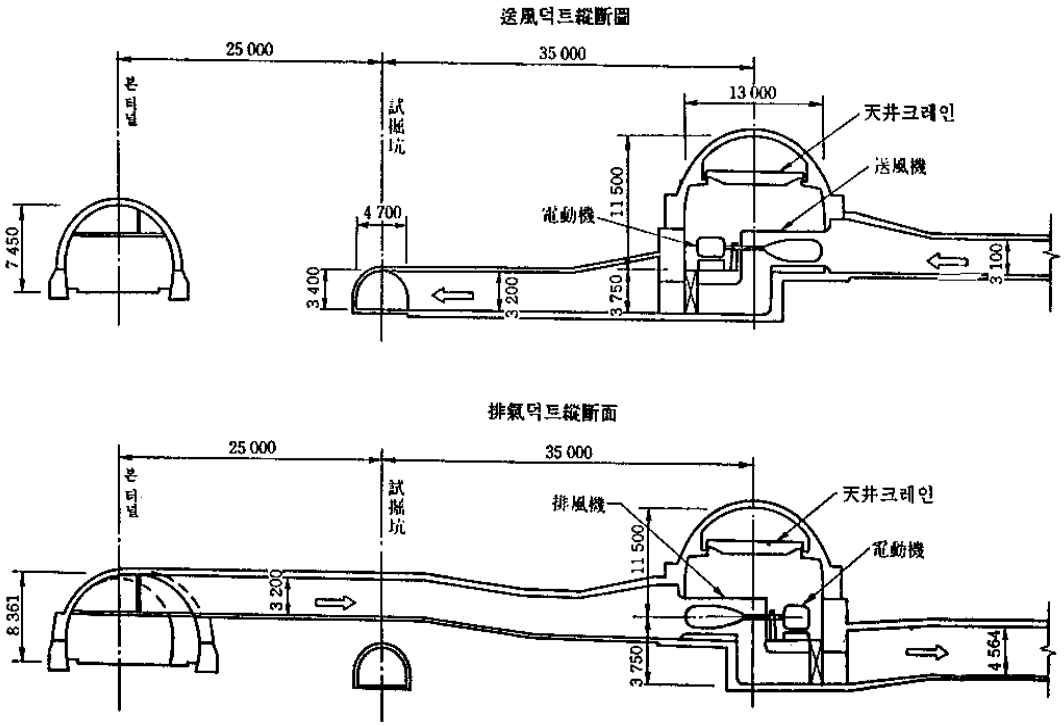
평 면 도



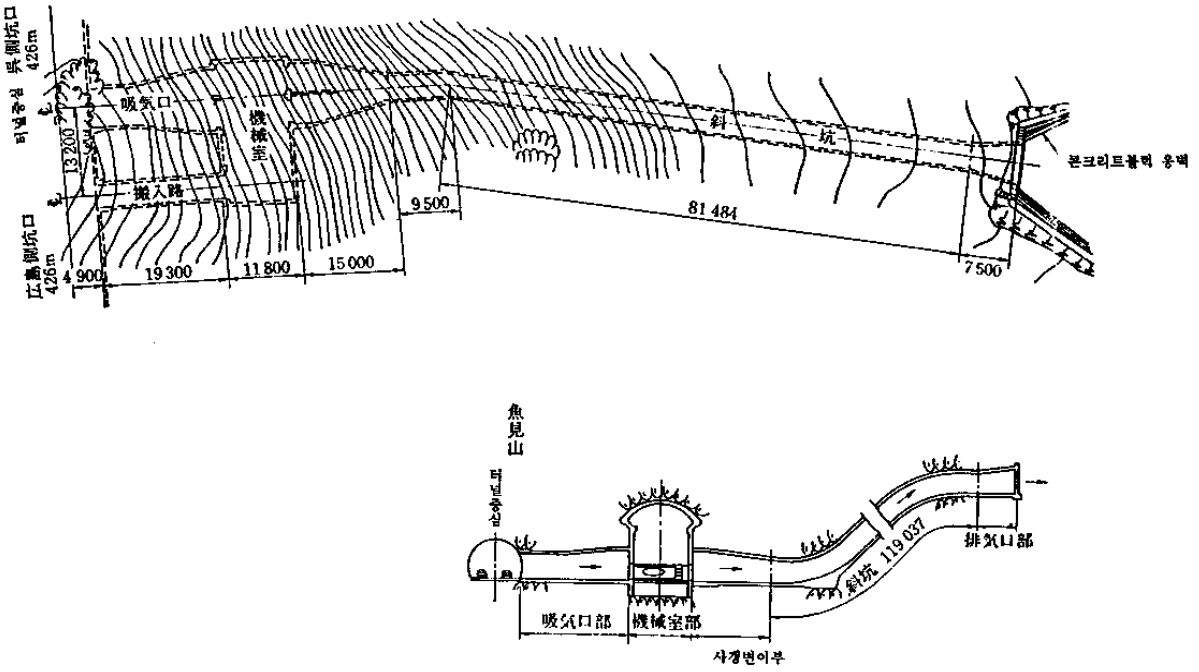
송배풍기 사양

	송풍기	배풍기
형 식	φ3 000 횡축모타외장	
풍 량	181m³/s	181m³/s
전 풍 압	279mmAq	321mmAq
羽根段数	1	1
전 동 기	710kW 8/10/16P	815kW 8/10/16P
대 수	2 대	2 대

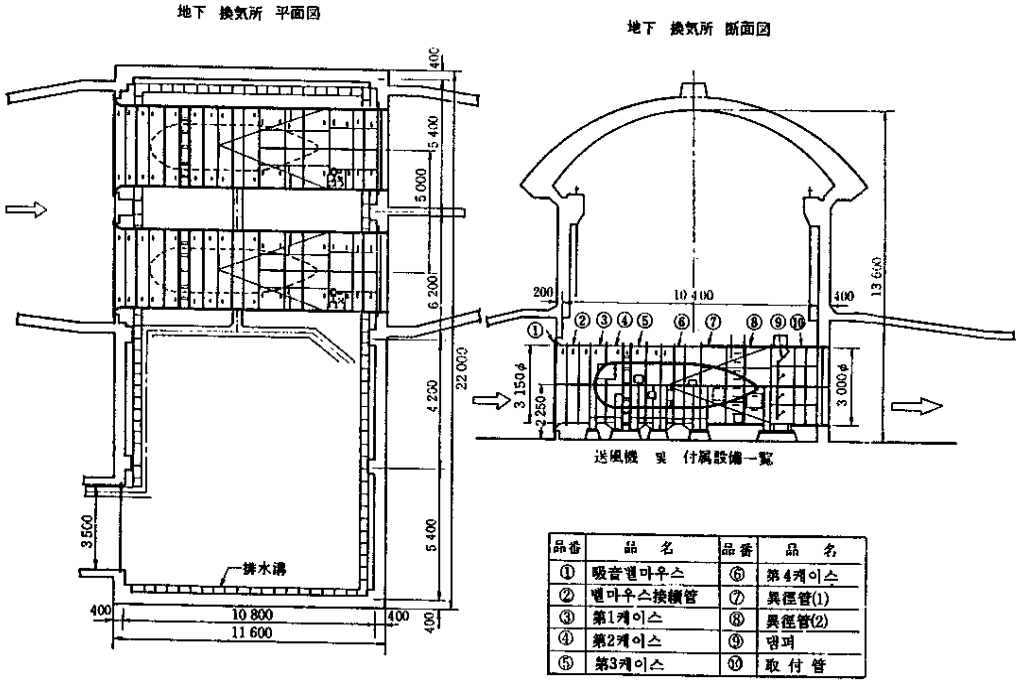
<그림 618.83(a)> 쥬오우 惠那山터널 지하 환기소



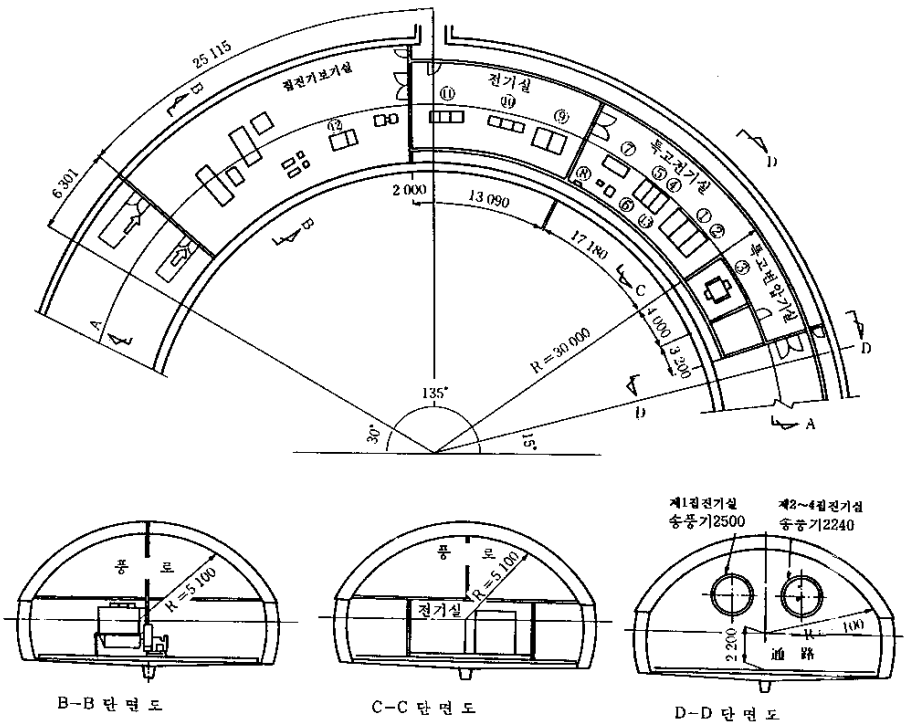
<그림 618.83(b)> 쭈오우 자동차도 惠那山터널 지하 환기소



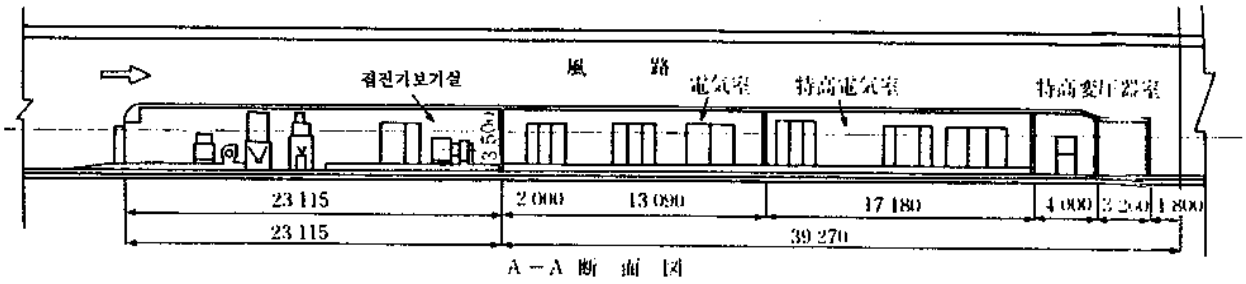
<그림 618.84(a)> 일반국도 31호선 魚見山터널 지하 환기소



<그림 618.84(b)> 일반국도 31호선 魚見山터널 지하 환기소



<그림 618.85(a)> 쥬오우 자동차도 惠那山터널 2기선 전기실 배치도



A－A 断 面 図

記号	名 称
①	特高断路器
②	特高遮断器
③	特高変圧器
④	低圧遮断器
⑤	所 内 盤
⑥	直流電源盤
⑦	連絡制御盤
⑧	中継端子架台
⑨	換気連動機盤
⑩	換気制御盤・換気操作室
⑪	高圧発生盤
⑫	補機盤（2面）
⑬	460V

<그림 618.85(b)> 쥬오우 자동차도 惠那山터널 2기선 전기실 배치도

3.6.3 전기집진기실

전기집진기 부착 종류환기방식에 대용량 집진기를 설치할 때는 본 갱 단면 외부에 본 갱 단면과 같은 규모의 바이패스 풍로를 건설하여 그 안에 전기집진기 및 부속시설과 전기실을 배치하는 방법이 있다.

그 실시 예로서 쥬오우 자동차도로 메구미나야마(惠那山)터널 2기선이 있고 개요는 <그림 618.85>에 표시하였다.

3.6.4 배기탑 기타 대기환경보전

배기탑은 그 경관과 사용목적으로 인하여 일반적으로 환경보전에 상반되는 시설로 인식될 수 있다. 그러나 차도공기를 배기하는 것이기 때문에 토출공기 중의 유해물질 농도는 일반적으로 극히 낮고 윗방향을 향하여 어떤 토출속도를 갖고 배출되므로 환경문제를 일으킬 소지는 거의 없다.

그러나 도시의 국지적인 관점 및 환경적으로 민감하게 반응할 소지가 있는 지역에서는 배기

탑을 세운 위치 및 그 부근의 배기확산 경향 등을 고려한 대기환경영향을 검토해 둘 필요가 있다.

618.4 운전 제어

4.1 환기제어

환기제어의 목적은 3.4.1 (1) ⑤에 결정된 풍량단계를 근거로 터널 내의 교통상태에 따라서 최소의 소비동력에 의해 필요·충분한 환기풍량을 공급하는 것이다. 그 운영방법은 환기방식 등에 따라 다르기 때문에 각 터널 환기방식에 대한 충분한 검토를 실시해야 한다.

또한 화재발생 등과 같은 비상상태를 대처하기 위한 운전제어 계획을 사전에 세워두는 것도 필요하다.

4.1.1 종류 환기방식

이 방식의 특징은 자연풍과 교통환기력을 충분히 이용하는 것이기 때문에 터널 내 풍향, 풍속을 감시하면서 운전제어를 해야 한다.

젯트팬 방식에서 양방향교통터널의 경우, 환기기의 회전방향의 변경은 교통조건(상·하행선 교통량 등) 및 자연풍에 대하여 바람직한 환기풍량으로 되도록 실시할 필요가 있다. 따라서 운전방향을 변경하는 경우에 있어서도 어떤 일정한 간격(충분한 환기효과가 나타날 때까지 기다리는 시간) 이상으로 운전하도록 해야 한다.

또한 운전방향의 빈번한 변경은 터널내의 공기 기동의 관성에 의해 터널 내 오염공기가 정체하여 고농도가 되는 경우가 있으므로, 환기기의 반복 기동은 그 시점의 상황을 감시하기 한다는 관점에서 이론적으로는 바람직하지만 각종 검출장치 및 제어장치가 복잡하여 설비비 증가를 초래하는 경우가 있으므로 경제적인 면에서 충분한 검토를 실시해야 한다.

입갱 집중배기, 입갱 송·배기, 또는 전기집진기 부착 환기방식 등을 채택한 터널에서는 각 환기구간에 따라서 자연풍에 영향을 받는 정도가 다르기 때문에 풍향, 풍속과 그것에 지배되는 터널 내 오염상태가 주요 감시대상이 된다.

따라서, 교통조건 및 기상조건 등을 충분히 고려한 후에 그 터널 고유의 여러 조건을 검토하여 운전제어 방법을 결정할 필요가 있다.

4.1.2 송기 반횡류 환기방식

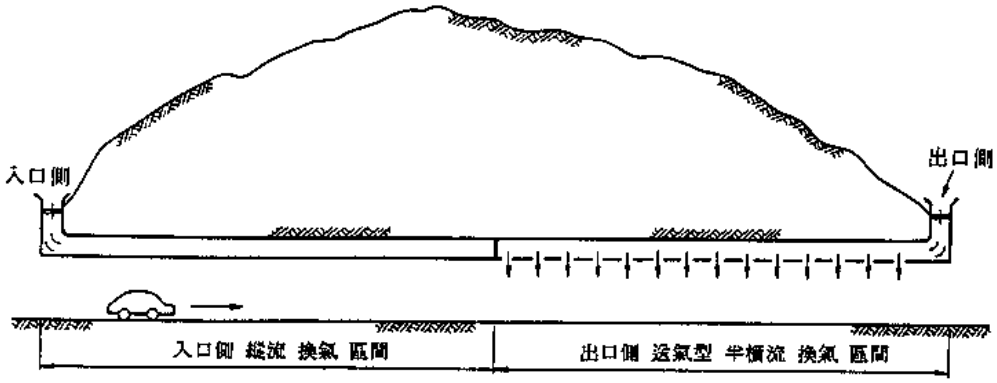
이 방식을 일방향 교통터널에 적용한 경우에 터널 종단방향으로 여러 개의 환기구간이 있고 또한 복수의 환기기계가 설치될 때에는 일반적으로 터널 출구 측의 환기구간 환기기에서 운전을 개시하는 것이 바람직하다.

즉. 교통량이 적고 단순한 교통풍에 의한 종류환기가 실시되는 상태에서 교통량의 증가에 따라 환기량을 늘리는 경우, 터널전체를 송기반횡류환기로 운전하는 것이 아니라

<그림 618.86>에 표시한 것처럼 입구측의 환기구간을 교통환기력에 의한 종류환기를 실시한 상태로, 출구 측의 환기구간만을 송기반횡류환기로 하는 등의 방법이 고려되어야 한다.

4.1.2 횡류환기방식

횡류환기방식은 송·배풍기가 한쌍이 되어 운전되는 경우가 일반적이다. 운용에 있어서는



<그림 618.86> 임의 풍량 단계의 운전 예

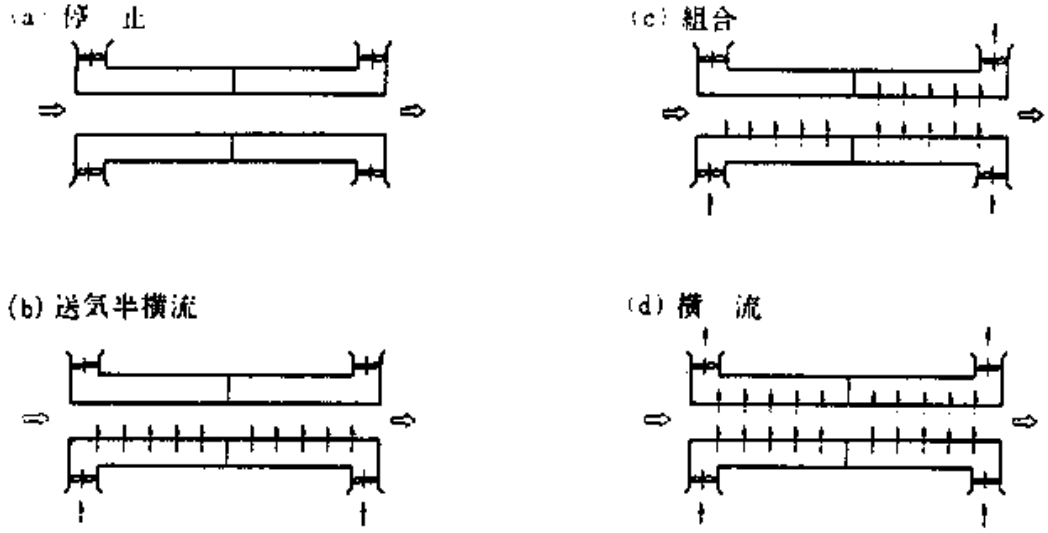
어떤 환기계통에서 운전할지를 자유롭게 순서를 정하는 것이 가능하다.

예를 들면 일방향 교통터널에 있어서 비교적 교통량이 적은 경우에 기계환기를 실시할 때는 일부를 반횡류식 구간으로, 기타는 교통환기력에 의한 종류환기구간으로 하는 등 여러 가지를 조합하여 검토하므로서 환기동력의 에너지 절약 및 효율적인 이용을 도모하는 운전제어방법을 추가하는 것도 가능하다.

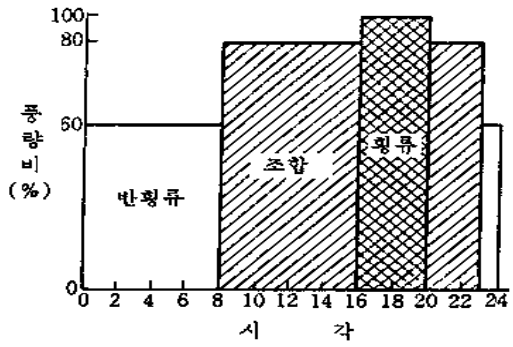
<그림 618.87>에 일본 지네고(笹子)터널에 적용되는 각종 환기패턴을 나타내었고 <그림 618.88>에는 이 터널의 1일 환기패턴 설정 예를 나타내었다.

4.2 제어방식

환기기는 각종 검출방식에서 얻은 교통량, CO농도, 매연투과율 및 교통환기력, 자연환기력에 의한 터널 내 풍속 등의 정보를 근거로



<그림 618.87> 지네고(笹子)터널 환기패턴



<그림 618.88> 지네고(笹子)터널의 환기 제어방식의 설정 예와 풍량비

하여 운전을 제어해야 한다.

제어방식은 자동제어를 원칙으로 하지만 기기의 고장 및 시험·조정의 경우에 대비하여 최소한 수동제어도 가능한 방식으로 한다.

4.2.1 자동제어

자동제어는 제어장치에 따라 환기풍량의 조절을 실시하기 위해 필요한 일련의 기기류를 자동적으로 제어하는 방식을 말한다. 일반적으로 매연투과율 측정장치, 일산화탄소 농도측정장치, 차종별 교통량 계수장치, 풍향, 풍속측정장치 등의 신호에 따라 자동적으로 풍량제어를 실시한다.

자동제어 방법의 대표적인 것으로서 3가지 종류가 있으며 이것을 기본으로 각각 조합하여 사용하는 경우가 있다

(1) 피드백(feed-back)제어

피드백에 의해 제어량을 목표치와 비교, 그것을 일치시키도록 정정(訂正) 동작을 실시하는 제어이다. 터널 내의 오염물질농도를 계측하여 그 결과를 제어시스템으로 피드백하는 것이며 많은 터널에서 실시되고 있지만 빈번하게 운전상태를 변경하지 않도록 배려해야 한다.

(2) 피드포워드(feed-forward)제어

터널에서 가까운 구간의 교통상황 정보등에 따라 교통조건 등의 영향이 제어계에 나타나기 전에 필요한 정정(訂正) 동작을 실시하는 제어이다.

(3) 프로그램제어

터널 내의 유해성분농도와 교통량에 따라서 풍량을 결정하는 것이 아니라 시간대마다 환기기 운전을 사전에 결정된 프로그램에 의해 실시하는 방법이다.

4.2.2 수동제어

수동제어는 손으로 기기류를 운전하여 풍량을 제어하는 방식이다.

(1) 단독제어

각 기기를 개별적으로 수동으로 실시하는 제어이다. 이 경우에도 환기의 운전, 정지에는 댐퍼, 동익(動翼), 정익(靜翼) 등의 부속기기와 연동하여 적정한 동작을 하도록 해야 한다.

단독제어는 자동 및 연동제어계가 고장 등으로 제어가 불가능한 상태가 되었을 경우와 각 기기를 개별적으로 시험할 경우에 이용한다.

(2) 연동제어

사전에 결정된 풍량단계의 버튼을 누르면 한번에 적정의 풍량을 얻을 수 있도록 관련 기기를 연동시키는 제어를 말한다.

연동제어는 자동제어계가 고장난 경우와 시험을 할 때에 이용된다.

4.3 제어장치

제어장치는 터널내부의 환기상태를 감지하는 각종 계측장치, 풍량단계를 결정하는 환기기에 운전지령을 내리는 자동제어장치, 및 전동기의

주 회로개폐기를 넣은 전동기판으로 구성된다.

계측장치, 자동제어장치 및 전동기판의 구성은 <그림 618.89>와 같다.

4.3.1 터널환기상태 계측장치

계측장치에는 터널내 매연상태를 측정하는 측정장치(VI계), 일산화탄소 농도를 측정하는 장치(CO계), 풍향, 풍속을 측정하는 장치(WD계)와 차종별 교통량을 측정하는 장치(TC계)가 있으며 일반사항은 다음과 같다.

• 터널 내의 환기상태를 감시하는 계측장치는 빠른 속도로 발전하고 있으므로 항상 최신 사양의 계측장치를 설계 및 운전제어에 반영하여야 한다.

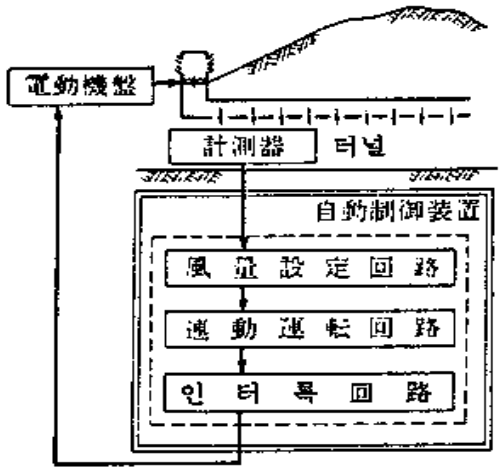
• VI계, CO계 및 WD계는 <표 618.9>~<표 618.11>에 나타낸 환기방식에 따른 풍속 및 농도분포의 특징을 충분히 고려하여 설치하되 그 위치와 설치대수는 터널의 이용도 등을 고려하여 결정하여야 한다. 설치할 필요가 있는 경우, WD계는 풍속, 그리고 WI계 및 CO계는 농도가 가장 클 곳으로 판단되는 곳에는 필히 설치하여야 한다.

(1) 매연투과율 측정장치(VI계)

터널 환기에서 매연농도는 매연이 포함된 공기 중의 빛 투과율로 표시된다. 매연투과율 측정장치는 투광부와 투광부에서 100m 떨어진 곳에 수광부(受光部)를 설치한다. 이 장치의 사용시 다음 사항을 유의하여야 한다.

가. 광학 측정계기이므로 광학계의 오염 등으로 지시값이 착오가 발생하기 쉽기 때문에 적절한 교정이 필요하다.

나. 또한 터널 출입구 부근에서는 태양광과 우천시에 자동차의 물방울과 안개의 영향을 받을 우려가 있으므로 200m 정도 이상 내부에 들어간 위치에 설치해야 한다.



<그림 618.89> 제어장치의 구성 블럭

(2) 일산화탄소 측정장치(CO계)

공기 중의 일산화탄소 농도를 측정하는 방법은 3가지 종류로 구분된다.

• 적외선 분석 방식
• 수소염 이온화 검출 방식
• 정전위 전해 방식

이 중 적외선 분석방법은 다음과 같은 장점이 있기 때문에 터널에 일반적으로 사용된다.

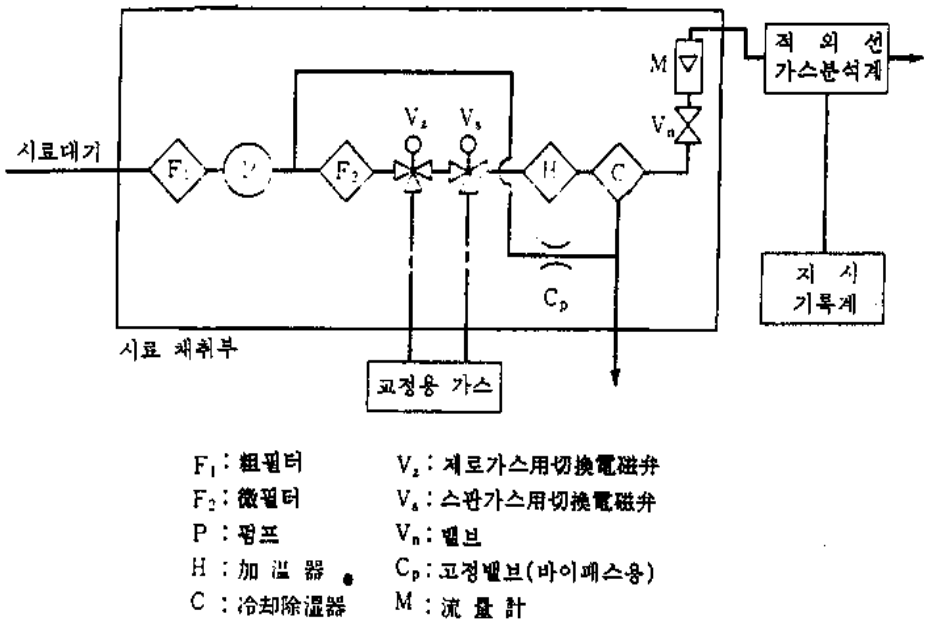
• 연속적으로 안정된 분석이 가능
• 측정 정밀도가 높다.
• 방폭 구조로서 주위 조건에 영향을 받지 않는다.
• 응답속도가 빠르다.
• 장기간 사용에 견딜 수 있다.

측정장치는 시료 채취부, 적외선가스 분석부, 교정용 가스, 지시 기록계 및 기타 부속장치로 구성되어 있다.

장치의 유로계통도의 예를 <그림 618.90>에 나타내었다.

(3) 차종별 교통량 측정 장치(TC)

제어용 입력자료로서 차량 수, 속도, 대형·

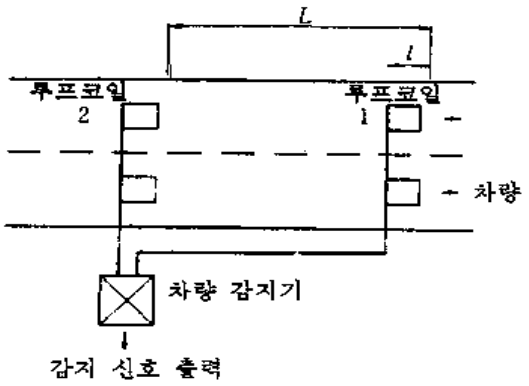


<그림 618.90> 일산화탄소 농도측정장치의 유로 계통 예

소형자동차의 구별 등을 검출하는 교통량 측정 장치에는 차량감지기가 있다. 차량감지기는 그 검출방식에 따라 루프 코일식, 초음파식, 광전식이 있다.

① 루프 코일식 차량감지기

노면에 매설된 루프 코일 위에 자성체인 차량이 진입할 때에 발생하는 코일의 유도계수(inductance)의 변화를 감지하는 방식으로 차량 감지능력이 뛰어나다.



<그림 618.91> 루프 코일식 차량감지기의 설치 예

<그림 618.91>처럼 차선마다 루프 코일 1, 2개를 일정한 간격으로 설치함에 따라 상기의 신호를 추출할 수가 있다. 단, 항상 지체가 발생하는 장소에 설치하는 경우는 주의를 기울여야 한다.

② 초음파식 감지기

초음파를 차량에 쏘아서 그 반사파의 변화에 따라서 차량을 감지하는 것이다.

초음파 송수신기의 설치위치에 따라 사이드 화이어 방식과 오버헤드 방식이 있다. 터널 내에서는 초음파가 난반사 함으로 갱구 부근의 밝은 곳에 설치하는 것이 바람직하다.

(4) 풍향풍속 측정장치(WD 계)

터널용으로 가장 일반적으로 사용되고 있는 것은 프로펠러식 풍속계이다. 1개의 발신기에서 풍향·풍속을 동시에 감지하여 전기적으로 지시기, 기록기에 전달하여 풍향·풍속을 지시 기록한다.

4.3.2 자동제어장치

자동제어장치는 터널환기상태 계측장치로부터의 신호를 기준으로 자동적으로 환기량을 결정하여 환기기에 대한 운전지령을 내리는 자동제어 릴레이반과 운전상태를 감시하여 수동운전지령을 내리는 감시제어반으로 구성된다.

이것의 구성 및 기능은 터널의 규모에 따라 여러 가지가 채택되고 있으며 <그림 618.92>에 대표적인 제어회로구성 블럭 예를 나타내었다.

계측장치에서의 신호에 따라 피드백 제어 또는 1일 운전패턴을 설정하는 프로그램 제어를 실시하는 것(보기 1), 피드백 제어를 실시하여 환기기의 운전효과를 높이는 것, 또는 필요에 따라서 1차 연산처리회로나 환기량 결정회로를 설치하는 등 자료 처리기능을 추가한 장치(보기 2, 3) 등이 있다.

4.3.3 전동기반

전동기반은 전동기의 기동·정지회로, 속도변환회로, 보조기기 제어회로로 구성된다.

4.3.4 감시장치

여러 곳에 설치된 각종 설비를 유기적, 효율적으로 운영하기 위해서는 1개 장소에서 집중감시제어를 실시할 필요가 있다. 이 때 서로 거리가 멀리 떨어져 있고 또한 전송하는 정보량도 많으므로 정보전송장치를 통해 실시한다.

(1) 감시제어장치

감시제어장치는 보통 계통 감시판과 제어디스크로 구성된다.

계통 감시판은 상시 상태를 간단하게 감시하도록 기기를 그래픽 모양으로 알기 쉽게 배치하고, 또한 제어디스크는 컴팩트하게 요약하여 소수의 운전원으로 조작이 용이하도록 해야 한다.

장대터널에서는 모니터를 설치하여 여러 가지 정보를 정리·표시할 수 있도록 하여 운전원의 부담을 줄이는 경우도 있다.

(2) 정보전송장치

각종 기기의 상태와 각종 계측장치의 측정값을 중앙에서 감시하고 각 기기의 운전지령을 전달하기 위해 사용된다. 전송항목·횟수·전송거리 등에 따라 여러 가지 방식이 있지만 일반적으로 디지털 사이클릭 방식이 사용된다.

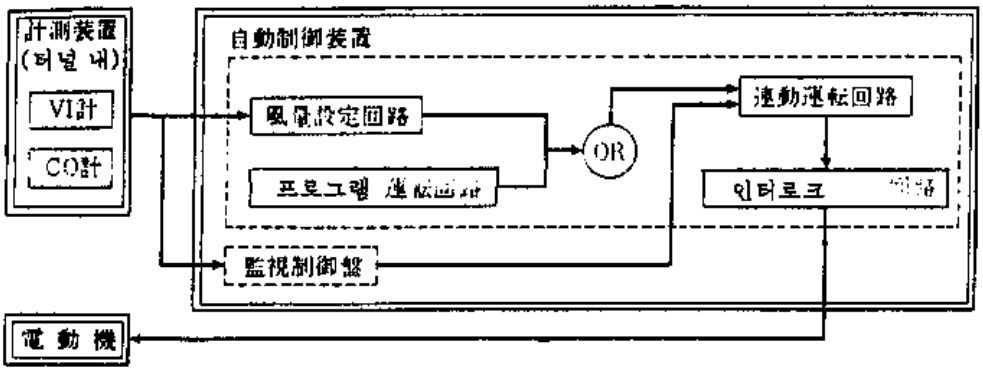
4.4 제어상 유의사항

4.4.1 화재발생시의 운전

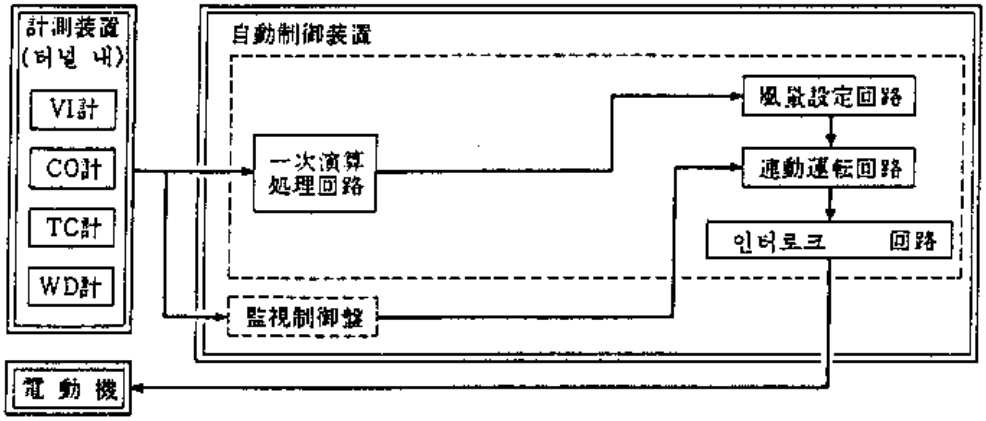
배연에 사용되는 환기기는 화재발생시에 다음에 기술하는 목적을 만족할 수 있도록 최대한의 운용이 요구되므로 평상시에도 배연기능이 충분히 유지될 수 있도록 하여야 한다.

일반적으로 화재 시 환기운전 상태로서 화재발생 직후에 발화점 부근의 이용자가 피할 수 있는 시계확보를 위한 연기의 확산을 방지 목적으로 하는 환기운전상태와 피난 후의 본격적인 소화활동을 실시하는데 편리한 기점의 작업환경을 확보하는 것을 목적으로 하는 배연운전상태의 2가지로 크게 구분된다. 운전상태의 선정에는 터널의 고유조건을 근거로 하여 조작이 확실한 방법을 충분히 검토하고 관계기관과 함께 협의해 둘 필요가 있다.

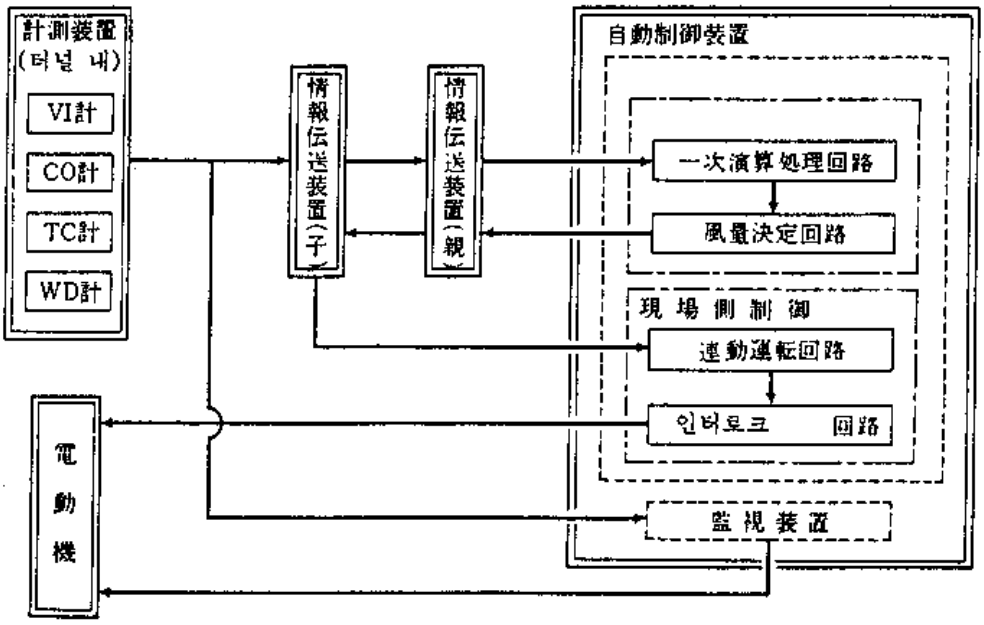
(보기 1)



(보기 2)



(보기 3)



<그림 618.92> 제어회로 구성 블럭의 예

4.4.2 제어계의 변경

개통 후의 교통상황을 파악한 후에 제어방법을 확립하는 것이 적당한 경우가 많다. 이러한 경우에 대처할 수 있도록 제어계의 제어폭이 넓고 설정 값의 변경이 용이한 방식을 채택하는 것이 바람직하다.

4.4.3 환기기의 최저운전 시간

터널의 환기는 제어 실시에서부터 그 효과를 검출할 수 있을 때까지의 환기기의 운전시간이 비교적 길다.

응답속도를 빠르게 하기 위해 환기기의 용량을 매우 크게 하는 것은 비현실적인 설비가 된다. 한편, 어떤 운전상태를 계속할 최소 시간 간격이 너무 길어도 에너지 절약 측면에서 문제가 있기 때문에 전동기의 기동 빈도, 횟수, 상태 등에 대한 충분한 고려가 필요하다.

또한 터널 내의 교통량은 시시각각으로 변화하므로 계측장치의 출력신호로 환기기의 가동·정지를 직접적으로 실시하면 헌팅현상이 일어난다. 이러한 현상이 발생하지 않도록 최저 운전시간을 확보하기 위해 충분한 검토가 필요하다.

4.4.4 운전방식의 선정

터널의 입지조건에 따라서 교통량의 패턴과 디젤차의 혼입율의 변화가 크고 그 때문에 환기풍량의 현저한 변동이 예측되는 경우는 제어계 안에 적분동작과 미분동작의 기능을 갖는 제어방식을 채택하는 것이 바람직하다.

한편, 일일교통량 패턴의 변동이 비교적 적다고 예상되는 경우는 프로그램제어로 충분한 기능을 발휘하는 것도 있다.

4.4.5 운전기록의 자동화

운전기록의 자동화는 비교적 저렴한 비용으로 가능하기 때문에 보통 제어장치를 설치할 때에도 앞으로 유지관리의 인력절감의 자료로 이용할 수 있도록 실시해야한다.

터널 환기상태 계측장치에서의 아날로그 자료는 디지털로 변환하여 시간별 평균치로 대응하는 교통량과 환기기의 운전상태를 요약한 운전기록 차트로서 작성하는 것도 고려할 수 있다. 또한 VI계, CO계 등의 아날로그식 기록지는 디지털 값의 확인 및 변화상태를 육안으로 확인하거나 장치의 시험·조사를 실시하는 경우 등 필요에 따라 사용되고 있다.

4.5 환기제어의 실예

4.5.1 지네고(笹子)터널

이 터널의 환기시스템은 평상시에는 교통량, 일산화탄소 농도, 매연투과율의 자료를 근거로 컴퓨터가 필요한 환기량에 적합한 운전대수와 회전수를 결정하여 환기기를 제어하고 있다.

에너지절약의 관점에서 교통량에 따라 환기방식을 횡류방식으로 운전하는 것뿐만 아니라 조합환기 및 반횡류방식의 운전을 자동으로 실시하고 있다(<그림 618.87> 참조).

또한 이상이 있을 때의 제어로는 화재발생 지역별 환기운전, 일산화탄소 농도 및 매연투과율 이상시 환기운전, 정전시 부하제한 운전 등의 처리를 자동적으로 실시하고 있다.

환기제어는 자동제어 이외에 감시·제어데스크에서의 수동연동제어와 수동단독제어가 있

다. 수동연동제어에서는 운전원이 풍량을 설정, 그 풍량에 적합한 연동대수와 회전수를 컴퓨터에서 결정하여 환기기를 제어한다. 이것의 환기제어 흐름은 <그림 618.93>에 나타내었다.

4.5.2 동경항(東京港)터널

이 환기제어는 교통조건, 일산화탄소 농도, 매연투과율 자료를 근거로 2가지 방식 즉, 피드백과 프로그램 제어방식을 채택하고 있다.

피드백 제어용 각종 자료는 제어량으로서 취사선택이 가능하여, 설정 값이 있는 경우는 제어데스크에서 자유롭게 설정 값을 변경할 수 있도록 하고 있다.

프로그램 제어는 장래 주변장치의 충실 및 교통량의 안정화 등의 경우에 소프트웨어를 변경하여 실시할 수 있는 제어장치이다. 이것의 환기기본 제어방식은 <그림 618.94>과 같다.

터널 환기상태 계측장치에서의 각종 자료는 처리장치에 의해 분석·해석되어 <표 618.22>에 표시한 노치지령을 내릴 수 있을 때까지 자료 정리를 실시한다.

환기장치의 운전방법이 기록되는 기록장치는 자료 처리장치에서 노치지령이 내려진 경우에는 각 환기기의 기동 순서에 따라 한 개의 프로그램을 완성하는 기능을 갖고 있다.

이것의 흐름도를 <그림 618.95>에 나타내었다. 또한 이상이 있을 경우의 제어로서 화재정보가 들어오는 경우, 배풍기를 모두 가동시킴과 동시에 송풍기를 순서대로 역전 운전하도록 한다. 이 외에 수동연동, 수동제어는 전항과 거의 같다.

4.5.3 천왕산 터널

터널의 환기장치 운전은 2대 1조로 실시, 풍량조절은 회전수 교체, 날개각도 조절, 운전대수의 조합에 따르나, 설정은 전동 제어기의 노치 위치에 따라 일원적으로 실시되고 있다.

노치 위치는 평상시 매연투과율을 40~60% 정도로 유지하고 피드백방식에 의해 자동 제어된다.

매연투과율의 출력이 40%보다 낮아지면 풍량을 증가시키도록 노치를 올리고 출력이 60%를 넘으면 풍량을 줄여 노치를 내려서 제어를 실시한다.

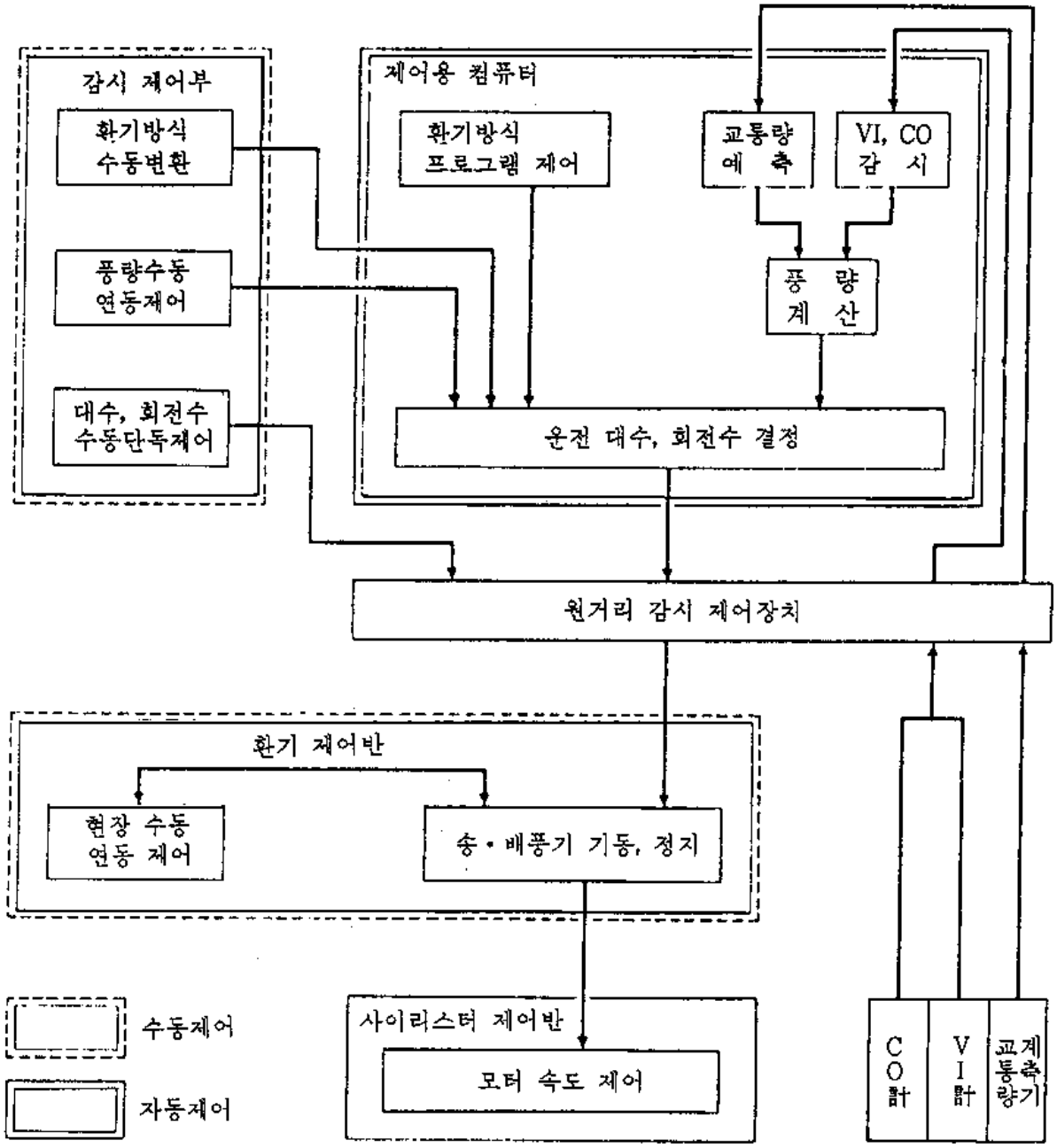
매연투과율의 시간변화에 따라 제어단수를 변화하는 미분제어를 실시하여 매연투과율을 될 수 있는 한 빠르게 규정값 범위 내로 회복하는 기능을 가지고 있다.

4.5.4 성산(城山)터널 (양방향교통)

이 터널의 환기제어는 처리장치의 프로그램 보드에 의해 실시된다.

프로그램 보드에는 평일, 휴일, 토요일의 3종류 환기패턴(제트 팬 운전대수와 운전방향)을 설정하여 100일간의 프로그램에 따라 어느 프로그램의 운전을 선택할지를 결정한다.

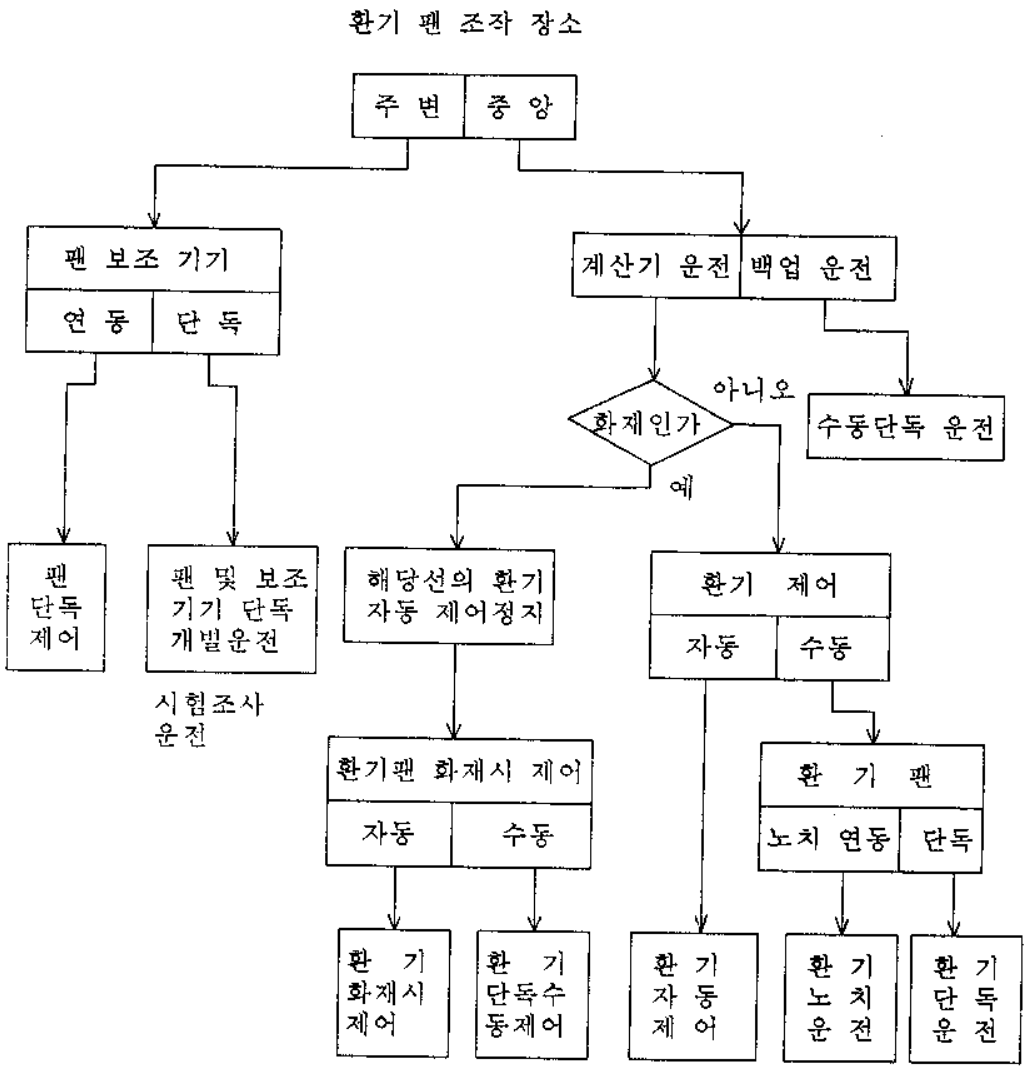
제트팬의 운전방향은 원칙적으로 프로그램에 의해 실시되지만 보다 효율적인 에너지 절약운전을 하기 위해 각종 계측자료를 처리장치 내의 마이크로 컴퓨터로 연산처리하여 그 결과에 따라 좋은 결과를 얻을 수 있다고 판단되는 경우, 프로그램 제어에 풍향제어도 함께 실시하도록 하고 있다. 동시에 이 마이크로 컴퓨터와 출력기를 접속하여 교통량, 기타 계측자료 및 설비의 운전상황 등을 출력하여 관리일보를 작성하도록 하고 있다. 이 시스템의 계통도를 <그림 618.96>에 나타내었다.



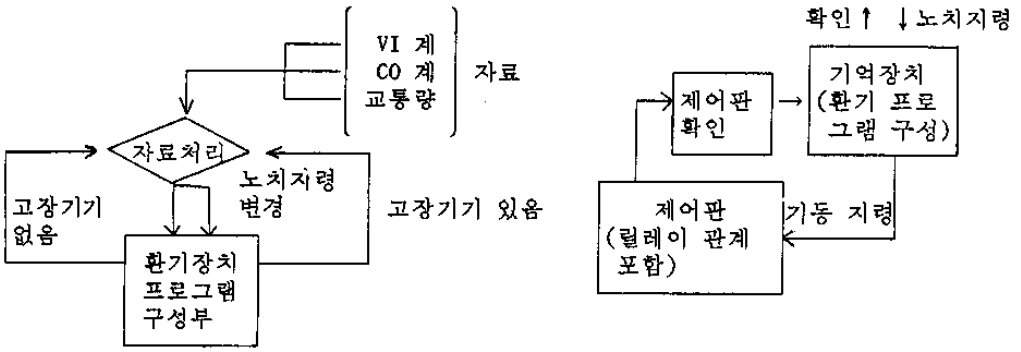
<그림 618.93> 제어의 흐름

<표 618.22> 환기기의 조합 운전단계(노치)

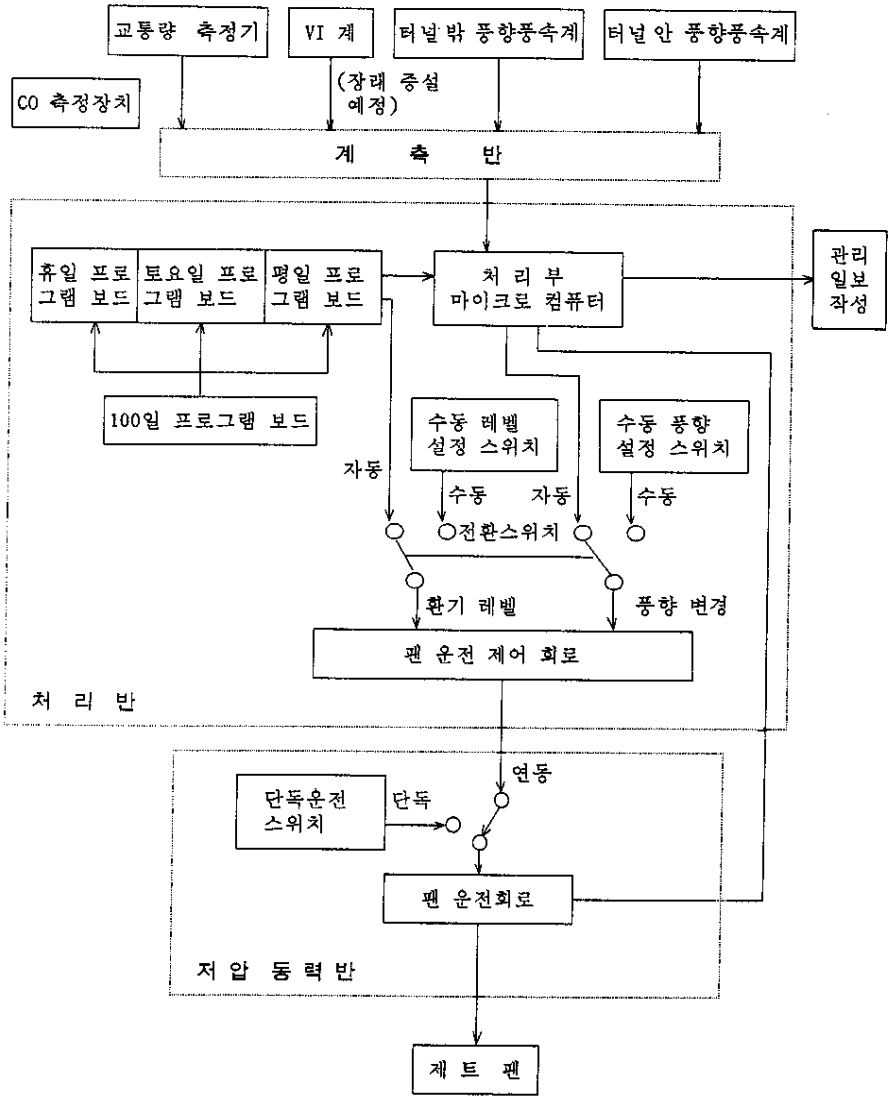
운전단계	송 풍 기		배풍기	기계환기량(㎥/s)
	터널 입구측	터널 출구측	터널 출구측	
0	0	0	0	0
1	0	1 대 운 전	0	150
2	1 대 운 전	1 대 운 전	1 대 운 전	320
3	1 대 운 전	2 대 운 전	2 대 운 전	450
4	2 대 운 전	2 대 운 전	3 대 운 전	570
5	2 대 운 전	3 대 운 전	3 대 운 전	650
6	3 대 운 전	3 대 운 전	3 대 운 전	720



<그림 618.94> 동경항 터널의 환기 기본 제어 방식



<그림 618.95> 자료처리 및 프로그램 구성 흐름도



<그림 618.96> 환기 제어 시스템 계통도

618.5 공사 중 환기

5.1 환기량의 산정

공사 중에 터널에서 필요한 환기량은 터널 길이, 굴착단면, 사용 화약량, 작업 cycle, 공사용 기계, 시공방법에 의해 달라지지만 일반적으로 다음 식으로 계산할 수 있다.

(1) 터널내 작업원이 필요로 하는 환기량 Q_1 (㎥/min)

$$Q_1 = q \times N \qquad (618.85)$$

q : 작업원 1인당 필요로 하는 환기량 (3㎥/min/인)

N : 터널내 최대 작업원수(인)

작업원의 호흡에 의한 터널내의 공기의 오염은 CO_2이다. 호흡에 의한 CO_2가스의 발생은 발생 후 가스 및 디젤기계 배기가스 등에 의한 경우와 비교해서는 극히 적은량이지만 장시간 작업시 CO_2는 증가한다. 특히 많은 사람이 작업하는 경우에는 무시할 수 없다.

작업원의 호흡에 의한 환기량은 다음과 같다.

$$Q \geq \frac{r}{\alpha \cdot \beta}$$

단, Q : 소요 환기량 (㎥/min)

α : CO_2 농도 (0.03%)

γ : 1.2×10^{-3} ㎥/min · man

$$Q = \frac{1.2\times10^{-3}}{5,000\times10^{-6}\times0.03\times10^{-2}}$$

$= 0.3$㎥/min/man

위에서처럼 작업자 1인당 약 0.3㎥/min이 되지만 이 정도의 소풍량으로는 사람이 출입하는 공간을 효과적으로 환기하는 것은 일반적으로 곤란하다.

또 환경악화 원인에는 땀에 의한 습도증가, 기온의 상승 및 체취의 충만 등이 있고 작업원에게는 적절한 기류(draft)를 필요로 하기 때문에 이를 고찰해서 작업자 1인당의 소요 환기량을 최저 3㎥/min로 하는 것이 바람직하다. 또한 작업자의 호흡에 의한 공기오염의 경우에 환기방법은 작업지점에서 송기식이 효과적이다.

<표 618.23> 유해가스의 규제 목표 농도

구분 / 종류	예상하는 중독장해	밀도 (공기=1)	폭발범위 (vol %)	ACGIH 의 규제목표치	일본법령상 규제치
일산화탄소(CO)	중독	0.95	12.5 - 74.0	50ppm	100ppm
탄산가스(CO2)	산소결핍증	1.52	-	500ppm	1.5%
이산화질소(NO2)	중독	1.59	-	5ppm	-
황화수소(H2S)	중독	1.19	4.3 - 45	10ppm	15mg/㎥
아황산가스(SO2)	중독	2.27	-	5ppm	-
메탄가스(CH4)	폭발	0.6	5.3 - 14	10,000ppm	1.5%
산소(O2)	산소결핍증	1.1	-	-	18%

주 : ACGIH(American Conference Govermental Industrial Hygienicts의 약자)

<표 618.24> 발파 후 가스의 유해가스

화약의 종류	환기대상유해가스	표준발생식 ㎥/kg
일반 다이나마이트	일산화탄소(CO)	8×10^{-3}
기타 다이나마이트	일산화탄소(CO)	11×10^{-3}
슬러리(Slurry)	일산화탄소(CO)	2.5×10^{-3}
ANFO	산화질소(NO_2)	17×10^{-3}

(2) 발파 후 가스에 관한 필요환기량 Q_2(㎥/min)

① 소요 환기량

$$Q_2=0.368\times \frac{W\cdot\varepsilon}{R\cdot\alpha\cdot t} \qquad (618.86)$$

W : 1발파에 사용하는 화약량(kg)

ε : 화약 1kg당 유해가스 발생량(㎥/kg)

R : 팬(fan)의 용량, 풍관의 설치위치 등에 따르는 계수로서 국소 순환용 팬의 유무 등에 영향을 받으나 조사에 의해 규명할 필요가 있지만 일반적으로 국소 환기용 팬을 병용하는 경우 0.6, 병용하지 않은 경우 0.4를 적용한다.

α : 유해가스의 규제 목표 농도

t : 막장의 유해가스 농도를 규제치 이하로 하는 소요시간(일반적으로 막장에서 작업을 중단할 필요가 있는 시간) 경험상 20분으로 하는 일이 실제적이기 때문에 이들의 수치를 이용 CO_2를 환기 대상 가스로 하면

• 국소환기 팬(fan)을 병용하는 경우

$$Q = 0.368\times \frac{P}{0.6\times 100\times 10^{-6}\times 20}$$

$$\fallingdotseq 310\ P\ (㎥/min)$$

• 국소순환 팬(fan)을 병용하지 않는 경우

$$Q = 0.368\times \frac{P}{0.4\times 100\times 10^{-6}\times 20}$$

$$\fallingdotseq 460\ P\ (㎥/min)$$

여기서 $P = W\cdot\varepsilon$

② 환기시간

소요 환기량은 발파전의 막장 유해가스 농도가 '0'에 가깝고 무시할 수 있는 상태에 있는 것이 되므로 발파가 어떤 cycle로 실시되더라도 소요 환기시간 t=20분으로 환기를 중단하는 일이 없이 다음의 발파까지 막장 부근의 유해가스 농도가 무시할 수 있는 상태가 되도록 환기를 지속시킬 필요가 있다.

(3) 디젤기관을 사용하는 경우의 환기량

터널내에서 디젤기관 사용 대수를 dozer 90 HP 1 대와 dump truck 130 HP 1 대라 하면

<표 618.25> 디젤기관의 HP당 가스 발생량

종별	배기가스 처리장치 무 ㎥ / min / HP	배기가스 처리장치 유 ㎥ / min / HP
shovel 계	2.16	1.08
dump 계	0.84	0.67
locomotive 계	0.82	0.65

• 배기가스 처리장치가 없는 경우

Q = 2.16 × 90 + 0.84 × 130 = 303 ㎥/min

• 배기가스 처리장치가 있는 경우

Q = 1.08 × 90 + 0.67 × 130 = 184 ㎥/min

이와 같이 구해진 환기량은 디젤 기관의 가동, 사용상태에 따라 터널 한 부분에서 집중적으로 유해가스의 농도가 높아지는 경우가 있으므로 이와 같은 사항을 고찰하여 검토하여야 한다.

(4) 분진에 관한 환기량

$$Q_4 = W \cdot D/a$$

W : 분진 발생량 (mg/㎥) : 25

(일본 오누끼터널 실측치 22.01 mg/㎥)

D : 기계의 배기가스량 (㎥/min)

a : 허용치 (mg/㎥)

터널내 숏크리트 공법으로 인한 분진 발생상태 조사결과에 의하면 조성은 대부분 광물질이고 규산량도 20% 이하로 제2종 분진이다. 실측농도는 입경 10㎛이하에서는 5mg/㎥이하이고 환경기준상 문제는 없지만 집진 장치를 설치한 예도 있다. 숏크리트공법의 분진대책으로서는 통상 환기 이외에 집진 장치 설비, 살수 등도 충분히 검토할 필요가 있다. 또 숏크리트 시공시 터널내 작업원은 분진 마스크를 착용하여야 한다.

5.2 환기설비(팬 및 풍관)

(1) 팬의 풍관 결정

소요 환기량을 환기하기 위한 팬용기 및 풍관은 다음 식에 의해 구해진다.

$$V = \frac{Q}{60a} = \frac{Q}{15\pi D^2} \quad (618.87)$$

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} r \quad (618.88)$$

$$N = \frac{D \cdot h}{6,120} \quad (618.89)$$

V = 풍관내 평균유속 (m/sec)

a = 풍관의 단면적 (㎡)

Q = 소요 환기량 (㎥/min)

h = 압력손실 (mmH_2O or mmAg)

λ= 마찰손실계수

L = 풍관의 길이 (m)

D = 풍관의 직경 (m)

g = 중력가속도 (9.8 ㎨)

r = 공기의 비중량 (통상 r = 1.2 kg/㎥)

N = 풍관의 이론중력(kw)

① 풍관의 마찰손실

풍관의 여러 종류에 있어 곡관을 포함하는 경우의 압력손실은 $H=\Sigma h=\Sigma \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$ 에 의해 구해진다.

<표 618.26> 광물성 분진의 규제 농도

분진	일본에서의 규제농도 (mg/㎥)
제1종 분진 : 날아 다니는 규산 30%이상의 광물성 분진, 골석, 납석, 알루미나, 알루미늄, 유화광(석선은 제외)	2
제2종 : 날아 다니는 규산 30% 미만의 광물성 분진, 산화철 흑연, 카본 block 활성탄 석탄	5
제 3종 분진 : 기타의 분진	10
석선 분진	2섬유/㎤

풍관의 각 부분에 대한 압력손실계수는 '3.5.4 각종 덕트의 손실계수'를 참조한다.

② 풍관의 압력손실

실제로 사용되고 있는 풍관에는 경관(스파이랄 강관)등의 경관과 비닐풍관 등의 연관이 사용되고있다. 이들 풍관의 λ치는 관의 형태, 내면의 조도, 배관상태에 의해 달라지지만 일반적인 설치조건에 있어서는 경관에서는 0.02(신품), 0.03(중고품), 연관에서는 0.03～0.05등이다.

③ 누풍율

경관, 연관 어느 풍관을 사용해도 송풍중 상당한 누풍이 있는 것으로 실측되고 있다. 그 원인은 관의 파손이나 연결부의 불량에 의해 많이 일어나고 있으므로 파손부는 조기에 수리하고 연결부는 누풍이 생기지 않는 구조의 것으로 사용해 확실하게 접착하는 것이 중요하다. 즉, 터널 전장(풍관전장)의 누풍율을 m로 하면,

$m=\beta\times\frac{\ell}{100}$ 로 표시할 수 있다.

β : 100당 란풍율

ℓ : 터널전장

β는 통상시공에서 다음 값을 취한다.

경관(스파이랄 경광등) : β= 0.015

연관(비닐 풍관등) 시공양호 : β = 0.015

(비닐 풍관등) 시공불량 : β = 0.04

④ 풍관내의 속도 V

관내 풍속 V는 환기의 경제성을 좌우하는 중요한 요소이고 식 (618.87)에서 일정한 환기량 Q에 대해서 V를 크게 취하면 풍관 단면적을 적게할 수 있다. 압력손실 h는 V^2에 비례해서 크게 되고 용량도 증가한다. 따라서 V는 한계가 있고 이 밖에 풍관이 차지하는 공간의 제약도 문제가 되어 통상 V=10 ㎧～12 ㎧로 하는 예가 많다. 단, 전단면 굴착시 여유가 있는 경우 이풍속을 5～7 ㎧로 하는 것이 유리하다.

⑤ 팬의 필요 축동력을 구하는 데는 (618.89) 식에서 나타낸 팬의 이론동력 (N)의 팬 효율 n_1 및 전동기 효율 n_2는 80% 정도가 보통이다.

• 누풍이 없는 경우 팬의 필요동력

팬의 필요동력(Nf)는 (618.89) 식에서 이론동력에(N) 상기 효율을 예상해서 다음 식에 의한다.

$$Nf = \frac{Q\cdot h}{6,120}\cdot\frac{1}{n_1\cdot n_2} = \frac{N}{n_1\cdot n_2} \qquad (618.90)$$

• 누풍이 있는 경우의 팬의 필요 축동력

풍관 전연장의 누풍율을 m으로 하면 팬의 필요 풍량은 $Qf = \frac{Q}{1-m}$ 로 나타낸다.

또 누풍이 있는 경우의 풍관의 압력손실은 0.5〉 m〉 0의 범위에서는 근사적으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{\lambda}{1-m}\cdot\frac{L}{D}\cdot\frac{V^2}{2g}\sigma \qquad (618.91)$$

따라서 팬의 필요동력 (N'f)는

$$N'f = \frac{Qf\cdot hf}{6,120}\cdot\frac{1}{n_1\cdot n_2}$$

$$= \frac{Q\cdot h}{6,120}\cdot\frac{1}{n_1\cdot n_2}\cdot\frac{1}{(1-m)^2}$$

$$= \frac{Nf}{(1-m)^2} \qquad (618.93)\text{로 된다.}$$

앞에서 서술한 것처럼 100 m당 누풍율 β을 관풍의 연장을 ℓ로 하면 $m=\beta\cdot\frac{\ell}{100}$ 이므로 (618.92) 식은 다음과 같다.

$$N'f = \frac{Nf}{(1-m)^2} = \frac{Nf}{(1-\beta\cdot\frac{\ell}{100})^2} \qquad (618.93)$$

또 팬의 형식 및 종류에 따라 효율 및 정압범위가 각각 차이가 나며 자세한 사항은 '3.4.1 송·배풍기'를 참조한다.

5.3 환기방식의 선정

환기방식은 터널공사의 규모, 시공방식 등에 적합한 것을 선정할 필요가 있지만 배기식, 송기식, 송배기 병용식, 가변식, 국소 순환용 송풍기에 의한 방식이 실용되고 있다. 환기방식의 개요와 장단점을 비교하면 <표 618.27>과 같다. 또 터널내 집중방식과 직렬식에 대하여 요약하면 다음과 같다.

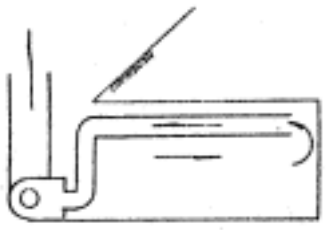
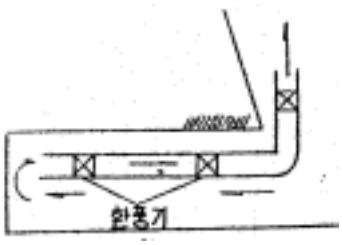
(1) 터널내 집중방식

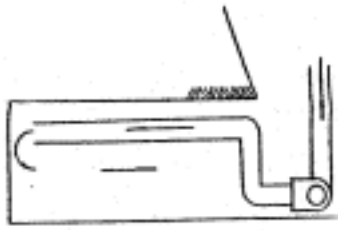
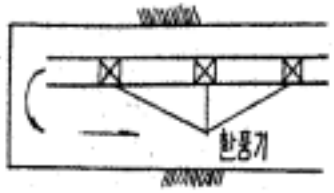
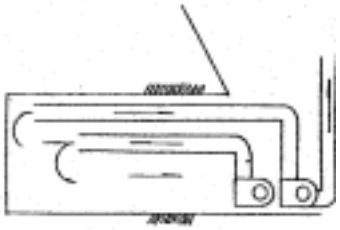
갱구 부근에 대규모의 송풍기를 설치하는 방식으로 배기식, 송기식, 병용식 등이 있고 환기효과는 뛰어나지만 설치는 어느 것도 대규모로 되고 설비의 변경이 어렵고 터널 연장에 비해 상당한 동력비가 소요되므로 별로 사용되고 있지 않다.

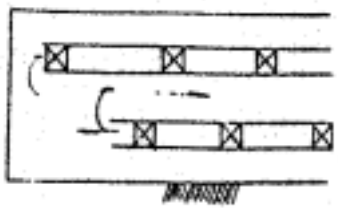
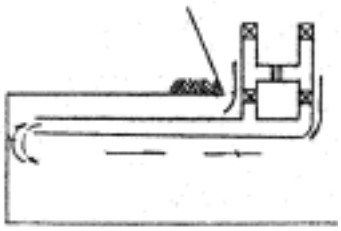
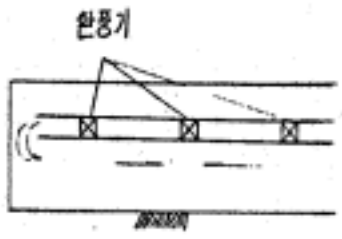
(2) 직열방식

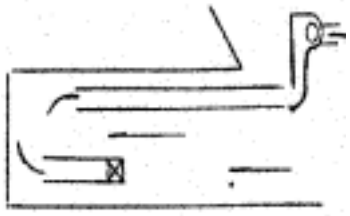
공사 진행에 맞추어서 풍관 및 환풍기를 순차 설치해 나가는 방식으로 송기식, 배기식, 연결식, 단속식 등이 있고 터널내 집중 방식에 비해서 송풍기 대수가 많게 되므로 그 보수에 노력으 요하게 되고 또 단속식의 경우는 환기효율이 나쁘게 된다. 그러나 공사의 진행에 맞추어 사용할 수 있는 경제적인 면이 있으므로 현재 터널공사에 많이 쓰이고 있다.

<표 618.27> 환기방식의 개요와 장단점

환기방식		환기방식개요도	설비의 개요	장단점
배기식	집중방식		공사착공에 있어서 공사 전기간에 필요한 용량의 송풍기를 터널외부에 설치하여 풍관의 흡입구를 막장에 만들고 발생가스는 풍관을 통해서 배기하는 방식	1) 발파후 가스등 막장에 발생하는 가스는 풍관을 통해서 직접배기되고 갱도 전장을 오염하지 않는 잇점이 있다. 2) 작업의 진도에 따라 풍관만을 이어나가는 것에 의해 막장의 정화가 행해지지만 발파에 의한 풍관의 인양작업의 집약하등 때문에 막장에서 흡입구가 30m 정도이상 떨어진 경우 막장의 가스를 평균적으로 흡입하는 것이 곤란하기 때문에 일반적으로 국소 순환용 송풍기의 병용이 필요하게 된다. 3) 이 방식의 풍관에는 연관사용 불가
	연결직렬방식		비교적 소형의 축류식 송풍기를 중간에 설치해서 작업의 진도에 따라서 풍관을 점차적으로 연결하고 발생가스는 풍관을 통해서 배기하는 방식	1) 축류 송풍기의 소요동력은 송풍기에 접속한 풍관의 길이에 따른 용량으로 처리되지만 집중방식에 비해서 접속개소가 증대하기 때문에 누풍이 일어나기 쉽다. 2) 면관을 사용 가능하지만 이 경우 접속부분이 압력 때문에 찌그러들어 마찰저항을 증가시키는 단점이 있다. 3) 그밖에 집중방식 1) 2) 참조

송기식	집중방식		설비배기식 집중방식과 거의 같지만 풍관의 배기구를 막장부근에 만들고 갱구에서 신선한 공기를 풍관을 통해 막장부에 송기하고 발생가스를 갱도를 통해 배출하는 방법	1) 막장부근에서 발생하는 가스는 갱도를 통해서 배출되므로 갱도전장에 오염되어 중간에서 작업이 행해지는 경우 배기식 집중방식에 비해서 바람직하지 못하다. 2) 배기식 집중방식과 같이 풍관의 작업진도에 따라서 연결하여 막장의 정화가 실시되지만 배기구와 막장과의 거리가 30m 정도이상 떨어진 경우 송기된 신선한 공기가 막장까지 도달하는 것이 곤란하기 때문에 배기구를 최대한 막장에 접근시키거나 국소 순환용 팬을 병용할 필요가 있다.
	연속직열식		설비는 배기식 연속직열방식과 마찬가지지만 신선한 공기는 풍관을 통해서 막장에 송기하고 발새가스를 터널내를 통해서 배출시키는 방식	배기식 연속 직열방식의 1) 2) 및 송기식 집중방식을 참조
송배기병용식	집중방식		배기식 집중방식과 송기식 집중방식의 2계열 환기설비로 이루어진 방식, 송기계의 송풍기는 배기계의 송풍기보다 능력을 크게하고 송풍기의 배기구를 배기계의 흡입구보다 갱의 흡입구보다	1) 배기식 집중방식과 송풍식 집중방식의 단점을 보충할 수가 있다. 따라서 터널이 긴 경우 또는 횡갱, 사갱, 입갱을 지나서 본갱이 개조(착)되는 경우, 도 굴진속도의 향상에 의해 발생 가스량이 증가하는 경우 작업환경이 악화되는 것을 해결하기 위해서는 이 방식이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 그러나 한기설비의 설치방식에 의해서는 효과가 없어질 수도 있으므로 이점을 유의할 필요가 있고 또 앞으로 기술적으로도 규명되지 않으면 안되는 문제점이 있다.

			갱구측의 적당한 위치에 설치공사의 진도에 맞추어 풍관을 연결시킴	2) 이 방식은 전단면 굴착에 의한 경우에 적합하다. 도갱 선진굴착 등에서는 확폭구간이나 라이닝 구간에서 풍관을 중단하지 않으면 안되는 경우가 많으므로 불리하다. 3) 송기계의 풍관에는 면관을 사용할 수 있지만 배기계의 풍관은 갱관이 아니면 안된다.
	연결직열방식		배기식 연속직열방식과 송기식 연속직열방식의 2계열의 환기설비로 이루어지는 방식	1) 재기계의 풍관에도 면관을 사용할 수 있지만 집중방식에 비해서 접속개소가 증가하기 때문에 누풍이 일어나기 쉬우므로 이점을 고찰하는 것이 중요하다. 2) 그 밖에 집중방식 및 배기식 직열방식, 송기식, 직열방식을 참조.
송배기병용식	집중방식		배기식 또는 송기식 집중방식에 있어서 송풍기의 바람방향을 조작에 의해 전환하고 송배기하는 방식	1) 전단면 굴착에 적당하고 막장에서 발생하는 발파가스에 대해서는 배기식으로 해서 사용하고 갱도전체를 오염하는 내연기관의 배기가스등에 대해서는 송기식으로 해서 사용한다. 2) 풍관은 경관이 아니면 안된다. 3) 그밖에 배기식 집중방식 및 송기식 집중방식을 참조.
	연속직열식		배기식 또는 송기식의 연속식의 연속직열방식에 있어서 송배기 병용의 특수한 송풍기를 사용하고 발생가스의 상태에 따라서 송풍기의 회전을 전환해서 송배기 하는 방식	1) 송풍기의 운전에는 원격제어방식(제어반의 설치 필요)을 택하고 막장 책임자의 지령에 의해 송기 배기의 전환을 행한다. 2) 송・배기 병용의 특별한 송풍기를 사용하는 경우 송풍기를 역전해서 송・배기하기 위하여 송풍기의 구조상 효과가 양쪽 동일하지 않으므로 구입에 대해서 이점을 충분히 확인해서 사용하는 것이 필요하다. 3) 그 밖에 집중방식을 참조

국부순환용송풍기			배기식 또는 송기식의 환기효과를 기대하기 위해 막장에 보조적으로 설치하는 것	송풍기의 용량 및 설치위치가 적절할 때에는 주환기계와 협력해서 막장에서 발생하는 가스를 효율좋게 환기할 수 있기 때문에 막장의 설비로서 넓게 사용하는 것이 요망되고 있다.

619
방재설비

619.1 적용 범위

본 편람의 방재설비 부분은 도로 구분 상 지방지역의 자동차 전용도로에 속하는 2차선 터널의 방재 설비 설계에 적용함을 원칙으로 한다. 이 밖에 기타 도로에 속하는 일반 유료도로의 2차선 터널에서도 본 장의 내용을 준용하나, 이 때에는 '2.2 방재 설비의 설치 기준'에 표시된 각종 설비 중 화재감지기, 소화설비 중 물분무설비, 유도표시판, 비상방송설비, 라디오 재방송설비, 감시용 텔레비전(CCTV) 설비, 비상용 조명설비, 비상용 전원설비 등은 생략할 수 있다. 또한, 3차선 단면 이상의 터널에서도 대 단면 터널의 조건을 충분히 고려하여 본 편람을 준용할 수 있다.

619.2 설치 기준 및 설계

2.1 방재 설비의 종류

도로 터널 안에서는 화재 및 기타의 사고가 발생했을 때 신속하게 사고의 발생을 터널 관리소에 통보하고 임기응변적 조치를 하지 않으면 2차적인 재해를 발생시킬 위험성이 있다. 특히, 화재 사고가 발생했을 경우 터널 안은 공간이 한정된 특수한 환경에 있으므로 뒤따르는 차에 화재가 확산되어 큰 화재가 될 가능성이 있다. 따라서, 화재 발생에 대비하여 터널에는 다음과 같은 각종 방재 설비를 설치한다.

2.1.1 소화 설비

소화 설비는 터널 안의 자동차 화재를 소화 또는 제압하기 위한 설비이다. 소화설비에는 일반적으로 설치하는 소화기나 소화전 설비 이외에도 소화능력을 강화하기 위한 설비로서 물분무설비가 있다.

(1) 소화기 : 소규모 화재의 초기소화를 목적으로 설치되는 것으로서 기구의 운반과 취급이 간단해야 한다.
(2) 소화전 : 보통의 화재에 대한 주체적인 소화 설비이며, 일반적으로 호스 연결식의 것이 설치된다.
(3) 물분무설비 : 자동 밸브 병용의 원격 조작 분사 노즐에서 분무되는 소화 설비로서, 화재 지점의 일정 구획 내 일제방수에 의해 화재의 진압 및 화재의 확산을 방지하므로서 소화 활동을 쉽게 하는 것이다.

2.1.2 경보설비

경보설비는 화재의 사고 발생을 신속하게 터널 관리소에 통보하고 비상경보의 발령, 소화 및 구조활동을 요청하기 위한 설비이며, 기기 설비에는 다음의 것이 있다.

(1) 비상경보(비상벨)설비 : 화재발생시 화재장소 또는 중앙감시실에서 터널 내에 경보를 발령하여 화재를 통보하기 위한 설비이다.

(2) 화재감지기 : 터널 안에서 발생한 화재로부터 열, 연기, 빛 등을 감지하여 자동적으로 화재 발생의 위치를 수신반에 알리는 것이다.
(3) 비상방송설비 : 비상시 중앙감시실에서 방송을 통하여 대피지시 등을 할 수 있도록 하는 설비이다.

2.1.3 피난설비

(1) 비상조명등 : 터널 내부에서 정전시 위험을 방지하기 위해 정전 직후부터 자가 발전 설비의 시동 때까지 무정전 전원에 의해 비상등을 점등하여 최소로 필요한 조명을 확보한다. 또한 자가 발전 설비 시동 후는 터널 안의 안전을 확보하는데 필요한 조명을 점등하는 것이다.
(2) 유도표지판 : 터널 내 위치나 입출구부 방향 및 거리를 표시하여 화재시 사람을 안전하게 유도하는 표지판이다.

2.1.4 소화활동설비

(1) 제연 설비 : 터널 안 화재의 연기가 차도 내로 자유롭게 확산되는 것을 방지하고 신속히 터널 밖으로 강제적으로 배연하기 위한 설비이다. 보통 환기 설비가 있는 터널에서는 송풍기의 역전 또는 송·배풍량의 제어에 의해 연기의 확대를 억제하는 방식으로 하고 있다.
(2) 무선통신 보조설비 : 소방대원이 화재장소에서 화재진압시 외부 소방대원과 무선통신이 가능하도록 소방대상물에 동축케이블 등을 설치하여 상호 연락이 가능하도록 하는 것이다.
(3) 연결송수관설비 : 소방대상물의 외부에서 내부의 화재장소까지 소방용수를 공급할 수 있도록 설치하는 배관, 송수구, 방수구 등으로 구성된다.
(4) 비상콘센트설비 : 화재장소에서 전원을 공급받을 수 있도록 설치하는 콘센트 설비이다.

2.1.5 통보·경보설비

(1) 비상 전화 : 터널 안의 교통 사고나 화재사고 등의 비상시에 사고 당사자 또는 발견자가 터널 관리소에 연락하기 위한 비상 전용의 전화이다.
(2) 정보표시판 : 터널 안의 비상사태 발생시 터널 밖의 주행차량에게 터널 안의 이상을 빨리 알려 진입을 정지시키므로서 사고의 확대를 방지하는 것으로 전광식, 자막식, 신호식 등이 있다.

2.1.6 기타설비

(1) 비상용 전원 설비 : 화재 등의 비상시에 터널 안에 설치한 각종 안전설비의 기능을 확보하기 위한 설비이다.
(2) 라디오재방송설비 : 터널로 진입·통과하는 차량에서 라디오를 수신할 수 있도록 하는 설비(AM, FM)이다.
(3) 감시용 텔레비젼(CCTV) : 터널 내외부 상황을 관리사무실에서 모니터를 통하여 확인하므로서 긴급상황에 대처할 수 있도록 하는 설비이다.
(4) 대피설비 : 터널 내 재해 발생시 사람이나 차량이 대피할 수 있도록 하는 설비로서 인접 터널로의 피난연락갱, 대피갱이 없는 단선터널의 경우 가압대피실 등이 있다.
(5) 비상주차대 : 차량의 고장이나 사고시 1차 사고를 낸 차량이 다른 사고를 유발하지 않도록 다른 차량의 주행에 방해가 되지 않게 주차

시키는 비상 주차 장소이다.

(6) 덕트냉각설비 : 환기용의 송배기 덕트를 이용하여 화재시 배연운전을 하려할 때 환기기를 열적 손상으로부터 보호하기 위한 설비이다.

(7) 기타 하저터널, 광산통과지역 터널과 같이 특수한 터널에서는 유독가스의 누출을 감시하는 가스발생경보기, 과대한 수몰을 방지하기 위한 방수벽, 화재가스의 확산을 차단하기 위한 방화벽, 복합통신망, 그리고 대피소, 대피공간, 대피로 등에 대한 설비가 있다(본 장은 일반적인 터널을 대상으로 하므로 이들 설비에 대한 사항은 설명하지 않았음).

2.2 방재 설비의 설치 기준

터널 안에서의 화재 및 교통사고와 같은 비상시에 발생할 수 있는 재해를 최소화하기 위해 모든 설비를 갖추어 안전을 기하는 것이 최선의 방법이지만 모든 터널에 대하여 동일 규모로 설비를 갖춘다는 것은 투자 효과 측면에서 합리적이지 않다. 즉, 해당 터널의 이용도, 터널의 관리방식, 화재유관기관의 접근성 정도, 교통방식 등을 고려하여 적합한 방재 설비의 요구도를 확인하고 그에 맞는 설비 규모를 선정하는 것이 중요하다. 터널 길이에 따른 방재 설비 표준은 <표 619.1>과 같다.

2.3 방재 설비의 설계

터널 방재설비의 설치 위치 및 간격에 대해서는 <표 619.2>에 표시한 것을 표준으로 하나 단계건설이 계획된 양방향 도로터널 건설에는 방재 설비의 규모 및 설치 계획을 환기 계획과 종합하여 경제성, 시공성을 기준으로 종합적으로 결정해야 한다.

<표 619.2>에 표시한 방재 설비와 그 외의 방재 설비 및 부속 설비를 계획하고 설계할 때의 세부사항은 다음과 같다.

2.3.1 소화 설비

(1) 소화기

소화기는 화재 초기 단계에 사용하는 소화기구로 중요한 것이지만 화재가 다양해지고 복잡해짐에 따라서 각종의 기종이 시판되고 있으므로 소화 성능, 적용 범위를 고려하여 유효적절한 기종을 선정해야 한다. 일반적으로 소화기는 소화 대상물의 종별에 따라 다음과 같이 분류된다.

- A 화재용 : 목재, 종이, 직물 등의 보통 화재용
- B 화재용 : 가솔린, 등유 등의 기름 화재용
- C 화재용 : 전기가 통하고 있는 전기 기기, 전기 설비 등 전기 화재용

<표 619.1> 방재 설비의 설치 기준

방재시설 \ 터널연장(m)			4,000 이상	2,000 이상	1,000 이상	800 이상	500 이상	200 이상	200 미만	비고
소방설비	소화설비	소화기	○	○	○	○	○	○	○	터널입구 정보표지판 등 방재설비는 터널여건 및 주변상황에 따라 필요시에는 기준 터널연장 미만의 터널에도 설치할 수 있음.
		옥내소화전설비	○	○	○					
		물분무설비	○							
	경보설비	비상경보설비	○	○	○	○	○			
		화재감지기	○	○						
		비상방송설비	○	○	○					
	피난설비	비상조명등	○	○	○	○	○	○		
		유도표지판	○	○	○					
	소화활동설비	제연설비	○	○	○					
		무선통신보조설비	○	○	○	○	○			
		연결송수관설비	○	○						
		비상콘센트설비	○	○	○	○	○			
기타시설	통보·경보설비	비상전화	○	○	○	○	○			
		정보표지판	○	○	○	○				
	기타설비	비상전원설비	○	○	○	○	○	○		
		라디오재방송설비	○	○	○	○	○	○		
		CCTV	○	○	○					
		대피설비	○	○	○					
		비상주차대	○	○	○					

<표 619.2> 방재 설비의 설치 위치 및 간격[1)]

방 재 시 설				설치위치와 설치방법	설치간격
소방설비	소화설비	소 화 기		옆벽부분에 격납상자를 설치하고 그 내부에 2개 1조로 하여 격납한다. 소화전이 설치될 때는 병설한다.	50m (소화전과 병설시 50m 이내)
		옥내소화전설비		옆벽 한쪽에 설치한다.	50m 이내
		물분무설비		옆벽 한쪽에 설치한다.	4～5m
	경보설비	비상경보설비		소화기 또는 소화전함에 병설(비상벨 설비)	
		화재감지기			
		비상방송설비		옆벽 상부에 설치한다.	50m
	피난설비	비상조명등		야간점등회로를 이용하여 옆벽 상부 또는 천장에 설치	
		유도표지판		대피 연결갱 부근 및 그 중간부의 옆벽에 설치	200m
	소화활동설비	제 연 설 비		환기설비와 병용	
		무선통신보조설비		라디오 재방송 설비와 병용	
		연결송수관설비		50m 간격으로 방수구 설치	
		비상콘센트설비		소화기 또는 소화전함에 병설	100m
기타시설	통보·경보설비	비 상 전 화		옆벽에 전화박스를 설치하고 그 내부에 설치하는 것을 원칙으로 한다.	200m
		정보표지판		터널 갱구 부근 및 터널 내 비상 주차대에 설치	
	기타설비	비상전원설비		수배전반에 설치	
		라디오재방송설비			
		CCTV		터널 경사, 선형, CCTV 품질 등을 고려하여 가시거리가 확보되도록 설치	150～200m
		대피설비	대피연락갱	쌍터널 또는 대피갱이 있는 경우에 설치(방화문 포함)	750m
			가압대피실	대피갱이 없는 단선터널의 경우에 설치 가능	750(400)m [2)]
		비상주차대		원칙적으로 주행차선 쪽에 설치한다.	750m

1) 방재시설 설치기준은 일방향 2차선 터널을 표준으로 작성된 것으로 터널 연장 및 차로 수, 선형 등의 특수여건 고려시와 소방법령에 적합하고 관할 소방서와의 합의 도출시에는 보완(시설의 가감)하여 시설할 수 있다.

2) 400m 간격은 터널이용도가 높은 도시터널 등에 적용함

각종 소화기 중 도로 터널용의 소화기를 선정할 때에는 다음의 조건을 고려한다.

- 자동차 화재의 특수성을 고려하여 특히 B 화재에 대하여 소화 능력이 큰 것
- 터널 안의 좁은 공간을 고려하여 격납, 운반, 소화 조작이 쉬운 것
- 유독 가스를 발생하지 않는 것
- 온도, 습도의 변화에 의해 소화제가 변질되지 않고 장기간 보존되며, 유지 관리가 쉬운 것 등

이상의 전제 조건 하에 터널용 소화기를 선정하면 손잡이식의 분말(인산염) 소화기 6.0 kg 형이 적절한 것으로 판단된다. 실제 터널 안에서 생기는 화재의 종류나 규모는 자동차의 종류, 적재물의 종류와 양에 따라 매우 다르다. 따라서, 각종 화재에 대응할 수 있도록 A, B, C 화재용을 채용하여야 한다.

손잡이식 분말(인산염) 소화기 6.0㎏형의 개략적인 성능은 아래와 같다.

- 방사 거리 : 4～6m
- 방사 시간 : 15초

여기서는 일반인이 손잡이식 분말 소화기를 쉽게 조작할 수 있다는 것을 전제하였는데, 이는 자동차에 탑재되는 소화기가 소형의 분말(인산염) 소화기가 많고, 이것과 취급 방법이 같은 것이 바람직하다는 판단에서 위의 소화기를 선정하였다.

소화기는 격납상자에 넣어서 설치하고 소화기 격납상자의 문에는 '소화기'라고 표시한다.

소화기의 설치 간격은 소화 활동의 기동성에 따라 결정되는데, 터널 안에서는 일반 건물 내와는 달리 소화기의 격납상자에 직선적으로 도달할 수 있다고 생각되는 25m를 최대 행동 거리로 보고 설치 간격을 50m로 한다. 그러나 소화전이 설치될 경우는 같은 장소에 병설하도록 한다. 또한, 소화기 2개를 1조로 하여 격납상자에 비치하므로서 두 사람이 동시에 소화에 참여할 수 있도록 한다.

(2) 소화전

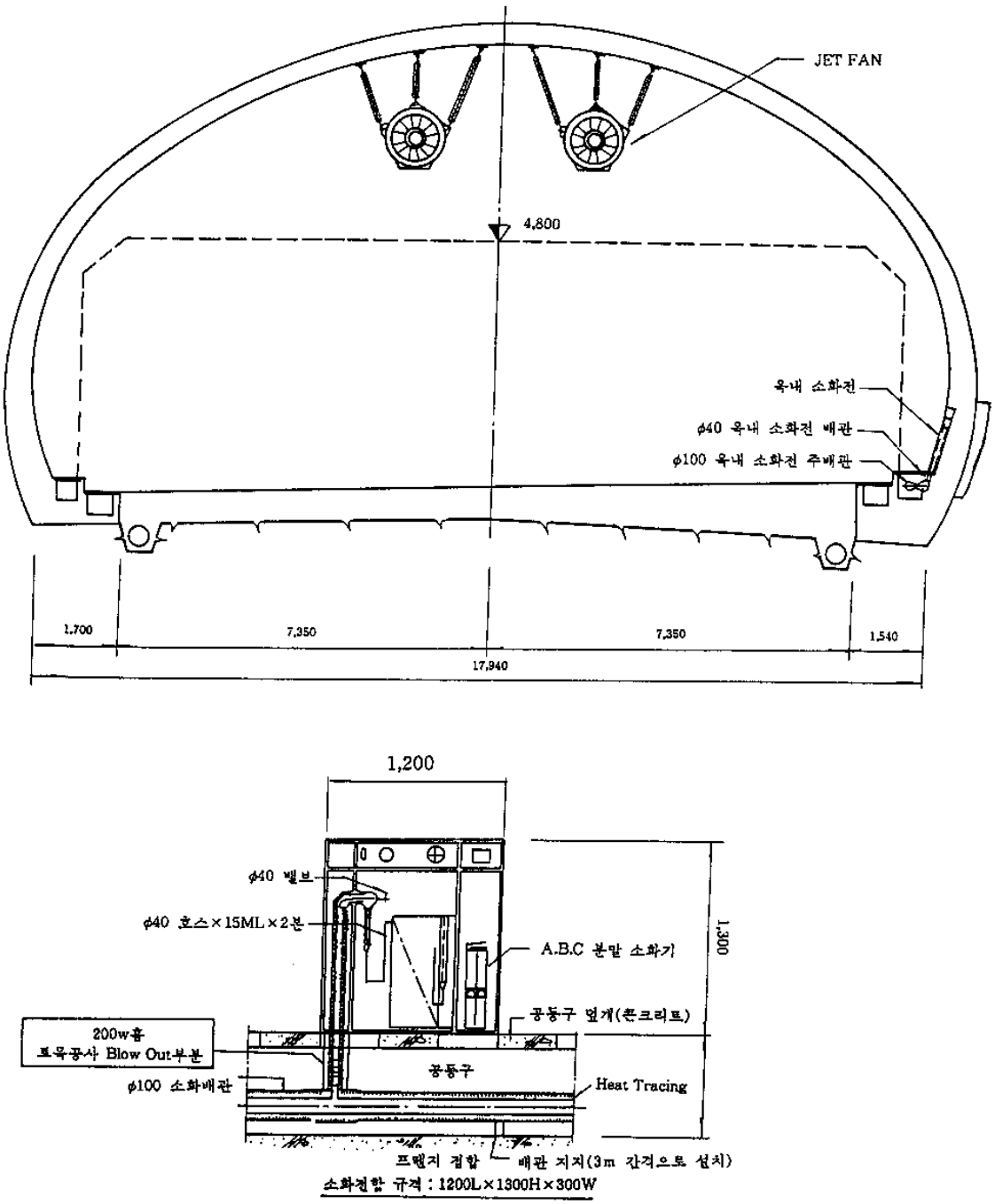
소화전은 구경 40㎜ 소화전으로 하고, 방수압력은 3.0㎏/㎠ 이상, 노즐 1개의 살수량은 130ℓ/min 이상이며, 길이 30m의 호스 및 노즐(분무 전환 노즐 달림)을 연결한 호스식으로 한다. 또한 소화전 3개를 동시에 살수했을 때에도 위의 조건을 만족시켜야 한다.

소요 살수 압력과 살수량을 얻는 방법으로는 고위 저수조로써 항상 소화전에 상기 살수압을 얻을 수 있는 압력을 가해 두는 방법과 소화전의 위치에서 펌프 가동 스위치를 누름으로써 소화 펌프를 원격 운전하여 위의 살수 압력을 얻는 두 가지 방법이 있으며, 이 중 어느 방식을 선정할 것인가는 각 터널의 입지 조건을 감안하여 결정한다.

터널 안의 동일 화재 현장에 대하여 소화전의 동시 사용은 호스 길이를 고려하면 3개의 동시 살수가 한도라고 판단된다.

한랭지에서는 급수관 및 소화전이 얼지 않도록 보호해야 한다.

소화전은 격납 상자에 넣어서 설치하고 격납상자에는 '소화전'이라 명시한다. 각 소화전이 반경 25m를 담당할 수 있도록 하여야 하므로 터널의 폭원에 따라 소화전의 설치 간격은 50m 이내로 정하여 터널 측면부에 설치함을 표준으로 하며, 터널 측벽의 한쪽에 설치한다. <그림 619.1>은 소화전 설치 예이다.



<그림 619.1> 소화전 설치 단면도 예

(3) 물 분무설비(살수기)

살수기 설비는 급수 본관에서 분리되는 살수기에 살수구를 만들고 살수구에서 물을 분산 살수하여 화재를 진압과 동시에 화재시 발생하는 열에 터널 시설이 손상하지 않도록 냉각 보호하고 복사열을 차단하여 소화 및 대피작업을 용이하게 하고 아울러 다른 차량으로 불이 확산되는 것을 방지하는 것이다.

살수 구간은 화재 지점과 어긋나지 않도록 하기 위해 화재 감지기의 동작으로 해당 구획의 자동 밸브가 열리는 제어 방식으로 하며, 구획의 경계에서 발생하는 화재에도 대처하기 위해 2구획 동시 살수가 가능한 것으로 한다.

살수기의 살수는 화재의 발생을 화재 감지기로 감지하고, 수신기로 자동 밸브의 선택 및 소화 펌프를 가동시켜 관리자가 감시용 텔레비전(CCTV)으로 화재 지점을 확인한 후 자동 밸브로 살수하는 방식이 일반적이다.

자동 밸브의 개폐 조작은 관리 사무소나 터널 환기소 또는 터널 안에서 할 수 있도록 하고 화재 지점의 이동에도 대처할 수 있도록 해 두어야 한다.

물 분무설비의 살수 구간에 대해서는 화재의 영향 범위를 20~30m라 생각하고 여기에 다소의 여유를 두어 다른 설비와의 설치 간격을 고려하여 터널 종단 방향 50m를 1구간으로 한다. 구획의 경계에서 발생하는 화재에 대처하기 위해 두 구간을 동시에 살수할 수 있는 것을 표준으로 한다. 또, 가솔린 화재에 대한 살수기의 살수량은 실험 결과에서 노면 1㎡ 당 6ℓ/min 이상의 수량을 살수하면 충분한 억제 효과가 있다고 확인된 바 있다. 또한, 이 수량을 가능한 한 노면에 균일하게 분산시켜 살수하기 위해 살수기 헤드를 주행, 추월 양차선 일체용으로 하는 것이 바람직하며, 설치 간격은 4~5m 정도로 한다. 살수기 헤드는 보수 점검을 쉽게 하기 위해 감시원 통로 옆벽 상부에 설치하고, 설치 높이는 차도면 위에서 3.7m 정도를 기준으로 예시하였다('일본도로공단 설계요령' 참조).

2.3.2 경보설비

(1) 비상경보설비(비상벨)

비상경보설비(비상벨)는 '화재 통지 설비에 관계되는 기술상의 규격을 정하는 법령'에 정한 발신기에 준하는 것이어야 한다. 비상벨은 P형 발신기와 R형 발신기가 있다. P형 발신기란 각 발신기가 공통의 신호(스위치의 개폐 접점으로 신호를 보낸다)를 수신기에 발신하는 것이다. 따라서, 발신 위치를 알기 위해서는 구획 수만큼의 표시용 전기선을 만들어야 한다.

R형 발신기는 각 발신기가 개개 고유의 신호를 수신기에 발신하는 것이며, 수신기로 발신기에서 나온 고유 신호를 선별 수신하거나 발신 위치를 알 수가 있다. 따라서 표시 구획을 세분화하여도 표시용 전기선은 공통으로 할 수가 있다.

기기의 선정은 기본적으로 발신 위치 표시의 필요성과 그 경제성에 의해 결정되는데, 터널 안이라는 환경을 고려하면 방재관리시스템을 운영하지 않는 길이가 짧은 터널에서는 구조적으로 단순하고 실용성 높은 P형 발신기를 적용하고, 방재관리시스템을 운영하는 길이가 긴 터널에서는 P형에 비해 고가이지만 방재관리 능력이 뛰어난 R형 발신기의 이용이 타당하다.

표시등의 설치 위치는 비상벨의 위쪽에 만드나 터널의 구조나 내장에 제약이 될 때도 있으므로 소화전, 소화기, 수동 통보기와 같은 박스의 상부에 설치해도 된다. 비상벨에는 '화재통

보기'라는 글자판을 달고 위쪽은 적색표시등을 부착하여야 한다.

비상벨에는 스위치를 눌렀을 때 점등하는 동작 확인 응답 램프 및 보수 관리에서의 신호 동작 확인용으로 수신반과 전화연락이 되는 전화 잭을 만든다.

비상벨의 설치 위치는 비상시 차도면에서 쉽게 조작할 수 있는 높이를 고려하면 1.2~1.5m가 적당하다. '소방시설의 설치·유지 및 위험물 제조소 등 시설의 기준 등에 관한 규칙'에서는 발신기 누름 스위치를 바닥으로부터 0.8~1.5m 높이에 설치하도록 규정하고 있다.

설치 간격은 사용상의 편리성과 경제성을 고려하여 결정되지만 터널 안에 설치되는 다른 설비(소화전, 소화기 등)와 같이 설치하는 것이 비상시의 활동에 편리하다는 점에서 50m 간격으로 한다. 또한, 비상벨을 설치하는 터널에서는 보통 비상 전화가 설치되므로 비상 전화로 통보함과 동시에 비상벨도 작동할 수 있도록 비상 전화와 병설하는 것이 바람직하다.

(2) 화재감지기

화재감지기로서는 화재 시에 발생하는 열, 연기, 빛을 감지하는 것이 일반적으로 사용되고 있으나 터널 안에서는 자동차의 배기 가스, 환기류의 영향을 받지 않는 것이어야 한다.

열식 감지기는 화재 발생 시에 주위 온도가 일정한 온도 이상으로 되었을 때 작동하는 것이다. 연기 감지기는 화재 발생 시 연기에 의해 이온 전류 또는 광입자의 입사량이 변화하는 것을 이용하여 작동하는 것인데, 터널 안이라는 환경을 고려하면 열 효과나 연기 효과는 자동차 배기 가스, 환기류의 영향을 받기가 쉽고 오보할 위험성이 크다고 할 수가 있다. 한편 복사식 감지기는 화재의 깜박이 양이나 복사량이 일정한 수준에 이르면 작동하는 빛 감지식이라는 점에서 터널 안의 자동차 배기 가스나 환기류의 영향을 받지 않고 화재의 발생을 가장 정확하게 파악할 수가 있으므로 터널에 가장 적합한 감지기라 할 수가 있다. 따라서 터널 내 화재감지기는 복사식 감지기를 사용하는 것을 원칙으로 한다.

화재 감지기의 화재 검출 감도는, 초기 소방활동에 의해 비교적 쉽게 화재를 진압할 수 있는 화재규모를 고려한다면 그 경계 범위 내에서 0.5㎡(70㎝×70㎝)의 불접시로 자동차 가솔린을 태웠을 때에 점화 후 30초 이내에 작동해야 하며, 주위의 광선 또는 주행 차량의 전조등, 긴급 자동차의 경계등에 의해 오보를 하지 않아야 한다.

갱구 부근의 태양 직사광의 영향을 받는 곳에서는 자연광이 갖는 에너지가 화재시의 에너지에 비해 훨씬 크고 이와 같은 조건에서 주행 차량에 의한 빛의 깜박이와 화재의 깜박이를 완전히 비교 선별하는 것은 실제로 문제가 있으므로 갱구에서 15m 이내의 범위에는 감지기를 설치하지 않아도 된다. 또한 갱구에서 15m 이상의 경우에도 터널의 입지 조건에 따라 자연광의 영향을 받는다고 생각될 때에는 충분히 조사를 한 후 적절한 설치 장소를 결정해야 한다.

화재 감지기는 그 동작에 의해 수신반에서 터널 안 살수기 및 비상 경보 설치가 연동으로 제어되므로 화재 경보의 확인 장치로 감시용 텔레비전(CCTV)에 의한 방식이 취해지고 있다. 화재 감지기는 수신반에서 개개의 검지기의 기능을 점검하기 위해 원격 시험 장치를 만들어야 한다.

감지기의 설치 위치는 너무 낮으면 빛을 받는 곳이 훼손되기 쉽고, 너무 높으면 화재시

연기에 의해 화염 감지가 나빠져 감지 능력이 떨어지므로 보수 점검이 쉬운 높이를 고려하여, 감시원 통로가 있을 때 통로면 위 1.0m, 감시원 통로가 없을 때 차도면 위 1.1m의 옆벽에 설치하는 것을 표준으로 한다.

감지기의 설치 간격은 감도조건을 만족시키는 것이면 특별히 제한할 필요가 없으나 터널 내부라는 특수성을 고려하여 될수록 단순하고 높은 신뢰도의 것을 필요한 만큼 설치해야 한다.

(3) 비상방송설비

비상방송 설비로는 확성 방송을 사용하는데, 확성 방송의 스피커 간격은 50m 정도로 옆벽 상부에 설치한다.

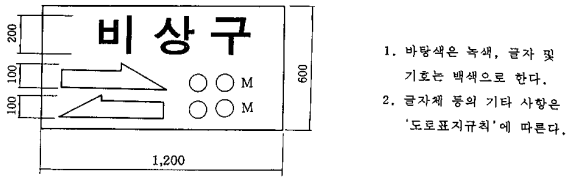
2.3.3 피난설비

(1) 비상조명등

터널 안에서 갑자기 정전되면 교통사고가 발생할 염려가 있고 대단히 위험한 상태가 예상된다. 때문에 정전 직후부터 무정전 전원설비에 의해 비상시 조명을 확보하기 위해서는 최소한 기본 조명시 조도의 1/8 이상의 밝기를 확보해야 한다. 보통 정전에서 자가 발전 설비가 작동할 때까지는 몇 분 정도 걸리므로 전원은 이 사이에 보장되는 용량이 필요하다. 또, 자가 발전 설비는 작동 후 터널 안의 주행 안정성을 확보하기 위해 기존 조명시 조도의 1/2 이상의 밝기를 확보해야 한다.

(2) 유도표시판

유도표지판은 터널 안의 재해시 차 밖으로 나온 사람에게 대피 장소로 유도하기 위해 연락갱의 위치를 알리는 것이며, 먼 곳에서 눈으로 확인되어야 하므로 내부 조명식을 표준으로 한다. <그림 619.2>는 표지판에 대한 표준 치수를 표시한 것이다.



<그림 619.2> 유도 표지판

표지판은 연락갱 부근과 그 중간의 옆벽에 설치한다. 설치 높이는 차도 면에서 1.5m, 설치 간격은 200m를 표준으로 하되 연락갱 간격을 고려하여 조정한다.

2.3.4 소화활동설비

(1) 제연 설비

터널 안에 화재가 발생했을 때 열에 의한 손상 이외에 연기 등(연기, 연소 생성 가스, 산소 부족 공기)에 의해 사고가 확대되고 피해가 커진다. 그러나 터널에서는 화재시 제연만을 위한 별도의 설비를 설치한다는 것은 비경제적이므로 환기 설비가 설치되는 터널에서는 가능한 한 환기용 팬을 화재시 제연설비로 사용(역전, 기타)하는 것이 바람직하다. 또 교통량에 따라 다르지만, 환기를 자연 환기에만 의존하는 터널에서는 길이가 특별히 길 경우나 일방 터널에서 상하행선 어느 한쪽에 환기용 팬이 설치된 경우에는 다른 한쪽의 터널에 배연 설비로서 방재용 팬(제트팬)을 설치하는 것이 바람직하다. 또한 방재용 팬의 설계는 본 편람 '618 환기설비'를 따른다.

(2) 무선통신 보조설비

무선통신 보조설비는 라디오재방송설비와 병설하여 설치한다.

(3) 연결송수관설비

연결송수관의 설치는 터널내부의 화재진압을 위한 용수를 공급할 수 있도록 배관, 송수구 및 방수구로 구성하여야 하고 방수구는 50 m 간격으로 설치하여 터널 내 화재 위치까지 소방호스의 분사거리 이내에 있도록 한다.

(4) 비상콘센트설비

비상콘센트설비는 소화기 또는 소화전함에 병설하되 그 간격은 100m 정도로 한다.

2.3.5 통보·경보설비

(1) 비상 전화

비상 전화는 일반 이용자가 정보를 정확하고 쉽게 통보할 수 있어야 하므로 한쪽 통화 방식보다 양쪽 통화 방식이 적합하다고 할 수가 있다. 또 전화의 종류, 형식 및 기종의 선정은 각 터널의 관리 체제에 따라서 비상 전화의 접수 방식이 다를 때가 있으므로 이에 적합하도록 발신 위치 식별의 필요성을 고려해야 한다.

비상 전화의 설치 위치를 분명하게 하기 위하여 내부 조명 방식으로 '비상전화'라고 표시하여 먼 곳에서도 볼 수 있도록 한다.

비상 전화의 설치는 경제성을 고려함과 동시에 발견자의 보행 거리를 최대 100m로 하기 때문에 설치 간격을 200m로 한다. 또한 터널 안의 소음을 차단하고 연락을 확실하게 하기 위해 터널 옆벽에 벽체를 만들고, 그 안에 전화기를 설치한다.

(2) 정보 표지판

정보 표지판은 확인성과 주위 환기력이 뛰어나고 순간적으로 정보가 제공되어야 하며, 전광식을 원칙으로 하나 규격이 낮은 일반도로에서는 저렴한 자막식 또는 투광식을 사용해도 된다.

정보 표지판은 비상시 이외에도 공사, 정전 등 터널 안의 상황을 표시하고 통행의 안전을 도모하도록 다목적으로 이용해야 한다.

대피 연락갱이 있는 터널에서는 화재 사고 등 비상시에 이용자가 대피 연락갱을 이용하여 반대쪽의 터널에 뛰어드는 것도 예상되므로 반대쪽 터널의 비상 경보 설비에도 정보를 제공해야 한다.

정보 표지판은 그 용도에 따라 점멸등이나 신호음 발생 장치를 조합하여 사용하며, 다음의 것이 있다.

① 터널 입구부 가변 표지판

터널 입구 가변 표지판의 설치 위치는 설계속도 80㎞/h 이상의 도로에서는 갱구 앞 300m 정도, 설계속도 80㎞/h 미만의 도로에서의 갱구 앞 150m 정도의 장소에 설치하되 도로 선형상 또는 부근의 장애물로 인하여 방해받지 않는 곳이어야 한다. 그러나 운전자가 표지를 확인한 후 터널내에서 소화나 대피 활동에 지장이 없는 위치(터널 입구 앞 50m)에서 차를 멈출 수 있도록, 설계속도 80㎞/h 이상의 도로에서는 갱구 앞 220m, 설계속도 80㎞/h 미만의 도로에서는 갱구 앞 110m의 최소거리를 확보해야 한다.

또한 터널이 연속되고 터널 출구와 터널 입구와의 간격이 300m 이하일 때는 그 사이에 가변 표지판을 설치하지 않고 전방에 있는 터널의 정보는 앞쪽의 터널 가변 표지판으로 대

신한다.

② 터널 내 가변 표지판

터널 내 가변 표지판은 터널 내의 자동차에 대하여 이상 사태를 신속하게 경고하고 사고의 확대를 방지하는 설비이며, 비상 주차대가 있는 터널에 설치하는 것이 바람직하다. 설치 위치는 비상 주차대에 설치하여 운전자가 눈으로 확인하기 쉬운 장소에 설치한다.

2.3.6 기타설비

(1) 비상용 전원설비

수배전반에 다음과 같은 설비를 설치한다.

① 자가 발전 설비 : 상업용 전원의 정전 시에도 방재 설비의 기능을 유지하기 위한 설비이며 보통은 다른 설비의 비상용 전원설비와 공용하고 있다.

② 무정전 전원 설비 : 상업용 전원의 정전 시 자가 발전 설비를 가동하기까지의 사이에 방재 설비의 기능을 유지하기 위해 축전지와 인버터를 조합하여 전원을 공급하는 설비이다.

(2) 라디오재방송설비

방송 설비로서 스피커로 음성을 전달하는 확성 방송만을 이용할 경우, 창문을 닫고 주행하는 운전자는 방송을 듣지 못할 수도 있으므로, 자동차 라디오를 이용하는 라디오 방송도 아울러 설치한다.

라디오 방송 설비는 보통 터널 근방의 수신 가능한 라디오 방송을 재방송하고 긴급 시에는 라디오 방송을 중단하고 긴급방송을 할 수 있도록 방송용 마이크 시설을 갱구, 비상주차대 및 관리사무소에 설치하여야 한다.

라디오 재방송 설비의 설치 위치는 옆벽 상부에 양쪽 설치를 표준으로 한다.

(3) 감시용 텔레비전(CCTV) 설비

카메라의 영상은 감시원이 상주하는 관리 사무소에서 감시하며, 그 회전수를 결정함에 있어서는,

- 1화면의 이상 유무를 확인하는 데 필요한 시간
- 카메라 대수
- 터널 안 전체의 이상 유무를 확인하는 데 필요한 시간 등을 검토하여 결정한다.

일반적으로 1,500m 정도의 터널에서 필요한 카메라 대수는 20대 정도이며, 한 화면 당 3~5초로 확인하고 터널 내 전체를 1분 이내에 확인할 수 있는 것으로 하면 한 방향 1모니터의 텔레비전이 필요하다. 따라서, 상하행 각 한 대 및 임의의 장소를 선택할 수 있는 공통 모니터 텔레비전을 합쳐서 모두 세 대의 모니터 텔레비전을 표준으로 한다.

따라서, 위와 같은 감시 카메라 설치 방식으로 할 때 이보다 긴 터널의 경우에는 카메라 대수, 터널 길이에 따라서 모니터 텔레비전 대수를 늘려야 한다.

감시용 CCTV 설비는 화재 감지기, 비상벨 및 비상 전화기의 신호에 따라 자동으로 작동하여서 모니터 텔레비전을 포함한 전체의 전원을 켬과 동시에 자동적으로 그 지점의 카메라를 선택하여 관리 사무소에 보낼 수 있도록 한다. 카메라는 여열(余熱) 방식으로 한다.

텔레비전 방식은 기기의 설계와 제조 및 보수가 유리한 방식을 채택한다.

카메라는 보수 작업을 쉽게 하기 위해 제어부분을 분할하여 감시원 통로벽 위의 옆벽에

설치하고, 카메라 헤드 사이는 카메라 케이블로 접속한다.

감시용 카메라의 설치 간격은 터널의 선형 및 종단경사, 식별 가능한 화상의 크기, 사용하는 렌즈의 초점 거리를 고려하여 결정해야 한다. 터널의 선형이나 종단경사에 의한 카메라의 시야는 보통의 직선 터널일 때 매연에 의한 시각거리의 제한, 카메라 설치 부근의 사각(死角) 문제를 고려하여 렌즈의 초점 거리가 50㎜나 75㎜의 렌즈를 사용하게 되고 이 때의 설치 간격은 150～200m가 된다.

설치 위치는 광학적인 카메라 앵글 외에도 자동차 전조등에 의한 화상의 열화방지나 보수점검의 용이성을 고려하여, 감시원 통로가 있을 때는 그 위 2.5m의 위치로 하고, 주행 차량을 쫓는 방향으로 설치하는 것을 표준으로 한다.

(4) 대피 설비

① 상하행선이 분리된 쌍터널

대피 설비로서 쌍터널에서는 상하행선을 잇는 연락갱이 있다.

환기 방식이 횡류 또는 반횡류 방식일 때는 환기 덕트가 있으므로 화재시 배연효과가 기대되고 배연에 유리한 환기 방식이라 생각된다. 그러나 에너지 절약 및 경제성의 관점에서 종류 환기 방식이 적용되는 터널 길이가 길어지면서 유지 관리가 쉽고 복잡한 조작이 필요 없는 설비여야 한다는 점이 필요하다. 따라서, 대피 설비로서 확실성이 높은 대피 연락갱은 쌍터널에서는 비교적 설치하기가 쉽고 대피 이외에도 평상시의 유지 관리에도 많이 사용된다는 점에서 유효한 설비이다. 설치에 있어서는 과거 쌍터널의 실시 예를 고려하면 700～800m 정도가 일반적인 설치간격이며, 750m 정도의 간격으로 비상 주차대와 병행으로 설치한다.

이 경우 연락갱의 규모는 화재진압 자동차와 구급차의 통행을 용이하게 하기 위해 연락갱의 차도공간 3.5m×3.5m를 포함하여 측벽간격은 5.0m를 표준으로 한다. 최근 대피연락갱의 부속설비인 방화문의 규격을 폭 4.5m× 높이 4.8m로 적용한 사례가 있다. 그러나 터널내 사람의 대피 및 진압장비의 통과용으로 계획할 때는 폭 1.8m×높이 2.2m를 표준으로 한다.

② 양방향 2차선 터널(단계건설 계획 포함함)

환기 방식이 횡류 또는 반횡류 방식일 때 화재시의 연기는 팬의 역전에 의해 배연효과가 기대된다. 그러나 종류 환기 방식일 때는 발생 연기가 차도를 따라 하부로 흐르므로, 하부에서 화재 발생 지점으로 진행하는 차량에 대한 위험성이 커지기 때문에 대피 설비로서 확실성이 높은 대피용 터널을 설치할 필요가 있다.

그러나 대피용 터널을 설치하는 데는 많은 건설비가 들기 때문에 그 노선의 성격이나 기술적 조건 등 방재에 대한 종합적인 검토를 하여 설비 규모를 결정해야 한다. 그렇지만 방재대책이 특별히 중요하다고 생각되는 교통량이 많은 터널 길이 2,000m 이상의 긴 터널에는 화재시의 연기를 고려하여 별도로 대피갱을 만들거나 횡류 또는 반횡류 환기방식을 사용하여 환기 덕트 내에 배연하는 조치를 취하는 등 화재시의 연기에 대한 배려가 필요하다. 이 때 별도 대피갱을 만드는 터널에서는 연기의 이동속도와 대피 가능 범위에서 대피 연락갱을 300～350m 정도의 간격으로 만들어야 한다. 이 때 연락갱의 규모는 쌍 터널의 경우와 마찬가지로 사람의 통과를 위하여 폭 1.8m×높이 2.2m를 표준으로 한다.

별도 대피갱을 계획하지 않는 경우에는 50~100명 정도를 수용할 수 있는 가압대피실(pressurized refuge)을 도시터널에서는 400m 간격으로, 교통량이 적은 터널에서는 800m 간격으로 설치하는 사례가 외국에서 시행되고 있다. 이 때 가압대피실의 규모는 폭 4.0m 이상으로 50㎡의 면적을 확보하고 있다. 가압대피실을 계획할 때에는 장래의 쌍터널로의 단계건설을 고려하여 설치간격을 750m로 하는 것이 바람직하다.

대피설비는 위의 설비 외에 안전한 대피를 확보하기 위하여 방화문을 포함한 부속 설비를 <표 619.3>과 같이 고려할 수 있다.

(5) 덕트 냉각 설비

덕트 냉각 설비에는 열 감지기, 살수기 헤드, 자동 벨브, 배수관 및 펌프, 저수조 등으로 구성되는데, 덕트 내 배기 온도가 일정수준에 도달하면 작동하는 열 감지기의 신호를 받아서 자동적으로 살수기에서 살수하여 덕트 내 기류를 냉각하는 것이다. 살수기는 환기기와 터널을 연결하는 송배기 덕트에 만드는 것을 표준으로 하고 살수 및 그 배수가 차도면에 지장을 주지 않도록 배려해야 한다.

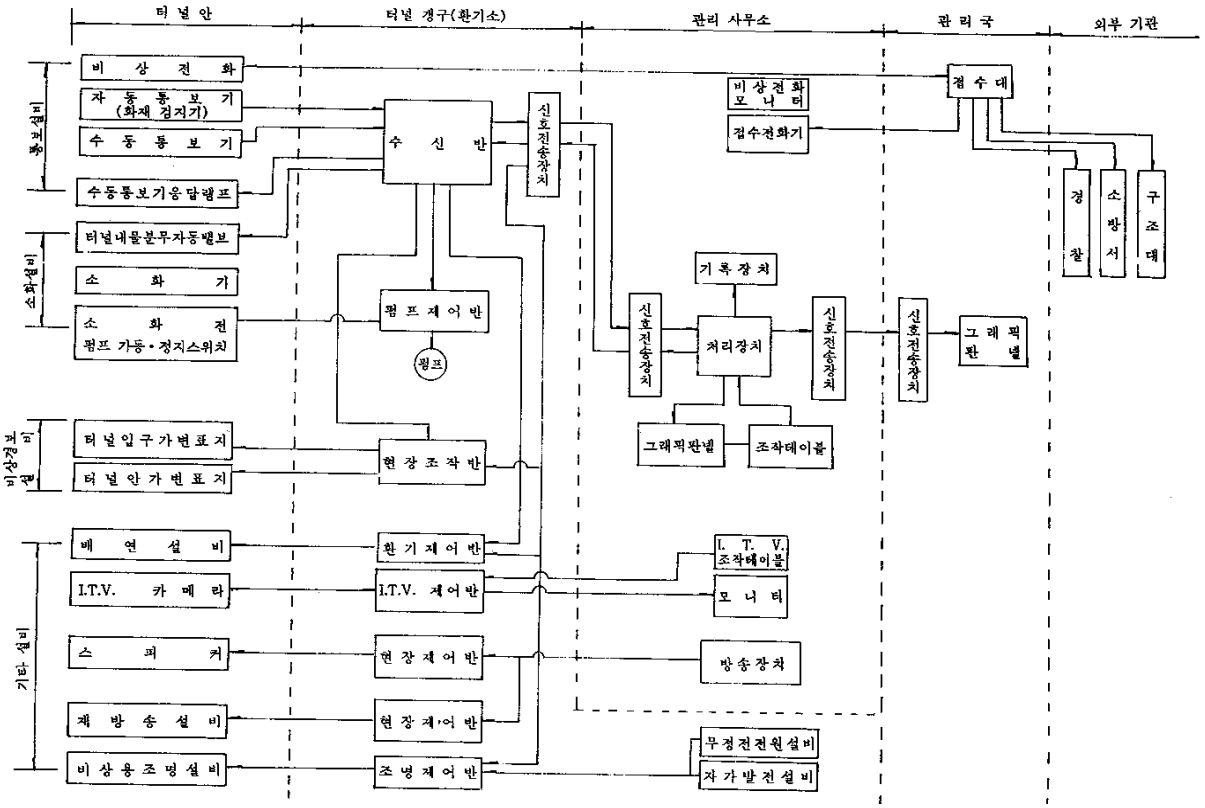
2.4 방재 감시 시스템 설계

터널 안의 사고 통보는 일반적으로 이용자로부터 비상경보설비 또는 비상 전화에 의존하며, 화재의 경우는 화재 감지기에 의존하고 있다. 그러나 일반 사용자는 터널 안의 상황을 정확히 통보하는 일에 익숙하지 못할 때가 많으므로 터널 안을 순시하는 회수를 늘리든지, 아니면 감시 설비를 만들어 관리 사무소에서 감시를 해야 한다.

감시 방법에는 감시용 텔레비전(CCTV) 카메라로 직접 감시하는 방법과 일산화탄소 측정계(CO계), 매연투과율 측정계(V.I.계), 기타 농도 검출 장치나 교통량 측정기(traffic counter), 침체 검지기에 의해 이상 사태를 식별하는 간접적인 감시 방법이 있다. 원격 감시 제어 설비로 터널 안에 대한 정보를 관리 사무소에 전송하고, 이를 관리 사무소에 수신, 감시하여 방재기기를 조작하며, 개개의 기구가 유효하게 운용되도록 터널의 관리 체제를 충분히 검토하여 시스템을 구성해야 한다. <그림 619.3>은 방재 시스템 계통도를 표시한 것이다.

<표 619.3> 대피 설비의 부속 설비

설 비 명	비 고
표 시 등	내(內)조명식 표지판, 항시 점등
조 명 등	대피 연락갱에 설치, 항시 점등
방 화 문	대피 연락갱에 설치, 연기의 유통저해, 개폐 용이
비출(飛出) 방지책	대피 연락갱에 설치, 반대측 터널로의 유입을 방지
비 상 전 화	대피 연락갱에 설치하는 것이 바람직
기 타	대피시의 주의 사항 표시



<그림 619.3> 방재 시스템 계통도

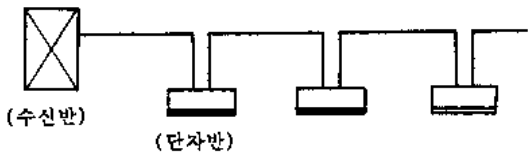
터널 안의 교통 사고나 화재 사고도 일반도로 상의 사고의 경우처럼 경찰이나 소방서와 공동으로 처리하므로 사고 통보는 중대한 임무이다. 또, 사고 현장에 사고 대책 본부가 만들어질 때는 본부의 지시나 통보를 정확히 전달함과 동시에 환기, 조명의 관리용 제 설비의 적절한 운전 조작을 통하여 사고 현장의 환경을 정비 유지하는 일도 중요하다.

2.4.1 전송 방식

(1) 터널 안의 각종 방재 단말 기기와 환기탑내의 갱구에 설치되는 수신반 사이의 신호 전송 방식에는 다음과 같이 세 가지가 있는데, 방식을 결정할 때에는 기기의 종류, 터널의 길이 및 관리 체제를 충분히 검토하여 결정하여야 한다.

- 1 : 1 에 의한 직송 방식
- 직류 패널 조합 방식
- FS 변조 디지털 사이클릭 방식

(2) 수신반과 터널 안의 단자반 사이의 배선은 과거 개개 단자반 단독으로 배선하는 방식이 많이 채용되고 있었으나 케이블 길이가 길고 유지 관리가 곤란하다. 그래서 터널 내 간선은 보통 감시로 내에 설치한 관로 내에 배선되기 때문에 외력에 의한 손상의 염려도 적으므로 케이블의 보수가 쉬운 건네기선(渡線) 방식을 표준으로 한다(<그림 619.4> 참조).



<그림 619.4> 단자반의 배선 방식

(3) 방재 기기의 전원 용량 및 선로의 설계에서는 화재 발생 지점을 판별하기 위해 터널 안을 구획으로 나누고(1구획 50m) 있으나, 동시 작동 개수는 구획 경계에서의 화재가 발생하거나 퍼지는 것을 고려하여 기본적으로는 3구획 분을 작동하는 능력을 갖게 하는 것을 원칙으로 하고 아래 사항에 따른다.

① 화재 감지기

화재의 규모는 차량의 연소 형태에 따라 천차만별이므로 작동 개수는 1개에서 수십 개에 이르기까지 각종 경우가 생각되나, 동일 구획 내에서는 최초 1개가 작동하면 화재 신호가 보내지므로 1구획 내 1개의 작동 용량을 가지면 된다. 또, 구획의 경계부에서의 화재나 충돌에 의한 화재로 급격하게 확대하는 대규모의 화재에 대해서는 2구획 이상의 감지기가 동시에 작동한다고 생각되므로 인접 2구획(2개)과 다른 구획(1구획)의 합계 3개가 동시 작동이 가능하게 한다.

② 비상벨은 터널 통행자가 눌러서 작동하는 것이므로 확률적으로 동시에 몇 개가 눌리는 경우는 자주 발생하지 않으므로 원칙적으로 2개로 한다.

③ 자동 밸브는 살수가 2구획 동시 살수된다는 것을 고려하여 2개 동시 작동으로 설정한다. 자동 밸브는 여는 솔레노이드와 닫는 솔레노이드를 갖고 있으나 자동 밸브의 기능상 개폐 동시 작동은 불가능하므로 전기선로의 허용 저항치를 계산할 때에는 자동 밸브 1개 당 솔레노이드 1개 분을 고려하면 된다.

④ 감지기 회로의 전원 용량은 화재에 의한 감지 작동을 한 감지기에 흐르는 작동 전류와 나머지의 감지 동작을 하지 않는 상태에서의 경계 시 전류를 합하여 구한다.

(4) 터널 안에 설치되는 각종 방재 기기의 전원 회로에는 DC 24V와 DC48V가 많이 사용되고 있으나 살수기 자동 밸브의 구동 수압이 높으면 DC 24V에서는 불안정해지므로 전원 전압은 DC48V로 높게 하고 솔레노이드의 흡인력을 증가시켜 작동이 안정하게 됨과 동시에 전송선로의 전원 강하를 고려하여 보다 경제적으로 설계한다.

(5) 신호 전달을 직송 방식으로 할 때에는 계전기에 흐르는 전류가 특히 중요한 요소가 된다. 계전기의 감응작동 전류는 전압 변동, 주위 온도 변화에 따라 변하므로 최소 감응작동 전류의 1.8배의 여유두기를 하여, 다음 관계를 만족시키도록 한다.

$$R_L < [\ E/(1.8 \times I_{min}) - R^R\ ]$$

여기에서,

R_L : 전로 저항(Ω)

R^R : 계전기의 저항(Ω)

E : 회로 전압(v)

I_{min} : 계전기의 최소 감응작동 전류(A)

(6) 유도 장애는 크게 나누면 전자 유도 장애와 정전 유도 장애로 나뉜다. 전자 유도 장애는 전자 유도 작용에 의해 전송선로에 높은 전압이 발생하거나 잡음이 생기며, 정전 유도 장애는 전송선로의 정전 용량을 통한 전압에 의한 장애이며, 특히 벼락에 의한 영향이 크다. 따라서, 이러한 유도 장애에 의한 오동작을 피하기 위해 충분한 보호 대책을 강구하여야 한다. 또한, 방재 설비의 전원은 수전 전원 계통에 환기, 조명, 펌프 등 각종의 기기가 접속되어 있으므로 이것들에 의한 오동작이 생기지 않도록 기기 설계시에 충분한 조사 및 검토를 하고 보호 대책을 강구해야 한다.

(7) 유도 장애, 벼락 및 순간 정전에 의해 방재 설비가 만일 오동작을 했을 때 물 분무 설비가 자동적으로 살수를 하면 교통의 장애가 되고 대단히 위험한 상태가 되므로 수신반~물분무 자동 밸브 사이는 만일에 대비하여 전송 방식에 관계없이 강제적으로 물분무 살수 정지를 할 수 있는 직전송 회로를 만들어야 한다.

(8) 터널 안에 전송 장치의 기기를 설치할 때는 이들 기기가 터널 내 화재시에 발생하는 열 등에 의해 중대한 손상을 받지 않고 충분히 기능을 발휘할 수 있어야 하므로 기기를 대피 통로에 설치하거나 기기에 방열판을 만드는 등의 보호 대책을 강구해야 한다.

2.4.2 수신반에서의 표시 구획

화재 감지기의 1표시 구획은 살수기의 구획에 맞추어 필요한 장소에서 50m(터널 사정에 따라서 48m)로 한다. 이것은 한쪽 설치에서 8개 분에 해당한다. 또, 살수기가 없을 때에도 이에 준하여 1구획 50m로 한다.

비상벨은 대략 그 발보(發報)위치를 알면 되므로 1표시 구획을 500m로 하는 것을 원칙으로 한다.

살수의 개폐 표시는 1살수 구획, 1자동 밸브라는 생각에서 자동 밸브 개수 표시를 한다. 단, 수신기 반면 표시로서 닫힌 표시를 한 개로 대표해도 좋다.

2.4.3 설비 상호간의 관련

비상 경보 설비의 조작은 CCTV의 설비를 설치할 때에는 터널 안의 상황을 확인한 후 하는 것이 바람직하나 감시 설비를 설치하지 않았을 때는 비상벨 또는 화재감지기와 자동 연동하여 '진입금지', '화재' 또는 '진입금지', '사고'의 표시를 해야 한다. 단, 관리 사무소에서 원격 수동 조정도 할 수 있어야 한다.

관리 사무소에서 살수 설비의 살수 구획이 모두 제어되는 것이 바람직하나 원격 감시 제어 설비비가 대단히 많이 소요되므로 살수 구획의조작은 감지기와 자동 연동으로 설정하여야 한다.

단, 장대 터널 및 해저 터널의 특수한 장소는 관리 사무소에서 원격 수동으로 살수 구획의 조정을 할 수 있는 것이 좋다.

소화전 설비의 가압 펌프 가동은 소화전 상자 안에 만든 가동 스위치의 조정으로 한다

2.5 급배수 설비의 설계

2.5.1 수원(水源)

터널 방재용의 수원은 일반적으로 물이 마르지 않는 안정된 수량이 확보되는 공공용 상수도로 하여야 한다. 도시 근교에 근접하여 건설된 고소도로는 공공용 상수도로 수원 확보가 비교적 쉽게 얻을 수가 있지만 근래 이와 같은 입지 조건이 좋은 터널은 감소되고 있다. 따라서, 입지 조건이 나빠 수원의 확보가 곤란할 때는 터널 용수, 하천 및 늪, 우물 등에서 물을 얻도록 한다. 또한 터널 용수, 하천 및 늪, 우물물로 수원을 확보할 때는 연간 조건이 가장 나쁜 갈수기의 물량을 조사하여 주 수조에 12시간 이내에 만수가 되는 수량을 원칙으로 한다.

2.5.2 수조

주 수조의 용량은 소화전과 살수기 설비 용수를 동시 사용하는 조건에 따라 사용분 만큼 확보해야 하며 안정도를 고려하여 필요살수량을 40분간 사용할 수 있는 양에 20% 정도의 여유를 주어야 한다. 또한 덕트 냉각 설비가 있을 때는 이것도 포함하여 고려해야 한다.

수조의 깊이 한도는 펌프 흡입 위치에서 수조 및 바닥판 상단까지의 실제 깊이와 배관의 마찰 손실 수두의 합계가 6㎜Aq를 넘지 않도록 한다.

저수조는 지진, 바람 및 부식 작용에 의한 누수가 생기지 않는 것이어야 하며, 일반적으로 철근 콘크리트제로 하고, 필요에 따라서 점검구, 사다리 및 수위 표시기를 만든다. 또, 급수 방식은 저수조의 수위가 낮아지면 자동적으로 급수하는 방식으로 한다.

호수조(呼水槽)는 화재시에 소화활동을 신속히 하기 위해 배수관을 항상 채우고 아울러 자동 밸브 작동의 유지 및 펌프의 호수용(呼水用)으로 설치하는 것이며, 호수조를 단독으로 설치할 때의 저수 용량은 1㎥ 정도가 바람직하다. 또, 호수조는 동결 방지를 고려해야 한다. 호수조의 수위 결정은 자동 밸브 장치의 동작 수압 유지를 위해 정수두(靜水頭)로 15m 이상 잡을 수 있는 위치가 바람직하다.

(1) 수조 용량의 계산 식과 계산 예

① 살수기 설비의 살수량

$$Q_1 = 1.1 \times \ell \cdot w \cdot t$$

여기에서,

Q_1 : 살수량(ℓ/min)

ℓ : 살수 구간 길이(2구획 동시 살수 50m × 2 = 100m)

w : 살수 대상 폭[7.0m(차선) + 0.5m(측대) × 2]

t : 단위 살수량(6ℓ/min/㎡)

여기에서, 계수 1.1은 10%의 여유를 잡은 것이다.

$$Q_1 = 1.1 \times 100 \times 8 \times 6 = 5280(\ell/\text{min})$$

② 덕트 냉각 설비의 살수량

$$Q_2 = \frac{(t - t_c) \cdot V \cdot \gamma \cdot P}{\varepsilon \cdot \eta} \times 60$$

여기에서,

Q_2 : 냉각에 필요한 살수량(ℓ/min)

t : 배기 온도(℃)

t_c : 팬 보호 상의 한계 온도(℃)

V : 배기 풍량(㎥/sec)

γ : 배기 비중(kg/㎥)

P : 배기 비열(0.2417 ㎉/kg℃)

ε : 물의 기화열(㎉/kg)

η : 물의 냉각 효율(0.5)

$$\gamma = 1.2931 \times \frac{273}{273 + t_m}$$

t_m : 평균 온도([t + t_c]/2)

또한 배기 온도(t)는 다음에 따라 구한다.

$$(t - t_0)V \cdot \gamma \cdot P = g \cdot c \cdot s \cdot \alpha \cdot \beta$$

여기에서,

t_0 : 송기 온도(30℃)

g : 연소물의 연소 속도(자동차용 가솔린 : 0.049 kg/sec・㎡)

c : 연소물의 발열량(11.00 ㎉/kg)

s : 연소 면적(30㎡ 이상으로 한다)

α : 불완전 연소 계수(0.9)

β : 열손실 계수(0.9)

또, 물의 기화열(ε)은 0~180℃ 사이에 있는 온도 t'에 대해,

$$t=539.1 - 0.6428\times(t'-100) - 0.000834\times(t'-100)^2$$

으로 구해진다.

③ 주 수조 용량

주 수조 용량은 터널 길이에 의해 설치되는 설비의 내용에 따라 다르기 때문에 그 필요에 따라 결정한다(<표 619.4> 참조).

<표 619.4> 주 수조 용량

터널 길이	설비명	필요물량	주 수조 용량
1,000m 이상	소화전 급수전	130 ℓ/min・개 × 3개 = 390 ℓ/min 400 ℓ/min・개 × 2개 = 800 ℓ/min	(390+800) ℓ/min×40min ×1.2=57㎥
4,000이상의 터널 중 물 분무기가 있을 때	소화전 급수전 물분무	130 ℓ/min・개 × 3개 = 390 ℓ/min 400 ℓ/min・개 × 2개 = 800 ℓ/min 2,640 ℓ/min・구획×3구획=5,280 ℓ/min	(390+800+5,280) ℓ/min ×40min×1.2≒310㎥

주) 환기방식에 의한 송배풍기 보호용 덕트 냉각설비가 필요할 때는 이를 가산하여야 함

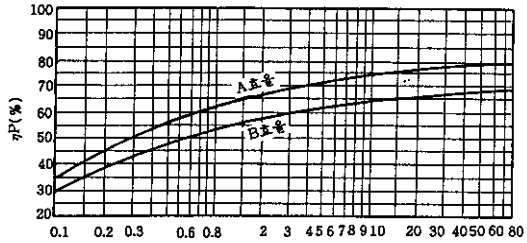
2.5.3 펌프

펌프는 양수량, 양정(揚程), 효율, 출력, 기종 등 여러 가지 조건을 충분히 검토한 후 선정하여야 하며 아래의 것을 표준으로 한다.

- 취수 펌프 : 수중 터빈 또는 소용돌이
- 가압 펌프 : 가로형 터빈 또는 소용돌이
- 호수(呼水) 펌프 : 수중 터빈 또는 소용돌이

가압 펌프의 양정 허용 한도는 관로 각 부에서 100㎜Aq 이하가 되는 것이 원칙이다. 취수 펌프 능력은 주 수조를 12시간 이내에 만수시킬 수 있는 것이 원칙이다.

펌프 효율은 기종, 양수량, 양정, 회전수 기타 여러 가지 조건에 따라 변하므로 일단 <그림 619.5>에 표시한 효율을 기준으로 전동기 출력을 산출해야 한다.



단, A 효율 : 펌프 특성 곡선이 나타내는 최고 효율
B 효율 : 펌프의 사양 수량의 기준 효율

<그림 619.5> 토출량과 펌프의 효율 관계도

펌프의 양정, 유량, 축 동력, 전동기 출력 등은 아래의 식으로 구할 수가 있다.

① 전 양정

$$H = h_a + \Sigma h_f + h_o$$

여기에서,

H : 전 양정(m)

h_a : 실 양정 (m)

Σh_f : 관로의 손실 수두의 합(m)

h_o : 관로 말단의 잔류 속도 수두(m)

② 유량

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 V \times 60$$

여기에서,

Q : 유량(㎥/min)

D : 관 지름(m)

V : 유속(m/sec)

③ 축 동력

$$P_s = \frac{r \cdot Q \cdot H \times 0.163}{\eta P}$$

여기에서,

P_s : 펌프 축 동력(㎾)

r : 양수의 단위 체적 당 중량(kg/ℓ)

ηP : 펌프 효율

④ 전동기 출력

$$P_m = \frac{r \cdot Q \cdot H \times 0.163}{\eta P} \times (1+\alpha) = P_s(1+\alpha)$$

여기에서,

P_m : 전동기 출력(㎾)

α : 여유도(0.10~0.20)

<표 619.5> 관의 종류

시 공 장 소	관 종	규 격
터널 안 및 터널 밖 배수주관	수도형 T형 원심력 덕타일 주철관	KS F 4412 - 87
취수관(취수조~주 수조) 호수 배관(주 수조~호수조)	비닐 라이닝 강판	규격품의 관이음 내면에 경질염화 비닐관 및 수지를 라이닝 한 것
펌프 실내 배관	비닐 라이닝 강관	규격품의 관 및 이음 내면에 경질염화 비닐관 및 수지를 라이닝 한 것

2.5.4 관로

관로는 관의 종류, 구경, 수압, 관의 길이 및 마찰 손실을 고려하여 펌프의 말단 기기에 필요한 물량을 필요한 압력으로 방출할 수 있도록 설계해야 한다.

관의 종류는 경제성, 시공성 및 유통성(流通性)을 고려하여 선정해야 하나 과거의 실적을 고려하여 <표 619.5>를 표준으로 한다.

관의 지름, 유량 및 평균 유속, 마찰 손실수두에 대해서는 여러 가지 실험식이 있지만 현재는 일반적으로 Hazen-Williams의 공식이 많이 사용되고 있다. 또한 이 공식의 유속 계수 값은 관의 사용 연수가 지남에 따라 작아지는 경향이 있으므로, 새로운 관을 설계할 때에는 유속 계수 값으로 20년 후를 생각하여 <표 619.6>의 값으로 한다.

<표 619.6> 유속 계수의 값

관 종 류	유속계수 값
강 관	100
모르타르 라이닝 주철관	130
도 금 강 관	130

<그림 619.6>과 <그림 619.7>은 Hazen-Williams의 식에 의한 유량 계산 도표를 나타낸 것이다.

Hazen-Williams의 공식

$d = 1.6258\ C^{-0.38} \cdot Q^{0.38} \cdot I^{-0.205}$

$Q = 0.27853\ C \cdot d^{2.63} \cdot I^{0.54}$

$V = 0.35464\ C \cdot d^{2.63} \cdot I^{0.54}$

$I = h/\ell = 10.666\ C^{-1.85} \cdot d^{-4.87} \cdot Q^{1.85}$

여기에서,

d : 관의 지름(m)

Q : 유량(m^3)

V : 평균 유속(m/sec)

I : h/ℓ = 동수 경사

C : 유속 계수

h : 관로의 길이(ℓ)에 대한 마찰 손실수두(m)

<표 619.7>은 관 내의 평균 유속의 최대 한도를 나타낸 것이다.

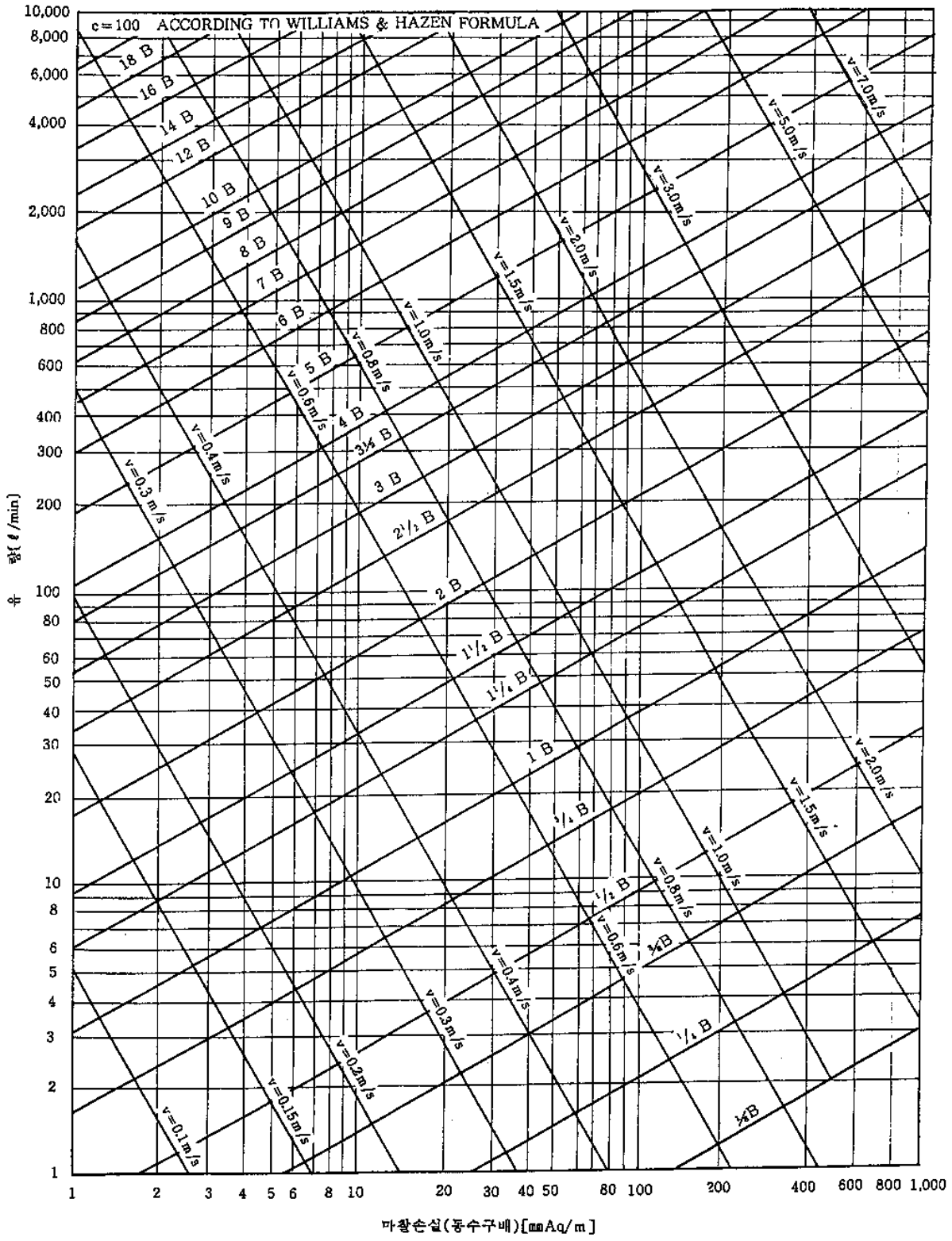
<표 619.7> 관 내의 평균 유속의 최대 한도

관 내면 상태	평균 유속의 최대 한도 (m/s)
모르터 또는 콘크리트	3.0
강 또는 주철	6.0

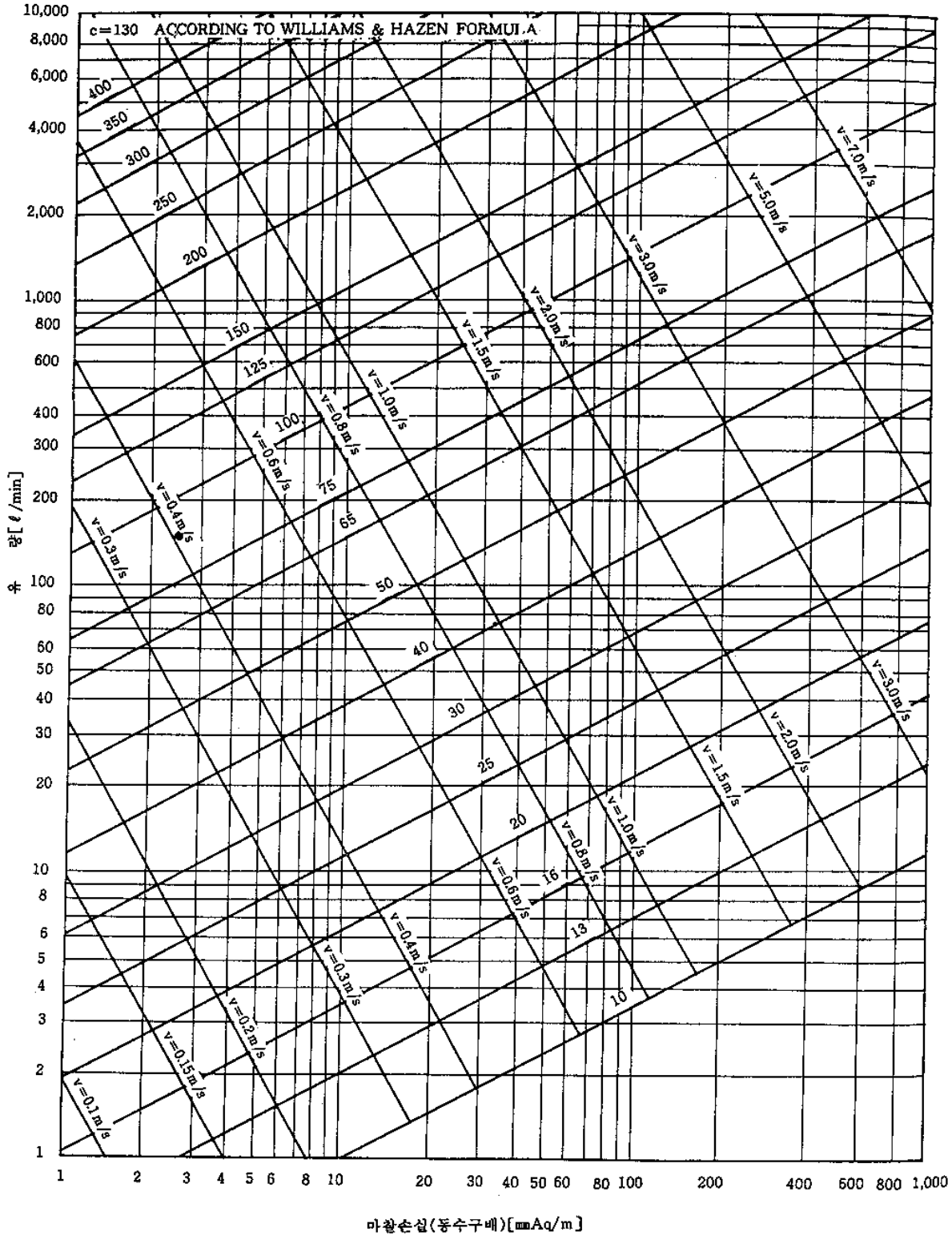
급수관의 부설은 루프 배관을 원칙으로 하나 터널의 지형상 부득이할 때는 제한을 두지 않는다. 또, 한랭지에서는 동결 방지 대책면에서 관 내 유체를 순환하게 하거나 흐르게 하도록 해야 한다.

관로의 시설 시 터널부와 밝은 곳의 경계 및 구조물과 토공의 경계 등 부등 침하의 발생이 예상되는 장소에서는 연성 이음부에 의한 완충 효과를 고려해야 한다.

관로의 굽어지는 부분, 분기점 등은 수압 및 부등 침하에 의한 관의 변형을 방지하기 위해 콘크리트로 타설하는 것이 바람직하다.



<그림 619.6> 유량 계산 도표 (C=100)



<그림 619.7> 유량 계산 도표 (C=130)

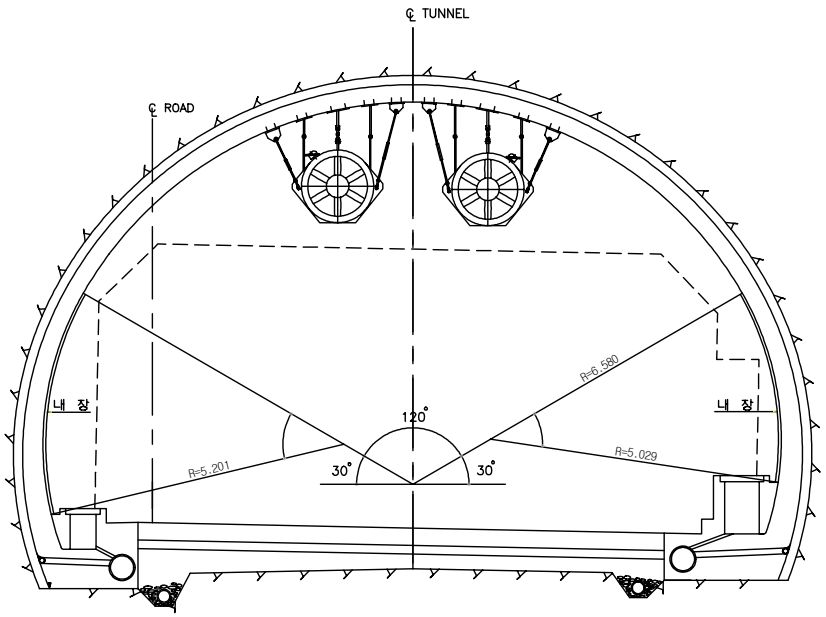
620
내장설비

620.1 적용 범위

본 편람에서는 터널 내장의 설치 기준, 구조, 재료 규격에 대하여 가장 기본적인 사항들을 다루고 있으며, 설계시에는 의도하는 바에 따라 현장의 조건에 맞게 합리적인 것으로 선택하여야 한다.

터널 내장에는 블록 붙임, 타일 붙임, 칠, 패널 붙임 등이 있다. 본 편람에서는 패널 붙임을 주요 대상으로 집필하였으나, 이것이 터널 내장을 패널 붙임으로 한정하는 것을 뜻하는 것이 아니라, 현장의 조건에 맞게 다른 공법에 대해서도 관련자료를 충분히 검토하여 선정하여야 한다.

현재 국내에서는 대부분 타일 붙임을 하고 있으나, 현실적으로 정량화된 설계기준 및 체계화된 설계지침서가 부족하여, 추후 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한, 내장 설치의 타당성을 조사하여 내장설비 없이 콘크리트 라이닝 자체로 내장을 대신하는 것도 적극적으로 검토할 필요성이 있다.



<그림 620.1> 내장판 설치 예

620.2 설치 기준

일반적으로 내장판은 다음 <그림 620.1>과 같이 좌·우측 벽면측에 설치하며 건설부에서 제시한 설치기준인 '도로의 구조·시설기준에 관한 규정 해설 및 지침(1990)'에 의하면 터널 등급 구분 A인 터널에는 일반내장을 설치하도록 되어 있다. 또한 갱구부근의 도로 소음을 낮추어야 할 터널에는 흡음내장을 설치할 필요가 있다.

여기에서, 일반 내장이란 터널 안의 양호한 시각 환경 확보와 주행조건 향상 등을 목적으로, 터널의 옆벽, 감시원 통로 및 등기구 주위에 설치하는 보통의 내장을 말한다. 특히, 고속도로 터널에서는 주행차량의 속도가 빠르므로 운전자에게 양호한 시거환경을 갖도록 하는 것이 중요하다.

흡음 내장이란 터널의 소음 대책을 목적으로 하는데, 터널 밖의 갱구 부근의 도로 소음 대책을 위해 설치하는 것이다.

단, 내장은 시설한계(길어깨부 및 검사원 통로부)에는 영향을 주지 않는 높이로 계획하며, 검사원통로와 측벽면에는 내장판의 설치여유폭 30mm를 확보한다.

터널 내장의 목적은 다음과 같이 요약된다.

- 터널내 조명을 균등하게 반사시켜 조명효과를 향상시킨다.
- 터널벽면의 위치를 운전자에게 쉽게 인식시켜 교통의 안전을 유도한다.
- 터널벽면의 요철을 균등화하고 운전자에게 중압감을 주지 않도록 한다.
  - 배선, 배관 등의 노출을 막고 미관을 살린다.
  - 불규칙한 콘크리트 라이닝면을 조정한다.
  - 벽면에 노출된 누수 등을 눈에 띄지 않게 한다.
- 터널안의 소음을 흡수한다.

이러한 항목들을 개선한다는 것은 일반적인 주행 상황에서는 큰 문제가 되지 않지만, 장시간 주행이나 고속 주행이라는 주행조건에서는 중요한 의미를 갖고 있다. 즉, 터널 측벽부의 조명 반사율을 유지하는 동시에 여러 가지 부대 시설물의 은폐에 의해 터널 안의 시각 환경을 개선한다는 것은 운전자에 대한 불필요한 시각 자극의 방지, 장애물의 조기 발견과 안정된 추적을 용이하게 하고 안전 주행 확보의 한 요소로서 커다란 의미가 있다.

또한, 근래 도로 소음에 대한 개선 요구도 커져 갱구 부근의 종합적인 소음 대책의 일환으로서 흡음 내장도 필요한 실정이다.

620.3 내장이 구비할 조건

터널의 일반 내장 및 흡음 내장은 아래의 조건을 갖추는 것이 바람직하다.

- 내장 설치 폭은 터널 단면의 감소를 최소화하면서 좁은 범위에 시공할 수 있어야 한다.
- 내장 표면의 반사율은 장기적으로 양호하여야 한다.
- 내장 표면은 매연 등의 오염물이 부착되지 않고 또한 부착된 오염물은 물로 청소하기 쉬워야 한다.

- 내장은 구조상 어느 정도 이상의 강도와 내식성 및 내후성을 가지고 있고, 미관이 양호하여야 한다.
- 내화성이 양호하여야 한다.
- 흡음 내장은 흡음률이 높아야 한다.
- 경제적인 시공과 유지가 가능하여야 한다.

터널 내장은 앞 절에서 말한 설치 목적을 만족시켜야 하며, 내장이 설치되는 터널 안의 여러 조건을 고려하여 그 구비 조건을 정한다. 이 밖에 내장은 내장면에 자동차의 접촉이 있을 때에도 내장 구조의 파괴에 의해 2차적인 재해를 일으킬 염려가 적은 것이어야 한다.

620.4 내장의 구조 및 재료 규격

4.1 일반 내장(옆벽 내장)

여기서 말한 설계 조건의 구조 및 재료 규격은 과거의 실시 예나 조사 연구의 결과를 바탕으로 정한 것이다.

4.1.1 내장의 설치 폭

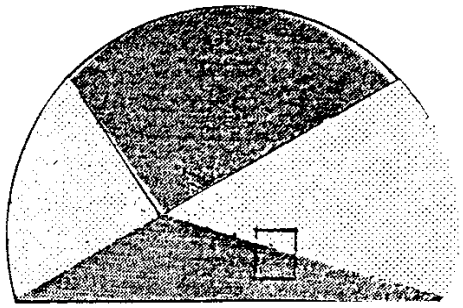
패널 붙임 내장의 설치 폭은 바탕까지 포함해도 10 cm 이내로 되어 있으므로 최대 10 cm 로 한다. 보통의 터널 내 배관·배선류는 그 안에 설치하며, 특히 지름이 큰 관은 콘크리트 라이닝 내에 매입하는 방법을 택한다.

4.1.2 내장판의 표면 페인트

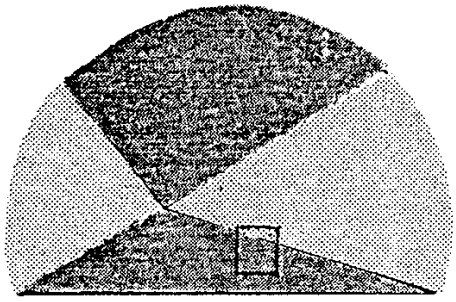
내장에 의한 조명 효과는 밝은 내장면에 의해 조명 효과를 향상시켜야 한다. 전방 차량의 장애물을 쉽게 인지(認知)하게 하기 위해 장애물의 배경을 밝게 하는 것이다. 차량의 장애물 인지에 대해서는 일반적으로 터널의 옆벽 부분을 밝게 하는 것이 장애물의 크기나 모양, 거리의 판단이 쉽게 된다. <그림 620.2>는 이것을 개념적으로 나타낸 것이다.

여기에서, (a)의 경우는 내장에 의해 벽면을 밝게 했을 때 노면, 벽면, 천장의 밝기 대비가 커져 투시도형의 윤곽이 명확하게 되고 장애물을 정확하게 인지하기가 쉽다. 그러나 (b)의 경우는 내장이 없고 벽면이 어두울 때 벽면, 노면, 천장의 밝기 대비가 작아지고 또한 벽면이 어둡기 때문에 장애물을 정확히 인지하기가 힘들다.

이들 효과를 얻기 위해서는 밝은 색조의 반사율이 높은 내장판이 바람직하다. 반사율은 최근 사용 실적이 있는 각종 제품의 실측 값을 참고로 하여 최저 60 % 이상으로 한다. 또한 반사율에는 거울면 반사율과 확산 반사율이 있고, 후자의 것이 시각에 주는 영향이 좋으므로 45°확산 반사율로 나타낸다.



(a)



(b)

<그림 620.2> 터널 안의 시각 환경 개선에 따른 장애물이 보이는 방법의 차이

4.1.3 내장판의 도료

현재 일반적인 내장판의 표면 처리는 아크릴수지 도료, 에폭시수지 도료, 아크릴우레탄수지 도료 등 유기질계 도료의 것과, 유리질의 실리카 등 기본제에 무기안료를 혼합한 도료를 용착시킨 무기질계 도료로 크게 나누며, 내장면이 더러워지기 쉬운 정도와 더러운 것이 잘 닦이는 정도(청소 효과)가 달라진다. 무기질 도료의 판과 유기질 도료의 판을 비교하면 가격은 후자가 비교적 싸지만 전자의 청소 효과가 뛰어나며 옆벽을 청소하는 작업량이 줄어든다. 또한 최근에는 옆벽 청소에 의한 오염 배수 처리도 문제가 되고 있다.

사용 후 10 년간에 대한 경제성 비교 결과는 두 판에 대한 우열을 가리기 힘들다고 한다. 그렇지만 무기질 도료의 판재를 사용했을 때는 청소 작업량과 오염 배수 발생량이 줄어 유지 관리비가 적게 소요되므로 종합적으로는 무기질 도료의 판재가 유리하다.

4.1.4 내화성

터널 안에서 화재가 발생하면 공간이 좁으므로 내장 설비에 불이 급속하게 번져 2차적인 재해가 커진다고 예상할 수 있다. 이 때문에 내장판은 열에 충분히 견디고 많은 연기나 해로운 가스가 발생하지 않는 것이 바람직하므로 불연재를 사용해야 한다.

4.1.5 내장판의 강도 및 기타의 물성

내장판은 내장의 바닥 간격에 따라 보통 작용하는 외력에 견딜수 있는 강도를 갖는 판재를 사용하며 <표 620.1>의 값을 참고로 한다.

내장판에 작용하는 외력으로는 시공시나 세정(洗淨)시의 하중이 생각된다. 여기서는 노즐 세정시 판면의 추정 수압력 0.11 kg/cm^2, 작업 폭 3.6 cm의 연직 방향으로 분포하는 세정 하중을 고려하는 경우를 예로 든다(<그림 620.3> 참조).

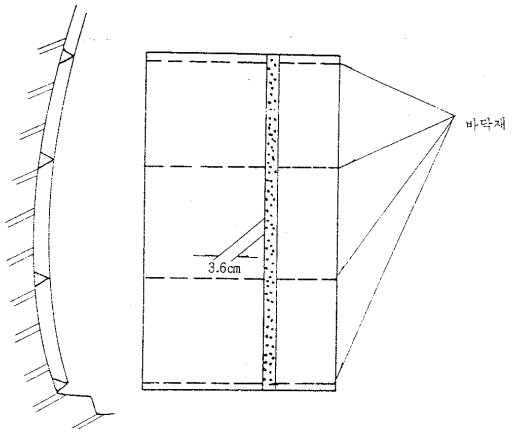
<표 620.1> 내장판의 휨파괴 하중과 바닥 간격

내장판의 종류	바닥간격	
	60~70 cm	70~75 cm
석면 시멘트판계	40 kg 이상	45 kg 이상
금속판계	25 kg 이상	30 kg 이상

또 바닥 구조는 후술하는 바와 같이 가로 바닥 배열로 하고, 시공성과 경제성을 고려하여 바닥 간격을 60~75 cm의 범위로 한다. 이들 조건에 내장판을 연속 슬래브라 생각하여 판의 휨파괴 하중과 바닥 간격의 관계를 구한다.

석면 시멘트계의 판재에 대해서는 그 특성상 외력이 휨파괴 하중에 이르면 균열이 생기고 동결 융해에 의한 강도가 떨어지므로 파괴의 안전율을 약 1.5로 하여 그 강도를 정한다. 한편 금속판계의 판재에 대해서는 외력이 휨파괴 하중에 이르는 균열 파괴를 일으키는 일이 없고 휨량이 증가할 뿐이며 구조적으로 비교적 안전하므로 안전율이 1.0을 밑돌지 않을 정도로 하여 판재의 강도를 정한다.

내장재에 대한 기타의 물성 기준 값은 석면 플레이트의 기준 값 및 현재 사용하고 있는 여러 가지 내장판의 재료 시험 값을 참고로 하여 정한다.



<그림 620.3> 세정 하중

4.1.6 바닥구조

패널 붙임 내장의 바닥구조는 다음과 같다.

- 바닥재의 배열은 가로 바닥 배열로 한다.
- 주요부재는 부재두께 5 mm 이상의 형강을 표준으로 한다. 강재는 평균 도금부량 550 g/m^2 이상의 용융 아연 도금재를 표준으로 한다.
- 바닥 간격은 60 cm~75 cm 간격을 표준으로 한다.
- 앵커볼트의 강도는 내장을 지지하는 데 충분한 것이어야 한다.

4.2 흡음 내장

터널이 위치하는 지역에 따라서 소음 감소 대책의 일환으로 터널 출입구 부분의 흡음 내장이 필요할 때가 있다. 그러나 갱구 부근의 소음 대책은 터널 안의 흡음 내장뿐만 아니라 갱구 부근의 흡음벽을 기타의 대책 공법과 아울러 종합적으로 하는 것이 바람직하다.

또한 흡음 내장의 경우에도 그 재료의 내화성, 내구성에 대해서는 일반 내장에 준하는 것이어야 하며, 이 외에 조명 효과가 양호하고 청소하기 쉬운 재료를 사용한다.

621
조명설비

621.1 개 요

1.1 일반사항

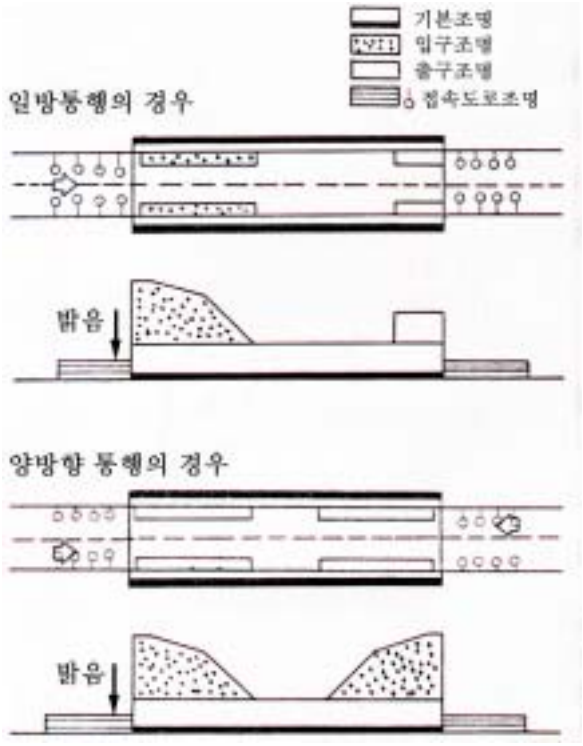
터널 조명은 일반 도로의 조명과 달리 주간에도 조명이 필요하다는 점과 주위가 측벽 등으로 제약되어 있으므로 조명학적으로 필요한 밝기를 기본으로 하여 설계속도, 야외 휘도, 교통량, 선형 등을 고려하여 적절하게 계획함으로써 운전자가 진·출입 및 주행시 불편을 느끼지 않도록 하여야 한다.

현재 도로터널 조명시설은 기본 조명, 입구 조명, 출구 조명, 접속도로 조명으로 크게 구분할 수 있으며, 설계 적용 기준은 다음과 같다.

- 한국산업규격 KS A 3011 조도 기준
- 한국산업규격 KS A 3701 도로 조명 기준
- 한국산업규격 KS A 3703 터널 조명 기준
- 전기설비 기술기준령 및 시행규칙
- 전기사업법 동 시행령 및 시행규정
- 소방법 동시행령 및 시행규칙
- 도로공사 설계기준(수량 및 단가산출)

1.2 터널 조명의 분류

터널 조명은 <그림 621.1>의 구성 예와 같이 기본 조명과 완화 조명으로 나뉘고, 각각의 설치 목적 및 설치 장소는 다음과 같다.



<그림 621.1> 터널 조명의 구성

(1) 기본조명

터널을 주행하는 운전자가 전방의 장애물을 발견하는데 필요한 최소 밝기를 제공하기 위한 기본적인 조명으로 터널 전 구간에 걸쳐 실시한다.

(2) 입·출구부 완화조명

터널의 입구부에서 주간에 대단히 높은 야외 휘도로부터 암흑에 가까운 터널에 진입할 때, '블랙 홀(black hole) 현상'과 '암순응 지체현상'이 발생하게 된다. 또한 운전자가 긴 터널을

통과한 후 터널 출구부에 접근하였을 때 발생되는 '화이트 홀(white hole) 현상'이 발생하게 된다. 이러한 갑작스런 조도 변화를 방지하기 위하여 완화조명을 터널 입·출구부 내부에 설치해야 한다.

(3) 터널 입·출구부 접속도로 조명

야간에 터널 진입도로의 낮은 조도로부터 밝은 터널 내로 진입할 때, 그리고 조명 시설이 설치된 터널에서 어두운 접속도로로 나갈 때 일어나는 조도 변화를 최소화하기 위한 것으로 입,출구부 접속도로에 조명을 설치해야 한다.

1.3 조사와 계획

1.3.1 조사

조명의 계획에서는 아래의 유의사항들을 사전에 조사해야 한다.

(1) 입구 부근의 시야상황

터널 야외 휘도, 터널 조명의 수준, 터널 출구 조명 또는 출구 접속도로 조명의 여부 등을 결정하기 위해 터널 부근의 지형, 터널의 방위, 출입구 부근의 시야 상황, 터널에 접근하는 도로의 선형(곡선, 종단 경사 등), 조명 상황 및 기상 상황 등을 조사한다.

(2) 터널의 구조

조명기구 및 램프의 선택, 조명 기구의 설치 위치 및 조명률 산출을 위한 터널 길이, 폭 구성, 단면의 형상, 시설한계, 터널 평면·종단 선형, 노면·벽면·천장면의 종류 및 반사율 등을 조사한다.

(3) 교통상황

조명의 수준, 광원의 종류 및 보수율의 결정 등에 필요한 교통량, 설계속도, 일방 교통에서 대면 교통 여부, 자동차 전용도로 여부 및 혼합 교통여부 등을 조사한다.

(4) 부대설비의 상황

전기 배선 설계, 조명 기자재 결정을 위해 교통안전표지, 도로 표지, 교통신호기, 소화기, 긴급전화기, 라디오 청취 시설, 대피소 등의 설치 장소와 전원의 상태, 환기 장치의 유무 등을 조사한다.

(5) 유지 관리의 상황

조명 수준의 결정을 위해 터널의 오염정도, 청소 방법과 빈도 등을 조사한다.

1.3.2 설치계획

터널 내 조명의 설치는 운전자의 안심감을 위하여 터널내의 노면이나 벽면은 밝고 또한 그 밝기가 거의 균일한 상태로 조명되는 것이 바람직하다. 이와 같은 터널 조명의 설치를 위하여 터널 길이, 선형, 야외휘도, 설계속도, 교통량 등을 감안해야 하며, 필요에 따라서 다음과 같이 계획하도록 한다.

(1) 기본조명

일반적으로 주간의 자연광이 터널 안쪽으로 비치는 구간은 입구에서 약 10m, 출구에서 약 40m이므로 길이가 약 50 ~ 100m 정도인 터널에서는 약간의 기본조명 및 완화조명 시설이 필요하지만, 기본적으로는 길이가 약 100m 이상인 터널에 대하여 조명이 필요하다고 해도 타당하다. 그러나 길이가 100m 이하인 터널이

지만 하늘의 비율이 높고 터널 내부와 주변 휘도 차가 큰 경우, 또한 터널의 선형이 곡선으로 터널 입구에서 출구가 보이지 않는 경우와 설계속도가 높으며 교통량이 많은 경우 등 이와 같은 여건들에서는 길이가 100m 이하인 터널인 경우에도 기본조명을 설치하도록 한다.

또한 조명을 하지 않는 터널에서는 자동차와 보행자를 위한 유도시설이나 방범등을 설치할지의 여부도 검토해야 한다.

(2) 완화조명

① 입구조명

길이가 100m 이상이 터널에서는 야외휘도와 설계속도에 따라 적합한 입구부 완화조명을 설치해야 한다. 단, 길이가 100m 이하인 터널에 대해서도 기본조명의 경우와 마찬가지로 터널 구조, 선형, 터널 내·외의 휘도 차, 설계속도, 교통량 등의 여건에 따라 완화조명의 설치 여부를 결정해야 한다.

② 출구조명

교통량이 많은 일방 통행인 터널에서 길이가 400m 이상, 설계속도가 80km/h 이상, 터널 내부에서 본 터널 출구부근의 야외 휘도가 6,000 cd/m^2 이상인 경우에는 출구부 완화조명을 설치해야 한다.

③ 접속도로조명

터널 전체 길이가 200m 이상인 터널, 또는 터널 길이가 200m 이하인 경우에도 입,출구부 접속도로의 선형이 급격히 변하는 터널에 대해서는 접속도로의 조명을 설치하며, 터널 접속도로의 조명수준은 일반도로의 조명수준(KS A 3701 도로조명기준)에 준하여 설치하도록 한다.

1.4 광원과 조명 기구

1.4.1 광원의 선정

(1) 광원의 선정 요건

터널 조명용 광원은 조명 효과를 적절히 얻을 수 있고, 경제적인 면이나 유지 보수 및 램프의 호환성과 구입이 용이한 것을 사용한다.

터널에 이용되는 광원으로는 형광 램프, 저압나트륨 램프, 고압나트륨 램프, 형광 수은램프 등이 있다.

그러나 각각의 구조와 형상, 발광구조 등에 차이가 있고 동시에 용량의 대소, 온도 특성, 광색 등 각각의 특색을 가지고 있기 때문에 광원의 선정에 있어서는 터널의 규모, 구조, 환경보수의 정도에 따라서 설계자가 선택해야 한다.

<표 621.1>에는 국내에서 일반적으로 적용하고 있는 방전 램프들의 특성을 보여주고 있으며, KS 측정 결과에 의한 값들이다.

(2) 광원의 종류와 특성

터널에 사용되는 램프들은 방전램프로서 봉입되어 있는 금속 증기의 종류에 따라서 광색과 효율 등의 램프 성능에 차이가 있다.

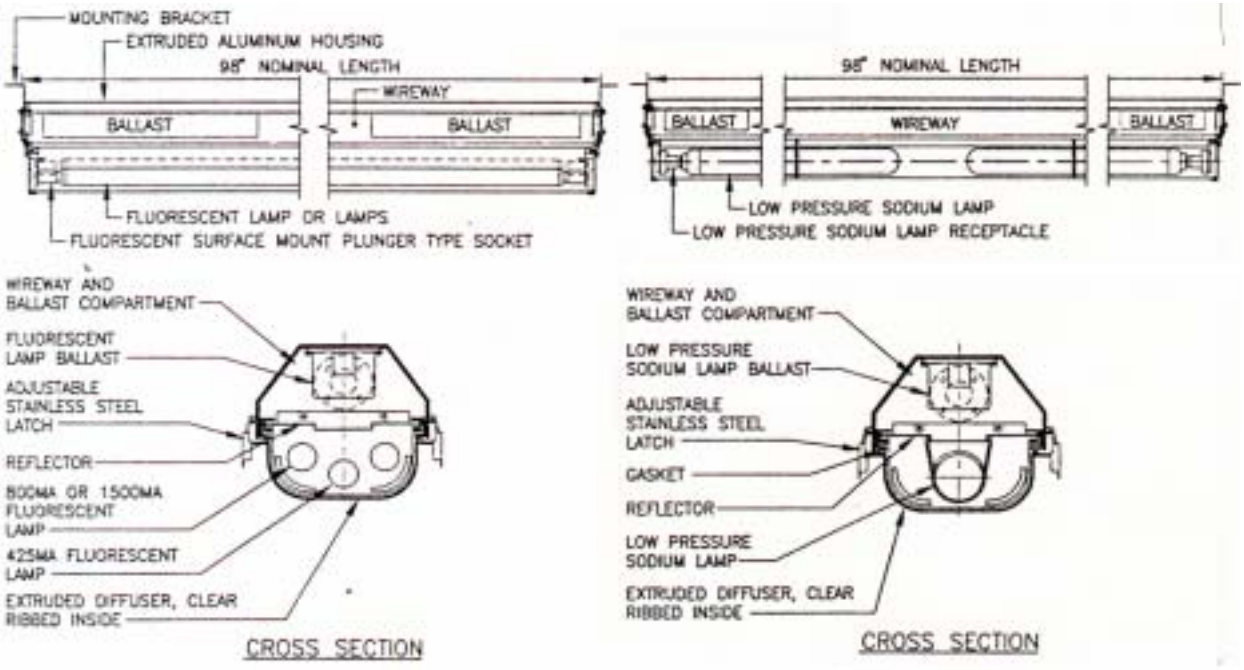
일반적인 방전등은 전압의 변동과 주위 온도의 영향을 받기 쉬우므로 램프의 종류와 전력 크기(W)에 적합한 안정기와 조합하여 적절한 조명 기구와 함께 사용해야 한다.

<표 621.1>의 방전램프 이외에도 현재 일반 조명 분야에서 쓰이고 있는 새로운 광원에는 고압나트륨 램프, 저압나트륨 램프, 메탈할라이드 램프, 할로겐 램프 등이 있다. <그림 621.2>에는 복합형광 램프와 저압나트륨 램프의 일반적인 단면과 각 부의 구조를 나타내었다.

<표 621.1> KS 측정결과에 의한 방전 램프들의 특성

광 원 종 류	형 식	1) 평균광속 (*l*m)	2) 종합효율 (*l*m/W)	3) 안정기 정격 용량 (VA)	3) 안정기 입력 전력 (W)	4) 정격수명 (hour)	5) 권장 교환수명 (hour)	6,7) 길이 (mm)	6) 최대지름 (mm)	구금(口金)
형광램프	FLR 40	3,000	65	60	55	10,000	8,000	1,198±1.5	38±2.0	G13
	FLR 40H	3,000	55	60	55	10,000	8,000	1,198±1.5	32.5±2.0	G13
	FLR 110H	9,000	62	160	145	10,000	8,000	3,367±2.0	38±2.0	R17D
나트륨 램프	NX-25	4,600	77	67	60	9,000	7,000	300±1.0	51±2.0	BY22D
	NX-50	7,600	95	150	80	9,000	7,000	415±1.0	51±2.0	BY22D
	NX-90	12,500	96	150	130	9,000	7,000	518±1.0	65±2.0	BY22D
	NX-135	21,500	120	200	180	9,000	7,000	765±1.0	65±2.0	BY22D
	NX-180	31,500	136	255	230	9,000	7,000	1,100±1.0	65±2.0	BY22D
형광수은 램프	HF-200	9,600	24.5	250	225	12,000	8,000	258이하	102이하	E39
	HF-250	12,000	42	315	285	12,000	8,000	258이하	102이하	E39
	HF-300	15,000	44	380	340	12,000	8,000	300이하	122이하	E39
	HF-400	21,000	47	500	445	12,000	8,000	300이하	122이하	E39

1) 방전 램프는 형식에 따라 광속의 폭이 크다. 이 표는 통상 도로 조명의 조명계산에 이용하는 값이다.
2) 광원 효율은 안정기의 전력 손실을 포함해 [평균 광속/안정기 입력 전력]으로 계산한 값이다.
3) 안정기 정격 용량 및 안정기 입력 전력은 안정기의 종류와 정격입력 전압 등에 따라서 다르므로 개략의 값을 나타낸다.
4) 정격 수명은 실험실에서 일정 조건의 실험 상태에서 구한 값으로서 수명이 다한 램프가 전체의 절반이 될 때까지의 시간으로 나타낸다.
5) 권장 교환수명은 일반적으로 램프가 실험실 조건보다 나쁜 상태에서 사용된다는 점과 조명 기구와 일체로 되었을 때의 보수율을 함께 고려하여 정한 경제 수명이다.
6) 길이와 최대 지름은 KS 값을 나타낸다.
7) 길이중 형광 램프 FLR 40(백색)에 대해서는 마개 양면 사이의 길이로 나타낸다.



<그림 621.2> 복합형광 램프와 저압나트륨 램프의 일반적 형태

(3) 조명기구의 배광

조명기구의 배광의 역할은 빛을 유효 적절히 이용하는 것으로 특히 터널 조명기구에서는 이 기능을 중시해야 한다. 노면의 휘도를 높이는 것만 생각한다면 노면에 향하는 광속이 많을수록 좋으나 터널내의 시각환경을 쾌적하게 하기에는 부적합하다. 따라서 노면, 벽면, 천장에 대하여 광속이 적당히 배분되도록 하는 기구를 설치 위치에 따라서 선정할 필요가 있다.

그리고 현재 국내의 터널조명에서는 적용한 바가 없지만 교통량의 수요에 따라 프로빔(pro-beam)과 카운터빔(counter beam)을 설치할 수 있는데, 특히 터널 입구부에서 블랙홀 현상으로 인해 차량 흐름이 둔화되므로 조명기구에서 나온 빛이 차량의 후면을 비추도록 배광을 조절할 필요가 있다.

1.4.2 안정기의 선정

안정기의 양부는 램프의 효율, 수명에 직접 영향을 미치므로 사용하는 램프의 종류나 그 전류(W) 수에 적합한 것을 사용해야 하며, 조명을 시행하려는 장소의 전원상황, 경제성을 고려하여 적정한 안정기를 선정해야 한다.

일반적으로 안정기의 종류는 전원전압, 주파수별, 일반형 고역률, 조광형, 기타 기능에 따라 분류한다.

(1) 진상형 안정기

저압나트륨 램프에 사용하는 진상형 안정기는 특정의 자기회로를 사용하여 램프를 순시 재점등 하기 위한 전압을 용이하게 발생시키는 기능을 가지고 있다.

(2) 일반형 안정기

일반형 안정기는 기본적인 회로를 구성하는 것으로 전압변동에 대하여 램프 전력의 변화는 크고, 램프 시동시의 입력 전류는 안정기의 입력전류보다 크다.

(3) 조광형 안정기

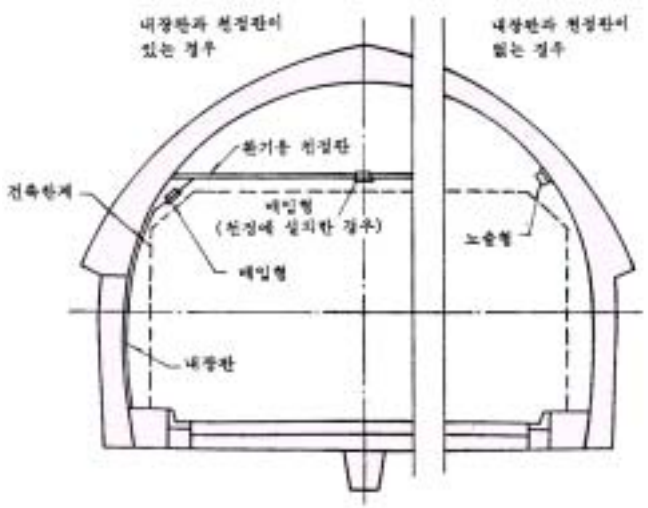
조광형 안정기는 필요에 따라서 램프의 소비전력과 광속을 감소시킬 수 있는 안정기로 소비전력을 약 60%로 감소시켰을 때 램프의 밝기가 약 50%로 되도록 하는 것이다. 고압나트륨 램프, 형광 램프에서 실용화되어 있다.

1.4.3 조명기구의 선정 및 배치

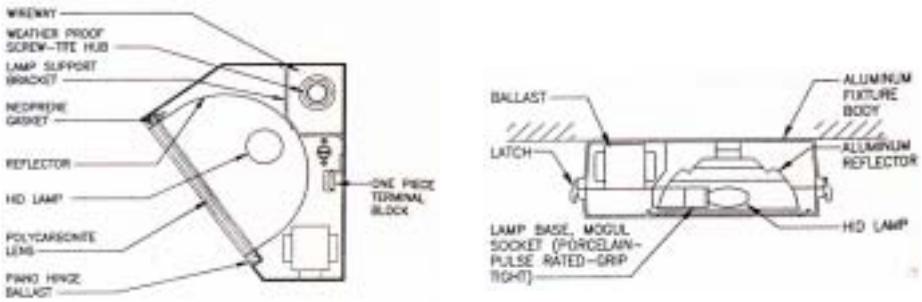
조명기구는 사용하는 광원의 광속을 효율적으로 터널 노면에 비춤과 동시에 램프를 매연과 누수로부터 보호하여 장기간 그 성능을 발휘시켜야 하므로 광원의 종류와 전력크기(W), 설치장소(양측벽의 상부 또는 천정부), 설치방법 등에 따라 그 모양을 다르게 한다.

일반적으로 <그림 621.3>과 같이 터널의 양측벽 상부 또는 천정부의 시설한계 외에 설치하며, 콘크리트 면에 직접 설치하는 경우(直付形)에는 부식을 적게하기 위하여 벽면으로부터 약 5cm 정도 거리를 두고 설치하는 것이 바람직하다. 또한 내장 마감을 시행하는 경우에는 매입형을 사용한다.

최근 대전-논산간 4차선 터널에서 시행한 바와 같이 4차선 이상의 대단면 터널에서는 양측벽에 설치할 경우 적정 수준의 노면휘도를 발휘할 수 없으므로 <그림 621.4>와 같이 천정부에 2배열로 설치하도록 하며, 조명기구의 설치위치는 양 끝 차선의 중앙을 중심으로 설치하도록 한다.



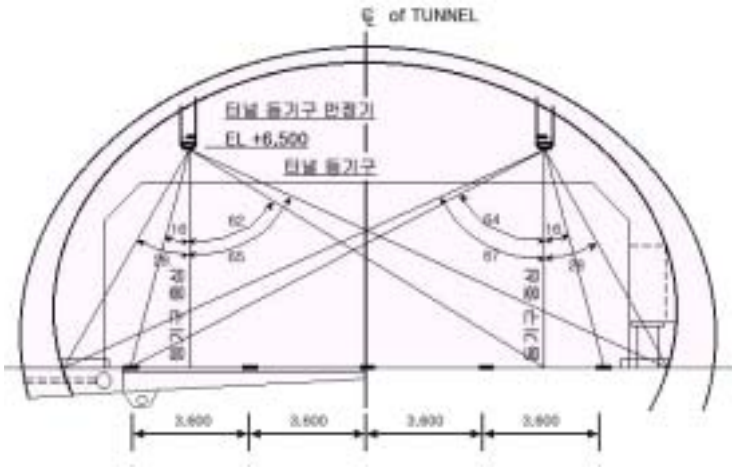
(a) 조명기구의 설치 형태에 따른 종류



HID Lamp : 고휘도 방전(High Intensity Discharge) 램프

(b) 벽면 부착형 (c) 천정 부착형

<그림 621.3> 터널의 마무리와 조명기구의 형식



<그림 621.4> 4차선 대단면 조명기구 설치 예

621.2 설계

2.1 기본조명

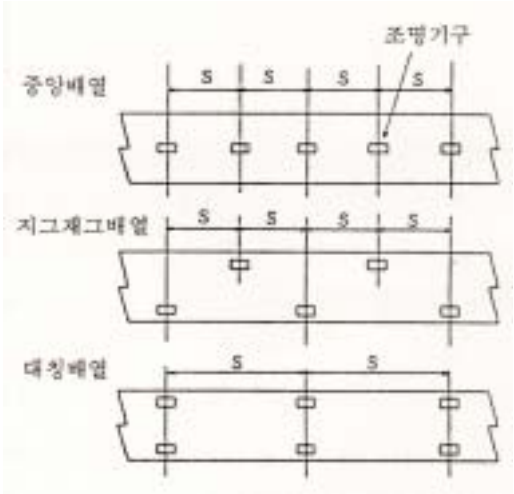
2.1.1 조명기구 설치

(1) 설치높이

일반적으로 조명기구의 설치 위치는 터널 측벽 상부에 설치되는 것이 이상적인데, 노면의 휘도분포를 양호하게 유지하고, 조명기구의 눈부심을 제거하기 위해서는 노면상 4.5m 이상의 위치에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 단, 노면의 보수 등을 사전에 고려하여 시설한계 외의 여유를 보고 설치하는 것이 바람직하다.

(2) 설치배열

조명기구의 배열은 배광, 노면의 휘도 분포, 플리커(flicker), 램프, 조명기구의 보수 등을 고려하여 최적의 배열을 택해야 한다. 배열의 종류에는 중앙배열, 지그재그배열, 대칭배열이 있다. <그림 621.5>에는 조명기구의 설치 배열 종류를 예로서 나타내었다.



<그림 621.5> 조명기구의 설치 배열

(3) 설치간격

① 설치간격과 노면·벽면의 휘도균제도

조명기구의 설치간격(S)에 따라 노면·벽면의 휘도균제도를 좌우한다. 휘도균제도는 특히 평균휘도가 낮은 경우, 보임의 상태에 크게 영향을 주기 때문에 가능한 한 양호하게 유지해야 한다. 조명기구의 설치 높이(H)에 대한 설치간격(S)는 다음과 같다.

- 대칭배열 ⟶ $S \leq 2.5H$
- 지그재그배열 ⟶ $S \leq 1.5H$
- 중앙배열 ⟶ $S \leq 1.5H$

② 설치 간격과 플리커

터널내에서 일어나는 플리커에 의한 불쾌감은 자동차 전면 윈도우의 차공각, 대쉬보드의 구조, 색채, 자동차의 주행속도와 조명기구의 배광 및 설치각도로 생기는 주파수, 명암의 밝음 비, 명과 암이 교번되는 시간의 비 등이 특정 영역으로 들어가는 것이 원인으로 작용할 수 있다. <표 621.2>는 플리커에 의한 불쾌감을 피하는 경우의 명암의 휘도비, 시간비, 주파수의 관계를 나타낸 것이다.

<표 621.2> 플리커에 의한 불쾌감을 피하는 경우의 세가지 요인

1) 명암 휘도비	2) 피해야 할 주파수 (Hz)	3) 피해야 할 명암 시간률 (%)
50	3.5 ~ 17.0	5 ~ 62
40	4.0 ~ 16.0	6 ~ 59
30	4.5 ~ 14.5	7 ~ 56
20	5.0 ~ 12.5	9 ~ 51
10	-	15 ~ 40

$$\text{명암휘도비} = \frac{\text{플리커 빛의 명휘도}}{\text{플리커 빛의 암휘도}}$$

$$\text{명암시간율} = \frac{\text{플리커 빛의 명시간}}{\text{플리커 빛의 암시간}} \times 100$$

특히 주파수는 영향이 크기 때문에 각 설계속도에 따른 5 ~ 18 Hz의 플리커에 의한 불쾌감을 제거하기 위하여 피해야 하는 조명기구의 간격을 <표 621.3>에 나타내었다.

플리커에 의한 불쾌감은 어느 정도의 시간이 계속되는 경우에 일어나는데 불과하므로 주행시간이 30초 이하의 짧은 터널이나 입구 조명구간에서는 문제로 할 필요는 없다.

<표 621.3> 플리커 방지를 위해 피해야 하는 조명기구 간격

설계속도 V (km/h)	조명기구 간격 S (m)
100	1.5 ~ 5.6
80	1.2 ~ 4.4
60	0.9 ~ 3.3
40	1.6 ~ 2.2

2.1.2 기본조명의 노면과 벽면휘도

터널 내부의 기본 조명은 터널 내의 운전자가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있도록 도로상에 있는 장애물을 주행속도에 따른 충분한 시거(視距)로 판별, 인식할 수 있는 밝기로 하는 것이 필요하다.

(1) 노면 휘도

노면 휘도는 운전자 눈의 위치에서 본 전방 60m에서 160m까지 범위의 차도 노폭 내의 휘도를 말하며, 설계속도에 관한 정상 주행을 확보하기 위하여 일반적으로 100m 당 50% 정도의 투과율을 유지하는 것이 필요하다.

<표 621.4>는 터널 조명 하에서 배기가스에 의한 매연투과율을 변화시켜, 운전자 전방의 노면상에 존재하는 가상 장해물(15cm×15cm)을 관측자에게 식별시켜 보는 상태주행 시험 결과로부터 터널 내의 매연 투과율이 50% 일 때의 소요 노면휘도를 나타낸 것이다.

<표 621.4> 기본 조명의 평균 노면휘도 값

설계속도 (km/h)	평균 노면휘도(Lr) (cd/m^2)
100	9.0
80	4.5
60	2.3
40	1.5

주1) 교통량이 많고, 터널내의 매연 투과율이 낮은 경우에는 평균 노면휘도를 이 값보다 높게하는 것이 바람직하다.

주2) 교통량이 적고, 터널내의 매연 투과율이 높을 경우에는 평균 노면휘도를 이 값보다 낮게하는 것이 바람직하다.

주3) 벽면의 평균휘도는 평균 노면휘도의 약 1.5배 이상의 값으로 하는 것이 바람직하다.

① 암순응시간이 길게 되면 터널 내 소요 노면휘도가 저하하고 <표 621.4>에 나타난 값보다 낮게 되므로, 터널내 주행시간이 135초 이상 되는 긴 터널의 경우(설계속도 80km/h, 약 3,000m 이상)에는 이후 부분의 노면휘도를 <표 621.4>의 노면휘도의 65%(약 3.0 cd/m^2)까지 저하시킬 수 있다.

② 외국에서는 최근 15 ~ 45 cd/m^2의 높은 휘도를 지닌 터널이 건설되고 있는데, 시야환경에 대해 시야 내에 현저하게 균형이 잡히지 않은 휘도 분포가 생기지 않도록 함과 동시에 터널 내의 도로상태가 가능한 한 상세하게 운전자에게 보이도록 밝기를 조절해 주는 것이 필요하다.

③ 야간 노면휘도에 대해서는 순응의 문제도 없어지고, 일반적으로 교통량이 적어지기 때문에 <표 621.4>의 표준 값보다 낮은 값을 채택

해도 지장이 없으나 감광(減光)할 때에는 교통의 안전에 지장을 초래하지 않을 정도로 해야 한다.

그리고 그 최저치는 설계속도가 80km/h 이상인 경우에는 1.0cd/m^2, 설계속도가 60km/h 이하인 경우에는 0.7cd/m^2으로 한다.

(2) 벽면 휘도

터널 내를 주행하는 운전자의 시야 내에 점유하는 벽면과 천장면의 휘도가 터널의 선형이나 장해물의 식별 등의 시각정보 확보에 큰 영향을 준다. 따라서 노면휘도 뿐만 아니라 벽면, 천장면의 밝기를 적절히 시행하여 양호한 시각환경을 만드는 것이 필요하다.

① 벽면의 장해물을 식별하는 것은 노면 휘도의 1.8 ~ 2.0배 이상의 휘도가 필요하지만, 현재의 내장재료의 반사율과 조명기구의 배광, 설치위치, 조사(照射)각도에 의한 벽면휘도의 계산 결과 및 경제성을 고려하여 약 1.5배 정도로 하는 것이 바람직하다.

② 터널 내에서 존재가 예상되는 위험한 장해물의 높이 및 터널의 구조 등을 고려하여, 노면으로부터 적어도 2m 높이까지의 벽면의 평균휘도는 노면의 평균휘도 이상인 것이 바람직하다.

2.1.3 시각환경과 기본조명 수준

기본 조명의 노면휘도는 설계 속도에 따라서 <표 621.4>와 같이 표준치가 정해져 있으나, 교통량이 10,000 대/일 이하이며, 매연 투과율이 70% 이상 확보되는 터널은 조명 수준을 약 1/2배 정도로 감소시킬 수 있다.

그러나 매연 투과율이 높은 경우라도 노면휘도의 하한치는 표준치의 1/2배로 해야 하며, 터널내 주행시간이 135초 이상 되는 장대 터널에 저감을 적용하는 경우에도 65% 이상의 저감은 적용하지 않도록 해야 한다. 그리고 시각환경 평가점이 낮고, 교통량이 25,000 대/일 정도 이상의 터널은 조명수준을 2배 정도로 증가시켜야 한다.

2.2 입구부 조명

2.2.1 입구부 조명기구 설치 및 구성

(1) 조명기구 설치 기준

보통 터널 입구에서 약 10m까지와 출구에서 약 40m까지의 터널 내부는 자연광으로 조명되므로 50m 이상 터널의 입구에는 야외휘도와 설계속도에 따른 입구부 조명을 설치해야 한다. 단 터널의 길이, 야외휘도, 설계속도, 기타의 이유로 주간에 터널 내부의 상태가 잘 보이는 경우는 설치하지 않는다.

(2) 설계인자

입구부 조명의 설계에는 야외휘도, 설계속도, 주시개시점 등을 고려하여야 한다.

① 야외휘도

터널 입구부 조명의 밝기는 블랙홀 현상과 순응휘도 늦음현상을 제거하기 위한 운전자의 순응휘도에 따라 결정되며, 순응휘도에 영향을 미치는 요인은 다음과 같다.

- 터널 입구의 주변 시야휘도에 의해 안구내에 생기는 광막(veiling)휘도
- 운전자가 보는 전방 시야 내의 중심 시야휘도

C.I.E(국제조명위원회) No. 61에서는 광막휘도가 운전자의 순응을 결정하는데 고려해야 하는 가장 중요한 요소임을 제안하였고, 광막휘도를 결정하는 방법으로 실제 경험에 근거한 근사법 중 야외휘도의 개념을 이용한다.

가. 설정 야외휘도를 사용하는 방법

터널 입구부의 야외휘도는 노면, 입구, 천공, 산림, 흙 등의 휘도가 20°원추형 시야내에서 점유하는 면적 비율로서 정해진다. <표 621.5>는 운전자의 시야상황에 따라 정해지는 야외휘도의 연간 출현빈도에 따라 설정되는 값이며, <표 621.6>은 경계부의 노면휘도 값을 구하기 위하여 야외휘도에 곱하는 계수이다.

나. 계산식에 의한 방법

$$L_{20} = \nu L_c + \rho L_R + \varepsilon L_e + \tau L_{th} \quad (621.1)$$

(단, $\nu + \rho + \varepsilon + \tau = 1$)

주행방향 (북반구)	L_C (하늘)	L_R (도로)	L_E (주변환경)			
			암석	건물	눈(雪)	초원
N	8	3	3	8	15(V) 15(H)	2
E-W	12	4	2	6	10(V) 15(H)	2
S	16	5	1	4	5(V) 15(H)	2

V : 산이 많은 지역 H : 평활한 지역

여기서,

L_{20} = 야외 휘도, Lc = 하늘 휘도,

L_R = 도로 휘도, L_E = 주변 휘도,

L_{th} = 터널 입구부 휘도,

υ = 하늘 비율, ρ= 도로 비율,

ε = 주변 비율, τ= 터널입구 비율

② 설계속도와 안전 시인거리

조명설계에 사용되는 설계속도는 터널 본체의 설계에 사용되는 설계속도와 다른 경우도 있다. 고속도로 터널에서는 안전성과 경제성을 감안하여 일반적으로 규제속도를 조명설계의 설계속도로 사용하고 있으며, 참고로 설계속도에 따른 안전시인거리는 <표 621.7>에 나타낸 바와 같다.

<표 621.6> 경계부 노면휘도의 결정을 위해 야외휘도에 곱하는 계수

설계속도, V(km/h)	100	80	60	40
계 수	0.07	0.05	0.04	0.03

<표 621.7> 설계속도와 안전시인거리와의 관계

설계속도, V(km/h)	100	80	60	40
시인거리, l(m)	160	110	75	40

<표 621.5> 설정되는 야외휘도

설계속도 (km/h)	20°시야 [1] 내에 점하는 공간의 비율(%)							
	20% 이상		20 ~ 10%		10 ~ 5%		5% 미만	
	주위의 상황 (단위 : cd/m^2)							
	밝 음	보 통	밝 음	보 통	밝 음	보 통	밝 음	보 통
100	6,000	5,000	5,000	3,000	4,000	2,500	4,000	2,000
80								
60	5,000	4,000	4,000	2,500	3,000	2,000	3,000	1,500
0								

[1] 이 시야는 터널 입구에서 시거만큼 앞쪽에 있는 운전자가 터널을 볼 경우의 것이다.

주1) 주위 상황이 밝다는 것은 터널 입구부근의 지물이 흰색, 회색 등의 반사율이 높을 경우를 말하며, 입구부근에 장기간 적설 적설상태가 계속되는 경우도 여기에 포함된다.

주2) 주위의 상황이 보통이란, 상기의 이외의 경우를 말한다.

③ 주시 개시점

주시 개시점은 운전자가 터널 입구를 주시하기 시작하는 지점을 의미하는데, 터널입구 접속도로의 지형에 따라서 다음의 값을 취할 수 있다.

가. 접속도로가 직선으로 관찰하기 좋은 경우
: 터널 입구에서 150m 지점(단, 설계속도가 100km/h의 터널에서는 180m).

나. 접속도로가 곡선 또는 경사를 가진 경우, (터널 입구가 보이지 않음)
: 우측차선 중앙에서 터널 입구부가 적어도 1/2이상의 면적이 보이는 점과 터널 입구까지의 거리를 도로의 중앙 차선을 따라서 측정한 값.

2.2.2 입구부 조명의 조절

(1) 조명 조절

입구부 조명은 터널 입구로 접근하는 차량 운전자의 눈의 순응휘도에 따라 조명수준이 결정되므로 계절, 기후 및 시각 등에 따라 순응휘도가 변화하는 경우에 입구부 조명을 조절한다.

입구부 조명의 조절단계와 입구부근의 야외휘도와의 관계는 다음 <표 621.8>에 제시한 기준치 이상으로 하는 것을 원칙으로 한다.

일반적으로 조절방법은 전등의 솎아내기 점등으로 노면 휘도의 조절을 수행하고, 이 경우 각 조절단계에서 심한 휘도차이가 발생하지 않도록 조명기구의 배치에 유의해야 하며, 또한 부하 밸런스도 고려하여 분기회로를 설계해야 한다.

<표 621.8> 입구부 조명의 조절

조절단계	야외휘도	노면휘도
A	100 %	100%
B	75 %	75% 이상
C	50 %	50% 이상
D	25 %	25% 이상

(2) 자동조광장치

터널용 자동조광장치는 터널 내부 휘도의 적정화와 조명의 경제적 운영을 목적으로 설치하며, 터널 외부 주광조도의 변동이나 타이머에 의한 터널 입구부 완화조명 및 내부의 기본부 조명을 몇 단계에 걸쳐서 자동적으로 변경시켜 터널 조명 전체를 제어하는 것이다.

자동조광장치는 다음 사항에 유의해야 한다.

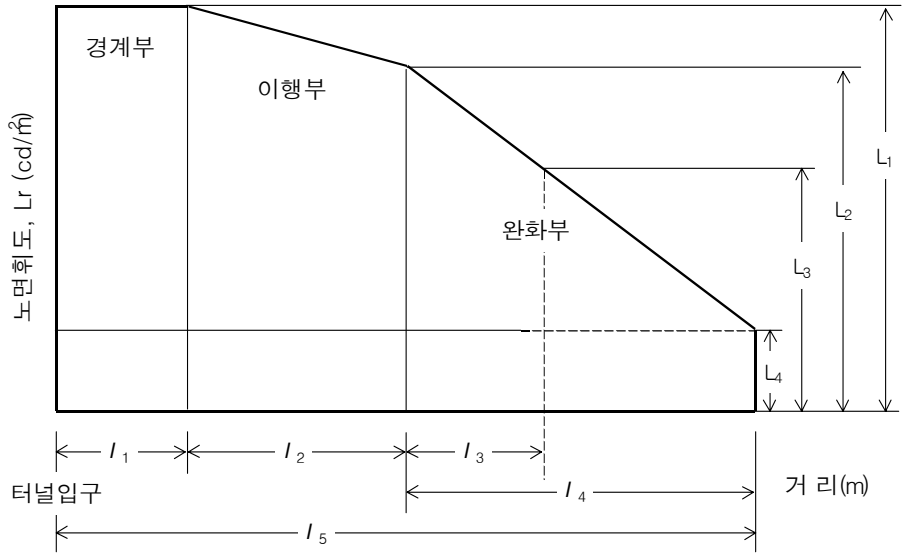
① 자동조광장치의 수광기는 쌍방교통의 경우 터널의 양입구에 설치하고, 일방통행의 경우에는 상하행선의 각 입구에 설치한다.

② 수광기는 터널입구면 부근의 수직면 조도의 평균치를 대표하는 장소에 설치되야 한다.

③ 수광강도 및 조광동작 중의 조절은 자유로이 할 수 있어야 한다.

2.2.3 입구부 조명곡선

입구부 조명곡선은 터널의 형태, 입구부근의 상황, 설계속도와 교통량, 야외휘도 등에 따라 다르게 되지만, 기본적인 형상은 <그림 621.6>과 같이 경계부, 이행부 및 완화부의 3개로 나눌 수 있다.



L_1 : 경계부(assess zone) 노면휘도(cd/m^2), L_2 : 이행부(threshold zone) 최종점 노면휘도(cd/m^2),
L_3 : 완화부(transition zone) 최종점 노면휘도(cd/m^2), L_4 : 기본부의 노면휘도(cd/m^2),
l_1 : 경계부의 길이(m), l_2 : 이행부의 길이(m), l_3 l_4 : 완화부의 길이(m), l_5 : 입구조명부의 길이(m)

주 1) 그림의 휘도변화는 편대수 눈금 그래프에서 직선이다.
2) L_3, l_3 는 연장이 짧은 터널에 대해서만 적용되고, 그 경우의 휘도는 그림의 점선처럼 된다.
3) L_4 는 기본조명이다. 야간에는 l_5 전장에 걸쳐서 밝기를 저감한다.

<그림 621.6> 입구부 조명곡선의 구성

2.2.4 200m 이상 터널의 조명곡선 각부 노면휘도 및 길이

터널 길이가 200m 이상인 경우 입구부 조명곡선 각 부분의 노면휘도와 길이에 관한 설정 방법이다.

(1) 경계부

경계부는 설계속도에 대응한 시인거리로부터 터널 입구 직후에 있는 장해물을 보는데 필요한 배경을 주는 부분으로, 운전자가 터널 입구로부터 시인거리만큼 떨어진 지점에서 터널을 식별할 정도의 밝기가 필요하다.

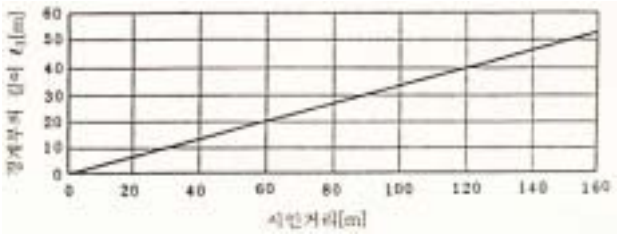
그리고 경계부의 길이와 장해물 지각 부분의 크기에 관한 관계는 장해물과 운전자의 거리, 운전자 시점의 높이, 부근 도로의 종단선형과 경사의 변화 등에 따라 결정되므로, 운전자의 시점 높이(1.2m)를 고정하고 종단경사의 변화가 없는 도로를 대상으로 할 때에 필요한 경계부의 길이는 설계속도에 따라 결정되어 진다.

또한 경계부를 길게 할수록 지각할 수 있는 장해물 면적이 증가하지만, 조명비용도 함께 증가하므로 어느 정도의 한계를 가져야 한다.

<표 621.9>에는 터널 길이가 200m 이상인 경우의 설계속도에 따른 경계부 노면휘도와 조명구간을 예로서 보여주고 있으며, <그림 621.7>은 장해물 아래 부분 30cm를 식별할 수 있는 만큼의 경계부 길이와 시인거리와의 관계를 나타내고 있다.

<표 621.9> 터널 길이가 200m 이상인 경우의 경계부 소요휘도(L_1) 및 길이(l_1)

설계속도, V (km/h)	100	80	60	40
경계부의 길이, l_1 (m)	55	40	25	15
노면휘도, L_1 (cd/m^2)	95	83	58	29



<그림 621.7> 시인거리에 따른 경계부의 길이 관계

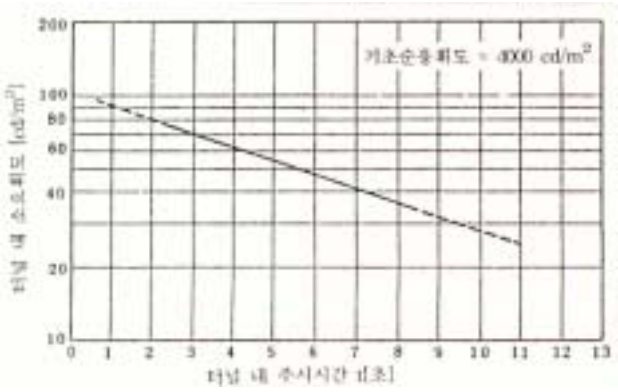
(2) 이행부

이행부는 자동차가 터널에 진입하기까지의 사이에 시인거리만큼의 전방에 있는 장해물을 보는데 필요한 배경을 주는 부분으로, 터널에 접근함에 따라 운전자 눈의 순응휘도는 점차 저하되고, 이에 따른 배경의 소요 노면휘도도 감소된다.

<표 621.10>은 설계속도에 따른 이행부의 길이와 터널내 주시시간을 나타내고 있으며, <그림 621.8>은 터널내 주시시간에 따라서 노면 소요휘도가 점차 저하되고 있음을 나타내고 있다.

<표 621.10> 설계속도와 이행부 길이 및 터널 내 주시시간과의 관계

설계속도, V (km/h)	100	80	60	40
이행부의 길이, l_2 (m)	150	100	65	30
터널내 주시시간, t(sec)	6.1	6.3	8.4	12.6



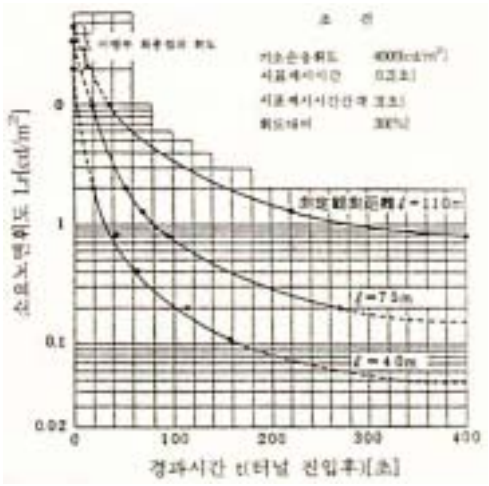
<그림 621.8> 터널 내 주시시간(t)에 의한 노면 소요휘도의 저하 곡선

(3) 완화부

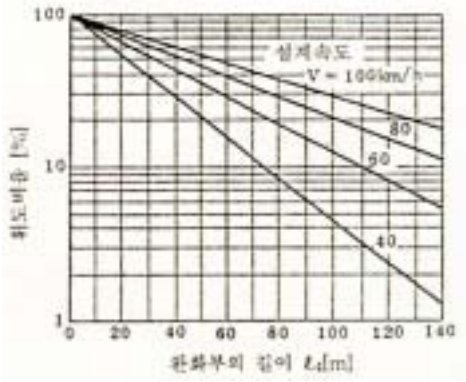
완화부는 터널에 진입한 운전자가 터널 외부의 휘도로부터 터널내의 휘도에 적응하는데 필요한 부분이며, 급격한 휘도 변화 후 장해물을 식별할 수 있도록 시야내의 휘도를 시간에 따라 감소시키게 되는 암순응곡선이 필요하다.

완화부 개시점은 운전자의 시야가 완전히 터널 내부에 들어온 상태이고, 이 지점 이후의 순응상태는 이론적으로 <그림 621.9> (a)의 암순응곡선에 준하여 설계하도록 한다.

그러나 경제성을 고려하여 <그림 621.8>의 4초보다 긴 주시시간들에 대하여 소요휘도를 결정하게 되는데, 각각의 설계속도에 따른 완화부 길이와 휘도비율을 나타내는 <그림 621.9> (b)를 참조하여 결정한다.



(a) 암순응곡선



(b) 완화부 노면휘도 비율

<그림 621.9> 터널에 있어서 암순응 곡선(a) 및 완화부 노면휘도 비율(b)의 설정

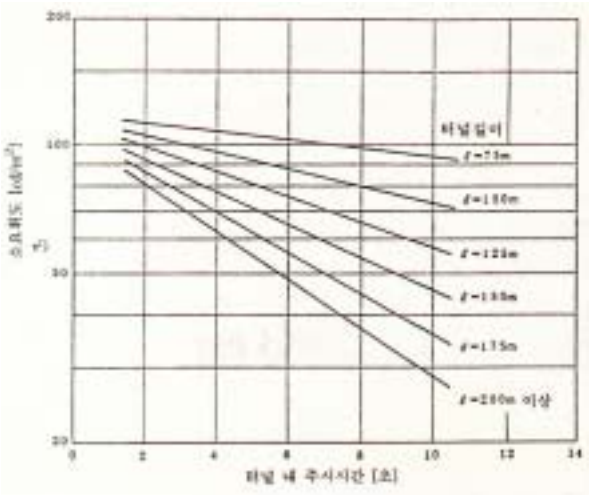
2.2.5 200m이하 터널의 조명곡선 각부 노면휘도 및 길이

짧은 터널의 입구부 조명의 설계에서는 다음 두 가지 문제를 고려해야 한다.

① 입구부 조명의 소요휘도를 결정하는 운전자 눈의 순응 휘도가 출구부로부터의 고휘도 때문에 긴 터널의 입구부 조명의 경우보다 저하하지 않는다.
② 출구부에서의 자연광이 차입에 의하여 터널 내 휘도가 높아진다.

그러므로 200m 이하의 짧은 터널에서는 보통 터널 출입구로부터의 자연광의 입사에 의하여 250cd/m^2 이상의 노면 휘도가 얻어지므로 인공 광원에 의한 입구부 조명을 감소시킬 수 있다.

<그림 621.10>은 터널의 길이 변화에 대한 입구부 조명의 소요 휘도를 실험에 의해 구한 결과이며, 그림에 나타나지 않는 길이의 터널에 대한 소요 휘도는 내삽법 혹은 외삽법에 의하여 구할 수 있다.



<그림 621.10> 터널 길이별 입구부 소요휘도

2.2.6 조명곡선의 각 구간별 조도 기준

<표 621.11> 입구부 조명의 조도 기준(설정 야외휘도 4,000 cd/m^2) 의 경우

설계속도, V (km/h)	터널 길이(m)	각 부의 노면 휘도, Lr (cd/m^2)				각 부의 길이, l (m)				
		L_1	L_2	L_3	L_4	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
100	75 이하	116	-	-	-	40	0	0	0	40
	100	111	106	-	-	55	10	0	0	65
	125	105	91	-	-	55	35	0	0	90
	150	103	77	-	-	55	55	0	0	110
	175	99	67	-	-	55	80	0	0	135
	200	95	58	-	-	55	105	0	0	160
	250	95	47	-	-	55	150	0	0	205
	300	95	47	27	-	55	150	45	0	250
	350	95	47	15	-	55	150	90	0	295
	400 이상	95	47	-	9.0	55	150	0	135	340
80	75 이하	112	-	-	-	40	0	0	0	40
	100	105	94	-	-	40	25	0	0	65
	125	100	76	-	-	40	45	0	0	85
	150	94	62	-	-	40	70	0	0	110
	175	88	51	-	-	40	90	0	0	130
	200	83	46	37	-	40	100	15	0	155
	250	83	46	19	-	40	100	55	0	195
	300	83	46	10	-	40	100	100	0	240
	350	83	46	5.3	-	40	100	145	0	285
	400 이상	83	46	-	4.5	40	100	0	155	295
60	75 이하	107	99	-	-	25	15	0	0	40
	100	94	71	-	-	25	35	0	0	60
	125	83	53	-	-	25	55	0	0	80
	150	74	46	34	-	25	65	15	0	105
	175	66	40	20	-	25	65	35	0	125
	200	58	35	12	-	25	65	55	0	145
	250	58	35	5.2	-	25	65	95	0	185
	300 이상	58	35	-	2.3	25	65	0	135	225
40	75 이하	94	74	-	-	15	20	0	0	35
	100	93	51	38	-	15	30	10	0	55
	125	58	40	18	-	15	30	25	0	70
	150	46	33	8.6	-	15	30	45	0	90
	175	36	25	4.0	-	15	30	60	0	105
	200	29	20	1.8	-	15	30	80	0	125
	250 이상	29	20	-	1.5	15	30	0	85	130

주 1) 노면휘도는 설정야외휘도가 6,000 cd/m^2 의 경우에 본 표의 1.5배, 3,000 cd/m^2 인 경우에 0.75배로 한다.

2) 진입시에 출구가 보이지 않는 짧은 터널의 경우, 노면휘도 L_1 및 L_2에 대하여 250m이상의 터널 길이로 적용할 수 있다.

3) 길이가 본 표의 값 이외인 경우에는 내삽법에 의하여 구한다.

4) 쌍방 교통의 경우에는 양 입구 각각에 대하여 본 표를 적용한다. 짧은 터널에서 양 입구의 완화조명 구간이 겹치는 경우에는 소요휘도가 높은 값을 적용한다.

5) 주시 개시점이 150m 이상의 경우에는 L_1, L_2, L_3에 다음 식의 계수를 곱한 값으로 한다.

$$k = 1 + 0.54\left(\frac{a_1 - a_2}{V}\right)$$

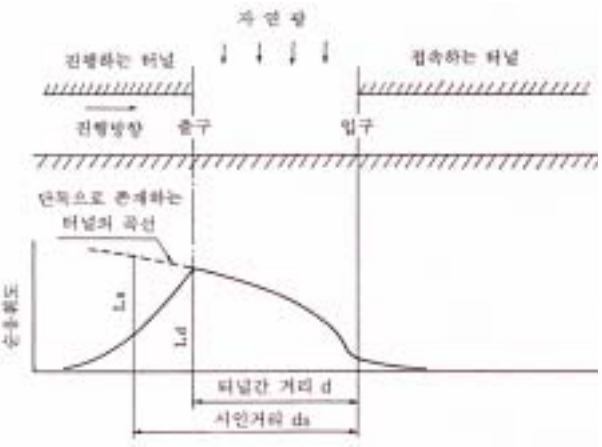
여기서, k : 주시 개시점의 감소에 따른 휘도 증가계수
a_1 : 100 km/h → 180m, 80km/h → 150m
a_2 : 주시 개시점과 터널 입구와의 거리(m)
V : 설계속도(km/h)

6) 보통의 터널에서는 자연광 입사를 고려하여 터널 입구로부터 10m 지점에서 입구부 조명을 설치한다.

2.3 연속터널 조명

2.3.1 개 요

50m 이상의 터널이 둘 이상 연속하여 존재하고, 선행하는 터널의 출구로부터 후속하는 터널의 입구까지의 거리(갱구간 거리, d)가 설계속도(V, km/h)에 대응한 시인거리(ds) 보다 짧은 경우에는 선행하는 터널 출구에 있어서 운전자의 눈의 순응휘도(Ld, cd/m^2) 보다도 낮게 되기 때문에 그의 비(Ld/Ls)만 후속하는 터널의 입구부 조명의 평균노면휘도의 설계치를 저감해야 한다(<그림 621.11> 참조).



<그림 621.11> 연속터널의 갱구간 순응휘도 변화 개념도

2.3.2 후속터널 조명곡선 각부 노면휘도 및 길이

(1) 야외설정휘도

연속하는 터널에 있어서 후속하는 터널의 야외설정휘도는 선행하는 터널이 존재하지 않는 상태 즉, 후속하는 터널이 단독으로 존재하는 상태를 이용하여 구한다.

(2) 경계부 조명

① 노면휘도, La (cd/m^2)

경계부의 노면휘도(La)는 단독으로 존재하는 터널 경계부의 노면휘도(L_2)와 <표 621.12>에 나타낸 바와 같이 터널간 거리(d)에 대응한 입구부 조명의 저감계수(ka)를 사용하여 다음과 같이 구하게 된다.

<표 621.12> 후속터널 입구부 조명 저감계수

d(m) \ 설계속도 (km/h)	조명 저감계수(ka) 100	80	60	40
d ≤ 10	0.3	0.35	0.4	0.45
0 〈d≤15	0.4	0.45	0.5	0.6
15 〈d≤20	0.5	0.55	0.6	0.75
25 〈d≤35	0.6	0.7	0.75	0.95
35 〈d≤50	0.7	0.8	0.9	1.0
50 〈d≤70	0.8	0.9	1.0	-
70 〈d≤100	0.9	1.0	-	-
100 〈 d	1.0	-	-	-

$$La = L_2 \times ka \quad (cd/m^2)$$

② 조명구간, da (m)

조명구간은 선행터널의 출구에서 운전자가 시인거리에 있는 전방의 장해물을 볼 수 있는 거리로 결정되고, <표 621.13>의 시인거리(ds), 터널간 거리(d), 장해물 배경 길이(dg)에 의하여 구하도록 한다.

<표 621.13> 설계속도와 시인거리 및 장해물의 배경길이와의 관계

설계속도, V (km/h)	100	80	60	40
시인거리, ds (m)	160	110	75	40
장해물의 배경 길이, dg (m)	55	40	25	15

조명구간 $da(m) = ds - d + ds$

(3) 이행부 조명

① 노면휘도, Lb (cd/m^2)

이행부의 노면휘도는 경계부의 노면휘도(La)를 100%로 하고, <그림 621.11>의 연속터널의 갱구간 순응휘도 변화에 따라 점차 저하되어 진다. 이행부 노면휘도의 저감계수(kb)는 <그림 621.11>의 순응휘도와 후속하는 터널입구로부터 전방향의 거리(dp)와의 관계로부터 구한다.

노면휘도의 저감계수(kb)를 전방향 거리(dp)가 터널간 거리(d)일 때의 값보다 정규화하여 경계부 노면휘도(La)에 곱하므로써 이행부의 각 지점의 노면휘도(Lb)를 구한다.

$$k_b = 0.606 \log dp - 0.32$$
$$L_b = L_a \times k_b \quad (cd/m^2) \qquad (621.2)$$

② 조명구간, db (m)

조명구간(db)는 운전자가 선행하는 터널의 출구로부터 후속하는 터널의 입구 바로 앞 10m의 위치까지 이동하는 사이의 거리이고, 다음과 같이 터널간 거리(d)로부터 10m를 뺀 값이 된다.

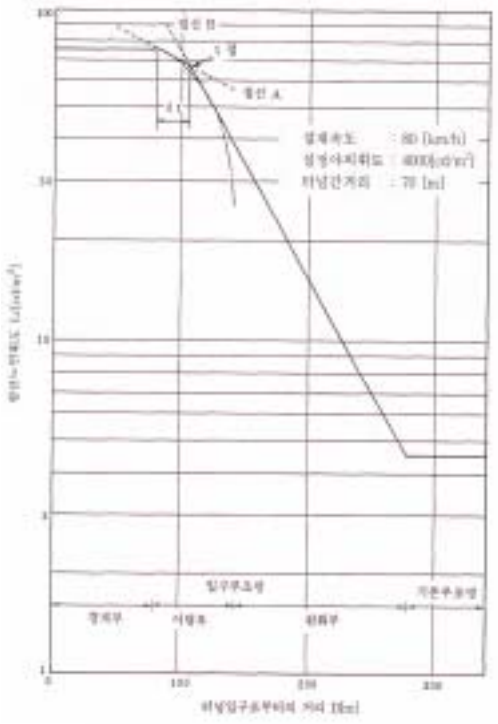
$$db(m) = d - 10 \qquad (621.3)$$

(4) 완화부 조명

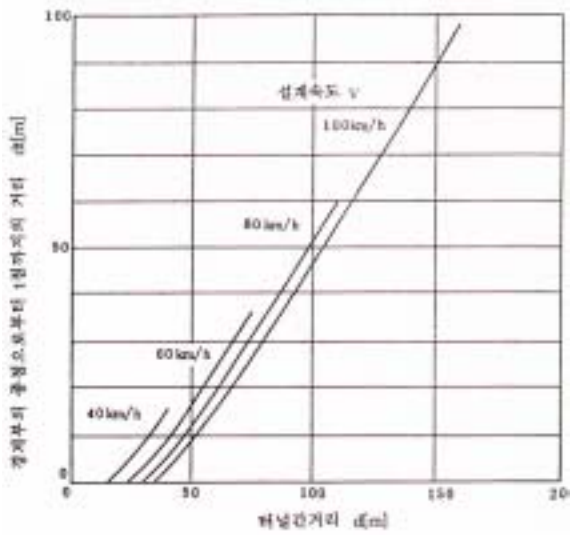
① 노면휘도, Lc (cd/m^2)

완화부의 노면휘도는 <그림 621.9> (b)의 단독터널의 경우와 같이 노면휘도를 저하시켜 그 종단을 기본부 조명에 연결하도록 한다.

<그림 621.12> (a)는 후속터널 입구부 조명곡선의 설계 예를 나타낸 것으로, 이행부 시점, t점, 완화부 종점을 변곡점으로 하는 3개 직선에 의하여 구성되어지며, t점의 노면휘도(Lt)는 경계부의 노면휘도(La)에 저감계수 kt를 곱하여 구할 수 있다.

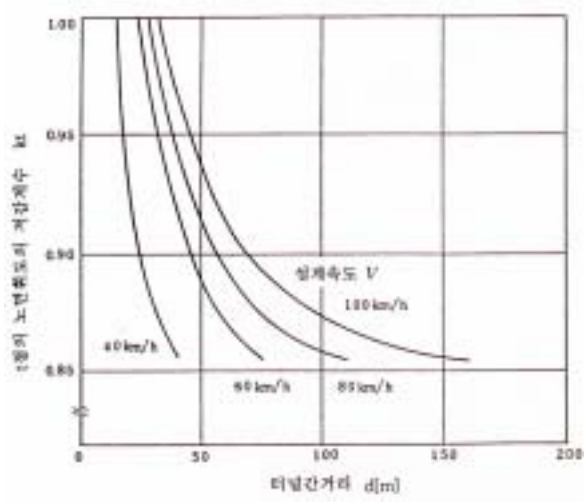


(a) 후속터널 입구부 조명곡선 설계 예



(b) t점까지의 거리

<그림 621.12> 터널간 거리에 따른 t점까지의 거리 및 t점의 노면휘도 저감계수(kt)



(c) t점의 노면휘도 저감계수

<그림 621.12> 터널간 거리에 따른 t점까지의 거리 및 t점의 노면휘도 저감계수(kt) (계속)

2.4 출구조명, 접속도로 및 비상 조명

2.4.1 출구부 조명의 설치

(1) 설치 대상

터널출구에서는 다음 사항들에 속하는 경우에는 반드시 출구조명을 설치해야 한다.

- 터널의 설계속도가 80km/h 이상인 경우,
- 터널 출구부의 야외휘도가 6,000 cd/m^2 이상인 경우,
- 터널길이가 약 400m 이상인 경우.

(2) 설치 요령

① 출구부 조명에 필요한 노면휘도는 터널출구부의 야외휘도와 그 배경과의 휘도 대비에 의해 결정한다.

② 출구부 조명의 경우 출구에 가까운 노면에 조명을 시행하는 것은 무의미하다.

③ 조명은 주로 선행하는 자동차의 뒷면에 대하여 시행해야 한다.

(3) 소요휘도 및 조명구간

① 주간의 출구부 노면휘도는 출구부 측의 야외휘도의 1/10배로 한다. 즉, 야외휘도가 6,000 cd/m^2 인 경우에 대하여 출구부 조명의 소요 수직면조도는 약 60 *lx*가 필요하다.

② 출구조명의 소요거리는 약 80m로 한다. 즉, 선행차와의 차간 거리에 의하여 소요거리는 영향을 받으나 110m 이하의 차간거리에 있어서 두 대의 선행차의 휘도를 조사한 결과, 실제로 필요한 출구조명의 길이가 출구로부터 약 80m 구간임이 입증되었다.

2.4.2 접속도로 조명의 설치

야간에 터널 진입도로의 낮은 조도로부터 밝은 터널 내로 진입할 때, 그리고 조명 시설이 설치된 터널에서 어두운 접속도로로 나갈 때 터널내의 밝기에 순응하는 운전자가 전조등의 밝기만으로 안전하게 운전이 가능하도록 눈이 적응할 때까지의 접속되는 도로를 조명해야 한다.

(1) 설치 대상

① 길이가 200m 이상인 터널의 경우와 교통량이 많은 도심지 지하 차도의 경우에 설치해야 한다.

② 단, 길이가 200m 미만이고, 출구 접속도로의 선형이 급격히 변하지 않을 경우 또는 심야에 교통량 감소로 인해 터널 내를 감광할 경우에는 접속도로의 휘도를 감광할 수 있다.

(2) 소요휘도 및 조명구간

터널 접속도로의 조명수준은 일반도로의 조명수준(KSA3701 도로조명기준)에 준하여 설치하도록 하며, <표 621.14>와 <표 621.15>에는 각각 소요휘도와 조명 설치구간을 나타내었다.

<표 621.14> 출구부 접속도로의 소요 휘도

야간의 터널내 휘도 (cd/m^2)	접속도로 소요 휘도 (cd/m^2)	
	제 1 구간	제 2 구간
4.0 이상	2.0	1.0
2.0 ~ 4.0	1.0	0.5
2.0 미만	0.5	-

<표 621.15> 설계속도에 따른 소요 길이

설계속도 (km/h)	소요 길이 (m)	
	제 1 구간	제 2 구간
100	180	180
80	130	130
60	95	95
40	60	-

2.4.3 비상조명의 설치

비상조명은 비상주차대, 피난연락갱도 등에 적용하며, 각각의 목적에 따라 적절한 노면조도를 유지해야 한다. 또한 고장 및 화재 등에 의한 갑작스런 정전을 대비하여 축전지나 자가발전기를 이용하는 비상조명을 설치해야 한다.

(1) 설치 기준

① 비상주차대

평균노면조도는 75*lx*로 한다. 본선의 조도가 75*lx* 이상의 경우는 비상주차대의 조도도 동등 이상으로 하는 것이 바람직하다.

그리고 광원의 색상은 본선 조명과 다르게 하여 비상주차대의 구분이 쉽도록 하며, 램프의 시동 및 재시동이 빠르고, 연색성이 좋은 형광램프 종류가 적절하다.

② 피난연락갱도, 피난갱도

비상시 대피 및 유지관리용 통로 등 피난연락갱도 및 피난갱도의 설치 목적상 적절한 평균노면조도가 필요하다.

피난갱도의 평균노면조도 10*lx*를 확보할 필요가 있고, 피난연락갱도의 평균노면조도는 약 20*lx*를 확보해야 한다.

광원의 색상은 본선 조명과 다르게 하여 구분이 쉽도록 하며, 시동 및 재시동이 빠르고, 램프의 사용수명 및 연색성이 좋은 형광램프 종류가 적합하다.

(2) 정전시 사용 조명

갑작스런 정전이 발생하였을 경우 터널내를 주행하는 운전자의 반응시간은 약 1초가 필요하며, 속도가 80km/h로 주행하는 경우 약 20m를 주행하게 되어 매우 위험한 상태가 된다. 따라서 터널 길이가 200m 이상의 터널 그리고 200m 이하지만 출구가 잘 보이지 않는 터널에서는 정전을 대비한 축전지 및 자가발전 설비를 설치해야 한다.

자가발전 설비는 정전 후 1 ~ 2분 후에나 정규전압을 발생시키므로 주전원의 정전 직후로부터 3분 이상 축전지를 병용하여 점등시키며, 조명수준은 최저 기본부 조명의 약 1/2 이상 수준으로 설계한다.

621.3 조명계산

3.1 기본적인 조명계산 방법

3.1.1 계산 순서

조명계산은 여러 가지 방법들이 제안되고 있으나, 어느 방법이든지 조명설비를 시설한 후 실측하면 설계치와 차이를 발생하게 된다. 본 편람에서는 조명계산의 대표적인 방법 중 하나를 설명하고자 한다.

조명의 계산은 아래와 같은 순서에 따라 행하며, 결정 요소들은 상호 연관성을 가지고 있다.

- 각 조명구간의 설계 값의 선택
- 평균 조도 환산계수(K), 조명률(U) 및 보수율(M)의 설정
- 조도계산식에 따라 램프 전력 수와 기구 배치 등의 결정

3.1.2 조명계산 기본 식

조명계산에 이용되는 기본식은 다음과 같다.

$$\frac{F}{S} = \frac{W \cdot E}{N \cdot U \cdot M} = \frac{W \cdot k \cdot L}{N \cdot U \cdot M} \qquad (621.4)$$

여기서,

F : 광원 광속(*lm*) , S : 조명기구 간격(m)

L : 노면휘도(cd/m^2) , k : 평균조도환산계수

W : 차도 폭(m) , U : 조명률

E : 소요 노면조도(*lx*), M : 보수율

N : 조명기구의 간격 S 내의 기구 수

(<그림 621.13> 참조)

3.1.3 각종 계수의 설정

(1) 조명률(U)

설치한 램프의 총 광속 중 어느 정도가 노면에 도달하는 가를 나타내는 비율을 말하며, 조명기구의 배광, 터널치수, 터널 내부의 표면상태 등에 결정된다. 보통은 0.3 ~ 0.45 정도의 범위를 가지고 있다.

터널에서의 조명률 결정과정을 살펴보면 다음과 같다.

$$E_i = E_{io} + \sum_{j=1}^{4} a(j,i)\rho j E_j / S_i \qquad (621.5)$$

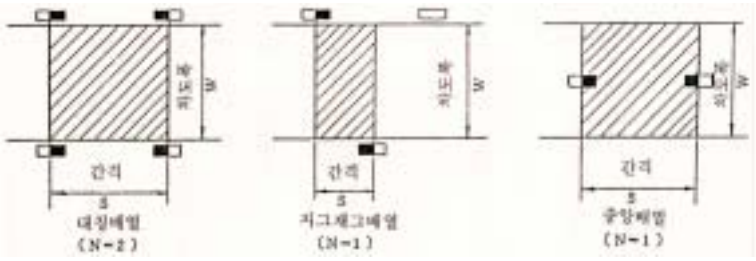
여기서,

E_i : 면 i의 조도 ,

E_{io} : 면 i의 직사조도

ρ_j : 면 j의 반사율 , S_i : 면 i의 면적

$a(j,i)$: 면 j가 단위광속발산도 일 때, 면 i에 주는 광속(고유입사광속계수)



<그림 621.13> 조명기구의 배열

사용하는 기구의 광원의 광속을 F라고 하면, 면 i의 조명률은 $U_i = E_i \cdot S_i / F$이며, 면 i의 직사조명률은 $U_{io} = E_{io} \cdot S_i / F$ 이므로 위의 식 (621.5)를 식 (621.6)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} U_1 &= A_{11}U_{1o} + A_{12}U_{2o} + A_{13}U_{3o} + A_{14}U_{4o} \\ U_2 &= A_{21}U_{1o} + A_{22}U_{2o} + A_{23}U_{3o} + A_{24}U_{4o} \\ U_3 &= A_{31}U_{1o} + A_{32}U_{2o} + A_{33}U_{3o} + A_{34}U_{4o} \\ U_4 &= A_{41}U_{1o} + A_{42}U_{2o} + A_{43}U_{3o} + A_{44}U_{4o} \end{aligned} \quad (621.6)$$

여기서, A_{ij}는 <그림 621.14>의 (Wo / Ho) 및 각 면의 반사율에 의하여 결정되는 계수로서 별첨 1)과 같이 이론적으로 계산되어 있으므로, 조명기구의 배광곡선에서 U_{io}를 구하면 윗 식에 의하여 조명률을 계산할 수 있다.

(2) 평균조도환산계수(k, $lx/cd/m^2$)

평균휘도값을 평균조도값으로 변환하는 계수를 평균조도환산계수(k)라 하며, 이 값은 조명기구의 배치 및 배광, 노면의 광학적 특성, 오염, 마모정도, 터널구조, 선형, 내장방법 등에 영향을 받는다.

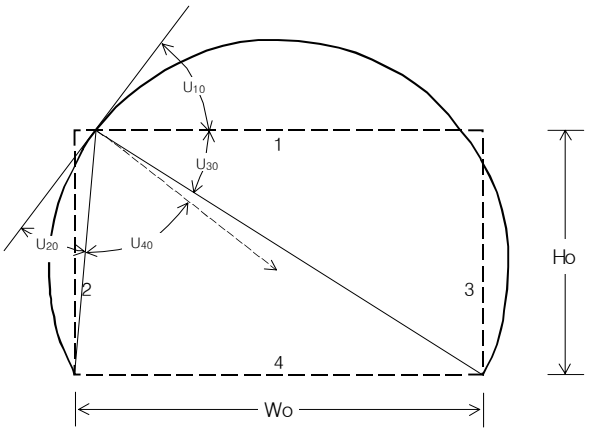
(3) 소요노면조도(lx)

조명의 설계 기준 값을 휘도(L, cd/m^2)로 나타내고 있지만, 실제의 조명계산에는 설계 평균휘도값을 평균 조도(lx) 값으로 변환하여 이용하는 것이 일반적이다.

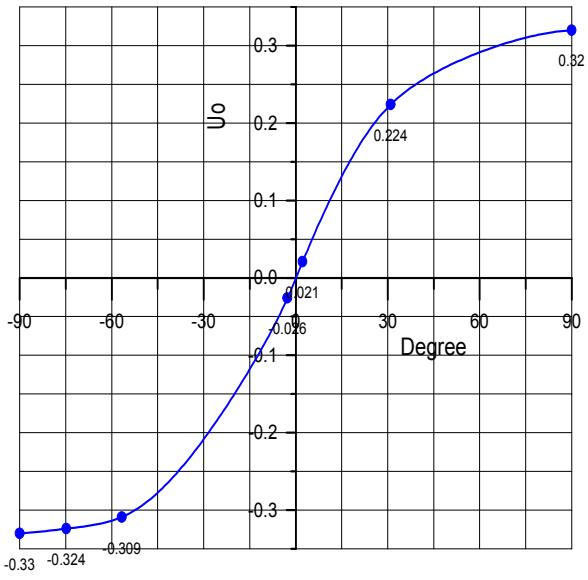
$$E = k \cdot L \quad (621.7)$$

여기서,

E : 소요노면조도(lx) , L : 노면휘도(cd/m^2)



(a) 터널형태 및 조명기구 설치위치



(b) 벽 상부 설치용 터널조명기구의 직사조명률(Uo) - 각도 곡선(저,고압나트륨램프)

<그림 621.14> 터널단면 위치별 조도계산

포장재의 종류와 포장 후 경과 연도에 따라 k가 약간씩 다르며, 콘크리트 노면에서는 13 $lx/cd/m^2$이고, 아스팔트 노면에서는 18 ~ 22 $lx/cd/m^2$을 원칙으로 한다.

(4) 보수율(M)

조명설비를 설치한 후 램프의 광속 저하, 기구의 오염, 벽면과 천정면의 오염 등에 의해 휘도가 감소하게 되므로 청소와 같은 유지보수 작업을 행해야 하는데, 보수율이란 이러한 작업에 의해 초기의 휘도 값 중 어느 정도를 유지할 수 있는지를 나타내는 계수이다(<표 621.16> 참조).

(3) 설계속도는 80km/h 이고, 교통량은 20,000대/日, 설정야회휘도는 4,000cd/m^2로 한다.

3.2.2 설계요인

(1) 기본부 조명의 노면휘도(Lr)는 <표 621.4>에 의하여 설계속도 80km/h인 경우 L = 4.5 cd/m^2 이며, 평균조도환산계수는 아스팔트이므로 k = 18 $lx/cd/m^2$이다.

(2) 광원은 저압나트륨램프이고, 조명기구는 <그림 621.14> (b)와 같이 직사조명률을 갖는 조명기구로 한다.

