

제 10 편 포 장



목 차

1. 적 용	9
1.1 적용범위	9
1.2 포장의 형식	9
1.3 포장형식 선정기준	10
2. 포장 설계 개념	14
2.1 포장 공용성	14
2.1.1 서비스 능력-공용성 기본개념	14
2.1.2 측정 시 서비스 지수	15
2.2 경험적 설계법	15
2.3 역학적-경험적 설계법	16
3. 아스팔트 포장	18
3.1 개 요	18
3.1.1 적용범위	18
3.1.2 설계 시 고려사항	19
3.2 아스팔트 포장의 구성요소	19
3.2.1 정의와 기능	19
3.2.2 노 상	21
3.2.3 차단층과 동상방지층	23
3.2.4 보조기층과 기층	26
3.2.5 중간층과 표층	38
3.3 아스팔트 포장의 설계기준	44
3.3.1 개 요	44
3.3.2 교 통	46
3.3.3 노 상	48
3.3.4 환경영향	55
3.3.5 배 수	68
3.4 아스팔트 포장의 설계방법	71
3.4.1 AASHTO 설계방법	71
3.4.2 T _A 설계 방법	89

4. 콘크리트 포장	97
4.1 개 요	97
4.1.1 설계 시 고려사항	97
4.1.2 콘크리트포장의 종류	97
4.2 콘크리트 포장의 구성	99
4.2.1 노상	100
4.2.2 보조기층	100
4.2.3 콘크리트 슬래브	102
4.2.4 보강철근, 하중전달장치, 타이바 및 줄눈재	103
4.3 콘크리트 포장의 설계기준	105
4.3.1 개 요	105
4.3.2 노 상	106
4.3.3 콘크리트 슬래브의 재료특성	108
4.4 콘크리트 포장의 설계방법	110
4.4.1 적용범위	110
4.4.2 AASHTO 설계법	110
4.4.3 콘크리트 포장 요강 설계법	130
4.4.4 보조기층면의 분리막 설계	139
4.4.5 줄눈의 설계	140
4.4.6 CRCP 콘크리트 슬래브 세로방향 자유단부 설계	150
4.4.7 콘크리트 슬래브의 보강	155
4.4.8 콘크리트 포장 교차부 설계	164
5. 특수장소의 포장	166
5.1 교면포장	166
5.2 연결로 포장	178
5.3 터널 내의 포장	181
5.4 암반구간의 포장	185
6. 부대시설 등의 포장	188
6.1 개 요	188
6.2 부대시설의 유출·입 연결로	188
6.3 영업소	189

6.4 버스정차대	190
6.4.1 버스 정류차로	190
6.4.2 가·감속 차로	190
6.4.3 승강장	191
6.5 주차장 및 체인탈착장	192
6.6 비상주차대와 긴급제동시설	193
6.7 관리시설 내 포장	193
7. 포장세부 및 기타사항	194
7.1 측대 및 길어깨 포장	194
7.2 단부의 구조	195
7.3 연석의 형태	197
7.4 중앙분리대 개구부	197
7.5 터널 입출구 개구부	197
참 고 자 료	198



1. 적 용

1.1 적용범위

이 편은 한국도로공사가 시공하는 도로 포장 설계에 적용한다.

이 편에서는 포장을 아스팔트 콘크리트 포장(이하 아스팔트 포장이라 함)과 시멘트 콘크리트 포장(이하 콘크리트 포장이라 함)으로 대별하며, 포장의 공법은 각 포장의 특성을 파악한 후, 건설 시 뿐만 아니라 유지보수를 고려하여 장기적 측면에서 선정하여야 한다.

이 편 적용에 있어서는 자구에 구매됨이 없이 본래 의도하는 바를 정확히 파악하고, 기상·입지·토질 등의 조건 및 경제성·시공성·주행성·유지보수성 등에 있어서 불합리한 설계가 되지 않도록 하여야 한다.

1.2 포장의 형식

포장에는 아스팔트 포장과 콘크리트 포장이 있다.

(1) 아스팔트 포장

골재를 역청재료(bituminous material)로 결합하여 만든 표층이 있는 포장을 말하며, 일반적으로 표층·중간층·기층 및 보조기층으로 이루어진다. 아스팔트 포장에서는 하중재하에 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 거동특성에 초점을 두어 아스팔트 포장을 가요성 포장(flexible pavement)으로 부르기도 한다.

(2) 콘크리트 포장

강성 포장(rigid pavement)의 대표적인 것으로서, 시멘트 콘크리트 슬래브가 교통하중으로 인한 전단이나 휨에 저항하여 그 슬래브 작용으로 하중을 기초에 넓게 전달한다. 일반적으로 표층 및 중간층·보조기층으로 구성되어 있고, 표층은 시멘트 콘크리트 층을 말하나 그 위에 아스팔트 콘크리트 마모층을 둘 수도 있으며, 보조기층의 역할은 슬래브에 균등한 지지력을 주고 투수층으로 동상(凍上) 현상을 방지하고 시멘트 콘크리트 슬래브를 타설하기 위한 안전한 작업 기반을 조성하는 데 있다.

포장의 구조를 두 가지 포장형식별로 비교하면 <표 1.1>과 같다.

<표 1.1> 포장구조 비교

구 분	아스팔트 포장	콘크리트 포장
하중전달	• 교통하중을 표층→기층→보조기층→노상으로 분산시켜 하중을 절감하는 형식	• 교통하중을 콘크리트 슬래브가 직접 지지하는 형식
표 층	• 교통하중의 일부를 지지하며 하부층으로 전달 • 표면수의 침입을 방지하여 하부층 보호	• 슬래브 자체가 빔(beam)으로 작용하여 교통하중에 의하여 발생하는 응력을 휨 저항으로 지지
기 층	• 입도조정처리 재료 또는 아스팔트 혼합물로 구성 • 표층과 일체가 되어 교통하중에 의한 전단에 저항하여 하중을 분산시켜 보조기층에 전달	-
보조기층	• 입상재료 또는 토사 안정처리 재료 등으로 구성 • 상부층에서 전달된 교통하중을 지지하며, 노상으로 하중을 전달 • 포장층 내 배수기능 전달 역할 • 미립질의 노상재료가 기층부로 침투하는 것을 방지 • 동결작용의 손상효과를 최소화	• 빈배합 콘크리트 또는 시멘트 및 아스팔트 안정처리 재료로 구성 • 콘크리트 슬래브에 대한 균일한 지지력 확보 • 줄눈부 및 균열 부근의 우수 침투처리 및 팽창현상 방지

1.3 포장형식 선정기준

포장형식은 교통특성, 토질 및 환경특성, 시공성, 경제성 및 유지관리 등 기술적인 사항과 정책적인 사항을 동시에 고려하여 선정한다.

(1) 개요

일반적으로 포장형식은 주어진 환경·교통·토질조건 등에 따라 여러 가지 형태로 생각할 수 있으나, 어떤 절대적인 판단기준은 없다. 대체로 경제성, 시공성, 유지관리비, 유지관리의 난이도, 지하매설물의 여부 등에 따라 결정할 것이다. 그러나 각 포장공법이 상대적인 특성을 갖고 있어 모든 요소를 비교적인 측면에서 평가하여 정량화시키는 작업이 매우 어려우므로 일반적으로는 교통특성, 경제성, 시공성 등 기술적인 사항과 정책적인 사항을 동시에 고려하여 선정하게 된다.

각 포장형식의 특징은 <표 1.2>, <표 1.3>, <표 1.4>와 같다.

(2) 환경 및 교통량

최근 자동차의 증가와 함께 국민생활에 미치는 대기오염·소음·진동 등 환경요소의 중요성이 증대되고 있는 바, 도로의 구조에 기인한 사고발생의 지배적인 요인인 비포장도로의 포장·노면의 평탄성 확보·구조물 주변의 단차 개선·주거지역에서의 방음벽 설치 등 세심한 배려가 필요하다. 특히, 중차량의 교통량 증가가 예상되는 구간에서의 포장의 구조는 특별한 유지관리가 필요 없고, 공용기간이 긴 포장형식을 선택함이 유리하다.

(3) 토질특성

일반적으로 토질특성은 도로 구간에 따라 일정하게 변한다. 그 변화 폭이 크고 침하의 우려 및 체적변화가 예상될 경우에는 단계건설을 고려한다. 연약지반 구간에 있어 가요성 포장 및 연속철근콘크리트 포장은 적응성이 양호하나, 무근콘크리트 포장은 부등침하 발생에 따른 조기파손이 우려되므로 연약지반 처리 또는 안정처리 노상 등의 충분한 검토가 필요하다.

(4) 기상

눈이 많이 오는 지역에 대해서는 제설장비가 포장을 손상시키지 않고 운용이 가능한 포장형식을 택한다. 또한, 미끄럼과 마모를 막기 위하여 표층 위에 마모층을 두는 경우도 있으나 적설지역의 도로에는 내마모성을 중시한 포장형식을 택한다.

(5) 시공성

단계건설 여부, 시공 속도, 시공 중 교통소통 등에 따라 적절한 포장형식을 선정한다.

(6) 경제성 및 유지보수

특별히 초기투자비를 비교 후 유지관리비 및 잔존가치를 포함한 경제성을 비교하여 포장형식을 결정한다. 또한 포장형식 선정에 있어서는 경제성도 중요하지만 안전성, 승차감(주행성), 유지보수 및 간접비용과 고객 서비스 제고 등을 고려한다.

(7) 기타 고려사항

- ① 계획노선 부근의 다른 노선에 대한 포장 설계·시공 및 관리에 따른 경험
- ② 주변의 기존 포장에 대한 검토
- ③ 골재원 등의 재료 확보 및 운반
- ④ 시공 경험 및 장비 확보
- ⑤ 교통안전 측면
- ⑥ 기술향상을 도모하기 위한 정책적인 고려
- ⑦ 재료는 시공회사가 임의로 선정할 수 있도록 하는 것이 경쟁력 확보에 유리
- ⑧ 시멘트·아스팔트 등의 사용 및 확보에 대한 국가적인 측면 고려

각 포장형식의 특징은 <표 1.2>, <표 1.3>, <표 1.4>와 같다.

<표 1.2> 아스팔트 포장의 특징

구 분	특	징
구조특성	<ul style="list-style-type: none"> • 포장층 일체로 교통하중을 지지하고 노상에 윤택하중을 분포 • 포장 두께는 교통하중과 노상지지력에 의거하여 설계 • 기층 또는 보조기층에도 큰 응력이 작용 • 반복되는 교통하중에 민감 	
공사실적	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 포장도로의 주종 	
시 공 성	<ul style="list-style-type: none"> • 신속성 및 간편성 측면에서 유리 • 단계시공 방식에 적합 	
유지보수	<ul style="list-style-type: none"> • 부분 보수 용이 • 잦은 보수로 교통소통에 지장 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지관리비가 고가 • 보수시기가 늦으면 큰 하자 발생
공 용 성	<ul style="list-style-type: none"> • 공사 후 즉시 교통개방 • 소음이 적음 	<ul style="list-style-type: none"> • 평탄성 및 승차감 양호
토질영향(연약지반)	<ul style="list-style-type: none"> • 적응성이 양호 	
적용도로	<ul style="list-style-type: none"> • 확장공사를 시행하는 도로 • 중차량의 구성비가 적은 도로 • 교량, 압거, 터널 등 구조물이 많은 구간에서 경제성, 시공성 양호 	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반에 축조하는 도로 • 조기 완공이 필요한 도로

〈표 1.3〉 무근 콘크리트 포장의 특징

구 분	특 징
구조특성	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 슬래브 자체로 교통하중 및 환경변화에 대하여 지지 • 슬래브에 불규칙한 균열을 방지하는 줄눈 중 가로수축줄눈은 4~6m 간격으로 설치 • 골재 맞물림 작용 및 다웰바를 통하여 슬래브 간 하중전달
공사실적	<ul style="list-style-type: none"> • 부산~마산 고속도로, 88올림픽고속도로, 중부고속도로 • 호남고속도로, 남해고속도로 확장 및 국도포장 다수
시 공 성	<ul style="list-style-type: none"> • 줄눈 설치를 위한 추가 작업 필요 및 콘크리트 양생 기간 등으로 다소 불리
내 구 성	<ul style="list-style-type: none"> • 중차량에 대한 적응도 양호
유지보수	<ul style="list-style-type: none"> • 유지관리비 저렴 (단, 줄눈부의 정기적인 유지보수 필요) • 연속철근콘크리트 포장에 비하여 국부적인 파손에 대한 보수가 용이
공 용 성	<ul style="list-style-type: none"> • 장기간 양생 필요(보통 포틀랜드시멘트 사용 시 최소 14일 이상 소요) • 수축줄눈의 설치로 승차감 불량 • 소음 발생
토질영향(연약지반)	<ul style="list-style-type: none"> • 부등침하 발생에 따른 조기파손 우려
적용도로	<ul style="list-style-type: none"> • 중차량의 구성비가 큰 도로 • 땅짜기·흙쌓기 경계부가 많은 도로 • 신설도로

〈표 1.4〉 연속 철근 콘크리트 포장의 특징

구 분	특 징
구조특성	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 슬래브 자체로 교통하중 및 환경변화에 대하여 지지 • 슬래브에 발생한 균열의 벌어짐을 연속철근으로 억제 • 팽창줄눈은 필요하나 수축줄눈은 불필요
공사실적	<ul style="list-style-type: none"> • 중부고속도로, 경부고속도로 일부구간 등 적용
시 공 성	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 측방 공급에 따른 작업공간 필요
내 구 성	<ul style="list-style-type: none"> • 중차량에 대한 적응도 양호
유지보수	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 시공수준이 요구되나 유지보수비는 저렴 • 균열 폭 과대 발생시 제설용 염화물에 의한 철근부식 우려
공 용 성	<ul style="list-style-type: none"> • 장기간 양생 필요(보통 포틀랜드 시멘트 사용 시 최소 14일 이상 소요) • 무근 콘크리트 포장에 비하여 승차감 양호 • 소음 발생
토질영향(연약지반)	<ul style="list-style-type: none"> • 적응성이 양호
적용도로	<ul style="list-style-type: none"> • 중차량 구성비가 큰 도로 • 양호한 주행성이 필요한 도로 • 지형이 평탄하고 선형이 좋은 본선 구간 도로 • 땅짜기·흙쌓기 경계부가 많은 도로



2. 포장 설계 개념

2.1 포장 공용성

포장 공용성에 관한 기본개념에는 기능적 공용성, 구조적 공용성 및 안전성이 포함된다. 포장의 기능적 공용성(functional performance)은 포장체가 이용자에게 쾌적성이나 승차감을 얼마나 제공할 수 있는가와 관계되고, 포장의 구조적 공용성(structural performance)은 포장체의 물리적 상태, 즉 균열발생·단차·라벨링 또는 포장구조의 하중전달 능력에 역효과를 주거나 유지보수를 요하는 기타 조건에 관계된다.

포장의 안전성은 주로 포장과 타이어 접촉에 따른 마찰저항에 관계된다.

포장구조 설계는 기능적 공용성과 구조적 공용성에 관한 사항만을 반영한다.

2.1.1 서비스 능력-공용성 기본개념

서비스 능력-공용성 개념(serviceability-performance concept)은 이 편에 제시된 설계법에서 공용성 척도로 사용되며, 이 개념은 AASHO 도로시험에 의해서 정립된 개념으로서 포장의 쾌적성을 정량화하는 척도이다.

서비스 능력-공용성 개념은 다음의 다섯 가지 가정을 토대로 한다.

- (1) 도로 포장은 이용자의 통행의 편리성과 쾌적감을 제공하기 위함이다.
- (2) 쾌적감(comfort)이나 승차감(riding quality)은 이용자의 주관적 반응 또는 견해에 관련되는 사항이다.
- (3) 서비스 능력(serviceability)은 모든 도로 이용자 관점에서 포장의 상태를 평가하여 점수를 부여하는 방법으로 표시되며, 이것을 서비스 능력 평점(serviceability rating)이라 부른다.
- (4) 객관적으로 측정할 수 있는 포장의 물리적 손상특성과 주관적 평가를 서로 상관시킬 수 있으며, 이 관계로부터 객관적인 서비스 지수(serviceability index)를 제공할 수 있다.
- (5) 공용성(performance)은 포장 구조체의 서비스 이력(serviceability history)으로 표시된다.

포장의 서비스 능력은 어느 시점에서 포장이 이용자에게 제공하는 구조적 손상도(요철, 균열 및 패칭 정도)의 크기이며, 측정 시 서비스 지수로 표시된다.

측정 시 서비스 지수(present serviceability index ; PSI)는 균열과 패칭 정도 그리고 가요성 포장에서의 바퀴자국 패임 깊이(rutting depth) 등을 그 포장의 사용수명(service life) 동안의 특정시기에 측정하여 얻을 수 있다.

2.1.2 측정 시 서비스 지수

- (1) 측정 시 서비스 지수(PSI)의 크기는 0~5의 값으로서 정의된다.
- (2) 포장설계를 위해서는 다음과 같은 초기와 최종 서비스 지수를 결정하여야 한다.
 - ① 초기 서비스 지수(initial serviceability index ; P_0) : 도로 이용자 관점에서 추정되는 시공 완료 직후의 PSI 값
 - ② 최종 서비스 지수(terminal serviceability index ; P_t) : 특정 도로의 포장면을 재포장(resurfacing)하거나 재시공(reconstruction)이 요구되는 시점의 PSI 값

AASHO 도로시험 결과 아스팔트 포장에 대한 초기 서비스 지수 값은 4.2, 콘크리트 포장 초기 서비스 지수 값은 4.5로 평가되었다. 최종 서비스 지수(P_t) 값은 주요 도로인 경우에는 2.5를 사용하며, 중요하지 않은 도로에 대하여서는 2.0을 적용한다. 또한 경제적 관점에서 볼 때 초기비용이 적게 소요되는 저급도로에 대하여서는 $P_t=1.5$ 를 적용할 수 있으며, 이와 같은 낮은 값의 최종 서비스 지수는 특별히 선택된 도로인 경우에만 적용하는 것이 바람직하다.

2.2 경험적 설계법

경험적 설계법이란, CBR 설계법 등과 같이 노상의 지지력 및 교통량의 정도에 따라 설계자의 경험에 의하여 필요한 포장체의 두께를 설계하는 것으로서, 간편하고 단순하지만 지역 특성·재료 특성·교통 특성·환경 특성 등에 대한 인자들을 반영하지 못하는 단점이 있다.

초창기 포장 설계는 경험에 의한 것이라 할 수 있다. 즉, 경험적으로 해당 지역의 지지력·환경 하중·교통 수준 등에 대하여 포장 두께를 설계하는 것으로서, 대표적인 것이 미 공병단에서 개발된 CBR 설계법이라 할 수 있다. 또한, 1950년대 말 미국에서 실시한 AASHO 도로시험에 의하여 개발된 초창기 '86 AASHTO 설계법은 경험적 설계법에 가깝다고 할 수도 있다.

그렇지만, 경험적 설계법은 지역이 상이하여 노상 재료의 특성 및 지지력이 변화되거나, 환경 하중이 상이하거나, 차량의 대형화 및 중량화 등 변화되는 교통 하중 등의 변화에 대해서는 제약이 따른다.

즉, AASHTO 설계법도 개발은 1950년대 말 미국 일리노이주 Ottawa 부근에서 행하여진 AASHO 도로 시험에 의하여 개발되었지만, 개발할 당시의 교통 하중이 현재의 교통 하중과는 현격한 차이가 있으며, 이외에도 당시의 포장 재료와 현재의 재료 등은 비교할 수 없을 만큼 변화되었다. 따라서, 경험적 설계법의 한계를 인지하여야 한다.

2.3 역학적-경험적 설계법

역학적-경험적(Mechanistic-Empirical, M-E) 설계법이란, 포장체의 역학적 분석을 수행하여 포장체의 거동을 분석한 후, 포장 거동과 포장 공용성 간의 경험적 예측 방정식을 통하여 포장의 공용성을 예측하는 것이다. 포장 구조해석 프로그램의 발전으로 인하여 다양한 조건의 재료·환경·교통 하중의 인자를 해석으로 분석이 가능하고, 이들 결과를 실제 현장의 포장 상태와 연계하여 포장 두께를 설계하는 방법이다.

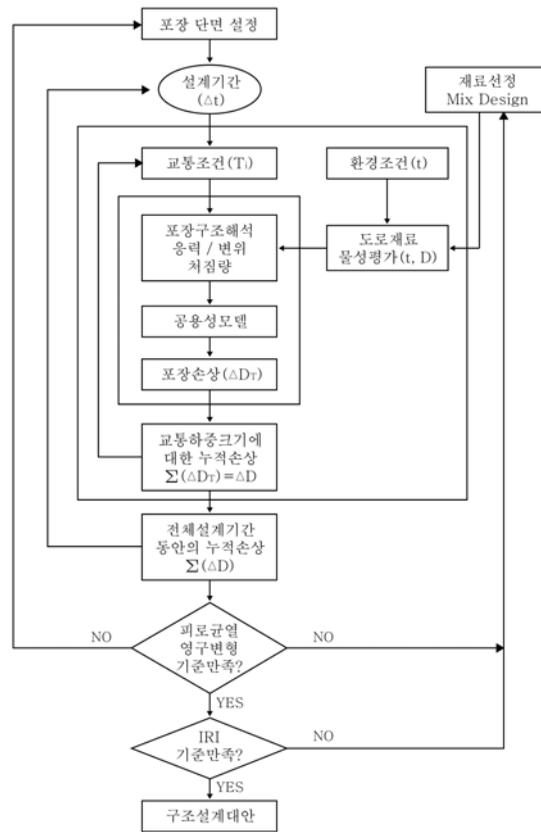
경험적 포장 설계법의 한계 뿐 만 아니라, 컴퓨터의 해석 기능이 좋아짐에 따라 세계 각국에서는 역학적-경험적 설계법을 개발하게 되었다. 미국, 유럽, 일본 등에서 포장 두께 설계하는데 있어 신뢰성 있고, 새로운 재료의 적용성 등을 원활히 하기 위하여 역학적-경험적 설계법을 개발하였다. 미국의 AASHTO 역시 기존 '93 AASHTO Guide 개발 이후에, NCHRP 1-37A 설계 프로그램에서 역학적-경험적 설계법을 개발하였다. 국내에서도 역학적-경험적 설계법을 개발 중에 있으며, 일반적 설계 절차는 <그림 2.1>과 같다.

우선 설계 기간과 공용 기간을 가정하며, 주어진 지역에서의 교통 조건·환경 조건·포장 재료 등을 입력 변수로 하여 포장 구조해석을 실시한다. 구조 해석을 통하여 포장체의 거동인 응력·변위량 등을 구하고, 공용성 모형을 통하여 포장의 손상(균열, 소성변형, 평탄성 등)을 추정한다. 이러한 과정을 반복적으로 수행하면, 전체 설계 기간 동안의 누적 손상을 얻을 수 있으며, 누적 손상 값이 주어진 공용성 기준에 만족하는지를 파악하여 해당 단면의 적정성을 판단한다. 만일 가정한 단면이 주어진 공용성 기준을 만족하면 이때 가정한 단면은 하나의 구조 설계 대안으로 선정되며, 그렇지 못할 경우에는 새로운 단면을 가정하여 이 과정을 반복하여야 한다.

위의 과정에 의하여 포장 설계 시 해당 프로젝트에 적합한 여러 개의 단면을 대안으로 선정하고, 이들 대안을 대상으로 경제성 분석을 실시하여 최종적인 포장 두께 설계를 선정한다.

일반적인 역학적-경험적 설계법과 기존 경험적 설계법에 있어서 입력변수의 차이를 <표 2.1>에 나타내었다.

이 도로설계요령에서는 현재 사용 중인 AASHTO 설계법을 중심으로 서술되었으며, 향후 역학적-경험적 설계법이 완성되면, 추후 반영할 예정이다.



〈그림 2.1〉 도로 포장의 역학적-경험적 설계 절차

〈표 2.1〉 기존 설계법 입력 변수와의 차이점

입력변수	기존 설계법		M-E 설계법	
	아스팔트	콘크리트	아스팔트	콘크리트
재료물성	상대강도계수 (a_i)	콘크리트 탄성계수(E_c) 콘크리트 파괴강도(S_c)	동탄성계수 (E^*)	휨(R), 쪼갬(S), 압축강도(C), 탄성계수(E) 열팽창계수 건조수축계수
노상재료 물성	노상지지력계수 (SSV)	노상반력계수 (k)	회복탄성계수 (M_R)	복합 노상반력계수
환경조건	배수 특성계수 (m)	배수 특성계수 (m)	포장층 내부 온도 노상 함수량 변화	콘크리트 슬래브 깊이에 따른 온도변화
교통	등가단축하중 (ESAL)	등가단축하중 (ESAL)	차종별 축하중 분포	차종별 축하중 분포 차축 간 길이



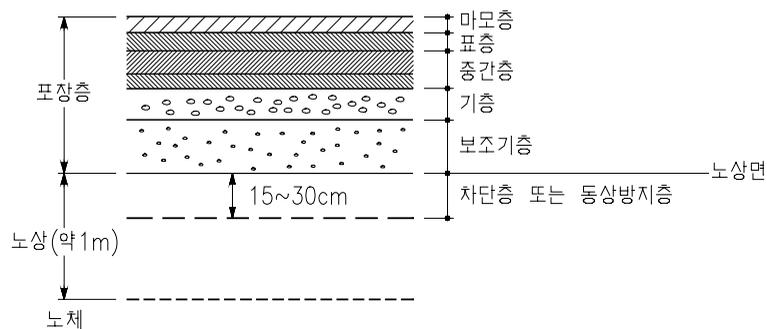
3. 아스팔트 포장

3.1 개 요

3.1.1 적용범위

이 장에서는 아스팔트 포장에 적용되는 신설포장 구조설계를 위하여, <그림 3.1>과 같은 아스팔트 포장 구조를 결정하는데 고려하여야 할 권장사항 또는 일반적인 지침을 제시하고 있다.

제시되는 설계절차는 미국 AASHO(American Association of State Highway Officials) 도로시험으로부터 얻어진 경험적 관계식과 이후 실무를 통하여서 얻어진 자료와 관련 이론으로 보충한 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 설계법과 일본의 T_A 설계법을 토대로 하였으며, 설계절차는 설계교통 해석기간에 걸쳐서 8.2톤 등가단축하중 통과횟수가 50,000회 이상 되는 아스팔트 도로 포장의 구조설계에 적용된다.



<그림 3.1> 아스팔트 포장의 구성과 각 층의 명칭

3.1.2 설계 시 고려사항

이 장 3.5 '아스팔트 포장의 설계방법에 제시된 설계방법을 위해서는 다음과 같은 항목을 고려하여야 한다.

- | | |
|------------|-------------|
| (1) 포장 공용성 | (2) 교통 조건 |
| (3) 노상토 조건 | (4) 환경적 영향 |
| (5) 배수 조건 | (6) 시공재료 조건 |

3.2 아스팔트 포장의 구성요소

3.2.1 정의와 기능

아스팔트 포장의 구조는 일반적으로 잘 다져진 노상면 위에 놓이는 보조기층, 기층, 중간층 및 표층의 순서로 구성되는 차도부의 포장층과 이에 접속되는 길어깨로 구성되어 있다.

(1) 노상

노상은 포장을 설계할 때 기초가 되는 부분을 말하며, 포장 밑 약 1m의 부분이 이에 해당된다.

(2) 보조기층

보조기층은 노상 위에 놓이는 층으로서, 상부에서 전달되는 교통하중(交通荷重)을 분산시켜 노상에 전달하는 중요한 역할을 하는 부분이다. 따라서, 보조기층은 노상의 허용지력(許容支持力)이하로 저감분포(低減分布)하기에 충분한 강도와 두께를 갖는 내구성이 풍부한 재료를 잘 다진 것이어야 한다.

(3) 기층 및 중간층

기층은 보조기층 위에 있어 표층에 가해지는 하중을 분산시켜 보조기층에 전달함과 동시에 교통하중에 의한 전단(剪斷)에 저항하는 역할을 하는 부분이며, 중간층은 기층 위에서 그 요철을 보정하고, 표층에 가해지는 하중을 균일하게 기층에 전달하는 역할을 담당하는 부분이다.

(4) 프라임코트

보조기층, 입도조정기층(粒度調整基層) 등에 침투시켜 이들 층의 방수성을 높이고, 그 위에 포설하는 아스팔트 혼합물 층과의 부착을 좋게 하기 위하여 보조기층 또는 기층 위에 역청재료(歷靑材料)를 살포한 것을 말한다.

(5) 택코트

택코트는 아스팔트 혼합물 간이나 교량, 고가차도 등의 슬래브와 아스팔트 혼합물과의 부착을 좋게 하기 위하여 표면에 역청재료(歷靑材料)를 살포한 것을 말한다.

(6) 표층

표층은 포장의 최상부에서 차량에 의한 마모·박리(剝離)·전단에 저항하는 부분으로서, 방수성이 우수한 것이어야 한다. 또한, 표층은 평탄하고 미끄럽지 않은 성상(性狀)을 갖고 있어야 한다.

아스팔트 포장의 역학적 기능에 대하여 보편적으로 사용되는 정의는 다음과 같다.

“포장표면에 재하되는 교통하중과 원활한 접촉상태를 유지할 수 있고 노상면에서 충분히 지지할 수 있도록 소요두께로 특정재료를 사용한 일련의 층을 쌓아 놓음으로써, 골재 맞물림 작용·골재입자의 마찰력 그리고 안정성을 위한 접착력을 통하여 표면에 작용하는 분포하중강도를 분산·감소시키는 다층 구조체(layered system)이다.”

따라서, 아스팔트 포장층의 하중지지용량(load carrying capacity), 즉 강도는 이들 다층 구조의 각 층의 하중지지분산 특성에 의해서 얻어지며, 전달분포 하중강도가 표면에서 가장 크고, 점차 감소되기 때문에 가장 높은 품질의 재료층을 표면이나 표면 가까이에 설치한다.

아울러, 노상도가 보조기층에 침입하거나 노상층이 동결하는 것을 방지하기 위하여 차단층 또는 동상방지층을 노상층의 일부로서, 그 기능을 강화하기 위하여 별개의 층을 설치할 수 있다.

표층형식은 경제성·시공재료의 이용도 뿐만 아니라, 주로 포장에 작용되는 하중상태에 따라 좌우되며, 표층의 기능을 담당하는 몇 개의 재료층으로 표층을 구성하는 것이 이상적인 아스팔트 포장 구조이다. 일반적으로 표층은 원활한 주행표면을 제공하고, 미끄럼과 마모저항 및 하중분산기능을 가지는 표층의 최상부에 위치하는 마모층(wearing course)과 하중을 기층에 균일하게 전달하는 전이층(transitional layer) 기능을 가지는 중간층(intermediate course 또는 binder course)으로 구분하여 설치할 수 있다. 또한, 중간층을 두 층 또는 그 이상의 다른 배합의 역청혼합층으로 설치하는 경우 최상부층을 중간층, 맨 아래층을 결합층으로 구분하여 부르기도 한다. 특히, 결합층이 하부의 요철을 조정하는 기능을 가지는 경우 레벨링층(leveling course)이라 부른다.

이밖에, 역청질 재료층 사이를 결합시키기 위한 택코팅, 입상재료층과 역청재료층 사이를 부착시키는 프라임코팅, 표층 표면에 내구성·수밀성 및 미끄럼 저항을 강화시키기 위한 실코팅도 표층의 구성요소로 정의할 수 있다. 이상적인 포장에서는 마모층과 중간층을 구분하여 시공하지만 대부분의 경우 표층을 한 개 층으로 시공한다.

아스팔트 포장은 사용되는 기층의 종류에 따라서 두 부류로 나눌 수 있다.

(1) 비처리 입상재료가층을 가지는 아스팔트 포장**(2) 기층만을 안정처리(시멘트, 아스팔트 플라이애쉬 등)하거나 노상면 위의 모든 층에 대하여 역청질 혼합물을 사용하는 아스팔트 포장**

비처리 입상기층은 자주 접촉되는 노상면에서 물을 계속 잡아두려는 저수현상(moisture reservoirs)을 일으키기 때문에 점차적으로 노상강도를 약화시키며 인장응력을 지지할 수 없기 때문에 오늘날 많은 경우에 안정처리기층이나 기층 전체를 역청 안정처리하는 전 단면(full-depth) 아스팔트 포장 구조를 채택하는 경향이 있다.

길어깨 포장은 차도부의 포장보다 간결한 구조로 하여도 좋으나 길어깨 폭이 좁을 경우에는 차도부와 같은 구조로 하는 것이 좋다.

포장을 보호할 목적으로 포장 단에 다이크(dyke) 또는 연석을 설치할 경우가 있으나, 이것은 시공 중 기층에 물이 고이거나 포장이 침하한 경우 등에 포장 단 다이크와 연석의 틈으로 기층에 물이 침투하는 일이 있으므로 주의하여야 한다.

3.2.2 노 상

노상은 포장층의 기초로서 포장에 작용하는 모든 하중을 최종적으로 지지하여야 하는 부분이다.

노상의 설계는 「제5편 토공」 '5. 노상'을 기준으로 하여 설계하도록 한다.

노상은 상부 다층 구조의 포장층을 통하여 전달되는 응력에 의해서 노상층에서 과잉변형 또는 변위를 일으키지 않는 최적 지지조건을 제공할 수 있어야 한다.

노상층은 흙쌓기부에 있어서는 토공 끝 마무리면에서, 땅깍기부에 있어서는 굴착 마무리면에서 아래로 약 1m 부분이 이에 해당되며, 흙쌓기부의 노상층 아래부분을 노체(路體)라 부른다. 그리고 노상의 마무리 표면을 노상면(subgrade)이라 부른다.

노상면에서 균등한 지지력을 얻기 위하여 노상층 상부의 일정두께를 하나의 층으로 하여 해로운 동결 작용의 영향을 완화시키기 위한 동상방지층을 설치하거나, 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_R 값 등)를 기준으로 하여 포장층 두께를 결정하고, 시공 품질관리를 위해서 소요의 다짐 및 재료시방기준을 규정하여야 한다.

노상토 재료에 대한 품질 및 시공기준은 ‘고속도로공사 전문시방서’(한국도로공사)와 ‘건설공사 품질시험 편람’(한국도로공사) 또는 관련 규정조건을 만족하여야 한다.

노상토의 토질상태가 다음과 같은 경우에는 설계자는 적정의 특별시방을 규정할 필요가 있다.

(1) 과민한 팽창성이나 탄성적 반응을 보이는 토사에 대해서는 특별한 조치가 필요하다. 이 경우 하나의 선택 대안은 이들 반응으로 인한 나쁜 영향을 제거할 수 있도록 충분한 깊이까지 선택재료로 흠쌓기를 하는 것이다. 특히, 팽창성 토사(expansive soil)인 경우(수축한계)12%, 소성지수)30%)에는 최적함수비보다 1~2% 정도 더 높은 함수비로 다짐을 함으로써 성질을 개선할 수 있다. 또한 석회 또는 시멘트와 같은 적정 혼화재를 사용하여 안정처리하거나 함수비를 안정시키기 위하여 소요 두께의 방수막(waterproof-membrane)을 설치하는 것이 경제적일 수 있다.

(2) 동상의 영향을 받는 지역에서는 동상에 민감한(0.02mm 이하 토사)15%, 소성지수)12%) 토사층을 제거하거나 비동상 선택재료로 치환하여야 한다.

지역이 너무 넓을 때에는 동결 및 융해작용에 의한 지지력 감소를 조정할 수 있는 적정재료로 충분한 두께로 흠쌓기를 하는 방안을 강구할 수 있다.

(3) 유기기질(organic soil)의 문제점은 이들의 극단적 압축성에 관계된다.

유기질토의 성질이나 분포깊이가 일정하지 않을 때 더욱 큰 문제가 발생한다. 유기질 토사가 국부적으로 존재하거나 분포깊이가 얇을 경우 적당한 선택재료층으로 치환하는 것이 경제적이다. 이들 층이 매우 깊고 넓게 분포된 경우에 선행 압밀침하를 시키기 위하여 압쌓기(surcharge embankment)를 설치하거나, 압밀을 촉진시키기 위하여 수분을 급속히 제거시키는 특수공법을 이용하여 문제를 완화시킬 수 있다.

(4) 토사의 종류와 조건이 불규칙하게 분포되어 있는 경우에는 다음과 같은 특별한 조치를 취하여야 한다.

- ① 표면을 고르고 재다짐
- ② 노상층의 상단부를 적정 혼화재로 처리
- ③ 선택재료 또는 양질의 토사를 이용하여 적정 깊이까지 치환하여 노상재료로 사용
- ④ 땅깍기 면인 경우 과절취시키거나 흠쌓기 면인 경우 균등한 선택재 표층으로 포설
- ⑤ 토사의 종류가 바뀌는 변이구간, 특히 땅깍기·흠쌓기 단면의 변이구간에서는 보조기층 두께를 조정

(5) 노상층 시공에 사용되는 장비에 의해서 쉽게 변위되는 비점성토(cohesionless soil), 또는 적정함수비를 갖도록 건조시키는 데 장시간의 시간을 필요로 하는 흙이나 다짐장비의 변위 때문에 높은 함수비로 다질 수 없는 습윤 점성토인 경우에는 다음과 같은 특별조치를 통하여 시공 상의 문제점을 완화시킬 수 있다.

- ① 입상재료를 적정히 혼합
- ② 사질토인 경우 점착력을 증가시킬 수 있는 적정 혼화재를 첨가
- ③ 점성토인 경우 건조를 촉진시키거나 전단강도를 증대시킬 수 있는 적정 혼화재료를 첨가
- ④ 포장시공을 위한 운반로나 작업대로서의 기능이 필요한 경우 적당한 두께의 선택재료층을 포설

3.2.3 차단층과 동상방지층

- (1) 차단층은 배수층 역할을 하는 입상재료 기층과 보조기층 또는 집수시스템(맹암거, 지하 배수구 등)이 노상토 침입에 의하여 막히는 것을 보호하고, 지하수위를 낮추기 위한 수단으로서 적정 입도와 투수성을 가지는 150~300mm 두께의 선별 입상재료 또는 지오텍스타일(geotextile)을 사용하여 보조기층과 노상면 사이에 설치한다.
- (2) 동상방지층은 동결융해 작용에 의한 포장층 파손을 방지하기 위하여 빙막형성을 방지할 수 있는 품질의 재료(자갈, 모래, 슬래그, 순환골재 등)를 사용하며, 설치두께산정은 ‘2.4.4 환경영향’의 절차를 적용한다.
- (3) 동결영향과 지하배수를 동시에 고려하여야 할 지역인 경우 지배적인 영향을 기준으로 차단층과 동상방지층 기능을 동시에 가지는 선택층(selected material layer)으로 설계한다. 선택층 재료 품질은 ‘고속도로공사 전문시방서’ 제9장을 만족하는 것이어야 한다.
- (4) 아스팔트 포장 구간에서 흙쌓기 높이가 노상 최종면을 기준으로 2m 이상인 흙쌓기 구간에서는 노상토의 품질 기준이 다음을 만족할 경우 동상방지층을 생략할 수 있다.

구 분	기 준
0.08 mm 체 통과량(%)	25 이하
소성 지수(%)	10 이하

(1) 차단층

차단층 재료는 투수성이 좋아야 하며, 세립토사를 통과시키지 않는 것이라야 한다. 적용재료로는 굵은 모래나 막자갈이 많이 사용되는데, 입경은 다음 조건을 만족하여야 한다.

(가) 차단층 재료보다 세립한 노상토가 배수기능의 입상층으로 이동하거나 용출(piping)되어 막히는 것을 방지하기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$\frac{D_{15}(\text{차단층 재료})}{D_{85}(\text{노상토 재료})} < 5$$

(나) 차단층 재료가 노상토에 비하여 충분한 투수성을 가져서 저항 없이 물을 통과시키기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$\frac{D_{15}(\text{차단층 재료})}{D_{85}(\text{노상토 재료})} > 5$$

여기서, D_{15} , D_{85} : 입도 누가곡선에서 통과백분율이 각각 15%, 85% 해당하는 입경(mm)
또한, 차단층 재료의 절감과 보다 효율적인 차단효과를 얻기 위해서 입상재료와 지오텍스타일 재료를 병행하여 사용할 수 있다. 이때 지오텍스타일 재료로는 시공 시 손상에 의한 영향이 적은 부직포를 사용하는 것이 일반적이고, 지오텍스타일에 요구되는 조건은 다음과 같다.

(가) 지오텍스타일 재료가 노상토에 의해서 막히지 않기 위한 조건

$$\frac{D_e(\text{지오텍스타일})}{D_{85}(\text{노상토 재료})} < B_1, \quad \begin{array}{l} \text{보통 조건} : B_1 = 1.0 \\ \text{불량한 조건} : B_1 = 0.5 \end{array}$$

(나) 지오텍스타일 재료가 노상토에 비해서 충분한 투수성을 가지기 위한 조건

$$\frac{K_g(\text{지오텍스타일})}{K_s(\text{노상토 재료})} > B_2, \quad \begin{array}{l} \text{보통 조건} : B_2 = 10 \\ \text{불량한 조건} : B_2 = 100 \end{array}$$

여기서, D_e 는 지오텍스타일의 유효 구멍크기이고, K_s 와 K_g 는 각각 노상토와 지오텍스타일의 수직 투수계수(m/sec)이다.

(2) 동상방지층

노상의 토질이 동결할 염려가 있는 경우에 동상을 받지 않는 재료로 동결심도와 포장두께의 차이만큼 노상의 상부에 동상방지층을 두며, 일반적으로 이 층은 포장구조의 계산에는 포함시키지 않고, 노상에 포함시킨다. 동상방지층을 노상에 사용할 경우에는 개선된 노상지지력 값을 '3.4.3 노상'의 식(2.1)에 따라 산정한다.

동상방지층은 포장을 동결(凍結)로부터 보호하여야 하며, 따라서 그 재료는 자갈 또는 모래와 같은 비동결 재료로서, 동결에 의한 분리현상이 생기지 않는 것이어야 한다.

동상방지층은 투수성이 있어 빙막의 형성을 방지하여야 하므로 사용재료는 다음의 요건에 맞아야 한다.

- ① 최대입경 : 동상방지층에 사용될 골재의 최대입경은 75~80mm를 초과할 수 없다.
- ② 세립토 함유량 : 동상방지층에 사용될 재료는 직경 0.02mm 이하의 세립토 함유량이 3% 이하이어야 하며, 0.08mm(NO.200)체를 통과한 재료의 함유량이 10% 이하이어야 한다.
- ③ 동상방지층용 순환골재 품질의 입도, 수정 CBR, 소성지수, 모래당량 등은 국토해양부 도로공사 표준시방서 규정에 적합한 것을 사용하여야 한다.

구 분		시 험 방 법	기 준
소 성 지 수		KS F 2303	10 이하
수정 CBR치 (%)		KS F 2320	10 이상
모 래 당 량		KS F 2340	20 이상
이물질 함유량 (%)	유기이물질	KS F 2576	1.0 이하(용적 기준)
	무기이물질	KS F 2576에 의한 이물질 분리·선별 후, 질량 측정	5.0 이하(질량 기준)

동상방지층 골재 재료의 시료 및 시험성적을 공사 시행 전에 반드시 발주처의 승인을 득한 후 사용여부를 결정하여야 한다.

동상은 수분의 공급 · 0℃ 이하의 온도 · 토질 등의 세 가지 요건이 만족하여야만 발생되므로, 이들 중 한 가지 요소라도 충족되지 않을 경우 동상이 발생할 수 있다. 또한, 토공부에서 흠쌓기 구간은 땅깍기 구간과 달리 지하수위대가 흠쌓기 구간 내에 존재하지 않으며, 노상토가 양호할 경우 배수가 원활하여 수분의 공급이 이루어지지 않으므로, 흠쌓기 높이가 2m 이상일 경우 동상이 발생하지 않게 된다. 세부적인 적용 대상 구분은 다음과 같다.

- ① 일반적으로 흠쌓기 높이가 2m 이상인 구간이 50m 이상 이어질 경우 동상방지층을 삭제
- ② 흠쌓기 높이 2m 이상이 많고 부분적으로 흠쌓기 높이 2m 미만 구간이 존재하는 경우, 2m 미만 구간의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 생략
- ③ 흠쌓기 높이 2m 미만이 많고, 부분적으로 흠쌓기 높이 2m 이상 구간이 존재하는 경우 2m 이상 구간의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 설치
- ④ 흠쌓기 높이 2m 미만인 구간과 흠쌓기 높이 2m 이상 구간이 계속적으로 반복되며, 각각의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 설치

3.2.4 보조기층과 기층

- (1) 보조기층과 기층은 표층 또는 중간층을 통하여 전달되는 교통하중을 분산시켜서 노상이 안전하도록 전달하는 중요한 역할을 하는 부분이다. 따라서 충분한 지지력을 지니고 내구성이 풍부한 재료로서 필요한 두께로 잘 다져질 수 있는 소요품질을 갖춘 골재혼합물이어야 한다.
- (2) 적용 혼합물의 입도, 다짐 및 품질조건 그리고 배합설계는 기준을 한국도로공사 제정 ‘고속도로공사 전문시방서’ 제9장 관련규정을 만족하는 것이어야 한다.
- (3) 입도조정 입상재료의 보조기층 및 기층은 다음과 같은 수정 CBR(KS F 2320)값을 확보하여야 한다.

〈표 3.1〉 보조기층과 기층의 수정 CBR 기준값

항 목 \ 공 종	보조기층	기 층
수정 CBR	30 이상	80 이상

단, 콘크리트 슬래브 바로 밑에 사용되는 보조기층의 CBR값은 80 이상이어야 한다.

- (4) 가열 아스팔트 안정처리기층은 다음과 같은 마샬안정도 시험(KS F 2337) 기준값을 확보하여야 한다.

〈표 3.2〉 가열 아스팔트 안정처리기층의 마샬안정도 시험 기준값

구 분	기 준 값
안 정 도 (kg)	500 이상
흐 름 값 (1/100cm)	10~40
공 극 률 (%)	4~6

- (5) 시멘트 안정처리기층은 7일 양생, 1일 수침 일축압축강도를 3MPa 이상 확보하여야 한다.
- (6) 고로슬래그 보조기층용은 수정 CBR(KS F 2535) 값이 30 이상이어야 하고, 기층용으로 적용 하는 경우 수정 CBR이 80 이상, 14일 양생 일축압축강도가 1.2MPa 이상인 것이어야 한다.

아스팔트 포장에서 기층은 상대적으로 얇은 표층 아래에 위치하므로 이 층에 전달되는 하중의 압력분포가 높기 때문에 이를 지지할 수 있고, 변형에 대한 큰 저항력을 가지는 재료를 사용하여야 한다. 더욱이, 아스팔트 포장 구조설계에 있어서 포장구성층 재료의 품질은 낮은 위치의 층일수록 낮은 품질의 재료를 선택하는 것이 일반적인 기본개념이다. 따라서, 보조기층 재료는 강도, 소성도, 입도에 대

한 품질기준이 기층 재료에 비하여 다소 덜 엄격한 재료를 지역여건이나 공사현장 인근의 재료 이용도와 경제성을 고려하여 선택하는 것이 바람직하다. 그러나 역학적 기능상 보조기층 재료는 노상토보다 훨씬 더 좋은 품질이어야 하기 때문에 경제적인 면에서 노상층의 품질이 아주 우수하며 지지조건이 충분하고 배수기능이 양호한 경우, 특히 교통량이 적은 경우에는 보조기층을 생략할 수 있다. 보조기층은 구조적 기능 이외에 다음과 같은 부가적 기능을 가질 수 있다.

- ① 기층 속으로 세립 노상토가 침입하는 것을 방지
- ② 동결작용에 따른 손상효과 극소화
- ③ 포장층 내 또는 하부층에 자유수(free water)의 고임을 방지
- ④ 시공장비를 위한 작업로(working platform) 제공

(1) 기층과 보조기층 재료의 선정기준

아스팔트 포장 구조에서 기층과 보조기층에 적용되는 재료의 전통적 기본형식은 부순돌·슬래그·막자갈·모래 등과 같은 골재(입경 크기 범위 : 75~0.08mm)가 적절히 배합된 입상재료(granular material)이고, 이들 혼합물은 아스팔트 포장 구조에서 기층과 보조기층이 담당하는 소요기능을 충분히 발휘할 수 있는 품질을 갖추어야 한다. 그러나 설계대상 노선의 인근 지역에서 이용할 수 있는 소요재료의 양이나 품질조건이 적정치 못하거나, 교통 및 환경조건상 보편적 적용두께보다 상당히 큰 두께가 필요하거나 더 큰 강성의 품질이 요구되는 경우 아스팔트·시멘트·소석회 등의 결합재(binder)를 첨가하여 안정처리 한 기층 또는 보조기층을 적용하는 것이 경제적이고, 전체 포장층의 구조 성능을 높일 수 있다.

기층 또는 보조기층의 안정처리의 기본목적은 입상기층 또는 보조기층 재료로서 소요품질기준을 만족하지 못하는 지역재료의 이용효율을 극대화하여 경제성을 높이고, 기층 또는 보조기층의 강도와 지지력 증대 그리고 온도와 함수량 변동에 따른 강도변화를 줄여서 결과적으로 내구성을 향상시키는데 있다. 그러나 안정처리기층 또는 보조기층을 표층으로 사용되는 아스팔트 콘크리트 또는 시멘트 콘크리트의 품질수준이 높은 강도와 내구성을 가지도록 배합 설계하는 것은 비경제적이고, 기층과 보조기층의 소요기능에 적합한 강도와 내구성을 얻을 수 있는 수준으로 하는 것이 바람직하다.

지지력이 작은 노상 또는 보조기층 위에 고강도의 시멘트 또는 아스팔트 안정처리 기층을 설치하는 경우, 두 층 사이의 탄성계수 비가 커져서 두 층 경계면에서 커다란 응력 불연속이 발생하여 안정처리층의 바닥면에 큰 인장응력이 발생하여 포장파손의 원인이 될 수 있다.

이들 기층과 보조기층 재료에 대한 품질기준은 표층으로부터 전달되는 반복하중을 지지하고 노상으로 분산 전달할 수 있는 안정성(stability), 수분과 온도 영향에 저항할 수 있는 내구성(durability), 그리고 배수성(drainability)이다.

기층과 보조기층 재료의 주요 구성요소는 골재이고, 이것의 물성이 아스팔트 포장 구조의 공용성과 성능을 좌우한다. 특히, 안정성은 이들 골재의 입경분포, 골재 혼합물의 상대밀도, 골재 입자 사이의 마찰저항(internal friction) 그리고 세립분 또는 안정처리재의 점착력(cohesion)에 의해서 얻어진다.

내구성과 배수성은 골재 혼합물의 세립분 함유량과 세립 모래분(입경범위 0.4~0.08mm)의 소성도, 그리고 골재 입자의 모양, 견고성(경도와 인성) 및 표면상태(texture) 등에 따라 결정된다.

특히, 안정처리 기층 또는 보조기층은 물을 신속히 배제하여 영향을 줄이는 개념보다는 물에 의한 부식성(erosion)을 방지하기 위한 방수성에 초점을 맞춘 것이다.

일반적으로 이들 재료조건에 대하여서는 효율적 소요품질관리와 시공성을 확보할 수 있고, 소요 골재 치수와 품질조건을 표준화함으로써 지역재료 이용의 극대화와 비용절감을 가져올 수 있도록 표준적 품질 및 입도시방기준을 설정하는 것이 원칙이다. 이와 같은 시방기준에서 기층과 보조기층 재료에 대한 표준입도범위는 양적조절기준(quantity control criteria)이고, 골재 혼합물의 최대입경·세립분 함유량(No.200체 통과 백분율)·잔골재 입자의 구성비율과 소성도·그리고 골재 입자의 경도(soundness) 등에 대한 제한조건은 질적 조절기준(quality control criteria)이다.

기층과 보조기층 기능에 적합한 첫 번째 재료조건으로서는 표층으로부터 전달되는 반복 교통하중을 지지·분산시키는 능력을 극대화할 수 있는 최대 안정성, 즉 최대 밀도를 가지는 골재 혼합물의 배합 설계이다. 이와 같은 혼합물은 공극이 최소화되는 밀입도 분포(dense gradation)를 가지며, 연속입도 분포를 이룬다.

〈표 3.4〉, 〈표 3.5〉는 한국도로공사 제정 ‘고속도로공사 전문시방서’와 ‘건설공사 품질시험 편람’에서 규정하고 있는 기층과 보조기층 혼합물에 대한 표준 입도범위와 품질기준을 요약한 것이다. 이들 규정 범위를 만족한 재료는 안정성·경제성 및 시공이 만족된다고 볼 수 있으며, 이와 같은 골재 품질규격을 만족하지 않는 경우일지라도 사용 실적과 실내시험을 통하여서 소요의 공용성이 확보된다고 판단 되는 경우 적용할 수 있다.

최대밀도를 가지는 골재 입도를 이론적으로 결정하는 방법으로는 Talbot와 Fuller가 제시한 다음의 경험식을 적용한다.

$$P = \left[\frac{d}{D} \right]^n \times 100$$

여기서, P : 주어진 임의 체 눈금(d)의 총 통과 백분율(%)

D : 골재 최대치수

n : 지수(1/3~2/3)

일반적으로 n=0.3 정도이면 세립도 분포를 이루고, n=0.5는 밀입도 분포, n=0.7이면 조립도 분포의 혼합물이다.

도로용 골재 혼합물에 대한 골재 입자의 크기별 명칭을 AASHTO 분류(M146-70)에서는 <표 3.3>과 같이 정의하고 있다.

<표 3.3> 골재 입자 크기별 AASHTO 분류

구 분	호박돌 (boulder)	굵은 골재 (coarse aggregate, gravel)			잔골재 (fine aggregate, sand)		세립분 (fines)	
		조립 (coarse)	보통 (medium)	세립 (fine)	조립 (coarse)	세립 (fine)	실트질 (silt)	점토질 (clay)
골재치수 (mm)	+75	-75 ~ +25	-25 ~ +9.5	-9.5 ~ +2.0	-2.0 ~ +0.425	-0.425 ~ +0.075	-0.075 ~ +0.002	-0.002

주) (+)는 소요 치수체에 걸리는 것이고, (-)는 통과되는 것을 의미

소요 입도와 골재 최대치수는 시공법(부설방법, 한층 시공두께)과 재료 및 입지조건(흙쌓기부, 땅깍기부, 환경조건 등)에 따라서 적정히 선정되어야 하며, 입도는 <표 3.4>, <표 3.5> 규정범위 안에서 원활하고 연속적인 입도분포를 나타내고, 최대 밀도를 가져다 주는 Fuller 입도식에 접근되는 입도곡선을 가지는 것으로서, 골재 입자들 내의 공극을 꼭 채울 수 있는 충분한 세립분을 가지는 것이 가장 좋은 시공성을 제공한다.

골재 최대치수는 시공두께에 제한되며, 경험적으로 1회 시공두께의 1/4~1/2 정도로 하는 것이 바람직하다. 일반적으로 아스팔트 포장에서는 표층에서 아래층으로 내려갈수록 혼합물의 골재 최대치수가 커진다.

이것은 혼합물을 플랜트 배합하거나, 현장 포설 마감작업(finishing)하는데 골재 최대치수가 클수록 작업효율이 떨어지고, 운반 또는 저장 중에 재료분리현상(segregation)을 일으키기 쉽기 때문이다. 세립분 양(No.200체 통과량)이 많으면(10% 이상) 연약화되어 혼합물의 전단강도가 떨어지고, 동결에 영향을 받는 지역에서는 동상(frost heaving)을 일으키기 쉽고, 투수성과 배수성이 급격히 감소된다.

보조기층과 기층의 골재입자는 소요의 강도와 인성(toughness)을 가져야 한다. 개립도 혼합물은 밀입도 혼합물보다 풍화작용(degradation)에 좀 더 민감하고, 응회암질 또는 이암질의 부순돌·화강암질 풍화토의 골재 중에는 시공 직후의 강도는 높지만 주변의 수분을 흡수하여 반복하중을 받으면 점차 세립화하여 강도가 저하되는 일이 있으므로 주의하여야 한다.

이와 같은 골재입자의 강도와 인성은 일반적으로 LA 마모시험과 안정성시험을 통하여서 각각 최대 50%, 20%로 제한한다.

골재입자의 모양(shape)과 표면 성상(texture)은 골재입자 사이의 내부마찰저항을 발휘하는 데 중요하다.

표면상태가 거칠고(rough), 각져 있고(angular), 고른 치수의 입자가 기층과 보조기층재료로서 적합하다. 각져 있는 입자는 골재 맞물림 작용에 효과적이고, 거친 표면 성상은 한 입자에 대한 다른 입자의 이동을 방지하여 준다. 둥근 입자들은 다른 입자와 서로 맞물려 있지 못하고 다른 것 위로 굴러 올라오는 경향을 가지고 원활한 표면을 가진 골재입자는 서로 접촉하고 있는 상태에서 미끄러지기 쉬워서 안정성 감소의 원인이 된다. 일반적으로 쇄석 입자효과를 확보하기 위하여 ASTM(D2940-74) 소요기층 및 보조기층용 골재 혼합물의 10mm체(3/8")에 남는 골재중량의 75% 이상이 두 면 이상의 각져 있도록 제한하고 있다.

또한 골재 혼합물의 5mm체(No.4체) 통과백분율이 40~70% 범위일 때 양호한 밀도 즉 안정성을 제공하여 준다. 더욱이 골재 혼합물의 소성도(plasticity)조절 기준으로서 시방서에서는 0.4mm체(No.200체) 통과분의 중량백분율 비(sand ratio 또는 dust ratio)를 0.60~0.65 이하로 규정하고, 골재입자의 크기가 0.4~0.08mm(No.4체~No.200체) 범위의 골재분에 대한 액성한계(L.L)를 25이하, 그리고 소성지수(P.L)를 4~6 이하가 되도록 채택하는 것이 일반적이다.

특히, 잔골재분의 수분과 기상작용에 의한 연약화(degradation)에 대한 지표로서 모래당량 시험값을 기준으로 하여 일반적으로 25~80 범위의 값을 적용한다.

(2) 입상재료 보조기층

특정의 결합재를 사용하지 않고 <표 3.4>에서 정의되는 골재만을 사용해서 보조기층의 기능을 담당하도록 하는 전통적인 보조기층 공법이다.

이와 같이 입상재료만을 사용하는 공법에서 보조기층의 구분은 경제성과 지역재료 이용의 극대화를 반영하는 것 이외에 담당기능상에서 커다란 차이는 없다. 따라서 소요기능은 입상재료인 골재의 품질과 두께에 지배되며, 골재의 물성이 포장의 성상을 좌우한다고 하여도 과언이 아니다.

입상재료 보조기층은 앞에서 제시된 바와 같은 시방규격을 만족하는 흙이 섞인 자연산의 쇄석 또는 자갈, 슬래그, 모래 등의 입상재료를 그대로 사용하는 것이 가장 경제적인 방법이다. 그러나, 도로건설의 수요급증은 천연 골재재료의 고갈을 초래하였고, 소요품질을 갖춘 골재와 소요량을 확보하는 것이 어렵게 됨에 따라서 석산 또는 하상골재를 소요품질과 입도조건을 만족할 수 있도록 입상재료를 고밀도화와 고안정화를 도모하고, 양호한 입도가 되도록 여러 종류의 가공처리 된 입상재료를 합성 혼합하는 공법을 '쇄석입도조정공법'이라 부르며, 이것은 입상재료의 입도 및 골재입자의 기능을 개량하는 기계적 안정처리공법이라 할 수 있다.

<표 3.6>은 KS F 2357에 규정된 역청포장혼합물용 굵은골재의 입도기준이다.

입상재료 보조기층의 여러 성질은 세립분, 특히 0.08mm체(No.200체)의 통과분의 양과 질에 의해서 지배된다. 이것에 의한 개략적 영향을 표시한 것이 <표 3.7>, <그림 3.2> 이다.

〈표 3.4〉 입상 보조기층 재료의 골재 입도범위

호칭치수 (mm)	구분	통과중량백분율 (%)	
		보조기층	
		SB-1	SB-2
75		100	—
50		—	100
40		70~100	80~100
20		50~90	55~100
5		30~65	30~70
2		20~55	20~55
0.4		5~25	5~30
0.08		0~8	0~8
비 고	고속도로공사 전문시방서		

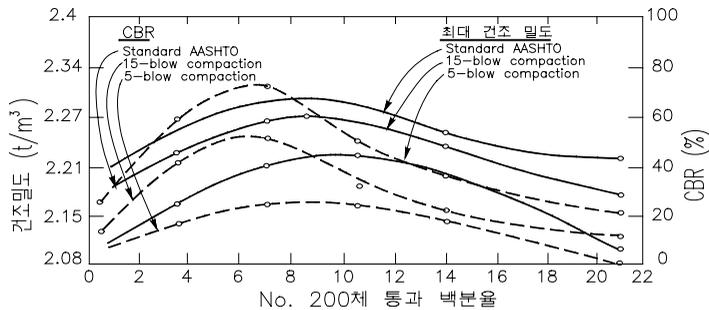
〈표 3.5〉 안정처리기층 재료 입도범위

호칭치수 (mm)	구분	통과중량백분율 (%)				
		시멘트 안정 처리기층	가열아스팔트 안정처리기층			
			BB-1 (40)	BB-2 (30)	BB-3 (25)	BB-4 (25R)
50	100	100	—	—	—	
40	95~100	95~100	100	—	—	
30	—	80~100	95~100	100	100	
25	—	70~100	80~100	90~100	95~100	
20	50~100	55~90	55~90	71~90	80~90	
13	—	40~80	46~80	56~80	60~78	
10	—	30~70	40~70	45~72	45~68	
5	—	17~55	28~55	29~59	25~45	
2.5	20~60	10~42	19~42	19~45	15~33	
0.6	—	5~28	7~26	7~25	6~18	
0.3	—	3~22	4~19	5~17	4~14	
0.15	—	2~16	2~13	3~12	3~10	
0.08	—	1~10	1~7	1~7	2~8	

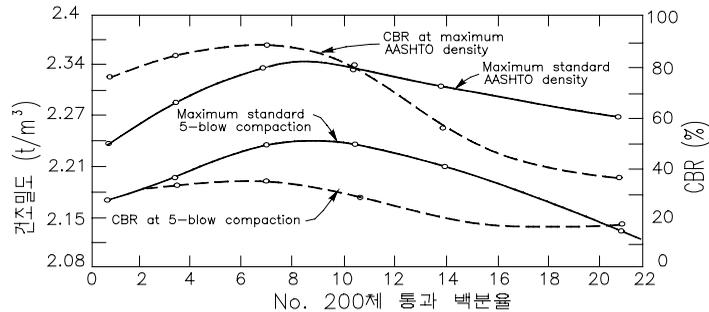
〈표 3.6〉 역청포장 혼합물용 굵은골재의 입도(KS F 2357)

골재 번호	체의 호칭 치수(mm) 입도범위(mm)	각 체를 통과하는 무게 백분율(%)									
		65	50	40	25	20	13	10	5	2.5	1.2
3	50~25	100	90~100	35~70	0~15	-	0~5	-	-	-	-
357	50~5	100	95~100	-	35~70	-	10~30	-	0~5	-	-
4	40~20	-	100	90~100	20~55	0~15	-	0~5	-	-	-
467	40~5	-	100	95~100	-	35~70	-	10~30	0~5	-	-
5	25~13	-	-	100	90~100	20~55	0~10	0~5	-	-	-
57	25~5	-	-	100	95~100	-	25~60	-	0~10	0~5	-
6	20~10	-	-	-	100	90~100	20~55	0~15	0~5	-	-
67	20~5	-	-	-	100	90~100	-	20~55	0~10	0~5	-
68	20~2.5	-	-	-	100	90~100	-	30~65	5~25	0~10	0~5
7	13~5	-	-	-	-	100	90~100	40~70	0~15	0~5	-
78	13~2.5	-	-	-	-	100	90~100	40~75	5~25	0~10	0~5
8	10~2.5	-	-	-	-	-	100	85~100	10~30	0~10	0~5

주) 여기에서 체는 각각 KS A 5101에 규정한 표준 망체 63mm, 53mm, 37.5mm, 26.5mm, 19mm, 13.2mm, 4.75mm, 9.5mm, 2.36mm 및 1.18mm에 해당한다.



