

간행물등록번호



2011 도로포장 구조 설계 요령



2011. 11.



국토해양부
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

머 리 말

과거 국내에서 주로 사용되어온 미국의 AASHTO 도로포장 구조 설계는 1950년대 수행된 AASHO 도로 실험 자료를 기초로 포장의 공용성 (Pavement Performance) 이란 개념을 도입하여 개발되었습니다. AASHTO 도로포장 구조 설계는 포장 표면에 나타나는 포장의 거동을 관측하여 포장의 공용성과의 관계를 정립하였으며 몇 번의 개정을 거쳐 현재에 이르고 있습니다. AASHO 도로 실험에서 역학적 변수들에 대한 시험이 이루어졌으나, 역학적 분석을 행할 수 있는 하드웨어나 소프트웨어 측면에서 매우 열악한 상태에 있었기 때문에 범용적이지 못한 측면이 있습니다. AASHTO 포장 구조 설계는 주어진 입력조건 하에서 필요한 포장층의 두께를 산정하는 것이기 때문에, 여러 가지 도로포장 구조 설계 대안들에 대한 비교분석 및 상대적 비교가 쉽지 않습니다. 따라서 주어진 조건에 대해, 구조 설계를 개량하고 싶은 설계자의 물음에 명확한 답변을 주지 못하고 있습니다.

국내 도로포장은 교통량의 증가와 더불어 중차량, 저속주행 등으로 파손이 심화되고 있으며 국내 현실을 고려하지 않은 기존 도로포장 구조 설계 적용은 실제 공용수명 저하의 주요 원인입니다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국토해양부에서는 역학적-경험적 (Mechanistic-Empirical, M-E) 설계 개념을 도입하여, 도로포장 구조 설계를 개발하기에 이르렀습니다. 본 구조 설계를 활용하는 과정에서 개선이 필요한 부분에 대하여는 지속적으로 보완해 나갈 계획이니, 활용하시는 여러분의 많은 조언이 있으시길 바랍니다. 끝으로, 본 요령의 제정 작업에 참여하여 주신 한국건설기술연구원, 한국도로공사, 한국도로학회, 자문위원 및 관계 공무원 여러분의 노고에 감사의 마음을 표하는 바입니다.

2011년 11월

국토해양부 도로정책관 도 태 호

요령 제정에 따른 경과 조치

이 요령은 발간시점부터 적용하며, 이미 시행중인 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 필요하다 인정하는 경우에 적용할 수 있습니다.

I 편. 아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계

II 편. 시멘트 콘크리트 포장 구조 설계

I 편

아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계

목 차

1. 총 칙	1
1.1 적용범위	1
1.2 관련규정의 적용	4
1.3 용어의 정의	4
2. 사전 설계절차	9
2.1 적용 범위	9
2.2 설계구간 길이 결정	9
2.3 포장형식 결정	13
2.4 설계등급 결정	14
2.5 설계대안 단면 결정	16
3. 설계입력변수	19
3.1 개 설	19
3.2 설계등급 1	19
3.2.1 교통량	20
3.2.2 환경특성	28
3.2.3 하부구조(입상) 재료물성	29
3.2.4 아스팔트 혼합물 재료물성	35
3.3 설계등급 2	36

3.3.1	교통량	36
3.3.2	환경특성	39
3.3.3	하부구조 재료물성	40
3.3.4	아스팔트 혼합물 재료물성	44
4.	구조 해석	49
4.1	개 설	49
4.2	다층탄성 해석 프로그램	50
4.2.1	아스팔트 콘크리트 포장 구조해석 절차	50
4.2.2	다층탄성 구조해석 결과	53
5.	공용성 해석	54
5.1	개 설	54
5.2	공용성 예측	54
5.3	피로균열	55
5.4	영구변형	56
5.5	평탄성	57
6.	경제성 분석	58
6.1	개 설	58
6.2	생애주기비용 분석	58
6.3	경제성 분석 방법	60
7.	설계등급 3	62

7.1 개 설	62
7.2 교통 조건	62
7.3 노상 조건	63
7.4 설계단면	64
8. 아스팔트 덧씹우기 포장설계	68
8.1 개 설	68
8.2 설계입력변수	72
8.3 기존 아스팔트 콘크리트 포장의 재료물성 평가	73
8.4 구조해석 및 공용성 해석	76
부 록	79

1. 총 칙

1.1 적용범위

- (1) 본 요령은 도로법에 규정된 각종 아스팔트 콘크리트 포장(고속국도, 일반국도, 특별시도, 광역시도, 지방도, 시·군·구도)과 기타 일반 공중에 이용되는 아스팔트 콘크리트 포장의 단면 설계에 대한 것이다.
- (2) 본 요령은 아스팔트 콘크리트 포장의 단면 설계 적용하는데 있어 필요한 사항에 대하여 규정한다.
- (3) 본 요령에 따른 포장 단면설계는 해석 프로그램을 이용하여 시행한다.

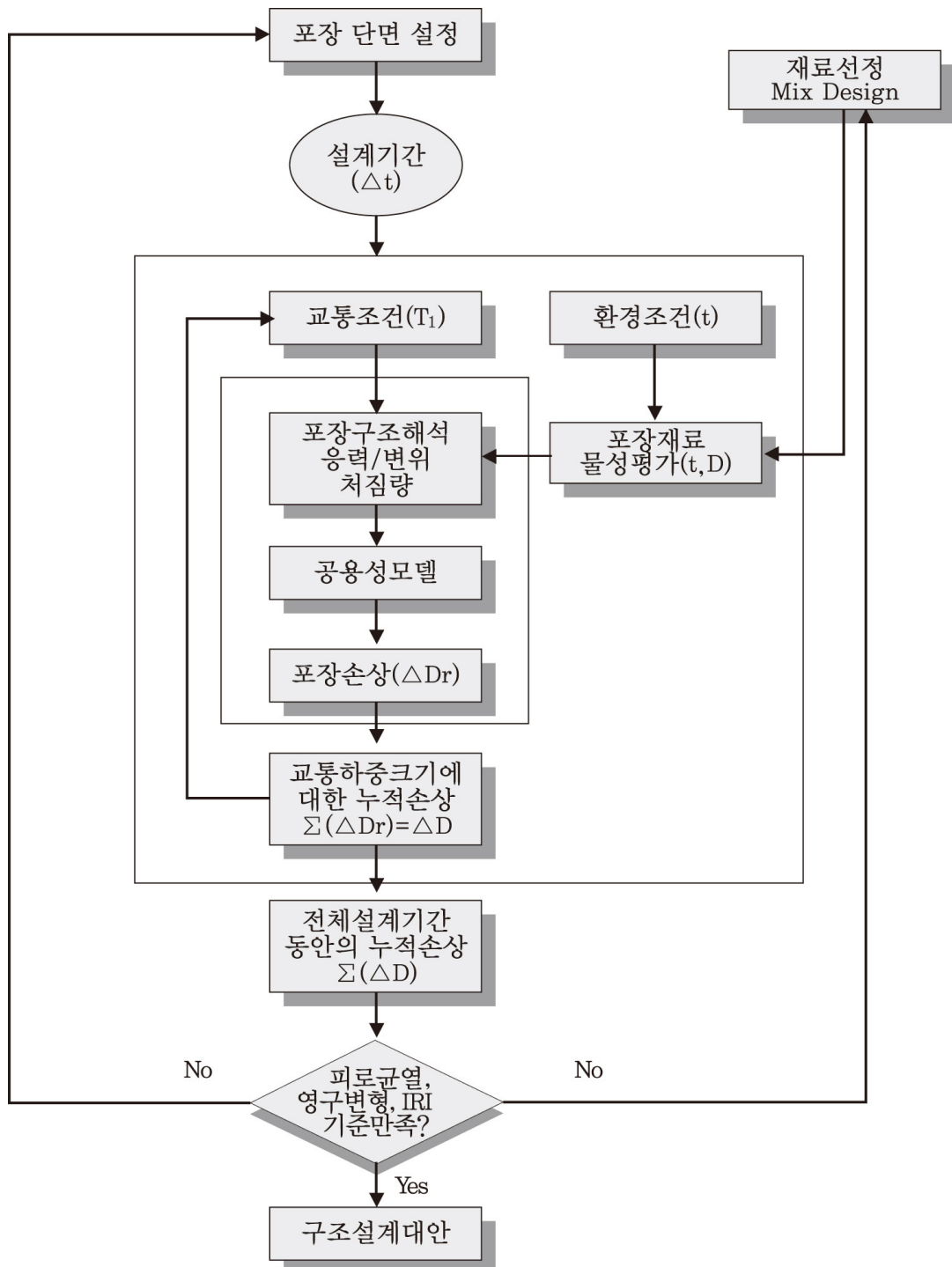
【해 설】

도로포장 단면 설계는 역학적-경험적 설계 개념으로 신설 및 덧씌우기 포장 단면 설계를 수행할 수 있다. 현장 조건의 정량적 결정(교통조건, 환경조건, 재료물성 등) 이후에 설계 해석 프로그램을 이용하여 설계업무를 수행하도록 한다. 역학적-경험적 설계방식과 기존의 경험적 설계 방식과의 가장 큰 차이는 일련의 설계과정이 아니라, 엄격한 의미에서의 해석 프로그램 사용이라는데 있다. 즉, 설계 과정에서 주어진 포장 단면에 대해 해석을 수행하여 장기 공용성을 예측하는 방식이다.

아스팔트 콘크리트 포장에 대한 전반적인 설계과정을 <그림 1.1>에 나타내었고, 설계과정은 다음과 같다.

- (1) 시공 대상지역의 조건에 적합한 포장단면을 가정하여 선정한 다음, 예비설계(Trial Design)를 다음과 같이 실시한다.
- (2) 교통량, 환경조건 및 재료물성과 관련된 입력 변수들을 입력한다.
- (3) 설계 해석 프로그램 내의 구조해석 프로그램 모듈에 의해 포장 단면의 구조적 거동(Structural Responses)을 계산한다.
- (4) 설계기간 동안 유지되어야 할 공용성 기준을 설정한다. 즉, 아스팔트 콘크리트 포장의 피로균열, 영구변형 및 국제평탄성지수(IRI, International Roughness Index)의 허용기준을 설정한다.
- (5) 설계 해석 프로그램 내의 공용성 해석 프로그램 모듈을 이용하여 포장 손상을 계산하고, 전체 설계기간에 대하여 누적된 손상도를 계산한다.

- (6) 예비설계의 결과가 공용성(피로균열, 영구변형, 국제평탄성지수) 기준에 적합한지를 평가한다.
- (7) 예비설계가 공용성 기준을 만족하지 못하면, 예비설계의 단면을 변경한 후 다시 위의 (2)항부터 (6)항까지의 과정을 반복하여 해당 설계단면이 공용성 기준을 만족할 때까지 수행한다.
- (8) 설정한 공용성 기준을 만족시키는 설계단면은 구조적 및 기능적 측면에서 시공 가능한 시스템이어야 하고, 다른 대안단면들에 대한 추가적인 예비설계를 수행한다. 이러한 설계 대안들에 대해 생애주기비용분석을 의한 경제성 평가를 실시하여 최적 대안을 선정한다.
- (9) 예비설계가 공용성 기준을 만족하면 대안단면의 하나로 선정하고, 추가적인 재료 및 대안 단면에 대하여 (2)항부터 (6)항까지의 과정을 반복한다.



〈그림 1.1〉 아스팔트 콘크리트 포장의 역학적-경험적 설계 절차

1.2 관련규정의 적용

본 요령에 규정되어 있지 않은 사항은 국토해양부의 「국도건설공사설계실무요령」, 「도로설계편람」의 관련 규정을 따른다.

1.3 용어의 정의

본 요령에 사용한 다음의 용어는 문맥상으로 보아 다른 의미로 해석되지 않는 한 다음과 같이 정의된다.

- 「강성(Rigidity, Stiffness)」이라 함은 하중을 받는 구조물이나 부재의 변형에 저항하는 성질, 또는 물질의 단단한 성질을 말한다.
- 「공용성(Performance)」이라 함은 포장의 구조적인 능력과 기능적인 상태를 종합적으로 나타내는 것으로, 이용자 측면에서는 포장도로를 통행하는 차량에 주는 쾌적성 또는 서비스 능력을 의미하기도 한다.
- 「국제평탄성지수(IRI, International Roughness Index)」라 함은 국제적으로 통용되는 포장의 평탄성을 나타내는 값으로, 차량의 단위 주행 거리에 대한 차축의 연직방향 진폭의 누적값을 나타내는 지수를 말한다.
- 「노상(Subgrade)」이라 함은 포장을 지지하고 있는 지반 중에서 포장의 밑면으로부터 약 1m 깊이부분을 말하며, 노체 위에 축조되는 것으로 노면의 교통하중을 널리 분산시켜 노체에 하중의 영향을 작게 하고 안전하게 전달하는 역할을 한다.
- 「단축(Single Axle)」이라 함은 일반승용차와 같이 바퀴축이 인접되어 있지 않은 차축 혹은 자동차의 차축이 횡방향으로 하나로만 구성된 축형태를 말한다.
- 「덧씌우기(Overlay)」라 함은 기존 포장을 절삭 또는 표면처리 후 정해진 두께로 재포장하는 것을 말한다.
- 「변환계수(Shift Factor)」라 함은 마스터곡선을 작성하기 위하여 개별온도에서 계산된 동탄성계수를 기준온도로 변환하는데 사용되는 계수를 말한다.
- 「변환함수(Shift Function)」라 함은 변환계수와 실험온도와의 관계를 나타내는 함수를 말한다.
- 「복축(Tandem Axle)」이라 함은 탠DEM축이라고도 하며, 자동차의 차축이 연속적으로 2개로 구성된 축형태를 말한다.(일반적으로 축간격은 1.3m이내)

- 「**사용자비용**」이라 함은 도로 이용자가 도로의 보수작업으로 인하여 정상적으로 통행을 하지 못하게 되는 경우 주기적으로 지불하는 비용의 합으로, 차량운행비용, 운행지연비용, 교통사고비용 등이 포함된다.
- 「**삼축(Tridem Axle)**」이라 함은 자동차의 차축이 연속적으로 3개로 구성된 축형태를 말한다.
- 「**상대강도계수**」이라 함은 AASHTO 도로시험에서 포장의 두께지수(SN)를 산출하기 위하여 도입된 것으로, 포장 각층을 구성하고 있는 재료와 강도를 나타내는 계수를 말한다.
- 「**생애주기비용(LCC, Life-Cycle Cost)**」이라 함은 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기, 처분 등의 각 단계에서 발생하는 비용을 모두 합한 총비용을 말하며, 건설구조물에서 생애주기비용은 기획, 설계비, 건설비, 운용관리비, 폐기처분비 등에 걸쳐 건설구조물의 수명에 필요한 모든 비용을 의미한다.
- 「**성토고**」라 함은 흙쌓기 층의 수직높이 즉, 비탈어깨에서 비탈 끝까지의 수직높이를 말한다.
- 「**쇄석기층**」이라 함은 쇄석을 이용한 도로포장 기층을 말한다.
- 「**원더링(Wandering) 효과**」라 함은 포장체 위를 지나는 차량의 바퀴는 일정한 지점이 아니라 횡방향으로 분포하여 (일반적으로 정규분포로 가정) 주행하게 되며, 이에 따라 포장체에 미치는 응력이나 변형률도 달라지는 것을 의미한다.
- 「**입상층**」이라 함은 잔골재 또는 굵은 골재만을 이용한 포장 층을 말한다.
- 「**입상보조기층**」이라 함은 잔골재 또는 굵은 골재만을 이용한 기층 아래에 위치한 포장 층을 말한다.
- 「**잔존가치**」라 함은 어떤 자산이 다른 목적에 전혀 사용되어질 수 없을 때 자산을 처분함으로써 취득할 수 있는 가치를 폐물가치 또는 잔존가치라 한다. 포장에서의 잔존가치는 분석기간의 마지막 단계에서 투자대안의 가치로 나타내어지며 잔존가치와 관련된 두 가지 기본 구성요소는 잔류가치 (Residual value, 포장 재생에 관련된 순가치)와 공용수명(Serviceable Life)이다.
- 「**전이함수**」라 함은 현장공용성과 이론에 근거한 공용성의 차이를 보정하기 위한 함수를 말한다.
- 「**차종분류**」라 함은 다양한 형태의 차량을 도로의 계획과 건설, 유지관리 등에 기본자료로 활용하기위해 분류하며, 이러한 분류는 활용목적에 부합되도록 한다. 현재 도로포장관련 차종분류는 2006년 개정된 12종 분류방법을 이용한다.
- 「**축하중(Axial Load)**」이라 함은 포장 단면의 축방향으로 작용하는 차량의 축하중을 나타낸다.

- 「**축차응력(Deviatoric Stress)**」 이라 함은 [3축압축시험]에서 축방향응력과 구속응력과의 차를 말한다.
- 「**축하중분포**」 라 함은 축하중 크기와 빈도를 이용하여 도시화한 분포를 말한다. 일반적으로 역학적-경험적 설계에서 교통하중 정량화를 위해 사용된다.
- 「**평탄성(Smoothness, Ride Quality)**」 이라 함은 포장의 평탄한 정도를 말하며 승차감을 표현하는 척도이다. 도로포장의 공용성을 나타내는 중요한 항목으로 사용된다.
- 「**포아송비(Poisson's Ratio)**」 라 함은 ①세로변형률에 대한 가로변형률의 비를 말한다. ②재료의 비례한계 내에서 균일하게 분포된 축응력으로 인하여 생긴 직각방향의 변형도와 축방향 변형도의 비의 절대치를 말한다.
- 「**피로균열(Fatigue Cracking)**」 이라 함은 반복적인 차량 하중에 의해 포장 층에 피로가 누적되어 발생한 균열로서 도로포장의 중요한 파손형태로서 공용성을 나타내는 중요한 항목이다.
- 「**하부구조(substructure)**」 라 함은 입상재료로 구성된 설편기층, 보조기층 및 노상을 의미한다.
- 「**AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)**」 라 함은 미국 각 주(州)의 도로 및 교통 공무원 협회의 약자로, 1914년에 도로에 관한 각종연구와 기술기준을 작성할 목적으로 미국 각주와 연방정부의 도로국에 의해서 설립된 AASHO가 1973년에 도로교통 전반을 취급하게 되면서 AASHTO로 개칭된다.
- 「**AADTT(Annual Average Daily Truck Traffic)**」 라 함은 설계기간 동안의 연평균일트럭교통량을 말한다.
- 「**AADT(Annual Average Daily Traffic)**」 이라 함은 설계기간 동안의 연평균일교통량을 말한다.
- 「**ADT(Average Daily Traffic)**」 라 함은 평균일교통량을 말하며, 이는 어느 기간 내의 전체 교통량을 그 기간의 일수로 나누어 얻어진 값을 나타낸다.
- 「**생애주기비용 분석(LCCA, Life-Cycle Cost Analysis)**」 라 함은 도로포장설계에 있어서 경쟁관계에 있는 여러 대안 투자방안들 중에서 장기간에 걸친 경제효과를 평가하기 위한 경제성분석을 목적으로 구축된 분석기법을 말하며, 여기에는 초기투자과 장래의 기능저하, 사용자 그리고 대안투자의 전 기간에 걸친 관련비용등을 포괄하고 있다. 또한, 생애주기비용 분석은 투자비용에 대한 최적가치를 확인 하고자 하는 시도로 정의될 수 있다.

- 「**공용성 등급(Performance Grade)**」 이라 함은 포장용 아스팔트를 포장이 공용될 지역의 최고 온도와 최저온도를 구분하여 나타내는 등급체계를 말한다. 예를 들어 PG 64-22로 분류된 아스팔트는 공용 가능한 최고 온도는 64℃이며, 최저온도는 -22℃임을 나타낸다. 미국의 전략적 도로 재료 연구 사업(SHRP)에서 공용성에 근거한 아스팔트의 물성을 파악하기 위한 시험법과 아스팔트 등급 기준을 개발하였으며, 이를 공용성 등급체계라고 한다.
- 「**다층탄성이론(Multi Layer Elastic Theory)**」 이라 함은 연속된 층들의 재료거동이 탄성거동을 한다는 가정을 이용한 구조해석이론을 말한다.
- 「**동탄성계수(Dynamic Modulus)**」 라 함은 사인파형의 하중에서 최대응력을 최대변형률로 나누어 계산하며 복합계수의 절대값($|E^*|$)을 말한다.
- 「**복합계수(Complex Modulus)**」 이라 함은 선형 점탄성 재료에 있어 응력과 변형률의 관계를 정의하는 복소수 E^* 를 나타낸다.
- 「**아스팔트 기층**」 이라 함은 아스팔트를 사용한 표층 또는 중간층과 보조기층 사이에 위치하며, 표층에 가해지는 교통하중을 지지하는 역할을 한다. 변형에 대해 큰 저항을 가진 재료를 사용한다.
- 「**아스팔트 표층**」 이라 함은 아스팔트를 사용한 아스팔트 콘크리트 포장의 최상위층을 말하며, 교통하중을 지지하고 평탄성과 안전성 등을 제공하는 역할을 한다. 일반적으로 가장 양질의 재료를 사용한다.
- 「**영구변형(Rutting)**」 이라 함은 외력을 제거한 후에 남아있는 변형을 말한다. 아스팔트 콘크리트 포장에서의 영구변형은 반복되는 차량하중에 의한 노상, 보조기층, 기층 및 표층의 구조적 결함에 의한 변형 또는 반복되는 차량하중에 의하여 아스팔트 혼합물이 전단변형 함으로써 발생된다. 소성변형, 영구변형, 바퀴자국패임 등 다양한 표현이 사용된다.
- 「**유효아스팔트함량**」 이라 함은 총 아스팔트량 중에서 골재에 흡수된 아스팔트량을 제외한 아스팔트의 함량을 나타낸다.
- 「**하중주파수**」 라 함은 점탄성재료의 동탄성계수를 결정하는 변수로서 포장체의 깊이와 차량의 이동속도에 따라 변화한다.
- 「**회복탄성계수**」 라 함은 반복적으로 제시된 응력을 재료에 가하여 얻어진 회복되는 변형률로 나눈 값으로서 재료의 탄성적 특성을 나타내는 계수를 말하며, 반복 재하식 표준 M_R 시험(AASHTO T274-82)으로 구한다.
- 「**Full Depth**」 라 함은 포장 층의 구성이 보조기층, 기층을 포함하여 아스팔트 콘크리트 전층으로 이뤄진 포장 층을 말한다.

- 「**SMA(Stone Mastic Asphalt)**」라 함은 1968년 독일에서 골재입도를 기존의 밀입도에서 개립도로 바꾸고 아스팔트 바인더의 흐름을 막기 위해 섬유질 안정화첨가제를 투입한 포장형식을 말하며, SMA혼합물의 기본개념은 아스팔트바인더의 접착력은 골재의 탈리를 방지하는 역할만 하고 압축력과 전단력에 저항하는 힘은 골재의 맞물림에 의해서 발생한다는 것이다.

2. 사전 설계절차

2.1 적용 범위

- (1) 도로포장의 설계구간 연장 결정에 적용한다.
- (2) 도로포장의 형식 결정에 적용한다.
- (3) 아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계등급 결정에 적용한다.
- (4) 아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계대안 단면결정에 적용한다.

2.2 설계구간 연장 결정

- (1) 설계구간 연장은 교통량을 우선으로 결정, 동일 교통량 구간 내에는 노상재료의 탄성계수에 기초하여 결정한다.
- (2) 최소 포장설계구간 연장은 750m로 한다. 최소 포장설계구간은 성토부를 기준으로 한다. 단, 절토부는 성토부의 포장단면을 적용하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 포장설계구간 연장 결정을 위해서는 포장두께 결정이 선행되어야 하며, 포장두께 결정은 설계등급에 따라 이루어진다.

【해 설】

일정두께의 포장단면을 유지하는데 필요한 포장설계구간 연장을 결정한다. 포장단면은 교통량 또는 하부구조의 탄성계수가 급격히 변하지 않는 한 동일단면을 유지한다. 포장단면을 짧은 구간에서 여러 번 변화시키는 것은 시공을 번잡하게 하고 시공단가를 상승시키며 시공불량을 초래할 수 있다. 포장설계구간 연장은 교통량을 우선으로 결정하며, 동일 교통량 구간 내에서는 설계입력물성치인 노상재료의 탄성계수에 기초하여 결정한다. 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료는 선별된 재료원으로부터 획득함으로 동일 생산된 재료의 탄성계수 차이가 크지 않다.

단면두께를 일정하게 유지하는 최소 포장설계구간 연장(기본구간)은 750m로 한다. 최소 포장설계구간은 성토부를 기준으로 하며, 절토부는 성토부의 포장단면을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

포장설계구간 연장 결정을 위해서는 포장두께 결정을 위한 절차가 선행되어야 한다. 포장두께 결정은 설계입력값으로서 노상과 입상보조기층 및 입도조정 쇄석재료에 대한 탄성계수 결정(설계등급 1 및 설계등급 2만 해당)을 통해 이루어진다. 여기에서 노상의 탄성계수 결정을 위해 예상 도로선형 통과구간 지역 또는 토취장에서 노상재료로 사용할 수 있는 흙 시료를 필요한 수량만큼 채취하여야 한다. 노상재료를 사용하여 탄성계수를 결정하기 위해서는 시험굴(Test Pit)조사를 통해 충분한 양의 교란된 흙 시료를 확보하고, 탄성계수 결정에 필요한 시험을 부록 2. 「포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법」에 따라 계획적으로 실시하여야 한다. 시험굴 조사는 예정 토취장에서 최소 5개소 또는 예상 도로선형 통과구간 지역의 절토부에서 250m 간격으로 실시한다. 시험굴 조사에 대한 상세한 내용은 「도로공사 지반조사 기준」을 참조한다.

설계등급 1에서는 시험굴 당 최소 6개의 삼축압축시험을 위한 시편을 제작할 수 있는 양의 흙 시료를 확보하여야 하며, 설계등급 2에서는 탄성계수 결정을 위한 기초물성시험에 사용할 충분한 양의 흙 시료를 채취하여야 한다. 충분한 양의 흙 시료를 확보하지 못할 경우 시편수의 감소에 따라 단면의 증가를 초래하여 비경제적인 도로설계를 초래할 수 있음에 유의하여야 한다. 시험용 흙 재료로부터 시험굴 당 1개씩의 평균 설계 탄성계수(E_{avg})가 확보되면 서로 인접한 시험굴 위치에서의 평균 설계 탄성계수를 비교하여 단면변화 여부를 결정한다.

설계등급 1에서는 아래의 절차에 따라 포장설계 단면과 포장단면 연장을 결정한다.

1) 하부구조 설계입력 물성 평가

- ① 설계대상 구간에서 선정 채취된 노상토 및 예상 재료원으로부터 획득된 입상 보조기층, 입도조정기층인 쇄석기층 재료에 대하여 삼축압축시험을 실시한다.
- ② 삼축압축시험 결과를 이용하여 하부구조 구성재료의 탄성계수를 결정한다.

2) 포장설계구간 연장 결정

- ① 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 대표 탄성계수를 이용하여 해당 기본구간(750m)에서의 포장단면을 결정한다.
- ② 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 탄성계수 변화를 검토하여 하나의 포장단면으로 설계하는 구간 연장을 아래의 순서에 따라 결정한다.
 - 연접 설계구간과 해당 설계구간 사이 노상의 평균 탄성계수비가 세 배 미만이면 탄성계수가 작은 구간의 포장 단면을 연접구간까지 적용한다.
 - 만일 연접 두 구간에서의 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하면 두

구간의 평균 탄성계수를 이용하여 포장단면을 각각 달리 설계한다.

- 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하는 경우라도 하나의 구간 연장이 750m 이하이면 별도의 설계구간으로 구분하지 않는다.

③ 예외조항

- 구조물과 토공 구간의 접속부 또는 흙쌓기와 흙깎기 경계 구간 등은 시공성을 고려하여 단면두께를 달리할 수 있다.
- 불연속구간에 대한 포장단면 결정은 별도로 규정한다 (「노면 불연속구간 설계지침」 참조).
- 터널구간의 포장단면 결정은 별도로 규정한다(「터널내 포장설계지침」 참조).

설계등급 2에서는 아래의 절차를 이용하여 포장설계 단면과 포장단면 연장을 결정한다.

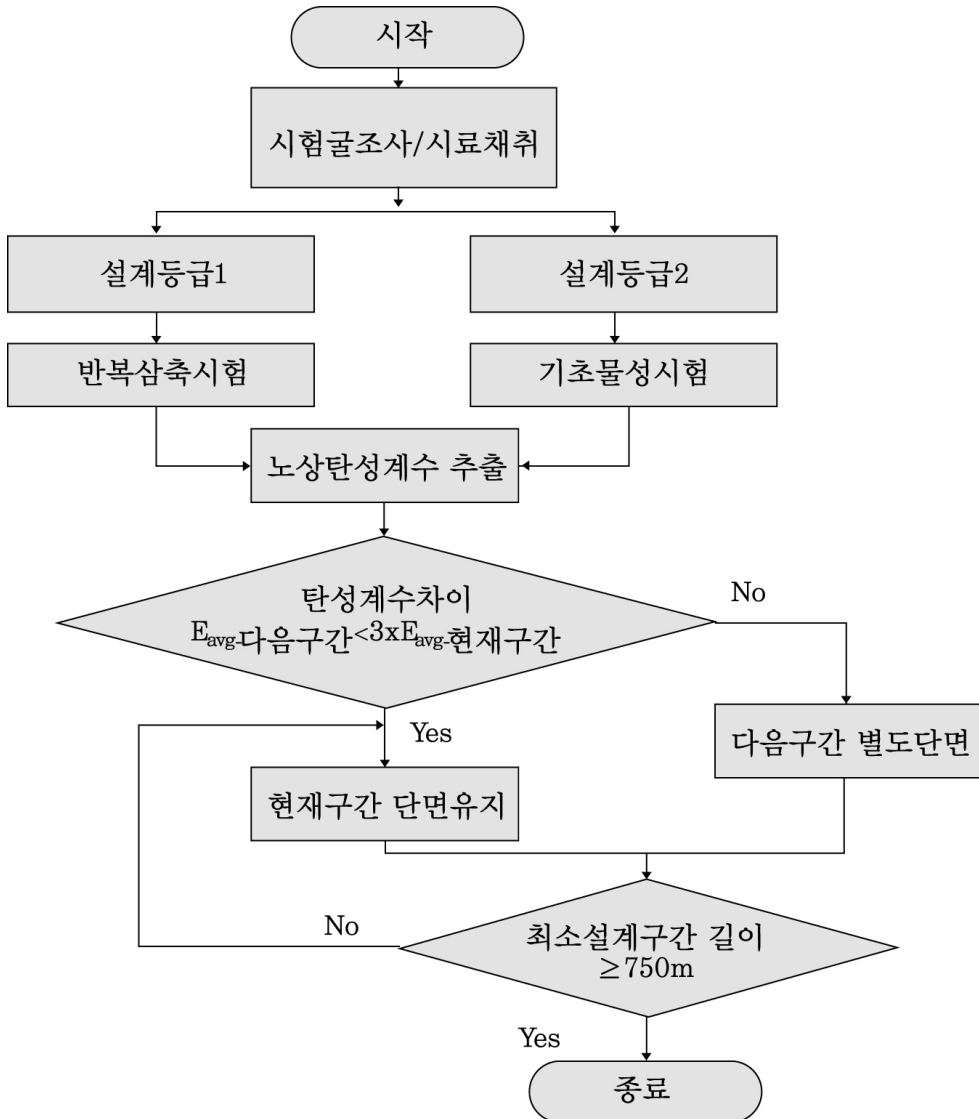
1) 하부구조 설계입력 물성 평가

- ① 설계대상 구간에서 선정 채취된 노상토 및 예상 재료원으로부터 획득된 입상 보조기층, 입도조정 쇄석기층 재료에 대하여 다짐시험과 체가름 시험 등 기초 물성시험을 수행한다.
- ② 기초 물성시험 결과를 이용하여 하부구조의 모델계수 k_1 , k_2 , k_3 를 결정한다.
- ③ 하부구조 모델계수와 20개의 응력조합(부록 2. 「포장 하부구조 재료의 설계입력 변수 평가 시험법」 참조)을 이용하여 평균 설계 탄성계수를 결정한다.

2) 포장단면 연장 결정

- ① 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 평균 설계 탄성계수를 이용하여 해당 기본 구간(750m)에서의 포장단면을 결정한다.
- ② 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 탄성계수 변화를 검토하여 하나의 포장단면으로 설계하는 구간 연장을 아래의 순서에 따라 결정한다.
 - 연접 설계구간과 해당 설계구간 사이의 평균 탄성계수비가 세 배 미만이면 탄성계수가 작은 구간의 포장단면을 연접구간까지 적용한다.
 - 만일 연접 두 구간에서의 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하면 두 구간의 대표 탄성계수를 이용하여 포장단면을 각각 달리 설계한다.
 - 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하는 경우라도 하나의 구간 연장이 750m 이하이면 별도의 설계구간으로 구분하지 않는다.
- ③ 예외조항
 - 구조물과 토공 구간의 접속부 또는 흙쌓기와 흙깎기 경계 구간 등은 시공성을

- 고려하여 단면두께를 달리할 수 있다.
- 불연속구간에 대한 포장단면 결정은 별도로 규정한다 (「노면 불연속구간 설계지침」 참조)
 - 터널구간의 포장단면 결정은 별도로 규정한다(「터널내 포장설계지침」 참조).



〈그림 2.1〉 포장설계구간 연장 결정 절차

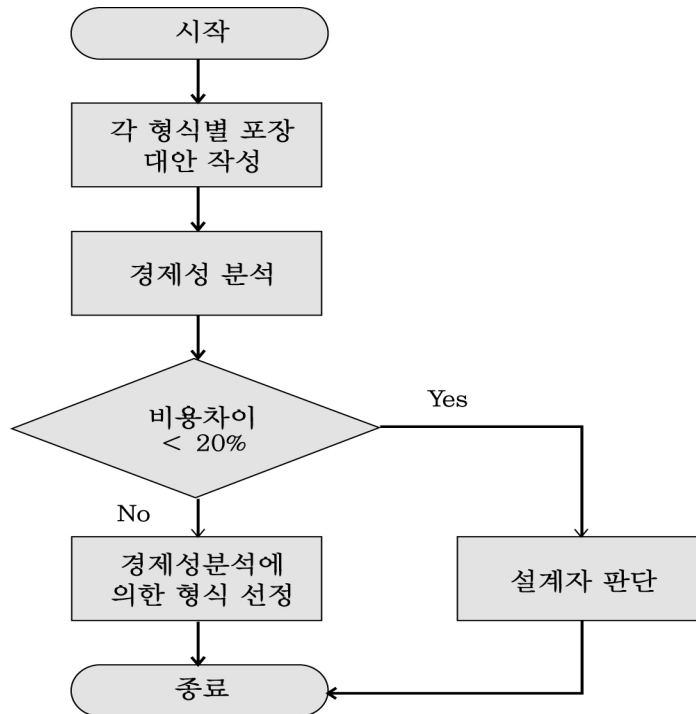
2.3 포장형식 결정

도로포장 구조 설계 초기에 적합한 포장 형식(아스팔트 콘크리트 포장 또는 시멘트 콘크리트 포장)을 선정하도록 한다. 포장 형식 선정을 위해 공용성을 고려한 생애주기비용분석을 통해 비용 효율적인 포장형식을 결정한다.

【해 설】

경제성 분석(생애주기비용 비교)을 바탕으로 합리적인 포장형식을 선정한다. 포장형식별 초기공사비, 유지보수비 및 공용성 관련비용을 포함한 생애주기비용 분석을 기반으로 하며, 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장의 공용성 관련 비용은 포장의 강성 및 평탄성에 따른 소음도 및 주행 쾌적성으로 결정한다. 생애주기비용 분석의 특성상 동일한 비용은 제외한다. 전반적인 포장 형식 선정과정은 <그림 2.2>에 나타나 있고, 자세한 절차는 아래와 같다.

- ① 설계하는 대상 구간의 입력변수에 따라 각 형식별 대안을 선정한다. 이 때, 설계수명을 만족하며 2년 이하의 수명 오차를 나타내는 설계대안을 선정한다.
- ② 생애주기비용 방법을 이용하여 각 대안의 유지보수 및 공용성을 고려한 비용을 산정한다. 유지보수비용의 경우는 각 형식별 연간 평균 유지보수 비용을 이용하여 산정하고 재료 및 시공비는 설계 시점의 비용을 사용한다.
- ③ 두 형식의 비용을 비교하여 그 차이가 일정수준 이하일 경우는 설계자의 판단에 의하여 선정하고 그 이상일 경우는 비용 우위에 있는 형식으로 결정한다. 이 때 판단에 사용되는 비용차이 비율은 20% 이내(열위 포장 비용/우위 포장 비용)로 한다.



〈그림 2.2〉 포장형식 선정 절차

2.4 설계등급 결정

- (1) 도로포장 구조 설계등급은 도로의 중요도와 교통량 등에 따라 결정한다.
- (2) 설계등급은 설계등급 1, 설계등급 2 및 설계등급 3으로 구분하여 각각의 설계 등급에 따라 재료물성 및 교통량을 결정한다.
- (3) 필요에 따라 설계입력변수 중 일부를 상위등급의 방법으로 결정하여 사용할 수 있다.

【해 설】

본 요령에서는 도로의 중요도와 교통량 등을 감안하여 도로포장의 설계등급을 〈표 2.1〉과 같이 세 등급으로 구분한다. 설계등급 1의 경우 고속국도 및 일반국도와 같이 교통량 및 중차량이 많은 도로의 포장설계에 적용되며, 교통량 조사자료를 바탕으로 해당 설계구간의 AADT 혹은 AADT 중 5종 이상의 중차량 대수를 통하여 〈표 2.1〉과 같이 구분한다.

〈표 2.1〉 설계등급

설계 등급	도로등급	설계차량대수	비고
1	고속국도	150,000대 이상	5종 이상의 중차량 대수가 50,000대 이상일 경우에도 설계등급 1로 설계
	일반국도	35,000대 이상	5종 이상의 중차량 대수가 12,000대 이상일 경우에도 설계등급 1로 설계
2	고속국도	150,000대 미만	-
	일반국도	7,000대 이상 35,000대 미만	-
	지방도 및 기타 도로	7,000대 이상	기타 도로는 도로법에 명시된 특별시도, 광역시도, 시도, 군도 및 구도를 의미함
3	일반국도, 지방도 및 기타 도로	7,000대 미만	기타 도로는 도로법에 명시된 특별시도, 광역시도, 시도, 군도 및 구도를 의미함

설계등급별 설계는 기본적으로 동일한 개념에 의해 수행하지만 도로의 중요도에 따라 설계에 필요한 설계입력변수(교통, 환경 및 재료물성)를 결정하는 방식에 차이가 있다. 도로의 중요도가 상대적으로 낮은 경우에는 재료물성 시험이나 교통량 정보수집 등에 있어 상대적으로 간편하게 입력변수를 결정하게 되고, 도로의 중요도가 높을수록 보다 많은 실내시험과 교통 특성에 대한 세밀한 정보를 필요로 한다.

〈표 2.2〉는 설계등급별 포장 재료의 물성 및 교통량 정량화, 설계방법을 정리한 것이다. 설계등급 1과 2에서는 설계 해석 프로그램을 사용하며, 설계등급 3에서는 국내의 대표적인 포장 재료와 교통 특성에 따른 표준 설계단면을 사용한다. 단 설계등급 1의 경우 포장 재료의 물성 결정 시 실내시험을 원칙으로 하나, 실내 시험기 구축 및 포장 전문 인력의 공급이 부족한 국내 여건 등을 감안하여, 설계 요령에 제시되어 있는 포장 재료에 한하여 동일한 조건의 경우라면 데이터베이스(DB, Data Base)화되어 있는 제안값 및 예측방정식을 사용할 수 있다.

〈표 2.2〉 설계등급에 따른 포장 구조 설계

설계 등급	물성 측정	교통량 측정	설계방법
1	실내시험을 통한 재료의 물성 측정	차종별 교통량 분포 및 축하중 분포 측정	설계 해석 프로그램 사용
2	간단한 실내시험 또는 물성 데이터베이스 및 예측방정식을 사용	데이터베이스화된 축하 중별 교통량 분포 사용	설계 해석 프로그램 사용
3	포장재료의 일반적인 물성 사용	데이터베이스화된 축하 중별 교통량 분포 사용	표준 설계단면 사용

2.5 설계대안 단면 결정

- (1) 포장형식 선정 후 각 포장의 기본설계 단면으로부터 설계대안 단면을 최소 3개 이상 결정한다.
- (2) 기본설계 단면은 고속국도, 일반국도, 지방도로 구분하여 〈그림 2.3〉과 같이 적용한다.
- (3) 아스팔트 콘크리트 포장의 표층 재료는 아스팔트 혼합물을 사용하며, 아스팔트 콘크리트 포장에 사용되는 재료는 국토해양부의 「도로공사표준시방서」의 기준을 만족해야한다.
- (4) 설계대안 단면은 "설계기간 동안 유지보수 없이 공용기준을 만족하는 단면" 또는 "설계기간 동안 1회 이상의 유지보수를 포함하여 공용성 기준을 만족하는 단면"을 포함해야 한다.
- (5) 설계입력변수는 "제3장", 설계대안 단면에 대한 구조해석은 "제4장", 공용성 해석은 "제5장", 설계대안 단면들의 경제성 분석은 "제6장"을 통해 기준에 적합한 설계대안 단면들을 선정한다.

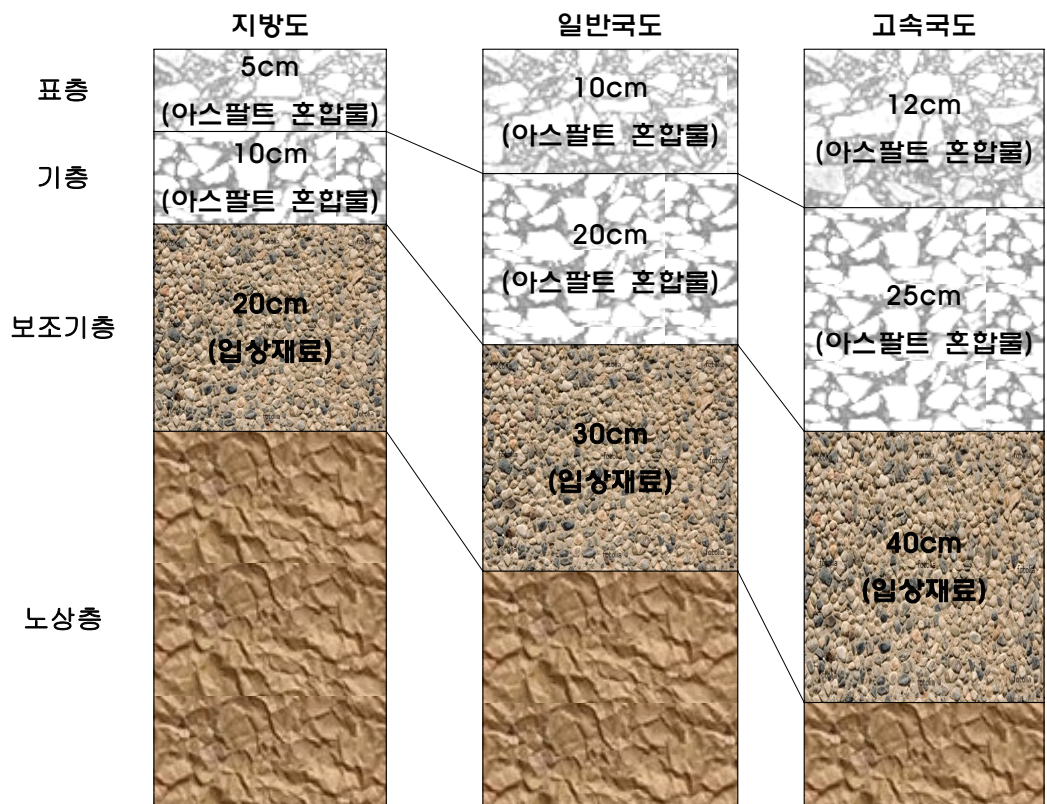
【해 설】

고속국도, 일반국도 및 지방도에 대한 아스팔트 콘크리트 포장의 기본 설계 단면은 <그림 2.3>과 같다.

설계대안 중 표층 재료는 아스팔트 혼합물을 사용한다. 표층에 사용되는 아스팔트 혼합물용 골재는 밀입도 13mm, 밀입도 19mm 또는 SMA 13mm를 사용할 수 있으며, 아스팔트의 경우 PG 58-22, PG 64-22 또는 PG 76-22를 사용할 수 있다.

또한 기층 재료는 아스팔트 혼합물 및 입도조정쇄석을 사용한다. 기층에 사용되는 아스팔트 혼합물용 골재는 40mm 이하를 사용할 수 있으며, 아스팔트의 경우 PG 58-22, PG 64-22 또는 PG 76-22를 사용할 수 있다. 기층에 사용되는 입도조정쇄석은 국토해양부의 「도로공사표준시방서 8-3 입도조정기층」의 기준에 적합한 재료를 사용한다. 보조기층 재료는 국토해양부의 「도로공사표준시방서 8-2 보조기층」의 기준에 적합한 재료를 사용한다.

설계대안 단면은 최소 3개 이상 선정하고, 경제성 분석을 통해 최적의 단면을 결정한다. 설계대안 단면은 설계기간 동안 유지보수 없이 균열, 영구변형, 평탄성 기준을 만족하는 설계단면과 설계기간 동안 적어도 1회 이상의 유지보수를 포함하여 균열, 영구변형, 평탄성과 같은 공용성 기준을 만족하는 설계단면을 포함해야 한다.



〈그림 2.3〉 아스팔트 콘크리트 포장의 기본 설계 단면

3. 설계 입력변수

3.1 개설

- (1) 설계 입력변수는 포장의 최적 두께 산정을 위한 기초자료이다.
- (2) 설계 입력변수는 설계등급 1, 설계등급 2 또는 설계등급 3으로 구분하여 적용한다. 단, 설계 입력변수 중에서 교통특성 및 환경특성은 설계등급에 상관없이 동일하게 결정한다.
- (3) 설계 입력변수는 교통량, 환경특성, 하부구조 재료물성 및 아스팔트 혼합물 재료물성으로 구성된다.

【해 설】

설계 입력변수는 공용기간 동안 예비 포장단면의 역학적 거동 및 공용성을 예측하는데 이용되며, 설계등급에 의하여 그 정밀도가 변화한다. 교통량과 재료물성은 설계등급에 따라 주어진 데이터베이스를 이용하거나 실제 실측 및 실험을 통하여 결정되지만, 환경변수는 대상 구간의 기상관측소 데이터베이스를 이용하여 결정되므로 설계등급과 무관하게 동일한 방법으로 적용한다.

3.2 설계등급 1

- (1) 고속국도(설계AADT 150,000대 이상 또는 AADT 중 5종 이상의 중차량 대수가 50,000대 이상) 및 일반국도(설계AADT 35,000대 이상 또는 AADT 중 5종 이상의 중차량 대수가 12,000대 이상)에 적용된다.
- (2) 교통량은 현장 교통량 조사를 통하여 차종별 축하중 분포를 측정하여 사용한다.
- (3) 하부구조 및 아스팔트 혼합물 재료물성은 실내시험을 통하여 결정하는 것이 원칙이나, 본 요령에 제시되어 있는 포장 재료에 한하여 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에 포함되어 있는 물성을 활용할 수 있다.

3.2.1 교통량

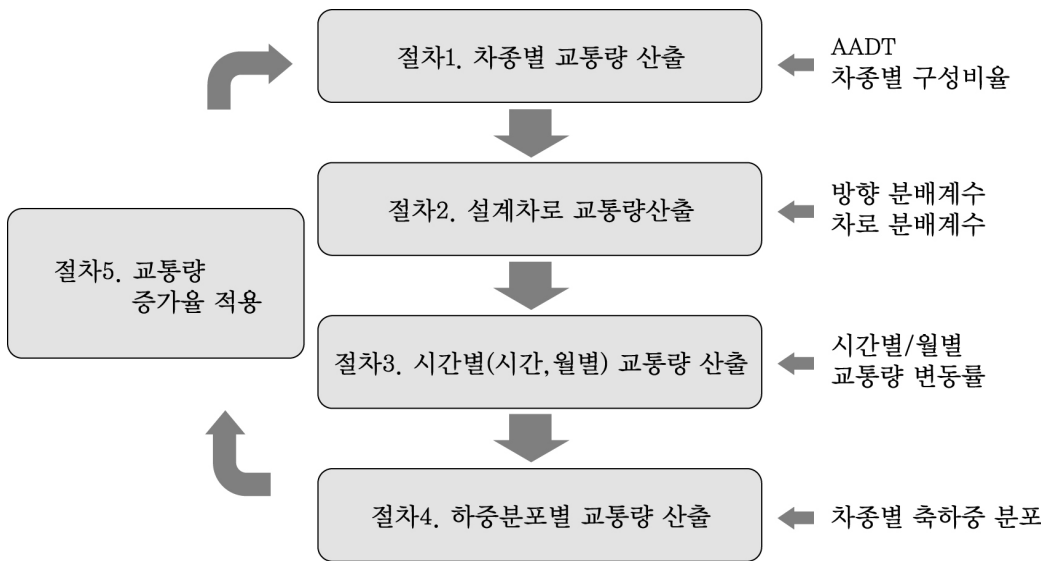
- (1) 도로포장 구조 설계에서는 교통량 산정을 위하여 차종별 축하중 분포를 이용한다.
- (2) 설계등급 1에서는 원칙적으로 현장 조사를 통하여 차종별 축하중 분포를 결정하기 위한 입력값들을 결정한다.
- (3) 차종별 축하중 분포에 따른 교통량을 결정하기 위한 입력값에는 초기년도 연평균일교통량(AADT), 차종별 구성비율, 방향분배계수, 차로분배계수, 시간별 교통량변동률, 월별교통량변동률, 차종별 축하중 분포, 교통량증가율이 포함된다.
- (4) 초기년도 연평균일교통량(AADT)과 차종별 구성비율은 설계구간에 대한 교통 수요 예측자료를 사용한다.
- (5) 방향분배계수, 차로분배계수, 월별교통량변동률, 시간별교통량변동률은 인접지역 교통량 통계자료를 이용한다.
- (6) 교통량증가율은 장래교통량 예측 증가율이나 각 연도별 예측값을 사용할 수 있다.

【해 설】

도로포장 구조 설계에서는 필수적으로 도로포장에 직접적으로 영향을 주는 교통조건에 대한 결정이 필요하다. 따라서 본 장에서는 도로포장 구조 설계시 교통조건에 대한 상세한 결정 방법을 다룬다.

일반적으로 도로설계는 도로의 계획 목포년도 동안에 그 도로를 통행할 것으로 예상되는 자동차의 연평균일교통량(AADT)을 산정하여, 서비스 수준에 따른 차로 수 결정 등과 같은 횡단구성을 설계한다. 이러한 횡단구성 설계가 이루어진 후, 포장설계를 실시하게 되는데, 본 요령에서의 교통조건은 도로설계를 위한 계획 교통량인 연평균일교통량(AADT) 보다 좀 더 상세한 교통조건이 필요하다. 즉, 계획교통량으로 사용하는 연평균일교통량은 1년 동안 도로의 어느 지점 또는 구간을 통행한 양방향의 총 차량대수를 1년 동안의 일수로 나눈 교통량으로 대상 도로를 통과하는 차량들의 24시간 교통량을 파악함으로써 교통 수요를 알기 위함이다. 이는 도로의 설계에서 고려해야 할 지역적 특성 및 시간적 특성을 충분히 포함하지 않는 수치이다. 따라서, 본 요령의 포장 구조 설계에서는 지역적 특성 및 시간적 특성을 반영하기 위한 다음과 같은 절차를

수행하여 하중분포별 교통량으로 산출한다.



〈그림 3.1〉 포장설계 시 교통량 산출 절차

(1) 연평균일교통량(AADT)

연평균일교통량(AADT)은 연간 총통행량을 365일로 나눈 값으로 정의한다. 포장 구조 설계에 사용되는 연평균일교통량은 도로 계획에서 산출된 초기년도부터 계획목포연도까지의 매년 평균일 교통량 중 초기년도 값을 기준으로 사용한다.

(2) 차종별 구성비율

차종별 구성비율이란 국내 차종 분류 기준인 12종 분류 교통량을 연평균일교통량(AADT)으로 나눈 값을 의미한다. 차종별 구성비율이 필요한 이유는 차종형태별로 포장에 미치는 영향이 다르기 때문에, 이에 대한 차종별 교통량을 산출하여 포장의 파손량을 계산하여야 하기 때문이다. 즉, 차종별 구성비율은 연평균일교통량을 차종별 교통량으로 환산하는데 사용한다. 본 요령에서는 설계자의 판단 하에 설계하고자 하는 도로와 비슷한 차종 패턴 지점을 결정하고, 그 지점의 교통량 현장 조사 또는 매년 발행되는 교통량 통계 연보를 활용하여 차종별 구성비율을 결정하도록 한다. 대상 지점의 교통량 현장 조사는 국토해양부에서 발간한 교통조사지침에 근거하여 12차종 분류

에 따라 교통량을 수집하여 결정하고, 교통량통계연보 이용 시에는 대상 지점의 12차종별 교통량 자료로 결정한다.

(3) 설계차로 교통량 산출

앞에서 산출된 차종별 연평균일교통량은 도로 내 방향 및 모든 차선을 포함한 교통량으로 설계 시 방향 및 차로에 대한 교통량으로 환산하여야 한다. 설계차로 교통량은 차종별 연평균일교통량에 방향분배계수(Directional Distribution Factor)와 차로분배계수(Lane Distribution Factor)를 곱하여 계산한다. <식 3.1>은 차종별 설계차로 교통량 환산식이다.

$$W_i = AADT_i \times D_D \times D_L \quad \langle \text{식 3.1} \rangle$$

여기서, W_i = i 차종에 대한 설계차로 연평균일교통량

$AADT_i$ = i 차종에 대한 연평균일교통량

D_D = 방향분배계수

D_L = 차로분배계수

위 식에서 사용되고 있는 방향분배계수는 중방향 교통량을 전체 교통량으로 나누어 계산되고, 차로분배계수는 2차로 이상(1방향)일 경우에 차로 간 교통량 분담율로 계산된다. 방향 및 차로 분배 계수의 적용 값은 설계자의 판단 하에 원칙적으로 다음의 표와 같은 범위 내에서 결정하도록 하며, 설계 신뢰도를 높이기 위한 교통량 현황조사를 실시할 때는 방향 및 차로에 대한 교통량을 추가적으로 수집하여 적용한다.

〈표 3.1〉 방향 및 차로 분배 계수 범위 값

구분	방향 분배 계수 제시값	구분	편도 차로수	차로분배계수 제시값
고속국도 일반국도 지방도	0.5~0.55	고속국도	4	0.35~0.45
			3	0.45~0.55
			2	0.70~0.90
		일반국도, 지방도	4	0.35~0.45
			3	0.60~0.70
			2	0.80~0.90

(4) 시간별 교통량 변동률

시간별 교통량 변동률은 일일 교통량을 100으로 보았을 때, 각 시간대별로의 비율을 나타낸다. 시간대별 교통량은 앞 절에서 계산된 차종별 연평균일교통량에 시간별 교통량 변동계수를 곱해서 계산한다. 이 값의 결정은 장시간의 교통량 조사를 통하여 얻을 수 있는 것으로 설계등급 1에서는 교통량통계연보 내 상시조사구간의 지점 교통량 자료(최소 1년 이상 자료)를 이용하여 결정한다.

이렇게 결정된 시간별 교통량 변동률을 일일 차종별 교통량에 적용하면 24시간대 별로 나누어 교통량을 산출할 수 있다.

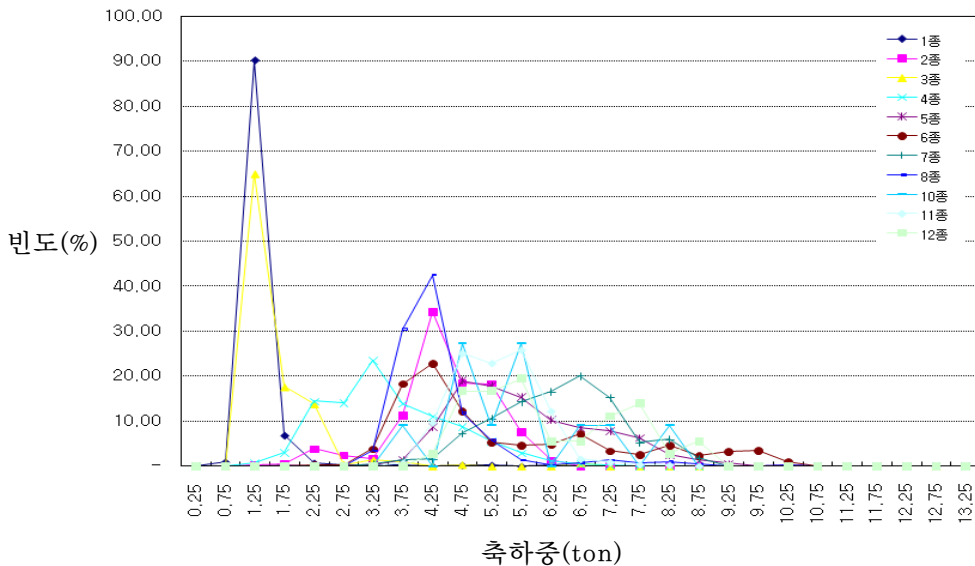
(5) 월별 교통량 변동률

월별 교통량 변동률은 각 월별로 월평균교통량을 연평균교통량으로 나눈 값을 의미한다. 이 값의 결정은 장시간의 교통량 조사를 통하여 얻을 수 있는 것으로 설계등급 1에서는 교통량통계연보 내 상시조사구간의 지점 교통량 자료(최소 1년 이상 자료)를 이용하여 결정한다.

이렇게 결정된 월별교통량변동률을 일일차종별교통량에 적용하게 되면 월별 변동이 고려된 일일차종별교통량으로 나누어 산출할 수 있다.

(6) 차종별 축하중 분포에 따른 교통량 산정

축하중 분포란 전체 도로 주행 차량의 축하중(차종, 축종류 별)을 하중등급에 따라 교통량으로 비율화한 것이다.



〈그림 3.2〉 차종별 단축(Single Axle) 축하중 분포의 예

앞에서 얻어진 월별에 따른 시간대별 차종 교통량에 축하중 분포를 적용하면 하중 등급별로 교통량을 산출할 수 있다. 얻어진 하중 등급별 교통량을 기초로 거동해석을 위한 손상도를 계산하게 된다. 하중 등급별 교통량 산출에 사용되는 축하중 분포는 본 요령 내 〈부록 1〉의 “도로 등급별(고속국도, 일반국도, 지방도) 축하중 분포”로 제시하고 있다. 제시된 축하중 분포는 국내 도로 등급별 평균값으로 일반 설계 시 사용한다.

이와는 별도로, 설계지역의 교통하중 분포 특성을 반영하고자 할 때에는 실제 운행 하중을 측정하여 축하중 분포를 이용할 수 있다. 이러한 설계를 위한 축하중 조사는 확장구간 설계일 경우에는 확장구간 내 도로 지점에서 조사하며, 신설 구간 설계일 경우에는 설계자 판단 하에 교통하중 조건이 비슷한 인접 도로 지점으로 조사한다.

(7) 교통량 증가 추정 방법

본 요령에서는 설계기간 동안 매년 연평균일교통량(AADT)의 증가를 추정하기 위한 방법으로 <표 3.2>와 같이 일반적인 4가지 교통량 증가 추정 방법을 제시하고 있다. 도로포장 구조 설계 시 이러한 4가지의 교통량 증가 추정 방법에 대한 적용은 설계자가 최초 도로계획 시 도로 용량 계산을 위해 추정한 방법을 그대로 적용하며, 특별히 포장 구조 설계를 위한 별도의 교통량 증가 추정 방법은 없다.

<표 3.2> 시간에 따른 교통량 추정 방법

교통량 추정 방법	계산식
증가율 미적용	'a' 년 후의 교통량 = $1.0 \times$ 기준년도 교통량
선형 증가율 적용	'a' 년 후의 교통량 = $(1 + \text{증가율} \times a) \times$ 기준년도 교통량
비선형 증가율 적용	'a' 년 후의 교통량 = $(1 + \text{증가율})^a \times$ 기준년도 교통량
5년 추정교통량 적용	기준년도에서 5년 주기의 추정 교통량을 사용자가 입력한 후 보간법을 사용하여 연도별 추정

(8) 포장 구조 설계 시 하중 등급별 교통량 산출 예**절차 1. 차종별 교통량 산출**

- 연평균일교통량(AADT) : 50,000대
- 설계 인접지역 또는 비슷한 도로 특성 구간의 차종별 구성 비율

구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종	합계
차종 구성비율	63.04	3.88	12.22	10.23	3.03	1.89	1.68	0.65	0.11	2.54	0.13	0.6	100
산출 교통량	31,520	1,940	6,110	5,115	1,515	945	840	325	55	1,270	65	300	50,000

절차 2. 설계 차로의 차종 교통량 환산

- 방향분배계수 : 0.55
- 차로분배계수 : 0.8 (편도 2차로 가정)

2종 교통량 계산 : $1,940 \times 0.55 \times 0.8 = 854$ 대(소숫점이하 올림)

구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종	합계
산출 교통량	13,869	854	2,688	2,251	667	416	370	143	24	559	29	132	22,000

절차 3. 시간대별 교통량 산정

- 절차 2에서 얻어지는 2종 일일평균교통량 : 854대
- 월별교통량변동률

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
0.91	0.88	0.99	1.03	1.02	0.99	0.92	1.01	1.08	1.1	1.08	0.99

- 각 시간별교통량변동률(1월 기간대별 교통량 산출);

13:00~14:00 시간대 2종 교통량 산출 : $854 \times 0.91 \times 7.06/100 = 55$ 대

시간대	2차로	산출교통량	시간대	2차로	산출교통량
00:00~01:00	0.87	7	12:00~13:00	6.51	51
01:00~02:00	0.57	4	13:00~14:00	7.06	55
02:00~03:00	0.41	3	14:00~15:00	7.47	58
03:00~04:00	0.36	3	15:00~16:00	7.57	59
04:00~05:00	0.47	4	16:00~17:00	7.53	58
05:00~06:00	0.91	7	17:00~18:00	7.42	58
06:00~07:00	2.32	18	18:00~19:00	7.11	55
07:00~08:00	4.13	32	19:00~20:00	5.07	39
08:00~09:00	5.66	44	20:00~21:00	3.64	28
09:00~10:00	5.65	44	21:00~22:00	2.82	22
10:00~11:00	6.42	50	22:00~23:00	2.01	16
11:00~12:00	6.67	52	23:00~24:00	1.34	10
합계					777

절차 4. 각 하중분포별 교통량 산출

절차 3에서 얻은 13:00~14:00 시간대 2종 교통량 55대 중 아래와 같은 축하중 분포를 적용하여 하중 등급별 교통량 산출

하중(톤)	2종 축하중 분포비율	하중별 교통량
0.25	0	—
0.75	0	—
1.25	4	2
1.75	12	7
2.25	4	2
2.75	8	4
3.25	12	7
3.75	32	18
4.25	12	7
4.75	4	2
5.25	4	2
5.75	4	2
6.25	4	2
6.75	0	—
합계	100	55

절차 5. 교통량 증가율 계산

- 매년 5%씩 선형 교통량 증가시 공용 2년차 연평균일교통량(AADT) 계산
- 초기년도 연평균일교통량(AADT) : 50,000대
- 2년 공용후 증가 교통량 : $50,000 + 50,000 \times 0.05 = 52,500$ 대
- 절차 1~4 과정을 거쳐 2년차 하중등급별 차종 교통량 계산 반복

3.2.2 환경특성

- (1) 환경특성은 설계등급에 관계없이 동일하게 적용한다.
- (2) 환경특성은 아스팔트 콘크리트 포장층 내부온도와 보조기층 및 노상 함수량 그리고 동결지수를 포함한다.
- (3) 아스팔트 콘크리트 포장층 내부온도는 대기온도를 기초로 하여 도로포장 구조 설계의 온도예측모형을 통해 깊이별 분포 형태로 결정한다.
- (4) 보조기층 및 노상 함수량은 월평균 대기온도, 월평균누적강수량 및 노상 재료의 입도특성을 이용하여 도로포장 구조 설계의 함수비 예측모형을 통해 결정한다.
- (5) 환경특성을 결정하기 위한 대기온도 및 강수량 자료는 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에 저장되어 있는 기상관측소 기상자료 데이터베이스를 이용하여 가장 인접한 1개 기상관측소 자료 또는 인접한 3개 기상관측소의 평균값을 사용한다.

【해 설】

환경특성을 결정하기 위한 대기온도 및 강수량 자료는 도로포장 구조 설계에 저장되어 있는 기상관측소 중 설계구간에 가장 인접한 1개 기상관측소 또는 인접한 3개 기상관측소의 평균값을 사용한다.

아스팔트 콘크리트 포장층 내부온도, 보조기층 및 노상 함수량은 기상관측소 자료를 이용하여 도로포장 구조 설계 해석 프로그램의 온도예측모형 및 함수비예측모형을 통해 자동으로 결정된다.

동결지수는 각 기상관측소에서 제시한 대기온도 값을 사용하여 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에 의해 자동 계산된다.

3.2.3 하부구조(입상) 재료물성

- (1) 포장 하부구조(노상, 보조기층 및 쇄석기층)의 재료물성은 탄성계수와 포아송 비로 한다.
- (2) 설계등급 1에서는 하부구조 재료의 탄성계수를 반복삼축압축시험을 수행하여 구한다. 반복삼축압축시험에 대한 자세한 시험절차는 〈부록 2〉의 “반복삼축 압축시험을 이용한 설계입력물성 평가방법”을 참조한다.
- (3) 하부구조 재료의 품질기준은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다.
- (4) 도로포장 구조 설계에서는 동상방지층의 두께를 노상 동결관입 허용법을 사용하여 결정하며, 성토고가 노상 최종면을 기준으로 2m 이상인 성토구간에서는 노상토의 품질기준 중 #200체 통과량이 25% 이하이고 소성지수가 10 이하인 경우 동상방지층을 생략할 수 있다. 다만 이외 적용대상 구분은 다음 해설을 따른다.
- (5) 설계등급 1에서 사용하는 포아송비는 본 요령에서 제시한 대표값을 선택하여 사용한다.

【해 설】

가. 하부구조 재료의 품질요건

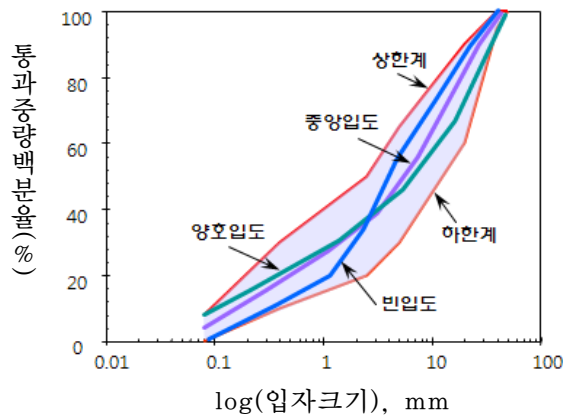
- ① 하부구조(노상, 보조기층 및 쇄석기층) 재료의 품질에 대한 요구조건은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다.
- ② 입상 보조기층 및 쇄석기층 재료는 GP 또는 GW로 분류되고, 비소성(NP)이며, #200체 통과량이 10% 미만인 재료를 사용한다.