<표 621.16> 보수율(M) 참고 값

터널상황 / 교통량(日)	길이(m)	1,500m 이상		500m ~ 1,500m		500m 미만	
	오름 경사(%)	2% 이상	2% 미만	2% 이상	2% 미만	2% 이상	2% 미만
20,000대 이상		0.4	0.5	0.5	0.55	0.55	0.6
10,000 ~ 20,000대		0.45	0.55	0.55	0.6	0.6	0.65
5,000 ~ 10,000대		0.5	0.6	0.6	0.65	0.65	0.7
5,000대 미만		0.55	0.65	0.65	0.7	0.7	0.75

3.2 조명계산 예

3.2.1 조 건

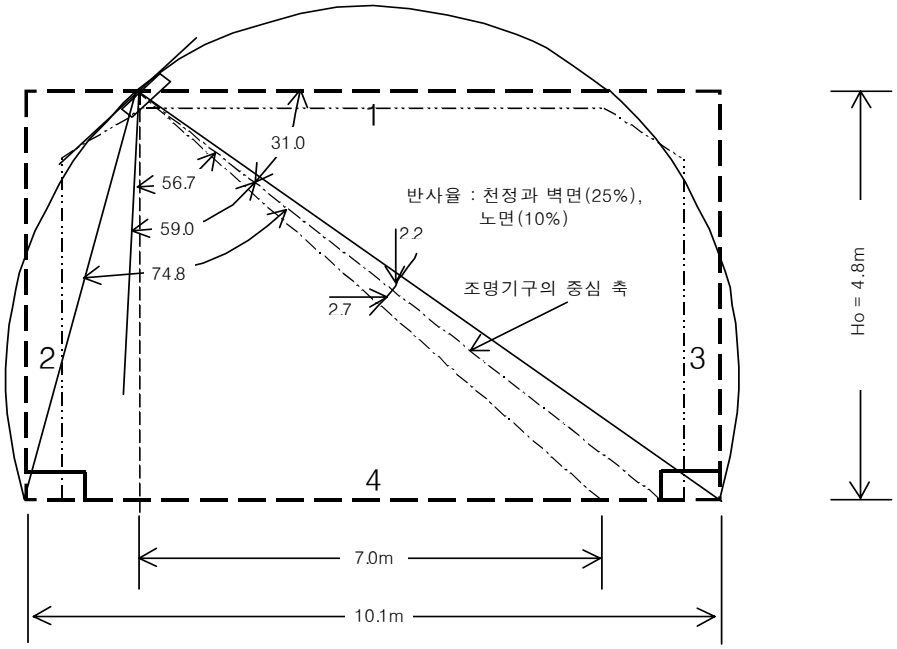
(1) 터널 형태 및 조명기구 설치 위치는 <그림 621.15>와 같이 4.8m 높이에 설치하고, 터널 단면은 W = 3.5m × 2, Wo = 10.1m, 길이 180m의 터널에 대해 계산한다.

(2) 각 면의 반사율은 천장면이 25%(ρ_1= 0.25), 벽면은 25%(ρ_1=ρ_3= 0.25), 노면(아스팔트)은 10%(ρ_4= 0.25)이다.

(3) 차도의 조명률(U) 계산은 <그림 621.15> (b)에 의하여

U_{1o}= U(90) - U(31.3) = 0.32 - 0.224 = 0.096,
U_{2o}= U(-90) - U(-74.8) = 0.33 - 0.324 = 0.006,
U_{3o}= U(31.0) - U(2.2) = 0.224 - 0.021 = 0.203,
U_{4o}= U(-74.8) - U(2.2) = 0.324 - 0.021 = 0.345,

이고, 전노면 폭과 높이의 비(Wo/Ho = 10.1/4.8)가 약 2.1이므로, 주어진 별첨 1)에 의하여 Aij의 값을 구하면, A_{41} = 0.171, A_{42} = A_{43} = 0.122, A_{44} = 1.016이 된다.



<그림 621.15> 터널 기본부 조명설계 단면도

따라서 전 노면의 조명률(U_4)는

$$U_4 = A_{41}U_{1o} + A_{42}U_{2o} + A_{43}U_{3o} + A_{44}U_{4o}$$
$$= 0.392$$

이 되며, 또한 차도폭 W만큼의 조명률(U_4)은 그 면의 직사조명률 U_{4o}를 다음과 같이 구할 수 있다. 즉,

$$U'_{4o} = U(-56.7°) - U(-2.7°)$$
$$= 0.309 - 0.026 = 0.283$$

이 되며, 조명률 U'_4는 U'_{4o}에 차도폭 내의 상호반사성분을 더하여 U'_4를 구하면,

$$U'_4 = U'_{4o} + \frac{W}{Wo}(U_4 - U_{4o}) = 0.316$$

이 되고, 보수율(M)은 0.6으로 한다.

3.2.3 설계계산

식 (621.4)로부터

$$\frac{F}{S} = \frac{W \times k \times L}{N \times U \times M}$$

(F : 광원 광속(lm), S : 조명기구 간격)

노면휘도(L) = 4.5 cd/m^2,
평균조도환산계수(k) = 18,
차도 폭(W) = 7m,
조명률(U) = 0.316,
보수율(M) = 0.6,
N = 2(대칭배열) 이므로

$$\frac{F}{S} = \frac{7 \times 18 \times 4.5}{2 \times 0.316 \times 0.6} = 1.495(lm/\mathrm{m})$$

이 된다.

그리고 대칭배열의 경우 S ≤ 2.5H 이므로 S ≤ 2.5×H(4.8) = 12.0m 이하로 된다.

따라서 조명거리를 S = 5m로 하고, 광원의 광속을 F ≒ 7,475*lm*로 하며, 기본부 광원을 NX55(F = 7,600*lm*)로 사용하며, 또한 입구부조명, 출구부조명에 대하여도 이에 준하여 계산한다.

이 경우 노면휘도(L)는

$$L = \frac{7,600 \times 2 \times 0.6 \times 0.316}{7 \times 5 \times 18}$$

$$= 4.57 cd/m^2$$

가 된다.

별첨 1) Wo / Ho 및 각 면의 반사율에 의하여 결정되는 계수(A_{ij})

(노면 반사율 0.25)

Wo/Ho	천정반사율	벽면반사율	A_{21}, A_{31}	A_{22}, A_{33}	A_{23}, A_{32}	A_{24}, A_{34}	A_{41}	A_{42}, A_{43}	A_{44}
1.6	0.10	0.25	0.028	1.014	0.081	0.065	0.061	0.104	1.020
		0.40	0.030	1.029	0.132	0.069	0.065	0.173	1.029
		0.60	0.032	1.058	0.205	0.075	0.071	0.287	1.042
	0.20	0.25	0.071	1.019	0.086	0.071	0.156	0.114	1.034
		0.40	0.076	1.038	0.141	0.076	0.167	0.195	1.045
		0.60	0.084	1.074	0.221	0.084	0.183	0.321	1.061
	0.40	0.25	0.117	1.024	0.091	0.078	0.255	0.125	1.049
		0.40	0.125	1.047	0.150	0.084	0.274	0.215	1.062
		0.60	0.139	1.091	0.237	0.093	0.304	0.358	1.082
1.8	0.10	0.25	0.026	1.013	0.074	0.060	0.064	0.107	1.021
		0.40	0.027	1.026	0.120	0.063	0.068	0.181	1.029
		0.60	0.029	1.050	0.185	0.068	0.073	0.293	1.041
	0.25	0.25	0.066	1.017	0.078	0.066	0.165	0.119	1.036
		0.40	0.070	1.034	0.128	0.070	0.175	0.202	1.046
		0.60	0.076	1.065	0.199	0.076	0.190	0.329	1.062
	0.40	0.25	0.108	1.022	0.083	0.073	0.269	0.131	1.053
		0.40	0.115	1.043	0.137	0.078	0.288	0.224	1.065
		0.60	0.127	1.081	0.215	0.085	0.316	0.369	1.084
2.0	0.10	0.25	0.024	1.012	0.067	0.055	0.067	0.110	1.023
		0.40	0.025	1.023	0.109	0.058	0.071	0.185	1.029
		0.60	0.027	1.044	0.168	0.062	0.076	0.298	1.040
	0.25	0.25	0.061	1.016	0.072	0.061	0.172	0.123	1.038
		0.40	0.065	1.031	0.117	0.065	0.182	0.207	1.048
		0.60	0.070	1.058	0.182	0.070	0.196	0.336	1.062
	0.40	0.25	0.101	1.021	0.076	0.068	0.282	0.136	1.057
		0.40	0.107	1.039	0.125	0.072	0.299	0.231	1.068
		0.60	0.116	1.073	0.197	0.079	0.326	0.377	1.086
2.2	0.10	0.25	0.022	1.011	0.062	0.051	0.070	0.113	1.021
		0.40	0.023	1.021	0.101	0.054	0.073	0.189	1.290
		0.60	0.025	1.039	0.165	0.057	0.078	0.302	1.039
	0.25	0.25	0.057	1.015	0.066	0.057	0.179	0.126	1.040
		0.40	0.060	1.028	0.108	0.060	0.188	0.212	1.049
		0.60	0.065	1.052	0.167	0.065	0.201	0.342	1.063
	0.40	0.25	0.094	1.019	0.071	0.064	0.293	0.150	1.060
		0.40	0.099	1.036	0.116	0.067	0.310	0.237	1.071
		0.60	0.108	1.066	0.181	0.073	0.335	0.384	1.088
2.4	0.10	0.25	0.021	1.010	0.057	0.048	0.072	0.115	1.022
		0.40	0.022	1.019	0.093	0.050	0.075	0.192	1.028
		0.60	0.023	1.035	0.143	0.053	0.079	0.305	1.039
	0.25	0.25	0.054	1.014	0.061	0.054	0.184	0.129	1.041
		0.40	0.056	1.026	0.100	0.056	0.193	0.216	1.050
		0.60	0.060	1.047	0.155	0.060	0.206	0.346	1.063
	0.40	0.25	0.088	1.018	0.066	0.060	0.302	0.144	1.062
		0.40	0.093	1.034	0.108	0.063	0.318	0.242	1.073
		0.60	0.100	1.060	0.168	0.068	0.343	0.391	1.090
2.6	0.10	0.25	0.020	1.009	0.053	0.045	0.074	0.117	1.022
		0.40	0.020	1.017	0.087	0.047	0.077	0.194	1.028
		0.60	0.022	1.032	0.132	0.049	0.081	0.308	1.038
	0.25	0.25	0.051	1.013	0.057	0.051	0.189	0.132	1.043
		0.40	0.053	1.024	0.093	0.053	0.198	0.220	1.051
		0.60	0.056	1.043	0.144	0.056	0.210	0.350	1.063
	0.40	0.25	0.083	1.017	0.061	0.056	0.311	0.147	1.065
		0.40	0.087	1.031	0.100	0.059	0.326	0.247	1.075
		0.60	0.093	1.056	0.156	0.063	0.349	0.396	1.091

별첨 1) 계 속

(노면 반사율 0.10)

Wo/Ho	천정반사율	벽면반사율	A_{21}, A_{31}	A_{22}, A_{33}	A_{23}, A_{32}	A_{24}, A_{34}	A_{41}	A_{42}, A_{43}	A_{44}
1.6	0.10	0.25	0.026	1.010	0.077	0.026	0.060	0.103	1.008
		0.40	0.027	1.022	0.125	0.027	0.064	0.173	1.011
		0.60	0.029	1.046	0.192	0.029	0.069	0.280	1.016
	0.20	0.25	0.065	1.014	0.081	0.028	0.153	0.112	1.013
		0.40	0.069	1.029	0.132	0.030	0.162	0.190	1.017
		0.60	0.075	1.058	0.205	0.032	0.173	0.310	1.024
	0.40	0.25	0.105	1.018	0.085	0.030	0.248	0.122	1.019
		0.40	0.112	1.037	0.140	0.032	0.264	0.208	1.074
		0.60	0.123	1.071	0.218	0.036	0.289	0.341	1.024
1.8	0.10	0.25	0.024	1.009	0.070	0.024	0.064	0.106	1.008
		0.40	0.025	1.019	0.113	0.025	0.067	0.178	1.011
		0.60	0.027	1.039	0.173	0.027	0.072	0.284	1.016
	0.25	0.25	0.060	1.013	0.074	0.026	0.161	0.116	1.014
		0.40	0.063	1.026	0.120	0.027	0.170	0.196	1.018
		0.60	0.068	1.050	0.185	0.029	0.183	0.318	1.024
	0.40	0.25	0.097	1.017	0.077	0.028	0.261	0.127	1.021
		0.40	0.102	1.033	0.127	0.030	0.277	0.215	1.025
		0.60	0.111	1.063	0.197	0.032	0.301	0.351	1.032
2.0	0.10	0.25	0.022	1.008	0.064	0.022	0.066	0.109	1.008
		0.40	0.023	1.017	0.103	0.023	0.069	0.182	1.011
		0.60	0.024	1.033	0.157	0.024	0.074	0.291	1.016
	0.25	0.25	0.055	1.012	0.067	0.024	0.168	0.120	1.015
		0.40	0.058	1.023	0.109	0.025	0.177	0.202	1.019
		0.60	0.062	1.044	0.168	0.027	0.189	0.324	1.024
	0.40	0.25	0.089	1.015	0.071	0.026	0.273	0.131	1.022
		0.40	0.094	1.030	0.116	0.028	0.288	0.222	1.026
		0.60	0.102	1.056	0.180	0.030	0.310	0.359	1.033
2.2	0.10	0.25	0.020	1.007	0.059	0.020	0.069	0.112	1.008
		0.40	0.021	1.015	0.095	0.021	0.072	0.186	1.011
		0.60	0.022	1.029	0.144	0.022	0.076	0.295	1.015
	0.25	0.25	0.051	1.011	0.062	0.022	0.174	0.123	1.016
		0.40	0.054	1.021	0.101	0.023	0.182	0.206	1.019
		0.60	0.057	1.039	0.154	0.025	0.194	0.329	1.024
	0.40	0.25	0.083	1.014	0.065	0.025	0.283	0.135	1.023
		0.40	0.087	1.027	0.107	0.026	0.297	0.227	1.027
		0.60	0.094	1.050	0.165	0.028	0.318	0.365	1.033
2.4	0.10	0.25	0.019	1.006	0.054	0.019	0.071	0.144	1.009
		0.40	0.020	1.013	0.087	0.020	0.074	0.189	1.011
		0.60	0.021	1.026	0.133	0.051	0.078	0.298	1.015
	0.25	0.25	0.048	1.010	0.057	0.021	0.180	0.126	1.016
		0.40	0.050	1.019	0.093	0.022	0.187	0.210	1.019
		0.60	0.053	1.035	0.143	0.023	0.199	0.334	1.024
	0.40	0.25	0.078	1.013	0.061	0.023	0.292	0.138	1.024
		0.40	0.081	1.025	0.099	0.024	0.305	0.232	1.028
		0.60	0.087	1.045	0.152	0.026	0.325	0.371	1.034
2.6	0.10	0.25	0.018	1.006	0.050	0.018	0.073	0.115	1.009
		0.40	0.018	1.012	0.081	0.018	0.075	0.191	1.011
		0.60	0.019	1.023	0.123	0.019	0.079	0.301	1.015
	0.25	0.25	0.045	1.009	0.053	0.020	0.185	0.128	1.017
		0.40	0.047	1.017	0.087	0.020	0.192	0.213	1.020
		0.60	0.049	1.032	0.132	0.022	0.202	0.337	1.024
	0.40	0.25	0.073	1.012	0.057	0.022	0.299	0.141	1.025
		0.40	0.076	1.023	0.092	0.023	0.312	0.236	1.029
		0.60	0.081	1.041	0.142	0.024	0.331	0.375	1.035

622
참고문헌

【601 적용】

1. 건설교통부, 터널설계기준, 1999
2. 건설교통부, 터널표준시방서, 1999
3. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 1992

[602 기본계획】

1. 건설교통부, 터널표준시방서, 1996
2. 건설부, 도로의 구조·시설기준에 관한 규정, 1990
3. 강재수, 도로계획과 설계, 엔지니어즈, 1998
4. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 1992
5. 한국도로공사, 터널설계 실무 자료집, 1995
6. 한국수자원공사, 수로터널의 설계 및 시공 지침서, 1997
7. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편)·동해설, 1996
8. Model specification for tunneling, British tunnelling socity, 1997

【603 조사 및 시험】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 서울특별시, 지반조사편람, 1996
3. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 1992
4. 한국도로공사, 터널설계 실무 자료집, 1995
5. 한국수자원공사, 수로터널의 설계 및 시공 지침서, 1997
6. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편)·동해설, , 1996
7. Bieniawski, Engineering Rock Mass Classifications, pp. 51~105, 1989
8. Model specification for tunneling, British tunnelling socity, 1997
9. Nick Barton, Permanent Support for Tunnels using NMT, 한국암반역학회, pp. 1~26, 1995

【604 설계일반】

1. 건설교통부, 터널표준시방서, 1999
2. 한국도로공사, 도로설계요령(제4권), 1992
3. 한국도로공사, 도로설계실무자료집, 1995
4. (주)대우, 터널신공법연구개발보고서, 1984

【605 터널 지보재】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 1992
3. 한국도로공사, 터널설계 실무 자료집, 1995
4. 한국수자원공사, 수로터널의 설계 및 시공 지침서, 1997
5. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법

편)・동해설, 1996
6. (주)대우, 터널신공법연구개발보고서, 1984
7. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997
8. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
9. 한국도로공사, 청주-상주간 고속도로 건설공사 표준도, 1998
10. 삼보건설기계산업(주), 터널지보용 삼각철근 STEEL RIB의 개발, 1995
11. 천원공업주식회사, 터널 지보용 래티스거어더의 현장적용성 연구, 1996
12. 대덕공영, (주)다산컨설턴트, (주)바우컨설턴트, (주)삼보기술단, (주)해강 공저, 국내 터널설계 기술력 향상을 위한 신기술 연구(I), 1998
13. Bieniawski, Engineering Rock Mass Classifications, pp. 51~105, 1989
14. Nick Barton, Permanent Support for Tunnels using NMT, 한국암반역학회, pp. 1~26, 1995
15. E. Heok & E. T. Brown, Underground Excavations in Rock, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980

【606 콘크리트 라이닝】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 건설교통부, 콘크리트 구조설계기준, 1999
3. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 1996
4. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편)・동해설, , 1996
5. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 1992
6. 한국수자원공사, 수로터널의 설계 및 시공 지침서, 1997
7. 한국도로공사, 터널설계 실무 자료집, 1995

【607 터널 해석】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 1992
3. 한국도로공사, 터널설계 실무 자료집, 1995
4. 한국수자원공사, 수로터널의 설계 및 시공 지침서, 1997
5. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편)・동해설, 1996
6. (주)대우, 터널신공법연구개발보고서, 1984
7. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
8. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997
9. 한국지반공학회 터널분과위원회, '97터널기술 Work Shop-II (정보화 시대의 터널기술의 위상), pp. 145 ~ 197, 1997

【608 배수 및 방수】

1. 건설교통부, 터널표준시방서, 1999
2. 한국도로공사, 도로설계요령(제4권), 1992
3. 한국도로공사, 도로설계실무자료집, 1995
4. (주)대우, 터널 신공법 연구개발보고서, 1984

【609 굴착】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 1992
3. 한국도로공사, 터널설계 실무 자료집, 1995
4. 한국수자원공사, 수로터널의 설계 및 시공

지침서, 1997
5. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편)・동해설, 1996
6. 한국지반공학회 터널분과위원회, '97터널기술 Work Shop-II (정보화 시대의 터널기술의 위상), pp. 145 ~ 197, 1997
7. 한국지반공학회, 터널 수치해석의 올바른 적용을 위한 Work Shop, 1996
8. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
9. 한국건설기술연구원, 지하 생활공간 개발 요소기술 연구 - 지반굴착기술분야(II), 연구보고서 건기연 94-GE-161-2, pp. 3-1 ~ 3-24, 1995
10. 한국건설기술연구원, 지하 생활공간 개발 요소기술 연구 - 지반굴착기술분야(III), 연구보고서 건기연 95-GE-1401-3, pp. 121 ~ 129, 1995
11. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997
12. (주) 대우, 터널신공법(NATM) 연구개발 보고서, 1984

【610 굴착보조공법】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 대한토목학회, 지하철공사 표준시방서 (안) - 중앙건설기술심의위원회 회의자료", 건설교통부, pp. 2-104 ~ 2-102, 1997
3. 김상수, 도시터널의 NATM 공법, 창우출판, pp. 151 ~ 176, 1997
4. 암반역학위원회, 터널공학 조사・계측의 평가와 이용, 원기술, 1994
5. 이희근, 임한욱 공저, 터널・지하공간 굴착공학, pp. 184 ~ 210, 1995
6. 천병식, 최신 지반주입 -이론과 실제-, 원기술, pp. 301 ~ 394, 1998
7. 도서출판 과학기술 편집부 편, 최신 터널공법 총기술, 도서출판 과학기술, pp. 685 ~ 724, 1994
8. 한국건설기술연구원, 지하 굴착 보조 공법의 설계와 시공에 관한 연구- 주입공법과 Pipe Roof 공법을 중심으로, 연구보고서 건기연 86-GE-2, pp. 189 ~ 207, 1986
9. 한국건설기술연구원, 토목구조물(터널편)의 현장계측에 관한 연구, 연구보고서 건기연, 1988
10. 한국건설기술연구원, 강관보강형 다단 그라우팅공법의 개발, 94연구보고서, 1994
11. 한국건설기술연구원, 지하 생활공간 개발 요소기술 연구 - 지반굴착기술분야(II), 연구보고서 건기연 94-GE-161-2, pp. 3-1 ~ 3-24, 1995
12. 한국건설기술연구원, 지하 생활공간 개발 요소기술 연구 - 지반굴착기술분야(III), 연구보고서 건기연 95-GE-1401-3, pp. 121 ~ 129, 1995
13. 한국건설기술연구원, 고속전철 터널기술 개발 (1차년도 연차보고서), 건설교통부, 통상산업부, 과학기술처, 1997
14. 한국도로공사, 도로설계요령 제 4권 - 터널, 1992
15. 한국도로공사, 고속도로 터널설계 실무자료집, pp. 265 ~ 284, 1995
16. 한국수자원공사, 수로터널 설계 및 시공지침(안), 설계자료 설관 97-02, pp. 108 ~ 112, 1997
17. 한국지반공학회 터널분과위원회, '97터널기술 Work Shop-II (정보화 시대의 터널기술의 위상), pp. 145 ~ 197, 1997
18. 한국지반공학회, 터널구조물의 시공관리

를 위한 계측 및 품질관리 방법, 1995
19. 한국지반공학회, 지반공학시리즈 7 - 터널, pp. 347 ~ 351, 1996
20. 한국지반공학회, 지반보강편람(주입공법 중심으로), 서울특별시, 1996
21. 한국지반공학회, 터널 수치해석의 올바른 적용을 위한 Work Shop, 1996
22. 한국지반공학회, '97터널기술 Work Shop - II, 1997
23. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
24. E. Heok & E. T. Brown, Underground Excavations in Rock, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980
25. ISRM, Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Method, E.T. Brown(Ed.), Pergamon, 1978
26. ITA Working Group, Guidelines for The Design of Tunnels, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 3, pp. 237 - 249, 1988
27. J. O. Bickel, T. R. Kuesel & E. H. King, Tunnel Engineering Handbook-Second Edition, An International Thomson Publishing Com., 1996

【611 계측】

1. 건설교통부 서울지방국토관리청, 도로공사 설계기준, 원기술, 1997
2. 건설교통부, 터널설계기준, 1999
3. 건설교통부, 터널표준시방서, 1999
4. 배규진, 이성원, 지하구조물 유지관리 및 계측, 대한토목학회지, vol 46, No. 11., pp. 43 -54, 1998
5. 윤지선외, 터널공학(조사·계측의 평가와 이용), 구미서관, 1994
6. 이희근, 임한욱 공저, 터널·지하공간 굴착공학, pp. 184 ~ 210, 1995
7. (주)삼보기술단, 터널유지관리용 자동화 계측 시스템 연구, 1997. 10
8. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널, 199223. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
9. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997

【612 개착터널부】

1. 건설교통부, 터널표준시방서, 1996
2. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997
3. 한국도로공사, 터널설계실무자료집, 1995
4. 한국도로공사, 터널설계요령-제4권 터널, 1992
5. 일본도로공단, 설계요령 제3집 제9편 トンネル, 昭和 60년
6. 윤지선외, 터널공학(조사·계측의 평가와 이용), 구미서관, 1994
7. 한국지반공학회, 91년도 추계학술발표회 논문집, 지반공학에서의 컴퓨터활용, 1991
8. 한국수자원공사, 수로터널의 설계 및 시공 지침서, 1997
9. 한국지반공학회, 복개식 개착터널 구조안정 연구보고서, 1991
10. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편), 동해설, 1996
11. 한국콘크리트학회 ·대한 건축학회, 콘크리트구조설계기준, 1999

【613 갱구부】

1. 건설교통부, 터널표준시방서, 1996
2. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997
3. 한국도로공사, 터널설계실무자료집, 1995
4. 한국도로공사, 터널설계요령-제4권 터널, 1992
5. 일본도로공단, 설계요령 제3집 제9편 トンネル, 昭和 60년
6. 윤지선외, 터널공학(조사·계측의 평가와 이용), 구미서관, 1994
7. 한국지반공학회, 91년도 추계학술발표회 논문집, 지반공학에서의 컴퓨터활용, 1991
8. 한국지반공학회, 지반공학시리즈 사면안정, 구미서관
9. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편), 동해설, 1996
10. 한국도로공사, 도로설계 실무편람, 1996

【614 단면 확폭부 및 분기부】

1. 건설교통부, 터널표준시방서, 1996
2. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997
3. 한국도로공사, 터널설계실무자료집, 1995
4. 한국도로공사, 터널설계요령-제4권 터널, 1992
5. 일본도로공단, 설계요령 제3집 제9편 トンネル, 昭和 60년
6. 윤지선외, 터널공학(조사·계측의 평가와 이용), 구미서관, 1994
7. 한국지반공학회, 91년도 추계학술발표회 논문집, 지반공학에서의 컴퓨터활용, 1991
8. 일본토목학회, 터널 표준시방서(산악공법편), 동해설, 1996

【615 수직갱 및 사갱】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 김상수, 도시터널의 NATM 공법, 창우출판, pp. 151 ~ 176, 1997
3. 대한토목학회, NATM 터널용 프리캐스트 콘크리트 라이닝의 개발 연구, 연구보고서, 1997
4. 암반역학위원회, 터널공학 조사·계측의 평가와 이용, 원기술, 1994
5. 이융직, 수갱공사의 기술적 문제에 대해서(I), 터널과 지하공간, 한국암반역학회, Vol. 1, pp. 158 ~ 167, 1991
6. 이융직, 수갱공사의 기술적 문제에 대해서(II), 터널과 지하공간, 한국암반역학회, Vol. 3, pp. 152 ~ 162, 1993
7. 이융직, 수갱공사의 기술적 문제에 대해서(III), 터널과 지하공간, 한국암반역학회, Vol. 3, pp. 158 ~ 167, 1993
8. 이융직, 수갱공사의 기술적 문제에 대해서(IV), 터널과 지하공간, 한국암반역학회, Vol. 4, pp. 156 ~ 169, 1994
9. 이융직, 수갱공사의 기술적 문제에 대해서(V), 터널과 지하공간, 한국암반역학회, Vol. 5, pp. 57 ~ 69, 1995
10. 이희근, 임한욱 공저, 터널·지하공간 굴착공학, pp. 184 ~ 210, 1995
11. 한국건설기술연구원, 지하 생활공간 개발 요소기술 연구 - 지반굴착기술분야(II), 연구보고서 건기연 94-GE-161-2, pp. 3-1 ~ 3-24, 1995
12. 한국건설기술연구원, 지하 생활공간 개발 요소기술 연구 - 지반굴착기술분야(III), 연구보고서 건기연 95-GE-1401-3, pp. 121 ~ 129, 1995
13. 한국도로공사, 도로설계요령 제 4권 - 터

널, 1992
14. 한국도로공사, 고속도로 터널설계 실무 자료집, pp. 265 ~ 284, 1995
15. 한국지반공학회 터널분과위원회, '97터널 기술 Work Shop-II (정보화 시대의 터널 기술의 위상), pp. 145 ~ 197, 1997
16. 한국지반공학회, 터널구조물의 시공관리를 위한 계측 및 품질관리 방법, 1995
17. 한국지반공학회, 지반공학시리즈 7 - 터널, pp. 347 ~ 351, 1996
18. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
19. Dep. of The ARMY Corps. of Engineers, Engineering and Design Tunnels and Shafts in Rock, ENGINEER MANUAL EM1110-2-2901 15 Sep., 1978
20. E. Heok & E. T. Brown, Underground Excavations in Rock, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980
21. ISRM, Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Method, E.T. Brown(Ed.), Pergamon, 1978
22. ITA Working Group, Guidelines for The Design of Tunnels, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 3, pp. 237 - 249, 1988
23. J. O. Bickel, T. R. Kuesel & E. H. King, Tunnel Engineering Handbook-Second Edition, An International Thomson Publishing Company, 1996

【616 TBM 터널】

1. 건설교통부, 터널설계기준, 1999
2. 건설교통부, 터널표준시방서, 1999
3. 유원건설, TBM공법 브로셔, 1999
4. 윤지선외, 터널공학(조사·계측의 평가와 이용), 구미서관, 1994
5. 이희근, 임한욱 공저, 터널·지하공간 굴착공학, pp. 184 ~ 210, 1995
6. 한국건설기술연구원, TBM/NATM 병용공법의 효용성 평가연구, 1994
7. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널 , 199223. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
8. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997

【617 쉴드 터널】

1. 건설교통부, 터널설계기준, 1999
2. 건설교통부, 터널표준시방서, 1999
3. 윤지선외, 터널공학(조사·계측의 평가와 이용), 구미서관, 1994
4. 이희근, 임한욱 공저, 터널·지하공간 굴착공학, pp. 184 ~ 210, 1995
5. (주)반석건설, SEGMENT, 1997
6. (주)반석건설, 실드터널 표준시방서(안), 1997
7. (주)반석건설, 실드터널의 신기술, 1997
8. (주)반석건설, 최신실드터널, 1997
9. 한국건설기술연구원, 쉴드터널용 사다리꼴 세그먼트의 효용성 평가, 1997
10. 한국도로공사, 도로설계요령 - 제4권 터널 , 199223. 홍성영, 산악터널의 신기술, 건설도서, pp. 149 ~ 170
11. 한국지반공학회, 지반공학시리즈7 터널, 구미서관, 1997

12. 土木學會, トンネル標準時方書(シールド工法편·同解說, 土木學會トンネル工學委員會, 1996

【618 환기설비】

1. 건설부, 터널공사 표준시방서, 1985
2. 건설부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정 해설 및 지침, 1990
3. 한국도로공사, 고속도로 건설공사 설계기준, 1991. 7
4. 한국도로공사, 고속도로 건설공사 표준도, 1992. 9
5. 한국도로공사 설계사업소 설계기준부, 호남고속도로 고서-순천간 4차선 확장 실시설계 터널공 설계기준 비교검토(안), 1992
6. 한국도로공사(수도권 고속도로 건설사업소), 고속도로 공사 시공 및 품질관리 지침서(I), 1991. 2
7. 한국도로공사, 영동고속도로 신갈-원주간 4차선 확장 실시설계 특별시방서, 1991. 7
8. 한국도로공사, 중부고속도로 건설지, 1988
9. 서울특별시, 남산 제 1호 터널 쌍굴 건설공사 종합보고서, 1988. 8
10. 고속전철기획단, 고속철도 터널 표준시방서(안), 1991
11. 한국전력공사 기술연구원, 토목 구조물의 현장계측에 관한 연구, 1989
12. 한국종합기술개발공사, 토목공사 감리 실무 요령(도로, 지하철), 1989
13. 건설이공학사, 최신 도로설계요령 제3권 12편 터널공, 1980
14. 일본도로공단, 설계요령 제3집 제9편 터널, 1985. 10
15. 일본도로협회, 도로 터널 기술기준(환기편)·동해설, 1985. 12
16. 한국도로공사, 도로 설계 요령 제4권, 1992. 12
17. 건설기술연구원, 터널환기시설에 대한 연구, 1996
18. 건설부, 도로용량편람, 1992.
19. 한국도로공사, 고속도로 터널 환기시설 설계기준, 1997. 10
20. (주) 대우, 터널신공법(NATM) 연구개발 보고서, 1984
21. PIARC 보고서, Road Tunnels, 1991.
22. PIARC 보고서, Road Tunnels: Emissions, Ventilation & Environment, 1995
23. GEO Consult, Yuksibryung tunnels - Basic Ventilation Design

【619 방재설비】

1. 건설부, 터널 공사 표준시방서, 1985
2. 건설부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정 해설 및 지침, 1990
3. 한국도로공사, 고속도로 건설공사 설계 기준, 1991. 7
4. 한국도로공사, 고속도로 건설공사 표준도, 1992. 9
5. 한국도로공사 설계사업소 설계기준부, 호남고속도로 고서-순천간 4차선 확장 실시설계 터널공 설계기준 비교검토(안), 1992.
6. 한국도로공사(수도권 고속도로 건설사업소), 고속도로 공사 시공 및 품질관리 지침서(I), 1991. 2
7. 한국도로공사, 영동고속도로 신갈-원주간 4차선 확장 실시설계 특별시방서, 1991.7
8. 한국도로공사, 중부고속도로 건설지, 1988
9. 서울특별시, 남산 제 1호 터널 쌍굴 건설공사 종합보고서, 1988.8

10. 고속전철기획단, 고속철도 터널 표준시방서(안), 1991
11. 한국전력공사 기술연구원, 토목구조물의 현장계측에 관한 연구, 1989
12. 한국종합기술개발공사, 토목공사 감리 실무 요령(도로, 지하철), 1989
13. 건설이공학사, 최신 도로설계요령 제3권 12편 터널공, 1980
14. 일본도로공단, 설계요령 제3집 제9편 터널, 1985. 10
15. 한국도로공사, 터널 방재시설 기준, 1998
16. Independent Technical Conferences Ltd., Tunnel Fires and Escape from Tunnels

【620 내장설비】

1. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
2. 한국도로공사, 도로설계요령 제 4권 - 터널, 1992
3. 한국도로공사, 고속도로 터널설계 실무 자료집, pp. 265 ~ 284, 1995
4. 일본도로공단, 설계요령 제3집 제9편 터널, 1985. 10

【621 조명설비】

1. 건설교통부, 도로터널 조명시설 설계기준 연구, 1995
2. 건설교통부, 터널공사표준시방서, 1996
3. 일본도로협회, 도로조명시설설치기준, 동해설, 1993
4. 한국도로공사, 도로설계요령 제 4권 - 터널, 1992
5. 한국도로공사, 고속도로 터널설계 실무 자료집, pp. 265 ~ 284, 1995
6. 한국산업규격, KS A 3701 도로조명기준, 1991
7. 한국산업규격, KS A 3703 터널조명기준, 1992
8. 한국지반공학회, 터널구조물의 시공관리를 위한 계측 및 품질관리 방법, 1995
9. CIE, Tunnel entrance lighting: A survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone, CIE-61, 1984
10. CIE, Guide for the lighting of road tunnels and underpasses, CIE-84, 1990
11. FHWA, Tunnel lighting design procedures, 1985
12. J. O. Bickel, T. R. Kuesel & E. H. King, Tunnel Engineering Handbook-Second Edition, An International Thomson Publishing Company, 1996
13. Mizutani, Toshinori, Inokuma, Akira, Horiuchi, Kosaburo, Road tunnel technology in japan - Technical memorandum of PWRI:3023, 1991
14. PWRI, State of the road tunnel equipment technology in japan: Ventilation, Lighting, Safety Equipment - Technical note of PWRI : 61, 1993

623
색 인

(ㄱ)

가인버트 굴착 609-6
감시용 텔레비전 설비 619-12
강관보강형 다단 그라우팅 610-4, 610-9
강도설계법 606-10
강성변화모델 607-27
강지보재 604-2, 605-17, 607-11, 611-5, 613-9, 615-12
개방형쉴드 617-2
개별요소법 607-3, 607-5
개착터널 612-1
갱구부 602-2, 613-3
갱문 613-11
거더부 617-3
검사원통로 602-14
격자지보재 605-20
경계요소법 607-3, 607-5
경보설비 619-1, 619-8, 619-11
경사면경사교차형 613-4
경사면직교형 613-4
경사면평행형 613-4
계곡부 612-1, 612-3
계측기기 611-14,611-17
골짜기진입형 613-4
공동구 602-11,602-13, 613-16
관로 619-21
광원 621-3
교통밀도 618-4
교통환기도 618-16
교통환기력 618-15
교행구간 616-7
구조공학적모델 612-5
굴착방법 609-1, 615-12, 616-2
궤도방법 615-11
균열 606-6
급결제 605-33
기본조명 621-2, 621-7

(ㄴ)

NATM 개념의 터널공법 604-2, 604-3, 615-3
내공단면 602-9
내공변위 611-5, 611-10, 611-13,611-20
내부마찰각 603-18,607-13
내장 602-14
내장판 620-4
노면휘도 621-8
능선평행형 613-4

(ㄷ)

단면형상 602-10
대피설비 619-13
덕트냉각설비 619-14
덤프트럭이용방법 615-11,616-10
돌출형갱문 612-1, 612-2, 613-12
딥웰공법 610-4, 610-20, 615-9

(ㄹ)

라디오재방송설비 619-12
랜덤볼팅 605-45
록볼트 605-37, 613-6, 613-9, 615-6, 615-12
록볼트인발시험 605-43, 611-5, 611-23
록볼트축력 611-5, 611-22

(ㅁ)

막장관찰 603-14
막장면록볼트 610-4, 610-13
막장면숏크리트 610-4, 610-13
맨홀 613-16
면벽형갱문 612-1, 612-3, 613-12
무선통신보조설비 619-11
물분무설비 619-8
물빼기공 610-4, 610-20
밀폐형쉴드 617-2

(ㅂ)

반횡류식 602-16,618-62
발파진동 609-17,609-21
방수막 608-4
방수형식 602-17
방재감시시스템 619-14
배수구 602-11,602-13
배수형 602-17,606-13, 608-3
버력 609-25,615-11, 615-13, 616-9
Burn cut 609-10
벨트컨베이어방법 615-11,616-10
벽면휘도 621-9
병렬터널 602-3, 607-28, 617-4
보완조사 603-1, 603-14
부직포 608-4
분기부 614-1
V-cut 609-10
블록붙임 620-1
비배수형 602-17,606-13, 608-4
비상경보설비 619-8
비상방송설비 619-10
비상용전원설비 619-12
비상전화 619-11
비상조명등 619-10
비상콘센트설비 619-11

(ㅅ)

사갱 615-1, 615-10
선진도갱굴착공법 609-2, 609-5,

615-3
설계농도 618-11
섬유보강숏크리트 605-35
세그먼트 617-6
소요노면조도 621-21
소화기 619-3
소화설비 619-1, 619-3
소화전 619-6
소화활동설비 619-2, 619-10
송기덕트 618-64
숏크리트 604-2, 605-27, 607-11, 613-6, 613-9, 615-6, 615-12
수압 602-17,603-16, 606-14,607-19, 612-4
수원 619-18
수조 619-18
수직갱 615-1, 615-2, 618-49
수평분할굴착 609-2, 609-4
쉴드 617-1
스무스블라스팅 609-11
시설대 602-11
시설한계 602-11,602-12
시스템볼팅 605-45
시추조사 603-10
실내시험 603-16
심발발파 609-9

(ㅇ)

아우터 켈리 616-2
안정기 621-5
RBM 615-3
RMR 603-20,603-22, 604-4, 605-4, 607-18,615-13
RQD 603-20
암석시험 603-19
애추 613-5
야외휘도 621-9
약액주입공법 610-4, 610-13
여굴 609-23
연결부 613-2
연결송수관설비 619-11
연직분할굴착 609-2, 609-5
완화조명 621-3
웰포인트공법 610-4, 610-20
유도배수관 608-3
유도표지판 619-10
유동법칙 607-10
유한요소법 607-3
유한차분법 607-3, 607-5, 612-6
유해성분 618-6
이너 켈리 616-2
인버트 606-6, 612-2
일상계측 611-4
입지환경조사 603-1, 603-4

(ㅈ)

자연환기력 618-14
전기집진기 618-80
전단면굴착 609-2, 609-4, 615-3, 616-3
점착력 603-18,607-13
접속부 612-8

정밀계측 611-4, 611-12, 611-13
정보표지판 619-11
제연설비 619-10
젯트팬 618-20,618-43, 618-78
조명계산 621-20
조명률 621-20
종단선형 602-6
주지보재 604-2, 607-11
지구물리탐사 603-11
지반공학적모델 612-5
지반아치 604-2
지반조사 603-1, 603-7
지수판 608-9
지압판 605-39,607-18
지중변위 611-5, 611-21
지중침하 611-5, 611-25
지표침하 611-5, 611-10, 611-13,611-25

(ㅊ)

차선분리구간 602-4
차선폭 602-11
천단침하 611-5, 611-10, 611-13,611-21
철망 605-48
측대 602-11
측방여유폭 602-11
측압계수 607-16

(ㅋ)

커터헤드 616-1, 617-3
커터헤드자켓 616-1
코어핵 610-4, 610-13
콘크리트라이닝 604-2, 605-14, 606-1, 611-23, 612-5, 615-6, 615-13,617-19
Q-시스템 603-20,603-24, 604-4, 605-5, 615-13

(ㅌ)

타일붙임 620-1
탄성계수 603-19, 607-8, 607-12
터널내관찰조사 611-5, 611-10, 611-19
테일부 617-3
토질시험 603-18
통보설비 619-2, 619-11
통일분류법 603-21
TBE 616-3
TBM 616-1
TBM+NATM 616-1

(ㅍ)

파이프루프 610-4, 610-5
패널붙임 620-1
펌프 619-20
편압 607-19, 612-5, 613-5
평균조도환산계수 621-21
평면선형 602-2
포아송비 603-19, 607-8,

607-12
표준지보패턴 602-16, 605-3,
605-6
플리커 621-7
피난설비 619-2, 619-10
PIARC 618-3

(ㅎ)

하중분배모델 607-22
항복규준 607-9
허용누수량 608-9
허용응력법 606-8
허용진동기준치 609-22
현장시험 603-15
혼합법 607-3, 607-7
화재감지기 619-9
확폭부 614-1
환기기 618-66
환기덕트 618-85
환기량 618-32
환기방식 618-20
환기소 618-97
환기풍압 618-41
횡류식 602-16
횡류식 618-62
후드부 617-3
후속트레일러 616-2
훠폴링 605-46, 610-4,
610-6
흡음내장 620-2, 620-6

제 7 편 포 장

목 차

701 총 론

701.1 도로 포장의 정의 ····· 701-1
701.2 도로 포장의 종류 ····· 701-1
701.3 용어 설명 ····· 701-3
701.4 포장편의 구성 ····· 701-6

702 포장형식의 선정 및 설계 입력변수

702.1 포장형식의 선정 ····· 702-1
1.1 포장형식 선정 방법 ····· 702-1
1.2 포장형식의 비교 ····· 702-5
1.3 경제성 분석 ····· 702-12
702.2 설계 입력 변수 ····· 702-10
2.1 일반사항 ····· 702-10
2.2 서비스 능력과 공용성 ····· 702-10
2.3 교통량 ····· 702-12
2.4 환경 ····· 702-18
2.5 신뢰도 및 표준편차 ····· 702-31
2.6 노상 ····· 702-32
2.7 재료조건 ····· 702-44
2.8 하중전달계수 ····· 702-54
2.9 배수계수 ····· 702-54
2.10 지역계수(R) ····· 702-55

703 아스팔트 포장

703.1 개요 ····· 703-1
703.2 아스팔트 포장의 종류 ····· 703-1
703.3 구조 설계 ····· 703-1
3.1 포장층의 구성 ····· 703-2
3.2 설계절차 ····· 703-5
703.4 길어깨 포장의 설계 ····· 703-10

4.1 길어깨 포장의 역할 ····· 703-10
4.2 길어깨 포장의 구조 ····· 703-10
4.3 길어깨 포장 설계시 요구 사항 ····· 703-11
703.5 연결로 구간의 설계 ····· 703-11
703.6 설계 예(1) ····· 703-13
6.1 설계조건 ····· 703-13
6.2 포장두께의 산정 ····· 703-14
703.7 설계 예(2) ····· 703-19
7.1 설계조건 ····· 703-19
7.2 포장두께의 산정 ····· 703-21

704 콘크리트 포장

704.1 개요 ····· 704-1
704.2 콘크리트 포장의 종류 ····· 704-1
2.1 무근 콘크리트 포장(JCP) ····· 704-1
2.2 연속 철근콘크리트 포장(CRCP) ····· 704-2
704.3 구조 설계 ····· 704-3
3.1 개요 ····· 704-3
3.2 구조설명 ····· 704-3
3.3 설계절차 ····· 704-7
704.4 길어깨 포장의 설계 ····· 704-19
704.5 연결로 구간의 설계 ····· 704-19
704.6 줄눈의 설계 ····· 704-19
6.1 수축줄눈 ····· 704-19
6.2 팽창줄눈 ····· 704-22
6.3 시공줄눈 ····· 704-23
704.7 다웰바와 타이바의 설계 ····· 704-23
7.1 다웰바의 설계 ····· 704-23
7.2 타이바의 설계 ····· 704-25
704.8 설계 예(1) ····· 704-29
8.1 해석기간 ····· 704-29
8.2 교통량 ····· 704-29
8.3 환경적 영향 ····· 704-29
8.4 서비스 능력 ····· 704-30

8.5 유효 노상반력계수(K) ····· 704-30
8.6 포장층 재료특성 ····· 704-30
8.7 콘크리트 휨강도 ····· 704-30
8.8 하중전달 ····· 704-30
8.9 슬래브 두께 산정 ····· 704-31
8.10 동결심도 산정 ····· 704-31
704.9 설계 예(2) ····· 704-33
9.1 교통량 ····· 704-33
9.2 지역계수 ····· 704-35
9.3 공용식에 의한 포장두께 산정 ····· 704-35

705 유지 보수

705.1 개요 ····· 705-1
705.2 종류 ····· 705-1
705.3 덧씌우기 ····· 705-2
3.1 고려사항 ····· 705-2
3.2 기존 아스팔트 포장에서의 덧씌우기 ····· 705-4
3.3 기존 콘크리트 포장에서의 덧씌우기 ····· 705-8
705.4 국내 덧씌우기 설계 ····· 705-15
4.1 국도에서 덧씌우기 설계 ····· 705-15
4.2 고속도로에서 덧씌우기 설계 ····· 705-19
705.5 덧씌우기 설계 예 ····· 705-21
5.1 접착식 콘크리트 덧씌우기 ····· 705-21
5.2 비접착식 콘크리트 덧씌우기 ····· 705-23

706 재생 포장

706.1 개요 ····· 706-1
706.2 재생아스팔트포장의 분류 ····· 706-1
2.1 표면 재생공법 ····· 706-1
2.2 플랜트 재생공법 ····· 706-3
2.3 현장 재생공법 ····· 706-4
706.3 폐아스팔트관련 품질기준 ····· 706-6
706.4 폐콘크리트의 재생 방법 및 용도 ····· 706-8

706.5 폐콘크리트관련 품질기준 ····· 706-8

707 특수개소 포장

707.1 개요 ····· 707-1
707.2 교면 포장 ····· 707-1
2.1 개요 ····· 707-1
2.2 포장의 구성 ····· 707-1
2.3 교면포장의 종류 ····· 707-5
707.3 터널내 포장 ····· 707-6
3.1 개요 ····· 707-6
3.2 설계시 고려사항 ····· 707-6
3.3 포장단면의 선정 ····· 707-6
707.4 접속부 포장 ····· 707-8
4.1 개요 ····· 707-8
4.2 설계시 고려사항 ····· 707-8
4.3 접속부의 단면 설계 ····· 707-10
707.5 구조물 상부 포장 ····· 707-14
5.1 콘크리트 슬래브가 횡단구조물과 접속하는 경우 ····· 707-14
5.2 콘크리드 슬래브가 횡단구조물위에 있는 경우 ····· 707-15
5.3 횡단구조물이 노상내에 있는 경우 ····· 707-15
707.6 단지내 포장 ····· 707-18
6.1 교통량의 구분 ····· 707-18
6.2 포장두께의 설계 ····· 707-18
6.3 포장구조의 결정 ····· 707-19
6.4 단지내 포장설계 예 ····· 707-21
707.7 버스정차대 및 주차장 포장 ····· 707-22
7.1 버스정차대 ····· 707-22
7.2 주차장 ····· 707-24
707.8 영업소 포장 ····· 707-24
707.9 확장구간 포장 ····· 707-28
9.1 개요 ····· 707-28
9.2 콘크리트 포장 접속방안 ····· 707-28
707.10 절성 경계부 포장 ····· 707-33
707.11 중앙분리대 기초 ····· 707-34

708 기타 포장

708.1 간이 포장 ····· 708-1
1.1 개요 ····· 708-1
2.1 구조의 설계 ····· 708-1
708.2 보도 포장 ····· 708-7
2.1 개요 ····· 708-7
2.2 보도포장의 선정 ····· 708-8
2.3 일반부 보도포장 ····· 708-8
2.4 교량의 보도포장 ····· 708-11
2.5 그 밖의 고려사항 ····· 708-11
708.3 자전거 도로 포장 ····· 708-12
3.1 자전거 도로의 색상 ····· 708-12
3.2 투수성을 고려한 자전거 도로의 포장재료 ····· 708-12
3.3 자전거 도로 포장에 요구되는 기능 ····· 708-12
3.4 경관 및 주변 환경과의 조화 ····· 708-13
3.5 가로수의 육성 및 치수 ····· 708-13
3.6 구조 설계 ····· 708-13
708.4 농어촌 도로 포장 ····· 708-14
4.1 개요 ····· 708-14
4.2 포장의 종류 ····· 708-14
4.3 포장 설계 ····· 708-14
708.5 콘크리트 블록 포장 ····· 708-20
5.1 개요 ····· 708-20
5.2 포장의 구조 ····· 708-20
5.3 설계방법 ····· 708-20
5.4 콘크리트 블록포장의 적용 ····· 708-21
708.6 부체 도로 포장 ····· 708-22

709 포장혼합물 및 공법

709.1 개요 ····· 709-1
709.2 섬유 보강 콘크리트 ····· 709-1
2.1 개요 ····· 709-1
2.2 사용 섬유 ····· 709-1
2.3 섬유보강 효과 ····· 709-1

2.4 섬유의 특성 ····· 709-2
2.5 배합 및 혼합 ····· 709-2
709.3 개질 아스팔트 포장 공법 ····· 709-3
3.1 개요 ····· 709-3
3.2 개질아스팔트의 종류 ····· 709-3
3.3 고분자 개질아스팔트의 특성 ····· 709-5
709.4 배수성 포장 공법 ····· 709-7
4.1 개요 ····· 709-7
4.2 포장 구성 ····· 709-7
4.3 재료 및 배합 ····· 709-7
4.4 시공 ····· 709-10
4.5 배수성 포장의 유지관리 ····· 709-12
709.5 투수성 포장 공법 ····· 709-13
5.1 개요 ····· 709-13
5.2 재료 및 배합 ····· 709-14
709.6 라텍스 콘크리트 포장 공법 ····· 709-16
6.1 라텍스 콘크리트 포장의 특징 ····· 709-16
6.2 라텍스 콘크리트 포장 국내·외 비교 ····· 709-16
709.7 구스 아스팔트 포장 공법 ····· 709-17
7.1 개 요 ····· 709-17
7.2 재료 및 배합 ····· 709-17
709.8 쇄석 매트릭스 아스팔트 포장 공법 ····· 709-20
8.1 개요 ····· 709-20
8.2 특성 ····· 709-20
8.3 재료 및 배합 ····· 709-20

참고문헌 ····· 710-1

부록 I 각국의 포장설계법 비교 ····· 711-1
1. 개 요 ····· 711-1
2. 아스팔트 포장 설계법 ····· 711-1
2.1 AASHTO 설계법 ····· 711-1
2.2 AI 설계법 ····· 711-2

2.3 일본 설계법 ····· 711-2
3. 콘크리트 포장 설계법 ····· 711-3
3.1 AASHTO 설계법 ····· 711-3
3.2 PCA 설계법 ····· 711-3
3.3 일본 설계법 ····· 711-4

부록 II 국내 포장 단면의 변천 ····· 711-9

부록 III 신기술의 소개 ····· 711-19

색인 ····· 712-1

표 목 차

701 총 론

<표 701.1> 도로 포장 관련 약어표기 ····· 701-5

702 포장형식의 선정 및 설계 입력변수

<표 702.1> 포장형식 선정을 위한 기준 교통량 ····· 702-5
<표 702.2> 포장형식별 특징 ····· 702-7
<표 702.3> 통행 시간가치의 추천 값 ····· 702-9
<표 702.4> AASHTO의 해석 기간 추천 값 ····· 702-11
<표 702.5> 차종 분류 ····· 702-14
<표 702.6> 차종, 포장구조 및 도로등급별 평균 ESALF 산정결과 ····· 702-15
<표 702.7> 아스팔트포장에 대한 차종별 8.2톤 등가단축하중계수(전체평균) ····· 702-16
<표 702.8> 콘크리트포장에 대한 차종별 8.2톤 등가단축하중계수(전체평균) ····· 702-17
<표 702.9> AASHTO 차로 분배계수 권장값 ····· 702-18
<표 702.10> 지점별 동결지수 (1) ····· 702-24
<표 702.11> 지점별 동결지수 (2) ····· 702-25
<표 702.12> 동상에 민감한 토군의 분류표 ····· 702-25
<표 702.13> 도로 기능별 신뢰도 추천값 ····· 702-31
<표 702.14> 설계 CBR 계산용 계수 ····· 702-33
<표 702.15> 설계 CBR과 계산 CBR의 관계 ····· 702-33
<표 702.16> 재료에 따른 지지력 손실계수 ····· 702-35
<표 702.17> 콘크리트 포장의 유효 노상반력계수 산정표 ····· 702-37
<표 702.18> 재료별 상대강도 계수 ····· 702-53
<표 702.19> 콘크리트 형식별 포장 하중전달계수 ····· 702-54
<표 702.20> 아스팔트포장의 입상기층과 보조기층재료에 대한 배수계수(m_i) ····· 702-55
<표 702.21> 콘크리트 포장설계를 위한 배수계수(C_d) ····· 702-55
<표 702.22> 배수상태 결정기준 ····· 702-56

703 아스팔트 포장

<표 703.1> 아스팔트 포장의 최소 설계 두께 ····· 703-8
<표 703.2> 지지력계수와 설계 차로당 ESAL 교통량값에 대응되는 소요 SN값 ····· 703-14
<표 703.3> 지역별 지역계수값 ····· 703-14
<표 703.4> 상대강도 계수의 산정 ····· 703-15
<표 703.5> 기층을 입상재료를 사용할 경우의 층별 소요 두께 ····· 703-15
<표 703.6> 기층을 B.B로 사용할 경우의 층별 소요 두께 ····· 703-15
<표 703.7> 수정 지지력계수와 설계 차로당 ESAL 교통량값에 대응되는 소요 SN값 ····· 703-17
<표 703.8> 기층을 B.B로 사용할 경우의 수정된 층별 소요 두께 ····· 703-17

704 콘크리트 포장

<표 704.1> 보조기층의 포설여유폭 비교 ····· 704-5
<표 704.2> 보조기층 공법 비교 ····· 704-6
<표 704.3> 설계 신뢰도 ····· 704-15
<표 704.4> 보조기층재에 따른 마찰계수 ····· 704-16
<표 704.5> 횡방향 팽창줄눈 간격의 표준값 ····· 704-22
<표 704.6> 다웰바 간격의 설치 기준 ····· 704-24
<표 704.7> 다웰크기와 길이 ····· 704-24
<표 704.8> 보조기층별 강성 범위 ····· 704-30

705 유지 보수

<표 705.1> 등가단축하중계수의 적용 ····· 705-2
<표 705.2> 아스팔트 덧씌우기 이전에 요구되는 보수방법 ····· 705-4
<표 705.3> 파손유형별 덧씌우기전 보수(1) ····· 705-7
<표 705.4> 파손유형별 덧씌우기전 보수(2) ····· 705-9
<표 705.5> 파손유형에 따른 보수방법(1) ····· 705-12
<표 705.6> 파손유형에 따른 보수방법(2) ····· 705-14
<표 705.7> 품질 등급 기준표 ····· 705-16
<표 705.8> 설계 기준표 ····· 705-19
<표 705.9> 포장 보수 구분표 ····· 705-20

706 재생 포장

<표 706.1> 아스팔트 안정처리 기층용 골재의 품질기준표 ····· 706-6
<표 706.2> 아스팔트 안정처리 기층용 골재의 표준입도 ····· 706-7

<표 706.3> 아스팔트 안정처리기층 혼합물 품질기준 ····· 706-7
<표 706.4> 보조기층재료의 품질규정 ····· 706-8
<표 706.5> 혼합골재의 입도분포 기준 ····· 706-8

707 특수개소 포장

<표 707.1> 방수재의 재료별 기본특성 ····· 707-4
<표 707.2> 본선측 연결로 오프셋 테이퍼의 설치 기준 ····· 707-8
<표 707.3> 교통량구분에 따른 설계 윤하중 ····· 707-18
<표 707.4> T_A와 포장 총두께의 목표값 ····· 707-19
<표 707.5> 표층과 중간층의 최소두께 ····· 707-19
<표 707.6> 기층 및 보조기층의 최소두께 ····· 707-19
<표 707.7> 재료별 등치환산계수 ····· 707-20
<표 707.8> 목표 T_A 계산 예 ····· 707-21
<표 707.9> 등치환산계수에 따른 두께 설계 예 ····· 707-21
<표 707.10> 주차장 포장구조 산정 적용 기준치 ····· 707-24

708 기타 포장

<표 708.1> 설계 CBR과 포장두께의 표준 ····· 708-4
<표 708.2> 보도포장의 분류 ····· 708-7
<표 708.3> 교통량 구분 ····· 708-14
<표 708.4> 포장 두께의 목표치 ····· 708-15
<표 708.5> 설계 CBR 및 설계 지지력 계수 계산용 상수 ····· 708-15
<표 708.6> 표층과 중간층을 합한 최소 두께 ····· 708-16
<표 708.7> 기층의 최소 두께 ····· 708-16
<표 708.8> 설계 CBR을 이용한 입도조정쇄석 보조기층의 두께 ····· 708-17
<표 708.9> 콘크리트 포장의 슬래브 두께 ····· 708-18
<표 708.10> 사리도의 노반 두께 ····· 708-19

709 포장혼합물 및 공법

<표 709.1> 합성섬유 사용량 ····· 709-2
<표 709.2> 고무 및 열가소성 수지혼입 아스팔트의 표준성상 ····· 709-3
<표 709.3> 세미블로운 아스팔트의 규격 ····· 709-4
<표 709.4> 아스팔트 개질재 종류 ····· 709-6

<표 709.5> 배수성 포장에 사용하는 아스팔트의 요구사항 ····· 709-9
<표 709.6> 배수성 포장용 개질 아스팔트의 규격 ····· 709-10
<표 709.7> 배수성 아스팔트 혼합물용 골재의 입도 ····· 709-11
<표 709.8> 배수성 아스팔트 혼합물의 품질기준 ····· 709-11
<표 709.9> 배수성 혼합물의 생산 및 시공온도 ····· 709-12
<표 709.10> 배수기능의 회복 기법 ····· 709-12
<표 709.11> 투수성 아스팔트 혼합물의 배합치 ····· 709-15
<표 709.12> 투수성 아스팔트 혼합물의 마샬기준치 ····· 709-15
<표 709.13> 라텍스 콘크리트 포장의 국내·외 기준 ····· 709-16
<표 709.14> 아스팔트의 품질 ····· 709-17
<표 709.15> 혼합후 아스팔트의 품질 ····· 709-17
<표 709.16> 구스 아스팔트 혼합물의 표준배합 ····· 709-18
<표 709.17> 구스 아스팔트 혼합물의 관입량 및 유동성의 목표값 ····· 709-18
<표 709.18> 굵은골재 품질기준 ····· 709-21
<표 709.19> 혼합골재 입도기준 ····· 709-21
<표 709.20> 혼합물의 품질기준 ····· 709-21

그 림 목 차

701 총 론

<그림 701.1> 대표적인 포장단면 예 ····· 701-2
<그림 701.2> 포장단면과 하중재하 후 거동 ····· 701-2

702 포장형식의 선정 및 설계 입력변수

<그림 702.1> 포장형식 선정을 위한 선택과정 흐름도 ····· 702-2
<그림 702.2> 공용기간과 해석기간 ····· 702-12
<그림 702.3> 전국 동결지수도 ····· 702-23
<그림 702.4> 동결관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(1) ····· 702-26
<그림 702.5> 동결관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(2) ····· 702-27
<그림 702.6> 동결관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(3) ····· 702-28
<그림 702.7> 동결관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(4) ····· 702-29
<그림 702.8> 노상동결 관입허용법에 의한 설계 비동결성 재료층 두께결정 도표 ····· 702-30
<그림 702.9> 신뢰도의 개념 ····· 702-31
<그림 702.10> 아스팔트 포장의 유효 노상회복 탄성계수 산정예 ····· 702-36
<그림 702.11> 반무한 노상깊이로 가정한 합성 노상반력계수(K_∞) 추정도 ····· 702-39
<그림 702.12> 강성기초에 영향을 고려한 노상반력계수 산정도 ····· 702-40
<그림 702.13> 슬래브두께와 하부지지에 따른 강성포장의 상대손상 추정도 ····· 702-41
<그림 702.14> 보조기층 지지력손실에 대한 유효 노상반력계수 추정도 ····· 702-42
<그림 702.15> 토질 분류에 의한 CBR법 ····· 702-43
<그림 702.16> SSV와 토질 특성값의 관계도 ····· 702-45
<그림 702.17> 아스팔트 콘크리트 표층의 상대강도계수(a_1)와 탄성계수(E_{AC}) 상관도표 ····· 702-46
<그림 702.18> 표층재료의 강도에 따른 a_1의 변동 ····· 702-47
<그림 702.19> 입상재료 기층의 강도에 따른 a_2의 변동 ····· 702-49
<그림 702.20> 입상재료 보조기층의 강도에 따른 a_3의 변동 ····· 702-50
<그림 702.21> 시멘트 안정처리 기층재료의 강도에 따른 a_2의 변동 ····· 702-51
<그림 702.22> 역청 안정처리 기층재료의 강도에 따른 a_2의 변동 ····· 702-52

703 아스팔트 포장

<그림 703.1> 아스팔트 포장의 구성과 각 층의 명칭 ····· 703-2
<그림 703.2> 아스팔트 포장설계 흐름도 ····· 703-6
<그림 703.3> 아스팔트 포장설계도표(Pt=2.0) ····· 703-9
<그림 703.4> 아스팔트 포장설계도표(Pt=2.5) ····· 703-9
<그림 703.5> 길어깨의 횡단면 구성 ····· 703-10
<그림 703.6> 길어깨 포장 - 콘크리트 ····· 703-12
<그림 703.7> 길어깨 포장 - 아스팔트 ····· 703-12
<그림 703.8> 시간에 따른 누가 교통량 ····· 703-13

704 콘크리트 포장

<그림 704.1> 콘크리트 포장 구조의 종류 ····· 704-2
<그림 704.2> 콘크리트 포장의 구성 ····· 704-3
<그림 704.3> 콘크리트 포장의 횡단면 구성 ····· 704-4
<그림 704.4> 콘크리트 포장설계 흐름도 ····· 704-8
<그림 704.5> 콘크리트 포장설계를 위한 설계도표(1) ····· 704-12
<그림 704.6> 복합 K치 산정도표 ····· 704-13
<그림 704.7> 콘크리트 포장설계를 위한 설계도표(2) ····· 704-14
<그림 704.8> 줄눈철근 콘크리트 포장의 소요철근량 산정 도해표 ····· 704-17
<그림 704.9> 철근 규격 및 간격 산정도표 ····· 704-18
<그림 704.10> 콘크리트 포장 줄눈 일반도 ····· 704-20
<그림 704.11> 가로 팽창줄눈 설계 예 ····· 704-26
<그림 704.12> 시공줄눈 설계 예 ····· 704-27
<그림 704.13> 세로줄눈의 설계 예 ····· 704-28
<그림 704.14> 시간에 따른 누가 교통량 ····· 704-29

705 유지보수

<그림 705.1> 국도에서의 기술적 보수/보강 공법 결정과정 ····· 705-16
<그림 705.2> 육안 조사 등급 결정 흐름도 ····· 705-17
<그림 705.3> 개념적 보수 공법 결정 흐름도 ····· 705-20
<그림 705.4> F_{jc} 보정계수 ····· 705-22
<그림 705.5> CF와 잔존수명의 상관관계 ····· 705-22
<그림 705.6> F_{jcu} 보정계수 ····· 705-24

706 재생 포장

<그림 706.1> 현장가열재생공법 : 표면 재생공법 ····· 706-2
<그림 706.2> 재생혼합을 위한 배치플랜트와 드럼플랜트 ····· 706-4
<그림 706.3> 현장상온재활용공법 ····· 706-5

707 특수개소 포장

<그림 707.1> 2층 교면포장의 구조 ····· 707-2
<그림 707.2> 구스 아스팔트 포장의 시공 예 ····· 707-5
<그림 707.3> 에폭시 수지포장의 시공 예 ····· 707-6
<그림 707.4> 터널내 포장단면 예 ····· 707-7
<그림 707.5> 연결로 접속부의 표준 구성 ····· 707-9
<그림 707.6> 연결로 길어깨 포장 - 콘크리트 ····· 707-11
<그림 707.7> 연결로 길어깨 포장 - 아스팔트 ····· 707-12
<그림 707.8> 곡선부에서의 타이바 설치 예 ····· 707-13
<그림 707.9> 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 접속단면 예 ····· 707-13
<그림 707.10> 콘크리트 슬래브에 포함된 경우의 설계 예 ····· 707-14
<그림 707.11> 턱(받침대)이 없는 경우 설계 예 ····· 707-15
<그림 707.12> 횡단구조물이 보조기층내에 있는 경우의 설계 예 ····· 707-16
<그림 707.13> 관로구조물이 보조기층내에 있을 때 설계 예 ····· 707-17
<그림 707.14> 횡단구조물이 노상내에 있을 경우의 설계 예 ····· 707-17
<그림 707.15> 아스팔트 포장 표준 단면 - 승강장 ····· 707-23
<그림 707.16> 콘크리트 포장 표준 단면 - 승강장 ····· 707-23
<그림 707.17> 보도용 포장 표준 단면 - 승강장 ····· 707-23
<그림 707.18> 영업소의 광장부와 테이퍼부의 표준 구성 ····· 707-25
<그림 707.19> 본선영업소 양방향 6차로 포장 예 ····· 707-26
<그림 707.20> 인터체인지 영업소 포장 예 ····· 707-27
<그림 707.21> 신·구 슬래브를 타이바로 연결하는방안 ····· 707-29
<그림 707.22> 타이바 대신 “ㄹ”자형 타이바겸 하중전달장치 사용 ····· 707-30
<그림 707.23> 측대부를 절삭 및 치핑하고 취약부를 철근보강 ····· 707-30
<그림 707.24> 신설포장에 기층깊이까지 표층슬래브와 일체된 KEY를 설치하는 방안 ····· 707-31
<그림 707.25> 기존포장의 기층과 신설포장 슬래브를 타이바로 연결 ····· 707-31
<그림 707.26> 절성 경계부 보강 설계 예 ····· 707-33
<그림 707.27> 중앙분리대 기초 설계 예 ····· 707-34

708 기타 포장

<그림 708.1> 간이포장의 구조 ····· 708-2
<그림 708.2> 벤켈만빔 변형량에 의한 포장두께의 설계곡선 ····· 708-4
<그림 708.3> 가열 아스팔트 혼합물에 의한 포장구성 ····· 708-9
<그림 708.4> 투수성 포장용 가열 아스팔트 혼합물에 의한 포장구성 ····· 708-9
<그림 708.5> 콘크리트에 의한 포장구성 ····· 708-10
<그림 708.6> 콘크리트판에 의한 포장구성 ····· 708-10
<그림 708.7> 인터록킹 블록에 의한 포장구성 ····· 708-10
<그림 708.8> 타일과 같은 미장재에 의한 포장구성 ····· 708-10
<그림 708.9> 보조기층의 두께와 지지력비 ····· 708-17
<그림 708.10> 콘크리트 블록포장 단면도 ····· 708-21
<그림 708.11> 부체도로 콘크리트포장 설계 예 ····· 708-23
<그림 708.12> 부체도로 골재다짐포장 설계 예 ····· 708-24
<그림 708.13> 부체도로 아스팔트포장 설계 예 ····· 708-25

709 포장혼합물 및 공법

<그림 709.1> 표준적인 포장의 구성 예 ····· 709-8
<그림 709.2> 투수성 보도포장 단면구조 예 ····· 709-13
<그림 709.3> 구스 아스팔트 혼합물의 온도와 유동성의 관계 ····· 709-19
<그림 709.4> 일반 아스팔트와 쇄석 매트릭스 아스팔트의 비교 ····· 709-20

701
총 론

701.1 도로 포장의 정의

도로는 국민경제생활에 있어 가장 기본적인 사회자본으로 사람과 자동차를 안전하고 쾌적하게 통행시키는 동시에 상하수도, 가스, 통신시설을 수용하거나 시가지에서는 가로를 형성하는 등 여러 가지 기능을 가지고 있다.

도로에 있어 포장이 지니는 역할로는, 첫째 노면에 치밀한 층을 만들어 강우시 진흙탕이 되거나 건조시 먼지가 일어나는 것을 방지하여 쾌적성을 유지하고, 둘째로 노면의 평탄성을 유지함과 동시에 적당한 미끄럼 저항성을 가지므로서 자동차의 주행이나 보행에 쾌적성과 안전성을 향상시키며, 셋째 주변의 환경에 적합한 포장재료를 사용함으로써 양호한 도로경관과 주변환경을 만들 수 있음을 들 수 있다.

이와 같이 포장이 갖는 기능을 교통에 공용되면서 상당기간에 걸쳐 유지하기 위해서는 교통하중과 자연적인 기상작용에 대하여 내구적인 것이 필요하다. 이를 위해서는 포장의 기초가 되는 노상이 이러한 하중을 충분히 지탱하도록 적절한 포장구조로 설계됨과 동시에 온도변화나 강우와 같은 기상작용에 충분히 견딜 수 있도록 하여야 한다. 어떠한 포장으로 할 것인가는 포장이 위치하고 있는 상황과 조건, 경제성, 주변환경 등을 고려하여 결정할 일이며 각 포장의 특성을 파악한 후, 건설시 뿐만 아니라, 유지보수를 고려하여 장기적 측면에서 선정해야 한다. 가장 널리 사용되고 있는 포장형태인 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장의 대표적인 단면과 하중재하 모습을 <그림 701.1>, <그림 701.2>에서 보여주고 있다. 실질적인 포장구조는 하중에 저항하기 위한 층과 동상방지 또는 지하수의 침투를 방지하는 노상 보강 등으로 구분할 수 있으며 포장설계에서는 이 두 가지를 모두 고려하여야 한다.

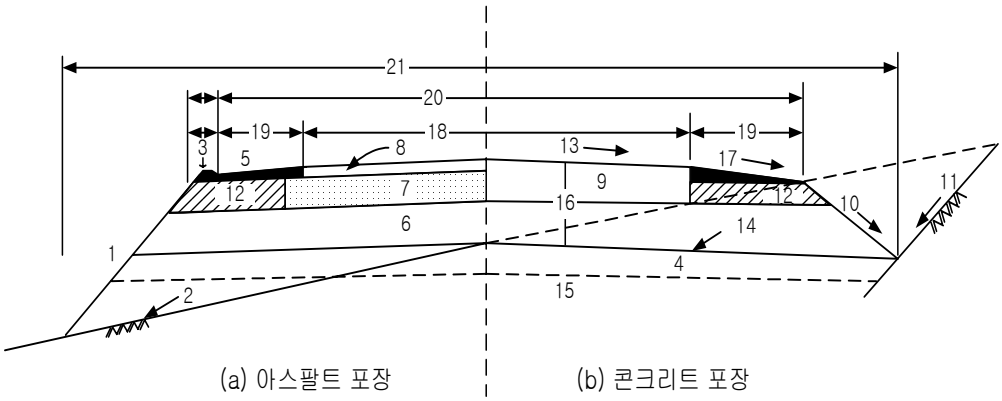
701.2 도로 포장의 종류

도로 포장은 크게 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장으로 구분할 수 있다. (이하 아스팔트 포장과 콘크리트 포장으로 칭한다.)

아스팔트 포장은 표층, 기층, 보조기층 등으로 구분되며 하중재하에 의해서 생기는 응력을 각층에 분산시키는 구조를 갖고 있다. 각층 구성과 두께는 역학적 균형을 유지하고 교통하중에 충분히 견딜 수 있어야 한다.

콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브 자체가 빔과 같이 거동하여 교통하중에 의해 발생되는 응력을 휨저항으로 지지하는 포장형식이다.

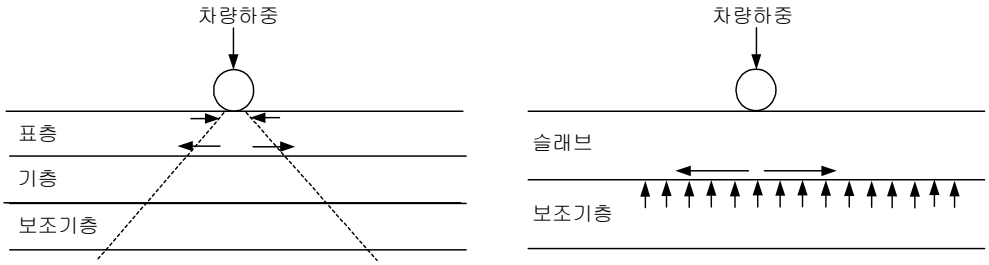
아스팔트 포장과 콘크리트 포장에 대한 자세한 내용은 본 편람 '702장 포장설계의 기본'과 '703장 아스팔트 콘크리트 포장', '704장 콘크리트 포장' 편을 참고하기 바란다.



(a) 아스팔트 포장 (b) 콘크리트 포장

번호	명 칭	번호	명 칭
1	성토 사면	12	길어깨 기층
2	원 지반 경사	13	노면 경사
3	연석	14	노상
4	동상방지층 또는 필터층	15	노체 흙
5	길어깨 표면	16	포장 구조체
6	보조기층	17	길어깨 경사
7	기층	18	주행 차로
8	표층	19	길어깨
9	포장 슬래브	20	차도
10	성토면 경사	21	도로 부지
11	절토면 경사		

<그림 701.1> 대표적인 포장단면 예



(a) 아스팔트포장 (b) 콘크리트포장

<그림 701.2> 포장단면과 하중재하 후 거동

701.3 용어 설명

【골재의 최대치수】

중량으로 적어도 90% 이상을 통과시키는 최소치수의 체의 공칭치수로 /나타낸 골재의 치수

【구스아스팔트(guss asphalt)】

고온아스팔트 혼합물의 유동성을 이용, 피니셔와 인두로 포설하여 로울러 다짐을 하지 않고 흙손등으로 끝맺음을 하는 아스팔트 혼합물로서 매스틱 아스팔트(mastic asphalt)와 동일하다.

【동결깊이】

0℃ 온도선이 포장표면으로부터 포장층 아래로 관입되는 깊이

【동결지수】

동결기간중의 기온과 시간과의 적(積)의 누계치

【매캐덤 공법】

한층의 마무리 두께와 거의 같은 입경의 부순돌을 깔아서 이들이 서로 충분히 얽힐 때까지 다짐하고, 공극을 채움골재로 전충하여 마무리하는 공법

【밀입도(密粒度) 아스팔트 콘크리트】

굵은 골재, 잔골재, 필러 및 아스팔트의 가열혼합물로서 합성입도에서 No.8 체 통과분이 35～50%의 것

【조립도(粗粒度) 아스팔트 콘크리트】

굵은 골재, 잔골재, 필러 및 아스팔트의 가열혼합물로서 합성입도에서 No.8체 통과분이 20～35%의 것

【개립도(開粒度) 아스팔트콘크리트(open-graded asphalt concrete)】

가열아스팔트 혼합물의 일종으로 세골재비율(細骨材比率)이 5～20%이며 미끄럼 저항용 혼합물의 대표적인 것으로 흔히 사용된다.

【회복탄성계수】

노상 또는 기타 포장재료의 탄성계수의 측정값으로 AASHTO T274 시험법에 의하여 측정한다.

【설계 CBR】

균일한 포장두께로 시공할 구간(區間)을 결정하기 위하여 구간내 각 지점의 CBR 로부터 결정되는 노상토(路上土)의 CBR

【시멘트안정처리공법】

현지재료 또는 여기에 보충재료를 가한 것에 시멘트를 첨가하여 혼합하고 깔아서 다짐하는 공법을 말한다. 시멘트안정처리한 것을 소일시멘트(soil-cement)라 할 때도 있다.

【실코우트】

표층 또는 기층위에 역청재료를 살포하고 그 위를 부순돌이나 모래를 덮어서 만드는 표면처리

【역청안정처리공법】

현지재료 또는 여기에 보충재료를 가한 것에 역청재료를 첨가하여 혼합하고 깔아서 다짐하는 공법

【입도조정공법】
좋은 입도가 되도록 몇가지 종류의 골재를 혼합하여 포설하고 다짐하는 공법

【침투식 공법】
골재와 역청재료를 교대로 살포하여 골재의 얽힘과 역청재료의 결합력을 발휘하도록 충분히 다짐하는 공법

【화이트베이스(white base)】
아스팔트포장의 기층으로서 사용하는 시멘트 콘크리트 슬래브

【블랙베이스】
아스팔트 포장의 기층으로서 사용되는 가열혼합식에 의한 아스팔트 안정처리기층

【다웰바】
콘크리트 포장 슬래브의 하중전달장치로 줄눈을 가로질러 하중을 전달하기 위해 설치하며 일반적으로 원형철근을 사용한다.

【타이바】
콘크리트 포장에서 인접슬래브에 인장응력과 유해한 균열 발생을 억제하기 위하여 철근이나 철망을 설치하는 것

【시공줄눈】
콘크리트 포설 작업에 있어서 작업을 일시 중지해야 할 때 설치하는 줄눈

<표 701.1> 도로 포장 관련 약어표기

AASHO (American Association of State Highway Officials, 미국도로교통공무원협의회 전신)

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, 미국도로교통공무원협의회)

AC (Asphalt Concrete Pavement, 아스팔트 콘크리트)

ACI (American Concrete Institute, 미국 콘크리트 협회)

AI (Asphalt Institute, 미국 아스팔트 협회)

a_i (Layer Coefficient, 상대강도계수)

ASTM (American Society for Testing and Materials, 미국재료시험협회)

CBR (California Bearing Ratio, 캘리포니아 지지력비)

CRCP (Continuously Reinforced Concrete Pavement, 연속철근 콘크리트포장)

DBST (Double Bituminous Surface Treatment, 이중역청표면처리공법)

DOT (Department of Transportation, 미국교통국)

DS (Dynamic Stability, 동적안정성)

ESAL (Equivalent Single Axle Load, 등가단축하중)

FHWA (Federal Highway Administration, 미연방도로교통협회)

FWD (Falling Weight Deflectometer, 포장구조진단기)

JCP (Jointed Concrete Pavement, 줄눈 콘크리트포장)

JRCP (Jointed Reinforced Concrete Pavement, 줄눈 철근보강 콘크리트포장)

M_R (Resilient Modulus, 회복탄성계수)

NCHRP (National Cooperative Highway Research Program, 미연방도로연구프로그램)

NDT (Nondestructive Testing, 비파괴시험)

NJDOT (New Jersey Department of Transportation, 뉴저지교통국)

PCA (Portland Cement Association, 미국 시멘트 협회)

PCC (Portland Cement Concrete, 포틀랜드시멘트콘크리트)

PMS (Pavement Management System, 포장유지관리체계)

PSI (Present Serviceability Index, 포장서비스지수)

701.4 포장편의 구성

본 편람의 목적은 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 신설 및 재포장과 관련한 포장 설계에 관한 일반적인 지침을 제공하는데 있다.

자료 수집 및 연구를 통하여 제시된 본 편람의 기준들은 향후 포장 설계와 관련된 연구가 진행되면 계속해서 개정될 예정이다.

본 편람은 <그림 701.1>과 같은 포장구조를 설계하는데 고려해야 할 권장사항을 제공한다. 이들 권장사항에는 포장구조 각 층의 두께뿐만 아니라 전체 포장의 두께 결정에 관한 사항이 포함되며, 위치별 포장 구조의 설계를 포함한다.

본 편람에서는 설계와 관련된 기본적인 사항들을 설명하였으므로, 상세한 내용에 관해서는 다음의 자료들을 참고하기 바란다.

- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 (2000, 건설교통부)
- 도로포장 설계 및 시공 지침 (1991, 건설교통부)
- 도로설계요령(1991, 한국도로공사)
- AASHTO Guide
- ASTM 규정

본 편람의 기본적인 단위체계는 국내에서 일상적으로 쓰이는 공학단위계를 적용하였으나, 포장구조 설계에서는 AASHTO 공용식이 영국단위를 사용하였으며 회귀식으로 되어있어 환산이 어려우므로 영국단위계를 적용하였다.

기존 포장관련 규정 또는 지침에서 개정된 주요내용은 다음과 같다.

- 포장형식의 선정
- 동상방지층을 고려한 노상지지력의 증가
- 개질아스팔트에 대한 상대강도계수
- 덧씌우기 설계내용 보강
- 각국의 설계법 현황 : 부록 I
- 신기술 등록 현황 : 부록 III

본 편람의 각 편에 기술된 주요내용은 다음과 같다.

(1) 제 1 장

도로 및 도로 포장의 기능과 역할에 대해 설명하였으며 실무자들이 실무에 필요한 용어를 쉽게 찾아볼 수 있도록 도로 포장 관련 용어들을 정리하였다. 또한 본 편람의 전체적인 구성과 각 장에 수록된 내용들을 소개하였다.

(2) 제 2 장

본 편람의 제 2 장에서는 현재 혼용되어 사용되고 있는 '72 AASHTO, '86 AASHTO Guide에 대한 설계입력변수의 구분 및 각 변수에 대한 설명을 수록하였으며 포장형식의 선정, 수명-주기 비용(life cycle cost) 등에 대한 내용을 제시하였다.

(3) 제 3 장, 제 4 장

실무자들이 이해할 수 있도록 제 2 장에서 제시한 입력변수 등을 이용한 포장구조 설계절차를 제시하였으며 설계 과정에서 필요한 고려사항과 포장형식별 설계 예를 제시하였다.

콘크리트 포장 및 아스팔트 포장의 설계 기준은 현재 실무에서 가장 많이 사용하는 '81 AASHTO 지침 및 '72 AASHTO 지침을 이용하였으며, 설계차트를 이용하는 방법과 계산식을 이용하는 방법에 대해 예제를 수록하였다.

(4) 제 5 장

유지보수 관련 공법과 해당 공법에 대한 내용을 기술하였다.

본 장에서 사용된 덧씌우기 방법은 '93 AASHTO 설계 지침의 내용 및 국내 국도 PMS에서 사용하고 있는 방법을 수록하였다. 즉, 아스팔트 포장위에 콘크리트 덧씌우기, 아스팔트 포장위에 아스팔트 덧씌우기, 콘크리트 포장위에 콘크리트 덧씌우기 등의 방법을 기술하였으며 현재 국도 PMS에서 사용하고 있는 기술적 보수공법의 결정방법에 대하여 기술하였다.

(5) 제 6 장

제 6 장에서는 현재 많은 관심을 끌고 있는 재생포장에 대해서 별도의 장으로 구성하여 관련 내용을 비교적 상세히 설명하였다.

(6) 제 7 장, 제 8 장, 제 9 장

제 7, 8, 9장에서는 포장형식을 장소, 공법 등에 따라 구분하여 각 포장형식별 개념, 특징 등을 기술하였다.

즉, 제 7 장에서 교면포장, 터널내 포장, 접속부 포장 등 장소에 따른 포장공법을, 제 8 장에서는 간이포장, 보도포장, 자전거 도로 포장 등에 대해서, 제 9 장에서는 최근 많이 사용되고 있는 개질아스팔트 포장, SMA 포장 등 여러 가지 포장 혼합물 및 공법에 대하여 다양하게 설명하였다.

(7) 부록

부록 I에서는 각국의 설계법 현황 등에 대해 기술하였고, 부록 II에서는 국내 도로포장단면의 변천과정을 소개하였으며, 부록 III에서는 최근까지 승인된 도로포장관련 신기술에 대하여 요약 정리하였다.

702

포장형식의 선정 및 설계 입력변수

702.1 포장형식의 선정

1.1 포장형식 선정 방법

1.1.1 일반사항

어느 주어진 조건에 대하여 선정해야 할 포장형식의 결정에는 도로기술자 또는 관리기관 나름대로의 절대적이거나 확실한 방법은 없으므로 포장 형식의 선정은 교통, 토질, 기후, 재료, 시공, 유지관리 및 환경 등 많은 변수요인을 고려하여 결정하여야 한다. 포장형식선정은 이 요소의 몇 가지 우선적인 사항을 고려하여 이루어질 수 있다. 본 편람에서는 포장형식 선정시 기본적으로 고려해야 하는 사항에 대하여 우선적으로 제시하였으며 중차량 교통량이 많아 콘크리트 포장 구간을 선정해야 하는 기준(안)에 대하여 부가적으로 서술하였다. 포장형식의 선정절차는 이론적 또는 경험적인 방법으로 하나 또는 몇 가지 포장형식에 대한 구조설계 대안을 비교하여 결정할 수 있다. 그러나 이러한 방법은 어떤 하나의 대안 또는 모든 대안에 대한 비교로 특정 공용성 수준을 확보할 수 있는 최적방법이 되지는 못한다. 또한 대안 포장설계에 대한 포장비용의 비교는 의사결정 과정에 도움을 준다. 포장에 드는 비용은 초기 건설비뿐만 아니라 도로의 기능을 일정 수준으로 유지하기 위해 필요한 추가 비용도 포함시켜야 한다. 이러한 방법은 유지관리, 후속적인 단계건설, 개량공사, 잔존가치 등에 관련된 신빙성 있는 자료를 항상 이용할 수 있는 것이 아니기 때문에 정확한 결과를 얻을 수 없다는 것을 인식하고 장래 어느 시점에서의 비용을 추정할 필요가 있다. 또한 경제성 분석은 일반적으로 현재 또는 장래의 도로담당기관의 재정능력이 고려되지 않는데 문제가 있다.

구조설계와 비용의 비교방법이 완벽하다 하더라도 본질적으로 포장형식 결정에 있어서 고려되어야 할 모든 요소가 고려된 것은 아니다. 이러한 결정은 주어진 도로구간에 적용될 수 있는 모든 요소의 고려와 평가를 기준으로 하여 전문기술자의 적절한 판단에 의해 이루어져야 한다.

포장형식 결정에 영향을 주는 요소는 일차적 요인과 이차적 요인으로 구분할 수 있다. 이들 요소는 일반적으로 신설 및 재포장에 적용된다. 이들 중 일차적인 고려사항에는 포장형식 선정에 주요한 영향을 미치며 이에 대한 지표가 되는 요소가 포함되고 몇 가지 주요 요소는 기본설계과정에 포함되며 포장설계의 구조적 요구조건 또는 노상과 성토부 처리에 영향을 준다. 이러한 경우에는 비교 목적상 이 요소들에 경제적인 가치를 할당한다. 이차적인 고려사항에는 포장형식선정에 영향이 적고 일반적으로 우선적인 고려사항으로 사용되지 않거나 경제적 관점에서 어느 형식이 확실히 좋다고 판단되지 않을 때 고려되는 요소들이 포함된

다. 포장형식 선정의 일차적인 고려사항과 이차적인 고려사항을 결합한 선택과정의 흐름도는 <그림 702.1>과 같다.

1.1.2 우선적 고려사항

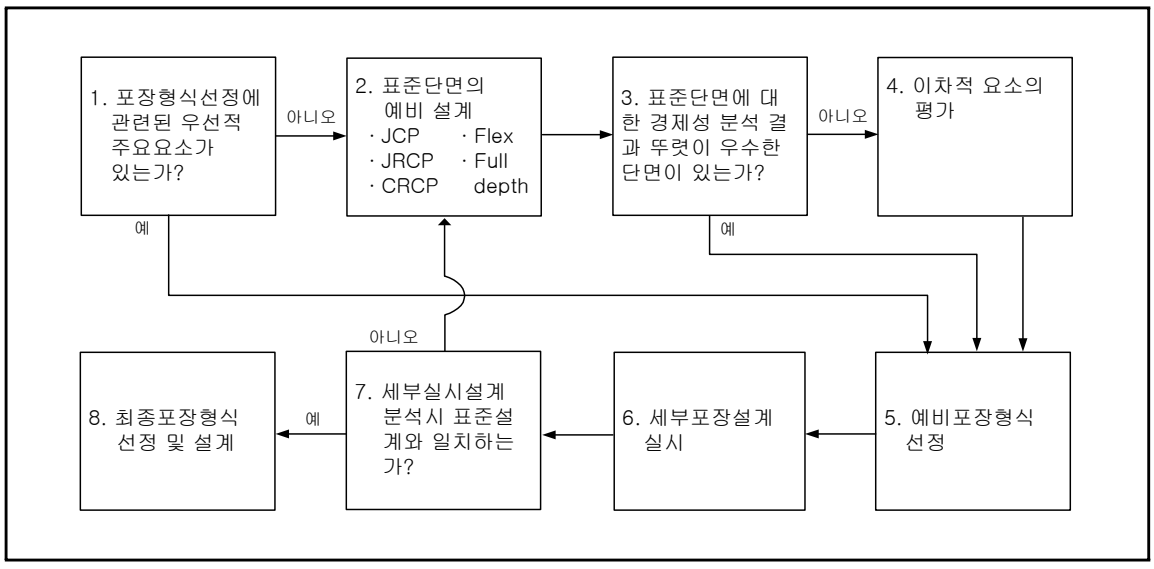
(1) 교통

총 교통량은 도로의 기하적 요구조건에 영향을 미치는 반면에, 상업용 교통의 비율과 중교통량의 통과수는 일반적으로 포장의 구조적 설계에 중요한 영향을 미친다.

설계를 위한 교통량추정은 일반적으로 일정 구간에서 토지이용과 잠재적인 상업 및 공업의 발달로 인한 변화에 따라 교통량이 증가하는 정상증가율을 추정하는 것이다. 그러나 과거 수십년 간의 경험을 살펴보면 주요도로의 신설에 따라 다른 노선을 이용하던 많은 양의 중교통(heavy traffic)이 신설된 넓은 도로를 이용하게 된다. 이것은 철도이용량의 감소와 함께 가중되어 교통량 증가율 특히 상업용 교통량의 증가율을 상당히 과소평가하는 결과를 초래하였다. 또한 장래이용도와 자동차 연료비를 감안하여 포장구조가 설계기간동안에 견딜 수 있는 법적인 하중을 증가시키게 되었다.

이러한 이유로 주요도로 포장설계의 교통인자에는 적당한 범위의 안전치를 적용해야 한다. 관리기관은 모든 포장형식 대안에 대하여 주요도로로서의 적정한 공용성과 서비스 수명을 확보하기 위한 최소한의 구조적 요구조건을 선정해야 할 것이다.

포장정책대안 또는 초기설계, 복구 및 유지보수를 조합한 방안은 주어진 기간 동안에 초기설계와 동등한 기능을 발휘하지는 못하더라도 유지관리를 통하여 동등한 기능을 갖도록 할 수 있다. 교통이 혼잡한 지역에서 중차량 교통이 통행하는 도로의 설계정책에 있어서는 유지보수 또는 복구에 따른 교통의 혼잡과 위험을 최소로 하기 위하여 상대적인 경제성을 고려하지 않고 초기단계의 서비스수명을 길게 잡는 정책을 선택할 수 있다.



<그림 702.3> 포장형식 선정을 위한 선택과정 흐름도

(2) 토질특성

포장구조의 노상을 형성하는 자연토의 하중 전달능력은 포장공용성 면에서 매우 중요하다.

어느 한정된 지역에서도 이러한 자연토의 고유특성은 균일하지 않으며 더구나 기후의 영향을 받아 변화가 심하다.

자연토의 특성은 포장구조설계에 직접적으로 영향을 줄뿐만 아니라 어떤 경우에는 일정지역에 대한 경제적인 포장형식을 선택할 수 있도록 한다.

(3) 기후

기후는 포장표층 뿐만 아니라 노상에도 영향을 미친다. 강우량, 눈 및 얼음, 동결관입은 노상재료의 지지력에 계절적인 영향을 미치며, 함수, 동결 융해 및 동절기 제설작업은 포장표층의 공용성과 유지비용에 영향을 미친다. 이러한 표층은 열흡수의 차이 또는 동절기 제설작업(장비 또는 약품)으로 인한 포장손상에 저항하는 정도에 따라 제설작업의 용이성에 영향을 미친다. 어떤 곳의 포장공용성기록을 이용할 때 그 지역이 속하는 기후대 조건을 반드시 고려하여야 한다.

(4) 시공에 대한 고려사항

포장구조의 단계건설은 포장형식선정에 주요 고려사항이다. 또 다른 고려사항으로는 시공속도, 시공기간동안의 교통처리 및 교통안전, 보수의 편이성, 장래확장, 공사완료시기 등이 있는데 이러한 사항은 특별한 경우에 있어서 포장형식선정에 많은 영향을 미친다.

(5) 재생포장

포장형식을 선정할 때 기존포장 또는 다른 포장으로부터 재생재료를 얻을 수 있는지의 여부도 고려해야 한다. 또한 장래 재생 가능성에 대해서도 고려하여야 한다.

(6) 비용의 비교

포장형식결정에 있어서 특별히 고려해야 할 사항이 없고 몇 가지 포장형식대안이 거의 비슷할 때에는 비용분석을 통하여 비교할 수 있다. 포장형식선정에 있어서 추후 유지보수 비용이 많이 들더라도 초기비용에 의해서 불가피하게 결정해야 할 경우가 있다. 여건이 허락하는 한 서비스수명 또는 포장구조에 의한 서비스능력을 기준한 비용을 고려하는 것이 가장 이상적이다. 이와 같은 비용에는 초기건설비용, 차후의 단계건설 또는 개량공사비용, 예측수명, 유지관리비 및 잔존가치 등을 포함한다. 또한 재포장 또는 유지보수동안의 도로이용자 비용도 고려하여야 한다. 포장구조는 초기설계기간에 대하여 설계되는 것이지만 설계기간의 종료시에 완전히 버려지는 것이 아니고 장래 포장구조의 일부로서 계속 사용하게 된다. 따라서 해석기간은 모든 포장형식의 전형적인 재시공을 포함하는 충분한 기간이 되어야 한다.

1.1.3 부가적 고려사항

(1) 동일 지역 내 유사한 포장의 공용성

넓게는 대상도로 인접지역의 포장공용성을 고려하여 도로기술자의 경험과 판단에 따라 포장형식을 선정한다. 과거의 포장공용성은 가치있는 지침으로 기존의 고려대상도로와 설계대상도로사이의 도로 상태와 서비스 능력 요구조건과의 관계를 잘 나타내 준다. 유의할 점은 단기간의 공용기록이나, 현재수명에 있어서 경하중 교통량이 대부분을 차지할 때의 장기간 공용기록의 신뢰성에 대해서는 세심한 주의를

기울여야 한다. 공용성에 대한 주기적인 재분석이 확실히 필요하다.

(2) 인접 기존포장

포장조건에 있어서 인접지역과 근본적인 차이가 없는 경우 적정사용기능을 유지하고 있는 인접 기존구간에 따라 도로의 포장형식을 선정할 수 있다. 그 결과 같은 포장형식이 연속된 도로에 있어서는 유지작업이 간편하게 된다.

(3) 재료와 에너지절약

포장형식은 희귀한 재료를 적게 사용하는 포장형식 또는 재료의 생산, 운반 및 포설시 에너지 소비가 적은 포장형식을 고려하여 선정한다.

(4) 인근지역 재료 이용도 또는 시공자 능력

인접지역의 재료 이용도 및 사용적합성도 포장형식선정에 영향을 미친다. 또한 판매하는 생산재료의 이용가능성 및 지역시공자의 장비활용 능력도 영향을 미치며, 특히 소규모사업에는 더욱 영향이 크다

(5) 교통안전

포장 마모층의 특성, 포장과 길어깨의 구분필요성, 도로조명의 반사 및 유용재료에 따른 표면의 미끄럼저항을 위한 보수 등은 특수지역에 있어서 각기 포장형식선정에 영향을 미친다.

(6) 경험적 특성의 조합

어떤 경우에는 새로운 재료의 공용성 또는 설계개념은 실제의 시공, 환경, 또는 교통조건에서의 현장시험에 의하여 결정되어야 한다. 재료와 설계개념이 단 한가지 포장형식에만 적합할 때 이러한 경험적 특성의 조합은 포장형식선정의 고려 요소가 된다.

(7) 경쟁력의 활성화

포장재료의 생산에 있어서 독점현상을 피해야 하고, 업체간의 지속적이고 건전한 경쟁을 통해 생산재료의 지속적인 방법 개선이 활성화되는 것이 바람직하다.

포장설계대안은 토공, 배수시설 및 기타 부대시설의 부대비용 등 비교할 수 있는 초기비용을 포함하고, 서비스수명 또는 수명주기비용을 비교할 수 있도록 하였을 때, 도로관계기관은 경쟁력을 활성화시키고 더욱 낮은 공사비를 들일 수 있는 대안입찰을 실시할 수 있다. 만일 이와 같은 방법이 이용된다면 더욱 경쟁력있는 공사비를 책정하므로써 우수한 기술적 시공과 생산성 향상이 이루어지는 효과적인 방법이 될 것이다.

여러 가지 재료가 보조기층 또는 기층과 같은 포장구조의 요소로 적합하게 사용될 수 있다면 도급자가 승인된 재료 중에서 선택할 수 있도록 하여야 한다.

(8) 관련 지방당국(시, 지방자치단체)의 정책선호도와 지방산업에 대한 인식

이러한 고려사항은 도로기술자의 판단범위에서 벗어나는 것 같지만 무시해서는 안된다. 특히 모든 다른 요소가 분명하지 않은 경우에는 이것이 포장형식 선정의 고려사항이 될 수 있다.

1.1.4 결 론

앞에서 열거 설명한 이러한 요소와 고려사항은 정도의 차이는 있지만 포장형식결정에 영향

을 미친다. 이것은 어떤 특정지역에서 현재 사용되지 않는 포장형식선정기준의 기본적 사항을 개발하는데 필요하다. 또한 일반적으로 지역마다 조건이 다양하고 미치는 영향이 매우 다르므로 대부분의 경우 각 사업별 연구검토가 필요하다.

1.1.5 교통량을 이용한 콘크리트 포장 형식 선정 대안

국도의 경우 중차량이 많음으로 인해 소성변형이 자주 발생되므로 '국도의 노선 계획·설계지침'에서는 중차량 혼입율이 많은 노선, 산업자원노선 등은 콘크리트 포장을 적극 권장한다라고 정성적으로 되어 있으므로, 이에 대한 정량화 대안을 다음과 같은 연구를 통하여 기준(안)을 추천한다.

본 기준(안)은 포장형식의 선정시 고려되는 여러 가지 안자 중에서 교통량을 고려하여 결정하는 방법을 제시한 것으로 향후 다른 인자들을 고려하거나 검증 연구를 통한 구체적인 기준 제시가 필요하다.

설문조사를 통하여 콘크리트 포장 형식의 선정에 대한 기준인자를 일일 설계차로 축하중 교통량으로 선정하였으며 국도 PMS의 D/B자료를 활용하여 연구를 수행한 결과 <표 702.1>과 같은 콘크리트 포장 선정 기준 대안을 추천하였다. 만약 정책적으로 90%의 신뢰도에 대한 예측 구간을 적용할 경우 10t 표준 축하중이 일일 설계 차로 축하중 교통량이 1000 EAL이상이거나, 8.2t 표준 축하중이 3100 EAL이상이면 콘크리트 포장을 실시하도록 권장한다.

1.2 포장형식의 비교

도로포장공법을 크게 나누면 연성 포장인 아스팔트 포장과 강성포장인 콘크리트 포장으로 분류되며 각각 특성은 <표 702.2>와 같다.

<표 702.2>에서는 각 포장형식 중 대표적인 밀입도 아스팔트 콘크리트 포장과 무근 콘크리트 포장을 상대 비교하였다.

1.2.1 아스팔트 포장

아스팔트 포장이란 골재를 역청재료(bitumi-nous material)로 결합시켜서 만든 표층이 있는 포장을 말하며, 일반적으로 표층, 기층 및 보조기층으로 이루어진다. 최근 들어 표층의 일부분으로 중간층으로 사용하는 경우가 있는데, 이는 탄성이론을 바탕으로 전단응력이 최대로 발생되는 부분을 보강하는 개념으로서 이에 대한 적용시에는 충분한 타당성을 검토해야

<표 702.1> 포장형식 선정을 위한 기준 교통량

신뢰도	10t 표준 축하중 교통량	8.2t 표준 축하중 교통량	기준 교통량 (8.2t)
60% (α=0.4)	462.38	1308.54	1300
70% (α=0.3)	582.10	1647.34	1600
80% (α=0.2)	759.58	2149.61	2100
90% (α=0.1)	1109.17	3138.95	3100

한다. 설계에 따라 필요시에는 전문가의 의견을 수렴하여 포장재료를 선택하도록 할 것을 권장한다. 아스팔트 포장은 상부층으로 갈수록 탄성계수가 큰 재료를 사용하여 교통하중 작용시 상부층으로부터 전달되는 하중을 점점 넓게 분산시켜 발생한 수직응력과 전단응력을 노상이 지지토록 한 구조이다. 포장의 역학적 거동 특성에 초점을 두어 아스팔트 포장을 가요성 포장(flexible pavement)으로 부르기도 한다.

1.2.2 콘크리트 포장

콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브 자체가 빔과 같이 거동하여 교통하중에 의해 발생되는 응력을 휨저항으로 지지하는 포장형식이다.

콘크리트 포장은 일반적으로 표층 슬래브 및 보조기층으로 구성되어 있으며 보조기층의 역할은 슬래브에 균등한 지지력을 주고, 투수층으로서 동상(frost heave) 현상을 방지하고 시멘트 콘크리트 슬래브를 타설하기 위한 안전한 작업 기반을 조성하는데 있다.

1.2.3 포장층의 역할 비교

아스팔트 포장은 기본적으로 표층→기층→보조기층→노상으로 하중을 분산시켜 하중을 절감하는 방식을 취하고 있으며 콘크리트 포장은 교통하중을 슬래브가 지지하는 형식을 취하고 있다.

포장의 종류별, 각 층별 세부 내용은 '703 아스팔트콘크리트 포장'과 '704 콘크리트 포장편'을 참고한다.

(1) 표층

아스팔트 포장에서는 교통하중을 일부 지지하며 하부층으로 교통하중을 전달하는 역할과 표면수의 침투를 방지하여 하부층을 보호하는 역할을 한다.

콘크리트 포장에서는 슬래브 자체가 빔과 같이 거동하여 교통하중에 의해 발생되는 응력을 휨저항으로 지지하는 역할을 한다.

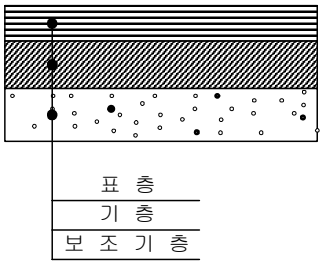
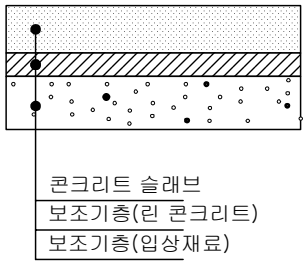
(2) 기층

아스팔트 포장의 경우 전달된 교통하중을 일부 지지하고 하부층으로 넓게 전달하는 기능을 한다.

(3) 보조기층

아스팔트 포장에서는 기층에서 전달된 하중을 노상으로 넓게 분포시키며 포장층내 배수기능을 담당하고 있다. 콘크리트 포장의 경우 표층에 대한 균일한 지지력을 확보함과 동시에 줄눈부 및 균열부근의 우수 침투 및 펌핑현상을 방지한다.

<표 702.2> 포장형식별 특징

구 분	아스팔트 포장	시멘트 콘크리트 포장
단 면		
구 조 특 성	· 포장층이 일체로 교통하중을 지지하고 노상에 윤하중 분포 · 포장두께는 교통하중과 노상지지력에 근거하여 설계 · 기층 또는 보조기층에도 큰 응력이 작용 · 반복되는 교통하중 및 중차량 교통하중 에 민감	· 콘크리트 슬래브 자체로 교통하중 및 온도변화에 대해 지지 · 슬래브에 불규칙한 균열 방지를 위해 가로 수축줄눈을 4~6m 간격으로 설치 · 골재 맞물림 작용 및 다웰바를 통해 슬래브간 하중 전달
시 공 성	· 신속성 간편성 측면에서 유리 · 단계 시공방식에서 유리	· 시공시 장기간 양생필요 · 줄눈설치 및 콘크리트 양생 등 공종이 많음
내 구 성	· 중차량이 많은 도로에서 rutting 발생	· 중차량에 대한 적응도 양호
유 지 관 리	· 부분보수 용이 · 잦은 보수로 교통소통에 지장 초래 · 보수 시기가 늦어지면 큰하자 발생	· 줄눈부의 정기적인 유지보수 필요 · 연속 철근 콘크리트 포장에 비해 국부적인 파손 보수가 용이
이용성 및 적용도로	· 평탄성 및 승차감 양호 · 소음이 적음 · 교통량이 적은 도로, 시가지 도로	· 소음이 많음 · 줄눈설치로 승차감 불량 · 중차량이 많은 도로

1.3 경제성 분석

1.3.1 개요

현 국내포장설계에서는 경제성분석 및 수명주기분석 등을 수행하고 있지는 않으나 다음과 같이 일반적인 고려사항에 대하여 언급하였다.

포장계획노선에 대한 공학적 경제성 원리의 적용은 다음 두 가지 수준으로 정의한다.

- 계획 노선의 타당성과 계획의 결정에 요구되는 관리수준의 의사결정
- 계획 노선의 전체적 측면에서 경제적으로 타당할 때 대상 계획노선에 대한 최대 경제성을 얻기 위한 요구사항

포장 설계에 적용할 수 있는 경제성평가 원리는 다음과 같다.

- 평가가 이루어져야 할 관리수준을 명확히 정의하여야 하며 여기에는 시행계획 또는 도로망 구성에 관련된 수준에서부터 계획사업에서 고려되는 요소의 세부설계수준까지가 포함된다.
- 경제성분석의 목적은 의사결정을 내리기 위한 절차가 아니라 의사결정을 위한 기준을 제시하는데 있으며 이와 같은 의사결정을 위한 조건은 반드시 경제성평가 결과를 적용하기 전에 설정되어야 하며, 경제성평가 자체에 있어서는 계획사업의 자금 조달원 또는 방법에 관계없이 이루어져야 한다.
- 경제성평가는 설계재원과 시간 제약조건 범위 내에서 많은 가능대안을 고려해야하며 여기에는 기존상황에서 뿐만 아니라 대안상호간의 비교가 포함되어야 한다.
- 대안들의 비교는 동일기간에 대하여 이루어져야 하며, 적용기간(time period)은 비교에 관련된 모든 인자들을 정확히 정의할 수 있도록 선택되어야 한다.
- 포장의 경제성평가에는 시행기관의 투자비용과 이용자비용 및 편익이 가능한 한 포함되어야 한다.

1.3.2 수명-주기비용

수명-주기 비용은 포장의 완전 수명주기 또는 분석기간 동안 포장시설에 관련되는 모든 비용(또는 모든 편익)으로 정의되며 건설비, 유지비용 및 복구비용 등이 포함된다.

수명-주기비용 분석의 과정은 포장설계 대안의 선정→포장 공용기간 및 유지보수시기 결정→정부비용의 평가→도로 이용자 비용 산출→분석 결과→설계 전략에 대한 재평가의 순서로 이루어진다.

국내에는 수명-주기 비용분석을 위한 포장공용성 예측모델, 정부비용, 이용자 비용 등에 대한 자료가 없으므로 본 편람에서는 외국의 예를 나타내었다.

(1) 분석기간 선정

분석기간에 적어도 한번 이상의 보수활동이 있도록 분석기간을 선정한다.

1996년 FHWA (Federal Highway Administration)에서는 포장관련 과업의 수명-주기비용의 분석기간을 최소 35년으로 권고하였다.

(2) 포장의 공용기간 및 유지보수 시기 결정

포장의 유지 관련 자료와 경험에 바탕을 둔 분석을 통해 유지보수 시기를 결정할 수 있다.

(3) 정부 비용의 평가

정부의 비용은 일상적이고 예방적인 유지, 보수, 행정 관련 비용과 초기 예비공정, 계약관련 행정비용, 공사감독, 건설비용을 포함한다. 또한 교통 운영, 유지비용, 터널 조명, 환기비용 등과 같은 운영비용도 포함한다.

(4) 도로 이용자 비용

도로 이용자 비용은 VOC(Vehicle Operating Cost), 이용자 지체 비용, 사고비용의 세 가지 요소를 결합한 것이다.

① 정상 운영 구간과 작업 구간에서의 도로 이용자 비용

정상 운영 구간이란 공사 유지 보수 작업이 없을 경우의 구간이며, 여기서의 이용자 비용은 대안들의 서로 다른 포장 공용성(평탄성)과 관련되며 작업구간의 운영은 공사작업, 유지보수작업 기간동안의 시설물 이용 관련 비용을 나타낸다.

포장 공용성이 상대적으로 높게 요구되며 대안별 공용성 곡선의 경향이 유사하다면 VOC는 동일하게 가정한다.

② 시간가치(지체비용)

논란이 있는 부분이며 정량화 시키는 일은 더욱 힘든 일이다. 본 편람에서는 외국의 경우를 소개함과 동시에 참고자료로 이용함을 권고한다.

- NCHRP 133 : 승용차의 경우 시간당 3달러 트럭에서는 일괄적으로 시간당 5달러를 적용
- OST(Office of Secretary of Transportation) : OST에서는 국가 임금비율(national wage rate) 백분율을 적용하기를 권장하며 이는 차량 구분과 운행 목적에 따라 구분하고 있다. 또한 상업용 통행, 트럭 통행이 개인 통행보다 더 가치가 있으며 도시내 통행이 지방부 통행보다 더 가치가 있는 것으로 제시하고 있다.
- FHWA : HERS(Highway Economic Requirement System) 모델에서는 국가도로의 공용성, 새로운 도로의 필요성, 경제적 평가에 HERS모델을 사용하고 있다.

통행 시간가치의 추천값 예를 <표 702.3>에서 보여주고 있다.

<표 702.3> 통행 시간가치의 추천 값

Source	Units	Autos	Trucks	Combination
U.S DOT-OST	$/person-Hr	10.80	16.50	16.50
Micro BENCOST	$/Veh-Hr	11.37	17.44	24.98
NCHRP	$/Veh-Hr	11.78	19.64	19.64
HERS	$/Veh-Hr	14.30	25.99	31.30

702.2 설계 입력 변수

2.1 일반사항

본 편람에서는 미국 AASHTO 설계법을 근간으로 입력 변수에 대하여 기술하였다.

AASHTO 설계법은 50년대 말 미국 일리노이주에서 실시한 AASHO 도로시험결과를 바탕으로 만들어진 것으로 아스팔트 포장은 1972년 Interim Guide가 나오고 1986년에 본 설계법이 완성되었으며 1993년도에 덧씌우기 부분이 개정되었다. 콘크리트 포장은 1981년에 Interim Guide가 나오고 1986년에 본 설계법이 완성되었으며 1993년에 덧씌우기 부분이 개정되었다.

최근 들어 AASHTO 설계법을 기존의 경험적 설계법 위주에서 역학적-경험적 설계법으로의 개정을 추진하여 AASHTO 2002 Guide를 준비중에 있다.

AASHTO 설계법을 개정하였다 하더라도 근본적인 공용성 모형은 동일하며 각 설계법별로 입력변수가 약간씩 차이가 있다.

각 설계법 별 입력변수는 다음과 같다.

2.2 서비스 능력과 공용성

서비스 능력과 공용성의 개념은 1960년대 초 AASHO 도로시험에서 제시한 개념으로서 도로이용자가 주행시 느끼는 쾌적성 등을 정량화하는 척도이다.

서비스 능력과 공용성의 개념은 다음의 다섯가지 가정을 토대로 한다.

- 도로포장은 이용자 통행의 편리성과 쾌적감을 제공하기 위함이다.
- 쾌적성이나 승차감은 이용자의 주관적 반응 또는 견해에 관련되는 사항이다.
- 서비스 능력은 모든 도로 이용자 관점에서 포장의 상태를 평가하여 점수를 부여하는 방법으로 표시되며, 이것을 서비스 능력 평점(serviceability rating)이라 부른다.
- 객관적으로 측정할 수 있는 포장의 물리적 손상 특성과 주관적 평가를 서로 상관시킬 수 있으며 이 관계로부터 객관적인 서비스 지수(serviceability index)를 제공한다.
- 공용성(performance)은 포장구조체의 서비스 이력(serviceability history)으로 표시된다.

입력변수 / 포장종류	'72 Guide '81 Guide	'86 Guide '93 Guide (덧씌우기만 '86 Guide와 다름)
아스팔트 포장	지역계수(R) 노상지지력(SSV)	신뢰도($Z_R \times S_0$) 회복탄성계수(M_R)
콘크리트 포장	휨강도(S_C') 탄성계수(E_C) 노상지지력계수(K) 하중전달계수(J)	휨강도(S_C'), 탄성계수(E_C), 노상지지력계수(K), 하중전달계수(J), 신뢰도($Z_R \times S_0$), 배수계수(C_d)

2.2.1 서비스 능력

포장의 서비스 능력은 어느 시점에서 포장이 이용자에게 제공하는 기능 및 구조적 손상도의 크기이며 측정시 서비스 지수로 표시된다.

측정시 서비스 지수(PSI ; Present Serviceabi-lity Index)는 평탄성과 손상도, 즉 균열(cracking)과 팻칭(patching) 정도 그리고 아스팔트 포장에서의 소성변형 등을 그 포장의 사용수명(service life)동안의 특정시기에 측정할 수 있다. 평탄성은 포장의 PSI를 평가하는데 중요한 인자이므로 포장의 공용이력(performan-ce history)을 모니터링하는데 있어 신뢰도가 높은 방법으로 측정하는 것이 매우 중요하다.

2.2.2 공용성

(1) 공용성의 정의

포장 공용성은 포장체가 가지고 있는 물리적 능력을 수치화 한 것으로 기능적 공용성(functional performance), 구조적 공용성(structural performance) 및 안전적 공용성으로 구분할 수 있다.

포장의 기능적 공용성은 이용자에게 쾌적성 또는 승차감을 얼마나 제공할 수 있느냐는 것이고, 포장의 구조적 공용성은 포장체의 물리적 상태 즉 균열발생, 단차, 라벨링 또는 포장구조의 하중전달능력에 역효과를 주거나 유지보수를 요하는 기타 조건에 관계되는 것이다.

포장의 안전적 공용성은 주로 포장과 타이어 접촉에 따른 마찰저항에 관계되는 것이며 포장구조설계는 기능적 공용성과 구조적 공용성에 관한 사항만 반영한다.

(2) 공용기간과 해석기간

공용기간(performance period)이란 초기포장 구조가 덧씌우기 이상의 보수를 필요로 하기 바로 전까지의 기간을 말한다. 또한 보수작업 시행 사이의 기간을 의미하기도 한다. 다시 말하면 신설포장, 재포장, 또는 보수된 포장의 초기 서비스 능력이 최종서비스 능력으로 떨어지기까지 경과한 시간이다. 공용기간의 설정은 설계기관의 경험 및 정책에 의하여 제정된 최소와 최대의 범위에서 결정하여야 한다.

공용기간은 유지보수 형태, 수준에 따라 좌우되며 정책, 경험에 의해 최소, 최대기간을 구해야 한다. 최소기간이라 함은 포장의 공용이후 반드시 유지되어야 하는 기간을 말하며 최대기간이라 함은 포장의 공용성을 예측할 수 있는 최대기간을 말한다.

해석기간(analysis period)은 해석대상이 되는 동안의 기간, 즉 어떠한 설계정책이 보증할 수 있는 시간의 범위이다. 해석기간은 과거에 설계자가 사용했던 설계수명(design life) 기간과 유사하다. 최대공용기간을 고려해야 하므로 요구되는 해석기간을 얻기 위해서는 한번 또는 그 이상의 보수작업이 요구되는 단계건설에 대한 고려와 계획이 필요하다.

AASHTO에서 추천하는 해석기간 값은 <표 702.4>와 같으며 이 같은 공용기간과 해석기간을 그림으로 나타낸 것이 <그림 702.2>이다.

<표 702.4> AASHTO의 해석 기간 추천 값

교통량	해석기간 (년)
도시부 교통량 많은 지역	30～50
지방부 교통량 많은 지역	20～50
교통량 적은 지역	15～25
비포장 교통량 많은 지역	10～20

국내에서는 공용기간과 해석기간에 대한 구분을 두지 않고 일괄적으로 설계기간을 아스팔트 10년, 콘크리트 20년으로 하지만 향후에는 공용기간과 해석기간에 대한 구분이 필요하다.

2.2.3 측정 서비스 지수

(1) 측정 서비스 지수(PSI)의 크기는 0~5의 값으로 정의된다.

(2) 포장 설계를 위해서는 다음과 같이 초기와 최종 서비스 지수를 결정해야 한다.

① 초기 서비스 지수
(P_0 ; Initial Serviceability Index)

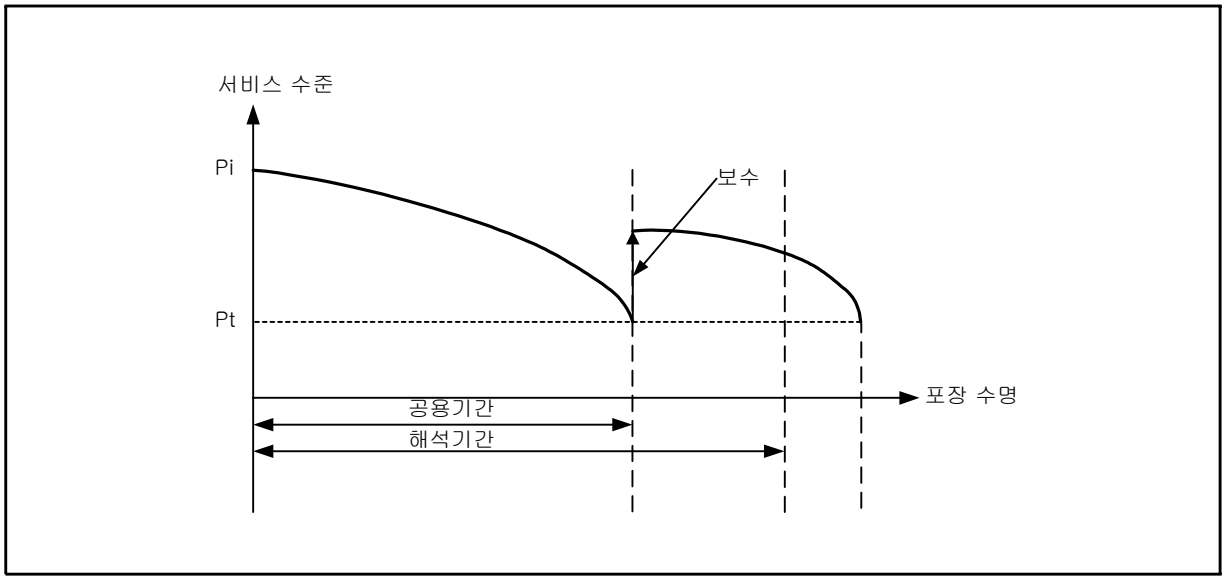
: 도로이용자 관점에서 추정되는 시공완료 직후의 PSI 값으로 AASHO 도로시험에서 얻어진 초기 서비스 지수 값(P_0)은 아스팔트 포장에 대해서는 4.2이고 콘크리트포장에 대해서는 4.5이다.

② 최종 서비스 지수
(Pt ; Terminal Serviceability Index)

: 특정 도로의 포장면을 재포장(resurfacing)하거나 재시공(reconstruction)이 요구되는 시점의 PSI 값으로 중요도로에 대해서는 2.5 또는 3.0을 사용하며, 중요치 않은 도로에 대해서는 2.0을 적용한다. 또한 경제적 관점에서 볼 때 초기 비용이 적게 소요되는 저급도로에 대하여서는 Pt = 1.5를 적용할 수 있으며, 이와 같이 낮은 값의 최종 서비스지수는 특별히 선택된 도로인 경우에만 적용하는 것이 바람직하다.

2.3 교통량

포장설계 조건 중 가장 중요한 요소의 하나가 교통량이다. 설계를 위해서는 대상 도로의 설계기간 동안에 설계차로를 통과하는 전체 혼합 교통량을 8.2톤 등가단축하중 교통량으로 환산



<그림 702.2> 공용기간과 해석기간

하여 적용한다.

혼합 교통량을 8.2톤 등가단축하중 통과횟수(ESAL ; Equivalent Single Axle Load)로 표시하는 것은 AASHO 도로시험 결과에 의한 것이다.

따라서 설계자는 교통조건을 만족하는 포장설계를 위해서 설계대상 도로를 해석기간 동안 통과하는 예상 총 혼합 교통량(mixed traffic)을 추정하여 이것을 표준 등가단축 하중 통과횟수로 환산하여야 하며 그런 다음 설계차로 교통량을 방향별, 차로별 분포를 고려하여 결정하여야 한다.

2.3.1 표준 등가단축하중

도로를 실제 통행하는 혼합교통은 서로 다른 축 형식과 축 배열 그리고 축 하중 분포를 가지는 차량군으로 구성되기 때문에 포장설계를 위한 설계차로 교통량을 결정하기 위해서는 하나의 공통분모를 기준으로 하여 표준화시켜 변환하여야 한다.

본 편에서는 이와 같은 공통분모를 도로 관련 기관에서 규정하는 차종과 축 배열형식 그리고 제한하중을 고려한 등가단축하중 등을 기준으로 한 마이너(miner)법칙을 토대로 하여, 주어진 포장 구조체가 동일 토질 조건과 환경조건에서 등가단축하중의 1회 통과에 따른 포장체의 손상도에 대한 임의 축하중의 1회 통과에 따른 손상도의 비를 표시하는 등가단축하중 환산계수(ESAL)를 결정하여 차종별, 축 형식별 환산계수를 산정하고, 이것을 적용하여 혼합교통량을 등가단축하중 통과횟수로 환산하는 것을 원칙으로 한다.

등가단축하중계수는 설계포장형식(아스팔트 또는 콘크리트), 두께 및 최종 서비스 지수(Pt), 축 배열 형식과 함수관계를 가지며 이는 임의 포장구조에 대한 임의 선정된 표준 단축하중의 1회 통과당 피해도와 동일 포장구조에 임의 크기를 가지는 하중의 1회 통과에 따른 피해도의 비로서 식(702.1), 식(702.2)와 같이 정의된다.

$$ESALf = \frac{\text{임의 축하중의 손상도}}{\text{18kips 단축하중의 손상도}} = \frac{W_{18}}{W_i}$$

(1) 아스팔트 포장

$$ESALf = \frac{(L_1+L_2)^{4.79}}{(18+1)^{4.79}\,L_2^{4.33}} \cdot \frac{10^{\frac{G_t}{\beta_{18}}}}{10^{\frac{G_t}{\beta_i}}} \quad \text{.....(702.1)}$$

여기서,

L_1 : 축하중(kips)

L_2 : 축형식(단축=1, 복축=2)

$$G_t = \log_{10}\left[\frac{4.2-p_t}{4.2-1.5}\right]$$

$$\beta = 0.4 + \frac{0.081(L_1+L_2)^{3.23}}{(\overline{SN}+1)^{5.19}\,L_2^{3.23}}$$

(2) 콘크리트 포장

$$ESALf = \frac{(L_1+L_2)^{4.62}}{(18+1)^{4.62}\,L_2^{3.28}} \cdot \frac{10^{\frac{G_t}{\beta_{18}}}}{10^{\frac{G_t}{\beta_i}}} \quad \text{.....(702.2)}$$

국내의 8.2톤 단축하중계수는 한국건설기술연구원이 1987년 실측 조사하여 산정한 결과치를 이용하며 아스팔트 포장 및 콘크리트 포장

에 대한 도로의 등급별 차종분류 및 차종별 8.2톤 등가단축하중계수는 <표 702.5>, <표 702.6>, <표 702.7>, <표 702.8>과 같다.

<표 702.5> 차종 분류

차종별	차축 형태	해당 차량명
승용차	2A4T	승용차(세단, wagon, 짚 형식 포함)
버스-소형	2A4T	베스타, 그레이스 등(16인승 이하)
버스-소형	2A6T	봉고, 바네트 등(16인승 이하)
버스-보통	2A6T	마이크로버스, 도시형 버스, 일반버스(17인승 이상)
트럭-소형	2A4T	픽업, 소형용달
트럭-보통	2A6T	타이탄트럭, 현대포터, 현대카고트럭, 8톤 덤프트럭
트럭-대형	3A10T	11톤 카고트럭, 탱크로리, 트럭, 10.5톤 덤프트럭, 15톤 덤프트럭
세미트레일러	4A이하	동아 39톤 트랙터+동아 10톤 트레일러 현대 39톤 트랙터+동아 10톤 트레일러
세미트레일러	5A	동아 53톤 트랙터+40콘테이너샤시 현대 51톤 트랙터+콘테이너 트레일러 동아 53톤 트랙터+지상식 트레일러
세미트레일러	6A이상	트렉터와 트레일러 조합
트럭트레일러	5A이하	현대풀카고 트레일러
트럭트레일러	6A이상	트럭과 트레일러의 조합

<표 702.6> 차종, 포장구조 및 도로등급별 평균 ESALF 산정결과

차 종		차축구성	전체평균 ESALF				고속국도 ESALF		일반국도 +지방도평균ESALF	
			가요성		강성		가요성	강성	가요성	강성
승용차		2A4T	0.0002		0.0001		0.0002	0.0001	0.0002	0.0002
버스	소형	2A4T	0.001		0.001		0.001	0.0004	0.001	0.001
		2A6T	0.001		0.001		0.001	0.001	0.001	0.001
	보통	2A6T	0.852		0.839		1.403	1.041	0.762	0.746
트럭	소형	2A4T	0.004		0.004		0.015	0.015	0.001	0.001
	보통	2A6T	0.613	1.122	0.616	1.638	0.781	0.783	0.602	0.605
	대형	3A10T	2.047		3.417		1.472	2.407	2.392	4.022
트렉터+ 세미트레일러		4A이하	1.690	2.130	2.320	3.266	1.734	2.399	1.547	2.068
		5A	1.815		3.072		1.292	2.139	2.422	4.156
		6A이상	0.858		1.533		0.471	0.756	1.676	3.173
트럭트레일러		5A이하	3.288		4.472		2.977	4.022	3.768	5.165

<표 702.7> 아스팔트포장에 대한 차종별 8.2톤 등가단축하중계수(전체평균)

차 종		차축구성	Pt	SN						
				1	2	3	4	5	6	평균
승용차		2A4T	2.0	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
			2.5	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002
			3.0	0.001	0.001	0.0004	0.0002	0.0002	0.0001	0.0003
버스	소형	2A4T	2.0	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0004	0.0004	0.0005
			2.5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0004	0.001
			3.0	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.001
	소형	2A6T	2.0	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0004	0.0004	0.0005
			2.5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0004	0.001
			3.0	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.001
	보통	2A6T	2.0	0.834	0.843	0.846	0.839	0.834	0.832	0.838
			2.5	0.837	0.860	0.872	0.852	0.838	0.833	0.849
			3.0	0.841	0.891	0.921	0.879	0.846	0.835	0.869
트럭	소형	2A4T	2.0	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
			2.5	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
			3.0	0.006	0.007	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005
	보통	2A6T	2.0	0.646	0.643	0.629	0.614	0.616	0.624	0.629
			2.5	0.647	0.643	0.614	0.584	0.584	0.601	0.612
			3.0	0.648	0.647	0.608	0.556	0.551	0.573	0.597
	대형	3A10T	2.0	2.208	2.187	2.123	2.073	2.081	2.116	2.131
			2.5	2.205	2.161	2.034	1.932	1.946	2.012	2.048
			3.0	2.201	2.135	1.950	1.792	1.802	1.896	1.963
트렉터+ 세미트레일러		4A이하	2.0	1.715	1.719	1.702	1.681	1.682	1.692	1.699
			2.5	1.718	1.733	1.703	1.651	1.648	1.668	1.687
			3.0	1.723	1.764	1.736	1.632	1.611	1.638	1.684
		5A	2.0	1.832	1.840	1.827	1.801	1.796	1.804	1.817
			2.5	1.836	1.861	1.842	1.781	1.763	1.777	1.810
			3.0	1.842	1.903	1.898	1.782	1.733	1.746	1.817
		6A이상	2.0	0.765	0.799	0.827	0.812	0.788	0.773	0.794
			2.5	0.775	0.860	0.933	0.891	0.830	0.794	0.847
			3.0	0.789	0.960	1.115	1.016	0.892	0.824	0.933
트럭트레일러		5A이하	2.0	3.359	3.353	3.321	3.291	3.298	3.319	3.323
			2.5	3.359	3.351	3.289	3.222	3.232	3.273	3.288
			3.0	3.360	3.358	3.278	3.158	3.156	3.216	3.254

<표 702.8> 콘크리트포장에 대한 차종별 8.2톤 등가단축하중계수(전체평균)

차 종		차축 구성	Pt	D(㎝)									
				15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	평균
승 용 차		2A4T	2.0	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
			2.5	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
			3.0	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
버스	소형	2A4T	2.0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
			2.5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
			3.0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	소형	2A6T	2.0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.001
			2.5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.001
			3.0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.001
	보통	2A6T	2.0	0.843	0.838	0.837	0.836	0.837	0.837	0.837	0.837	0.837	0.838
			2.5	0.852	0.841	0.836	0.836	0.836	0.837	0.837	0.837	0.837	0.839
			3.0	0.865	0.844	0.837	0.836	0.836	0.836	0.837	0.837	0.837	0.841
트럭	소형	2A4T	2.0	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
			2.5	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
			3.0	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	보통	2A6T	2.0	0.621	0.615	0.617	0.622	0.627	0.629	0.631	0.632	0.632	0.625
			2.5	0.609	0.595	0.599	0.610	0.619	0.625	0.628	0.630	0.631	0.616
			3.0	0.597	0.572	0.579	0.596	0.610	0.619	0.625	0.628	0.630	0.606
	대형	3A10T	2.0	3.531	3.450	3.462	3.523	3.585	3.632	3.665	3.687	3.700	3.582
			2.5	3.316	3.152	3.177	3.301	3.430	3.530	3.599	3.645	3.674	3.425
			3.0	3.066	2.815	2.855	3.047	3.249	3.407	3.520	3.594	3.642	3.244
트렉터+ 세미트레일러		4A 이하	2.0	2.342	2.312	2.328	2.359	2.384	2.399	2.407	2.411	2.413	2.373
			2.5	2.260	2.196	2.227	2.293	2.346	2.378	2.396	2.405	2.410	2.323
			3.0	2.166	2.062	2.109	2.212	2.299	2.352	2.381	2.397	2.405	2.265
		5A	2.0	3.114	3.068	3.091	3.139	3.179	3.205	3.221	3.229	3.234	3.164
			2.5	2.971	2.874	2.921	3.021	3.106	3.162	3.196	3.215	3.226	3.007
			3.0	2.806	2.652	2.723	2.881	3.017	3.109	3.165	3.197	3.215	2.974
		6A 이상	2.0	1.540	1.527	1.532	1.541	1.547	1.550	1.551	1.552	1.553	1.544
			2.5	1.527	1.498	1.508	1.527	1.539	1.546	1.549	1.551	1.552	1.533
			3.0	1.518	1.465	1.479	1.509	1.530	1.541	1.547	1.550	1.551	1.521
트럭트레일러		5A 이하	2.0	4.514	4.458	4.487	4.549	4.599	4.629	4.645	4.653	4.657	4.577
			2.5	4.346	4.229	4.288	4.416	4.522	4.587	4.622	4.641	4.650	4.478
			3.0	4.153	3.967	4.055	4.256	4.427	4.534	4.593	4.624	4.641	4.361

2.3.2 교통량의 산정

포장설계에 적용되는 장래 예상 혼합 교통량은 '교통량 조사자료'(건설교통부)나 대상 노선의 도로계획 조사에서 평가되는 장래 교통수요 예측결과를 토대로 하여 기준년도에 대한 차종별 양방향 연평균 일교통량(AADT)과 해석기간 동안의 연도별 또는 일정 기간별 포장 해석기간과 공용기간에 걸친 양방향 차종별 누가 교통량을 산정함으로써 결정한다. 필요한 경우 계획도로의 여러 가지 교통량 특성을 추정하기 위하여 적절한 위치를 선정, 시종점(O/D) 조사를 실시하여 활용하면 정확도를 높일 수 있다.

설계차로에 대한 교통량은 다음 식을 적용하여 결정한다.

$$W_{8.2} = D_D \times D_L \times \overline{W}_{8.2} \quad \text{.....(702.3)}$$

여기서,

$W_{8.2}$: 설계 교통량

D_D : 방향분배계수

D_L : 차로분배계수

$\overline{W}_{8.2}$: 해석 기간 동안의 대상 계획도로의 양방향 누가 ESAL 교통량

방향분배계수(D_D)의 값은 일반적으로 0.50 (50%)이상을 원칙으로 하며, 한 방향으로 차로 통행이 편중된 교통량이 많은 차로에 대한 ESAL 교통량을 기준으로 하고, 이런 경우 방향분배계수의 값은 차량이 많은 방향과 차량이 적은 방향에 대하여 0.30～0.70 범위로 한다. 방향분배계수 값은 2차로 도로에는 0.5이상을, 4차로 이상의 도로에는 0.40～0.45를 적용하는 것이 일반적이다.

차로분배계수(D_L)는 한 방향이 2차로 이상일 경우 차로별 교통량 분포비율을 나타내는 것으로 우리 나라의 경우 대부분의 도로가 용량에 근접된 상태로 운영되고 있음을 고려하여야 할 것이다. 따라서 차로분배계수의 적용은 차로별 관측자료에 의하여 적용하는 것이 바람직하다. AASHTO에서 권고하고 있는 차로분배계수의 값은 <표 702.9>와 같다.

<표 702.9> AASHTO 차로분배계수 권장값

편도차로	D_L (%)	적용
1	100	1.0
2	80 - 100	0.8 - 1.0
3	60 - 80	0.6 - 0.8
4	50 -75	0.5 - 0.75

2.4 환경

포장 공용성과 포장 구조 설계에 관련되는 주요 환경인자로 온도와 강우의 영향을 반영한다. 이들은 노상토의 동결 융해 및 배수효과에 영향을 주는 기상 요소이므로 설계자는 이들로 인한 포장구조의 수축팽창과 동상현상 등의 메커니즘을 면밀히 분석하여 포장에 대하여 결함을 일으키는 요인을 미리 제거하거나, 포장구조 설계요소로 주의 깊게 고려해야 한다.

2.4.1 동결지수

동결지수(frost index)는 포장내의 동결관입깊이를 산정하기 위한 대표적 척도로서, 포장

구조와 노상토를 동결시키는 대기온도의 강도와 지속기간의 누가영향(cumulative effect)으로 표시된다. 동결지수의 단위는 온도·일(℃·일, °F·일)이며, 어느 동결 계절동안의 누가 온도·일에 대한 시간 곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타낸다.

설계 노선의 설계 동결지수의 산정은 대상지역의 인근 측후소에서 관측한 월 평균 대기온도의 크기와 지속기간에 대한 30년간의 기상자료에서 추위가 가장 심하였던 3년간(즉 동결지수의 최대 3년치)의 평균동결지수로 정한다. 만일 30년간의 기상자료가 없으면 최근 10년간의 최대동결지수를 설계동결지수로 산정하고 이를 토대로 미공병단 TM 5-818-2 Air Force AFM 88-6 Chap.4(Pavement Design For Seasonal Frost Conditions, January 1985)에서 제시되는 절차에 의해서 작성되는 누가 온도·일 곡선에 의해서 결정하거나, 이용자료가 빈곤한 경우 건설교통부에서 작성한 '동결심도 조사보고서 No. 498'('89.12)에 있는 전국 동결지수도를 적용한다. <그림 702.3>에서 얻어지는 동결지수 값은 측후소 위치에서 관측한 값을 토대로 한 것이므로, 설계노선의 표고에 대한 보정은 식(702.4)를 이용하여 계산한다.

$$\text{수정동결지수}(°F\cdot\text{일}) = \text{동결지수}\langle\text{표 }702.10\rangle + 0.9\times\text{동결기간}\times\frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

$$\text{표고차} = \text{설계노선 최고표고}(m) - \text{측후소 지반고} \quad \text{.....(702.4)}$$

2.4.2 동결깊이

포장의 설계에서 동결깊이는 두 가지 개념으로 고려될 수 있다. 첫 번째 개념은 지반의 유해한 동결작용을 예방하기 위해 표층과 비동결성 기층을 합한 두께를 동결깊이보다 크게 하여 동결 융해가 포장체에 미치는 영향을 감소 또는 억제하는 것이고, 두 번째 개념은 지반의 동결을 허용하는 것으로서 동결 및 해빙기간 중에 감소되는 지반의 강도를 예상하여 이를 보강할 수 있도록 기층의 두께를 특별히 증가시켜 주는 방법이다.

동결관입 깊이는 0℃ 온도선이 포장 표면으로부터 포장층 아래로 관입되는 깊이로서, 이것은 주로 영하의 대기온도 크기와 지속시간, 노상토의 재료성질(통상 밀도) 그리고 노상토 내의 동결 가능한 수분의 양(함수량)에 영향을 받는다.

최대 동결 관입깊이 산정은 미공병단 제정 'TM 5-852-6'에서 제시된 절차에 의하여 적용하며, 대상 설계노선 지역의 토질 및 기상조건을 고려하여 결정한다.

교통과 노상토의 지지조건을 고려하여 얻어지는 설계 포장두께에 대한 최대 동결관입 깊이의 영향을 고려하는 데는 두 가지 개념, 첫째, 동결작용에 의해 생기는 포장층 표면상의 동상 변형(frost heaving distortion)을 극소화하는 것과 둘째, 계절적 동결·융해 작용의 영향을 받는 노상지지력 변화로 인한 포장층의 교통하중 재하에 따른 균열 및 변형을 극소화하는 개념을 기준으로 하고, 설계 노선의 교통, 토질 및 환경조건을 고려하여 적절히 그 영향을 반영한다.

본 편람에서는 미공병단에서 제시된 노상 동결 관입 허용법으로서 동결관입 영향을 고려하

는 것을 원칙으로 한다. 미공병단에서 동결가능한 토사를 조사하여 동결 가능성을 분류한 결과는 <표 702.12>과 같다.

<그림 702.4>~<그림 702.7>에 주어진 곡선들은 포장면에 쌓인 눈과 얼음의 영향을 무시할 수 있는 지역에서 동결관입 깊이를 산정하는데 적용될 수 있다. 이 곡선들은 포장층이 30cm 두께의 콘크리트 포장이거나 양호한 기층 재료의 두께가 15~25cm의 아스팔트 포장을 기준하여, 수정 berggren 식과 여러 가지 다른 실제 지형조건에서 얻어진 관측값과 이론계산값을 비교해서 유도된 보정계수를 적용해서 작성된 것이다.

이 곡선들에 의해서 얻어지는 동결관입 깊이는 0℃온도가 <그림 702.4>~<그림 702.7>에 주어진 밀도와 함수비를 가지는 균질한 재료가 무한 깊이로 있을 때 설계 동결지수 조건에서 관입하게 되는 최대 깊이를 산정해 준다.

이 값들을 적용하는데 있어서, 30cm 두께보다 얇은 콘크리트 포장이나 다른 형식의 포장사용으로 인한 변동은 무시한다. 그러나 두께가 30cm 이상인 콘크리트 포장의 경우에는 30cm를 초과하는 두께 2.5cm 마다 10°F · 일 만큼의 설계 동결지수 값을 <그림 702.3> 또는 식(702.4)로 산정되는 값에서 빼서 설계 동결지수를 결정한 후 <그림 702.4>~<그림 704.7>을 적용하여 최대 동결 관입깊이를 결정한다.

우리 나라의 경우 실제 현지에서 관측한 동결관입 깊이와 설계 동결지수를 토대로 해서 국립건설 시험소에서 제시된 대표적 최대 동결관입 깊이의 산정식은 다음과 같다.

(1) 1985년 1월~2월 사이 전국 45개 지역에 걸쳐서 관측된 동결관입 깊이조사 자료를 토대로 작성된 지역별 토군별 상관식은 식(702.5)와 같다.

$$Z = C\sqrt{F} \quad \text{.....(702.5)}$$

여기서,

Z : 최대 동결 관입 깊이(cm)

C : 지역별 및 토군별 보정계수(3~5)

F : 설계 동결 지수(℃ · 일) <그림 702.3>

정수 C는 노면의 일조조건, 토질, 배수조건 등을 고려하여 3~5의 값을 취한다.

가령 북쪽으로 향한 산악도로의 부분에서 용수의 침투가 많고 실트분이 많은 토질로 된 노상의 경우에는 '5'를 취하고 햇빛이 적당히 있고 토질조건 및 배수조건이 비교적 나쁘지 않으면 '3'을 취한다. 또 그 중간조건이면 '4'를 취한다.

(2) 1980년~1989년 10년간 전국 1,358 개소에서 관측한 동결관입 깊이 조사자료를 토대로 작성된 상관식은 식(702.6)과 같다.

$$Z = 14F^{0.33} \quad \text{.....(702.6)}$$

여기서,

Z : 동결 깊이(cm)

F : 동결 지수(℃ · 일) <그림 702.3>

식(702.5)은 지역별 및 토군별로 최대 동결관입 깊이를 실용적으로 산정할 수 있으나, 적용 실측자료가 1985년도 동절기에 대한 값이어서 시간적 대표성이 제한적인 반면에 식(702.6)은 적용 실측자료가 10년간 관측된 것이고 관측

개소 수가 충분하여 대표성을 갖는다. 그러나 설계 동결지수가 400℃・일~600℃・일의 범위에서는 실측 동결관입 깊이보다 다소 크게 계산되며, 이 범위 이하와 이상에서는 비교적 실측값과 잘 맞는 것으로 알려져 있다.

설계자는 설계 동결지수가 400℃・일~600℃・일 범위에 대해서는 미공병단에서 제시하는 <그림 702.4>~<그림 702.7>로써 산정되는 값과 비교하여, 설계 노선지역의 지형・토질 및 기상조건을 고려하여 산정하는 것이 바람직하다.

2.4.3 설계방법

동결작용은 흙 중에 포화되어 있는 수분의 성질이 변화하여 일어나는 현상으로 비교적 입자가 작은 실트질 흙에서 일어나기 쉽다. 동결지역에서 포장을 설계할 때에는 동결작용에 의한 과도한 노면의 변위 발생을 방지하고 동결 해빙기간 중 적절한 지지력을 확보하여야 한다. 포장 설계 시 보편적으로 사용하고 있는 방법은 다음과 같다.

(1) 완전방지법(complete protection method)

동결작용에 의한 표면 변위량을 제거하기 위해 충분한 두께의 비동결성층을 설치하여 포장의 융기와 지반의 약화를 감소 또는 억제하는 방법

(2) 노상동결 관입 허용법(limited subgrade frost penetration method)

노상상태가 수평방향으로 심하게 변하지 않거나 흙이 균질한 경우에 적용되는 설계방법으로 동결 깊이가 노상으로 얼마쯤 관입된다 하더라도 동상으로 인한 융기량이 포장파괴를 일으킬만한 양이 아니라면 노상의 동결을 어느 정도 허용하는 것이 경제적이므로 제안된 방법으로 통상적으로 적용한다.

(3) 감소 노상 강도법(reduced subgrade strength method)

해빙 기간 중에 일어나는 노상강도 감소를 근거로 하여 동결에 대비한 포장 두께를 결정하는 것으로 동결지수가 직접함수가 아니므로 통상적으로 적용하는 방법은 아니다.

완전 방지법은 동결 작용에 의한 표면 변위량을 제거하기 위해 충분한 두께의 비동결성층을 설치하는 것으로, 노상의 동결을 일부 허용하는 노상 동결관입 허용법 및 감소 노상강도법에 비해 비경제적이므로 특수한 경우에만 적용한다.

포장 설계시 보편적으로 사용되고 있는 방법으로 노상 동결 관입 허용법과 감소 노상강도법이 있으나, 후자는 설계 기준으로서 해빙 기간 중에 일어나는 노상 강도 감소를 근거로 하여 동결에 대비한 포장 두께를 결정하는 것으로, 동결지수와 직접적인 함수 관계가 없으므로 동결지수와 직접적인 함수 관계가 있는 노상 동결 관입 허용법을 통상적으로 적용한다.

2.4.4 동결깊이 산정

노상동결 관입허용법에 의해 동결깊이를 산정하는 방식은 아래와 같다.

(1) 동결 기간의 시점에서 기층(보조기층 포함)과 노상토의 평균 함수비, 그리고 기층(보조기층 포함) 재료의 건조 단위중량(γ_d)을 결

정한다. 기층과 보조기층을 모두 입상재료로 사용하는 경우, 각 층의 두께에 대한 중량비로서 평균 함수비와 단위 건조중량을 계산한다. 또한 안정처리 기층과 비처리 입상 보조기층으로 구성되는 경우에는 입상 보조기층의 함수비와 단위 건조 중량값을 적용한다.

(2) <그림 702.4>~<그림 702.7>으로부터 설계 동결지수 연도에 일어날 수 있는 최대 동결 관입 깊이, a를 결정한다. 필요한 경우 직선 보간하여 결정한다.

(3) 노상토 속에 동결 관입을 배제하는데 필요한 최대 비동결성 입상 재료 기층(보조기층 포함)두께, c를 계산한다.

$$c = a - p$$

여기서,

c : 비동결성 재료 치환 최대 깊이

a : 설계 동결 관입 깊이(<그림 702.4>~<그림 702.7>, 식(702.5), 식(702.6))

p : 콘크리트 포장의 슬래브 두께(빈배합 콘크리트 중간층 포함) 또는 아스팔트 포장의 표층(아스팔트 또는 시멘트 안정처리 기층 포함) 두께

(4) 노상토와 기층의 함수비의 비(r)를 계산한다.

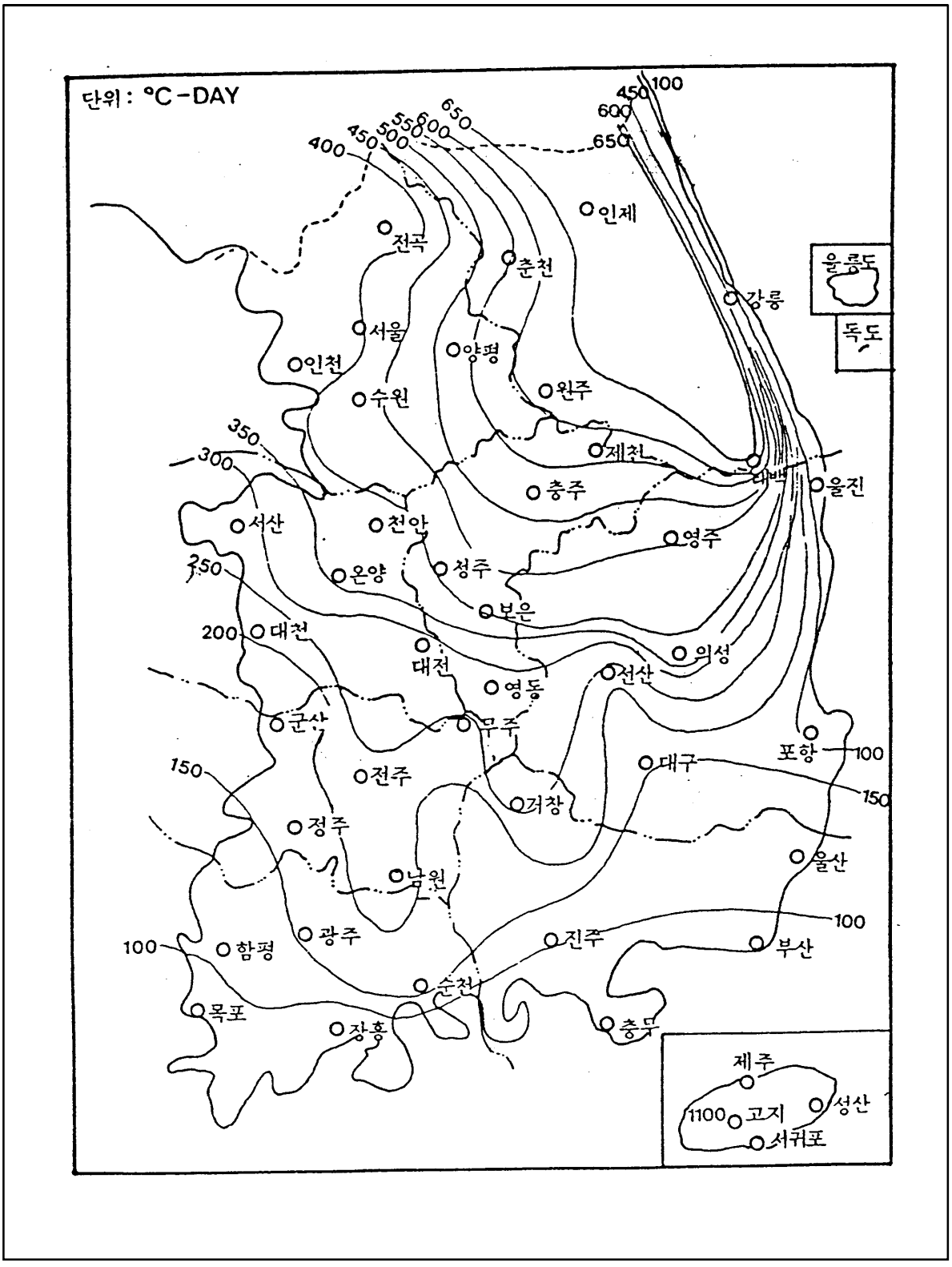
$$r = \frac{\text{노상토함수비}(\ w_s)}{\text{기층함수비}(\ w_b)}$$

중차량 통행이 많은 곳에서 r값은 2.0보다 큰 경우 2.0을 사용하고 이외의 모든 곳에서는 r이 3.0이상인 경우 3.0을 사용한다.

(5) <그림 702.8>에서 가로축에 c값과 대각선의 r값과 만나는 점을 지나는 수평선 상의 좌측 세로축과 만나는 점으로 얻어지는 값이 소요의 비동결성 기층(보조기층 포함)두께, b값이고 대응되는 우측 세로축의 값이 허용 노상 동결 관입 깊이, s값이다.

이러한 절차로 결정되는 소요의 비동결성 기층(보조기층 포함) 두께, b와 허용 노상 동결 관입 깊이, s의 비는 4 : 1이고, r = 1일 때 c = b+s가 된다.

허용 노상 동결 관입 깊이, s는 설계 노선의 평균적 현장 조건에서 설계 동결지수 연도의 1년 동안 포장 표면 사이에 과잉 동상 현상(excess differential heave)을 일으키지 않도록 허용할 수 있는 노상 관입 깊이이다.



<그림 702.3> 전국 동결지수도

<표 702.10> 지점별 동결지수 (1)

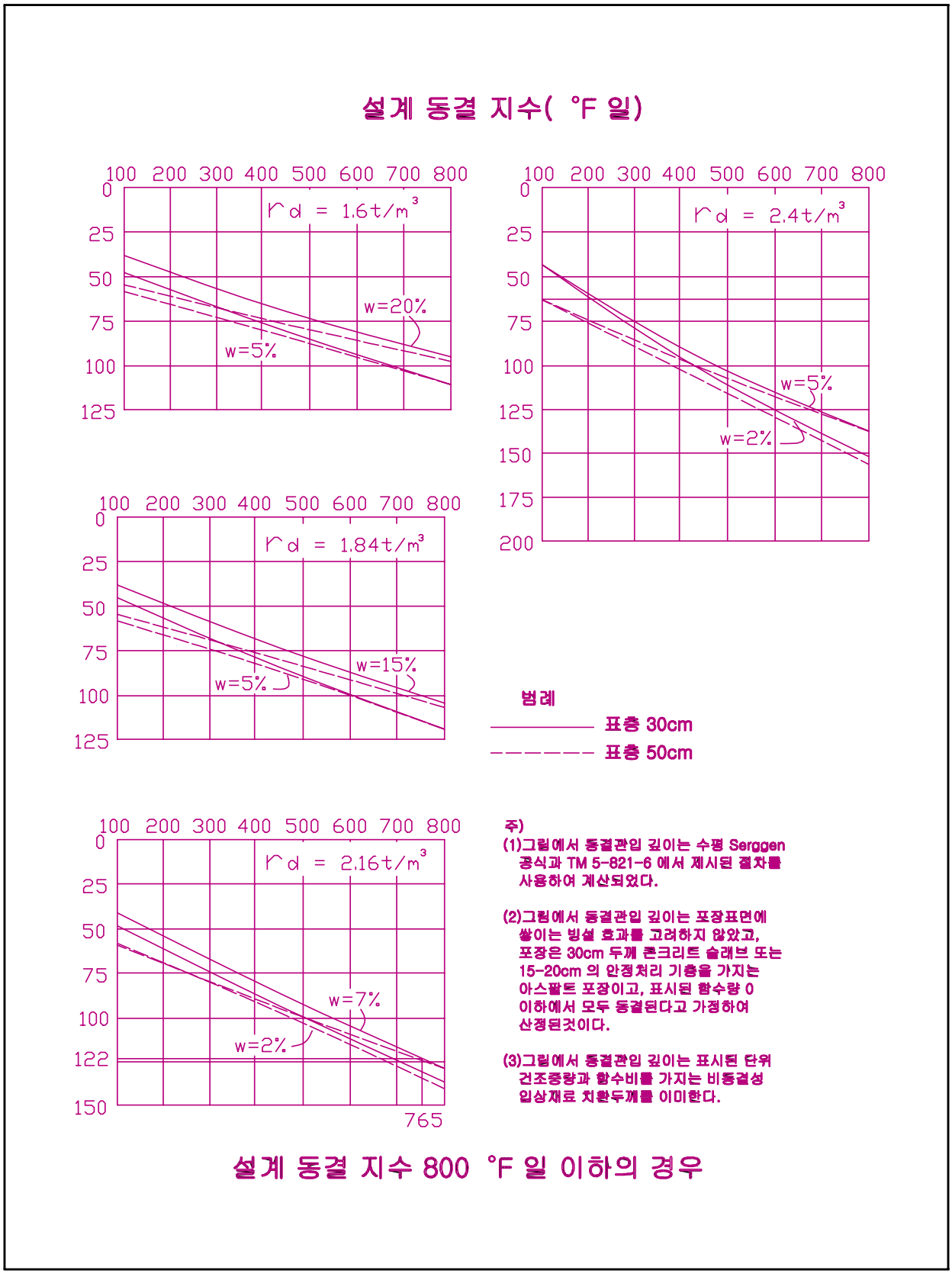
측후소	지반고 (m)	동결지수 (°F · days)	동결기간	측후소	지반고 (m)	동결지수 (°F · days)	동결기간	측후소	지반고 (m)	동결지수 (°F · days)	동결기간
속초	25.8	382	56	제천	220.0	847	102	나주	20.0	444	60
대관령	820.0	1,439	114	충주	50.0	802	112	순천	23.0	217	53
춘천	74.0	823	79	보은	170.0	786	61	영암	18.0	352	59
강릉	26.0	309	60	음성	168.0	811	66	성산포	10.7	-	-
서울	85.5	736	61	진천	80.0	783	56	대정	19.7	-	-
인천	68.9	672	61	괴산	115.0	754	61	칠곡	54.6	482	60
울릉도	221.1	218	56	영동	40.0	708	60	영주	145.6	715	78
수원	36.9	801	60	아산	24.5	732	62	문경	52.0	533	57
서산	19.7	613	60	유성	70.0	631	60	영덕	55.0	368	56
청주	59.0	630	60	보령	33.0	515	60	의성	73.0	719	60
대전	77.1	623	60	부여	16.0	581	60	선산	40.0	538	59
추풍령	245.9	548	60	금산	140.0	699	60	영천	80.0	464	60
포항	5.6	213	60	당진	54.0	626	60	울진	11.0	230	56
군산	26.3	430	60	홍성	48.0	652	61	안동	93.0	615	57
대구	57.8	342	56	논산	10.0	593	60	청송	210.0	716	59
전주	51.2	393	60	이리	8.0	497	59	상주	57.0	480	56
울산	31.5	174	56	부안	6.0	517	60	김천	82.0	465	60
광주	70.9	302	80	임실	225.0	626	61	성주	38.0	542	60
부산	69.2	116	44	정읍	30.0	439	61	거창	224.9	549	60
충무	32.2	97	44	남원	115.0	465	60	합천	30.9	416	57
묵호	53.4	150	56	무주	190.0	675	59	밀양	12.5	383	57
여수	67.0	130	56	진안	292.0	717	58	산청	200.0	326	57
진주	25.0	250	60	고창	49.0	490	69	함안	9.2	446	56
강화	25.0	809	66	함평	9.0	435	26	거제	12.0	156	44
양평	80.0	864	103	승주	57.0	391	57	남해	15.0	151	56
이천	98.0	745	112	장흥	40.0	328	60	경주	39.0	213	60
화성	10.0	805	60	해남	37.5	284	56	울주	68.7	-	57
안성	24.2	766	60	고흥	32.4	203	56	함양	220.0	368	56
인제	119.7	945	80	완도	20.0	131	55	김해	12.0	201	57
홍천	134.0	1,038	102	장성	57.0	481	60	하동	20.0	246	56
삼척	6.9	371	56	영광	60.0	400	56	삼천포	18.0	-	55
원성	140.0	907	60	구례	53.0	323	57				

<표 702.11> 지점별 동결지수 (2)

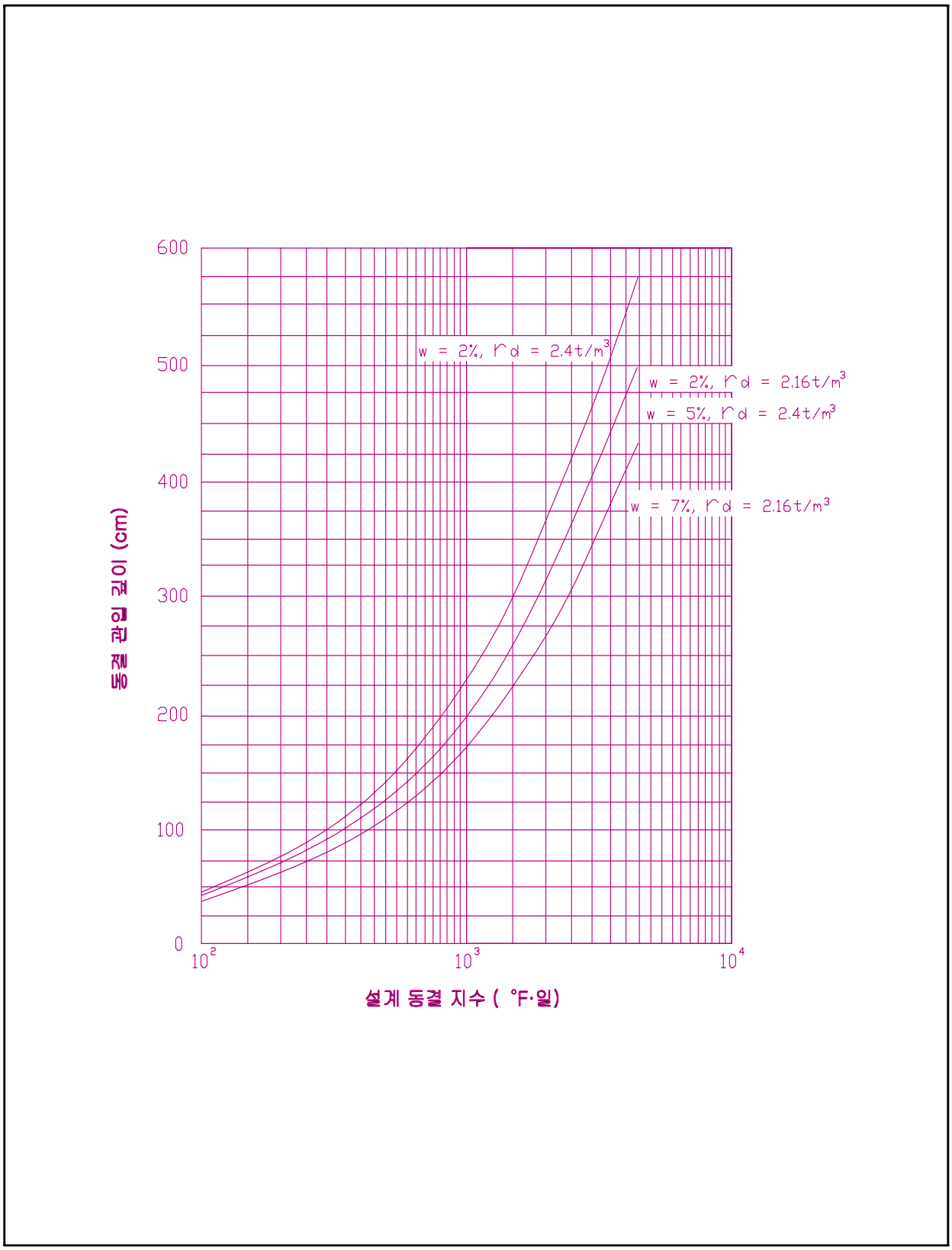
지 역	동결지수(℃-day)	지 역	동결지수(℃-day)
강 릉	164	수 원	495
광 주	166	순 천	155
군 산	177	영 주	447
남 원	217	울 진	76
대 구	150	인 제	663
대 전	298	인 천	345
목 포	74	전 주	245
부 산	35	제 천	569
보 은	428	진 주	107
서 산	239	청 주	435
서 울	386	춘 천	563
선 산	225	충 주	522
속 초	183	포 항	92

<표 702.12> 동상에 민감한 토군의 분류표

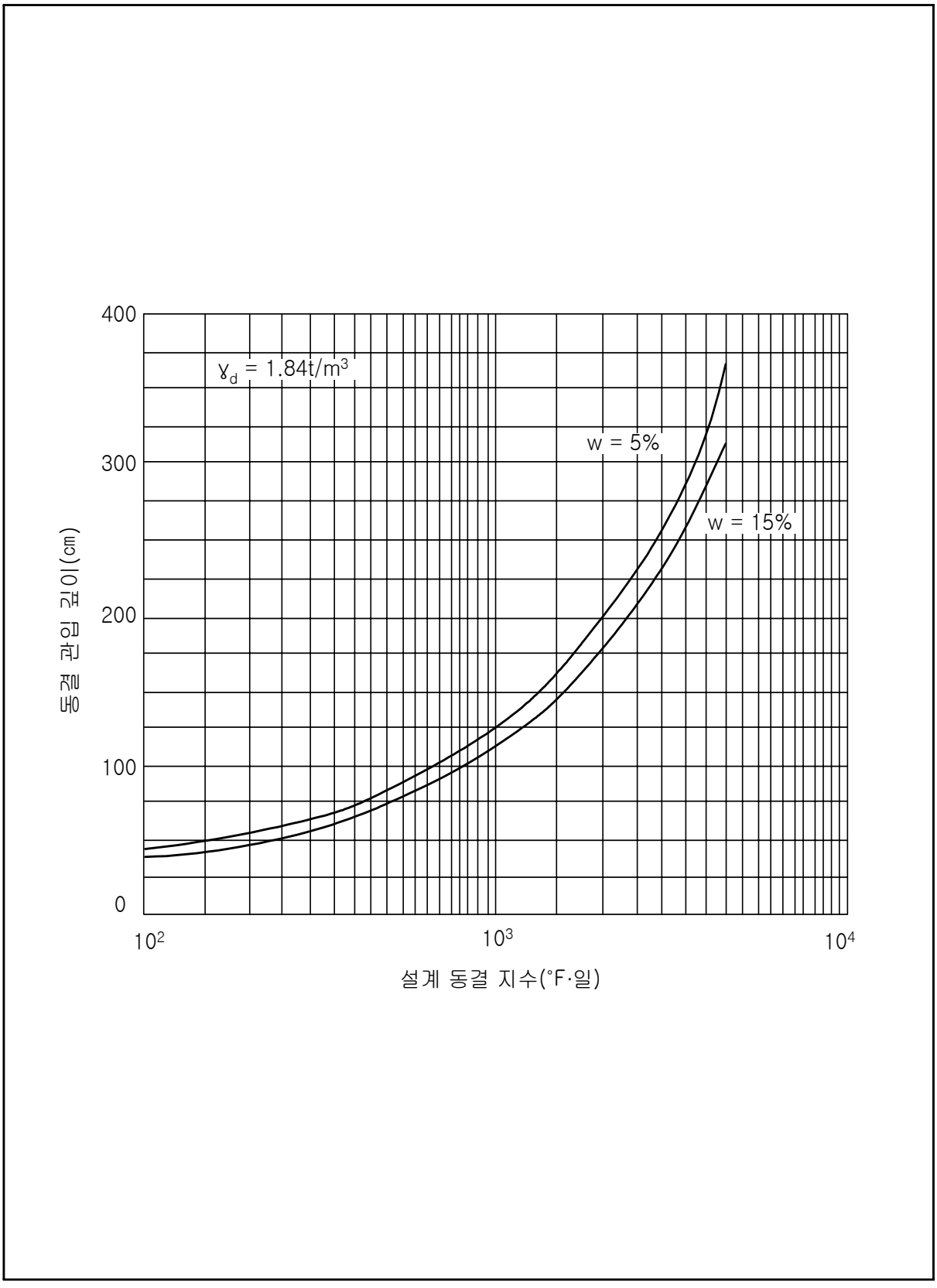
토 군	토군의 종류	0.02mm보다 작은 입경의 비율(중량)	통일분류법에 의한 흙의 분류
F1	자갈 및 자갈 혼합토	3～10	GW, GP, GW-GP, GP-GW
F2	1) 자갈 및 자갈 혼합토 2) 모래	10～20 3～15	GM, GW-GM, GP-GM, SW, SP, SM, SW-SM, SP-SM
F3	1) 자갈 및 자갈 혼합토 2) 모래(매우 가는 실트질 모래 제외) 3) 점토, PI>12	20이상 15이상 -	GM, GC SM, SC CL, CH
F4	1) 모든 실트 2) 매우 가는 실트질 모래 3) 점토, PI>12 4) 호상점토 및 가는 입자의 대상 침전물	- 15이상 - -	-



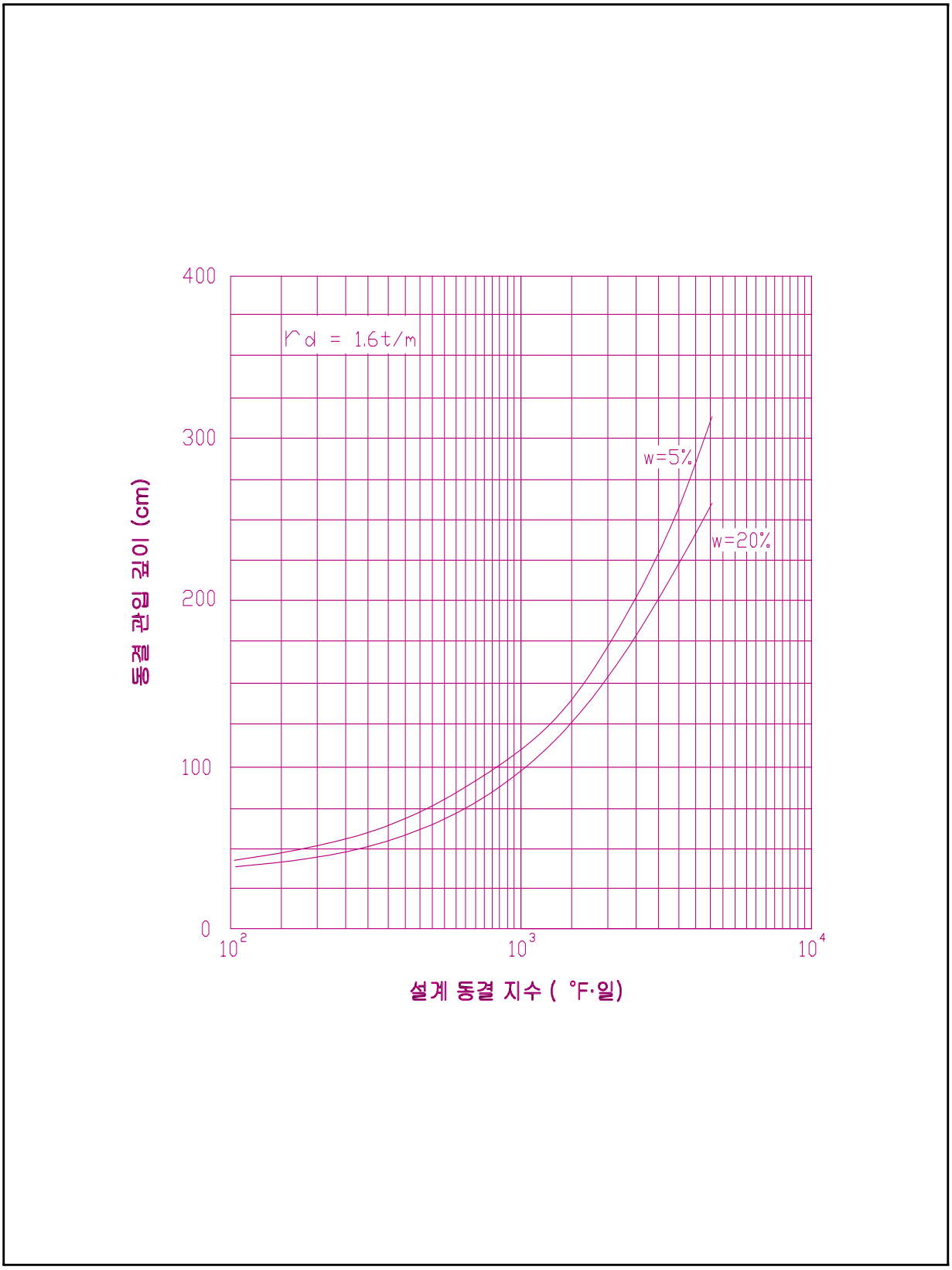
<그림 702.4> 동결 관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(1)



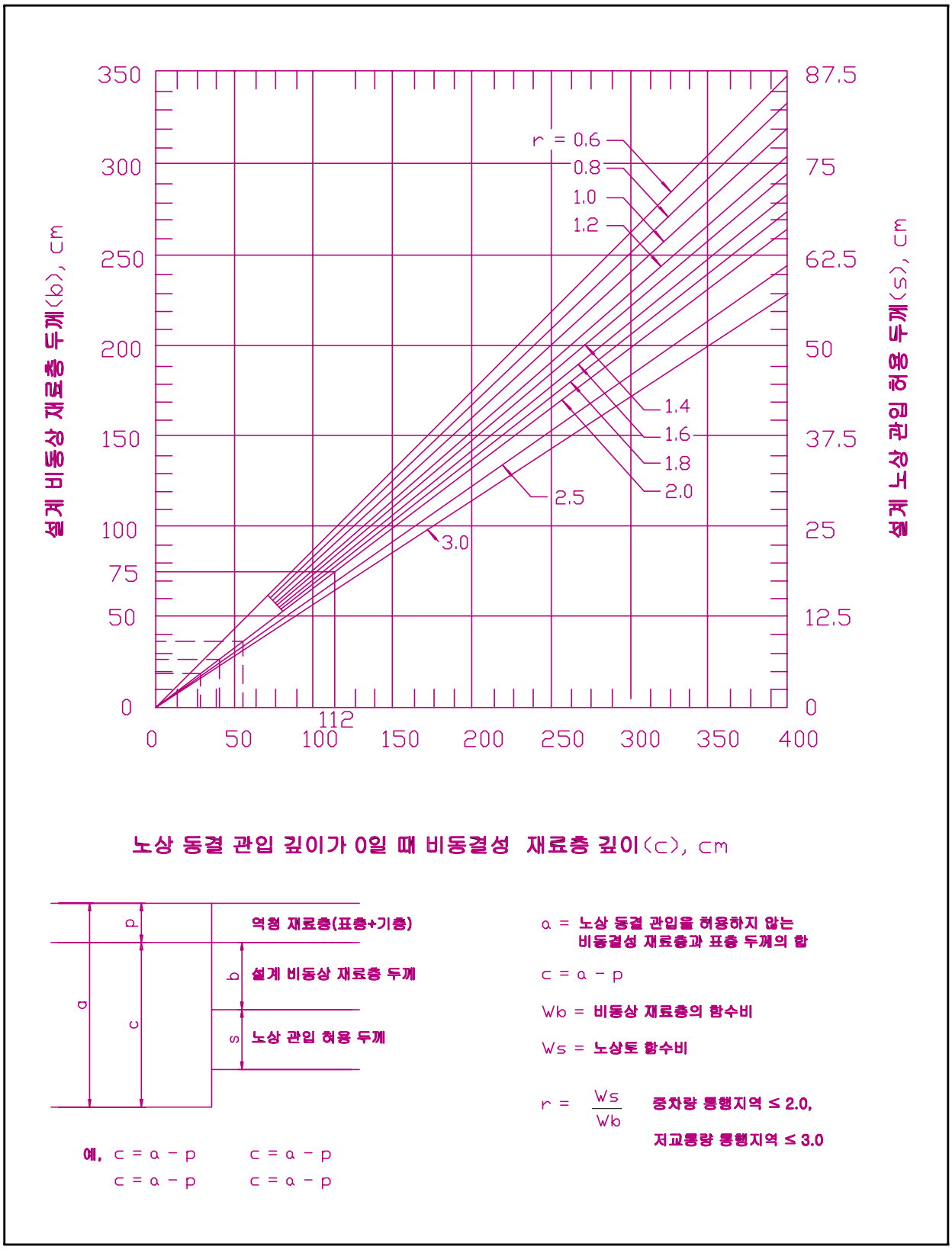
<그림 702.5> 동결 관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(2)



<그림 702.6> 동결 관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(3)



<그림 702.7> 동결 관입 깊이와 설계 동결지수 상관 도표(4)



<그림 702.8> 노상동결 관입허용법에 의한 설계 비동결성 재료층 두께결정 도표

2.5 신뢰도 및 표준편차

신뢰도는 포장설계에 있어서 일종의 안전율(safety factor)의 개념으로서, 설계에 고려되지 않은 요소나 고려되었더라도 불확실하게 산정된 변수 등을 고려해 준다.

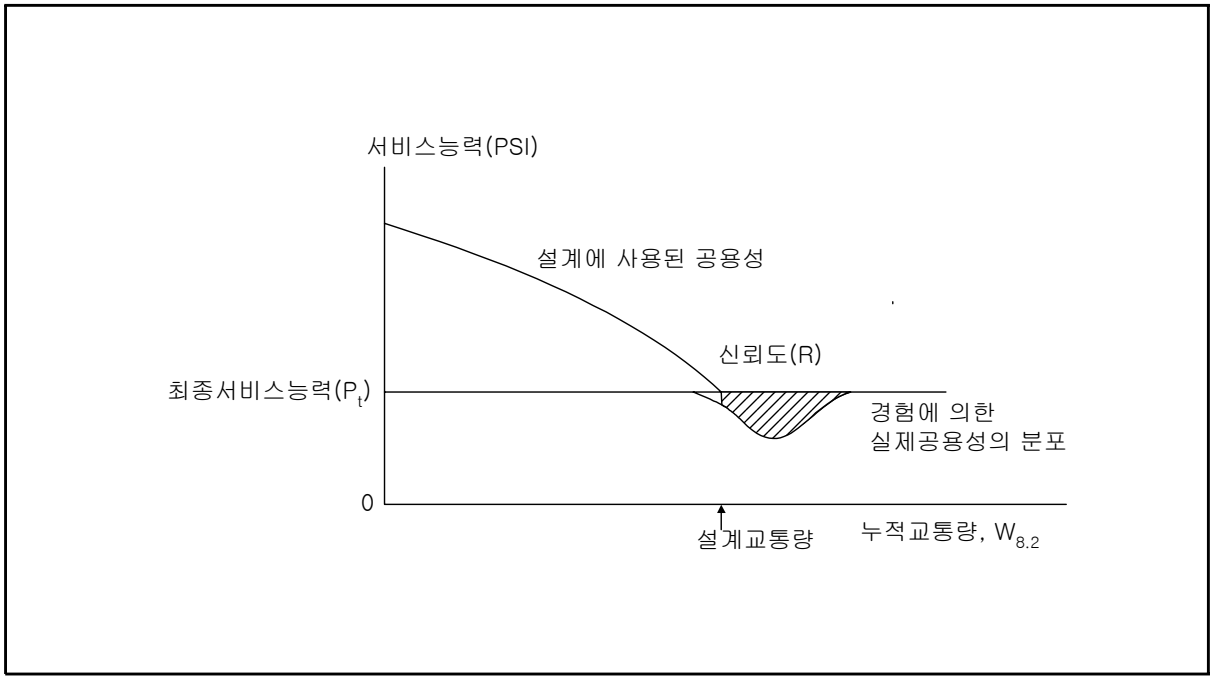
신뢰도는 <그림 702.9>에서 빗금친 부분의 면적(분포의 총면적이 1.0일 때)을 퍼센트로 나타낸 것이며 포장의 실제수명이 설계수명을 넘을 확률을 나타낸다.

중요한 도로일수록 높은 신뢰도를 요구하며 신뢰도가 높을수록 안전한 설계가 되므로 콘크리트 슬래브의 두께도 두꺼워진다. 앞의 그림에서 실제 공용성의 분포는 정규분포로 가정하며 그 표준편차(S_0)는 신뢰도와 함께 중요한 입력변수 중의 하나이다.

AASHTO 설계법에서는 도로의 기능에 따라 신뢰도의 값을 <표 702.13>의 값과 같이 제시하고 있다.

<표 702.13> 도로 기능별 신뢰도 추천값

도로기능 분류	신뢰도(%)	
	도시부	지방부
고속도로	85～99.9	80～99.9
주요간선도로	80～99	75～95
연결로	80～95	75～95
국지도로	50～80	50～80



<그림 702.9> 신뢰도의 개념

공용성 분포의 표준편차는 일반적으로 0.3~0.4의 값을 사용하는데 장래 교통량의 불확실성을 고려하여 설계 교통량을 충분히 잡은 경우는 0.34를 사용하고 장래 교통량의 불확실성을 고려하지 않은 경우는 약간 큰 값인 0.39를 사용한다. 위의 값들은 콘크리트 포장인 경우에 한하며 아스팔트 포장인 경우는 0.44와 0.49를 각각 사용한다.

2.6 노상

노상의 강도는 포장설계의 중요한 입력변수이다. AASHTO 잠정지침이나 T_A 설계법에서는 노상강도를 CBR로 표현하고 있으나 개정된 AASHTO 설계법(1986)에서는 노상의 강도를 회복탄성계수(M_R ; Resilient Modulus)로 표현하고 있다. 회복탄성계수는 흙의 탄성적 성질을 표시하는 하나의 지표이며, 흙은 탄성적으로 비선형적인 특성을 가지고 있다.

2.6.1 CBR 시험법

CBR 시험은 다음 순서로 행한다.

(1) 시료의 채취방법

흙쌓기의 노상구축 이전에 포장설계를 할 경우에는 우기 및 동결 융해기를 피해서 토취장의 노출면에서 50cm이상 깊은 곳에서 흐트러진 상태로 흙을 채취해서 밀폐할 수 있는 용기 또는 비닐주머니에 넣어 함수량을 변화시키지 않도록 하여 시험실에 보낸다. 다만, 한냉지에서는 융해기가 끝났다고 생각되는 시기에 시료를 채취한다. 보통 3~4월에 측정하면 좋다.

흙쌓기의 노상이 완료된 후부터 포장설계를 할 경우에는 우기 및 동결융해기를 피해 노상면에서 50cm이상 깊은 곳에서 상기한 바와 같이 시료를 채취해서 실험실에 보낸다.

땅깎기 부분에 있어서는 노상면에서 50cm 이상 깊은 곳에서 흐트러진 상태의 흙을 채취해서 시험실에 보낸다. 노상면 밑으로 1m 정도 사이에서 토질이 변화하고 있는 경우에는 각층의 흙을 채취해서 시험실에 보낸다.

현 자갈길 위에 포장할 경우에는 땅깎기부에 준하여 행하면 된다.

(2) CBR 시험

채취한 노상토는 19mm이상의 골재를 제외하고 현장함수비 상태로 CBR 몰드에 5층으로 나누어 넣고 각층 56회씩 다지고 4일 수침후의 CBR을 구한다. 시험절차는 KSF 2320에 준한다.

(3) 설계 CBR의 결정

예비조사 및 CBR 시험의 결과로부터 균일한 포장두께로 시공할 구간을 결정한다.

이 구간내의 각 지점의 CBR 중 현저히 다른 값을 제외하고 식(702.7)로써 설계 CBR을 결정한다.

$$\text{설계CBR} = \text{각지점의 CBR평균} - \left(\frac{\text{CBR최대치} - \text{CBR최소치}}{d_2}\right) \quad \cdots\cdots(702.7)$$

여기서 d_2는 <표 702.14>의 계수이다.

<표 702.14> 설계 CBR계산용 계수

계수(n)	d2
2	1.41
3	1.91
4	2.24
5	2.48
6	2.67
7	2.83
8	2.96
9	3.08
10이상	3.18

구해진 계산 CBR은 절사하여 설계 CBR을 구한다. 즉, 위 식(702.7)을 통한 계산결과가 3.6일때는 3, 9.5일 때는 8.0으로 한다.

이러한 관계를 표로 나타내면 <표 702.15>와 같다.

<표 702.15> 설계 CBR과 계산 CBR의 관계

설계 CBR	계산 CBR
2	2≤ CBR <3
3	3≤ CBR <4
4	4≤ CBR <6
6	6≤ CBR <8
8	8≤ CBR <12
12	12≤ CBR <20
20	CBR ≥20

(4) 노상지지력 보정

노상이 깊이 방향으로 토질이 다른 몇 개의 층을 이루고 있는 경우(가령, 노상 내에 동상방지층을 시공한 경우)에는 노상면부터 1m 사이의 평균 CBR을 구하여 그 지점의 CBR로 한다. CBR은 식(702.8)로써 계산된다.

$$CBR_m = \left(\frac{h_1 \cdot CBR_1^{1/3} + h_2 \cdot CBR_2^{1/3} + \cdots + h_n \cdot CBR_n^{1/3}}{h_1 + h_2 + \cdots + h_n} \right)^3 \quad \cdots\cdots(702.8)$$

여기서, CBR_m : 그 지점의 CBR(%)

CBR_n : n층의 CBR(%)

h_n : n층의 두께(cm)

$h_1 + h_2 + \cdots + h_n = 100$(cm)

본 편람에서는 위의 CBR 계산방법으로 '703.6 설계 예(1)'과 같이 단면의 과대설계를 최소화하였다.

2.6.2 노상 회복탄성계수(M_R)

아스팔트 포장설계에 있어서 '86 AASHTO 지침에서는 노상의 재료특성을 노상회복탄성계수를 기준으로 표시한다. 이 계수는 계절적으로 함수상태 및 점토함유량 등 흙의 특성에 따라 달라지므로 각 계절동안에 일어난 상대적 손상의 합성효과를 고려하여 유효 노상 회복탄성계수를 구한다.

노상재료에 대한 실내 회복탄성계수 시험(AASHTO T274)은 습윤계절의 응력과 습윤상태를 대표하는 실제 노상재료로 실시해야 한다. 계절적 회복탄성계수 값은 점토함유량, 함수, PI 등과 같은 흙의 특성에 의해 결정되는 것이다. 계절적 계수를 확정하는 목적은 어떤 포장이 그해의 각 계절동안에 입은 상대적 손상을 양으로 표시하여 전반적인 설계의 일부로서 다루기 위한 것이다. 유효 노상회복탄성계

수는 모든 계절적 계수값들의 영향을 조합하여 산출한 값이다.

해빙기 또는 동결기의 노상시험이 어려운 경우에는 동결기에 대한 실제적인 회복탄성계수 값은 1,400~3,500kg/cm^{2}를 적용할 수 있으며 해빙기에 대하여는 여름과 가을동안의 정상계수의 20~30%를 적용할 수 있다.

회복탄성계수는 평균값을 사용하므로 변동계수(coefficient of variation)가 동일 계절 내에서 0.15보다 클 때는 기간을 더욱 작게 세분해야 한다. 예를 들면 회복탄성계수의 평균값이 700kg/cm^{2}라면 그때 약 99%의 자료가 385~1,015kg/cm^3 의 범위에 있어야 한다.

이 과정의 해석단계는 다음과 같다.

단계 1 : 각각의 기간에 계절 계수를 기입한다. 최소 단위의 계절 기간이 15일이라면 모든 계절을 15일 간격으로 나누고 각각의 칸에 기입한다. 최소 계절 기간이 한 달인 경우에는 모든 계절을 한달 간격으로 나누고 1개월당 한 칸씩 기입한다.

단계 2 : 각 계절 계수에 일치하는 상대적 손상(u_r : relative damage)치를 산정한다.

단계 3 : 평균상대손상을 구하기 위하여 u_r 값을 모두 합한 다음 계절 개월 수(12 또는 24)로 나눈다. 이 경우 유효 노상 회복탄성계수(M_R)는 M_R · u_r 계산자에 의해 구한 평균상대손상과 일치되는 값이다.

<그림 702.10>은 유효 M_R을 산출하는 방법의 일례인데 이 유효 M_R값은 단지 서비스능력 기준을 근거로 한 아스팔트 포장설계에만 이용할 수 있다.

2.6.3 노상반력계수(K)

콘크리트 포장설계에 있어서 노상의 재료특성은 유효 노상반력계수를 기준으로 표시한다. 이 계수는 노상회복탄성계수와 보조기층의 특성에 따라 변화되므로 시산(試算)설계에 의하여 값을 결정한다.

유효 노상회복탄성계수가 아스팔트 포장설계에 이용되는 것과 같이 유효 노상반력계수(K)는 콘크리트포장 설계에 사용된다. K값과 노상회복탄성계수는 비례하므로 앞의 2.6.2 절에서 설명한 계절 길이와 계절계수는 유효설계 K값을 산정하기 위한 자료로서 사용될 수 있다. 그러나 보조기층의 특성이 유효설계 K값에 영향을 미치기 때문에 이 값의 결정 과정을 시산설계의 한 단계로 포함시킨다.

유효 노상반력계수는 다음 절차에 따라 구한다.

단계 1 : 유효 노상반력계수에 대한 영향 요소 결정

유효 노상반력계수는 노상토의 회복탄성계수뿐만 아니라 여러 가지 다른 요소들에 의해 달라지므로 우선 고려해야 할 복합요소들을 <표 702.16>의 상단에 산정·기입한다.

(1) 보조기층의 형태

보조기층의 형태에 따라 강도 또는 계수값도 달라진다. 유효 K값을 산정하는데 있어 보조기층형태를 고려하므로써 보조기층의 비용-효과에 대해 평가할 수 있는 기준이 설정된다.

(2) 보조기층 두께

보조기층의 비용-효과를 고려하기 위하여는 각 보조기층 형태에 대한 설계두께가 결정되어야 한다.

(3) 강성기초의 깊이

노선에 따라 어느 일정한 길이로 노상면으로부터 3.0m 이내에 기반암(bedrock)이 있다면 이것은 그 구간에 대한 전체 K값과 슬래브 두께 설계에 영향을 미치게 된다.

(4) 지지력 감소

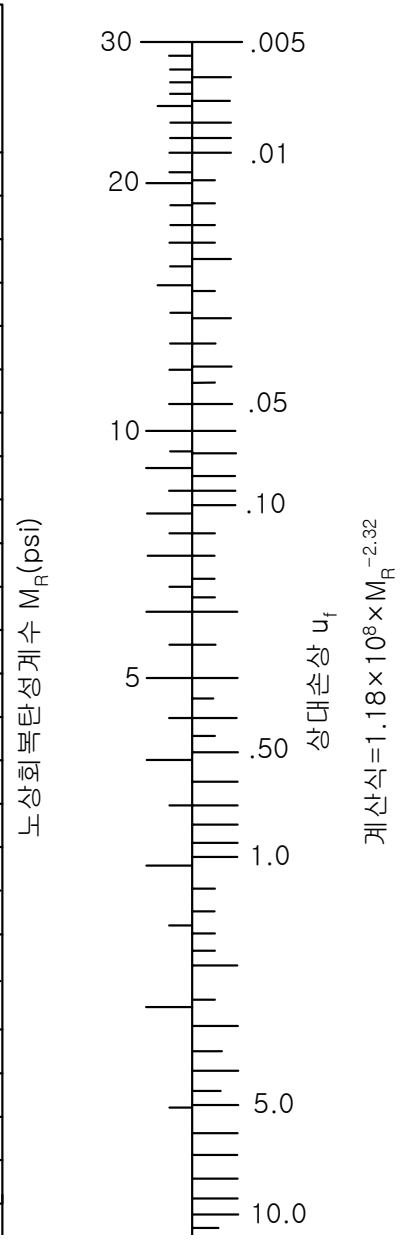
강성포장의 설계에 있어 보조기층의 침식 또는 토사의 수직적인 이동에 의해 야기되는 지지력손실의 가능성을 고려하기 위하여 지지력 손실계수 LS(Loss of Support)를 사용한다.

지지력 손실계수는 <표 702.16>에서 제시하는 값을 이용하여 보조기층재료의 잠재적 침식에 의해 결정되는 유효 K값을 보정한다.

<표 702.16> 재료에 따른 지지력 손실계수

재료형태	지지력손실
시멘트처리 입상기층 (E = 70,300～140,600 kg/cm^2)	0.0～1.0
시멘트,골재 혼합물 (E = 35,000～70,300 kg/cm^2)	0.0～1.0
아스팔트처리 기층 (E = 24,600～70,000 kg/cm^2)	0.0～1.0
역청안정처리 혼합물 (E = 2,800～21,000 kg/cm^2)	0.0～1.0
석회안정처리층 (E = 1,400～5,000 kg/cm^2)	1.0～3.0
입상재료 (E = 1,000～3,100 kg/cm^2)	1.0～3.0
세립 또는 자연 노상재료 (E = 210～2,800 kg/cm^2)	2.0～3.0

월	노상회복탄성계수 M_R (psi)	상대손상 u_f
1	1,400	0.01
2	1,400	0.01
3	175	1.51
4	280	0.51
5	280	0.51
6	500	0.13
7	500	0.13
8	500	0.13
9	500	0.13
10	500	0.13
11	280	0.51
12	1,400	0.01
		3.72



계 : $\sum u_t$ =

평균 : $\overline{u}_t = \frac{\sum u_t}{n} = \frac{3.72}{12} = 0.31$

유효 노상회복탄성계수 M_R(psi) = 350

<그림 702.10> 아스팔트 포장의 유효 노상회복탄성계수 산정예

<표 702.17> 콘크리트 포장의 유효 노상반력계수 산정표

시험보조기층	형태	
	두께(cm)	
	지지력손실(LS)	
강성기초의 깊이(m)		
설계슬래브 두께(cm)		

(1) (2) (3) (4) (5) (6)

월	노상 회복탄성계수 M_R (kg/cm^2)	보조기층 탄성계수 E_{SB} (kg/cm^2)	합성 K값 (kg/cm^2)	강성기초의 K값	상대손상 Ur
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

평균: 총계:

유효노상반력계수 $K(kg/cm^2) = \frac{\sum u_r}{n} =$

u_r = =

지지력손실에 대한 수정노상반력계수 $K(kg/cm^2) =$

단계 2 : 노상회복탄성계수 설정

계절적인 노상회복탄성계수값을 산정하여 <표 702.17>의 난 (2)에 넣는다. 앞에서 기술한 바와같이 만일 계절의 최단기간이 보름이라면 모든 계절을 반드시 15일 간격으로 나누어야 한다.

단계 3 : 보조기층의 탄성계수 설정

유효 K값을 산정하는 세 번째 단계로 각 계절별 보조기층 탄성계수(E_{SB})를 구하는 것이다('702 206재료조건' 참조). 보조기층의 탄성계수치들을 <표 702.17>의 난 (3)에 기재한다. 이 탄성계수는 노상회복탄성계수를 결정하기 위하여 사용한 계절 구분에 대응되어야 한다. 시멘트 안정처리 재료와 같이 계절에 영향을 받지 않는 보조기층재료에 있어서는 각 계절마다 보조기층의 탄성계수는 일정해야 할 것이다. 계절에 민감하지만 한계조건에서 시험하지 못한 입상재료의 탄성계수 E_{SB}는 동결기에는 3,500kg/cm^2, 해빙기에는 1,000kg/cm^{2}로 한다. 입상재료의 노상회복탄성계수에 대한 보조기층의 계수비가 인위적인 방법으로 4를 초과해서는 안된다.

단계 4 : 합성노상반력계수 산정

반무한 깊이, 즉 기반암의 깊이가 3.0m이상인 노상으로 가정한 각 계절별 노상반력계수를 <그림 702.11>에서 구하여 <표 702.17>의 난 (4)에 기재한다. 이 그림의 이용 절차의 시작점은 보조기층두께 D_{SB}이다. 포장슬래브를 보조기층 없이 노상에 바로 설치할 경우 합성 노상반력계수는 평판재하시험에서 구한 K값과 노상회복탄성계수 사이에 성립되는 다음의 식을 이용하여 산정한다.

$$K=M_R/19.4 \quad (\text{단위:psi}) \text{.....(702.9)}$$

단계 5 : 강성기초의 효과를 고려한 노상반력계수 산정

산정된 합성노상반력계수에 대해 강성기초의 효과를 고려하여 수정한다. 만일 강성기초의 깊이가 3.0m 이상일 경우에는 이 단계를 생략한다. <그림 702.12>로부터 강성기초의 깊이 및 노상회복탄성계수, 노상반력계수를 고려하여 각 계절에 대해 수정한 K값을 <표 702.17>의 난(5)에 기록한다.

단계 6 : 상대손상 산정

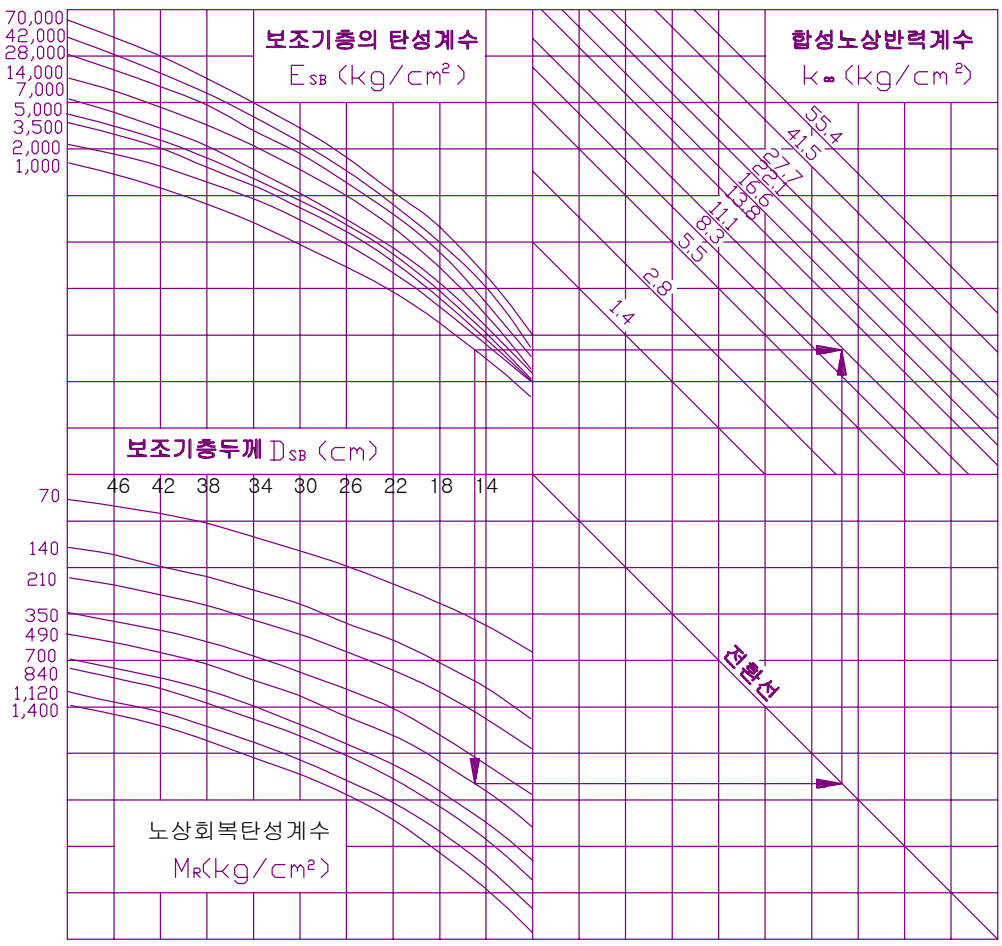
필요한 슬래브의 두께를 산정하는 단계로서 각 계절별 상대손상 Ur을 결정하기 위하여 <그림 702.13>을 이용하며, 그 결과를 <표 702.17>의 난 (6)에 기록한다.

단계 7 : 평균상대손상 결정

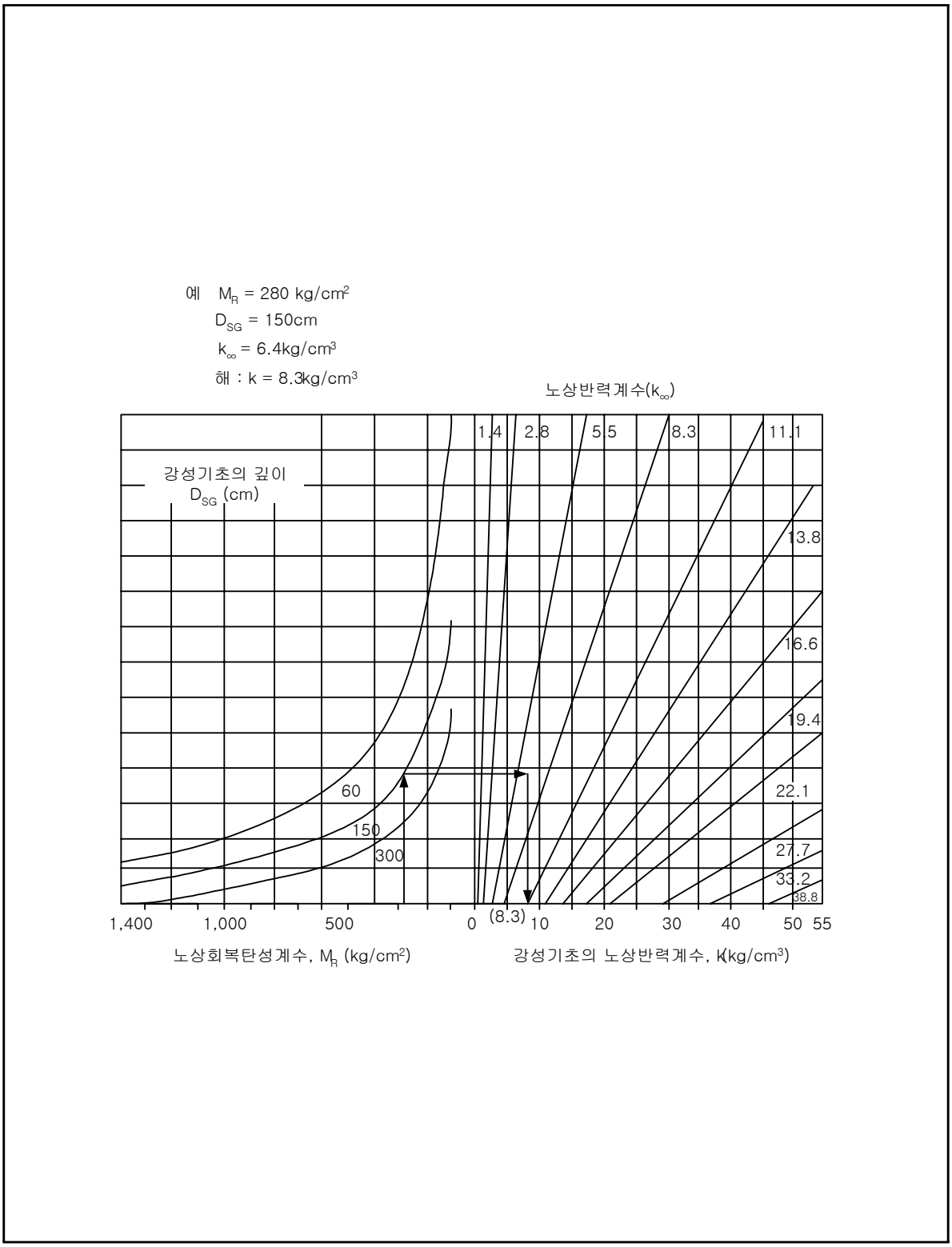
총 Ur값을 구분한 계절수로 나누어 평균상대손상을 결정한다. 이때 유효 노상반력계수는 <그림 702.13>에서 평균상대손상 및 설계슬래브 두께와 부합되는 값이다.

단계 8 : 지지력 손실에 대한 수정 유효 노상반력계수 산정

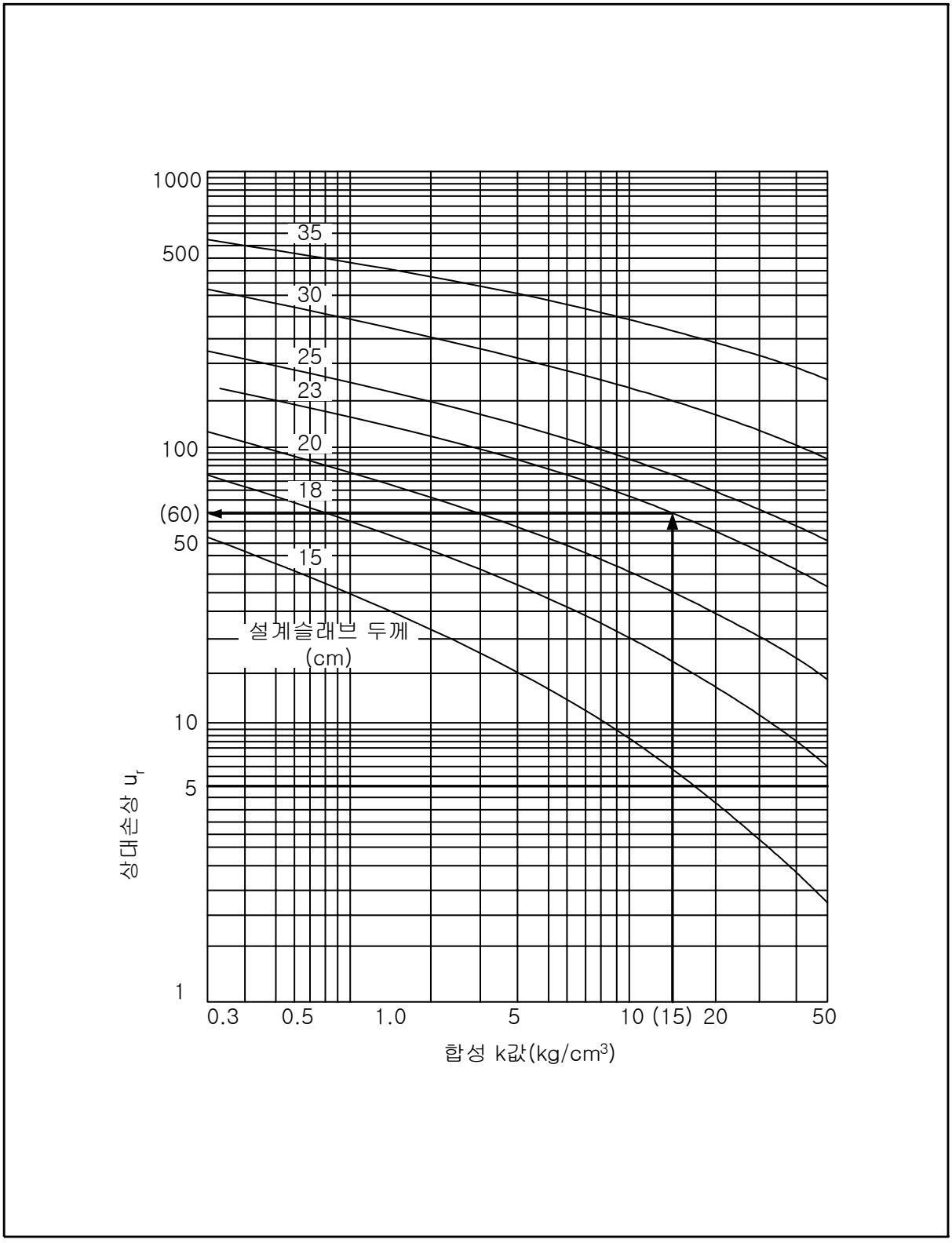
보조기층 침식에 의해 야기되는 잠재적인 지지력손실을 고려하여 유효 노상반력계수를 수정한다. <그림 702.14>에서 지지력 손실계수 LS 에 따라 수정 유효 노상반력계수를 구하여 이 최종설계 K값을 <표 702.17>에 기재한다.



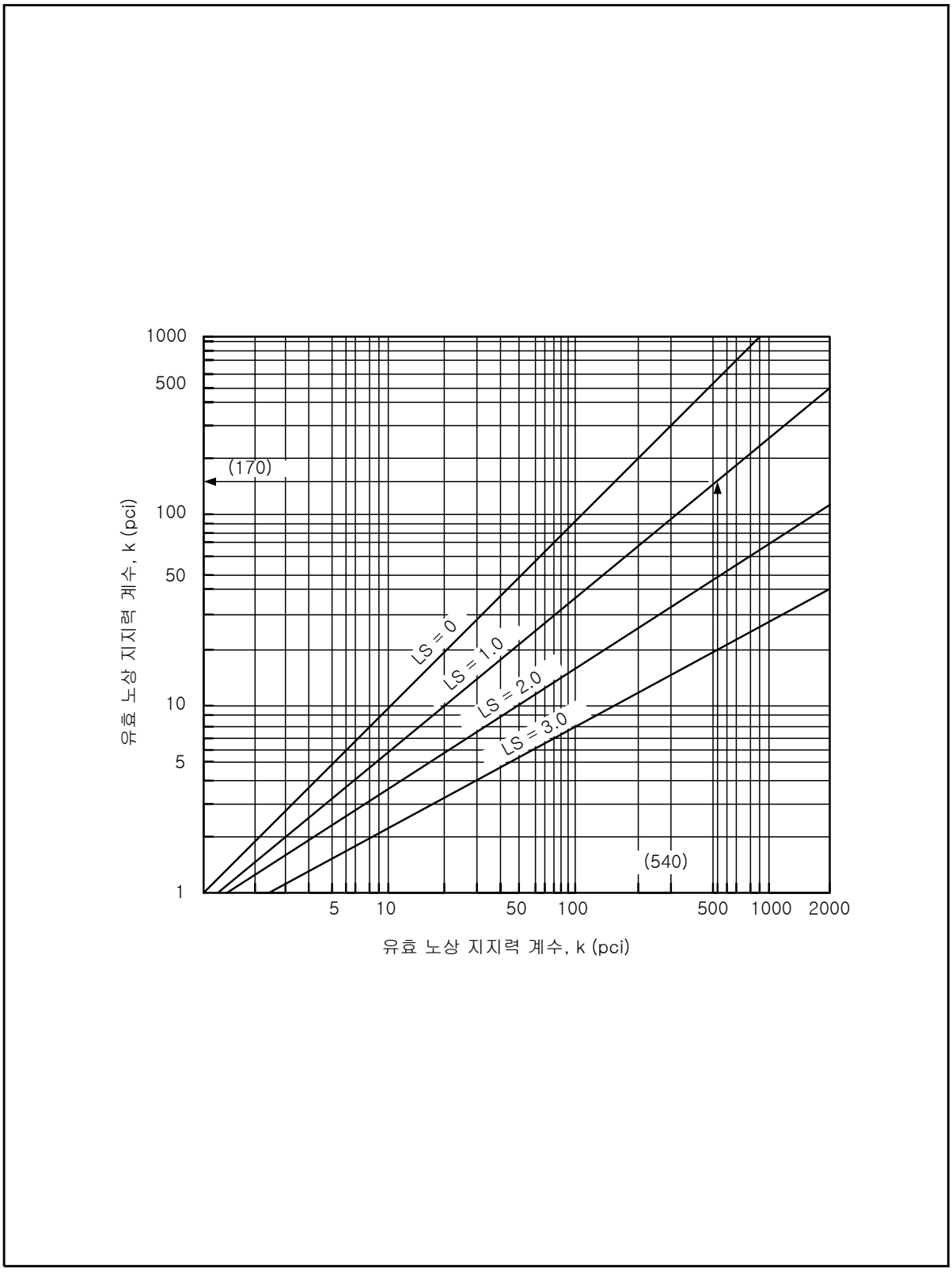
<그림 702.11> 반무한 노상깊이로 가정한 합성노상반력계수(K_∞) 추정도



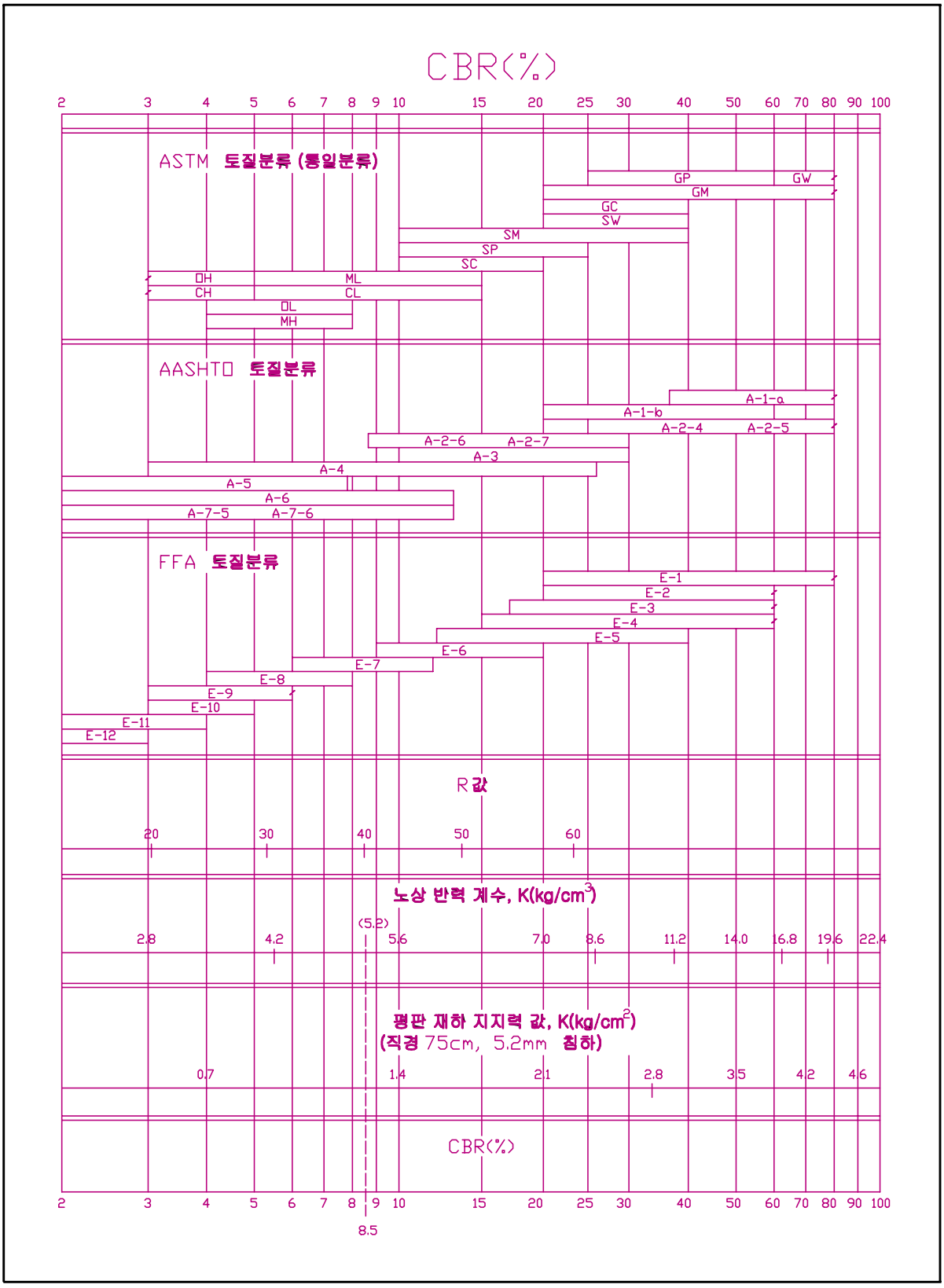
<그림 702.12> 강성기초의 영향을 고려한 노상반력계수 산정도
(강성기초가 표면으로부터 3.0m 이내일 경우)



<그림 702.13> 슬래브두께와 하부지지에 따른 강성포장의 상대손상 추정도



<그림 702.14> 보조기층 지지력손실에 대한 유효 노상반력계수 추정도



<그림 702.15> 토질 분류에 의한 CBR법

2.6.4 노상지지력계수(SSV)

설계 기본식의 입력변수의 하나인 노상지지력계수는 설계 포장층이 설치될 노상의 지지강도 또는 지지 용량을 표시하는 가상적 척도로서, AASHO 도로시험을 통해서 개발된 지표이다.

AASHO 도로시험에서의 노상토는 평균 CBR 값이 2.89(표준편차 = 1.0, 변동계수 = 34.6%), 다짐밀도가 약 80%인 노상 조건을 가지며, 플랜트 배합 아스팔트 콘크리트 두께가 11.25cm (즉, SN = 0.176×11.25 = 2.98)이고 최종 서비스 지수가 2.0일 때 설계 기본식으로서는 8.2톤 단축하중을 2.5회/일(20년 동안 18,250회) 통과시킬 수 있는 지지용량을 가진다. 이것을 SSV=3.0으로 지정하여 평가 기준점으로 하였고, AASHO 도로시험에서 포장층에 대한 노상토 영향을 극소화시킬 수 있는 상당한 두께의 쇄석기층을 가지고, 또한 SN = 1.98, Pt=2.0일 때 8.2톤 단축하중을 1000대/일(20년 동안 7,300,000회) 통과시킬 수 있음이 평가되었다. 이것을 두번째 기준점으로 하여 SSV=10으로 정하였다. 이 두개의 점, 즉 3.0과 10.0 사이에서 SSV는 로그 직선관계가 성립한다고 가정하여 AASHO 도로시험에서의 노상 지지조건과 다른 지지조건에 대한, 8.2톤 등가하중 통과횟수에 대한 보정식은 다음 관계를 가진다.

$$\log_{10}(W_{8.2}) = \log_{10}(\overline{W}_{8.2}) + 0.372(SSV - 3.0) \quad \text{.....(702.10)}$$

여기서,

$\overline{W}_{8.2}$ = AASHO 도로시험에서 얻어진 경험식으로 산정되는 8.2톤 등가단축하중 통과 횟수

노상지지력계수 산정은 노상토의 지지강도를 나타내는 CBR, R값, 군지수, 회복탄성계수와 같은 강도 정수와 상관시켜 결정한다.

SSV와 토질 특성값과의 관계는 <그림 702.16>에 나타내고 있다.

2.7 재료조건

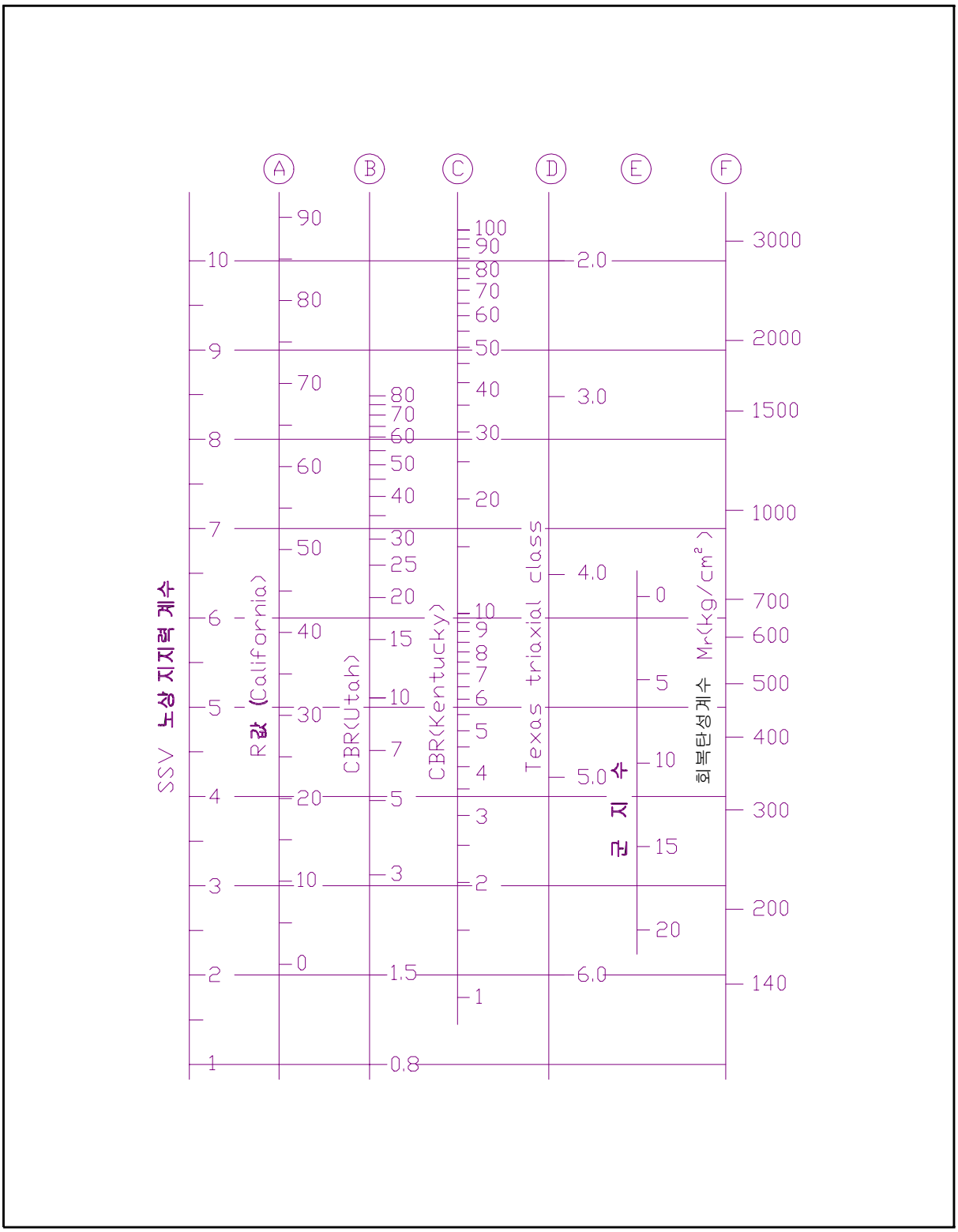
2.7.1 상대강도계수

아스팔트 포장층의 재료조건은 <표 702.18>의 a_i값, 즉 상대강도 계수로 반영한다. 이것은 포장 각층의 재료특성을 나타내는 탄성계수, CBR, K치 등을 각 층별로 구해 다음과 같은 구분에 의해 <그림 702.17>~<그림 702.22>에 따라 구한다. 외국에서 시험된 대표적 재료에 대한 대응 상대강도 계수 산정기준을 제시하면 다음과 같다.

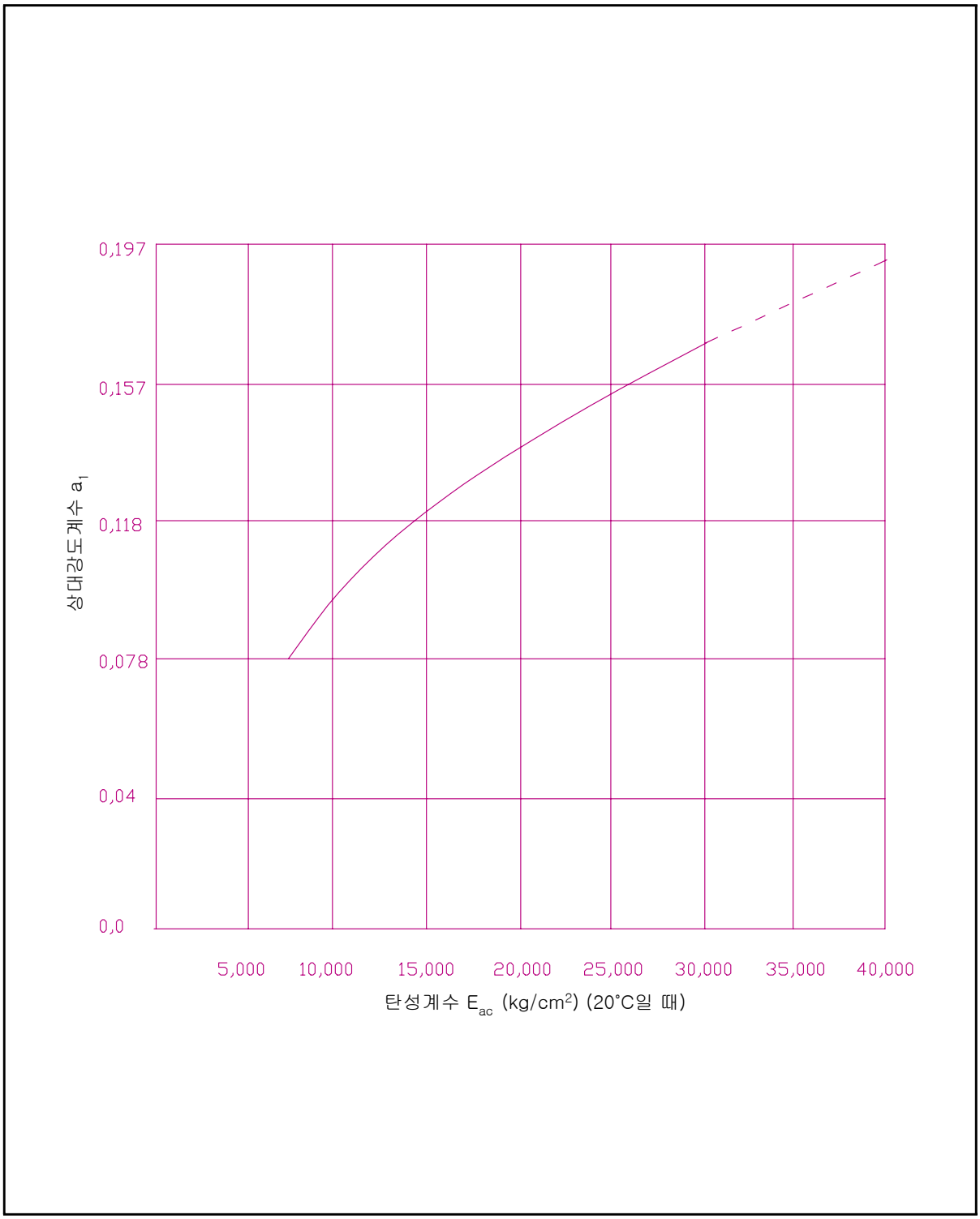
(1) 아스팔트콘크리트 표층의 상대강도계수(a_1)

<그림 702.17>은 20℃에서의 밀입도의 아스팔트 콘크리트 탄성계수(E_{AC})와 상대강도 계수의 상관관계를 나타낸 것이고, <그림 702.18>은 상대강도계수 그리고 아스팔트 콘크리트의 탄성계수 및 마샬 안정도의 관계를 표시하는 도표(nomograph)이다. 이 도표에서 아스팔트 탄성계수(또는 회복탄성계수)가 32,000kg/cm^2 또는 상대강도 계수가 0.176 이상인 경우에는 주의를 요해야 한다.

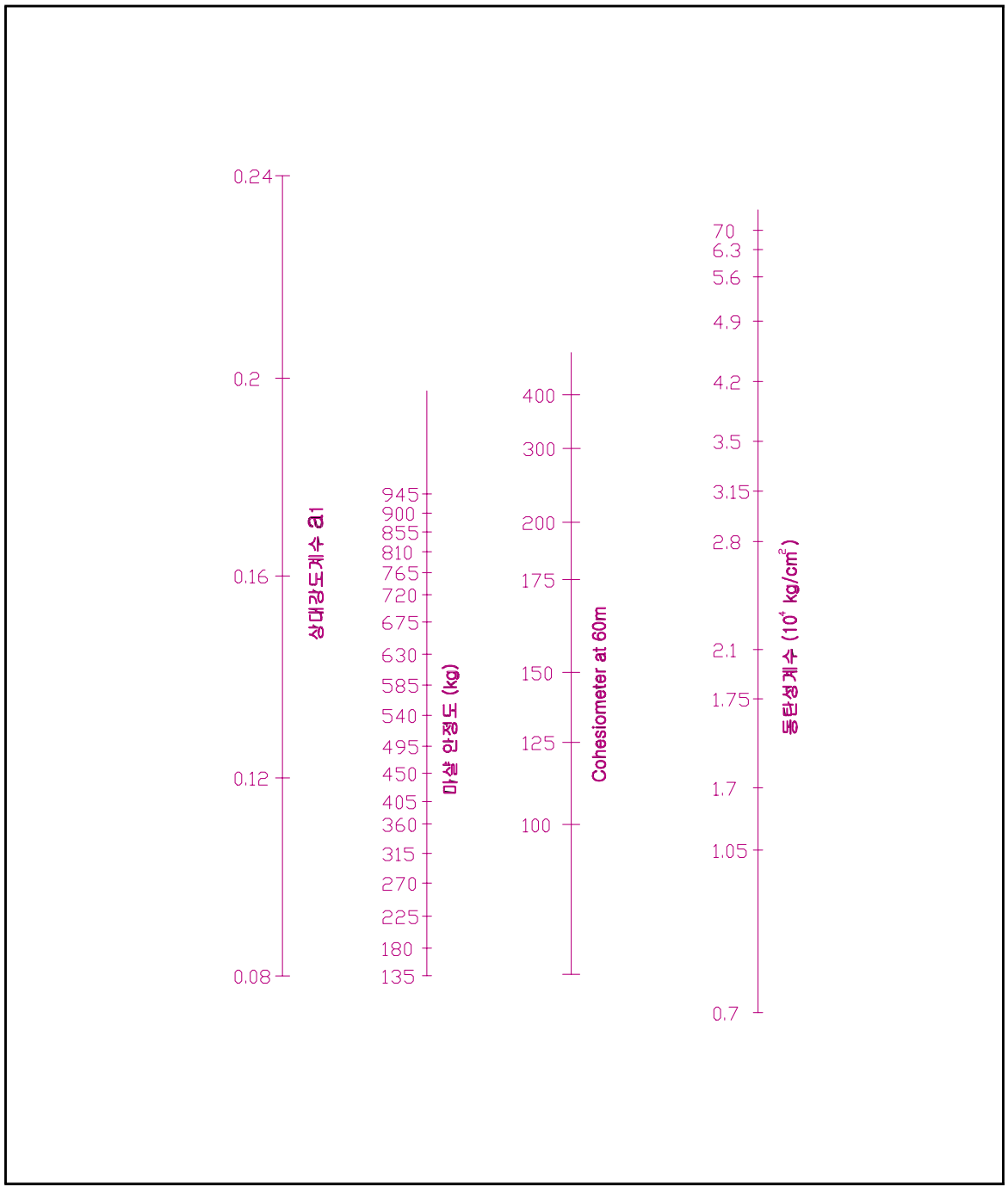
탄성계수가 클수록 아스팔트 콘크리트가 강하고, 휨에 대한 저항력은 증대되지만, 온도나 피로균열이 발생할 확률이 커진다.



<그림 702.16> SSV와 토질 특성값의 관계도



<그림 702.17> 아스팔트 콘크리트 표층의 상대강도계수(a_1)-탄성계수(E_{AC}) 상관도표



<그림 702.18> 표층재료의 강도에 따른 a_1의 변동

(2) 입상재료 기층의 상대강도 계수(a_2)

<그림 702.19>는 입상재료 기층에 관련된 강도지수(CBR, R값, M_R 등)로부터 대응 상대강도 계수를 산정할 수 있는 상관 도표로서, 미국의 4개 기관에서 입상재료 기층에 대한 실험결과를 토대로 하고 다음과 같은 AASHO 도로시험에서 적용한 값을 기준으로 하여 작성한 것이다.

a_2 = 0.055 E_{SB} = 2,100kg/cm^2(30,000psi)
CBR = 100(추정값) R값 = 85(추정값)

(3) 입상재료 보조기층의 상대강도 계수(a_3)

<그림 702.20>은 입상재료 보조기층에 관련된 강도지수(CBR, R값, M_R 등)로부터 대응 상대 강도계수를 산정할 수 있는 상관 도표로서, 미국의 4개 기관에서 입상재료 보조기층에 대한 실험결과를 토대로 하고, 다음과 같은 AASHO 도로시험에서 적용한 값을 기준하여 작성된 것이다.

a_3 = 0.043 E_{SB} = 1,000kg/cm^2(30,000psi)
CBR = 30(개략치) R값 = 60(개략치)

(4) 시멘트 안정처리 기층의 상대강도 계수

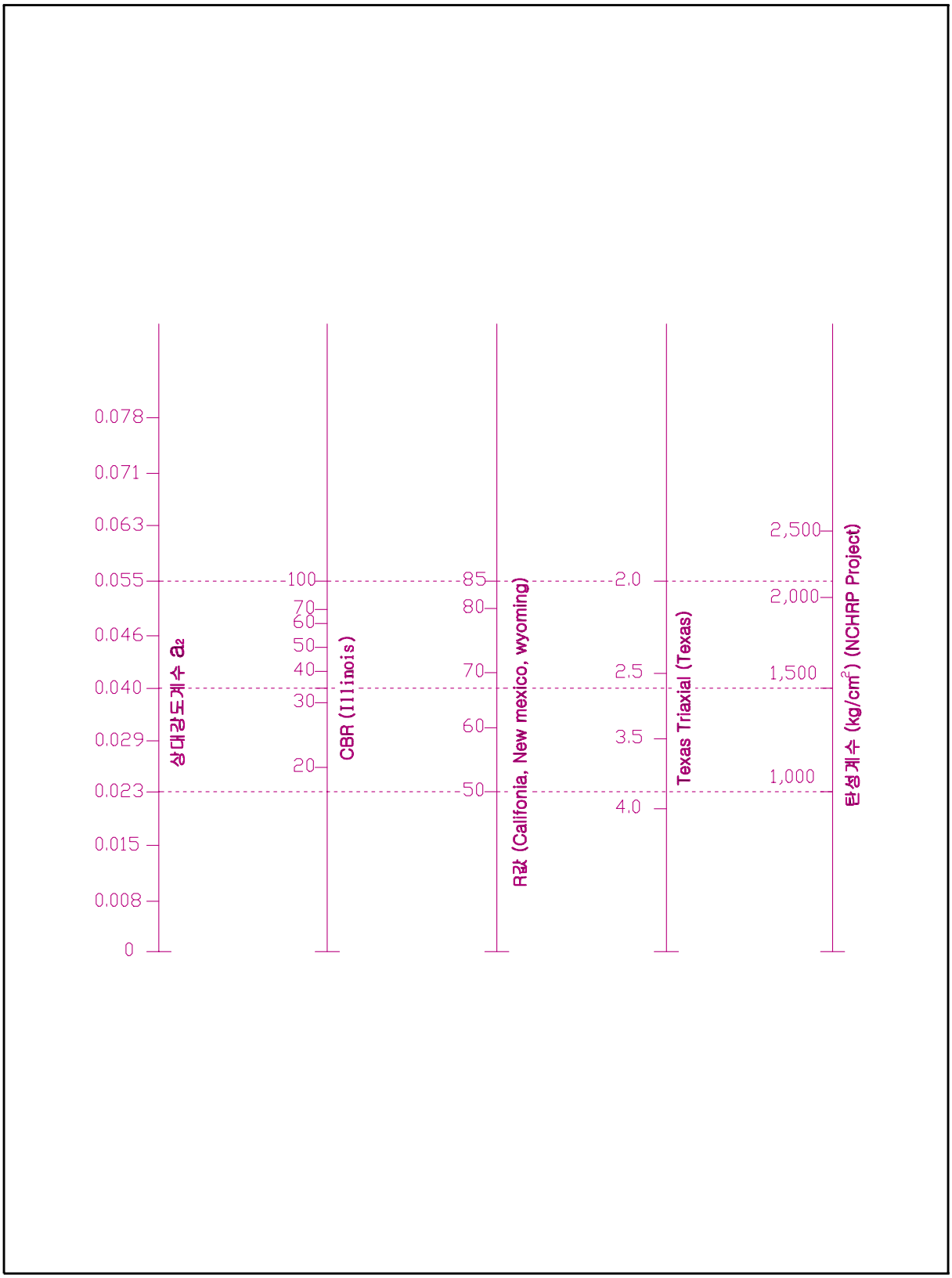
<그림 702.21>은 시멘트 안정처리 기층의 탄성계수(E_{SB}) 또는 7일 양생 일축압축강도로부터 시멘트 안정처리 기층재료에 대한 상대강도 계수를 산정할 수 있는 도표이다.

(5) 역청 안정처리 기층의 상대강도 계수

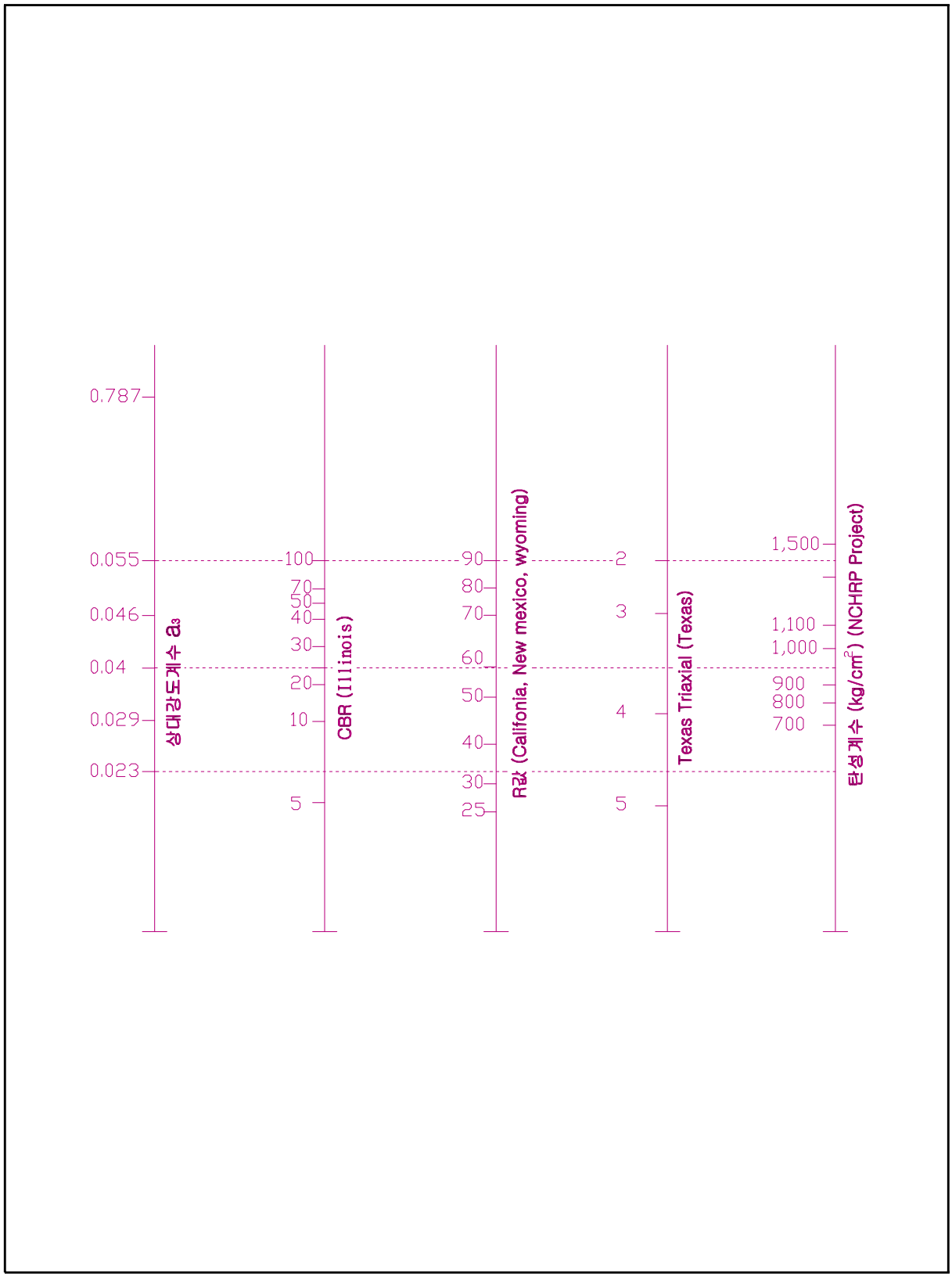
<그림 702.22>는 역청 안정처리 기층의 탄성계수(E_{SB})와 마샬안정도로부터 역청안정처리 기층의 상대강도 계수를 산정할 수 있는 도표이다.

(6) 포장 각 층의 재료별 적용 표준 상대강도 계수

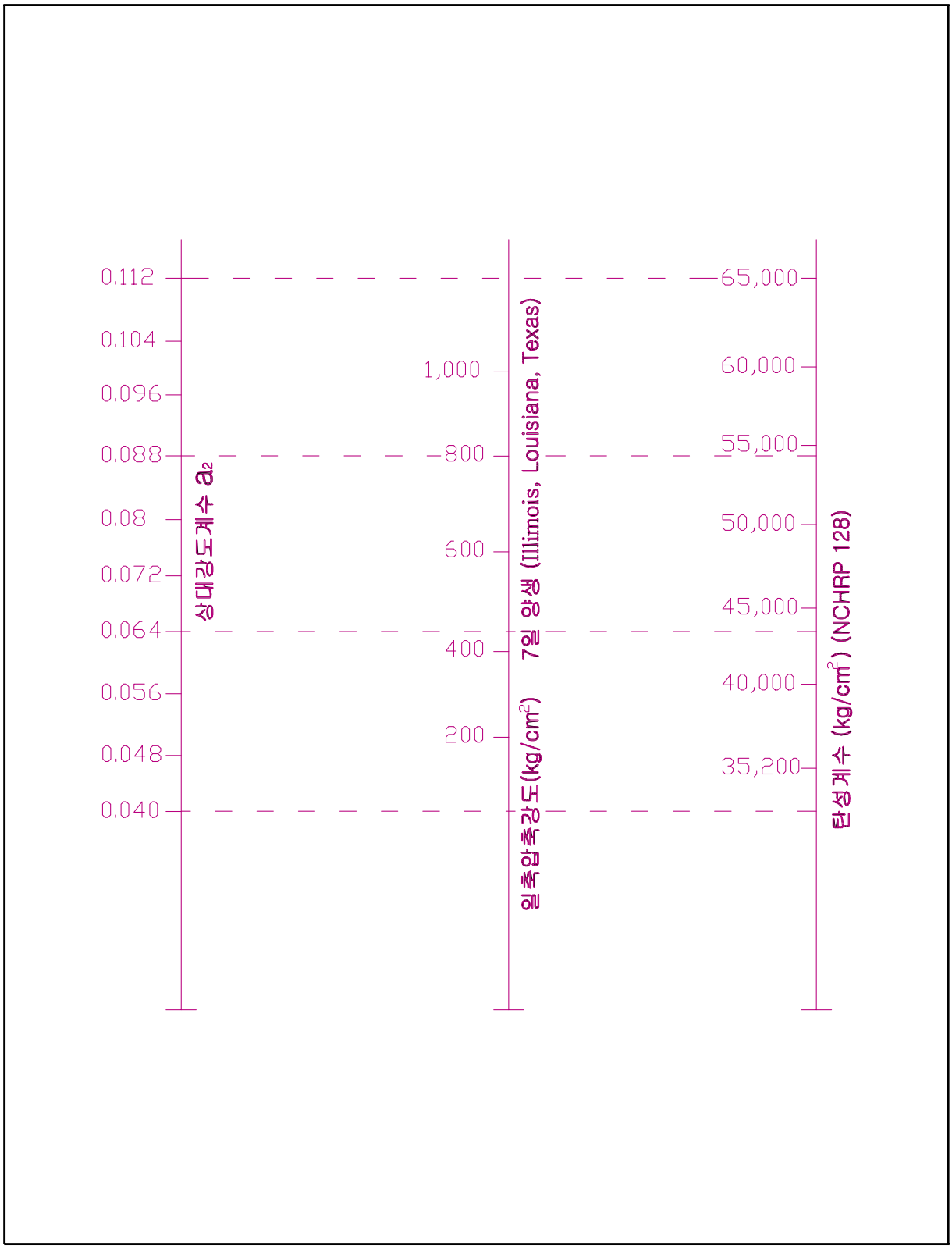
현재 국내에서 사용하고 있는 포장 재료별, 층별 상대강도계수는 <표 702.18>과 같으며 PMA, SMA, 캠크리트, 길소나이트 등 각종 개질아스팔트를 사용할 경우의 상대강도계수는 이에 대한 연구결과가 없으므로 <표 702.18>에 따른다.