(a) 쇄석인 경우



(b) 하상 골재인 경우

〈그림 3.2〉 No.200체 통과량에 따른 입상재료의 밀도 및 CBR값 변화

〈표 3.7〉 No.200체 통과량에 의한 입상재료의 영향

입상 기층과 보조 기층에 대한 영향	No.200체 통과량		
	거의 없는 경우 (2% 이하)	충분한 경우 (2~10%)	많은 경우 (10% 이상)
다짐의 난이도	곤란	용이	곤란
밀 도	작다	크다	작다
투 수 성	크다	작다	불투수성
동결영향	영향이 없음	영향이 있음	영향이 큼
함수에 따른 안정성	함수량에 관계없음	변화됨	크게 변화됨

미국의 쇄석협회(National Crushed Stone Association ; NCSA) 연구결과에 의하면, 입도조정된 쇄석 기층의 강도는 No.200체 통과백분율이 약 12%에 이를 때 최대가 되고, 동상률은 No.200체 통과량의 증가와 함께 지속적으로 증가되며, 이에 반하여 투수성과 배수성은 No.200체 통과분이 4~6%를 넘으면 급격히 감소되는 것으로 보고하고 있다. 따라서, 기층이 동결관입에 영향을 받는 지역에서는 10% 미만으로 할 것을 추천하고 있다.

또한, 양호한 밀입도 쇄석기층에서 일정의 축압과 법선응력 하에서 변형백분율(% strain)은 골재 최대 치수를 10mm에서 40mm로 증가시킬 때 약 60% 정도 감소되는 것으로서 보고하고 있으며, 골재 최대치수는 재료분리(segregation)없이 재료를 취급할 수 있는 한 큰 값(통상 25~40mm)으로 선택할 것을 추천하고 있다.

NCHRP 172 연구결과에 의하면, 〈표 3.8〉에 보여진 ASTM 시방범위(미국재료시험학회)에서 상·하한 계의 시방입도보다 중간분포입도(mid-gradation)가 No.200체 통과분이 더 많지만 밀도는 증가되며, 부가적인 세립분의 존재 때문에 다져진 시편의 전단강도가 약간 감소되는 것으로 나타났다.

〈표 3.8〉 ASTM의 입도조정기층 및 보조기층의 입도기준

체 크 기 (mm)	중량 통과 백분율 (%)	
	기 층	보 조 기 층
50	100	100
37.5	95~100	90~100
19.0	70~92	-
9.5	50~70	-
5.0 (No.4)	35~55	30~60
0.6 (No.30)	12~55	-
0.075 (No.200)	0~8	0~12

양질의 암석을 크러셔로 부순 것(막부순 돌)으로 대소입경의 것이 적당히 혼합되어 있는 것은 기층재료로 사용할 수 있으나, 시공함수비의 조절·적재·부설작업 시의 재료분리 등으로 균일한 기층의 시공이 어렵다. 이와 같은 재료는 보조기층재료로 사용하는 것이 바람직하다.

막자갈(모래 섞인 자갈) 등을 그대로 사용할 때는 부순돌에 비하여 맞물림(inter-locking)도 약간 적고(안정이 나쁘다), 입도도 불균일하므로 표준시방 입도범위를 만족하여도 기층으로 사용하는 것은 바람직하지 못하다. 이것은 AASHO 도로시험에서 막자갈을 기층에 사용한 경우 두께에 관계없이 거의 초기에 동시에 파괴되고, 부순돌 기층과 시멘트·아스팔트 안정처리 기층에 비하여 현저하게 공용성이 떨어지는 것으로 입증된 바 있다. 이러한 재료는 보통 보조기층재료로 사용하는 것을 검토하는 것이 좋다.

양호한 입도를 가지는 재료를 그대로 기층이나 보조기층재료로 사용할 때 유의하여야 할 점은 다음과 같다.

- ① 막부순 돌을 사용할 경우 표토 등이 섞여서 소성지수가 높은 값을 나타내는 경우가 있으므로 생산 과정을 충분히 검토한다.
- ② 현장에서 함수비를 조절하는 것은 수량의 조절이 곤란하고, 과잉수 등으로 노상의 아래층에 해를 주는 수가 있으므로 될 수 있는 대로 피하고, 생산장소에서 처리하는 것이 좋다.

입도조정공법에는 노상 혼합방식과 중앙플랜트 혼합방식이 있다. 노상 혼합방식은 관리면에서 난점이 있으며, 신설공사의 경우 관리면에서도 우수한 중앙플랜트 혼합방식이 경제적이다.

아스팔트 혼합물의 총과 접하는 기층 또는 보조기층면은 프라이머(primer)의 침투성을 좋게 하기 위하여 No.200체를 통과하는 세립분을 될 수 있는 대로 적게 하고, No.200체 통과분/No.40체 통과분의 비를 작게 하는 것이 좋다.

응회암질이나 이암질의 부순 돌, 화강암 풍화토 중에는 시공 직후의 CBR값이 소요기준을 만족할지라도 물을 흡수하여 반복하중을 받으면 점차 세립화되어 강도가 떨어지는 경우가 발생하므로 사용 시 주의하여야 한다.

(3) 아스팔트 안정처리기층과 보조기층

현지에서 조달할 수 있는 지역 자연산 골재 또는 약간의 입도개량 골재에 아스팔트·아스팔트 유제·컷백 아스팔트 또는 도로용 타르 등의 역청재를 첨가하여 안정처리하는 공법으로서, 일반적으로 역청 안정처리 공법으로 총칭되지만 우리나라에서 가열혼합방식이 적용되고 있다.

아스팔트 안정처리기층 및 보조기층은 AASHO 도로시험에서도 실증되었듯이 도로 포장층의 내구성 향상에 크게 기여할 뿐만 아니라 시공 시 적정의 평탄성을 얻기 쉽고 표층(또는 중간층)과 일체가 되는 기능을 가지므로 구조적으로 유리하다.

아스팔트 안정처리기층 및 보조기층 시공두께에 대한 특별한 제한사항은 없지만, 일반적으로 혼합물의 골재 최대치수의 두 배 이상을 한층 시공두께로 한다. 예를 들면 최대치수를 40mm로 하는 경우 80mm 이상, 30mm로 하면 60mm 이상, 20mm이면 40mm 이상이 최소치가 되는 것이다. 일본도로 공단 설계요령에서는 최소두께를 50mm, 최대 두께를 200mm로 규정하고 있다. 일반적으로 아스팔트 종류는 표층과 동일한 아스팔트를 선택하고, 사용골재가 세립분이 많고 소성지수가 큰 경우에는 비교적 침입도가 큰 아스팔트를 선택하는 것이 바람직하다. <표 3.5>에 주어진 시방입도 범위에서 연속 입도이면 일반적으로 양호한 시공성을 확보하여 준다.

가열아스팔트 안정처리 혼합물은 표층용 아스팔트혼합물 플랜트에서 생산하기 때문에 골재 최대치수가 40mm의 혼합물보다는 25~30mm 정도인 것이 많이 적용되고 있다.

선정된 입상재료에 첨가되는 아스팔트량 결정은 『아스팔트 혼합물 생산 및 시공 잠정지침』(2008.5, 국토해양부)에 따라 결정하며, <표 3.9>와 같은 기준치를 만족하고 경제성과 과거 경험을 고려하여 설계 아스팔트 양을 결정한다. 일반적으로 이 양은 중량 백분율로 3~6% 범위이다.

<표 3.9> 기층용 가열아스팔트 혼합물의 기준값

구 분	변형강도 (MPa)		포화도 (%)	공극률(%)	비 고
	선회다짐 75(50)회	선회다짐 100(75)회			
아스팔트 혼합물 생산 및 시공 잠정 지침	2.7	3.2	65~75	4~6	기층 안정처리

(주) 변형강도의 단위를 kgf/cm²으로 할 경우 MPa 단위에 10을 곱한다.(예: 2.7MPa = 27kgf/cm²)

아스팔트 포장 구조 가운데서 아스팔트 안정처리기층은 입상보조기층과 또는 전단면 포장의 경우 직접 노상면과 접하는 부분이 된다. 따라서, 지하수위가 높은 곳 또는 노측으로부터 지하수 침투가 예상되는 곳 등에서는 항상 수분의 영향에 따른 혼합물의 아스팔트 피막박리가 일어날 수 있기 때문에 내수성을 고려하여 아스팔트 양을 결정하는 것이 중요하다. 아스팔트 안정처리층은 일반적으로 포장 표층에 의해서 유효중에 의한 응력조건이 완화되고, 또한 온도조건도 표층에 비해서 엄격하지 않기 때문에 내구성, 특히 내수성에 대하여 고려하는 것이 바람직하다.

(4) 시멘트 안정처리 기층과 보조기층

시멘트 안정처리공법도 기본개념은 아스팔트 안정처리와 동일하며, 결합재로서 시멘트(보통 포틀랜드 시멘트, 고로시멘트, 실리카시멘트)를 사용하는 것만 다르다.

이 공법은 기층 및 보조기층의 강도와 지지력 증대뿐만 아니라 함수량 변화에 따른 강도변동을 피할 수 있어 내구적인 포장구조를 제공할 수 있다. 그러나 콘크리트 포장의 슬래브에서 요구되는 강도를

가지는 배합설계는 구조기능상 바람직하지 않고, 기층 또는 보조기층의 구조적 기능을 만족하는 소정의 강도를 얻을 수 있는 시멘트 양을 설정하는 것이 중요하다.

시멘트 안정처리기층 또는 보조기층에 사용되는 골재는 No.200체 통과량이 15%이하이고, No.40체 통과분의 소성지수(P)가 9이하인 것이 바람직하다.

〈표 3.5〉는 경제적 시멘트 안정처리기층을 위한 골재입도범위를 제시하는 시방규정으로서, 이 범위 내에 연속된 입도를 가지는 것이 좋다. 따라서, 단일재료로서 이 범위의 시방입도를 만족하지 않을 경우 입도조정 또는 크러싱한 골재를 첨가하여 시방입도를 만족하는 혼합골재를 사용하는 것이 시멘트량 증대를 방지할 수 있다.

시멘트 안정처리 혼합물의 설계 시멘트량을 결정하는 데에는 강도 또는 내구성을 기준으로 하는 다음과 같은 방법들이 채택되고 있다.

- ① 일축압축 강도시험에 의한 방법
- ② CBR 시험에 의한 방법
- ③ 동결융해시험에 의한 방법 (ASTM D-560)
- ④ 건습시험에 의한 방법 (ASTM D-559)

내구성 기준(동결융해시험 또는 건습시험)은 미국 연방도로청(FHWA)의 시공지침에서 채택한 방법으로서, 동결영향을 받는 지역에서 보조적 방법으로 적용하는 것이 바람직하며, 이때의 기준치는 〈표 3.10〉과 같다.

〈표 3.10〉 보조시험 기준값

시 험 항 목	기 준 값	AASHTO 흙 분 류
체적변화율 (%)	2 이하	-
손 실 중 량 (%)	14 이하 10 이하 7 이하	A-1, A-2-4, A-2-5, A-3 A-2-6, A-2-7, A-4, A-5 A-6, A-7

일본도로공단의 설계요령에서는 시멘트 안정처리를 보조기층에 적용하는 경우에는 CBR시험방법을 기준으로 하고, 기층에 이용하는 경우에는 일축압축시험을 기준으로 하여 설계 시멘트량을 결정하고 있으며, 혼합방식에 따른 최저 시멘트량을 〈표 3.11〉과 같이 제시하고 있다.

〈표 3.11〉 혼합방식과 최저 시멘트량

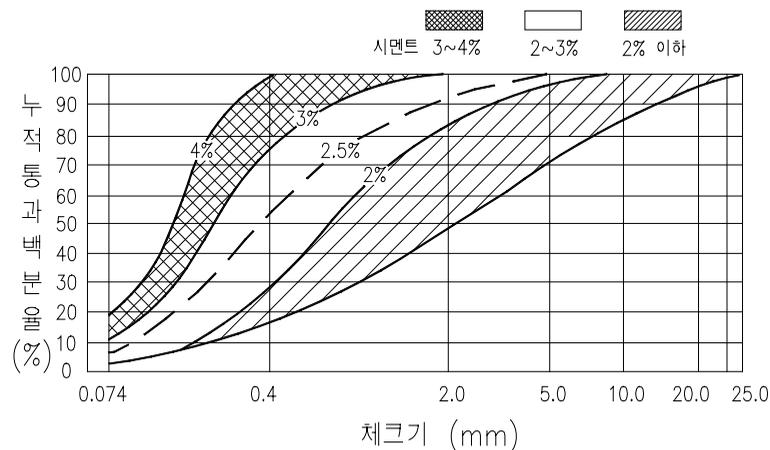
혼 합 방 식	최저 시멘트량 (%)
중 양 플 랜 트 혼 합	1.5
노 상 혼 합	2.0

(가) CBR 시험에 의한 경우

선정된 입상재료에 대해서 시멘트량을 1·3·5%를 첨가하여 동적다짐시험(KS F 2312에 준한 최대입경에 대응되는 5층 55회 또는 3층 92회 동적다짐)을 시행하고, 각각의 시멘트량에 대한 최적함수비와 최대건조밀도를 구한다.

다음으로 목표 시멘트량을 중심으로 1% 간격으로 5종의 시멘트량을 첨가한 공시체를 최대 건조밀도의 95% 대응되는 최적함수비로 각각 세 개씩 제작하고, 3일 양생 4일 수침 조건으로 노상도 CBR시험방법(KS F 2320)에 준하여 시험을 시행한다. 보조기층인 경우 30%, 기층인 경우 80%에 대응되는 값으로 한다.

〈그림 3.3〉은 일본 도로공단에서 시멘트 안정처리 혼합물에 대하여 실제 적용되었던 골재입도와 첨가 시멘트량과의 관계를 나타낸 것이다.



〈그림 3.3〉 입도와 첨가 시멘트량과의 관계(일본도로공단 설계요령)

(나) 일축압축시험에 의한 경우

선정된 입상재료에 대해서 목표 시멘트량을 중심으로 1% 또는 2% 간격으로 5종의 시멘트량에 대한 동적 다짐시험(KS F 2312에 준한 3층 25회 동적다짐)을 시행하고, 각각의 시멘트량에 대한 최대건조밀도와 최적함수비를 결정한다.

다음으로 목표 시멘트량을 중심으로 1% 또는 2% 간격의 5종의 시멘트량을 첨가해서 최적함수비 조건으로 각각 다섯 개씩의 공시체를 제작하고, 6일 양생 1일 수침조건에서 흙시멘트의 압축강도 시험방법, KS F 2328을 기준으로 하여 시험을 시행한다.

시험결과에 큰 차이가 있는 경우는 극단적인 값을 버리고 세 개 이상의 평균값을 취한다. 설계 시멘트량은 기층인 경우 일축압축강도가 3MPa에 대응되는 시멘트량으로 한다. 보조기층인 경우 일축압축강도가 0.7~1.3MPa(통상 1MPa)에 대응되는 시멘트량을 기준으로 하면 좋다.

3.2.5 중간층과 표층

- (1) 중간층은 기층 위에 놓이므로 기층 윗면의 요철(凹凸)을 보정하고 표층을 통하여 가해지는 하중을 균일하게 기층에 전달하는 기능을 가지도록, 표층은 포장층의 최상부에 위치하므로 차륜에 의한 마모와 전단작용에 충분히 저항하고 평탄성을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 미끄럼 저항이 커서 차량이 쾌적한 주행을 할 수 있고 빗물이 하부층에 침투하지 않는 치밀한 조직을 가질 수 있도록, 설계 시에 안정도와 내구성 및 시공성을 충분히 가지는 적정재료를 선정, 골재입도와 아스팔트량을 신중히 결정하여야 한다.
- (2) 중간층과 표층 혼합물의 입도, 다짐 및 재료품질과 배합설계기준은 『아스팔트 혼합물 생산 및 시공 잠정 지침』(2008.5, 국토해양부) 만족하는 것이어야 한다.
- (3) 중간층과 표층은 가열식 아스팔트 혼합물을 사용하고, 혼합물의 배합설계는 새로이 제시된 변형강도를 사용하며, <표 3.12>와 같이 변형강도와 기타 혼합물 기준값이 확보되어야 한다.

<표 3.12> 표층 가열아스팔트 혼합물의 시험 기준값

구 분		기 준 값
		WC-1~6
변형강도 (MPa)	선회다짐 75(50)회	3.2
	선회다짐100(75)회	4.25
공극률(%)		3~5
포화도(%)		65~80
골재간극률(%)		<표 3.13-1> 참조
선회다짐횟수		75(50), 100(75)

중차량이 많이 통행하는 도로에서 유지관리상 포장두께가 제한되는 경우, 중간층을 시멘트콘크리트 중간층(일명, 화이트 베이스(white base))으로 할 수 있다.

표층에는 일반적으로 밀입도 아스팔트 콘크리트(WC-1~4)가 적용되나, 소성변형 발생 가능성이 높은 지역에는 내유동성 입도인 WC-5와 WC-6 입도를 적용한다.

적설한랭지에서는 타이어 체인에 의한 마모방지와 급경사 지점 등에서 미끄럼 저항을 크게 하기 위하여 비교적 얇은 층을 설계, 시공하는 경우가 있다. 이와 같은 층을 총칭하여 마모층(wearing course)이라 부르며, 포장층 두께에는 포함시키지 않는다. 특히, 적설한랭지에서 내마모 토페카를 사용하는 경우에는 그 층 상부의 두께 20mm 정도를 마모층으로 생각하고, 이 부분을 표층두께에서 제외시킨다.

최소골재 간극률(VMA) 기준은 다음과 같이 확보되어야 한다.

〈표 3.13-1〉 최소골재 간극률(VMA) 기준

골재최대치수(mm)	설계 공극률(%)			
	3.0	4.0	5.0	6.0
13	13.0 이상	14.0 이상	15.0 이상	16.0 이상
20	12.0 이상	13.0 이상	14.0 이상	15.0 이상
25	11.0 이상	12.0 이상	13.0 이상	14.0 이상
30	10.5 이상	11.5 이상	12.5 이상	13.5 이상
40	10.0 이상	11.0 이상	12.0 이상	13.0 이상

변형 강도와 다짐횟수를 크게 한 것은 포장면의 소성(塑性) 변형의 발생을 억제하기 위한 것으로, 대형 차 교통량이 1일 한 방향 1000대 이상, 또는 20년 설계 ESAL > 10⁷ 인 경우에 적용한다.

(1) 중간층 및 표층 재료조건

(가) 굵은 골재

- (a) 표층용으로는 부순돌을 사용하는 것이 좋으나, 부득이 부순자갈을 사용할 경우에는 최대입경의 세배 이상의 호박돌을 부순 것이어야 한다.
- (b) 굵은 골재에 함유된 점토, 진흙, 먼지 등의 이물질의 유해량 한도에 대해서는 ‘도로 포장 설계 · 시공 지침’의 아스팔트 포장 편을 일례로 참조하면 좋다.
- (c) 굵은 골재 중 13~5mm의 부분을 함유하지 않은 재료의 마모감량에 대해서는 동일 원석(原石)에서 얻어진 해당 입도로 재질시험을 실시하면 좋다.
- (d) 안정성시험을 하는 시료의 입경은 19~13mm, 13~5mm 및 5~2.5mm로 한다.
- (e) 연약한 석편의 함유량이 5% 이상인 경우 굵은 골재가 〈표 3.9〉의 물리적 성상을 만족시키고, 내구성이 충분할 것으로 판단되는 경우에는 사용할 수 있다. 다만, 저항이 약한 사석 등 매우 연약한 석편일 경우에는 함유량을 5% 이하로 하여야 한다.
- (f) 골재의 품질이 기본값에 합격하여도, 다음 사항에 대하여 세부적으로 검토하여 사용여부의 결정에 신중을 기하여야 한다.
 - ① 표층용 혼합물의 구비조건 중 노면의 미끄럼 저항이 있다. 공용 후의 노면에 있어서 미끄럼 저항을 가능한 한 오랫동안 유지하기 위해서는 표층용 골재는 교통하중에 마모가 적은 조골재(경질 사암 등)를 사용하는 것이 필요하다.
참고로 대표적인 암종(岩種)에 대한 원석 공시체(原石 供試體)의 마모시험 결과를 〈그림 3.4〉에 나타내었다.
 - ② 화강암과 점판암 등의 부순돌에서 가열 시에 마모감량이 커지는 것이 있고, 응회암, 편암, 규암 등의 부순돌에서 포설 전압 시에 부서지기 쉬운 것이 있으므로 주의할 필요가 있다.

- ③ 아스팔트로 피복된 골재가 물에 접하면 골재의 표면으로부터 아스팔트 피막이 벗겨지는 경향을 보이는 것이 있다. 골재와 아스팔트 피막의 부착성은 골재의 성질과 아스팔트의 성질에 관계된다. 과거의 현장실험과 조사 등으로부터 부착성에 의문이 있을 때, 특히 부착성을 확인하여야 할 때에는 아스팔트 피막 박리시험(剝離試驗)을 실시할 필요가 있다. 일반적으로 실리커 함유량이 많은 산성암은 아스팔트와의 부착성이 나쁘므로 주의하여야 한다.
- ④ 흡수량이 많은 골재를 사용하는 경우, 건조기로 충분히 건조시키지 않으면 혼합물이 과다한 수분을 함유하여 전압이 곤란하고 박리현상이 생길 우려가 있으므로 주의하여야 한다.
- ⑤ 공사기간을 통하여 균질한 재료를 얻도록 원석산의 지질·구조, 성층(成層), 분포상태, 절리, 표토, 풍화의 상태 등을 잘 조사하여 두어야 한다.

암 석 명		BPN의 범위				
		10	20	30	40	50
화성암	안 산 암		■	■		
	각 섬 암			■	■	
	회 록 암	■	■			
	석 영 반 암		■	■		
	섬 록 암		■	■		
	분 암			■		
퇴적암	사 암		■	■	■	
	석 회 암		■	■		
	점 판 암		■	■		
	회 록 응 회 암		■	■		
변성암	호 른 펠 스		■	■		
	절 색 편 암		■	■		
	편 마 암		■	■		

주) BPN : 영국식 이동식 미끄럼저항시험기에 의한 값
 원석을 골재마모시험에서 6시간 동안 마모시킨 후 측정되는 값으로 BPN이 클수록 마모저항은 크다

〈그림 3.4〉 암종 및 원석의 BPN

(g) 골재등급제 : 편장석 함유량에 따른 골재의 품질기준은 1등급(10% 이하), 2등급(20% 이하), 3등급(30% 이하)으로 구분된다. 1등급 골재는 4차로 이상의 도로 또는 중차량의 통행이 빈번한 도로, 2등급 골재는 2차로 이하의 도로 중 일반 국도, 3등급 골재는 2차로 이하의 지방도, 군도, 1등급·2등급에 해당되지 않는 도로 등에 적용하도록 한다.

(나) 잔골재

부순모래는 일반적으로 2차 파쇄 후에 생산된 부분을 사용한다. 특히 원석이 깨끗한 경우에는 1차 파쇄로 생산된 부분도 사용할 수 있다.

잔골재의 입도범위는 규정되어 있지 않으나, No.200체를 통과하는 잔골재는 혼합물의 내구성과 작업성에 영향을 주므로 <표 3.13-2>를 기준으로 하며, 다만 석회암의 부순모래는 최대 20%까지 허용하여도 좋다.

잔골재에 함유된 진흙, 먼지, 유기물 등의 유해량에 대해서는 ‘도로포장 설계·시공 지침’의 아스팔트 포장 편을 한도의 일례로 참조하면 좋다.

〈표 3.13-2〉 잔골재의 입도범위(No.200체 통과량)

잔 골 재 의 종 류	No.200체 통과량
천 연 모 래	5% 이하
부 순 모 래	15% 이하

잔골재로서 산모래를 사용하는 경우에는 No.50체에 잔류하는 부분에 대하여 KS F 2507(골재의 안정성 시험, 황산나트륨 Na_2SO_4 을 사용하여 5회 시험)에 따라 시험할 필요가 있다. 이때의 안정시험 감량은 15% 이하가 좋다. 해사(海沙)에 함유되어 있는 염분에 대해서는 특별한 문제가 없다.

(다) 석분

석분은 보통 석회분이 사용된다. 아스팔트에 대한 친화성이 비교적 나쁜 골재를 사용할 경우에는 석분으로 소화재와 포트랜드 시멘트를 사용하면 효과가 있다.

화성암종을 분쇄한 것을 석분으로 사용할 경우, 품질규정은 <표 3.14>에 따른다.

〈표 3.14〉 화성암종 석분의 품질규정

항 목	규 정
소 성 지 수	6 이하
가 열 변 질 ¹⁾	없 음
흐 림 시 험 ²⁾	50% 이하
침 수 팽 창	3% 이하
박 리 시 험	합 격

주) 1) 200℃로 가열하여 관찰한다.

2) 석분에 물을 가하여 페이스트 상에서 만들어 시멘트 모르타르용 플로우 테이블에서 15회 낙하해서 200mm를 나타낼 때의 석분에 대한 물의 중량비

(라) 아스팔트

아스팔트의 점도 온도관계는 마찰시험용 공시체를 만들 경우, 혼합물의 혼합 및 다짐온도를 결정할 때 필요하다. 아스팔트 점도시험은 ASTM E-102-62(고온도에 있어 아스팔트 재료의 세이볼트 퓨를 점도시험방법)에 따른다.

아스팔트 비중은 특별히 아스팔트의 성상을 직접 평가하는 자료는 아니나, 중량을 용적으로 또는 용적을 중량으로 환산하는 경우나 공시체의 이론 밀도를 구하기 위하여 필요하다. 따라서, 반드시 시험하여 두어야 한다.

(2) 골재 입도조건

혼합물의 골재 최대입경은 표층에서 13mm, 기층에서 19mm이다. 표층은 일반노선을 대상으로 한 것이므로 적설한랭지와 가로등과 같이 특수지역에 사용하는 것은 별도로 설정한다.

〈표 3.15〉는 아스팔트 표층용 혼합골재의 입도기준이다. 그러나 2.5mm(No.8)체나 0.08mm (No.200)체에서의 통과중량 백분율은 시공 중에 현장배합에서 벗어나 표3.15의 입도범위를 벗어나는 것은 좋지 않으므로, 현장배합을 결정할 때에는 2.5mm(No.8)체나 0.08mm(No.200)체에 있어서 입도범위의 중앙값을 채용하도록 신경을 써야 한다.

〈표 3.15〉 아스팔트 표층용 혼합골재의 입도기준

구 분		WC-1	WC-2	WC-3	WC-4	WC-5	WC-6
		밀입도	밀입도	밀입도	밀입도	내유동성	내유동성
공칭최대치수 호칭치수(mm)		13	13F	20	20F	20R	13R
공칭입경에 대한 체 통과중량 백분율 (%)	25	-	-	100	100	100	-
	20	100	100	90~100	95~100	90~100	100
	13	90~100	95~100	72~90	75~90	69~84	90~100
	10	76~90	84~92	56~80	67~84	56~74	73~90
	5	44~74	55~70	35~65	45~65	35~55	40~60
	2.5	25~58	35~50	23~49	35~50	23~38	25~40
	0.6	11~32	18~30	10~28	18~30	10~23	11~22
	0.3	5~21	10~21	5~19	10~21	5~16	7~16
	0.15	3~15	6~16	3~13	6~16	3~12	4~12
0.08	2~10	4~8	2~8	4~8	2~10	3~9	

사용하는 골재의 비중이 0.2 이상 다른 경우 배합비의 수정은 <표 3.16>의 예를 따라 실시하면 좋다.

<표 3.16> 배합비의 수정 예

골 재 의 종 류	A	B	모 래	석 분	계
(1) 골재배합비(%)	37.0	21.0	34.0	8.0	100.0
(2) 비 중	2.57	2.77	2.81	2.73	-
(1) × (2)	95.1	58.2	95.5	21.8	270.6
비중보정골재배합비(%) $(\frac{(1) \times (2)}{270.6} \times 100)$	35.1	21.5	35.3	8.1	100.0

(3) 중간층 및 표층 혼합물의 밀도와 다짐도

공시체의 다짐횟수는 일반적으로 표층 및 중간층 혼합물 밀도가 교통개방 후 거의 1~2년 후에 대응 되는 횟수를 고려하여 75회를 기준으로 하거나, 교통량을 경교통과 중교통의 두 가지로 나누어 공시체의 선화다짐횟수를 각각 양면 각 75회와 100회를 기준으로 하기도 한다.

이론 최대밀도의 계산에 사용하는 골재의 비중은 겉보기 비중으로 한다. 다만, 흡수율이 1.5를 넘는 굵은 골재는 아스팔트 침적비중을 사용하여야 한다. 아스팔트 침적비중 측정이 곤란한 경우에는 평균 비중(겉보기비중과 진비중의 평균값)을 사용하면 좋다.

또한 흡수율이 1.5%를 넘는 원석에서 생산된 부순모래의 비중은 그 원석에서 생산된 입경 5~2.5mm의 값을 사용하여도 좋다.

(4) 특수 혼합물 적용

앞에서 기술된 표준 표층용 혼합물은 일반적인 교통조건 및 기상조건에서는 충분한 공용성을 얻을 수 있다. 유동 및 미끄럼 방지대책으로는 여러 공법이 있지만 현 시점에서는 명확하지 않으므로, 사용 시에는 시공성·내구성 및 경제성에 대하여 충분히 검토하여야 한다. 유동(流動) 대책으로서 고점도(高粘度) 아스팔트 혼합물 및 반강성 포장(半剛性 鋪裝)을 이용할 수 있다.

(가) 고점도 아스팔트 혼합물에 대해서는 시공이 어려운 점과 공용성 평가결과도 확실하지 않으므로 재료, 시공기계 및 시공시기 등에 특히 유의할 필요가 있다.

(나) 반강성 포장은 개립도(開粒度) 아스팔트 혼합물의 골재 간극사이에 시멘트를 주체로 하는 특수한 페이스트(paste)를 침투시킨 것으로서 내유동성 및 내유성이 우수하다. 반면에 미끄러지기 쉬운 것이 결점이기 때문에, 표면의 페이스트를 제거하는 등 시공에 세심한 주의가 필요하다.

미끄럼 방지(滑動防止) 책으로서 경질골재를 이용한 혼합물 및 수지계 박층포장(樹脂系 薄層鋪裝)을 이용할 수 있다.

(가) 미끄럼 방지대책에 이용되는 경질골재는 천연산과 인공산이 있는데, 경도 7이상 로스엔젤스 마모감량은 20% 이하를 기준으로 한다.

(나) 수지계 박층포장은 스파이크 타이어로 인한 마모에 대한 내구성에 문제가 있기 때문에, 사용 시에 교통조건을 고려하여야 한다.

3.3 아스팔트 포장의 설계기준

3.3.1 개 요

여러 가지 포장형태에 대한 설계에 있어서 각각의 포장설계조건에 알맞은 확실한 설계자료의 적용이 필요하다. 이와 같은 설계자료는 아래의 네 가지로 구분되며, 설계자료의 모든 값은 신뢰도와 관련하여 추정값 보다는 평균값을 사용하여야 한다.

- (1) 설계변수
- (2) 공용성 변수
- (3) 구조설계용 재료의 특성
- (4) 포장의 구조적 특성

아스팔트 포장 구조의 각각의 층 두께와 구성층 조합을 결정하기 위해서는 이 편에서 제시되는 설계법의 소요설계 입력변수에 맞는 정확한 설계자료의 적용이 필요하다.

설계자료는 다음과 같이 네 가지로 나뉜다.

(가) 설계변수 : 이 지침서에 수록된 포장설계법의 각 형태에 대하여 반드시 고려하여야 할 기준에 관한 내용

(나) 공용성 기준 : 설계자가 포장설계 대안을 채택함으로써 얻고자 하는 수준, 예를 들면 서비스 능력 등에 관한 규정사항

(다) 구조설계용 재료의 특성 : 포장구조의 공용성에 영향을 주는 물리적 특성에 관한 사항

이 편의 설계법에서 필요한 관련 입력변수요소는 <표 3.17>과 같이 분류되며, 이에 적용되는 입력자료는 포장의 공용수명에 대한 신뢰도에 영향을 주므로 입력자료는 반드시 소요산정기준을 만족시키고 변동성을 고려한 평균값을 사용하여야 한다.

포장설계에 있어서 시간제약변수(time constraints)는 설계자가 포장구조 설계전략을 선택하는 데 중요한 역할을 한다. 포장설계 시 고려하는 시간제약기간은 설계포장구조체가 선택된 최종 서비스 수준 까지 발휘할 수 있는 시간 즉, 공용기간(performance period)과 설계자가 설계포장구조에 대하여 수명-주기 비용(life-cycle cost)을 감안하여 부여한 대상포장체가 지속되어야 할 시간의 길이 즉, 해석기간(analysis period)에 의하여 결정되며, 일반적으로 해석기간은 공용기간보다 길게 설정한다. 이와 같은 시간제약기준의 설정은 설계자가 계획한 설계수명동안 지속될 수 있는 포장구조로 설계하는 방안으로부터, 덧씌우기 계획을 가지는 단계건설의 포장구조 설계방안에 이르기까지의 다양한 포장구조 두께결정 및 층 조합의 기준이 된다.

〈표 3.17〉 아스팔트 포장설계 입력변수요소

구 분	항 목
1. 설계변수	1) 시간제약변수 - 공용기간 - 해석기간 2) 교통량 3) 환경영향변수 - 동결깊이와 배수수준을 고려한 지역계수
2. 공용조건	1) 초기서비스지수 2) 최종서비스지수
3. 층 재료 물성조건	1) 설계노상변수 - 설계노상CBR - 노상지지계수 2) 포장층 재료 물성지수 - 상대강도계수(AASHTO 법) - 등치환산계수(T_A 법)

(1) 공용기간

공용기간은 초기 신축된 포장구조가 보수(rehabilitation)를 필요로 하기 직전까지의 기간 또는 보수작업 사이의 기준을 의미한다. 다시 말하면 신설포장, 재포장 또는 보강된 포장의 초기서비스능력이 최종서비스능력으로 떨어지기까지 경과한 시간이다. 공용기간을 설정하는 데 있어, 설계자는 관련 도로기관의 경험과 정책에 의해서 수립되는 최소 및 최대범위를 결정하여야 한다. 그러나 실질적인 공용기간은 포장에 적용되는 유지관리 방식이나 관리수준에 따라 크게 영향을 받는다는 것을 염두에 두어야 한다.

최소공용기간(minimum performance period)이란 신설포장 또는 보강된 포장이 유지되어야 하는 최소시간이다. 예를 들어 초기 포장구조가 어떤 보수작업을 실시하기 전까지 최소 10년 동안 지속되어야

바람직하다고 하면 이와 같은 한계는 새 표층이 얼마나 오래 공용되어야 할 것인가에 대한 사회적 인식, 초기 건설의 예산규모, 수명-주기 비용 그리고 기타 기술적인 고려사항 등의 요소에 좌우된다. 아스팔트 포장에서 통상 공용기간은 10년으로 설정하는 것이 일반적이다.

(2) 해석기간

해석기간은 해석대상이 되는 동안의 길이, 즉 어떠한 설계계획에서 보증할 수 있는 시간의 범위이다. 해석기간은 과거에 설계자가 적용하는 설계수명기간과 유사하며, 최대 공용기간을 고려하여야 하므로 요구되는 해석기간을 얻기 위해서는 한 번 또는 그 이상의 보수작업이 요구되는 단계건설에 대한 고려와 계획이 필요하다.

AASHTO에서 추천하는 해석기간 값은 <표 3.18>과 같다.

<표 3.18> AASHTO의 해석기간 추천값

교 통 량	해 석 기 간 (년)
도시부 교통량이 많은 지역	30~50
지방부 교통량이 많은 지역	20~50
교통량 적은 지역	15~25
비포장 교통량 많은 지역	10~20

국내에서는 공용기간과 해석기간에 대한 구분을 별도로 두지 않고, 일반적으로 설계할 때에는 공용기간을 아스팔트 포장은 10년, 콘크리트 포장은 20년으로 한다.

3.3.2 교 통

포장설계 조건 중 가장 중요한 요소의 하나가 교통량이다. 설계를 위해서는 대상도로의 설계기간동안에 설계차로를 통과하는 전체 혼합교통량을 등가단축하중(等價單軸荷重) 교통량으로 환산하여 적용한다.

따라서, 설계교통량을 산정하기 위해서는 등가단축하중 환산계수, 방향분배계수, 차로분배계수를 결정하여야 한다.

포장설계기준 중 가장 중요한 요소의 하나가 교통량 산정기준이다. 서비스능력-공용성 개념을 토대로 하는 포장설계법들에서 포장 공용성, 즉 유효 구조적 지지용량은 교통뿐만 아니라 환경적 영향을 저항할 수 있는 척도로서, 설계해석기간동안 설계차로 당 통과시킬 수 있는 표준 등가단축하중의 누가 통과횟수로 표시하는 것이 기본원리이다.

따라서, 설계자는 교통조건을 만족하는 포장설계를 위해서 설계대상도로를 해석기간동안 통과하는 예상 총 혼합교통량(mixed traffic)을 추정하여, 이것을 표준 등가단축하중 통과횟수로 환산하여야 하며, 그런 다음 설계차로 교통량을 방향별·차로별 분포를 고려하여 결정하여야 한다. 그리고 환경적 영향은 등가단축하중 통과횟수로 환산하여, 이 설계차로 교통량에 반영하거나 최종 총두께 결정단계에서 고려하여 보정하는 것이 일반적인 방법이다.

(1) 표준 등가단축하중

도로를 실제 통행하는 혼합교통은 서로 다른 축 형식과 축 배열 그리고 축하중 분포를 가지는 차량군으로 구성되기 때문에 포장설계를 위한 설계차로 교통량을 결정하기 위해서는 하나의 공통분모를 기준으로 하여 표준화시켜 변환하여야 한다.

이 편에서는 이와 같은 공통분모를 관련 도로관리기관에서 규정하는 차종과 축 배열형식 그리고 제한하중을 고려한 등가단축하중(equivalent single axle load : 이하 ESAL) 등을 기준으로 한 Miner 법칙을 토대로 하여, 주어진 포장구조체가 동일 토질조건과 환경조건에서 등가단축하중의 1회 통과에 따른 포장체의 손상도에 대한 임의 축하중의 1회 통과에 따른 손상도의 비를 표시하는 등가단축하중 환산계수(equivalent single axle load factor : 이하 ESALF)를 결정하여 차종별·축 형식별 환산계수를 산정하고, 이것을 적용하여 혼합교통량을 등가단축하중 통과횟수로 환산하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 설계차로 교통량 산정

포장설계에 적용되는 장래 예상 혼합교통량은 '도로교통량통계연보'(국토해양부)나 대상노선의 도로계획조사에서 평가되는 장래 교통수요예측결과를 토대로 하여 기준년도에 대한 차종별 양방향 연평균일 교통량(AADT)과 해석기간동안의 연도별 또는 일정 기간별·차종별 증가율을 결정하고, 포장해석기간과 공용기간에 걸친 양방향 차종별 누가교통량을 산정함으로써 결정한다. 필요한 경우 계획도로의 여러 가지 교통량 특성을 추정하기 위하여 적절한 위치를 선정, 시·종점(O/D) 조사를 실시하여 활용하면 정확도를 높일 수 있다.

설계차로에 대한 교통량은 다음 식을 적용하여 결정한다.

$$W = DD \times DL \times W'$$

여기서, W : 해석기간 동안의 설계차로에 대한 누가 ESAL 교통량

DD : 방향별 분포계수. 즉, 방향에 따라 ESAL 단위로 분포되는 교통량의 비율

DL : 차로별 분포계수. 즉, 한방향이 2차로 이상일 경우 차로별 교통량 분포비율

W' : 해석기간동안의 대상계획도로의 양방향 누가 ESAL 교통량

DD값은 대부분의 도로에서 일반적으로 0.50(50%)로 적용하나 한 방향으로 차로통행이 편중된 교통량이 많은 차로에 대한 ESAL 교통량을 기준으로 하고, 이런 경우 DD값은 차량이 많은 방향과 차량이

적은 방향에 대하여 0.30~0.70 범위로 한다. DD값은 2차로 도로에는 0.5를 4차로 이상의 도로에는 0.40~0.45를 적용하는 것이 일반적이다.

차로별 분포계수(DL)는 <표 3.19>의 값을 적용한다.

<표 3.19> 차로별 분포계수(DL)

한 방향 차로 수	설계차로에 대한 ESAL 백분율
1	100
2	80 ~ 100
3	60 ~ 80
4	50 ~ 75

3.3.3 노 상

- (1) 포장단면설계를 위한 노상면(路床面)에서 하중 지지용량을 평가하기 위한 대표적 재료물성의 척도로서 CBR값을 사용한다.
- (2) CBR값은 습윤계절의 강도와 습윤상태를 반영하는 것으로서, 적절한 실내시험값(KS F 2320)으로 평가하여야 하고, 시험시료는 설계노선 주변이나 가용 토취장에서 토질 및 지형조건을 만족하는 표본 시료조사를 시행하여 얻어지는 적절한 표본 크기를 가지는 실제 노상재료이어야 한다.
- (3) 설계 CBR값의 산정
 균일한 포장두께로 시공할 구간을 대표하는 노상토의 설계 CBR값은 적절한 표본 크기의 시료의 실내시험 절차로서 얻어지는 각각의 4일 수침 CBR값 보다 크거나 같은 백분율과 대응시험 CBR값으로 주어지는 곡선을 작성하여 얻어지는 시험결과 값 각각에 대하여 발생확률이 90%에 대응하는 CBR값을 대상노선의 설계포장단면을 위한 설계CBR값으로 결정한다.
- (4) '86 AASHTO 지침에서는 노상의 재료특성을 노상회복탄성계수를 기준으로 표시한다.

(1) 예비조사

예비조사로는 지형변화·지하수위나 땅깍기·흙쌓기 상태 등의 도로환경조사, 과거의 토질시험 결과의 조사 및 노상토 또는 노상토로 될 토취장 흙의 토질시험 등을 행한다.

이들의 예비조사는 계속해서 행하여지는 CBR시험을 효율적으로 행하는데 유효하며, 도로의 연장방향에 대해서 포장두께를 변화시키지 않으면 안 될 경우의 판단기초로 사용할 수 있다. 토질시험용 재료의 채취는 다음과 같이 행한다.

(가) 토취장의 경우

노상토가 될 원지반에 오가보링을 시행하고, 깊이 방향으로 몇 개의 시료를 채취해서 밀폐된 용기나 비닐주머니에 넣어 함수량을 변화시키지 않도록 하여 시험실에 보낸다.

(나) 이미 노상부분이 완성된 경우 및 땅깍기부의 경우

노상면 또는 예상되는 노상면에서 1m 이상 깊은 위치까지 오가보링을 행하고 토질의 변화에 따라 시료를 채취하여 (가)와 같은 방법으로 하여 시험실에 보낸다.

노상토의 토질시험으로서는 자연함수량, 액성한계(L.L)와 소성지수(P.I)를 측정하는 것과, 건조한 시료에 대해서도 입도분석을 행하여 5mm(No.4)체와 0.08mm (No.200)체 통과량 등을 구하면 된다. 노상토의 토질시험은 CBR시험을 위한 시료채취에 앞서 되도록 많이 행하는 것이 좋다.

예비조사의 결과 노상토에 변화가 있는 경우에서 우선 포장두께를 바꾸어야 할 구간을 선정하여, 변화가 적은 구간에서는 CBR시험의 횟수를 적게 하고, 변화가 많다고 생각되는 구간에서는 횟수를 많이 하면 정확한 설계 CBR을 효율적으로 구할 수 있다. 또한, 노상토의 토질시험에 의하여 수직방향의 토질변화를 알 수 있으므로 CBR시험용의 시료를 채취할 위치나 횟수를 알 수 있다.

흙쌓기부 노상 등에서 설계 CBR이 2 미만인 연약한 노상토는 예비조사에 의하여 육안으로 쉽게 판정할 수 있기 때문에 그러한 경우에는 연약한 노상을 개량하기 위한 토질시험을 추가해서 행하는 것이 좋다.

(2) CBR 시험

CBR 시험은 다음 순서로 행한다.

(가) 시료의 채취

흙쌓기의 노상 완성 이전에 포장설계를 할 경우에는 우기 및 동결융해기를 피해서, 토취장의 노출면에서 500mm 이상 깊은 곳에서 흐트러진 상태로 흙을 채취해서 밀폐할 수 있는 용기 또는 비닐주머니에 넣어 함수량을 변화시키지 않도록 하여 시험실에 보낸다. 다만, 한랭지에서는 융해기가 끝났다고 생각되는 시기에 시료를 채취한다. 보통 3~4월에 측정하면 좋다.

흙쌓기 노상을 완성하고부터 포장설계를 할 경우에는 우기 및 동결융해기를 피하여 노상면에서 500mm 이상 깊은 곳에 상기한 바와 같이 시료를 채취해서 시험실에 보낸다.

땅깍기 부분에 있어서는 노상면에서 500mm 이상 깊은 곳에서 흐트러진 상태의 흙을 채취해서 시험실에 보낸다. 노상면 밑으로 1m 정도 사이에서 토질이 변화하고 있는 경우에는 각 층의 흙을 채취해서 시험실에 보낸다.

포장이 완성될 때까지의 사이에 노상면이 흐트러지는 것을 방지할 목적으로 노상에 뒤따라 보조기층까지 시공하고, 일정기간을 두고 기층 이상을 시공할 때가 있다. 이와 같은 경우에는 기상의 영향

등으로 노상보다 보조기층에 해당하는 층이 흐트러지는 경향이 있다. 따라서, 보조기층과 그 위층의 시공에 어떤 기간이 생길 때에는 보조기층의 두께, 다짐상태 및 노상의 설계 CBR 등을 재조사하여 포장구조 설계값을 조정하여야 한다.

(나) CBR 시험

채취한 노상토는 19mm 이상의 골재를 제외하고 현장 함수비 상태로 CBR 몰드에 5층으로 나누어 넣고, 각 층을 56회씩 다지고, 4일 수침 후의 CBR을 구한다. 시험절차는 KS F 2320에 준한다. 시험재료가 AASHTO 분류로 A-1, A-3, A-2-4 또는 A-2-5인 경우 이것을 4.5kg 램머(지름 50mm)로 450mm 높이에서 자유낙하 시켜서 각 층을 56회씩 균등히 다지며, 시험재료가 AASHTO 분류 A-2-7, A-4, A-5, A-6, A-7인 경우에는 각 층을 25회씩 다진다.

노상이 깊이방향으로 토질이 다른 몇 개의 층을 이루고 있는 경우에는 노상면부터 1m 사이의 평균 CBR을 구하여 그 지점의 CBR로 한다. CBR은 다음 식으로 계산한다.

$$CBR_m = \left(\frac{h_1 \cdot CBR_1^{1/3} + h_2 \cdot CBR_2^{1/3} + \dots + h_n \cdot CBR_n^{1/3}}{100} \right)^3 \quad (2.1)$$

- 여기서, CBR_m : 그 지점의 CBR(%)
- CBR_n : 제 n층 흙의 CBR(%)
- h_n : 제 n층의 두께(cm)
- $h_1 + h_2 + \dots + h_n = 100(\text{cm})$

(다) 설계 CBR의 결정

적정 표본 크기의 시료에 대한 실내시험 결과를 이용하여 대상노선의 포장구조 단면 설계를 위한 설계 CBR 값을 결정하는 절차는 다음과 같다.

- (a) 시험된 표본시료의 CBR 값들을 작은 값으로부터 큰 값 순서로 모두 나열한다.
- (b) 각각의 시험 CBR 값에 대하여 같거나 또는 큰 값을 가지는 표본 수(누적 빈도)와 대응 백분율을 계산한다.
- (c) 모눈종이 위에 각각의 시험값(가로축)과 대응 백분율(세로축)에 해당하는 점을 찍고, 이들 점에 적합한 곡선(smooth best-fit curve)을 그린다.
- (d) 이 곡선 상에서 세로축상의 90%에 대응되는 가로축상의 대응 CBR 값이 설계 CBR 값이 된다.

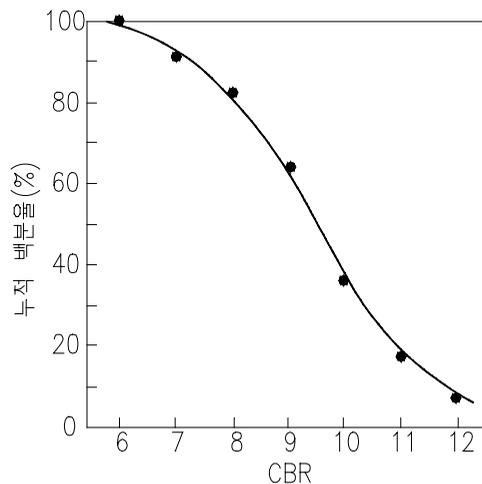
(예) ① 다음과 같은 대상노선에서 얻어진 11개 표본에 대한 CBR 시험결과는 다음과 같다.

CBR = 6, 7, 8, 8, 9, 9, 9, 10, 10, 11, 12

- ② 각각의 CBR값에 대하여 같거나 또는 큰 값을 가지는 누적 빈도와 백분율을 계산하면 <표 3.20>과 같다. <그림 3.5> 참조

〈표 3.20〉 설계 CBR 결정을 위한 누적빈도와 백분율 계산 예

CBR	같거나 또는 큰 값을 가지는 누적 빈도	같거나 또는 큰 값을 가지는 백분율 (누적 확률)
6	11	$(11/11) \times 100 = 100.0$
7	10	$(10/11) \times 100 = 90.9$
8	9	$(9/11) \times 100 = 81.8$
8	9	$(9/11) \times 100 = 81.8$
9	7	$(7/11) \times 100 = 63.6$
9	7	$(7/11) \times 100 = 63.6$
9	7	$(7/11) \times 100 = 63.6$
10	4	$(4/11) \times 100 = 36.4$
10	4	$(4/11) \times 100 = 36.4$
11	2	$(2/11) \times 100 = 18.2$
12	1	$(1/11) \times 100 = 9.1$



〈그림 3.5〉 설계 CBR 결정을 위한 누적빈도와 백분율 계산 예

- ③ CBR-백분율 곡선을 그리고 90%에 대응되는 CBR 값=7.6을 반올림하여 8.0을 설계 CBR 값으로 한다.

또 다른 방법으로 일본도로공단 제정 ‘설계요령’에 제시된 설계 CBR값 결정방법은 다음과 같다. 이 구간내의 각 지점의 CBR 중 현저히 다른 값을 제외하고 다음 식으로 설계 CBR을 결정한다. 이 식에서 C는 〈표 3.21〉과 같다.

$$\text{설계 CBR} = \text{각 지점의 CBR의 평균} - \left(\frac{\text{CBR 최대값} - \text{CBR 최소값}}{C} \right)$$

〈표 3.21〉 설계 CBR 계산용 계수(C)

개 수(n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10 이상
C	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

[예 1] 어떤 구간에서 일곱 지점의 CBR을 구하여 4.6, 3.9, 5.9, 4.8, 7.0, 3.3, 4.8을 얻었을 때, 설계 CBR을 구하면 다음과 같다.

평균은 4.9, 최대값은 7.0, 최소값은 3.3, C는 〈표 3.21〉에서 2.83이므로, 이 구간의 계산상 설계 CBR은 다음과 같다.

$$\text{설계 CBR} = 4.9 - \frac{7.0 - 3.3}{2.83} = 3.6$$

소수점 아래 부분을 버리고 취한 이 구간의 설계 CBR은 3으로 결정할 수 있다.

포장두께를 얇은 구간에서 변화시키는 것은 시공을 번잡하게 하여 바람직하지 않다. 필요한 경우일지라도 길이방향에 최소한 200m의 구간은 포장두께를 변화시키지 않는 것이 좋다. 극단의 값이 얻어진 지점에서는 토질시험의 결과 등을 참고하여 무시하여도 좋은 것인가, 국부적으로 대체할 필요가 있는가, 또는 이 부근의 포장두께를 변화시킬 필요가 있겠는가 등을 판단하여야 한다.

설계 CBR 값을 결정하는데 있어서 CBR시험 결과 가운데서 극단의 값을 취할 것인가, 또는 버릴 것인가에 대하여 판정하기 위하여 〈표 3.22〉를 사용한다.

〈표 3.22〉 편차가 클 경우의 판정방법 γ (n, 0.05)의 값

개 수(n)	3	4	5	6	7	8	9	10 이상
γ (n, 0.05)	0.941	0.765	0.642	0.560	0.507	0.468	0.437	0.412

최대값이 극단적으로 큰 경우의 판정 예는 다음과 같다.

[예 2] 노상토가 일정한 구간 내에 여섯 개 지점에서 취한 CBR을 순서대로 나열하면 12.2, 6.2, 5.5, 5.2, 4.8, 4.4라고 할 때,

$$\gamma = \frac{\chi_n - \chi_{n-1}}{\chi_n - \chi_1} = \frac{12.2 - 6.2}{12.2 - 4.4} = 0.77 > 0.560 = \gamma(6, 0.05)$$

이때 CBR값 12.2를 없애면 설계CBR은,

$$5.2 - \frac{6.2 - 4.4}{2.48} = 4.5 \approx 4 \text{로 된다.}$$

최소값이 극단적으로 작은 경우의 판정 예는 다음과 같다.

[예 3] 다섯 개의 측정값을 순서로 나열하면 5.2, 4.8, 4.7, 4.3, 2.4라고 할 때,

$$\gamma = \frac{\chi_2 - \chi_1}{\chi_n - \chi_1} = \frac{4.3 - 2.4}{5.2 - 2.4} = 0.678 > 0.642 = \gamma(5, 0.05)$$

이때 2.4를 버리면 된다.

계산된 CBR로부터 <표 3.23>을 기준으로 하여 설계 CBR 값을 구한다.

<표 3.23> 설계 CBR과 계산 CBR의 관계

설계 CBR	계산 CBR
2	$2 \leq \text{CBR} < 3$
3	$3 \leq \text{CBR} < 4$
4	$4 \leq \text{CBR} < 6$
6	$6 \leq \text{CBR} < 8$
8	$8 \leq \text{CBR} < 12$
12	$12 \leq \text{CBR} < 20$
20	$\text{CBR} \geq 20$

(3) 노상회복탄성계수(M_R)

아스팔트 포장 설계에 있어 '86 AASHTO 지침에서는 노상의 재료특성을 노상회복탄성계수를 기준으로 표시한다. 이 계수는 계절적으로 함수상태 및 점토함유량 등 흙의 특성에 따라 달라지므로 각 계절 동안에 일어난 상대적 손상의 합성효과를 고려하여 유효 노상회복탄성계수를 구한다.

노상재료에 대한 실내 회복탄성계수시험(AASHTO T274)은 습윤계절의 응력과 습윤상태를 대표하는 실제 노상재료로 실시하여야 한다. 계절적 회복탄성계수 값은 점토함유량, 함수, PI 등과 같은 흙의 특성에 의하여 결정되는 것이다. 계절적 계수를 확정하는 목적은 어떤 포장이 그 해의 각 계절 동안에 입은 상대적 손상을 양으로 표시하여 전반적인 설계의 일부로서 다루기 위한 것이다. 유효 노상회복탄성계수는 모든 계절적 계수값들의 영향을 조합하여 산출한 값이다.

해빙기 또는 동결기의 노상시험이 어려운 경우에는 동결기에 대한 실제적인 회복탄성계수 값은 140~350MPa를 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 세분하여야 한다. 예를 들면 회복탄성계수의 평균값이 70MPa라면 그때 약 99%의 자료가 38.5~101.5MPa의 범위에 있어야 한다.

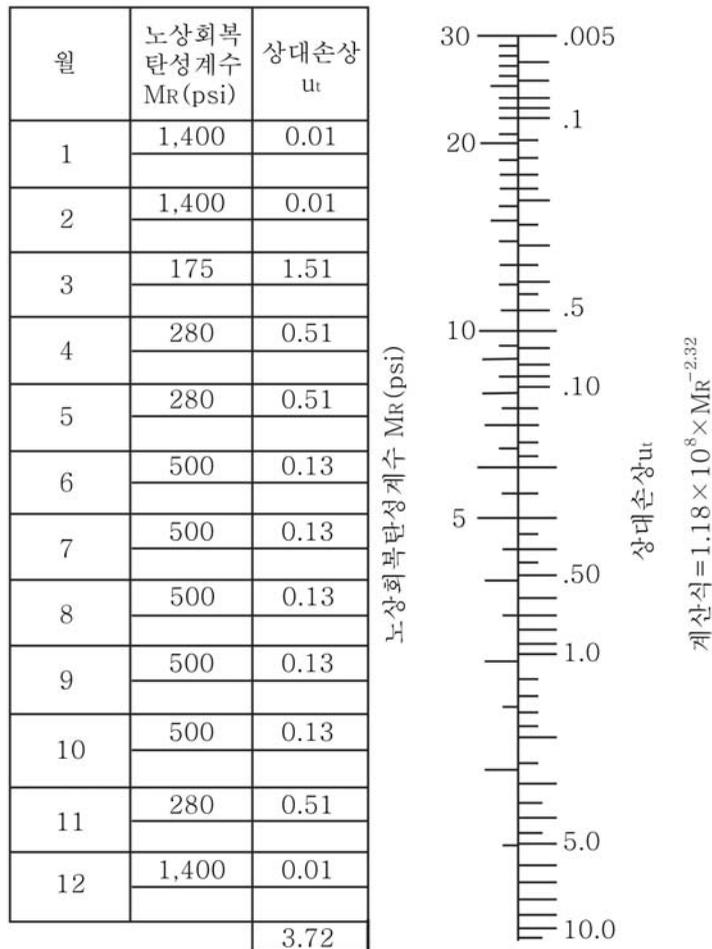
이 과정의 해석단계는 다음과 같다.

단계1 : 각각의 기간에 계절계수를 기입한다. 최소단위의 계절기간이 15일이라면 모든 계절을 15일 간격으로 나누고 각각의 칸에 기입한다. 최소 계절기간이 한 달인 경우에는 모든 계절을 한 달 간격으로 나누고 1개월 당 한 칸씩 기입한다.

단계2 : 각 계절계수에 일치하는 상대적 손상(U_t : relative damage)치를 산정한다.

단계3 : 평균상대손상을 구하기 위하여 U_t 값을 모두 합한 다음 계절 개월 수(12 또는 24)로 나눈다. 이 경우 유효 노상회복탄성계수(M_R)는 $M_R \cdot U_t$ 계산자에 의하여 구한 평균상대 손상과 일치되는 값이다.

〈그림 3.6〉은 유효 M_R 을 산출하는 방법의 일례인데 이 유효 M_R 값은 단지 서비스능력 기준을 근거로 한 아스팔트 포장 설계에만 이용할 수 있다.



〈그림 3.6〉 아스팔트포장의 유효 노상회복탄성계수 산정 예

3.3.4 환경영향

(1) 일반사항

포장공용성과 포장구조 설계에 관련되는 주요 환경인자로 온도와 강우의 영향을 반영한다. 이들은 노상토의 동결융해 및 배수효과에 영향을 주는 기상요소이므로 설계자는 이들로 인한 포장구조의 수축팽창과 동상현상 등의 메커니즘을 면밀히 분석하여 포장에 대하여 결함을 일으키는 요인을 미리 제거하거나, 포장구조 설계요소로 주의 깊게 고려하여야 한다.

온도는 다음 사항에 영향을 미친다.

(가) 아스팔트 콘크리트의 크리프(creep) 성질

(나) 아스팔트 콘크리트 내에 발생하는 온도유발응력(thermal-induced stress)

(다) 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 수축 및 팽창

(라) 노상토의 동결융해

줄눈 콘크리트 포장의 콘크리트 슬래브 상단과 하단 사이의 온도 차이에 의한 curling과 습도 차이에 의한 warping이 발생하여 슬래브가 상방향 또는 하방향으로 변형되는 현상이 발생하며, 이들 현상은 배수가 되지 않은 구간의 펌핑작용(pumping)과 구조적인 악화를 초래할 수 있다.

강우가 포장구조 내 또는 노상토에 침투되면 포장재료의 성질에 영향을 주게 된다.

이 절에서는 온도에 관련되는 사항만을 취급하고, '3.4.5 배수'에서는 강우에 관계되는 사항을 취급한다.

노상과 입상재료에 관한 계절적인 영향 이외에 기온이 아스팔트 콘크리트의 특성에 영향을 미치며, 공용성은 다음과 같은 세 가지 방법으로 영향을 받게 된다.

(가) 저온균열현상(low temperature cracking)

(나) 피로균열현상(fatigue cracking)

(다) 바퀴자국 패임(rutting)

이들 인자가 어느 정도 PSI(서비스지수)에 영향을 주는지에 대한 연구는 현재로서 명확하게 정립되지 않고 있다. 그러나 저온균열현상과 피로균열현상은 유지보수를 증대시키며, 바퀴자국 패임은 유지보수 문제뿐만 아니라 수막현상(hydroplaning)의 가능성과 관련된 안전상의 문제를 야기할 수 있다.

미국 아스팔트 협회 발간 아스팔트 포장설계법에서는 아스팔트 콘크리트 포장에서 저온에 의한 응력으로 인하여 발생하는 조기균열현상(premature cracking)과 교통에 의한 피로에 대하여 기술하고 있다. 이것에 의하면, 경도가 작은 아스팔트, 즉 AC-5 또는 이와 동등한 것은 추운 기후지역(연평균 대기온도가 7℃ 이하)에 사용하여야 하며, 경도가 큰 아스팔트 AC-20 또는 이와 동등한 것은 더운 기후지역(연평균 대기온도가 24℃ 이상)에 적합한 것으로 추천하고 있다. 따라서, 아스팔트 경도의 선택은 지역적인 경험을 토대로 하여 위에서 기술된 사항을 고려하는 것이 바람직하다.

두꺼운 전 단면 아스팔트 콘크리트에 대한 연구결과에 의하면 피로균열은 온도에 의한 영향을 많이 받는다는 점이다. 일반적으로 최근 연구결과들을 종합하여 볼 때 경도가 큰 아스팔트는 피로균열의 건지에서 볼 때 공용성을 개선하여 줄 것이다. 그러므로 AC-40 등급의 아스팔트는 따뜻한 기후지역의 두꺼운 포장(180mm 또는 그 이상)에 적합할 것이다.

또한, 아스팔트 경도의 적정 선택만으로는 조기균열과 관련된 모든 문제를 해결할 수 없음을 염두에 두어야 할 것이다. 따라서, 설계자는 공용성에 영향을 줄 수 있는 모든 인자, 예를 들면 구조설계, 배수, 시공, 융해·약화 현상 등에 대하여 세심한 주의를 기울여야 한다.