나. 쇄석기층(입도조정기층)

- ① 쇄석기층을 아스팔트 콘크리트 포장 층 밑에 시공하는 경우, 교통량에 따라서 〈표 3.3〉에 표시한 아스팔트 층의 최소두께를 확보해야 한다.
- ② 쇄석기층의 품질기준은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다. 대표적인 쇄석기층재료의 입도분포는 〈그림 3.3〉과 같다

〈표 3.3〉 쇄석기층 상부의 아스팔트 표층 최소 두께

교통량의 구분 (2중+5~12중)	아스팔트 층의 최소두께 (cm)
250대 미만	5
250 ~ 1,000대	10
1,000 ~ 3,000대	15
3,000대 이상	20



〈그림 3.3〉 쇄석기층 입도분포

- ③ 설계입력변수 결정을 위한 경험모형 구성모델은 〈식 3.2〉와 같은 체적응력모델을 적용한다.

$$E = k_1 + k_2 \cdot \theta \quad \langle \text{식 3.2} \rangle$$

여기서,

E = 탄성계수 (MPa)

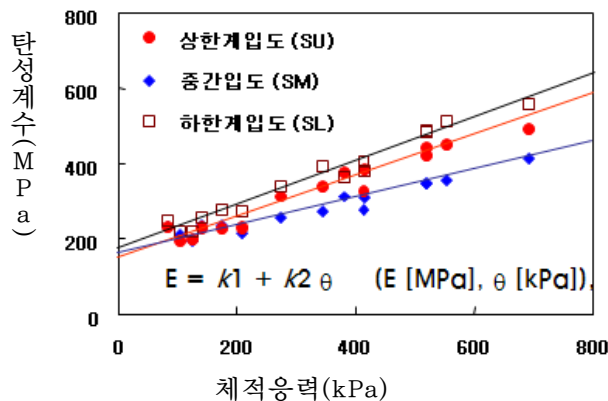
θ = 체적응력(= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2 = 구성모델의 모델계수

- ④ 쇄석기층 재료의 탄성계수 결정을 위한 모델계수(k_1 , k_2) 산정 방법의 순서는 〈부록 2〉에 명시하였으므로 이를 참조한다.
- ⑤ 국내 시료에 대한 실험결과의 일반적인 모델계수와 탄성계수의 범위는 〈표 3.4〉와 〈그림 3.4〉와 같다.

〈표 3.4〉 쇄석기층 재료의 탄성계수, k_1 계수, k_2 계수의 범위

구분	범위
탄성계수 (MPa)	$100 \leq E \leq 600$
k_1 계수	$80 \leq k_1 \leq 270$
k_2 계수	$0.1 \leq k_2 \leq 0.6$



〈그림 3.4〉 쇄석기층의 일반적인 탄성계수

다. 보조기층 재료의 탄성계수

- ① 보조기층 재료의 탄성계수는 구속응력(체적응력), 축차응력, 변형률 크기, 건조 단위중량 변화 등의 영향을 받으며 이중 탄성계수에 미치는 영향이 큰 체적응력만을 보조기층 재료의 탄성계수 결정모델 영향계수로 간주한다.
- ② 보조기층 재료의 체적응력에 따른 결정모델은 〈식 3.3〉과 같다. 〈식 3.3〉에서 모델계수 k_1 , k_2 는 실내실험을 수행한 결과를 바탕으로 회귀분석을 통해 구한다.

$$E = k_1 + k_2 \cdot \theta \quad \langle \text{식 3.3} \rangle$$

여기서,

E = 탄성계수 (MPa)

θ = 체적응력(= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2 = 모델계수

- ③ 보조기층 재료의 탄성계수 결정을 위한 모델계수(k_1, k_2) 산정 방법의 순서는 <부록 2>에 명시하였으므로 이를 참조한다.

라. 노상 재료의 탄성계수

- ① 국내 노상토의 탄성계수는 특성상 축차응력 뿐 아니라 구속응력의 영향을 많이 받는다.
- ② 노상토의 탄성계수 결정모델은 응력조건(축차응력 및 체적응력)과 함수비의 영향을 고려할 수 있도록 <식 3.4>와 같이 제시한다.

$$E_{opt} = k_1 + k_2 \theta^{k_2} \sigma_d^{k_3} 10^{k_w(w-w_{opt})} \quad \langle \text{식 3.4} \rangle$$

여기서,

E_{opt} = 최적함수비 조건에서의 탄성계수 (MPa)

θ = 체적응력(= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

σ_d = 축차응력(= $\sigma_1 - \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2, k_3, k_w = 모델계수

w_{opt} = 최적함수비 (%)

w = 함수비 (%)

- ③ 함수비의 영향과 관련된 모델계수 k_w 는 노상토의 특성에 따라 아래의 값을 사용한다.

$$k_w = -0.1417 \text{ (조립질 노상토)}$$

$$-0.0574 \text{ (세립질 노상토)}$$

- ④ 모델계수 k_1 , k_2 , k_3 은 반복삼축압축 실내실험 결과<부록 2>를 바탕으로 회귀 분석을 통해 구한다. 시험방법의 자세한 내용은 <부록 2>를 참조한다.

마. 하부구조 포아송비

- ① 포아송비는 탄성계수와 더불어 포장 구조해석의 기본 입력물성값이다. 그러나 하부구조 구성 재료의 포아송비는 포장 거동 특성에 탄성계수만큼 구조적으로 영향을 주지 않을 뿐 아니라 실험적으로 결정하기가 매우 어렵다. 따라서 하부구조 구성 재료의 포아송비는 설계등급 1 및 설계등급 2에서 <표 3.5>에 제시한 대표값을 선택하여 사용한다.
- ② 하부구조 구성 재료의 포아송비 결정을 위하여 별도의 시험을 시행하지 않는다.

<표 3.5> 포장 거동에 적용하는 노상토 및 입상 보조기층 재료의 포아송비

구분	재료특성	포아송비 범위	대표 포아송비
노상토	모래질 점토	0.2 - 0.3	0.25
	실트	0.3 - 0.35	0.33
	조밀한 모래	0.2 - 0.4	0.3
	조립 모래	0.15	0.15
	세립 모래	0.25	0.25
입상 보조기층 재료	조립 사질토 또는 입상재료	0.15	0.15

바. 동상방지층의 생략 기준

- ① 성토고 2m 이상일 경우 동상방지층을 생략할 수 있다. 단, 성토고 2m의 기준은 상당히 안전측으로 결정되어진 것이나 성토고 2m 이하의 구간이 불연속적으로 이어질 경우에는 아래와 같이 구분하여 적용한다.
 - 일반적으로 성토고가 2m 이상인 구간이 50m 이상 이어질 경우 동상방지층을 생략한다.
 - 성토고 2m 이상이 많고 부분적으로 성토고 2m 미만 구간이 존재하는 경우, 2m 미만 구간의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 생략한다.
 - 성토고 2m 이상 구간의 연장이 30m 미만으로 존재하는 경우에는 동상방지층을 설치한다.
 - 성토고 2m 미만인 구간과 성토고 2m 이상 구간이 계속적으로 반복되며 각각의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 설치한다.
- ② 위에 해당되지 않는 구간은 「국도건설공사설계실무요령」 또는 「도로설계편람」 등에서 정한 노상 동결관입 허용법에 따라 설계방법대로 동상방지층을 설치한다.
- ③ 통로박스과 수로박스 등 구조물이 설치된 구간에서 토피고는 성토고와 의미가 다르며, 박스 구조물 내부의 한기로 인하여 구조물 상단에서 동상이 발생할 수 있는 점을 감안하여 별도로 대책을 수립한다.
- ④ 동상방지층 생략 시 노상지지력 계수 보정에 따른 변화를 감안하여 보조기층 두께 별로 검토가 필요하다.
- ⑤ 연속된 구간이나 단계시공 혹은 구간 발주로 인해 성토고의 높이가 기준에 미흡할 경우 전체 구간을 기준으로 동상방지층의 설치 유무를 결정해야 한다.

3.2.4 아스팔트 혼합물 재료물성

- (1) 아스팔트 혼합물의 재료물성으로 동탄성계수와 포아송비를 적용한다.
- (2) 설계등급 1의 동탄성계수는 실내실험을 통하여 결정하는 것을 원칙으로 한다.
실내실험 방법은 〈부록 3〉의 “아스팔트 혼합물의 동탄성계수 표준시험법”을 이용한다. 사용하고자 하는 아스팔트 혼합물 종류가 본 요령에서 제시한 아스팔트 혼합물의 종류와 동일할 경우 제안된 매개변수 표를 사용하여 동탄성계수를 결정할 수 있다.
- (3) 포아송비는 본 요령에서 제안하는 값들을 적용한다.

【해 설】

아스팔트 혼합물의 재료물성으로 동탄성계수와 포아송비를 사용한다.

설계등급 1에서는 상황에 따라 설계 입력변수 결정방법을 두 가지로 나눌 수 있다. 기본적으로 “아스팔트 혼합물의 동탄성계수 측정을 위한 표준시험법(부록 3 참조)”을 이용하여 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 시험을 진행하여 결과 분석 후, 마스터곡선 매개변수를 도출하여 설계 해석 프로그램에 입력한다.

사용하고자 하는 아스팔트 혼합물이 본 요령 「2.5 절 (3)항과 (4)항에 제시된 아스팔트 혼합물인 경우 동탄성계수 매개변수가 설계 해석 프로그램 내에 존재함으로 별도의 시험을 수행하지 않고 설계 해석 프로그램에서 동탄성계수 산정을 자동으로 수행할 수 있다.

아스팔트 혼합물의 포아송비는 일반적으로 온도에 따라 0.15에서 0.5의 다양한 값을 보인다. 포장 구조해석 시 포아송비는 동탄성계수와 함께 아스팔트 혼합물의 주요 물성값이지만, 구조해석 결과에 미치는 영향은 미미하다. 따라서 도로포장 구조 설계 해석 프로그램 내에 있는 값을 그대로 적용한다.

3.3 설계등급 2

- (1) 고속국도(AADT 150,000대 미만), 일반국도(AADT 7,000대 이상 35,000대 미만), 및 지방도/기타도로(AADT 7,000대 이상)에 적용된다. 여기서 기타도로라 함은 도로법에 명시된 특별시도, 광역시도, 시도, 군도 및 구도를 의미한다.
- (2) 교통량은 본 요령에서 제시한 값을 이용하여 차종별 축하중 분포를 결정한다.
- (3) 하부구조 및 아스팔트 콘크리트 혼합물 재료 물성은 간단한 실내실험을 통해 재료의 기본적인 물성을 구하고, 이 값들을 설계 프로그램에 입력하여 설계 해석 프로그램에 포함되어 있는 예측식으로부터 결정한다.

3.3.1 교통량

- (1) 본 설계에서는 교통량 산정을 위하여 차종별 축하중 분포를 이용한다.
- (2) 차종별 축하중 분포별 교통량을 결정하기 위한 입력값의 종류는 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.1에 (3)항」과 동일하다.
- (3) 초기년도 연평균일교통량 및 차종별비율은 인접지역 교통량 통계자료를 사용한다.
- (4) 방향분배계수 및 차로분배계수는 국내 평균값을 사용한다.
- (5) 차종별축하중, 차량속도, 시간별교통량변동을 및 월별교통량 변동률은 도로 등급별로 본 요령에서 제시한 값을 적용한다.
- (6) 교통량증가율은 장래교통량 예측 증가율이나 각 년도별 예측값을 사용할 수 있다. 또한 본 요령에서 제안하는 교통량 증가계수를 이용할 수도 있다.
- (4) 원더링분포, 축간격 및 타이어간격, 타이어압력은 설계등급과 관계없이 본 요령에서 제시한 값을 사용한다.

【해 설】

설계등급 2에서의 교통량 산정은 설계등급 1에서 제시한 산정 절차와 동일하며, 차종별 축하중분포별교통량을 결정하기 위한 입력값 결정시 본 요령에서 제시한 값을 이용한다.

(1) 연평균일교통량(AADT)

- 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

(2) 차종별 구성비율

- 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

(3) 차종별 설계차로 교통량

설계등급 2에서의 차종별 설계차로교통량 산정 절차는 설계등급 1과 같으며, 본 요령에서 다음과 같이 제시된 값을 이용하여 산출한다.

〈표 3.6〉 방향 및 차로 분배 계수

구분	방향 분배계수 제시값	구분	편도 차로수	차로 분배계수 제시값
고속국도 일반국도 지방도	0.55	고속국도	4	0.45
			3	0.55
			2	0.90
		일반국도, 지방도	4	0.45
			3	0.70
			2	0.90

(4) 시간별 교통량 변동률

설계등급 1과 동일한 절차에 의해서 시간별 교통량을 산출하나, 인접지역 교통량 조사를 통한 시간별 교통량 변동률을 구하지 않고 지역 구분 및 차로 구분에 따라 다음의 표와 같은 변동률을 적용한다.

〈표 3.7〉 도시지역의 시간별 교통량 변동률

시간대	시간별 교통량 변동 계수		시간대	시간별 교통량 변동 계수	
	2차로	4차로이상		2차로	4차로이상
00:00 ~ 01:00	1.12	1.43	12:00 ~ 13:00	6.12	5.27
01:00 ~ 02:00	0.75	0.94	13:00 ~ 14:00	6.55	5.69
02:00 ~ 03:00	0.58	0.69	14:00 ~ 15:00	7.02	6.00
03:00 ~ 04:00	0.53	0.58	15:00 ~ 16:00	7.29	6.09
04:00 ~ 05:00	0.70	0.65	16:00 ~ 17:00	7.43	6.20
05:00 ~ 06:00	1.25	1.18	17:00 ~ 18:00	7.48	6.80
06:00 ~ 07:00	2.53	2.92	18:00 ~ 19:00	7.13	7.09
07:00 ~ 08:00	4.14	5.84	19:00 ~ 20:00	5.49	5.89
08:00 ~ 09:00	5.13	6.49	20:00 ~ 21:00	4.14	4.73
09:00 ~ 10:00	5.12	5.36	21:00 ~ 22:00	3.30	3.97
10:00 ~ 11:00	5.90	5.55	22:00 ~ 23:00	2.40	3.04
11:00 ~ 12:00	6.24	5.50	23:00 ~ 24:00	1.65	2.10

〈표 3.8〉 지방지역의 시간별 교통량 변동률

시간대	시간별 교통량 변동 계수		시간대	시간별 교통량 변동 계수	
	2차로	4차로이상		2차로	4차로이상
00:00 ~ 01:00	0.87	1.11	12:00 ~ 13:00	6.51	6.03
01:00 ~ 02:00	0.57	0.74	13:00 ~ 14:00	7.06	6.46
02:00 ~ 03:00	0.41	0.56	14:00 ~ 15:00	7.47	6.86
03:00 ~ 04:00	0.36	0.5	15:00 ~ 16:00	7.57	6.99
04:00 ~ 05:00	0.47	0.62	16:00 ~ 17:00	7.53	7.02
05:00 ~ 06:00	0.91	1.17	17:00 ~ 18:00	7.42	7.18
06:00 ~ 07:00	2.32	2.59	18:00 ~ 19:00	7.11	7.08
07:00 ~ 08:00	4.13	4.55	19:00 ~ 20:00	5.07	5.44
08:00 ~ 09:00	5.66	5.67	20:00 ~ 21:00	3.64	4.15
09:00 ~ 10:00	5.65	5.44	21:00 ~ 22:00	2.82	3.32
10:00 ~ 11:00	6.42	6.12	22:00 ~ 23:00	2.01	2.43
11:00 ~ 12:00	6.67	6.3	23:00 ~ 24:00	1.34	1.67

(5) 월별 교통량 변동률

설계등급 1과 동일한 절차에 의해서 월별교통량을 산출하나, 인접지역 교통량 조사를 통한 월별 교통량 변동률을 구하지 않고 지역 구분 및 차로 구분에 따라 다음의 표와 같은 변동률을 적용한다.

〈표 3.9〉 월별 교통량 변동계수

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
도시	2차로	0.91	0.88	0.99	1.03	1.02	0.99	0.92	1.01	1.08	1.10	1.08	0.99
	4차로 이상	0.92	0.93	0.99	1.02	1.03	1.01	0.93	1.01	1.06	1.03	1.07	1.00
지방	2차로	0.94	0.85	0.95	1.03	1.03	0.98	0.96	1.11	1.03	1.12	1.03	0.97
	4차로 이상	0.92	0.85	0.92	1.00	1.02	0.99	0.97	1.16	1.05	1.12	1.03	0.97
평균값		0.92	0.88	0.96	1.02	1.03	0.99	0.95	1.07	1.06	1.09	1.05	0.98

(6) 차종별 축하중 분포에 따른 교통량 산정

－ 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

(7) 장래 교통량 추정

－ 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

3.3.2 환경특성

본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.2」와 동일하게 적용한다.

3.3.3 하부구조 재료물성

- (1) 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.3에 (1)항」 과 동일하게 적용한다.
- (2) 설계등급 2에서는 하부구조 재료의 탄성계수를 기본 물성시험과 설계 해석 프로그램에 포함되어 있는 상관모형을 통해 결정한다.
- (3) 하부구조 재료의 품질기준은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」 를 따른다.
- (4) 동상방지층에 대한 물성기준은 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.3에 (4)항」 과 동일하게 적용한다.
- (5) 설계등급 2에서 사용하는 포아송비는 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.3에 (5)항」 과 동일하게 적용한다.

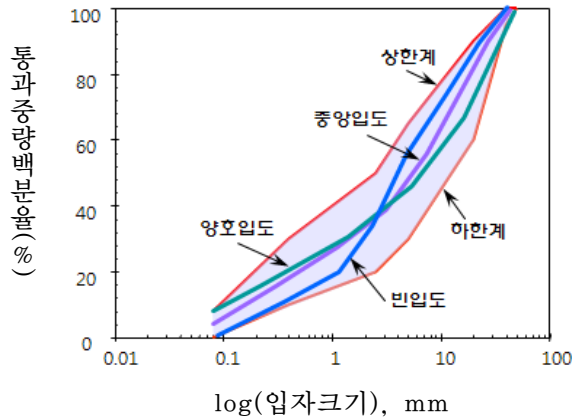
【해 설】

가. 하부구조 재료의 품질요건

- ① 하부 구조 재료의 품질에 대한 요구조건은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」 를 따른다.
- ② 입상 보조기층 및 쇄석기층 재료는 GP 또는 GW로 분류되고, 비소성(NP)이며, #200체 통과량이 10% 미만인 재료를 사용한다.

나. 쇄석기층(입도조정기층)

- ① 입도조정기층을 아스팔트 콘크리트 포장 층 밑에 시공하는 경우, 3.2.3(2)와 같이 교통량에 따라서 <표 3.4>에 표시한 최소두께를 확보해야 한다.
- ② 설계등급 2의 경우에는 경험모형을 적용하여 설계입력변수를 결정하며, 경험모형 결정을 위하여 체가름시험 및 다짐시험(D Type 또는 E Type)을 수행한다. 쇄석기층의 입도분포는 다음 <그림 3.5>와 같다.



〈그림 3.5〉 쇄석기층 입도분포

다. 설계입력변수 결정을 위한 경험모형 구성모델은 〈식 3.5〉와 같은 체적응력모델을 적용한다.

$$E = k_1 + k_2 \cdot \theta \quad \langle \text{식 3.5} \rangle$$

여기서,

E = 탄성계수 (MPa)

θ = 체적응력(= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2 = 구성모델의 모델계수

설계입력변수 결정을 위한 경험모형 구성모델계수는 〈식 3.6〉 및 〈식 3.7〉을 적용하여 결정하며, 국내 15개 시료에 대한 실험결과의 일반적인 모델계수와 탄성계수의 범위는 〈표 3.10〉와 〈그림 3.4〉와 같다.

$$k_1 = 11680.1 - 137.0(MDEN) - 6.4(OMC) - 65.4(C_c) + 14.0(C_u) - 412.8(D_{50}) - 133.0(D_{95}) - 81.7(P_{200}) - 110.8(P_4) \quad \langle \text{식 3.6} \rangle$$

$$k_2 = 5.1045 + 1.2414(MDEN) - 0.0535(C_c) + 0.008(C_u) - 0.2208(D_{50}) - 0.0947(D_{95}) - 0.0769(P_4) \quad \langle \text{식 3.7} \rangle$$

여기서, MDEN = 최대건조단위중량 (t/m^3)

OMC = 최적함수비 (%)

C_c = 곡률계수

C_u = 균등계수

P4 = #4체 통과률 (%)

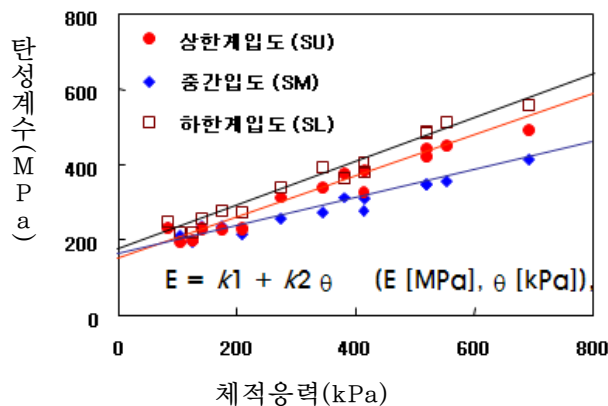
P200 = #200체 통과률 (%)

D50 = 50% 통과률에 해당하는 입경 (mm)

D95 = 95% 통과률에 해당하는 입경 (mm)

〈표 3.10〉 쇄석기층 재료의 탄성계수, k_1 계수, k_2 계수의 범위

구분	범위
탄성계수 (MPa)	$100 \leq E \leq 600$
k_1 계수	$80 \leq k_1 \leq 270$
k_2 계수	$0.1 \leq k_2 \leq 0.6$



〈그림 3.6〉 쇄석기층의 일반적인 탄성계수

라. 보조기층 재료의 탄성계수

- ① 설계등급 2에서는 보조기층 재료의 탄성계수 결정모델의 모델계수 k_1 , k_2 를 경험적 상관모형으로부터 결정한다.
- ② 경험적 상관모형은 <부록 2>에 수록하였으며, 경험적 상관모형을 적용하기 위해서는 다짐시험에서 결정되는 최대건조단위중량, 입도분석시험으로부터 결정되는 균등계수(C_u) 및 #4 체 통과량을 산정하여 입력한다.

마. 노상토 재료의 탄성계수 결정모델

- ① 설계등급 2에서는 탄성계수 결정모델의 모델계수 k_1 , k_2 , k_3 를 경험적 상관모형으로부터 결정한다.
- ② 상관모형은 <부록 3>에 수록하였으며, 상관모형을 적용하기 위해서는 다짐시험에서 결정되는 최대건조단위중량과 최적함수비, 입도분석시험으로부터 결정되는 균등계수(C_u) 및 #200 체 통과량을 산정하여 입력한다.

바. 품질기준과 경험모형의 적용 제한

일반적으로 사용되는 노상토 및 입상보조기층 재료의 품질기준 범위 내에는 들어오지 만, 입상재료가 아래의 경우에 해당하는 경우에는 상관모형의 적용에 신중을 기해야 한다.

- ① 기초 물성이 상관모형의 예상 적용범위를 벗어나는 경우 (최소 및 최대값의 범위를 벗어남)
 - ② 재료특성의 조합이 매우 특이하여 상관모형을 적용하면 오류가 발생하는 경우
- ①또는 ②에 해당하여 상관모형을 적용하기 힘든 경우에는 실험에 의하여 설계입력변수를 결정하는 것이 바람직하다.

사. 하부구조 재료의 포아송비

- ① 포아송비는 탄성계수와 더불어 포장 구조해석의 기본 입력물성값이다. 그러나 하부구조 구성 재료의 포아송비는 포장 거동 특성에 탄성계수 만큼의 구조적으로 심각한 영향을 주지 않을 뿐 아니라 실험적으로 결정하기가 매우 어렵다. 따라서 하부구조 구성 재료의 포아송비는 모든 설계등급(등급 1 및 등급 2)에

서 <표 3.11>에 제시한 대표값을 선택하여 사용한다.

- ② 하부구조 구성 재료의 포아송비 결정을 위하여 별도의 시험을 시행하지 않는다.

<표 3.11> 포장 거동에 적용하는 노상토 및 입상 보조기층 재료의 포아송비

구분	재료특성	포아송비 범위	대표 포아송비
노상토	모래질 점토	0.2 - 0.3	0.25
	실트	0.3 - 0.35	0.33
	조밀한 모래	0.2 - 0.4	0.3
	조립 모래	0.15	0.15
	세립 모래	0.25	0.25
입상 보조기층 재료	조립 사질토 또는 입상재료	0.15	0.15

3.3.4 아스팔트 혼합물 재료물성

- (1) 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.4에 (1)항」 과 동일하게 적용한다.
- (2) 설계등급 2에서 아스팔트 혼합물의 동탄성계수는 골재입도 종류 및 아스팔트 바인더의 종류에 따라 설계 해석 프로그램에 입력되어 결정된다.
- (3) 설계등급 2에서 포아송비는 0.35를 대표값으로 사용한다.
- (4) 여기에서 정의되지 않은 새로운 아스팔트 혼합물은 기존 아스팔트 공용성 등급과 아스팔트 혼합물의 표준 배합설계를 비교해서 입도 및 최대입경과 유사하면 설계등급 1에 해당하는 시험만 수행하고 현 설계 해석 프로그램에 도입한다.
- (5) 여기에서 정의되지 않는 새로운 아스팔트 혼합물은 기존 아스팔트 공용성 등급과 아스팔트 혼합물의 표준 배합설계를 비교해서 입도 및 최대입경과 상이하면 설계등급 1에 해당하는 시험을 수행할 뿐만 아니라, 모형 제안 보고서를 제출, 설계를 운영하는 기관의 검증을 통해 설계 해석 프로그램에 모형추가 작업을 거쳐서 도입한다.

【해 설】

설계등급 2에서는 동탄성계수 시험을 실시하지 않고 아스팔트 혼합물의 골재입도 종류 및 아스팔트 종류에 따라 도로포장 구조 설계에 의해 구축된 예측방정식으로부터 동탄성계수를 결정한다. 포장 구조해석 시 포아송비는 설계등급 2에서는 0.35를 대표값으로 사용한다.

설계등급 2를 이용하여 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 예측에 필요한 입력변수는 다음과 같다.

(1) 골재입도 종류

동탄성계수 예측식에 사용하는 골재입도 종류는 다음의 표와 같다. 표층용 아스팔트 혼합물의 골재입도 종류는 밀입도 13mm, 밀입도 19mm, SMA 13mm이며, 기층용 아스팔트 혼합물의 골재입도 종류는 40mm, 25mm를 기본 골재입도 종류로 사용한다.

〈표 3.12〉 아스팔트 혼합물의 기본 골재입도 종류

혼합물의 종류 체의 호칭치수		표층용			기층용	
		WC-1 (밀입도 13mm)	WC-3 (밀입도 19mm)	SMA (13mm)	BB-1 (40mm)	BB-3 (25mm)
통 과 질 량 백 분 율 (%)	50mm	—	—	—	100	—
	40mm	—	—	—	95~100	—
	30mm	—	—	—	80~100	100
	25mm	—	100	—	70~100	90~100
	20mm	100	90~100	100	55~90	71~90
	13mm	90~100	72~90	93~90	40~80	56~80
	10mm	76~90	56~80	40~55	30~70	45~72
	5mm	44~74	35~65	16~30	17~55	29~59
	2.5mm	28~58	23~49	12~23	10~42	19~45
	0.60mm	11~32	10~28	10~18	5~28	7~25
	0.30mm	5~21	5~19	8~15	3~22	5~17
	0.15mm	3~15	3~13	7~14	2~16	3~12
	0.08mm	2~10	2~8	7~12	1~10	1~7

【주1】 여기에서 체는 각각 KS A 5101에 규정한 표준망체 53mm, 37.5mm, 31.5mm, 26.5mm, 19mm, 13.2mm, 9.5mm, 4.75mm, 2.36mm, 0.6mm, 0.3mm, 0.15mm, 0.075mm에 해당한다.

(2) 아스팔트 종류

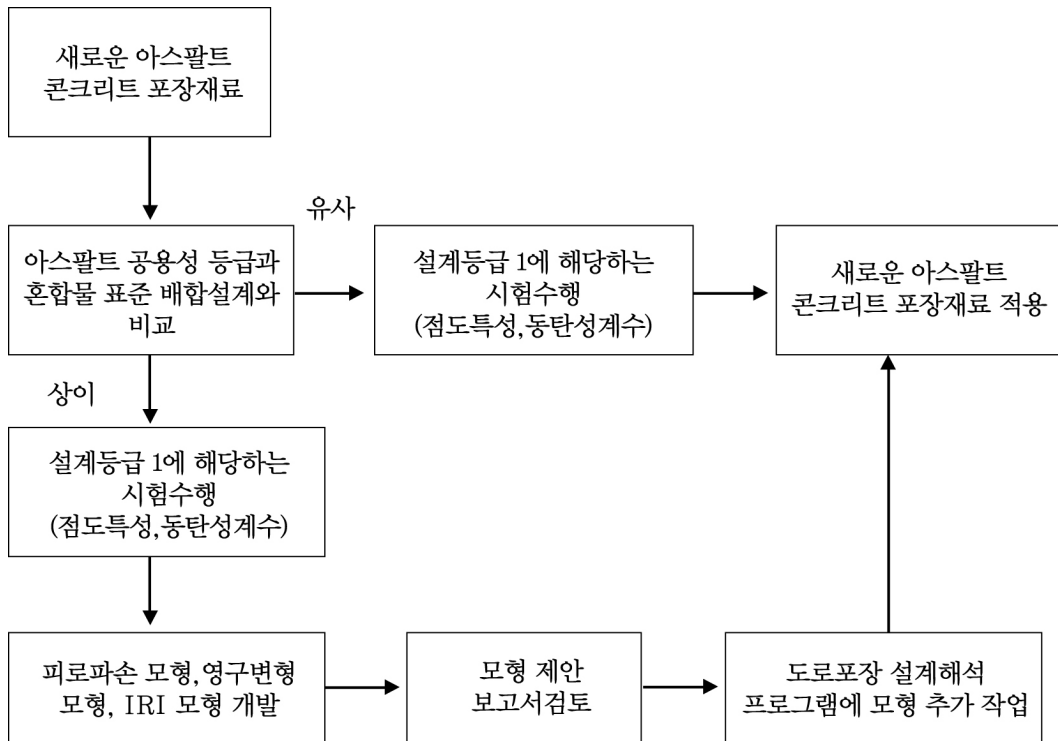
본 요령에서는 아스팔트의 공용성 등급(PG, Performance Grade) PG 58-22, PG 64-22, PG 76-22를 아스팔트로 사용한다.

(3) 새로운 아스팔트 혼합물 도입절차

새로운 아스팔트 혼합물을 도로포장 구조 설계에 도입하기 위해서는 우선

- ① 기존 도로포장 구조 설계에서 도입한 아스팔트 공용성 등급과 표준 배합설계와의 유사성을 살펴본다.
- ② 아스팔트 공용성등급과 표준 배합설계와 유사하면 설계등급 1에 해당하는 시험을 실시하고 그에 맞추어 입력변수값을 정한 후 도로포장 구조 설계에 도입한다.
- ③ 아스팔트 공용성 등급 또는 표준 배합설계와 상이하면 설계등급 1에 해당하는 시험뿐만 아니라 피로손상 모형, 영구변형 모형, IRI 모형 등을 제안하고 보고서를 작성해 포장 구조 설계 유지관리 기관에서 승인받는 절차를 거쳐 승인을 받은 새로운 포장 재료의 모형을 설계 해석 프로그램에 추가하는 작업을 거친 후 도입한다.

〈그림 3.7〉은 새로운 아스팔트 혼합물의 도입 절차를 나타낸 것이다.



〈그림 3.7〉 새로운 아스팔트 혼합물의 도입 절차

(4) 아스팔트 공용성 등급 및 표준 배합설계와 유사한 아스팔트 혼합물

도로포장 구조 설계에서 새로운 아스팔트 혼합물의 도입을 결정할 때 가장 중요한 것은 아스팔트 공용성 등급과 표준 배합설계이다. 이 중에서 표준 배합설계와 유사한 배합설계인지 확인하기 위해 최대입경 및 체 크기별 골재 통과질량백분율을 나타내는 합성입도를 사용한다. 새로운 아스팔트 혼합물이 표준 배합설계 종류 중의 하나와 〈표 3.13〉과 〈표 3.14〉의 오차범위 내에서 유사하다면 표준 배합설계와 동일한 물성범위를 가지고 있는 것으로 한다. 여기서 표준 배합설계와 유사한 도로 포장재료가 되기 위해서는 N 한다. 표준 배합설계와 유사하면서 슈퍼페이브(Superpave) 공용성 등급시험을 통해 사용 아스팔트의 공용성 등급 중의 하나와 유사하다면, 설계등급 1에 해당하는 아스팔트의 점도특성(온도-점도관계) 시험과 동탄성계수 시험 수행을 통해 동탄성계수 주곡선식을 적용함으로써 도로포장 구조 설계에 도입할 수 있는 새로운 아스팔트 혼합물이 된다.

〈표 3.13〉 표층용 아스팔트 혼합물의 현장배합 오차범위

항 목		현장배합 오차범위
골재 체통과 질량 백분율	4.75 mm (No. 4) 이상	±5%
	2.36 mm (No. 8)	±4%
	600μm (No. 30), 300μm (No. 50), 150μm (No. 100)	±3%
	75μm (No. 200)	±2%
	아스팔트 함량	±0.3%

〈표 3.14〉 기층용 아스팔트 혼합물의 현장배합 오차범위

항 목		현장배합 오차범위
골재 체통과 질량 백분율	4.75 mm (No. 4) 이상	±8%
	2.36 mm (No. 8)	±5%
	150μm (No. 100)	±4%
	75μm (No. 200)	±2%
	아스팔트 함량	±0.3%

(5) 아스팔트 공용성등급 및 표준 배합설계와 상이한 아스팔트 혼합물

새로운 아스팔트 혼합물이 아스팔트 공용성 등급과 표준 배합설계에서 〈표 3.13〉과 〈표 3.14〉의 오차범위를 벗어나는 경우 골재구조 및 환경하중과 교통하중에 의한 아스팔트의 반응이 크게 달라질 수 있기 때문에 기존의 모형과 다른 결과를 가져올 수 있다. 이러한 경우에는 설계등급 1에 해당되는 아스팔트의 점도 특성(온도-점도관계) 시험과 동탄성계수 시험뿐만 아니라 영구변형 및 피로파손 모형을 구하는 공용성 평가 시험을 해야 한다. 또한 포장가속시험 및 2~3년간의 장기공용성 데이터 산출 등을 통해 공용성 모형을 제안하는 보고서를 제출한다. 포장 구조 설계 유지관리기관에서 인증받은 후 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에 모형을 추가하는 작업을 거침으로써 도로 포장 구조 설계에 도입할 수 있는 새로운 아스팔트 혼합물이 된다.

4. 구조 해석

4.1 개 설

- (1) 구조해석은 표층, 중간층, 기층에서의 수평방향 또는 수직방향 변형률과 보조 기층 중앙, 노상 상단의 수직방향 변형률을 역학적으로 예측하기 위하여 수행되며, 예측된 수평방향 또는 수직방향 변형률은 공용성 해석의 주요 변수가 된다.
- (2) 구조해석은 다층탄성이론에 기반한 구조해석 프로그램을 이용해서 얻어진 수평방향 또는 수직방향 변형률을 이용한다.

【해 설】

아스팔트 콘크리트 포장의 주요 공용성 기준인 영구변형, 균열 또는 평탄성은 포장체 내의 수직방향 및 수평방향 변형률에 큰 영향을 받는다. 포장체 내에서의 변형률은 하중의 크기, 접지면적, 단면의 두께, 재료의 물성 및 환경조건에 의하여 결정되는데, 도로포장 구조 설계에서는 아스팔트 콘크리트 포장의 변형률을 예측하기 위하여 다층탄성해석이 사용된다. 다층탄성해석은 특정조건에서의 변형률을 비교적 정확하게 예측하는 것으로 알려져 있으나, 다양한 조건을 고려한 장기 거동을 해석하기에는 상당한 시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서 포장의 장기 공용성이 중요한 인자가 되는 아스팔트 콘크리트 포장의 설계에서는 다층탄성 해석 프로그램을 이용하여 구해진 수평방향 또는 수직방향 변형률을 이용한다.

4.2 다층탄성 해석 프로그램

- (1) 다층탄성 해석 프로그램은 선정된 설계대안의 재료물성과 두께에 대하여 주어진 교통하중 및 환경특성 조건에서 포장 내부의 응력, 변형률, 처짐량 등 포장의 거동을 계산하는 프로그램이다.
- (2) 다층탄성 해석 프로그램은 포장층이 탄성, 등방, 균질하다는 가정을 전제로 한다.
- (3) 다층탄성 해석 프로그램은 탄성모델의 중첩효과를 이용하여 다양한 축 종류 및 축간 거리를 고려할 수 있다.
- (4) 다층탄성 해석 프로그램을 이용한 아스팔트 콘크리트 포장의 구조해석 절차는 해설을 따른다.

【해 설】

아스팔트 콘크리트 포장의 구조해석은 다층탄성 해석 프로그램을 이용하며, 설계 해석 프로그램 내에서 교통하중에 따라 자동 수행되므로 도로포장 구조 설계 시에는 직접적으로 요령을 참조하지 않아도 된다. 구조해석의 입력값에는 자동적으로 입력된 도로포장을 구성하는 층의 두께와 물성, 교통하중(차간거리와 타이어 압력), 프로그램 내 자동설정 해석위치 등이 있다. 해석 프로그램 내 자동 설정된 포장 층 내의 해석위치들에서 응력과 변형률이 산정된 후 최대응력과 최대변형률이 나타나는 한계점을 찾게 된다. 한계점에서의 응력과 변형률은 탄성계수 예측모형 및 공용성 모델의 입력변수로 사용된다. 한계점에서의 포장거동은 다음과 같다.

- 아스팔트 혼합물층에서의 수평 인장변형률 (아스팔트 혼합물의 피로균열)
- 아스팔트 혼합물층 및 포장 하부구조에서의 수직 압축변형률 (아스팔트 혼합물 및 포장 하부구조의 영구변형)

4.2.1 아스팔트 콘크리트 포장 구조해석 절차

도로포장 구조 설계에서 개발한 해석 프로그램 내 자동적으로 계산되는 다층탄성 해석 프로그램은 탄성모델의 중첩효과를 이용하여 다양한 축 종류 및 축간 거리를 고려할 수 있으며, 포장재료의 온도와 응력의 비선형성을 고려할 수 있다. 다층탄성 해

석 프로그램을 이용한 아스팔트 콘크리트 포장 구조해석의 절차는 <그림 4.1>과 같다.

단계 1. 포장구조체의 총 층수 결정

단계 2. 층 두께 설정(표층, 중간층, 기층, 보조기층, 노상)

단계 3. 단계 2의 설정된 층으로부터 세부 분할층 결정

- 설계에서 개발한 다층탄성 해석 프로그램에서는 층 분할을 통하여 아스팔트 콘크리트 포장 층의 온도 비선형성, 보조기층의 응력 비선형성을 모사할 수 있다. 아스팔트 콘크리트 포장층의 아스팔트 혼합물은 온도에 민감하게 거동하는 재료이므로 해석 시 온도에 따른 탄성계수를 보다 정확히 결정하기 위하여 여러 개의 층으로 세분화 한다. 보조기층의 경우, 정확도에 따른 해석시간을 고려하여 최적의 보조기층 분할 개수는 2개로 한다. 노상의 경우에는 깊이에 따른 응력의 변화가 크지 않기 때문에 세부 층으로 분할하지 않고 단일 층으로 간주한다.

단계 4. 깊이별로 각 층의 물성인 탄성계수와 포아송비 입력(아스팔트 콘크리트 포장 층: 동탄성계수, 쇠석기층 및 보조기층과 노상: 회복탄성계수)

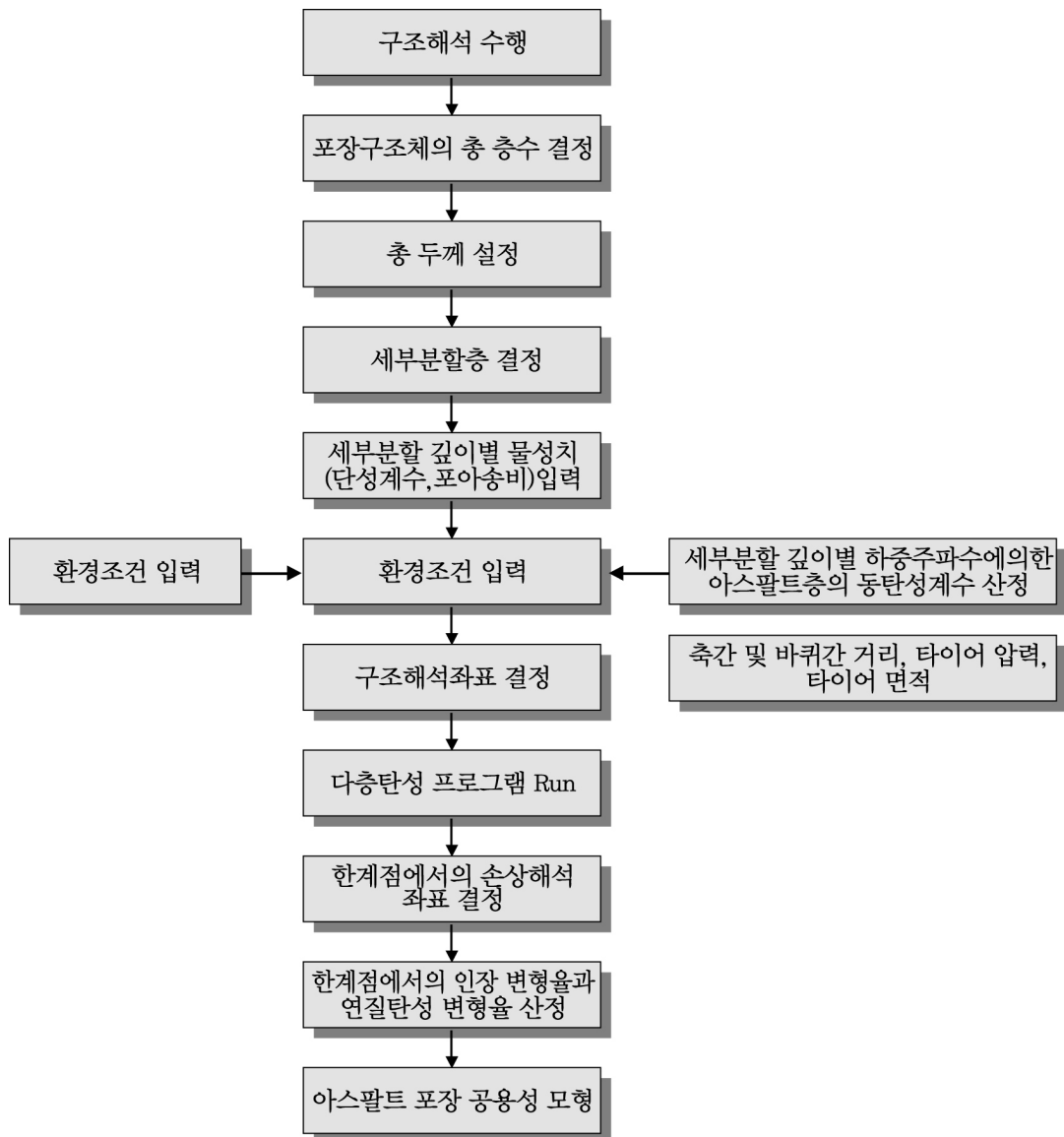
단계 5. 교통하중의 입력(축간 및 바퀴간 거리, 타이어 압력, 타이어 면적)

단계 6. 구조해석 좌표 입력

단계 7. 다층탄성 해석 프로그램 자동 반복 계산

단계 8. 단계 6의 결과로부터 한계점에서의 손상 해석좌표 결정

단계 9. 손상 해석 좌표 중 공용성 입력변수인 한계점에서의 수평 인장변형률과 수직 압축변형률 결정



〈그림 4.1〉 아스팔트 콘크리트 포장 구조해석 절차

4.2.2 다층탄성 구조해석결과

다층탄성 해석 프로그램으로부터 구한 포장구조 해석결과는 공용성 모형의 입력 자료로 사용된다. 아스팔트 콘크리트 포장의 구조적인 파손은 상향균열, 하향균열, 영구 변형 등이 있으며, 이를 예측하기 위해 구조해석 결과를 사용한다.

(1) 상향균열 해석

다층탄성 해석 프로그램을 통해 아스팔트 콘크리트 포장의 표층 하단과 기층 하단의 인장변형률을 산정한다. 가장 큰 인장변형률을 보이는 한계점(Critical Location)에서의 결과를 상향균열 예측모형에 사용하게 된다. 일반적으로 단륜일 경우 타이어 중앙부를 한계점으로 설정하고 반응값을 산출하며, 다축·다륜을 이용할 경우 여러 지점의 인장변형률을 비교하여 가장 큰 값을 해석에 계산한다.

(2) 하향균열 해석

다층탄성 해석 프로그램을 통해 아스팔트 콘크리트 포장 표층 상단의 인장변형률을 산정한다. 가장 큰 인장변형률을 보이는 한계점(critical location)에서의 결과를 하향균열에 예측모형에 사용하게 된다. 상향균열과는 반대로 타이어 중앙부에서 가장자리로 이동할수록 표층 상단에서의 인장변형률은 증가한다. 하향균열 해석에서도 아스팔트 콘크리트 포장의 표층 상단부의 여러 지점의 인장변형률을 비교하여 가장 큰 값을 해석에 사용한다.

(3) 영구변형 해석

다층탄성 구조해석을 통해 아스팔트 콘크리트 포장의 표층과 기층, 보조기층의 세 부분할층 중간 지점 및 노상상단에서의 연직변형률을 산정한다. 일반적으로 단륜인 경우 타이어 중앙지점이 한계점(Critical Location)으로서 가장 큰 연직변형률을 나타내는데 반해 다축·다륜인 경우 여러 지점에서의 연직변형률을 비교하여 가장 큰 변형률을 해석에 사용한다.

5. 공용성 해석

5.1 개 설

- (1) 공용성 해석은 선정된 설계대안 포장체가 교통, 환경특성 등 주어진 조건 하에서 시간에 따라 공용성이 저하되는 정도를 예측하는 단계이다.
- (2) 본 요령에서 아스팔트 콘크리트 포장의 공용성은 균열, 영구변형 및 평탄성을 대상으로 한다.

【해 설】

아스팔트 콘크리트 포장의 공용성 해석은 포장체의 구조해석으로부터 얻어진 변형률을 공용성 모델에 입력하여 상하향 피로균열, 누적영구변형량, 평탄성의 저하 정도를 예측하는 과정이다. 피로균열의 경우, 구조해석에서 구한 인장변형률을 입력값으로 하며, 영구변형의 경우 연직 압축 변형률을 입력값으로 하여 공용성을 예측한다. 누적된 피로균열, 영구변형, 아스팔트 콘크리트 포장 재령(Age)에 근거하여 포장 평탄성을 예측한다. 공용기간 동안 산정한 누적피로균열, 누적영구변형 및 평탄성을 예측하여 설계기준보다 작을 때까지 재료물성이나 포장단면을 변화하여 반복 설계를 수행한다.

5.2 공용성 예측

아스팔트 콘크리트 포장의 공용성 예측은 상향균열, 하향균열, 영구변형 및 평탄성 예측모델을 이용하여 설계 해석 프로그램에서 자동으로 수행된다.

【해 설】

아스팔트 콘크리트 포장의 공용성 예측모델은 실내 피로균열 시험과 영구변형 시험으로 도출한 매개변수를 사용하며, 실내시험에서 구한 매개변수에 의한 예측식과 현장에서 측정한 상하향 피로균열 및 영구변형 공용성을 비교 분석하여 전이함수를 도출한다. 도출된 전이함수를 고려한 예측식을 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장의 공용성을 예측한다. 누적 상하향 피로균열율과 누적영구변형량이 설계기준을 초과할 경우에는 포장단면과 재료물성을 변화하여 설계기준을 만족시킬 때까지 계산을 반복 수행한다.

마지막으로, 산정된 누적상하향 피로균열율과 누적영구변형량이 설계기준 내에 있을 때, 피로균열과 영구변형량을 결정하며, 이때의 공용수명을 결정한다.

아스팔트 콘크리트 포장의 표면 평탄성은 국제평탄성지수(IRI, International Roughness Index)(m/km)로 나타내며, 포장재령, 피로균열율, 영구변형을 변수로 하는 경험식을 통해 계산된다. 설계기준보다 작은 국제평탄성지수(IRI) 값이 산출되어야 타당한 설계가 된다.

아스팔트 콘크리트 포장 공용성은 설계 해석 프로그램 내에서 자동으로 수행된다.

5.3 피로균열

- (1) 피로균열은 반복되는 교통하중에 의해 아스팔트 콘크리트 포장의 표층에 손상이 누적되어 발생하며, 아스팔트 콘크리트 포장의 공용성에 영향을 주는 주요한 파손 형태이다.
- (2) 아스팔트 콘크리트 포장의 피로균열 설계기준은 피로균열율(%)로 나타내며, 피로균열은 해석기간 동안 전체 포장면적 중 피로균열이 발생한 면적의 백분율로 나타낸다. 아스팔트 콘크리트 포장의 피로균열은 설계등급 1의 경우 15% 이하, 설계등급 2의 경우 20% 이하를 설계기준으로 한다.

【해설】

피로균열이 발생하는 위치에 따라 상향균열(Bottom-up crack)과 하향균열(Top-down crack)로 나누며, 상향균열은 아스팔트 콘크리트 포장 층 하부에서 발생하여 상부로 전이하고 하향균열은 표층 상부에서 발생하여 하부로 전이한다.

피로균열은 반복하중에 의해 생성되는 한계인장응력과 변형률이 발생하는 곳에서 나타나게 된다. 피로균열은 아스팔트 콘크리트 포장 층의 강성과 교통하중 배열에 의해 크게 영향을 받으며, 한계지점에서 발생한 균열은 아스팔트 콘크리트 포장 층 전면으로 전파된다. 선 형태로 시작되는 피로균열은 격자형태의 거북등 균열로 변화하며, 균열 사이로 수분이 침투하여 전반적인 포장 성능을 약화시킨다.

아스팔트 콘크리트 포장의 피로균열은 마이너의 법칙(Miner's law) 근거하여 누적피로균열 손상도를 계산한다. 계산된 누적손상도를 이용하여 예측 피로균열율을 계산하고

현장의 피로균열과 비교하여 전이함수를 도출한다. 전이함수를 고려한 피로균열 예측식을 이용하여 피로균열율을 재 산정하고 설계기준을 만족할 때 까지 설계를 재수행한다.

아스팔트 콘크리트 포장의 피로균열은 종방향 균열, 횡방향 균열, 거북등 균열 등 하중과 연계된 모든 균열을 포함한다.

아스팔트 콘크리트 포장의 피로균열 설계기준은 피로균열율(%)로 나타내며, 피로균열율은 공용성 해석기간 동안 전체 포장 단면적 중 피로균열이 발생한 부분의 백분율을 나타낸다. 피로균열 설계기준은 설계등급 1의 경우 15% 이하이며, 설계등급 2의 경우 20% 이하이다.

5.4 영구변형

- (1) 영구변형은 아스팔트 콘크리트 및 입상재료 층에서 발생한 바퀴자국의 누적된 변형 깊이로 나타낸다.
- (2) 영구변형의 설계기준은 설계등급 1인 경우 10mm 이하이며, 설계등급 2인 경우 15mm 이하이다.

【해 설】

아스팔트 콘크리트 포장의 영구변형은 하중증가에 따라 바퀴자국(Wheel path)에서 발생하며, 아스팔트 혼합물층 및 입상재료층에서 발생한 누적된 변형깊이로 나타낸다. 영구변형량은 환경조건, 층 두께, 포장재료, 교통량과 밀접한 관계가 있다.

아스팔트 콘크리트 포장의 영구변형은 영구변형 예측식을 통해 설계수명 동안의 누적 영구변형량을 계산한다. 계산된 누적 영구변형량과 현장의 영구변형량을 비교하여 전이함수를 도출한다. 전이함수를 고려한 영구변형 예측식을 이용하여 누적 영구변형량을 재 산정하고 설계기준을 만족할 때 까지 설계를 재 수행한다.

누적영구변형은 아스팔트 콘크리트 포장 층에서 발생한 바퀴자국의 누적된 변형 깊이를 나타낸다. 영구변형 깊이는 포장의 평탄성과 밀접한 관계가 있으며, 수막현상 등을 일으켜 포장의 기능적 성능을 저하시킨다. 누적 영구변형의 설계기준은 공용성 해석기간 동안 바퀴자국에서의 최대 영구변형 깊이로 나타내며 설계등급 1의 경우 10mm 이하이며, 설계등급 2의 경우 15mm 이하이다.

5.5 평탄성

- (1) 평탄성은 단위거리에 대한 포장 표면 단차의 누적 길이로 나타낸다.
- (2) 평탄성의 설계기준은 설계등급 1의 경우 3.5m/km 이하이며, 설계등급 2의 경우 4.0m/km 이하이다.

【해설】

아스팔트 콘크리트 포장의 평탄성은 포장의 기능을 나타내는 중요한 변수이며, 평탄성이 좋지 않은 포장은 이용자의 안정감을 해칠 뿐만 아니라 차량 운행비도 증가시킨다. 평탄성은 차량 운행 거리에 대한 포장 표면 단차의 변화로 정의한다. 도로의 평탄성은 국제평탄성지수(IRI, International Roughness Index)로 나타내며, 포장 파손도 및 포장의 재령과 밀접한 관계가 있다. 도로 평탄성은 역학적으로 규명이 어려워 대부분 경험적인 모델을 사용하고 있다. 국내 도로포장의 시공년도 평탄성을 분석한 결과 초기 평탄성값을 1.18m/km로 정립한다.

포장의 재령, 피로균열율, 누적영구변형량을 이용하여 평탄성을 나타내는 국제평탄성지수(IRI)의 변화량을 <식 5.1>과 같이 구한다.

$$IRI = 1.18 + 0.066 (Age) + 0.08 (RD) + 0.0.5 (FC) \quad \text{<식 5.1>}$$

여기서, IRI = 국제평탄성지수(m/km),

Age = 포장재령(년),

RD = 영구변형(mm),

FC = 피로균열율(%).

분석 결과, 국제평탄성지수(IRI)는 아스팔트 콘크리트 포장의 재령, 피로균열, 영구변형과 밀접한 관계가 있으며, 평탄성의 설계기준은 공용성 해석기간의 허용 평탄성지수(IRI)로 표시하며, 설계등급 1의 경우 3.5m/km 이하이며, 설계등급 2의 경우 4.0m/km 이하이다.

6. 경제성 분석

6.1 일반 사항

설계대안 단면이 설계기준을 만족시키면 그 설계는 기술적으로 실행 가능한 대안 이 된다. 이러한 설계대안 단면들에 대해 생애주기비용분석(LCCA)을 통하여 경제 적으로 가장 유리한 대안을 선정한다.

【해 설】

도로포장의 시공 초기부터 공용기간 전반에 필요한 비용을 산정하여 최적의 대안을 선정할 수 있도록 도로포장 구조 설계 해석 프로그램 내에서 경제성 분석을 실시한다. 경제성 분석을 위한 설계 입력값은 분석기간 및 할인율이다.

6.2 생애주기비용 분석

- (1) 생애주기비용분석을 수행하기 위한 분석기간은 35년으로 한다.
- (2) 도로포장 구조 설계 해석 프로그램은 설계대안 단면에 대한 공용성기간과 유지 보수시기를 계산하고, 이를 근거로 각 설계대안 단면에 대한 관리자 비용과 사 용자 비용을 계산한다.
- (3) 생애주기비용분석에는 초기투자비용과 유지관리비용이 포함된다.

【해 설】

설계대안 단면에 대한 공용기간 및 유지보수 시기는 도로포장 구조 설계 해석 프로 그램에서 자동으로 결정되며 이에 따라 유지보수비용이 산정된다.

도로포장 구조 설계에서는 초기투자비용 및 유지보수비용 외에 사용자 비용이 추가 로 산정되며 유지보수 운영과 작업일 수에 따라 산정된다. 사용자 비용은 도로 이용자 가 도로상태 및 보수작업으로 인하여 정상적으로 통행을 하지 못하게 되는 경우 지불 하는 비용의 합으로 차량운행비용, 운행지연비용이 포함된다.

(1) 초기투자비용 및 유지보수비용

도로포장 구조 설계에서 초기투자비용은 각 설계단면의 재료비와 시공비로 구성되며, 유지보수비용은 유지보수전략에 따라 선택된 유지보수비용을 말한다.

(2) 차량운행비용

차량운행비용은 크게 고정비용과 가변비용이 있는데, 고정비용은 차량의 운행여부와는 관계없이 차량을 소유하면서부터 발생하는 비용을 의미하는 것으로 차량의 감가상각비, 보험금 등이 있다. 고정비용은 차량 운행과는 관계가 없으므로 정상적으로 통행이 어렵다 하더라도 증가하거나 감소하지 않는다. 반면에 가변비용은 차량의 운행으로 발생하는 비용으로 연료소모비, 엔진오일비, 타이어비 등이 있다. 이 비용은 차량의 종류, 속도, 중량뿐만 아니라 도로상태, 교통량, 보수 시 공사기간에 따라 변화하는 비용이다.

(3) 운행지연비용

운행지연비용이란 도로상태가 나빠 차량의 속도 감소에 의해 발생하는 경우와 보수작업으로 인해 차량 운행이 지연됨으로써 운전자의 시간에 대해 발생하는 비용이다. 통행시간을 경제적 재화처럼 화폐가치로 나타낸 것으로 시간을 비용으로 환산시키는 개념이다. 예를 들면, 통행자의 임금수준, 이용경로나 교통수단의 선택 등을 기준으로 평가하는 여객 시간가치, 화물의 품목에 따른 시간가치를 평가하는 화물 시간가치 등이 있다. 이 비용에 영향을 미치는 요소는 교통속도, 교통량, 보수시의 공사기간, 운전자의 시간가치 등이 있다.

6.3 경제성 분석 방법

- (1) 도로포장의 종류에 따라 시공시기, 공용년수가 다르므로 대안들을 비교하려면, 우선 기준이 되는 시점을 정하고, 이 기준으로 각 대안에 발생하는 현재 비용과 미래 비용을 환산한다.
- (2) 경제성 분석 단계에서는 설계 입력값인 분석기간과 할인율을 선택하고, 이를 근거로 도로포장 구조 설계 해석 프로그램은 관리자 비용과 사용자 비용을 계산한다. 도로포장 구조 설계에서는 분석기간 35년, 할인율 5.5%를 기본값으로 한다.
- (3) 관리자 비용 및 사용자 비용은 순현재가치 (NPV, Net Present Value)로 환산되어 비교된다.
- (4) 순현재가치를 비교하여 가장 경제적인 대안을 최종 설계 대안으로 결정한다.

【해 설】

경제성 분석의 첫 번째 단계는 설계 입력값인 분석기간과 할인율을 선택하는 것이다. 이후 설계 해석 프로그램은 설계대안 단면에 대한 관리자 비용과 사용자 비용을 계산하게 된다. 이때에 경제성 분석의 핵심은 모든 경쟁 대안에 소요되는 비용을 어느 한 시점의 금액으로 환산하여 비교하는데 있다. 이를 공정하게 비교할 수 있도록 하는 중요한 요소 중의 하나가 할인율이다. 본 요령에서는 기본적으로 5.5%의 할인율을 적용하며, 필요에 따라 공공투자편람과 같은 자료로 적절한 할인율을 적용할 수 있다. 물가상승률과 이자율에 의한 실질 할인율을 산출하는 방법은 <식 6.1>과 같다.

$$i(\text{할인율}) = \frac{1 + \text{이자율}}{1 + \text{물가상승율}} - 1 \quad \langle \text{식 6.1} \rangle$$

선정된 설계대안 단면은 공용년수가 다르므로 대안들을 비교하려면 우선 기준이 되는 시점을 정하고, 이 기준으로 각 대안에 발생하는 비용을 현재가치로 환산해야 한다. 이러한 현재가치의 기본 공식은 <식 6.2>와 같이 계산된다.

$$NPV(\text{순현재가치}) = \text{초기투자비} + \sum_t (\text{유지보수비} + \text{사용자비용}) \left[\frac{1}{(1+i)^t} \right] \quad \langle \text{식 6.2} \rangle$$

여기서,

i : 할인율

t : 분석기간 연수

마지막 단계로 설계대안 단면들의 순현재가치를 비교하여 가장 경제적인 단면을 선정한다.

7. 설계등급 3

7.1 일반 사항

- (1) 목표연도 일평균교통량 7,000대 이하인 도로 즉 도로법, 농어촌도로정비법, 도시계획법상의 국도, 지방도, 중로이하의 도로에 적용한다.
- (2) 설계방법은 교통조건(AADT, 중차량비율)과 노상조건(E)에 따른 표준적인 설계단면을 적용하는 카달로그 설계단면을 적용한다.

【해 설】

설계등급 3에서는 목표연도 연평균일교통량(AADT)이 7,000대 이하의 도로 즉 도로법, 농어촌도로정비법, 도시계획법상의 국도, 지방도, 중로 이하의 도로에 적용한다.

각 층에 사용되는 재료는 도로공사표준시방서의 기준을 만족하는 재료를 사용한다. 이 중에서 표층용 아스팔트 혼합물의 골재입도 종류는 19mm 밀입도와 13mm 밀입도를, 아스팔트는 PG 58-22 및 PG 64-22를 기본으로 사용한다. 기층용 아스팔트 혼합물 골재는 40mm 이하를 사용하며, 아스팔트는 PG 58-22 및 PG 64-22를 기본으로 사용한다. 입상기층용 골재와 보조기층용 골재는 도로공사표준시방서의 기준을 만족하는 재료를 사용한다.

설계등급 3의 카달로그 설계에서는 최소한의 입력변수를 사용하여 포장을 설계할 수 있도록 입력변수를 교통조건(AADT)과 노상조건(E)만으로 활용하여 단면 및 그래프를 제시하여 설계자가 간편하게 활용할 수 있도록 한다.

7.2 교통 조건

- (1) 설계등급 3의 도로에서의 목표연도 연평균일교통량(AADT)이 7,000대/일 미만이므로 0~7,000대/일을 6단계로 구분하여 적용한다.
- (2) 또한, 중차량 비율이 포장에 영향을 주는 주요변수이므로 중차량비율이 평균 값 15%를 초과할 경우에는 교통조건을 한 단계 상향 조정한다.

【해 설】

교통조건은 포장에 영향을 미치는 주요변수로 설계등급 3에서는 목표연도 연평균일 교통량(AADT)인 0~7,000대/일을 6단계로 구분하여 적용하며, 분류기호로는 C1~C6을 사용한다. 또한, 중차량 비율이 포장에 영향을 주는 주요변수이므로 중차량비율이 평균값 15%를 초과할 경우에는 교통조건을 한 단계 상향 조정한다.

〈표 7.1〉 교통조건을 구분

Traffic Volume(대/일)	Traffic Class($\times 10^5$ ESAL)		구 분
	아스팔트 콘크리트 포장	시멘트 콘크리트 포장	
~ 100	~ 0.2	~ 0.3	C1
101 ~ 500	0.2 ~ 2.0	0.3 ~ 3.0	C2
501 ~ 1,500	2.0 ~ 6.0	3.0 ~ 9.0	C3
1,501 ~ 3,000	6.0 ~ 10.0	9.0 ~ 15.0	C4
3,001 ~ 5,000	10.0 ~ 15.0	15.0 ~ 27.0	C5
5,001 ~ 7,000	15.0 ~ 20.0	27.0 ~ 40.0	C6

7.3 노상 조건

설계등급 3의 도로에서는 노상조건에 대한 변수로 탄성계수를 사용하여 노상을 3단계로 구분하여 적용한다.

【해 설】

노상조건은 포장에 영향을 미치는 주요변수로 국내의 노상에 대한 탄성계수의 범위는 37.7~280MPa로 제시되고 있으나, 본 설계등급 3인 카달로그 설계에서는 탄성계수에 따른 노상을 3단계로 구분하여 적용하며, 분류기호로는 S1~S3를 사용한다. 다음은 M_R 과 CBR의 상관식으로 모든 토질조건에서 적용 가능한 상관식이다.

$$M_R = 17.6 \times CBR^{0.64} \quad \langle \text{식 7.1} \rangle$$

여기서,

M_R : 회복탄성계수 (MPa), CBR : California Bearing Ratio(%)

〈표 7.2〉 노상 조건의 구분

E (kPa)	CBR	분 류
$E < 49,300$	$CBR < 5$	S1
$49,300 \leq E < 76,900$	$5 \leq CBR < 10$	S2
$76,900 \leq E$	$10 \leq CBR$	S3

7.4 설계단면

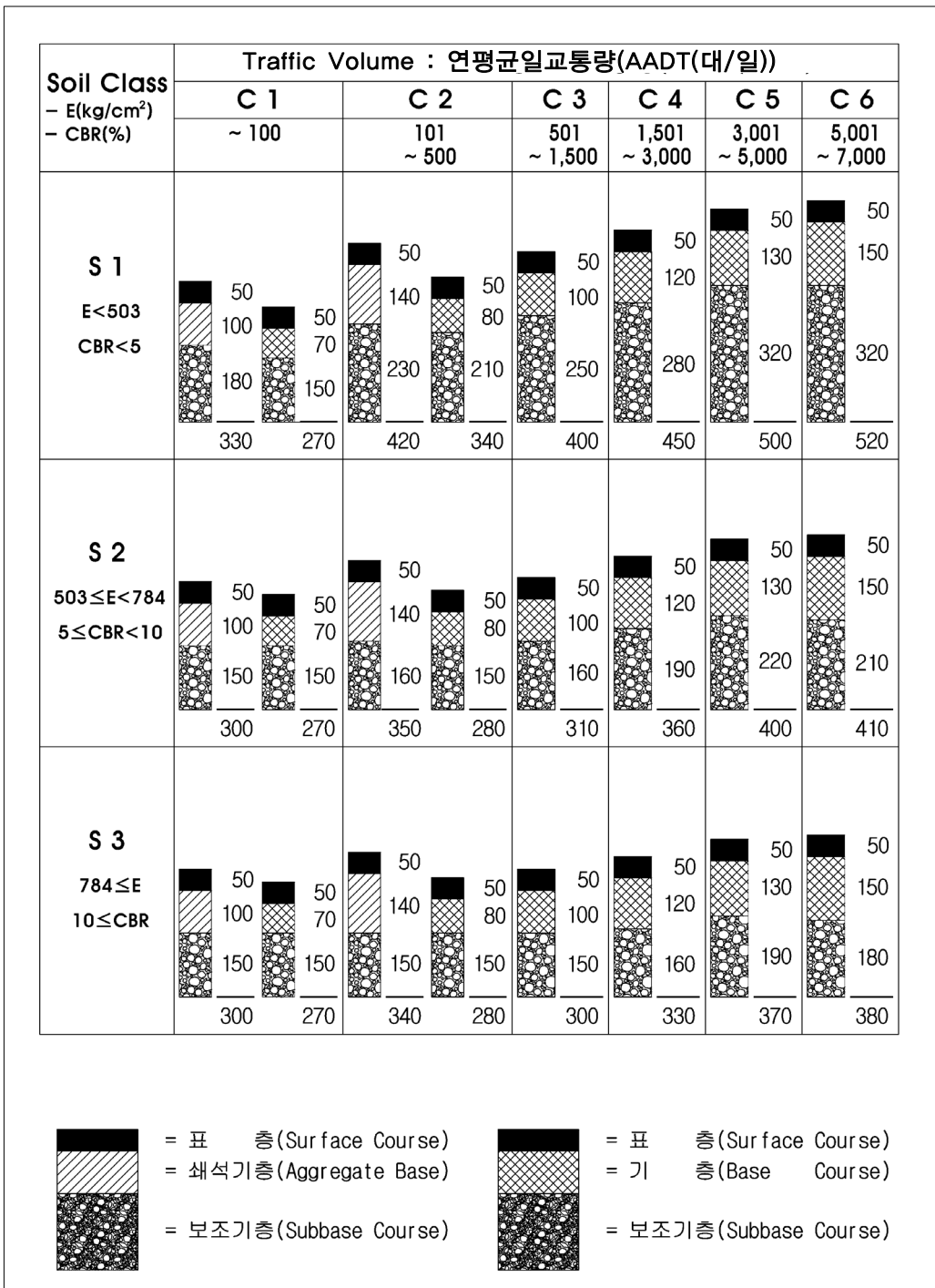
설계등급 3의 도로에서는 위의 교통조건(C1~C6)와 노상조건(S1~S3)을 기준으로 도로포장 구조 설계 해석 프로그램을 이용하여 작성된 다음의 아스팔트 콘크리트 포장의 카달로그 단면표 또는 설계단면 그래프를 적용한다.