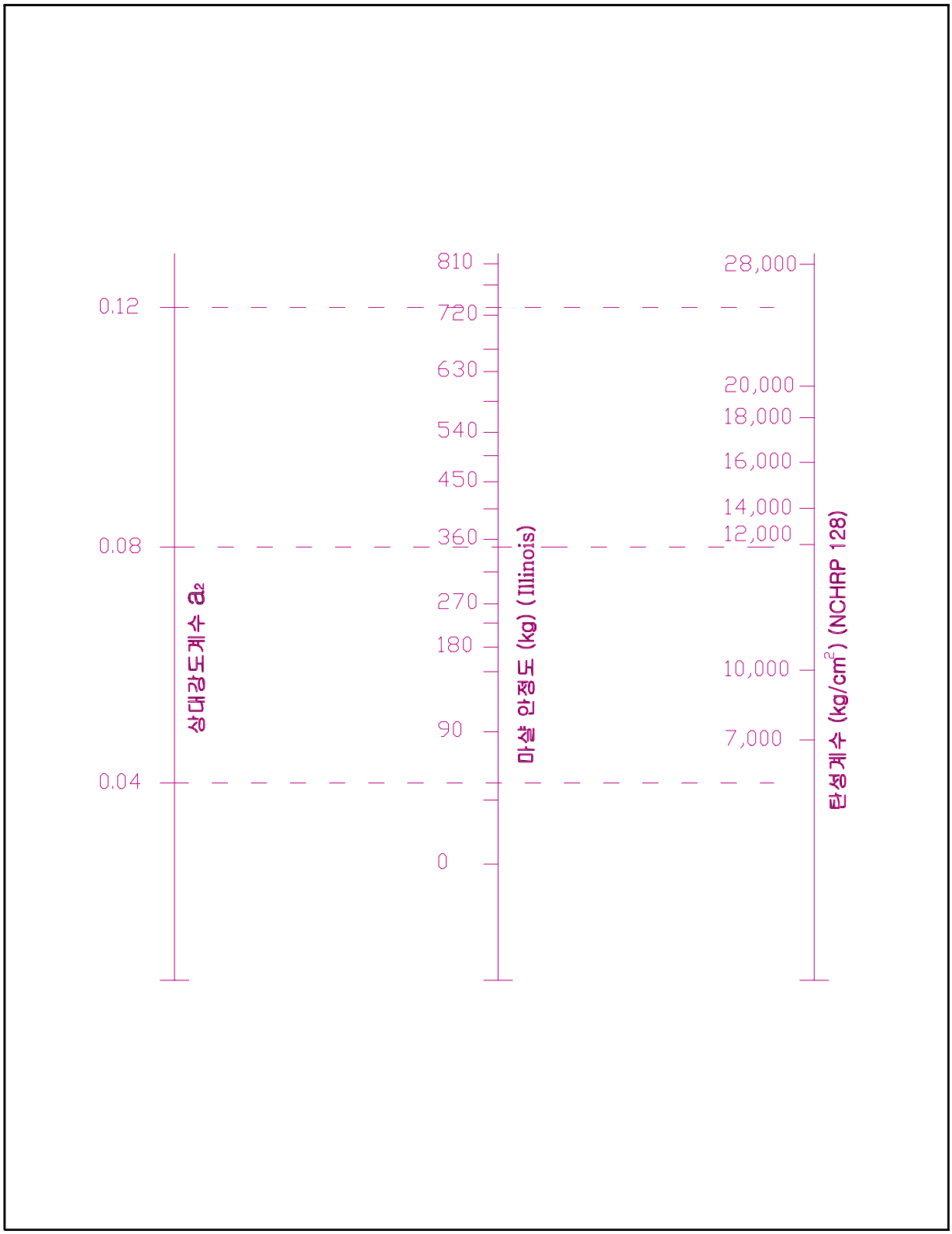
<그림 702.19> 입상재료 기층의 강도에 따른 a_2의 변동



<그림 702.20> 입상재료 보조기층의 강도에 따른 a_3의 변동



<그림 702.21> 시멘트 안정처리 기층재료의 강도에 따른 a_2의 변동



<그림 702.22> 역청 안정처리 기층재료의 강도에 따른 a_2의 변동

<표 702.18> 재료별 상대강도 계수

층 별	공법·재료	품 질 규 격	상대강도계수 (cm 당)
표층 (a_1)	아스팔트 콘크리트	마샬안정도 500kg 이상	0.145
		마샬안정도 750kg 이상	0.157
기층 (a_2)	아스팔트 안정처리	마샬안정도 350kg 이상	0.110
	시멘트 안정처리	1축압축강도(7일) 30kg/㎠ 이상	0.075
	린 콘크리트	1축압축강도(7일) 50kg/㎠ 이상	0.080
	입상재료 (석산쇄석)	CBR 80 이상	0.055
	입상재료 (하상골재쇄석)	CBR 80 이상	0.053
보조기층 (a_3)	막자갈 (강모래+자갈)	CBR 30 이상	0.034
	석산쇄석	CBR 80 이상	0.051
	고로 슬래그	CBR 30 이상	0.034

주) PMA, SMA, 캠크리트, 길소나이트 및 각종 개질 아스팔트를 사용할 경우의 상대강도계수는 이에 대한 연구결과가 없으므로 잠정적으로 위의 표에 준한다.

2.7.2 콘크리트 탄성계수(E_C)

콘크리트 탄성계수는 시험에 의해 구하거나 또는 압축강도로부터 다음 식을 이용하여 간접적으로 구할 수 있다.

$$E_C(kg/cm^2) = 15,000\sqrt{f_{28}} \quad \text{.....(702.11)}$$

여기서,

E_C = 콘크리트 탄성계수(kg/cm^2)

f_{28} = 콘크리트 압축강도(kg/cm^2)

2.7.3 콘크리트 휨강도(S_C)

콘크리트 휨강도는 28일 강도로서 삼분점 하중(third point loading) 시험을 실시하여 구하며 KSF 2403(시험실에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 시험용 공시체 제작·양생 방법) 또는 KSF 2408(콘크리트의 휨강도 시험 방법 : 단순보의 3등분 점하중법)에서 제시하는 시험방법을 따른다. 만약 시방규정을 사용하고자 할 때는 배합강도를 사용한다.

2.8 하중전달계수(J-factor)

하중전달계수는 줄눈, 균열 또는 포장과 길어깨 사이 등 콘크리트 포장 슬래브의 불연속 지점에서 하중전달 능력을 나타내는 계수로서, 하중 전달이 잘 될수록 작은 값을 사용한다. AASHTO에서 추천하는 포장의 형태별 하중전달계수는 <표 702.19>와 같다.

하중전달계수는 주어진 하중에서 콘크리트에 발생하는 응력에 비례한다. 따라서 하중전달계수가 클수록 콘크리트 응력도 크며, 결과적으로 설계될 슬래브 두께는 커진다. <표 702.19>에서 CRCP의 경우 하중전달계수가 JCP나 JRCP의 경우보다 작으므로 같은 조건에서 슬래브 두께를 약간 줄일 수 있음을 알 수 있다.

2.9 배수계수(Cd)

배수조건이 포장수명에 미치는 영향을 나타내는 계수로서 계획된 배수시설에 대해 설계자가 주관적인 판단에 의해 결정한다. 배수계수는 배수조건이 좋을수록 큰 값을 사용한다. AASHTO에서 추천하는 배수계수는 <표 702.20>~<표 702.21>과 같으며 이는 AASHO 도로시험의 배수계수를 1.0으로 보고 상대적으로 작성된 표이다.

<표 702.19> 콘크리트 형식별 포장 하중전달계수

구분		아스팔트 길어깨	콘크리트 길어깨 (타이바로 연결)
JCP 또는 JRCP	다웰바 사용	3.2	2.5～3.1
	다웰바가 없을 경우	3.8～4.4	3.6～4.2
CRCP		2.9～3.2	2.3～2.9

<표 702.20> 아스팔트포장의 입상기층과 보조기층재료에 대한 배수계수(m_i)

배수상태	포장체가 물의 포화상태에 있는 시간			
	1 %이하	1-5 %	5-25 %	25 %이상
매우 우수	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
우수	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
보통	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
불량	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
매우불량	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

<표 702.21> 콘크리트 포장설계를 위한 배수계수(C_d)

배수상태	포장체가 물의 포화상태에 있는 시간			
	1 %이하	1-5 %	5-25 %	25 %이상
매우 우수	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
우수	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
보통	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
불량	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
매우불량	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

2.10 지역계수(R)

지역계수는 포장이 시공되는 지역의 기후조건을 반영하기 위한 척도로서, AASHO 도로시험과 다른 기후적, 환경적 조건을 포장설계에 고려하기 위해 제시되었다.

이것은 노상토의 온도와 함수량의 연간 변화를 고려하는 가중 평균값으로서, 0~5 사이의 계수로서 정의되며, 지역계수값은 연중 다음과 같은 대표적 상태를 나타내는 계수를 월 단위 기준으로 연간 가중 평균하여 산정한다.

① 노상토가 13cm 깊이 이상 동결되는 경우 : 0.2~1.0

② 노상토가 건조한 상태를 유지하는 경우(여름, 겨울) : 0.3~1.5

③ 노상토가 젖은 상태를 유지하는 경우(봄철 융해기) : 4.0~5.0

실무에서 관용적 일반 기준값은 다음과 같다.

① 대전 이남 지역 : 1.5

② 서울 북부 지역 및 기타 표고 500m 이상 지역 : 2.5

③ 기타 지역 : 2.0

일반적으로 지역계수는 4.0을 넘지 않도록 한다.

<표 702.22> 배수상태 결정기준

배수상태	배수에 소요되는 시간
우수	2시간 이내
양호	1일 이내
보통	1주일 이내
불량	1개월 이내
매우불량	1개월 이상

703
아스팔트 포장

703.1 개요

본 장에서는 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 아스팔트 포장에 관한 설계방법을 제시하고자 하며 가열혼합공법에 의한 표층을 가지는 밀입도 아스팔트 포장에 관련된 사항만을 다룬다.

밀입도 아스팔트 포장재료 이외의 재료 및 공법에 대한 설계기준은 제시되어 있지 않으므로 이들 재료를 사용하여 설계 할 경우에는 관련 전문가와 협의하여 결정하며, 추후 지속적인 연구를 통하여 이들 재료에 대한 설계기준을 제시하여야 한다.

본 장의 구성은 크게 아스팔트 포장의 구조, 포장층의 구성에 대한 소개와 길어깨 포장, 연결로 포장 구간 설계에 대한 내용이 있으며 끝으로 '72 AASHTO 설계지침을 기준으로 아스팔트 포장 구조의 설계 예를 제시하였다.

703.2 아스팔트 포장의 종류

아스팔트 포장은 사용하는 바인더(결합재)의 종류 또는 공법에 의한 구분, 기능에 의한 구분, 사용장소에 의한 구분이 있으며 해당 내용은 다음과 같다.

사용하는 바인더(결합재)의 종류 또는 공법에 의한 분류로는 수지(樹脂)와 고무를 첨가한 개질아스팔트와 세미블로운 아스팔트 포장, 구스아스팔트, 로울드 아스팔트 포장 등이 있으며 필요한 층의 두께를 전부 아스팔트 혼합물로 구성하여 노상 위에 직접 아스팔트 혼합물을 두는 전단면(full-depth) 아스팔트 포장이 있다. 개질 아스팔트는 첨가되는 고무와 수지의 종류에 따라 다양하게 구분되는데 이에 대한 상세한 내용은 본 편람 '709.3 개질 아스팔트 포장 공법'을 참조한다.

기능에 의한 분류로는 사용목적에 따라 미끄럼방지포장, 내유동성포장 등이 있으며, 빗물을 노면으로 침투시켜 지하수의 함양(涵養)과 하천으로의 유출을 줄이기 위한 투수성포장 그리고 포장체 표면의 배수를 위한 배수성 포장 등이 있다.

또한 사용되는 장소에 따라 차도포장, 보도포장, 교면포장, 버스정류장포장, 주차장포장, 터널내포장, 단지내포장 등이 있다.

관련 내용은 '701 총론'의 <표 701.1>에 제시되어 있다.

703.3 구조 설계

신설 아스팔트 포장 구조를 설계하기 위한 절차는 미국 AASHO 도로시험으로부터 얻어진 경험적 관계식과 관련이론을 보충한 '72 AASHTO 설계법을 토대로 하였다.

아스팔트 포장에서는 하중재하에 의해서 생기는 응력이 포장을 구성하는 각층에 분포되어 하층으로 갈수록 점차 넓은 면적에 분산시켜서 각층 구성과 두께는 역학적 균형을 유지하고 교통하중에 충분히 견딜 수 있어야 한다. 그만큼 윗 층으로 갈수록 부담하는 응력도 크고, 품질이 좋은 재료가 사용된다. 그러므로 아스팔트 포장에서는 주어진 조건에 가장 적합하도록 구조설계, 재료, 시공 및 품질관리 등 전 과정이 공학적이며 경제적인 측면에서 계획성 있게 수행되어야 한다.

일반적으로 아스팔트 포장이라 함은 골재를 역청재료와 결합시켜 만든 표층이 있는 포장을 말하며 종류가 다른 표층, 기층 및 보조기층으로 이루어지며 노상이 연약한 경우에는 노상토가 보조기층에 침입하는 것을 방지하기 위해 모래, 막자갈, 암버럭 등으로 차단층(filter layer)을 둔다. 또한 표층 위에 미끄럼과 마모를 방지하기 위해 3cm 전후의 마모층(wearing course)을 둘 수도 있으며, 이때 이 층은 포장구조의 계산에는 포함시키지 않는다.

아스팔트 포장의 일반적인 구조와 각 층의 명칭은 <그림 703.1>과 같다.

3.1 포장층의 구성

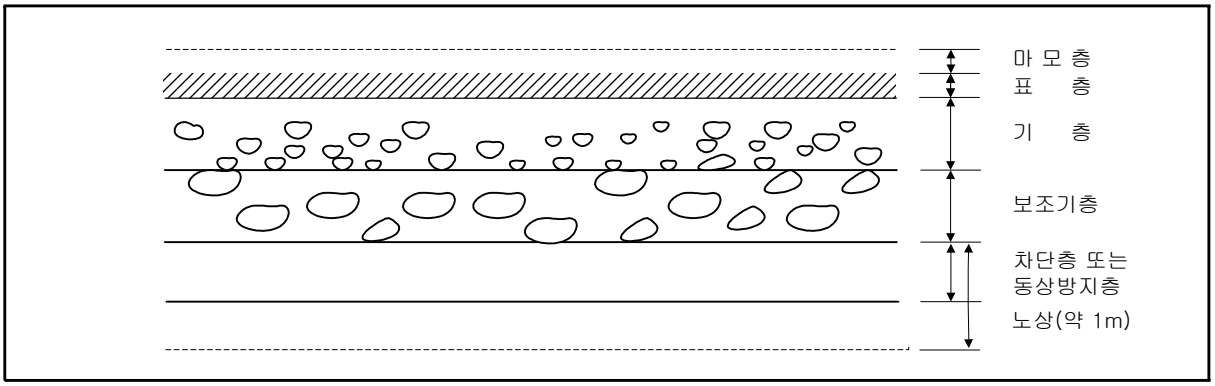
3.1.1 표층

표층은 포장의 최상부에 있으며, 가열아스팔트 혼합물로 만들어진다. 표층은 교통하중을 분산시켜 밑의 층으로 전달하는 역학적인 기능과 함께 교통차량에 의한 마모와 전단에 저항하고 평탄하여 잘 미끄러지지 않고, 쾌적한 주행이 될 수 있으며, 또한 빗물이 하부에 침투하는 것을 방지하는 기능을 가지는 것이어야 한다.

표층에는 밀입도(密粒度) 아스팔트 콘크리트가 사용되나 이들의 소요조건과 경제성을 고려해서 선택한다.

3.1.2 기층

표층에서 전달되는 힘은 상당히 복잡한 특성을 갖고 있으며 이러한 힘에 견디기 위해서는 역학적으로 고품질의 재료가 필요하다. 따라서 이러한 아스팔트 포장의 구조적인 지지기능을 목적으로 설치되는 층을 말한다.



<그림 703.1> 아스팔트 포장의 구성과 각 층의 명칭

기층에는 입도조정, 시멘트안정처리, 역청안정처리, 침투식 등의 공법이 사용된다. 침투식 공법을 제외하고는 재료의 최대입경은 40mm 이하이며, 또한 1층의 마무리 두께의 1/2 이하이어야 한다.

입도조정을 한 재료는 수정 CBR이 80이상이고, 0.425mm(No.40)체 통과분의 소성지수는 4 이하이어야 한다. 입도조정재료의 수정 CBR을 구하는 경우에 사용되는 다짐도는 KSF 2320에 규정하는 시험방법에 의한 최대건조밀도의 95%로 한다.

시멘트 안정처리를 택할 경우에는 그 윗면이 포장표면보다 10cm 이상 깊은데 있도록 하고, 시멘트량은 '도로 포장 설계·시공지침(건설교통부, 1991)' 6.4.3 절의 (3)에 주어지는 절차로 결정하고 6일 양생, 1일 수침후의 1축압축강도가 30kg/cm^{2}에 해당하도록 한다. 시멘트 안정처리공법은 큰 침하가 예상되는 경우 등에서는 기층에 적용하지 않음이 좋다.

자갈, 모래 및 세립토의 혼합물은 가령 입도 및 세립토의 성질이 양호해도 기층재료로 사용해서는 안된다. 이것을 기층에 사용할 때에는 반드시 시멘트, 역청재료 등을 가해 안정처리하여야 한다.

3.1.3 보조기층

보조기층은 안정처리 또는 비안정처리된 입상재료를 전압하거나 적정한 혼화재료로서 안정처리한 토사층으로 구성된다. 사용되는 재료는 여러 가지를 사용할 수 있으나 경제성을 고려하여 가능하면 공사현장부근에서 발생하는 재료를 이용한다.

일반적으로 사용되는 재료로는 쇄석, 슬래그, 쇄석모래자갈 또는 이들을 혼합한 골재를 사용하며, 포틀랜드 시멘트, 아스팔트, 석회, 시멘트 플라이애쉬, 석회플라이애쉬와 같은 안정처리 혼화제(stabilized admixture)를 사용할 수도 있다.

보조기층은 기층과 함께 표층과 노상의 중간에 위치하여 표층과 기층을 통해 전달되는 교통하중을 분산시켜 노상에 전달하는 역할을 하고 있다. 보조기층은 이러한 구조적 기능 이외에 다음과 같은 기능을 가질 수 있다.

- 노상토의 세립자가 기층으로 침입하는 것을 방지하는 기능
- 동결작용에 의한 손상을 최소화하는 기능
- 포장구조 하부의 자유수가 포장구조 내부에 고임을 방지하는 기능
- 시공장비를 위한 작업로 제공

3.1.4 동상방지층

노상의 토질이 동결할 염려가 있는 경우에 동상을 받지 않는 재료로 동결심도와 포장두께의 차이만큼 노상의 상부에 동상방지층을 두며 일반적으로 이층은 포장구조의 계산에는 포함시키지 않으며 노상에 포함시킨다. 동상방지층을 노상에 사용할 경우에는 개선된 노상지지력값을 본 편람 '702 포장설계의 기본' 편의 식(702.8)에 따라 산정한다.

동상방지층은 포장을 동결로부터 보호하여야 하며 따라서 그 재료는 자갈 또는 모래와 같은 비동결 재료로서 동결에 의한 분리현상이 생기지 않는 것이어야 한다.

동상방지층은 투수성이 있어 빙막의 형성을 방지하여야 하여야 하므로 사용재료는 다음의 요건에 맞는 것이어야 한다.

- 최대입경
  동상방지층에 사용될 골재의 최대입경은 100m/m를 초과할 수 없다.
- 세립토의 함유량
  동상방지층에 사용될 재료는 직경 0.02m/m 이하의 세립토의 함유량이 3%이하이어야 하며 0.075mm(No.200)체를 통과한 재료의 함유량이 15%이하이어야 한다.
- 모래당량
  모래당량 시험치는 20%이상이어야 한다.

3.1.5 노상

노상은 포장층의 기초로서 포장에 작용하는 모든 하중을 최종적으로 지지해야 하는 면이다.

노상은 상부의 다층구조의 포장층을 통하여 전달되는 응력에 의해서 노상층에서 과잉변형 또는 변위를 일으키지 않는 최적지지조건을 제공할 수 있어야 한다.

노상면에서 균등한 지지력을 얻기 위하여 노상층상부의 일정두께를 하나의 층으로 해서 해로운 동결작용의 영향을 완화시키거나 동상방지층을 또는 노상층의 세립토사가 보조기층에 침입하는 것을 방지하기 위하여 차단층을 설치할 수 있다.

포장의 공용성은 노상토의 상태와 물성에 직접 관계되기 때문에, 적정의 실내시험에 의해서 얻어지는 노상토의 강도지수(CBR 값, M_R치 등)을 기준하여 포장 층두께를 결정하고 시공품질관리를 위해서 소요의 다짐 및 재료시방기준을 규정해야 한다.

노상토재료에 대한 품질 및 시공기준은 건설교통부제정 '도로공사 표준시방서(건설교통부, 1996)' 또는 관련규정조건을 만족해야 한다.

노상토의 토질상태가 다음과 같은 경우에 설계자는 적정의 특별시방을 규정할 필요가 있다.

(1) 과민한 팽창성 또는 탄성적 반응을 보이는 토사에 대하여는 특별한 조치가 필요하다. 이 경우 하나의 선택대안은 이들 반응으로 인한 나쁜 영향을 제거할 수 있도록 충분한 깊이까지 선택재료로 성토하는 것이다.

특히, 팽창성 토사(expansive soil)인 경우(수축한계〉 12%, 소성지수〉 30%)에는 최적함수비보다 1~2% 정도 더 높은 함수비로 다짐을 함으로써 그 성질을 개선할 수 있다. 또한 적정 혼화제, 즉 석회 또는 시멘트 등을 사용하여 안정처리 하거나 또는 함수비를 안정시키기 위하여 소요 두께의 방수막(waterproof membr--ane)을 설치하는 것이 경제적일 수 있다.

(2) 동상의 영향을 받는 지역에서는, 동상에 민감한(0.02mm이하 토사〉 15% 또는 소성지수〉 12%) 토사층을 제거하거나, 비동상선택재료로 치환시켜야 한다. 지역이 너무 광대할 때에는 동결 및 융해작용에 의한 지지력 감소를 조정할 수 있는 적정재료로서 충분한 두께로 성토시키는 방안을 강구할 수 있다. 이와같은 조치를 위한 기준과 소요선택재료의 종류와 두께는 반드시 경제적으로 얻을 수 있는 재료의 종류와 지역적 경험을 토대로 결정해야 한다.

(3) 고유기질토(organic soil)의 문제점은 이들의 극단적 압축성에 관계된다. 이와 같은 유기질토 성질 또는 분포깊이가 일정치 못할 때 더욱 큰 문제를 야기한다. 유기질 토사가 국부적으로 존재하거나 분포깊이가 얕을 경우 적당한 선택재료층으로 치환하는 것이 경제적으로 바

람직하다.

이들 층이 매우 깊고, 넓게 분포된 경우에는 선행압밀침하를 시키기 위한 압성토(surcharge embankment)를 설치하거나 또는 압밀을 촉진시키기 위하여 수분을 급속히 제거시키는 특수공법을 이용하여 문제를 완화시킬 수 있다.

(4) 토사의 종류와 조건이 불규칙하게 분포되어 있는 경우에는 다음과 같은 조치를 강구하여야 한다.

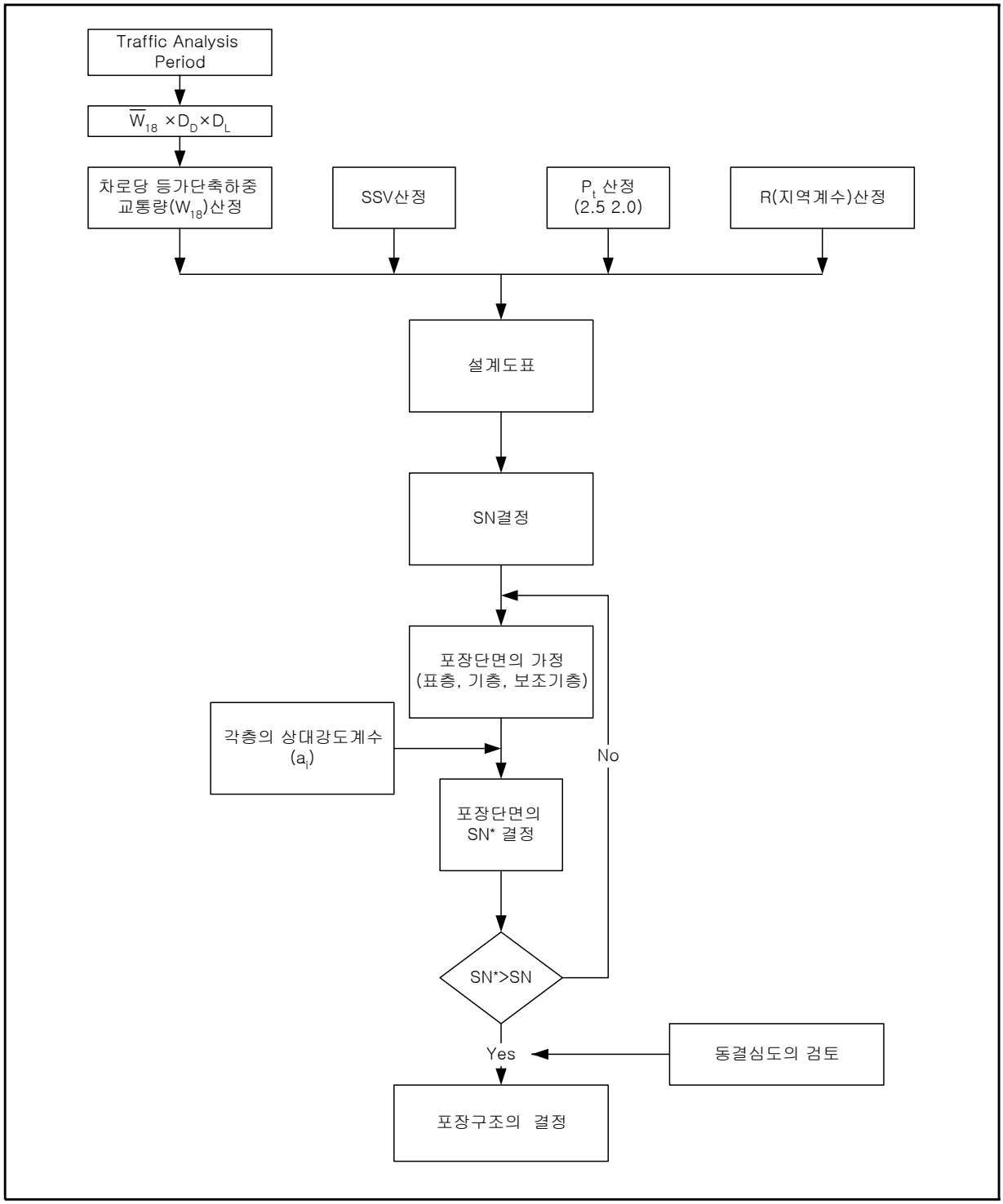
- 표면을 고르고 재다짐
- 노상층의 상단부를 적정혼화재로 처리
- 선택재료 또는 양질의 토사를 이용하여 적정깊이까지 치환하여 노상재료로 사용
- 절토면인 경우 과절취시키거나 절성면인 경우에는 균등한 선택재료층으로 포설
- 토사종류가 바뀌는 변이구간에서는 특히 절·성단면의 변이구간에서는 보조기층 두께를 조정한다.

(5) 노상층 시공에 사용되는 장비에 의해서 쉽게 변위되는 비점성토(cohesionless soil), 또는 적정함수비를 갖도록 건조시키는데 장시간의 시간을 필요로 하는 흙이나 다짐장비(compaction equipment)의 변위 때문에 높은 함수비로 다질 수 없는 습윤점성토인 경우에는 다음과 같은 특별조치를 통하여 시공상 문제점을 완화시킬 수 있다.

- 입상재료를 적정히 혼합
- 사질토인 경우 점착력을 증가시킬 수 있는 적정 혼화재를 첨가
- 포장 시공을 위한 운반로 또한 작업대로서 기능이 필요한 경우 적당한 두께의 선택재료층을 설치

3.2 설계 절차

일반 본선구간에 대한 아스팔트 포장 구조의 전체적인 설계 과정은 <그림 703.2>와 같으며, 기타 구간에 대한 포장구조 설계는 해당 편의 세부 내용을 참고한다.



<그림 703.2> 아스팔트 포장설계 흐름도

3.2.1 설계 입력변수

설계 과정에 필요한 입력변수의 산정은 본 편람 702.2장의 '2.1 서비스 능력과 공용성', '2.2 교통', '2.3 환경', '2.5 노상', '2.6 재료조건', '2.11 지역계수'에서 제시한 산출 방식을 따른다.

3.2.2 층 두께의 산정

본 편람에 적용되는 아스팔트 포장 구조설계를 위한 기본 설계식은 식(703.1)과 같다.

기본 설계식은 공용기간 동안에 통과하는 8.2톤 등가단축하중의 누가통과횟수($W_{8.2}$)를 포장층의 구조적 성능을 나타내는 포장두께지수(SN ; Structural Number), 포장이 설치되는 기후조건을 반영하는 지역계수(R), 초기 포장구조가 소요 공용기간 후 보수를 필요로 하는 시점에서의 포장서비스 질을 표시하는 최종서비스 지수(Pt), 그리고 노상의 토질 및 지지력 조건을 표시하는 노상지지력계수(SSV)의 함수로 표시된 경험적 방정식이다. 이 기본식을 이용

$$\log_{10}(W_{18}) = 9.36\times\log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}[\frac{4.2-Pt}{4.2-1.5}]}{0.40+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + \log_{10}(\frac{1}{R}) + 0.372\times(SSV-3.0) \quad ..(703.1)$$

여기서,

W_{18} : 분석기간 동안 예상되는 8.2톤 누적 등가 단축하중

SN : 구조지수(structural number)

Pt : 최종 공용성 지수

R : 지역계수

SSV : 설계구간의 노상지지력 값

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 \quad .....(703.2)$$

여기서,

a_1 = 표층의 상대강도 계수

a_2 = 기층의 상대강도 계수

a_3 = 보조기층의 상대강도 계수

D_1 = 표층의 설계두께(inches)

D_2 = 기층의 설계두께(inches)

D_3 = 보조기층의 설계두께(inches)

하여 소요설계 포장두께지수와 구성층 두께를 결정하는 경우에는, 반복계산을 하여야 하므로 컴퓨터를 이용하거나 이를 손쉽게 구할 수 있도록 식(703.1)을 도표(nomograph)로 작성한 것이 <그림 702.3>, <그림 702.4>이며 각각 최종 서비스지수(Pt) 2.0 및 2.5에 대한 것이다.

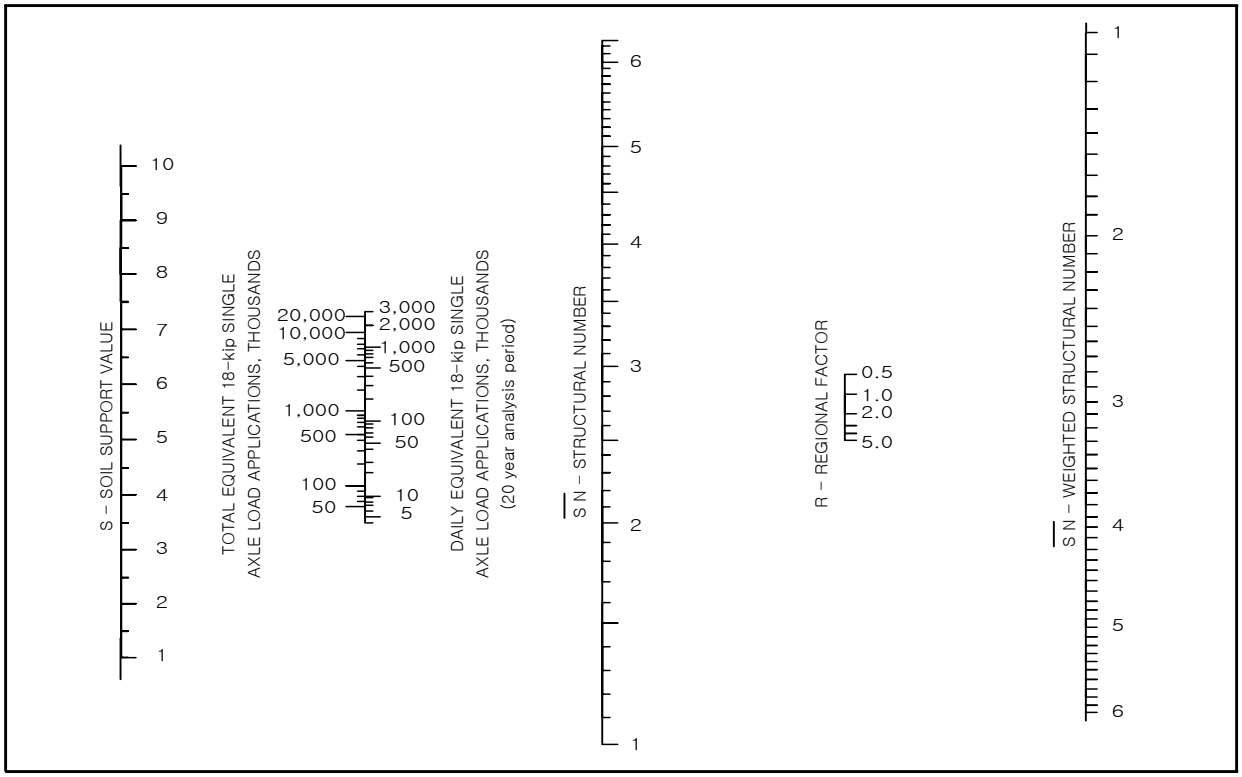
초기 포장구조에 대한 설계 SN치는 식(703.2)를 이용하거나 도표(nomograph)를 적용하여 결정하고 각 층을 합성하여 설계 SN 치에 적합한 하중을 제공할 수 있는 일련의 포장층 두께를 계산한다. SN을 표층, 기층, 보조기층의 실질적인 두께로 환산할 수 있는 기본식은 다음과 같다.

각 층 두께는 절상하여 1cm 단위로 결정하고, 비효율적인 설계를 피하기 위하여 시공과 유지관리에 따른 비용효과를 고려하여 결정해야 한다. 예를 들면, 경제적인 측면에서 고려해 볼 때 만일 제 2층에 대한 제 1층의 비용 비율이 각 층의 상대강도 계수 비율보다 낮다면 그 때는 기층두께를 최소로 해야 경제적인 설계가 된다.

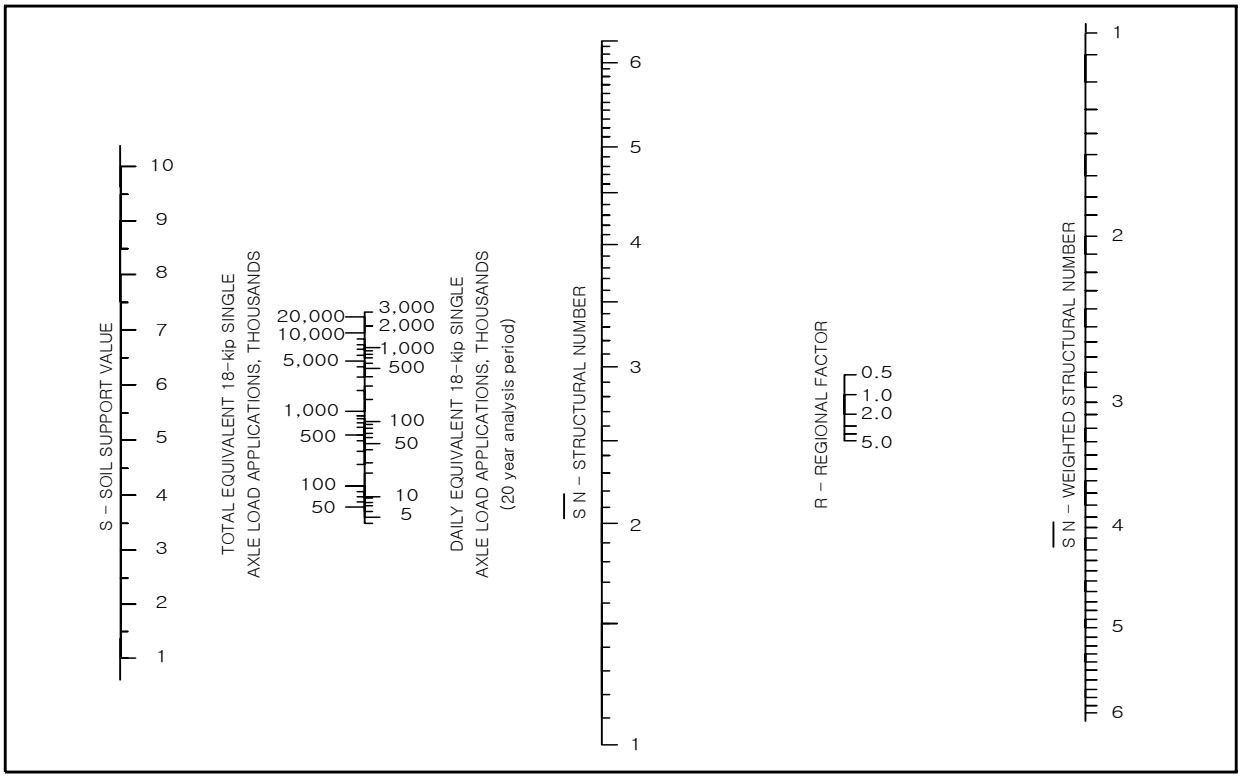
일반적으로 어느 기준 두께보다도 얇은 표층, 기층 또는 보조기층으로 포설하는 것은 비실용적이고 비경제적일 수 있기 때문에 각 포장층은 <표 703.1>에 주어진 값 이상으로 하는 것이 일반적으로 바람직하다. 아스팔트 포장의 최소 설계 두께를 나타내는 <표 703.1>은 지역적 여건 또는 각 설계기관의 정책에 좌우될 수 있으므로 적용 지역의 여건에 알맞게 조정하여 선택할 수 있다.

<표 703.1> 아스팔트 포장의 최소 설계 두께

교통량 (ESAL×10^3)	최소두께(cm)	
	아스팔트 콘크리트	입상재료 기층
50이하	3 (또는 표면처리)	10
50～150	5	10
150～500	7	10
500～2,000	8	15
2,000～7,000	9	15
7,000 이상	10	15



<그림 703.3> 아스팔트 포장설계도표(Pt=2.0)



<그림 703.4> 아스팔트 포장설계도표(Pt=2.5)

703.4 길어깨 포장의 설계

4.1 길어깨 포장의 역할

길어깨는 차도의 측방여유폭을 확보하기 위하여 차도에 접속하여 설치하는 도로의 부분으로서, 도로의 주요 구조물을 보호하고, 보행자를 포함하여 교통의 안전성, 쾌적성을 확보함과 동시에 도로의 유지, 관리 및 차량의 비상주차에 필요한 공간을 제공하는 역할을 한다.

4.2 길어깨 포장의 구조

길어깨의 구조는 길어깨의 본선 포장구조가 아스팔트인 경우에는 폭, 기능, 시공의 정밀성 등을 고려하고 노상의 지지력, 동결심도, 교통량, 과거의 실적 등을 종합적으로 검토하여 결정하되 작업차나 고장차량 등의 일시적인 교통하중에 견딜 수 있는 구조를 원칙으로 한다.

일반적으로 길어깨는 연성기층(flexible base) 또는 안정처리 기층에 아스팔트 표층으로 이루어져 있고 본선 포장구조가 콘크리트인 경우에는 강성 또는 연성 표층으로 구성된다.

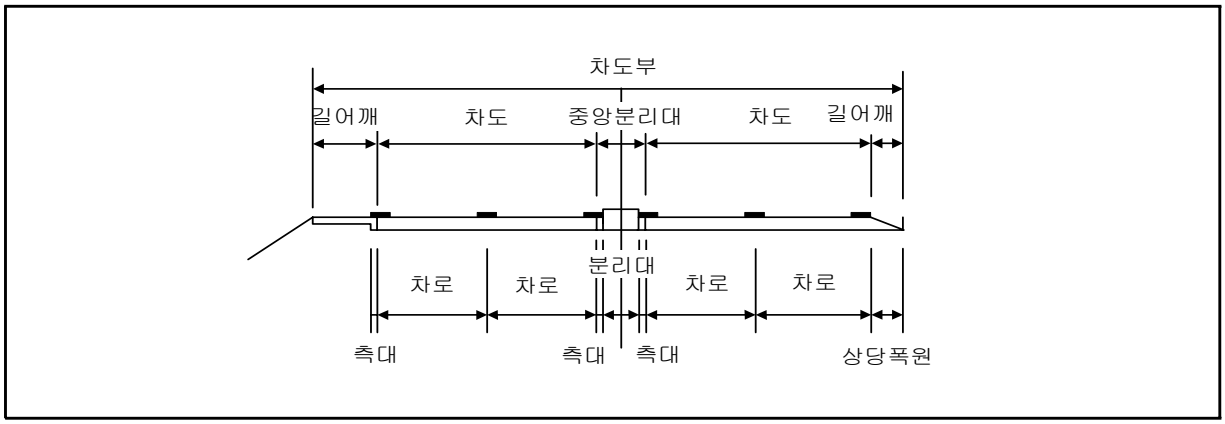
본선과 길어깨의 구조, 재료 등이 동일하지 않고 중차량이 자주 길어깨를 침범함으로 본선과 길어깨 사이의 접속부에 많은 문제들이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법은 다음과 같다.

(1) 길어깨의 포장두께 증가
(2) 접속부줄눈에 특수한 줄눈재나 타이바를 설치

길어깨는 <그림 703.5>에서 보는 바와 같이 측대를 설치하는 경우와 설치하지 않는 경우가 있다. 측대 또는 측대 상당폭원에 있어서는 차륜이 그 위를 주행하는 일이 많으므로 본선과 같은 구조로 한다.

측대를 제외한 길어깨의 포장은 차도 보다 간단한 구조로 하는 것이 원칙이나, 길어깨의 폭이 좁거나(일반적으로 측대를 제외한 길어깨의 폭이 1m 미만일 경우), 길어깨에 측구 등의 노측 구조물이 접속하여 설치될 경우에는 시공성, 유지관리 등을 고려하여 길어깨 전폭에 걸쳐 차도와 동일한 구조로 할 수 있다.



<그림 703.5> 길어깨의 횡단면 구성

측대를 설치하지 않는 경우에는 측대 상당폭원에 있어서는 차륜이 그 위를 주행하는 일이 많으므로 본선과 같은 구조로 한다.

4.3 길어깨 포장 설계시 요구사항

다음의 내용은 향후 연구 보완해야 할 외국의 기준의 예를 설명한 것이다.

고속도로 포장설계에서는 본선이 콘크리트인 경우 길어깨 형태를 콘크리트 슬래브 또는 아스팔트 표층을 사용한다.

콘크리트 슬래브인 경우 슬래브 두께를 15cm로 하며, 아스팔트 표층인 경우 <그림 703.4>와 같이 SN=3.5를 기준으로 하여 7.5cm를 기준으로 한다. 그렇지만 기존 도로의 공용결과를 보면 본선보다 길어깨의 파손이 많은 경우가 있으므로 이에 대한 개선이 필요하다.

국도의 포장설계에서는 길어깨의 폭이 좁으므로 본선과 동일하게 시공한다.

(1) 길어깨 포장에 사용되는 재료로는 아스팔트콘크리트나 시멘트콘크리트를 일반적으로 많이 사용하고 있으며 그 선택은 시공성, 경제성, 재료구득의 용이성 등 제반 여건에 따라 결정되어야 한다.

(2) 일반적인 설계에서 길어깨의 표층은 차도 표층의 두께와 같게하고 기층을 두지 고 바로 보조기층을 두며 노상면은 차도와 일치시킨다.

(3) 길어깨 차로의 설계는 인접차로의 2.4% 축하중을 교통량으로 고려하여 본선의 설 계 방법과 동일하게 한다.

(4) 교통량 예측없이 설계할 경우에는 길어깨부의 노상면에서의 소요 SN은 2.5를 기준 으로 한다.

(5) 오르막차로가 없는 4% 이상의 오르막구배 가 있는 곳에서는 트럭통행에 대한 고려 가 있어야 한다. 즉, 축하중을 기준으로 2.4% 이상의 차량이 길어깨를 침범할 경우 본선 기층 두께의 1/2 또는 1층 포설 두께로 기층을 설치한다.

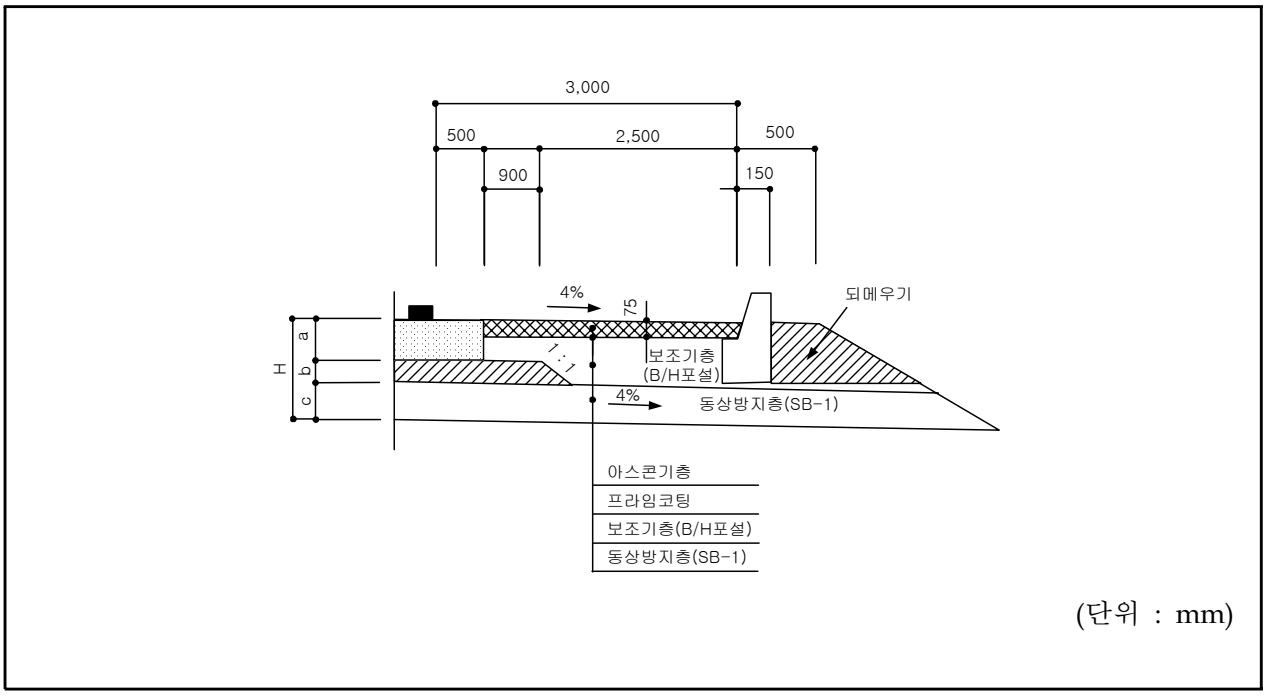
(6) 연결로 등과 같이 곡선반경이 작은 구간의 내측 길어깨 포장은 주행 특성상 차륜이 올라가는 예가 많으므로 차도와 동일한 지지력을 갖도록 설계함이 바람직하다.

(7) 이 외에 길어깨 포장의 주요파손원인인 차도와의 이음부에서의 물의 침투, 심한 기후변동 등에 의한 고려도 충분히 있어야 한다.

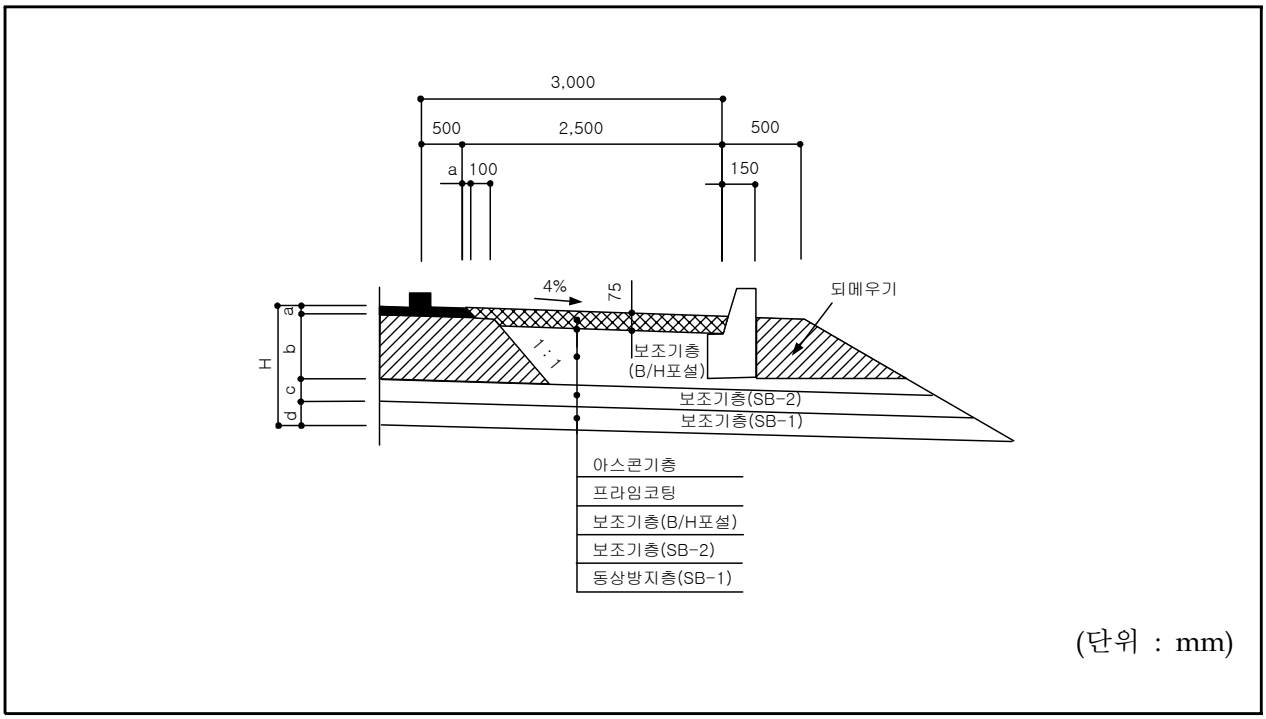
(8) 차도 포장과 길어깨 포장의 접합부는 줄눈재를 주입하여 침투수를 방지하고 침투된 물은 신속히 배수되도록 지하 배수시설을 설치하는 것이 바람직하다.

703.5 연결로 구간의 설계

아스팔트 포장의 연결로 구간의 설계는 기본적으로 본선의 설계방법과 동일하며 자세한 내용은 '704.5 연결로 구간의 설계' 편을 참조한다.



<그림 703.6> 길어깨 포장 - 콘크리트



<그림 703.7> 길어깨 포장 - 아스팔트

703.6 설계 예(1)

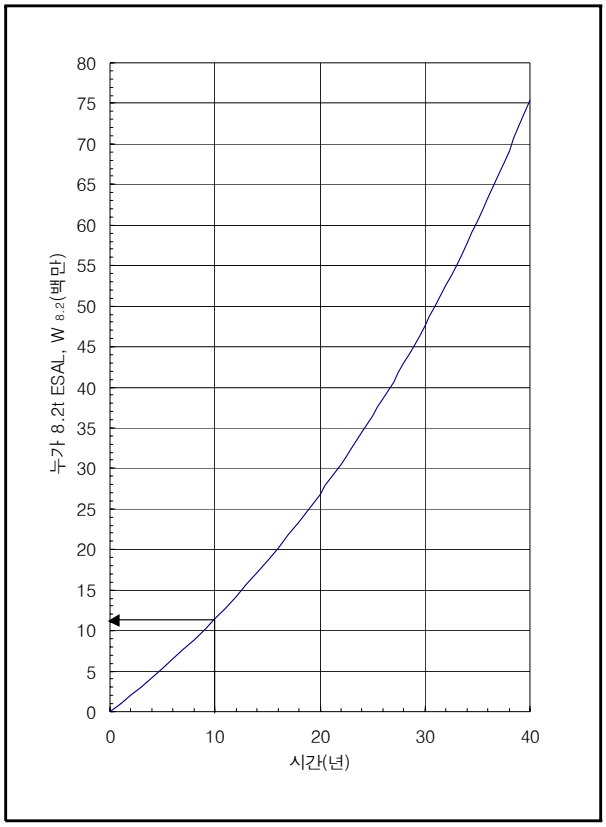
6.1 설계조건

6.1.1 해석기간

본 예제에서는 최대 공용기간 및 해석기간을 동일하게 10년으로 한다.

6.1.2 교통량

설계적용 지역의 설계구간 길이는 총 25km 이며 경기도 지역으로 가정하였으며 이 지역의 일평균 교통량과 축하중 자료를 기준하여 추정하였으며 방향분배계수(D_D) 50%, 차선분배계수



<그림 703.8> 시간에 따른 누가 교통량

(D_L) 80%로 한다. 따라서 <그림 703.8>에서 보는 바와 같이 개통 10년후 8.2t 등가단축하중(ESAL) 누가 교통량은 **11.5×10^6** 이 된다.

6.1.3 서비스 능력

6차선 일반국도로 가정한 본 노선의 교통량과 기능분류에 따라 최종 서비스능력(P_t)은 2.5로 하고 아스팔트 포장의 초기 서비스능력(P_0)은 AASHTO에서 제시한 도로 시험값 4.2로 한다.

6.1.4 노상지지력계수 (SSV ; Soil Support Value)

노상의 CBR이 10이라고 한다면 노상의 지지력(SSV)은 5.10이 되고 보조기층을 입상재료(막부순돌+막자갈, 양질의 산자갈, 크러셔런 슬래그 등의 조립재료)를 사용하는 경우, 설계 CBR값이 30이상이어야 하므로 이에 대응되는 보조기층 상면의 지지력계수는 <그림 702.15>로부터 6.92가 얻어진다. 또한 기층을 입도조정 기층재료를 쓰는 경우, 설계 CBR값이 80이상이어야 하므로, 이것에 대응되는 기층상면에서 지지력 계수는 <그림 702.15>로부터 8.54가 된다.

계산된 각 층의 상면에서 지지력계수(SSV)와 설계 차로당 ESAL 교통량 값에 대응되는 소요 SN값은 설계식으로부터 <표 703.2>와 같이 계산된다.

6.1.5 지역계수(R)

1980년 불란서 BCEMO 사에 의하여 수행된 'Study of National and Provincial Network'

과업의 최종보고서(1980. 2)에서 제시된 값을 사용하며 지역별 지역계수 값은 다음 <표 703.3>과 같다. <표 703.3>을 이용하여 구한 지역계수의 값은 **2.0**이 된다.

6.1.6 상대강도계수

각 층에 대한 포장구조 상대강도계수(a_i)는 다음 <표 703.4>를 이용하여 구한다.

본 예제에서는 플랜트혼합 표층, 쇄석 기층, 모래 또는 사질점토의 보조기층으로 가정하여 각각의 상대강도계수를 산정하였다.

6.2 포장두께의 산정

6.2.1 설계두께의 산정

기층을 입상재료를 사용할 경우는 <표 703.5>와 같이 층별 소요 두께를 산정할 수 있고 기층을 B.B(Black Base)를 사용하는 경우는 <표 703.6>과 같이 층별 소요 두께를 산정할 수 있다.

<표 703.2> 지지력계수와 설계 차로당 ESAL 교통량값에 대응되는 소요 SN값

위 치	소요 지지력(SSV)	소요 SNi*	비 고
기층 상면	8.54	2.91	$SN_i^* = a_1D_1^*$
보조기층상면	6.92	3.5	$SN_2^* = a_1D_1^*+a_2D_2^*$
노상면	5.10	4.4	$SN_3^* = a_1D_1^*+a_2D_2^*+a_3D_3^*$

<표 703.3> 지역별 지역계수값

지 역	지역계수(R)
대전 이남	1.5
대전 이북~서울 이남	2.0
서울 이북 또는 표고 500m 이상	2.5

<표 703.4> 상대강도 계수의 산정

	층 재 료	상대강도계수(a_i)	비 고
표층(a_1)	A.C	0.40	MS > 500kg (750kg 경우)
기층(a_2)	쇄석기층 B.B	0.14 0.28	CBR > 80 MS > 350kg
보조기층(a_3)	강모래 + 자갈	0.086	CBR > 30

<표 703.5> 기층을 입상재료를 사용할 경우의 층별 소요 두께

층 구 분	층별 소요 SN(△SN*)	층별 소요 두께(D_i^*), inches	계 산
표 층	2.91	7.3 (19cm)	2.91 ÷ 0.40
기 층	0.59(3.5 - 2.91)	4.2 (11cm)	0.59 ÷ 0.14
보조기층	0.9(4.4 - 3.5)	10.5 (27cm)	0.9 ÷ 0.086

<표 703.6> 기층을 B.B를 사용할 경우의 층별 소요 두께

층 구 분	층별 소요 SN(△SN*)	층별 소요 두께(D_i^*), inches	계 산
표 층	1.45	3.6 (10cm)	1.45 ÷ 0.40
기 층	2.05(3.5 - 1.45)	7.3 (19cm)	2.05 ÷ 0.28
보조기층	0.9	10.5 (27cm)	0.9 ÷ 0.086

6.2.2 동결심도 산정

• 설계조건
- 노상토의 함수비(w_s) = 15%
- 기층의 함수비(w_b) = 5%
- r = 15/5 = 3.0이므로 r = 2.0
- 구조설계에 의한 포장단면(B.B층의 경우)
  표층 : 10 cm
  기층 : 19 cm
  보조기층 : 27 cm

• 수정동결 지수 산정

$$\text{수정동결지수}(℃\cdot\text{일}) = \text{동결지수} + 0.9 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

$$= 653 + 0.9 \times 60 \times \frac{138.7 - 77.1}{100}$$

$$= 686\ (℃\text{-일})$$

• 최대동결 관입깊이(a) 산정
- 수정동결지수와 동결관입깊이 상관관계 도표 <그림 702.4>~<그림 702.7>을 이용
- 수정동결지수 : 686 ℃-일
- 건조단위중량 γ_d : 1.84 t/㎥
- 함수비 : 15%
- 최대동결 관입깊이(a) : 90cm

적용측후소	지반고(m)	최대계획고(m)
인 천	77.1	138.7
동결지수 (℃-일)	동결기간 (일)	수정동결지수 (℃-일)
653	60	686

• 비동결성 재료층 두께(b) 산정
- 최대동결 관입깊이(a)에서 표층두께(p)를 제외한 값(c)과, 비동결성 재료층두께(b)와의 상관도표 <그림 702.8>로부터 산정

a = 90 cm
p = 10 + 19 = 29 cm
c = 61 cm
b = 40 cm
적용동결심도(p+b) = 69 cm

• 동상방지층 = 적용동결심도 - 포장두께(표층+기층+보조기층) = 69 - 56
= **13 cm** ≒ **15 cm**

6.2.3 설계두께 보정

기존의 단면설계에서는 양질의 동상방지층으로 인한 지지력의 증가를 고려하지 못한 비경제적인 설계방법을 고수해왔는데 본 편람에서는 이러한 문제점을 개선하고자 다음과 같은 설계 두께 보정 방법을 제안한다.

• 입상재료층의 CBR 값은 통상 30 정도이지만 입상재료를 사용하는 동상방지층의 CBR 값은 안정성을 고려하여 20을 적용하기로 한다. 동상방지층의 CBR 값은 정확한 실험 결과에 따른 기준치가 없으므로 향후 연구과제로 남겨두며, 당분간은 설계관계기관의 기술자 판단에 따르도록 한다.
이 방법은 동상방지층의 설치로 인한 노상의 지지력 증가를 실질적으로 고려하여 두께 설계에 반영하기 위함이다.

- 원지반의 노상 CBR 10과 동상방지층의 CBR 20을 식(702.7)에 적용하면 CBR은 11.2이며 지지력계수(SSV)는 <그림 702.15 >에 의해 <표 703.7>과 같이 5.62로 계산된다.
- 지역계수와 상대강도계수는 초기 설계값을 그대로 적용한다.

6.2.4 동상방지층 보정

• 설계조건은 앞절과 동일
- 노상토의 함수비(w_s) = 15%
- 기층의 함수비(w_b) = 5%
- r = 15/5 = 3.0이므로 r = 2.0
- 구조설계에 의한 포장단면(B.B층의 경우)
  표층 : 10 cm
  기층 : 19 cm
  보조기층 : 24 cm

• 수정동결 지수 산정

수정동결지수(℃ · 일)

$$= \text{동결지수} + 0.9 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

$$= 653 + 0.9 \times 60 \times \frac{138.7 - 77.1}{100}$$

$$= 686 \ (℃\text{-일})$$

• 최대동결 관입깊이(a) 산정
- 수정동결지수와 동결관입깊이 상관관계 도표 <그림 702.3>을 이용
- 수정동결지수 : 686 ℃-일
- 건조단위중량 γ_d : 1.84 t/㎥
- 함수비 : 15%
- 최대동결 관입깊이(a) : 90cm

<표 703.7> 수정 지지력계수와 설계 차로당 ESAL 교통량값에 대응되는 소요 SN값

위 치	소요 지지력(SSV)	소요 SNi^*	비 고
기층 상면	8.54	2.91	$SNi^* = a_1D_1^*$
보조기층상면	6.92	3.5	$SN_2^* = a_1D_1^*+a_2D_2^*$
동상방지층 상면	5.62	4.3	$SN_3^* = a_1D_1^*+a_2D_2^*+a_3D_3^*$

<표 703.8> 기층을 B.B를 사용할 경우의 수정된 층별 소요 두께

층 구 분	층별 소요 SN($\triangle SN^*$)	층별 소요 두께(Di^*), inches	계 산
표 층	1.45	3.6 (10cm)	1.45 ÷ 0.40
기 층	2.05(3.5 - 1.45)	7.3 (19cm)	2.05 ÷ 0.28
보조기층	0.8	9.3 (24cm)	0.8 ÷ 0.086

적용측후소	지반고(m)	최대계획고(m)
인 천	77.1	138.7
동결지수 (℃-일)	동결기간 (일)	수정동결지수 (℃-일)
653	60	686

• 비동결성 재료층 두께(b) 산정

- 최대동결 관입깊이(a)에서 표층두께(p)를 제외한 값(c)과, 비동결성 재료층두께(b)와의 상관도표 <그림 702.7>로부터 산정

a = 90 cm

p = 10 + 19 = 29 cm

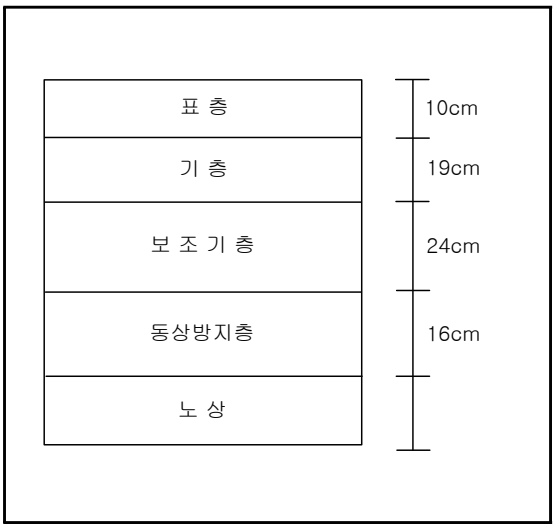
c = 61 cm

b = 40 cm

적용동결심도(p+b) = 69 cm

• 동상방지층 = 적용동결심도 - 포장두께(표층+기층+보조기층) = 69 - 53

= <u>16 **cm**</u>



• 보정된 설계 두께는 초기 설계값에서 보조기층 두께가 3cm가 줄고 동상방지층이 1cm가 늘어 결국 보조기층과 동상방지층의 단가만큼의 비용이 절감된다.

703.7 설계 예(2)

7.1 설계조건

7.1.1 년도별, 차종별 교통량

년도	AADT	승용차	버스		화물차			합계
			소형	보통	소형	중형	대형	
	구성비	0.4544	0.0993	0.0109	0.1455	0.1202	0.1697	1
2005	12,488	5,675	1,240	136	1,817	1,501	2,119	12,488
2006	13,180	5,989	1,309	144	1,918	1,584	2,237	13,180
2007	13,911	6,321	1,381	152	2,024	1,672	2,361	13,911
2008	14,681	6,671	1,458	160	2,136	1,765	2,491	14,681
2009	15,495	7,041	1,539	169	2,254	1,862	2,629	15,495
2010	16,293	7,404	1,618	178	2,317	1,958	2,765	16,293
2011	17,133	7,785	1,701	187	2,493	2,059	2,907	17,133
2012	18,015	8,186	1,789	196	2,621	2,165	3,057	18,015
2013	18,944	8,608	1,881	206	2,756	2,277	3,215	18,944
2014	19,920	9,052	1,978	217	2,898	2,394	3,380	19,920
2015	20,926	9,509	2,078	228	3,045	2,515	3,551	20,926
2016	21,984	9,989	2,183	240	3,199	2,642	3,731	21,984
2017	23,095	10,494	2,293	252	3,360	2,776	3,919	23,095
2018	24,261	11,024	2,409	264	3,530	2,916	4,117	24,261
2019	25,487	11,581	2,531	278	3,708	3,064	4,325	25,487
2020	26,787	12,172	2,660	292	3,897	3,220	4,546	26,787
2021	28,152	12,792	2,795	307	4,096	3,384	4,777	28,152
2022	29,587	13,444	2,938	322	4,305	3,556	5,021	29,587
2023	31,095	14,130	3,088	339	4,524	3,738	5,277	31,095
2024	32,680	14,850	3,245	356	4,755	3,928	5,546	32,680

7.1.2 차종별 8.2ton 등가단축하중 환산 교통량

년도	승용차	버스		화물차			합계	년교통량 ($\times 10^6$)	누가등가교통량($\times 10^6$)
		소형	보통	소형	중형	대형			
환산계수	0.0001	0.001	0.746	0.001	0.606	4.032			
2005	0.5675	1.2401	101.5471	1.8170	909.6602	8,544.8505	9,559.6824	3.4893	19.1955
2006	0.5989	1.3088	107.1737	1.9177	960.0635	9,018.3119	10,089.3746	3.6826	22.6848
2007	0.6321	1.3813	113.1121	2.0240	1,013.2597	9,518.0073	10,648.4164	3.8867	26.3674
2008	0.6671	1.4579	119.3795	2.1361	1,069.4034	10,045.3903	11,238.4342	4.1020	30.2541
2009	0.7041	1.5386	125.9942	2.2545	1,128.6579	10,601.9950	11,861.1443	4.3293	34.3561
2010	0.7404	1.6179	132.4860	2.3707	1,186.8117	11,148.2597	12,472.2863	4.5524	38.6854
2011	0.7785	1.7013	139.3123	2.4928	1,247.9618	11,722.6706	13,114.9173	4.7869	43.2378
2012	0.8186	1.7889	146.4903	2.6212	1,312.2627	12,326.6778	13,790.6596	5.0336	48.0248
2013	0.8608	1.8811	154.0382	2.7563	1,379.8766	12,961.8063	14,501.2193	5.2929	53.0583
2014	0.9052	1.9780	161.9750	2.8983	1,450.9744	13,629.6596	15,248.3905	5.5657	58.3513
2015	0.9509	2.0780	170.1597	3.0448	1,524.2928	14,318.3734	16,018.8996	5.8469	63.9170
2016	0.9989	2.1830	178.7579	3.1986	1,601.3161	15,041.8882	16,828.3428	6.1423	69.7638
2017	1.0494	2.2933	187.7907	3.3603	1,682.2315	15,801.9626	17,678.6877	6.4527	75.9062
2018	1.1024	2.4092	197.2798	3.5300	1,767.2355	16,600.4440	18,572.0010	6.7788	82.3589
2019	1.1581	2.5309	207.2485	3.7084	1,856.5348	17,439.2730	19,510.4538	7.1213	89.1377
2020	1.2172	2.6599	217.8124	3.8974	1,915.1664	18,328.1902	20,504.9436	7.4843	96.2590
2021	1.2792	2.7955	228.9147	4.0961	2,050.6216	19,262.4175	21,550.1246	7.8658	103.7433
2022	1.3444	2.9380	240.5830	4.3049	2,155.1461	20,244.2643	22,648.5808	8.2667	111.6091
2023	1.4130	3.0877	252.8460	4.5243	2,264.9986	21,276.1580	23,803.0276	8.6881	119.8758
2024	1.4850	3.2451	265.7342	4.7549	2,380.4504	22,360.6495	25,016.3191	9.1310	128.5639

7.1.3 차로당 누계 등가교통량(ESAL)

예정공용 개시 후 설계차로 교통량 및 8.2 ton 환산누계 교통량은 다음 표와 같다.

포장형식	계획년도	일교통량 (대/일)	환산누계 교통량 (× 10^6)	설계차로 교통하중 DTN (× 10^6)	비 고
아스팔트	2024년	32,680	128.5639	63.6391	

DTN = 환산누계 교통량 * 0.55 * 0.9 (방향분배계수 : 0.55, 차로분배계수 : 0.9)

7.1.4 지역계수

지역계수는 <표 703.3>에서 '대전 이북~서울 이남'의 경우로 2.0을 적용한다.

7.2 포장두께의 산정

공용식에 의한 포장두께 산정결과는 다음과 같다.

$$\log_{10}(W_{18}) = 9.36\times\log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}[\frac{4.2-Pt}{4.2-1.5}]}{0.40+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + \log_{10}(\frac{1}{R}) + 0.372\times(SSV-3.0)$$

$W_{8.2}$: 분석기간 동안 예상되는 8.2톤 누적 등가 단축하중

Pt : 최종 공용성 지수

SSV : 지점의 노상지지력 값
(노상 : 5.62, 보조기층 : 7.8)

W = $128.5639\times10^6\times Dd\times DL=63.6391\times10^6$

∴ log W = 7.804

SN_3 = 5.77, SN_2 = 4.42 일때

log W′ = 7.804 OK!

동상방지층의 설계 및 경제적인 보완방법은 '703.6 설계 예(1)'을 참고한다.

구 분	상대강도계수	두께 inches/(cm)	20년		비 고
			소요SN	설계SN	
표 층	0.40	4 / (10)		1.6	
기 층	0.28	10.4 / (26)		2.9	
소 계		14.4 / (36)	4.42	4.5	
보조기층	0.086	17.4 / (44)		1.5	
계		31.8 / (80)	5.77	6.0	

704
콘크리트 포장

704.1 개요

본 장에서는 콘크리트 포장에 관한 설계법을 제시하였다. 먼저 콘크리트 포장의 구조, 포장층의 구성에 대한 소개를 하였고 길어깨 포장, 연결로 포장, 다음으로 줄눈 설계에 대한 내용이 있으며 끝으로 '81 AASHTO 설계지침을 적용한 콘크리트 포장 구조설계의 실례를 제시하였다.

콘크리트 포장에 대한 '86 AASHTO 지침을 국내설계에 그대로 적용하기에는 현실적으로 여러 가지 입력변수 등이 한국 실정에 맞도록 정립되지 않았기 때문에 어려운 점이 있으므로, 본 편람에서는 AASHTO 잠정지침('81년 개정판)을 기준으로 하였다. 다만 연속철근 콘크리트 포장의 경우에는 '86 AASHTO 지침을 기준으로 하였다.

콘크리트 포장의 종류로는 횡방향 줄눈과 보강 철근의 유무 및 형식에 따라 무근 콘크리트 포장(JCP ; Jointed Concrete Pavement), 철근콘크리크 포장(JRCP ; Jointed Reinforced Concrete Pavement), 연속 철근콘크리트 포장(CRCP ; Continuously Reinforced Concrete Pavement) 등으로 나뉜다. 그 외 프리스트레스 포장(PCP ; Prestressed Concrete Pavement) 로울러 다짐 콘크리트 포장(RCCP ; Roller Compacted Concrete Pavement)도 있으나 아직 연구, 개발 단계에 있다. 특히 프리스트레스 포장(PCP)은 상당한 시공기술을 요구하므로 외국에서도 공항의 활주로 등 일부에서만 사용되고 있는 실정이다.

따라서 본 장에서는 현재 국내에서 사용중인 무근 콘크리트 포장에 대한 설계를 중심으로 다루었다.

704.2 콘크리트 포장의 종류

2.1 무근 콘크리트 포장(JCP)

무근 콘크리트 포장은 다웰바나 타이바를 제외하고는 일체의 철근 보강이 없는 포장형태로서, 일정한 간격의 줄눈을 둠으로써 균열의 발생 위치를 인위적으로 조절하고, 필요에 따라 줄눈부에 다웰바를 사용하여 하중전달을 돕기도 한다.

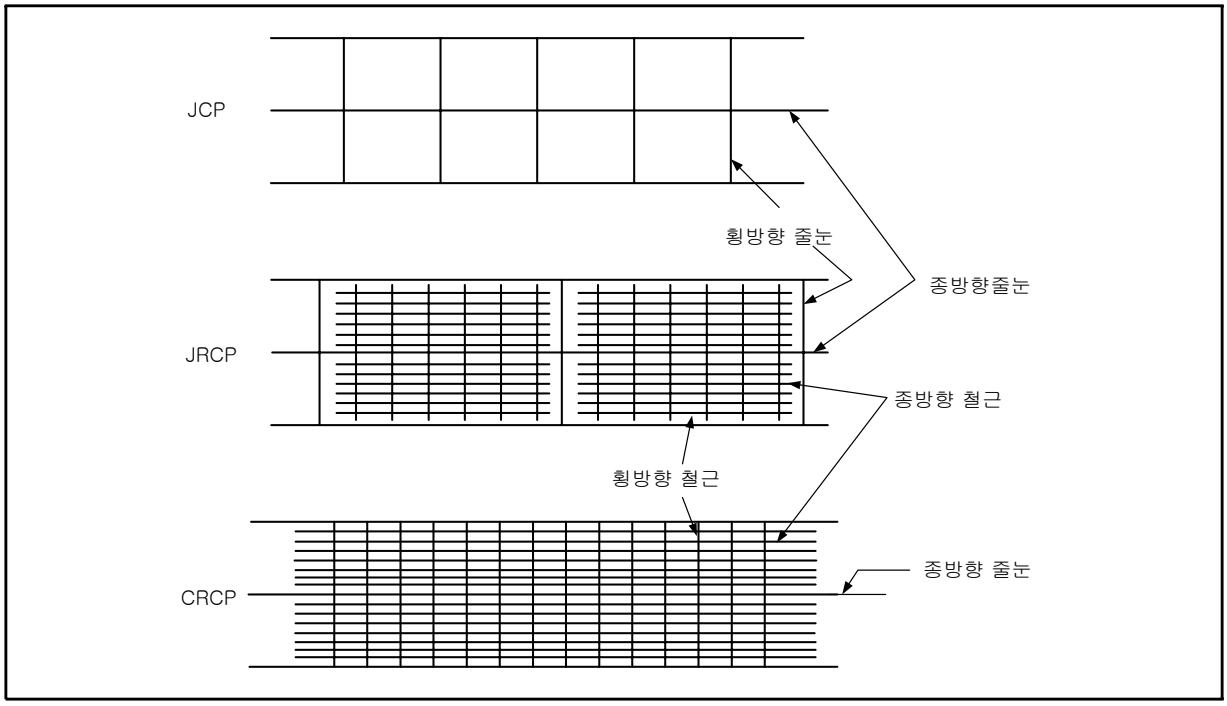
무근 콘크리트 포장에서는 줄눈 이외의 부분에서는 균열 발생을 허용하지 않는다. 그 이유는 철근 보강이 없으므로 줄눈부 외에 발생한 균열이 과대하게 벌어지는 것을 막을 수가 없기 때문이다. 그리고 콘크리트 슬래브와 보조기층 사이에 분리막을 설치하는데, 이는 마찰력을 줄임으로써 온도변화 및 건조수축에 의한 콘크리트 슬래브의 움직임을 억제하는 구속력을 감소시킨다. 구속력이 줄어 들면 콘크리트에 발생되는 응력도 줄어들고 따라서 균열의 발생도 줄일 수 있다.

무근 콘크리트 포장은 시간이 경과함에 따라 줄눈부위의 파손(단차, 우각부 균열, 펌핑 등)으로 승차감의 저하를 초래할 수 있으며, 필연적으로 많은 줄눈을 사용하게 되는데 이러한 줄눈으로 인한 문제점을 감소시키기 위하여 고안된 포장의 형태가 철근 콘크리트 포장(JRCP)이다.

철근 콘크리트 포장은 줄눈의 개수를 감소시키는 대신 줄눈 이외의 부분에서 발생되는 균열을 어느 정도 허용하는데, 이렇게 발생된 균열들이 과대하게 벌어지는 것을 방지하기 위하여 일정량의 종방향 철근을 사용하는 포장의 형태이다. 철근 콘크리트 포장의 경우 무근 콘크리트 포장에 비해 줄눈의 수가 줄어들긴 하지만, 줄눈 부위에서 발생하는 문제점을 여전히 안고 있다.

2.2 연속 철근콘크리트 포장(CRCP)

연속철근 콘크리트 포장은 횡방향 줄눈을 완전히 제거한 포장의 형태로서, 균열의 발생을 허용하고 상당량(콘크리트 단면적의 0.5~0.7%)의 종방향 철근을 사용하여 균열틈의 벌어짐을 억제하는 포장의 형태이다. 연속철근 콘크리트 포장은 가능한 한 온도변화 및 건조수축에 의한 콘크리트 슬래브의 움직임을 막아야 하므로 콘크리트 슬래브와 보조기층 사이에 분리막을 사용하지 않는다. 연속철근 콘크리트 포장은 줄눈이 없으므로 승차감이 좋고 포장 수명도 다른 포장형태보다 길기 때문에 세계적으로 각광을 받고 있으나, 콘크리트의 품질관리 등 고도의 숙련기술이 필요하다. <그림 704.1>은 이상의 콘크리트 포장의 유형을 도식화하여 나타낸 것이다.



<그림 704.1> 콘크리트 포장 구조의 종류(2차로 도로)

704.3 구조 설계

3.1 개요

콘크리트 포장은 <그림 704.2>와 같이 콘크리트 슬래브, 보조기층, 노상으로 구성되어 있있다. 국내 고속도로의 경우에는 보조기층 재료로 입상재료 대신에 린콘크리트를 이용하고 하부에 동상방지층을 두고 있다.

설계절차는 콘크리트 슬래브(PCC ; Portland Cement Concrete)의 두께를 결정하는 과정을 말한다. 또한 슬래브의 동일한 지지력을 확보하기 위한 보조기층의 처리 방안, 형태, 두께 결정에 관한 사항을 언급한다.

콘크리트 포장은 표층이 받는 하중을 기층 및 보조기층을 통해 넓게 분산시켜 노상층이 받는 하중을 줄여주는 아스팔트 포장과는 달리 콘크리트 슬래브의 휨 저항에 의해 대부분의 하중을 지지하는 포장이다. 그러므로 슬래브의 두께는 하중에 충분히 저항할 수 있을 정도로 하여야 한다. 또한 균열은 콘크리트 포장에서 필연적으로 발생하는데 이러한 균열을 줄눈의 설치로 발생위치를 인위적으로 조절하고 줄눈 부위를 다웰바나 타이바로 보강할 필요가 있다. 콘크리트 슬래브와 보조기층을 합한 총 두께가 동결 깊이보다 작은 경우에는 부족한 만큼 노상층의 상부에 동상방지층을 설치하여야 한다. 포장층(슬래브와 보조기층)이 동결 깊이보다 큰 경우는 따로 동상방지층을 둘 필요가 없다.

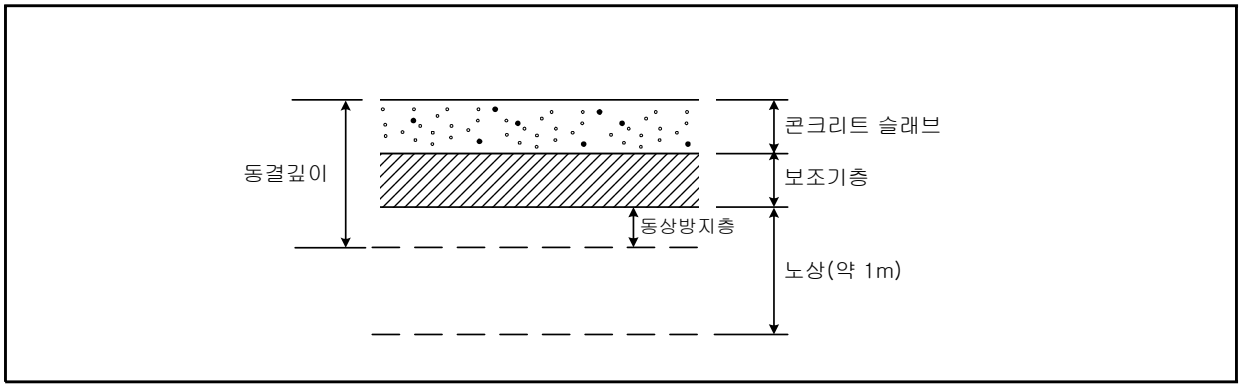
3.2 구조설명

3.2.1 콘크리트 포장 슬래브

포장 슬래브는 기본적으로 콘크리트 슬래브와 하중전달 장치, 줄눈재로 구성된다.

구성 재료는 공용기간 동안 받게되는 교통하중과 환경영향에 의한 손상을 충분히 지지할 수 있는 강도와 내구성을 가지는 것이어야 하며 '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙', '도로 포장 설계·시공지침'에서 정하는 규정에 부합되는 것이어야 한다.

콘크리트 슬래브의 강도특성은 소요 시험절차(KS F 2403 또는 KS F 2408)로써 얻어지는 휨강도를 기준으로 삼는다. 콘크리트 슬래브 재료에 사용하는 시멘트 종류의 선정은 콘크리트 휨강도를 크게하고, 수축이 적고, 조기 발열



<그림 704.2> 콘크리트 포장의 구성

량이 작게 하는 것을 선택하는 것이 바람직하다. 콘크리트 슬래브에 사용되는 시멘트는 한국산업 규격(KS L 5201)에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 보통 포틀랜트 시멘트가 많이 사용되며 이외에 주로 사용되어온 시멘트로 중용열 포틀랜드 시멘트를 들 수 있으나 별도로 주문을 해야하는 등 수급상의 문제로 인하여 현재는 거의 사용되지 않는다. 이와 관련하여 최근 연구결과들을 토대로 플라이애쉬 시멘트와 고로슬래그 시멘트의 사용이 검토되고 있다. 플라이애쉬 시멘트의 경우 유동성 확보에 유리하며 고로슬래그 시멘트의 경우 수화열의 저감이 가능하여 수축균열 억제가 가능하므로 하절기 공사에 유리하다. 아울러 두 종류의 시멘트 모두 장기강도 및 내구성 확보에 유리한 것으로 보고되고 있으며 현재 고로슬래그 시멘트는 고속도로 린콘크리트포장에 시험적용되고 있다.

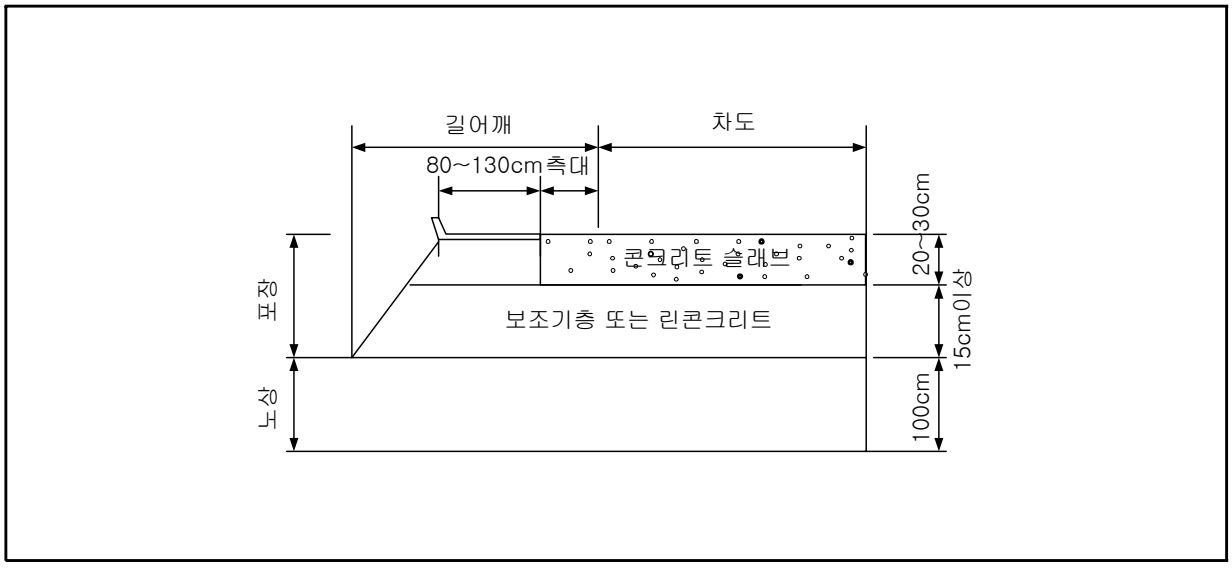
3.2.2 보조기층

콘크리트 포장 구조에서의 보조기층은 노상과 콘크리트 슬래브 사이에 놓이며 한 개 또는 그 이상의 입상재료나 안정처리 재료의 다짐작업으로 구성된다.

보조기층의 설치 목적은 다음과 같다.

(1) 안정적이고 지속적인 균등 지지력 확보
(2) 노상반력계수(k)의 증대
(3) 동상으로 인한 영향 경감
(4) 콘크리트 슬래브의 줄눈, 균열부에서의 펌핑 현상 방지
(5) 폴팅(faulting)과 균열의 감소
(6) 시공장비의 작업공간 제공

보조기층은 안정처리를 하거나 하지 않을 수 있으며 보조기층의 마무리 폭은 <그림 704.3>에서 보는 바와 같이 콘크리트 슬래브의 양측으로 각각 90cm 정도 더 넓게 한다. 그 이유는 다음과 같다.



<그림 704.3> 콘크리트 포장의 횡단면 구성(국도의 경우)

(1) 포장 단부, 측면 거푸집 및 슬립폼 페이버의 트랙 지지대 확보
(2) 팽창성 흙의 사용이나 동상현상에 의해 포장단부에 발생하는 불균일 팽창 방지
(3) 길어깨 포장에 대한 보조기층으로의 역할
(4) 표층의 평탄성 확보

보조기층 포설여유폭에 대한 각국의 확보기준은 <표 704.1>과 같다.

<표 704.1> 보조기층의 포설여유폭 비교

구 분	여유폭
PCA	0.6m 이상
영국 콘크리트 포장지침	슬립폼 : 1.00m 거푸집 : 0.35m
AASHTO	0.3～0.9m
일본콘크리트 포장요강	0.5m 이상
도로 포장 설계시공지침	0.5～1.0m

보조기층용 재료로는 입도조정쇄석, 입도조정 슬래그, 수경성 입도조정 슬래그, 시멘트 안정처리 재료 및 역청 안정처리 재료 등을 사용한다.

시멘트 안정처리 첨가재료에는 보통 포틀랜드 시멘트, 고로시멘트, 플라이애쉬 시멘트 및 실리카 시멘트 중 어느 한가지를 사용, 그 배합은 6일양생 1일 수침후의 일축압축 강도가 20kg/cm^2 가 되도록 결정한다.

보조기층에 입도조정쇄석 및 입도조정 슬래그 등의 입상재료를 사용하는 경우에는 최대입경을 40mm이하로 하고, 수정 CBR은 80이상, 0.425mm(No. 40) 체 통과분은 소성지수가 4이하이어야 한다. 수정 CBR과 소성지수가 규정에 합격하지 않는 재료에 있어서도 시험보조기층에 의한 지지력이 확인 가능한 경우 수정 CBR 이 45이상, 0.425mm(No. 40) 체 통과분의 소성지수가 6이하의 재료로서 사용이 가능하다. 또 이 경우에는 0.425mm(No. 40)체 통과량이 10%이하의 재료에는 소성지수가 10까지 사용이 가능하다.

포장구조의 만족할 만한 공용성을 확보하기 위해서는 노상 또는 보조기층의 위나 그 속에 물이 고이는 것을 방지해야 한다. 배수 목적상 필요할 경우는 보조기층을 포장 단부보다 50～100cm 밖으로 빼든가 비탈면까지 포설하도록 한다.

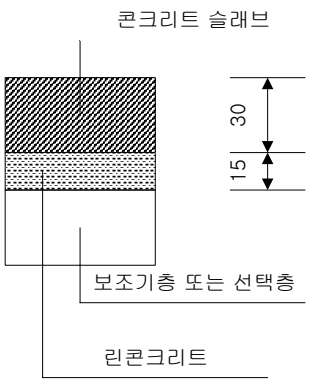
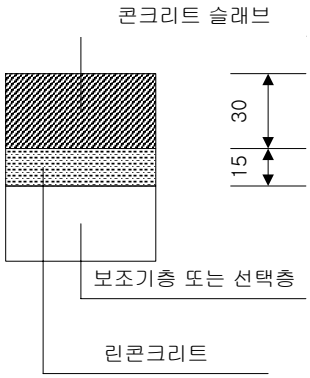
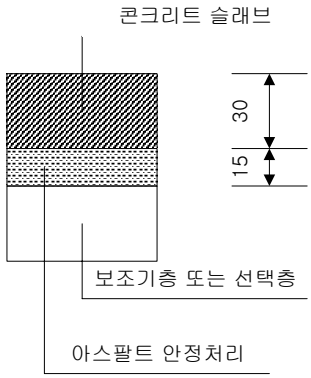
중간층으로는 린콘크리트 또는 아스팔트 처리층이 있으며 각 공법에 대한 비교가 아래 <표 704.2>에 제시되어 있다. 국내에서는 이들 공법중 공사비, 시공경험, 장비수급 측면에서 린콘크리트 건식공법을 선정하고 있다.

3.2.3 노상

노상은 포장층(슬래브와 보조기층)의 기초가 되는 흙의 부분으로 노상면 아래 약 1m 두께의 층을 말한다. 노상의 지지력은 평판재하시험 또는 CBR 시험에 의하여 판정하며 노상토의 설계 CBR이 2 이하인 경우에는 지지력 증가를 위해 연약지반 처리를 해야 한다.

노상이 깊이방향으로 토질이 다른 몇 개의 층을 이루고 있는 경우에는 '도로 포장 설계·시공 지침'의 제1편 2.4.4에 나타난 방법과 KS F2320에 준하여 노상면에서 깊이 1m까지의 평균설계 CBR을 구하여 그 지점의 설계 CBR로 한다.

<표 704.2> 보조기층 공법 비교

구분		Lean 콘크리트		아스팔트 안정처리
		습식	건식	
포장단면				
1)압축강도		σ_{bk} = 7.5kg/cm^2 이상	σ_{bk} = 7.2kg/cm^2 이상	-
2)시멘트량		150kg/cm^3	185kg/cm^3	-
3)혼 합		배치프랜트	노상혼합, 프랜트혼합	믹싱프랜트
4)혼화재		3% 이내	-	-
5)함수량		배합설계에 의함	골재+시멘트 혼합 중량의 6%	-
6)운 반		덤프트럭	덤프트럭	덤프트럭
7)포 설		슬립폼 페이버	휘니샤, 슬립폼페이버	휘니샤
8)다 짐		-	진동, 타이어, 텐덤로라	타이어, 텐덤, 머캐덤로라
9)양 생		피막양생제 살포 (10일 양생기간, 빙점이하 금지)	습윤상태	포설다짐후 즉시 교통개방
10)장단점	공사비	보통	저렴함	고가
	양생기간	길다	보통	짧다
	지지력	우수	보통	보통
	시공장비	슬래브와 동일장비 사용으로 공기연장 (B/P와 페이버 대수 추가 소요)	휘니샤 사용으로 장비 수급 용이	A/P 및 포설다짐 장비 추가 소요

3.3 설계 절차

3.3.1 기본 설계식

여기에서 제시되는 기본 설계식은 AASHO 도로시험에서 정립된 서비스 능력-공용성 개념('702.2 2.2 서비스 능력과 공용성' 참조)을 기초로 만들어진 경험적 공용 방정식으로서 다음과 같다.

$$\log_{10}(\overline{W}_{18}) = 7.35\times\log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{G_t}{1.0+\frac{1.624\times10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32P_t)\log_{10}\left[\left(\frac{S'_c}{215.63J}\right)\frac{[D^{0.75}-1.132]}{\left[D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K_c}\right)^{0.25}}\right]}\right]$$

여기서,

$\overline{W}_{18}$: 설계기간 동안의 8.2톤 등가단축하중(ESAL)의 설계 차로당 누가 통과횟수

P_t : 설계 최종 서비스 지수

J : 콘크리트 포장형식에 따른 연속성을 반영하는 하중전달계수

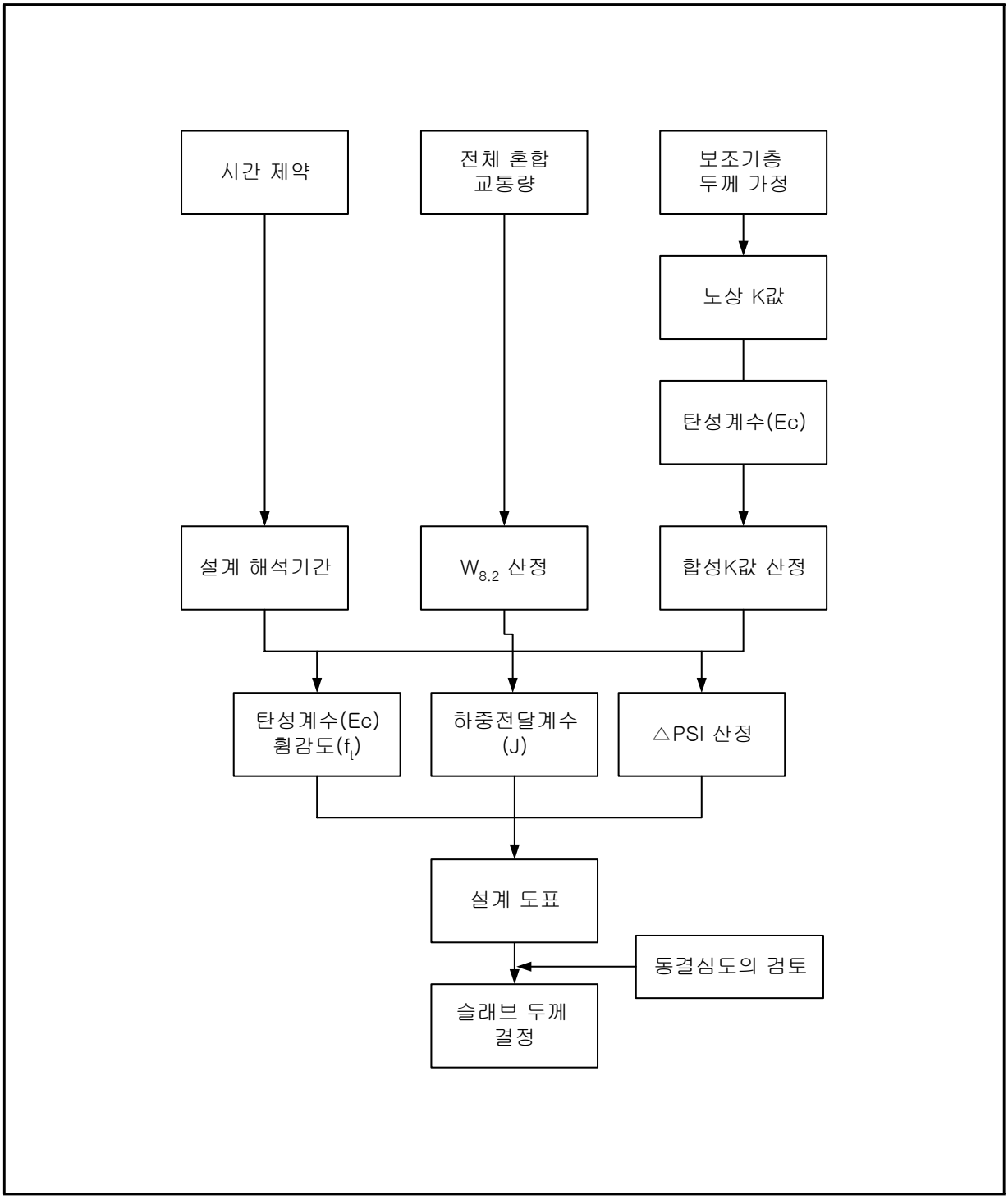
E_C : 콘크리트 슬래브 설계 탄성계수(psi)

K_C : 콘크리트 슬래브의 접속면에서의 노상반력계수(pci)

D : 포장 슬래브 두께(inches)

S'_c : 설계하고자 하는 콘크리트 휨강도(psi)

G_t : $\log_{10}\left(\frac{4.5-P_t}{4.5-1.5}\right)$로 표시되며, 임의 시점(최종서비스 지수를 가지는 시점)에 이어 P_t=1.5인 경우의 최대 서비스 능력 손실량에 대한 서비스 능력의 손실량 비율을 나타내는 함수



<그림 704.4> 콘크리트 포장설계 흐름도

위의 식 설계 과정에 필요한 입력변수의 산정은 702.2에서 제시한 산출 방식을 따르며 이렇게 산출된 값들을 다음 <그림 704.5> 또는 <그림 704.7>에 적용하거나 위에 제시된 식을 이용하여 슬래브의 두께를 구하며 경제성과 정책적인 조건에 따라서 콘크리트 슬래브와 보조기층 두께의 적정한 결합을 선택할 수 있다. 일반적으로 층두께는 cm 단위까지 구하며 구배를 조절할 수 있는 슬립폼 페이버(slip form paver) 포설을 고려하여 1cm 정도의 증감이 허용된다.

(1) 콘크리트 포장설계 제 1방법

(가) 개요

본 설계법은 AASHO 도로시험에 의해 얻어진 자료에 근거를 둔 것으로 보다 간단히 설계할 수 있도록 설계기본식에 서비스지수(Pt)를 2.5, 하중전달계수(J)를 3.2로 고정시켜 설계변수의 항을 줄임으로서 일반식을 좀더 간략화 시킨 것으로 콘크리트 포장슬래브 두께산정을 위하여 식(704.1) 또는 <그림 704.5> 도표를 이용한다.

(나) 기본가정

① AASHTO 도로시험의 결과에 따라 포장두께 설계의 기본방정식을 유도하였으며, 이 방정식은 서비스 수준 감소, 교통량 및 포장두께간의 함수관계를 나타내고 있다. 여기서 서비스 수준 감소는 서비스 지수(PSI)의 감소로 나타내고 교통량을 등가 18kips(8.2톤) 축하중으로 변환해야 하며, 포장두께는 콘크리트 슬래브의 두께로 나타낸다.

② 도로 하부층의 특성은 노상반력계수(K)를 사용하여 나타낸다.

③ 다양한 크기의 작용하중을 등가 8.2톤 단축하중으로 변환시켜 나타낸다.

④ 2년간에 걸쳐 실시한 도로시험결과를 포장수명 전체에 연장시켜 적용한다.

⑤ 슬래브의 특성은 허용응력과 탄성계수로 나타낸다.

(다) 콘크리트 포장설계

제 1방법으로 슬래브 두께 산정에 필요한 입력변수는 다음과 같다.

- 최종서비스 지수(P_t)
- 설계기간동안 예상되는 총 교통량($W_{8.2}$)
- 노상반력계수(K)
- 콘크리트 허용응력(f_t)
- 콘크리트 탄성계수(E_C)

① 노상반력 계수

노상반력계수는 평판재하시험(AASHTO T222)으로 산출하거나 다른 관계식으로부터 산출할 수 있다.

② 콘크리트의 물성

AASHTO 규정 T-97에 따라 삼분점하중시험으로 구한 재령 28일의 휨강도를 파괴강도(S_c)로 취한다. 참고로 AASHTO 도로시험에서의 28일 휨강도는 48.6kg/cm^2(690psi)이며, 현재 국내에서 적용하고 있는 재령 28일의 설계기준 휨강도는 45kg/cm^{2}이상(640psi)이다.

허용응력은 설계기준 휨강도를 기준으로 안전율(C)를 사용하여 아래 식(704.1)을 이용하여 산출한다.

$$f_t = S_c / C \quad \text{.....(704.1)}$$

여기서,

S_c : 재령 28일에서의 휨강도(kg/cm^2)

C : 안전율, C 값이 클수록 설계의 신뢰도는 높아지며 보통 1.33(75%)을 취하고 특별한 경우 2.0까지 취할 수 있다.

③ 탄성계수

콘크리트 탄성계수는 압축강도시험에 의해 구한 값을 사용한다.

AASHO 도로시험에서 사용한 콘크리트 탄성계수는 4.2×10^6(psi)이다.

④ 슬래브 두께 결정

콘크리트 슬래브 두께는 위에서 정한 입력변수를 <그림 704.5>에 입력하여 결정한다.

계산상 일반 도로에서는 슬래브의 두께가 20cm(8inch) 이하로 되는 경우에는 특별한 주의를 기울여야 하며, 되도록 20cm 이상으로 하는 것이 좋다.

20cm 이하의 설계는 교통량이 작은 지방도로에 적용하는 것이 좋다.

(2) 콘크리트 포장설계 제 2방법

(가) 개 요

제 2방법은 제 1방법에 다른 설계변수의 영향을 고려한 것으로 기본적인 제한 조건, 가정 및 지침사항 등은 제 1방법과 동일하다.

제 2방법도 AASHO 도로시험에 의한 설계 기본방정식에 근거한 것으로 보조기층의 두께, 포장 슬래브 두께, 포장 슬래브의 철근보강 및 줄눈부 조건 등을 고려하여 수정한 것이다.

제 2방법의 설계과정을 요약하면 다음과 같다.

① 포장 및 보조기층 형태 선정
② 노상과 보조기층의 유효 지지력을 고려한 보조기층 상부의 복합 K치(composite K-value) 결정
③ 복합 K치에 의한 포장 슬래브 두께 결정
④ 슬래브 규격 결정
⑤ 철근이 필요한 경우 철근량 결정

(나) 보조기층 설계

복합 K값은 보조기층의 탄성계수와 노상의 반력계수를 이용하여 <그림 704.6>으로부터 산정한다. 보조기층의 두께는 설계자의 경험, 현장조건 및 요구조건 등을 고려하여 결정한다.

<그림 704.6>의 도표를 이용하기 위해서는 선택된 보조기층의 강성율을 알아야 하며 <그림 704.6>을 이용하여 복합 K치를 산정하는 방법은 다음과 같다.

① 보조기층의 강성율을 결정하여 수직측 하단에 표시된 보조기층 두께에서 결정된 강성율 곡선까지 수평선을 긋는다.
② 이 수평선과 강성율 곡선이 만나는 점에서 상단에 그려진 노상 종류별 사선중 적당한 노상계수를 갖는 사선을 선택해 수직선을 긋는다. 노상계수가 <그림 704.6>에 표시된 값 이외의 값을 가질 경우는 내삽보간법을 사용한다.
③ 이때 만나는 점에서 수평으로 선을 그어 수직축과 만나는 점이 복합 K치(composite K-value)를 나타낸다. <그림 704.6>에 의해 구해진 K값으로 슬래브 두께를 결정한다. 펌핑(pumping), 부식현상

및 압밀도에 의한 지지력 감소를 고려해야 하는데 이에 대해서 특별히 규정된 방법이 없지만 경험 등으로 미루어 예상감소치를 반드시 고려해야 한다. 비안정처리 입상재료를 사용하거나 또는 포장을 바로 노상위에 설치하는 경우 반드시 K치의 감소를 고려해야 하며, 첨가제를 사용하여 보조기층을 안정처리한 경우에는 고려하지 않아도 무방하다.

(다) 포장 슬래브 두께 산정

포장두께 설계과정은 AASHTO 기본식과 이론식을 취합시킨 것으로 포장의 서비스 수준개념이 이 설계의 기본적인 요점이다. <그림 704.7>은 제 2방법을 도표로 나타낸 것으로 아래 사용된 각 축의 내용은 다음과 같다.

① 등가 8.2톤 단축하중수(scale 1)
② 최종서비스 지수(scale 2)
③ 하중 전달계수(sclae 3)
④ 콘크리트 허용응력(sclae 4)
⑤ 콘크리트 탄성계수(scale 6)
⑥ 복합 k치(scale 7)

Scale 1, 2, 3, 4의 각각에 결정된 값을 가진 점의 위치를 취한다. 다음 scale 1상의 결정된 점에서 scale 2상의 점으로 선을 그어 전환선(turning-line) 1과 만나는 점을 구한다. 같은 방법으로 전환선 2상의 점을 구한다. 그 다음 scale 6과 7상의 점을 서로 연결하여 전환선 4와 만나는 점을 구한 다음, 이 점과 전환선 3상에 구해진 점을 연결할 때 scale 5와 만나는 점이 슬래브의 두께이다.

(라) 콘크리트 재료 특성

설계에 필요한 콘크리트 재료 특성은 탄성계수, 휨강도 및 인장강도이다. 여기서 탄성계수와 휨강도는 포장 두께의 산정에 사용되며, 인장강도는 철근량 산정에 사용된다. 설계과정에서는 휨강도와 인장강도를 허용응력으로 바꾸어야 한다.

콘크리트의 탄성계수는 정역학적 압축시험(ASTM C469)에 의해 구한 값을 사용하며 계산에 사용되는 평균값은 4,200,000psi 이며, 이는 AASHTO 도로시험의 기본 방정식 유도에 쓰인 값이다.

허용응력(working stress)은 AASHTO 도로시험에서 사용한 값과 달리 잡을 수 있으며, 이에 따라 포장두께를 조정할 수 있다. AASHO 도로시험에 사용된 콘크리트의 평균 휨강도는 690psi(재령 28일)이다.

허용응력은 아래의 식(704.2)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$f_t = \frac{\overline{S}_c}{F_s} \quad \text{또는} \quad f_t = \overline{S}_c - c\, f_c \quad \text{.....(704.2)}$$

여기서,

f_t : 허용응력

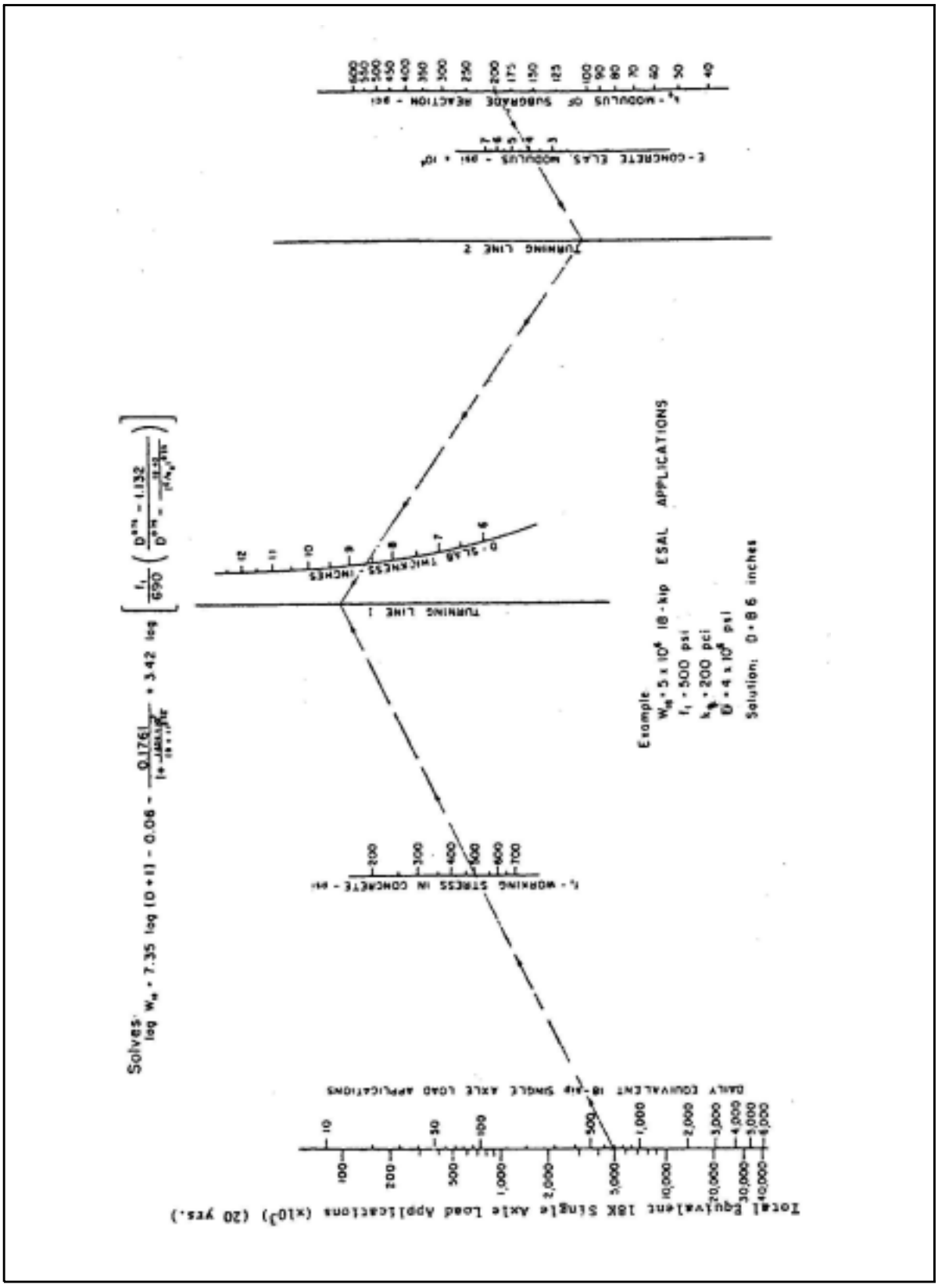
$\overline{S}_c$: 여러 실험치로 산출한 평균휨강도

F_s : 설계안전율

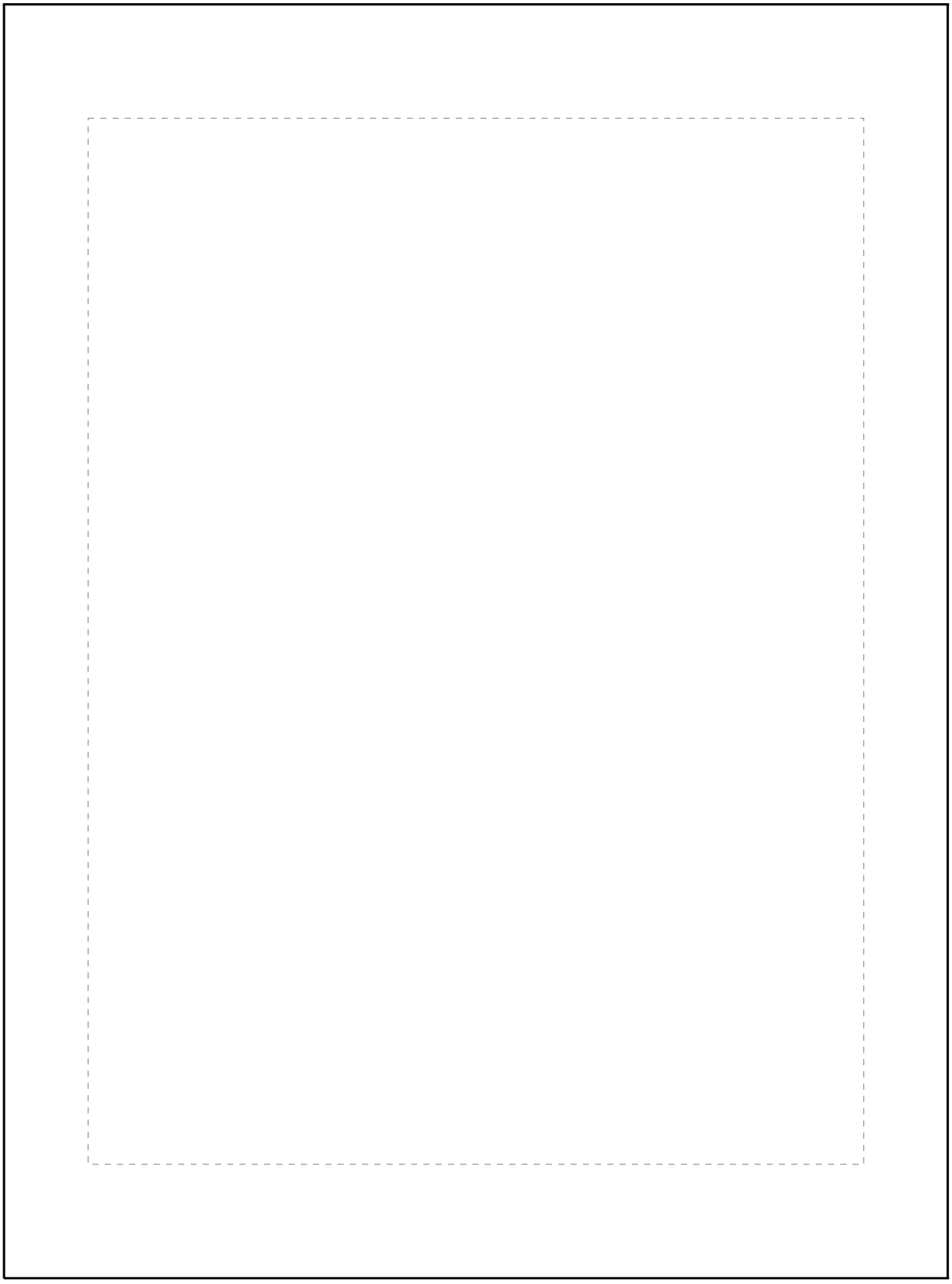
(전술 안전율과 동일, 보통 1.33을 취함)

c : <표 704.3>에 규정된 설계 신뢰도

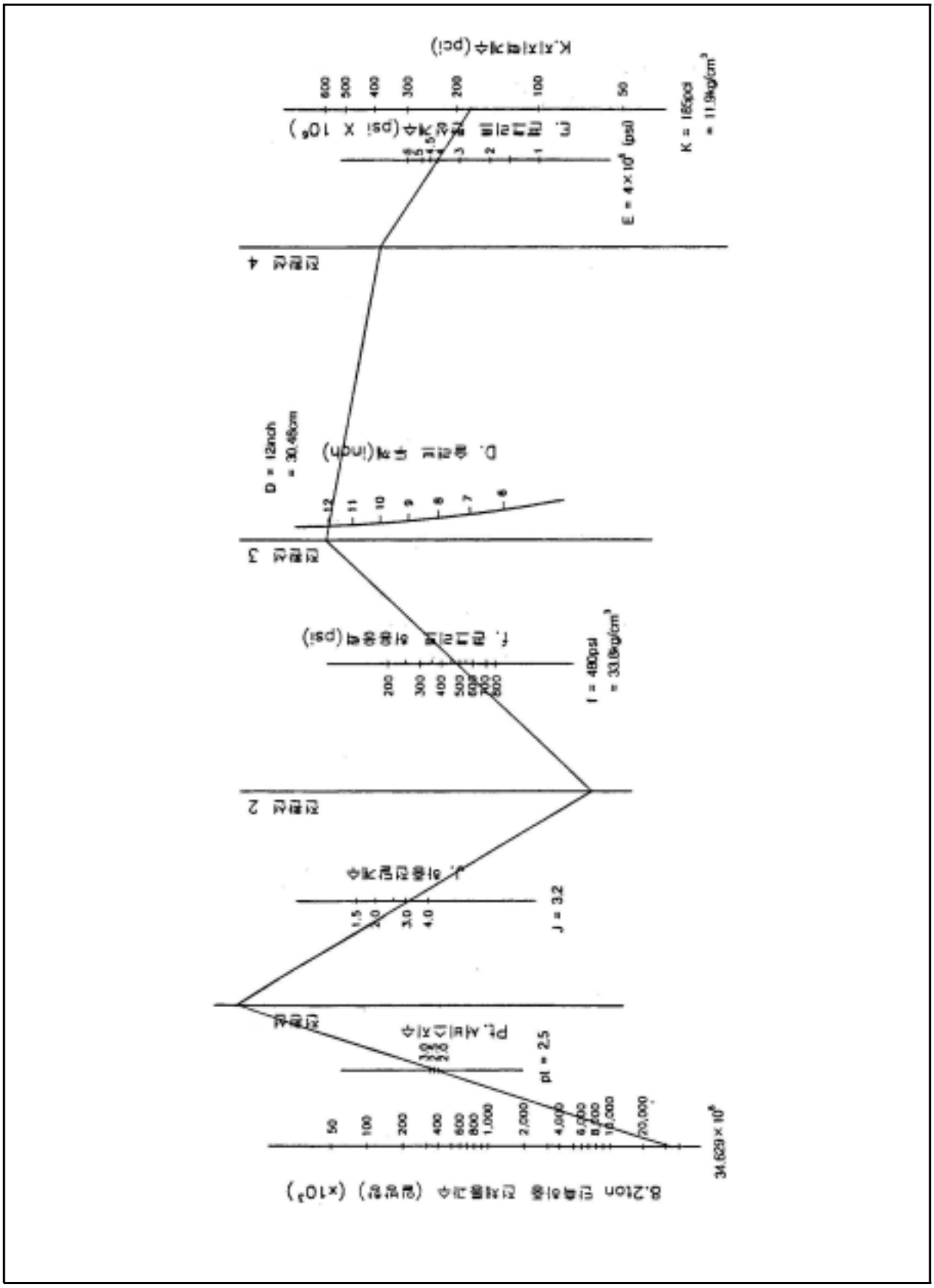
f_c : 휨강도 시험의 표준편차



<그림 704.5> 콘크리트 포장설계를 위한 설계도표(1)



<그림 704.6> 복합 K치(composite K-value) 산정 도표



<그림 704.7> 콘크리트 포장설계를 위한 설계도표(2)

<표 704.3> 설계 신뢰도

신뢰도(%)	c
75	0.676
80	0.842
85	1.037
90	1.282
95	1.645
99	2.326

<표 704.3>의 c 값은 설계치 이하의 값을 나타낸 실험횟수의 상관수를 의미하는 것으로 예를 들어 c가 1.645인 경우는 설계치 이하의 값을 나타낸 실험횟수가 전체 횟수의 5% 정도라는 뜻이다. 휨강도의 표준편차는 약 40에서 125psi 사이에 있으며 이는 시공상태에 따라 다르다.

연속 철근 콘크리트 포장에서는 콘크리트 인장강도를 이용한다. 콘크리트 인장강도는 할렬인장시험(split tensile testing, AASHTO T-198)으로 직접 산출 할 수 있으며 이는 연속철근 콘크리트 포장(CRCP)의 경우 값이 클수록 소요 철근량은 증가한다.

인장강도의 경우 재령 7일의 강도를 취하는데 이는 기본적인 균열상태가 포장수명 중 첫 일주일 동안에 형성되기 때문이다.

허용 인장응력은 식(704.3)을 이용하여 산출한다.

$$f = S_t - c\ f_t \quad \text{.....(704.3)}$$

여기서,

S_t : 인장강도 평균치

f_t : 인장강도의 표준편차

c : 설계신뢰도(전술과 동일)

f : 허용 인장응력

(마) 철근량 산정

소요 철근량은 포장형태 및 규격에 따라 달라진다. 여기서는 산정방법을 줄눈을 사용한 철근 콘크리트 포장(JRCP)과 연속철근 콘크리트 포장(CRCP)으로 분류하여 설명한다. 철근량 산정에서 가로 방향 철근은 포장형태에 상관없이 같은 방식으로 산출한다.

① 줄눈철근 콘크리트 포장

철근 배치 목적은 균열자체를 방지하는데 있는 것이 아니라 발생된 균열의 벌어짐을 최소로하여 하나의 균일체로 유지하는데 있다. 슬래브는 온도의 하강이나 함수비 등의 감소에 의해 수축되는 경향이 있으며 이러한 수축작용은 노상과 슬래브간의 마찰과 철근에 의해 구속되어 인장응력이 발생하게 된다. 이 인장응력이 콘크리트의 인장강도보다 크게될 경우 균열이 발생하게 되는데 철근의 역할은 이렇게 발생된 균열이 과도하게 벌어짐을 막아준다.

보통 최대응력은 슬래브의 중앙부에서 발생

하며 철근량도 여기에 준하여 계산한다.

<그림 704.8>은 주어진 조건하에서 소요철근량을 산정하는 방법을 도해로 나타낸 것이며 여기에 사용되는 계수의 값을 각 sclae 별로 찾아서 서로 연결시켜 철근량을 구한다. 이때 사용되는 계수는 다음과 같다.

- 줄눈간의 거리(scale 1)
- 보조기층의 마찰계수(scale 2, <표 704.4>참조)
- 철근의 허용응력(scale 4)

줄눈철근 콘크리트 포장의 소요철근량 산정 도해표인 <그림 704.8>의 사용법은 다음과 같다.

먼저 scale 1과 2상의 점을 연결하여 기준선(pivot line)과 만나는 점을 구하고 이 점과 scale 4상의 점을 연결할 때 scale 3과 만나는 점이 소요 철근량이 된다. 또한 이 도해표는 횡방향의 소요 철근량을 계산하는데도 사용할 수 있다. 따라서 타이바의 규격 및 간격도 이 도표로써 구할 수 있다.

② 연속철근 콘크리트 포장

연속철근 콘크리트 포장에서 철근배근의 목적은 포장에 발생하는 균열틈을 최소로 억제하는데 있다. 종방향 철근의 최소 철근비는 0.6%이어야 하며 계절적 온도변화가 큰 지역과 혹한 지역일 경우는 0.7%로 취하도록 한다. 보강철근은 이형철근이나 또는 용접 철근망(이형철근)을 사용하여야 한다.

철근의 규격 및 간격은 <그림 704.9>를 이용하여 결정한다. 여기에 사용된 요소는

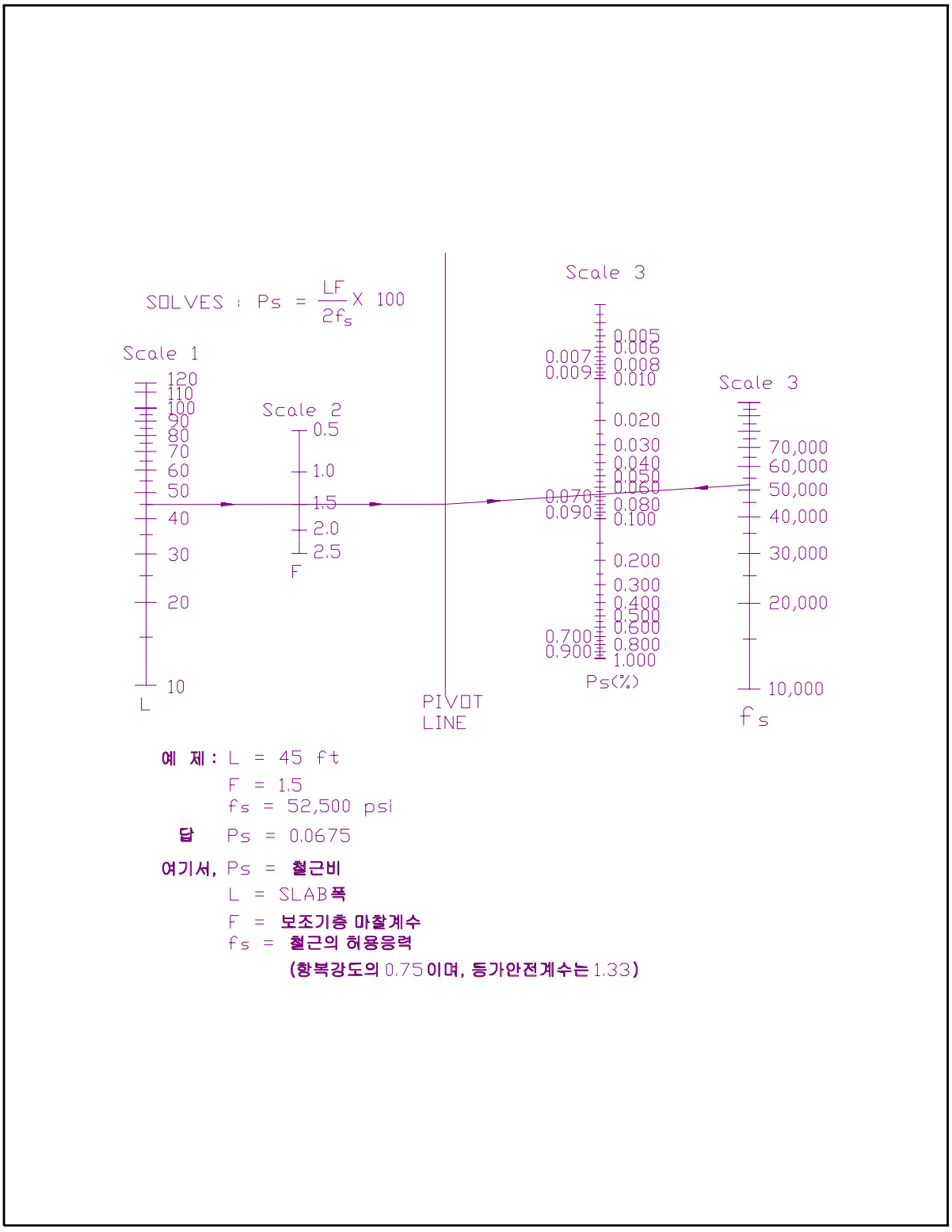
- 철근비(scale 1)
- 포장두께(scale 2)
- 철근 규격(scale 3)

이 있으며 사용법은 다음과 같다.

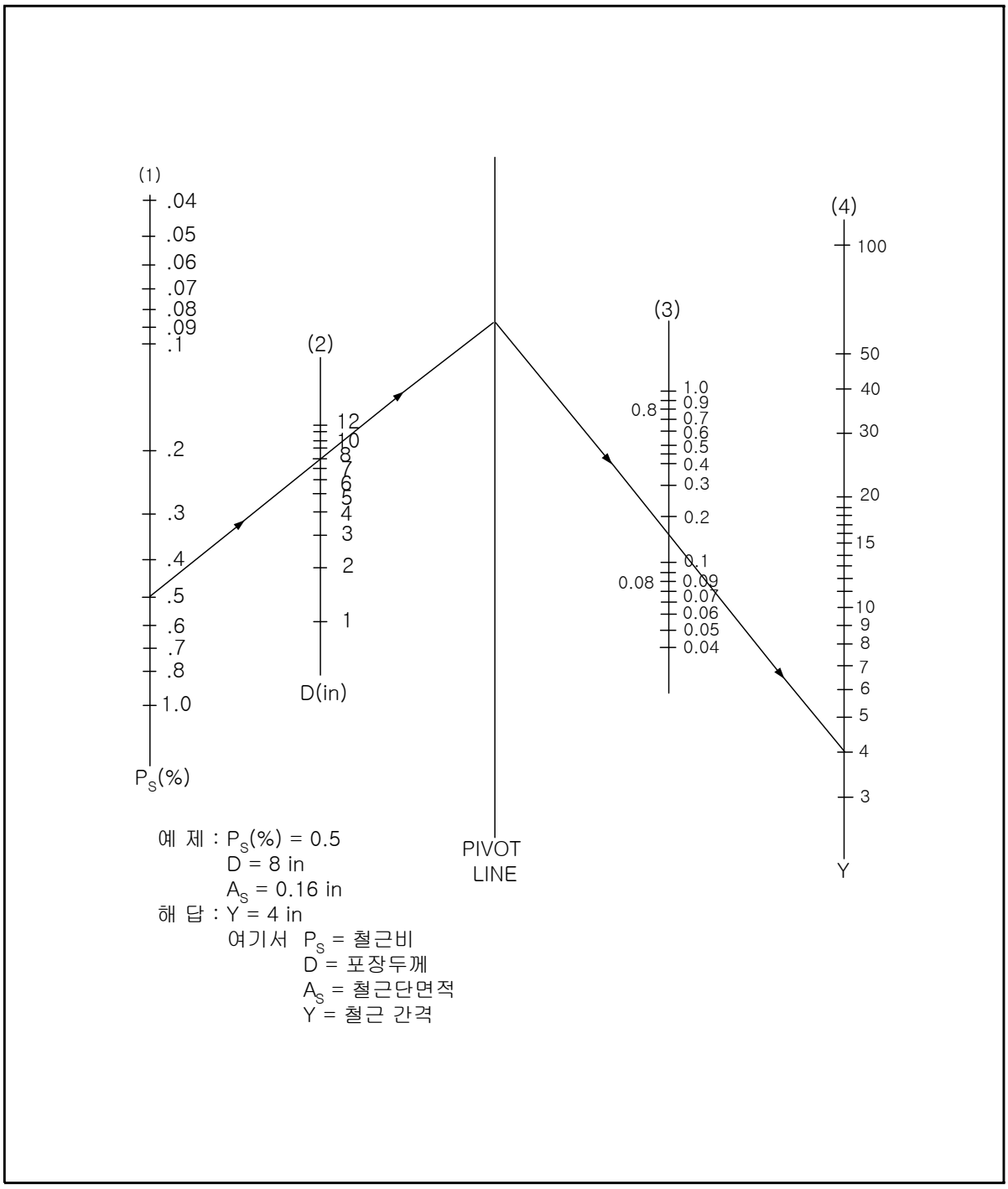
scale 1과 2상의 점을 연결하여 기준선(pivot line)과 만나는 점을 구하여 이점에서 scale 3을 통과하여 scale 4와 만나는 점이 철근간격을 표시한다. <그림 704.9>를 이용하여 간격을 먼저 정하고 난 뒤 철근의 규격을 결정할 수도 있다.

<표 704.4> 보조기층재에 따른 마찰계수

보조기층재	마찰계수
표 면 처 리	2.2
석 회 안 정 처 리	1.8
아스팔트 안정처리	1.8
시 멘 트 안정처리	1.8
강 자 갈	1.5
쇄 석	1.5
사 암	0.2
자 연 노 상	0.9



<그림 704.8> 줄눈철근 콘크리트 포장의 소요철근량 산정 도해표



<그림 704.9> 철근 규격 및 간격 산정도표

704.4 길어깨 포장의 설계

길어깨 포장의 설계에 관한 내용은 본 편람 '703.4 길어깨 포장의 설계' 편을 참고한다.

704.5 연결로 구간의 설계

연결로 구간의 포장형식을 선정함에 있어서는 콘크리트 포장의 초기 건설비용과 연결로 구간에 설치할 경우의 슬래브 길이 제약, 유지보수 비용, 이로 인한 교통지체 비용 등에 대한 고려가 있어야 한다.

배수문제는 본선뿐이 아니라 연결로 구간에서도 매우 중요한 문제이다. 특히 평지교차로와 연결로가 만나는 부근의 배수문제에는 특별한 주의가 필요하다. 배수시스템을 도입할 경우에는 비용-효과적인 측면을 고려하며 지역의 특성, 연결로의 특성에 적절한 배수시스템의 도입이 필요하다. 또한 도시계획상의 관개사업 등으로 인한 배수문제의 발생은 펌핑이나 포장의 손상을 가져올 수도 있어 이에 대한 주의가 필요하다.

연결로 구간의 포장 두께 설계는 교통수요예측에 따른 교통량을 근거로 본선과 동일하게 포장을 설계하며 다음의 캘리포니아 예는 설계예로 참고하도록 한다.

미국 California 주에서 제시하는 연결로 구간의 도로 포장 설계에 관한 내용은 다음과 같다.

중차량의 통행 및 교통체증이 예상되는 연결로 출구의 단부에는 콘크리트 포장을 사용하여야 한다. 사용되는 콘크리트 포장의 길이는 기존에 그 지역에서 사용되었던 예, 연결로의 기울기, 대기차량의 길이 등을 고려하여야 하며 그 최소길이는 45m가 되어야 한다. 또한 이때 사용되는 콘크리트 포장의 두께는 26cm 이상이 되어야 하며 보조기층의 두께는 15cm가 되도록 한다.

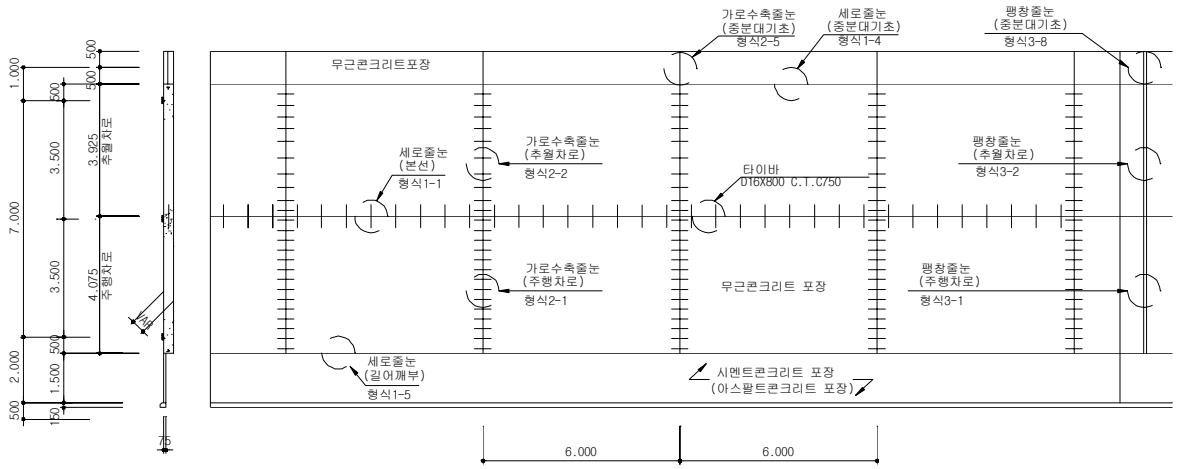
704.6 줄눈의 설계

콘크리트 포장의 줄눈은 포장의 팽창과 수축을 수용함으로써 온도 및 습도 등 환경 변화, 마찰 그리고 시공에 의하여 발생하는 응력을 가능한 완화시키기 위하여 설치하는 것으로 형식상 가로 줄눈, 세로 줄눈, 시공 줄눈으로 나뉘며 기능상 수축, 팽창 줄눈, 시공 줄눈으로 나뉜다. 콘크리트 포장 줄눈의 일반도는 <그림 704.10>과 같다.

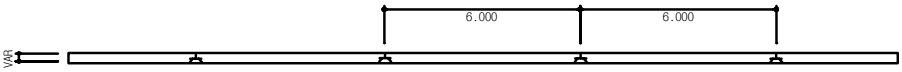
줄눈은 가능한 적게 설치하고 또 적정구조로 설치하여 포장공용성과 주행성을 향상시키도록 한다. 일반적 설계측면에서 줄눈의 구조는 줄눈간격, 줄눈의 배치, 줄눈의 규격 등을 고려하여야 하며 가능한 적게 되도록 또 될수록 강한 구조의 것으로 설계한다. 또한 줄눈은 한 횡단선상에서 동일 줄눈이 배열되도록 설계한다.

6.1 수축줄눈

횡방향 수축줄눈 또는 맹줄눈(dummy joint)은 수분, 온도 그리고 마찰에 의해 발행하는 긴장력을 완화시켜 균열을 억제하기 위하여 설치한다. 이러한 수축줄눈을 설치하지 않는다면 포장의 표층에는 불규칙한 균열이 발생하게 된다.



(a) 평 면 도



(b) 종 단 면 도

주) 세로줄눈 형식 1-5는 길어깨포장형식이
시멘트콘크리트 포장일 때 적용

<그림 704.10> 콘크리트 포장 줄눈 일반도(양방향 4차로)

6.1.1 횡방향 수축줄눈

횡방향 수축줄눈의 간격은 여러 가지 요소에 따라 다르나 그 중 가장 중요한 요소는 슬래브의 두께이며 슬래브의 보강 여부, 콘크리트의 온도 팽창계수, 콘크리트 경화시 온도와 슬래브 활동을 구속하는 보조기층 면의 마찰저항 등과 관련된다.

(1) 철망을 사용하지 않은 무근 콘크리트 포장에서 가로 수축줄눈 간격은 6m 이하로 한다.

(2) 철근 또는 철망을 사용하는 콘크리트 포장에서 횡방향 수축줄눈 간격은 발생된 균열폭이 넓게 발전되지 않도록 효과적으로 처리하기 위한 철근 중량과 관련된다. 이 경우 횡방향 수축줄눈의 간격은 슬래브 두께가 20cm 미만의 경우 8m, 25cm 이상의 경우 10m를 표준으로 한다.

(3) 철망을 사용하는 경우, 횡방향 수축줄눈은 콘크리트 슬래브의 수축응력을 경감하기 위하여 설치하는 것으로 가로 수축줄눈 간격을 10m 이하로 하면 구속 응력은 무시할 정도로 적어진다.

(4) 철망을 생략하는 경우에는 가로 수축줄눈 간격을 6m 이하로 하되 다웰바를 삽입하는 것이 바람직하다.

(5) 연속철근 콘크리트 포장에서는 횡방향 수축줄눈을 생략한다.

(6)횡방향 수축줄눈의 깊이는 슬래브 두께의 1/4이어야 한다.

어느 기간에 있어서 횡방향 줄눈의 평균 벌어짐은 개략적으로 다음 식(704.4)와 같이 계산할 수 있으며 줄눈폭은 반드시 포장체의 변위량과 허용 잔류변형을 고려해야 한다.

$$\Delta L = \frac{C \cdot L(\alpha_c \times DT_D + Z)}{S} \times 100 \quad \text{.....(704.4)}$$

여기서,

ΔL : PCC의 온도변화와 건조수축에 의한 줄눈의 벌어짐(cm)

S : 줄눈재의 허용변형량, 일반적으로 줄눈재의 대부분은 25~35%의 변형을 할 수 있도록 제작되며, 보통 25%를 적용한다.

α_c : 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 열팽창계수(cm/cm/℃) (굵은 골재로 화강암을 사용한 경우 9.5×10^{-6})

Z : PCC 슬래브의 건조수축계수, 재충진을 할 경우에는 무시할 수 있다.(cm/cm) (간접인장강도가 35㎏/㎠인 경우 0.00045)

L : 줄눈 간격(cm)

DT_D : 온도의 범위(℃)

C : 보조기층과 슬래브 마찰저항에 대한 보정계수, 안정처리한 보조기층에 대해서는 0.65, 입상재료층은 0.80이다.

6.1.2 종방향 수축줄눈

종방향 줄눈은 보통 차로를 구분하는 위치에 설치하지만, 시공법도 고려하여 결정하는 것이 좋다. 종방향 줄눈 간격은 4.5m 이상으로 하지

않는 편이 종방향 균열 방지상 좋다. 가능한 한 차량이 종방향 줄눈부를 주행하지 않게 차로 구획선의 위치 등을 고려하여 종방향 줄눈 간격을 결정함이 좋다.

종방향 줄눈의 폭은 6~13mm, 깊이는 단면6의 1/3이어야 하며, 채움재의 깊이는 채움폭, 채움재의 재질에 따라 다소 차이가 있으나 채움부의 최소 길이는 10mm 이상을 원칙으로 한다. 또한 종방향 줄눈의 저면에 약 50mm의 삼각형 목재 또는 L형 플라스틱재 등을 설치해서 콘크리트 슬래브의 단면을 감소시켜 줄눈의 위치에 균열이 생기도록 유도할 수도 있다.

6.2 팽창 줄눈

팽창줄눈의 주된 기능은 슬래브 크기 변화에 의해 발생되는 압축응력으로 인한 손상이 악화되는 것을 억제하는 것과 인접 구조물로 압력이 전달되는 것을 방지하는데 있다.

일반적으로 팽창줄눈은 과업의 비용, 작업성, 공용성의 문제들을 고려하여 가능한 적은 수로 설치한다. 팽창줄눈은 포장의 형식이 변하는 부분, 교차로 등에 설치한다.

6.2.1 횡방향 팽창줄눈

횡방향 팽창줄눈은 교량 접속부, 포장구조가 변경되는 위치 그리고 교차 접속부 등에 설치하며 기타 위치에 횡방향 팽창줄눈을 설치할 경우에는 <표 704.5>의 값을 기준으로 하고 1일의 포설 연장이나 교량 등의 간격 및 수축줄눈 간격을 고려하여 결정한다.

콘크리트 포장과 아스팔트 포장을 접속시킬 경우에는 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 접속부에 팽창줄눈을 설치한다.

<표 704.5> 횡방향 팽창줄눈 간격의 표준값

(단위 : m)

시공시기 / 슬래브두께 (cm)	10~5월	6~9월
15, 20	60~120	120~240
25 이상	120~240	240~480

횡방향 줄눈 간격은 이론적으로 정확히 결정할 수 없고, <표 704.5>의 값을 적용하면 횡방향 팽창줄눈 폭을 25mm 정도로 할 수 있다는 경험을 기초로 한 것이며 팽창줄눈의 설치 개수는 비용, 시공 난이성, 공용성 문제를 고려하여 되도록 최소한으로 줄인다.

근래에 들어 시공기술의 발전에 따라 수축균열 폭 유지가 용이하여 팽창줄눈 간격을 넓게 취하는 경향이며 미국의 경우 교량이나 공법이 다른 포장 접속부 위에는 팽창줄눈을 시공 연장이 <표 704.5>의 값을 초과하더라도 시공 마무리 지점에만 설치할 수 있다.

팽창줄눈의 변위량은 경험에 의하여 결정되며 채움부의 규격은 변위량과 재료의 성능에 따라 결정해야 한다. 일반적으로 팽창줄눈의 규격은 수축줄눈보다 더 크다.

6.2.2 종방향 팽창줄눈

종방향 팽창줄눈의 구조는 <그림 704.11>에 예시한 것을 표준으로 한다.

팽창줄눈은 주입 줄눈재와 줄눈판을 상하에 병용하는 구조로 한다. 주입 줄눈재는 줄눈의 수밀성을 유지하기 위하여 사용하는 것으로 주입깊이는 20～40mm 정도로 한다.

팽창줄눈은 다웰바로 보강하여야 한다. 팽창줄눈의 다웰바는 슬래브의 두께에 따라 직경 25～32mm, 길이 500mm의 것을 사용한다.

6.3 시공줄눈

시공줄눈이란 1일 포설 종료시나 강우 등에 의해서 시공을 중지할 때에 설치하는 줄눈이다. 시공줄눈의 위치는 수축줄눈의 예정 위치에 설치하는 것이 좋으며 이 경우는 맞댄형의 수축줄눈이 된다. 또한 강우와 기계고장 등에 따라 수축줄눈의 예정위치에 설치하는 것이 가능하지 않을 때는 수축줄눈에서 3m 이상 떨어진 위치에 맞댄형의 줄눈구조로 한다. <그림 704.12>는 시공줄눈의 설계예를 보여주고 있다.

704.7 다웰바(dowel bar)와 타이바(tie bar)의 설계

7.1 다웰바의 설계

가로줄눈부에 설치하는 역학적 하중전달 장치로서 다웰바(dowel bar) 또는 슬립바(slip bar)라 부르며 다음과 같은 특징을 가진 것을 고려해야 한다.

① 설계 구조가 간단하고, 설치가 용이하며, 콘크리트 내에 완전 삽입이 가능한 것으로 한다.

② 이 장치와 접촉되는 부위의 콘크리트에 과잉 응력을 발생시키지 않고 재하 하중응력을 적절히 분산시킬 수 있어야 한다.

③ 가로줄눈부의 가로방향 변위(longitudinal movement)를 구속하지 않아야 한다.

④ 실제 통과하게 될 윤하중과 그 통과 빈도에 대하여 역학적으로 안정한 구조이어야 한다.

⑤ 부식이 예상되는 지역에서는 부식에 저항할 수 있는 재료이어야 한다.

⑥ 하중 전달 장치에는 소용 인장 강도 이상의 품질을 가진 원형 봉강 철근을 사용한다.

팽창줄눈의 다웰바는 슬래브의 두께에 따라 직경 25～32mm, 길이 500mm의 것을 <표 704.6>의 간격으로 배치하며 끝에 철재(cap)을 씌운다. 도로 중심선에 평행한 위치에 바르게 매설할 수 있도록 체어(chair)로 지지하여야 한다.

체어는 가로줄눈 연단부의 보강을 겸하여 직경 13mm 정도의 철근을 용접하여 만드는 것으로 시공중에 변형되지 않는 구조로 한다.

<표 704.6>에서 폭은 세로연단부(縱緣)와 세로줄눈의 간격 또는 세로 연단과 세로 연단의 간격을 말하며, 괄호 내의 숫자는 세로연단 또는 세로 줄눈과 다웰바의 간격을 표시한다.

다웰바는 일단(一端)을 고정하고, 타단이 신축하기 때문에 부착방지재를 씌우거나 역청재료로 도포한다. 부착방지 길이는 신축하기 때문에 부착방지재를 씌우거나 역청재료로 도포한다. 부착방지 길이는 다웰바 길이의 1/2에서 5cm를 더한 길이로 한다.

중앙부의 10cm에는 제작시 방청페인트를 도포한다. 또한 다웰바에 접촉되는 체어철근도 방청페인트를 도포하는 것이 바람직하다.

일반적으로 다웰바의 직경은 슬래브 두께의 1/8로 함이 적당하다.

지반이 좋고 보조기층 위에 빈배합 콘크리트를 설치하거나 보조기층을 시멘트 안정처리(CTB)하여서 지지력이 충분히 크게 되는 위치에서는 다웰바를 생략할 수도 있다.

미국 PCA에서는 콘크리트 두께에 따라 <표 704.1>와 같이 다웰바의 직경 및 길이를 규정하였다.

<표 704.7>을 보면 다웰직경은 슬래브 두께의 1/8인 것을 알 수 있다. 최근 PCA에서는 슬래브 두께가 25.4cm(10inch)이하인 경우에는 32mm(1.25inch)의 다웰바를 사용하고 25.4cm이상인 경우에는 38mm(1.5inch)의 다웰바 사용을 권장하고 있다. 또한, 콘크리트 포장의 응력을 감소시켜 단차를 조절하기 위해 최소 32mm 또는 38mm의 다웰바 사용을 권장하고 있다.

<표 704.6> 다웰바 간격의 설치 기준

콘크리트 슬래브의 폭(m)	다웰바의 간격(cm)
2.75	(10)+17.5+20+6@30+20+17.5+(10)
3.00	(10)+15+20+7@30+20+15+(10)
3.25	(10)+22.5+25+7@30+25+22.5+(10)
3.50	(10)+20+25+8@30+25+20+(10)
3.75	(10)+17.5+25+9@30+25+27.5+(10)
4.00(측대포함)	(10)+15+25+10@30+25+15+(10)
4.25(측대포함)	(15)+17.5+25+10@30+25+17.5+(15)
4.50(측대포함)	(15)+20+25+11@30+25+20+(15)

<표 704.7> 다웰 크기와 길이

슬래브 두께(cm)	다웰 직경(mm)	다웰 길이(cm)
5	⅝	12
6	¾	14
7	⅞	14
8	1	14
9	1⅛	16
10	1¼	18
11	1⅜	18
12	1½	20

주) 모든 다웰들은 중심부에서 12inch 간격으로 배열되어 있다.

7.2 타이바의 설계

타이바는 이형봉강으로 종방향 줄눈에 설치하며 규격과 배치 간격은 포장조건에 따라 다르나 일반적으로 ϕ 16mm, 길이 80cm의 것을 75cm 간격으로 사용한다.

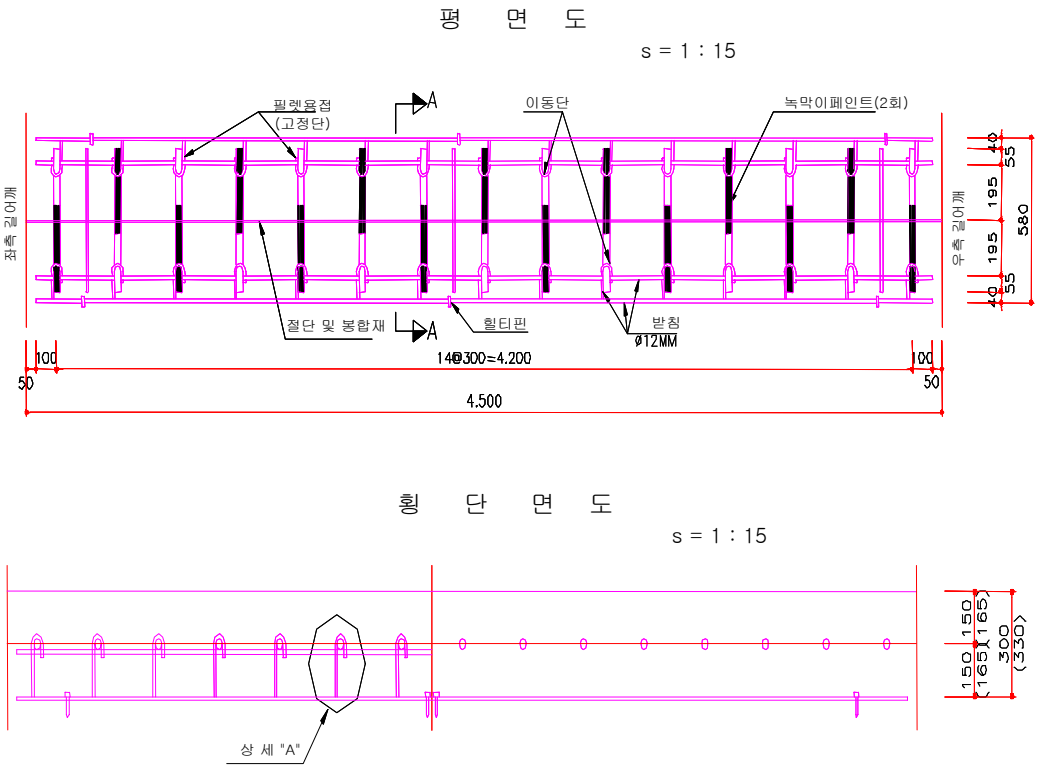
2차로 시공시 타이바 설치 슬래브의 구조는 <그림 704.13> (a)에 표시된 바와 같다. 또한 부득이 1차로씩 시공할 경우의 종방향 줄눈은 <그림 704.13> (b)에 표시한 바와 같이 타이바를 사용한 맞댄 줄눈 구조로 한다.

종방향 맹줄눈의 저면을 잘라낸 것은 타이바가 강하기 때문에 윗면의 홈(groove)만으로는 타이바의 위치에서 빗나간 곳에 균열이 발생할 위험성이 있을 것을 고려한 것이다.

상하의 잘라낸 부분을 합하여 슬래브 두께의 30% 정도로 하면 좋다.

타이바는 줄눈이 벌어지는 것을 방지하는 것만이 아니고, 층이 지는 것(단차)을 방지하며, 하중 전달 능력에 의하여 콘크리트 슬래브의 연단부를 보강하는 효과가 크므로, 일반적으로 사용하는 것이 바람직하다.

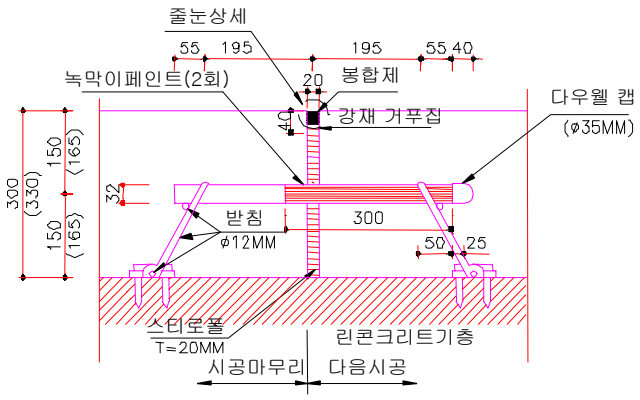
타이바의 내구성을 높이기 위하여 방청 페인트 등을 중앙 약 10cm에 칠하는 것이 좋다.



횡 단 면 도

s = 1 : 15

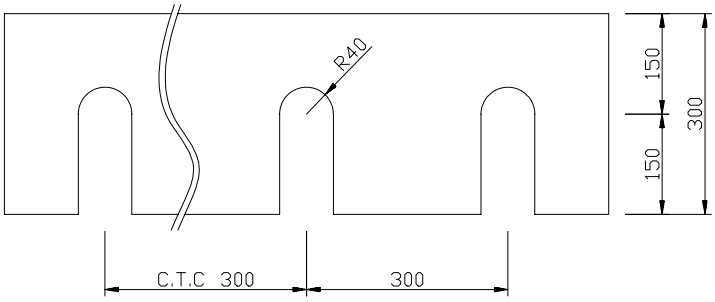
단 면 A-A



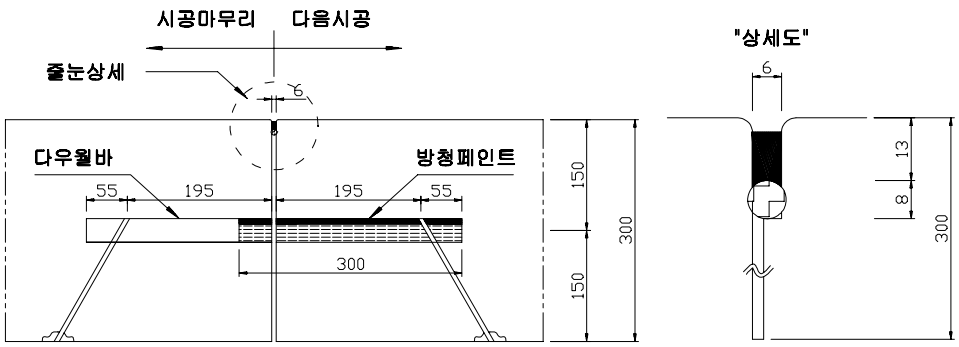
NOTE : 팽창줄눈 시공후 "다음시공" 시 강재 거푸집을 제거하여야 한다.

(단위 : mm)

<그림 704.11> 가로 팽창줄눈 설계 예

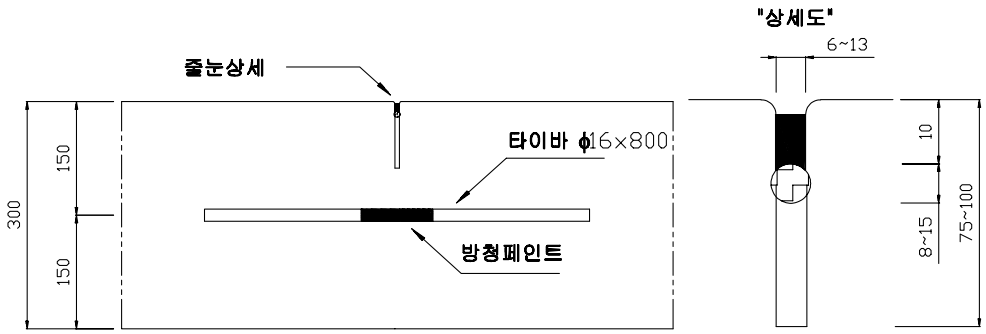


(a) 강제 거푸집 상세도

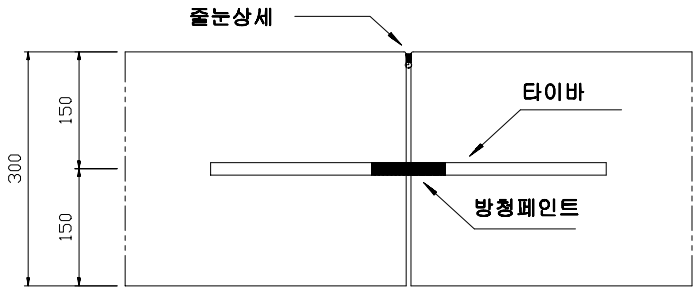


(단위 : mm)

<그림 704.12> 시공줄눈 설계 예



(a) 2차선폭으로 시공하는 경우의 횡단면도



(b) 1차선 시공의 경우 횡단면도

(단위 : mm)

<그림 704.13> 세로줄눈의 설계 예

704.8 설계 예 (1)

본 설계예는 국내 고속국도에서 사용중인 콘크리트 포장 설계법을 기준으로 하였으며 무근 콘크리트 포장(무근 콘크리트 포장)으로 가정하였다.

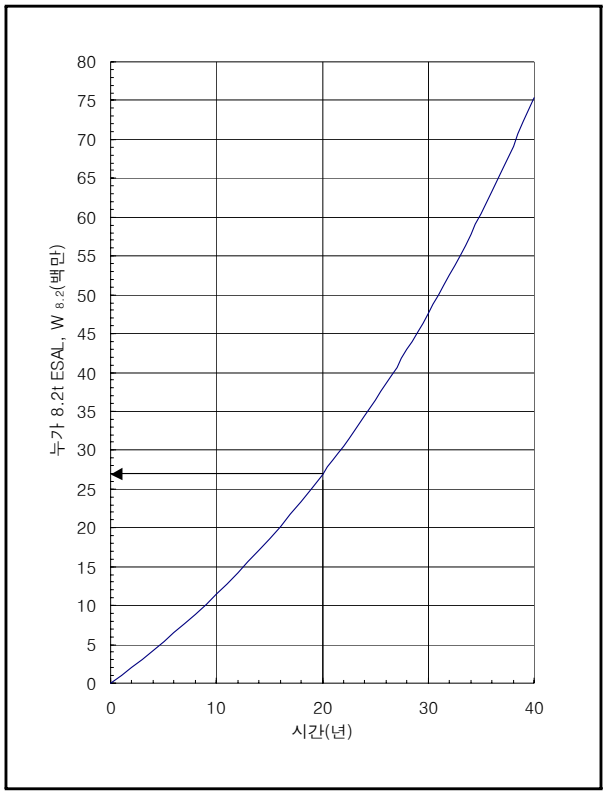
8.1 시간제약

초기 강성포장구조의 최대공용기간(서비스수명)을 20년으로 하며 전체 해석기간에 대해서는 보수를 계획한 단계건설을 고려하여야 한다.

8.2 교통량

(1) 설계 적용지역의 일평균교통량과 축하중 자료를 기준하여 추정한 포장수명의 첫해 2방향 8.2t 등가단축하중(ESAL) 교통량은 357,000이고 연간 교통량 증가율은 3%이다.
(2) 방향분배계수(D_D) : 50%
(3) 차로분배계수(D_L) : 60%
(일방향 3차로로 가정)
(4) 첫해의 설계차로에 대한 교통량
$W_{8.2}$=357,000×0.6×0.5 =107,100 ESAL
(5)설계교통량(누가 8.2t ESAL)

<그림 704.14>는 해석기간 20년에 대하여 누가 8.2t ESAL 교통량을 도시한 것으로 장래교통량($W_{8.2}$)의 곡선과 방정식은 증가율 3%의 지수함수로 가정하여 나타낸 것이다. <그림 704.14>을 통하여 구한 최대공용기간 20년에서의 교통량은 **27×10^6**ESAL이다.



<그림 704.14> 시간에 따른 누가 교통량

8.3 환경적 영향

토질 및 기후조건을 고려하기 위하여 설계구간 약 300m당 1공씩 보링 조사한 결과 전노선에 걸쳐 유사한 토질로 구성되어 있으므로 포장단면은 전구간에 대하여 한가지 단면으로 설계한다.

계획노선의 위치는 동결융해가 반복되는 습한 기후지역이며 노상의 토질은 팽창성이 큰 점토로 되어있다. 이러한 지역은 일반적으로 높은 함수상태를 나타내므로 초과수분을 1일이내에 배수시킬 수 있는 배수시설을 설치하여야 할 것이다. 그러나 이 지역의 동결온도 지속기간은 설계에 있어 동상(凍上)에 대해 고려할 정도는 아니다.

8.4 서비스 능력

교통량과 도로의 기능분류에 의하면 최종서비스능력(Pt)은 2.5로 하고 초기서비스능력(P_0)을 4.5로 하면 전체설계 서비스능력 손실량은 다음과 같다.

$$\Delta PSI = p_0 - p_t = 4.5 - 2.5 = 2.0$$

8.5 유효 노상반력계수(K)

유효 노상반력계수(K)는 KSF 2320에서 제시하는 실험법을 따르며 그에 따른 노상 CBR값을 구한다. <그림 702.15>를 이용하여 구해진 노상 CBR에 해당하는 K값을 구하며 <그림 704.6>에서 해당되는 설계 노상지지력계수(K_C)를 구한다.

본 예제의 경우 실험에 의한 노상 CBR값은 9.0, 이에 해당하는 K값은 5.3Kg/cm^2이고, 린콘크리트를 15cm로 가정하여 설계 노상지지력계수(K_C)값을 산정하면 <그림 704.6>에 의해서 **12.2kg/cm^3 (440pci)**가 된다.

기층으로 린콘크리트를 적용할 경우는 위와 같은 방법을 중복 적용하여 노상지지력계수를 산정한다. 보조기층별 강성 범위는 <표 704.8>과 같다.

8.6 포장층 재료특성

포틀랜드 시멘트콘크리트(PCC) 포장은 일반적으로 치환한 노상토 또는 보조기층 위에 놓인다. 본 설계에서는 입상보조기층 위에 포장을 설치하는 것으로 한다. PCC 슬래브와 보조기층의 탄성계수는 실내실험에 의해 결정되고 그 값을 보면 다음과 같다.

포틀랜드 시멘트콘크리트 :

E_C = **2.8×10^5 kg/cm^2 (4×10^6psi)**

보조기층 :

E_{SB} = **70,306 kg/cm^2 (1,000,000psi)**

<표 704.8> 보조기층별 강성 범위

재 료	강성범위(psi)
입상재료	8,000 - 20,000
시멘트처리기층	500,000 - 1,000,000
빈배합콘크리트층	1,000,000 - 3,000,000
소일시멘트	400,000 - 900,000
아스팔트처리기층	350,000 - 1,000,000
아스팔트 에밀존-처리기층	40,000 - 300,000

8.7 콘크리트 휨강도

콘크리트 휨강도 시험법에 의한 포틀랜드 시멘트콘크리트의 파괴계수는 **45kg/cm^2(640psi)**이다. 이 값은 3등분 재하 시험법에 따라 공시체의 28일 강도를 시험한 결과이다. 여기서, 안전율을 1.3을 적용하여 실제 적용 휨강도는 35**kg/cm^2**(500psi)이다.

8.8 하중전달

포장은 연결 PCC 노견이 설치된 철근 콘크리트 포장으로 설계한다. 하중전달을 위해 줄눈에 다웰바를 설치한다. 이러한 조건에 있어서의 하중전달계수(J)는 **3.2**로 가정한다.

8.9 슬래브 두께 산정

이 예제의 경우 <그림 704.7> 노모그래프로부터 또는 식(704.1)로부터 슬래브 두께는 11inch(27.9cm)으로 산출되었으며 시공성을 고려하여 **28cm**로 한다.

8.10 동결심도 산정

• 설계조건

- 노상토의 함수비(w_s) = 20%
- 보조기층의 함수비(w_b) = 5%
- r = 20/5 = 4.0이므로 r = 3.0
- 구조설계에 의한 포장단면

  슬래브 : 28 cm

  린콘크리트 : 15 cm

• 수정동결 지수 산정

적용측후소	지반고(m)	최대계획고(m)
서 울	85.5	138.7
동결지수 (℃-일)	동결기간 (일)	수정동결지수 (℃-일)
727	61	756

$$\text{수정동결지수}(℃\cdot 일) = \text{동결지수} + 0.9 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

$$= 727 + 0.9 \times 61 \times \frac{138.7 - 85.5}{100}$$

$$= 756\ (℃\text{-일})$$

• 최대동결 관입깊이(a) 산정

- 수정동결지수와 동결관입깊이 상관관계 도표 <그림 702.4>를 이용
- 수정동결지수 : 756 ℃-일
- 건조단위중량 γ_d : 1.60 t/㎥
- 함수비 : 20%
- 최대동결 관입깊이(a) : 88cm

• 비동결성 재료층 두께(b) 산정

- 최대동결 관입깊이(a)에서 표층두께(p)를 제외한 값(c)과, 비동결성 재료층두께(b)와의 상관도표 <그림 702.8>로 부터 산정

a = 88 cm

p = 43 cm

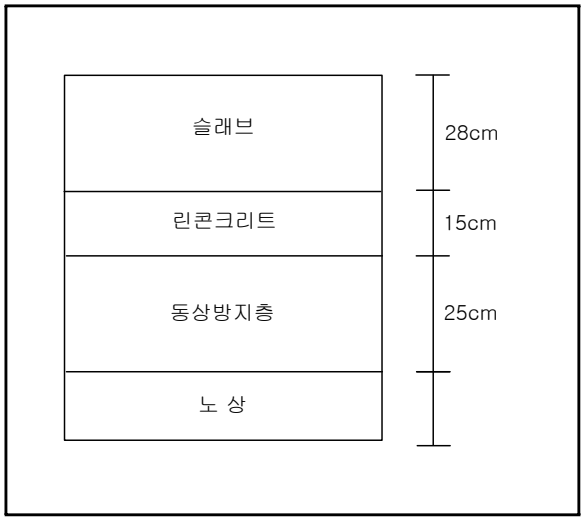
c = 45 cm

b = 25 cm

적용동결심도(p+b) = 68 cm

• 동상방지층 = 적용동결심도 - 포장두께(슬래브+린콘크리트) = 68 - (28+15)

= **25 cm**



8.11 노상지지력 보강에 따른 재설계

동상방지층의 설치로 인한 노상지지력의 증가를 고려하면 원 지반의 노상 CBR값 9.0과 동상방지층의 CBR값 20을 식(702.7)을 적용하여 평균 CBR을 구하면 11.2가 된다. 이에 해당하는 K값은 5.64Kg/cm^2이고, 린콘크리트를 15cm로 가정하여 설계 노상지지력계수(K_C)값을 산정하면 <그림 704.6>에 의해서 **12.5kg/cm^3 (450pci)**가 된다.

다른 조건은 모두 동일하므로 슬래브 두께를 식(704.1)로 다시 설계하면 두께가 0.05cm 차이가 나므로 재설계는 무시한다.

704.9 설계 예(2)

9.1 교통량

9.1.1 년도별, 차종별 교통량

년도	AADT	승용차	버스		화물차			합계
			소형	보통	소형	중형	대형	
	구성비	0.4544	0.0993	0.0109	0.1455	0.1202	0.1697	1
2005	12,488	5,675	1,240	136	1,817	1,501	2,119	12,488
2006	13,180	5,989	1,309	144	1,918	1,584	2,237	13,180
2007	13,911	6,321	1,381	152	2,024	1,672	2,361	13,911
2008	14,681	6,671	1,458	160	2,136	1,765	2,491	14,681
2009	15,495	7,041	1,539	169	2,254	1,862	2,629	15,495
2010	16,293	7,404	1,618	178	2,317	1,958	2,765	16,293
2011	17,133	7,785	1,701	187	2,493	2,059	2,907	17,133
2012	18,015	8,186	1,789	196	2,621	2,165	3,057	18,015
2013	18,944	8,608	1,881	206	2,756	2,277	3,215	18,944
2014	19,920	9,052	1,978	217	2,898	2,394	3,380	19,920
2015	20,926	9,509	2,078	228	3,045	2,515	3,551	20,926
2016	21,984	9,989	2,183	240	3,199	2,642	3,731	21,984
2017	23,095	10,494	2,293	252	3,360	2,776	3,919	23,095
2018	24,261	11,024	2,409	264	3,530	2,916	4,117	24,261
2019	25,487	11,581	2,531	278	3,708	3,064	4,325	25,487
2020	26,787	12,172	2,660	292	3,897	3,220	4,546	26,787
2021	28,152	12,792	2,795	307	4,096	3,384	4,777	28,152
2022	29,587	13,444	2,938	322	4,305	3,556	5,021	29,587
2023	31,095	14,130	3,088	339	4,524	3,738	5,277	31,095
2024	32,680	14,850	3,245	356	4,755	3,928	5,546	32,680

9.1.2 차종별 8.2ton 등가단축하중 환산 교통량

년도	승용차	버스		화물차			합계	년교통량 ($\times 10^6$)	누가등가교통량($\times 10^6$)
		소형	보통	소형	중형	대형			
환산계수	0.0001	0.001	0.758	0.001	0.601	2.394			
2005	0.5675	1.2401	103.1805	1.8170	902.1548	5,073.5050	6,082.4649	2.2201	12.2134
2006	0.5989	1.3088	108.8977	1.9177	952.1422	5,354.6227	6,419.4880	2.3431	14.4335
2007	0.6321	1.3813	114.9316	2.0240	1,004.8994	5,651.3168	6,775.1852	2.4729	16.7766
2008	0.6671	1.4579	121.2998	2.1361	1,060.5799	5,964.4505	7,150.5913	2.6100	19.2495
2009	0.7041	1.5386	128.0209	2.2545	1,119.3455	6,294.9345	7,546.798	2.7546	21.8595
2010	0.7404	1.6179	134.6172	2.3707	1,177.0195	6,619.2792	7,935.6448	2.8965	24.6141
2011	0.7785	1.7013	141.5533	2.4928	1,237.6551	6,960.3357	8,344.5266	3.0458	27.5106
2012	0.8186	1.7889	148.8468	2.6212	1,301.4354	7,318.9649	8,774.4759	3.2027	30.5563
2013	0.8608	1.8811	156.5160	2.7563	1,368.4915	7,696.0725	9,226.5782	3.3677	33.7590
2014	0.9052	1.9780	164.5805	2.8983	1,439.0026	8,092.6104	9,701.9750	3.5412	37.1267
2015	0.9509	2.0780	172.8968	3.0448	1,511.7162	8,501.5342	10,192.2208	3.7202	40.6679
2016	0.9989	2.1830	181.6334	3.1986	1,588.1040	8,931.1211	10,707.2390	3.9081	44.3881
2017	1.0494	2.2933	190.8114	3.3603	1,668.3517	9,382.4153	11,248.2814	4.1056	48.2962
2018	1.1024	2.4092	200.4532	3.5300	1,752.6544	9,856.5136	11,816.6629	4.3131	52.4019
2019	1.1581	2.5309	210.5822	3.7084	1,841.2169	10,354.5684	12,413.7649	4.5310	56.7149
2020	1.2172	2.6599	221.3161	3.8974	1,935.0677	10,882.3630	13,046.5212	4.7620	61.2460
2021	1.2792	2.7955	232.5970	4.0961	2,033.7022	11,437.0604	13,711.5305	5.0047	66.0079
2022	1.3444	2.9380	244.4530	4.3049	2,137.3644	12,020.0319	14,410.4366	5.2598	71.0127
2023	1.4130	3.0877	256.9133	4.5243	2,246.3105	12,632.7188	15,144.9676	5.5279	76.2725
2024	1.4850	3.2451	270.0087	4.7549	2,360.8097	13,276.6356	15,916.9391	5.8097	81.8004

9.1.3 차로당 누계 등가교통량(ESAL)

예정공용 개시 후 설계차로 교통량 및 8.2ton 환산누계 교통량은 다음 표와 같다.

포장형식	계획년도	일교통량 (대/일)	환산누계 교통량 (× 10^6)	설계차로 교통하중 DTN (× 10^6)	비 고
콘크리트	2024년	32,680	81.8004	40.4912	

DTN = 환산누계 교통량 * 0.55 * 0.9 (방향분배계수 : 0.55, 차로분배계수 : 0.9)

9.2 지역계수

지역계수는 <표 703.3>에서 '대전 이북 ~ 서울 이남'의 경우로 2.0을 적용한다.

9.3 공용식에 의한 포장두께 산정

공용식에 의한 포장두께 산정을 위한 설계조건은 다음과 같다.

- 회복탄성계수(M_R) : 45 kg/㎠ (640 psi)
- 콘크리트 휨강도 : 33.8 kg/㎠ (480psi)
- 콘크리트 탄성계수 : 2.8 × 10^5 kg/㎠
  (4 × 10^6 psi)
- 하중전달계수(J) : 3.2
- 설계노상반력계수 : 11.7 kg/㎤

705
유지보수

705.1 개요

도로포장은 지반의 특성, 지세, 강우, 기온의 변화, 강우량 등의 환경적 요인과 교통량, 중차량 구성비 등 교통 특성에 따라 매우 다양한 파손이 발생되며 이에 따라 다양한 문제를 유발시킨다. 따라서 도로 이용자에게 쾌적하고 안전한 도로를 지속적으로 제공하기 위해서는 도로포장의 유지관리가 중요시된다. 도로포장의 유지관리가 효율적으로 이루어지기 위해서는 파손원인을 파악하고, 파손원인에 따라 적절한 보수를 적절한 시기에 수행하여 포장의 상태를 양호하게 유지해야 한다.

국내에서 국도의 경우 유지보수 설계는 포장유지관리시스템 내에서 수행되고 ALIZE-3라는 포장 구조해석 프로그램을 이용하여 덧씌우기 두께를 설계한다. 고속도로는 포장유지관리시스템에서 유지보수 공법을 결정하지만 별도의 덧씌우기 설계 방법은 없다.

본 장에서는 유지보수에 대한 종류와 93년 AASHTO Guide에 기술된 덧씌우기 설계방법을 요약 기술하였으며 또한 현재 국내 국도에서 사용하고 있는 덧씌우기 방법을 소개하였다.

705.2 종류

유지 보수 공법의 종류는 다양하지만 주로 이용되고 있는 공법은 다음과 같다.

(1) 덧씌우기 포장이외의 보수공법

① 풀뎁스(full depth) 재포장
② 부분(partial depth) 재포장
③ 줄눈 및 균열부 실링
④ 콘크리트 포장의 하부실링 (subsealing of concrete pavement)
⑤ 포장의 그라인딩/밀링 (grinding/milling of pavement)
⑥ 하중전달기능 회복 (restoration of joint load transfer)
⑦ 표면처리(surface treatments)

(2) 덧씌우기 포장 보수공법

① 아스팔트 포장 위에 아스팔트 포장 덧씌우기
② 콘크리트 포장 위에 아스팔트 포장 덧씌우기
③ 아스팔트 포장 위에 콘크리트 포장 덧씌우기
④ 콘크리트 포장 위에 콘크리트 포장 덧씌우기

(3) 특수한 보수공법

① 재생 공법 (recycling)
② break/seat 공법

위에 언급된 포장 유지 보수 공법중 덧씌우기 외의 유지보수 방법은 1998년 건설교통부 발행 도로포장 유지보수 실무 편람을 참조한다.

705.3 덧씌우기

3.1 고려사항

덧씌우기 설계는 다음과 같은 고려사항이 요구된다.

① 덧씌우기 이전의 보수
② 교통하중
③ 배수
④ 구조적/기능상 덧씌우기
⑤ 덧씌우기 재료
⑥ 반사균열 억제
⑦ 덧씌우기를 위한 기존 포장 평가

위와 같은 고려사항은 설계자가 간과해서는 안된다. 각각의 이러한 요소들은 본 장에서는 간단하게 서술하고 특히 포장종류에 상관없이 공통적으로 고려되어야하는 것을 기술하였다.

3.1.1 덧씌우기 이전의 보수

기존 포장의 파손은 표면 결함이나 눈에 보이지 않는 결함이외의 여러 가지 결함을 포함한다.

덧씌우기 이전의 필요한 보수량 산정은 선택된 덧씌우기 종류와 관계가 있다. 만약 기존 포장에서의 결함이 덧씌운 포장의 공용성에 몇 년 안에 영향을 준다면 덧씌우기 이전 보수가 이루어져야 한다. 대부분의 경우 많은 덧씌우기 후 파손은 기존 포장에 보수를 하지 않아서 발생한다. 따라서 설계자는 덧씌우기 포장 종류와 덧씌우기 전 보수비용을 고려하여야한다.

3.1.2 교통하중

덧씌우기 설계 절차는 설계차선에서 덧씌우기의 설계 기간 동안 기대되는 등가단축하중(ESAL)이 요구된다. 추정된 등가단축하중은 콘크리트포장이나 아스팔트 포장의 등가단축하중계수를 사용하여 계산하여야만 한다. 각 덧씌우기 포장 종류와 기존 포장 종류에 대한 등가단축하중계수의 사용은 <표 705.1>과 같다. <표 705.1>에서 보는 바와 같이 혼합 포장에서는 하중계수의 적용을 콘크리트로 함을 알 수 있다.

<표 705.1> 등가단축하중계수의 적용

기존 포장	덧씌우기 포장 종류	등가단축하중계수 적용
아스팔트	아스팔트	아스팔트
아스팔트	콘크리트	콘크리트
무근콘크리트	아스팔트 or 콘크리트	콘크리트
연속철근콘크리트	아스팔트 or 콘크리트	콘크리트

아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 등가단축하중계수로 계산된 등가단축하중은 서로 상관

관계가 존재한다. 즉, 콘크리트 포장 등가단축하중에서 아스팔트 포장 등가단축하중으로 환산할 때는 콘크리트 포장 등가단축하중에 0.67승을 하면 된다. 예로 15만대의 콘크리트 포장 등가단축하중은 10만대의 아스팔트 포장 등가단축하중과 같으며 5만대의 아스팔트 포장의 등가단축하중은 7.5만대의 콘크리트 포장의 등가단축하중과 같다.

3.1.3 배수

기존 포장의 배수 조건은 덧씌우기에 영향을 많이 미친다. 기존 포장의 불량한 배수 조건 개선은 덧씌우기의 공용성에 좋은 영향을 미친다.

접속부 포장에서 우수한 배수는 침식을 제거할 수 있고 기층과 노상의 강도를 증가시킬 수 있다.

3.1.4 구조적/기능상 덧씌우기

본 장에서의 덧씌우기 포장설계는 포장의 구조적 보완을 위한 두께설계 방법을 제시하고 있다. 만약 구조적 결함이 미미하거나 없는 경우의 덧씌우기 포장 두께 산출결과는 덧씌우기가 필요 없는 것으로 나오겠지만 그것이 구조적으로 덧씌우기가 필요 없다는 것을 의미하는 것은 아니다. 즉, 포장의 기능적 결함을 보완하기 위한 덧씌우기가 필요할 수도 있다.

3.1.5 덧씌우기 재료

덧씌우기에 필요한 재료는 반드시 해당지역 하중, 기후, 기존 포장내의 결함 원인 등을 고려하여야 한다.

3.1.6 반사균열 억제

덧씌우기 포장 파손 중 가장 빈번한 것은 반사균열이다. AASHTO 지침에서의 두께 설계 과정은 반사균열을 고려하지 않는다. 따라서 향후에는 반사균열의 발생과 진전을 줄이기 위한 추가적인 설계과정이 고려되어야 한다.

몇몇 덧씌우기에서는 재료나 설계법 보다도 반사균열로 인해 그 덧씌우기가 부적합한 경우가 많다. 따라서 반사균열을 억제하는 방법들이 다른 것들에 비해 훨씬 더 중요할 수도 있다.

반사균열 억제 방법에 대한 자세한 논의는 각 관련 장에서 언급한다.

3.1.7 덧씌우기를 위한 기존 포장 평가

덧씌우기를 위한 기존 포장의 유효 구조능력을 평가하는 방법은 다음과 같이 크게 3가지가 있다.

(1) 표면조사와 재료시험
: 파손을 바탕으로 한 표면상태를 파악하고 코아링과 재료시험을 통하여 포장의 구조적인 능력을 평가

(2) 비파괴 시험
(nondestructive deflection testing)
: 현장 노상과 포장의 강성을 직접적으로 평가

(3) 교통으로 인한 피로 손상
: 과거의 교통량을 바탕으로 기존 포장의 피로 손상 정도를 평가하여 포장의 잔존수명을 추정하는 방법

3.2 기존 아스팔트 포장에서의 덧씌우기

3.2.1 아스팔트 덧씌우기

본 장은 기존의 아스팔트 포장에서의 아스팔트포장 덧씌우기에 관한 내용이며 덧씌우기 시 다음과 같은 작업이 수행되어야 한다.

① 파손된 부분에 대한 보수 및 배수 개선(필요시)
② 밀링, 평탄화 작업을 통한 표면 처리
③ 확폭작업(필요시)
④ 택코팅 실시
⑤ 아스팔트 덧씌우기 실시(필요시 반사균열 억제 방안 포함)

단, 덧씌우기 방법은 기존 포장을 제거하거나 재시공하는 방법과 더불어 보강방법의 하나임을 알아야 하며 아스팔트 덧씌우기가 고려되지 않는 경우는 다음과 같다.

① 심각한 거북등 균열의 양이 매우 커 기존 포장을 제거하거나 재시공이 요구되어질 때
② 지나친 소성변형으로 기존 골재가 소성변형을 극복하기 위한 안정성이 떨어질 때
③ 기존의 안정처리 기층이 심각한 파손양상을 보이거나 동일한 지지력 확보를 위해 지나치게 많은 보수작업을 필요로 할 경우
④ 오염물질의 침투로 인해 기존의 입상재료

<표 705.2> 아스팔트 덧씌우기 이전에 요구되는 보수방법

파손 유형	보수 방법
거북등균열 (alligator cracking)	거북등 균열의 상태가 심한 곳은 반드시 보수하여야 한다. 부분적으로 거북등 균열이 나타나는 곳에서는 만약에 다른 반사균열 억제 방안등이 고려되지 않는다면 반드시 보수가 있어야 한다. 보수시에는 반드시 약화된 재료를 제거해야 한다.
균열 (linear cracks)	심각한 상태에서는 소파보수를 실시한다. 6mm이상의 균열폭이 발생할 경우 모래-아스팔트 혼합물이나 적당한 균열 매움재로 채운다. 심각한 건조수축을 겪는 횡방향 균열의 경우에는 반사균열 억제 방법을 고려하여야 한다.
러팅 (rutting)	밀링이나 표면 평탄화작업을 통해 러팅이 생긴부분을 평평하게 한다. 만약 러팅이 심각한 경우 구조적인 결함이 있는 지를 조사하여 덧씌우기가 적당한지를 검토하여야 한다.
표면이상 (surface irregularities)	함몰(depression), 험프(hump), 코러게이션(corru-gation)의 경우 그 원인들을 찾아내고 처리하는 작업이 필요하며 대부분 제거작업과 재시공이 필요하다.

기층이 부드러운 노상토로 대치되어야만 할 경우

⑤ 기존의 아스팔트 표면의 스트립핑이 심해 기존 포장을 제거하거나 재시공해야 할 경우

(1) 덧씌우기전 보수

아스팔트 덧씌우기 이전에 수행되어야 할 보수작업들은 <표 705.2>와 같다. 만일 이와 같은 덧씌우기 작업이 수행되지 않을 경우 덧씌우기 공용기간은 크게 줄 것이다.

(2) 반사균열 억제

반사균열 억제의 기본 메카니즘은 기존 표층의 균열 부근에서의 포장거동에 의한 덧씌우기 포장의 응력집중이라 할 수 있다. 이러한 움직임은 하중에 의한 휨 또는 전단 응력 또는 온도변화에 의한 횡방향 수축응력에 기인한다.

하중에 의한 움직임은 덧씌우기 포장 두께와 기존 포장의 두께나 강도에 의해 영향받는다.

온도에 의한 움직임은 일(日) 또는 계절별 온도변화, 기존 포장의 온도팽창계수, 균열 폭에 의해 영향 받는다.

덧씌우기 작업전 보수(팻칭, 균열 매움)를 통해 반사균열의 발생과 파손을 지연시킬 수 있다. 추가적인 반사균열 억제 방법은 다음과 같다.

① 합성섬유와 응력-흡수 중간층 설치는 심각하지 않은 거북등 균열을 억제하는데 효과적이다. 또한 특히 균열 채움 작업과 함께 할 경우 온도 균열의 반사억제효과도 있다. 그러나 심한 수직, 수평 작용에 의한 반사균열의 억제 작용은 미약하다.

② 균열 억제를 위한 층은 7.5cm(3인치) 이상이 될 경우에 큰 움직임에 의한 반사균열에 효과적이다. 그렇지만 완전하게 반사균열을 방지하는 것은 아니다.

③ 기존 포장의 줄눈에 맞춰 덧씌우기 부분의 줄눈 절단과 실링은 반사균열을 억제할 수 있는 효과적인 방법이 된다. 이 방법은 기존 포장이 PCC 포장이고 덧씌우기 포장이 아스팔트 일 경우(기존 포장의 줄눈과 덧씌우기 포장의 줄눈의 어긋남이 2.5cm(1인치) 이하일 경우) 매우 효과적인 것으로 나타났다.

④ 하중에 의한 휨응력과 수직 전단응력, 기존 포장의 온도에 의한 변동은 아스팔트 포장의 두께를 증가시킴으로 가능하다. 따라서 두꺼운 아스팔트 덧씌우기 포장이 얇은 경우에 비해 반사균열 억제에 효과적이다. 그러나 아스팔트 포장 덧씌우기 두께 증가에 의한 반사균열 억제는 비용이 많이 드는 방법이며, 완전하게 반사균열을 방지하는 것은 아니다.

반사균열은 아스팔트 덧씌우기 포장의 수명에 상당히 많은 영향을 미친다.

파손된 반사균열은 포장의 공용성(serviceability)를 저하시키며 실링과 패칭과 같은 잦은 유지보수작업을 요구한다.

또한 반사균열로 인해 물이 포장구조 내로 들어갈 수 있으며, 그로 인해 아스팔트 덧씌우기 부분과 기존의 아스팔트 포장사이의 접착력이 떨어질 수 있으며 양쪽에 박리(stripping), 입상재료 층과 노상이 연약화(softening)가 될 수 있다. 이러한 이유로 반사균열이 발견되는 즉시 실링 작업을 해야 하며, 경미한 반사균열이 발생하였을 때는 실링작업을 통해 중간단계

혹은 심한 정도의 균열로 진전되는 속도를 늦출 수 있다.

(3) 배수

본 장의 3.1.4 절 참조

(4) 두께 설계

만약 덧씌우기가 구조적인 성능향상을 위해 행해졌다면 요구되는 덧씌우기 포장의 두께는 장래의 교통수요와 기존 포장의 구조적역량을 충족시킬수 있어야 한다. 미래의 교통량을 소화하기 위한 구조적 용량을 증가시키기 위해 필요로 하는 덧씌우기 두께는 다음 식을 이용해 결정된다.

$$SN_{ol} = a_{ol} * D_{ol} = SN_f - SN_{eff} \quad (705.1)$$

여기서,

SN_{ol} = 요구되는 덧씌우기 구조 지수

a_{ol} = 아스팔트 덧씌우기를 위한 구조 계수

D_{ol} = 요구되는 덧씌우기 두께

SN_f = 미래 교통량을 고려한 구조 지수

SN_{eff} = 기존 포장의 유효 구조 지수

요구되는 덧씌우기 두께는 다음 설계과정을 통해 얻어질 수 있다. 이러한 과정들은 유효한 설계 입력변수를 얻기 위한 포장시험을 제시하는 광범위한 설계 접근을 제시한다. 만약 실험하기 어려운 경우(예를 들면 경교통량 도로)에는 육안 조사에 의한 개략적인 덧씌우기 설계가 가능하다.

3.2.2 콘크리트 덧씌우기

아스팔트 포장에서의 JPCP, JRCP, CRCP 덧씌우기는 구조적, 기능적 상태를 개선하기 위해 행해질 수 있다. 이러한 덧씌우기 형태는 크게 다음과 같은 작업을 통해 이루어진다.

① 파손된 부분을 보수하고 배수방안을 개선한다.(필요시)
② 확장 건설(필요시)
③ 비틀림(distortion)이나 부적절한 횡방향 경사(cross-slope)가 존재하는 경우 표면 밀링
④ 아스팔트 표층의 평탄화작업(필요시)
⑤ 콘크리트 덧씌우기
⑥ 줄눈부 절단과 실링

실질적으로 기존의 아스팔트 포장에 대한 PCC 덧씌우기는 모든 조건에서 가능하며 기존의 포장이 심각하게 파손되었을 경우 가장 경제적이다. 그러나 다음과 같은 경우에는 PCC 덧씌우기 방법에 대한 제고가 있어야 한다.

① 파손의 양이 크지 않으며 다른 대안이 훨씬 경제적일 경우
② 교량에 있어서의 수직 여유고가 덧씌우기 두께를 고려할 때 부적절한 때. 이러한 경우 교량아래 포장을 재포장하거나 교량 높이를 올리는 방안을 추천한다. PCC 덧씌우기는 표지판이나 가드레일을 높이는 작업이 필요할 수 있으며 측면 구배(side slopes)와 기존의 암거(culverts) 확장이 필요할 수 있다.

이러한 작업들을 수행함에 있어서는 충분한 도로 부지를 확보하거나 얻을 수 있어

야 한다.

③ 기존 포장이 대규모의 동결융해나 침하에 노출되어 있는 경우

작업기간이 촉박할 경우 PCC 개질재의 사용을 검토한다. 이 경우 콘크리트 타설 후 6시간에서 24시간 안에 교통개방이 가능하다.

(1) 덧씌우기전 보수

기존 아스팔트 포장에 대한 JPCP, JRCP, CRCP 덧씌우기의 가장 큰 장점중의 하나는 기존 아스팔트 포장에 대해 필요한 보수작업의 양이 매우 적다는 점이다. 그러나 포장의 공용성을 감소시키는 반사균열을 억제하기 위해서는 <표 705.3>과 같은 파손에 대한 보수가 필요하며 보수에 대한 상세한 방법은 1991년 건설교통부 발행 도로포장 유지보수 실무 편람을 참조한다.

(2) 반사균열 억제

일반적으로 반사균열은 기존 아스팔트 포장위에 JPCP, JRCP, CRCP 덧씌우기의 문제가 아니다. 그러나 기존의 아스팔트 포장에 심각한 횡방향 균열이 있을 경우 잠재적인 반사균열을 억제할 목적으로 횡방향 균열위에 차단층을 설치하는 것이 바람직하다.

(3) 배수

본 장의 3.1.4 절 참조

<표 705.3> 파손유형별 덧씌우기전 보수(1)

파손유형	덧씌우기형태	보수형태
거북등균열	JPCP 또는 JRCP	보수 불필요 심각한 처짐이 있는 곳에 소파보수
횡방향균열	CRCP	보수 불필요
펌핑	JPCP,JRCP, CRCP	모서리배수 (필요시)
골재이탈	JPCP, JRCP, CRCP	골재이탈층제거 (심각한 경우)
침하/융기 (heave)	JPCP, JRCP, CRCP	level-up with AC

(4) 두께설계

PCC 덧씌우기의 필요 두께는 장래 수요 교통량을 충족시킬 수 있는 구조적 용량과 기존의 아스팔트 콘크리트 포장의 지지력과의 관계를 고려하여야 한다. 장래 교통량을 소화할 수 있는 구조적 용량을 증가시키기 위해 요구되는 덧씌우기 두께는 다음 식을 이용하여 결정된다.

$$D_{ol} = D_f \quad \text{---------} \quad (705.2)$$

여기서,

D_{ol} = 요구되는 PCC 덧씌우기 두께

D_f = 장래교통량을 고려한 슬래브두께

아스팔트 포장에 콘크리트 덧씌우기는 13cm (5인치)에서 30cm(12인치) 사이의 두께로 할 경우 성공적이다. 대부분의 도로에서는 18cm(7인치)에서 25cm(10인치)사이의 덧씌우기가 일반적으로 행해지고 있다.

덧씌우기 두께 설계과정들은 유효한 설계 입력변수를 얻기 위한 포장시험을 제시하는 광범위한 설계 접근을 제시한다. 만약 실험하기 어려운 경우(예를 들면 경교통량 도로)에는 육안조사에 의한 개략적인 덧씌우기 설계가 가능하다.

3.3 기존 콘크리트 포장에서의 덧씌우기

3.3.1 아스팔트 덧씌우기

본 장에서는 기존의 JPCP, JRCP, CRCP에 대한 아스팔트 덧씌우기 설계에 대한 내용을 기술한다.

기존 JPCP, JRCP, CRCP에 대한 아스팔트 덧씌우기는 크게 다음과 같은 작업을 통해 이루어진다.

① 파손부위에 대한 보수 및 배수개선(필요시)
② 확폭 공사(필요시)
③ 택코팅 적용
④ 반사균열 억제 방안을 포함한 아스팔트 덧씌우기(필요시)

콘크리트 포장에 대한 아스팔트 덧씌우기 보수방법은 기존 포장의 상태가 재시공 등을 요구하는 심각한 상태를 제외하고는 어떤 경우에도 가능한 보수 방법이다. 다음과 같은 경우를 제외하고는 아스팔트 덧씌우기 방법이 가능하다.

① 슬래브 균열과 줄눈부의 스폴링의 양이 상당하여 기존 표면의 제거나 재시공 등이 필요한 경우
② 심각한 내구성의 문제(예 : 'D' 균열)로 인하여 콘크리트 슬래브의 심각한 파손이 발생한 경우
③ 교량에서의 수직여유고가 덧씌우기를 하기에 적합하지 않은 경우, 이 경우 교량 아래의 덧씌우기 두께를 줄이거나(비록 이 부분에 파손이 일찍 발생할 지라도) 교량의 위치를 높이거나, 교량아래 부분의 포장을 재시공하는 방법이 제안될 수 있다.

두꺼운 아스팔트 덧씌우기는 표지판이나 가드레일을 높이는 작업이 필요할 수 있으며 측면 구배(side slopes)와 기존의 암거(culverts) 확장이 필요할 수 있다.

이러한 작업들을 수행함에 있어 필요한 충분한 도로 부지를 확보하거나 얻을 수 있어야 한다.

(1) 덧씌우기전 보수

아스팔트 덧씌우기 작업이 수행되기 이전에 기존의 JPCP, JRCP, CRCP에서의 <표 705.4>와 같은 파손유형들에 대한 보수가 있어야 한다.

<표 705.4> 파손유형별 덧씌우기전 보수(2)

파손유형	보수형태
활동성 균열 (working cracks)	전단면보수 또는 슬래브 교체
펀치아웃(punch out)	전단면 PCC 보수
스폴링 있는 줄눈	전단면 또는 부분단면 보수
보수구간의 파손	전단면 보수
펌핑/폴팅	모서리 배수
침하/융기	AC 높이 및 구배조정, 슬래브 재킹, 부분재포장

JPCP와 JRCP에서의 전단면 보수와 슬래브 교체는 반드시 하중전달을 위한 다웰바나 타이바가 있는 PCC이어야 한다. 몇몇 기관에서는 JPCP, JRCP 에 아스팔트 덧씌우기 작업을 수행하기 전에 전단면 아스팔트 보수를 하고 있다. 그러나 이로 인하여 덧씌우기 포장에서 표면이 고르지 않게 되기도 하며 접합부위나 균열 주위의 벌어짐, 아스팔트와의 경계면에서의 반사균열 파손 촉진이 일어난다.

CRCP에서의 전단면 보수는 반드시 PCC이어야 하며 하중전달과 기존 포장의 연속성 유지를 위해 기존 CRCP의 철근과 연결 또는 용접된 연속된 강화철근이 있어야 한다. 전단면 아스팔트 보수는 반드시 아스팔트 덧씌우기를 한 뒤에 행해져야 한다. 또한 기존에 CRCP에 아스팔트 소파보수가 있으면 제거하고 철근으로 보강된 PCC로 대체하여야 한다.

필요시, 측구(edge drains)의 설치와 기존의 측구 유지, 또는 그 외의 보조 배수시설 개선이 이루어져야 한다.

팽창줄눈은 고정된 구조물에 설치되어야 하며 불규칙적인 간격으로 설치되어야 한다. 단, 민감한 골재 등에 의한 슬래브의 팽창이 있는 경우에는 별도의 방안을 고려한다. 교통량이 많은 노선에서의 팽창줄눈은 중교통량을 소화할 수 있는 다웰바 형식으로 설계해야 한다. 만약 줄눈이 수축팽창할 수 없을 정도로 되면 덧씌우기를 시행하기 전에 줄눈부위를 깨끗이 청소하고 줄눈재를 다시 채우도록 하여야 한다.

(2) 반사균열 억제

반사균열의 기본 역학관계는 기존 포장에서의 줄눈, 균열 주위의 응력집중에 의해 발생한다. 이러한 거동은 하중에 의한 휨 또는 전단력이 되거나 온도 변화에 의한 수축이 될 것이다. 하중에 의한 거동은 덧씌우기 두께와 기존 포장의 두께와 강도에 영향을 받는다.

온도에 의한 거동은 일(日), 계절 온도 변화와 기존 포장의 온도 팽창계수, 줄눈과 균열폭에 의해 영향을 받는다.

JPCP, JRCP에서의 아스팔트 덧씌우기에 있어서 반사균열은 전통적으로 덧씌우기가 있은 후 비교적 빠른 시일 내에 발생된다.(보통 1년~2년) 반사균열은 교통량만이 아니고 위에서 언급한 것들에 의해 진전된다. 양호한 하중전달효과를 얻을 수 있다면 파손된 줄눈이나 균열을 다웰바나 타이바가 설치된 PCC로 보수함으로써 반사균열의 발생과 파손 등을 줄일 수 있다. 다른 덧씌우기 이전 보수를 통해 반사균열의 발생과 배수능력의 저하, 지지력 상실 등의 문제 해결, 다웰바의 보강 등으로 줄눈부와 균열부에서의 하중전달 능력을 복원할

수 있다.

여러 가지 반사균열 억제 방법들은 반사균열의 발생과 진전 속도를 제어하기 위해 사용되어져 왔다. 다음의 방법들을 통해 JPCP, JRCP에 아스팔트 덧씌우기시의 반사균열 억제책이 될 수 있다.

① 기존의 JPCP 또는 JRCP의 줄눈부와 일치시켜 기존의 아스팔트 덧씌우기에 줄눈절단, 줄눈채움 작업을 실시한다.
이 방법은 PCC 포장에 아스팔트 덧씌우기를 실시할 때 기존의 줄눈 또는 균열과 덧씌우기 포장의 줄눈이 2.5cm(1 inch) 이내의 오차가 발생할 때 매우 효과적인 것으로 나타났다.

② 아스팔트 덧씌우기 포장의 두께를 증가시킨다.
이 방법을 통해 반사균열이 두꺼운 덧씌우기 포장을 통과는데 더 많은 시간이 필요할 것이며 파괴시간도 더 많이 걸릴 것이다.

③ 아스팔트 덧씌우기를 하기 전, 또는 동시에 아스팔트 안정처리 입상재료 중간층 삽입(조골재)이 효과적이다.

④ 덧씌우기 아스팔트 층에 합성섬유 또는 충격완화 중간층을 삽입한다. 그러나 그 효과에 대해서는 확인되지 않았다.

⑤ 아스팔트 덧씌우기 이전에 JPCP, JRCP, JRCP에 고무처리(rubblizing) 압축(com--pacting) 작업을 수행한다.
이러한 방법은 PCC 조각을 최대 30.5cm (12inch)까지 줄이며 슬래브를 고강도 입상재료 기층으로 줄여준다.

반사균열은 JPCP나 JRCP에 대한 아스팔트 덧씌우기의 수명에 상당한 영향을 미친다. 파손된 반사균열은 포장의 공용성을 떨어뜨리며 실링, 밀링, 소파보수와 같은 잦은 유지보수 작업을 요구한다. 또한 반사균열로 인하여 포장 구조체로 물이 들어가게 되며 그 결과 PCC와 아스팔트 사이의 접착력을 저하시키며, 아스팔트의 박리(stripping), D형 균열의 진전 또는 PCC 슬래브에서는 내구성과 관련된 문제들과 관련된 활동성 골재 파손, 기층 또는 노상의 지지력 감소등이 발생될 수 있다. 이러한 이유로 반사균열은 발생즉시 실링 작업을 해야하며 덧씌우기 기간 동안 정기적으로 재실링(resealing)을 해야 한다. 비교적 경미한 상태의 반사균열 실링은 반사균열 진행을 지연시킬수 있다.

CRCP의 아스팔트 덧씌우기 작업에 있어 펀치아웃과 균열을 보수하기 위해 철근으로 연결시킨 PCC 전단면 보수는 반사균열의 발생과 악화를 억제시킬 수 있다.

배수상태를 개선하고 슬래브가 지지력을 잃은 곳을 보수하는 일을 통해 반사균열의 발생과 상태악화를 막을 수 있다.

연속철근 보강된 콘크리트를 이용한 보수가 행해지는 한 세로줄눈에 대한 경우를 제외하고는 CRCP에서의 아스팔트 덧씌우기시 반사균열 억제를 위한 어떤 조치가 반드시 필요한 것은 아니다.

(3)배수

본 장의 3.1.4 절 참조

(4) 두께 설계

만약 덧씌우기가 평탄성이나 마찰력과 같은

기능적인 목적으로 설치된다면 이러한 기능적인 문제를 해결하기 위한 최소의 두께로 설치되어야 한다. 만약 덧씌우기가 구조적 개선을 목적으로 설치된다면 요구되는 덧씌우기 두께는 장래 교통수요와 구조적 용량을 만족시킬 수 있도록 설계되어야 한다. 장래 교통량을 수용하기 위한 구조적인 용량을 증대시키기 위해 요구되는 덧씌우기 두께는 다음 식을 이용하여 결정된다.

$$D_{ol} = A(D_f - D_{eff}) \quad (705.3)$$

여기서,

D_{ol} = 요구되는 아스팔트 두께

A = 부족한 콘크리트 두께를 아스팔트 덧씌우기 두께로 환산한 계수

D_f = 장래 교통량을 소화하기 위한 슬래브 두께

D_{eff} = 기존 슬래브의 유효두께

A 값은 콘크리트 슬래브 두께의 함수이며 (식 705.4)를 통해 얻어진다.

$$A = 2.2233 + 0.0099(D_f - D_{eff})^2 - 0.1534(D_f - D_{eff}) \quad (705.4)$$

전통적인 JPCP, JRCP, CRCP에서의 아스팔트 덧씌우기는 5cm(2inch)부터 25cm(10inch) 사이의 두께로 행해지고 있다. 가장 일반적으로 행해지고 있는 두께는 7.5~15cm(3~6inch) 사이이다.

요구되는 덧씌우기 두께 과정들은 유효한 설계 입력변수를 얻기 위한 포장시험을 제시하는 광범위한 설계 접근을 제시한다. 만약 실험하기 어려운 경우(예를 들면 경교통량 도로)에는 육안 조사에 의한 개략적인 덧씌우기 설계가 가능하다.

3.3.2 접착식 콘크리트 덧씌우기 (BCO ; Bonded Concrete Overlay)

접착식 콘크리트 덧씌우기는 구조적, 기능적 조건을 만족시키기 위해 JPCP, JRCP, CRCP에 적용되어져 왔다. 접착식 콘크리트 덧씌우기는 다음과 같은 작업으로 이루어 진다.

① 파손된 부분을 보수하고 배수 조건을 개선한다(필요시).
② 확폭(필요시)
③ 충분한 접착력 확보를 위해 기존 포장의 표면에 필요한 작업을 실시
④ 콘크리트 덧씌우기 실시
⑤ 줄눈 절단과 실링

기존의 포장이 실질적으로 제거되어야 하거나 재포장되어야 할 때, 또는 내구성의 문제가 있을 경우 PCC 포장의 보수 대안으로 JPCP, JRCP, CRCP의 접착식 덧씌우기가 가능하다. 다음과 같은 상태에서는 PCC 접착식 덧씌우기는 적절하지 못한 방법이 된다.

① 슬래브의 균열과 줄눈부 스폴링이 많이 발생되어 있어 실질적으로 표층을 제거하거나 재시공해야 하는 경우
② 내구성의 문제로 PCC 슬래브가 파손된 경우(예 : D-균열 또는 reactive aggregates로 인해 발생되는 슬래브의 파손이 있는 경우)는 덧씌우기의 공용성에 영향을 준

다.

③ 교량부분에 있어서의 수직 여유폭이 요구되는 덧씌우기 두께를 적용하는데 있어 부적절한 경우. 접착식 덧씌우기는 두께가 얇으므로 이러한 경우는 드물다.

만약 시공기간이 중요한 문제일 경우에는 PCC 덧씌우기는 조강(high early strength) PCC를 사용할 수 있다. PCC 덧씌우기의 경우 조강 PCC를 사용하면 6시간에서 24시간 안에 교통 개방이 가능하다.

(1) 덧씌우기 전 보수

접착식 PCC 덧씌우기를 하기 전에 <표 705.5>와 같은 파손형태는 보수작업을 시행해야 한다.

JPCP와 JRCP에서의 전단면 보수와 슬래브 교체는 보수 줄눈부의 하중전달을 위한 다웰바 또는 타이바가 설치된 PCC이어야 한다. CRCP에서의 전단면 보수는 PCC이어야 하며 기존 슬래브에 철근으로 연결되거나 접합시켜 연속보강되어야 한다.

접착식 덧씌우기 전에는 전단면 아스팔트 보수는 사용하지 말아야 하며 기존의 아스팔트 소파보수는 제거되거나 PCC로 대치되어야 한다.

만약 배수시설의 개선이 필요할 경우 단부배수(edge drains)시설 설치, 기존의 모서리 배수시설유지, 다른 배수시설의 개선은 덧씌우기 이전에 행해져야 한다.

활동성 골재(reactive aggregate)가 슬래브의 팽창을 유발할 경우를 제외하고는 팽창 완화줄눈(pressure relief joints)은 고정된 구조물에 한해서 설치되어야 하며 포장체에서 규칙적인 간격으로 설치되어서는 안된다. 교통량이 많은 지역에서는 팽창줄눈은 중교통량에 대비한 다웰바가 설치되어 있어야 한다. 만약 줄눈에 비압축성 이물질이 가지고 있다면 덧씌우기 전에 줄눈 청소, 줄눈 재실링 작업을 수행해야 한다.

<표 705.5> 파손유형에 따른 보수방법(1)

파손유형	보수 방법
균열	전단면 보수나 슬래브 교체
펀치아웃	전단면 보수
줄눈 스폴링	전단면 또는 부분단면보수
소파보수부위 파손	전단면 보수
펌핑/폴팅	단부 배수(edge drains)
침하/융기(heave)	슬래브 재킹 또는 재시공

(2) 반사균열 억제

기존 JPCP, JRCP, CRCP 슬래브에 있어서의 균열이나 스폴링등은 1년~2년 내에 접착식 덧씌우기를 통과해 반사균열이 나타난다. JPCP나 JRCP에서의 접착식 덧씌우기에 있어서의 반사균열 억제 방법으로 기존 포장에서의 균열이 있는 경우에는 전단면 보수를 하고 보수 줄눈위에 곧바로 줄눈절단 작업과 줄눈 실링 작업을 시행한다. 모든 균열이 반사균열을 일으키는 것은 아니다. 따라서 미세한 균열의 경우에는 보수작업이 필요하지 않다. CRCP에서의 미세 균열이 반사균열을 일으키는 데에는 수년의 시간이 소요된다.

(3) 배수

본 장의 3.1.4 절 참조

(4) 두께설계

만약 덧씌우기가 몇 가지 기능을 목적으로 행해진다면 기능적인 문제를 해결하기 위한 최소 덧씌우기 두께이상으로 덧씌우기가 행해져야 한다.

만약 구조적인 개선을 목적으로 덧씌우기가 행해진다면 덧씌우기에 요구되는 두께는 장래 교통량과 기존 포장의 구조적 용량을 만족시키는 구조로 수행되어야 한다. 장래 교통량을 소화하기 위해 구조적 용량을 증가시키는 두께의 결정은 다음식과 같다.

$$D_{ol} = D_f - D_{eff} \quad (705.5)$$

여기서,

D_{ol} = 접착시 PCC 덧씌우기에 요구되는 두께

D_f = 장래 교통량을 소화하기 위한 슬래브 두께

D_{eff} = 기존 슬래브의 유효두께

접착식 덧씌우기는 5cm(2inch)에서 15cm (6inch) 사이의 두께로 시공될 때 성공적이었으며 보통 7.5cm(3inch)에서 10cm(4inch) 사이의 두께로 시공되고 있다. 만약에 기능적인 목적(예 : 평탄성, 마찰력)으로만 접착식 덧씌우기가 행해진다면 7.5cm(3inch)가 적당하다.

요구되는 덧씌우기 두께 과정들은 유효한 설계 입력변수를 얻기 위한 포장시험을 제시하는 광범위한 설계 접근을 제시한다. 만약 실험하기 어려운 경우(예를 들면 경교통량 도로)에는 육안 조사에 의한 개략적인 덧씌우기 설계가 가능하다.

3.3.3 비접착식 콘크리트 덧씌우기 (UBCO; Unbonded Concrete Overlay)

기존 JPCP, JRCP, CRCP 또는 합성(AC/PCC) 포장에 대한 비접착식 JPCP, JRCP, CRCP 덧씌우기는 구조적, 기능적 상태를 향상시키기 위해 설치될 수 있다. 비접착식 콘크리트 덧씌우기는 다음과 같은 작업으로 구성된다.

① 심각한 파손이 발생한 부분을 보수하고 배수시설을 개선한다(필요시).
② 확폭(필요시)
③ 분리층을 시공한다(이 층은 레벨링 층 기능을 한다).
④ 콘크리트 덧씌우기 실시
⑤ 줄눈의 절단과 실링

비접착식 덧씌우기는 실질적으로 모든 상태의 콘크리트 덧씌우기 보강에 가능한 방법이다. 이 방법은 덧씌우기 전 보수에 대한 필요성이 줄어듦으로 생기는 기존 포장의 심각한 파손이 발생하였을 때 가장 경제적인 방법이 된다. 다음과 같은 상태에서는 비접착식 콘크리트 덧씌우기는 적절하지 않은 방법이 된다.

① 슬래브 균열과 스폴링의 양이 크지 않으며 다른 대안들이 훨씬 경제적일 경우
② 교량에서의 수직여유고가 덧씌우기를 하기에 적합하지 않은 경우, 교량 아래의 덧씌우기 두께를 줄이거나(비록 이 부분에 파손이 일찍 발생할 지라도) 교량의

위치를 높이거나, 교량아래 부분의 포장을 재시공하는 방법이 제안될 수 있다. 두꺼운 아스팔트 덧씌우기는 표지판이나 가드레일을 높이는 작업이 필요할 수 있으며 측면 구배(side slopes)와 기존의 암거(culverts) 확장이 필요할 수 있다. 이러한 작업들을 수행함에 있어 필요한 충분한 도로 부지를 확보하거나 얻을 수 있어야 한다.

③ 기존 포장의 융기 또는 침하의 영향을 받기 쉬운 경우

만약에 시공기간이 짧은 경우 PCC 덧씌우기에 조강 시멘트를 사용할 수 있다. 이 경우 콘크리트 덧씌우기 후 교통개방까지 6시간에서 24시간의 시간이 소요된다.

(1) 덧씌우기전 보수

비접착식 덧씌우기의 큰 장점 중의 하나는 기존 포장의 보수작업 분량이 크게 줄어든다는 것이다. 그러나 비접착식 콘크리트 덧씌우기는 지지력이 균등하지 않은 지역에서 사용하지 않는 것이 좋다. <표 705.6>에 제시되는 파손형태에서 공용성에 영향을 줄 수 있는 반사균열을 억제한 뒤 덧씌우기를 수행하여야 한다.

(2) 반사균열 억제

2.5～5cm(1～2inch) 아스팔트 분리층을 사용할 때 비접착식 콘크리트 덧씌우기에서의 반사균열의 문제는 발생하지 않는다.

그러나 이 분리층의 두께는 기존 포장의 하중전달이 불량하고 처짐이 가로방향 줄눈 또는 균열에서 큰 차이가 날 때에는 부적합하다.

<표 705.6> 파손유형에 따른 보수방법(2)

파손유형	덧씌우기형태	보수
균열	JPCP 또는 JRCP	보수 불필요
	CRCP	다웰바가 있는 전단면 보수 (부등처짐이 심한 경우)
펀치아웃	JPCP, JRCP, CRCP	전단면 보수
줄눈스폴링	JPCP 또는 JRCP	보수 불필요
	CRCP	줄눈부 파손이 심각한 경우의 전단면보수
펌핑	JPCP, JRCP, CRCP	단부 배수(필요시)
침하	JPCP, JRCP, CRCP	아스팔트를 이용한 높이 조절
하중전달불량	JPCP, JRCP, CRCP	보수 불필요 (만약 균열이나 줄눈이 많은 경우 두꺼운 아스팔트 분리층 고려)

(3) 배수

본 장의 3.1.4 절 참조

(4) 두께 설계

비접착 덧씌우기의 요구되는 두께는 장래의 교통수요에 요구되는 구조적 용량과 기존 포장의 구조적 용량과의 관계에 의해 결정된다. 장래 교통량을 수용하기 위한 구조적 용량을 증진시키기 위해 요구되는 덧씌우기 두께 결정식은 다음과 같다.

$$D_{ol} = \sqrt{D_f^2 - D_{eff}^2} \quad (705.6)$$

여기서,

D_{ol} = 요구되는 비접착식 PCC 덧씌우기두께

D_f = 장래 교통량을 수용하기위한 슬래브 두께

D_{eff} = 기존 슬래브의 유효 두께

비접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 13cm(5 inch)에서 30cm(12inch)사이의 두께로 시공될 때 성공적이었다. 일반적인 비접착식 콘크리트 덧씌우기 두께는 18cm(7inch)부터 25cm(10inch) 사이에서 가장 널리 사용된다. 요구되는 덧씌우기 두께 과정들은 유효한 설계 입력변수를 얻기 위한 포장시험을 제시하는 광범위한 설계 접근을 제시한다. 만약 실험하기 어려운 경우에는 육안 조사에 의한 개략적인 덧씌우기 설계가 가능하다.

705.4 국내 덧씌우기 설계

4.1 국도에서 덧씌우기 설계

4.1.1 개요

현행 국도 PMS의 기술적 보수/보강 공법 결정방법은 <그림 705.1>과 같다. 조사대상 구간에 대해 표면결함과 구조적 능력을 조사하여 품질등급(QG ; Quality Grade)을 결정하고 환산 축하중 교통량(EAL)을 조사한 후, 다층 탄성해석 프로그램인 ALIZE-3 모델을 이용하여 덧씌우기 두께를 산정한다.

품질 등급은 균열 및 변형 등을 나타내는 육안조사등급(VI ; Visual Index)과 NDT 장비에서 측정된 처짐 값을 이용하여 Q1등급부터 Q9 등급까지 결정한다.

교통량은 해당 구간의 전체 교통량을 환산축하중(EAL ; Equilivalent Axle Load)로 환산하여 4개의 등급으로 구분한다.

4.1.2 품질등급 결정

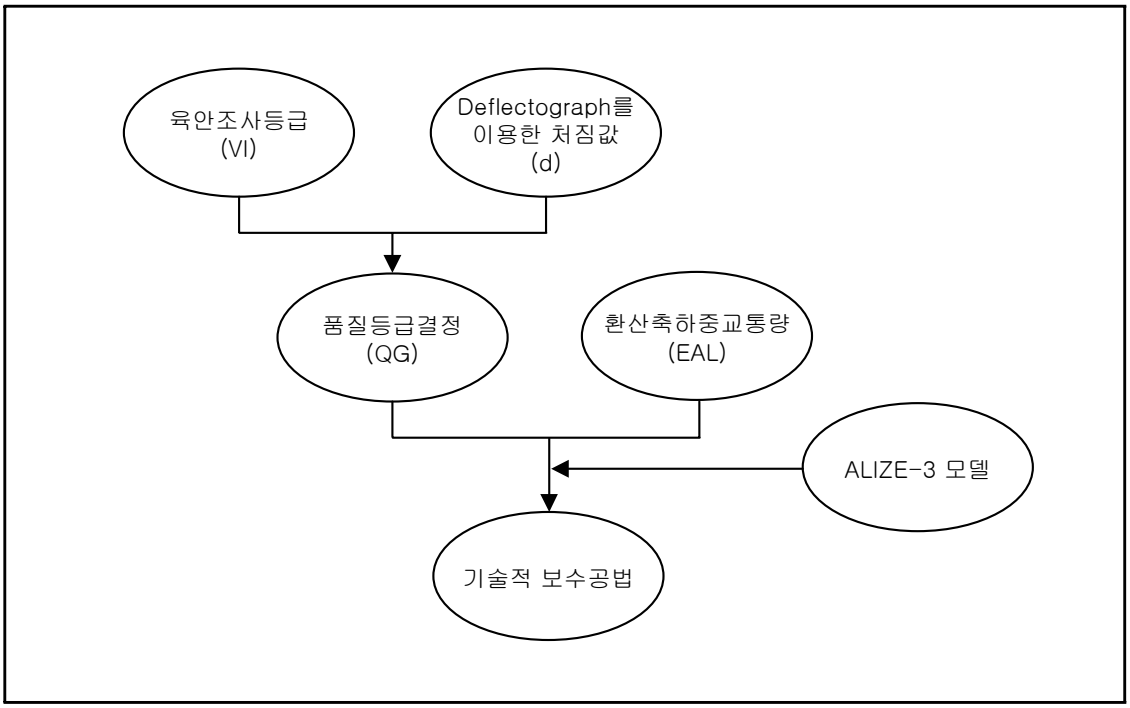
등급은 육안 조사 등급(VI ; Visual Index)과 처짐량 자료를 이용하여 <표 705.7>에 따라 결정한다. <표 705.7>에 육안 조사 등급은 다음과 같이 분류한다.

- A 등급 : 육안조사등급 1
- B 등급 : 육안조사등급 2 ~ 3
- C 등급 : 육안조사등급 4 ~ 7

처짐량은 전국의 처짐값 분포에서 하위사분위수(lower quartile)에 해당되는 60/100mm값과 상위사분위수(upper quartile)에 해당되는 100/100mm값을 기준으로 하였다.

(1) 육안 조사 등급(VI ; Visual Index)

품질 등급은 포장 표면의 결함 상태를 표시하는 상세 안 조사 등급(VI)과 포장체의 지지력을 나타내는 처짐량 값을 이용하여 결정한다.



<그림 705.1> 국도에서의 기술적 보수/보강 공법 결정과정

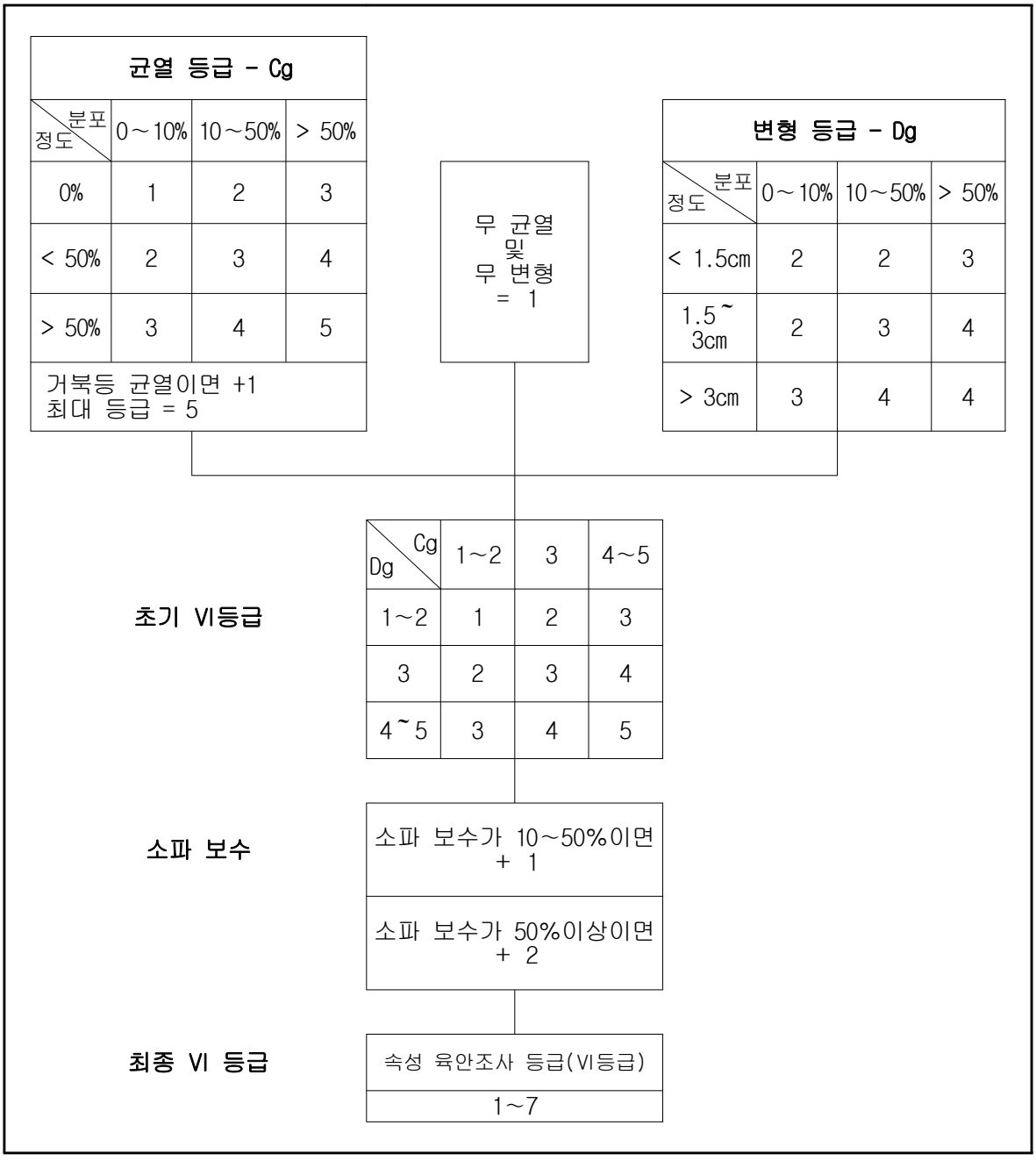
<표 705.7> 품질 등급 기준표

처 짐 량(d) / 육안 조사 등급(VI)	1	d1	2	d2	3
A	Q1		Q3		Q6
B	Q2		Q5		Q8
C	Q4		Q7		Q9

상세 육안 조사 등급은 1부터 7까지의 범위를 가지며 <그림 705.2>와 같이 균열, 거북등 균열, 소성 변형 그리고 소파 보수 등의 파손 형태를 고려한다.

균열 등급 (Cg)은 균열의 분포와 균열 폭의 파손 정도를 이용하여 1부터 5까지의 점수로 매겨지며, 거북등 균열이 발생한 경우에는 1을 가산한다. 변형 등급 (Dg)은 변형의 분포와 깊이의 정도에 따라 2부터 4까지의 점수로 매겨진다.

균열 등급과 변형 등급이 결정되면 <그림 705.2>와 같이 초기 육안 조사 등급이 1부터 5



<그림 705.2> 육안 조사 등급 결정 흐름도

사이에서 결정되고 소파 보수의 정도에 따라 1~2등급 상향 조정하여 최대 7등급까지 결정할 수 있다.

(2) 처짐량

p처짐량은 포장의 구조적 상태의 기준이 되는 것으로써 deflectograph 또는 FWD를 이용하여 측정한다. 표본 구간에서 매 5m간격으로 10ton의 축하중을 포장체에 재하하여 1/100㎜ 단위로 처짐량을 측정한다. 표본 구간에 대한 처짐량의 대표값은 측정 결과의 95%를 포함할 것이라고 예상되는 m + 2σ로 결정한다.

이와같이 결정된 Q1부터 Q9까지의 품질등급은 다음의 3개 주요 그룹으로 구분된다.

① Q1, Q2, Q3는 변형률이나 포장 외관이 양호 내지 보통임을 나타내고, 여기에는 통상적인 유지보수 작업만이 요구된다.
② Q7, Q8, Q9은 처짐량과 포장표면 외관이 불량 내지 극히 불량에 해당하며, 포장구조와 표면이 약한 것으로 반드시 보강 작업(두꺼운 덧씌우기 등)을 해야 한다.
③ Q4, Q5, Q6는 불확실한 상태로 공학적 판단(처짐량과 VI등급의 상대적 비중 비교)에 의해 <표 705.7>과 같이 이동되어 유지보수와 보강 작업을 결정한다.

4.1.3 교통량 구분

기술적 보수 공법을 결정하기 위한 교통량은 10톤 축 하중으로 환산한 연평균 일 교통량을 이용하였다.

환산 교통량은 4개 구간으로 나누었으며, 각 구간별 덧씌우기 설계에 사용한 누적 환산 축하중 교통량은 식(705.1)을 이용하였다.

$$N_{10} = T_{10} \times n \times c \times k \quad \text{(705.7)}$$

여기서, T_{10}은 양방향 연간 일평균 환산 축하중 교통량으로 표시한 것으로 다음과 같이 4개로 구분하고 각 구간에 대한 대표치는 중간값을 사용하였다.

구간 1 : 0 ~ 500 : 대표치 250
구간 2 : 500 ~ 1,000 : 대표치 750
구간 3 : 1,000 ~ 2,000 : 대표치 1,500
구간 4 : 2,000 이상 : 대표치 2,500

n = 년수, 10년을 사용함.
c = 교통량 증가에 관한 계수

$$c = 365 \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{n \times i}\right] \quad \text{(705.8)}$$

여기서,
i = 10년간 연평균 교통량 증가율
n = 10년
k = 차로수를 고려한 폭의 계수 2차로에 1/2, 4차로에 1/4

4.1.4 설계 기준표

위와 같은 품질등급과 교통량을 모두 고려하여 다층 탄성 해석 프로그램인 ALIZE-3 모델을 운영한 결과 <표 705.8>과 같은 설계기준표를 작성하여 사용하고 있다.

<표 705.8> 설계 기준표

품질 등급 \ 교통량		0～500	500～1,000	1,000～2,000	2,000 <
유지 보수 작업	Q1	ST	ST	4AC	5AC
	Q2	ST	ST or 4AC	4AC	5AC
	Q3	ST or 4AC	4AC	7AC	7AC
보강 작업	Q7	7AC	7AC	10AC	7BB + 5AC
	Q8	7AC	10AC	7BB + 5AC	10BB + 5AC
	Q9	10AC	7BB + 5AC	10BB + 5AC	15BB + 5AC

여기서,

1) ST는 다음과 같은 표면 처리를 말한다.
   ① 1 회 또는 2 회 역청 표면 처리
   ② SLURRY SEAL 또는 3) SEAL 코팅
2) AC는 두께를 cm로 표시한 콘크리트 포장 표층을 말한다.
3) BB는 두께를 cm로 표시한 역청 기층을 말한다

4.2 고속도로에서 덧씌우기 설계

4.2.1 보수공법 결정 기준의 개요

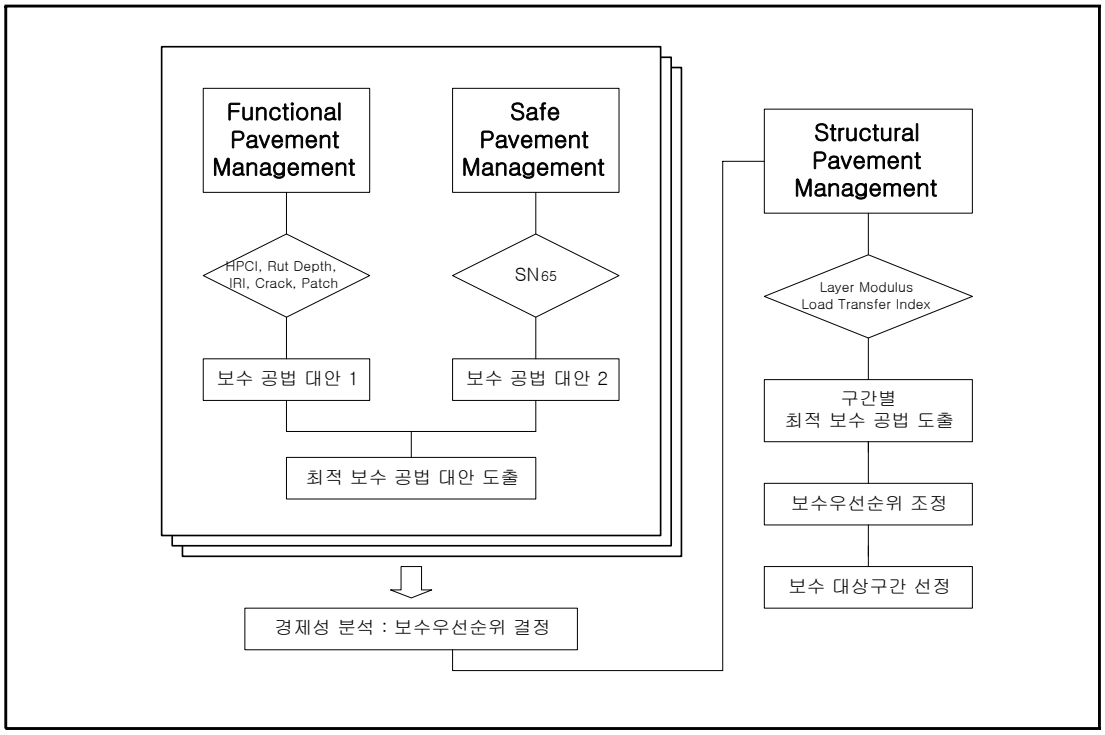
한국도로공사에서 운영 중인 고속도로 포장 관리체계 (EXPMS ; Expressway Pavement Management System)에서는 다음과 같은 세 가지 측면을 고려하여 보수공법을 결정한다.

(1) 포장의 기능적 측면
(functional pavement management)
(2) 포장의 안정성 측면
(safe pavement management)
(3) 포장의 구조적 측면
(structural pavement management)

EXPMS에서의 보수공법 결정은 <그림 705.3>에서 나타난 바와 같이 포장의 기능성 및 안정성을 위하여 각각의 분석구간에 대하여 최적의 보수공법 대안을 도출한 후, 경제성 분석을 위한 network level에서 보수 우선 순위를 결정한다. 그리고, 예산 범위 내에서 들어있는 보수대상구간들에게 할당된 보수공법 대안이 덧씌우기 등으로, 포장의 구조적 능력을 고려해야할 필요가 있다고 판단되는 경우에는 FWD 및 현장조사를 통하여 포장의 구조적 능력을 분석 판단함으로서 선정된 보수공법 대안을 조정한다.

4.2.2 포장상태지수(HPCI)에 의한 보수공법 선정

EXPMS에서 적용하고 있는 포장의 기능적 측면에 대한 보수의사 결정기준은 다음과 같다. 포장 조사 자료를 바탕으로 계산되는 포장상태평가지수(HPCI)로 보수의사를 결정하며 그



<그림 705.3> 개념적 보수공법결정 흐름도

선정 범위는 <표 705.9>와 같다. 분석 대상 포장구간에 대한 보수공법을 보수공법 그룹별로 규정한 후 세부적인 보수공법을 선정한다. 이 세부보수공법의 선정에는 각 포장구간의 포장상태(균열량, 종단평탄성, 소성변형량) 및 포장의 기능성과 안전성이 고려된 보수공법 결정계보도가 바탕이 된다.

<표 705.9> 포장 보수 구분표

포장 상태평가지수(HPCI) 범위	포장 보수 구분	비 고
3.5이상	불필요	
3.5~3.0	상시보수 필요	보수공법 결정계보 이용
3.0~2.5	상시보수 및 단면보수	보수공법 결정계보 이용
2.5~2.0	단면보수 및 표면처리	보수공법 결정계보 이용
2.0~1.5	덧씌우기	
1.5 이하	덧씌우기 혹은 재시공	

4.2.3 덧씌우기 설계

고속도로에서의 덧씌우기 설계방법은 별도의 설계기준이 없으며, 소성변형의 정도를 기준으로 주변 여건에 따라 덧씌우기 또는 절삭 덧씌우기를 일반적으로 수행하고 있다.

705.5 덧씌우기 설계 예

5.1 접착식 콘크리트 덧씌우기

(1) 장래 필요두께 설계

- 기존 포장의 두께(D) : 30cm (12inch)
- 콘크리트 휨강도 (S'_C, 기존포장) : 620 psi
- 콘크리트 탄성계수(E, 기존포장) : 3 million psi
- 하중전달계수 (J, 기존포장) : 3.2
- 장래교통량(N_f) : 40 million ESALs
- Effective Dynamic K-Value (K) : 120 pci
- Effective Static K-Value (K/2) : 60 pci
- 배수계수(C_d) : 1.0
- Desjgn PSI Loss (△PSI) : 2.0
- 신뢰도 (R) : 95%
- 표준편차 (S_0) : 0.39

'93 AASHTO Guide를 통한 설계 결과

: D_f = 14.5 inch (36.9cm)

(2) 기존포장의 유효두께 설계

① 표면조사방법

F_{jc} = 0.96

- 파손된 줄눈 수/1.6km = 15
- 균열수/1.6km = 0
- 파손된 펀치아웃/1.6km = 0
- 2.54cm이상의 줄눈폭 혹은 full-depth, full-lane-width 패칭/1.6km = 0
- 총 파손 수/1.6km = 15

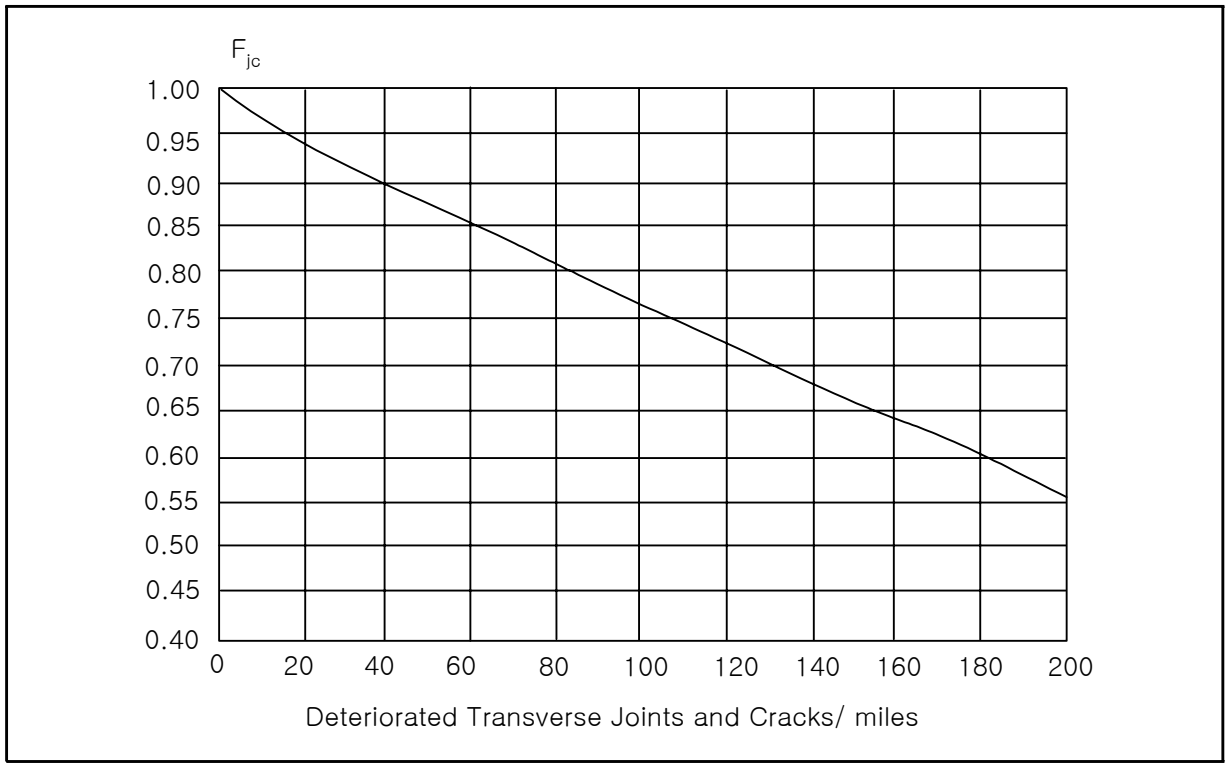
F_{dur} = 1.00

- 1.00 : 콘크리트 포장의 내구성문제가 나타나지 않는 경우
- 0.96-0.99 : 몇 개의 내구성 균열은 있지만 스폴링이 없는 경우
- 0.80-0.95 : 균열과 스폴링이 있는 경우

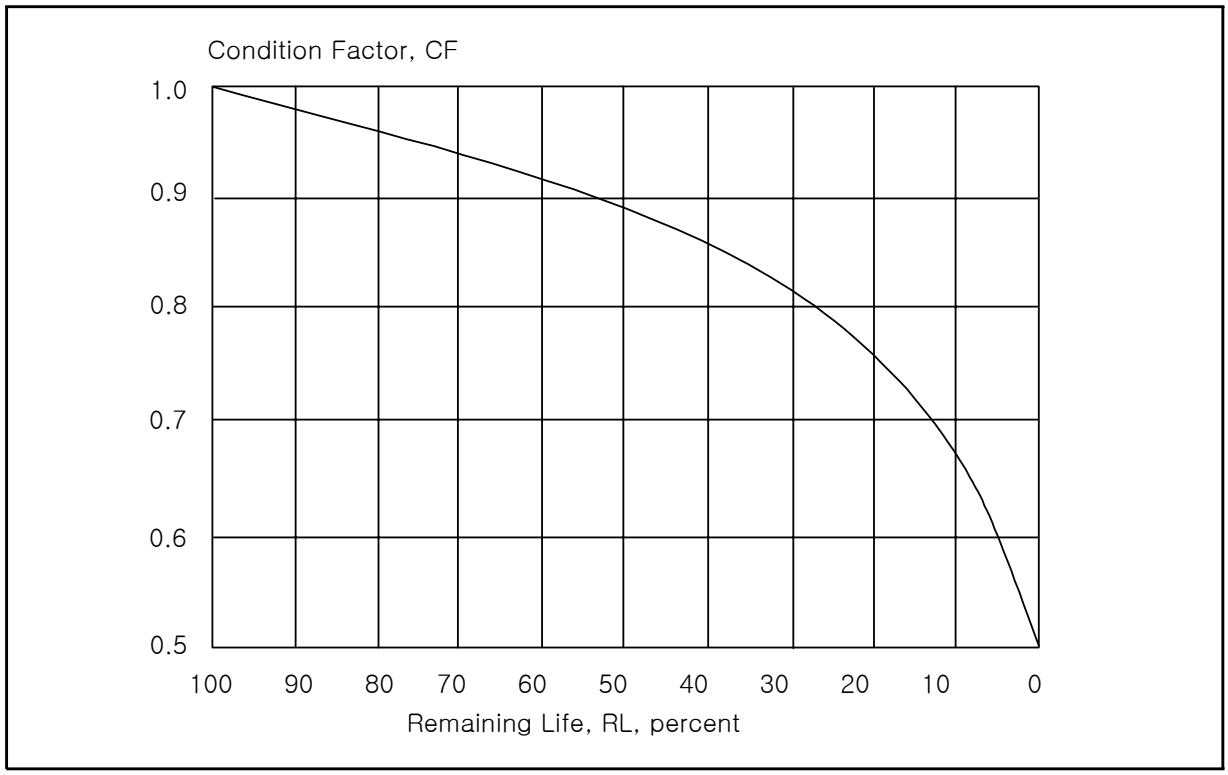
F_{fat} = 0.99

- 0.97-1.00 : 매우 적은 횡방향 균열/펀치아웃이 있는 경우
- 0.94-0.96 : 횡방향 균열/펀치아웃이 종종 있는 경우
- 0.90-0.93 : 횡방향 균열/펀치아웃이 많이 있는 경우

$D_{eff} = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D = 8.5$



<그림 705.4> F_{jc} 보정계수



<그림 705.5> CF와 잔존수명의 상관관계

② 잔존수명방법

N_p = 과거의 누적 ESALs = 30,000,000

$N_{1.5}$ = 최종서비스 지수가 1.5일 때가지의 누적 ESALs = 40,000,000

$$RL = 100\left[1 - \left[\frac{N_p}{N_{1.5}}\right]\right]$$

$$= 100\left[1 - \left[\frac{30,000,000}{40,000,000}\right]\right]$$

$$= 25$$

CF = 0.78

$$D_{eff} = CF \times D = 0.78 \times 8.5 = 6.63$$

다. 덧씌우기 두께 설계

$$D_{OL} = D_f - D_{eff} = 14.5 - 6.63 = 7.87$$

D_{OL} : 덧씌우기 두께

D_f : 장래 필요두께

D_{eff} : 기존포장의 유효두께

∴ 그러므로, 덧씌우기 두께를 20cm(7.87inch)로 설계하기로 한다.

5.2 비접착식 콘크리트 덧씌우기

(1) 장래 필요두께 설계

- 기존 포장의 두께(D) : 30cm (12inch)
- 콘크리트 휨강도 (S'_C, 기존포장) : 640 psi
- 콘크리트 탄성계수(E, 기존포장) : 4 million psi
- 하중전달계수 (J, 기존포장) : 3.2
- 장래교통량(N_f) : 40 million ESALs
- Effective Dynamic K-Value (K) : 120 pci
- Effective Static K-Value (K/2) : 60 pci
- 배수계수(C_d) : 1.0
- Desjgn PSI Loss (△PSI) : 2.0
- 신뢰도 (R) : 95%
- 표준편차 (S_0) : 0.39

'93 AASHTO Guide를 통한 설계 결과

: D_f = 13.5 inch (34.3cm)

(2) 기존포장의 유효두께 설계

① 표면조사방법

F_{jcu} = 0.96

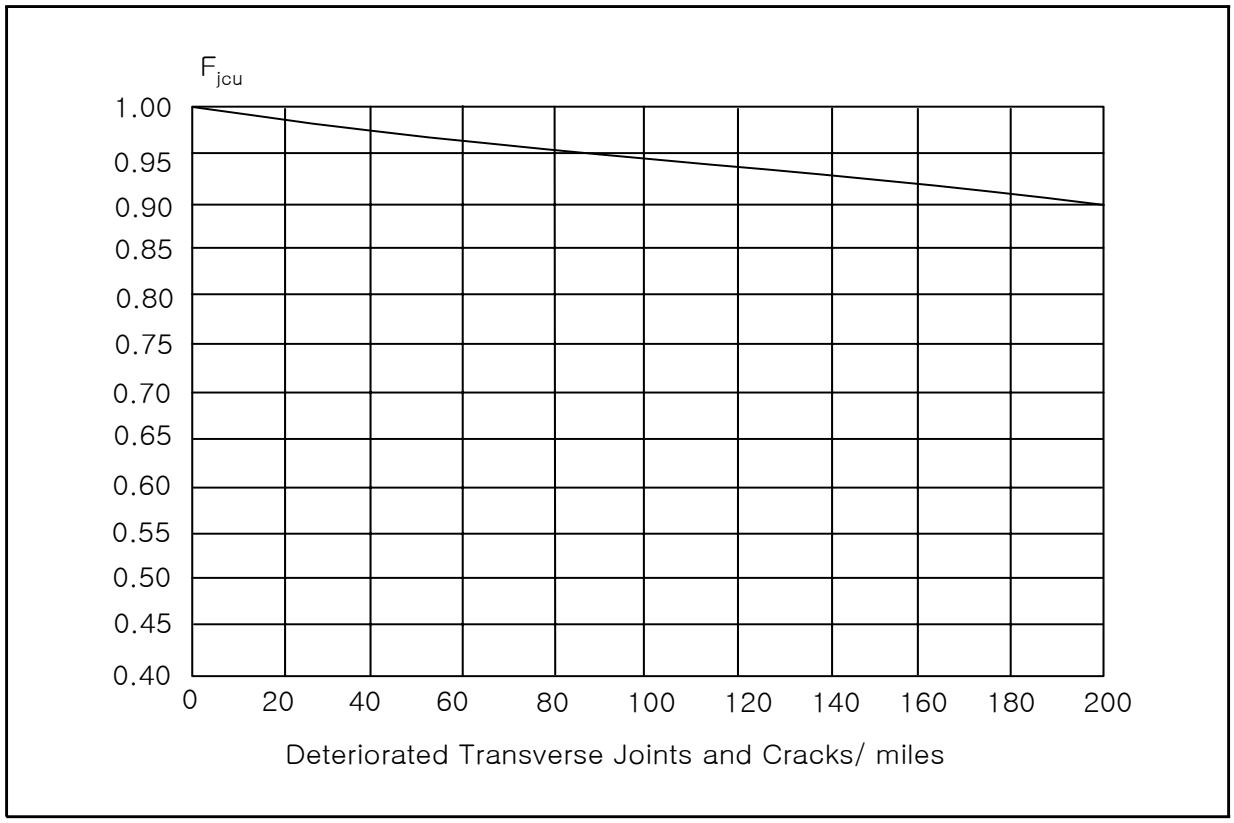
- 파손된 줄눈 수/1.6km = 0
- 균열수/1.6km = 0
- 파손된 펀치아웃/1.6km = 0
- 2.54cm이상의 줄눈폭 혹은 full-depth, full-lane-width 패칭/1.6km = 50
- 총 파손 수/1.6km = 50

$$D_{eff} = F_{jcu} \times D = 11.52$$

② 잔존수명방법

N_p = 과거의 누적 ESALs = 30,000,000

$N_{1.5}$ = 최종서비스 지수가 1.5일 때까지의 누적 ESALs = 40,000,000



<그림 705.6> F_{jcu} 보정계수

$$RL = 100\left[1 - \left[\frac{N_p}{N_{1.5}}\right]\right]$$

$$= 100\left[1 - \left[\frac{30,000,000}{40,000,000}\right]\right] = 25$$

CF = 0.78

$$D_{eff} = CF \times D = 0.78 \times 13.5 = 10.53$$

(3) 덧씌우기 두께 설계

$$D_{OL} = \sqrt{D_f^2 - D_{eff}^2}$$

$$= \sqrt{13.5^2 - 10.53^2}$$

$$= 8.45$$

D_{OL} : 덧씌우기 두께

D_f : 장래 필요두께

D_{eff} : 기존포장의 유효두께

∴ 그러므로, 덧씌우기 두께를 22cm (8.45inch)로 설계하기로 한다.