(2) 동결 융해

- (1) 노상토의 동결과 융해는 동결 시에 나타나는 동상작용과 해빙기에 나타나는 융해작용으로 포장의 강도를 크게 악화시켜 포장의 서비스능력을 감소시킨다. 동결융해의 영향에 의한 포장층과 노반 재료의 손상은, ① 이들 재료의 세립자 함유비율, ② 동결 대기온도의 포장구조 내의 관입률, ③ 해빙기의 융해속도 및 융해 진행형식, ④ 포장구조 내의 수분공급원의 존재유무와 위치, ⑤ 포장구조의 배수능력에 영향을 받는다.
- (2) 포장구조 설계 시에는 동결에 의한 노상토의 동상효과를 서비스능력의 손실 크기로 반영하든지 또는 포장층 내로 침투되는 최대 동결관입 깊이를 평가하여 동결성 노상토 내의 허용할 수 있는 관입깊이를 결정하여 포장두께 결정에 고려한다. 융해작용에 의한 강도약화는 노상토의 설계 CBR 또는 M_R 의 감소로 고려할 수 있다.

노상토의 동결융해는 오래전부터 포장설계자의 주요 관심사가 되어 왔다. 이것의 주된 피해는 봄철 해빙기(spring thaw period)에 일어나는 융해 약화현상(thaw-weakening)이다. 동결작용의 또 다른 피해는 포장의 서비스능력 감소를 초래하는 동상작용(frost heaving)의 유발이다.

동결지역에서 포장구조설계에 고려할 주요사항을 요약하면 다음과 같다.

포장층 아래 또는 포장 내의 토사의 동상작용은 커다란 토사공극 내의 얼음이 생성되어서 연속적으로 얼음결정(ice lenses), 얼음층, 얼음벽 또는 얼음덩어리를 형성한 후 성장·팽창함으로써 발생하는 것

이다. 이와 같이 상당한 크기의 얼음 덩어리로 성장하는 현상을 얼음분정작용(ice segregation)이라 부른다. 이와 같은 현상은 하나의 얼음 결정이 수분공급이 정지될 때 까지 또는 동결접촉면(freezing interface)에서 동결조건 상 더 이상의 결정상태(crystallization)를 유지할 수 없을 때까지 열전달 방향으로 더 낮은 위치에 새로운 얼음결정을 형성시켜서 상당한 두께로 성장하기 때문에 발생된다.

연구조사에 의하면, 얼음분정작용은 세립자를 함유하고 있는 토사에서만 발생하는 것으로 보고되고 있다. 이런 종류의 토사는 동상에 민감하며, 이에 반하여 깨끗한 모래·자갈은 동상에 민감하지 않다. 동결민감도는 주로 세립자 함유비율과 함수관계를 가지며, 다소 영향은 작지만 토립자 형상·토립자 입도분포 그리고 광물질 조성도가 관계된다.

포장층 및 노상재료에서 얼음분정작용이 발생되기 위해서는 다음과 같은 토사, 온도 및 물의 세 가지 조건이 동시에 만족되어야 한다.

- (가) 토질이 동결에 민감한 재료로 구성되어야 한다.
- (나) 동결온도(freezing temperature)가 흙 속으로 관입(penetrates)하여야 하며, 일반적으로 특정 얼음 결정 또는 얼음층의 두께는 흙 속으로 동결온도가 관입하는 침입률에 반비례한다.
- (다) 포장층 아래 위치한 지하수위, 침투수 또는 중력수 흐름, 대수층 또는 세립토 공극에 갇혀 있는 수분이 공급되어야 한다.

해빙기는 계절적인 동결지역에서 포장에 영향을 주는 환경적 변화의 연간 주기 가운데서 가장 위험한 상태 가운데 하나이다.

이와 같은 융해주기(thawing cycle)는 많은 경우에 있어서 융해속도와 포장구조의 배수능력에 따라 포장에 큰 피해를 끼친다.

해빙기간 동안에는 많은 눈이 녹아내려서 녹은 물이 측구를 채우고 길어깨나 포장 자체 내의 표면균열을 통하여서 포장체에 침투하게 된다. 해빙기간 동안 노상토의 지지력은 크게 감소되며, 동상현상은 한겨울 중의 해빙기간 후에 더욱 심하다. 동상 관입이 깊은 지역에서는 봄철의 두꺼운 포장구조가 완전히 해빙되는 기간 동안에 포장이 가장 큰 피해를 입는데, 이것은 해빙이 보조기층과 기층은 물론 노상토까지 영향을 미치기 때문이다.

주어진 노상의 지지력에 악영향을 주는 정도는 해빙기간 동안의 땅속 온도분포에 크게 좌우된다. 융해작용은 위에서 아래로, 바닥에서 위로 또는 위 아래 동시에 진행될 수 있다. 융해작용은 포장표면 온도에 따라 다르며, 봄철 급속 해빙기 동안에는 융해작용이 표면으로부터 아래로 진행되는 경우가 대부분이다. 이와 같은 융해작용은 배수조건에 심한 악영향을 미친다. 융해층 아래에 그대로 남아 있는 동결토는 융해된 얼음결정으로부터 흘러나온 물을 위 방향으로 떠받치고 있어서 측방향 및 표면배수만이 이 물의 출구의 수단이 된다. 입상토의 경우에는 길어깨에 남아있는 눈의 단열효과(insulating

effect) 또는 길어깨와 다른 열전도성 및 표면반사 특성 때문에 길어깨가 동결상태로 남아있게 되므로 측방향배수가 억제될 수 있다.

만일, 봄철 대기온도가 낮은 상태로 유지되어서 밤에 동결작용이 일어나면 하절기에 땅속에 저장되었던 열과 지구내부에서 발생하는 열이 위로 전도되어, 융해현상이 위로 진행된다. 이와 같은 융해작용으로 인한 상방향 재료가 동결되어 있는 기간 동안 융해된 얼음결정에서 생긴 물은 아래 방향으로 배수가 이루어지게 한다.

(3) 동결지수

- (1) 동결지수(freezing index)는 포장 내의 동결관입깊이를 산정하기 위한 대표적 척도로서, 포장구조와 노상토를 동결시키는 대기온도의 강도와 지속기간(intensity and duration)의 누가영향(cumulative effect)으로 표시된다. 동결지수의 단위는 온도·일($^{\circ}\text{C}\cdot\text{일}$, $^{\circ}\text{F}\cdot\text{일}$)이며, 어느 동결계절 동안의 누가 온도·일에 대한 시간곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타낸다.
- (2) 설계노선의 설계동결지수의 산정은 대상지역의 인근 측후소에서 관측한 월 평균 대기온도의 크기와 지속시간에 대한 30년 기록(최소 10년 기록)을 토대로 미공병단 TM5-818-2(또는 AFM 88-6)에서 제시되는 절차에 의해서 작성되는 누가 온도·일 곡선에 의해서 결정하거나, 이용자료가 빈곤한 경우 국토해양부에서 작성한 전국 동결지수도를 적용한다.

주어진 지역의 지리적 조건에서 동결영향의 강도(severity)에 영향을 주는 주요 요소는 대기온도, 표면에서 받는 태양 복사열, 바람 및 강우와 같은 기상인자이다. 처음 세 가지는 동결관입깊이(depth of frost penetration), 동결·융해 주기수(number of freeze-thaw cycle) 그리고 동결과 융해 지속기간 등을 포함한 포장구조내의 온도체계(temperature regime)에 주로 영향을 준다. 강우는 주로 수분체계(moisture regime)에 영향을 주며, 토질의 온도 특성에 변화를 가져오고, 또한 땅 속 온도를 결정하는 다른 기상변수와도 상호작용을 한다.

동결관입 깊이산정을 위한 척도로서 많은 연구결과에 의하여 정립된 개념이 동결대기온도의 강도와 지속시간의 누가영향을 나타내는 동결지수이다.

어떤 하루(1일) 동안에 있어서 온도·일($^{\circ}\text{C}\cdot\text{일}$)은 평균 일 대기온도(average daily air temperature)와 0°C 사이의 차이와 같다. 온도·일은 평균 일 온도가 0°C 이하(동결온도 \times 일수)일 때 양의 값이고, 0°C 이상(융해온도 \times 일수)일 때 음의 값이 된다. 따라서, 평균 일 온도가 영하 1°C 이면 ' $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{일}$ '로 계산되며, 영상 1°C 이면 ' $-1^{\circ}\text{C}\cdot\text{일}$ '이 된다. 또한, 영하 10°C 이면 ' $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{일}$ '이 된다.

주어진 연도와 시공 포장 위치별 동결지수는 평균 일 대기온도 기록을 사용해서 산정할 수 있다. 이 기록은 포장지역에 가까이 위치한 측후소에서 측정한 값을 토대로 하며, 이 자료는 지형과 표고 차이·인구 밀집지역 또는 물 공급원(하천, 호수, 해안)과 기타 열 공급원의 인접 정도에 따라서 동결지수값 변동이 크므로 꼭 필요한 것이다. 이와 같은 변동값은 동결관입 깊이를 토대로 포장을 설계할 경우는 포장설계에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 특히 동결지수가 약 55℃·일보다 큰 값을 적용하는 지역에서는 포장설계에 큰 영향을 미칠 수 있다.

〈표 3.24〉 동상에 민감한 토군의 분류표

토군	토군의 종류	0.02mm보다 작은 입경의 비율(중량)	통일분류법에 의한 흙의 분류
F1	자갈 및 자갈 혼합토	3~10	GW, GP, GW-GP, GP-GM
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	20 이상 15 이상 -	GM, GC SM, SC CL, CH
F4	1) 모든 실트 2) 매우 가는 실트질 모래 3) 점토, PI<12 4) 호상 점토 및 가는 입자의 대상 침전물	- 15 이상 - -	ML, MH SM CL, CL-ML CL & ML : CL, CH ML & SM, CL, ML & SM : CL, CH & ML

〈표 3.25〉 지역별 및 토군별 보정계수

지역 \ 토군	F1	F2	F3	F4	전체평균
서울·경기	-	2.1	-	-	3.4
강 원 도	-	2.7	-	-	3.5
충청북도	1.8	2.9	-	-	2.8
충청남도	-	1.7	-	1.8	3.3
전라북도	-	2.8	2.1	-	2.8
전라남도	-	3.6	-	1.7	3.0
경상북도	-	3.1	-	3.1	4.0
경상남도	-	3.4	2.2	3.1	4.1
토군별 평균	3.0	4.1	2.3	4.3	-

〈표 3.26〉 지점별 동결지수(남한지역)

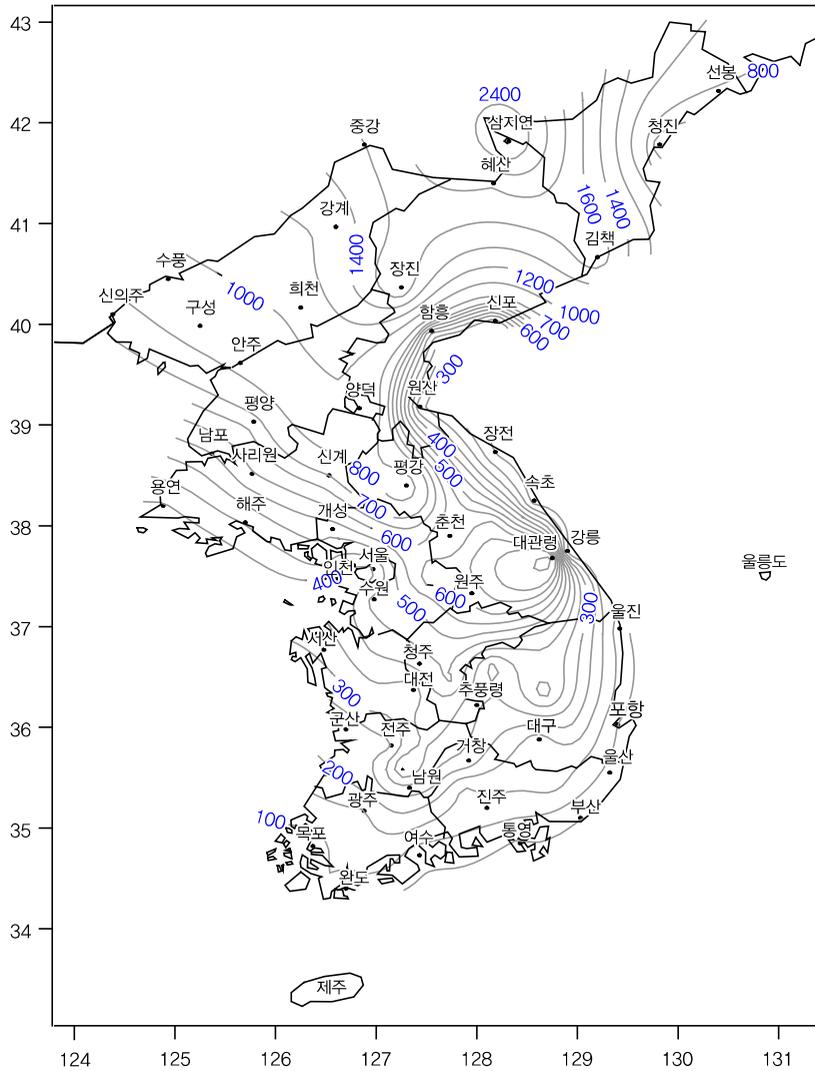
지 역	측후소 지반고(m)	동결지수 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$)	동결기간 (일)	지 역	측후소 지반고(m)	동결지수 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$)	동결기간 (일)
속초	17.6	181.6	66	합천	32.1	193.0	62
대관령	842.0	873.8	127	거창	224.9	278.2	74
춘천	74.0	539.0	92	영천	91.3	237.8	64
강릉	26.0	167.2	57	구미	45.5	278.1	76
서울	85.5	380.9	80	의성	73.0	425.2	78
인천	68.9	354.7	78	영덕	40.5	138.8	57
원주	149.8	613.0	94	문경	172.1	279.4	55
울릉도	221.1	129.3	32	영주	208.0	417.8	77
수원	36.9	468.4	79	성산포	17.5	-	-
충주	69.4	528.4	89	고흥	60.0	83.5	49
서산	26.4	313.2	76	해남	22.1	102.6	49
울진	49.5	121.6	57	장흥	43.0	130.1	52
청주	59.0	411.6	78	순천	74.0	179.9	64
대전	67.2	317.7	68	남원	89.6	272.4	67
추풍령	245.9	303.9	78	정읍	40.5	223.9	61
포항	2.5	98.5	52	임실	244.0	420.3	86
군산	26.3	194.9	61	부안	7.0	244.7	61
대구	57.8	160.9	54	금산	170.7	372.5	77
전주	51.2	233.5	61	부여	16.0	330.0	74
울산	31.5	83.6	46	보령	15.1	254.8	76
광주	73.9	141.4	55	아산	24.5	405.4	78
부산	69.2	49.6	27	보은	170.0	461.7	76
통영	25.0	37.4	27	제천	264.4	610.2	91
목포	36.5	75.6	33	홍천	141.0	635.4	98
여수	67.0	62.2	31	인제	199.7	614.5	91
완도	37.5	38.1	26	이천	68.5	511.0	89
제주	22.0	4.1	3	양평	49.0	619.7	91
남해	49.8	74.3	38	강화	46.4	486.2	89
거제	41.5	52.1	39	진주	21.5	132.8	51
산청	141.8	141.8	49	서귀포	51.9	-	-
밀양	12.5	180.2	62	철원	154.9	685.0	109

〈표 3.27〉 좌표별 전국 동결지수(단위 : °C · 일)

북위(radian) 동경(radian)		34			35					36	
		0.40	0.63	0.83	0.02	0.22	0.41	0.61	0.80	0.03	0.23
126	0.4	77	99	94	121	151	184	213	228	240	264
	0.6	66	120	122	133	158	196	236	245	235	277
	0.8	60	123	139	142	160	208	247	256	256	316
127	0.0	73	126	146	158	185	233	261	257	286	343
	0.2	68	106	133	173	216	271	317	271	301	332
	0.4	53	70	50	158	210	268	319	315	328	337
	0.6	42	61	92	135	176	219	264	294	323	348
	0.8	36	62	91	120	143	158	221	265	289	318
128	0.0	29	56	84	116	142	155	210	246	257	254
	0.2	20	42	69	108	150	180	215	234	265	282
	0.4	11	30	48	95	142	180	201	215	271	322
	0.6	5	25	52	90	137	182	196	182	261	360
	0.8	-	19	44	76	122	179	195	198	264	347
129	0.0	-	10	29	50	91	138	168	194	245	286
	0.2	-	-	16	35	65	99	128	154	185	211
	0.4	-	-	-	25	47	72	93	112	126	150

북위(radian) 동경(radian)		36			37					38	
		0.42	0.62	0.81	0.01	0.20	0.43	0.63	0.82	0.02	0.21
126	0.4	294	320	343	368	387	416	478	501	491	484
	0.6	315	345	368	388	394	377	431	473	481	480
	0.8	353	379	405	425	431	399	403	444	469	477
127	0.0	374	404	440	463	487	441	410	451	472	478
	0.2	366	411	453	483	505	505	493	493	493	487
	0.4	356	421	468	499	519	586	579	545	520	500
	0.6	397	444	484	522	552	621	615	569	534	509
	0.8	383	426	480	545	577	612	617	582	548	514
128	0.0	305	343	431	522	569	597	605	592	568	512
	0.2	285	280	377	477	536	559	564	558	550	465
	0.4	337	339	373	429	477	506	508	481	426	346
	0.6	401	373	368	389	417	443	449	386	312	220
	0.8	385	359	342	342	351	358	357	276	221	178
129	0.0	308	303	290	282	277	260	214	161	152	139
	0.2	226	226	218	208	200	180	151	125	113	108
	0.4	162	163	156	143	142	131	114	99	90	87

〈그림 3.7〉은 국토해양부에서 최근 30년간 기상측후소에서 관측된 기상자료를 근거로 만든 ‘전국 동결지수도’(2007.1, 건설교통부)이다. 〈그림 3.7〉에서 얻어지는 동결지수 값은 측후소 위치에서 관측한 값을 토대로 한 것이므로, 설계노선의 표고에 대한 보정은 다음 식을 이용하여 계산한다.



〈그림 3.7〉 전국 동결지수도(1970~2001년 자료)

$$\text{설계동결지수}(^{\circ}\text{F} \cdot \text{일}) = \text{동결지수}(\text{그림 3.7}) + 0.9 \times \text{동결기간}(\text{표 3.27})$$

$$\times \frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

(3.2)

$$\text{표고차} = \text{설계노선 최대표고}(m) - \text{측후소 지반고}(\text{표 3.26})$$

(4) 동결관입깊이의 평가

- (1) 동결관입깊이는 0℃ 온도선이 포장표면으로부터 포장층 아래로 관입되는 깊이로서, 이것은 주로 영하의 대기온도 크기와 지속시간·노상토의 재료성질(통상 밀도) 그리고 노상토 내의 얼 수 있는 수분의 양(함수량)의 영향을 받는다.
- (2) 최대동결관입 깊이 산정은 미공병단 제정 ‘TM 5-852-6’에서 제시된 절차에 의해서 작성된 <그림 3.8> 또는 국립건설시험소에서 제시한 상관식 또는 현장 관측자료를 적용하여, 대상 설계노선지역의 토질 및 기상조건과 수명-주기 비용을 고려하여 적절히 결정한다.
- (3) 교통과 노상토의 지지조건을 고려하여 얻어지는 설계포장두께에 대한 최대 동결관입깊이의 영향을 고려하는 데는 두 가지 개념, 즉 동결작용에 의하여 생기는 포장층 표면상의 동상변형(frost heaving distortion)을 극소화하는 것과 계절적 동결·융해작용의 영향을 받는 노상지지력 변화로 인한 포장층의 교통하중재하에 따른 균열 및 변형을 극소화하는 개념을 기준으로 하고, 설계노선의 교통·토질 및 환경조건을 고려하여 적절히 그 영향을 반영한다.

이 편에서는 미공병단 제정 ‘TM 5-818-2’에서 제시된 노상동결관입허용범위로서 동결관입영향을 고려하는 것을 원칙으로 한다.

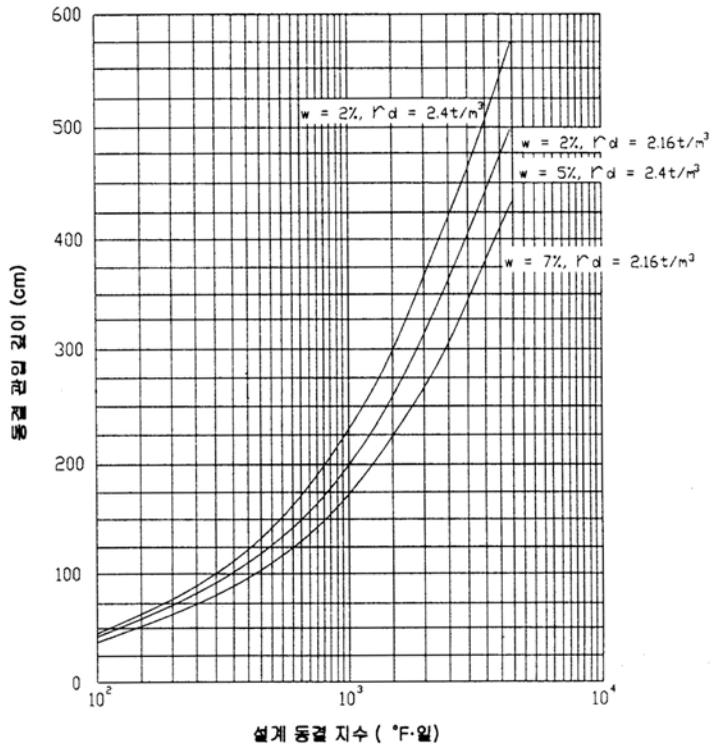
(가) 최대동결관입깊이

영하의 동결온도가 표면에 쌓이는 눈과 얼음의 효과를 고려하지 않을 때, 포장층 아래로 관입되는 깊이는 동결대기온도이하의 크기와 지속시간, 노상재료의 특성과 동결되는 수분의 양에 지배적으로 영향을 받는다.

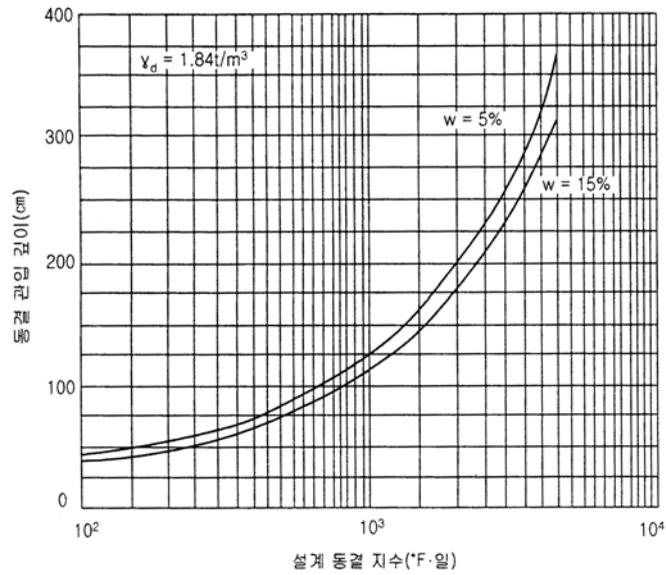
따라서, <그림 3.8>에 주어진 곡선들은 포장면에 쌓인 눈과 얼음의 영향을 무시할 수 있는 지역에서 동결관입깊이를 산정하는 데 적용될 수 있다. 이 곡선들은 포장층이 300mm 두께의 콘크리트 포장이거나 양호한 기층재료의 두께가 150~250mm의 아스팔트 포장을 기준으로 하여 수정 Berggren식과 여러 다른 실제 지형조건에서 얻어진 관측값과 이론 계산값을 비교해서 유도된 보정 계수를 적용해서 작성된 것이다.

이 곡선들에 의해서 얻어지는 동결관입깊이는 0℃ 온도가 <그림 3.8>에 주어진 밀도와 함수비를 가지는 균질한 재료가 무한깊이로 있을 때 설계동결지수 조건에서 관입하게 되는 최대 깊이를 산정하여 준다.

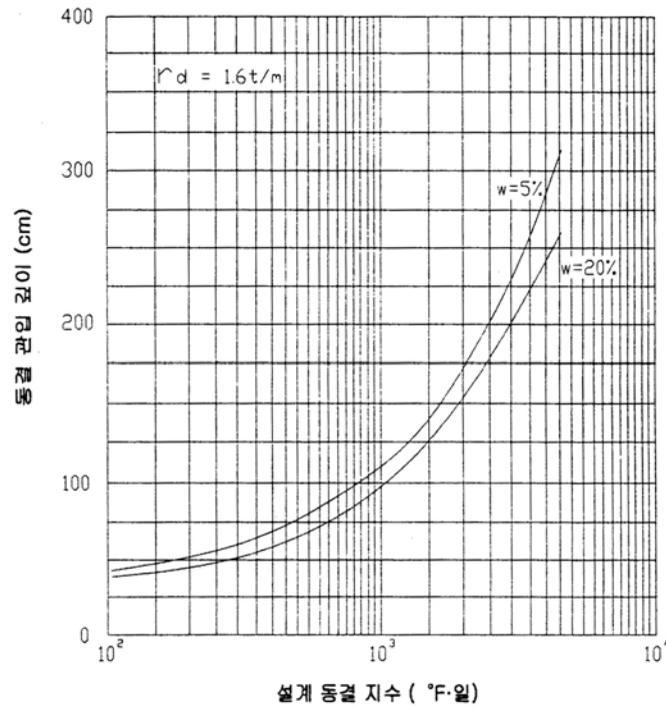
이 값들을 적용하는데 있어서, 300mm 두께보다 얇은 콘크리트 포장이나 다른 형식의 포장 사용으로 인한 변동은 무시하므로, 현재 사용 중인 280mm의 콘크리트 슬래브 두께의 적용 시에 동일하게 적용해도 무방하다.



(a) $2.16t/m^3$ 과 $2.4t/m^3$ 의 경우



(b) $1.84t/m^3$ 의 경우



(c) 1.6t/m³ 의 경우

〈그림 3.8〉 동결관입깊이와 설계동결지수 상관도표

그러나 두께가 300mm 이상인 콘크리트 포장의 경우에는 300mm를 초과하는 두께 25mm 마다에 대하여 10°F · 일 만큼의 설계동결지수 값을 〈그림 3.7〉 또는 식(3.2)로 산정되는 값에서 빼서 설계동결지수를 결정하여, 〈그림 3.8〉를 적용하여 최대동결관입깊이를 결정한다.

우리나라에 대한 실제 현지에서 관측한 동결관입깊이와 설계동결지수를 토대로 하여서 국립건설시험소에서 제시된 대표적 최대동결관입깊이의 산정식은 다음과 같다.

(a) 1985년 1월~2월 사이 전국 45개 지역에 걸쳐서 관측된 동결관입깊이 조사자료를 토대로 작성된 지역별 및 토군별 상관식은 식(3.3)과 같다.

$$Z = C\sqrt{F} \tag{3.3}$$

여기서, Z : 최대동결관입깊이 (cm)

C : 지역별 및 토군별 보정계수 (〈표 3.25〉)

F : 설계동결지수 (°C · 일, 〈그림 3.7〉)

(b) 1980년~1989년 사이에 전국 1,358 개소에서 관측한 동결관입깊이 조사자료를 토대로 작성된 상관식은 식(3.4)와 같다.

$$Z = 14F^{0.33} \tag{3.4}$$

식(3.3)은 지역별 및 토군별로 최대동결관입 깊이를 실용적으로 산정할 수 있으나, 적용 실측자료가

1985년도 동결기에 대한 값이어서 시간적 대표성이 제한적인 반면에, 식(3.4)는 적용 실측자료가 10년간 관측된 것이고 관측 개소수가 충분하여 대표성이 충분하다. 그러나 설계동결지수가 $400^{\circ}\text{C} \cdot \text{일} \sim 600^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$ 의 범위에서는 실측 동결관입깊이보다 다소 크게 계산되며, 이 범위 이하와 이상에서는 비교적 실측값과 잘 맞는 것으로 알려져 있다.

설계자는 설계동결지수가 $400^{\circ}\text{C} \cdot \text{일} \sim 600^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$ 범위에 대해서는 미공병단에서 제시하는 <그림 3.8>로서 산정되는 값과 비교하여, 설계노선지역의 지형·토질 및 기상조건, 수명-주기 비용을 고려하여 적절히 산정하는 것이 바람직하다.

(나) 포장구조설계에서 동결관입깊이 영향 고려 개념

계절적 동결작용을 받는 지역의 포장구조 설계에서 동결작용으로 야기되는 다음의 대표적 두 가지 문제를 설계대상노선의 교통·토질 및 환경조건을 고려하여, 두 가지 문제점 모두를 극소화되도록 반영하거나 지배적인 문제점을 극소화하는 것을 위주로 하여 동결관입깊이의 영향을 포장구조 두께결정에 고려하여야 한다.

(a) 동상(凍上, frost heave) 작용에 의한 포장층 표면의 변형 또는 융기현상으로서, 주행쾌적성(riding comfort)에 영향을 준다.

(b) 계절적 동결·융해기를 거치면서 발생할 수 있는 심각한 노상강도 악화를 포함한 교통하중 통행으로 인하여 노상지지능력의 계절적 변동은 포장층에 균열과 변형을 가져와 포장의 공용성을 감소시킨다.

포장의 설계에서 동결깊이는 두 가지 개념으로 고려될 수 있다. 첫 번째 개념은 지반의 유해한 동결작용을 예방하기 위하여 표층과 비동결성 기층을 합한 두께를 동결깊이보다 크게 하여 동결융해가 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.

이와 같은 개념을 토대로 미공병단에서 제시된 절차로는 다음과 같은 세 가지 방법이 있다.

- ① 완전방지법(完全防止法)
- ② 노상동결관입허용법(路床凍結貫入許容法)
- ③ 감소노상강도법(減少路床強度法)

완전방지법은 동결작용에 의한 표면 변위량을 제거하기 위하여 충분한 두께의 비동결성 층을 설치하는 것으로, 노상의 동결을 일부 허용하는 노상동결관입허용법 및 감소노상강도법에 비하여 비경제적이므로 특수한 경우에만 적용한다.

포장설계 시 보편적으로 사용되고 있는 방법으로 노상동결관입허용법과 감소 노상강도법이 있으나, 후자는 설계기준으로서 해빙기간 중에 일어나는 노상강도 감소를 근거로 하여 동결에 대비한 포장두께를 결정하는 것으로서, 동결지수와 직접적인 함수관계가 없으므로 동결지수와 직접적인 함수관계가 있는 노상동결관입 허용법을 통상적으로 적용한다.

이 방법은 노상상태가 수평방향으로 심하게 변하지 않거나 흠이 균질한 경우에 적용되는 설계 방법으로서, 동결깊이가 노상으로 얼마쯤 관입된다 하더라도 동상으로 인한 용기량이 포장과 괴를 일으킬 만한 양이 아니라면 노상의 동결을 어느 정도 허용하는 경제적인 방법이다.

(다) 노상동결관입허용법

이 방법은 선정된 설계동결지수 연도에 대하여 동결성 노상토 내에 소량의 동결관입을 허용하는 개념으로서 다음과 같은 절차와 <그림 3.9>를 적용한다.

- (a) 동결기간의 시점에서 기층(보조기층 포함)과 노상토의 평균 함수비, 그리고 기층(보조기층 포함) 재료의 건조단위중량(γ_d)을 결정한다. 기층과 보조기층을 모두 입상재료로 사용하는 경우, 각 층의 두께에 대한 중량비로서 평균 함수비와 단위건조중량을 계산한다. 또한 안정처리기층과 비처리 입상보조기층으로 구성되는 경우에는, 입상보조기층의 함수비와 단위건조중량값을 적용한다.
- (b) <그림 3.8>로부터 설계동결지수 연도에 일어날 수 있는 최대동결관입깊이 a 를 결정한다. 필요한 경우 직선 보간하여 결정한다.
- (c) 노상토 속에 동결관입을 배제하는 데 필요한 최대비동결성 입상재료기층(보조기층 포함) 두께, c 를 계산한다.

$$c = a - p$$

여기서, c : 비동결성재료 치환 최대깊이

a : 설계동결관입깊이(<그림 3.8>, 식(3.3), 식(3.4))

p : 콘크리트 포장의 슬래브 두께(빈배합 콘크리트 중간층 포함) 또는 아스팔트 포장의 표층(아스팔트 또는 시멘트 안정처리기층 포함) 두께

- (d) 노상토와 기층의 함수비의 비(r)를 계산한다.

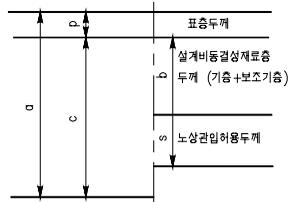
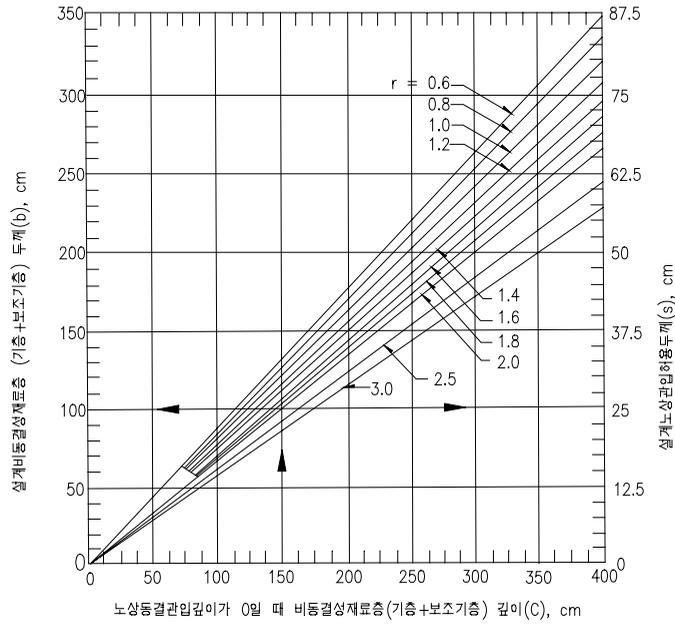
$$r = \frac{\text{노상토 함수비 } (W_s)}{\text{기층 함수비 } (W_b)}$$

중차량 통행이 많은 곳에서, r 값은 2.0보다 큰 경우 2.0을 사용하고 이외의 모든 곳에서는 r 이 3.0 이상인 경우 3.0을 사용한다.

- (e) <그림 3.9>에서 가로축에 c 값과 대각선의 r 값과 만나는 점을 지나는 수평선 상의 좌측 세로축과 만나는 점으로 얻어지는 값이 소요의 비동결성 기층(보조기층 포함) 두께 b 값이고, 대응되는 우측 세로축의 값이 허용노상동결관입 깊이 s 값이다.

이 절차로 결정되는 소요의 비동결성 기층(보조기층 포함) 두께 b 와 허용노상동결관입 깊이 s 의 비는 4 : 1 이고, $r=1$ 일 때 $c=b+s$ 가 된다.

허용노상동결관입 깊이 s 는 설계노선의 평균적 현장조건에서 설계동결지수 연도의 1년 동안 포장표면 사이에 과잉 동상현상(excess differential heave)을 일으키지 않도록 허용할 수 있는 노상관입깊이이다.



- a = 노상동결관입을 허용하지 않는 비동결성재료층과 표층두께의 합
- c = a - p
- W_b = 비동결성재료층(기층, 보조기층)의 함수비
- W_s = 노상토함수비
- $r = \frac{W_b}{W_s}$ 중차량 통행지역 ≤ 2.0
저교통량 통행지역 ≤ 3.0

예, c=150cm, r=2.0일때,
b=100cm, s=25cm

〈그림 3.9〉 노상동결관입허용법에 의한 설계비동결성재료층 두께결정 도표

3.3.5 배 수

(1) 일반사항

강우가 포장균열 또는 포장줄눈을 통하여 침투하고, 높은 지하수위와 국부적 펌핑에 대한 적정 배수처리가 불충분한 경우에 포장 내에 존재하는 과잉수(excess water)가 교통량 증가에 따라서 포장구조의 초기 포장손상을 유발하므로, 설계 시에 노상토에 대한 물의 영향과 기층강도·노상강도 그리고 기층 부식도에 대한 물의 영향에 대하여 고려하여야 하며, 이와 함께 동상효과도 검토하여야 한다.

포장으로부터 물의 배수는 언제나 도로 설계의 주요 관심사의 하나이다. 그러나 현재의 설계방법으로는 종종 배수가 잘 되지 않는 기층을 설계하게 되는 경우가 있다.

물은 포장의 균열·줄눈 또는 포장면으로부터 포장 속으로 침투하며, 또한 높은 지하수위·국부적 펌핑 또는 대수층(interrupted aquifer)으로부터 지하수가 포장구조 내에 들어오게 된다. 포장구조 속에서 갇히게 되는 이러한 물의 영향은 다음과 같다.

(가) 안정처리 되지 않은 입상재료의 강도 감소

(나) 노반토 강도 감소

(다) 펌핑작용과 그로 인한 콘크리트포장의 단차, 균열, 길어깨 강도약화

(라) 가요성 포장 하부골재 기층 내의 세립자의 펌핑과 그에 따른 지지력 감소

이외에도 드문 경우이지만 다음과 같은 문제도 일어난다.

(가) 아스팔트 콘크리트의 벗겨짐(stripping)

(나) 팽창토에서 일어나는 부등 솟음(differential heaving) 현상

(다) 동상 작용

‘3.5 아스팔트포장의 설계방법’에서는 배수가 포장 공용성에 미치는 영향을 고려하지 않고 있으나, AASHTO '86 지침에서는 아스팔트 포장에 있어서 노상토와 기층의 강도에 수분이 미치는 영향과, 콘크리트 포장에 대하여서는 노상강도와 기층의 부식에 수분이 미치는 영향을 직접적인 배수의 영향으로 고려하고 있다.

(2) 배수설계의 기본개념

포장구조와 노상토에 존재하는 물을 처리하는 방법은 다음과 같다.

- (1) 포장 내 침투수의 방지
- (2) 과잉수의 신속한 제거를 위한 배수시설 설치
- (3) 하중과 물의 복합작용에 견딜 수 있는 튼튼한 구조로 시공

포장구조 내로 물이 유입하는 것을 방지하기 위해서는 지하수 차단 및 포장면의 실링(sealing)이 필요하다. 이 중 지하수 차단에는 많은 관심을 기울여 왔으나 강우나 용설로 인한 침투수를 막기 위한 포장면의 실링에는 관심을 덜 기울였다. 그 결과 상당량의 물이 포장 하부구조에 침투하게 되어 결국 여러 형태의 배수설비가 필요하게 된다. 충분한 배수처리를 위하여 설계자가 고려할 기본 배수시스템은 다음과 같다.

(가) 표면배수 (1항)

(나) 지하배수 (2항)

(다) 구조적 배수 (3항)

이와 같은 세 가지 형식의 배수시스템은 단지 자유수에 대하여만 효과적이며, 토사와 세립 자갈 속에 모세관력(capillary force)에 의해서 갇혀 있는 물은 배수시킬 수 없다. 이와 같은 갇혀있는 수분(bound moisture)이 포장재료의 성질에 미치는 영향은 포장구조 설계에서 반드시 고려하여야 할 사항이다. 대부분의 기존 포장은 자유수를 급속히 제거할 수 있는 배수시설을 갖추지 못하였다. 기존의 대부분의 포장설계에서는 재하하중과 포장 내 물에 의한 합성영향에 충분히 견딜 수 있는 강한 포장시공에 역점을 두어왔다. 그러나 이것 만으로서는 포장구조 내의 물로 인한 잠재적 파손가능성을 완전히 배제할 수 없다. 따라서, 포장으로부터 물을 배제하고 급속배수를 위한 부대시설의 필요성이 점차 증대되고 있다. 이와 같은 두 가지 문제를 동시에 해결하는 것은 매우 어렵기 때문에 여기에서는 단지 후자의 경우에 중점을 두고자 한다. 그러나 유지관리측면에서 볼 때 줄눈재를 유지관리하는 이점과 필요성을 인식하여야 하며, 보조기층 내로 물이 침투하는 것이 얼마나 중요한 것인가를 알아야 한다.

표면배수와 지하 배수설계에 관해서는 「제6편 배수」를 적용한다.

포장면 하부 배수설계에 적용되는 기준은 다음과 같다.

(가) 기층이나 보조기층의 침수상태(flooded condition)에서부터 시작하여 배수가 되는 시간과 미리 설정된 일정수준까지 배수가 지속되는 시간 기준

(나) 유입과 유출량에 관한 기준 : 이 기준은 유입률(inflow rate)보다 같거나 큰 비율로 배수가 이루어 지도록 하여 포장구조의 포화상태를 피할 수 있게 함.

자유수를 제거하는 방법은 이 자유수를 연직방향으로 노상에 스며들게 하거나 또는 횡방향의 배수층을 통하여 배수관으로 들어가게 하는 것이다. 일반적으로 실제에 있어서는 이 두 가지 방법을 조합하여 적용하고 있다.

포장 공용성에 미치는 배수의 영향은 포장층의 성질에 미치는 물의 영향과 그 결과 포장의 구조적인 용량에 미치는 영향을 고려하여야 한다. 또한 포장수명에 미치는 배수의 실제의 영향을 고려할 필요가 있다.

AASHTO '86 지침에서는 배수의 영향은 아스팔트 포장에 대해서는 구조적인 상대강도계수를, 콘크리트 포장에 대해서는 하중전달계수를 아래 항목의 함수로 고려하고 있다.

(가) 배수의 질과 포장이 배수되는 데 소요되는 시간

(나) 포장구조가 포화상태에 가까운 함수상태에 놓이는 시간의 백분율

3.4 아스팔트 포장의 설계방법

3.4.1 AASHTO 설계방법

AASHTO 도로서험에서 정립된 서비스 능력-공용성 개념을 토대로 개발된 기본 공용방정식을 적용하여 아스팔트 포장 구조를 설계하는 방법이다.

이 편에서 적용하는 아스팔트 포장 구조설계를 위한 기본설계식은 다음과 같다.

$$\log_{10}(W_{8.2}) = 9.36 \times \log_{10}(\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Gt}}{0.4 + \frac{1,094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} - \log_{10}\left(\frac{1}{R_f}\right) + 0.372(\text{SSV} - 3.0) \quad (3.5)$$

여기서, $W_{8.2}$: 설계공용기간 동안의 8.2ton 등가단축하중의 누가통과횟수

R_f : 지역계수

SSV : 노상 지지력계수

SN : 소요 전체 포장층의 구조적 강도를 표시하는 포장두께지수로서, 아스팔트 포장의 구성 각 층 두께와 상대강도계수의 곱의 합으로 표시된다.

$$\text{SN} = \sum a_i \cdot D_i$$

여기서, a_i : i번째 층의 상대강도계수

D_i : i번째 층의 두께(cm)

$$\text{Gt} = \log_{10}\left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}\right) \text{로 표시되며,}$$

임의 시점(최종 서비스지수를 가지는 시점)에 이어 $P_t = 1.5$ 인 경우의 최대 서비스 능력 손실량에 대한 서비스 능력의 손실량 비율을 나타내는 함수

(1) 설계기본식

식(3.5)는 설계대상 도로의 교통조건을 표시하는 설계기간 동안의 통과되는 8.2ton 등가단축하중의 누가통과횟수($W_{8.2}$)를 포장층의 구조적 성능(structural capacity)을 나타내는 포장두께지수(SN), 포장이 설치되는 지역의 기후조건을 반영하는 지역계수(R_f), 초기 포장구조가 소요 공용기간 후 본격적 보수를 필요로 하는 시점에서 포장서비스 질을 표시하는 최종서비스지수(P_t), 그리고 포장층이 설치되는 노상의 토질 및 지지력 조건을 표시하는 노상지지력계수(SSV)의 함수로 표시된 경험적 방정식으로서, 설계대상 도로가 가지는 이들 다섯 가지 입력조건에 대한 합리적인 평가를 통하여 각각의 입력조건을 대표하는 평균값을 적용하여야 한다.

이 기본식을 이용하여 소요설계 포장두께지수와 구성층 두께를 결정하는 경우에는 반복계산을 하여야 하므로, 컴퓨터를 이용하거나 이를 손쉽게 구할 수 있도록 식(3.5)를 도표(nomograph)로 작성한 것이 <그림 3.10>으로서, 중요 간선 또는 고속도로이거나 초기설계년도 교통량이 1,000대/일 이상인 도로에 적용하는 것이 좋고, <그림 3.11>은 최종 서비스지수가 2.0에 관한 것으로서, 교통량이 적은 저급 도로 또는 교통량이 1,000대/일 미만인 도로에 적용하면 좋다.

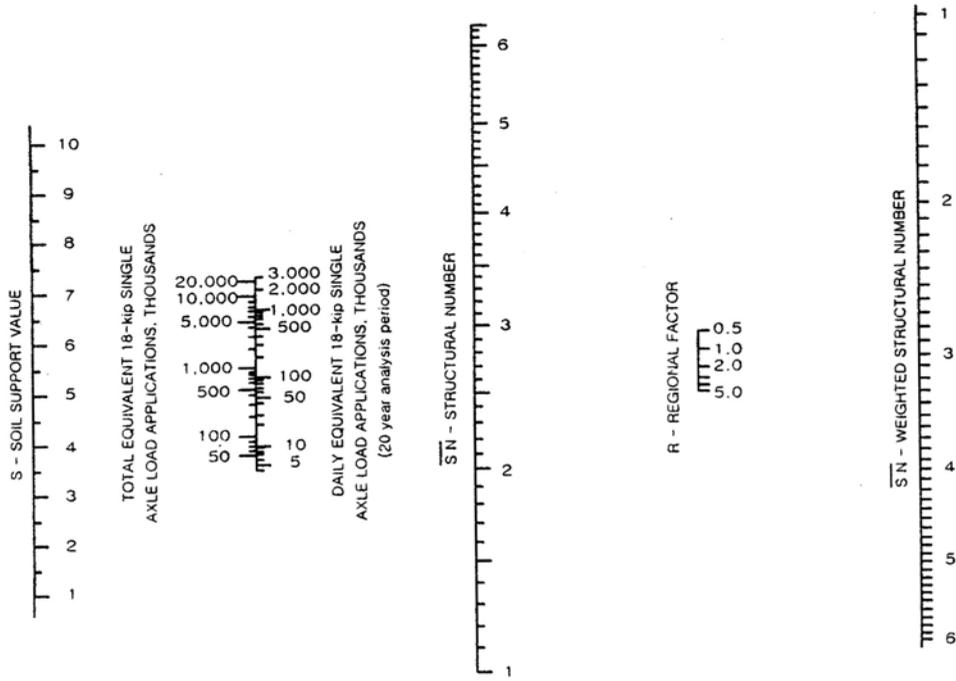
(2) 노상지지력계수(soil support value : SSV)

설계기본식의 입력변수의 하나인 노상지지력계수는 설계포장층이 설치될 노상의 지지강도 또는 지지용량을 표시하는 가상적 척도로서, AASHO 도로시험을 통해서 개발된 지표이다.

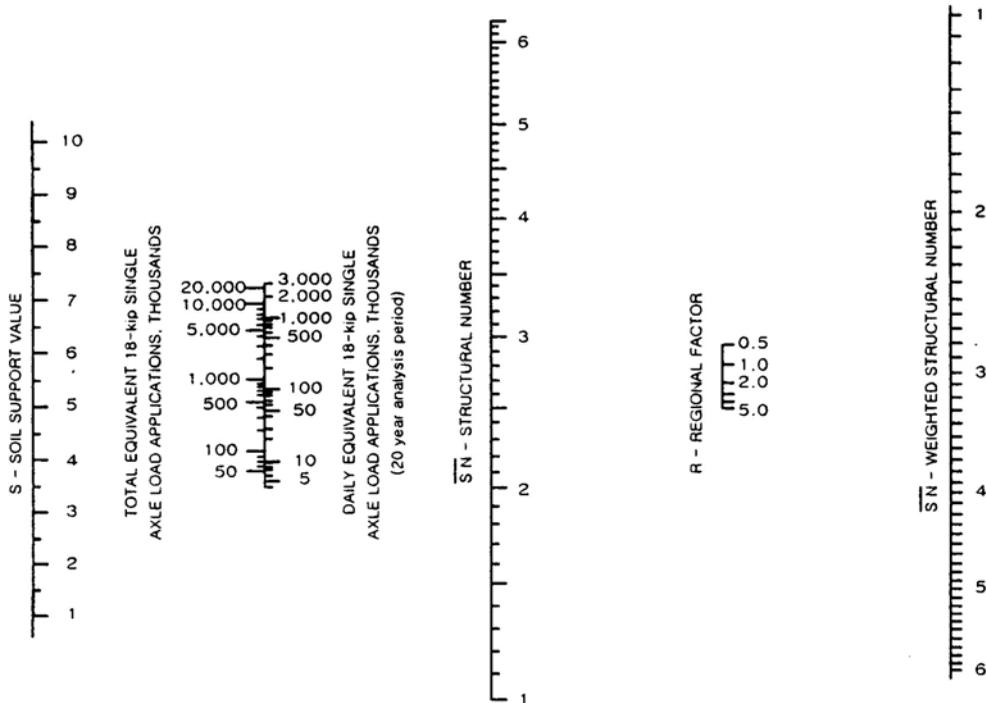
AASHO 도로시험에서의 노상토는 평균 CBR값이 2.89(표준편차=1.0, 변동계수=34.6%), 다짐밀도가 약 80%인 노상조건을 가지며, 플랜트 배합 아스팔트 콘크리트 두께가 112.5mm (즉, SN=0.176×11.25=2.98)이고 최종 서비스지수가 2.0일 때 설계 기본식으로서 8.2ton 단축하중을 2.5회/일(20년 동안 18,250회) 통과시킬 수 있는 지지용량을 가진다. 이것을 SSV=3.0으로 지정하여 평가기준점으로 하였고, AASHO 도로시험에서 포장층에 대한 노상토 영향을 극소화시킬 수 있는 상당한 두께의 쇄석기층을 가지고, 또한 SN=1.98, P=2.0일 때 8.2ton 단축하중을 1,000대/일(20년 동안 7,300,000회) 통과시킬 수 있음이 평가되었다. 이것을 두 번째 기준으로 하여 SSV=10으로 정하였다. 이 두 개의 점, 즉 3.0과 10.0 사이에서 SSV는 로그(log) 직선관계가 성립한다고 가정하여, AASHO 도로시험에서의 노상지지조건과 다른 지지조건에 대한, 8.2ton 등가하중 통과 횟수에 대한 보정식은 다음 관계를 가진다.

$$\log_{10}(W_{8.2}) = \log_{10}(\overline{W}_{8.2}) + 0.372(SSV - 3.0)$$

여기서, $\overline{W}_{8.2}$ = AASHO 도로시험에서 얻어진 경험식으로 산정되는 8.2ton 등가 단축하중 통과 횟수
노상지지력계수 산정은 노상토의 지지강도를 나타내는 CBR, R값, 균지수, 회복탄성계수(resilient modulus : M_R)과 같은 강도정수와 상관시켜서 결정하여야 한다.



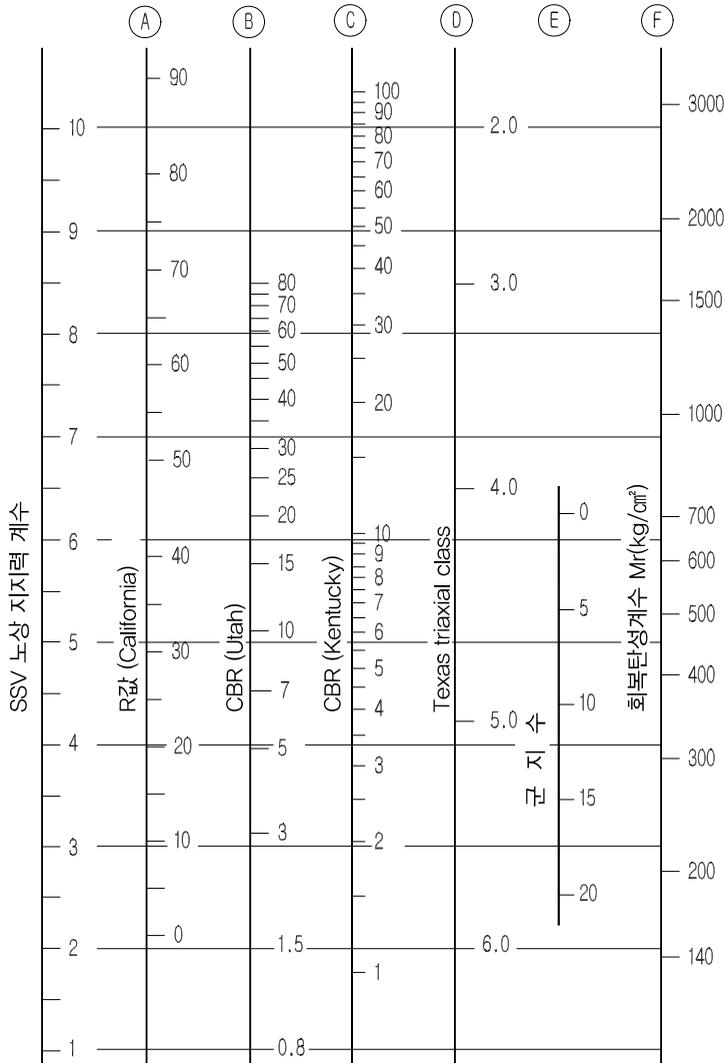
〈그림 3.10〉 아스팔트 포장 구조 설계도표($P_t=2.5$)



〈그림 3.11〉 아스팔트 포장 구조 설계도표($P_t=2.0$)

현재까지 가장 합리적인 관계식은 없으며, 이 편에서는 실무에 적용할 수 있는 관계도표로서 <그림 3.12>를 채택하였다. <그림 3.12>의 각 스케일에 대한 적용시험법을 설명하면 다음과 같다.

(가) A스케일, R값(캘리포니아) - AASHTO 시험법 T173에 의한 캘리포니아 방법으로 관입에는 1.69MPa(240psi)를 채용한다.



<그림 3.12> SSV-M_R 및 토질 특성 값의 관계도

(나) B스케일, CBR(유타주) - 유타주에서 연구결과 노상토 지지력 값과의 관계를 구한 것이며, 시험방법의 개요는 다음과 같다. (AASHTO T193)

- ① 공시체는 AASHTO 시험법 T99로 얻어진 최적함수비 또는 그 부근에서 다져 만든다.
- ② 공시체는 지름 150mm 몰드를 사용하여 300mm 높이에서 2.5kg 해머로 다져 만든다.
- ③ 공시체는 3층으로 다지되 각각 10, 30, 65회 다진다.
- ④ 관입시험은 4일간 수침한 후 실시한다.

(다) C스케일, CBR(켄터키) - 켄터키에서 개발한 CBR법에 의한 것으로, 시험법의 개요는 다음과 같다.

이 CBR값은 부순돌 기층에 적용된다.

(라) D스케일, CBR(텍사스) - 이는 안정처리기층이 사용될 때 적용되는 CBR 값이다.

- ① 공시체는 AASHTO 시험법 T99로 얻어진 최적함수비 또는 그 부근에서 다져 만든다.
- ② 공시체는 450mm 높이에서 4.5kg 해머로 다져 만든다.
- ③ 공시체는 5층으로 다짐된 각 층을 25회 씩 다진다.
- ④ 관입시험은 4일 간 수침한 후 실시한다.

(마) E스케일, 군지수 - 이 계수는 캘리포니아의 R값과 군지수(群指數)의 비교시험에서 얻어진 것이다.

(3) 8.2ton 등가단축하중 환산계수와 누가 통과횟수 산정

‘3.4.2 교통’에 기술된 절차에 의해서 8.2ton 등가단축하중 누가 통과횟수를 산정하고, 이때 적용되는 차종별 8.2ton 등가단축하중 환산계수(ESALF)는 포장두께지수(SN)와 축형식(단축, 복축)에 따른 소요 축하중에 대한 8.2ton 등가단축하중 환산계수는 <표 3.28>을 적용하여 산정한다.

(4) 지역계수(regional factor : R_f)

지역계수는 포장이 설치되는 지역의 기후조건을 반영하기 위한 척도로서, 이것은 노상토의 온도와 함수량의 연간변화를 고려하는 가중 평균값으로서, 0~5 사이의 계수로서 정의되며, 지역계수 값은 연중 다음과 같은 대표적 상태를 나타내는 계수를 월 단위 기준으로 연간 가중 평균하여 산정한다.

- ① 노상토가 130mm 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

우리나라에서 실무에서 관용적 일반 기준값은 다음과 같다.

- ④ 대전 이남지역 : 1.5
- ⑤ 서울 북부지역 및 기타 표고 500m 이상 지역 : 2.5
- ⑥ 기타지역 : 2.0

〈표 3.28〉 차종, 포장구조 및 도로등급별 평균 ESALF 산정결과

차종	차축구성	전체 평균 ESALF		고속국도 ESALF		일반국도+지방도평균 ESALF				
		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
		3A10T	2.047		3.417		1.472	2.407	2.392	4.022
트랙터+세미트레일러	4A 이하	1,690	2.130	2,320	3.266	1,734	2,399	1,547	2,068	
		1,815		3,072		1,292	2,139	2,422	4,156	
		0,858		1,533		0,471	0,756	1,676	3,173	
트럭트레일러	5A 이하	3,288		4,472		2,977	4,022	3,768	5,165	

※ 아스팔트 포장에 대한 차종별 8.2톤 등가단축하중계수

차종	차축구성	Pt	SN						평균	
			1	2	3	4	5	6		
승용차	2A4T	2.0	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		2.5	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	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

차 종		차축구성	Pt	SN							
				1	2	3	4	5	6	평균	
트럭	소형	2A4T	2.0	0.005	0.005	0.004	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	0.004
			3.0	0.006	0.007	0.005	0.004	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	
트레일러 + 세미트레일러	4A 이하	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		
	6A 이상	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		
트럭 트레일러	5A 이하	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		

※ 콘크리트 포장에 대한 차종별 8.2톤 등가단축하중계수

차 종	차축 구성	Pt	D(cm)										
			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	0.0001
		2.5	0.0002	0.0002	0.0001	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	0.0001	0.0002

차 종	차축 구성	Pt	D(cm)											
			15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	평균		
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	0.001
			2.5	0.001	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	0.001
	소형	2A6T	2.0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.001
			2.5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0005	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	0.0005	0.001
	보통	2A6T	2.0	0.843	0.838	0.837	0.836	0.837	0.837	0.837	0.837	0.837	0.837	0.838
			2.5	0.852	0.841	0.836	0.836	0.836	0.837	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	0.837	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	0.004
			2.5	0.004	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	0.004
	보통	2A6T	2.0	0.621	0.615	0.617	0.622	0.627	0.629	0.631	0.632	0.632	0.632	0.625
			2.5	0.609	0.595	0.599	0.610	0.619	0.625	0.628	0.630	0.631	0.631	0.616
			3.0	0.597	0.572	0.579	0.596	0.610	0.619	0.625	0.628	0.630	0.630	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	
트랙터 + 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	
트럭 트레일러	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	

〈표 3.29〉 차종 분류

차 종 별	차축형태	해 당 차 량 명
승 용 차	2A4T	승용차(세단, wagon, 쉑 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	타이탄 트럭, 현대 포터, 현대 카고트럭, 8톤 덤프트럭
트럭-대형	3A10T	11톤 카고트럭, 탱크로리, 트럭, 10.5톤 덤프트럭, 15톤 덤프트럭
세미트레일러	4A 이하	동아 39톤 트랙터 + 동아 10톤 트레일러 현대 39톤 트랙터 + 동아 10톤 트레일러
세미트레일러	5A	동아 53톤 트랙터 + 40 컨테이너 샤시 현대 51톤 트랙터 + 컨테이너 트레일러 동아 53톤 트랙터 + 지상식 트레일러
세미트레일러	6A 이상	트랙터와 트레일러 조합
트럭트레일러	5A 이하	현대 풀카고 트레일러
트럭트레일러	6A 이상	트럭과 트레일러의 조합

(5) 상대강도계수(layer coefficient : a_i)

설계의 기본이 되는 식(3.5)나 〈그림 3.10〉 또는 〈그림 3.11〉에 의하여 설계노선에 대한 8.2ton 등가 단축하중 누가 통과예상 횡수($W_{8.2}$), 노상지지력계수(SSV), 지역계수(R_f)를 입력하여 결정되는 포장두께 지수(SN)는 다음과 같이 층별 상대강도계수와 층두께의 함수로 표시된다.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

여기서, a_1, a_2, a_3 : 표층, 기층, 보조기층의 각각의 상대강도계수

D_1, D_2, D_3 : 표층, 기층, 보조기층 각각의 설계두께(cm)

포장두께지수는 실질적인 포장구성 각층의 두께로 변환시키기 위해서는 포장 각 층의 재료특성을 나타내는 강도지수(CBR, $R_{값}$, 회복탄성계수(M_R))와 상관관계로부터 산정하여야 한다.

현재에 있어, 우리나라 층재료 물성에 대한 이용할 수 있는 대표적 시험값이 확립되어 있지 않은 관계로 설계에 적용될 수 있는 외국에서 시험된 대표적 재료에 대한 대응 상대강도계수 산정기준을 제시하면 다음과 같다.

(가) 아스팔트 콘크리트 표층의 상대강도계수(a_1)

〈그림 3.13〉은 20°C에서의 밀입도의 아스팔트 콘크리트 회복탄성계수(E_{ac})와 상대강도계수의 상관관계를 나타낸 것이고, 그림3.15는 상대강도계수 그리고 아스팔트 콘크리트의 회복탄성계수 및 마찰안정도의 관계를 표시하는 도표(nomograph)이다. 이 도표에서 아스팔트 콘크리트 회복탄성계수가 32,000kg/cm² (450,000psi) 또는 상대강도계수가 0.173 이상인 경우에는 주의를 요하여야 한다.

회복탄성계수가 클수록 아스팔트 콘크리트가 강하고, 힘에 대한 저항력은 증대되지만, 온도나 피로 균열이 발생할 확률이 커진다.