【해 설】

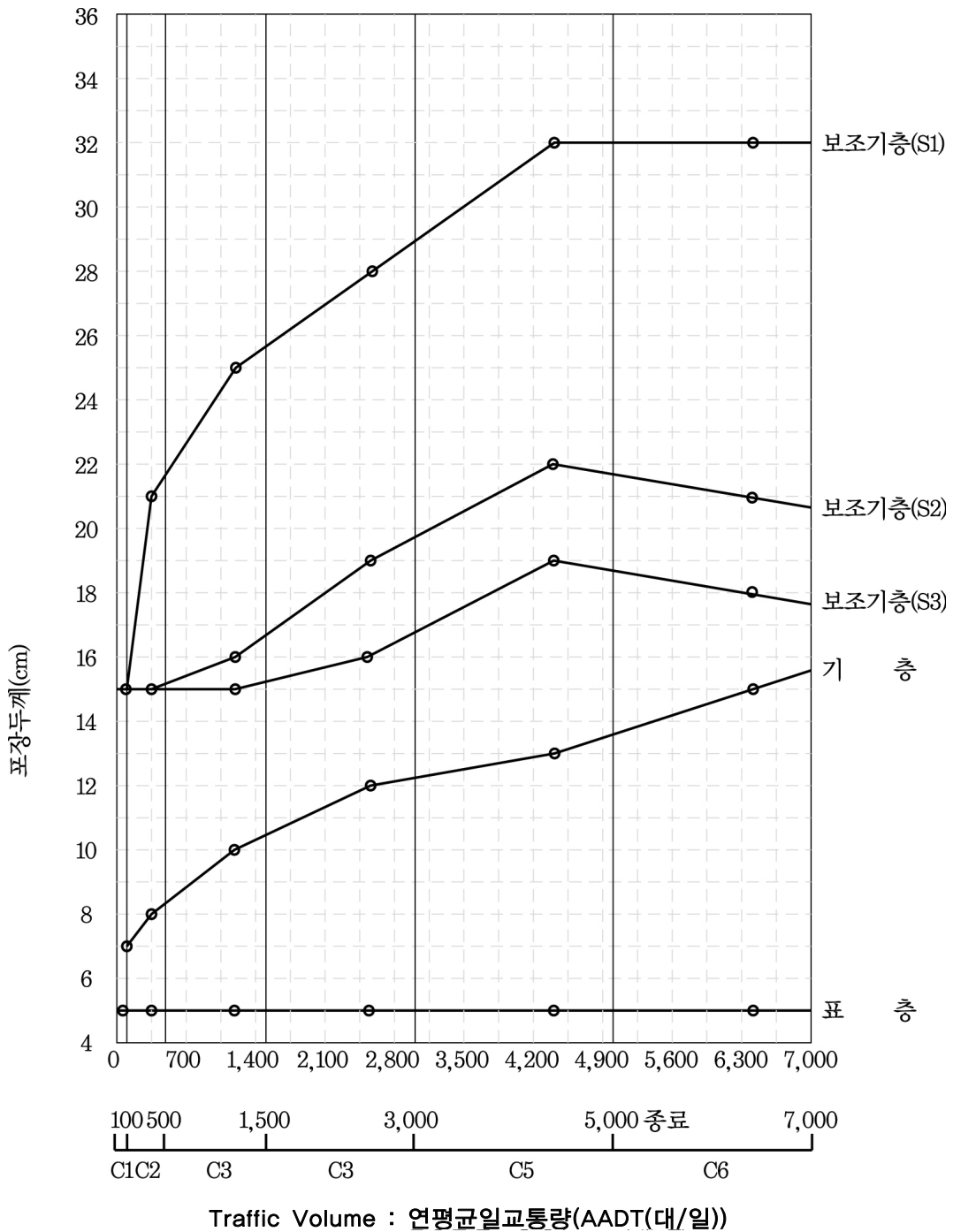
아스팔트 콘크리트 포장의 설계등급 3에서는 교통조건과 하부구조 재료물성은 〈표 7.3〉과 같은 방법에 의해서 결정하거나 〈그림 7.1〉과 같은 방법에 의해서 결정한다. 〈표 7.3〉의 세로축에서 하부구조 재료물성 등급은 탄성계수 또는 CBR에 의해서 4개의 등급으로 분류하고 가로축 교통량 등급도 5개의 등급으로 분류한다. 포장단면에서 기층을 골재층(AGG) 또는 아스팔트 콘크리트 포장 기층(BB)을 선택하여 단면을 결정한다.

〈표 7.3〉 아스팔트 콘크리트 포장의 카달로그 단면

하부 재료물성 등급 - E (kPa) - CBR	단면 (cm)	교통량 등급 : 연평균일교통량(AADT)(대/일)							
		C1		C2		C3	C4	C5	C6
		~ 100		101 ~ 500		501 ~ 1,500	1,500 ~ 3,000	3,001 ~ 5,000	5,001 ~ 7,000
S1 E < 49,300 CBR < 5	표 층	5	5	5	5	5	5	5	5
	기층(AG)	10	-	14	-	-	-	-	-
	기층(BB)	-	7	-	8	10	12	13	15
	보조기층	18	15	23	21	25	28	32	32
	계	33	27	42	34	40	45	50	52
S2 49,300 ≤ E < 76,900 5 ≤ CBR < 10	표 층	5	5	5	5	5	5	5	5
	기층(AG)	10	-	14	-	-	-	-	-
	기층(BB)	-	7	-	8	10	12	13	15
	보조기층	15	15	16	15	16	19	22	21
	계	30	27	35	28	31	36	40	41
S3 76,900 ≤ E 10 ≤ CBR	표 층	5	5	5	5	5	5	5	5
	기층(AG)	10	-	14	-	-	-	-	-
	기층(BB)	-	7	-	8	10	12	13	15
	보조기층	15	15	15	15	15	16	19	18
	계	30	27	34	28	30	33	37	38



〈그림 7.1〉 아스팔트 콘크리트 포장의 카달로그 설계단면



〈그림 7.2〉 아스팔트 콘크리트 포장의 카달로그 설계그래프

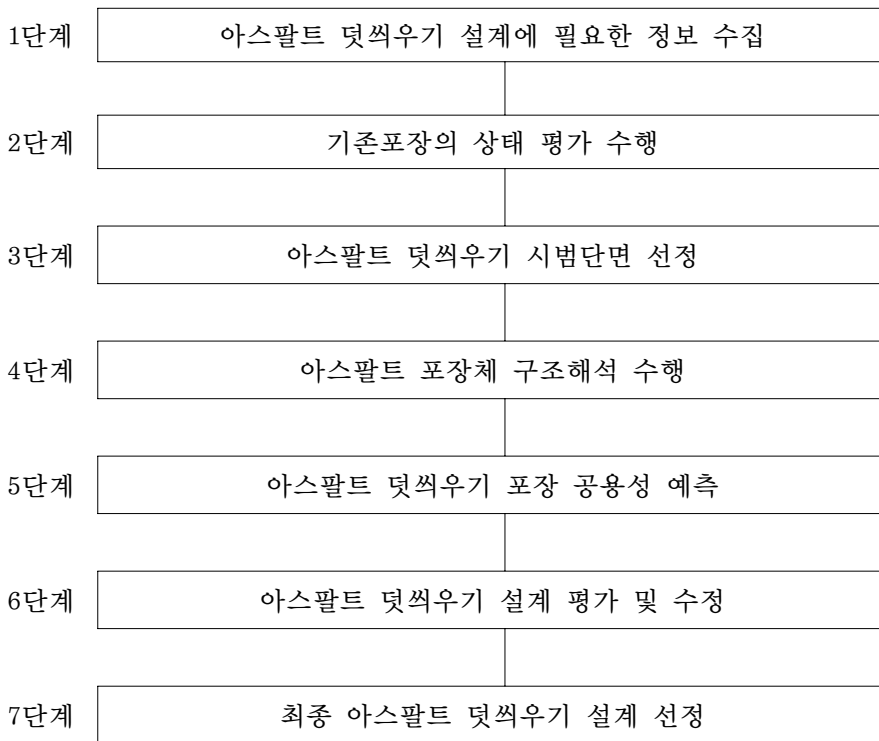
8. 아스팔트 덧씌우기 포장설계

8.1 일반 사항

- (1) 기존 아스팔트 콘크리트 포장에 신규 아스팔트 콘크리트 포장을 덧씌우기 설계하는 경우에 적용한다.
- (2) 설계방법은 기존 포장 상태에 따라 설계한다.
- (3) 설계절차는 7단계로 구성되며, <그림 8.1>을 따른다.

【해 설】

기존 아스팔트 포장위에 아스팔트 덧씌우기 포장 구조 설계 절차는 총 7단계로 <그림 8.1>과 같이 구성되어 있다.



<그림 8.1> 아스팔트 포장 상부 아스팔트 덧씌우기 포장설계 절차

1단계: 아스팔트 덧씌우기 설계에 필요한 정보 수집

기존 공용중인 도로포장의 형식에 상관없이 아스팔트 덧씌우기 포장을 수행하기 위해서는 다음과 같은 기본 정보가 필요하다.

- 일반정보
 - 공사이름 및 설명
 - 설계 수명
 - 기존 포장의 준공일
 - 덧씌우기 포장 시공일
 - 교통 개방 날짜
 - 유지보수 이력
- 위치 및 공사구간 정보
 - 공사 위치 및 구간별 정보
 - 도로등급
- 분석에 필요한 정보
 - 초기 평탄성
 - 설계 공용성 기준 (피로균열, 소성변형, IRI)
- 교통량
 - 차종별 축별 축하중 분포 (신설 포장과 동일)
- 환경인자
 - 온도, 함수량 분포 (신설 포장과 동일)
- 배수 특성
 - 포장의 횡구배
 - 배수로의 길이
- 포장 구조 및 재료 물성

- 포장층의 개수, 재료종류, 및 두께
- 포장층간 상태

2단계: 기존포장의 상태 평가 수행

덧씌우기 포장 설계시 가장 중요한 영향을 미치는 인자는 기존 포장 구조의 상태이다. 아스팔트 덧씌우기 설계시에는 공용중인 아스팔트 포장체의 구조적/기능적 상태를 정확히 평가해야 한다. 공용중인 기존 포장의 기능적 상태는 포장층별 영구변형량과 피로균열량 및 평탄성을 측정하여 평가한다. 구조적 상태 평가를 위해서는 공용중인 기존 포장층의 탄성계수를 예측하고 초기조건 (현재 영구변형량 등) 정량화 하여야 한다. 구조적 상태 평가를 위하여 비파괴 시험을 수행하고 포장체 표면의 치짐값을 측정한다.

3단계: 아스팔트 덧씌우기 시범 단면 선정

기존 포장의 상태, 향후 예측 교통량, 덧씌우기 전 유지보수를 고려하여 설계자는 시범 덧씌우기 포장 재료 및 단면을 선정한다. 덧씌우기 포장에 사용될 아스팔트 재료의 물성 산정방법은 신설포장의 방법에 준한다. <그림 8.2>는 아스팔트 덧씌우기 설계 시범 단면의 예를 나타내고 있다.

아스팔트 덧씌우기 1	아스팔트 덧씌우기 1	아스팔트 덧씌우기 1
기존 포장체	아스팔트 덧씌우기 2	아스팔트 덧씌우기 2
	기존 포장체	보조기층/CTB
		기존 포장체

예시 1

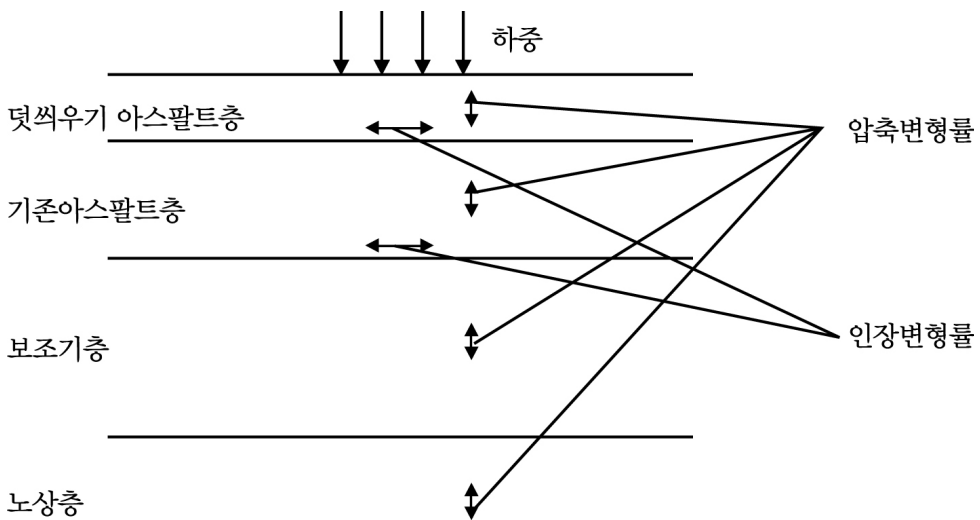
예시 2

예시 3

<그림 8.2> 아스팔트 덧씌우기 설계 단면의 예

4단계: 아스팔트 포장체 구조해석 수행

기존 포장의 상태 평가를 통해 계산된 각 포장층의 탄성계수와 아스팔트 덧씌우기 두께 및 재료 물성을 이용하여 구조해석을 수행한다. 구조해석을 통하여 포장체 내부의 주요지점에서의 변형률 값을 산정한다. 원칙적으로 아스팔트 덧씌우기 포장에서 사용되는 구조해석 기법은 신설폐장과 동일하다. <그림 8.3>은 아스팔트 덧씌우기 포장의 일반적 단면과 구조해석을 통해 결정되어야 하는 변형률을 나타내고 있다.



<그림 8.3> 아스팔트 덧씌우기 포장 구조해석

5단계: 아스팔트 덧씌우기 포장의 공용성 예측

아스팔트 덧씌우기 포장 구조 설계에서는 피로균열과 소성변형을 고려하여 포장체의 공용성을 예측한다. 4단계에서 구조해석을 통해 계산된 아스팔트 덧씌우기층 하부의 인장변형률과 포장각층 중앙부의 압축변형률은 피로수명과 소성변형량 계산에 각각 사용된다. 아스팔트 덧씌우기층 하부의 피로수명과 중앙의 소성변형량은 신설폐장 구조 설계에서 제시한 예측 모형들을 통해 계산된다. 보조기층과 노상층의 소성변형량도 마찬가지로 신설폐장 구조 설계에서 제시한 방법에 따라 계산된다.

6단계: 아스팔트 덧씌우기 설계 평가 및 수정

아스팔트 덧씌우기 포장의 공용성 평가는 정해진 설계기간동안 예측 파손량과 사용자가 제시한 설계 공용성 기준과의 비교를 통해 이루어진다. 예를 들어, 설계기간동안 예측된 파손량이 주어진 기준을 초과할 경우, 설계자는 반드시 덧씌우기 포장층 두께 및 재료를 수정하여 정해진 기준을 만족하여야 한다. 아스팔트 덧씌우기 포장 구조 설계를 완료하기 위하여는 피로균열과 소성변형, 그리고 평탄성에 대한 기준을 동시에 만족시켜야 한다. 본 절차를 통해 기준을 만족시킨 후보단면들은 경제성 분석을 수행하여 생애주기 비용을 산정한다.

7단계: 최종 아스팔트 덧씌우기 설계 선정

공용성 평가 결과와 경제성 분석 결과를 근거로 하여 최종 아스팔트 덧씌우기 설계를 선정하게 된다.

8.2 설계입력변수

- (1) 설계입력변수는 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 2.4」와 같이 설계등급 1, 설계등급 2로 구분하여 적용한다.
- (2) 교통조건 및 환경조건, 덧씌우기 층의 신규 아스팔트 재료물성을 위한 설계입력 변수는 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.설계입력변수」와 동일하게 적용한다.
- (3) 기존 아스팔트 층과 하부구조의 재료물성은 기존 포장층에 대하여 실시한 비파괴시험 결과로부터 역산하여 추정된 값을 적용한다.
- (4) 동상방지층에 대한 물성기준은 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.3에 (4)항」과 동일하게 적용한다.

【해 설】

기존 아스팔트 콘크리트 포장에 신규 아스팔트 콘크리트 포장을 덧씌우기 하는 경우, 기존 포장의 재료물성을 제외하고 신설 아스팔트 포장의 설계에 적용된 설계등급 1과 설계등급 2에 따른 설계입력변수를 결정하여 적용한다. 기존 아스팔트 층과 하부

구조의 재료물성은 현재 공용중인 기존 아스팔트 콘크리트 포장에 대해 비파괴시험을 실시하여 다음의 8.3에서와 같이 역산과정을 통해 추정된 값을 적용한다.

8.3 기존 아스팔트 콘크리트 포장의 재료물성 평가

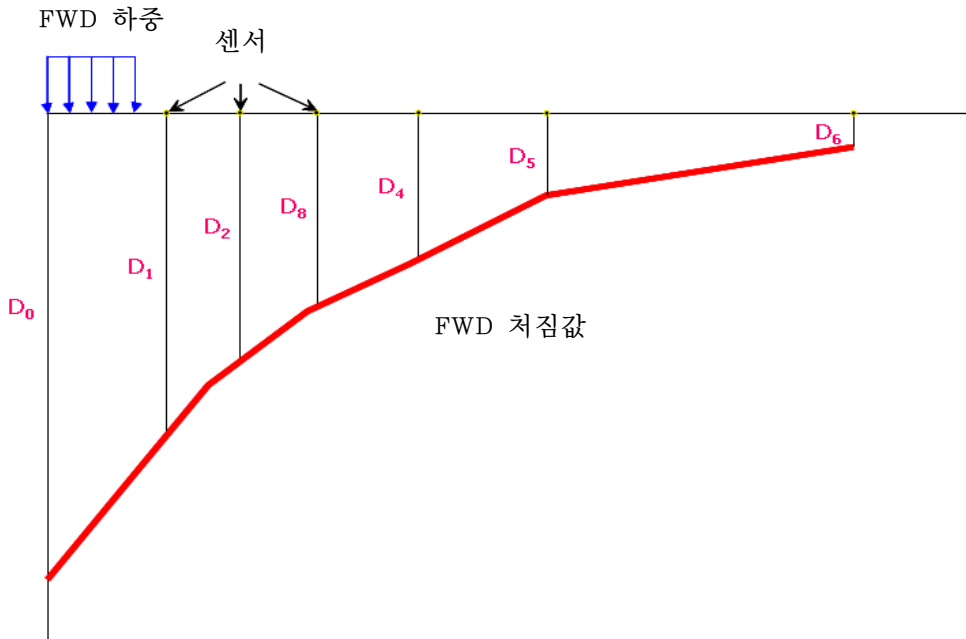
- (1) 덧씌우기 설계를 실시하기 전 기존 아스팔트 콘크리트 포장의 재료물성을 추정하기 위해 비파괴시험을 실시한다.
- (2) 기존 아스팔트 층의 재료물성은 역산된 결과를 이용하여 해설에서와 같은 절차를 거쳐 보정하여 적용한다.
- (3) 보조기층과 노상층에 대한 재료물성은 비파괴시험을 통해 역산된 탄성계수를 그대로 적용한다.

【해 설】

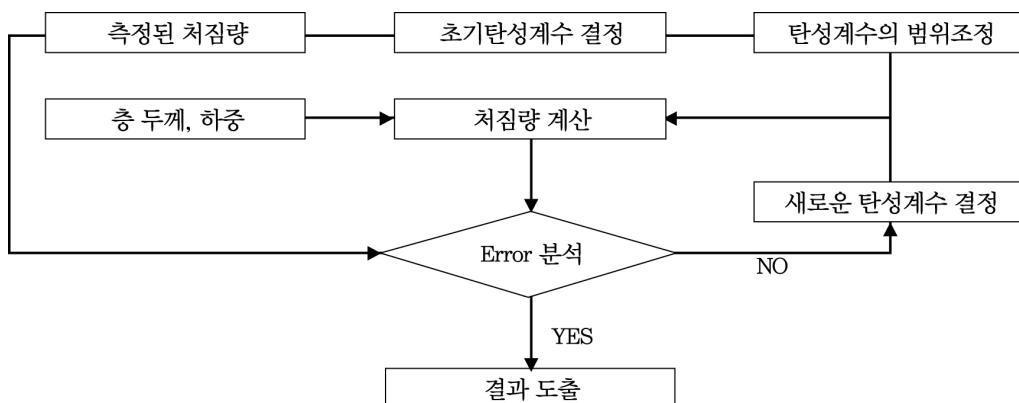
기존 아스팔트 콘크리트 포장층의 탄성계수 추정을 위하여 일반적으로 비파괴 시험인 FWD(Falling Weight Deflectometer) 장비를 사용한다. 다음과 같은 절차를 통하여 포장체의 구조적 상태 평가 척도인 포장층의 탄성계수를 계산한다.

- ① 포장체 표면의 처짐값 측정 : 충격하중을 재하하여 센서위치별 처짐값 측정
- ② 포장체 각층 두께 조사 : 시험구간에서 코어채취를 통한 포장층 두께 조사
- ③ 초기 탄성계수 값과 포아송비 결정: 역산 프로그램에서 최초 처짐량을 계산하기 위해 이용될 초기값 결정
- ④ 탄성계수 범위의 조정 : 역산 프로그램에서 비합리적인 탄성계수 값이 선택되거나 계산되는 것을 방지하기 위해서 포장재료별 탄성계수의 최대/최소값의 범위 결정
- ⑤ 처짐량 계산 : 다층탄성 구조해석프로그램을 이용하여 처짐량 계산
- ⑥ 오차분석 : 측정된 처짐량과 계산된 처짐량의 비교를 통한 오차 분석
- ⑦ 새로운 탄성계수 결정 : ⑥의 과정에서 계산된 오차가 허용오차범위를 벗어날 경우 각 층의 새로운 탄성계수 결정
- ⑧ 포장층 최종 탄성계수 결정: 계산오차가 허용오차 범위안에 수렴할 경우

〈그림 8.4〉는 FWD 시험으로부터 일반적으로 얻어지는 처짐량에 대한 개략도이고, 〈그림 8.5〉는 FWD 처짐값을 이용한 포장체의 탄성계수 역산절차 흐름도이다.



〈그림 8.4〉 포장 처짐량 측정



〈그림 8.5〉 포장층 탄성계수 역산 절차

FWD 시험결과를 역산하여 얻어진 탄성계수는 기존 아스팔트 층의 동탄성계수 마스터곡선을 추정하기 위해 사용된다. 동탄성계수 마스터곡선의 기본 방정식은 S자형 곡선(Sigmoidal Curve) 함수를 이용하여 개발되었으며, 기본 모델은 <식 8.1>과 같다. 교통하중에 의해 나타나는 누적 손상으로 인한 시간이 지남에 따라 동탄성계수는 감소한다. 이러한 손상으로 인한 감소된 동탄성계수 마스터곡선을 예측하여 기존 아스팔트 층의 재료물성으로 입력하여야 한다. 이를 위해 현재 공용중인 아스팔트 층의 신설시의 동탄성계수와 현재 시점에서 FWD 시험을 통해 역산된 동탄성계수와의 관계를 통해 동탄성계수 손상비를 <식 8.2>와 같이 계산한다. 신설시의 동탄성계수는 기존 아스팔트 층의 골재입도와 바인더 등급의 정보를 바탕으로 20°C와 30Hz에 해당하는 동탄성계수 값을 사용한다. 기존 아스팔트층의 감소된 동탄성계수 마스터곡선은 <식 8.1>의 회귀계수 중 α 에 계산된 동탄성계수 손상비를 반영하여 구할 수 있다 <식 8.3>.

$$\text{Log}(E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta - \gamma(\log f + c(\log \eta - \log \eta_{fr})})} \quad \text{<식 8.1>}$$

$$\text{동탄성계수 손상비 (\%)} = \left(1 - \frac{E_{\text{역산}}}{E_{\text{신설}}}\right) \times 100 \quad \text{<식 8.2>}$$

$$\text{Log}(E^*) = \delta + \frac{\alpha'}{1 + e^{\beta - \gamma(\log f + c(\log \eta - \log \eta_{fr})})} \quad \text{<식 8.3>}$$

$$\text{여기서, } \alpha' = \left(1 - \frac{\text{손상비}}{100}\right) \times \alpha \text{ 이다.}$$

덧씌우기 설계프로그램에는 기존 포장층의 탄성계수를 역산하기 위해 국내에서 개발된 GAPAVE 프로그램이 내장되어 있으며 FWD 시험결과를 입력하면 자동으로 역산 과정 및 보정과정이 수행되어 기존 아스팔트 콘크리트 포장의 재료물성이 계산된다. GAPAVE 프로그램은 유한요소 구조해석과 유전자 알고리즘을 기반으로 한 역해석 프로그램으로서, MODULUS 프로그램이나 EVERCALC 프로그램 등 가장 많이 사용되고 있는 프로그램들과의 비교분석을 수행한 결과를 통해 보다 정확한 역해석을 수행할 수 있다는 것이 검증되었다.

8.4 구조해석 및 공용성 해석

- (1) 덧씌우기 설계에서의 구조해석은 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 4.구조해석」과 동일하게 적용한다.
- (2) 덧씌우기 설계에서의 공용성 해석 방법은 본 요령 「아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계의 5.공용성 해석」과 동일하게 적용한다.

【해 설】

아스팔트 콘크리트 포장 위의 아스팔트 덧씌우기 포장 구조 설계의 절차는 신설 아스팔트 콘크리트 포장 구조 설계와 유사하다. 덧씌우기 포장 구조 설계를 위해서는 먼저 기존 포장의 향후 필요로 하는 잔존수명을 가정한다. 여기서 잔존수명은 덧씌우기 포장 후부터 포장 파괴까지의 시간을 의미한다. 그리고 기존 포장의 파손정도에 따라 표면 절삭을 시행할 것인지 결정하게 된다. 표면절삭을 시행하고자 할 경우에는 기존 아스팔트 층 두께에서 표면절삭 두께를 차감하여 설계에 적용한다. 아스팔트 덧씌우기 포장 두께는 가정하여 적용하며 포장두께가 필요한 잔존수명에 미치지 못하면 두께를 수정하여 다시 설계를 수행하여야 한다.

아스팔트 덧씌우기 포장 두께 및 동탄성계수, 기존 아스팔트층의 추정 동탄성계수, 하부층(보조기층 및 노상)의 탄성계수 등을 이용하여 신설포장과 동일한 구조해석을 수행한다. 구조해석을 통하여 산정된 변형율과 포장 파손 예측 모형을 이용하여 시간 및 교통량에 따른 영구변형, 균열, 및 평탄성의 변화를 추정하게 된다. 공용기간동안 산정한 누적피로균열, 누적영구변형 및 평탄성을 예측하여 설계기준보다 작을 때까지 덧씌우기 층의 재료물성이나 포장단면을 변화하여 반복 설계를 수행한다.

부 록

부록 1 도로 등급별 축하중 분포

부록 2 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법

부록 3 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 (Dynamic Modulus) 측정을 위한 표준 시험법

부록 4 아스팔트 콘크리트 포장설계(예)

부록 1. 도로 등급별 축하중 분포

1.1 개요

본 부록 내 제시된 도로 등급별 축하중 분포는 고속국도, 일반국도, 지방도에서 실제 운행하고 있는 축하중 조사 자료를 바탕으로 작성된 자료로서 포장 구조 설계 시 하중 등급별 교통량을 산출하기 위하여 사용된다. 축하중 분포 제시는 고속국도, 일반국도, 지방도에 대해서 각각의 축하중 분포를 제시되어 있으며, 설계하고자 하는 도로 등급에 따라 선택하여 사용한다.

1.2 차종 구분 및 축형태

축하중 분포는 <표 1.1>과 같이 국내 차종 분류 기준 및 축형태로 제시되어 있다.

<표 1.1> 12종 분류 체계 -(교통량 조사 차종분류가이드, 국토해양부 2006)

차종 분류	차축 형태	정의
1종	2축 4륜	경차, 일반 세단형식 차량 16인승 미만 SUV, RV, 승합차량
2종	2축 6륜	중, 대형 버스
3종	2축 6륜	화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 1~2.5톤 미만의 1단위 차량
4종	2축 6륜	화물 수송용 트럭으로 2축의 최대적재량 2.5톤 이상의 1단위 차량
5종	3축 10륜	화물 수송용 트럭으로 3축 1단위 차량
6종	4축 12륜	화물 수송용 트럭 형식으로 4축 1단위 차량
7종	5축 16륜	화물 수송용 트럭 형식으로 5축 1단위 차량
8종	4축 14륜	화물 수송용 세미 트레일러형식으로 4축 2단위 차량
9종	4축 14륜	화물 수송용 풀 트레일러형식으로 4축 2단위 차량
10종	5축 18륜	화물 수송용 세미 트레일러형식으로 5축 2단위 차량
11종	5축 18륜	화물 수송용 풀트레일러 형식으로 5축 2단위 차량
12종	6축 22륜	화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 6축이상 2단위 차량

1.3 고속국도의 축하중 분포

〈표 1.2〉 고속국도 차종별 축하중 분포 - (a) 단축(조향축)

하중 (톤)	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	10종	11종	12종
0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	0.94	-	-	0.02	-	-	-	-	0.02	-	-
1.25	90.09	0.32	64.83	0.80	-	-	-	-	0.80	-	-
1.75	6.84	0.48	17.59	3.09	0.12	-	-	-	3.09	-	-
2.25	0.71	3.87	13.79	14.37	0.12	0.32	-	-	14.37	-	-
2.75	0.24	2.42	0.34	14.05	0.12	0.16	-	-	14.05	0.10	0.06
3.25	0.24	1.61	1.38	23.44	0.18	3.84	0.44	3.41	23.44	0.45	0.06
3.75	0.24	11.29	1.03	13.87	1.49	18.24	1.32	30.46	13.87	0.45	0.78
4.25	0.24	34.35	0.69	11.04	8.63	22.72	1.54	42.48	11.04	8.00	9.69
4.75	0.24	18.55	0.34	8.77	18.98	12.16	7.25	11.82	8.77	27.27	25.13
5.25	0.24	18.23	-	5.56	17.85	5.28	10.55	5.81	5.56	9.09	22.90
5.75	-	7.58	-	2.89	15.23	4.64	14.29	1.40	2.89	27.27	25.85
6.25	-	1.29	-	1.22	10.23	4.80	16.48	0.20	1.22	9.09	12.26
6.75	-	-	-	0.52	8.45	7.20	20.0	0.80	0.52	9.09	1.62
7.25	-	-	-	0.26	7.79	3.36	15.16	1.40	0.26	9.09	0.89
7.75	-	-	-	0.10	6.31	2.56	5.27	0.60	0.10	0.09	0.39
8.25	-	-	-	0.02	2.44	4.64	5.93	1.00	0.02	-	0.28
8.75	-	-	-	-	1.43	2.40	1.76	0.40	-	-	0.06
9.25	-	-	-	-	0.59	3.20	-	0.20	-	-	0.06
9.75	-	-	-	-	0.06	3.52	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	-	0.96	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

〈표 1.3〉 고속국도 차종별 축하중 분포 - (b) 단축(구동축)

기준 하중(톤)	2중	3중	4중	6중	7중	8중	9중
0.25	-	-	-	-	-	-	-
0.75	-	13.10	0.12	-	-	-	0.12
1.25	0.33	48.97	1.10	-	-	-	1.10
1.75	0.33	11.38	2.01	-	-	-	2.01
2.25	2.14	11.38	8.43	-	-	-	8.43
2.75	1.48	5.17	10.36	1.12	0.66	1.60	10.36
3.25	0.33	3.45	8.77	12.00	3.74	5.01	8.77
3.75	0.33	3.45	10.44	20.96	3.30	5.41	10.44
4.25	0.16	0.69	9.51	14.40	3.52	2.61	9.51
4.75	0.33	1.04	6.97	7.04	6.37	2.81	6.97
5.25	0.49	0.34	6.20	6.56	13.19	6.01	6.20
5.75	1.48	0.34	5.82	4.96	17.14	12.02	5.82
6.25	0.99	0.34	4.90	6.08	15.82	13.03	4.90
6.75	1.32	0.34	4.84	5.76	16.04	18.24	4.84
7.25	3.13	-	4.11	3.36	7.25	12.22	4.11
7.75	15.16	-	3.15	3.04	6.37	9.02	3.15
8.25	29.00	-	3.25	4.64	2.86	7.21	3.25
8.75	19.28	-	3.05	2.88	1.32	2.20	3.05
9.25	10.21	-	2.61	2.56	1.54	1.80	2.61
9.75	8.07	-	2.23	2.56	0.44	0.40	2.23
10.25	4.94	-	1.53	1.92	0.22	0.40	1.53
10.75	0.49	-	0.60	0.16	0.22	-	0.60
11.25	-	-		-		-	
11.75	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.4〉 (계속) 고속국도 차종별 축하중 분포 - (c) 복측

기준하중 (톤)	5중	6중	8중	9중	10중 (첫번째)	10중 (두번째)	11중	12중
0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	-	-	-	-	-	0.11	-	-
2.50	-	-	1.80	-	0.06	1.78	-	-
3.50	0.24	0.32	9.02	-	0.06	5.24	-	-
4.50	1.07	4.32	29.66	-	1.34	16.38	-	3.64
5.50	1.07	8.32	23.85	-	10.31	11.42	-	3.64
6.50	5.53	10.08	10.42	2.78	16.49	5.40	2.78	16.36
7.50	10.95	18.08	11.22	11.11	9.53	2.90	11.11	25.45
8.50	12.67	10.72	4.21	5.56	4.51	2.28	5.56	16.36
9.50	11.12	3.20	2.61	11.11	3.62	1.56	11.11	5.45
10.50	7.44	4.00	0.80	5.56	3.96	1.17	5.56	7.27
11.50	7.08	2.40	0.60	2.78	2.67	1.11	2.78	1.82
12.50	6.78	1.44	0.20	5.56	1.45	1.95	5.56	5.45
13.50	7.14	2.72	0.20	2.78	2.62	3.29	2.78	5.45
14.50	6.90	3.36	0.20	8.33	4.07	4.01	8.33	7.27
15.50	4.58	3.20	0.20	8.33	7.41	3.90	8.33	1.82
16.50	5.12	3.20	0.80	13.89	15.71	7.08	13.89	-
17.50	3.93	5.12	0.80	5.56	10.64	16.88	5.56	-
18.50	4.22	4.96	0.60	13.89	3.68	9.42	13.89	-
19.50	3.09	6.72	1.20	2.78	1.62	3.40	2.78	-
20.50	0.77	6.88	1.40	-	0.28	0.67	-	-
21.50	0.30	0.96	0.20	-	-	0.06	-	-
22.50	-	-	-	-	-	-	-	-
23.50	-	-	-	-	-	-	-	-
24.50	-	-	-	-	-	-	-	-
25.50	-	-	-	-	-	-	-	-
26.50	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.5〉 (계속) 고속국도 차종별 축하중 분포 - (d) 삼축

기준하중(톤)	7종	12종
0.75	—	—
2.25	—	—
3.75	0.11	—
5.25	0.11	18.18
6.75	2.20	16.36
8.25	4.18	9.09
9.75	0.66	9.09
11.25	0.66	3.64
12.75	0.66	1.82
14.25	0.66	9.09
15.75	1.10	1.82
17.25	1.10	3.64
18.75	3.74	5.45
20.25	3.50	5.45
21.75	5.95	3.64
23.25	5.27	1.82
24.75	18.24	9.80
26.25	23.74	1.11
27.75	18.68	—
29.25	8.57	—
30.75	0.88	—
32.25	—	—
33.75	—	—
35.25	—	—
36.75	—	—
38.25	—	—
39.75	—	—
합계	100.00	100.00

〈표 1.6〉 일반국도 차종별 축하중 분포 - (a) 단축(조향축)

기준 하중(톤)	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종
0.25	-	-	1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	58.33	4.00	90.61	4.38	-	-	-	-	4.38	-	-	-
1.25	41.67	8.00	6.42	25.46	0.36	0.16	-	-	25.46	-	-	-
1.75	-	44.00	1.53	28.38	0.84	0.32	-	-	28.38	0.16	-	-
2.25	-	28.00	0.10	19.73	8.00	5.43	0.73	-	19.73	1.59	-	-
2.75	-	4.00	0.10	9.62	14.22	8.31	1.94	-	9.62	6.70	0.06	-
3.25	-	6.00	0.10	3.53	9.92	3.35	3.16	3.41	3.53	4.78	0.06	-
3.75	-	3.00	-	1.83	4.54	3.83	2.91	30.46	1.83	1.91	0.78	-
4.25	-	2.00	-	2.07	1.91	3.19	4.61	42.48	2.07	1.28	9.69	2.78
4.75	-	1.00	-	1.58	2.99	3.04	5.34	11.82	1.58	3.83	25.13	16.67
5.25	-	-	-	0.97	2.51	6.39	8.98	5.81	0.97	19.46	22.90	16.67
5.75	-	-	-	1.22	5.14	6.07	15.29	1.40	1.22	33.65	25.85	19.44
6.25	-	-	-	0.24	8.36	5.91	25.00	0.20	0.24	22.33	12.26	5.56
6.75	-	-	-	0.24	7.53	3.67	15.29	0.80	0.24	2.39	1.62	5.56
7.25	-	-	-	0.49	8.24	2.56	8.25	1.40	0.49	0.32	0.89	11.11
7.75	-	-	-	0.24	8.96	4.15	4.85	0.60	0.24	0.64	0.39	13.89
8.25	-	-	-	-	4.66	4.63	2.18	1.00	-	0.32	0.28	2.78
8.75	-	-	-	-	2.51	7.03	1.46	0.40	-	0.32	0.06	5.56
9.25	-	-	-	-	1.55	5.75	-	0.20	-	0.32	0.06	-
9.75	-	-	-	-	3.11	9.27	-	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	3.46	11.02	-	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	1.19	5.91	-	-	-	-	-	-
11.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

〈표 1.7〉 (계속) 일반국도 차종별 축하중 분포 -(b) 단축(구동축)

기준 하중(톤)	2중	3중	4중	6중	7중	8중	9중
0.25	-	24.81	-	-	-	-	-
0.75	-	63.70	4.14	-	-	-	4.14
1.25	4.00	5.94	17.30	0.32	-	-	17.30
1.75	12.00	3.07	16.20	0.32	-	-	16.20
2.25	4.00	1.05	14.25	2.08	0.49	-	14.25
2.75	8.00	0.48	10.11	5.91	1.46	1.60	10.11
3.25	12.00	0.29	8.65	6.71	1.94	5.01	8.65
3.75	32.00	0.19	8.04	3.35	2.91	5.41	8.04
4.25	12.00	0.19	6.21	4.47	5.58	2.61	6.21
4.75	4.00	0.10	3.41	3.51	8.98	2.81	3.41
5.25	4.00	-	3.05	2.40	14.32	6.01	3.05
5.75	4.00	-	0.73	6.39	20.87	12.02	0.73
6.25	4.00	-	1.10	6.71	16.99	13.03	1.10
6.75	-	0.10	1.22	3.35	9.95	18.24	1.22
7.25	-	-	1.46	4.95	9.47	12.22	1.46
7.75	-	-	0.85	3.99	2.91	9.02	0.85
8.25	-	-	0.73	4.15	1.70	7.21	0.73
8.75	-	0.10	0.49	4.95	0.73	2.20	0.49
9.25	-	-	0.73	9.74	0.49	1.80	0.73
9.75	-	-	0.61	12.46	1.21	0.40	0.61
10.25	-	-	0.37	11.18	-	0.40	0.37
10.75	-	-	0.24	3.04	-	-	0.24
11.25	-	-	0.12	-	-	-	0.12
11.75	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.8〉 (계속) 일반국도 차종별 축하중 분포 -(c) 복측

기준하중 (톤)	5중	6중	8중	9중	10중 (첫번째)	10중 (두번째)	11중	12중
0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	-	-	-	-		0.16	-	-
2.50	0.36	0.64	1.80	-	0.16	0.80	-	-
3.50	5.02	3.99	9.02	-	3.35	3.04	-	-
4.50	10.75	5.75	29.66	-	1.44	2.40	-	3.64
5.50	6.33	4.31	23.85	-	1.12	0.96	-	3.64
6.50	3.94	2.08	10.42	2.78	1.91	1.60	2.78	16.36
7.50	3.58	0.96	11.22	11.11	1.12	0.80	11.11	25.45
8.50	3.70	1.92	4.21	5.56	2.55	0.96	5.56	16.36
9.50	3.82	3.35	2.61	11.11	3.67	1.12	11.11	5.45
10.50	4.66	3.99	0.80	5.56	3.83	3.04	5.56	7.27
11.50	2.75	5.43	0.60	2.78	1.28	1.44	2.78	1.82
12.50	2.99	2.40	0.20	5.56	0.80	1.44	5.56	5.45
13.50	1.79	2.08	0.20	2.78	0.32	1.76	2.78	5.45
14.50	2.75	0.96	0.20	8.33	2.07	4.95	8.33	7.27
15.50	3.11	4.31	0.20	8.33	11.96	7.99	8.33	1.82
16.50	4.66	3.99	0.80	13.89	21.69	19.97	13.89	-
17.50	7.77	8.15	0.80	5.56	25.52	23.96	5.56	-
18.50	11.35	10.86	0.60	13.89	12.28	14.70	13.89	-
19.50	11.35	17.09	1.20	2.78	3.99	5.59	2.78	-
20.50	6.69	15.34	1.40	-	0.96	2.40	-	-
21.50	2.39	2.08	0.20	-	-	0.64	-	-
22.50	0.24	0.32	-	-	-	0.32	-	-
23.50	-	-	-	-	-	-	-	-
24.50	-	-	-	-	-	-	-	-
25.50	-	-	-	-	-	-	-	-
26.50	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.0 0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.9〉 (계속) 일반국도 차종별 축하중 분포 - (d) 삼축

기준하중(톤)	7종	12종
0.75	—	—
2.25	—	—
3.75	0.11	—
5.25	0.11	18.18
6.75	2.20	16.36
8.25	4.18	9.09
9.75	0.66	9.09
11.25	0.66	3.64
12.75	0.66	1.82
14.25	0.66	9.09
15.75	1.10	1.82
17.25	1.10	3.64
18.75	3.74	5.45
20.25	3.50	5.45
21.75	5.95	3.64
23.25	5.27	1.82
24.75	18.24	9.80
26.25	23.74	1.11
27.75	18.68	—
29.25	8.57	—
30.75	0.88	—
32.25	—	—
33.75	—	—
35.25	—	—
36.75	—	—
38.25	—	—
39.75	—	—
합계	100.00	100.00

1.4 지방도의 축하중 분포

〈표 1.10〉 지방도 차종별 축하중 분포 - (a) 단축 (조향축)

기준 하중(톤)	3종	4종	5종	6종	7종	8종	10종	11종	12종
0.25	-	-	-	-	0.38	-	-	-	-
0.75	91.67	6.10	-	-	0.76	-	6.10	-	-
1.25	7.64	12.80	1.15	-	0.60	-	12.80	-	-
1.75	0.46	45.12	2.30	-	1.51	-	45.12	0.16	-
2.25	0.23	23.78	19.54	14.52	3.78	-	23.78	1.59	-
2.75	-	9.15	24.14	54.84	4.54	-	9.15	6.70	0.06
3.25	-	2.44	26.44	12.90	7.56	3.41	2.44	4.78	0.06
3.75	-	0.41	12.64	3.23	11.34	30.46	0.41	1.91	0.78
4.25	-	0.20	6.90	1.61	15.12	42.48	0.20	1.28	9.69
4.75	-	-	5.75	1.61	17.38	11.82	-	3.83	25.13
5.25	-	-	1.15	4.84	11.34	5.81	-	19.46	22.90
5.75	-	-	-	1.61	9.83	1.40	-	33.65	25.85
6.25	-	-	-	4.84	9.07	0.20	-	22.33	12.26
6.75	-	-	-	-	6.05	0.80	-	2.39	1.62
7.25	-	-	-	-	0.76	1.40	-	0.32	0.89
7.75	-	-	-	-	-	0.60	-	0.64	0.39
8.25	-	-	-	-	-	1.00	-	0.32	0.28
8.75	-	-	-	-	-	0.40	-	0.32	0.06
9.25	-	-	-	-	-	0.20	-	0.32	0.06
9.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.11〉 (계속) 지방도 차종별 축하중 분포 - (b) 단축 (구동축)

기준 하중(톤)	3종	4종	6종	7종	8종	9종	9종	10종	11종	12종
0.25	22.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	61.81	4.88	-	-	-	4.88	6.10	-	-	-
1.25	10.19	10.37	-	-	-	10.37	12.80	-	-	-
1.75	3.24	21.95	-	-	-	21.95	45.12	0.16	-	-
2.25	0.69	15.85	6.45	-	-	15.85	23.78	1.59	-	-
2.75	0.46	12.80	24.19	9.09	1.60	12.80	9.15	6.70	0.06	-
3.25	0.46	9.15	35.48	-	5.01	9.15	2.44	4.78	0.06	-
3.75	0.23	5.49	11.29	18.18	5.41	5.49	0.41	1.91	0.78	-
4.25	-	7.32	8.06	63.64	2.61	7.32	0.20	1.28	9.69	2.78
4.75	-	5.49	1.61	9.09	2.81	5.49	-	3.83	25.13	16.67
5.25	-	4.88	3.23	-	6.01	4.88	-	19.46	22.90	16.67
5.75	-	0.61	3.23	-	12.02	0.61	-	33.65	25.85	19.44
6.25	-	0.61	3.23	-	13.03	0.61	-	22.33	12.26	5.56
6.75	-	0.61	3.23	-	18.24	0.61	-	2.39	1.62	5.56
7.25	-	-	-	-	12.22	-	-	0.32	0.89	11.11
7.75	-	-	-	-	9.02	-	-	0.64	0.39	13.89
8.25	-	-	-	-	7.21	-	-	0.32	0.28	2.78
8.75	-	-	-	-	2.20	-	-	0.32	0.06	5.56
9.25	-	-	-	-	1.80	-	-	0.32	0.06	-
9.75	-	-	-	-	0.40	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	0.40	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.12〉 (계속) 지방도 차종별 축하중 분포-(c) 복측

기준 하중(톤)	5중	6중	8중	9중	10중 (첫번째)	10중 (두번째)	11중	12중
0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	-	-	-	-		0.16	-	-
2.50	-	-	1.80	-	0.16	0.80	-	-
3.50	2.30	30.65	9.02	-	3.35	3.04	-	-
4.50	22.99	29.03	29.66	-	1.44	2.40	-	3.64
5.50	13.79	19.35	23.85	-	1.12	0.96	-	3.64
6.50	10.34	3.23	10.42	2.78	1.91	1.60	2.78	16.36
7.50	2.30	1.61	11.22	11.11	1.12	0.80	11.11	25.45
8.50	1.15	1.61	4.21	5.56	2.55	0.96	5.56	16.36
9.50	8.05	-	2.61	11.11	3.67	1.12	11.11	5.45
10.50	18.39	-	0.80	5.56	3.83	3.04	5.56	7.27
11.50	8.05	8.06	0.60	2.78	1.28	1.44	2.78	1.82
12.50	9.20	4.84	0.20	5.56	0.80	1.44	5.56	5.45
13.50	2.30	1.61	0.20	2.78	0.32	1.76	2.78	5.45
14.50	1.15	-	0.20	8.33	2.07	4.95	8.33	7.27
15.50	-	-	0.20	8.33	11.96	7.99	8.33	1.82
16.50	-	-	0.80	13.89	21.69	19.97	13.89	-
17.50	-	-	0.80	5.56	25.52	23.96	5.56	-
18.50	-	-	0.60	13.89	12.28	14.70	13.89	-
19.50	-	-	1.20	2.78	3.99	5.59	2.78	-
20.50	-	-	1.40	-	0.96	2.40	-	-
21.50	-	-	0.20	-	-	0.64	-	-
22.50	-	-	-	-	-	0.32	-	-
23.50	-	-	-	-	-	-	-	-
24.50	-	-	-	-	-	-	-	-
25.50	-	-	-	-	-	-	-	-
26.50	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.13〉 (계속) 지방도 차종별 축하중 분포 -(d) 삼축

기준하중(톤)	7종	12종
0.75	—	—
2.25	—	—
3.75	0.11	—
5.25	0.11	18.18
6.75	2.20	16.36
8.25	4.18	9.09
9.75	0.66	9.09
11.25	0.66	3.64
12.75	0.66	1.82
14.25	0.66	9.09
15.75	1.10	1.82
17.25	1.10	3.64
18.75	3.74	5.45
20.25	3.50	5.45
21.75	5.95	3.64
23.25	5.27	1.82
24.75	18.24	9.80
26.25	23.74	1.11
27.75	18.68	—
29.25	8.57	—
30.75	0.88	—
32.25	—	—
33.75	—	—
35.25	—	—
36.75	—	—
38.25	—	—
39.75	—	—
합계	100.00	100.00

부록 2. 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법

2.1 범위

도로 포장 구조 설계에서 노상토 및 입상 보조기층과 입도조정 쇄석기층 재료의 기본 설계입력 물성으로서 탄성계수를 선택한다. 탄성계수는 매우 다양한 요소에 의해 영향 받는데 도로 포장 구조 설계에서는 노상토의 경우 체적응력, 축차응력, 함수비를, 입상 보조기층과 입상기층에 대해서는 체적응력을 영향요소로 고려한 탄성계수 결정모델을 사용한다.

도로 포장 구조 설계에서는 응력수준과 함수비 등의 환경영향을 고려하여 탄성계수 결정모델로부터 탄성계수를 구할 수 있도록 재료에 대한 직접시험을 실시(설계수준 1)하거나 재료의 기본 물성치로부터 상관경험모형을 이용하여 설계입력변수인 탄성계수를 결정하는 방법(설계수준 2)을 채택하도록 하였으며 기존에 사용해 오던 CBR 시험을 통해 간접적으로 노상토의 탄성계수를 추출하고 이를 설계입력변수로 사용하는 방법(설계수준 3)을 사용할 수 있도록 하였다. 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법은 설계수준 1에서 필요한 시험방법, 시험절차 및 소요되는 시험도구와 설계수준 2에서 필요한 기본 물성시험의 종류와 이를 이용한 상관모형의 결정방법에 대하여 설명한다. 설계수준 3에서 사용하는 CBR시험법(KS F 2310)은 보편적으로 통용되고 있으므로 본 시험법 소개에서는 제외한다.

2.2 반복삼축압축시험을 이용한 설계입력물성 평가 (설계등급 1)

가. 시험법 적용의 범위

- 1) 본 시험방법은 노상토 및 입상 보조기층, 입도조정기층인 쇄석기층 재료의 포장 단면설계에 사용되는 탄성계수를 결정하기 위한 것이다.
- 2) 본 시험방법은 재성형 시편, 불교란 시편 모두에 적용 가능하다.
- 3) 응력조건은 포장층의 구성재료(노상, 보조기층, 쇄석기층)에 따라서 달리 적용한다.
- 4) 시편의 크기는 시험재료의 입도분포 특성에 따라서 달리 적용할 수 있다.
- 5) 본 절차에서 획득하는 탄성계수는 비선형성을 포함하는 것으로 응력의존의 탄성계수이며 본 시험에서 적용하는 응력 범위 내에서 유효하다.

- 6) 본 시험절차에서 결정되는 탄성계수는 포장 구조해석에 적용 가능하다.
- 7) 본 시험절차는 시험과정의 안전 문제에 대해서는 포함하지 않는다.
- 8) 본 시험법은 포아송비 및 영구변형 관련 물성은 포함하지 않는다.

나. 용어정의

- 1) 노상토 : 입상보조기층 아래 위치하는 층의 재료로서 다짐된 노상토 또는 원지반 노상토로 구분된다.
- 2) 입상 보조기층 재료 : 본 재료는 토사와 골재를 혼합하거나 자연적으로 얻어지는 것으로서 특별한 안정처리를 하지 않은 재료에 해당한다.
- 3) 쇄석기층(입도조정기층) : 본 재료는 쇄석골재만을 사용하여 입도를 조정한 재료에 해당한다.
- 4) 탄성계수 : 응력과 변형률의 관계를 맺는 계수이며, 비선형성, 응력 의존성, 함수비 특성이 고려된 재료의 변형특성을 칭한다.
- 5) 안정응력 : 시편을 삼축압축시험장치에 거치할 때 시편과 상하부 캡 사이의 안정적인 접촉을 확보하기 위해 가하는 수직 응력을 칭한다.
- 6) 공칭입자크기 : 체가름 시험결과에서 95% 누적 통과량에 해당하는 입자의 공칭직경으로 정의한다.

다. 시험장치

- 1) 삼축압축 셀
 - ① 시험의 구속응력 범위는 매우 작으나, 시험의 안전성 확보 측면에서 500kPa 이상의 범위까지 구속응력 재하에 저항 할 수 있는 삼축 압축 셀을 사용한다.
 - ② 삼축압축 셀은 셀 내부를 육안으로 볼 수 있도록 투명한 재질을 사용한다.
 - ③ 구속응력은 압축공기를 사용한다.
 - ④ 시편변형 측정 장치는 삼축 압축 셀 내부 또는 외부 어느 위치에 있어도 무방하다. 시편변형 측정 장치를 장착할 수 있는 장치를 갖추고 있어야 한다.
 - ⑤ 하중측정 장치(load cell)는 삼축 압축 셀 내부 또는 외부 어느 위치에 있어도 무방하다.
- 2) 하중재하장치
 - ① 하중재하는 응력 조절방식, 변형률 조절방식 모두 적용 가능하다.
 - ② 하중재하는 유압식, 공기압식 모두 가능하다.

③ 개방형(open loop), 폐쇄형(closed loop) 조절 방식 모두 적용 가능하다.

3) 축하중 측정장치

- ① 축하중 측정장치는 전기식으로 결과를 획득할 수 있는 하중계(load cell)를 사용한다.
- ② 하중계의 용량과 정밀도는 시편직경에 따라 <표 2.1>과 같은 수준을 요구한다.

<표 2.1> 반복삼축압축시험 하중계의 용량 및 정밀도 요구수준

시편직경(mm)	용량 (kN)	정밀도 (N)
50	2 이상	±2
70	5 이상	±5
100	10 이상	±10
150	20 이상	±20

4) 구속응력 측정 장치

- ① 구속응력을 공기압을 사용하므로 공기압을 측정할 수 있는 장치이어야 한다.
- ② 구속응력 측정 장치는 전기식으로 측정할 수 있는 장치이어야 한다.
- ③ 구속응력 측정 장치의 용량은 500kPa, 정밀도는 ±0.5kPa 이상이어야 한다.

5) 축변형 측정 장치

- ① 축변형은 전기식 측정 장치 (LVDT)를 사용하는 것을 원칙으로 한다.
- ② 축변형 측정 장치의 용량과 정밀도는 시편 길이에 따라 <표 2.2>과 같은 수준을 요구한다.

<표 2.2> 반복삼축압축시험 축변형 측정장치의 용량 및 정밀도 요구수준

시편직경(mm)	용량 (mm)	정밀도
50	5mm 이상	±0.001m
70	6mm 이상	±0.002m
100	8mm 이상	±0.002m
150	10mm 이상	±0.003m

6) 시편성형장치

- ① 시편성형 방법과 장치는 부록에 따른다.

7) 기타장비

- ① 일반적인 삼축압축시험과 마찬가지로 O-ring, 고무막(membrane), 고무막 설치 보조장치, 상부 캡(top cap), 하부 캡(bottom cap) 등이 필요하다.
- ② 하부 캡에는 배수를 위한 배수구멍(drainage valve)이 설치되어 있어야 한다.

라. 시험장치 검증

- 1) 시험 장치는 시험기에 사용되는 각각의 측정 장치 검증과 시험기 전체 시스템 검증으로 나뉜다.
- 2) 시험장치 전체 시스템 검증
 - ① 시험장치 시스템 검증은 매 1년 마다 또는 100회 시험 후 실시한다.
 - ② 1년 또는 100회 시험 이전이라도 시험장치가 심각한 충격을 받은 경우에는 시스템 검증을 수행한다.
 - ③ 시스템 검증은 강성도(탄성계수)를 알고 있는 인조 우레탄 검증시편을 사용하여 수행한다.
- 3) 각각 측정 장치의 개별적인 검증
 - ① 검증대상 계측장치는 하중계(load cell), 변위계(LVDT), 압력계(pressure gage)이다.
 - ② 각각 측정 장치의 개별적인 검증은 매 6개월 마다 또는 50회 시험 후 실시한다.
 - ③ 6개월 또는 50회 시험 이전이라도 각각 개별의 측정 장치가 심각한 충격을 받은 경우에는 검증을 수행한다.

마. 시험시편

- 1) 시편성형 방법은 「부록 2.3절」을 따른다.
- 2) 시편의 크기는 시료의 공칭직경에 따라 다르게 사용한다.
- 3) 시편의 길이는 직경의 2배 이상이 되어야 한다.
- 4) 나무뿌리 등 이물질이 있는 불교란 시료는 시편에서 제외한다.

바. 삼축압축시험 시험장치에 시편 거치

1) 시험 준비

- ① 시험시편을 준비한다.
- ② 시료가 놓이는 상부캡(top cap) 및 하부판(base plate)을 깨끗이 청소해 둔다.
- ③ 하부판(base plate)에 설치된 배수구멍(drainage hole)의 열림 상태를 확인하고, 만약 막혀있는 경우에는 압축공기를 사용하여 배수구멍(drainage hole)이 열림 상태가 되도록 한다.

2) 시편거치 순서

- ① 하부판(base plate)에 설치된 배수구멍(drainage hole)위에 거름종이(filter paper)를 설치한다.
- ② 단부오차를 최소화하기 위해서 시편의 양 단부를 석고 처리한다.
 - 석고를 반죽한다.
 - 바닥판을 석고 처리한다. 이때 배수구멍이 막히지 않도록 주의한다.
- ③ 시편을 바닥판 위에 설치한다.
 - 시편이 수직이 되도록 주의하여 설치한다.
 - 시편이 바닥판의 중심에 위치하도록 주의하여 설치한다.
- ④ 시편상부 면을 석고처리한다.
- ⑤ 상부 캡을 설치한다.
 - 시편을 조심스럽게 중심 위치를 맞춘다.
 - 시편 주위로 흘러나온 여분의 석고를 제거한다.
- ⑥ 멤브레인을 조심스럽게 설치한다.
- ⑦ O-ring 을 설치한다.
 - 아래 부분의 O-ring을 먼저 설치하고 윗 부분의 O-ring을 나중에 설치한다.
 - O-ring 설치후 O-ring 주위를 진공왁스로 처리한다.

3) 삼축압축 셀의 결함

- ① 시편에 진공압(7kPa)을 재하하여 시편 밀봉상태를 확인한다.
(설명) 멤브레인이 손상된 경우에는 액상 rubber latex로 밀봉하거나 새로운 멤브레인을 씌워 밀봉상태를 확보한다.
- ② 밀봉이 확인되면 삼축셀을 씌운다.
- ③ 셀이 조립되면 하중제하장치를 조립한다.

사. 삼축압축시험 하중 재하 순서

- 1) 배수 밸브를 개방하여 시편 내부가 대기압상태로 되도록 한다.
- 2) 초기 구속응력을 재하한다.
(설명) 초기 구속응력의 크기는 노상토의 경우에는 41kPa, 쇄석기층 및 보조기층 재료의 경우에는 104kPa를 적용한다.
- 3) 초기 구속응력을 재하한 후 2시간 이상 기다린다. 이것은 시편의 양 단부를 처리한 석고의 완전히 경화될 수 있는 양생시간을 확보하기 위함이다.
- 4) 초기 구속응력조건에서 육안으로 시편에 구속응력이 재하되었는지 멤브레인의 상태를 육안으로 관찰한다.
- 5) 초기 구속응력 조건에서 시편의 완전 밀봉 상태를 확인한다.
 - ① 삼축압축시험장치 몸체 외부의 배수관(drainage line) 끝 부분을 물속에 넣어 둔다. 이때 두 개의 배수관(drainage line) 모두를 사용할 수도 있고, 하나만 사용하는 경우에는 사용하지 않는 배수관은 막아둔다.
 - ② 만일 완전한 밀봉이 이루어진 경우라면 초기에 시편의 부피 변화에 의한 약간의 공기방울 이후에는 공기방울이 발생하지 않는다.
 - ③ 그러나, 계속해서 공기방울이 발생하는 경우에는 압축공기가 시편 내부로 스며 들고 있는 것이다.
 - ④ 공기방울이 계속 발생하는 경우, 구속응력을 제거하고, 몸체를 분해하고, 멤브레인을 추가로 하나 더 씌운 후, 다시 몸체, 구속셀 조립, 초기구속응력을 재하한다. 이 상태에서 공기방울 발생 여부를 다시 확인한다. 공기방울이 멈춘 경우에는 시험의 계속 진행하고, 공기방울이 이 상태에서도 멈추지 않는 경우에는 시험을 중지한다.
- 6) 안정응력을 재하한다.
 - ① 안정응력 계산에서 재하봉 자체의 무게를 고려한다.
 - ② 안정응력은 노상토 시료의 경우에는 6.9kPa, 쇄석기층 및 보조기층 시료의 경우에는 13.8kPa 을 적용한다.
- 7) 하중재하 순서에 따라 구속응력, 축차응력을 재하하며 이 때의 구속응력, 축차응력, 축 변형률을 측정한다.
 - ① 하중재하순서는 노상토 재료의 경우에는 <표 2.3> 쇄석기층 및 입상 보조기층 재료의 경우에는 <표 2.4>를 따른다.
 - ② 변형률 조절방식의 시험장치인 경우 축변형률 0.04%/분의 속도로 하중을 재하-역재하 한다.

- ③ 응력조절 방식의 시험장치인 경우 축차응력 50kPa/분의 속도로 하중을 재하-역재하 한다.
- ④ 축차응력 재하단계에서 축차응력 및 축변형률은 적어도 2초에 1개 이상의 자료를 측정 기록한다.
- ⑤ 모든 하중단계에서 영구 변형률이 5% 이상이면 시험을 종료하고 보고서에 이러한 상황을 기록한다.
- ⑥ 반복하중 시험과정에서 총 누적 영구 변형률이 5% 이하이고, 강도특성이 필요한 경우에는 파괴 하중까지의 전단시험을 연이어 수행할 수 있다.

〈표 2.3〉 노상토 시료에 대한 삼축압축시험의 하중 조합

구속응력 (kPa)	하중반복횟수	축차응력 (kPa)	
		재하	역재하
41	2	0 → 69	69 → 0
21	2	0 → 69	69 → 0
10	2	0 → 69	69 → 0
0	2	0 → 69	69 → 0
안정응력 : 6.9 kPa, 축변형속도 : 0.04%/분			

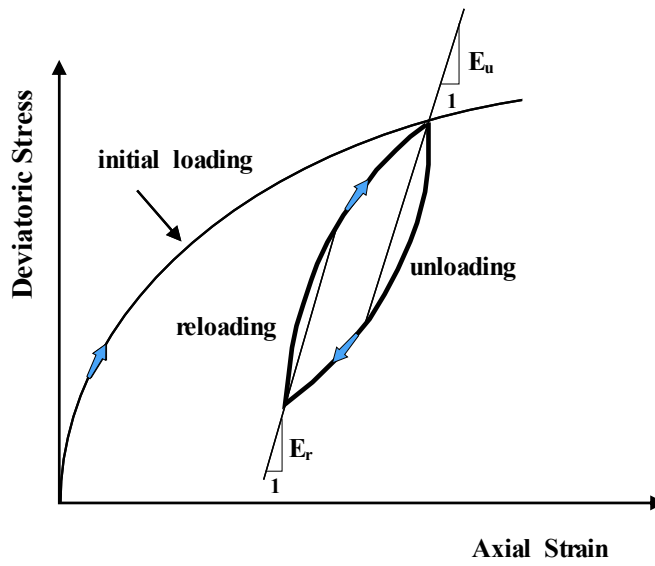
〈표 2.4〉 쇄석기층 및 보조기층 시료에 대한 삼축압축시험의 하중조합

구속응력 (kPa)	하중반복횟수	축차응력 (kPa)	
		재하	역재하
104	2	0 → 104	104 → 0
21	2	0 → 69	69 → 0
35	2	0 → 104	104 → 0
69	2	0 → 207	207 → 0
104	2	0 → 207	207 → 0
138	2	0 → 276	276 → 0
안정응력 : 13.8 kPa, 축변형속도 : 0.04%/분			

- 8) 시험이 완료되면 구속응력을 제거하고, 삼축셀을 분리한다.
- 9) 멤브레인을 제거하고 시편의 함수비를 측정한다.
- 10) 삼축압축시험 결과로부터 각 구속응력 단계에서 응력-변형률 곡선 그림을 그리고, 각 하중단계에서 탄성계수를 결정한다.

아. 응력단계별 탄성계수 계산

- 1) 구속응력 단계별 응력-변형률 곡선을 획득한다. 전형적인 응력-변형률 곡선은 〈그림 2.1〉과 같다.
- 2) 탄성계수 결정은 각 구속응력단계에서 수행된 2회의 반복재하과정 중, 2번째 재재하 단계의 자료를 기준으로 결정한다. 응력-변형률 곡선에서 2번째의 재재하가 시작되는 점을 기준으로 한 응력-변형률 곡선의 기울기로부터 재재하 단계의 할선탄성계수를 결정한다.
- 3) 탄성계수는 각 구속응력 단계에서 축차응력 크기에 따른 탄성계수를 연속적으로 결정한다.
- 4) 각 구속응력 단계에서 축차응력 크기에 따라 결정된 탄성계수 자료를 이용하여 〈표 2.5〉의 응력단계에서 최종적인 탄성계수를 결정한다.