705.5 덧씌우기 설계 예

5.1 접착식 콘크리트 덧씌우기

가. 장래 필요두께 설계

- 기존 포장의 두께(D) : 30cm (12inch)
- 콘크리트 휨강도 (S'_C, 기존포장)
  : 620 psi
- 콘크리트 탄성계수(E, 기존포장) : 3 million psi
- 하중전달계수 (J, 기존포장) : 3.2
- 장래교통량(N_f) : 40 million ESALs
- Effective Dynamic K-Value (K) : 120 pci (NDT조사결과)
- Effective Static K-Value (K/2) : 60 pci
- 배수계수(C_d) : 1.0
- Desjgn PSI Loss (ΔPSI) : 2.0
- 신뢰도 (R) : 95%
- 표준편차 (S_0) : 0.39

'93 AASHTO Guide를 통한 설계 결과

: D_f = 14.5 inch (36.9cm)

나. 기존포장의 유효두께 설계

(1) 표면조사방법

F_{jc}= 0.96

- 파손된 줄눈 수/1.6km = 15
- 균열수/1.6km = 0
- 파손된 펀치아웃/1.6km = 0
- 2.54cm이상의 줄눈폭 혹은 Full-Depth, Full-Lane-Width 패칭/1.6km = 0
- 총 파손 수/1.6km = 15

<그림 3-3.6>

F_{dur} = 1.00

- 1.00 : 콘크리트 포장의 내구성문제가 나타나지 않는 경우
- 0.96-0.99 : 몇 개의 내구성 균열은 있지만 스폴링이 없는 경우
- 0.80-0.95 : 균열과 스폴링이 있는 경우

F_{fat} = 0.99

- 0.97-1.00 : 매우 적은 횡방향 균열/펀치아웃이 있는 경우
- 0.94-0.96 : 횡방향 균열/펀치아웃이 종종 있는 경우
- 0.90-0.93 : 횡방향 균열/펀치아웃이 많이 있는 경우

$D_{eff} = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D =$ 8.5

(2) 잔존수명방법

N_p = 과거의 누적 ESALs = 30,000,000

$N_{1.5}$ = 최종서비스 지수가 1.5일 때가지의 누적 ESALs = 40,000,000

$$RL = 100\left[1 - \left[\frac{N_p}{N_{1.5}}\right]\right] = 100\left[1 - \left[\frac{30,000,000}{40,000,000}\right]\right] =$$

CF =

$D_{eff} = CF \times D =$

다. 덧씌우기 두께 설계

$D_{OL} = D_f - D_{eff}$ =

D_{OL} : 덧씌우기 두께

D_f : 장래 필요두께

D_{eff} : 기존포장의 유효두께

∴ 그러므로, 덧씌우기 두께를 *cm로 설계하기로 한다.

5.2 비접착식 콘크리트 덧씌우기

가. 장래 필요두께 설계

- 기존 포장의 두께(D) : 30cm (12inch)
- 콘크리트 휨강도 (S'_C, 기존포장)
  : 640 psi
- 콘크리트 탄성계수(E, 기존포장) : 4 million psi
- 하중전달계수 (J, 기존포장) : 3.2
- 장래교통량(N_f) : 40 million ESALs
- Effective Dynamic K-Value (K) : 120 pci (NDT조사결과)
- Effective Static K-Value (K/2) : 60 pci
- 배수계수(C_d) : 1.0
- Desjgn PSI Loss (Δ PSI) : 2.0
- 신뢰도 (R) : 95%
- 표준편차 (S_0) : 0.39

'93 AASHTO Guide를 통한 설계 결과

: D_f = 13.5 inch (34.3cm)

나. 기존포장의 유효두께 설계

(1) 표면조사방법

- 파손된 줄눈 수/1.6km = 0
- 균열수/1.6km = 0
- 파손된 펀치아웃/1.6km = 0
- 2.54cm이상의 줄눈폭 혹은 Full-Depth, Full-Lane-Width 패칭/1.6km = 50
- 총 파손 수/1.6km = 50

F_{jcu} = 0.96

<그림 3-3.6>

$$D_{eff} = F_{jcu} \times D = 11.52$$

(2) 잔존수명방법

N_p = 과거의 누적 ESALs = 30,000,000

$N_{1.5}$ = 최종서비스 지수가 1.5일 때가지의 누적 ESALs = 40,000,000

$$RL = 100\left[1 - \left[\frac{N_p}{N_{1.5}}\right]\right] = 100\left[1 - \left[\frac{30,000,000}{40,000,000}\right]\right] = 25$$

CF =

$$D_{eff} = CF \times D =$$

다. 덧씌우기 두께 설계

$D_{OL} = \sqrt{D_f^2 - D_{eff}^2}$ =

D_{OL} : 덧씌우기 두께

D_f : 장래 필요두께

D_{eff} : 기존포장의 유효두께

∴ 그러므로, 덧씌우기 두께를 *cm로 설계하기로 한다.

706
재생 포장

706.1 개요

신축공사 및 해체 공사로부터 발생하는 부산물은 여러 가지가 있는데 이렇게 발생되는 아스팔트와 콘크리트를 비롯한 건설잔토, 오니 등을 포함하여 건설부산물로 분류하고 특히 이중에서 자원의 재활용성이 높은 것들을 다시 지정 부산물로 정하고 있는데 이중에서 도로재료로 크게 재활용되고 있는 폐아스팔트와 폐콘크리트에 대해서 설명한다.

재활용 재료들은 품질 정도에 따라 표층부터 노상까지 다양하게 도로포장에 적용할 수 있으므로 많은 양이 소화될 수 있다.

국내에는 재활용 포장에 대한 기준이 정립되지 않아 본 편람에서는 재활용공법에 대한 소개 및 품질관리기준에 대하여 설명하였다.

706.2 재생 아스팔트포장의 분류

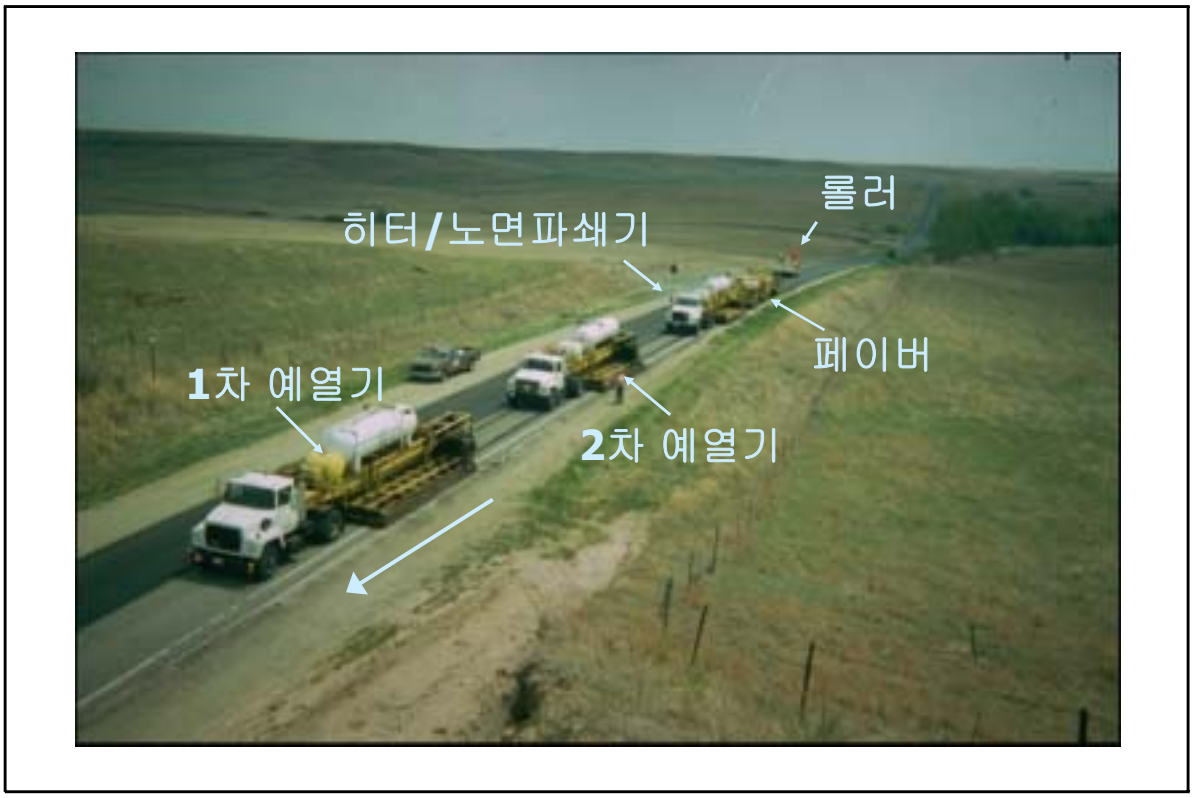
아스팔트 포장의 재활용 방법은 여러 가지가 있고 사용된 장비의 종류와 작업 깊이, 작업이 수행된 장소, 그리고 혼합과정에서의 가열여부 등에 따라서 구분되기도 한다. 또한 이러한 방법들은 기존 포장체의 구조와 형태 및 파손 정도를 정확히 파악하여 적용해야 한다.

미국 아스팔트협회(AI ; Asphalt Institute)와 미국 아스팔트포장 협회(NAPA ; National Asphalt Pavement Association)는 재활용의 방법을 작업형태에 따라 가열혼합 재생방법(hot-mix recycling)과 상온혼합 재생방법(cold-mix recycling), 그리고 표면재생방법(surface recycling) 등으로 분류하였고, 미연방도로 연구 프로그램(NCHRP)에서는 작업장소에 따라 표면 재생방법과 현장재생방법, 그리고 플랜트 재생방법 등으로 분류하였다. 그러나 본질적으로 두 분류는 모두 같다. 즉 가열혼합 재생방법은 플랜트재생방법과 거의 유사하고, 상온혼합 재생방법은 현장재생방법과 거의 비슷하다.

그래서 요즈음에 가장 일반적으로 사용되는 재활용 방법의 분류는 후자의 분류법을 사용하고 있다. 이 분류법에 의한 각 공법의 일반적인 특징과 문제점은 다음과 같다.

2.1 표면 재생 공법 (surface recycling)

이 방법은 기존 아스팔트 포장의 표면을 현장에서 깎아 내거나 분쇄(milled) 또는 가열(heated)하여 재활용하는 방법이다. 가열하는 방식의 경우에는 포장체를 긁어 일으켜(scarifies) 재혼합한 후 포설하여 다짐을 하는 방법이다. 이 과정에서 필요로 하는 혼합물을 만들기 위하여 새로운 아스팔트나 새로운 골재



<그림 706.1> 현장가열재생공법 : 표면 재생공법

등을 첨가할 수도 있다. 이렇게 하여 생산된 최종 혼합물은 아스팔트 포장의 표층이나 아스팔트 덧씌우기에 사용된다.

이 방법은 1970년대를 전후로 해서 가장 광범위하게 사용되었던 재활용 방법으로 포장을 유지보수하기 전에 수행되는 표면처리 방법으로 특히 유용하게 사용되었으며, 또한 피로하중에 의한 표면의 결함을 개선하는 방법으로 쓰이기도 하였다. 이 방법은 기존의 덧씌우기에 의해 쉽게 치유할 수 없는 도로의 구조적 결함(연석, 맨홀, 하수구 등)이나 도로의 기하학적 결함(overlay buildups, 수직여유고, 도로경사 등)들을 개선하는데 가장 적합한 방법으로 알려져 있다.

표면재활용은 2.5cm 두께 전, 후의 포장구조물의 결함을 바로잡는데 사용되는데, 이들 중 몇몇 방법들은 결함이 있는 표면재료를 제거한 후 이들을 다른 장소에 재사용하거나 재활용하기도 한다.

표면 결함의 주된 원인은 포장의 노화로 인하여 발생되는 산화작용에 기인한 것이다. 이 문제를 해결하기 위한 대부분의 기존 유지보수 방법들은 이 결함을 제거할 수 있는 충분한 두께의 덧씌우기를 포설하는 방법들이었다. 그러나 Coons와 Wright(1968)의 연구에 의하면 포장의 노화나 산화는 포장 표면의 1.8cm 이내에서 발생한다는 것이 밝혀졌다. 즉 이들은 포설된지 1년에서 13년이 경과한 여러 아스팔트 도로에서 직경 15cm의 코어를 채취하여 이들을 0.6cm 두께로 잘라서 각 조각마다의 아스팔트의 특성을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 노화의 정도를 나타내는 아스팔트의 점도는 맨 윗 부분의 경우는 두 번째 부분과 비교하였을 때 약 50%가 증가하였다.
2) 점도의 변화가 가장 크게 일어나는 부분은 표면 바로 아랫부분이었다.
3) 포장 표면에서 1.8cm 까지가 나머지 부분보다 훨씬 더 많이 재령의 영향을 받았다.
4) 4.3cm이하 부분의 아스팔트는 재령의 영향을 받지 않았다.

따라서 표면 재생방법은 재령(aged)이나 아스팔트의 산화와 관련된 표면결함의 처리에 가장 적합하다고 할 수 있다. 즉 포장의 표면 부분을 제거하거나 회복시킴으로서 거의 원래의 결합재의 특성을 복원시킬 수 있다는 것이다.

표면재활용 방법은 포장 표면을 처리할 때 열을 가했는가 아닌가에 따라서 저온표면재활용 방법과 가열표면재활용 방법으로 구분된다. 가열표면재활용 방법은 포장제거 과정을 수월하게 하기 위한 방법으로 열에너지를 이용하여 표면재료를 가열시키는 방법이다. 이 작업을 수행하는데는 heater-planers, heater-scarifies, hot-millers 등의 기계가 사용된다. 가열표면재활용 방법을 이용하는데 가장 큰 문제점은 열에너지의 적정한 수준을 개발하는 것이다. 너무 높은 온도는 포장재료를 손상시킬 뿐만 아니라 과도한 대기오염도 유발하며, 온도가 너무 낮으면 포장의 제거 과정이 지연되거나 표면재활용 공정이 방해를 받기 때문이다.

저온표면재활용 방법은 포장제거 과정에 도움을 주기 위한 방법으로 열에너지를 이용한다기보다는 기계에너지를 이용하는 방법이다. 이 방법에 사용되는 장비로 가장 널리 알려져 있는 것은 포장 표면재료를 제거하기 위한 절단날과 회전드럼이 장착되어 있는 절삭기계(milling machine)이다. 이 방법을 사용할 경우 온도와 관련된 아스팔트 결합재의 품질저하나 산화작용은 없다. 그러므로 cold miller는 포장재료를 제거하는데 가열표면재활용 장비보다는 단위당 에너지 소모가 적고 통과 횟수당 제거량이 많으며 동시에 더 정확하게 절삭할 수 있다.

2.2 플랜트 재생공법 (central plant recycling)

플랜트 재생방법은 아스팔트 포장재료를 제거하여 이 폐기재료들을 고정된 플랜트로 운반하여 회수된 재료들을 가열 혼합하는 과정에서 새로운 재료들을 첨가하는 방법이다. 이렇게 재생된 혼합물은 기존의 포설장비를 이용하여 다시 포설된다. 이러한 재활용 과정을 거치는 동안 기존 포장의 구조적 성능을 상당히 개선시킬 수 있는 것으로 입증됐다. 그리고 기층과 보조기층을 아스팔트 포장재료들이 제거된 후에 다시 건설할 수도 있기 때문에 기존 포장의 근본적인 결함도 해결할 수 있다.

일반적으로 회수된 아스팔트 포장 재료들은 그것들이 비록 제거되는 과정에서 파쇄되었다 할지라도 플랜트에서 골재 파쇄 장비를 이용하여 다시 한번 파쇄해야 한다. 이렇게 파쇄된 골재들은 입도별로 분리, 공급되어 혼합하게 되는데 이 과정에서 기존의 노후된 아스팔트와 골재의 품질이 개선되게 되는 것이다.

플랜트 재생방법을 이용하여 아스팔트 재료를 재활용할 때 가장 큰 문제점이 회수된 결합재가 건조 열에 의해 연소되면서 산화되는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으

<그림 706.2> 재생혼합을 위한 배치플랜트와 드럼플랜트

로 골재의 가열을 2중 공급장치를 이용한 열전도 방식에 의하여 가열한다.

이 열전도 방식에 따라 플랜트 재생방법은 크게 두 가지로 구분된다. 즉, 그 첫 번째 방법은 배치 플랜트 재활용 방식으로 이 방법은 새로운 골재를 건조로 안에서 고온으로 가열시킴과 동시에 회수된 포장재료들을 건조로의 측면을 통하여 배치 플랜트 타워에 직접 공급한다. 이렇게 함으로써 회수된 포장 재료들은 배치 플랜트의 계량 호퍼와 퍼그밀에서 고온으로 가열되어 있는 신규골재에 섞어 가열되게 되고 그렇게 됨으로써 아스팔트의 산화가 방지된다.

두 번째 방법은 드럼믹서 재생 방식으로 이것의 열전도 과정은 다음과 같은 3가지 방법이 사용된다.

(1) 배기가스에 의해 간접적으로 가열하는 방법
(2) 드럼내의 온도분포를 조절하여 거친 공기 혼합작용을 발생시켜 생기는 대류열을 이용하는 방법
(3) 드럼 앞쪽에 있는 새로운 골재를 높은 온도로 가열하여 이것을 드럼 중앙으로 접근시켜 환류나 열전도에 의하여 드럼 중앙에 있는 골재를 가열하는 방법 등이다.

이렇게 배치 플랜트나 드럼 믹서 플랜트에서 소정의 온도로 혼합된 혼합물들은 트럭으로 운반되어 기존의 포설 및 다짐기계를 이용하여 다시 포설된다. 플랜트 혼합에서는 두 가지 혼합방식 모두 기존의 장비를 사용해도 되지만 개조를 하거나 재활용 kit를 추가하면 더욱 능률적이다.

2.3 현장 재생공법 (in-place surface and base recycling)

이 방법은 노후된 도로를 노면에서 2.5cm 이상의 두께로 분쇄하여 재생한 후 다시 포설하여 다짐을 하는 방법이다. 이 과정에서는

<그림 706.3> 현장 상온 재활용 공법

필요하다면 새로운 골재나 결합재를 첨가할 수도 있다.

아스팔트 포장재료를 노면에서 재활용하기 위하여 다양한 종류의 장비와 건설기술이 사용되어 왔는데, 이 방법의 가장 일반적인 형태가 상온현장재활용 방법이다. 일반적으로 새로운 재료로 덧씌우기를 하거나 아스팔트 표면을 보수했을 경우에는 재생된 포장의 구조적 강도를 증가시키기 위하여 물의 침입을 막고 교통량을 통제해야 한다. 그러나 이 방법은 노면에서 직접 수행되고 열을 가하지 않기 때문에 교통소통에 지장을 주지 않는다. 또한, 현장 재활용 방법은 기존의 도로건설장비를 이용하여 수행할 수 있으며, 앞서 언급한 두 가지 재활용 방법보다 에너지 소모가 적기 때문에 재활용 비용이 상당히 절약된다.

그러나 이 방법의 가장 큰 문제점은 재활용된 생산물의 품질을 조절할 수 없다는 것이다. 즉 현장에서 재료를 재활용할 때 사용되는 장비와 기술이 너무 다양하기 때문에 최종 생산물이 너무 많아 품질관리가 힘들다는 것이다.

아스팔트 포장을 노면에서 재활용하기 위해서 가장 해야할 일은 기존 포장을 제거하는 것이며 그 다음이 회수된 포장재료를 파쇄하고 분쇄하는 과정이다. 그리고 그 다음 공정은 필요한 경우에 재료를 추가하여 회수된 재료와 혼합하는 것이고 마지막으로 이것을 포설하고 다지는 것이다. 이러한 과정을 수행하는데 있어 단순한 장비로부터 상대적으로 복잡한 장비에 이르기까지 그 사용장비는 매우

다양하다. 그러므로 재활용된 혼합물에 첨가할 새로운 결합재의 종류는 혼합의 형태와 질은 포장의 제거와 파쇄과정에서 적절한 장비를 선택했는가에 좌우된다. 즉 선택된 장비의 종류는 재활용량을 조절할 뿐만 아니라 재활용 과정에 관련된 비용에 커다란 영향을 끼친다.

706.3 폐아스팔트 관련 품질 기준

폐아스팔트 포장재료를 재활용하여 도로의 재료로 사용할 경우 해당용도에 따른 품질규정은 재생재료라 하여 별도로 규정되어 있는 것이 없다. 따라서 재활용 생산품의 품질도 기존의 용도별 신규재료의 품질기준에 합당하도록 시공되어야 한다.

일반적으로 아스팔트 포장의 구조는 노상, 보조기층, 기층 및 표층으로 구분되어 있으며, 폐아스팔트 포장재료는 품질정도에 따라 보조기층, 기층 및 표층재료로 재활용될 수 있다. 따라서 이의 사용을 위해서 재활용 재료가 어떤 품질을 가지고 있는지를 공사 착수 전 또는 재료나 배합을 변경하기 전에 시험을 통해 확인하도록 되어 있다. 선정시험의 항목은 사용재료 및 혼합물이 시방서 등 기타에 정해진 소요품질을 구비하고 있는지를 확인하고 관리단계에서 필요한 조치를 구하기 위한 것이다

최근 국내에서 재활용되고 있는 폐아스팔트 등은 아직까지 공용성이 입증되지 않아 대부분 기층재료로 사용되고 있으며, 재활용 아스팔트에 대한 전형적인 기준이 제시되어 있지 않다.

폐아스팔트 포장재료를 아스팔트 안정처리기층 재료로 재활용하는데 사용될 혼합골재의 입도 및 품질을 <표 706.1>과 <표 706.2>에 나타내었다.

또한 이러한 비율로 제조한 아스팔트 안정처리 기층용 혼합물은 <표 706.3>에 제시된 규격을 만족해야 한다. 단, 사용되는 안정처리기층의 용도에 따라 골재의 입도가 다소 차이가 있고, 고급도로 포장용인 경우와 소형도로 포장용인 경우 다소 다른 혼합물의 품질기준은 <표 706.3>과 같다. 하지만 이 기준들은 가열아스팔트 안정처리기층에 대한 규격이고 상온 혼합에 대한 규격은 별도로 없어 현재는 이 규격을 사용하기로 한다.

<표 706.1> 아스팔트 안정처리 기층용 골재의 품질기준표

구 분	기 준
마모감량	40%이하
안정성	15%이하
소성지수	4%이하

<표 706.2> 아스팔트 안정처리 기층용 골재의 표준입도

체크기	통과중량백분율(%)		
	BB-1	BB-2	BB-3
53mm	100	-	-
37.5mm	95-100	100	-
26.5mm	70-100	-	100
19mm	55-90	55-90	75-100
9.5mm	30-70	40-70	50-85
4.75mm	17-55	28-55	30-70
2.36mm	10-42	-	-
2.00mm	-	17-40	20-50
600 μm	5-28	-	-
425 μm	-	5-23	5-25
300 μm	3-22	-	-
75 μm	1-10	1-7	1-7
아스팔트량(%)	3.5-5.5		

<표 706.3> 아스팔트 안정처리기층 혼합물 품질기준

구 분		단 위	기 준
안정도 (stability)	일반도로	kg	350kg
	소도로	kg	250kg
흐름값(flow)		1/10mm	10-40
공극률(air void)		%	3-10

706.4 폐콘크리트의 재생 방법 및 용도

구조물 해체시 발생하는 폐콘크리트를 재생하는 방법은 분쇄기를 이용하는데 크게 중간처리시설이 있는 분쇄기로 폐콘크리트 덩이를 운반한 후 분쇄하는 방법과 이동식 분쇄기를 해체현장에 반입하여 분쇄하는 방법 2가지로 구분할 수 있다. 대규모의 해체 공사를 제외하고는 대부분 중간 처리 시설을 이용하며, 이 시설은 도심지의 해체현장과 가까운 대도시 근교에 설치되는 경우가 많다. 이렇게 발생한 폐콘크리트의 재활용 기준이 정립되지 않아 현재까지는 주로 보조기층 및 노상 성토 재료로 많이 사용되고 있다.

706.5 폐콘크리트 관련 품질기준

보조기층재료는 견고하며 내구적인 부순돌, 자갈, 모래, 슬래그 기타 승인 받은 재료 또는 이들의 혼합물로서 점토덩어리, 유기물, 유해물 등을 함유해서는 안된다. 일반적으로 보조기층 재료는 <표 706.4>와 같은 도로공사 표준시방서에 제시된 품질규정에 만족한 것이라야 한다. 또한 국내 혼합골재의 입도분포 기준은 <표 706.5>와 같다.

<표 706.4> 보조기층재료의 품질규정

구 분	시험방법	도로공사 시방서 기준
마모감량	KS F 2508	50% 이하
액성한계	KS F 2303	25% 이하
소성지수	KS F 2304	6% 이하
실내 CBR 값	KS F 2320	30% 이상
모래당량	KS F 2340	25% 이상
No. 200체 통과량	KS F 2511	10% 이하

<표 706.5> 혼합골재의 입도분포 기준 (KS F 2302 기준)

구분	통 과 중 량 백 분 율 (%)							
	80mm	50mm	40mm	19mm	4.76 (No.4)	2.38 (No.8)	0.42mm (No.40)	0.074mm (No.200)
SB-1	100	-	70-100	50-90	30-65	20-55	5-25	2-10
SB-2	-	100	80-100	55-100	30-70	20-55	5-30	2-10

707
특수개소 포장

707.1 개요

특수개소 포장에 대한 명확한 정의가 있는 것은 아니나 일반적으로 이용되고 있는 포장과는 달리 교면, 터널 등 내마모성이 요구되는 장소, 단지나 주차장, 버스 정류장, 영업소와 같은 곳에 포장하는 경우를 통틀어 특수개소 포장이라고 부른다.

707.2 교면 포장

2.1 개요

교면 포장은 교통하중에 의한 충격, 기상변화, 빗물과 제설용 염화물의 침투 등에 의한 교량상판의 부식을 최소화하여 교량의 내하력 손실을 방지하고 동시에 통행 차량의 쾌적한 주행성을 확보하기 위해 포장 재료로 교량 상판 위를 덧씌우는 방법이다. 이러한 교면 포장은 상판보호를 위한 방수가 특히 중요하다.

따라서, 교면 포장은 다음 특성을 확보할 필요가 있다.

(1) 표면이 평탄하여 승차감 확보
(2) 미끄럼에 대한 저항능력, 즉 마찰능력보유
(3) 차량의 제동력, 추진력 및 환경 영향에 대하여 내구성과 안정성의 확보 및 유지
(4) 교면의 빗물을 신속히 배수시키고 불투수층을 형성하여 제빙염, 빗물 등의 침투로 인한 상판의 부식방지
(5) 포장 하부층, 즉 강상판 또는 콘크리트 상판과의 부착 특성 유지 및 전단에 저항
(6) 사하중의 과도한 증대로 피로를 유발하지 않아야 함
(7) 교량 구조체의 신축팽창 거동을 수용하고 구조적으로 나쁜 영향을 일으키지 않아야 하며, 교통 충격하중에 저항할 수 있어야 함

교면 포장 재료는 교량 상판의 상대적으로 큰 처짐이나 진동에 대한 저항성이 커야하므로 시멘트 콘크리트 포장보다는 아스팔트 콘크리트 포장의 형태를 취하게 된다. 아스팔트 콘크리트는 온도에 매우 민감하게 물성이 변하는 점탄성 재료로서 사용될 지역의 기온 특성이 재료 선택의 기준으로 반영되어야 한다.

2.2 포장의 구성

교면 포장은 외적으로 심한 교통 조건과 기후조건 하에 놓이게 된다. 또한 교면 포장은 반무한의 포장층 위에 놓이는 일반도로 포장과

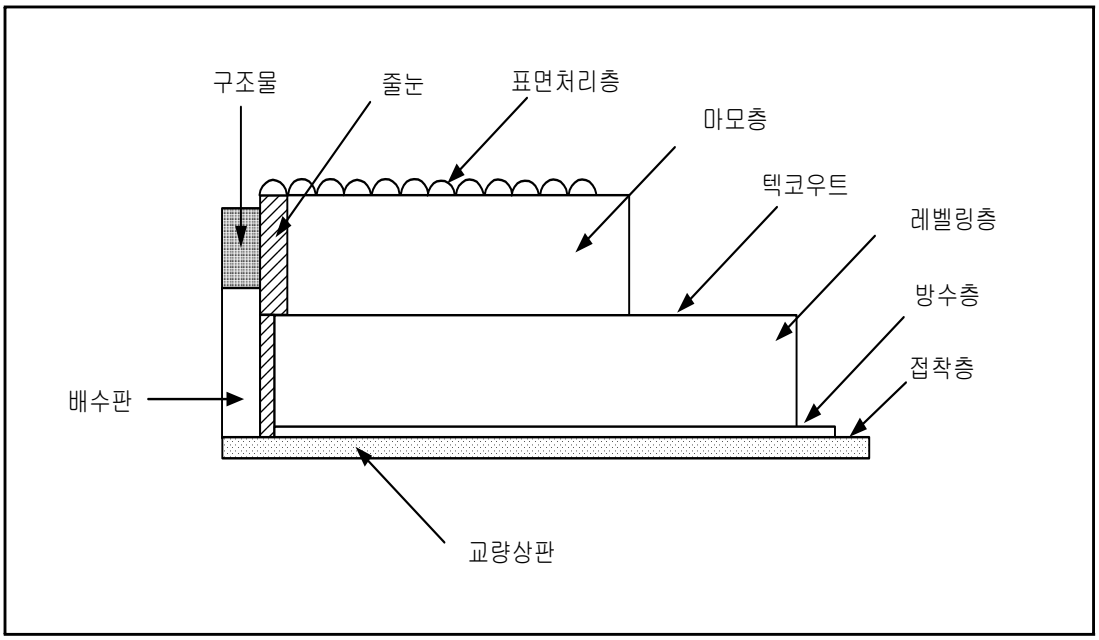
달리 교량 상판 위에 설치되어 교량 상부구조의 구조적인 거동에 크게 영향을 받는다. 이와 같은 내, 외적인 영향을 수용하기 위해서 포장의 두께만을 조절하는 방법은 극히 제한적이다. 그러므로 교면 포장 설계에서는 소요 포장 재료 성질을 가지는 특수한 배합의 혼합물을 적극적으로 이용하고 있다.

일반적으로 교면 포장 재료는 밀도가 높고 공극률과 투수성이 낮도록 배합 설계되며, 단층구조나 2층 구조로 이루어진다. 단층구조의 경우 포장의 두께는 4-8cm 정도이고 2층의 경우 상층이 3-4cm, 하층이 3-5cm 두께를 갖는 것이 일반적이다.

일반적인 2층 교면 포장의 구조는 <그림 707.1>과 같다.

(1) 마모층

마모층은 차량의 주행과 교량의 진동에 의한 반복재하 하중에 저항하고 하절기 고온에 대한 안정성을 확보하기 위한 고온 안정성과 동절기에 균열에 대한 피로저항성을 구비한 재료를 이용하여야 한다. 이를 위해 좋은 품질의 골재, 점도를 개선한 개질아스팔트, 내박리재를 사용하는 특수한 배합설계를 통한 고밀도의 공극률이 낮은 아스팔트 혼합물이 사용된다. 한편 배합설계시에 공극률을 낮추기 위한 밀입도 골재의 사용은 사용 아스팔트량을 증가시켜 표면조직의 미끄럼 마찰저항을 감소시킬 수 있다. 그러므로 아스팔트 표층 혼합물의 배합설계는 고밀도의 저공극률 기준하에서 실시하되 혼합물간의 영향과 경제성을 고려해야 한다.



<그림 707.1> 2층 교면 포장의 구조

(2) 택 코우트

포장의 상, 하층을 접착시키기 위한 층으로 유화 아스팔트와 고무가 첨가된 아스팔트 유제 등을 사용한다.

(3) 레벨링층

상판 표면의 요철을 조정하며 평탄성을 확보하고 마모층과 일체가 되어 거동한다. 필요에 따라 방수층의 역할을 겸하기도 한다. 일반적으로 구스 아스팔트, 스트레이트 아스팔트 혼합물, 개질 아스팔트 혼합물, 경화성 아스팔트 혼합물 등을 이용한다.

(4) 접착층

접착층은 강상판에 방수층 또는 포장을 접착시켜 일체화시키기 위해 설치한다. 접착층에 사용하는 재료는 하층이 가열 아스팔트 혼합물이나 구스 아스팔트의 경우 고무 접착제를 사용하고 경화성 아스팔트 혼합물의 경우에는 경화성 아스팔트계 접착제를 사용한다.

접착층의 시공시에는 접착면이 빗물이나 이물질로 오염되지 않도록 주의해야 하며 접착제의 양이 과다할 경우 오히려 접착 효과가 저하되며 포장에 나쁜 영향을 미친다.

(5) 방수층

물의 침투를 방지하여 상판의 내구성을 높이기 위해 설치한다. 방수재의 종류로는 도막계 방수층, 침투계 방수층, 시트계 방수층, 포장 방수층이 있다. 방수재료의 기본특성은 <표 707.1>과 같다.

(6) 상판 표면처리

강상판 표면처리는 강상판의 부식방지와 포장의 내구성을 확보하기 위해 실시한다. 표면처리는 샌드플라스팅하거나 도장을 실시하는데 강상판면을 볼트나 리벳으로 연결된 경우나 용접부분이 두꺼운 경우 접착력이 감소하므로 이 부분의 표면처리에 주의하여야 한다.

콘크리트 상판면의 표면처리는 일반적인 청소작업에 그치고 있으나 상판이 매우 불량한 경우에는 평탄성 확보를 위한 추가적인 작업을 검토할 필요가 있다.

(7) 줄눈

줄눈은 포장과 구조물 사이 또는 신축장치의 이음부분 등 빗물이 침투하는 부분에 설치하며 상판과 포장의 내구성을 확보하기 위해 설치한다. 사용 재료로는 포장용 혼합물의 종류와 작업에 따라 성형줄눈재, 주입줄눈재로 나눌 수 있다.

(8) 배수판

상판 모서리 부분의 포장에 고인 물을 배수시킬 수 있는 판을 설치하여 포장 시공시 사면에 모인 물과 이후 줄눈에서 침투한 물의 배수시설로서 사용한다.

(9) 표면처리층

미끄럼 저항성이 요구되는 경우에는 표면처리층을 설치한다. 단층구조일 경우 마모층과 레벨링층이 일체가 되어 앞서 기술한 기능이 만족할 만한 재료를 사용한다.

<표 707.1> 방수재의 재료별 기본특성

구 분	침투계 방수층	도막계 방수층		시트계 방수층	포장계 방수층
		용제형	가열형		
조 성	유기화합물계 및 무기화합물계	클로로프렌을 용제에 용해	아스팔트 및 합성고무	부직포에 고무 아스팔트를 함유	경질 아스팔트와 골재로 구성되는 아스팔트 혼합물
방수층 두 께	-	0.4-1.0mm	1.0-1.5mm	1.5-4.0mm	15-25mm
주 요 특 성	- 반영구적 - 내한, 내열성 우수 - 내산, 내염성 우수 - 내마모성 증진	- 방수성 우수 - 내한, 내열성 우수 - 아스팔트 접착력 우수 - 진동에 내성 - 내산, 내염성 우수		- 균일한 방수 - 내구성 우수 - 내산, 내염성 우수 - 자체 점착성 - 자기보수성	- 균일한 방수 - 접착력 우수 - 부풀음 현상 발생우려 없음
분 석	- 시공이 간편 - 방수성 우수 - 고강도 콘크리트 슬래브 - 보수용이 - 비교적 저가	- 시공이 복잡 - 방수성 우수 - 부풀음 현상발생 우려 - 균열에 대처 - 보수가 곤란 - 비교적 고가		- 시공이 용이 - 방수성 균일 - 방수성 우수 - 균열에 대처 - 자기보수성 - 비교적 고가	- 시공이 용이 - 방수성 우수 - 균열에 대처 - 하층으로 작용하여 포장층의 역할 수행

2.3 교면 포장의 종류

교면 포장으로서는 가열 아스팔트 혼합물, 구스 아스팔트 혼합물, 개질 아스팔트 및 특수 결합재료를 이용하며, 교량의 종류 및 형태, 교통 및 기후 환경을 고려하여 적합한 것을 선정한다.

(1) 가열아스팔트 포장

일반적으로 교량 슬래브의 요철을 고려하여 두께 5-8cm가 좋다. 요철이 큰 경우에는 레벨링층(평균두께 3-4cm)을 둘 필요가 있으며 이 레벨링 층에는 토페카, 수정토페카, 밀입도 아스팔트 혼합물, 구스 아스팔트 혼합물 등이 사용된다.

강상판 등에서 여름철에 온도가 상승하여 혼합물이 유동할 염려가 있을 경우에는 재료의 선택, 배합 등에 충분한 주의를 하여야 한다.

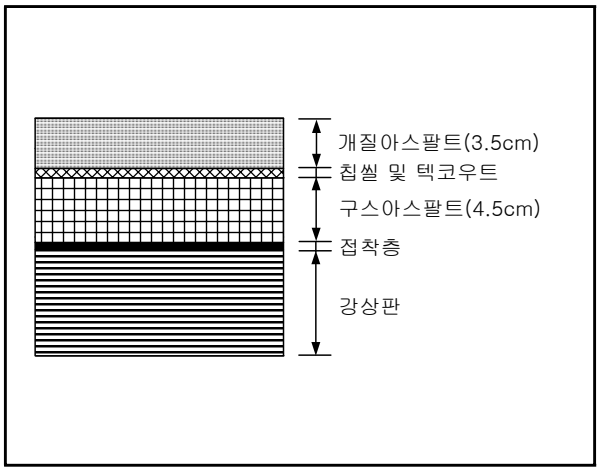
(2) 구스 아스팔트 포장

구스 아스팔트 포장은 고온에서 구스 아스팔트 혼합물을 유입시키므로 온도저하에 의한 체적수축을 수반하여 구조물과의 접촉면에 간극이 생기기 쉬우므로 이 부분에는 미리 간격을 두었다가 줄눈재를 주입하거나 블로운 아스팔트, 모래, 석분의 혼합물 등을 채워 넣어야 한다.

강상판 위에 포장을 할 때에는 택코우트로서 고무혼입 유화 아스팔트 등을 0.1-0.3 ℓ/㎡정도 사용하는 것이 좋다.

(3) 고무혼입 아스팔트 포장

고무와 슬래브와의 부착성과 마모 및 변형에 대한 저항성을 기대하는 포장으로서 고무의 혼합 및 포설 조건만이 상이하고 나머지는 가열 혼합식 아스팔트 포장에 따른다. 첨가재료 SBS, SBR등의 개질재가 사용된다.



<그림 707.2> 구스 아스팔트 포장의 시공예

(4) LMC 포장

LMC(Latex Modified Concrete)포장은 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 Latex를 첨가해서 만들어진 콘크리트로서 50%의 물과 50%의 고분자를 섞어 라텍스를 만들고 이렇게 제조된 라텍스와 콘크리트를 혼합하여 LMC포장을 만든다.

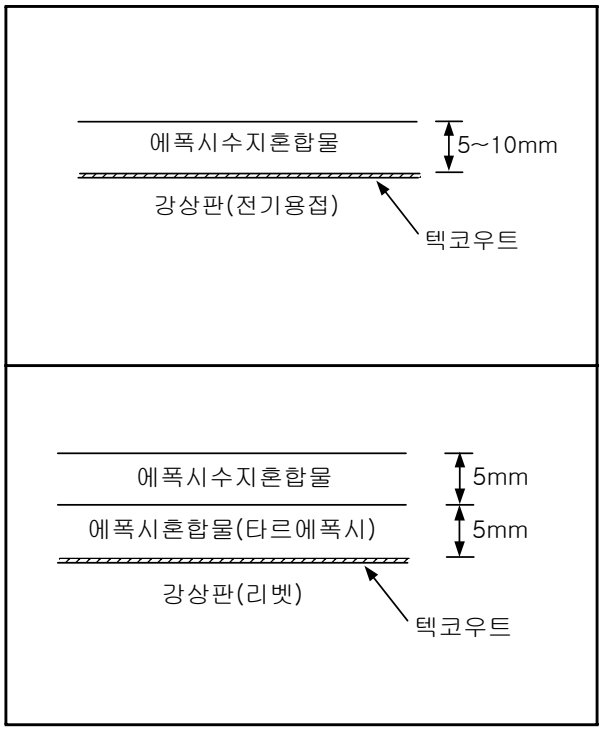
(5) 에폭시수지 포장

보통 0.3-1.0cm 두께로 시공하며 슬래브와의 부착성에 대해서 충분히 주의하여야 한다.

강상판은 특히 기름이나 녹을 충분히 제거해야하므로 희산, 중성세제로 씻거나 샌드블라스트나 와이어 브러쉬에 의한 브러쉉을 해야한다. 콘크리트 슬래브와의 부착에는 염화비닐 양생피막이나 레이탄스의 제거를 충

분히 하여야 한다.

에폭시수지는 3~12시간 정도에서 경화하나 경화가 불충분한 때에 물이 침투하면 경화되지 않거나 슬래브와의 부착을 나쁘게 하므로 주의해야 한다.



<그림 707.3> 에폭시 수지포장의 시공 예

707.3 터널 내 포장

3.1 개요

터널 내의 포장 형식은 터널 전후의 토공부 포장과의 연속성, 건설 후 유지관리, 시공성, 저소음 특성 등을 고려하여 적정의 포장 형식을 선택하는 것이 바람직하다.

3.2 설계시 고려사항

터널내의 노상은 일반적으로 암반으로 구성되어 동상을 쉽게 일으키는 토질이 아니고 치환재료의 동상방지층재에 비하여 지지력이 충분하며 터널내부는 외부와 달리 온도의 변화가 적어 일반적으로 동상의 영향이 적다.

다음은 터널 내 포장 설계에서 고려할 사항이다.

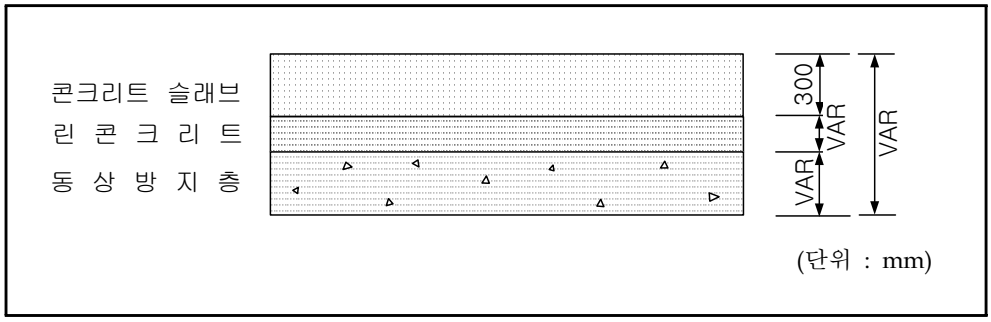
(1) 터널 내 포장은 터널 출입부의 일정구간을 제외하고 계절적 온도변화를 적게 받는다.
(2) 포장층 내 함수비가 높으므로 내수성 재료가 요구된다.
(3) 동절기에 포장 표면의 마모 작용이 크다.
(4) 차량 주행 안정성을 위한 명색화 표면이 요구된다.

터널 내 포장층 아래의 선택층(동상 방지층 또는 차단층) 두께는 터널 내의 계절적 온도변화 분포, 동결, 융해 작용에 대한 터널 내의 암반 또는 토질의 영향 정도와 범위 등의 현장조건을 고려하여 적절히 조절할 수 있으나, 터널 바닥의 요철면의 물고임에 대한 배수 처리를 위한 적정 두께의 배수층 설치를 반드시 고려하여야 한다.

3.3 포장단면의 선정

(1) 터널내의 동상방지층재는 용수 및 물고임 등에 의한 동상의 영향을 고려하여 동상방지층 15cm를 포설

(2) 터널 입, 출구부는 온도변화에 따른 동상 영향을 고려하여 터널 입 출구부 각각 50m까지는 본선 일반부와 동일한 동상방지층을 포설



<그림 707.4> 터널내 포장단면 예

707.4 접속부 포장

4.1 개요

연결로 접속부(ramp terminal)는 변속차선의 노즈로부터 테이퍼단까지 구간(변속차선 구간, 테이퍼 또는 교통섬 포함)으로서 본선 차도에 접속되는 부분을 말한다.

연결로 차도와 측대를 제외한 길어깨 등 연결로 본체 이외의 부분이나 휴게시설, 주차장 등의 부속 시설에 있어서 포장은 교통 하중 등이 본선 부분과 설계 수준에 상당히 차이가 있으므로 이용 목적에 따라서 적정한 구조로 설계하는 것이 좋다. 또한 차량 안정성, 포장 시공성과 경제성을 고려하여 적정한 포장 형식을 선택하는 것이 좋다.

특히, 인터체인지, 휴게시설, 주차장 등과 접속되는 연결로 접속 구간의 연장이 50m 미만인 경우 이 부분의 기능과 시공성을 고려하여 적정의 포장 형식을 선택하는 것이 좋다.

4.2 설계시 고려사항

유출 연결로인 경우에는 본선 포장과 접촉되는 연결로 접속부의 포장은 다음 사항을 고려해야 한다.

(1) 대형 연결 차량의 회전에 필요한 확폭이 고려될 때는 차도부 포장을 연결로 확폭량만큼 연장시켜야 한다.

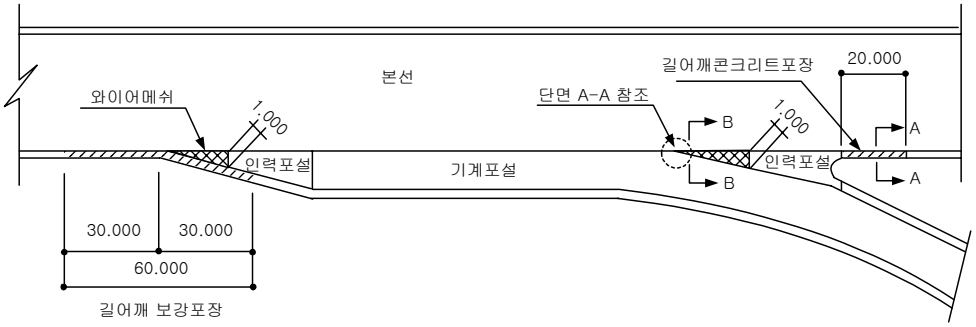
(2) 중차량 통행이 큰 연결로 접속부 포장은 유지관리, 시공성, 그리고 경제성을 고려하되, 본선 포장 형식이 아스팔트 포장일지라도 가능한 콘크리트 포장으로 하는 것이 바람직하다.

(3) 유출 연결로 부분을 통과한 본선의 우측 길어깨 부분(<그림 707.5>의 Z값)은 <표 707.2>에 주어지는 길이로 본선 차도부 포장을 길어깨 단부까지 연장시켜야 한다.

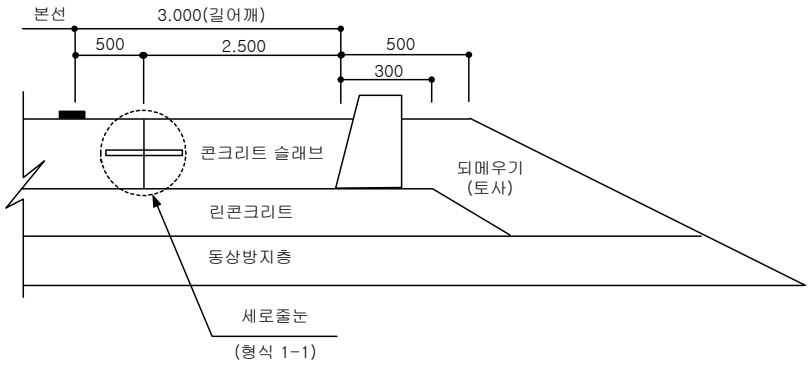
본선 포장의 측대 단부와 연결로 접속부와의 연결 접촉면은 단차없이 연속성을 확보할 수 있도록 적정의 구조를 가져야 하고 특히 본선과 연결로 접속부를 콘크리트 포장으로 설계하는 경우 도색 노즈(painted nose)부분은 상하부에 적정의 보강 철근과 철망으로 보강한다.

<표 707.2> 본선측 연결로 오프셋 테이퍼의 설치 기준

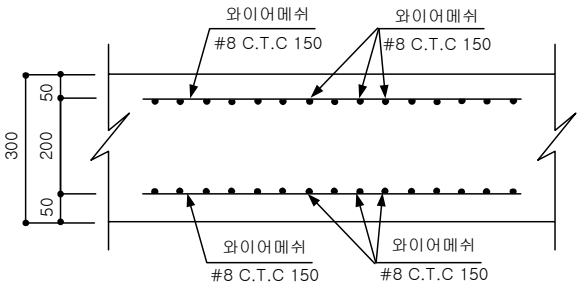
접근속도 (km/h)	Z (길어깨 폭 1m당 길이) (m)
60	010
80	12
95	15
100	18



(a) 예각부 및 노즈부 보강



(b) 단면 A-A



(c) 단면 B-B

<그림 707.5> 연결로 접속부의 표준 구성

4.3 접속부의 단면 설계

(1) 연결로 포장

본선 포장이 콘크리트 포장인 경우 연결로와 접속부의 포장형식을 CRCP 또는 JCP로 선택할 때 본선 콘크리트 포장과 연결로 포장이 모두 JCP인 경우 접속되는 시공 줄눈부에 타이바를 설치하는 것이 바람직하다. 그러나 연결로 접속부가 50-60m이하인 경우에는 타이바를 생략할 수 있다.

본선과 연결로를 모두 CRCP로 설계한 경우 본선 CRCP포장의 횡방향 철근을 연결로 접속부까지 연장 설치하는 것이 좋고 연결로를 JCP로 하는 경우에는 연결로 접속부를 본선 포장과 동일한 CRCP로 하는 것이 좋다.

그리고 연결로 포장 형식이 콘크리트 포장이고 이것과 접속되는 다른 도로가 콘크리트 포장인 경우에는 다웰바를 가지는 팽창줄눈을 설치하고 아스팔트 포장인 경우에는 시공 맞댄 줄눈을 통해서 인접 아스팔트 포장과 연결하도록 콘크리트 단부를 차단시키고 아스팔트 포장과 콘크리트 포장 경계부에서 단차가 발생되지 않도록 해야한다.

(2) 곡선반경이 작은 경우

① 평면 곡선반경이 작은 구간

곡선반경이 100m이하의 곡선구간의 세로방향 줄눈은 <그림 707.6>과 같이 곡선 구간을 4등분하고, 전 길이의 1/2에 상당하는 중앙 1/2은 통상의 1/2간격으로 타이바를 설치하고 곡선의 처음 및 끝부분의 1/4구간은 타이바를 사용하지 않는다. 또한, 이 경우 팽창줄눈은 곡선구간 내에는 설치하지 않는다.

② 종단 곡선반경이 작은 구간

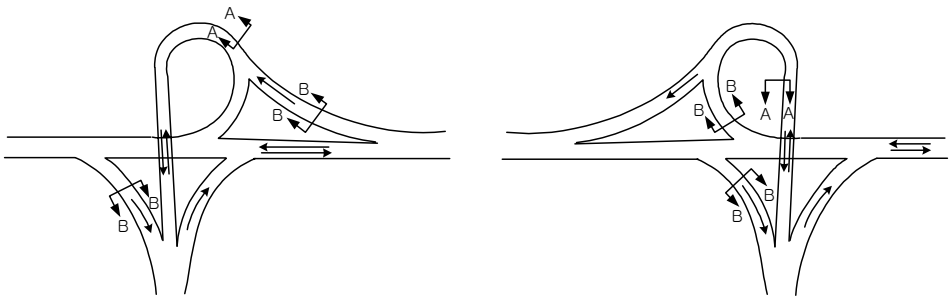
종단 곡선반경이 대략 300m이하인 곡선 구간을 포함한 경우는 팽창줄눈 간격을 80-120m로 한다.

(3) 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 접속

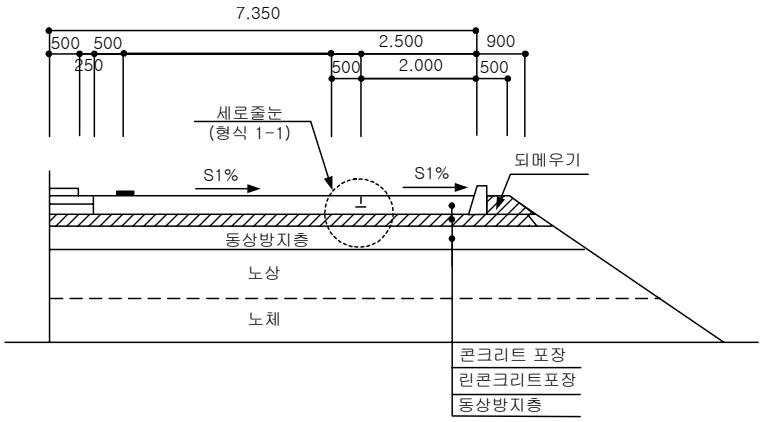
아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 접속은 <그림 707.7>과 같으며 그림에서와 같이 아스팔트와 콘크리트의 접속부분은 치핑해야 한다.

(4) 연결로 길어깨 포장

연결로에서의 길어깨포장은 연결로 포장 단면과 동일하게 설계하며, 고속도로의 경우 포장단면과 동일하게 설계하며, 고속도로의 경우 포장형식별 길어깨 포장 설계예는 <그림 707.6>, <그림 707.7>과 같다.



(a) 단면 A-A(S=1:50)



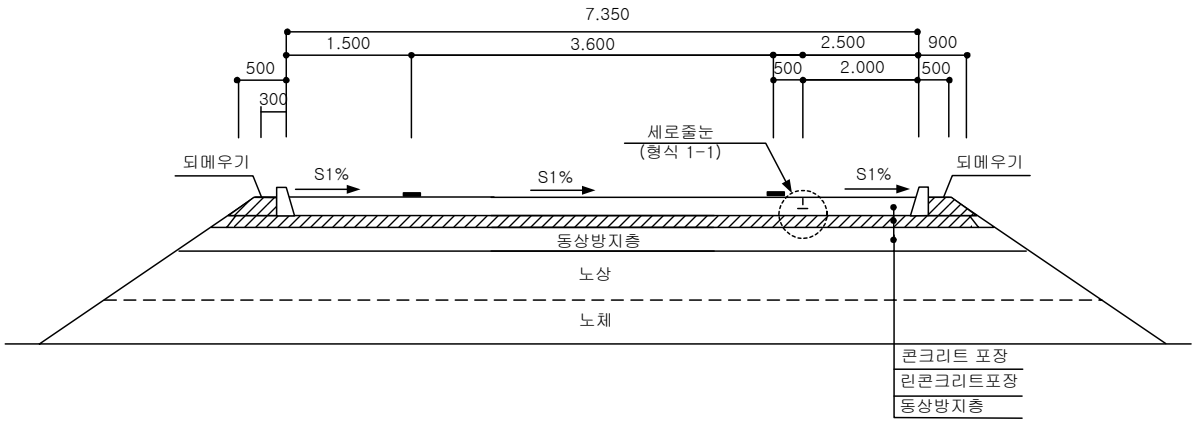
주) 1. 설계이 16210-584호('97. 11. 4) 참조

2. 진출램프는 감속차로부터 접속도로까지 우측 길어깨 보강포장

3. I.C 중분대 구간을 제외하고 진출연결로 좌측 길어깨 보강포장

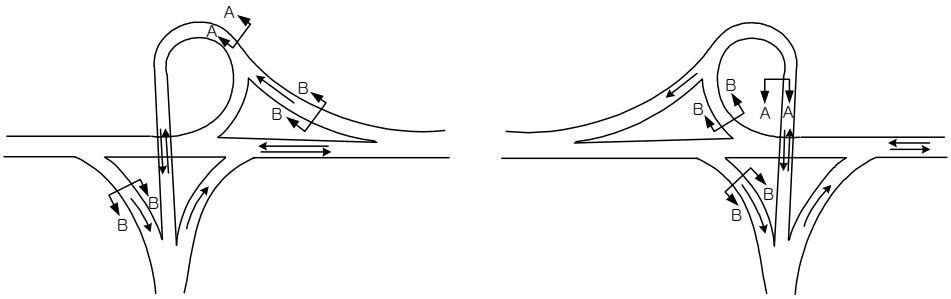
4. 진입루프램프에 있어서는 곡선반경 100m 미만의 단곡선과 접속되는 완화구간을 포함하여 차량진행방향의 길어깨 우측을 본선포장 단면으로 보강(즉, 곡선반경이 100m 이상인 구간은 제외)

(b) 단면 B-B(S=1:50)

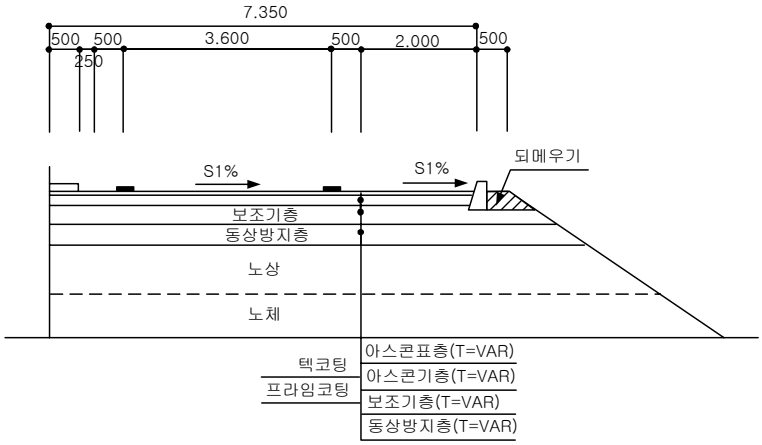


주) 램프용량 증대시 2차로 운용

<그림 707.6> 연결로 길어깨 포장 - 콘크리트



(a) 단면 A-A(S=1:50)



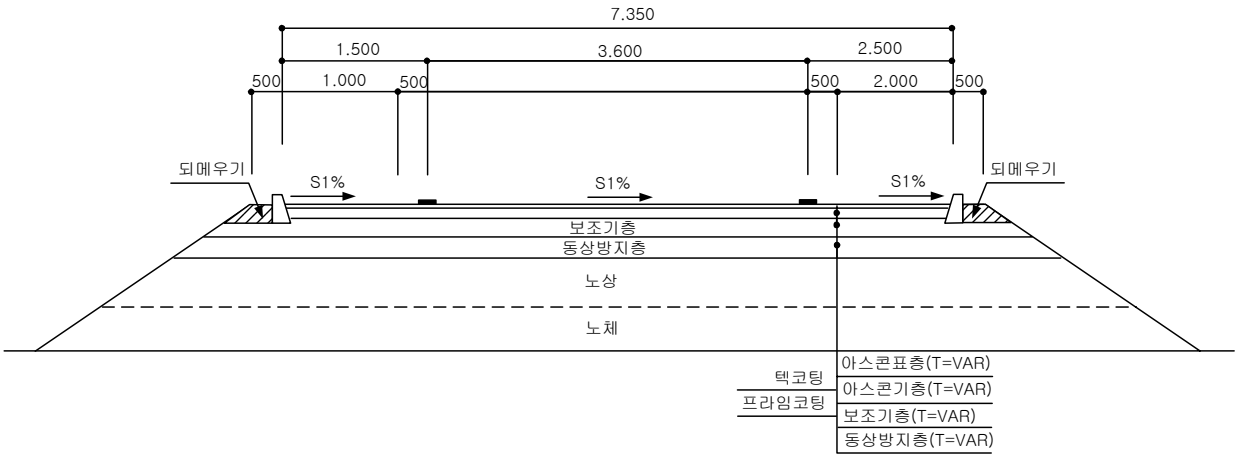
주) 1. 설계이 16210-584호('97. 11. 4) 참조

2. 진출램프는 감속차로부터 접속도로까지 우측 길어깨 보강포장

3. I.C 중분대 구간을 제외하고 진출연결로 좌측 길어깨 보강포장

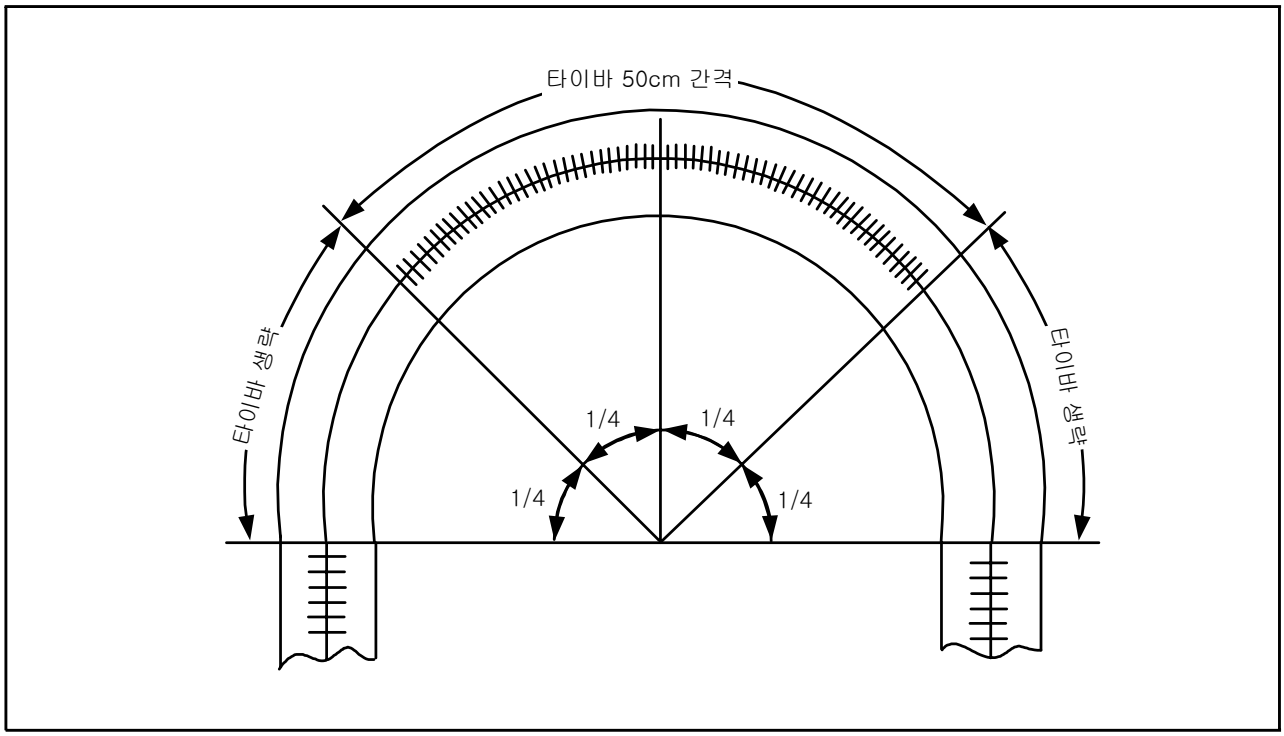
4. 진입루프램프에 있어서는 곡선반경 100m 미만의 단곡선과 접속되는 완화구간을 포함하여 차량진행방향의 길어깨 우측을 본선포장 단면으로 보강(즉, 곡선반경이 100m 이상인 구간은 제외)

(b) 단면 B-B(S=1:50)

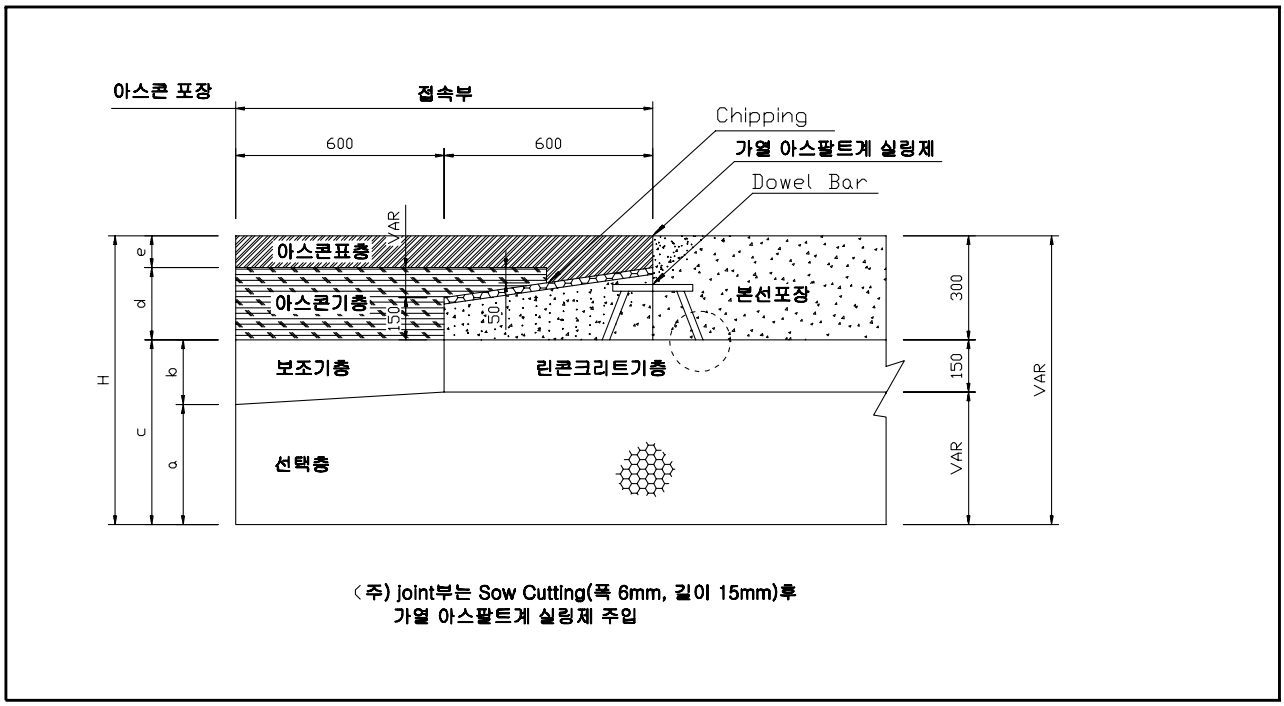


주) 램프용량 증대시 2차로 운용

<그림 707.7> 연결로 길어깨 포장 - 아스팔트



<그림 707.8> 곡선부에서의 타이바 설치 예



<그림 707.9> 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 접속단면 예

707.5 구조물 상부 포장

횡단구조물에 접속하는 콘크리트 슬래브 및 횡단구조물상의 콘크리트 슬래브의 보강은 다음과 같다.

5.1 콘크리트 슬래브가 횡단구조물과 접속하는 경우

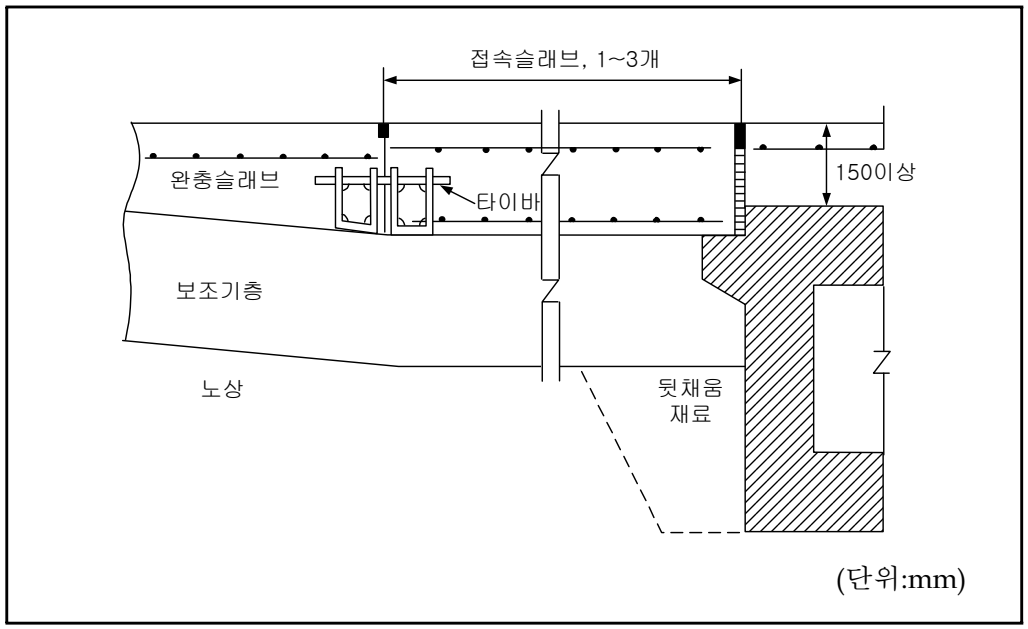
콘크리트 슬래브가 암거 등의 횡단구조물에 접속하는 경우에는 횡단구조물의 배면에 턱(받침대)을 붙이는 것을 원칙으로 한다. 또한 횡단구조물의 상단이 콘크리트 슬래브 두께의 중간에 들어가는 경우에는 <그림 707.10>과 같이 접속슬래브를 설치한다.

단, 콘크리트 슬래브와 횡단구조물과의 높이차가 15cm 이상의 경우에는 구조물상의 포장은 콘크리트 슬래브로 하고, 15cm 미만의 경우에는 일반 아스팔트 포장으로 할 수 있다.

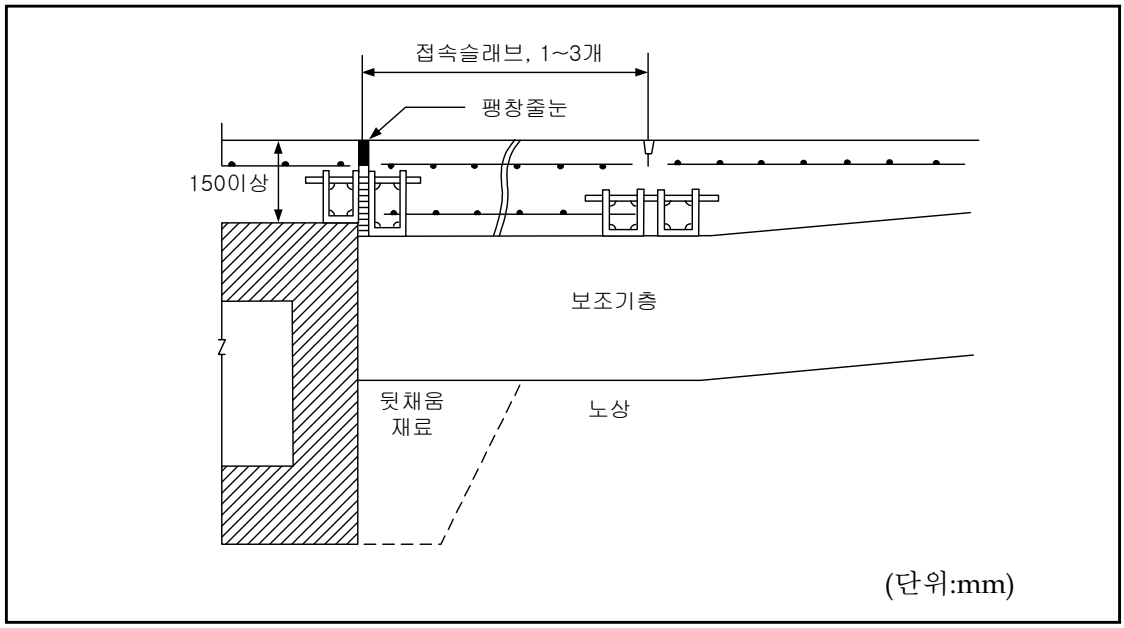
[주1] 구조물상의 포장두께가 15cm 미만으로 콘크리트 포장으로 하는 경우 구조물과 콘크리트 슬래브와는 완전히 부착되도록 한다.

[주2] 턱(받침대)이 붙어있지 않는 경우 구조물상에 15cm 이상의 콘크리트 슬래브를 포설할 수 있는 경우에는 <그림 707.11>에 나타나듯이 1~3개의 접속슬래브를 사용한다. 이 경우 되메움의 다짐을 충분히 하여야 한다.

[주3] 턱이 붙어있지 않은 경우도 구조물상의 포장두께가 15cm 미만의 경우에는 구조물상 및 전후를 포함해서 아스팔트 포장을 할 수 있다.



<그림 707.10> 콘크리트 슬래브에 포함된 경우의 설계



<그림 707.11> 턱(받침대)이 없는 경우 설계 예

5.2 콘크리트 슬래브가 횡단구조물위에 있는 경우

(1) 횡단구조물이 보조기층 내에 있는 경우에는 <그림 707.12>와 같이 횡단구조물위를 포함해서 전후를 철근으로 보강한 콘크리트 슬래브로 길이는 횡단구조물의 전후에 서로 대략 6m를 더한 것으로 한다.

이 경우 횡단구조물의 양끝부분 직상부에는 카터(cutter) 줄눈을 설치하고 줄눈재로 충진한다. 또, 횡단구조물상의 보조기층 두께가 10cm 이하일 때도 보조기층을 고르기 콘크리트로 한다.

콘크리트 슬래브 두께는 통상의 슬래브 두께를 사용하여 최소 두께는 20cm로 한다.

(2) 관로구조물이 보조기층내에 있는 경우

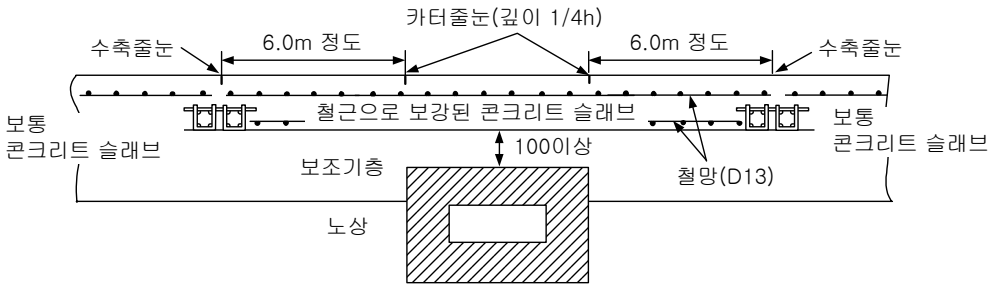
이 경우에는 <그림 707.13>의 예시와 같이 관로상의 콘크리트 슬래브는 철근과 철근을 2중으로 사용해서 보강하고 슬래브두께는 보통의 두께로 한다. 관로구조물의 중심에는 카터줄눈을 설치, 중심으로 각각 6m정도의 위치에 수축줄눈을 설치한다.

5.3 횡단구조물이 노상 내에 있는 경우

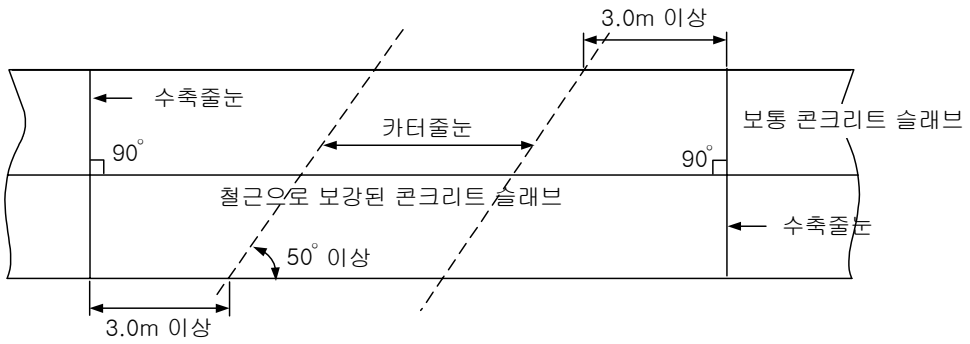
횡단구조물이 노상 내에 있을 경우 <그림 707.15>와 같이 철망을 2중으로 사용한 콘크리트 슬래브로 한다.

보강 슬래브의 길이는 5.2절의 (1), (2)에 준한다.

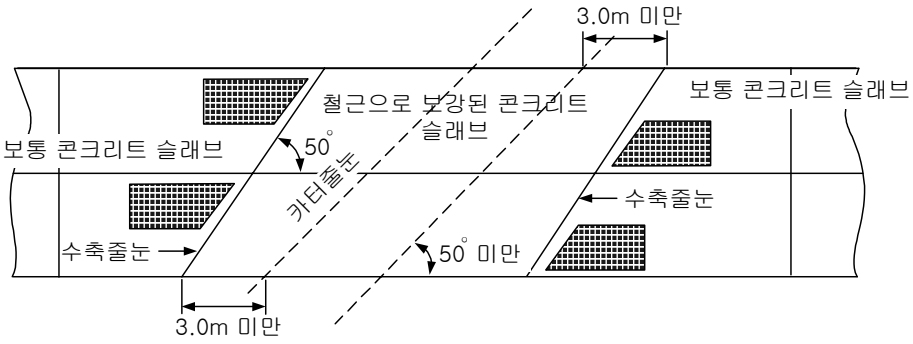
횡단구조물이 노상보다 밑에 있는 경우로 침하가 예상되는 경우에는 <그림 707.14>에 준하면 좋다.



(a) 단면도



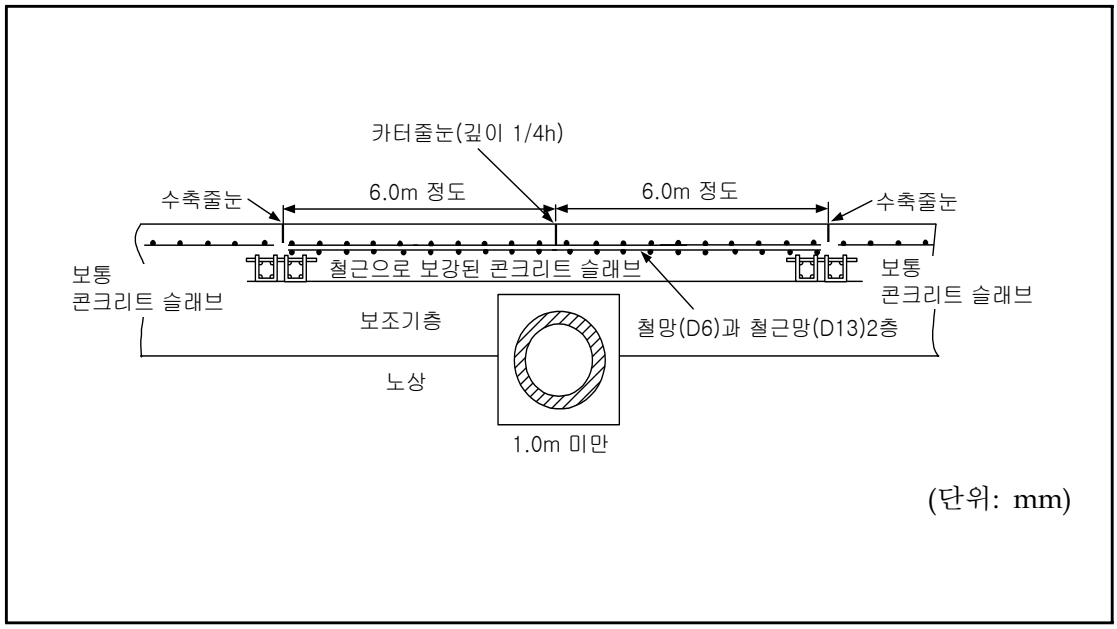
(b) 사각이 50。이상의 경우



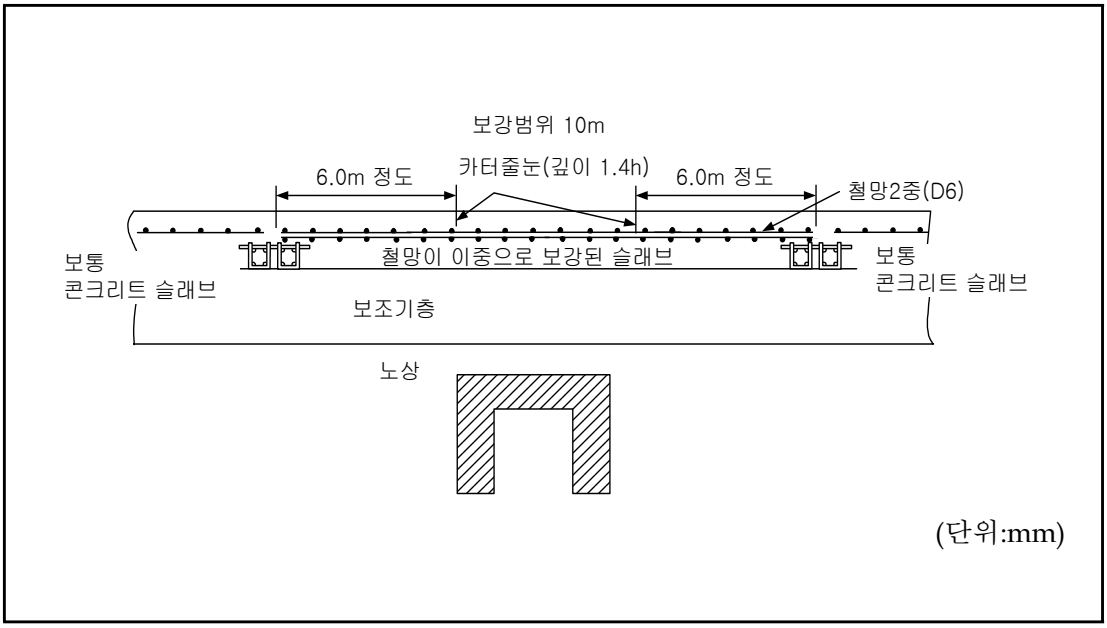
(c) 사각이 50。미만의 경우

(단위:mm)

<그림 707.12> 횡단구조물이 보조기층 내에 있는 경우의 설계 예



<그림 707.13> 관로구조물이 보조기층 내에 있을 때 설계 예



<그림 707.14> 횡단구조물이 노상 내에 있을 경우의 설계 예

707.6 단지 내 포장

과거 국내에서의 단지 내 포장은 대부분 T_A 설계법을 적용했었지만 최근 설계에서 중로이상 교통량 예측이 실시되는 도로는 AASHTO 설계법을 적용하며 교통량 예측을 실시하지 않는 소로에 대해서는 T_A 설계법을 적용한다.

AASHTO 설계법은 앞장의 '703 아스팔트 포장'과 '704 콘크리트 포장'의 내용을 참조하고 본 장에서는 T_A 설계법을 바탕으로 한 방법을 설명한다.

6.1 교통량의 구분

설계에 사용하는 교통조건은 5년 후 대형차의 1일 1방향당의 교통량을 추정하여 <표 707.3>과 같이 5종류로 구분한다.

여기서 대형차라 하는 것은 보통 화물자동차, 승합자동차, 특수자동차를 말하며 축하중이 클수록 포장파괴에 기여하는 정도가 크므로 대형차의 교통량만을 설계에 반영하며, 설계기간은 통상 10년으로 하므로 공용개시부터 평균시점인 5년 후의 교통량을 적용한다.

1방향 3차선 이상의 도로에 있어서는 그 교통량의 80% 정도를 사용해도 좋다.

6.2 포장두께의 설계

포장두께의 설계는 설계노상 CBR과 교통량 구분에 따라서 다음 <표 707.4>에서 정하는 목표 T_A 보다 커야하고, 총두께 H도 목표로 하는 H보다 1/5이상 감소하지 않도록 결정한다.

T_A란 포장의 각층을 모두 표·기층용 가열아스팔트 혼합물로 축조할때 필요한 두께를 말하며, 각층의 재료를 가열아스팔트 혼합물로 환산한 때의 두께의 합계에 상당한다.

<표 707.3> 교통량구분에 따른 설계 윤하중

교통량의 구분	대형차교통량 (대/일, 일방향)	설계윤하중(t)
L 교통	100미만	2.08
A 교통	100이상250미만	3.11
B 교통	250이상 1000미만	5.00
C 교통	1000이상 3000미만	8.13
D 교통	3,000이상	12.16

<표 707.4> T_A와 포장 총 두께의 목표값

설계 CBR	L 교통	A 교통	B 교통	C 교통	D 교통
2	17	21	29	39	51
3	15	19	26	35	45
4	14	18	24	32	41
6	12	16	21	28	37
8	11	14	19	26	34
12	-	13	17	23	30
20이상	-	-	-	20	26

<표 707.4>의 설계CBR 4란 4이상 6이하를 말하는바, 가령 설계에서 측정된 설계CBR이 10이면 위 표에 제시된 8을 설계CBR로 적용한다.

6.3 포장구조의 결정

포장의 구성을 결정함에 있어서는 다음에 표시한 표층, 중간층의 최소두께 규정에 만족하도록 결정하여야 한다.

<표 707.5> 표층과 중간층의 최소두께

교통량구분	표층 + 중간층의 최소 두께(cm)
L, A 교통	7 (5)
B 교통	10(5)
C 교통	15(10)
D 교통	20(15)

[주1] L, A교통에서의 최소두께 규정은 원래 5cm이나 '단지 내 도로포장의 설계기법에 관한 연구' ('94.4 한국토지개발공사)에서 제시된 바에 따라 표층최소두께를 7cm로 적용하기로 함.

[주2] ( )내는 기층에 역청안정처리를 사용할 경우의 최소두께이다.

<표 707.6> 기층 및 보조기층의 최소두께

공법, 재료	1층의 최소두께
역청안정처리	굵은골재 최대치수의 2배이고 5cm
그밖의 재료	굵은골재 최대치수의 3배이고 10cm

포장 구조층의 결정을 위해 다음 식을 사용하여 T_A'와 H'를 계산한다.

$$T_A' = a_1 T_1 + a_2 T_2 + ... + a_n T_n \quad (707.1)$$

여기서, a_1, a_2, … a_n : 등치환산계수

T_1, T_2, … T_n : 각층의 두께(cm)

등치환산계수는 각 공법·재료의 두께 1cm

가 표층·기층용 가열아스팔트 혼합물의 몇 cm에 상당하는가를 나타내는 값으로 다음 <표 707.7>에서 정하는 값을 적용한다.

<표 707.7> 재료별 등치환산계수

사용하는 곳	공법·재료	품 질 규 격	등치환산계수
표 층 중 간 층	표층, 중간층용 가열 아스팔트 혼합물		1.00
기 층	역청안정처리(B.B)	가열혼합 : 마샬안정도 350kg이상	0.80
		상온혼합 : 마샬안정도 250~350kg	0.55
	시멘트안정처리	일축압축강도(7일) 30kg/㎠	0.55
	석회안정처리	일축압축강도(10일) 10kg/㎠	0.45
	입도조정쇄석 입도조정고로슬래그	수정CBR 80이상	0.35
	수경성 입도조정 고로슬래그	수정CBR 80이상 일축압축강도(14일)12kg/㎠이상	0.55
보조기층	막부순돌, 모래 고로슬래그 등	수정CBR 30이상	0.25
		수정CBR 20이상 30미만	0.20
	시멘트안정처리	일축압축강도(7일), 10kg/㎠	0.25
	석회안정처리	일축압축강도(10일), 7kg/㎠	0.25

6.4 단지 내 포장설계 예

본 설계 예에서 소로포장 단면결정에 적용하기 위한 교통 조건은 소로 1안은 A 교통을, 소로 2안은 L 교통을 적용하여 설계하기로 하고 두 경우에 CBR 값이 모두 10으로 측정되었다고 가정한다.

따라서 소로에 적용할 목표 T_A 값과 총 두께 H는 <표 707.4>에 의하여 다음과 같이 계산된다.

<표 707.8> 목표 T_A 계산 예

도로구분	설계CBR	교통량구분	목표 T_A
소로 1안	8	A 교통	14
소로 2안	8	L 교통	11

(1) 소로 1안

입도조정기층 재료로 최대치수 40m/m인 골재를 사용할 경우 12cm까지 줄이는 방안도 검토 가능하겠으나 '단지 내 도로포장에 관한 설계기법에 관한 연구' ('94.4 한국토지개발공사) 및 AASHTO 설계규정에 의거 15cm를 최소로 적용함.

(2) 소로 2안

위 소로 1안과 동일 단면으로 적용

참고 : 포장구조의 경제성 검토시 적용한 포설 두께

① 표층 : 7cm 이내
② 아스팔트처리기층 : 10cm 이내
③ 입도조정기층 : 15cm
④ 보조기층 : 20cm
⑤ 동상방지층 : 20cm

<표 707.9> 등치환산계수에 따른 두께 설계 예 (단위 : cm)

층 별	등치환산계수	포장단면				비 고
		제 1 안		제 2 안		
		두께(cm)	T_A'	두께(cm)	T_A'	
표 층	1.0	5	5	7	7	목표 T_A' : 14 H : 27
아스콘기층	0.8	5	4	-	-	
입도조정기층	0.35	-	-	15	5.25	
보 조 기 층	0.25	20	5	15	3.75	
계		30	14	37	16.0	
(동 방 층)		35	-	28	-	
공 사 비		867		782		
채 택				○		

707.7 버스정차대 및 주차장 포장

7.1 버스정차대

7.1.1 버스 정류차로

(1) 버스 정류차선의 포장은 정류 차량의 브레이크 작용과 제설 염화물 또는 차량에서 떨어지는 유류 등에 의한 화학적 작용에 대한 내구성을 가지는 포장 형식을 선택하는 것이 바람직하다.

(2) 콘크리트 포장을 적용하는 경우, 콘크리트 슬래브 두께는 최소 20cm로서 철망 또는 철근으로 보강한 줄눈 무근 콘크리트 포장 구조 (JCP)가 바람직하다.

(3) 아스팔트 포장을 적용하는 경우 표층 두께는 최소 7cm, SN=3.5이상을 기준으로 하여 구조 단면을 결정한다.

(4) 기층 또는 보조기층 두께는 최소 15cm와 배수층 또는 지하 배수시설이 고려되어야 하고, 표면배수를 위하여 최소 2%의 횡단구배 설치가 바람직하다.

7.1.2 가감속 차로

(1) 가감속 차선 포장형식은 본선 통행차량의 시인성, 유지관리와 시공성을 고려하여 선택한다.

(2) 포장구조는 본선 포장과 버스정류 차선 포장과의 연속성을 유지할 수 있는 구조로 하고 버스 정류차선과 동일한 기준을 적용한다.

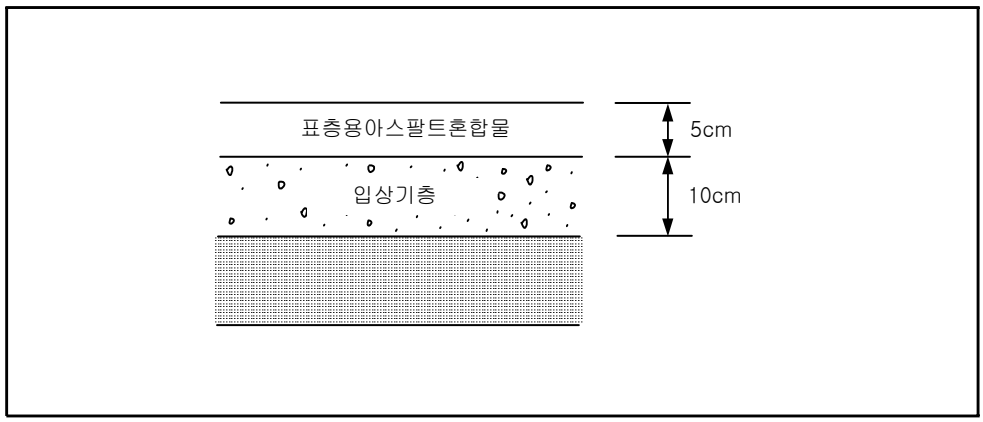
[주] 설계 공용기간 동안 주차장 이용 예상 통행량이 ESAL로 100,000이하 수준에서는 아스팔트 포장형식을 적용하는 경우에는 SN=2.5～3.5 (T_A=15～20cm) 범위에서 콘크리트 포장형식을 적용하는 경우에는 슬래브 두께를 15～20cm 범위에서 포장 구조단면을 결정하는 것이 바람직하고, 아스팔트 표층은 최소 7.5cm, 기층과 보조기층 두께는 최소 15cm를 유지하여야 한다.
그러나, 예상통행량이 ESAL로 100,000 이상인 경우에는 본선 포장의 설계 ESAL의 20～30%를 기준으로 하여 산정하거나 건설 후 유지관리 측면을 고려하여 본선포장과 동일한 구조단면으로 하는 것도 좋다.

7.1.3 승강장

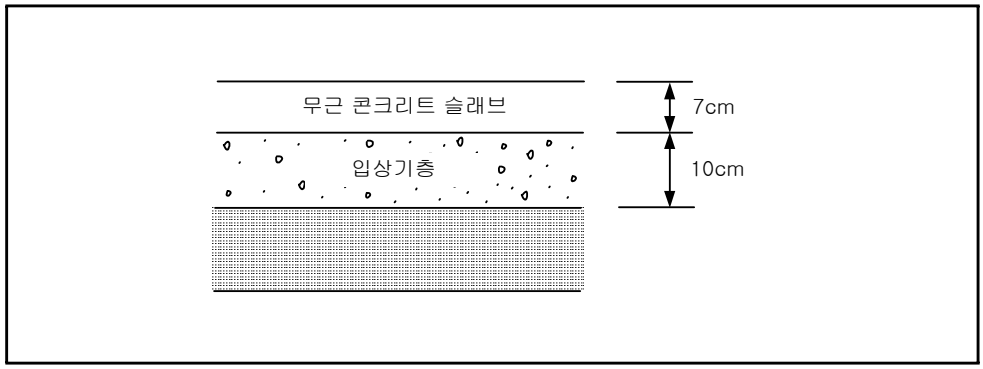
(1) 승강장 포장형식은 보도용 블럭포장, 아스팔트 포장, 콘크리트 포장을 적용할 수 있으며 특히 미관, 내구성 등이 요구되는 경우 소요 용도에 적합한 포장형식을 선택하여도 좋다.

(2) 승강장 포장면은 표면수가 아래층으로 관입되지 않도록 3% 정도의 횡단구배를 설계하여야 한다.

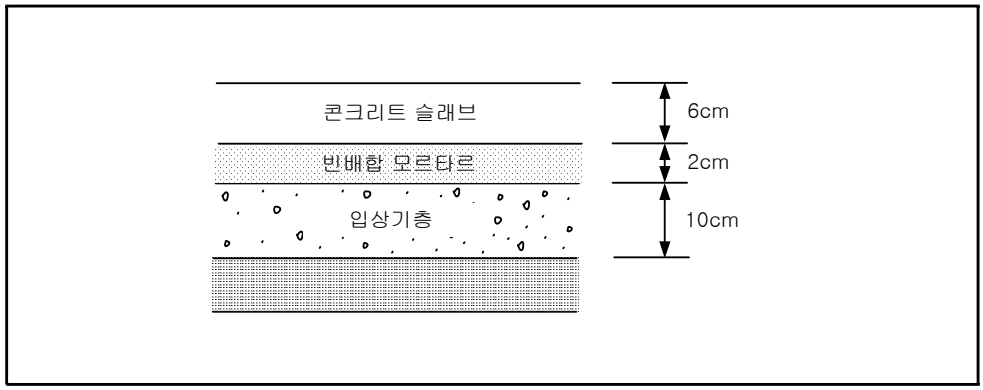
(3) 포장 구조단면 구성은 <그림 707.15> ~ <그림 707.17>을 표준단면으로 적용하면 좋다.



<그림 707.15> 아스팔트 포장 표준 단면 - 승강장



<그림 707.16> 콘크리트 포장 표준 단면 - 승강장



<그림 707.17> 보도용 포장 표준 단면 - 승강장

7.2 주차장

(1) 주차장은 주요 이용차종과 교통량, 유지관리 그리고 시공성을 고려하여 적정의 표준 형식을 선택하고, 포장구조는 <표 707.10>을 기준으로 하여 적절히 결정한다.

(2) 기층과 보조기층 두께는 최소 15cm이상 유지하고, 적정의 지하배수를 위한 배수층 또는 배수시설이 필요하다.

[주] <표 707.10>의 경차량 이용 주차장은 공용기간 동안 예상통행 ESAL이 100,000 이하 수준이고, 중차량 이용 주차장은 ESAL=100,000～500,000 수준을 토대로 결정된 값이다. 특히, 중차량 이용빈도가 큰 주차장의 포장은 콘크리트 포장으로 설계하는 것이 바람직하다.

707.8 영업소 포장

(1) 현재 고속도로의 영업소 포장은 콘크리트 포장으로 설계하는 것을 원칙으로 하며, 광장부 포장은 철근 콘크리트 포장, 테이퍼부는 무근 콘크리트 포장으로 되어 있으나 광장부의 경우 무근 콘크리트 포장을 적용할 수 있다.

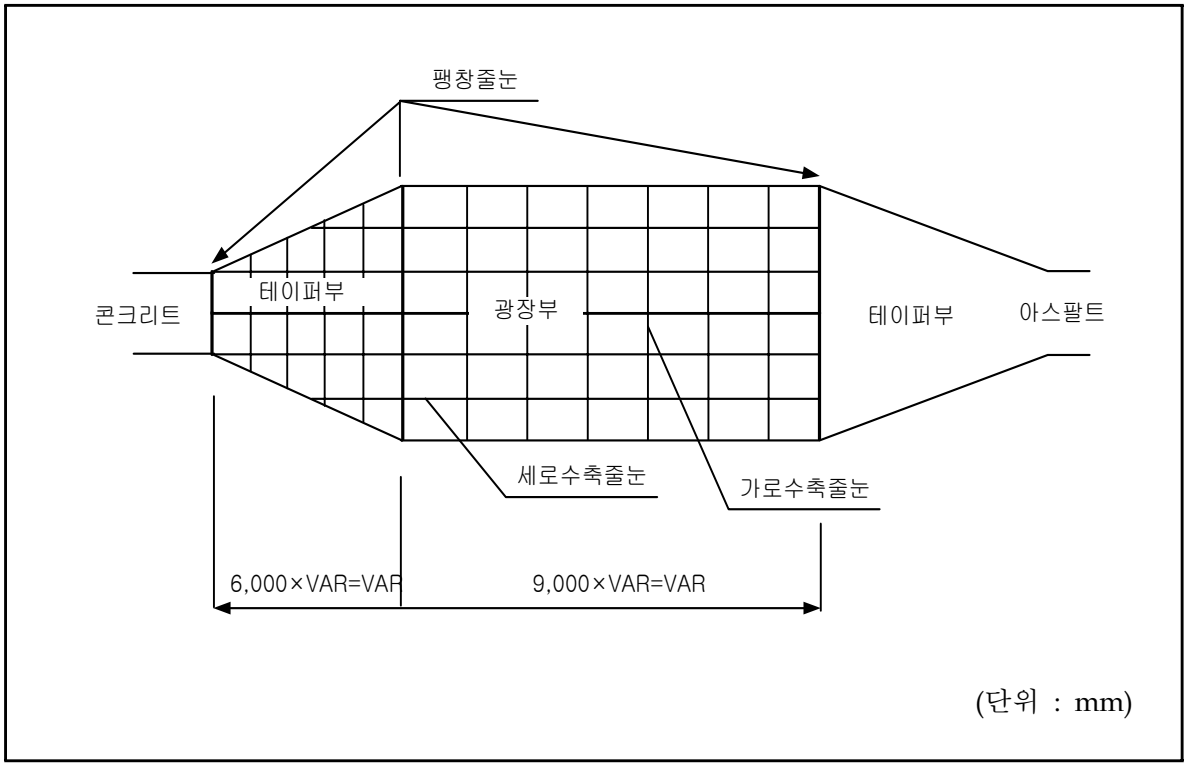
(2) 광장부의 콘크리트 포장 구조는 본선 포장 구조의 설계조건을 적용하여 결정하고 기층 또는 보조기층을 본선 포장과 구조적 연속성을 유지할 수 있도록 설계하여 광장부 포장 형식이 본선 포장 및 테이퍼부와 다를 때에는 접속부 설계에 줄눈 설계를 적용한다.

(3) 영업속 광장부 또는 테이퍼부의 콘크리트 포장범위는 <그림 707.18>을 기준으로 한다.

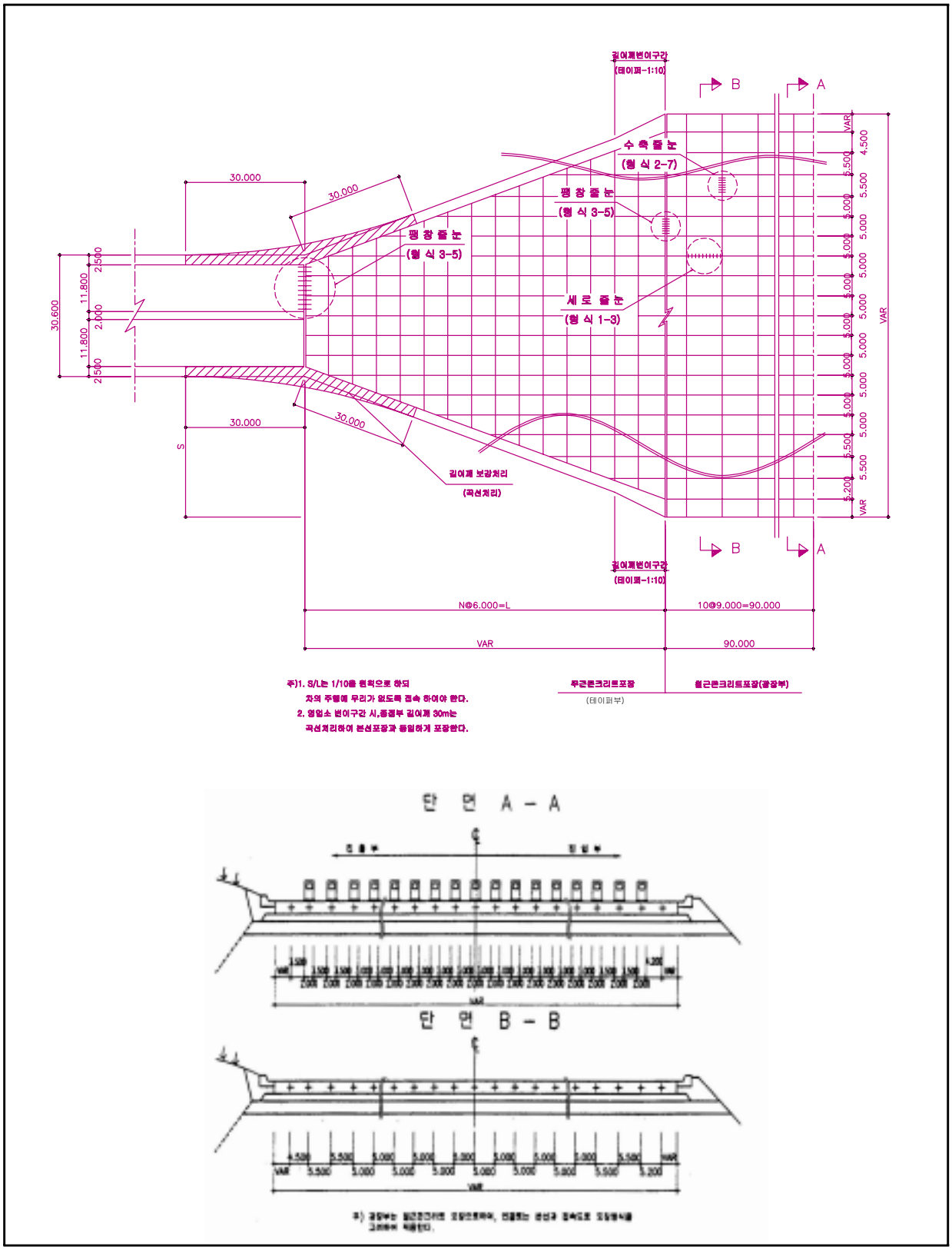
(4) 교통섬 구간 또는 교통량 조사 장비 또는 축중기 설치 구간의 콘크리트 슬래브의 상하부에는 철망으로 보강하는 것이 좋다.

<표 707.10> 주차장 포장구조 산정 적용 기준치 (단위 : cm)

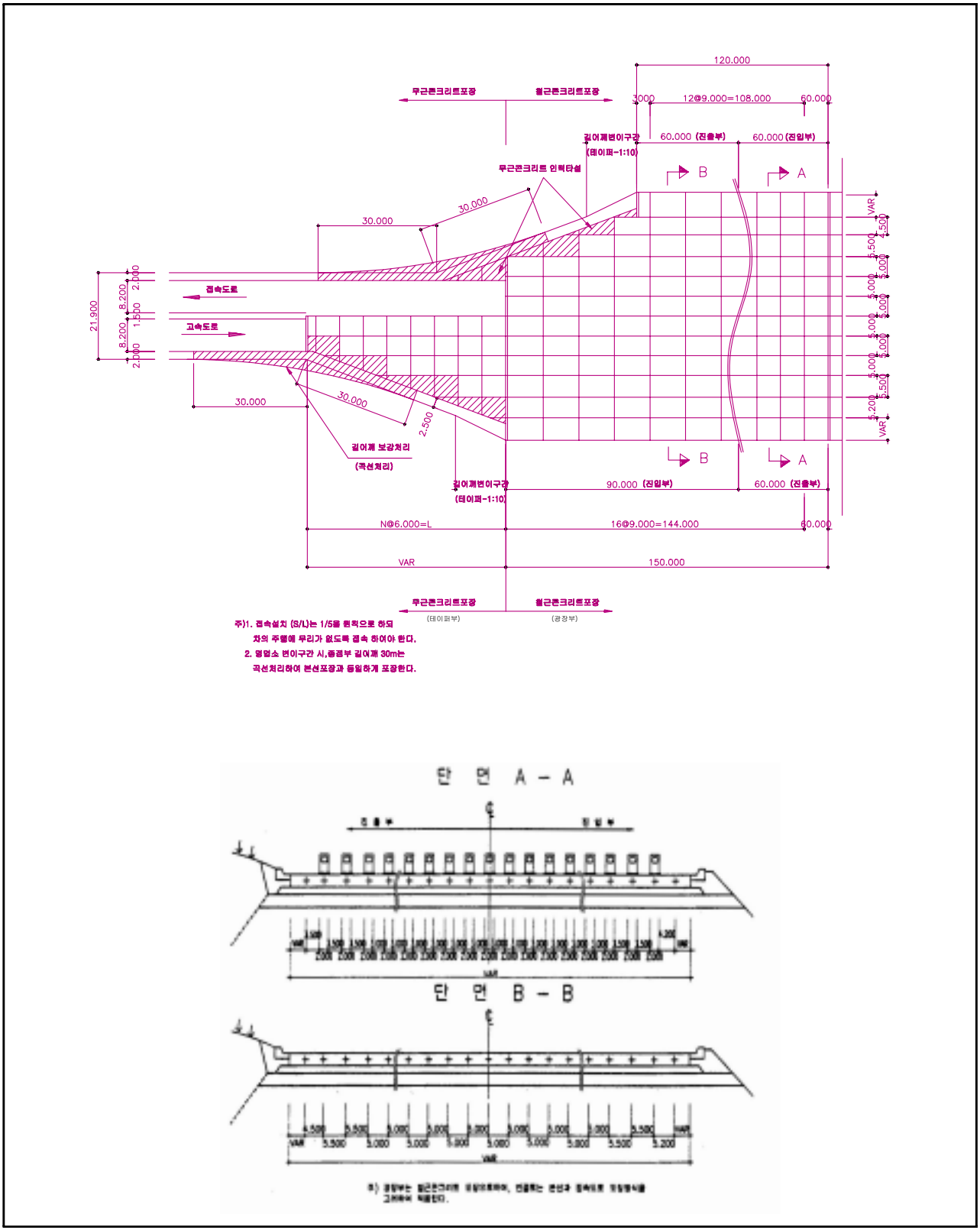
구 분	아 스 팔 트 포 장		줄눈 콘크리트 포장 (슬래브 두께)
	표 층	설계 SN (T_A)	
경차량 이용 주차장	7.5	2.5 (15)	15
중차량 이용 주차장	10	3.5 (20)	20



<그림 707.18> 영업소의 광장부와 테이퍼부의 표준 구성



<그림 707.19> 본선영업소 양방향 6차로 포장 예



<그림 707.20> 인터체인지 영업소 포장 예

707.9 확장구간 포장

9.1 개요

최근 고속도로 교통량의 급증에 따른 기존 고속도로의 확장 사업이 빈번하게 되었다. 확장 대상의 기존 고속도로는 대부분 1990년 이전에 건설되어진 고속도로로서 구 도로 구조령에 의하여 건설되었으나 1990년 '도로의 구조·시설기준에 관한 규정'이 개정되면서 각종 기준이 강화되어 기존 고속도로 확장시 대규모 폐도 발생 및 환경 피해 등이 문제점으로 대두되고 있다.

또한 중부고속도로 등 기존 포장이 콘크리트 포장인 경우 확장에 따른 부등침하 및 접속부 처리, 터널 및 교량의 확장방법 등 확장에 따른 기술적 문제점이 대두되고 있는 실정이다.

현재까지는 확장구간 접속부 포장에 대한 기준이 없으므로 본 편람에서는 중부 고속도로 확장시 검토되었던 접속 방안을 기술함으로써 향후 설계시 참고하도록 하였다.

9.2 콘크리트 포장 접속방안

콘크리트 포장을 확장할 경우 신·구 슬래브의 접속과 관련하여 다음 두 가지 중요한 문제가 대두된다.

① 신·구 슬래브를 그대로 접속하는 경우 기존 슬래브의 측대(폭 50cm)로 인해 차량 하중이 신·구 슬래브 접합부에 주로 재하됨에 따른 하중전달 취약 문제

② 신·구 슬래브 간의 연결이 미흡할 경우 슬라이딩 우려가 있으며 하중전달이 미흡할 경우 단차 및 균열의 우려가 있다.

따라서 이러한 문제점을 최소화하기 위하여 콘크리트 포장 접속방안 검토 예를 제시하며, 추후 보완연구를 통하여 적정 방안을 제시해야 한다.

(1) 콘크리트 포장 접속방안 대안

가. 측대폭(50cm)의 전부 또는 일부를 기존 차로에 안배하는 방안

① 분배방법(단위 : cm)

구분	내측 측대	1차선	2차선
1안	+20	+15	+15
2안	+0	+20	+30
3안	+0	+15	+15(+20 : 확장차로에 그대로 둔다)

② 장점

- 연결부의 하중재하 방지로 포장수명 증진
- 측대 절단이 없으므로 시공 간편
- 차로 확폭으로 도로 기능 증대
- 분배방법 제3안의 경우 확장차로에 20cm가 그대로 남게 되는데 이 정도는 차륜하중으로부터 어느 정도 떨어져 있으므로 접속부의 하중전달장치를 보완하면 큰 문제가 없을 것으로 판단됨

③ 단점

- 기존 차로에 안배된 측대폭만큼 추가 용지 확보 필요
- 차로폭 조정으로 인한 도색작업 필요
- 교량, 터널 진입시 차로폭이 줄어드는 느낌을 줄 수 있음
- 신설 슬래브와의 접합을 위한 타이바 설치 문제는 그대로 남아 있음

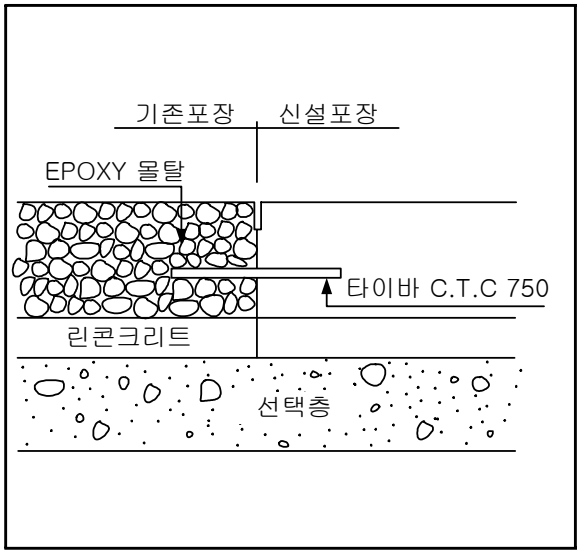
나. 신·구 슬래브를 타이바로 연결하는 방안

i) 신·구 슬래브를 타이바로 연결하되 타이바 사용량을 늘려 충분한 하중전달 기능 확보토록 함

ii) 측대폭의 일부를 기존 차로에 안배와 함께 적용하는 방안도 고려할 수 있음

iii) 타이바를 한 구멍당 2개씩 삽입하거나 타이바의 개수는 그대로 두고 굵기를 크게 한다.(굵기를 크게 하는 경우 관입 깊이를 길게 해야 콘크리트와의 bond를 유지할 수 있음)

iv) 시공성 (2인 1조, 1일 100공 시공 가능)



<그림 707.21> 신·구 슬래브를 타이바로 연결하는 방안

① 장점

- 타이바 설치 작업 외에는 시공이 간단하다.
- 충분한 타이바 사용으로 신·구 슬래브 간의 벌어짐을 방지하고 동시에 하중전달을 원활히 한다.(단차 방지)

② 단점

- 타이바 설치를 위한 천공작업이 번거로움
- 접속부위가 차바퀴 궤적과 일치할 수 있으므로 승차감 저하
- 천공으로 인해 기존 슬래브의 강성을 약화시킬 수 있다.
- 신·구 슬래브 접속부를 따라 스폴링이 발생할 가능성이 있음

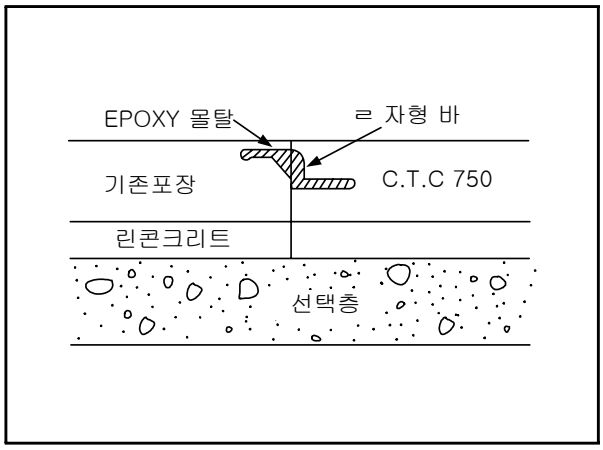
다. 타이바 대신 'ㄹ'자형 타이바 겸 하중전달장치 사용

i) 기본적으로 타이바 시공과 유사하나 시공이 번거로운 천공대신 기존 슬래브 표면에 홈을 파서 <그림 707.22>와 같이 특별히 고안된 하중 전달 장치를 삽입하고 에폭시로 홈을 채우는 방식

ii) 타이바와 다우웰바의 기능을 동시에 수행

iii) 철근의 굵기는 하중전달에 충분한 정도로 할 것

iv) '가'항의 측대측의 일부를 기존 차로에 안배하는 안과 함께 적용하는 방안도 고려할 수 있음



<그림 707.22> 타이바 대신 'ㄹ'자형 타이바 겸 하중전달장치 사용

① 장점

- 천공대신 콘크리트 표면에 홈을 만들어 끼우므로 시공 간편하다.
- 천공방식보다 인근 콘크리트의 약화를 줄일 수 있다.
- 천공방식보다 기존 슬래브와 타이바 간의 접착을 확실히 할 수 있다.

② 단점

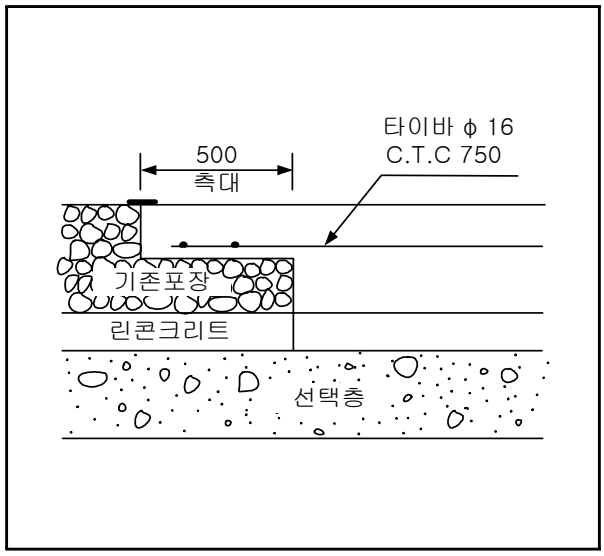
- 시공실적 없음
- 'ㄹ'자형 하중전달장치 별도 제작 필요

라. 기존포장의 측대부를 절삭 및 치핑 후 신설포장 시공

i) 기존포장의 측대부를 절삭 및 치핑(기존 슬래브 두께의 1/2)하고 취약부를 철근 보강후 신설포장 시공

① 장점

- 신·구 포장의 일체화로 접합부의 단차 및 벌어짐 방지



<그림 707.23> 측대부를 절삭 및 치핑하고 취약부를 철근보강

- 차로마킹과 접합부 일치로 차량주행성 양호

② 단점

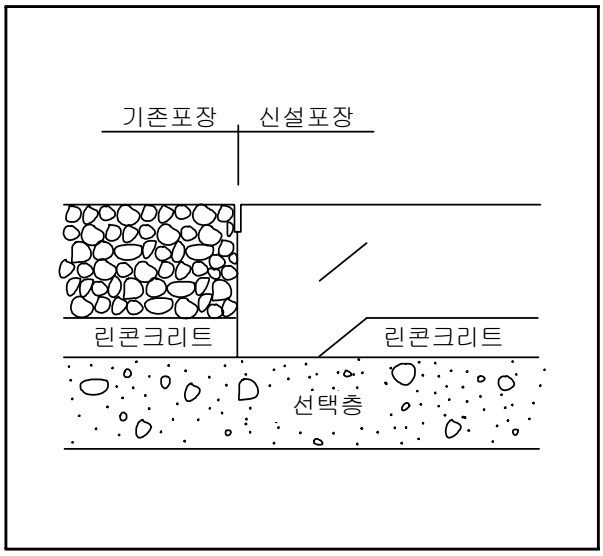
- 측대구간에서 신·구 콘크리트간의 접착이 떨어지는 경우 심각한 결함초래 가능
- 기존 포장 측대부 절삭 및 치핑에 따른 비용 부담 및 인근 콘크리트 약화 우려
- 신·구 콘크리트간 부등침하시 균열발생

마. 신설포장에 기층깊이까지 표층 슬래브와 일체된 key를 설치하는 방안

i) key 설치로 슬라이딩 방지

ii) 접합부를 변단면으로 처리하므로 처짐량 감소

iii) 시공실적 : 하남 J.C ~ 동서울 만남의 광장



<그림 707.24> 신설포장에 기층 깊이까지 표층 슬래브와 일체된 key를 설치하는 방안

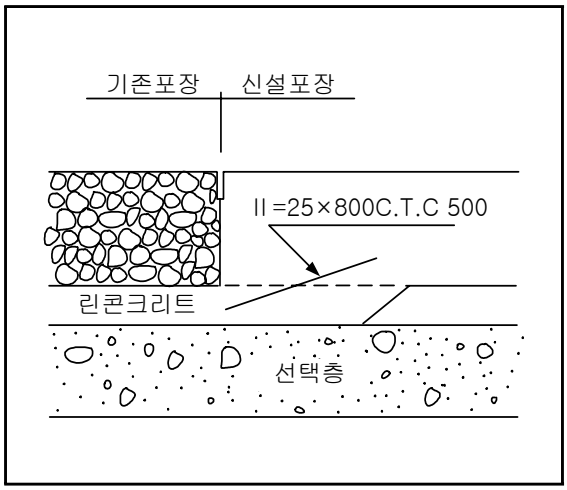
① 장점
- 타이바 설치가 불필요하므로 시공 간편(공기 단축)
- 공사비 저렴

② 단점
- 슬래브 두께가 변화하는 지점에 응력집중이 커질 경우 균열 발생 가능
- 접합부가 차로 내에 있으므로 승차감 불량

바. 기존 포장의 기층과 신설포장 슬래브를 타이바로 연결

i) 기존포장의 빈배합 콘크리트 기층과 신설 포장 슬래브를 <그림 707.25>와 같이 타이바로 연결하는 방법으로 김포공항 및 김해공항에서 시공실적이 있음

① 장점
- 신·구 슬래브 접합부 보강으로 단차 및 슬라이딩 방지



<그림 707.25> 기존포장의 기층과 신설포장 슬래브를 타이바로 연결

② 단점
- 하중이 접합부에서 신설포장 쪽으로 재하되는 경우 하중전달 안됨
- 기존 슬래브 밑을 터파기하고 채우는 과정에서 슬래브 밑에 공동(void) 발생 우려
- 시공성 불량
- 공기지연
- 접합부가 차로 내에 있으므로 승차감 불량

(2) 콘크리트 포장 접속방안 선정

대안별 장단점 비교 분석 결과 콘크리트 포장 접속방안은 측대폭의 전부 또는 일부를 기존 차로에 안배하는 방안과 신·구 슬래브를 타이바 또는 'ㄹ'자형 타이바 겸 하중전달 장치를 사용하는 방안을 병행 사용하는 방법이 바람직할 것이며 이를 요약하면 다음과 같다.

① 여분의 측대측(50cm)은 절단하지 않고 그

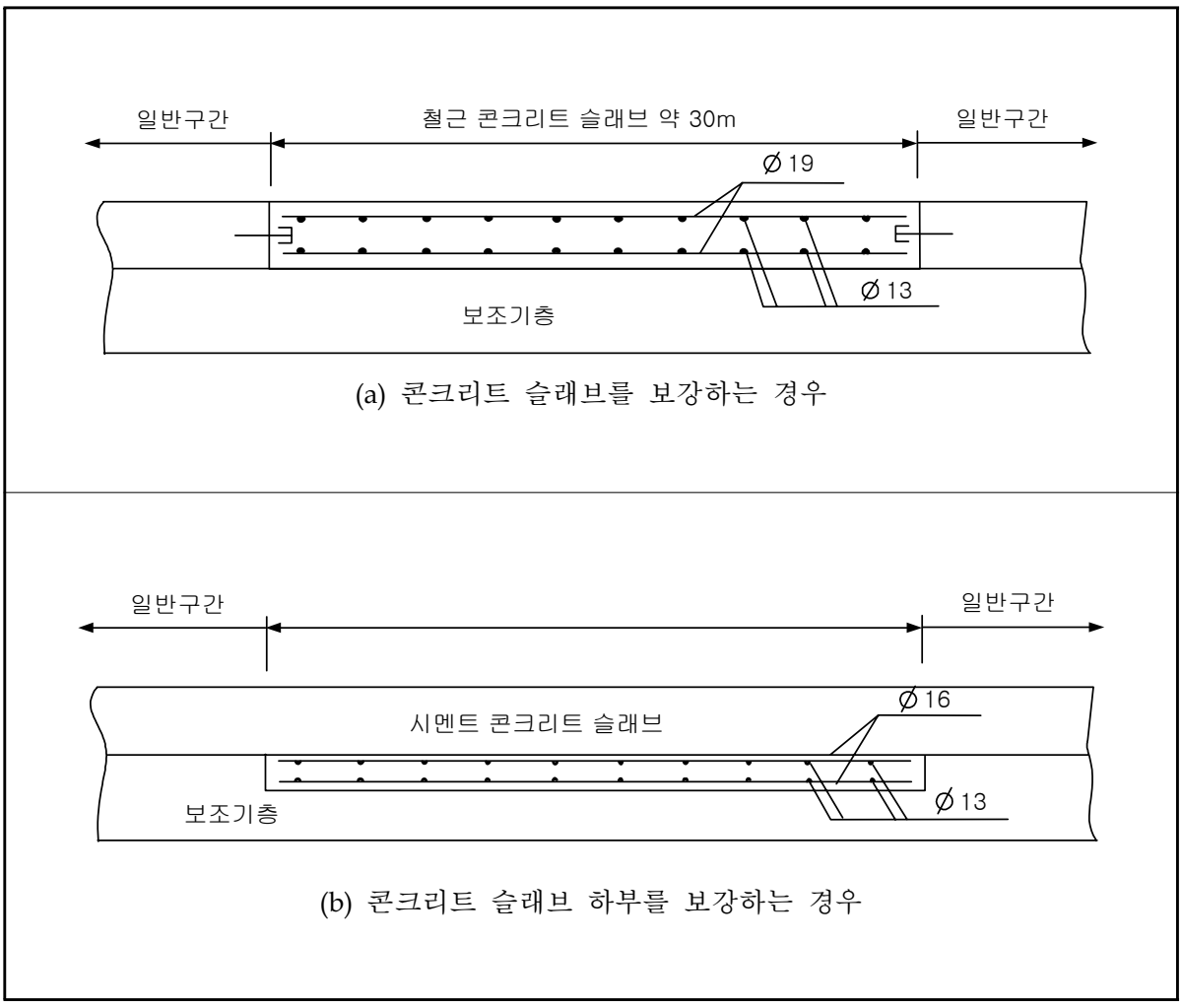
대로 사용한다. '가'의 제3안에서 제시한 바와 같이 측대측을 기존 차로의 1차로와 2차로에 15cm씩 각각 분배하고 나머지 20cm는 확장차로에 그대로 둘 것을 추천한다. 기존 차로에 15cm씩 분배한 배경은 분배후 차로폭이 각각 3.75m로서 설계시 차로폭을 3.0, 3.25, 3.75m를 주로 사용하는 관계를 감안한 것이다.

확장차로에 남은 측대측 20cm는 그대로 두어도 차량하중 재하위치로부터 충분히 떨어져 있게 되므로 무방한 것으로 판단된다.(확장차로의 차로폭 3.6m에서 중차량의 하중 재하폭을 2m로 보면 양쪽에 양 80cm씩 여유폭이 있으므로 측대폭 20cm 여분은 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

② 접속부분의 하중전달은 시공성, 하중전달 및 접속부 이완방지 측면에서 '나'에서 제시한 바와 같이 접속부의 타이바를 보강하거나 '다'에서 제시한 바와 같이 특별히 고안된 'ㄹ'자형 바를 이용할 것을 추천한다. '나'에서 기존 슬래브에 타이바를 시공하는 방법은 국내 시공실적이 있으며 장비를 사용하면 비교적 쉽게 타이바 구멍을 뚫을 수 있다.

707.10 절성 경계부 포장

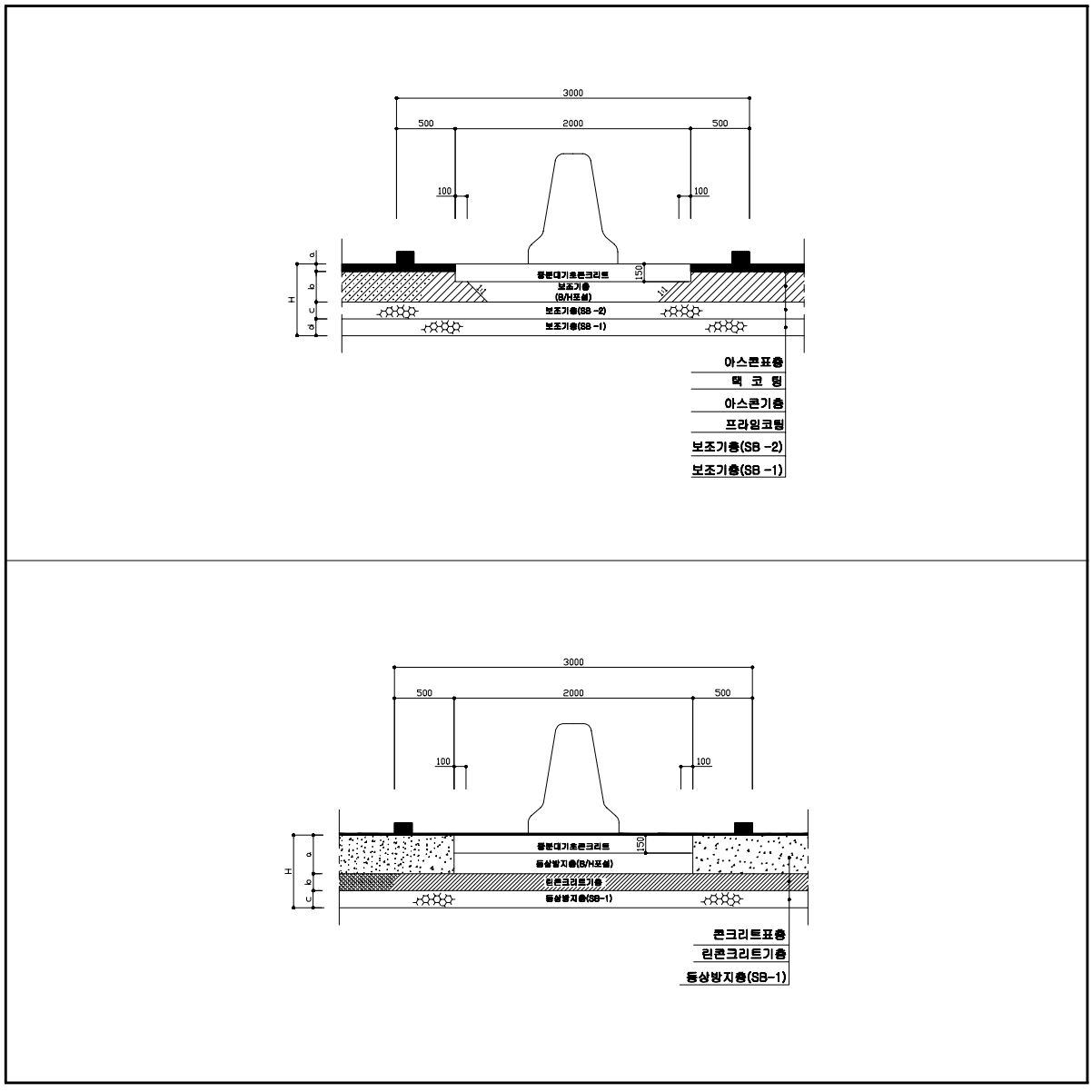
절성 경계부는 자연 상태의 지반과 인공 다짐으로 조성된 지반 사이에서는 지지력 차이로 인하여 포장 손상이 우려되므로 영향을 미치는 범위를 덮게끔 <그림 707.26>과 같이 약 30m 정도의 철근 콘크리트 슬래브로 하는 것이 좋다.



<그림 707.26> 절성 경계부 보강 설계 예

707.11 중앙분리대 기초

중앙분리대 기초에 대한 설계는 아스팔트와 콘크리트 포장의 경우로 나누어 <그림 707.27>의 예와 같이 한다.



<그림 707.27> 중앙분리대 기초 설계 예

708
기타 포장

708.1 간이포장

1.1 개요

1.1.1 간이포장의 정의

여기서 말하는 간이포장이란, 일반포장과는 달리 간이한 구조의 포장으로서, 보통 아스팔트 포장의 경우 표층, 기층 및 보조기층으로 구성되고, 표층의 두께가 일반적으로 3~4㎝ 정도의 포장을 말한다.

콘크리트 포장의 구조 및 설계는 향후 보완한다.

간이포장이라 불리는 것에는 비포장도의 노면을 정리하기 위하여 고화제 또는 역청재료를 살포 침투시킨 방진처리나 표면처리 등을 포함시키는 경우도 있으나, 이 편에서 말하는 간이포장은 노상토의 강도에 따라서 설계된, 표층두께가 3~4㎝ 정도의 포장을 말하며, 표층두께가 2.5㎝ 이하의 방진처리나 표면처리와 구별하고 있다. 따라서 간이포장은 교통조건 등이 예상 외로 심하게 되지 않는 한 계속적인 유지보수를 실시함으로써 상당한 공용년수를 기대할 수 있다.

1.1.2 간이포장의 대상이 되는 도로 조건

간이포장은 지방도급 이하의 도로 중 교통량이 적은 도로에 적용할 수 있는 형식으로 간이포장을 시공하는 도로는 다음의 조건을 만족하는 것이라야 한다.

(1) 시공 후 계속하여 양호한 유지를 하는 데 충분한 조직 및 기자재를 갖추어야한다.
(2) 자동차 교통량이 적고 또한 중차량이 적은 도로라야 한다.
(3) 노면은 양쪽의 최고수위보다 대략 30㎝ 이상 높고, 배수조건이 양호하여야 한다. 특히 민가가 연이어 건립되어 있는 구간에서는 측구가 정비되어야 한다.

1.2 구조의 설계

1.2.1 개 요

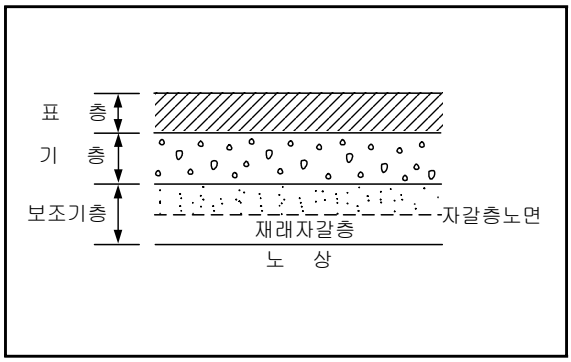
(1) 간이포장의 구조는 노상토의 CBR 등에 의해서 설계된다. 적설 한랭지에서는 동결 깊이를 고려한다.
(2) 설계에 있어서는 되도록 현지 재료를 효과적으로 이용하도록 한다.

1.2.2 포장의 구조

(1) 개 설

간이포장은 <그림 708.1>에 나타낸 바와 같이 표층, 기층 및 보조기층으로 구성된다. 기존 자갈층은 일반적으로 보조기층에 포함되며 보조기층의 폭은 원칙적으로 표층의 폭보다 양쪽으로 15㎝ 이상 넓게 한다.

노면의 횡단구배는 2~5%를 표준으로 한다. 길어깨는 포장하부로 빗물이 침투하는 것을 방지하기 위하여 보통 표면처리 한다.



<그림 708.1> 간이포장의 구조

(2) 노 상

노상은 기존 자갈층의 밑으로 두께 약 1m의 흙 부분을 말하며 노상토의 연약한 곳을 치환하였을 경우 또는 기존 자갈층을 굴착하여 시공하는 경우에 설치하는 차단층 등은 그 일부 또는 전부가 노상에 포함된다.

[주1] 차단층에는 밑에 있는 노상토가 침입하는 것이 예상되므로 보조기층재료의 규정을 만족시키는 재료를 사용하였을 경우에도 차단층은 일반적으로 노상의 일부로서 생각하게 된다. 치환하였을 경우, 재료의 두께가 커서 노상토의 침입이 그 일부에 한정될 때에는 그 상부는 보조기층으로서 다룬다.

[주2] 포장두께를 결정하는 기초가 되는 설계 CBR은 차단층이나 국부적으로 치환한 재료를 제외한 노상토에 대하여 얻어진 값을 사용하여야 한다.

(3) 보조기층 및 기층

기층에는 양질이고 내구성이 좋은 재료를 사용하고, 보조기층에는 그렇게 양질이 아니더라도 비교적 값싼 재료를 사용한다.

기존 자갈층은 일반적으로 보조기층의 일부로서 그대로 이용하여도 좋으나 만일 기층재료의 규정에 맞는 것이라면 기층으로서 이용할 수도 있다.

가. 보조기층

보조기층 재료의 수정 CBR은 10이상이어야 하며, 이와 동시에 75㎛(No.200)체 통과량이 10% 이하이거나 425㎛(No.40)체 통과분의 소성지수(PI)가 9이하라야 한다.

[주1] 이와 같은 재료에는 입도 분포가 좋은 강모래, 산모래 또는 막자갈 등이 있다. 규정에 맞는 범위에서 될 수 있는 대로 경제적인 현지재료를 이용하는 것이 좋다.

[주2] 규정에 맞는 현지재료를 얻을 수 없을 때에는 경제성을 고려하여 시멘트, 석회 등에 의한 처리를 한다.

[주3] 보조기층 재료의 수정 CBR을 구할 때의 다짐도는 95%로 한다.

나. 기층

① 기층은 보통 입도조정공법이나, 막부순돌공법을 사용하지만, 그 이외에도 머캐덤, 역청안정처리, 시멘트 또는 석회에 의한 안정처리 등의 공법을 사용할 수 있다.

② 입도조정된 재료(부순돌, 슬래그 등)는 최대건조밀도의 95%에서의 수정 CBR이 60 이상이고, 425㎛(No.40)체 통과분의 소성지수가 4 이하가 되어야 한다.

③ 역청 안정처리 재료는 마샬안정도(60℃)가 250㎏ 이상이어야 하고, 시멘트안정처리재료는 6일간 양생하고, 1일간 수침한 1축 압축강도가 25㎏/㎠에 해당하는 시멘트량을 사용하는 것으로 한다.

④ 석회 안정처리에서는 9일간 양생하고, 1일간 수침한 1축 압축강도가 7㎏/㎠ 이상이 되도록 석회량을 결정하는 것으로 한다.

[주1] 간이포장의 기층은 경제적인 범위에서 될 수 있는 대로 양질의 재료를 사용하는 것이 좋으나 기층재료 규정에 맞지 않는 재료라도 여러 가지 안정처리를 함으로서 경제적으로 이용할 수 있는 경우가 많으므로 사전에 충분한 조사가 필요하다.

(4) 표 층

표층은 가열 혼합식 공법, 침투식 머캐덤 공법, 상온 혼합식 공법 중의 한 방법으로 실시한다. 적설지 등에서 타이어 체인에 의한 마모가 심한 곳에서는 마모층을 둘 수 있으나 국내에서는 고산지 이외의 도로에서는 적용하지 않아도 된다.

1.2.3 설계방법

(1) 개 설

포장두께는 설계 CBR에 의해서 결정한다. 표층, 기층 및 보조기층 등 각층의 두께는 주로 사용하는 재료의 성질과 공법에 따라 결정한다. 또 한냉지에서의 포장두께는 설계 CBR과 동결깊이의 어느 한 쪽에 의해서 결정한다.

(2) 두께의 결정

가. 포장두께

포장두께는 설계 CBR 값에 따라 <표 708.1>을 표준으로 하여 결정한다. 동결작용을 받는 한냉지에서는 그 지역의 이론최대 동결심도의 65%를 치환깊이로 한 값과 <표 708.1>에서 구하여진 값을 비교하여 큰 쪽을 포장두께로 한다.

[주1] <표 708.1>에 의하여 포장두께를 결정하면 약 반년간의 교통 통과 후에 측정한 노면에서의 d_5 값(5t 윤하중에 의한 벤켈만빔 변형량)은 2.0㎜ 이하일 때가 많다. 따라서 노면에서의 d_5 값이 이 값을 크게 넘을 때에는 유지보수의 빈도를 높이는 등의 특별한 주의가 필요하다.

[주2] 노상토의 예비조사로서 기존 자갈노면에서의 벤켈만빔 변형량 시험이 실시되어 있는 경우에는 <그림 708.2>를 이용하여 개략적인 포장두께를 구할 수가 있다. 이 포장두께는 기층에 입도조정 재료를 사용한 경우의 것이다. 다만, d_5 값은 건조한 시기를 피하고 봄이나 가을에 측정한 것이라야 한다.

<표 708.1> 설계 CBR과 포장두께의 표준

설계 CBR	1	2	3	4	6	8	12	20이상
포장두께(㎝)	50	40	35	30	25	20	15	10

※ 위 표의 설계 CBR 4라 함은 4 이상 6 미만을 나타내는 것이다.

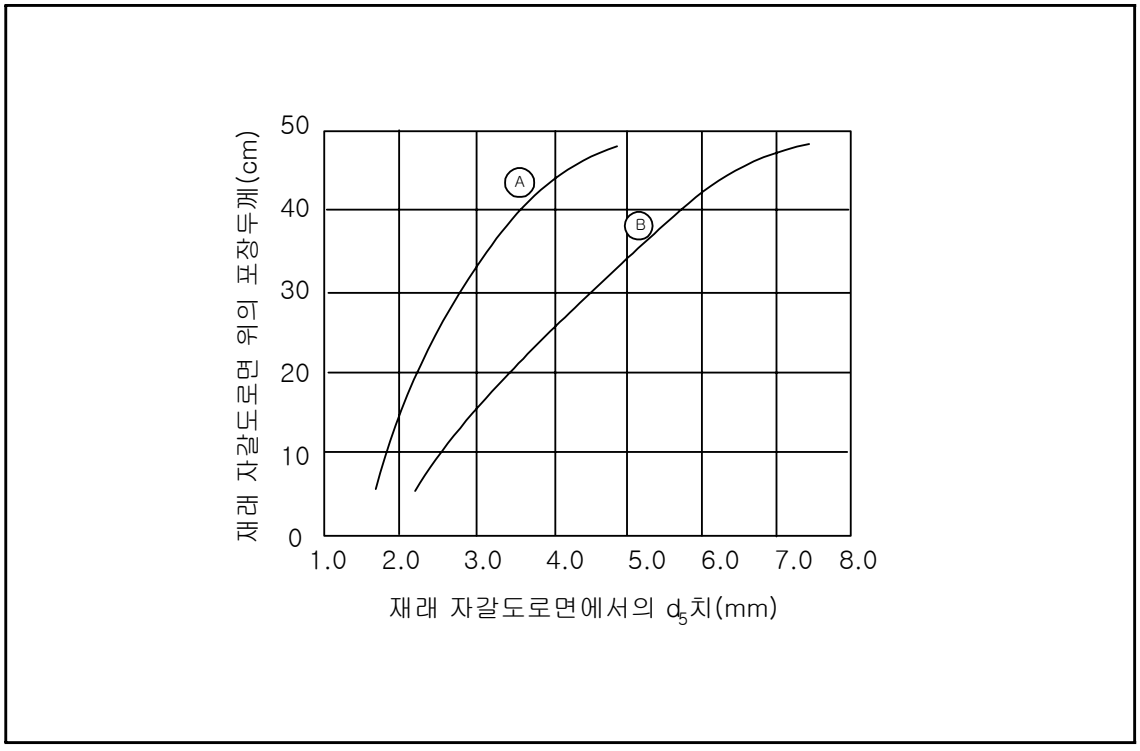
[주3] d_5 값은 도로연장방향으로 약 10m 간격으로 구한 10개 이상의 측정치를 이용하여 다음 식으로 계산한다.

$$d_5 = \text{전체 측정치의 평균치} + \frac{\text{범위}}{3.18} \quad \text{(708.1)}$$

전체 측정치의 범위(최대치-최소치)가 약 3㎜를 넘는 경우에는 그 구간 연장에서의 포장두께 등을 변경하는 것을 검토하여야 한다.

[주4] 간이포장에서는 일반적으로 <그림 708.2>의 A곡선을 사용한다. 단 대형차가 거의 통과하지 않는 도로에서는 B곡선을 사용한다.

[주5] 설계 CBR이 2.0 미만인 연약한 노상



<그림 708.2> 벤켈만빔 변형량에 의한 포장두께의 설계곡선

위에 새로이 포장을 설치할 경우에는 과거의 경험을 참고로 하면서 구조를 결정한다. 경험에 의하지 않는 경우에는 노상토를 약 50㎝ 두께만큼 치환하고, 치환한 재료의 CBR에 의하여 포장두께를 결정한다. 또한 포장두께를 약 60㎝로 하고, 기층 뿐 아니라 보조기층에도 시멘트 등을 첨가하여 처리한다.

어느 경우에나 개통 후에 노면의 변형량을 측정하여, 변형량 d_5 값이 2.0㎜ 이상일 때에는 교통량에 따라 필요한 덧씌우기를 실시하여야 한다.

나. 각 층의 두께

① 표층두께는 3~4㎝로 한다. 표층 위에 마모층을 설치하는 경우에는 그 두께를 1.5~2.0㎝로 한다.

② 표층과 기층을 합한 두께는 보조기층에 수정 CBR이 10~20인 재료를 사용할 경우에는 15㎝ 이상, 20 이상인 경우에는 10㎝ 이상으로 한다.

③ 보조기층의 두께는 포장두께에서 표층과 기층의 합의 두께를 뺀 값으로 한다.

④ 기존 자갈층을 굴착하여 시공하는 경우, 설계 CBR이 3.0 미만일 때에는 노상토 위에 차단층으로서 두께 10㎝ 이상의 모래층을 설치한다.

[주1] 기존 자갈층이 기층재료의 규정에 맞고 그 두께가 충분한 경우일지라도 표면을 걷어내고 두께 5㎝ 정도에 해당하는 재료를 추가 보충하여 평탄하게 마무리한 위에 직접 표층을 시공한다.

만일 기층재료의 규정에 맞지 않을 때에는 그 위에 새로운 기층을 설치하거나 또는 안정처리 등을 실시할 필요가 있다. 자갈층의 평탄성을 맞추기 위하여 사용하는 재료는 기층재료의 규정에 맞는 것이라야 한다.

[주2] 보조기층 또는 노상토의 치환에 단입도의 모래등을 사용하는 경우에는 기층의 시공을 쉽게 하기 위하여 조립재료로 두께 약 5㎝ 이상의 층을 설치하는 것이 좋다.

[주3] 기층의 두께는 적용되는 공법에 따라 다음의 값을 표준으로 한다.

입도조정, 막부순돌	7~12㎝
상온 혼합식 아스팔트 안정처리	7~12㎝
가열 혼합식 아스팔트 안정처리	5~ 6㎝
시멘트 안정처리	12~20㎝
석회 안정처리	10~20㎝

[주4] 표층의 두께와 적용공법은 교통의 상황, 기층의 종류 및 경제성 등에 따라서 결정한다. 예를 들면, 교통량이 비교적 적고 기층에 안정처리를 채택한 경우, 또는 대형 차량의 교통량이 적을 때에는 두께를 3㎝로 할 수 있다. 또 기층을 머캐덤 공법으로 채택할 경우 표층은 가열 혼합식 공법으로 하는 것이 좋다.

다. 동결 깊이

동결 융해를 받는 지역에서, 치환 두께를 경험적으로 알 수 있는 경우는 그 값을 사용하며, 경험적으로 알 수 없을 때에는 이론 최대

동결심도의 65%를 치환 깊이로 하여 포장두께와 비교하여 그 차이 두께만큼 동상 방지층을 둔다.

1.2.4 배 수

(1) 개 설

도로의 배수는 비가 올 때에 노면을 흐르는 물 및 인접하는 지대에서 노면에 유입하는 물을 처리하는 표면배수와, 노면 밑의 지하수위를 저하시켜 노면 또는 인접지대로 부터의 침투수를 집배수하는 지하배수로 분류된다.

포장의 파괴는 직접 또는 간접으로 물이 원인이 되어 일어나는 경우가 많으므로 노상토의 성질이나 지형 등 예비조사의 결과를 참조하면서 배수구의 설치에 대한 충분한 검토가 필요하다.

(2) 표면배수

표면수는 일반적으로 도로측면에 설치한 측구로 처리한다. 측구는 일반적으로 땅깍기구간에서는 길어깨나 또는 길어깨에 접하여 설치한다. 흙쌓기 구간에서는 흙쌓기 비탈 끝에 설치하기도 한다. 높은 흙쌓기에서 비탈면이 침식되기 쉬운 경우 등에는 길어깨에 설치한다.

포장두께 및 폭이 작아서 차량 집중에 의한 소성변형이 우려되는 부분에 대해서는 노면의 횡단구배를 크게 한다. 길어깨는 노면배수를 잘되게 하기 위하여 표면처리를 하는 것이 필요하며, 지장이 없는 한 길어깨는 외측으로 경사되어 있어야 한다.

[주1] 포장의 단부에 설치한 측구에 항상 물이 고이고 있는 경우에는 침투수에 의하여 포장 단부가 파괴되기 쉽다. 이와 같은 곳의 측구는 콘크리트나 돌쌓기로 하는 것이 좋다.

[주2] 포장의 길어깨에 가까운 부분은 다짐이 소홀하게 되기 쉽고, 또한 중차량의 주행이 집중하게 되어 특히 소성변형이 생기기 쉬운 곳이다. 기층의 시공을 주의하여 노면에 물이 고이는 원인을 만들지 않도록 조심하여야 한다.

[주3] 길어깨의 표면처리는 잡초류의 발생을 완전히 막지는 못한다. 표면처리를 실시하기 전에 미리 제초제를 살포하면 효과적인 경우가 있다.

[주4] 길어깨의 처리 또는 토사측구의 라이닝에 아스팔트 혼합물이나 플라스틱 소일시멘트 등을 이용하기도 한다.

(3) 지하배수

지하배수는 유공관과 필터재를 이용한 지하배수구에 의하여 배수한다. 땅깎기구간 및 절성 경계부의 땅깎기 쪽에는 원칙적으로 지하배수구를 설치한다. 특히 종단구배가 급한 구간의 절성경계부위에서는 세심하게 지하배수구를 설치하여야 한다.

[주1] 노상토의 예비조사에서 벤켈만빔 변형량 시험을 실시하여 그 결과에서 변형량이 현저하게 크게 나타나는 곳이 발견되었을 경우, 그곳의 노상토를 치환만 할 것인지, 또는 지하배수구 등을 국부적으로 설치할 필요가 있는지 등에 대하여 지형이나 용수(湧水)의 유무 등을 감안하면서 충분히 검토하여야 한다.

708.2 보도 포장

2.1 개요

보도, 자전거 보행자 전용도로, 보행자 전용도로, 공원내 도로, 광장 등 주로 보행자용으로 쓰이는 도로 및 광장을 보행자계 도로라 하고, 여기에 포설되는 포장을 보도포장이라 한다. 보도포장은 이를 적용하는 장소에 따라 일반부와 교량부로 구분한다.

보도포장의 역할은 보행자에게 안전하고 쾌적한 보행성을 확보하는 동시에 친근감, 정감, 또는 약동감을 느낄 수 있는 쾌적감(amenity)을 줄 수 있어야 한다. 주행성은 주로 발의 감각에 의한 것으로 적당한 탄력성, 미끄럼 저항성 및 노면의 배수성 등으로 평가된다.

또한 쾌적감은 심리적으로나 시각적인 감각에 의한 것으로 색깔, 조형, 질감 등이 주위환경과 조화 등으로 평가한다. 설계, 시공에 있어서는 보행자 및 자전거와 함께 필요에 따라 관리용 차량 등의 교통하중에 대해 충분한 내구성을 갖고 있어야 하며, 주위경관과 조화, 보수의 용이성 등을 고려할 필요가 있다. 시공에 있어서는 특히 마무리를 양호하게 하여 물이 고이는 일이 없도록 배수에 유의하며, 또한 노면이 젖어 있는 상태에서도 충분한 미끄럼 저항성을 갖도록 표층재료의 선정 및 처리에 유의한다.

<표 708.2> 보도포장의 분류

포장구조	표층에 의한 분류	사 용 재 료
아스팔트 혼합물계 포장	가열 아스팔트 혼합물	아스팔트 혼합물(밀입도, 세립도)
	칼라포장	안료, 칼라골재
	투수성 포장	개립도 아스팔트 혼합물
수지계 혼합물 포장	칼라포장	석유수지, 칼라골재, 안료
	합성수지 혼합물 포장	에폭시수지, 자연석, 세라믹스
시멘트콘크리트계 포장	콘크리트 포장	콘크리트, 투수성 콘크리트
블록계 포장	콘크리트 판 포장	보도용 콘크리트 판 의석(擬石) 콘크리트 판 물 씻기 콘크리트 판
	인터록킹 블록 포장	인터록킹 블록
	아스팔트 블록 포장	아스팔트 블록
	벽돌 포장	벽돌
2층구조계 포장	타일 포장	석질 타일, 자기질 타일
	천연석 포장	천연석편
기타 포장	상온 도포식 포장	에폭시 수지, 아크릴 수지
	거푸집식 칼라 포장	콘크리트, 안료, 아크릴 수지, 천연골재

2.2 보도포장의 선정

보도포장의 구조 및 포장의 종류는 그 용도, 경관, 질감 등을 고려하여 선정한다.

표층재료는 보행성과 같은 본래의 기능을 가지는 동시에 색깔, 조형, 질감 등도 고려하여 선정한다. 또한 표층은 보행자의 안전을 위해 충분한 미끄럼 저항성을 갖고 있어야 한다.

보도포장을 대별하면 아스팔트 혼합물이나 시멘트 콘크리트를 표층으로 하는 혼합물 포장, 혼합물 포장을 기반으로 하여 그 위에 표면처리로 고분자수지 바인더를 사용한 수지계 포장, 표층에 블록을 포설한 블록포장 등이 있다. 보도포장을 포장구조 및 사용재료에 따라 분류하면 <표 708.2>와 같다. 또한 표에 나타낸 것 이외의 재료에 대해서도 목적, 기능에 적합한 것에 대해서는 적극적으로 활용을 시도할 필요가 있다.

보도포장의 재료 선정에 있어서는 주변환경과의 조화, 보행자에게 주는 쾌적감, 시공성, 내구성, 보수의 용이성, 경제성 등을 충분히 검토하여 결정해야 한다.

보도포장의 표층은 보행자의 안전한 통행을 위하여 미끄럼 저항성을 가지고 있어야 한다. 옥내상가(예 : 아케이드) 등에서 습윤상태로 되지 않는 장소를 제외하고 미끄럼 저항치는 일반적으로 BPN(British Pendulum Number)으로 40이상(습윤상태)이 바람직하다.

2.3 일반부 보도포장

(1) 포장의 구조

보도포장의 구조는 일반적으로 표층, 기층, 노상으로 구성된다.

가. 표 층

보도포장의 표층은 교통하중을 지지하는 층으로 이용되는 경우와 교통하중은 기층 이하의 구조로 지지시키고, 표층은 미관용으로 하는 경우가 있다. 어느 경우나 표층은 직접 하중과 접하는 부분이므로 내구성과 안전성이 좋은 것으로 할 필요가 있다.

나. 기 층

기층재료는 원칙적으로 쇄석을 사용한다. 시공에 있어서는 노상의 강도를 고려하여 노상을 교란시키지 않도록 하여야 한다.

다. 노 상

보도포장의 노상은 충분한 지지력을 갖고, 물이 침투하여도 약화되지 않는 것이 이상적이다. 그러나 일반적으로 포장의 두께가 얇기 때문에 시공할 때 교란되어 지지력이 저하하는 일이 있으므로 주의하지 않으면 안된다.

또한 한냉지역에서 동상(凍上)의 염려가 있는 장소에서는 노상의 일부로 두께 15cm 이상의 동상방지층을 둔다.

(2) 포장의 구성

포장의 구성은 다음과 같은 설계구분(구분Ⅰ, 구분Ⅱ)에 따라 결정한다.

① 구분Ⅰ: 보행자, 자전거의 교통에 쓰이는 보도, 자전거도

② 구분Ⅱ: 보행자나 자전거 이외에 공원이나 상점가 등에서 최대적재량 4 t이하의 관리용 차량이나 한정된 일반차량이 통행하는 보도

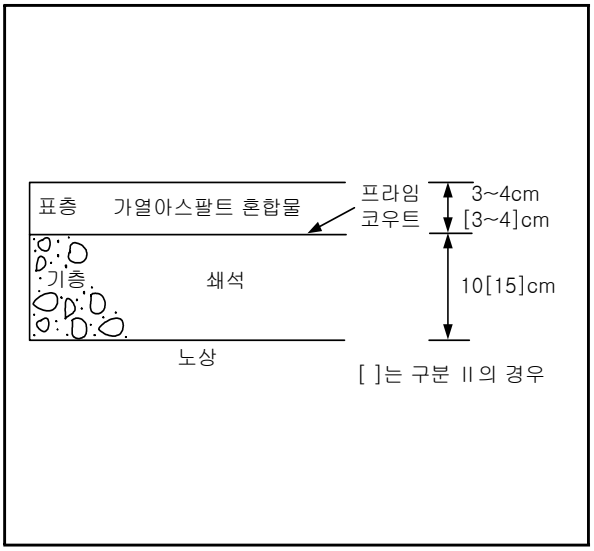
보도포장으로서 대표적인 포장의 구성을 아

래에 기술한다.

가. 아스팔트 혼합물에 의한 포장

구분Ⅰ의 경우에는 쇄석을 사용하여 두께 10cm의 기층을 두고, 그 위에 표층으로 가열 아스팔트 혼합물로 두께 3~4cm의 표층을 둔다. 구분Ⅱ의 경우에는 쇄석을 사용하여 두께 15cm의 기층을 두고, 그 위에 가열 아스팔트 혼합물로 두께 3~4cm의 표층을 둔다(<그림 708.3> 참조).

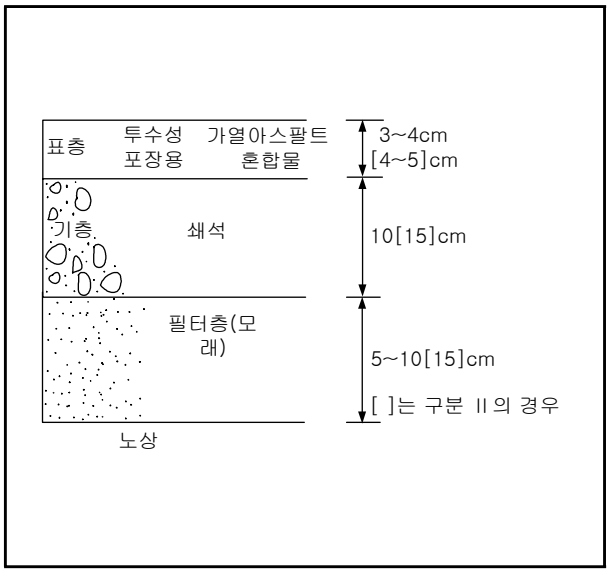
또한 석유수지(탈색 바인다)를 이용한 가열 혼합물에 의한 수지계 혼합물포장도 사용된다.



<그림 708.3> 가열 아스팔트 혼합물에 의한 포장구성

나. 투수성 포장용 가열 아스팔트 혼합물에 의한 포장

일반적인 포장구성은 <그림 708.4>와 같다.

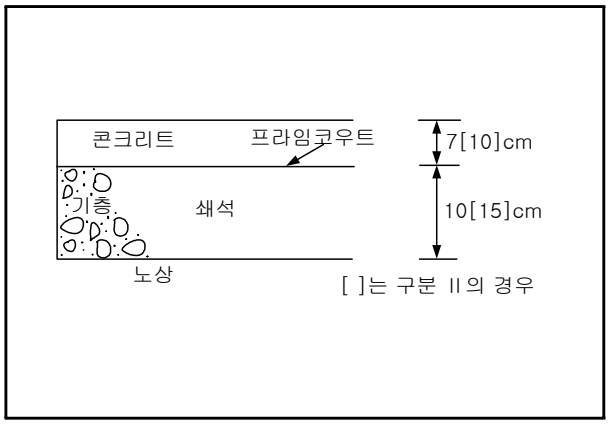


<그림 708.4> 투수성 포장용 가열 아스팔트 혼합물에 의한 포장구성

기층면의 프라임코우트는 투수기능을 해치므로 시행하지 않는다.

다. 콘크리트에 의한 포장

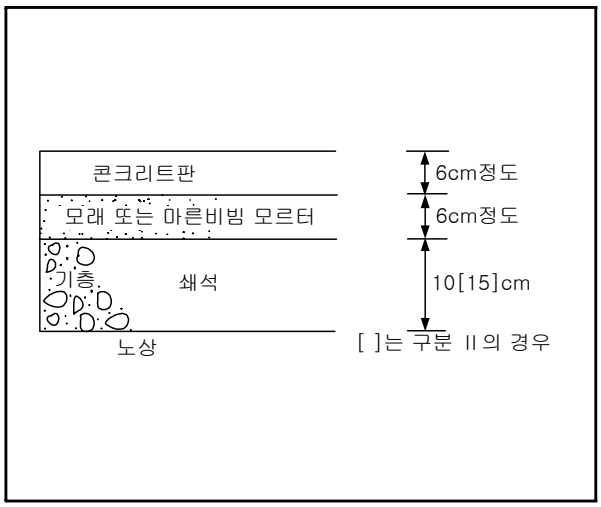
일반적인 포장구성은 <그림 708.5>와 같다. 기층 위에는 유화 아스팔트를 살포한다. 수축줄눈 간격은 폭이 1m 미만의 경우는 3m, 1m 이상의 경우는 5m를 표준으로 하고, 시공줄눈 구조로 한다. 팽창줄눈 간격은 30m를 표준으로 하고, 폭의 변화점, 구배의 변화점에 두며 맞댄 줄눈으로 한다.



<그림 708.5> 콘크리트에 의한 포장구성

라. 콘크리트 판에 의한 포장

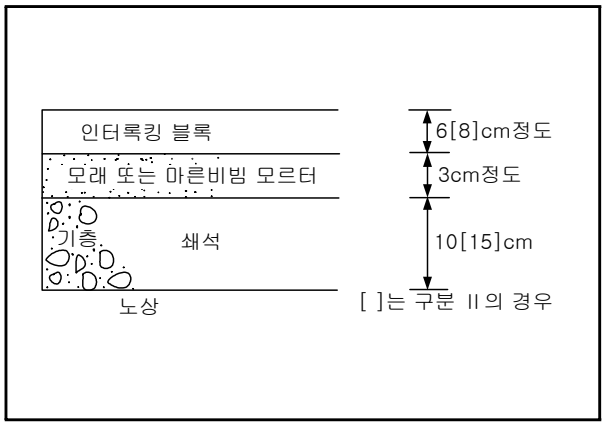
일반적인 포장구성은 <그림 708.6>과 같다.



<그림 708.6> 콘크리트판에 의한 포장구성

마. 인터록킹 블록에 의한 포장

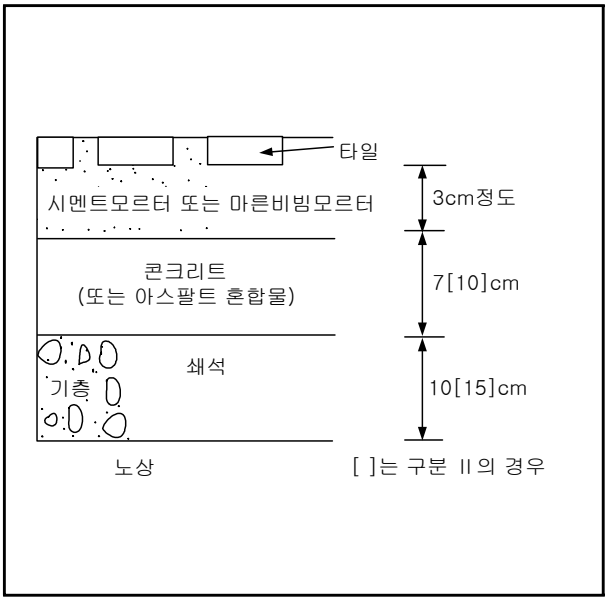
구분Ⅰ의 경우는 기층으로 쇄석을 두께 10cm 둔 위에 모래를 3cm 정도 포설하고, 그 위에 표층으로 두께 6cm의 인터록킹 블록을 깐다. 구분Ⅱ의 경우는 기층으로 크러셔런을 두께 15cm 둔 위에 모래를 3cm 정도 깔고, 그 위에 표층으로서 두께 8cm의 인터록킹 블록을 깐다.(<그림 708.7> 참조)



<그림 708.7> 인터록킹 블록에 의한 포장구성

바. 타일 등 미장재에 의한 포장

일반적인 포장구성은 <그림 708.8>과 같다.



<그림 708.8> 타일과 같은 미장재에 의한 포장구성

사. 상온 도포식 포장

주행성, 색깔 등을 목적으로 수지계 바인다 재료를 사용한 상온 혼합물에 의한 칼라포장을 가열 아스팔트 혼합물 또는 콘크리트 포장 위에 0.5~1.0cm의 두께로 시공한다.

2.4 교량의 보도포장

(1) 교량 보도부의 포장

가. 가열 아스팔트 혼합물 포장

보도부분이 시멘트 콘크리트 슬래브 위의 경우는 <표 708.2>에 있는 가열 아스팔트 혼합물에 의한 포장을 실시한다. 보도부분이 강상판인 경우에는 방수성을 고려하여 구스 아스팔트 포장에 의한 포장을 실시하는 경우가 많다. 가열 아스팔트 혼합물을 사용하는 경우는 물의 침투가 예상되므로 보호대책으로서 교면포장과 같이 방수층을 설치하는 것이 바람직하다.

나. 각종 블록에 의한 포장

교량의 보도부분은 일반적으로 다짐이 어렵고, 또한 경관을 고려하여 각종 블록에 의한 포장을 시공하는 경우가 많다. 이 경우의 포장 구성은 일반부 보도포장에 준하여 실시한다.

다. 수지계 바인다에 의한 포장

강상판의 보도부분에 포장면을 착색하거나 미끄럼 방지효과를 얻기 위하여 아크릴계 수지, 열경화성 수지(우레탄, 에폭시 수지 등)와 같은 수지계 바인다를 사용하여 강상판면에 직접 박층으로 포장을 시행하기도 한다.

(2) 보도교의 포장

포장표면에 칼라를 내기 위하여 혼합물의 제조에 있어 석유수지를 사용하거나 안료, 천연 또는 인공의 칼라골재를 사용하는 방법이 있다. 또한 이들의 포장표면을 연마하여 혼합물의 속 무늬를 내는 방법이 있다.

2.5 그 밖의 고려사항

보도포장은 지역의 특성이나 생활환경과의 조화를 고려하여 설계, 시공하여야 한다. 자전거도나 지하도의 보도포장 등 특정한 목적과 장소에 포설되는 포장에 대해서는 일반적인 구조, 표층재료의 선정방법 외에 배수구조나 시인성(視認性) 등을 함께 검토한다.

708.3 자전거도로 포장

본 장에서 언급되는 자전거도로 포장은 자전거 전용도로, 자전거·보행자 겸용도로, 자전거·자동차 겸용도로에 기본적으로 적용되며 보도나 광장 등의 포장에도 준용될 수 있다.

3.1 자전거도로의 색상

자전거 도로의 이용율을 높이기 위해서는 자전거도로의 평탄성 및 투수성과 함께 주변 도로와의 색상 대조를 통한 양호한 시인성의 제공이 매우 중요하다. 색상은 비용을 고려한 경제성과 색상의 조화비, 장기적인 색상 유지성, 야간의 시인성을 기준으로 판단하여 시행됨이 바람직하다.

3.2 투수성을 고려한 자전거도로의 포장재료

투수성을 고려한 자전거도로의 포장재료로는 투수 콘크리트와 투수 아스팔트, 블록이 주로 사용되고 있다. 투수 콘크리트는 색상의 선명도가 투수 아스팔트보다 높아 도시 미관상의 장점을 갖고 있어 미관이 고려되는 도시지역이나 하천변/공원지역에 적절한 것으로 판단된다. 투수 아스팔트는 아스팔트 계통이므로 색상이 비교적 짙은 색으로써 중후한 느낌을 주므로 중한 분위기를 필요로하는 지역에 적절한 것으로 판단된다. 블록은 필요시 해체가 용이하며 재사용이 가능하여 장래 건축물이 입지될 지역에 적절하다.

포장구조의 측면에서 자전거도로는 차량통행이 없는 일반 자전거도로와 차량통행이 예상되는 자전거도로로 분류한다. 차량통행이 예상되는 자전거도로란 자전거도로 중 단지내 진입부분과 같이 차량의 통행이 예상되거나 개발중인 단지 내의 자전거도로로서 승용차 또는 작업차량 등의 진입이 예상되는 구간을 말한다.

작업차량의 통행이 오랜 기간 빈번하게 예상되는 경우나 작업량의 중량이 큰 경우는 자전거도로 포장 시공시기를 단지 개발로 연기하는 것이 좋으며, 부득이한 경우 일반 도로 포장에 준하여 설계하여야 한다.

3.3 자전거도로 포장에 요구되는 기능

자전거도로 노면은 안전하고 쾌적한 주행성이 요구된다. 노면 요철이나 포트홀 등은 주행의 괘속성을 저해하며 안전상의 문제도 초래할 수 있으므로 자전거 도로 포장은 충분한 내구성이 확보되도록 설계되어야 한다.

또한 자전거도로는 보도와 겸용할 경우가 많은데 이때 보행성, 경관, 주변 환경과의 조화 등과 함께 시공성, 가로수의 보호육성, 치수 등도 충분히 고려되어야 한다.

(1) 내구성, 시공성

일반도로와 마찬가지로 자전거도로 포장도 내구성 및 시공성이 좋고 보수가 용이하도록 설계 및 시공되어야 한다. 자전거도로의 경우 일반도로보다 소규모 공사일 경우가 많으므로 품질관리에 유의해야 한다. 자전거도로의 내구성은 교통하중에 견디는 저항력보다 온도 변화나 강우로 인한 세굴 및 재료분리, 동결융해 등에 대한 저항력이 중요시된다. 또 유지보수시 소규모 시공이 용이한 포장재료 및 공법을

채택할 필요가 있다.

(2) 주행성·보행성

자전거도로의 주행성이나 보행성의 측면에서는 평탄성, 배수성, 미끄럼 저항성, 시인성, 보행의 쾌적성 등이 요구된다.

노면 요철이나 변형 또는 배수 불량으로 인해 강우시 물이 고여 있으면 자전거 주행에 방해가 될 뿐 아니라 안전에도 위협요소가 될 수 있다. 보행자가 보행중 발로 느낄수 있는 감촉, 적당한 부드러움 등은 보행자에게 '안전하게 다닐 수 있는 길'에 더해 '걷는 것이 즐거운 길'로서의 기능을 추가 할 수 있다.

우천시 미끄러지기 쉬운 노면은 이용자의 안전을 손상하므로 습윤시 어느 이상의 노면 마찰력을 확보할 필요가 있다. 일본의 한 연구에서는 노면 마찰력에 대한 보행자의 의식조사를 실시하였는데 습윤상태의 마찰지수(BPN)가 30 이상이면 통상적인 안전성이 있다고 보고되었다. 일본의 또 다른 연구에서는 습윤상태의 마찰지수가 40이하인 경우에 미끄러지기 쉽다고 보고하였다. 이들 결과로부터 일본에서는 보행을 위한 노면 마찰력 기준을 마찰지수 40이상으로 하고 있다.

마찰지수는 현장 또는 실내에서 휴대용 마찰력 측정기로 측정된 마찰력 측정결과 값으로서 주로 노면의 미세표면의 마찰능력을 나타낸다.

3.4 경관 및 주변 환경과의 조화

자전거도로나 보도는 이용자의 즐거움을 위해 색채나, 노면의 재질, 주변 가로수나 상점 등과의 조화 등이 중요한 사항으로 고려될 필요가 있다. 특히 보행노면의 색채, 재질, 투수성여부 등은 시각적인 쾌적함과 종합적으로 연관되어 경관기능의 주요 요소가 된다.

3.5 가로수의 육성 및 치수

일반적으로 표층재료를 불투수층으로 할 경우 가로수에 충분한 수분공급이 어려우며 지하생태계의 파괴를 초래할 수도 있다. 또한 도시의 경우 대지의 대부분이 포장 또는 건물 등으로 덮혀 있기 때문에 강우시 유출량을 증대시키며 유출수의 배수시설까지의 도달 시간을 단축시켜 결과적으로 홍수나 범람을 초래할 수도 있다. 이러한 문제점이 예상되는 경우 투수성 포장의 이용을 고려 할 수 있다.

3.6 구조 설계

자전거 도로의 단면 구조 설계는 '708.2 보도포장'의 설계방법에 준한다.

708.4 농어촌 도로 포장

4.1 개요

본 절의 목적은 농어촌 도로의 포장에 관한 일반적 고려사항, 포장 설계 등을 제시하는데 있다.

본 절의 적용에 있어서 유의할 사항은 자구에 구애됨 없이 그 의도하는 바를 정확히 파악하는 것이다. 농어촌 도로의 경우 경제성이 충분히 고려되어야 하므로 가급적 현지 재료를 사용하여 시공할 수 있도록 하고, 기술자의 판단에 따라 적정성이 충분히 인정되면 적용할 수 있다.

4.2 포장의 종류

농어촌 도로 포장의 종류는 아스팔트 콘크리트 포장, 시멘트 콘크리트포장, 토사계 포장 등이 있는데 교통량, 통행차량의 종류, 재료 입수의 용이성, 경제성, 시공성 및 유지관리의 난이도 등을 종합적으로 검토하여 결정하는 것이 좋다. 위에서 언급한 토사계 포장은 일종의 비포장 도로로서 자연흙을 이용하거나 노상위에 자갈, 쇄석, 모래 등을 깔고 그 표면을 노면으로 사용하는 포장으로서 경제적이므로 교통량이 적고 중요도가 낮은 도로에 사용한다.

4.3 포장 설계

포장 두께 설계에 사용하는 설계 교통량은 시공 5년 후에 예상되는 1일 중차량 교통량을 말하는데 1차로 도로의 경우 양방향 통과대수를, 2차로 도로의 경우 교통량이 많은 쪽의 1방향 통과대수를 구한 후 표를 이용하여 4단계로 구분하여 적용한다.

<표 708.3> 교통량 구분

교통량 구분	중차량 교통량(대/일)
Ⅰ	15미만
Ⅱ	15～100
Ⅲ	100～250
Ⅳ	250～1000

주) 농어촌도로라도 교통량이 1000대 이상인 경우는 건설부제정 '도로 포장 설계 시공 지침'에 따라 설계한다.

4.3.1 아스팔트 포장

포장 두께 설계는 노상의 지지력과 예상되는 교통량을 기준으로 설계하되 한냉지에서는 동결깊이도 고려한다. 두께 설계의 기본 개념은 노상지지력과 교통량에 의해 각 층을 모두 아스팔트로 했을 경우의 포장두께를 구하고 이것을 표층, 기층 및 보조기층 재료로 환산한 경우 각 층의 포장두께를 산정하는 것이다.

(1) 포장 두께의 목표치 결정

두께 설계에 있어서 노상 지지력과 교통량은 설계 CBR 및 교통량 구분을 사용하며 표에 의해 포장두께의 목표치를 구한다. 여기서 포장두께라 함은 표층 뿐 아니라 기층 및 보조기층까지를 포함한다. 표에서 T_A는 포장 각층을 모두 아스팔트 혼합물로 했을 경우 요구되는 포장두께를 말하며 H는 실제로 설계될 층의 총 포장두께의 목표치를 말한다.

<표 708.4> 포장두께의 목표치

설계 CBR	목표로 하는 값(cm)							
	I 교통		II 교통		III 교통		IV 교통	
	T_A	H	T_A	H	T_A	H	T_A	H
2	10	39	17	52	21	61	29	74
3	9	30	15	41	19	48	26	58
4	9	25	14	35	18	41	24	49
6	8	20	12	27	16	32	21	38
8	-	-	11	23	14	27	19	32
12이상	-	-	-	-	13	21	17	26
암반부	5	10	9	13	11	16	15	19

<표 708.5> 설계 CBR 및 설계지지력계수 계산용 상수

개수(n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10이상
C	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

설계 CBR의 계산은 식(708.2)을 이용하여 구하며, 여기서 C는 <표 708.5>에서 구한다.

$$\text{설계CBR} = \text{평균CBR} - \frac{\text{최대CBR} - \text{최소CBR}}{C} \quad \text{(708.2)}$$

(2) 각 층의 포장두께 결정

포장체 각층의 구성은 적당한 단면을 가정하고 그 단면의 총 등치 환산두께(T_A')와 총포장두께(H')를 계산하는데 여기서 얻은 계산치를 표의 목표치와 비교하여 T_A'가 목표치(T_A) 보다 작지 않도록 하고 H' 목표치(H)의 80%이상이 되도록하는 단면구성을 시산법으로 구한다.

이때 Ⅰ,Ⅱ 교통에서는 H'가 목표치(H) 이상이 되도록 한다.

총 등치 환산두께(T_A') 및 총포장두께(H')의 계산에는 (식 708.3)과 (식 708.4)를 쓴다.

$$T'_A = a_1 T_1 + a_2 T_2 + \cdots + a_n T_n \quad \text{(708.3)}$$

$$H' = T_1 + T_2 + \cdots + T_n \quad \text{(708.4)}$$

여기서 a_i : 등치환산계수

T_i : 각 층의 두께

<표 708.6> 표층의 최소두께

교통량 구분	표층의 최소두께 (cm)
I	4(3)
II	5(5)
III	5(5)
IV	10(5)

주1) ( )안은 기층에 역청안정처리를 사용할 때의 최소두께를 표시한다.

2) III, IV 교통에서는 시멘트안정처리 및 석회 안정처리의 표면은 표층표면에서 10cm 이상 깊게 하여야 한다.

포장층 구성에 있어서 표층의 최소두께는 표에서 보는 바와 같이하며 기층의 최소두께는 표와 같이 하고, 보조기층의 최소두께는 시공성을 고려하여 10cm 정도로 한다.

또 기층과 보조기층의 등치 환산 두께 비율은 1:2 ~2:1 정도로 하는 것이 좋다.

<표 708.7> 기층의 최소두께

공종	기층의 최소두께(cm)
입도조정공법	5
머캐덤공법	5
시멘트안정처리공법	12
석회안정처리공법	10
역청안정처리공법	5
침투식공법	5

4.3.2 콘크리트 포장 두께 설계

콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브로 구성되어 있는데, 보조기층은 노상의 지지력을 고려하여 보조기층면에서 필요한 지지력을 확보할 수 있는 두께로 하여야 하며, 콘크리트 슬래브는 보조기층의 지지력을 고려하여 계획교통량을 수용하는데 무리가 없는 두께로 하여야 한다. 기층의 상층부는 입도조정공법이나 안정처리 공법을 사용하는데, 콘크리트 포장의 주요 파손 원인인 펌핑현상 등을 막기 위해서 가급적 안정처리공법을 이용하는 것이 좋다. 또한, 한냉지에서는 동결깊이에 대해서도 고려해야 하는데 보조기층과 콘크리트 슬래브를 합한 두께(차단층이 있을 경우에는 이를 더한 두께)보다 동결깊이가 클 경우에는 동상을 일으키지 않는 재료로 그 차이만큼 노상토 상부를 치환한다.

(1) 보조기층의 두께 설계

보조기층의 두께는 보조기층면에서 요구되는 지지력, 사용재료, 노상지지력에 의해 결정된다. 여기서 노상지지력은 평판재하시험 결과를 이용하는 것이 원칙인데 공사규모가 작거나 부득이한 경우에는 설계CBR을 사용하여 구할 수도 있다.

가. 평판재하시험에 의한 보조기층 두께의 설계

보조기층에서 요구되는 지지력은 농어촌도로의 경우 평판재하시험에 의한 지지력 계수(K_{30}) 15kg/㎤ 이상을 요구하는데, IV 교통 이상의 경우는 일반도로와 같이 20kg/cm^3 이상으로 하고 반대로 중차량의 통행이 예산되지 않는 경우에는 10kg/cm^3 까지 내릴 수도 있다.

보조기층의 두께는 보조기층 위에서 요구되는 지지력(K_{30})과의 비(K_{30}/K'_{30})를 <그림 708.9>을 이용하여 구한다.

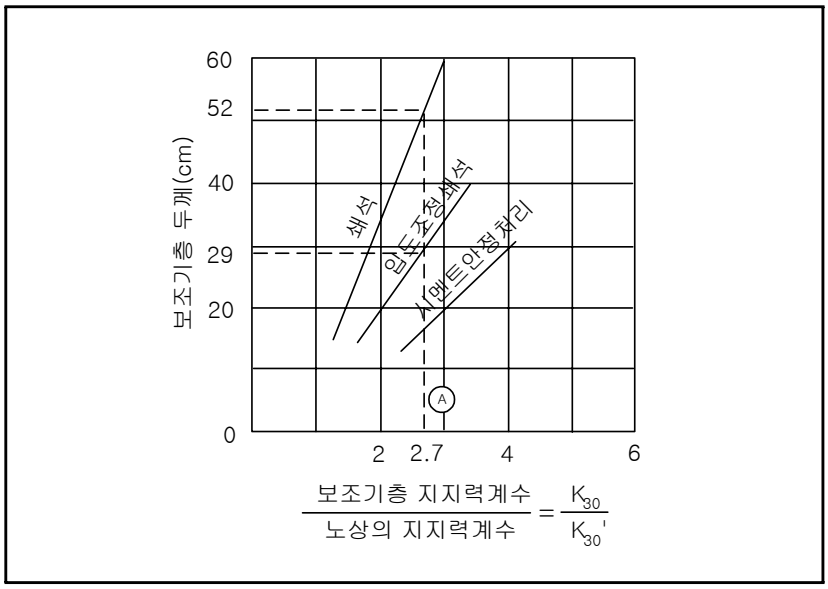
나. CBR 시험에 의한 보조기층 두께의 설계

콘크리트 포장의 보조기층 두께 설계에 있어서 노상의 평판재하시험이 어려울 경우 CBR 시험으로도 할 수 있는데 그 방법은 다음과 같다. 우선 노상의 설계 CBR을 구하고 <표 708.8>에 의해 보조기층의 두께를 구한다.

표에서 나타낸 보조기층 두께는 입도 조정쇄석을 사용하는 경우인데 보조기층을 2층 이상으로 나누는 경우에는 그림과 표를 통해 설명한 방법을 이용한다.

(2) 슬래브 두께 설계

콘크리트 포장에서 슬래브 두께는 교통량 구분과 콘크리트의 설계 기준 휨강도를 이용하여



<그림 708.9> 보조기층의 두께와 지지력비 (K_{30}/K'_{30})

<표 708.8> 설계 CBR을 이용한 입도조정쇄석 보조기층의 두께

목표지지력계수(K_{30}) \ 설계CBR	2	3	4	6	8	12이상
10	25	20	15	15	15	15
15	50	35	25	20	15	15
20	60	45	35	25	20	15

주1) 콘크리트의 휨강도시험은 28일 강도로서 KSF 2403(공시체 제작) 및 KSF 2408(3등분점 하중법)에 의한 휨강도 시험에 의해 구한다.

2) 노체에 큰 부등침하나 잔류침하가 예상되는 경우에는 잠정적으로 아스팔트 포장으로 하거나 단계 건설을 실시하는 것이 바람직하다.

<표 708.9>에서 구한다. 콘크리트의 설계 기준 휨강도는 교통량에 따라 다른데, II 교통이하의 경우 40kg/cm^{2}를, II 교통 이상의 경우 45 kg/cm^{2}를 사용한다. II 교통에서는 두 가지 모두 사용할 수 있다.

<표 708.9> 콘크리트 포장의 슬래브 두께

교통량 구분	콘크리트 슬래브 두께 (cm)
중차량교통량 없음	(12)
I	(15)
II	15(20)
III	20(25)
IV	25

주1) ( ) 안의 슬래브 두께는 설계휨강도를 40kg/㎠으로 한 경우, 그외는 설계휨강도 45kg/㎠으로 한 경우

2) 좋은 골재를 얻을 수 없어서 설계휨강도를 45kg/㎠을 얻기 위해 시멘트량이 크게 증가하여 비경제적인 경우에는 III 교통에서도 설계휨강도를 40kg/㎠으로 할 수 있다.

4.3.2 토사계 포장

토사계 포장은 자연흙을 이용하거나 노상 위에 자갈, 쇄석, 모래 등을 깔고 그 표면을 노면으로 사용하는 것을 말하는데 다른 포장형식보다 훨씬 경제적이므로 교통량이 적은 도로에 많이 사용한다.

반면 토사계 포장은 차량 통행시 자갈이 튀거나 먼지가 발생하여 인근 농경지에 피해를 줄 수 있으며 노면의 요철이 심할 경우 운반중인 농작물이나 과일 등에 손상을 줄 수 있다. 또, 유지 관리가 나쁘면 배수, 평탄성 등이 불량하게 되기 쉬우며 비교적 잦은 유지보수를 요구한다.

토사계 포장에는 토사도, 사리도 등이 있는데 경우에 따라서는 노면을 아스팔트 유제 등으로 방진 처리하는 경우도 있다.

(1) 토사도

토사도는 자연토사만을 사용하는 도로로서 구조가 간단하기 때문에 유지보수가 간단하지만 노면이 약하기 때문에 파손이 크다. 또 물에 약하고 한랭지에는 동상의 피해를 입기 쉬우므로 배수에 특히 유의할 필요가 있다. 토사도의 재료는 조립분이 많고 결합재로서 적당량의 점토가 섞인 것이 좋다.

표면 배수를 위해 횡단 기울기를 비교적 크게 할 필요가 있는데(3~6%)로 한다. 종단 기울기는 부득이한 경우를 제외하고는 최소 0.5%, 최대 4%의 범위로 한다. 또 표면 건조를 위해 가급적 햇빛이 잘 드는 곳으로 노선을 선정하는 것이 좋다.

(2) 사리도

사리도는 노면을 자갈, 쇄석, 모래 등으로 만든 도로이다. 토사도에 비해 사리도의 이점은 하중 및 풍화에 대한 내구성이 좋으며 먼지를 적게 발생시킨다는 점 등이다. 그러나 사리도에서도 토사도와 같이 배수에 충분한 주의를 기울일 필요가 잇다.

사리도에 적합한 재료는 깨끗하고 단단하며 내구성이 있는 것으로서 적당한 입도를 가진 자갈 또는 쇄석에 결합재로써 적당량의 점토, 로움, 석분 등을 포함한 것이 바람직하다.

사리도의 기층 두께는 일반적으로 10~20cm 정도로서 표에서 보는 바와 같이 노상의 설계 CBR에 따라 다르다.

<표 708.10> 사리도의 노반 두께

노상설계 CBR	2	3	4	6	8	12 이상
기층 두께 (cm)	20	20	15	15	15	10

동상의 피해가 문제시되는 지역에는 여건이 허락하면 기층 두께를 크게 하는 것이 좋은데 이때 많은 양의 자갈을 동시에 깔면 차량의 통행에 지장을 주므로 몇 차례에 나누어 까는 것이 좋다. 또 자갈을 깔았을 경우 정기적으로 유지관리 해주어야 함을 잊어서는 안된다.

708.5 콘크리트 블록 포장

5.1 개요

콘크리트 블록포장은 시멘트 콘크리트 포장이 현장에서 생산된 콘크리트를 사용하는 대신에 공장에서 대량으로 생산되는 조그만 크기의 블록을 이용하여 포장하는 공법이다.

따라서 콘크리트 블록포장은 맞물림 효과를 갖는 인터록킹 블록(interlocking block)을 표층으로 하는 포장으로서 블록 상호가 맞물림(interlocking)으로서 교통하중을 분산시켜 포장구조로써 유효한 기능을 가지고 있으며 교통하중 담당에 소요되는 두께는 기존 시멘트 포장보다 얇게 할 수 있어 경제적이다.

5.2 포장의 구조

인터록킹 포장의 구조는 <그림 708.10>에 표시한 바와 같이 인터록킹 블록 표층, 안정층(sand cushion) 및 보조기층으로 구성된다. 표층을 구성하는 블록은 2~4mm 정도 떨어져 있으며 이 줄눈은 모래로 채운다. 또한 횡단구배는 2~3%를 표준으로 하고 포장을 보호하는 목적으로 단부에 연석을 설치하여 인터록킹 블록포장과 타포장 재료와의 연결부분 상세는 표준시방서에 의한다.

(1) 노상

노상은 보조기층 밑 약 1m 두께 범위를 칭한다. 포장두께를 결정함에 있어 기본조건이 되는 부분이며 그 지지력을 CBR시험으로서 판정한다. 노상은 노상토가 보조기층으로 침입하여 오는 것을 방지할 목적으로 설치하는 차단층을 비롯하여 균등한 지지력을 갖는 노상을 만들기 위하여 부분적으로 흙의 치환 등을 하는 것을 포함한다.

(2) 보조기층

인터록킹 블록표층에 가해지는 교통 윤하중을 분산시켜 안전하게 노상에 전달하는 역할을 한다. 따라서 충분한 지지력을 가져야 하며 내구성이 좋은 양질의 재료로서 필요한 설계 두께로 잘 다져 주어야 한다.

(3) 안정층

안정층은 모래로 포설하며 포설두께는 보조기층의 평탄성에 따라서 다르지만 보통 4~5cm로 하고, 다진 후 두께는 보통 3~4cm를 표준으로 한다. 포설용 모래의 입도는 0~8mm로 하며 소성이 있는 세립분을 함유하지 않아야 한다.

(4) 표층

표층은 인터록킹 블록으로 부설된다. 하중분포의 균일성이 좋은 형을 사용한다.

5.3 설계방법

포장두께 및 각 층의 구성은 교통하중, 노상, 사용 재료 및 환경조건을 근거로 경제성을 고려하여 설계한다. 포장두께 설계방법은 아스팔트 포장 설계 편에 준해서 설계하는 것이 일반적이다.

5.4 콘크리트 블록포장의 적용

(1) 블록포장의 장점

- 블록은 정확한 규격과 강도에 견디는 재료로 값싸게 생산 가능
- 포설의 용이성 및 장비 필요시 간단한 장비소요
- 시공 후 즉시 교통개방 가능
- 지형이 불리한 곳(급경사지, 산악지 도로 등)에도 포장 가능
- 줄눈으로 인하여 표층의 반사균열 근절 및 파손부위를 신속히 보수할 수 있으며 유지보수비가 저렴
- 침하가 큰 곳에 대해 기존 강성 포장보다 적응성 우수
- 미관이 수려
- 중차량의 가속, 회전, 정지 등에 의한 횡방향 전단에 높은 저항을 가짐

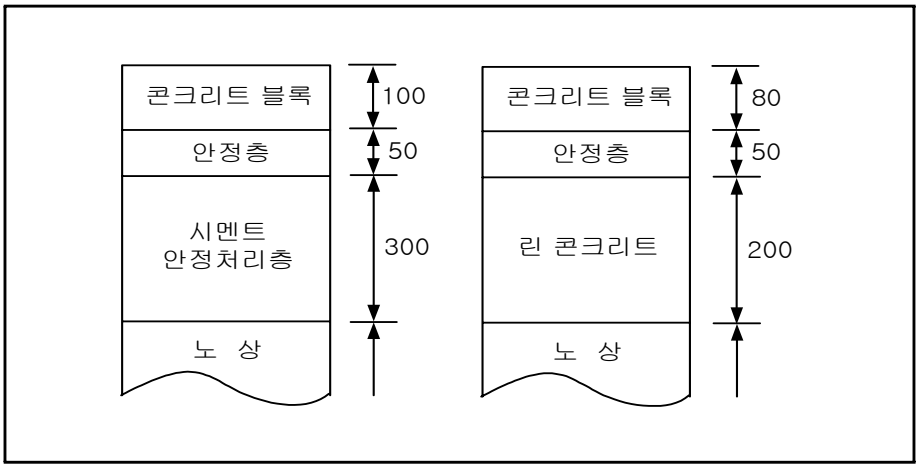
(2) 블록포장의 제한 및 문제점

블록포장의 주요 문제점은 인력으로 시공하기때문에 포장 시공 속도가 느리고, 시공 후 고속차량 이용에 어려움이 있다. 시공측면에서 보면 아스팔트 콘크리트나 슬립폼 콘크리트포장과 같이 즉시 타설이 어렵고 도로포장일 경우 승차감으로 인하여 차량속도가 50km/h 이하인 곳에서만 제한적으로 사용된다.

(3) 블록포장의 적용

최근에는 국내외적으로 블록포장이 널리 사용되고 있어 이에 대한 기술이 많이 축적되고 있는 실정이다. 주요 적용장소는 다음과 같다.

- 시내도로 (시속 50km/h 이하인 곳)
- 거주지역 도로 및 아파트 단지
- 버스정류장, 주차장
- 주요 건물 앞 광장
- 비행기 주기장
- 컨테이너 주차장
- 대형장비 보관장소
- 공원지역 및 각종 위락시설 주위 포장



<그림 708.10> 콘크리트 블록포장 단면도 (단위:mm)

708.6 부체도로 포장

평면교차로가 자주 발생하게 되거나 농로 등 기존 부락을 연결하는 도로의 두절을 방지하고 주도로의 접근관리(access control)를 위해 부체도로를 설치한다.

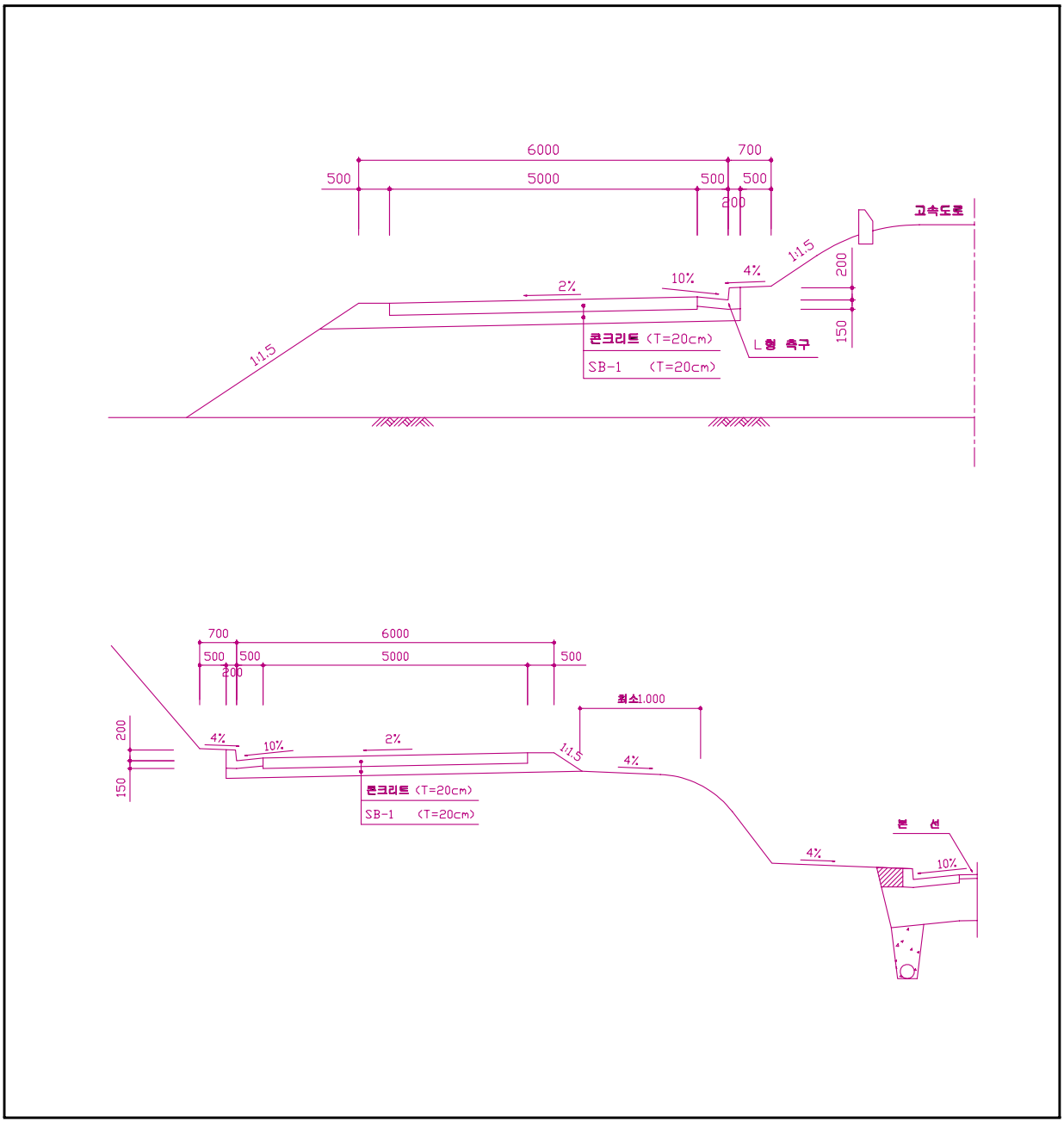
또한, 기존 도로측면의 농지 진입을 위해 부체도로를 설치하고 통행을 제한하기도 한다. 부체도로 개설시 가급적 기존 도로의 폐도를 이용하도록 한다.

부체도로는 <그림 708.11>~<그림 708.13>의 예와 같이 설계하며 콘크리트 포장의 경우 일반적으로 줄눈간격은 5m로 한다. 또한 부체도로는 기능별로 등급이 다양하므로 이에 대한 고려 후 설계가 이루어져야한다.

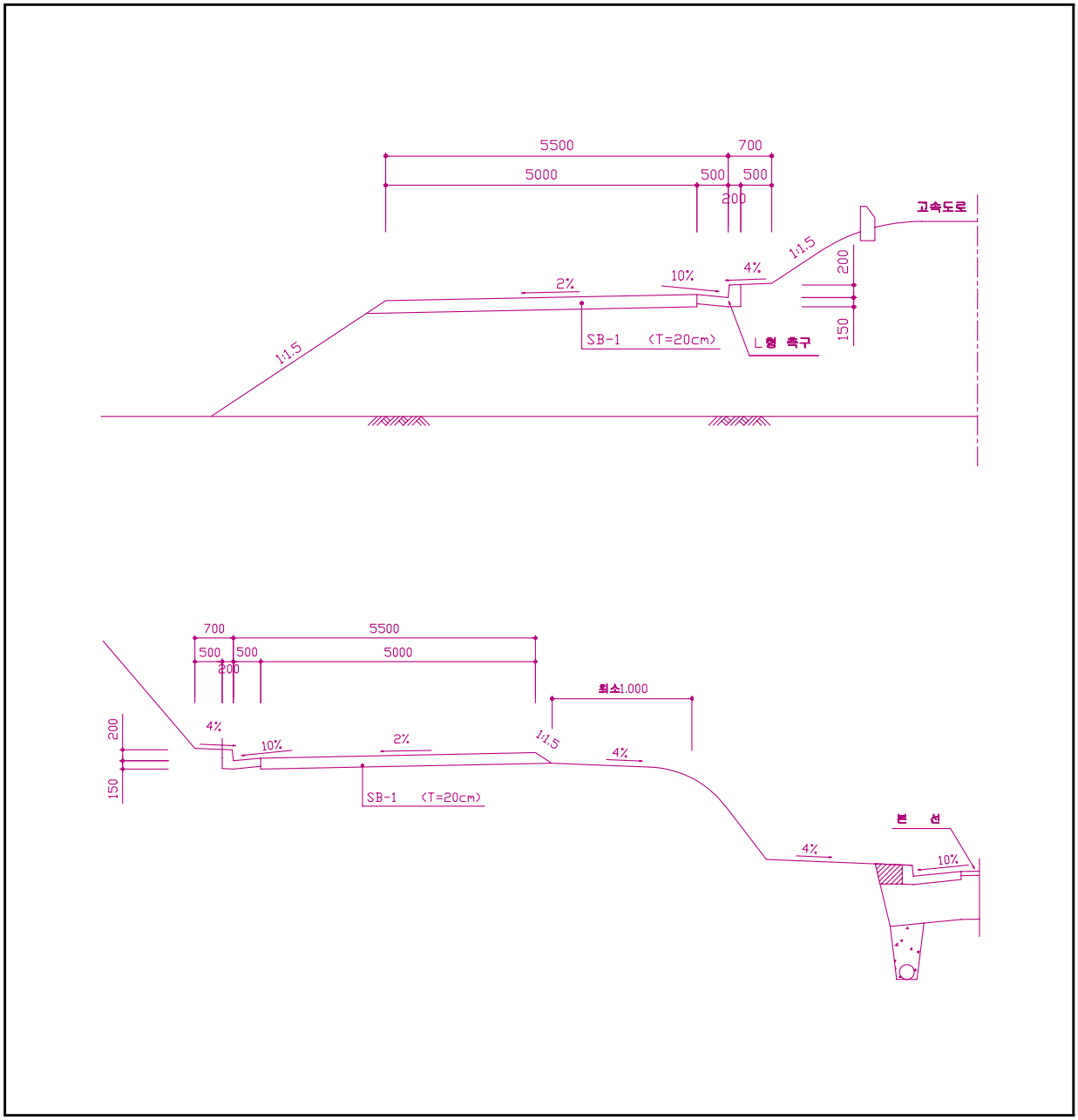
[주1] 부체도로가 본선 계획고 보다 상단에 위치한 경우 반드시 포장하는 것을 원칙으로 한다

[주2] 부체도로의 포장형식은 접속도로 또는 현장여건을 고려하여 선정한다.

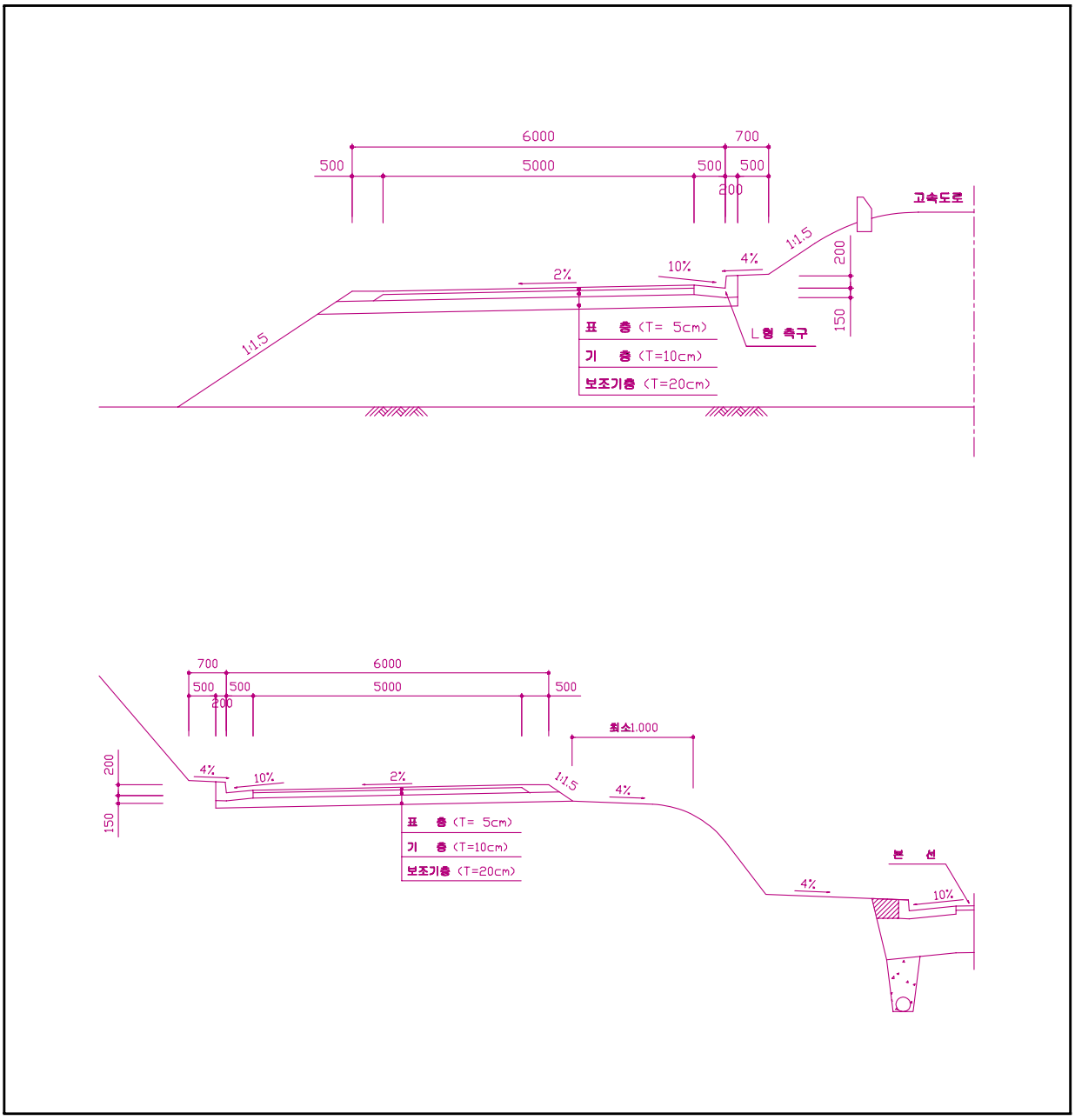
[주3] 부체도로 폭원은 5.0m를 기준으로 표준도를 작성하였고 접속도로 및 현장여건에 따라 변경 적용한다.



<그림 708.11> 부체도로 콘크리트포장 설계 예



<그림 708.12> 부체도로 골재다짐포장 설계 예



<그림 708.13> 부체도로 아스팔트포장 설계 예

709
포장혼합물 및 공법

709.1 개 요

본 장에서는 특수한 콘크리트와 아스팔트 혼합물 및 공법에 대하여 설명한다. 설계시 기술자들이 교통특성이나 도로환경에 적합한 재료를 선택하기 위한 개념 및 기타 필요사항을 기술하였다.

본 장에서 기술한 포장 공법 및 혼합물 등은 아직까지 국내에서는 공용성이 입증되지 않았으므로 이들 공법을 설계에 반영한 경우에는 장기 공용성을 관측하기 위한 체계아래 장기간의 관측 및 분석을 통해 실무에 적용한다.

709.2 섬유보강 콘크리트 공법

2.1 개요

섬유 보강 시멘트 콘크리트 포장은 시멘트 콘크리트내에 섬유를 혼입, 강제로 분포시켜 콘크리트의 균열발생과 발전을 구속하여 인성(toughness)을 크게 증가시킬 뿐만 아니라 휨강도, 내충격 및 내마모 특성을 증가시킬 수 있어 특수포장으로 시험 적용하고 있다.

2.2 사용 섬유

(1) 강섬유(steel fiber)
(2) 유리섬유(glass fiber)
(3) 나일론(nylon), 아스베톡스(asbetox), 인조견사(rayon), 면(cotton) 섬유
(4) 프로필렌(propylene), 폴리에틸렌(polyethylene) 섬유
(5) 탄소섬유(carbon fiber)

포장용으로 많이 사용되는 섬유는 강(steel)섬유이며, 프로필렌(propylene), 폴리에틸렌(poly--ethylene) 섬유 등은 건조수축균열의 억제용으로 사용되기도 한다.

탄소섬유 등은 스포츠용품, 유리섬유는 항공기 등에 사용되나 비용이 많이 드는 관계로 도로 포장용으로는 사용되지 않고 있다.

2.3 섬유보강 효과

섬유보강 효과로서 강도증가 효과는 크지 않으나, 구조재료로 사용될 경우의 소요특성인 인성은 크게 증가된다.(15배 이상) 또한, 일반 콘크리트의 경우 균열발생과 확대로 콘크리트 재료의 침식, 이물질의 침입 등으로 보강재 부식, 균열부위 파손 등이 발생하여 내구성에 악영향을 미치나 섬유를 사용하는 경우 균열의

발전과 확대를 구속하여 내구적으로 견실한 콘크리트 포장체로 유지해주는 것이 중요한 효과라 할 수 있다.

또한 포장 표층은 섬유 사용시 교통하중에 대하여 내충격 및 내마모성이 향상되는 것으로 알려져 있다.

(1) 인장강도 증진
(2) 인성 증진
(3) 내마모성 증진
(4) 내 충격성 향상
(5) 균열의 확대 억제
(6) 휨, 압축, 할열 인장강도 등이 약간 증가

2.4 섬유의 특성

(1) 일반적으로 도로포장에서는 고강도의 강재를 사용한다.
(2) 섬유의 형상비(길이/직경)는 50~100정도를 적용하며, 강섬유의 직경은 0.15~0.76 m/m, 길이는 13~63 m/m 정도의 것을 사용하며 원형, 판형, 봉형 등 각종 형상의 섬유가 있다.
(3) 줄눈 설치시 기존 무근 콘크리트 포장의 가로 세로 줄눈의 간격보다 더 크게 할 수 있다.

2.5 배합 및 혼합

(1) 합성섬유 사용량은 콘크리트 1㎥당 다음 <표 709.1>을 기준으로 하여 사용한다.

(2) 혼합
① 배치플랜트에 투입시 계량투입구 또는 믹서내부에 1 배치(batch)량 재료를 직접 투입하여 믹싱시간 조정결과 섬유가 고르게 분산되도록 플랜트 성능에 맞는 혼합시간을 결정한다.
② 애지테이터 믹서(agitator mixer)트럭에 투입시 저속회전으로 1분내에 균등한 량을 투입후 중속으로 3~4분 혼합시켜 배합상태를 확인하여 섬유가 뭉치는 현상없이 고르게 분산되어야 한다.
③ 혼합시 물의 추가 투입은 없어야 한다. 슬럼프는 약간 감소(1~2cm)하나 작업성, 펌핑 및 반죽질기에는 영향이 없다.

<표 709.1> 합성섬유 사용량 (㎥ 당)

용 도	사용량	적정섬유 길이	V_F	비 고
주요 콘크리트 미소 균열 제어용	900 g	19 ~ 25 mm	0.1 %	비중 0.9기준
프리캐스트 콘크리트 또는 차량 충돌대상 구조물	2700 g	19 ~ 25 mm	0.3 %	비중 0.9기준

709.3 개질 아스팔트 포장 공법

3.1 개요

개질아스팔트는 포장용 석유아스팔트의 성질을 포장의 내구성 향상을 목적으로 개선한 것이다. 이들에는 아스팔트에 고무, 수지 등의 고분자재료를 첨가해서 성능을 개선시킨 아스팔트 및 촉매제를 이용한 개질아스팔트가 있다. 개질아스팔트는 적용목적 및 적용 대상 장소의 특성을 고려하여 결정해야 한다.

3.2 개질아스팔트의 종류

아스팔트를 개질하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있으며 사용하는 개질재의 종류와 개질방식에 따라 개질아스팔트의 특성변화가 매우 크다고 하겠다. 개질아스팔트 종류에는 개질방식에 따라 고분자 개질 아스팔트와 화학적 개질아스팔트, 그리고 산화 아스팔트로 크게 구분할 수 있으며, 생산방식에 따라서도 사전배합(pre-mix) 생산형태와 현장배합(plant-mix)생산형태로 구분할 수 있다.

3.2.1 개질방식에 의한 분류

(1) 고분자 개질아스팔트

(PMA ; Polymer Modified Asphalt)

기존 아스팔트에 SBS, PE, EVA등의 고분자를 혼합하여 성능을 향상시킨 제품으로 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 개질아스팔트이며 개질재료에 의해 두 가지로 분류될 수 있다.

그 중의 하나는 개질재료로서 고무계의 고분자재료를 첨가한 개질아스팔트 I형이고, 개질아스팔트 I형은 터프니스-티네이시티 및 신도가 증가하고 아스팔트의 감온성 및 저온시의 취성의 개량 등에 의해 유동 및 마모에 대한 저항성을 높인다. 다른 하나는 열가소성 수지

<표 709.2> 고무 및 열가소성 수지혼입 아스팔트의 표준성상

종류 / 항목	I 형		II 형
	50 - 70	70 - 90	
침입도 1/100mm	50이상 70이하	70이상 90이하	40이상
연화점 ℃	50.0 - 60.0	48.0 - 58.0	56.0 - 70.0
신도 (7℃) cm	20이상	50이상	30이상
신도 (15℃) cm	-	-	30이상
인화점 ℃	260이상	260이상	280이상
박막가열질량 변화율 %	0.6이하	0.6이하	0.6이하
박막가열 침입도 잔류율 %	55이상	55이상	65이상
터프니스 kg.cm	60이상	50이상	80이상
티네이시티 kg.cm	30이상	25이상	40이상

와 고무를 병용한 것, 혹은 열가소성 수지를 단독으로 사용한 고분자 재료인 개질아스팔트 II형이다. 열가소성수지는 아스팔트속에서 겔 구조를 만들기 때문에 유동저항성이 높아진다.

(2) 화학적 개질아스팔트

금속원소가 함유된 촉매제를 사용하여 아스팔트를 화학적으로 산화시키거나 또는 포설후 대기와의 산화를 촉진시킴으로서 아스팔트의 경화를 급속히 진전시키는 개질방식으로 소성변형에 대한 저항성은 우수하나 균열에 취약한 특성과 사용시에 악취 발생 등의 문제점을 갖고 있어 현재에는 제한적인 용도에서만 사용되고 있다.

(3) 산화 아스팔트

아스팔트를 고온에서 공기와 접촉시켜 침입도를 감소시키고 연화점을 상승시킴으로서 소성변형에 대한 저항성을 향상시키는 방법으로 아스팔트내 스티프니스(stiffness)가 증가하여 균열에는 취약한 단점을 가진다.

이러한 아스팔트를 세미블로운 아스팔트라고도 하는데 이는 스트레이트 아스팔트에 블로잉 조작(가열한 공기를 불어넣는 조작)를 가해 감온성을 개선하고 60℃ 점도를 높인 개질아스팔트이다. 그 60℃ 점도는 일반적으로 사용하는 40～60, 60～80, 80～100의 석유아스팔트에 비해 3-10배 높다. 아스팔트는 60℃ 점도를 높이면 아스팔트 포장이 공용될 때 점성을 높여 주기 때문에 중교통도로의 유동대책을 도모한 것이다. 세미블로운 아스팔트의 품질은 <표 709.3>에 맞는 것이어야 한다. 세미블로운 아스팔트는 점도가 높기 때문에 다짐작업을 할 때 온도관리에 특히 주의하고 충분히 다져야 한다. 세미블로운 아스팔트는 포장용 석유아스팔트에 비해 경질이기 때문에 연약지반상의 포장 등 기층의 국부적인 변형이 예상되는 장소에 적용하면 균열발생이 쉽기 때문에 그와 같은 장소에는 적용하지 않는다.

<표 709.3> 세미블로운 아스팔트의 규격

항 목	규 격 치
점도 (60 ℃) poise	10,000-2,000
점도 (180 ℃) cSt	200 이하
박막가열질량 변화율 %	0.6 이하
침입도 (25℃) 1/10mm	40 이하
삼염화에탄가용분 %	99.0 이하
인화점 (L.O.C) ℃	260 이상
밀도 (15℃) g/㎤	1,000 이상
점도비 (60℃) (박막가열후/가열전)	5 이하

3.2.2 생산방식에 의한 분류

(1) 사전배합(Pre-Mix) 생산방식

아스팔트 공급자가 아스팔트를 공급하기 전에 미리 생산 공장에서 개질시킨 후에 수요자인 아스콘사에 개질아스팔트를 직접 공급하는 방식으로 현장배합 방식보다는 개질아스팔트 그 자체에 대한 품질관리가 용이하다는 큰 장점을 갖고 있다. 아스콘사에 공급된 개질아스팔트를 기존의 일반 아스팔트와 동일한 방법으로 저장탱크에 보관하여 언제든지 사용이 가능하며 플랜트믹서에 별도의 개질재 투입시설을 설치할 필요없다. 단, 저장탱크에서의 장기간 보관에 대비하여 개질재와 아스팔트간의 상분리가 일어나지 않도록 개질아스팔트의 저장 안정성이 중요하며 저장 탱크내에서 주기적으로 배합또는 순환을 시킬 필요가 있다. 주로 SBS, PE, EVA종류의 고분자개질아스팔트들이 이 방식으로 생산, 공급되고 있다.

(2) 현장배합(plant-mix) 생산방식

아스콘 플랜트에서 골재와 아스팔트가 혼합될 때 개질재를 함께 투입하는 방식으로 별도의 투입시설을 믹서에 설치해야 한다. 현장 배합 방식은 믹서내에서 짧은 시간안에 개질재와 아스팔트가 완전 분산 및 혼합이 이루어져야 하므로 품질관리가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 소량 포장 생산에 많이 사용되며 주로 SBR Latex, 길소나이트, 섬유질, 금속촉매제 등에 의한 생산시에 많이 적용되고 있다.

3.2.3 개질재의 종류

개질아스팔트의 물성 및 성능은 사용되는 개질재의 종류에 따라 차이가 매우 크며, 사용목적 및 사용되는 개질재의 물리적, 화학적 성질에 따라 <표 709.4>와 같이 분류할 수 있다.

3.3 고분자 개질아스팔트의 특성

전 세계적으로 사용되고 있는 개질아스팔트의 대부분이 고분자 개질아스팔트이며 사용되는 고분자의 종류와 배합조건에 따라 다양한 물성과 성능을 가질 수 있어 여러 목적의 용도로 널리 사용되고 있다. 미국, 유럽등 선진국에서는 교통하중이 상대적으로 많은 공항포장의 경우 대부분이 고분자 개질아스팔트로 포장을 하고 있으며, 중차량 도로 및 교량, 그리고 특수 용도의 배수성 포장은 물론이고 독일 포장공법인 SMA(Stone Mastic Asphalt) 포장시에도 일반 아스팔트 대신에 고분자 개질아스팔트를 사용하는 예가 늘고 있다.

<표 709.4> 아스팔트 개질재 종류

구 분	개 질 재 종 류
고분자 개질재	- 열경화성 고무 : 천연고무, 함성고무(SBR Latex, 폴리클로로프렌 Latex 등) - 열가소성 중합체 : 스틸렌블록공중합체(SBS, SEBS, SIS 등) - 열가소성 수지 : 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 에틸렌 비닐 아세테이트 (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) 등
첨가성 개질재	- 길소나이트, TLA(Trinidad Lake Asphalt)등 - 섬유질(Cellulose Fiber), 카아본블랙, 유황, 실리콘(Silicon), 석회(Lime) 등
화학 촉매제	- 켐크리트(Chemcrete), 무기산, 기타 금속촉매제(Fe, Mn, Co, Cu 등)

709.4 배수성 포장 공법

4.1 개요

배수성 포장은 1980년대 초 벨기에를 중심으로 보급되고 있는 포장 공법이다. 배수성 포장은 차도를 대상으로 기층 이하의 강도가 저하하지 않도록 기층이하로 물이 침투하지 않는 구조를 갖는 포장으로서 보도를 대상으로 하여 노면의 빗물을 기층이하로 침투시키는 투수성 포장공법과 구분된다.

배수성 포장은 교통안전적 측면을 우선적으로 고려한 것으로 배수성 포장을 포장 표층에 적용할 경우 우천시 제동거리의 단축, 수막현상 방지, 물튀김의 방지 및 물튀김의 방지 및 야간 시인성 향상을 기대할 수 있다. 또한 배수성 포장은 소음 감소 특성을 갖고 있어 도심부 및 정속 주행에 요구되는 구간에 효율적 적용이 가능하다.

4.2 포장 구성

배수성 포장의 구성은 표층 또는 표층과 기층에 배수성 포장용 아스팔트 혼합물을 적용하고, 그 하부층이 불투수층이고 빗물 등이 포장내부에 정체되지 않는 구성으로 한다. 표준적인 포장의 구성 예는 <그림 709.1>과 같다.

그림에서 (a)는 노견에 배수하는 경우, (b)는 측구가 있는 경우이다. 어느 것이나 기층 이하로 빗물의 침투는 피하는 것은 물론이고 배수성 포장내에 물이 고이지 않는 구조로 하지 않으면 안된다. 그 때문에 배수성포장의 바로 밑에는 불투수층으로 역할을 하는 시일층이 필요하고 일반적인 경우는 고무를 넣은 유화 아스팔트를 0.4-0.6 ℓ / ㎡ 정도 살포한다. 하부 불투수층에 균열이 있는 경우는 시일재를 주입, 시트나 맷트의 포설, 하부의 절삭 치환 등 상황에 맞는 대책을 강구한다. 측구로 배수하는 경우 표층 안의 물이 측구로 충분히 유출되도록 측구에 구멍을 내는 등의 적절한 구조를 검토해야 한다.

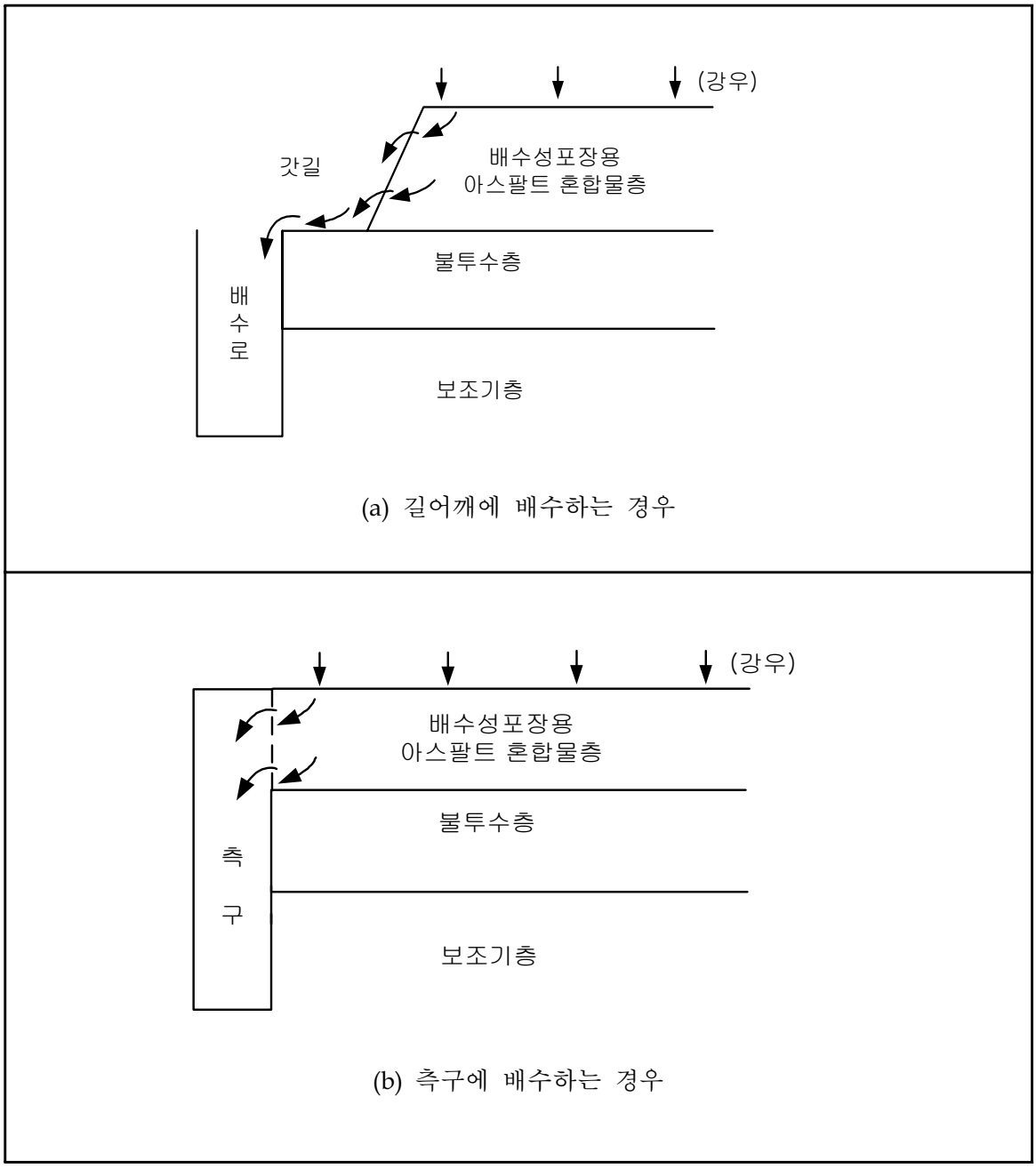
4.3 재료 및 배합

배수성 포장용 아스팔트 혼합물은 공극율이 크기 때문에 특히 내구성에 대하여 유의하지 않으면 안된다. 적용개소, 교통량을 고려하고, 일반적으로 개질 아스팔트를 사용하는데 더욱 아스팔트의 피막두께를 확보하기 위하여 식물성섬유 등의 첨가재를 병용하는 경우가 있다.

(1) 결합재

배수성 혼합물의 안정성 및 내구성 저하방지를 위해 사용되는 결합재에는 아래와 같은 것이 있다.

- 일반 아스팔트
- 일반 아스팔트＋식물성 섬유
- 개질 아스팔트
- 개질 아스팔트＋식물성 섬유
- 일반 아스팔트＋천연 아스팔트＋식물성 섬유
- 고점도 특수 개질 아스팔트



<그림 709.1> 표준적인 포장의 구성 예

셀섬유(셀룰로스)는 혼합물 내 모르터의 흘러내림 방지와 결합재량을 증가시켜 골재의 피막두께를 두껍게 함으로서 내노화성, 내구성 향상 및 돌의 비산방지 등을 목적으로 사용하고 있다. 그러나 식물성 섬유의 사용시 동일 배합에서 공극률이 감소하는 특징이 있다. 개질 아스팔트는 스트레이트 아스팔트와 비교하여 정성적으로 연화점, 터프니스(toughtness), 티네시티(tenacity) 및 60℃ 점도가 우수하다. 고점도 특수 개질 아스팔트는 혼합물 제조시 높은 점성으로 결합재 피막두께를 증가시켜 내구성을 확보하고 고온에서 혼합물의 안전성 확보 등의

목적으로 사용한다.

배수성 포장에 사용하는 아스팔트 결합재의 요구성능은 일반적으로 <표 709.5>에 나타낸 바와 같다. 이 같은 요구성능을 수용할 수 있는 아스팔트 물성기준은 '아스팔트포장 설계·시공 지침(1997)'에 의한 <표 709.6>과 같다.

(2) 골 재

배수성 포장은 개립도 혼합물을 적용하므로 그 혼합물의 매트릭스를 구성하게 되는 굵은 골재의 역할이 중요하다. 그러므로 골재의 마모 감량, 연석 함유량, 골재의 형상 등이 골재 선정의 가장 중요한 요소로 평가되고 있다.

특히, 편석 및 장석의 함유율이 높을 경우 골재가 부스러지는 수가 있으므로 생산된 골재의 형상조건이 매우 중요한 요소로 된다. 일반적으로 배수성 포장용 쇄석골재의 품질은 표건비중 2.45이상, 흡수율 3%이하, 마모 감량 30이하를 목표로 하고 있다.

(3) 배수성 혼합물의 배합

배수성 혼합물은 내구성, 즉 내유동성, 내마모성, 내노화성을 확보하는 것은 물론 기능적인 측면에서 배수 능력을 확보해야 하므로 틈막힘 또는 틈 이그러짐이 없어야 한다. 그러나, 일반적으로 배수성 포장의 다양한 능력 평가조건을 단순화하여 평가하는데 내구성은 휠 트래킹 시험 및 마샬시험, 기능성은 공극률의 확보에서 찾고 있다.

일반적으로 배수성 혼합물은 개립도 형태이므로 내구성 확보를 위하여 가능한 한 많은 양의 아스팔트를 함유해야 하지만 아스팔트의 양이 너무 많을 경우 흘러내리거나 공극의 감소 등을 유발한다. 따라서, 아스팔트 배합설계는

<표 709.5> 배수성 포장에 사용하는 아스팔트의 요구사항

항 목	요 구 성 능
내비산성	배수성 포장용 아스팔트 혼합물은, 세립분이 적기 때문에 결합력에 의한 강도는 기대되지 않는다. 따라서, 혼합물의 안정도를 확보하기 위하여 골재를 강하게 부착하는 성능이 필요하고, 터프니스·티네시티가 큰 아스팔트가 요구된다.
내후성	배수성 포장용 아스팔트 혼합물은 공극이 크기 때문에 햇빛, 또는 공기의 영향을 받기 쉽다. 이러한 것을 방지하기 위하여 아스팔트의 피복두께를 어느 정도 확보할 필요가 있으며, 이에 점도가 큰 아스팔트가 요구된다.
내박리성	포장 내부로 빗물이 통과하기 때문에, 골재와 아스팔트의 부착과 동시에 피복두께를 두껍게 할 필요가 있다. 이에 골재와의 부착강도가 큰 아스팔트가 요구된다.
내유동성	중교통 도로에 사용하는 경우 동적안정도가 커야하기 때문에 연화점, 60℃점도, 터프니스, 티네시티가 큰 아스팔트가 요구된다.

<표 709.6> 배수성 포장용 개질 아스팔트의 규격

항 목	물 성 치
침 입 도 (25℃) 1/10㎜	40 이상
연 화 점 (℃)	80 이상
신 도 (15℃)	50 이상
박막가열중량변화율 (%)	0.6 이상
박막가열침입도잔유율 (%)	65 이상
터 프 니 스 (kg·㎝)	200 이상
테 너 시 티 (kg·㎝)	150 이상
60℃ 점 도 (poise)	200,000 이상

가장 유리하게 설정된 골재 배합조건에서 내구성 및 기능성을 모두 갖게 되는 최적 아스팔트량의 선정이 중요한 요소가 된다.

배수성 아스팔트용 골재입도는 '아스팔트포장 설계·시공 지침(1997)'의 <표 709.7>을 만족하여야 한다.

(4) 배합설계

혼합물의 배합설계는 규정된 골재의 입도분포 범위내에서 목표 공극률(20% 정도)을 얻을 수 있는 수준(하한입도, 중앙입도, 상한입도)을 결정하고, 이 골재 입도 분포특성을 기준으로 아스팔트의 양을 조절하여 내구성 및 아스팔트의 흐름 손실율을 측정한다.

일반적으로 내구성은 로스엔젤레스 마모시험기를 이용하는데 시험시편을 마샬 공시체 규모로 제작하고 로스엔젤레스 마모시험기를 이용해서 배수성 혼합물의 강도특성을 평가한다. 로스엔젤레스 마모시험기에 공시체 1개를 넣고 (철구는 넣지 않는다) 30~33rpm의 회전속도로 300회전한 후의 공시체 손상율을 계산한다.

아스팔트의 흐름 손실율은 아스팔트 혼합물을 특정용기에 넣어 일정한 온도조건에서 방치할 때 아스팔트가 용기에 흘러내린 정도를 판정하게 된다.

이와 같이 결정된 아스팔트 함량을 기준으로 배수성 혼합물을 생산하며, 배수성 혼합물의 품질기준은 '아스팔트포장 설계·시공 지침(1997)'의 <표 709.8>과 같다.

4.4 시 공

배수성 포장은 고점도의 결합재를 사용하므로 혼합물의 온도가 일반 혼합물에 비해 높아 온도관리에 충분히 주의해야 한다. 배수성 혼합물 표층 바로 아래층은 밀입도 아스팔트층 등을 두어 어느 정도의 방수 성능 확보와 함께

<표 709.7> 배수성 아스팔트 혼합물용 골재의 입도

체 크 기	통과중량백분율(%)	
	골재최대입경 13㎜	골재최대입경 19㎜
26.5㎜		100
19㎜	100	95～100
13.2㎜	92～100	53～78
9.5㎜	62～81	35～62
4.75㎜ (No.4)	10～31	
2.36㎜ (No.8)	10～21	
300㎛ (No.50)	3～12	
75㎛ (No.200)	2～7	
아스팔트 함량	4.5% 이상	

<표 709.8> 배수성 아스팔트 혼합물의 품질기준

항 목		품 질 기 준
다짐횟수	(회)	50
공극률	(%)	20 이상
마샬안정도	(kg)	500 이상
흐름치	(1/100 cm)	20 - 40
잔류안정도	(%)	75 이상
투수계수	(cm/sec)	-
동적안정도	(회/mm)	3000 이상

구조적으로 안정성을 확보토록 하여야 한다. 택 코우트는 방수를 고려함과 아울러 견고한 부착력을 얻을 수 있는 고무성분이 첨가된 유제를 사용하며 그 살포량은 0.4ℓ/㎡ 정도로 한다. 온도관리 및 다짐에 관한 주의사항은 다음과 같다.

(1) 고점도의 아스팔트 특수 결합재를 사용하므로 높은 온도관리가 필요하며 저온에서는 바람직한 온도관리가 어려우므로 주의해야 한다. 온도관리는 고점도 특수 개질아스팔트의 생산자 측의 제안에 따르는 것이 좋다. 대체로 배수성 혼합물의 생산 및 시공 온도조건은 <표 709.9>에 나타낸 범위로 한다.

(2) 높은 공극 조건을 갖고 있으므로 포설 및 전압 중 식기 쉬우므로 다짐 기계의 전압시기, 편성 및 전압횟수 등은 반드시 시험시공으로 결정하는 것이 좋으며, 과전압이나 재료취급 불량 등으로 배수능력 및 내구성이 저하되지 않도록 해야한다. 일반적으로 혼합물의 다짐에 타이어 로울러는 사용치 않는다.

<표 709.9> 배수성 혼합물의 생산 및 시공온도

구 분		범 위 (℃)
생산	골재 아스팔트 혼합시	170 - 185 170 - 180 170 - 185
시공	포설 온도 1차 다짐 2차 다짐	155 - 170 145 - 160 70 - 90

4.5 배수성 포장의 유지관리

배수성 포장의 유지관리는 우선 그 기능의 지속적 확보와 장기적으로 내구성 확보로 나누어 볼 수 있다. 구조적인 내구성을 위해서는 배수성 포장용 아스팔트 결합재의 고급화가 우선적으로 요구되며 또한 골재의 물성 및 형상면에서 최적화가 요구된다고 할 수 있다. 아울러 스파이크 장착 차량이나 스노우 체인 착용 차량에 대한 통행 제한을 검토하는 것도 필요하다.

그러나, 구조적 내구성은 당장 문제시 되지 않는다 해도 배수기능의 저하는 매우 짧은 주기로 도래하기 때문에 배수기능 저하시에 대비한 기능회복 대책을 항시 확보하고 있어야 한다. 기능적인 면에서 지금까지 개발된 배수성 포장의 기능 회복 기법은 <표 709.10>과 같다. 한편, 배수성 포장 구간의 적설시에 통행수단의 확보를 위해 모래를 살포하는 것은 배수기능을 저하시키는 주원인이 될 수 있으므로 염화물 살포 등의 제설방법을 사용해야 한다.

<표 709.10> 배수기능의 회복 기법

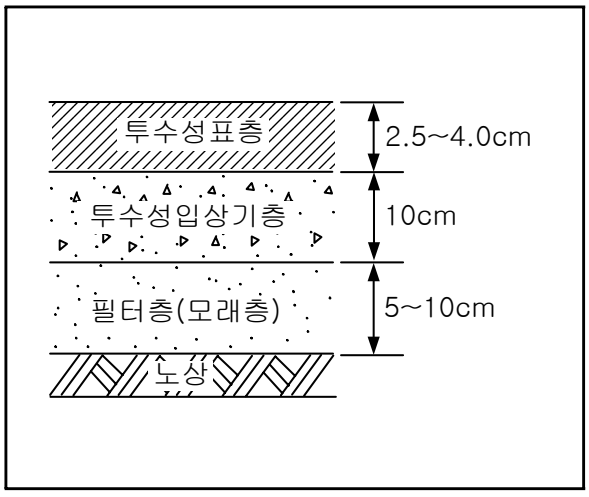
구 분	내 용
화학적 방법	과산화 수소 용액의 살포
물리적 방법	고압수 고압수 + 흡입 살수 + 흡입 압축공기 + 흡입 압축공기

709.5 투수성 포장 공법

5.1 개요

투수성포장이란 포장체를 통하여 빗물을 노상에 침투시켜 흙속으로 환원시키는 기능을 갖는 포장을 말한다. 이 포장은 보도와 경교통이 통과하는 차도 및 주차장, 구내포장 등에 이용된다.

투수성포장은 노상 위에 필터층(모래층), 보조기층(보도에는 생략), 기층 및 표층 순으로 구성되나 프라임 코우트와 택코우트의 접착층은 두지 않는다. 투수성 아스팔트 혼합물은 10^{-2}cm/sec 정도의 높은 투수계수를 갖는 아스팔트 혼합물로서 일반적으로 공극률을 높이기 위하여 잔골재를 거의 포함하지 않는 비교적 단립도를 주체로 하는 개립도 혼합물이다. 그림은 투수성 보도포장 단면구조의 예가 <그림 709.2>에 있다.



<그림 709.2> 투수성 보도포장 단면구조 예

투수성포장용 아스팔트 혼합물은 그 특성으로 다음과 같은 결점이 있다.

(1) 잔골재가 생략된 혼합물이므로 역학적으로 문제가 있으며 특히 차도에 사용할 경우는 이 점을 고려해야 한다.

(2) 포설후의 온도 저하 속도가 크므로 혼합, 운반, 포설에 있어 보통의 혼합물보다 엄한 온도 관리가 필요하다.

(3) 공극률이 크고, 물과 공기가 쉽게 통하는 혼합물이므로 아스팔트가 노화하기 쉽고, 물의 작용도 받기 쉽다.

(4) 공용후 보행자 또는 차량의 통행에 의해 다져지고 또한 먼지와 토사 등이 공극을 메워 투수 기능이 저하된다.

따라서 재료의 선택, 배합, 시공에 있어서는 위와 같은 점에 대하여 충분히 검토할 필요가 있으나 투수성 포장으로 시공했을 때의 유리한 점은 빗물을 흙속에 환원 또는 일시 저유시키기도 하고 노면으로부터 빗물을 배제할 수도 있는 등 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- 식생 등의 지중 생태의 개선
- 하수도의 부담 경감과 도시 하천의 범람 방지
- 공공 수역의 오탁 경감
- 지하수 저장
- 노면 배수 시설의 경감 또는 생략
- 미끄럼 저항의 증대와 보행성의 개선
- 난반사에 의한 시력보호

5.2 재료 및 배합

(1) 필터층용 재료

필터층 재료에는 모래를 사용한다. 그의 입도로서는 별도로 규정된 것은 없으나 다만 0.074mm(No.200)체 통과분이 6%이하가 바람직하다.

또한 필터층은 빗물이 흙속에 침투할 때 필터의 기능과 같이 연약한 노상토가 보조기층이나 기층속으로 침입하는 것을 방지하기 위해 두는 것이다. 또한 필터층의 투수계수는 10^{-4} cm/sec이상의 모래를 사용하는 것이 좋다.

(2) 보조기층 및 기층재료

보도용 기층재료에는 쇄석 또는 단립도 부순돌을 사용한다. 일반적으로 최대 입경 19mm 또는 30mm의 것이 좋다. 또한 그의 품질은 수정 CBR 20이상, PI 6이하이어야 한다.

차도의 경우에 부순돌을 사용할 때는 두께 7-12cm를 표준으로 하고 수정 CBR 60이상, PI 4 이하의 재료를 사용한다. 또한 투수성 아스팔트 처리 혼합물을 사용할 때는 두께 5-6cm를 표준으로 하고 마샬안정도 250kg이상을 목표치로 한다.

(3) 투수성 혼합물

투수성 포장의 표층용 아스팔트 혼합물에 사용하는 아스팔트, 골재 등은 통상적인 표층용 아스팔트 혼합물과 같은 규격을 갖는 것으로 한다.

투수성 포장의 경우 포장체의 내부를 물이 통과하므로 수명이 높은 보통의 아스팔트 콘크리트에 비하여 박리가 일어나기 쉽다. 따라서 박리대책을 세울 필요가 있는 경우에는 잔골재 중량의 2%정도의 소석회 또는 시멘트를 혼합물에 골재의 일부로 사용하는 것이 좋다.

또한 보다 높은 내구성이 요구되는 경우에는 개질아스팔트를 사용하는 수가 있다.

투수성 포장용 혼합물의 표준입도와 아스팔트량은 <표 709.11>과 같다.

또한 투수성 아스팔트 혼합물의 마샬기준치 및 투수계수는 <표 709.12>를 목표로 한다. 최적 아스팔트량은 마샬시험만으로 결정하는 것이 곤란하므로 아스팔트막 두께의 계산 및 시험 혼합을 시행한 후 기술자의 판단에 의해 결정한다.

(4) 투수성 포장에서는 가로방향 및 세로방향 줄눈과 구조물 접속부가 특히 포장의 약점이 되는 일이 있으므로 충분히 다져 밀착시켜야 한다.

(5) 마무리면은 투수시험을 실시하여 투수기능을 수시로 확인하는 것이 좋다.

<표 709.11> 투수성 아스팔트 혼합물의 배합치

체 크 기	기 층 용	표 층 용
	통과중량백분율 (%)	
20 mm	100	
25 mm	95-100	
19 mm	-	100
13 mm	90-100	95-100
10 mm	25-85	-
4.75 mm (No. 4)	10-45	20-36
2.36 mm (No. 8)	10-25	12-25
0.30 mm (No.50)	4-16	5-13
0.074 mm (No.200)	2-7	3-6
아스팔트량 (%)	2.5 - 4.5	3.5 - 5.5

<표 709.12> 투수성 아스팔트 혼합물의 마샬기준치

층 별 / 항 목	표 층		기 층
	보 도	차 도	
안 정 도 (kg)	400 이상	500 이상	-
플로우값 (1/100)	20 - 40		
공 극 율 (%)	12 이상		
포 화 도 (%)	40 - 55		-
투수계수 (cm/sec)	1.0 - 10 이상		

709.6 라텍스 콘크리트포장 공법

라텍스 콘크리트(LMC ; Latex - Modified Concrete)포장은 콘크리트에 폴리머 라텍스(latex)를 첨가하여 혼합하는 방법으로서 폴리머 라텍스는 수성 라텍스페인트 용액이지만 특별히 콘크리트에서도 쓰인다. 라텍스 콘크리트는 페이스트(paste)안에서 연속적인 폴리머 막을 형성하고 이러한 막이 인장강도에 영향을 미치게 된다.

6.1 라텍스 콘크리트 포장의 특징

라텍스 콘크리트 포장은 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 라텍스 계열 폴리머를 첨가해서 만들어진 콘크리트로서 50%의 물과 50%의 고분자를 섞어 라텍스를 만들고 이렇게 제조된 라텍스와 콘크리트를 혼합하여 포장을 만든다.

라텍스 콘크리트 특징은 다음과 같다.

- 유동성 및 점착력 증가
- 미세균열의 충진효과로 균열확산 억제
- 침투성 감소로 방수효과 우수
- 휨, 인장강도 증가로 내구성 증진
- 보통콘크리트와 동일한 역학적 거동

위와 같은 특징을 갖는 라텍스 콘크리트 포장은 일반적으로 덧씌우기나 팻칭의 용도로서 특히, 교면포장에 많이 쓰이고 있다.

(1) 장점

① 휨, 전단강도가 크고 부착력 및 내구성이 우수

② 우수 및 염화물 침투와 체수로 인한 교량 바닥판의 손상을 최소화

③ 유지관리비가 적음

(2) 단점

① 초기비용이 비쌈

② 시공관리에 특별한 주의가 필요

③ 시공시 기존 콘크리트 포장보다 더 많은 인력이 필요

6.3 라텍스 콘크리트 포장의 국내□외 비교

라텍스 콘크리트 포장의 국내·외 기준을 보면 <표 709.13>과 같으며 향후 실내실험 및 시험포장을 통하여 적정한 배합기준을 작성해야 한다.

<표 709.13> 라텍스 콘크리트 포장의 국내·외 기준

	국 내	국 외	적용 방안
단위 시멘트량	400kg/㎥	390 kg/㎥	국내 적용
라텍스 사용량	시멘트의 15%	시멘트의 15%	동일
W/C	35%	최대 40 %	국내 적용
공기량	4.5±1.5%	최대 6.5%	국내 적용
슬럼프	23±3cm	10~15cm	검토 후 적용

709.7 구스 아스팔트 포장 공법

7.1 개 요

구스 아스팔트(guss asphalt) 포장은 구스 아스팔트 혼합물을 이용하여 시공하는 포장이다. 구스 아스팔트 혼합물은 불투수성이며 휨에 대한 추종성이 우수하여 일반적으로 강상판포장과 같은 교면포장에 쓰인다.

구스 아스팔트 혼합물은 석유 아스팔트에 천연 아스팔트의 일종인 트리니데드 레이크(trinidad lake) 아스팔트 또는 열가소성 수지 등의 개질재를 혼합한 아스팔트와 굵은골재, 잔골재 및 채움재를 배합하여 아스팔트 플랜트에서 혼합한 후 흘려 넣는 시공이 가능한 작업성(유동성)과 안정성이 얻어지도록 쿡커(cooker) 안에서 고온(200～260℃)으로 교반, 혼합한 것이다. 포장의 포설에는 전용 피니셔, 또는 인력으로 마무리하고, 로울러의 다짐은 하지 않는다.

7.2 재료 및 배합

(1) 아스팔트

아스팔트는 시공성의 개선과 고온시의 내유동성 등을 고려하여 보통 포장용 아스팔트(침입도 20～40)에 트리니데드 레이크 아스팔트(천연 아스팔트를 정제한 것)를 혼합하여 사용한다.