(나) 입상기층재료의 상대강도계수(a_2)

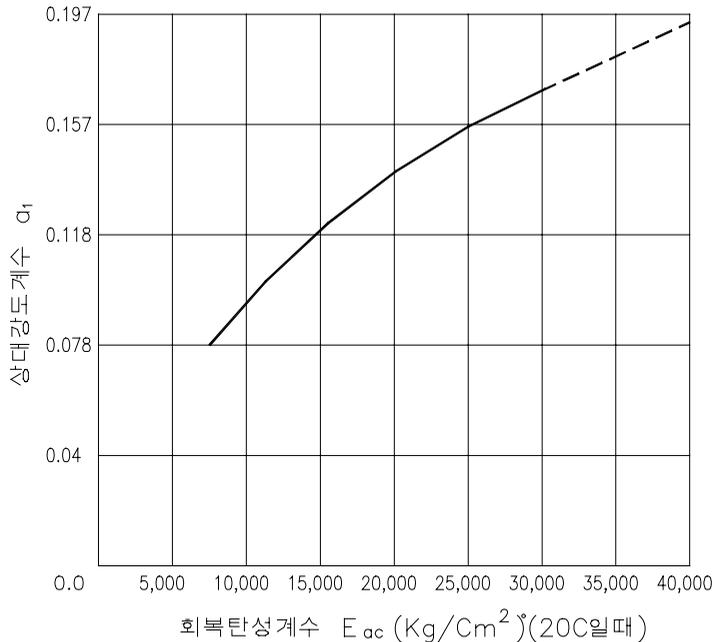
〈그림 3.13〉은 입상기층재료에 관련된 강도지수(CBR, R값, M_R 등)로부터 대응 상대강도계수를 산정할 수 있는 상관도표로서, 미국의 4개 기관에서 입상기층 재료에 대한 실험결과를 토대로 하고, 다음과 같은 AASHO 도로시험에서 적용한 값을 기준으로 하여 작성한 것이다.

$$a_2 = 0.055$$

$$E_{SB} = 2,100\text{kg/cm}^2 \text{ (30,000psi)}$$

$$\text{CBR} = 100 \text{ (개략 추정값)}$$

$$R_{값} = 85 \text{ (개략 추정값)}$$



〈그림 3.13〉 아스팔트 콘크리트 표층의 상대강도계수(a_1)-회복탄성계수(E_{ac})-상관도표

(다) 입상보조기층재료의 상대강도 계수(a_3)

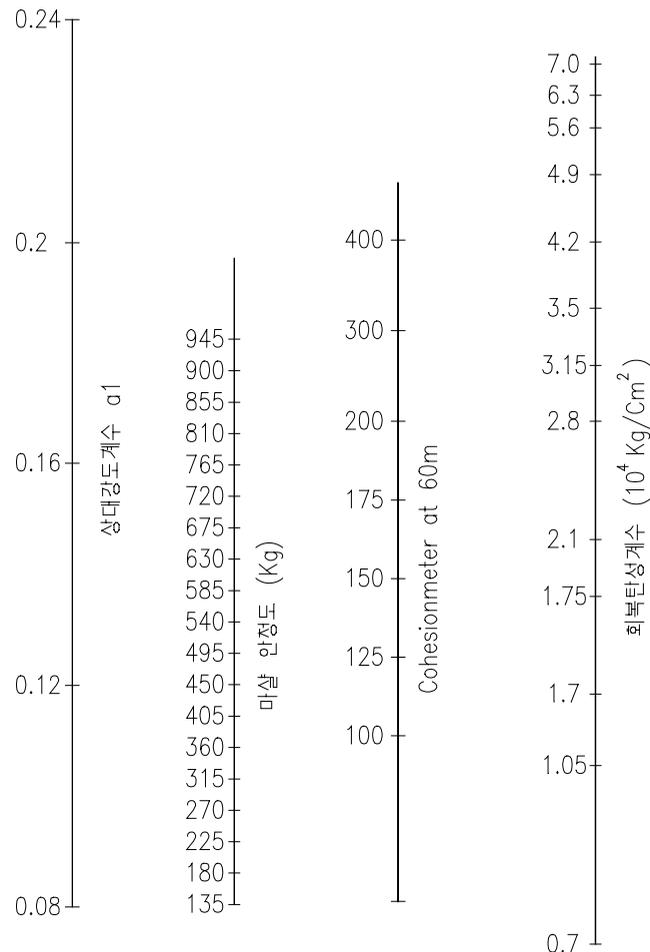
〈그림 3.16〉은 입상보조기층재료에 관련된 강도지수(CBR, R값, M_R 등)로부터 대응 상대강도계수를 산정할 수 있는 상관도표로서, 미국의 4개 기관에서 입상 보조기층재료에 대한 실험결과를 토대로 하고, 다음과 같은 AASHO 도로시험에서 적용한 값을 기준으로 작성된 것이다.

$$a_3 = 0.043$$

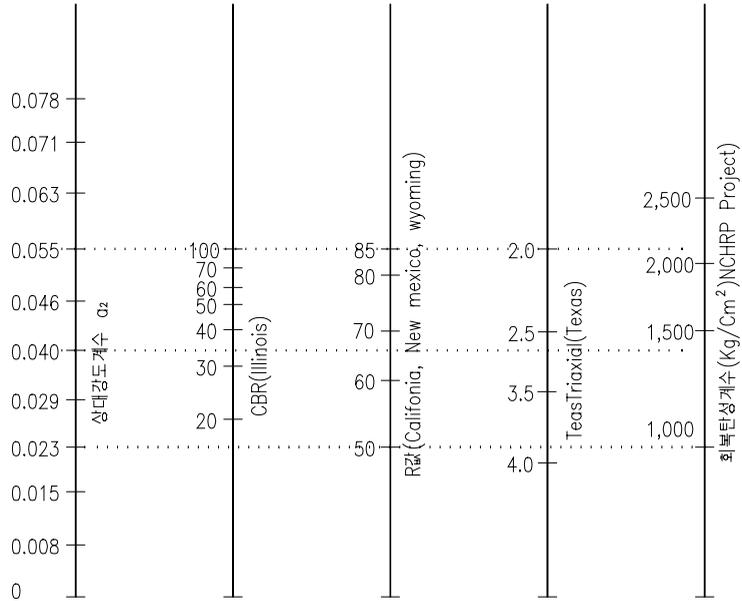
$$E_{SB} = 1,000\text{kg/cm}^2 \quad (15,000\text{psi})$$

$$\text{CBR} = 30 \text{ (개략 추정값)}$$

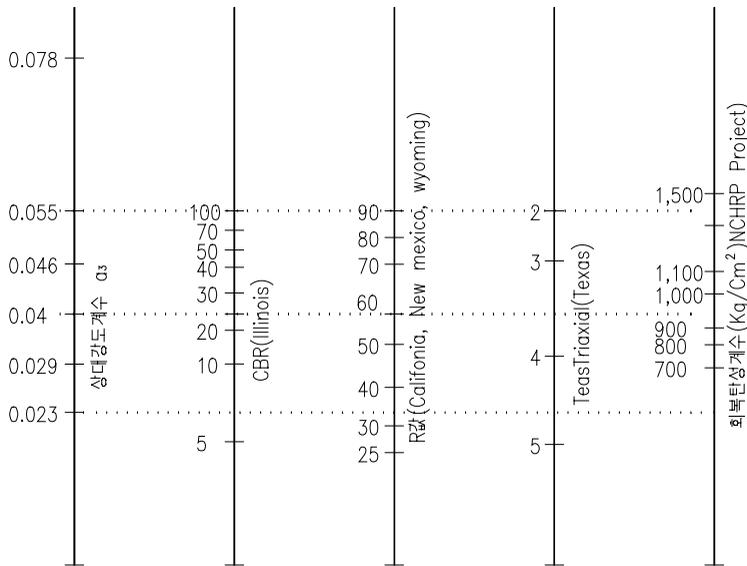
$$\text{R값} = 60 \text{ (개략 추정값)}$$



〈그림 3.14〉 표층 재료의 강도에 따른 a_1 의 변동



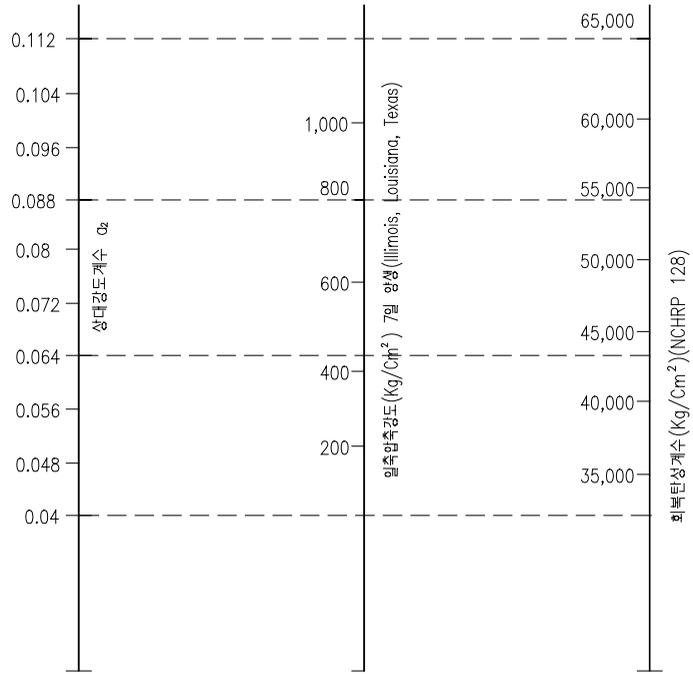
〈그림 3.15〉 입상기층재료의 강도에 따른 a_2 의 변동



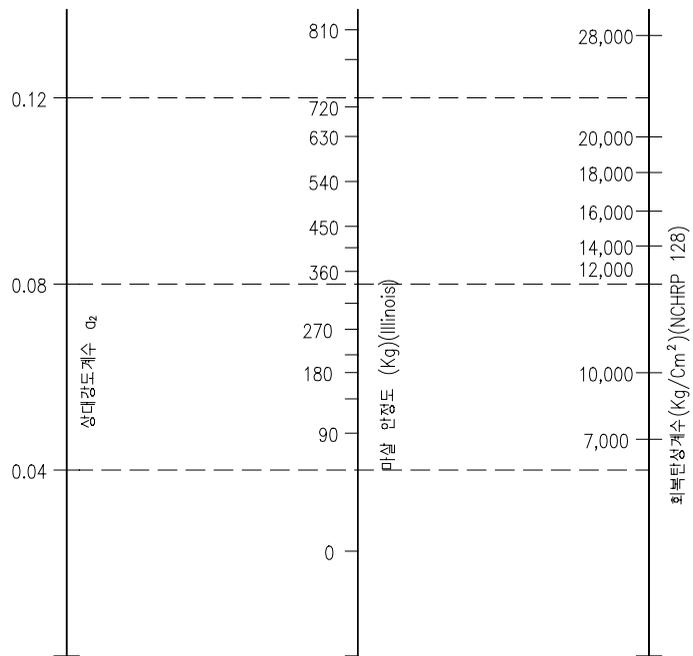
〈그림 3.16〉 입상 보조기층재료의 강도에 따른 a_3 의 변동

(라) 시멘트 안정처리기층의 상대강도 계수

〈그림 3.17〉은 시멘트 안정처리기층의 회복탄성계수(E_{SB}) 또는 7일 양생 일축압축강도로부터 시멘트 안정처리기층 재료에 대한 상대강도계수를 산정할 수 있는 도표이다.



〈그림 3.17〉 시멘트 안정처리기층 재료의 강도에 따른 α_2 의 변동



〈그림 3.18〉 역청 안정처리기층 재료의 강도에 따른 α_2 의 변동

(마) 역청 안정처리층의 상대강도계수

〈그림 3.18〉은 역청 안정처리층의 회복탄성계수(E_{SB})와 마찰안정도로부터 역청 안정처리층의 상대강도계수를 산정할 수 있는 도표이다.

(바) 포장 각층 재료별 적용 표준 상대강도계수

〈표 3.30〉은 한국도로공사 제정(1998) '건설공사 품질시험 편람'에 규정된 포장구성 각층에 사용되는 재료품질조건을 기준으로 하여 포장 각층 두께산정에 일반적으로 적용될 수 있는 상대강도계수를 표시한 것이다.

(6) 층포장 두께 개념 설계에 의한 포장두께 산정

아스팔트 포장의 구조는 층으로 구성되므로 층별 개념(multilayered system)에 의하여 〈그림 3.19〉에 표시된 절차에 따라서 층별 두께를 결정하여야 한다. 우선 노상면에서 필요한 SN값을 기본설계식 또는 적용도표(〈그림 3.10〉 또는 〈그림 3.11〉)로 산정하고, 동일한 방법으로 각 층의 상면에 적용할 수 있는 지지력 또는 강도(나항 참조)를 이용하여 보조기층과 기층에 필요한 SN값을 산정한다. 각 층에 요구되는 계산 SN값의 차이로부터 소요층의 적정두께를 결정할 수 있다.

예를 들면, 보조기층재료의 최대 허용포장두께지수는 노상면에서 필요한 SN값에서 보조기층 상면에서 필요한 SN값을 뺀 값과 같다. 이와 같은 방법으로 다른 층의 허용 SN값을 결정할 수 있고, 각 층의 두께는 각 층의 소요재료의 상대강도 계수(마 항 참조)를 고려하여 〈그림 3.19〉에 따라 결정한다.

그러나 회복탄성계수가 $2,800\text{kg/cm}^2$ 이상인 보조기층이나 기층위에 놓이는 층의 허용 SN을 결정하는데 이 항에서 제시된 방법을 이용할 경우 주의를 요한다. 각층 두께는 mm 단위로 결정하고, 비효율적인 설계를 피하기 위하여 시공과 유지관리에 따른 비용효과를 고려해서 결정하여야 한다. 예를 들면, 경제적인 측면에서 고려하여 볼 때 만일, 제2층에 대한 제1층의 비용 비율이 각 층의 상대강도계수 비율보다 낮다면, 그때는 기층두께를 최소로 하여야 경제적인 설계가 된다.

일반적으로 어느 기준 두께보다도 얇은 표층, 기층 또는 보조기층을 포설하는 것은 비실용적이고 비경제적일수 있기 때문에 각 포장층은 〈표 3.31〉에 주어지는 값 이상으로 하는 것이 일반적으로 바람직하다.

〈표 3.31〉의 최소 기준값은 지역적 여건 또는 각 설계기관의 정책에 좌우될 수 있으므로 적용지역의 여건에 알맞게 조정하여 선택할 수 있다.

〈표 3.30〉 포장재료별 대표적 상대강도계수 적용범위

구 분	재료종류		재료품질조건			상대강도계수 (cm^{-1})			비 고
			마 살 안정도 (MS),kg	CBR (%)	일축압축 강도(σ) kg/cm ²	a ₁	a ₂	a ₃	
표 층	아스팔트 콘크리트 표층 (AC)		≥350			0,106			MS=750kg 을 표준하면 좋다.
			500~1000			0,124~0,176			
			750			0,157			
기	입상 재료 기층	석산쇄석	≥80				0,051~0,056		PI≤4
		강모래+파쇄자갈							
		선별(강모래+하천자갈)							
층	아스팔트 안정처리기층 (ATB)		≥500				0,096~0,132		PI≤9
	시멘트 안정처 리기층 (CTB)	아스팔트 포장용			≥30		0,072~0,132		PI≤9
		콘크리트 포장용			≥20		0,072		
빈배합 콘크리트				≥50		0,079~0,081			
보 조 기 층	선별 (강모래+강자갈)			≥30				0,043	PI≤6
				≥50				0,048	
				≥70				0,050	
	석 산 쇄 석			≥80				0,052	PI≤10
	석회 안정처리				≥7			0,044~0,048	
	슬래브 혼화재 안정처리				8~12			0,032	
시멘트 안정처리			≥60	8~12				0,048~0,050	PI≤8
덧 씩 우 기 를 고 려 하 는 경 우	AC 표층						0,096~0,155		
	콘크리트 포 장	양호					0,16		
		손상						0,08~0,14	



〈그림 3.19〉 층 해석 방법에 의한 포장층 두께 결정순서

〈표 3.31〉 포장층별 최소두께

종 류	두께 (cm)	비 고
아스팔트 콘크리트 표층	5	
아스팔트 안정처리기층(보조기층 위)	5	
빈배합 콘크리트 보조기층	15	
아스팔트 콘크리트 보조기층	10	
입상재료기층	15	
쇄석보조기층		
모래/자갈 선택층 위에 부설되는 경우	15	
모래 선택층 위에 부설되는 경우	20	
비선별 모래/자갈 보조기층	20	
슬래그 보조기층	20	
시멘트 또는 토사 약액처리 보조기층	20	

동상방지층 생략 구간(흙쌓기 높이 2m 이상)에서도 층별 개념(multilayered system)에 의하여 〈그림 3.19〉에 표시된 절차에 따라서 층별 두께를 결정하여야 한다.

(7) 단계건설(stage construction)

포장설계에 있어서 예상 공용기간이 설계 해석기간에 이르지 못하는 경우에는 보수 또는 덧씌우기를 고려한 단계건설을 계획하여야 한다.

단계건설의 대안은 각 대안에 대한 최소 공용기간 상의 제약조건들을 검토하고, 수명-주기 경제분석에 의하여 실시하는 것이 좋다. 특히, 해석기간이 20년 이상인 경우에 실질적인 최대공용기간이 20년 미만이라면 설계 시 복구(rehabilitation)가 계획된 단계건설을 고려하여야 할 것이다.

수명-주기 경제분석이 필요할 경우 더욱 단계건설을 고려하여야 하며, 이에 따라서 초기 포장구조의 두께설계와 추후 덧씌우기 두께를 적절히 조정할 수 있게 된다.

(8) 설계 예

지방부 4차로 도로의 아스팔트포장 구조를 설계하려 한다.

자료 : 설계공용기간 = 10년

노상토 설계 CBR = 10

최종서비스지수 (P_f) = 2.5

지역계수(R_f) = 2.0

공용 개시 후 양방향 일교통량은 〈표 3.32〉의 (1)란과 같고, 교통량의 연평균 증가율은 6%로 본다.

〈표 3.32〉 설계 공용기간의 양방향 누가 8.2톤 등가단축하중 통과횟수 계산표

차 종 (〈표 3.29〉 참조)	(1) 공용 개시 직후의 양방향 일교통량	(2) 교통량 증가계수 (비고 참조)	(3) 설계공용 기간 교통량 (1)×365× (2)	(4) 등가단축 하중계수 (〈표 2.28〉 참조)	양방향 등가 단축하중 통과횟수 (3)×(4)	비 고
승 용 차	1,000	13.2	4,818,000	0.0001	482	• 연증가율 (q)=0.06 • 설계공용년수 (n)=10 • 증가계수 = $\frac{(1+0.06)^{10} - 1}{0.06}$ = 13.2
버 스	소형(2A6T)	130	626,340	0.001	626	
	보통(2A6T)	420	2,023,560	0.849	1,718,002	
트 렉	보통(2A6T)	100	481,800	0.612	294,862	
	대형(3A10T)	200	963,600	2.048	1,973,453	
세미트레일러(5A)	50	13.2	240,900	1.810	463,029	
합 계					4,450,454	= 4.45×10 ⁶

(가) 〈표 3.32〉에서 계산된 결과를 이용하여 설계차로 당 ESAL 교통량 ($W_{8.2}$)는 다음과 같이 계산된다.

$$W_{8.2} = DD \times DL \times W = 0.5 \times 0.8 \times 4.45 \times 10^6 = 1.8 \times 10^6$$

지지력(SSV)이 5.10이고 보조기층을 입상재료(막분순돌 + 막자갈, 양질의 산자갈, 크러셔런 슬래그 등의 조립재료)를 사용하는 경우, 설계 CBR 값이 50 이상이어야 하므로, 이에 대응되는 보조기층 상면의 지지력계수는 〈그림 3.12〉로부터 7.57이 얻어진다. 또한, 기층을 입도조정기층 재료를 쓰는 경우, 설계 CBR값이 80 이상이어야 하므로, 이것에 대응되는 기층 상면에서 지지력계수는 〈그림 3.12〉으로부터 8.54가 된다.

(나) (가)에서 계산된 각 층의 상면에서 지지력계수(SSV)와 $W_{8.2}$ 값에 대응되는 소요 SN 값은 〈그림 3.10〉으로부터 다음과 같이 계산된다.

위 치	소요 지지력(SSV)	소요 SN [*]	비 고
기 층 상 면	8.54	2.16	$SN_1^* = a_1 D_1^*$
보조기층 상면	7.57	2.56	$SN_2^* = a_1 D_1^* + a_2 D_2^*$
노 상 면	5.10	3.50	$SN_3^* = a_1 D_1^* + a_2 D_2^* + a_3 D_3^*$

(다) 소요 포장두께지수(SN) 관계식에 필요한 상대강도계수(a_1)를 <그림 3.14>~<그림 3.18>, <표 3.30>으로부터 다음과 같이 결정할 수 있다.

층 구 분	층 재 료	상대강도 계수(a_1)	비 고
표 층	A, C.	0.157	MS > 750kg(650kg 경우)
기 층	쇄석 기층 B, B.	0.051 0.096	CBR > 80 MS > 500kg
보 조 기 층	강모래 + 자갈	0.048	CBR > 50

(라) 기층에 입상재료를 사용할 경우 다음과 같이 층별 소요두께를 산정할 수 있다.

층 구 분	층별 소요 SN(ΔSN^*)	층별 소요 두께(D_i^*), cm	비 고
표 층	2.16	13.8	$2.16 \div 0.157$
기 층	0.40(2.56-2.16)	7.8	$0.40 \div 0.051$
보 조 기 층	0.94(3.50-2.56)	19.6	$0.94 \div 0.048$

기층에 BB를 사용하는 경우, 다음과 같이 층별 소요두께를 산정할 수 있다.

층 구 분	층별 소요 SN(ΔSN^*)	층별 소요두께(D_i^*), cm	비 고
표 층	1.57	10.0	$10(\text{가정}) \times 0.157$
기 층	0.99(2.56-1.57)	10.3	$0.99 \div 0.096$
보 조 기 층	0.94(3.50-2.56)	19.6	$0.94 \div 0.048$

(마) (라)에서 계산한 두 가지 단면구조 대안 중 기층을 BB로 하는 것이 시공성 또는 경제성 측면에서 합리적이라 보고 설계단면을 <그림 3.20>과 같이 결정할 수 있다.



<그림 3.20> 포장단면 설계 예

3.4.2 T_A 설계 방법

(1) 교통량 구분

설계에 사용하는 교통 조건은 5년 후 대형차의 1일 한 방향 당의 교통량을 추정하여 <표 3.33>에 표시한 바와 같이 5종으로 구분하였다. 여기서 대형차라 하는 것은 화물자동차, 버스, 특수 자동차이다.

<표 3.33> 교통량의 구분

교통량의 구분	대형차 교통량 (대/일/방향)	설계 운하중 (톤)
L	100 미만	2,08
A	100 ~ 250 미만	3,11
B	250 ~ 1,000 미만	5,00
C	1,000 ~ 3,000 미만	8,13
D	3,000 이상	12,16

대형차 교통량이 많을 때와 중량급 운하중이 많을 때에는 설계교통량조사 결과로부터 설계운하중을 구하여 설계한다. 또, 1방향 3차로 이상의 도로에서는 그 교통량의 80% 정도를 사용하여도 좋다.

(2) 포장두께의 설계

설계 노상 CBR과 <표 3.33>의 교통량 구분을 이용하여 <표 3.34>에 주어진 목표로 하는 T_A 값보다 작지 않고, 전 두께도 <표 3.34>에서 목표로 하는 총 두께보다 1/5 이상 감소하지 않도록 각 층의 포장두께를 결정한다.

노상토의 설계 CBR이 2 이상 3미 만일 때는 노상의 일부로서 두께 150~300mm의 차단층을 설치한다. 이 때 포장두께의 결정에는 차단층을 제외한 노상토의 설계 CBR을 사용한다.

동결융해를 받는 한랭지방에서는 동상방지대책상 필요한 치환심도는 경험으로 알 수 있을 때는 그대로 적용하고, 알 수 없을 경우에는 동결 깊이가 큰 지방에서 실측한 기온자료에서 구한 이론적인 최대 동결심도의 70%의 값을 치환깊이로 한다.

‘3.4.4 환경영향’에 제시된 절차에 의해서 설계지역의 동결깊이를 산정하여 <표 3.34>에 표시하는 목표 총 두께 또는 전 두께에 필요한 차단층의 두께를 더한 것과 비교하여서, 만일 동결깊이가 큰 경우에는 동상을 잘 일으키지 않는 재료로 그 두께의 차이만큼 두껍게 한다. 이 부분은 동상방지층으로서 노상 토의 일부로 생각해서 T_A의 계산에는 포함시키지 않는다.

〈표 3.34〉 T_A와 포장 전 두께의 목표값 (단위 : cm)

설 계 C B R	L 교 통		A 교 통		B 교 통		C 교 통		D 교 통	
	T _A	전 두께								
2	17	52	21	61	29	74	39	90	51	105
3	15	41	19	48	26	58	35	70	45	83
4	14	35	18	41	24	49	32	59	41	70
6	12	27	16	32	21	38	28	47	37	55
8	11	23	14	27	19	32	26	39	34	46
12	-	-	13	21	17	26	23	31	30	36
20 이상	-	-	-	-	-	-	20	23	26	27

- 주 1) T_A는 포장을 표층용 가열 아스팔트 혼합물로 환산한 두께이다.
- 주 2) 설계 CBR 4란 4 이상 6 미만을 말한다.
- 주 3) 노상이 깊이방향으로 다른 경우에 설계 CBR이 3 미만이라도 최상의 CBR이 3 이상이고 두께가 300mm 이상이면 차단층을 고려할 필요가 없다.

〈표 3.34〉에서의 포장 전 두께(H)와 가열 아스팔트 혼합물 환산두께(T_A)는 다음의 식 (3.6)과 식(3.7)에 의해서 산정된 것이다.

$$H = \frac{2.80 N^{0.1}}{CBR^{0.6}} \quad (3.6)$$

$$T_A = \frac{3.84 N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \quad (3.7)$$

여기서, H : 포장의 총 두께 (cm)
 T_A : 포장 총 단면을 표층용 가열아스팔트혼합물로 설계했을 때의 소요 두께(cm)
 N : 공용예정기간(10년) 동안 일방향 설계윤하중 누기통과횟수를 5ton 윤하중으로 환산한 값으로서, 〈표 3.33〉의 설계 윤하중을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N = \left(\frac{P}{5}\right)^4 \times 10^6$$

여기서, P : 〈표 3.33〉에 주어진 교통량 구분별 설계윤하중

(3) 포장의 구성

각 층 구성을 결정하는 데에는 〈표 3.35〉와 〈표 3.36〉을 참고하여 적당한 구성으로 만들고, 이에 상당한 T_A와 전 두께를 계산한다.

계산된 T_A와 전 두께 값이 〈표 3.34〉의 목표값을 비교하여 T_A가 이것보다 작을 때나 총 두께가 1/5 이상 감소하는 경우에는 구성을 변화시켜 다시 계산하여 최종적인 구성을 한다.

〈표 3.35〉 표층과 중간층의 최소두께

교통량 구분	표층 + 중간층의 최소두께 (cm)
L, A	5
B	10 (5)
C	15 (10)
D	20 (15)

주) 괄호 안은 기층에 역청안정처리를 사용할 경우의 최소두께이다.

T_A 의 계산은 다음 식에 의한다.

$$T_A = a_1T_1 + a_2T_2 + \dots + a_nT_n \quad (3.8)$$

여기서, a_1, a_2, \dots, a_n : 등치환산계수 (等値換算係數) 〈표 3.36〉

〈표 3.36〉의 등치환산계수는 각 공법, 재료의 1cm 두께가 표층용 가열아스팔트혼합물 몇 cm에 상당하는가를 나타내는 값이다. 따라서, 식 (3.8)의 a_nT_n 은 n번째 층을 표층용 가열아스팔트혼합물로 환산한 두께로 한다.

가령 입도조정 1cm는 가열아스팔트혼합물 0.35cm에 상당하고, 20cm의 입도 조정은 $0.35 \times 20 = 7.0$ cm의 가열아스팔트혼합물 두께에 해당한다.

기층에 사용하는 시멘트안정처리층의 최소두께는 L, A, B교통에서 15cm, C, D교통에서 20cm가 좋다. 또한 L, A, B 교통에는 경험상 〈표 3.36〉의 재료 품질조건 및 등치 환산계수를 하한값으로 쓰는 일이 있다.

〈표 3.36〉 T_A 의 계산에 사용하는 등치환산계수

사용하는 곳	공 법 · 재 료	재료 품질 조건	등치환산계수	
표층 중간층	표층, 중간층용 가열 아스팔트 혼합물	500kg 이상	1.00	
기층	역청 안정 처리	안정도 350kg 이상	0.80	
		안정도 250 ~ 350kg	0.65	
	시멘트 안정 처리	일축 압축강도 30kg/cm^2	0.55	
	입도 조정	수정 CBR 80 이상	0.35	
	침 투 식		0.55	
	고로 슬래그		입도조정 고로 슬래그 부순돌(MS)	0.35
			수경성 고로 슬래그 부순돌(HMS)	0.55

사용하는 곳	공 법 · 재 료	재료 품질 조건	등치환산계수
보조기층	막부순돌, 자갈, 모래 등	수정 CBR 30 이상	0.25
		수정 CBR 20~30	0.25
	시멘트 안정 처리	일축 압축강도(7일), 10kg/cm ²	0.25
	석회 안정 처리	일축 압축강도(10일), 7kg/cm ²	0.25
	고로 슬래그	고로 슬래그 크러셔런(CS)	0.25

시가지 등의 포장을 할 경우, 전 두께를 확보하는 것이 곤란하고, 노상의 설계 CBR이 50이상인 경우에는 목표로 하는 T_A는 모두 가열 아스팔트 혼합물로 하는 것이 좋다.

〈표 3.36〉에 표시된 소요 처리 공법, 재료 조건 이외의 것의 등치환산계수는 충분한 경험에 의하여 얻어지는 것이어야 한다.

(설계 예)

C 교통의 도로에서 노상토의 설계 CBR은 30이다. 인근 지역에 좋은 쇄석과 산모래가 있다. 쇄석에 산모래를 가하여 입도조정한 것의 수정 CBR은 80, 쇄석의 수정 CBR은 30이다. 쇄석에 역청 안정처리를 한 것의 마찰 안정도는 550kg, 시멘트 안정처리를 한 것의 일축 압축강도는 30kg/cm²이다.

〈표 3.34〉에서 목표값은 T_A = 35cm, 총두께(H) = 70cm이다. 따라서, 총두께의 최소값은, 70 × (1 - 1/5) = 56cm로 된다.

표층 + 중간층의 최소값은 〈표 3.35〉에 의하여 기층에 역청안정처리를 한 경우 10cm, 기타의 경우에는 15cm이다.

(가) 〈그림 3.21〉(a)의 경우에 대하여 T_A 및 H를 계산하면

$$T_A = 1.0 \times 10 + 0.8 \times 12 + 0.35 \times 25 + 0.25 \times 30 = 35.9\text{cm}$$

$$H = 10 + 12 + 25 + 30 = 77\text{cm}$$

로 되어 〈표 3.34〉의 목표값을 만족한다.

(나) 기층에 시멘트안정처리를 사용할 경우에는 〈표 3.35〉에 의하여, 표층 + 중간층의 두께는 15cm, 시멘트안정처리의 두께는 20cm가 필요하므로, T_A의 값은 1.0 × 15 + 0.55 × 20 = 26cm로 되어, 35 - 26 = 9cm가 입도조정쇄석 및 막자갈에 필요한 T_A로 된다. 막자갈의 두께를 40cm로 하면 단면 구성은 〈그림 3.21〉(b)와 같이 이 포장의 T_A 및 H는 다음과 같다.

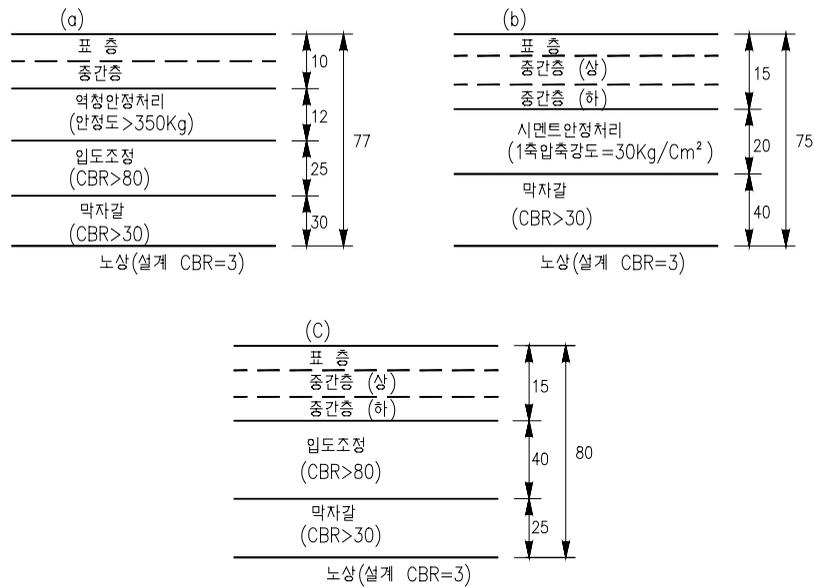
$$T_A = 1.0 \times 15 + 0.55 \times 20 + 0.25 \times 40 = 36\text{cm}$$

$$H = 15 + 20 + 40 = 75\text{cm}$$

(다) 만일 기층에 역청안정처리나 시멘트안정처리를 사용하면 비경제적이라고 판단되면 입도조정쇄석만을 사용할 수 있다. 표층 + 중간층의 T_A 는 $1.0 \times 15 = 15\text{cm}$ 이므로, 입도조정쇄석 40cm, 막자갈 25cm로 하면 $0.35 \times 40 + 0.25 \times 25 = 20.3\text{cm}$ 로 되어 T_A 는 만족된다. 단면 구성은 <그림 3.21>(c)에 표시한 바와 같다. 이 포장의 T_A 및 H는 다음과 같다.

$$T_A = 1.0 \times 15 + 0.35 \times 40 + 0.25 \times 25 = 35.3$$

$$H = 15 + 40 + 25 = 80\text{cm}$$



<그림 3.21> 설계 예

<표 3.37>에 각 교통량의 구분에서 설계 CBR 마다의 설계 예를 표시하였다. <표 3.37>에서, 역청안정처리의 마찰안정도는 350kg 이상, 막자갈의 수정 CBR은 30 이상으로 계산한 것이다.

<표 3.37> 설계 예(단위 : cm)

(1) L 교통

설 계 CBR	표 층	기 층		보조기층	T_A	총 두께
	가열 아스팔트 혼합물	역청 안정처리	입도 조정	막자갈		
2	5	—	15	30	17.8	50※
3	5	—	15	20	15.3	40
4	5	—	15	15	14.0	35
6	5	—	10	15	12.3	30
8	5	—	10	10	11.0	25

(2) A 교통

설 계 CBR	표 층	기 층		보조기층	T _A	총 두께
	가열 아스팔트 혼합물	역청 안정처리	입도 조정	막자갈		
2	5	-	25	30	21.3	60※
3	5	-	20	30	19.5	55
4	5	-	20	25	18.3	50
6	5	-	15	25	16.5	45
8	5	-	10	25	14.8	40
12	5	-	10	20	13.5	35

(3) B 교통

설 계 CBR	표 층	기 층		보조기층	T _A	총 두께
	가열아스팔트 혼합물	역청 안정처리	입도 조정	막자갈		
2	5	12	20	30	29.1	67※
3	5	10	20	30	26.3	60
4	5	10	15	25	24.5	55
6	5	10	10	20	21.5	45
8	5	10	-	25	19.3	40
12	5	10	-	20	18.0	35

(4) C 교통

설 계 CBR	표 층	기 층		보조기층	T _A	총 두께
	가열 아스팔트 혼합물	역청 안정처리	입도 조정	막자갈		
2	10	15	25	35	39.5	85※
3	10	12	25	30	35.9	77
4	10	12	20	25	32.9	67
6	10	10	15	20	28.3	55
8	10	10	15	15	27.0	50
12	10	10	-	20	23.0	40
20 이상	10	8	-	15	20.2	33

(5) D 교통

설 계 CBR	표 층	기 층		보조기층	T _A	총 두께
	가열 아스팔트 혼합물	역청 안정처리	입도 조정	막자갈		
2	15	20	30	40	51.5	105※
3	15	20	20	30	45.5	85
4	15	18	20	20	41.4	73
6	15	15	15	20	37.3	65
8	15	13	15	15	34.4	58
12	15	13	-	20	30.4	48
20 이상	15	8	-	20	26.4	43

※ 차단층을 둔다.

(4) 연약한 노상 위의 포장

땅깎기부 노상토의 설계 CBR이 2 미만인 경우는 다음의 각종 방법을 비교 검토하여 설계한다. 그러나 여기서는 대규모 연약지반 대책공을 수반한 경우는 제외한다.

(가) 치환공법에 의한 경우

노상부에 양질의 흙을 치환하여 설계 CBR이 30 이상이 되도록 설계한다. 이 경우 치환한 층 아래로부터 20cm의 두께 부분은 재래 노상토의 시료에 의한 CBR로 하여 설계한다.

(나) 안정처리의 공법의 경우

노상부를 석회 또는 시멘트로 안정처리 하여 설계 CBR이 30 이상이 되도록 한다. 이 경우 안정처리한 층이 하부로부터 20cm의 두께 부분은 안정처리한 층의 CBR과 재래 노상토의 시료에 의한 CBR의 평균값으로 설계한다.

(다) 교통량이 많아 치환공법으로는 굴착 깊이가 커져서 비경제적이 될 경우

지하수위가 높아 치환토를 충분히 다지기 곤란한 경우에는 15cm 정도의 모래층을 두고, 그 위에 15~20cm의 두께로 빈배합콘크리트 또는 시멘트안정처리에 의한 층을 설계하여 교통량의 구분에 따라서 두께 30~60cm의 아스팔트포장을 설계할 경우도 있다.

교통량이 적은 경우에는 도로의 상황에 따라 치환 두께를 50cm까지 얇게 하고 치환한 흙의 CBR을 취해서 설계하며, 시공 후의 유지보수에 의하여 노면의 주행성을 확보하는 편이 경제적으로 되는 경우가 있다.

일반적으로 치환한 부분의 다짐이 충분하지 않으면 큰 침하가 생겨 포장이 빠른 시일에 파괴되기

쉬우므로 정성들여 다져야 한다. 치환 부분의 다짐이 곤란한 때에는 기층이나 중간층을 일시 교통에 개방할 경우에는 실코트를 하여 두는 것이 좋다.

논바닥 등에서 지하수위가 높고 노상토가 연약할 경우에는 양질의 흙쌓기 재료를 약 1m 쌓아올려 새로운 노상을 만들고 이 위에 포장을 하는 것이 일반적이다.

모래 위에 빈배합 콘트리트나 시멘트 안정처리 등의 층을 두는 방법을 샌드위치 공법이라 한다. 이 공법은 이들 층 위의 재료의 전압이 쉽고, 완성 후 노면의 침하가 적어 시멘트 안정처리 등의 결점도 포장면까지 나타나지 않는 특색이 있다.

샌드위치공법은 설계 CBR이나 T_A 를 사용한 설계 방법을 채택할 수 없으므로 과거의 실시 예나 탄성계산 등의 방법을 참고하여 단면을 결정하여야 할 것이나, 표층+중간층의 최소 두께는 <표 3.35>에 의하는 것으로 한다.

시멘트 안정처리 등의 층은 그 윗부분을 시공하는 동안 균열이 생겨도 지장은 없다.

(라) 연약한 노상 위의 포장설계 예

(a) 치환공법에 의한 경우

재래 노상의 CBR이 1.5 되는 곳에 CBR 10의 재료를 1m 치환 또는 흙쌓기 했을 경우, 노상의 설계 CBR은 다음에 의거한다.

치환층의 하부부터 20cm를 지반과 같이 CBR 1.5를 사용하고, 나머지 80cm는 CBR 10을 이용하여 식(3.1)에 의하여 평균 CBR을 구하여 그 지점의 설계 CBR로 한다.

$$CBR_m = \left(\frac{80 \times 10^{1/3} + 20 \times 1.5^{1/3}}{100} \right)^3 = 7.4$$

그러므로 이 지점의 설계 CBR은 6이 된다.

(b) 안정처리공법에 의한 경우

재래 노상의 CBR이 1.5인 곳에 석회 또는 시멘트에 의한 안정처리를 50cm 깊이로 할 경우, 안정처리한 층의 CBR이 20이 되었다.

이 경우 설계 CBR은 안정처리한 층의 30cm는 CBR 20으로 하고, 안정처리한 층의 하부부터 20cm에 대하여는 재래 노상과 안정처리한 층의 CBR값의 평균값 $(20+1.5)/2$ 를 사용, 나머지 50cm에는 재래 노상의 CBR 1.5를 사용하여 식(3.1)에 의하여 CBR_m 을 구하면 그 지점의 설계 CBR은 6이 된다.



4. 콘크리트 포장

4.1 개 요

4.1.1 설계 시 고려사항

콘크리트 포장은 표층에 작용하는 하중을 기층 및 보조기층을 통하여 넓게 분산시켜 노상층이 지지하는 하중을 줄여주는 아스팔트 포장과는 달리, 콘크리트 슬래브의 휨 저항에 의하여 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 위치를 인위적으로 조절하고 줄눈부위를 다웰바나 타이바로 보강할 필요가 있다.

다웰바는 주로 횡방향 줄눈에 설치하며, 사용목적은 줄눈부에서의 하중전달을 원활히 하여 승차감을 좋게 유지함과 동시에 하중에 의한 처짐량을 감소시켜 팽팽현상 등을 억제하고, 콘크리트의 응력을 줄이는데 있다.

타이바는 주로 종방향 줄눈에 설치하며, 종방향 줄눈에 발생한 균열이 과도하게 벌어지는 것을 막는데 있다. 또 JRCP나 CRCP 등의 경우에 슬래브 내에 보강철근을 사용하게 되는데, 여기서 철근의 역할은 균열의 발생 자체를 막는 데 있는 것이 아니라 발생된 균열이 과도하게 벌어지는 것을 막는 데 있음을 상기할 필요가 있다.

4.1.2 콘크리트포장의 종류

콘크리트 포장의 종류에는 횡방향 줄눈과 보강철근의 유무 및 형식에 따라 무근 콘크리트 포장(JCP, jointed concrete pavement), 철근콘크리트포장(JRCP, jointed reinforced concrete pavement), 연속철근콘크리트포장(CRCP, continuously reinforced concrete pavement) 등으로 나뉜다. 그 외에 프리스트레스콘크리트포장(PCP, prestressed concrete pavement), 로울러다짐콘크리트포장(RCCP, roller compacted concrete pavement)도 있으나 적용빈도는 작은 편이며, 특히 PCP는 상당한 시공기술이 필요하나, 외국에서의 사용이 점차로 증가하고 있는 추세이며, 최근 국내에서도 관심이 증대되고 있는 실정이다.

JCP는 다웰바나 타이바를 제외하고는 일체의 보강이 없는 포장 형태로서, 일정한 간격으로 줄눈을 설치함으로써 균열의 발생 위치를 인위적으로 조절하고, 필요에 따라 줄눈부에 다웰바를 사용하여 하중전달을 돕기도 한다. JCP에서는 줄눈 이외의 부분에서는 균열발생을 허용하지 않는다. 그 이유는 철근보강이 없으므로 줄눈부 외에 발생한 균열이 과대하게 벌어지는 것을 막을 수 없기 때문이다. JCP에서는 콘크리트 슬래브와 보조기층 사이에 분리막을 설치하는데 이는 마찰력을 줄임으로써 온도 변화 및 건조수축에 의한 콘크리트 슬래브의 움직임을 억제하는 구속력을 줄이기 위함이다. 구속력이 줄어들면 콘크리트에 발생하는 응력도 줄어들고, 따라서 균열의 발생하는 응력도 줄어들고 따라서 균열의 발생도 줄일 수 있다.

JCP는 시간이 경과함에 따라 줄눈부위의 파손(단차, 우각부 균열, 펌핑 등)으로 승차감의 저하를 초래할 수 있다.

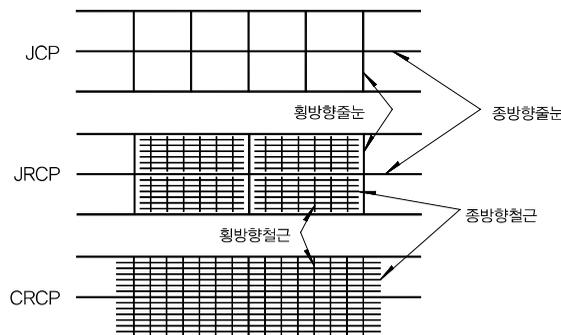
JCP는 필연적으로 많은 줄눈을 사용하게 되는데 이러한 줄눈으로 인한 문제점을 감소시키기 위하여 고안된 포장의 형태가 JRCP이다. JRCP는 줄눈의 개수를 감소시키는(줄눈과 줄눈 간의 간격은 증가) 대신 줄눈 이외의 부분에서 발생하는 균열을 어느 정도 허용하는데, 이렇게 발생된 균열들이 과대하게 벌어지는 것을 방지하기 위하여 일정량의 종방향 철근을 사용하는 포장의 형태이다. JRCP의 경우 JCP에 비하여 줄눈의 수가 줄어들긴 했으나 줄눈부위에서 발생하는 문제점을 여전히 안고 있다.

CRCP는 횡방향 줄눈을 완전히 제거한 포장의 형태로서, 균열의 발생을 허용하고 상당량(콘크리트 단면적의 0.5~0.8%)의 종방향 철근을 사용하여 균열 틈의 벌어짐을 억제하는 포장의 형태이다. CRCP는 가능한 한 온도변화 및 건조수축에 의한 콘크리트 슬래브의 움직임을 막아야 하므로 콘크리트 슬래브와 보조기층 사이에 분리막을 사용하지 않는다.

CRCP는 줄눈이 없으므로 승차감이 좋고 포장수명도 다른 포장형태보다 길기 때문에 세계적으로 각광을 받고 있다.

〈그림 4.1〉은 이상의 콘크리트 포장의 유형을 도식화하여 나타낸 것이다.

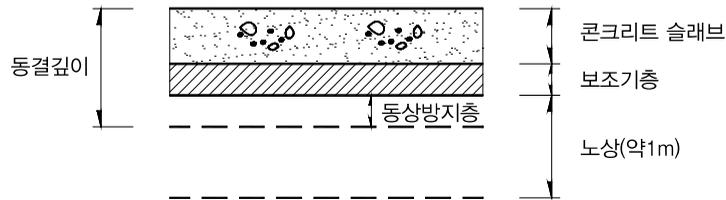
포장 형태의 결정은 교통량 · 공사비용 · 유지보수비용 · 시공 및 유지보수의 난이도 · 기후 환경 등을 고려하여 결정하며, 시공경험도 중요한 결정요소가 된다.



〈그림 4.1〉 콘크리트포장 구조의 종류

4.2 콘크리트 포장의 구성

콘크리트 포장의 횡단면은 <그림 4.2>와 같이 콘크리트 슬래브·보조기층·노상으로 이루어져 있으며, 콘크리트 슬래브와 보조기층을 합한 총 두께가 동결 깊이보다 작은 경우에는 부족한 만큼 노상층의 상부에 선택층 또는 동상방지층을 설치하여야 한다. 단, 성토부가 2m 이상인 경우에는 동상방지층을 설치할 필요성이 없으나, 린 콘크리트 층의 시공성 측면을 고려할 경우에는 선택층을 최소두께인 150mm를 설치하여야 한다. 포장층(슬래브와 린 콘크리트(또는 보조기층))이 동결깊이보다 큰 경우는 따로 동상방지층을 둘 필요가 없다. 배수를 위한 횡단경사는 직선구간의 경우 1.5~2.0%를 표준으로 한다. 보조기층은 안정처리를 하거나 안정처리를 하지 않을 수도 있다.

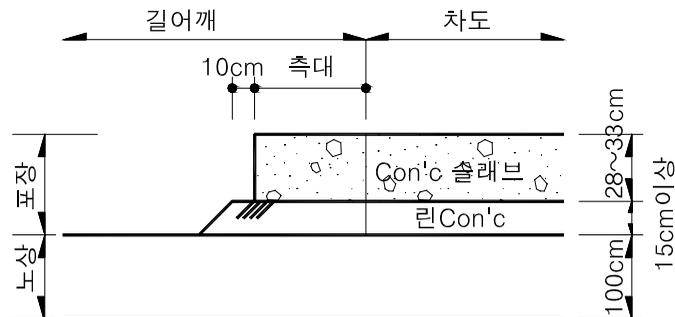


<그림 4.2> 콘크리트포장의 구성

보조기층의 마무리 폭은 <그림 4.3>에서 보는 바와 같이 콘크리트 슬래브의 양측으로 각각 0.1m 정도 더 넓게 한다. 그 이유는 아래와 같다.

- ① 포장 단부, 측면 거푸집 및 슬립폼 페이퍼를 견고히 지지
- ② 팽창성 흙의 사용이나 동상현상에 의하여 포장 단부에 발생하는 불균일 팽창을 방지
- ③ 길어깨 포장에 대한 보조기층으로의 역할

차도, 길어깨 및 중앙분리대 등의 횡단면 구성 요소는 '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침'의 길어깨 및 측대의 포장설계에 따르는 것으로 한다.



<그림 4.3> 콘크리트 포장의 횡단면 구성

4.2.1 노상

- (1) 노상은 포장층(포장 슬래브)의 기초가 되는 흙의 부분으로, 노상면 아래의 약 1m 두께의 층을 말한다. 노상의 지지력은 평판재하시험 또는 CBR시험에 의하여 판정한다.
- (2) 노상토의 설계 CBR이 2 이하인 경우에는 지지력증가를 위하여 연약지반처리를 하여야 한다.

노상이 깊이 방향으로 토질이 다른 몇 개의 층을 이루고 있는 경우에는 이 편 3.4.3절에 제시된 방법에 의하여 노상면에서 깊이 1m 까지의 평균 설계 CBR을 구하여 그 지점의 설계 CBR로 한다. 특히, 지하수위가 노면 밑 0.60m 이내로 상승되지 않도록 설계하여야 한다.

4.2.2 보조기층

- (1) 보조기층은 콘크리트 슬래브를 지지하며, 균열부에서의 팽팽현상을 막아주는 중요한 층으로서 한 층 이상의 다져진 입상재료 또는 안정처리재료 층으로 이루어지며, 노상과 콘크리트 슬래브 사이에 다음과 같은 목적을 위하여 설치한다.
 - ① 균등하고, 안정적이며, 영구적인 지지력 제공
 - ② 노상반력계수(K)의 증대
 - ③ 동결작용에 의한 손상도 극소화
 - ④ 콘크리트 슬래브의 줄눈부, 균열부 그리고 단부에서의 세립토의 팽팽 방지
 - ⑤ 시공장비의 작업로
- (2) 따라서 보조기층은 균등하고 충분한 지지력을 가지며, 내구성이 풍부한 재료를 필요한 두께로 다져서 만들어야 한다. 팽팽을 방지하기 위하여 특히 아스팔트나 시멘트 등으로 처리된 재료를 사용하는 것이 좋다.

팽팽현상은 콘크리트 슬래브의 균열 틈으로 새어 들어간 물이 노상토와 섞여서 중차량 통과 시 균열 틈을 통하여 펌프질 하듯이 솟아 나오는 현상을 말하며, 이 때 물만 빠져 나오는 것이 아니라 노상토의 세립토가 함께 빠져나오므로 균열하부에 공극(void)을 만들어 지지력을 급격히 저하시킬 수 있다. 보조기층 두께가 300mm 이상인 경우에는 상부 보조기층과 하부 보조기층으로 나누어, 하부 보조기층에는 다소 질이 떨어지더라도 염가의 재료를 사용하는 등의 배려가 필요하다. 보조기층을 두 층으로 나눌 것인가는 경제성만이 아니고 재료구득의 난이 등 종합적으로 검토하여 정한다.

보조기층용 재료로는 입상재료와 적당한 혼화재로 안정처리 된 각종 재료들이 사용되어 왔으며, 보조기층용 재료를 선정할 시는 지역적인 경험을 참고하여야 한다. 포장구조의 만족할 만한 공용성을 확보하기 위해서는 노상 또는 보조기층의 위나 그 속에 물이 고이는 것을 방지하여야 한다. 배수목적상 필요할 경우는 보조기층을 포장 단부보다 0.1m 밖으로 나오게 비탈면까지 포설하도록 한다.

(1) 보조기층 재료

- (1) 보조기층에는 입도조정 쇄석, 입도조정 슬래그, 수경성 입도조정 슬래그, 시멘트 안정처리재료 및 역청 안정처리재료 등을 사용한다.
- (2) 시멘트 안정처리 첨가재료에는 보통 포틀랜드 시멘트, 고로 시멘트, 플라이애쉬 시멘트 및 실리카 시멘트 중 어느 한 가지를 사용, 그 배합은 6일 양생 1일 수침 후의 일축압축강도가 2MPa 이상이 되도록 결정한다.
- (3) 보조기층에 입도조정 쇄석 및 입도조정 슬래그 등의 입상재료를 사용하는 경우에는 최대 입경을 40mm이하로 하고, 수정 CBR값은 80 이상, 0.425mm(No.40)체 통과분은 소성지수(PI)가 4이하이어야 한다.

수정 CBR과 소성지수가 규정에 합격하지 않는 재료도 시험 보조기층에 의한 지지력이 확인 가능한 경우 설계 CBR이 45 이상, 0.425mm(No.40)체 통과분의 소성지수가 60이하인 재료도 사용할 수 있다. 또, 이 경우에 0.425mm(No.40)체 통과량이 10% 이하인 재료는 소성지수가 10까지 사용할 수 있다. 보조기층에 석회안정처리 보조기층재료를 사용하는 경우에는 아스팔트 중간층을 설치한다. 이 경우의 석회안정처리재료의 배합은 9일 양생 1일 수침 후의 일축압축강도가 1MPa이 되도록 한다.

보조기층을 상부와 하부로 구분 시공할 경우 하부 보조기층에는 시공현장의 가까이에서 경제적으로 구할 수 있는, 수정 CBR 20 이상이고, 0.425mm(No. 40)체 통과분의 소성지수가 6 이하의 입상재료를 사용한다. 또한, 골재의 최대치수는 50mm 이하로 하는 것이 좋다.

하부 보조기층에서 시험 보조기층에 의한 지지력이 확인될 경우와 과거의 실례로 경험적인 내구성이 확인될 경우에는 0.425mm(No. 40)체 통과분의 소성지수(PI)를 10 이하로 하여도 좋다. 또, 0.425mm(No. 40)체 통과량이 10% 이하의 재료에 소성지수가 15의 것까지 사용할 수가 있다.

하부 보조기층에서 수정 CBR이나 소성지수가 규격에 합격되지 않는 재료일지라도 소량의 시멘트나 석회 등으로 안정처리 함으로써 소요의 품질의 것이 얻어질 경우에는 사용할 수 있다. 하부 보조기층에 사용되는 시멘트 안정처리의 배합은 6일 양생, 1일 수침후의 일축압축강도가 1MPa, 석회안정처리 보조기층의 경우에는 9일 양생 1일 수침 후의 일축압축강도가 0.5MPa이 되도록 하면 된다.

(2) 아스팔트 중간층

- (1) 아스팔트 중간층은 보조기층의 내수성(耐水性) 및 내구성을 개선하기 위하여 보조기층의 최상부에 설치하는 것이다. 밀입도 아스팔트 중간층의 두께는 50mm를 표준으로 한다.
- (2) 중교통 도로에서 보조기층을 입상재료로 사용할 경우, 상부에 아스팔트 중간층을 설치할 수 있다.

아스팔트 중간층은 보조기층을 평탄히 마무리함으로써 콘크리트 슬래브 두께를 균등하게 하며, 강우 후의 작업 휴지시간을 단축할 수 있는 등 시공 상의 개선에도 도움이 된다.

신설도로가 아닌 기존도로 확장 시 공사기간 중에 차량(중차량이 많은 곳)을 소통시켜야 할 경우도 아스팔트 중간층의 두께를 50mm로 할 수 있다.

4.2.3 콘크리트 슬래브

- (1) 콘크리트 포장 구조에서 콘크리트 슬래브는 이것의 휨 저항에 의하여 통행 교통하중을 거의 모두 지지하는 기능을 가지는 포장층이다.
- (2) 콘크리트 슬래브의 구성 재료는 공용기간동안 받게 되는 교통하중과 환경영향에 의한 손상을 충분히 지지할 수 있는 강도와 내구성을 가지는 것이어야 하며, 콘크리트 재료(시멘트, 물, 잔골재, 굵은 골재, 혼화제)의 소요 입도 및 품질과 배합 시방기준은 한국도로공사 제정 '고속도로공사 전문시방서' 또는 국토해양부 제정 '도로공사 표준시방서 제 7장'에 규정된 관련사항을 만족하는 것이어야 한다.
- (3) 알칼리 실리카 반응 및 내황산염 등에 대한 내구성 개선을 위해서는 플라이애쉬 또는 슬래그분말 등을 혼합하여 사용하여야 한다.
- (4) 콘크리트 슬래브의 강도특성은 소요 시험절차(KS F 2403 또는 KS F 2408)로서 얻어지는 휨강도를 기준으로 삼는다.

콘크리트슬래브의 기본 구성요소는 포틀랜드 시멘트 콘크리트, 보강철근, 하중전달장치, 타이바 및 줄눈재로 이루어진다. 이들은 비틀림(distortion)과 풍화작용(disintegration)에 의해서 받게 되는 손상(distress)을 극소화 할 수 있는 재료로서, 한국도로공사 제정 '고속도로공사 전문시방서'에 규정된 사항을 만족하는 품질의 것을 사용하여야 한다.

콘크리트 슬래브 재료에 사용하는 시멘트 종류의 선정은 콘크리트 휨강도를 크게 하고, 수축이 적고, 조기의 발열량이 적은 것을 선택하는 것이 바람직하다. 일반적으로 보통 포틀랜드 시멘트와 중용열 포틀랜드 시멘트가 많이 사용한다. 중용열 포틀랜드 시멘트와 플라이애쉬를 혼합한 시멘트 또는 슬래

그 미분말을 혼입한 시멘트를 사용하면 발열량이 적고 장기 강도가 증진되기 때문에 우리나라에서는 특히 하절기 시공 시에 콘크리트 포장용 재료로 적합하다.

콘크리트 슬래브의 휨강도는 재령 28일에서 KS F 2403(시험실에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 시험용 공시체 제작·양생 방법) 또는 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법 : 단순보의 3등분 점하중법)에 의해서 결정한다. 조강 포틀랜드 시멘트를 사용하는 경우 재령 7일 휨강도를, 그리고 중용열 포틀랜드 시멘트를 사용하는 경우 재령 91일 휨강도를 기준으로 삼을 수 있다.

동결·융해작용 또는 염해로 인한 슬래브의 표면 악화를 방지하고자 할 때이거나 또는 혼합물의 워커빌리티를 개선시키고자 할 때는 AE 콘크리트를 사용하는 것이 바람직하다.

4.2.4 보강철근, 하중전달장치, 타이바 및 줄눈재

(1) 콘크리트 슬래브는 온도·습도 등 환경적 변화, 슬래브 저면마찰, 그리고 시공 시 수화작용에 의하여 응력이 발생하고, 균열을 수반한다.

이와 같은 발생응력과 균열을 완화시키고 조절하기 위하여 가로·세로 방향의 줄눈부를 설치하여 인위적으로 유도하고, 줄눈부에서 연속성과 하중전달을 유지하기 위하여 전달장치(다웰바), 타이바 그리고 줄눈재를 설치하거나(JCP, JRCP), 콘크리트 슬래브 단면 내에 가로·세로 방향으로 보강철근을 설치하여 발생된 응력을 보강철근이 분담토록 하여 균열 간격, 균열 폭을 조절하는 기능을 가지도록(CRCP, JRCP)할 수 있다.

보강철근, 하중전달장치 그리고 타이바의 품질은 한국도로공사 제정 ‘고속도로 공사 전문시방서’ 또는 동등의 규격(KS D 3504)을 만족하는 것이어야 한다.

(2) 보강철근

콘크리트 슬래브 내에 사용되는 보강철근은 충분한 부착력을 발휘할 수 있는 이형표면을 가진 이형봉강철근을 사용하여야 한다. 보강철근으로서 철망을 사용하는 경우 원형철망(welded wire fabric : WWF)에서는 부착력이 용접된 횡방향 철선(welded cross wire)에 의해서 발휘하고, 이형철망(deformed wire fabric : DWF)에서는 이형 표면과 용접 교차점에 의해서 발휘된다. 사용 철망의 품질은 적정의 품질규격(KS D 7017)에 적합한 것이어야 한다.

(3) 하중전달장치(다웰바)

가로 줄눈부에 설치하는 역학적 전달장치는 다음과 같은 특성을 가진 것을 고려하여야 한다.

- ① 설계구조가 간단하고 설치가 용이하며, 콘크리트 내에 완전삽입이 가능한 것으로 한다.
- ② 이 장치와 접촉되는 부위의 콘크리트에 과잉응력을 발생시키지 않고, 재하 하중응력을 적절히 분산시킬 수 있어야 한다.

- ③ 가로줄눈부의 종방향 변위(longitudinal movement)를 구속하지 않아야 한다.
 - ④ 실제 통과하게 될 윤하중과 그 통과빈도에 대하여 역학적으로 안정한 구조이어야 한다.
 - ⑤ 부식이 예상되는 지역에서는 부식에 저항할 수 있는 재료이어야 한다.
- 하중전달 장치에는 소요 인장강도이상의 품질을 가진 원형봉강철근을 사용한다.

(4) 타이바

타이바는 가로줄눈부에서 하중전달기능이 아니라 인접 슬래브 면을 견고하게 연결 접속시켜 노상면상의 측방향으로 밀려남을 방지하기 위하여 설치하며, 이에 필요한 최대인장력을 견딜 수 있는 품질의 이형봉강철근을 사용한다.

(5) 줄눈재

줄눈재는 줄눈부의 변위를 지탱할 수 있는 것으로서, 한국도로공사 제정 ‘고속도로공사 전문시방서’에 규정된 소요품질기준을 만족하고, 줄눈부의 기능과 형식에 적합하고 설계 노선조건에서 예상되는 변형에 반드시 부합되는 것을 고려하여야 한다.

하중전달장치는 다웰바(dowel bar) 또는 슬립바(slip bar)라 부르기도 하며, 가로줄눈부에는 한국도로공사 제정 ‘고속도로 공사 전문시방서’에 규정된 이형 철근 2종(SD30, 항복강도 300MPa 이상) 또는 그 이상의 품질을 가지는 평강, 즉 원형 철근 다웰을 사용하는 것이 좋다.

이것의 직경, 길이, 간격에 대한 설계기준은 ‘4.4.5 줄눈의 설계’에서 다루고 있다. 원형 철근 다웰을 보편적으로 이용하고 있지만, 현장여건에 적합하다고 판단되는 경우에는 이에 준한 다른 형식의 다웰을 사용할 수도 있다.

또한 아스팔트로 처리된 투수성 기층으로 지지되는 무근줄눈 콘크리트 포장(JCP)과 같은 횡방향 강성이 약한 단면을 가지는 줄눈부에서는 하중전달장치를 생략할 수 있다.

타이바는 한국도로공사 제정 ‘고속도로공사 전문시방서’에 규정된 이형철근 2종 이상(SD30, 항복강도 3,00MPa 이상)의 축철근(axle steel) 또는 강봉철근(billet)으로 된 이형철근을 사용하여야 하지만 이에 준하는 인장강도를 발휘할 수 있는 연결재도 사용 가능하다.

타이바의 직경, 길이, 간격에 대한 설계기준은 ‘4.4.5 줄눈의 설계’에 기술되어 있으며, 다른 종류의 연결재를 사용하는 경우에도 타이바와 동일한 기준을 적용하여야 한다.

염분이 포장 표면에 작용이 예상되는 지역에서는 줄눈부에 설치되는 타이바와 다웰바는 내부식성 재료를 사용하든지 또는 표면을 코팅하는 것이 좋다.

최근에 사용되는 줄눈재는 다음과 같은 세 가지 형태가 있다.

(1) 액상 줄눈재(liquid sealant)

이 형식의 줄눈재로는 다음과 같이 다양하고 폭넓은 재료가 이용되고 있다. 이들 줄눈재는 액체형태로 줄눈에 부어 넣어 굳도록 한다.

- ① 아스팔트
- ② 가열형 고무화 아스팔트(hot-poured rubber)
- ③ 고무수지계 재료(elastometric compound)
- ④ 실리콘(silicone)
- ⑤ 폴리머(polymer)

(2) 성형 합성고무 줄눈재(preformed elastometric seals)

이 형식의 줄눈재는 줄눈면 쪽으로 밀어내는 힘이 있는 내부 웨브(web)를 갖고 있는 네오프렌(neoprene) 줄눈재이다. 이 줄눈재의 크기와 설치 폭은 줄눈의 예상 변위량에 따라 결정된다.

(3) 코르크계 팽창줄눈판(cork expansion joint filler)

이 형식의 줄눈재에는 다음의 두 가지 종류의 코르크판이 사용된다.