〈그림 2.1〉 삼축압축시험에서 결정되는 전형적인 응력-변형률 곡선

〈표 2.5〉 삼축압축시험을 이용한 탄성계수 결정 응력 단계

단계	노상토		단계	입상보조기층 재료	
	구속응력 (kPa)	축차응력 (kPa)		구속응력 (kPa)	축차응력 (kPa)
1	0	14	1	21	21
2		28	2		41
3		51	3		61
4		55	4	35	35
5		69	5		69
6	10	14	6	69	104
7		28	7		69
8		51	8		138
9		55	9		207
10		69	10	104	69
11	21	14	11		104
12		28	12		207
13		51	13	138	104
14		55	14		138
15		69	15		276
16	41	14			
17		28			
18		51			
19		55			
20		69			

자. 결과보고

- 결과 보고서에는 다음의 사항을 포함하여 기록한다.
 - 시험자 및 시험일자를 기록한다.
 - 시험시료의 기초자료 특성을 기록한다. 기초자료 특성에는 시료명, 흙의 통일 분류법상 분류, 최대건조단위중량, 최적함수비 등을 포함한다.
 - 시험시편의 성형방법을 기록한다.
 - 시험시편의 조건 (함수비, 최대건조단위중량, 다짐도)을 기록한다.
 - 각 구속응력 단계에서 결정된 응력-변형률 곡선을 기록한다.
 - 각 응력 단계에서 결정된 탄성계수 결과정리 표를 기록한다.

- ⑦ 실험결과는 결정모델을 적용하여 회귀분석된 결과(모델계수)를 포함한다.
- 2) 동일한 시료에 대하여 삼축압축시험 이외의 시험이 병행하여 수행된 경우에는 시험 항목 및 그 결과의 요약을 포함한다.

2.3 설계입력 물성 평가시험을 위한 시편성형

가. 시편 성형기법 적용의 범위

- 1) 본 시편성형 기법은 노상토, 쇄석기층 및 입상 보조기층 재료의 포장 단면설계에 사용되는 탄성계수를 결정하기 위한 시험 시편에 적용한다.

나. 시험 성형기법 일반사항

- 1) 삼축압축시험에 사용하는 시편의 크기는 시료입자의 공칭직경(95% 누적통과량에 해당하는 직경)의 5배 이상을 적용하는 것을 원칙으로 한다.
(설명) 시험기의 제약으로 크기가 작은 시편을 사용하는 경우에는 과대입자를 제거한 모델시료를 사용하여 시편을 성형하며, 이러한 경우에는 모델시료의 영향을 시험 결과에 별도로 고려한다.
- 2) 시편의 높이는 시편 직경의 두 배 이상을 원칙으로 한다.
- 3) 재성형 시편의 건조단위중량은 다짐시험에서 결정된 최대건조단위중량의 85% 이상을 목표로 한다.
- 4) 시편의 함수비는 다짐시험에서 결정된 최적함수비를 기본으로 한다.
- 5) 시편성형 방법은 노상토, 쇄석기층 및 입상 보조기층 재료 모두에 있어서 5층 붓다짐 방법을 기본으로 한다.

다. 시편 성형 장치

- 1) 시편성형을 위해서는 시편성형용 다짐 붓, 시편성형 몰드 등이 필요하다.
- 2) 시편성형용 다짐붕은 시편직경 50mm 및 70mm 시편의 경우에는 다짐 램머의 무게 $1.2 \pm 0.1\text{kg}$, 낙하높이 $400 \pm 5\text{mm}$, 다짐직경 $25 \pm 1\text{mm}$ 로 한다. 시편직경 100mm 또는 150mm 시편의 경우에는 다짐시험(KS F2312) D다짐 다짐램머(4.5kg)를 적용한다.
- 3) 시편성형 몰드는 충분한 강성을 갖는 원통형 몰드 또는 split mold 를 사용한다.

2.4 시편 성형 절차

가. 시험시료 준비

- 1) 시험시료의 최대 공칭입자 크기는 성형하고자 하는 시편의 크기에 따라서 <표 2.6>과 같이 적용한다.

<표 2.6> 시험시료의 최대입자크기

시편직경 (mm)	최대입자크기 (mm)
150	38mm 이하
100	19mm 이하
70	13mm 이하
50	9.5mm 이하

- 2) 시험시료의 최대입자 크기 이상은 모두 제거한 모델시료를 사용하여 시험을 수행한다. 모델 시료 사용에 따른 시험결과 보정은 부록 A-2 및 A-3을 따른다.

나. 시험시료 함수비 조절

- 1) 분무기를 사용하여 시료의 함수비를 최적함수비 조건으로 맞춘다.
- 2) 물을 뿌린 후 골고루 섞어서 균일한 함수비 조건이 될 수 있도록 하며, 5분 이상 밀봉된 상태에서 대기한다.
- 3) 시편 성형을 위한 시료의 함수비 측정은 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정 방법을 사용할 수 있다.

(설명) 전자렌지 가열시간은 시료의 양에 따라서 경험적으로 결정하며, 보통 10분~15분이면 적절하다.

- 4) 전자렌지를 사용한 함수비 측정에서 목표 함수비(최적함수비)에 $\pm 0.2\%$ 이내의 오차에 들어올 때 까지 함수비를 조절한다.
- 5) 목표 범위에 들어온 시편에 대해서, 정확한 함수비 측정을 위해서 표준함수비 측정방법($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, 24시간)으로 함수비를 측정한다.
- 6) 최종적인 시편의 함수비는 표준 함수비 측정방법으로 측정한 결과를 사용한다.

다. 시편 다짐몰드 준비

- 1) split mold 또는 원통형 몰드를 준비한다.
- 2) split mold를 사용하는 경우 몰드를 조립하고 아래에 바닥판을 끼워 넣는다.
- 3) 경우에 따라서는 split mold 내부에 얇은 필름(OHP 필름)등을 넣어 시편 추출 시 시편의 손상을 줄이는 방법을 사용해도 무방하다.
- 4) 원통형 몰드를 사용하는 경우에는 유압기를 사용해서 시편을 추출한다.

라. 시편다짐 성형

- 1) 함수비 조절이 완료된 시료를 사용하여 5층 다짐으로 시편을 성형한다.
- 2) 한 층 다짐 부피를 계산한다.

$$V_1 = (\frac{\pi}{4} D^2 H) / 5$$

여기서, V_1 = 한층 다짐부피

D = 다짐 몰드 내부의 직경

H = 목표 시편 높이

- 3) 한층 다짐 부피에 해당하는 시료의 무게를 계산한다.

$$W_1 = \gamma_t \cdot V_1$$

여기서, W_1 = 한층 다짐 시료 무게

V_1 = 한층 다짐부피

γ_t = 시편의 목표 총단위중량 (아래 식 사용)

$$\gamma_t = \gamma_d (1 + w)$$

여기서, γ_t = 시편의 목표 총단위중량

γ_d = 시편의 목표 건조단위중량

w = 시료의 측정된 함수비 (목표 함수비와 약간의 차이가 있을 수 있음, 목표 함수비 즉 최적함수비가 아님)

- 4) 한층 다짐시료 무게의 시료를 다짐몰드 내부에 넣는다. 이때 시료가 몰드 외부로 손실되지 않도록 매우 주의한다.
- 5) 시료를 몰드에 넣고 스페츨라로 골고루 쑤신다. 이때 몰드 벽면을 돌아가면서 쑤셔서 몰드와 시편사이의 공간이 없도록 주의한다.
- 6) 다짐봉을 사용하여 목표 높이 까지 다짐을 실시한다.
- 7) 다짐봉을 사용하여 시편을 다질 때 시편이 균일하게 다짐될 수 있도록 골고루 균질하게 다진다. 일반적으로 10회 ~ 20회 정도 다짐이면 목표값을 얻을 수 있다.
- 8) 목표 높이에 도달하면 다음층 시료의 무게를 계량한다.
- 9) 이전에 다짐 층의 바닥을 약간 긁어 일으킨다. 이것은 다짐 층과 층 사이의 접촉을 좋게 하기 위함이다.
- 10) 이후 동일한 반복작업을 마지막 층까지 수행한다.
- 11) 마지막 층이 목표 높이까지 다져지면 몰드직경보다 약간 작은 둥근 쇠판을 놓고 가볍게 타격하여 시편의 가장 윗면을 매끄럽게 정형한다.

마. 시편 추출

- 1) split mold 를 사용한 경우에는 조심스럽게 split mold 를 분해하여 시편 얻는다.
- 2) 일체형 mold 를 사용한 경우에는 유압식 시편 추출 장치를 이용하여 시료를 느린 속도로 추출한다.

바. 시험시편 조건 계산

- 1) 추출된 시편의 무게, 직경, 높이를 측정한다. 직경은 위, 중간, 아래 부분을 측정하여 평균하며 높이는 서로 다른 위치에서 3회 측정하여 평균한다.
- 2) 성형된 시편의 건조단위중량 및 다짐도를 계산한다.

$$(\gamma_d)_{specimen} = \frac{\gamma_t}{(1+w)} = \frac{(W/V)}{(1+w)}$$

여기서, $(\gamma_d)_{specimen}$ = 시편의 건조단위중량

W = 시편의 무게

V = 시편의 부피

w = 시편의 함수비 (목표함수비가 아님)

$$RC(\%) = \frac{(\gamma_d)_{specimen}}{(\gamma_{d,max})_{compaction}} \times 100(\%)$$

여기서, RC = 다짐도 (%)

$(\gamma_d)_{specimen}$ = 시편의 건조단위중량

$(\gamma_{d,max})_{compaction}$ = 다짐시험에서 결정된 최대건조단위중량

사. 시험시편 적합성 평가

- 1) 최종적으로 성형된 시편의 외형적인 손상을 육안으로 평가한다. 만일 손상이 발견되면 시편을 다시 성형한다.
- 2) 외형적인 손상이 없더라도 시편추출과정 등에서 과도한 하중이 시편에 가해진 경우에는 시편을 다시 성형한다.
- 3) 성형된 시편의 다짐도가 목표다짐도의 근사 범위에 있는지를 검토한다.
- 4) 성형된 시편의 다짐도는 목표다짐도의 $\pm 0.5\%$ 이내에 들어야 한다. 노상토의 경우 목표 다짐도는 최대건조다짐밀도의 95%이상이므로 성형된 시편의 다짐도는 94.5% - 95.5% 범위 이내에 있어야한다.
- 5) 만일 성형된 시편의 다짐도가 허용범위를 벗어나면 시편을 다시 성형한다.

아. 최종적인 시험시편 조건의 보고 및 재평가

- 1) 시편 성형과정에서는 전자렌지를 이용한 급속함수비 측정 방법을 적용할 수 있다. 이것은 시편성형과정에서 시편의 적합성을 일차적으로 평가하기 위한 목적이다. 따라서 최종적인 시편의 상태는 표준함수비 측정법으로 결정된 함수비를 사용하여 평가하여야 한다.
- 2) 표준함수비로 측정된 함수비 결과를 사용하여 시편의 다짐도를 다시 계산한다.
- 3) 최종적인 시편의 다짐도는 목표다짐도 $\pm 0.5\%$ 이내에 들어야 한다. 노상토의 경우 목표 다짐도는 95%이므로 성형된 시편의 다짐도는 94.5% - 95.5% 범위 이내에 있어야 한다.
- 4) 만일 최종 평가된 시편의 다짐도가 허용범위를 벗어나면 시험을 중지한다. 이러한 경우 급속함수비 측정방법과 표준 함수비 측정방법에 많은 차이가 있는 경우이므로 함수비 조절에 특별한 주의를 요한다.
- 5) 최종 평가된 시편의 다짐도가 허용범위 이내라면, 함수비, 건조단위중량, 다짐도를 해당 시편의 조건으로 보고·기록 한다.

2.5 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 경험모형식 (설계등급 2)

가. 경험모형식

포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가를 위한 경험모형식은 국내 재료에 대한 시험자료를 바탕으로 개발되었다. 경험모형식은 설계입력변수인 탄성계수와 기초물성 및 응력수준 사이에 상관성을 설정한다. 경험모형 설정에 사용된 국내 하부구조 재료의 탄성계수의 최대값과 최소값의 범위는 <표 2.7>과 같다. 상관모형 설정에 사용된 국내 하부구조 재료의 기초물성과 국내 하부구조가 경험하는 응력수준의 범위는 <표 2.8>로 설정하였다. 설계등급 2에서 사용할 국내 하부구조 층재료에 대한 경험모형식은 인공신경망 이론을 이용하여 개발되었으며 노상토, 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료별로 <표 2.9> ~ <표 2.11>과 같은 상관식의 형태로 표현할 수 있으며 각 재료에 해당하는 상관식에 관련되는 기초 재료물성을 산입하면 설계입력 변수인 탄성계수를 계산할 수 있도록 하였다.

〈표 2.7〉경험모형 탄성계수의 최대값 및 최소값의 범위 (단위, MPa)

구분	E_{\min}	E_{\max}
노상토	39.0	276.0
보조기층	60.0	422.0
입도조정 쇄석기층	100	600

〈표 2.8〉 기초 물성과 응력수준(σ_3 , θ , σ_d)의 최대치 및 최소치

구분	항목	최소값(Min.)	최대값(Max.)
노상토	최적함수비(OMC, %)	6.0	15.0
	최대건조단위중량(kN/m ³)	1.65	2.34
	균등계수(Cu)	0	41
	#200체 통과량 (%)	1.0	20.0
	구속응력 σ_3 (kPa)	0	41
	축차응력 σ_d (kPa)	14	69
보조기층 재료	최대건조단위중량(kN/m ³)	2.0	2.4
	균등계수(Cu)	9.0	65
	#4체 통과량 (%)	25	55
	구속응력 σ_3 (kPa)	21	138
	체적응력 θ (kPa)	84	690
입도조정 쇄석기층 재료	최대건조단위중량(kN/m ³)	2.1	2.4
	균등계수(Cu)	40	100
	#4체 통과량 (%)	30	65
	구속응력 σ_3 (kPa)	21	138
	체적응력 θ (kPa)	50	100

〈표 2.9〉 노상 경험모형식

노상
$k_1 = 2457.712 - 24.6057(OMC) - 1004.36(\gamma_{\max}) + 10.87046(C_u) - 26.2423(P_{200})$
$k_2 = -2.6015 + 0.03255(OMC) + 1.192409(\gamma_{\max}) - 0.01122(C_u) + 0.046575(P_{200})$
$k_3 = 0.914942 - 0.01813(OMC) - 0.50165(\gamma_{\max}) + 0.003201(C_u) - 0.02091(P_{200})$

여기서, γ_{\max} : 최대건조단위중량(t/m^3)

C_u : 균등계수

P_{200} : 200번체 통과율(%)

OMC : 최적함수비(%)

〈표 2.10〉 입상 보조기층 경험모형식

입상 보조기층
$k_1 = -51.5516 + 40.35118(\gamma_{\max}) + 0.572683(C_u) + 0.765182(P_4)$
$k_2 = 1.155052 - 0.51982(\gamma_{\max}) + 0.005393(C_u) + 0.002963(P_4)$

여기서, γ_{\max} : 최대건조단위중량(t/m^3)

C_u : 균등계수

P_4 : 4번체 통과율 (%)

〈표 2.11〉 입도조정 쇄석기층 경험모형식

입도조정 쇄석기층
$k_1 = 525.3144 - 156.406(\gamma_{\max}) + 1.1975(C_u) - 0.62312(P_4)$
$k_2 = 0.863715 - 0.35398(\gamma_{\max}) + 0.000974(C_u) + 0.003344(P_4)$

여기서, γ_{\max} : 최대건조단위중량(t/m^3)

C_u : 균등계수

P_4 : 4번체 통과율 (%)

나. 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가절차 예

1) 설계등급 결정

- ① 포장 구조 설계 대상 구간의 설계등급을 결정한다.

2) 설계구간 지반조사

- ① 포장 구조 설계를 위한 설계구간의 시추조사 및 시험굴 조사를 수행하고 시료를 채취한다.
 - 시추조사 계획은 지반의 개략적인 변화특성 및 설계등급을 고려하여 결정한다.
 - 시추조사를 통하여 설계대상 구간의 지층구조를 확인한다.
 - 시험굴 조사를 통하여 기초물성 시험에 필요한 충분한 양의 시료를 확보한다.
- ② 노상토 층 아래 측이 연약한 원지반이 존재하는 구간에 대해서는 대책공법을 수립한다.
- ③ 채취된 시료에 대해서는 다짐시험, 체가름 시험 등 기초 물성시험을 수행한다.

3) 설계구간 시료 선정 및 채취

- ① 설계구간에서 사용할 입도조정 쇄석기층, 입상보조기층 재료를 재료원별로 선정하고, 노상토는 절토부 또는 예상 재료원으로부터 직접 채취한다.
 - 채취된 시료의 기초물성시험과 지반조사 자료를 분석하여 지반조건이 변화하는 구간마다 대표적인 시료를 채취한다.

- 노상토 시료는 절토부 250m 구간 길이 마다 1개 이상의 시료를 선정한다.
- 입상 보조기층은 재료원별로 선정·채취한다.
- 입도조정 쇄석기층 재료는 재료원별로 선정·채취한다.

4) 하부구조 설계입력 물성 평가

- ① 설계대상 구간에서 선정 채취된 노상토 및 입상 보조기층, 입도조정 쇄석기층 재료에 대하여 다짐시험과 체가름 시험 등 기초물성 시험을 수행한다.
 - ② 포장 구조 설계에서 제안하고 있는 경험모형식을 적용하여 노상토 및 입상 보조기층, 입도조정 쇄석기층 재료의 탄성계수를 산정한다.
 - ③ 포장 구조 설계에서 제안하는 환경변화 모형을 적용하여 노상토의 함수비 변화를 예측한다.
 - 포장 구조 설계 해석 프로그램 내에서 강수량과 지역(온도)조건을 이용하여 기상청관측소 D/B로부터 자동으로 연산된다.
 - ④ 설계입력변수 경험모형과 환경모형을 통하여 최종적으로 결정된 각 시료의 응력 조건 및 환경조건에 따른 탄성계수의 대표 설계 평균값을 결정한다.
 - ⑤ 설계구간에서 노상토 재료의 탄성계수 변화를 검토하여 하나의 포장단면으로 설계하는 구간 길이를 결정한다.
 - 각 시료의 평균 탄성계수가 이전구간에 비하여 세 배 이하이면 하나의 포장 단면으로 고려한다.
 - 만일 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하면 노상토 및 입상보조기층 설계구간을 나눈다.
 - 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하는 경우라도 하나의 구간 길이가 750m 이하이면 별도의 설계구간으로 구분하지 않는다.
 - 독립적인 포장 단면구간의 변화 위치는 구조물과 토공 구간의 접속부 또는 흙쌓기와 흙깎기 경계 구간 등 시공성을 고려하여 결정한다.
- 5) 설계등급이 2인 경우에는 각각의 설계구간에서 경험모형으로부터 결정된 각 응력 조건 단계에서의 탄성계수를 각각 평균하여 이를 응력단계별 탄성계수로 결정하고 설계 입력 탄성계수 값으로 적용한다.
- 6) 설계등급 1인 경우에는 각 설계구간마다 채취된 시료에 대하여 반복재하삼축압축 시험을 수행하여 설계 탄성계수를 결정한다.
- ① 각 응력조건 단계에서의 탄성계수를 각각 평균하여 응력단계별 탄성계수를 결정하고 이를 설계 입력 탄성계수로 적용한다.

7) 설계등급 3인 경우에는 노상재료의 CBR을 구하여 탄성계수로 환산한다.

- ① 노상의 탄성계수 범위를 4단계로 구분하여 설계 탄성계수를 구한다.
- ② CBR을 이용한 탄성계수의 환산은 아래 식을 이용한다.

$$M_R = 17.6 \times CBR^{0.64}$$

여기서, M_R : 회복탄성계수 (MPa), CBR : California Bearing Ratio(%)

- ③ CBR 값에 따른 노상 탄성계수의 범위는 아래와 같이 구분한다.

〈표 2.14〉 노상 조건의 구분

E (kPa)	CBR	분 류
$E < 49,300$	$CBR < 5$	S1
$49,300 \leq E < 76,900$	$5 \leq CBR < 10$	S2
$76,900 \leq E$	$10 \leq CBR$	S3

부록

3. 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 (Dynamic Modulus) 측정을 위한 표준 시험법

3.1 범위

- ① 이 시험방법은 아스팔트 혼합물을 준비하고 다양한 온도 범위와 하중 주기에 걸쳐 동탄성계수와 위상각을 구하기 위한 시험에 대한 전반적인 절차를 다루고 있다.
- ② 이 시험법은 최대골재의 입경이 37.5mm보다 작거나 같은 시험실 제조 아스팔트 혼합물 공시체에 적용가능하다.

3.2 참고 문헌

3.2.1 AASHTO 기준

- TP4 SHRP 선회다짐기를 사용한 가열 아스팔트 혼합물(HMA) 시편의 밀도측정과 준비과정에 대한 방법.
- PP2 HMA 혼합물의 준비에 대한 절차
- T269 다져진 밀입도 및 조립도 아스팔트 포장 혼합물의 공극률.

3.3 정의

가. 동탄성계수 (Dynamic Modulus)

$|E^*|$, 사인파형의 하중에서 최대응력을 최대변형률로 나누어 계산하며 복합계수의 절대값.

나. 복합계수(Complex Modulus)

E^* , 선형 점탄성 재료에 있어 응력과 변형률의 관계를 정의하는 복소수.

다. 위상각(Phase angle)

δ , 응력제어 시험에서 사인파 형태의 작용응력과 변형률 거동사이의 각도($^{\circ}$).

라. 선형 점탄성(linear viscoelastic)

이 시험규정에서는, 응력과 변형률 크기에 독립적인 동탄성계수의 거동을 일컫는다.

3.4 시험방법의 요약

- ① 주어진 온도와 하중 주기에서 사인파형(haversine)의 축방향 압축응력을 시편에 적용한다. 시편에 가해진 응력과 회복 축변형률을 측정하고 동탄성계수와 위상각의 계산에 사용한다.
- ② <그림 3.1>은 동탄성계수시험을 도식화 한 것을 나타낸다.

3.5 중요성과 사용

- ① 다양한 온도범위와 하중주기에 걸쳐 측정된 동탄성계수값은 포장두께 설계와 공용성해석을 위한 아스팔트 콘크리트의 물성을 나타내는 마스터 커브(master curve)로 변환될 수 있다.
- ② 동탄성계수와 위상각은 아스팔트 혼합물의 배합설계의 공용기준(Performance criteria)으로 사용될 수 있다.

3.6 시험장비

가. 동탄성계수 시험 시스템

동탄성계수 시험시스템은 시험장비, 온도챔버, 측정시스템, 시편과 고정장치로 구성된다.

1) 시험장비

사인파형(haversine)의 압축 하중을 가할 수 있는 유압잭 시험장비는 0.01~30Hz 범위의 하중주기와 2800kPa 이상의 응력을 가할 수 있어야 한다.

2) 온도조절챔버(Environmental chamber)

필요온도로 시편의 온도를 조절하기 위한 챔버. 온도조절챔버는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 정밀도로 $-10\sim 60^{\circ}\text{C}$ 로 조절할수 있어야 한다. 또한 챔버는 시험시편뿐만 아니라 온도 검증을 위해 중앙에 설치한 thermocouple과 여분의 시편을 수용할 수 있을 만큼 충분히 커야 한다.

3) 측정장치

시스템은 컴퓨터로 조절되며 적용 하중과 측변위 시간으로 측정하고 기록할 수 있어야 한다. 적용된 사인파형 하중주기 동안 발생한 변형을 0.5%의 감도로 측정할 수 있어야 한다.

① 하중

시편 캡의 한쪽과 접촉된 로드셀로 측정된다. 하중측정 시스템은 5N의 감도로 0~25kN이 범위의 하중을 측정할 수 있어야 한다.

② 측방향 변형

측방향 변위는 <그림 3.2>와 같이 시편 양쪽 면에 부착된 LVDT로 측정된다. 변위는 최소한 2개 이상의 위치에서 측정되어야 한다.(180°) 그러나 반복시험을 위한 시편의 수를 최소화 하기위해 120°로 3개 지점에 설치하여 측정할 수 있다. LVDT는 총변위가 $\pm 0.5\text{mm}$ 의 범위를 갖는다. 변형측정시스템은 자동영점조절과 <표 3.1>에서 정의되는 선택 가능한 범위가 있다.

4) 강화철제디스크(hardened steel disk)

시험시편과 같은 지름의 강화 철제디스크가 시험장비로부터 시편으로 하중을 전달하기 위해 시편의 상부와 하부에 필요하다.

5) 끝처리

마찰감소를 위한 끝처리는 시편과 강화 철제 디스크 사이에 설치한다. 끝처리는 두 개의 실리콘 그리스가 뿌려진 0.5mm 두께의 고무판(latex sheets)으로 이뤄진다.

<표 3.1> 변위측정용 센서의 구비조건

Range, mm	Resolution, mm
± 0.5	0.010
± 0.25	0.005
± 0.125	0.0025
± 0.0625	0.001

나. 선회다짐기

AASHTO TP4에 따른 시편준비를 위한 선회다짐기와 관련장비.

다. 톱

시편을 자르기에 적당한 길이로 다이아몬드 날로 되어있으며 과도한 열과 충격없이 규정된 크기의 시편을 자를 수 있어야 한다.

※ Note 1 - 양날톱은 자연스럽고 평행한 면의 시편을 제작하는데 매우 용이하다.

라. 코어드릴

다이아몬드날로 된 수냉식 코어 시편 채취 장비는 공칭직경 100mm의 시편을 제작하는데 사용된다.

3.7 시험 시편

가. 크기

동탄성계수 시험을 위한 시편은 선회다짐기에 의해 다져진 혼합물로부터 채취된 직경 100mm, 높이 150mm 시료를 사용한다.

나. 노화

혼합물은 AASHTO PP2의 오븐을 사용한 단기노화 절차에 따라 노화되어야 한다.

다. 선회다짐시편(gyratory specimens)

AASHTO TP-4에 따른 요구 공극률에 맞추어 높이 165mm의 시편을 준비한다.

※ Note 2 - 시험은 시편이 허용 공극률을 만족할 때 수행되어야 한다. 선회다짐시편의 공극률은 정확한 시험시편의 공극률을 얻기 위해 시행착오법으로 구하여야 한다. 일반적으로 시험시편이 선회다짐시편의 중앙에서 채취되었다면 일반적으로 시험시편의 공극률은 선회다짐 시편보다 1.5~2.5% 정도 낮다.

라. 코어 시편 채취

선회다짐 시편의 중간에서 100mm의 직경으로 코어를 채취한다. 코어시편은 원기둥형이며, 끝이 매끄럽고, 나란하고, 골이나 흠집이 발생하지 않도록 코어드릴과 선회다짐시편 모두를 충분히 지지하여야 한다.

마. 지름

시험시편의 직경은 시편축의 가운데를 따라 90° 떨어진 3지점에서 측정한다. 1mm의 단위로 6개의 값을 기록한다. 6개 값의 평균과 표준편차를 계산한다. 표준편차가 2.5mm이상인 시편은 사용하지 않는다. 표준편차 기준을 만족한 시편은 평균지름을 1mm단위로 기록하고, 응력계산에 이용한다.

바. 시편 양단처리

모든 시험시편의 끝은 매끄럽고 시편의 축에 수직이어야 한다. 외날 또는 양날톱으로 시편의 양단을 절단한다. 시편의 양단은 아래의 허용오차 범위 안에 들어야 하며 그렇지 못한 시험시편은 제외시킨다.

- 1) 시편의 양면은 평편하여야 하고 0.05mm의 이상의 요철이 있으면 안 된다. straight edge와 틸새 게이지를 사용하여 체크할 수 있다.
- 2) 시편 양면은 시편의 축으로부터 0.5도 이상을 벗어나서는 안 된다. 이 요구사항은 각 시편에 대해 직각자와 틸새 게이지를 사용하여 체크할 수 있다.

사. 공극률

AASHTO T269규정에 따라 최종 시험시편의 공극률을 측정한다. 목표 공극률과 0.5% 이상 차이가 있는 시편은 시험에서 제외시킨다.

아. 개수

필요한 시편의 수는 시편 당 축변형 측정 횟수와 요구되는 평균 동탄성계수의 정확도에 따라 결정된다. <표 3.2>는 $\pm 15\%$ 이 하의 정확도를 얻기 위해 시험하여야 할 시편의 갯수를 요약한 것이다.

자. 시편 저장

시편을 폴리에틸렌 비닐로 완전히 감싸고 5~25℃의 온도가 유지되는 장소에 저장한다.

※ Note 2 – 시편의 노화가 시험결과에 미치는 영향을 배제하기 위해서 시편은 시험하기 전에 2주 이상 보관하지 않는 것을 원칙으로 한다.

〈표 3.2〉 요구되는 시료의 개수

시편당 LVDT의 갯수	시편의 갯수	정확도 추정한계
2	4	13.4
3	2	13.1

3.8 시험시편 구성

- ① 에폭시를 사용하여 시편의 측면에 축방향 LVDT 장착을 위한 스티드를 부착한다. 〈그림 3.3〉은 고정 스티드와 LVDT 설치 장치를 자세히 보여주고 있다.

※ Note 2 – Duro Master Mend Extra Strength Quick QM-50 와 같은 경화가 빠른 에폭시는 스티드를 부착하기에 적합하다.

- ② 축방향 변형을 측정하기 위한 게이지 길이는 $100 \pm 1\text{mm}$ 이다. 〈그림 3.3〉에서 보는 바와 같이 LVDT를 정렬하고 위치를 잡아주는 장치를 사용하면 축방향 변형 측정 장치를 편리하게 설치할 수 있다.

3.9 시험 절차

- ① 포장의 구조해석 및 공용성 해석에 사용하기 위한 아스팔트 혼합물의 마스터커브를 산정하기 수행되어야 할 시험들은 -10, 5, 21, 40, 55℃의 온도와 각각의 온도에 대해 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 25Hz의 하중주기에서 수행되어야 한다. 각 시편은 30회 조합의 온도와 하중주기에서 시험이 수행되어야 하며 시편의 물성변화를 최소화하기 위하여 낮은 온도에서 시작하여 높은 온도로 시험을 진행한다. 주어진 온도에서 시험할 때에는 높은 하중주기에서 시작하여 낮은 하중주기로 시험을 진행한다.

- ② 시험시편은 온도챔버에 보관하고 특정시험온도를 유지한다. 여분의 시편중앙에 온도측정장치를 설치하여 시험 시편의 온도가 특정온도에 도달했는지 체크하기 위해 사용한다. 여분의 시편이 없다면 <표 3.3>과 같이 실내온도(즉 25℃)와 요구되는 온도가 같아지기 위한 최소한의 시간이 필요하다.

<표 3.3> 요구되는 균등화 시간

시편온도 , °C(°F)	Time, hrs
-10	12시간이상
10	12시간이상
20	8시간이상
30	6시간이상
40	6시간이상
50	6시간이상

- ③ 하중재하 프레임 상의 설치된 강화철제 디스크상에 마찰감소재를 설치한다. 아래 쪽 끝처리 위에 시편을 놓고, 시편에 미리 장착된 부품에 축방향 LVDT를 장착한다. 누적압축영구변형을 충분히 수용할 수 있도록 선형범위 끝에 근접하게 LVDT를 맞춘다.
- ④ 끝처리 마찰감소재와 강화철제 디스크를 시편위에 놓는다. 편심하중을 피하기 위하여 유압식 하중재하장치를 시편중앙에 위치시킨다.
- ⑤ 시편에 재하하고자 하는 동하중의 5%를 접지하중(Pmin)으로 시편에 재하한다.
- ⑥ 필요하면 전자 측정 시스템을 조정하고 균형을 맞춘다.
- ⑦ 반복적인 방법으로 충격없이 시편에 haversine 하중(Pdynamic)을 재하한다. 동적하중은 축변형률이 50 ~ 100 micro-strain 이하가 되도록 조정되어야 한다. 균등온도에 도달한 이후, 실제 실험하중을 재하하기 이전에 장비와 시편을 안정화하기 위하여 50 micro strain 이하 변형률을 발생시키는 10Hz의 harversine 하중을 10회에 걸쳐 재하한다.

※ Note 3 - 동적하중은 시편의 강성에 따라 달라지며 일반적으로 15~280kPa의 범위안에 있다. 일반적으로 저온에서는 보다 크기가 큰 축하중이 요구된다. <표 3.4>는 온도에 따른 목표 동적하중 단계를 나타내고 있다.

- ⑧ 낮은 온도에서 시작하여 높은 온도로 시험을 진행한다. 각 온도에서는 높은 하중주기에서부터 낮은 하중주기로 시험을 진행한다. 먼저 시편에 25Hz의 주기로 200회의 하중을 재하한다. 그 다음 <표 3.5>에 나와 있는 특정값을 시편에 재하한다.
- ⑨ 실험은 재료의 선형탄성특성을 확인하기 위한 것으로서, 선형탄성 범위 안에서 수행되어야 한다. 따라서 실험 중 과도한 변형률(150 micro-strain 이상)이 발생하면 시편을 버리고 새 시편을 사용하여 재 실험을 수행한다.

〈표 3.4〉 목표 동적하중범위

온도, °C(°F)	범위, kPa	범위, psi
-10(14)	1400-2800	200-400
4(39)	700-1400	100-200
20(68)	350-700	50-100
40(104)	140-250	20-50
55(131)	35-70	5-10

〈표 3.5〉 시험주기별 하중재하횟수

주기	사이클수
25	200
10	200
5	100
1	20
0.5	15
0.1	15

3.10 계산

- ① 마지막 5회 이상의 사인파형 하중과 축방향 LVDT 변형률로부터 평균진폭 값을 결정한다.
- ② 마지막 5회 이상의 최대 하중과 최대 변형률로부터 평균 시간지연을 결정한다.

※ Note 3 - 이러한 결정에 다른 접근방법들이 있다. 이러한 방법은 사이클 당 데이터 수집 개수에 크게 의존한다. 정점 조사 알고리즘, 다양한 곡선 적합 기법과 Fourier Transform 등이 사용되어 왔다.

가. 하중 응력의 계산, σ_0 :

$$\sigma_0 = \frac{\bar{P}}{A}$$

여기서: \bar{P} = 평균하중

A = 시편단면적

σ_0 = 응력

나. 각 LVDT에 대한 회복 가능한 축방향 변형의 계산, ϵ_0 :

$$\epsilon_0 = \frac{\bar{\Delta}}{GL}$$

여기서: $\bar{\Delta}$ = 평균변위진폭

GL = 게이지 길이

ϵ_0 = 변형률

다. 각각의 LVDT에 대한 동탄성계수의 계산, $|E^*|$:

$$\text{동탄성계수, } |E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$$

라. 각각의 LVDT에 대한 위상각의 계산:

$$\Phi = \frac{t_t}{t_p} \times (360)$$

여기서 : t_i = 응력과 변형률 싸이클의 평균지연시간(sec)

t_p = 응력 1싸이클의 평균시간(sec)

3.11 주곡선(master curve) 개발

- ① 다른 주기와 시험온도를 사용하여 시험이 수행되었을 때 주곡선으로 점탄성재료의 물성을 비교할 수 있다. 다양한 온도에서 수집된 데이터는 하중시간에 대해 상대적으로 이동시켜 다양한 곡선들을 하나의 주곡선으로 정렬할 수 있다. 변환계수(Shift Factor) $a(T)$ 는 특정 온도에 대해 요구되는 이동량(시간의 로그 값)으로 정의된다. 즉, 마스터 곡선에 대해 하중 재하시간을 감소시간으로 나눈 값이 된다.

$$t_r = \frac{t}{a(T)}$$

여기서 : t_r = 감소시간 (Reduce time)

t = 하중재하 시간(time of loading)

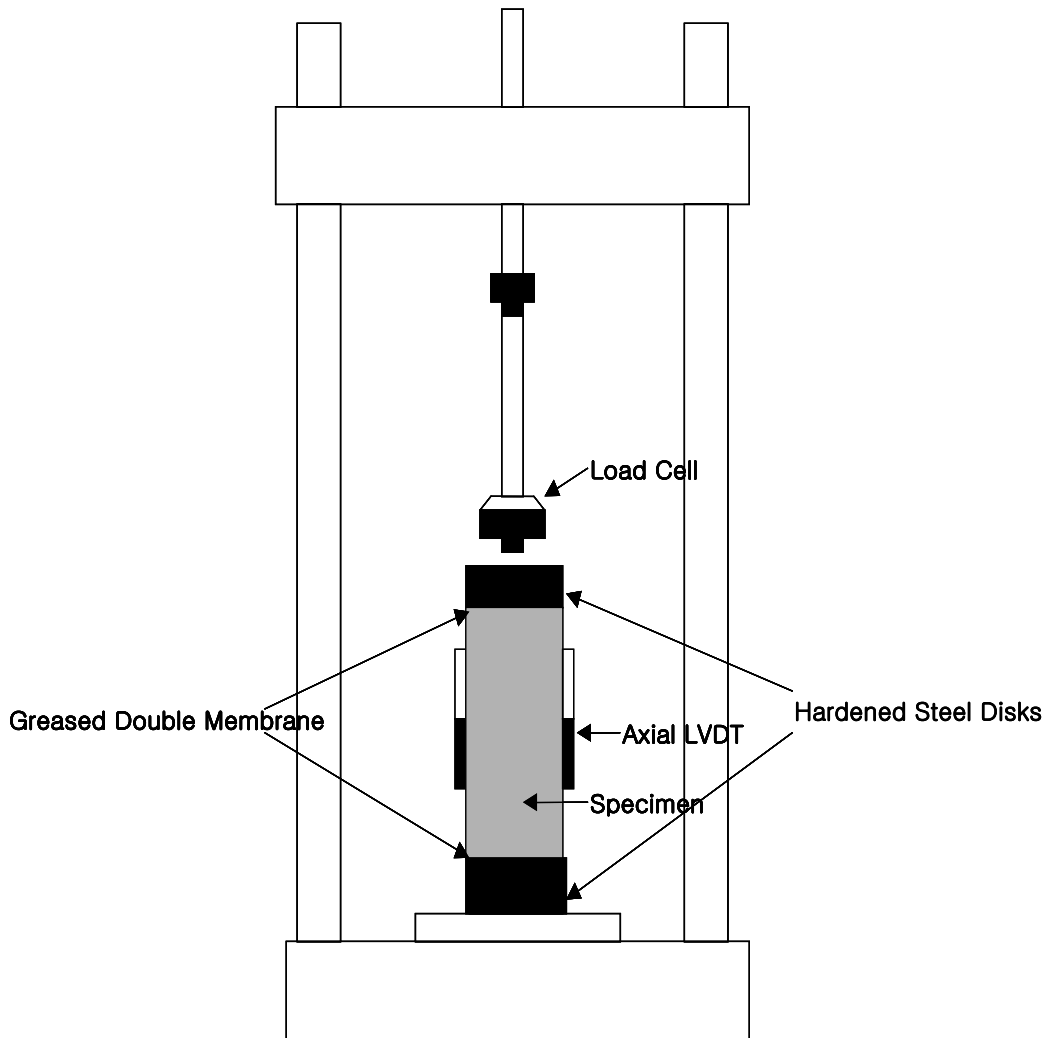
$a(T)$ = 변환계수(Shift Factor)

이 개념은 <그림 3.1>에 묘사 되어있다. 실험실에서 측정된 동탄성계수 시험데이터가 21.1°C의 기준온도 T_0 로 이동하여 하나의 주곡선을 형성하는 것을 볼 수 있다.

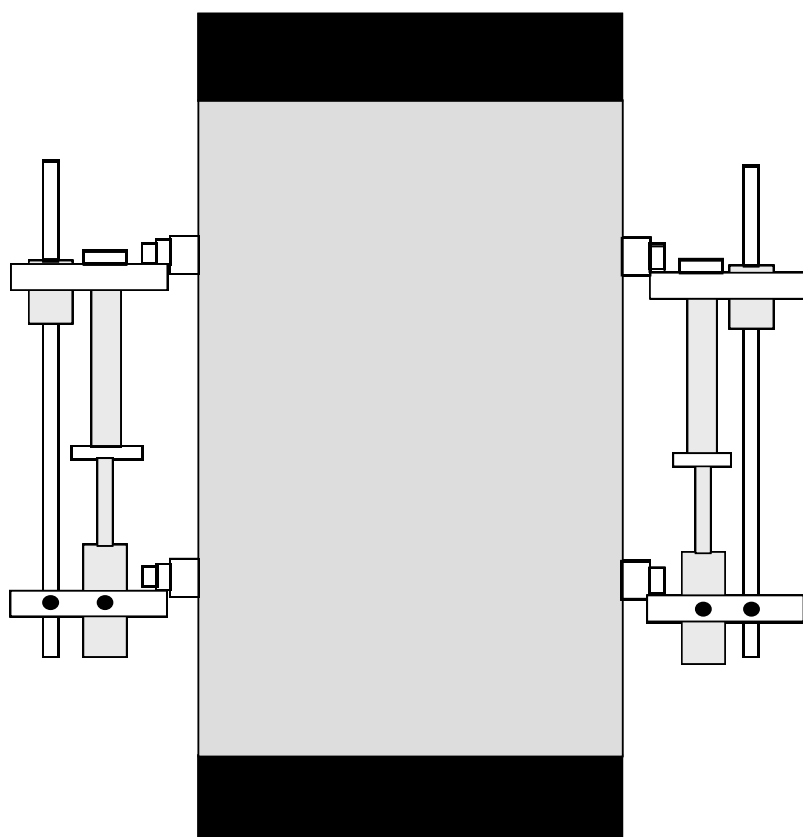
- ② 주곡선을 형성하는 기준온도(reference temperature)는 임의의 온도를 선택하면 된다.
- ③ 아스팔트와 혼합물에 대한 $a(T)$ 와 온도와의 관계를 나타내기 위해 다양한 함수들이 사용되어 왔다. 그중 하나는 numerical optimization 또는 excel 프로그램의 Solver function 있다. 또한 William, Landel and Ferry(WLF)과 Arrhenius function 이 사용되어 왔다.
- ④ 여러 연구자들이 HMA의 주곡선을 만들기 위해 재료의 거동특성을 수학적으로 모델링 하는데 최소한 3개 이상의 여러 함수들을 사용하였다. 시간과 주기의 의존성에 있어서, 적어도 저온 및 중간 온도에서는 generalized power law가 폭넓게 받아들여졌다. 높은 온도의 데이터가 포함되어 있으면 다항식 (polynomial function)이나 단항식(sigmoidal function)이 사용되었다. 다항식을 사용하여 적합시킬 때 주의를 해야 한다. 데이터의 범위 바깥을 추정할 때는 낮은 온도와 높은 온도에서 예측값의 변동이 심하게 된다. generalized power law와 단항식(sigmoidal function)은 점차적으로 제한된 강성값으로 근접하게 되므로 측정된 데이터의 범위 밖에서도 예측이 가능하다.

3.12 보고서

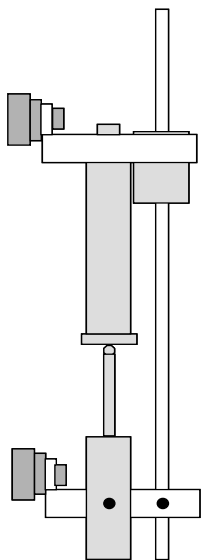
- ① 각 시험된 온도-주기 조합에 대한 평균응력과 평균변형을 기록한다.
- ② 각 LVDT에 있어 시험된 온도-주기 조합에 대한 동탄성계수와 위상각을 기록한다.
- ③ 각 측정값으로부터 구한 평균 동탄성계수와 위상각을 사용하여 시험시편의 동탄성계수와 위상각을 기록한다.
- ④ 완성된 주곡선을 기록한다.



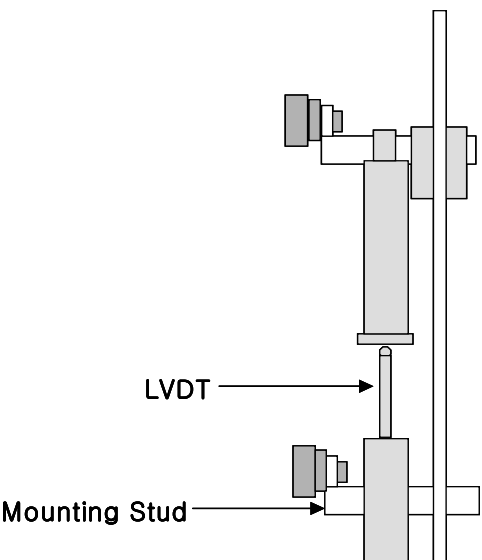
〈그림 3.1〉 동탄성계수 시험기기 세팅



〈그림3.2〉 LVDT 설치 방법



Lateral View



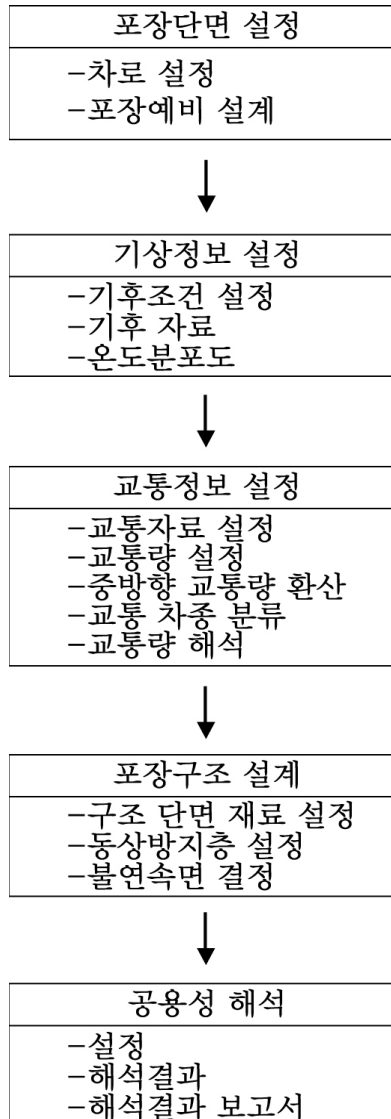
Longitudinal Cross-Section

〈그림 3.3〉 LVDT 고정장치

부록 4. 아스팔트 콘크리트 포장설계(예)

4.1 설계요구조건

아스팔트 콘크리트의 포장설계를 위하여 다음과 같은 설계흐름으로 설계를 실시한다.



〈그림 4.1〉 설계흐름도

1) 과업정보 입력

설계 해석 프로그램을 작동시키면 프로젝트 정보입력이 다음 <그림 4.2> 과업 정보 입력창이 나타난다. 노선명과 과업명, 작성기관 등 창에 나타난 모든 정보를 입력하도록 한다. 교통량 및 설계의 중요성에 따라서 설계등급을 결정한다. 덧씌우기 포장 구조 설계를 수행할 경우에는 포장 구조 설계 구분을 신설에서 덧씌우기로 변경한다. 과업 정보 입력창에서 과업명은 입력된 과업의 정보가 저장되는 파일명이 되므로 이전파일과 겹치지 않도록 주의한다. 도로구분 정보는 입력된 교통량 분포에 영향을 미치고 설계속도는 포장의 물성에 영향을 미치므로 과업의 목적에 맞게 적절히 선택하여 적용한다.

과업 정보 입력

기본 정보

노 선 명 : 제3 경인고속도로

과 업 명 : 부천 1공구

작 성 기 관 : 중앙 엔지니어링

설 계 일 자 : 2011-09-08

교통개방일자 : 2011-09-08

설계정보

시 점 : 종 점 :

면 장 :

도 로 구 분 : 고속국도 도시지역

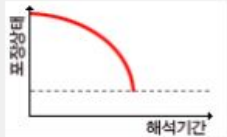
설계속도(km/h) : 100

설계등급 및 포장 선택

공 용 기 간 : 20

설 계 등 급 : 2 포 장 형 식 : 아스팔트 콘크리트

포장 설계 구분 :
신설



확인 취소

<그림 4.2> 정보입력

2) 횡단설정

횡단설정에서는 차로수, 차로폭, 길어깨에 관련된 횡단정보를 설정한다. 다음 <그림 4.3>의 횡단설정에서 차로수는 양방향을 의미하며, 차로폭, 길어깨 폭이 각각 3.6m 및 1.5m의 기준값으로 설정되어 있다. 설계 조건에 맞게 차로수, 차로폭, 길어깨에 대한 정보를 수정하도록 한다.

횡단설정

횡단설정
차로수 : 4
차로 폭(m) : 3.60

길어깨설정
길어깨종류 : 아스팔트 콘크리트
길어깨 폭(m) : 1.50

양방향 4차로

1.50, 3.60, 3.60, 3.60, 3.60, 1.50

다음단계 >

<그림 4.3> 차로설정

3) 예비단면설계

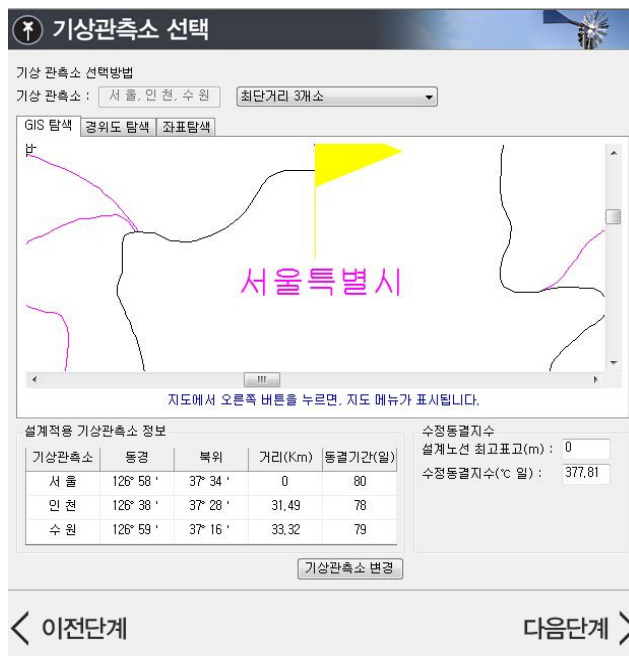
층 구조는 설계자가 설계프로그램 내에서 선택할 수 있으며 본 예제에서는 포장단면 두께를 아스팔트 표층, 아스팔트 중간층, 아스팔트 기층, 보조기층, 노상으로 구성하였고 각 층 재료의 탄성계수는 설계등급에 따라 실내시험이나 설계 데이터베이스를 이용하여 설계자가 입력할 수 있다. 두께는 m의 단위로 되어 있으며, 각 층별 최소 및 최대 두께에 대한 제한이 있으므로 이를 유의하여 입력하도록한다.



〈그림 4.4〉 예비단면설계

4) 기상관측소 선택

기상관측소 선택에서는 설계지역에 맞게 근접한 기상관측소를 선택할 수 있다. 먼저 설계 지역에 가까운 최단거리 3개소 또는 1개소를 선택할 수 있다. 일반적으로 최단거리 3개소의 기상정보를 이용하여 평균하는 것이 바람직하나, 설계구간의 위치 특성상 최단거리 3개소를 선택할 수 없는 경우에는 최단거리 1개소를 선택하도록 한다. GIS 탐색 탭에서는 마우스를 이용하여 지도를 이동시키면서 선택하며, 경위도나 좌표를 알고 있을 경우에는 관련 탭을 선택하여 숫자를 직접 입력하도록 한다. 선택된 기상관측소의 정보는 설계 적용 기상관측소 정보에 나타나며 이에 따른 수정동결지수가 계산되어 화면 오른쪽 아래에 나타난다. 임의로 기상관측소를 변경하려는 경우에는 아래 기상관측소 변경 버튼을 눌러 개별적으로 변경할 수 있다.



〈그림 4.5〉 기상관측소 선택

5) 기상자료 분석

기상자료 분석에서는 위에서 선택한 기상관측소 자료를 이용하여 결정된 온도 및 강수량 정보를 월별 그래프 또는 표로 확인할 수 있다.



〈그림 4.6〉 기후자료

6) 교통량 입력

앞선 입력과정에서 결정된 자료가 설계 정보에 나타나며, 이외의 AADT 예측방법 및 예측값에 따라서 다음 그림에 나타나 있는 바와 같이 AADT를 입력한다. 증가율 미적용을 선택할 경우에는 개방년도 AADT가 공용기간동안 변화하지 않는 것으로 가정된다. 개방년도 AADT를 입력한 후에는 교통량 초기화 버튼을 눌러서 프로그램 내부에 탑재된 교통량 분포에 관련된 계수들을 적용할 수 있도록 한다. 방향계수와 차로계수는 앞선 차로수와 도로등급 설정에 의하여 결정된 기본값이 나타나 있으나, 설계자의 판단에 따라 적절한 값을 입력할 수 있다.

교통량 입력

설계 정보
 시 점 : 33 종 점 : 33 설계지역 구분 : 도시지역
 도로 등급 : 고속국도 설계속도(km/h) : 100
 방향 설정 : 양방향 차로 수 : 4
 공용개시년도 : 2011년 9월

교통량 예측방법
☐ 교통수요 예측자료 ☒ 증가율 미적용
☐ 선형 증가율(%) ☐ 비선형 증가율(%)

차종별 교통량
 개방년도 AADT : 30000 **교통량 초기화**
 < 2011 >

구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종
AADT	18912	1164	3666	3069	909	567	504	195	33

교통량 환산 계수

방향계수	0.55
차로계수	0.90

시간별 교통량 비율

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9
비율(%)	1.43	0.94	0.69	0.58	0.65	1.18	2.92	5.84	6.49

< 이전단계 다음단계 >

〈그림 4.7〉 교통량 차로 설정

7) 차종/시간별 교통량 분석

차종/시간별 교통량 분석에서는 위의 과정에서 입력받은 교통량 정보를 이용하여 시간대별, 차종별 교통량이 각 년도 별로 나타난다. 증가율을 적용한 경우에는 년도 양 옆의 화살표를 이용하여 다음연도 또는 이전연도의 시간대별, 차종별 교통량을 확인할 수 있다. 시간별 교통량 표 아래의 월별 교통량 표는 각 월별 AADT를 나타내고 있다.

차종/시간별 교통량 분석

2011

시간별 교통량

구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종
1시	270	17	52	44	13	8	7	3	0
2시	178	11	34	29	9	5	5	2	0
3시	130	8	25	21	6	4	3	1	0
4시	110	7	21	18	5	3	3	1	0
5시	123	8	24	20	6	4	3	1	0
6시	223	14	43	36	11	7	6	2	0
7시	552	34	107	90	27	17	15	6	1
8시	1104	68	214	179	53	33	29	11	2
9시	1227	76	238	199	59	37	33	13	2
10시	1014	62	196	164	49	30	27	10	2
11시	1050	65	203	170	50	31	28	11	2
12시	1040	64	202	169	50	31	28	11	2
13시	997	61	193	162	48	30	27	10	2
14시	1076	66	209	175	52	32	29	11	2
15시	1135	70	220	184	55	34	30	12	2
16시	1152	71	223	187	55	35	31	12	2
17시	1173	72	227	190	56	35	31	12	2
18시	1286	79	249	209	62	39	34	13	2

월별 교통량

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
차량대수	27300	26400	29700	30900	30600	29700	27600	30300	32400
비율	0.84	0.81	0.92	0.95	0.94	0.92	0.85	0.94	1.00

< 이전단계

다음단계 >

〈그림 4.8〉 교통량 설정

8) 설계차로 교통량 분석

설계차로 교통량 분석에 나타나는 숫자는 차로계수, 방향계수 등을 적용하여 실제 설계에 사용되는 값을 나타내고 있다. 이는 다음 차측별 교통량을 환산하는데 기본 자료로 활용된다.

설계차로 교통량 분석									
설계차로 시간별 교통량									
구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종
1시	134	8	26	22	6	4	4	1	0
2시	88	5	17	14	4	3	2	1	0
3시	65	4	13	10	3	2	2	1	0
4시	54	3	11	9	3	2	1	1	0
5시	61	4	12	10	3	2	2	1	0
6시	110	7	21	18	5	3	3	1	0
7시	273	17	53	44	13	8	7	3	0
8시	547	34	106	89	26	16	15	6	1
9시	608	37	118	99	29	18	16	6	1
10시	502	31	97	81	24	15	13	5	1
11시	520	32	101	84	25	16	14	5	1
12시	515	32	100	84	25	15	14	5	1
13시	493	30	96	80	24	15	13	5	1
14시	533	33	103	86	26	16	14	5	1
15시	562	35	109	91	27	17	15	6	1
16시	570	35	111	93	27	17	15	6	1
17시	580	36	113	94	28	17	15	6	1
18시	637	39	123	103	31	19	17	7	1
설계차로 월별 교통량									
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
차량대수	12474	12029	13662	14108	13959	13662	12623	13959	14860
비율	0.84	0.81	0.92	0.95	0.94	0.92	0.85	0.94	1.00

〈그림 4.9〉 중방향 교통량 환산

9) 차종별 차축구성

차종별 차축구성에서는 각 종별 차축형태와 각 차종내 차축의 하중별 분포를 확인할 수 있다. 다음 그림은 차종별 차축구성을 숫자 또는 그림으로 나타내고 있으며, 차축 구성도를 선택하여 각 차축의 하중별 분포를 확인할 수 있다.

차종별 차축구성						
차종	차축 구성	차축 구성도	축 구분			
			단축단륜	단축복륜	복축복륜	삼축복륜
1종 (승용차/소형버스)	2축 4륜		2	0	0	0
2종 (중형버스)	2축 6륜		1	1	0	0
3종 (대형버스)	2축 6륜		1	1	0	0
4종 (소형트럭 A)	2축 6륜		1	1	0	0
5종 (중형트럭 B)	3축 10륜		1	0	1	0
6종 (중형트럭 C)	4축 12륜		1	1	1	0
7종 (중형트럭 D)	5축 16륜		1	1	0	1
8종 (중형트럭 E)	4축 14륜		1	1	1	0
9종 (대형트럭 F)	4축 14륜		1	1	1	0
10종 (대형트럭 G)	5축 18륜		1	0	2	0
11종 (대형트럭 H)	5축 18륜		1	0	2	0
12종 (대형트럭 I)	6축 22륜		1	0	1	1

< 이전단계
다음단계 >

〈그림 4.10〉 차축구성

10) 재료 물성 입력

재료물성 입력은 설계등급별 또는 층별 다르게 입력되는데, 아스팔트 표층과 중간층의 경우에는 동일한 재료를 선택하여 적용한다. 설계등급 1에서 아스팔트 표층, 중간층, 기층의 재료물성은 동탄성계수 실험을 한 결과를 입력하게 되어 있으며, 보조기층, 설펜기층, 노상의 경우에는 삼축실험을 통하여 얻어진 계수를 입력하도록 되어있다. 설계 등급 2에서 이미 실험이 진행된 아스팔트 혼합물을 사용할 경우에는 포장재료선택(DB 활용)을 선택한 후, 골재와 바인더를 선택하여 설계를 진행할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 기초실험자료입력(관계식활용)을 이용하여 골재 입도, 아스팔트 점도 특성, 아스팔트 혼합물 부피 특성 등을 직접 입력하여 설계를 진행하도록 한다.

포장 재료물성 입력

포장재료선택(DB활용) ▼

포장재료선택(DB활용)

골재 입도 : 밀입도 13mm ▼

아스팔트종류 : PG64-22 ▼

기초실험자료입력(관계식활용)

골재 입도		아스팔트 점도 특성	
20mm 누적 잔류율(%) :	0	A : 10.98	VTS : -3.68
9.5mm 누적 잔류율(%) :	17	아스팔트 혼합물 부피 특성	
2.5mm 누적 잔류율(%) :	41	아스팔트 유효 함량(Veff)(%) : 10.1	
0.08mm 통과율(%) :	6	공극률(%) : 4	
		아스팔트 함량(%) : 5.1	

확 인
취 소

〈그림 4.11〉 아스팔트 단면 재료 설정

4.1.1 동상방지층 설계

동상방지층 설계에서는 설계지역 조건에서 얻어진 온도 등의 정보를 이용하여 프로그램 내부에서 결정된 값을 나타내며, 특별한 경우가 아닌 경우에는 출력된 결과를 확인하면 된다.

4.1.2 공용성 해석

설계 공용성 및 신뢰도 입력에서는 설계수준에 따라 피로균열, 영구변형, 평탄성의 공용성 기준값을 입력한다. 신뢰도 또한 신뢰도 수준에 따라서 값을 입력하며, 다음단계 버튼을 눌러서 공용성 해석을 진행한다.

설계공용성 및 신뢰도 입력

피로균열
설계기준(%) : 20

영구변형
허용깊이(cm) : 1.3

평탄성지수(IRI)
설계기준(m/km) : 3.5

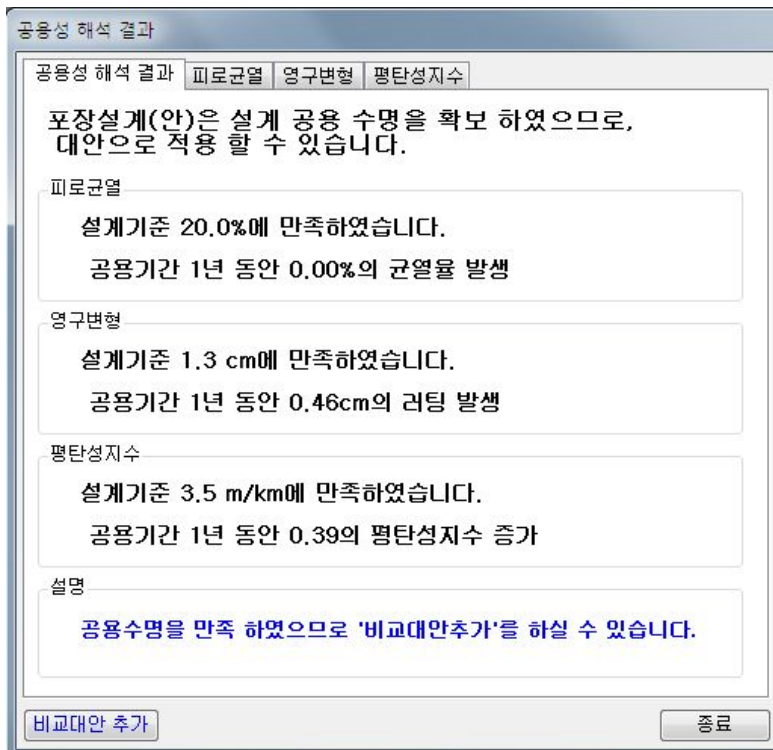
신뢰도(%)
50

< 이전단계 다음단계 >

〈그림 4.12〉 공용성 기준

4.1.3 공용성 해석 결과

입력된 물성 및 두께 조건이 주어진 환경 및 교통하중에 대하여 설정된 공용수명을 만족시킬 경우에는 다음과 같은 결과가 나타난다. 공용수명을 만족시킨 대안에 대해서는 공용기준과 실제 발생한 공용지표들의 차이를 확인하여, 보다 효율적인 비교대안에 대하여 설계결과를 확인할 수 있다. 이를 위해서는 왼쪽 아래의 비교대안 추가 버튼을 눌러 단면의 두께를 조정하거나 재료를 변경하도록 하며, 그렇지 않은 경우에는 종료 버튼을 눌러 설계를 종료한다.



공용성 해석 결과

공용성 해석 결과 | 피로균열 | 영구변형 | 평탄성지수

포장설계(안)은 설계 공용 수명을 확보 하였으므로, 대안으로 적용 할 수 있습니다.

피로균열

설계기준 20.0%에 만족하였습니다.
공용기간 1년 동안 0.00%의 균열율 발생

영구변형

설계기준 1.3 cm에 만족하였습니다.
공용기간 1년 동안 0.46cm의 러팅 발생

평탄성지수

설계기준 3.5 m/km에 만족하였습니다.
공용기간 1년 동안 0.39의 평탄성지수 증가

설명

공용수명을 만족 하였으므로 '비교대안추가'를 하실 수 있습니다.

비교대안 추가 종료

〈그림 4.13〉 공용성 해석 결과

Ⅱ 편

시멘트 콘크리트 포장 구조 설계

목 차

1. 총 칙	1
1.1 적용범위	1
1.2 관련규정의 적용	4
1.3 용어의 정의	4
2. 사전 설계절차	8
2.1 적용범위	8
2.2 설계구간 길이 결정	8
2.3 포장형식 결정	12
2.4 설계등급 결정	13
2.5 설계대안 단면 결정	15
3. 설계입력변수	22
3.1 개 설	22
3.2 설계등급 1	22
3.2.1 교통량	23
3.2.2 환경특성	31
3.2.3 하부구조 재료물성	32
3.2.4 시멘트 콘크리트 포장 재료물성	38
3.3 설계등급 2	39

3.3.1 교통량	39
3.3.2 환 경	42
3.3.3 하부구조 재료물성	43
3.3.4 시멘트 콘크리트 포장 재료물성	45
4. 구조 해석	52
4.1 개 설	52
4.2 유한요소해석	53
4.3 회귀분석식	55
5. 공용성 해석	58
5.1 일반사항	58
5.2 공용성 예측	58
5.3 피로균열	59
5.4 스폐링 모형	60
5.5 국제평탄성지수(IRI) 모형	61
6. 경제성 분석	64
6.1 일반사항	64
6.2 생애주기비용 분석	64
6.3 경제성 분석 방법	66
7. 설계등급 3	68
7.1 일반사항	68

7.2 교통조건	68
7.3 노상조건	69
7.4 설계단면	70
8. 연속철근 콘크리트 포장설계	74
8.1 일반사항	74
8.2 설계 입력 변수	74
8.3 구조해석	78
8.4 공용성 예측	79
부 록	85

1. 총 칙

1.1 적용범위

- (1) 본 요령은 도로법에 규정된 각종 시멘트 콘크리트 포장도로(고속국도, 일반국도, 특별시도, 광역시도, 지방도, 시·군·구도)와 기타 일반 공중에 이용되는 중요 시멘트 콘크리트 포장도로의 단면 설계에 대한 것이다.
- (2) 본 요령은 시멘트 콘크리트 포장의 단면 설계에 적용하는데 있어 필요한 사항에 대하여 규정한다.
- (3) 본 요령에 따른 포장 단면설계는 해석 프로그램을 이용하여 시행한다.