<표 709.14> 아스팔트의 품질

항 목	포장용 아스팔트	트리니데드 레이크 아스팔트
침입도 (25℃) (1/100cm)	20이상 40이하	1 ~ 4
연화점 (℃)	55.0～65.0	93 ~ 98
신 도 (25℃) (cm)	50 이상	—
증발중량변화율 (%)	0.3 이하	—
3염화에탄가용분 (%)	99.0 이상	52.5 ~ 55.5
인화점 (℃)	260 이상	240 이상
비 중	1.00 이상	1.38 ~ 1.42

<표 709.15> 혼합후 아스팔트의 품질

항 목	표 준 품 질
침 입 도 (25℃) (1/100cm)	15 ~ 30
연 화 점 (℃)	58 ~ 68
신 도 (25℃) (cm)	10 이상
증발중량변화율 (%)	0.5 이하
3염화에탄 가용분 (%)	86 ~ 91
인 화 점 (℃)	240 이상
비 중	1.07 ~ 1.13

트리니데드 레이크 아스팔트는 전체 아스팔트량의 20~30% 정도 사용한다. 혼합 후 아스팔트의 연화점(軟化點)은 60℃ 이상이 바람직하다. 침입도 20~40의 포장용 아스팔트 및 트리니데드 레이크 아스팔트의 품질은 <표 709.14>과 같다. 또한 구스 아스팔트 혼합물에 사용하는 혼합후 아스팔트의 품질은 <표 709.15>와 같다.

(2) 골 재

골재는 일반적으로 13.2~4.75mm, 4.75~2.36 mm의 부순돌과 강모래, 석회암 분말을 사용하며 표준적인 골재입도 및 아스팔트량의 범위는 <표 709.16>과 같다.

<표 709.16> 구스 아스팔트 혼합물의 표준배합

체 크 기	통과중량백분율 (%)
19 mm	100
13.2 mm	95 ~ 100
4.75 mm (No.4)	65 ~ 85
2.36 mm (No.8)	45 ~ 62
600㎛ (No.30)	35 ~ 50
300㎛ (No.50)	28 ~ 42
150㎛ (No.100)	25 ~ 34
75㎛ (No.200)	20 ~ 27
아스팔트량 (%)	7 ~ 10

(3) 배합

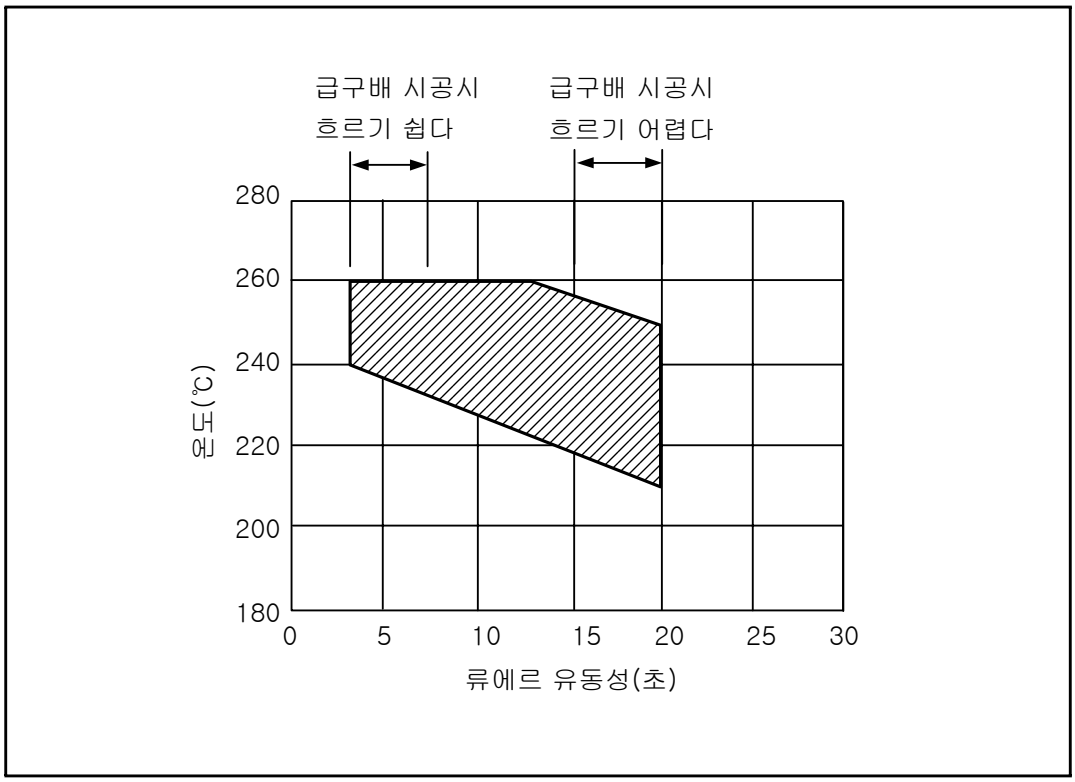
구스 아스팔트 혼합물의 배합은 표준적인 골재입도 및 아스팔트의 범위내에서 혼합물을 만들어 유동량과 관입량시험을 실시하여 결정한다. 이들 시험의 목표값은 <표 709.17>과 같다.

또한 대형차교통량이 많고, 특히 유동이 생기기 쉬운 장소에 쓰이는 경우 관입량은 2이하를 목표로 하는 것이 좋다. 내유동성을 검토하는 경우는 휠 트랙킹(wheel tracking)시험을 실시하여 확인하는 수도 있다.

구스 아스팔트 혼합물의 온도와 유동성의 관계에 대해서는 일반적으로 <그림 709.3>과 같은 범위가 바람직하다. 동일한 온도에 동일한 류에르 유동성이라도 시공방법(인력시공, 기계시공)에 따라 현장에서 시공성에 차이가 날 수 있으므로 배합설계에 있어서는 이러한 조건을 파악함과 동시에 과거의 실적을 참고하여 적절한 값을 설정하는 것이 좋다.

<표 709.17> 구스 아스팔트 혼합물의 관입량 및 유동성의 목표값

항 목	목 표 값
관 입 량 (40℃) mm	표층 1~4
	레벨링층 1~6
류에르(Luer)유동성(240℃)초	3~20



<그림 709.3> 구스 아스팔트 혼합물의 온도와 유동성의 관계

709.8 쇄석 매트릭스 아스팔트 포장 공법

8.1 개 요

쇄석 매트릭스 아스팔트(SMA)는 골재의 입도 특성을 최적 맞물림 상태로 하여 내유동성을 극대로 한 것으로 1968년 독일에서 개발된 이래 현재 유럽뿐 아니라 전 세계적으로 적용되는 포장공법으로 내유동성 뿐만 아니라 내구성면에서도 그 우수함이 밝혀져 1894년부터 독일에서는 포장 표준공법으로 채택되고 있으며, 미연방도로국(FHWA)에서도 SMA에 대한 우수성을 인정하고 현재 미국에서의 시험적용 및 평가 사업중의 하나로 선정하여 각주정부에 이를 소개 보급하고 있다. 국내에서도 일부 시험적용하고 있으며 향후 이에 대한 세부적인 규정 설정 연구를 수행해야 하며 본 편람에서는 현재 사용하고 있는 규정을 요약하였다.

8.2 특성

쇄석 매트릭스 아스팔트는 깬 굵은 골재, 깬 잔골재, 채움재, 아스팔트 시멘트 및 안정첨가제의 혼합물이다. 안정첨가제는 아스팔트 시멘트의 유출을 방지하기 위하여 사용되며, 대표적으로 섬유 또는 폴리머로 되어 있다.

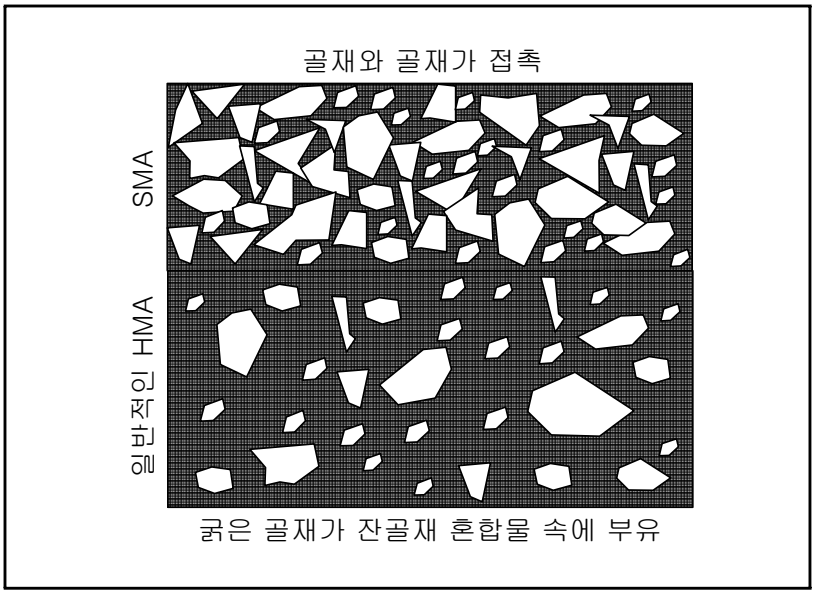
SMA 혼합물은 굵은 골재량이 많고(대표적으로 70~80%), 아스팔트 함량이 많으며(대표적으로 6% 이상) 또한 채움재의 양이 많다(중량으로 약 10%). 굵은 골재량을 많게 함으로써 쇄석과 쇄석이 접촉하게 되어 혼합물이 소성변형에 높은 저항성을 갖게 한다.

8.3 재료 및 배합

(1) 재료

① 아스팔트

아스팔트는 침입도 등급 60~70의 것을 사용하며 KS M 2201규격에 적합하여야 한다.



<그림 709.4> 일반 아스팔트와 쇄석 매트릭스 아스팔트 비교

<표 709.18> 굵은골재 품질기준

항목	시험방법	기준
비중 (표면건조)	KS F 2503	2.5이상
흡수량 (%)	KS F 2503	2.0이하
마모감량 (%)	KS F 2508	30이하
안정성 시험 감량 (%)	KS F 2507	(황산나트륨) 12이하
피막박리시험에 의한 피복면적 (%)	KS F 2355	95이상
편평 및 세장편 함유량 (%)	*	20이하

<표 709.19> 혼합골재 입도기준

구 분		SMA
공 칭 입 경		13mm
통과 중량 백분율 (%)	19 mm	100
	13.2mm	92-100
	9.5mm	60-85
	4.75mm	30-45
	2.36mm	20-30
	300 ㎛ (No.50)	15-23
	150 ㎛ (No.100)	12-19
	75 ㎛ (No.200)	7-12

<표 709.20> 혼합물의 품질기준

항 목	기 준
아스팔트 함량 (%)	6 이상
안 정 도 (kg)	650 이상
공 극 률 (%)	4-5
골 재 간 극 률 (%)	17 이상
흐 름 값 (1/100cm)	20-40
드래인 다운 시험치 (%)	0.3 이하

② 골 재

굵은 골재는 <표 709.18>의 기준에 합격하는 것이어야 하며, 잔골재 중 자연 모래는 사용치 않는 것을 원칙으로 한다.

[주] * 4.75mm체에 남는 골재를 대상으로 세장석편은 폭에 비하여 길이가 3배 이상인 것이며 편평석편은 두께에 대한 폭의 비가 3배 이상인 것.

③ 채움재

채움재는 KS F 3501 (포장용 채움재)에 적합해야 하며, 사용시에는 충분히 건조된 것이어야 하며 덩어리 상태로 있어서는 안된다.

④ 섬유 첨가재

• 섬유첨가재는 쇄석 매트릭스 아스팔트에 사용되도록 생산된 것으로 섬유에 일정량의 아스팔트를 첨가하여 낱알형태로 생산된 것을 원칙적으로 사용한다. 섬유첨가재를 사용하여 생산된 쇄석 매트릭스 아스팔트 혼합물은 <표 709.20>의 기준에 맞아야 한다.

• 섬유 투입량은 혼합물 중량의 0.3%를 기준으로 하며, 설계도서나 특별시방서에 따라 그 첨가량을 늘일 수 있다. 섬유투입량의 허용범위는 소요되는 섬유중량의 +10%이다.

(2) 골재의 입도

굵은 골재, 잔골재 및 채움재를 혼합한 혼합골재 입도는 <표 709.19>을 표준으로 한다.

(3) 쇄석 매트릭스 아스팔트 혼합물 품질기준

SMA 표층용 혼합물은 KS F 2377 (마샬시험기를 사용한 역청 혼합물의 소성흐름에 대한 저항성 시험방법)(양면 각 50회 다짐)에 의한 안정도 시험과 드레인 다운 시험을 하였을 때 <표 709.20>의 기준치에 합격하는 것이어야 한다.

[주] 아스팔트 드래인 다운 시험

이 시험은 혼합물로부터 아스팔트 시멘트가 흘러내리는 양이 적합한지를 판정하기 위한 것으로 실내에서 수행한다.

① 1kg 정도의 SMA혼합물을 150℃에서 혼합한 직후 유리 비커 (800㎖, 직경 98mm, 높이 136mm)에 붓고 중량을 측정한다.

② 중량을 측정한 후 유리나 얇은 뚜껑을 덮고 170℃의 오분에 1시간(+1분) 방치한다.

③ 1시간 후에 오븐에서 비커를 꺼낸 뒤흔들림이나 진동이 가해지지 않게 하고 유리비커 내의 혼합물을 비운다. 다시 혼합물의 중량을 0.0g까지 측정한 후 손실된 중량의 비율(%)을 산정한다.

참 고 문 헌

[701 총론]

1. 한국도로교통협회, 아스팔트 포장 설계·시공 요령, 1997
2. FHWA, AASHTO DESIGN PROCEDURES FOR NEW PAVEMENTS, 1994. 7
3. 한국도로공사, 도로설계실무편람 -포장공-, 1997. 8
4. 건설교통부, 도로포장설계·시공지침, 1991. 11

[702 포장형식의 선정 및 설계 입력변수]

1. 한국도로공사, 도로설계실무편람 -포장공-, 1997. 8
2. FHWA, Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, 1998. 9
3. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992. 12
4. 건설교통부, 도로공사 설계기준(수량 및 단가산출), 1998. 4
5. AASHTO, Design of Pavement Structures, 1993
6. 건설교통부, 동결심도 조사보고서No.498, 1989.12
7. 건설교통부, 도로포장설계·시공지침, 1991. 11
8. 건설교통부, 도로포장구조설계지침서, 1988. 3
9. AASHTO, Interim Guide for Design of Pavement Structures, 1972
10. AASHTO, Interim Guide for Design of Pavement Structures(Revised), 1981
11. AASHTO, Design of Pavement Structures, 1986
12. 松野三郎 外3人, 道路鋪裝の 設計, 山海堂, 昭和53年

[703 아스팔트 포장]

1. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992. 12
2. 한국도로공사, 도로설계실무편람 -포장공-, 1997. 8
3. 남영국·최한중, 최신 도로공학총론, 1993
4. AASHTO, Interim Guide for Design of Pavement Structures, 1972
5. 건설교통부, 도로포장설계·시공지침, 1991. 11
6. California DOT, Highway Design Manual(fifth edition)

[704 콘크리트 포장]

1. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992. 12
2. 한국도로공사, 도로설계실무편람 -포장공-, 1997. 8
3. 건설교통부, 도로포장설계·시공지침, 1991. 11
4. 건설교통부, 도로공사 설계기준(수량 및 단가산출), 1998. 4
5. AASHTO, Interim Guide for Design of Pavement Structures(Revised), 1981

6. AASHTO, Design of Pavement Structures, 1993

[705 유지보수]

1. National Highway Institute(NHI), AASHTO PavementOverlay Design, 1994
2. AASHTO, Design of Pavement Structures, 1993
3. 건설교통부-국립건설시험소, '98 국도유지보수조사 연구보고서, 1998

[706 재생 포장]

1. 건설교통부, 폐아스팔트 포장재료의 개질·재활용 기법개발에 관한 연구, 1999
2. 한국자원재생공사, 폐콘크리트의 재활용기술 개발방안에 관한 연구, 1996
3. NCAT, Recycling Guideline, 1998

[707 특수개소 포장]

1. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992. 12
2. 한국도로공사, 도로설계실무편람 -포장공-, 1997. 8
3. 건설교통부, 도로포장설계·시공지침, 1991. 11
4. 건설교통부, 도로공사 설계기준(수량 및 단가산출), 1998. 4
5. 건설교통부, 도로공사 설계기준(설계서, 수량, 단가산출, 표준도), 2000. 5
6. 건설교통부, 아스팔트포장 설계·시공지침, 1997
7. 한국토지개발공사, 단지내 도로포장단면결정기법에 관한 연구, 1994

[708 기타 포장]

1. 건설교통부, 아스팔트포장 설계·시공지침, 1997
2. 서울특별시, 보도포장설계·시공편람, 1993
3. 내무부, 농어촌 도로의 구조·시설 기준에 관한 해설 및 규칙
4. 내무부, 자전거이용시설 정비기준, 1997

[709 포장혼합물 및 공법]

1. 건설교통부, 도로포장설계·시공지침, 1991. 11
2. 한국도로포장공학회, 아스팔트포장공학원론, 1996
3. 건설교통부, 아스팔트포장 설계·시공지침, 1997

부 록 I

각국의 포장 설계법 비교

1. 개 요

도로포장설계의 목적은 예상되는 교통하중에 대해서 만족스러운 수준의 포장공용성을 이용자에게 제공하는 경제적인 포장구조체의 두께와 각층 재료를 선정하기 위한 것이다. 오늘날에 있어서 포장구조 설계원리는 크게 3가지로 분류할 수 있는데 그 하나가 미국 AASHO road test와 같은 도로포장의 공용결과로써 얻어지는 경험적 관계식인 공용모델식을 토대로 하여 지역과 환경조건들에 기초한 결과를 반영하는 것을 경험적 설계원리라 한다. 두 번째 방법은 차량 반복하중 하에서 포장구조에 피로와 소성변형에 의한 균열이 발생하지 않도록 포장층의 접촉면상의 처짐 또는 휨응력을 제어하고 포장구조거동해석에 다층이론 또는 판이론과 같은 해석적 방법을 적용하는 역학적 설계기법이라 한다.

그러나 아스팔트 포장에 대한 대부분의 설계법은 경험적 또는 역학적 설계기법 어느 하나에 의존하지 않고 상호보완적인 역학적-경험적 설계기법을 활용하는 방향으로 현재 진행되고 있다. 반면 콘크리트 포장에서는 경우는 대부분 역학적 설계개념을 적용하고 있다.

미국과 일본에서 사용중인 대표적인 아스팔트 및 콘크리트 포장설계법은 다음과 같다.

2. 아스팔트 포장 설계법

2.1 AASHTO 설계법

AASHTO설계법은 미국 주 도로교통 공무원 협회(American Association of State Highway Officials)에 의해 제안된 것으로 1958년부터 1961년까지 수행된 광범위한 AASHTO 도로시험의 결과를 토대로 한 것이다.

AASHTO 설계위원회는 먼저 1962년에 중간 설계지침서를 발간하였고, 이를 연구 검토하여 1972년에 개정판을 잠정지침서로 발행하였다. AASHTO 설계법은 포장의 직접적인 구조적 파괴의 개념보다는 포장 기능성에 대한 도로이용자의 정의를 나타낸 것이다. 즉 어느 한 지점에서 다른 지점으로 이용자가 안전하고 쾌적하게 이동할 수 있는 도로의 기능을 나타낸다. 이러한 기능적 사항을 정량화하기 위하여 여러 가지 중요한 개념을 소개하였으며, 이들은 AASHO 도로시험의 결과를 이용하였다.

지금까지 주로 사용되어온 AASHTO 잠정지침과 AASHTO '86지침에 의한 설계법의 차이점은 다음과 같다.

(1) 노상의 재료특성을 보다 합리적으로 규정하기 위하여 잠정지침에서 적용하고 있는 노상지지력계수(soil support value)를 회복탄성계수(resilient modulus)로 대체하였다.

(2) 각종 포장재료의 구조층 특성을 종래의 표준계수치인 CBR 및 R치 뿐만 아니라 회복탄성계수로서 정의되는 상대강도계수로 나타내었다.

(3) 설계에서 환경적인 영향은 필수적으로 고려해야 하므로 환경요소인 함수량과 온도에 관한 사항을 포함시켰다. 이것은 전에 사용된 지역계수 등과 같은 주관적인 항을 서비스지수에 직접·간접으로 영향을 미치는 객관적 환경인자로 대체한 것이다.

(4) 신뢰도(reliability)를 도입하여 설계자가 각 등급의 도로에 대한 위험분석(risk analysis) 개념을 이용할 수 있도록 하였다.

(5) 보수계획을 감안한 단계건설(stage construction) 설계절차를 포함시켜 경제적인 포장설계가 이루어지도록 하였다.

본 설계법은 공용기간에 18kips(8.2t) 등가단축하중 교통량이 50,000대 이상 통행하는 도로에 대하여 적용하며, 설계방법은 각 설계 조건을 산정하고 설계방정식을 해석한 일련의 설계분포를 이용한다.

'93 AASHTO 지침은 '86 AASHTO 지침에서 개략적으로 언급한 덧씌우기 규정을 세부 적으로 보완하였다.

2.2 AI 설계법

미국 아스팔트협회(Asphalt Institute)에서는 아스팔트 포장설계지침(MS-1)을 제정하여 널리 이용하고 있다. 이는 AASHTO와 WASHO 도로시험결과를 토대로 하여 1981년 9차 개정되어 오늘에 이르렀다.

AI 설계지침에서는 아스팔트 포장체를 다층탄성구조로 보았으며 이를 해석하기 위해 DAMA 프로그램을 개발하여 설계도표를 작성함으로써 이용자가 간편하게 설계할 수 있도록 하였다. 물론 프로그램에 적용된 포장체의 응력과 변형률에 관한 이론적 해석방법은 boussinesq 이론을 이용하였고 그후 burmister, morismith 등이 수정 제안한 다층구조해석이론이 적용되었다.

2.3 일본 설계법

일본의 국도나 지방도 등의 아스팔트포장의 구조설계는 일반적으로 아스팔트 포장요강에 의한 T_A 설계법을 사용하고 있으며, 설계의 기본적인 개념은 1967년 개정으로 크게 변하고 있다. 1967년 이전의 설계법은 CBR법으로 노상토의 설계 CBR에 대응하는 소요 포장합계두께를 A, B, C 3종류의 교통량(20년 후의 전차종의 자동차교통량) 별로 구할 수 있도록 CBR 설계 곡선을 이용하는 것이다.

1955년대부터 고도의 경제성장에 따라 교통량이 급격히 증가하고 차량의 대형화가 진행하여 포장이 조기에 파손되는 사례가 많이 발생하므로써 포장설계법의 재검토가 1965년을 전후하여 시행되었다. 이때 미국에서 발표된 AASHO의 도로시험결과 포장재료의 상대적 강도특성을 고려한 포장두께지수라는 개념이 도입되었으며, 교통차량의 축하중과 포장의 공용성과의 사이에 밀접한 관계가 있음이 나타났다. 이에 일본도로협회에서는 이 AASHTO의 도로시험 성과 외에 일본의 독자적인 조사결과를 감안하여서 1967년에 아스팔트 포장요강을

개정하여 그 구조설계의 근본이 되고 있는 CBR-설계법이 정립되었고 그후의 개정에도 답습되어 현재의 아스팔트포장구조설계의 기본이 되고 있다.

본 설계법은 교통량과 노상토의 설계 CBR에 따라 포장의 합계두께(H) 및 포장의 전 두께를 표층, 기층용의 가열아스팔트 혼합물로 환산한 두께(T_A) 등이 포장구조 설계식에 부합하도록 포장두께를 설계하는 것이다.

3. 콘크리트 포장 설계법

3.1 AASHTO 설계법

콘크리트 포장에 대한 AASHTO 설계법은 아스팔트 포장의 경우와 같이 AASHTO 도로시험의 결과를 토대로 한 것이다. AASHO도로시험에서는 축하중이 포장에 미치는 상대적 손상정도를 검토하고 콘크리트슬래브 두께와 길이, 보조기층 두께, 보강철근, 기상조건 등의 설계조건에 대하여 종합적인 시험연구를 하였다. AASHTO 는 1972년 포장구조설계법을 잠정지침으로 제안하였으며 1981년 강성부분을 개정하였다. 개정판에서는 교통량이 많은 도로에 대해서 안전율2.0을 적용하도록 권장하고 있다. 콘크리트포장설계에 대해서는 응력해석에는 spangler의 우각공식을 사용하며, 일정한 PSI에 대해서도 기준 축하중 재하회수와 보조기층의 지지력을 주었을 때 필요한 콘크리트슬래브 두께를 구할 수 있다. 이후 축적된 경험과 연구발표된 자료에 의해 이를 보완 작성하여 1986년에 AASHTO 설계 지침을 확립하였다.

지금까지 주로 사용되어온 AASHTO 잠정지침과 제안된 AASHTO '86지침에 의한 설계법의 차이점은 다음과 같다.

(1) 신뢰도에 대한 개념은 아스팔트 포장설계의 경우와 동일하다.

(2) 설계에 있어 환경적인 고려사항은 아스팔트 포장과 동일하게 적용하였다.

(3) 설계방법은 연결길어깨(tied shoulder), 보조기층 침식(erosion) 및 빈배합 보조기층(lean subbase)등의 내용을 포함하였다.

본 설계법은 공용기간에 18kips(8.2t) 등가단축하중 교통량이 50,000대 이상 통행하는 도로에 대하여 적용하며, 설계방법은 각 설계조건을 산정하고 설계방정식을 해석한 일련의 설계도표를 이용한다.

3.2 PCA 설계법

미국 시멘트협회 (Portland Cement Association)에서 약 50년 전에 제안한 도로포장 설계법으로 그후 이론적 해석이 복잡해지고, 도로시험자료가 누적되고, 여러 환경과 교통조건에서 실제 포장연구로부터 얻은 공용성 자료가 풍부해짐에 따라 많은 개정 변화를 거쳐 오늘날 미국 17개 주와 세계각국에서 이용되고 있다.

PCA 설계법에서는 슬래브 우각부, 단부, 중앙부에 대한 westergaard의 하중재하 이론과 영향도표(influence charts), 해석 프로그램(JSLAB)등이 모두 이용되었으며 콘크리트의 강도와 피로 및 노상지지력과 줄눈의 하중전달기능을 평가하려는 노력을 계속하고 있다.

이리하여 본 설계법에서는 콘크리트 노견, 하중전달형식, 빈배합 콘크리트 같은 보조기층 설치 등에 대해 고려하고 있고 최근에는 안정

처리 보조기층, 다웰 설치, 줄눈 등에 대한 대안 설계로서 포장두께를 크게 하는데 관심을 기울이고 있으며 이러한 두꺼운 포장을 zero-maintenance 포장으로 평가하고 장래 그라인딩이 가능하고, 법적 차량 하중의 증가추세에 대처할 수 있는 포장으로 간주하여 설계법을 검토하고 있다.

3.3 일본 설계법

일본의 콘크리트 도로포장 설계 방법은 westergaard의 1차원 관성 노상 기초(elastic subgrade foundation) 상의 판 이론해석법을 토대로 하는 1946년 PCA 설계법을 일본도로협회에서 준용해 왔으며, 1955년도에 일본콘크리트 포장기술의 체계화 및 평가를 통해서 일본도로협회에서 시멘트콘크리트 포장요강을 발간하였으며, 이것이 일본식 콘크리트포장설계법 효시라 할 수 있다.

그러나, 이것에 반영된 설계절차는 1946년 PCA 설계법을 거의 준용하였으며, 단지 슬래브 응력설계를 복잡한 pickett 공식 대신 간편한 sheets 우각 공식을 사용한 것이다. 경제의 급속한 발전에 의한 기하급수적 교통량 증가추세, 통행차량의 대형화 및 중량화, 그리고 콘크리트포장기술의 향상에 따라 5회에 걸쳐 개정되어 왔으며, 특히 1964년 콘크리트포장요강에서부터는 방향 자유 단부와 줄눈 단부의 하중 및 응력공식과 피로곡선을 콘크리트 슬래브 두께산정을 위한 기본설계공식으로 채택하여 왔다. 현재, 일본에서 통용하고 있는 대표적 콘크리트설계법은 1984년에 개정된 일본도로협회의 '시멘트콘크리트포장 요강'과 일본 도로단에서 제정한 '콘크리트포장 설계 요령'이다.

콘크리트포장설계절차의 기본골격은 PCA설계절차를 모방한 역학적 해석개념을 토대로 하고 있으며, 전후 일본에서 시공된 콘크리트포장도로의 공용결과와 시험포장관측 및 조사자료에 대한 평가결과를 반영하여 실무기술자들이 사용하기 편리하고 시공 시 품질관리가 용이하도록 표준화한 점이 특징이다.

상기 아스팔트 및 콘크리트 포장 설계법의 중요 특징을 요약하면 <표 부록 I .1>과 같다.

<표 부록 I.1> 아스팔트 포장 설계법의 중요 특징

포장구조 / 설계절차 / 내용	아스팔트 포장		
	AASHTO('86)설계법	AI ('81) 설계법	일본아스팔트포장설계요강
기본이론	서비스성능-공용성 개념을 토대로 하여 AASHO 도로시험의 공용결과로서 얻어진 모델식을 이용하는 설계법	임계위치에서의 교통하중에 의한 변형율(ε_t , ε_v)과 소요재료강도와의 관계로서 산정되는 허용반복회수와 실제통행회수의 비가 1.0을 넘지 않게 제한하는 역학적 해석 개념을 토대로 하는 설계법	AASHO 도로시험의 공용결과와 CBR 설계이론(COE)을 일본의 교통, 토질 및 재료조건에 부합되도록 수정·보완한 설계법
기본식	· $\log(W_{18})=Z_R\times So+9.36\times\log(SN+1)-0.20+\frac{\log\frac{(\triangle PSI)}{4.2-1.5}}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}}+2.32\times\log(M_R)-8.07$ · $\triangle PSI=\triangle PSI_{TF}+\triangle PSI_{FH}+\triangle PSI_{SW}$	· 노상변형손상관계식 $N_f=d_o(\varepsilon_v)^{-a1}$ $d_o=0.1365\times10^{-8}$ $a_1=4.477$ · 피로균열손상관계식 $N_f=f_0(10^M)(f_1\varepsilon_v^{-f2})(E^{-f3})$ $M=f_4(\frac{V_b}{V_v+V_b})-f_5$ · 임계변형도(ε_t, ε_v)는 포장체를 탄성다층화 구조체로 이상화하여 누적손상을 산정하는 DAMA 프로그램을 이용	$T_A=\frac{3.84\,N^{0.16}}{CBR^{0.3}}$ $H=\frac{28.0\,N^{0.1}}{C}$ $N=(\frac{P}{5})^4\times10^6$ 단, 산정T_A값은 설계표준목표치보다 커야하고 H는 설계목표치의 80%이하로 되어야 한다.

<표 부록 I.2> 콘크리트 포장 설계법의 중요 특징

설계 절차 / 내용	콘크리트 포장		
	AASHTO('86) 설계법	PCA('84) 설계법	일본콘크리트포장설계요강
기본이론	서비스성능-공용성 개념을 토대로 하여 AASHO 도로시험의 공용결과로서 얻어진 모델식을 이용하는 설계법	교통하중재하에 따른 유발응력과 처짐을 제한하는 피로기준(응력비제한)과 erosion기준(power)에 miner 법칙을 적용하는 역학적 해석개념의 설계법	PCA('66) 설계절차를 토대로 하중재하 응력과 온도유발 응력에 대한 피로기준과 miner 법칙을 적용하여 일본에서 기존포장 및 시험포장의 공용자료를 토대로 설계목표치를 제시한 표준화 설계
기본식	・우각부응력식(spangler식) $\sigma_c = \frac{3P}{h^2}(1-\frac{a_1}{l})$ ・$\log(W_{18}) = Z_R \times So + 7.35 \times \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\frac{\triangle PSI}{4.5-1.5})}{1+\frac{1.624\times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32\times P_t) \times \log\left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75}-1.132)}{215.63 \cdot J \cdot (D^{0.75}-\frac{18.42}{(\frac{E_c}{K})^{0.25}})}\right]$ ・$\triangle PSI = \triangle PSI_{TF} + \triangle PSI_{FH} + \triangle PSI_{SW}$	・westergaard이론을 이용하여 임계응력 및 처짐 발생위치를 평가하여 제시된 등가단부응력 및 우각부 처짐기준을 이용, 소요지지조건에 콘크리트 슬래브두께 산정 ・응력비-허용반복회수 관계식(fatigue 조건) SR(응력비) / 관계식 〉 0.55 : logN=(0.9718-SR)/0.0828 0.45-0.55 : N=4.2577/(SR-0.4325) 〈0.45 : N : 무한 ・처짐-허용반복회수관계식(erosion 기준) $\log N = 14.524 - 6.777(C_1 P - 9.0)^{0.103}$ $P = 268.7(p \cdot w \cdot k^{0.27})/h$	・sutherland & teller 식을 일본의 공용결과를 토대로한 수정식 $\sigma_e = (1+0.54\mu) - C \frac{P}{h^2}$ (logl-0.75loga-0.18) □t=0.35Cw・□・E・θ′ ・응력비-허용반복 회수관계식(fatigue조건) SR(응력비) / 관계식(%) 〉 0.9 : SR=100.0-4.35logN 0.8-0.9 : SR=107.7-7.69logN 0.45-0.55 : SR=122.0-11.65logN 〈0.5 : N : 무한

■ AASHTO('86) 포장 설계법

W_{18} : 18 kips 환산단축하중의 예상통과 회수

Z_R : 표준정규편차

S_0 : 교통량 예측과 공용성 예측에 대한 혼합표준오차

⊿PSI : 초기설계서비스지수 P_0와 최종설계서비스지수 P_t와의 차

SN : 포장 두께 지수

M_R : 회복탄성계수(psi)

σ_c : 최대 콘크리트 압축응력(psi)

p : 윤하중

D : 슬래브 두께

l : $\left(\frac{E D^3}{12\,(1-\mu)^2}\right)^{0.25}$

a_1 : 슬래브 모서리에서 하중 중심까지의 거리(in)

J : 하중전달계수

Sc : 파괴 계수(psi)

■ A.I ('81) 설계법

N_f : 파손에 도달할 때까지의 하중반복회수

f_i : 실내피로시험자료의 회귀분석상수

ε_v : 연직압축변형

ε_t : 수평인장강도

V_b : 역청재 체적비

V_t : 공극 체적비

■ 일본 포장설계 요강

T_A : 환산두께(cm)

H : 포장합계두께(cm)

P : 설계윤하중(t)

N : 공용예정기간(10년)에 통과하는 전차량(1방향)을 5t 윤하중으로 환산한 수(윤/1방향)

σ_e : 콘크리트슬래브의 세로줄눈단부의 최대응력

C : 세로줄눈의 구속조건에 따라 정해지는 계수

p : 윤하중(kg)

a : 타이어의 접지반경(cm)

σ_t : 슬래브 세로줄눈단부의 온도응력(kg/㎠)

Cw : 휨구속계수

α : 콘크리트 팽창률

θ′ : 콘크리트 슬래브의 온도차

부록 II

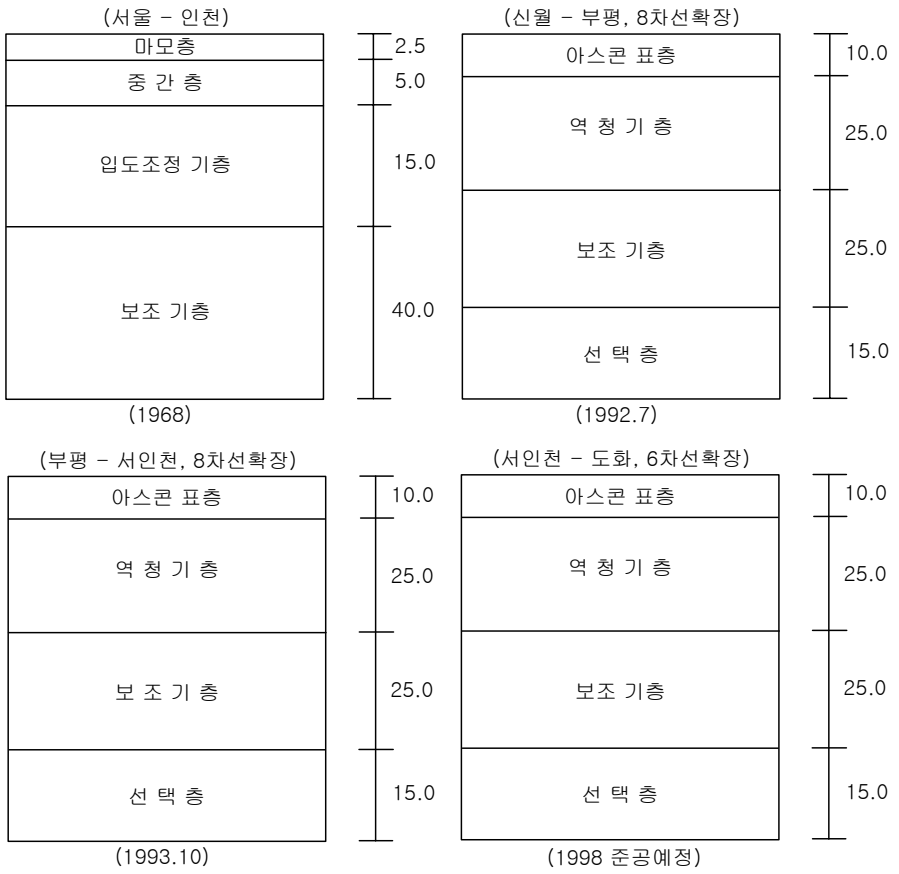
국내 포장단면의 변천

구 분	지 방 도	국 도	고 속 도 로
1950년대 (침투식머캐덤 포장)	· 기층 : 물다짐머캐덤 10cm · 표층 : 침투식 6.3cm	· 기층 : 물다짐머캐덤 10cm～15cm · 표층 : 침투식 6.3cm	-
1960년대 (침투식머캐덤 및 아스콘포장)	· 보조기층 : 20～30cm · 기층 : 물다짐머캐덤 또는 입도조정 안정처리(혼합골재) 15cm · 표층 : 침투식 6.3cm	· 보조기층 : 20～30cm · 기층 : 물다짐머캐덤 또는 입도조정 안정처리(혼합골재) 15cm · 표층 : 아스콘 5cm (침투식 6.3cm)	· 보조기층 : 37.5～40cm · 기층 : 입도조정 안정처리 15cm · 중간층 : 아스콘 5cm · 표층 : 아스콘 2.5cm (경인·경부고속도로)
1970년대 (아스콘포장)	· 동상방지층 : 20～40cm · 보조기층 : 20～30cm · 기층 : 물다짐머캐덤 또는 입도조정 안정처리 15～20cm · 표층 : 침투식 5cm	· 동상방지층 : 20～40cm · 보조기층 : 20～40cm · 기층 : 아스콘 7～10cm · 표층 : 아스콘 5cm	· 동상방지층 : 0～17cm · 보조기층 : 25～35cm · 기층 : 아스콘 10～15cm · 중간층 : 아스콘 0～4cm · 표층 : 아스콘 3.5～5cm(호남·남해·영동고속도로)

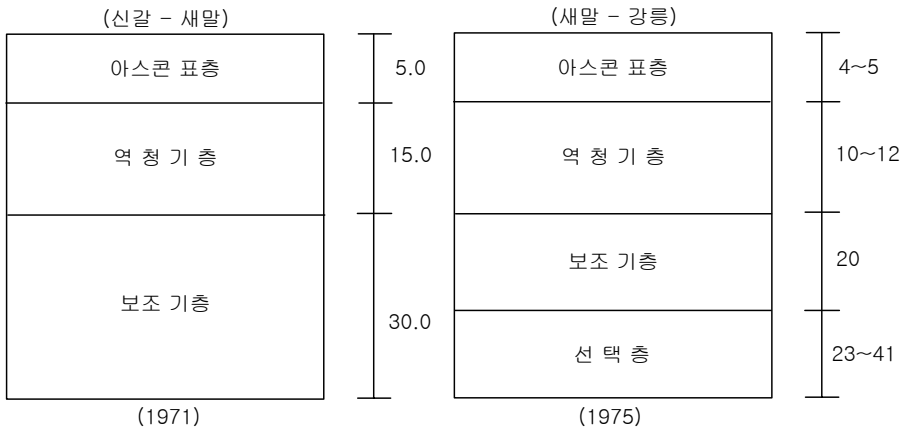
구 분	지 방 도	국 도	고 속 도 로
1980년대 (아스콘 및 시멘트콘크리트 포장)	(1) 2차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 8～10cm ・표층 : 아스콘 5cm (2) 4차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 15cm ・표층 : 아스콘 5～10cm	(1) 2차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 10～15cm ・표층 : 아스콘 5cm (2) 4차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 12～20cm ・표층 : 아스콘 5～10cm (3) 콘크리트포장 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 5cm ・표층 : 시멘트콘크리트 30cm	(1) 콘크리트포장 ・동상방지층 : 0～25cm ・보조기층 : 20～35cm ・중간층 : 아스콘0～15cm ・표층 : 시멘트콘크리트 30cm(88올림픽선, 중부고속) (2)아스팔트포장 ・보조기층 : 20～30cm ・기층 : 아스콘 25cm ・표층 : 아스콘 5cm (부산-마산)
1990년대 (아스콘 및 시멘트콘크리트 포장)	(1) 2차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 10～15cm ・표층 : 아스콘 5cm (2) 4차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 15cm ・표층 : 아스콘 10cm	(1) 2차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 10～15cm ・표층 : 아스콘 5～10cm (2) 4차로 ・동상방지층 : 20～40cm ・보조기층 : 20～40cm ・기층 : 아스콘 20cm ・표층 : 아스콘 10cm	(1) 아스팔트포장 ・동상방지층 : 0～15cm ・보조기층 : 25～45cm ・기층 : 아스콘 25～30cm ・표층 : 아스콘 10cm (신월～서인천, 인천-안산 등) (2) 콘크리트포장 ・동상방지층 : 0～35cm ・보조기층 : 0～40cm ・기층 : 아스콘 0～15cm ・중간층 : 아스콘 0～15 cm ・표층 : 시멘트콘크리트 30cm(평촌-퇴계원, 평촌-안양, 대전-통영 등)

(단위 : cm)

경인선

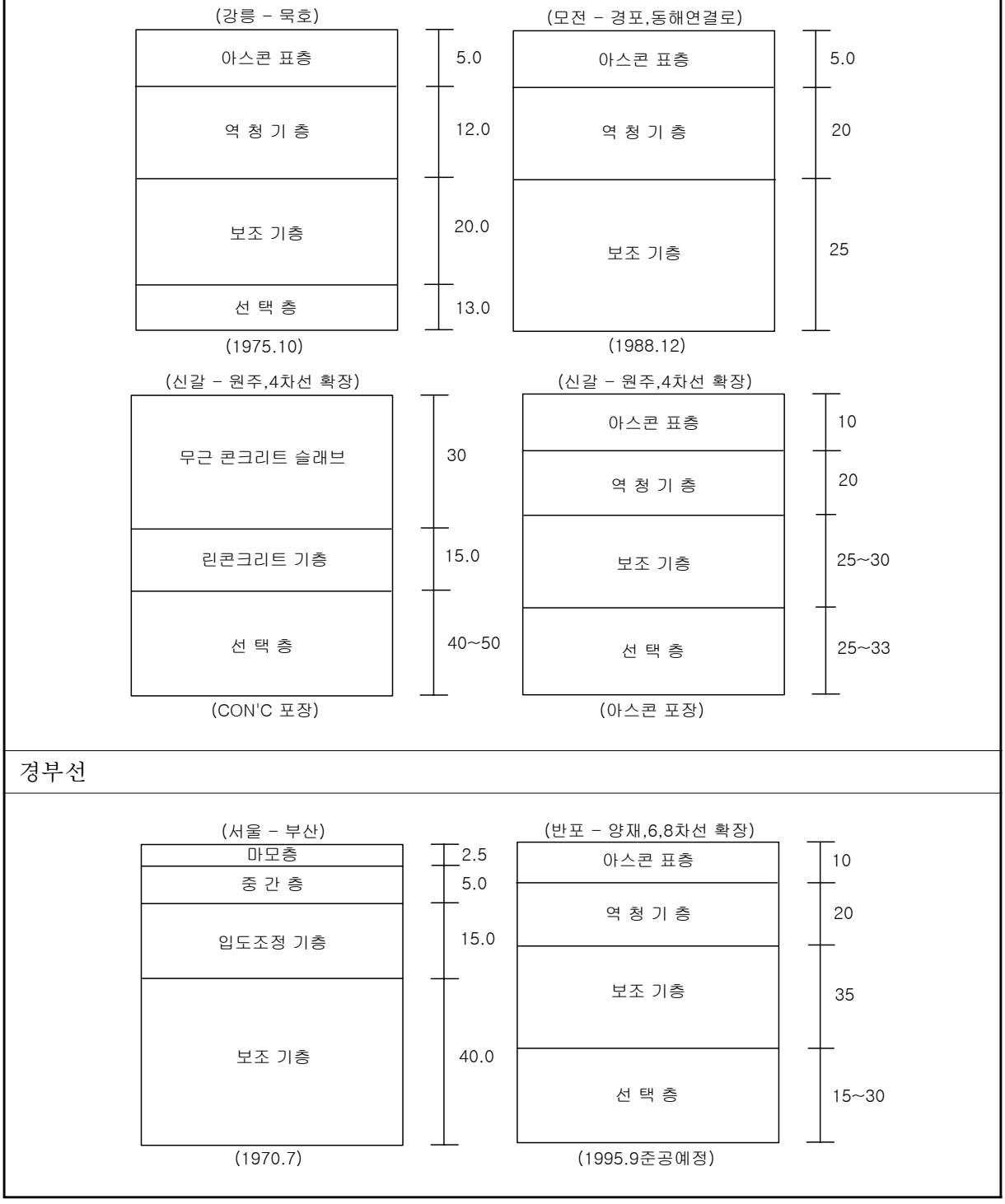


영동, 동해선



(단위 : cm)

영동, 동해선

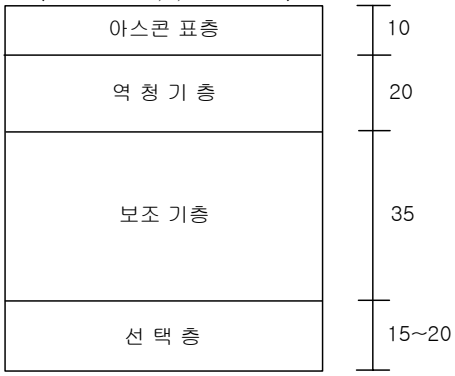


경부선

(단위 : cm)

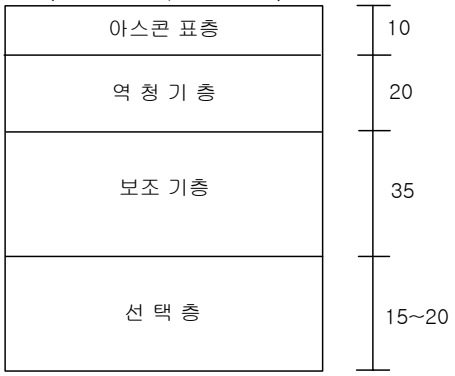
경부선

(양재 - 청원,6,8차선 확장)



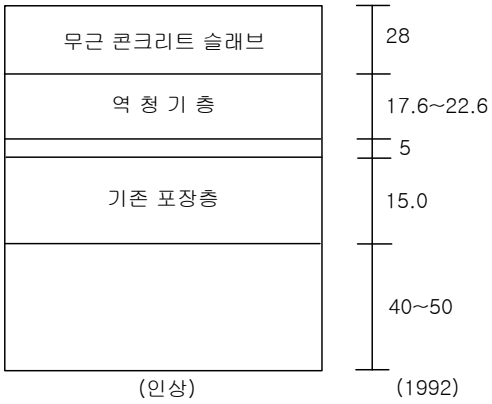
(1992)

(청원 - 회덕,8차선 확장)



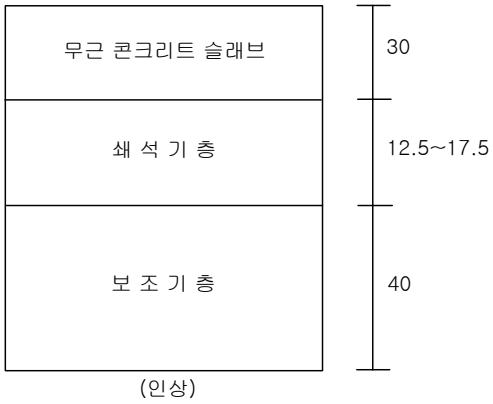
(1997.12준공예정)

(회덕 - 부산,시멘트 재포장)



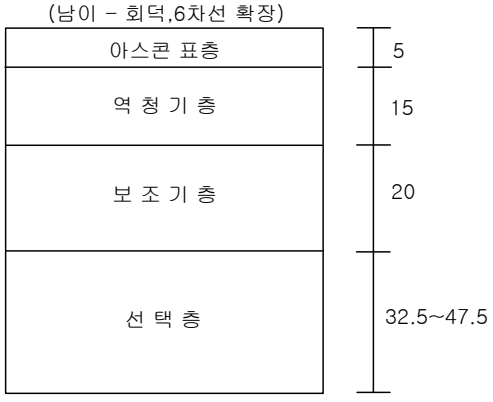
(인상) (1992)

(회덕 - 부산,시멘트 재포장)



(인상)

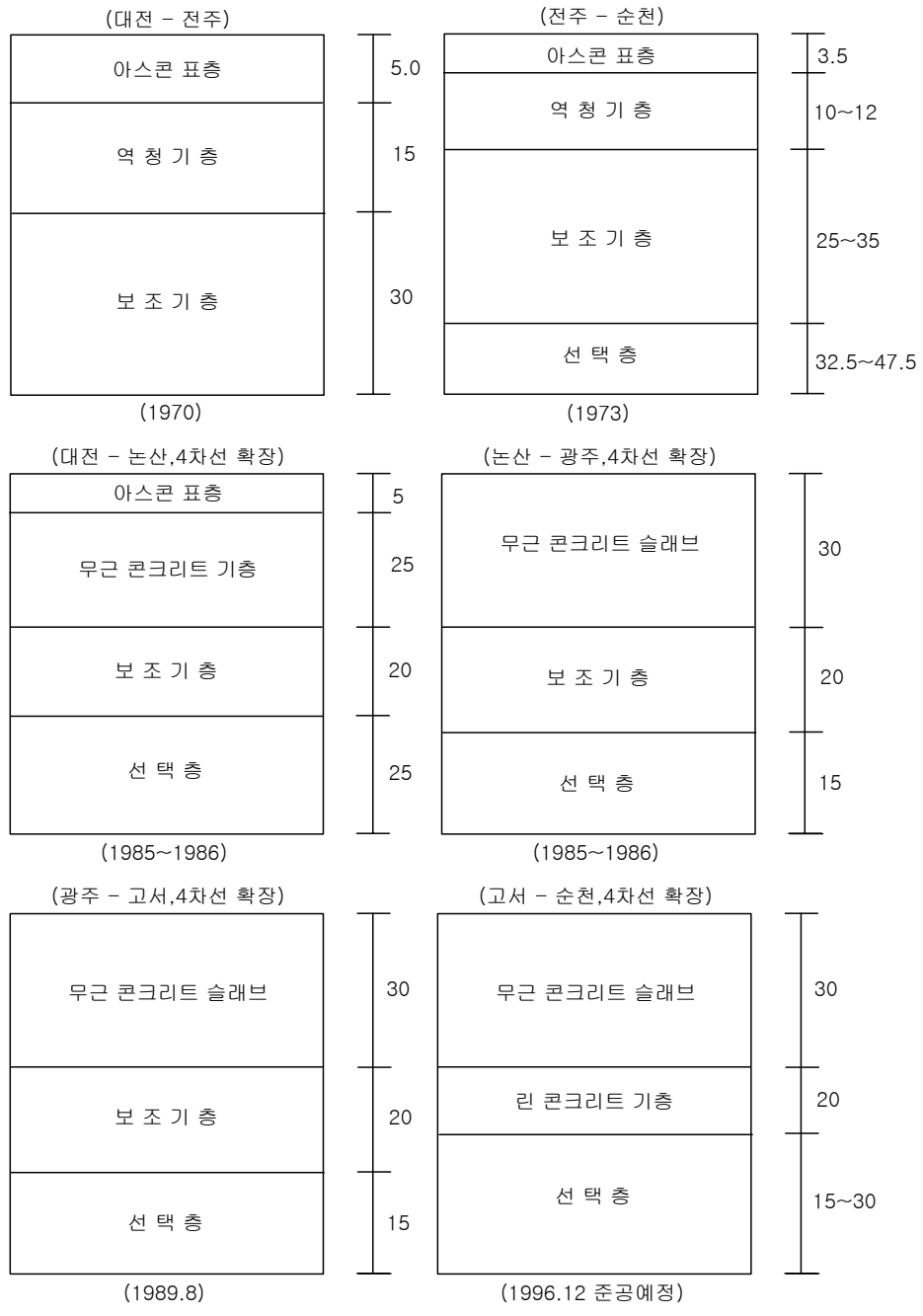
(남이 - 회덕,6차선 확장)



(1987)

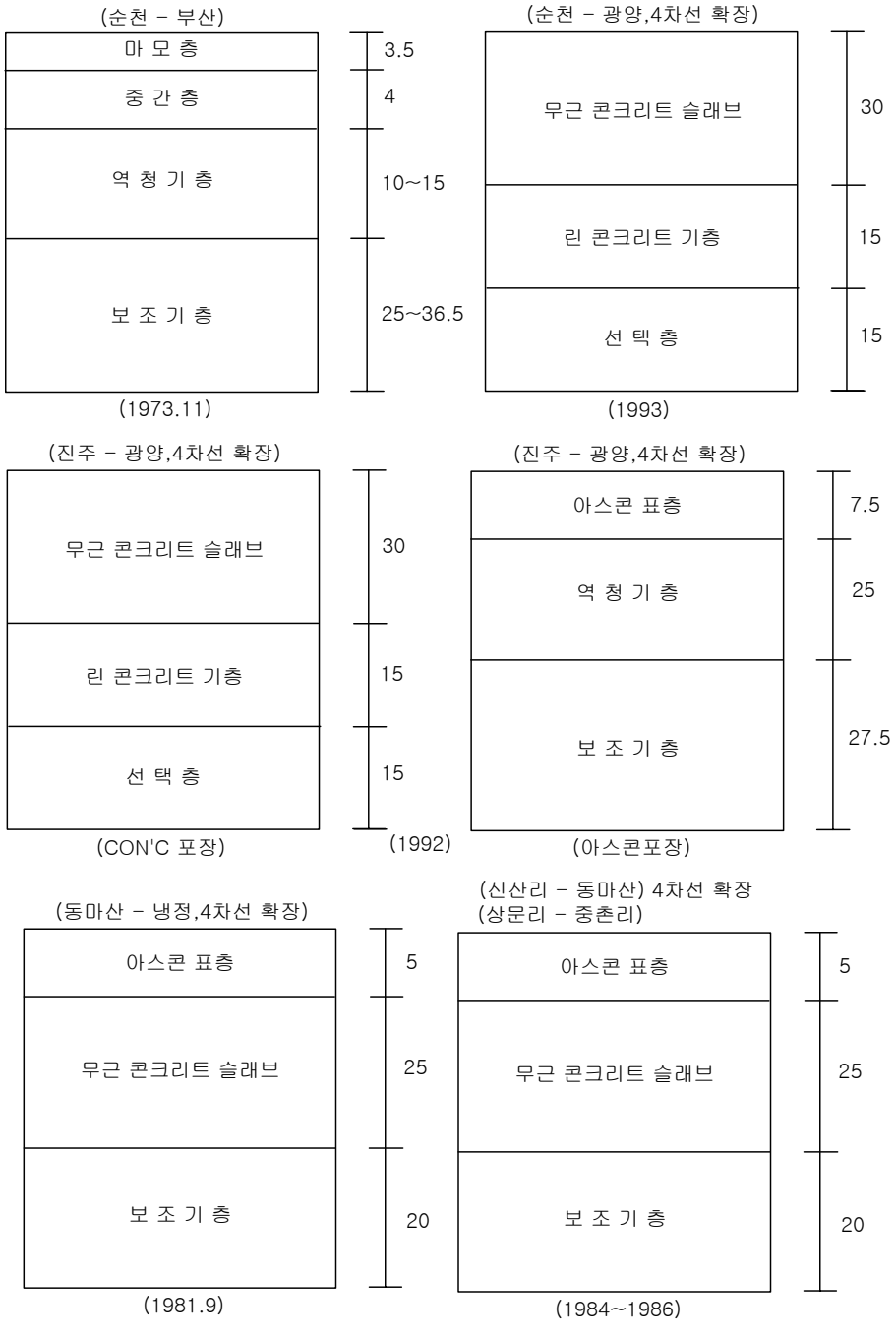
(단위 : cm)

호남, 남해선


(대전 - 전주)
아스콘 표층
역 청 기 층
보 조 기 층
5.0
15
30
(1970)
(전주 - 순천)
아스콘 표층
역 청 기 층
보 조 기 층
선 택 층
3.5
10~12
25~35
32.5~47.5
(1973)
(대전 - 논산,4차선 확장)
아스콘 표층
무근 콘크리트 기층
보 조 기 층
선 택 층
5
25
20
25
(1985~1986)
(논산 - 광주,4차선 확장)
무근 콘크리트 슬래브
보 조 기 층
선 택 층
30
20
15
(1985~1986)
(광주 - 고서,4차선 확장)
무근 콘크리트 슬래브
보 조 기 층
선 택 층
30
20
15
(1989.8)
(고서 - 순천,4차선 확장)
무근 콘크리트 슬래브
린 콘크리트 기층
선 택 층
30
20
15~30
(1996.12 준공예정)

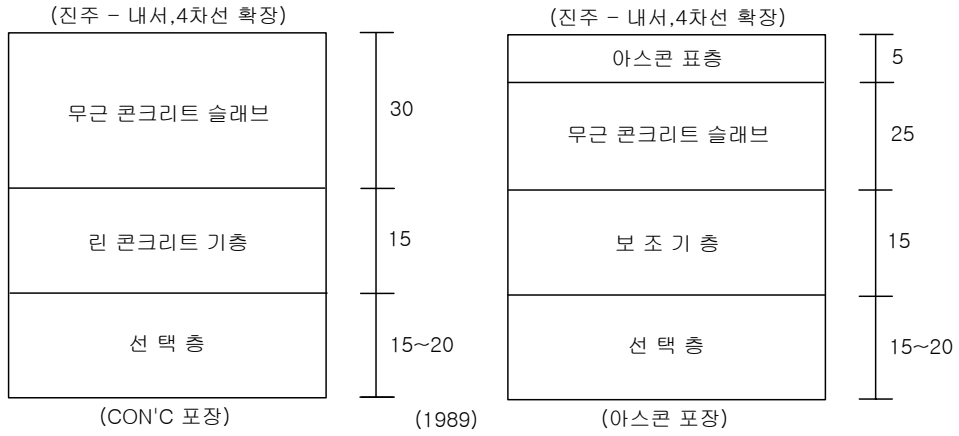
(단위 : cm)

호남, 남해선

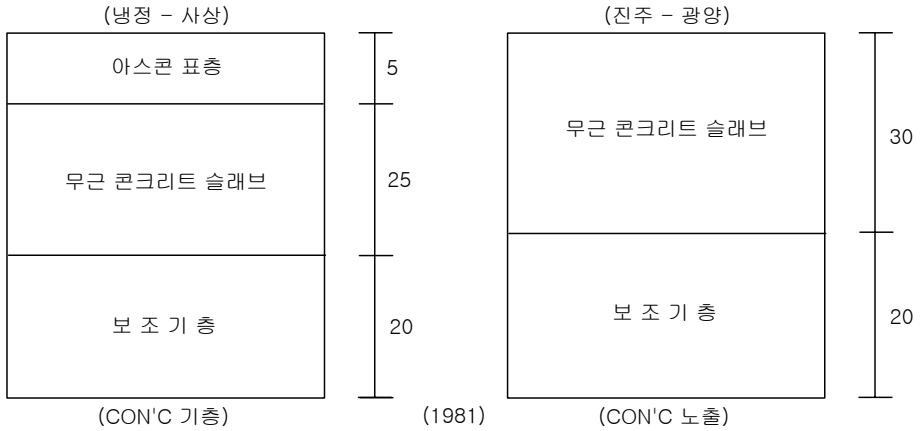

(순천 - 부산)
마 모 층
중 간 층
역 청 기 층
보 조 기 층
3.5
4
10~15
25~36.5
(1973.11)
(순천 - 광양,4차선 확장)
무근 콘크리트 슬래브
린 콘크리트 기층
선 택 층
30
15
15
(1993)
(진주 - 광양,4차선 확장)
무근 콘크리트 슬래브
린 콘크리트 기층
선 택 층
30
15
15
(CON'C 포장)
(1992)
(진주 - 광양,4차선 확장)
아스콘 표층
역 청 기 층
보 조 기 층
7.5
25
27.5
(아스콘포장)
(동마산 - 냉정,4차선 확장)
아스콘 표층
무근 콘크리트 슬래브
보 조 기 층
5
25
20
(1981.9)
(신산리 - 동마산) 4차선 확장
(상문리 - 중촌리)
아스콘 표층
무근 콘크리트 슬래브
보 조 기 층
5
25
20
(1984~1986)

(단위 : cm)

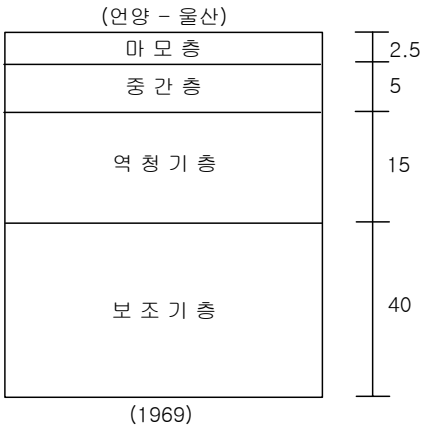
호남남해선



남해지선



울산선

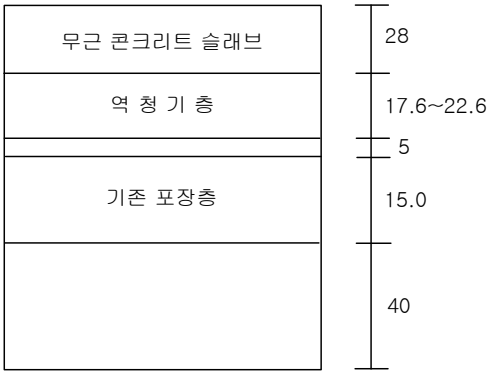


중부선

(단위 : cm)

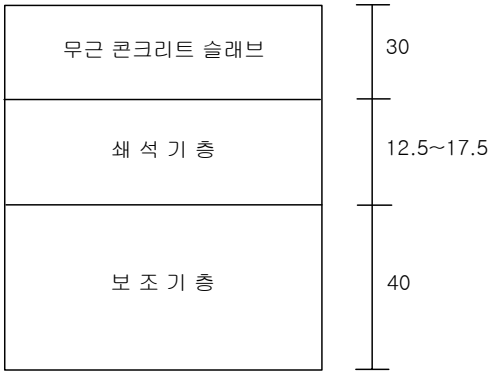
울산선

(언양 - 울산,시멘트 재포장)



(CON'C 포장)

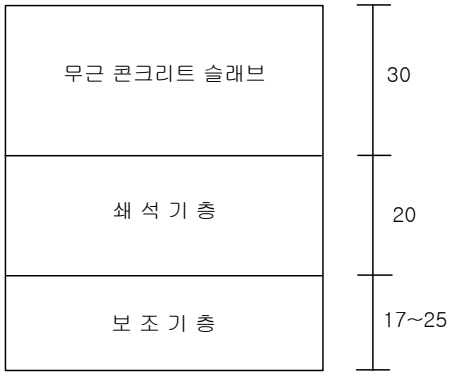
(언양 - 울산,시멘트 재포장)



(아스콘 포장)

88 선

(옥포 - 담양)



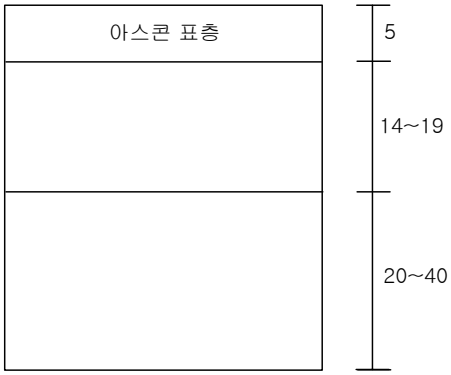
(1984)

(이현 - 옥포,4차선 확장)

(1986)

구마선

(금호 - 내서)

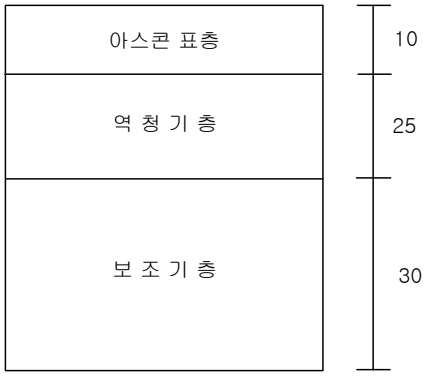
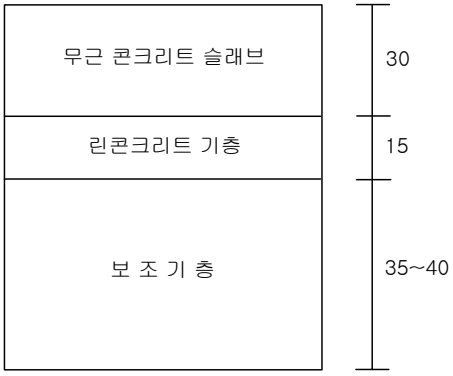
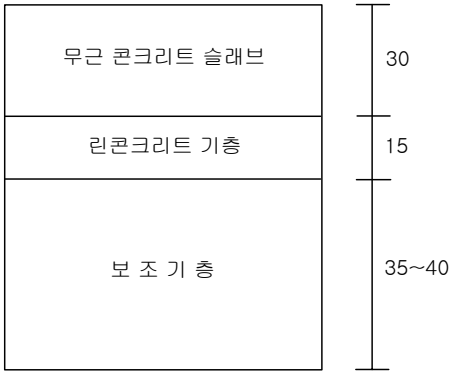


(1977)

(이현 - 옥포,4차선 확장)

(CON'C 포장)

(단위 : cm)

구마선	남해선
(옥포 - 내서)  (아스콘포장 1995준공예정)	(냉정 - 구포) (아스콘포장 1995준공예정)
서울외곽선 **신갈안산선**	**서해안선** **제2경인선**
구서울외곽선 (판교-퇴계원) 신갈안산선 (신갈-안산)  (1992)	서해안선 (인천 - 안산) 제2경인선 (서창 - 광명)  (1994)

부록 III

신기술의 소개

1. 목 적

민간업체의 기술개발의욕을 고취시킴으로서 국내 건설기술의 발전을 도모하고 국제경쟁력을 제고하기 위함(건설기술관리법 제18조)

2. 대 상

국내에서 개발한 건설기술 및 외국도입기술을 소화·개량한 건설기술로서 보급이 필요하다고 인정되는 기술

1) 건설기술 : 다음 각목의 사항에 관한 기술을 말한다. 다만, 안전에 관하여는 산업안전보건법에 의한 근로자의 안전에 관한 사항을 제외한다.(건설기술관리법 제2조2)

- 건설공사에 관한 계획·조사(측량을 포함)·설계(건축사법 제2조제3호의 규정에 의한 설계를 제외)·설계감리·시공·안전점검·정밀안전진단 및 안전성 검토
- 시설물의 유지·보수·철거·관리 및 운용
- 건설공사에 필요한 물자의 구매 및 조달
- 건설공사에 관한 시험·평가·자문 및 지도
- 건설공사의 감리
- 건설장비의 시운전
- 건설사업관리
- 기타 건설공사에 관한 사항으로서 다음 각 호의 역무

① 건설기술에 관한 타당성의 검토
② 전자계산조직을 이용한 건설기술에 관한 정보의 처리
③ 건설공사의 견적

2) 건설공사 : 건설산업기본법 제2조제4호의 규정에 의한 건설공사

- '건설공사'라 함은 토목공사·건축공사·사업설비공사·조경공사 및 환경시설공사 등 시설물을 설치·유지·보수하는 공사(시설물을 설치하기 위한 부지조성공사를 포함한다)·기계설비 기타 구조물의 설치 및 해체공사 등을 말한다. 다만, 다음 각 목의 1에 해당하는 공사를 포함하지 아니한다.

① 전기공사업법에 의한 전기공사
② 전기통신공사업법에 의한 전기통신공사
③ 소방법에 의한 소방설비공사
④ 문화재보호법에 의한 문화재 수리공사

3. 지정 요건

국내에서 신규성, 유일성, 진보성이 있다고

판단되는 기술

1) 신 규 성 : 새롭게 개발되었거나 개량된 기술
2) 유 일 성 : 동일한 기술이 존재하지 않는 기술
3) 진 보 성 : 기존의 기술에 비해 시공성, 안전성, 경제성, 환경친화성, 현장적용성 등이 상당히 향상된 기술로 파급효과가 우수할 것.

※ 개량된 기술의 경우, 기술적 독창성 및 자립도가 분명할 것.

4. 신기술의 보호내용

1) 보호기간 : 고시일로 부터 5 ~ 10년
2) 기술사용료 지급 : 기술개발자는 신기술을 사용한 자에게 기술사용료의 지급을 청구할 수 있음
3) 유사한 외국기술에 대한 신기술 우선 사용 권고
4) 발주청은 권고된 신기술의 성능시험 및 시험시공을 한 결과가 우수한 경우, 신기술을 그가 시행하는 설계에 반영하여야 하며, 건설공사를 발주하는 경우에 이를 공사계약서에 명시하여 신기술개발자로 하여금 당해 건설공사중 신기술과 관련되는 공정에 참여하게 할 수 있음.
5) 금융관련 관계기관에 신기술개발자금 지원요청 (기술개발자금,신기술사업자금,기술신용보증기금 등)

◈ 건설신기술지정현황

1) 연도별 신청 및 지정 실적

구 분	계	'91까지	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98
신청건수		12	6	10	29	46	67	92	
지정건수	121	2	-	3	10	13	19	41	33

* 건설교통부 건설관리과에 신청된 건수를 신청건수라고 하고, 신청건수 중에는 현재 처리중인 사항도 포함됨

2) 분야 및 주체별 지정 현황

주체 / 분야	계	건축	**도로**	상·하수도	조경	토질 및 기초	토목구조	기타
계	121	20	**20**	37	5	19	19	1
대 기 업	31	8	**1**	9	-	5	9	-
중소기업	82	11	**19**	25	5	10	10	1
개 인	8	1	**-**	2	-	4	1	-

3) 신기술 지정현황은 2000년 6월까지의 자료를 정리한 것으로 세부적인 현황 및 자료 요청은 아래로 연락하길 바람.

- 한국건설기술연구원 건설기술품질관리센터 신기술관리그룹

TEL : 031-9100-010

FAX : 031-9100-011

◈ 포장 신기술지정업체 현황

지정번호	신기술명	개발자	전화번호	지정일	보호기간
9	폐타이어 및 폐윤활유 열분해잔류물의 아스팔트보강재로의활용기술	한국에너지기술연구소	042 860-3632	'94. 7.19	5년
12	제철제강더스트를 아스팔트콘크리트채움재로 활용하는 기술	상원리싸이클링	02 3665-2220	'94. 9.17	5년
17	석분(Screenings),시멘트안정처리기층포장공법	(주)용마, 삼표산업(주)	02 433-0386	'95. 2.18	5년
21	폐아스콘을 재생활용한 보수기술 및 설비	(주)한국아스텐엔지니어링	02 462-5723	'95. 7.22	5년
37	아크릴계 폴리머콘크리트 박층 포장보수공법	한화건설산업	02 887-1831	'96. 8.10	5년
41	보도용 형틀압인 표층공법	다린개발(주)	02 665-6492,3	'96. 9.23	5년
42	재생첨가제를 이용한 아스팔트포장의 표층재생포장활용기술	(주)중원개발	02 512-1955	'96. 9. 9	5년
48	개량된 유기금속 촉매제를 이용한 개질아스팔트 포장기술	(주)표준켐크리트	02 555-7084	'97.2.6	5년
67	보도용 세립도 투수콘크리트 박층 포장공법	한국투수개발(주)	02 424-4970 (202-9873)	'97. 6.26	5년
78	열가소성 수지를 이용한 미끄럼 방지제 제조기술	미창건업(주)	0344 913-5811	'97. 9.8	5년
106	폴리머 탄성 콘크리트 박층 포장재	길상산업(주)	02 567-0020	'98. 6. 8	5년
117	간접가열방식에 의한 폐아스팔트 혼합물의 플랜트 재생공법	세아건설(주)	0545 975-0020		7년
122 (268)	미끄럼 방지판을 이용한 미끄럼방지 시설 시공법	서울시 동작구 대방동 387-20 대한로드라인페인트(주)	02 825-3377	'98. 9.10	5년

지정 번호	신기술명	개발자	전화번호	지정일	보호 기간
196	폐타이어 고무분말을 이용한 습식 고무 개질 아스팔트 제조 기술	(주)유닉스라바	02 461-5333	'99. 7.31	6년
205	재생아스콘 표준배합표를 이용한 기층용 재생아스팔트 혼합물의 현장가열 배합 공법	(주)한국아스텐ENG	02 462-5723	99.10. 4	5년
206	아스팔트 개질첨가제(DAMA)를 이용한 다공성 아스팔트 포장기술	다린개발(주), (주)용마엔지니어링	02 665-6492 0342 790-6600	99.10. 7	5년
220	폐타이어 고무분말 및 폐스티로폼의 함성재료를 이용한 포장 균열 보수용 재료 제조기술	(주)창영	0652 251-4419	2000. 3.23	5년
236	입경이 큰 아스팔트 혼합물의 배합설계기술	(주)내경엔지니어링		2000. 6. 7	3년

(제9호) 폐타이어 및 폐윤활유 열분해 잔류물의 아스팔트 보강재로의 활용기술

■ 기술개발자 : 한국에너지기술연구소
■ 주소 : 대전시 유성구 장동 71-2
(Tel 042-860-3632)
■ 보호 기간 : 5년 (1994. 7. 19)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약

폐타이어/폐윤활유 열분해 잔류물을 아스팔트 보강재로 활용하는 기술로 이를 입증하기 위하여 잔류물의 조성, 잔류물의 대부분을 차지하는 카본블랙에 의한 아스팔트 보강효과에 관하여 문헌에 발표된 내용과 잔류물이 아스팔트 콘크리트에 미치는 보강효과에 관하여 발표된 문헌 및 실험결과, 그리고 잔류물을 아스팔트에 사용하였을때 환경에 미치는 영향에 대하여 기술하였다.

1-2. 원리 및 시공방법

1) 폐타이어/폐윤활유 열분해 잔류물의 조성

폐타이어와 폐윤활유를 반응기에 넣고 환원성 분위기 하에서 열분해 하면 폴리머 및 오일 분자간의 결합이 끊어지면서 대부분이 가스화하고 남는 부분은 카본블랙을 주성분으로 하는 잔류물과 철제 타이어코드이다. 타이어에는 천연고무, 합성고무, 합성고무의 내마모성을 보강하기 위한 카본블랙, 충진제, 산화방지제, 연화제, 가류제, 가황촉진제, 점착제, 착색제 등이 포함되어 있다. 열분해 잔류물은 대부분이 카본블랙이며 나머지는 활성제, 충진제, 가류제 등으로 이들의 조성은 아래 <표 부록I.1>와 같다.

2) 카본블랙에 의한 아스팔트 보강 효과

카본블랙으로 보강된 아스팔트를 결합재로 사용하여 골재와 교반시켜 아스팔트 콘크리트를 제작하였을때 카본블랙은 내마모성의 증진, 저온에서의 균열, 고온에서의 동적 안정도의 개선을 가져오는 역할을 한다고 보고되었다.

카본블랙은 기화된 탄화수소의 분해에 의하여 기체상으로부터 형성되는 유일한 물질이다. 이런 기체상 열분해된 연기는 카본블랙을 97%

<< 폐타이어/폐윤활유 열분해 잔류물 조성 >>

성분	회분				V.M.	S	고정탄소
	Zn	Fe	Mg	기타			
조성(Wt.%)	3.76	0.12	0.11	10.01	5.0	2.85	78.15

이상 함유하는데 카본블랙은 크기가 매우작고 (직경=약 30㎜) 높은 비표면적 (약 90㎡/g)을 가진다. 카본블랙은 표면적 성질이 소수성으로 역청질 재료인 아스팔트와의 친화력이 좋아 아스팔트에 분산시키면 아스팔트의 일부처럼 거동한다. 따라서 타이어 고무의 상당부분을 차지하는 합성고무의 마모성을 증진시켜 강인한 타이어를 제조할 목적으로 많이 사용되어 왔다. 카본블랙에 의한 아스팔트 보강효과의 내용을 정리하면 다음과 같다.

① 아주 미세한 카본블랙 입자를 다루기에 편리하고, 아스팔트에의 분산효과를 증진시키며, 카본블랙을 아스팔트에 첨가하였을 때 아스팔트가 뻣뻣해지는 경향을 방지하기 위하여 아스팔트와 혼화 가능한 Petroleum Oil로 카본블랙을 조립하여 사용한다.
② 오일과 카본블랙을 조립하여 제조한 펠렛(Pellets)의 첨가량은 아스팔트 무게의 약 10-25%가 적절하며 오일은 사용하고자 하는 아스팔트 종류에 따라 다르지만 펠렛 무게의 약 8-25% 정도이다.
③ 카본블랙, 오일 첨가에 의하여 온도-점도 감응성이 향상된다.
④ 카본블랙에 의한 아스팔트 내구성이 증가된다.
⑤ 카본블랙에 의한 내마모성이 증진된다.
⑥ 실제 도로포장시 종래의 교반, 포설, 전압 장비를 사용하는데 문제점이 발견되지 않았다.

(제12호) 제철, 제강더스트를 아스팔트 콘크리트 채움재로 활용하는 기술

■ 기술개발자 : 상원리싸이클링(주)
■ 주소 : 서울시 강서구 화곡동 988-21
(Tel 02-3665-2220)
■ 보호 기간 : 5년 (1994. 9. 17)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약

제철 및 제강과정에서 부산되는 먼지폐기물을 공해없이 안전하게 선별, 분리, 가공하여 질좋은 채움재, 즉, 아스팔트 콘크리트용 채움재로써 제철, 제강더스트를 얻는 기술과 이렇게 얻어진 더스트를 적극적으로 재활용하여 아스콘을 제조하는 방법 및 제조된 아스콘 제품에 관한 것이다.

1-2. 원리 및 시공 방법

본 신기술을 그 공정별로 상세히 살펴보면 다음과 같다.

1) 제1단계 : 제철, 제강과정중 먼지폐기물이 포집, 또는 수집되어지는 과정에서 시료를 채취하여 채움재로서 품질적합여부 검사 즉 입도, 비중, 수분함량, 소성지수, 가열변질, 흐름시험, 침수팽창, 박리시험의 검사를 실시한다.
2) 제2단계 : 채움재로서 적합할 경우 특별한 가공을 거치지 않고 벌크차량을 이용, 운송하여 저장용기(사이로)에 투입하고, 채움재로 부적합할 경우 포집기 등에 가공시설을 설치 또는 별도의 시설을 설치하여 가공, 제조하거나, 먼지폐기물을 아스팔트 플랜트 내의 골재(골재, 쇄석 및 석분, 모래) 가열로에 투입, 가공하여 먼지폐기물 및 석분을 집진장치에 의해 저장 용기에 회수한다.
3) 제3단계 : 40㎜이하 또는 19㎜이하 골재(골재, 쇄석 및 석분, 모래 등)를 가열하는 로에 투입하여 골재의 온도가 130~180℃로 되게 가열한다.
4) 제4단계 : 상기 제3단계에서 가열된 골재를 핫빈에서 크기별로 분리한다.
5) 제6단계 : 아스팔트(AP-3)를 140～160℃로 유지되게 가열하며, 제4단계에서 얻어진 골재, 제2단계에서 얻어진 먼지폐기물 및 석분, 제5단계에서 얻어진 아스팔트를 순서대로 혼합기에 투입하여 충분히 교반 혼합한다.

(제17호) 석분(Screening), 시멘트 안정처리 기층포장공법

■ 기술개발자 : (주)용마, 삼표산업(주)
■ 주소 : 서울시 종로구 신문로1가 25 /
서울시 성동구 성수1가 683
(Tel 02-433-0386)
■ 보호 기간 : 5년 (1995. 2. 18)

1. 신기술의 내용

본 신기술은 산업 부산물인 석분에 시멘트를 혼합, 안정처리하여 도로포장의 기층으로 활용하는 공법이며 노상혼합 또는 배치플랜트에서 혼합하여 덤프트럭으로 현장에 운반, 아스팔트 피니셔로 포설한 후 머캐덤로울러-타이어로울러-탠덤로울러 순으로 다짐을 하고 양생을 하는 과정을 통하여 시공된다.

본 공법의 개발은 신뢰도와 실용성을 위하여 대한토목학회, 중앙대학교 환경과학연구소, 한국도로공사 도로연구소, 도로분야 기술용역업체 등 산·학·연 협력체계에 의하여 수행되었으며 석분의 품질, 배합설계, 각종 실내 및 현장시험, 시험포장, 포장설계법 등을 연구하여 실용화하는 과정에서 가열아스팔트 안정처리기층과 같은 기존 기층공법에 비하여 경제성, 시공성, 품질관리 측면에서 우수한 것으로 밝혀졌다.

(제21호) 폐아스콘을 재생활용한 보수기술 및 설비

■ 기술개발자 : (주)한국아스텐엔지니어링
■ 주소 : 서울시 강남구 청담동 119-3
(Tel 02-462-5723)
■ 보호 기간 : 5년 (1995. 7 22)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

도로상에서 전기, 통신, 상하수도 및 가스관 매설 등 각종 공사 시행시 도로굴착으로 발생된 폐아스콘을 이동식 재생장치로 직접 현장에서 가열, 재생하여 노면복구나 소규모 도로유지보수용으로 재활용할 수 있는 기술이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

폐아스팔트가 발생한 공장현장에서 폐아스콘 조각을 연소 드럼통에 투입하고 가스버너를 점화하여 드럼을 회전 가열시켜 1회 1톤(소요시간 20분)의 아스팔트를 재생 가능한 SUPER ASTENCOOK 043 재생기계를 이용하여 다른 첨가물 없이 완벽히 재생시키는 기술

1-2. 원리 및 시공 방법

본 기술은 도로 보수용구와 함께 작업효율에 획기적인 아스팔트 재생기를 동시에 소형차량에 탑재하고 도로보수공사 현장에 이동하여 즉시 아스팔트를 재생하여 복구작업을 하는 것이다.

본 설비의 정면 문을 열고 노면에서 파헤쳐진 아스팔트 조각(3kg)을 연소드럼의 트인 구멍을 통하여 비어있는 내부로 투입한다. 이어서, 정면의 트인구멍에서 한쌍의 정면 문을 좌우로 열고 버너 고정대를 설치하여 버너 일부를 연소 드럼의 트인 구멍을 향하도록 고정한다. 그리고 버너를 버너 받이부에 끼워 넣고 점화하여 연소드럼 내로 방사 시킴과 동시에 엔진을 가동하여 연소드럼을 둘레 방향으로 회전시켜서 아스팔트 조각을 녹인다. 아스팔트 조각이 녹으면(약20분 소요) 버너를 끄고 조작레버로 연소드럼의 트인 구멍이 아래방향을 향하도록 회전시키고, 녹인 재생아스팔트를 슈터용 문에서 배출하고 굴착 노면의 보수를 수행한다. 그리고, 연소드럼은 단열커버에 의하여 내부가 보온되기 때문에 효율적인 가열을 할 수 있음과 동시에 외부에 대해서는 열을 차단하기 때문에 연속 사용시 재생시간 단축(2회 재생시 부터는 18분 소요)과 함께 안전성을 높인다. 이 재생아스팔트 장치는 소형(2,030×1,570×1,860)이므로 소형 트럭(2ton)의 화물대위에 설치할 수 있기 때문에 다른 화물대의 공간에 매설물 작업용 기기류를 설치하기도 하고 비품 정리실을 설치할 수 있다. 연소드럼은 필

요로 하는 둘레 방향으로 회전할 수 있고 상부의 트인 구멍을 밑쪽을 향하도록 경사져서 동작하는 조작을 하는 것이므로 면 위의 실시에의 형상구성에 한정되는 것은 아니다. 포장 도로면을 가열할 때에 사용하는 소형의 버너를 이용하여 아스팔트 재생용 보온성이 높고, 아스팔트의 용해효율을 높일 수 있다. 특히 단열커버로, 본 제품의 복사열에 의하여 고온으로 되는 것을 방지할 수 있어서 안전하다. 그리고, 공사현장에서 발생한 폐자재인 아스팔트 조각을 그대로 재생하여 노면을 보수할 수 있기 때문에 다시 작업을 해야하는 번거러움이 없고 폐자재를 이용하여 보수하기 때문에 예산낭비, 원가절감 폐자원 재활용, 환경오염 방지면에서 유익하다.

(제37호) 아크릴계 폴리머콘크리트 박층포장 보수공법

■ 기술개발자 : 한화건설산업
■ 주소 : 서울시 영등포구 여의도동
44-22 (Tel 02-887-1831)
■ 보호 기간 : 5년(1996. 8. 10)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

아크릴계 수지를 바인더로 하고 자갈, 규사, 규사특분 등을 배합한 폴리머콘크리트를 이용하여 시멘트 콘크리트 포장의 박층오버레이(두께 10-15㎜) 및 스파이크타이어나 타이어체인에 의하여 패인 바퀴자국을 보수, 보강하는 공법이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

아크릴계 수지를 바인더로 자갈, 규사, 규사특분 등을 배합하여 생산되는 수지 콘크리트를 활용한 각종 포장 콘크리트 박층 보수 공법

1-2. 원리 및 시공방법

1) 신기술의 원리

레진콘크리트 박층포장공법(브렘머)는 아크릴계 수지를 바인더로 하여 자갈, 규사, 규사특분 등을 배합한 레진콘크리트로서 시멘트콘크리트 포장의 박층오버레이 및 타이어 체인등에 의한 바퀴자국의 보수 보강에 사용할 수 있는 내마모성 포장보수공법이다.

기존 시멘트콘크리트 포장보수는 보수공사시 양생기간중 장시간 교통차단 및 부분보수 등으로 도로의 기능저하와 겨울철 염화칼슘 살포로 인한 철근콘크리트 포장에 있어서의 철근부식 등 유지관리에 많은 문제점이 있다. 그러나 본 기술은 저점도로 시공성이 우수하고 경화시간이 1~2시간으로 단축되어 조기 교통개방이 가능하며 고강도(압축강도 800~1000㎏/㎠)의 콘크리트를 얻을 수 있으며 겨울철(-20。C) 시공이 가능하고 기존 포장과의 부착강도 및 내마모성이 우수할 뿐만 아니라 염화칼슘 등 내약품성이 강하여 시멘트 콘크리트 포장보수에 최적인 공법이다.

더욱이 동절기의 혹한에서도 보온양생 없이 경화하며, 일반수지의 결점인 경화수축이 거의 없으므로 넓은 면적의 시공이 가능하고, 수지 점도가 낮기 때문에 반죽이 용이하고, 간단한 마무리 시공 등 기계시공도 가능하며 최저 1㎝까지의 박층시공도 가능한 재료이다.

2) 시공 방법

① 브렘머(Blemmer) RC-301X에 경화제 첨가, 3-4분간 잘 저은 후에 시공면에 골고루 도포한다.(1회 도포량 : 0.3㎏/㎡)
② 몰탈 바르기(20~30분 지난 후)
③ 마감조정 : 특히 내약품성이 요구되는 경우에는 (동절기 염화칼슘 살포 등) 레진 몰탈이 양성된 후에 브렘머 RC-1200X에 경화제를 용해시켜 몰탈 표면에 도포한다.(도포량 0.3㎏/㎡)

(제41호) 보도용 형틀압인 표층공법

■ 기술개발자 : 다린개발(주)
■ 주소 : 서울시 강서구 방화2동
621-24 (Tel 02-665-6492,3)
■ 보호 기간 : 5년(1996. 9. 23)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

본 공법은 보도에 사용하는 형틀압인 유색포장공법(template impressing pavement system)으로서 경강선(SWRC, KSD 3509-KSD 3559)을 소선으로 하는 직경 5-10㎜의 와이어로프(KSD3514)를 이용하여 보도블록무늬, 격자무늬, 바둑판무늬 등 연속적인 망과 다양한 문양을 가지도록 형틀(wire cabled pattern template)을 구성한다. 이 형틀을 흑색 또는 유색아스콘이 포설된 표층표면에 놓고, 고하중의 다짐기(철륜진동롤러 등)로 형틀의 모양이 아스콘 표층표면에 압인되도록 한 후에, 다양한 색상의 아크릴계 에폭시를 분무, 살포하는 포장공법이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

「형틀과 색상아크릴계 에폭시를 이용한 보도용 형틀압인 유색포장공법」이다.

1-2. 원리 및 시공 방법

모래층과 골재층 위에 흑색 아스콘을 포설시키는 제 1공정과, 제 1공정에서 포설된 흑색아스콘상에 특정 보도블록 문양의 모양을 갖춘 형틀을 놓는다. 제 2공정에서 형틀이 놓여진 포장 표면을 롤러로 다짐시키는 제 3공정과, 제 3공정에서 다짐된 포장 표면에서 형틀을 제거하는 제 4공정으로 이루어진다.

본 신기술의 주된 핵심으로 사용되는 형틀은 그 모양을 형성시키기 위하여 강철선, 환봉, 직각봉, 편철 등의 재질을 사용할 수 있다. 기존의 재질들로 만든 것은 제 3공정에서 롤러로 다짐하는 동안에 롤러의 표면을 따라 휘어지면서 굽어지기 때문에 형틀모양에 변형이 발생한다. 또한 재질의 피로한도가 넘는 응력이 가해지면 전체가 아래로 볼록하게 휘어져 재사용이 불가능하다는 문제점이 생긴다. 따라서 본 신기술에서는 가는 강선을 여러 가닥씩 꼬아 형성시킨 와이어 케이블(Wire Cable)를 사용하였다. 즉 한국 KS 규격에 있는 경강선(SWRC, KSD3509～KSD3559)을 소선으로 하는 와이어케이블을 선택하였다. 상기 와이어케이블로 형성시킨 형틀이 제 3공정을 거치는 동안에 롤러로부터 받는 소선의 응력 방향이 각각 다르게 된다.

따라서, 코어를 중심으로 일방향으로 제공되는 응력은 각각의 소선를 통해 분산되고, 각각의 강선으로부터 서로 상반되는 응력이 제공

되어 서로 보완된다.

이와같이 와이어케이블을 이용하면 반복되는 압축하중을 받게 되더라도 그 형상의 변화는 거의 없으므로 반복적으로 사용할 수 있다. 경강선 와이어 케이블은 특수강으로서 내마모성과 강도가 매우 높고, 가벼워서 비숙련 인부도 쉽게 압인작업을 할 수 있다. 형틀의 모양으로 압인 흔적 부위를 포함한 다짐면에 다짐면과 다른 색채로 페인팅하고 칼라 수지 에폭시 등으로 코팅 처리하여 도로상에 다양한 문양과 색상을 창출할 수 있다.

(제42호) 재생첨가제를 이용한 아스팔트포장의 표층재생포장 활용기술

■ 기술개발자 : (주)중원개발
■ 주소 : 전라남도 장성군 동화면 용정리 670 (Tel 02-512-1955)
■ 보호 기간 : 5년(1996. 9. 9)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약

노후된 기존 아스팔트 포장을 개량하는데 발생되는 폐아스콘을 100% 재활용하여 포설하는 공법으로 기존 포장을 가열함에 있어 아스팔트의 부분과열을 방지하기 위하여 과거의 직접가열방식을 복사가열방식으로 하고 가열장치를 도로의 실정(도로폭 및 커브)에 맞도록 4.1m, 3.5m 및 2.8m로 조정하면서 기존 포장을 가열할 수 있도록 개량하였으며 기존 포장의 특성에 맞는 재생첨가제와 특수배합 혼합물의 양과 종류를 결정(설계)하는 기술이다.

1-2. 원리 및 시공 방법

1) 재생공법 공정개요

① 견인 및 GAS 저장트럭
: 예열기 견인 및 GAS를 저장한다. 작업속도는 11㎞/HR이하이며 등판능력은 20℃이다.

② 예열기
: 재생포장면을 가열한다. 지상 30㎝ 높이에서 고압 송풍버너를 가동하여 2.5㎝~3.2㎝ 깊이로 노면가열하고 가열 중 미연소 탄화수소는 배출 전에 소각한다.

③ 1차가열 및 굴삭기
: 기존 포장면을 절취한다. 상층 2.5㎝의 가열 연화된 포장면을 절취하여 기계 중심부에 기존 포장 폐아스콘을 정렬한다. 굴삭기에 센서가 부착되어 도로의 굴곡부위도 수평으로 굴삭된다.

④ 2차가열 및 굴삭기
: 아스팔트 포장면을 2차굴삭한다. 굴삭된 폐아스콘을 히터뱅크로 운반한 후에 콘베이어벨트를 통하여 퍼그밀로 운송하고 신재아스콘 및 재활용된 폐아스콘을 혼합한다. (재생된 아스콘을 페이버(PAVER)에 투입)

⑤ 페이버
: 재생된 아스콘을 포설한다.

(제48호) 개량된 유기금속 촉매제를 이용한 개질아스팔트 포장기술

■ 기술개발자: (주)표준켐크리트
■ 주소: 서울특별시 강남구 역삼동
705-9 (Tel 02-555-7084)
■ 보호 기간5년 (1997. 2. 6)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

본 신기술은 저 점도, 저 자극성 냄새 및 개선된 연성을 갖도록 개량한 유기금속 촉매계 아스팔트 개질재 및 동 개질재를 첨가한 포장체의 성능을 향상시키는 개질아스팔트 포장 혼합물의 생산 및 시공기술이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

1) 저 점도, 저 자극성 냄새와 개선된 연성을 갖도록 개량한 나프텐산 금속촉매제 아스팔트 개질재의 제조 기술
2) 제 1 항의 개량 개질재를 이용한 개질 아스팔트 시공 기술

1-2. 신기술의 원리 및 시공법

주성분인 나프텐산 금속 화합물의 제조방법을 유리나프텐산이 적은 복분해법으로 하여 잔존 유리산과 자극성 냄새 물질을 감압 증유 및 질소가스 통과 방법으로 분리 제거하고 온도-점도 특성을 개선하는 특수 연화유를 배합한 개량 품질의 개재로 혼합하여 아스콘 생산후 포설 전까지 140~150℃로 1시간 이상 보온하여 기존 개질 아스팔트 포장공법보다 양생 시간을 단축할 수 있다. 시공법은 기존 아스팔트 포장공법과 동일하다.

(제67호) 보도용 투수콘크리트 박층 포장공법

■ 기술개발자 : 한국투수개발(주)
■ 주소 : 서울시 송파구 송파1동
131-10 (℡ 02-424-4970)
■ 보호 기간 : 5년 (1997. 6. 26)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

보도포장에 적용되는 투수성 포장공법으로 기층용 투수콘크리트를 포장 후 포장 상부에 세립골재를 사용하여 투수성을 갖는 콘크리트를 박층으로 포장하는 공법이며 시멘트, 모래, 및 분쇄 폐유리를 혼합 사용하므로써 혼합시 유리에 의하여 발생된 기포가 공극으로 되어 투수성이 증대된다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

3㎜ 이하의 모래, 분쇄 폐유리를 시멘트와 혼합하여 투수성을 증대시킨 세립도 콘크리트(1~1.5㎝)와 조립도 투수콘크리트(5~10㎝)를 2층으로 결합한 보도용 투수콘크리트 포장 시공법.

1-2. 원리 및 시공 방법

1) 세립도 투수콘크리트의 원리

투수성 포장이란 우수 등을 지중에 공급하므로써 다공성에 의한 마찰력이 증대되어 보행시 미끄럽지 않으며, 자연 생태계 보호와 도심하천의 범람을 예방할 수 있고 해안지역의 경우 해수의 역유입에 따른 지반오염을 방지할 수 있는 포장공법이다.

기층용 투수콘크리트를 포설한 후 표면 상부에 세립한 투수콘크리트를 1~1.5㎝ 두께로 포장하는 공법으로 표면의 상태가 일반 포장과 같이 매끈하게 되는 포장체이며 잔입자를 사용하면서도 투수가 되는 것은 분쇄 폐유리를 사용하여 유리에 의한 기포발생과 다짐 및 양생과정에서 기포가 공극으로 환원되면서 투수성이 한층 높아지기 때문이다. 또한 유리의 투명성으로 포장체가 아름답게 되며 다양한 색상과 문양을 연출할 수 있게 된다.

2) 재료 및 시공법

세립도 투수콘크리트의 제조에 사용되는 재료는 시멘트 150~500㎏/㎥, 물-시멘트비 25~40%, 3㎜에서 중량비로 80~100% 통과하고 1㎜에서 10% 이하 통과되는 모래 1,430~2,100㎏/㎥이며, 이때 같은 크기의 분쇄유리를 모래 사용량의 10~50% 사용하며 분쇄유리 사용량만큼 모래의 사용량을 줄인다. 폴리머는 고형

분 50%를 기준으로 시멘트 사용량의 50% 이내에서 사용하며 색상에 따라 시멘트 사용량의 10% 이내에서 무기질 안료를 사용한다. 혼화제는 시멘트 사용량의 2% 이내에서 감수제를 사용한다.

기층용 투수콘크리트를 포설하고 다짐한 후 1시간 이내에 세립도 투수콘크리트를 기층용 투수콘크리트 표면에 1~1.5㎝ 박층으로 포설하며 콤팩타 및 로라로 다짐하고 다짐은 시험실에서 제작된 공시체 이상으로 한다. 1일 이상 양생하고 통상의 방법대로 줄눈과 후기양생을 하여, 공극율 7% 이상, 투수계수 10×10^{-2}㎝/sec 이상, 압축강도 150~400㎏/㎥의 세립도 투수콘크리트 박층포장을 완성하게 된다.

(제78호) 열가소성 수지를 이용한 미끄럼방지제 제조기술

■ 기술개발자 : 미창건업(주)
■ 주소 : 경기도 고양시 일산3동
1127-1 (℡ 0344-913-5811)
■ 보호 기간 : 5년 (1997. 9. 8)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

본 신기술은 기존 미끄럼 방지제가 가지는 단점을 보완하기 위하여 내마모성이 높은 골재인 소성 보크사이트를 주 골재로 하고 탄화수소계 수지, 저밀도 폴리에틸렌, 열가소성 변성수지, 충진제 등을 혼합하여 제작된 미끄럼 방지제 제조기술이다.

다양한 색상의 구현이 가능하여 운전자에 대한 시인성을 향상시켜 안전 운전을 유도하며 주변 환경과 어울리는 색상을 적용함으로써 아름다운 거리 조성이 가능하고 포장채로 용해함으로 시공후 쓰레기 발생량을 최소화 할 수 있다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

석유수지, P.E(폴리에틸렌). SBR(Stylene Butadien Rubber)을 공중합한 열가소성 수지로 이루어진 결합제와 골재(소성 보크사이트) 및 충진제, 첨가물에 적합한 안료를 혼합하여 다양한 색상을 구현한 도로의 미끄럼 방지제 제조기술

1-2. 원리 및 시공방법

본 시공방식에 따르는 재료는 세라믹 결정체 혹은 소성보크사이트 등의 주 골재를 이용하여 저밀도폴리에틸렌(Low Density Poly Ethylene), 활성탄, 탄화수소계열 수지의 소결재와 열 가소성 수지등을 혼합하여 분말 상태로 제조된 자재를 시공장소의 주변 환경을 고려하여 적당한 안료를 혼합하여 주변 환경과 어울릴 수 있고 색상을 나타낼 수 있는 가열식 미끄러짐 방지제이다.

작업 방식으로는 수작업을 통한 미장식 도포 방법을 이용한다.

1) 본 신기술에 의한 조성물의 배합 구조는 다음과 같다.

골재	50 - 60%
탄화수소계 석유수지	15 - 18%
폴리머 계열의 열가소성 수지	2 - 4%
SBR 고무	2 - 4%
가소제	1 - 3%
활성탄	1 - 2%
충진제	12 - 16%
안료	1 - 4%

2) 조성물의 특성

① 미끄럼 저항을 증대시키기 위하여 기존의 사용 골재인 재강 슬래그 혹은 새로운 고급 소재인 고특성의 보크사이트를 이용하여 탄화수소 계열수지의 결합재와 열가소성 수지를 혼합한 후 가열 용융하여 사용한다.

또한 요업 공장으로부터 배출되는 산업쓰레기로써의 처리 구분이 곤란한 폐기요업 제품을 환경보호 차원에서 수거하여 가공후 골재로 이용한다.

② 일반 도로의 미끄럼 저항이 45BPN (British Pendulum Number)인데 비해 본 방식은 최소 70의 미끄럼 저항을 나타내고 있으므로 미끄러짐으로 인한 사고를 60-80% 정도 감소시킬 수가 있다.

③ 미끄럼 방지제의 골재로 사용이 되는 재료중 가장 특성이 우수한 보크사이트는 열처리가 된 특수 광석으로 미끄러짐 저항에 높은 저항치를 나타내는 것과 함께 재료의 강도로 인한 낮은 마모 계수를 나타내고 있으며 재료의 이같이 높은 내마모성은 일반적인 다른 골재보다 수명이 길다.

(제106호) 폴리머 탄성 콘크리트 박층 포장재

■ 기술개발자 : 길상산업(주)
■ 주소 : 서울시 강남구 역삼동 837-11
■ 보호 기간 : 5년 (1998. 6. 8)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

폴리머 탄성 콘크리트 박층 포장재는 강구조물 표면에 우레탄계 수지를 사용한 도막 방수로 완전 방수를 유도한 후, 방수가 완료된 표면에 에폭시계 수지를 바인더로 하는 폴리머 탄성 콘크리트로 포장하는 박층 포장재로 약 100㎏/㎠의 높은 휨 강도와 자체 탄성력으로 (기존 에폭시 콘크리트보다 2.5~5.0배 증가) 육교 및 교량의 진동에 의한 충격을 흡수하고, 단면의 최소화로 자체 중량 감소 효과 및 우수한 칼라의 표현으로 시각적인 안정성 등 공용성이 뛰어난 포장재이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

박층 포장재 중 폐타이어 분말을 혼합하여 휨 강도와 자체 탄성력을 기존 에폭시 콘크리트보다 2.5~5.0배 증가시킨 것으로 보도 포장, 광장 포장, 지하 주차장 포장, 건물 내부 포장, 자전거도로 포장, 보도육교 포장 등 용도에 따라 배합 비율을 에폭시 200~250㎏, 규사 1200~1275㎏, 규사분 120~135㎏, 종석 300~350㎏, 폐타이어 20~25㎏, 폐유리 80~100㎏ 범위로 3가지 기준의 배합 기준 적용

1-2. 원리 및 시공 방법

본 신기술은 에폭시계 수지를 바인더로 하여 규사, 규사분말 종석, 폐타이어 분말, 폐유리 분말을 배합한 폴리머 탄성 콘크리트로서 (기존 에폭시 콘크리트의 2.5~5.0배) 강구조물 육교 상면 포장 등 특수 개소의 박층포장에 사용되는 포장공법이다.

약 100㎏/㎠의 높은 휨 강도(기존 콘크리트 45㎏/㎠)와 자체 탄성력(기존 에폭시 콘크리트의 2.5~5.0배)으로 육교의 진동에 의한 충격을 흡수하여 크랙 발생을 억제하는 특징이 있다.

또한 단면의 최소화로 자체 중량 감소 효과 및 우수한 칼라의 표현으로 시각적인 안정성 등 공용성이 뛰어난 포장체이다.

1) 기본 구조

① 철구조물 상판

라스콘 포장	5~10 m/m
우레탄도막 방수	3~ 5 m/m
강 판	

<< 표준단면 I >>

② 콘크리트 상판

라스콘 포장	5~10 m/m
우레탄도막 방수	0.1 m/m
강 판	

<< 표준단면 Ⅱ>>

2) 기준 배합표

품 목	중 량	비 고
에폭시계 수지	200~300kg	
규 사	1,100~1,300kg	
규 사 분	120~150kg	
종 석	300~400kg	
폐 유 리	80~120kg	콘크리트 중량의 약 5%
폐타이어 분말	15~25kg	콘크리트 중량의 약 1%

(제 117 호) 간접가열방식에 의한 폐아스팔트 혼합물의 플랜트 재생공법

■ 기술개발자 : 세아건설(주)
■ 주소 : 경북 칠곡군 약목면 복성리
1166-40 (Tel 0545-975-0022~7)
■ 보호 기간 : 7년 (1998. . .)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

본 신기술은 아스팔트 포장의 보수공사에서 발생하는 아스콘 폐재를 재생용 크러셔로 파쇄하여 재생용 골재를 생산하며, 아스팔트 플랜트에서 아스콘을 제조할 때 재생용 골재 가열드라이어에서 1차 가열한 재생용 골재를 적정비율로 신규 골재에 혼합하고, 재생용 골재에 포함되어 있는 아스팔트 양을 감안한 신규 아스팔트를 첨가하여 신규 재료로만 혼합한 아스콘의 품질과 동등한 재생아스콘을 제조하는 기술이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

1) 재생용 크러셔로 아스콘 폐재를 재생용 골재로 파쇄하는 설비기술
2) 재생용 골재를 건조 가열하는 별도의 드라이어를 설치하고, 적정비율로 재생용 골재를 신규 골재에 혼합하는 재생용 가열 혼합 아스팔트 플랜트 설비기술

1-2. 원리 및 시공 방법

폐아스콘을 활용하여 재생아스콘을 생산하는 과정은 다음과 같다.

① 폐아스콘의 수입검사 및 저장
② 폐아스콘 덩이를 파쇄하여 13~19mm의 것과 0~13mm의 것으로 구분한 재생용 골재를 생산하여 저장
③ ②항에서 얻어진 재생용 골재의 품질시험 및 신규 재료와의 배합비 결정
④ 재생용 골재의 가열
⑤ 신규 재료와의 배합비에 따라 재생아스콘 혼합, 생산 및 출하

위와 같은 과정중에서 특기할 사항은 다음과 같다.

1) 재생용 골재의 생산

재생용 골재를 생산하는 방법에는 가열 파쇄방식과 기계 파쇄방식이 있으나 세아건설(주)에서는 기계 파쇄방식을 채택하고, 일반 석산에서 골재를 생산하는 크러셔와는 기능이 다른 크러셔(Impact mill)를 설치하여 재생용 골재를 생산한다.

재생용 골재 생산시설은 우천시에도 작업이 가능하고 생산과정에서 골재의 함수량이 변동하는 것을 최소화 하기 위하여 상옥시설이 완비되어 있으며, 골재 생산능력은 90～130t/h이다.

2) 재생아스콘의 혼합・생산

재생플랜트의 구조 가운데 가장 특수한 시설은 재생용 골재를 1차 가열하는 재생용 골재 드라이어이다. 일반적인 신규 골재를 가열하는 드라이어는 버너의 불꽃과 골재가 직접 접촉하여 가열되는 방식이지만 재생용 골재의 가열은 재생용 골재에 들어있는 아스팔트분의 열화를 방지하기 위하여 버너의 불꽃으로부터 5m 떨어진 지점에서 재생용 골재를 투입하여 골재를 가열하는 방식으로 개발하였다.

이러한 드라이어 장치의 개발은 기존의 드라이어를 개조하여 여러 차례의 개량을 거쳐 완성한 것으로 신기술의 가장 핵심적인 부분이다.

3) 재생아스콘의 품질 확인

재생아스콘의 품질을 확인하기 위하여 ○○기관에 연구용역을 의뢰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 폐아스콘을 파쇄하는 크러셔에서 생산된 재생용 골재중 19～13mm의 것은 기층용 아스팔트 안정처리 혼합물용 골재로, 13mm이하의 것은 표층용과 기층용 아스콘용 골재로 활용할 수 있어 개발된 크러셔는 충분한 실용성이 있다.

② 재생용 골재에서 아스팔트를 추출, 분리하여 아스팔트 함량, 침입도 및 점도 등의 시험결과를 토대로 아스팔트의 배합설계를 실시한 결과 표층용으로는 재생용 골재의 배합비율 30～50%선에서 국내의 일반 아스콘 혼합물의 규격을 모두 만족하고 있다.

③ ②항의 재생용 골재의 배합비율은 국내의 현실을 감안하여 비교적 안전측으로 설정한 범위이며, 그 후에 반입되는 폐아스콘의 품질관리기법을 향상시키고 재생아스콘의 생산기술을 축적할 경우 재생용 골재의 배합비율은 상향 조정할 수 있다.

④ 실험실에서 얻어진 결과를 세아건설(주)의 재생플랜트로 혼합하여 얻어진 재생아스콘에 대한 마샬시험치, 아스팔트 함량 및 추출 골재입도는 국내 규정을 만족하고 있다.

(제122호) 미끄럼방지판을 이용한 미끄럼방지 시설 시공법

■ 기술개발자 : 대한로드라인페인트
(주) 한 정 국
■ 주소 : 서울시 동작구 대방동
387 - 20 (TEL 02-817-0297)
■ 보호 기간 : 5년 (1998. 9. 4.)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

본 신기술은 접착제의 경화 시간이 짧은 아크릴계 수지를 이용하며, 미끄럼 방지 시설의 균일화(고급화)를 위해 사전에 미끄럼방지판을 제조한 후, 이것을 시공 현장에서 곧바로 도로 위에 부착시키므로써 시공 시간을 40-60분으로 단축 시킬 수 있는 도로의 미끄럼 방지 시설이다.

또한 동절기, 습기가 많은 새벽이나 야간에도 시공이 가능하며, 균일하고 일정한 두께의 미끄럼 방지 시설을 할 수 있다는 장점을 갖고 있고, 월동기의 강추위에도 약간의 탄성을 가지고 있어, 종전 에폭시 수지로 시공한 시설에 비해 파손과 같은 현상이 일어나지 않는 시공법이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

1) 아크릴계 수지를 이용하고 미끄럼 방지용 골재(제강슬래그, 규사, 규석, 세라믹골재 및 착색자기질 골재등)를 섞어 일정한 규격의 미끄럼 방지판 제조 기술

2) 미끄럼 방지판에 아크릴계 아크릴 모너머 수지와 중합 촉매(경화제)를 교반시켜 라디칼 중합 반응에 의하여 단시간에 경화 방법으로 신속한 미끄럼 방지시설 시공방법과 중합 촉매 농도에 따른 라디칼 중합 반응시 발생하는 중합 반응열 및 중합 반응의 강도 등을 이용한 동절기 또는 야간에도 가능한 공법

1-2. 원리 및 시공 방법

본 신기술은 일정한크기의 테플론(Teflon) 틀에 아크릴 모노머(acryl- monomer) 수지를 넣은후, 미끄럼 방지 골재를 넣어, 충분한 시간과 최적의 온도에서 경화시키면, 균일한 두께의 미끄럼방지판이 완성된다. 이것을 도로표면에 부착시키므로, 도로상에서 미끄럼방지 시설을 했던, 종전의 방법보다 시공시간을 대폭 단축시킬수 있을 뿐 아니라, 시공시 접착수지로 상도도포(TOP-COAT) 함으로써 골재의 탈리 현상을 억제하고 골재의 고착력을 증대시켜 내구성이 우수한 미끄럼 방지 시설공법이다.

1) 시공방법

가. 교통규제 및 노면청소

시공구간의 교통을 차단하고, 노면의 먼지, 이물질등을 비, 청소용 솔 등으로 청소한다.

나. 시공부위 테이프 부착 및 미끄럼 방지판 배치

시공구간의 도로 선형에 맞추어, 시공부위를 석필등으로 표시한 후, 오염방지를 위하여 도포면 외측노면 및 차로부에 마스킹테이프를 부착한다.
준비된 미끄럼 방지판을 수지 도포면 외측에 가지런히 배치한다.

다. 접착 수지 도포

도포 면적에 따라 접착수지를 스프레이 전용도장기로 도포한다.

라. 노면에 스프레이 전용도장기로 접착수지 도포 후 가사시간(상온에서 10분)내에 미끄럼방지판을 부착.

마. 부착된 미끄럼 방지판을 수동식 다짐롤러(30㎏)를 이용, 노면과 밀착.

바. 노면에 부착된 미끄럼 방지판 위에 스프레이전용도장기를 이용하여 상도 도포 하므로서, 골재의 부착력을 더욱더 강화시킨다.

사. 테이프 제거

수지가 경화되면 테이프 제거가 어려우므로, 경화전 상도도포 직후에 제거한다.

아. 교통개방

수지의 부착상태를 확인하고, 주변정리후 교통을 개방한다.

(제196호) 폐타이어 고무분말을 이용한 습식 고무 개질 아스팔트 제조 기술 및 장비

■ 기술개발자 : (주)유닉스라바
■ 주소 : 충북 제천시 고암동145-12
고암농공단지 (Tel.02-461-5333)
■ 보 호 기 간 : 6년 (1999. 7. 27.)

1. 신기술의 내용

1-1. 신기술의 요약 및 범위

본 신기술은 폐타이어를 분쇄한 #10 이하의 고무분말(CRM)을 200~220℃ 이상 고온의 아스팔트를 pre-mix 방법에 의한 공법으로 혼합기(Blender)에서 혼합하여 고무 분말의 팽창(swelling)에 의한 물리적 반응이 일어날 때까지

숙성기(Nurse Tank)에서 165℃~185℃로 30분~1시간 동안 숙성하여 일반 아스팔트에 비해 고온 점도 증가, 탄성 증가, 저온 물성 개선과 아스팔트 산화 방지의 물리적 특성을 지닌 개질화된 아스팔트를 제조하는 기술과 위 접합제 생산 기술로서 자동화된 국내 최초로 개발, 개량된 장비로 생산하는 제조 기술이다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

1) #10 이하의 폐타이어 고무분말(CRM)을 15%~25%의 비율로 고온의 아스팔트와 혼합하여 165~185℃의 온도에서 1차, 2차 물리적 반응에 의한 개질화된 고무(CRM)아스팔트 습식 제조 기술

2) 제1)항의 개질 아스팔트 제조 장비

1-2 원리 및 시공 방법

공정기호	공 정 명	고무(CRM)아스팔트 제조 과정
△	원재료	아스팔트(AP-5, AP-3, 145°C, 벌크트럭에 저장)
↓ ○	순간 가열	아스팔트를 210±10°C로 가열(혼합기에 내장된 순간가열기 사용)
△	원재료	폐타이어 고무분말(10mesh이하, 500kg 단위 포장)
↓ ○	원재료투입	혼합기에 투입(인양기 사용)
↓ ○	혼합(혼합기)	순간 가열된 아스팔트와 고무분말을 혼합하여 1차 반응 유도
↓ ○	이 송	숙성기로 이송(2차 반응)
↓		

공정기호	공 정 명	고무(CRM)아스팔트 제조 과정
○ ↓ □ ↓ ○	숙 성 검 사 공 급	접착성 생성을 위한 물성변화 유도과정(165℃~185℃유지) 점도 검사(현장 검사) 아스콘 플랜트에 공급(골재 혼합 후 도로포장재로 사용)

기존의 일반 아스팔트와 고무(CRM)아스팔트의 물성 비교

시 험 항 목	단위	AP-3	신기술	개 선 점
침입도(25℃)	mm	82	49	감온성 개선
침입도(4℃)	mm	13	27	저온 물성 개선
박막가열후 침입도(25℃)	mm	54	42	노화(산화)저항성 증대
신도시험(4℃)	cm	6.7	16.7	접착성 및 내마모성 증대
탄성회복력(25℃)	mm	-5	23	탄성적 특성(역학적특성) 증대
콘침입도(25℃)	mm	64	59	고온 감온성 개선
연화점	℃	49.3	65	소성변형 저항성 증가
점도(175℃)	cps	300이하 (60min)	2900 (60min)	변형 또는 유동에 대한 저항성 증대

(제205호) 재생아스콘 표준배합표를 이용한 기층용 재생아스팔트 혼합물의 현장 가열 배합공법

■ 기술개발자 : 한국아스텐엔지니어링
■ 주소 : 서울시 성동구 성수동 2가 315-57
(Tel : 02-462-5723)
■ 보 호 기 간 : 5년(1999. 10. .)

1. 신기술의 내용

1-1 신기술의 요약 및 범위

본 신기술은 재생아스콘 표준배합표를 적용하여 일정량의 유제(RS(C)-4), 재생첨가제 및 일정 규격의 신규골재를 첨가하고, 이동식 아스팔트 재생장비를 이용하여 재생아스팔트 혼합물을 현장가열 생산하는 공법이다. 표준배합표는 기층에 적용되는 현장가열 재생활용 아스팔트 혼합물의 품질을 향상시키고, 규격화시키기 위하여 포장층의 두께, 재령, 아스팔트 함량을 이용하여 현장에서 첨가되는 신규재료의 양을 결정토록 하였다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

현장가열 재생아스콘 표준배합표를 이용하여 도로포장의 굴착 및 보수공사에서 발생되는 폐아스팔트 혼합물을 재생하여 기층용 재생 가열아스팔트 혼합물의 품질을 규격화하는 공법으로 소규모 관로매설을 위한 굴착복구 공사 및 소규모 유지보수 공사에 적용하는 공법이다.

1-2 원리 및 공사 방법

1-2-1 공법의 원리

국내의 전역에서 채취한 폐아스콘을 분석하여 적정한 비율의 유화아스팔트 RS(C)-4, 국내 SK사가 생산하는 재생첨가제, 그리고 신규골재를 20% 미만으로 첨가하여 마샬방법에 의하여 국내의 신규 기층용 아스팔트 혼합물용 KS기준에 맞게 배합설계까지의 과정을 수행하여 폐아스콘의 물성에 따른 표준배합비를 개발하였다.

그리고 현장에서의 적용성을 높이기 위하여 표준배합비를 표로 작성하여 재생혼합물의 생산시 배합표의 일련번호에서 해당사항의 번호를 찾아 각 재료의 혼합비율을 얻을 수 있도록 하였다.

1-2-2 공법의 시공순서 및 특징과 적용성

구 분	재생아스콘 표준배합표를 이용한 기층용 재생아스팔트 혼합물의 현장가열 배합 공법
시공 순서	• 발생된 폐아스콘을 최대 변의 길이 20cm 이하로 파쇄 • 파쇄된 폐아스콘의 물성을 분석함 (공용연도, 표·기층의 두께 및 아스팔트 함량) • 표준배합표에서 회수아스콘의 물성에 해당번호를 찾아 각 재료의 배합비를 구함 • 자동분사장치에 유화아스팔트 및 재생첨가제의 양을 입력 • 로드셀 로우더를 이용하여 회수아스콘 및 신규골재 투입 • 드럼을 회전시키며 자동분사장치로 유화아스팔트 및 재생첨가제 첨가 • 20분간 가열 재생 • 재생된 아스콘을 복구현장 또는 일정장소에 배출
공법 특징	• 이동식 아스팔트 재생기를 사용하여 아스팔트 기층용 재생혼합물을 제조하는 공법으로서, 품질우위를 확보하기 위해 폐아스콘에 유화아스팔트, 신규골재, 재생첨가제를 첨가하여 배합하는 공법임 • 폐아스콘을 80%이상 사용하므로 재생활용율이 높고 경제성이 뛰어남 • 표준배합표에 폐아스콘의 물성을 대입하여 즉시 재생기에 투입되는 각재료의 배합비를 구하여 재생아스콘을 생산함
시공성 및 적용성	• 신속한 복구공사시행이 가능하므로 안전사고 및 민원을 미연에 방지 • 현장에서 재생아스콘 생산이 가능하므로 계절에 관계없이 사용가능 • 상온에서 유동성 있는 유화아스팔트와 재생첨가제의 사용으로, 추가되는 아스팔트를 예열할 필요가 없으므로 현장적용성이 뛰어남. • 추가되는 신규골재가 1종류의 최대골재치수 40mm 이하의 굵은골재이므로 공사적용이 편리함. • 공사적용의 편리를 위해 재생혼합물을 제조하기 위한 복잡한 배합설계 과정을 단일화시킴.

(제206호) 아스팔트 개질첨가제(DAMA)를 이용한 다공성아스팔트 포장기술

■ 기술개발자 : 다린개발(주),
(주)용마엔지니어링
■ 주소 : 서울시 강서구 방화2동 621-24
(Tel 02-665-6492)
경기도 성남시 분당구 서현동
276-2 (Tel 0342-790-6600)
■ 보호 기간 : 5년(1999. 10. 1)

1. 신기술의 내용

1-1 신기술의 요약 및 범위

본 기술은 아스팔트 혼합물의 결합력을 향상시키는 아스팔트 개질첨가제를 개발함으로써 기존의 다공성 아스팔트 혼합물이 결합력의 부족으로 차도에는 적용이 어려웠던 문제점을 해결하여 차도포장에도 적용이 가능케 하였다. 또한, 도로의 내구성 측면에서 PMA(Polymer Modified Asphalt)의 기술을 적용하여 소성변형을 방지할 수 있도록 하였으며, 폐타이어 고무분물을 사용함으로써 저온시 도로파손을 방지함은 물론이고 재생자원의 효율적 활용으로 경제성과 환경보호의 역할도 함께 할 수 있게 되었다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다.

1) 30Mesh이상의 청결 건조된 폐타이어 고무분말(CRM)과 140℃ 이상에서 용융되는 열가소성 석유수지분말 등을 사용하여 개발한 아스팔트 혼합물의 결합력을 향상시킬 수 있는 아스팔트 개질첨가제 제조기술
2) 제1)항의 아스팔트 개질첨가제를 아스팔트 믹싱플랜트에서 아스팔트 혼합물 생산시 믹서내에 직접 투입하는 건식공법(Dry-Type)에 의한 고결합력을 갖는 다공성 아스팔트 혼합물의 생산기술
3) 제2)항의 아스팔트 혼합물을 이용한 다공성 아스팔트 포장 시공기술

1-2 원리 및 시공방법

1) 아스팔트 혼합물 개질첨가재 제조기술

폐타이어 고무분말(CRM : Crumb Rubber Modifier)과 열가소성 수지분말 등의 혼합분말을 정확히 계량, 100℃이상에서 녹는 비닐봉투에 담아 용도에 따라 아스팔트 혼합물 생산시 믹서내에 직접투입 사용이 가능하도록 5㎏~15㎏단위로 포장된 아스팔트 혼합물 개질첨가의 제조기술

2) 다공성 아스팔트 혼합물

골재 입도가 최대 13mm일 때, 체 통과량 기준으로 13mm가 95~100%, 9.5mm가 62~81%, 4.75mm가 10~31%, 2.36mm가 10~21%, 0.075mm가 2~7%이고, 골재입도가 최대 19mm일 때, 19mm가 95~100%, 13.2mm가 5

3～78%, 9.5mm가 35～62%, 4.75mm가 10～31%, 2.36mm가 10～21%, 0.075mm가 2～7%의 입도 구성비를 갖는 골재와, 전체 혼합물 중량의 4.5～5.5%인 AP-3 혹은 AP-5의 아스팔트에 폐타이어 고무분말을 30메쉬 이상인 것으로 아스팔트량의 10～20%와 용융점 140℃이상인 열가소성 수지분말을 아스팔트 중량의 10～20%를 혼합하여 구성되는 다공성포장용 아스팔트 혼합물을 특징으로 한다.

3) 다공성 아스팔트 혼합물의 생산방법

2)항의 다공성 아스팔트혼합물은 기존의 아스팔트혼합물 생산 설비에 의해 (1)항의 아스팔트혼합물 개질첨가재를 사용하여 생산되며, 이때 생산되는 아스팔트혼합물은 175℃～185℃의 고온에서 한 뱃치당 55초～70초의 혼합시간을 가진다. (표 1.5, 표 1.6 및 그림 1.7, 그림 1.8 시험결과 참조) 이때, 아스팔트혼합물 개질첨가재는 아스팔트 분사후 즉시 믹서내에 직접투입하며 첨가재가 투입한후 약15초이상 혼합이 이루어져야 한다.

이는 건식방법(Plant-Mix Type)에 의해 생산하는 다공성 포장용 아스팔트혼합물에 첨가하는 폐타이어 고무분말과 열가소성 수지분말로 이루어진 아스팔트 개질첨가재가 높은 온도에서 신속하고도 균질하게 혼합이 이루어질수록 일반 아스팔트 혼합물에 비해 혼합온도 및 혼합시간을 상향관리 하는 것으로 이러한 생산방법을 특징으로 한다.

4) 다공성 아스팔트포장 시공방법

4.5%～5.5%의 순수 도로용 아스팔트, 아스팔트량의 10～20%의 폐타이어 고무분말, 아스팔트량의 10～20%의 석유수지 분말을 혼합한 혼합물과 나머지%의 골재를 아스팔트 믹싱 프랜트에서 혼합하는 제1공정 ; 상기 제1공정으로 혼합된 혼합물을 약1시간내 운반거리인 40km 정도의 현장으로 이송하는 제2공정 ; 상기 제2공정으로 이송된 혼합물을 방수층 위에 포설하는 제3공정 ; 상기 제3공정으로 포설된 혼합물을 3차의 다짐을 행하는 제4공정으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 다공성 아스팔트 혼합물의 생산 및 시공방법으로서 특히 다짐은 가능한 높은 온도에서 1차로 비교적 가벼운 매커덤 로울러로 죠인트부터 행하며, 2차로 110℃ 이상에서 고무타이어 로울러로 1～2회 행하고, 텐덤 로울러로 진동없이 90℃ 이상에서 3차로 행하는 것을 특징으로 하는 다공성 아스팔트 포장의 시공방법이다.

색 인

(ㄱ)

가열 아스팔트 707-5
간이포장 708-1
감소 노상 강도법 702-21
개립도 아스팔트 콘크리트 701-3
개질 아스팔트 709-3
경제성 분석 702-8
고무혼입 아스팔트 707-5
고속도로 포장 관리체계 705-19
공용기간 702-11
공용성 702-11
교통하중 705-2
교면포장 707-1, 707-5
교통량 702-13
구스 아스팔트 701-3, 707-5
709-17
구조물 상부 포장 707-14
국도 PMS 705-16
기층 703-2
길어깨 포장 703-10, 704-19
길소나이트 709-6

(ㄴ)

노상 703-4, 704-5
노상동결 관입 허용법 702-21
노상반력계수(K) 702-34
노상지지력계수(SSV) 702-44
농어촌 도로 포장 708-14
회복탄성계수(M_R) 702-33
내구성 702-7

(ㄷ)

다웰바 701-4, 704-23
단지내 포장 707-18
덧씌우기 705-2
도로 701-1
도로기능 702-31
도로 이용자 비용 702-9
도로 포장 701-1
동결깊이 701-3, 702-19
동결지수 701-3, 702-18
동결지수도 702-23
동상방지층 703-3
등가단축하중 702-13
등가단축하중계수(ESALF) 702-16, 702-17
등치환산계수 707-20

(ㄹ)

라텍스 콘크리트(LMC) 707-5, 709-16
레벨링층 707-3
린(Lean)콘크리트 704-6

(ㅁ)

마모층 707-2
마찰계수 704-16
무근 콘크리트 포장 704-1
밀입도 아스팔트 콘크리트 701-3

(ㅂ)

반사균열 705-3, 705-7
방수재 707-4
방수층 707-3
버스정차대 포장 707-22
배수 705-3
배수계수 702-54
배수성 포장 709-7
보도 포장 708-7
보조기층 703-3, 704-4
복합 K치 704-13
부체도로 포장 708-22
분석기간 702-8
비접착식 콘크리트 705-13

(ㅅ)

사리도 708-18
사전배합(Pre-Mix) 709-5
상대강도계수 702-44, 702-46
702-47, 702-49
702-53
서비스 능력 702-11
서비스 지수 702-12
설계 교통량 702-18
설계 동결지수 702-26, 702-27
설계 CBR 701-3, 702-32
설계 입력 변수 702-10
섬유보강 콘크리트 709-1
세로줄눈 704-28
세미블로운 아스팔트 709-4
소요철근량 704-17
쇄석 매트릭스 아스팔트(SMA) 709-20
수명-주기비용 702-8
수정동결지수 702-19
수축줄눈 704-19
승강장 707-22
시공성 702-7
시공줄눈 701-4, 704-23
시멘트안정처리공법 701-3
신뢰도 702-31
실코우트 701-3

(ㅇ)

아스팔트 덧씌우기 705-4
아스팔트 포장 702-5, 702-7
아스팔트 포장의 종류 703-1
완전방지법 702-21
에폭시수지 포장 707-5
역청안정처리공법 701-3
연결로 구간 704-19
연속 철근콘크리트 포장 704-2
영업소 포장 707-24
유지관리 702-7
유지보수 705-1
유효 노상회복탄성계수 702-36
육안 조사 등급 705-16
윤하중 707-18

입도조정공법 701-4

(ㅈ)

자전거도로 포장 708-12
절성 경계부 포장 707-33
접속부 포장 707-8
접착식 콘크리트 덧씌우기 705-11
접착층 707-3
조립도 아스팔트 콘크리트 701-3
주차장 포장 707-22
중앙분리대 기초 707-34
재생 포장 706-1
줄눈 704-19
지역계수 702-55
지지력 손실 702-35

(ㅊ)

차로분배계수 702-18
처짐량 705-18
철근 규격 및 간격 702-8
최소설계두께 703-8
침투식 공법 701-4

(ㅋ)

켐크리트 709-6
캘리포니아 지지력비(CBR) 702-32
콘크리트 덧씌우기 705-6
콘크리트 블록 포장 708-20
콘크리트 포장 702-6, 702-7
콘크리트 포장의 종류 704-1

(ㅌ)

타이바 701-4, 704-25
707-13
탄성계수 702-55
터널내 포장 707-6
택 코우트 707-3
토사계 포장 708-18
토사도 708-18
토질분류 702-43
투수성 포장 709-13
특수개소 포장 707-1

(ㅍ)

파손유형 705-7
팽창줄눈 704-22
평판재하시험 708-16
폐아스팔트 706-6
폐콘크리트 706-8
포장상태지수 705-19
포장설계도표 703-9
포장층의 역할 702-5
포장평가 705-3
포장 형식 선정 702-1
표면 재생 공법 706-1
표면처리층 707-3
표준편차 702-31
표층 703-2
품질 등급 705-16
플랜트 재생공법 706-3

(ㅎ)

하중전달계수	702-54
확장구간 포장	707-28
환경	702-18
허용응력	704-11
현장배합(Plant-Mix)	709-5
현장 재생공법	706-4
해석기간	702-11
회복탄성계수	701-3
횡단구조물	707-14
휨강도	702-54

제 8 편 안 전 시 설

목 차

801 총 론

801.1 안전시설의 정의 ····· 801-1
801.2 안전시설의 종류 ····· 801-1
801.3 안전시설의 기능 ····· 801-3
801.4 설계시 고려사항 ····· 801-4
801.5 용어의 정의 ····· 801-8

802 교통관리 안전시설

802.1 교통안전표지 ····· 802.1-1
1.1 개요 ····· 802.1-1
1.2 설계기준 ····· 802.1-3
802.2 도로표지 ····· 802.2-1
1.1 개요 ····· 802.2-1
1.2 설계기준 ····· 802.2-2
1.3 종합적 설계 ····· 802.2-12
802.3 노면표시 ····· 802.3-1
1.1 개요 ····· 802.3-1
1.2 설계기준 ····· 802.3-2
1.3 종합적 설계 ····· 802.3-25
802.4 신호기 ····· 802.4-1
1.1 개요 ····· 802.4-1
1.2 설계기준 ····· 802.4-1
802.5 첨단교통운영시설 ····· 802.5-1
1.1 개요 ····· 802.5-1
1.2 설계기준 ····· 802.5-2

803 방호 안전시설

803.1 방호울타리 ····· 803.1-1
1.1 개요 ····· 803.1-1
1.2 설계기준 ····· 803.1-5

1.3 종합적 설계 ····· 803.1-20
803.2 충격흡수시설 ····· 803.2-1
1.1 개요 ····· 803.2-1
1.2 설계기준 ····· 803.2-4
1.3 종합적 설계 ····· 803.2-13
803.3 긴급제동시설 ····· 803.3-1
1.1 개요 ····· 803.3-1
1.2 설계기준 ····· 803.3-3
803.4 교량용 방호울타리 ····· 803.4-1
1.1 개요 ····· 803.4-1
1.2 설계기준 ····· 803.4-2
1.3 종합적 설계 ····· 803.4-14

804 시인성 증진 안전시설

804.1 시선유도시설 ····· 804.1-1
1.1 개요 ····· 804.1-1
1.2 설계기준 ····· 804.1-2
1.3 종합적 설계 ····· 804.1-26
804.2 조명시설 ····· 804.2-1
1.1 개요 ····· 804.2-1
1.2 설계기준 ····· 804.2-2
804.3 도로반사경 ····· 804.3-1
1.1 개요 ····· 804.3-1
1.2 설계기준 ····· 804.3-2

805 기타 안전시설

805.1 미끄럼방지시설 ····· 805.1-1
1.1 개요 ····· 805.1-1
1.2 설계기준 ····· 805.1-2
805.2 과속방지시설 ····· 805.2-1
1.1 개요 ····· 805.2-1
1.2 설계기준 ····· 805.2-2
805.3 노면요철 포장 ····· 805.3-1
1.1 개요 ····· 805.3-1

1.2 설계기준 ····· 805.3-3
1.3 종합적 설계 ····· 805.3-6
805.4 낙석방지시설 ····· 805.4-1
1.1 개요 ····· 805.4-1
1.2 설계기준 ····· 805.4-2

참고문헌 ····· 806-1
부록 ····· 807-1
색인 ····· 808-1

표 목 차

802 교통관리 안전시설

802.1 교통안전표지

<표 802.1.1> 교통안전표지의 분류 ····· 802.1-2
<표 802.1.2> 자연건조형 알키드수지 에나멜색 기준 ····· 802.1-3
<표 802.1.3> 표지판의 확대 및 축소비율 ····· 802.1-3
<표 802.1.4> 고휘도급 반사쉬트의 반사강도 ····· 802.1-7
<표 802.1.5> 초고휘도 반사쉬트의 반사강도 ····· 802.1-7
<표 802.1.6> 안전표지판의 설치높이 ····· 802.1-8
<표 802.1.7> 표지 종류에 따른 설치각도 및 예 ····· 802.1-12
<표 802.1.8> 설치간격 기준 ····· 802.1-13

802.2 도로표지

<표 802.2.1> 표지의 종류별 설치장소 ····· 802.2-3
<표 802.2.2> 반사지의 색도 범위 ····· 802.2-7
<표 802.2.3> 고휘도급 반사지의 반사계수 ····· 802.2-8
<표 802.2.4> 초고휘도 반사지의 반사계수 ····· 802.2-8

802.3 노면표시

<표 802.3.1> 노면표시 재귀반사명시도 ····· 802.3-2
<표 802.3.2> 테이프식 노면표시 반사성능 ····· 802.3-3
<표 802.3.3> 색채기준 ····· 802.3-4
<표 802.3.4> 선의 종류 및 규격 ····· 802.3-5
<표 802.3.5> 안전표지와 노면표시와의 관계 ····· 802.3-24

802.4 신호기

<표 802.4.1> 정지선까지의 최소 가시거리 ····· 802.4-1
<표 802.4.2> 최소 차량 교통량 ····· 802.4-3
<표 802.4.3> 최소 차량 교통량 및 보행자 교통량 ····· 802.4-3
<표 802.4.4> 비보호좌회전 기준표 ····· 802.4-3
<표 802.4.5> 신호등의 배열순서 ····· 802.4-5
<표 802.4.6> 신호등의 등화 ····· 802.4-5
<표 802.4.7> 교차로의 크기에 따른 신호등면 수 ····· 802.4-7

802.5 첨단교통운영시설

<표 802.5.1> 도로전광표지의 설치위치 ····· 802.5-5
<표 802.5.2> 메시지 표출 우선 순위 ····· 802.5-9
<표 802.5.3> 표출 메시지 설계 예 ····· 802.5-11
<표 802.5.4> 메시지 운영방법 설정시 고려해야 할 사항 ····· 802.5-12
<표 802.5.5> 총 정보량별 최소문자높이 ····· 802.5-13
<표 802.5.6> 문자변수와 메시지 변수의 적정 값 ····· 802.5-15
<표 802.5.7> 도로전광표지용 LED의 색도 좌표 기준 ····· 802.5-17
<표 802.5.8> 설치구조 형식의 기본 기준 ····· 802.5-19
<표 802.5.9> 도로전광표지의 각 구성요소별 설치기준 및 유의사항 ····· 802.5-23

803 방호 안전시설

803.1 방호울타리

<표 803.1.1> 방호울타리의 각 형식별 형상 ····· 803.1-2
<표 803.1.2> 각 형식별 방호울타리의 특징 ····· 803.1-3
<표 803.1.3> 방호울타리의 형식과 용도의 일반적인 구분 ····· 803.1-3
<표 803.1.4> 도로의 종류에 따라 적용하는 종별 구분 및 설계조건 ····· 803.1-4
<표 803.1.5> 가요성 방호울타리의 최대 변형거리 ····· 803.1-9
<표 803.1.6> 안전 거리 ····· 803.1-12
<표 803.1.7> 현광방지시설 설치구간 ····· 803.1-18

803.2 충격흡수시설

<표 803.2.1> 충격흡수시설의 용도에 따른 구분 ····· 803.2-3
<표 803.2.2> 충돌 설계속도에 따른 시설 설치 여유 공간 ····· 803.2-5
<표 803.2.3> 충격흡수시설의 제품별 특성 ····· 803.2-10
<표 803.2.4> 설치장소별 충격흡수시설의 적용 ····· 803.2-12

803.3 긴급제동시설

<표 803.3.1> 포장 재료별 등가구동저항 ····· 803.3-5

803.4 교량용 방호울타리

<표 803.4.1> 도로의 등급과 설치구간에 따른 교량용 차량방호울타리의 종별 및 설계강도 ····· 803.4-4
<표 803.4.2> 충돌 조건 ····· 803.4-6
<표 803.4.3> 차량이 받는 가속도 ····· 803.4-6

804 시인성 증진 안전시설

804.1 시선유도시설

<표 804.1.1> 지주의 제원 ····· 804.1-3
<표 804.1.2> 반사체의 색도좌표범위 ····· 804.1-4
<표 804.1.3> 반사체의 반사성능 ····· 804.1-6
<표 804.1.4> 관측각 및 입사각 ····· 804.1-6
<표 804.1.5> 곡선반경별 표준 설치간격 ····· 804.1-8
<표 804.1.6> 고속도로에서 클로소이드로 연결된 구간에서의 설치간격 및 설치갯수 ····· 804.1-10
<표 804.1.7> 일반도로에서 클로소이드로 연결된 구간에서의 설치간격 및 설치갯수 ····· 804.1-11
<표 804.1.8> 곡선부의 최소곡선반경과 갈매기표지 적용구간의 곡선반경 ····· 804.1-17
<표 804.1.9> 갈매기표지 반사체의 색도좌표의 범위 ····· 804.1-19
<표 804.1.10> 갈매기표지 반사체의 반사성능 ····· 804.1-21
<표 804.1.11> 곡선반경에 따른 갈매기표지의 표준 설치간격 ····· 804.1-22
<표 804.1.12> 표지병 반사체의 색도좌표의 범위 ····· 804.1-24
<표 804.1.13> 반사체의 반사성능 ····· 804.1-25

804.2 조명시설

<표 804.2.1> 운전자에 대한 조명기준 ····· 804.2-2
<표 804.2.2> 보행자에 대한 조명기준 ····· 804.2-2
<표 804.2.3> 도로조명의 설치장소 ····· 804.2-3
<표 804.2.4> 눈부심 조절마크와 감각척도 ····· 804.2-4
<표 804.2.5> 조명기구의 종류 ····· 804.2-7
<표 804.2.6> 배열과 조명기구 종류에 대한 설치높이와 설치간격 ····· 804.2-10
<표 804.2.7> 차도폭에 대한 조명기구의 설치높이와 최대간격 ····· 804.2-10
<표 804.2.8> 곡선부에서의 조명기구 설치간격 ····· 804.2-11
<표 804.2.9> 등주별 기초 규격 사례 ····· 804.2-14
<표 804.2.10> 인터체인지의 조명기준 ····· 804.2-23
<표 804.2.11> 분기점의 조명기준 ····· 804.2-23

804.3 도로반사경

<표 804.3.1> 경면의 두께와 표준 ····· 804.3-2
<표 804.3.2> 지주의 제원 ····· 804.3-3
<표 804.3.3> 기초의 표준 근입 깊이 ····· 804.3-3
<표 804.3.4> 차량의 속도와 시거의 관계 ····· 804.3-4
<표 804.3.5> 곡선반경에 따른 차량의 속도 ····· 804.3-4
<표 804.3.6> 도로반사경의 형식 ····· 804.3-5

<표 804.3.7> 경면의 크기와 곡률반경 ····· 804.3-6
<표 804.3.8> 경면의 곡률반경과 시거 ····· 804.3-6
<표 804.3.9> 경면의 크기 및 곡률반경과 시계의 기준 ····· 804.3-7
<표 804.3.10> 경면의 크기 및 곡률반경의 선정 ····· 804.3-7

805 기타 안전시설

805.1 미끄럼방지시설

<표 805.1.1> 최소 마찰계수 기준표 ····· 805.1-3
<표 805.1.2> 노면 습윤시 사고 건수를 고려한 위험도 결정 기준 ····· 805.1-4
<표 805.1.3> 포장체의 종류에 따라 추천하는 미끄럼방지포장의 형식 ····· 805.1-5
<표 805.1.4> 전면처리와 이격식의 특징 및 주요 공법 ····· 805.1-6
<표 805.1.5> 수지계 미끄럼방지포장의 골재 기준 ····· 805.1-8
<표 805.1.6> 수지계 결합재의 품질 기준 ····· 805.1-8
<표 805.1.7> 교차로 또는 횡단보도 접근부의 미끄럼방지포장 최소길이 ····· 805.1-9

805.2 과속방지시설

<표 805.2.1> 색상 기준 ····· 805.2-3
<표 805.2.2> 도료의 반사 성능 기준 ····· 805.2-4

그 림 목 차

802 교통관리 안전시설

802.1 교통안전표지

<그림 802.1.1> 표지의 종류에 따른 표지판의 형태 ····· 802.1-4
<그림 802.1.2> 표지판에 사용하는 문자의 형 ····· 802.1-5
<그림 802.1.3> 도로의 상황에 따른 정주식 표지판의 설치위치 ····· 802.1-9
<그림 802.1.4> 각 형식별 설치높이 ····· 802.1-10
<그림 802.1.5> 설치간격이 시작점 ····· 802.1-13
<그림 802.1.6> 연장할 경우의 설치 예 ····· 802.1-14
<그림 802.1.7> 남는 거리의 크기에 따른 설치간격 ····· 802.1-14
<그림 802.1.8> 표지에 대한 운전자의 행동 도표 ····· 802.1-15

802.2 도로표지

<그림 802.2.1> 도로표지의 설치위치 및 설치높이 ····· 802.2-5
<그림 802.2.2> 반사지의 종류별 구조 ····· 802.2-7
<그림 802.2.3> 입사각과 관측각 ····· 802.2-9

802.3 노면표시

<그림 802.3.1> 입사각과 관찰각 ····· 802.3-3
<그림 802.3.2> 선의 종류 ····· 802.3-5
<그림 802.3.3> 중앙선(601) 표시 설치 예 ····· 802.3-6
<그림 802.3.4> 유턴구역선(601-1) 표시 설치 예 ····· 802.3-7
<그림 802.3.5> 차선(602) 표시 설치 예 ····· 802.3-7
<그림 802.3.6> 버스전용차로(602-1) 표시 설치 예 ····· 802.3-8
<그림 802.3.7> 길가장자리 구역선(603) 표시 설치 예 ····· 802.3-8
<그림 802.3.8> 진로변경 제한선(604, 604-1, 604-2) 표시 설치 예 ····· 802.3-9
<그림 802.3.9> 우회전 금지(606) 표시 설치 예 ····· 802.3-10
<그림 802.3.10> 직진금지(607) 표시 설치 예 ····· 802.3-10
<그림 802.3.11> 좌우회전 금지(608) 표시 설치 예 ····· 802.3-11
<그림 802.3.12> 유턴금지(609) 표시 설치 예 ····· 802.3-11
<그림 802.3.13> 속도제한(612) 표시 설치 예 ····· 802.3-11
<그림 802.3.14> 서행(613) 표시 설치 예 ····· 802.3-12
<그림 802.3.15> 일시정지(614) 표시 설치 예 ····· 802.3-12
<그림 802.3.16> 양보(615) 표시 설치 예 ····· 802.3-12

<그림 802.3.17> 주차금지(610) 표시 설치 예 ····· 802.3-13
<그림 802.3.18> 정차·주차금지(611) 표시 설치 예 ····· 802.3-13
<그림 802.3.19> 노상장애물(603) 표시 설치 예 ····· 802.3-14
<그림 802.3.20> 평행주차(701) 표시 설치 예 ····· 802.3-14
<그림 802.3.21> 직각주차(701-1) 표시 설치 예 ····· 802.3-14
<그림 802.3.22> 경사주차(701-2) 표시 설치 예 ····· 802.3-15
<그림 802.3.23> 유도선(703) 표시 설치 예 ····· 802.3-15
<그림 802.3.24> 유도(704) 표시 설치 예 ····· 802.3-15
<그림 802.3.25> 유도(704-1) 표시 설치 예 ····· 802.3-16
<그림 802.3.26> 유도(704-2) 표시 설치 예 ····· 802.3-16
<그림 802.3.27> 횡단보도 예고(705) 표시 설치 예 ····· 802.3-16
<그림 802.3.28> 횡단보도(708) 표시 설치 예 ····· 802.3-17
<그림 802.3.29> 도류화된 교차로 횡단보도 표시 설치 예 ····· 802.3-17
<그림 802.3.30> 횡단보도(708-1) 표시 설치 예 ····· 802.3-18
<그림 802.3.31> 자전거 횡단도(709) 표시 설치 예 ····· 802.3-18
<그림 802.3.32> 자전거 전용도로(709-1) 표시 설치 예 ····· 802.3-18
<그림 802.3.33> 방향 및 방면지시 표시의 배치 ····· 802.3-19
<그림 802.3.34> 진행방향(711, 712, 712-1, 713, 713-1) 표시 설치 예 ····· 802.3-19
<그림 802.3.35> 비보호 좌회전(713-2) 표시 설치 예 ····· 802.3-20
<그림 802.3.36> 좌회전 전용차로 표시 설치 예 ····· 802.3-20
<그림 802.3.37> 정차금지 지대(702) 표시 설치 예 ····· 802.3-21
<그림 802.3.38> 정지선(706) 표시 설치 예 ····· 802.3-21
<그림 802.3.39> 안전지대(707) 표시 설치 예 ····· 802.3-22
<그림 802.3.40> 어린이 보호구역(710) 표시 설치 예 ····· 802.3-22

802.4 신호기

<그림 802.4.1> 비보호 좌회전 기준도 ····· 802.4-4

802.5 첨단교통운영시설

<그림 802.5.1> LED Cluster 방식(모듈형 매트릭스 형태) ····· 802.5-2
<그림 802.5.2> 도로정전광표지의 설계 및 설치 절차 ····· 802.5-3
<그림 802.5.3> 지방부 고속도로 본선상의 도로전광표지 설치지점 예시 ····· 802.5-5
<그림 802.5.4> 일반국도에서의 도로전광표지 설치지점 예시 ····· 802.5-6
<그림 802.5.5> 설치위치에 따른 공사구간 메시지 선정 예 ····· 802.5-10
<그림 802.5.6> 인지거리와 최소판독거리의 개념도 ····· 802.5-14
<그림 802.5.7> 도로전광표지용 LED의 색도좌표 ····· 802.5-17
<그림 802.5.8> LED Cluster 방식의 표시면 형식 ····· 802.5-18

<그림 802.5.9> 설치구조 형식에 따른 도로전광표지의 설치형식 ····· 802.5-19
<그림 802.5.10> 단주식 ····· 802.5-21
<그림 802.5.11> 직립식 ····· 802.5-21
<그림 802.5.12> 도로전광표지 구조 ····· 802.5-22
<그림 802.5.13> 주행차량 자동인식 시스템의 기본 구성도 ····· 802.5-25
<그림 802.5.14> 과적차량단속 시스템의 개요 ····· 802.5-28
<그림 802.5.15> Barcelona시의 차량접근관리 시스템 개요 ····· 802.5-29
<그림 802.5.16> 캠브리지시의 버스 우선권 제공 시스템 개요 ····· 802.5-30

803 방호 안전시설

803.1 방호울타리

<그림 803.1.1> 성토부의 비탈면 경사 ····· 803.1-5
<그림 803.1.2> 구조물이 있는 경우 비탈면 경사 ····· 803.1-5
<그림 803.1.3> 비탈 경사와 노측 높이와의 관계 ····· 803.1-5
<그림 803.1.4> 차도를 이탈한 차량이 철도 또는 다른 도로에 들어갈 위험이 있는 경우 803.1-6
<그림 803.1.5> 차도면이 다른 차도면과 높이가 같거나(왼쪽) 낮은 경우(오른쪽) ····· 803.1-6
<그림 803.1.6> 분리대의 경사가 1:4보다 급하고 1:2보다 완만할 경우의 설치 예 ····· 803.1-14
<그림 803.1.7> 분리대의 경사가 1:2보다 급할 경우의 설치 예 ····· 803.1-14
<그림 803.1.8> 대향 차량에 대한 방호울타리의 접근부 설계 ····· 803.1-16
<그림 803.1.9> 교량 난간과 방호울타리 보의 연결 ····· 803.1-17
<그림 803.1.10> 현광방지시설의 각 형식별 형상 ····· 803.1-19

803.2 충격흡수시설

<그림 803.2.1> 복원형 충격흡수시설의 수행 예 ····· 803.2-2
<그림 803.2.2> 비복원형 충격흡수시설의 수행 예 ····· 803.2-2
<그림 803.2.3> 연결로 출구 분기점에서의 시설 설치 여유 공간 ····· 803.2-6
<그림 803.2.4> 충격흡수시설의 설치방향 ····· 803.2-7
<그림 803.2.5> 충격흡수시설의 선정과정 ····· 803.2-8
<그림 803.2.6> 폭이 좁은 곳에서의 방호울타리 설치 예 ····· 803.2-9

803.3 긴급제동시설

<그림 803.3.1> 긴급제동시설의 유형 ····· 803.3-2
<그림 803.3.2> 긴급제동시설의 설치 예(미국) ····· 803.3-4
<그림 803.3.3> 긴급제동시설의 설치 예(일본) ····· 803.3-4

803.4 교량용 방호울타리

<그림 803.4.1> 난간의 고정 ····· 803.4-3

<그림 803.4.2> 난간의 부재간격 ····· 803.4-3
<그림 803.4.3> 충격도 산정 ····· 803.4-5
<그림 803.4.4> 가로보의 연결 구조 ····· 803.4-8
<그림 803.4.5> 지주와 가로보의 접합 ····· 803.4-8
<그림 803.4.6> 매립 방식의 힘의 균형 상태 ····· 803.4-9
<그림 803.4.7> 앵커볼트 방식의 힘의 균형 상태 ····· 803.4-10
<그림 803.4.8> 난간 겸용 차량 방호울타리 ····· 803.4-11
<그림 803.4.9> 난간 겸용 차량 방호울타리의 높이 결정 ····· 803.4-13

804 시인성 증진 안전시설

804.1 시선유도시설

<그림 804.1.1> 시선유도표지의 구성 및 형상 ····· 804.1-3
<그림 804.1.2> 반사체의 색도좌표범위 ····· 804.1-4
<그림 804.1.3> 위치별로 설치되는 시선유도표지의 설치 예 ····· 804.1-7
<그림 804.1.4> 직선과 원곡선이 연결된 구간에서의 설치간격 ····· 804.1-9
<그림 804.1.5> 곡선부 바깥쪽과 안쪽 모두에 설치할 경우의 설치간격 ····· 804.1-12
<그림 804.1.6> 도로가장자리에 장애물이 위치한 경우의 시선유도표지 설치 예 ····· 804.1-13
<그림 804.1.7> 고속도로의 클로소이드 구간에 대한 시선유도표지의 설치 예 ····· 804.1-14
<그림 804.1.8> 일반도로의 클로소이드 구간에 대한 시선유도표지의 설치 예 ····· 804.1-15
<그림 804.1.9> 갈매기표지의 구성 요소 ····· 804.1-18
<그림 804.1.10> 갈매기표지의 크기 ····· 804.1-19
<그림 804.1.11> 갈매기표지 반사체의 색도좌표의 범위 ····· 804.1-20
<그림 804.1.12> 표지병의 구성 요소 ····· 804.1-23
<그림 804.1.13> 표지병 반사체의 색도좌표의 범위 ····· 804.1-24

804.2 조명시설

<그림 804.2.1> 등주 조명방식의 조명기구 부착높이, 오버행 및 경사각도 ····· 804.2-8
<그림 804.2.2> 조명기구의 배열 ····· 804.2-9
<그림 804.2.3> 곡선부에서의 마주보기 배열(잘못된 사례) ····· 804.2-11
<그림 804.2.4> 곡선부에서의 한쪽 2열 배열 ····· 804.2-11
<그림 804.2.5> 등주의 설치위치 예 ····· 804.2-12
<그림 804.2.6> T자로에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-17
<그림 804.2.7> 도로폭이 비슷한 십자형 교차로에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-18
<그림 804.2.8> 중앙분리대가 있는 십자형 교차로에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-19
<그림 804.2.9> 횡단보도가 있는 십자형 교차로에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-20

<그림 804.2.10> 우로 분기하는 지점에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-21
<그림 804.2.11> 좌로 분기하는 지점에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-22
<그림 804.2.12> 횡단보도 부근에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-23
<그림 804.2.13> 건널목에서의 조명기구 배치 ····· 804.2-25

804.3 도로반사경

<그림 804.3.1> 도로반사경의 구조 ····· 804.3-2
<그림 804.3.2> 도로반사경 설치위치의 예 ····· 804.3-8
<그림 804.3.3> 도로반사경 설치의 예 ····· 804.3-9

805 기타 안전시설

805.1 미끄럼방지시설

<그림 805.1.1> 이격식 미끄럼방지포장의 설치 형상(1-3, 3-6 방식) ····· 805.1-6
<그림 805.1.2> 교차로 또는 횡단보도 접근부의 미끄럼방지포장의 설치 ····· 805.1-10
<그림 805.1.3> 내리막 경사에서의 미끄럼방지포장 최소 설치길이 ····· 805.1-11
<그림 805.1.4> 완화구간이 있는 곡선구간에서의 미끄럼방지포장 설치 ····· 805.1-12
<그림 805.1.5> 원곡선과 직선구간이 만나는 구간에서의 미끄럼방지포장 설치 ····· 805.1-12

805.2 과속방지시설

<그림 805.2.1> 일반적인 과속방지턱의 형상 및 제원 ····· 805.2-2
<그림 805.2.2> 과속방지턱의 표면 도색 ····· 805.2-3
<그림 805.2.3> 과속방지턱의 효과 범위 ····· 805.2-6
<그림 805.2.4> 연속형 과속방지턱의 설치간격 분석 ····· 805.2-6
<그림 805.2.5> 교통안전표지와 노면표시 ····· 805.2-7
<그림 805.2.6> 과속방지턱의 올바르지 못한 설치 예 ····· 805.2-8
<그림 805.2.7> 과속방지턱의 올바른 설치 예 ····· 805.2-8

805.3 노면요철 포장

<그림 805.3.1> 노면요철 포장의 종류 ····· 805.3-2
<그림 805.3.2> 노면요철 포장의 종류 ····· 805.3-3
<그림 805.3.3> 노면요철 포장의 제원 ····· 805.3-4
<그림 805.3.4> 노면요철 포장의 설치위치(길어깨에 설치하는 경우) ····· 805.3-5

805.4 낙석방지시설

<그림 805.4.1> 낙석방지망의 종류 ····· 805.4-2
<그림 805.4.2> 낙석방지망의 설계순서 ····· 805.4-3
<그림 805.4.3> 낙석방지울타리의 종류 ····· 805.4-5
<그림 805.4.4> 낙석방지울타리의 설계순서 ····· 805.4-6

801
총 론

801.1 안전시설의 정의

안전시설이란 도로 교통의 안전하고 원활한 소통을 확보하며, 도로의 미비한 구조상태를 보완하여 도로이용자의 안전을 도모하기 위해 설치하는 시설물이다.

현행 도로교통 관련법규 중 안전시설에 대해 언급하고 있는 관련 법규와 내용은 다음과 같다.

교통안전법 제2조에서는 교통안전시설을 "도로, 철도, 궤도, 항만시설, 어항시설, 수로, 비행장 및 항공보안에 관련되는 시설과 그 시설물에 구축 또는 부착되어 차량, 선박 또는 항공기의 안전운행 또는 운항을 보조하는 공작물"로 정의하고 있다.

도로교통법 제2조에서는 안전시설 전체에 대한 명확한 정의는 규정되어 있지 않으며, 다만 안전시설 중 경찰청이 관리하는 시설물(신호기, 안전표지, 노면표시 등)에 대해서만 각각 정의를 내리고 있고, 경찰청이 발행한 「교통안전시설 실무편람」에서 "교통안전시설"이라 하여 "도로이용자에게 필요한 정보를 사전에 정확하게 전달하고, 또한 통일되고 균일한 행동이 이루어지도록 통제함으로써 교통의 소통을 증진시키고, 도로상의 안전을 보장하는 것이다"라고 정의되어 있다.

도로법 제3조에는 안전시설이라는 용어를 사용하지 않고 이들 시설을 포함하여 도로부속물이라는 용어를 사용하고 있다. 이에 따르면 도로부속물이란 "도로관리상 필요한 시설 또는 공작물"로 정의하고 있다.

도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(건설교통부령 제206호, 1999. 8. 9) 제37조에서는 교통사고의 방지를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 횡단보도육교(지하 횡단보도를 포함한다)·교통안전표지·방호울타리·조명시설·시선유도시설·표지병·도로반사경·충격흡수시설 및 과속방지시설 등의 교통안전시설을 설치하여야 하는 것으로 기술하고 있다. 또한 제38조에서는 교통의 원활한 소통과 안전을 도모하고 교통사고를 방지하기 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 도로안내표지, 긴급연락시설, 도로교통정보안내시설, 과적차량검문소, 교통감시시설 등의 교통관리시설을 설치하는 것으로 기술하고 있다.

801.2 안전시설의 종류

본 편람에서는 안전시설을 시설물 자체가 가지는 본래의 기능에 따라 교통관리 안전시설, 방호 안전시설, 시인성 증진 안전시설, 기타 안전시설의 4가지 그룹으로 나누어 분류하였으며, 각각에 해당하는 안전시설의 종류는 다음과 같다.

2.1 교통관리 안전시설

교통관리 안전시설은 도로 이용자에게 필요한 정보를 제공하고 또 이용자의 행동을 통제함으로써 교통 소통을 증진시키고 도로상의 안전을 보장하는 시설로서, 다음과 같은 시설들을 포함한다.

(1) 교통안전표지
(2) 도로표지
(3) 노면표시
(4) 신호기
(5) 첨단교통운영시설

이들 시설의 관리기관은 현재 이원화 운영되고 있는데, 교통관리 안전시설의 교통안전표지, 노면표시, 신호기는 도로교통법에 따라 경찰청에서, 도로표지는 도로법에 따라 건설교통부 및 지방자치단체(시, 도)에서 관리하고 있다. 첨단교통운영시설은 시설 설치목적에 따라 해당 기관이 설치 및 관리하고 있다.

2.2 방호 안전시설

방호 안전시설은 도로 위를 주행 중인 차량이 균형 상태를 잃어 운전자 스스로 차량을 제어할 수 없는 경우 도로 주변의 위험 요소와 충돌하여 발생할 수 있는 치명적인 사고나 피해를 예방하는 것을 주목적으로 하는 시설로, 다음과 같은 시설들을 포함한다.

(1) 방호울타리
(2) 충격흡수시설
(3) 긴급제동시설
(4) 교량 난간

2.3 시인성 증진 안전시설

시인성 증진 안전시설은 도로의 선형이나 기하구조로 인해 시거가 불량하여 발생할 수 있는 사고 등을 예방하기 위하여 설치하는 시설로서, 운전자에게 도로상황 및 교통상황을 명확하게 파악할 수 있도록 양호한 시각환경을 보호해 줄 뿐만 아니라 전방의 선형이나 기하구조의 변화를 안내해 줌으로써 안전하고 원활한 차량주행을 유도한다.

시인성 증진 안전시설에는 다음과 같은 시설들을 포함한다.

(1) 시선유도시설
(2) 조명시설
(3) 도로반사경

2.4 기타 안전시설

기타 안전시설은 시설물의 기능이 앞에서 기술한 분류에는 포함되지 않지만, 차량 운행 중 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지할 수 있는 기능을 가진 시설물로, 다음과 같은 시설들을 포함한다.

(1) 미끄럼방지시설
(2) 과속방지시설
(3) 노면요철 포장
(4) 낙석방지울타리

801.3 안전시설의 기능

안전시설의 기능은 도로상 및 도로변에 산재해 있는 수많은 위험 요소들로부터 차량을 보호하여 교통사고 발생이나 이로 인한 상해 등을 최대한 줄일 뿐만 아니라 도로를 이용하는 차량이 안전하게 주행하고, 원활한 소통이 이루어지도록 하는 것이다. 각 분류항목별 안전시설의 기능은 다음과 같다.

3.1 교통관리 안전시설

교통관리 안전시설의 기능은 다음과 같다.

(1) 도로이용자에게 각종 필요한 정보를 제공함으로써 교통의 안전과 원활한 소통을 도모
(2) 교통류의 흐름을 분리하여 차량의 상충으로 인한 충돌사고를 방지

3.2 방호 안전시설

방호 안전시설의 기능은 다음과 같다.

(1) 도로변 위험 요소로부터 차량 탑승자의 안전을 확보
(2) 제어를 잃은 차량에 대한 치명적인 사고나 피해를 예방
(3) 차량의 도로이탈 및 충돌 사고를 방지

3.3 시인성 증진 안전시설

시인성 증진 안전시설의 기능은 다음과 같다.

(1) 운전자의 주행 경로를 유도
(2) 시거가 불량한 장소에서 도로의 선형을 인식할 수 있도록 정보를 제공
(3) 도로를 이탈하여 발생하는 차량의 사고를 미연에 방지
(4) 운전자에게 양호한 시각환경을 제공하여 안전하고 원활한 주행을 도모

3.4 기타 안전시설

기타 안전시설의 기능은 다음과 같다.

(1) 자동차의 안전 운행을 확보
(2) 통행 차량의 과속 주행을 방지하기 위해 차량의 속도를 제어
(3) 전방의 위험 상황이나 도로변의 위험물 등과 같은 위험요소들에 대하여 운전자들에게 사전에 경고
(4) 교통 소통에 장애가 되는 요소를 제거하여 교통의 원활한 흐름을 유도

이상과 같이 안전시설들은 시설물 자체가 가지는 본연의 기능이 제각각 조금씩 다르지만, 전체적으로 보면 도로를 이용하는 이용자들의 안전하고 원활한 주행을 도모한다는 점에서는 모두 안전이라는 같은 기능을 한다고 볼 수 있다.

801.4 설계시 고려사항

4.1 일반적 고려사항

일반적으로 안전시설을 설치할 때 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 필요한 안전시설을 가장 적게, 그러나 필요한 만큼은 반드시 설치한다.
(2) 시설물은 통일성이 유지되도록 설치하여 의미전달에서의 오해가 발생하지 않도록 한다.
(3) 주·야간 또는 달리는 차량에서도 시설물을 인지할 수 있도록 양호한 시인성을 확보하여야 한다.
(4) 도로 이용자의 행동특성을 배려하여 설치할 수 있도록 도로 이용자의 관점에서 설치한다.
(5) 각 시설물을 무분별하게 설치하지 않도록 하고 본래의 기능에 부합되도록 적정한 장소에 설치하여야 한다.
(6) 신제품이나 신기술에 대해서는 본 편람 및 관련 지침의 근본 취지 범위내에서 검증과정을 포함한 검토와 의견 수렴을 거쳐 적용할 수 있다.

건설교통부에 신기술 등록된 안전시설의 종류는 부록의 목록을 참고한다.

4.2 종합적 고려사항

4.2.1 각 시설 그룹별 고려사항

(1) 교통관리 안전시설

운전자나 보행자가 과거에 경험한 것을 토대로 유사한 교통통제 상황에서 적절히 반응할 수 있도록 크기, 색상, 형태 등이 일관성있게 설치, 운용되어야 한다.

① 표지를 신설할 때는 기 설치된 표지 및 신호기의 시인성을 방해하지 않도록 설치한다.
② 표지에서 나타내는 내용과 노면표시의 내용이 일치하도록 설치한다.
③ 운전자에게 너무 많은 정보가 동시에 제공되지 않도록 설치해야 하며, 제공되는 정보는 우선순위가 가장 높은 것부터 제공하도록 한다.

(2) 방호 안전시설

방호 안전시설이 제 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 충분한 설치공간이 확보되어야 하며, 도로 및 교통상황이 동일한 구간에서는 연속성이 유지되어야 한다. 또 서로 다른 형식(예를 들면, 방호울타리와 교량 난간)의 시설물들을 함께 설치할 때에는 전이부분의 성능이 약화되지 않도록 설치한다.

(3) 시인성 증진 안전시설

한 지점에 같은 기능을 갖는 여러 가지 시설물을 중복하여 설치하는 것은 예산의 낭비일 뿐만 아니라 효율적이지도 못하기 때문에 기능에 부합하는 시설을 적당한 장소에 필요한 갯수만큼 설치한다.

일정 수준 이상의 도로조명 하에서는 시선유도시설이 효과를 나타내지 못하기 때문에 도로조명이 연속적으로 설치된 곳에는 시선유도시설의 필요성을 검토하여 설치한다.

(4) 기타 안전시설

미끄럼방지시설이나 과속방지시설, 그리고 노면요철 포장(rumble strip)과 같은 시설들은 사고를 방지하기 위한 안전시설이기도 하지만 무분별하게 설치할 경우 오히려 운전자에게 도로 장애물이 되기 때문에 설치장소를 최소로 해야 하며, 장소 선정에 있어 상당한 주의가 필요하다.

각 도로안전시설에 대한 설계시 고려사항과 설계기준의 구체적인 내용은 건설교통부에서 발간한 해당 시설의 설치 및 관리지침을 참고한다.

4.2.2 전체 시설물 설치에 관한 고려사항

일반적으로 도로상에는 다양한 안전시설이 종합적으로 설치되게 된다. 그러므로 각 시설물이 제 기능을 발휘할 수 있도록 시설별 적정 설계를 해야 하며, 각 시설의 개별적 설치로 인하여 시설의 기능이 저하되지 않도록 종합적이고 체계적인 검토를 한다.

이러한 고려사항이 특히 요구되는 구간은 교차로(평면 또는 입체), 철도교차로, 교량, 터널, 그리고 공사구간 등이다. 각 구간별 안전시설의 설치에 관한 종합적인 고려사항은 다음과 같다.

(1) 평면교차로

평면교차로는 교차로내에서 교차지점의 상충, 합류 및 분류 지점의 상충, 보행자와의 상충이 일어나므로 이들을 효율적으로 안전하게 처리할 수 있도록 구조가 설계되어져야 하고 관련 안전시설이 설치되어야 한다.

평면교차로를 설계할 때에는 종단경사, 시거, 교차각의 합리적인 처리 등 기하구조적인 관점이 주요사항이 되지만, 실제로 평면교차로는 상충을 효과적으로 처리하는 것이 핵심이 되므로 교차로를 여러 부분으로 나누어 각 부분에 대해 상세히 고려하는 것이 필요하다.

평면교차로의 처리를 가장 효율적으로 할 수 있는 방법은 도류화(channelization) 기법을 적용하는 것이다. 도류화란 중앙분리대, 좌회전 차로, 우회전 차로, 가감속 차로, 교통섬 등을 설치하여 교통류의 흐름을 규칙적으로 하거나 서로 다른 교통류를 분리하며 자동차의 상충점을 감소시키는 것이다. 도류화 설계에는 교차로의 형태, 교차각, 속도, 교통량 등을 고려하여 적절한 곡선반경, 폭, 합류각, 위치 등을 결정하는 것이 중요하다.

평면교차로에는 기본적으로 평면교차로의 기하구조가 적합하여야 되고, 기하구조와 교통관제 운영방법이 조화를 이루어야 한다. 따라서 기하구조 상태를 보완하고 교통관제를 할 수 있는 안전시설들이 적합하게 설치되어야 한다. 또한 평면교차로에 설치되는 안전시설들 역시 다양한 종류로 구성되므로 종합적으로 배치 설계가 필요하다.

(2) 입체교차로

입체교차 시설은 구조상의 요소 뿐만 아니라 입체교차 및 그 전후구간 전반에 걸쳐 교통처리를 종합적으로 검토하여야 하며 관련 안전시설이 적합하게 설치되어야 한다.

완전출입제한의 도로가 다른 도로와 교차할 때 혹은 불완전출입제한의 도로가 그다지 중요하지 않은 도로와 교차할 때 지형상의 제약으로 연결로가 없이 입체교차되는 단순입체교차를 설치할 수 있다. 이 경우에는 차도의 구조와 함께 안전시설의 배치가 더욱 중요하다.

특히 입체교차 시설은 도로의 연속성(continuity)을 유지하는 것이 소통과 안전을 위하여 무엇보다도 중요하므로 기본 차로수의 결정과 차로수의 균형유지가 이루어져야 한다. 일련의 입체교차가 설치되는 경우에는 각각의 입체교차는 물론 이들의 입체교차 연계시 유출입 유형이 일관성이 있도록 설계되어야 한다. 이와 같은 노선의 연속성과 함께 유출입 유형의 일관성은 운전자의 주행작업을 단순하고 용이하게 하여 보다 안전하고 원활한 소통이 유지될 수 있는 것이다.

입체교차 시설은 주행차로 이외에 엇갈림 구간과 연결로 등으로 구성되기 때문에 이들 각각에 대한 기하구조 설계가 적합하게 되어야 하고 감속차로 및 가속차로의 변속차로와 이를 연결하는 테이퍼, 연결로 터미널, 노즈 등이 제대로 설치되어야 한다. 또한 각종 도로표지, 안전표지, 시선유도시설, 방호울타리, 충격흡수시설 등이 종합적으로 설치목적에 맞게 배치되어야 한다.

(3) 철도 교차로

도로와 철도가 평면 교차하는 곳(건널목)은 도로교통의 애로가 되고 있는 원인의 하나임과 동시에 열차 운행중 자동차, 경운기 등 제차류와 충돌하여 발생하는 건널목 사고가 일어나는 곳이기도 하다.

도로법 및 철도건널목 개량촉진법에 의하면 도로와 철도와의 교차는 특별한 사유가 없는 한 입체교차를 원칙으로 하며, 평면교차를 예외로 하여 도로교통의 원활화와 안전성 확보를 기하고 있다.

가능한 도로가 철도와 교차할 경우에는 입체시설을 하는 것이 바람직하지만 도로의 교통량 또는 당해 철도의 운전횟수가 현저하게 적은 경우에는 평면교차로 할 수 밖에 없다. 따라서 이때는 운전자가 건널목 통과시 일단정지 후 좌우를 살피는 등 특별한 주의력을 가지고 주의운전을 할 수 있도록 교차각, 접속 구간의 평면선형 및 종단선형, 시거의 확보 등 건널목 시설 개량과 차단기 시설, 교통안전표지 등 기타 관련 안전시설이 설치되어야 한다.

(4) 교량

교량에는 교량난간을 비롯한 교량용 방호울타리, 시선유도시설, 조명시설, 장애물표적표시, 교통안전표지, 비상전화 등 다양한 안전시설이 종합적으로 설치된다.

이중 가장 중요한 것은 교량용 차량방호울타리와 보행자용 난간을 포함하는 교량용 방호울타리이다. 이들 방호울타리는 교량의 규모에 따라서 두가지 목적을 겸하는 한가지 시설로 설치하거나 또는 각각의 목적에 달성할 수 있는 두가지 시설의 배치를 고려한다. 또한 방호울타리는 교량 상부의 차도 부분과 보도 부분의 경계를 이루는 연석의 설치와 함께 검토한다.

교량의 횡단면 구성과 관련하여 중앙분리대의 폭 또는 구조를 검토한다. 별도의 중앙분리대 시설을 설치하거나 일정 간격의 노면표시를 하거나 또는 시선유도시설을 설치하는 등 조건에 따른 설계를 한다.

교량 접근부는 교명주의 설치방법, 크기, 형태 등을 안전적 측면과 경관적 측면에서 검토

한다. 접근로에서도 방호울타리, 시선유도시설, 조명시설, 장애물표적표시, 교통안전표지, 기타 관련 안전시설 등이 단순하면서도 안전성을 유지할 수 있는 조합이 되도록 설계한다.

교량에서의 안전성 제고와 관련하여 교면포장과 배수시설에 대한 검토도 필요하다.

(5) 터널

터널에는 터널조명, 시선유도시설, 조명시설, 장애물표적표시, 교통안전표지, 비상전화 등 다양한 안전시설이 종합적으로 설치된다.

터널에는 안전하고 원활한 교통의 확보를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 해당 도로의 계획교통량, 설계속도 및 터널의 길이를 참작하여 환기시설 및 조명시설을 설치한다. 또한 터널에서의 차량의 화재 및 기타 사고로 인하여 교통에 위험을 초래할 우려가 있다고 인정되는 경우에는 통신시설, 경보시설, 소화시설 및 기타 비상용 시설의 설치를 고려한다.

현재 터널은 일반도로 구간에 비해 측방 여유폭 및 시거가 나쁘므로 터널부근에서 도로용량의 감소와 안전사고가 발생하고 있다. 따라서 터널에서의 안전성을 높이고 소통상태를 개선하기 위해서는 터널내의 선형 및 터널 전후 선형의 연속성과 도로용량을 검토하여 설계하며, 이와 함께 각종 안전시설의 설치도 함께 고려한다.

(6) 공사구간

공사구간에서는 작업원들의 안전을 도모하고 통행 차량들의 안전하고 원활한 통행을 위하여 적합한 안전시설들이 적절하게 설치되어야 하는데, 이때 준수해야 할 원칙들은 다음과 같다.

- 공사구간 부근에서의 교통 흐름의 변화 및 통제는 가능한 한 최소로 줄여야 한다.
- 적절한 교통안내 및 규제표지, 시선유도시설 또는 도류시설 등을 설치하여 그곳에 접근하고 통과하는 운전자들이 혼동을 일으키지 않고 주행할 수 있도록 해야 한다.
- 안전표지, 시선유도시설 등 외에 라바콘(rubber cone)을 사용하여 차량을 유도하고 야간에 시인성을 높일 수 있도록 조치하여야 한다.

이와 같은 원칙 아래서 공사구간내에 안전시설을 설치한다는 것은 그리 간단한 문제가 아니다. 우선 공사가 도로자체를 위한 도로내 공사인지, 도로변에 접한 시설물의 공사를 위하여 도로를 점용한 공사인지에 따라 전반적인 안전대책이 달라지며, 공사 종류와 규모에 따라서 시설 설치조건이 매우 달라진다.

또한 공사로 인하여 교통통제가 요구되는 구간은 주의구간, 변화구간, 완충구간, 공사구간, 공사이탈구간으로 나누어지므로 각 세부구간에 적합한 안전시설이 설치되어야 한다. 그리고 도로 및 주변 토지이용 조건의 고려는 물론 주행속도, 교통량 조건 등을 종합적으로 검토하여 설치해야 할 안전시설의 종류와 배치를 결정하지 않으면 안된다.

전국 어디서든지 유사 조건의 공사구역에서는 안전성을 최대한 보장할 수 있는 일관성 있는 시설이 설치되어야 한다.

그리고 공사구역의 조건에 따라 적합한 안전시설 설치를 종합적 배치 계획을 마련하여 시행할 수 있도록 한다.

801.5 용어의 정의

본 편람에 포함된 안전시설에서 사용된 용어의 정의는 다음과 같다.

(1) 교통안전표지

도로이용자에게 일정하게 양식화된 방법으로 각종 필요한 정보를 제공함으로써 교통의 안전과 원활한 소통을 도모하고 도로구조를 보전하기 위한 시설

(2) 도로표지

도로교통의 안전과 원활한 소통을 도모하고 도로 구조를 보존하기 위한 시설로서 도로정보의 전달을 목적으로 하는 시설

(3) 노면표시

도로교통의 안전을 위하여 각종 주의, 규제, 지시 등의 내용을 노면에 기호, 문자 또는 선으로 도로사용자에게 알리는 표시

(4) 신호기

도로교통에 관하여 문자, 기호 또는 등화로써 진행, 정지, 방향전환, 주의 등의 신호를 표시하기 위하여 사람이나 전기의 힘에 의하여 조작되는 장치 일체(신호등, 지주, 제어기 포함)를 말함

(5) 판단반응시간

운전자가 도로상에서 위험요소를 발견하고, 적절한 속도와 진행방향을 선택하여 효과적으로 필요한 안전조치를 하는데 소요되는 시간

(6) 선행거리

위험요소(교차로, 공사구간 등)를 알리는 표지와 해당 위험요소까지의 거리

(7) 소실점 및 소실거리

소실점은 운전자가 주행 중 인지했던 표지판이 시야에서 사라지는 시점을 말하며, 이때 소실점으로부터 표지까지의 거리를 소실거리라 함

(9) 도로전광표지

운전자에게 전방의 도로 및 교통상황이나 교통사고, 공사정보를 제공함으로써 도로 이용자의 안전성을 높이고 교통류 분산을 통하여 교통 혼잡을 완화하기 위하여 도로상에 설치되는 시설

(10) 가요성 방호울타리

차량이 충돌할 때 다소의 변형이 수반되는 것으로 차량의 복원보다는 충격의 흡수 기능에 중점을 둔 것

(11) 강성 방호울타리

방호울타리가 구조물의 변형에 의한 충격 흡수보다는 차량의 복원을 목적으로 하여 변형되지 않는 구조로 된 것

(12) 복원형 충격흡수시설

차량 본래의 주행차로 방향으로 복원해주는 기능을 가진 충격흡수시설

(13) 비복원형 충격흡수시설

차량의 충격을 시설이 완전히 흡수함으로써, 차량이 정지하도록 하는 기능을 가진 충격흡수시설

(14) 난간

교량에서 보행자와 자전거가 교량 바깥으로 떨어지는 것을 방지하기 위한 교량용 방호울타리의 일종

(15) 교량용 차량방호울타리

교량에서 차량의 방호를 목적으로 설치되는 교량용 방호울타리

(16) 난간 겸용 차량방호울타리

교량에서 차량의 방호기능과 교량에서 보행자, 자전거 등이 교량 밖으로 떨어지는 것을 예방하기 위한 난간의 기능을 모두 갖춘 교량용 방호울타리의 일종

(17) 충격도

방호울타리의 충격 면에서 직각으로 얻어지는 차량의 충돌 에너지로 본 편람에서는 약자 IS(Index of Severity)로 표기함

(18) 시선유도표지

야간 운전자에게 전방의 도로 선형이나 기하조건이 변화되는 상황을 반사체를 사용하여 안내해 줌으로써 안전하고 원활한 차량 주행을 유도하는 시설물

(19) 갈매기표지

주·야간에 급곡선의 평면선형 구간으로 시거가 불량한 장소에서 도로의 선형 및 굴곡 정도를 갈매기 기호체를 사용하여 운전자가 명확히 알 수 있도록 하는 시설물

(20) 표지병

야간 및 악천후시 운전자의 시선을 명확히 유도하기 위하여 도로표면에 설치하는 반사체 시설물

(21) 연속조명

터널, 교량 등을 제외한 구간에서 일정한 간격으로 등구를 배치하고, 그 구간 전체를 조명하는 것을 말함

(22) 국부조명

교차로, 교량, 휴게시설, 인터체인지 등 필요한 지점을 국부적으로 조명하는 것을 말함

(23) 글레어

밝기가 덜해지거나 불쾌감, 피로를 발생시키는 원인이 되는 빛의 눈부심을 말함

(24) 개립도 마찰층

투수성 포장과 달리 미끄럼 저항을 개선하기 위하여 사용되는 포장으로 연속입도의 포장보다 공극률을 크게 포장하는 공법

(25) 슬러리실

상온에서 유화 아스팔트, 잔골재, 석분, 물 등을 혼합한 유동체인 슬러리 혼합물을 6~10mm 정도 포장면에 포설하는 공법

(26) 수지계 표면처리

포장면에 에폭시 수지를 도포한 후 마찰계수가 큰 경질 골재를 살초하여 고착시키는 방법

(27) 그루빙

다이아몬드 날 또는 텅스텐 카바이드 드럼 등을 여러 개 부착시킨 그루빙 기계로 포장층에 홈을 내어 우천시 수막현상을 억제하거나 노면과 타이어의 마찰저항을 개선하기 위한 공법

(28) 숏 블라스팅

블라스터라 불리는 다량의 쇠구슬을 고압으로 노면에 연속 타격하여 조면조직을 회복시키는 것

(29) 노면평삭

포장 노면을 전체적으로 약간 깍아내 노면조직을 회복시키는 공법

(30) 과속방지시설

차량의 속도를 제어하기 위한 도로설계 기법 중의 하나로서 도시계획 구역내 일정지역에서 통행차량의 진입을 억제하고 과속주행을 방지하기 위해 도로노면을 돌출시켜 턱이지게 만든 시설

(31) 범프

보행자의 통행 안전성을 위해 차량의 통과속도를 10km/시 아래로 서행하도록 유도하는 시설

(32) 쿠션

도로 폭 가운데 일부분에 설치하여 버스 등의 대형 차량이나 소방차의 주행을 원활하게 하기 위해 설치하는 시설

(33) 플래토

지구 도로 등에서 교차로의 전 부분을 성토하여 전체적으로 시인성이나 도로의 수직 방향 변위를 높인 시설

(34) 노면요철 포장

노면에 인위적인 요철을 만들어 차량이 이를 통과할 때 타이어에서 발생하는 마찰음과 차체의 진동을 통해 운전자의 경각심을 높임으로써 차량이 안전하게 주행할 수 있도록 유도하는 시설

(35) 낙석방지시설

비탈면 보호공의 일종으로, 도로의 절토 비탈면으로부터의 낙석, 토사붕괴 등으로 인한 교통의 장애, 도로구조의 손상 등을 예방하기 위하여 설치하는 구조물

(36) 낙석방지망

비탈면에 강재 또는 합성섬유로 제작된 망을 설치하여 낙석 등이 주는 직접적인 피해를 막거나 경감시킬 목적으로 설치하는 구조물

(37) 낙석방지울타리

낙석이 비교적 적은 경우에 시행하는 공법으로 철주사이를 앵커로 된 와이어로프, 철망 또는 강재 등으로 연결된 구조물

802
교통관리 안전시설

802.1 교통안전표지

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

교통안전표지는 도로이용자에게 일정하게 양식화된 방법으로 각종 필요한 정보를 제공함으로써 교통의 안전과 원활한 소통을 도모하고 도로구조를 보전하기 위한 시설이다. 이 시설은 노면표시나 신호기 등과 유기적 또는 보완적으로 설치되는 교통안전시설이다.

1.1.2 종류

교통안전표지는 <표 802.1.1>과 같이 크게 본표지와 보조표지로 나누어지며, 본표지는 주의표지, 규제표지 및 지시표지로 분류된다.

(1) 주의표지

도로상태가 위험하거나 도로 부근에 위험물이 있을 때 필요한 안전조치와 예비동작을 할 수 있도록 이를 도로이용자에게 알리는 표지이다.

(2) 규제표지

도로교통의 안전을 위하여 각종 제한, 금지 등의 규제를 하는 경우에 이를 도로사용자에게 알리는 표지이다.

(3) 지시표지

도로의 통행방법, 통행구분 등 도로교통의 안전을 위하여 필요한 지시를 도로사용자에게 알려 이를 따르도록 하는 표지이다.

(4) 보조표지

주의표지, 규제표지 또는 지시표지의 주기능을 보충하여 도로사용자에게 알리는 표지이다.

1.1.3 관련 기준

- 교통안전시설 실무편람, 경찰청, 1996

<표 802.1.1> 교통안전표지의 분류

구 분		종 류	해당 표지번호[주)]
본표지	주 의 표 지	도로상태 예고	101～104, 106～113-1, 123
		노면 또는 연도상황 예고	105, 114～122, 126
		기타상황 예고	125
		기타 주의 예고	124, 127, 128
	규 제 표 지	통행금지	201～209, 227
		제한사항	216～221, 223～225
		금지사항	210～215, 222, 226～226-1
	지 시 표 지	도로지정	301, 302, 302-1, 315, 321, 322
		통행방법지시	303～310-3, 316～320
		기타 지시	311～314, 314-1
보 조 표 지		거리, 구역	501～502
		일자, 시간	503～505
		표지설명	506～507, 510～513, 516～518
		구간, 방향	514～515-2, 519
		기타	508～509, 520, 521

주) 해당 표지번호에 대한 자세한 형상은 “교통안전시설 실무편람(경찰청, 1996)” 참조

1.2 설계기준

1.2.1 모양

표지판의 문자, 기호 등의 크기는 도로교통법 시행규칙에 정한 것을 원칙으로 하고 표지판, 문자 등의 확대 및 축소율은 차량이 안전하고 원활하게 주행할 수 있도록 교통상황을 고려한 후 도로교통법 시행규칙 [별표 1]의 (주) 3호에 따라 결정한다. 주의, 규제, 지시표지는 대부분 내용을 연상하는 기호로 되어 있으며, 도로교통법 시행규칙에 표지판의 기본형태가 정해져 있다.

각 표지판의 형태는 <그림 802.1.1>에 나타나 있다.

1.2.2 글자

교통안전표지의 내용 중 문자는 주의, 규제 및 지시표지의 일부분과 보조표지 대부분에 사용되는 주요 구성요소이다. 교통안전표지에 사용되는 문자로서는 보기 좋고, 판독이 용이한 한글, 영문자, 숫자로서 도로이용자에게 표시내용을 정확하게 전달하여야 한다. 문자의 형은 다음 <그림 802.1.2>를 기준으로 한다.

1.2.3 색채

교통안전표지의 색채는 시인성, 식별성, 주의환기의 효과를 고려하여 적색, 황색, 청색, 흑색을 기본으로 하도록 도로교통법 시행규칙에 규정하고 있다.

각 표지별 색채에 대한 자세한 내용은 “교통안전시설 실무편람(경찰청, 1996)”을 참고한다.

표지의 색채는 도로교통법 시행규칙에 있는 한국산업규격에 의한 색채이어야 하며, 도로교통법 시행규칙의 색채기준은 <표 802.1.2>와 같다.

<표 802.1.2> 자연건조형 알키드수지 에나멜 색 기준

색 종 류	색 번 호	
	광택	무광택
적 색	11105	31136
황 색	13538	33538
녹 색	14110	34108
청 색	15044	35044
백 색	17875	37875
흑 색	17038	37038

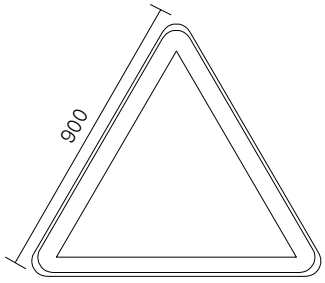
1.2.4 크기

안전표지의 크기는 교통상황에 따라 기본규격보다 확대 또는 축소할 수 있다. 다만, 본표지의 표지판을 확대할 경우에는 보조표지도 동일한 비율로 확대하여야 한다. 확대 또는 축소 설치시에는 도로환경 등을 고려하여 도로의 형상 또는 교통상황 등이 대개 일정한 구간에 표지종류(주의, 규제, 지시) 별로 확대 및 축소하여 표지판의 크기를 통일시켜야 한다.

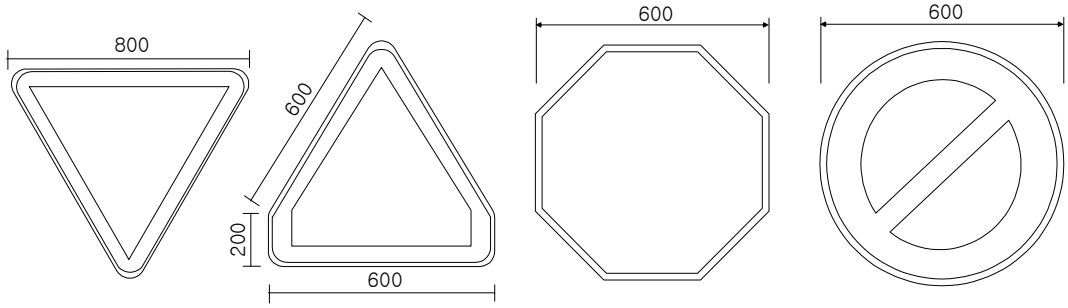
<표 802.1.3>은 표지판의 확대 및 축소비율을 나타내고 있다.

<표 802.1.3> 표지판의 확대 및 축소비율

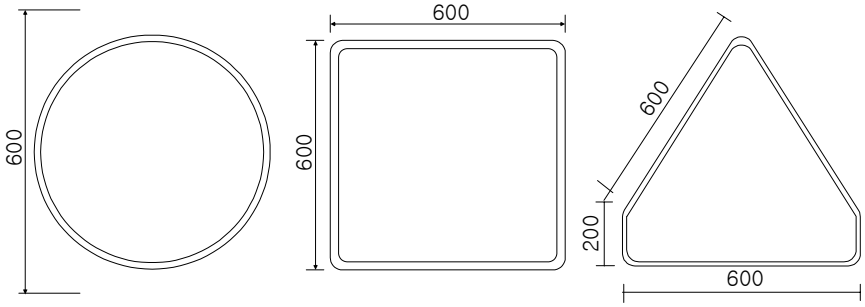
도로종별 및 표지종별	확대 및 축소비율
고속도로 (자동차전용도로 포함)	1.5배, 2배, 2.5배
일반도로	1.3배, 1.6배, 2배
규제표지, 지시표지	0.5배



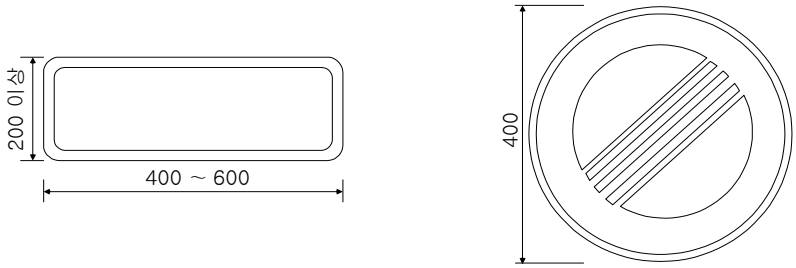
a. 주의표지판의 형태



b. 규제표지판의 형태



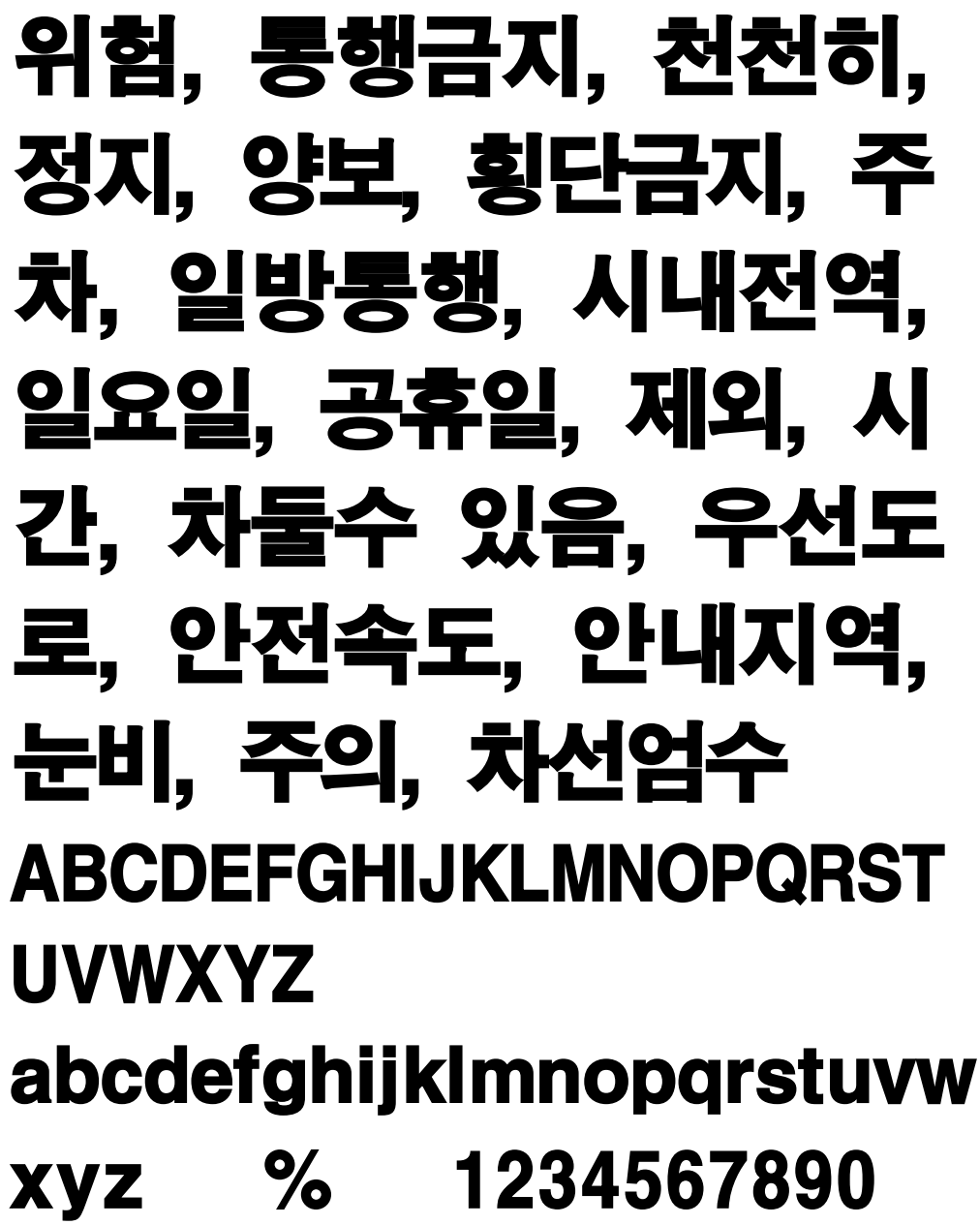
c. 지시표지판의 형태



d. 보조표지판의 형태

(단위 : mm)

<그림 802.1.1> 표지의 종류에 따른 표지판의 형태



<그림 802.1.2> 표지판에 사용하는 문자의 형

1.2.5 반사 및 조명

안전표지는 야간에도 잘 보일 수 있도록 성능이 우수한 고휘도급의 반사재료를 사용하거나 조명장치를 사용하여 시인성을 최대한 높여야 한다. 야간에 표지의 시인성을 확보하기 위한 방법으로 다음과 같이 표지판에 반사재료를 사용하는 방법과 조명시설을 하는 방법 등이 있다.

(1) 반사재료 방법
반사지를 표지판에 부착하는 방법
(2) 외부조명방법
광원을 표지판의 측방이나 전면으로부터 조사하여 표지판을 외부로부터 조명하는 방법
(3) 내부조명방법
조명장치를 내부에 두어 투명성이 있는 표지판을 내부로부터 조명하는 방법

반사재료, 조명장치의 장·단점을 고려하여 적절한 방법을 선택하여야 하며, 특히 유의할 점은 다음과 같다.

- 표지의 종류 및 중요도
- 도로의 중요도(도로의 종류, 야간교통량)
- 설계속도
- 장거리 통행차량의 교통량
- 연도의 조건

1.2.6 반사재료 및 규격

교통안전표지에 사용되는 반사재료의 종류는 크게 나누어 반사쉬트 및 반사용 유리알이 있으나 일반적으로 표지판에는 반사쉬트가 사용되고 있다. 반사쉬트는 공기층내에 있는 유리알을 플라스틱으로 피복한 캡슐렌즈형 반사쉬트와 쉬트 내부에 큐브 입방체 입자를 배열시킨 큐브 코너의 두 종류가 있다.

반사쉬트는 표지판 면에 차량 전조등의 불빛이 정면으로 닿을 경우(입사각 0°이상) 뿐만 아니라 도로여건에 따라 표지의 위치와 운전자의 시인거리로부터 입사각 -4°～+30°의 범위에서 충분한 반사성능이 필요하다.

일반적으로는 고휘도급 반사쉬트를 사용하고 교통사고가 잦은 지점 등 운전자에게 특히 필요한 장소에서는 초고휘도급의 반사쉬트를 사용해야 한다. 반사성능의 기준은 <표 802.1.4>와 <표 802.1.5>와 같다.

1.2.7 설치장소

안전표지는 도로이용자에게 도로상황에 대한 주의나 규제, 지시 등의 정보를 제공할 필요가 있는 장소에 설치하는 것을 원칙으로 하며, 설치장소를 선정할 때는 다음 사항에 유의하여 선정해야 한다.

- 도로이용자의 행동특성을 고려할 것
- 표지의 시인성이 방해되지 않도록 할 것
- 도로이용에 장애가 되지 않도록 할 것
- 교차로 부근에 설치할 필요가 없는 표지는 교차로 부근을 피할 것
- 기타 도로관리상 지장이 없을 것

안전표지는 교통에 장애가 되는 일이 없도록 장소선정에 타당성이 있어야 하며 이를 위한 일반적인 유의사항은 다음과 같다.

- 도로의 시설한계선을 침입하는 일이 없도록 유의하여 설치함과 동시에 차도 끝에서부터 필요한 거리를 확보할 것
- 보도 등의 유효 폭을 필요 이상으로 침범하여 보도를 좁히지 말 것

<표 802.1.4> 고휘도급 반사쉬트의 반사강도

(1) 캡슐렌즈형 (단위 : cd/Lux・㎡)

관찰각(°)	입사각(°)	백 색	황 색	적 색	녹 색	청 색
0.2	-4	250	170	45	45	20
0.2	+30	150	100	25	25	11
0.5	-4	95	62	15	15	7.5
0.5	+30	65	45	10	10	5

(2) 큐브코너형 (단위 : cd/Lux・㎡)

관찰각(°)	입사각(°)	백 색	황 색	적 색	녹 색	청 색
0.2	-4	250	170	35	35	20
0.2	+30	80	54	9	95	5
0.5	-4	135	100	17	17	10
0.5	+30	55	37	6.5	6.5	3.5

<표 802.1.5> 초고휘도 반사쉬트의 반사강도

(단위 : mcd/Lux・㎡)

관측각(°)	입사각(°)	백 색	황 색	적 색	녹 색	청 색
0.2	-4	700	470	120	120	56
0.2	+30	400	270	72	72	32
0.5	-4	160	110	28	28	13
0.5	+30	75	51	13	13	6.0

- 기 설치된 표지 및 신호기의 시인성을 방해하지 않도록 할 것
- 기타 표지가 손상을 받을 우려가 없을 것

1.2.8 표지의 선정

교통안전표지의 계획, 설계, 설치, 운용 및 유지관리를 효율적으로 하기 위해서는 기준이 명확히 정해져야 한다. 표지의 선정은 되도록 기본적인 교통상황에 관한 정보를 나타내어야 한다. 그러나 더 좋은 방법은 운전자가 취해야 할 반응행동까지 알려주는 것이다. 그 예로 급커브는 위험(128) 표지보다 구체적인 위험내용을 알려주는 우로굽은도로(106), 좌로굽은도로(106-1) 표지가 좋으며, 더욱 바람직한 것은 표지와 함께 이 지점에 안전속도(507) 표지를 사용하여 운전자가 어떤 위험에 있는지 결정하고 여기에 대응하는 행동을 결정하기까지의 시간을 줄여 주는 것이 좋다.

1.2.9 설치형식

교통안전표지의 설치형식에는 정주식, 내민식, 문형식 및 부착식이 있다.

(1) 정주식
지주에 표지판 1개 혹은 2개를 부착하여 도로의 측단, 도로의 중앙, 보도 또는 중앙분리대 등에 설치하는 방법
(2) 내민식
도로의 측단, 보도 또는 중앙분리대 등에 설치된 지주를 차도 부분까지 높게 달아내어 표지판을 달아낸 끝부분에 설치하는 방법
(3) 문형식
차도를 가로지르는 문형 시설물에 표지판을 부착하여 차도 상부에 설치하는 방법
(4) 부착식
타 목적으로 설치된 시설물을 이용하여 표지판을 설치하는 방법

1.2.10 설치위치

표지판은 설치위치에 따라 정주식, 내민식·문형식 및 부착식 표지판으로 구분된다.

정주식 표지판의 경우 보·차도가 구분된 도로에서 보도에 설치할 때에는 보·차도경계 연석 내측에 설치하여야 하며, 표지판의 차도를 향한 끝부분이 연석 끝부분에서 25cm 이상 떨어진 지점에 설치하여야 한다. 보·차도 구별이 없는 도로 노측단에 표지판을 설치할 때에는 차도 측단으로부터 차도측단의 바깥쪽으로 고속도로(자동차 전용도로)는 50cm, 일반도로는 25cm 바깥쪽에 설치한다.

<그림 802.1.3>은 도로의 상황에 따른 정주식 표지판의 설치위치를 나타내고 있다.

내민식·문형식 표지판은 일반적으로 표지판이 도로 진행방향 차로의 중앙에 위치하게끔 설치한다. 부착식 표지판의 설치위치는 부착되는 도로시설에 따른다.

1.2.11 설치높이

(1) 정주식의 설치높이

정주식 표지판의 설치높이는 운전자의 눈높이와 표지판의 훼손 등을 고려하여 설치장소나 종류, 내용에 따라 100～210cm로 설치하며, 표지의 기준높이는 190cm이다. 이는 차도면에서부터 표지판 아래까지의 높이이다. 표지의 종류에 따른 설치높이는 <표 802.1.6>과 같다.

<표 802.1.6> 안전표지판의 설치높이

표지의 종류	설치높이(cm)
주의표지	100～210
규제표지	100～210
지시표지	100 이상
보조표지	100 이상

(2) 내민식□문형식의 설치높이

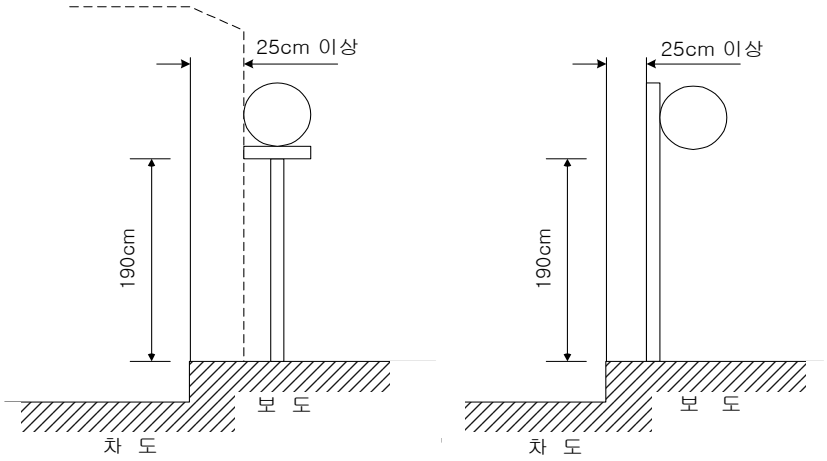
내민식·문형식 표지판의 설치높이는 차도 상부에 표지를 설치하기 위하여 차도의 시설한계인 450cm 이상의 공간을 확보하여야 하며, 일반적으로는 시공의 오차, 자재의 구부러짐, 노면의 덧씌우기 등에 대한 여유(50cm)를 두어 500cm를 기준으로 한다. 또 적설지역에 있어서는 제설방법을 검토하고 적설량을 고려하여 필요에 따라 설치높이를 결정해야 한다.

(3) 부착식의 설치높이

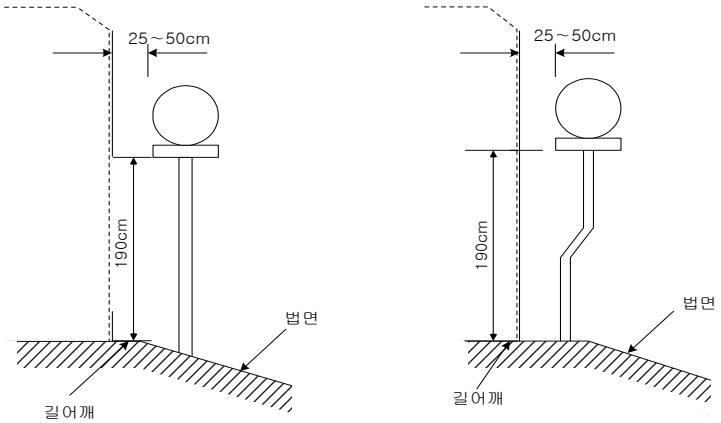
육교나 기타 차도 위를 지나가는 시설물에 안전표지를 부착할 경우에는 내민식·문형식의 경우와 동일하게 설치하지만, 차도 외측에 설치되어 있는 시설물에 안전표지를 부착할 경우에는 설치높이가 달라진다.

이 경우의 설치높이는 차도면부터 표지판 아래까지 190cm가 되도록 설치한다.

각 표지판의 형식별 설치높이를 그림으로 나타내면 <그림 802.1.4>와 같다.

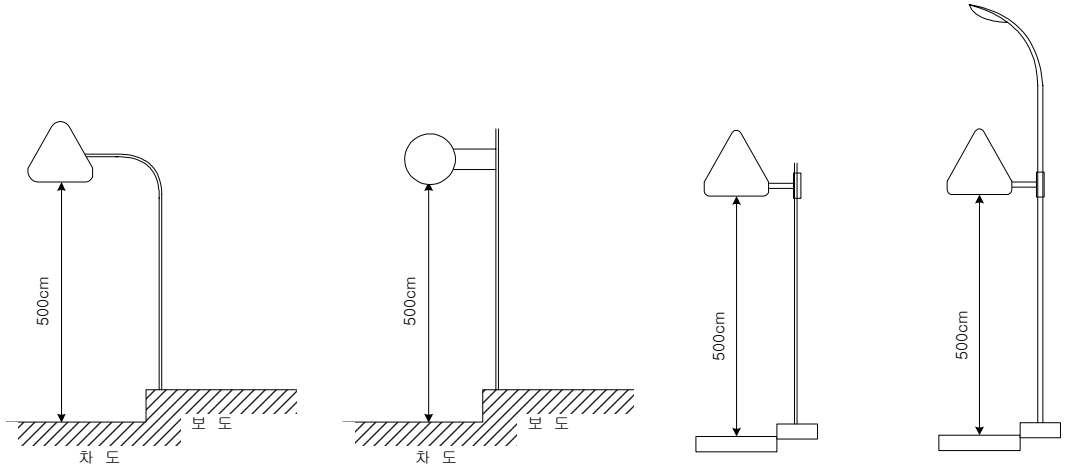


a. 보도에 설치할 경우(정주식)

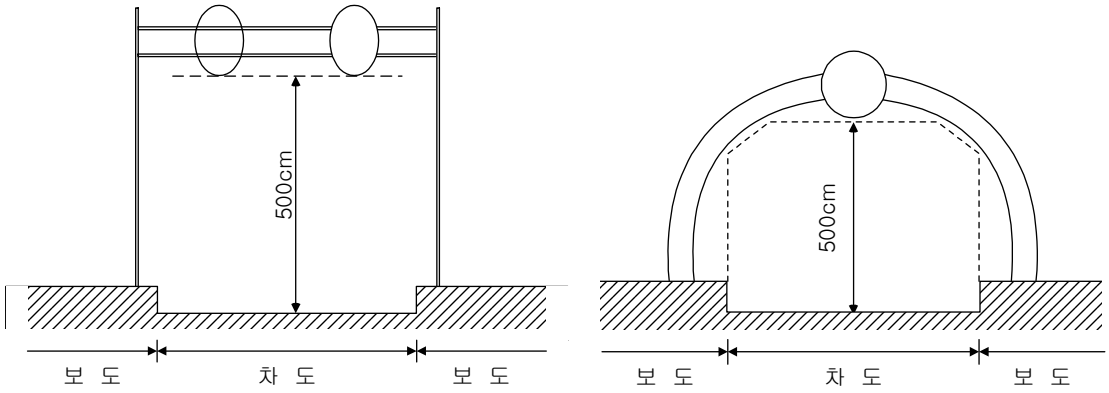


b. 보도가 없는 경우(정주식)

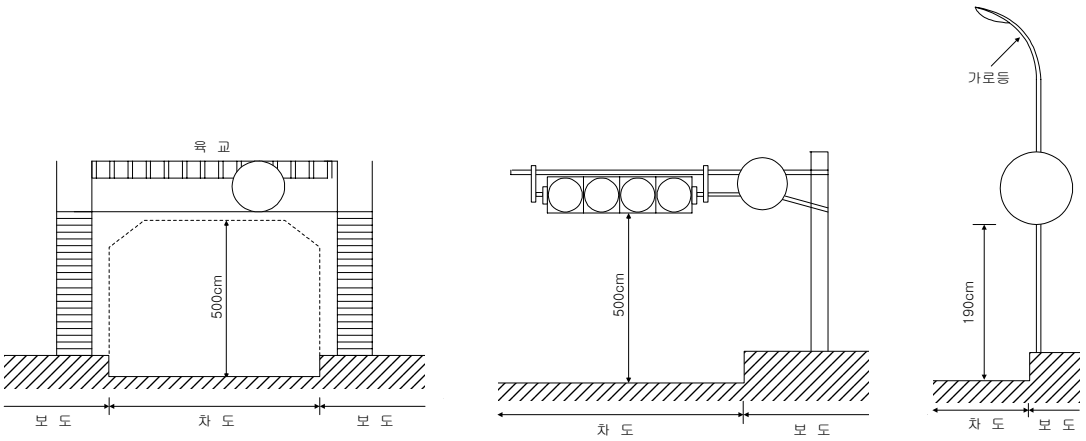
<그림 802.1.3> 도로의 상황에 따른 정주식 표지판의 설치위치



a. 내민식



b. 문형식



c. 부착식

<그림 802.1.4> 각 형식별 설치높이

1.2.12 설치각도

설치각도는 일반적으로 표지판과 도로 중심선과의 각도를 생각하면 좋으나, 곡선부 등에 설치할 때에는 해당 표지를 시인하는 차량의 위치에 따라 도로 중심선의 방향을 기준으로 생각할 필요가 있기 때문에 차량 진행방향에 대한 시인각도를 고려하여 설치한다.

각 형식별 표지판의 설치각도는 다음과 같다.

- 정주식으로 설치할 때의 설치각도는 <표 802.1.7>과 같다.
- 내민식·문형식으로 설치할 때는 직각(90°)으로 설치한다.
- 부착식일 경우에는 정주식의 설치각도에 준하여 설치한다. 만일 횡단보도나 육교 등에 부착하여 설치하려는 경우 이러한 시설물들이 도로에 대하여 직각으로 설치되어 있지 않을 때에도 표지판은 도로에 대하여 직각이 되도록 유의하여야 한다.

1.2.13 설치간격

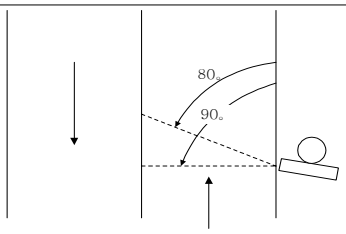
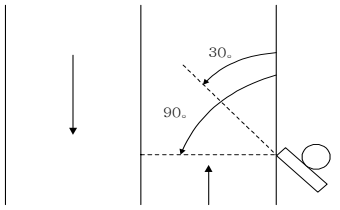
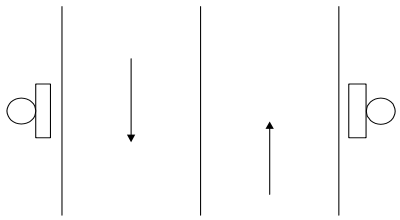
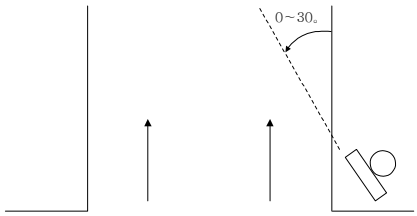
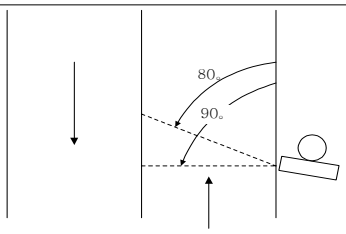
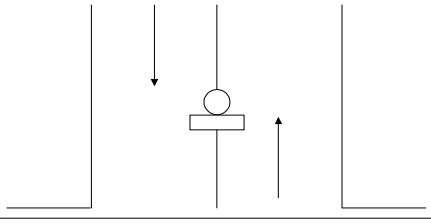
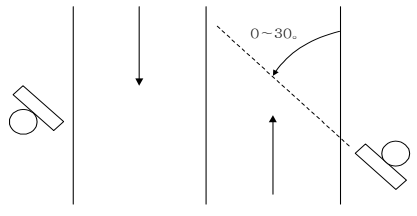
주의표지, 규제표지, 지시표지는 주의, 규제, 또는 지시가 표시하는 구역, 도로의 구간, 또는 장소내에 시인거리가 좋으며, 교통상황에 적응할 수 있는 예비동작의 시간을 충분히 부여할 수 있게 각 표지판의 간격을 적절하게 유지하여 설치한다.

주의, 규제 및 지시표지는 각 표지가 표시하는 구역, 도로의 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 설치하도록 규정되어 있으나 <표 802.1.8>에 있는 규제 및 지시표지에 대해서는 장소 또는 구간의 시작 및 끝 지점에 설치한다.

다음 <표 802.1.8>에 있는 규제 및 지시표지는 동표에 지시한 간격으로 표지를 설치하도록 한다. 규제 및 지시가 행하여지고 있는 도로에 교차하는 도로가 있을 때에는 교차하는 도로의 폭, 교통량 등을 감안하여 필요에 따라 교차로 부근에 설치하도록 한다. 교차로 부근에 표지를 설치하였을 때에는 설치간격의 시작점을 설치할 장소로 한다(<그림 802.1.5>참조). 인접하는 시·도에 있어서 동일 종류의 규제 또는 지시가 연속될 때에는 시작한 시·도에서는 같은 종류의 규제 및 지시표지를 별도로 설치할 필요없이 구간 끝에 해제표지를 설치할 필요가 있을 때에 한하여 설치하도록 한다.

교통안전표지와 노면표시를 동시에 설치할 때에는 표지의 설치간격을 연장할 수 있다. 구역을 지정하여 행하는 규제 및 지시인 경우에는 중복 설치되는 표지의 설치간격을 연장할 수 있다. 설계속도의 요소가 되는 곡선반경, 편경사, 시거 등의 도로구조 및 교통상황에 따라 특히 필요할 때에는 표지의 설치간격을 연장 또는 단축할 수 있다. 규제 및 지시가 행하여지고 있는 구간에 대하여 기준에 표시한 간격에 따라 표지를 설치하고, 거리가 남은 경우에는 남은 거리가 기준에 표시한 설치간격의 0.5배 이상일 때는 구간 시작점에 붙여 표지를 증설하고, 남은 거리가 기준에 표시한 설치간격의 0.5배 미만일 때는 종점에 붙여 설치하고 별도 설치하지 않는다(<그림 802.1.6>, <그림 802.1.7> 참조).

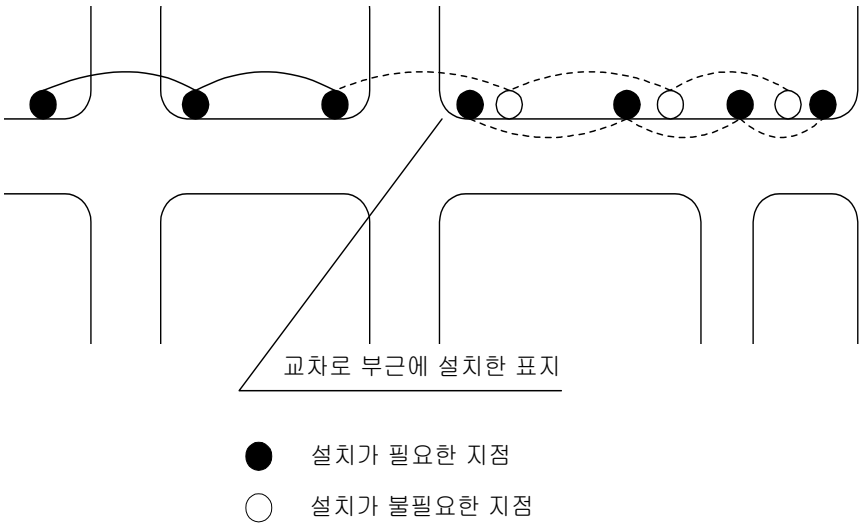
<표 802.1.7> 표지 종류에 따른 설치각도 및 예

표지의 종류		설치각도	예시도
주의표지		차량 진행 방향과 직각	
규제 표지 및 지시 표지	일반표지	차량 진행 방향과 직각 또는 사각	
	보행자 횡단금지	차량 진행 방향과 평행	
	일방통행	차량 진행 방향과 평행 또는 사각	
	횡단보도 어린이보호 자전거횡단도	차량 진행 방향과 직각 또는 사각	
	도로 중앙이나 중앙분리대에 설치하는 표지 (이동용표지 포함)	차량 진행 방향과 직각	
	정차・주차금지 주차금지	차량 진행 방향과 사각	

<표 802.1.8> 설치간격기준

(단위 : m)

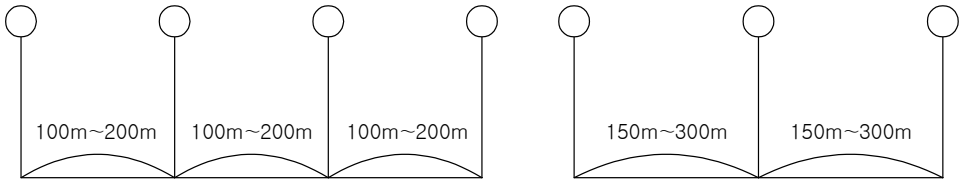
구 분	안전표지의 종류		도 로 구 분		
			시도	지방도	자동차전용도
고속으로 주행중인 차량에 대한 것	우회전금지	211	200	400	800
	좌회전금지	211-1	200	400	800
	앞지르기금지	213	200	300	500
	차간거리 제한	219	500	1,000	1,000
	최고속도 제한	220	200	400	800
	최저속도 제한	221	200	400	800
	경음기 사용	311		500	
저속 주행중인 차량에 대한 것	서행	223	100	100	-
정지하려는 차량에 대한 것	정차·주차금지	214	110~200	400	-
	주차금지	215	100~200	400	
	주차장	314	100	100	
보행자에 대한 것	보행자횡단금지	226	150	150	-



<그림 802.1.5> 설치간격의 시작점

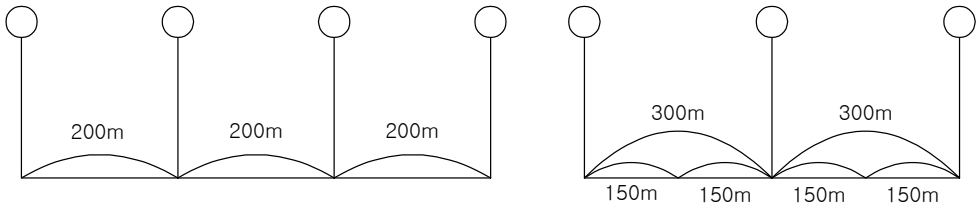
① 표지가 주차금지 등과 같이 연속될 때

• 표지만 설치 • 노면표시를 병용할 때



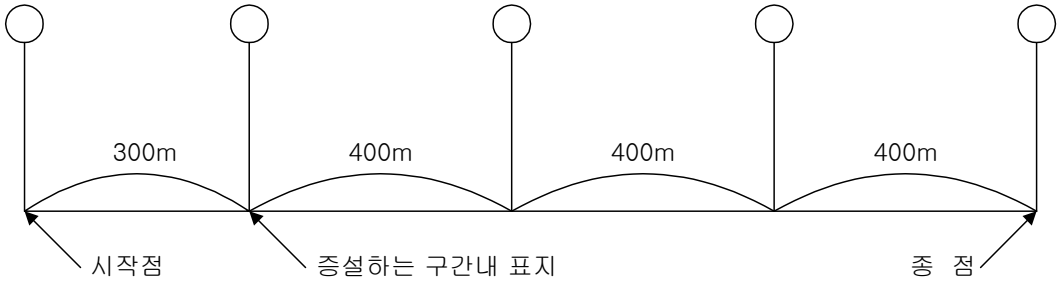
② 표지가 회전 등과 같이 지점별로 설치할 경우

• 안전표지만 설치 • 노면표시를 병용할 때

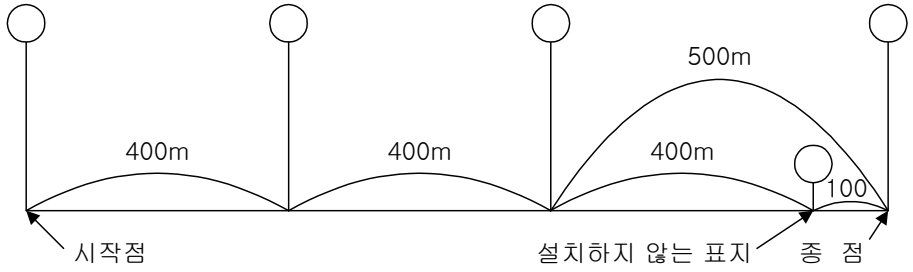


<그림 802.1.6> 연장할 경우의 설치 예

① 남는 거리가 설치간격의 0.5배 이상이 될 때



② 남는 거리가 설치간격의 0.5배 미만이 될 때



<그림 802.1.7> 남는 거리의 크기에 따른 설치간격

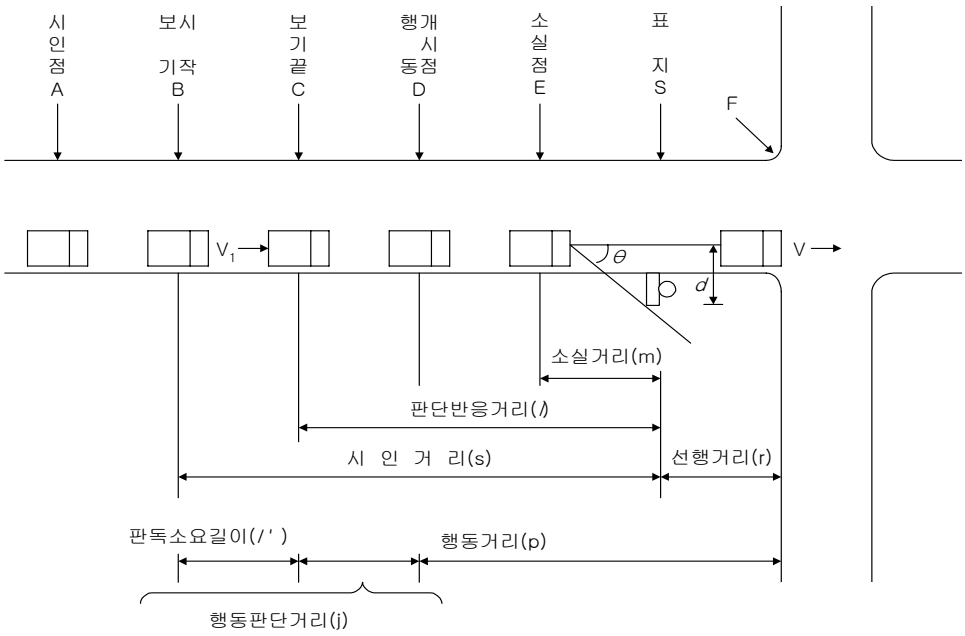
1.2.14 표지판의 설치지점

도로교통법 시행규칙에 정해진 교통안전시설의 설치지점(예 : 30~200m)은 일반적으로 다양하다. 가장 합리적인 표지판 설치지점의 결정은 주어진 도로조건과 교통상황에 따라 교통공학적 계산에 의한 융통성있는 장소를 선정하여야 한다. 즉, 정확한 설치지점은 반드시 주행속도나 설치장소의 주변조건(시가지도로, 지방도로, 고속도로 등)에 따른 공학적인 계산에 근거하여 실제 현장에서 운전자의 특성을 조사한 연후에 결정하여야 한다. 이때 모든 시인거리는 야간의 조명을 고려하여야 한다.

<그림 802.1.8>은 표지에 대한 운전자의 행동을 나타내는 그림이다.

일반적으로 주행 중 운전자는 시인점 A에서 S의 존재를 알고, B에서 표지의 내용을 보기 시작할 수가 있다. 그래서 그 내용을 완전히 인식하는 곳이 C지점이며, 그 내용에 대하여 자기가 취하여야 할 행동을 판단하게 된다.

행동개시점 D로부터 교차로(또는 그 밖의 위험장소)인 F지점까지의 거리내에서 운전자는 필요한 행동(차로변경, 감속, 정지, 방향변경 등)을 안전하고 원활하게 완료하여야 한다. 또한 B에서 S까지의 거리를 시인거리(s), C에서 S까지의 거리를 판단반응거리(l)라고 하며, 이 판단거리는 표지의 소실점 E로부터 표지 S까지의 거리보다 길지 않게 되면 운전자가 표지의 내용을 충분하게 판독할 수 없다. 이와 같은 조건은 다음 식과 같이 표시할 수 있다.



<그림 802.1.8> 표지에 대한 운전자의 행동 도표

$$P = l + r - j \geq (n-1) \times V_1 \times t_1 + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2\alpha}\right)$$

$$l \geq m = d / \tan\theta$$

여기서,

$(n-1) \times V_1 \times t_1$: 차로변경 필요거리

$(1/2\alpha) \times (V_1^2 - V_2^2)$: 감속(정지, 방향변경) 필요거리

P : 행동거리

l : 판단반응거리

r : 선행거리

j : 행동판단거리($j = t' \times V_1$)

n : 차로수

V_1 : 접근속도(85% 주행속도)

V_2 : 교차로(또는 위험장소)에서의 속도

t_1 : 1회 차로변경에 요하는 시간(10초)

α : 감속도(0.75~1.5m/sec^2)

t' : 행동판단시간(2.0~2.5초)

m : 소실거리

d : 운전자 눈의 위치(지상으로부터 1.2m 높이)로부터 표지까지의 측방 또는 상향거리

θ : 소실점에서 진행방향선과 표지의 외측선과 이루는 각도(일반적으로 θ=15°를 기준으로 하며, 올려다보는 표지는 앙각으로서 θ=7°)

옆의 식을 표지의 설치장소와 위치에 관한 변수 r(선행거리), d(운전자 눈의 위치로부터 표지까지의 측방거리)에 대하여 정리하면

$$r \geq (n-1) \times (V_1 \times t_1) + (1/2\alpha) \times (V_1^2 - V_2^2) + (t \times V_1) - l$$

$$d \leq l \times \tan\theta$$

가 되며, 이 식을 만족시키도록 안전표지의 설치장소와 위치를 결정할 필요가 있다.

802.2 도로표지

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

도로표지는 도로법 제 52조에서 “도로교통의 안전과 원활한 소통을 도모하고 도로 구조를 보존하기 위한 시설로서 도로정보의 전달을 목적으로 하는 시설물”로 정의하고 있으며, 도로 구조의 보전과 원활한 교통 소통을 위하여 규제보다는 정보제공으로 인한 안내의 기능을 가지고 있다.

1.1.2 종류

(1) 경계표지
도·시·군·읍 또는 면 사이의 행정구역의 경계를 나타내는 표지

(2) 이정표지
목표지까지의 거리를 나타내는 표지

(3) 방향표지
방향 또는 방면을 나타내는 표지로 방향예고표지와 방향표지가 있다.

(4) 노선표지
주행노선 또는 분기노선을 나타내는 표지

(5) 기타표지
위의 표지 이외의 표지로서 터널표지, 양보차로표지, 유도표지, 시종점표지, 돌아가는길표지, 매표소표지, 오르막차로표지, 자동차전용도로예고표지, 보행인표지, 주차장표지, 정류장표지, 비상주차장표지, 하천표지, 교량표지, 휴게소표지, 관광지표지, 긴급신고표지 및 자동차전용 도로표지 등이 있다.

1.1.3 관련 기준

- 도로표지관련규정집, 건설교통부, 1997

1.2 설계기준

1.2.1 설치장소의 선정

설치장소의 선정시에는 다음과 같은 사항을 고려하여 적절한 장소를 선정하도록 해야 한다.

- 부득이한 경우를 제외하고는 도로 이용자가 충분히 읽을 수 있도록 시야가 좋은 곳을 선정해야 한다.
- 도로이용자의 행동특성을 배려하여 선정해야 한다.
- 도로의 부속시설 및 도로점유물에 의해 도로표지의 시인성이 방해받지 않는 곳을 선정해야 한다.
- 출입제한이 없는 도로에 설치할 때에는 연도로부터의 출입이 방해되지 않도록 설치장소를 선정해야 한다.
- 반드시 교차로에 설치할 필요가 없는 표지는 교차로 부근을 피해야 한다.
- 교통의 장애가 되는 경우는 피해야 한다.

1.2.2 설치장소

도로표지는 도로의 위치(지방지역·도시지역 또는 고속국도) 및 도로표지의 종류에 따라 설치장소를 달리하여야 하는데, 각 표지별 설치장소는 <표 802.2.1>과 같다.

<표 802.2.1>은 일반적인 도로표지의 설치장소를 개략적으로 나타낸 것으로, 각 표지별 자세한 설치방법 및 설치장소는 건설교통부 발행 "도로표지관련규정집"을 참고한다.

1.2.3 설치형식

(1) 지지방식에 따른 구분

① 단주식 또는 복주식

하나 또는 두 개 이상의 표지판을 하나 또는 두 개의 곧은 기둥에 부착하여 도로의 가장자리, 보도, 도로의 중앙 또는 중앙분리대 등에 설치하는 방식을 단주식 또는 복주식이라 한다.

② 편지식·현수식 및 문형식

편지식 또는 현수식이란 도로의 가장자리. 보도 또는 중앙분리대 등에 설치된 지주를 차도부분까지 높게 달아 내어 끝부분에 표지판을 설치하는 방법을 말한다.

문형식이란 차도를 가로지르는 문형 시설물에 표지판을 부착하여 차도 상부에 위치하도록 설치하는 방법을 말한다.

③ 부착식

부착식이란 다른 목적으로 설치된 시설물을 이용하여 표지판을 설치하는 방법이다.

(2) 표지판의 수량에 따른 구분

① 단판식

단판식은 단주식·복주식 및 편지식에서와 같이 단일 도로 표지판을 사용하고 교차로의 형태를 기호화(diagrammatic sign)하여 도로이용자에게 교차로의 정보를 전달하여 주므로 교차로에서 신속한 행동방향 설정을 결정하는 데에는 편리하나 보통 길 가장자리에 설치하므로 시인성이 떨어진다.

<표 802.2.1> 표지의 종류별 설치장소

표지명	일 반 도 로		고 속 도 로
	지방지역도로	도시지역도로	
경계 표지	행정구역 경계지점		
이정 표지	• 주요 교차로나 주거밀집지역을 통과 후 500m 내외 지점 • 4km 간격으로 설치	표지가 필요한 지점	• 해당 인터체인지나 평면교차로 통과 후 1km 내외 지점 • 10~15km 간격으로 설치
방향 표지	해당 교차로 전방 30m 내외 지점		고속국도 출구 감속차로의 종점
방향 예고 표지	• 해당 교차로 전방 300~500m 지점 • 속도가 높을 경우 해당 교차로 전방 1km 지점에 추가 설치	해당 교차로 전방 100~300m 내외 지점	해당 인터체인지나 평면 교차로 전방 1km 및 2km 지점
노선 표지	• 이정표지와 다음 이정표지의 중간지점에 4km의 간격으로 설치 • 해당 교차로 진입부근 및 교차로 통과후 100m 내외지점	주요 교차로 진입부근 및 교차로 후방 100m 내외 지점	—
분기점 표지	교차로 전방 1.5km, 500m, 100m 내외 지점	주요 교차로 전방 100m 내외 지점	인터체인지나 평면교차로 전방 2.5km, 1.5km, 300m 내외 지점
유도 표지	주 진입지점으로부터 적정한 간격을 두고 3~5개의 지점에 설치		—
관광지 표지	• 해당 관광지로 진입하는 지점에 설치 • 해당 관광지를 계속 안내할 필요가 있는 경우 주요 진입도로부터 교차점 등 적절한 위치에 5회에 한하여 설치		—
자동차 전용도로 예고표지	자동차전용도로로 진입하는 지점으로부터 1.5km, 500m 못 미친 지점에 설치		—

주) 고속도로에서는 “방향”대신 “출구(점)”표지임

② 다판식

다판식은 하나의 지주에 2개 이상의 표지판을 설치하는 형식으로 현수식과 문형식이 그 대표적인 예이며, 주행도로의 차도 상단부에 설치하므로 운전자가 길 가장자리로 시선을 옮기지 않고도 쉽게 인지할 수 있으나 교차로의 형상을 정성적으로 표현하기가 곤란하다.

(3) 도로에 따른 구분

① 일반도로(지방지역도로)

복주식으로 설치하는 것이 보편적이나 도로표지 설치로 인하여 보행자 통행에 지장을 줄 경우와 도로 주변에 건물·지장물 등이 있어 시인성 확보가 어려울 경우, 4차로 이상 도로로서 고속주행으로 인해 표지판의 시인성 확보가 필요한 구간에는 편지식 또는 현수식으로 설치한다.

② 일반도로(도시지역도로)

편지식 또는 현수식으로 설치하는 것이 원칙이나 보행통행에 지장이 없다고 판단되는 곳에는 단주식 또는 복주식으로 설치한다. 그리고 도로표지 내용에 따라 부착식으로 설치를 해도 큰 무리가 없을 것으로 판단될 때는 부착식으로 설치한다.

③ 고속도로(자동차 전용도로)

도로표지의 종류에 따라 단주식, 복주식 편지식, 문형식으로 설치할 수 있으나, 왕복 4차로 이상의 도로에서는 문형식으로 설치함을 원칙으로 하며 왕복 2차로의 도로에서는 편지식, 복주식 등 지형여건에 따라 설치한다.

1.2.4 설치위치 및 설치높이

(1) 단주식, 복주식

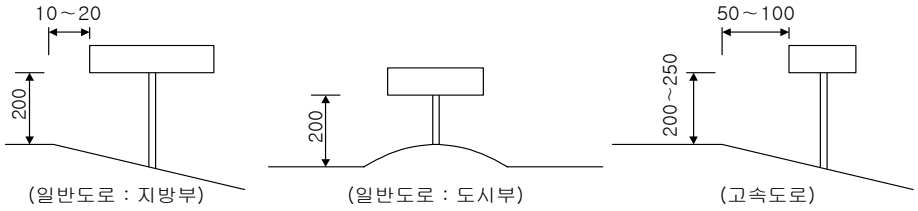
고속도로에서는 표지판의 차도를 향한 끝부분이 도로 가장자리로부터 50～100cm 벗어나는 지점에, 차도면과 표지의 아래면까지의 높이가 200～250cm가 되도록 설치한다.

일반도로에서는 표지판의 차도를 향한 끝부분이 도로 가장자리로부터 10～20cm 벗어나는 지점에, 차도면과 표지의 아래면까지의 높이가 200cm가 되도록 설치한다.

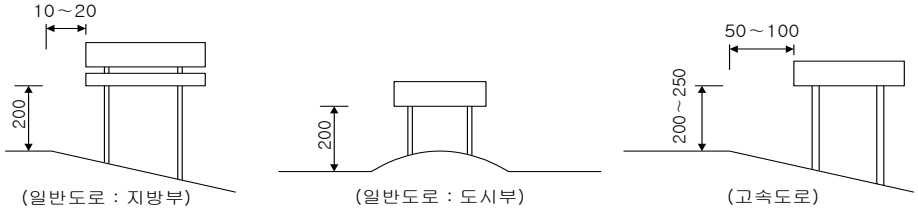
(2) 편지식, 현수식, 문형식 및 부착식

이 경우는 차도의 시설한계인 450cm와 시공오차, 자재의 구부러짐, 노면의 덧씌우기 등을 고려하여 50cm의 여유를 두어 차도면부터 표지판 아래까지 500cm가 되도록 설치한다. 이 설치높이는 고속도로와 일반도로의 구분없이 모든 도로에 적용된다.

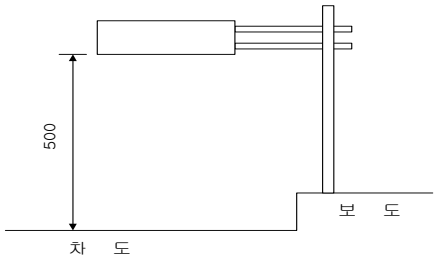
<그림 802.2.1>은 도로표지를 고속도로와 일반도로에 설치할 때의 설치위치를 나타낸 것이다.



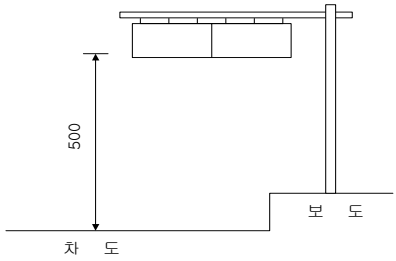
(a) 단주식



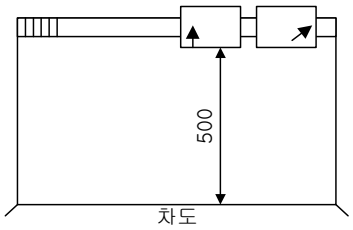
(b) 복주식



(c) 편지식



(d) 현수식



(e) 문형식

(단위 : cm)

<그림 802.2.1> 도로표지의 설치위치 및 설치높이

1.2.5 설치각도

① 도로표지는 차량의 진행방향과 직각이 되도록 설치한다.

② 표지판을 육교 등의 시설물에 부착식으로 설치하는 경우, 육교 등이 도로에 대하여 직각으로 설치되어 있지 않을 때에도 표지판은 도로에 대하여 직각이 되도록 설치한다.

③ 일반적으로 표지판은 상하가 수직이 되도록 설치한다.

④ 하지만 적설지역에서는 표지판에 적설되는 것을 방지하기 위하여 상단과 하단이 15° 정도 경사지게 설치할 수 있다.

1.2.6 재 료

(1) 표지판의 재료

① 표지판은 두께 3mm 이상의 알루미늄판 또는 알루미늄 챈널을 사용하여야 한다. 알미늄판을 사용할 경우에는 KS D 6701(알루미늄 및 알루미늄 합금판 및 조)의 A5005P-H14의 규격품을 사용하여야 하며 알루미늄 챈널을 사용할 경우에는 KS D 6759(알루미늄 및 알루미늄합금 압출 형재)의 A6063S-T5 규격품을 사용하되, 용접을 견고히 하여야 한다.

② KS D 3698(냉간 압연 스테인레스 강판 및 강대)의 STS 304의 규격품 밴드 및 철판가공 용융아연도금 밴드를 사용하는 것으로 한다.

③ 볼트, 너트 및 와셔는 KS D 3706(스테인레스 강봉) STS 304 NI-B에 준하며 그 형상은 KS B 1002(6각 볼트)의 규격품을 사용해야 한다.

④ 챈널과 지주 결합용 클립은 KS D 6701의 A6061FD-T6의 규격품을 사용하여야 한다.

⑤ 경우에 따라서 알미늄 재료이외의 합판, 합성수지, 메타크릴수지판 등 적절한 재료를 사용할 수 있다.

(2) 지주의 재료

① 도로표지에 사용되는 지주는 KS D 3556(일반구조용 탄소강관) 및 KS D 3503(일반구조용 압연강재)의 규격품을 사용하여야 한다.

② 지주의 형태는 기본적으로 원형강을 사용하되, 여건에 따라 H형강, 각 형강 등의 형태를 사용할 수 있다. 지주규격의 산정방법은 "도로표지관련규정집(건설교통부, 1997)"의 부록편을 참고한다.

③ 지주용 캡은 KS D 3501(열간 압연 연강판 및 강대)의 규격품을 사용하여야 하며, 지주연결용 강판은 KS D 3503의 규격품을 사용하여야 한다.

1.2.7 반사재료

(1) 규격 및 색도기준

① 반사지의 구조와 종류

표지에 사용되는 반사지는 유리구슬을 수지필름의 내부에 봉입한 일반반사지와 수지필름의 내부에 공기층을 형성시켜 유리구슬이 공기층에 노출되도록 한 고휘도반사지(High Intensity Sheet), 그리고 미세한 입방체 입자를 이용한 초고휘도 반사지(Super High Intensity Sheet) 등이 있다. 반사지의 종류별 구조는 <그림 802.2.2>와 같다.

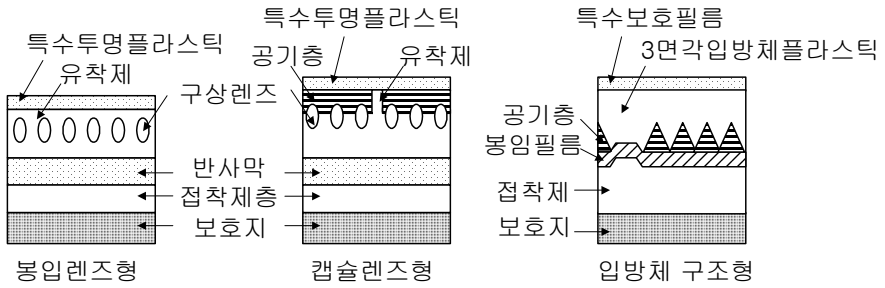
입방체 구조형은 입방체의 크기와 구조 및 배열방법에 따라 반사성능이 크게 차이가 나므

로 입방체 구조를 갖고 있다 하더라도 <표 802.2.4>의 반사성능을 나타내지 못하면 초고휘도 반사지라고 할 수 없으므로 주의하여야 한다.

② 반사지의 성능

가. 색도기준

표지에 사용되는 반사지의 최소색도기준은 <표 802.2.2>와 같다.



(일반 반사지) (고휘도 반사지) (초고휘도 반사지)

<그림 802.2.2> 반사지의 종류별 구조

<표 802.2.2> 반사지의 색도범위

색	색도좌표의 범위								Y값의 한계 (%)	
	1		2		3		4			
	x	y	x	y	x	y	x	y	상한	하한
백 색	0.303	0.287	0.368	0.353	0.340	0.380	0.274	0.316	-	27
황 색	0.498	0.412	0.557	0.442	0.479	0.520	0.438	0.472	40	15
적 색	0.613	0.297	0.708	0.292	0.636	0.364	0.558	0.352	11	2.5
청 색	0.144	0.030	0.244	0.202	0.190	0.247	0.066	0.208	10	1
녹 색	0.030	0.380	0.166	0.346	0.286	0.428	0.201	0.776	8	3
갈 색	0.430	0.340	0.430	0.390	0.550	0.450	0.610	0.390	9	3

주) CIE(국제조명위원회) 1931 표준색도에 의거한다.