- ① 표준 팽창줄눈판
- ② 자체팽창형(self-expanding type ; SE)

4.3 콘크리트 포장의 설계기준

4.3.1 개 요

콘크리트 포장 구조를 설계하는 데는 포장설계조건에 알맞은 합리적인 설계자료의 적용이 필요하다. 이와 같은 설계자료는 다음의 다섯 가지로 분류되며, 설계자료의 모든 값은 설계노선을 대표하는 평균값을 사용하여야 한다.

- | | |
|------------------|-----------------|
| (1) 설계 변수 | (4) 포장의 구조적 특성 |
| (2) 공용성 변수 | (5) 철근보강에 관한 변수 |
| (3) 구조설계용 재료의 특성 | |

앞의 (1)·(2) 사항은 '2.4 아스팔트 포장의 설계기준'에 기술된 내용과 동일하게 적용되며, 이 절에서는 (3)·(4)·(5) 항에 관련된 사항을 기술한다.

(5)항의 철근보강에 관한 변수는 콘크리트 포장 형식에 따른 철근보강에 필요한 설계 변수에 관련된 사항이다.

‘4.4 콘크리트 포장의 설계 방법’에 제시되는 콘크리트 포장의 구조설계에 필요한 입력변수 요소는 <표 4.1>과 같이 구분되며, 이들에 적용되는 자료는 포장의 공용수명에 영향을 주므로 소요산정 조건을 만족시키고 변동성을 고려한 평균값을 적용하여야 한다.

4.3.2 노 상

- (1) 콘크리트 포장 구조 설계에 있어 노상의 지지력 척도는 한국도로공사 제정 ‘건설공사 품질시험편람’ 또는 동등 시험절차(KS F 2310)에 의해서 얻어지는 노상반력(modulus of subgrade reaction; K)을 기준으로 표시되며, 이 계수는 노상토의 설계 CBR값과 보조기층의 특성을 고려하여 결정한다.
- (2) 노상토의 설계 CBR 평가는 ‘3.3.3 노상’의 평가 방법을 적용한다.

콘크리트 슬래브 두께 산정에 적용되는 노상반력계수(K)는 재하판 직경이 75cm인 평판 재하시험(KS F 2310)으로 얻어지는 값을 기준으로 삼는다. 직경 30cm인 재하판을 사용하여 얻어지는 노상반력계수와 상관 관계는 다음과 같다.

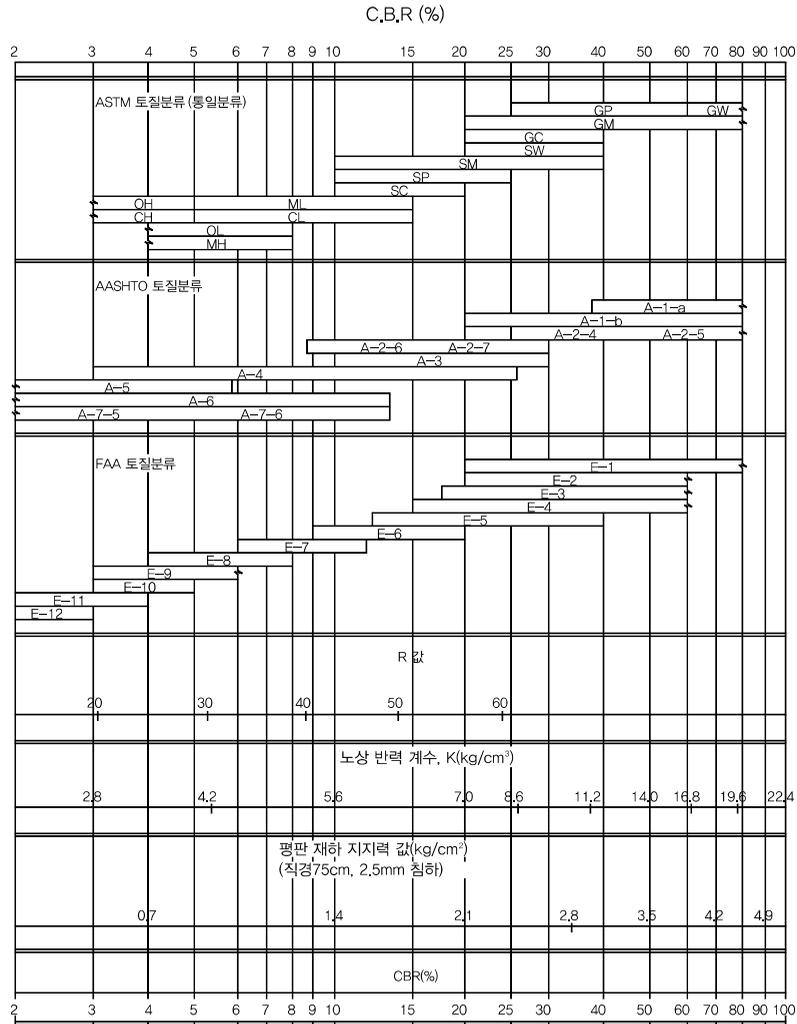
$$K_{75} = \frac{1}{2.2} K_{30}$$

노상토의 노상반력계수는 <그림 4.4>를 이용하여 간접적으로 구할 수 있다. 콘크리트 슬래브 두께 산정 시 설계 노상반력계수는 보조기층의 두께와 재료 특성의 영향을 보정한, 즉 콘크리트 슬래브 저면에서 지지력 값을 기준으로 하며, AASHTO 설계 절차에서는 이것을 합성반력계수라 부르고, ‘4.4.2 AASHTO 설계법’에 산정절차가 제시되어 있다.

<표 4.1> 콘크리트 포장 구조설계 입력 요소

구 분	항 목	비 고	
		AASHTO(81)	일본 콘크리트 포장설계요강
1. 설계 변수	1) 시간제약변수		
	- 공용기간	○	○
	- 해석기간	○	○
	2) 교통량	○	○
	3) 환경영향		
	- 지역계수		○
	- 온도응력		

구 분	항 목	비 고	
		AASHTO('81)	일본 콘크리트 포장설계요강
2. 공용 조건	1) 서비스능력 - 초기서비스지수 - 최종서비스지수 2) 피로기준	 ○ ○	 ○
3. 구조설계용 재료특성	1) 설계노상변수 - 설계노상 CBR - 노상반력계수 2) 포장층 재료 물성 - 콘크리트(PCC) 탄성계수 - 콘크리트파괴계수	 ○ ○ ○ ○	 ○ ○ ○ ○
4. 포장의 구조적 특성	1) 하중전달 - 하중전달계수 - 세로줄눈부 구속계수 2) 지지력 손실	 ○ ○	 ○
5. 철근 보강에 관련된 변수	1) JCP/JRCP - 슬래브의 길이 - 유효응력 - 마찰계수 2) CRCP - 콘크리트 인장강도 - 콘크리트 건조수축 - 콘크리트 열팽창계수 - 철근직경 - 철근 열팽창계수 - 설계온도 하강 - 마찰계수	 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	 표준값으로 제시



〈그림 4.4〉 토질분류와 노상 반력계수 상관 관계

4.3.3 콘크리트 슬래브의 재료특성

(1) 포장 콘크리트

- (1) 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 설계탄성계수는 KS F 2438 또는 이와 동등한 시험절차로 얻어지는 것을 기준으로 한다.
- (2) 콘크리트 슬래브 두께산정을 위한 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 설계기준 휨강도는 4.5MPa 이상을 원칙으로 한다.

포틀랜드 시멘트 콘크리트(PCC)의 15°C 재령 28에서의 KS F 2403, KS F 2408의 시험절차에 의해

서 얻어지는 휨 강도(flexural strength)를 파괴계수(modulus of rupture)라 부르기도 한다.
설계휨강도는 다음 식에 의해서 구한다.

$$f_t = \frac{S_c}{F_s} \quad f_t = S_c - CS$$

여기서, f_t : 설계 휨강도

S_c : 소요시험절차로 얻어지는 재령 28일에 대한 파괴 계수의 평균값

F_s : 안전계수(통상 1.33을 적용)

C : 시험결과 값에 대한 신뢰수준에 따라 정해지는 계수(표 4.2))

S : 시험결과 값의 표준 편차

〈표 4.2〉 휨강도시험 신뢰수준에 따른 계수(C)

시험결과 신뢰수준(%)	C
75	0,676
80	0,842
85	1,037
90	1,282
95	1,645
99	2,326

(2) 보강철근, 다웰바, 타이바, 철망

- (1) 콘크리트 포장 슬래브의 사용되는 가로·세로 방향 보강철근(reinforcement) 또는 철망, 하중전달장치의 다웰바 그리고 타이바의 설계 허용응력은 $0.75 \times$ 철근항복강도(f_y)를 기준으로 한다.
- (2) 보강철근의 설계 열팽창계수는 $0.9 \sim 1.0 \times 10^{-5} \text{cm/cm/}^\circ\text{C}$ 을 기준으로 삼는다.
- (3) 보강철근, 철망, 다웰바 그리고 타이바의 설계탄성계수는 $2.1 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ 를 기준으로 삼는다.

연속철근콘크리트포장에 사용되는 세로방향 보강철근과 줄눈부의 하중전달장치에 이용되는 다웰바의 항복점 강도는 400MPa 이상인 것을, 가로방향 보강철근과 타이바는 항복점 강도가 280MPa 이상인 것을 사용하는 것이 바람직하다. 특히, CRCP에 사용되는 세로방향 보강철근인 경우 단위 콘크리트 체적 당 보강철근 부차 면적비가 균열간격(crack spacing)에 반비례하기 때문에 소요의 강도를 가지는 철근의 사용은 콘크리트 단위체적 당 보강철근 면적비를 조절하는 데 중요하다.

AASHTO 잠정 지침에서는 이 비를 $0.003 \text{inch}^2/\text{inch}^3$ 이상인 값을 기초로 하고 있다. 콘크리트 슬래브에 사용되는 철근은 항복점강도와 인장강도가 크고 열에 의한 체적 변화가 작은 것일수록 콘크리트 포장의 연속성을 유지하는데 좋은 효과를 준다.

4.4 콘크리트 포장의 설계방법

4.4.1 적용범위

이 절에서 제시되는 콘크리트 포장 구조 설계절차는 미국의 'AASHTO 설계 지침'과 일본의 '콘크리트포장 요강 설계법'을 기본으로 하였다.

제시되는 설계절차에서, 설계기간의 총교통량이 50,000 ESAL(8.2톤 등가단축하중) 이상일 경우에는 AASHTO 설계법을 적용하는 것이 바람직하고, 교통량이 적거나 관련 설계입력변수 산정에 요구되는 기본설계자료를 구하기가 어렵거나 개략적 구조설계를 필요로 할 경우에는 콘크리트 포장 요강 설계법을 기준으로 하는 것이 좋다.

제시된 AASHTO 설계절차에서, 콘크리트 슬래브 두께산정을 위한 기본식은 1981년에 제안된 AASHTO 잠정치침을 토대로 하였으나, 보강철근과 구조세목 설계개념은 AASHTO '86 지침을 기준으로 하였다. 관련 입력변수를 적정히 산정할 경우에는 AASHTO '86 지침을 적용하는 것이 바람직하다.

4.4.2 AASHTO 설계법

(1) 콘크리트 슬래브 두께 설계

(1) 기본 설계식

여기에서 제시되는 기본설계식은 AASHTO 도로시험에서 정립된 서비스 능력-공용성 개념('2.3.1 서비스 능력-공용성 기본개념' 참조)을 기초로 만들어진 경험적 공용 방정식으로서 다음과 같다.

$$\log W_{8.2} = 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{G_t}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \log_{10} \left[\frac{S'_c \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times (D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{K_c})^{0.25}})} \right]$$

여기서,

$W_{8.2}$: 설계기간 동안의 8.2톤 등가단축하중(ESAL)의 설계 차로 당 누가 통과 횟수

P_t : 설계 최종서비스지수

- J : 콘크리트 포장 형식에 따른 연속성을 반영하는 하중전달계수
 E_c : 콘크리트 슬래브 설계탄성계수(psi)
 K_c : 콘크리트 슬래브와 접속면에서의 노상반력계수(pci)
D : 포장 슬래브 두께(inch)
 S_c : 콘크리트 슬래브의 설계휨강도(psi)

$G_t = \log_{10} \left[\frac{4.5 - P_t}{4.5 - 1.5} \right]$ 로 표시되며, 임의 시점(최종 서비스지수를 가지는 시점)

에 이어 $P_t=1.5$ 인 경우의 최대 서비스능력 손실량에 대한 서비스능력의 손실량 비율을 나타내는 함수

(2) 콘크리트 슬래브 두께 결정

콘크리트 슬래브 두께(D)는 '(1) 기본설계식'을 이용하거나, <그림 4.5>의 설계노모 그래프를 이용하여 결정하며, 이에 필요한 설계입력변수는 다음과 같다.

- ① 설계 최종서비스지수(P_t)
- ② 설계 차로 당 설계기간 누가 ESAL 통과횟수($W_{8.2}$)
- ③ 콘크리트 슬래브 설계탄성계수(E_c , psi)
- ④ 콘크리트 슬래브의 휨강도(S_c' , psi)
- ⑤ 콘크리트 슬래브의 줄눈부 또는 균열부에서 하중전달계수(J)
- ⑥ 설계 노상반력계수(K_c , pci)

제시된 설계 공용식 또는 설계 노모그래프(<그림 4.5>)는 설계기간 교통량이 50,000 ESAL(8.2톤 등가 단축하중) 이상인 경우에 적용하는 것이 바람직하고, 교통량이 적은 경우이거나 교통량 추정이 어려운 경우에는 콘크리트 포장 요강 설계법을 기준으로 하여도 좋다.

콘크리트 포장에 대한 AASHTO 설계법은 아스팔트포장의 경우와 같이 AASHTO 도로시험의 결과를 토대로 한 것이다.

AASHTO 도로시험에서는 축하중이 포장에 미치는 상대적 손상정도를 검토하고, 콘크리트 슬래브 두께와 같이 보조기층 두께·보강철근·기상조건 등의 설계조건에 대하여 종합적인 시험연구를 하였다. AASHTO는 1972년 포장구조설계법을 잠정치침으로 제안하였으며, 1981년 강성부분을 개정하였다. 이후 축적된 경험과 연구 발표된 자료를 통하여 보완 작성하여 1986년에 AASHTO 설계지침을 확립하였다.

그러나 AASHTO '86 지침을 국내 설계에 그대로 적용하기에는 현실적으로 여러 가지 입력변수 등이 한국 실정에 맞도록 정립되지 않았기 때문에 어려운 점이 있으므로, 이 요령에서는 AASHTO 잠정치침('81년 개정판)을 기준으로 하였고, 가능한 AASHTO '86 지침 적용을 유도하였다. 이 설계 절차는 크게 콘크리트 슬래브의 두께 설계와 보강철근의 설계로 나뉜다.

설계입력변수 중 ①·②항은 각각 '3.3.2 측정서비스지수', '3.4.2 교통'을 적용하고, ③·④항은 '3.3.3 콘크리트 슬래브의 재료특성'을 적용하여 산정한다.

(가) 하중전달계수(load transfer factor, J)

하중전달계수는 줄눈, 균열 또는 포장과 길어깨 사이 등 콘크리트 포장 슬래브의 불연속 지점에서 하중전달의 능력을 나타내는 계수로서, 하중전달이 잘 될수록 작은 값을 사용한다. AASHTO에서 추천하는 포장의 형태별 하중전달계수는 <표 4.3>과 같다.

<표 4.3> 콘크리트 형식별 포장 하중전달계수

구 분		아스팔트 길어깨	콘크리트 길어깨 (타이바로 연결)
JCP 또는 JRCP	다웰바 사용	2.9	2.5 ~ 2.8
	다웰바가 없을 경우	3.2	2.9 ~ 3.1
CRCP		2.9	2.3 ~ 2.8

하중전달계수는 주어진 하중에서 콘크리트에 발생하는 응력에 비례한다. 따라서 하중전달계수가 클수록 콘크리트응력도 크며, 결과적으로 설계될 슬래브 두께는 커진다.

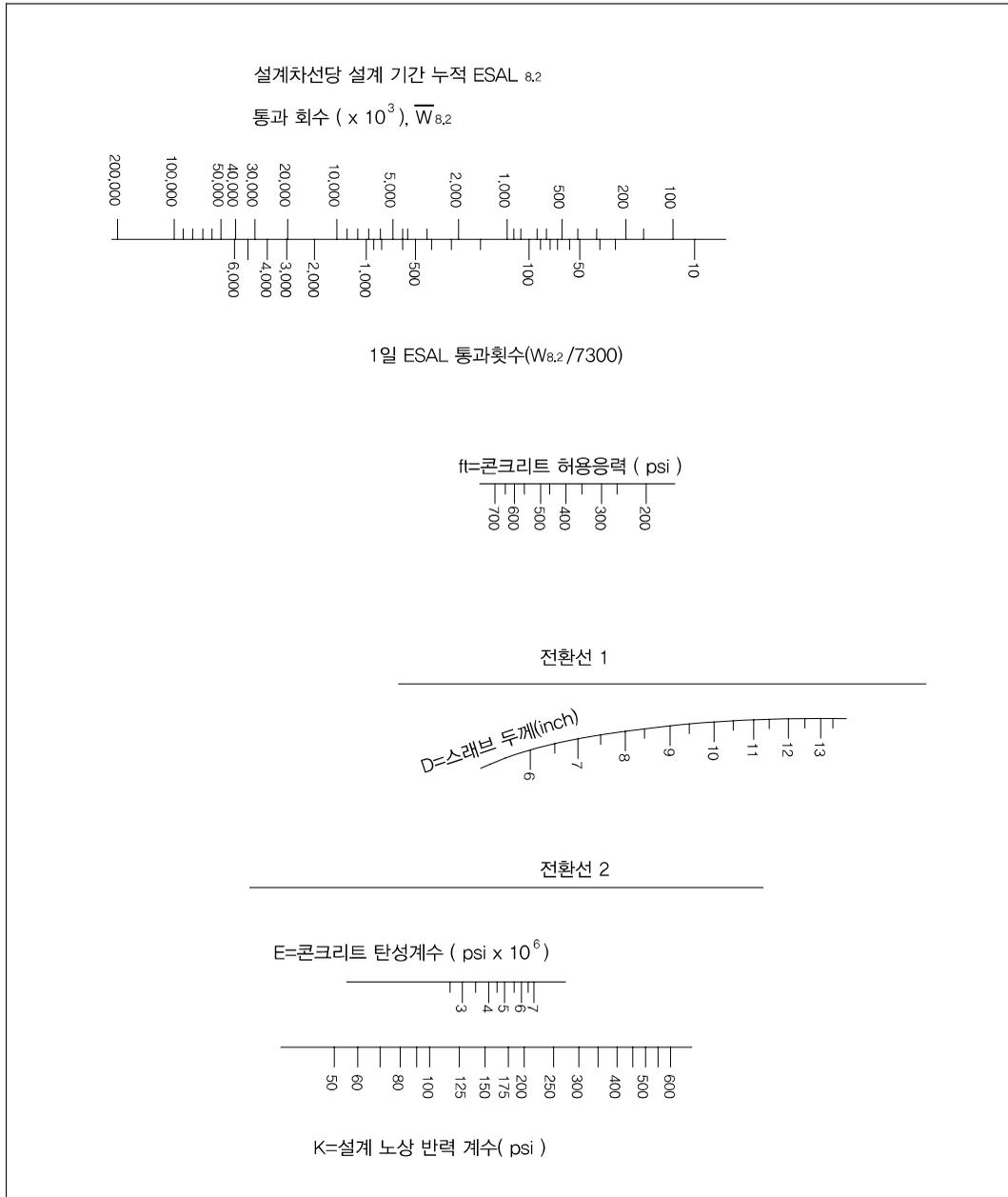
<표 4.3>에서 CRCP의 경우 하중전달계수가 JCP나 JRCP의 경우보다 작으므로 같은 조건에서 슬래브 두께를 약간 줄일 수 있음을 알 수 있다.

(나) 설계 노상반력계수

설계 노상반력계수는 콘크리트 슬래브와 접하고 있는 바로 아래의 보조기층 상단면에서 지지능력을 표시하는 것으로서, 보조기층의 두께와 강성에 의해서 증가 되는 지지능력을 반영하고, 포장 슬래브 바로 아래에 공극을 발생시키는 토사의 수직 이동을 유발시키는 펌핑·보조기층 부식(erosion)·침하(consolidation)등에 의한 지지력 손실(loss of support : LS)을 고려하여 결정한다. 보조기층 효과는 <표 4.4>를 적용하여 산정하고 지지력손실 효과를 <표 4.4>와 <그림 4.6>을 이용하여 고려한다.

<표 4.4> 보조기층의 재료에 따른 탄성계수 및 지지력손실 값

보조기층 재료	탄성계수(psi)	지지력손실(LS)
시멘트 안정처리	1,000,000 ~ 2,000,000	0.0 ~ 1.0
빈배합 콘크리트	1,000,000 ~ 3,000,000	0.0 ~ 1.0
아스팔트 안정처리	350,000 ~ 1,000,000	0.0 ~ 1.0
석회 안정처리	20,000 ~ 70,000	1.0 ~ 3.0
입상 재료	15,000 ~ 45,000	1.0 ~ 3.0
자연 노상 토	3,000 ~ 40,000	2.0 ~ 3.0



〈그림 4.5〉 슬래브 두께 산정 설계 노모그래프 (Pt=2.5, J=3.2)

방정식을 이용할 경우에는 ASSHTO '86에서 제시된 다음 식에 의해서 구한다.

합성 K 치 산출식

$$\log K^{\infty} = -2.807 + 0.1253 \times (\log D_{SB})^2 + 1.062 \times \log M_R + 0.1282 \times \log D_{SB} \times \log E_{SB} \\ - 0.4114 \times \log D_{SB} - 0.0581 \times \log E_{SB} - 0.1317 \times \log D_{SB} \times \log M_R$$

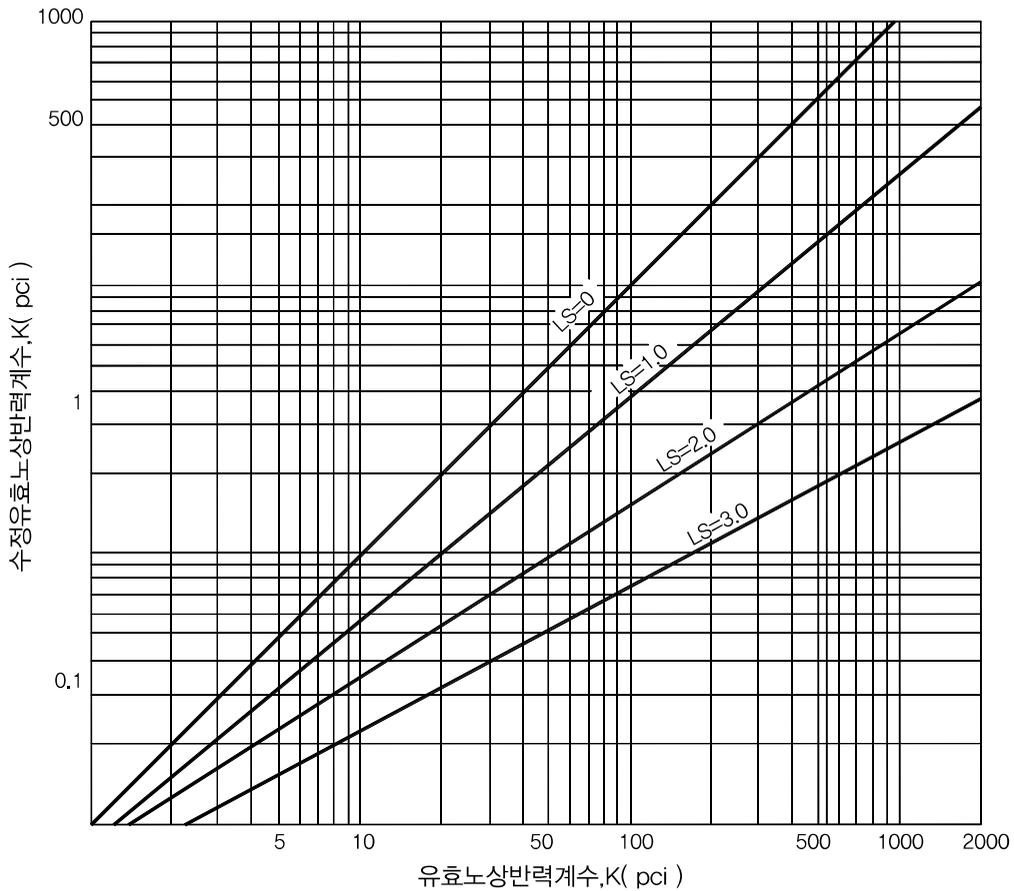
$$M_R = 24K_C$$

여기서

D_{SB} : 보조기층의 두께 (inch)

E_{SB} : 보조기층의 탄성계수 (psi)

M_R : 노상의 회복탄성계수 두께 (psi)



〈그림 4.6〉 보조기층지지력 손실에 대한 설계노상반력계수 산정도표

(2) 보강철근설계

(가) 기본개념

- (1) JRCP 또는 CRCP와 같이 철근이 보강되는 콘크리트 포장에서의 철근의 역할은 균열발생 자체를 방지하기 위해서가 아니라 균열이 발생할 경우 그 균열이 과도하게 벌어지는 것을 극소화하는데 있다.
- (2) 보강철근은 세로방향 철근(종방향 또는 길이방향)과 가로방향 철근(횡방향)으로 구분되며, JRCP의 가로·세로방향 철근과 CRCP의 가로 방향 철근량을 산정하는 방법은 subgrade drag theory를 기초로 한다.
- (3) CRCP의 세로방향 철근량은 다음 세 가지 조건을 만족하는 것으로 산정하여야 한다.
 - ① 콘크리트 슬래브에 있어서 스폐링(spalling)과 펀치아웃(punchout) 발생확률이 작은 범위의 균열간격(crack spacing)을 형성할 수 있는 철근량
 - ② 균열 틈으로 물의 침투와 스폐링을 극소화 시킬 수 있는 균열 폭(crack width)을 유지할 수 있는 철근량
 - ③ 철근이 소성변형 또는 파단되는 것을 방지할 수 있어 공용기간 중 철근 응력이 소요 철근 강도의 75% 이하를 유지할 수 있는 철근량

JRCP와 CRCP에 있어서 발생된 균열이 과도하게 벌어지는 경우, 균열을 통하여 물이 침투하여 철근의 부식·노상토의 강도저하·펌핑 등이 발생할 가능성이 커지며, 또한 넓은 균열 틈으로 인하여 골재간의 맞물림이 약해져서 인접한 슬래브간의 하중전달의 효과가 급격히 감소되어 펀치아웃·스폴링·철근의 절단 등을 야기시킬 수 있다. 모든 경우에 있어서 철근량은 콘크리트 단면적이 차지하는 비를 백분율로 나타낸다.

줄눈을 사용하는 강성포장에는 두 종류가 있는데, 철근을 사용하지 않은 무근 콘크리트 포장(JCP)과 철근이나 철망 등의 보강설계를 한 철근 콘크리트 포장(JRCP)이다. 토사활동 및 온도나 함수변화응력 등과 같은 요인들 때문에 횡방향 균열이 발생할 가능성이 있다면 철근 보강을 하여야 한다. 무근 콘크리트 포장(JCP)의 경우에 줄눈간격을 적당히 하여 온도와 수분변화로 인한 응력으로 줄눈 사이의 균열이 생기지 않도록 하여야 한다. 최대 줄눈간격은 현장조건·보조기종의 형태·굵은골재 종류 등에 따라서 달라지며, 줄눈의 이동을 최소화시키고 그 결과 하중전달이 최대로 이루어질 수 있도록 과거 경험을 고려하여 줄눈간격을 정하는 것이 바람직하다.

(나) JRCP의 가로·세로방향 보강철근 설계

JRCP의 보강철근은 장래 발생 가능한 균열이 허용범위를 초과하지 않고 발생 응력을 전달 하도록 하기 위해서 설치한다.

JRCP의 보강철근량 산정에 필요한 입력변수는 다음과 같으며, <그림 4.12>를 적용한다.

- (1) 포장슬래브 길이(L)
- (2) 철근유효응력(working stress, F_s)
- (3) 콘크리트 슬래브 저면에서 마찰계수(F)

콘크리트 포장에 철근을 설치하는 목적은 균열을 방지하고자 함이 아니라 장차 발생할 수 있는 균열을 단단히 묶어 놓음으로써 포장을 하나의 완전한 구조 단위로 유지하기 위해서이다. 물리적 역학에 의한 균열의 발달은 온도와 습도에 관련된 슬래브 수축 그리고 하부층 재료의 마찰저항에 의한 영향 때문에 생긴다. 온도가 낮아지거나 함수량이 감소하면 슬래브는 수축한다. 이 수축은 하부층 재료와의 마찰과 전단에 의하여 제약을 받는다.

슬래브는 수축을 억제하면 슬래브 중간에서 최대인장응력이 나타난다. 만일 이러한 인장응력이 콘크리트의 인장응력을 초과하면 균열이 진전되며, 모든 인장응력은 철근으로 전달된다. 따라서, 철근 보강은 철근이 신장되어 균열 폭이 벌어지는 일 없이 응력을 전달하도록 설계하여야 한다.

JRCP와 CRCP의 세로방향 철근설계는 완전히 다르므로 각각 달리 계산하여야 한다. 그러나 CRCP의 가로방향 철근설계는 JRCP의 가로·세로방향 철근설계 방식과 똑 같다. 모든 경우 소요 철근량은 콘크리트 단면적에 대한 철근비(%)로 표시한다.

일반적으로 줄눈간격이 4.5m 미만일 경우에는 가로방향균열이 예상되지 않으므로 철근보강이 필요 없다.

철근 콘크리트 포장에 필요한 철근비를 산정하기 위한 설계요소는 다음과 같다.

(a) 슬래브 길이(L)

세로방향 철근의 경우 줄눈간격을 사용하며, 가로방향 철근의 경우 슬래브의 폭을 사용하는데, 여기서 슬래브 폭은 자유단부(longitudinal free edge) 간의 거리를 말한다.

타이바로 연결된 것은 자유단부가 아님을 주의하여야 한다.

슬래브 길이는 최대 콘크리트 인장응력에 큰 영향을 주어 많은 양의 철근보강이 필요하기 때문에 설계 시에 중요한 문제로 고려되어야 한다. 이 영향 때문에 슬래브 길이(줄눈 간격)는 철근 콘크리트 포장은 물론 무근 콘크리트 포장 설계에서 반드시 고려하여야 할 중요 요소이다.

(b) 철근의 사용응력(working stress, F_s)

철근의 허용응력을 말하며, 일반적으로 항복강도(yield strength)의 75% 값을 사용한다.

항복강도가 300MPa(SD30), 400MPa(SD40)인 철근의 사용응력은 각각 220과 300MPa이 된다. 용접(welded wire fabric ; WWF)와 이형철망(deformed wire fabric ; DWF)의 철선 항복강도는 450MPa이고, 유효응력은 340MPa이다.

최소 철선직경은 철선이 부식에 의하여 철선 단면적에 중대한 영향을 미치지 않을 정도로 커야 한다.

(c) 마찰계수(F)

여기서 사용되는 마찰계수는 슬래브 하부와 보조기층 상부(보조기층이 없는 경우는 노상면) 간의 마찰계수를 말하며, AASHTO에서 추천한 값들은 <표 4.5>와 같다.

위의 입력변수들을 이용하여 다음식을 이용하여 필요한 철근량을 계산 할 수 있다.

$$P_s = 0.23 \times \frac{L \cdot F}{2F_s} \times 100(\%)$$

여기서,

P_s : 필요 철근량(콘크리트 슬래브 단위 폭 당 1m 당 소요철근 백분율, %)

F : 마찰계수

L : 슬래브 길이(가로 또는 세로 방향의 자유단부 또는 자유줄눈부 사이 거리, m)

F_s : 철근의 사용응력(통상 항복강도 \times 0.75, kg/cm²)

<표 4.5> 슬래브 아래의 재료에 따른 마찰계수

슬래브 아래의 재료	마찰계수(F)
표 면 처 리	2.2
빈 배 합 콘 크 리 트	1.9
석 회 안 정 처 리	1.8
아 스 팔 트 안 정 처 리	1.8
시 멘 트 안 정 처 리	1.8
강 자 갈	1.5
쇄 석	1.5
사 암 (s a n d s t o n e)	1.2
자 연 지 반 (암 반)	0.9

<계산 예> L=10m, F=1.5, $F_s = 3,000\text{kg/cm}^2$ 인 경우

$$\text{철근량 } P_s = \frac{0.23 \times 10(1.5)}{2 \times 3,000} \times 100 = 0.06\%$$

(다) CRCP의 세로방향 보강철근설계

CRCP의 세로방향 보강철근은 콘크리트 슬래브의 체적변화에 따라서 슬래브에 발생하는 균열 간격과 균열 폭을 허용범위 내로 유도·조정하기 위하여 공용기간 동안 예상되는 환경과 교통조건에서 충분한 포장기능을 유지하도록 균열 간격, 균열 폭 및 철근응력에 대한 제한 조건(‘(가) 기본개념’ 참조)을 만족하는 철근비, 철근 직경, 철근 수를 결정하여야 한다. 이를 위한 절차는 <표 4.9>, <표 4.1>으로써 주어지는 설계절차와 <그림 4.7>~<그림 4.10>을 적용하고, 이때 다음과 같은 설계입력변수를 고려하여야 한다.

- (1) 콘크리트 슬래브의 인장강도(f_t)
- (2) 콘크리트 슬래브의 건조수축 계수(Z)
- (3) 콘크리트 슬래브의 열팽창 계수(α)
- (4) 사용 철근 또는 철선 직경(ϕ_s)
- (5) 설계온도하강(DT_D)
- (6) 설계윤하중응력(f_w)

연속철근 콘크리트 포장(CRCP)에서 주철근은 포장의 전 구간에 걸쳐 연속되는 세로방향철근(longitudinal reinforcement)이다. 이 세로방향 철근은 콘크리트 체적 변화에 따라 포장에 형성되는 균열을 유도·조정하기 위하여 사용된다. 세로방향 철근으로는 철근 또는 이형철망을 이용할 수 있다. 철근과 보조기층 마찰력으로 인한 콘크리트의 구속은 콘크리트 파손의 원인이 된다. 포장이 충분한 기능을 갖도록 하기 위해서는 콘크리트와 철근의 특성이 균형이 이루어져야 하는데 이 상호작용에 대한 해석은 주철근 설계의 기본이 된다.

다음은 연속철근 콘크리트 포장의 세로방향 철근 설계에 필요한 조건들이다.

(a) 콘크리트 인장강도

철근설계에는 두 가지 콘크리트 인장강도가 사용된다. 첫째, 공시체의 힘 시험(3등분 점재하)에서 유도하여 낸 파괴계수(또는 휨강도)는 소요 슬래브 두께를 결정하는데 이용한다(‘4.3.3(1)항’ 참조). 둘째, 보강철근설계에는 AASHTO T198과 ASTM C496 시험에 의한 간접인장시험으로 얻어진 인장강도를 기준으로 하여 설계한다. 만일, 간접인장강도를 얻기 어려운 경우 28일 휨강도의 86%에 해당되는 값을 인장강도로 적용할 수 있다.

(b) 콘크리트 건조수축

수분의 손실에서 오는 콘크리트의 건조수축은 보강철근 설계에 중요한 요소이다. 수축에 영향을 주는 또 다른 요소들은 시멘트 함유량, 혼화재, 골재 그리고 양생조건이다. 설계에 적용하는 수축량은 28일 양생 공시체에서 측정한 수축량을 적용한다.

건조수축과 콘크리트 강도는 물-시멘트 비에 크게 좌우된다. 일반적으로 혼합하는 데 물이 많

이 사용될수록 수축 가능성은 증가하고, 콘크리트 강도는 감소한다. 수축은 강도와 반비례하며, <표 4.6>은 앞의(a)에서 설명된 간접인장강도를 기준으로 한 건조수축계수를 구하는데 적용할 수 있다.

<표 4.6> 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 간접 인장강도와 건조수축계수의 관계

간접 인장강도(MPa)	건조수축계수(cm/cm)
2.1 이하	0.00080
2.8	0.00600
3.5	0.00045
4.2	0.00030
5.0 이상	0.00020

(C) 콘크리트 열팽창계수

포틀랜드 시멘트 콘크리트의 열팽창계수(concrete thermal coefficient)는 물-시멘트비 · 콘크리트의 재령 · 혼합정도 · 상대습도 그리고 골재 형태와 같은 요소에 따라 변화되며, 특히 굵은골재의 종류에 의한 영향이 가장 크다. AASHTO에서 추천하는 골재 종류별 PCC 열팽창계수 값은 <표 4.7>과 같다.

<표 4.7> 골재 종류별 PCC 열팽창 계수

굵은골재의 종류	콘크리트 열팽창계수(10^{-6} cm/cm/°C)
석 영	11.9
사 압	11.7
자 갈	10.8
화 강 압	9.5
현 무 압	8.6
석 회 압	6.8

주) 국토해양부 콘크리트 표준시방서의 철근 열팽창계수 : 1.0×10^{-5} cm/cm°C
콘크리트 열팽창계수 : 1.0×10^{-5} cm/cm°C

(d) 철근 또는 철선의 직경

일반적으로 CRCP의 세로방향철근에는 $\phi 16\text{mm}$ 와 $\phi 19\text{mm}$ 의 이형철근이 이용된다.

$\phi 19\text{mm}$ 철근은 CRCP에서 부착조건과 적정의 균열 폭 조절에 적합한 실질적으로 가장 많이 사용되는 최대 크기의 철근이다. (i) 제한기준의 철근설계의 도표에서에서는 $\phi 13 \sim \phi 19\text{mm}$ 의 범위에서 철근을 선택하도록 하고 있다. 철망의 철선 직경은 부식으로 인하여 횡단면의 직경이 심각하게 감소되는 것을 막을 수 있도록 충분히 커야 한다. 또한, 세로와 가로철선 간의 관계는 제조회사의 제품규정에 적합하도록 한다.

(e) 철근의 열팽창계수

보강철근의 열팽창계수는 설계에 있어서 9.0×10^{-6} cm/cm°C 값을 사용한다.

(f) 설계온도하강(DT_D)

철근보강설계에 이용하는 온도하강은 평균 콘크리트 양생온도와 설계 최저 온도와의 차이이다. 평균 콘크리트 양생온도를 구하기 어려운 경우 콘크리트가 타설되는 달의 예상 최고 기온들의 평균값을 사용할 수 있다. 평균 양생 온도로서 최고 기온들의 평균값을 사용하는 이유는 콘크리트의 수화열로 인하여 콘크리트의 양생온도는 포설 당시의 기온보다 대체로 높기 때문이다. 설계 최저 온도란 포장 수명기간 중 가장 추운 달의 일평균 기온이다. 이러한 온도는 중앙기상대의 자료를 이용한다. (세로방향 철근설계에 있어서의 설계 온도하강은 다음 식으로 산출된다.)

$$DT_D = T_H - T_L$$

여기서,

DT_D : 설계 온도하강(°C)

T_H : 포장이 시공되는 달의 예상 일 최고 온도의 평균값(°C)

T_L : 연중 가장 추운 달의 예상 일 최저 온도의 평균값(°C)

(g) 철근의 허용응력(f_s)

철근의 허용응력은 콘크리트와 철근 사이의 접착력이 반복 하중에 견딜 수 있는 정도를 고려하여 결정되며, AASHTO 에서는 철근의 굵기와 콘크리트의 강도에 따라 <표 4.8>의 값을 추천하고 있다.

<표 4.8> 철근의 허용응력 (단위 : kg/cm²)

28일 양생 콘크리트의 간접 인장강도(MPa)	철 근 직 경(mm)		
	ø13	ø16	ø19
2.1 이하	4,570	4,010	3,800
2.8	4,710	4,220	3,870
3.5	4,710	4,290	3,940
4.2	4,710	4,430	4,080
4.9	4,710	4,570	4,150
5.6 이상	4,710	4,710	4,220

주) 이형철망(DWF)을 사용하는 경우에는 철근 직경에 대한 철선 직경의 비를 이용하여 조정할 수 있다.

(h) 윤하중에 의한 콘크리트 슬래브에 발생하는 인장응력

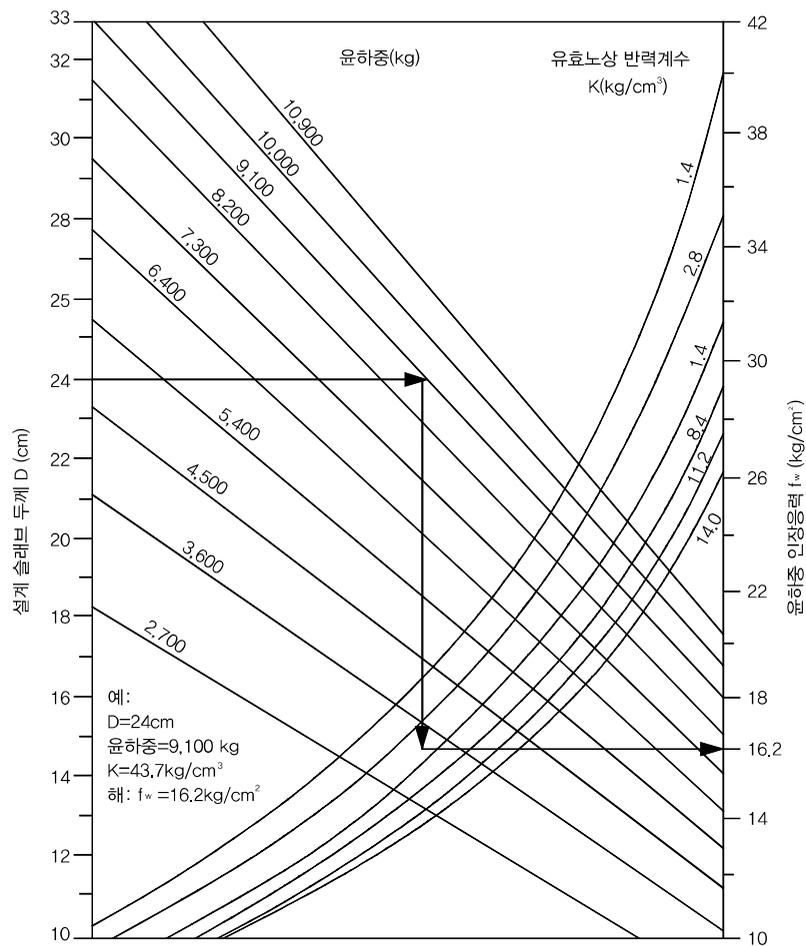
포장 포설 후 초기(15~28일)에 시공 장비나 트럭의 재하 윤하중에 의해서 발생하는 인장응력을 말한다. 예상 윤하중 크기, 설계 슬래브 두께, 그리고 설계 노상반력계수를 적용하여 <그림 4.7>에 의해서 결정한다.

(i) 제한기준

세로방향철근 설계에 있어서 예상한 환경과 차량 재하조건에서 포장이 충분한 기능을 유지하기 위해서는 균열간격, 균열폭 그리고 철근응력에 대한 제한기준 사항을 고려하여야 한다.

① 균열간격

균열간격에 대한 제한기준은 스포링(spalling)과 펀치아웃(punchout)을 고려함으로써 설정된다. 스포링의 영향을 최소한으로 줄이기 위해서는 균열 간의 최대 간격은 2.4m 정도라야 한다. 펀치아웃이 발생하지 않도록 설계에 사용할 수 있는 최소 균열간격은 1.0m이다. 이러한 제한사항을 <표 4.9>에 기록한다.



<그림 4.7> 유하중 인장응력 산정 도표

〈표 4.9〉 세로방향철근 설계표

(1) 설계자료

설 계 변 수	값	설 계 변 수	값
철근/철선 직경 ϕ (mm)		열팽창계수비 α_s/α_c (cm/cm)	
콘크리트 건조수축계수 Z (cm/cm)		설계온도하강 DT_b (°C)	
콘크리트 인장강도 f_t (kg/cm ²)		윤하중 응력 f_w (kg/cm ²)	

(2) 설계기준 및 소요 철근비

구 분	균 열 간 격 X (m)	허용 균열폭 CW_{max} (mm)	허용 철근응력 $(f_s)_{max}$ (kg/cm ²)	설계철근 범위 ¹⁾
제 한 기 준 치	최대 : 2.4 최소 : 1.0			
최소소요 철 근 비				P_{min} ²⁾
최대허용 철 근 비				P_{max}

주) 1) $P_{max} < P_{min}$ 이면 철근설계 기준을 만족하지 못하므로 재설계 한다.

2) 최소 소요 철근비 중 최대값을 기재한다.

② 균열 폭

균열 폭에 대한 제한 기준이란 스폴링과 물의 침투를 방지하기 위하여 고려하는 것이다.

허용 균열 폭은 1mm 이내이므로 세로방향 철근비의 최종 결정에 있어서 예상 균열 폭은 철근비를 크게 하든가 작은 직경의 철근을 사용함으로써 좁힐 수 있다.

③ 철근응력

철근응력에 대한 제한 기준은 철근파괴와 과도한 영구변형을 방지하기 위한 것이다.

철근파괴를 최종 인장강도의 75%를 제한 응력으로 설정한다. 〈그림 4.7〉에 수록된 철근응력의 통상적인 제한이 항복점의 75%이기 때문에 철근에 어떠한 소성변형도 일어나지 않는다.

이 설계법에서의 철근 허용응력은 철근의 직경과 콘크리트 강도의 함수로서 〈표 4.8〉과 같다. 간접 인장강도는 앞의 (a)항을 기준으로 해서 결정한다. 〈표 4.8〉의 철근 허용응력의 최소값은 CRCP의 세로방향철근에 사용되는 항복강도 420MPa의 철근에 대한 것이다. 다른 철근을 사용할 경우에는 이에 대한 허용 철근응력을 산정하여 〈표 4.9〉에 기입한다.

(j) 설계순서

세로방향 철근량을 산정하기 위한 설계 순서는 다음과 같다.

단계 1 : 소요 철근량 및 철근비 산출

〈그림 4.8〉, 〈그림 4.9〉 및 〈그림 4.10〉의 설계 도표를 이용해서 각 제한 기준에 합당한 소요 철근량을 계산하고, 산출된 철근비를 〈표 4.9〉에 기입한다.

단계 2 : 철근비의 검토

P_{max} 이 P_{min} 보다 크거나 같다면 단계 3으로 진행한다.

그러나 P_{max} 이 P_{min} 보다 작을 경우에는 다음 절차에 의하여 계산한다.

- ① 설계자료를 재검토하여 수정하여야 할 사항을 결정
- ② 〈표 4.10〉의 설계도표에 수정한 설계자료를 표시하고, 설계변수를 수정함으로써 제한 기준에 합당하도록 한다.
수정 결과에 의한 보조기층과 슬래브 두께 설계의 영향을 검토한다.
- ③ 설계도표를 이용하여 그 결과를 〈표 4.10〉의 철근비 난에 기재한다.

〈표 4.10〉 세로방향철근 설계를 위한 시산 설계표

설 계 변 수	시 산 설 계 값				
	시산 2	시산 3	시산 4	시산 5	시산 6
1) 철근 / 철선직경 ϕ (mm)					
콘크리트 건조수축계수 Z (cm/cm)					
1) 콘크리트 인장강도 f_t (kg/cm ²)					
윤하중 응력 f_w (kg/cm ²)					
2) 설계 온도 하강 DT_D (°C)					
열팽창계수비 α_s/α_c					
허용 균열폭 CW_{max} (cm)					
허용 철근응력 $(f_s)_{max}$ (kg/cm ²)					
균열 간격에 대한 소요 철근비 %	최 소				
	최 대				
균열폭에 대한 최소 철근비 %					
철근응력에 대한 최소 철근비 %					
최소 철근비 P_{min}					
최대 철근비 P_{max}					

주 1) 이 값의 변화는 철근응력에 영향을 미친다.

2) 이 값의 변화는 균열폭에 영향을 미친다.

③ P_{max} 이 P_{min} 보다 크거나 같다면 단계3으로 넘어가며, P_{max} 이 P_{min} 보다 작을 경우는 <표 4.10>을 이용하여 2단계를 반복한다.

단계 3 : 철근 또는 철선의 소요개수 결정

$$N_{min} = 0.01273 \times P_{min} \times W_s \times D / \phi^2$$

$$N_{max} = 0.01273 \times P_{max} \times W_s \times D / \phi^2$$

여기서,

- N_{min} : 철근 또는 철선의 최소 소요개수
- N_{max} : 철근 또는 철선의 최대 소요개수
- P_{min} : 소요 최소 철근비
- ϕ : 철근 또는 철선의 직경 (cm)
- P_{max} : 소요 최대철근비
- W_s : 포장단면의 폭 (cm)
- D : 콘크리트층 두께 (cm)

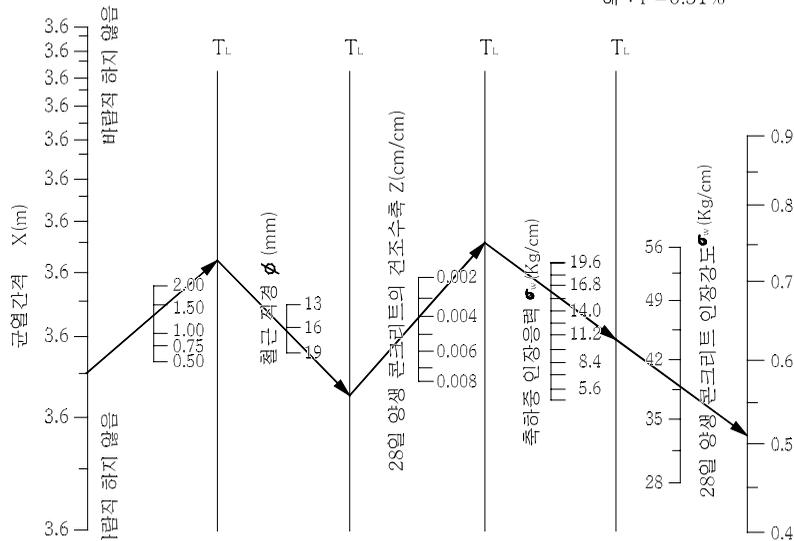
부식에 의한 단면 손실이 예상되는 경우 직경을 증가시킬 수 있다.

단계 4 : 철근이나 철선의 총 개수 결정

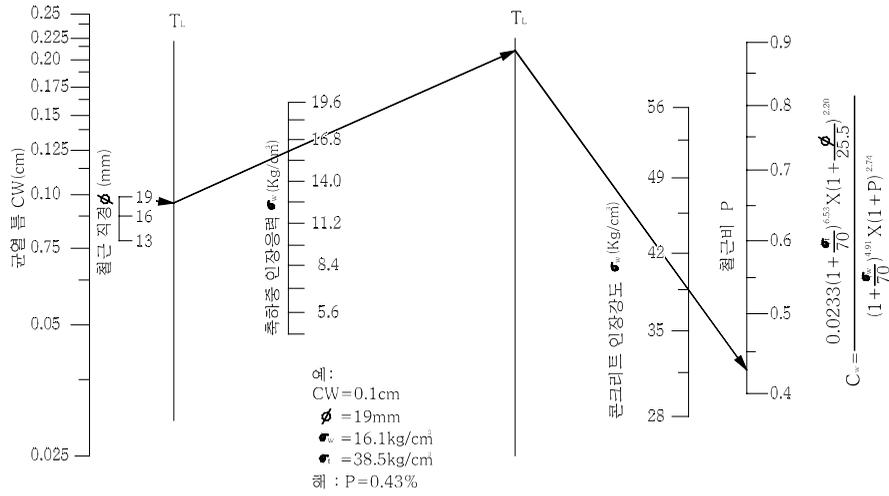
N_{design} 은 N_{min} 과 N_{max} 사이의 값으로, 이 철근설계의 적합성은 철근과 철선의 수를 철근량과 철근비로 변화시켜 설계도표를 이용하여 균열간격, 균열폭, 철근응력의 값을 역계산함으로써 검토할 수 있다.

$$\sigma_s = \frac{0.396 \times (1 + \frac{\sigma_w}{70})^{6.7} \times (1 + \frac{\phi}{25.5})^{4.09}}{(1 + \frac{\sigma_w}{70})^{5.2} \times (1 + P)^{4.6} \times (1 + 1000Z)^{1.79}}$$

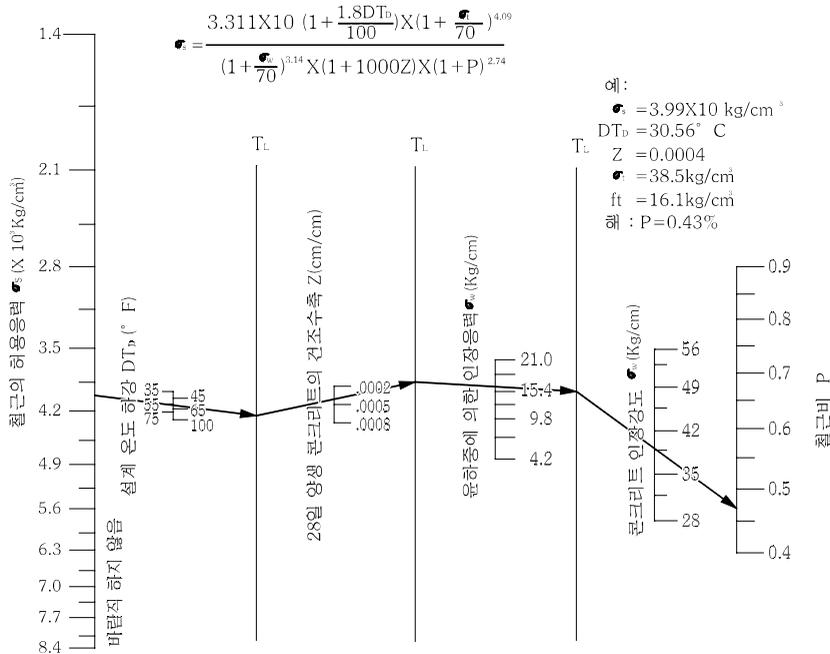
- 예:
 $X_c = 1.05$
 $a/a = 1.35$
 $\phi = 19mm$
 $Z = 0.0004$
 $\sigma_w = 16.1kg/cm^2$
 $\sigma_c = 38.5kg/cm^2$
 해 : $P = 0.51\%$



<그림 4.8> 균열 간격의 기준을 만족할 수 있는 철근비



〈그림 4.9〉 균열 폭의 기준을 만족할 수 있는 최소철근비



〈그림 4.10〉 철근응력의 기준을 만족할 수 있는 철근비

(k) 설계 예

슬래브 두께 240mm의 CRCP 세로방향 철근에 대한 설계 예는 다음과 같다. 두 가지의 시산 설계를 예로 들었는데 먼저 16mm 철근을 시산 설계하고, 두 번째 시산 설계에는 19mm 철근을 사용하였다. 설계요소는 다음과 같으며 〈표 4.9〉 및 〈표 4.10〉에 적정히 표기한다.

- ① 콘크리트 인장강도 f_t : 39kg/cm^2 {이 값은 슬래브 두께 설계의 예에 이용한 파괴 계수의 86%이다.(<그림 4.5> 참조)}
- ② 콘크리트 건조수축 Z : 0.0004cm/cm {이 값은 콘크리트 인장강도에 대응된다.(<표 4.6> 참조)}
- ③ 윤하중 응력 f_w : 16.2kg/cm^2 {이 값은 노상지지력 계수가 4.7kg/cm^2 인 24cm 포장 슬래브에 대한 것이다.(<그림 4.7> 참조)}
- ④ 철근과 PCC의 열팽창계수비 α_s / α_c : 1.32(철근의 열팽창계수는 $9.0 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$ 이고(4.3.3 (2)항' 참조), 콘크리트의 굵은골재가 석회암인 경우 열팽창계수는 $6.8 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$ (<표 4.7> 참조)이다
- ⑤ 설계온도하강 DT_D : 30.5°C (일 평균 최고 온도 23.8°C , 일평균 최저온도 -6.7°C 로 가정) 이 설계조건에 적합한 제한기준은 다음과 같다.
 - ㉠ 허용 균열폭 CW : 1mm(4.4.2 (다)항' CRCP의 보강철근 제한기준)
 - ㉡ 허용 철근응력 f_s : 철근 직경 16mm의 경우 $4,300\text{kg/cm}^2$, 철근직경 19mm의 경우 $4,000\text{kg/cm}^2$ (<표 4.8> 참조)

<그림 4.8>, <그림 4.9> 및 <그림 4.10> 설계도표의 각 시산 설계에 있어서 철근비 제한기준은 다음과 같다.

시산 설계 1 : $P_{min} = 0.43\%$, $P_{max} = 0.51\%$

시산 설계 2 : $P_{min} = 0.47\%$, $P_{max} = 0.57\%$

각 시산 설계에 대한 소요 철근계수(차로폭 3.6m 가정)의 범위($N_{min} \sim N_{max}$)는 다음과 같다.

시산 설계 1($\phi 16\text{mm}$ 철근) : $N_{min} = 19.2\%$, $N_{max} = 22.7\%$

시산 설계 2($\phi 19\text{mm}$ 철근) : $N_{min} = 14.6\%$, $N_{max} = 17.6\%$

시산 설계 1($P=0.45\%$)에서는 $\phi 16\text{mm}$ 철근 20개를, 시산 설계 2($P=0.48\%$)에서는 $\phi 19\text{mm}$ 철근 15개를 사용할 경우에 세로방향 철근의 간격은 각각 18cm, 24cm가 된다.

각 시산 설계에서의 예상 균열폭 그리고 철근응력은 다음과 같다.

구 분	시산 설계 1 ($\phi 16$ 철근 20개) $P=0.45\%$	시산 설계 2 ($\phi 19$ 철근 15개) $P=0.45\%$
균열간격 $X(\text{m})$	1.3	1.4
균열폭 $CW(\text{mm})$	0.79	0.81
철근응력 $f_s(\text{kg/cm}^2)$	4,200	3,870

시산 설계 결과로부터 두 시산 설계는 큰 차이가 없으므로 경제성과 시공성을 고려하여 한 방법을 채택할 수 있다.

(라) CRCP의 가로방향 철근설계

가로방향철근은 JRCP나 CRCP에 공통으로 사용하며, 주 목적이 세로방향 균열발생 시 균열이 과도하게 벌어지는 것을 방지하는데 있다.
 철근량의 산정방법은 JRCP의 종방향철근량의 설계법과 동일하다. 단, 철근량 계산 시 슬래브의 길이 대신 슬래브의 폭을 이용한다. 여기서 슬래브의 폭은 슬래브 양쪽의 자유단(free edge)에서 자유단까지의 횡방향 거리를 말하며, 타이바로 연결된 곳은 자유단에 포함되지 않음에 주의하여야 한다.(〈그림 4.11〉 참조)

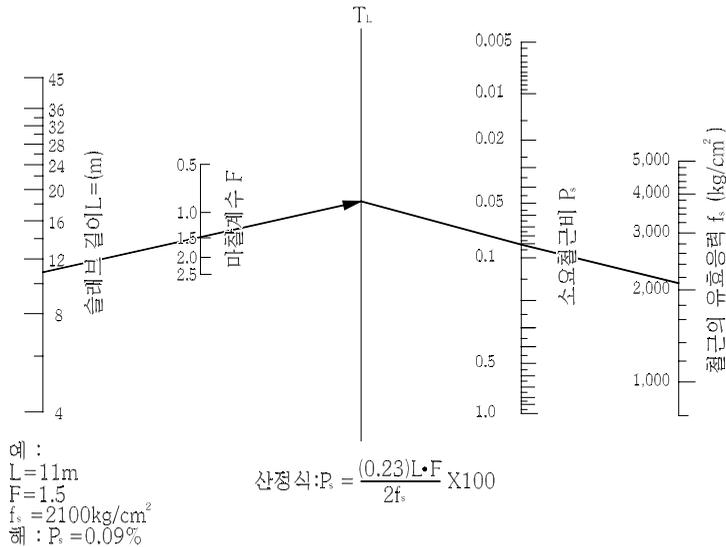
가로방향철근은 줄눈포장 또는 연속포장에서 온도나 함수의 변화로 인한 토량 변화가 세로방향 균열을 발생시킬 우려가 있을 때 설치하는 것이다. 철근은 세로방향 균열이 심하게 벌어지는 것을 방지함으로써 최대의 하중전달기능을 발휘하고, 물의 침투를 최소로 할 수 있다.

가로방향철근의 철근비는 〈그림 4.11〉을 이용하여 결정하며, 다음 식에 의하여 철근 간격을 구한다.

$$Y = \frac{A_B}{P_t \cdot D} \times 100$$

여기서,

- Y : 가로방향 철근 간격(cm)
- A_B : 가로방향 철근 1개 당 단면적(cm²)
- P_t : 가로방향 철근비(%)
- D : 슬래브 두께(cm)



〈그림 4.11〉 JRCP의 철근설계 도표

(마) 타이바의 설계

- (1) 타이바의 주 기능은 세로줄눈부가 과도하게 벌어지는 것을 방지하기 위하여 사용한다. 때로는 CRCP에서 시공줄눈 부분에 건조수축이나 윤하중에 의하여 세로철근에 걸리는 과부하를 덜기 위하여 세로철근과 같은 방향으로 설치하여 사용하는 경우도 있다.
- (2) 타이바 철근 설치규격은 CRCP 가로 철근 또는 JRCP의 가로·세로 철근설계와 동일한 방법으로 결정한다.

타이바는 콘크리트와의 부착력을 높이기 위하여 주로 이형철근을 사용하며, 직경을 13mm 또는 16mm의 긴 것을 주로 사용한다. 타이바의 길이는 콘크리트와의 부착이 유지될 수 있도록 충분한 길이를 가져야 한다.

타이바의 설치간격은 슬래브의 두께가 결정된 경우 타이바의 설치위치와 가까운 자유단(free edge) 간의 거리에 따라 달라진다. 타이바 설치 간격 결정의 기본 개념은 횡방향 철근량 및 철근 간격 산출 방법과 동일하다. 단, 횡방향 철근량 계산식에서 슬래브의 폭 대신에 가까운 자유단까지 거리의 두 배를 사용한다.

콘크리트 슬래브와 보조기층 간의 마찰계수가 1.5인 경우의 타이바 간격을 구하는 도표는 <그림 4.12>와 같다.

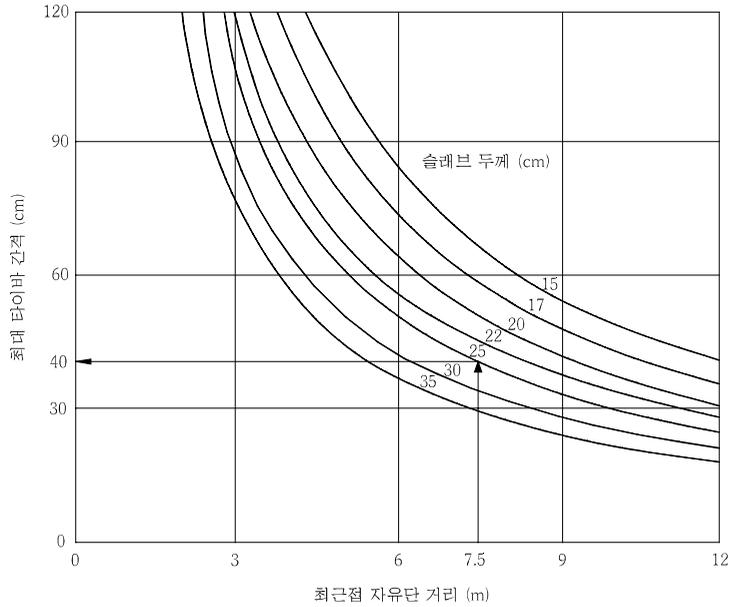
마찰계수가 크게 다른 경우는 앞에서 설명한 바와 같이 가로방향 철근량 산정 방법과 동일한 방법으로 구한다.