【해 설】

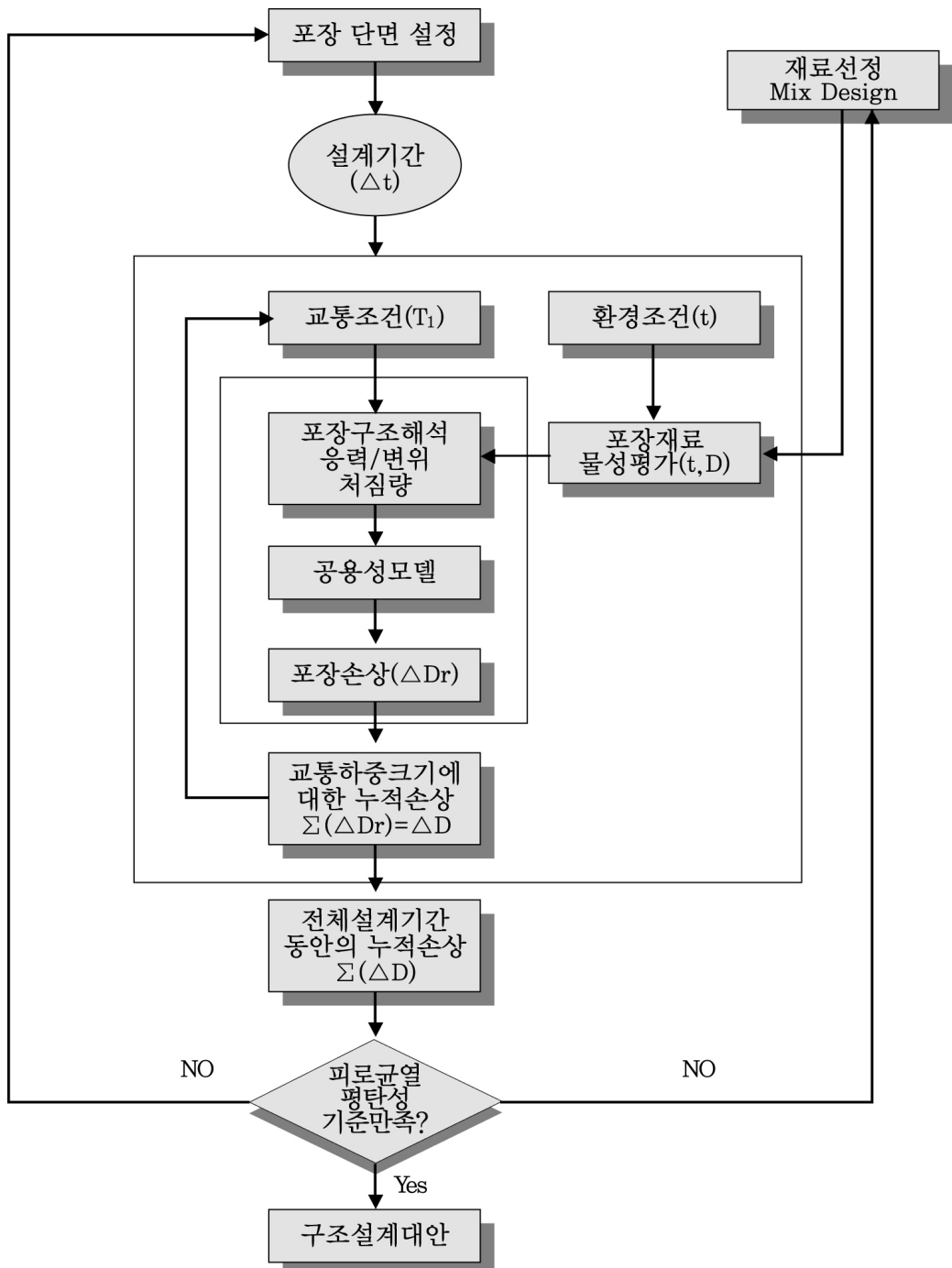
시멘트 콘크리트 포장의 역학적-경험적 설계 방식은 기존의 경험적 설계와 달리 정량화된 입력변수와 해석 모형을 바탕으로 포장 거동을 추정하고 경험적인 파손예측 모형을 통해 공용성을 예측하는 과정을 따른다.

설계 입력변수에 대한 값들을 현장조건에 맞게 결정한 후(예비설계단계), 구조해석 모형을 통해 응력 및 처짐 등과 같은 구조적 거동을 예측한다. 구조적 해석 결과를 이용하여 균열 및 국제평탄성지수(IRI)를 예측한다. 평탄성의 예측은 초기 건설될 당시의 평탄성과 추정된 균열과 스펙링 등에 의해 결정된다. 설계 신뢰도는 입력변수로서 포장 파손과 평탄성을 산정하는데 고려된다.

시멘트 콘크리트 포장에 대한 전반적인 설계과정을 <그림 1.1>에 나타내었고, 중요한 내용은 다음과 같다.

- (1) 포장 구조 설계하는 지역의 상태에 적합한 초기 단면 설계(Trial Design)를 한다. 교통량, 기후조건, 토질조건, 포장층의 조합, 시멘트 콘크리트 및 다른 재료 물성, 그리고 설계 및 시공 조건 등을 고려한다.
- (2) 해석에 필요한 교통량, 재료, 기후 등의 인자들에 대한 월별 입력값을 산정한다.
- (3) 설계 종료 시 유지되어야 할 균열 및 국제평탄성지수(IRI)에 대한 허용기준을 선정한다.
- (4) 불연속면 설계를 수행한다. 줄눈간격, 타이바/다웰바, 줄눈채움재 설계를 진행하고 초기 단면설계 시 가정한 불연속면 설계와 허용 범위 내에 있을 시 다음 단

- 계로 진행되는 반면 범위 외에 있을 경우, 다시 줄는 설계로 되돌아가서 (2)항, (4)항을 반복 수행한다.
- (5) 본 설계에서 제시된 회귀분석식을 이용하여 포장의 구조적 거동(Structural Responses)을 계산한다. 전체의 설계기간에 대하여 각 축 형태 및 하중에 따른 각각의 한계응력을 반복 계산한다.
 - (6) 개발한 피로손상(Fatigue Damage)모형을 이용하여 매월별로 포장의 손상을 예측한다.
 - (7) 전체의 설계기간에 대하여 매월별로 누적된 손상을 계산한다.
 - (8) 누적 손상을 이용하여 시멘트 콘크리트 포장의 균열율을 계산한다. 더불어 추정된 스펀링과 균열율을 이용하여 해당 년도의 평탄성을 계산한다.
 - (9) 예비설계의 기대 공용성을 주어진 신뢰도 수준에서 적합한지를 평가한다.
 - (10) 예비설계가 공용성 기준을 만족하지 못하면, 설계를 변경한 후 다시 위의 (3)항부터 (9)항까지의 과정을 반복하여 그 설계가 공용성 기준을 만족할 때까지 수행한다.
 - (11) 목표한 공용성 기준을 만족시키는 설계는 구조 및 기능적 측면에서 실행 가능하여야 한다. 다른 대안단면들을 추가로 작성한 후, 각 대안단면들의 생애주기비용분석 및 경제성 분석을 수행하여 최적 대안을 선정한다.



〈그림 1.1〉 시멘트 콘크리트 포장의 역학적-경험적 설계 절차

1.2 관련규정의 적용

본 요령에 규정되어 있지 않은 사항은 국토해양부의 「국도건설공사설계실무요령」, 한국도로공사의 「고속도로설계실무지침서」 중 시멘트 콘크리트 포장 도로 설계관련 규정에 따른다.

1.3 용어의 정의

본 요령에 사용한 다음의 용어는 문맥상으로 보아 다른 의미로 해석되지 않는 한 다음과 같이 정의된다.

- 「강성(Rigidity, Stiffness)」이라 함은 하중을 받는 구조물이나 부재의 변형에 저항하는 성질, 또는 물질의 단단한 성질을 말한다.
- 「공용성(Performance)」이라 함은 포장의 구조적인 능력과 기능적인 상태를 종합적으로 나타내는 것으로, 이용자 측면에서는 포장도로를 통행하는 차량에 주는 쾌적성 또는 서비스 능력을 의미하기도 한다.
- 「국제평탄성지수(ARI, International Roughness Index)」라 함은 국제적으로 통용되는 포장의 평탄성을 나타내는 값으로, 차량의 단위 주행 거리에 대한 차축의 연직방향 진폭의 누적값을 나타내는 지수를 말한다.
- 「노상(Subgrade)」이라 함은 포장을 지지하고 있는 지반 중에서 포장의 밑면으로부터 약 1m 깊이부분을 말하며, 노체 위에 축조되는 것으로 노면의 교통하중을 널리 분산시켜 노체에 하중의 영향을 작게 하고 안전하게 전달하는 역할을 한다.
- 「단축(Single Axle)」이라 함은 일반승용차와 같이 바퀴축이 인접되어 있지 않은 차축 혹은 자동차의 차축이 횡방향으로 하나로만 구성된 축형태를 말한다.
- 「덧씌우기(Overlay)」라 함은 기존 포장을 절삭 또는 표면처리 후 정해진 두께로 재포장하는 것을 말한다.
- 「변환계수(Shift Factor)」라 함은 마스터곡선을 작성하기 위하여 개별온도에서 계산된 동탄성계수를 기준온도로 변환하는데 사용되는 계수를 말한다.
- 「변환함수(Shift Function)」라 함은 변환계수와 실험온도와의 관계를 나타내는 함수를 말한다.
- 「복축(Tandem Axle)」이라 함은 탠DEM축이라고도 하며, 자동차의 차축이 연속적으로 2개로 구성된 축형태를 말한다.(일반적으로 축간격은 1.3m이내)

- 「**사용자비용**」이라 함은 도로 이용자가 도로의 보수작업으로 인하여 정상적으로 통행을 하지 못하게 되는 경우 주기적으로 지불하는 비용의 합으로, 차량운행비용, 운행지연비용, 교통사고비용 등이 포함된다.
- 「**삼축(Tridem Axle)**」이라 함은 자동차의 차축이 연속적으로 3개로 구성된 축형태를 말한다.
- 「**상대강도계수**」라 함은 AASHTO 도로시험에서 포장의 두께지수(SN)를 산출하기 위하여 도입된 것으로, 포장 각층을 구성하고 있는 재료와 강도를 나타내는 계수를 말한다.
- 「**생애주기비용(LCC, Life-Cycle Cost)**」이라 함은 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기, 처분 등의 각 단계에서 발생하는 비용을 모두 합한 총비용을 말하며, 건설구조물에서 생애주기비용은 기획, 설계비, 건설비, 운용관리비, 폐기처분비 등에 걸쳐 건설구조물의 수명에 필요한 모든 비용을 의미한다.
- 「**성토고**」라 함은 흙쌓기 층의 수직높이 즉, 비탈어깨에서 비탈 끝까지의 수직높이를 말한다.
- 「**쇄석기층**」이라 함은 쇄석을 이용한 도로포장 기층을 말한다.
- 「**원더링(Wandering) 효과**」라 함은 포장체 위를 지나는 차량의 바퀴는 일정한 지점이 아니라 횡방향으로 분포하여 (일반적으로 정규분포로 가정) 주행하게 되며, 이에 따라 포장체에 미치는 응력이나 변형률도 달라지는 것을 의미한다.
- 「**입상층**」이라 함은 잔골재 또는 굵은 골재만을 이용한 포장 층을 말한다.
- 「**입상보조기층**」이라 함은 잔골재 또는 굵은 골재만을 이용한 기층 아래에 위치한 포장 층을 말한다.
- 「**잔존가치**」라 함은 어떤 자산이 다른 목적에 전혀 사용되어질 수 없을 때 자산을 처분함으로써 취득할 수 있는 가치를 폐물가치 또는 잔존가치라 한다. 포장에서의 잔존가치는 분석기간의 마지막 단계에서 투자대안의 가치로 나타내어지며 잔존가치와 관련된 두 가지 기본 구성요소는 잔류가치 (Residual value, 포장 재생에 관련된 순가치)와 공용수명(Serviceable Life)이다.
- 「**전이함수**」라 함은 현장공용성과 이론에 근거한 공용성의 차이를 보정하기 위한 함수를 말한다.
- 「**차종분류**」라 함은 다양한 형태의 차량을 도로의 계획과 건설, 유지관리 등에 기본자료로 활용하기위해 분류하며, 이러한 분류는 활용목적에 부합되도록 한다. 현재 도로포장관련 차종분류는 2006년 개정된 12종 분류방법을 이용한다.
- 「**축하중(Axial Load)**」이라 함은 포장 단면의 축방향으로 작용하는 차량의 축하중을 나타낸다.

- 「**축차응력(Deviatoric Stress)**」 이라 함은 [3축압축시험]에서 축방향응력과 구속응력과의 차를 말한다.
- 「**축하중분포**」 라 함은 축하중 크기와 빈도를 이용하여 도시화한 분포를 말한다. 일반적으로 역학적-경험적 설계에서 교통하중 정량화를 위해 사용된다.
- 「**평탄성(Smoothness, Ride Quality)**」 이라 함은 포장의 평탄한 정도를 말하며 승차감을 표현하는 척도이다. 도로포장의 공용성을 나타내는 중요한 항목으로 사용된다.
- 「**포아송 비(Poisson's Ratio)**」 라 함은 ①세로변형률에 대한 가로변형률의 비를 말한다. ②재료의 비례한계 내에서 균일하게 분포된 축응력으로 인하여 생긴 직각방향의 변형도와 축방향 변형도의 비의 절대치를 말한다.
- 「**피로균열(Fatigue Cracking)**」 이라 함은 반복적인 차량 하중에 의해 포장 층에 피로가 누적되어 발생한 균열로서 도로포장의 중요한 파손형태로서 공용성을 나타내는 중요한 항목이다.
- 「**하부구조(substructure)**」 라 함은 입상재료로 구성된 설편기층, 보조기층 및 노상을 의미한다.
- 「**AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)**」 라 함은 미국 각 주(州)의 도로 및 교통 공무원 협회의 약자로, 1914년에 도로에 관한 각종연구와 기술기준을 작성할 목적으로 미국 각주와 연방정부의 도로국에 의해서 설립된 AASHO가 1973년에 도로교통 전반을 취급하게 되면서 AASHTO로 개칭된다.
- 「**AADTT(Annual Average Daily Truck Traffic)**」 라 함은 설계기간 동안의 연평균일트럭교통량을 말한다.
- 「**AADT(Annual Average Daily Traffic)**」 이라 함은 설계기간 동안의 연평균일교통량을 말한다.
- 「**ADT(Average Daily Traffic)**」 라 함은 평균일교통량을 말하며, 이는 어느 기간 내의 전체 교통량을 그 기간의 일수로 나누어 얻어진 값을 나타낸다.
- 「**생애주기비용 분석(LCCA, Life-Cycle Cost Analysis)**」 라 함은 도로포장설계에 있어서 경쟁관계에 있는 여러 대안 투자방안들 중에서 장기간에 걸친 경제효과를 평가하기 위한 경제성분석을 목적으로 구축된 분석기법을 말하며, 여기에는 초기투자과 장래의 기능저하, 사용자 그리고 대안투자의 전 기간에 걸친 관련비용등을 포괄하고 있다. 또한, 생애주기비용 분석은 투자비용에 대한 최적가치를 확인 하고자 하는 시도로 정의될 수 있다.

- 「**구속응력**」 이라함은 일반적으로 물체의 변형이나 운동을 구속하여 생기는 응력을 말한다.
- 「**다웰바(Dowel Bar)**」 라 함은 시멘트 콘크리트 포장에서 두 콘크리트 슬래브 이음부(줄눈)의 전단 및 휨 보강을 위해 설치하는 강봉을 말한다. 하중전달장치의 역할을 하며 수축 팽창을 원활하게 하기위해 한쪽을 미끄러질 수 있도록 매설한다.
- 「**린콘크리트(빈배합콘크리트)**」 라 함은 단위시멘트량이 $140 \sim 230\text{kg/m}^3$ 으로 비교적 시멘트 사용량이 적은 배합의 콘크리트를 말하며, 7일 압축강도가 5MPa 정도이다.
- 「**복합지지력계수**」 라 함은 슬래브 바로 아래에 가상의 재하판이 놓였다고 가정하고 이 가상의 재하판으로 부터 얻게 되는 슬래브 하부의 전체적인 지지력을 말한다.
- 「**쇄석기층**」 이라 함은 쇄석을 이용한 도로포장 기층을 말한다.
- 「**스폴링(Spalling)**」 이라 함은 스펀링은 시멘트 콘크리트 포장의 가로줄눈 및 세로줄눈과 무작위 임의균열에 발생하기 쉬운 파손의 한 형태를 말한다.
- 「**열팽창계수**」 라 함은 온도변화에의 한 재료길이의 변화를 나타내는 양으로서, 단위온도가 상승하였을 때 단위길이의 재료가 늘어나는 길이로 표시하며, 각 재료마다 고유의 열팽창계수를 가진다.
- 「**열화현상(Deterioration)**」 라 함은 재료의 능력이 떨어지는 현상으로, 콘크리트의 경우 균열이 생기거나 철근이 녹스는 현상을 말한다.

2. 사전 설계절차

2.1 적용범위

- (1) 도로포장의 설계구간 연장 결정에 적용한다.
- (2) 도로포장의 형식 결정에 적용한다.
- (3) 시멘트 콘크리트 포장 구조 설계등급 결정에 적용한다.
- (4) 시멘트 콘크리트 포장 구조 설계대안 단면결정에 적용한다.

2.2 설계구간 길이 결정

- (1) 설계구간 길이는 교통량을 우선으로 결정, 동일 교통량 구간 내에는 노상재료의 탄성계수에 기초하여 결정한다.
- (2) 최소 포장설계구간 길이는 750m로 한다. 최소 포장설계구간은 성토부를 기준으로 한다. 단, 절토부는 성토부의 포장단면을 연장하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 포장설계구간 길이 결정을 위해서는 포장두께 결정이 선행되어야 하며, 포장두께 결정은 설계등급에 따라 이루어진다.

【해 설】

일정두께의 포장단면을 유지하는데 필요한 포장설계구간 연장을 결정한다. 포장단면은 교통량 또는 하부구조의 탄성계수가 급격히 변하지 않는 한 동일단면을 유지한다. 포장단면을 짧은 구간에서 여러 번 변화시키는 것은 시공을 번잡하게 하고 시공단가를 상승시키며 시공불량을 초래할 수 있다. 포장설계구간 연장은 교통량을 우선으로 결정하며, 동일 교통량 구간내에서는 설계입력물성치인 노상재료의 탄성계수에 기초하여 결정한다. 입상 보조기층 및 입도조정 설편기층 재료는 선별된 재료원으로부터 획득함으로 동일 생산된 재료의 탄성계수 차이가 크지 않다.

단면두께를 일정하게 유지하는 최소 포장설계구간 연장(기본구간)은 750m로 한다. 최소 포장설계구간은 성토부를 기준으로 하며, 절토부는 성토부의 포장단면을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

포장설계구간 연장 결정을 위해서는 포장두께 결정을 위한 절차가 선행되어야 한다. 포장두께 결정은 설계입력값으로서 노상과 입상보조기층 및 입도조정 쇄석재료에 대한 탄성계수 결정(설계등급 1 및 설계등급 2만 해당)을 통해 이루어진다. 여기에서 노상의 탄성계수 결정을 위해 예상 도로선형 통과구간 지역 또는 토취장에서 노상재료로 사용할 수 있는 흙 시료를 필요한 수량만큼 채취하여야 한다. 노상재료를 사용하여 탄성계수를 결정하기 위해서는 시험굴(Test Pit)조사를 통해 충분한 양의 교란된 흙 시료를 확보하고, 탄성계수 결정에 필요한 시험을 부록 2. 「포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법」에 따라 계획적으로 실시하여야 한다. 시험굴 조사는 예정 토취장에서 최소 5개소 또는 예상 도로선형 통과구간 지역의 절토부에서 250m 간격으로 실시한다. 시험굴 조사에 대한 상세한 내용은 「도로공사 지반조사 기준」을 참조한다.

설계등급 1에서는 시험굴 당 최소 6개의 삼축압축시험을 위한 시편을 제작할 수 있는 양의 흙 시료를 확보하여야 하며, 설계등급 2에서는 탄성계수 결정을 위한 기초물성시험에 사용할 충분한 양의 흙 시료를 채취하여야 한다. 충분한 양의 흙 시료를 확보하지 못할 경우 시편수의 감소에 따라 단면의 증가를 초래하여 비경제적인 도로설계를 초래할 수 있음에 유의하여야 한다. 시험용 흙 재료로부터 시험굴 당 1개씩의 평균 설계 탄성계수(E_{avg})가 확보되면 서로 인접한 시험굴 위치에서의 평균 설계 탄성계수를 비교하여 단면변화 여부를 결정한다.

설계등급 1에서는 아래의 절차에 따라 포장설계단면과 포장단면연장을 결정한다.

1) 하부구조 설계입력 물성 평가

- ① 설계대상 구간에서 선정 채취된 노상토 및 예상 재료원으로부터 획득된 입상 보조기층, 입도조정기층인 쇄석기층 재료에 대하여 삼축압축시험을 실시한다.
- ② 삼축압축시험 결과를 이용하여 하부구조 구성재료의 탄성계수를 결정한다.

2) 포장설계구간 연장 결정

- ① 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 대표탄성계수를 이용하여 해당 기본구간(750m)에서의 포장단면을 결정한다.
- ② 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 탄성계수 변화를 검토하여 하나의 포장단면으로 설계하는 구간 연장을 아래의 순서에 따라 결정한다.
 - 연접 설계구간과 해당 설계구간 사이 노상의 평균 탄성계수비가 세 배 미만이면 탄성계수가 작은 구간의 포장 단면을 연접구간까지 연장한다.
 - 만일 연접 두 구간에서의 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하면 두

구간의 평균 탄성계수를 이용하여 포장단면을 각각 달리 설계한다.

- 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하는 경우라도 하나의 구간 연장이 750m 이하이면 별도의 설계구간으로 구분하지 않는다.

③ 예외조항

- 구조물과 토공 구간의 접속부 또는 흙쌓기와 흙깎기 경계 구간 등은 시공성을 고려하여 단면두께를 달리할 수 있다.
- 불연속구간에 대한 포장단면 결정은 별도로 규정한다 (「노면 불연속구간 설계지침」 참조).
- 터널구간의 포장단면 결정은 별도로 규정한다(「터널내 포장설계지침」 참조).

설계등급 2에서는 아래의 절차를 이용하여 포장설계 단면과 포장단면 연장을 결정한다.

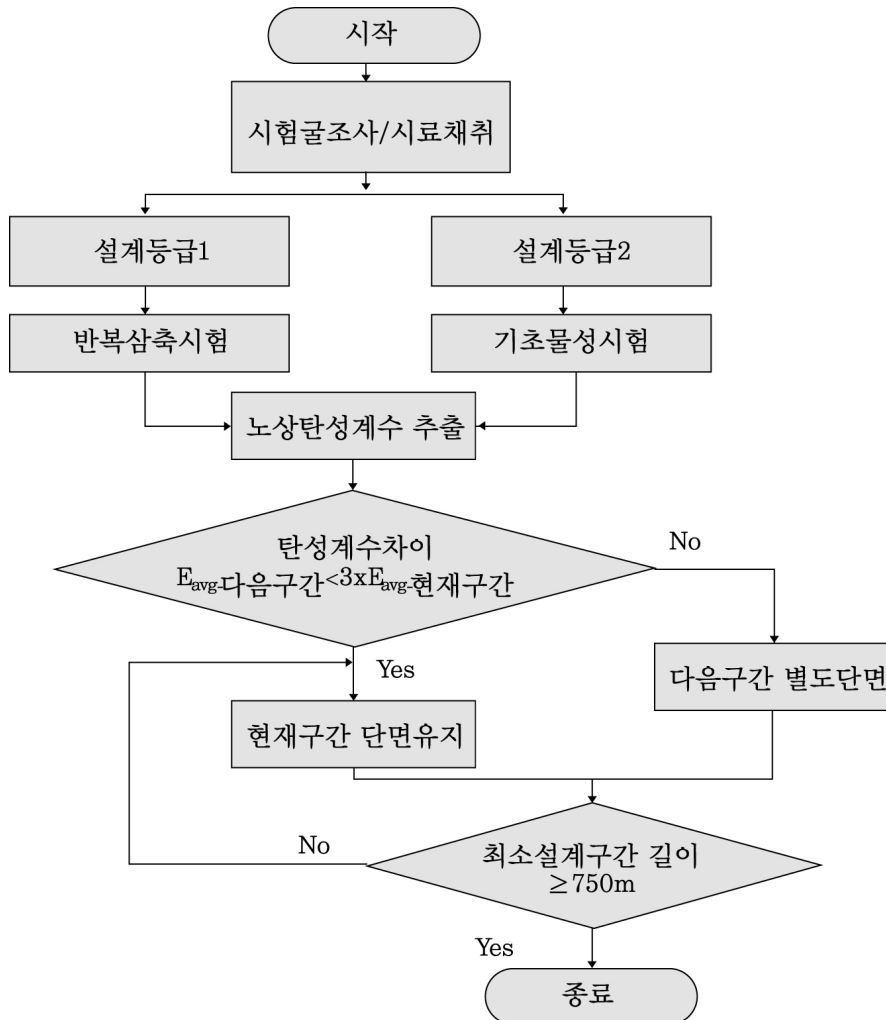
1) 하부구조 설계입력 물성 평가

- ① 설계대상 구간에서 선정 채취된 노상토 및 예상 재료원으로부터 획득된 입상 보조기층, 입도조정 쇄석기층 재료에 대하여 다짐시험과 체가름 시험 등 기초 물성시험을 수행한다.
- ② 기초 물성시험 결과를 이용하여 하부구조의 모델계수 k_1 , k_2 , k_3 를 결정한다.
- ③ 하부구조 모델계수와 20개의 응력조합(부록 2. 「포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법」 참조)을 이용하여 평균 설계 탄성계수를 결정한다.

2) 포장단면 연장 결정

- ① 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 평균 설계 탄성계수를 이용하여 해당 기본 구간(750m)에서의 포장단면을 결정한다.
- ② 노상토와 입상 보조기층 및 입도조정 쇄석기층 재료의 탄성계수 변화를 검토하여 하나의 포장단면으로 설계하는 구간 연장을 아래의 순서에 따라 결정한다.
 - 연접 설계구간과 해당 설계구간 사이의 평균 탄성계수비가 세 배 미만이면 탄성계수가 작은 구간의 포장단면을 연접구간까지 적용한다.
 - 만일 연접 두 구간에서의 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하면 두 구간의 대표 탄성계수를 이용하여 포장단면을 각각 달리 설계한다.
 - 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하는 경우라도 하나의 구간 연장이 750m 이하이면 별도의 설계구간으로 구분하지 않는다.
- ③ 예외조항
 - 구조물과 토공 구간의 접속부 또는 흙쌓기와 흙깎기 경계 구간 등은 시공성을

- 고려하여 단면두께를 달리할 수 있다.
- 불연속구간에 대한 포장단면 결정은 별도로 규정한다 (「노면 불연속구간 설계지침」 참조)
 - 터널구간의 포장단면 결정은 별도로 규정한다(「터널내 포장설계지침」 참조).



〈그림 2.1〉 포장설계구간 연장 결정 절차

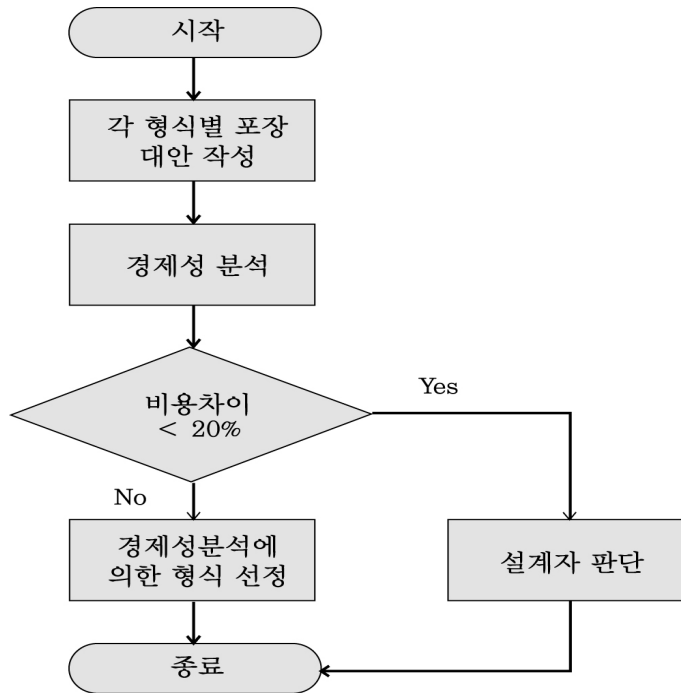
2.3 포장형식 결정

도로포장 구조 설계 초기에 적합한 포장 형식(아스팔트 콘크리트 포장 또는 시멘트 콘크리트 포장)을 선정하도록 한다. 포장 형식 선정을 위해 공용성을 고려한 생애주기비용분석을 통해 비용 효율적인 포장형식을 결정한다.

【해 설】

경제성 분석(생애주기비용 비교)을 바탕으로 합리적인 포장형식을 선정한다. 포장 형식별 초기공사비, 유지보수비 및 공용성 관련비용을 포함한 생애주기비용 분석을 기반으로 하며, 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장의 공용성 관련 비용은 포장의 강성 및 평탄성에 따른 소음도 및 주행 쾌적성으로 결정한다. 생애주기비용 분석의 특성상 동일한 비용은 제외한다. 전반적인 포장 형식 선정과정은 <그림 2.2>에 나타나 있고, 자세한 절차는 아래와 같다.

- ① 설계하는 대상 구간의 입력변수에 따라 각 형식별 대안을 선정한다. 이 때, 설계수명을 만족하며 2년 이하의 수명 오차를 나타내는 설계대안을 선정한다.
- ② 생애주기비용 방법을 이용하여 각 대안의 유지보수 및 공용성을 고려한 비용을 산정한다. 유지보수비용의 경우는 각 형식별 연간 평균 유지보수 비용을 이용하여 산정하고 재료 및 시공비는 설계 시점의 비용을 사용한다.
- ③ 두 형식의 비용을 비교하여 그 차이가 일정수준 이하일 경우는 설계자의 판단에 의하여 선정하고 그 이상일 경우는 비용 우위에 있는 형식으로 결정한다. 이 때 판단에 사용되는 비용차이 비율은 20% 이내(열위 포장 비용/우위 포장 비용)로 한다.



〈그림 2.2〉 포장형식 선정 절차

2.4 설계등급 결정

- (1) 도로포장 구조 설계에서는 도로의 중요도와 교통량 등에 따라 설계등급을 결정한다.
- (2) 설계등급은 설계등급 1, 설계등급 2 및 설계등급 3으로 구분하여 각각의 설계등급에 따라 재료물성 및 교통량을 결정한다.
- (3) 필요에 따라 설계입력변수 중 일부를 상위등급의 방법으로 결정하여 사용할 수 있다.

【해 설】

본 요령에서는 도로의 중요도와 교통량 등을 감안하여 도로포장의 설계등급을 〈표 2.1〉과 같이 세 등급으로 구분한다. 설계등급 1의 경우 고속국도 및 일반국도와 같이 교통량 및 중차량이 많은 도로의 포장설계에 적용되며, 교통량 조사자료를 바탕으로 해당 설계구간의 AADT 혹은 AADT 중 5종 이상의 중차량 대수를 통하여 아래 표와 같이 구분한다.

〈표 2.1〉 설계등급

설계 등급	도로등급	설계차량대수	비고
1	고속국도	150,000대 이상	5종 이상의 중차량 대수가 50,000대 이상일 경우에도 설계등급 1로 설계
	일반국도	35,000대 이상	5종 이상의 중차량 대수가 12,000대 이상일 경우에도 설계등급 1로 설계
2	고속국도	150,000대 미만	-
	일반국도	7,000대 이상 35,000대 미만	-
	지방도 및 기타 도로	7,000대 이상	기타 도로는 도로법에 명시된 특별 광역시도, 시도, 군도 및 구도를 의미함
3	일반국도, 지방도 및 기타 도로	7,000대 미만	기타 도로는 도로법에 명시된 특별 광역시도, 시도, 군도 및 구도를 의미함

설계등급별 설계는 기본적으로 동일한 개념에 의해 수행하지만 도로의 중요도에 따라 설계에 필요한 설계입력변수(교통, 환경 및 재료물성)를 결정하는 방식에 차이가 있다. 도로의 중요도가 상대적으로 낮은 경우에는 재료물성 시험이나 교통량 정보수집 등에 있어 상대적으로 간편하게 입력변수를 결정하게 되고, 도로의 중요도가 높을수록 보다 많은 실내시험과 교통 특성에 대한 세밀한 정보를 필요로 한다.

〈표 2.2〉는 설계등급별 포장 재료의 물성 및 교통량 정량화, 설계방법을 정리한 것이다. 설계등급 1과 2에서는 설계 해석 프로그램을 사용하며, 설계등급 3에서는 국내의 대표적인 포장 재료와 교통 특성에 따른 표준 설계단면을 사용한다. 단 설계등급 1의 경우 포장 재료의 물성 결정 시 실내시험을 원칙으로 하나, 실내 시험기 구축 및 포장 전문 인력의 공급이 부족한 국내 여건 등을 감안하여, 설계 요령에 제시되어 있는 포장 재료에 한하여 동일한 조건의 경우라면 데이터베이스(DB, Data Base)화 되어 있는 제안값 및 예측방정식을 사용할 수 있다.

〈표 2.2〉 설계등급에 따른 포장 구조 설계

설계 등급	물성 측정	교통량 측정	설계방법
1	실내시험을 통한 재료의 물성 측정	차종별 교통량 분포 및 축하중 분포 측정	설계 해석 프로그램 사용
2	간단한 실내시험 또는 물성 데이터베이스 및 예측방정식을 사용	데이터베이스화된 축하 중별 교통량 분포 사용	설계 해석 프로그램 사용
3	포장재료의 일반적인 물성 사용	데이터베이스화된 축하 중별 교통량 분포 사용	표준 설계단면 사용

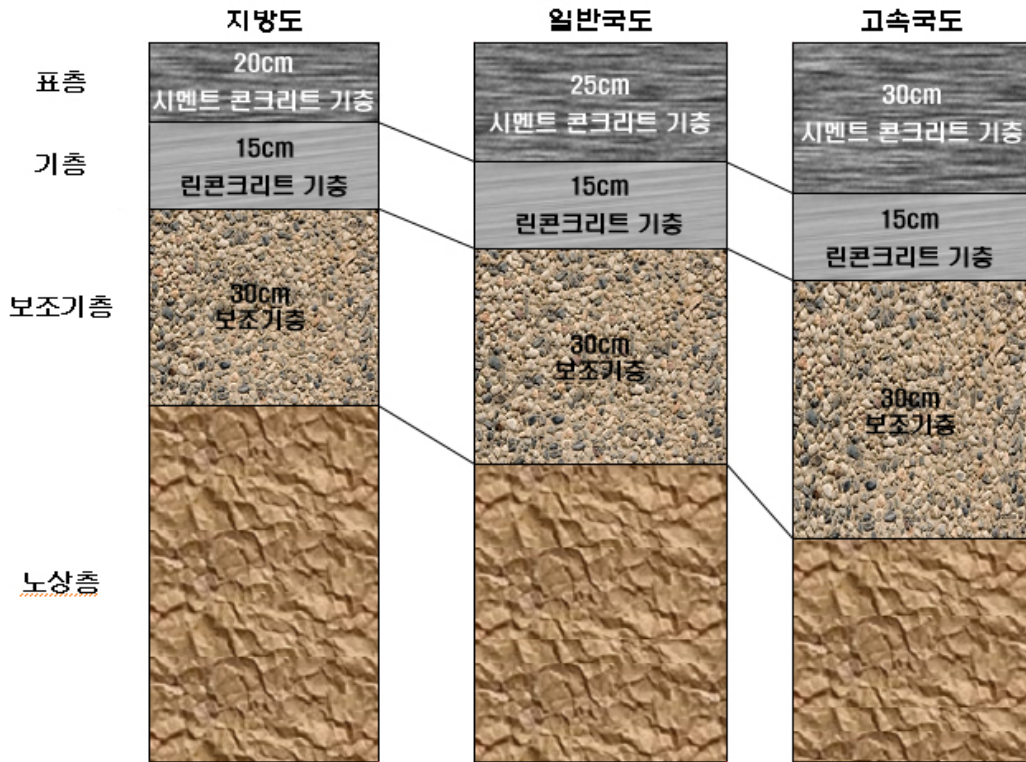
2.5 설계대안 단면 결정

- (1) 포장형식 선정 후 각 포장의 기본설계 단면으로부터 설계대안 단면을 최소 3개 이상 결정한다.
- (2) 기본단면은 고속국도, 일반국도, 지방도로 구분하여 〈그림 2.3〉과 같이 적용한다.
- (3) 설계대안 중 표층 재료는 시멘트 콘크리트 혼합물을 사용한다. 표층에 사용되는 시멘트 콘크리트 혼합물용 골재는 40mm 또는 32mm를 사용할 수 있으며 포틀랜드 시멘트(1종~5종), 특수시멘트, 혼합시멘트를 사용할 수 있다.
- (4) 설계대안 중 기층 재료는 빈배합 콘크리트 골재의 표준입도를 사용한다.
- (5) 설계대안 중 보조기층 재료는 입도번호 SB-1, SB-2를 사용할 수 있다.
- (6) 포장재료 물성과 교통량은 “제3장 설계입력변수”에 의해 결정한다.
- (7) 설계대안 단면에 대한 구조해석(제4장)과 공용성해석(제5장)을 통해 기준에 적합한 설계대안 단면들을 선정한다.
- (8) 선정된 설계대안 단면들의 경제성 분석(제6장)을 통해 최적의 단면을 결정한다.

【해 설】

가. 기본단면 설정

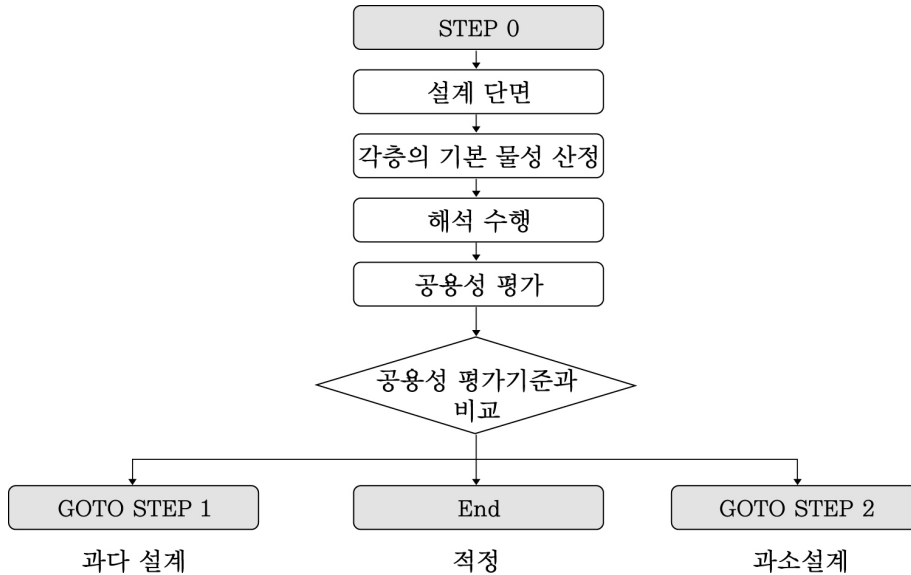
포장형식이 선정되면 각 형식의 기본 단면으로부터 설계대안 단면을 결정한다. 각각의 기본단면은 <그림 2.3>과 같다. 기본단면으로부터 각 포장형식별 대안설계 방법을 통해 다양한 대안을 수립할 수 있다.



<그림 2.3> 시멘트 콘크리트 포장의 기본 설계 단면

나. 대안단면 결정

〈표 2.3〉과 같이 임의로 결정한 기본단면의 두께를 〈그림 2.3〉에서 나타난 절차에 따라 포장층 두께를 변화시켜 대안을 결정한다. 이 때 각 층의 기본 물성을 설계 해석 프로그램에 입력한 결과로 얻어진 공용성 데이터를 바탕으로 대안을 작성한다.



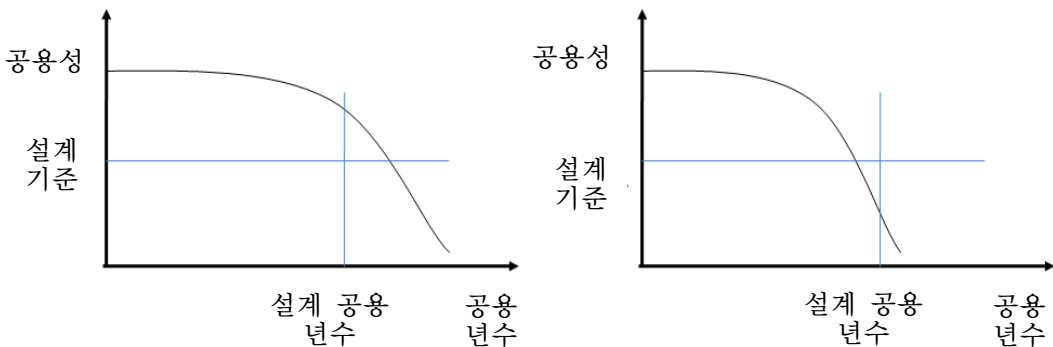
〈그림 2.3〉 대안 단면에 대한 해석 절차

앞 절의 포장형식선정 논리를 통하여 포장의 형식이 시멘트 콘크리트 포장으로 선정되었을 경우, 주어진 예비단면에 대한 구조해석과 공용성 해석을 반복적으로 수행하면서 최적의 단면을 찾는 과정을 거치게 된다.

1) Step 0. 시멘트 콘크리트 구조해석 및 공용성 평가를 통한 수명산정

- ① 초기 설계단면을 이용하여 각 층의 두께, 물성 등을 산정한다.
- ② 산정된 두께와 물성을 이용하여 시멘트 콘크리트 포장설계 해석 프로그램을 이용하여 공용성을 평가한다.
- ③ 공용성 평가결과에 따라 합리적인 시멘트 콘크리트 포장 구조체 설계단면을 산정한다.

- ③-1 <그림 2.4>의 왼쪽 그림과 같이 공용성 평가결과로부터 산정된 수명이 실제 설계수명보다 클 경우, Step 1.로 이동하여 단면을 감소시킨다.
- ③-2 공용성 평가결과로부터 산정된 수명과 실제 설계수명이 20% 이내의 차이를 보일 경우, Step 3.으로 이동하여 경제성 분석을 위한 대안단면으로 선정한다.
- ③-3 <그림 2.4>의 오른쪽 그림과 같이 공용성 평가결과로부터 산정된 수명이 실제 설계수명보다 작을 경우, Step 2.로 이동하여 단면을 증가시킨다.



<그림 2.5> 과소 설계 및 과다 설계 예시

2) Step 1. 과다설계

- ① 상황에 맞는 설계자의 판단에 의하여, 표층을 변경하고자 할 경우 2번 단계로 이동하고, 기층을 변경하고자 할 때는 3번 단계로, 보조기층을 변경하고자 할 때는 4번 단계로, 줄눈 간격을 변경하고자 할 경우는 5번 단계로 이동한다.
- ② 표층의 재료를 하향시킬 수 있을 경우, 하향시키고자 하다면 ②-1번 단계로 이동한다. 표층의 재료를 하향시킬 수 없는 경우, 혹은 하향하고 싶지 않을 경우에는 ②-2번 단계로 이동한다.
 - ②-1 표층의 재료를 하향시켜 변경한 후 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다.
 - ②-2 표층의 두께를 3cm 감소시킨다. 감소된 두께가 시멘트 콘크리트 포장구조체 설계기준에 제시된 표층의 최소두께보다 클 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 감소시킨 표층의 두께가 최소두께보다 작을 경우 표층의 두께는 원래의 두께로 되돌린 후 2번 단계

- 로 이동하여 재료를 하향시키거나, 1번 단계로 이동하여 다른 층의 변경을 모색한다.
- ③ 기층의 재료를 하향시킬 수 있을 경우, 하향시키고자 한다면 ③-1번 단계로 이동한다. 기층의 재료를 하향시킬 수 없는 경우, 혹은 하향하고 싶지 않을 경우에는 ③-2번 단계로 이동한다.
- ③-1 기층의 재료를 하향시켜 변경한 후 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다.
- ③-2 기층의 두께를 5cm 감소시킨다. 감소된 두께가 시멘트 콘크리트 포장구조체 설계기준에 제시된 기층의 최소두께보다 클 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 감소시킨 기층의 두께가 최소두께보다 작을 경우 기층의 두께는 원래의 두께로 되돌린 후 3번 단계로 이동하여 재료를 하향시키거나, 1번 단계로 이동하여 다른 층의 변경을 모색한다.
- ④ 보조기층의 두께를 10cm 감소시킨다. 감소된 두께가 시멘트 콘크리트 포장 구조체 설계기준에 제시된 보조기층의 최소두께보다 클 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 감소시킨 보조기층의 두께가 최소두께보다 작을 경우 보조기층의 두께는 원래의 두께로 되돌린 후 1번 단계로 이동하여 다른 층의 변경을 모색한다.
- ⑤ 줄눈 간격을 50cm 증가시킨다. 증가된 줄눈 간격이 시멘트 콘크리트 포장 구조체 설계기준에서 제시된 줄눈 최대 간격보다 작을 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 증가시킨 줄눈 간격이 최대 간격보다 클 경우 줄눈을 원래의 간격으로 되돌린 후 1번 단계로 이동하여 포장층 두께의 변경을 모색한다.

3) Step 2. 과소설계

- ① 상황에 맞는 설계자의 판단에 의하여, 표층을 변경하고자 할 경우 2번 단계로 이동하고, 기층을 변경하고자 할 때는 3번 단계로, 보조기층을 변경하고자 할 때는 4번 단계로, 줄눈 간격을 변경하고자 할 경우는 5번 단계로 이동한다.
- ② 표층의 재료를 상향시킬 수 있을 경우, 상향시키고자 한다면 2-1번 단계로 이동한다. 표층의 재료를 상향시킬 수 없는 경우, 혹은 상향하고 싶지 않을 경우에는

2-2번 단계로 이동한다.

②-1 표층의 재료를 상향시켜 변경한 후 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다.

②-2 표층의 두께를 3cm 증가시킨다. 증가된 두께가 시멘트 콘크리트 포장 구조체 설계기준에 제시된 표층의 최대두께보다 작을 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 증가시킨 표층의 두께가 최대두께보다 클 경우 표층의 두께는 원래의 두께로 되돌린 후 2번 단계로 이동하여 재료를 상향시키거나, 1번 단계로 이동하여 다른 층의 변경을 모색한다.

③ 기층의 재료를 상향시킬 수 있을 경우, 상향시키고자 하다면 ③-1번 단계로 이동한다. 기층의 재료를 상향시킬 수 없는 경우, 혹은 상향하고 싶지 않을 경우에는 ③-2번 단계로 이동한다.

③-1 기층의 재료를 상향시켜 변경한 후 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다.

③-2 기층의 두께를 5cm 증가시킨다. 증가된 두께가 시멘트 콘크리트 포장 구조체 설계기준에 제시된 기층의 최대두께보다 작을 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 증가시킨 기층의 두께가 최대두께보다 클 경우 기층의 두께는 원래의 두께로 되돌린 후 3번 단계로 이동하여 재료를 상향시키거나, 1번 단계로 이동하여 다른 층의 변경을 모색한다.

④ 보조기층의 두께를 10cm 증가시킨다. 증가된 두께가 시멘트 콘크리트 포장구조체 설계기준에 제시된 보조기층의 최대두께보다 작을 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 증가시킨 보조기층의 두께가 최대두께보다 클 경우 보조기층의 두께는 원래의 두께로 되돌린 후 1번 단계로 이동하여 다른 층의 변경을 모색한다.

⑤ 줄눈 간격을 50cm 감소시킨다. 감소된 줄눈 간격이 시멘트 콘크리트 포장 구조체 설계기준에서 제시된 줄눈 최소 간격보다 클 경우에는 Step 0. 으로 이동하여 구조해석 및 공용성 재평가를 실시한다. 만일 감소시킨 줄눈 간격이 최소 간격보다 작을 경우 줄눈을 원래의 간격으로 되돌린 후 1번 단계로 이동하여 포장층 두께의 변경을 모색한다.

4) Step 3. 여러 대안단면의 경제성 분석을 통한 최적단면의 선정

- ① Step 0에서 Step 2 의 과정에 의하여 산정된 적절한 대안단면들을 생애주기비용 (LCC, Life Cycle Cost) 기법에 의한 경제성 분석을 실시한다.
- ② 경제성 분석을 통하여 최적의 단면을 선정한다.

3. 설계입력변수

3.1 개 설

- (1) 설계입력 변수는 포장의 최적 두께 산정을 위한 기초자료이다.
- (2) 설계입력변수는 설계등급 1, 설계등급 2 또는 설계등급 3으로 구분하여 적용한다. 단, 설계입력변수 중 교통특성 및 환경특성은 설계등급에 상관없이 동일하게 결정한다.
- (3) 설계입력변수는 교통량, 환경특성, 하부구조 재료물성 및 시멘트 콘크리트 재료물성으로 구성된다.

【해 설】

설계입력변수는 공용기간 동안 예비 포장단면의 역학적 거동 및 공용성을 예측하는데 이용되며, 설계등급에 의하여 그 정밀도가 변화한다. 교통량과 재료의 물성은 설계등급에 따라 주어진 데이터베이스를 이용하거나 실제 실측 및 실험을 통하여 결정되지만, 환경변수는 대상 구간의 기상관측소 데이터베이스를 이용하여 결정되므로 설계등급과 무관하게 동일한 방법으로 적용한다.

3.2 설계등급 1

- (1) 고속국도(설계AADT 150,000대 이상 또는 AADT 중 5종 이상의 중차량 대수가 50,000대 이상) 및 일반국도(설계AADT 35,000대 이상 또는 AADT 중 5종 이상의 중차량 대수가 12,000대 이상)에 적용된다.
- (1) 교통량은 현장 교통량 조사를 통하여 차종별 축하중 분포를 측정하여 사용한다.
- (2) 하부구조 및 시멘트 콘크리트 재료 물성은 실내시험을 통하여 결정하는 것이 원칙이나, 본 지침서에 제시되어 있는 포장 재료에 한하여 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에 포함되어 있는 물성을 활용할 수 있다.

3.2.1 교통량

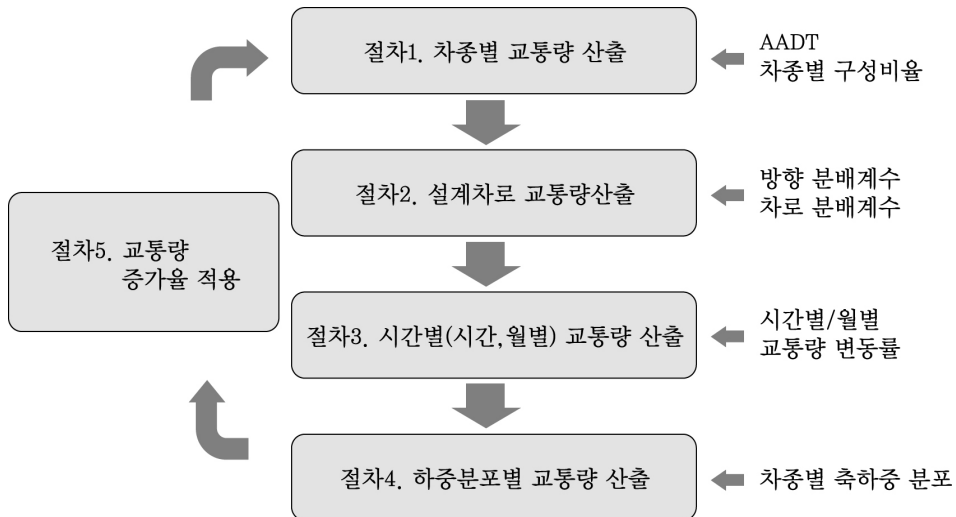
- (1) 도로포장 구조 설계에서는 교통량 산정을 위하여 차종별 축하중 분포를 이용한다.
- (2) 설계등급 1에서는 원칙적으로 현장 조사를 통하여 차종별 축하중 분포를 결정하기 위한 입력값들을 결정한다.
- (3) 차종별 축하중 분포에 따른 교통량을 결정하기 위한 입력값에는 초기년도 연평균일교통량(AADT), 차종별 구성비율, 방향분배계수, 차로분배계수, 시간별 교통량변동률, 월별교통량변동률, 차종별 축하중 분포, 교통량증가율이 포함된다.
- (4) 초기년도 연평균일교통량(AADT)과 차종별 구성비율은 설계구간에 대한 교통 수요 예측자료를 사용한다.
- (5) 방향분배계수, 차로분배계수, 월별교통량변동률, 시간별교통량변동률은 인접지역 교통량 통계자료를 이용한다.
- (6) 교통량증가율은 장래교통량 예측 증가율이나 각 연도별 예측값을 사용할 수 있다.

【해설】

도로포장 구조 설계에서는 필수적으로 도로포장에 직접적으로 영향을 주는 교통조건에 대한 결정이 필요하다. 따라서 본 장에서는 도로포장 구조 설계시 교통조건에 대한 상세한 결정 방법을 다룬다.

일반적으로 도로설계는 도로의 계획 목표연도 동안에 그 도로를 통행할 것으로 예상되는 자동차의 연평균일교통량(AADT)을 산정하여, 서비스 수준에 따른 차로 수 결정 등과 같은 횡단구성을 설계한다. 이러한 횡단구성 설계가 이루어진 후, 포장설계를 실시하게 되는데, 본 요령에서의 교통조건은 도로설계를 위한 계획 교통량인 연평균일교통량(AADT) 보다 좀 더 상세한 교통조건이 필요하다. 즉, 계획교통량으로 사용하는 연평균일교통량은 1년 동안 도로의 어느 지점 또는 구간을 통행한 양방향의 총 차량대수를 1년 동안의 일수로 나눈 교통량으로 대상 도로를 통과하는 차량들의 24시간 교통량을 파악함으로써 교통 수요를 알기 위함이다. 이는 도로의 설계에서 고려해야 할 지역적 특성 및 시간적 특성을 충분히 포함하지 않는 수치이다. 따라서, 본 요령의 포장 구조 설계에서는 지역적 특성 및 시간적 특성을 반영하기 위한 다음과 같은 절차를

수행하여 하중분포별 교통량으로 산출한다.



〈그림 3.1〉 포장설계 시 교통량 산출 절차

(1) 연평균일교통량(AADT)

연평균일교통량(AADT)은 연간 총통행량을 365일로 나눈 값으로 정의한다. 포장 구조 설계에 사용되는 연평균일교통량은 도로 계획에서 산출된 초기년도부터 계획목포연도까지의 매년 평균일 교통량 중 초기년도 값을 기준으로 사용한다.

(2) 차종별 구성 비율

차종별 구성비율이란 국내 차종 분류 기준인 12종 분류 교통량을 연평균일교통량(AADT)으로 나눈 값을 의미한다. 차종별 구성비율이 필요한 이유는 차종형태별로 포장에 미치는 영향이 다르기 때문에, 이에 대한 차종별 교통량을 산출하여 포장의 파손량을 계산하여야 하기 때문이다. 즉, 차종별 구성비율은 연평균일교통량을 차종별 교통량으로 환산하는데 사용한다. 본 요령에서는 설계자의 판단 하에 설계하고자 하는 도로와 비슷한 차종 패턴 지점을 결정하고, 그 지점의 교통량 현장 조사 또는 매년 발행되는 교통량 통계 연보를 활용하여 차종별 구성비율을 결정하도록 한다. 대상 지점의 교통량 현장 조사는 국토해양부에서 발간한 교통조사지침에 근거하여 12차종 분류에

따라 교통량을 수집하여 결정하고, 교통량통계연보 이용 시에는 대상 지점의 12차종별 교통량 자료로 결정한다.

(3) 설계차로 교통량 산출

앞에서 산출된 차종별 연평균일교통량은 도로 내 방향 및 모든 차선을 포함한 교통량으로 설계 시 방향 및 차로에 대한 교통량으로 환산하여야 한다. 설계차로 교통량은 차종별 연평균일교통량에 방향분배계수(Directional Distribution Factor)와 차로분배계수(Lane Distribution Factor)를 곱하여 계산한다. <식 3.1>은 차종별 설계차로 교통량 환산식이다.

$$W_i = AADT_i \times D_D \times D_L \quad \text{〈식 3.1〉}$$

여기서, W_i = i 차종에 대한 설계차로 연평균 일교통량

$AADT_i$ = i 차종에 대한 연평균 일교통량

D_D = 방향분배계수

D_L = 차로분배계수

위 식에서 사용되고 있는 방향분배계수는 중방향 교통량을 전체 교통량으로 나누어 계산되고, 차로분배계수는 2차로 이상(1방향)일 경우에 차로 간 교통량 분담율로 계산된다. 방향 및 차로 분배 계수의 적용 값은 설계자의 판단 하에 원칙적으로 다음의 표와 같은 범위 내에서 결정하도록 하며, 설계 신뢰도를 높이기 위한 교통량 현황조사를 실시할 때는 방향 및 차로에 대한 교통량을 추가적으로 수집하여 적용한다.

〈표 3.1〉 방향 및 차로 분배 계수 범위 값

구분	방향 분배 계수 제시값	구분	편도 차로수	차로분배계수 제시값
고속국도 일반국도 지방도	0.5~0.55	고속국도	4	0.35~0.45
			3	0.45~0.55
			2	0.70~0.90
		일반국도, 지방도	4	0.35~0.45
			3	0.60~0.70
			2	0.80~0.90

(4) 시간별 교통량 변동률

시간별 교통량 변동률은 일일 교통량을 100으로 보았을 때, 각 시간대별로의 비율을 나타낸다. 시간대별 교통량은 앞 절에서 계산된 차종별 연평균일교통량에 시간별 교통량 변동계수를 곱해서 계산한다. 이 값의 결정은 장시간의 교통량 조사를 통하여 얻을 수 있는 것으로 설계등급 1에서는 교통량통계연보 내 상시조사구간의 지점 교통량 자료(최소 1년 이상 자료)를 이용하여 결정한다.

이렇게 결정된 시간별 교통량 변동률을 일일 차종별 교통량에 적용하면 24시간대 별로 나누어 교통량을 산출할 수 있다.

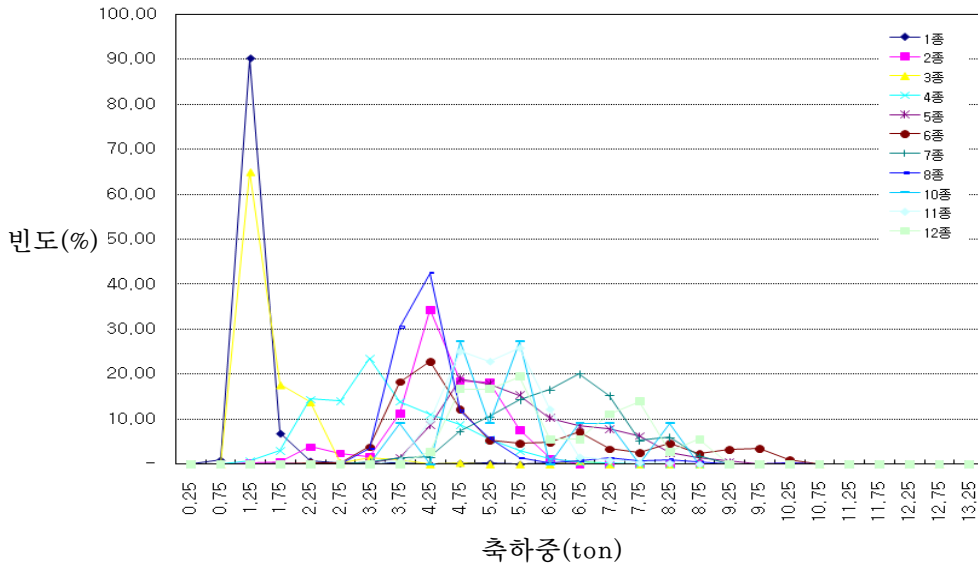
(5) 월별 교통량 변동률

월별 교통량 변동률은 각 월별로 월평균교통량을 연평균교통량으로 나눈 값을 의미한다. 이 값의 결정은 장시간의 교통량 조사를 통하여 얻을 수 있는 것으로 설계등급 1에서는 교통량통계연보 내 상시조사구간의 지점 교통량 자료(최소 1년 이상 자료)를 이용하여 결정한다.

이렇게 결정된 월별교통량변동률을 일일차종별교통량에 적용하게 되면 월별 변동이 고려된 일일차종별교통량으로 나누어 산출할 수 있다.

(6) 차종별 축하중 분포에 따른 교통량 산정

축하중 분포란 전체 도로 주행 차량의 축하중(차종, 축종류 별)을 하중등급에 따라 교통량으로 비율화한 것이다.



〈그림 3.2〉 차종별 단축(Single Axle) 축하중 분포의 예

앞에서 얻어진 월별에 따른 시간대별 차종 교통량에 축하중 분포를 적용하면 하중 등급별로 교통량을 산출할 수 있다. 얻어진 하중 등급별 교통량을 기초로 거동해석을 위한 손상도를 계산하게 된다. 하중 등급별 교통량 산출에 사용되는 축하중 분포는 본 요령 내 〈부록 1〉의 “도로 등급별(고속국도, 일반국도, 지방도) 축하중 분포”로 제시하고 있다. 제시된 축하중 분포는 국내 도로 등급별 평균값으로 일반 설계 시 사용한다. 이와는 별도로, 설계지역의 교통하중 분포 특성을 반영하고자 할 때에는 실제 운행하중을 측정하여 축하중 분포를 이용할 수 있다. 이러한 설계를 위한 축하중 조사는 확장구간 설계일 경우에는 확장구간 내 도로 지점에서 조사하며, 신설 구간 설계일 경우에는 설계자 판단 하에 교통하중 조건이 비슷한 인접 도로 지점으로 조사한다.

(7) 교통량 증가 추정 방법

본 요령에서는 설계기간 동안 매년 연평균일교통량(AADT)의 증가를 추정하기 위한 방법으로 <표 3.2>와 같이 일반적인 4가지 교통량 증가 추정 방법을 제시하고 있다. 도로포장 구조 설계 시 이러한 4가지의 교통량 증가 추정 방법에 대한 적용은 설계자가 최초 도로계획 시 도로 용량 계산을 위해 추정한 방법을 그대로 적용하며, 특별히 포장 구조 설계를 위한 별도의 교통량 증가 추정 방법은 없다.

<표 3.2> 시간에 따른 교통량 추정 방법

교통량 추정 방법	계산식
증가율 미적용	'a' 년 후의 교통량 = $1.0 \times$ 기준년도 교통량
선형 증가율 적용	'a' 년 후의 교통량 = $(1 + \text{증가율} \times a) \times$ 기준년도 교통량
비선형 증가율 적용	'a' 년 후의 교통량 = $(1 + \text{증가율})^a \times$ 기준년도 교통량
5년 추정교통량 적용	기준년도에서 5년 주기의 추정 교통량을 사용자가 입력한 후 보간법을 사용하여 연도별 추정

(8) 포장 구조 설계 시 하중 등급별 교통량 산출 예

절차 1. 차종별 교통량 산출

- 연평균일교통량(AADT) : 50,000대
- 설계 인접지역 또는 비슷한 도로 특성 구간의 차종별 구성 비율

구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종	합계
차종 구성비율	63.04	3.88	12.22	10.23	3.03	1.89	1.68	0.65	0.11	2.54	0.13	0.6	100
산출 교통량	31,520	1,940	6,110	5,115	1,515	945	840	325	55	1,270	65	300	50,000

절차 2. 설계 차로의 차종 교통량 환산

- 방향 분배 계수 : 0.55
- 차로 분배 계수 : 0.8 (편도 2차로 가정)

2종 교통량 계산 : $1,940 \times 0.55 \times 0.8 = 854$ 대(소숫점이하 올림)

구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종	합계
산출 교통량	13,869	854	2,688	2,251	667	416	370	143	24	559	29	132	22,000

절차 3. 시간대별 교통량 산정

- 절차 2에서 얻어지는 2종 일일 평균 교통량 : 854대
- 월별 교통량 변동률

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
0.91	0.88	0.99	1.03	1.02	0.99	0.92	1.01	1.08	1.1	1.08	0.99

- 각 시간별 교통량 변동률(1월 기간대별 교통량 산출);

13:00~14:00 시간대 2종 교통량 산출 : $854 \times 0.91 \times 7.06/100 = 55$ 대

시간대	2차로	산출교통량	시간대	2차로	산출교통량
00:00~01:00	0.87	7	12:00~13:00	6.51	51
01:00~02:00	0.57	4	13:00~14:00	7.06	55
02:00~03:00	0.41	3	14:00~15:00	7.47	58
03:00~04:00	0.36	3	15:00~16:00	7.57	59
04:00~05:00	0.47	4	16:00~17:00	7.53	58
05:00~06:00	0.91	7	17:00~18:00	7.42	58
06:00~07:00	2.32	18	18:00~19:00	7.11	55
07:00~08:00	4.13	32	19:00~20:00	5.07	39
08:00~09:00	5.66	44	20:00~21:00	3.64	28
09:00~10:00	5.65	44	21:00~22:00	2.82	22
10:00~11:00	6.42	50	22:00~23:00	2.01	16
11:00~12:00	6.67	52	23:00~24:00	1.34	10
합계					777

절차 4. 각 하중분포별 교통량 산출

절차 3에서 얻은 13:00~14:00 시간대 2종 교통량 55대 중 아래와 같은 축하중 분포를 적용하여 하중 등급별 교통량 산출

하중(톤)	2종 앞축 축하중 분포비율	하중별 교통량
0.25	0	—
0.75	0	—
1.25	4	2
1.75	12	7
2.25	4	2
2.75	8	4
3.25	12	7
3.75	32	18
4.25	12	7
4.75	4	2
5.25	4	2
5.75	4	2
6.25	4	2
6.75	0	—
합계	100	55

절차 5. 교통량 증가율 계산

- 매년 5%씩 선형 교통량 증가시 공용 2년차 연평균일교통량(AADT) 계산
- 초기년도 연평균일교통량(AADT) : 50,000대
- 2년 공용후 증가 교통량 : $50,000 + 50,000 \times 0.05 = 52,500$ 대
- 절차 1~4 과정을 거쳐 2년차 하중등급별 차종 교통량 계산 반복

3.2.2 환경특성

- (1) 환경특성은 설계등급에 관계없이 동일하게 적용한다.
- (2) 환경특성은 시멘트 콘크리트 포장층 내부온도와 노상 함수량 그리고 동결지수를 포함한다.
- (3) 시멘트 콘크리트 포장층 내부온도는 대기온도를 기초로 하여 도로포장 구조 설계의 온도예측모형을 통해 깊이별 분포 형태로 결정한다.
- (4) 보조기층 및 노상 함수량은 월평균 대기온도, 월평균누적강수량 및 노상 재료의 입도특성을 이용하여 도로포장 구조 설계의 함수비 예측모형을 통해 결정한다.
- (5) 환경특성을 결정하기 위한 대기온도 및 강수량 자료는 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에 저장되어 있는 기상관측소 기상자료 데이터베이스를 이용하여 가장 인접한 1개 기상관측소 자료 또는 인접한 3개 기상관측소의 평균값을 사용한다.

【해 설】

환경특성을 결정하기 위한 대기온도 및 강수량 자료는 도로포장 구조 설계에 저장되어 있는 기상관측소 중 설계구간에 가장 인접한 1개 기상관측소 또는 인접한 3개 기상관측소의 평균값을 사용한다.

시멘트 콘크리트 포장층 내부온도, 보조기층 및 노상 함수량은 기상관측소 자료를 이용하여 도로포장 구조 설계 해석 프로그램의 온도예측모형 및 함수비예측모형을 통해 자동으로 결정된다.

동결지수는 각 기상관측소에서 제시한 대기온도 값을 사용하여 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에 의해 자동 계산된다.

3.2.3 하부구조(입상) 재료물성

- (1) 포장 하부구조(노상, 보조기층 및 쇄석기층)의 재료물성은 탄성계수와 포아송 비로 한다.
- (2) 설계등급 1에서는 하부구조 재료의 탄성계수를 반복삼축압축시험을 수행하여 구한다. 반복삼축압축시험에 대한 자세한 시험절차는 <부록 2>의 “반복삼축압축시험을 이용한 설계입력물성치 평가방법”을 참조한다.
- (3) 하부구조 재료의 품질기준은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다.
- (4) 도로포장 구조 설계에서는 동상방지층의 두께를 노상 동결관입 허용법을 사용하여 결정하며, 성토고가 노상 최종면을 기준으로 2m이상인 성토구간에서는 노상토의 품질기준 중 #200체 통과량이 25% 이하이고 소성지수가 10 이하인 경우 동상방지층을 생략할 수 있다. 다만 이외 적용대상 구분은 다음 해설을 따른다.
- (5) 설계등급 1에서 사용하는 포아송비는 본 요령에서 제시한 대표값을 선택하여 사용한다.