나. 성능기준

표지에 사용되는 반사지로서 필요한 반사성능은 <표 802.2.3>과 <표 802.2.4>의 기준 이상이어야 한다. 단, 반사지는 색변화나 갈라지거나 벗겨짐이 생겨서는 안된다.

다. 반사지의 사용구분

표지에서 바탕에 사용되는 반사지의 밝기와 문자, 기호에 사용되는 반사지의 밝기의 비는 표지가 설치되어 있는 주변의 여건과 관련이 있으나 일반적으로 1:5 이상의 대비가 유지되도록 한다.

【예】녹색바탕의 밝기가 45이고 백색문자의 밝기가 250일 경우 밝기의 비는 1:5.5이며, 녹색바탕의 밝기가 120이고 백색문자의 밝기가 700이면 밝기의 대비는 1:5.8이 된다. 한편, 대비가 1:50 이상이 되면 문자나 기호가 빛을 발하여 표지의 판독성이 저하된다고 알려져 있다.

반사지는 설치지점의 주변 환경, 내구성, 시인성, 판독성, 경제성, 반사성능 등을 고려하여 선택적으로 사용하되 일반적으로 교통량이 많거나 고속주행이 가능한 도로에서는 반사지의 밝기가 큰 것을 사용한다.

<표 802.2.3> 고휘도급 반사지의 반사계수(High Intensity)

(단위 : cd/lx/㎡)

관측각(°)	입사각(°)	백 색	황 색	적 색	청 색	녹 색	갈 색
0.2	-4	250	170	45	20	45	12
0.2	+30	150	100	25	11	25	8.5
0.5	-4	95	62	15	7.5	15	5.0
0.5	+30	65	45	10	5	10	3.5

주) Federal Highway Administration, Standards Specifications For Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects

<표 802.2.4> 초고휘도 반사지의 반사계수(Super High Intensity)

(단위 : cd/lx/㎡)

관측각(°)	입사각(°)	백 색	황 색	적 색	청 색	녹 색
0.2	-4	700	470	120	56	120
0.2	+30	400	270	72	32	72
0.5	-4	160	110	28	13	28
0.5	+30	75	51	13	6.0	13

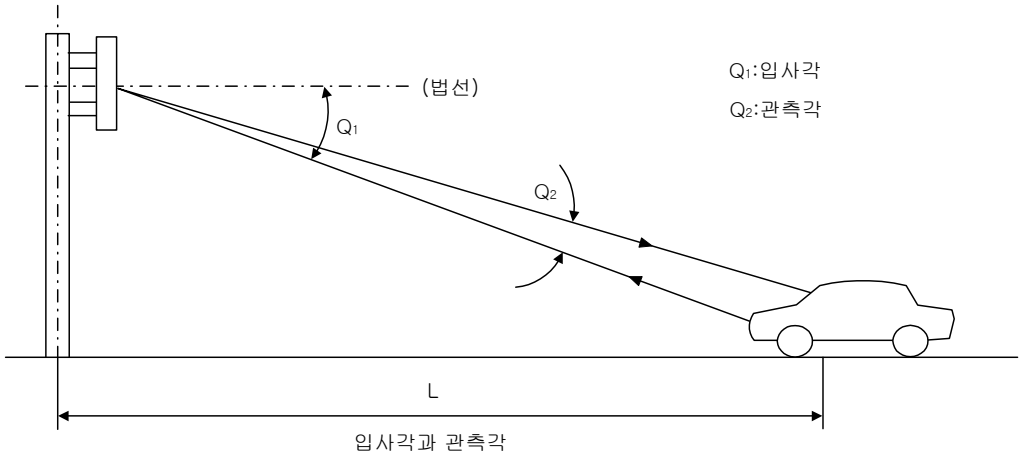
주) Federal Highway Administration, Standards Specifications For Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects

라. 입사각과 관측각

표지에 이용되는 반사지는 표지판에 전조등외의 빛이 정면으로 닿는 경우(입사각 = 0°)외에 사선으로 와닿는 경우(입사각 > 0°)에도 정확히 재귀 반사해야 한다. 표지판과 전조등의 빛이 이루는 각도를 입사각이라 한다.

운전자의 시선과 전조등의 빛이 표지판에서 이루는 각도를 관측각이라 하는데 차종과 표지판의 높이에 따라 다소 차이가 있기는 하지만, 시인성 관련 문제는 발생되지 않는다. 입사각과 관측각의 관계는 <그림 802.2.3>과 같다.

표지판과 운전자의 거리(L)가 약 150~180m 정도일 때의 관측각은 승용차의 경우 Q_2=0.2, 버스·트럭의 경우 Q_2=0.5가 된다.



<그림 802.2.3> 입사각과 관측각

1.2.8 표지기둥

최근 도로표지나 가로등, 또는 신호등 기둥의 크기가 점차 커짐에 따라 기둥과 충돌할 때 발생하는 사고의 위험도나 인명피해가 점점 늘어날 것이다.

도로표지를 지탱하고 있는 기둥들은 그 자체만으로 운전자에게 도로변의 위험요소로 작용하기 때문에 기둥과 같은 도로변의 고정물체로부터 운전자들을 보호할 수 있는 방안이 필요하다.

현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 표지기둥의 방식은 고정식 방식으로, 이 방식은 자동차가 표지기둥에 부딪쳐도 기둥이 분리되거나 안전하게 부서지지 않아 운전자에게 미치는 위험도가 매우 높다.

따라서 본 편람에서는 안전이라는 개념을 도입한 방식인 분리식(breakaway) 기둥에 대한 설계방법을 소개하며, 설치방법 및 제원 등에 관한 자세한 내용은 지속적인 연구를 통해 향후 편람에 포함시킬 예정이다. 일반적으로 분리식 기둥의 설계 개념은 표지 기둥 뿐만 아니라 가로등, 신호등 등 모든 종류의 기둥에 적용된다.

(1) 분리식 기둥의 정의

분리식 기둥은 풍하중에는 견딜 수 있으나 자동차가 기둥에 부딪치면 기둥의 일정 지점이 부서지도록 고안된 방식이다. 분리식 기둥은 기둥의 일정 지점이 부서져서 기초와 분리되어도 기둥 그 자체는 손상되지 않고 그대로 남아 있게 된다.

(2) 분리식 기둥의 종류

분리식 기둥은 그 설치방법에 따라 크게 슬립 베이스(Slip Base) 방식과 커플러(Coupler) 방식으로 구분할 수 있다. 각 방식의 특성은 다음과 같다.

① 슬립 베이스 기둥

슬립 베이스에는 일방향 분리식과 양방향 또는 다방향 분리식이 있으며, 일방향 분리식은 자동차가 오직 한 방향에서 충돌할 때에만 기둥이 기초에서 분리되도록 고안된 방식이며, 다방향 분리식은 자동차가 어떤 방향에서 충돌하여도 기둥이 분리되도록 고안된 방식이다.

일방향 분리식 슬립 베이스는 수평식과 경사식으로 구분되며, 경사식은 바닥을 수평면과 약 10°정도 경사지도록 만든다. 표지기둥이 기초에서 분리될 때 기둥에는 수직방향으로 미는 힘과 함께 회전력이 생긴다. 따라서 자동차가 기둥에 부딪치면 기둥은 기초에서 분리되지만 표지판과 기둥은 일체가 되어 자동차 위에서 회전하게 된다. 만일 표지기둥이 하나인 경우에 일방향 분리식을 사용하려면 경사식을 사용하여야 한다. 자동차가 표지의 반대 방향에서 부딪칠 수도 있을 경우에는 수평식을 이용한 양방향 설계법을 적용하여야 한다.

도로의 상·하행선이 구분된 경우를 제외하고는 표지기둥은 언제나 양방향 충돌 가능성이 있다. 또한 상·하행선이 구분된 경우라도 도로공사나 유지관리 작업을 할 때에는 자동차를 서로 교행하도록 하는 경우가 많으므로 양방향 충돌 가능성에 대비하여야 한다. 따라서 일단 양방향 분리식을 설치한 지점도 다방향 분리식으로 교체하는 지점이 점점 늘어나는 추세에 있다.

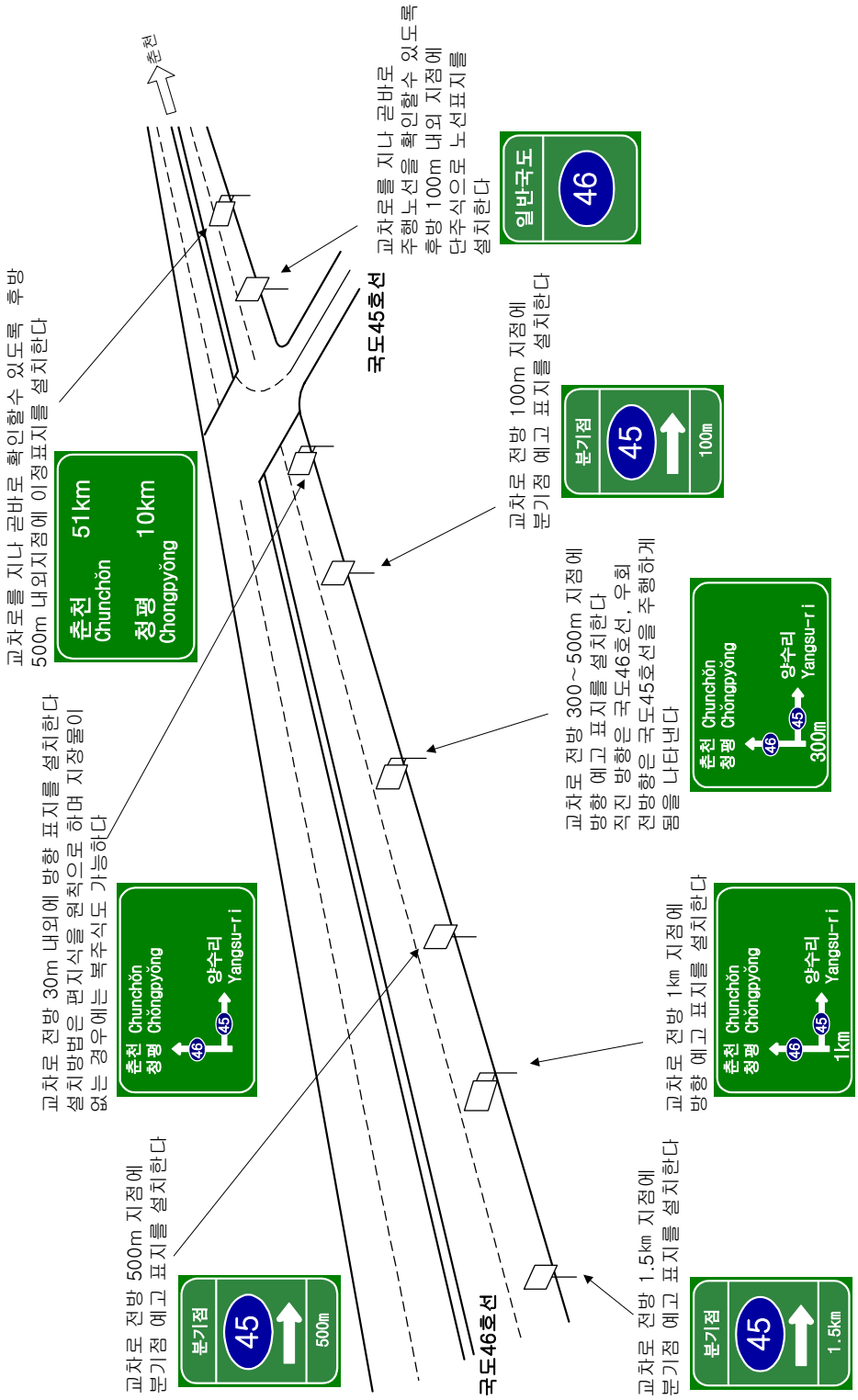
복주식 표지의 기둥 간격이 2.4m 이상인 대형 표지는 수평 슬립 베이스를 사용한다. 이 설계법에서는 기둥의 표지판 바로 밑 부분에 힌지를 설치한다. 만일 자동차가 이 중 한 개의 기둥에 부딪치면 그 기둥은 기초에서 분리되어 힌지를 중심으로 회전하게 된다. 이렇게 되면 자동차는 표지판 밑을 무사히 지나가게 되고 표지판은 나머지 기둥만에 의하여 지탱된다. 이때 기둥간 간격은 자동차가 한 개의 기둥에만 부딪치도록 최소 2.4m가 되도록 한다. 표지판은 지상에서 2.1m 이상 높이로 설치하여 자동차가 표지판에 직접 부딪치는 일이 없도록 하여야 한다.

② 커플러 방식

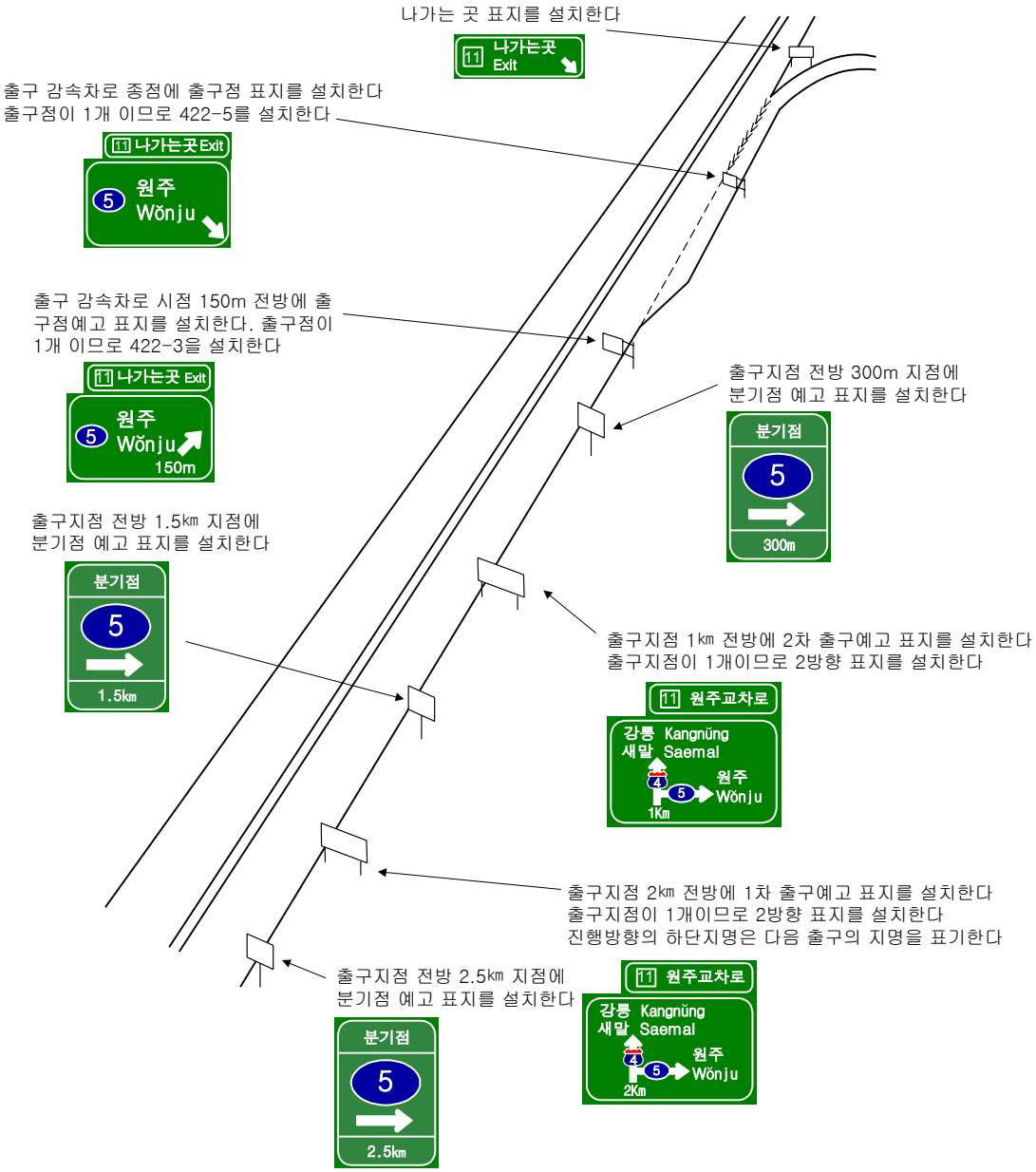
커플러는 표지 기둥 및 부분의 바닥판과 기초 바닥판 사이에 끼워 넣어 기둥과 기초를 연결하는 역할을 한다. 자동차가 기둥에 부딪치면 충격 하중은 커플러에 집중되며 또한 상대적으로 쉽게 부서지는 취약 지점이 된다.

1.3 종합적 설계

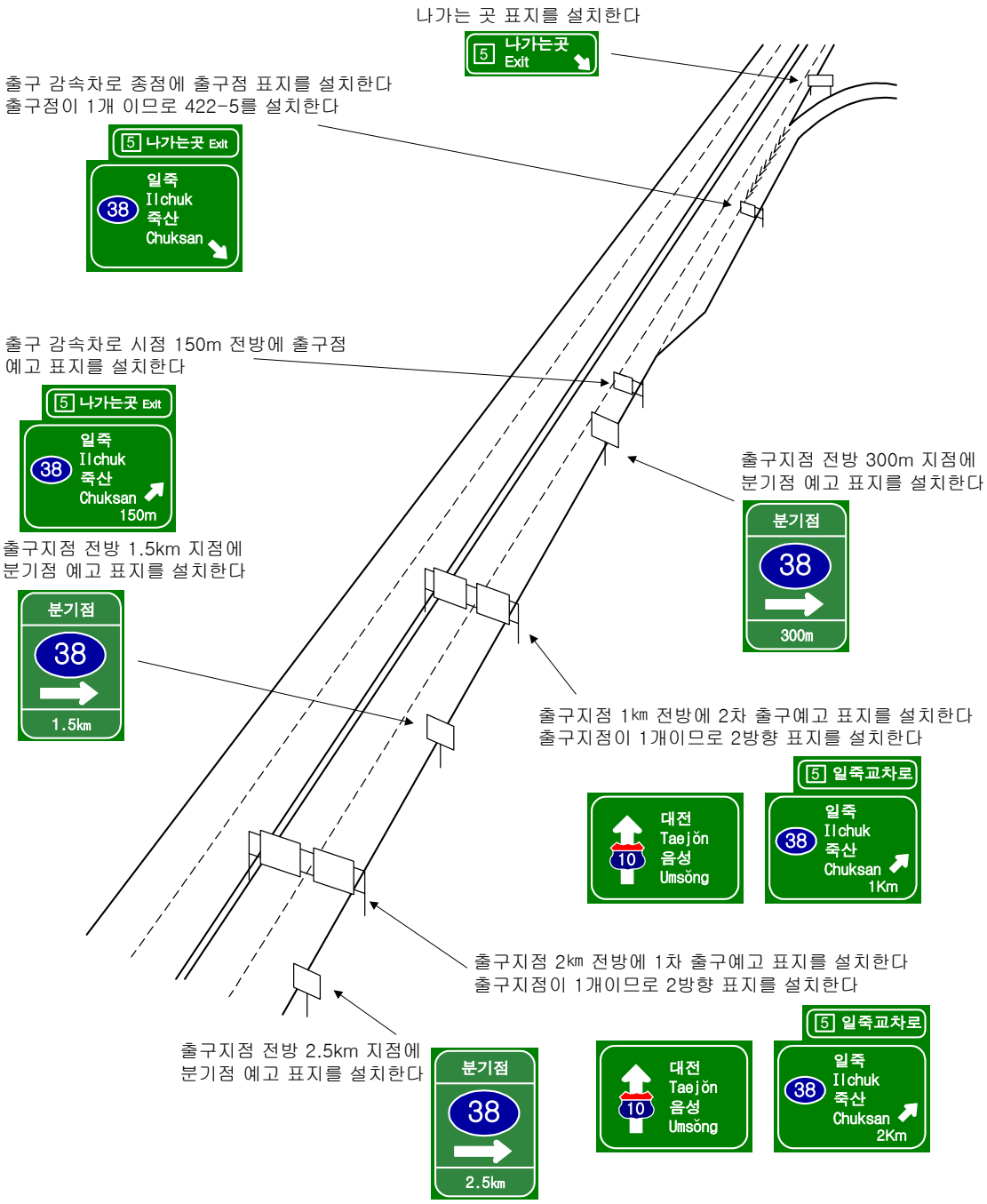
1.3.1 일반국도(지방부도로)에서의 도로표지 설계 예



1.3.2 인터체인지 부근에서의 도로표지 설계 예(2차로)



1.3.3 인터체인지 부근에서의 도로표지 설계 예(4차로)



802.3 노면표시

1.1 개 요

1.1.1 정의 및 기능

노면표시는 도로교통법 시행규칙 제3조 제1항 5호에서 “도로교통의 안전을 위하여 각종 주의, 규제, 지시 등의 내용을 노면에 기호, 문자 또는 선으로 도로사용자에게 알리는 표시”라고 정의하고 있으며, 도로구조를 보존하고 도로교통의 안전과 원활을 도모하고, 안전표지를 보완하거나 혹은 독자적으로 도로이용자에게 규제 또는 지시의 정보를 전달하는 기능을 가진다.

1.1.2 종 류

(1) 규제표시

규제표시는 도로교통안전을 위하여 각종 제한, 금지 등의 규제내용을 알리는 표시로 다음과 같은 것들이 있다.

- 선규제
- 통행방법 규제
- 정차·주차 규제
- 노상장애물 규제

(2) 지시표시

지시표시는 도로의 통행방법, 통행구분 등 도로교통의 안전을 위하여 필요한 지시를 도로이용자에게 알려 이에 따르도록 하는 표시로 여기에는 다음과 같은 종류가 있다.

- 주차방법 지시
- 유도지시
- 횡단지시
- 방향 및 방면지시
- 기타지시

1.1.3 관련 기준

- 교통안전시설실무편람, 경찰청, 1996

1.2 설계기준

1.2.1 일반적 기준

(1) 야간반사성

노면표시는 야간에 조명이 없는 곳에서도 잘 보일 수 있도록 반사재를 사용하여야 하며, 재귀반사명시도의 기준은 <표 802.3.1>과 <표 802.3.2>와 같다.

노면표시의 반사휘도 측정은 10km 이내의 경우에는 임의의 20개소, 10km 이상의 경우에는 km당 2개소 추가 측정하여 이 중 90%가 기준치 이상이어야 한다.

여기서 입사각과 관찰각은 <그림 802.3.1>과 같다.

입사각과 관찰각은 현재 국제적으로 통일된 값은 없으나 통상 30m 거리에서 차량전조등 높이 65cm, 운전자의 눈 높이 1.2m를 표준으로 할 때 입사각 88.76°, 관찰각 1.05°로 된다. 현재까지는 현장에서의 측정기기가 각기 다른 입사각과 관찰각을 갖고 있어 측정기기 및 각도에 따라 보정하여 사용하여야 한다.

<표 802.3.1> 노면표시 재귀반사명시도

(단위 : mcd/㎡ · Lux)

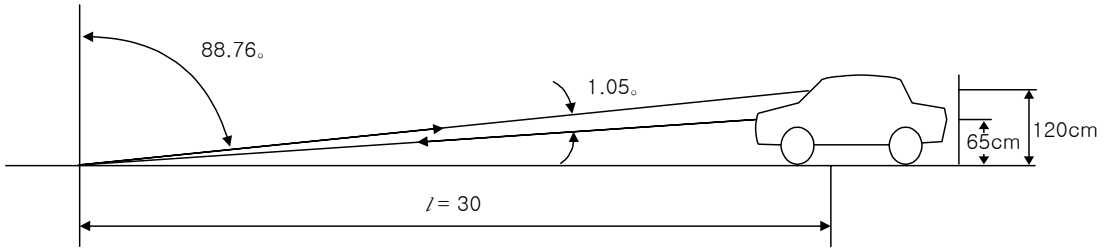
입사각	관찰각	구 분	반 사 성 능		
			백 색	황 색 (백색의 60%)	청 색 (백색의 8%)
86.5°	1.0°	도색후 3개월 이내	150	90	12
		재도색 시기	70	40	5
86.5°	1.5°	도색후 3개월 이내	120	70	9
		재도색 시기	55	30	4
88.76°	1.05°	도색후 3개월 이내	80	45	6
		재도색 시기	35	20	2

주) 1. 재도색 시기는 재귀반사명시도의 값이 기준치 이하일 때 재도색 시점으로 본다.
2. 상기 기준은 잠정 기준치로 노면표시 설치기술 및 유리알 생산기술의 개선에 따라 상향조정 될 수 있음.

<표 802.3.2> 테이프식 노면표시 반사성능

(단위 : mcd/㎡ · Lux)

입사각	관찰각	구 분	반사성능			비 고
			백색	황색 (백색의 60%)	청색 (백색의 8%)	
86.5°	1.0°	설치시	300	175	64	
		2년까지	100	58	21	
86.5°	1.5°	설치시	240	136	48	
		2년까지	80	45	16	
88.76°	1.05°	설치시	160	87	32	
		2년까지	53	29	11	



<그림 802.3.1> 입사각과 관찰각

(2) 색채

노면표시에 사용되는 색채로는 백색, 황색, 청색이 사용되며 그 뜻과 기준은 다음과 같다.

- 백색 : 동일한 방향의 교통류 분리 및 경계표시
- 황색 : 반대방향의 교통류 분리, 제한 및 지시표시
- 청색 : 지정방향의 교통류 분리표시(전용차로 등)

색채기준은 백색의 경우 동일하나, 황색의 경우에는 그 색상의 배경이 되는 포장면의 종류에 따라 적용한다. 시멘트 콘크리트의 경우에는 밝고, 아스팔트 콘크리트의 경우에는 어두운 색이기 때문에 색의 대비가 고려되어야 한다. <표 802.3.3>은 색채기준을 나타낸다.

(3) 선의 종류 및 규격

노면표시는 노면상에 기호, 문자 및 선으로 표시한다. 실선(연속선)은 제한을 뜻하며, 2중 실선은 최대의 제한을 뜻한다. 점선은 유도 및 융통성 있는 제한을 뜻한다(필요시 허용).

선의 종류 및 규격은 <그림 802.3.2>와 <표 802.3.4>와 같다.

<표 802.3.3> 색채기준

색 종 류	색 번 호	비 고
백 색	37875	허용치 △E = 1 이내
황 색	33538(아스팔트) 26709(시멘트)	
청 색	35250	

주) 한국산업규격(KS M 5332, KS M 5333, KS M 5336) 도료의 기준임

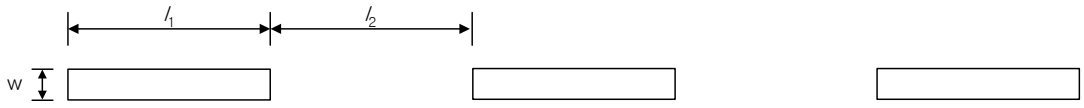
<표 802.3.4> 선의 종류 및 규격

(단위 : cm)

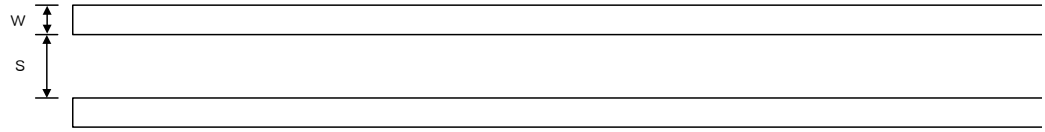
선 종 류 \ 구 분			도로교통법 시 행 규 칙	표 준		
				시가지도로	지방도로	자동차전용도로
중앙선	점선 (단선)	길이(ℓ_1)	300	300	300	300
		길이(ℓ_2)	300	300	300	300
		폭(w)	15～20	15～20	15～20	15～20
	실선 (단선)	폭(w)	15～20	15～20	15～20	15～20
	실선 (복선)	폭(w)	10～15	10～15	10～15	10～15
		간격(s)	10～15	10～15	10～15	10～15
차선	실선	폭(w)	10～15	10～15	10～15	10～15
	점선	길이(ℓ_1)	300～1,000	300	500	1,000*
		길이(ℓ_2)	(1～2) ℓ_1	500	800	1,000*
		폭(w)	10～15	10～15	10～15	10～15
길가장자리 구역선	실선	폭(w)	15～20	15～20	15～20	15～20

주) * : 고속도로의 경우, 점선의 규격 ℓ_1 , ℓ_2 는 각각 800cm, 1,200cm로 한다.

(가) 점선



(나) 실선



<그림 802.3.2> 선의 종류

1.2.2 종류별 설치장소 및 방법

(1) 선규제

① 중앙선(601)

노폭 6m 이상인 도로에 설치하여 반대방향의 교통류를 분리하는 역할을 하며 반드시 도로중앙에 설치할 필요는 없다.

가. 황색점선

반대방향의 교통에 주의하면서 도로양측으로 넘어갈 수 있음을 표시하는 중앙선으로, 충분한 앞지르기 시거가 확보될 경우에만 사용하여야 한다.

나. 황색실선

어떠한 경우에도 넘어가거나 침범할 수 없는 중앙선으로, 시가지 도로 및 이면도로와 지방도로에서 앞지르기 금지구역에 적용한다.

다. 황색실선 및 점선

점선이 있는 쪽에서만 앞지르기가 허용되며 반대방향에서는 앞지르기를 금지시키는 중앙선이다.

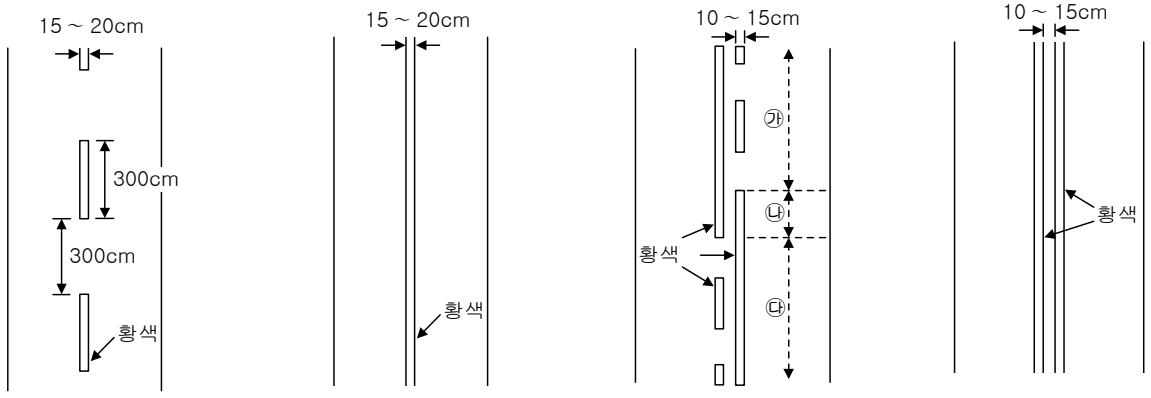
라. 황색실선의 복선

어떠한 도로나 어떤 경우에도 넘거나 침범할 수 없는 절대적인 중앙선으로, 편도 2차로 이상의 도로와 중앙분리대가 없는 고속도로에 설치한다.

② 유턴구역선(601-1)

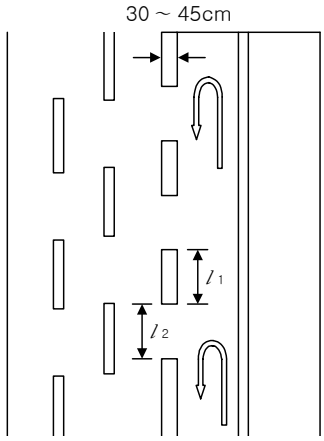
편도 3차로 이상의 도로에서 자동차의 유턴이 허용된 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 설치한다. 유턴 허용지역 설치기준은 다음과 같다.

- 편도 3차로 이상인 도로로서 편도폭이 9m 이상인 도로
- 교통량이 시간당 1,200대 이하인 도로
- 유턴 허용차량은 가급적 승용차로 제한
- 가급적 좌회전 전용차로(좌회전 포켓)가 있는 도로
- 인접 교차로간 거리 및 신호주기등 주변 교통여건 감안
- 유턴허용으로 인해 교통장애 및 교통사고 위험이 예상되는 지점은 제외



(1) 점선 (2) 실선 (3) 점선 및 실선 (4) 실선(복선)

<그림 802.3.3> 중앙선(601) 표시 설치 예



<그림 802.3.4> 유턴구역선(601-1) 표시 설치 예

③ 차선 (602)

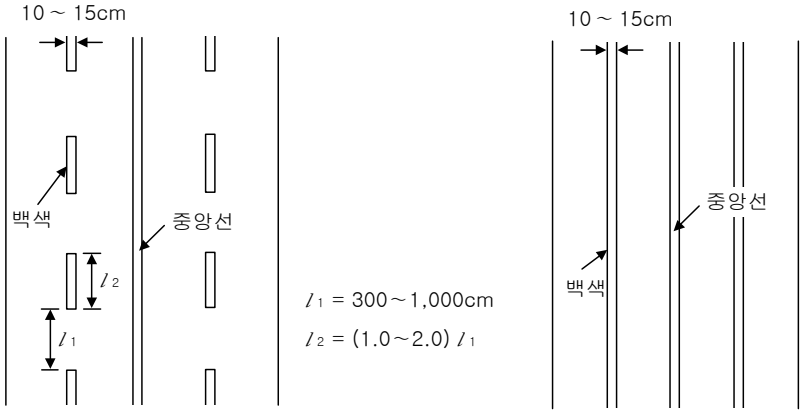
동일방향 교통류를 차종과 속도에 따라 분리 이용하게 하여 교통소통을 원활히 하기 위하여 도로구간내 차로의 경계를 표시하는 것으로, 편도 차도폭 6m 이상의 도로에는 차선을 설치하여야 한다.

가. 백색점선

동일방향의 교통에 주의하면서 차로를 변경할 수 있는 선으로 일반적으로 설치하는 차선이다.

나. 백색실선

차로를 변경할 수 없는 선으로서 교량, 커브길, 오르막길의 정상부분, 터널내, 교차로의 정지선 부근에 설치한다.

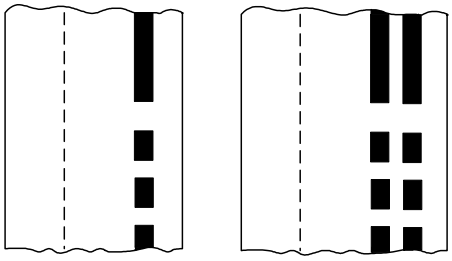


<그림 802.3.5> 차선(602) 표시 설치 예

④ 버스 전용차로(602-1)

노선버스의 원활한 소통을 위하여 버스전용차로가 설치되는 도로구간에서는 차로의 경계를 청색으로 표시한다.

- 시간제 운영구간에는 단선, 전일제 운영구간에는 복선을 설치한다.
- 청색실선은 차로를 변경할 수 없는 선으로서 교차로의 정지선 부근, 버스정류장, 교량 등에 설치
- 청색점선은 동일방향의 교통에 주의하면서 차로를 변경할 수 있는 선



<그림 802.3.6> 버스 전용차로(602-1) 표시 설치 예

⑤ 길가장자리 구역선(603)

인도와 차도를 구분하여 차량주행 가능 지역을 표시하는 것으로, 불량한 시계조건 하에서는 시각적 안내와 유도를 할 수 있도록 반사재료를 사용한다.

- 인도와 차도가 같은 높이이며, 인도가 따로 설치되지 않는 곳에 설치한다.
- 인도와 차도의 경계가 설치되어 있을 때는 설치하지 않는다.
- 주차금지(610), 정차·주차금지(611) 선을 설치할 때에는 별도로 본 표시를 설치하지 않는다.

⑥ 진로변경 제한선(604)

동일방향에서 진행하고 있는 차량의 진로변경을 제한하는 선으로서 차선 중 실선이 교차로 근방에 적용된 경우이다.

(1) 도로 양측 (2) 도로 편측

<그림 802.3.7> 길가장자리 구역선(603) 표시 설치 예

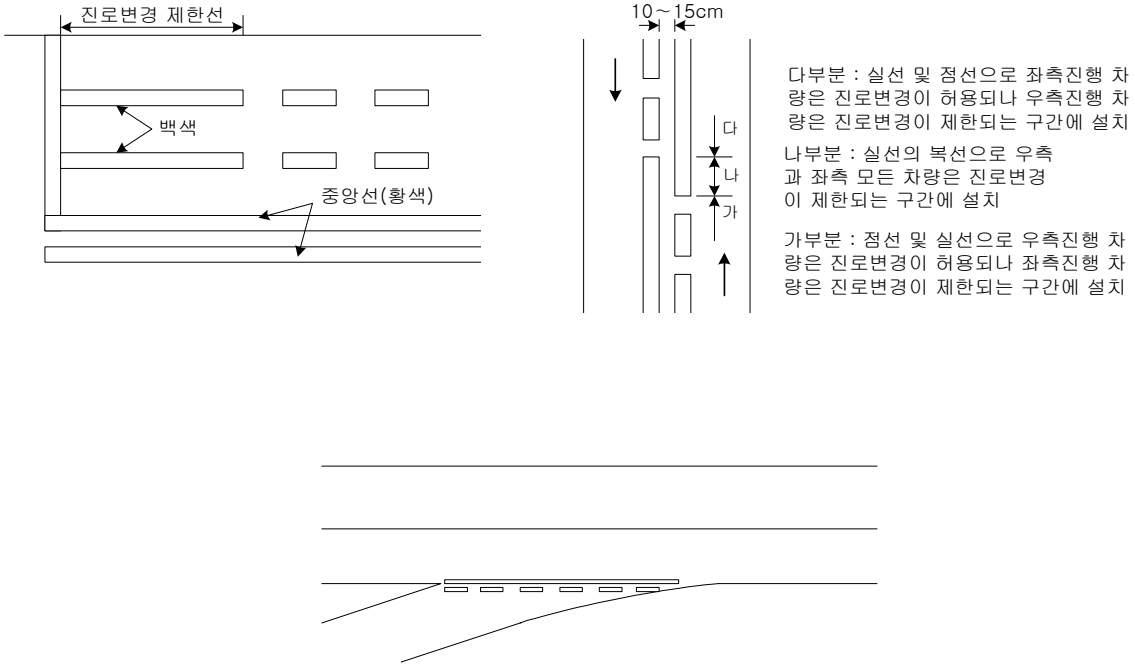
⑦ 진로변경 제한선(604-1)

도로가 분리 또는 합류되는 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 설치한다.

점선쪽 진행방향의 차량은 진로변경이 허용되나 실선쪽 진행방향의 차량은 진로변경이 제한되는 구간에 설치한다.

⑧ 진로변경 제한선(604-2)

고속도로 및 자동차 전용도로에서 차도폭 등을 고려하여 특별히 필요하다고 인정되는 경우 도로가 분리 또는 합류되는 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 설치한다.



<그림 802.3.8> 진로변경 제한선(604, 604-1, 604-2) 표시 설치 예

(2) 통행방법 규제

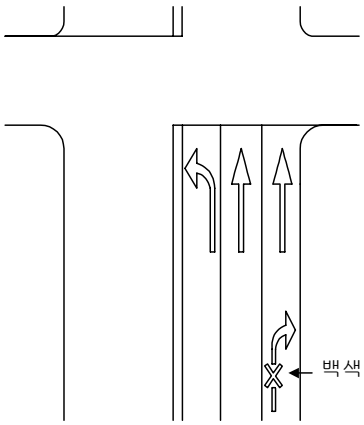
① 우회전 금지(606)

차량이 우회전하는 것을 금지하는 것으로서 우회전할 우려가 있는 전방 25m 지점에 설치하며 추가로 설치할 때는 25m 간격으로 설치한다(단, 고속도로나 고속도로에 준하는 도로는 300m).

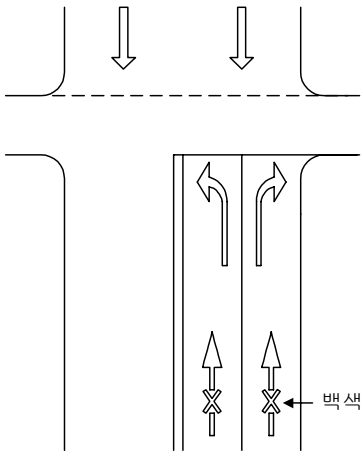
우회전할 우려가 있는 지점에는 우회전 금지(606) 표시를 설치하여야 하며, 노면에는 직진(711) 표시와 같은 진행하여야 할 방향표시를 한다.

② 직진금지(607)

차량이 직진하는 것을 금지하는 것으로서 교차로에서부터 전방 25m 지점에 설치하며 추가로 설치할 때는 25m 간격으로 설치한다. 단, 고속도로 및 고속도로에 준하는 도로에서는 300m 전방에 설치한다. 전방 교차로 지점의 노상에는 실제 진행하여야 할 방향을 표시하고, 적절한 안전표지도 설치한다.



<그림 802.3.9> 우회전 금지(606) 표시 설치 예

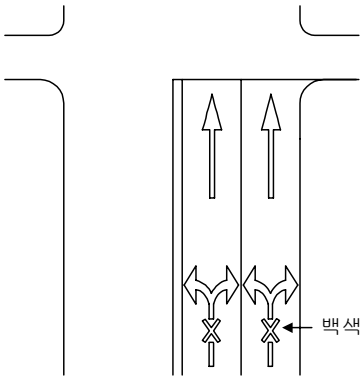


<그림 802.3.10> 직진금지(607) 표시 설치 예

③ 좌우회전 금지(608)

차량이 좌•우회전하는 것을 금지하는 것으로서 도시에서는 교차로에서부터 전방 25m 지점에 설치하며 추가로 설치할 때는 25m 간격으로 설치한다. 단, 고속도로나 고속도로에 준하는 도로에서는 300m 전방에 설치한다.

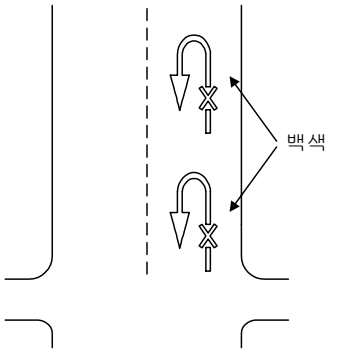
전방 교차로 지점의 노상에는 실제 진행하여야 할 방향을 표시하고, 적절한 안전표지도 설치한다.



<그림 802.3.11> 좌우회전 금지(608) 표시 설치 예

④ 유턴금지(609)

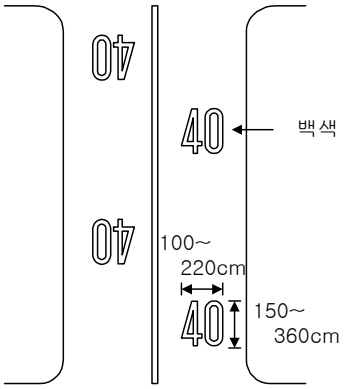
차량이 유턴하는 것을 금지하는 것으로서 유턴할 우려가 많은 지점 전방 25m 지점에 설치하며 추가로 설치할 때는 25m 간격으로 설치한다. 차량이 유턴할 우려가 있는 곳에는 반드시 안전표지를 설치하여야 하며 노면상에 본 표시를 중복 설치할 수도 있다.



<그림 802.3.12> 유턴금지(609) 표시 설치 예

⑤ 속도제한(612)

차량의 최고속도를 표시하는 것으로서 최고속도제한(220) 표지의 효과가 의심스러운 곳에 설치하며, 안전표지를 중복설치할 때에는 중간에 설치하는 것이 좋다. 안전표지를 하나만 설치하거나 교차로 입구에 설치할 때에는 본 노면표시를 안전표지 약 50m 지점에 설치한다.

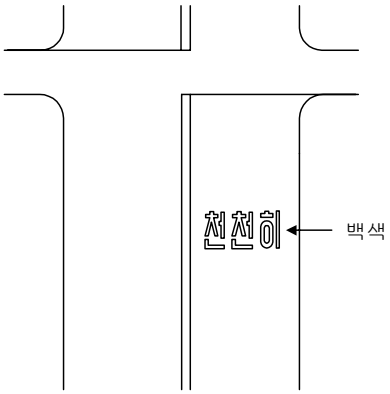


<그림 802.3.13> 속도제한(612) 표시 설치 예

⑥ 서행(613)

차량이 서행하여야 할 것을 표시하는 것으로서 서행(223) 표지의 효과가 의심스러운 곳에 설치하며, 서행(223) 표지를 중복하여 설치하는 경우 그 중간에 설치한다.

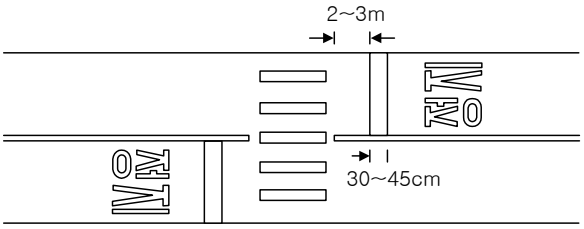
서행(223) 표지를 하나만 설치하거나 교차로 입구에 설치할 때에는 본 노면표시는 서행(223) 표지 전방 약 50m 지점에 설치한다.



<그림 802.3.14> 서행(613) 표시 설치 예

⑦ 일시정지(614)

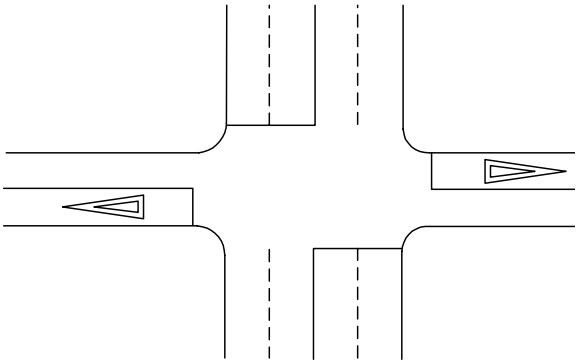
차량이 일시정지하여야 할 것을 표시하는 것으로서 일시정지(224) 표지의 효과가 의심스러운 곳에 설치한다. 통상 교통정리가 행하여지고 있지 않은 교차로 또는 횡단보도로부터 2~3m 전방에 차량이 정지하도록 설치한다.



<그림 802.3.15> 일시정지(614) 표시 설치 예

⑧ 양보표시(615)

교차로나 합류도로 등에서 자동차가 양보하여야 하는 지점에 설치한다.



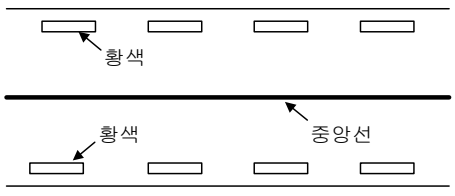
<그림 802.3.16> 양보표시(615) 표시 설치 예

(3) 정차·주차 규제

① 주차금지(610)

차량의 주차를 금지하는 것으로서 그 효과가 의심스러운 곳에서는 주차금지(215) 표지와 함께 사용할 수도 있다. 단, 길가장자리 구역선에 주차금지 표시를 할 때는 별도로 길가장자리 구역선을 표시할 필요가 없다. 황색의 점선을 차도 가장자리 또는 연석 측면에 표시하며, 그 장소는 다음과 같다.

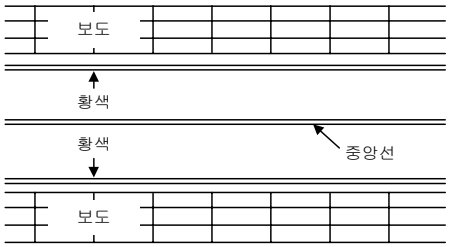
- 소방용 기계기구가 설치된 곳으로부터 5m 이내의 곳
- 소방용 방화물통으로부터 5m 이내의 곳
- 소화전 또는 소화용 방화물통의 흡수구나 흡수관을 넣는 구멍으로부터 5m 이내의 곳
- 화재경보기로부터 3m 이내의 곳
- 터널 안 및 다리 위
- 도로공사 구역의 양단으로부터 5m 이내
- 지방경찰청장이 도로에서의 위험을 방지하고 교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위하여 필요하다고 인정하여 지정한 곳



<그림 802.3.17> 주차금지(610) 표시 설치 예

② 정차・주차금지(611)

차량의 주차 및 정차를 금지하는 것으로서 그 효과가 의심스러운 곳에서는 정차・주차금지(214) 표지와 함께 사용할 수도 있다. 단, 길가장자리선에 정차・주차금지 표시를 할 때는 별도로 길가장자리 구역선을 표시할 필요가 없다. 황색의 실선을 차도 가장자리 또는 연석 측면에 표시하며, 그 장소는 다음과 같다.



<그림 802.3.18> 정차・주차금지(611) 표시 설치 예

- 교차로, 횡단보도 또는 건널목
- 교차로의 가장자리 또는 도로의 모퉁이로부터 5m 이내의 곳
- 안전지대가 설치된 도로에 있어서 그 안전지대의 우측 및 그 전후 양측으로부터 각각 10m 이내의 곳
- 버스여객자동차의 정류를 표시하는 기둥이나 판 또는 선이 설치된 곳으로부터 10m 이내의 곳. 다만 그 여객버스의 운행시간 중에 한함
- 건널목의 가장자리로부터 10m 이내의 곳
- 지방경찰청장이 도로에서의 위험을 방지하고 교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위하여 필요하다고 인정하여 지정한 곳

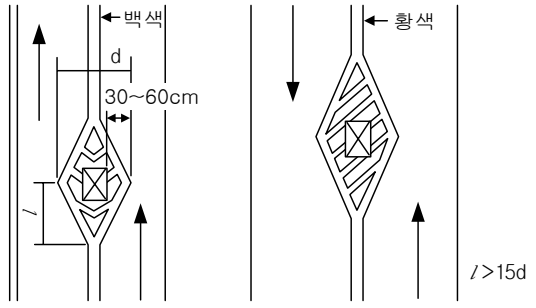
황색실선의 노면표시는 주로 중앙선에 사용되는바, 황색의 정차·주차금지 노면표시로 인하여 전후 연결구간의 일반 노면표시(백색)와 연계성이 없고 운전자에게 혼란을 가져다 줄 경우 노면표시는 길가장자리 구역선으로 표시하고 대신 교통안전표지를 설치한다.

(4) 노상장애물 규제

① 노상장애물(605)

노상에 장애물을 표시하는 것으로서 적절한 안전표지와 함께 설치한다. 진행노상의 분기점 및 급커브를 가진 도로 중앙분리대 등의 완충지대를 표시하기 위하여 설치한다.

- 사선방향은 차량의 진행방향에서 횡선으로 보이는 쪽으로 45°의 경사를 이루게 한다.
- 황색선은 도로중앙에 장애물이 있을 때에는 장애물을 중심으로 양측교통을 분리하여 설치한다.
- 백색선은 동일방향으로 진행하는 도로에 장애물이 있을 때 설치한다.

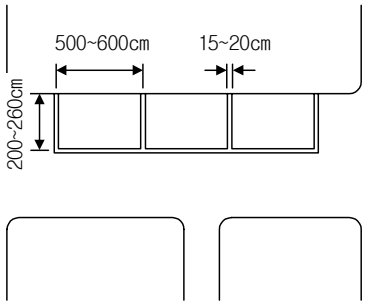


<그림 802.3.19> 노상장애물(603) 표시 설치 예

(5) 주차방법 지시

① 평행주차(701)

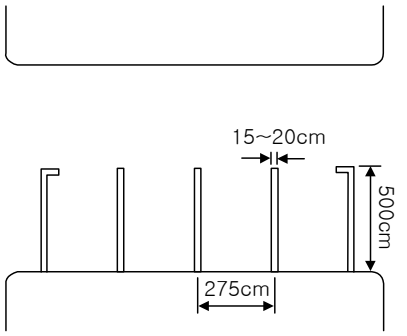
평행주차는 도로측단과 평행하게 주차하여야 할 장소임을 표시한다. 통상 노상주차 방법으로 많이 사용된다. 주로 노상주차장에 설치하는데 주차장소를 정하고 난 후에도 통행하는 차량에 지장이 없는 장소에 평행주차 표시를 한다.



<그림 802.3.20> 평행주차(701) 표시 설치 예

② 직각주차(701-1)

직각주차는 도로 또는 연석과 직각으로 주차하여야 할 장소임을 표시한다. 공공건물의 주차장 주차방법으로 많이 사용된다.

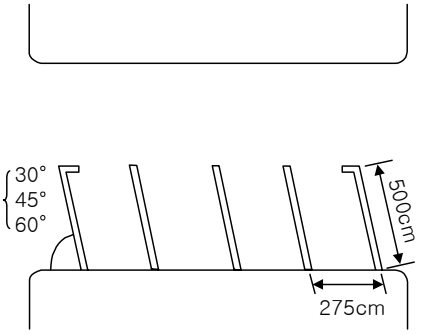


<그림 802.3.21> 직각주차(701-1) 표시 설치 예

③ 경사주차(701-2)

경사주차는 도로 또는 건물 측단에 대하여 사각으로 주차하여야 할 장소임을 표시하는 것으로서 경사각은 차량 진입로의 넓이 또는 주차장의 조건에 따라 30°, 45°, 60°등이 있다.

주로 상가 등 주차시간이 짧은 곳의 주차방법으로 사용하는 것이 좋다.

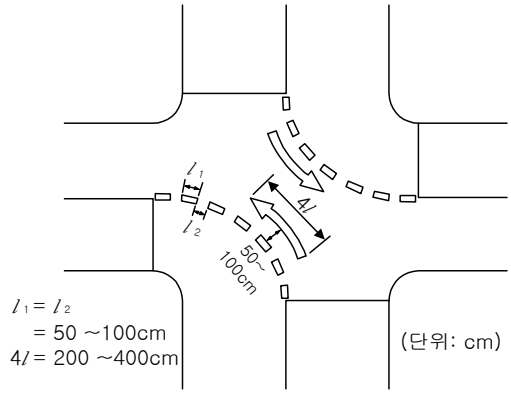


<그림 802.3.22> 경사주차(701-2) 표시 설치 예

(6) 유도지시

① 유도선(703)

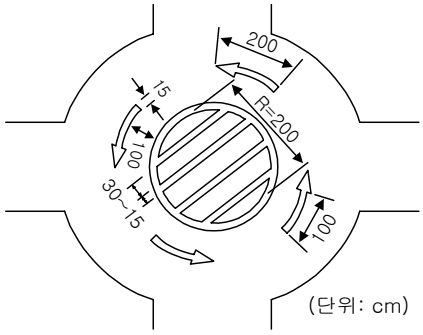
유도선은 교차로가 넓거나 언덕 위에 있어서 진입하고자 하는 차로를 찾기 힘들 때(특히 야간) 또는 좌회전하는 거리가 너무 먼 경우 중앙선 또는 차선을 연장하거나 좌회전방향을 유도하는 선을 표시한다.



<그림 802.3.23> 유도선(703) 표시 설치 예

② 유도(704)

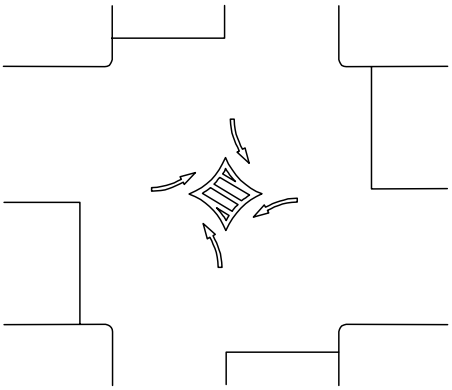
교차로 모양이 특이하거나 통행로가 넓어서 진입차량의 진행에 혼란을 가져오기 쉬운 곳에 설치하여 차량이 정확히 통행해야 할 방향을 유도하는 표시이다.



<그림 802.3.24> 유도(704) 표시 설치 예

③ 유도(704-1)

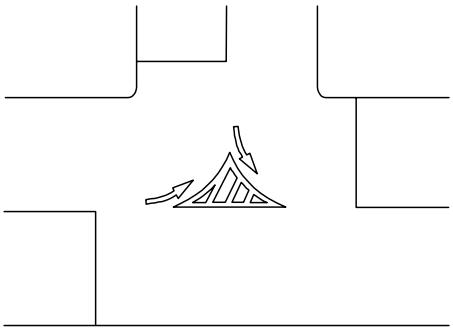
교차로의 모양이 특이하거나 넓어서 좌회전 차량의 진로를 분명히 나타내 줄 필요가 있는 곳에 설치한다.



<그림 802.3.25> 유도(704-1) 표시 설치 예

④ 유도(704-2)

T형 교차로에서 그 모양이 특이하거나 넓어서 좌회전 차량의 진로를 분명히 나타내 줄 필요가 있는 곳에 설치한다.



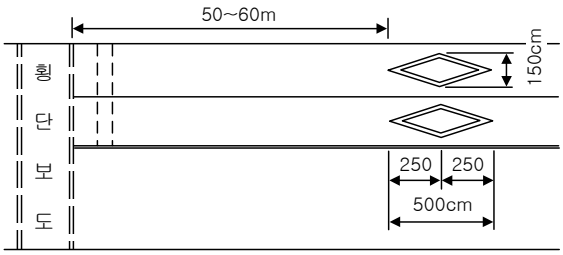
<그림 802.3.26> 유도(704-2) 표시 설치 예

(7) 횡단지시

① 횡단보도 예고(705)

전방에 횡단보도가 있음을 알리는 것으로서 본 표시의 효과가 의심스러운 곳에서는 횡단보도(120) 표지를 함께 설치한다. 설치위치는 다음과 같다.

- 신호기가 없는 횡단보도 전방 50~60m 노상에 설치한다.
- 편도 2차로 이상의 도로에 있어서는 각 차로마다 설치한다.
- 신호기가 설치되어 있는 횡단보도에도 시거 등을 고려하여 표시할 수 있다.
- 추가설치가 필요할 경우에는 10~20m를 더한 거리에 설치한다.



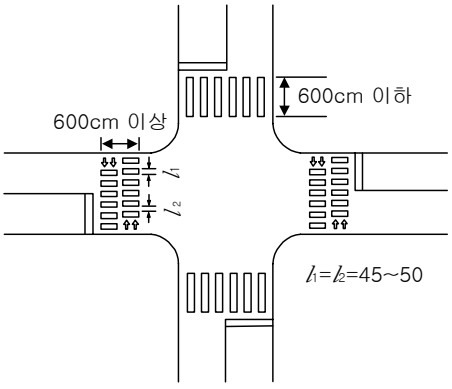
<그림 802.3.27> 횡단보도 예고(705) 표시 설치 예

② 횡단보도(708)

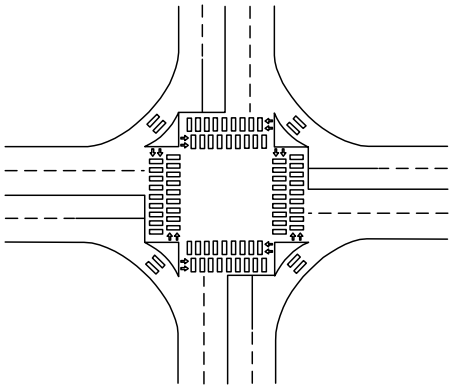
횡단보도는 접근하는 차량이 정지하여 있는 동안 보행자로 하여금 안전하게 도로를 횡단할 수 있도록 하기 위한 교통안전시설이다. 횡단보도는 백색실선으로 노면의 전폭을 가로질러 표시하며 자바라식으로 도색한다. 횡단보도의 폭이 넓을(6m 이상) 때에는 도로폭을 2등분으로 표시하여 마주보고 횡단하는 보행자를 분리하여 소통의 효율을 높여 준다. 횡단보도의 폭은 횡단보행자의 통행량 및 보행속도, 도로폭, 신호등 주기를 고려하여 결정하여야 하며 최소 4m로 하고 4m 이상으로 할 때는 2m 단위로 확폭한다.

횡단보도는 신호등, 일시정지(224), 횡단보도(120, 316), 횡단보도 예고(705), 어린이 보호(121, 317) 등의 표지 및 표시로 반드시 보행자 보호시설을 설치한다. 교차로에서 횡단보도 위치선정의 원칙은 다음과 같다. 본 원칙의 적용에 있어서 안전측면을 우선적으로 고려하되, 보행자가 우선되는 지역에서는 보행자 위주의 측면에서 검토한다.

- 횡단보도를 교차로에 너무 가까이 설치할 경우는 우회전하는 차량에 의해 보행자가 사고의 위험에 직면할 수 있고, 너무 멀리 설치하면 보행자가 횡단보도 이용을 회피한다.
- 우회전 차량과 보행자가 많이 통행하는 교차로에서는 횡단보도를 교차로에서 후퇴하여 설치한다.
- 횡단보도는 우회전 차량의 대기로 인하여 후속차량에 미치는 영향, 운전자의 보행자 식별성, 보행자의 자연스러운 동선 등을 고려하여 결정해야 한다.
- 횡단보도 설치장소 : 신호기가 있는 교차로, 신호기가 없는 교차로, 단일로
- 횡단보도 설치금지 장소 : 커브길/오르막길/내리막길, 인터체인지 연결로 및 터널 출입구로부터 100m 지점 이내, 사고발생 위험지점, 육교, 지하도 및 다른 횡단보도로부터 200m 이내
- 편도 3차로 이상인 도로가 신호주기로 횡단이 어려울 때는 도로 중간에 안전지대를 설치해야 한다.
- 횡단보도의 폭이 넓을(6m 이상) 때에는 도로폭을 2등분으로 표시하여 마주보고 횡단하는 보행자를 분리하여 소통의 효율을 높여준다.



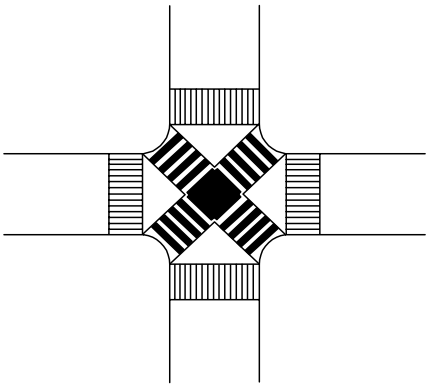
<그림 802.3.28> 횡단보도(708) 표시 설치 예



<그림 802.3.29> 도류화된 교차로 횡단보도 표시 설치 예

③ 횡단보도(708-1)

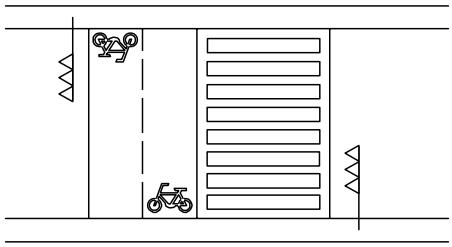
보행자가 대각선으로 횡단할 수 있도록 할 필요가 있는 교차로에 설치하며, 횡단보도의 폭은 교차로 횡단보도의 폭과 동일하게 한다



<그림 802.3.30> 횡단보도(708-1) 표시 설치 예

④ 자전거 횡단도(709)

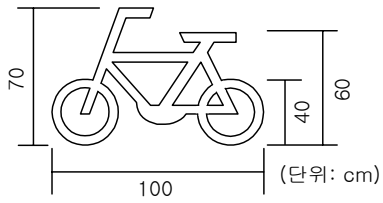
자전거 횡단도는 접근하는 차량이 정지하여 있는 동안 자전거가 안전하게 도로를 횡단할 수 있도록 하기 위한 시설로서, 백색실선으로 노면의 긴 폭을 가로질러 표시한다. 자전거의 수가 시간당 50대 이상일 때 설치하며, 횡단보도가 있는 교차로에서는 횡단보도 측면에 설치하고 겹치는 측선을 생략한다. 자전거 횡단도가 넓을 때에는 도로폭을 2등분으로 표시하여 마주보고 횡단하는 자전거군을 분리해서 소통의 효율을 높여준다. 횡단보도가 있는 교차로에서는 횡단보도 측면에 설치하고 겹치는 측선을 생략한다. 자전거 횡단도의 자전거수가 시간당 50대 이상일 때 설치하며, 횡단보도가 있는 교차로에서는 횡단보도와 나란히 연결하여 설치한다. 다만, 자전거 보행자 등의 교통량 및 교통류 등의 교통실태를 보아 분리하여 설치할 수 있다.



<그림 802.3.31> 자전거 횡단도(709) 표시 설치 예

⑤ 자전거 전용도로(709-1)

자전거 전용도로 또는 전용 구간내 필요한 지점에 설치한다.



<그림 802.3.32> 자전거 전용도로(709-1) 표시 설치 예

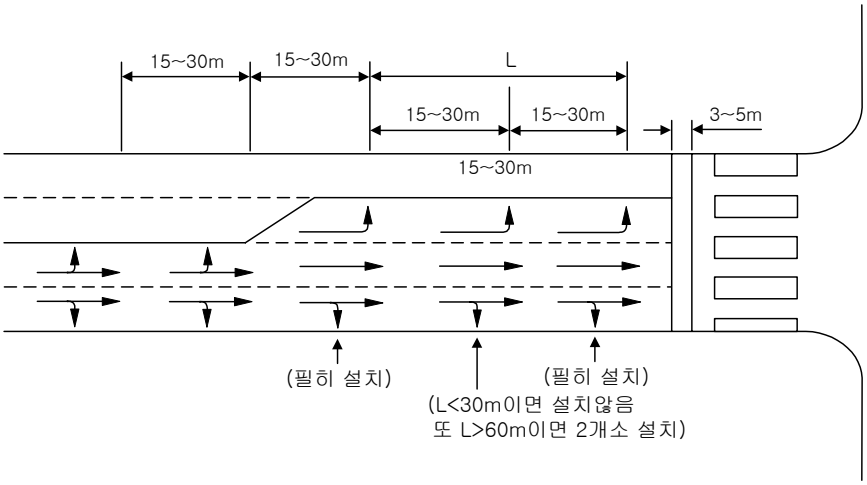
(8) 방향 및 방면지시

방향 및 방면지시 표시는 교차로 입구에 설치하며 그 배치는 정지선 직전(3～5m) 및 부가차로를 설치할 경우에는 테이퍼 부근에 필수적으로 설치한다.

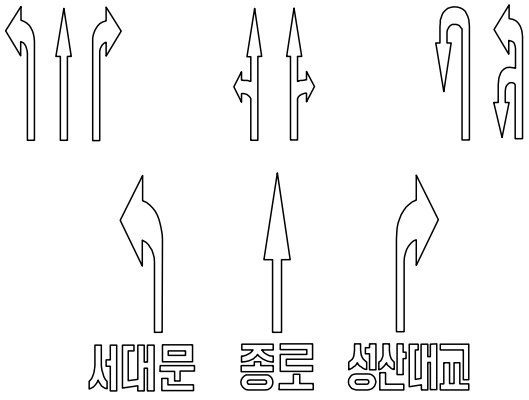
화살표와 화살표의 간격은 30m를 넘지 말아야 하며, 15～30m 간격으로 차선의 접선의 점선과 점선사이에 설치한다. 중복설치시 정지선에서부터 충분한 거리(150m)를 두고 설치한다.

① 진행방향 표시(711, 712, 712-1, 713, 713-1)

도로에서 차량의 진행방향을 표시하는 것으로서 교차로 앞과 교차로 전방에는 차로별로 25m 간격으로 설치한다. 단, 고속도로나 고속도로에 준하는 도로에는 300m 간격으로 설치한다.



<그림 802.3.33> 방향 및 방면지시 표시의 배치



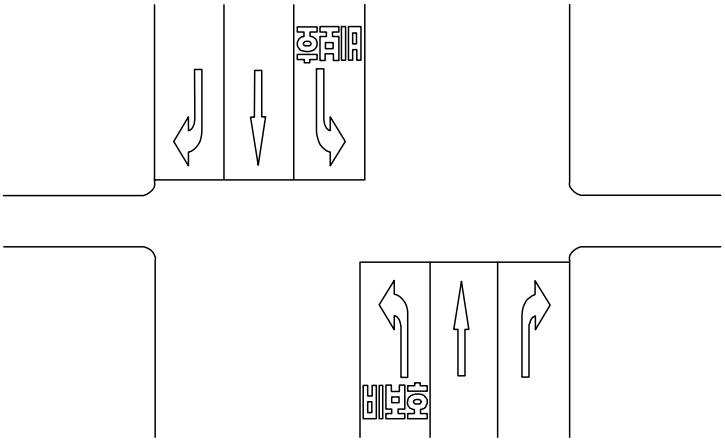
<그림 802.3.34> 진행방향(711, 712, 712-1, 713, 713-1) 표시 설치 예

② 비보호 좌회전(713-2)

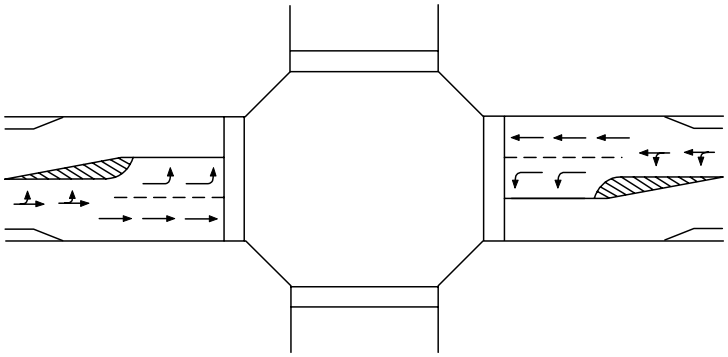
도로에서 차량이 비보호좌회전을 할 수 있도록 지정하는 것으로서 비보호좌회전을 하려고 하는 차량의 진행방향을 지정할 필요가 있는 차로와 비보호좌회전하는 교차로 앞에 설치해야 하고, 교차로 전방에는 차로별로 25m 간격으로 설치한다.

③ 좌회전 전용차로

도로에서 차량이 좌회전을 전용으로 할 수 있도록 지정하는 것으로서 도로의 차로수를 변경하지 않고 중앙선을 변이하여 좌회전 전용차로를 설치한다.



<그림 802.3.35> 비보호 좌회전(713-2) 표시 설치 예



<그림 802.3.36> 좌회전 전용차로 표시 설치 예

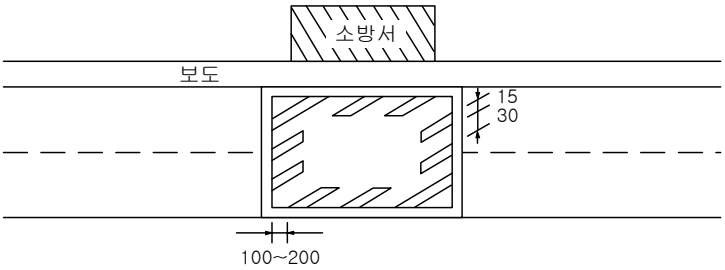
(9) 기타지시

① 정차금지 지대(702)

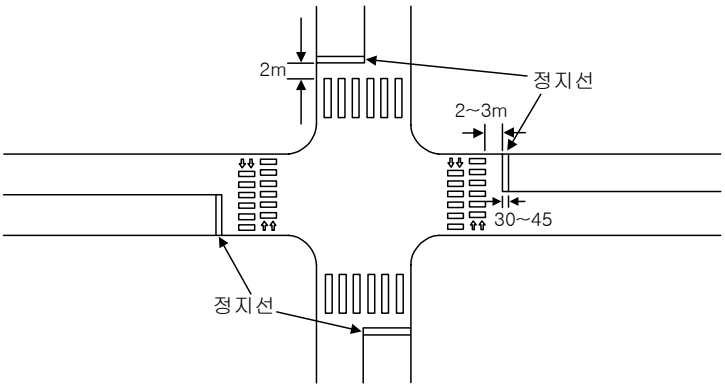
도로의 광장, 교차로, 중앙지점 등에 설치된 구획부분에 자동차가 들어가 정차하는 것을 금지하는 것으로서 긴급자동차의 출입이 항상 빈번한 입구 부근과 광장 교차로내의 정차금지지대는 특별한 경우를 제외하고는 설치를 금하고 정차・주차금지(611)로 설치한다.

② 정지선(706)

차량이 정지할 때 정지할 정확한 위치를 표시하는 것으로서 모든 교차로(신호등 유무에 관계없이) 횡단보도 일시정지 등 차량이 진행중에 교통통제에 의하여 정지할 필요가 있는 곳, 철길 건널목 직전, 횡단보도 직전, 교차로, 기타 차량이 정지하여야 할 필요가 있는 경우에 설치한다.



<그림 802.3.37> 정차금지 지대(702) 표시 설치 예



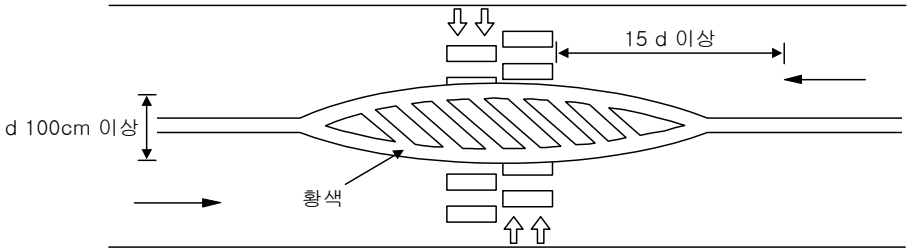
<그림 802.3.38> 정지선(706) 표시 설치 예

③ 안전지대(707)

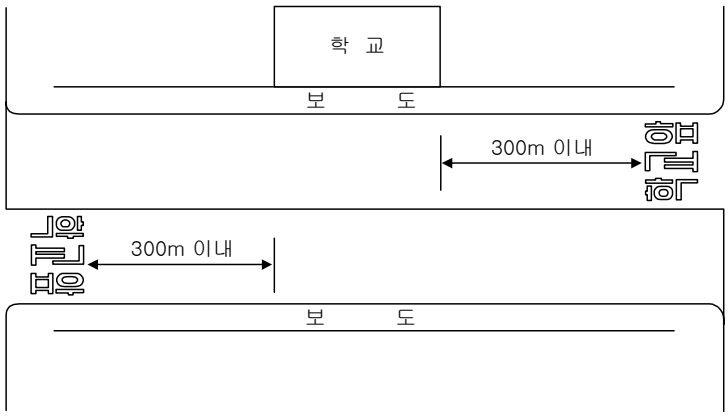
차량이 진입하지 못하도록 표시하는 것으로서 횡단보행자를 보호할 목적으로 많이 사용하며, 광장 또는 노폭이 넓은 도로의 중앙지대에 설치한다. 또한 편도 3차로 이상 도로의 횡단보도 중간에 안전지대를 설치하여 횡단보행자를 보호한다. 안전지대를 설치하는 지점의 차로폭은 모든 차로를 똑같이 점진적으로 줄여야 한다.

④ 어린이 보호구역(710)

어린이의 보호구역임을 표시하는 것으로서 어린이가 빈번하게 통행하거나 횡단하는 지점에 설치한다. 단, 학교, 유치원의 어린이 통행로에 있어서는 가급적 필요한 장소만 표시하고 원거리까지나 단시간내에 횡단할 수 있는 곳, 어린이 보호구역이 아닌 장소에는 표시하지 않도록 한다.



<그림 802.3.39> 안전지대(707) 표시 설치 예



<그림 802.3.40> 어린이 보호구역(710) 표시 설치 예

1.2.3 안전표지와 노면표시와의 관계

도로교통법의 규정에 의하여 교통규제 및 지시에 따른 안전표지 및 노면표시는 상호 보완적인 관계에 있다. 도로교통법 시행규칙에 교통규제 또는 지시에 따른 안전표지와 노면표시 양쪽이 모두 규정되어 있는 경우와 안전표지 또는 노면표시 한쪽만 규정되어 있는 경우가 있다. 안전표지와 노면표시 양쪽이 모두 규정되어 있는 경우에 교통규제 또는 지시를 행할 때에는 안전표지, 노면표시 양쪽 다 설치하든가 또는 어느 한쪽만 설치하면 된다. 한쪽만 설치하면 되는 경우는 원칙적으로 어느 한쪽만 설치되어 있으면 교통규제 또는 지시의 효력이 충족된다. 다만 횡단보도를 설치할 경우(횡단보도를 설치하려고 하는 장소에 신호기가 설치되어 있을 때 및 비포장 도로, 적설 등의 이유 때문에 설치 및 관리가 곤란할 경우에는 제외) 및 교통섬과 같이 노면보다 높은 시설이 없는 곳에서 안전지대를 설치할 때에는 안전표지와 노면표시를 같이 설치한다.

노면표시는 안전표지의 설치기준과 같이 교통규제, 지시의 종류, 도로 및 교통의 상황에 따라 규제 및 지시의 기능확보를 위하여 <표 802.3.5>와 같이 병설하는 것을 원칙으로 한다. 다만 부득이한 경우에는 시인성 등을 고려하여 안전표지 혹은 노면표시 중 택일 설치하여야 한다.

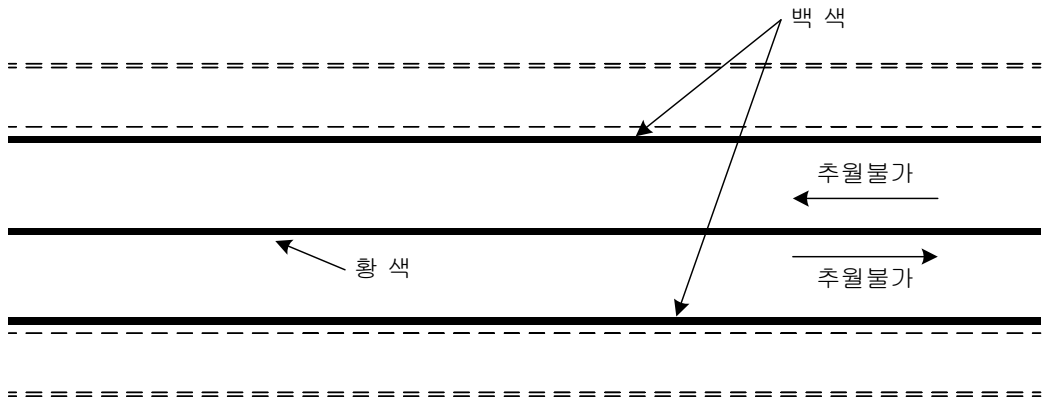
<표 802.3.5> 안전표지와 노면표시와의 관계

노면표시의 종류			안전표지 및 노면표시를 함께 설치	안전표지가 제정되지 않아 노면표시만 설치	노면표시 설치를 원칙으로 하고 안전표지 병행설치	안전표지 설치를 원칙으로 하고 노면표시 병행설치
601	중앙선			○		
601-1	유턴구역선				○	
602	차선			○		
602-1	버스전용차선			○		
603	길가장자리 구역선			○		
604 604-1 604-2	진로변경 제한선			○		
605	노상장애물			○		
606	우회전금지					○
607	직진금지					○
608	좌우회전금지					○
609	유턴금지					○
610 611	주차금지 정차・주차금지	보차도 구분			○	
		보차도 구분없음				○
612	속도제한					○
613	서행					○
614	일시정지					○
615	양보표시					○
701	평행주차			○		
701-1	직각주차			○		
701-2	경사주차			○		
702	정차 금지지대			○		
703	유도선			○		
704 704-1 704-2	유도			○		
705	횡단보도 예고				○	
706	정지선			○		
707	안전지대		○			
708 708-1	횡단보도		○			
709 709-1	자전거 횡단도 자전거전용도로		○			
710	어린이 보호구역		○			
711	진행방향 통행구분				○	
712 712-1	진행방향				○	
713 713-1	진행방향 및 방면			○		
713-2	비보호 좌회전		○			

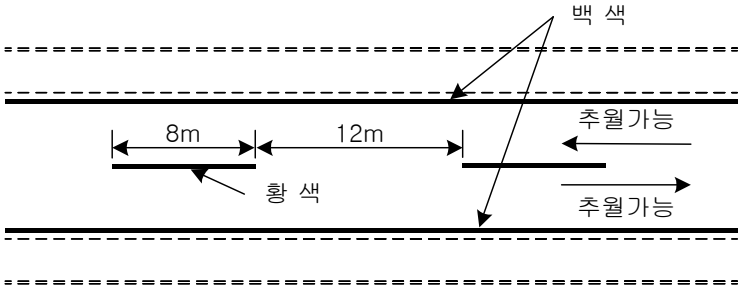
1.3 종합적 설계

1.3.1 추월여부에 따른 노면표시

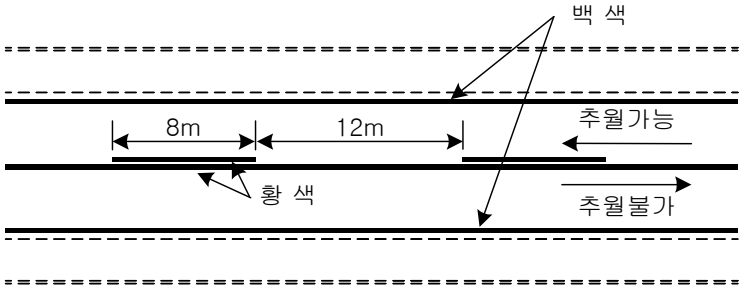
양방향 2차로이면서 추월이 불가능한 도로



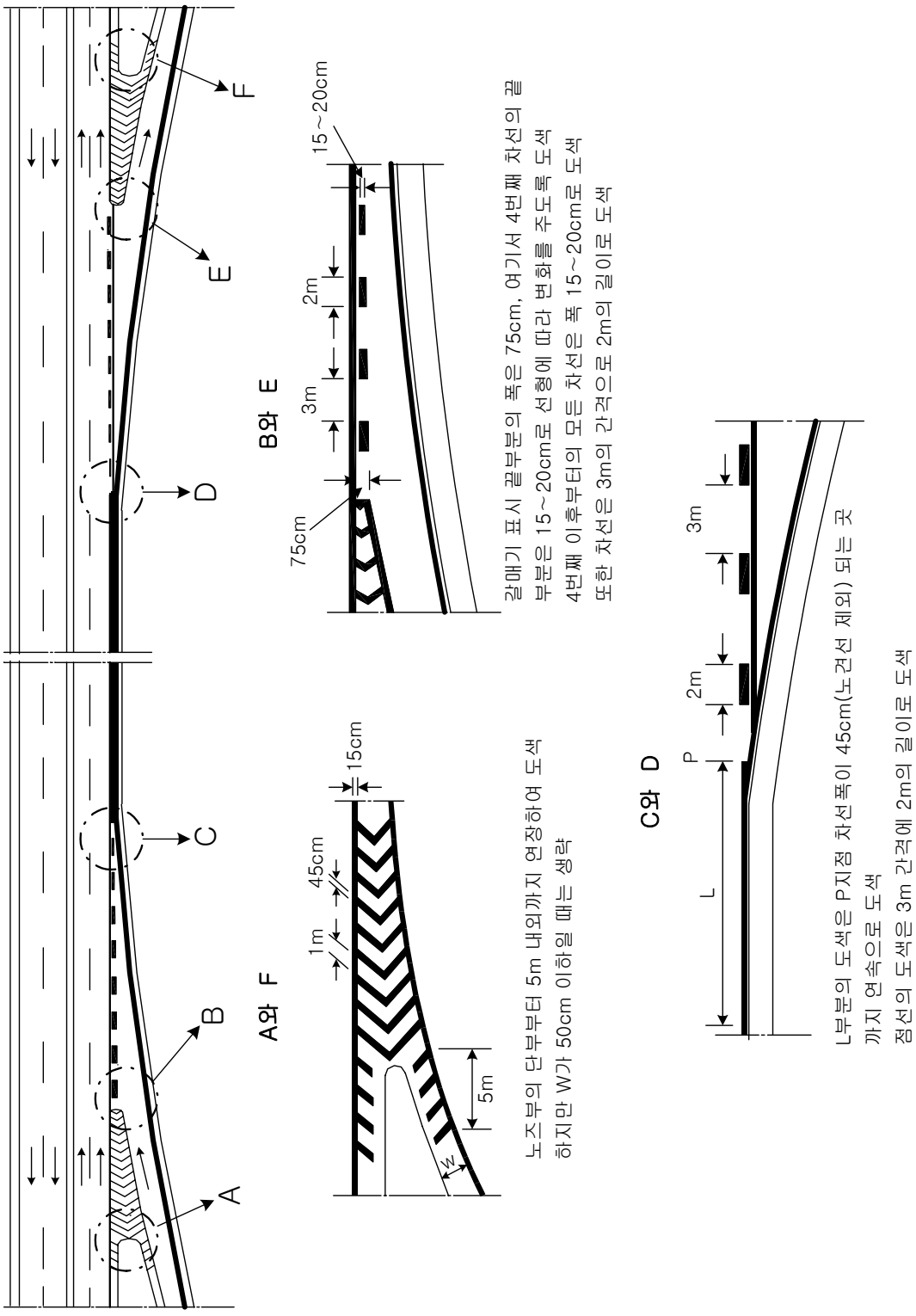
양방향 2차로이면서 양방향으로 추월이 가능한 도로



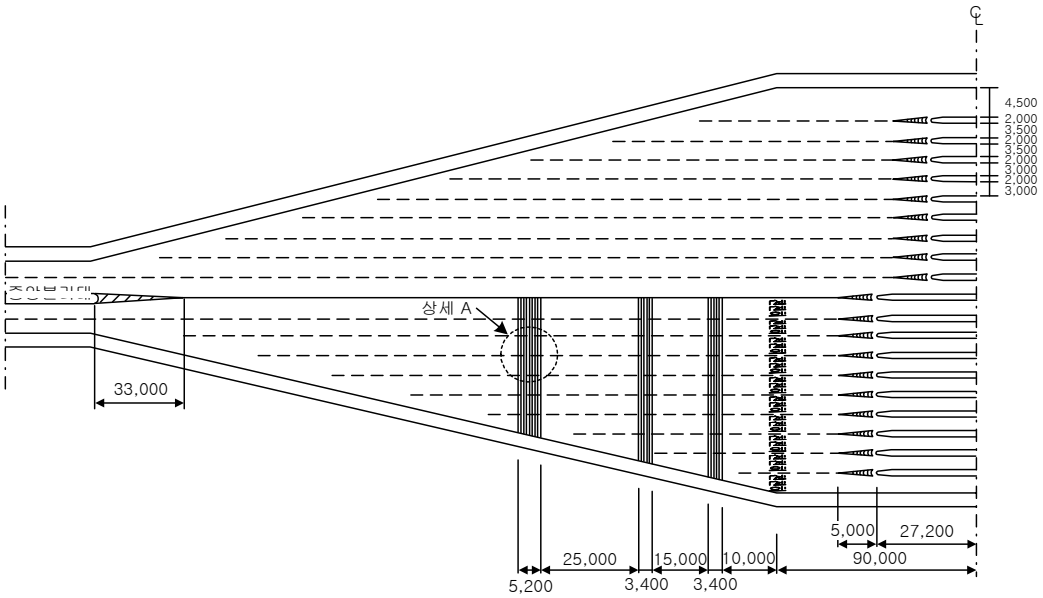
양방향 2차로이면서 일방향으로 추월이 가능한 도로

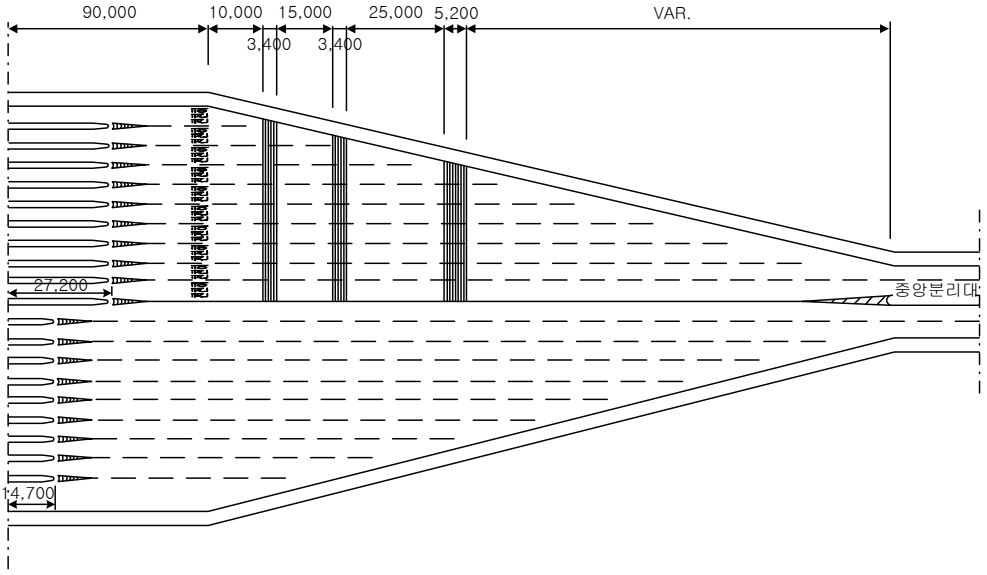


1.3.2 진출입부에서의 노면표시

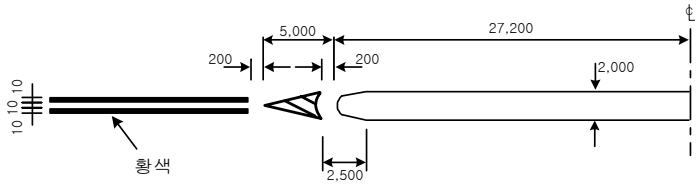


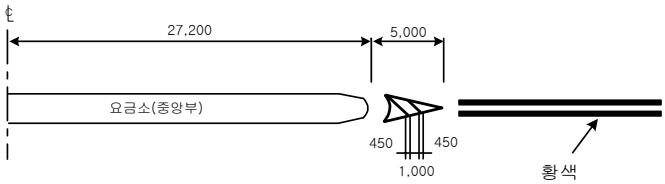
1.3.3 영업소에서의 노면표시

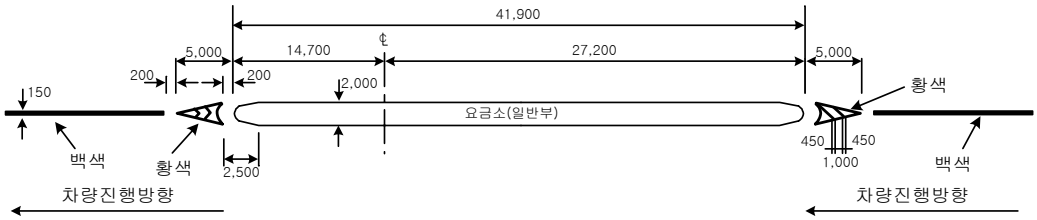


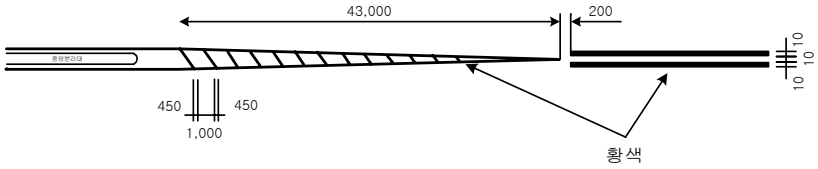


요 금 소 와 분 리 대 부



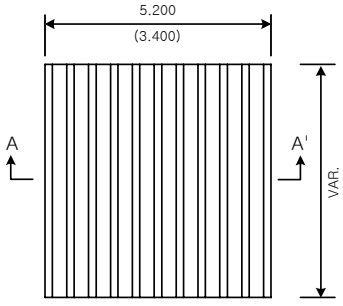




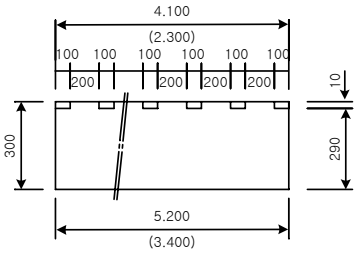


상 세 "A"

파형설치(영업소)



단면 A-A'



802.4 신호기

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

도로상의 교통신호기는 전기 또는 사람의 힘에 의해 조작되는 교통 통제시설로서 차량이나 사람 등의 교통류에 대하여 지정된 행동을 취하도록 지시하거나 경고하는 장치로서, 교통류의 흐름을 분리하여 교차로에서의 충돌사고를 예방하고, 교통소통을 원활하게 하는 기능을 가진다.

1.1.2 종류

일반적으로 사용되는 신호기에는 다음과 같이 5가지의 종류가 있다.

- 적색, 황색, 녹색화살표, 녹색의 4색등
- 적색, 황색 및 녹색의 3색등
- 적색 및 녹색의 2색등
- 적색 ×표, 녹색화살표의 2색 가변등
- 적색 및 녹색의 2색 보행등

1.1.3 관련 기준

- 교통안전시설 실무편람, 경찰청, 1996

1.2 설계기준

1.2.1 설치장소

신호등은 운전자 또는 보행자가 적절한 시계내에서 계속 시인할 수 있는 위치에 설치하며, 설치장소는 접근 방향별로 최소한 2개의 신호등면이 교차로 건너편에 설치되어 접근 차량이 계속적으로 볼 수 있어야 한다. 이때 차량이 정지선에 도달하기 이전에 신호등을 시인할 수 있어야 하며, 정지선에 도달하기 이전에 신호등을 볼 수 있어야 하는 최소거리(정지선까지의 거리)는 차량의 접근속도에 따라 <표 802.4.1>과 같다.

<표 802.4.1> 정지선까지의 최소 가시거리

85% 주행속도(km/시)	최소 가시거리(m)
30	35
40	50
50	75
60	110
70	145
80	165
90	180
100	210

- 신호등면은 정지선으로부터 전방 10~40m 범위에 위치해야 한다.

- 신호등면은 진행방향으로부터 좌우 각각 20°범위 내에 있어야 한다.
- 2개의 신호등면은 2.4m 이상 떨어져야 한다.
- 교차로 건너편의 신호등이 정지선에서 40m 보다 더 멀리 있는 경우에는 교차로 건너기 전 위치에 추가로 신호등을 설치한다.
- 신호등은 주행선 중앙녹지 등에 위치하는 것이 바람직하다.
- 보행자 신호등 높이는 보도의 노면으로부터 신호등 하단까지 2~3m로 한다.
- 신호등은 양면으로 설치하여 시인성을 높인다.
- 경보등은 장애물의 하부 또는 전방에 설치하며 중앙주식으로 도로 중앙에 설치해서는 아니된다.
- 가변차로의 가변형 가변등은 250m 간격으로 설치하며 신호등이 설치된 교차로에는 시인성을 높이기 위하여 가변형 가변등을 설치하지 말아야 한다.

신호제어기는 평상시 자동으로 운영되어야 하나 특정 교통상황에 따라 수동으로 제어할 수 있어야 하므로 교차로 부근에 설치하고, 설치장소는 각 유입부의 교통류가 잘 보이는 장소, 제어되는 신호등을 많이 볼 수 있는 장소, 제어기 점검 및 고장수리시 안전하고 용이하게 작업할 수 있는 장소, 교통사고로 인한 파손을 방지할 수 있는 장소 등에 설치한다.

1.2.2 설치기준

신호기 설치기준은 다음에 제시한 기준을 검토하여 설치해야 한다.

(1) 차량 교통량 기준

평일의 교통량이 <표 802.4.2>의 기준을 초과하는 시간이 모두 8시간 이상일 때 신호기를 설치한다.

(2) 보행자 교통량 기준

평일의 교통량이 <표 802.4.3>의 기준을 초과하는 시간이 모두 8시간 이상일 때 신호기를 설치한다.

(3) 통학로

어린이 보호구역내 국민학교 또는 유치원의 주출입문과 가장 가까운 거리에 위치한 횡단보도에 설치하며, 기타의 경우 보호구역 내 횡단보도는 차량통행 교통량이 60대/시간(양방향) 이상일 때 설치한다.

(4) 교통사고 기록

신호기 예정설치 장소로부터 50m 이내의 구간에서 교통사고가 연간 5회 이상 발생하여 신호등의 설치로 사고를 방지할 수 있다고 인정되는 경우에 신호기를 설치한다.

(5) 비보호좌회전 기준

<표 802.4.4>는 대향 직진교통량과 좌회전교통량을 차로별로 나타낸 것으로 대향 직진교통량과 좌회전교통량이 표보다 많을 때에는 보호좌회전, 적을 때에는 비보호좌회전으로 운영할 수 있다.

<표 802.4.2> 최소 차량교통량

접근로 차로수		주도로 교통량(양방향) (대/시)	부도로 교통량(교통량이 많은 쪽) (대/시)
주도로	부도로		
1	1	500	150
2 이상	1	600	150
2 이상	2 이상	600	200
1	2 이상	500	200

<표 802.4.3> 최소 차량교통량 및 보행자교통량

차량교통량 (양방향 : 대/시간)	횡단 보행자 (자전거 포함 : 명/시간)
600	150

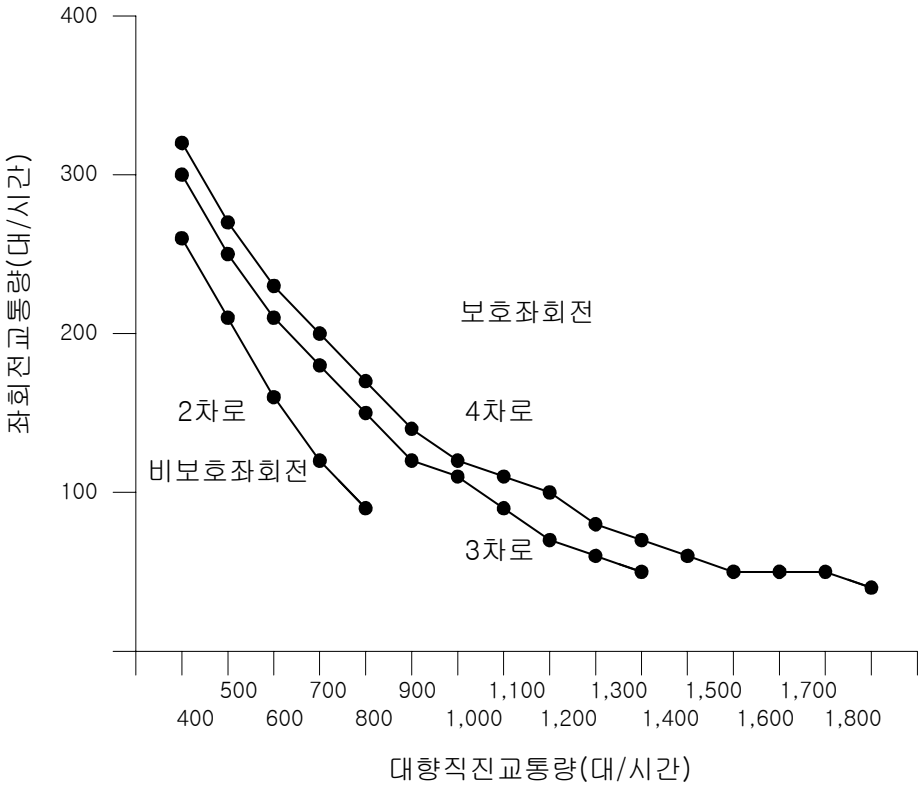
(6) 교통감응 신호기 기준

교통량은 적지만 시간에 따른 교통량의 변화가 매우 크며 불규칙할 때, 부도로의 교통량이 비교적 크고 정체가 피크시에만 발생할 때, 위의 보행자 교통량 및 사고기록에 의해 신호등을 설치할 때, 두 방향의 교통류 중에서 한 방향의 교통류에 대해서만 통행 우선권을 부여하고자 할 때, 교차로가 아닌 곳에 신호등을 설치할 필요가 있을 때 설치한다.

<표 802.4.4> 비보호좌회전 기준표

(단위 : 시간당 교통량)

직진	좌회전교통량		
교통량	2차로 도로	3차로 도로	4차로 도로
400	260	300	320
500	210	250	270
600	160	210	230
700	120	180	200
800	90	150	170
900		120	140
1,000		110	120
1,100		90	110
1,200		70	100
1,300		60	80
1,400		50	70
1,500			60
1,600			50
1,700			50
1,800			40



<그림 802.4.1> 비보호좌회전 기준도

(7) 보행자 작동신호기 기준

보행자 작동신호기(Push Button Signal)는 차량신호기와 함께 사용한다. 신호기는 설치되어 있고, 보행자의 수가 적어 보행자 신호등을 설치할 필요성은 없으나 보행자가 반드시 도로를 횡단해야 하는 경우에 설치하며, 또한 일정 시간대에만 보행자가 횡단할 경우에 설치한다.

(8) 보행자 신호기 기준

보행자 신호기는 차량신호기와 함께 설치함을 원칙으로 하고 다음의 조건을 만족할 때 설치한다.

- 차량신호기가 설치된 교차로의 횡단보도로서 1일중 교통이 가장 빈번한 8시간 내의 시간당 횡단보행자가 150명을 넘는 곳
- 번화가의 교차로, 역전 등의 횡단보도로서 보행자의 통행이 빈번한 곳
- 차량신호만으로는 보행자에게 언제 통행권이 있는지 분별하기 어려울 경우
- 차도의 폭이 16m 이상인 교차로 또는 횡단보도에서 차량 신호등이 변해도 차도내에 남을 때가 많을 경우
- 어린이 보호구역 내 초등학교 또는 유치원의 주출입과 가장 가까운 거리에 위치한 횡단보도

(1) 좌회전 다음 직진만으로 바꾸는 중간
(적색 및 녹색화살표—황색—녹색)
(2) 직진 다음 전방향 금지가 올 때의 중간
(녹색—황색—적색)
(3) 좌회전 및 직진 다음 전방향 금지의 중간
(녹색화살표 및 녹색—황색—적색)
(4) 좌회전 및 직진 다음 녹색신호만 올 때의 중간(녹색화살표 및 녹색—황색 및 녹색)
(5) 좌회전 다음 전방향 금지의 중간
(적색 및 녹색화살표—황색—적색)
(6) 좌회전 다음 좌회전 및 직진의 중간
(적색 및 녹색화살표—황색—녹색화살표 및 녹색)

녹색화살표 신호는 보행자의 횡단을 금지한 상태에서 적색 및 황색신호에 관계없이 화살표 방향으로 진행을 허용할 때(적색 및 녹색화살표) 또는 직진과 동시에 허용할 때(녹색화살표 및 녹색) 적용한다.

녹색신호는 직진과 우회전을 허용하는 경우(녹색) 또는 좌회전과 직진을 동시 허용(녹색화살표 및 녹색)할 때 적용한다. 이 밖에 한 접근로에 대하여 2색등 신호인 경우 2색 등화, 3색등 신호인 경우 2색 등화, 4색등 신호인 경우 3색 등화가 동시에 표시되어서는 아니된다. 또한 어떠한 경우에도 적색 다음에 황색이 표시되거나 또는 적색 다음에 적색과 황색이 동시에 표시되어서는 아니된다.

1.2.6 신호등면 수

보행자 신호등과 특별한 경우를 제외하고는 모든 신호등은 정지선상에서 운전자가 고개를 움직이지 아니하고 볼 수 있는 가시범위내 최소한 2면에서 5면의 신호등을 설치한다. 신호등면 수는 접근로 폭과 횡단교차로의 직선거리(정지선에서 신호등까지) 등에 의하여 <표 802.4.7>과 같이 결정한다.

(9) 신호등의 추가설치

신호등은 <표 802.4.2>의 기준으로 설치하되 시인성과 감지력을 고려하여 개선할 필요가 있는 다음과 같은 경우에 추가로 설치할 수 있다.

- 접근로가 2차로 이상인 곳
- 접근로와 교차되는 도로폭이 25m 이상인 곳
- 운전자의 판단력을 흐리게 하는 장소
- 대형트럭 혼입률이 높은 장소
- 정상적으로 설치된 신호등의 시인성 확보가 어려운 장소

1.2.3 신호등의 배열

신호등은 횡형(수평) 또는 종형(수직)으로 배열되며, 그 순서는 다음 <표 802.4.5>와 같다.

<표 802.4.5> 신호등의 배열순서

신호등의 종류	횡형 (수평배열)	종형 (수직배열)
적색, 황색, 녹색화살표, 녹색의 4색등	왼쪽으로부터 적색, 황색, 녹색화살표, 녹색의 순서	위로부터 적색, 황색, 녹색화살표, 녹색의 순서
적색, 황색 및 녹색의 3색등	왼쪽으로부터 적색, 황색, 녹색의 순서	위로부터 적색, 황색, 녹색의 순서
적색 및 녹색의 2색등	왼쪽으로부터 적색, 녹색의 순서	위로부터 적색, 녹색의 순서
적색 ×표, 녹색화살표의 2색 가변등	왼쪽으로부터 적색 ×표, 녹색화살표 (화살표시 선단은 아래로 표시)	설치할 수 없음
적색 및 녹색의 2색 보행등	설치할 수 없음	위로부터 적색, 녹색의 순서

1.2.4 신호등의 순서

신호등의 신호순서는 차량의 진행을 우선 고려하며, 차량이 진행하고 있는 신호에서 다음 신호로 바뀔 때는 황색신호를 현시한다. 신호등의 신호순서는 <표 802.4.6>과 같다.

<표 802.4.6> 신호등의 등화

신호등의 종류	신호순서
적색, 황색, 녹색화살표, 녹색의 4색등	적색 및 녹색화살표, 황색, 녹색, 황색, 적색의 등화순서
적색, 황색, 녹색의 3색등	녹색, 황색, 적색의 등화순서
적색, 녹색의 2색등	녹색, 적색의 등화순서
적색, 녹색의 2색 보행등	녹색, 녹색의 점멸, 적색의 등화순서

기타 신호운영에 대한 자세한 내용은 “교통안전시설 실무편람(경찰청, 1996)”을 참고한다.

1.2.5 신호등화의 적용

적색신호의 경우 등화신호의 뜻에 따른 적용방법은 보행자 신호에 따르는 보행자를 제외한 교통이 교차로나 통제지역 등의 진입을 금지하려고 할 때 적색 단독의 등화신호를 사용하고, 직진(진입)을 금지하고 좌회전을 허용할 경우 적색과 녹색화살표의 동시 등화신호를 사용한다.

황색신호는 다음과 같은 경우에 적용한다.

<표 802.4.7> 교차로 크기에 따른 신호등면 수

접근로		접근로폭 B (m)						
횡단거리		2차로 (6m)	3차로 (9m)	4차로 (12m)	5차로 (15m)	6차로 (18m)	7차로 (21m)	8차로 이상 (24m이상)
교차로 횡단거리 D (m)	15	2	2					
	18	2	2	2				
	21	2^+	2^+	2^+	2^+			
	24	2^+	2^+	2^+	2^+	3^+		
	27	2^+	2^+	2^+	2^+	3^+		
	30		2^+	2^+	2^+	3^+	3^+	
	33		2^+	2^+	2^+	3^+	3^+	4^+
	36		2^+	2^+	2^+	3^+	3^+	4^+
	39		3^+	3^+	3^+	4^+	4^+	5^+
	42			3^+	3^+	4^+	4^+	5^+
	45			3^+	3^+	4^+	4^+	5^+
	48			3^+	3^+	4^+	4^+	5^+
	51			3^+	3^+	4^+	4^+	5^+
	54			3^+	3^+	4^+	4^+	5^+
	57				3^+	4^+	4^+	5^+

주) + : 길 건너편 1면(2~4차로), 2면(5차로 이상) 추가 가능

802.5 첨단교통운영시설

1.1 개 요

1.1.1 정의 및 기능

첨단교통운영시설이란 기존의 차량 및 교통운영시설에 통신, 전자, 제어, 기계 등의 첨단기술을 적용하여 교통체계의 효율화, 교통운영의 효율화 등 교통시설의 운영효율 향상을 도모하기 위한 시설이며, 기능으로는 도로 및 교통상황을 운전자에게 제공함으로써 기존 도로시설의 효율을 극대화할 수 있고 효율적인 교통수요관리가 가능하다는 것이다.

1.1.2 종류

첨단교통운영시설에는 도로의 정보를 안내해주는 도로전광표지(도로 가변정보 안내표지), 각 도로의 교통상황을 파악하기 위한 CCTV 카메라, 그리고 도로의 교통상황에 관한 자료를 수집하기 위한 검지기 등의 각 개별적인 노상교통 시설과 이런 시설들이 하나의 시스템으로 통합되어 운영되는 자동요금징수 시스템, 무인교통단속 시스템, 과적차량단속 시스템, 도로결빙방지시스템, 차량접근관리 시스템, 긴급차량 및 버스우선권 제공 시스템 등이 있다.

본 편람에서는 이런 여러 시설물 중 도로전광표지의 설치기준을 위주로 기술하였고, 그 외 시설물들은 간략하게 정의, 개념 및 설치사례 등만 기술하고 자세한 설치기준은 지속적인 연구를 통해 향후 편람 개정시에 포함할 예정이다.

1.1.3 관련 기준

- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 건설교통부, 1999
- 도로안전시설 설치 및 관리지침-도로전광표지 편, 건설교통부, 1999

1.2 설계기준

1.2.1 도로전광표지

(1) 정의 및 기능

도로전광표지(Variable Message Sign, VMS)는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에 의하여 설치하는 시설물로, 운전자에게 전방의 도로 및 교통상황이나 교통사고, 공사정보를 제공함으로써 도로 이용자의 안전성을 높이고 교통류 분산을 통하여 교통 혼잡을 완화하기 위하여 도로상에 설치되는 시설이다. 본 편람에서 제시하는 설계기준은 발광형 소자(Light Emitting Diode, LED)를 다발로 묶는 방식(LED Cluster 방식)의 도로전광표지에 관한 것이다.

(2) 종류

도로전광표지는 기술 형식에 따라 크게 반사형과 발광형 표지로 구분할 수 있으며, 표출하는 정보의 형태에 따라 문자식과 도형식 그리고 차로 제어식으로 구분할 수 있다.

이 중에서도 일반적으로 가장 많이 사용하는 방식은 발광형 소자를 이용한 문자식 표출 방식인데, 발광형 소자를 다발로 묶은 LED Cluster 방식의 주요 형상은 <그림 802.5.1>과 같다.

① 기술 형식에 따른 분류

- 반사형 표지

태양광이나 차량 전조등과 같이 외부 빛에 의해 빛을 반사하는 형태

- 발광형 표지

자체에서 빛을 생성하거나 표출 부분의 뒤에서 빛을 방출하는 형태

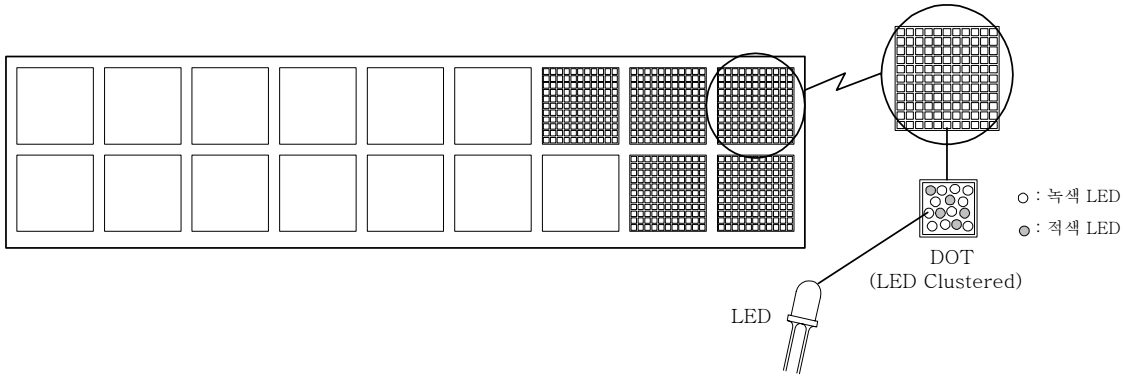
② 표출하는 정보의 형태에 따른 분류

- 문자식

표출되는 정보의 형태가 문자 또는 문자와 기호가 함께 사용되는 형태로 현재까지 보편화되어 있는 형식

- 도형식

문자식으로 표현하는 경우의 한계점을 보완하기 위하여 도형으로 표현하여 정보를 제공하는 형식



<그림 802.5.1> LED Cluster 방식(모듈형 매트릭스 형태)

• 차로 제어식

이 방식은 주로 유럽에서 사용되고 있는 형태로, 차로별 통행 제한 속도나 현재 통행 속도, 차로 폐쇄 등의 정보를 제공하기 위한 형식

(3) 설계절차

도로전광표지는 일반적으로 <그림 802.5.2>와 같은 단계를 거쳐 설치되는데, 각 단계별 내용은 다음과 같다.

① 설치 목적 설정

도로전광표지의 필요성을 바탕으로 설치 목적 또는 주된 기능을 설정하는 단계이다. 즉, 도로전광표지를 설치해야 하는 이유를 명확히 하는 단계이다.

② 설치 위치 결정

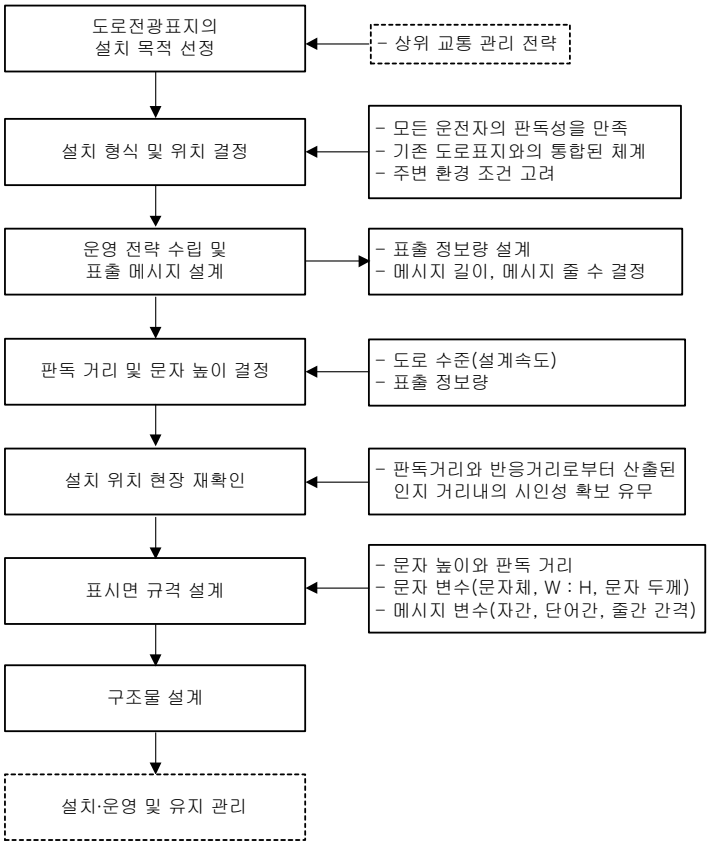
도로전광표지는 주위 환경의 조건을 고려하면서 기존 도로표지와 통합된 정보체계를 이룰 수 있도록 설치되어야 하며, 모든 운전자의 판독성을 만족시키도록 설치되어야 한다.

③ 설치목적에 맞는 표출 메시지 설계

설치 목적이 결정되면 그에 따라 운영 전략이 수립되어야 하며, 운영 전략을 바탕으로 표출 메시지를 설계한다. 이 때, 적정 정보량을 고려하여 메시지 길이와 메시지 줄 수를 결정한다.

④ 판독거리와 문자높이 결정

운전자가 메시지를 읽고 이해할 수 있는 판독 거리와 적정 문자 높이를 결정한다.



<그림 802.5.2> 도로전광표지의 설계 및 설치 절차

⑤ 표시면 규격 설계

설계된 표출 메시지와 문자 높이에 메시지 변수와 문자 변수를 고려하여 표시면 규격을 설계한다.

⑥ 구조물 설계

설정된 표시면 규격과 표시 형식 및 설치 위치를 고려하여 지주와 함체, 기초 등을 설계한다.

(4) 설치위치

도로전광표지의 설치위치는 교통 조건과 도로 환경 조건, 시스템 조건, 기술 조건 등을 검토하여 설치의 필요성과 타당성 여부를 평가한 후, 기본 설치위치를 바탕으로 도로표지 위치나 교차로 여건, 현장 여건 등을 고려하여 정하는데, 도로전광표지의 기본 설치위치 및 기타 시설들과 관련되어 설치할 때 고려해야 될 사항들은 다음과 같다.

가. 도로전광표지의 기본 설치위치

① 교차로와 같이 교통류의 분산이 기대되는 주요 우회 가능 지점의 전방에 설치한다. 즉, 고속도로 진출입구나 일반도로 교차로 전방에 도로전광표지를 설치한다.

② 도로망 차원에서 교차로간, 주요 대안 노선 분기점 전방에 설치한다.

③ 병목 지점이나 사고 많은 지점, 터널 진입부 등 통행에 주의가 필요한 지점 전방에 설치한다.

④ 기존 시설의 기능을 방해하거나 상충하지 않는 지점에 설치한다.

⑤ 표시면에 직접 태양광이 비추거나 역광으로 인하여 도로전광표지의 판독성이 떨어지는 지점은 가능한 한 피한다.

나. 교차로 및 도로표지를 고려한 설치위치

도로전광표지는 도로표지와 함께 넓은 의미에서 안내표지의 성격을 띄며 주요 교차지점을 대상으로 설치되기 때문에, 설치위치를 결정할 때 기존 표지 및 교차로와의 관계를 고려하여야 한다.

이와 관련된 도로전광표지의 설치위치는 다음과 같이 한다.

① 혼잡한 본선의 교통량을 혼잡하지 않은 다른 도로로 우회시키기 위해서는 반드시 우회지점(교차로)과 우회로가 있어야 하며, 우회 안내에 필요한 안내표지도 구비되어 있어야 한다. 이 때 대상구간 선정 후 기준년도 구간 교통량과 교차로 회전 교통량을 감안하여 선정하되, 해당 지역 전체 도로망 여건과 교통 수요 패턴을 고려한다.

② 교통량 분산을 위해 교차로 안내표지 전방에 설치하되, 기존 표지(안내표지, 주의 및 규제 표지 등)의 기능을 방해하지 않으면서 도로전광표지의 기능을 최대로 발휘할 수 있는 지점에 설치한다.

③ 도로전광표지의 표출 메시지 중에서 주요 지명은 효과 측면에서 기존 표지의 지명과 연계하여야 한다.

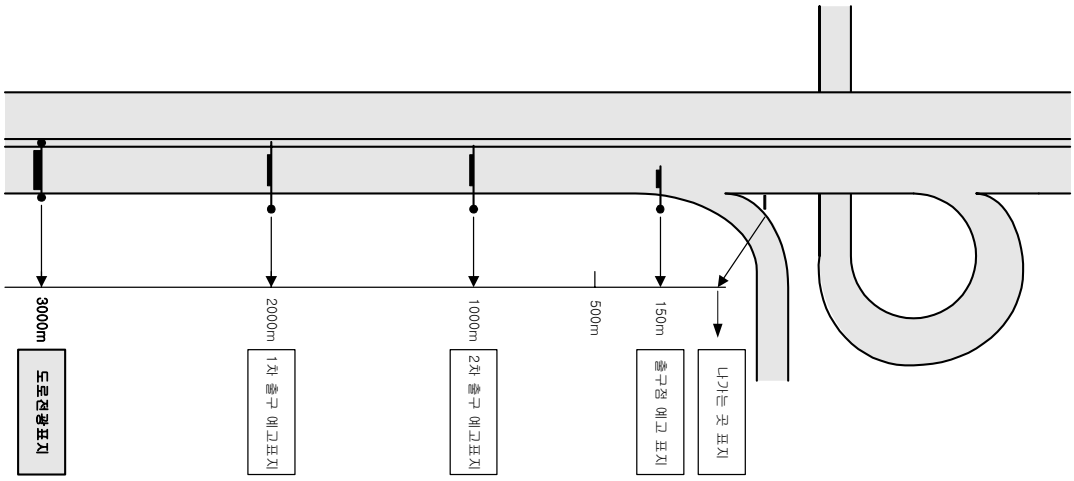
④ 기존 도로 안내표지와는 기능상 상충하지 않도록 <표 802.5.1>과 같은 위치에 설치해야 한다.

⑤ 도로전광표지와 그 전방에 위치하는 주의 및 규제표지 사이의 거리는 해당 도로 수준을 고려하여 상호 영향을 주지 않는 범위로 한다.

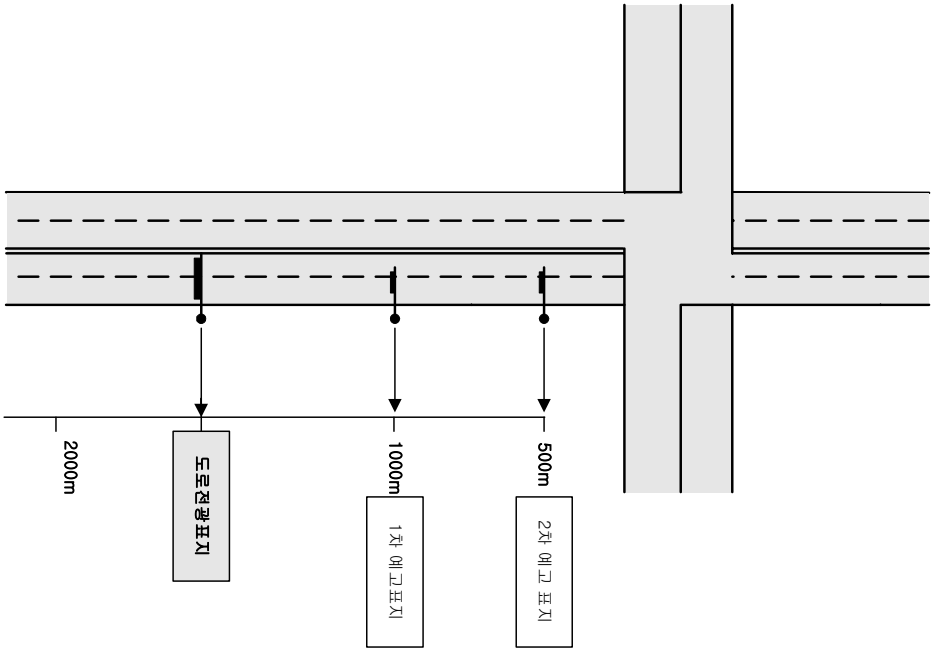
⑥ 주의 및 규제표지, 도로 안내표지가 없는 경우, 교차로 전방에서 운전자들이 적정 위치에서 가능한 한 빨리 판단하여 차로 변경을 할 수 있도록 도로전광표지를 위치시켜야 한다.

<표 802.5.1> 도로전광표지의 설치위치

구 분		설 치 위 치	비 고
고속도로	지방부	출구 3km 전방 지점	기존에 설치된 도로전광표지는 두 개의 출구 예고 표지 사이(출구 전방 약 1.5km 지점)에 설치되어 있어 시인성 자체를 물리적으로 제약하고 있음
	도시부	출구 1~2km 전방 지점	도시고속도로의 경우 평균 I.C 간격이 2km 이하인 점과 도로표지 위치를 감안해야 함
일반도로	지방부	4차로 도로 이상인 경우 1차 교차로 예고 표지의 전방 500~1,000m 지점	현장 여건에 따라 1.5~3km 지점에 분산 설치하고 있는데, 고속도로 노변 여건에 비해 시야 제약과 주변 개발로 인한 출입 교통 발생, 기하구조 여건 제약, 노변 설치 등과 같은 제약 요건이 많은 점을 감안해야 함
	도시부	도시부 가로망 구조상 교차로와 교차로의 중간	기존 도로표지나 교통안전표지, 신호등 등의 설치 위치를 고려하여 상충하거나 시야를 제약하지 않는 위치에 설치



<그림 802.5.3> 지방부 고속도로 본선상의 도로전광표지 설치 지점 예시



<그림 802.5.4> 일반국도에서의 도로전광표지 설치 지점 예시

다. 터널, 영업소 등 특정 시설과 관련된 설치위치

출구 전방이나 교차로 전방 등 일반적으로 설치되는 지점 외에 터널이나 본선 영업소, 교량 등 특정 시설의 전방 또는 그 내부에 설치되는 도로전광표지는 특정 용도로 활용되는 것이 대부분이므로 일반 도로 구간에 설치하는 것과 그 위치나 규격 면에서 달리 할 수 있다. 이와 관련된 도로전광표지 설치 위치는 다음과 같이 한다.

① 터널 전방에 설치하는 도로전광표지는 단독 시설로 설치되는 것과 터널관리 시스템의 일부로 설치되는 차로별 제어 표지가 있다.

- 터널 상황 대응용으로 차로별 제어 표지만 설치하는 경우, 터널부 진입시의 운전자 시선 유도 등을 감안하여 고속도로는 터널 전방 100～250m 지점에, 지방부 일반도로는 터널 전방 50～150m 지점에 각각 설치하며, 도시부 일반가로의 경우 현장 여건을 감안하여 이보다 가깝게 설치할 수 있다. 터널 내부에는 터널의 길이 등을 감안하여 적정 간격으로 설치 운영할 수 있다.
- 차로별 제어 표지와 함께 또는 단독으로 터널 전방 또는 내부에 설치되는 도로전광표지(주로 문자식)는 일반 도로 구간의 것보다 그 규격 면에서 소형으로 할 수 있고, 위치 면에서도 일반 원칙과 다르게 적용할 수 있다. 터널 전방에 설치되는 도로전광표지는 터널의 특수성을 감안하여 최소한 터널 전방 500m 지점 이후에 설치하되 차로별 제어 표지를 포함한 기존 시설의 시야를 제약하지 않도록 그 위치를 정한다.
- 터널 내부에 설치되는 도로전광표지는 도로 시설 한계를 감안하여 통행에 장애를

주지 않는 규모로 하되, 터널 길이를 감안하여 적정 간격을 두고 연속 설치할 수 있다.

② 본선 영업소와 관련하여서는 영업소 구내에 설치하는 것과 영업소 전방에 설치하는 것이 있다.

- 영업소 구내에 설치하는 것은 영업소 시설 상단에 비교적 길게 설치하며, 일반 도로 구간에 설치하는 것과 비슷하게 운영한다.
- 영업소 전방에 설치하는 도로전광표지는 주로 주의표지 성격을 띤 것으로 두 개의 표 받는 곳 안내표지 사이, 즉 영업소 전방 1.5km 지점에 설치한다.

③ 주요 고가 구조물을 포함한 교량 전방에 설치하는 도로전광표지는 주로 주의표지의 성격을 띠고 설치되는데, 터널과 같이 시야가 제약되지 않으므로 교량 전방 500m 지점 전후에만 설치하며, 그 규격도 교량 전방 주의용이므로 일반 구간보다 작게 할 수 있다.

라. 도로 횡단면상 지주 설치위치

① 도로전광표지의 지주는 도로 횡단면 구조상 다른 부대시설과 같이 보호 길어깨에 설치한다. 도시부 도로의 경우 보도의 차도측 가장자리에 설치한다.

② 차도에 지나치게 가깝게 설치하면 차량 통행에 방해를 주어 통행 위해 요소가 될 뿐만 아니라 시설 자체도 차량 충돌로부터 안전하지 못하다. 차도부에서 너무 멀리 설치해도 표시면이 운전자의 시선으로부터 멀어져 기능을 떨어뜨리고 도로의 시설 한계에 부딪혀 설치에 애로를 겪게 되거나, 도시부의 경우 보행자 통행에 장애를 주게 된다.

③ 실제 현장에 설치할 때에는 이와 같은 기본 설치 위치에 지장물 존재 여부나 사면 안전성 등을 고려하여 지주의 최종 설치 위치를 설정한다.

마. 현장 여건과 관련된 위치

도로전광표지의 기본 위치, 도로 안내 표지와 교차로 등과 관련된 원칙에 따라 내부에서 선정한 지점이 실제 현장에서 적절한지를 검토해 보아야 한다. 이를 위한 현장 설치 여건에는 도로 선형, 시야 장애물, 주변 토지 이용 여건, 구조물 설치 여건 등이 있다.

① 충분한 판독 거리를 제공할 수 있도록 직선 구간에 설치한다. 곡선부에는 LED 특성상 시선 각도에 따라 판독성의 제약을 많이 받으므로 가급적 설치를 지양한다.

② 종단경사의 정점에는 설치하지 않는다. 운전자에게는 공제선 위에 설치된 것처럼 보여 설치 방향과 관계없이 역광 여건에 노출되기 때문이다.

③ 주변에 신호기, 육교, 가로수 등 시야를 방해하는 장애물이 없으며, 최소 판독 거리의 시인성이 확보되는 지점에 설치한다.

④ 주변 토지이용 밀도가 낮은 구간에 설치한다. 출입 차량 빈도가 많으면 도로전광표지에 표출되는 정보를 보려는 본선 주행 차량의 안전에 문제가 생기기 때문에, 주요 출입구가 있거나 향후 개발이 예상되는 지역은 가능한 제외한다.

⑤ 광선로 및 수로 통과 여부, 토질(사면 안정) 여건 등 지주 설치를 위한 기초 공사 조건을 고려해야 한다.

⑥ 전원 및 통신 설비 설치 조건을 고려해야 한다.

(5) 표출 메시지 설계

도로전광표지에 표출하는 메시지는 상위 개념의 교통관리 전략을 기초로 교통 상황의 심각도, 정보량의 적정성 등을 고려하여 설계하여야 하며, 메시지 내용은 교통 상황, 도로 상황, 교통사고 정보 등 교통 및 도로 관련 정보에 한하여 도로 이용자에게 제공하는 것을 원칙으로 한다.

① 담당 구간 설정

먼저, 도로전광표지의 설정된 목적을 바탕으로 표출하고자 하는 메시지를 설계한다. 여기에는 각각의 도로전광표지가 담당하는 구간(정보가 표출되는 대상 구간)을 설정하는 일과 그 구간의 상황 변화에 따른 메시지 표출 전략을 설계하는 일도 함께 포함된다.

각 도로전광표지의 담당 구간은 상위 단계의 교통관리 전략에 따라 정한다. 교통관리 전략은 단순 교통 정보 제공이라는 소극적인 관리 수준에서, 우회 정보 제공 등을 통한 우회 유도와 같은 적극적인 관리 수준에까지 정보원의 질적인 완성도에 따라 차별화 되며, 그에 따라 도로전광표지에 표출되는 메시지도 차별화된다. 이러한 여러 상황을 미리 예측하여 메시지를 설계하여야 하며, 각 상황에 맞는 표출 전략을 마련하여야 한다.

도로전광표지가 담당하는 구간은 운전자에게 정보가 제공되는 구간 단위를 의미하며, 이는 메시지 설계 전 단계에서 선행되어야 하는 작업이다. 고속도로의 경우에는 일반적으로 I.C와 I.C간을 하나의 단위 구간으로 정의하며, 몇 개의 구간을 관리할 것인지는 도로전광표지의 설치 간격에 따라 달라진다. 일반도로의 경우에는 주요 우회 지점이나 교통 수요 특성이 유사한 구간을 중심으로 관할 대상 구간을 선정한다.

이러한 담당 구간 개념은 일반적으로 본선의 도로 교통 정보를 제공하는 경우에 적용되는 기준이며, 특정 목적으로 설치되는 도로전광표지(터널, 요금소, 교량 등)에 설치되는 경우는 그 설치 목적에 맞는 담당 구간이 결정된다.

또, 고속도로의 주요 분기점 전방이나 대체 가능한 두 노선 전방에 설치되는 도로전광표지의 경우에는 운전자의 노선 선택에 도움을 줄 수 있도록 관할 대상 구간이 설정되어야 한다. 이 경우 운전자에게 필요한 정보는 두 대안 노선 전방의 전체 구간 소통 상황이므로, 통행 특성을 감안하여 목적지 기반의 정보 표출을 위한 관할 대상 구간 선정이 필요하다. 이렇게 선정되는 담당 구간은 결과적으로 교차로 사이에 설치되는 것보다 훨씬 긴 구간을 포괄하며, 그에 따라 표출되는 메시지도 광역적이고 다수 이용자의 선택에 직접적인 영향을 주게 되므로 문자식보다는 도형식이 시인성 측면에서 효과적이다.

② 메시지 표출 우선 순위

이와 같이 사업 대상 구간 또는 지역 단위의 도로망 수준에서 수립된 교통관리 전략에 준하여 관할 대상 구간을 선정한 후, 각 도로전광표지에 표출되는 메시지를 설계한다.

메시지 표출 전략은 상위 개념의 교통관리 전략을 기초로 도로 상황별 우선 순위에 따라 수립하여야 한다. 일반적으로 설계 단계에서 예측 가능한 도로 상황은 돌발 상황, 상시적 정체 상황 그리고 비혼잡 상황이다. 상위 교통관리 전략은 이 중에서 그 영향이 가장 큰 상황을 대상으로 우선 관리하도록 수립하는데, 교통 영향상 가장 우선으로 관리해야 할 상황

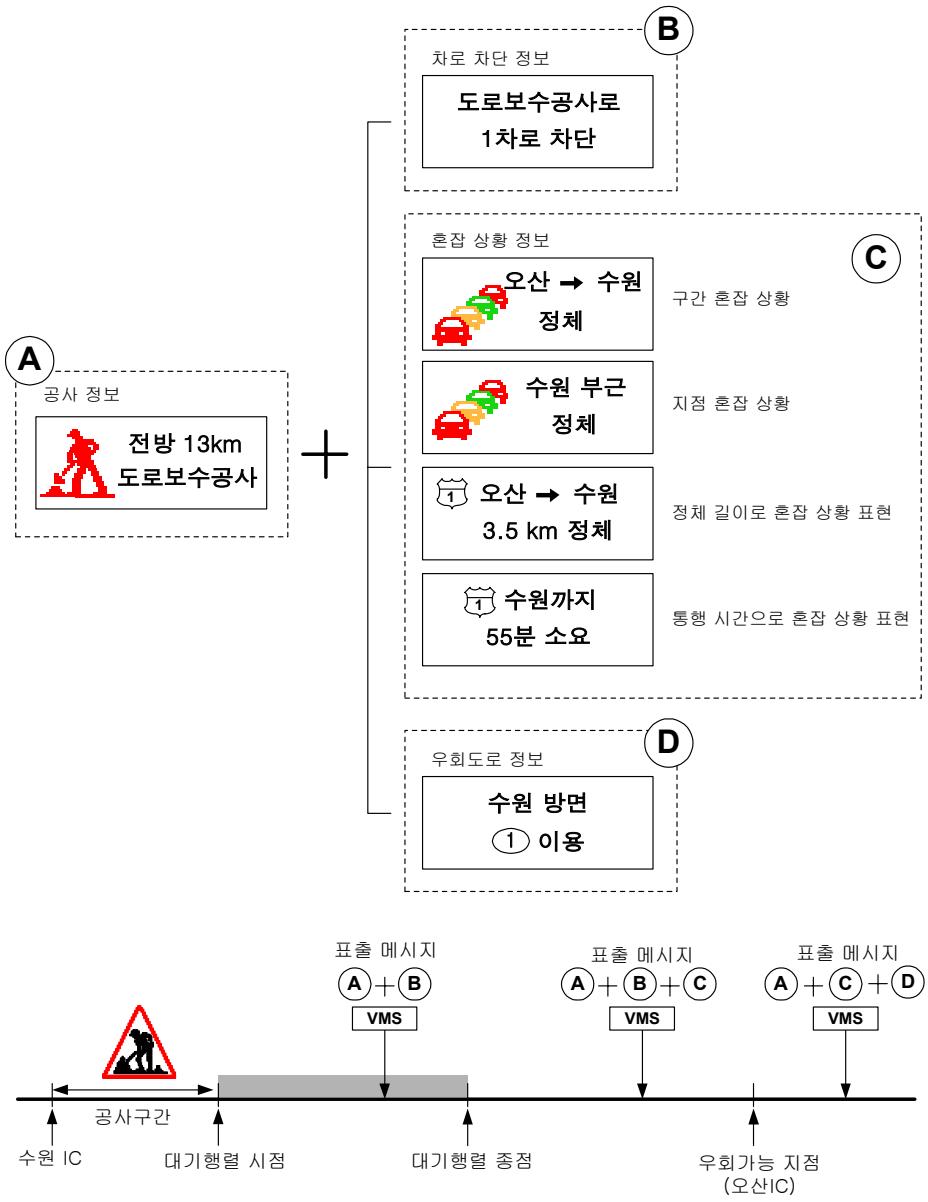
은 돌발 상황으로, 표출 메시지 설계에서도 당연히 돌발 상황을 우선으로 취급한다.

<표 802.5.2>는 도로·교통 상황에 따른 기본적인 메시지 표출 우선 순위와 각 도로·교통 상황별 표출 메시지를 정의한 것이다. 도로전광표지의 설치 목적 및 상위 개념의 교통관리 전략에 따라 표출 메시지의 우선 순위는 이와 다르게 설계할 수 있다.

교통사고나 공사 구간 등의 발생시, 동일한 돌발 상황에 대한 메시지 표출 우선 순위는 도로전광표지의 위치에 따라 다를 수 있으며, 이에 대한 메시지 표출 전략도 사전에 설계한다 (<그림 802.5.5> 참조).

<표 802.5.2> 메시지 표출 우선 순위

우선 순위	도로 상황	혼잡 상황	표 출 정 보
1	돌발 상황 발생 (교통사고, 공사구간, 기타 돌발 상황)	정체 ○	① 돌발 상황 정보 : 종류, 발생 지점 ② 돌발 상황으로 인한 영향 정보 : 정체 정보, 차로 폐쇄 정보 등 ③ 우회도로 정보
		정체 ×	① 돌발 상황 정보 : 종류, 발생 지점 ② 돌발 상황으로 인한 영향 정보 : 차로 폐쇄 정보 등
2	상시적인 정체	정체 ○	① 정체 구간의 교통 상황 ② 통행시간 정보 ③ 우회도로 정보
3	소통원활	정체 ×	① 정체 구간의 교통 상황 ② 통행시간 정보



주) Ⓐ 메시지의 거리(13km)는 각 도로전광표지 위치에 따라 환산 표출해야 함

<그림 802.5.5> 설치위치에 따른 공사구간 메시지 선정 예

③ 표출 메시지 설계와 정보량 산출

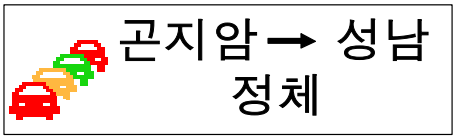
해당 도로전광표지가 정보를 표출하는 대상이 되는 담당 구간이 결정되면, 지명 등을 고려하여 구체적인 표출 메시지를 설계할 수 있다. 이는 메시지 설계시 표출 문구에 대한 이용자의 인지도를 높이고 그를 통해 전체 시스템의 효율성을 높이기 위함이다. 표출 문구는 "도로안전시설 설치 및 관리 지침-도로전광표지 편(건설교통부, 1999)"에 예시되어 있는 문구를 참고하여 설계하는 것이 바람직하며, 기타 정보에 대한 표출시에는 해당 시스템 여건에 맞게 운영 기관에서 수정 보완하여 설계한다.

표출 메시지를 설계한 후에는 1화면당(메시지당) 정보량을 산출할 수 있으며, 2~3개의 메시지로 구성된 표출 주기당 총 정보량이 결정된다.

이러한 정보량에 기초하여 표출 시간을 결정할 수 있는데, 이 표출 시간은 곧 운전자가 표출되는 메시지를 모두 판독해야 하는 판독 시간과 같은 개념이다.

<표 802.5.3>은 해당 도로전광표지가 담당하고 있는 정보 표출 대상 구간이 '곤지암-광주'와 '광주-성남' 두 구간인 경우에, 두 구간 모두 '정체'일 때의 메시지 제공 전략을 예로 든 것이다. 이 예에서, 3개의 메시지가 1주기(cycle, 담당하는 구간의 상황이 동일하게 지속될 때, 반복되는 메시지의 범위)로 운영된다면, 이 때의 1주기당 총 정보량은 7개(3 + 2 + 2)의 정보 단위이다. 이와 같이 전략적으로 제공하고자 하는 1주기당 메시지 수와 정보량을 설계한다.

<표 802.5.3> 표출 메시지 설계 예

	표출 메시지	정 보 량
첫 번째 메시지		3단위/1메시지
두 번째 메시지	③ 광주까지 20분 소요	2단위/1메시지
세 번째 메시지	③ 성남까지 20분 소요	2단위/1메시지
총 정보량		7단위/1주기

주) 정보량 산정시, 도로전광표지 설치지점과 동일한 노선(on the road)에 대한 정보인 경우에는 노선번호를 정보량에 포함시키지 않으며, 다른 노선(for the road)의 정보 제공시에는 노선번호를 정보량에 포함시킨다.

④ 메시지 운영방법 설계

도로전광표지에 표출되는 메시지 설계와 함께, 표출 메시지 운영 방법은 구축되는 상위 교통관리체계의 특성과 각각의 도로전광표지의 설치 목적에 따라 다르게 설정할 수 있다.

도로전광표지는 대부분 교통 상황 정보 표출용으로 본선이나 우회 노선에 설치되나, 통행시간 정보만을 표출하는 소규모 형태도 있으며, 문자로 정보를 표출하는 형식 뿐만 아니라 도형으로 표출하는 형식도 있다.

이러한 각 상황에 따라 도로전광표지의 운영방법은 달라질 수 있으며, 설계 단계에서 그에 맞는 운영 전략을 마련하여야 한다. 이러한 경우에도 기본 개념은 동일하므로 본 지침의 틀을 따라 메시지 설계와 운영 전략을 수립하면 된다.

이러한 표출 메시지 운영방법 설정시에는 일반적으로 <표 802.5.4>와 같은 사항을 고려해야 한다.

<표 802.5.4> 메시지 운영방법 설정시 고려해야 할 사항

구 분	고 려 사 항
메시지 표출 시간	도로전광표지의 메시지 표출 시간은 주행중인 운전자가 메시지를 읽고 이해할 수 있도록 하기 위한 시간으로 하나의 메시지에 담긴 정보량과 설계속도에 따라 결정되며, 일반적인 정보 단위당 판독 시간은 0.5～1.0초를 사용한다. 즉, 하나의 메시지에 4단위의 정보량이 포함되어 있다면, 표출 시간은 2～4초 범위에서 운영한다.
운전자 작업 부하	표출되는 메시지는 적정 거리에서 읽을 수 있어야 하며, 이 거리는 운전자들이 복잡한 운전 상황에서 흘깃 보고서 표시 내용을 읽고 이해하기에 충분한 노출 시간을 보장해야 한다. 운전자가 처리해야 할 정보와 그에 따라 수행해야 할 과업이 많지 않도록 적정하게 구성해야 한다.
메시지 부하 (적정 정보량)	하나의 메시지(화면)에 정보 단위가 4개보다 많게 설계하여서는 안되며, 한 줄에 두 개를 넘는 정보 단위를 포함하는 것은 바람직하지 않다. 또한, 1주기당 12개 정보 단위를 넘는 정보 표출은 운전자에게 정보 처리 부하를 초래할 수 있으므로 지양하는 것이 좋다.
메시지 길이 (줄의 수, 줄당 문자 수)	메시지 설계시 줄의 수는 시지각 구조상 2행이 바람직하며, 최대 3행을 넘어서는 안 된다. 줄당 문자 수는 해당 도로 구간의 지명이나 설치 용도에 따라 다를 수 있으나, 최대 10문자를 넘지 않는 것이 좋다.

(6) 문자높이 결정

도로전광표지에 표출되는 문자 높이(문자의 세로 규격)는 표출되는 메시지를 주행 중인 운전자가 적정 거리 내에서 충분히 읽을 수 있도록 총 정보량과 시설이 설치되는 도로의 수준 등에 따라 <표 802.5.5>와 같이 정한다.

도로전광표지에 표출되는 문자 높이(문자의 세로 규격)는 표출되는 메시지의 판독성(판독거리)을 결정짓는 요소로 설계시 주의를 기울여야 한다.

먼저, 운전자에게 제공하고자 설계된 표출 메시지를 운전자가 모두 읽을 수 있는 최소 판독 거리를 산출하여야 한다.

최소 판독 거리는 소실 거리와 판독 소요 거리를 합한 것이며, 여기에 반응 거리를 합한 인지 거리는 시설 설치 지점 선정시 최소 시인성 확보 구간을 결정할 수 있는 기초가 된다. 인지 거리와 최소 판독 거리 개념도는 <그림 802.5.6>과 같다.

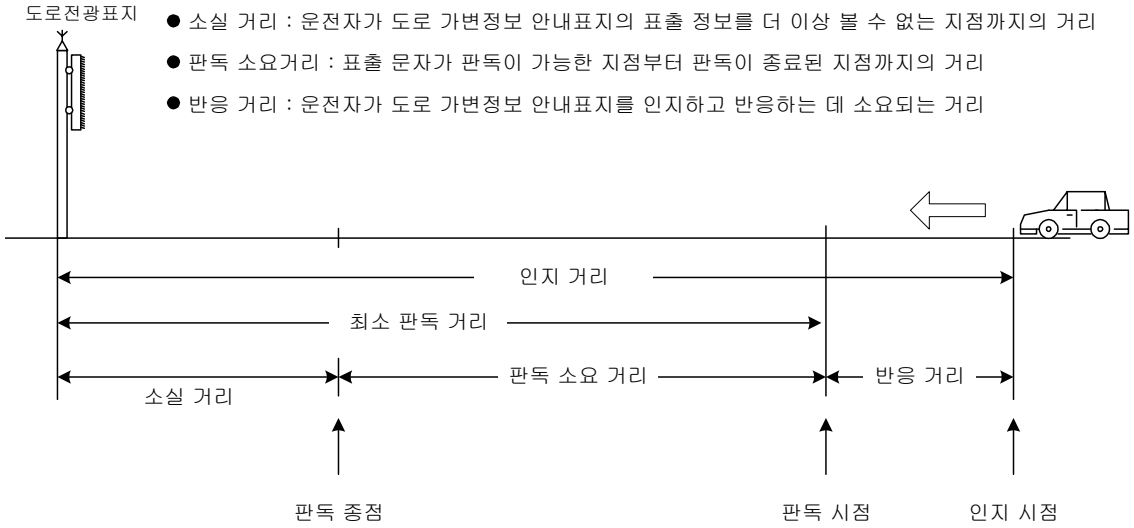
최소 판독 거리는 도로전광표지에 표출되는 정보를 판독하는데 필요한 최소 거리로, 표출된 문자가 보인다는 가정 하에 산정되는 거리이다. 즉, 표시면에 표출되는 문자의 높이가 충분히 보이는 범위 내에서, 제공되는 정보를 판독하는 데 필요한 최소한의 거리를 의미한다.

<표 802.5.5> 총 정보량별 최소문자높이

(단위 : cm)

문자 두께	총 정보량 / 설계속도	4단위	6단위	8단위	9단위	10단위	12단위	15단위
0.0625H	40km/h	34	37	41	42	44	48	54
	60km/h	37	42	48	51	54	62	75
	70km/h	39	45	52	56	60	70	87
	80km/h	41	48	57	62	67	80	102
	100km/h	44	54	67	75	83	103	141
	120km/h	48	62	79	90	103	132	193
0.125H	40km/h	35	37	40	42	43	47	52
	60km/h	37	42	47	49	52	58	69
	70km/h	39	44	50	53	57	65	78
	80km/h	40	47	54	58	62	72	90
	100km/h	43	52	62	69	75	90	119
	120km/h	47	58	72	80	90	112	155

주) 1. 본 표는 다음의 조건에 따라 산정되었음.
설치 중심 높이 : 7m 표시면 설치각 : 6°
정보단위당 판독 시간 : 1초 운전자 반응 시간 : 2초
2. 문자 두께는 가능한 한 0.125H로 설계하는 것이 바람직하며, 부득이한 경우 0.0625H로 설계할 수 있다(<표 802.5.6> 참조).



인지 거리(VD) = 반응 거리(PD) + 판독 소요 거리(LTD) + 소실 거리(LLD)
최소 판독거리(MLD) = 판독 소요 거리(LTD) + 소실 거리(LLD)
PD = 평균 주행속도 또는 설계속도(m/초) × 운전자 반응시간(보통 2초)
LTD = 평균 주행속도 또는 설계속도(m/초) × 정보 단위수(단위)× 정보 단위당 판독시간(보통 1초)
LLD = 표지중심 높이/tanθ (θ=표시면 설치각, 연직면에서 운전자 방향으로 기울게 설치하는 각, 보통 6°)

<그림 802.5.6> 인지거리와 최소 판독 거리의 개념도

설계속도가 70km/h이고, 표출되는 정보량이 7단위라면 표지 중심 높이가 7m, 설치 각이 6°일 때, 최소 판독 거리는 203m[= 판독 소요 거리 136m + 소실 거리 67m]이고, 여기에 반응 거리(39m)를 합한 인지 거리는 242m이다(<그림 802.5.6> 참조).

이 때 최소 판독 거리에서는 표시면에 표출되는 문자를 판독할 수 있어야 한다. 즉, 최소 판독 거리에서 판독 가능한 문자 높이를 산출하여 설계하여야 한다.

문자 두께가 0.125H인 문자의 문자 높이와 판독 가능 거리간의 관계식은 다음과 같다.

$y = 304.55\ln(x) - 969.96$ ($R^2 = 0.99$)

y : 판독 가능 거리(m)

x : 문자 높이(cm)

문자 두께가 0.0625H인 문자의 문자 높이와 판독 가능 거리간의 관계식은 다음과 같다.

$y = 263.38\ln(x) - 819.33$ ($R^2 = 0.99$)

y : 판독 가능 거리(m)

x : 문자 높이(cm)

옆의 예에서 필요한 최소 판독 거리가 203m이고, 문자 두께를 0.125H(H : 문자 높이)로 설계한다면, 판독성이 확보되기 위한 최소 문자 높이는,

$y = 304.55\ln(x) - 969.96$

$203 = 304.55\ln(x) - 969.96$ 에서,

$x = 47$(cm) 이다.

(7) 표시면 규격 설계

앞서 도출된 문자 높이에 따라 도로전광표지의 표시면 규격을 설정한다. 표시면 규격을 설계할 때에는 문자 높이 뿐만 아니라 자간 간격, 단어간 간격, 줄간 간격과 같은 메시지 변수와 문자체, 문자 두께, 장평 비(W:H)와 같은 문자 변수를 고려하여야 한다.

각 문자 변수에 대하여 판독성이 양호한 설계 변수 값으로는, 문자체는 고딕체, 문자 두께는 0.125H, 장평 비는 1 : 1이다(<표 802.5.6> 참조).

<표 802.5.6> 문자 변수와 메시지 변수의 적정 값

항 목		설계 값	비 고
문자 변수	문자체	고딕체	-
	문자 두께	0.125H (0.0625H)	· 기본적으로는 0.125H로 설계하며, 부득이한 경우에는 0.0625H도 가능
	W : H	1:1 (0.9:1)	· 기본적으로는 1 : 1로 설계하며, 문자수의 증가 등의 문제 발생시 0.9 : 1까지 표출 가능
메시지 변수	자간 간격	0.25H	-
	단어간 간격	0.375H (0.25H)	· 기본적으로는 0.375H로 설계하나, 0.25H까지 가능
	줄간 간격	0.375H (0.25H)	· 기본적으로는 0.375H로 설계하나, 0.25H까지 가능

주) 1. 도로안전시설 설치 및 관리지침-도로전광표지 편(건설교통부, 1999)에서 제시된 값임
2. H는 문자 높이를 말하며, W:H는 문자폭(Width) : 문자 높이(Height)를 말한다.

문자 높이와 제공하고자 하는 메시지의 길이, 메시지 변수를 바탕으로 표시면의 규격을 설정할 수 있으며, 그 예는 다음과 같다.

【표시면 규격 설계 예】

□ 문자 크기 : 60cm × 60cm

□ 1줄당 최대 문자 수주) : 8문자

□ 메시지 변수

- 자간 간격 : 15cm(0.25H)
- 단어간 간격 : 22.5cm(0.375H)
- 줄간 간격 : 22.5cm(0.375H)

□ 메시지는 2줄로 표출

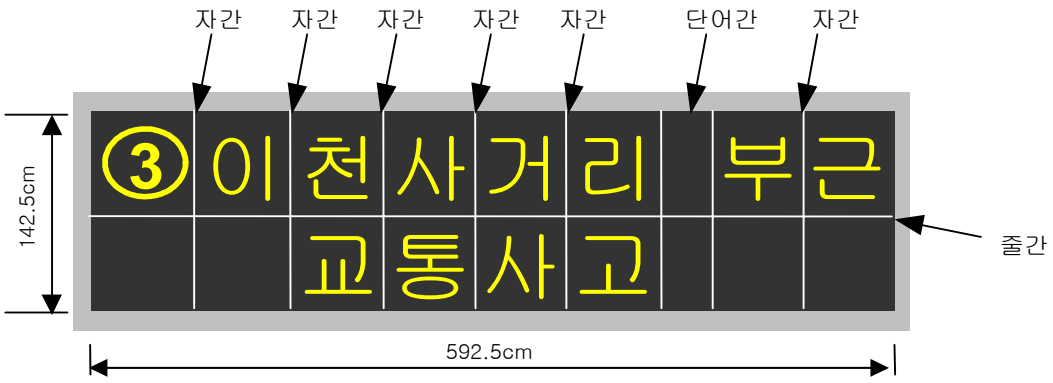
□ 표시면 규격 산정

- 표시면 세로 규격 산정

  60cm(문자 높이) × 2(단) + 22.5cm(줄간 간격) = 142.5cm

- 표시면 가로 규격 산정

  60cm(문자폭) × 8(1화면당 1줄당 최대 문자수) + 15cm(자간 간격) × 7(문자수-1)
  + 22.5(단어간 간격) × 1(단어수 - 1) - 15cm(자간 간격)× 1(단어수 - 1)
  = 480 + 105 + 22.5 - 15 = 592.5(cm)



주) 하나의 화면(메시지)에 표출되는 문자 수로서, 가장 긴 문자 수가 설계 값이 된다. 여기에는 문자 뿐만 아니라 화살표 등과 같은 기호(symbol)도 포함된다.

(8) 색상과 휘도

도로전광표지에 표출되는 메시지는 각 색상이 의미하는 바를 감안하여 설정해야 하는데, 이를 위해 도로전광표지에 맞는 색도 좌표를 규정할 필요가 있다. 색상별 표출 방식의 기본 전제는 상황에 맞는 적절한 색상을 사용하되, 적정 시인성이 확보되어야 한다는 것이다. 또, 발광형 도로전광표지의 특성상 표출 문자는 주변 조도 조건에 맞는 휘도와 대비를 갖도록 설계해야 한다.

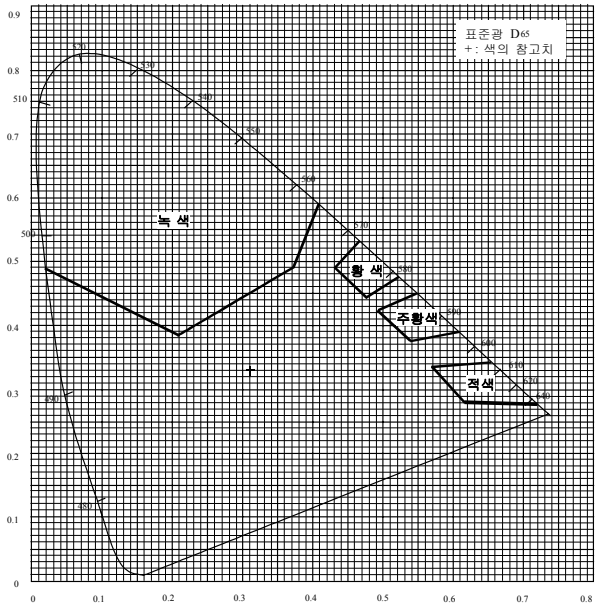
① 도로전광표지에 사용되는 발광형 소자(LED)의 색상은 적색, 주황색, 황색, 녹색으로 분류하며, 색도 기준은 <표 802.5.7>, <그림 802.5.7>과 같다.

② 표출 메시지의 색상은 도로 구간의 상황에 따라 달리 할 수 있으며, 색상별 특성을 감안하여 해당 상황에 맞는 적절한 색상을 사용하되, 적정 시인성이 확보되도록 한다.

<표 802.5.7> 도로전광표지용 LED의 색도 좌표 기준

색 상	1		2		3		4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
적 색	0.730	0.270	0.627	0.283	0.569	0.341	0.655	0.345
주황색	0.610	0.390	0.535	0.375	0.470	0.440	0.547	0.452
황 색	0.522	0.477	0.470	0.440	0.427	0.483	0.465	0.534
녹 색	0.405	0.585	0.372	0.493	0.209	0.383	0.013	0.486

주) 1. 도로전광표지용 LED의 색상별 색도 범위는 실험 결과와 국내 LED 사양을 기반으로 CIE(국제조명위원회)의 색도 표기 방법에 따라 설정한 것임
2. LED Cluster 방식에서 녹색과 적색 LED를 모두 켜서 생성하는 amber 색은 위의 주황색 범위를 기준으로 사용할 수 있음



<그림 802.5.7> 도로전광표지용 LED의 색도 좌표

③ 발광형 도로전광표지의 특성상 표출 문자는 주변 조도 조건에 맞는 휘도와 대비를 갖도록 설계한다.

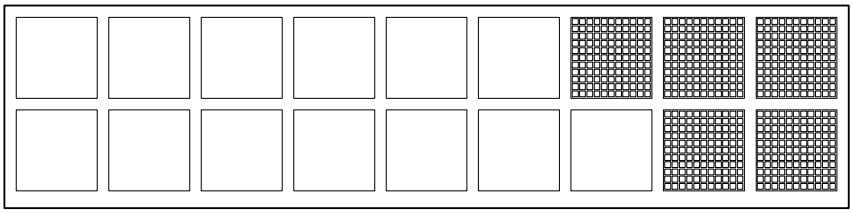
색상과 휘도에 관한 자세한 사항은 “도로안전시설 설치 및 관리 지침-도로전광표지 편(건설교통부, 1999)”을 참고한다.

(9) 설치형식

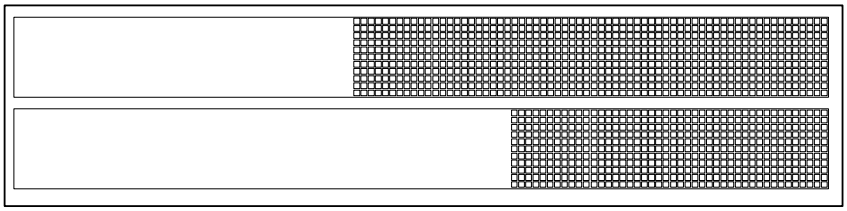
도로전광표지의 설치형식은 표시면 형식과 설치구조 형식에 따라 구분되며, 차로 수와 도로 기능에 따라 정하되, 통행에 방해를 주지 않으면서 모든 운전자가 볼 수 있도록 그 용도와 설치 지점 여건에 맞게 한다.

① 표시면 형식

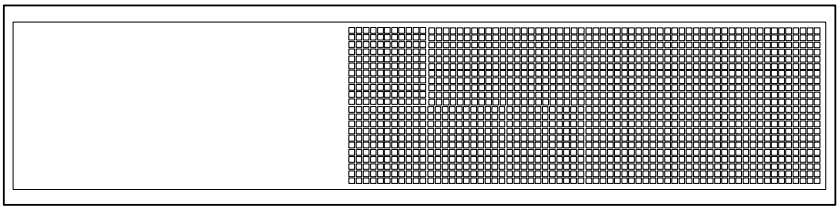
LED Cluster 방식의 도로전광표지의 표시면 형식에는 <그림 802.5.8>과 같이 모듈(module) 매트릭스형과 라인(line) 매트릭스형, 풀(full) 매트릭스형 3가지가 있다. 모듈 매트릭스형과 라인 매트릭스형은 풀 매트릭스형에 비해 가격이 저렴하나, 모듈이나 라인 때문에 문자 높이나 표출 형식이 제약된다는 단점이 있다. 반면, 풀 매트릭스형은 상대적으로 고가이나, 표출 문자나 기호 등 표출 내용에 크게 제약을 받지 않고 유동적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 최근에는 주로 풀 매트릭스형을 설치하고 있다.



(a) 모듈 매트릭스형



(b) 라인 매트릭스형



(c) full 매트릭스형

<그림 802.5.8> LED Cluster 방식의 표시면 형식

② 설치구조 형식

본선에 설치되는 도로전광표지의 설치 구조 형식은 기본적으로 <그림 802.5.9>와 같이 문형식, 내민식 그리고 부착식으로 구분하며, 도로의 종류 및 차로수에 따른 설치형식의 기준은 <표 802.5.8>과 같다. LED 방식의 도로전광표지는 자체 발광형으로 시인성이 높으나, 설치 효과를 극대화하기 위해서는 가능한 한 모든 편도 차로에서 운전자가 불편함 없이 정보를 주시할 수 있는 형식으로 한다.

내민식은 도로의 보호 길어깨(보도) 또는 중앙분리대 등에 설치된 지주에서 차도 부분까지 가로보를 편측으로 높게 달아내어 가로보 부분에 표시면을 설치하는 방법으로, 그 설치 목적과 기능에 따라 구조물의 형태는 다르게 할 수 있다.

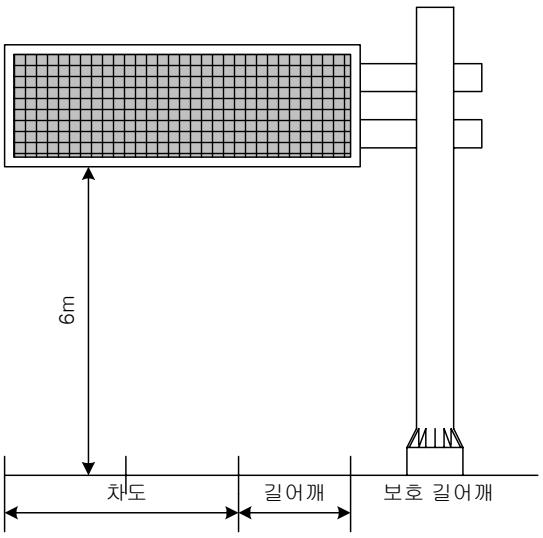
문형식은 차도를 가로지르는 문형 시설에 도로전광표지를 부착하여 차도 상부에 위치하도록 설치하는 방법이다.

또, 부착식은 도로 안내표지나 육교 등 다른 목적으로 설치된 기존 시설에 도로전광표지를 추가로 설치하는 방법으로, 본 시설의 기능을 손상하지 않는 범위 내에서 설치하여야 한다. 특히, 도로전광표지의 자체 하중으로 인한 위험이 없도록 설계 단계에서부터 함께 고려하여 설치할 수 있으며, 기존 시설에 설치할 때에는 안전성에 대해 충분하게 검토한 후 설치해야 한다.

<표 802.5.8> 설치구조 형식의 기본 기준

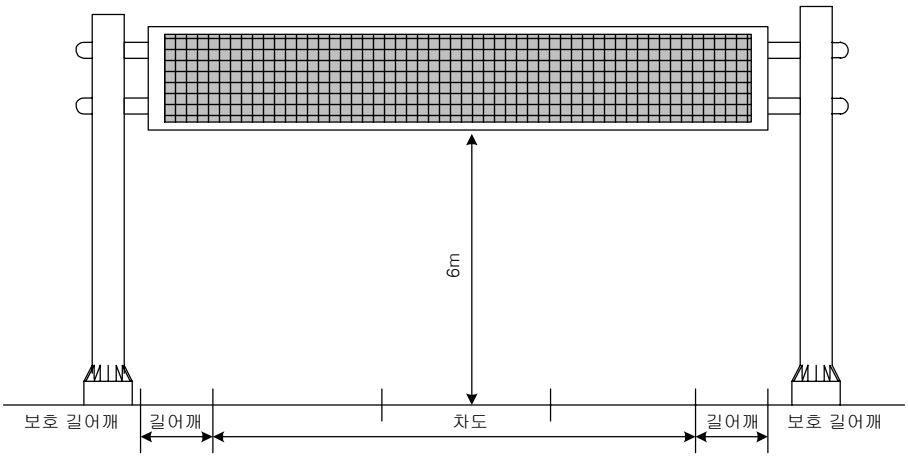
위 계 / 차로 수	고속도로 (자동차 전용도로)	일반도로 (일반국도/지방도, 도시부 가로)
편도 2차로 미만	문형식/내민식	내민식
편도 3, 4차로	문형식※	문형식/내민식

주) ※ : 설치 용도와 위치, 경제성 등을 고려하여 내민식으로 할 수 있다.

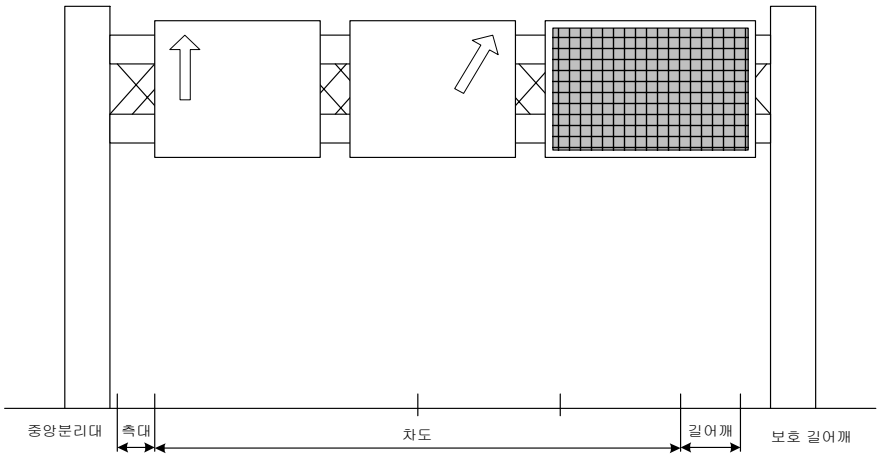


(a) 내민식

<그림 802.5.9> 설치구조 형식에 따른 도로전광표지의 설치형식



(b) 문형식



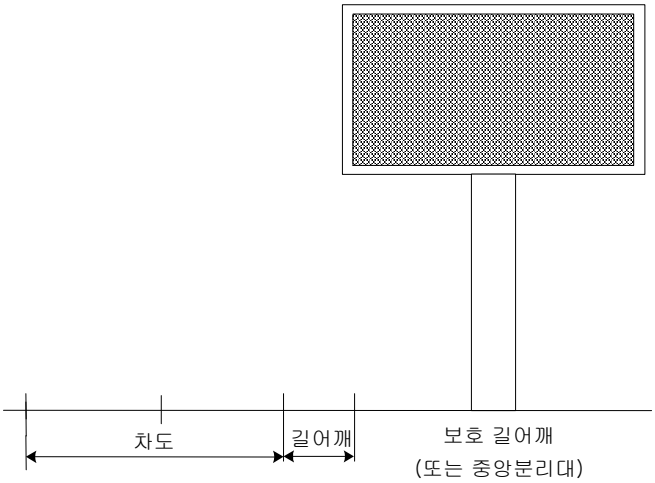
(c) 부착식

<그림 802.5.9> 설치구조 형식에 따른 도로전광표지의 설치형식(계속)

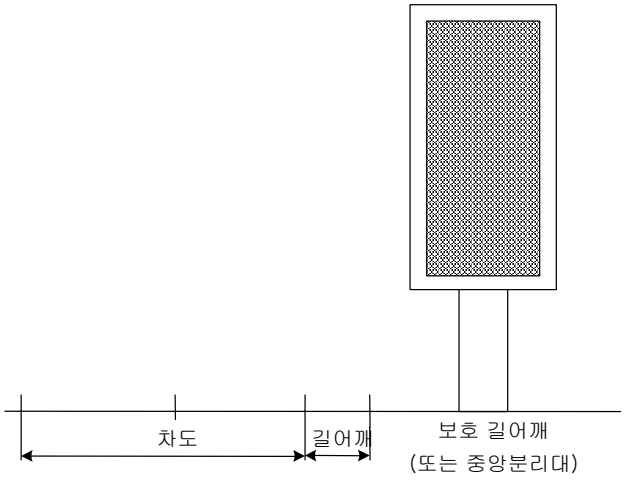
내민식과 문형식처럼 도로전광표지 전용으로 설치되는 형식의 경우, 표시면 횡하 여유고는 통행 안전과 고가 시설의 보호를 위해 충분하게 하여야 하며, 일반적인 도로 표지의 횡하 여유고가 5m인 점을 감안하여 최소한 6m는 확보해야 한다. 통행시간 표출 전용 도로전광표지와 같이 현장 설치 여건과 특수한 용도를 고려해야 하는 경우에는 제시된 형식 이외의 형식을 취할 수 있다.

이상의 형식 외에도 연결로 진입로나 터널 입구 등 특정 지점에 설치되는 단주식, 직립식 등의 도로전광표지 형태가 있다. 단주식은 구조적으로 기존의 내민식이나 문형식을 설치하기 어려운 경우에 설치하며, 직립식은 진입 램프 입구부나 터널 전방 등 표출하는 정보가 단순하고 간결한 경우에 사용할 수 있는 형식이다. 터널 내부에는 간이 내민식을 통행에 장애를 주지 않는 범위의 소형으로 터널 내벽에 설치할 수 있다. 단주식이나 직립식을 도로 측면에 설치하는 경우에는 차량 통행의 안전성을 확보할 수 있도록 충분한 측방 여유를 확보하여야 한다.

이와 같이 도로전광표지의 설치 형식은 설치 목적이나 설치 위치에 따라 여러 가지로 설치·운영할 수 있으나, 설계시 안전성 문제는 반드시 검토하여야 한다.



<그림 802.5.10> 단주식

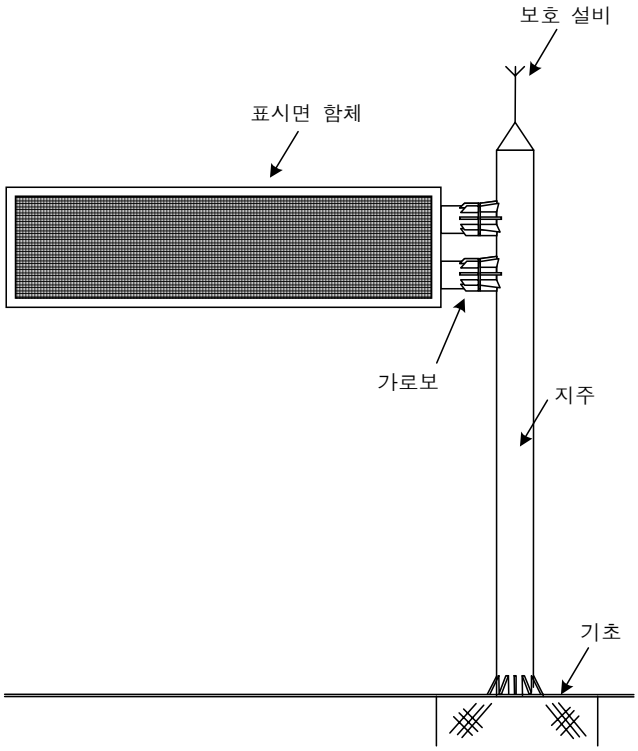


<그림 802.5.11> 직립식

(10) 설치

도로전광표지는 <그림 802.5.12>와 같이 크게 지주와 가로보, 표시면 함체, 제어기, 보호설비, 기초로 구성되며, 각 시설은 해당 시설의 요구 기능에 맞게 제작 설치한다. 현장 설치시에는 주변 구조물의 안전과 교통 안전 문제 등을 고려하여 설치한다.

각 구성요소별 설치기준 및 설치시 고려해야 할 사항은 <표 802.5.9>와 같다.



<그림 802.5.12> 도로전광표지 구조

<표 802.5.9> 도로전광표지의 각 구성요소별 설치기준 및 유의사항

구성 요소	설치기준 및 유의사항
1. 구조물	도로 가변정보 안내 시설의 주요 구조물은 일반 표지와 같이 지주와 가로보 및 기초로 구성되어 있으며, 이에 대한 일반적인 제작 설치 기준은 다음과 같다. • 지주와 가로보는 적재 하중에 충분히 견디도록 제작 설치하여야 한다. • 기초는 적재 하중과 노반 조건에 맞게 설계 시공하여야 한다. • 표시면의 높이는 노면으로부터 6m 이상 확보하여야 한다. • 유지 관리가 용이하여야 한다. • 운전자가 쉽게 인지할 수 있는 구조이어야 한다. • 외관상 미려하여야 한다.
2. 표시면 함체	도로전광표지의 표시면 함체의 성능은 표시부 수명에 직접적인 영향을 미치므로 주의하여 제작 설치해야 하는데, 가장 우선적으로 함체는 고온에 견딜 수 있어야 하며, 습기나 먼지 등으로부터 내구성을 가져야 한다. 표시면 함체 제작 설치시 고려하여야 하는 사항은 다음과 같다. • 여름철 함체 내부의 고온 상태를 방지하기 위해 일정 온도를 유지할 수 있는 용량의 환기 팬을 설치하고, 비, 습기, 먼지 등이 유입되지 않는 구조의 교체 가능 필터를 부착하여야 한다. • 표시면 함체 내부에는 온도 센서를 설치하여 기준 온도 이상 상승할 경우 팬이 가동되며, 정지시에는 환기구를 통한 이물질 유입을 방지하도록 하여야 한다. • 가로보 등 구조물과의 고정은 프레임 밑면 철판과 구조물 상단에 볼트로 견고하게 고정하여야 한다. • 상단에 피뢰침을 설치하고, 표시면 함체와 구조물을 연결하여 접지한다. • 표시면 함체는 도난 방지용 녹방지 시건 장치를 하여 외부인의 접근으로부터 보호하여야 한다. • 표시면 함체의 외함은 도로의 안전을 위하여 무게, 풍압 등에 견딜 수 있도록 견고하게 제작 설치하여야 한다. • 유지 보수시 차도 차단으로 인한 교통 흐름 방해를 최소화하기 위하여 관리자를 위한 충분한 표시면 내부 공간 및 표시면 후면에 그릴망 발판을 확보하여야 하며, 이에 따른 구조적 문제가 발생하지 않아야 한다. 특히, 지주에 설치된 유지 보수용 사다리와 함체 사이는 관리자의 안전을 고려하여 발판을 연결 설치하여야 한다. • 야간시의 유지 보수를 용이하게 하기 위하여 간이 조명을 설치하여야 한다.

<표 802.5.9> 도로전광표지의 각 구성요소별 설치기준 및 유의사항(계속)

구성 요소	설치기준 및 유의사항
3. 제어기	도로전광표지의 제어기는 시설 보안상 표시면 함체 내부에 설치하여야 하나, 유지 보수를 용이하게 하기 위하여 바닥에 설치할 수 있다. 외부 바닥에 설치하는 경우에는 시설 보안이 보장되고 유지 보수가 용이한 구조로 설치해야 한다. 다음은 제어기 함체 설계시 고려하여야 하는 항목이다. • 제어기 함체는 도로전광표지의 전원 및 통신 배선부, 제어기, 전원 장치, 통신 모뎀 등 구성 장치를 설치하기 위한 구조로 설계하여야 한다. • 제어기 함체에는 회로도, 지침서, 유지 보수용 비품 등을 보관할 수 있도록 프레임을 부착하여야 한다. • 제어기 함체는 외부 환경(온도, 습도, 비, 먼지 등)에 대하여 녹이 슬지 않는 재질로 설치한다.
4. 보호 설비	보호 설비란 낙뢰 방지를 위해 설치되는 장치로서, 피뢰 및 전원·통신 써지 방지 장치를 하여야 한다. 피뢰기 보호각은 45。 이하로 하며, 접지는 10Ω 이하의 1종 접지를 하여야 한다.
5. 현장 설치시 유의사항	현장 설치시 유의 사항은 다음과 같다. □ 구조물의 안전과 관련된 문제점 검토 • 광선로, 가스관 등의 지하 매설물 통과 여부 확인 • 설계도서와 상이한 연약 지반이나 지하수 용출 여부 확인 • 옹벽, 지하 구조물의 전도 및 붕괴 우려 유무 점검 □ 현장 설치시 안전성 확보 • 시설 설치중 공사 안내, 교통 통제 등에 필요한 안전시설 설치 후 안전하게 교통 통제 실시 • 교통 통제 기간은 가능한 단축하여야 하여야 하며, 교통 수요에 맞추어 탄력적으로 통제하여 교통 혼잡을 최대한 완화할 수 있는 설치 방법을 취하여야 함 □ 설치 지점에 인접해 있는 도로면, 가드 레일 등 기존 구조물 변경 및 훼손이 불가피할 경우 관련 부서와의 사전 협의 필요

2.2 주행차량 자동인식 시스템

(1) 정의 및 구성

주행차량 자동인식 시스템이란 도로 위를 주행하고 있는 각종 차량의 종류를 자동적으로 인식할 수 있는 시스템으로서 <그림 802.5.13>과 같이 구성된다.

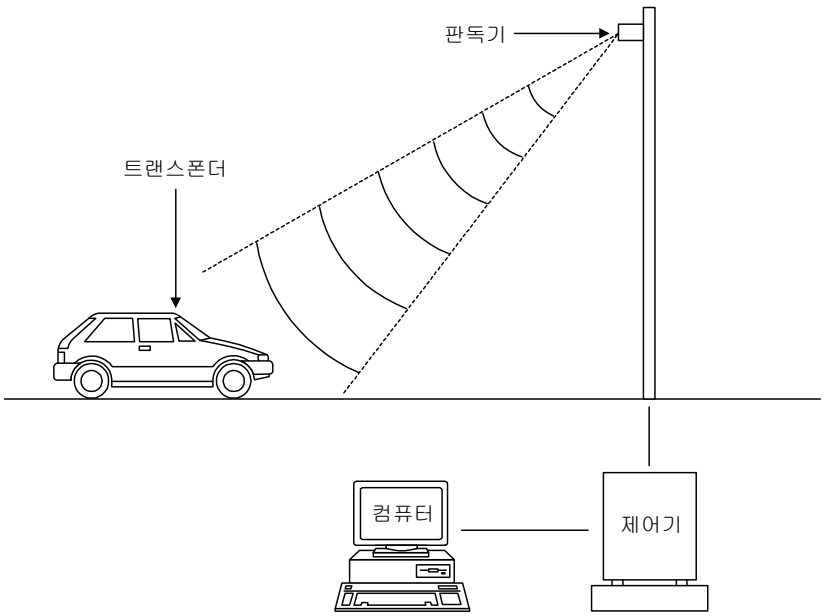
주행차량 자동인식 시스템은 각 차량의 속성정보를 가지면서 차량에 부착되는 트랜스폰더, 트랜스폰더로부터 차량의 속성정보를 읽어 들이는 판독기, 트랜스폰더와 판독기간의 통신을 제어하는 제어기, 제어기와 연결되어 차량의 속성정보를 관리하는 중앙처리장치로 구성된다.

(2) 적용분야

주행차량 자동인식 시스템은 무선 통신 분야의 발달과 더불어 교통분야에서 그 수요가 증가하고 있는 시스템으로서, 초창기에 주요 적용대상이던 전자식 자동 요금 징수 분야에서 다양한 분야로 그 범위가 확대되고 있다.

주요 적용분야로는 다음과 같다.

- 유료도로 및 특정지역으로 진입하는 차량에게 혼잡료를 징수하는 자동요금 징수 시스템
- 주행중인 차량의 교통법규 위반여부를 자동으로 인식하고 위반차량에 대하여 벌금을 자동 징수하는 무인교통단속 시스템
- 차량접근관리 시스템
- 긴급 차량 및 버스우선권 제공 시스템



<그림 802.5.13> 주행차량 자동인식 시스템의 기본 구성도

1.2.3 자동요금징수 시스템

자동요금징수 시스템이란 유료도로 또는 유료통행지역을 통행하는 차량을 주행 중 자동으로 인식하고 통행료를 자동으로 징수하는 시스템으로 Electronic Toll Collection System, Electronic Road Pricing System 등이 있다.

현재 설치 운영되고 있는 자동요금징수 시스템의 사례로서 노르웨이의 Q-Free 시스템, 영국의 DART 시스템, 이탈리아의 TELEPASS 시스템의 시스템 구성과 특징을 간략하게 소개하면 다음과 같다.

① Q-Free 시스템

Q-Free 시스템은 Micro Design As사에 의해 개발되었으며, 노르웨이의 OSLO시와 Trondheim 시에 설치 운영되고 있는 시스템이다.

Q-Free 시스템의 특징은 RFID를 이용한 통신 방식의 채택이며, 사용 주파수는 856 MHz에서 918 MHz, 2.45 GHz에서 5.8 GHz까지 다양하다. 채널운영 방식은 다중 채널방식을 채택하고 있으며, 이 방식은 운전자가 저속 주행할 때 다른 정보에 의한 간섭 배제 및 신뢰도가 높다고 보고되고 있다. 트랜스폰더는 수동형으로 전원 공급이 필요하지 않으며, 탑재위치는 차량 앞 유리의 안쪽이다. 통상 트랜스폰더의 MTBF는 50,000시간으로 상당히 길고 출력은 0.1 Watt 정도의 미약한 전원에 반응 자료를 반송한다.

Q-Free는 등록부와 플라자 컴퓨터, 비디오 카메라, 인력식 지불장치, 자체 진단 시스템, 플라자 감시시스템으로 구성되며, 판독기는 트랜스폰더로부터의 정보 해독을 수행하고 안테나와 판독기의 거리는 30m 이하이다. 플라자 컴퓨터는 이용자의 잔여 지불액 검사와 불법적인 통행이 발생하는 경우 비디오카메라를 작동시켜 차량을 촬영하고 경고 메시지를 보내는 기능을 수행한다.

인력식 지불장치는 주행차량 자동인식 차선을 이용하지 않고자 하는 사용자를 위한 장치로 이것은 Q-Free 시스템의 유연성을 보여준다.

자체 진단 시스템은 차량에 설치된 트랜스폰더로부터의 신호와 동일한 신호를 원격조정으로 발생하여 시스템의 작동상태를 검사하는 기능을 수행하며 플라자 감시시스템은 시스템 사용자들의 편리를 도모하는 장치로 볼 수 있다.

Q-Free 시스템은 요금 지불방식에 있어 상당한 유연성을 가지고 있으며, Q-Free 시스템의 요금 지불방식은 다음과 같다.

- 시간제약 없이 통행횟수만큼 통행요금을 미리 지불
- 통행횟수에 무관하게 주어진 시간만큼의 통행요금을 미리 지불
- 주어진 시간동안 통행한 횟수만큼의 통행료를 후지불

② DART 시스템

DART 트랜스폰더 시스템은 영국에서 최초로 설치된 전자식 요금 징수 시스템으로서 PREMID(PRogrammable REmote IDentification) 트랜스폰더를 사용하며, 이 트랜스폰더는 반수동형으로 자료저장과 변조를 위해서만 전원을 사용한다.

시스템은 차량 속도 160km/h에서도 운영될 수 있는 능력을 가지고 있으나, 다소 낮은 50km/h에서 운영되도록 환경을 설정하였다.

만일 트랜스폰더가 유효하여 지불 가능한 금액을 가지고 있으면 시스템 내 상태 표시 신호

기가 적색에서 녹색으로 바뀌고 차단기가 올라간다. 이러한 모든 동작은 차량이 움직이고 있는 사이에 이루어지며, 만일 고객의 자산이 요금을 지불하기에는 충분하나 근일 내로 재요금 부과가 요구되는 상태인 경우, 시스템 내 상태 표시 신호기가 황색으로 바뀌어 운전자에게 가까운 시일내에 지불예치금액을 갱신토록 경고하고 차량을 통과시킨다. 고객의 자산에 요금이 없는 경우나 불충분한 경우는 상태표시 신호기가 적색으로 바뀌고 고객은 요금소로 유도되어 요금을 즉시 지불해야 한다.

DART 시스템 내 모든 요금 지불은 선불이며, DART 트랜스폰더의 이용을 촉진시키기 위하여 할인을 실시하고 있다. DART 트랜스폰더를 부착한 차량이 짧은 시간 간격으로 계속 요금소 부스에 접근해 오면 검지 시스템의 처리속도 관계로 차단기가 차량 사이에 내려오지 않게 되어 차량의 통과시간이 더 짧아진다.

③ TELEPASS 시스템

TELEPASS는 이탈리아에 설치된 자동요금징수 시스템으로 개발할 때 다음의 시스템 설계 원칙하에서 개발되었다.

- 기존 시스템과의 양립성
- 고객의 사생활 보호
- 안전
- 다른 서비스 제공에 사용
- 저가의 시스템 도입 비용

TELEPASS의 초기 개발단계에서는 차량과 도로부 통신을 위한 매체로 적외선을 선택하였으나, 차량 속도에 따른 높은 비트 에러율과 주변 환경 내 다양한 빛의 강도에 따른 부정적인 영향으로 인해 취소되었고 현 시스템은 마이크로파에 기초한 통신을 수행한다.

TELEPASS는 스카트 카드, 차량탑재장치, 도로부 장치로 구성되어 있으며, 이들 세가지 구성원은 타 서비스 체계(주차관리, 도심진입 모니터링 등)와 완전한 호환성을 가지고 있고, 타 서비스는 적절한 적용 소프트웨어에 의해 이루어질 수 있다. 시스템 내 자료는 차량속도 130km/h에서도 몇 ms(milliseconds) 내에 고객의 자산의 유효성과 차종, 여행목적 등이 처리될 수 있다.

TELEPASS 시스템의 주요한 특징은 차량통과 속도의 규제이며, 차량은 안전을 고려하여 속도가 30km/h로 제한된다. 이러한 속도의 제한에도 불구하고 시스템은 한 시간에 1,300대의 차량을 통과시킬 수 있으며, 속도제한은 에너지 소비와 대기오염에 긍정적인 영향을 제공한다.

1.2.4 무인교통단속 시스템

무인교통단속 시스템이란 주행중인 차량의 교통법규 위반여부를 자동으로 인식하고 위반차량에 대하여 벌금을 자동 징수하는 시스템으로 속도위반 차량단속, 버스전용차선 위반 차량 단속 등에 쓰인다.

이 시스템은 속도, 전용차선, 신호 등 제반 교통법규를 위반하는 차량을 검지하고 그 위반사항을 운전자에게 표시할 수 있는 현장제어장치들과 검지된 정보를 중앙의 관제센터로 전송하는 통신장치로 구성되며, 중앙관제센터는 전송된 정보를 수신하고 이를 가공 처리하여 법규를 위반한 차량에 대하여 벌과금 고지서를 자동적으로 발부한다.

1.2.5 과적차량단속 시스템

과적차량단속 시스템이란 주행중인 트럭의 무게를 자동으로 측정하여 과적차량에 대하여 벌과금을 자동징수하는 시스템이다.

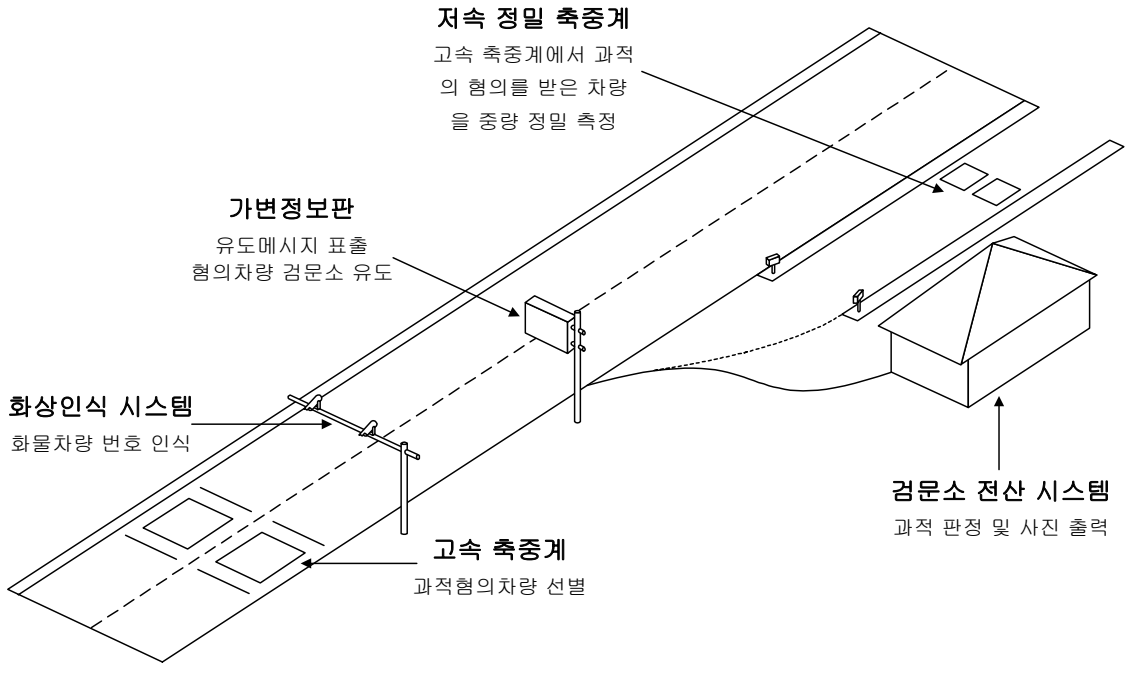
과적차량단속 시스템의 구성은 <그림 802.5.14>와 같이 도로면에 매설되어 차종, 속도, 축중을 측정하기 위한 검지기 부분과 검지기에서 발생시키는 신호를 해석하여 필요한 자료의 생성과 분석을 위한 전산 처리장치로 구성되며 이외에 정보를 표출하기 위한 가변정보판, 번호판 인식을 위한 감시카메라, 자료전송을 위한 모뎀과 비상용 충전 밧데리 및 낙뢰보호 장치가 기본적으로 포함된다.

1.2.6 차량접근관리 시스템

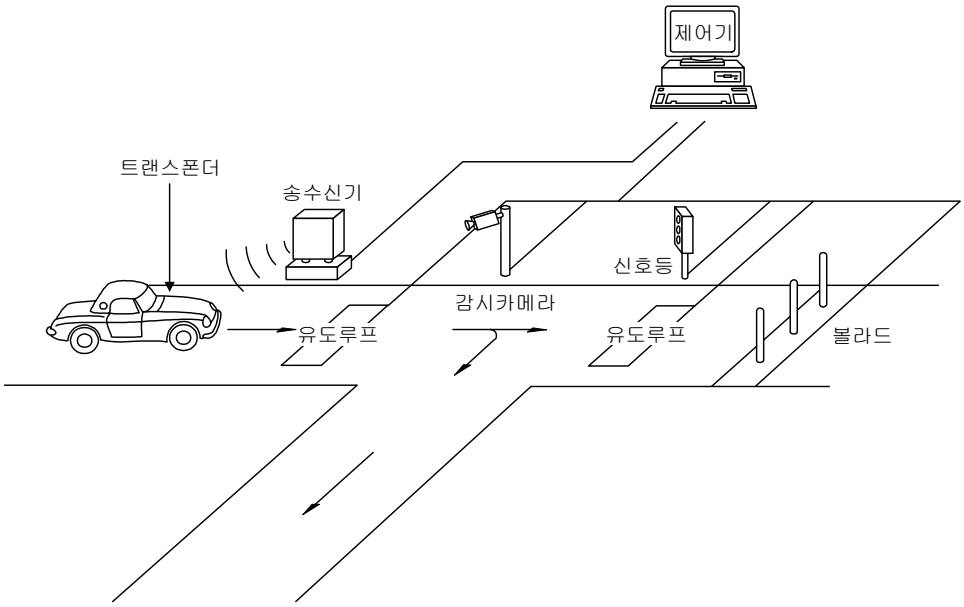
차량접근관리 시스템은 특정 지점에 접근하는 차량 중 특정 차량을 도로의 상황으로 인해 제한하여 다른 도로로 우회시키는 시스템이다.

차량접근관리 시스템의 적용 사례로서는 Gaudi 프로젝트의 일환으로 Bologna와 Barcelona 시에서는 주행 차량 자동 인식을 이용하여 차량 접근관리 체계를 개발하였다.

두 시에서 개발된 차량 접근 관리 시스템은 차량의 특성과 사용에 따라 도로망의 특정 지점으로 접근하는 차량들을 제한하는 용도로 사용된다. Barcelona 시의 접근 관리 체계의 환경은 <그림 802.5.15>와 같다.



<그림 802.5.14> 과적차량단속 시스템의 개요



<그림 802.5.15> Barcelona시의 차량접근관리 시스템 개요

체계는 기둥, 방출로를 갖는 단차선 제어기로 구성되며, 제어기는 차량의 차량 탑재 장치내 접근 허가의 유효를 검사하여 유효한 경우는 통과시키고, 유효하지 못한 경우는 적절한 자료전송과 교통신호기를 통해 방출로로 보내게 된다.

Bologna의 경우도 유사한 체계를 갖고 있으며, 차량이 접근 게이트에 도달하게 되면 지하에 매몰되어 있는 루프가 차량을 인식하게 되고 5.8GHz 대역에서 차량의 속성정보를 인식하기 위한 통신의 시작을 알리게 된다. 차량은 그들의 속성정보를 건네주고, 이것을 기반으로 도로부는 "범죄자 리스트"를 먼저 검색한 다음 진입 허가의 유효성을 검사한다. 통신을 위한 장치를 부착하지 않은 채 통과하는 차량은 비디오 감시체계에 의해 번호판이 등록된다.

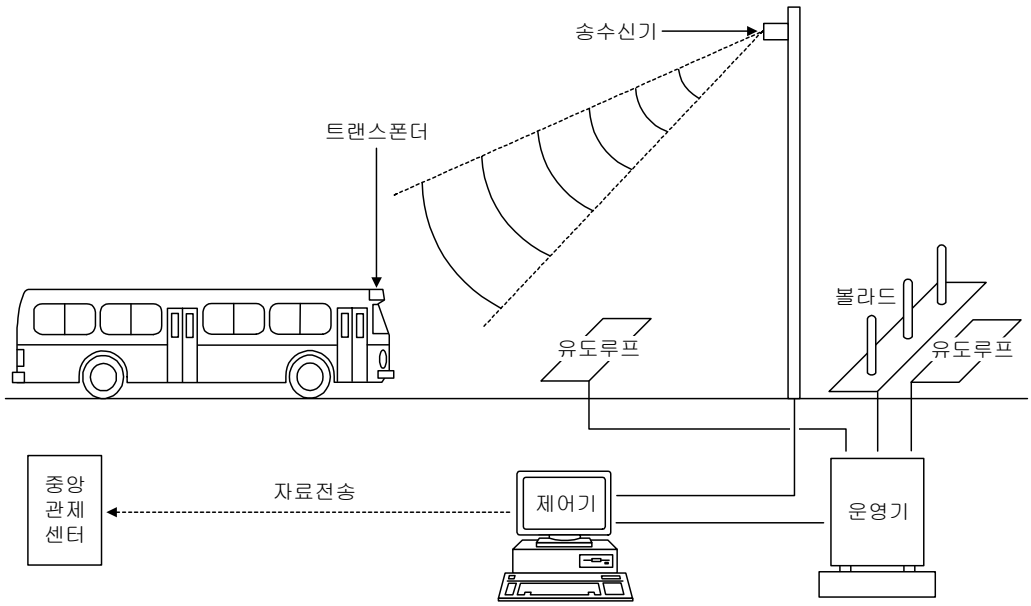
1.2.7 긴급차량 및 버스우선권 제공 시스템

이 시스템은 주행차량 자동인식 시스템을 통해 긴급 차량 및 버스에게 우선권을 부여하기 위한 시스템이다.

주행차량 자동인식을 통해 버스에게 우선권을 주려는 시도는 영국의 캠브리지 시에서 이루어졌으며, 18m 길이의 버스 게이트가 버스들이 첨두시간에 혼잡을 피할 수 있도록 설치되었다(<그림 802.5.16> 참조).

버스 게이트는 몇 개의 기둥을 가지고 있으며, 이 기둥들은 버스와 마이크로파 통신을 통해 작동된다. 제시된 그림에서 보여지는 바와 같이 유도 루프가 버스의 존재를 감지하고 도로부의 마이크로파 방출기를 작동시키게 된다.

모든 시내버스는 마이크로파 신호에 의해 인식되는 전자식 트랜스폰더를 창문에 부착하게 되며, 차량으로부터 유효한 신호가 전달되면 기둥들이 내려가게 되고 버스가 정지없이 게이트를 통과하게 된다. 특정 버스의 게이트 통과 시간은 컴퓨터로 전달되고 이러한 채널을 통해 버스가 계획된 시간표대로 운행하는지를 검사할 수 있다.



<그림 802.5.16> 캠브리지시의 버스 우선권 제공 시스템 개요

1.2.8 도로결빙방지 시스템

도로결빙방지 시스템이란 겨울철 노면의 상태를 자동 감지하여 노면이 어는 것을 방지하거나 노면위에 쌓인 눈을 자동 제거하는 시스템이다.

이 시스템은 겨울철 강설로 인한 도로의 결빙을 방지하여 도로 안전성을 확보하고자 발열선을 도로 포장면으로부터 일정한 깊이로 포설한 후 발열선에 전류를 보내어 발생한 열을 주위의 포장재에 전달하여 도로의 노면을 가열하는 방식으로써, 일반적으로 열을 발생시키는 발열부분과 눈 무인감지시스템, 최적제어시스템, 원격 모니터링시스템 등으로 구성되어 있다.

803
방호 안전시설

803.1 방호울타리

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

방호울타리라 함은 도로법 제3조, 도로법 시행령 제1조의 3에서 도로의 부속시설로 정의되고 있으며, 주행 중 진행방향을 잘못 잡은 차량이 차도 밖, 대향차도 또는 보도 등으로 이탈하는 것을 방지하거나 차량을 정상 진행 방향으로 복원시키는 시설을 말한다.

방호울타리의 주 기능은 제어를 잃은 차량이 차도 밖으로 이탈하는 것을 방지하는 것이며, 그 외의 기능은 다음과 같다.

- 충돌한 차를 정상적인 진행방향으로 복원
- 충돌한 차에 타고 있는 탑승자의 안전을 확보
- 보행자의 안전을 확보
- 노변 시설물을 보호
- 사고 차량에 의한 2차 사고를 억제하여 물적손해를 최소화
- 운전자의 시선을 유도

1.1.2 종류

방호울타리는 설치장소에 따라 노측용, 분리대용, 보도용으로 나누어지며, 사용재료의 상대적인 강도에 따라 가요성 방호울타리와 강성 방호울타리로 구분이 되는데 각각의 종류별 구분에 따른 방호울타리의 형식은 다음과 같다.

① 가요성 방호울타리

- 가드레일
- 가드케이블
- 가드 파이프
- 박스형 보(Beam)

② 강성 방호울타리

- 콘크리트 벽형(뉴저지형, F형)

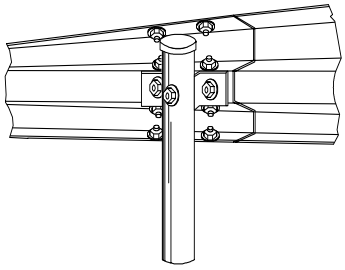
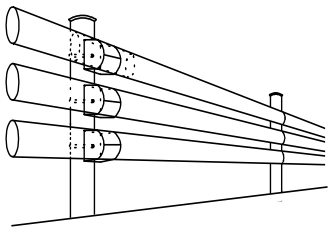
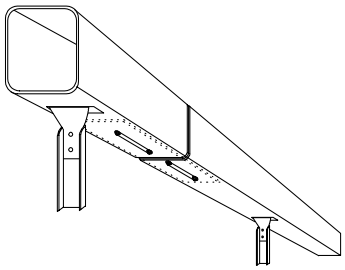
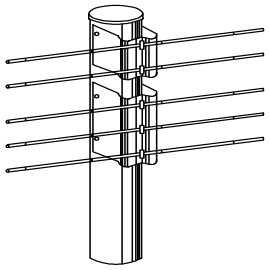
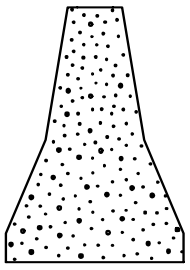
각 형식별 방호울타리의 형상 및 특징은 <표 803.1.1>과 <표 803.1.2>와 같다.

또한 방호울타리는 적용하는 도로의 종류에 따라서 노측용, 분리대용, 보도용의 종별이 나누어 지는데, 노측용은 A, B, C, S로, 분리대용은 Am, Bm으로, 그리고 보도용은 Ap, Bp, Cp, P로 분류된다. 도로의 기능별 구분에 따른 종별 적용 및 설계 조건은 <표 803.1.3>과 같으며, 방호울타리의 형식과 용도의 일반적인 구분은 <표 803.1.4>와 같다.

1.1.3 관련 기준

- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙,1999
- 도로안전시설 설치 및 관리지침-방호울타리 편, 건설교통부, 1997

<표 803.1.1> 방호울타리의 각 형식별 형상

구분	형 상	설 명
가드레일		파형 단면의 보를 사용한 것으로 적당한 강성과 인성을 가져 차량 충돌 시 소성(塑性) 변형은 크나 파손 부분의 대체가 쉽고, 설치 장소에 따라서는 시선 유도의 효과도 있다.
가드파이프		여러 개의 파이프를 보로 사용한 것으로 기능적으로는 가드 레일과 비슷하나 가드 레일에 비하여 전망과 쾌적성이 좋은 반면, 시선 유도와 시공이 어렵다.
박스형보		커다란 1개의 각형 파이프를 보로 사용한 것으로 차량의 충돌에는 휨으로 저항하며, 앞뒤의 구분이 없기 때문에 보통 분리대용으로 사용한다.
가드케이블		인장력이 주어진 케이블을 지주로 받친 구조의 것으로 차량 충돌에 대하여 인장력으로 저항한다. 반 영구적이므로 교체할 필요가 거의 없다. 전망, 쾌적성이 좋고 주행 압박감은 없으나 시선 유도성이 좋지 않다.
콘크리트벽형		구조물의 변형에 의한 충격의 흡수보다는 차량의 복원을 목적으로 하여 변형되지 않는 구조로 된 것을 말한다. 차량이 길 밖으로 벗어나는 것을 방지하기 위해 설치하는 형식이다.

<표 803.1.2> 각 형식별 방호울타리의 특징

형 식		장 점	단 점
가요성 방호울타리	가드레일	적당한 강성과 인성을 가지며, 파손부의 보수가 쉽고, 시선 유도의 역할도 한다. 곡선 반경이 적은 구간에 사용할 수 있다.	더러운 것이 눈에 띄기 쉽다.
	가드파이프	곡선 반경이 적은 구간에 사용할 수 있다. 전망, 쾌적성이 좋다. 적설 지방에 유리하다.	이음부의 시공에 많은 노동력이 필요하다.
	박스형보	좁은 분리대에 사용할 수 있다. 전망, 쾌적성이 좋다. 적설 지방에 유리하다.	곡선 반경이 적은 구간에 사용할 수 없다.
	가드케이블	케이블의 재사용이 가능하고 보수가 쉽다. 전망, 쾌적성이 좋다. 지주 간격을 임의로 할 수 있다. 부등 침하의 영향이 적다.	곡선 반경이 적은 구간에 사용할 수 없다. 구간이 짧은 경우 비경제적이다. 단부의 보수가 어렵다.
강성 방호울타리		차량의 차도 밖 이탈 방지 능력이 좋다. 시공이 용이하다.	충돌 차량이 승차자에게 미치는 영향이 비교적 크다.

<표 803.1.3> 방호울타리의 형식과 용도의 일반적인 구분

형 식 / 용 도	가드레일	가드파이프	박스형보	가드케이블	강성 방호울타리
노 측 용	A, B, C, S	-	-	A, B, C, S	A, B, S
분리대용	Am, Bm	-	Am, Bm	Am, Bm	Am, Bm
보 도 용	Ap, Bp, Cp	Ap, Bp, Cp	-	-	

주) 1. 보도용 종별 P에 대해서는 형식을 정하지 않는다.

2. 표 중 기재되지 않은 것은 현 단계에서는 일반적으로 많이 적용하지 않는 것이다.

<표 803.1.4> 도로의 종류에 따라 적용하는 종별 구분 및 설계 조건

구분	종별	적용 도로	설계 조건					
			차량의 충돌 속도 (km/시)	차량의 중량 (t)	차량의 충돌 각도 (도)	차량이 받는 가속도 (g)	최대 충돌 변형 거리(m)	
							지주를 흙속에 매입할 때	지주를 콘크리트에 매입할 때
노측용	A	고속도로 자동차 전용 도로 특히 주요 일반국도	60	14 및 3.5	15	4이하	1.1 이하	0.3 이하
	B	주요 일반국도 주요 지방도 도시 내의 주요 도로	40					
	C	기타 도로	35					
	S	도로의 종류에 관계없이 철도 등과 교차 또는 인접된 도로 구간	80					
분리대용	Am	고속도로 자동차 전용 도로 특히 주요 일반국도	60	14 및 3.5	15	4이하	1.5 이하	0.5 이하
	Bm	기타 도로	40				1.1 이하	0.3 이하
보도용	Ap	특히 주요 일반국도	60	14 및 3.5	15	4이하	0.75 이하	0.3 이하
	Bp	주요 일반국도 주요 지방도 도시 내의 주요 도로	40					
	Cp	기타 도로	35					
	P	간이 보도의 신설 구간 보행자의 횡단 방지에 필요한 구간 보행자, 자전거 등의 길 밖 추락 방지에 필요한 구간	-	-	-	-	-	-

1.2 설계기준

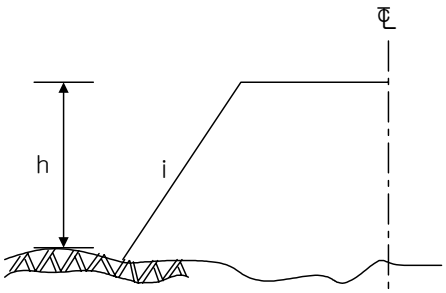
1.2.1 설치장소

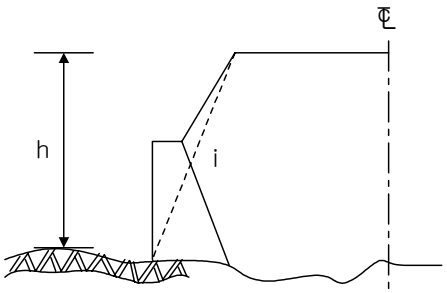
(1) 노측에 설치하는 경우 (종별 A, B, C, S)

다음 각 항에 해당하는 도로 구간에는 주로 차량이 차도 밖으로 이탈하는 것을 방지하기 위하여 도로 및 교통 상황에 따라 방호울타리를 설치하는 것을 원칙으로 한다.

① 노측이 위험한 구간

- 비탈면 경사 i [자연 상태의 토사로 된 산의 비탈면 경사(성토부에서의 비탈면 경사 및 구조물과의 관련에 의하여 규정한 비탈면 경사 포함. <그림 803.1.1>, <그림 803.1.2> 참고)]와 노측 높이 h(원래 지반으로부터 노면까지의 수직 높이)가 <그림 803.1.3>에 표시하는 사선 범위에 있는 구간
- 비탈면 및 비탈 기슭에 바위 등이 돌출되어 있는 도로에서 특히 필요하다고 인정되는 구간



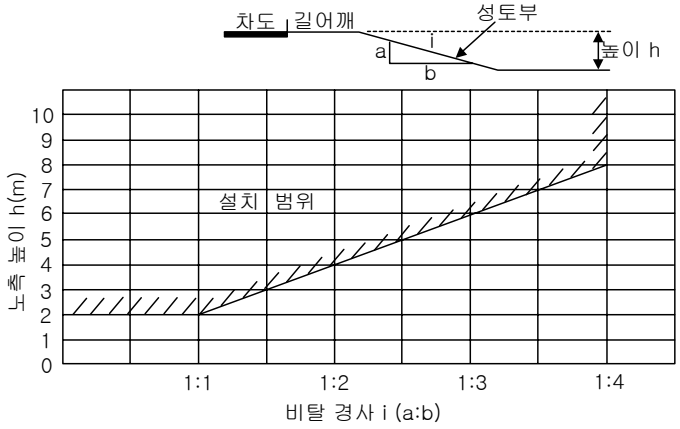


h : 노측 높이(m)

i : 비탈 경사(수직 높이 h에 대한 수평 길이의 비)

<그림 803.1.1> 성토부의 비탈면 경사

<그림 803.1.2> 구조물이 있는 경우 비탈면 경사



<그림 803.1.3> 비탈 경사와 노측 높이와의 관계

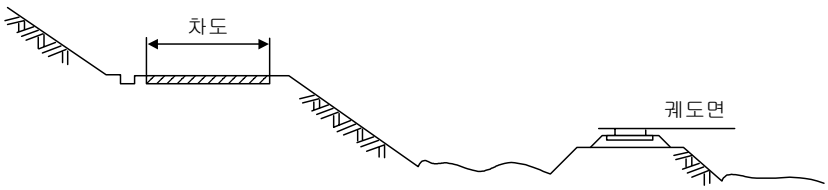
- 도로가 바다, 호수, 하천, 늪지, 수로 또는 상수원 보호구역과 인접해 있는 구간에서 필요하다고 인정되는 구간

② 도로에 철도가 접근하고 있는 구간

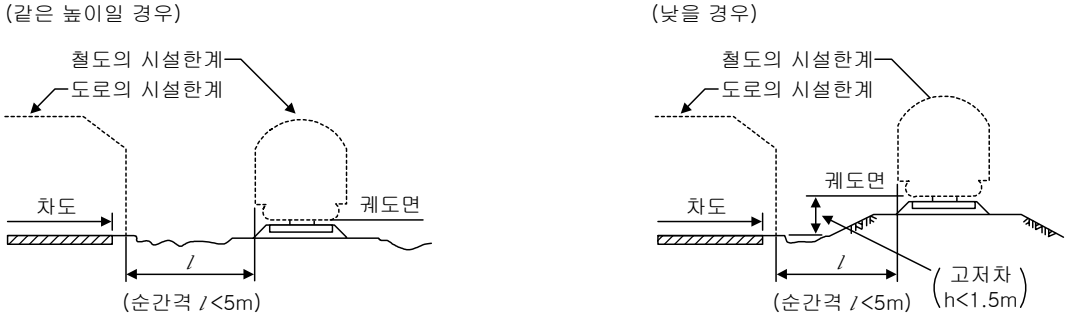
- 차도면의 높이가 철도 또는 다른 차도면보다 높은 도로에서 차량이 차도 밖으로 벗어나 철도나 다른 차도에 진입할 위험이 있는 구간(<그림 803.1.4> 참조)
- 차도면의 높이가 철도 등의 높이 이하인 도로에서 그 고저차가 1.5m 미만이고, 순간격(도로 시설 한계의 외측과 철도 및 다른 차도 시설 한계 외측과의 간격)이 5m 미만인 도로로서 차량이 차도 밖으로 벗어나 철도나 다른 차도에 들어갈 위험이 있는 구간(<그림 803.1.5> 참조)

③ 노폭 및 선형 등과의 관련으로 위험한 구간

- 차도 폭이 급격히 좁아진 도로(교량 폭이 접속 도로의 폭보다 좁은 경우도 포함)에서 방호울타리를 설치하는 것이 효과가 있다고 인정되는 구간【차도 폭이 급격히 좁아지는 구간이란 일반적으로 교호율(길이와 폭 변화의 비)이 20:1보다 급한 경우를 말한다.】
- 곡선 반경이 300m 미만인 도로에서 전후 선형을 고려하여 필요하다고 인정되는 구간
- 내리막 경사가 4% 이상인 도로에서 방호울타리를 설치하는 것이 효과가 있다고 인정되는 구간



<그림 803.1.4> 차도를 이탈한 차량이 철도 또는 다른 도로에 들어갈 위험이 있는 경우



<그림 803.1.5> 차도면이 다른 차도면과 높이가 같거나(왼쪽) 낮은 경우(오른쪽)

- 변형 교차(직각 교차 이외의 평면 교차 및 접속점)하는 도로로서 방호울타리를 설치하는 것이 효과가 있다고 인정되는 구간

④ 구조물과의 관련으로 필요한 구간

- 교량, 고가, 터널의 전후 도로에 특히 필요하다고 인정되는 구간
- 교량, 고가 등의 난간 대신 방호울타리를 연속 설치하는 것이 보다 효과적이라고 인정되는 구간
- 교량 등의 부근에서 특히 필요하다고 인정되는 구간

⑤ 기타의 사유로 필요한 구간

- 사고가 자주 발생하거나 혹은 발생할 위험이 높은 도로에서 방호울타리를 설치하는 것이 효과가 있다고 인정되는 구간
- 기상 상황에 의하여 특히 필요하다고 인정되는 구간

(2) 분리대에 설치하는 경우 (종별 Am, Bm)

분리대가 있는 도로 중 다음 각 항에 해당하는 구간에서는 차량이 대향 차도로 이탈하는 것을 방지하기 위하여 도로 및 교통 상황에 따라 원칙적으로 방호울타리를 설치하도록 한다.

또한, 분리대 이외의 방법으로 양방향을 분리하고 있는 도로의 경우에는 다음의 해당 각 항에 준하여 방호울타리를 설치한다.

① 고속도로 및 자동차 전용 도로에서 설계속도 80km/시 이상인 도로 구간

② 고속도로 및 자동차 전용 도로에서 설계속도 60km/시 이상인 구간과 설계속도 80km/시인 주요 일반국도에서 다음에 해당하는 구간

- 3% 이상의 종단 경사가 계속되는 구간
- 곡선 반경이 1,000m 미만인 구간

③ 지방부 도로에서 설계속도가 60km/시 이하인 도로에서 선형 조건이 위험하여 방호울타리가 필요하다고 인정되는 구간

④ 도시 내 도로에 있어서는 주행 속도가 높아 위험한 구간

(3) 보도 등에 설치하는 경우 (종별 Ap, Bp, Cp, P)

다음 각 항에 해당하는 구간에 대하여는 보행자, 자전거의 보호를 위하여 도로 및 교통 상황에 따라 원칙적으로 보도용의 방호울타리를 설치하도록 한다.

① 차량이 차도 밖으로 벗어남을 방지하고 보행자 등을 차량으로부터 보호하기 위하여 필요한 구간(종별 Ap, Bp 및 Cp)

- 도로 근처에 인가가 있어 차량의 돌입 등으로 인한 중대한 사고가 예상되는 구간
- 주행하는 차량의 속도가 높고 보행자, 자전거 등이 위험하게 근접하고 있어 이의 보호에 필요하다고 인정되는 구간

단, 두 번째 항의 경우에도 보도 또는 자전거도 등(자전거 보행자도, 자전거도. 이하 자전거도라 한다)의 여유 폭이 있는 경우에는 보행자의 보호를 위하여 방호울타리(종별 Ap, Bp

및 Cp) 대신 노측용 방호울타리(종별 A, B 및 C)를 보차도의 경계에 설치할 수 있다.

② 간이 보도의 신설 또는 보행자의 횡단 방지를 위하여 필요한 구간(종별 P)

- 보행자의 도로 횡단을 금지하고 있는 구간 또는 금지하려고 하는 구간
- 상기 외에 보행자가 횡단 보도 이외의 장소에서 무단 횡단하므로 인하여 교통사고가 발생할 위험이 있는 구간
- 도시 내 도로 등에서 주행하는 차량의 속도가 낮고, 단지 보차도를 구별함으로써 사고 감소의 효과를 기대할 수 있는 구간

③ 보행자, 자전거 등이 차도 밖으로 추락하는 것을 방지하기 위하여 필요한 구간(종별 P)

- 보도, 자전거도 등의 차도 바깥쪽이 위험하여 보행자, 자전거 등의 추락을 방지할 필요가 있는 구간
- 자전거 전용 도로, 자전거 전용 도로 및 보행자 전용 도로에 있어서는 보행자, 자전거 등의 안전한 교통을 확보할 필요가 있는 구간

(4) 강성 방호울타리를 설치하는 경우

주로 구조물이 많은 도로에서 차도 밖으로 벗어나려는 차량이 2차 사고를 일으킬 가능성이 많은 장소 또는 노측의 위험도가 높은 곳 등에서 완충 효과는 다소 저하되더라도 차도 밖으로 벗어남을 방지하는 것이 절대 필요하다고 인정되는 구간에는 강성 방호울타리를 설치하도록 한다.

노측에 강성 방호울타리의 설치가 꼭 필요하다고 인정되는 구간의 구체적인 예를 들면 아래와 같다.

- 가로 또는 민가에 접근된 고가 구간
- 철도, 도로의 입체 교차 교량 구간
- 깊은 바다나 하천을 건너는 교량 구간
- 절벽을 따른 옹벽 구간
- 고가 또는 교량상의 분리대 중 폭이 1m 미만인 구간

분리대에서 강성 방호울타리의 설치는 주로 분리대의 폭이 좁으면서 대향 차도로의 진입을 최대한 억제해야 하는 경우에 적용한다.

1.2.2 구조 및 성능

방호울타리의 구조 및 상세한 제원에 관한 내용은 건설교통부 발행 “도로안전시설 설치 및 관리지침-방호울타리 편(건설교통부, 1997)”을 참고한다.

본 편람에서는 기존처럼 구조 제원 등의 사양을 규정하는 방식이 아닌 방호울타리가 갖춰야 할 성능을 규정하는 방식으로 구성하였다. 즉, 방호울타리가 제 기능을 발휘하기 위해 필요한 성능을 제시하고 방호울타리를 설치할 때는 이러한 성능이 확인된 것을 사용하도록 한 것이다.

(1) 차량의 이탈을 방지하는 성능

도로변이 비탈면이거나 또는 벼랑, 강, 하천 등의 위험요소가 인접해 있는 구간의 노측에 설치하는 방호울타리는 차량이 도로 밖으로 이탈하는 것을 방지하기 위함이다. 이런 기능을 가지는 방호울타리는 차량의 중량이 14t인 대

형 화물차 또는 중량이 3.5t인 소형차가 15°의 각도에서 60km/h로 충돌했을 때 돌파되지 않는 강도를 가져야 한다.

또한 가드레일이나 가드 케이블 같이 변형이 발생하는 방호울타리는 위와 같은 충돌 조건에 대해 최대 변형거리가 설치장소에 따라 <표 803.1.5>의 값을 만족해야 하며, 콘크리트 방호울타리 같은 강성 방호울타리는 주요 부재에 소성변형이 일어나지 않아야 한다.

(2) 승차원의 안전성능

방호울타리에 충돌한 차량의 각 부분 및 탑승자에게 작용하는 가속도의 크기는 종방향과 횡방향 가속도를 합쳐 4g(g : 중력가속도)를 초과하면 안된다.

(3) 차량의 유도 성능

차량이 방호울타리와 충돌했을 경우 발생할 수 있는 2차 사고를 예방하기 위하여 방호울타리는 (1)에 제시된 충돌 조건에서 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

① 차량이 방호울타리와 충돌한 후 전복 등을 일으키지 않도록 할 것

② 차량이 방호울타리와 충돌한 후의 이탈속도는 충돌속도의 60% 이상일 것

③ 차량이 방호울타리와 충돌한 후의 이탈각도는 충돌각도의 60% 이하일 것

(4) 구성부재의 비산방지 성능

방호울타리는 차량이 충돌할 때 큰 하중이 작용하는데, 이 때 방호울타리의 구성부재가 도로상이나 길 밖으로 비산하여 사고 당사자나 제3자에게 피해를 주는 일이 없도록 차량 충돌시에 구성 부재가 크게 비산하지 않도록 해야 한다.

<표 803.1.5> 가요성 방호울타리의 최대 변형거리

구 분	종 별	지주를 흙속에 묻을 경우	지주를 콘크리트 속에 묻을 경우
노 측 용	A, B, C, S	1.1m 이하	0.3m 이하
분리대용	Am	1.5m 이하	0.5m 이하
	Bm	1.1m 이하	0.3m 이하
보 도 용	Ap, Bp, Cp	0.75m 이하	0.3m 이하

1.2.3 재료

(1) 가드 레일

가드 레일에 사용하는 재료는 다음 각 항에 규정한 것이라야 한다.

① 보(단부 보 포함)

보의 재질은 원칙적으로 KS D 3503(일반 구조용 압연강재) SS 400 또는 이와 동등 이상의 것이라야 한다.

② 지주

지주의 재질은 KS D 3566(일반 구조용 탄소 강관) SPS 400 또는 이와 동등 이상의 것이라야 한다.

③ 연결대

연결대의 재질은 1항에 준한다.

④ 볼트, 너트

볼트, 너트의 재질 및 그 치수는 KS B 1002(육각 볼트) 및 KS B 1012(육각 너트)의 규정에 따른다.

연결대 붙임 볼트(M20)는 4T로 하고, 보 이음용 및 보 붙임용 볼트(M16)는 6T로 한다.

(2) 가드 케이블

가드 케이블에 사용하는 재료는 다음 각 항에 규정된 것이라야 한다.

① 케이블

케이블은 원칙적으로 KS D 3514(와이어 로프)의 규정에 의한다. 단, 케이블 직경은 18㎜, 그 구조는 3×7G/O로 하고 케이블 1개당 파단 강도는 16ton 이상으로 한다.

② 지주(단부 지주 포함 이하 지주라 칭함)

지주의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제2항에 준한다.

③ 연결대

연결대의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제1항에 준한다.

④ 케이블 단에 사용하는 부속물

- 소킷(socket)은 케이블과 조정 나사에 연결된 상태에 있을 때 케이블 1개당 파단 강도 이상의 강도를 갖는 것이라야 한다.
- 조정 나사의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제1항에 준하고, 그 강도는 케이블의 파단 강도 이상의 것이라야 한다.

⑤ 볼트, 너트

볼트, 너트의 재질 및 치수는 2.3.1 가드 레일의 제4항에 준한다. 연결대 붙임 볼트(M12) 및 케이블 붙임용 볼트(M10) 등은 모두 4T로 한다.

(3) 가드 파이프

가드 파이프에 사용하는 재료는 다음 각 항에 규정된 것이라야 한다.

① 파이프(단부 파이프 포함)

파이프의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제2항에 준한다.

② 지주

지주의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제2항에 준한다.

③ 연결대

연결대의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제1항에 준한다.

④ 이음

이음의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제1항 및 제2항에 준한다.

⑤ 볼트, 너트

볼트, 너트의 재질 및 치수는 2.3.1 가드 레일의 제4항에 준한다. 연결대 붙임 볼트 [M16 (종별 Ap), M14(종별 Bp, Cp)] 는 6T로 한다.

(4) 박스형 보

박스형 보에 사용하는 재료는 다음 각 항에 규정된 것이라야 한다.

① 보

보의 재질은 KS D 3568(일반 구조용 각형 강관) SPSR 400 또는 이와 동등 이상의 것이라야 한다.

② 지주

지주의 재질은 KS D 3503(일반 구조용 압연 강재) SS 400 또는 이와 동등 이상의 것이라야 한다.

③ 패들(paddle) 및 이음

패들 및 이음의 재질은 2.3.1 가드 레일의 제1항에 준한다.

④ 볼트, 너트

볼트, 너트의 재질 및 치수는 2.3.1 가드 레일의 제4항에 준한다. 패들 붙임용 볼트(M16) 및 이음 볼트(M20)는 다같이 6T로 한다.

(5) 콘크리트 벽형 강성 방호울타리

콘크리트 벽형 강성 방호울타리의 본체는 무근 콘크리트로 하고, 골재의 최대 크기는 19mm로 하며, 콘크리트의 압축 강도(σ_{28})는 240kg/cm^2 이상으로 한다.

1.2.4 색채

방호울타리의 색채는 다음 각 항에 규정된 것으로 한다.

(1) 방호울타리의 색채는 하얀색을 원칙으로 하며, 아연 도금된 그대로도 무난 ;

방호울타리의 색채는 시선 유도의 효과를 감안하여 하얀색 또는 회색을 원칙으로 한다. 적설 지역이나 안개 발생 지역에서는 제설 작업 중 방호울타리의 위치를 확인하기 쉽도록 해야 하며, 안개 발생시 시선 유도를 위한 별도 대책이 필요하다. 또, 도시간 고속도로인 경우 선형이 좋고 도로의 미관을 고려하지 않아도 되며 방호울타리가 시선 유도 역할을 할 필요가 없는 경우에는 아연 도금된 상태 그대로 사용하여도 좋은 것으로 하였다.

(2) 보도용 횡단 방지 울타리의 색채는 앞의 (1)항의 규정에 관계없이 자유로이 함 ;

보도용 횡단 방지 울타리는 시선 유도뿐만 아니라 설치 지역의 환경에 따라 미관 등을 고려하지 않으면 안될 경우가 많으므로 색채는 자유로이 선택하도록 하였다. 그러나 다른 방호울타리와 같이 운전자의 시선 유도 효과를 발휘할 수 있도록 하얀색으로 하는 것이 좋다.

1.2.5 설치방법

방호울타리 설치는 도로 상황을 충분히 조사하여 방호울타리의 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 설치하여야 한다.

(1) 방호울타리는 가능한 차도로부터 멀리 떨어져 설치 ;

방호울타리는 가능한 차도로부터 멀리 설치한다. 그 이유는 운전자가 방호울타리를 위험 물체로 인식하여 속도를 감속하거나, 차선 변경, 차선 내에서 위치 이동을 하지 않도록 하기 위해서이다. 미국의 경우는 차도 끝에서 차도 바깥쪽으로 일정 거리를 벗어나 설치되어 있는 물체는 운전자가 심리적으로 영향을 받지 않은 거리인 안전 거리(shy line)라는 개념을 사용하고 있다. 가능한 방호울타리의 설치는 안전 거리 바깥쪽에 설치되는 것이 운전자의 안전성 보장 측면에서 바람직하다.

참고로 미국 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서 제시한 도로의 설계속도별 안전 거리는 <표 803.1.6>과 같다.

<표 803.1.6> 안전 거리

설계 속도(km/시)	안전 거리(m)
130	3.7
120	3.2
110	2.8
100	2.4
90	2.2
80	2.0
70	1.7
60	1.4
50	1.1

(2) 도로 및 교통 상황이 동일한 구간이 둘 이상일 경우, 해당 구간들이 가까이 있을 경우에는 해당 구간에 설치하는 방호울타리는 원칙적으로 형식, 종별 등을 동일한 것으로 함 ;

도로 및 교통 상황이 동일한 구간에서 방호울타리가 연속되는 곳에는 방호울타리의 수행도, 유지 보수, 시선 유도 및 외관 등의 측면에서 볼 때, 특별한 이유 없이 불연속적으로 다른 형식의 방호울타리를 설치해서는 안 된다.

(3) 도로 및 교통 상황이 동일한 구간에 설치하는 방호울타리는 부득이한 경우를 제외하고는 연속하여 설치 ;

방호울타리는 차량 충돌시에 받는 운동에너지를 종방향으로 광범위하게 분산, 흡수하는 것으로 방호울타리에 절단된 곳이 있으면 성능이 약화되며, 시선 유도 측면에서도 좋지 않다.

특히, 곡선부 또는 차도 밖으로 벗어날 위험이 큰 장소에는 절단부를 두어서는 안 된다. 진입 도로와 교차하는 지점에서 방호울타리를 절단하여야 할 경우에는 방호울타리를 진입 도로측에 연장하고, 차량 충돌의 가능성이 적은 지점에서 단부의 위치를 선정할 필요가 있다.

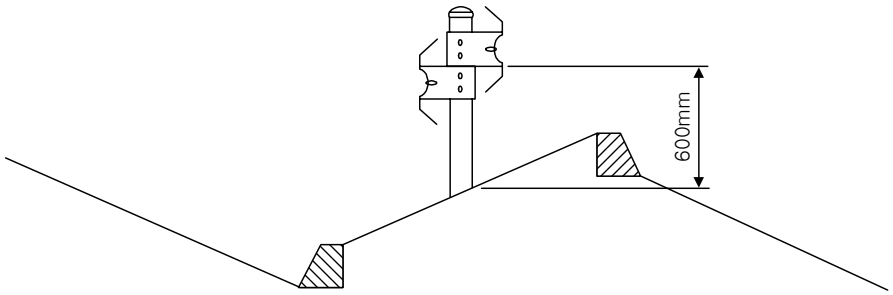
(4) 분리대에 방호울타리를 설치할 때는 원칙적으로 분리대의 중앙에 설치 ;

분리대에 설치하는 방호울타리는 분리대 중앙에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 분리대내에 교각, 조명주, 표지주 등의 장애물이 있을 때는 그 부분만 편면형으로 장애물 양측에 설치한다. 그리고 튀어나온 부분이 큰 분리대용 가드 레일을 경사가 있는 분리대에 설치할 때는 아래와 같은 방법으로 설치하는 것이 좋다.

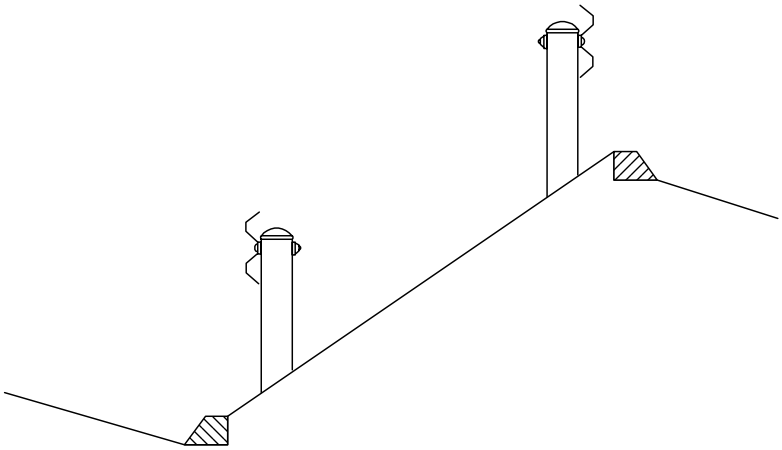
① 경사가 1 : 4보다 급하고 1 : 2보다 완만할 때

경사가 1 : 4보다 완만할 때는 일반적인 설치 방법으로 설치하여도 좋으나 1 : 4보다 급하고 1 : 2보다 완만할 때는 <그림 803.1.6>과 같이 설치한다.

② 경사가 1 : 2보다 급할 때는 <그림 803.1.7>과 같이 설치한다.



<그림 803.1.6> 분리대의 경사가 1:4보다 급하고 1:2보다 완만할 경우의 설치 예



<그림 803.1.7> 분리대의 경사가 1:2보다 급할 경우의 설치 예

(5) 방호울타리의 지주는 지면에 대해 수직으로 설치 ;

지주는 토압 저항을 고려하면 노면에 수직으로 설치하는 것을 원칙으로 한다. 노측 상황에 따라 부득이 절곡 지주를 사용할 때는, 차량이 직접 지주에 접촉될 때 설계시 조건보다 큰 하중이 작용하므로 이 때는 지주 간격을 좁게 하든가 지주 기초를 보강하여야 한다.

(6) 방호울타리의 바람직한 설치 최소 길이는 100m이고, 부득이 설치 길이를 줄이는 경우 적어도 60m가 되어야 함 ;

방호울타리는 차량 충돌에 대해 일렬로 설치된 지주와 보의 인장 응력으로 방호를 수행한다. 방호울타리의 설치 길이를 너무 짧게 하는 경우 연속으로 설치되어 있는 지주와 보들의 상호작용으로 인한 방호울타리의 완전한 수행도를 기대할 수가 없을 뿐더러 국소적인 변형이 발생하여 차량의 복원이라는 본래의 기능을 완전하게 수행할 수 없게 된다. 이런 이유로 방호울타리의 바람직한 최소 설치길이는 100m로 하되, 설치 장소의 여건상 부득이 설치 길이를 줄이더라도 60m보다 적어서는 안 된다.

(7) 곡선 반경이 200m보다 작은 곳에서는 차량의 충돌 특성을 감안하여 방호울타리의 강성을 보강 ;

곡선 반경이 작은 곳에서 차량의 보다 강한 충돌은 방호울타리 구조 요소 대부분을 파손할 소지가 있다. 아울러 차량은 곡선 반경에 따라 미끄러지는 성질이 다르기 때문에 이를 반영하여 방호울타리의 구조가 강성이 되도록 설계해야 한다.

(8) 필요한 경우 오토바이 이용자의 충돌에 대비하여 추가 보 설치 ;

방호울타리 지주의 낮은 부분은 오토바이 이용자와의 충돌시 심각한 위험을 제공한다. 즉, 지면에서 미끄러지는 인체와 지주의 충돌 위험을 제거하기 위해 낮은 보를 지주에 추가 부착함으로써 그 피해를 줄일 수 있다.

(9) 도로가 고성토 구간 또는 상수원보호구역 등 차량이 차도 밖으로 이탈해서는 안되는 구간에서는 본 편람의 교량용 방호울타리의 설계기준에 따라 설치해야 함.

(10) 적설지역에서 방호울타리를 설치하는 경우에는 필요에 따라 적설에 따른 하중을 고려하여 설치

1.2.7 단부처리

(1) 일반사항

방호울타리의 단부는 구조적 특성상 차량을 찌르는 형으로 되어 있어 차체에 대한 손상과 운전자에게 상해를 유발할 가능성이 일반 구간에 비해 더 크다. 그러므로 방호울타리의 설치시 단부 처리에 대해 충분한 주의를 기울여야 한다.

① 방호울타리의 단부는 그 구조적 특성상 일반 구간에 비해 차량이나 승차자에게 더 큰 손상을 제공할 가능성이 높으므로 가능한 방호대상 물체의 이동이나 도로 입출구의 제한 등의 방법으로 단부 개소를 최소화할 수 있도록 설계해야 한다.

② <그림 803.1.8>과 같이 방호울타리의 차량 진입측 단부는 될 수 있는 대로 차도 바깥쪽으로 구부려 설치한다.

③ 방호울타리의 단부는 분리대 개구부 및 접속 도로와의 교차부 등에서 차량이 직접 지주에 충돌하거나 방호울타리에 스치는 것을 방지할 수 있도록 설치되어야 한다.

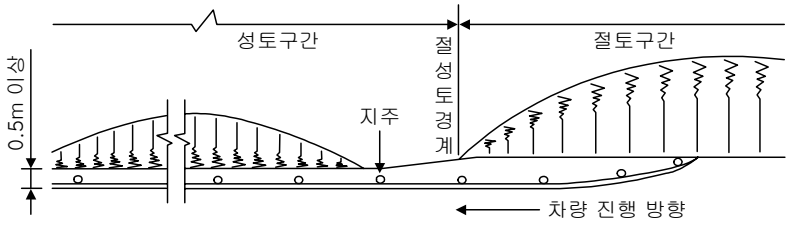
(2) 구조 및 형식

방호울타리의 단부 구조물의 강도는 일반 구간에 사용되는 방호울타리 강도와 거의 유사한 정도의 강성을 가져야 한다.

① 단부 설치는 충분한 사전 계획하에 이루어져야 하며 설치될 장소의 경사, 측방 여유폭, 방호 대상물의 상태 등을 충분히 감안하여 그 구조 및 형식을 결정하여야 한다.

② 방호울타리의 단부는 설계상 요구되는 기능을 발휘할 수 없으므로 이 구간은 기능 감소 구간이 되며, 이러한 기능 감소 구간은 약 20m 이다. 따라서 일반적인 방호울타리의 설치에는 필요 구간 전후에 적어도 각각 20m 정도 연장하여 설치한다.

③ 가드 케이블은 단부간의 길이가 길면 케이블의 운반, 시공, 유지, 보수 등이 곤란하기 때문에 가드 케이블의 최대 단부 지주 간격은 500m로 한다.



<그림 803.1.8> 대향 차량에 대한 방호울타리의 접근부 설계

1.2.8 전이구간

강도가 다른 두 개 이상의 방호울타리를 연결하여 설치하는 전이구간에서는 차량이 상대적으로 강도가 낮은 방호울타리 안으로 빠져들어가는 현상을 방지하기 위해 전이 구간에 대한 특별한 주의가 필요하다.

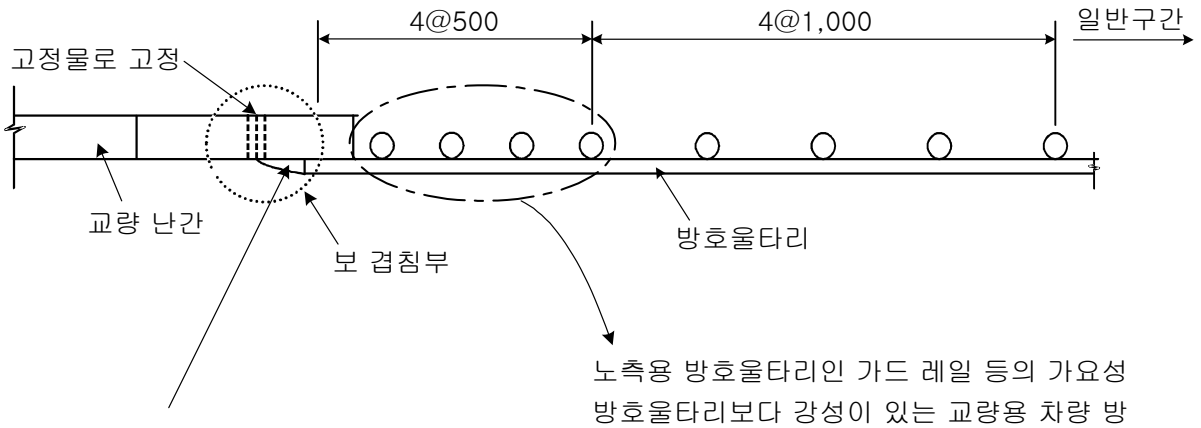
(1) 상이한 강성을 가진 방호울타리가 연결하여 사용되는 곳에서는 강성의 변화를 점진적으로 변화시켜 주어야 한다.

예를 들어 가드 레일과 교량 난간이 만나는 지점과 같은 경우에 두 형식을 직접 연결하게 되면 차량이 연결 지점 안으로 빠져드는 현상이 발생하게 된다. 이러한 문제를 예방하기 위해서는 두 형식의 연결 지점 근처의 지주 간격을 줄여주거나 추가 보를 하단에 설치하는 등의 방법을 사용할 수 있다(<그림 803.1.9> 참조).

(2) 유형이 다른 몇 개의 방호울타리가 조합되어 설치되는 경우 장애물 앞에 선택된 유형은 상부와 하부에서 최소 8m까지 연장된 길이로 설치되어야 한다(4m와 가장 근접한 배수로 결정됨).

(3) 전이구간은 짧은 거리 내에서 심각한 변화가 국소적으로 일어나지 않을 만큼 충분히 길어야 한다. 일반적으로 전이 길이는 연결하고자 하는 두 방호울타리의 최대 충돌 변형 거리의 10 ~ 12배가 되어야 한다.

(4) 주도로와 부도로가 교량 근처에서 교차하는 경우 교차 위치를 재위치시키거나 차량의 이탈을 방지할 수 있는 방호울타리와 충격흡수시설을 설치하여야 한다.



다른 종별, 다른 구조의 방호울타리들을 서로 인접하여 설치하는 경우에는 방호울타리의 유도면이 단절되지 않고 연속시켜 설치한다.

노측용 방호울타리인 가드 레일 등의 가요성 방호울타리보다 강성이 있는 교량용 차량 방호울타리와 연결되는 전이구간은 강성의 변화가 점진적으로 이루어지도록 설계한다.

<그림 803.1.9> 교량 난간과 방호울타리 보의 연결

1.2.9 현광방지시설

현광방지시설은 야간에 대향 차도를 주행중인 차량의 전조등이 운전자에게 미치는 현광을 방지하는 기능을 가지는 시설물이다.

(1) 설치장소

현광방지시설은 교통량, 설계속도, 도로선형 등을 감안하여 필요하다고 인정되는 구간에 설치한다.

단, 다음의 항에 해당되는 도로 구간에는 설치하지 않을 수 있다.

- 중앙분리대의 폭이 7m를 초과할 경우
- 상하 차도의 중심 높이의 차이가 2m 이상일 경우
- 연속적으로 도로 조명을 설치하는 구간

곡선반지름, 편경사에 따른 현광방지시설의 설치는 <표 803.1.7>과 같다.

(2) 설치위치

현광방지시설은 중앙분리대의 중앙에 병설한다.

중앙분리대 양쪽에 방호울타리가 있을 경우에는 시거 확보, 차도 중심선의 높이와 편경사의 영향을 고려하여, 적당한 쪽의 방호울타리의 지주에 설치한다. 현광방지시설의 설치 높이는 포장면으로부터 1.4m를 표준으로 한다.

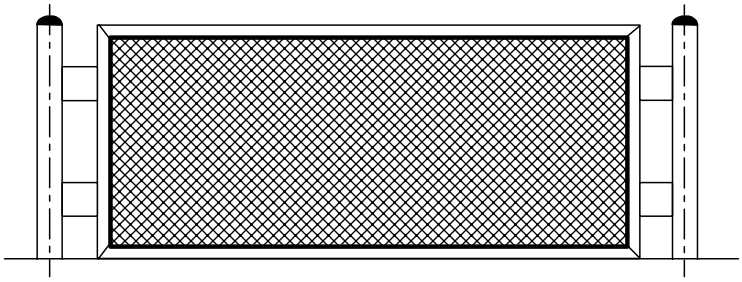
(3) 구조

현광방지시설로는 주로 방현망 형식이 사용되고, 재료에 따라 팽창 메탈(expanded metal)형, 루버(louver)형, 합성수지형으로 구분한다. 각 형식별 구조 형상은 <그림 803.1.10>과 같다.