<그림 4.12>의 가로축(최근접 자유단 거리) 정해진 값에서 수직으로 선을 그어 '4.4.2) 1)항' (콘크리트 슬래브 두께 설계)로부터 구한 포장 두께와 대응되는 선과 연결하고, 다시 수평으로 선을 그어 세로축과 만나는 점을 타이바 간격의 값으로 한다. 이 도표는 항복강도가 2,800kg/cm²인 철근과 노상 마찰계수 1.5에 대하여 작성된 것이다.

(설계 예) 슬래브 폭 = 7.2m, 슬래브와 슬래브 아래 층 간의 마찰계수 = 1.5, 철근의 허용응력 = 2,100kg/cm², 철근의 직경 = 16mm, 슬래브두께 = 30cm인 경우

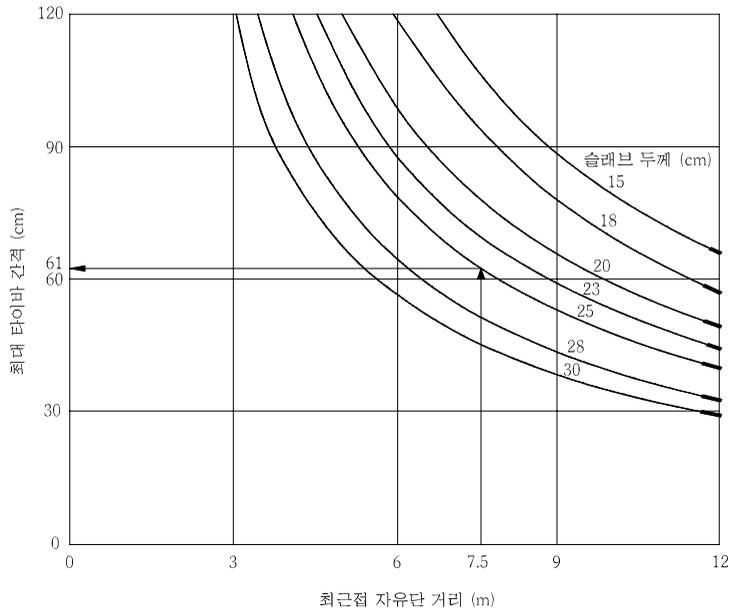
가로방향 철근량
$$P_s = \frac{0.23(7.2)(1.5)}{2 \times 2100} \times 100 = 0.06\%$$

철근의 간격
$$Y = \frac{A_B}{P_s D} = \frac{\frac{\pi(1.6)^2}{4}}{0.06(30)} \times 100 = 111.7\text{cm}$$



예 : 자유단 거리 = 7.5m 해 : 간격 = 40cm
 슬래브 두께 = 25cm

(a) ϕ 13 mm, SD 30의 철근과 노상 마찰계수 1.5 일때



예 : 자유단 거리 = 7.5m 해 : 간격 = 61cm
 슬래브 두께 = 25cm

(b) ϕ 16 mm, SD 30의 철근과 노상 마찰계수 1.5 일때

〈그림 4.12〉 PCCP의 최대 타이바 간격의 권장값

4.4.3 콘크리트 포장 요강 설계법

(1) 기본 개념

제시되는 설계절차는 탄성 노상기초 위에 놓이는 판(plate)의 해석 이론과 Miner 법칙을 적용한 피로파괴기준을 기초로 하는 역학적 해석기법과, 일본에서의 콘크리트 포장의 공용결과 및 시험포장 관측조사 자료를 반영하여 표준화된 방법이다.

이 절에서 제시된 설계 절차는 일본도로협회에서 제정한 1984판 ‘시멘트 콘크리트 포장요강’을 기준으로 하고 있다. 이 설계 절차는 일본도로공단에서 제정한 ‘설계요령, 제1집 2편 포장’과 설계 교통량에 따른 콘크리트 슬래브 두께 기준 등 몇 가지의 세부 포장구조설계 표준치 상에서 약간의 차이만 있을 뿐, <표 4.11>에서 비교된 바와 같이, ‘시멘트 콘크리트 포장요강’에서 적용하는 절차가 좀 더 합리적이라 판단되어 이것을 채택하였다.

이 설계 절차가 ‘4.4.2 AASHTO 설계법’과 다른 특징은 다음과 같다.

- ① 포장 슬래브를 지지하는 노상지지력계수(K)를 교통등급 L, A에서는 $K \geq 15\text{kg/cm}^2(250\text{pci})$, B~D에서는 $K \geq 20\text{kg/cm}^2(330\text{pci})$ 가 되도록 하는 노상조건 하에서 각각의 교통 등급별 콘크리트슬래브 설계두께가 표준화 되어 있다.
- ② 슬래브 설계두께를 만족시키기 위한 보조기층 및 노상의 설계절차가 강조되어 있다.

<표 4.11> 현재의 일본 콘크리트포장 표준 설계법의 비교

설계요소	항 목	시멘트 콘크리트 포장 요강(1984)				일본도로공단 설계요령				
보조기층	보조기층 두께의 설계	노상지지력계수(K값) 혹은 설계 CBR을 기초로 설계한다.				15cm 를 표준으로 한다.				
	공 중	설계 도표는 시멘트 안정처리, 입도조정 쇄석, 크러셔런 등의 재료에 대해서 준비되어 있다.				원칙으로는 시멘트안정처리				
콘크리트 슬래브	슬래브의 두께	교통량 구 분	대형차 교통량*	보 통 콘크리트 슬래브두께	연속철근 콘크리트 슬래브두께	설계교통량 (20년간 누 적 대형차 교통량)	보 통 콘크리트 슬 래 브 두께	터 널 요금소 포 장		
		L교통	100미만	15cm (20)**	20cm				1,300만대 미만	25cm
		A교통	100이상 250미만	20cm (25)**	"				1,300만대 이상2,400만대 미만	28cm
		B교통	250이상 1000미만	25cm	"				2,400만대 이 상	30cm
		C교통	1000이상 3000미만	28cm	25cm					
		D교통	3000이상	30cm	"					
*공용개시 5년 후 대형차 1일 1방향 해당 하는 대수 ** ()는 콘크리트 휨강도가 40kg/cm ² 일 때의 값										

설계요소	항 목	시멘트 콘크리트 포장 요강(1984)	일본도로공단 설계요령									
철근류 (보통 콘크리트 포장)	철 강	· 원칙으로 사용하고, 3kg/cm ² 를 표준으로 한다. 통상 D6을 사용한다. · 매립깊이는 표면에서 콘크리트슬래브두께의 거의 1/3의 위치	· 원칙으로 사용하고, Ø6mm 철근을 세로방향 125mm, 가로방향 250mm 간격으로 배근. · 슬래브 표면에서 슬래브 두께의 약 1/3 아래에 위치									
	중연부 보강철근	· D13을 3본 결속한다.	좌 동									
줄눈 (보통 콘크리트 포장)	공 종	· 보통콘크리트포장이 원칙 · 철근콘크리트포장 · 연속철근콘크리트포장 · PC포장	좌 동									
	세로줄눈	· 시공법을 고려해서 차로를 구분하는 위치 · 간격은 일반적으로 3.25m, 3.5m, 3.75m이고 5m이상으로 하지 않는다	· 차로를 구분하는 노면표시의 추월차로 측연에 설치한다.									
줄눈 (보통 콘크리트 포장)	가 로 팽창줄눈	· 줄눈 구간의 표준값(m) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="text-align: center;">시공 시기</td> <td style="text-align: center;">겨 울</td> <td style="text-align: center;">여 름</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">15,20cm</td> <td style="text-align: center;">60~120</td> <td style="text-align: center;">120~240</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">25cm</td> <td style="text-align: center;">120~240</td> <td style="text-align: center;">240~480</td> </tr> </table>	시공 시기	겨 울	여 름	15,20cm	60~120	120~240	25cm	120~240	240~480	· 구조물에서 접속하는 개소, 서로 다른 포장 공종과의 경계부 · 일반의 땅깁기·흙쌓기 구간에는 설치하지 않는다.
		시공 시기	겨 울	여 름								
15,20cm	60~120	120~240										
25cm	120~240	240~480										
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 5px;">겨울 : 12월 ~3월</div> <div style="margin-bottom: 5px;">여름 : 4월 ~11월</div> </div>												
	가 로 수축줄눈	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="text-align: center;">슬래브두께</td> <td style="text-align: center;">표준간격</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">25cm 미만</td> <td style="text-align: center;">8m</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">25cm 이상</td> <td style="text-align: center;">10m</td> </tr> </table>	슬래브두께	표준간격	25cm 미만	8m	25cm 이상	10m	· 간격은 10m · 캣트줄눈 2에 대해서 주입줄눈 1의 비율로 한다.			
		슬래브두께	표준간격									
25cm 미만	8m											
25cm 이상	10m											
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 5px;">철강을 생략 하는 경우에 5m 간격으로 한다.</div> </div>												

(2) 보조기층 설계

- (1) 보조기층 두께의 결정은 콘크리트슬래브 아래의 접속면 또는 보조기층 상면에서 소요의 목표 지지력을 확보하도록 '4.3.2 노상' '4.2.2 보조기층'에서 정의되는 노상면에서 설계 지지력의 척도인 설계 CBR 또는 설계노상반력계수(K)를 기준으로 하여 <그림 4.13> 또는 <표 4.12>를 적용하여 보조기층두께를 결정한다.
- (2) 노상면에서 지지력 척도를 노상반력계수로 할 경우, 보조기층 상면에서 목표 지지력계수는 교통구분이 L, A인 경우에 $K \geq 15 \text{ kg/cm}^2$, B~D인 경우 $K \geq 20 \text{ kg/cm}^2$ 을 기준으로 한다.
그리고 노상면에서 지지력 척도를 설계CBR을 기준으로 할 경우에는 보조기층 상면에서 목표CBR 값은 $\text{CBR} \geq 80$ 을 기준으로 한다.

보조기층의 두께는 노상의 지지력계수 또는 설계 CBR을 기초로 하여 설계한다.

동결융해를 받는 한랭지방에서는 그 지역의 동결깊이를 구하고, 설계지지력계수 또는 설계 CBR로부터 구한 포장두께에 필요한 차단층의 두께를 더한 것과 비교하여, 만일 동결깊이 쪽이 큰 경우에는 그 두께의 차만큼 동상을 일으키지 않는 재료로 두텁게 한다. 동결깊이 산정은 '3.4.4 (4)항'을 적용하여 결정한다.

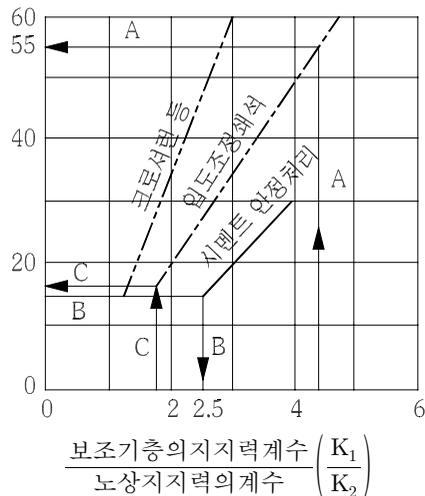
(가) 지지력계수에 의한 보조기층두께의 설계

보조기층의 설계는 보조기층의 지지력 계수가 20kg/cm³가 되도록 시험 보조기층을 만들어 결정하는 것이 좋다. 시험 보조기층에 의하는 것이 곤란한 경우에는 <그림 4.13>(a)의 설계곡선을 사용하여 그 두께를 결정한다.

지지력계수는 KS F 3210(도로의 평판재하 시험방법)에 따라 구한다.

노상의 지지력계수는 함수량의 변화에 따라 변화하는 것으로, 계절적인 변동이 적다고 생각되는 면까지 파내려가서 평판재하시험을 하여 구한다. 땅깍기 구간의 경우에는 땅깍기 면에서 직접 평판재하시험을 실시하여도 좋다.

<그림 4.13>(a)는 실내시험결과를 토대로 해서 대체로 80%가 안전 측에 들도록 만든 설계곡선이다. 실제로 시공한 보조기층의 지지력계수가 15~20kg/cm²의 경우에는 보통 설계를 변경할 필요는 없다. 15kg/cm² 보다 작게 되는 경우에는 안정처리 등의 수단으로 설계를 변경하여야만 한다.



<그림 4.13> (a) 보조기층 두께의 설계곡선

설계에 사용하는 지지력계수는 그와 동일재료로 노상을 시공한 구간에 대해서는 땅깍기 구간 3개소 이상, 흙쌓기 구간 3개소 이상의 실측값을 사용해서, 다음 식에 의하여 결정한다.

$$\text{지지력계수} = \text{각지점의 지지력계수의 평균} - \frac{\text{지지력계수의최대값} - \text{지지력계수의최소값}}{C}$$

여기서,

C : <표 4.12>에 표시한 계수를 사용한다.

<표 4.12>

조사지점 수(n)	3	4	5	6	7	8	9	10 이상
C	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

(예 1) 노상의 지지력계수를 6개소 측정하였는데, 6.8, 6.5, 5.6, 5.2, 4.5 및 4.3이었다.

$$\text{노상의 지지력계수} = 5.5 - \frac{6.8 - 4.3}{2.67} = 4.5$$

$$\frac{\text{보조기층의 지지력계수}}{\text{노상의 지지력계수}} = \frac{20}{4.5} = 4.4 \text{ 이므로,}$$

보조기층 재료로 입상재료를 이용하는 것으로 한다면 <그림 4.13>(a)에서 A의 화살표를 따라가면 55cm의 보조기층 두께가 필요하다.

(예 2) 예 1의 경우에 상층 보조기층에 두께 15cm의 시멘트 안정처리를 채택한다고 하면 시멘트 안정처리층의 밑면에 필요한 지지력계수는 <그림 4.13>(a)에서 세로축의 15cm에서 B의 화살표를 따라가면 $K_1/K_2 = 2.5$ 를 얻는다.

$$\text{따라서 시멘트 안정처리층의 밑면에서 필요한 지지력은 } \frac{20}{2.5} = 8\text{kg/cm}^2 \text{로 된다.}$$

여기서 하부보조기층에서의 지지력을,

$$\frac{\text{보조기층의 지지력계수}}{\text{노상의 지지력계수}} = \frac{8}{4.5} = 1.8\text{배 하면 된다.}$$

<그림 4.13>(a)의 가로축의 1.8배에서 C의 화살표를 따라가면 시멘트 안정처리 층의 밑에 사용할 입상재료의 두께는 약 20cm가 된다. 따라서, 입상재료 20cm, 시멘트 안정처리재료 15cm, 합계 35cm의 보조기층 두께로 설계하면 된다.

(예 3) 노상의 설계지지력 계수가 5.00이고, 크러셔런(crusher run) · 입도조정쇄석 · 시멘트 안정처리 보조기층 재료를 사용하여 3층으로 하고, 크러셔런 보조기층의 두께가 15cm 입도조정쇄석 보조기층의 두께를 20cm로 하면 시멘트 안정처리 보조기층은 어느 만큼의 두께가 필요한가?

<그림 4.13>(b)로부터,

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{20}{5} = 4 \text{ 로 계산되고,}$$

우선, <그림 4.13>(b)의 세로축의 15cm에서 수평선을 그어서 크러셔런 선과의 교점을 l 로 한다. l 에서부터 입도조정쇄석 선은 평행선을 그어서 20cm의 두께에 상당하는 점을 m 으로 한다.

다음에 m 에서부터 시멘트 안정처리 선에 평행선을 그어서 $K_1/K_2 = 4$ 로부터 수직선과의 교점을 n 으로 한다.

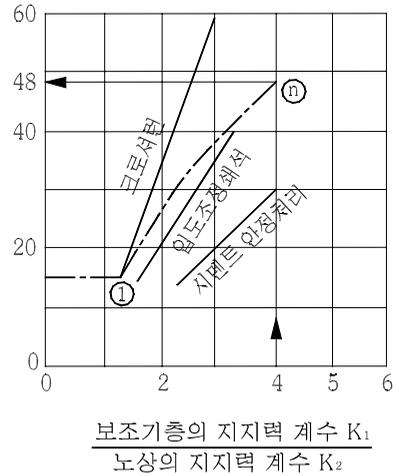
n 에서 수평선을 그어서 세로축과 교차하는 48cm가 구하는 보조기층의 두께이다. 그런데 시멘트 안정처리 보조기층의 두께는 $48-20=15=13\text{cm}$ 로 계산되나 15cm를 사용한다.

시멘트 안정처리 보조기층의 최소 두께는 15cm로 한다. 차단층 위에 직접 시멘트 안정처리 재료 시공하는 것은 시공 상 또는 구조상으로 문제가 있으므로 좋지 않다. 일반적으로 보조기층은 밑에서 위에 걸쳐 단계적으로 강도를 증가시키는 구조가 좋다.

아스팔트 중간층을 사용할 경우에는 아스팔트 중간층 4cm에 해당하는 두께로서 지지력계수 또는 후술한 CBR에 의하여 설계한 보조기층 두께보다 입상재료의 경우에는 10cm, 시멘트 안정처리의 경우에는 5cm의 두께를 절감한다.

입상재료 또는 시멘트 안정처리 재료 등에 보통 사용하는 이외의 재료에 의한 보조기층 두께의 설계는 시험 보조기층에 의한다.

노상의 지지력계수가 20kg/cm^2 이상의 경우에는 지지력의 균일성과 노상 상부 15cm 두께의 보조기층을 두는 것이 좋다.



<그림 4.13> (b) 보조기층 두께의 설계곡선

(나) CBR에 의한 보조기층 두께의 설계

노상의 CBR에 의하여 보조기층 두께를 결정하기 위해서는 우선 노상토의 설계 CBR을 이 편 아스팔트 포장 2.4.3절에 규정되어 있는 방법에 의하여 구한다.

다음에 그 설계 CBR에 따라 표4.13에 의하여 보조기층 두께를 결정한다.

<표 4.13>에 표시된 보조기층 두께는 입도조정된 보조기층을 사용하였을 경우이다. 또한, 하부보조기층과 상부보조기층으로 구분할 경우 <그림 4.13>에 표시된 방법을 사용하면 좋다.

노상이 깊이 방향으로 토질이 상이한 몇 개의 층을 이루고 있을 경우의 설계 CBR은 아스팔트 포장 편 설계CBR에 표시된 방법에 의하여 구한 노상면으로부터 깊이 1m까지 평균 CBR을 사용한다.

〈표 4.13〉 설계 CBR과 보조기층 두께의 관계

교통의 구분 \ 노상의 설계 CBR	2	3	4	6	8	12 이상
	L·A 교통	50	35	25	20	15
B, C, D 교통	60	45	35	25	20	15

노상토의 설계 CBR이 2.0 이하의 경우에는 연약한 노상토로 취급하여 그 부분에 대해서는 특별한 설계를 하여야 한다.

(다) 보조기층의 구성

최종적인 포장단면은 현장에서의 시험보조기층의 결과를 기초로 하여 사용한 재료, 시공법, 현장조건, 경제성 등을 포함한 종합적인 비교검토를 한 후 결정하는 것이 좋다.

(3) 콘크리트 슬래브의 설계

- (1) 콘크리트 슬래브의 횡단경사가 직선인 동일두께의 단면으로 설계한다.
- (2) 교통량의 구분
설계에 사용하는 교통량의 구분은 공용개시 5년 후에 대형차의 1일 1방향 당 교통량에 의하는 것으로 하며, 〈표 3.33〉에 표시한 5가지의 구분 중 어느 하나를 사용한다.
- (3) 콘크리트의 설계기준 휨강도
콘크리트 슬래브의 설계에 사용할 콘크리트의 강도는 휨강도로 45kg/cm²로 한다.
- (4) 콘크리트 슬래브의 두께
콘크리트 슬래브의 두께는 교통량에 따라 〈표 4.14〉의 값을 표준으로 한다.

〈표 4.14〉 교통량 구분별 콘크리트슬래브의 표준 두께

교통량의 구분	콘크리트 슬래브의 두께(cm)
L 교통	15(20)
A 교통	20(25)
B 교통	25
C 교통	28
D 교통	30

주) 괄호 안의 값은 L, A교통으로 휨강도를 40kg/cm²로 한 경우이다.

콘크리트의 휨강도는 재령 28일에서 KS F 2403(시험실에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법) 및 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법(단순보의 3등분점 하중법))에 의하여 구한 값으로 한다.

L, A 교통에서 양질의 골재가 구입되지 않았을 경우 설계기준 휨강도 $45\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 얻기 위하여 시멘트량이 현저하게 증가되는 경우 설계기준 휨강도를 $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 하여도 좋다.

콘크리트 슬래브의 두께는 교통량에 따라 <표 4.14>의 값을 표준으로 한다.

(4) 보강철근

(가) CRCP의 세로·가로 방향 보강 설계

(1) 세로방향철근

연속철근콘크리트포장에서 세로방향철근의 첫째 목적은 가로방향 균열(crack)이 더 이상 벌어지지 않도록 발달을 억제시키는 것이며, 이형철근을 사용한다.

① 사용철근량

최소철근비는 0.6%이며, 기온의 변화가 심하거나 기온이 대단히 낮은 지역은 0.7% 포함한다.

② 부착면적

콘크리트 단위체적에 대한 최소면적비는 다음과 같다.

- $0.0012\text{cm}^2/\text{cm}^3$: 여름
- $0.0016\text{cm}^2/\text{cm}^3$: 늦은 가을과 이른 봄

③ 철근강도

종방향 철근의 항복강도는 $4,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하로 한다.

④ 배근위치와 간격

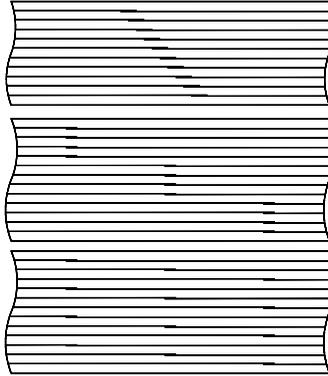
철근은 슬래브 두께 중앙이나 중앙 바로 위에 배근하는 것이 바람직하며, 배근간격은 10~22.5cm, 콘크리트 덮개는 6.5cm 이상으로 한다.

⑤ 이 음

철근이음은 연속철근 콘크리트 포장에서 아주 중요한 사항인바, 직경의 30배 이상으로 하되 겹침부는 여러 방향으로 엇갈려 있거나 경사지는 것이 좋다.(<그림 4.15> 참조)

(2) 가로방향 철근

가로방향 철근은 여러 가지 목적 때문에 사용되지만, 최근 발달된 시공법에서는 세로 방향 균열의 발달이 억제된다고 보며, 튜브(tube)식 포설에서는 가로방향철근을 생략할 수도 있다. 배근간격은 직경의 70배 또는 70~120cm이다.



〈그림 4.15〉 철근 이음 설치 예

(나) JCP의 보강 철망

- (1) 무근 콘크리트 슬래브에는 원칙적으로 철망을 사용하나, 슬립 폼 페이버로 포설할 경우 철망을 생략할 수도 있다.
철망의 폭은 콘크리트 슬래브의 폭보다 100mm 정도 좁게 한다. 철망의 길이는 겹처이음을 200mm 정도로 하여 수축줄눈 간격의 사이에 꼭 들어맞도록, 또 운반이 편리하도록 정한다.
- (2) 철망의 철근량은 1㎡ 당 3kg을 표준으로 하며, 보통 6mm의 원형철근 또는 이형철근을 사용한다.
- (3) 철망은 가능한 한 용접에 의하여 조립하는 것으로 한다.
- (4) 철망의 매설 깊이는 시공법을 고려하여 정한다. 콘크리트를 2층으로 나누어 깔아나갈 경우에는 표면에서 콘크리트 슬래브두께 1/3의 위치로 하면 좋다. 철망삽입기를 사용할 경우에는 콘크리트 슬래브의 표면에서 50~70mm로 하는 것이 좋다.

〈그림 4.16〉은 철망의 설치 예를 보여주고 있다.

철망은 콘크리트 슬래브의 균열이 생겼을 경우에 이것이 벌어지지 않도록 보조하는 효과가 있다. 따라서, 철망을 넣은 콘크리트 슬래브는 일단 균열이 발생하기 시작하더라도 급속히 발전되지 않는 특성을 가지고 있기 때문에 덧씌우기(overlay)의 시기가 다소 지연되더라도 치명적인 영향은 가져 오지 않게 한다.

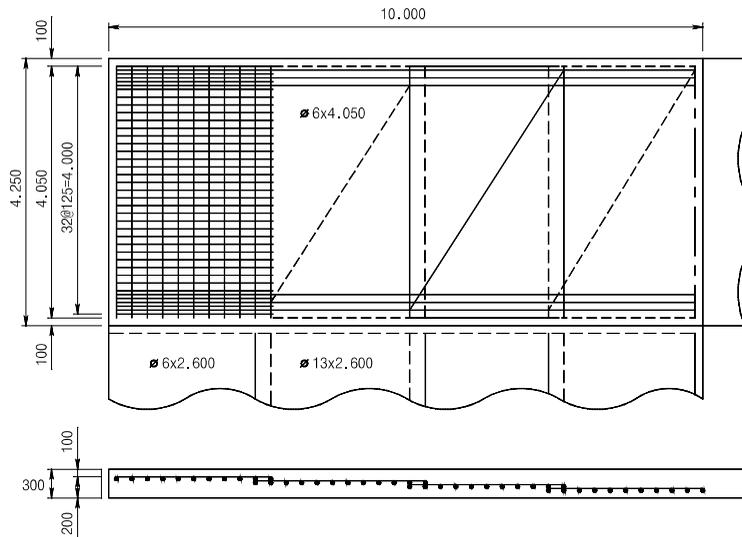
철망은 가로줄눈으로 자르는 것이 보통이지만 시공형편상 {예를 들면 철망삽입기로 연속하여 매설 할 경우, 빗줄눈으로 철망을 마름모꼴로 만드는 것이 형편이 나쁜 경우 또는 슬립 폼 페이버(slip form paver)로 시공할 경우 등} 가로 맹줄눈을 통하여 철망의 사이를 떼는 경우가 있다. 이 경우 철망은 커터(cutter)로 자르는 것이 좋다. 자르지 않으면 맹줄눈은 비틀림줄눈(warping joint)으로 되지만, 초기 균열이 맹줄눈 이외의 위치에 생길 위험성이 다소 높게 된다.

철망의 철근량은 경험적으로 정하여지고 있다고 하여도 좋으나 이론적으로 보조기층 마찰력에 저항하는 양에 거의 필적하는 것으로 하고 있다. 보조기층 마찰력의 합계는 가로균열이 슬래브의 중앙에 생긴 때도 세로균열이 슬래브의 중앙에 생겨도 같다.

슬래브두께가 15cm의 경우에는 슬래브두께의 약 1/2 위치에 철망을 넣는다.

L, A 교통으로 시공상 철망을 사용하기가 곤란할 경우에는 철망을 생략하는 일도 있다.

또 이 경우 수축줄눈 간격은 5m 이하로 한다.



〈그림 4.16〉 철망 및 연단부 보강철근의 설계 예(단위 : mm)

4.4.4 보조기층면의 분리막 설계

(1) 분리막 기능

일반적으로 분리막(separation membrane)의 기능은 JCP와 JRCP에서,

- (1) 콘크리트 슬래브의 온도변화 또는 습도변화에 따른 슬래브의 팽창작용을 원활하게 하도록 슬래브 바닥과 보조기층 면과의 마찰저항을 감소시키기 위하여 설치한다. 이는 슬래브가 경화중인 시공 직후에 특히 필요하게 된다.
- (2) 콘크리트 중의 모르타르가 공극이 많은 보조기층으로 손실됨을 방지한다.
- (3) 보조기층 표면의 이물질이 콘크리트에 혼입됨을 방지한다.

일반적으로 분리막은 보조기층 면과 슬래브 면과의 사이에서 마찰저항이 구조적으로 필요한 연속철근 콘크리트 포장(CRCP) 공법을 제외하고는 모두 사용한다.

(2) 분리막 재료

분리막으로 보통 폴리에틸렌필름(polyethylene film)를 사용한다. 필름을 콘크리트 포설 전에 설치하거나 타이바(tie bar)를 둔 뒤틀림 줄눈을 두는 무근 콘크리트 포장에서는 120 μ m 두께가 적합한데, 다만 필름에 손상이 없도록 설치되어야 한다. 필름의 겹이음폭은 300mm, 세로 방향 100mm 이상이어야 하고, 강우 시에도 빗물이 필름 아래로 스며들지 않도록 겹이음 한다.

분리막은 취급이 이용하고, 물을 흡수하지 않고, 콘크리트를 치고 다질 때 찢어지지 않아야 한다. 일반적으로 사용하고 있는 것으로 폴리에틸렌필름과 크라프트지(kraft paper)가 있으며, 이들에 관한 품질의 표준은 KS M 3509와 KS M 7501에 적합한 것이어야 한다.

기타 재료로는 방수지(water proof paper)가 이용될 수 있으나, 이 목적으로 역청재를 살포하는 방법은 부적합하다. 이 경우에는 보조기층면의 마찰저항을 증가시키게 되어 슬래브의 초기 균열발생의 원인이 될 수 있다. 시멘트 안정처리 보조기층의 양생 목적으로 아스팔트 유제를 이용함을 허용할 수 있다. 다만, 이 경우 콘크리트 포설 전에 분리막을 설치하여야 한다.

4.4.5 줄눈의 설계

(1) 줄눈의 종류

콘크리트포장의 줄눈은 포장의 팽창과 수축을 수용함으로써 온도 및 습도 등 환경변화, 마찰 그리고 시공에 의하여 발생하는 응력을 가능한 한 완화시키기 위하여 설치하는 것으로 종류는 다음과 같다.

- (1) 수축줄눈
- (2) 팽창줄눈
- (3) 시공줄눈

콘크리트 포장의 줄눈은 포장의 팽창과 수축을 수용함으로써 온도 및 습도 등 환경 변화, 마찰 그리고 시공에 의하여 발생하는 응력을 가능한 한 완화시키거나 온도변화 등의 피할 수 없는 균열을 규칙적으로 일정한 장소로 유도시키는 목적으로 설치한다.

줄눈에는 수축·팽창 및 시공줄눈 등 세 가지 종류가 있고 이러한 줄눈의 기능은 다음과 같다.

(가) 수축줄눈

수축줄눈 또는 맹줄눈(dummy joint)은 수분, 온도 그리고 마찰에 의하여 발생하는 긴장력을 완화시켜 균열을 억제하기 위하여 설치한다. 이러한 수축줄눈을 설치하지 않는다면 포장의 표층에는 불규칙한 균열이 발생하게 된다.

(나) 팽창줄눈

팽창줄눈의 주요 기능은 포장이 팽창할 수 있는 공간을 설치함으로써 포장 좌굴현상의 원인이 될 수 있는 압축 응력의 발생을 방지하는 것이다.

(다) 시공줄눈

시공줄눈은 시공성을 고려하여 설치하며, 세로줄눈 사이의 간격은 포장장비의 폭과 포장두께에 따라 결정한다.

(2) 줄눈의 구조

줄눈은 가능한 한 적게 설치하고, 적정 구조로 설치하여 포장 공용성과 주행성을 향상시키도록 한다. 일반적으로 설계 측면에서 줄눈의 구조는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 줄눈 간격
- (2) 줄눈의 배치
- (3) 줄눈의 규격

특히 줄눈의 배치는 줄눈간격을 변화시키거나 경사줄눈의 사용 등을 고려하여 줄눈에 의한 영향을 줄일 수 있도록 한다.

(가) 줄눈 간격

일반적으로 가로 및 세로 수축줄눈의 간격은 현장의 재료와 환경조건에 좌우 되는 반면에 팽창 및 시공줄눈은 기본적으로 설계(layout)와 시공능력에 좌우된다. 수축줄눈의 경우에는 열팽창, 온도변화 또는 보조기층의 마찰저항이 클수록 균열방지를 위한 줄눈 간격은 줄어들고 콘크리트의 인장강도가 클수록 간격도 커진다.

줄눈 간격은 또한 슬래브 두께와 줄눈재의 기능과도 관련된다. 현재 기술수준에서 볼 때 균열을 제어할 수 있는 줄눈 간격의 설정은 지역별 시공기록에 의한 방법이 가장 좋다.

콘크리트 포장에 있어서 골재형태만 바꾸어도 콘크리트 열팽창계수에 큰 영향을 미치고, 결과적으로는 줄눈간격에 상당한 영향을 끼치므로 지역적 경험을 고려하여야 한다.

무근 콘크리트 포장의 줄눈 간격(m 단위)을 선정하는 개략적인 방법은 슬래브 두께(cm 단위)를 0.24배하여 그 값을 그대로 m값으로 하여 그 값을 초과하지 않는 범위로 정할 수 있다는 것이다.

예를 들면, 20cm 두께의 슬래브에 있어서 최대 줄눈 간격은 4.8m이다. 그리고 이에 대한 슬래브 폭의 비가 1.25를 초과할 수 없다.

팽창줄눈 설치개수는 비용·시공 난이성·공용성 문제를 고려하여 되도록 최소한으로 줄이며, CRCP와 줄눈 콘크리트 포장이 접촉하는 등 포장구조가 변경되는 위치 그리고 교차접속부에 사용한다.

시공줄눈의 간격은 일반적으로 현장 포설작업과 장비능력에 따라 좌우된다. 세로 시공줄눈은 포장의 평탄성을 최대화하고, 하중전달 장애를 최소화하기 위하여 차로의 가장자리에 설치하여야 한다. 가로시공줄눈은 일일 포설작업 완료 시 또는 장비고장에 의한 작업 중단 시에 설치한다.

(a) 세로줄눈 간격

세로줄눈은 보통 차로를 구분하는 위치에 설치하지만, 시공법도 고려하여 결정하는 것이 좋다. 한 차로씩 시공하는 경우에는 세로줄눈 간격을 차로 폭과 같게 하는 것이 보통이다. 세로줄눈 간격은 4.5m 이상으로 하지 않는 편이 세로균열 방지 상 좋다. 가능한 한 차량이 세로줄눈부를 주행하지 않게 차로구획선의 위치 등을 고려하여 세로줄눈 간격을 결정함이 좋다.

(b) 가로팽창줄눈 간격

가로팽창줄눈은 교량 접속부, 포장구조가 변경되는 위치 그리고 교차 접속부 등에 설치하며, 기타 위치에 가로팽창줄눈을 설치할 경우에는 <표 4.15>의 값을 기준하고 1일의 포설연장이나 교량 등의 간격 및 수축줄눈 간격을 고려하여 결정한다. 콘크리트 포장과 아스팔트 포장을 직접 접속시킬 경우에는 콘크리트 포장의 단부 두세 번째의 수축줄눈 위치에 팽창줄눈을 설치하는 것이 좋다.

<표 4.15> 가로 팽창줄눈 간격의 표준값 (단위 : m)

슬래브 두께(cm)	시공시기	10 ~ 5월	6 ~ 9월
	15, 20		60 ~ 120
25이상		120 ~ 240	240 ~ 480

가로팽창줄눈은 콘크리트 슬래브 구조물에 대한 영향이나 온도상승에 의한 블로우업(blow up)을 방지하기 위하여 설치하는 것이다.

팽창줄눈 간격은 이론적으로 정확히 결정할 수 없고, <표 4.15>의 값을 채용하면 가로팽창줄눈 폭을 25mm 정도로 할 수 있다는 경험을 기초로 한 것이다.

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 외에는 팽창줄눈을 생략하는 주(州)가 많다. 따라서, 슬래브 두께가 25cm 이상이고 하절기 시공의 경우 1일 시공연장이 <표 4.15>의 값을 초과하더라도 시공 마무리 지점에만 설치할 수 있다.

(c) 가로수축줄눈 간격

가로수축줄눈의 간격은 여러 가지 요소에 따라 다르나 그 중 가장 중요한 요소는 슬래브의 두께이며, 슬래브의 보강여부 · 콘크리트의 온도팽창계수 · 콘크리트 경화 시 온도와 슬래브 활동을 구속하는 보조기층면의 마찰저항 등과 관련된다.

- ① 철망을 사용하지 않은 무근 콘크리트 포장에서 가로 수축줄눈 간격은 6m 이하로 한다.
- ② 철근 또는 철망을 사용하는 콘크리트 포장에서 가로 수축줄눈 간격은 발생된 균열 폭이 넓게 발전되지 않도록 효과적으로 처리하기 위한 철근중량과 관련된다. 이 경우 가로 수축줄눈의 간격은 슬래브 두께가 20cm 미만의 경우 8m, 25cm 이상의 경우 10m를 표준으로 한다.

철망을 생략하는 경우에는 가로수축줄눈 간격을 6m 이하로 하되 다웰바를 삽입하는 것이 바람직하다.

- ③ 연속철근 콘크리트 포장에서는 가로수축줄눈을 생략한다.

(d) 경사 또는 random 가로줄눈

줄눈을 경사방향으로 설치하고 줄눈간격을 변화시켜 배치함으로써 줄눈에 의한 요철도의 영향을 최소화하여 포장 주행성을 향상시킨다.

경사가로줄눈(skewed transverse joint)은 줄눈 공용성을 향상시키고 강성포장 즉 무근콘크리트 또는 철근보강 콘크리트 포장, 다웰을 설치하거나 또는 설치하지 않은 강성 포장 모두에 대한 그것의 수명을 연장시킬 수 있다.

이 줄눈은 한 번에 하나의 윤하중만 통과하도록 충분히 경사지게 설치하여야 한다. 포장 슬래브의 모서리 부분은 윤하중이 갑자기 통과할 때 가장 큰 충격을 받게 되므로 포장의 줄눈은 차량 주행방향에서 볼 때 차량 전방 슬래브의 외측 연단과 그 줄눈이 이루는 각이 둔각이 되도록 설치하여야 한다. 경사줄눈은 다음과 같은 장점이 있다.

- ① 줄눈의 처짐과 응력을 감소시켜 슬래브의 하중전달력을 증가시키고 포장수명을 연장시킨다.
- ② 차량이 줄눈부를 횡단할 때 충격을 경감시킴으로써 줄눈부가 약간의 요철도를 가질지라도 평탄한 주행을 할 수 있다.

무근 콘크리트 포장의 공용성을 더욱 향상시킬 수 있는 방법은 경사줄눈의 간격을 변화시켜 설치하는 것이다. 줄눈을 불규칙한 간격으로 설치함으로써 지방부 고속도로를 운행하는 정상 속도에서 줄눈에 의하여 자동차에게 주는 리듬 또는 공명현상을 방지할 수 있다. 차량시험 도로연구에서 증명된 바에 의하면 2.2m의 줄눈간격은 피하여야 하는 것으로 밝혀졌다.

(3) 줄눈의 규격

줄눈재는 줄눈의 변위를 지탱할 수 있는 적합한 규격을 가져야 하며, 재질은 줄눈의 종류 및 현장조건에 적합한 것이어야 한다. 포장의 줄눈변위는 콘크리트 슬래브의 길이-체적 변화 특성, 슬래브 온도 그리고 슬래브와 보조기층간의 마찰과 같은 요소에 의하여 영향을 받므로 이에 대한 충분한 고려를 하여 변위량을 산정하고, 효과적인 채움상태를 유지하기 위하여 채움부는 적절한 형상을 갖도록 설계한다.

(가) 줄눈설계의 고려사항

각 줄눈 형태에 대한 줄눈의 규격의 설계시 고려사항은 다음과 같다.

(a) 수축줄눈

줄눈의 폭은 줄눈재(joint sealant)의 연신율에 의하여 제어된다. 수축줄눈의 깊이는 임의로 정하는 것이 아니라 균열이 소요의 줄눈위치에 발생하도록 적당한 깊이로 하여야 한다. 보통 가로수축줄눈 및 세로줄눈의 깊이는 슬래브 두께의 1/4 이상 이어야 한다. 이러한 줄눈은 절단(sawing), 삽입(insert) 또는 성형 제작(forming) 방식에 의하여 설치할 수 있다. 절단시기는 비정상적인 균열이 발생치 않도록 적정시기에 시행하여야 하며, 후속작업을 할 수 있도록 연속적으로 실시하는 것이 바람직하다. 콘크리트 포설에서부터 절단까지의 시간은 슬래브 온도, 양생 조건, 콘크리트 배합비에 따라 좌우된다.

줄눈변위와 줄눈재료의 성능은 반드시 부합되어야 한다. 일반적으로 줄눈재의 재질은 예상 줄눈변위가 클수록 양질의 것이어야 한다. 줄눈변위는 슬래브 길이가 길어짐에 따라, 온도변화가 커짐에 따라 그리고 콘크리트 열팽창계수가 클수록 증가한다.

포장의 줄눈변위는 콘크리트 슬래브의 길이-체적 변화특성, 슬래브 온도 그리고 슬래브와 보조기층(또는 노상)간의 마찰과 같은 요소에 의하여 영향을 받는다. 줄눈 폭의 변화는 노상마찰과 단부구속 때문에 단지 열수축과 열팽창에 의하여 발생되어지는 변화보다는 작다.

효과적인 현장 성형상태를 유지하려면 채움부(sealant reservoir)가 반드시 적절한 형상계수(폭에 대한 깊이의 비)를 갖추어야 한다. 실무적인 최소 줄눈깊이 한도 내에서 채움부는 가능한 한 정방형이어야 하고, 줄눈재 상부가 노면 아래로 최소 3mm의 깊이로 오목하게 되도록 한다. 즉, 줄눈재가 떨어져 나가지 않도록 줄눈부 상부의 폭을 증대시키고 노면으로부터의 오목하게 되는 깊이가 감소되도록 채움부를 설계하여야 한다는 의미이다. 줄눈 간격이 작고 폭이 좁은 줄눈에 있어서는 채움부에 코드(cord) 또는 기타 재료를 소정깊이까지 미리 삽입 시공하여 만들 수 있다. 이렇게 하면 줄눈재의 소요량을 최소한으로 절감할 수 있다. 일반적으로 채움부의 형

상계수 즉, 폭에 대한 깊이의 비는 1.0~1.5의 범위 내에 있어야 하며, 세로와 가로줄눈에 있어서의 채움부의 최소깊이는 각각 10mm와 13mm이어야 한다.

줄눈 폭은 최저온도에서 발생하는 최대치로 결정된다. 따라서 최대치란 예상되는 수평변위와 줄눈재의 특성에 따른 여유 폭을 합한 것이다. 수평변위량은 온도주기에 따른 계절적인 벌어짐과 밀착 및 콘크리트 자체 수축량을 고려해서 계산할 수 있다. 벌어짐과 밀착의 크기는 온도 및 수분변화, 기능을 발휘하는 줄눈 또는 균열간의 간격, 슬래브와 기층의 마찰, 줄눈 하중전달장치의 상태 등에 따라 좌우된다. 어느 기간에 있어서 가로줄눈의 평균 벌어짐을 개략적으로 다음과 같이 계산할 수 있으며, 줄눈 폭은 반드시 포장체의 변위량과 허용잔류변형을 고려하여야 한다.

$$\Delta L = \frac{C \cdot L (\alpha_c \times DT_D + Z)}{S} \times 100$$

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 열수축계수(cm/cm/°C)

Z : PCC 슬래브의 건조수축계수, 재충진을 할 경우에는 무시할 수 있다. (cm/cm)

L : 줄눈간격(cm)

DT_D : 온도의 범위(°C)

C : 보조기층과 슬래브 마찰저항에 대한 보정계수, 안정처리한 보조기층에 대해서는 0.65, 입상재료층은 0.80이다.

기성형줄눈재는 재질과 변위량이 부합되어야 한다. 제품회사에서는 생산 제품의 규격에 대한 안내서를 제공하는데 줄눈재 성형폭에서 20~50% 정도 압축될 수 있는 것을 선택하는 것이 좋고, 이와 같은 줄눈재는 포장표면에서 3~13mm 깊이로 시공한다.

(b) 팽창줄눈

팽창줄눈의 변위량은 경험에 의하여 결정되며, 채움부의 규격은 변위량과 재료의 성능에 따라 결정하여야 한다. 일반적으로 팽창줄눈의 규격은 수출줄눈보다 더 크다.

(c) 시공줄눈

앞의 (a) 수축줄눈에서 기술된 사항을 시공줄눈 및 그 밖의 세로줄눈에도 적용한다.

(나) 줄눈구조

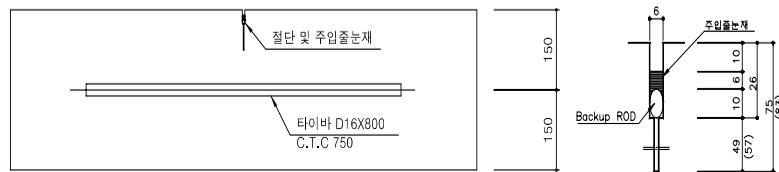
(a) 세로줄눈의 구조

동일 횡단경사의 콘크리트슬래브를 가능한 한 2차로 폭으로 시공하는 것으로 하며, <그림 4.17>(a)에 표시된 바와 같이 그 중앙에 설치하는 줄눈은 타이바를 사용한 맹줄눈 구조로 한다. 또한 부득이 1차로씩 시공할 경우의 세로줄눈은 <그림 4.17>에 표시한 바와 같이 타이바를 사용한 맞댄 줄눈 구조로 한다.

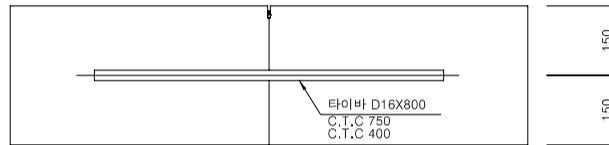
세로줄눈의 폭은 6mm, 깊이는 단면의 1/4 이상이어야 하며, 채움재의 깊이는 채움폭, 채움재의 재질에 따라 다소 차이가 있으나 채움부의 최소깊이는 10mm 이상을 원칙으로 한다.

세로줄눈의 저면에 약 50mm의 삼각형 목재 또는 L형 플라스틱재 등을 설치해서 콘크리트 슬래브의 단면을 감소시켜 줄눈의 위치에 균열이 생기도록 유도할 수도 있다.

타이바는 이형봉강으로 하며, 규격과 배치간격은 포장조건에 따라 다르나 일반적으로 $\phi 16\text{mm}$, 길이 800mm의 것을 750mm 간격으로 사용한다.



(a) 2차로 폭으로 시공하는 경우의 횡단면도(단위 : mm)



(b) 1차로 시공의 경우 횡단면도(단위 : mm)

<그림 4.17> 세로줄눈의 설계 예

맞댄줄눈은 미리 타설한 경화된 콘크리트슬래브에 돌기를 붙여서 인접한 콘크리트슬래브를 타설함으로써 만들어진다.

세로 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%정 도로 하면 좋다.

타이바는 줄눈이 벌어지는 것을 방지하는 것만이 아니고, 층이 지는 것(단차)을 방지하며, 하중 전달능력에 의하여 콘크리트 슬래브의 연단부를 보강하는 효과가 크므로, 일반적으로 사용하는 것이 바람직하다.

타이바의 내구성을 높이기 위하여 방청 페인트 등을 중앙 약 100mm에 칠하는 것이 좋다.

(b) 가로팽창줄눈의 구조

팽창줄눈의 변위량은 경험에 의하여 결정되는 것으로 채움부의 규격은 변위량과 재료의 성능에 따라 결정하여야 한다. 일반적으로 팽창줄눈의 규격은 수축줄눈보다 더 크다.

가로팽창줄눈의 구조는 <그림 4.18>에 예시한 것을 표준으로 한다.

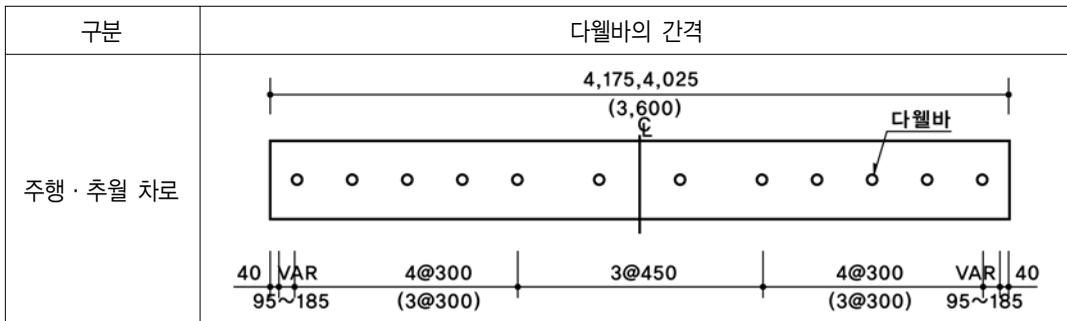
팽창줄눈은 주입줄눈재와 줄눈판을 상하에 병용(併用)하는 구조로 한다.

주입줄눈재는 줄눈의 수밀성(水密性)을 유지하기 위하여 사용하는 것으로 주입깊이는 20~40mm 정도로 한다.

팽창줄눈은 다웰바로 보강하여야 한다. 팽창줄눈의 다웰바는 슬래브 두께에 따라 직경 25~32mm, 길이 500mm의 것을 <표 4.16>의 간격으로 배치한다. 팽창줄눈의 다웰바는 콘크리트 슬래브의 팽창을 허용하도록 고무관을 씌우고 다웰바 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 시공 중에 변형되지 않는 구조로 한다.

<표 4.16> 다웰바 간격의 설치 기준

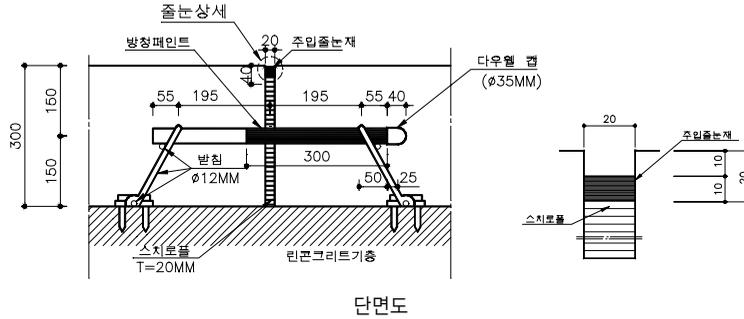


<표 4.16>의 다웰바 간격은 시공성과 자재관리의 용이성을 고려하여 간격을 표준화하여 적용하며, 주행차량의 포장면내 바퀴 접촉구간의 다웰바 간격은 보강을 위하여 간격을 조정(450mm→300mm)하여 적용한다.

다웰바는 일단(一端)을 고정하고, 타단이 신축하기 때문에 부착방지재를 씌우거나 역청재료로 도포한다. 부착방지 길이는 다웰바 길이의 1/2에서 50mm를 더한 길이로 한다.

중양부의 100mm에는 제작 시 방청페인트를 도포한다. 또한 다웰바에 접촉되는 체어철근도 방청 페인트를 도포하는 것이 바람직하다.

일반적으로 다웰의 직경은 슬래브 두께의 1/8이 적당하다.



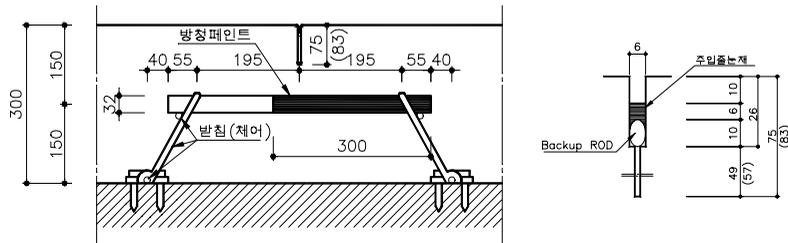
〈그림 4.18〉 가로팽창 줄눈 설계 예(단위 : mm)

(c) 가로수축줄눈의 구조

가로수축줄눈은 다웰바(dowel bar)를 이용한 맹줄눈 구조를 표준으로 하며, 시공 중의 강우 등으로 가로수축줄눈을 시공줄눈으로 할 필요가 발생하는 경우에는 다웰바를 사용한 맞댄줄눈으로 한다. 〈그림 4.19〉는 대표적인 가로수축줄눈 구조의 설치 예이다.

맹줄눈은 콘크리트가 경화한 후에 절단기(cutter)로 홈을 만드는 카터 줄눈과 콘크리트가 굳기 전에 상부에 홈을 만들어 판 삽입물을 넣는 타설 줄눈 등이 있다. 수축줄눈의 구조는 〈그림 4.20〉과 같이 카터 줄눈이 일반적이며, 그 종류에는 동일단면 줄눈과 이중(二重)단면 줄눈을 들 수 있다.

효과적인 현장 성형상태를 유지하려면 채움부가 반드시 적절한 형상계수(폭에 대한 깊이의 비)를 갖추어야 한다. 이 경우도 실무적인 최소 줄눈깊이의 한계 내에서 채움부는 가능한 한 정방향이어야 하고, 줄눈재 상부가 표면으로부터 최소 10mm의 깊이로 오목하게 되도록 하며, 채움부의 최소깊이는 6mm이다.



〈그림 4.19〉 가로 수축줄눈 구조설치 예

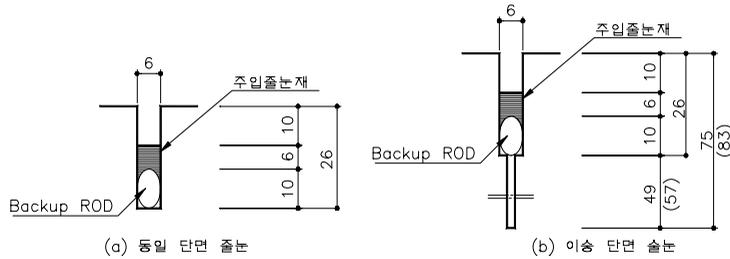
다웰을 사용한 경우 그 크기와 간격은 각 기관의 방법 및 경험에 의하여 결정한다. 수축줄눈에 사용되는 다웰바의 역청재, 방청페인트 등의 도포는 팽창줄눈의 경우와 같다. 카터 줄눈의 깊이는 슬래브두께의 1/4이상으로 하는 것이 좋다. 카터줄눈의 폭은 좁은 편이 바람직하고, 주입줄눈재의 품질과 주입방법을 고려해서 확실하게 주입되도록 결정할 필요가 있다.

주입줄눈재가 하절기에 돌출을 작게 하기 위해서 백업(back up)재를 사용하는 경우는 <그림 4.20>을 참고로 하면 좋으나 백업재의 하부에는 여유를 두어야 한다.

인접해서 슬래브를 포설하는 경우, 뒤에서 포설하는 슬래브의 타설 줄눈의 설치위치는 먼저 포설한 슬래브에 발생된 균열이 타설 줄눈부와 일치되도록 하는 것이 좋다.

타설 줄눈부의 채움부 깊이는 슬래브 두께의 1/4정도 하는 것이 좋다.

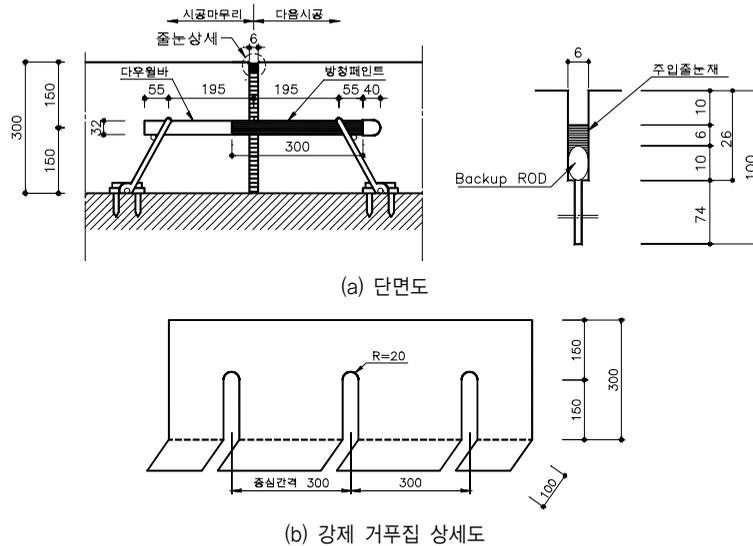
지반이 좋고 보조기층 위에 빈배합 콘크리트를 설치하거나 보조기층을 시멘트 안정처리(CTB) 하여서 지지력이 충분히 크게 되는 위치에서는 다웰바를 생략할 수도 있다.



<그림 4.20> 카터줄눈에 사용된 백업재 설치 예

(d) 시공줄눈의 구조

1일 포설종료 시나 강우 등에 의해서 시공을 중지할 때에 설치하는 줄눈이다. 시공줄눈의 위치는 수축줄눈의 예정위치에 설치하는 것이 좋다. 이 경우는 맞댄형식의 수축줄눈이 이용되며, 또한 팽창줄눈으로 하는 경우도 있다. 강우와 기계고장 등에 따라 시공줄눈에 수축줄눈의 예정위치에 설치하는 것이 가능하지 않을 때는 수축줄눈에서 3m 이상 떨어진 위치에 맞댄형의 줄눈 구조로 한다. <그림 4.21>은 대표적 시공줄눈구조의 설치 예이다.



<그림 4.21> 시공줄눈 설계 예

4.4.6 CRCP 콘크리트 슬래브 세로방향 자유단부 설계

CRCP의 전 길이에 대하여, 콘크리트 슬래브는 계절적 습도와 온도변화에 따라서 수축·팽창으로 인한 체적변화로 양단부의 일정구간(30~150m)이 노상면을 따라서 길이방향으로 유동(longitudinal movement)하고, 나머지 중앙부분은 노상면과 완전구속상태(full restraint)를 이루어서 길이변화가 일어나지 않는다. 이들 자유단부(free ends)에서 일어나는 유동(연간 25~50mm)은 접속되는 인접 구조물(다른 형식포장, 교량의 교대 등)에 영향을 주므로 설계에서는 자유단부의 길이변화를 억제시키는 개념 또는 길이변화를 수용하는 개념을 적용하여 다음과 같은 두 가지 방법을 통하여 적절히 처리하여야 한다.

- ① 단부 신축줄눈부(terminal joints) 설치방법
- ② 자유단부 정착구(end anchorage) 설치방법

CRCP의 자유단부에서는 CRCP의 연장에 관계없이 연간 세로방향 유동이 약 25~50mm이상 일어난다. 이와 같은 유동(movement)은 개략적으로 포장 슬래브 세로방향 끝부분의 30~150m에서 일어난다. 반면에 포장슬래브의 중앙부분은 완전구속상태를 이룬다.

CRCP의 공용성 조사결과에 의하면 균열간격이 자유단부 근처에서 중앙부에서보다 더 큰 반면에 이 부분의 슬래브의 구조 용량(structural capacity)에는 손상을 주지 않는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 이유는 균열 폭이 중앙부의 구속상태 부분에서보다 더 크지 않기 때문이다.

콘크리트슬래브의 세로방향의 길이 증가 현상(pavement growth)은 JCP와 CRCP 모두에서 관측된다. 포장 슬래브의 줄눈부 또는 균열부 속으로 비압축성 물질이 침입하고, 이어서 온도가 올라가면 진행성 길이 증가 현상(progressive growth)이 지배되는 경우 슬래브 내에 내력이 형성되어 자유단부방향으로 밀어내는 힘이 발생된다. 이런 경우에는 줄눈부를 밀폐시켜서 줄눈재를 튀어나오게 하거나, 교량과 접속되는 경우 교대 벽(abutment wall)에 손상을 주고, 기타 다른 구조물과 접속되는 경우 바람직하지 못한 압력을 주게 된다.

CRCP의 경우 가로방향줄눈은 시공줄눈 이외에는 줄눈이 전혀 없기 때문에 자유단부와 접속되는 다른 구조물 사이에는 이와 같은 포장길이 증가 또는 수축·팽창을 적절히 처리하는 단부구조로 설계하여야 하며, 효과적인 방법으로서 단부 신축줄눈부 또는 자유단부 정착구를 설치하거나 이 두 가지 개념을 혼합한 구조를 설치하는 것이 바람직하다.

(1) 단부 신축줄눈부(terminal joint 또는 expansion provision)

이것은 CRCP의 자유단부에서 유동을 팽창줄눈을 통하여 수용하는 개념으로서, 일반적으로 적용되는 형식으로서 가장 간단한 방법은 <그림 4.18>과 같이 JCP에서 적용하는 다웰바가 설치되는 팽창줄눈

(doweled expansion joint)을 연속적으로 설치하는 방법으로서, CRCP가 JCP와 연결되는 곳에서 많이 채택되며, 비움면에서 가장 경제적이다. 적용되는 줄눈개수와 간격은 경험적 또는 공학적 판단기준에 의해서 결정되며, 일반적으로 6~12m 간격으로 25mm 폭의 줄눈부를 사용한다.

이 형식의 경우 첫 번째 줄눈에서 대부분의 유동을 흡수하는 것으로 알려져 있으며, 과도한 유동이 예측되는 경우를 제외하고는 3개 이상의 줄눈설치는 비효율적인 것으로 보고 있다. 이 형식의 단점은 줄눈부에서 심한 스폐링(spalling)이 발생하기 쉽기 때문에 중차량 통행이 많거나 계절적 온도 차가 큰 경우 적합하지 않다.

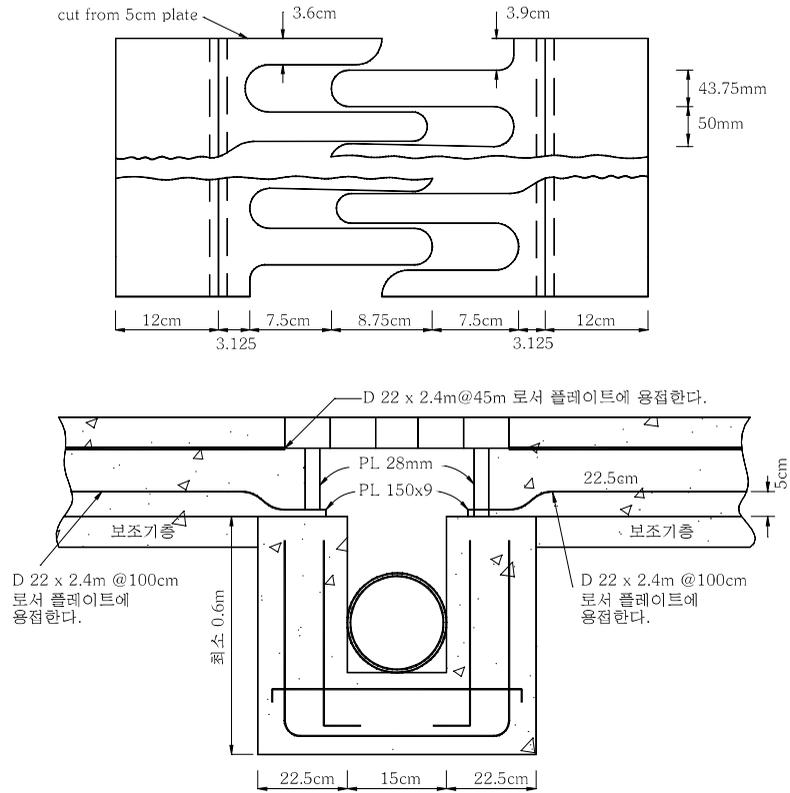
또 다른 설치방법으로는 교차식 줄눈 구조(bridge type joint)로서, 줄눈재료에 따라서 steel finger joint <그림 4.22>와 elastometric bellows joint가 있다. 이들 줄눈구조는 비싸고 시공 시 주의가 요구된다. steel finger joint의 경우는 미국에서 적용한 결과에 의하면 많은 시공 예에서 좋은 공용성을 나타냈는데, 문제점은 한쪽 면의 finger가 위로 올라와서 주행 질을 나쁘게 하는 단점이 있고, elastometric bellows joint는 중차량의 통행이 많은 지역에서 elastometric rubber가 튀어 나오는 문제점이 보고되고 있다.