【해 설】

가. 하부구조 재료의 품질요건

- ① 하부구조 재료의 품질에 대한 요구조건은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다.
- ② 입상 보조기층 및 쇄석기층 재료는 GP 또는 GW로 분류되고, 비소성(NP)이며, #200체 통과량이 10% 미만인 재료를 사용한다.

나. 보조기층 재료의 탄성계수

- ① 보조기층 재료의 탄성계수는 구속응력(체적응력), 축차응력, 변형률 크기, 건조 단위중량 변화 등의 영향을 받으며 이중 탄성계수에 미치는 영향이 큰 체적응력 만을 보조기층 재료의 탄성계수 결정모델 영향계수로 간주한다.
- ② 보조기층 재료의 체적응력에 따른 결정모델은 <식 3.2>와 같다. <식 3.2>에서 모델계수 k_1 , k_2 는 실내실험을 수행한 결과를 바탕으로 회귀분석을 통해 구한다.

$$E = k_1 + k_2 \cdot \theta \quad \langle \text{식 3.2} \rangle$$

여기서, E = 탄성계수 (MPa)

θ = 체적응력(= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2 = 모델계수

- ③ 보조기층 재료의 탄성계수 결정을 위한 모델계수(k_1, k_2) 산정 방법의 순서는 <부록 2>에 명시하였으므로 이를 참조한다.
- ④ 국내 입상보조기층 재료의 탄성계수는 개략적으로 50MPa ~ 400MPa 범위에 존재한다.

다. 노상 재료의 탄성계수

- ① 국내 노상토의 탄성계수는 특성상 축차응력 뿐 아니라 구속응력의 영향을 많이 받는다.
- ② 노상토의 탄성계수 결정모델은 응력조건(축차응력 및 체적응력)과 함수비의 영향을 고려할 수 있도록 <식 3.3>과 같이 제시한다.

$$E_{opt} = k_1 + k_2 \theta^{k_2} \sigma_d^{k_3} 10^{k_w(w-w_{opt})} \quad \langle \text{식 3.3} \rangle$$

여기서,

E_{opt} = 최적함수비 조건에서의 탄성계수 (MPa)

θ = 체적응력(= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

σ_d = 축차응력(= $\sigma_1 - \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2, k_3, k_w = 모델계수

w_{opt} = 최적함수비 (%)

w = 함수비 (%)

- ③ 함수비의 영향과 관련된 모델계수 k_w 는 노상토의 특성에 따라 아래의 값을 사용한다.

$$k_w = -0.1417 \text{ (조립질 노상토)}$$

$$-0.0574 \text{ (세립질 노상토)}$$

- ④ 모델계수 k_1 , k_2 , k_3 은 반복삼축압축 실내실험 결과<부록 2>를 바탕으로 회귀 분석을 통해 구한다. 시험방법의 자세한 내용은 <부록 2>를 참조한다.
- ⑤ 국내 노상토의 탄성계수는 개략적으로 30MPa ~ 300MPa 범위에 존재한다.

라. 하부구조 포아송비

- ① 포아송비는 탄성계수와 더불어 포장 구조해석의 기본 입력물성값이다. 그러나 하부구조 구성 재료의 포아송비는 포장 거동 특성에 탄성계수만큼의 구조적으로 영향을 주지 않을 뿐 아니라 실험적으로 결정하기가 매우 어렵다. 따라서 하부구조 구성 재료의 포아송비는 설계등급 1 및 설계등급 2에서 <표 3.3>에 제시한 대표값을 선택하여 사용한다.
- ② 하부구조 구성 재료의 포아송비 결정을 위하여 별도의 시험을 시행하지 않는다.

<표 3.3> 포장 거동에 적용하는 노상토 및 입상 보조기층 재료의 포아송비

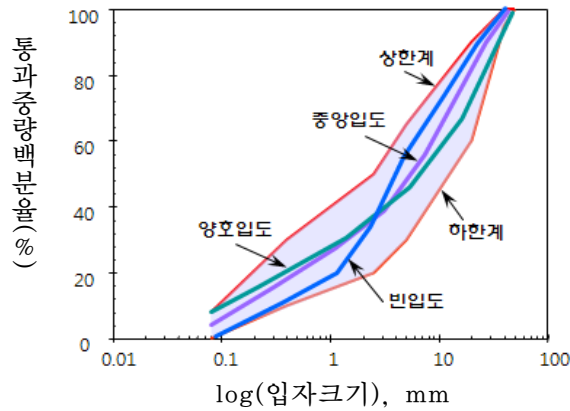
구분	재료특성	포아송비 범위	대표 포아송비
노상토	모래질 점토	0.2 - 0.3	0.25
	실트	0.3 - 0.35	0.33
	조밀한 모래	0.2 - 0.4	0.30
	조립 모래	0.15	0.15
	세립 모래	0.25	0.25
입상 보조기층 재료	조립 사질토 또는 입상재료	0.15	0.15

마. 동상방지층의 생략 기준

- ① 성토고 2m 이상일 경우 동상방지층을 생략할 수 있다. 단, 성토고 2m의 기준은 상당히 안전측으로 결정되어진 것이나 성토고 2m 이하의 구간이 불연속적으로 이어질 경우에는 아래와 같이 구분하여 적용한다.
 - 일반적으로 성토고가 2m 이상인 구간이 50m 이상 이어질 경우 동상방지층을 생략한다.
 - 성토고 2m 이상이 많고 부분적으로 성토고 2m 미만 구간이 존재하는 경우, 2m 미만 구간의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 생략한다.
 - 성토고 2m 이상 구간의 연장이 30m 미만으로 존재하는 경우에는 동상방지층을 설치한다.
 - 성토고 2m 미만인 구간과 성토고 2m 이상 구간이 계속적으로 반복되며 각각의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 설치한다.
- ② 위에 해당되지 않는 구간은 「국도건설공사설계실무요령」 또는 「도로설계편람」 등에서 정한 노상 동결관입 허용법에 따라 설계방법대로 동상방지층 설치한다.
- ③ 통로박스과 수로박스 등 구조물이 설치된 구간에서 토피고는 성토고와 의미가 다르며, 박스 구조물 내부의 한기로 인하여 구조물 상단에서 동상이 발생할 수 있는 점을 감안하여 별도로 대책을 수립한다.
- ④ 동상방지층 생략 시 노상지저력 계수 보정에 따른 변화를 감안하여 보조기층 두께별로 검토가 필요하다.
- ⑤ 연속된 구간이나 단계시공 혹은 구간 발주로 인해 성토고의 높이가 기준에 미흡할 경우 전체 구간을 기준으로 동상방지층의 설치 유무를 결정해야 한다.

바. 쇄석기층(입도조정기층)

- ① 쇄석기층의 품질기준은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다. 대표적인 쇄석기층재료의 입도분포는 <그림 3.3>과 같다.



〈그림 3.3〉 쇄석기층 입도분포

- ② 설계입력변수 결정을 위한 경험모형 구성모델은 〈식 3.4〉와 같은 체적응력모델을 적용한다.

$$E = k_1 + k_2 \cdot \theta \quad \text{〈식 3.4〉}$$

여기서,

E = 탄성계수 (MPa)

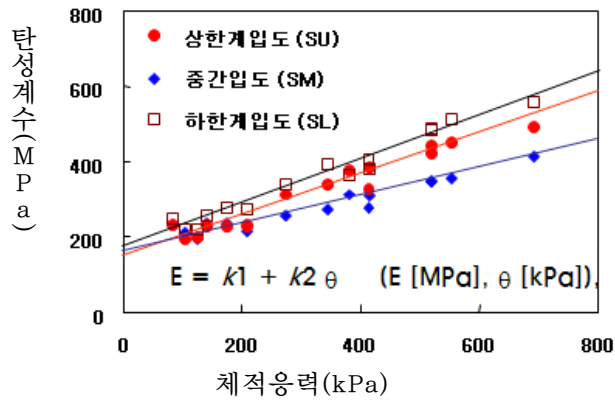
θ = 체적응력(= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

k_1, k_2 = 구성모델의 모델계수

- ③ 쇄석기층 재료의 탄성계수 결정을 위한 모델계수(k_1, k_2) 산정 방법의 순서는 〈부록 2〉에 명시하였으므로 이를 참조한다.
- ④ 국내 시료에 대한 실험결과의 일반적인 모델계수와 탄성계수의 범위는 〈표 3.4〉와 〈그림 3.4〉와 같다.

〈표 3.4〉 쇄석기층 재료의 탄성계수, k_1 계수, k_2 계수의 범위

구분	범위
탄성계수 (MPa)	$100 \leq E \leq 600$
k_1 계수	$80 \leq k_1 \leq 270$
k_2 계수	$0.1 \leq k_2 \leq 0.6$



〈그림 3.4〉 쇄석기층의 일반적인 탄성계수

3.2.4 시멘트 콘크리트 포장 재료물성

1. 시멘트 콘크리트 포장 슬래브의 재료물성으로 탄성계수, 압축강도, 휨강도, 포아송비, 열팽창 계수, 건조수축, 단위중량을 사용한다.
2. 설계등급 1의 재료 물성은 원칙적으로 모두 시험을 통하여 결정해야 한다.

【해 설】

시멘트 콘크리트 포장 슬래브의 재료물성으로 탄성계수와 포아송비를 사용한다.

설계등급 1로 시멘트 콘크리트 포장을 설계 할 경우, 다음 <표 3.5>의 각 항목에 대하여 제시되어진 시험방법으로 물성을 측정한 후, 그 결과를 이용하여 설계한다. 열팽창계수는 “시멘트 콘크리트 열팽창계수 측정 방법(안)”을 이용하여 도출 된 콘크리트 열팽창계수를 설계 해석 프로그램에 입력한다(부록 3 참조). 그리고 건조수축은 “시멘트 콘크리트 건조수축 측정 방법(안)”을 이용하여 종결시간 이후 시간에 따라서 시멘트 콘크리트 공시체의 건조수축 변형율을 측정하고 결과 분석 후, 3.3.4에 제시된 건조수축 모형의 매개변수를 도출하여 설계 해석 프로그램에 입력한다(부록 4 참조).

<표 3.5> 설계등급에 따른 시멘트 콘크리트 슬래브 물성 측정항목 및 방법

구분	설계등급 1
탄성계수	KS F 2438
압축강도	KS F 2405
휨강도	KS F 2407
할렬인장강도	KS F 2423
포아송비	KS F 2438
열팽창계수	<부록 3>
건조수축	<부록 4>
단위중량	KS F 2409

3.3 설계등급 2

- (1) 고속국도(AADT 150,000대 미만), 일반국도(AADT 7,000대 이상 50,000대 미만), 및 지방도/국가지원지방도/기타도로(AADT 7,000대 이상)에 적용된다. 여기서 기타도로라 함은 도로법에 명시된 특별시도, 광역시도, 시도, 군도 및 구도를 의미한다.
- (2) 교통량은 본 요령에서 제시한 값을 이용하여 차종별 축하중 분포를 결정한다.
- (3) 하부구조 및 시멘트 콘크리트 혼합물 재료 물성은 간단한 실내실험을 통해 재료의 기본적인 물성을 구하고, 이 값들을 설계 프로그램에 입력하여 설계 해석 프로그램에 포함되어 있는 예측식으로부터 결정한다.

3.3.1 교통량

- (1) 본 설계에서는 교통량 산정을 위하여 차종별 축하중 분포를 이용한다.
- (2) 차종별 축하중 분포별 교통량을 결정하기 위한 입력값의 종류는 본 요령 「시멘트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.1에 (3)항」과 동일하다.
- (3) 초기년도 연평균일교통량 및 차종별비율은 인접지역 교통량 통계자료를 사용한다.
- (4) 방향분배계수 및 차로분배계수는 국내 평균값을 사용한다.
- (5) 차종별축하중, 차량속도, 시간별교통량변동률 및 월별교통량 변동률은 도로 등급별로 본 요령에서 제시한 값을 적용한다.
- (6) 교통량증가율은 장래교통량 예측 증가율이나 각 년도별 예측값을 사용할 수 있다. 또한 본 요령에서 제안하는 교통량 증가계수를 이용할 수도 있다.
- (7) 원더링분포, 축간격 및 타이어간격, 타이어압력은 설계등급과 관계없이 본 요령에서 제시한 값을 사용한다.

【해 설】

설계등급 2에서의 교통량 산정은 설계등급 1에서 제시한 산정 절차와 동일하며, 차종별 축하중분포별교통량을 결정하기 위한 입력값 결정시 본 요령에서 제시한 값을 이용한다.

(1) 연평균일교통량(AADT)

- 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

(2) 차종별 구성비율

- 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

(3) 차종별 설계차로 교통량

설계등급 2에서의 차종별 설계 차로 교통량 산정 절차는 설계등급 1과 같으며, 본 요령에서 다음과 같이 제시된 값을 이용하여 산출한다.

〈표 3.6〉 방향 및 차로 분배 계수

구분	방향 분배계수 제시값	구분	편도 차로수	차로 분배계수 제시값
고속국도 일반국도 지방도	0.55	고속국도	4	0.45
			3	0.55
			2	0.90
		일반국도, 지방도	4	0.45
			3	0.70
			2	0.90

(4) 시간별 교통량 변동률

설계등급 1과 동일한 절차에 의해서 시간별 교통량을 산출하나, 인접지역 교통량 조사를 통한 시간별 교통량 변동률을 구하지 않고 지역 구분 및 차로 구분에 따라 표와 같은 변동률을 적용한다.

〈표 3.7〉 도시지역의 시간별 교통량 변동률

시간대	시간별 교통량 변동 계수		시간대	시간별 교통량 변동 계수	
	2차로	4차로이상		2차로	4차로이상
00:00 ~ 01:00	1.12	1.43	12:00 ~ 13:00	6.12	5.27
01:00 ~ 02:00	0.75	0.94	13:00 ~ 14:00	6.55	5.69
02:00 ~ 03:00	0.58	0.69	14:00 ~ 15:00	7.02	6.00
03:00 ~ 04:00	0.53	0.58	15:00 ~ 16:00	7.29	6.09
04:00 ~ 05:00	0.70	0.65	16:00 ~ 17:00	7.43	6.20
05:00 ~ 06:00	1.25	1.18	17:00 ~ 18:00	7.48	6.80
06:00 ~ 07:00	2.53	2.92	18:00 ~ 19:00	7.13	7.09
07:00 ~ 08:00	4.14	5.84	19:00 ~ 20:00	5.49	5.89
08:00 ~ 09:00	5.13	6.49	20:00 ~ 21:00	4.14	4.73
09:00 ~ 10:00	5.12	5.36	21:00 ~ 22:00	3.30	3.97
10:00 ~ 11:00	5.90	5.55	22:00 ~ 23:00	2.40	3.04
11:00 ~ 12:00	6.24	5.50	23:00 ~ 24:00	1.65	2.10

〈표 3.8〉 지방지역의 시간별 교통량 변동률

시간대	시간별 교통량 변동 계수		시간대	시간별 교통량 변동 계수	
	2차로	4차로이상		2차로	4차로이상
00:00 ~ 01:00	0.87	1.11	12:00 ~ 13:00	6.51	6.03
01:00 ~ 02:00	0.57	0.74	13:00 ~ 14:00	7.06	6.46
02:00 ~ 03:00	0.41	0.56	14:00 ~ 15:00	7.47	6.86
03:00 ~ 04:00	0.36	0.5	15:00 ~ 16:00	7.57	6.99
04:00 ~ 05:00	0.47	0.62	16:00 ~ 17:00	7.53	7.02
05:00 ~ 06:00	0.91	1.17	17:00 ~ 18:00	7.42	7.18
06:00 ~ 07:00	2.32	2.59	18:00 ~ 19:00	7.11	7.08
07:00 ~ 08:00	4.13	4.55	19:00 ~ 20:00	5.07	5.44
08:00 ~ 09:00	5.66	5.67	20:00 ~ 21:00	3.64	4.15
09:00 ~ 10:00	5.65	5.44	21:00 ~ 22:00	2.82	3.32
10:00 ~ 11:00	6.42	6.12	22:00 ~ 23:00	2.01	2.43
11:00 ~ 12:00	6.67	6.3	23:00 ~ 24:00	1.34	1.67

(5) 월별 교통량 변동률

설계등급 1과 동일한 절차에 의해서 월별 교통량을 산출하나, 인접지역 교통량 조사를 통한 월별 교통량 변동률을 구하지 않고 지역 구분 및 차로 구분에 따라 다음의 표와 같은 변동률을 적용한다.

〈표 3.9〉 월별 교통량 변동계수

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
도시	2차로	0.91	0.88	0.99	1.03	1.02	0.99	0.92	1.01	1.08	1.10	1.08	0.99
	4차로 이상	0.92	0.93	0.99	1.02	1.03	1.01	0.93	1.01	1.06	1.03	1.07	1.00
지방	2차로	0.94	0.85	0.95	1.03	1.03	0.98	0.96	1.11	1.03	1.12	1.03	0.97
	4차로 이상	0.92	0.85	0.92	1.00	1.02	0.99	0.97	1.16	1.05	1.12	1.03	0.97
평균값		0.92	0.88	0.96	1.02	1.03	0.99	0.95	1.07	1.06	1.09	1.05	0.98

(6) 차종별 축하중 분포에 따른 교통량 산정

- 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

(7) 장래 교통량 추정

- 설계등급 1과 동일하게 산정한다.

3.3.2 환 경

본 요령 「시멘트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.2」와 동일하게 적용한다.

3.3.3 하부구조 재료물성

- (1) 본 요령 「시멘트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.3에 (1)항」과 동일하게 적용한다.
- (2) 설계등급 2에서는 하부구조(입상) 재료의 탄성계수를 기본 물성시험과 설계 해석 프로그램에 포함되어 있는 상관모형을 통해 결정한다.
- (3) 하부구조 재료의 품질기준은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다.
- (4) 동상방지층에 대한 물성기준은 본 요령 「시멘트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.3에 (4)항」과 동일하게 적용한다.
- (5) 설계등급 2에서 사용하는 포아송비는 본 요령 「시멘트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.3에 (5)항과 동일하게 적용한다.

【해 설】

가. 하부구조 재료의 품질요건

- ① 하부 구조 재료의 품질에 대한 요구조건은 국토해양부의 「도로공사표준시방서」를 따른다.
- ② 입상 보조기층 및 쇄석기층 재료는 GP 또는 GW로 분류되고, 비소성(NP)이며, #200체 통과량이 10% 미만인 재료를 사용한다.

나. 보조기층 재료의 탄성계수

- ① 설계등급 2에서는 보조기층 재료의 탄성계수 결정모델의 모델계수 k_1 , k_2 를 경험적 상관모형으로부터 결정한다.
- ② 경험적 상관모형은 <부록 2>에 수록하였으며, 경험적 상관모형을 적용하기 위해서는 다짐시험에서 결정되는 최대건조단위중량, 입도분석시험으로부터 결정되는 균등계수(C_u) 및 #4 체 통과량이 필요하다.
- ③ 모델계수의 산정방법은 <부록 2>에 의한다.

다. 노상토 재료의 탄성계수 결정모델

- ① 설계등급 2에서는 탄성계수 결정모델의 모델계수 k_1 , k_2 , k_3 을 경험적 상관모형으로부터 결정한다.

- ② 상관모형은 <부록 2>에 수록하였으며, 상관모형을 적용하기 위해서는 다짐시험에서 결정되는 최대건조단위중량과 최적함수비, 입도분석시험으로부터 결정되는 균등계수(C_u) 및 #200 체 통과량이 필요하다.
- ③ 모델계수의 산정방법은 <부록 2>에 의한다.

라. 품질기준과 경험모형의 적용 제한

일반적으로 사용되는 노상토 및 입상보조기층 재료의 품질기준 범위 내에는 들어오지만, 입상재료가 아래의 경우에 해당하는 경우에는 상관모형의 적용에 신중을 기해야 한다.

- ① 기초 물성치가 상관모형의 예상 적용범위를 벗어나는 경우 (최소 및 최대값의 범위를 벗어남)
- ② 재료특성의 조합이 매우 특이하여 상관모형을 적용하면 오류가 발생하는 경우

①또는 ②에 해당하여 상관모형을 적용하기 힘든 경우에는 실험에 의하여 설계입력변수를 결정하는 것이 바람직하다.

마. 하부구조 재료의 포아송비

- ① 포아송비는 탄성계수와 더불어 포장 구조해석의 기본 입력물성값이다. 그러나 하부구조 구성재료의 포아송비는 포장 거동 특성에 탄성계수 만큼의 구조적으로 심각한 영향을 주지 않을 뿐 아니라 실험적으로 결정하기가 매우 어렵다. 따라서 하부구조 구성재료의 포아송비는 모든 설계등급(등급 1 및 등급 2)에서 <표 3.10>에 제시한 대표값을 선택하여 사용한다.
- ② 하부구조 구성재료의 포아송비 결정을 위하여 별도의 시험을 시행하지 않는다.

〈표 3.10〉 포장 거동에 적용하는 노상토 및 입상 보조기층 재료의 포아송비

구분	재료특성	포아송비 범위	대표 포아송비
노상토	모래질 점토	0.2 - 0.3	0.25
	실트	0.3 - 0.35	0.33
	조밀한 모래	0.2 - 0.4	0.3
	조립 모래	0.15	0.15
	세립 모래	0.25	0.25
입상 보조기층 재료	조립 사질토 또는 입상재료	0.15	0.15

3.3.4 시멘트 콘크리트 포장 재료물성

- (1) 본 요령 「시멘트 콘크리트 포장 구조 설계의 3.2.4에 (1)항과 동일하게 적용한다.
- (2) 설계등급 2에서 탄성계수, 휨인장강도, 건조수축은 시멘트 콘크리트 재료 중 굵은 골재의 종류에 따라 본 요령에서 제공하는 예측 방정식을 통해 설계 해석 프로그램에서 입력되어 결정된다.
- (3) 설계등급 2에서 포아송비, 열팽창 계수, 단위중량은 시멘트 콘크리트 재료 중 굵은 골재의 종류에 따라 설계 해석 프로그램에 입력되어 결정된다.
- (4) 여기에서 정의되지 않은 새로운 시멘트 콘크리트 포장 재료는 기존 시멘트 콘크리트 포장 구조 설계 입력변수와 비교하여 유사하면 설계등급 1에 해당하는 시험만 수행하고 현 설계 해석 프로그램에 도입한다.
- (5) 여기에서 정의되지 않은 새로운 시멘트 콘크리트 포장 재료는 기존 시멘트 콘크리트 포장 구조 설계 입력변수와 비교하여 상이하면 설계등급 1에 해당하는 시험을 수행할 뿐만 아니라, 모형 제안 보고서를 제출, 설계를 운영하는 기관의 검증을 통해 설계 해석 프로그램에 모형추가 작업을 거쳐서 도입한다.

【해 설】

(1) 강도 및 탄성계수

설계등급 2로 시멘트 콘크리트 포장을 설계할 경우, 강도 및 탄성계수에 대한 재료 물성은 <식 3.7>과 <표 3.13> 및 <표 3.14>를 이용하여 원하는 재령에서의 각 물성을 추정한다.

$$f_{ck}(t) = f_{ck,28} \times \{t / (a + b \times t)\} \quad \text{〈식 3.7〉}$$

여기서,

$f_{ck}(t)$ = 재령 t 에서의 강도 (강도, 및 탄성계수) (MPa)

$f_{ck,28}$ = 재령 28일 설계강도 (MPa) ; 탄성계수는 압축강도 기준

t = 재령 (일)

a, b = 상수

<표 3.13> 굵은 골재별 시멘트 콘크리트 슬래브의 강도 및 탄성계수 예측상수

물성	굵은 골재 종류	강도 예측상수	
		a	b
휨강도	화강암	0.81	1.00
	석회암	1.72	0.91
	사암	1.42	0.93
	일반	1.32	0.95
할렬인장강도	화강암	1.33	0.96
	석회암	2.39	0.89
	사암	1.86	0.93
	일반	1.88	0.95
탄성계수	화강암	0.93	0.97
	석회암	1.32	0.95
	사암	0.95	0.97
	일반	1.07	0.96

할렬인장강도를 추정하기 어려운 수준 2의 경우, <표 3.14>에 보인 각 물성간의 상

관관계식을 이용하여, 측정되지 않은 항목의 물성을 추정한다.

〈표 3.14〉 강도관련 물성간의 상관관계식 (기본 단위: MPa)

항목	상관관계식
압축강도 → 휨인장강도	휨인장강도 = $0.7851 \times (\text{압축강도})^{0.5}$
압축강도 → 할렬인장강도	인장강도 = $0.5932 \times (\text{압축강도})^{0.5}$
압축강도 → 탄성계수	탄성계수 = $4968 \times (\text{압축강도})^{0.5}$
휨인장강도 → 할렬인장강도	할렬인장강도 = $0.757 \times (\text{휨인장강도})$

(2) 포아송비와 단위중량

설계등급 2로 시멘트 콘크리트 포장을 설계할 경우, 〈표 3.15〉에 제시된 포아송비 및 단위 중량을 사용한다.

〈표 3.15〉 굵은 골재별 시멘트 콘크리트 슬래브의 일반적 포아송비와 단위중량

물성	골재 종류	제안값	범위
포아송비	화강암	0.182	0.176~0.182
	석회암	0.176	
	사암	0.178	
	일반	0.180	
단위중량 (kN/m^3)	화강암	22,526	21,918~23,252
	석회암	21,918	
	사암	23,252	
	일반	22,570	

(3) 열팽창계수

설계등급 2로 시멘트 콘크리트 포장을 설계할 경우, 열팽창계수는 <표 3.16>과 같이 골재별로 제안된 값을 사용한다.

<표 3.16> 굵은 골재별 시멘트 콘크리트 슬래브의 일반적 열팽창계수

굵은 골재 종류	열팽창계수 ($\mu/^\circ\text{C}$)	
	범위	제안값(실험값)
화강암	8.6~12.3	10.7
석회암	7.2~11.3	9.3
사암	11.0~14.3	11.0
일반	8.3~12.6	10.4

(4) 시멘트 콘크리트 슬래브의 건조수축

설계등급 2로 시멘트 콘크리트 포장을 설계할 경우, 건조수축은 형상비 및 골재 종류에 따라서 <식 3.8>과 <표 3.17>을 이용하여 원하는 재령에서의 건조수축 변형률을 예측하여 설계에 사용한다.

$$\epsilon_{shrinkage} = \frac{t}{a_2 + t} \times a_1 \times [1 + a_3 \times \exp(-a_4 \times (V/S))] \quad \text{<식 3.8>}$$

여기서,

$\epsilon_{shrinkage}$: 건조수축 변형률($\mu\text{strains}$)

t : 재령 (일)

a_1, a_2, a_3, a_4 : 건조수축 예측상수

V/S : 형상비 (mm)

〈표 3.17〉 굵은 골재별 시멘트 콘크리트 슬래브의 건조수축 예측상수

골재	a_1	a_2	a_3	a_4
석회암	362.9	36.71	1.613	0.0372
사암	431	33.3	2.204	0.0194
화강암	397	35	1.2	0.0194
일반	388.5	30	1.908	0.0251

(5) 새로운 콘크리트 포장 재료 도입절차

도로포장 구조 설계 해석 프로그램 중 콘크리트 포장의 경우 국내에서 사용되는 골재별로 일반적으로 사용되는 포장재료와 배합을 이용하여 포장의 표층두께 설계를 하도록 되어있다. 그러나 새로운 시멘트 콘크리트 포장 재료가 도입될 경우 재료물성입력 값을 그대로 사용하기는 어렵다. 그러므로 이에 대한 절차가 필요한 실정이다.

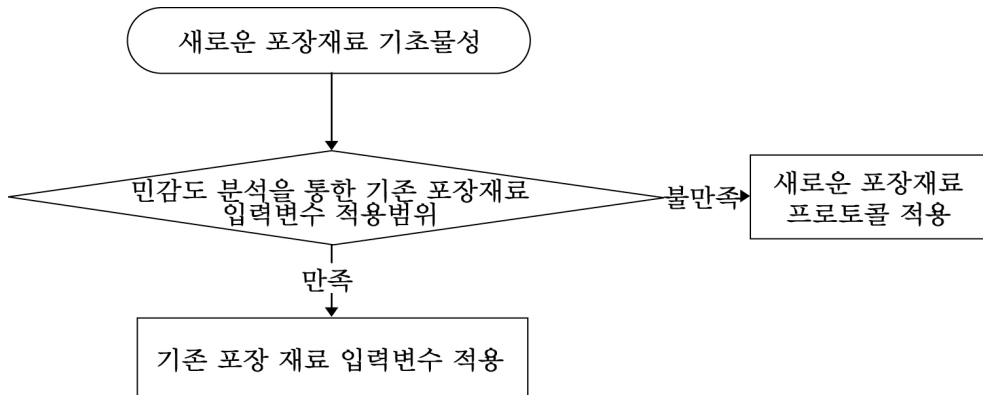
새로운 시멘트 콘크리트 포장 재료의 도입방법은 크게 2가지로 구분하였다.

첫째, 기존포장과 유사한 재료인 경우와 둘째, 완전히 새로운 포장재료인 경우로 나누었다.

유사한 재료와 완전히 새로운 재료의 구분은 기존 포장설계 해석 프로그램중 시멘트 콘크리트 포장 재료의 입력변수 기본값을 기준으로 설정하였다.

시멘트 콘크리트 슬래브 응력 산정시 교통하중과 온도하중에 의해 각 입력 변수별 민감도 분석을 통하여 민감도 정도에 따른 입력변수 오차범위를 제시하고 이 범위를 벗어나는 경우 완전히 새로운 재료로 구분하도록 하였다.

물론 가장 좋은 방법은 모든 재료에 대해서 물성 시험을 실시하는 것이 좋으나, 시간과 비용이 들고 향후 어떠한 재료가 도입될지 모르기 때문이다. 그러므로 1차적으로 새로이 도입되는 재료에 대해서 기본 물성값 정보를 통해 유사한 재료인지 새로운 재료인지 구분을 하고, 유사한 재료인 경우 측정된 물성값을 사용하고 새로운 재료일 경우 설계수준 1의 시험항목과 공용성 평가를 하는 절차를 마련하였다.



〈그림 3.7〉 새로운 시멘트 콘크리트 재료의 도입절차

(6) 기존 시멘트 콘크리트 슬래브와 유사한 시멘트 콘크리트 슬래브 재료

기존 포장과 유사한 포장재료의 입력변수 적용범위를 산정하기 위하여 현재 포장 구조 설계에서 사용되는 변수들의 상,하한 값의 회귀식 반응을 통하여 시멘트 콘크리트 슬래브 응력값의 변화를 이용하여 민감도를 분석하였다. 시멘트 콘크리트 슬래브의 응력 산정식은 상향컬링과 하향컬링의 경우에 대해서 교통하중과 온도하중으로 나누었다. 그 결과, 포장 구조 설계 해석 프로그램에서 외부 하중으로 작용하는 교통하중과 온도차는 높은 민감도를 가지는 인자로 나타났으며, 재료의 입력변수로 사용되는 항목인 열팽창계수, 탄성계수는 중간정도의 민감도를 가지는 것으로 확인되었다.

강도는 가장 민감한 항목이나 시멘트 콘크리트 슬래브 설계시 설계강도 이상을 만족해야 하므로, 배합설계에서는 설계강도를 만족하는 배합설계를 해야 한다.

열팽창계수와 탄성계수는 민감도 분석 결과 중간정도의 민감도를 가짐으로 오차범위를 $\pm 5\%$ 로 설정하였다, 나머지 해당사항이 없는 입력변수는 오차범위를 설정하지 않았다.

〈표 3.18〉 시멘트 콘크리트 슬래브 입력변수 오차 범위

설계입력변수	민감도	설정 오차범위
단위중량	해당사항 없음	—
α (열팽창계수)	중간	$\pm 5\%$
포아송비	해당사항 없음	—
건조수축계수	해당사항 없음	—
P(하중, 강도)	높음	설계강도 이상
E(탄성계수)	중간	$\pm 5\%$

(7) 완전히 새로운 시멘트 콘크리트 슬래브

새로운 시멘트 콘크리트 슬래브 재료가 기존 시멘트 콘크리트 슬래브 재료 입력변수와 매우 다를 경우 환경하중과 교통하중에 의한 콘크리트의 반응이 크게 달라질 수 있기 때문에 기존의 모형과 다른 결과를 가져올 수 있다. 이러한 경우에는 설계등급 1에 해당되는 시멘트 콘크리트 슬래브 물성 시험뿐만 아니라 피로모형을 구하는 공용성 평가 시험을 해야 한다. 또한 가속포장시험 및 2~3년간의 장기공용성 데이터 산출 등을 통해 공용성 보형을 제안하는 보고서를 제출하고 포장설계 운영기관에서 인증받은 후 기존 설계 해석 프로그램에 모형을 추가하는 작업을 거침으로써 도로포장 구조 설계에 도입할 수 있는 새로운 시멘트 콘크리트 슬래브 재료가 된다.

4. 구조 해석

4.1 일반사항

- (1) 구조해석은 선정된 설계대안 단면에 대하여 교통 및 환경특성에 따른 포장체의 거동(변형과 응력)을 분석하는 것으로, 설계입력변수와 공용성을 연결하는 고리 역할을 한다.
- (2) 구조해석은 스프링위에 놓인 평면셸(Plane Shell on Spring)이론을 사용한 유한요소해석 결과로부터 얻어진 회귀분석식을 이용한다.

【해 설】

시멘트 콘크리트 포장의 주요 공용성 기준인 균열과 평탄성은 포장체 내부에 발생하는 응력에 큰 영향을 받는다. 포장체 내에서의 응력은 콘크리트 슬래브의 두께, 하중의 크기, 접지면적, 재료의 물성 및 환경조건 등에 의하여 결정되는데, 도로포장 구조 설계의 시멘트 콘크리트 포장에서는 이들 응력을 계산하기 위해서 스프링위에 놓인 평면 셸 이론을 바탕으로 한 유한요소해석을 이용한다. 유한요소 해석은 특정조건에서의 응력을 비교적 정확하게 계산하는 것으로 알려져 있으나, 다양한 조건을 고려한 장기 거동을 해석하기에는 상당한 시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서 포장의 장기 공용성이 중요한 인자가 되는 시멘트 콘크리트 포장의 설계에서는 유한요소해석 프로그램을 이용한 결과를 이용하여 구축된 회귀분석식을 이용한다.

4.2 유한요소해석

- (1) 유한요소해석은 포장체가 수많은 요소로 구성되었다고 가정한 후 절점을 이용하여 요소들을 상호 연결하고 이들 절점이 갖고 있는 물리량에 대한 연립방정식을 작성하여 중첩함으로써 시멘트 콘크리트 포장 전체에 대한 해를 찾는 방법을 말한다.
- (2) 유한요소해석 모형으로 스프링위에 놓여 있는 평면셀을 사용하여, 시멘트 콘크리트 포장 층은 평면셀로, 하부구조는 스프링으로 모델한다.
- (3) 시멘트 콘크리트 포장 층은 선형탄성, 등방, 균질하다는 가정을 전제로 한다.
- (4) 유한요소해석을 이용한 시멘트 콘크리트 포장의 구조해석 절차는 해설에 따른다.

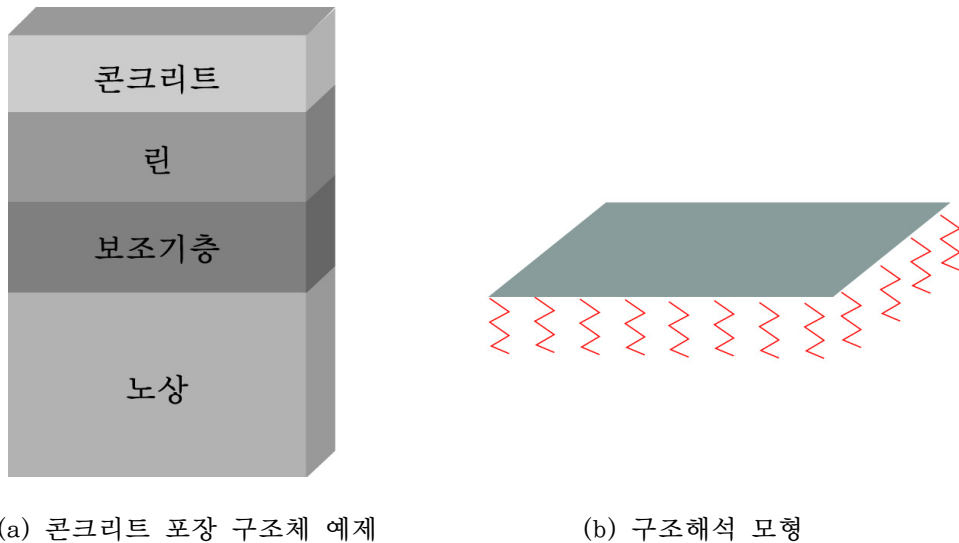
【해설】

시멘트 콘크리트 포장의 구조해석은 상용 유한요소 해석 프로그램을 사용할 수 있다. 도로포장 구조 설계 해석 프로그램에서는 상용 유한요소 해석 프로그램을 이용하여, 다양한 경우의 수의 포장 구조 해석을 수행한 후에 이 결과를 바탕으로 포장 구조체의 응력을 예측한 회귀방정식을 사용한다. 도로포장 구조 설계 해석 프로그램 사용자의 입장에서는 유한요소 해석을 직접수행 필요는 없으나, 해석결과 도출에 사용된 여러 가지 가정들을 명시함으로써 구조해석의 조건과 범위를 명확히 하고자 한다.

(1) 구조해석 모델

시멘트 콘크리트 포장의 구조해석 모델로서는 <그림 4.1(b)>에 보이는 스프링 위에 놓여있는 평면셀 요소를 사용한다. 이는 <그림 4.1(a)>에 보이는 실제 포장 구조체를 이상화 한 모델로서 일반적으로 시멘트 콘크리트 포장 구조해석에 사용되는 모델이다.

<그림 4.1(a)>의 콘크리트 슬래브는 평면셀로 모델을 하고, 그 이하 하부 구조체는 각 층의 두께 및 탄성계수를 이용하여 유효 복합 강성으로 변환하여 스프링 모델계수로서 사용한다.



〈그림 4.1〉 시멘트 콘크리트 포장 구조해석 모형

(2) 유효복합강성

유효복합 강성은 시멘트 콘크리트 포장의 하부 구조를 유한요소해석방법 또는 다층 탄성해석방법을 이용하여 모델링 한 후에, 구조해석을 통하여 계산한 하중-변형관계로부터 도출한다. 본 설계 요령에서는 다양한 조합의 하부구조를 해석한 결과를 바탕으로 유효복합강성을 도출하며, 이를 효과적으로 이용하기 위해서 유효복합강성과 하부 구조의 두께 및 탄성계수와의 관계를 나타내는 회귀분석식을 구한다. 이 회귀분석식으로부터 구한 유효복합강성은 시멘트 콘크리트 포장 구조해석 시 스프링의 계수로 사용할 수 있다.

(3) 환경하중

온도하중은 3.2.1에서 제공하는 시멘트 콘크리트 층의 깊이에 따른 온도변화를 칭한다. 이 온도변화는 콘크리트 슬래브의 상향 또는 하향결빙을 발생시키며, 이때 발생하는 경계 조건의 변화와 자중에 의해 슬래브 내부에 응력이 발생한다. 이 응력은 교통하중에 의해 발생하는 응력과 더불어 시멘트 콘크리트 슬래브에 발생하는 최종 응력값을 구할 때 고려해 주어야 한다.

(4) 교통하중

교통하중은 구조해석시 사용되는 차량의 축하중을 의미하며, 시멘트 콘크리트 슬래브의 결링형태에 따라 하중적용 방식이 다르다. 하향결링 발생시에는 슬래브의 중앙단부에 축하중을 가하여 구조해석을 수행하며, 상향결링 발생시에는 슬래브의 중앙단부를 기준으로 대칭적인 위치에 두 개의 축하중을 가하여 구조해석을 수행한다. 각 축하중의 크기와 축간 거리는 차량의 종류 및 총중량에 따라 다르며 <부록 1>의 “도로 등급별 축하중 분포”를 따른다.

4.3 회귀분석식

- (1) 회귀분석식 및 계수는 주어진 변수에 대한 유한요소해석 결과를 이용하여 결정된 것으로 구조해석에 소요되는 시간을 단축시키기 위하여 사용할 수 있다.
- (2) 회귀분석식은 유한요소해석에 이용된 변수들의 범위내에서 유의한 결과를 도출한다.

【해 설】

시멘트 콘크리트 포장의 공용성 평가에는 시멘트 콘크리트 슬래브 내의 발생하는 최대응력이 이용되는데, 이들 응력의 정확한 값을 얻기 위해서는 역학적 구조해석이 필요하다. 유한요소해석은 주어진 조건에서 시멘트 콘크리트 포장의 거동을 정확하게 예측하는 것으로 알려져 있으나, 다양한 포장층 재료의 물성, 하중조건을 장기간으로 해석하는 포장설계에서는 이 해석을 실용적으로 사용하기에 어려운 점이 있다. 따라서 도로포장 구조 설계에서는 다양한 조건에 대한 유한요소 해석결과를 바탕으로한 회귀분석식을 <표 4.1>같이 제안하며 회귀계수는 <표 4.2>~<표 4.4>와 같다.

〈표 4.1〉 다중회귀분석식

상향컬링시 교통하중에 의한 응력	$\sigma = a_1 \times k^{a_2} \times P_1^{a_3} \times P_2^{a_4} \times E^{a_5} \times h^{a_6} \times LTE^{a_7} \times L^{a_8} \times AXL^{a_9}$
하향컬링시 교통하중에 의한 응력	$\sigma = b_1 \times k^{b_2} \times P^{b_3} \times E^{b_4} \times h^{a_6}$
온도하중에 의한 응력 (상향, 하향컬링 동일)	$\sigma = 10^{c_1} \times L^{c_2} \times \Delta T^{c_3} \times k^{c_4} \times h^{c_5} \times E^{c_6} \times \alpha^{c_7}$

〈표 4.2〉 다중회귀계수 (상향컬링시 교통하중에 의한 응력)

회귀계수	뒷축형태 - 복축 복륵	뒷축형태 - 단축 복륵
a1	10,209	11,830
a2	-0.217	-0.350
a3	0.381	0.562
a4	0.618	0.345
a5	0.248	0.381
a6	-1.330	-0.933
a7	-0.073	-0.131
a8	-0.240	-0.499
a9	N/A	-0.618

〈표 4.3〉 다중회귀계수 (하향컬링시 교통하중에 의한 응력)

회귀계수	단축 단륵	단축 복륵	복축 복륵
b1	99.236	54.241	10.982
b2	-0.159	-0.187	-0.247
b3	0.999	1.000	1.000
b4	0.159	0.188	0.242
b5	-1.604	-1.497	-1.309

〈표 4.4〉 다중회귀계수 (온도에 의한 응력)

회귀계수	하향궤링	상향궤링
c1	1,665	1,824
c2	1,477	1,976
c3	0,648	0,471
c4	-0.822	-0.849
c5	0.124	0.084
c6	0,450	0,342
c7	0,572	0,426

위에서 제시한 회귀분석식에 사용된 재료의 물성, 하중조건, 포장체의 길이 및 두께 등의 유효 범위는 〈표 4.5〉와 같다.

〈표 4.5〉 다중회귀 모형계수 결정된 주요 변수의 범위

슬래브 길이	4~6m
슬래브 두께	25~35cm
슬래브 탄성계수	20~40GPa
슬래브 열팽창 계수	$7.2 \times 10^{-6} \sim 14.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
유효복합강성	54~433 MPa/m
슬래브 상하부 온도차	-25~+25 $^\circ\text{C}$

5. 공용성 해석

5.1 일반사항

- (1) 공용성 해석은 선정된 설계대안 포장체가 교통, 환경특성 등 주어진 조건 하에서 시간에 따라 공용성이 저하되는 정도를 예측하는 단계이다.
- (2) 도로포장 구조 설계에서 시멘트 콘크리트 포장의 공용성은 피로균열과 평탄성을 대상으로 한다.

【해 설】

시멘트 콘크리트 포장의 공용성 해석은 포장체의 구조해석으로부터 얻어진 응력을 공용성 모델에 입력하여 상하향 피로균열, 포장 평탄성의 저하 정도를 예측하는 과정이다. 피로균열의 경우, 구조해석에서 구한 인장응력을 입력값으로 하여 공용성을 예측한다. 누적된 피로균열, 예측된 스폐링, 시멘트 콘크리트 포장 재령(Age)에 근거하여 포장 평탄성을 예측한다. 공용기간동안 산정한 누적피로균열, 누적영구변형 및 평탄성을 예측하여 설계기준보다 작을 때까지 재료물성이나 포장단면을 변화하여 반복 설계를 수행한다.

5.2 공용성 예측

- (1) 시멘트 콘크리트 포장의 공용성 예측은 상향균열, 하향균열, 스폐링 및 평탄성 예측모델을 이용하여 설계 해석 프로그램에서 자동으로 수행된다.

【해 설】

시멘트 콘크리트 포장의 공용성 예측모델은 실내 피로균열 시험으로 도출한 피로모형식을 사용하며, 실내시험에서 구한 피로모형식과 현장에서 측정한 상하향 피로균열 공용성을 비교 분석하여 전이함수를 도출한다. 도출된 전이함수를 고려한 예측식을 이용하여 시멘트 콘크리트 포장의 공용성을 예측한다. 누적 상하향 피로균열율이 설계기준을 초과할 경우에는 포장단면과 재료물성을 변화하여 설계기준을 만족시킬 때까지

계산을 반복 수행한다. 마지막으로, 산정된 누적 상하향 피로균열을 설계기준 내에 있을 때, 피로균열 결정하며, 이때의 공용수명을 결정한다.

시멘트 콘크리트 포장의 표면 평탄성은 국제평탄성지수(IRI, International Roughness Index, m/km)로 나타내며, 포장재령, 피로균열, 스펙링을 변수로 하는 경험식을 통해 계산된다. 설계기준보다 작은 국제평탄성지수(IRI) 값이 산출되어야 타당한 설계가 된다.

시멘트 콘크리트 포장 공용성은 설계 해석 프로그램 내에서 자동으로 수행된다.

5.3 피로균열

- (1) 피로균열은 환경하중이 가해진 포장에 반복되는 교통하중에 의해 시멘트 콘크리트 표층에 손상이 누적되어 발생하며, 시멘트 콘크리트 포장의 공용성에 영향을 주는 주요한 파손 형태이다.
- (2) 시멘트 콘크리트 포장의 피로균열 설계기준은 피로균열률(%)로 나타내며, 피로균열은 해석기간 동안 전체 슬래브 중 피로균열이 발생한 슬래브의 백분율로 나타낸다. 시멘트 콘크리트 포장의 피로균열은 설계등급 1의 경우 15% 이하, 설계등급 2의 경우 20% 이하를 설계기준으로 한다

【해설】

피로균열이 발생하는 위치에 따라 상향균열(Bottom-up Crack)과 하향균열(Top-down Crack)로 나누며, 상향균열은 콘크리트 슬래브 하부에서 발생하여 상부로 전이하고 하향균열은 콘크리트 슬래브 상부에서 발생하여 하부로 전이한다.

피로균열은 반복하중에 의해 생성되는 최대인장응력 발생하는 곳에서 나타나게 된다. 피로균열은 콘크리트 슬래브의 강성과 교통하중 배열에 의해 크게 영향을 받으며, 누적된 손상에 의하여 콘크리트 슬래브에 횡방향 균열이 발생한다.

시멘트 콘크리트 포장의 피로균열은 마이너의 법칙(Miner's law) 근거하여 누적피로균열 손상도를 계산한다. 계산된 누적손상도를 이용하여 예측 피로균열을 계산하고 현장의 피로균열과 비교하여 전이함수를 도출한다. 전이함수를 고려한 피로균열 예측식을 이용하여 피로균열율을 재 산정하고 설계기준을 만족할 때까지 설계를 재 수행한다.

시멘트 콘크리트 포장의 피로균열은 시멘트 콘크리트 슬래브의 횡방향 균열을 말한다.

시멘트 콘크리트 포장의 피로균열 설계기준은 피로균열율(%)로 나타내며, 피로균열율은 공용성 해석기간 동안 전체 포장 단면적 중 피로균열이 발생한 부분의 백분율을 나타낸다. 피로균열 설계기준은 설계등급 1의 경우 전체 포장면적의 15%이하이며, 설계등급 2의 경우 20%이하이다.

피로균열률의 예측 절차는 다음과 같다.

- 단계 1. 구조해석으로 환경하중에 의한 최소인장응력과 환경하중과 교통하중에 의한 최대인장응력을 구한다.
- 단계 2. 구조해석으로 계산된 최대인장응력과 휨인장강도의 비를 계산한다.
- 단계 3. 최대인장응력과 휨인장강도의 비(S)와 최소인장응력과 최대인장응력의 비(R)를 피로파손 모형에 대입하여 피로파손에 이르는 하중재하수(N_f)를 결정한다.
- 단계 4. 공용기간 동안 발생한 시멘트 콘크리트 슬래브의 누적손상도를 계산한다.
- 단계 5. 계산된 누적손상도를 전이함수를 이용하여 피로균열율을 구한다.

5.4 스포링 모형

(1) 스포링(Spalling)은 시멘트 콘크리트 포장에서 줄눈 또는 균열 부근에서 시멘트 콘크리트 슬래브 조각이 떨어져 나가는 파손이다.

(2) 스포링은 해석기간 동안 전체 줄눈 중 스포링이 발생한 줄눈의 백분율로 나타낸다.

【해설】

스포링 모형은 국내 시멘트 콘크리트 포장 장기 공용성 관찰구간에서 스포링 파손 및 관련 인자들을 자료를 수집하고 비선형 회귀분석을 통해 개발되었고, 시멘트 콘크리트 포장의 재령, 연평균강수량, 수정동결지수, 쪼갬인장강도, 슬래브 두께, 중차량 비율을 모형의 인자로 가진다. 예측된 스포링은 평탄성 지수인 국제평탄성지수(IRI)를 예측할 때 사용된다.

$$SP = \left(\frac{0.957AGE}{0.004AGE + 1} \right) \left(0.04\sqrt{FI \times P} - 0.217S - 1.6791D + 0.757 \right) \quad \langle \text{식 5.1} \rangle$$

여기서,

SP : 스폐링(%)

Age : 재령(년)

FI : 수정동결지수(°Cday)

P : 연평균강우량(m)

S : 콘크리트조깁인장강도(MPa)

D : 슬래브두께(m)

5.5 국제평탄성지수(IRI) 모형

- (1) 평탄성은 단위거리에 대한 포장 표면 단차의 누적 길이로 나타내며, 단위는 m/km이다.
- (2) 평탄성의 설계기준은 설계등급 1의 경우 3.5m/km 이하이며, 설계등급 2의 경우 4.0m/km 이하이다.

【해설】

시멘트 콘크리트 포장의 평탄성은 포장의 기능을 나타내는 중요한 변수이며, 평탄성이 좋지 않은 포장은 이용자의 안정감을 해칠 뿐만 아니라 차량 운행비도 증가시키며, 포장의 공용성 및 포장 수명에 큰 영향을 미친다. 평탄성은 차량 운행 거리에 대한 포장 표면 단차의 변화로 정의한다. 평탄성에 영향을 주는 인자로는 파손조건(가로줄눈단차, 가로줄눈, 누적줄눈단차, 스폐링, 균열), 하중조건 및 개방조건(재령, 등가단축하중), 기후 조건(연평균동결융해주기, 연평균강수량, 연평균 습합날의 수, 기후특성, 동결지수), 기층조건(가로줄눈간격, 시멘트 콘크리트 포장 슬래브 두께, 시멘트 콘크리트 포장 탄성계수, 기층형태, 노상지지력계수, 노상형태, 길어깨와 접속여부, 다웰직경) 등 국가별 특성에 따라 서로 다른 평탄성 영향 인자를 선정한다. 국내의 경우 스폐링,

균열, 재령, 기층형태가 평탄성에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 이를 평탄성 예측 모형에 반영하였다. 도로포장 구조 설계에서의 공용성 모형은 초기 평탄성 및 공용 개시후의 평탄성 증가 경향이 나타난다. 이는 국내 고속도로 시멘트 콘크리트 포장 총 연장의 16%인 281km를 일정기준으로 나누어 분석한 결과를 토대로 나타낸 것이며, 본 장에서는 시멘트 콘크리트 포장의 데이터베이스 구축 및 다중 회귀 분석을 통하여 줄눈 시멘트 콘크리트 포장의 평탄성을 예측할 수 있는 모형을 제시한다. 도로의 평탄성은 국제평탄성지수(IRI, International Roughness Index)로 나타내며, 국내 도로포장의 시공년도 평탄성을 분석한 결과 초기 평탄성값을 1.41m/km로 정립한다. 포장의 재령, 피로균열율, 스폐링을 이용하여 평탄성을 나타내는 국제평탄성지수(IRI)의 변화량을 〈식 5.2〉와 같이 구한다.

$$IRI = IRI_0 + 0.0235Age + 2.17Spalling + 1.88Cracking + 0.811Base \quad \langle \text{식 5.2} \rangle$$

여기서,

FC : 피로균열 발생비율

Age : 시멘트 콘크리트 재령 (년)

$Base$: 기층조건 (린기층 : 0, 쇄석기층 : 1)

$Spalling$: 스폐링 발생비율

IRI_0 : 교통개방 전 초기 IRI (1.41m/km)

분석결과 국제평탄성지수(IRI)는 시멘트 콘크리트 포장의 재령, 피로균열, 스폐링, 기층과 밀접한 관계가 있으며, 평탄성의 설계기준은 공용성 해석기간의 허용 평탄성지수(IRI)로 표시하며, 설계등급 1의 경우 3.5m/km 이하이며, 설계등급 2의 경우 4.0m/km 이하이다.

(1) 평탄성 영향인자 기준

균열(횡방향균열) 및 스폐링의 경우 휠패스에 영향이 있는 부분을 선정한다. 균열은 균열 발생 슬래브 개소를 기준으로 선정한다. 균열 발생비율은 (손상발생슬래브개소/분석구간 슬래브 수)으로 나타낸다. 스폐링은 스폐링 발생 줄눈 개소를 기준으로 선정한다. 스폐링 발생비율은 (손상발생줄눈개소/분석구간 줄눈 수)으로 나타낸다. 단면 보수의 경우 시멘트 콘크리트 슬래브 중앙에 위치할 경우 균열로 간주하며, 줄눈부에 인접할 경우 스폐링으로 간주하여 설계에 반영한다. 재령 산정 기준은 준공년도를 기준으로 산정한다. 기층의 형태의 경우는 쇄석 기층일 경우와 린기층의 경우에 따라 두 가지의 기준에 따라 선정한다.

(2) 국제평탄성지수(IRI)의 적용

시멘트 콘크리트 포장의 초기 평탄성은 다중회귀분석을 통하여 산정되었으며, 초기 평탄성은 1.41m/km로 나타낸다. 이는 신뢰도를 나타내는 결정계수 R^2 가 68.8%, P-Value가 0으로 통계적으로 유의하며, 높은 상관관계를 나타낸다.

6. 경제성 분석

6.1 일반사항

설계대안 단면이 설계기준을 만족시키면 그 설계는 기술적으로 실행 가능한 대안이 된다. 이러한 설계대안 단면들에 대해 생애주기비용분석(LCCA)을 통하여 경제적으로 가장 유리한 대안을 선정한다.

【해 설】

도로포장의 시공 초기부터 공용기간 전반에 필요한 비용을 산정하여 최적의 대안을 선정할 수 있도록 도로포장 구조 설계 해석 프로그램 내에서 경제성 분석을 실시한다. 경제성 분석을 위한 설계 입력값은 분석기간 및 할인율이다.

6.2 생애주기비용 분석

- (1) 생애주기비용분석을 수행하기 위한 분석기간은 35년으로 한다.
- (2) 도로포장 구조 설계 해석 프로그램은 설계대안 단면에 대한 공용성기간과 유지보수시기를 계산하고, 이를 근거로 각 설계대안 단면에 대한 관리자 비용과 사용자 비용을 계산한다.
- (3) 생애주기비용분석에는 초기투자비용과 유지관리비용이 포함된다.

【해 설】

설계대안 단면에 대한 공용기간 및 유지보수 시기는 도로포장 구조 설계에서 자동으로 결정되며 이에 따라 유지보수비용이 산정된다.

도로포장 구조 설계에서는 초기투자비용 및 유지보수비용 외에 사용자 비용이 추가로 산정되며 유지보수 운영과 작업일 수에 따라 산정된다. 사용자 비용은 도로 이용자가 도로상태 및 보수작업으로 인하여 정상적으로 통행을 하지 못하게 되는 경우 지불하는 비용의 합으로 차량운행비용, 운행지연비용이 포함된다.

(1) 초기투자비용 및 유지보수비용

도로포장 구조 설계에서 초기투자비용은 각 설계단면의 재료비와 시공비로 구성되며, 유지보수비용은 유지보수전략에 따라 선택된 유지보수비용을 말한다.

(2) 차량운행비용

차량운행비용은 크게 고정비용과 가변비용이 있는데, 고정비용은 차량의 운행여부와는 관계없이 차량을 소유하면서부터 발생하는 비용을 의미하는 것으로 차량의 감가상각비, 보험금 등이 있다. 고정비용은 차량 운행과는 관계가 없으므로 정상적으로 통행이 어렵다 하더라도 증가하거나 감소하지 않는다. 반면에 가변비용은 차량의 운행으로 발생하는 비용으로 연료소모비, 엔진오일비, 타이어비 등이 있다. 이 비용은 차량의 종류, 속도, 중량뿐만 아니라 도로상태, 교통량, 보수 시 공사기간에 따라 변화하는 비용이다.

(3) 운행지연비용

운행지연비용이란 도로상태가 나빠 차량의 속도 감소에 의해 발생하는 경우와 보수 작업으로 인해 차량 운행이 지연됨으로써 운전자의 시간에 대해 발생하는 비용이다. 통행시간을 경제적 재화처럼 화폐가치로 나타낸 것으로 시간을 비용으로 환산시키는 개념이다. 예를 들면, 통행자의 임금수준, 이용경로나 교통수단의 선택 등을 기준으로 평가하는 여객 시간가치, 화물의 품목에 따른 시간가치를 평가하는 화물 시간가치 등이 있다. 이 비용에 영향을 미치는 요소는 교통속도, 교통량, 보수시의 공사기간, 운전자의 시간가치 등이 있다.

6.3 경제성 분석 방법

- (1) 도로포장의 종류에 따라 시공시기, 공용년수가 다르므로 대안들을 비교하려면, 우선 기준이 되는 시점을 정하고, 이 기준으로 각 대안에 발생하는 현재 비용과 미래 비용을 환산한다.
- (2) 경제성 분석 단계에서는 설계 입력값인 분석기간과 할인율을 선택하고, 이를 근거로 도로포장 구조 설계 해석 프로그램은 관리자 비용과 사용자 비용을 계산한다. 도로포장 구조 설계에서는 분석기간 35년, 할인율 5.5%를 기본값으로 한다.
- (3) 관리자 비용 및 사용자 비용은 순현재가치 (NPV, Net Present Value)로 환산되어 비교된다.
- (4) 순현재가치를 비교하여 가장 경제적인 대안을 최종 설계 대안으로 결정한다.

【해 설】

경제성 분석의 첫 번째 단계는 설계입력 값인 분석기간과 할인율을 선택하고 대안 전략을 수립하는 것이다. 수립된 대안들의 관리자 비용과 사용자 비용을 결정한다. 이때 경제성 분석의 핵심은 모든 경쟁 대안에 소요되는 비용을 어느 한 시점의 금액으로 환산하여 비교하는데 있다. 이를 공정하게 비교할 수 있도록 하는 중요한 요소 중의 하나가 할인율이다. 본 요령에서는 기본적으로 5.5%의 할인율을 적용하며, 필요에 따라 공공투자편람과 같은 자료로 적절한 할인율을 적용할 수 있다. 물가상승률과 이자율에 의한 실질 할인율을 산출하는 방법은 <식 6.1>과 같다.

$$i(\text{할인율}) = \frac{1 + \text{이자율}}{1 + \text{물가상승률}} - 1 \quad \text{〈식 6.1〉}$$

선정된 설계대안 단면은 공용년수가 다르므로 대안들을 비교하려면 우선 기준이 되는 시점을 정하고, 이 기준으로 각 대안에 발생하는 비용을 현재가치로 환산해야 한다. 이러한 현재가치의 기본 공식은 <식 6.2>와 같이 계산된다.

$$NPV(\text{순현재가치}) = \text{초기투자비} + \sum_t (\text{유지보수비} + \text{사용자비용}) \left[\frac{1}{(1+i)^t} \right] \quad \langle \text{식 6.2} \rangle$$

여기서,

i : 할인율

t : 분석기간 연수

마지막 단계로 설계대안 단면들의 순현재가치를 비교하여 가장 경제적인 단면을 선정한다.

7. 설계등급 3

7.1 일반사항

- (1) 목표연도 일평균교통량 7,000대 이하인 도로 즉 도로법, 농어촌도로정비법, 도시계획법상의 국도, 지방도, 종로이하의 도로에 적용한다.
- (1) 설계방법은 교통조건(AADT, 중차량비율)과 노상조건(E)에 따른 표준적인 설계단면을 적용하는 카달로그 설계단면을 적용한다.

【해설】

도로포장 구조 설계에서는 목표연도 연평균일교통량(AADT)이 7,000대 미만의 도로 즉 도로법, 농어촌도로정비법, 도시계획법상의 국도, 국가지원지방도, 지방도, 종로이하의 도로에서는 복잡한 입력변수를 사용하는 설계등급 1, 2와는 달리 간단한 입력변수만으로 누구나 쉽게 설계 가능하도록 하였다. 따라서, 설계등급 3의 카달로그 설계에서는 최소한의 입력변수를 사용하여 포장을 설계할 수 있도록 입력변수를 교통조건(AADT)과 노상조건(E)만으로 활용하여 단면 및 그래프를 제시하여 설계자가 간편하게 활용할 수 있도록 한다.

7.2 교통조건

- (1) 설계등급 3의 도로에서의 목표연도 연평균일교통량(AADT)이 7,000대/일 미만이므로 0~7,000대/일을 6단계로 구분하여 적용한다.
- (2) 또한, 중차량 비율이 포장에 영향을 주는 주요변수이므로 중차량비율이 평균 값 15%를 초과할 경우에는 교통조건을 한단계 상향 조정한다.

【해설】

교통조건은 포장에 영향을 미치는 주요변수로 설계등급 3에서는 목표연도 연평균일교통량(AADT)인 0~7,000대/일을 6단계로 구분하여 적용하며, 분류기호로는 C1~C6을 사용한다. 또한, 중차량 비율이 포장에 영향을 주는 주요변수이므로 중차량비율이

평균값 15%를 초과할 경우에는 교통조건을 한 단계 상향 조정한다.

〈표 7.1〉 교통조건에 의한 구분

Traffic Volume(대/일)	Traffic Class($\times 10^5$ ESAL)		구 분
	아스팔트 콘크리트 포장	시멘트 콘크리트 포장	
~ 100	~ 0.2	~ 0.3	C1
101 ~ 500	0.2 ~ 2.0	0.3 ~ 3.0	C2
501 ~ 1,500	2.0 ~ 6.0	3.0 ~ 9.0	C3
1,501 ~ 3,000	6.0 ~ 10.0	9.0 ~ 15.0	C4
3,001 ~ 5,000	10.0 ~ 15.0	15.0 ~ 27.0	C5
5,001 ~ 7,000	15.0 ~ 20.0	27.0 ~ 40.0	C6

7.3 노상조건

설계등급 3의 도로에서는 노상조건에 대한 변수로 탄성계수를 사용하여 탄성계수에 따른 노상을 3단계로 구분하여 적용한다.

【해 설】

노상조건은 포장에 영향을 미치는 주요변수로 국내의 노상에 대한 탄성계수의 범위는 37.7~280MPa로 제시되고 있으나, 본 설계등급 3인 카달로그 설계에서는 탄성계수에 따른 노상을 3단계로 구분하여 적용하며, 분류기호로는 S1~S3를 사용한다. 다음은 M_R 과 CBR의 상관식으로 모든 토질조건에서 적용 가능한 상관식이다.

$$M_R = 17.6 \times CBR^{0.64} \quad \langle \text{식 7.1} \rangle$$

여기서,

M_R : 회복탄성계수 (MPa), CBR : California Bearing Ratio(%)

〈표 7.2〉 노상 조건의 구분

E (MPa)	CBR	분 류
$E < 49,300$	$CBR < 5$	S1
$49,300 \leq E < 76,900$	$5 \leq CBR < 10$	S2
$76,900 \leq E$	$10 \leq CBR$	S3

7.4 설계단면

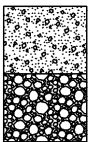
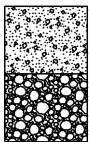
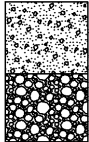
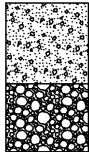
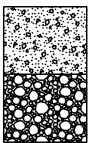
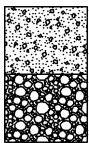
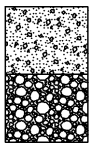
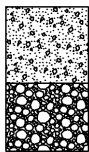
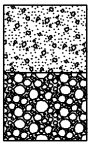
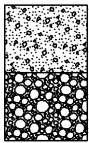
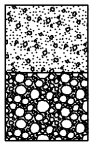
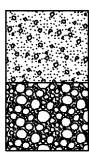
(1) 설계등급 3의 도로에서는 위의 교통조건(C1~C6)와 노상조건(S1~S3)을 기준으로 포장설계 해석 프로그램 및 AASHTO 86 설계를 이용하여 작성된 다음의 시멘트 콘크리트 포장의 카달로그 단면표, 설계단면, 그래프를 적용한다.

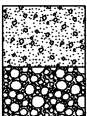

【해 설】

설계등급 3에서는 교통조건(7.2)와 노상조건(7.3)을 기준으로 제시된 다음의 시멘트 콘크리트포장의 카달로그 단면표, 설계단면, 그래프를 적용한다.