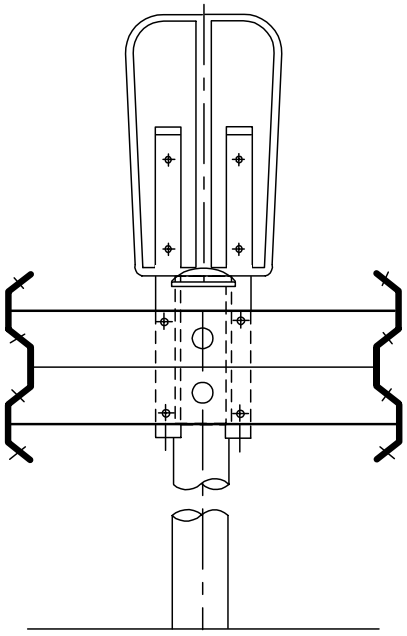
<표 803.1.7> 현광방지시설 설치 구간

R (m)	편경사 (%)	종단경사 차 (%)					
		0	2	4	6	8	10
250	10	◎	◎	◎	◎	◎	◎
500	6	◎	◎	◎	◎	◎	◎
750	4		◎	◎	◎		
1,000	3		◎	◎	◎		
1,500	2		◎	◎	◎		
2,000	2		◎	◎			
3,000	2						
∞	2						

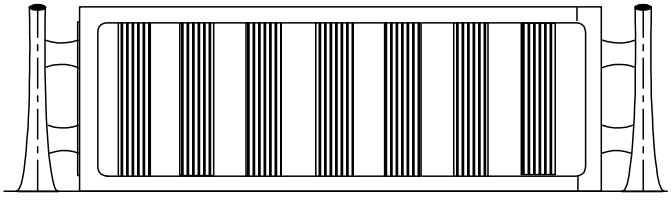
주) 1. ◎는 현광방지시설 설치 구간을 나타냄
2. 종단경사 차는 상행선과 하행선의 경사의 차(%)임



(a) 팽창 메탈형



(b) 루버형



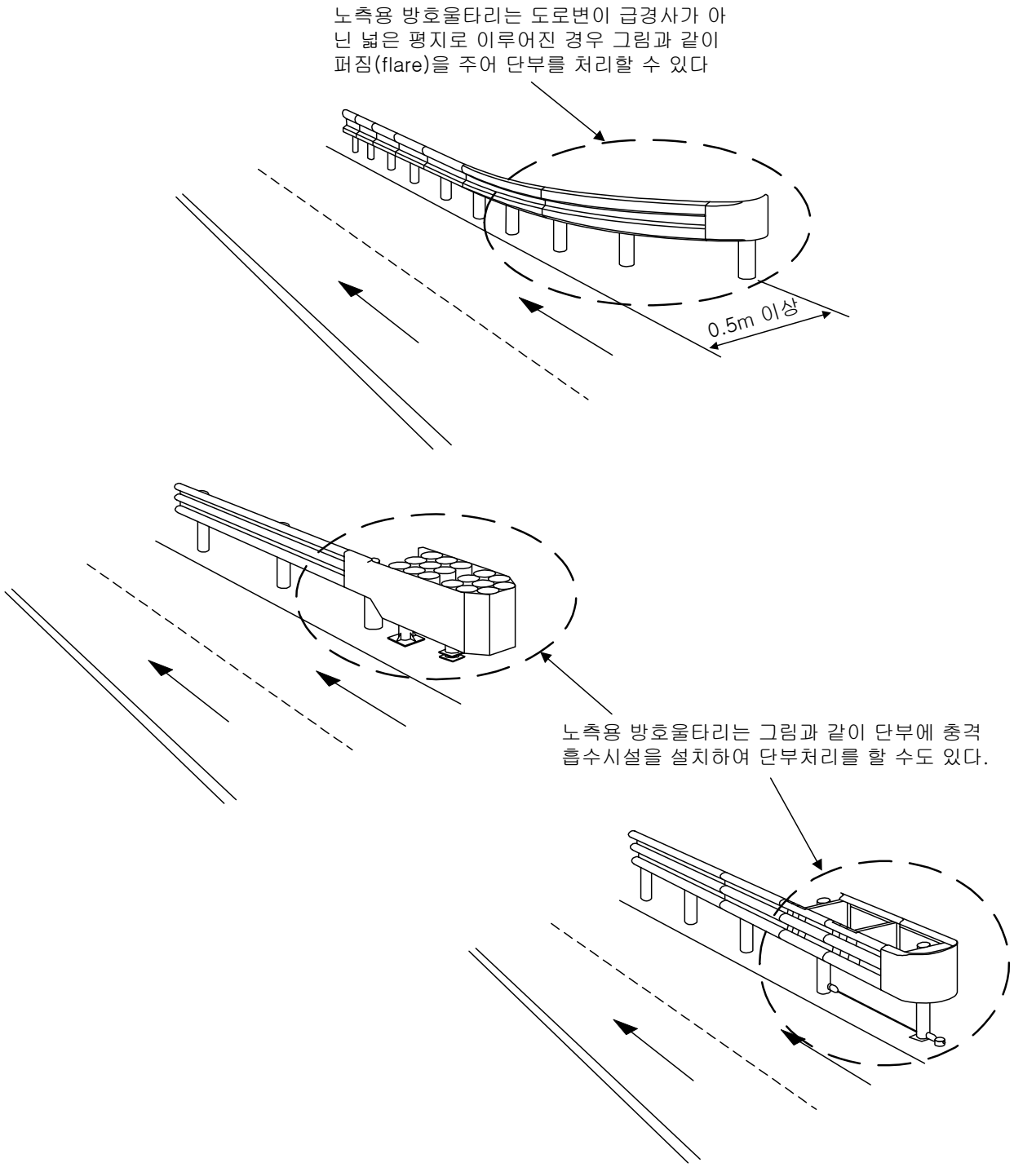
(c) 합성수지형

<그림 803.1.10> 현광방지시설의 각 형식별 형상

1.3 종합적 설계

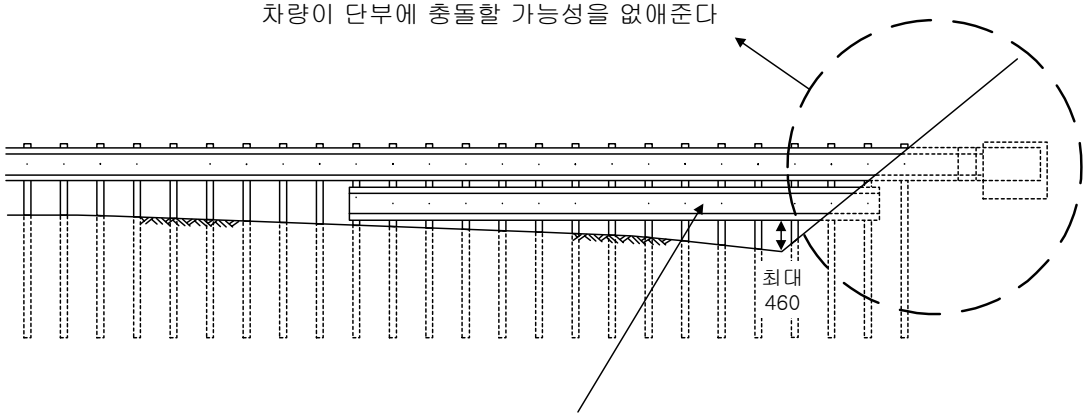
1.3.1 단부처리 방법의 사례

노측용 방호울타리의 단부처리 방법



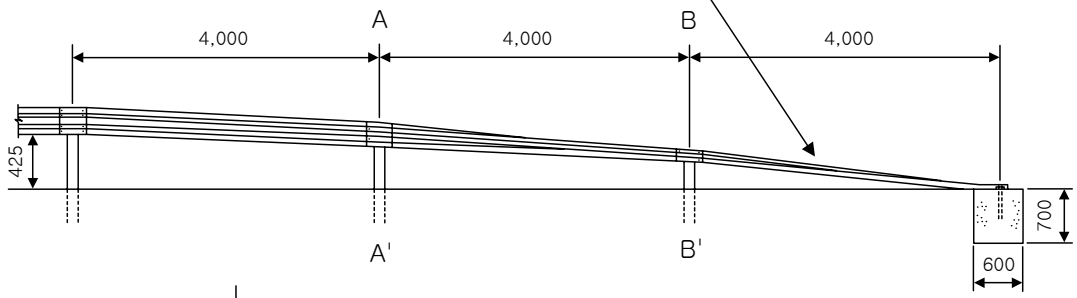
노측용 방호울타리의 단부처리 방법

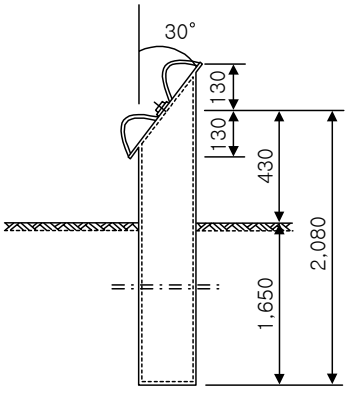
방호울타리가 절토부에 인접할 때는
방호울타리의 단부를 절토부 안으로 매입하여
차량이 단부에 충돌할 가능성을 없애준다



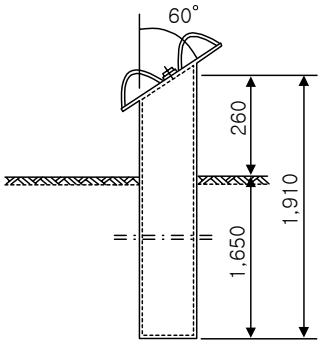
단부 부근에 이중으로 보를 설치한 것은 지면에서
보 하단 사이가 46cm 이상이 되는 경우 차량이
보 밑으로 잠기는 현상을 막기위해 추가로 설치하는 것이다

현재 고속도로에 설치되어 있는 노측용 방호울타리의 단부
처리에 일반적으로 많이 사용되고 있는 방식이다
하지만 이런 방식은 차량이 단부구간을 밟고 지나갈 수 있
기 때문에 방호울타리 뒤로 충분한 공간을 가진 지역에 설
치하는 것이 바람직하다





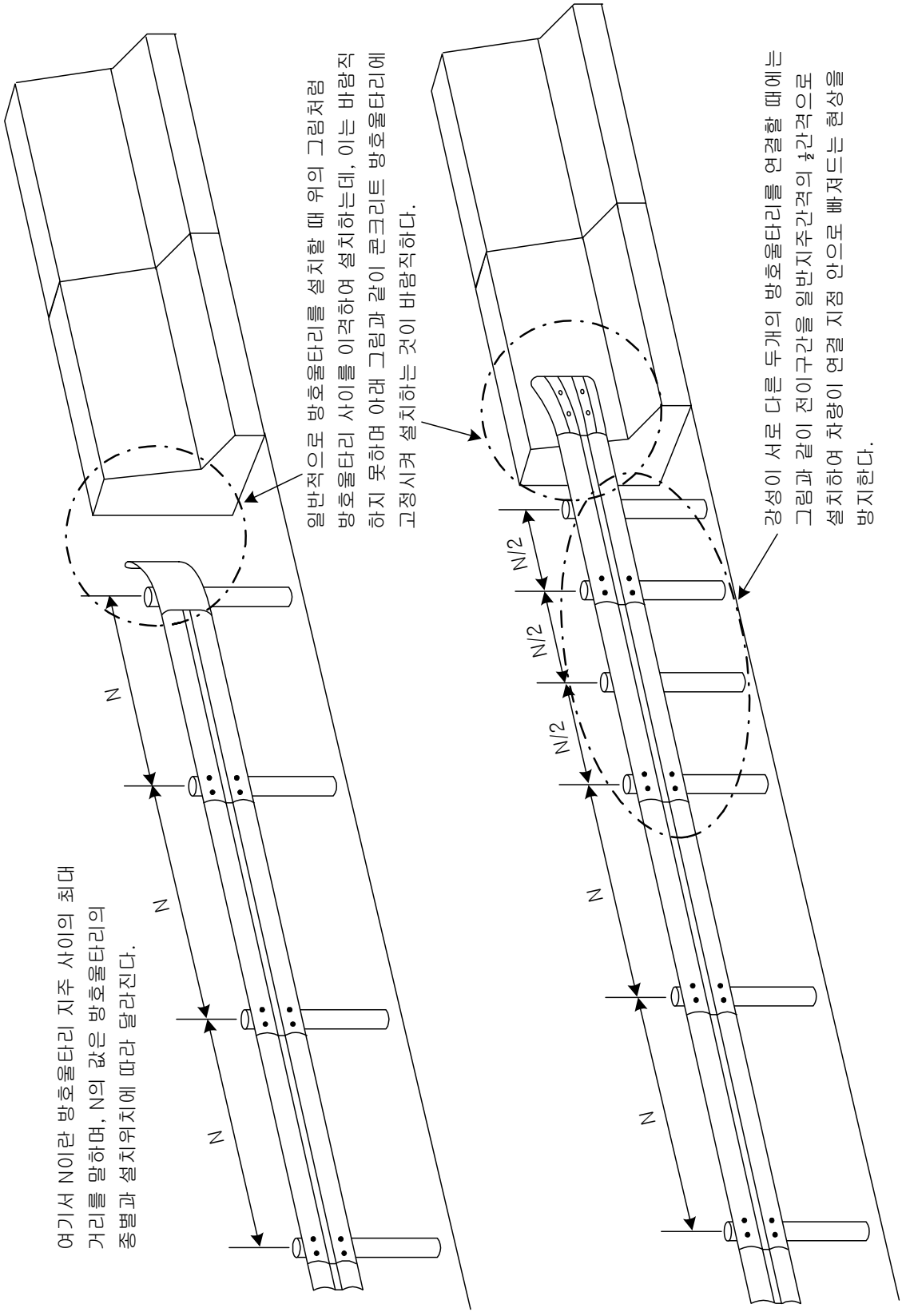
A-A' 단면



B-B' 단면

단위 : mm

1.3.2 서로 다른 강도를 가진 방호울타리의 연결



803.2 충격흡수시설

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

충격흡수시설은 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제30조에 의하여 설치하는 도로의 부속시설로 정의되어 있으며, 주행차로를 벗어난 차량이 고정된 구조물 등과 직접 충돌하는 것을 방지하여, 교통사고의 치명도를 낮추는 시설이다.

충격흡수시설의 기능은 차량의 충돌시 차량의 충격에너지를 흡수하여 차량을 정지토록 하거나, 방향을 교정하여 안전하게 본래의 주행차로로 복원시켜 주는 역할을 한다.

또한, 위험물의 위치를 미리 알려주어 운전자가 주행속도를 줄이거나 차선변경 등의 적절한 운행을 취할 수 있도록 하는 부수적인 기능도 갖고 있다.

1.1.2 종류

충격흡수시설은 차량의 충격에너지를 흡수하는 방법이나 기능상의 차이, 또는 용도에 의해서 구분될 수 있다.

(1) 충격에너지를 흡수하는 방법에 따른 구분
- 관성형 : 운동량 보존의 법칙을 적용한 형식으로, 차량의 충격에너지를 시설로 전이시켜 차량의 속도를 감소시킨다.
- 비관성형 : 시설의 변형을 통해 충격에너지를 흡수하는 원리를 이용한 것으로, 대부분의 충격흡수시설이 적용하고 있는 원리이다.

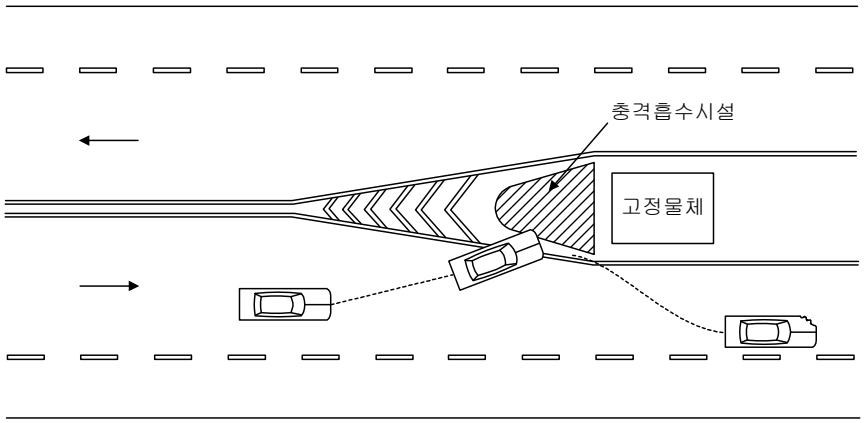
(2) 기능상의 차이에 의한 구분
- 복원형 : 차량 충돌시 차량을 본래의 주행차로로 복원시켜, 주행의 연속성이 유지되도록 하는 기능을 수행한다(<그림 803.2.1> 참조).
- 비복원형 : 차량 충돌시 차량의 충격에너지를 점진적으로 감소시켜, 차량을 안전하게 정지토록 하는 기능을 수행한다(<그림 803.2.2> 참조).

(3) 용도에 따른 구분
- 일반적 충격흡수시설
- 단부처리용 충격흡수시설
- 특수목적용 충격흡수시설

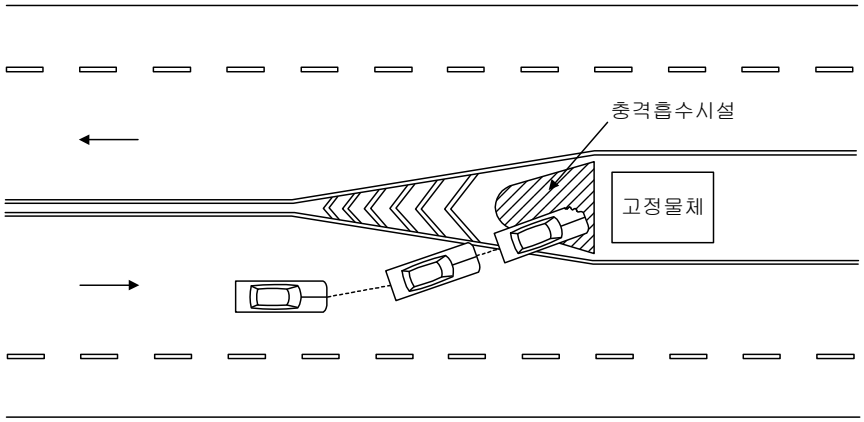
용도에 따른 구분에서 각 구분별 충격흡수시설의 종류는 <표 803.2.1>과 같다.

1.1.3 관련 기준

- 도로안전시설 설치편람, 건설부, 1989
- 도로안전시설 설치 및 관리지침-충격흡수시설 편, 건설교통부, 1998



<그림 803.2.1> 복원형 충격흡수시설의 수행 예



<그림 803.2.2> 비복원형 충격흡수시설의 수행 예

<표 803.2.1> 충격흡수시설의 용도에 따른 구분

구 분	종 류
일반적 충격흡수시설	• 헥스폼 샌드위치(Hex-Foam Sandwich System) • G-R-E-A-T(Guardrail Energy Absorbing Terminal) • 쿼드가드(Quadguard System) • CIAS(Connecticut Impact Attenuating System) • REACT350(Reusable Energy Absorbing Crash Terminal) • LMA(Low Maintenance Attenuator) • 모래채움통(Sand Barrel) • 하이드로 셀 클러스터(Hi-dro Cell Cluster) • 쇠사슬망 장치(Dragnet) • 불노즈(Bullnose Attenuator)
단부처리용 충격흡수시설	• CAT(Crash Cushion Attenuating Terminal) • Brakemaster • ET-2000(Extruder Terminal) • ADIEM(Advanced Dynamic Impact Extension Module) • N-E-A-T(Non-Redirective Energy-Absorbing Terminal) • TREND(Transition End Treatment)
특수목적용 충격흡수시설	• 충격 방호벽(Cushion Wall) • 트럭부착용 충격흡수시설(Truck Mounted Attenuator)

주) 여기에 소개된 제품은 그 성능이 검증되어 선진국 등지에서 활용되고 고유명사화된 것으로, 외국에서도 명칭은 원문 그대로 사용하고 있음

위에서 제시된 바와 같이 세계 각국에서 일반적으로 검증되어 사용중인 충격흡수시설 제품의 특성은 “1.2.5 충격흡수시설의 제품별 특성”에 소개하였다.

앞으로 국내에서도 일정 현장 충돌 실험장과 시스템을 갖추고 검증된 개발시설을 적용해 나갈 수 있도록 해야 하겠다.

1.2 설계기준

1.2.1 설치장소

충격흡수시설은 다음과 같이 차량의 충돌이 예상되는 장소에 설치한다.

(1) 교각, 교대

교각과 교대에는 다리의 안전성과 충돌하는 차량의 승차자를 보호하기 위하여 설치해야 한다. 특별히 기초가 있는 교각과 기초가 없는 교각에는 방호해야 하는 폭의 차이가 있으므로 각각의 폭에 맞도록 설치해야 하며 방호대상물과 시설간 30~60cm 정도의 여유폭을 규정하여 차량이 충격흡수시설의 후면에 충돌하여도 적절한 수행도를 나타나게끔 설치해야 한다.

이 장소에 적절한 충격흡수시설은 여러 가지가 있지만 특별히 폭이 좁은 구간에서는 하이드로 셀 클러스터, 쿼드가드형이 바람직하고, 폭이 넓은 곳에서는 헥스폼 샌드위치, 하이드로 셀 샌드위치, 모래채움통, 불노즈형 충격흡수시설 등을 설치하는 것이 좋다.

(2) 연결로 출구 분기점

연결로 출구 분기점은 비교적 충돌 속도가 높은 지점이므로 차량의 충격에너지를 흡수할 수 있는 길이와 폭을 유지시켜야 한다.

이 지점에 설치할 수 있는 충격흡수시설은 헥스폼 샌드위치, 하이드로 셀 샌드위치 등이 있으며, 모래채움통 역시 설계속도에 맞춰 설치가 가능하다. 또한 폭이 5m 이상인 지역에서는 불노즈형 충격흡수시설도 설치 가능하다.

(3) 방호울타리 단부

노측 및 중앙분리대용 방호울타리의 단부에 역시 충격흡수시설을 설치할 수 있다. 현재 우리 나라에서 고속인 도로는 대부분 강성 방호울타리를 사용하고 있다. 강성 방호울타리의 단부에 충돌시 차량의 승차자는 상당한 피해를 받으며 부상의 정도 역시 심하여 단부처리용 충격흡수시설이나 중앙분리대의 단부에 설치할 수 있도록 제작된 충격흡수시설을 설치하는 것이 바람직하다.

일반 국도에 설치되고 있는 중앙분리대는 2.0m 이하의 폭을 가진 것이 많아, 좁은 폭에 적합한 시설을 선정해야 한다.

분리대 및 노측용 방호울타리 단부에 설치하기 적절한 충격흡수시설 중 중앙분리대 단부용으로는 쿼드가드, G-R-E-A-T와 강성방호울타리의 단부에 설치하는 ADIEM, 반강성 방호울타리에 적절한 CAT, 그리고 코넷티컷 형이 적절하다. 그리고 노측용 방호울타리에는 ET-2000, Trend, Brakemaster, 그리고 임시 작업용의 N-E-A-T 등을 사용하는 것이 적절하다.

(4) 고속도로 톨게이트

고속도로 톨게이트 진입로는 차량들의 무리한 차로 변경 등으로 차량이 톨게이트 앞 구조물에 충돌하는 사고가 많다.

이런 장소에서는 비교적 차량들이 저속으로 주행하므로 이에 적절한 시설을 설치하는 것이 바람직하며, 저속(70km/시)에서 수행도가 높은 하이드로 셀 클러스터등이 적합하다.

(5) 터널 및 지하차도 입구

터널 및 지하차도 입구에 충격흡수시설을 설치할 수 있다. 이런 장소에 충격흡수시설을 설치하는 경우 충돌차량이 충격흡수시설과 충돌

후에 차량을 감속시키기 위한 여유공간이 확보되는지를 검토하고, 이에 따라 적합한 시설을 선정해야 한다. 터널 갱구부 앞 등에서 시설 설치를 위한 공간이 충분히 확보되지 않은 경우에는 터널 내부의 제설이나 유지관리에 지장을 초래하지 않는 범위에서 접근부 도로에 설치된 노측용 방호울타리를 터널 안까지 연장하고 터널 내벽에 완전히 부착하는 방안 등이 충돌 차량의 보호를 위해 고려될 수 있다.

(6) 도로표지판, 조명시설 등의 각종 지주

도로표지판, 가로등 및 각종 지주가 설치되어 있는 지점에서는 도로를 이탈한 차량이 지주와 충돌하여, 부러진 지주로 인한 2차 사고의 발생을 막기 위해 충격흡수시설을 설치할 수 있다. 이런 지점에는 저비용이며, 충돌 후에도 비교적 유지보수가 간편한 가드레일 형식의 충격흡수시설을 설치하는 것이 바람직하다. 또한 폭이 좁은 곳에 설치할 수 있는 하이드로셀 클러스터 같은 시설도 고려할 수 있다.

(7) 옹벽 및 곡선부 내리막 경사 구간

옹벽 및 곡선부 내리막 경사 구간에서는 충격방호벽 등과 같은 충격흡수시설이 적용될 수 있다. 특히 곡선부 내리막 경사 구간에는 비교적 차량의 주행속도가 높아 운전자의 시야에 제약이 있는 경우가 많고, 충돌 사고가 빈번히 발생할 소지가 높으므로 충격흡수시설의 적극적인 설치가 필요하다.

1.2.2 설치공간

충격흡수시설의 수행도를 보장하기 위해서는 도로나 구조물의 설계단계에서 충격흡수시설의 설치를 위한 충분한 여유공간의 확보가 필요하다.

외국의 경우 충격흡수시설을 설치하기 위한 여유공간은 <표 803.2.2>, <그림 803.2.3>과 같다.

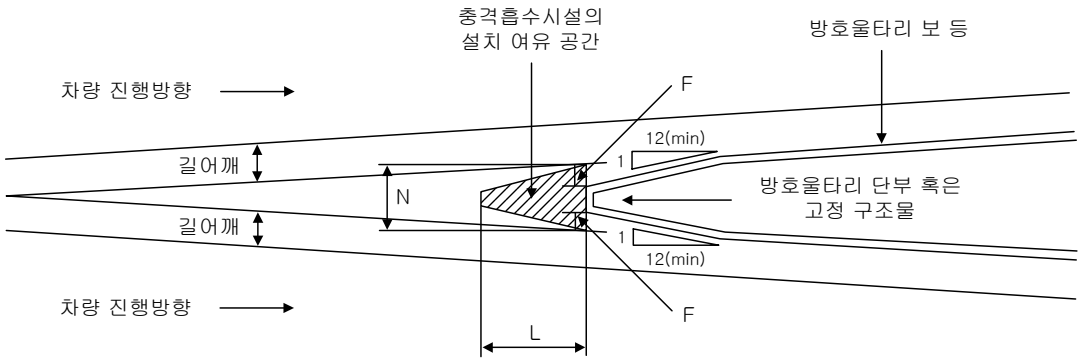
<그림 803.2.3>은 연결로 출구 분기점에서 충돌 설계속도에 따라 충격흡수시설이 설치될 여유 공간의 길이와 폭을 제시하고 있으며, 이 값은 충격흡수시설이 설치될 수 있는 기타의 장소에서도 적용될 수 있다.

<표 803.2.2> 충돌 설계속도에 따른 시설 설치 여유 공간

(단위 : m)

충돌 설계속도 (km/시)	충격흡수시설의 설치를 위한 여유 공간								
	최 소 값						추 천 값		
	설치공간제약지점			설치공간확보지점					
	N	L	F	N	L	F	N	L	F
50	2	2.5	0.5	2.5	3.5	1	3.5	5	1.5
80	2	5	0.5	2.5	7.5	1	3.5	10	1.5
110	2	8.5	0.5	2.5	13.5	1	3.5	17	1.5
130	2	11	0.5	2.5	17	1	3.5	21	1.5

출처 : AASHTO, Roadside Design Guide, 1996



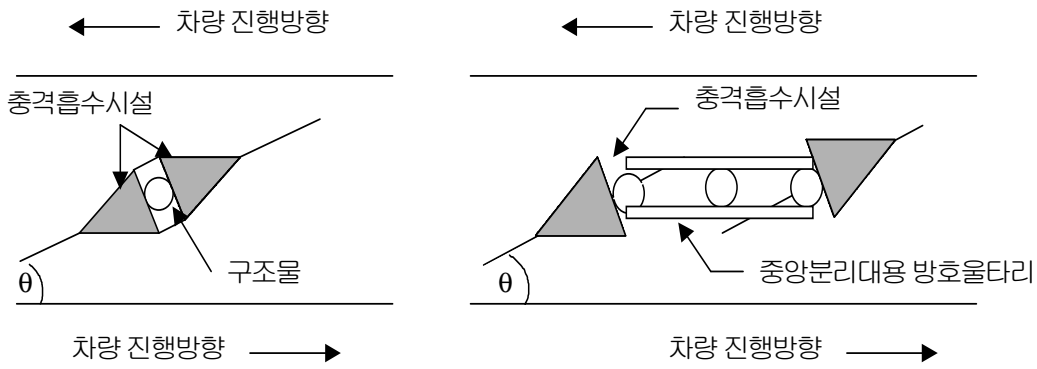
<그림 803.2.3> 연결로 출구 분기점에서의 시설 설치 여유 공간

<표 803.2.2>의 설치 공간 제약 지점은 시설을 설치할 충분한 공간의 확보가 어려워 추가로 노력이 요구되는 지점을 말하며, 설치 공간 확보 지점은 해당 구간에 시설을 설치하기에 충분한 공간을 확보한 지점이다. 충격흡수시설의 수행도 측면에서는 <표 803.2.2>의 추천값을 취하는 것이 바람직하다.

1.2.3 설치방향

평탄한 지형의 광폭 중앙분리대 안에 있는 고정 물체나 중앙분리대용 방호울타리와 같은 시설물이 있는 경우에는 <그림 803.2.4>의 (a)와 같이 설치하고, 노측에 있는 교각이나 교대, 노측용 방호울타리의 단부에 충격흡수시설을 설치할 경우에는 (b)와 같이 설치한다.

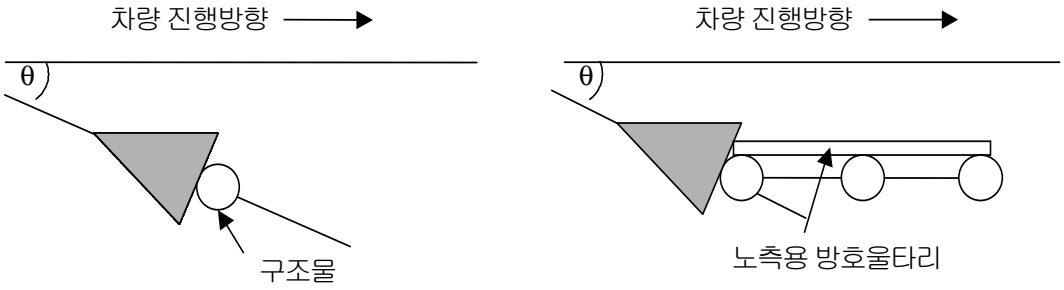
충격흡수시설이 설치되는 각도는 예상되는 충돌 각도와 같도록 하는 것이 바람직하며, 본 편람에서는 외국의 사례를 참고하여 차량 진행방향으로 10°이하의 값을 제시하였다.



(1) 단일 구조물인 경우 (2) 방호울타리와 연계하여 설치한 경우

※ θ는 10°이하

(a) 중앙분리대에 설치한 경우



(1) 단일 구조물인 경우 (2) 방호울타리와 연계하여 설치한 경우

※ θ는 10°이하

(b) 노측에 설치한 경우

<그림 803.2.4> 충격흡수시설의 설치방향

1.2.4 시설의 선정과정

충격흡수시설은 다음 사항을 고려하여 선정하며, 선정과정은 <그림 803.2.5>와 같다.

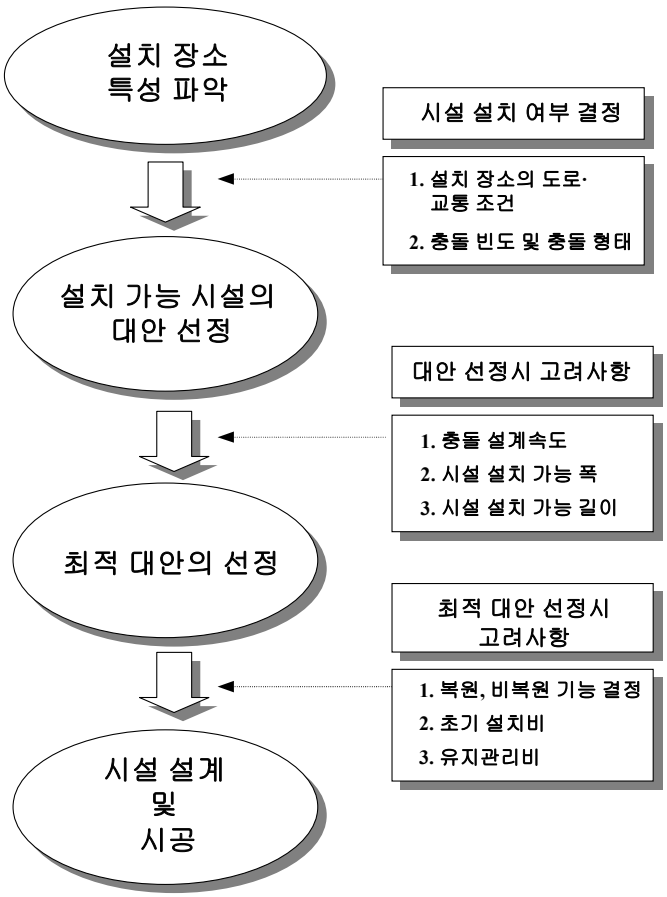
- 설치장소의 도로·교통조건
- 설치장소의 길이와 폭
- 충격흡수시설의 수행도
- 경제성(초기 설치비, 유지관리비 등)

충격흡수시설의 선정과정은 4단계를 거쳐 이뤄지며, 각 단계의 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 설치장소의 특성 파악

충격흡수시설 선정의 1단계로 충격흡수시설을 설치할 장소의 도로·교통 조건 등을 조사한다. 설치장소의 도로·교통 조건이란 도로의 선형이나 경사 등과 같은 도로의 기하구조 특성과 설치구간의 충돌 설계속도를 예상하기 위한 주행 속도 등과 같은 교통특성을 말한다.

특히, 차량 주행속도 등의 교통 조건은 설치할 충격흡수시설의 수행도를 결정할 때 고려되는 중요한 요소 가운데 하나이다. 예를 들어, 하이드로 셀 클러스터와 같은 시설은 70km/시 이하의 속도로 충돌하는 차량을 방호하는 수행도를 갖고 있다.



<그림 803.2.5> 충격흡수시설의 선정 과정

다음으로 고려될 요인은 충돌 빈도와 충돌 형태이다. 충돌 빈도가 높은 곳에서는 유지관리 및 보수가 용이한 시설을 선정하는 것이 유지관리에 드는 비용을 줄일 수 있다. 일반적으로 사고의 빈도가 높은 장소에서는 차량을 복원시켜 주는 기능을 가진 충격흡수시설의 설치가 바람직하다. 또한, 차량과의 경미한 접촉이 잦은 장소에서도 가능한 복원형 충격흡수시설을 설치하는 것이 유지관리비의 절감 측면에서 바람직하다.

(2) 설치 가능 시설의 대안 선정

충격흡수시설의 선정 2단계로, 충격흡수시설이 설치될 여유 공간을 확인하고 시설의 대안들을 선정한다.

우리 나라와 같이 충격흡수시설의 설치를 위해 충분한 공간이 확보되지 못한 경우에 있어서는 시설을 설치할 장소의 폭과 길이를 정확히 파악하는 것이 중요하다. 예를 들어, 고속도로 분기점 등 충격흡수시설을 설치할 여유 공간이 확보된 경우는 다양한 시설을 선정할 수 있으며, 충돌설계속도에 따라 설치장소에 적합한 시설을 설계할 수 있다.

그러나 도시부 도로 등과 같이 충격흡수시설을 설치할 충분한 여유 공간이 확보되지 못한 곳에서는 <그림 803.2.6>에 제시된 설치 사례와 같이 방호울타리를 설치하여 차량의 탑승자와 방호 대상물을 보호하는 방안이 고려될 수 있다.

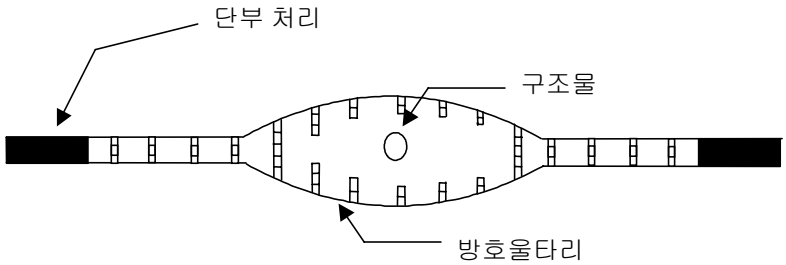
(3) 최적 대안의 선정

충격흡수시설이 설치될 장소의 설치 공간 특성 등 여러 조건을 고려하여 대안들을 선정한 후에는 최적의 대안을 선정한다. 최적의 대안을 결정할 때에는 앞서 조사된 설치장소의 도로·교통 조건, 설치장소의 길이나 폭 등의 설치공간 특성, 충돌 빈도 및 형태 등을 종합적으로 고려한다.

(4) 시설 설계 및 시공

설치할 시설을 선정한 후 도로관리자가 충격흡수시설을 설치할 때에는 해당 제품의 제작사에서 제시한 시방서를 토대로 현장 여건에 적합하게 특별 시방서를 작성하고, 시공자는 이에 부합하도록 시공한다.

시설의 설계 예로, 복원형 충격흡수시설들 가운데는 충돌 설계속도에 따라 시설의 길이를 조정할 수 있는 시설이 있으며, 이러한 길이의 조정은 충격흡수시설 내 완충능력을 가진 단위체들을 조정함으로써 가능하다. 이와 같이, 설치장소의 충돌 설계속도에 따라 충격흡수시설의 설계와 시공에 차이가 있으므로, 시설 설치 후 설치장소 특성과의 적합성 여부를 면밀히 검토한다.



<그림 803.2.6> 폭이 좁은 곳에서의 방호울타리 설치 예

1.2.5 충격흡수시설의 제품별 특성

충격흡수시설의 제품별 특성 및 자세한 구조는 “도로안전시설 설치 및 관리지침-충격흡수시설 편(건설교통부, 1998)”을 참고하고, 본 편람에서는 각 제품별 특성을 <표 803.2.3>과 같이 개략적으로 기술한다. 또한 설치 장소별로 적용 가능한 충격흡수시설의 종류를 나타내면 <표 803.2.4>와 같다.

<표 803.2.3> 충격흡수시설의 제품별 특성

시 설 명	원리 및 기능	구 조	설 치 장 소
헥스폼 샌드위치 (Hex-foam sandwich)	차량의 충돌시 내부에 있는 카트리지가 부서지면서 충격에너지를 완화시키는 원리이며, 차량의 측면 충돌시 완충패널을 통하여 차량을 본래의 주행차로로 복원시켜 줌	카트리지에는 폴리우레탄 거품을 채운 두께 25mm의 6각형 판지가 십자모양으로 교차되어 배열된 구조로 되어 있으며, 카트리지를 완충패널이 지지하고 있음	출입로의 고어지역
G-R-E-A-T	카트리지가 부서지면서 충격에너지를 흡수하는 원리이며, 차량의 측면 충돌시 완충패널을 통하여 차량을 본래의 주행차로로 복원시켜 줌	카트리지를 주름진 철제 완충패널이 지지하는 구조	중앙분리대의 단부
쿼드가드 (Quard guard)	카트리지가 부서지면서 충격에너지를 흡수하는 원리이며, 차량의 측면 충돌시 완충패널을 통하여 차량을 본래의 주행차로로 복원시켜 줌	카트리지를 주름진 철제 완충패널이 지지하는 구조	중앙분리대의 단부 혹은 사고의 빈도가 높은 지역
CIAS NCIAS	원통형의 강철 실린더가 압축되어 파괴됨으로써 충격에너지를 흡수하는 원리이며, 차량의 정면, 측면 충돌에 대해서는 차량을 정지시키며 시설 후면에 충돌할 경우에는 차량을 주행차로로 복원시킴	두께가 얇은 강철 실린더로 구성	CIAS는 시설의 설치 공간이 충분히 확보된 곳에 설치하며, NCIAS는 중앙분리대 단부와 같이 시설 설치 가능 폭이 제한 받는 곳에 설치
REACT350	폴리에틸렌 실린더, 실린더의 압축 파이프로 차량을 복원	NCIAS와 유사한 구조이나, 완충 재질로 철제 실린더 대신 고밀도의 폴리에틸렌 실린더를 사용	

<표 803.2.3> 충격흡수시설의 제품별 특성(계속)

시 설 명	원리 및 기능	구 조	설 치 장 소
LMA (Low Maintenance Attenuatior)	탄성 실린더를 이용하여 차량의 충격에너지를 흡수	완충패널은 Thrie보(3겹으로 주름진 가드레일용 보)를 사용한 구조	충돌이 잦고 폭이 좁은 장소나 방호울타리 단부
모래채움통	충돌 차량의 충격에너지를 모래통으로 전이시켜, 충격을 분산시키는 원리를 이용한 시설이다	콘테이너 통에 모래를 채운 구조	비복원형 시설이기 때문에 충돌이 잦은 곳은 적합하지 않음
하이드로 셀 클러스터	차량의 충돌시 원형 실린더 안에 있는 물이 밖으로 분출됨으로써 충격에너지를 완화시키는 원리	물을 채운 직경 150mm의 원형관을 겹쳐 묶은 구조	복원형 시설이기 때문에 잦은 충돌이 예상되는 곳에 적합
불노즈 (Bullnose Attenuator)	W보형 가드 레일을 이용한 시설로, 차량의 측면충돌에 대해서는 노측용 가드 레일과 동일한 수행도를 발휘하며, 정면충돌에 대해서는 차량이 가드 레일을 통과하여, 가드레일 안쪽에서 안전하게 정지할 수 있도록 해 줌	가드레일을 포물선형으로 벌려 놓은 구조	지형이 완만한 경사를 갖는 연결로 출구 분기점
쇠사슬망 장치	충돌 차량의 전면을 철망으로 감싸서 막는 방법으로, 차량의 운동에너지를 흡수하는 원리	고정용 지주, 에너지 흡수용 철망으로 구성	정면충돌이 예상되는 곳이나, 차량의 충돌속도가 높을 것으로 예상되는 장소
CAT (Crashcushion Attenuating Terminal)	단계적으로 차량의 충돌에너지를 흡수하여 충돌 차량이 안전하게 정지할 수 있도록 설계	충격흡수용 보, 쉽게 부서지도록 설계된 지주, 케이블 앵커로 구성	비복원형 시설이므로 차량이 안전하게 정지할 수 있도록 여유 공간이 확보된 곳에 설치
Brakemaster	완충 패널이 충격에너지를 흡수하는 원리	완충 패널과 격자 단위체로 구성	중앙분리대용 방호울타리 단부, 폭이 좁은 교각 등에 설치
ET-2000	전면의 완충구조물이 정면 충돌시 차량의 충격에너지를 적절히 흡수	케이블 앵커와 차량의 충돌시 충격에너지를 흡수하는 부분과 차량의 방향을 조정해주는 부분으로 구성	방호울타리형 중앙분리대의 단부 혹은 노측용 방호울타리의 단부에 설치

<표 803.2.3> 충격흡수시설의 제품별 특성(계속)

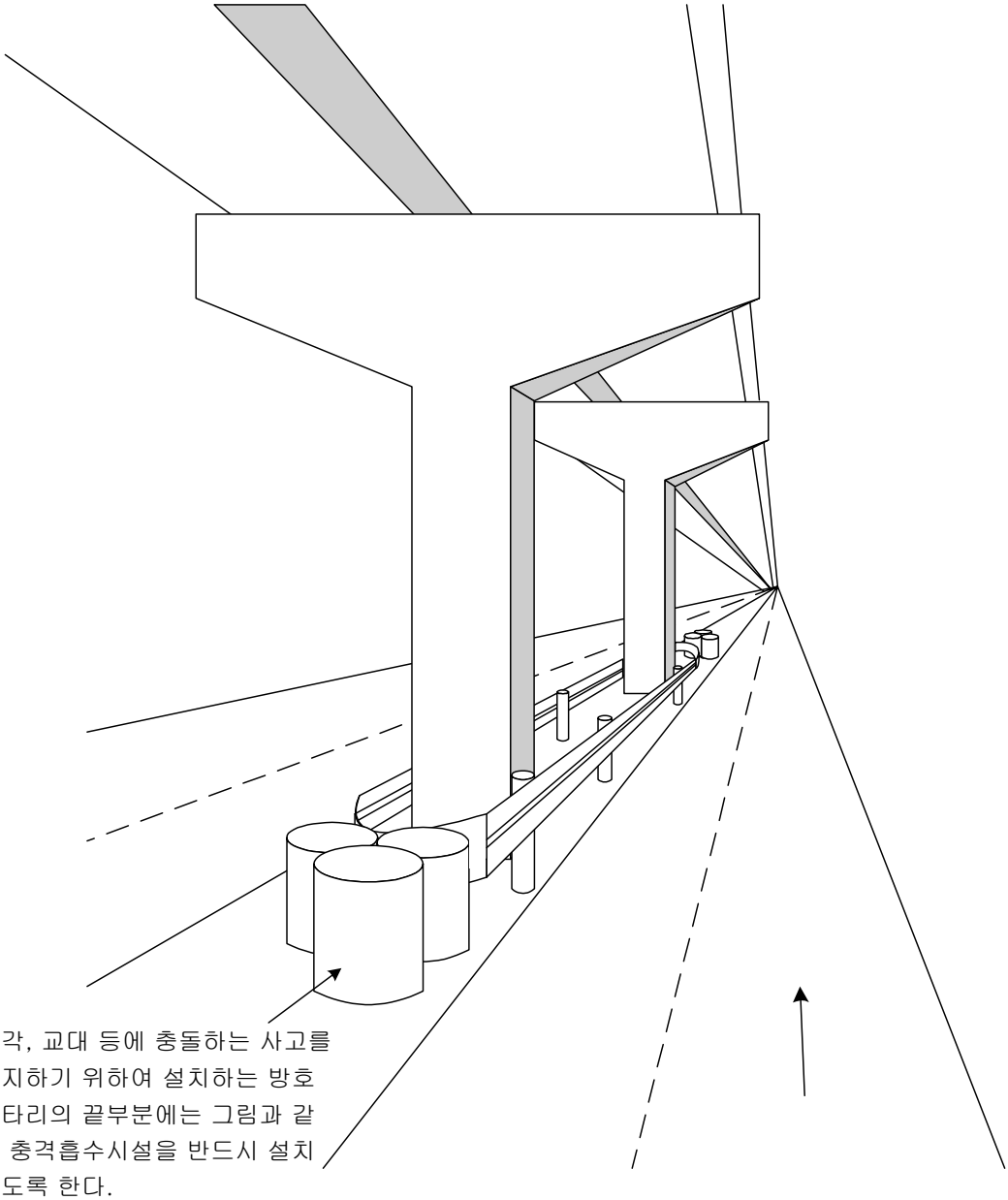
시 설 명	원리 및 기능	구 조	설 치 장 소
ADIEM	경량 콘크리트가 부서지면서 충격에너지를 흡수하는 원리	경량 콘크리트의 단위체들로 구성	강성 방호울타리 단부
N-E-A-T	카트리지가 부서지면서 충격에너지를 흡수하는 원리	카트리지와 전이구간 패널로 구성	측면 충돌이 많은 작업장의 단부
TREND	완충 패널안의 모래 박스가 충격에너지를 흡수하는 원리	얇은 완충패널과 모래 박스로 구성	강성 방호울타리의 단부나 교량난간의 단부
트럭 부착용 충격흡수시설	카트리지가 부서지면서 충격에너지를 흡수하는 원리	충격을 흡수하는 카트리지와 뒷받침 구조물 및 차량 부착장치로 구성	도로 및 도로변에서 작업을 하는 대형 트럭의 후단
충격방호벽 (Cushion Wall)	원통형의 고무 실린더가 압축되어 파괴됨으로써 충격에너지를 흡수하는 원리	콘크리트로 이루어진 뒷받침벽과 고무 실린더, 그리고 완충패널로 구성되며, 고무 실린더가 두꺼운 외벽에 둘러 싸여 있는 구조	측면 충돌이 잦은 급곡선 구간

<표 803.2.4> 설치 장소별 충격흡수시설의 적용

설 치 장 소		충 격 흡 수 시 설 의 종 류	
중앙분리대 단부	강성	• G-R-E-A-T • NCIAS • ADIEM	• 쿼드가드 • REACT350
	가요성	• 쿼드가드 • G-R-E-A-T	• CAT
노측용 방호울타리 단부		• CAT • ET-2000	• Brakemaster • TREND
고어(gore)지역 및 교각, 교대 설치지역		• Hex Foam Sandwich • 모래채움통	• CIAS • 불노즈
임시 작업장		• N-E-A-T	
특수목적용		• 충격방호벽 • 트럭부착용 충격흡수시설	

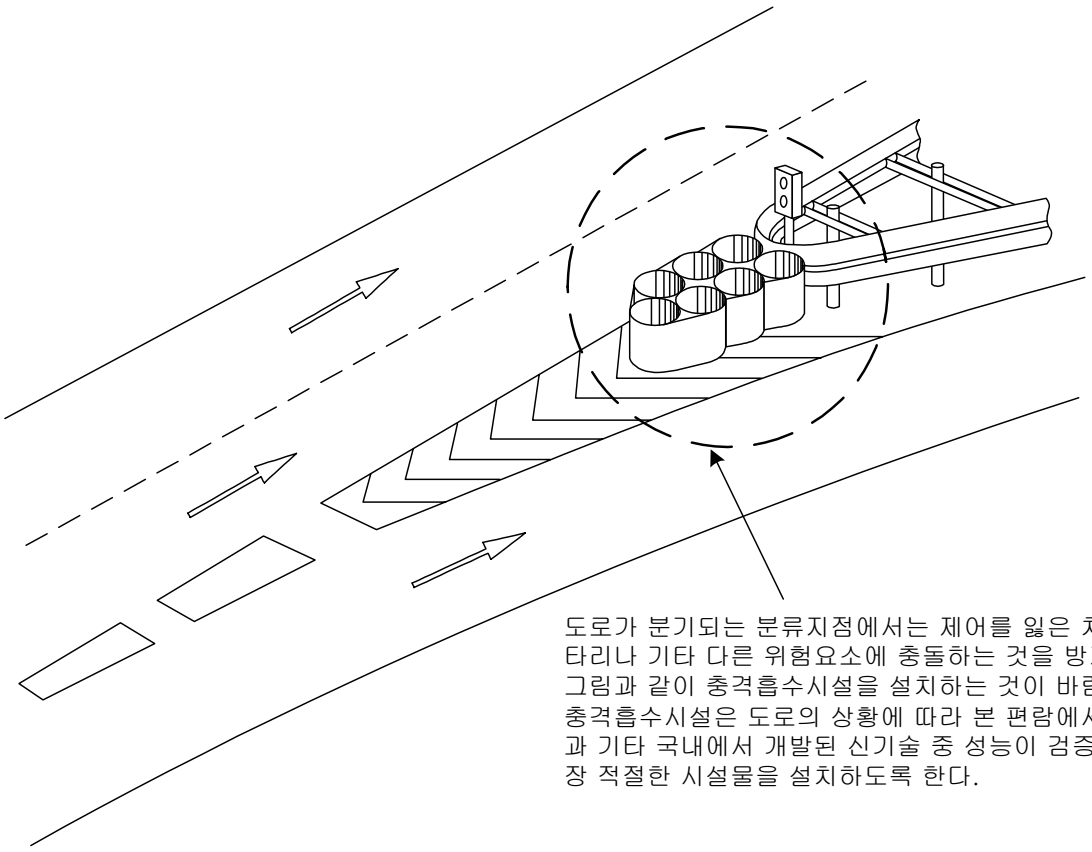
1.3 종합적 설계

1.3.1 교각, 교대에서의 설치 예

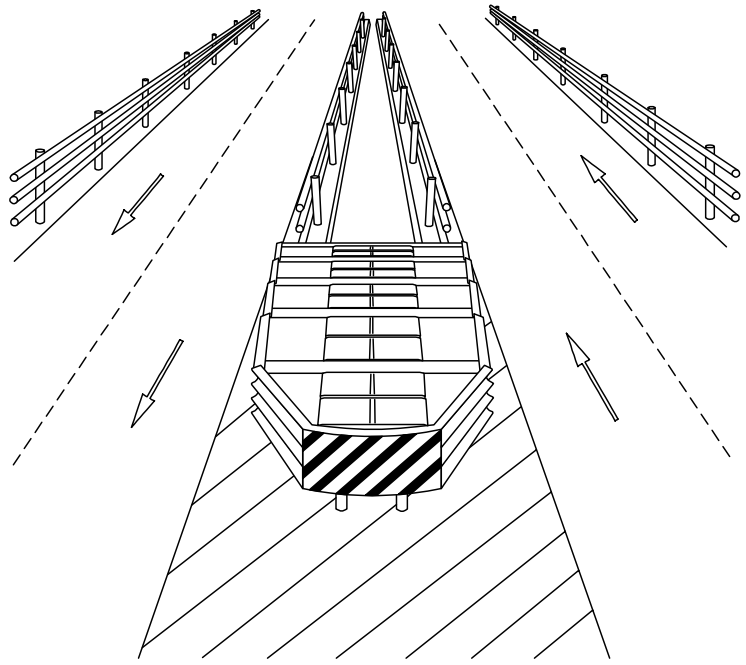


교각, 교대 등에 충돌하는 사고를 방지하기 위하여 설치하는 방호울타리의 끝부분에는 그림과 같이 충격흡수시설을 반드시 설치하도록 한다.

1.3.2 분류부에서의 설치 예

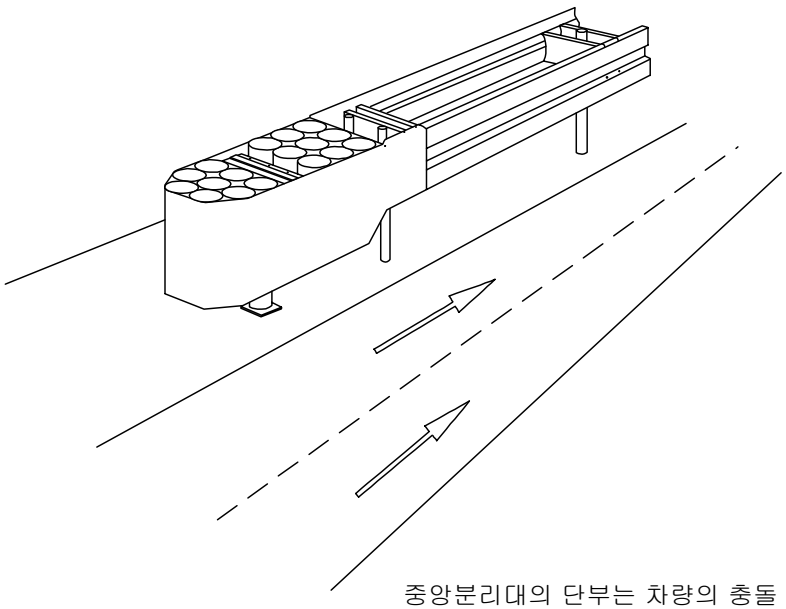


도로가 분기되는 분류지점에서는 제어를 잃은 차량이 방호울타리나 기타 다른 위험요소에 충돌하는 것을 방지하기 위하여 그림과 같이 충격흡수시설을 설치하는 것이 바람직하다.
충격흡수시설은 도로의 상황에 따라 본 편람에서 제시한 시설과 기타 국내에서 개발된 신기술 중 성능이 검증된 시설 중 가장 적절한 시설물을 설치하도록 한다.

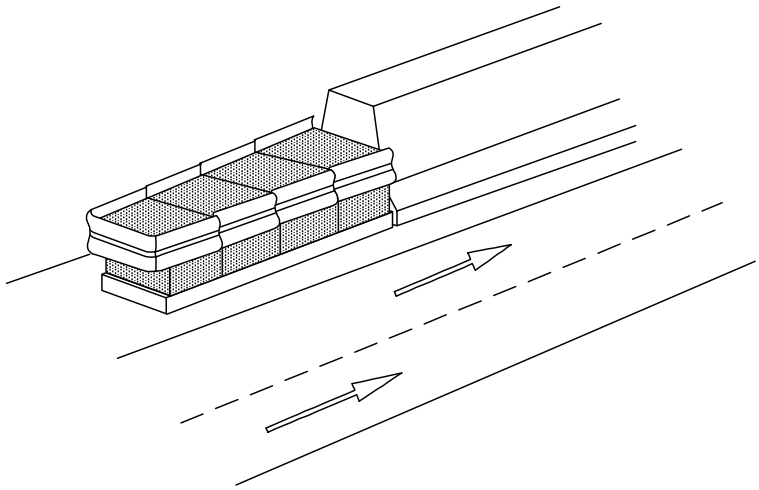


그림과 같이 양방향으로 분리된 교량의 단부에서는 적절한 충격흡수시설의 설치로 충돌사고를 예방해야 한다.

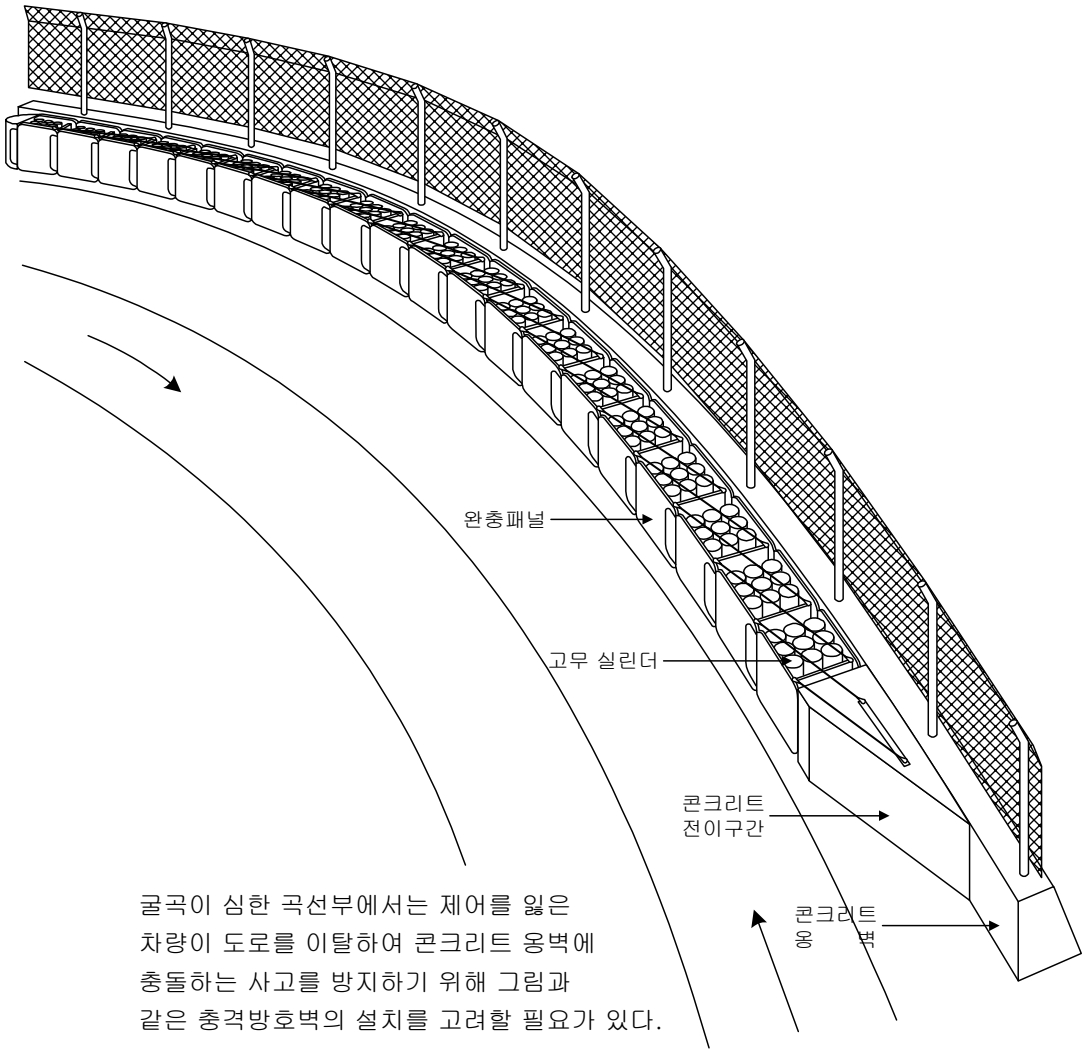
1.3.3 중앙분리대에서의 설치 예



중앙분리대의 단부는 차량의 충돌 가능성이 높기 때문에 그림과 같이 충격흡수시설의 설치가 필요하다. 충격흡수시설은 장소 및 방호울타리의 종류에 따라서 적절한 시설을 설치하도록 한다.



1.3.4 급곡선부에서의 설치 예



굴곡이 심한 곡선부에서는 제어를 잃은
차량이 도로를 이탈하여 콘크리트 옹벽에
충돌하는 사고를 방지하기 위해 그림과
같은 충격방호벽의 설치를 고려할 필요가 있다.

803.3 긴급제동시설

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

긴급제동시설이란 급경사의 하향 종단 경사가 연속되는 도로에서 고장 차량 등이 긴급히 피난하여 정지할 수 있도록 제공하는 시설물로, 차량이 주행중에 제동 장치가 고장날 경우 차량의 도로이탈 및 충돌 사고를 방지하고 승객 및 차체에 대한 손상을 최소로 하는 기능을 가진다.

1.1.2 종류

긴급제동시설의 전형적인 형태는 <그림 803.3.1>과 같이 4종류가 있으며, 이들의 특징은 다음과 같다.

(1) (a)형

모래더미를 설치한 것으로 연장은 통상 120m 이상이 되며, 제동력은 모래더미의 기울기와 모래에 의해 발휘되는 형태이다.

(2) (b)형과 (c)형

중력에 의한 제동력은 전혀 기대할 수 없고 오직 흐트러진 상태의 골재에 의해서만 제동력이 기대되는 형태이다.

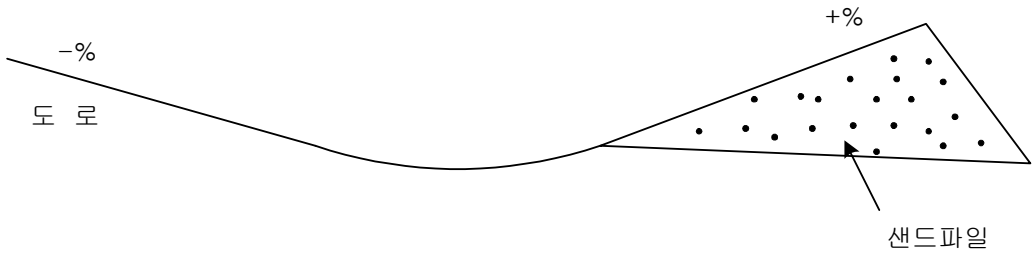
(3) (d)형

중력에 의한 제동효과와 골재에 의한 제동효과가 기대되는 형태이다.

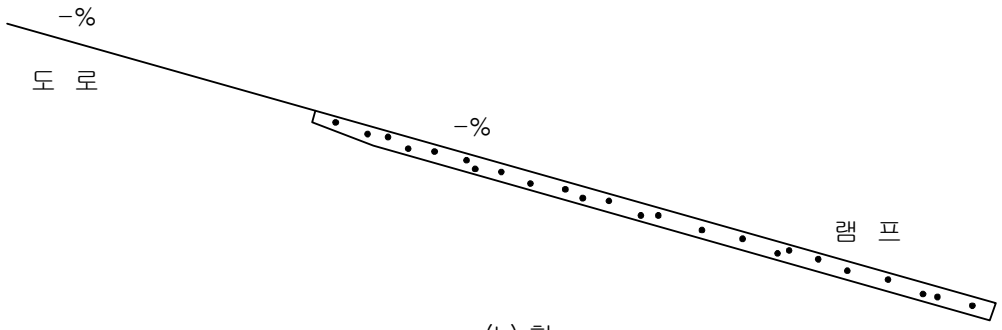
긴급제동시설의 유형 선정시에는 설치장소와 지형 여건을 감안해야 하는데 (d)형이 효과면에서 가장 우수하므로 일반적으로 많이 적용된다.

1.1.3 관련 기준

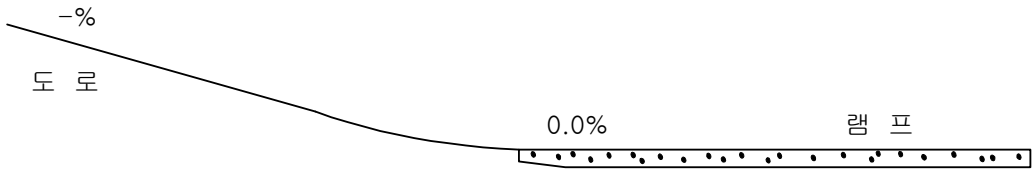
- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 건설교통부, 1999



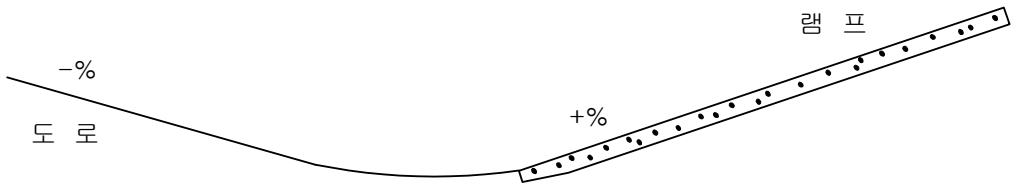
(a) 형



(b) 형



(c) 형



(d) 형

(주) 단면은 긴급 피난소의 연결로를 나타냄

<그림 803.3.1> 긴급제동시설의 유형

1.2 설계기준

1.2.1 설계시 고려사항

긴급제동시설의 설계시에는 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

(1) 연결로의 폭은 최소 7.8m 이상이어야 하며, 9.0～12.0m가 바람직하다.

(2) 골재부설층에 사용되는 재료는 깨끗하고 공극이 크고 쉽게 다져지지 않아야 하며 구동저항이 커야 한다. 골재의 형태는 둥글고 단입도로서 배수가 양호하여 동결에 대한 저항이 크고 또한 골재 상호간의 맞물림(interlocking)이 잘 되어야 한다. 최대 크기 40mm인 골재가 성공적으로 이용된 바 있다.

(3) 골재부설층의 두께는 최소 30cm 지점에서 설계 두께가 되도록 점차적으로 두께를 늘려 설치한다.

(4) 긴급제동시설의 주의표지는 그 전방 여러 장소에 설치하여 운전자가 표지를 인지한 후 반응할 때까지 충분한 여유를 갖도록 배려해야 하며 진입부와 연결로에는 조명시설을 설치해야 한다. 골재부설층과 병행하여 포장된 보조도로를 폭원 약 3m로 설치하여 구난차 및 유지관리용 장비가 통행할 수 있도록 계획한다. 또한 구난이 용이하도록 견인 앵커를 연결로에 100m 간격으로 설치하는 것이 바람직하다.

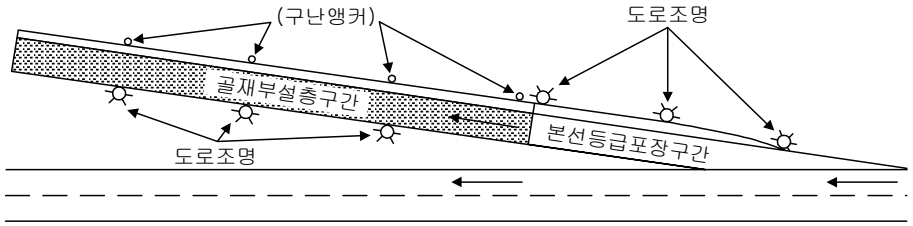
(5) 긴급제동시설은 본선 도로의 우측에 설치하는 것이 원칙이다. 연결로의 선형은 본선에서 빗나가는 형태이며, 곡선부와 구조물 밀집지역은 피해야 한다.

(6) 구동에 대한 저항이 충분치 못하여 고장차량이 연결로(골재부설층) 끝을 이탈할 염려가 있을 경우에는 이탈 방지둑을 1.5 : 1의 경사에 0.6～1.5m의 높이로 설치한다.

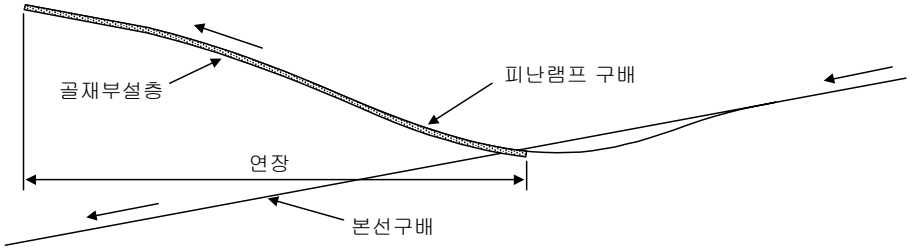
우리나라에는 영동산간지역의 일부에서만 간간이 사용되고 있으나 도로 안전 측면에서 본다면 인명과 재산의 보호를 위하여 바람직한 시설이다.

긴급제동시설의 설치 예를 <그림 803.3.2>와 <그림 803.3.3>에 나타내었다.

<그림 803.3.2>는 AASHTO에서 제시한 긴급제동시설의 표준도이며, <그림 803.3.3>은 일본의 긴급제동시설 설치 예이다.

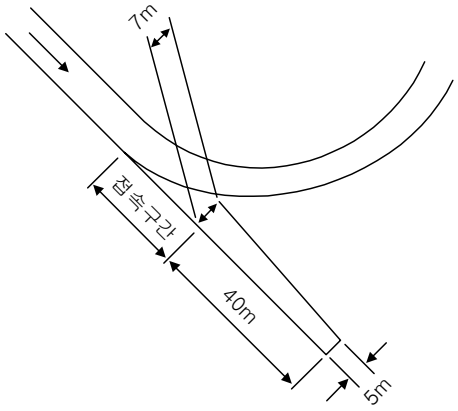


(a) 평면도

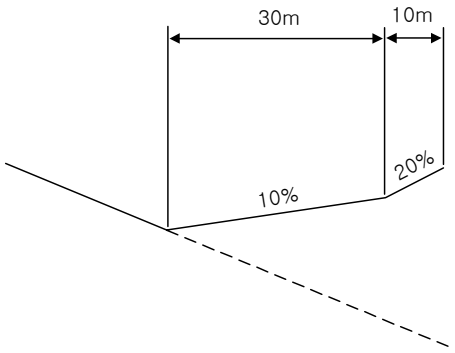


(b) 종단면도

<그림 803.3.2> 긴급제동시설의 설치 예(미국)



(c) 평면도



(d) 종단면도

<그림 803.3.3> 긴급제동시설의 설치 예(일본)

1.2.2 연결로의 길이산정

고장차량의 안전한 정지를 위한 연결로의 길이는 구동중인 차량의 차체의 운동에너지를 분산시킬 수 있을 정도 이상이어야 하며, type (d)인 경우의 길이는 다음 식에 의해 산출한다.

$$L = \frac{V^2}{30(R \pm G)}$$

여기서,

L = 정지거리(골재부설층 구간)(ft)

V = 골재부설층 진입속도(mph)

G = 경사도(%)

R = 등가구동저항(<표 803.3.1> 참조)

<표 803.3.1> 포장 재료별 등가구동저항

포 장 재 료	구동저항 (lb/1000 1b GVW)	등가구동저항 (%)
시멘트 콘크리트	10	1.0
아스팔트 콘크리트	12	1.2
다져진 자갈	15	1.5
느슨한 토사	37	3.7
느슨한 쇄석	50	5.0
느슨한 자갈	100	10.0
모래	150	15.0
굵은 자갈	250	25.0

803.4 교량용 방호울타리

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

교량용 방호울타리는 교량이나 고가차도 위에서 차량이 교량 바깥, 대향 차로, 보도로 이탈하는 것을 방지하고, 보행자와 자전거 등이 교량 바깥으로 떨어지는 것을 방지하며, 차도를 벗어난 차량으로부터 이들을 보호하기 위해 설치하는 도로안전시설로, 다음과 같은 기능을 갖는다.

(1) 교량 바깥으로 차량, 보행자, 자전거 등의 이탈 방지
(2) 교량 위 또는 밑에서 차량 및 보행자 등의 추락으로 인한 인적, 물적 피해의 최소화
(3) 충돌 차량 주위의 차량, 보행자 등의 피해 최소화
(4) 교량의 미관 향상
(5) 운전자의 시선 유도

1.1.2 종류

본 편람에서는 교량용 방호울타리를 기능과 설치목적에 따라 교량용 차량 방호울타리, 난간, 난간 겸용 차량 방호울타리의 세 종류로 구분하였다.

(1) 교량용 차량 방호울타리
주행 중에 진행 방향을 잘못 들어선 차량이 본래의 차로에서 교량 바깥, 대향 차로 또는 보도 등으로 벗어나는 것을 방지함과 동시에 탑승자와 차량의 피해를 최소화시키기 위하여 설치하는 시설물이다.

(2) 난간
주로 보도와 차도가 구분된 교량에서 보행자와 자전거가 교량 바깥으로 떨어지는 것을 방지하기 위해 설치하는 시설물이다.

(3) 난간 겸용 차량 방호울타리
난간과 교량용 차량방호울타리를 조합한 것으로 차량의 이탈을 막고 본래의 차로로 복원시키는 기능과 보행자와 자전거가 교량 바깥으로 떨어지는 것을 방지하는 기능을 갖는 교량용 방호울타리의 일종이다.

1.1.3 관련 기준

- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 건설교통부, 1999
- 도로교표준시방서, 건설교통부, 1996
- 도로안전시설 설치 및 관리지침-교량용 방호울타리·조명시설 편, 건설교통부, 1999

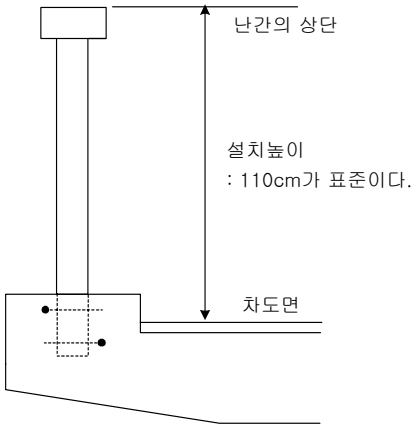
1.2 설계기준

1.2.1 난간

(1) 구조 및 제원

난간은 보도와 차도가 구분이 되어 있는 교량에서 보도를 이용하는 보행자나 자전거 등이 교량 아래로 추락하는 것을 방지하기 위해 설치하기 때문에 방호울타리와 같이 엄격한 구조적 강성을 가질 필요없이 기본적인 설계기준만 만족하면 된다.

난간의 높이는 보행자와 자전거 등의 무게중심을 감안하여 110cm를 표준으로 한다. 여기서 말하는 높이란 보도 등의 노면으로부터 난간의 레일 상단까지의 높이를 말한다.



난간의 높이는 주어진 여건에 따라 110cm 이외의 수치를 사용할 수도 있는데, 특별한 경우를 제외하고 100~120cm 이하로 하는 것이 바람직하다.

난간의 지주 간격은 3.0m를 표준으로 한다.

(2) 재료

난간에 사용되는 재료도 충분한 강도가 있고 내구성이 뛰어나며, 유지 관리가 용이한 것을 사용할 필요가 있다.

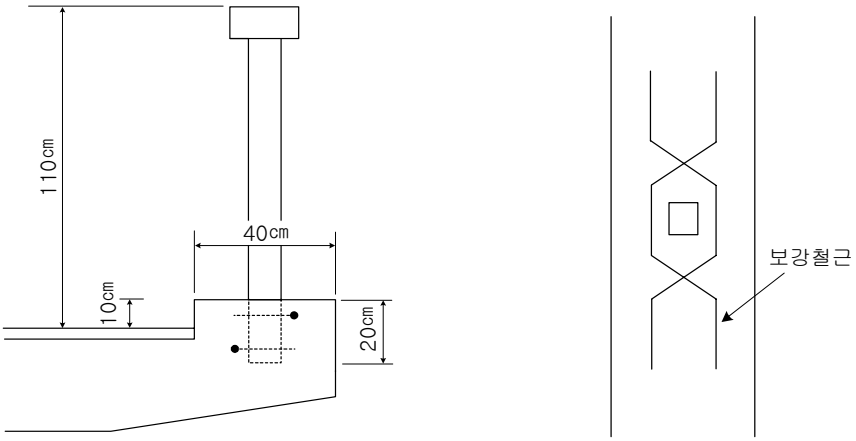
재료에 대한 세부적인 내용은 관련 지침을 참고한다.

(3) 설계방법

① 난간의 수평 방향 설계 하중에 대해서, 난간의 정상부 측면에 직각 방향으로 250kg/m의 수평력이 바깥 쪽에 작용한다고 가정하여 설계한다.

② 연직 방향을 설계할 때는 통행자 등이 난간을 올라타거나 기대거나 하는 경우와 중량물(重量物)을 올려놓는 경우가 있을 수 있으므로, 어느 정도 연직 하중을 고려하는 것이 바람직하다.

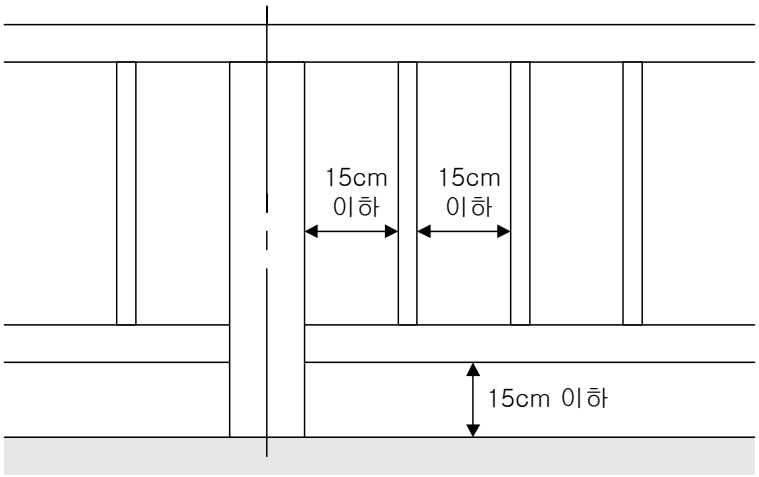
③ 난간을 고정시키는 보도 연석의 폭은 40cm, 높이는 난간의 매설 깊이를 충분히 확보할 수 있도록 보도 등의 노면으로부터 10cm를 표준으로 한다. 난간 고정에 대해서는 난간 정상부에 250kg/m의 수평력을 작용시켰을 경우를 고려하여 설계하는데, 일반적으로 20cm 이상 매립하고 보강근을 설치하는 것이 바람직하다(<그림 803.4.1> 참조).



<그림 803.4.1> 난간의 고정

④ 난간의 강도에 대해서는 횡단 방지울타리와 마찬가지로 방호울타리의 상단 울타리가 수직 방향 60kg/m, 수평 방향 40kg/m 정도의 하중에 견딜 수 있는 구조로 하는 것이 바람직하다. 단, 인구가 밀집된 관광명소, 공간적으로 비좁은 곳, 보행자의 통행이 많은 장소 등에서는 방호울타리의 측면에 직각으로 250kg/m의 하중이 방호울타리 정상부에 작용하도록 설계하는 것이 바람직하다.

⑤ 난간은 수평레일형과 수직레일형이 일반적으로 사용되는데, 수평레일형은 수평 부재의 간격이 넓어지기 쉬워 어린이의 통학로나 유아가 많은 시가지 등에서는 수직레일형을 사용하는 것이 바람직하다. 이 경우 수직부재간의 간격이나 최하단 수평부재와 연석간의 간격은 <그림 803.4.2>와 같이 유아가 빠져나가지 못하도록 15cm 이하로 해야 한다.



<그림 803.4.2> 난간의 부재 간격

1.2.2 교량용 차량 방호울타리

(1) 일반사항

교량용 차량방호울타리는 보도와 차도가 구별이 되어 있지 않은 교량이나 고가도로 등의 바깥쪽에 설치되기 때문에 일반 차량용 방호울타리가 설치되기도 하지만, 미관 등을 배려할 필요가 있을 경우에는 일반적인 차량용 방호울타리와 구조 제원이 다른 교량용 차량방호울타리를 설치하는 경우가 많다.

일반적으로 교량이나 고가도로에서는 일반도로에 비해 상대적으로 사고에 따른 피해의 심각도가 크므로 교량용 차량방호울타리는 일반 차량용 방호울타리보다 강성이 더 높게 설치해야 한다.

본 편람에서는 교량용 차량방호울타리의 종별을 B, A, S1, S2, S3의 5종류로 규정하였다. 종별 B, A는 현 방호울타리 설치기준인 "도로안전시설 설치 및 관리지침(방호울타리편)"에 정의된 종별 B, A의 강도와 같게 설정된 것이고, S1, S2, S3은 현 방호울타리 설치기준에 제시된 종별 S를 설치될 교량의 위치 및 주위환경에 따라 강성의 선택 폭을 넓히기 위해 세분화한 것이다.

<표 803.4.1>은 도로의 기능별 구분과 설치구간에 따라 적용해야 할 교량용 차량방호울타리의 종별 및 설계강도(충격도)를 나타낸다.

<표 803.4.1> 도로의 등급과 설치구간에 따른 교량용 차량 방호울타리의 종별 및 설계강도

도로의 구분	일반 구간			• 교량 밖 이탈, 중앙선 침범 사고 등 차로 이탈 사고의 빈도가 높은 구간 • 교량의 선형 등 도로 조건이 불량한 곳		• 철도 등과 교차 또는 근접한 구간 • 상수도 보호 구역 등 차량의 이탈시 중대한 피해가 우려되는 구간	
	설계속도	종별	충격도(kj)	종별	충격도(kj)	종별	충격도(kj)
일반도로	60km/시 미만	B	60 이상	A	130 이상	S2	280 이상
	60km/시 이상	A	130 이상	S1	160 이상	S3	420 이상
고속도로	S1		160 이상	S2	280 이상	S3	420 이상

주) 1. 고속도로에는 도시고속도로도 포함되며, 일반도로는 그 이외의 도로, 즉, 국도, 지방도, 그리고 군도 등을 말한다.
2. S1, S2, S3은 일반 차량용 방호울타리 중 강성 방호울타리인 S형을 세분화한 것으로 S3가 강성이 가장 높은 종별이다.

(2) 종별 설계강도

교량용 차량 방호울타리는 설치장소에 따라 <표 803.4.1>과 같이 종별 및 설계강도가 달라진다. <표 803.4.1>에 제시된 바와 같이 교량용 차량방호울타리는 일반 도로에 비해 상대적으로 사고에 따른 피해의 심각도가 크므로 보다 강성이 높은 방호울타리가 설치되도록 하였다.

특히 고속도로 등 설계속도가 높은 도로의 교량에는 보다 강성이 큰 방호울타리가 설치되도록 하였고, 교량의 설치위치에 주위 환경에 따른 사고시 피해의 정도 등을 감안하여 보다 큰 강성을 갖춘 방호울타리가 설치될 수 있도록 하였다.

<표 803.4.1>에 제시된 충격도는 <그림 803.4.3>에 제시된 그림 및 식에 따라 산출된 것으로 차량의 충격을 받는 방호울타리 면에서 직각으로 얻어지는 값이다.

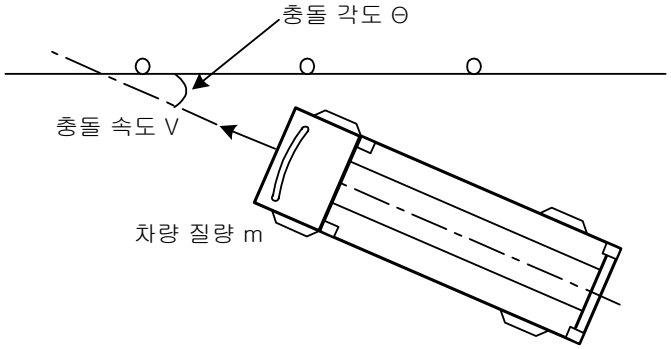
(3) 성능기준

본 편람에서는 지역 특성이나 경관 등을 배려한 교량용 방호울타리의 형식과 구조에 관한 요청이 다양화하는데 대응함과 동시에, 민간이 개발한 기술을 활용한다는 관점에서 방호울타리의 구조 및 제원에 대한 규정보다는 성능을 규정하였다.

즉, 교량용 차량방호울타리로서의 기능을 발휘하기 위해 만족할만한 성능 기준을 제시하고, 방호울타리를 설치할 때는 이러한 성능이 확인된 것을 사용하도록 한 것이다.

따라서, 다음에 제시된 성능 기준을 만족하는 교량용 차량방호울타리는 형식이나 구조에 상관없이 모두 사용 가능하다.

교량용 차량방호울타리는 종별에 따라 주어진 설계강도를 <표 803.4.2>의 충돌 조건 1과 충돌 조건 2로 실물차량 충돌 시험시 다음과



$$ls = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{V}{3.6} \cdot \sin\theta \right)^2$$

이 때, ls : 충격도 (kj)
m : 충돌 차량의 질량 (t)
V : 충돌 속도 (km/시)
θ : 충돌 각도 (도)

<그림 803.4.3> 충격도 산정

같은 4가지의 기준을 모두 만족해야 한다.

<표 803.4.2> 충돌 조건

구 분	충돌 조건
충돌 조건 1	질량 25t인 대형 화물차로 <표 803.4.2>의 종별에 따라 제시된 강도(충격도)에 대해 시험하며, 이 때의 충돌 각도는 15도로 한다.
충돌 조건 2	질량 1t인 승용차의 충돌로, 충돌 속도는 B종의 경우 60km/시, S1, S2, S3종은 100㎞/시로 하며, 충돌 각도는 20도로 한다.

① 강도기준

충돌 조건 1의 충돌에 대해 가요성 방호울타리일 경우는 최대 충돌 변형 거리가 0.3m 이하여야 한다. 단, 강성 방호울타리일 때는 주요 부재에 소성 변형이 발생하지 않아야 한다.

② 탑승자 안전 기준

충돌 조건 2에 따라 충돌시 차량이 받는 가속도(<표 804.3.3> 참조)의 값을 만족해야 한다.

<표 803.4.3> 차량이 받는 가속도

종 별	차량이 받는 가속도 기준
B	12g/10ms 미만
A	18g/10ms 미만
S1, S2, S3	20g/10ms 미만

③ 차량 유도 기준

충돌 조건 1과 2 양쪽 모두에서 다음 조건을 만족시켜야 한다.

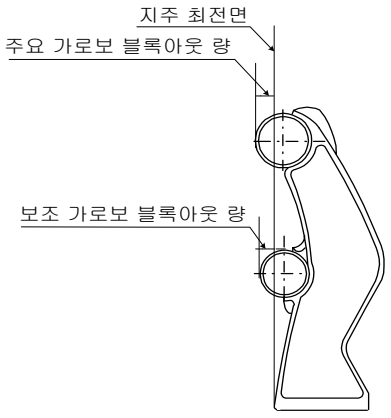
- 충돌 후에 차량이 전도, 전복 등을 일으키지 말을 것
- 충돌 후의 이탈 속도는 충돌 속도의 60% 이상일 것
- 충돌 후의 이탈 각도는 충돌 각도의 60% 이하일 것

④ 구성부재 비산방지 기준

충돌 조건 1과 충돌 조건 2 양쪽 경우 모두, 차량 충돌 시에 구성 부재가 크게 비산(飛散)하지 말아야 한다.

(4) 구조

일반적으로 교량에 사용되는 차량방호울타리는 아래 그림과 같이 난간의 가로보가 지주보다 앞으로 나와 있는 블록아웃(Block-out) 형의 구조를 많이 사용한다.



블록아웃형을 많이 사용하는 이유는 차량과 난간이 충돌했을 때, 차량이 전도될 가능성이 더 적기 때문이며, 비블록아웃형의 경우 차량이 난간과 충돌할 때 지주와 직접 충돌하여 지주가 파괴되어 난간으로서의 기능이 떨어지기 때문이다.

(5) 재료

교량용 차량 방호울타리에 사용되는 재료는 장기간에 걸쳐 사용될 것이므로 충분한 강도가 있고, 내구성이 뛰어나며, 유지 관리가 쉬운 것을 사용할 필요가 있다.

재료에 관한 세부적인 내용은 관련 지침을 참고한다.

(6) 설계방법

① 교량용 차량 방호울타리는 미관 등의 배려 뿐만 아니라 차량이 교량 바깥으로 이탈하는 것을 막고 본래의 주행 차로로 복원시킬 수 있는 구조적인 안전성을 가지고 있어야 한다.

따라서, 교량용 차량 방호울타리는 앞에서 제시된 성능기준을 만족하도록 설계한다.

② 교량용 차량 방호울타리나 난간 겸용 차량 방호울타리와 같이 차량의 충돌에 대해 방호를 수행하는 시설들은 차량의 충돌에너지를 흡수하도록 설계하며, 가능한 연성을 갖춘 구조용 강을 사용함으로써 갑작스런 파괴가 아니라 점진적으로 변형이 이루어지도록 설계한다.

교량용 차량 방호울타리의 설계를 정하중으로 환산할 때에는 다음 식에 제시된 수평 충돌력을 토대로 구하며, 이 값은 노면위 1m 높이에 교축을 따라 1m 마다 작용하는 것으로 한다.

$$H = \left[\frac{V}{60}\right]^2 \times 750 + 250 \ (kg/m)$$

여기서,

H : 교량용 차량방호울타리와 난간 겸용 차량방호울타리 1m의 높이에 직각으로 작용하는 교량의 축 1m 당의 수평충돌력 (kg/m)

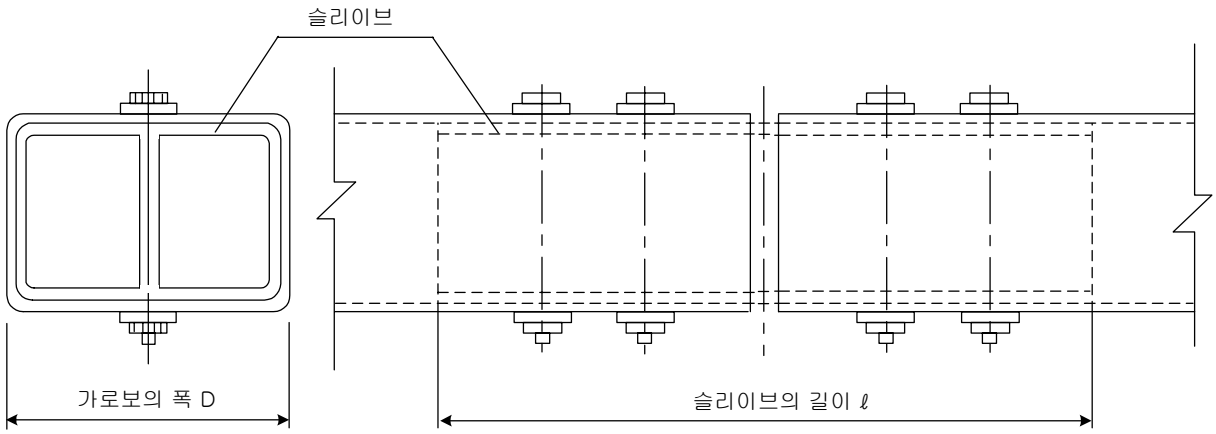
V : 차량의 충돌속도(km/시)

단, 곡선반경이 R≤200m인 곡선부에 대해서는 그 수평충돌력은 위의 식에서 계산된 값의 2배로 한다.

③ 교량용 차량 방호울타리는 교량 연석과 보차도 경계부에 설치하는데, 고정부의 폭으로 교량 연석의 폭은 60cm, 보차도 경계부는 50cm(연석의 폭을 포함하지 않음)를 표준으로 한다.

④ 가로보를 연결하는 연결부의 설계는 연속보로서의 기능을 잃지 않는 강도를 가지고 있어야 하며, 또 충돌면은 돌출면이 없는 매끄러운 구조로 해야 한다. 일반적으로 가로보는 충돌면에 돌출물이 없는 구조로 <그림 803.4.4>와 같이 슬리이브 형식을 사용한다. 이 때 슬리이브는 가로보가 변형되더라도 분리되지 않고 충분히 휨 응력을 전달할 수 있는 강도를 가진 것이어야 한다. 슬리이브에 요구되는 제원은 <그림 803.4.4>와 같다.

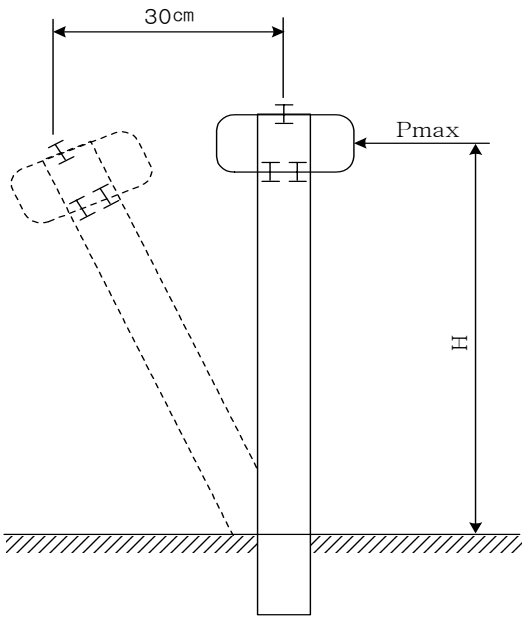
⑤ 지주와 가로보는 충돌시에 지주와 가로보가 일체가 되어 변형하는 구조로 접합하여야 한다. 이 접합 강도는 <그림 803.4.5>에서와 같이 30cm의 변형을 받았을 때, 정하중 실험을 통해 얻은 P_{max}를 견딜 수 있도록 설계한다.



슬리이브 길이 $\ell \geq 2D$ 또 $\ell \geq 30cm$

슬리이브 극한 휨 응력≥0.75×가로보의 극한 휨 응력

<그림 803.4.4> 가로보의 연결 구조



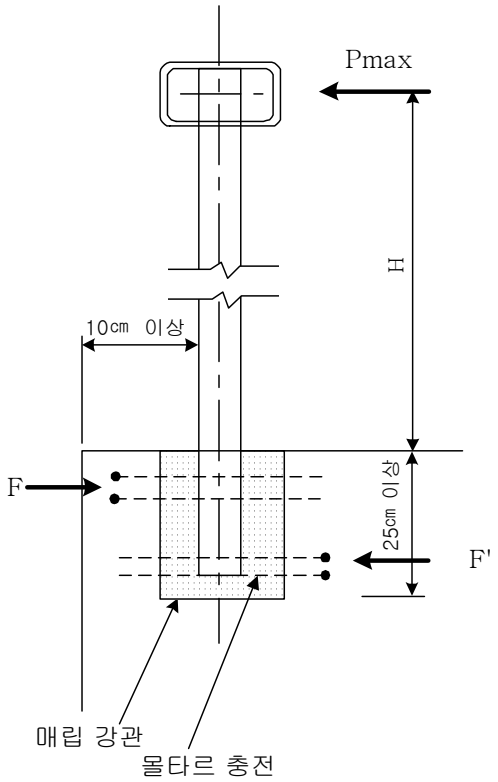
<그림 803.4.5> 지주와 가로보의 접합

⑥ 연석의 높이는 차도면에서부터 25cm를 표준으로 하고, 교량용 차량방호울타리를 연석에 고정시키는 방법으로는 매립 방식 및 앵커볼트 방식을 고려할 수 있다.

매립 방식의 경우 <그림 803.4.6>과 같이 설계하는데, 비교적 폭이 좁은 콘크리트 보도 연석에 지주를 매립하면 콘크리트 지압력, 전단력이 부족하기 때문에, 일반적으로는 매립 강관으로 이것을 보완한다. 참고로, 충분한 고정강도를 얻기 위해서 지주 뒷부분에서 연석 뒷부분까지의 거리를 10cm 이상, 매립 깊이를 25cm 이상으로 한다.

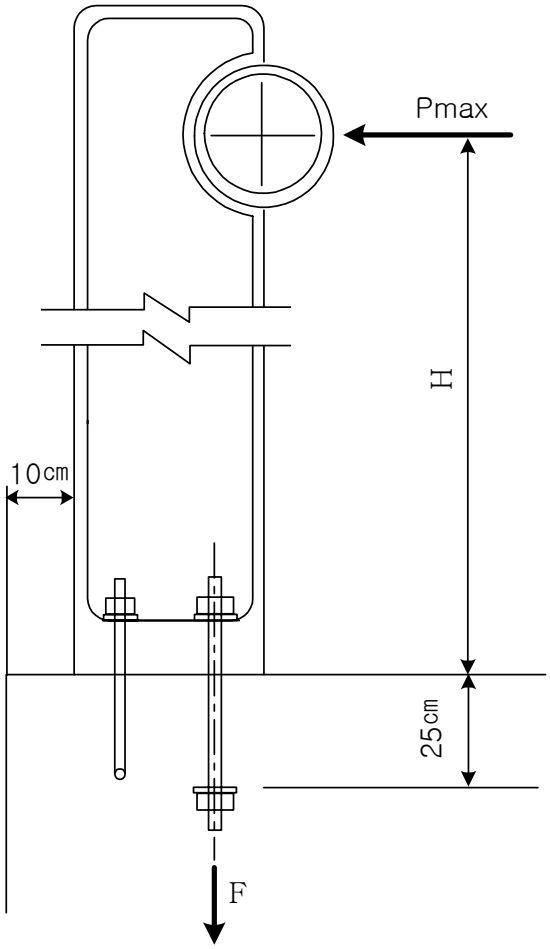
콘크리트로 부족한 전단 강도는 보강근으로 보완하는 것이 바람직하다.

앵커볼트 방식은 <그림 803.4.7>과 같이 균형상태를 유지하도록 앵커볼트의 재질과 직경을 설계한다.



P_{max} : 지주 소성 영역에서의 최대 지지력
H : 주요 가로보의 중심 높이
F : 연석의 뒷부분에 작용하는 힘
F′ : 연석의 앞부분에 작용하는 힘

<그림 803.4.6> 매립 방식의 힘의 균형 상태



P_{max} : 지주 소성역에서의 최대 지지력
H : 주요 가로보의 중심 높이
F : 연석에 작용하는 힘

<그림 803.4.7> 앵커볼트 방식의 힘의 균형 상태

1.2.3 난간 겸용 차량 방호울타리

(1) 구조 및 제원

난간 겸용 차량 방호울타리는 차량의 충돌에 저항할 수 있는 교량용 차량방호울타리의 역할과 보행자 및 자전거의 추락을 방지할 수 있는 난간의 역할을 동시에 수행할 수 있어야 하므로, 교량용 차량방호울타리가 가지는 설계기준을 만족함과 동시에 보행자 및 자전거의 추락 방지를 위한 안전한 높이와 부재간격을 갖도록 설계되어야 한다.

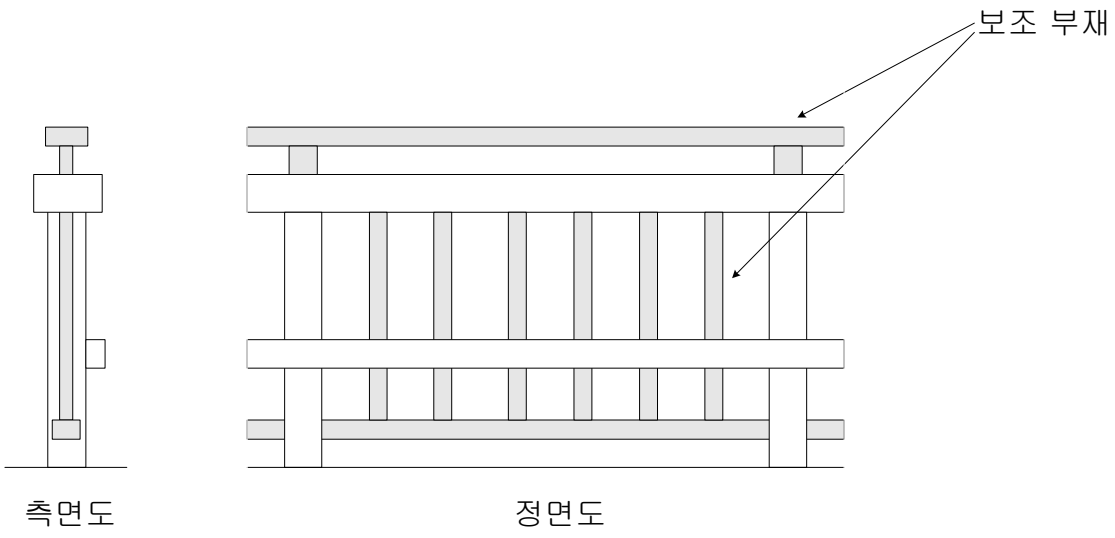
일반적인 난간 겸용 차량방호울타리의 구조 및 제원은 <그림 803.4.8>과 같다.

(2) 설계방법

① 교량용 차량방호울타리가 비교적 높을 경우에는, 교량용 차량방호울타리가 난간의 기능을 겸할 수 있으므로, 난간 겸용 차량방호울타리라 할 수 있는 경우가 있다.

(예)

교량용 차량방호울타리의 높이 (연석에서 난간의 상단까지)	85cm
+ 연석 높이	25cm
노면 위 높이	110cm



<그림 803.4.8> 난간 겸용 차량방호울타리

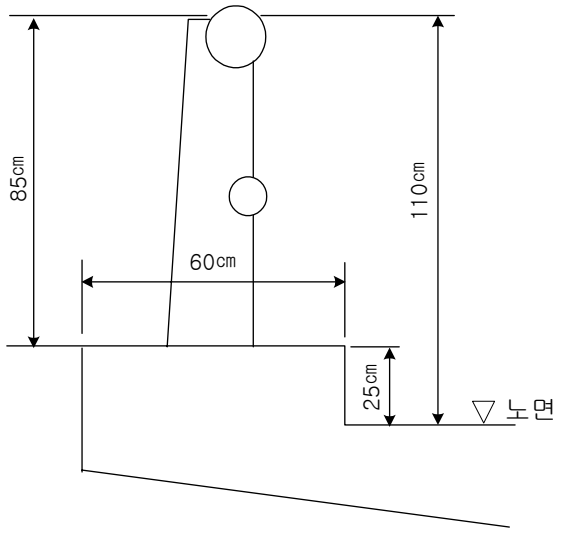
난간 상단의 높이가 노면으로부터 110cm로, 난간으로서 필요한 높이까지도 만족시키고 있기 때문에, 추가적인 난간의 설치가 필요없다. 단, 안전한 부재 간격을 유지하기 위한 부재를 검토할 필요는 있다(<그림 803.4.9>의 (a) 참조).

② 교량용 차량방호울타리가 비교적 낮을 경우에는, 난간으로서의 높이를 확보하기 위해 추가적인 난간을 설치해 난간 겸용 차량방호울타리로 사용할 수 있다.

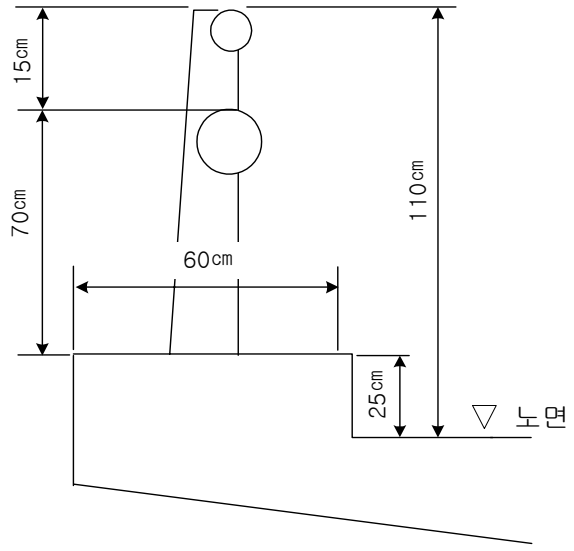
(예)

	교량용 차량방호울타리의 높이 (연석에서 난간의 상단까지)	70cm
	연석 높이	25cm
+	추가적인 난간 높이	15cm
	노면 위 높이	110cm

높이 15cm의 보조난간을 추가함으로써 난간의 높이가 보도면으로부터 110cm가 되어, 난간으로서 필요한 높이를 만족시킨다. 참고로, 이 경우도 안전한 부재 간격을 유지할 수 있는 부재를 검토할 필요가 있다(<그림 803.4.9>의 (b) 참조).



(a) 교량용 차량방호울타리의 높이가 높은 경우
(보행자를 보호하기 위한 난간을 추가할 필요가 없음)



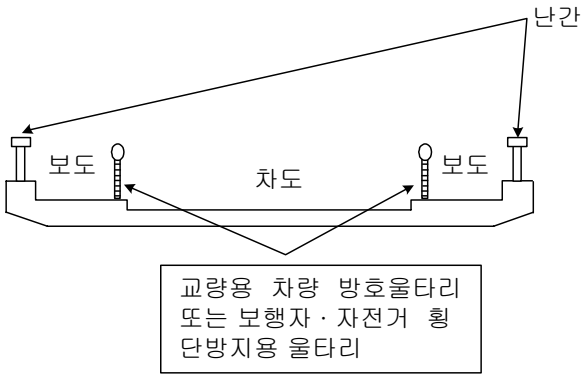
(b) 교량용 차량방호울타리의 높이가 낮은 경우
(보행자를 보호하기 위한 난간을 추가할 필요가 있음)

<그림 803.4.9> 난간 겸용 차량방호울타리의 높이 결정

1.3 종합적 설계

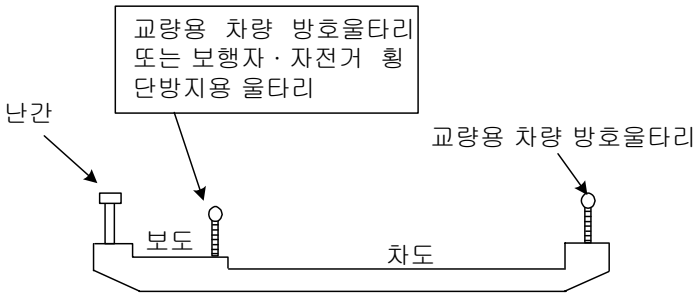
1.3.1 보도의 유□무에 따른 설치방법

교량 양쪽에 보도가 있는 경우



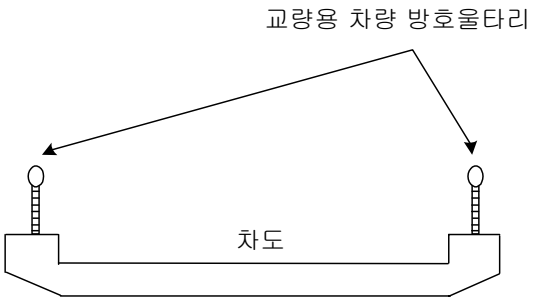
이런 경우는 교량 연석에 보행자와 자전거의 추락을 방지하기 위한 난간을 설치하고, 보차도 경계부에 교량용 차량 방호울타리를 설치한다.

교량 한쪽에만 보도가 있는 경우



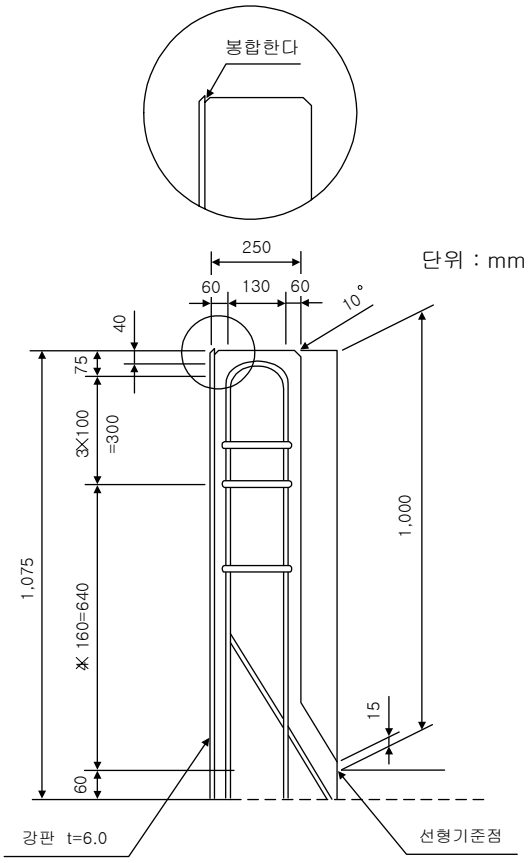
이런 경우는 보도가 설치된 쪽의 교량 연석에 난간을 설치하고, 보차도 경계부에 교량용 차량 방호울타리나 보행자 · 자전거 횡단방지용 울타리를 설치하며, 보도가 설치되어 있지 않은 쪽은 교량 끝단에 교량용 차량 방호울타리를 설치한다.

교량에 보도가 없는 경우

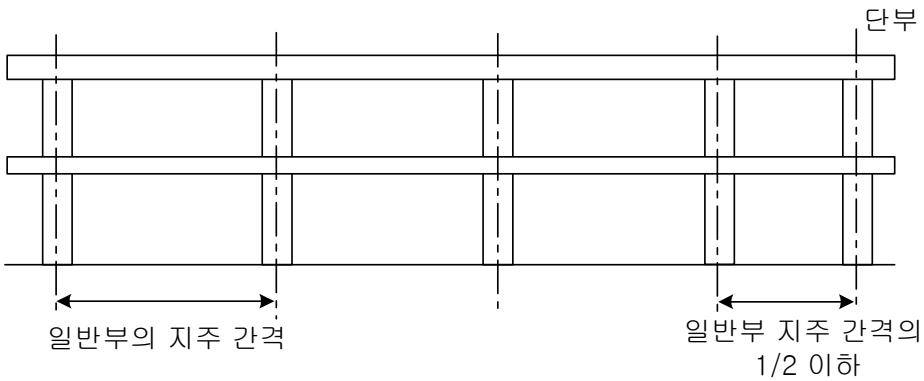


이런 경우는 교량 끝단에 교량용 차량 방호울타리를 설치한다. 단, 보행자나 자전거가 혼입될 우려가 있는 경우에는 필요에 따라 난간 겸용 차량 방호울타리를 설치한다.

1.3.2 비산방지를 위한 콘크리트벽식 교량용 차량방호울타리의 설계

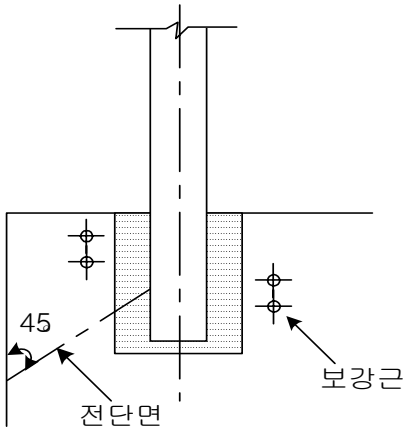


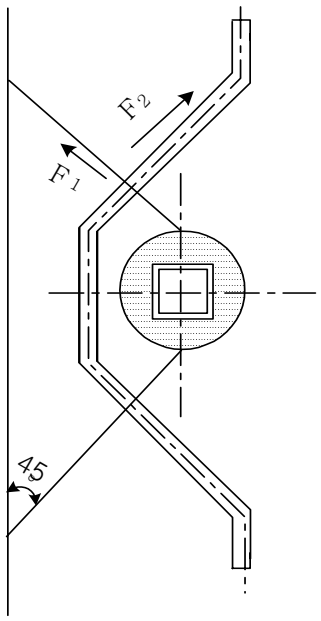
1.3.3 전이구간의 설계 방법



교량형 방호울타리 단부의 지주 간격은 일반부 지주 간격의 1/2 이하로 한다.

1.3.4 보강근의 배치방법

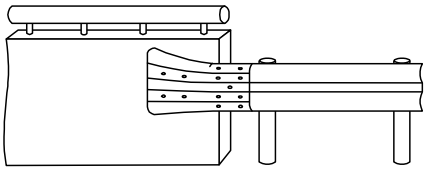




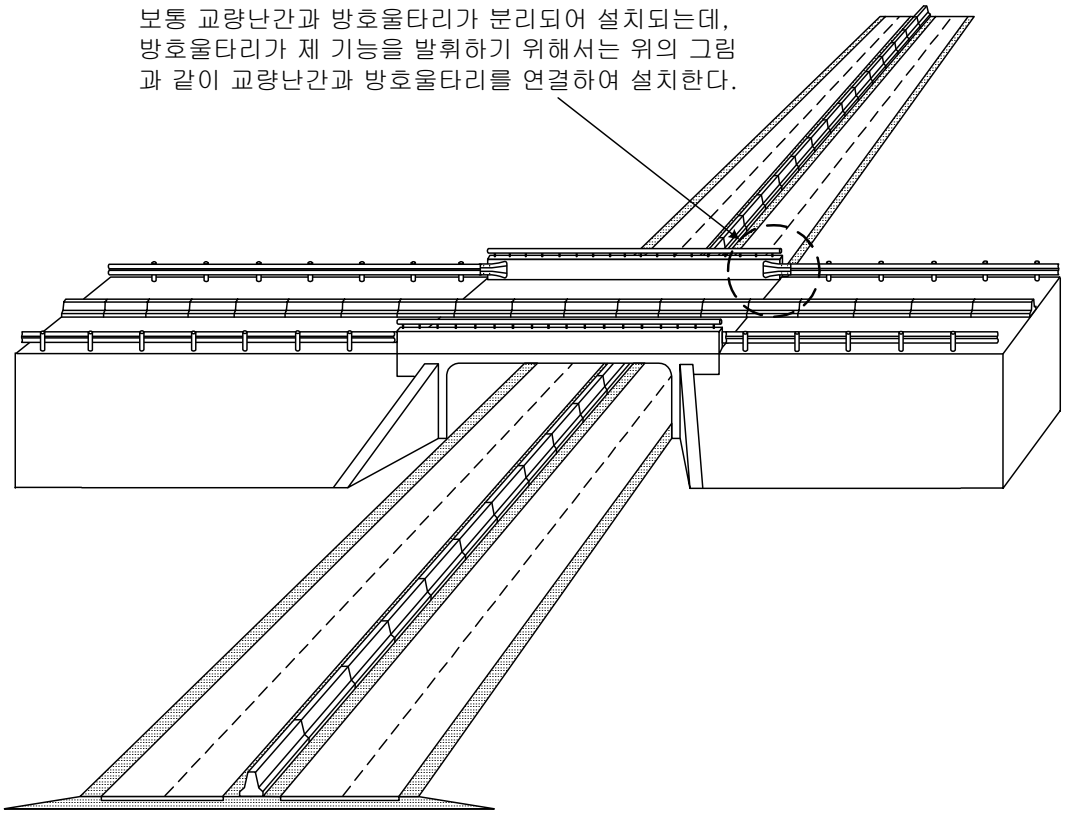
F_1 : 콘크리트의 전단력

F_2 : 보강근의 인장력

1.3.5 교량과 인접한 지역에서의 방호울타리 설치방법



보통 교량난간과 방호울타리가 분리되어 설치되는데, 방호울타리가 제 기능을 발휘하기 위해서는 위의 그림과 같이 교량난간과 방호울타리를 연결하여 설치한다.



804
시인성 증진 안전시설

804.1 시선유도시설

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

시선유도시설이라 함은 차도의 측방에 설치하여 도로 끝 및 도로선형을 명시함으로써 주간 및 야간에 운전자의 시선을 유도하기 위해 설치하는 시설로서, 각 종류별 시선유도시설의 기능으로는 다음과 같다.

(1) 시선유도표지
- 운전자의 주행경로를 유도
- 도로를 이탈하는 차량의 사고를 예방
- 노면표시와 함께 도로의 선형을 인식할 수 있는 정보를 제공

(2) 갈매기표지
- 시선유도의 기능과 동시에 도로의 선형 정보를 기호화시켜 운전자에게 전달하므로 주·야간 모두 유용하게 사용
- 도로의 평면선형과 종단선형이 조합하여 변화되는 구간에서 시선유도표지보다 더 효과적임

(3) 표지병
- 야간 및 악천후시 노면표시의 기능을 수행
- 자동차 타이어와의 접촉음을 통해 운전자에게 경고의 의미를 전달

이들 시설은 동일한 기능을 갖는 시설이므로 특별한 사유가 없는 한 중복 설치되지 않도록 설계한다.

1.1.2 종류

기본적인 시설유도시설로는 시선유도표지, 갈매기표지, 표지병으로 구분된다. 넓은 의미의 시선유도시설에는 노면표시, 시선유도등(안개등, 점멸등 포함)도 해당된다.

본 편람에서는 시선유도시설의 종류를 시선유도표지, 갈매기표지, 표지병으로 구분하였다.

점멸등 류는 일반 도로구간에서는 사용을 지양하고 사고 많은 곳 또는 공사구간 등 특수구간에 한하여 적용한다.

눈이 많이 오는 지역의 도로에서는 적설지역용 시선유도시설(snow pole)을 설치한다. 최근에는 도로 중앙분리대 내 또는 분리구간에 시선유도표지 또는 표지병의 기능을 갖는 시선유도봉을 사용하기도 한다.

1.1.3 관련 기준

- 도로안전시설 설치 및 관리지침-시선유도시설 편, 건설교통부, 1995

1.2 설계기준

1.2.1 시선유도표지

(1) 설치장소

① 일반도로

시선유도표지는 도로의 구조, 교통의 상황 등을 종합적으로 검토하여 안전하고 원활한 교통을 확보할 수 있도록 다음의 구간에 설치한다.

- 설계속도가 50km/h 이상인 구간
- 도로의 선형이 급격하게 변하는 구간
- 차로수나 차로폭이 변화하는 구간

② 고속도로

고속도로 및 주간선도로 등에는 원칙적으로 전구간에 연속적으로 시선유도표지를 설치하여야 한다. 단, 도로조명시설이 있는 경우에는 설치를 생략할 수도 있다.

(2) 설치위치

① 시선유도표지는 오른쪽 길어깨에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 설치위치는 차도 시설한계의 바깥쪽 가장 가까운 곳에 설치한다. 일반적으로 길어깨 가장자리부터 0~200㎝ 되는 곳에 지형에 맞게 설치한다.

② 곡선반경이 특히 작은 곡선부나 차로수가 변하는 구간 등에는 필요에 따라 왼쪽 길어깨에도 설치한다.

③ 인터체인지, 휴게소 등의 연결로에서는 곡선부 바깥쪽에 설치한다.

④ 시선유도표지와 도로의 가장자리는 일정한 간격을 유지하여 설치되어야 하나 도로 가장자리에 장애물이 설치된 경우에는 장애물 안쪽으로 약간 위치를 옮겨 설치하게 된다.

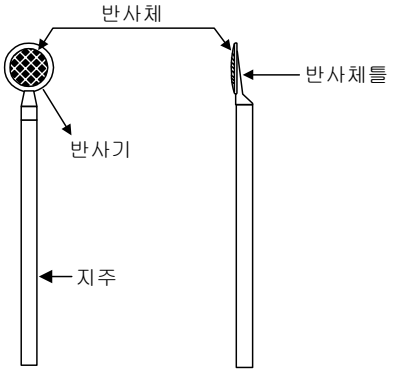
(3) 구조

시선유도표지의 구성은 <그림 804.1.1>과 같이 반사체와 반사체 틀로 조합된 반사기와 지주로 구성되며, 세부 구성요소의 설치기준은 다음과 같다.

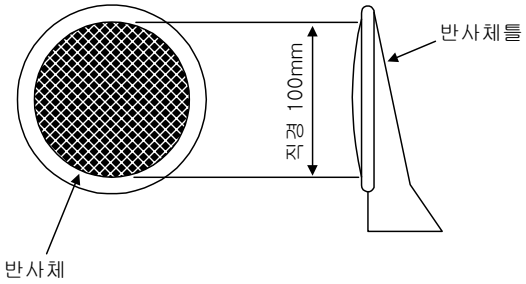
① 반사체의 색은 하얀색 및 노란색을 사용한다.

② 반사체의 형상은 원형인 것을 원칙적으로 사용하고, 크기는 직경 100mm를 표준으로 한다(<그림 804.1.1> 참조). 부득이하게 사각형의 것을 사용할 경우에는 유효면적이 원형의 것 이상으로 하되, 표면은 이물질이 잘 부착되지 않도록 매끄러워야 한다.

③ 지주의 형상은 원통형을 표준으로 하며, 지주의 제원(길이, 바깥 지름, 두께)은 설치장소, 설치조건, 재질 등에 따라 적절한 수치를 유지해야 한다. <표 804.1.1>은 지주의 제원에 관하여 표준적 설치조건을 가정하여 바람직한 값을 나타낸 것이다.



a. 시선유도표지의 구성 요소



b. 시선유도표지의 반사체 형상

<그림 804.1.1> 시선유도표지의 구성 및 형상

<표 804.1.1> 지주의 제원

(단위 : mm)

설치장소	기초의 종류	길 이	재 질		
			강	알미늄합금	합성수지
			바깥지름×두께	바깥지름×두께	바깥지름×두께
일반도로	콘크리트기초	1,150	34×2.3 이상	45×3 이상	60×4.5 이상 (89)
	흙속매립기초	1,450			
고속도로	콘크리트기초	1,150	34×1.6 이상	34×2 이상	60×3.5 이상
	콘크리트기초	1,450			

주) 1. ( )안은 재료로 폴리에틸렌 수지를 사용하는 경우

2. 바깥 지름 및 두께에 관해서는 표의 값에 따라 정해진 단면계수와 동등 이상의 것으로 한다.

(4) 색상

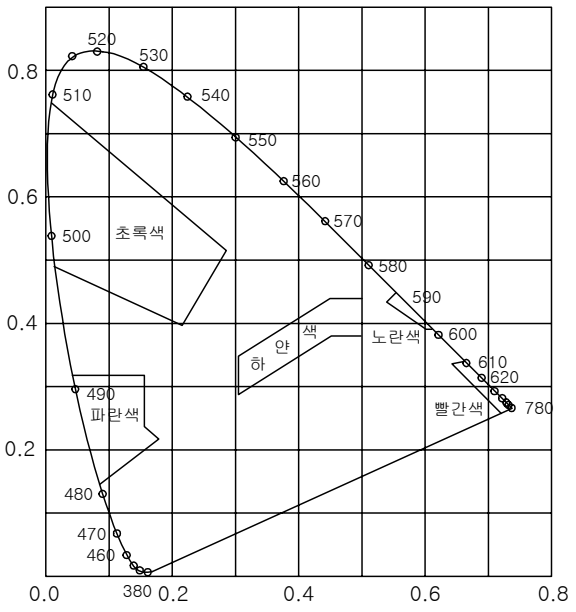
① 반사체의 색상은 하얀색과 노란색을 사용하며, 기본구간에 설치할 경우에는 차량 진행방향의 오른쪽에는 하얀색, 왼쪽에는 노란색을 적용한다.

② 분류구간에서의 색상은 차량 진행방향의 오른쪽은 하얀색, 왼쪽에는 노란색을 적용한다.

반사체의 색도는 색도측정방법에 따라 측정시 <표 804.1.2>와 <그림 804.1.2>의 색도좌표의 범위내에 들어와야 한다.

<표 804.1.2> 반사체의 색도좌표범위

색 상	색도좌표 범위						
	구분	1	2	3	4	5	6
하얀색	x	0.310	0.453	0.500	0.500	0.440	0.310
	y	0.348	0.440	0.440	0.380	0.380	0.283
노란색	x	0.545	0.559	0.609	0.597	-	-
	y	0.424	0.439	0.390	0.390	-	-



<그림 804.1.2> 반사체의 색도좌표범위

(5) 반사성능

반사체의 반사성능은 시선유도표지의 기능 가운데 가장 중요한 것으로 반사체가 차량으로부터 얻은 빛을 얼마만큼 운전자에게 되돌려 주는 가의 정도를 나타내며, 반사체의 반사성능에 대한 기준은 다음과 같다.

① 반사체의 반사성능은 재귀반사체의 반사성능 시험법에 따라 측정하여 그 결과가 <표 804.1.3>의 값 이상이어야 한다.

② 반사체의 재료를 합성수지와 반사지로 제작하는 경우에는 <표 804.1.3>에 제시된 반사성능 이상이어야 한다.

③ 반사체의 재료를 유리로 제작하는 경우에는 <표 804.1.3>의 반사성능 값에 보정계수 0.5를 곱한 값 이상이어야 한다.

여기서 관측각 및 입사각의 값은 <표 804.1.4>와 같은데, 이는 직선도로상에서의 자동차 운전자의 눈과 반사체와의 거리별 관측각 및 입사각의 개략적인 값이다.

반사성능 측정을 위한 관측각에 대해서는 <표 804.1.4>를 참고로 하였고, 입사각에 대해서는 <표 804.1.4> 외에 시선유도시설을 곡선구간에 설치하는 경우의 입사각의 변화를 분석하여 그 결과를 고려하였다.

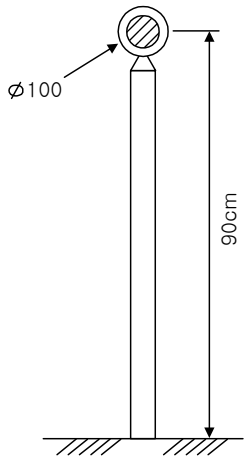
(6) 설치각도

① 반사체의 설치각도는 자동차의 진행방향에 대하여 직각으로 설치한다.

② 곡선반경이 작은 구간 등 진행방향에 대하여 직각으로 설치시 반사성능이 약할 경우에는 주행조사 등에 의하여 설치각도를 변경 설치한다.

(7) 설치높이

① 설치높이는 노면으로부터 반사체의 중심까지를 90㎝로 하여 설치하는 것을 표준으로 한다.



② 방호울타리, 난간, 옹벽 등에 설치되는 경우에도 전후 구간에서 사용하는 동일 종류의 반사체를 가능한 동일 높이가 되도록 설치한다.

③ 시선유도표지의 설치높이는 시설의 기능을 최대로 발휘하면서 오염, 잡풀 등에 대한 유지관리 등이 고려된 것이므로, 시설을 옹벽위에 설치할 경우에도 설치높이는 노면을 기준으로 적용한다. 가드레일이 긴 구간에 걸쳐 설치된 곳에서 시선유도표지의 기능을 높이기 위해 표준 높이보다 낮은 빔 가운데 설치할 경우 주기적으로 오염 등에 대한 세척, 잡풀 제거 등의 작업이 이루어져야 한다.

각 위치별로 설치되는 시선유도표지의 설치예를 <그림 804.1.3>에 나타내었다.

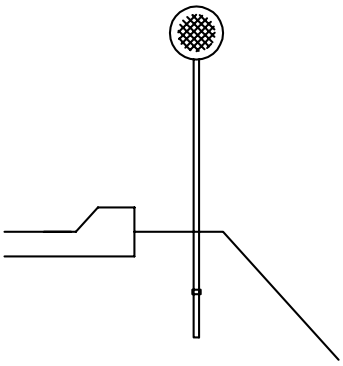
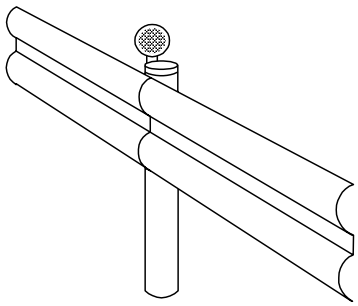
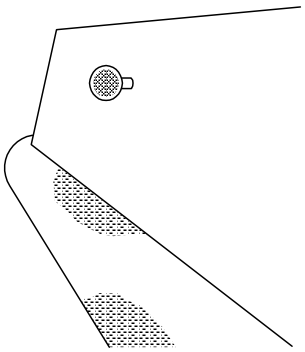
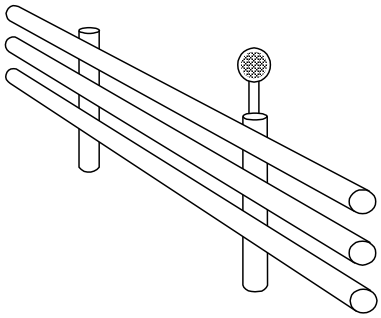
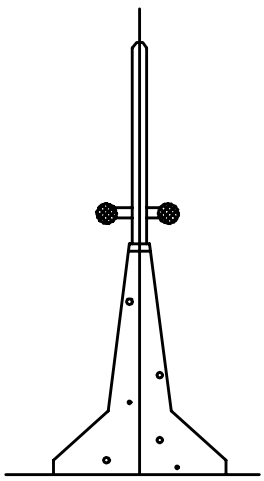
<표 804.1.3> 반사체의 반사성능

(단위 : cd/(1x·㎡))

관측각	색 상	하 얀 색			노 란 색		
	입사각	0°	β_1=0°	β_2=20°	0°	β_1=0	β_2=20°
0.2°		850	680	510	530	430	310
0.5°		410	340	240	270	220	140
1.5°		13	11	8	8	7	5

<표 804.1.4> 관측값 및 입사각

운전자의 눈과 반사체와의 거리(m)	관측각(도)	입사각(도)
500	0.1	0.3
300	0.2	0.5
120	0.5	1.1
40	1.5	3.3

토공용		가드레일용	
옹벽용		교량난간용	
중앙분리대용			

<그림 804.1.3> 위치별로 설치되는 시선유도표지의 설치 예

(8) 설치간격

시선유도표지의 설치간격은 고속도로와 일반도로에서 약간 다르게 적용된다.

① 직선구간에서의 최대 설치간격 :
고속도로는 50m, 일반도로는 40m

② 인터체인지, 휴게소 등의 연결로 및 변속차선에서의 최대설치간격 : 25m

③ 곡선구간에서의 설치간격

곡선구간에서의 설치간격은 도로 곡선반경에 따라 다음 식에 의해 구해진다.

$$S = 1.1\sqrt{(R-15)}$$

여기서,

S = 설치간격(m)

R = 곡선반경(m)

위의 식에서 구해진 곡선구간에서의 설치간격은 고속도로의 경우 최대 설치간격인 50m, 일반도로의 경우 최대 설치간격인 40m를 넘지 않아야 한다.

고속도로와 일반도로에서 곡선반경별 표준 설치간격은 <표 804.1.5>와 같다.

<표 804.1.5> 곡선반경별 표준 설치간격

(단위 : m)

일 반 도 로		고 속 도 로	
곡선반경	설치간격	곡선반경	설치간격
50 이하	5.0	50 이하	5.0
51～80	7.5	51～80	7.5
81～125	10.0	81～125	10.0
126～180	12.5	126～180	12.5
181～245	15.0	181～245	15.0
246～320	17.5	246～320	17.5
321～405	20.0	321～405	20.0
406～500	22.5	406～500	22.5
501～650	25.0	501～650	25.0
651～900	30.0	651～900	30.0
901～1,200	35.0	901～1,200	35.0
1,201 이상	40.0	1,201～1,550	40.0
		1,551～1,950	45.0
		1,951 이상	50.0

④ 직선과 원곡선이 연결된 구간에서의 설치간격

직선으로 이루어진 두 개의 도로를 원곡선으로 연결할 때 연결구간에서의 시선유도표지 설치간격은 다음과 같다.

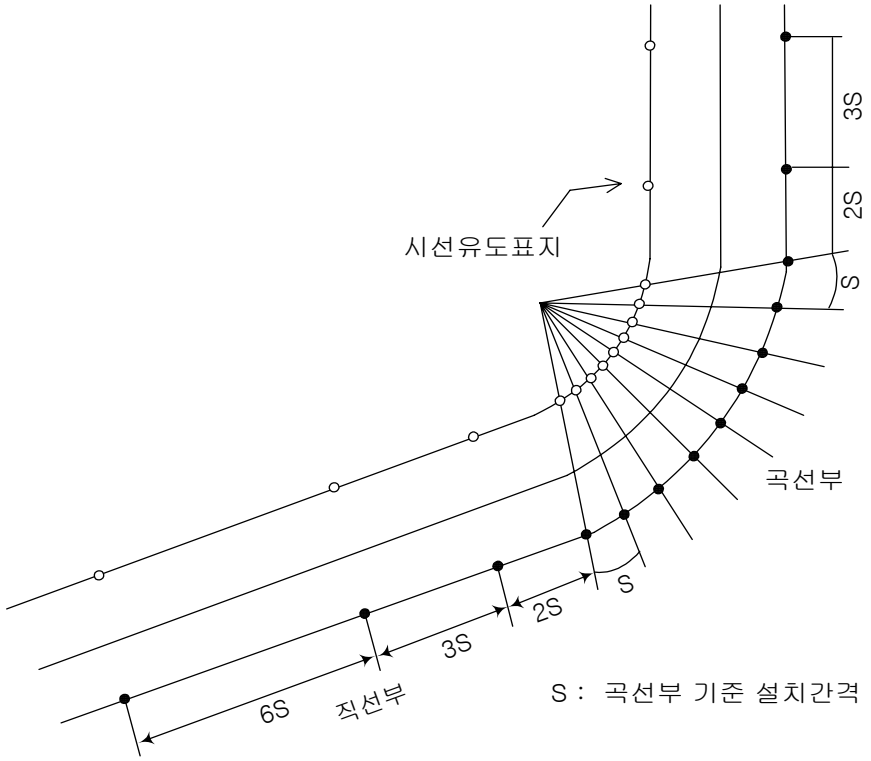
- 직선에서 곡선 또는 곡선에서 직선으로 이행하는 연결지점에 대해서는 3개의 시선유도표지를 설치하여 연결한다.

- 3개의 설치위치는 곡선상의 표준 설치간격을 S라 할 때, 첫 번째 시선유도표지는 2S, 두 번째는 3S, 세 번째는 6S의 간격으로 설치한다.

- 고속도로의 경우 최대 설치간격은 50m로 한다. 그러므로 2S, 3S, 6S의 값이 50m보다 큰 값이 나올 경우 50m를 적용하여 설치한다.

- 일반도로의 경우 최대 설치간격은 40m로 한다. 그러므로 2S, 3S, 6S의 값이 40m보다 큰 값이 나올 경우 40m를 적용하여 설치한다.

<그림 804.1.4>는 직선과 원곡선이 연결된 구간에서의 설치간격을 나타내고 있다.



<그림 804.1.4> 직선과 원곡선이 연결된 구간에서의 설치간격

⑤ 고속도로에서 클로소이드로 연결된 구간에서의 설치간격

고속도로상에서 직선과 직선, 직선과 곡선, 곡선과 곡선을 클로소이드로 연결할 경우, 이 구간에 설치하는 시선유도표지의 설치갯수와 설치간격은 <표 804.1.6>을 이용하여 구한다.

<표 804.1.6> 고속도로에서 클로소이드로 연결된 구간에서의 설치간격 및 설치갯수

곡선반경 / 설치간격 / 클로소이드 파라미터	1,951 ~ ∞	1,551 ~ 1,950	1,201 ~ 1,550	901 ~ 1,200	651 ~ 900	501 ~ 650	406 ~ 500	321 ~ 405	246 ~ 320	181 ~ 245	126 ~ 180	81 ~ 125	51 ~ 80	0 ~ 50	표가 적용되는 최소반경
	50	45	40	35	30	25	22.5	20	17.5	15	12.5	10	7.5	5	
10														1	10
20													1	1	20
30												1	1	1	30
40											1	0	2	1	40
50											1	1	3	1	50
60										1	1	1	1		60
70									1	0	1	3	1		80
80									1	1	1	1			100
90								1	0	1	2	1			100
100							1	0	1	1	1	1			120
110							1	0	1	1	1				150
120						1	0	0	1	2	1				150
130						1	0	1	1	2	1				160
140					1	0	0	1	1	2	1				180
150					1	0	1	0	1	1					200
160					1	0	1	1	1						250
180				1	0	1	0	2	1						300
200				1	0	1	1	2	1						300
210				1	1	0	1	2	1						300
220			1	0	1	1	1	1	1						300
230			1	0	1	1	1	2	1						300
240			1	0	1	1	2	1	1						300
250			1	0	1	2	1	1							350
280		1	0	1	1	1	1								500
300		1	0	1	1	1									550
350	1	0	1	1	2	1									550
400	1	1	0	2	2	1									650
450	2	0	1	2	3	1									650
500	2	1	1	2	4	1									650
550	3	1	1	3	1										700
600	3	1	2	3	1										700
650	4	1	2	4	1										900
700	5	1	2	1											1,000
750	5	2	3	1											1,000
800	6	2	3	1											1,000
900	8	2	4	1											1,000
950	9	2	1												1,500
1,000	10	3	1												1,500
1,100	12	4	1												1,500
1,200	14	1													1,500
1,500	23	1													1,800

주) ① 본 표는 곡선반경과 클로소이드 파라미터와의 관계에서 클로소이드 구간에 대해 설치간격과 설치수량을 정하는 것으로, 표 내의 0, 1, 2, 3 등의 값은 설치수량을 말한다.

② 클로소이드 구간에서는 클로소이드 시점을 기준으로 해서 설치한다. 따라서 클로소이드는 가운데 있는 원곡선으로 설치위치를 양측에서 정해가게 될 경우 발생하는 끝부분의 수량은 원곡선상에서 조정한다.

⑥ 일반도로에서 클로소이드로 연결된 구간에서의 설치간격

일반도로에서는 <표 804.1.7>을 이용하여 클로소이드 구간에 설치하여야 할 시선유도표지의 설치갯수와 설치간격을 구한다.

<표 804.1.7> 일반도로에서 클로소이드로 연결된 구간에서의 설치간격 및 설치갯수

곡선반경 / 설치간격 / 클로소이드 파라미터	1,201 ~ ∞	901 ~ 1,200	651 ~ 900	501 ~ 650	406 ~ 500	321 ~ 405	246 ~ 320	181 ~ 245	126 ~ 180	81 ~ 125	51 ~ 80	0 ~ 50	표가 적용되는 최소반경
	40	35	30	25	22.5	20	17.5	15	12.5	10	7.5	5	
10												1	10
20											1	1	20
30										1	1	1	30
40									1	0	2	1	40
50									1	1	3	1	50
60								1	1	1	1		60
70							1	0	1	3	1		80
80							1	1	1	1			100
90						1	0	1	2	1			100
100					1	0	1	1	1	1			120
110					1	0	1	1	1				150
120				1	0	0	1	2	1				150
130				1	0	1	1	2	1				160
140			1	0	0	1	1	2	1				180
150			1	0	1	0	1	1					200
160			1	0	1	1	1						250
180		1	0	1	0	2	1						300
200		1	0	1	1	2	1						300
210		1	1	0	1	2	1						300
220	1	0	1	1	1	1	1						300
230	1	0	1	1	1	2	1						300
240	1	0	1	1	2	1	1						300
250	1	0	1	2	1	1							350
280	1	1	1	2	2								500
300	1	1	2	1									550
350	2	1	2	1									550
400	3	1	3	1									650
450	4	1	3	1									650
500	5	2	3	1									650
550	6	2	1										700
600	7	3	1										700
650	8	4	1										900
700	10	1											1,000
750	11	1											1,000
800	13	1											1,000
900	16	1											1,000

주) ① 본 표는 곡선반경과 클로소이드 파라미터와의 관계에서 클로소이드 구간에 대해 설치간격과 설치수량을 정하는 것으로, 표 내의 0, 1, 2, 3 등의 값은 설치수량을 말한다.

② 클로소이드 구간에서는 클로소이드 시점을 기준으로 해서 설치한다. 따라서 클로소이드는 가운데 있는 원곡선으로 설치위치를 양측에서 정해가게 될 경우 발생하는 끝부분의 수량은 원곡선 상에서 조정한다.

⑦ 곡선부 바깥쪽과 안쪽 모두에 설치할 경우의 설치간격

이런 경우는 우선 곡선부 바깥쪽부터 설치한다. 이 때의 설치간격은 곡선반경에 따른 표준 설치간격에 의해 설치한다.

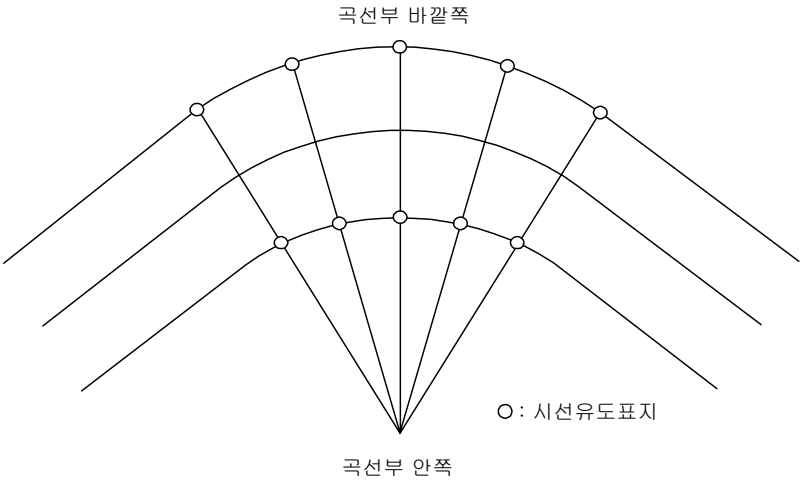
곡선부 안쪽에 설치하는 시선유도표지는 <그림 804.1.5>와 같이 바깥쪽에 설치되는 시선유도표지와 도로중앙선에 직각으로 대칭되는 위치에 설치한다.

(9) 설계방법

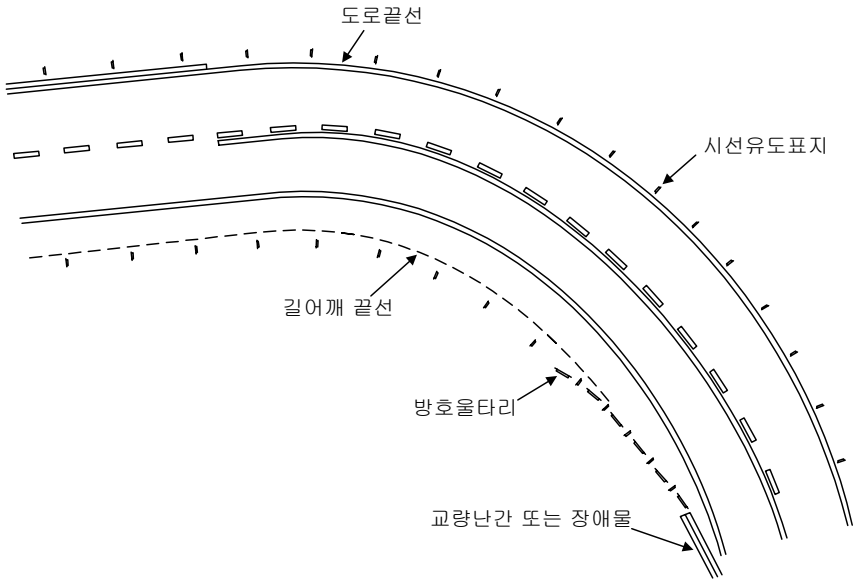
본 절에서는 시선유도표지의 여러 가지 설치방법에 관한 예를 살펴보기로 한다.

① 도로가장자리에 장애물이 위치한 경우

시선유도표지와 도로의 가장자리는 일정한 간격을 유지하여 설치하여야 하나 도로가장자리에 장애물이 설치된 경우에는 장애물 안쪽으로 약간 위치를 옮겨 설치한다. <그림 804.1.6>은 도로가장자리에 장애물이 위치한 경우에 시선유도표지를 설치하는 예를 나타낸다.



<그림 804.1.5> 곡선부 바깥쪽과 안쪽 모두에 설치할 경우의 설치간격



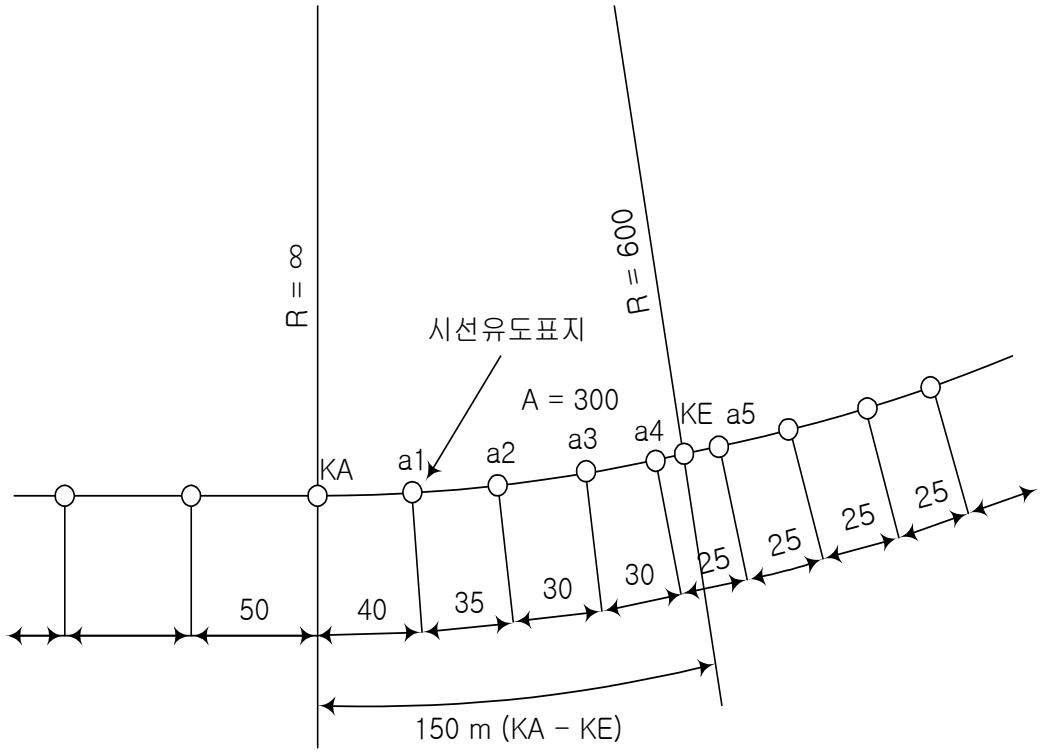
<그림 804.1.6> 도로가장자리에 장애물이 위치한 경우 시선유도표지의 설치 예

② 고속도로의 클로소이드 구간에 대한 시선유도표지의 설치 예

다음은 고속도로에서 R=∞와 R=600m의 곡선구간을 파라미터 A=300m의 클로소이드 곡선으로 연결시킬 경우의 설치 예이다.

- p 804.1-10의 <표 804.1.6>에서 클로소이드 파라미터 A가 300인 행과 곡선반경 R이 1,551～∞의 열이 교차하는 난에 1이 있으므로 S=45m의 설치간격을 잡아 시선유도표지 a1을 1개 설치한다.
- 다음에는 A=300인 행과 901～1,200의 열이 교차하는 난에 1이 있으므로, 설치간격 S=35m를 잡아서 a2를 1개 설치한다.
- 이하 같은 방법으로, S=30m로 a3를 1개, S=25m로 a4를 1개를 설치하여 총 4개의 시선유도표지를 사용하여 두 개의 곡선구간을 매끄럽게 연결시킬 수 있다.

<그림 804.1.7>은 고속도로의 클로소이드 구간에서 시선유도표지를 설치하는 예를 나타낸 것이다.



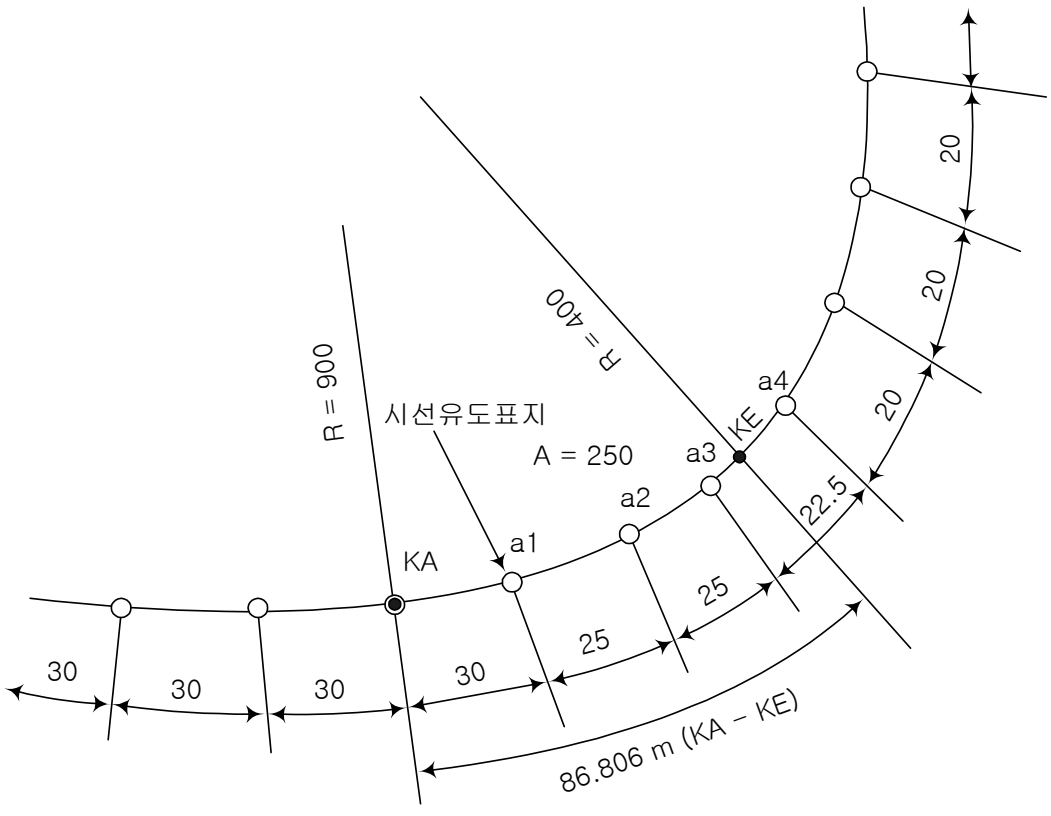
<그림 804.1.7> 고속도로의 클로소이드 구간에 대한 시선유도표지의 설치 예(단위 : m)
(R=∞와 R=600m의 곡선구간을 파라미터 A=300m의 클로소이드 곡선으로 연결시킬 경우)

③ 일반도로의 클로소이드 구간에 대한 시선유도표지의 설치 예

다음은 일반도로에서 R=900과 R=400m의 곡선구간을 파라미터 A=250m의 클로소이드 곡선으로 연결시킬 경우의 설치 예이다.

- p 804.1-11의 <표 804.1.7>에서 클로소이드 파라미터 A가 250인 행과 곡선반경 R이 651～900의 열이 교차하는 난에 1이 있으므로 S=30m에 시선유도표지 a1을 설치한다.
- A=250인 행과 501～650의 열이 교차하는 난에 2라 되어 있으므로, S=25m의 간격으로 2개의 시선유도표지 a2, a3를 설치한다.
- 이하 같은 방법으로, S=22.5m에 시선유도표지 a4를 설치하면 R=400m의 구간을 매끄럽게 연결시킬 수 있다.

<그림 804.1.8>은 일반도로의 클로소이드 구간에서 시선유도표지를 설치하는 예를 나타낸 것이다.



<그림 804.1.8> 일반도로의 클로소이드 구간에 대한 시선유도표지의 설치 예 (단위 : m)
(R=900과 R=400m의 곡선구간을 파라미터 A=250m의 클로소이드 곡선으로 연결시킬 경우)

④ 시선유도표지의 설치간격과 갯수 산정예

다음과 같은 조건에서 시선유도표지의 설치간격 및 설치갯수를 산정하는 방법은 다음과 같다.

○ 설계조건

☞ 대상 : 설계속도가 100km/h인 6차로 고속도로

☞ 설계연장 : STA0+000～STA2+000(2,000m)

☞ 직선부 : STA0+000～STA1+050(1,050m)

☞ 곡선부(R=600) : STA1+050～STA1+465(415m)

☞ 직선부 : STA1+465～STA2+000(535m)

설치간격의 결정

- 시선유도표지의 표준 설치간격에 의해서

  직선부 S = 50.0m, 곡선부 S = 25.0m

- 곡선 인접부의 간격조정

  첫 번째 시선유도시설 S_{FIRST} = 2S = 2 × 25.0 = 50.0m

  두 번째 시선유도시설 S_{SECOND} = 3S = 3 × 25.0 = 75.0m

  첫 번째 시선유도시설 S_{THIRD} = 6S = 6 × 25.0 = 150.0m

  그런데, 2S, 3S, 6S ≤ 50.0m이어야 하므로

  S_{FIRST}, S_{SECOND}, S_{THIRD}는 모두 50m 간격으로 설치한다

설치갯수의 결정

- 한쪽면의 설치갯수

  ▸ 곡선부 : STA1+050～STA1+465(415m)

  415 = 25.0 × 16 + 15.0이므로 15m는 직선부와 연계해서 산정

  ∴ 곡선부는 16개소

  ▸ 직선부 : STA0+000～STA1+050 ⇒ STA0+000～STA1+057.5(1,057.5m)

  STA1+465～STA2+000 ⇒ STA1+457.5～STA2+000(542.5m)

  STA0+000～STA1+057.5(1,057.5m)

  1,057.5 = 50.0 × 21 + 7.5이므로 7.5m는 소거하거나 인접노선에 연계

  ∴ 21개소

  STA1+457.5～STA2+000(542.5m)

  542.5 = 50.0 × 11 - 7.5이므로 7.5m는 소거

- 전체 설치갯수

  중앙분리대 양측과 길어깨부 양측에 설치

  ∴ (16+11+21) × 4 = 192개 필요

1.2.2 갈매기표지

(1) 설치장소

갈매기표지는 다음의 구간과 같이 운전자에게 도로의 상황에 관한 사전정보 제공이 특별히 강조되는 구간에 설치한다.

- 도로의 평면선형이나 종단선형이 급격하게 변화하는 곡선부 구간
- 공사구간 또는 사고많은 지점
- 시선유도표지보다 더욱 높은 수준의 시선유도효과가 필요한 지점

일반적으로 갈매기표지는 곡선부 구간에 설치하게 되는데, 본 편람에서는 갈매기표지의 설치장소를 결정하기 위한 기준으로 설계속도에 5km/h를 더한 속도를 당해 도로의 일반적 주행속도로 보고 이 때의 곡선반경을 산정하여 <표 804.1.8>과 같이 갈매기표지 적용 곡선반경으로 하였다. 따라서 <표 804.1.8>에 제시한 갈매기표지 적용 곡선반경의 값 이하의 곡선에서는 시선유도표지보다는 갈매기표지를 적용하는 것으로 한다.

(2) 설치위치

갈매기표지의 설치위치는 곡선부의 바깥쪽에 설치하는 것으로 한다. 곡선부 안쪽에는 곡선부 전후 구간에서 설치한 시선유도시설의 연속성을 고려하여 동일한 시선유도표지를 설치한다.

또한, 갈매기표지는 차도 시설한계의 바깥쪽 가장 가까운 곳에 설치한다. 일반적으로 길어깨 가장자리부터 0~200㎝ 되는 곳에 지형에 맞게 설치한다.

곡선부에 설치할 경우 해당 곡선구간에만 설치하고, 직선에서 곡선 또는 곡선에서 직선으로의 전이구간에는 시선유도표지를 시선유도표지 설치간격의 기준에 따라 설치한다.

<표 804.1.8> 곡선부의 최소곡선반경과 갈매기표지 적용 구간의 곡선반경

설계속도(km/시)	최소곡선반경(m)	갈매기표지 적용 곡선반경(m)
120	710	770
110	600	650
100	460	550
90	380	420
80	280	340
70	200	250
60	140	180
50	90	120
40	60	80
30	30	45

(3) 구조

갈매기표지의 구성은 <그림 804.1.9>와 같이 갈매기 기호체 및 표지판, 지주로 구성되며, 세부 구성요소의 설치기준은 다음과 같다.

① 판의 규격은 가로 60cm, 세로 30cm를 표준적인 규격으로 한다.

② 갈매기 기호체의 꺽음표시는 2개인 것을 원칙으로 하고 규격에 따라 조정할 수 있다.

③ 중앙분리대, 교량난간 등 도로 구조물에 의해 표준 규격의 설치가 용이하지 못한 장소나 인터체인지 연결로, 사고 많은 지점 등에서는 규격을 조정 사용할 수 있다.

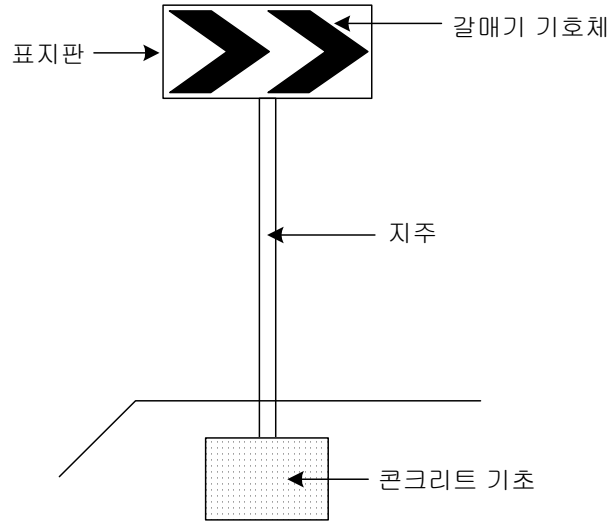
④ 공사구간에서 사용하는 갈매기표지는 도로의 상황 및 교통의 상황 등을 감안하여 전체적인 안전시설 설치계획에 따라 규격을 조절할 수 있다. 갈매기표지의 기본 형상과 특수한 경우의 크기는 <그림 804.1.10>과 같다.

도로의 상황 및 교통의 상황에 따라 갈매기표지의 표준 형상을 조정하는 경우에는 가로대 세로의 비를 2:1로 한다.

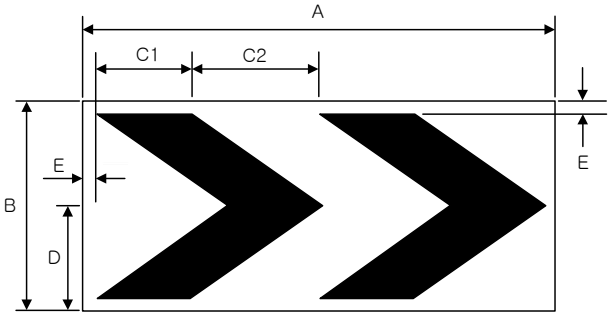
⑤ 2차선 도로에서는 양면형으로 하고, 중앙분리대로 분리된 4차선 이상 도로에서는 단면형으로 설치한다.

⑥ 지주는 표지판을 제 설치위치에 확실하게 고정하는 것으로 그에 맞는 구조로 되어야 하며, 지주의 형상은 원통형을, 직경은 50mm를 표준으로 한다.

⑦ 기초는 콘크리트 기초로 하며, 기초의 규격은 가로 30cm, 세로 30cm, 높이 40cm로 한다.



<그림 804.1.9> 갈매기표지의 구성 요소



갈매기표지	크 기(cm)					
	A	B	C1	C2	D	E
표 준	60	30	12	16	15	2
특 수	70	35	14	19	17.5	2
특 수	90	45	18	25	22.5	2

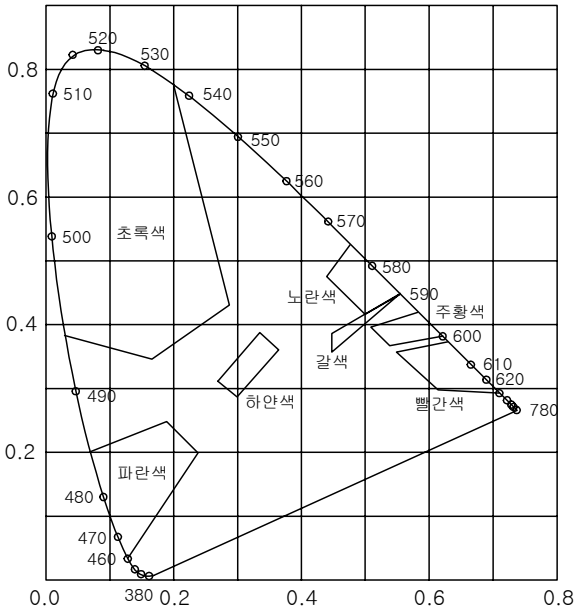
<그림 804.1.10> 갈매기표지의 크기

(4) 색상

갈매기표지의 바탕은 하얀색, 꺽음표시는 빨간색으로 한다. 반사체의 색도는 색도측정방법에 따라 측정시 <표 804.1.9>와 <그림 804.1.11>의 색도좌표의 범위내에 들어와야 한다.

<표 804.1.9> 갈매기표지 반사체의 색도좌표의 범위

구 분	색도좌표의 범위								휘도율 (Y %)	
	1		2		3		4			
	x	y	x	y	x	y	x	y	하한	상한
하얀색	0.303	0.287	0.368	0.353	0.340	0.380	0.274	0.316	27	-
빨간색	0.613	0.297	0.708	0.292	0.636	0.364	0.558	0.352	2.5	11



<그림 804.1.11> 갈매기표지 반사체의 색도좌표의 범위

(5) 반사성능

반사체의 반사성능은 재귀반사체의 반사성능 시험법을 따라 측정하여 그 결과가 <표 804.1.10>의 값 이상이어야 한다. 기준으로 제시된 반사성능은 미국 ASTM D 4956 「재귀반사지에 관한 규격」을 참조하였다.

갈매기표지의 바탕색인 하얀색의 경우 초고휘도 반사지를 사용할 경우 바탕의 반사성능이 너무 높아 상대적으로 빨간색 꺽음표시가 압도되어 보이는 현상을 막기 위해 일반 휘도급을 사용하였으며, 빨간색 꺽음표시는 초고휘도 반사지의 반사성능을 규정하였다.

반사체의 반사성능을 표기하는 단위는 재귀반사계수로 다음과 같이 표현된다.

$$SIA = [\ \frac{E'(D')^2}{E_n}\ ] / A$$

여기서,

SIA : 재귀반사계수(cd/(lx • ㎡))

E′ : 관찰위치에서의 조도(lx)

D′ : 수광기의 중심과 참고축 사이의 거리(m)

E_n : 법선조도(lx)

A : 반사체의 유효면적(㎡)

반사지가 아닌 다른 재질의 반사체를 사용할 경우에도 <표 804.1.10>의 기준에 부합되는 재료를 사용한다.

<표 804.1.10> 갈매기표지 반사체의 반사성능

(단위 : cd/(1x·㎡))

측광 기하조건		반 사 성 능	
관 측 각	입 사 각(β)	하 얀 색	빨 간 색
0.2°	-4°	70	120
	+30°	30	72
0.5°	-4°	30	28
	+30°	15	13

(6) 설치높이

갈매기표지의 설치높이는 노면으로부터 표지판 하단까지의 높이를 120cm로 하여 설치하는 것을 표준으로 하고, 표지판이 수목, 잡초, 기타 시설 등에 의해 가리워지는 일이 생기지 않도록 세심한 주의를 해야 한다.

갈매기표지가 방호울타리, 난간, 옹벽 등에 설치되는 경우에도 가능한 동일 높이에 설치하도록 해야 한다.

(7) 설치각도

갈매기표지의 설치각도는 자동차의 진행방향에 대하여 직각 또는 10°이내로 설치한다.

이중굽은 도로에서 갈매기표지판을 양면형으로 할 경우에는 표지판의 설치에 있어서 운전자의 혼란이 생기지 않도록 해야 한다.

(8) 설치간격

갈매기표지의 설치간격은 도로의 곡선반경에 따라 다음 식에 의해 구한다.

$$S = 1.65\sqrt{(R-15)}$$

여기서,

S = 설치간격(m)

R = 곡선반경(m)

<표 804.1.11>은 곡선반경에 따른 표준 설치간격을 나타내고 있다.

곡선부에 설치할 경우 해당 곡선구간에만 설치하고, 직선에서 곡선 또는 곡선에서 직선으로의 전이구간에는 시선유도표지를 시선유도표지 설치간격의 기준에 따라 설치한다.

갈매기표지의 규격을 축소하여 구조물 위에 설치할 경우에는 설치간격을 시선유도표지의 설치간격과 동일하게 적용한다.

<표 804.1.11> 곡선반경에 따른 갈매기표지의 표준 설치간격

(단위 : m)

곡선반경	설치간격	곡선반경	설치간격
50 이하	8.0	246～320	25.0
51～80	12.0	321～405	30.0
81～125	15.0	406～500	35.0
126～180	20.0	501～650	38.0
181～245	22.0	651～900	45.0

1.2.3 표지병

(1) 설치장소

표지병은 다음과 같이 노면표시의 기능을 보완할 필요가 있는 곳에 설치한다.

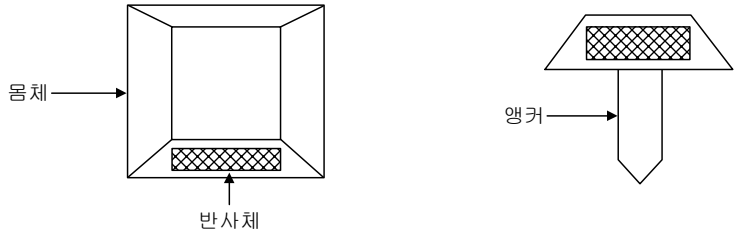
- 도로의 중앙선
- 전용차로
- 차선 경계선
- 노상장애물
- 길 가장자리 구역선
- 안전지대
- 급곡선부
- 터널
- 교통섬
- 인터체인지 고어지역
- 차선의 감소, 분리, 합류 구간
- 통행로의 변경 구간
- 좌회전차선을 포함한 이차로 도로, 물리적으로 분리되지 않은 다차로 도로, 도로폭이 좁은 교량 등 선형 유도 또는 도로환경 변화에 대한 운전자의 인식을 높일 필요가 있는 구간
- 단, 횡단보도 등 표지병의 설치로 인한 안전주행을 해칠 우려가 있는 지점에는 설치하여서는 안된다.

(2) 구조

표지병의 구성은 <그림 804.1.12>와 같이 반사체와 몸체로 구성되며, 세부 구성요소의 설치기준은 다음과 같다.

① 표지병의 형상은 제 기능을 발휘할 수 있는 다양한 형상을 사용할 수 있으나, 일정 지역, 일정구간에서는 동일형상을 사용해야 한다.

② 표지병의 기본적인 형상으로 사다리꼴, 사각형, 마름모꼴, 원형 등을 적용할 수 있는데, 사각형의 경우 표지병의 밑면 규격은 가로 100~150mm, 세로 100~150mm로, 원형인 경우 직경 100~150mm로 한다.



<그림 804.1.12> 표지병의 구성 요소

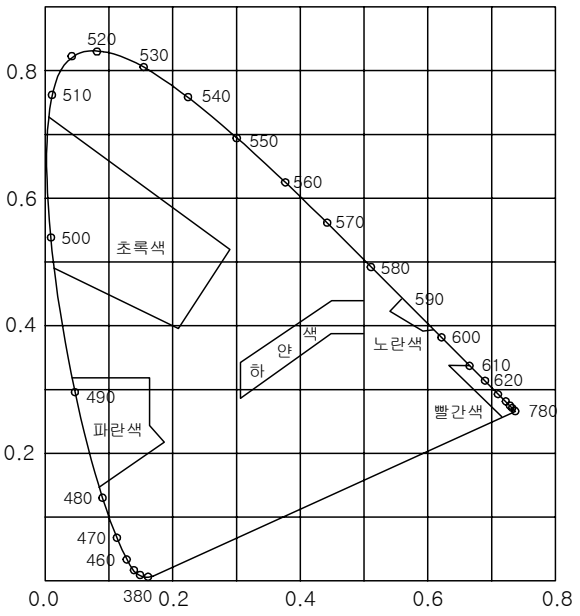
(3) 색상

표지병의 반사체 색상은 하얀색, 노란색, 파란색을 사용한다. 하얀색은 동일 방향 교통류의 분리 및 경계, 노란색은 반대방향 교통류의 분리, 제한 및 지시, 파란색은 지정방향 교통류의 분리 및 지시를 표시하는데 사용된다.

반사체의 색도는 색도측정방법에 따라 측정시 <표 804.1.12>와 <그림 804.1.13>의 색도좌표의 범위 내에 들어와야 한다.

<표 804.1.12> 표지병 반사체의 색도좌표의 범위

색 상	색도좌표의 범위						
	구분	1	2	3	4	5	6
하얀색	x	0.310	0.453	0.500	0.500	0.440	0.301
	y	0.348	0.440	0.440	0.380	0.380	0.283
노란색	x	0.545	0.559	0.609	0.597	-	-
	y	0.424	0.439	0.390	0.390	-	-
파란색	x	0.039	0.160	0.160	0.183	0.088	-
	y	0.320	0.320	0.240	0.218	0.142	-



<그림 804.1.13> 표지병 반사체의 색도좌표의 범위

(4) 반사성능

반사체의 반사성능은 제귀반사체의 반사성능 시험법에 따라 측정하여 그 결과가 <표 804.1.13>의 값 이상이어야 한다.

반사체의 반사성능을 표기하는 단위는 광도계수로 다음과 같이 표현된다.

$$SI = \frac{E'(D')^2}{E_n}$$

여기서,

SI : 광도계수

E′ : 관찰 위치에서의 조도(lx)

D′ : 수광기의 중심과 참고축 사이의 거리(m)

E_n : 법선조도(lx)

(5) 설치높이

- 차량통행이 금지되는 구간에서는 최대 30mm로 설치한다.
- 차선경계선과 같이 차량의 통행을 허용하여 표지병과 타이어와의 마찰이 빈번한 곳에서는 최대 20mm로 설치한다.

(6) 설치간격

- 곡선구간에서는 조밀하게, 직선구간에서는 간격을 넓혀서 설치한다.
- 고속구간에서는 넓게, 도시부 등 저속구간에서는 좁게 설치한다.
- 표지병의 설치 예는 종합적 설계 부분에 제시하였다.

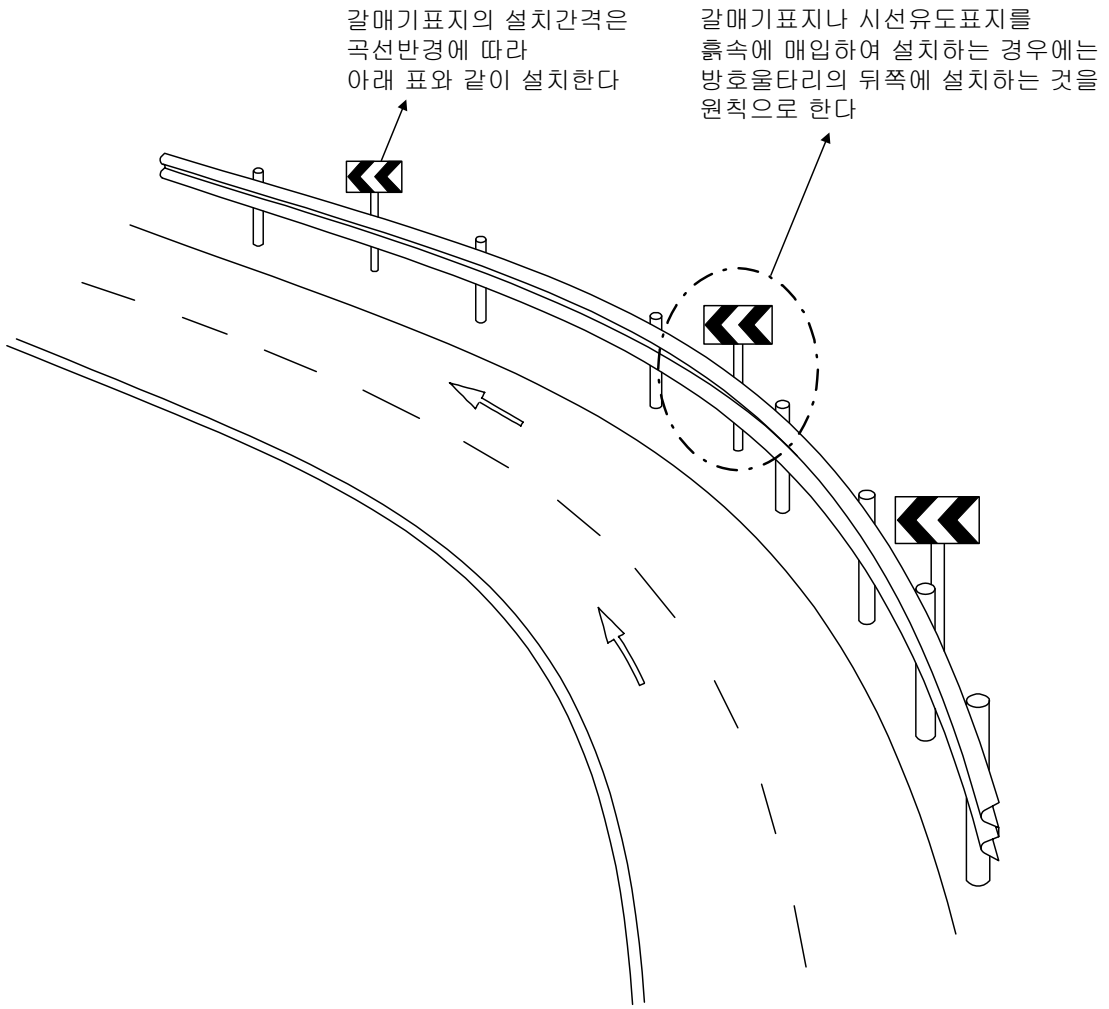
<표 804.1.13> 반사체의 반사성능

(단위 : mcd/lx)

측광 기하조건		반사성능		
관측각	입사각	하얀색	노란색	파란색
0.2°	0°	279	167	26
0.2°	20°	112	67	10
0.3°	5°	220	110	20
1°	10°	25	12.5	2

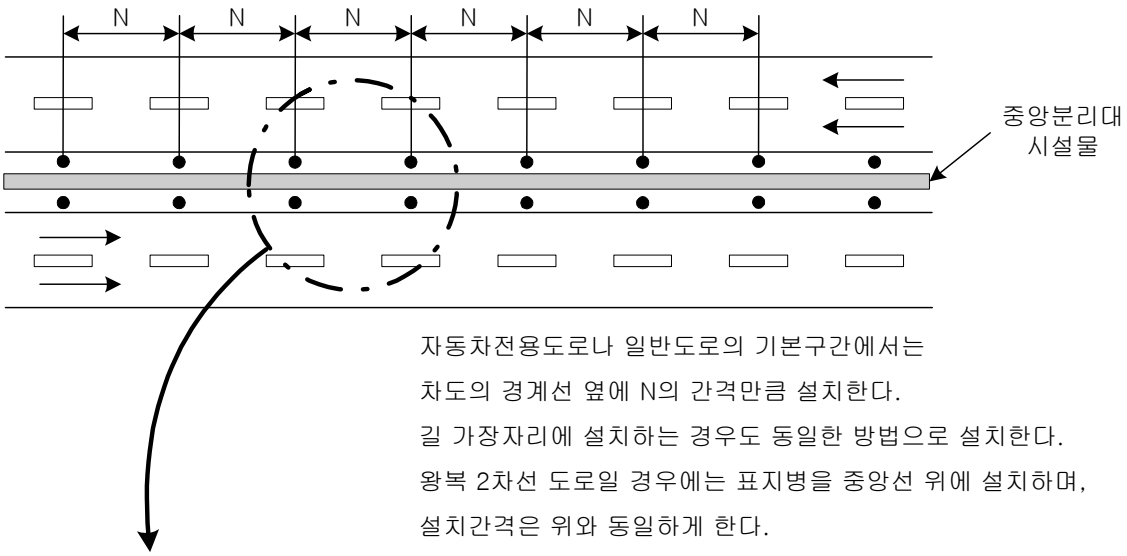
1.3 종합적 설계

1.3.1 갈매기표지의 설치방법

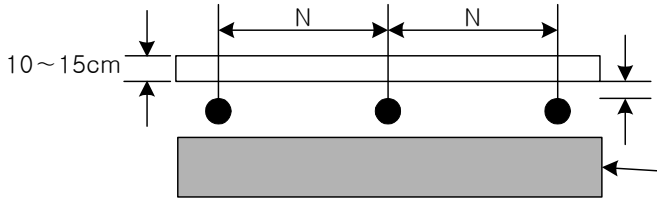


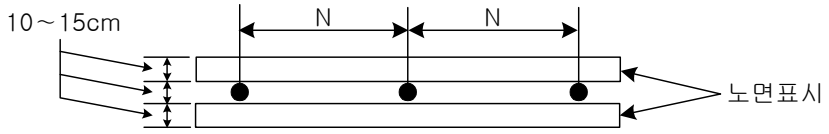
곡선반경	설치간격(m)	곡선반경	설치간격(m)
50 이하	8.0	246~320	25.0
51~80	12.0	321~405	30.0
81~125	15.0	406~500	35.0
126~180	20.0	501~650	38.0
181~245	22.0	651~900	45.0

1.3.2 표지병의 설치방법

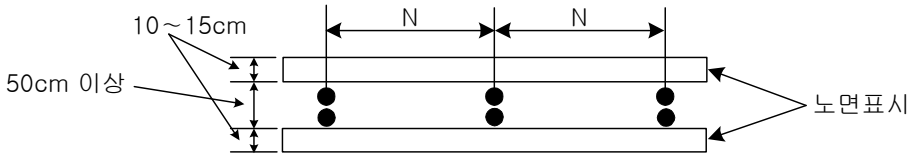


자동차전용도로나 일반도로의 기본구간에서는
차도의 경계선 옆에 N의 간격만큼 설치한다.
길 가장자리에 설치하는 경우도 동일한 방법으로 설치한다.
왕복 2차선 도로일 경우에는 표지병을 중앙선 위에 설치하며,
설치간격은 위와 동일하게 한다.



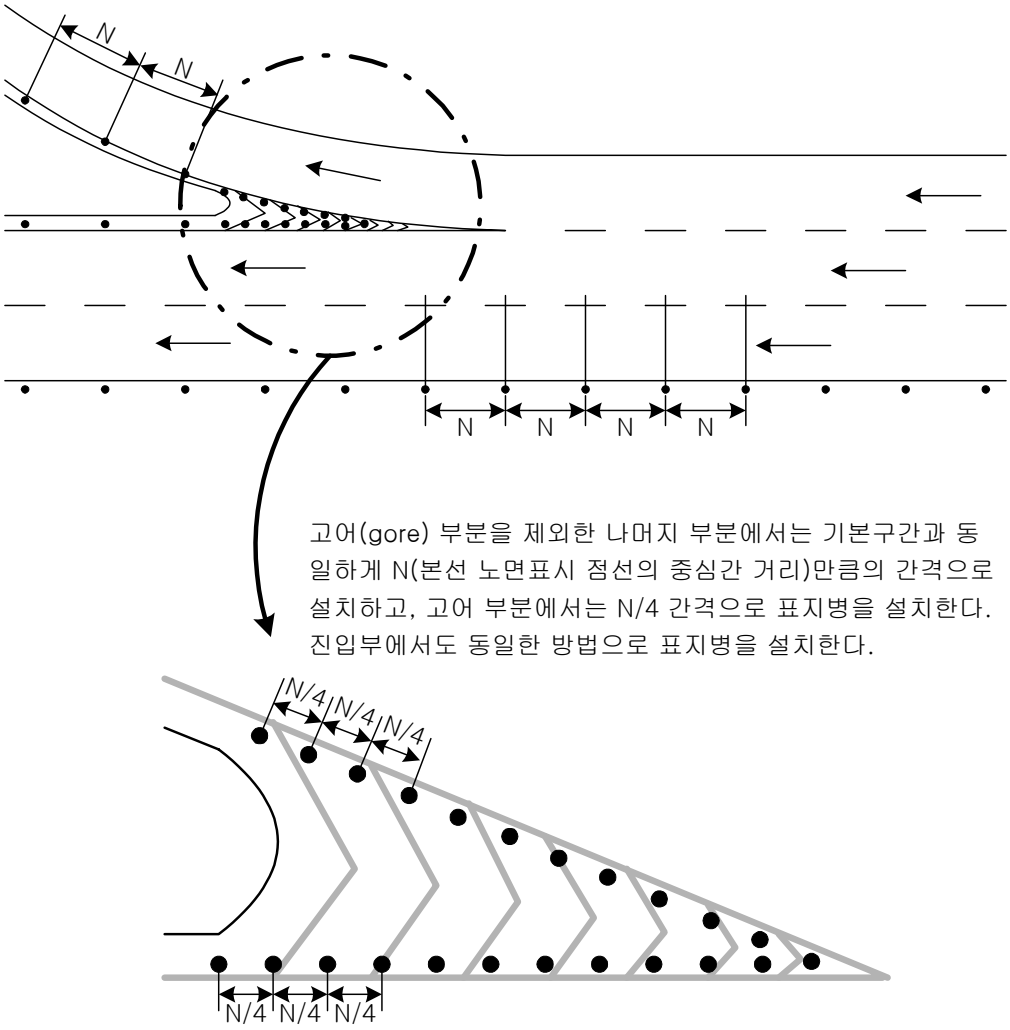


복선으로 이루어진 중앙선 노면표시에서 실선의 폭과
실선 사이의 간격이 같은 경우에는 실선 사이의 가운데
에 한개씩만 설치

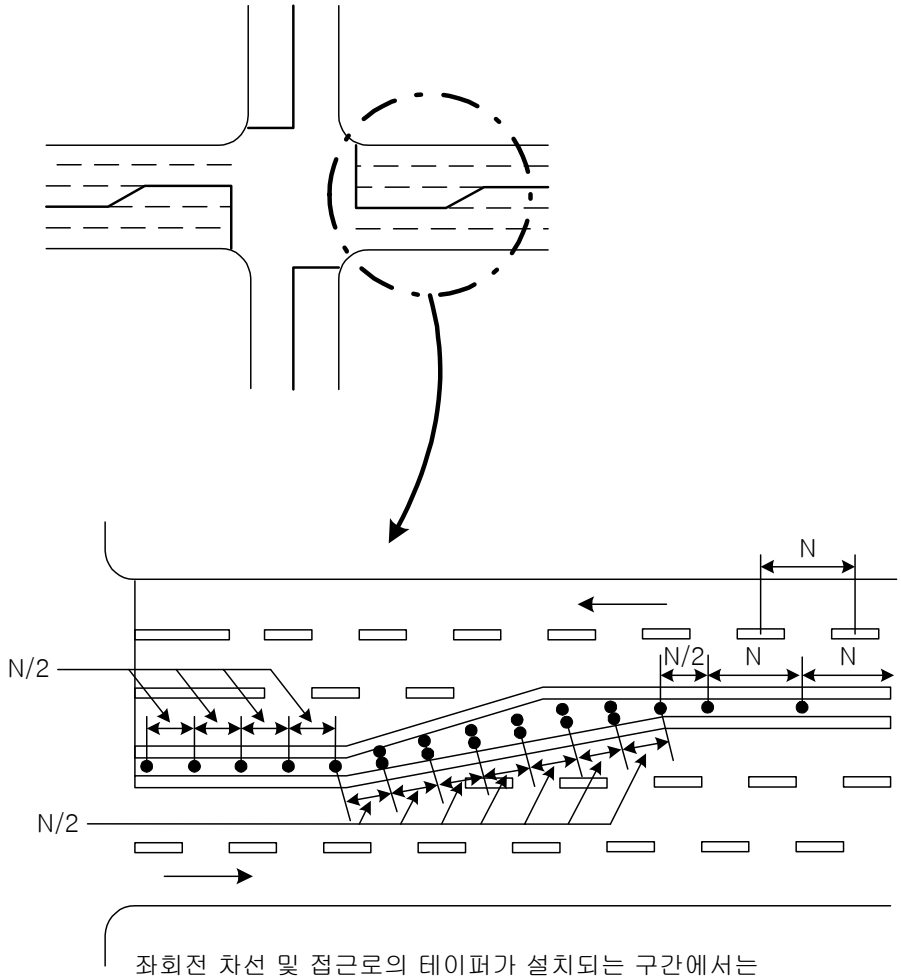


실선 사이의 간격이 50㎝ 이상일 경우에는
양쪽에 한개씩을 대칭으로 설치한다.

1.3.3 인터체인지 유출부에서의 표지병 설치방법



1.3.4 좌회전 차로에서의 표지병 설치방법



좌회전 차선 및 접근로의 테이퍼가 설치되는 구간에서는
N/2 간격으로 설치한다. 테이퍼 구간에서는 양쪽에 한 개씩
대칭으로 설치한다.

804.2 조명시설

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

도로조명은 도로의 구조·시설에 관한 규칙 제30조에 의하여 설치되는 도로의 부속시설로서, 야간이나 터널과 같이 밝기가 급변하는 장소에서 도로이용자가 항상 안전하고 불안감 없이 통행할 수 있도록 적절한 시각 정보를 제공하기 위해 도로에 설치하는 도로안전시설이다.

조명시설의 기능은 다음과 같다.

(1) 교통 안전의 향상

(2) 도로 이용 효율의 향상

(3) 차량운전자의 불안감 제거와 피로의 경감

(4) 보행자의 불안감 제거

(5) 범죄의 방지와 감소

(6) 운전자의 심리적 안정감 및 쾌적감을 제공

(7) 운전자의 시선을 유도함으로써 보다 편안하고 안전한 주행

1.1.2 종류

일반적으로 조명시설에는 연속조명(連續照明)과 국부조명(局部照明), 그리고 터널조명이 있다. 본 조명시설편에서는 연속조명과 국부조명에 대해서만 다루기로 하고 터널조명은 터널편에서 다루기로 한다.

연속조명이란 도로의 어느 구간에 일정 간격으로 그 구간 전체를 조명하는 것을 말하며, 국부조명이란 도로의 필요개소에 국부적으로 조명하는 것을 말한다.

1.1.3 관련 기준

- 도로안전시설 설치편람, 건설부, 1989
- 도로안전시설 설치 및 관리지침-교량용 방호울타리·조명시설 편, 건설교통부, 1999

1.2 설계기준

1.2.1 설치장소

도로조명은 모든 도로에 설치하는 것이 바람직하지만 도로조명을 설치하고 유지하는데 소요되는 비용이 문제가 되기 때문에 설치효율이 큰 구간부터 우선적으로 설치한다. 즉, 도로조명은 야간에 교통사고 발생의 우려가 높은 곳이 제일 우선한다.

일반적으로 조명시설의 설치장소는 <표 804.2.3>과 같다.

1.2.2 연속조명의 설계

(1) 조명기준

도로 조명의 질을 결정하는데 있어 기본적으로 사용하고 있는 기준은 평균노면휘도이다. 조명시설의 노면휘도는 노면의 종류, 건습의 정도에 따라 달라지는데, 일반적으로 조명시설의 운전자에 대한 평균노면휘도, 균제도 및 눈부심 조절마크는 <표 804.2.1>을 따르는 것을 원칙으로 하며, 보행자에 대한 조명기준은 <표 804.2.2>를 원칙으로 한다.

<표 804.2.1> 운전자에 대한 조명기준

항목 / 도로분류	평균노면휘도 L (cd/m^2) 외부조건 A	평균노면휘도 L (cd/m^2) 외부조건 B	종합 균제도 U_o	차선축 균제도 U_l
고 속 도 로	2.0	1.0	0.4	0.7
주 간 선 도 로	2.0	1.0	0.4	0.7
보 조 간 선 도 로	2.0	1.0	0.4	0.5
집산 및 국지도로	1.0	0.5	0.4	0.5

주) 1. 외부조건 A : 도로변의 조명환경이 밝은 경우
외부조건 B : 도로변의 조명환경이 어두운 경우
2. 교통량이 적은 경우에는 외부조건이 A 일지라도 L의 값을 최소한 0.5~1cd/m^2로 낮추어 적용할 수 있다.

<표 804.2.2> 보행자에 대한 조명기준

야간 보행자 교통량	지 역	조 도(lx) 수평면 조도	조 도(lx) 연직면 조도
교통량이 많은 도로	주택 지역	5	1
	상업 지역	20	4
교통량이 적은 도로	주택 지역	3	0.5
	상업 지역	10	2

주) 1. 수평면 조도는 보도 노면상의 평균 조도
2. 연직면 조도는 보도 중심선 상에서 노면으로부터 1.5m 높이의 도로축과 직각인 연직면상의 최소 조도

<표 804.2.3> 도로조명의 설치장소

조명 방식	도로 구분	설 치 장 소	비 고
연속 조명	고속 도로	• 시가지 도로에서 도로와 인접한 건물 등의 빛이 도로 교통에 영향을 미치는 구간 • 인터체인지, 휴게 시설 등 조명 시설이 설치되어 있는 장소 사이에 있는 구간으로, 그 연장이 1km 이하인 구간 • 상기 이외의 경우로, 연속 조명을 필요로 하는 특별한 상황에 있는 구간	상기 이외의 경우는 안개가 발생하기 쉬운 특수한 기상 조건하에 있는 구간, 길어깨 및 차로, 중앙분리대의 폭이 표준치 이하로 축소되어 있는 구간, 야간교통이 크게 늘어난 구간, 연속조명이 있는 다른 도로와 접속해 있는 구간 등을 뜻한다.
	일반 도로	• 연평균 일교통량이 25,000대 이상인 시가지 도로 • 연평균 일교통량 25,000대 이하일지라도 필요하다고 인정되는 경우	연평균 일교통량 25,000대 미만의 시가부 도로에서는 야간에 보행자 교통량이 많은 경우, 도로밖에서의 불빛이 자동차 운전에 지장을 주는 등의 특히 필요한 구간에 도로조명설치
국부 조명	고속 도로	다음과 해당하는 장소는 원칙적으로 설치한다. • 교차점, 합류점·분류점 • 톨게이트 • 휴게소 • 입체 교차부 다음에 해당하는 장소는 필요에 따라 설치한다. • 도로의 폭, 선모양이 급변하는 곳 • 교량 • 버스정차대 • 교통사고의 발생 빈도가 높은 장소 • 상기 이외의 경우로 국부조명이 필요한 장소	
	일반 도로	다음에 해당하는 장소는 원칙적으로 설치한다. • 신호기가 설치되어 있는 교차로 또는 횡단보도 • 장대 교량 • 야간교통에 특히 위험한 장소 다음에 해당하는 장소에 필요에 따라 설치한다. • 교차로 또는 횡단보도 • 다리 • 도로의 폭, 선모양이 급변하는 곳 • 건널목, 버스정거장 • 역 앞 광장 등 공공시설과 접해있는 도로 부분 • 상기 이외의 경우로 국부조명이 특히 필요한 장소	

<표 804.2.1>에서 종합 균제도(U_O)는 노면 휘도분포의 균일한 정도를 나타내는 비율로서 노면상에서의 최소 휘도(L_{min})와 평균노면휘도(L)의 비(L_{min} / L)를 의미한다. 그리고, 차선축 균제도(U_l)는 전방 노면의 눈에 보이는 밝기 분포의 균일한 정도를 나타내는 휘도의 비율로서 차로 중심선상에서의 최소 휘도(L_{min})와 동일한 차로 중심선상에서의 최대 휘도(L_{max})의 비(L_{min} / L_{max})를 의미한다. 운전자에게 보이는 건조 노면의 종합 균제도(U_O) 및 차선축 균제도(U_l)는 도로의 종류에 따라 <표 804.2.1>에 나타낸 값 이상으로 한다.

조명시설에 의한 불쾌한 눈부심의 규제 정도를 나타내는 눈부심 조절마크 G는 다음 식으로 계산되며, <표 804.2.1>에 나타낸 값 이상을 적용한다.

$$G = SLI + 0.97 \log L + 4.41 \log h - 1.46 \log p$$

여기에서,

SLI : 조명기구의 고유 눈부심 지수

L : 평균노면휘도 (cd/m^2)

h : 관측자 눈 위치에서 조명기구까지의 높이

즉, (조명기구의 설치높이) - 1.5 (m)

p : 도로 구간 1 km 당 조명기구의 수 (대)

눈부심 조절마크 G의 값과 눈부심 정도와의 관계는 <표 804.2.4>와 같은 감각척도로 나타낼 수 있으며, G의 값이 클수록 불쾌한 눈부심은 줄어든다.

<표 804.2.4> 눈부심 조절마크와 감각척도

눈부심 조절마크의 값	감 각 척 도
1	참을 수 없음
3	방해가 됨
5	허용할 수 있는 한계
7	충분히 제어된 상태
9	신경 쓰이지 않음

(2) 조명방식의 선정

연속 조명에 채택되는 조명 방식은 등주 조명방식을 원칙으로 한다. 다만, 도로의 구조, 교통상황 등에 따라 하이마스트 조명방식, 구조물설치 조명방식, 커티너리 조명방식 등을 사용 또는 병용해도 된다.

① 등주 조명방식

이 방식은 도로조명에서 가장 널리 사용하고 있으며, 등주에 조명기구를 설치하고, 도로를 따라서 등주를 배치하여 조명하는 방식이다. 이 조명방식의 장점은 필요한 장소에 비교적 쉽게 설치가 용이하고, 도로 선형의 변화에 따라 등기구의 배치가 가능하여 곡선부 등에서의 유도성이 양호하고, 조명효과도 좋으며, 또한 등기구 수가 적어서 경제적인 조명이 가능하다. 결점으로서는 선형이 복잡한 경우에는 등주의 설치가 많아져야 하고, 주간시에는 미관을 해칠 수도 있다.

② 하이마스트(high mast) 조명방식

이 조명방식은 높이 20m 이상의 장주에 대용량의 광원을 가진 조명기구를 다수 설치하여 넓은 범위를 조명하는 방식으로 입체교차부 등에 적용된다.

이 방식은 등기구를 높은 위치에 설치하기 때문에 노면상의 휘도 균제도가 우수하고, 운전자가 도로의 구조 및 교통상황 등을 먼 거리에서도 알 수가 있으며, 하이마스트의 설치개수가 적어서 주간시 미관도 양호하다. 또한, 다수의 등기구를 취부하기 때문에 감광, 감등으로 균제도를 저하시키지 않고 유지할 수 있으며, 광원의 수명이 완료되어 점등되지 않아도 교통에 미치는 영향이 적고, 유지관리상 작업도 용이한 장점이 있다. 그러나, 결점으로서는 노면 이외의 장소에 빛이 많기 때문에 조명 효율이 나쁘다.

③ 구조물설치 조명방식

이 조명방식은 도로상 또는 도로 가까이에 구조물이 설치되어 있는 경우, 구조물에 직접 조명기구를 부착하여 도로를 조명하는 방식이다. 이 방식의 잇점은 등기구를 취부하는 등주 등이 필요 없으므로 다른 방식에 비해 시설비가 저렴하다. 그러나, 조명기구의 취부 위치에 제한을 받을 뿐만 아니라 광원과 조명기구의 선정에 제한을 받는 경우가 있다.

④ 커티너리 조명방식

이 조명방식은 도로 본선의 중앙분리대상에 도로의 축에 연하여 60 ~ 100m 간격으로 등주(15 ~ 20m)를 설치하고, 여기에 커티너리선을 길게 설치하고 조명기구를 매달아 조명하는 방식이다. 이 방식은 종래의 등주 조명방식에 비하여 조명, 구조, 미관, 안전성 등의 면에서 많은 특징을 가지고 있다.

(3) 광원

도로조명에 사용하는 광원은 저압나트륨램프, 고압나트륨램프, 메탈할라이드램프와 형광수은램프 등이 있으며, 일반적으로 광원의 선정에 있어서는 조명기구과 관련해서 다음의 사항을 고려한다.

- 조명기구의 효율이 높으며, 수명이 긴 것
- 광색(光色)과 연색성(演色性)이 적절한 것
- 주위 온도의 변동에 대해서 안정한 것

도로 조명에 많이 사용되고 있는 형광수은램프, 나트륨 램프와 메탈할라이드 램프의 특징은 다음과 같다.

① 형광수은 램프

형광수은 램프는 수명이 길고, 연색성이 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나 램프가 한번 소등되면 수은 증기압이 저하될 때까지 많은 시간이 소요되어 재점등하기 힘들다.

② 저압나트륨램프

저압나트륨램프는 효율이 가장 우수하지만, 단색광이므로 연색성이 좋지 않다.

③ 고압나트륨램프

고압나트륨램프는 효율이 저압나트륨램프보다 떨어지나, 수명이 길고, 연색성이 우수하다. 펄스전압을 필요로 하는 이 램프는 펄스발생장치(시동기)를 램프에 내장시킨 것과 안정기 등에 수용시킨 것이 있으며, 효율은 시동기 내장형이 약 10% 높다.

④ 메탈할라이드램프

메탈할라이드램프는 수은램프의 효율 및 연색성을 개선하기 위해 개발된 고압방전등이다. 발광관 내부에 토륨, 인듐 및 나트륨 등의 금속 원소를 봉입하여 특유의 스펙트럼으로 강력하게 발광하도록 되어 있다. 이로 인해 뛰어난 연색성을 가지며, 효율이 높고, 광원색이 자연색에 가까워 매우 효과적이다.

(4) 조명기구

조명기구는 원칙적으로 한국산업규격(KS C 7611 도로조명기구)에서 규정하는 조명기구로 하고, 도로의 종류 및 특성에 따라 눈부심을 제한하여 적정한 것을 선정한다.

조명기구의 형식은 운전자의 눈부심을 제한하는 정도에 따라 컷오프형과 세미 컷오프형으로 구분된다.

① 컷오프형 기구

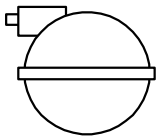
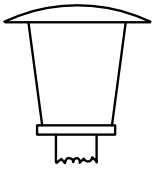
주행하는 차량의 운전자에 대하여 눈부심을 주지 않도록 광도를 엄격하게 제한한 배광을 말하며, 주변이 어두운 장소에서도 거의 눈부심을 느끼지 않아야 한다. 이 기구의 균제도를 좋게 하기 위해서는 등주의 간격을 가까이 설치할 필요가 있으며, 일반적으로 고속도로 및 주요 장소 등 주변이 어둡고 밝은 조명이 필요한 장소에 적합하다.

② 세미컷오프형 기구

컷오프형보다 광도의 제한을 다소 늦춘 배광으로서 현재 일반 도로 조명에 가장 많이 적용되고 있다.

등주 등에 장착하는 조명기구는 <표 804.2.5>와 같이 수은등의 경우, 형태에 따라 고속도로(highway)형, 둥근형, 폴헤드(pole head)형으로 분류되며, 형광등 기구, 나트륨등 기구, 메탈할라이드등 기구가 있다(KS C 7611 도로조명기구, KS D 3600 철재 가로등주 참조).

<표 804.2.5> 조명기구의 종류

광원별 조명기구	조명기구 형식	
수은등 기구	등 근 형	
	고 속 도 로 형	
	폴 헤 드 형	
형광등 기구		
나트륨등 기구		
메탈할라이드등 기구		

본 지침에서는 조명의 효율을 고려하여, 고속도로형의 설치를 원칙으로 하며, 도로주변이 밝은 경우 모든 도로에 세미 컷오프형, 고속도로 등의 자동차전용도로와 일반도로의 주간선도로에서는 컷오프형의 적용을 원칙으로 한다.

조명기구의 선정은 조명의 질을 결정하는데 매우 중요하므로, 조명기구의 효율과 조명률이 높아야 하며, 눈부심의 제한에 특히 유의하여 선정하여야 한다. 또한, 조명시설의 설치로 인해 도로 주변의 농작물 등에 영향을 주는 경우에는 그 방향의 배광 제한을 고려하여 적용한다.

(5) 조명기구의 배치□배열

조명기구를 배치·배열하는 데에는 설치높이, 오버행, 경사각도, 설치간격 및 유도성 등을 고려한다.

① 조명기구 설치높이, 오버행 및 경사각도

가. 조명기구의 설치높이

조명기구의 설치높이는 원칙적으로 10m 이상으로 한다. 그러나, 기타 도로구조물의 위치, 인접 도로에 대한 눈부심 방지, 공항 부근 등 법령 등에 따라 높이가 제한되어 있는 경우에는 이 규정에 따르지 않는다.

도로폭이 동일한 연속되는 도로의 조명기구 설치높이는 일정하게 유지시킨다.

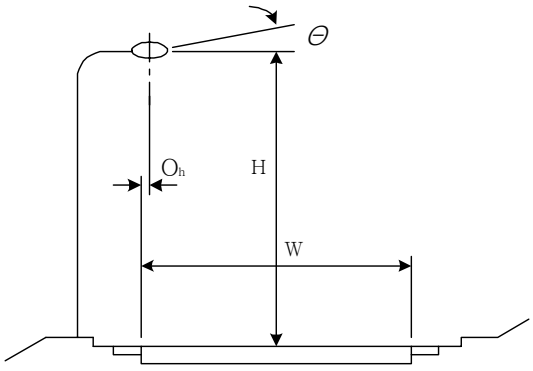
나. 오버행(O_h)

오버행은 <그림 804.2.1>과 같이 광원의 중심과 차도 끝부분까지의 수평거리를 의미한다.

오버행은 가능한 짧게 하는 것이 바람직하다. 그러나, 도로를 따라 조명의 빛을 차단하는 수목이 있을 경우에는 이를 적용하지 않아도 되며, 연속되는 도로의 조명시설에서 오버행은 일정하게 적용하는 것을 원칙으로 한다.

다. 경사각도(θ)

조명기구의 경사각도를 크게 하면, 평균노면휘도와 휘도균제도는 증가하게 된다. 그러나, 경사각도가 커질수록 운전자의 시야에 강한 빛이 들어오게 되어, 불쾌감이 증가하므로 경사각도는 원칙적으로 5°이내로 설정한다.



W : 차도폭 (m)
H : 조명기구의 설치높이 (m)
O_h : 오버행(over hang) (m)
θ : 경사각도 (도)

<그림 804.2.1> 등주 조명방식의 조명기구 부착높이, 오버행 및 경사각도

② 조명기구의 배열

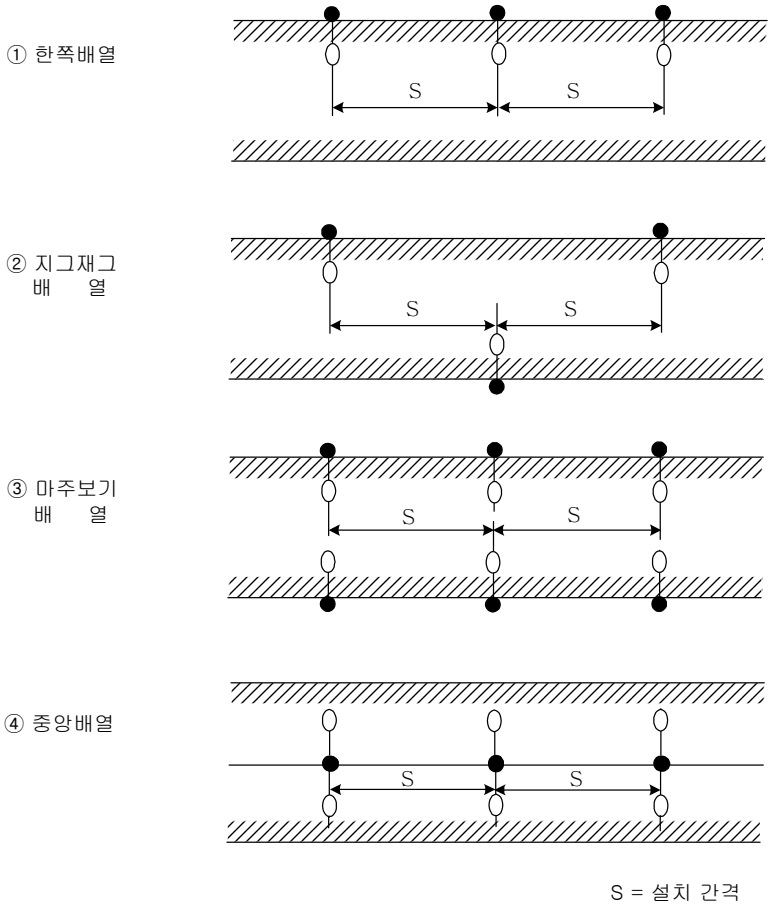
조명기구의 배열은 도로의 횡단면, 차도폭, 조명기구의 배광 형식 등에 따라 한쪽배열, 지그재그배열, 마주보기배열, 중앙배열 중에서 적절한 것을 선택하여 사용한다(<그림 804.2.2> 참조). 도로의 횡단면 및 도로폭에 따라서 이들을 조합하여 설치하는 것이 바람직하다.

③ 조명기구의 설치간격, 높이 및 배열 관계

조명기구의 간격은 설치높이, 배열에 따라 <표 804.2.1>의 종합균제도 및 차선축균제도의 기준을 만족하여야 한다.

각종 배열에 대하여 차도폭에 대한 설치높이 및 설치간격의 관계를 <표 804.2.6>에 제시하였으며, 이는 균제도를 일정한 수준으로 유지하기 위해 조명기구의 배광 및 배열에 대한 일정 한도를 규정한 것이다. 여기서, 조명기구와 차도폭에 따른 설치높이의 관계는 도로 횡방향의 휘도균제도를 확보하기 위한 것이며, 조명기구의 설치높이와 설치간격과의 관계는 도로 종방향의 휘도균제도를 확보하기 위한 것이다.

한쪽 배열, 마주보기 배열 및 중앙배열에서 상하단으로 구분하여 제시한 것은 차도폭에 비해 등주의 설치높이가 비교적 높은 경우에는 설치간격을 넓혀도 무관하기 때문에, 설치간격에 보다 여유를 제공할 수 있도록 하였다.



<그림 804.2.2> 조명기구의 배열

또한, <표 804.2.7>은 차도폭에 대한 조명기구의 높이와 최대 간격과의 관계를 나타낸 것이다. 표의 차도폭 6~7m는 양방향 2차선 도로, 양방향 4차선 도로의 한쪽배열에 관한 예이고, 차도폭 9~10.5m는 양방향 6차선 도로의 한쪽배열이며, 12~14m는 중앙분리대가 없는 양방향 4차선 도로에 관한 예이다.

조명기구의 설치높이는 현재 많이 적용되고 있는 8, 10, 12m의 세 종류로 하였으며, 표에서 제시하고 있는 이외의 수치는 <표 804.2.6>에 따라 적용한다. <표 804.2.7>의 설치간격은 필요한 휘도균제도를 얻기 위한 최대값으로, 설치간격이 48m를 초과하는 경우에는 조명기구의 높이를 조정하는 것이 바람직하다.

<표 804.2.6> 배열과 조명기구 종류에 대한 설치높이와 설치간격

배광 / 설치 높이 및 간격 / 배 열	컷오프형		세미컷오프형	
	설치 높이 H	설치간격 S	설치 높이 H	설치간격 S
편 측	≧ 1.0W	≦ 3.0H	≧ 1.1W	≦ 3.5H
	≧ 1.5W	≦ 3.5H	≧ 1.7W	≦ 4.0H
엇 갈 림	≧ 0.7W	≦ 3.0H	≧ 0.8W	≦ 3.5H
마 주 보 기	≧ 0.5W	≦ 3.0H	≧ 0.6W	≦ 3.5H
	≧ 0.7W	≦ 3.5H	≧ 0.8W	≦ 4.0H

<표 804.2.7> 차도폭에 대한 조명기구의 설치높이와 최대 간격

(단위 : m)

설치 높이	차도폭	6 ~ 7m		9 ~ 10.5m		12 ~ 14m	
	조명기구 / 배열	컷오프형	세미 컷오프형	컷오프형	세미 컷오프형	컷오프형	세미 컷오프형
8	한쪽	24	28	-	-	-	-
	지그재그	24	28	24	-	-	-
	마주보기	-	-	28	28	24	-
10	한쪽	30	35	-	-	-	
	지그재그	30	35	30	35	-	-
	마주보기	-	-	35	40	30	35
12	한쪽	42	48	36	42	-	-
	지그재그	-	-	36	42	36	42
	마주보기	-	-	42	48	42	48

④ 곡선부의 조명기구 배치

곡선반경 1,000m 이하인 곡선부 도로의 조명기구 배치는 곡선부 노면의 양호한 휘도 분포와 정확한 유도성을 얻기 위해 조명기구를 도로의 선형에 따라 설치하고, 설치간격은 줄여서 배치시킨다.

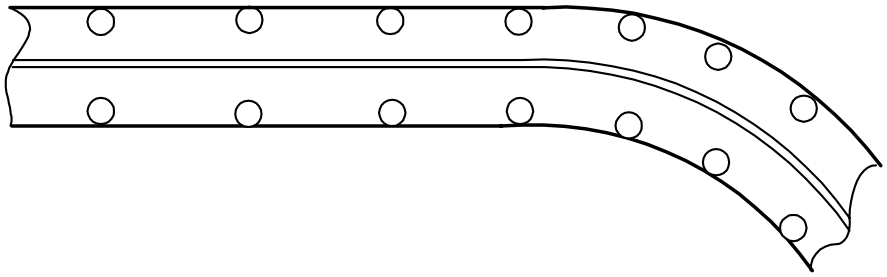
곡선반경이 매우 작은 곡선부 또는 급격한 굴곡부에서는 조명기구의 설치간격을 줄이고, 운전자로 하여금 조명기구의 배열로 인한 곡선부의 존재 또는 도로 선형의 변화에 대한 판단 착오를 일으키지 않도록 유의하여 설치한다.

곡선부에서의 조명기구 설치간격은 <표 804.2.8>과 같으며, 곡선부의 바깥쪽에 설치하는 조명기구는 <표 804.2.6>과 <표 804.2.8>의 값을 비교하여 낮은 값을 적용한다.

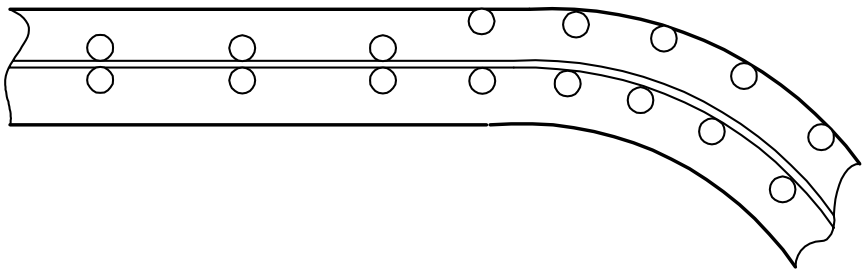
참고로, 마주보기 배열과 중앙 배열로 설치된 직선부와 연결되는 곡선부에서는 <그림 804.2.3>과 같이 마주보기 배열에서 지그재그 배열로 변경시키지 말고, <표 804.2.6>의 규정에 준하여 도로 외측의 조명기구 간격을 줄이거나, <그림 804.2.4>와 같이 각 차도의 외측에 한쪽 배열로 설치하는 것이 바람직하다.

<표 804.2.8> 곡선부에서의 조명기구 설치간격

곡선반경(m) / 설치 높이		300 이상	250 이상	200 이상	200 미만
설치간격 (m)	12m 미만	35 이하	30 이하	25 이하	20 이하
	12m 이상	40 이하	35 이하	30 이하	25 이하



<그림 804.2.3> 곡선부에서 마주보기 배열(잘못된 사례)



<그림 804.2.4> 곡선부에서 한쪽 2열 배열

(6) 설치

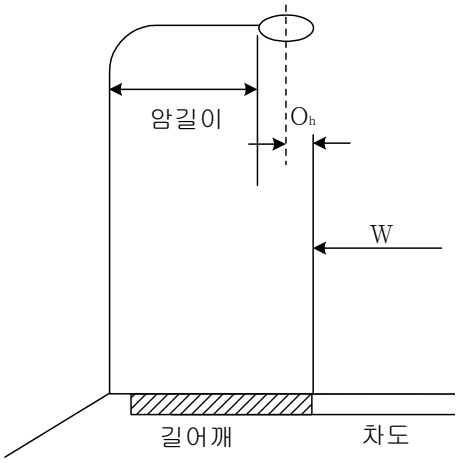
조명시설은 설치지점의 도로·교통조건을 충분히 조사한 후에 설치하여, 시설이 제 기능을 발휘할 수 있도록 한다. 특히, 설치 대상 지역 및 지점의 조건, 도로의 미관, 유지관리의 용이성 등을 고려하여 설치한다.

① 등주의 설치위치

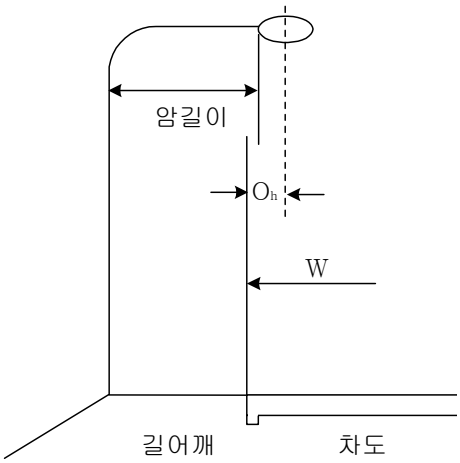
차량과 등주의 충돌 사고를 줄이기 위해서 등주는 시설한계의 외측에 차도로부터 가능한 멀리 떨어진 곳에 설치하는 것이 바람직하다.

등주의 설치위치가 지형적 제한으로 차도에 인접하여 차량 충돌의 위험이 있는 곳에는 차량용 방호울타리를 설치한다.

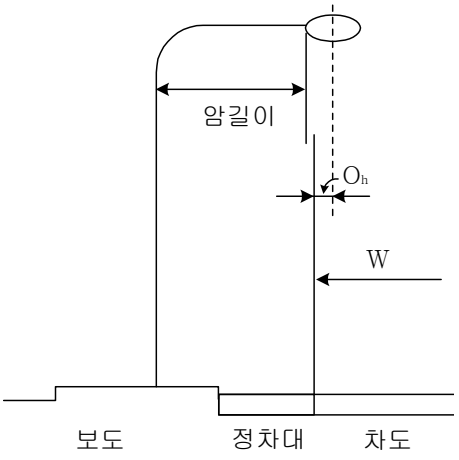
<그림 804.2.5>는 등주의 설치위치 예를 나타낸 것이다.



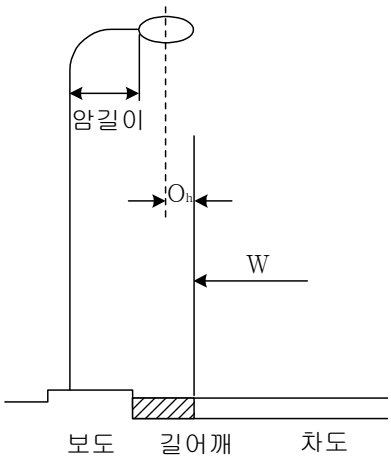
(a) 길어깨가 넓은 경우



(b) 길어깨가 좁을 경우



(c) 보도가 넓을 경우



(d) 보도가 좁을 경우

<그림 804.2.5> 등주의 설치위치 예

② 등주의 재료와 설치방법

가. 등주의 재료

도로조명용 등주는 철재 등주를 표준으로 하며, 형식은 설치조건에 따라 철재 등주, 조립식 등주, 단부 직관주(암과 등주가 일체화된 것.) 등이 사용된다. 재질은 일반구조용 압연강재 또는 일반구조용 탄소강관(두께 3.2mm)을 일반적으로 사용하고 있으며, 근래에 들어 내식성이 좋고 강도가 높은 스테인레스(STS304N1, 두께 2.5mm)를 사용하기도 한다(KS D 3698 참조).

또한, 등주는 조명기구의 중량에 따른 비틀림, 풍력에 의한 모멘트, 지진에 의한 흔들림, 차량 충돌 등의 외력에 대해 충분한 강도를 가져야 한다.

나. 마무리

철재 등주는 용융 아연도금 한 것을 사용하고, 볼트, 너트 등은 용융 아연도금 또는 스테인레스강을 사용하여야 한다(KS D 9521 참조).

스테인레스강 등주는 STS 304N1 또는 동등 이상의 것을 사용하고, 볼트, 너트 역시 스테인레스강을 사용한다.

다. 등주 설치방법

- 등주는 정해진 방향에 수직으로 세우도록 한다.
- 조명기구는 정해진 설치위치, 설치각도로 견고하게 설치한다.
- 등주는 도로 선형과 일치하도록 설치한다.
- 등주의 암은 도로 선형과 직각 방향으로 설치한다.
- 등주와 램프를 설치할 때는 방청보호막(도금, 도장 등)이 벗겨지지 않도록 주의하여 취급한다.

라. 관로

관로는 케이블공사를 용이하게 하고, 케이블을 보호하여 그 전기적 특성을 유지시켜 주는 기능을 가지며, 다음과 같은 기능을 갖도록 설치한다.

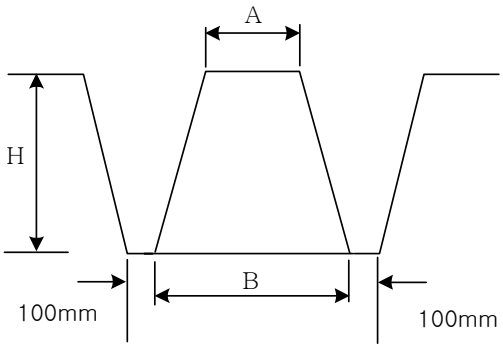
- 외부의 하중, 충격, 진동 등으로부터 케이블을 보호할 수 있는 충분한 기계적 강도를 가져야 한다.
- 관로 자체의 온도신축, 구조물의 신축, 지반 침하에 의한 신축 등의 인장 응력으로 인해 케이블이 휘어지지 않도록 한다.
- 병행하는 통신선로가 있는 경우, 정전유도를 주지 않도록 차폐효과를 가져야 한다.

마. 등주의 기초

등주의 기초는 일반 흙부분에 콘크리트로 설치하며, 정해진 위치에 등주를 견고하게 지지할 수 있도록 한다. 기초의 규격은 등주의 자중이나 풍하중을 고려하여 설계되어야 하며, 보통 토사에서의 일반적인 등주 기초의 규격은 <표 804.2.9>와 같다. 고가도로 등의 구조물이나 연약지반, 암반 등 기초 설치부분이 특수한 경우에는 별도의 검토가 필요하다.

<표 804.2.9> 등주별 기초 규격 사례

종 류	등주 형식		기초 규격 (A×B×H)
	높이 (m)	암 길이 (m)	
기본형	9	2.0	400×800×1,100
	9	2.3	400×800×1,100
	9	2.8	400×800×1,100
	10	2.0	400×800×1,200
	10	2.3	400×800×1,200
	10	2.8	400×800×1,200
	12	2.0	500×1,000×1,000
	12	2.3	500×1,000×1,100
	12	2.8	500×1,000×1,100
Y형	9	2.0	400×800×1,200
	9	2.3	400×800×1,300
	9	2.8	400×800×1,300
	10	2.0	500×1,000×1,000
	10	2.3	500×1,000×1,100
	10	2.8	500×1,000×1,300
	12	2.0	500×1,000×1,300
	12	2.3	500×1,000×1,300
	12	2.8	500×1,000×1,300



③ 제어반

여러 개의 조명기구를 적당한 분기회로로 나누어 점멸할 경우에는 차단기, 전자접촉기 등을 조합한 제어반을 설치한다. 제어반은 옥외에 설치되므로 방수형으로 설치하고, 빗물의 침입에 의한 성능 저하를 방지하기 위하여 전면 문의 패킹, 전선 인출구 등의 구조에 유의한다.

무선원격조종장치에 의해 일괄 점·소등이 가능한 무선원격수신기는 송신소에서 송출되는 신호가 차단되지 않도록 제어반 위치에 주의하여 설치한다.

제어반은 기초 위에 앵커볼트로 고정시켜 충격에 보호될 수 있도록 하고, 차량에 의한 사고를 예방하기 위한 보호시설도 고려한다. 특히, 유지관리를 위해 차도 끝에서부터 충분히

이격하여 설치하고, 차도 끝부분 가까이에 설치될 경우에는 제어반 문을 보도측에서 열 수 있도록 한다.

④ 통합주

조명시설을 배치할 경우 그 부근의 교통신호기, 도로표지 등의 안전시설물의 설치효과를 저해하지 않도록 충분히 주의한다. 그러나 조명시설로 인해 보행공간이 좁아지고, 미관상 좋지 않은 경우에는 도로·교통 조건을 고려하여 조명시설과 교통신호기, 도로표지 등이 일체화된 통합주의 설치를 검토하는 것이 바람직하다. 그리고, 교통신호기 설치 예정장소(교차로, 횡단보도 등)에는 케이블 부설용 배관을 매설한다.

⑤ 전기설비적 고려사항

가. 안정기

안정기는 램프 방전시 전류를 제한시키는데 사용되며, 안정기의 성능에 대해서는 한국산업규격(KS C 8104 고압수은 램프용 안정기, KS C 8108 나트륨 램프용 안정기, KS C 8109 메탈할라이드 램프용 안정기)에 의한 기술기준에 적합한 것을 선정한다.

나. 케이블

수전점(受電點)으로부터 조명기구에 급전하기 위한 케이블은 그 구간의 조건에 따라 배전방식에 적합한 종류를 선정한다.

- 직매케이블 배선 : 케이블을 지중에 매설하는 것으로 강대외장케이블을 사용한다.
- 전선관 배선 : 터널, 교량 등의 구조물에 매입 또는 노출시키는 것으로서 비닐전선관 또는 강제전선관을 부설하여 전선을 인입하며, 600V 비닐절연전선 또는 등주 리에틸렌케이블(EV, CV)을 주로 사용한다.
- 가공전선은 2.6mm 이상의 것을 사용하고, 지중전선로의 경우는 신축성이 좋은 연선을 사용한다. 간선의 경우 최소 굵기는 5.5mm^2 이상으로 하고, 최대 굵기는 시공성을 감안하여 60mm^{2}를 초과하지 않는 것이 바람직하다. 또한, 등주내 배선은 2mm^2 × 2 전력케이블로 배선한다.

다. 제어반내 전류계 설치

조명시설을 합리적으로 유지관리하기 위해서 제어반에 전류계를 설치하는 것이 바람직하다.

라. 배선 및 접지

배선이 관로내에서 접속되는 일이 없어야 한다. 접속박스 등에서 전선을 상호 접속할 때는 압착단자 등을 이용하여 구간 점검이 용이하게 하고, 충전부가 노출되지 않도록 충분히 절연처리 한다. 전선의 등주 기초 상부의 여유는 950mm를 기준으로 한다. 그리고, 주간선에서 분기하는 안정기 전원용 리드선은 길이 1000mm, 굵기는 3.5mm^{2}를 표준으로 한다.

방전등용 안정기의 외함 및 기구의 금속제 부분에는 전기설비기술기준에 준하여 접지공사를 하며, 등주의 접지는 등주 내부에 접지단자를 설치하여 접지하고, 기초 상단 여유길이는 750mm로 한다. 누전에 의한 보행자의 감전사고 방지를 위하여 등주는 개별 접지 시공하고, 교량 등 접지가 부적합한 지역은 전기회로별 접지점을 연결하는 공동접지로 시공한다.

마. 전주와의 이격

지상에 설치되어 있는 전주의 선로 높이를 고려하여 등주의 높이를 결정하고, 전기설비기술기준에 준하여 충분한 이격거리를 확보한다.

(7) 도로 조명의 운용

도로 교통 안전에 큰 영향을 주지 않는 범위 내에서 소비전력 절감을 도모하기 위해, 감광, 소등 등의 조절방법을 통하여 조명의 밝기를 조절할 수 있다.

① 조절 대상

도로조명의 조절 대상은 연속조명, 대규모의 국부조명등이 연속적으로 설치되어 있는 장소이며, 교차로, 횡단보도, 건널목 등과 같이 교통사고의 위험도가 높은 장소는 제외한다.

② 밝기의 정도

밝기의 정도는 <표 804.2.1>에서 정한 평균 노면휘도의 1/2까지 감광할 수 있으나, 최소한 0.5cd/m^2 이상을 확보하여야 한다.

③ 조절 방법

조절의 방법으로는 광속의 조절, 격간 소등 방법 등이 있다. 격간 소등방법은 배선 분리방법과 휘도균제도를 고려하여 적용한다.

④ 조절 시간대

조절 시간은 도로 주변의 밝기, 차량 및 보행자 등의 교통량에 따라 정한다.

1.2.3 국부조명의 설계

(1) 일반적 사항

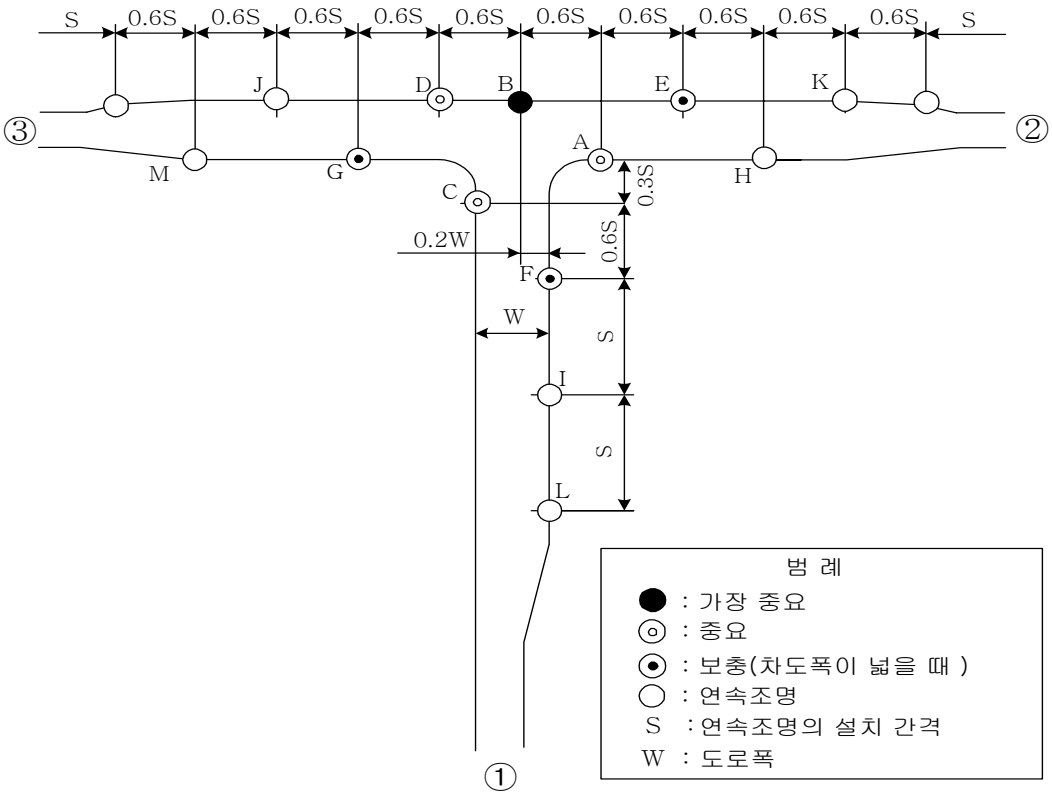
교차로, 횡단보도 등과 같이 차량의 방향 전환, 도로 횡단 등이 발생하는 특수한 장소에서는 방향을 전환하는 차량 전방의 노면을 밝고 균일하게 조명함과 동시에 접근하는 차량의 운전자가 특수한 장소의 존재와 그 부근 도로의 선형을 정확히 알 수 있도록 조명기구를 배치한다.

(2) 교차로, 도로 합□분류 구간의 조명설치

교차로, 도로 합·분류 구간에서의 조명기구 배치·배열은 도로조명의 효과에 더하여 방향을 전환하는 차량의 진행방향을 조명해주어, 운전자로 하여금 전방에 교차로의 존재, 교차로 부근 인접차량의 주행 여부와 같은 교통상황을 쉽게 인지할 수 있도록 설치한다. 이곳의 노면휘도 및 조명기구는 연속조명에 준한다.

① T자형 교차로에서의 조명기구 배치

<그림 804.2.6>은 T자형 교차로에서의 조명기구를 배치한 예이다.



<그림 804.2.6> T자로에서의 조명기구 배치

조명기구 A는 도로 ①에서 우회전하는 차량의 전방을 조명하고, ③에서 직진하는 차량에 대해 ①에서 좌·우회전해 오는 차량이 있음을 알려준다.

조명기구 B는 도로 ①에서 T자형 교차로로 접근해 가고 있는 차량에 대해 도로의 끝과 그 부근의 상황을 알려주는 역할을 한다.

조명기구 C는 도로 ②에서 좌회전 또는 ③에서 우회전하는 차량의 전방을 조명한다.

조명기구 D는 도로 ①에서 좌·우회전하는 차량에 대해 도로 ③에서 우회전 또는 직진하고 있는 차량이 있음을 알리고, 또 도로 ①에서 좌회전하는 차량의 전방을 밝혀 준다.

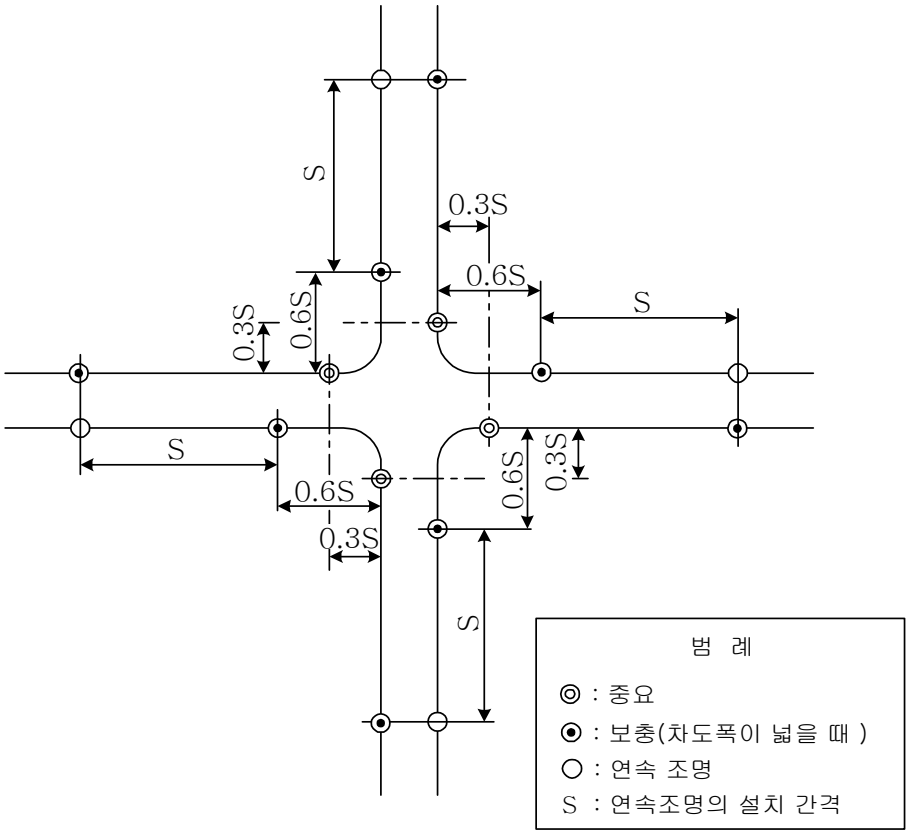
조명기구 E, F, G는 도로폭이 넓은 경우 각 조명기구 A, C, D의 효과를 보충해주는 역할을 한다.

조명기구 H, I, J, K, L, M은 각각 연속 조명의 조명기구로서, T자형 교차로의 조명에는 포함되지 않는다.

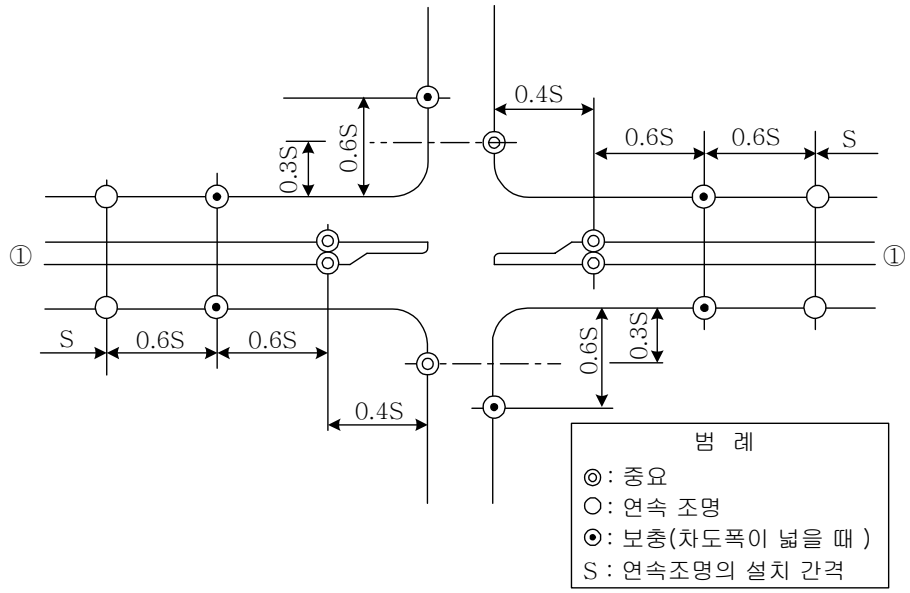
도로 ①에는 연속 조명이 설치되어 있지 않은데, 조명기구 I, L은 폭 구성의 변화를 명시하기 위한 조명이다.

② 십자형 교차로에서의 조명기구 배치

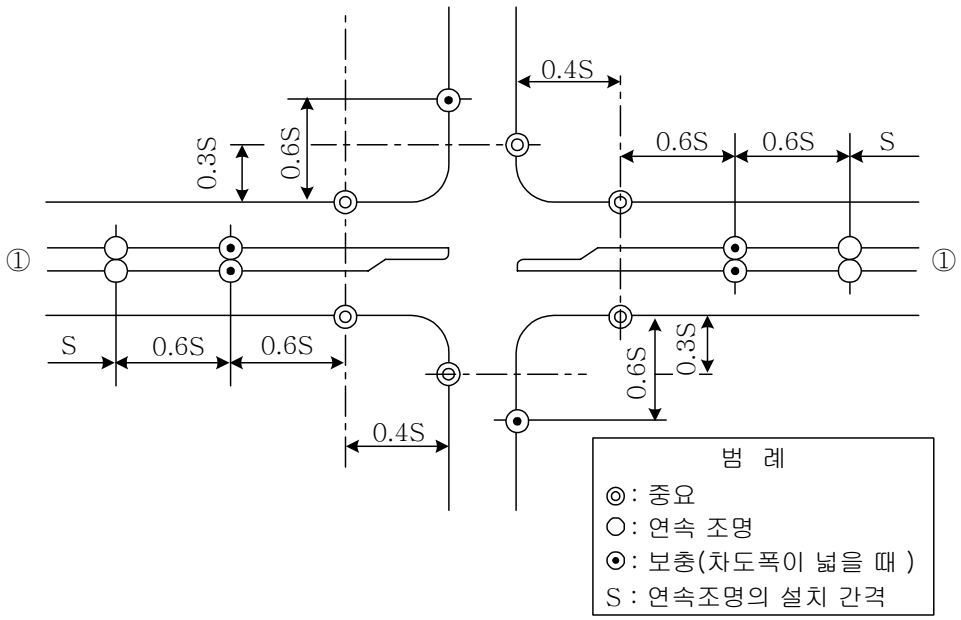
<그림 804.2.7>과 <그림 804.2.8>은 십자형 교차로에서의 여러 조명기구 배열을 나타낸 것으로, 각 조명기구의 효과는 T자형 교차로의 경우와 동일하다.



<그림 804.2.7> 도로폭이 비슷한 십자형 교차로에서의 조명기구 배치

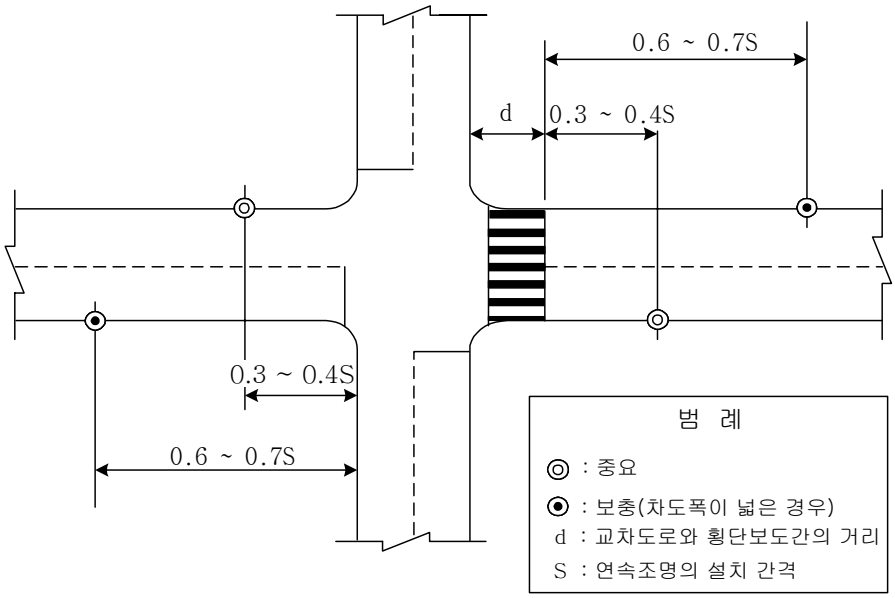


(a) 마주보기 배열



(b) 중앙배열

<그림 804.2.8> 중앙분리대가 있는 십자형 교차로에서의 조명기구 배치



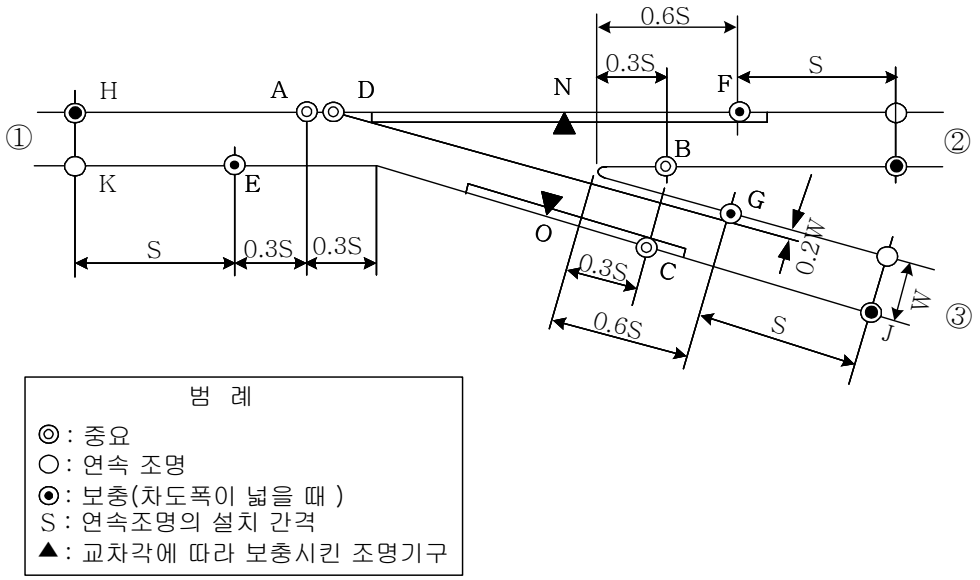
<그림 804.2.9> 횡단보도가 있는 십자형 교차로에서의 조명기구 배치

<그림 804.2.9>에서의 d는 교차하는 접근로와 횡단보도간의 거리를 나타내며, S는 연속조명의 거리를 의미한다. 여기서, d가 0.3S보다 큰 경우에는 횡단보도 조명을 해주어야 하며, 그보다 작은 경우에는 횡단보도가 교차로 조명과 동시에 적용된 것으로 간주할 수 있다.

③ Y자형 교차로에서의 조명기구 배치

Y자형 교차로는 주행 도로의 전방에서 오른쪽 또는 왼쪽으로 분기하는 지점으로, 운전자에게 시선을 명확히 유도해주는 것이 매우 중요하다.

<그림 804.2.10>은 우로 분기하는 지점에서의 조명기구 배치를 나타낸 것이다.



<그림 804.2.10> 우로 분기하는 지점에서의 조명기구 배치

<그림 804.2.10>에서 조명기구 A는 도로 ③에서 ①로 합류하는 차량의 전방을 조명하고 동시에, 도로 ②에서 ①로 직진하는 차량에 대해 도로 ③에서 ①로 합류하고 있는 차량이 있음을 알려준다. 조명기구 B는 도로 ①에서 ②로 직진하는 차량에 대해 도로 ③에서 ①로 합류하려는 차량이 있음을 알려주고, 도로 ③과 ②의 분기점 부근을 조명하여 도로 ②의 존재를 명확하게 해 준다.

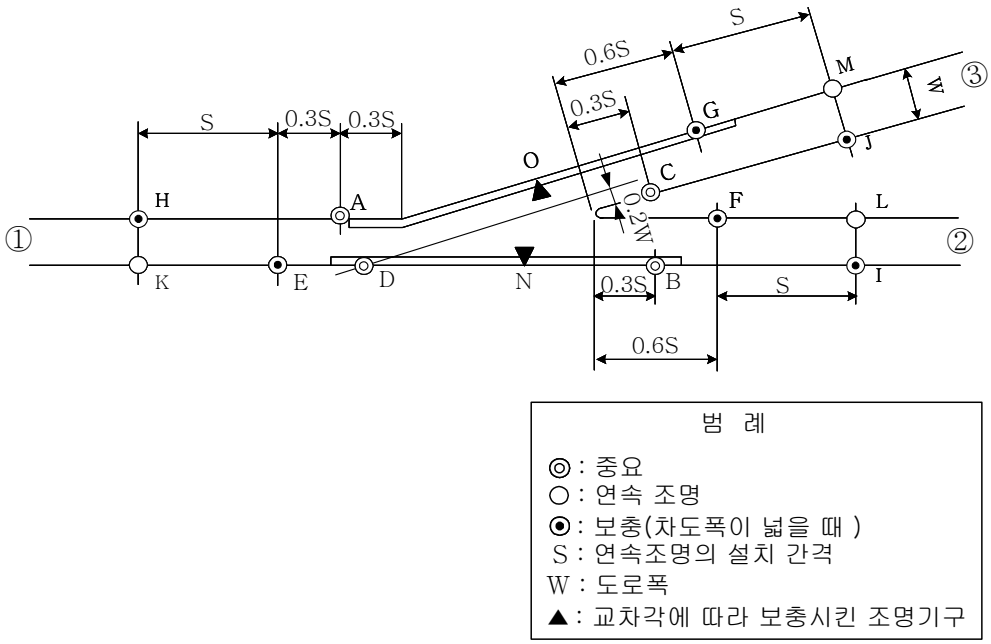
조명기구 C는 도로 ①에서 ③으로 분기하는 차량과 도로 ②에서 ③으로 좌회전하는 차량의 전방을 조명한다.

조명기구 D는 도로 ③에서 분기점으로 접근해 가고 있는 차량에 대해 도로 ③의 종단 부근 상황을 비추어 준다. 조명기구 E, F, G는 도로의 폭이 넓을 경우(각 조명기구 설치높이의 1.5배 이상), 각 조명기구 A, B, C의 효과를 보충하는 것으로, 좁은 도로에서는 생략해도 된다. 단, 좁은 도로라도 이 Y자형 교차로와 연속되는 부분이라면 도로 조명을 좁은 도로 부분부터 시작해야 한다.

조명기구 H, I, J는 각각 연속 조명의 조명기구를 나타내는 것으로, 원칙적으로 Y자형 교차로의 조명에는 포함시키지 않는다.

조명기구 K, L, M은 도로의 폭이 넓고, 마주보기 배열이 필요한 경우의 조명기구 위치를 나타낸다. 조명기구 B, D사이와 조명기구 A, C사이의 거리는 교차각에 따라 달라지는데, 이러한 조명기구의 간격이 0.6S 이상이 될 경우에는, 각 조명기구의 간격이 0.6S 이하가 되도록 조명기구를 추가로 설치하는 것이 바람직하다. 조명기구 N, O가 그 예이다.

또, 교차각의 영향으로 인해 조명기구 E와 D가 아주 근접하고, 그 간격이 0.3S 이하일 경우 두 지점의 중간에 하나만 설치하여도 된다.



<그림 804.2.11> 좌로 분기하는 지점에서의 조명기구 배치

<그림 804.2.11>의 좌로 분기하는 Y자형 교차로에서, 조명기구 A는 도로 ③에서 ①로 합류하는 차량의 전방을 조명하고, 동시에 도로 ②에서 ①로 직진하는 차량에 대해 도로 ③에서 ①로 합류하고 있는 차량이 있음을 알려주는 역할도 한다.

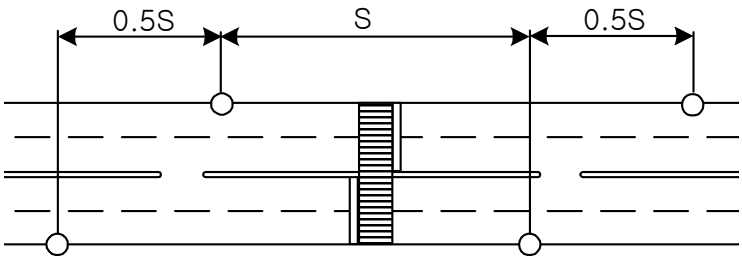
조명기구 B는 도로 ①에서 ②로 직진하는 차량에 대해 도로 ③에서 ①로 합류하려는 차량이 있음을 알려주고, 도로 ③과 ②의 분기점 부근을 조명하여 도로 ②의 존재를 명확하게 해준다.

조명기구 C는 도로 ①에서 ③으로 분기하는 차량에 대해, 분기점 부근을 밝게 하여 도로 ③이 존재하고 있음을 명확하게 해 준다. 조명기구 D 이하는 우로 분기하는 Y자형 교차로에서의 조명기구와 동일한 역할을 한다.

(3) 횡단보도의 조명설치

횡단보도 부근의 조명기구 배열은 횡단보도를 중심으로 하여 좌우 동일한 거리가 되도록 설치하며, 횡단보도 부근에 추가로 조명기구를 설치할 경우 연속조명과 동일한 것을 설치한다.