오늘날 많이 적용되고 실용적인 단부 신축줄눈의 형식은 <그림 4.23>에서 보여 지는 바와 같은 와이드 플랜지보 단부 줄눈형식(wide flange beam joint assembly)으로서, 이 구조에서 와이드 플랜지 보의 줄눈부에서 연속성을 제공할 수 있도록 철근 콘크리트의 지지 슬래브(RC sleeper slab)를 이것 아래에 설치하고 그 속에 삽입시킨다.

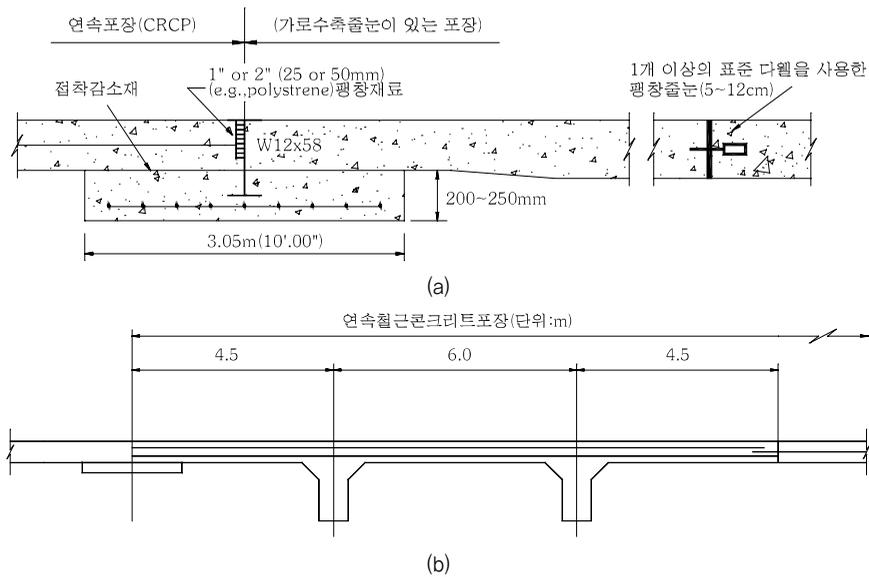
CRCP의 자유단부의 수축작용을 수용하기 위해서 지지 슬래브와 CRCP 슬래브 저면 사이 접촉면에는 접착감소층(bond breaker)을 설치하고, 와이드 플랜지 안쪽 면에는 그리스(grease) 칠을 한다. 그리고 CRCP의 팽창작용을 수용하기 위해서 CRCP 단부와, 와이드 플랜지 보의 web 사이에는 25~50mm 폭의 팽창줄눈재료를 삽입한다.

와이드 플랜지 보의 양단부에는 철판(steel plate)으로 용접해서 이물질 침입에 따른 와이드 플랜지 보의 손상을 방지한다. 이 보 규격으로 가장 많이 쓰이는 규격이 W12×58이다.

이 와이드 플랜지 보가 설치되는 위치의 줄눈부와 접속되는 것이 교량의 접속판인 경우 <그림 4.23>(a)에서와 같이 이 사이에 2~3개의 팽창줄눈부를 설치하고, JCP인 경우에는 <그림 4.23>(b)와 같이 한 개의 팽창줄눈만을 설치할 수 도 있다.



〈그림 4.22〉 교차식 단부 줄눈(finger type)



〈그림 4.23〉 와이드 플랜지 보 단부 줄눈 설계 예

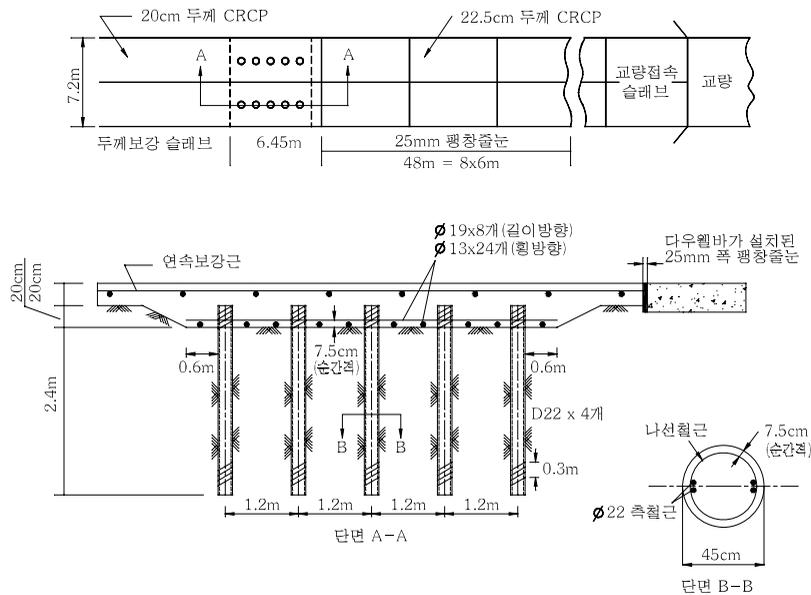
(2) 자유단부 정착구(end anchors)

CRCP의 자유단부에서 발생하는 전체 유동량을 완전 구속시키기 위한 개념으로서 한 개의 정착구(anchor)를 자유단부 설치하거나 자유단부에 인접한 CRCP의 슬래브 일점의 유동구간(active length)에 연하여 5~12m 간격으로 2~6개를 분포시키는 형식을 적용한다.

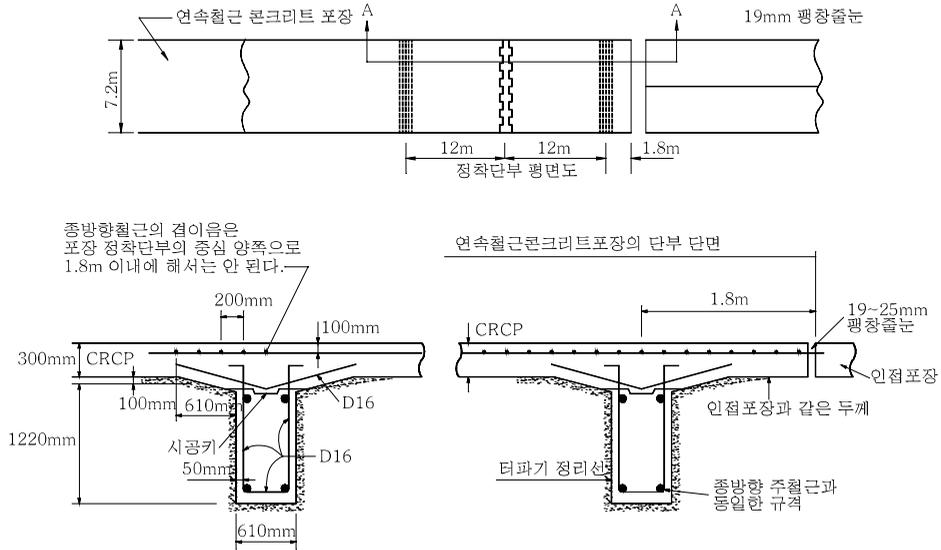
정착구는 포장 슬래브 저면에 강결시키는 콘크리트 파일(그림 4.24) 또는 횡방향 포장 슬래브 전폭에 설치되는 trench lug 형식(그림 4.25)이 채택되며, 후자의 경우가 가장 많이 적용된다.

이들 정착구의 구조는 CRCP의 보강철근에 발생하는 전 인장응력이 항복점까지 지지할 수 있다는 개념으로 설계되며, 이들 정착구들에 의해서 구속되는 유동량은 총 발생량의 1/2 정도로서 25mm 이내인 것으로 알려져 있다. 따라서, <그림 4.24>와 <그림 4.25>에서 보여지는 바와 같이 마지막 번째 정착구와 접속구조물 사이에 팽창줄눈을 설치하여야 한다.

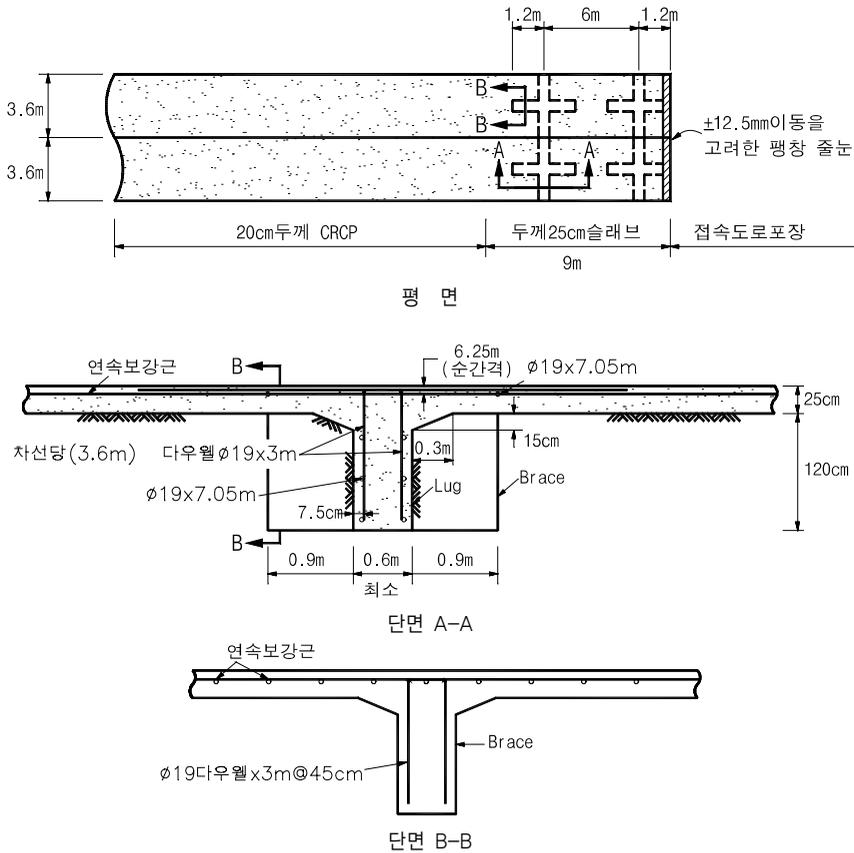
<그림 4.26>, <그림 4.27>은 trench lug 형식의 정착구로서, 적용할 수 있는 몇 가지 대안이다.



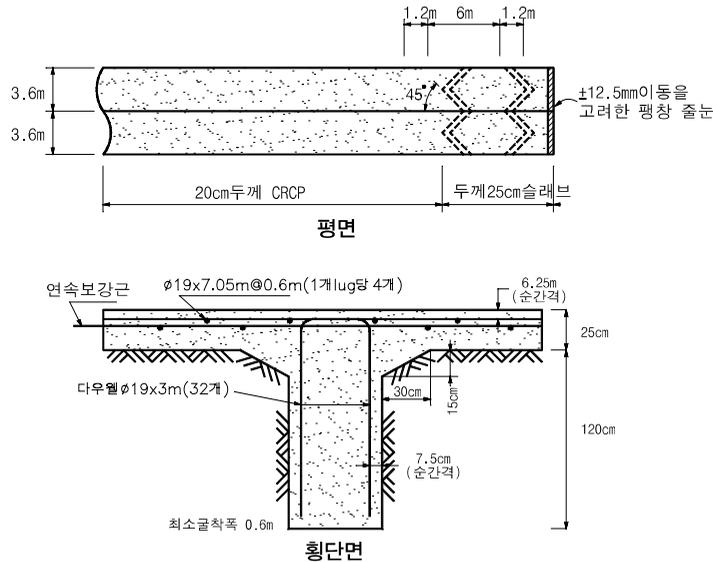
<그림 4.24> 파일형식 정착구 설치 예



〈그림 4.25〉 trench lug 형식 정착구 설치 예



〈그림 4.26〉 knee-braced multiple lug 정착구



〈그림 4.27〉 chevron pattern multiple lug 정착구

4.4.7 콘크리트 슬래브의 보강

콘크리트 슬래브는 가로·세로방향 줄눈에 의해서 구분되고, 다른 구조물과 접속되기 때문에 그 구조적 강도는 슬래브의 위치에 따라서 서로 다르다.

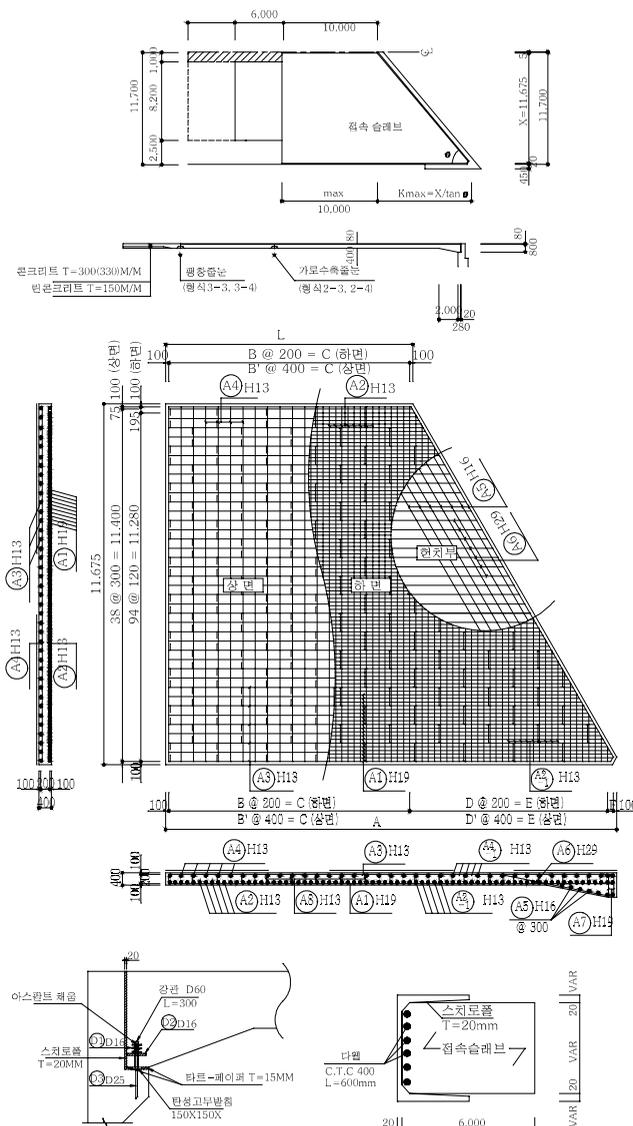
콘크리트 슬래브의 경우 연단부와 우각부는 일반적으로 중앙부보다 약하고, 다른 구조물과 접속되는 위치 즉 교량과 접속부, 도로 횡단구조물 상에서 또는 땅깎기·흙쌓기 경계부에서는 부등침하 등이 예상되어 포장 슬래브 지지력 손실을 가져올 수 있다.

이와 같은 포장 슬래브의 취약부위들에 대하여 구조설계에서는 콘크리트 슬래브 자체를 보강하거나 소요지지력을 확보할 수 있도록 포장 슬래브 하부를 적절히 보강하는 방안을 고려하여야 한다.

(1) 포장 슬래브를 교대에 접속하는 경우

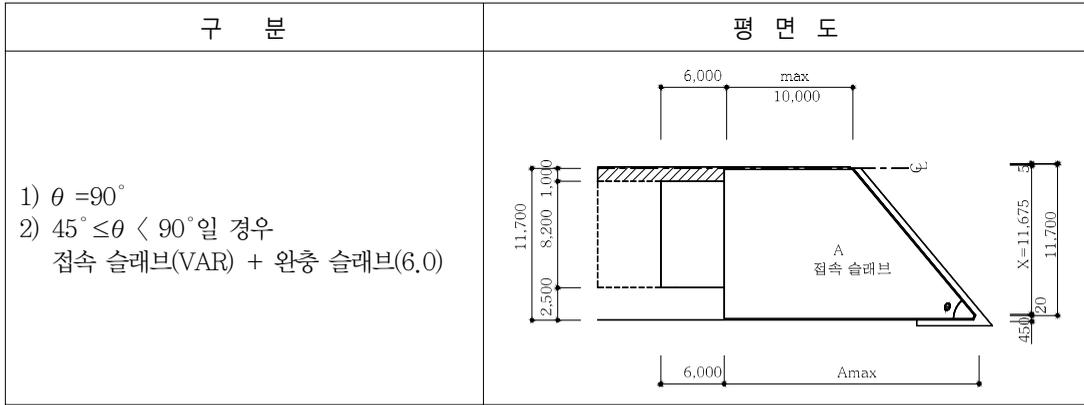
교대에 접속하는 포장 슬래브 보강은 두께 400mm의 접속 슬래브(approach slab)를 설치하여 보강하여야 한다. 접속슬래브는 시멘트 콘크리트 포장용(TYPE-1)과 아스팔트 콘크리트 포장용(TYPE-2)으로 구분하며, 각각의 재료강도는 TYPE-1의 경우 콘크리트 $f_{ck}=27\text{MPa}$ ·철근 $f_y=400\text{MPa}$, TYPE-2는 콘크리트 $f_{ck}=24\text{MPa}$ ·철근 $f_y=300\text{MPa}$ 를 적용한다. TYPE-1의 경우는 중앙분리대 이격거리 10mm를 기준으로 하며, 중앙분리대 측의 슬래브 이격거리를 20mm로 적용하거나 개선 중앙분리대의 경우는 접속슬래브 폭원에 대하여 여건별로 별도 검토하여 적용하여야 한다. 날개벽 상단 폭은 날개벽 상단의

방호벽 시공 폭을 고려하여 최소 500mm · 최대 600mm를 기준으로 하고, 접속슬래브 바닥(H= 800 mm) 이하에서 날개벽 내측으로 확장시킨다. 콘크리트 접속슬래브의 길이는 교대에서 유효길이+6.0m를 적용하며, 유효길이는 교대기초상단에서 파라펫 상단까지 높이를 말한다. 유효길이 단부 및 접속슬래브와 본선 포장 접속부에는 받침슬래브를 설치한다. 접속슬래브는 구조계산을 통하여 설계하여야 하며, 콘크리트 접속슬래브 계산 시 유효길이의 70% 지점에 스프링 지점을, 이후는 단위 m 당 탄성스프링을 설치하는 것으로 한다. 접속슬래브의 중심선이 변경될 경우에는 표준도로 제시된 규격과 단위수량이 변화되므로 해당 여건별로 별도의 검토를 통하여 설계에 반영하여야 한다.



〈그림 4.28〉 접속 슬래브의 설계 예

교대가 도로 중심선에 대하여 사각인 경우 접속 슬래브의 길이는 6~10m 결정하며, 교량 사각별 접속 슬래브 평면은 <그림 4.29>와 같다.



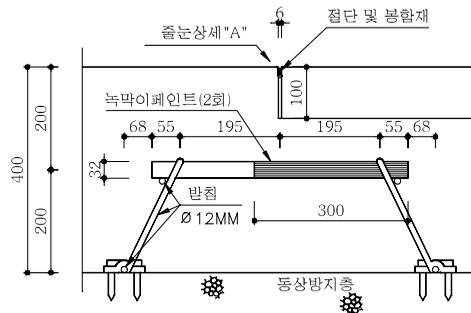
(a) 접속 슬래브 평면도

x	θ	A_{max}
11,675	45	21,675
11,675	50	19,796
11,675	70	14,249
11,675	90	10,000

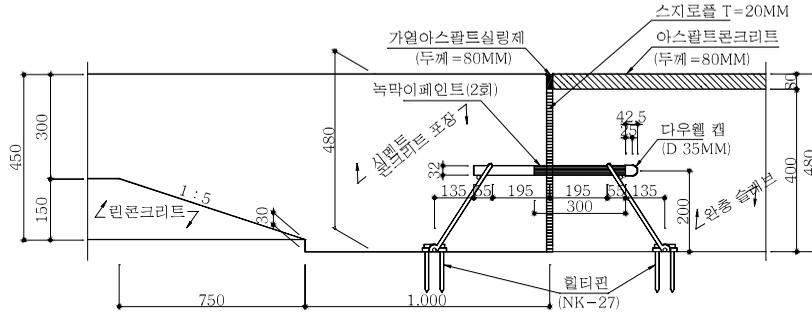
(b) 4차로 평면치수표(단위 : mm)

<그림 4.29> 접속 슬래브 평면

접속 슬래브와 완충 슬래브 사이의 가로수축줄눈(<그림 4.30>)과 완충 슬래브와 포장 슬래브 사이의 팽창줄눈(<그림 4.31>)에서 ϕ 32mm, 길이 500mm의 다웰바를 300~450mm 간격으로 설치한다.



<그림 4.30> 교량 접속부용 수축 줄눈



〈그림 4.31〉 교량 접속부용 팽창 줄눈

〈그림 4.28〉에 보여진 바와 같은 미끄럼방지를 위한 고정철근은 $\phi 25\text{mm}$, 길이 600mm의 것을 400mm 간격으로 설치한다. 또한 고정철근의 두부에는 마스틱형 역청질 진충재를 넣은 $\phi 60\text{mm}$ 철재 파이프를 끼우고, $\phi 16\text{mm}$ 의 나선철근(spiral)으로 고정철근 주위를 보강한다.

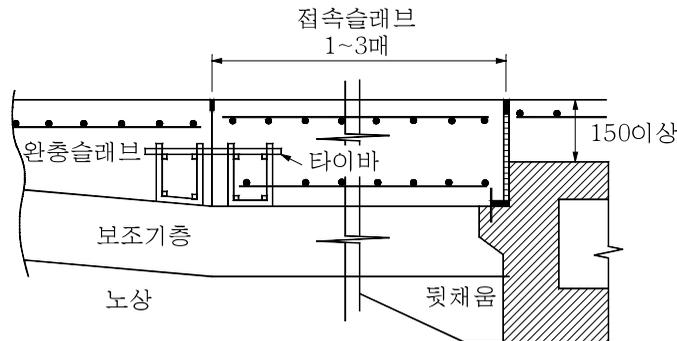
(2) 횡단구조물이 있는 경우

횡단구조물에 접속하는 콘크리트 슬래브 및 횡단구조물 상의 콘크리트 슬래브의 보강은 다음과 같다.

(가) 콘크리트 슬래브가 횡단 구조물에 접속하는 경우

콘크리트 슬래브가 암거 등에 횡단 구조물에 접속하는 경우에는 횡단 구조물의 배면에 지지턱을 가지는 구조로 설계하여야 한다. 또한, 횡단 구조물의 상부면과 콘크리트 슬래브가 같은 높이로 되는 경우에는 (1)에 기술된 사항을 적용한다. 또, 횡단 구조물의 상단이 콘크리트 슬래브 두께의 중간부분에 위치하는 경우에는 〈그림 4.32〉와 같이 접속 슬래브를 설치한다.

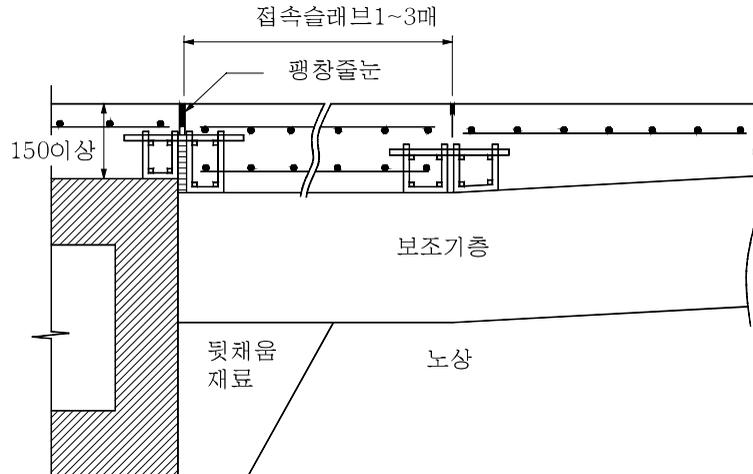
접속 슬래브의 치수, 설치 매수 및 사각의 고려는 (1)에서와 같이 동일하게 적용한다. 횡단 구조물 위에 설치되는 포장두께가 150mm 미만의 콘크리트 포장으로 하는 경우 구조물과 콘크리트 슬래브와는 완전히 부착되도록 한다.



〈그림 4.32〉 콘크리트 슬래브에 포함된 경우의 설계(단위 : mm)

교대가 지지턱이 없는 구조이고, 횡단구조물 상에 150mm 이상의 콘크리트 슬래브를 포설할 수 있는 경우에는 <그림 4.33>에 나타내듯이 접속 슬래브를 설치한다. 이 경우 뒷채움부의 다짐을 충분히 하여야 한다.

이때 횡단 구조물 위의 콘크리트 슬래브와 접속 슬래브 사이에는 $\phi 32\text{mm}$ 의 다웰바를 사용하는 팽창줄눈을 설치한다.



<그림 4.33> 지지턱이 없는 경우 설계 예(단위 : mm)

(나) 콘크리트 슬래브가 횡단구조물 위에 있는 경우

(a) 횡단 구조물이 보조기층 내에 있는 경우

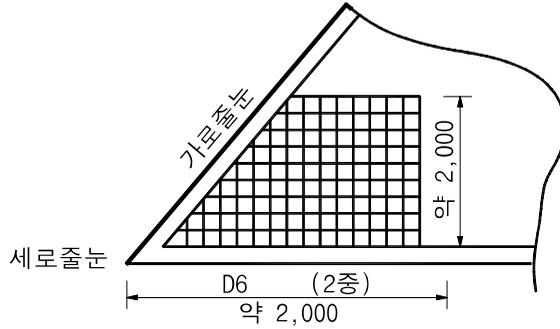
<그림 4.34>와 같이 횡단 구조물 위를 포함해서 전후 6m 범위의 콘크리트 슬래브를 철근으로 보강한다. 이 경우 횡단 구조물의 양 끝부분 직상부에는 카터줄눈을 설치하고 줄눈재로 충전한다. 또, 횡단 구조물 윗부분의 보조기층 두께가 100mm 이하일 때도 안정처리하거나 빈배합 콘크리트 층으로 한다.

횡단 구조물이 도로 중심선에 대하여 사각인 경우에는 설치되는 카터줄눈을 모두 횡단구조물의 사각에 맞춘다.

철근으로 보강한 콘크리트 슬래브 단부의 줄눈은 수축줄눈으로 하고 구조물의 사각이 50° 이상의 경우에는 단부줄눈 각도는 90° 로 한다.

사각이 50° 미만인 경우에는 수축줄눈의 각도를 50° 로 하고, 그 예우각부(銳隅角部)는 <그림 4.34>와 같이 보강을 한다.

보강철근은 $\phi 13\text{mm}$ 의 이형철근의 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 의 철망을 사용하여 상하 두 겹으로 설치하고, 철근의 이음은 철근직경의 30배 이상으로 한다.



〈그림 4.34〉 우각부 보강철근의 설계 예(단위 : mm)

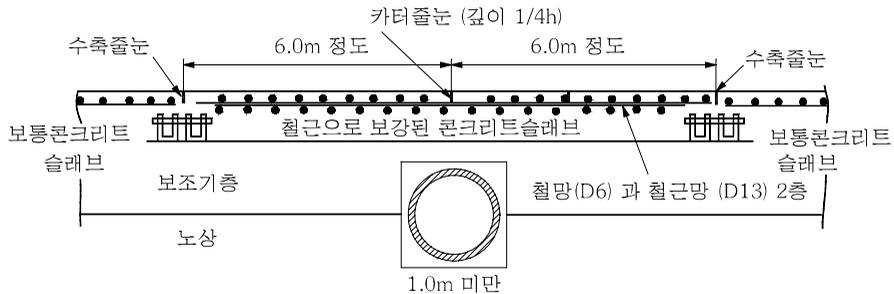
(b) 관로 구조물이 보조기층 내에 있는 경우

이 경우에는 〈그림 4.35〉에 보여진 바와 같이 관로상의 콘크리트 슬래브는 철근 철망과 용접철망을 두 겹으로 사용해서 보강하고, 슬래브 두께는 포장 슬래브의 두께와 동일하게 한다.

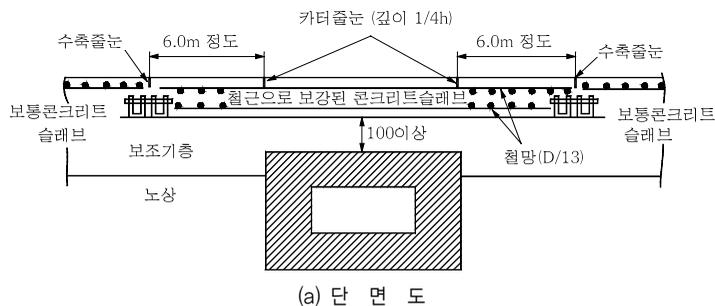
관로 구조물의 중심에는 카터 줄눈을 설치하고, 이것을 중심으로 해서 전후 6m 정도의 위치에 수축줄눈을 설치한다.

관로 구조물이 사각인 경우 줄눈의 위치는 〈그림 4.36〉(a)·(c)에 준한다. 또한 관로 구조물의 폭이 1m보다 큰 경우에는 위의 (a)항에 기술된 사항에 준한다.

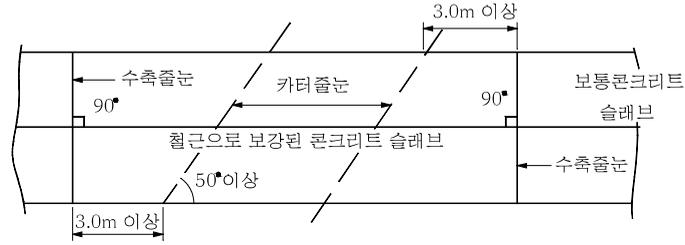
관로 구조물상의 보조기층 두께가 100mm 이하인 때에는 이 부분을 빈배합 콘크리트로 처리한다.



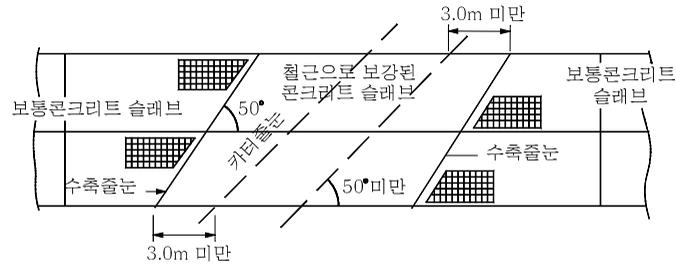
〈그림 4.35〉 관로 구조물이 보조기층 내에 있을 때의 설계 예(단위 : mm)



(a) 단 면 도



(b) 사각이 50° 이상의 경우



(c) 사각이 50°미만의 경우

〈그림 4.36〉 횡단 구조물이 보조기층 내에 있는 경우의 설계 예(단위 : mm)

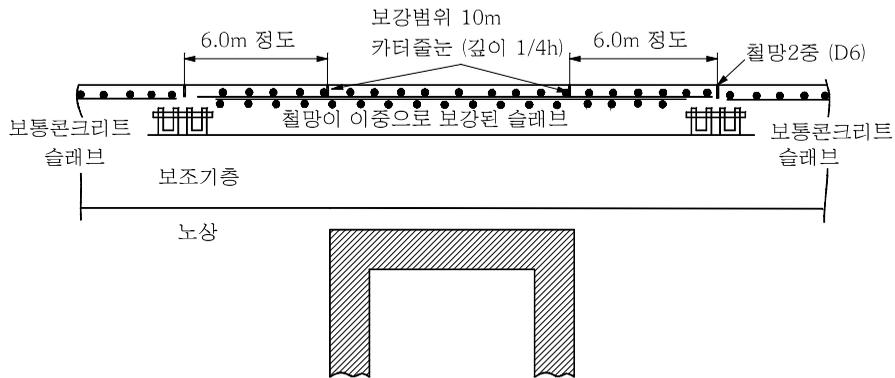
(다) 횡단 구조물이 노상 내에 있는 경우

횡단 구조물이 노상 내에 있을 경우 〈그림 4.37〉과 같이 철망을 두 겹으로 보강한 콘크리트 슬래브로 한다.

보강 슬래브의 설치길이는 (나)의 (a), (b)에 준한다.

횡단 구조물이 노상보다 밑에 있는 경우로 침하가 예상되는 경우에는 〈그림 4.37〉과 같이 처리하면 좋다.

횡단 구조물의 양 단부의 직상부 또는 그 사이 중심 상부에는 카터줄눈을 설치하는 것이 좋다.



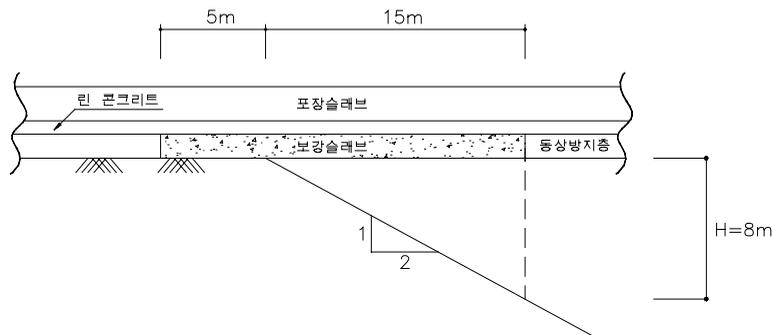
〈그림 4.37〉 횡단구조물이 노상 내에 있을 경우의 설계 예(단위 : mm)

(3) 땅깍기·흙쌓기 경계부가 있는 경우

자연상태의 지반과 인공다짐으로 조성된 지반사이에서는 지지력 차이로 인하여 침하가 발생하여 땅깍기부와 단차를 피할 수 없다. 이러한 단차에 의하여 포장손상이 우려 되므로 슬래브를 보호하기 위하여 땅깍기·흙쌓기 경계부 보강을 실시한다.

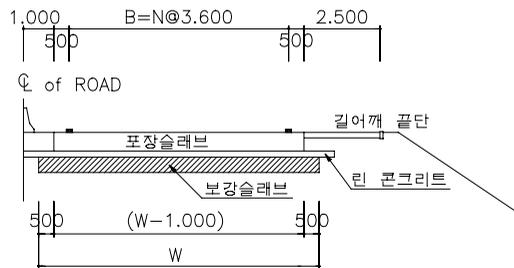
(가) 보강슬래브의 설치기준

한계성토고 8m와 흙쌓기부 측 보강슬래브(15m) 단부지점의 기울기를 적용하며(한계기울기는 1:2로 적용), 원지반이 암반인 경우 전 구간, 땅깍기·흙쌓기 경계부에 횡단 배수관이 있는 경우, 용수 침투수가 과다하여 별도의 횡단 망암거가 설치된 구간 등에 보강 슬래브를 설치한다.



〈그림 4.38〉 보강 슬래브의 설치범위

(나) 보강 슬래브의 폭원 결정



(a) 보강 슬래브의 폭원

구 분	n(차로)	B(m)	W(m)
양방향 4차로	2	7.2	9.2
양방향 6차로	3	10.8	12.8
양방향 8차로	4	14.4	16.4

(b) 폭원 치수표

〈그림 4.39〉 보강 슬래브의 폭원

보강 슬래브 폭원은 <그림 4.39>(a) 와 같으며 포장 포설위치와의 시공오차 등을 감안하여 포장 슬래브 측대와 같이 포장계획 폭원에 좌·우측 각 0.50m를 추가한 폭원으로 설정한다.

(다) 보강 슬래브의 설치길이

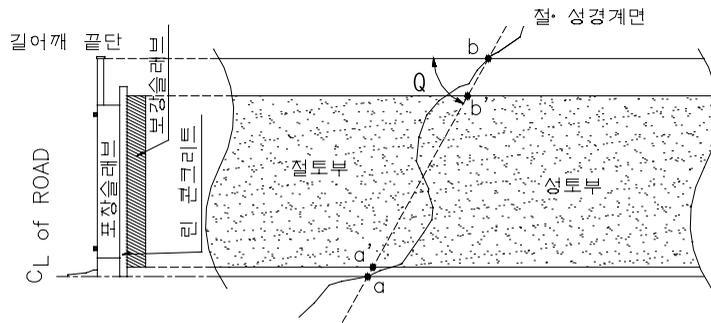
(a) <그림 4.40>에서 땅깍기·흙쌓기 경계면이 도로 폭원과 교차되는 a·b 점을 직선으로 연결하였을 경우, 도로 방향과 이루는 θ 의 크기에 따라 보강형태를 TYPE-1(직사각형)과 TYPE-2(평행사변형)로 분류하여 적용하며(<그림 4.41> 참조), 한쪽깍기·한쪽쌓기 구간은 발생빈도와 구간의 중요성 등을 고려하여 별도 설치한다.

(b) 기준 θ 의 결정은 <그림 4.40>에서 a' 와 b' 사이의 노선 방향 거리가 5m 이하가 되는 θ 값에서 결정하였으며 <표 4.17>과 같다.

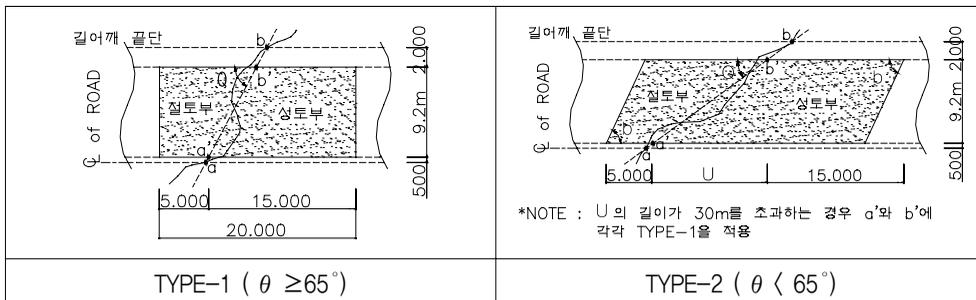
θ 는 땅깍기부 5m와 흙쌓기부 최소 보강길이 15m를 확보하는 skew 각

<표 4.17> 기준 θ

양방향 4차로	$\tan^{-1}(9.2/5)=61.47$	65°
양방향 6차로	$\tan^{-1}(12.8/5)=68.66$	65°
양방향 8차로	$\tan^{-1}(16.4/5)=73.04$	65°



<그림 4.40> 보강 슬래브 설치 길이



<그림 4.41> 적용 형식(양방향 4차로의 경우)

4.4.8 콘크리트 포장 교차부 설계

교차부(intersection)에서 콘크리트 슬래브는 차량의 정지동작 또는 가·감속 영향으로 교통하중의 재하조건이 일반 포장부와 다르고, 교차하는 두 개의 포장체가 온도·수분 변화에 의한 유동방향이 서로 다르기 때문에 접속면에서 벌어짐 등을 방지하고 연속성 확보에 적합한 줄눈배치와 차량의 충격과 단차를 방지하기 위한 적정의 보강대책이 고려되어야 한다.

(1) 교차하는 도로가 모두 무근 콘크리트 포장(JCP)인 경우

(가) 줄눈 배치

교차부에서 콘크리트 슬래브의 줄눈 분할은 다음과 같은 사항을 고려하여 배열한다.

- ① 운전자가 볼 때 매끄러운 느낌을 줄 것.
- ② 표면배수를 용이하게 하고, 노면경사의 급속한 변화를 피할 것.
- ③ 예각부를 가능한 만들지 말 것.
- ④ 긴 곡선의 줄눈을 설치하지 말 것.
- ⑤ 개개의 콘크리트 슬래브의 면적이 20㎡ 이하로 할 것.
- ⑥ 포장 슬래브의 한 변의 길이를 1.0m 이상으로 할 것.

콘크리트 슬래브에 대한 철근 보강 또는 철망 사용을 다음과 같은 경우 반드시 고려하여야 한다.

- ① 포장 슬래브의 형상이 직사각형이 아닐 때
- ② 동결영향이 큰 지역의 교차부
- ③ 교차부 노상이 연약지반인 경우
- ④ 기존도로와 접속 시 또는 재포장의 경우 정확한 줄눈 설치가 어려울 때

위의 주어진 경우들 가운데 ①의 경우에는 최소 철근량(0.05%)을 적용하고, 나머지 경우는 “4.4.2 (나)”에서 계산되는 철근량으로 보강하고, 최소 철근량은 0.05%를 적용한다.

(나) 세로줄눈 보강

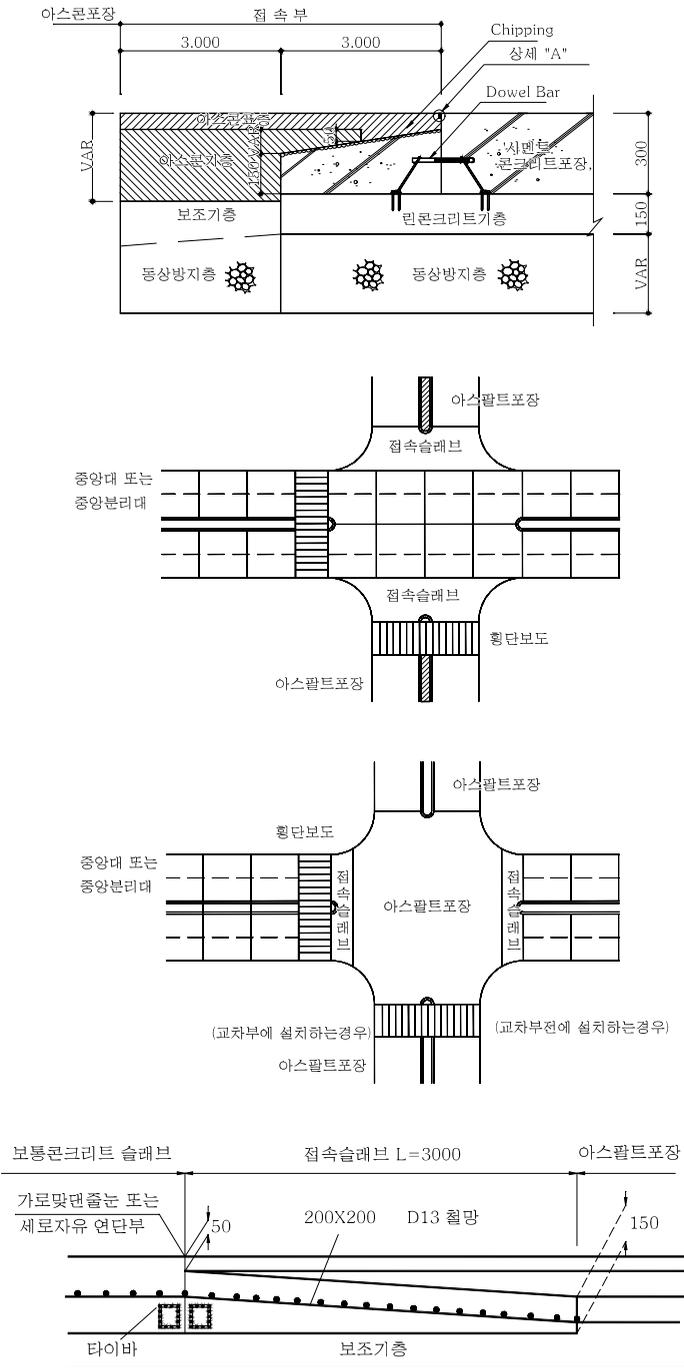
교차되는 두 개의 포장기 모두 JCP인 경우 교차부에서 가로·세로 줄눈간격은 서로 대응되도록 변화시키는 것이 바람직하고, 세로줄눈부에서는 $\phi 29\text{mm}$ · 길이 700mm의 타이바를 400mm 간격으로 설치하는 것이 좋다.

(다) 우각부의 보강

개개의 포장 슬래브에서 우각이 50° 이상 70° 미만의 경우는 <그림 4.34>와 같이 보강하는 것이 바람직하고, 50° 미만인 경우에는 $\phi 6\text{mm}$ 의 철망과 $\phi 13\text{mm}$ 철망을 2층으로 사용하여 보강하면 좋다.

(2) 교차하는 한 쪽 도로가 아스팔트 포장인 경우

아스팔트 포장의 접합부 침하를 완화하기 위해서 콘크리트 포장의 슬래브 두께가 200mm 이상이거나 중차량 통행이 빈번한 지역에서는 <그림 4.42>에서 보여진 접속 부구조로서 접속 슬래브 또는 접속부 보강을 하는 것이 바람직하다.



<그림 4.42> 아스팔트 포장의 접속부 보강 및 접속 슬래브



5. 특수장소의 포장

5.1 교면포장

- (1) 교면포장은 교통하중의 반복 재하 및 충격과 극심한 기상변화에 대한 직접 노출, 그리고 빗물 또는 제설염화물 침투 등으로 인한 교량 상판의 조기열화 현황(premature deterioration)을 극소화하여 교량의 내하력 손실을 방지하고, 통행차량의 주행 질을 확보하기 위하여 내구성이 큰 내유동성의 아스팔트 포장 또는 콘크리트 포장으로 교량상판 위를 덧씌우기 하는 보호방법이다.
- (2) 교면포장의 적용 포장형식<표 5.1>은 참고로 하며, 교면포장의 구성은 적용 포장형식에 따라서 <그림 5.1>에서와 같이, 아스팔트 포장의 경우 마모표층·레벨링층(필요 시 설치)·방수층 그리고 접착층으로 이루어지고, 콘크리트 포장인 경우에는 마모표층과 접착층으로 구성된다. 교량 상판의 표면 평탄성에 따라 1층 또는 2층 시공이 바람직하다.



<그림 5.1> 교면포장의 구성 요소

<표 5.1> 교면포장의 적용 형식

구분	아스팔트계	콘크리트계	고성능 콘크리트 (노출 바닥판)
개요	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 상부에 아스팔트 혼합물을 포설하는공법 • 스톤 매스틱 아스팔트 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 상부에 시멘트 콘크리트를 주된 재료로 포설하여 교량바닥판의 내구성을 증대시키는 교면포장공법 • Latex Modified Concrete • High Performance Concrete 	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 상부에 슬래브와 동일한 재료로 마모층을 설치하여 동결융해 등 콘크리트의 열화를 방지하는 바닥판* 시공법 • 30MPa의 콘크리트를 사용 <p>*바닥판(bridge floor): 자동차 등 교통하중을 직접받는 부분으로서 보통 교면포장과 그 밑의 슬래브로 구성</p>

교면포장은 교량상판의 표면과 충분히 부착되어서 원활하고 미끄럼저항의 주행표면을 제공할 수 있고, 상판 표면을 부식과 마모로부터 보호할 수 있어야 한다. 따라서, 교면포장 구성재료는 다음과 같은 성질을 가져야 한다.

- ① 균열 또는 이탈작용(debonding), 교량상판의 수축·팽창 작용을 수용할 수 있는 충분한 연성(ductility)을 가져야 한다.
- ② 상판에의 반복 힘 거동에 의한 균열작용에 저항할 수 있는 충분한 피로강도를 가져야 한다.
- ③ 바퀴자국 패임, 표면밀림(shoving), 그리고 마모작용에 저항할 수 있는 내구성(durability)을 가져야 한다.
- ④ 표층면에 떨어지는 빗물, 자동차 연료 또는 기름에 대한 불투수성이어야 한다.
- ⑤ 제설용 염화물 또는 통행차량에서 떨어진 기름 등과의 화학적 작용에 의한 손상에 저항할 수 있어야 한다.

교면포장의 조기 열화현상은 주행 질을 크게 나쁘게 하며, 상판 자체에 대한 손상을 촉진시켜서 이것의 크기와 발생위치에 따라서는 교량의 내하력 감소에 중요 원인이 될 수 있다.

또한 조기의 보수 또는 개축공사의 발생은 공공 통행에 불편함을 제공할 뿐만 아니라, 유지관리 기관에 대하여서 여러 가지 문제점을 야기시킨다.

특히, 교량상판 자체의 손상은 주로 겨울철에 살포되는 제설용 염화물과 우수침투에 따른 RC상판의 보강철근 또는 강상판의 부식에 의해서 야기된다.

또한 교량상판과 교면포장은 온도와 수분의 큰 변화상태에 노출되어 있고, 교통에 의한 반복된 하중 재하와 충격작용에 지배를 받는다.

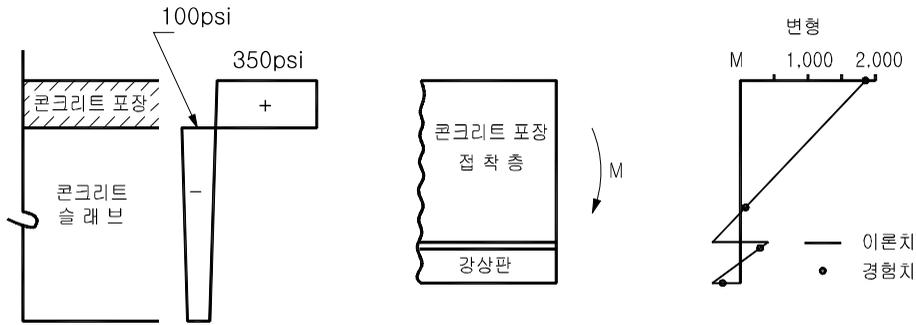
이와 같은 교량상판과 교면포장에 대한 아주 심각한 환경의 조성은 교량상판과 교면포장에 조기손상을 초래하고, 교면포장의 서비스성과 상판의 사용성 감소에 영향을 주게 된다.

교면포장은 앞에서 기술된 바와 같은 외적인 취약한 교통조건과 환경조건 이외에 일반 토공부에서의 포장층과 같이 반무한(semi-infinite) 깊이의 노반(roadbed) 위에 설치되는 것이 아니라 이것이 놓이는 상판이 거더 위에 설치되어 교량 상부구조의 힘 거동 영향을 크게 받는 내적인 구조적 조건을 가지기 때문에, 교면포장 설계에서는 이와 같은 내·외적 영향을 수용하는 데에 두께를 가지고 조절하는 방법은 제한적이고, 소요의 포장 재료 성질을 가지는 특수배합설계 또는 혼합물 이용이 실무적이고 효과적이다.

일반적으로 교면포장 재료는 밀도가 높고 공극률과 투수성이 낮도록 배합설계된 시멘트 콘크리트 또는 아스팔트 콘크리트 혼합물이어야 한다.

교면포장 두께를 증가시키는 개념은 교량 상부구조의 정모멘트 영향권에서는 상판과 교면포장과의 합성작용이 형성되기 때문에 중립축이 상판과 교면포장의 접촉면 쪽으로 상승되어 전단파괴에 의한

교면포장의 이탈작용(debonding)을 촉진시키고, 연속교인 경우에는 부모멘트 영향권에서 교면포장의 표면에서의 균열 폭을 확대(crack amplification)시킬 수 있으며, 주기적 기상변화에 따른 교면포장과 상판사이에 온도 구배에 의한 수축작용 때문에 <그림 5.2>에서와 같이 교면포장에 응력의 단차를 발생시킬 수 있으며, 교량구조 자체의 사하중을 증가시킬 수 있기 때문에 이와 같은 개념은 대상 교량의 구조적 배열특성에 맞추어서 세심한 검토를 통해서 제한적으로 적용하는 것이 바람직하다.



<그림 5.2> 교면포장의 응력 분포

일반적으로 교면포장에서 균열발생을 완전히 피할 수 없고, 교면포장 자체가 불투수성을 유지하기 어렵기 때문에 우수 또는 제설염화물 침투에 대한 적극적 방법으로서 교면포장층과 상판사이에 내구성이 크고 부착성의 좋은 방수재료를 사용한 방수층 설치, 그리고 강상판의 경우 방청표면처리, 그리고 콘크리트 상판의 경우에는 상판 상부 철근을 에폭시 피복 또는 전기도금하는 방식 방지개념을 채택하는 것이 교량상판의 장기 공용성을 증가시키는데 더 실무적인 방안이다. 특히, 콘크리트 상판에서는 소요의 표면 평탄성을 시공할 수 있는 경우 피복두께를 80~100mm 설치하고, 상·하부 철근은 에폭시 코팅 철근을 사용하고, 콘크리트 혼합물을 저 슬럼프 밀입도 콘크리트 배합으로 처리하는 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다.

(1) 아스팔트 교면포장

아스팔트 교면포장의 주요 조기손상 형태에는 교량상판으로부터 이탈(debonding), 박리(stripping) 그리고 표면마모(wear) 등이 있다.

주요 원인은 마모표층 바닥, 방수층 위에 물이 고여서 동절기의 동결융해작용과 반복교통하중에 의한 수압이 형성되어 방수층과 마모표층에 접착력을 감소시키거나 마모표층 하부면을 약화시킴으로써 일어난다. 또한 마모표층의 구성골재 사이의 아스팔트 결합재(binder)가 박리되어서 마모표층의 치밀성(integrity) 또는 혼합물 구성요소 사이 또는 방수층과의 접착성 손실로서 일어난다.

특히, 교량 상판위에 방수층을 설치하기 전에 이 표면을 충분히 건조시키지 않음으로써, 하절기에 남

아 있는 수분이나 콘크리트 상판인 경우 내부의 수분이 온도상승에 의해서 증기압을 발생시켜 방수막 아래에서 부풀어 오르는 블리스터링(blistering) 현상 때문에 일어날 수 있다.

따라서, 마모표층 재료는 밀도가 크고, 공극률이 작은 배합인 것이 바람직하고, 블리스터링 현상을 방지하기 위해서는 미국의 NCHRP 297 연구결과에 의하면, 50~80mm 포장두께이면 블리스터링의 증기압을 억제할 수 있고, 이 증기압을 분산시킬 수 있는 통풍층(benting layer) 기능으로서 역청처리 다공질시트 또는 25mm 두께 아스팔트 기층을 방수막 아래 상판위에 설치하면 효과적인 것으로 알려져 있다.

(가) 마모표층

교면포장의 마모표층은 토공부 포장의 표층에 비해서 취약한 환경적 영향에 지배되기 때문에 사용수명(service life)의 감소가 불가피하므로, 토공부 포장 표층에 대한 품질 및 재료 시방조건을 그대로 적용하는 것은 바람직하지 않고 혼합물의 공학적 성질을 개선을 통해서 보강하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 좋은 품질의 골재, 좀 더 경도 높은 아스팔트 결합재(stiffer binder), 그리고 내박리제(anti-stripping agent)를 사용하는 특수 배합설계를 통한 밀도가 높고 공극률이 낮은 아스팔트 혼합물을 사용하여야 한다.

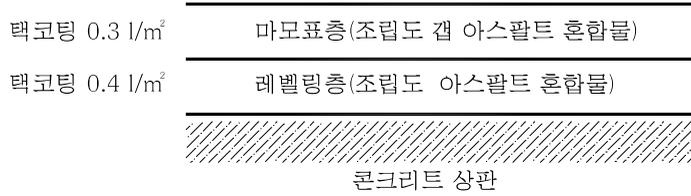
이때, 배합설계에서 주의할 사항은 공극률을 낮추기 위하여 밀입도 골재 사용은 적정의 사용 아스팔트 양을 감소시킬 수 있고, 이것은 아스팔트 혼합물 입자사이에 점착력을 감소시켜서 하절기의 높은 온도에서 안정성과 내구성을 저하시킬 수 있다. 따라서, 중량의 교통 통행지역에서는 교면포장상의 바퀴 통행로(wheel path)에서 변형과 특히 마모, 바퀴자국 패임(rutting) 현상이 두드러질 수 있다.

이와 같은 손상은 교면 상에 물 고임(ponding)을 제공하여 물보라 현상(hydroplaning)과 결빙에 의해서 차량주행의 안전성을 감소시키고 노면포장의 손상을 가속시킨다.

또한, 저공극률의 마모표층은 표면 조직(texture)이 너무 조밀하고 윤활(tight and smooth)해서 미끄럼 마찰저항이 감소한다. 따라서 아스팔트 마모표층 혼합물 배합설계는 “high density, low air void content” 개념을 가지되 혼합물의 모든 영향과 안정성과의 균형을 가지도록 세심한 주의가 필요하다.

일본에서는 이와 같은 유동변형과 파상변형 손상(corrugation, rutting)을 감소시키고, 프렛팅 손상을 감수하더라도 교면포장의 통행안전·주행질·외관상 보기 흉한 것을 없애기 위해서 의도적으로 조립도 아스팔트 혼합물을 채용하고 있다.

〈표 5.2〉, 〈표 5.3〉과 〈그림 5.3〉, 〈그림 5.4〉는 일본에서 표준적으로 채택하고 있는 교면형식에 따른 조립도 혼합물의 표준배합과 교면포장 구성을 보여주고 있다.

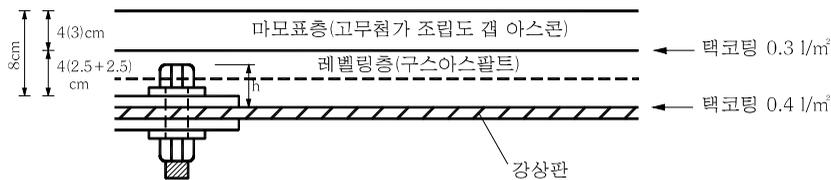


〈그림 5.3〉 콘크리트 상판 상의 교면포장 구성

〈표 5.2〉 콘크리트 상판 상의 교면포장 역청 혼합물의 표준배합

구 분	호칭치수 (mm)	마모표층 (조립도 겹 아스콘)	레벨링층 (조립도 아스콘)
통과백분율 (%)	25	-	100
	20	100	95-100
	13	95-100	70-90
	5	25-40	35-55
	2.5	20-35	20-35
	0.6	12-23	11-23
	0.3	8-18	5-16
	0.15	6-16	4-12
	0.08	5-10	2-7
아스팔트 양(%)		5.0	5.0

주) 괄호 안의 값은 h)40mm 이상인 경우 적용 값



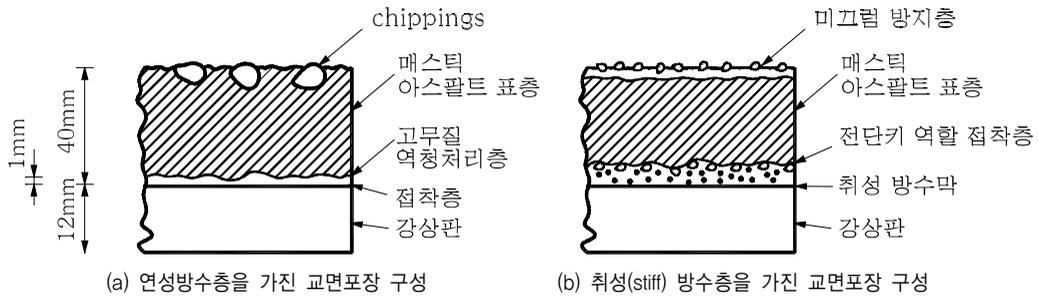
〈그림 5.4〉 강상판 상의 교면포장 구성

〈표 5.3〉 강상판 교면포장 혼합물의 표준배합

구 분	호칭치수 (mm)	마모표층 (고무첨가 조립도 겹 아스콘)	레벨링층 (구스아스콘)
통과백분율 (%)	20	100	100
	13	95-100	95-100
	5	25-40	65-85
	2.5	20-35	45-62
	0.6	12-23	35-50
	0.3	8-18	28-42
	0.15	6-16	25-34
	0.08	5-10	20-27
	아스팔트 양(%)		5.0

교량 상판이 강상판인 경우에는 콘크리트 상판에 비해서 강성이 낮기 때문에 처짐이 상당히 크게 일어나므로 강상판의 마모표층 혼합물은 경량성과 피로저항 성질을 만족하는 혼합물 배합설계가 요구되어, 1회 시공에 의한 공용수명은 10년을 넘지 못하는 것으로 알려져 있다.

미국의 AAPT 연구보고서에 의하면, 영국에서는 <그림 5.5>와 <표 5.4>에 보여지는 마모표층 구성과 배합기준을 가지는 mastic 아스팔트 또는 에폭시 가열 롤드 아스팔트를 사용하여 공용수명을 약 20년 정도 얻었던 것으로 알려져 있다.



<그림 5.5> 강상판 상의 교면포장 구성

일반적으로 마모표층에 적용되는 아스팔트 혼합물 형식을 밀입도 아스팔트 혼합물 · 밀입도 갭 아스팔트 혼합물 · 세립도 갭 아스팔트 혼합물 등을 이용하며, 우리나라에서는 교면포장용 아스팔트 혼합물의 입도 및 배합기준을 별도로 규정하지 않고 외국의 적용 예와 기준을 참조하여 현장조건 · 시공성 및 경제성을 고려하여 설계 · 시공 하여 왔으나, 최근 한국도로공사는 교면포장용 아스팔트 혼합물로서 쇄석 매스틱 아스팔트 포장 표층공사용 재료에 대한 시방기준을 제시하고 있으므로 실무기술자는 국토해양부 제정 “도로공사 표준시방서” 또는 한국도로공사 제정 “고속도로 공사 전문시방서”를 참조하고 현장조건을 고려하여 적정히 설계하는 것이 바람직하다.

(나) 레벨링층

레벨링층은 콘크리트 상판 표면이 평탄성이 불량하거나, 강상판 표면에 돌출된 볼트와 리벳 등으로 인한 마모표층 두께의 불균등을 조정하고, 이 층 위에 설치되는 마모표층의 평탄성을 확보하고, 필요에 따라서는 방수기능도 확보하기 위하여 설치되는 층으로서, 강상판의 경우 마모표층보다 5~10mm를 더 두껍게 설치하는 경우가 많고, 유동저항성을 고려하여 경질 아스팔트를 사용하고 마모표층에 비해서 조골재량을 크게 하는 경우도 있다.

미국에서는 에폭시 또는 고무를 함유한 아스팔트 혼합물을 사용하여 교면포장을 2층 구조(동일 재료의 마모표층 + 레벨링층)로 시공하는 것이 일반적이고, 영국에서는 mastic 아스팔트 혼합물을 사용해서 레벨링층을 두지 않는 1층 시공이 주류이고, 독일에서는 구스 아스팔트 혼합물로 2층 시공을 기본으로 하고 있으며, 기타 유럽국가에서는 매스틱 아스팔트 혼합물을 많이 사용한다.

(다) 방수층(waterproofing membrane)

아스팔트 교면포장에서는 어느 정도의 균열발생은 완전히 피할 수 없기 때문에 교면상판 바로 위에 방수층을 반드시 설치하여야 한다.

방수층은 일반적으로 시트계통 방수재료 또는 용제계통 방수제를 살포 또는 설치하거나 방수성능을 가진 포장 혼합물 층을 설치함으로써 방수층을 형성시킨다.

시트계통 방수재는 합성섬유 부직포에 고무화 아스팔트를 침투시킨 것이나 열경화성형 고무시트·부틸합성 고무시트 등이 사용되며, 이것을 용제형 아스팔트 계통의 접착제로 상판 위에 부착시킨다. 용제계통 방수제는 클로로플렌 고무 등에 휘발성 용제로 희석한 용액으로서, 이것을 상판 상에 도포하거나(도막식) 살포 침투(침투식)시켜서 휘발 건조 고화시키면 방수층이 형성된다.

포장계통 방수층으로는 2층 시공의 교면포장에서는 레벨링층 혼합물에 방수제를 배합하여서 방수 기능을 부여하고 별도의 방수층을 설치하지 않거나, <표 5.4>와 같은 입도의 sheet 아스팔트 혼합물로서 12.5~18mm 두께로 방수층을 두는 방법이다.

시트계통 방수재료는 1.5~2.5mm 두께의 방수층을 확보할 수 있으며, 용제형 도막(塗膜) 방수층은 1.5~2.0kg/m² 정도를 표면처리 된 상판위에 도포함으로써 용제가 휘발 건조되면 0.4~0.8mm 의 건조 도막두께를 가지는 얇은 방수층을 형성한다.