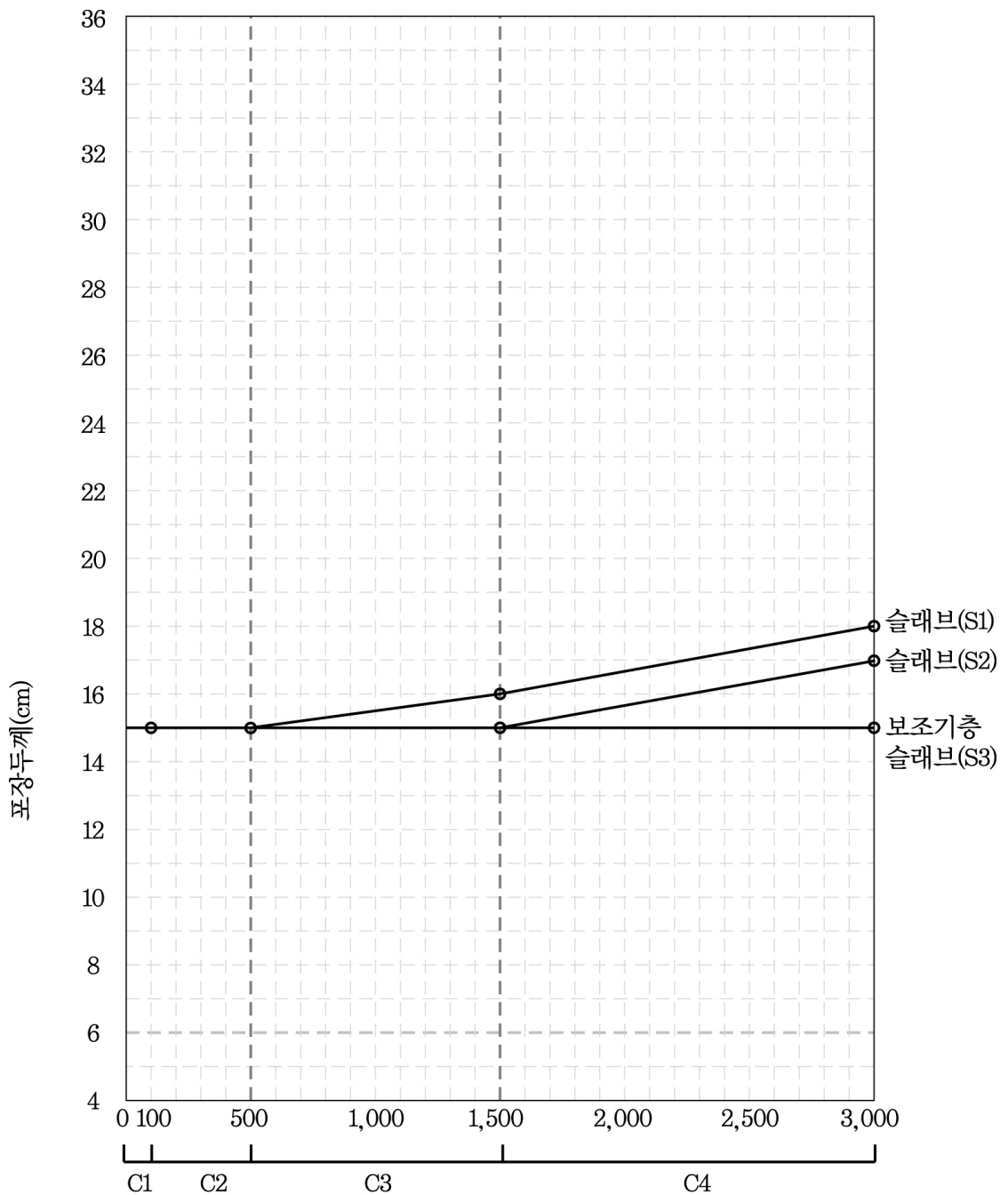
〈표 7.3〉 시멘트 콘크리트포장의 카달로그 단면표

하부 재료물성 등급 - E (kPa) - CBR	단면 (cm)	Traffic Volume : 연평균일교통량(AADT(대/일))					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		~ 100	101 ~ 500	501 ~ 1,500	1,500 ~ 3,000	3,001 ~ 5,000	5,001 ~ 7,000
S1 E < 49,300 CBR < 5	슬래브	15	15	16	18	19	21
	보조기층	15	15	15	15	15	15
	계	30	30	31	33	34	36
S2 49,300 ≤ E < 76,900 5 ≤ CBR < 10	슬래브	15	15	15	17	19	20
	보조기층	15	15	15	15	15	15
	계	30	30	30	32	34	35
S3 76,900 ≤ E 10 ≤ CBR	슬래브	15	15	15	16	18	20
	보조기층	15	15	15	15	15	15
	계	30	30	30	31	33	35

Soil Class - E(kg/cm ²) - CBR(%)	Traffic Volume : 연평균일교통량(AADT(대/일))			
	C 1	C 2	C 3	C 4
	~ 100	101 ~ 500	501 ~ 1,500	1,501 ~ 3,000
S 1 E<503 CBR<5	 150 150 300	 150 150 300	 160 150 310	 180 150 330
S 2 503≤E<784 5≤CBR<10	 150 150 300	 150 150 300	 150 150 300	 170 150 320
S 3 784≤E 10≤CBR	 150 150 300	 150 150 300	 150 150 300	 160 150 310

 = 슬 래 브(Slab)
 = 보조기층(Subbase Course)

〈그림 7.1〉 시멘트 콘크리트포장의 카달로그 설계단면



Traffic Volume : 연평균일교통량(AADT(대/일))

〈그림 7.2〉 시멘트 콘크리트 포장의 카달로그 설계그래프

8. 연속철근 콘크리트 포장설계

8.1 일반사항

- (1) 연속철근콘크리트 포장은 줄눈콘크리트 포장과 달리 줄눈이 없고 일정량의 종방향 철근을 설치한 포장 형식으로서, 승차감 및 공용 수명을 향상시킨 포장이다.
- (2) 연속철근콘크리트 포장에서는 종방향 철근량은 콘크리트 단면적의 0.6~0.85% 정도까지 사용한다.

【해 설】

연속철근콘크리트 포장은 종방향 철근을 설치하여 횡방향 줄눈을 완전히 제거한 포장의 형태이다. 일반적으로 종방향 철근량은 콘크리트 단면적의 0.6~0.85% 정도까지 사용한다. 철근의 위치는 각 국가, 각 지역에 따라 다르지만, 대부분의 경우 포장슬래브의 중앙에 설치하고 있다. 연속철근 콘크리트 포장은 가능한 한 온도변화 및 건조수축에 의한 콘크리트 슬래브의 움직임을 막아야 하므로 콘크리트 슬래브와 보조기층 사이에 분리막을 사용하지 않는다. 연속철근 콘크리트 포장은 줄눈이 없으므로 승차감이 좋고, 많은 중차량 교통량 하에서도 포장 수명이 다른 포장형태보다 연장된다.

8.2 설계 입력 변수

설계 입력 변수는 교통량, 하부구조, 콘크리트 재료물성, 철근량, 환경하중 등에 따라 각각 적용한다.

【해 설】

연속철근콘크리트 포장을 설계하기 위한 입력 변수들로는 교통량, 하부재료, 콘크리트 재료물성, 환경하중, 철근량 등이 있다. 각 입력 변수에 대한 세부 항목으로는 다음과 같다.

〈표 8.1〉 차종에 따른 등가단축하중 변환 계수

차 종 (기존 11종 차종 분류방법)		차축구성	평균 등가단축하중 변환 계수				12종 차종 구분
			아스팔트		콘크리트		
승용차		2A4T	0.0002		0.0001		1종
버스	소형	2A4T	0.001		0.001		
		2A6T	0.001		0.001		
	보통	2A6T	0.852		0.839		
트럭	소형	2A4T	0.004		0.004		3종
	보통	2A6T	0.613	1.122	0.616	1.638	4종
	대형	3A10T	2.047		3.417		5~7종
트렉터+ 세미트레일러		4A이하	1.690	2.130	2.320	3.266	8종
		5A	1.815		3.072		10종
		6A이상	0.858		1.533		12종
트럭트레일러		5A이하	3.288				4.472

(1) 교통량

교통량 관련 입력변수로는 교통량을 의미하는 등가단축하중(ESAL ; Equivalent Single Axle Load)과 교통량 증가율이 있다.

등가단축하중은 다양한 축 배치와 종류에 따라 상이하게 재하되는 교통하중을 기준 단위 하중(통상 8.2톤(18,000 lbs) 단축을 기준으로 함)으로 환산하는 것이다. 포장 구조에 미치는 영향의 상대적인 값으로 나타난 무차원 개념의 수로서 포장 구조 설계나 유지 보수에 사용한다. 등가축하중을 이용하여 연속철근콘크리트 포장을 설계하는 방식은 앞서 줄눈콘크리트 포장의 설계에서 살펴본 축하중 분포 및 관련 입력 변수들을 적용하는 것과 차이가 있다. 따라서 축하중과 관련된 교통량 정보를 얻을 경우, 〈표 8.1〉과 같은 변환 계수를 이용하여 등가단축하중으로 변환할 수 있다.

교통량 증가율은 줄눈콘크리트 포장에서 살펴본 것과 동일하게 4가지 증가율을 적용하여 설계에 반영한다.

(2) 하부재료

하부재료의 물성을 복합지지력으로 대표되며, 줄눈콘크리트 포장에서와 같은 방법으로 산출한다. 복합 지지력 이외의 변수는 콘크리트 표층과 보조기층 사이의 마찰력이 있으며, 일반적으로 아스팔트 층 위에 슬래브가 시공된 경우는 그 범위가 27.1 ~135.7 MPa/m (100 ~ 500 psi/in)이다. 국내의 경우 경험치 없으므로 <표 8.2>와 같은 대표적인 값을 사용할 것을 제안한다.

<표 8.2> 하부층 종류에 따른 단위 면적당 마찰응력 (단위 : MPa/m (psi/in.))

	조건 : 기준 변위는 0.254 mm (0.01 in.)	
	비닐층 무	비닐층 유
린 콘크리트 층	163 (600)	54 (200)
아스팔트 층	81 (300)	27 (100)

(3) 콘크리트 재료

콘크리트 재료물성은 줄눈콘크리트 포장에서와 같이 골재 종류에 따른 열팽창계수, 28일 압축강도 혹은 휨강도, 28일 탄성계수 등의 변수 및 관련 수식들은 동일하다. 추가된 재료물성은 콘크리트 세팅(Settling) 온도, 재료의 최종 건조수축(Ultimate Drying Shrinkage)이 있다.

가. 콘크리트의 세팅 온도

콘크리트의 세팅 온도란 콘크리트 타설 후 재료들의 수화반응이 일어나면서 강도가 발현되는 시점의 온도이며, 이때부터 콘크리트와 철근이 일체거동을 한다. 강도가 발현되면서부터 수화반응이 점점 둔화되고, 수일이 지나면 대기중의 온도 변화에 따라 콘크리트의 온도는 변화한다. 연속철근콘크리트 포장에서 철근과 콘크리트 사이의 응력은 콘크리트의 세팅 온도와 현재 콘크리트 슬래브의 온도 차이에 따라 변화하게 된다. 또한, 일반적으로 대기중의 온도가 높을수록 콘크리트의 세팅 온도는 높다. 국내의 경

우 줄눈 콘크리트 포장에서 추정되는 온도를 이용해서 예상되는 포설시기에 맞추어 적용할 수 있다.

$$T_z = (CC \times 0.59328 \times H \times 0.5 \times 1000 \times 1.8 / (1.1 \times 2400 + MMT))$$

여기서, T_z : 콘크리트의 제로 스트레스 온도 ($^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{F} = 1.8 \times ^{\circ}\text{C} + 32$)

CC : 시멘트 함량 (lb/yd^3 , $\text{lb}/\text{yd}^3 = 0.59328 \text{ kg}/\text{m}^3$)

H : $-0.0787 + 0.007 \times \text{MMT} - 0.00003 \times \text{MMT}^2$

MMT : 시공한 달의 월평균 대기온도 ($^{\circ}\text{F}$)

나. 재료의 최종 건조수축

줄눈콘크리트 포장에서는 부등건조수축으로 인해 발생한 응력을 시간에 따른 함수로 간주하고 이를 반영한다. 연속철근콘크리트 포장 구조 설계에서는 동일한 개념으로 건조수축을 설계에 반영하지만, 시간에 따른 함수로는 간주하지 않고 일괄적으로 최종 건조수축을 온도차로 변환하여 설계에 반영한다. 국내 골재 종류에 따라 최종 건조수축은 <표 8.2>와 같은 범위를 갖는다.

<표 8.2> 각 골재 종류에 따른 최종 건조수축 (단위 : $\mu\epsilon$, 2년 기준)

암종	형상비(mm (V/S)			
	22.2	40	85.7	200
화강암	669	609	526	473
석회암	590	466	359	330
사암	1003	840	588	426
편마암	894	775	548	299
안산암	895	708	472	365

(4) 환경하중

환경하중은 줄눈콘크리트 포장 구조 설계에 사용하는 개념과 유사하지만, 일부 다른 부분이 있다. 매월 대기중의 평균온도를 바탕으로 줄눈 콘크리트에서는 상하향 쉐어링을 유발시키는 표층 상하부 온도차를 온도예측 해석 프로그램을 통하여 산정하였다. 하지만 연속철근콘크리트 포장에서는 포장설계에서 개발한 온도예측 해석 프로그램 결과를 사용하지 않고, 상하부 온도차는 매월 동일하다고 가정하여 일괄적으로 동일한 값을 사용한다. 그리고, 앞서 콘크리트 재료물성에서 살펴본 바와 같이 콘크리트 세팅 온도와 콘크리트 슬래브의 온도 차이가 거동에 많은 영향을 미친다. 이를 반영하기 위해 해당 월의 슬래브 평균온도를 대기의 평균온도로 가정하고 구조해석의 입력 변수로 사용한다. 설계 해석 프로그램에 데이터 베이스화된 콘크리트 세팅 온도와 콘크리트 슬래브의 온도차는 $-27.8^{\circ}\text{C}(-55^{\circ}\text{F})$, $-13.9^{\circ}\text{C}(-25^{\circ}\text{F})$, $2.8^{\circ}\text{C}(5^{\circ}\text{F})$, $19.4^{\circ}\text{C}(35^{\circ}\text{F})$, $36.1^{\circ}\text{C}(65^{\circ}\text{F})$, $52.8^{\circ}\text{C}(95^{\circ}\text{F})$ 이다.

(5) 철근량

연속철근콘크리트 포장에 사용되는 종방향 철근량의 범위는 콘크리트 표층의 단면적에 약 0.5~0.7% 정도이다. 미국의 텍사스 사례에서는 종방향 철근량이 약 0.6~0.7% 정도일 때 우수한 공용성을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 종방향 철근을 산정한 후, 종방향 철근의 직경 및 설치 간격이 결정된다.

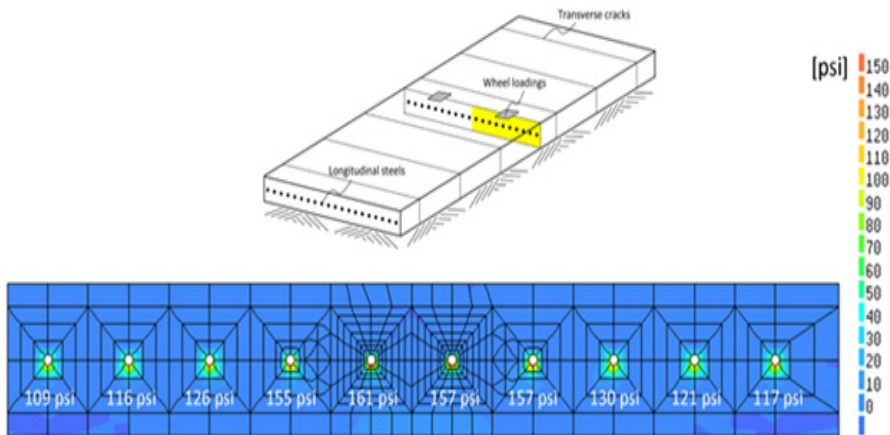
8.3 구조해석

연속철근콘크리트 포장의 구조해석은 각 입력 변수들에 대한 3차원 구조해석을 통해 교통하중과 온도하중에 의한 응력을 산출하여 합산한다.

【해 설】

연속철근콘크리트 포장의 입력 변수인 교통량, 하부재료, 콘크리트 재료물성, 환경하중, 철근량을 변수로 하여 구조해석을 수행하고, 응력을 계산한다. 하지만 줄눈콘크리트 포장과 같이 구조해석 모듈이 설계 해석 프로그램상에 적용될 경우, 해석시간이 너

무 많이 걸리는 문제가 있어 그 결과를 데이터 베이스화 하였다. 응력 검토 지점은 콘크리트와 철근의 경계면이며, 해석 조건에 따라 발생하는 주응력을 산출하였다. <그림 8.1>은 연속철근 콘크리트 포장의 구조해석에 사용한 모형을 나타낸 것이다.



〈그림 8.1〉 연속철근 콘크리트 포장의 구조해석

8.4 공용성 예측

- (1) 연속철근콘크리트 포장의 공용성은 펀치아웃(Punchout)을 대상으로 한다.
- (2) 역학적으로 산정한 파손률을 전이함수를 사용하여 현장의 공용성 자료와 일치시킨다.

【해 설】

연속철근콘크리트에서의 횡방향 균열은 콘크리트에 발생하는 인장응력이 인장강도를 초과할 때 발생하는 자연적인 현상으로, 다년간에 걸친 현장공용성 조사에서 공용성과는 관계가 거의 없는 것으로 판명되었다. 다만 이 사실은 연속철근콘크리트 포장의 설계(슬래브 두께 및 철근량) 및 시공이 적절하다는 가정 하에 성립된다. 따라서 횡방향 균열특성은 공용성 예측에 인자로서 포함되지 않았다. 연속철근콘크리트 포장의 평탄성은 포장설계에 좌우되기보다는, 하부 재료의 특성 및 신설포장의 평탄성에 절대적으로 의존되기 때문에, 설계입력변수에 포함되지 않았다. 따라서, 연속철근콘크리트 포장

에서는 편치아웃만이 공용성 기준이 된다. 포장설계에 있어서, 포장체의 역학적 거동을 분석 및 예측하는 것은 가능하나, 편치아웃같은 포장 파손을 순수하게 역학적으로 예측하는 것은 불가능 하다. 그 이유로는, 응력의 반복적인 작용으로 콘크리트에 손상이 발생하게 되며, 이 손상이 어느 정도 누적되면 파손으로 발현되는 것인바, 이 관계는 명확한(Determinate) 것이 아니고, 확률적(Stochastic)인 것이다. 이렇듯, 역학적 분석에 의한 응력 및 하중 반복 회수와 파손의 발생 빈도를 연결시켜주는 관계가 필요하게 되는데, 이 관계를 전이함수라 한다. 전이함수 개발을 위한 공용성 자료가 국내에는 없기 때문에 현 연속철근콘크리트 포장의 편치아웃은 국외 연구결과를 바탕으로 하여 개발된 것이다.



〈그림 8.2〉 편치아웃 사례

(1) 편치아웃

줄눈콘크리트포장의 공용성 모형이 균열과 평탄성(IRI)인 것과 달리 연속철근콘크리트 포장은 편치아웃을 대상으로 한다. 편치아웃에 대해 미국의 LTPP (Long-Term Pavement Performance) Distress Manual, NCHRP 1-37(A), TxDOT's PMIS Rater's Manual 에서는 각각 다음과 같이 정의하며, 〈그림 8.2〉는 이를 나타낸 그림이다.

- LTPP Distress Manual ;

균열 간격이 60cm 이내인 횡방향 균열에 짧은 종방향 균열, 포장의 단부 및 종방향 줄눈부에서 발생하는 파손이며, "Y" 형 균열도 포함한다.

- NCHRP 1-37(A) ;

포장 단부를 따라 낮은 하중전달률 및 종방향 피로균열 인해 두 개의 인접한 횡방향 균열구간에 발생한 조각의 파손이다.

- TxDOT's PMIS Rater's Manual ;

표층 두께 전체로 종방향 균열 및 두 개의 종방향 균열을 관통할 경우에 생성되는 포장 블록을 말하며 일반적으로 사각형 형태이지만 다른 형태를 하는 경우도 있다.

편치아웃을 계산하기 위해 사용한 콘크리트의 피로식은 <식 8.1>과 같다.

$$N_f = 225,000 \times \left(\frac{\sigma}{MR} \right)^4 \quad \langle \text{식 8.1} \rangle$$

여기서,

N_f : 콘크리트 피로하중의 허용반복 회수

σ : 콘크리트에 발생한 인장응력 (Pa)

MR : 콘크리트 휨강도 (Pa)

피로식을 통해 산정한 허용반복 회수와 실제 차량의 공용회수인 등가단축하중의 비율이 파손율이 된다.

(2) 전이함수

포장설계의 편치아웃 자료를 통해 개발된 전이함수는 <식 8.2>와 같다.

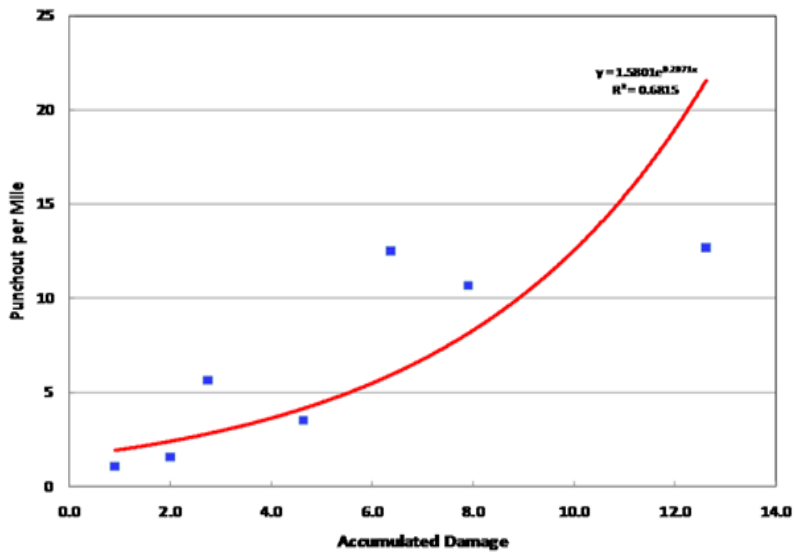
$$PO = 1.58 \times e^{(0.1871 \times CD)} \quad \langle \text{식 8.2} \rangle$$

여기서,

PO : 마일(mile)당 펀치아웃 개수

CD : 누적 파손률

〈그림 8.3〉은 전이함수를 통해 산정한 마일당 펀치아웃개수와 실제 현장의 공용성 자료를 나타낸 것이다.



〈그림 8.3〉 전이함수를 이용한 파손율과 펀치아웃과의 상관관계

부 록

부록 1 도로 등급별 축하중 분포

부록 2 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법

부록 3 시멘트 콘크리트 열팽창계수 측정 방법(안)

부록 4 시멘트 콘크리트 건조수축 측정 방법(안)

부록 5 시멘트 콘크리트 포장설계(예)

부록 1. 도로 등급별 축하중 분포

1.1 개요

본 부록내 제시된 도로 등급별 축하중 분포는 고속국도, 일반국도, 지방도에서 실제 운행하고 있는 축하중 조사자료를 바탕으로 작성된 자료로서 포장 구조 설계시 하중 등급별 교통량을 산출하기 위하여 사용된다. 축하중 분포 제시는 고속국도, 일반국도, 지방도에 대해서 각각의 축하중 분포를 제시되어 있으며, 설계하고자하는 도로등급에 따라 선택하여 사용한다.

1.2 차중 구분 및 축형태

축하중 분포는 <표 1.1>과 같이 국내 차중 분류 기준 및 축형태로 제시되어 있다.

<표 1.1> 12종 분류 체계 -(교통량 조사 차중분류가이드, 국토해양부 2006)

차중 분류	차축 형태	정의
1종	2축 4륜 	경차, 일반 세단형식 차량 16인승 미만 SUV, RV, 승합차량
2종	2축 6륜 	중, 대형 버스
3종	2축 6륜 	화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 1~2.5톤 미만의 1단위 차량
4종	2축 6륜 	화물 수송용 트럭으로 2축의 최대적재량 2.5톤 이상의 1단위 차량
5종	3축 10륜 	화물 수송용 트럭으로 3축 1단위 차량
6종	4축 12륜 	화물 수송용 트럭 형식으로 4축 1단위 차량
7종	5축 16륜 	화물 수송용 트럭 형식으로 5축 1단위 차량
8종	4축 14륜 	화물 수송용 세미 트레일러형식으로 4축 2단위 차량
9종	4축 14륜 	화물 수송용 폴 트레일러형식으로 4축 2단위 차량
10종	5축 18륜 	화물 수송용 세미 트레일러형식으로 5축 2단위 차량
11종	5축 18륜 	화물 수송용 폴트레일러 형식으로 5축 2단위 차량
12종	6축 22륜 	화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 6축이상 2단위 차량

1.3 고속국도의 축하중 분포

〈표 1.2〉 고속국도 차종별 축하중 분포 - (a) 단축(조향축)

하중 (톤)	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	10종	11종	12종
0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	0.94	-	-	0.02	-	-	-	-	0.02	-	-
1.25	90.09	0.32	64.83	0.80	-	-	-	-	0.80	-	-
1.75	6.84	0.48	17.59	3.09	0.12	-	-	-	3.09	-	-
2.25	0.71	3.87	13.79	14.37	0.12	0.32	-	-	14.37	-	-
2.75	0.24	2.42	0.34	14.05	0.12	0.16	-	-	14.05	0.10	0.06
3.25	0.24	1.61	1.38	23.44	0.18	3.84	0.44	3.41	23.44	0.45	0.06
3.75	0.24	11.29	1.03	13.87	1.49	18.24	1.32	30.46	13.87	0.45	0.78
4.25	0.24	34.35	0.69	11.04	8.63	22.72	1.54	42.48	11.04	8.00	9.69
4.75	0.24	18.55	0.34	8.77	18.98	12.16	7.25	11.82	8.77	27.27	25.13
5.25	0.24	18.23	-	5.56	17.85	5.28	10.55	5.81	5.56	9.09	22.90
5.75	-	7.58	-	2.89	15.23	4.64	14.29	1.40	2.89	27.27	25.85
6.25	-	1.29	-	1.22	10.23	4.80	16.48	0.20	1.22	9.09	12.26
6.75	-	-	-	0.52	8.45	7.20	20.0	0.80	0.52	9.09	1.62
7.25	-	-	-	0.26	7.79	3.36	15.16	1.40	0.26	9.09	0.89
7.75	-	-	-	0.10	6.31	2.56	5.27	0.60	0.10	0.09	0.39
8.25	-	-	-	0.02	2.44	4.64	5.93	1.00	0.02	-	0.28
8.75	-	-	-	-	1.43	2.40	1.76	0.40	-	-	0.06
9.25	-	-	-	-	0.59	3.20	-	0.20	-	-	0.06
9.75	-	-	-	-	0.06	3.52	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	-	0.96	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

〈표 1.3〉 (계속) 고속국도 차종별 축하중 분포 - (b) 단축(구동축)

기준 하중(톤)	2종	3종	4종	6종	7종	8종	9종
0.25	-	-	-	-	-	-	-
0.75	-	13.10	0.12	-	-	-	0.12
1.25	0.33	48.97	1.10	-	-	-	1.10
1.75	0.33	11.38	2.01	-	-	-	2.01
2.25	2.14	11.38	8.43	-	-	-	8.43
2.75	1.48	5.17	10.36	1.12	0.66	1.60	10.36
3.25	0.33	3.45	8.77	12.00	3.74	5.01	8.77
3.75	0.33	3.45	10.44	20.96	3.30	5.41	10.44
4.25	0.16	0.69	9.51	14.40	3.52	2.61	9.51
4.75	0.33	1.04	6.97	7.04	6.37	2.81	6.97
5.25	0.49	0.34	6.20	6.56	13.19	6.01	6.20
5.75	1.48	0.34	5.82	4.96	17.14	12.02	5.82
6.25	0.99	0.34	4.90	6.08	15.82	13.03	4.90
6.75	1.32	0.34	4.84	5.76	16.04	18.24	4.84
7.25	3.13	-	4.11	3.36	7.25	12.22	4.11
7.75	15.16	-	3.15	3.04	6.37	9.02	3.15
8.25	29.00	-	3.25	4.64	2.86	7.21	3.25
8.75	19.28	-	3.05	2.88	1.32	2.20	3.05
9.25	10.21	-	2.61	2.56	1.54	1.80	2.61
9.75	8.07	-	2.23	2.56	0.44	0.40	2.23
10.25	4.94	-	1.53	1.92	0.22	0.40	1.53
10.75	0.49	-	0.60	0.16	0.22	-	0.60
11.25	-	-		-		-	
11.75	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.4〉 (계속) 고속국도 차종별 축하중 분포 - (c) 복축

기준하중 (톤)	5중	6중	8중	9중	10중 (첫번째)	10중 (두번째)	11중	12중
0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	-	-	-	-	-	0.11	-	-
2.50	-	-	1.80	-	0.06	1.78	-	-
3.50	0.24	0.32	9.02	-	0.06	5.24	-	-
4.50	1.07	4.32	29.66	-	1.34	16.38	-	3.64
5.50	1.07	8.32	23.85	-	10.31	11.42	-	3.64
6.50	5.53	10.08	10.42	2.78	16.49	5.40	2.78	16.36
7.50	10.95	18.08	11.22	11.11	9.53	2.90	11.11	25.45
8.50	12.67	10.72	4.21	5.56	4.51	2.28	5.56	16.36
9.50	11.12	3.20	2.61	11.11	3.62	1.56	11.11	5.45
10.50	7.44	4.00	0.80	5.56	3.96	1.17	5.56	7.27
11.50	7.08	2.40	0.60	2.78	2.67	1.11	2.78	1.82
12.50	6.78	1.44	0.20	5.56	1.45	1.95	5.56	5.45
13.50	7.14	2.72	0.20	2.78	2.62	3.29	2.78	5.45
14.50	6.90	3.36	0.20	8.33	4.07	4.01	8.33	7.27
15.50	4.58	3.20	0.20	8.33	7.41	3.90	8.33	1.82
16.50	5.12	3.20	0.80	13.89	15.71	7.08	13.89	-
17.50	3.93	5.12	0.80	5.56	10.64	16.88	5.56	-
18.50	4.22	4.96	0.60	13.89	3.68	9.42	13.89	-
19.50	3.09	6.72	1.20	2.78	1.62	3.40	2.78	-
20.50	0.77	6.88	1.40	-	0.28	0.67	-	-
21.50	0.30	0.96	0.20	-	-	0.06	-	-
22.50	-	-	-	-	-	-	-	-
23.50	-	-	-	-	-	-	-	-
24.50	-	-	-	-	-	-	-	-
25.50	-	-	-	-	-	-	-	-
26.50	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.5〉 (계속) 고속국도 차종별 축하중 분포 - (d) 삼축

기준하중(톤)	7중	12중
0.75	—	—
2.25	—	—
3.75	0.11	—
5.25	0.11	18.18
6.75	2.20	16.36
8.25	4.18	9.09
9.75	0.66	9.09
11.25	0.66	3.64
12.75	0.66	1.82
14.25	0.66	9.09
15.75	1.10	1.82
17.25	1.10	3.64
18.75	3.74	5.45
20.25	3.50	5.45
21.75	5.95	3.64
23.25	5.27	1.82
24.75	18.24	9.80
26.25	23.74	1.11
27.75	18.68	—
29.25	8.57	—
30.75	0.88	—
32.25	—	—
33.75	—	—
35.25	—	—
36.75	—	—
38.25	—	—
39.75	—	—
합계	100.00	100.00

〈표 1.6〉 일반국도 차종별 축하중 분포 - (a) 단축(조향축)

기준 하중(톤)	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종
0.25	-	-	1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	58.33	4.00	90.61	4.38	-	-	-	-	4.38	-	-	-
1.25	41.67	8.00	6.42	25.46	0.36	0.16	-	-	25.46	-	-	-
1.75	-	44.00	1.53	28.38	0.84	0.32	-	-	28.38	0.16	-	-
2.25	-	28.00	0.10	19.73	8.00	5.43	0.73	-	19.73	1.59	-	-
2.75	-	4.00	0.10	9.62	14.22	8.31	1.94	-	9.62	6.70	0.06	-
3.25	-	6.00	0.10	3.53	9.92	3.35	3.16	3.41	3.53	4.78	0.06	-
3.75	-	3.00	-	1.83	4.54	3.83	2.91	30.46	1.83	1.91	0.78	-
4.25	-	2.00	-	2.07	1.91	3.19	4.61	42.48	2.07	1.28	9.69	2.78
4.75	-	1.00	-	1.58	2.99	3.04	5.34	11.82	1.58	3.83	25.13	16.67
5.25	-	-	-	0.97	2.51	6.39	8.98	5.81	0.97	19.46	22.90	16.67
5.75	-	-	-	1.22	5.14	6.07	15.29	1.40	1.22	33.65	25.85	19.44
6.25	-	-	-	0.24	8.36	5.91	25.00	0.20	0.24	22.33	12.26	5.56
6.75	-	-	-	0.24	7.53	3.67	15.29	0.80	0.24	2.39	1.62	5.56
7.25	-	-	-	0.49	8.24	2.56	8.25	1.40	0.49	0.32	0.89	11.11
7.75	-	-	-	0.24	8.96	4.15	4.85	0.60	0.24	0.64	0.39	13.89
8.25	-	-	-	-	4.66	4.63	2.18	1.00	-	0.32	0.28	2.78
8.75	-	-	-	-	2.51	7.03	1.46	0.40	-	0.32	0.06	5.56
9.25	-	-	-	-	1.55	5.75	-	0.20	-	0.32	0.06	-
9.75	-	-	-	-	3.11	9.27	-	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	3.46	11.02	-	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	1.19	5.91	-	-	-	-	-	-
11.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합 계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

〈표 1.7〉 (계속) 일반국도 차종별 축하중 분포 -(b) 단축(구동축)

기준 하중(톤)	2중	3중	4중	6중	7중	8중	9중
0.25	-	24.81	-	-	-	-	-
0.75	-	63.70	4.14	-	-	-	4.14
1.25	4.00	5.94	17.30	0.32	-	-	17.30
1.75	12.00	3.07	16.20	0.32	-	-	16.20
2.25	4.00	1.05	14.25	2.08	0.49	-	14.25
2.75	8.00	0.48	10.11	5.91	1.46	1.60	10.11
3.25	12.00	0.29	8.65	6.71	1.94	5.01	8.65
3.75	32.00	0.19	8.04	3.35	2.91	5.41	8.04
4.25	12.00	0.19	6.21	4.47	5.58	2.61	6.21
4.75	4.00	0.10	3.41	3.51	8.98	2.81	3.41
5.25	4.00	-	3.05	2.40	14.32	6.01	3.05
5.75	4.00	-	0.73	6.39	20.87	12.02	0.73
6.25	4.00	-	1.10	6.71	16.99	13.03	1.10
6.75	-	0.10	1.22	3.35	9.95	18.24	1.22
7.25	-	-	1.46	4.95	9.47	12.22	1.46
7.75	-	-	0.85	3.99	2.91	9.02	0.85
8.25	-	-	0.73	4.15	1.70	7.21	0.73
8.75	-	0.10	0.49	4.95	0.73	2.20	0.49
9.25	-	-	0.73	9.74	0.49	1.80	0.73
9.75	-	-	0.61	12.46	1.21	0.40	0.61
10.25	-	-	0.37	11.18	-	0.40	0.37
10.75	-	-	0.24	3.04	-	-	0.24
11.25	-	-	0.12	-	-	-	0.12
11.75	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.8〉 (계속) 일반국도 차종별 축하중 분포 -(c) 복측

기준 하중 (톤)	5종	6종	8종	9종	10종 (첫번째)	10종 (두번째)	11종	12종
0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	-	-	-	-		0.16	-	-
2.50	0.36	0.64	1.80	-	0.16	0.80	-	-
3.50	5.02	3.99	9.02	-	3.35	3.04	-	-
4.50	10.75	5.75	29.66	-	1.44	2.40	-	3.64
5.50	6.33	4.31	23.85	-	1.12	0.96	-	3.64
6.50	3.94	2.08	10.42	2.78	1.91	1.60	2.78	16.36
7.50	3.58	0.96	11.22	11.11	1.12	0.80	11.11	25.45
8.50	3.70	1.92	4.21	5.56	2.55	0.96	5.56	16.36
9.50	3.82	3.35	2.61	11.11	3.67	1.12	11.11	5.45
10.50	4.66	3.99	0.80	5.56	3.83	3.04	5.56	7.27
11.50	2.75	5.43	0.60	2.78	1.28	1.44	2.78	1.82
12.50	2.99	2.40	0.20	5.56	0.80	1.44	5.56	5.45
13.50	1.79	2.08	0.20	2.78	0.32	1.76	2.78	5.45
14.50	2.75	0.96	0.20	8.33	2.07	4.95	8.33	7.27
15.50	3.11	4.31	0.20	8.33	11.96	7.99	8.33	1.82
16.50	4.66	3.99	0.80	13.89	21.69	19.97	13.89	-
17.50	7.77	8.15	0.80	5.56	25.52	23.96	5.56	-
18.50	11.35	10.86	0.60	13.89	12.28	14.70	13.89	-
19.50	11.35	17.09	1.20	2.78	3.99	5.59	2.78	-
20.50	6.69	15.34	1.40	-	0.96	2.40	-	-
21.50	2.39	2.08	0.20	-	-	0.64	-	-
22.50	0.24	0.32	-	-	-	0.32	-	-
23.50	-	-	-	-	-	-	-	-
24.50	-	-	-	-	-	-	-	-
25.50	-	-	-	-	-	-	-	-
26.50	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.9〉 (계속) 일반국도 차종별 축하중 분포 - (d) 삼축

기준하중(톤)	7중	12중
0.75	—	—
2.25	—	—
3.75	0.11	—
5.25	0.11	18.18
6.75	2.20	16.36
8.25	4.18	9.09
9.75	0.66	9.09
11.25	0.66	3.64
12.75	0.66	1.82
14.25	0.66	9.09
15.75	1.10	1.82
17.25	1.10	3.64
18.75	3.74	5.45
20.25	3.50	5.45
21.75	5.95	3.64
23.25	5.27	1.82
24.75	18.24	9.80
26.25	23.74	1.11
27.75	18.68	—
29.25	8.57	—
30.75	0.88	—
32.25	—	—
33.75	—	—
35.25	—	—
36.75	—	—
38.25	—	—
39.75	—	—
합계	100.00	100.00

1.4 지방도의 축하중 분포

〈표 1.10〉 지방도 차종별 축하중 분포 - (a) 단축 (조향축)

기준 하중(톤)	3종	4종	5종	6종	7종	8종	10종	11종	12종
0.25	-	-	-	-	0.38	-	-	-	-
0.75	91.67	6.10	-	-	0.76	-	6.10	-	-
1.25	7.64	12.80	1.15	-	0.60	-	12.80	-	-
1.75	0.46	45.12	2.30	-	1.51	-	45.12	0.16	-
2.25	0.23	23.78	19.54	14.52	3.78	-	23.78	1.59	-
2.75	-	9.15	24.14	54.84	4.54	-	9.15	6.70	0.06
3.25	-	2.44	26.44	12.90	7.56	3.41	2.44	4.78	0.06
3.75	-	0.41	12.64	3.23	11.34	30.46	0.41	1.91	0.78
4.25	-	0.20	6.90	1.61	15.12	42.48	0.20	1.28	9.69
4.75	-	-	5.75	1.61	17.38	11.82	-	3.83	25.13
5.25	-	-	1.15	4.84	11.34	5.81	-	19.46	22.90
5.75	-	-	-	1.61	9.83	1.40	-	33.65	25.85
6.25	-	-	-	4.84	9.07	0.20	-	22.33	12.26
6.75	-	-	-	-	6.05	0.80	-	2.39	1.62
7.25	-	-	-	-	0.76	1.40	-	0.32	0.89
7.75	-	-	-	-	-	0.60	-	0.64	0.39
8.25	-	-	-	-	-	1.00	-	0.32	0.28
8.75	-	-	-	-	-	0.40	-	0.32	0.06
9.25	-	-	-	-	-	0.20	-	0.32	0.06
9.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.11〉 (계속) 지방도 차종별 축하중 분포 - (b) 단축 (구동축)

기준 하중(톤)	3중	4중	6중	7중	8중	9중	9중	10중	11중	12중
0.25	22.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	61.81	4.88	-	-	-	4.88	6.10	-	-	-
1.25	10.19	10.37	-	-	-	10.37	12.80	-	-	-
1.75	3.24	21.95	-	-	-	21.95	45.12	0.16	-	-
2.25	0.69	15.85	6.45	-	-	15.85	23.78	1.59	-	-
2.75	0.46	12.80	24.19	9.09	1.60	12.80	9.15	6.70	0.06	-
3.25	0.46	9.15	35.48	-	5.01	9.15	2.44	4.78	0.06	-
3.75	0.23	5.49	11.29	18.18	5.41	5.49	0.41	1.91	0.78	-
4.25	-	7.32	8.06	63.64	2.61	7.32	0.20	1.28	9.69	2.78
4.75	-	5.49	1.61	9.09	2.81	5.49	-	3.83	25.13	16.67
5.25	-	4.88	3.23	-	6.01	4.88	-	19.46	22.90	16.67
5.75	-	0.61	3.23	-	12.02	0.61	-	33.65	25.85	19.44
6.25	-	0.61	3.23	-	13.03	0.61	-	22.33	12.26	5.56
6.75	-	0.61	3.23	-	18.24	0.61	-	2.39	1.62	5.56
7.25	-	-	-	-	12.22	-	-	0.32	0.89	11.11
7.75	-	-	-	-	9.02	-	-	0.64	0.39	13.89
8.25	-	-	-	-	7.21	-	-	0.32	0.28	2.78
8.75	-	-	-	-	2.20	-	-	0.32	0.06	5.56
9.25	-	-	-	-	1.80	-	-	0.32	0.06	-
9.75	-	-	-	-	0.40	-	-	-	-	-
10.25	-	-	-	-	0.40	-	-	-	-	-
10.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.12〉 (계속) 지방도 차종별 축하중 분포-(c) 복측

기준 하중(톤)	5중	6중	8중	9중	10중 (첫번째)	10중 (두번째)	11중	12중
0.50	—	—	—	—	—	—	—	—
1.50	—	—	—	—		0.16	—	—
2.50	—	—	1.80	—	0.16	0.80	—	—
3.50	2.30	30.65	9.02	—	3.35	3.04	—	—
4.50	22.99	29.03	29.66	—	1.44	2.40	—	3.64
5.50	13.79	19.35	23.85	—	1.12	0.96	—	3.64
6.50	10.34	3.23	10.42	2.78	1.91	1.60	2.78	16.36
7.50	2.30	1.61	11.22	11.11	1.12	0.80	11.11	25.45
8.50	1.15	1.61	4.21	5.56	2.55	0.96	5.56	16.36
9.50	8.05	—	2.61	11.11	3.67	1.12	11.11	5.45
10.50	18.39	—	0.80	5.56	3.83	3.04	5.56	7.27
11.50	8.05	8.06	0.60	2.78	1.28	1.44	2.78	1.82
12.50	9.20	4.84	0.20	5.56	0.80	1.44	5.56	5.45
13.50	2.30	1.61	0.20	2.78	0.32	1.76	2.78	5.45
14.50	1.15	—	0.20	8.33	2.07	4.95	8.33	7.27
15.50	—	—	0.20	8.33	11.96	7.99	8.33	1.82
16.50	—	—	0.80	13.89	21.69	19.97	13.89	—
17.50	—	—	0.80	5.56	25.52	23.96	5.56	—
18.50	—	—	0.60	13.89	12.28	14.70	13.89	—
19.50	—	—	1.20	2.78	3.99	5.59	2.78	—
20.50	—	—	1.40	—	0.96	2.40	—	—
21.50	—	—	0.20	—	—	0.64	—	—
22.50	—	—	—	—	—	0.32	—	—
23.50	—	—	—	—	—	—	—	—
24.50	—	—	—	—	—	—	—	—
25.50	—	—	—	—	—	—	—	—
26.50	—	—	—	—	—	—	—	—
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

〈표 1.13〉 (계속) 지방도 차종별 축하중 분포 -(d) 삼축

기준하중(톤)	7종	12종
0.75	—	—
2.25	—	—
3.75	0.11	—
5.25	0.11	18.18
6.75	2.20	16.36
8.25	4.18	9.09
9.75	0.66	9.09
11.25	0.66	3.64
12.75	0.66	1.82
14.25	0.66	9.09
15.75	1.10	1.82
17.25	1.10	3.64
18.75	3.74	5.45
20.25	3.50	5.45
21.75	5.95	3.64
23.25	5.27	1.82
24.75	18.24	9.80
26.25	23.74	1.11
27.75	18.68	—
29.25	8.57	—
30.75	0.88	—
32.25	—	—
33.75	—	—
35.25	—	—
36.75	—	—
38.25	—	—
39.75	—	—
합계	100.00	100.00

부록 2. 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법

2.1 범위

포장 구조 설계에서 노상토 및 입상 보조기층과 입도조정 쇄석기층 재료의 기본 설계입력 물성으로서 탄성계수를 선택한다. 탄성계수는 매우 다양한 요소에 의해 영향 받는데 포장 구조 설계에서는 노상토의 경우 체적응력, 축차응력, 함수비를, 입상 보조기층과 입상기층에 대해서는 체적응력을 영향요소로 고려한 탄성계수 결정모델을 사용한다.

포장 구조 설계에서는 응력수준과 함수비 등의 환경영향을 고려하여 탄성계수 결정모델로부터 탄성계수를 구할 수 있도록 재료에 대한 직접시험을 실시(설계수준 1) 하거나 재료의 기본 물성치로부터 상관경험모형을 이용하여 설계입력변수인 탄성계수를 결정하는 방법(설계수준 2)을 채택하도록 하였으며 기존에 사용해 오던 CBR 시험을 통해 간접적으로 노상토의 탄성계수를 추출하고 이를 설계입력변수로 사용하는 방법(설계수준 3)을 사용할 수 있도록 하였다. 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 시험법은 설계수준 1에서 필요한 시험방법, 시험절차 및 소요되는 시험도구와 설계수준 2에서 필요한 기본 물성시험의 종류와 이를 이용한 상관모형의 결정방법에 대하여 설명한다. 설계수준 3에서 사용하는 CBR시험법(KS F 2310)은 보편적으로 통용되고 있으므로 본 시험법 소개에서는 제외한다.

2.2 반복삼축압축시험을 이용한 설계입력물성 평가 (설계등급 1)

가. 시험법 적용의 범위

- 1) 본 시험방법은 노상토 및 입상 보조기층 재료의 포장 단면설계에 사용되는 탄성계수를 결정하기 위한 것이다.
- 2) 본 시험방법은 재성형 시편, 불교란 시편 모두에 적용 가능하다.
- 3) 적용 응력조건은 포장층의 구성 재료(노상, 보조기층, 입상 쇄석기층)에 따라서 달리 적용한다.
- 4) 시편의 크기는 시험재료의 입도분포 특성에 따라서 달리 적용할 수 있다.

- 5) 본 절차에서 획득하는 탄성계수는 비선형성을 포함하는 것으로 응력의존의 탄성 계수이며 본 시험에서 적용하는 응력 범위 내에서 유효하다.
- 6) 본 시험절차에서 결정되는 탄성계수는 포장 구조해석에 적용 가능하다.
- 7) 본 시험절차는 시험과정의 안전 문제에 대해서는 포함하지 않는다.
- 8) 본 시험법은 포아송비 및 영구변형 관련 물성치는 포함하지 않는다.

나. 용어정의

- 1) 노상토 : 입상보조기층 아래 위치하는 층의 재료로서 다짐된 노상토 또는 원지반 노상토로 구분된다.
- 2) 입상 보조기층 재료 : 본 재료는 토사와 골재를 혼합하거나 자연적으로 얻어지는 것으로서 특별한 안정처리를 하지 않은 재료에 해당한다.
- 3) 탄성계수 : 「부록 2.2 아.」 절 의 방법으로 결정되는 응력과 변형률의 관계를 맺는 계수이며, 비선형성, 응력 의존성, 함수비 특성이 고려된 재료의 변형특성을 칭한다.
- 4) 안정응력 : 시편을 삼축압축시험장치에 거치할 때 시편과 상하부 캡 사이의 안정 적인 접촉을 확보하기 위해 가하는 수직 응력을 칭한다.
- 5) 공칭입자크기 : 체가름 시험결과에서 95% 누적 통과량에 해당하는 입자의 공칭직 경으로 정의한다.

다. 시험장치

- ① 시험의 구속응력 범위는 매우 작으나, 시험의 안전성 확보 측면에서 500kPa 이상의 범위까지 구속응력 재하에 저항 할 수 있는 삼축 압축 셀을 사용한다.
 - ② 삼축압축 셀은 셀 내부를 육안으로 볼 수 있도록 투명한 재질을 사용한다.
 - ③ 구속응력은 압축공기를 사용한다.
 - ④ 시편변형 측정 장치는 삼축 압축 셀 내부 또는 외부 어느 위치에 있어도 무방하다. 시편변형 측정 장치를 장착할 수 있는 장치를 갖추고 있어야 한다.
 - ⑤ 하중측정 장치(load cell)는 삼축 압축 셀 내부 또는 외부 어느 위치에 있어도 무방하다.
- 1) 하중재하장치
 - ① 하중재하는 응력 조절방식, 변형률 조절방식 모두 적용 가능하다.
 - ② 하중재하는 유압식, 공기압식 모두 가능하다.

- ③ 개방형(open loop), 폐쇄형(closed loop) 조절 방식 모두 적용 가능하다.
- 2) 축하중 측정장치
- ① 축하중 측정장치는 전기식으로 결과를 획득할 수 있는 하중계(load cell)를 사용한다.
- ② 하중계의 용량과 정밀도는 시편직경에 따라 <표 2.1>과 같은 수준을 요구한다.

<표 2.1> 반복삼축압축시험 하중계의 용량 및 정밀도 요구수준

시편 직경(mm)	용량 (kN)	정밀도 (N)
50	2 이상	±2
70	5 이상	±5
100	10 이상	±10
150	20 이상	±20

- 3) 구속응력 측정 장치
- ① 구속응력을 공기압을 사용하므로 공기압을 측정할 수 있는 장치이어야 한다.
- ② 구속응력 측정 장치는 전기식으로 측정 할 수 있는 장치이어야 한다.
- ③ 구속응력 측정 장치의 용량은 500kPa, 정밀도는 ±0.5kPa 이상이어야 한다.
- 4) 축변형 측정 장치
- ① 축변형은 전기식 측정 장치 (LVDT)를 사용하는 것을 원칙으로 한다.
- ② 축변형 측정 장치의 용량과 정밀도는 시편 길이에 따라 <표 2.2>과 같은 수준을 요구한다.

<표 2.2> 반복삼축압축시험 축변형 측정장치의 용량 및 정밀도 요구수준

시편 직경(mm)	용량 (mm)	정밀도
50	5mm 이상	±0.001m
70	6mm 이상	±0.002m
100	8mm 이상	±0.002m
150	10mm 이상	±0.003m

5) 시편성형장치

- ① 시편성형 방법과 장치는 부록에 따른다.

6) 기타장비

- ① 일반적인 삼축압축시험과 마찬가지로 O-ring, 고무막(membrane), 고무막 설치 보조장치, 상부 캡(top cap), 하부 캡(bottom cap) 등이 필요하다.
- ② 하부 캡에는 배수를 위한 배수구멍(drainage valve)이 설치되어 있어야 한다.

라. 시험장치 검증

- 1) 시험 장치는 시험기에 사용되는 각각의 측정 장치 검증과 시험기 전체 시스템 검증으로 나뉜다.
- 2) 시험장치 전체 시스템 검증
 - ① 시험장치 시스템 검증은 매 1년 마다 또는 100회 시험 후 실시한다.
 - ② 1년 또는 100회 시험 이전이라도 시험장치가 심각한 충격을 받은 경우에는 시스템 검증을 수행한다.
 - ③ 시스템 검증은 강성도(탄성계수)를 알고 있는 인조 우레탄 검증시편을 사용하여 수행한다.
- 3) 각각 측정 장치의 개별적인 검증
 - ① 검증대상 계측장치는 하중계(load cell), 변위계(LVDT), 압력계(pressure gage) 이다.
 - ② 각각 측정 장치의 개별적인 검증은 매 6개월 마다 또는 50회 시험 후 실시한다.
 - ③ 6개월 또는 50회 시험 이전이라도 각각 개별의 측정 장치가 심각한 충격을 받은 경우에는 검증을 수행한다.

마. 시험시편

- 1) 시편성형 방법은 「부록 2.3절」을 따른다.
- 2) 시편의 크기는 시료의 공칭직경에 따라 다르게 사용한다.
- 3) 시편의 길이는 직경의 2배 이상이 되어야 한다.
- 4) 나무뿌리 등 이물질이 있는 불교란 시료는 시편에서 제외 한다.

바. 삼축압축시험 시험장치에 시편 거치

1) 시험 준비

- ① 시험시편을 준비한다.
- ② 시료가 놓이는 상부캡(top cap) 및 하부판(base plate)을 깨끗이 청소해 둔다.
- ③ 하부판(base plate)에 설치된 배수구멍(drainage hole)의 열림 상태를 확인하고, 만약 막혀있는 경우에는 압축공기를 사용하여 배수구멍(drainage hole)이 열림 상태가 되도록 한다.

2) 시편거치 순서

- ① 하부판(base plate)에 설치된 배수구멍(drainage hole)위에 거름종이(filter paper)를 설치한다.
- ② 단부오차를 최소화하기 위해서 시편의 양 단부를 석고 처리한다.
 - 석고를 반죽한다.
 - 바닥판을 석고 처리한다. 이때 배수구멍이 막히지 않도록 주의한다.
- ③ 시편을 바닥판 위에 설치한다.
 - 시편이 수직이 되도록 주의하여 설치한다.
 - 시편이 바닥판의 중심에 위치하도록 주의하여 설치한다.
- ④ 시편상부 면을 석고처리한다.
- ⑤ 상부 캡을 설치한다.
 - 시편을 조심스럽게 중심 위치를 맞춘다.
 - 시편 주위로 흘러나온 여분의 석고를 제거한다.
- ⑥ 멤브레인을 조심스럽게 설치한다.
- ⑦ O-ring 을 설치한다.
 - 아래 부분의 O-ring을 먼저 설치하고 윗 부분의 O-ring을 나중에 설치한다.
 - O-ring 설치후 O-ring 주위를 진공약스로 처리한다.

3) 삼축압축 셀의 결함

- ① 시편에 진공압(7kPa)을 재하하여 시편 밀봉상태를 확인한다.
(설명) 멤브레인이 손상된 경우에는 액상 rubber latex로 밀봉하거나 새로운 멤브레인을 씌워 밀봉상태를 확보한다.
- ② 밀봉이 확인되면 삼축셀을 씌운다.

- ③ 셀이 조립되면 하중제하장치를 조립한다.

사. 삼축압축시험 하중 재하 순서

- 1) 배수 밸브를 개방하여 시편 내부가 대기압상태로 되도록 한다.
- 2) 초기 구속응력을 재하한다.

(설명) 초기 구속응력의 크기는 노상토의 경우에는 41kPa, 보조기층 재료의 경우에는 104kPa를 적용한다.
- 3) 초기 구속응력을 재하한 후 2시간 이상 기다린다. 이것은 시편의 양 단부를 처리한 석고의 완전히 경화될 수 있는 양생시간을 확보하기 위함이다.
- 4) 초기 구속응력조건에서 육안으로 시편이 구속응력이 재하되었는지 멤브레인의 상태를 육안으로 관찰한다.
- 5) 초기 구속응력 조건에서 시편의 완전 밀봉 상태를 확인한다.
 - ① 삼축압축시험장치 몸체 외부의 배수관(drainage line) 끝 부분을 물속에 넣어 둔다. 이때 두 개의 배수관(drainage line) 모두를 사용할 수도 있고, 하나만 사용하는 경우에는 사용하지 않는 배수관은 막아둔다.
 - ② 만일 완전한 밀봉이 이루어진 경우라면 초기에 시편의 부피 변화에 의한 약간의 공기방울 이후에는 공기방울이 발생하지 않는다.
 - ③ 그러나, 계속해서 공기방울이 발생하는 경우에는 압축공기가 시편 내부로 스며 들고 있는 것이다.
 - ④ 공기방울이 계속 발생하는 경우, 구속응력을 제거하고, 몸체를 분해하고, 멤브레인을 추가로 하나 더 씌운 후, 다시 몸체, 구속셀 조립, 초기구속응력을 재하한다. 이 상태에서 공기방울 발생 여부를 다시 확인한다. 공기방울이 멈춘 경우에는 시험의 계속 진행하고, 공기방울이 이 상태에서도 멈추지 않는 경우에는 시험을 중지한다.
- 6) 안정응력을 재하한다.
 - ① 안정응력 계산에서 재하봉 자체의 무게를 고려한다.
 - ② 안정응력은 노상토 시료의 경우에는 6.9kPa, 보조기층 시료의 경우에는 13.8kPa 을 적용한다.
- 7) 하중재하 순서에 따라 구속응력, 축차응력을 재하하며 이 때의 구속응력, 축차응력, 축 변형률을 측정한다.
 - ① 하중재하순서는 노상토 재료의 경우에는 <표 2.3> 입상 보조기층 재료의 경우

에는 <표 2.4>를 따른다.

- ② 변형률 조절방식의 시험장치인 경우 축변형률 0.04%/분의 속도로 하중을 재하-역재하 한다.
- ③ 응력조절 방식의 시험장치인 경우 축차응력 50kPa/분의 속도로 하중을 재하-역재하 한다.
- ④ 축차응력 재하단계에서 축차응력 및 축변형률은 적어도 2초에 1개 이상의 자료를 측정 기록한다.
- ⑤ 모든 하중단계에서 영구 변형률이 5% 이상이면 시험을 종료하고 보고서에 이러한 상황을 기록한다.
- ⑥ 반복하중 시험과정에서 총 누적 영구 변형량이 5% 이하이고, 강도특성이 필요한 경우에는 파괴 하중까지의 전단시험을 연이어 수행할 수 있다.

<표 2.3> 반복삼축압축시험 축변형 측정장치의 용량 및 정밀도 요구수준

구속응력 (kPa)	하중반복횟수	축차응력 (kPa)	
		재하	역재하
41	2	0 → 69	69 → 0
21	2	0 → 69	69 → 0
10	2	0 → 69	69 → 0
0	2	0 → 69	69 → 0
안정응력 : 6.9 kPa, 축변형속도 : 0.04%/분			

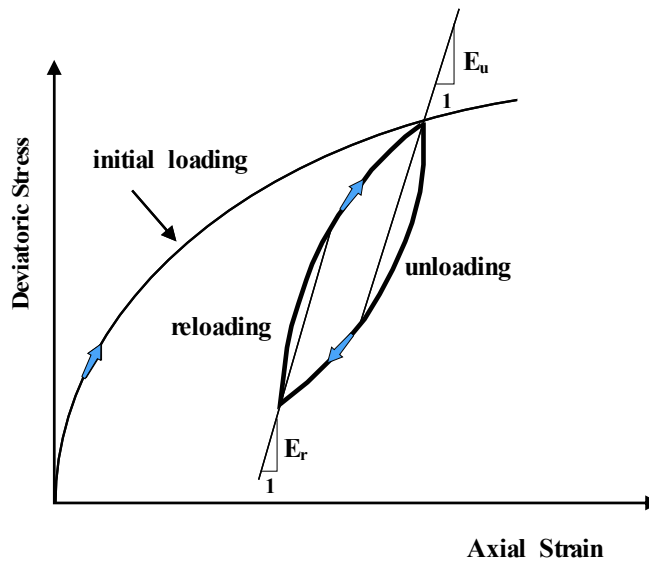
〈표 2.4〉 보조기층 시료에 대한 삼축압축시험의 하중조합

구속응력 (kPa)	하중반복횟수	축차응력 (kPa)	
		재하	역재하
104	2	0 → 104	104 → 0
21	2	0 → 69	69 → 0
35	2	0 → 104	104 → 0
69	2	0 → 207	207 → 0
104	2	0 → 207	207 → 0
138	2	0 → 276	276 → 0
안정응력 : 13.8 kPa, 축변형속도 : 0.04%/분			

- 8) 시험이 완료되면 구속응력을 제거하고, 삼축셀 분리한다.
- 9) 멤브레인을 제거하고 시편의 함수비를 측정한다.
- 10) 삼축압축시험 결과로부터 각 구속응력 단계에서 응력-변형률 곡선 그림을 그리고, 각 하중단계에서 탄성계수를 결정한다.

아. 응력단계별 탄성계수 계산

- 1) 구속응력 단계별 응력-변형률 곡선을 획득한다. 전형적인 응력-변형률 곡선은 〈그림 2.1〉과 같다.
- 2) 탄성계수 결정은 각 구속응력단계에서 수행된 2회의 반복재하과정 중, 2번째 재재하 단계의 자료를 기준으로 결정한다. 응력-변형률 곡선에서 2회 재의 재재하가 시작되는 점을 기준으로 한 응력-변형률 곡선의 기울기로부터 재재하 단계의 할선탄성계수를 결정 한다.
- 3) 탄성계수는 각 구속응력 단계에서 축차응력 크기에 따른 탄성계수를 연속적으로 결정한다.
- 4) 각 구속응력 단계에서 축차응력 크기에 따라 결정된 탄성계수 자료를 이용하여 〈표 2.5〉의 응력단계에서 최종적인 탄성계수를 결정한다.



〈그림 2.1〉 삼축압축시험에서 결정되는 전형적인 응력-변형률 곡선

〈표 2.5〉 삼축압축시험을 이용한 탄성계수 결정 응력 단계

단계	노상토		단계	입상보조기층 재료	
	구속응력 (kPa)	축차응력 (kPa)		구속응력 (kPa)	축차응력 (kPa)
1	0	14	1	21	21
2		28	2		41
3		51	3		61
4		55	4	35	35
5		69	5		69
6	10	14	6	69	104
7		28	7		69
8		51	8		138
9		55	9		207
10		69	10	104	69
11	21	14	11		104
12		28	12		207
13		51	13	138	104
14		55	14		138
15		69	15		276
16	41	14			
17		28			
18		51			
19		55			
20		69			

자. 결과보고

- 결과 보고서에는 다음의 사항을 포함하여 기록한다.
 - 시험자 및 시험일자를 기록한다.
 - 시험시료의 기초자료 특성을 기록한다. 기초자료 특성에는 시료명, 흙의 통일 분류법상 분류, 최대건조단위중량, 최적함수비 등을 포함한다.
 - 시험시편의 성형방법을 기록한다.
 - 시험시편의 조건 (함수비, 최대건조단위중량, 다짐도)을 기록한다.
 - 각 구속응력 단계에서 결정된 응력-변형률 곡선을 기록한다.
 - 각 응력 단계에서 결정된 탄성계수 결과정리 표를 기록한다.
 - 실험결과는 결정모델을 적용하여 회귀분석된 결과(모델계수)를 포함한다.

- 2) 동일한 시료에 대하여 삼축압축시험 이외의 시험이 병행하여 수행된 경우에는 시험 항목 및 그 결과의 요약을 포함한다.

2.3 설계입력 물성치 평가시험을 위한 시편성형

가. 시편 성형기법 적용의 범위

- 1) 본 시편성형 기법은 노상토 및 입상 보조기층 재료의 포장 단면설계에 사용되는 탄성계수를 결정하기 위한 시험 시편에 적용한다.

나. 시험 성형기법 일반사항

- 1) 삼축압축시험에 사용하는 시편의 크기는 시료입자의 공칭직경(95% 누적통과량에 해당하는 직경)의 5배 이상을 적용하는 것을 원칙으로 한다.
(설명) 시험기의 제약으로 크기가 작은 시편을 사용하는 경우에는 과대입자를 제거한 모델시료를 사용하여 시편을 성형하며, 이러한 경우에는 모델 시료의 영향을 시험 결과에 별도로 고려한다.
- 2) 시편의 높이는 시편 직경의 두 배 이상을 원칙으로 한다.
- 3) 재성형 시편의 건조단위중량은 다짐시험에서 결정된 최대건조단위중량의 85% 이상을 목표로 한다.
- 4) 시편의 함수비는 다짐시험에서 결정된 최적함수비를 기본으로 한다.
- 5) 시편성형 방법은 노상토 및 입상 보조기층 재료 모두에 있어서 5층 봉다짐 방법을 기본으로 한다.

다. 시편 성형 장치

- 1) 시편성형을 위해서는 시편성형용 다짐 봉, 시편성형 몰드 등이 필요하다.
- 2) 시편성형용 다짐봉은 시편직경 50mm 및 70mm 시편의 경우에는 다짐 램머의 무게 $1.2 \pm 0.1\text{kg}$, 낙하높이 $400 \pm 5\text{mm}$, 다짐직경 $25 \pm 1\text{mm}$ 로 한다. 시편직경 100mm 또는 150mm 시편의 경우에는 다짐시험(KS F2312) D다짐 다짐램머(4.5kg)를 적용한다.
- 3) 시편성형 몰드는 충분한 강성을 갖는 원통형 몰드 또는 split mold 를 사용한다.

2.4 시편 성형 절차

가. 시험시료 준비

- 1) 시험시료의 최대 공칭입자 크기는 성형하고자 하는 시편의 크기에 따라서 <표 2.6>과 같이 적용한다.

<표 2.6> 시험시료의 최대입자크기

시편직경 (mm)	최대입자크기 (mm)
150	38mm 이하
100	19mm 이하
70	13mm 이하
50	9.5mm 이하

- 2) 시험시료의 최대입자 크기 이상은 모두 제거한 모델시료를 사용하여 시험을 수행한다. 모델 시료 사용에 따른 시험결과 보정은 부록 A-2 및 A-3을 따른다.

나. 시험시료 함수비 조절

- 1) 분무기를 사용하여 시료의 함수비를 최적함수비 조건으로 맞춘다.
- 2) 물을 뿌린 후 골고루 섞어서 균일한 함수비 조건이 될 수 있도록 하며, 5분 이상 밀봉된 상태에서 대기한다.
- 3) 시편 성형을 위한 시료의 함수비 측정은 전자렌지를 사용한 급속함수비 측정 방법을 사용할 수 있다.

(설명) 전자렌지 가열시간은 시료의 양에 따라서 경험적으로 결정하며, 보통 10분~15분이면 적절하다.

- 4) 전자렌지를 사용한 함수비 측정에서 목표 함수비(최적함수비)에 $\pm 0.2\%$ 이내의 오차에 들어올 때 까지 함수비를 조절한다.
- 5) 목표 범위에 들어온 시편에 대해서, 정확한 함수비 측정을 위해서 표준함수비 측정방법($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, 24시간)으로 함수비를 측정한다.
- 6) 최종적인 시편의 함수비는 표준 함수비 측정방법으로 측정한 결과를 사용한다.

다. 시편 다짐몰드 준비

- 1) split mold 또는 원통형 몰드를 준비한다.
- 2) split mold를 사용하는 경우 몰드를 조립하고 아래에 바닥판을 끼워 넣는다.
- 3) 경우에 따라서는 split mold 내부에 얇은 필름(OHP 필름)등을 넣어 시편 추출시 시편의 손상을 줄이는 방법을 사용해도 무방하다.
- 4) 원통형 몰드를 사용하는 경우에는 유압기를 사용해서 시편을 추출한다.