<그림 804.2.12>는 횡단보도 부근에서의 조명기구 배치를 나타낸 것이다.



S : 연속조명의 설치간격

<그림 804.2.12> 횡단보도 부근에서의 조명기구 배치

(4) 입체교차의 조명설치

입체교차에서의 평균노면휘도는 1cd/m^2를 기준으로 하며, 조명규모는 <표 804.2.10>과 <표 804.2.11>을 원칙으로 한다.

인터체인지에서의 조명규모는 <표 804.2.10>과 같이 본선 및 출입교통량에 따라서 설치규모를 A에서부터 D까지 5가지로 구분하며, 다음과 같다.

- A 조명은 본선, 분·합류부, 연결로에 설치
- B1 조명은 본선, 분·합류부, 연결로에 설치하고, 본선, 분·합류부의 설치규모는 A의 100%, 연결로는 A의 75% 정도로 함
- B2 조명은 분·합류부, 연결로에 설치하고, 설치규모는 A의 75% 정도로 함
- C 조명은 분·합류부, 연결로에 설치하고, 설치규모는 A의 50% 정도로 함
- D 조명은 분·합류부에만 설치하고, 설치규모는 A의 50% 정도로 함. 또한 제설이 많은 지역과 다발지역인 곳의 인터체인지가 조명규모 D일 경우에는 한 등급 상향 조정하여 조명규모 C로 적용할 수 있음

<표 804.2.10> 인터체인지의 조명기준

본선 교통량	50,000 이상		20,000 이상 50,000 미만		10,000 이상 20,000 미만		10,000 미만
출입교통량 (대/일)	20,000 이상	20,000 미만	15,000 이상	15,000 미만	5,000 이상	5,000 미만	-
조명 규모	A	B1	B2	C		D	

<표 804.2.11> 분기점의 조명기준

본선 교통량(대/일)	50,000 이상	50,000 미만
조명 규모	A	B

분기점에서의 조명규모는 <표 804.2.11>과 같이 본선교통량에 따라 설치규모 A, B로 구분하며, 다음과 같다.

- A 조명은 본선, 분·합류부, 연결로에 설치
- B 조명은 분·합류부, 연결로에 설치하고, 설치규모는 A의 50%로 함

단, 본선 교통량이 50,000대/일 미만인 경우에도, 본선에 분·합류부 및 연결로와 연계하여 조명시설을 설치하는 것이 유리하다고 판단되는 경우에는 본선에 조명을 설치한다.

(5) 기타 장소의 조명설치

교량, 건널목, 입체교차, 도로폭 및 도로 선형이 급변하는 장소, 버스정차대, 톨게이트, 주차장 및 휴게시설 등에서는 운전자에게 특수한 장소의 존재나 그 부근의 도로 선형을 정확히 알 수 있도록 필요에 따라 조명시설을 설치한다.

① 톨게이트

톨게이트 조명은 운전자에게 충분한 시각정보를 제공하는 동시에 요금징수원이 접근해 오는 자동차를 용이하게 판별할 수 있도록 자동차 정면이 효과적으로 조명되어야 한다.

차종의 판별이 필요한 장소에서는 톨게이트 중심에서부터 10~30m 구간의 연직면 조도를 40lx로 하고, 기타 장소(자동 발권, 자동 요금징수 등)에서의 수평면 조도는 20lx로 한다.

② 주차장 및 휴게시설

주차장 및 휴게시설 안에서 차량 운전자 및 보행자의 안전을 확보할 수 있도록 조명시설을 설치하며, 주차장의 조명은 본선교통량에 따라 15-20-30lx의 조도범위(최저-표준-최고)로 하고, 휴게시설은 본선교통량에 따라 30-40-60lx의 조도범위를 적용한다(KS A 3011 참조).

③ 도로 선형이 급변하는 장소

평면 선형이 급변하는 지점에서의 조명시설 설치는 연속조명에 준하여 설치하고, 종단선형이 급변하는 지점에서는 선형이 급변하는 것을 차량 운전자가 멀리서도 쉽게 인지할 수 있도록 설치한다.

④ 도로폭이 급변하는 장소

도로폭이 급변하는 장소, 특히 도로폭이 줄어드는 장소 부근에서의 조명기구 배치는 이 지점의 상황을 차량운전자가 멀리서도 쉽게 인지할 수 있도록 설치한다.

⑤ 교량

교량의 조명은 여기에 연속되는 도로의 조명시설 설치기준을 준용한다. 다만, 필요에 따라 교량의 구조 및 디자인에 조화되도록 하며, 지방부 교량과 같이 특수한 장소의 경우, 일몰, 일출시 자동 점·소등이 되도록 유의하여 설치한다.

특별히 조명기구의 설치가 제한되는 경우에는 설치장소의 특성을 고려하여 눈부심이 적게 발생하도록 설치하고, 간격은 설치높이를 기준으로 <표 804.2.6>에 적합하도록 적용한다.

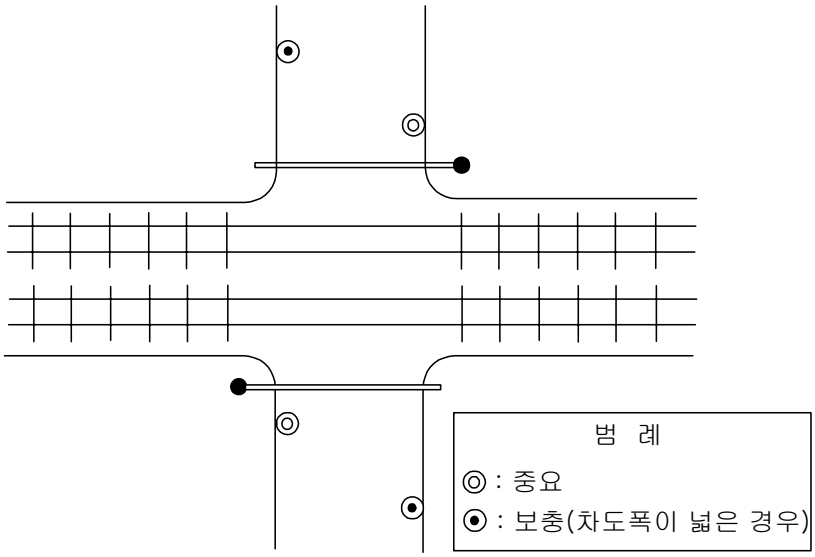
⑥ 버스정차대

버스정차대 부근에서의 조명시설 설치는 버스정차대의 존재와 그 부근의 상황을 차량 운전자가 멀리서도 쉽게 인지할 수 있도록 설치한다.

버스정차대와 그 부근의 평균 노면조도는 10lx로 하며, 인접한 연속조명으로 인하여 버스정차대 부근의 평균노면조도가 10lx 이상인 경우에는 별도의 조명시설을 설치하지 않는다.

⑦ 건널목

건널목에 조명시설을 설치하는 경우, 건널목 안과 그 부근 상황을 확인할 수 있도록 설치하며, 특히 운전자, 보행자 및 철도 승무원에 눈부심을 주지 않도록 주의한다.



<그림 804.2.13> 건널목에서의 조명기구 배치

804.3 도로반사경

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

도로반사경은 도로의 굴곡부나 규정된 설계속도에 따른 시거가 확보되지 못한 곳 또는 교차로, 건널목 등에서 다른 차량이나 보행자 그리고 전방의 도로상황을 사전에 확인하기 위하여 설치하는 시설물로서, 시거가 불량한 구간에서 운전자에게 전방의 도로상황을 사전에 확인시켜 이에 따른 적절한 행동을 취하게끔 하여 사고를 미연에 방지하는 기능을 가진다.

1.1.2 종류

도로반사경은 반사경의 형상에 따라 둥근형과 사각형으로 구분될 수 있으며, 경면의 개수에 따라 일면경과 이면경으로 구분된다.

1.1.3 관련 기준

- 도로안전시설 설치편람, 건설부, 1989

1.2 설계기준

1.2.1 구조

일반적으로 도로반사경은 <그림 804.3.1>과 같이 거울부, 지주부, 기초부로 이루어져 있으며, 각 구성요소별 제원은 다음과 같다.

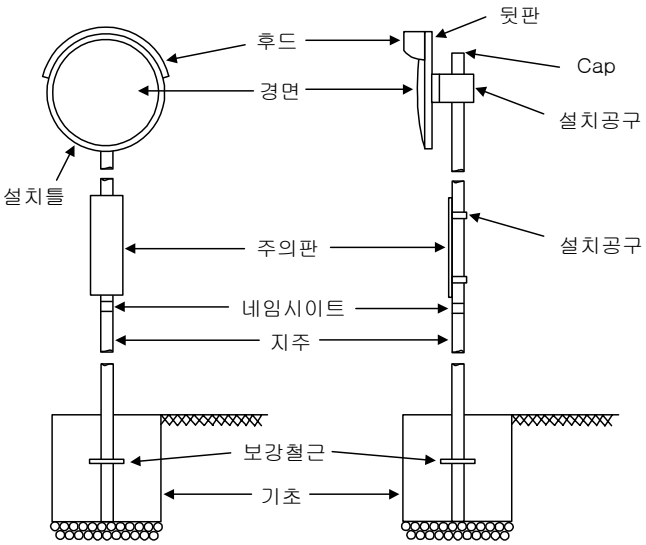
(1) 경면

경면의 두께는 경면의 형상, 경면의 크기 및 재료에 따라 <표 804.3.1>과 같이 규정된다.

<표 804.3.1> 경면의 두께와 표준

(단위 : mm)

경면의 형상	경면의 크기	재 료			
		Methacrylate 수지	Polycarbonate 수지	스텐레스	유 리
둥근형	ϕ 600	3	2	0.8	5
	ϕ 800	3	2	0.9	5
	ϕ 1,000	3	2	1.0	5
사각형	□ 450×600	3	2	0.8	5
	□ 600×800	3	2	0.9	5



<그림 804.3.1> 도로반사경의 구조

(2) 지주

지주의 제원은 경면 형상 및 경면의 크기 등에 따라 <표 804.3.2>와 같다. 지주에는 전면반사식 주의판 및 이름표를 붙이도록 한다.

주의판의 치수는 600mm×800mm, 이름표는 200mm×150mm를 표준으로 한다.

(3) 색채

도로반사경의 지주 등의 색채는 주황색을 원칙으로 한다.

(4) 기초

도로반사경의 기초는 경면, 지주 등의 자중, 풍하중을 고려해서 설계해야 한다. 기초의 표준 근입 깊이는 <표 804.3.3>과 같다.

<표 804.3.3> 기초의 표준 근입 깊이

종 류		일면	이면
둥근형	ϕ 600	60(cm)	90(cm)
	ϕ 800	90	120
	ϕ 1,000	120	150
사각형	□ 450×600	60	90
	□ 600×800	90	120

주) 1. 기초폭 50cm
2. 주의판의 크기 60×18cm
3. 경면 하단에서 기초 끝부분(노면까지) 2.5cm
4. 설계풍속은 40m/s를 표준으로 한다.

<표 804.3.2> 지주의 제원

(단위 : mm)

경면의 형상	경면의 크기	일 면 경			이 면 경		
		외 경	두 께	길 이	외 경	두 께	길 이
둥근형	ϕ 600	76.3	3.2	3,600	76.3	3.2	4,000
	ϕ 800	76.3	3.2	4,000	89.1	3.2	4,400
	ϕ 1,000	89.1	3.2	4,400	101.6	4.0	4,800
사각형	□ 450×600	76.3	3.2	3,600	76.3	3.2	4,000
	□ 600×800	76.3	3.2	4,000	89.1	3.2	4,400

1.2.2 설치장소

일반적으로 도로반사경은 다음과 같은 장소에 설치한다.

(1) 산악지대의 굴곡부
(2) 곡선반경이 작은 곳
(3) 도로구조령에 규정된 설계속도에 따른 시거가 확보되지 못한 곳

자동차가 어떤 속도로 주행하고 있는 도로에서는 그 도로가 1차선인 경우와 2차선 이상인 경우에 따라 시거가 달라진다. 1차선 도로에서는 서로 엇갈릴만한 충분한 여유가 없으므로, 상대의 차량을 서로 확인하고 두 차량이 모두 정지할 때까지 어느 정도의 거리를 주행하게 된다. 따라서 시거로서 필요한 거리는 두 차량이 정지할 때까지의 거리를 합한 값이 되고, 단순하게는 2차선 이상인 도로에서 필요한 거리의 2배가 된다. 1차선 도로에서 차량의 속도와 시거의 관계는 <표 804.3.4>와 같다.

<표 804.3.4> 차량의 속도와 시거의 관계

차량의 속도(km/시)		시거(m)
1차선	30	60
	20	40
2차선 이상	50	55
	40	40
	30	30
	20	20

시거로서 필요한 거리가 <표 804.3.4> 이하의 값을 갖는 경우에는 반사경으로 시거를 보충할 필요가 있다.

<표 804.3.4>에서 차량의 속도가 1차선에서 30km/시, 2차선 이상에서 50km/시를 넘는 속도에 대해서 규정하고 있지 않는 이유는 이보다 더 큰 속도에서 도로반사경을 통해 필요한 시거를 확보하는 것이 곤란하다고 판단되기 때문이다. 주행속도를 알 수 있는 경우에는 <표 804.3.4>를 이용하고, 주행속도를 알 수 없는 경우에는 곡선반경에 따라 <표 804.3.5>에 나타난 차량속도를 적용한다.

그 밖의 경우에도 도로반사경을 설치하는 것에 의해 사고를 미연에 막을 수 있고 그 효과를 충분히 발휘할 수 있다고 인정되는 장소에는 도로반사경을 설치한다.

<표 804.3.5> 곡선반경에 따른 차량의 속도

곡선반경(m)		차량의 속도 (km/시)
편경사가 설치된 경우	100～	50
	60～100	40
	30～60	30
	15～30	20
편경사가 설치되지 않은 경우	130～	50
	85～130	40
	50～85	30
	20～50	20

(4) 좌우의 시거가 충분히 확보되지 못한 교차로 또는 건널목

신호등이 설치되지 않은 교차로에서 좌우의 시거가 충분히 확보되지 않았을 때 충돌사고가 일어날 가능성이 높으며, 이러한 장소에는 도로반사경을 설치하여 시거를 확보하도록 한다.

다음의 경우에 해당될 경우에는 충분한 시거 확보를 위해 반사경을 설치한다.

가. 부도로(일시정지가 요망되는 도로)에서 오른쪽을 바라보았을 때 확인할 수 있는 거리가 다음에서 구한 값 이하일 때

$$D = V(T + t)/3.6$$

여기에서,

D : 주도로상의 차량의 주행거리(m)

V : 주도로의 차량의 속도(km/h)

T : 부도로의 차량이 주도로를 확인하고 나서 출발하기까지의 시간(반응시간)(sec)

t : 부도로의 차량이 주도로를 횡단하는데 필요한 시간(sec)

나. 부도로에서 왼쪽을 바라보았을 때 확인할 수 있는 거리가 다음에서 구한 값 이하일 때

$$D' = V(T + t')/3.6$$

여기에서,

D′ : 주도로상의 차량의 주행거리(m)

t′ : 부도로의 차량이 정지위치에서 주도로의 좌방향 차량의 주행을 저해하지 않는 위치까지 주행하는데 필요한 시간(sec)

단, 도로조건, 교통여건에 따라 D, D′ 모두 도로반사경으로 얻을 수 있는 인지거리의 한계를 넘을 경우 도로반사경의 설치와 함께 안전표지를 설치하여 도로이용자의 주의를 환기시킨다.

부도로의 차량이 주도로를 횡단하는데 걸리는 시간 t는 횡단할 거리 S와 차량의 가속도 α를 알고 있으면 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$S = \frac{1}{2} at^2 \text{(가속도 } \alpha \text{는 통상 } 2\text{m/sec}^2\text{)}$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

1.2.3 형식의 선정

(1) 형식

도로반사경의 형식은 <표 804.3.6>과 같다.

둥근형의 거울면 형상은 상하방향의 시계와 좌우방향의 시계가 같은 장소, 사각형의 거울면 형상은 상하방향의 시계가 좌우방향의 시계만큼 필요가 없는 장소나 두면의 영상을 연결해서 볼 경우에 이용된다.

<표 804.3.6> 도로반사경의 형식

거울면의 형상	거울면의 수
둥근형	일면형 이면형
사각형	일면형 이면형

주) 이면형이란 한 개의 시설물에 두 개의 거울을 설치한 것을 말한다.

(2) 거울면의 크기와 곡률반경

거울면의 크기와 곡률반경은 <표 804.3.7>과 같다.

거울면의 크기는 도로반사경 자체가 쉽게 눈에 뜨이는지 여부와 시계에 연관되어 있고, 거울면의 곡률반경은 영상의 크기와 시계에 관련이 되어 있다. 곡률이 작아지면 시계가 넓어지지만 영상이 작아져서 물체의 식별이 어렵게 된다.

<표 804.3.7> 경면의 크기와 곡률반경

(단위 : mm)

경면의 형상	경면의 크기	경면의 곡률반경
둥근형	ϕ 600 ϕ 800 ϕ 1,000	1,500 2,200 3,000
사각형	□ 450×600 □ 600×800	3,600 이상

(3) 형식의 선정

도로반사경의 선정에 있어서 특히 유의해야 할 점은 영상의 시인성과 시계이다. 확인해야 할 위치에 있는 물체가 충분히 확인될 수 있는 시인성을 갖는 도로반사경을 선정해야 하는데 이를 위한 거울면의 곡률반경은 <표 804.3.8>을 표준으로 한다. 시계에는 확인해야 할 차량은 물론이고 그 부근의 교통 및 도로의 상황을 판단하기 위하여 필요한 범위가 포함되도록 한다. 또한 시계는 거울면의 곡률반경, 거울면수, 거울면 형상 및 거울면의 크기에 관련되었기 때문에 각각의 특징과 상호연관성에 유의하여 시설물을 설치한다.

① 거울면수

주행부는 일면경 사용을 원칙으로 하고, 교차로에서 1방향만을 확인하는 경우는 일면경을, 2방향을 확인하는 경우는 이면경을 원칙으로 한다.

② 거울면 형상

일면경 및 다른 방향을 확인하는 이면경은 둥근형을 원칙으로 한다. 단 상하방향의 필요한 시계가 좌우방향의 시계보다도 좁은 경우는 사각형을 이용해도 좋다.

③ 거울면의 크기

경면의 크기는 필요한 시계가 확보되는 최소의 크기로 한다. 경면의 크기 및 곡률반경과 시계는 <표 804.3.9>와 같은 관계가 있다.

도로반사경의 형식을 선정할 때에는 여러 가지 사항을 고려하여 선정해야 한다. 필요한 시거와 도로폭원, 차선수가 주어졌을 때 거울면의 크기와 곡률반경의 기준은 <표 804.3.10>과 같다.

<표 804.3.8> 경면의 곡률반경과 시거

필요한 시거(m)	D<40m	40m≤D≤60m	60m<D
경면의 곡률반경(mm)	1,500 2,200	3,000	3,600 이상

<표 804.3.9> 경면의 크기 및 곡률반경과 시계의 기준

경면의 곡률반경(mm)	경면의 크기(mm)				
	ϕ 600	ϕ 800	ϕ 1,000	□ 450×600	□ 600×800
1,500	46°			35°×46°	
2,200	31°	42°	53°	23°×31°	31°×42°
3,000		31°	38°		23°×31°
3,600			31°		

<표 804.3.10> 경면의 크기 및 곡률반경의 선정

(단위 : mm)

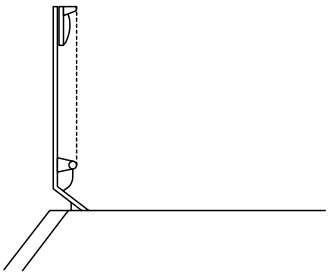
필요한 시거(m) / 도로의 폭원(m)		30 미만	30 이상~40 미만	40 이상~50 미만	50 이상~60 이하
1차선	4, 5	ϕ 600 □ 450×600 r=1,500	ϕ 600 □ 450×600 r=2,200	ϕ 800 □ 450×600 r=3,000	ϕ 800 □ 450×600 r=3,000
2차선	6	ϕ 800 □ 600×800 r=2,200	ϕ 800 □ 600×800 r=2,200	ϕ 1,000 r=3,000	ϕ 1,000 r=3,000
	7	ϕ 1,000 r=2,200	ϕ 1,000 r=2,200	ϕ 1,000 r=3,000	ϕ 1,000 r=3,000

주) 필요한 시거 등이 60m를 넘는 경우에는 ϕ 1,000mm의 r=3,600mm 또는 그 이상을 선택한다.

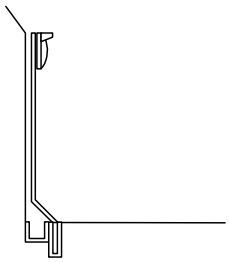
1.2.4 설치위치

도로반사경은 교차하는 차량, 보행자, 장애물 등을 가장 잘 볼 수 있는 위치에 설치한다. 이때 도로의 시설한계를 고려해서 유리면이나 지주 등이 차량통행에 지장을 주지 않도록 설치한다.

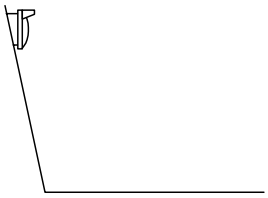
반사경의 설치위치의 예는 <그림 804.3.2>와 같으며, 설치 예는 <그림 804.3.3>과 같다.



(1) 방호울타리, 전주, 표지 등이 설치되어 있는 경우 거울면이 방호책보다 전면(차도쪽)에 나오지 않도록 한다. 시설한계도 고려하여 설치한다.

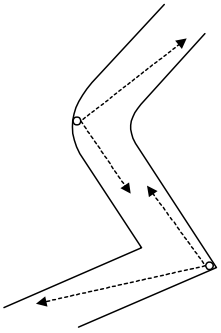


(2) 도로 끝에 측구 등이 있을 때에는 굽은 지주를 이용하거나 거울면과 지주와의 설치방법을 연구하여 거울면이 도로 끝에 오도록 설치한다.



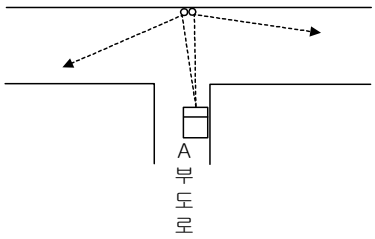
(3) 옹벽 등 적당한 구조물이 있을 때는 부착식으로 설치한다.

<그림 804.3.2> 도로반사경 설치위치의 예



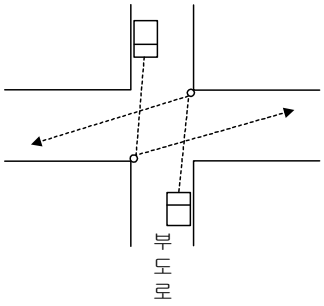
(1) 굴곡부, 굴절부

굴곡부와 굴절부의 바깥쪽으로 내민 곳에 설치한다.



(2) T형 교차로

A도로(부도로)에서 볼 때, 정면에 설치한다.



(3) 십자교차로

주도로의 우측 전방의 모서리에 설치한다.

우측방향도 확인할 필요가 있을 경우 좌측 전방의 모서리에 설치하거나 이면경으로 설치한다.

<그림 804.3.3> 도로반사경 설치의 예

1.2.5 설치높이

경면의 설치높이가 높으면 경면의 시인성이 나빠지게 되고, 일반적으로 지주나 기초 등이 크게 되면 비경제적이 된다. 낮으면 경면이 더러워지기 쉽고 교통의 장애가 되는 등의 문제가 있다.

경면 하단에서 노면까지의 높이는 2.5m를 표준으로 한다. 또한 주의판을 설치할 때는 보행자의 통행에 방해가 되지 않도록 한다.

1.2.6 설치각도

상하방향과 좌우방향의 각도는 필요로 하는 시계의 범위에 따라 정한다. 그리고 대형차와 소형차, 어른과 어린이 등의 눈의 높이에 따른 차이 및 도로반사경에 가까이 감에 따라 변화하는 시선의 입사각 등도 고려한다.

805
기타 안전시설

805.1 미끄럼방지시설

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

미끄럼방지시설이란 노면의 미끄럼 저항이 낮아진 곳, 도로의 평면 및 종단선형이 불량한 곳 등에서 포장면의 미끄럼 저항력을 높여 주어 자동차의 제동 거리를 짧게 하기 위한 목적으로 설치되는 시설을 말한다.

미끄럼방지시설의 기능은 미끄럼 저항을 충분히 확보하지 못한 곳이나 도로선형이 불량한 구간에서 표면에 신재료를 추가하거나 도로 표면의 일부를 제거하는 방법으로 포장의 미끄럼 저항을 높여 자동차의 안전 주행을 확보하는 것이다. 또한 운전자의 주의를 환기시켜 안전 운행을 도모하는 부수적인 기능도 가지고 있다.

1.1.2 종류

미끄럼방지포장은 도로 표면에 신재료를 추가하는 형식과 표면의 재료를 제거하는 형식으로 크게 구분할 수 있으며, 각각에 대한 종류는 다음과 같다.

(1) 표면에 신재료를 추가하는 형식
- 개립도 마찰층
- 슬러리실
- 수지계 표면처리

(2) 표면의 재료를 제거하는 형식
- 그루빙
- 숏 블라스팅
- 노면평삭

1.1.3 관련 기준

- 도로안전시설 설치 및 관리지침-미끄럼방지포장·과속방지턱 편, 건설교통부, 1997

1.2 설계기준

1.2.1 설치장소

미끄럼방지포장은 도로의 구간별로 다음과 같은 도로 조건 및 교통 조건에서 미끄럼 마찰 증진이 요구되거나, 사고발생 위험으로 필요하다고 인정되는 구간에 설치한다.

(1) 기존의 노면 마찰계수가 도로교통 조건에 부합하지 않고 낮아서 위험한 구간에 설치한다. 노면이 제공해야 할 최소한의 마찰력은 도로의 기하구조 및 교통조건에 따라 다르므로 <표 805.1.1>의 최소 마찰계수 기준표를 통해 결정한다. 이 표를 이용하는 방법은 먼저 도로의 기하구조, 설계속도, 도로등급, 교통량 등을 고려하여 S 등급을 구하고, 미끄럼 사고 기록을 참고로 각 구간의 위험도를 구한 뒤 해당되는 최소 마찰계수를 읽으면 된다.

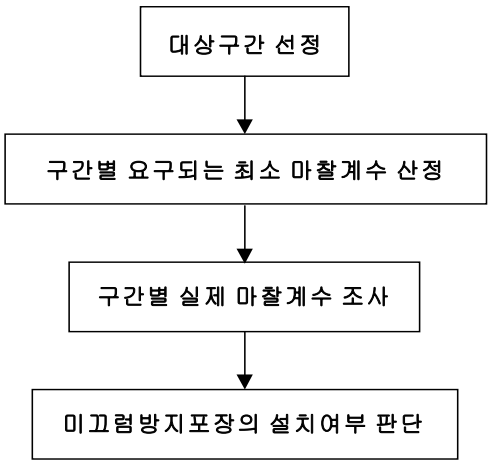
(2) 도로의 선형에 있어서 전·후 선형의 연속성이 이루어지지 않아 주행속도의 차이가 20km/시 이상인 구간의 변화구간에 설치한다.

(3) 기타 사고 발생의 위험이 높아 미끄럼방지포장을 설치하는 것이 효과가 있다고 인정되는 구간에 설치한다.

미끄럼방지포장의 설치는 본 기준에 따라 효과가 있다고 판단되는 장소에만 설치하며, 비효과적인 무분별한 설치는 피한다.

1.2.2 설치여부의 결정

일반적으로 미끄럼방지포장의 설치여부는 다음과 같은 절차를 통해 결정된다.



단계 1 : 대상구간 선정

사고 기록, 기술자의 판단 또는 민원을 토대로 관할 도로망에서 미끄럼방지포장의 설치검토가 되는 구간을 선정한다.

단계 2 : 구간별 요구되는 최소 마찰계수 선정

선정된 구간 각각에 대하여 도로의 기하구조, 속도, 미끄럼 사고의 빈도 등을 고려하여 최소 마찰 기준표에서 각 구간에 요구되는 최소 마찰계수를 구한다. 위험도의 결정은 객관적인 기준에 의해 결정되어야 하며(<표 805.1.1>의 주) 참조), 위험도 결정시 노면이 습윤한 상태에서 발생된 사고 건수에 따라 결정할 수도 있다. <표 805.1.2>는 노면습윤시 사고 건수에 따른 잠정적인 위험도 결정 기준표를 나타낸 것이다.

<표 805.1.1> 최소 마찰계수 기준표

구 분	정 의	최소 요구 마찰계수			마찰계수의 종류
		위험도 1	위험도 2	위험도 3	
S1 (마찰력 확보가 매우 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/시 이상의 교통 신호 또는 횡단보도 접근부 2) 도시지역 도로의 교통 신호, 횡단보도 또는 비슷한 위험 개소의 접근부 3) 5% 이상의 내리막 경사에 주행 속도에 대한 곡선 반경이 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에서 정한 값 보다 작게 설계된 곳 4) 고속도로로서 S2의 1), 2)항에 해당하는 구간	57 37	67 44	77 50	BPN SN
S2 (마찰력 확보가 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/시 이상이 되는 도로로서 곡선 반경이 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에서 정한 값 보다 작게 설계된 곳 2) 5% 이상의 내리막 경사가 100m 이상인 곳 3) 고속도로 일반구간 4) 상업용 차량 교통량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차로(major junctions) 접근부	47 31	57 37	67 44	BPN SN
S3 (평균 조건)	직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 다음에 해당되는 도로 1) 주요 간선도로 또는 자동차 전용도로 2) 상업용 차량 교통량이 250대/차로/일 이상인 일반 도로	32 21	47 31	57 37	BPN SN
S4 (마찰력이 중요하지 않은 구간)	교통량이 적은 도로의 일반 직선 구간	32 21	42 27	47 31	BPN SN

주) 위험도 1 : 노면 미끄럼에 의한 사고가 거의 없는 경우 또는 사고기록이 아직 정리되지 않은 경우
위험도 2 : 노면 미끄럼에 의한 사고가 가끔씩 발생하는 경우
위험도 3 : 노면 미끄럼에 의한 사고가 빈번한 경우
BPN(British Pendulum Number) : 미끄럼 마찰저항을 BPT(British Pendulum Tester)를 이용하여 정량화한 값으로 이 값이 클수록 마찰력이 큼.
SN(Skid Number) : ASTM E 274 시험법에 따라 미국 K. J. Law사에서 제작한 모델 M1290의 자동식 미끄럼 저항 측정기를 통해 얻어지는 미끄럼 저항값으로 이 값이 클수록 마찰력이 큼.

<표 805.1.2> 노면 습윤시 사고 건수를 고려한 위험도 결정 기준

위험도	년간 교통 사고 중 노면 습윤시 발생된 사고 건 수[주)]
1	1건 이하
2	2 ~ 3 건
3	4건 이상

주) 사고 건수는 동일 구간(100m 이내)에서 발생한 노면 습윤시 중상 및 사망 사고 건수를 말한다.

단계 3 : 구간별 실제 마찰계수 조사

각 대상 구간에 무작위로 선정된 10개소 이상에서 마찰계수 실험을 실시한다. 실험은 BPT(British Pendulum Tester) 또는 PFT(Pavement Friction Tester)를 사용하는 것을 기본으로 하되, 대치할 만한 다른 조사를 실시할 경우 적절한 상관관계를 통해 BPT나 PFT조사 결과치를 추정하는 방법도 가능하다.

최소 마찰계수 기준표의 BPN은 BPT 장비의 실험 결과값을 나타내며 SN은 PFT 장비의 실험결과값을 나타낸다. BPT는 여러 마찰력 측정 장비 중 가장 사용이 간단하고 비용이 적게드는 장비로서, 장비의 구조 및 사용 방법은 건설교통부 발행 "도로안전시설 설치 및 관리지침(미끄럼방지포장·과속방지턱 편)"을 참조한다.

단계 4 : 미끄럼방지포장 설치여부 판단

구간별 조사된 실제 마찰계수의 30% 이상이 최소 마찰계수 기준표에 제시된 값보다 작을 경우 해당 구간은 미끄럼방지포장을 필요로 하는 구간이 된다.

1.2.3 설치결정시 고려사항

1.2.2절에서 제시된 순서에 따라서 미끄럼방지포장의 설치여부를 결정하면 되는데, 미끄럼방지포장의 설치를 결정할 때 다음 사항을 참고한다.

(1) 도로에 따라 대부분의 차량이 설계 속도보다 높은 속도로 주행하는 도로가 있는데 이 경우 실제 주행 속도를 설계 속도 대신 적용한다. 실제 주행 속도라 함은 주행 속도 분포의 85%에 해당하는 속도를 말한다.

(2) 종단경사의 기준은 일률적 적용보다는 도로 설계 기준, 도로 조건 및 주변 여건, 타 도로의 사례 등을 고려하여 미끄럼방지포장이 필요한 곳에 적용한다.

(3) 기본적으로 오르막 경사에서는 미끄럼사고의 위험성이 크지 않을 경우 마찰계수에 관계없이 미끄럼방지포장을 생략할 수 있다.

(4) 마찰계수는 기준치 이상이지만, 도로 구조상 운전자의 주의를 환기시켜 감속을 유도할 필요가 있는 경우는 미끄럼방지포장보다는 감속유도시설("도로안전시설 설치 및 관리지침"의 부록 참조)을 설치하는 것이 경제적이다.

1.2.4 형식의 선정

미끄럼방지포장의 형식 선정에서는 시공성, 마찰력 증진 효과의 지속성, 시공시의 소음 및 분진 발생 여부, 시공 후 주행 자동차의 승차감 및 소음, 경제성, 시선유도, 전망, 쾌적성, 주위 도로 환경과의 조화, 유지 보수 등을 충분히 고려하여야 한다.

미끄럼방지포장의 형식 선정은 각 형식의 특징을 충분히 숙지하여 설치장소의 조건에 적합한 형식을 선정해야 한다. 또한, 일반적으로 짧은 구간에 각기 다른 형식의 미끄럼방지포장을 사용하는 것보다는 같은 형식의 미끄럼방지포장을 연속하여 사용하는 것이 좋다.

일반적으로 미끄럼방지포장의 형식 선정시 포장체의 종류에 따라 추천하는 형식은 <표 805.1.3>과 같다.

1.2.5 구조

미끄럼방지포장의 설치 형상은 해당 구간의 노면 전체를 처리하는 전면처리와 일정 간격을 띄워 부분처리하는 이격식으로 구분되며, 이격식은 1-3 방식, 3-6 방식으로 나누어진다.

일반적으로 전면처리가 이격식 처리에 비해 현장 실험 결과 더 우수한 것으로 나타났기 때문에 미끄럼 마찰력의 증진이 필요한 구간에는 전면처리의 적용을 원칙으로 하고, 운전자에게 경각심을 주기 위한 목적으로 설치하는 경우에는 이격식을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

전면처리하는 경우의 공법은 개립도 마찰층, 슬러리실, 그루빙, 숏 블라스팅, 노면 평삭 등 가능한 모든 대안 중에서 가장 적합한 공법을 선정할 수가 있으며, 이격식을 적용할 때의 공법은 일반적으로 수지계 표면처리를 사용한다.

<표 805.1.4>는 전면처리와 이격식의 특징 및 주요 공법을 나타낸다.

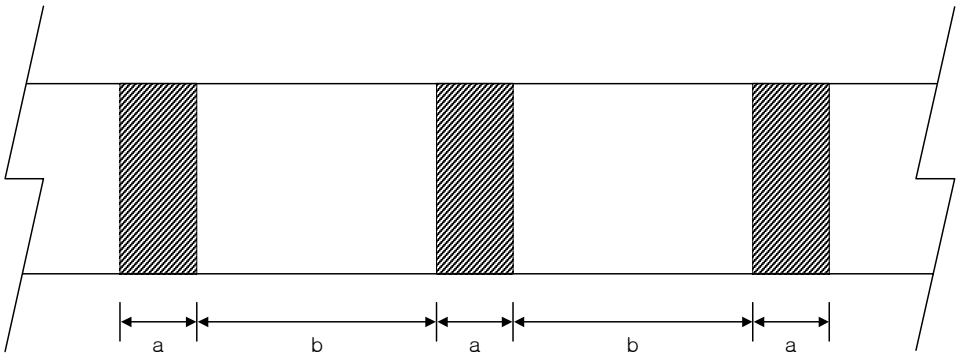
이격식 처리에는 1-3 방식과 3-6 방식이 있다. 1-3 방식이란 1m 시공, 3m 띄우기가 반복되는 것을 말하고, 3-6 방식이란 3m 시공, 6m 띄우기가 반복되는 것을 말한다(<그림 805.1.1> 참조).

<표 805.1.3> 포장체의 종류에 따라 추천하는 미끄럼방지포장의 형식

구 분	아스팔트 콘크리트 포장	시멘트 콘크리트 포장
추천형식	• 개립도 마찰층 • 슬러리실 • 노면 평삭 • 수지계 표면처리	• 그루빙 • 숏 블라스팅 • 노면 평삭

<표 805.1.4> 전면 처리와 이격식의 특징 및 주요 공법

구 분	전면 처리	이격식
특 징	• 마찰력 회복 • 승차감 양호 • 노면 재질 변화로 인한 약간의 감속 유도 효과	• 시인성에 의한 감속 유도 효과
주요 공법	개립도 마찰층, 슬러리실, 그루빙, 숏블라스팅, 노면평삭	일반적으로 수지계 표면 처리



형식	a(설치 폭)	b(띄움 폭)
1-3 방식	1m	3m
3-6 방식	3m	6m

<그림 805.1.1> 이격식 미끄럼방지포장의 설치 형상(1-3, 3-6 방식)

1.2.6 재료

미끄럼방지포장의 재료는 적용 형식에 따라 다르다. 하지만 일반적으로 미끄럼방지포장에 사용되고 있는 수지계 표면처리의 재료 기준에 대해서만 제시하기로 한다.

(1) 골재

골재는 마찰계수가 크고 능각(稜角)이 많으며, 유해 물질을 함유하지 않은 내마모성의 경질 골재로서 <표 805.1.5>의 조건을 만족하는 경우에는 어떠한 골재도 사용할 수 있으며, 하중 및 충격에 잘 견뎌야 한다.

(2) 결합재

수지계 결합재 재료의 품질 규격은 <표 805.1.6>의 기준을 만족해야 한다. 이 기준은 1979년 일본 건설성 토목연구소에서 제안한 미끄럼방지용 에폭시 수지 기준(포장시험법편람, 일본도로협회, 1988)을 참고로 작성되었으며, 각 항목별 의미는 “도로안전시설 설치 및 관리 지침-미끄럼방지포장・과속방지턱 편(건설교통부, 1997)”을 참고한다.

1.2.7 색 상

미끄럼방지포장의 색상으로는 별도의 색상을 고려하지 않고, 도로의 포장색상을 사용하는 것이 재료의 내구성이나 경제성, 전반적인 도로환경 유지면에서 좋기 때문에 도로의 포장색상을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

단, 시선유도효과를 고려하여 별도의 색상을 선택할 경우에는 색상의 의미가 적합하고 도로환경을 해치지 않는 것이어야 한다.

1.2.8 설치길이

본 항은 설치장소가 결정된 후에 구체적인 설치구간을 잡거나, 설치위치를 결정하는 기준에 관한 것이다.

(1) 일반사항

마찰력 개선을 목적으로 한 전면처리 방식의 미끄럼방지포장은 가급적 해당 구간 전후에 충분한 여유를 두고 길게 설치하는 것이 좋다. 그러나 시공의 경제성을 고려할 경우 설치길이를 최소로 해야 하므로, 안전성을 저해하지 않는 범위에서 설치구간은 최소가 되도록 한다.

또 이격식을 사용할 경우 설치길이가 너무 길면 경제성 외에 승차감 저해나 소음의 문제를 야기시킬 수 있다. 그러므로 전면처리 또는 이격식의 설치 유형 및 설치구간의 결정은 본 편람의 내용을 토대로 하여 도로 및 교통조건, 교통사고 실적, 경제성 등을 고려하여 이루어져야 한다. 설치구간의 유형별 설치위치와 길이는 다음과 같다.

<표 805.1.5> 수지계 미끄럼방지포장의 골재 기준

구 분	기 준	시 험 방 법
흡 수 량	2.0% 이하	KS F 2503
입 도	No. 4(4.76mm) 통과 90-100% No. 7(2.83mm) 잔류 90-100%	KS F 2502
마 모 율	20% 이하	KS F 2508
유해물 함유량 점토, 점토괴, 연한 석편	0.25% 이하 5.0% 이하	KS F 2515

<표 805.1.6> 수지계 결합재의 품질 기준

구 분			기 준	시 험 방 법
비 중			1.30 이하	KS M 5000
건조 시간(시간)			6 이내	KS M 5000
인장 강도 (㎏/㎠)	재령 1일	20℃	20 이상	KS M 3006
	재령 7일	-10℃	200 이상	
		20℃	50 이상	
		60℃	5 이상	
신율(%)	-10℃		5 이상	KS M 3006
	20℃		15 이상	
	60℃		50 이상	
촉진 내후성(%) (200시간 후 질량 변화)	63℃±3℃		-2.0 이하	KS M 3027
아스콘과의 접착 강도(㎏/㎠)	20℃		12 이상	주) 참조

주) 아스콘과의 접착 강도에 대한 시험방법은 “도로안전시설 설치 및 관리지침-미끄럼방지포장·과속방지턱 편(건설교통부, 1997)”을 참고한다.

(2) 직선구간

① 일반적인 직선구간(최소 마찰계수 기준표의 S3, S4에 해당)

마찰력이 최소 마찰계수 이하인 구간 전체의 마찰력을 개선한다. 미끄럼 마찰의 개선이 주목적인 경우 전면처리 방식을 추천한다.

미끄럼 마찰력은 기준에 부합하나, 다른 이유로 인하여 사고가 발생하는 경우에는 직선구간 중 문제 구간을 세부적으로 분석 검토하여 해당 구간에만 최소한의 길이로 미끄럼방지포장을 설치한다.

② 교차로 또는 횡단보도 접근부

설계속도(또는 도로 구조상 실제 주행속도가 더 큰 경우는 주행속도)로부터 여유있게 정지할 수 있는 거리(<표 805.1.7> 참조)를 최소길이로 하되, 시거 또는 대기 차량의 길이를 고려하여 연장할 수 있다.

<표 805.1.7>의 최소길이는 제동장치를 작동시킨 후 정지하는데 필요한 거리로 아래 식에 의하여 산정된 길이이다.

$$d_c = \frac{V^2}{254(f - i/100)}$$

여기서,

d_c : 교차로 또는 횡단보도 접근부의 미끄럼방지포장 최소길이(m)

V : 속도(km/시)

f : 속도별 미끄럼 마찰계수

i : 내리막 종단경사(%)

지방부 도로에서 버스 정차장이 위치하거나 철도 건널목 전방 등에서의 설치방법도 이에 준한다.

문제구간에는 전면처리 미끄럼방지포장을 적용하고, 이 구간 전방에 운전자의 주의를 환기시키기 위한 필요성에 따라 이격식을 적용할 수 있다.

<표 805.1.7> 교차로 또는 횡단보도 접근부의 미끄럼방지포장 최소길이(d_c)

(단위 : m)

내리막 경사(%) / 속도(km/h)	0	2	4	6	8
40	20	20	20	20	25
60	45	50	55	55	60
80	85	90	100	105	115
100	140	150	160	175	190
120	205	220	240	260	285

이격식 시점은 전면처리 구간 앞에 인지반응시간 2.5초를 고려한 거리로부터 하며, 설치구간은 시점부터 1초간 주행하는 거리를 같은 식으로 산정하여 설치한다.

$$d_{app} = \frac{V \cdot t}{3.6}$$

여기서,

d_{app} : 이격식 구간 산정거리(m)

V : 속도(km/h)

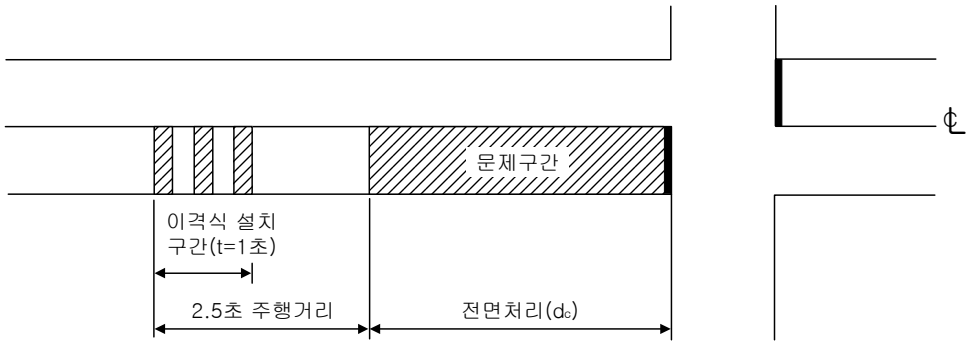
t : 인지반응시간(2.5초)

이와 같은 설치방법을 그림으로 나타내면 <그림 805.1.2>와 같다.

③ 5% 이상의 내리막 경사가 100m 이상인 곳

내리막 경사 전체에는 전면처리 미끄럼방지포장을 설치하는 것이 좋으나, 부득이한 경우 내리막 종단경사의 시점 5% 이상의 경사가 되는 지점으로부터 100m 내려간 지점에서 내리막 경사가 끝나는 지점까지 도로관리청이 도로환경 조건을 고려하여 필요하다고 판단되는 길이를 최소길이로 하여 미끄럼방지포장을 설치한다(<그림 805.1.2> 참조).

노면 미끄럼과 관계없이 과속만이 문제가 될 경우는 미끄럼방지포장보다 감속유도시설의 설치를 고려하는 것이 더 경제적이다.

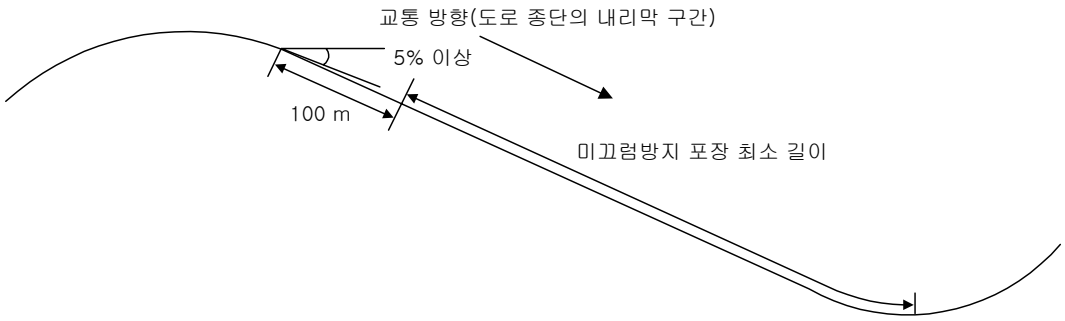


주) 문제구간 : 교차로, 횡단보도, 버스정차장, 철도건널목 등의 접근부

$$dc = \frac{V^2}{254(f - i/100)}$$

$$d_{app} = \frac{V \cdot t}{3.6}$$

<그림 805.1.2> 교차로 또는 횡단보도 접근부의 미끄럼방지포장의 설치



<그림 805.1.3> 내리막 경사에서의 미끄럼방지포장 최소 설치길이

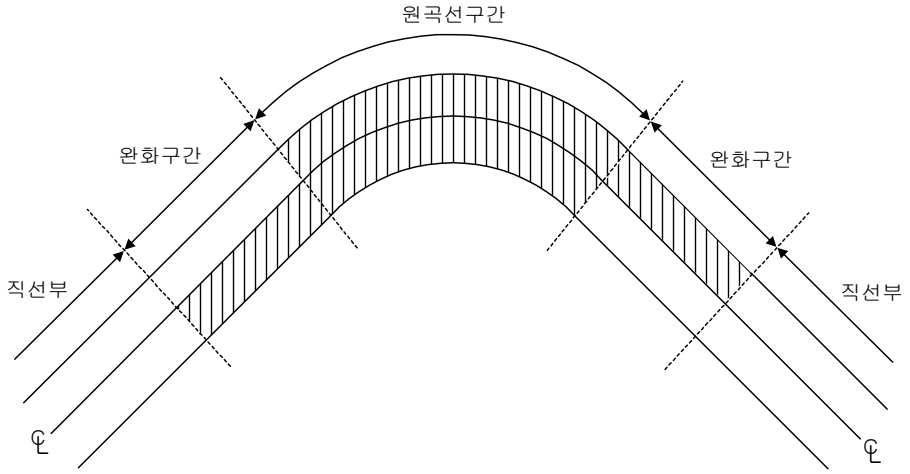
(3) 곡선구간

설치대상이 되는 전 구간에 걸쳐 전면처리 미끄럼방지포장을 설치한다. 완화구간이 있는 경우 진입부 완화구간에도 전면처리한다.

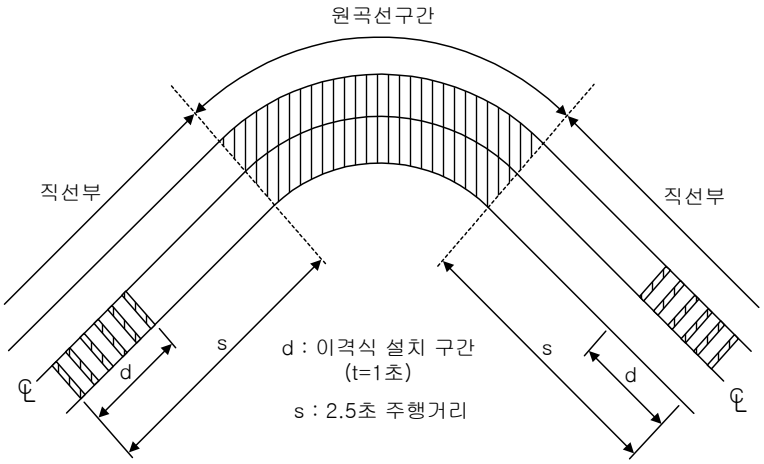
완화구간이 없거나 불분명한 경우에는 원곡선 구간에만, 완화구간만으로 된 곡선구간에는 완화구간에 전면처리한다. 완화구간이 있는 곡선부에서의 미끄럼방지포장 설치는 <그림 805.1.4>와 같다. 이 구간에서는 사전에 경각심을 주기 위한 이격식 처리는 하지 않는다.

원곡선만으로 된 곡선구간에는 곡선부 전체에 전면처리 미끄럼방지포장을 설치한다. 곡선구간의 진입부인 직선구간에는 운전자의 주의를 환기시킬 목적으로 필요에 따라 이격식을 적용할 수 있다. 이격식의 설치방법은 <그림 805.1.2>를 참고한다.

<그림 805.1.5>는 원곡선과 직선이 만난 구간에서 이격식의 설치위치를 나타낸다. 이격식 적용시 주행속도가 낮은 2차선 지방부 일반도로나 도시부 등에는 1-3 방식을 사용하고, 주행속도가 높은 4차선 지방부 도로, 고속의 도로에는 3-6 방식을 사용한다.



<그림 805.1.4> 완화구간이 있는 곡선구간에서의 미끄럼방지포장 설치



주행속도(km/시)	이격식 처리방식	s(m)	d(m)
60	1:3 방식	40	15
70		50	20
80	3:6 방식	55	22
90		60	25
100		70	30

<그림 805.1.5> 원곡선과 직선구간이 만나는 구간에서의 미끄럼방지포장 설치

805.2 과속방지시설

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

차량의 속도를 제어하기 위한 도로 설계 기법 중의 하나로서 도시 계획 구역내 일정 지역에서 통행 차량의 진입을 억제하고 과속 주행을 방지하기 위해 도로 노면을 돌출시켜 턱이 지게 만든 부분을 말한다.

과속방지턱은 통행 차량의 과속 주행을 방지하기 위해 차량의 속도를 제어하는 기능을 가지며, 이러한 기본적인 기능 이외에도 통과 교통량의 감소, 보행자 공간 확보 및 도로 경관 개선, 노상 주차 억제 등의 부수적인 기능을 가지고 있다.

1.1.2 종류

과속방지턱은 설치 형상에 따라 원호형 과속방지턱, 사다리꼴 과속방지턱, 가상 과속방지턱 등으로 구분할 수 있다.

(1) 원호형은 과속방지턱 상부면의 형상이 원호(圓弧) 또는 포물선인 과속방지턱이다.

(2) 사다리꼴형은 과속방지턱 상부면의 형상이 사다리꼴인 과속방지턱이다.

(3) 가상 과속방지턱은 노면표시, 테이프 등을 이용하여 운전자에게 도로면 위에 과속방지턱이 설치되어 있는 것처럼 시각적 착시 현상을 유도하여 주행속도를 줄일 수 있도록 설치하는 시설물이다.

원호형과 사다리꼴의 과속방지턱은 기존 포장면 위에 별도의 시설을 설치하며, 설치면이 도로 면보다 높은 볼록형과 도로면을 파내어 기존 포장면보다 낮게 설치하는 오목형으로 구분된다.

또한 과속방지시설에는 범프(bump)나 쿠션(cushion), 그리고 플래토(plateau) 등과 같은 시설물도 포함된다.

범프(bump)는 보행자의 통행 안전성을 위해 차량의 통과속도를 10km/시 아래로 서행하도록 하는 시설로서, 10km/시 정도의 저속에서는 불쾌감이 적은 반면, 10km/시를 초과하는 속도에서는 운전자에게 심한 불쾌감을 주어 차량의 속도를 낮추도록 유도하는 기능을 가지지만, 설치장소를 극히 제한하여 사용되어야 한다.

쿠션(cushion)은 도로 폭 가운데 일부분에 설치하여 버스 등의 대형 차량이나 소방차의 주행을 원활하게 하기 위해 설치하는 것이며, 플래토(plateau)는 지구 도로 등에서 교차로의 전부분을 성토하여 전체적으로 시인성이나 도로의 수직 방향 변위를 높인 시설물을 말한다.

1.1.3 관련 기준

- 도로안전시설 설치 및 관리지침-미끄럼방지포장・과속방지턱 편, 건설교통부, 1997

1.2 설계기준

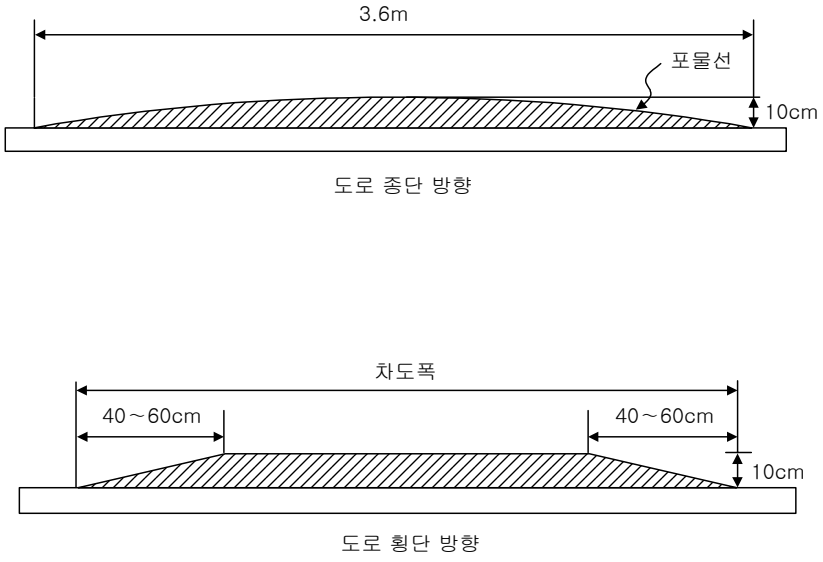
1.2.1 구 조

(1) 형상 및 제원

과속방지턱의 형상은 원호형을 표준으로 하며, 그 제원은 <그림 805.2.1>과 같이 설치 길이 3.6m, 설치 높이 10cm를 표준으로 한다.

단, 국지 도로 중 폭 6m 미만의 소로 등에서 표준 규격이 적용 지역의 여건으로 보아 크다고 판단되는 경우에는 길이 2.0m, 설치 높이 7.5cm를 적용할 수 있다.

한편, 단지내 도로 등에서 민간 설치자가 차량의 주행 속도를 10km/시 이하로 제한하고자 하는 경우에는 설치 길이 1.0m, 설치높이 7.5cm의 범프(Bump)를 설치할 수 있다.



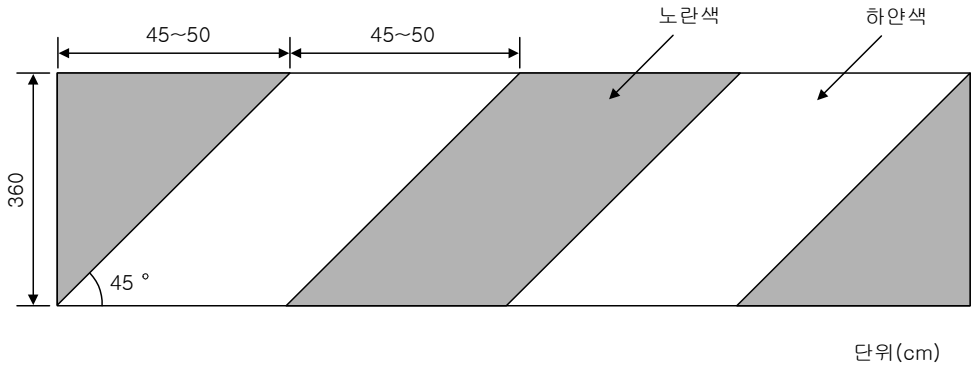
<그림 805.2.1> 일반적인 과속방지턱의 형상 및 제원

(2) 재료

과속방지턱은 기존 포장 노면(아스팔트 또는 콘크리트)과 동일한 재료로 사용하여 노면과 일체가 되도록 설치함을 원칙으로 한다.

(3) 도색

과속방지턱은 충분한 시인성을 갖기 위해 반사성 도료를 사용하여 표면 도색함을 원칙으로 한다. 사용 색상은 시인성이 높은 하얀색과 노란색으로 <그림 805.2.2>와 같이 도색하며, 색상 기준은 <표 805.2.1>에 따른다.



<그림 805.2.2> 과속방지턱의 표면 도색

<표 805.2.1> 색상 기준

색 종 류	색 번 호	허 용 치
하 얀 색	37875	△E = 1 이내
노 란 색	33538(아스팔트) 26709(시멘트)	

주) 한국산업규격(KS M 5322, KS M 5333, KS M 5336)에 따른다.

<표 805.2.2> 도료의 반사 성능 기준

(단위 : mcd/(lx · m^2))

입사각(도)	관측각(도)	구분	반사 성능	
			하얀색	노란색
86.5	1.0	도색 후 3개월 이내	150	90
		재도색 시기	70	40
86.5	1.5	도색 후 3개월 이내	120	70
		재도색 시기	55	30

반사성 도료는 야간에도 충분한 시인성을 가져야 하므로, 교통안전시설의 노면표시에서 사용하는 재료와 동일한 반사 성능 기준으로 <표 805.2.2>의 조건을 만족해야 한다. 그러나 반사성 도료를 이용하여 도색하는 경우에는 공용시간에 따라 타이어와의 마찰에 의하여 인지성이 악화되는 경우가 많다. 따라서 인지성이 충분히 확보되지 않은 경우에는 기간에 관계없이 재도색하여야 한다. 인지성의 악화에 관한 기준은 통과 교통량이나 기타 도로교통 조건을 고려하여 별도로 정한다.

1.2.2 설치장소

과속방지턱은 집산 도로 및 국지 도로의 기능을 가진 도로 중 다음과 같은 구간에 도로·교통 상황과 지역 조건 등을 종합적으로 검토하여 보행자의 통행 안전과 생활 환경을 보호하기 위해 도로관리청이 필요하다고 판단되는 장소에 한하여 최소한으로 설치한다.

(1) 학교 앞, 유치원, 어린이 놀이터, 근린 공원, 마을 통과 지점 등으로 차량의 속도를 저속으로 규제할 필요가 있는 구간

(2) 보·차도의 구분이 없는 도로로서 보행자가 많거나 어린이의 놀이로 교통 사고 위험이 있다고 판단되는 도로

(3) 공동 주택, 근린 상업시설, 학교, 병원, 종교 시설 등 차량의 출입이 많아 속도 규제가 필요하다고 판단되는 구간

(4) 기타 차량의 통행 속도를 30㎞/시 이하로 제한할 필요가 있다고 판단되는 구간

과속방지턱은 다음과 같은 구간에는 설치를 금한다.

(1) 2차로 보다 큰 도로 또는 폭 12m 이상의 도로 구간

(2) 일평균 교통량(ADT) 값이 3000대 이상인 구간

(3) 중차량 교통량의 비율이 5% 이상인 구간

(4) 긴급 차량이 접근하는 구간

간선도로 또는 보조간선도로 등 이동성의 기능을 갖는 도로에서는 과속방지턱을 설치할 수 없다.

1.2.3 설치위치

과속방지턱은 해당 도로 구간에서 속도 저감이 가장 필요한 지점 앞에 설치하는 한편 안전하고 적정한 운전자의 감속 행위가 이루어질 수 있는 위치에 설치하여야 한다.

과속방지턱의 설치 위치는 다음과 같다.

(1) 교차로 및 도로의 굴곡 지점으로부터 30m 이내
(2) 도로 오목 종단 곡선부의 끝으로부터 30m 이내
(3) 최대경사 변화 지점으로부터 20m 이내 (10% 이상 경사시)
(4) 기타 교통안전상 필요하다고 인정되는 지점

과속방지턱의 설치를 금하는 위치는 다음과 같다.

(1) 교차로로부터 15m 이내
(2) 건널목으로부터 20m 이내
(3) 버스정류장으로부터 20m 이내
(4) 교량, 지하도, 터널, 어두운 곳 등
(5) 연도의 진입이 방해되는 곳 또는 맨홀 등의 작업 차량 진입을 방해하는 장소

위에 제시된 설치 위치 이외에 교통 안전상 설치가 필요한 지점에 대해서는 도로 환경 및 교통 조건을 고려하여 설치한다.

아울러, 설치 위치를 결정할 때에는 노면배수를 충분히 고려하도록 한다.

1.2.4 설치간격

과속방지턱은 연속 설치 여부에 따라 단일형과 연속형으로 분류된다. 단일형 과속방지턱은 해당 도로구간에 한 개만 설치되는 것으로 속도 저감이 가장 필요한 장소에 설치한다.

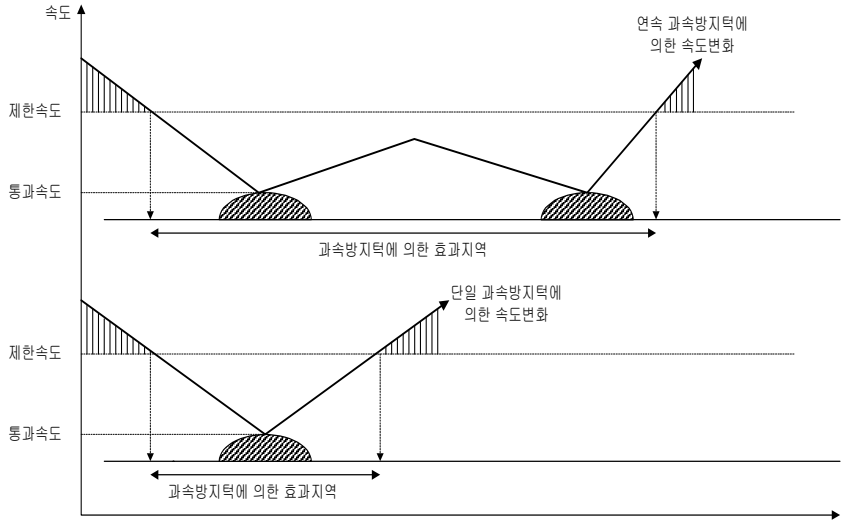
과속방지턱을 두 개 이상 연속으로 설치하는 경우에는 동일한 규격의 과속방지턱 설치를 원칙으로 한다. 과속방지턱의 설치간격은 속도 제어의 목표에 따라 설치간격을 달리하는 것이 바람직하다.

설치 간격의 설정을 위한 기본 개념은 <그림 805.2.3>과 같이 과속방지턱의 설치로 인하여 통행 차량이 일정한 제한 속도를 넘지 않고 주행할 수 있도록 하는 것이다. 설치 간격의 기준 정립을 위한 현장 조사·실험에서 속도와 과속방지턱의 설치 간격과의 관계식은 다음과 같다.

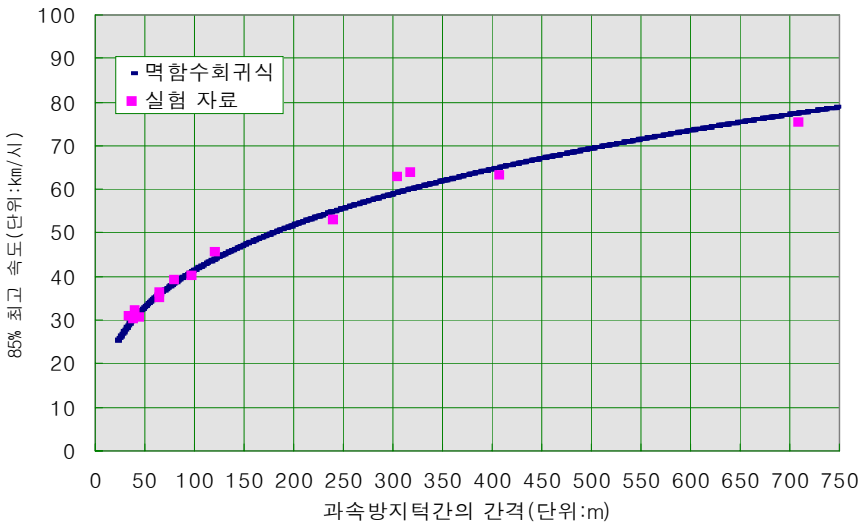
$$Y = 9.7573X^{0.315821}$$

여기서, Y : 85백분위수 속도(km/시)
X : 과속방지턱의 설치 간격(m)

이 식에 의해서 규제속도에 따른 과속방지턱의 적정 설치 간격은 <그림 805.2.4>와 같이 얻어진다. 일반적으로 과속방지턱을 설치할 때 대부분 통행속도를 30km/시로 제한하고 있기 때문에 연속형으로 과속방지턱을 설치할 경우의 설치간격은 20~90m로 규정한다. 이는 주행 최대 속도를 20km/시로 규제할 때와 40km/시로 규제할 때 얻어지는 값이다. 따라서, 연속형 과속방지턱은 20~90m의 간격으로 설치함을 원칙으로 하며 차량의 주행속도, 도로 여건 등을 감안하여 합리적인 설치가 이루어지도록 한다.



<그림 805.2.3> 과속방지턱의 효과 범위

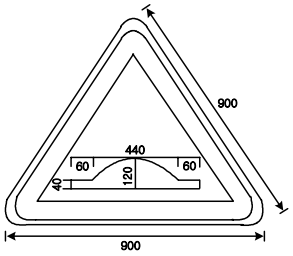
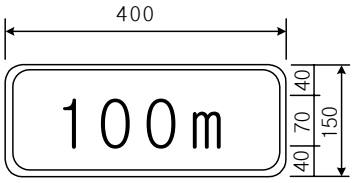
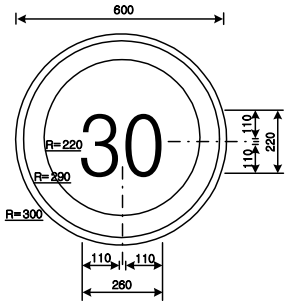
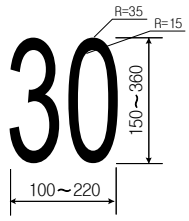
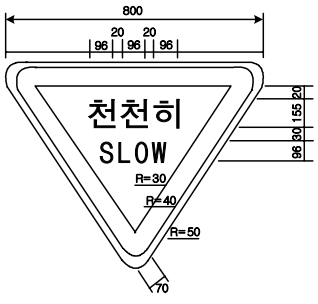


<그림 805.2.4> 연속형 과속방지턱의 설치 간격 분석

1.2.5 관련 시설의 설치

도로상에 과속방지턱을 설치하였을 때는 통행 안전을 위하여 사전에 과속방지턱의 위치를 알리는 교통안전표지를 설치해야 하며, 교통량이 많은 도로에서는 노면표시를 병행하여 설치할 수 있다.

교통안전표지와 노면표시는 도로교통법 제3조, 제4조 및 제104조에 따라 설치하며, 과속방지턱과 함께 설치되는 표지는 <그림 805.2.5>와 같다. 이 밖에도 과속방지턱의 인지성을 향상시키기 위하여 조명 시설을 병행하여 설치할 수 있다. 이때 조명의 밝기는 최소한 40lx 이상으로 유지해야 한다.

일련 번호	종류	만드는 방식(단위:mm)	일련 번호	종류	만드는 방식(단위:mm)
117-1 (주의표지)	과속 방지턱 표지		518 (보조표지)	거리 표지	
220 (규제표지)	최고 속도 제한 표지		612 (노면표시)	속도 제한 표시	
223 (규제표지)	서행 표지		613 (노면표시)	서행 표시	

<그림 805.2.5> 교통안전표지와 노면표시

1.2.6 설치방법

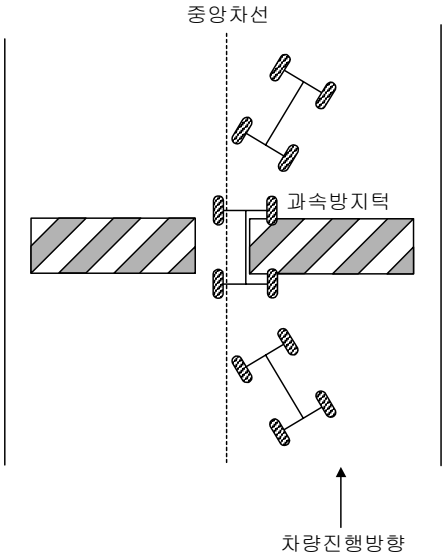
과속방지턱을 설치할 경우 다음과 같은 사항에 유의하여 설치한다.

(1) 과속방지턱은 차도 전폭에 걸쳐서 도로 폭에 직각으로 설치한다. 다만, 차도에 L형 측구 등 배수 시설이 포함된 경우에는 이를 제외한 포장 폭을 대상으로 한다.

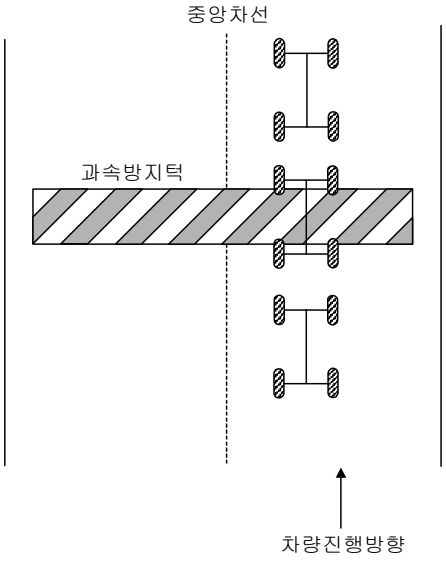
(2) 양방향 도로에서 과속방지턱을 설치할 경우에는 방향별로 도로 편측에만 설치하거나 설치 위치를 달리하는 경우를 금한다.

(3) 도로의 중앙차선을 중심으로 일정한 간격을 비우는 설치를 금한다.

<그림 805.2.6>과 <그림 805.2.7>은 과속방지턱의 설치 사례를 나타낸다. 과속방지턱의 올바른 설치는 <그림 805.2.7>이다.



<그림 805.2.6> 과속방지턱의 올바르지 못한 설치 예



<그림 805.2.7> 과속방지턱의 올바른 설치 예

805.3 노면요철 포장

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

노면요철 포장(rumble strip)은 잠재적인 위험을 지니고 있는 구간의 노면에 인위적인 요철을 만들어 차량이 이를 통과할 때 타이어에서 발생하는 마찰음과 차체의 진동을 통해 운전자의 경각심을 높임으로써 차량이 안전하게 주행할 수 있도록 유도하는 시설이다.

노면요철 포장은 전방의 위험 상황이나 도로변의 위험물 등과 같은 위험요소들에 대하여 운전자들에게 사전 경고를 제공함으로써 운전자들이 이에 대한 행동을 사전에 취할 수 있게끔 유도하는 기능을 가지며, 일반적으로 노면요철 포장은 운전자에게 다음과 같은 경고의 의미를 제공하는 경우에 사용한다.

(1) 차량이 주행차로를 벗어난 것을 경고할 때
(2) 차로를 변경할 것을 경고할 때
(3) 도로선형이 갑자기 변화한다는 것을 경고할 때
(4) 감속할 것을 경고할 때
(5) 곧 정지할 것을 경고할 때
(6) 기타 잠재된 위험 상황을 경고할 때

일반적으로 노면요철 포장은 길어깨에 설치하여 차도를 이탈하는 차량에게 주의 및 경고할 때 많이 사용된다.

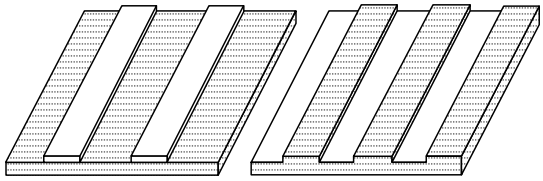
1.1.2 종류

일반적으로 노면요철 포장의 종류에는 다음과 같은 4개의 형태가 있다.

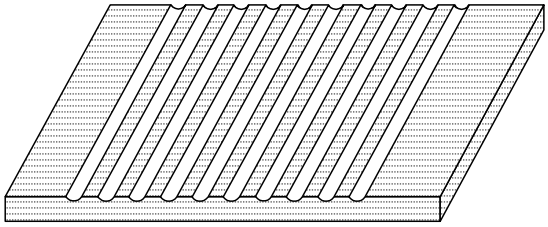
(1) 요철형
노면을 일정한 거리를 두고 연속적으로 그루빙(grooving)하거나 기존의 포장면 위에 새로운 재료를 붙이는 방식이다.
(2) 물결형 Ⅰ
노면을 물결 모양으로 그루빙하는 방식이다.
(3) 물결형 Ⅱ
노면의 물결 모양을 물결형 Ⅰ보다 더 넓게 그루빙하는 방식이다.
(4) 골재노출
기존의 노면 위에 골재를 노출시켜 다시 포장하는 형식이다.

이 외에도 원호 모양의 둥근 물질을 노면 위에 볼록하게 설치하여 노면요철 포장과 동일한 기능을 발휘하게끔 만드는 방식도 있다.

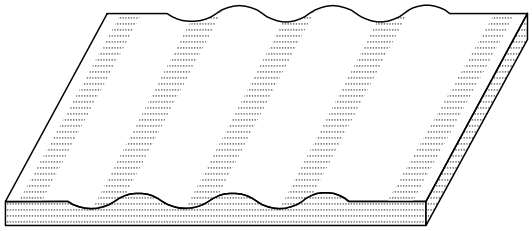
<그림 805.3.1>은 노면요철 포장의 종류를 나타낸 것이다.



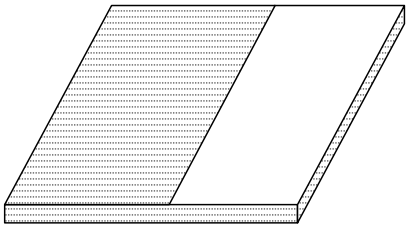
(a) 요철형



(b) 물결형 I



(c) 물결형 II



(d) 골재 노출

<그림 805.3.1> 노면요철 포장의 종류

1.2 설계기준

1.2.1 구조

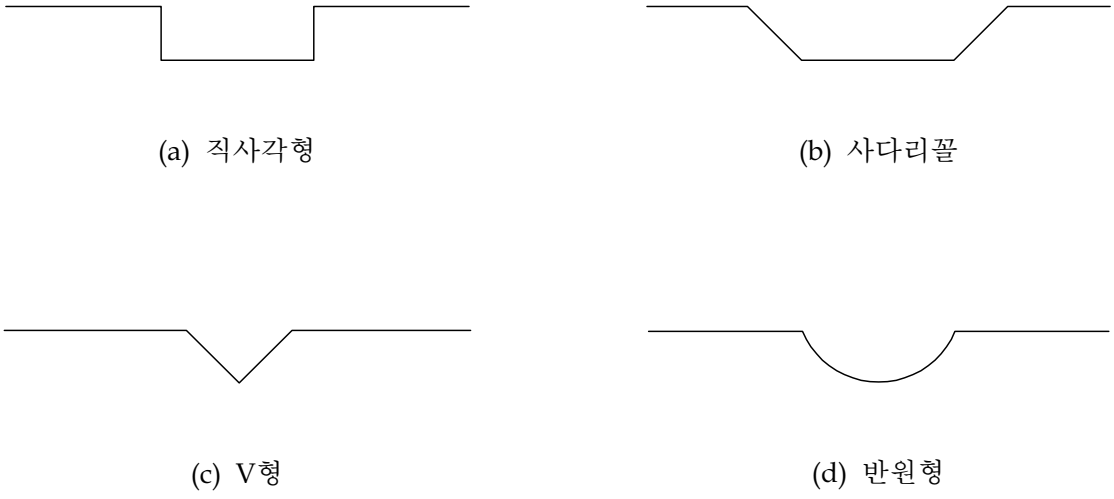
(1) 형상

현재 우리나라에서는 노면요철 포장의 적용이 미비한 실정이므로 형상이나 제원이 표준화된 것은 없으나, 일반적으로 노면요철 포장의 형상은 도로 포장면을 그루빙한 형태에 따라 <그림 805.3.2>와 같이 4가지로 구분된다.

(2) 제원

노면요철 포장을 길어깨에 설치할 때는 연속형과 단속형의 두 가지 형태로 설치하는데, 각각의 경우에 노면요철 포장의 제원은 일반적으로 넓이 5~10cm, 깊이 1.5~3cm, 스트립간의 간격 20~30cm가 많이 사용된다. 만약 노면요철 포장의 깊이가 깊으면 노면요철 포장 위를 지나가는 운전자가 불쾌감을 느낄 수 있으므로 너무 깊지 않도록 주의를 해야 한다.

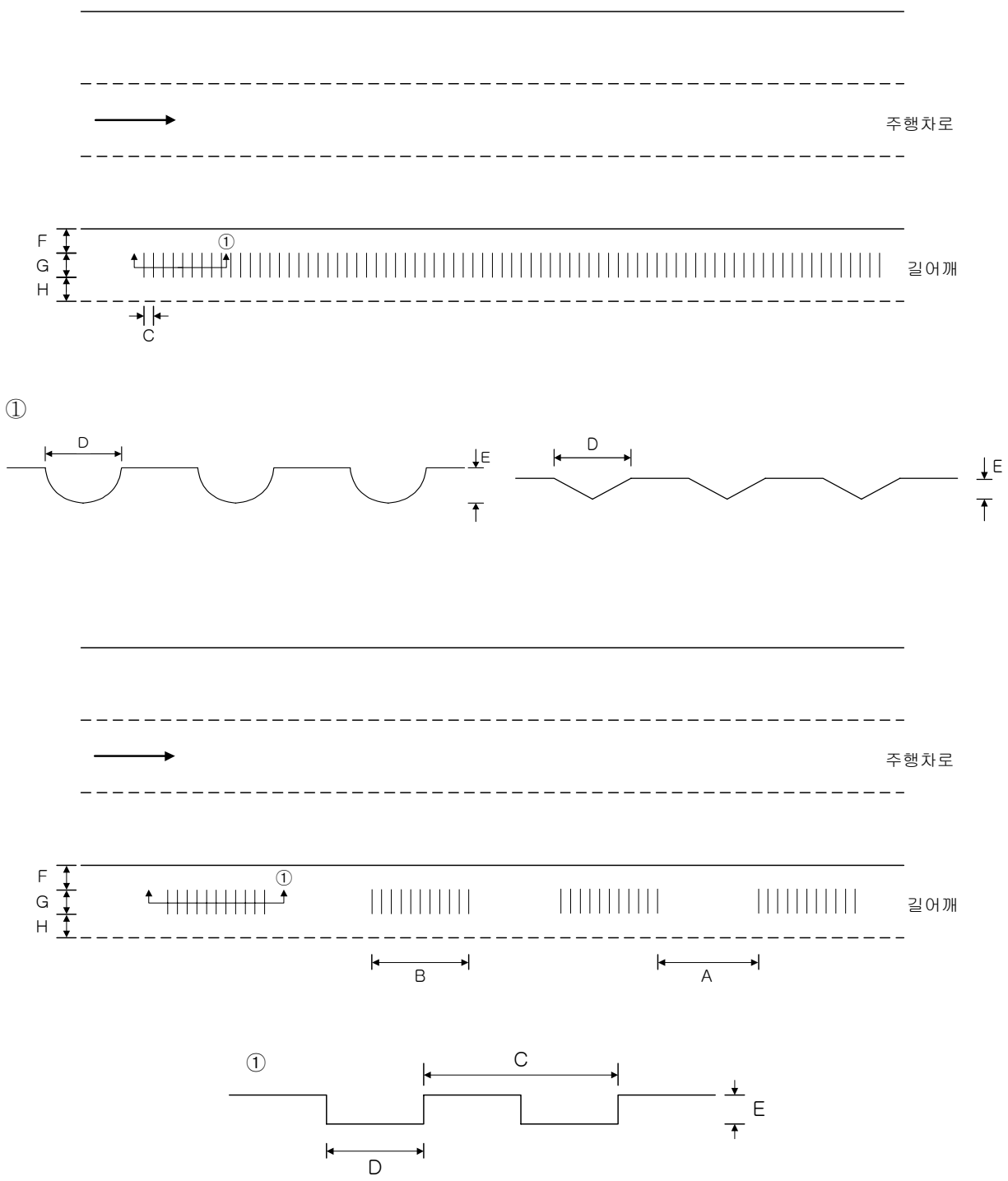
<그림 805.3.3>은 노면요철 포장의 제원을 나타낸다.



(a) 직사각형 (b) 사다리꼴

(c) V형 (d) 반원형

<그림 805.3.2> 노면요철 포장의 종류



구 분	A	B	C	D	E	F	G	H
제 원	16m	6～7m	20～30cm	5～10cm	1.5～3cm	30cm	60～90cm	길어깨폭—(F+G)

<그림 805.3.3> 노면요철 포장의 제원

1.2.2 설치시 고려사항

노면요철 포장을 길어깨에 설치하는 경우에는 다음과 같은 사항에 유의하여 설치하여야 한다.

(1) 차도의 포장면으로부터 최소 30cm 이상 떨어진 지점에 설치한다.

(2) 노면요철 포장은 운전자에게 위험상황을 경고하여 이에 대응하는 적절한 행동을 취하게끔 하는 기능을 가지고 있으므로 운전자가 어떠한 행동을 취할 것인지를 결정할 수 있는 적절한 안내표지판을 함께 설치해야 한다(예를 들면 정지표지, 급커브 주의표지, 속도제한표지 등).

(3) 요철의 높이 또는 깊이가 너무 깊거나 높으면 운전자에게 불쾌감을 주기 때문에 최대 3cm를 초과하면 안된다.

1.2.3 설치장소

일반적으로 노면요철 포장은 길어깨 또는 주행차로 밖의 기타 지역에 설치할 수 있다.

길어깨에 설치하는 이유는 주행차로를 벗어난 운전자에게 경고를 줌으로써 본래의 진행방향으로 복원시키기 위함이다.

노면요철 포장의 설치장소는 다음과 같다.

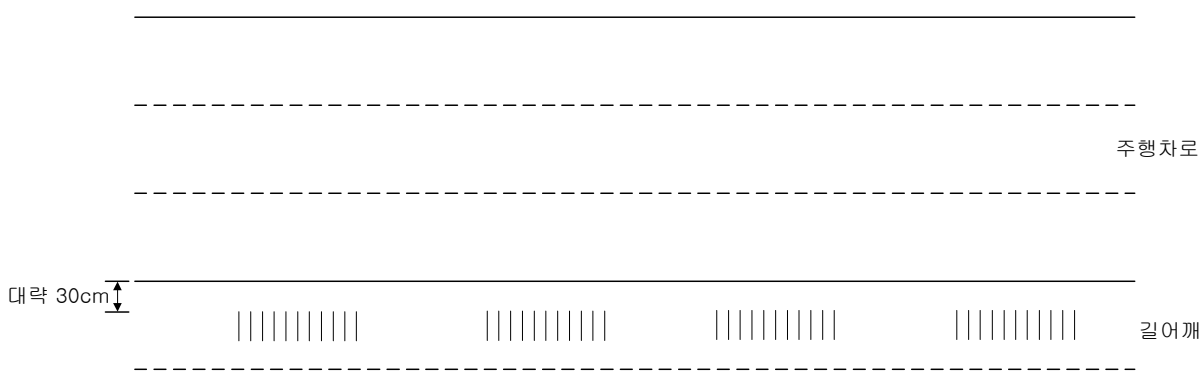
- 진출램프의 고어(gore) 구간
- 차로수의 감소가 끝난 구간
- 노변에 위험물이 있는 구간

현재 우리나라에서는 고속도로의 요금소 구간에만 노면요철 포장을 설치하여 실시하고 있는데, 외국의 경우를 살펴보면 길어깨 부근에 노면요철 포장을 설치하여 안전 측면에서 높은 효과를 얻고 있는 것으로 나타났다.

따라서 향후 우리나라에서도 길어깨 부분에 이의 도입을 적극 검토하는 것이 필요하다.

1.2.4 설치위치

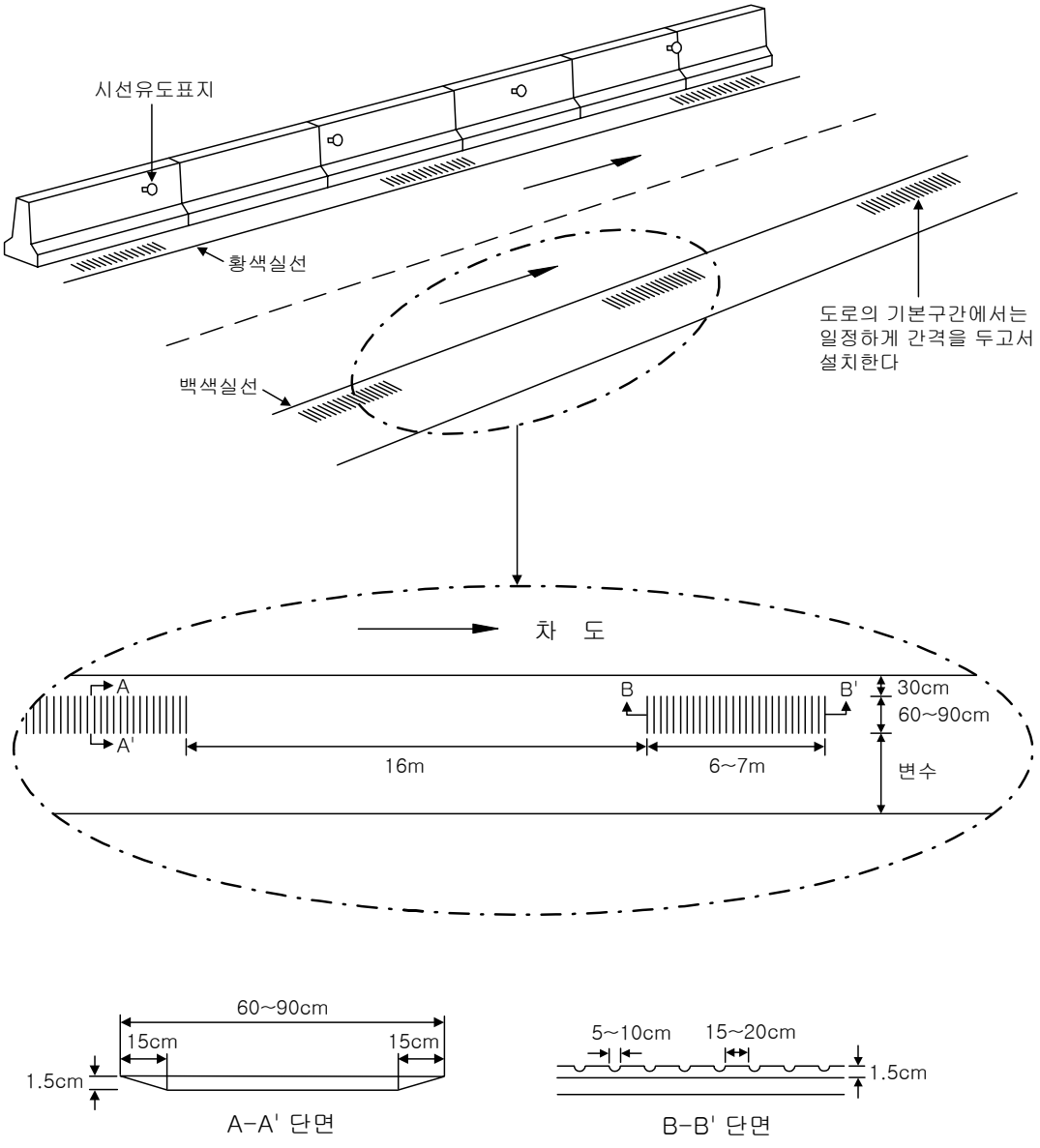
노면요철 포장은 <그림 805.3.4>와 같이 차도의 포장면 끝단으로부터 대략 30cm 정도 떨어진 지점에 설치한다.



<그림 805.3.4> 노면요철 포장의 설치위치(길어깨에 설치하는 경우)

1.3 종합적 설계

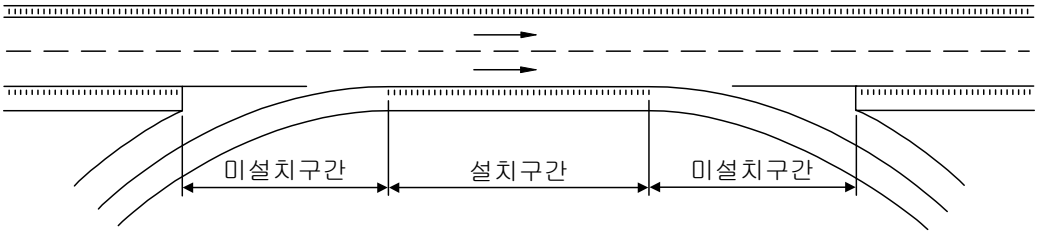
1.3.1 일반적 설치방법



A-A' 단면

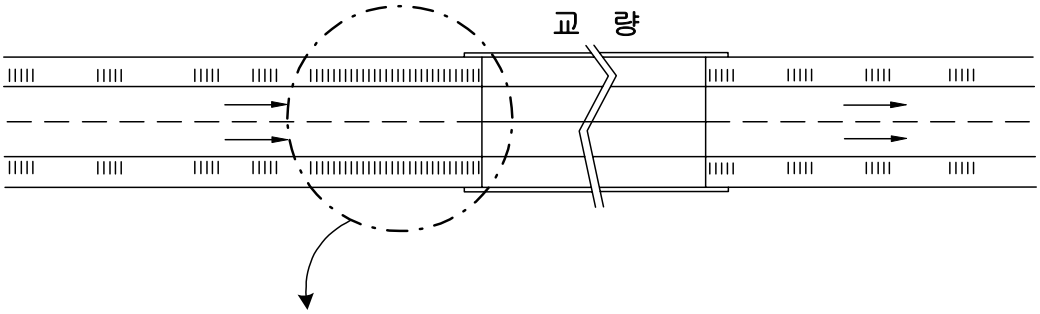
B-B' 단면

1.3.2 분□합류구간에서의 설치방법



분류, 합류구간에서는 그림과 같이 노면요철 포장을 설치한다.

1.3.3 교량지점에서의 설치방법



교량 진입부에서는 차량이 교량 밖으로 이탈하는 것을 방지하기 위해 방호울타리를 설치할 수도 있지만, 노면요철 포장을 연속적으로 설치하는 것도 운전자에게 사전에 위험을 경고하여 이탈사고를 방지할 수 있는 유용한 방법 중의 하나이다.

805.4 낙석방지시설

1.1 개요

1.1.1 정의 및 기능

낙석방지시설이란 비탈면 보호공의 일종으로, 도로의 절토 비탈면으로부터의 낙석, 토사붕괴 등으로 인한 교통의 장애, 도로구조의 손상 등을 예방하기 위하여 설치하는 구조물인 반면, 비탈면 보호공은 비탈면 침식과 풍화를 방지하기 위하여 식생이나 구조물로 비탈면을 피복하거나 배수공과 토류 구조물로 비탈면의 안정을 기하기 위한 시설물로, 낙석방지시설은 비탈면에서 떨어지거나 낙하하는 낙석이나 토사 등이 교통에 지장을 주거나 도로구조에 손상을 주는 것을 예방하는 기능을 가진다.

1.1.2 종류

낙석방지시설은 도로 이용자 및 도로시설을 낙석 등의 재난으로부터 보호하는 것을 목적으로 하는 것으로, 낙석 발생이 예상되는 비탈면에 있는 뜬 돌과 전석을 제거하거나 고정시키는 예방공과 비탈면에서 떨어지거나 낙하하는 낙석을 도로를 따라 설치한 시설로 방호 목적의 방호공으로 구분할 수 있다.

본 편람에서는 낙석방지시설을 낙석 예방이 아닌 낙석이 굴러떨어지는 것을 막기 위해 설치하는 시설로만 다루기로 하며, 낙석방지시설로 다음과 같이 4가지로 구분하였지만, 이 중에서도 현재 가장 많이 사용되는 낙석방지망과 낙석방지울타리에 대해서만 기술한다.

(1) 낙석방지망 : 비탈면에 강재 또는 합성섬유로 제작된 망을 설치하여 낙석 등이 주는 직접적인 피해를 막거나 경감시킬 목적으로 행하는 공법이다.
(2) 낙석방지울타리 : 낙석이 비교적 적은 경우에 시행하는 공법으로 철주사이를 앵커로 된 와이어로프, 철망 또는 강재 등으로 연결된 구조물을 말한다.
(3) 낙석방지벽 : 비탈면 하부에 설치하여 낙석을 방호하는 것으로 벽면 배후에 설치한 모래방석 등으로 낙석의 충격력을 분산 감소시켜 낙석을 방호하는 옹벽형 구조물이다.
(4) 낙석복공 : 강재나 콘크리트 등으로 도로를 덮어 낙석이 노면으로 직접 낙하하는 것을 방지하는 공법이다.

1.1.3 관련기준

- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 건설교통부, 1999

1.2 설계기준

1.2.1 낙석방지망

낙석방지망은 비탈면에 강재 또는 합성섬유로 제작된 망을 설치하여 낙석 등이 주는 직접적인 피해를 막거나 경감시킬 목적으로 행하는 공법으로, 낙석의 발생을 미연에 방지함과 동시에 만일 낙석이 발생한 경우에는 돌이 튀기지 않도록 비탈 끝으로 인도하는 것을 목적으로 설치하는 시설물이다.

(1) 설치장소

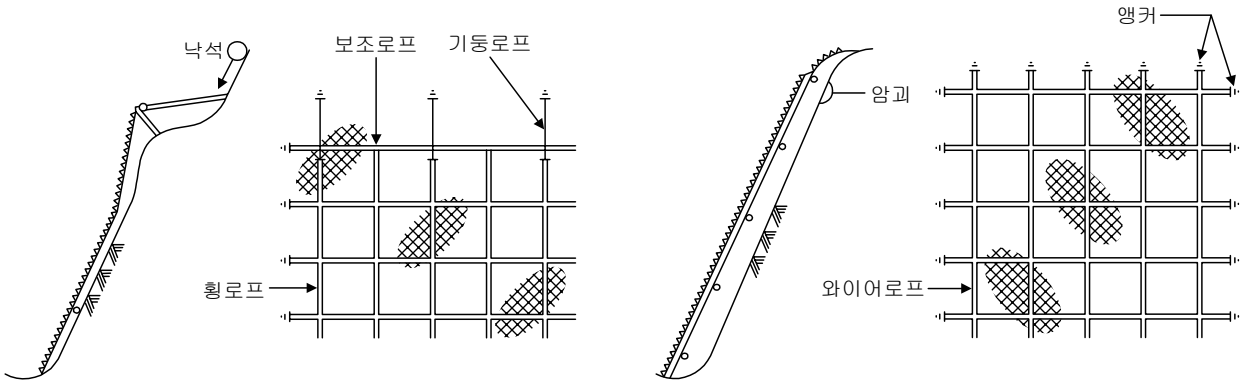
낙석방지망은 암 깍기 비탈면에서 낙석의 우려가 있는 연암 또는 돌이 섞인 토사 구간에서 우수로 인한 세굴 등으로 돌, 암편의 낙하가 예상되는 장소에 설치한다.

(2) 종 류

낙석방지망은 일반적으로 포켓식 낙석방지망과 비포켓식 낙석방지망으로 구분되는데, 이들은 각각 강재와 합성섬유로 만들어진다.

포켓식 낙석방지망은 상부에 낙석의 입구를 설치하여 망에 낙석이 충돌함에 따라 낙석이 갖는 에너지를 흡수하는 기능을 가진다.

비포켓식 낙석방지망은 비탈면과 결합력을 상실한 암석을 망의 장력 및 망과 비탈면의 마찰력으로 구속하는 기능을 가진다(<그림 805.4.1> 참조).

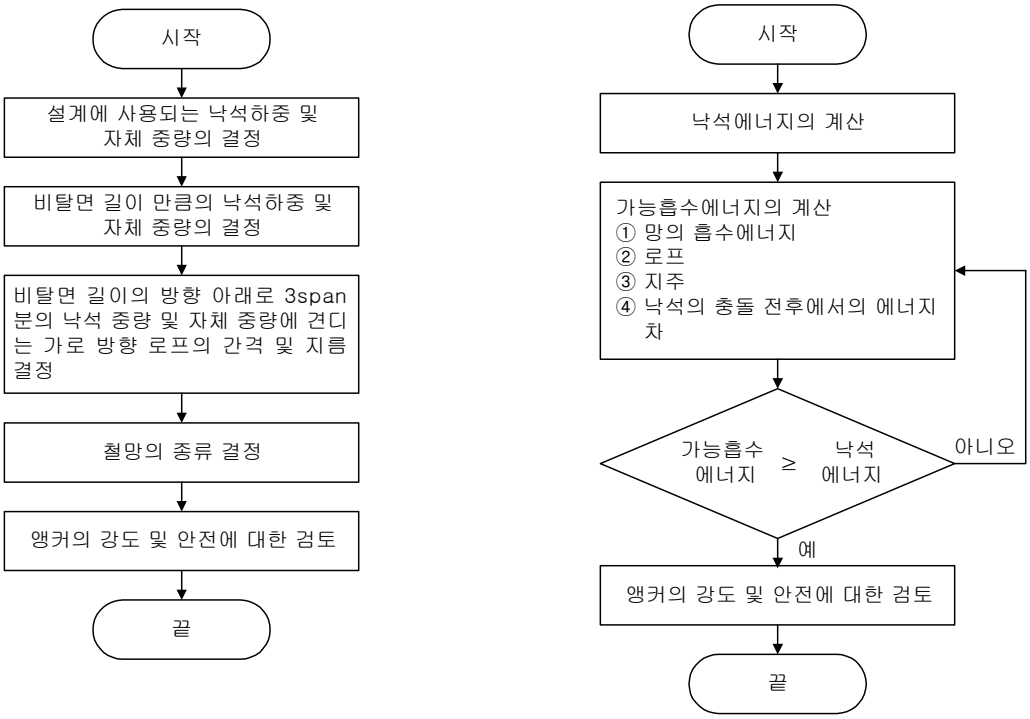


(a) 포켓식 낙석방지망 (b) 비포켓식 낙석방지망

<그림 805.4.1> 낙석방지망의 종류

(3) 설계순서

낙석방지망의 설계순서는 종류에 따라 달라지는데, 비포켓식 낙석방지망과 포켓식 낙석방지망의 설계순서는 다음과 같다(<그림 805.4.2> 참조)



(a) 비포켓식 낙석방지망 (b) 포켓식 낙석방지망

<그림 805.4.2> 낙석방지망의 설계순서

1.2.2 낙석방지울타리

(1) 일반사항

① 낙석방지울타리는 비교적 소규모인 낙석 대책으로 유용하며, 비탈면 상황에 따라 종류 및 기법을 결정하는 것이 좋다.

② 토사가 혼합되어 낙하하는 경우에는 콘크리트 벽을 설치하여 그 상부에 울타리를 설치하는 것이 좋다.

③ 낙하높이가 높은 경우나 낙석량이 많다고 예상되는 경우에는 완충용의 편평한 장소를 설치하던가, 낙석방지옹벽을 설치하는 것이 유리하다.

④ 낙석방지울타리의 설치길이는 예상되는 낙석의 폭보다 어느 정도 여유를 두고 설치하는 것으로 한다. 또한, 지형 등의 관계로 인해 연속적으로 길게 설치할 수 없어서 중간을 잘라서 설치하여 좌우의 낙석방지울타리 사이에 단차가 생길 경우에는 중복부분을 설치하는 것으로 한다.

⑤ 낙석방지울타리는 비탈면 끝에 설치하는 것이 원칙이나 필요에 따라서는 비탈면 상부의 소단에 설치할 수 있다.

⑥ 낙석방지울타리의 하단부는 낙석이 발생하였을 때 제거작업이 용이하도록 지면에서 최소 30cm 상단에 방지망을 설치하는 것으로 한다.

⑦ 낙석방지울타리의 연속길이는 파손 및 교체시를 감안하여 60~100m 이내로 한다.

(2) 설치장소

낙석방지울타리는 구간이 긴 흙깍이 비탈면에 집중 호우 등으로 낙석이 일어났을 때, 낙석방지망 만으로는 교통에 위험이 예상되는 장소, 도로 인접지에서 전석 등의 낙하가 예상되는 장소에 설치한다.

(3) 종류

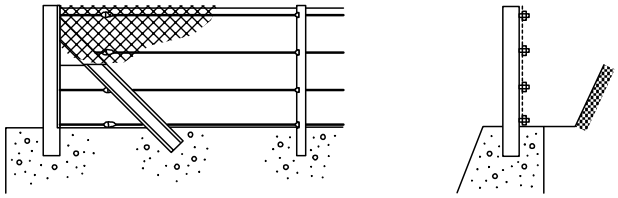
일반적으로 낙석방지울타리에는 다음과 같은 종류가 있다.

① 와이어 로프 철망식
H형강을 지주로 하고 여기에 와이어 로프, 철망을 부착하는 것이다. 지주는 직주식과 곡주식의 2종류가 있다.

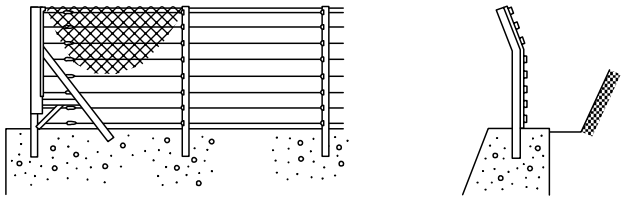
② H형강식
H형강을 지주로 해서 H형강의 횡구 및 팽창메탈을 붙이는 것으로 통상 폐타이어 혹은 모래를 완충재로 사용하는 것이다.
<그림 805.4.3>은 낙석방지울타리의 종류를 나타낸 것이다.

(4) 설계순서

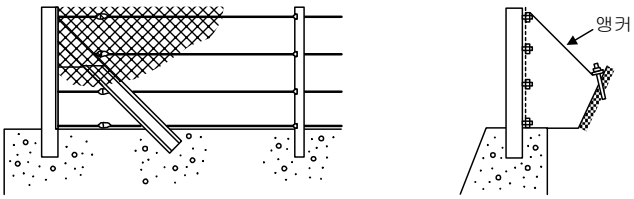
낙석방지울타리의 설계순서는 <그림 805.4.4>와 같다.



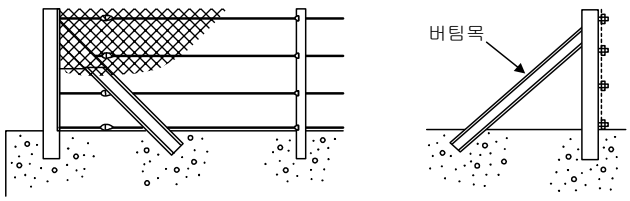
(a) 직 주 식



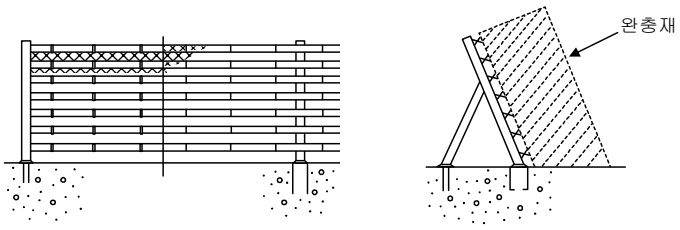
(b) 곡 주 식



(c) 앵커 부착식

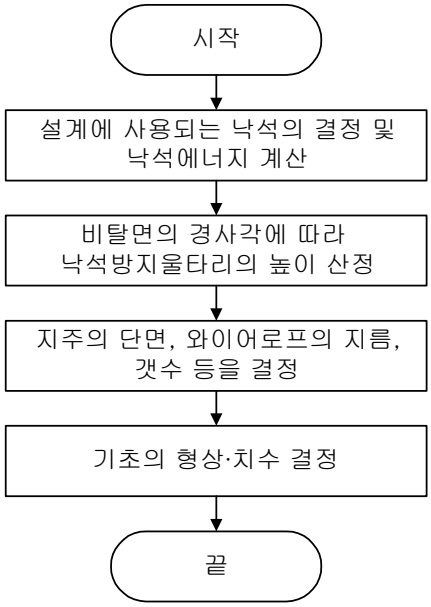


(d) 버팀목식



(e) H형강식

<그림 805.4.3> 낙석방지울타리의 종류



<그림 805.4.4> 낙석방지울타리의 설계순서

참고문헌

802 교통관리 안전시설

【802.1 교통안전표지】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 경찰청, 교통안전시설실무편람, 1996
3. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
4. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996
5. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 1999
6. 日本道路協會, "道路標識設置基準同解說", 1987
7. 日本道路公團, "設計要領(第5集)", 1990
8. 山海堂, 道路の交通安全付屬施設, 1982

【802.2 도로표지】

1. 건설교통부, 도로표지관련규정집, 1997
2. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
3. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 1999
4. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
5. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996
6. 日本道路協會, 道路標識設置基準同解說, 1987
7. 日本道路公團, 設計要領(第5集), 1988
8. 山海堂, 道路の交通安全付屬施設, 1982
9. USDOT, Handbook of Highway Safety Design and Operating Practices, 1978
10. ITE, Traffic Signing Handbook, 1997
11. FHWA, Traffic Control Devices Handbook, 1983

【802.3 노면표시】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 경찰청, 교통안전시설 실무편람, 1996

【802.4 신호기】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 첨단도로교통체계(IVHS) 기본계획(1단계), 1995
3. 경찰청, 교통안전시설실무편람, 1996
4. 국토개발연구원, 첨단교통체계, 1996
5. FHWA, Traffic Control Device Handbook, 1983

【802.5 첨단교통운영시설】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-도로전광표지 편, 1999
3. 건설교통부, 첨단도로교통체계(IVHS) 기본계획(1단계), 1995
4. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
5. 국토개발연구원, 첨단교통체계, 1996
6. 山海堂, 道路の交通安全附屬施設, 1982

803 방호 안전시설

【803.1 방호울타리】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로부대시설, 1998
3. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침(방호울타리 편), 1997

4. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
5. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996
6. 山海堂, 道路の交通安全付屬施設, 1982
7. 日本道路協會, 防護柵設置要綱, 1994
8. AASHTO, Roadside Design Guide, 1996
9. AASHTO, A Guide to Standardized Highway Barrier Hardware, 1995
10. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986
11. National Highway Institute, Design Construction and Maintenance of Highway Safety Features and Appurtenances, 1997

【803.2 충격흡수시설】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침(중앙분리대・충격흡수시설 편), 1998
3. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
4. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996
5. AASHTO, Roadside Design Guide, 1996
6. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986
7. National Highway Institute, Design Construction and Maintenance of Highway Safety Features and Appurtenances, 1997

【803.3 긴급제동시설】

1. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙, 1999
2. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
3. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996
4. PADOT, Design Manual Part2(Highway Design), 1992

【803.4 교량용 방호울타리】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로교표준시방서, 1996
3. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-교량용 방호울타리・조명시설 편, 1999
4. 서울시, 시설물 설계 및 시공 편람,
5. 황해성, 도로의 안전 어떻게 다룰 것인가?, 건설도서, 1997
6. 日本道路協會, 防護柵設置要綱・資料集(橋梁用防護柵・耐雪型防護柵), 1986
7. 日本道路協會, 防護柵の設置基準・同解說, 1998
8. AASHTO, Guide Specifications for Bridge Railings, 1989

804 시인성 증진 안전시설

【804.1 시선유도시설】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙, 1999
3. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침(시선유도시설 편), 1995
4. 경찰청, 교통안전시설실무편람, 1996
5. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
6. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996
7. 日本道路協會, 視線誘導標設置基準・同解說, 1984
8. 日本道路協會, 道路構造令の解說と運用, 1983
9. 山海堂, 道路の交通安全付屬施設, 1982
10. FHWA, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994

11. HRB, Roadway Delineation System, 1972
12. Virginia Highway & Transportation Research Council, Evaluation of Curve Delineation Signs on Rural Highways, 1983

【804.2 조명시설】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로부대시설, 1998
3. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-교량용 방호울타리·조명시설 편, 1999
4. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996
5. 山海堂, 道路の交通安全附屬施設, 1982
6. AASHTO, An Information Guide for Roadway Lighting, 1984

【804.3 도로반사경】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 日本道路協會, 道路反射鏡設置指針, 1994
3. 山海堂, 道路の交通安全附屬施設, 1982

805 기타 안전시설

【805.1 미끄럼방지시설】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 1999
3. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침(과속방지턱·미끄럼방지포장 편), 1997
4. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
5. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996

【805.2 과속방지시설】

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침(과속방지턱·미끄럼방지포장 편), 1997
3. ITE, Guidelines for the Design and Application of Speed Humps, 1993

【805.3 노면요철 포장】

1. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침(과속방지턱·미끄럼방지포장 편), 1997
2. TRB, Use of Rumble Strip to Enhance Safety, NCHRP Synthesis 191, 1993

【805.4 낙석방지시설】

1. 건설교통부, 도로부대시설, 1998
2. 원기술, 도로토공구조설계, 1993
3. 日本道路協會, 落石對策便覽, 1983
4. 日本道路協會, 道路土工のり面工·斜面安定工指針, 1986

부 록

1. 신기술지정현황 및 내용

순번	구 분	내 용
1	신기술명	시선유도용 합성수지 재귀반사체 시설 기술
	지정번호	제 58 호
	기술개발자	부흥산업(주)
	전화번호	02-852-2633
	신기술의 범위	• 시선유도시설(시선유도표지, 갈매기표지, 표지병)의 합성수지 재귀반사체 제작 성형기술 • 근거리 40m에서부터 장거리 500m 이상까지 높은 반사성능을 확보할 수 있는 합성수지 재귀반사체 설계 기술
2	신기술명	원상복귀형 차선규제봉의 구조 및 설치기술
	지정번호	제 61 호
	기술개발자	스파클안전(주)
	전화번호	02-612-1575
	신기술의 범위	• 도로면을 드릴링하지 않고 설치하는 원상복귀형 차선규제봉의 구조 • 압축공기 배출홈 및 배출구를 형성하여 접착층에서 발생되는 기포를 완전히 배출하여 도로면을 드릴링하지 않고 접착제로 접착하는 원상복귀형 차선규제봉의 설치기술
3	신기술명	열가소성 수지를 이용한 미끄럼방지제 제조기술
	지정번호	제 78 호
	기술개발자	미창건업(주)
	전화번호	0344-913-5811
	신기술의 범위	• 석유수지, P.E(폴리에틸렌), SBR(Stylene Butadien Rubber)을 공중합한 열가소성 수지로 이루어진 결합제와 골재(소성 보크사이트) 및 충진제, 첨가물에 적합한 안료를 혼합하여 다양한 색상을 구현한 도로의 미끄럼방지제 제조기술

순번	구 분	내 용
4	신기술명	저속도 구간용 고밀도 폴리에틸렌 중앙분리대 설치공법
	지정번호	제 96 호
	기술개발자	(주) 다물기획
	전화번호	02-511-3194～5
	신기술의 범위	• 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 중앙분리대(그린안전박스)의 설계 및 제작법(형상 및 구조와 연결방법)으로 설계속도 80km/시 이하의 구간이나 가시설, 직선구간 등에 적용할 수 있으며, 주로 공사구간에 적용함
5	신기술명	충격흡수형 고규격 Thrie-Beam 가아드레일 시스템 개발
	지정번호	제 101 호
	기술개발자	동아기공(주), (주) 동아기술공사
	전화번호	0612-373-8190～4
	신기술의 범위	• W형 가아드레일 단면의 단면적과 거의 유사하면서도 단면 폭을 크게 확장시켜 다양한 차종에 대응할 수 있게 하고, 지주와의 체결 볼트 수를 기존의 1개에서 2개로 늘림으로써 충돌 후 강성을 크게 증대시킬 수 있도록 굴곡을 특별히 설계한 고규격 트라이 빔(Thrie-Beam) 가아드레일 단면과 소형차 충돌시 차량의 충돌에너지를 흡수함으로써 탑승자의 안전을 도모할 수 있도록 폐타이어와 EPDM 고무를 합성시켜 만든 충격흡수장치의 재질 및 형태, 고규격 트라이 빔 가아드레일 시스템에 대한 기술
6	신기술명	재활용 분리형 도로표지병
	지정번호	제 105 호
	기술개발자	세신종합 PLANT(주)
	전화번호	02-894-4300
	신기술의 범위	• 도로표지병이 몸체 및 지주로 결합되어 결합볼트만 풀면 도로 노면에서 몸체만 이탈되고, 분리된 몸체는 재활용 가능하고 지주만 공급·조립하여 재시공으로 활용하는 기술

순번	구 분	내 용
7	신기술명	임시가설용 플라스틱 안전보호벽의 구조 및 설치공법
	지정번호	제 118 호
	기술개발자	신도프로토산업(주)
	전화번호	0345-499-5121
	신기술의 범위	• 내장삽입식 파이프의 연속적인 조립과 해체가 가능하도록 플라스틱 안전보호벽의 상측 양단에 L자형 홈(조립시는 U형)을 형상하게 하는 구조와 공사현장 및 산업현장에 돌발적으로 침범하는 차량으로부터 작업자 및 공사설비를 보호하기 위한 플라스틱 안전보호벽의 내장삽입식 파이프 연속체결 시공법
8	신기술명	미끄럼방지판을 이용한 미끄럼방지시설 시공법
	지정번호	제 122 호
	기술개발자	대한로드라인페인트(주)
	전화번호	02-817-0297
	신기술의 범위	• 아크릴계 수지를 이용하고 미끄럼 방지용 골재(제강슬래그, 규사, 규석, 세라믹골재 및 착색자기질 골재 등)를 섞어 일정한 규격의 미끄럼방지판 제조기술 • 미끄럼방지판에 아크릴계 모너머 수지와 중합 촉매(경화제)를 교반시켜 라디칼 중합 반응에 의하여 단시간에 경화방법으로 신속한 미끄럼방지시설 시공방법과 중합 촉매에 따른 라디칼 중합 반응시 발생하는 중합 반응열 및 중합 반응의 강도 등을 이용한 동절기 또는 야간에도 가능한 공법
9	신기술명	태양광을 이용한 무전원 도로 중앙분리 표시장치
	지정번호	제 162 호
	기술개발자	김궁철
	전화번호	02-643-7033
	신기술의 범위	• 도로상에 설치하는 것을 특징으로 하는 태양광을 이용한 무전원 도로중앙 분리장치 • 발광체의 점등속도를 분할 발생시킴으로써 방전율을 최소화시키는 장치 • 몸체와 밑 덮개부분을 분리할 수 있게 고안함으로써 재활용이 가능한 장치

순번	구 분	내 용
10	신기술명	개폐식 및 착탈식 낙석방지책 제조 및 설치공법
	지정번호	제 184 호
	기술개발자	장명수
	전화번호	0391-653-9889
	신기술의 범위	• 산악도로변에 설치되는 낙석 및 사토 흘러내림 방지책을 구성함에 있어서 골조에는 지면에서 소정높이로 철망을 설치하고, 상기 철망이 설치되지 않은 골조하단에는 메탈라스 망 또는 철절판으로 가공된 가로 2m 세로 0.9m필요시 변화 치수가 가능한 낙석차단판을 개폐식 또는 착탈식으로 부착하여 흘러내린 낙석 및 사토처리에 효율적이고 또한 안정성 및 친화적 도로 환경에 월등한 공법 • 훼손시 볼트 4개로 손쉽게 분리하여 규격화 된 낙석차단판을 간단히 교체할 수 있음은 물론이며 부분교체 및 보수가 용이하여 유지관리비가 저렴한 공법
11	신기술명	광섬유를 이용한 안전표시 장치 제작 공법
	지정번호	제 189 호
	기술개발자	안세찬
	전화번호	053-255-9892
	신기술의 범위	• 태양전지를 전원으로 하여 LED 광원을 발광케 한 빛을 광섬유로 전달하는 표시장치 제작 공법 • 표지판의 강조부분에 강한 빛(10,000mcd)을 발하는 고휘도의 발광체를 광원으로 적용하고, 광원과 표지판 강조부분 사이를 광섬유로 연결하여 복잡한 내용도 쉽게 표현이 가능하도록 하여 운전자의 시야를 충분히 확보할 수 있게 하였음

순번	구 분	내 용
12	신기술명	낙석방지책용 강재 지주정착구의 제작 및 설치공법
	지정번호	제 207 호
	기술개발자	(주) 덕원
	전화번호	0591-761-7807
	신기술의 범위	• 강재 지주정착구를 주강으로 제작하여 용접으로 덧댐을 한 기존의 지주 세우기 작업을 보완하고, 융용도금 또는 분체도장으로 부식방지처리를 한 강재 지주정착구 정착기술 • 원형강관파이프로 설치된 기존의 낙석방지책 하부의 부식된 부분을 보강하기 위하여 분리조립 가능한 조립용 반원(분리형) 강재 지주정착구를 이용하여 설치하는 기술

색 인

(ㄱ)

가드레일 803.1-10
가드케이블 803.1-10, 803.1-16
가드파이프 803.1-10
가상 과속방지턱 805.2-1
가속도 803.1-9, 803.4-6
가요성 방호울타리 803.1-1
갈매기표지 804.1-1, 804.1-17
강성 방호울타리 803.1-1, 803.1-8
결빙방지시스템 802.5-1, 802.5-31
경계표지 802.2-1
경사주차 802.3-15
고압나트륨램프 804.2-6
고휘도반사지 802.2-6
골재부설층 803.3-3
공사구간 801-7
과속방지시설 805.2-1
과적차량단속 시스템 802.5-1, 802.5-28
관성형 803.2-1
관측각 802.2-9, 802.3-2, 804.1-5
광도계수 804.1-25
교량 801-6
교량용 방호울타리 803.4-1
교량용 차량 방호울타리 803.4-1, 803.4-4
교통관리 안전시설 801-2, 801-3
교통안전표지 802.1-1
구성부재 803.1-9, 803.4-6
구조물설치 조명방식 804.2-5
국부조명 804.2-1
규제표시 802.3-1
규제표지 802.1-1
기타 안전시설 801-2, 801-3
긴급제동시설 803.3-1
긴급차량 및 버스우선권 제공 시스템 802.5-1, 802.5-30
길가장자리 구역선 802.3-8

(ㄴ)

낙석방지망 805.4-1, 805.4-2
낙석방지벽 805.4-1
낙석방지시설 805.4-1
낙석방지울타리 805.4-1, 805.4-4
낙석복공 805.4-1
난간 803.4-1, 803.4-2
난간 겸용 차량 방호울타리 803.4-1, 803.4-11
내민식 802.1-8, 802.5-19
노면마찰계수 805.1-2
노면요철포장 805.3-1
노상장애물 802.3-14
노선표지 802.2-1
눈부심 조절마크 804.2-2, 804.2-4

(ㄷ)

다판식 802.2-4
단부처리 803.1-16

단주식 802.2-2, 802.5-21
단판식 802.2-2
도로반사경 804.3-1
도로전광표지 802.5-1, 802.5-2
도로표지 802.2-1
도형식 802.5-2
등가구동저항 803.3-5
등주 조명방식 804.2-5

(ㄹ)

라인 매트릭스 802.5-18

(ㅁ)

메탈할라이드램프 804.2-6
모듈 매트릭스 802.5-18
무인교통단속 시스템 802.5-1, 802.5-27
문자높이 결정 802.5-13
문자식 802.5-2
문형식 802.1-8, 802.2-2, 802.5-19
미끄럼방지시설 805.1-1

(ㅂ)

박스형보 803.1-11
반사성능 804.1-5
반사체 804.1-2, 804.1-4
반사형 표지 802.5-2
발광형 소자(LED) 802.5-2
발광형 표지 802.5-2
방향표지 802.2-1
방호 안전시설 801-2, 801-3
방호울타리 803.1-1
버스전용차로 802.3-8
범프 805.2-1
변형거리 803.1-9, 803.1-17
보조표지 802.1-1
복원형 803.2-1, 803.2-2
복주식 802.2-2
부재간격 803.4-3, 803.4-11
부착식 802.1-8, 802.2-2 802.5-19
분리식 802.2-10
비관성형 803.2-1
비보호 좌회전 802.3-20
비복원형 803.2-1, 803.2-2
비산방지 803.1-9, 803.4-6

(ㅅ)

사다리꼴 과속방지턱 805.2-1
색도기준 802.2-7
색도좌표 804.1-4, 804.1-20, 804.1-24
색상과 휘도 802.5-17
서행 802.3-12
선행거리 802.1-15
설계시 고려사항 801-4
성능기준 803.4-5
세미컷오프형 804.2-6
속도제한 802.3-11
시선유도봉 804.1-1
시선유도시설 804.1-1
시선유도표지 804.1-1, 804.1-2
시인거리 802.1-14
시인성 증진 안전시설 801-2, 801-3
신호등면 수 802.4-6
신호등의 배열 802.4-5

신호등의 순서 802.4-5
신호등화의 적용 802.4-5

(ㅇ)

안전거리 803.1-12
안전시설의 기능 801-3
안전시설의 정의 801-1
안전시설의 종류 801-1
안전지대 802.3-22
안전표지와 노면표시와의 관계 802.3-23
야간반사성 802.3-2
양보표시 802.3-12
어린이 보호구역 802.3-22
연결로 803.3-5
연속조명 804.2-1
오버행 804.2-8
외부조건 804.2-2
우회전 금지 802.3-10
원호형 과속방지턱 805.2-1
유도 802.3-15, 802.3-16
유도선 802.3-15
유턴구역선 802.3-6
유턴금지 802.3-11
이격식 805.1-5
이정표지 802.2-1
일시정지 802.3-12
입사각 802.2-9, 802.3-2 804.1-5
입체교차로 801-5

(ㅈ)

자동요금징수 시스템 802.5-1, 802.5-26
자전거 전용도로 802.3-18
자전거 횡단도 802.3-18
재귀반사계수 804.1-20
저압나트륨램프 804.2-6
전면처리 805.1-5
전이구간 803.1-17, 804.1-17
점멸등 804.1-1
정보량 802.5-11
정주식 802.1-8
정지선 802.3-21
정차・주차금지 802.3-13
정차금지 지대 802.3-21
조명기준 804.2-2
조명시설 804.2-1
종합균제도 804.2-2, 804.2-4
좌우회전 금지 802.3-11
좌회전 전용차로 802.3-20
주의표지 802.1-1
주차금지 802.3-13
주행차량 자동인식 시스템 802.5-25
중앙선 802.3-6
지시표시 802.3-1
지시표지 802.1-1
직각주차 802.3-14
직립식 802.5-21
직진금지 802.3-10
진로변경 제한선 802.3-8, 802.3-9
진행방향 표시 802.3-19

(ㅊ)

차량접근관리 시스템 802.5-1, 802.5-28
차로 제어식 802.5-3
차선 802.3-7
차선축균제도 804.2-2, 804.2-4

철도교차로 801-6
초고휘도반사지 802.2-6
충격도 803.4-5
충격에너지 803.2-1, 803.2-4
충격흡수시설 803.2-1
충돌설계속도 803.2-5, 803.2-9
충돌조건 803.4-6, 803.1-9

(ㅋ)

커티너리 조명방식 804.2-5
컷오프형 804.2-6
쿠션 805.2-1

(ㅌ)

터널 801-7

(ㅍ)

판단반응거리 802.1-14
판독거리 802.5-13
편지식 802.2-2
평균노면휘도 804.2-2, 804.2-4
평면교차로 801-5
평행주차 802.3-14
표시면 규격 설계 802.5-15
표지기둥 802.2-10
표지병 804.1-1, 804.1-23
표지판의 설치지점 802.1-14
표출 메시지 설계 802.5-8, 802.5-11
풀 매트릭스 802.5-18
플래토 805.2-1

(ㅎ)

하이마스트 조명방식 804.2-5
현광방지시설 803.1-18
현수식 802.2-2
형광수은램프 804.2-6
횡단보도 802.3-16, 802.3-18
횡단보도 예고 802.3-16

제 9 편 부 대 시 설

목 차

901 총론

901.1 부대시설의 정의 ····· 901-1
901.2 부대시설의 종류 ····· 901-1
901.3 부대시설의 기능 ····· 901-1
901.4 설계시 고려사항 ····· 901-2

902 휴게시설

902.1 개요 ····· 902-1
1.1 정의 및 기능 ····· 902-1
1.2 종류 ····· 902-1
902.2 설계기준 ····· 902-2
2.1 일반적 기준 ····· 902-2
2.2 설치위치 및 입지조건 ····· 902-6
2.3 설치간격 ····· 902-7
2.4 형식의 선정 ····· 902-8
2.5 휴게시설의 규모 결정 ····· 902-10
2.6 시설의 병설 ····· 902-15

903 체인설치제거소

903.1 개요 ····· 903-1
1.1 정의 및 기능 ····· 903-1
1.2 종류 ····· 903-1
903.2 설계기준 ····· 903-1
2.1 설치장소 ····· 903-1
2.2 설계시 고려사항 ····· 903-2
2.3 설계방법 ····· 903-2

904 비상주차대

904.1 개요 ····· 904-1
1.1 정의 및 기능 ····· 904-1

904.2 설계기준 ····· 904-1
2.1 설치장소 ····· 904-1
2.2 설치위치 ····· 904-1
2.3 설치간격 ····· 904-1
2.4 구조 ····· 904-1

905 긴급연락시설

905.1 개요 ····· 905-1
1.1 정의 및 기능 ····· 905-1
905.2 설계기준 ····· 905-1
2.1 설치장소 ····· 905-1
2.2 설치간격 ····· 905-2

906 방음시설

906.1 개요 ····· 906-1
1.1 정의 및 기능 ····· 906-1
1.2 종류 ····· 906-1
906.2 설계기준 ····· 906-2
2.1 구조 ····· 906-2
2.2 규격 ····· 906-3
2.3 음향성능 및 재질기준 ····· 906-3
2.4 계획 및 설계순서 ····· 906-5
2.5 설계시 기본적인 고려사항 ····· 906-7
2.6 설치장소 ····· 906-7
2.7 설치위치 ····· 906-8
2.8 음원 및 수음점 결정 ····· 906-9
2.9 형식선정 ····· 906-9
2.10 설치높이 ····· 906-10
2.11 설치길이 ····· 906-11
906.3 종합적 설계 ····· 906-14

참고문헌 ····· 907-1
부록 ····· 908-1
색인 ····· 909-1

표 목 차

902 휴게시설

<표 902.1> 시설의 배치방법에 따른 휴게시설의 형식 분류 ····· 902-3
<표 902.2> 휴게시설의 배치간격 ····· 902-7
<표 902.3> 서비스 계수 ····· 902-11
<표 902.4> 차종별 이용률, 혼잡률 및 평균 주차시간 ····· 902-11
<표 902.5> 주차면수의 표준 규모 ····· 902-12
<표 902.6> 주차면수의 표준치 ····· 902-13
<표 902.7> 부대건물의 표준규모 ····· 902-15

906 방음시설

<표 906.1> 방음판의 크기 ····· 906-3
<표 906.2> 환경정책 기본법상 소음 기준치(제2조) ····· 906-6
<표 906.3> 방음시설의 형식별 선정기준 ····· 906-9

그 림 목 차

902 휴게시설

<그림 902.1> 집약형 휴게소의 형식 ····· 902-3
<그림 902.2> 분리형 휴게소의 형식 ····· 902-4
<그림 902.3> 휴게소의 기본형(분리형) ····· 902-5
<그림 902.4> 간이휴게소의 기본형 ····· 902-5
<그림 902.5> 휴게시설의 배치 간격 ····· 902-7
<그림 902.6> 휴게소 전체 규모의 산정 방법 ····· 902-10
<그림 902.7> 연결로 접속단간의 거리 ····· 902-16
<그림 902.8> 인터체인지와 휴게소의 병설 예 ····· 902-17
<그림 902.9> 인터체인지와 간이휴게소의 병설 예 ····· 902-17

903 체인설치제거소

<그림 903.1> 체인설치제거소 규모의 산정 흐름도 ····· 903-3
<그림 903.2> 대규모 체인설치제거소의 설계 예 ····· 903-4
<그림 903.3> 소규모 체인설치제거소의 설계 예 ····· 903-4

904 비상주차대

<그림 904.1> 비상주차대의 구조 ····· 904-2

906 방음시설

<그림 906.1> 방음벽의 기본 구조 ····· 906-2
<그림 906.2> 방음판의 구조 예 ····· 906-2
<그림 906.3> 방음벽 설계 과정의 흐름도 ····· 906-5
<그림 906.4> 방음시설의 경로 차 ····· 906-8
<그림 906.5> 낮은 방음벽으로 높은 감쇠치를 얻을 수 있는 고지대의 이용 예 ····· 906-8
<그림 906.6> 타원 궤적의 방음벽 경로 차 ····· 906-10
<그림 906.7> 유한장 선음원에 대한 경로 차 ····· 906-11
<그림 906.8> 유한장 선음원과 방음벽 ····· 906-11
<그림 906.9> 지역, 지형 형태를 이용한 방음벽 효과 상승 ····· 906-12
<그림 906.10> 방음벽 양단을 구부려 방음벽 효과 상승 ····· 906-13

901
총 론

901.1 부대시설의 정의

부대시설이란 차량의 충돌이나 기타 도로 교통 사고로 발생하는 피해를 줄이기 위해 설치되는 안전시설과는 달리 도로의 기하구조상 본선이외에 설치되어 도로이용자에게 도로를 효율적으로 이용할 수 있게 편의를 도모하고 안전성 및 쾌적성을 제공할 뿐만 아니라 사고에 대한 피해를 최대한 줄일 수 있게 설치되는 시설물이다.

901.2 부대시설의 종류

본 편람에서 다루는 부대시설의 종류는 다음과 같다.

(1) 휴게시설

휴게시설은 연속적인 고속주행의 피로와 긴장을 풀어주고, 운전자의 생리적 욕구를 해소시키며, 자동차의 급유, 정비 등의 기회를 제공할 수 있는 시설이다.

(2) 체인설치제거소

체인설치제거소는 적설 한랭지 도로에서 체인의 설치 또는 제거를 위한 장소로 휴게소나 주차장 등을 이용할 수 없는 경우에 본선에 별도로 설치하는 시설물이다.

(3) 비상주차대

비상주차대는 출입이 제한된 도로에서 고장차가 신속히 본선 차도에서 벗어나 대피할 수 있도록 일정간격으로 설치하는 시설물이다.

(4) 긴급연락시설

긴급연락시설은 출입이 제한되는 도로에서 차량의 사고나 고장시 긴급히 대상자(경찰, 소방관서, 도로 관리 기관 등)에 연락을 취하기 위한 시설물이다.

(5) 방음시설

방음시설은 차량에서 발생하는 음을 차단 또는 흡수하거나 음의 회절에 의해 소음을 감소시킴으로써 도로 인접 지역의 생활 환경을 보전하는 목적으로 설치하는 시설물이다.

901.3 부대시설의 기능

각 부대시설의 기능은 다음과 같다.

(1) 휴게시설

휴게시설은 출입이 제한된 도로에서 장시간의 연속주행으로 인한 운전자의 생리적 욕구 및 피로를 해소시킴으로써 피로누적 등으로 인한 사고를 미연에 방지하는 기능을 한다.

(2) 체인설치제거소

체인설치제거소는 적설 한랭지 등에서 주행하는 차량이 도로 노면의 결빙에 따라 체인을 설치하거나 제거하기 위한 장소를 제공하여, 차량이 결빙된 노면 위를 미끄러지면서 발생하는 사고를 미연에 방지하는 기능을 한다.

(3) 비상주차대

비상주차대는 우측 길어깨의 폭이 협소한 장소에서 고장난 차량이 본선 차도에서 벗어나 대피할 수 있는 장소를 제공하여 본선의 교통용량의 감소를 막을 수 있고, 사고를 예방하는 기능을 한다.

(4) 긴급연락시설

긴급연락시설은 출입이 제한되는 도로에서 차량의 사고나 고장시 경찰, 소방관서, 도로 관리 기관 등에 신속히 연락을 취하여, 이에 따른 2차적인 사고가 발생하는 것을 예방하는 기능을 한다.

(5) 방음시설

방음시설은 차량에서 발생하는 음을 차단 또는 흡수하거나 음의 회절에 의해 소음을 감소시킴으로써 도로 인접 지역의 생활 환경을 쾌적하게 유지시키는 기능을 한다.

901.4 설계시 고려사항

도로설계시 부대시설을 설치할 때는 다음 사항에 유의한다.

(1) 도로에 설치되는 각 부대시설은 운전자가 쉽게 인식할 수 있도록 양호한 시인성을 확보하여 설치한다.

(2) 곡선반경이 작은 구간이나 급경사 구간과 같은 곳에서는 설치를 피해야 하는 것처럼 도로 선형을 고려하여 해당 시설을 가장 적합한 장소에 설치한다.

(3) 각 시설들간의 거리는 너무 가깝거나 또는 너무 멀리 설치되지 않도록 적정간격을 유지하여 설치한다.

(4) 차량이 각 시설물로 안전하게 진입할 수 있도록 유도 안내의 적정성을 가져야 한다.

902
휴게시설

902.1 개요

1.1 정의 및 기능

휴게시설이란 출입이 제한된 도로에서 장시간의 연속주행으로 인한 운전자의 생리적 욕구 및 피로를 해소시키고 동시에 자동차의 주유, 정비, 기타 서비스를 제공하는 장소이다.

고속도로나 일반국도 등에 설치되는 휴게시설의 주요 기능으로는 다음과 같다.

- 장시간 운전으로 인한 피로와 긴장을 풀어주어 피로누적으로 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지한다.
- 운전자의 생리적 요구를 해소시킨다.
- 자동차에 대한 급유, 정비 등의 기회를 제공한다.

1.2 종류

휴게시설의 종류는 다음과 같다.

(1) 휴게소

사람과 자동차가 필요로 하는 서비스를 거의 완벽하게 제공할 수 있는 휴게시설로서, 변속차선, 주차장, 녹지, 화장실, 주유소, 차량정비소, 식당, 매점 등의 서비스 기능을 종합적으로 갖춘 휴게시설을 말한다.

(2) 간이휴게소

짧은 시간 내에 차의 점검, 정비 및 운전자의 피로 회복을 위한 시설이며, 변속차선, 주차장과 녹지 및 화장실을 구비한 휴게시설을 말한다.

902.2 설계기준

2.1 일반적 기준

2.1.1 구성

휴게시설을 구성하는 요소에는 다음과 같은 것들이 있다.

(1) 휴게시설 구역
본선 차도 부분을 제외한 유입부 변속차선의 테이퍼 시점부터 유출부 변속차선의 테이퍼 종점까지의 휴게시설의 모든 구역을 말한다.

(2) 주차장
차량 주차에 제공하는 구역 전체를 말하며, 유출부 차도는 포함하지 않는다.

- **주차면**
  한 대의 차량이 주차하도록 노면 표시로 구획된 최소 단위의 주차소 구획
- **주차 구획**
  주차와 승객의 승강을 위한 장소로 주차면의 열
- **차로**
  주차면에 진입하거나 회전하기 위하여 주차 구획 사이에 만들어진 차도

(3) 녹지
휴게시설내에서 조경처리를 한 구역

- **이용녹지**
  풍경을 전망하고 휴식하기 위해 사람이 들어갈 수 있는 녹지
- **환경보전녹지**
  휴게시설의 밖을 둘러 쌓는 녹지, 본선과 휴게시설을 분리하기 위한 녹지, 휴게시설의 쾌적한 이용을 도모하기 위한 녹지 등

(4) 건축시설
- **이용자 서비스 시설**
  화장실(신체장애자 전용 화장실 포함), 무료 휴게소
- **영업용 시설**
  식당, 매점, 주유소, 차량 정비소
- **부대시설**
  전기실, 정화조, 급수조휴게시설내에서 조경처리를 한 구역

(5) 기타 시설
- **광장 • 통로**
  주차장과 건축시설, 공원지 사이에 설치되는 것으로 성격이 다른 시설간을 사람이 이용하기 위한 연결 장소
- **유출부 차도**
  차량이 휴게시설 구역 내를 빠져나가거나 연결로와 구역내 시설을 연결하는 차도이며, 주차장내의 주차면에 진입하거나 회전을 위한 차도는 제외한다.
- **연락도로**
  휴게시설에의 물자 및 사람의 수송을 위한 본선 이외의 경로에서 하기 위해 부에서 휴게시설에 직접 연결되는 서비스 도로 및 유지관리용 차량을 위한 상하행선 연결로
- **유지관리 및 교통관리시설**
  쓰레기 처리를 위한 소각로, 설빙 대책

용 약액 저장소, 저수조, 도로정보안내 표지, 기타

- **기 타**

  변속차선, 연결로, 본선 비탈면, 루프 연결로로 둘러 쌓인 공간

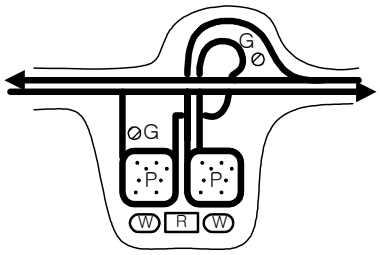
2.1.2 형식

(1) 휴게시설의 형식

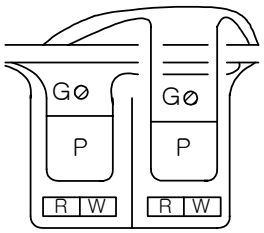
휴게시설의 형식은 시설의 배치 방법에 따라 <표 902.1>과 같이 분류되며, 분리형 휴게소, 집약형 휴게소의 형식들은 <그림 902.1>, <그림 902.2>와 같다.

<표 902.1> 시설의 배치방법에 따른 휴게시설의 형식 분류

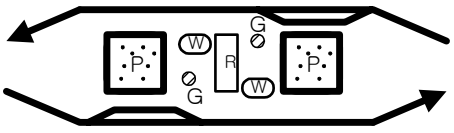
분류 기준	형식	내용
주차장의 위치에 따라	분리식	주차장이 본선 차도를 기준으로 양쪽에 분리되어 배치되는 형식
	집약식	주차장이 본선의 한 쪽 또는 상하행선 양 차도의 중앙에 모여서 배치된 형식
식당의 위치에 따라	외향형	식당이 유출부 차도의 바깥쪽에 배치된 형식
	내향형	식당이 유출부 차도의 안쪽에 배치된 형식
주유소의 위치에 따라	입구형	주유소가 휴게시설의 입구에 배치된 형식
	중앙형	주유소가 휴게시설의 중앙에 배치된 형식
	출구형	주유소가 휴게시설의 출구에 배치된 형식



(a) 편측 집약식



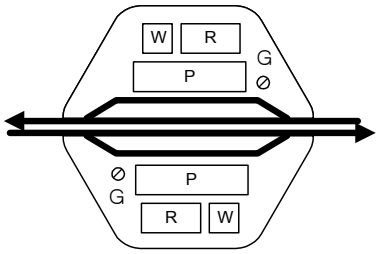
(b) 편측 집약식



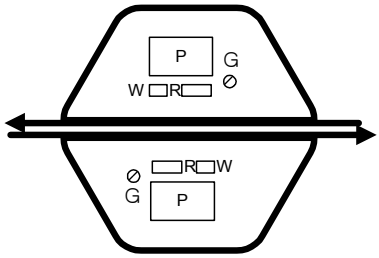
(c) 중앙 집약식

P 주차장
G 주유소, 차량정비소
W 화장실
R 식당

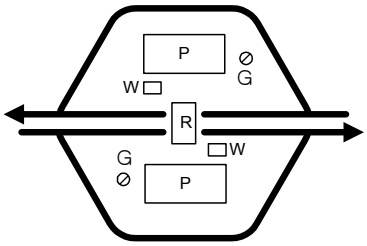
<그림 902.1> 집약형 휴게소의 형식



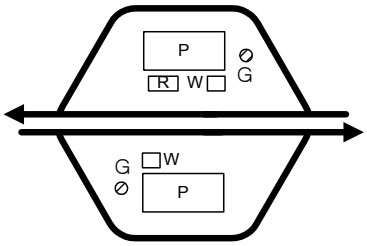
(a) 외 향 형



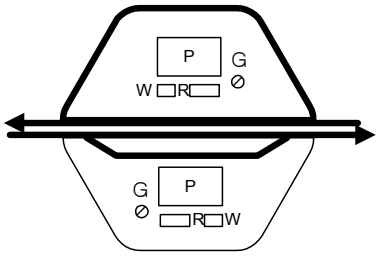
(b) 내 향 형



(c) 본선상공형



(d) 집 약 형



(e) 외향내향형

P 주차장
G 주유소, 차량정비소
W 화장실
R 식당

<그림 902.2> 분리형 휴게소의 형식

(2) 휴게소의 기본형

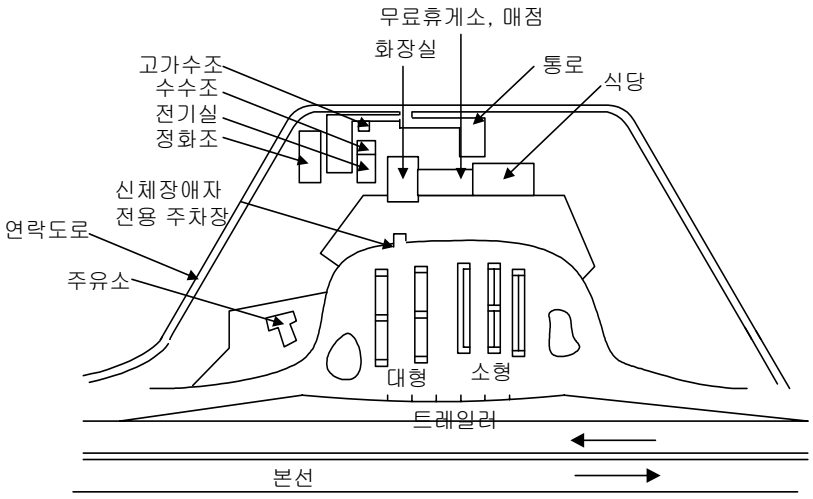
일반적으로 휴게소의 형식은 분리식 외향형을 원칙으로 하고, 주유소의 위치는 출구형 또는 중앙형으로 한다. 이에 따른 휴게소의 기본형은 <그림 902.3>과 같다.

하지만 지형, 용지 조건, 건설, 유지관리의 경제성 및 이용상의 조건에 의해 기본형을 채택하기 어려울 때도 있으므로 이 때에는 각종 형식을 비교 검토한 후 가장 적합한 것을 택하도록 한다. 가장 적합한 형식을 선정하는 방법은 "2.4 형식의 선정"을 참고하도록 한다.

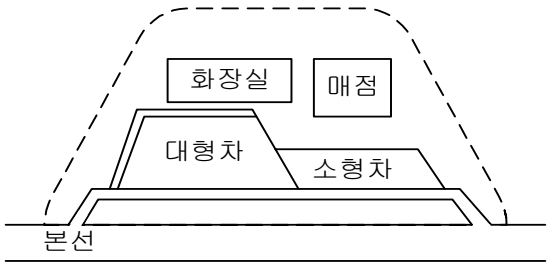
(3) 간이휴게소의 기본형

간이휴게소의 경우는 분리식 외향형을 원칙으로 하며, 기본적인 사항은 휴게소의 계획 및 설계상의 원칙에 준한다. 간이휴게소는 외향형을 원칙으로 하였으나 주위가 높은 절토면이거나 부근이 복잡한 경치일 때는 오히려 내향형으로 하는 것이 좋다.

간이휴게소의 기본형은 <그림 902.4>와 같다.



<그림 902.3> 휴게소의 기본형(분리형)



<그림 902.4> 간이휴게소의 기본형

2.2 설치위치 및 입지조건

2.2.1 설치위치

휴게시설의 위치는 그 노선에 설치하는 모든 휴게시설 위치의 상호 관련 및 제공하는 서비스 내용을 종합적이고 체계적으로 검토하고, 또한 각 시설의 입지 조건을 고려하여 선정해야 한다.

일반적으로 휴게시설을 설치해야 할 위치로는 다음과 같은 장소가 고려된다.

- 대도시 부근
- 유명 관광지를 연결하는 출입시설 사이
- 작은 곡선부 또는 급경사 구간에 설치하는 것을 피한다.

2.2.2 입지조건

휴게시설의 적합한 위치는 자연환경조건, 건설의 적합성, 유지관리 조건 및 교통기술적 조건을 고려하여 선정한다. 휴게시설 입지조건의 적용은 휴게시설의 종류나 교통의 성격, 지형, 연도 조건에 따라 가장 적합한 조합을 원칙으로 하며 중점을 어디에 두느냐에 따라 달라지지만, 휴식시간도 길고 각 이용자에 대한 다양한 서비스가 필요한 대규모의 휴게시설, 즉 휴게소는 자연환경 조건을 중시하고 인간의 생리적 욕구나 자동차의 기능상 요구를 충족하는 등의 조건을 구비하는 것이 바람직하다. 단시간의 휴식을 위해 비교적 단순한 기능만을 갖춘 휴게시설, 즉 간이 휴게소는 자연환경 이외의 조건을 우선으로 고려해야 한다.

각 조건의 세부적 내용으로는 다음과 같다.

(1) 자연환경 조건

자연환경 조건은 모든 휴게시설에 대해서 고려해야 하며 특히 휴게소에 대해서는 비중이 높고, 간이휴게소에 대해서는 건설 및 유지관리 조건 다음으로 고려해야 할 2차적 조건이다.

자연환경 조건은 말 그대로 경치가 가능한 한 좋은 장소를 선택하여 휴게소를 설치하게 하는 조건으로, 운전자가 정지하여 경치를 감상하고 싶은 위치에 휴게시설을 설치하는 것은 운전자의 휴식 욕구를 만족시키게 되고, 고속도로의 안전성을 확보할 수 있기 때문에 중요한 요인이 된다.

(2) 건설 및 유지관리 조건

휴게시설의 입지선정시 고려해야 할 건설 및 유지관리 조건은 대부분이 건설비와 급배수에 관련된 문제이다. 휴게시설은 광대한 면적의 용지를 필요로 하기 때문에 용지비가 가능한 한 싸고 지형이 평탄하여 많은 양의 절·성토가 필요치 않은 건설이 용이한 지점을 선택해야 한다. 또 휴게시설에서는 대량의 물을 소비하기 때문에 필요한 양만큼의 물을 확보할 수 있는지, 또 다량의 오수처리가 가능한지는 특히 중요한 조건이 된다.

(3) 교통기술적 조건

교통기술적 조건은 주로 본선의 기하구조에 관계된 조건이다. 휴게시설을 본선의 곡선반경이 작은 구간이나 급경사 구간에 설치하는 것은 휴게시설의 전망이나 원활한 유출입을 방해하고, 사고발생의 원인이 되므로 본선 선형과의 적합성을 고려하여 위치를 선정해야 한다.

그리고 휴게시설로의 유도안내가 적절히 이루어지도록 휴게시설을 설치해야 하는데, 이를 위해서는 다른 시설과 충분히 떨어져 설치되는 것이 바람직하다. 보통 터널의 출구나 버스정류장과는 1km, 출입시설과는 2km 이상 떨어진 지점을 선정하는 것이 바람직하다.

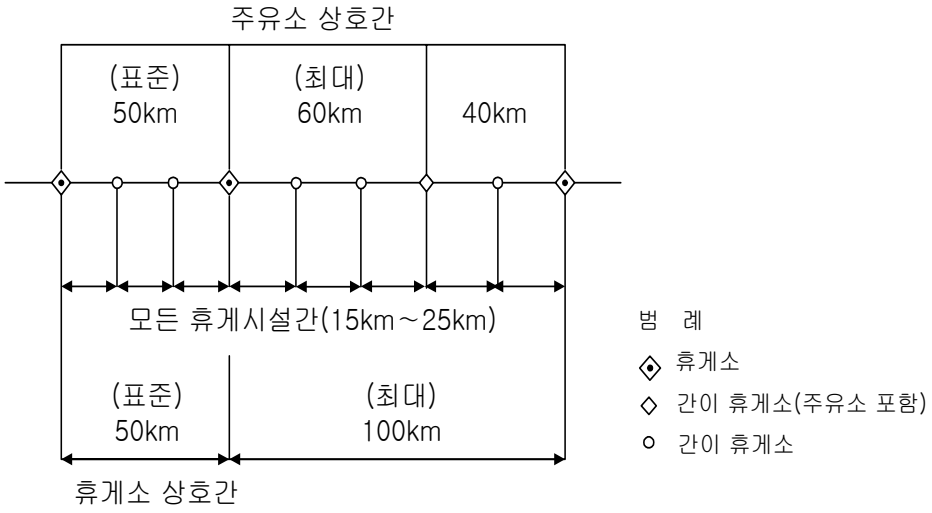
2.3 설치간격

휴게시설의 적정한 배치간격은 다음 <표 902.2>와 같이 규정하며, <그림 902.5>는 이를 예시하여 나타낸 것이다.

<표 902.2> 휴게시설의 배치간격

구 분	표준간격 (km)	최대간격 (km)
모든 휴게시설 상호간	15	25
휴게소 상호간	50	100
주유소 상호간	50	60

원칙적으로 간이 휴게소를 포함한 모든 휴게시설 상호간의 표준간격은 15km로 하고 등간격이 되도록 배치하는 것이 바람직하다. 하지만 입지조건이 좋지 않아 이러한 간격으로 설치할 수 없을 경우에는 상호간격이 25km 이상이 되지 않도록 한다.



<그림 902.5> 휴게시설의 배치간격

2.4 형식의 선정

휴게시설은 일반적으로 기본형인 분리식 외향형을 원칙으로 하여 설치하지만, 지형, 용지조건, 건설, 유지관리의 경제성 및 이용상의 조건 등 여러 가지의 이유로 기본형을 채택하기가 어려울 때가 있다. 이때에는 각종 형식을 비교 검토한 후 가장 적합한 것을 택하는데, 각 형식의 특징을 고려하여 여러 가지 조건에 적합한 형식을 택하도록 한다.

휴게시설의 각 형식별 특징을 살펴보면 다음과 같다.

2.4.1 분리형

(1) 외향형

가장 일반적인 형식이며 본선, 유출부 차도, 부지내 차도, 주차장, 식당, 매점, 무료 휴게소, 화장실, 주유소 순으로 본선 차도에서 바깥쪽을 향해 차를 위한 시설 및 사람을 위한 시설이 배치되는 형식을 말한다. 전망방향도 본선에서 떨어져 바깥쪽으로 전개되므로 휴식에 적합한 환경이 휴게시설의 바깥쪽에 존재하도록 트인 전망을 갖는 구릉지에 적합하며, 주변 땅이 시가지화 되거나 폐쇄적 환경인 곳에서는 적당하지 않다.

(2) 내향형

이 형식은 외향형과는 대조적으로 본선에 대한 각 시설 배치 순서가 반대로 된 형식이다. 즉 본선 다음에 휴게시설의 바깥 둘레에 따라 속도가 높은 유출부 차도를 배치하고 여기에서 부지 내 차도, 주차장, 식당 순으로 안쪽의 본선을 향해서 시설을 배치하는 형식이다.

이 경우에는 본선 차도와 식당이 평면적으로 인접하게 되어 휴식에 적합하지 않으므로 서로 높이를 달리 함으로써 입체적으로 공간의 격차감을 내어 해결할 수 있다. 주위가 시가지이거나 대절토 구간에 위치하여 바깥쪽에의 전망이 막힌 경우 이 형식이 채택된다. 이 경우에는 전망의 시선을 본선 및 주차장보다 한 단 높은 곳에서 인접하는 외부 환경을 넘은 원경을 바라보도록 함으로써 이용자에게 전망을 즐기게 하거나 본선 위를 달리는 차를 운전에서 해방된 사람으로서 여유있게 지켜봄으로써 피로를 해소시키는 등의 연구가 필요하다.

(3) 본선상공형

내향형의 변형이라고 할 수 있는 형식으로, 본선을 사이에 두고 마주 향해 위치하는 식당의 시설을 본선 위의 공간을 이용해서 집약시킨 독특한 형식이다. 본선 위의 공간을 이용하므로 전체 부지가 약간 작아도 되는 이점이 있고 시가지 근교나 험준한 지형에 입지하는 휴게소에 적용된다. 특히 본선이 절토부에 위치할 때 가장 적용성이 좋다. 또한 영업용 두 건물이 하나로 집약되는 이점도 있다. 이 형식이 갖는 최대 특징은 고속도로 이용자에게는 주행중의 랜드마크로서 또한 평탄부에서의 주요 시설물로서 매우 유효하다는 점이다. 이 형식은 최근 영국, 이탈리아에서 많이 적용되고 있으며 미국, 프랑스에서도 그 예가 있다.

(4) 집약형

이 형식도 내향형의 변형으로 볼 수 있다. 주차장과 화장실 등은 본선 각 차도의 양쪽에 각각 배치되어 있으나 주 시설인 식당이 어느 한쪽에만 배치된 형식이다. 이것은 어느 한쪽의 부지가 협소하던가 한쪽의 예상 이용자수가

적고 상하행선 각 개의 식당 경영이 채산이 맞지 않아 경영상 단계 건설 방식을 채용하지 않을 수 없을 때에 적용되는 형식이다. 이때 연결로를 통해 본선을 건너오는 이용자에 대해 식당에 이르는 거리를 최소로 하기 위하여 식당의 위치는 본선과 인접해서 산정하게 된다.

(5) 외향내향형

이 형식은 외향형과 내향형의 절충형으로 식당의 위치가 한쪽이 외향형, 다른 쪽이 내향형으로 배치되는 것이다. 본선의 한쪽에 특별히 휴게소 이용자의 시선을 끄는 아름다운 경관이나 시설이 있을 때, 또는 지형조건 등의 제약, 전망이 특정한 방향을 집약되는 경우에 이 형식이 채택될 수 있다. 이 형식은 양쪽의 부지내 시설을 본선에 대해 마주 보게 배치하면 한쪽에서의 전망이 다른 쪽의 시설로 가리워지므로 한쪽의 부지를 높게 하거나 위치를 서로 어긋나게 해서 해결할 때가 많다.

2.4.2 집약형

(1) 편측집약식

본선의 한쪽에 상하행선 양 차도의 주차장이 모두 모여 있는 형식이다. 따라서 다른 시설도 모두 한쪽으로 집약되어 배치된다. 때로는 반대측 차도를 이용하는 차량에 대한 급유시설만을 해당 차도쪽에 설치하는 경우도 있다. 본선의 한쪽에 아름다운 경관이나 시설이 있고 이용자의 흥미를 강하게 끄는 경우 부지의 조건에 따라 집약이 가능할 때에 채택된다. 시설이 없는 차도 쪽에서는 유출 연결로에 의해 본선과 입체 교차한 후 휴게시설이 배치된 쪽으로 유도된다. 식당 등 사람을 위한 시설의 배치 형식은 당연히 외향형으로 한다. 이 때 상하행선 양 차도의 주차장은 인접될 때가 많으며, 유료도로의 경우에는 관리상의 문제가 발생하므로 사람이 이용하는 시설물을 포함하여 전체 시설을 분리시키는 것이 바람직하다.

(2) 중앙집약식

상하행선 양 차도의 중앙에 시설을 집약하는 형식이다. 중앙분리대를 넓게 잡을 수 있는 미국의 지방부 고속도로에서는 간혹 볼 수 있는 형식이나 국토가 협소한 우리나라에서의 적용 가능성은 아주 희박하다. 더구나 본선에의 유출입이 보다 고속인 차선쪽에서 이루어지게 되므로 안전상의 문제도 있다.

2.5 휴게시설의 규모 결정

2.5.1 전체 규모의 산정

휴게시설의 전체 규모는 각 구성 요소의 규모를 합산하여 구하는 것을 원칙으로 하며, 각 구성요소의 규모는 계획 교통량에서 산정된 주차면 수를 기준으로 하여 정한다.

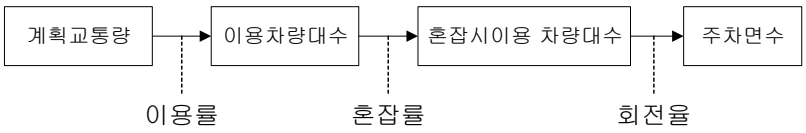
휴게시설의 전체 규모 산정 방법은 우선 본선 교통량과 휴게시설의 이용률을 기본으로 하여 주차면수를 산정한 후 주차면 수에 관련하여 구해지는 다른 시설의 규모를 산정한다. 이를 도표로 나타내면 <그림 902.6>과 같다.

휴게시설 중 주차면 수 이외의 다른 시설로는 식당, 매점, 화장실, 주유소, 차량 정비소, 녹지, 광장, 연결로 등이 있는데, 이중 녹지의 규모는 주차면 수를 기준으로 일률적으로 정하는 것은 타당하지 않으며, 휴게시설의 위치 등에 따라 조건이 다르므로 용지취득의 난이 및 경제성을 감안하여 규모가 결정되어야 한다.

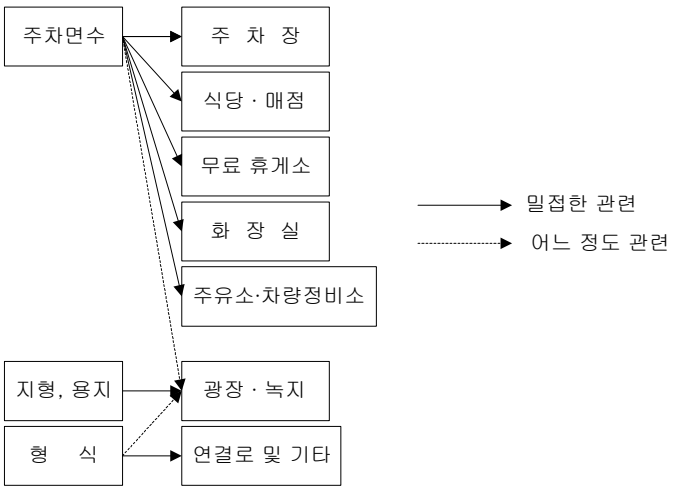
그리하여 다음과 같이 이들 구성 요소의 합산에 의해 전체 규모가 결정된다.

전체 규모
= 주차장 + 식당•매점 + 무료 휴게소 + 화장실 + 주유소•차량 정비소 + 광장•녹지 + 연결로 기타

(1) 주차면수 산정



(2) 각 구성 요소의 규모 산정



<그림 902.6> 휴게소 전체 규모의 산정 방법

2.5.2 주차면수의 산정

주차장의 주차면수는 다른 시설의 규모 산정에 기본이 되며 또 전체 규모를 좌우하는 요소이다. 주차면수는 본선 교통량 및 시설의 이용률에서 다음 식으로 구한다.

주차면수(편측) =

$$\text{편측 설계교통량} \times \text{이용률} \times \frac{\text{혼잡률}}{\text{회전율}}$$

여기서,

편측설계교통량(대/일) : 개통 10년 후의 연간 365일 중 상위에서 10%, 즉 35번째 정도의 교통량 = (개통 10년 후 계획 일교통량) × (서비스 계수) × 1/2

서비스계수 : 평균 일교통량으로 연간 365일 중 35번째 정도의 교통량을 구하는 계수

이용률 : 시설 이용 차량 대수(대/일) / 본선 교통량(대/일)

혼잡률 : 가장 혼잡한 시간에 이용하는 대수(대/시간) / 일 이용대수(대/일)

회전율 : 1시간(시) / 평균주차시간(시)

설계교통량은 이론적으로 개통 10년 후에는 평균 일교통량보다 많은 교통량에 대해서는 서비스를 할 수 없게 된다. 따라서, 연간 365일 중 90%에 해당하는 330일에 대해서 서비스가 확보되는 계수를 생각하여, 서비스 계수는 <표 902.3>의 값을 사용한다.

<표 902.3> 서비스 계수

연평균 일 교통량 Q (양방향 : 대/일)	서비스 계수
$0 < Q \leq 25{,}000$	1.40
$25{,}000 < Q \leq 50{,}000$	$1.65 - Q \times 10^{-5}$
$50{,}000 < Q$	1.15

휴게시설의 종류 및 휴게시설의 위치에 따라서 이용률, 혼잡률, 회전율은 변동되며, 또한 차종별에 따라 크게 달라진다. 따라서 교통량의 차종 구성이 어느 정도 추정될 때에는 차종마다 별개의 이용률, 혼잡률, 회전율을 사용하여 차종별 소요 주차면수를 산정하고 소형, 대형으로 분류해서 합산하는 방법을 사용한다.

차종별 이용률, 혼잡률, 평균 주차시간은 <표 902.4>의 값을 사용하여 필요 주차면수를 산정한다.

<표 902.4> 차종별 이용률, 혼잡률 및 평균 주차시간

시설의 종류	차 종	이용률	혼잡률	평균 주차 시간(분)
휴게소	소형자동차	0.164	0.071	25
	대형버스	0.127	0.098	20
	대형화물차	0.171	0.057	26
간이 휴게소	소형자동차	0.132	0.069	22
	대형버스	0.243	0.098	17
	대형화물차	0.143	0.061	20

주) 표의 값들은 한국도로공사 발행 “고속도로 부대사업시설 이용실태조사 보고서”를 참고한 것임

<표 902.4>에서 제시한 이러한 값들은 도로의 기능에 따른 성격, 위치, 주변의 토지 이용 상황 등에 따라 달라질 수 있다. 신설 도로에

서는 유사한 기존 노선의 이용률 등의 값을 사용해서 주차면수를 산정해도 되며, 개량 또는 확장공사에 대해서는 기존 자료에 의한 값을 사용하여 주차면수를 결정해도 된다. 관광지나 대도시 근교에서는 이용률이 높은 경향이 있으므로 휴게시설의 이용 형태를 감안하여 이용률 등의 값을 검토하고 별도 값을 사용해도 된다.

참고로 휴게시설 주차면수의 표준 규모는 <표 902.5>에, 표준치는 <표 902.6>에 제시하였다. <표 902.6>의 값은 교통량 중 대형버스의 비율을 3%로 가정하고 산정식에 의해 산출한 것이다. 특별한 경우를 제외하고는 <표 902.6>을 이용하여 교통량과 대형차 혼입률로부터 주차면수를 산정할 수 있다. 여기서 대형차 혼입률은 교통량 추정치 중 대형차의 비율(단, 대형버스는 포함하지 않음)을 10% 단위로 반올림한 값을 사용한다.

<표 902.6>에 포함되지 않은 교통량(일교통량 및 대형차 혼입률)의 구간 또는 관광지나 대도시 근교에 위치하는 휴게시설에 대해서는 전술한 산정식에 따라 주차면수를 산정한다. 교통량이 적은 구간에 대해서도 산정식에 따라 주차면수를 산정해야 한다.

<표 902.5> 주차면수의 표준 규모

휴게시설 종류	주차면수(편측)		
	최대	표준	최소
휴 게 소	250대 소형 : 200대 대형 : 50대	100～200대 소형 : 70대 소형 : 150대 대형 : 30대 대형 : 50대	70대 소형 : 50대 대형 : 20대
간이휴게소	60대 소형 : 40대 대형 : 20대	25～40대 소형 : 20대 소형 : 30대 대형 : 5대 대형 : 10대	15대 소형 : 10대 대형 : 5대

<표 902.6> 주차면수의 표준치

(1) 휴게소(편측)

(가) 소형자동차

일교통량 (대/일) / 대형차 혼입률(%)	0 ~ 10,000	10,000 ~ 15,000	15,000 ~ 20,000	20,000 ~ 25,000	25,000 ~ 30,000	30,000 ~ 35,000	35,000 ~ 40,000	40,000 ~ 45,000	45,000 ~ 50,000
10	50	60	85	105	125	145	160	170	185
20	50	55	75	95	110	130	140	155	165
30	50	50	65	80	100	110	125	135	145
40	50	50	55	70	85	95	105	115	125
50	50	50	50	60	70	80	90	100	100
60	50	50	50	50	55	65	70	75	80

(나) 대형자동차

일교통량 (대/일) / 대형차 혼입률(%)	0 ~ 10,000	10,000 ~ 15,000	15,000 ~ 20,000	20,000 ~ 25,000	25,000 ~ 30,000	30,000 ~ 35,000	35,000 ~ 40,000	40,000 ~ 45,000	45,000 ~ 50,000
10	20	20	20	20	20	25	25	30	30
20	20	20	20	25	30	35	40	40	45
30	20	20	25	35	40	45	50	55	55
40	20	25	30	40	50	55	60	65	70
50	20	30	35	50	55	65	70	80	85
60	20	30	45	55	65	75	85	90	95

<표 902.6> 주차면수의 표준치 - 계속

(2) 휴게소(편측)

(가) 소형자동차

일교통량(대/일) / 대형차 혼입률(%)	0 ~ 5,000	5,000 ~ 10,000	10,000 ~ 15,000	15,000 ~ 20,000	20,000 ~ 25,000	25,000 ~ 30,000	30,000 ~ 35,000	35,000 ~ 40,000	40,000 ~ 45,000	45,000 ~ 50,000
10	10	15	20	30	35	45	50	55	60	65
20	10	10	20	25	30	40	45	50	50	55
30	10	10	15	20	30	35	40	40	45	50
40	10	10	15	20	25	30	35	35	40	40
50	10	10	10	15	20	25	25	30	35	35
60	10	10	10	15	15	20	20	25	25	30

(나) 대형자동차

일교통량(대/일) / 대형차 혼입률(%)	0 ~ 5,000	5,000 ~ 10,000	10,000 ~ 15,000	15,000 ~ 20,000	20,000 ~ 25,000	25,000 ~ 30,000	30,000 ~ 35,000	35,000 ~ 40,000	40,000 ~ 45,000	45,000 ~ 50,000
10	5	5	5	10	10	10	15	15	15	15
20	5	5	10	15	15	20	20	25	25	30
30	5	10	15	20	25	30	30	35	40	40
40	5	10	15	25	30	35	40	45	50	50
50	5	15	20	30	35	45	50	55	60	65
60	5	15	25	35	45	50	60	65	70	75

2.5.3 부대 건물의 규모

휴게시설의 편의시설인 화장실, 식당, 매점, 주유소 등의 부대건물 표준규모는 앞 항에서 결정된 주차장의 주차면수에 따라 <표 902.7>을 기준으로 하여 산정한다.

2.6 시설의 병설

2.6.1 휴게시설과 출입시설의 병설

휴게시설과 출입시설 모두 이용 교통량이 적고 교통 동선을 적정히 처리할 수 있는 경우에는 병설할 수 있다. 이용 교통량이 많은 휴게소가 출입시설과 병설되는 경우에는 교통 동선의 복잡성, 연결로 상호의 평면 교차, 평면 교차부에서의 진입 착오, 영업소 부근의 교통 지체 등 교통 운용상의 문제가 있으므로 좋지 않다. 따라서 병설 조건으로서는 지형상의 제약이 있으며, 해당 휴게시설의 예상 이용자가 적고 또한 병설되는 출입시설의 통행 교통량이 적을 때 뿐이다. 병설할 경우에는 교통 동선, 차량의 교차, 사람의 움직임을 충분히 검토한 후에 계획해야 한다.

병설함에 있어서 주의할 사항은 다음과 같다.

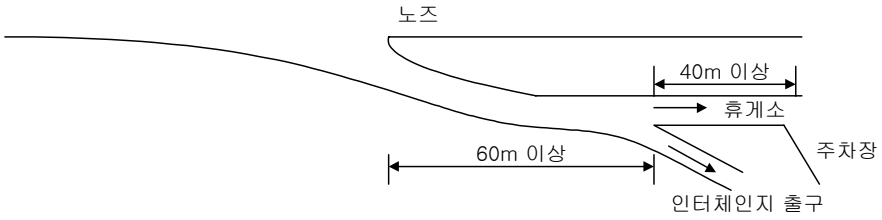
(1) 출입시설의 통행 교통이 출입 전후에 휴게시설을 이용할 수 있도록 계획하면 교통 동선이 복잡하게 되고 운전자의 방향에 대한 착오를 유발하는 등의 문제가 발생하므로 원칙적으로 출입시설에서 나오는 차나 들어가는 차의 어느 한쪽만이 이용할 수 있도록 계획한다. 이때 휴게시설을 이용해서 출입시설을 나오거나 들어가는 교통량이 많지 않을 때에는 진출로 또는 진입로 정도로 검토한다. 단 양자의 이용 교통량이 극단적으로 적고 교통 동선을 적정히 처리할 수 있을 때에는 출입 양방향으로 이용되는 형식으로 할 수 있다.

(2) 본선으로부터 나와서 목적지(휴게시설 또는 출입시설)에의 분기까지 거리는 운전자에게 속도 조절과 여러 가지 판단을 내릴 필요한 시간을 주기 위해 60m 이상으로 한다. 또한 이 구간에서 될수록 주차장을 시각적으로 확인할 수 있도록 계획하는 것이 바람직하다(<그림 902.7> 참조). 기타의 분기점간 합류간이 거리에 대해서도 충분히 검토해야 한다.

<표 902.7> 부대건물의 표준규모

(단위 : m^2)

시설종류	주차대수별	화 장 실	식 당	매 점	주 유 소
휴게소	251대 이상	350	950	255	550
	201～250	290	800	230	550
	151～200	240	650	200	550
	101～150	180	500	170	550
	100 이하	120	400	160	550
간이휴게소	61～100	170	-	150	-
	41～60	110	-	150	-
	40대 이하	60	-	150	-



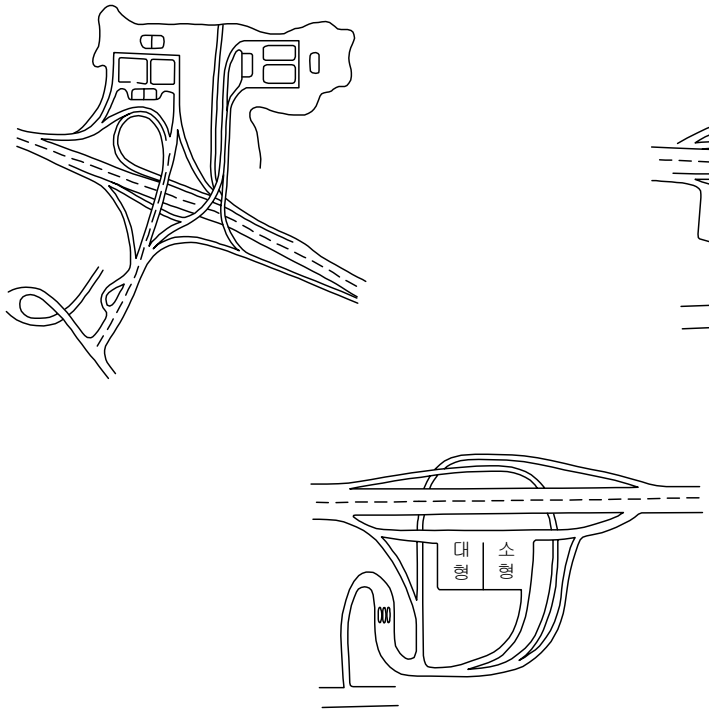
<그림 902.7> 연결로 접속단간의 거리

(3) 원칙적으로 출입시설 통행 교통이 해당 휴게시설의 주요 부분을 통과하지 않고 가능한 분리해서 처리될 수 있도록 계획한다. 단, 지형상 부득이하며 이용 교통량이 극단적으로 적을 때는 예외로 한다.

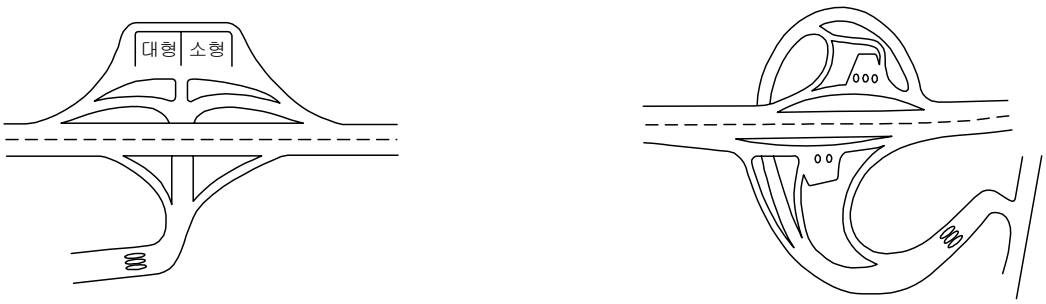
인터체인지와 휴게시설의 병설 예를 <그림 902.8>과 <그림 902.9>에 제시하였다.

2.6.2 휴게시설과 버스정류장의 병설

휴게시설과 버스 정류장과는 서로 양자의 기능을 방해하지 않는 범위 내에서 병설할 수가 있다. 출입시설에 비하면 버스 정류장의 기능은 단순하며 휴게시설의 기능을 방해하지 않도록 계획할 수 있으므로 원칙적으로는 병설이 인정된다. 버스정류장의 위치는 휴게시설 내의 여러 시설의 위치, 연결도로의 위치 등을 고려하여 결정한다.



<그림 902.8> 인터체인지와 휴게소의 병설 예



<그림 902.9> 인터체인지와 간이휴게소의 병설 예

903
체인설치제거소

903.1 개요

1.1 정의 및 기능

체인설치제거소란 적설 한랭지 등에서 주행하고 있는 차량이 도로 노면의 결빙에 따라 체인을 설치하거나 제거하기 위한 공간이다.

1.2 종류

체인설치제거소는 규모에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다.

(1) 대규모 체인설치제거소
도로를 이용하는 전 차량을 대상으로 의무적으로 체인착탈을 행할 필요가 있는 경우에 적합하다.

(2) 소규모 체인설치제거소
도로 이용자가 임의로 사용하는 것을 목적으로 한 체인설치제거소로서, 길어깨를 확폭한 정도의 간이구조를 말한다.

903.2 설계기준

2.1 설치장소

적설지에서 체인을 사용하는 상황은 지역에 따라 크게 다르므로 규모나 설치장소를 명확히 규정하기는 어렵다. 체인설치제거소는 겨울철의 한정된 기간에 필요한 시설이기 때문에 가능하면 휴게소나 주차장을 체인설치제거소로 이용하는 것이 바람직하다. 하지만 다음과 같은 장소에서 휴게소나 주차장을 체인설치제거소로 이용할 수 없는 경우에는 본선을 확폭하여 이를 위한 공간을 확보하는 것이 바람직하다.

대규모 체인설치제거소는 다음과 같은 장소에 설치한다.

(1) 강설조건이 급격히 변하는 곳으로 적설지와 비적설지의 경계, 산악지로 들어가기 전 등에 설치하며, 선정위치는 상향경사가 4% 이상인 급경사 구간의 전방에 설치한다.
(2) 길고 큰 터널이나 터널연속구간의 연장이 10km 이상되는 구간의 앞과 뒤에 설치한다.
(3) 적설지에서 출입시설의 일반도로 접속 부근에 설치한다.

소규모 체인설치제거소는 다음과 같은 위치에 설치한다.

(1) 노선의 기상이 급변하는 지역을 통과하는 경우
(2) 대규모의 체인설치제거소를 보완하는 위치에 설치
(3) 터널길이가 2km를 넘는 터널의 양쪽 입구에 설치

2.2 설계시 고려사항

체인설치제거소의 설계시에 유의해야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 체인설치제거소에는 조명설비를 설치한다.
(2) 주차면은 보통의 주차면보다 50cm 정도 넓게 하는 것이 바람직하다.
(3) 체인설치제거소의 경사는 주차차량의 종방향으로 2%, 횡방향으로 3% 이하로 하고 배수에 충분한 주의를 기울여야 한다.
(4) 체인설치제거소로 사용되는 부분은 포장을 하고, 교통섬은 원칙적으로 설치하지 않는다.
(5) 살수, 소설 등의 융설 시설은 설치하지 않는 것이 바람직하다.
(6) 대규모 체인설치제거소에는 화장실을 설치하는 것이 바람직하다. 체인설치제거소가 겨울철에만 이용될 경우에는 유지관리면을 고려해서 화장실은 정화시설을 하지 않은 간이형을 원칙으로 하고, 간이휴게소로 이용할 수 있는 경우에는 휴게소의 기준에 따른다.

2.3 설계방법

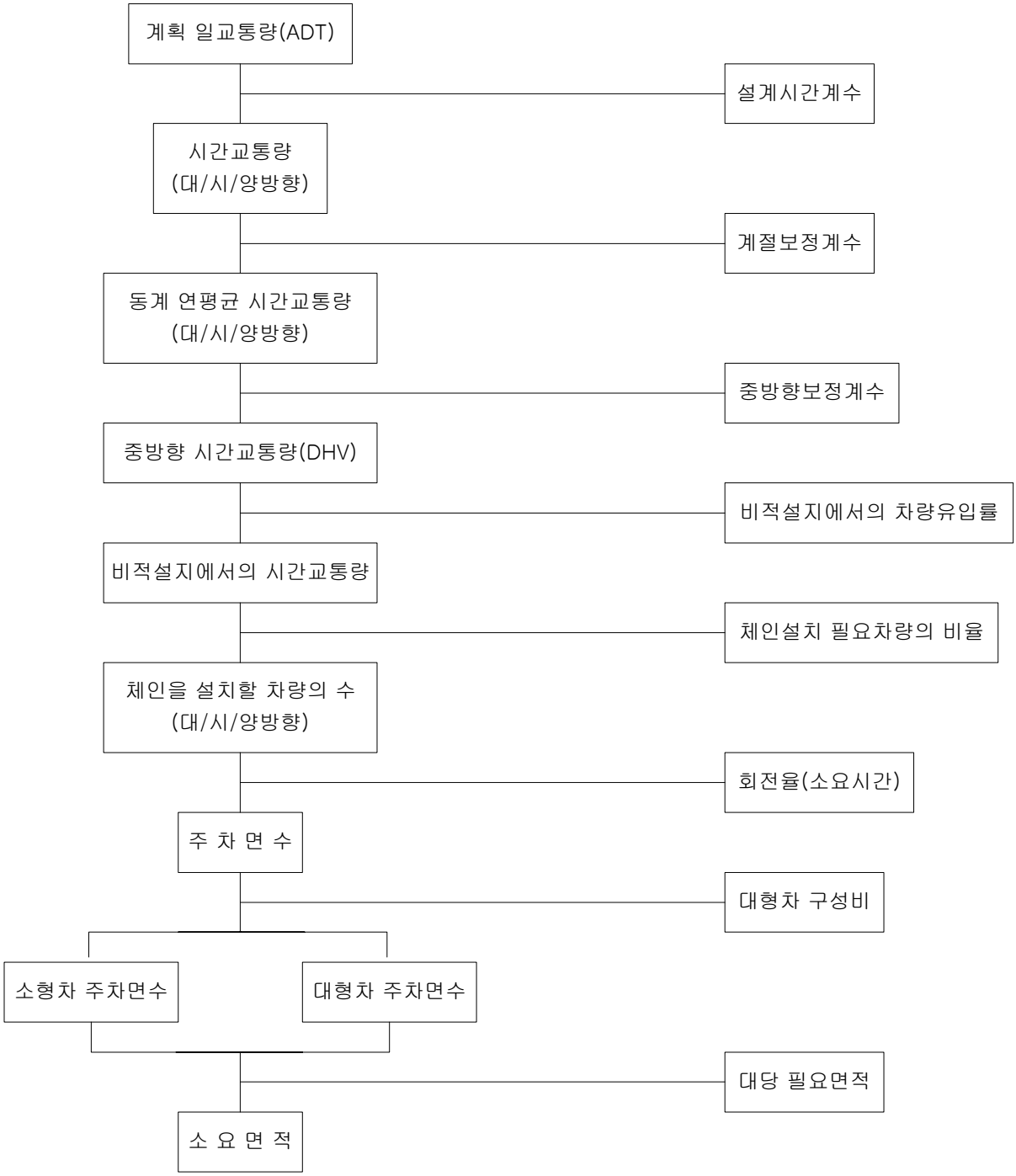
2.3.1 대규모의 체인설치제거소

대규모 체인설치제거소는 설계교통량, 체인의 설치제거를 필요로 하는 차의 비율, 체인의 설치 제거에 필요한 시간 및 대형차의 비율을 고려하여 설계를 한다. 체인설치제거소의 규모 산정을 위한 흐름도는 <그림 903.1>과 같으며, 실제 설계 예는 <그림 903.2>와 같다.

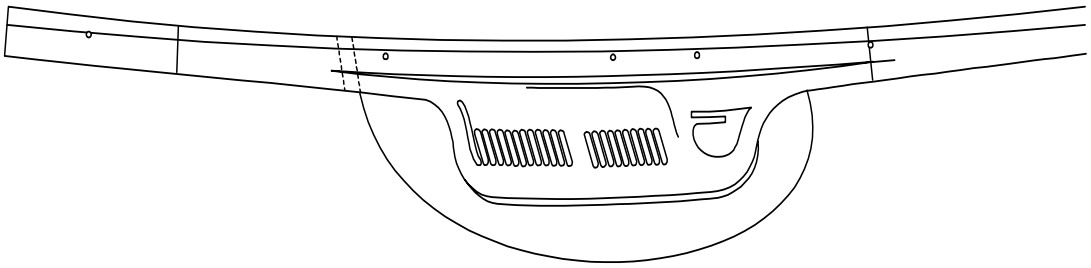
2.3.2 소규모의 체인설치제거소

소규모 체인설치제거소의 설치는 원칙적으로 우측 길어깨를 확폭하여 확보하며, 평행식 주차방식으로 한다. 폭은 5m, 테이퍼 길이는 20m 정도로 한다. 대형차 5대가 이용할 경우 체인설치제거소의 설치 예는 <그림 903.3>과 같다.

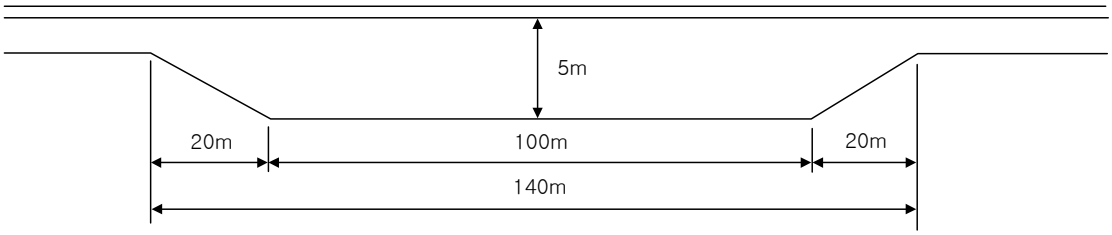
터널입구에 체인설치제거소를 설치할 경우에 지형적인 제약으로 우측 길어깨의 확폭이 곤란할 경우에는 중앙분리대의 공간을 확폭하여 이용할 수 있다. 이 때에는 본선 주행차가 유출입 차량을 알아볼 수 있도록 시거의 확보, 표지설치 등의 안전대책에 충분히 유의한다.



<그림 903.1> 체인설치제거소 규모의 산정 흐름도



<그림 903.2> 대규모 체인설치제거소의 설계 예



<그림 903.3> 소규모 체인설치제거소의 설계 예

904
비상주차대

904.1 개요

1.1 정의 및 기능

비상주차대란 우측 길어깨의 폭이 협소한 장소에서 고장난 차량이 본선 차도에서 벗어나 대피할 수 있도록 제공하는 장소로서, 고장난 차량을 본선에서 벗어나게 함으로써 본선의 교통용량의 감소를 막을 수 있고, 사고를 예방하는 기능을 가진다.

904.2 설계기준

2.1 설치장소

비상주차대는 길어깨의 폭이 2.5m 미만인 구간과 공사비를 절약하기 위해 길어깨를 축소하는 장대교나 터널에 설치해야 한다.

2.2 설치위치

일반적으로 운전자의 시야에 항상 1개소 이상의 비상주차대가 들어오도록 하는 것이 이상적이고 원칙적으로 좌우대칭의 위치에 설치하도록 한다.

- 장대교, 터널 등 구조물의 연장이 500m 이하일 때는 그 구조물 전후의 토공 구간에 설치해도 좋으나, 연장이 그 이상일 때는 구조물 중간에 비상주차대를 설치할 필요가 있다.
- 오르막 차로 구간에 대하여는 토공, 교량부에 준하여 설치하는 것으로 한다.
- 비상주차대의 설치위치는 비상전화가 설치될 것을 고려해서 될 수 있는 대로 그것과의 위치 관계를 감안하여 설치한다.
- 토공구간에서는 표준 설치 간격에 의거하여 용지취득이 용이한 곳으로 하되, 편성편절 구간이나 구조물 설치 구간은 회피하는 것이 좋다.

2.3 설치간격

비상주차대의 설치간격은 고속도로의 경우 300m를 표준으로 하고 부득이한 경우 500m까지로 한다. 일반도로에서는 500m 간격으로 설치한다.

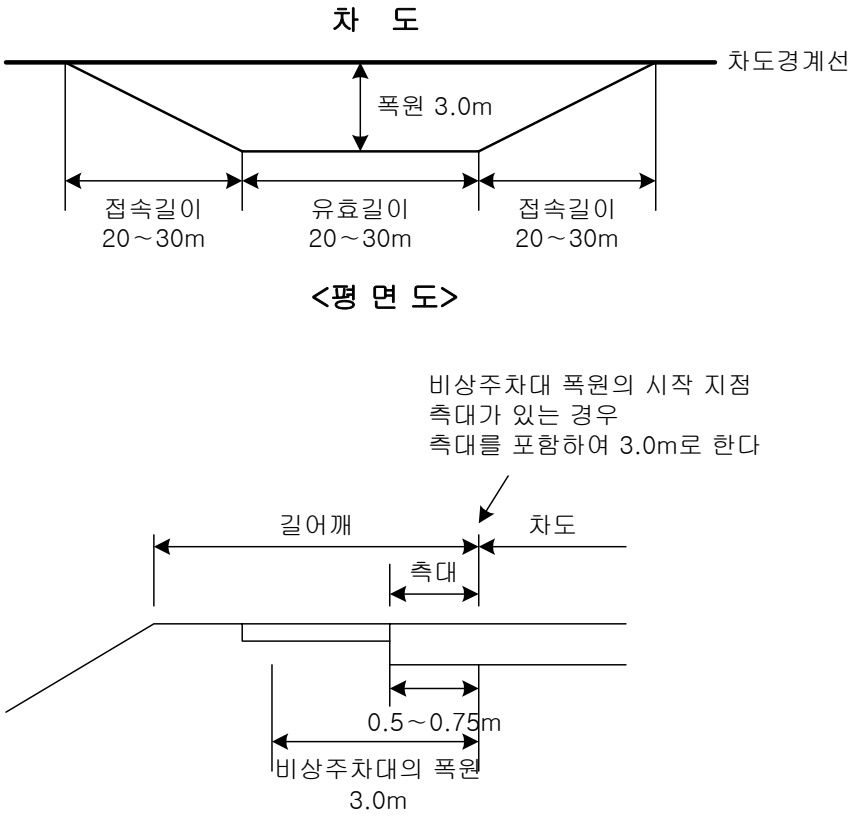
2.4 구조

비상주차대는 <그림 904.1>과 같이 접속길이와 유효길이, 그리고 폭원으로 구성되어 있다.

- 접속길이는 본선에서 비상주차대로 진입한 후 본선과 평행이 될 때까지 필요한 거리로 20~30m를 표준으로 한다.
- 유효길이는 차량이 주차할 수 있는 길이

만큼 확보하면 되는데, 일반적으로 승용차 3대, 풀트레일러 1대가 주차 가능한 20m를 최소길이로 하고 설치장소의 위치를 고려하여 30m로 설치함이 바람직하다.

- 폭원은 3.0m로 하고 측대가 있는 경우에는 측대를 포함한 폭원으로 한다.



<그림 904.1> 비상주차대의 구조

905
긴급연락시설

905.1 개요

1.1 정의 및 기능

고속도로나 일반도로 중 차량의 진출입이 제한되는 도로에서 차량의 사고나 고장시 긴급히 연락할 수 있도록 설치하는 시설로서, 주행속도가 높은 도로에서 사고나 고장 차량의 방치로 야기될 수 있는 위험을 신속한 연락으로 사전에 예방하는 기능을 가진다.

1.2 종류

긴급전화의 통화방식과 기종은 그 도로의 종별, 관리체계 등에 따라 선정되며 전화선을 경찰과 소방관서와 직결하는 경우와 도로 관리청의 교환에 연결하는 경우가 있다. 후자의 경우에는 다음 사항이 요망된다.

(1) 긴급전화를 도로 관리청의 교환에 연결하여 필요한 당사자와 통화할 수 있도록 한다.
(2) 수화기를 드는 것만으로 통화가 가능할 수 있도록 장치한다.
(3) 도로관리청의 교환에서는 발신자의 위치를 자동으로 확인할 수 있도록 한다.

긴급전화가 경찰 또는 소방관서와 직결된 경우에는 공중 전화를 부가 설치하여 필요한 대상자와 통화가 가능토록 한다.

905.2 설계기준

2.1 설치장소

긴급연락시설은 다음과 같은 장소에 설치한다.

- 자동차 전용도로 본선 구간
- 휴게소, 간이휴게소
- 터널 내부

긴급연락시설의 설치시 유의해야 할 사항으로는 다음과 같은 것들이 있다.

(1) 가능한 한 버스 정류장이나 비상주차대에 설치한다.
(2) 휴게소, 간이휴게소 등에는 반드시 설치하는 것을 원칙으로 한다.
(3) 긴급전화의 설치 장소에는 도로표지 429 「긴급신고표지」를 설치하고 야간에는 확인이 용이하도록 표지를 반사체로 하는 외에 가능하면 설치장소 내·외부에는 조명시설을 하는 것이 바람직하다.

2.2 설치간격

각각의 구간에서 긴급연락시설의 설치간격은 다음과 같다.

(1) 고속도로 본선 구간에서는 2km 간격으로 설치한다.

(2) 터널 내부에서는 200m 간격으로 설치한다.

(3) 기타 구간에서는 1km 간격으로 설치하는 것이 표준이다. 다만, 길어깨의 폭이 좁아 정차시 본선 교통의 주행에 현저히 장애를 주는 구간에서는 500m로 한다.

(4) 가능한 한 버스정류장이나 비상주차대에 설치하도록 그 설치간격에 유의한다.

906
방음시설

906.1 개요

1.1 정의 및 기능

방음시설이란 차량에서 발생하는 음을 차단 또는 흡수하거나 음의 회절에 의해 소음을 감소시킴으로써 도로 인접 지역의 생활환경을 보전하는 목적으로 설치하는 시설물로, 도로에서 발생하는 교통 소음을 감음시켜 생활 환경의 쾌적성을 유지하는 기능을 가진다.

1.2 종류

방음시설에는 방음벽, 방음림, 방음둑, 방음터널 등이 있는데, 본 편람에서는 기존에 관련 기준이나 지침이 명확하게 정립되어 있고, 또한 현재 고속도로와 일반도로에 많이 설치되어 있는 방음벽의 설치기준을 위주로 구성하였다.

그 외 시설은 아직까지 명확한 기준이 정립되지 않은 실정이기 때문에 설치 및 설계에 관한 자세한 기준이 정립되는대로 향후 편람 개정시에 포함할 예정이며, 이번에는 방음둑, 방음림, 방음터널 등의 설치 예를 그림으로 개략적으로 제시하는 정도로 구성하였다.

방음시설은 음향 성능의 원리와 사용재료에 따라서 구분이 되기도 하는데, 각각의 구분에 따른 방음시설의 종류는 다음과 같다.

(1) 음향성능상의 원리에 따른 구분

- 반사형
- 흡음형
- 간섭형
- 공명형

(2) 사용재료에 따른 구분

- 칼라형
- 투명형
- 금속형
- 목재형
- PVC형
- 콘크리트형

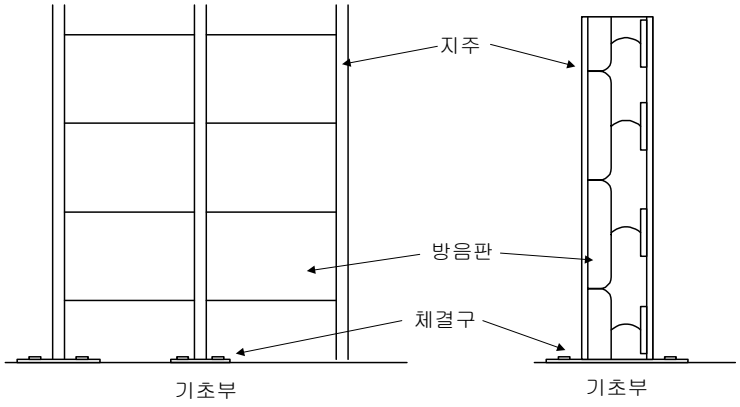
906.2 설계기준

2.1 구조

방음벽은 일반적으로 <그림 906.1>과 같이 기초부, 지주, 방음판의 3가지로 구성되며, 지면에 시공된 기초 위에 지주가 앵커볼트로 고정되어 이 지주에 방음판이 클립, 볼트 등으로 고정되는 형태로 시공된다.

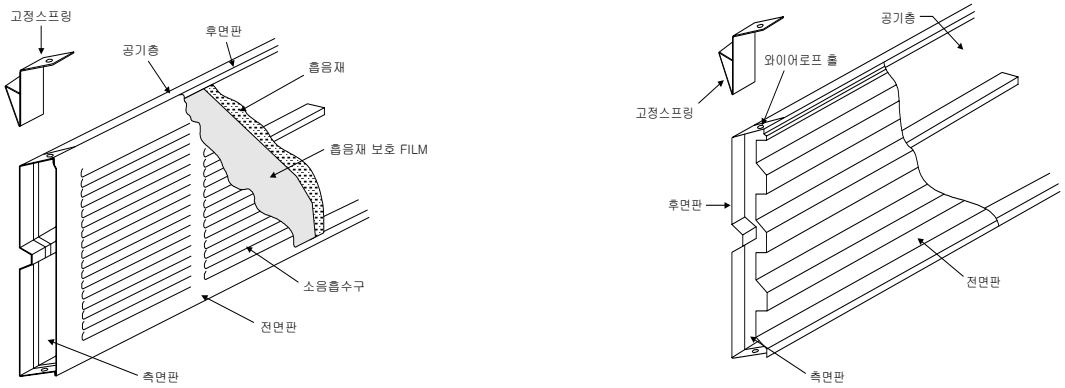
현재 국내에서 많이 사용되는 흡음형과 반사형 방음판의 구조는 <그림 906.2>와 같다.

방음벽 시공에서 지주는 일반적으로 H형강을 많이 사용하는데, H형강의 재질은 SS-41 강재를 사용하며 형강의 치수는 방음벽의 높이, 지주 간격, 설계하중에 따라 구조설계에 의해 정한다. 이들 지주와 앵커볼트는 용융아연도금을 해야 하며, 아연 부착량은 550g/m^2(77㎛) 이상으로 한다.



(a) 정면도 (b) 측면도

<그림 906.1> 방음벽의 기본 구조



(a) 흡음형 (b) 반사형

<그림 906.2> 방음판의 구조 예

2.2 규격

음향특성 및 구조강도 측면에서 볼 때 방음판을 특정 크기로 제한할 필요는 없으나 보수 및 정비유지 측면에서 방음판을 규격화할 필요가 있다. 특히 흡음형 금속제 방음벽 및 투명 방음벽의 경우 부분파손이 빈번히 일어나기 때문에 규격화되어야 한다.

일반적으로 방음판의 크기는 <표 906.1>과 같이 한다. 단, 지주와 지주 간격에 해당하는 변의 길이는 조립여유를 감안하여 짧게 할 수 있다.

<표 906.1> 방음판의 크기

종 류	가 로(mm)	세 로(mm)
금속제 흡음형	4000, 3000, 2000	400, 500
투명 및 반사형	500, 1000, 2000	2000
기 타	임 의	임 의

2.3 음향성능 및 재질기준

2.3.1 투과손실

방음벽의 방음판 투과손실은 수음자 위치에서 방음벽에 기대하는 회절감쇠치에 10dB을 더한 값 이상으로 하거나 500Hz의 음에 대하여 25dB이상 1000Hz의 음에 대하여 30dB이상을 표준으로 하며, 투과손실의 측정방법은 KS F 2808에 의한다.

2.3.2 흡음률

흡음형 방음판의 흡음률은 시공직전 완제품 상태에서 250, 500, 1000 및 2000Hz의 음에 대한 흡음률의 평균이 70%이상인 것을 표준으로 하며, 흡음률의 측정방법은 KS F 2805에 의한다.

2.3.3 가시광선 투과율

투면 방음벽의 방음판은 충분한 내구성이 있어야 하며, 가시광선 투과율은 85% 이상을 표준으로 한다. 가시광선 투과율의 시험방법은 KS L 2514에 의한다.

투명방음판의 경도는 폴리카보네이트가 10~91 ROCKWELL(M), 세라미그라스가 110~130 ROCKWELL(M) 이상으로 한다.

2.3.4 재질기준 및 기타 고려사항

(1) 방음벽에 사용되는 재료는 발암물질 등 인체에 유해한 물질을 함유하지 아니한 것으로서 내구성이 있어야 하고 햇빛반사가 적어야 하며, 부식되거나 동결융해 등으로 인하여 변형되지 않는 재료로 한다.

(2) 방음벽은 20년 이상 내구성이 보장되는 재료를 사용한다.

(3) 방음벽에 사용되는 재료 중 외부는 불연성 또는 준불연성이어야 하고 내부의 흡음재료는 자기 소화성으로 연소시 화염을 발생하지 않아야 한다.

(4) 비산 또는 노화에 의하여 인체에 유해한 분진을 발생할 수 있는 흡음재는 내용물이 비산하지 않도록 충분한 내구성 및 강도를 가진 피복재로 싸서 사용한다.

(5) 흡음재는 수분함유에 의하여 부패되지 않는 재료여야 하고 발수처리하거나 발수처리된 피복재로 싸서 물을 머금지 않게 한다.

(6) 방음판은 하단부에 배수구멍 등을 설치하여 배수가 잘 되어야 한다.

(7) 방음벽에 사용되는 모든 금속재료는 산화에 의한 부식이 일어나지 않도록 불수강을 사용하거나 내식 도장 등의 표면처리가 되어야 하고 소정의 도장시험을 합격하여야 한다.

(8) 방음벽의 모든 도장은 무광택으로 반사율이 10% 이하여야 한다.

(9) 방음벽의 모든 재료는 극단적인 취성이 없어야 하고 파손시 날카로운 파편을 생성하지 않아야 한다.

2.4 계획 및 설계순서

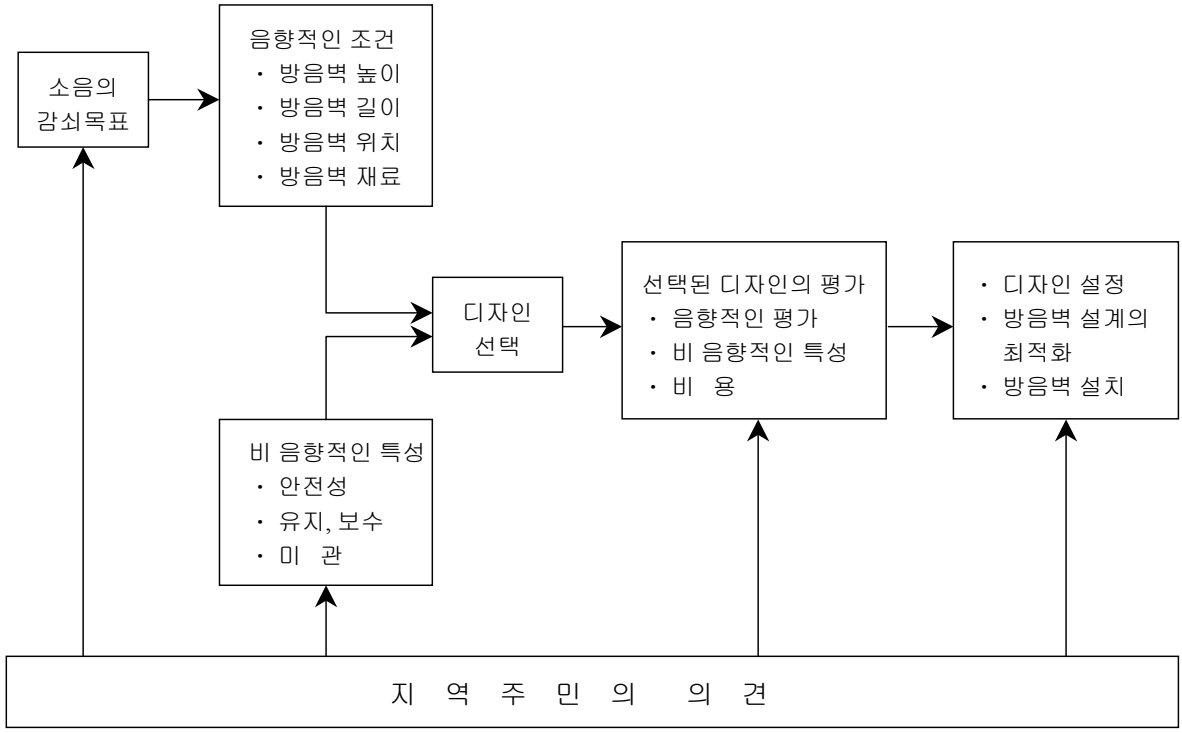
방음벽 설치 과정의 주요 요소에 대한 흐름도는 <그림 906.3>과 같다. 그림에 나타낸 바와 같이 소음감쇠 목표는 음향적인 조건에 의하여 결정되며, 이는 방음벽의 비 음향적인 조건과 연계되어 특정 설계가 선정되고 적절한 평가에 의하여 하나의 디자인이 선택된다. 소음에 의한 피해가 대부분 심리적이며 감정적인 점을 감안하면 방음벽 설계의 전 과정에 지역주민의 의견이 반영되어야 방음벽의 효과가 극대화될 수 있다.

방음벽을 설계하고자 할 때 우선적으로 파악해야 하는 것은 관계법에서 규정하고 있는 대상지역의 기준 소음레벨 혹은 요구되는 소음레벨 및 현재의 소음레벨이다.

환경 정책 기본법상의 소음치는 <표 906.2>와 같으며, 이를 초과하는 소음이 예측 또는 관측되는 지역에서는 방음시설의 설치를 고려해야 한다.

관계법에서 규정하고 있는 기준 소음레벨과 현재의 소음레벨과의 차이가 방음벽을 설치하여 감쇠시켜야 할 목표치이며, 이를 소음의 감쇠목표치라 한다.

설계 목표치는 소음에 대한 환경기준을 적용하면 무리가 없고 기준의 적용은 병원, 휴양시설 및 주거지역의 경우 낮 시간대 및 밤 시간대 모두의 기준을 적용하고 학교 및 기타지역은 낮 시간대의 기준을 적용하는 것이 타당하다. 그리고 수음점은 보호대상지역 중 교통소음의 영향을 가장 크게 받는 지점으로 해야 한다.



<그림 906.3> 방음벽 설계 과정의 흐름도

<표 906.2> 환경 정책 기본법상 소음 기준치(제2조)

(단위 : Leq dB(A))

지 역 구 분	적용 대상 지역	기 준	
		낮(06:00～22:00)	밤(22:00～06:00)
일 반 지 역	“가” 지역	50	40
	“나” 지역	55	45
	“다” 지역	65	55
	“라” 지역	70	65
도로변 지역	“가” 및 “나” 지역	65	55
	“다” 지역	70	60
	“라” 지역	75	70

주) 1. 지역 구분별 적용 대상 지역의 구분은 다음과 같다.

(1) “가” 지역

국토이용관리법 제6조의 규정에 의한 자연환경 보전지역, 관광휴양지역 및 취락지역 중 주거지구

도시계획법 제17조의 규정에 의한 녹지지역

도시계획법 시행령 15조의 규정에 의한 전용주거지역

의료법 제3조의 규정에 의한 종합병원의 부지 경계에서 50m 이내의 지역

교육법 제81조의 규정에 의한 학교의 부지 경계에서 50m 이내의 지역

(2) “나” 지역

국토이용관리법 제6조의 규정에 의한 취락지역 중 주거지구 이외의 지구

도시계획법 시행령 제15조의 규정에 의한 일반주거지역 및 준주거지역

(3) “다” 지역

도시계획법 제17조의 규정에 의한 상업지역

도시계획법 시행령 제15조의 규정에 의한 준공업지역

(4) “라” 지역

도시계획법 시행령 제15조의 규정에 의한 일반공업지역 및 전용공업지역

국토이용관리법 재6조의 규정에 의한 공업지역

2. 도로라 함은 2차로 이상의 도로를 말하며, 이때의 차로는 1종렬의 자동차(2륜 자동차는 제외한다)가 안전하고 원활하게 주행하기 위하여 필요한 일정 폭을 가진 차도 부분을 말한다.

3. 이 소음 환경기준은 항공기 소음, 철도 소음 및 건설 작업 소음에는 적용하지 않는다.

2.5 설계시 기본적인 고려사항

(1) 소음발생원의 특성 및 보호대상지역의 용도를 조사하고, 보호대상지역 주민의 의견을 수렴하여 방음시설을 선정한다.

(2) 방음시설은 전체적으로 주변경관과 잘 조화를 이루고 미적으로 우수하여야 한다. 이를 위하여 방음시설의 색상, 수림대조성, 덩굴식물 식재, 투명방음판과 불투명방음판의 조합, 방음벽의 단부 및 연결부에 화분설치, 다양한 문양의 방음판 사용 등 다각적인 방안을 강구한다.

(3) 방음판은 파손부위를 쉽게 교체할 수 있는 구조로 해야 한다.

(4) 방음벽은 사고시 대피·청소·유지관리 등을 위하여 적정간격으로 통로를 설치할 수 있다. 통로는 소음이 직접 밖으로 투과하지 않는 구조로 한다.

(5) 방음시설은 강풍·진동에 의하여 변형 또는 파괴되지 않도록 안전한 구조로 하되, 건설교통부의 『도로교 표준시방서』에서 정하는 지역별 설계풍속을 적용할 수 있다.

(6) 방음효과에 큰 차이가 없는 경우 가급적 유지관리가 편리하고 내구성이 좋은 것으로 한다.

(7) 방음벽을 설치함으로써 얻을 수 있는 최대 감음량은 20dB(A)이나 이만큼의 소음을 감쇠시킨다는 것은 거의 불가능하기 때문에 저감목표 값이 20dB(A)를 초과한다면 다른 방안을 강구해야 한다.

(8) 평면성토 또는 고가구조 구간에서 방음벽이 연속되어 있을 때는 또 도로내외의 환경과의 조화를 도모하기 위하여 식재의 활용 등을 고려하고 방음벽이 500m를 넘어 연속될 때는 방재 및 유지관리를 위하여 출입구를 설치하여야 한다. 출입구는 500~1,000m일 때는 중간에 1개소, 1,000m를 넘을 때는 500m마다 1개의 비율로 설치한다.

2.6 설치장소

(1) 도로건설시 4km 이상의 도로 신설 또는 2차로 이상으로 10km 이상의 도로 확장구간에 대하여는 환경영향평가를 실시한 후 그 결과에 따라 필요한 장소에 설치한다.

(2) 학교, 병원 등 정숙을 요하는 공공시설 부근은 우선 설치한다.

(3) 30호 이상의 밀집지역으로서 예측 소음도가 주간 65dB(A), 야간 55dB(A)를 상회하는 지역으로서 도로의 중심에서 150m 이내 지역에 설치한다.

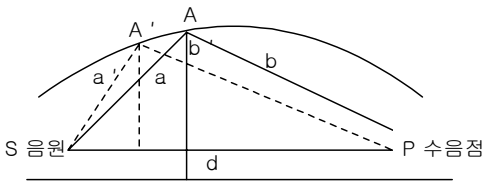
(4) 환경영향평가시 설치 제외된 구간이라도 현장 여건상 필요하다고 판단되는 곳은 설치여부를 재검토하여 반영한다.

2.7 설치위치

방음시설은 설치 가능한 장소 중 소음저감을 극대화할 수 있는 지점에 설치하여야 하는데, 일반적으로 음원에 가까운 쪽에 설치한다.

방음시설의 차음효과는 경로 차에 의하여 결정되며, <그림 906.4>에 나타낸 음원 S와 수음점 P를 초점으로 하는 타원의 궤적 상에 정점을 가진 방음벽의 경로 차는 위치에 관계없이 일정하다.

따라서, 음원과 수음점의 위치가 주어지고, 방음벽의 설치위치를 자유로이 산정할 수 있는 경우는 음원에 가장 가까운 쪽, 즉 도로단에 설치하는 것이 좋다. 방음벽은 음원 또는 수음점에 가까우면 높이가 낮아짐을 알 수 있으며, 음원에 가까운 쪽을 선정하는 편이 보다 광범위하게 감쇠 효과가 얻어진다.



경로 차 : a+b-d=일정

$\overline{SA} = a, \quad \overline{SA'} = a'$

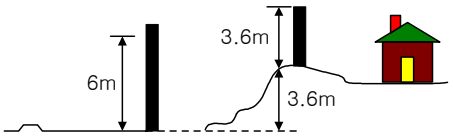
$\overline{PA} = b, \quad \overline{PA'} = b'$

$\overline{PS} = d$

$a + b = a' + b'$

<그림 906.4> 방음시설의 경로 차

그러나 실제 방음벽을 설계하는 경우에는 방음벽을 설치하고자 하는 대상 지역의 지형적 특성을 고려하여 방음벽 설치위치를 선정하여야 하며, 그러한 예는 <그림 906.5>와 같다.



<그림 906.5> 낮은 방음벽으로 높은 감쇠치를 얻을 수 있는 고지대의 이용 예

이 그림은 언덕에 설치된 낮은 방음벽이 도로 가까이에 설치된 높은 방음벽보다 감쇠량이 더욱 많아지며, 높이가 낮기 때문에 그만큼 설치비용도 절감될 수 있다.

방음벽의 설치위치를 도로의 단면 구조에 대응하여 나타내면 다음과 같다.

(1) 성토부

가드레일과 함께 사용할 경우 길어깨 단으로부터 1.5m 이상 떨어져 설치하는 것이 바람직하다. 또한 토사 방음둑과 겸용하여 설치하는 경우 길어깨 단으로부터 3m 이상 떨어지는 것이 바람직하다.

(2) 절토부

길어깨의 외측에 방음벽을 시공하는데 필요로 하는 폭의 위치에 설치한다.

(3) 구조물부

콘크리트 벽인 경우에는 벽 상단에 직접 설치하여도 좋으며, 현장 상황에 따라 가장 적절한 위치에 설치한다.

2.8 음원 및 수음점 결정

2.8.1 음원결정

교통소음에 대한 방음시설 설계시 음원은 무한길이의 선음원으로 보며, 음원의 높이는 노면위 0.5m를 표준으로 한다. 다만, 주 소음발생원이 노면보다 상당히 높은 경우에는 주 소음발생원의 위치로 한다.

소음원의 발생 소음도는 실제 현장측정을 통하여 결정하는 것을 원칙으로 하며, 장래의 소음을 예측하여 평가하고자 하는 경우에는 예측식을 이용하여 결정할 수 있다.

2.8.2 수음점 결정

수음점은 보호대상지역 부지경계선 중 소음도가 가장 높은 지점으로 한다. 다만, 소음으로부터 보호받아야 할 시설이 2층 이상인 경우 등 부지경계선보다 소음도가 더 큰 장소가 있는 경우에는 그 곳에서 소음원 방향으로 창문·출입문 또는 건물벽 밖의 0.5m 내지 1m 떨어진 지점으로 한다.

2.9 형식선정

방음벽에는 음향 성능상의 원리, 용도 및 재질에 따라 여러 가지의 종류가 있는데, 설치시에는 실용성, 경제성, 설치 지역의 특성 등을 검토하여 설치할 방음벽의 적합한 형식을 선정해야 한다.

각 형식별 선정기준은 <표 906.3>과 같으며, 일반적인 방음시설의 선정기준은 다음과 같다.

(1) 도로·철도 등 소음원의 양쪽 모두에 보호대상지역이 있거나 한쪽에만 방음시설을 설치할 경우 반대측 수음자에게 반사음의 영향이 우려되는 경우에는 흡음형 방음벽 또는 반사음 저감효과가 흡음형 방음벽과 동등 이상인 방음시설로 한다.

(2) 조망, 일조, 채광이 요구될 경우에는 투명방음벽 또는 투명방음판과 다른 방음판을 조합한 방음벽으로 한다.

(3) 소음원과 보호대상지역 사이에 적정한 공간이 있는 경우에는 자연미관과 방음 효과를 달성할 수 있는 방음림을 설치하거나 방음벽, 방음둑과 방음림을 조합한 방음시설을 설치할 수 있다.

<표 906.3> 방음시설의 형식별 선정기준

형식	선정기준	비고
반사형	일반구간	
흡음형	도로의 좌우에 방음벽을 설치해야 할 구간	
투명형	일조권 침해 예상지역 불투명 방음벽 설치시 결빙예상지역	
칼라형	대도시주변 대단위 밀집지역 종합병원 등 요양시설이 위치한 지역 연장이 200m 이상 설치해야 할 지역	녹색, 청색, 백색을 우선으로 주위경관을 고려해서 설치

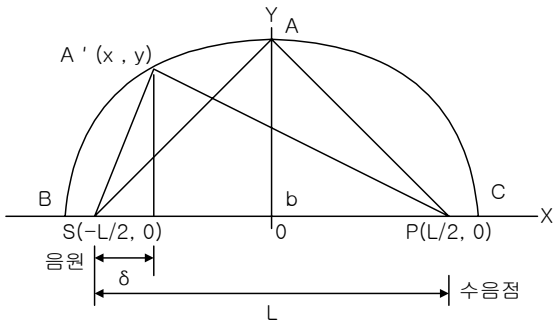
(4) 소음원 및 보호대상지역의 주변 지형여건상 방음벽, 방음둑 등으로 충분한 방음효과를 얻기 어려운 지역은 방음터널로 한다.

(5) 방음시설 설치대상지역의 입지여건이나 장래 토지이용계획 등을 고려하되 그 특성에 따라 (1)~(4)와 달리 할 수 있다.

2.10 설치높이

방음벽의 설치위치를 결정하고 소음도를 설계 목표 수준(예를 들면 소음규제 기준치)까지 감쇠시키기 위하여 필요한 높이를 결정하여야 한다. 기본적으로는 높이 h를 미지수로 하고, 필요 경로차 δ로부터 역산하면 좋으나 어떤 높이를 가정하여 감쇠치를 구하고 필요 감쇠치가 구하고 필요 감쇠치가 구해질 때까지 벽의 높이를 변화시켜 가는 것도 좋은 방법이다.

방음벽의 소요 높이의 계산에서 필요 감쇠치(dB)와 음원의 대표 주파수 f(Hz)가 주어지고 음원과 수음점이 고정되어 있을 경우 동일한 경로 차가 발생하는 방음벽 높이의 궤적은 타원을 나타내게 된다. 식 (1)과 같은 타원 방정식에 <그림 906.6>의 경로 차 δ=2a-L을 대입하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.



$\overline{PA} = \overline{SA} = a$

$\overline{OA} = b, \quad \overline{SP} = L$

<그림 906.6> 타원 궤적의 방음벽 경로 차

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \qquad \text{식 (1)}$$

$$\frac{4x^2}{(\delta + L)^2} + \frac{4y^2}{\delta(\delta + 2L)} = 1 \qquad \text{식 (2)}$$

여기서, 경로 차 δ는 음원과 수음점을 잇는 거리 L에 비하여 작으므로,

$$\frac{\delta}{2L} \ll 1 \qquad \text{식 (3)}$$

로 가정하면, 식 (2)는

$$\frac{4x^2}{L^2} + \frac{2y^2}{\delta L} = 1 \qquad \text{식 (4)}$$

로 되며, 벽의 설치 위치를 음원으로부터 l로 하면,

$$x = -\left(\frac{L}{2} - l\right) \qquad \text{식 (5)}$$

으로 된다. 이것을 식 (4)에 대입하면,

$$y = \sqrt{2\,\delta\, l\left(1 - \frac{l}{L}\right)} \qquad \text{식 (6)}$$

여기서,

δ : 경로 차(m)

l : 음원과 방음벽 간의 직선 거리(m)

L : 음원과 수음점 간의 직선 거리(m)

로 된다.

이 y의 값이 필요 감쇠치를 구하기 위한 벽의 소요높이가 된다. 단, 이 식에 의한 높이는 음원과 수음점을 잇는 직선으로부터 수직 높이인 점 및 지면의 반사는 고려되어 있지 않다.

2.11 설치길이

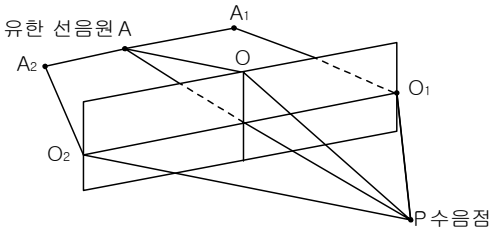
방음벽의 길이는 방음벽 측단으로 입사하는 음의 영향을 고려하여 설계목표를 충분히 달성할 수 있는 길이를 가져야 한다.

방음벽의 설치 길이는 직접음 감쇠치에 의하여 결정한다.

(1) 방음벽이 무한장으로 간주되는 범위

응시각이 180°인 무한한 길이의 방음벽은 일반적으로 16dB의 감쇠량을 얻을 수 있다. 그러나 실제로 무한한 길이의 방음벽은 설치되지 않으며 편의상 방음벽의 유효 높이(음원과 수음점을 있는 직선으로부터의 높이)의 몇 배의 길이가 양 끝에 연장되어 있으면 무한장의 경우로 가정할 수 있다. 즉, 유한장 방음벽이라도 길이에 따라서는 무한장과 동등하게 취급할 수 있는 범위가 있다.

<그림 906.7>에 나타낸 것과 같은 유한장의 선음원에 대하여 방음벽을 설치하는 경우는 벽의 상단부에 대한 회절음의 경로 차 $\delta_1 = \overline{A_1O_1} + \overline{O_1P} - \overline{A_1P}$, $\delta_2 = \overline{A_2O_2} + \overline{O_2P} - \overline{A_2P}$ 를 구하고, 각각 $\delta_1 \geq 10\delta$ 또는 $\delta_2 \geq 10\delta$로 되도록 방음벽의 길이를 결정하면, 측단부로부터의 회절은 거의 무시할 수 있다.



<그림 906.7> 유한장 선음원에 대한 경로 차

(2) 방음벽이 유한장일 경우

고속도로와 같이 대단히 긴 음원에 대하여 부분적으로 방음벽을 설치하는 경우, 즉 <그림 906.8>의 유한장 음원에 대하여 방음벽을 취급하는 경우에 방음벽의 감쇠치를 구하는 방법은 다음과 같다.

우선 방음벽 설치후의 P점에서의 음압레벨을 L_0로 하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$L_0 = PWL - 11 \log d + 10 \log(2 \sin \alpha_0)$$

$$= PWL - 8 - 10 \log d + 10 \log \sin \alpha_0$$

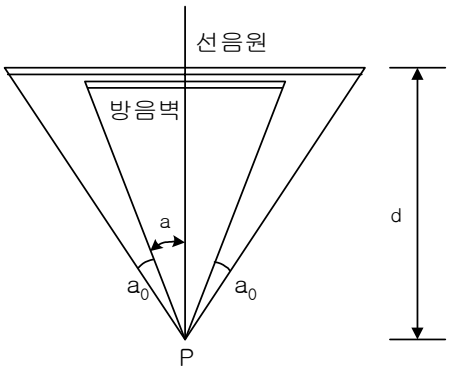
여기서,

PWL : 선음원의 파워레벨(dB)

d : 음원과 수음점 사이의 거리(m)

α_0 : 음원의 응시각의 1/2(라디안)

다음에 방음벽을 설치한 후의 음압레벨은 방음벽의 설치 구역으로부터의 음압레벨의 합성치로서 구할 수 있다.



<그림 906.8> 유한장 선음원과 방음벽

설치구간으로부터의 음압레벨 L_1은,

$$L_1 = PWL - 8 - 10\log d + 10\log\sin\alpha - \Delta D$$

$$= L_0 - 10\log\frac{\sin\alpha'}{\sin\alpha} - \Delta D$$

여기서,

ΔD : 무한장일때의 벽의 감쇠치(dB)

α : 벽의 응시각의 1/2(라디안)

비설치구간으로부터의 음압레벨 L_2는,

$$L_2 = PWL - 8 - 10\log d + 10\log(\sin\alpha_0 - \sin\alpha)$$

$$= L_0 + 10\log\left(\frac{\sin\alpha_0 - \sin\alpha}{\sin\alpha_0}\right)$$

$$= L_0 + 10\log\left(1 - \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_0}\right)$$

결국, 방음벽 설치 후의 수음점 P의 음압레벨 L은 L_1과 L_2의 합성치로서 다음 식으로 구한다.

$$L = 10\log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10})$$

$$= L_0 + 10\log(10^{\frac{-\Delta D}{10}} \times \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_0} + 1 - \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_0})$$

유한장 방음벽에 의한 감쇠치를 D'로 하면, 설치 전후의 음압레벨 차로부터 다음 식에 의하여 구한다.

$$\Delta D' = L_0 - L$$

$$= -10\log(10^{\frac{-\Delta D}{10}} \times \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_0} + 1 - \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_0})$$

윗 식을 변형하면

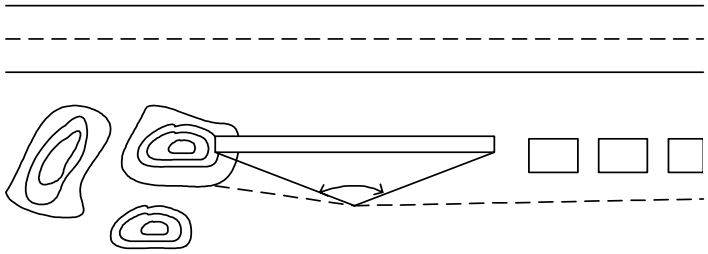
$$\alpha = \sin^{-1}\frac{1 - 10^{-\Delta D'/10}}{1 - 10^{-\Delta D/10}}\sin\alpha_0$$

또는

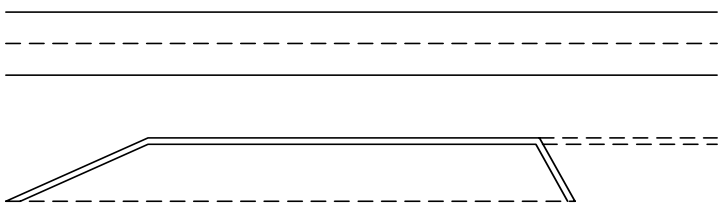
$$\Delta D = 10\log\left[1 - \frac{\sin\alpha_0}{\sin\alpha}(1 - 10^{-\Delta D'/10})\right]$$

으로 된다.

일반적으로 유한한 길이의 방음벽을 설치할 때에는 수음점으로부터 응시각이 둔각이 되도록 길이를 결정하는 것이 실질적이며, 천연적인 지형 조건을 이용하여 필요한 무한한 길이의 효과를 제공할 수 있고(<그림 906.9>), 수음지역에 향하도록 방음벽 양단을 구부림으로써 방음벽 길이를 축소시킬 수 있다(<그림 906.10>).



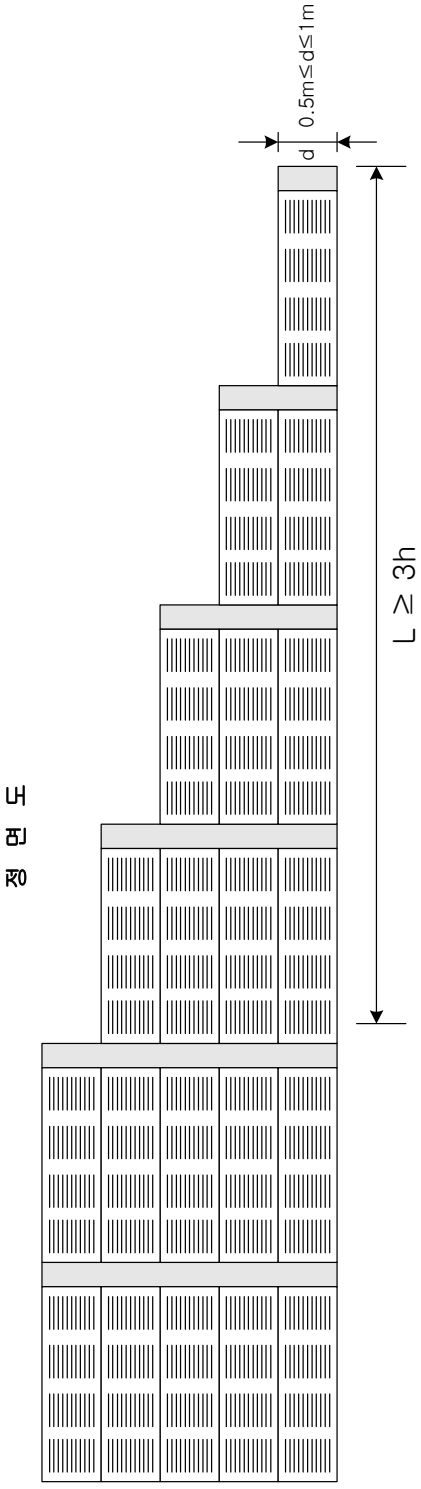
<그림 906.9> 지역, 지형 형태를 이용한 방음벽 효과 상승



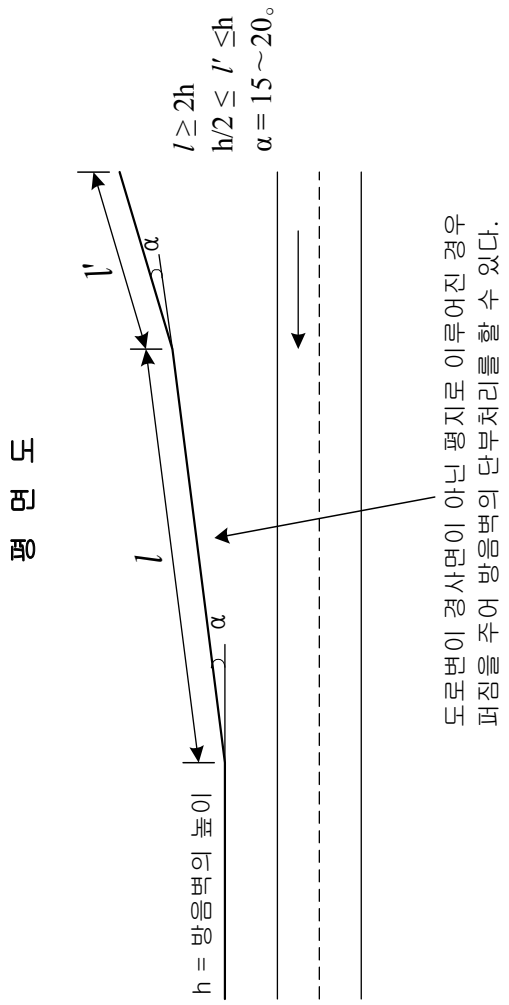
<그림 906.10> 방음벽 양단을 구부려 방음벽 효과 상승

906.3 종합적 설계

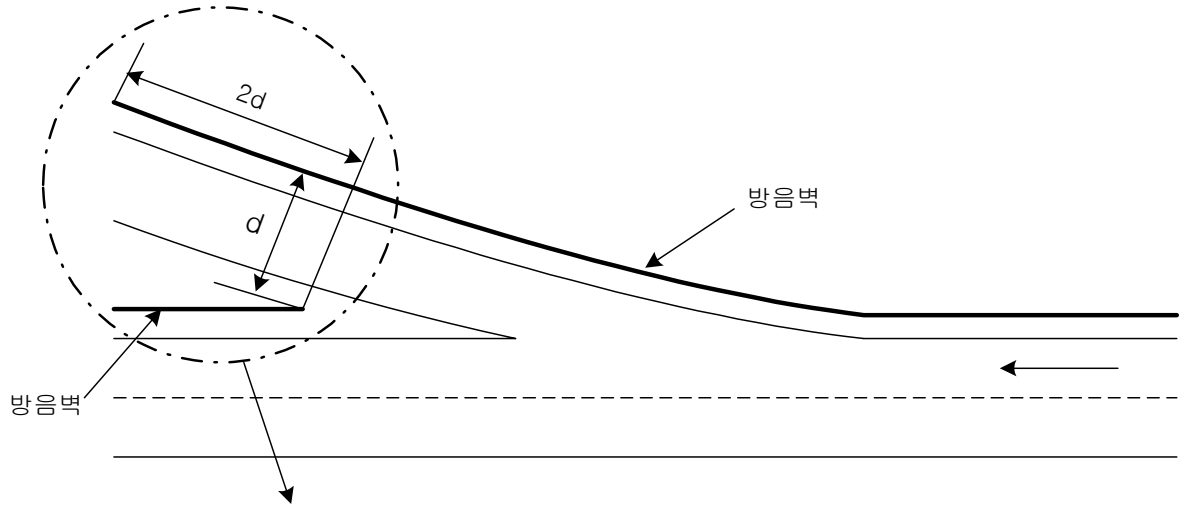
3.1 단부처리의 예



방음벽이 시작 또는 끝나는 단부에서는 운전에 영향을 미치는 여러 가지 요인이 작용하기 때문에 방음벽의 단부를 자연스럽게 처리하여야 한다.
이때 단부에서의 경사는 최소 1:3 이하가 될 수 있도록 방음벽 높이의 3배 이상이 되도록 한다.
단부에서의 방음벽은 연속적인 단층이 이루어지도록 설계하며, 단벌 수직높이는 0.5~1.0m의 범위에서 결정한다.

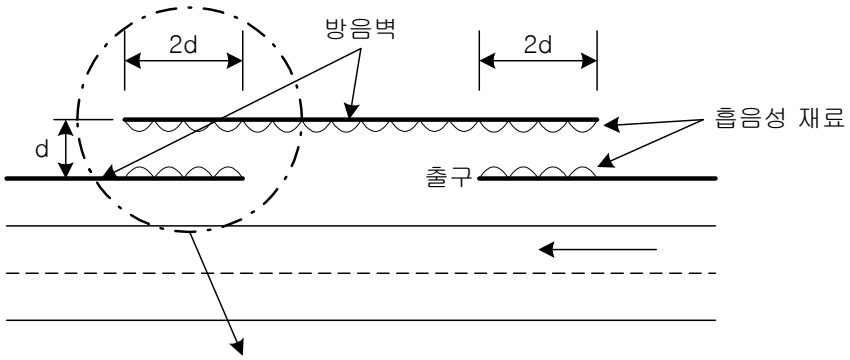


3.2 합□분류구간에서의 설치방법



도로가 분기하는 지점에서 방음벽의 연결이 끊어지는 곳에서는 그림과 같이 방음벽간 거리의 2배만큼 설치한다.
합류구간에서도 동일한 방법으로 설치한다.

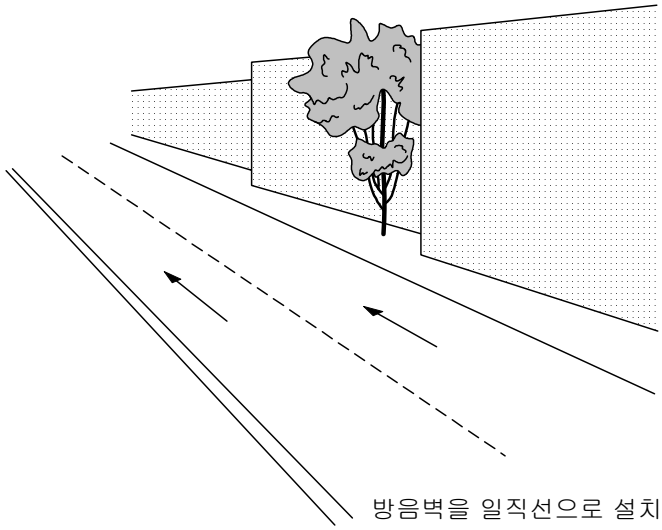
3.3 출입구에서의 설치방법



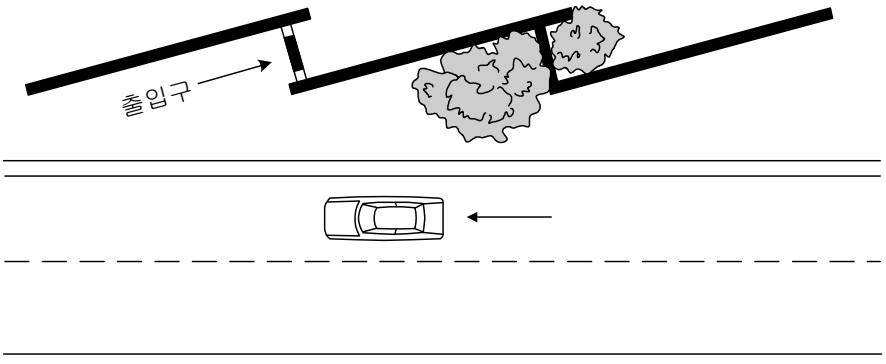
도로 유지보수시 물품 또는 사람의 출입이나 주정차를 위한 공간에서 방음벽을 절단하는 경우에는 방음벽 절단에 의한 소음 유출을 최소화할 수 있도록 그림과 같이 설치한다.

이때 중복길이는 방음벽 사이 간격의 최소 2배가 되도록 하고 가능한 한 표면은 흡음성 재료를 사용하여 출구를 통한 소음의 전파를 막도록 한다.

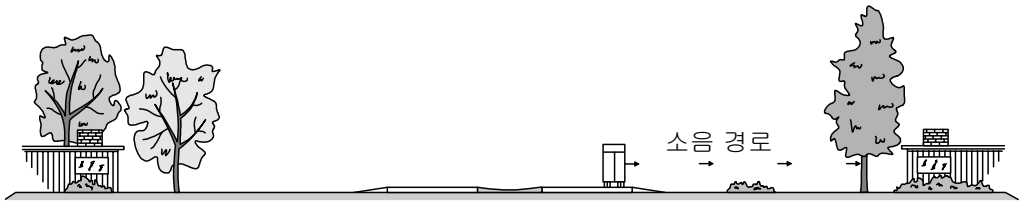
3.4 미관을 고려한 방음벽 설치방법



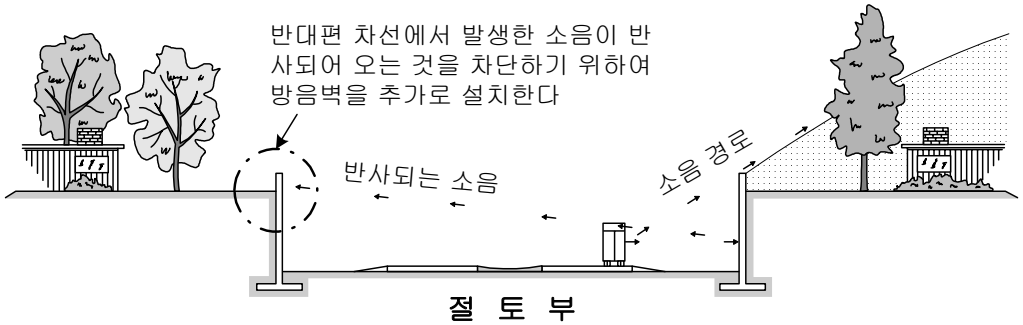
방음벽을 일직선으로 설치했을 때의 단조로움을 피하기 위하여 방음벽을 단차를 두어 설치하였다. 이 경우에는 차량진행방향으로 방음벽이 돌출된 부분이 없도록 주의하여야 하며, 미관을 고려하여 식재를 하는 것도 바람직하다.



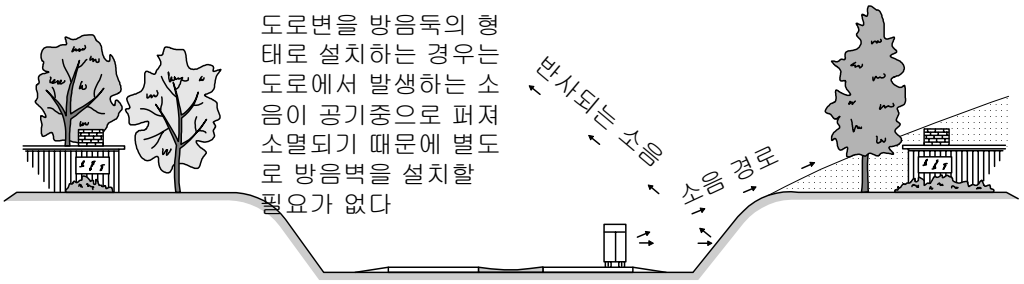
3.5 절□성토부에서의 설치방법



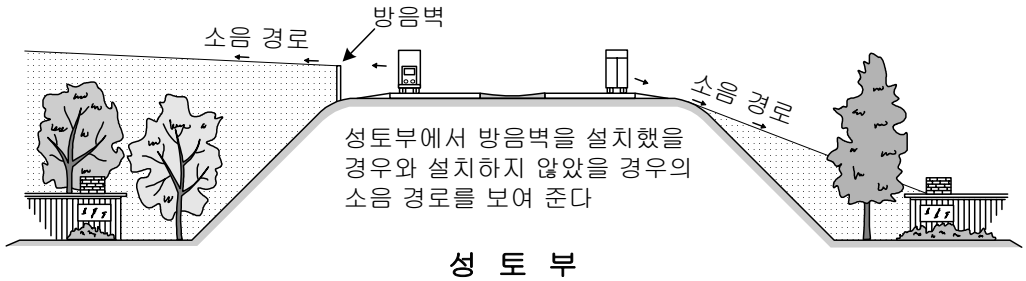
평 지



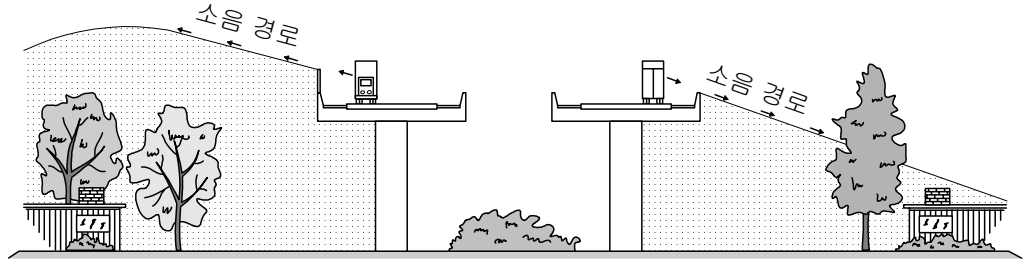
절 토 부



절 토 부



성 토 부



고가도로인 경우

참고문헌

902 휴게시설

1. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
2. 한국도로공사, 고속도로 휴게소 레이 아웃 개선 및 설계지침, 1997
3. 한국도로공사, 고속도로 부대사업시설 이용실태조사 보고서, 1996
4. 日本道路公團, 道路設計要領, 1990
5. 山海堂, 高速道路の計劃と設計, 1984

903 체인설치제거소

1. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
2. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996

904 비상주차대

1. 건설부, 도로안전시설 설치편람, 1989
2. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 1999
3. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
4. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996

905 긴급연락시설

1. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
2. 한국도로공사, 도로설계실무편람, 1996

906 방음시설

1. 건설부, 도로환경영향평가 및 보전시설에 대한 조사, 1988
2. 건설교통부, 도로부대시설, 1998
3. 한국건설기술연구원, ES형 방음저감시설 개발, 1990
4. 한국도로공사, 도로설계요령, 1992
5. 한국도로공사, 고속도로 방음대책에 관한 연구, 1994
6. 한국환경과학연구협의회, 방음시설의 구조 및 설치 기준 제정을 위한 연구, 1994
7. FHWA, Fundamentals & Abatement of Highway Traffic Noise, 1980
8. FHWA, Noise Barrier Design Handbook, 1976
9. AASHTO, Guide on Evaluation and Abatement of Traffic Noise, 1993
10. AASHTO, Guide Specifications for Structural Design of Sound Barriers, 1989
11. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994
12. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986

부 록

1. 신기술지정현황 및 내용

순번	구 분	내 용
1	신기술명	회전식 투명방음판 제작 및 설치공법
	지정번호	제 188 호
	기술개발자	건원공업(주)
	전화번호	0345-497-6900
	신기술의 범위	• 투명 방음판의 회전을 위한 내외부 창틀 사이의 힌지식 회전부재 • 내부 창틀의 고정을 위한 고정 부재 • 회전부재와 고정부재를 이용한 회전식 방음판
2	신기술명	요철형 방음판 제작 및 설치공법
	지정번호	제 199 호
	기술개발자	건원공업(주)
	전화번호	0345-497-6900
	신기술의 범위	• 단면이 요철 형태로 다수의 굴곡을 이루고 내부에 다중의 공기층을 형성하는 구조의 방음판(A형, B형) 제작 및 설치공법 • 방음판 외형을 요철 형태로 절곡하여 소음접촉 면적을 넓게 함으로써 반사음과 회절음을 효과적으로 차단하였으며, 방음판 내부에 다중의 공기층을 형성하여 투과와 반사가 반복되도록 함으로써 소음저감 효과를 증대시킴

색 인

(ㄱ)

가시광선 투과율 906-3
간이휴게소의 기본형 902-5
긴급연락시설 905-1

(ㄴ)

내향형 902-8

(ㅂ)

방음벽 설계과정 906-5
방음시설 906-1
본선상공형 902-8
부대시설의 기능 901-1
부대시설의 정의 901-1
부대시설의 종류 901-1
분리형 902-8
분리형 휴게소의 형식 902-4
비상주차대 904-1

(ㅅ)

설계시 고려사항 901-2
수음점 결정 906-9
시설의 병설 902-15

(ㅇ)

외향내향형 902-9
외향형 902-8
음원 결정 906-9
이용률 902-11
입지조건 902-6

(ㅈ)

주차면수의 산정 902-11
중앙집약식 902-9
집약형 902-8, 902-9
집약형 휴게소의 형식 902-3

(ㅊ)

체인설치제거소 903-1

(ㅌ)

투과손실 906-3

(ㅍ)

편측집약식 902-9

(ㅎ)

혼잡률 902-11
회전율 902-11
휴게소의 기본형 902-5
휴게시설 902-1
휴게시설의 규모 결정 902-10
흡음률 906-3