현재 실무에서는 일반적으로 강상판에는 시트계 방수재 또는 용제형 도막 방수재를 적용하고, 콘크리트 상판에는 용제형 침투방수재를 적용하고 있다.

도포식 방수는 콘크리트 상판 표면상태에 따라서 특히 볼록(凸) 부위의 도막 두께는 아주 얇아질 우려가 있고, 교면포장 포설 시 포설 장비나 공사차량에 의해서 손상되기 쉽다.

<표 5.4> sheet 아스팔트 혼합물 입도 기준

구 분	10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	0.08mm	아스팔트 양 (%)
모래 sheet 혼합물	100	85-100	80-95	70-89	55-80	30-60	10-35	4-14	7.0-11.0
세립도 sheet 혼합물	-	100	95-100	85-98	70-95	40-75	20-40	8-16	7.5-12.0

강상판의 경우에는 아스팔트 혼합물의 조골재가 포설 전압에 의해서 방수막에 손상을 줄 수 있다. 따라서, 도포 방수층인 경우 두께가 1.0mm 이상 확보하는 것이 바람직하다. 침투식 방수는 콘크리트 상판에 균열이 발생하면 방수효용이 저하되고, 고강도 콘크리트에는 침투깊이가 감소된다. 따라서, 교량 상판의 방수층은 시트 방수로 처리하는 것이 바람직하다.

강상판인 경우는 고무화 아스팔트, 콜타르 에폭시를 사용하여 3~4mm 두께 처리가 효과적인 것으로 알려져 있다.

방수층의 시공에 있어서 주의할 도포식과 침투식 방수공법의 장·단점은 <표 5.5>와 같다.

<표 5.5> 교면 방수 공법별 장단점

구 분	침투식 방수	도포식 방수
장 점	- 시공이 간단 - 공사비가 저렴	- 연성 재료이므로 진동에 대한 내구성이 우수 - 아스콘 마모층 시공 시 텍코팅 불필요
단 점	- 시공 후 콘크리트 면에 균열발생 시 방수성 저하 - 고강도 콘크리트의 경우 침투 깊이 감소 예상 - 아스콘 마모층 시공 시 텍코팅 필요	- 시공과정이 복잡 - 공사비가 비교적 고가 - 밀림 형상이 발생하지 않도록 시공 시 주의를 요함.

(라) 접착층

접착층은 교량상판과 방수층 또는 포장과 부착시켜 일체화시켜 주도록 설치하는 층이며, 콘크리트 상판에 대해서는 용제형의 고무 아스팔트계 접착제·용제형의 고무계 접착제·고무혼입아스팔트 유제·아스팔트 유제 등을 콘크리트 상판에는 0.4~0.5 l/m^2 정도, 강상판에는 0.3~0.4 l/m^2 정도 도포 또는 살포하여 처리한다.

아연계통 방청제 처리 강상판인 경우 고무 접착제로 0.5~1.0mm 두께로 도포 처리한다.

- ① 접착제는 얼룩이 생기지 않도록 2회로 나누어 균일하게 도포한다. 또, 연석 등의 구조물을 더럽히지 않도록 주의한다.
- ② 접착제의 양이 많은 경우에는 접착효과를 잃는 것 외에 포장에 악영향을 주는 일이 있으므로 주의한다.
- ③ 작업 중에 비가 올 경우에는 즉시 도포 또는 살포 작업을 중단한다.
- ④ 시공 후의 접착층은 휘발분이 증발할 때까지 표면을 손상시키지 않도록 해서 충분히 양생한다. 양생이 불충분하면 포장 시공 시에 아스팔트 피니셔 및 덤프트럭 등에 의해 접착층이 벗겨질 염려가 있다.

(마) 아스팔트 교면포장의 종류

(a) 가열 아스팔트 포장

일반적으로 교량 슬래브의 요철을 고려하여 두께 50~80mm가 좋다.

요철이 큰 경우에는 레벨링층(평균 두께 30~40mm)을 둘 필요가 있으며, 이 레벨링층에는 토페카 (<표 5.6> 참조), 수정 토페카, 밀입도 아스팔트 혼합물, 구스 아스팔트 혼합물 등이 사용된다. 강 슬래브 등에서 여름철에 온도가 상승하여 혼합물이 유동할 염려가 있을 경우에는 재료의 선택, 배합 등에 충분한 주의를 하여야 한다.

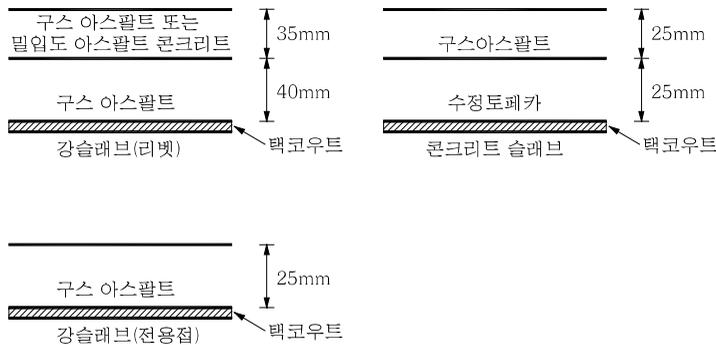
포장이 얇을 경우에는 슬래브와의 부착이 특히 중요하므로 택코트에는 고무혼입 유화아스팔트를 0.3ℓ /m² 정도 사용하는 것이 좋다.

〈표 5.6〉 토페카의 표준 배합

체	통과 중량 백분율(%)	체	통과 중량 백분율(%)
13mm	100	0.30mm(No.50)	25 ~ 49
10mm	85 ~ 100	0.15mm(No.100)	15 ~ 30
4.75mm(No. 4)	75 ~ 90	0.075mm(No.200)	6 ~ 12
2.36mm(No. 8)	65 ~ 80	아스팔트 양	7.0 ~ 9.5
0.60mm(No.30)	35 ~ 60	(혼합물 전량에 대한 %)	

(b) 구스 아스팔트 포장

구스 아스팔트 포장은 고온에서 구스 아스팔트 혼합물을 유입시키므로 온도저하에 의한 체적수축을 수반하여 구조물과의 접촉면에 간격이 생기기 쉬우므로 이 부분에는 미리 간격을 두었다가 줄눈재를 주입하든가 블로운 아스팔트, 모래, 석분의 혼합물 등을 채워 넣어야 한다. 강 슬래브 위에 포장을 할 때에는 택코트로 고무 혼입 유화 아스팔트 등을 0.1~0.3ℓ /m² 정도 사용하는 것이 좋다. 구스 아스팔트 교면포장의 시공 예는 〈그림 5.6〉과 같다.



〈그림 5.6〉 구스 아스팔트 교면포장의 시공 예

(c) 고무 혼입 아스팔트 포장

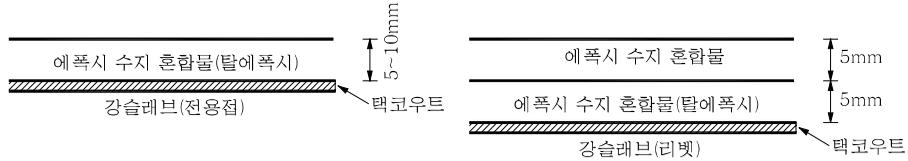
고무와 슬래브와의 부착성과 마모 및 변형에 대한 저항성을 기대하는 포장으로서, 고무의 혼합 및 포설조건만이 다르고 나머지는 가열 혼합식 아스팔트 포장과 동일하다.

(d) 에폭시 수지 포장

일반적으로 5~10mm 두께로 시공하며, 슬래브와의 부착성에 대해서 충분히 주의하여야 한다. 강 슬래브는 특히 기름이나 녹을 충분히 닦아내야 하므로 희산(稀酸), 중성세제로 씻거나 샌드 브라이트나 와이어 브러쉬에 의한 브러싱을 하여야 한다.

콘크리트 슬래브와의 부착에는 염화비닐 양생피막이나 레이탄스의 제거를 충분히 하여야 한다.

에폭시수지는 3~12시간 정도에서 경화하나, 경화가 불충분한 때에 물이 침투하면 경화되지 않
 든가 슬래브와의 부착을 나쁘게 하므로 주의하여야 한다. 에폭시 수지 교면포장 시공 예는 <그
 림 5.7>과 같다.



<그림 5.7> 에폭시 수지 포장의 시공 예

(e) 쇠석 매스틱 아스팔트 포장

골재의 입도를 최적 맞물림 상태로 하여 아스팔트 혼합물의 내유동성을 극대로 한 것으로서, 1968년 독일에서 개발된 이래 현재 유럽뿐만 아니라 전 세계적으로 적용되는 포장공법으로 내 유동성뿐만 아니라 내구성 면에서도 그 우수함이 밝혀져 있다. 교면포장에 쇠석 매스틱 아스팔 트를 적용하여 향상된 공용성을 얻기 위해서는 교면포장용 배합설계 기준을 적용하여 정밀시공 을 하여야 한다. 쇠석 매스틱 아스팔트는 갠 굵은 골재, 갠 잔골재, 채움재, 아스팔트 시멘트 및 안정 첨가제의 혼합물이다. 안정 첨가제는 아스팔트 시멘트의 유출을 방지하기 위하여 사용되 며, 대표적으로 섬유 또는 폴리머로 되어 있다. 쇠석 매스틱 아스팔트 혼합물은 굵은골재량이 많고(대표적으로 70~80%), 아스팔트 함량이 많으며(대표적으로 6%이상) 또한 채움재의 양이 많다.(중량으로 약 10%) 굵은 골재량을 많게 함으로써 쇠석과 쇠석이 직접 접촉하게 되어 혼합 물이 소성변형에 대한 높은 저항성을 갖게 한다. 아스팔트는 침입도 등급 60~70의 것을 사용 하며, KS M 2201 규격에 적합 하여야 한다. 굵은골재는 <표 5.7>의 기준에 합격하는 것이어야 하며, 잔골재 중 자연모래는 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다. 채움재는 KS F 3501(포장용 채움재)에 적합하여야 하며, 사용 시에는 충분히 건조된 것이어야 하며, 덩어리 상태로 있어서 는 안 된다. 섬유첨가제는 섬유에 일정량의 아스팔트를 첨가하여 낱알 형태로 생산된 것을 원칙 적으로 사용한다. 혼합골재의 입도는 <표 5.8>을 표준으로 한다. 쇠석 매스틱 아스팔트 표준용 혼합물은 KS F 2377에 의한 안정도 시험과 드레인 다운 시험을 하였을 때 <표 5.10>의 기준치 에 합격하는 것이어야 한다.

<표 5.7> 쇠석 매스틱 아스팔트 굵은골재의 품질기준

항 목	시 험 방 법	기 준
비 중(표면건조)	KS F 2503	2.5 이상
흡 수 량 (%)	KS F 2503	2.0 이하
마 모 감 량(%)	KS F 2508	30 이하
안정성시험감량 (%) (황산나트륨 사용)	KS F 2507	12 이하
아스팔트 피막박리시험에의한 피복면적(%)	KS F 2355	95 이상
편평 및 세장편 함유량 (%)	※	20 이하

※ 편평세장편 골재는 5mm 체에 남는 골재를 대상으로 폭에 대한 길이 및 두께에 대한 폭의 비가 3배 이상인 것

〈표 5.8〉 쇠석 매스틱 아스팔트 포장 혼합골재의 입도기준

호칭치수(mm)		공칭최대치수				
		19mm	13mm	10mm	8mm	5mm
공칭입경에 대한 체 통과 증량백분율(%)	25	100	-	-	-	-
	20	93~100	100	-	-	-
	13	30~50	93~100	100	-	-
	10	20~35	40~55	93~100	100	100
	5	15~25	16~30	25~45	30~60	95~100
	2.5	12~22	12~23	15~30	15~30	23~45
	0.6	10~18	10~18	11~20	12~20	13~21
	0.3	8~15	8~15	10~16	10~16	11~17
	0.15	7~13	7~14	9~15	9~15	10~16
	0.08	6~12	7~12	8~13	8~13	9~14

〈표 5.9〉 쇠석 매스틱 아스팔트 혼합물의 종류별 사용 장소

쇠석 매스틱 아스팔트 혼합물 종류	사용장소	비고
19mm	공항 포장용, 기층용	
13mm	고속도로 토공부, 100m 이하의 소교량 상부층	
10mm	고속도로 토공부, 교면포장용	
8mm	고속도로 토공부, 교면포장용	
5mm	강상관 교면포장의 하부 레벨링 층	

〈표 5.10〉 쇠석 매스틱 아스팔트 혼합물의 품질기준

항 목	기 준				
	19mm	13mm	10mm	8mm	5mm
아스팔트 함량(%)	6.0 이상	6.4 이상	6.8 이상	7.2 이상	7.8 이상
안 정 도 (kg)	300 이상	500 이상			
공 극 률 (%)	2.0 ~ 4.0				
골 재 공 극 률(%)	17 이상	18 이상	19 이상	20 이상	21 이상
포 화 도 (%)	75 이상				
드레인 다운 시험값(%)	0.3 이하				

(2) 콘크리트 교면포장

콘크리트 교면포장은 콘크리트 상판인 경우에 좋고, 사용되는 재료는 일반 1종 시멘트를 사용하는 경우와, 1종 시멘트에 슬래그 플라이애쉬 · 실리카흙 · 라텍스 등의 혼화재를 첨가한 고성능 콘크리트, 그리고 철화이버(steel fiber)를 첨가한 SFRC 콘크리트 등이 있다.

우리나라에서는 호남고속도로 4차로 확장공사와 중부고속도로에서 몇 개 교량에서 두께 40mm의 상판 콘크리트 재료 배합과 동일한 배합의 콘크리트 마모표층을 사용한 실적이 있는 정도였으나, 산업부 산물인 플라이애쉬 · 슬래그 · 실리카흙 그리고 라텍스 등을 사용한 고성능 콘크리트(HPC, High Performance Concrete)포장 등 다양한 종류의 개질 콘크리트의 적용이 확대되고 있는 실정이다.

콘크리트 상판 상에 콘크리트 교면포장을 설치하는 방법은 두 가지가 있다. 이것에는 상판 콘크리트 타설과 동시에 실시하는 '일체식 시공방법'과 상판 콘크리트를 타설 수일 후 접착층을 설치하고 콘크리트 교면포장을 시공하는 '2단계 시공방법'이 있다.

교면포장과 교량상판에 적용하는 콘크리트가 교량포장 조건을 만족하는 동일 배합 콘크리트를 사용하는 경우 일체식 가공이 좋으나 사하중의 영향으로 처짐이 일어날 수 있고 설치두께를 균일하게 시공할 수 없는 단점이 있고, 교면포장과 동일재료로 시공하는 경우 비용이 너무 비싸고 서로 다른 콘크리트로서 일체식 시공은 이들 공학적 성질의 차이 때문에 오히려 역효과를 나타낸다. 따라서, 콘크리트 교면포장은 2단계 시공 방법이 바람직하고 교량상판의 사하중 등에 의한 처짐을 보정하고 좀 더 좋은 최종 교면 평탄성을 제공할 수 있어 양호한 종단선형과 배수효과를 줄 수 있다. 2단계 시공방법에서는 교량 콘크리트 상판표면의 평탄성이 나쁜 경우 교면포장 전에 6~12mm 정도 깊이를 긁어내서 평탄성과 접착층과의 부착성을 개선할 수 있다.

콘크리트 상판과 동일한 배합 콘크리트로 일체식 교면포장을 하는 방법은 콘크리트 상판 피복두께를 증가시키는 것과 동일한 개념으로서 상판의 상부 철근으로부터 교면포장 표면까지 두께가 100mm를 초과하지 않는 것이 교량 상판 구조의 반복 휨 거동을 수용하는데 바람직하며, 이 방식에서는 상판의 상부 철근을 제설염화물 또는 빗물 침투에 대비하여 예폭시 피복과 방식의 적극적인 철근 부식 방지대책을 고려하는 것이 바람직하다.

5.2 연결로 포장

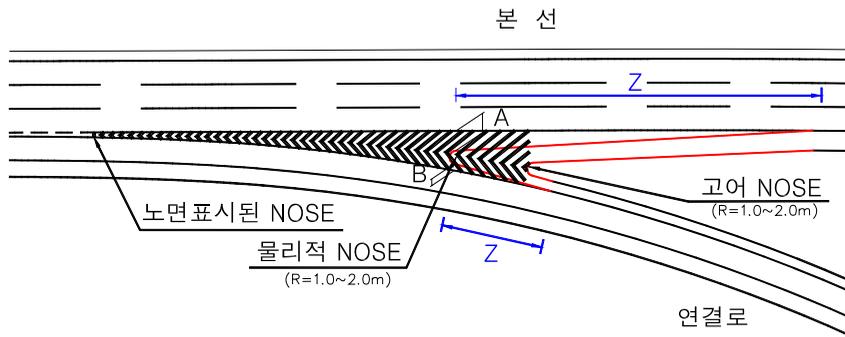
- (1) 연결로의 본체 부분 <그림 5.8>의 차도와 측대 포장은 차량 안전성, 포장 시공성과 경제성을 고려하여 적절한 포장형식을 선택하는 것이 좋다.
- (2) 유출 연결로인 경우에는 본선 포장과 접속되는 연결로 접속부(ramp terminal)의 포장은 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 대형 연결 차량의 회전에 필요한 확폭이 고려될 때는 차도부 포장을 연결로 확폭량만큼 연장시켜야 한다.
 - ② 중차량 통행이 큰 연결로 접속부 포장은 유지관리·시공성 그리고 경제성을 고려하되, 본선 포장형식이 아스팔트 포장일지라도 가능한 한 콘크리트 포장으로 하는 것이 바람직하다.
 - ③ 유출연결로 부분을 통과한 본선의 우측 길어깨 부분(<그림 5.8>의 Z값)은 <표 5.11>에 주어지는 길이로 본선 차도부 포장을 길어깨 단부까지 연장시켜야 한다.
- (3) 본선 포장의 측대 단부와 연결로 접속부와의 연결 접촉면은 단차 없이 연속성을 확보할 수 있도록 “4.4.5 줄눈의 설계”에서 제시되는 적정의 구조를 가져야 하고, 특히 본선과 연결로 접속부를 콘크리트 포장으로 설계하는 경우 도색 노즈(painted nose)부분(<그림 5.8>)은 상·하부에 적정의 보강철근과 철망으로 보강한다.

「제4편 출입시설」 “5.8.1 연결로 접속단 설계 시의 주의 사항”에 정의된 바와 같이 연결로 접속부(ramp terminal)은 변속차로의 노즈로부터 테이퍼 단까지 구간(변속차로 구간, 테이퍼 또는 교통섬 포함)으로서 본선차도에 접속되는 부분을 말한다. <그림 5.8>

연결로 차도와 측대를 제외한 길어깨 등 연결로 본체 이외의 부분이나 휴게시설, 주차장 등의 부속시설에 있어서 포장은 교통하중 등이 본선 부분과 설계수준에 상당히 차이가 있으므로 이용목적에 따라서 적절한 구조로 설계하여야 하는 것이 좋다.

<표 5.11> 본선 측 연결로 오프셋의 테이퍼의 설치기준

설계속도 (km/h)	연 결 로			본 선				
	50	60	70	80	90	100	110	120
노즈 테이퍼(Z)의 길이(m)	15.0	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	35.0	40.0



〈그림 5.8〉 연결로의 표준 구성

연결로 차도와 측대를 제외한 길어깨와 부대시설의 포장에 대하여서는 ‘5. 부대시설 등의 포장’과 ‘6. 포장세부 및 기타사항’에 따른다.

본선을 콘크리트 포장으로 설계하고, 이에 접속되는 인터체인지 연결로가 작은 반경이고 종·횡단 경사가 급하게 되는 경우, 기계포설의 콘크리트 포장으로 시공하기 쉽지 않으므로 시공성과 경제성 측면을 고려할 때 아스팔트 포장으로 선택하는 것이 좋다.

특히, 인터체인지·휴게시설·주차장 등과 접속되는 연결로 접속구간의 연장이 50m 미만인 경우 이 부분의 기능과 시공성을 고려하여 적정의 포장형식을 선택하는 것이 좋다.

(가) 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 연하여 타이바를 설치하는 것이 바람직하다. 그러나 연결로 접속부가 50~60m 이하인 경우에는 타이바를 생략할 수 있다.

본선과 연결로를 모두 CRCP로 설계하거나, 본선 CRCP의 횡방향철근을 연결로 접속부까지 연장 설치하는 것이 좋고, 연결로를 JCP로 하는 경우에는 연결로 접속부를 본선 포장과 동일한 CRCP로 하는 것이 좋다.

그리고 연결로 포장형식이 콘크리트 포장이고 이것과 접속되는 다른 도로가 콘크리트 포장인 경우에는 다웰바를 가지는 팽창줄눈을 설치하고, 아스팔트 포장인 경우에는 시공 맞댄줄눈을 통해서 인접 아스팔트 포장을 연결하도록 콘크리트 단부를 차단시키고, 아스팔트 포장과 콘크리트 포장 경계부에서 단차가 발생되지 않도록 “4.4.8 콘크리트 포장 교차부 설계”의 사항을 적용한다.

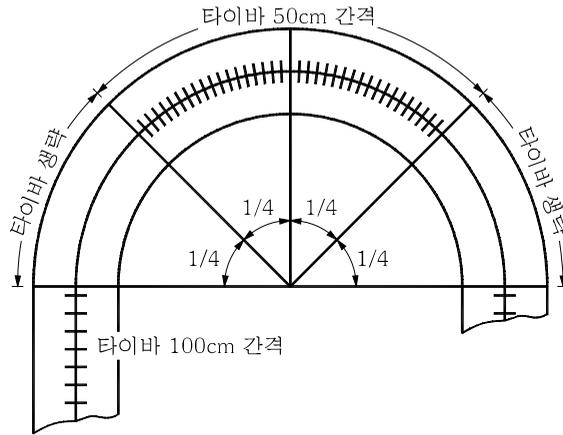
(나) 콘크리트 포장의 연결로의 곡선반경이 작은 경우

(a) 평면 곡선반경이 작은 구간

곡선반경이 100m 이하의 곡선구간의 세로방향 줄눈은 <그림 5.9>와 같이 곡선구간을 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.

(b) 종단 곡선반경이 작은 구간

곡선반경이 대략 300m 이하의 곡선구간을 포함한 경우는 팽창줄눈 간격을 80~120m로 한다.



<그림 5.9> 곡선부에서의 타이바 설치 예

(다) 연결로의 길어깨 보강 포장

고속도로 본선 주행차량의 지체를 방지하고자 연결로의 2차로 운용이 가능하도록 진출 연결로의 전 폭을 본선 포장과 동일하게 시행하며, 진입 루프램프에 있어서는 곡선반경 100m 미만의 원곡선과 이에 접속되는 완화구간을 포함하여 차량 진행방향의 길어깨 우측을 본선포장 단면으로 보강한다.

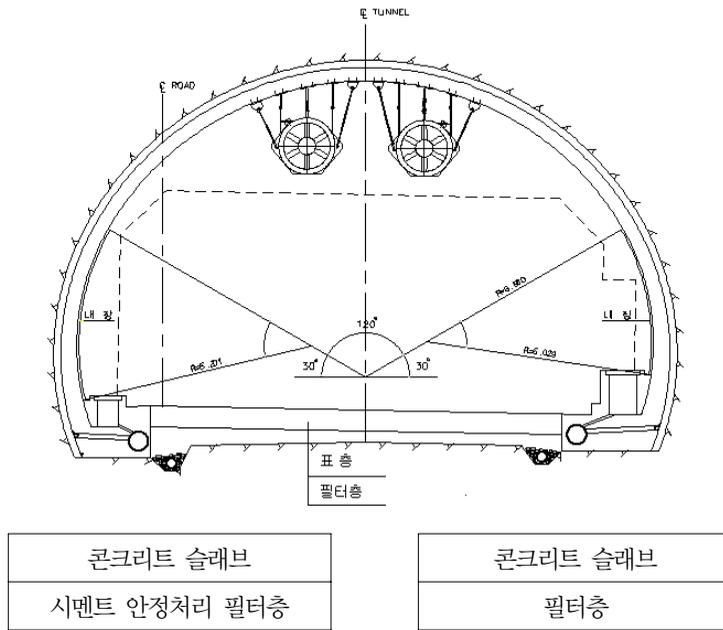
5.3 터널 내의 포장

- (1) 터널 내의 포장형식은 터널 전후의 토공부 포장과의 연속성, 건설 후 유지관리, 시공성, 저소음 특성 등을 고려하여 적정의 포장형식을 선택하는 것이 바람직하다.
- (2) 터널 내 포장 설계에서 고려할 사항은 다음과 같다.
 - 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 안전성을 위한 명색화 표면이 요구된다.
- (3) 터널 내 포장이 콘크리트 포장인 경우 하부 층은 안정처리 필터층 또는 필터층을 적용한다. 터널 내 포장이 아스팔트 포장인 경우는 하부층으로 필터층을 적용한다.
- (4) 터널 내 포장의 동상방지층 설치는 갱구 입구부로부터 50m 까지 설치하고, 출구부는 여건을 고려하여 동상방지층을 설치하지 않을 수 있다. 단, 상·하행이 분리되지 않은 터널의 경우 양쪽 개구부 모두 동상방지층을 설치한다.

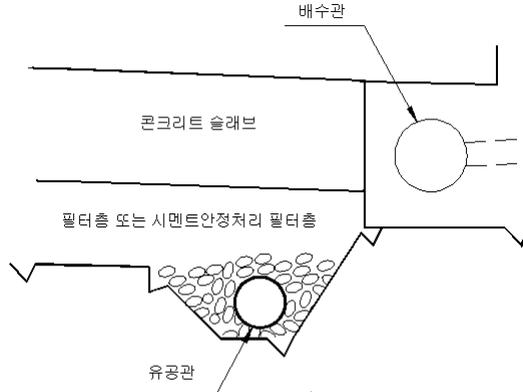
터널 내 포장의 형식 모두 하부층의 처리가 중요하다고 할 수 있다. 이는 터널이 가지고 있는 특수성으로 인하여 노상이 주로 암으로 구성되어 있고, 지지력의 측면에서는 양호하나 용출수가 많을 경우, 이에 대한 처리가 매우 어렵기 때문이다. 그러므로 터널 내 포장의 상부형식은 물론 하부형식에 있어서도 이러한 문제점을 간과하여서는 안 된다.

콘크리트 포장은 <그림 5.10>과 같이 콘크리트 슬래브와 하부층에 시멘트 안정처리 필터층 또는 필터층을 적용하며, 불투수성 기층을 적용할 경우에는 용수의 배수를 위하여 반드시 하부에 필터층을 설치하여야 한다.

일반적으로 터널 벽면에서 발생하는 용출수는 <그림 5.11>의 배수관으로 배수되나, 노상에서 발생하는 용출수는 필터층을 따라 유공관으로 배수를 한다. 이 때, 필터층이 투수층 역할을 제대로 하지 못하면 용출수는 유공관으로 빠져 나가지 못하고, 콘크리트 슬래브의 줄눈부로 용출되는 펌핑현상이 발생된다. 이러한 펌핑현상을 방지하기 위하여 투수성 입도의 필터층 또는 시멘트 안정처리 필터층을 설치한다. 시멘트 안정처리 필터층을 설치하는 이유는 펌핑현상 발생 시 필터층의 침식을 방지하며, 필터층의 내구성을 증대시키기 위함이다.

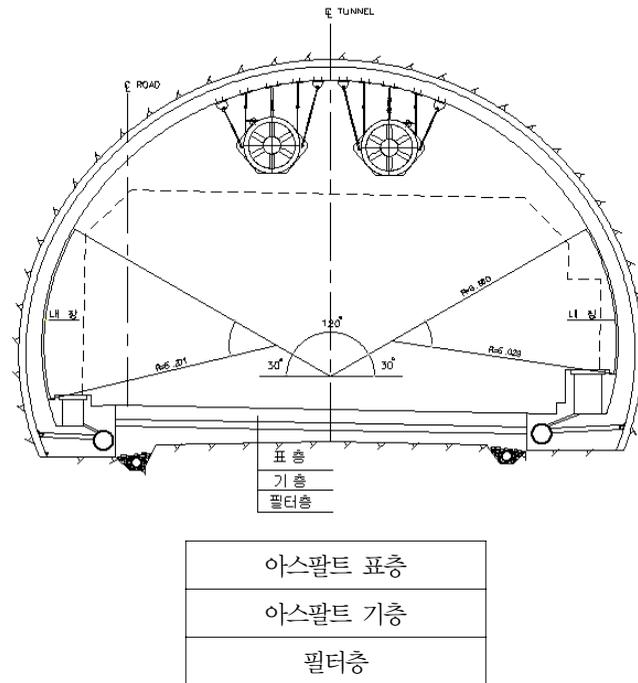


〈그림 5.10〉 콘크리트 포장의 구성



〈그림 5.11〉 배수관 및 유공관의 구성

아스팔트 포장은 〈그림 5.12〉과 같이 아스팔트 혼합물로 이루어진 표층(중간층 포함)과 기층을 본선 토공부와 동일하게 시공하고, 보조기층은 생략하는 대신 필터층을 적용한다. 그 이유는 하중분산 구조로 이루어진 아스팔트 포장에서 보조기층은 일정부분 하중지지 역할분담을 하도록 되어 있으나, 터널 내 포장은 노상이 암반으로 구성되어 있기 때문에 하중지지 역할은 필요 없다. 그러나 노상으로 침투된 응축수의 배수가 필요하므로 배수 및 여굴에 따른 조정층의 역할을 하는 필터층의 설치가 요구된다.



〈그림 5.12〉 아스팔트 포장의 구성

터널포장의 하부구조형식은 토공부 포장과는 전혀 다른 특성을 가지고 있으므로 이에 대한 검토가 이루어져야 한다. 터널이 용출수의 문제가 없다면 노상 위에 콘크리트 슬래브 또는 아스팔트포장을 시공할 수 있으나, 용출수가 많은 터널에서는 용출수가 포장 위로 나오는 팽핑현상이 발생하므로 용출수를 배제할 수 있는 필터층이 필요하다.

터널 내 콘크리트 포장의 하부구조 형식은 〈표 5.12〉와 같이 나누어 질 수 있다. 시멘트 안정처리 필터층은 설계 시 용출수량을 파악하기 어려우므로 시멘트 안정처리 필터층의 두께는 설계 시 최소값인 150mm를 적용하고, 시공 시 〈표 5.13〉과 같이 용출수량의 정도에 따라 조정할 필요가 있다.

〈표 5.12〉 터널 내 포장단면(콘크리트 포장)

구 분	포장단면
I	콘크리트 슬래브
	시멘트안정처리 필터층(150~250mm)
II	콘크리트 슬래브
	필터층(150mm)

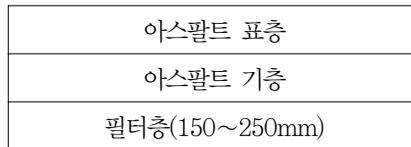
주) I : 용출수에 의하여 팽핑 및 침식의 우려가 있는 경우

II : 용출수가 없고, 팽핑 및 침식의 우려가 없는 경우

〈표 5.13〉 용수량에 따른 필터층 두께

용수량(m ³ /분/km)	필터층 두께(mm)
0.5 미만	150
0.5 ~ 1.5	200
1.5 초과	250

아스팔트 포장에서 아스팔트 혼합물 층은 토공부 포장과 동일하게 시공하며, 〈그림 5.13〉와 같이 보조기층은 설치할 필요가 없다. 그 이유는 아스팔트 포장에서 보조기층이 하중분산 역할을 하도록 되어 있으나, 터널 내 포장의 경우 노상이 암반으로 이루어져 있어서 하중지지역할이 크므로 보조기층을 설치할 필요가 없기 때문이다. 그 대신 배수층으로서의 역할이 필요하므로 필터층을 설치하며, 필터층의 두께는 용수량에 따라 달라질 수 있다. 필터층은 설계 시 용출수량을 파악하기 어려우므로 필터층의 두께는 설계 시 최소값인 150mm를 적용하고, 시공 시 〈표 5.13〉과 같이 용출수량의 정도에 따라 조정할 필요가 있다.



〈그림 5.13〉 터널 내 포장단면(아스팔트 포장)

터널 굴착 시 노상면은 여굴에 따라 요철이 발생되며, 터널 내 노상면의 요철부를 보정하는 방법은 두 가지 방법이 있다. 첫째는 빈배합 콘크리트로 채우고 면 고르기를 하여 노상면 위로 시멘트 안정처리 필터층을 두고 그 위에 본선 포장을 실시한다. 둘째는 노상면 위의 요철부를 빈배합 콘크리트로 채우지 않을 경우에는 시멘트 안정처리 필터층 등으로 요철부를 채워야 한다.

빈배합 콘크리트 또는 시멘트 안정처리 필터층으로 요철보정을 할 경우에는 여굴에 용수가 고일 염려가 없으므로 용수가 많은 구간에는 빈배합 콘크리트나 시멘트 안정처리 필터층으로 요철 보정을 하는 것이 필요하고, 그렇지 않은 경우에는 필터층으로 보정한다. 용수가 여굴면에 고일 경우 노상을 이루고 있는 암반이 풍화되어 지지력이 저하될 우려가 있으므로 여굴 요철면은 반드시 보정하여 주어야 한다.

5.4 암반구간의 포장

- (1) 암반구간에서는 포장단면 설계 시 보조기층 및 동상방지층을 생략하고, 침투수의 배수를 위한 필터층 또는 시멘트 처리 필터층을 설치한다.
- (2) 암반구간의 포장이 콘크리트 포장인 경우 콘크리트 슬래브와 하부층에 시멘트 안정처리 필터층 또는 필터층을 적용하며, 불투수성의 린콘크리트 기층을 적용할 경우에는 용수나 침투수의 배수를 위하여 반드시 하부에 필터층을 설치하여야 한다.
- (3) 암반구간 포장 설계에서 고려할 사항은 다음과 같다.
 - ① 콘크리트 포장의 경우, 슬래브의 두께는 본선 포장과 동일하게 적용한다. 아스팔트 포장의 경우, 아스팔트 혼합물층의 두께는 본선 포장과 동일하게 적용하며, 보조기층대신 투수를 위한 필터층을 설치한다.
 - ② 필터층에서 배수되는 침투수는 유공관을 통하여 배수구로 배수되어야 하며, 유공관위치는 필터층의 바닥면보다 최소한 50mm 아래에 유공관의 상면이 위치하여야 한다.
 - ③ 암반구간 포장은 용출수에 의하여 습윤상태가 되기 쉬우므로 표층에 위치하는 포장재료는 내수성을 갖추어야 하며, 하부층에 놓이는 포장재료는 투수성을 갖추어야 한다.

암반구간 포장의 형식 모두 하부층의 처리가 중요하다고 할 수 있다. 이는 암반이 가지고 있는 특수성으로 인하여 노상이 주로 암으로 구성되어 있고, 지지력의 측면에서는 양호하나 용출수가 많을 경우 이에 대한 처리가 매우 어렵기 때문이다. 그러므로 암반구간 포장의 상부형식은 물론 하부형식에 있어서도 이러한 문제점을 간과해서는 안 된다.

콘크리트 포장은 <그림 5.14>과 같이 콘크리트 슬래브와 하부층에 시멘트 안정처리 필터층 또는 필터층을 적용하며, 불투수성 기층을 적용할 경우에는 용수의 배수를 위하여 반드시 하부에 필터층을 설치하여야 한다.

암반구간의 노상에서 발생하는 용출수는 필터층을 따라 유공관으로 배수를 한다. 이 때, 필터층이 투수 역할을 제대로 하지 못하면 용출수는 유공관으로 빠져 나가지 못하고, 콘크리트 슬래브의 줄눈부로 용출되는 펌핑현상이 발생된다. 이러한 펌핑현상을 방지하기 위하여 투수성 입도의 필터층 또는 시멘트 안정처리 필터층을 설치한다. 시멘트 안정처리 필터층을 설치하는 이유는 펌핑현상 발생 시 필터층의 침식을 방지하며, 필터층의 내구성을 증대시키기 위함이다.



〈그림 5.14〉 콘크리트포장의 구성

아스팔트 포장은 〈그림 5.15〉과 같이 아스팔트 혼합물로 이루어진 표층(중간층 포함)과 기층을 본선토공부와 동일하게 시공하고, 보조기층은 생략하는 대신 필터층을 적용한다. 그 이유는 하중분산 구조로 이루어진 아스팔트 포장에서 보조기층은 일정 부분 하중지지 역할 분담을 하도록 되어 있으나, 암반구간 내 포장은 노상이 암반으로 구성되어 있기 때문에 하중지지 역할은 필요 없다. 그러나 노상으로 침투된 용출수의 배수가 필요하므로 배수 및 여굴에 따른 조정층의 역할을 하는 필터층의 설치가 요구된다.



〈그림 5.15〉 아스팔트 포장의 구성

암반구간 굴착 시 노상면은 여굴에 따라 요철이 발생되며, 암반구간 내 노상면의 요철부를 보정하는 방법은 두 가지 방법이 있다. 첫째는, 빈배합 콘크리트로 채우고 면 고르기를 하여 노상면 위로 시멘트 안정처리 필터층을 두고 그 위에 포장을 실시한다. 둘째는, 노상면 위의 요철부를 빈배합 콘크리트로 채우지 않을 경우에는 시멘트 안정처리 필터층 등으로 요철부를 채워야 한다.

빈배합 콘크리트 또는 시멘트 안정처리 필터층으로 요철을 보정할 경우에는 여굴에 용수가 고일 염려가 없으므로 용수가 많은 구간(일반적으로 용수량이 1.0m³/분/km 이상인 구간)에는 빈배합 콘크리트나 시멘트 안정처리 필터층으로 요철을 보정하는 것이 필요하고, 그렇지 않은 경우에는 필터층으로 보정한다. 용수가 여굴면에 고일 경우 노상을 이루고 있는 암반이 풍화되어 지지력이 저하될 우려가 있으므로 여굴 요철면은 반드시 보정하여 주어야 한다.

〈표 5.14〉 요철 보정방법

TYPE	단 면	적용 기준
I		<ul style="list-style-type: none"> · 용수가 많이 발생하여 펌핑 및 침식의 우려가 예상되는 곳 · 오목형 종단곡선의 저점부 또는 편경사 변화구간
II		<ul style="list-style-type: none"> · 용수가 많이 발생하여 펌핑 및 침식의 우려가 예상되는 곳 · 재료의 수급 및 시공성 감안이 필요한 곳
III		<ul style="list-style-type: none"> · 용수 및 침투수가 거의 없어 펌핑 및 침식의 우려가 없는 곳

필터층 재료의 품질기준은 보조기층 재료의 기준을 적용하며, 골재의 입도는 다음을 만족하여야 한다. 필터층의 다짐은 최대건조밀도의 95% 이상 다짐을 하여야 한다.

호칭치수(mm)	체 통과 중량 백분율(%)
40	100
25	95~100
20	65~90
10	40~70
5	20~45
0.6	2~20
0.08	0~4



6. 부대시설 등의 포장

6.1 개 요

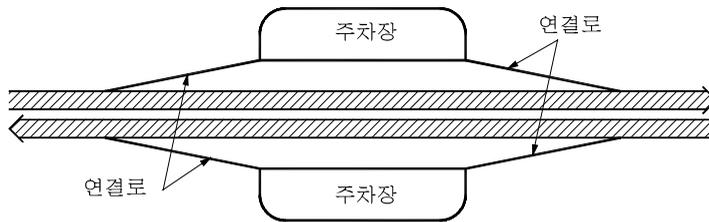
- (1) 도로의 본선과 인터체인지의 기본 횡단구성(차도+측대+길어깨) 이외의 도로 연변에 설치되는 휴게시설과 관리시설의 유출입 접근도로·비상주차대·긴급제동시설·버스정차대·체인탈착장 그리고 중앙분리대 개구부의 포장설계는 본선 포장구조와 연속성을 유지할 수 있고, 차량주행의 안전성·본선 차량(특히, 중차량)의 통행빈도와 교통 재하조건·유지관리·그리고 시공성을 고려하여 경험적 관점에서 소요의 공용성과 내구성이 확보되는 포장형식과 구조로 결정하는 것이 바람직하다.
- (2) 휴게시설과 관리시설 내의 주차장, 교량 또는 버스정차대의 보도부 그리고 보도교의 포장은 해당 용도에 적합한 내구성을 가지고, 유지관리와 시공성이 좋은 포장구조로 결정하는 것이 좋다.

도로 연변에 설치되는 도로 안전시설(비상주차대, 버스정차대, 체인탈착장, 중앙분리대 개구부, 긴급제동시설 등) 또는 휴게시설과 관리시설의 유출입 접근도로 및 이들 시설 내 주차장·보도 등의 포장설계는 이 편 2장과 3장에 주어지는 설계절차를 적용할 경우 통행교통량을 추정하기가 어렵고, 교통재하 조건이 본선 포장과 다르기 때문에 과소 또는 과대 설계가 되기 쉽다. 현재 이들의 포장구조를 위한 적정의 설계방법이 정립되어 있지 않은 상태이므로 본선 포장 설계방법을 준용하여 사용 용도·본선 교통량 또는 중차량 통행빈도 등을 고려하고, 과거의 공용실적을 토대로 해서 본선 포장의 구조 능력과 연속성을 확보할 수 있고 유지관리와 시공성이 효율적으로 이루어질 수 있도록 포장 형식·포장층 구성 및 소요 두께를 표준화하여 적용하는 것이 실무적이며, 바람직한 방법이다.

6.2 부대시설의 유출입 연결로

본선 또는 인터체인지와 주변 휴게시설·관리시설의 연결로 포장 형식은 본선 포장의 형식·안전성(특히, 시인성)·유지관리 및 시공성을 고려하여 선택하고, 본선 포장과 동일한 구조로 하는 것이 바람직하다.

인터체인지의 연락시설이나 휴게시설에 연결하는 연결로(〈그림 6.1〉)는 평면곡선·종단곡선 반지름이 적고, 종단·횡단 경사도 급한 것이 일반적이다. 이와 같은 점을 고려할 때 연결로 포장은 시공성과 장래 유지보수 작업의 어려운 점을 고려하여 본선과 동일한 구조로 함을 원칙으로 한다. 간이휴게소, 휴게소의 연결로란 감속차로 분류부(減速車線 分流部) 노즈로부터 합류부 노즈까지와 휴게소 합류부 노즈로부터 가속차로 합류부(加速車線 合流部) 노즈까지를 말한다.



〈그림 6.1〉 주차장에서 연결로의 범위

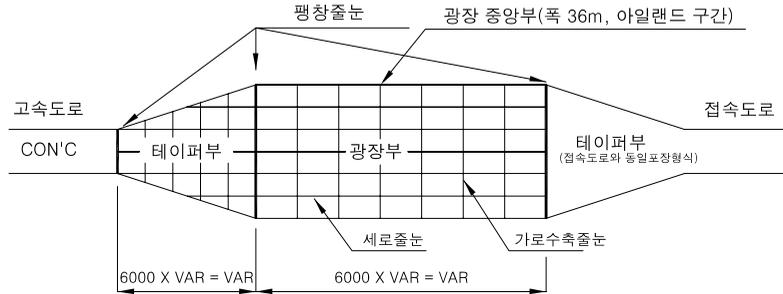
6.3 영업소

- (1) 영업소 광장부 포장 및 테이퍼부 포장은 무근콘크리트 포장 구조로 시공하며, 줄눈 간격은 본선과 동일한 구조로 한다.
- (2) 광장부의 콘크리트 포장 구조는 본선 포장 구조의 설계조건을 적용하여 결정하고, 기층 또는 보조기층은 본선 포장과 구조적 연속성을 유지할 수 있도록 설계하여 광장부 포장 형식이 본선 포장 및 테이퍼부와 다를 때에는 접속부 설계는 “4.4.5 줄눈의 설계”를 적용한다.
- (3) 영업소 광장부 또는 테이퍼부의 콘크리트 포장 범위는 〈그림 6.2〉를 기준으로 한다.
- (4) 교통섬 구간 또는 교통량 조사 장비 또는 축중기 설치구간의 콘크리트 슬래브의 상·하부에는 철망으로 보강하는 것이 좋다.

무근 콘크리트 포장 적용 시 전체적인 외부 기하제원이나 조건은 변하지 않고 기존의 표준설계와 같이 팽창줄눈을 배치하고 세로줄눈을 설치하며, 차로별 슬래브의 폭원을 유지하여야 한다.

가로수축줄눈의 경우 기존 9m에서 6m로 조정하고 철근을 생략한다. 포장의 품질확보를 위해 기계타설을 원칙으로 한다.

광장 중앙부(36m, 아일랜드 구간)는 시공성 및 매설시설물(공동구 등)을 감안하여 철근콘크리트(줄눈 간격 9m)를 적용한다.



〈그림 6.2〉 영업소의 광장부와 테이퍼부의 표준 구성

6.4 버스정차대

6.4.1 버스 정류차로

- (1) 버스 정류차로의 포장은 정류차량의 브레이크 작용과 제설염화물 또는 차량에서 떨어지는 유류 등에 의한 화학적 작용에 대한 내구성을 가지는 포장형식을 선택하는 것이 바람직하다.
- (2) 콘크리트 포장을 적용하는 경우, 콘크리트 슬래브 두께는 최소 200mm로서 철망 또는 철근으로 보강한 무근 콘크리트 포장 구조(JCP)가 바람직하다.
- (3) 아스팔트 포장을 적용하는 경우 표층두께는 최소 70mm, SN=3.5 이상을 기준으로 하여 구조단면을 결정한다.
- (4) 기층 또는 보조기층 두께는 최소 150mm와 배수층 또는 지하배수시설이 고려되어야 하고, 표면배수를 위하여 최소 2%의 횡단경사 설치가 바람직하다.

버스 정류차로 포장을 콘크리트 포장으로 하는 경우, 보강철근은 팽창수축 균열을 효율적으로 조절하기 위하여 설치되며, 소요 철근량은 “4.4.2(2)(마) 타이바의 설계” 〈그림 4.12〉를 적용하여 산정하고, 슬래브 상하면 50mm에 설치한다. 가로 줄눈간격이 포장 두께의 30배 이하이고, 공용기간 동안 예상 이용 교통량이 적은 경우($ESAL \leq 50,000$) 생략할 수 있다.

6.4.2 가·감속 차로

- (1) 가·감속차로 포장형식은 본선 통행 차량의 시인성, 유지관리와 시공성을 고려하여 선택한다.
- (2) 포장구조는 본선 포장과 버스 정류차로 포장과의 연속성을 유지할 수 있는 구조로 하고, “5.4.1 버스 정류차로”와 동일한 기준을 적용한다.
- (3) 본선 포장과의 접속부의 줄눈의 설계는 “4.4.5 줄눈의 설계”를 적용한다.

설계 공용기간 동안 주차장이용 예상통행량이 ESAL로 100,000이하 수준에서는 아스팔트 포장 형식을 적용하는 경우 SN=2.5~3.5 범위에서, 콘크리트 포장 형식을 적용하는 경우에는 슬래브 두께를 150~200mm 범위에서 포장구조 단면을 결정하는 것이 바람직하고, 아스팔트 표층은 최소 75mm · 기층과 보조기층 두께는 최소 150mm를 유지하여야 한다.

그러나, 예상통행량이 ESAL로 100,000 이상인 경우에는 본선 포장의 설계 ESAL의 20~30%를 기준으로 하여 이 편 2장과 3장의 절차를 적용하여 산정하거나, 건설 후 유지관리 측면을 고려하여 본선 포장과 동일한 구조단면으로 하는 것도 좋다.

6.4.3 승강장

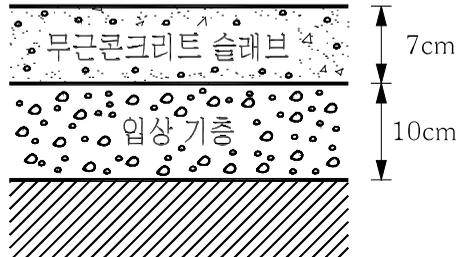
- (1) 승강장 포장형식은 보도용 콘크리트 평판 포장 · 아스팔트 포장 · 콘크리트 포장을 선택할 수 있으며, 특히 미관 · 내구성 등이 요구되는 경우 소요 용도에 적합한 포장형식을 선택하여도 좋다.
- (2) 승강장 포장면은 표면수가 아래층으로 관입되지 않도록 3% 정도의 횡단경사를 설계하여야 한다.
- (3) 포장구조 단면구성은 <그림 6.3>~<그림 6.5>를 표준단면으로 적용하면 좋다.

승강장 포장은 구조적 공용성보다는 기능적 내구성(durability)이 중요하고, 특히 미끄럼 저항과 내구성 조건을 갖추어야 한다. 따라서, 이 절에서는 구조적 설계 절차보다는 표준 단면 구성을 제시하였다.

- (1) 아스팔트 포장형식에 의한 승강장의 표준단면은 <그림 6.3>과 같다.
- (2) 콘크리트 포장형식에 의한 승강장의 표준단면은 <그림 6.4>와 같고, 콘크리트 포장 슬래브의 표면에 300mm 정도의 간격으로 격자상의 폭 10mm 정도의 줄눈을 넣어 콘크리트 면 질감을 부드럽게 하면 좋다.
- (3) 보도용 콘크리트 평판 포장은 KS F 4001에 규정한 승강장 포장의 표준단면은 <그림 6.5>와 같다.



<그림 6.3> 아스팔트 포장에 따른 표준 단면



〈그림 6.4〉 콘크리트 포장에 따른 표준 단면



〈그림 6.5〉 보도용 콘크리트 평판 포장에 따른 표준 단면

6.5 주차장 및 체인탈착장

- (1) 주차장은 주요 이용 차종과 교통량·유지관리·그리고 시공성을 고려하여 적정의 표준 형식을 선택하고, 포장구조는 〈표 6.1〉을 기준으로 하여 적절히 결정한다.

〈표 6.1〉 주차장 포장구조 산정 적용 기준치

(단위 : cm)

구 분	아스팔트 포장		무근 줄눈 콘크리트 포장 (슬래브 두께)
	표 층	설계 SN	
경차량 이용 주차장	7.5	2.5	15
중차량 이용 주차장	10	3.5	20

- (2) 기층과 보조기층 두께는 최소 150mm 이상 유지하고, 적정의 지하배수를 위한 배수층 또는 배수시설이 필요하다.

〈표 6.1〉의 경차량 이용 주차장은 공용기간 동안 예상 통행 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.

6.6 비상주차대와 긴급제동시설

비상주차대와 긴급제동시설의 포장은 본선포장과 동일한 구조 및 형식으로 설계하는 것이 바람직하다.

6.7 관리시설 내 포장

- (1) 관리시설 내의 주차장, 관리시설과 일반도로의 연결도로 등은 유지관리와 시공성을 고려하여 적정의 포장형식을 선택하고, 아스팔트 포장인 경우 표층 두께 50mm · SN=1.75~2.5, 콘크리트 포장인 경우 슬래브두께 150mm를 기준으로 하여 단면구조를 결정하는 것이 바람직하다.
- (2) 기층 또는 보조기층 두께 결정은 '5.4.1 버스 정류차로'와 동일하게 적용하고, 환경 영향(특히, 동결영향)을 극소화할 수 있는 두께를 확보하는 것이 바람직하다.



7. 포장세부 및 기타사항

7.1 측대 및 길어깨 포장

- (1) 측대는 차도부 포장과 동일한 구조와 두께로서 일체 구조로 한다.
- (2) 측대를 제외한 길어깨의 포장은 본선 주행차량의 시인성, 유지관리 중차량 침범빈도, 그리고 시공성들을 고려하여 적정의 포장형식을 선택하는 것이 바람직하다.
- (3) 길어깨를 아스팔트 포장구조로 하는 경우 SN=3.0, 표층 두께 75mm 이상 적용하고, 콘크리트 포장구조로 하는 경우 슬래브 두께를 150mm 이상인 구조로 한다. 길어깨 포장의 표층 또는 콘크리트 슬래브 아래의 기층 또는 보조기층의 재료는 차도부 포장과 동일 재료를 적용하고, 지하배수 처리에 대한 특별한 대책이 필요하다. 이것의 설계두께는 최소 150mm를 유지하여야 한다.

측대는 차도와의 경계를 일정 폭으로 명확하게 나타내어 차도부 통행차량 운전자의 시선을 유도하여 안전성을 증대시키고, 부주의로 차도부 이탈 차량에 대한 측방여유폭 일부를 확보하여 차도부의 효율을 유지시키기 위한 기능 제공 목적으로 설치되기 때문에, 본선 차도부 포장과 동일한 구조와 두께로서 일체식으로 설계하는 것이 바람직하다.

측대를 제외한 길어깨의 포장은 본선 통행차량의 비상주차, 시공기간 또는 개통 후 임시 주행차로 이용 정도에 대한 고려 여부 그리고 불법적으로 길어깨를 이용하는 차량(특히, 중차량)의 예상 통행빈도에 따라서 포장형식, 구성 및 두께를 적절히 선택할 수 있다.

길어깨를 침범하는 설계기간 동안(10년) 예상 통행 빈도가 ESAL로 50,000 이하인 경우에는 아스팔트 포장구조를 적용할 때 SN=3.0을 기준으로하고, 표층은 75mm · 쇄석기층은 150mm 이상을 기준으로 하고, 콘크리트 포장구조로 적용할 때는 슬래브두께를 150mm · 쇄석기층 150mm 이상을 기준으로 하여 단면설계를 하는 것이 좋다.

설계노선의 종단경사가 4% 이상이고, 오르막차로 설치가 고려되지 않아서 저속 중차량 통행이 예상되는 구간의 경우에는 본선 포장의 설계 ESAL의 2~2.5%를 설계교통량으로 하여 이 편 2장과 3장의 절차를 적용하여 구조단면을 결정하는 것이 합리적이다.

특히, 유출연결로 접속부의 고어(gore) 노즈와 접속되는 본선의 가속구간(recovery area)의 길어깨 포장은 본선 포장을 보호 길어깨 폭을 제외한 부분까지 연장시켜야 한다.

이외에 길어깨를 침범 또는 불법통행 주차량이 빈번하다고 판단되는 경우에는 아스팔트 포장에 대하여는 SN=3.0을 기준으로 하고, 표층 두께를 75mm 이상의 단면구조로 설계하면 좋다.

길어깨 포장구조와 형식을 결정하는데 있어서는 이것이 받게 되는 교통과 환경조건을 적정히 고려하는 것 이외에 안정성, 유지관리 및 시공성을 고려하여 길어깨의 효용을 높일 수 있는 방향으로 구조 단면을 결정하여야 한다.

길어깨와 인접 차도부가 모두 콘크리트 포장구조인 경우에는 <그림 7.1>과 같이 맞댄 줄눈을 사용하는 것이 바람직하다.



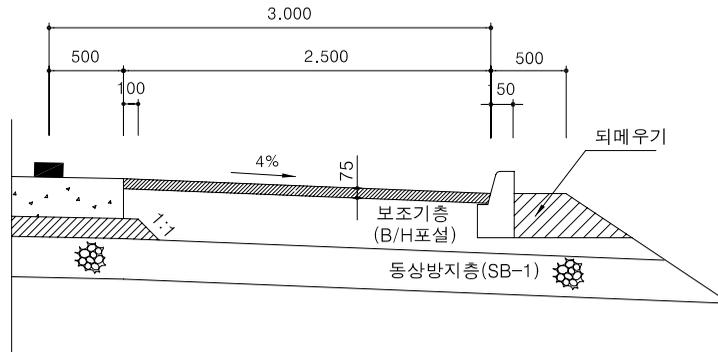
<그림 7.1> 콘크리트 본선 포장과 콘크리트 길어깨 포장의 접속부 구조

7.2 단부의 구조

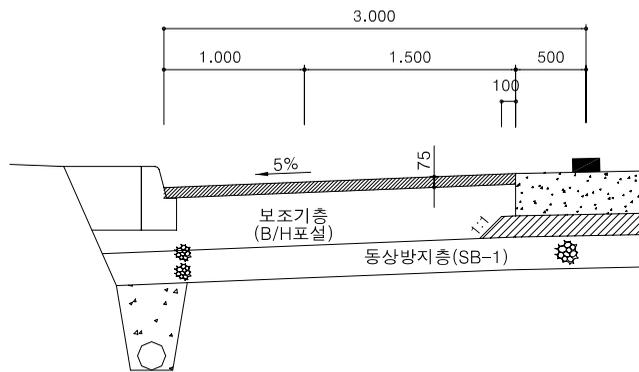
시공 상 필요한 포장단부의 구조는 다음 사항을 고려하여 설계한다.

- (1) 아스팔트 포장의 경우는 시공 상의 여유 폭으로서 아스팔트 콘크리트·아스팔트 안정처리 혼합물을 사용하는 공정에서는 100mm, 그 이외의 공정에서는 150mm 정도를 고려한다.
표층에서 단부로 연석이 설치될 경우에는 연석 설치에 필요한 폭 250mm 정도를 고려하여야 한다.
- (2) 콘크리트 포장의 경우 콘크리트 포장판에는 시공 여유 폭을 설치하지 않는 것으로 하고, 길어깨부의 아스팔트 포장의 단부는 위에 기술한 (1)에 준한다.
- (3) 포장 단부의 마찰경사는 아스팔트 콘크리트·아스팔트 안정처리 혼합물을 사용할 경우에는 1:1, 그 이외의 공정에서는 1:1.8 정도가 바람직하다.
- (4) 연석 및 배수구를 설치할 경우의 구조는 위에 기술한 (1)에 준하기로 한다.
- (5) 포장 단부로부터 물이 침수하여 노상, 기층(또는 보조기층)이 있을 경우에는 단부를 역청재 등으로 방부 처리한다.

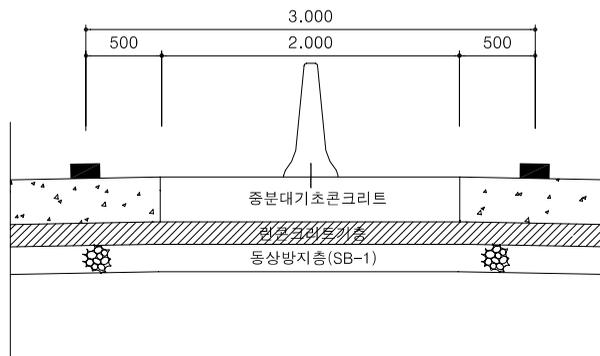
(1) <그림 7.2> (a)~(c)는 단부처리 시공 예이다.



(a) 프리캐스트 연속 사용



(b) L형 측구를 설치한 경우



(c) 중앙분리대의 경우

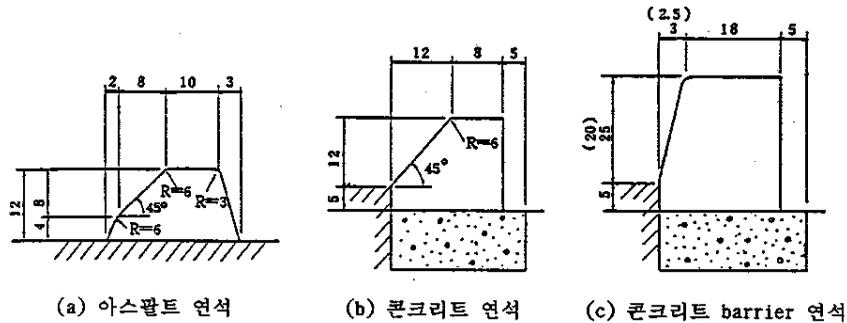
<그림 7.2> 단부처리 시공 예(단위 : mm)

(2) 포장 단부의 역청처리는 3회 완성을 표준으로 한다. 또, 실제로 사용하는 역청재의 살포량은 시험시공을 하여 결정하는 것이 좋다.

7.3 연석의 형태

본선 및 모든 시설의 변속차로·연결로에 설치하는 연석은 원칙으로 높이 120mm 전면의 경사각이 45°인 것을 사용하기로 한다. 단 터널, 인터체인지 연결로 중앙분리대, 버스정류장의 플랫폼 및 낮은 규격의 도로에서 중앙분리대의 폭이 1.5m 이하의 중앙분리대에는 높이 200~250mm의 연석을 설치할 수 있다.

일본에서 각종의 연석에 대해서 충돌실험결과에 의하면 연석에 의한 방향변화의 효과는 거의 없으며, 연석의 높이가 200mm와 250mm일 때는 충돌속도 40~60km/h로 100~200mm 정도 튕겨 오르지 만 높이 120mm일 때는 충돌속도 85km/h에서도 튕겨 오르지 않는다는 것으로 보고되고 있다. 본선 및 연결로에 설치할 수 있는 연석 모양을 높이 120mm 앞면의 경사각 45°의 개념을 기준으로 한 연석의 모양은 <그림 7.3> (a)~(c)과 같다.



<그림 7.3> 연석의 종류(단위 : cm)

7.4 중앙분리대 개구부

중앙분리대 개구부 포장은 비상 통행용인 경우에는 현행 일반구간 중앙분리대 기초형식과 동일하게 적용하고, 통행 교통량이 많을 경우에는 본선 포장과 동일한 구조와 형식으로 하는 것이 바람직하다.

7.5 터널 입출구 개구부

터널 입출구 개구부 포장은 아스콘 길어깨 포장과 동일한 구조와 형식으로 한다.



참 고 자 료

1. 도로포장설계·시공 지침, 건설교통부, 1991
2. 도로공사 표준시방서, 국토해양부, 2009
3. 1986 AASHTO 도로 포장 구조 설계지침서, 건설교통부, 1988
4. 도로설계편람(II) 제7편 포장, 건설교통부, 2000
5. 아스팔트포장 설계·시공 요령, 건설교통부, 1997
6. 도로설계요령, 한국도로공사, 1992, 2001
7. 도로 기술 지도서(IX), 도로포장의 설계편, 한국도로공사, 1985
8. 설계실무자료집, 한국도로공사
9. 고속도로 건설공사 표준도, 제1권, 한국도로공사, 2001
10. 고속도로 공사 전문시방서 토목편, 한국도로공사, 2009
11. 건설공사 품질시험 편람, 한국도로공사, 1998
12. 도로설계실무편람 포장공, 한국도로공사, 1997
13. 제1차 도로·교통 안전 심포지엄, 한국도로협회, 1991
14. 최신 아스팔트 포장, 김주원, 1985
15. 토목 재료 시험법과 해설 및 응용, 형설출판사, 최계식, 1990
16. Manual for Asphalt Pavement, 日本道路協會, 1989
17. セメントコシクリート 舗装 要綱, 改訂版, 日本道路協會, 1984
18. 鋼床版舗装の 設計と施工, ? 鳥出版會, 多田宏行, 1990
19. A Policy on Geometric Design of Rural Highways, AASHTO, 1980
20. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1990
21. AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structure, AASHTO, 1981

22. AASHTO Guide for the Design of Pavement Structure, AASHTO, 1986
23. Highway Subdrainage Design, FHWA-TS-80-224, 1980
24. Waterproof Membranes of Protection of Concrete Bridge Decks(Lab Phase), NCHRP 165, 1976
25. Evaluation of Bridge Deck Protective Strategies, NCHRP 297, 1987
26. 3R-68, Guide of Design of Foundations and Shoulders for Concrete Pavements, ACI 325
27. ACI Manual of Concrete Practice, Part 2, ACI, 1992
28. Better Concrete Pavement Serviceability, ACI, 1973
29. The Asphalt Handbook, AI, 1965
30. Asphalt Technology and Construction Practices(Instructor's Guide), AI, 1983
31. Principles of Pavement Design, 2nd ed. E.J. Yoder & M.W. Witczak, 1975
32. Asphalt Paving Technology, Association of Asphalt Paving Technologists, 1987