라. 시편다짐 성형

- 1) 함수비 조절이 완료된 시료를 사용하여 5층 다짐으로 시편을 성형한다.
- 2) 한 층 다짐 부피를 계산한다.

$$V_1 = (\frac{\pi}{4} D^2 H) / 5$$

여기서, V_1 = 한층 다짐부피

D = 다짐 몰드 내부의 직경

H = 목표 시편 높이

- 3) 한층 다짐 부피에 해당하는 시료의 무게를 계산한다.

$$W_1 = \gamma_t \cdot V_1$$

여기서, W_1 = 한층 다짐 시료 무게

V_1 = 한층 다짐부피

γ_t = 시편의 목표 총단위중량 (아래 식 사용)

$$y_t = y_d(1+w)$$

여기서, y_t = 시편의 목표 총단위중량

y_d = 시편의 목표 건조단위중량

w = 시료의 측정된 함수비 (목표 함수비와 약간의 차이가 있을 수 있음, 목표 함수비 즉 최적함수비가 아님)

- 4) 한층 다짐시료 무게의 시료를 다짐몰드 내부에 넣는다. 이때 시료가 몰드 외부로 손실되지 않도록 매우 주의한다.
- 5) 시료를 몰드에 넣고 스페츨라로 끌고루 쑤신다. 이때 몰드 벽면을 돌아가면서 쑤셔서 몰드와 시편사이의 공간이 없도록 주의한다.
- 6) 다짐봉을 사용하여 목표 높이 까지 다짐을 실시한다.
- 7) 다짐봉을 사용하여 시편을 다질 때 시편이 균일하게 다짐될 수 있도록 끌고루 균질하게 다진다. 일반적으로 10회 ~ 20회 정도 다짐이면 목표값을 얻을 수 있다.
- 8) 목표 높이에 도달하면 다음 층 시료의 무게를 계량한다.
- 9) 이전에 다짐 층의 바닥을 약간 긁어 일으킨다. 이것은 다짐 층과 층 사이의 접촉을 좋게 하기 위함이다.
- 10) 이후 동일한 반복 작업을 마지막 층까지 수행한다.
- 11) 마지막 층이 목표 높이까지 다져지면 몰드직경보다 약간 작은 둥근 쇠판을 놓고 가볍게 타격하여 시편의 가장 윗면을 매끄럽게 정형한다.

마. 시편 추출

- 1) split mold를 사용한 경우에는 조심스럽게 split mold 를 분해하여 시편 얻는다.
- 2) 일체형 mold를 사용한 경우에는 유압식 시편 추출 장치를 이용하여 시료를 느린 속도로 추출한다.

바. 시험시편 조건 계산

- 1) 추출된 시편의 무게, 직경, 높이를 측정한다. 직경은 위, 중간, 아래 부분을 측정하여 평균하며 높이는 서로 다른 위치에서 3회 측정하여 평균한다.
- 2) 성형된 시편의 건조단위중량 및 다짐도를 계산한다.

$$(\gamma_d)_{specimen} = \frac{\gamma_t}{(1 + w)} = \frac{(W/V)}{(1 + w)}$$

여기서, $(\gamma_d)_{specimen}$ = 시편의 건조단위중량

W = 시편의 무게

V = 시편의 부피

w = 시편의 함수비 (목표함수비가 아님)

$$RC(\%) = \frac{(\gamma_d)_{specimen}}{(\gamma_{d,max})_{compaction}} \times 100(\%)$$

여기서, RC = 다짐도 (%)

$(\gamma_d)_{specimen}$ = 시편의 건조단위중량

$(\gamma_{d,max})_{compaction}$ = 다짐시험에서 결정된 최대건조단위중량

사. 시험시편 적합성 평가

- 1) 최종적으로 성형된 시편의 외형적인 손상을 육안으로 평가한다. 만일 손상이 발견되면 시편을 다시 성형한다.
- 2) 외형적인 손상이 없더라도 시편추출과정 등에서 과도한 하중이 시편에 가해진 경우에는 시편을 다시 성형한다.
- 3) 성형된 시편의 다짐도가 목표다짐도의 근사 범위에 있는지를 검토한다.

- 4) 성형된 시편의 다짐도는 목표다짐도의 $\pm 0.5\%$ 이내에 들어야 한다. 노상토의 경우 목표 다짐도는 최대건조다짐밀도의 95%이상이므로 성형된 시편의 다짐도는 94.5%~95.5% 범위 이내에 있어야 한다.
- 5) 만일 성형된 시편의 다짐도가 허용범위를 벗어나면 시편을 다시 성형한다.

아. 최종적인 시험시편 조건의 보고 및 재평가

- 1) 시편 성형과정에서는 전자렌지를 이용한 급속함수비 측정 방법을 적용할 수 있다. 이것은 시편성형과정에서 시편의 적합성을 일차적으로 평가하기 위한 목적이다. 따라서 최종적인 시편의 상태는 표준함수비 측정법으로 결정된 함수비를 사용하여 평가하여야 한다.
- 2) 표준함수비로 측정된 함수비 결과를 사용하여 시편의 다짐도를 다시 계산한다.
- 3) 최종적인 시편의 다짐도는 목표다짐도 $\pm 0.5\%$ 이내에 들어야 한다. 노상토의 경우 목표 다짐도는 95%이므로 성형된 시편의 다짐도는 94.5%~95.5% 범위 이내에 있어야 한다.
- 4) 만일 최종 평가된 시편의 다짐도가 허용범위를 벗어나면 시험을 중지한다. 이러한 경우 급속함수비 측정방법과 표준 함수비 측정방법에 많은 차이가 있는 경우이므로 함수비 조절에 특별한 주의를 요한다.
- 5) 최종 평가된 시편의 다짐도가 허용범위 이내라면 함수비, 건조단위중량, 다짐도를 해당 시편의 조건으로 보고·기록 한다.

2.5 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가 경험모형식 (설계등급 2)

가. 경험모형식

포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가를 위한 경험모형식은 국내 재료에 대한 시험자료를 바탕으로 개발되었다. 경험모형식은 설계입력변수인 탄성계수와 기초물성 및 응력수준 사이에 상관성을 설정한다. 경험모형 설정에 사용된 국내 하부구조 재료의 탄성계수의 최대값과 최소값의 범위는 <표 2.7>과 같다. 상관모형 설정에 사용된 국내 하부구조 재료의 기초물성과 국내 하부구조가 경험하는 응력수준의 범위는 <표 2.8>로 설정하였다. 설계등급 2에서 사용할 국내 하부구조 층재료에 대한 경험모형식은 인공신경망 이론을 이용하여 개발되었으며 노상토, 입상 보조기층 및 입도조정 섶석기층 재료별로 표 <2.9> ~ 표 <2.11>과 같은 상관식의 형태로 표현할 수 있으며

각 재료에 해당하는 상관식에 관련되는 기초 재료물성을 산입하면 설계입력 변수인 탄성계수를 계산할 수 있도록 하였다.

〈표 2.7〉경험모형 탄성계수의 최대값 및 최소값의 범위 (단위, MPa)

구분	E_{\min}	E_{\max}
노상토	39.0	276.0
보조기층	60.0	422.0
입도조정 쇄석기층	100	600

〈표 2.8〉 기초 물성과 응력수준(σ_3 , θ , σ_d)의 최대치 및 최소치

구분	항목	최소값(Min.)	최대값(Max.)
노상토	최적함수비(OMC, %)	6.0	15.0
	최대건조단위중량(kN/m ³)	1.65	2.34
	균등계수(Cu)	0	41
	#200체 통과량 (%)	1.0	20.0
	구속응력 σ_3 (kPa)	0	41
	축차응력 σ_d (kPa)	14	69
보조기층 재료	최대건조단위중량(kN/m ³)	2.0	2.4
	균등계수(Cu)	9.0	65
	#4체 통과량 (%)	25	55
	구속응력 σ_3 (kPa)	21	138
	체적응력 θ (kPa)	84	690
입도조정 쇄석기층 재료	최대건조단위중량(kN/m ³)	2.1	2.4
	균등계수(Cu)	40	100
	#4체 통과량 (%)	30	65
	구속응력 σ_3 (kPa)	21	138
	체적응력 θ (kPa)	50	100

〈표 2.9〉 노상 경험모형식

노상
$k_1 = 2457.712 - 24.6057(OMC) - 1004.36(\gamma_{\max}) + 10.87046(C_u) - 26.2423(P_{200})$
$k_2 = -2.6015 + 0.03255(OMC) + 1.192409(\gamma_{\max}) - 0.01122(C_u) + 0.046575(P_{200})$
$k_3 = 0.914942 - 0.01813(OMC) - 0.50165(\gamma_{\max}) + 0.003201(C_u) - 0.02091(P_{200})$

여기서, γ_{\max} : 최대건조단위중량(t/m^3)

C_u : 균등계수

P_{200} : 200번체 통과율(%)

OMC : 최적함수비(%)

〈표 2.10〉 입상 보조기층 경험모형식

입상 보조기층
$k_1 = -51.5516 + 40.35118(\gamma_{\max}) + 0.572683(C_u) + 0.765182(P_4)$
$k_2 = 1.155052 - 0.51982(\gamma_{\max}) + 0.005393(C_u) + 0.002963(P_4)$

여기서, γ_{\max} : 최대건조단위중량(t/m^3)

C_u : 균등계수

P_4 : 4번체 통과율 (%)

〈표 2.11〉 입도조정 쇄석기층 경험모형식

입도조정 쇄석기층
$k_1 = 525.3144 - 156.406(\gamma_{\max}) + 1.1975(C_u) - 0.62312(P_4)$
$k_2 = 0.863715 - 0.35398(\gamma_{\max}) + 0.000974(C_u) + 0.003344(P_4)$

여기서, γ_{\max} : 최대건조단위중량(t/m³)

C_u : 균등계수

P_4 : 4번째 통과율 (%)

나. 포장 하부구조 재료의 설계입력변수 평가절차 예

1) 설계등급 결정

- ① 포장 구조 설계 대상 구간의 설계등급을 결정한다.

2) 설계구간 지반조사

- ① 포장 구조 설계를 위한 설계구간의 시추조사 및 시험굴 조사를 수행하고 시료를 채취한다.
 - 시추조사 계획은 지반의 개략적인 변화특성 및 설계등급을 고려하여 결정한다.
 - 시추조사를 통하여 설계대상 구간의 지층구조를 확인한다.
 - 시험굴 조사를 통하여 기초물성 시험에 필요한 충분한 양의 시료를 확보한다.
- ② 노상토 층 아래 측이 연약한 원지반이 존재하는 구간에 대해서는 대책공법을 수립한다.
- ③ 채취된 시료에 대해서는 다짐시험, 체가름 시험 등 기초 물성시험을 수행한다.

3) 설계구간 시료 선정 및 채취

- ① 설계구간에서 사용할 입도조정 쇄석기층, 입상보조기층 재료를 재료원별로 선정하고, 노상토는 절토부 또는 예상 재료원으로부터 직접 채취한다.
 - 채취된 시료의 기초물성시험과 지반조사 자료를 분석하여 지반조건이 변화하는 구간마다 대표적인 시료를 채취한다.

- 노상토 시료는 절토부 250m 구간 길이 마다 1개 이상의 시료를 선정한다.
- 입상 보조기층은 재료원별로 선정·채취한다.
- 입도조정 쇄석기층 재료는 재료원별로 선정·채취한다.

4) 하부구조 설계입력 물성 평가

- ① 설계대상 구간에서 선정 채취된 노상토 및 입상 보조기층, 입도조정 쇄석기층 재료에 대하여 다짐시험과 체가름 시험 등 기초물성 시험을 수행한다.
 - ② 포장 구조 설계에서 제안하고 있는 경험모형식을 적용하여 노상토 및 입상 보조기층, 입도조정 쇄석기층 재료의 탄성계수를 산정한다.
 - ③ 포장 구조 설계에서 제안하는 환경변화 모형을 적용하여 노상토의 함수비 변화를 예측한다.
 - 포장 구조 설계 해석 프로그램 내에서 강수량과 지역(온도)조건을 이용하여 기상청관측소 D/B로부터 자동으로 연산된다.
 - ④ 설계입력변수 경험모형과 환경모형을 통하여 최종적으로 결정된 각 시료의 응력 조건 및 환경조건에 따른 탄성계수의 대표 설계 평균값을 결정한다.
 - ⑤ 설계구간에서 노상토 재료의 탄성계수 변화를 검토하여 하나의 포장단면으로 설계하는 구간 길이를 결정한다.
 - 각 시료의 평균 탄성계수가 이전구간에 비하여 세 배 이하이면 하나의 포장 단면으로 고려한다.
 - 만일 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하면 노상토 및 입상보조기층 설계구간을 나눈다.
 - 평균 탄성계수가 세 배 이상 차이가 발생하는 경우라도 하나의 구간 길이가 750m 이하이면 별도의 설계구간으로 구분하지 않는다.
 - 독립적인 포장 단면구간의 변화 위치는 구조물과 토공 구간의 접속부 또는 흙쌓기와 흙깎기 경계 구간 등 시공성을 고려하여 결정한다.
- 5) 설계등급이 2인 경우에는 각각의 설계구간에서 경험모형으로부터 결정된 각 응력 조건 단계에서의 탄성계수를 각각 평균하여 이를 응력단계별 탄성계수로 결정하고 설계 입력 탄성계수 값으로 적용한다.
- 6) 설계등급 1인 경우에는 각 설계구간마다 채취된 시료에 대하여 반복재하삼축압축 시험을 수행하여 설계 탄성계수를 결정한다.
- ① 각 응력조건 단계에서의 탄성계수를 각각 평균하여 응력단계별 탄성계수를 결정하고 이를 설계 입력 탄성계수로 적용한다.

7) 설계등급 3인 경우에는 노상재료의 CBR을 구하여 탄성계수로 환산한다.

- ① 노상의 탄성계수 범위를 3단계로 구분하여 설계 탄성계수를 구한다.
- ② CBR을 이용한 탄성계수의 환산은 아래 식을 이용한다.

$$M_R = 17.6 \times CBR^{0.64}$$

여기서, M_R : 회복탄성계수 (MPa), CBR : California Bearing Ratio(%)

- ③ CBR 값에 따른 노상 탄성계수의 범위는 아래와 같이 구분한다.

〈표 2.14〉 노상 조건의 구분

E (MPa)	CBR	분 류
$E < 43$	$CBR < 4$	S1
$43 \leq E < 55.4$	$5 \leq CBR < 6$	S2
$55.4 \leq E < 76.8$	$6 \leq CBR < 10$	S3
$76.8 \leq E$	$10 \leq CBR$	S4

부록 3. 시멘트 콘크리트 열팽창계수 측정 방법(안)

3.1 적용 범위

이 규격은 시멘트 콘크리트의 선팽창률을 강체프레임(Rigid Frame)을 이용하여 측정하는 방법에 대하여 규정한다.

3.2 인용 규격

다음에 나타내는 규격은 이 규격에 인용됨으로써 이 규격의 규정 일부를 구성한다. 이러한 인용 규격은 그 최신판을 적용한다.

KS A 0021 수치의 댄음법

KS C 1602 열 전 대

KS C 1606 온도의 전기적 측정 방법

3.3 정 의

이 규격에서 사용하는 주된 용어의 정의는 다음과 같다.

- 1) 길이 변화율 재료의 온도를 변화시켰을 때, 그 온도 범위에서 재료의 길이 변화량과 실온에 대한 길이의 비
- 2) 선팽창률 재료의 온도 변화와 길이 변화의 관계가 직선으로 나타날 때, 이 범위의 길이 변화율을 온도변화로 나눈 값 또는 직선 기울기를 실온에 대한 길이로 나눈 값
- 3) 평균 선팽창률 재료의 온도 변화와 길이 변화량의 관계가 직선으로 나타나지 않는 경우의 온도사이에서의 변화율을 그 2점 사이의 온도차로 나눈 값

3.4 측정 장치

측정 장치는 <그림 3.1>과 같이 강체프레임(rigid frame), 온도 조절 수조, 변위 계측기, 온도 계측기 등으로 구성되고 다음과 같다.

- 1) 온도 조절수조 온도 조절수조는 정해진 승온 냉각 기능이 부착되고 10~50℃의 온도 범위를 가지며 0.1℃의 단위로 온도 조절이 가능한 것을 이용한다.
- 2) 강체프레임(Rigid Frame) 재료의 열에 의한 길이 변화를 지그를 매개로 하여 변위계로 측정하는 것으로 강체프레임과 강체프레임에 장착된 변위계 및 지그로 구성하고 각각 다음과 같다.
 - ① 강체프레임(Rigid Frame) 온도의 변화에 거의 변형을 하지 않는 invar (불변강으로서 강철과 니켈의 합금)를 강체프레임 재료로 사용한다.
 - ② 변위계 방수 기능이 되어져 있는 차동 트랜스형 변위계 등을 이용하고 0.00025mm의 정밀도로 길이 변화를 측정할 수 있는 것으로 한다.
 - ③ 지그 시료의 변위량을 변위계에 전달하는 것으로 강체프레임과 같은 재료로 제작한다.

3.4.1 온도 측정기 온도 측정은 KS C 1606에 규정하는 B급 측정 방식 또는 이것에 준한 측정 방식을 이용한다. 온도 측정에는 측정 온도에 견디는 것으로 KS C 1602에 규정하는 T열전대 또는 K열전대 및 그것과 동등 이상으로 교정한 것을 사용한다.

3.5 시 료

- 1) 시료의 채취 시료는 길이 방향의 양 끝을 평행하고, 평활하게 마무리한 각기둥 또는 원기둥으로 한다. 그 길이는 약 $180 \pm 2\text{mm}$, 지름은 100mm로 하는 실린더 및 코어 시편을 사용한다.
- 2) 시료의 상태 조절 시료는 측정에 앞서 온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 석회수에 완전히 침수하여 48시간 이내로 포화시킨다.

3.6 측정 순서

- 1) 강체프레임(Rigid Frame)을 온도 조절수조안에 설치 후 물을 채우고 4개의 온도

센서를 수조안에 설치한다. 변위계와 지그의 달라붙음을 방지하기 위해 각각의 선단에 실리콘 수지를 도포하여 얇은 막을 생성시킨다.

- 2) 포화탱크(시료를 포화시키기 위한 시료저장고)로부터 시료를 꺼내어 상온에서 시편의 길이를 0.1mm의 정밀도로 측정한다. 측정 후 시편을 강체프레임(Rigid Frame)에 설치한다.
- 3) 수조안의 물의 온도를 $10 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 맞춘 후 시편의 온도가 수조의 온도와 같아질 때까지 유지시킨다.
- 4) 온도센서의 온도를 0.1°C 의 정밀도로 측정하고 0.00025mm의 정밀도로 변위를 측정한다. 이 때의 온도와 변위를 시작 값(initial readings)으로 기록한다.
- 5) 수조안의 물의 온도를 $50 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 맞춘 후 시편의 온도가 수조의 온도와 같아질 때까지 유지시킨다.
- 6) 5)와 같은 방법으로 온도와 변위를 측정하고 이 때의 온도와 변위(second readings)를 기록한다.
- 7) 수조안의 물의 온도를 $10 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 맞춘 후 시편의 온도가 수조의 온도와 같아질 때까지 유지시킨다.
- 8) 4)와 같은 방법으로 온도와 변위를 측정하고 이 때의 온도와 변위(final readings)를 기록한다.

3.7 결과의 산출

선팽창률 또는 평균 선팽창률은 다음 식에 따라 산출하고, KS A 0021에 따라 유효 숫자 두 자리로 나타낸다.

$$CTE = (\Delta L_a / L_o) / \Delta T$$

여기서, CTE : 선팽창률 또는 평균 선팽창률()

ΔL_a : 시험동안 시편의 실제 길이 변화량(= $\Delta L_m + \Delta L_p$)(mm)

ΔL_m : 변위계에 의한 길이변화량(mm)

ΔL_f : 측정장치에 의한 교정값(mm) [= $C_f \times L_0 \times \Delta T$ (mm)]

C_f : 측정장치의 길이변화에 대한 보정계수

L_0 : 상온에서 측정한 시편의 길이(mm)

ΔT : 온도 변화량(4개의 온도센서의 평균값) $^{\circ}\text{C}$ (온도의 증가=+, 온도의 감소=-)

팽창률(CTE_1)에 대한 계산은 initial 과 second reading로부터 계산되어지며 수축률(CTE_2)에 대한 계산은 second 와 final readings로부터 계산되어진다. 선팅창률 또는 평균 선팅창률(CTE)은 팅창률과 수축율의 차이가 $0.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 내에 들어 갈 때까지 실험하며 두 값의 평균으로부터 구할 수 있다. 즉, $CTE = (CTE_1 + CTE_2)/2$ 이다.

3.8 길이 변화량의 교정 방법

길이 변화량의 교정 방법에 대하여 규정한다. 변위계의 지시값에는 시편의 길이 변화 외에 측정 장치의 변형 등이 포함되어 있다. 따라서 보다 엄격하게 길이 변화량을 구하고자 할 때는 교정할 필요가 있다. 이 교정값은 표준 시료를 이용하여 다음과 같은 순서로 구한다. 표준 시료에는 측정 시료의 선팅창률이 거의 같은 값을 가진 것을 사용한다.

측정장치의 보정계수는 다음과 같다.

$$C_f = \Delta L_f / L_{cs} / \Delta T \dots \dots \dots \langle \text{식 3.1} \rangle$$

측정장치의 길이변화량은 다음과 같다.

$$\Delta L_f = \Delta L_a - \Delta L_m \dots \dots \dots \langle \text{식 3.2} \rangle$$

기지의 열팽창계수를 통한 시편의 길이변화량은 다음과 같다.

$$\Delta L_a = L_{cs} \times \alpha_c \times \Delta T \dots\dots\dots \langle \text{식 3.3} \rangle$$

여기에서, ΔL_f : 시험동안 측정장치의 길이 변화(mm)

L_{cs} : 상온에서 측정한 표준 시편의 길이(mm)

ΔT : 온도 변화량(°C)(온도의 증가=+, 온도의 감소=-)

ΔL_a : 시험동안 표준 시편의 길이 변화량(mm)

(기지의 열팽창계수를 통한 시편의 길이변화량)

ΔL_m : 시험동안 측정한 표준 시편의 길이 변화량(mm)

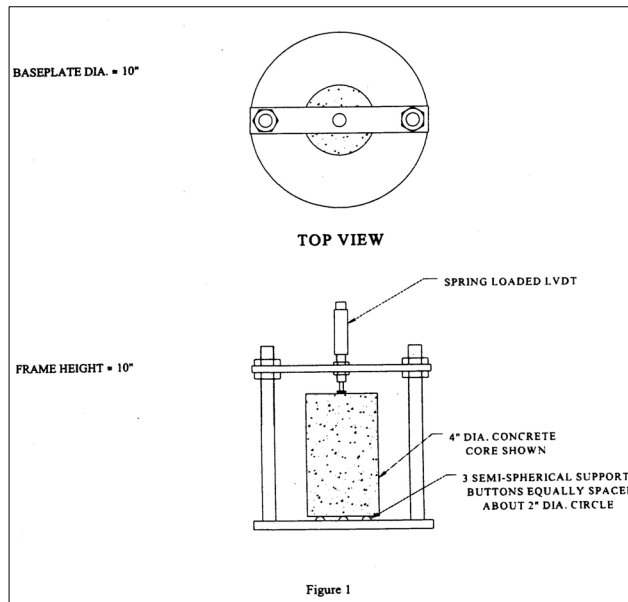
(실험을 통한 표준 시편의 길이변화량)

보다 엄격한 결과를 원하고자 한다면 적어도 3번 이상의 실험을 통해 보정계수를 적용하는 것이 바람직하다.

3.9 보 고

측정 결과는 다음 항목에 대해 보고한다.

- 1) 시료의 재료명
- 2) 시료의 치수, 밀도
- 3) 시료의 선팽창률 또는 평균 선팽창률 및 3개의 평균값
- 4) 측정 온도 범위, 필요에 따라 온도와 길이 변화율의 관계도
- 5) 측정 연월일
- 6) 측정 기관명 및 측정 실시자



〈그림 3.1〉 측정 장치

부록 4. 시멘트 콘크리트 건조수축 측정 방법(안)

4.1 적용 범위

이 시험방법은 모르타르 공시체 또는 시멘트 콘크리트 공시체의 길이 변화를 4.1~4.3에서 콤퍼레이터 방법, 콘택트 게이지 방법 또는 다이얼 게이지 방법 중 어느 방법에 따라 측정하는 시험 방법에 대하여 규정한다.

4.2 인용규격

이 규격의 관련 규격은 다음과 같다.

KS B 5206 0.01mm 눈금 다이얼 게이지

KS B 5207 0.001mm 눈금 다이얼 게이지

KS L 5105 수경성 시멘트 모르타르의 압축 강도 시험 방법

4.3 종류

시험방법의 종류는 다음과 같다.

4.3.1 공시체의 측면 길이 변화를 측정하는 방법

- 1) 현미경을 부착한 콤퍼레이터를 이용하는 방법(콤퍼레이터 방법)
- 2) 콘택트 스트레인 게이지(이하 콘택트 게이지라 한다)를 이용하는 방법
(콘택트 게이지 방법)

4.3.2 공시체의 중심축의 길이 변화를 측정하는 방법

1) 다이얼 게이지를 부착한 측정기를 이용하는 방법(다이얼 게이지 방법)

4.3.3 시험용 기구

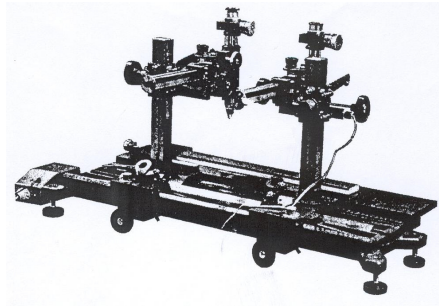
(1) 콤파레이터 방법

가. 포선용 젓빛 유리

공시체에 파문거나 붙여서 측정용 표선을 새긴 젓빛 유리로서, 그 가로 세로의 치수가 모르타르인 경우, $10 \times 10\text{mm}$, 시멘트 콘크리트인 경우 약 $15 \times 15\text{mm}$ 이며, 두께가 각각 $1 \sim 2\text{mm}$ 로서, 표면은 평활하고 이면은 거친 면을 가진 것이어야 한다.

나. 각선기

공시체에 부착한 2매의 젓빛 유리표면에 각각 1개의 직선을 가늘게 그어, 그 직선들이 서로 평행하며, 그 선간 거리가 기준 길이(2.5절 기준 길이 참조)가 될 수 있도록 선을 그을 수 있는 것이어야 한다. <그림 4.1>은 각선기의 보기를 나타낸 것이다.

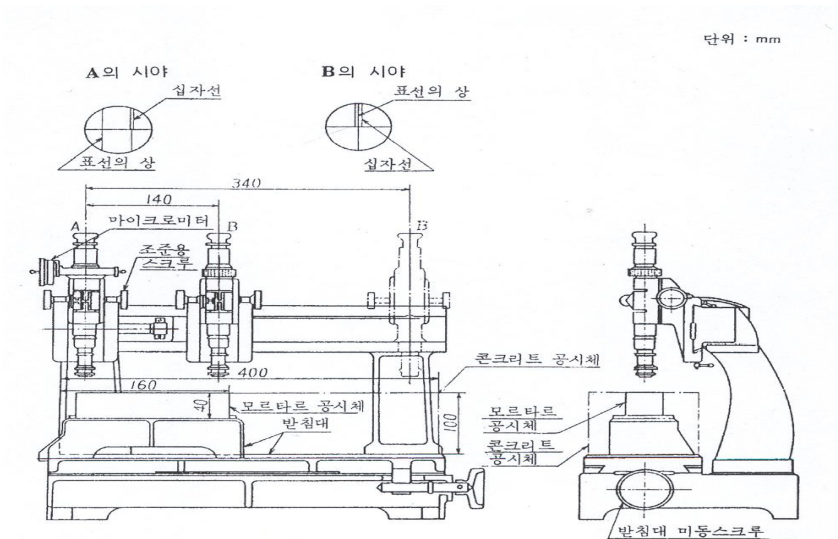


〈그림 4.1〉 각선기

다. 측정기

측정기에는 2개의 현미경이 있으며, 그 중 1개는 마이크로미터가 붙어 있고, 마이크로미터의 십자선과 공시체에 부착한 젓빛 유리 위에 그린 선을 이치시킴으로써, 마이크로미터로 선간 거리를 읽을 수 있는 구조의 것으로 다음의 조건을 구비하고 있어야 한다.

- 1) 공시체 받침대는 공시체의 길이 변화를 측정할 경우, 공시체를 항상 장치의 동일 위치에 정지할 수 있고, 무거운 공시체에 대해서도 변형하지 않는 충분한 강성을 가져야 한다.
- 2) 2개의 현미경 중, 하나는 최소 눈금이 0.001~0.005mm의 접안 마이크로미터를 구비한 현미경(A 현미경), 다른 하나는 배율이 30~100의 것으로 젓빛 유리 위의 선을 선명하게 볼 수 있는 현미경(B 현미경)이어야 한다.
- 3) A 현미경은 각 공시체 길이의 어느 정도의 변화에 대해서, 쉽게 측정할 수 있는 측정 범위를 가져야 한다.
- 4) 현미경간 거리를 쉽게 검정할 수 있는 표준자를 구비하고 있어야 한다. <그림 4.2>는 콤팩터 방법의 측정기 보기를 나타낸 것이다.

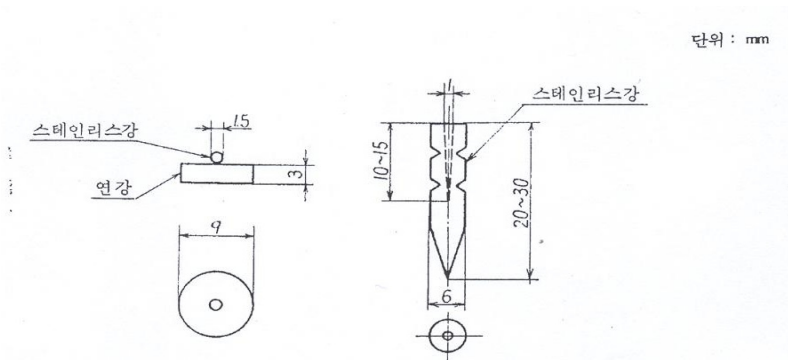


〈그림 4.2〉 콤팩터 방법의 측정기

(2) 콘택트 게이지 방법

가. 게이지 플러그

공시체에 파문거나 붙여서 공시체의 길이 변화를 측정하기 위한 표점으로 정할 수 있는 것으로서, 녹이 슬지 않는 금속재여야 한다. <그림 4.3>은 콘택트 게이지 방법에 의한 게이지 플러그 보기를 나타낸 것이다.



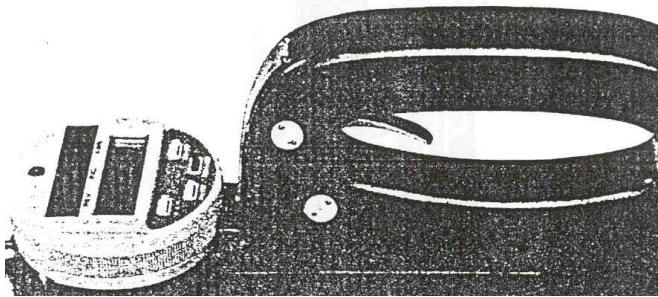
<그림 4.3> 콘택트 게이지 방법에 의한 게이지 플러그

나. 측정기

측정기는 게이지 플러그에 붙여 부착되어 있는 다이얼 게이지의 눈금을 읽을 수 있는 구조로서, 다음의 조건을 구비한 것이어야 한다.

- 1) 측정을 반복할 경우, 항상 일정한 상태로 측정할 수 있어야 한다.
- 2) 각 공시체의 플러그 간의 거리에 다소 차이가 있어도, 측정이 쉬운 측정범위를 가지고 있어야 한다.
- 3) 부착 다이얼 게이지는 KS B 5206 또는 KS B 5207의 규격에 맞는 것이어야 한다.
- 4) 측정기의 다리는 간격을 쉽게 검정할 수 있는 표준자를 구비하고 있어야 한다.

<그림 4.4>는 콘택트 게이지 방법의 측정기 보기를 나타낸 것이다.

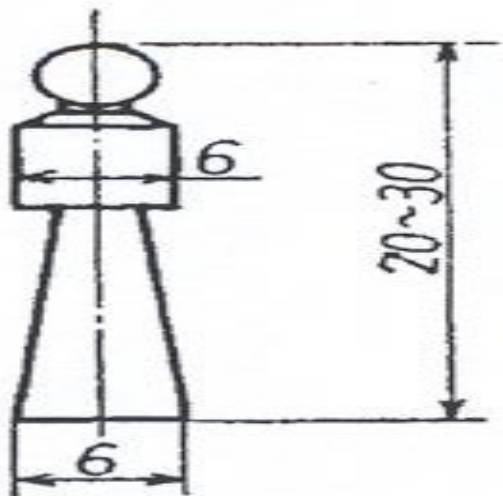


〈그림 4.4〉 콘택트 게이지 방법의 측정기

(3) 다이얼 게이지 방법

가. 게이지 플러그

게이지 플러그 공시체에 파묻어서 공시체의 길이 변화를 측정하기 위한 표점으로 정하는 것으로서, 녹이 슬지 않는 금속재의 것이어야 한다. 〈그림 4.5〉는 게이지 플러그의 보기를 나타낸 것이다.



〈그림 4.5〉 다이얼 게이지 방법용의 게이지 플러그 (단위 : mm)

나. 측정기

측정기는 다이얼 게이지를 부착한 공시체 정치용 틀을 주 몸체로 하고, 필요에 따라 받침대를 두어, 공시체 정치용 틀에 공시체를 정치하거나, 받침대로서 지지된 공시체에 공시체 정치용 틀을 설치하여, 다이얼 게이지의 눈금을 읽을 수 있는 구조로서, 다음의 조건들을 구비하여야 한다.

- 1) 공시체의 받침대는 공시체를 길이 방향으로 연직 또는 연직에 대하여 일정한 경사를 유지하여 지지할 수 있고, 공시체의 길이를 측정함에 있어, 공시체가 움직이지 않도록 할 수 있는 장치이어야 한다.
- 2) 공시체의 정치용 틀은 공시체의 길이 변화를 측정할 경우, 공시체 정치용 틀의 접점과 다이얼 게이지의 스펀들 앞끝을 잇는 축선을 공시체 양끝의 게이지 플러그를 잇는 축선에 일치시킬 수 있고, 측정을 반복할 경우에도 항상 일정한 상태로 측정할 수 있어야 한다.
- 3) 부속 다이얼 게이지는 KS B 5206 또는 KS B 5107의 규정에 맞는 것이어야 한다. <그림 4.6>은 다이얼 게이지 측정기의 보기를 나타낸 것이다.

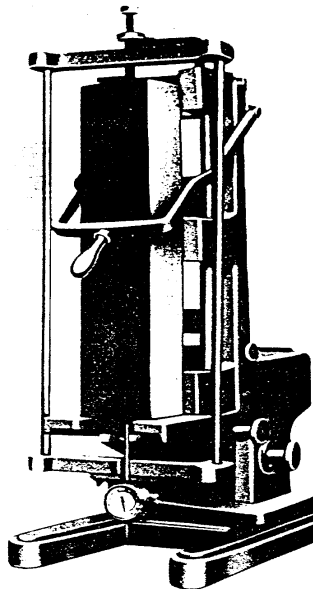


그림 6 다이얼 게이지 방법의 측정기 보기

<그림 4.6> 다이얼 게이지 방법의 측정기

4.4 공시체

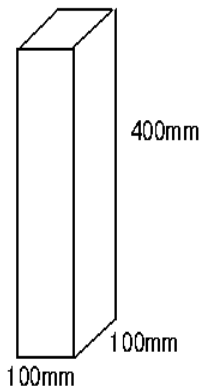
4.4.1 표준 공시체의 치수

공시체의 치수는 원칙적으로 모르타르인 경우 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$, 시멘트 콘크리트의 경우 나비는 높이와 같이하되 굵은 골재의 최대 치수의 3배 이상이며, 길이는 나비 또는 높이의 3.5배 이상으로 한다. 굵은 골재의 최대 치수가 30mm 이하인 경우 원칙적으로 $10 \times 10 \times 40\text{cm}(50\text{cm})$ 로 한다.

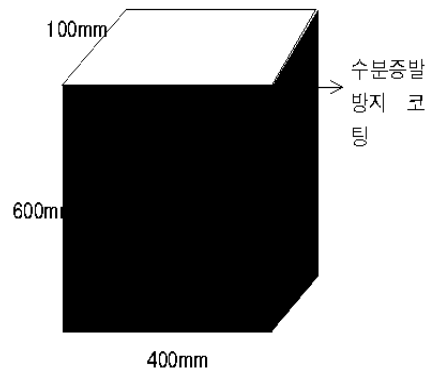
4.4.2 포장시험용 공시체

시험체 제작 건조수축 시험에서는 실제 구조물의 슬래브 판의 건조수축 거동과 동일한 조건으로 하고, 원하는 면으로만 수분 증발을 할 수 있도록 수분증발 방지 코팅재료를 도포한다. 수분증발 방지 코팅재로서는 U&V-H(A,B)를 사용하며, 이는 시멘트 콘크리트 시편이 건조되지 않은 상태에서 도포를 하기 때문에 수증접착 에폭시를 사용한 것이다. 코팅시 U&V-H(A,B)를 브러쉬를 이용하여 코팅면에 골고루 도포한다. 그리고 여기서 주의할 사항은 코팅 수명이 되기 1개월 전에 시편에 재코팅을 실시하여야 한다.

〈그림 4.7〉은 수축 측정용 표준 시편($V/S=22.22$)을 나타낸 것이고 〈그림 4.8〉은 도로포장용 시멘트 콘크리트 슬래브와 동일한 조건을 위해 2면에서만 수분 증발이 일어나도록 4면을 코팅처리한 시편($V/S=300$)을 나타낸 그림이다.



〈그림 4.7〉 표준시편



〈그림 4.8〉 도로포장용 시편

4.4.3 공시체의 개수

공시체의 개수는 동일 조건의 시험에 대해 3개 이상으로 한다.

4.4.4 공시체의 보존

보존 기간 중, 공시체는 젓빛 유리 또는 게이지 플러그를 손상시키지 않도록, 또한 공시체 주변의 환경 조건이 같아서, 공시체 개개의 보존 조건도 동일하게 하여 각 공시체의 주변은 모르타르인 경우 1cm 이상, 시멘트 콘크리트인 경우 약 2.5cm 이상의 간격을 두어야 한다.

각 공시체를 지지하는 곳의 위치는 공시체를 2곳에서 지지하였을 때 공시체의 자중에 의해 공시체에 생기는 정부의 최대 휨 모멘트가 거의 동등하도록 한다. 모르타르 공시체의 경우 공시체의 양끝으로부터 약 3cm, 시멘트 콘크리트의 공시체 10×10×40cm의 경우는 양 끝에서 약 8cm로 한다.

4.5 기준 길이

- 1) 미리 정한 표선 또는 표점 간의 거리를 기준 길이라고 한다. 다이얼 게이지 방법의 경우는 게이지 플러그의 안측 끝면 간의 거리를 기준 길이로 한다.
- 2) 시멘트 콘크리트 공시체 경우의 기준 길이는 굵은 골재의 최대 치수 및 6.규정을 종합 고려해서 정한다.
- 3) 시멘트 콘크리트 공시체 경우의 기준 길이는 굵은 골재 최대 치수의 4배 이상으로 한다.
- 4) 기준 길이는 콤팩터 또는 다이얼 게이지의 최소 눈금이 0.001mm의 경우 10cm 이상, 최소 눈금이 0.01mm의 경우 20cm 이상으로 한다.
- 5) 최소 눈금이 0.001mm의 경우 10cm - 최소 눈금이 길이 변화율로서 0.001% 이하에 상당한다.
- 6) 최소 눈금이 0.01mm의 경우 20cm - 최소 눈금이 길이 변화율로서 0.005% 이하에 상당한다.

4.6 젓빔 유리 또는 게이지 플러그의 부착 방법

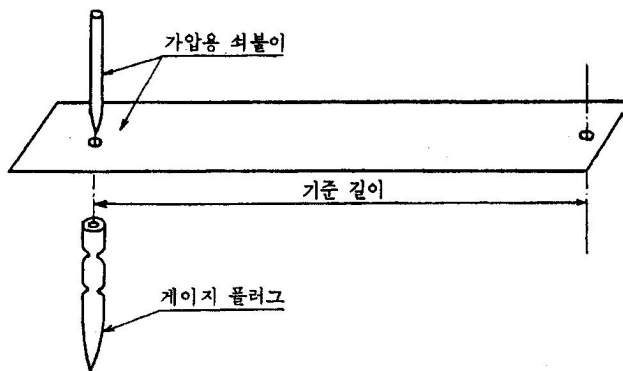
4.6.1 콤퍼레이터 방법의 젓빔 유리

표선용 젓빔 유리는 공시체 측면의 중심선 상의 양끝으로부터 젓빔 유리의 표선까지의 거리가 모르타르 공시체의 경우 8mm 이상, 시멘트 콘크리트 공시체의 경우 25mm 이상이 되도록 부착한다. 부착 방법은 몰드 내부모르 유토 또는 그리스 등으로 접착해 놓고 모르타르 또는 시멘트 콘크리트 공시체를 성형하거나 접착제를 사용해서 이동하지 않도록 공시체의 표면에 부착시킨다.

4.6.2 콘택트 게이지 방법의 게이지 플러그

게이지 플러그는 공시체의 측면 또는 윗면의 중심선 위에서 양끝으로부터 게이지 플러그 표점까지의 거리가 모르타르 공시체인 경우 8mm 이상, 시멘트 콘크리트 공시체인 경우 25mm 이상이 되도록 부착한다.

공시체의 측면에 부착하는 형식의 플러그는 접착제를 사용해서 이동하지 않도록 부착한다. 공시체에 파묻는 형식은 공시체를 만들 때, 공시체 윗면의 중심선 위에 표점 간격이 변하지 않도록 가압용 쇠붙이 등을 사용하여 설치한 후 모르타르 또는 시멘트 콘크리트를 주입하거나 도는 공시체가 경화한 후 측면에 드릴 등으로 작은 구멍을 낸 후 접착제로 부착한다. <그림 4.9>는 가압용 쇠붙이의 보기를 나타낸 것이다.



<그림 4.9> 가압용 쇠붙이

4.6.3 다이얼 게이지 방법의 게이지 플러그

게이지 플러그는 공시체 성형시 공시체의 양쪽 끝면 중앙부에 다리부분을 미리 설치하거나 경화한 공시체에 드릴 등으로 작은 구멍을 낸 후 접착제로 부착한다.

4.7 길이 측정 방법

- 1) 측정기, 표준자 및 공시체는 측정 3시간 전에 시험마다 정해진 온도로 유희해 놓아야 한다. 특별히 정해지 온도가 없을 경우는 20 ± 1 °C를 유지한다.
- 2) 길이 측정에 앞서 젓빛 유리 또는 게이지 플러그를 깨끗이 닦는다.
- 3) 콤퍼레이터 방법
 - ① 공시체의 길이 측정에 앞서 각선기로 젓빛 유리에 선을 그린다.
 - ② 공시체의 받침대에 표준자를 놓고, 표준자의 눈금 0을 B현미경의 십자 선에 일치시킨다. 다음, A현미경의 마이크로미터의 십자 선을 움직여 공시체의 기준 길이만큼 표준자의 눈금을 십자선과 일치시켜, 마이크로미터의 눈금을 읽어 x_{i1} 로 한다.
 - ③ 공시체를 젓빛 유리면이 위로 오도록 하여 콤퍼레이터의 받침대를 조심스럽게 올려놓는다. 이 때, 공시체에 표시를 하여 공시체의 방향이 매회 동일하도록 주의를 한다.
 - ④ 공시체의 한쪽 표선을 B현미경의 십자 선에 정확히 일치시킨다. 다음, A현미경의 마이크로미터의 십자 선을 움직여서, 다른 한쪽의 표선과 십자 선을 일치시킨 후, 마이크로미터의 눈금을 읽어 x_{i2} 로 한다.

(1) 콘택트 게이지 방법

- ① 표준자를 수평한 대 위에 놓고, 표준자의 게이지 플러그에 콘택트 게이지의 측점을 눌러 대고, 다이얼 게이지의 눈금을 읽는다. 다음, 콘택트 게이지의 좌우를 반대로 해서 같은 조작을 하고 다이얼 게이지 눈금을 읽는다. 이것의 2회 평균치를 구해서 x_{i1} 로 한다.
- ② 공시체를 게이지 플러그가 붙어 있는 면을 위로 하여 수평한 대 위에 놓고, 공시체의 게이지 플러그에 콘택트 게이지를 눌러 대고, (1)과 같은 조작을 되풀이해서 다이얼 게이지의 눈금 평균치를 구해 x_{i2} 로 한다.

(2) 다이얼 게이지 방법

- ① 길이 측정용 틀은 공시체를 측정할 때와 같은 (연직 또는 연직에 대해 일정한 경사가 되는) 상태로 정치한다.
- ② 표준자 한쪽 플러그에 길이 측정용 틀의 접점을 접촉시켜, 다이얼 게이지의 스펀들 끝이 표준자의 축에 일치해서 움직이도록 하여, 스펀들을 서서히 표준자의 다른 한쪽에 접촉시켜, 다이얼 게이지 눈금을 읽는다. 스펀들을 빼내어 다시 위 조작을 반복하고 2회째 이후의 눈금을 읽은 것을 평균하여 x_{i1} 로 한다.
- ③ 공시체에 대해서 위와 같은 조작을 반복하여 다이얼 게이지 눈금을 읽은 것을 평균하여 x_{i2} 로 한다.

4.8 길이 변화율의 산출 길이 변화율

$$\text{길이변화율}(\%) = \frac{(x_{01} - x_{02}) - (x_{i1} - x_{i2})}{L_0} \times 100$$

여기서, L_0 : 기준길이

x_{01}, x_{02} : 각각 기준으로 한 시점에서의 측정치

x_{i1}, x_{i2} : 각각 시점 i 에서의 측정치

4.9 보고

도로포장용 시멘트 콘크리트 슬래브의 경우 $V/S=300$ 인 시편에 대한 건조수축을 사용하여 일변적인 보 구조물인 경우 표준 시편으로부터 얻은 건조수축을 이용한다.

시험 결과의 보고는 다음 사항 중 필요한 사항을 기재한다.

- 1) 사용 재료의 종류와 품질
- 2) 배합

- 3) 공시체 제작법
- 4) 공시체의 치수, 기준 길이
- 5) 시험 방법의 종류와 측정기의 최소 눈금
- 6) 측정시 기준으로 한 시점까지의 양생 방법
- 7) 보존 기간 중의 환경 조건(온도, 습도, 풍향, 일광 등)
- 8) 측정 시각에서의 온도 및 습도
- 9) 각 측정 시각에서의 길이 변화율(%)
- 10) 각 측정 시각에서의 공시체 무게(g)
- 11) 기타

4.10 참고

시멘트의 경화 건조시 길이 변화를 모르타르에 의하여 측정할 경우 공시체의 성형 방법, 양생 방법 등은 표준으로서 다음에 따른다.

4.10.1 공시체 성형 방법

공시체는 KS L 5105에 규정한 강도 시험용 공시체 제작법에 의거 성형하고, 성형 후 몰드와 함께 $20\pm1^{\circ}\text{C}$ 의 실내에서 습윤 상태를 유지하고 성형 24시간 후에 탈형한다.

4.10.2 측정 시점

- 1) 공시체의 탈형 후 즉시 제 1회째의 측정을 한다.
- 2) 제 1회째 측정후 공시체를 $20\pm1^{\circ}\text{C}$ 의 수중에서 양생하고, 재령이 7일이 되었을 때 제 2회째 측정을 하고 이 시점을 기준으로 한다.
- 3) 제 2회째의 측정 후 3.의 조건을 유지하여, 보존 기간이 1, 4, 8주 및 3, 6, 9, 12개월이 되었을 때, 각각 측정을 한다.

4.10.3 공시체 보존

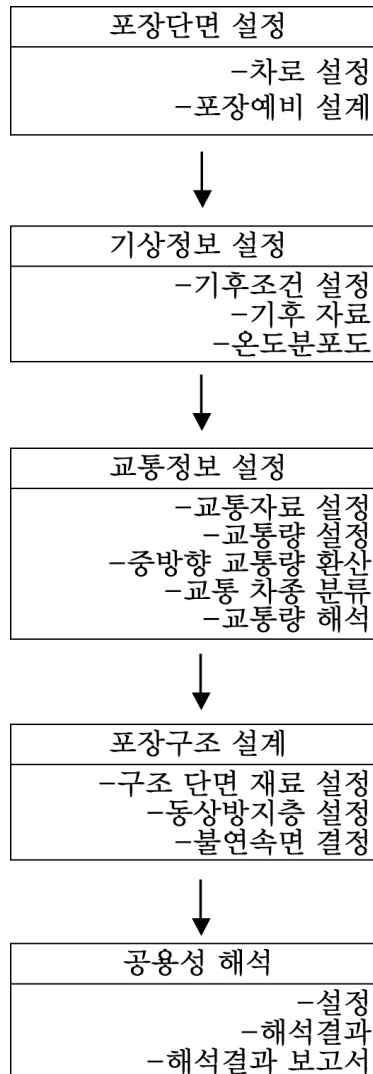
보존 기간 중 공시체는 본체 4.3의 규정에 따라 보존하고, 주변의 온도를 $20\pm1^{\circ}\text{C}$, 습도를 $(60\pm5)\%$ 로 유지하고, 온도 및 습도를 유지하는데는 항온·항습의 설비를 가진 실내 또는 수조를 사용하거나 브롬화나트륨 포화용액을 사용한 항습 보존 상자에 공시체를 넣어, 보존 상자를 항온실 또는 항온 수조 속에 둔다.

부록 5. 시멘트 콘크리트 포장설계(예)

5.1 시멘트 콘크리트 포장설계 예

(1) 설계요구조건

시멘트 콘크리트도로의 포장설계를 위하여 다음과 같은 설계흐름으로 설계를 실시한다.



〈그림 5.1〉 설계흐름도

1) 과업정보 입력

설계 해석 프로그램을 작동시키면 프로젝트 정보입력이 다음 <그림 5.2> 과업 정보 입력창이 나타난다. 노선명과 과업명, 작성기관 등 창에 나타난 모든 정보를 입력하도록 한다. 교통량 및 설계의 중요성에 따라서 설계등급을 결정한다. 덧씌우기 포장 구조 설계를 수행할 경우에는 포장 구조 설계 구분을 신설에서 덧씌우기로 변경한다. 과업 정보 입력창에서 과업명은 입력된 과업의 정보가 저장되는 파일명이 되므로 이전 파일과 겹치지 않도록 주의한다. 도로구분 정보는 입력된 교통량 분포에 영향을 미치고 설계속도는 포장의 물성에 영향을 미치므로 과업의 목적에 맞게 적절히 선택하여 적용한다. 콘크리트 설계를 할 경우에는 아래 그림의 포장형식에서 아스팔트 콘크리트를 선택한다.

과업 정보 입력

기본 정보

노 선 명 : 제3 경인고속도로

과 업 명 : 부천 1공구

작 성 기 관 : 중앙 엔지니어링

설 계 일 자 : 2011-09-08

교통개방일자 : 2011-09-08

설계정보

시 점 : 종 점 :

연 장 : 도 로 구 분 : 고속국도 도시지역

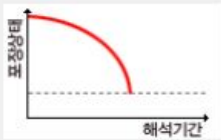
설계속도(km/h) : 100

설계등급 및 포장 선택

공 용 기 간 : 20

설 계 등 급 : 2 포 장 형 식 : 아스팔트 콘크리트

포장 설계 구분 :
신설



확인 취소

〈그림 5.2〉 정보입력

2) 횡단설정

횡단설정에서는 차로수, 차로폭, 길어깨에 관련된 횡단정보를 설정한다. 다음 〈그림 5.3〉의 횡단설정에서 차로수는 양방향을 의미하며, 차로폭, 길어깨 폭이 각각 3.6m 및 1.5m의 기준값으로 설정되어 있다. 설계 조건에 맞게 차로수, 차로폭, 길어깨에 대한 정보를 수정하도록 한다.

횡단설정

횡단설정
차로수 : 4
차로 폭(m) : 3.60

길어깨설정
길어깨 종류 : 아스팔트 콘크리트
길어깨 폭(m) : 1.50

양방향 4차로

1.50
3.60
3.60
3.60
3.60
1.50

다음단계 >

〈그림 5.3〉 차로설정

3) 예비단면설계

층 구조는 설계자가 설계 해석 프로그램 내에서 선택할 수 있으며 본 예제에서는 포장단면을 콘크리트 슬래브, 보조기층, 노상으로 구성하였고 각 층 재료의 탄성계수 등은 설계등급에 따라 실내시험이나 설계 데이터베이스를 이용하여 설계자가 입력할 수 있다. 두께는 m의 단위로 되어 있으며, 각 층별 최소 및 최대 두께에 대한 제한이 있으므로 이를 유의하여 입력하도록한다.

⚠ 예비단면설계

시멘트 콘크리트 포장 형식

포장 형식 선택 : 슬래브 + 보조기층 + 노상

포장 층	두께(m)	설 명
슬래브	0.30	해석가능 범위 : 슬래브 = 0.2m~0.35m
보조기층	0.15	해석가능 범위 : 보조기층 = 0.15m~0.4m
노상		

콘크리트 포장단면 개략도 ▼

[단위 : m]

포	층
보	조기층
노	상

↓ 0.30

↓ 0.15

< 이전단계
다음단계 >

〈그림 5.4〉 예비단면설계

4) 기상관측소 선택

기상관측소 선택에서는 설계지역에 맞게 근접한 기상관측소를 선택할 수 있다. 먼저 설계 지역에 가까운 최단거리 3개소 또는 1개소를 선택할 수 있다. 일반적으로 최단거리 3개소의 기상정보를 이용하여 평균하는 것이 바람직하나, 설계구간의 위치 특성상 최단거리 3개소를 선택할 수 없는 경우에는 최단거리 1개소를 선택하도록 한다. GIS 탐색 탭에서는 마우스를 이용하여 지도를 이동시키면서 선택하며, 경위도나 좌표를 알고 있을 경우에는 관련 탭을 선택하여 숫자를 직접 입력하도록 한다. 선택된 기상관측소의 정보는 설계 적용 기상관측소 정보에 나타나며 이에 따른 수정동결지수가 계산되어 화면 오른쪽 아래에 나타난다. 임의로 기상관측소를 변경하려는 경우에는 아래 기상관측소 변경 버튼을 눌러 개별적으로 변경할 수 있다.



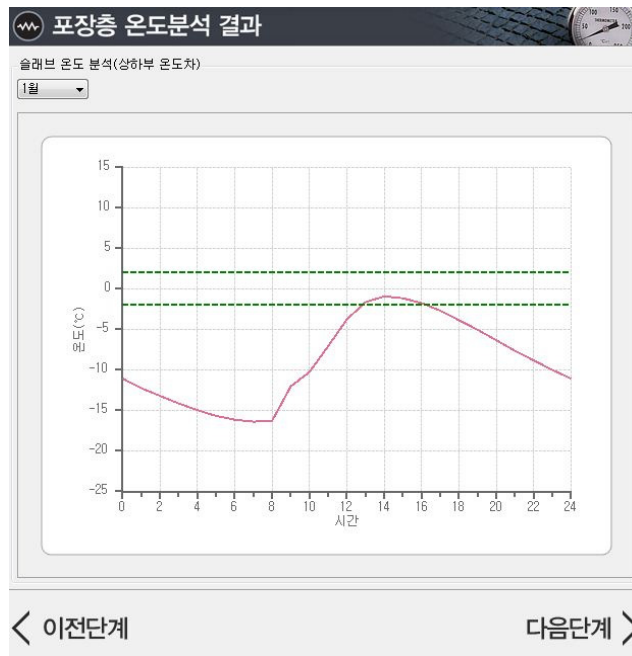
〈그림 5.5〉 기상관측소 선택

5) 기상자료 분석

기상자료 분석에서는 위에서 선택한 기상관측소 자료를 이용하여 결정된 온도 및 강수량 정보를 월별 그래프 또는 표로 확인할 수 있다. 여기에서 결정된 온도정보는 콘크리트 슬래브의 컬링을 발생시키는 슬래브 상하부의 온도를 예측하는데 사용된다. 포장층 온도 분석 결과 및 컬링이 발생하는 시간에 대한 월별 정보가 각각 <그림 5.7>과 <그림 5.8>에 나타나 있다.



<그림 5.6> 기후자료



〈그림 5.7〉 포장층 온도분석 결과

커링주기 분석

구 분	상향 커링		커링 없음		하향 커링		커링 없음	
	시작시간	종료시간	시작시간	종료시간	시작시간	종료시간	시작시간	종료시간
1월	16	12	12	14	0	0	14	16
2월	18	11	11	13	13	14	14	18
3월	16	11	11	13	0	0	13	16
4월	16	10	10	13	0	0	13	16
5월	16	10	10	12	12	14	14	16
6월	19	10	10	11	11	17	17	19
7월	18	10	10	11	11	17	17	18
8월	18	10	10	11	11	17	17	18
9월	18	10	10	11	11	16	16	18
10월	18	10	10	11	11	16	16	18
11월	17	10	10	12	12	15	15	17
12월	16	12	12	14	0	0	14	16

이전단계 > 다음단계 <

〈그림 5.8〉 커링주기 분석

6) 교통량 입력

앞선 입력과정에서 결정된 자료가 설계 정보에 나타나며, 이외의 AADT 예측방법 및 예측값에 따라서 다음 그림에 나타나 있는 바와 같이 AADT를 입력한다. 증가율 미적용을 선택할 경우에는 개방년도 AADT가 공용기간동안 변화하지 않는 것으로 가정된다. 개방년도 AADT를 입력한 후에는 교통량 초기화 버튼을 눌러서 해석 프로그램 내부에 탑재된 교통량 분포에 관련된 계수들을 적용할 수 있도록 한다. 방향계수와 차로계수는 앞선 차로수와 도로등급 설정에 의하여 결정된 기본값이 나타나 있으나, 설계자의 판단에 따라 적절한 값을 입력할 수 있다.

교통량 입력

설계 정보

시 점 : 43	종 점 : 33	설계지역 구분 : 도시지역
도 로 등 급 : 고속국도		설계속도(km/h) : 100
방 향 등 설 : 양방향		차 로 수 : 4
공통개시년도 : 2011	년 9 월	

교통량 예측방법

☐ 교통수요 예측자료
 ☒ 증가율 미적용
☐ 선형 증가율(%)
 ☐ 비선형 증가율(%)

차종별 교통량

개발년도 AADT : 30000 교통량 초기화

<
2011
>

구 분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종
AADT	18912	1164	3666	3069	909	567	504	195	33

◀

▶

교통량 환산 계수

방향계수	0.55
차로계수	0.90

시간별 교통량 비율

구 분	1	2	3	4	5	6	7	8	9
비율(%)	1.43	0.94	0.69	0.58	0.65	1.18	2.92	5.84	6.49

◀

▶

< 이전단계
다음단계 >

〈그림 5.9〉 교통량 차로 설정

7) 차종/시간별 교통량 분석

차종/시간별 교통량 분석에서는 위의 과정에서 입력받은 교통량 정보를 이용하여 시간대별, 차종별 교통량이 각 년도 별로 나타난다. 증가율을 적용한 경우에는 년도 양 옆의 화살표를 이용하여 다음연도 또는 이전연도의 시간대별, 차종별 교통량을 확인할 수 있다. 시간별 교통량 표 아래의 월별 교통량 표는 각 월별 AADT를 나타내고 있다.

차종/시간별 교통량 분석									
시간별 교통량									
구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종
1시	270	17	52	44	13	8	7	3	0
2시	178	11	34	29	9	5	5	2	0
3시	130	8	25	21	6	4	3	1	0
4시	110	7	21	18	5	3	3	1	0
5시	123	8	24	20	6	4	3	1	0
6시	223	14	43	36	11	7	6	2	0
7시	552	34	107	90	27	17	15	6	1
8시	1104	68	214	179	53	33	29	11	2
9시	1227	76	238	199	59	37	33	13	2
10시	1014	62	196	164	49	30	27	10	2
11시	1050	65	203	170	50	31	28	11	2
12시	1040	64	202	169	50	31	28	11	2
13시	997	61	193	162	48	30	27	10	2
14시	1076	66	209	175	52	32	29	11	2
15시	1135	70	220	184	55	34	30	12	2
16시	1152	71	223	187	55	35	31	12	2
17시	1173	72	227	190	56	35	31	12	2
18시	1286	79	249	209	62	39	34	13	2
월별 교통량									
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
차량대수	27300	26400	29700	30900	30600	29700	27600	30300	32400
비율	0.84	0.81	0.92	0.95	0.94	0.92	0.85	0.94	1.00

〈그림 5.10〉 교통량 설정

8) 설계차로 교통량 분석

설계차로 교통량 분석에 나타나는 숫자는 차로계수, 방향계수 등을 적용하여 실제 설계에 사용되는 값을 나타내고 있다. 이는 다음 차측별 교통량을 환산하는데 기본 자료로 활용된다.

설계차로 교통량 분석									
2011									
설계차로 시간별 교통량									
구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종
1시	134	8	26	22	6	4	4	1	0
2시	88	5	17	14	4	3	2	1	0
3시	65	4	13	10	3	2	2	1	0
4시	54	3	11	9	3	2	1	1	0
5시	61	4	12	10	3	2	2	1	0
6시	110	7	21	18	5	3	3	1	0
7시	273	17	53	44	13	8	7	3	0
8시	547	34	106	89	26	16	15	6	1
9시	608	37	118	99	29	18	16	6	1
10시	502	31	97	81	24	15	13	5	1
11시	520	32	101	84	25	16	14	5	1
12시	515	32	100	84	25	15	14	5	1
13시	493	30	96	80	24	15	13	5	1
14시	533	33	103	86	26	16	14	5	1
15시	562	35	109	91	27	17	15	6	1
16시	570	35	111	93	27	17	15	6	1
17시	580	36	113	94	28	17	15	6	1
18시	637	39	123	103	31	19	17	7	1
설계차로 월별 교통량									
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
차량대수	12474	12029	13662	14108	13959	13662	12623	13959	14860
비율	0.84	0.81	0.92	0.95	0.94	0.92	0.85	0.94	1.00

〈그림 5.11〉 중방향 교통량 환산

9) 차종별 차축구성

차종별 차축구성에서는 각 종별 차축형태와 각 차종내 차축의 하중별 분포를 확인할 수 있다. 다음 그림은 차종별 차축구성을 숫자 또는 그림으로 나타내고 있으며, 차축구성도를 선택하여 각 차축의 하중별 분포를 확인할 수 있다.

차종별 차축구성						
차종	차축 구성	차축 구성도	축 구분			
			단축단륜	단축복륜	복축복륜	삼축복륜
1종 (승용차/소형버스)	2축 4륜		2	0	0	0
2종 (중형버스)	2축 6륜		1	1	0	0
3종 (대형버스)	2축 6륜		1	1	0	0
4종 (소형트럭 A)	2축 6륜		1	1	0	0
5종 (중형트럭 B)	3축 10륜		1	0	1	0
6종 (중형트럭 C)	4축 12륜		1	1	1	0
7종 (중형트럭 D)	5축 16륜		1	1	0	1
8종 (중형트럭 E)	4축 14륜		1	1	1	0
9종 (대형트럭 F)	4축 14륜		1	1	1	0
10종 (대형트럭 G)	5축 18륜		1	0	2	0
11종 (대형트럭 H)	5축 18륜		1	0	2	0
12종 (대형트럭 I)	6축 22륜		1	0	1	1

< 이전단계

다음단계 >

〈그림 5.12〉 차축구성

10) 재료 물성 입력

재료물성 입력은 설계등급별 또는 층별 다르게 입력되는데, 슬래브에 대해서는 골재의 종류를 선택하여 이미 실험이 진행된 자료를 활용한다. 굵은 골재는 열팽창계수, 건조 수축계수, 휨강도 및 탄성계수를 변화시킨다.

포장 재료물성

골재 및 시멘트 종류

굵은골재 : 석회암

잔 골재 : 강모래

시멘트 : TYPE-I

시멘트 콘크리트 기초실험 자료

단위중량(KN/m³) : 23.15

열팽창 계수(μ ϵ / °C) : 9.30

포아송비 : 0.15

건조 수축 계수 : 0.000101

휨강도 산정식

28일 탄성계수(kPa) : 4556.63

탄성계수 산정식

탄성계수 28일 탄성계수(GPa) : 28.83

확인 취소

〈그림 5.13〉 콘크리트 단면 재료 설정

5.1.1 동상방지층 설계

동상방지층 설계에서는 설계지역 조건에서 얻어진 온도 등의 정보를 이용하여 해석 프로그램 내부에서 결정된 값을 나타내며, 특별한 경우가 아닌 경우에는 출력된 결과를 확인하면 된다.

5.1.2 공용성 해석

설계 공용성 및 신뢰도 입력에서는 설계수준에 따라 피로균열, 영구변형, 평탄성의 공용성 기준값을 입력한다. 신뢰도 또한 신뢰도 수준에 따라서 값을 입력하며, 다음단계 버튼을 눌러서 공용성 해석을 진행한다.

설계공용성 및 신뢰도 입력

피로균열(Fatigue Crack)
설계기준(%) : 20

평탄성지수(IRI)
초기값 (File: m/km) : 1.41
설계기준 (m/km) : 4

신뢰도(%)
50

< 이전단계 다음단계 >

〈그림 5.14〉 공용성 기준

5.1.3 공용성 해석 결과

입력된 물성 및 두께 조건이 주어진 환경 및 교통하중에 대하여 설정된 공용수명을 만족시킨 대안에 대해서는 공용기준과 실제 발생한 공용지표들의 차이를 확인하여, 보다 효율적인 비교대안에 대하여 설계결과를 확인할 수 있다. 이를 위해서는 화면 왼쪽 아래의 비교대안 추가 버튼을 눌러 단면의 두께를 조정하거나 재료를 변경하도록 하며, 그렇지 않은 경우에는 종료버튼을 눌러 설계를 종료한다.

참여연구진

◆ 집필진

권수안	한국건설기술연구원 선임연구위원
황성도	한국건설기술연구원 연구위원
김부일	한국건설기술연구원 연구위원
박희문	한국건설기술연구원 연구위원
엄병식	한국건설기술연구원 전임연구원
안지환	한국건설기술연구원 전임연구원
김영민	한국건설기술연구원 전임연구원
윤태영	한국건설기술연구원 박사후 과정
백철민	한국건설기술연구원 박사후 과정
조동우	한국건설기술연구원 박사후 과정
조윤희	중앙대학교 교수
임유진	배재대학교 교수
최준성	인덕대학교 교수
김인태	명지대학교 교수
이승우	강릉원주대학교 교수
윤경구	강원대학교 교수
정진훈	인하대학교 교수
문성호	서울과학기술대학교 교수
박대욱	군산대학교 교수
이창준	경북대학교 연구교수
이승우	강릉원주대학교 교수
윤경구	강원대학교 교수
정진훈	인하대학교 교수
김진선	일신 이엔씨
정종석	LH공사

◆ 자문위원(가나다 순)

김남호	한국기술교육대학 교수
남영국	한맥기술단 연구소장
박태순	서울산업대학교 교수
서영찬	한양대학교 교수
양성철	홍익대학교 교수
이광호	한국도로공사 연구실장
이석근	경희대학교 교수
이석홍	현대기술연구소 책임연구원
이현종	세종대학교 교수

◆ 국토해양부

도태호	국토해양부 도로정책관
손종철	국토해양부 간선도로과 과장
백봉기	국토해양부 간선도로과 사무관
김태호	국토해양부 간선도로과 주무관

이 요령에 대하여 궁금한 사항이 있으시면 국토해양부 간선도로과
(02-2110-8224 / www.moct.go.kr), 한국건설기술연구원 기반시설본부
도로연구실(031-910-0160 / www.kict.re.kr)로 문의하시기 바랍니다.

2011 도로포장 구조 설계 요령

- 행정간행물 등록번호 /
- 발행일 / 2011.11
- 발행처 / 국토해양부
- 인쇄처 / 형제문화사