

도로포장에 영향을 미치는 요소

이 해 경* · 서 승 환** · 조 완 형***

1. 머리말

도로포장은 도로의 얼굴로서 자동차가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있어야하고 초기 공사비와 유지관리비 측면에서 경제적이어야 하며 환경친화적 이어야 한다. 도로건설비에서 포장공사비가 차지하는 비중은 약 20%정도이며, 유지관리비 또한 포장의 부분보수 및 덧씌우기비가 큰 비중을 차지하고 있다. 앞으로도 도로연장의 증가, 차량의 대형화, 교통량의 증가 및 이상고온 등으로 유지관리비에 소요되는 예산은 계속 증가할 것이다.

최근에는 아스팔트콘크리트포장(이하 아스팔트포장 이라 함)의 소성변형이 크게 발생하고 있어 아스팔트 포장개선을 위한 연구와 시험포장 및 공용성 테스트가 활발히 진행되고 있으며, 대표적인 예로 캠프리트, SMA, PMA포장 등이 있다.

도로포장설계는 포장형식 결정과 두께산정으로 구분되며, 건설교통부에서 발간한 「도로포장 설계·시공 지침」을 토대로 AASHTO 포장설계법과 발주처의 설계기준에 준하여 설계하고 있다. 도로포장 설계에 영향을 미치는 요소는 도로의

기능, 교통량 및 대형차혼입율, 토질조건, 기온 및 배수상태, 재료, 환경영향, 공사비 및 유지관리비, 시공성 등이 있으며, 현재 우리가 가장 많이 사용하고 있는 AASHTO 포장설계법에서도 이들 요소를 중심으로 포장 두께를 산정하고 있다. 포장설계에 영향을 미치는 이들 요소는 각 발주처와 설계자에 따라 조금씩 달리 적용하고 있으며, 이들 요소에 대한 기 설계자료를 분석하여 향후 포장설계 기준을 재정립하고, 연구방향을 설정하는 계기가 되기를 기대해 본다.

2. 포장형식 선정요건

포장의 종류는 크게 연성포장(Flexible Pavement)인 아스팔트포장과 강성포장(Rigid Pavement)인 시멘트 콘크리트포장(이하 콘크리트포장 이라 함)으로 구분된다.

아스팔트포장은 역청재료와 골재를 혼합시켜 만든 아스팔트 혼합물을 표층으로 하는 포장이며, 아스팔트 포장구조는 일반적으로 표층, 기층, 보조기층으로 이루어진다. 아스팔트포장은 차량하중

* 정희원 · (주)다산컨설팅, 사장 (hkylee@chollian.net)
 ** 정희원 · (주)다산컨설팅, 부사장 (prossh@hanmail.net)
 *** 정희원 · (주)다산컨설팅, 상무 (whcho@hananet.net)

에 의해 발생하는 응력을 포장 각층이 분담하여 점차 감소시키는 구조이며, 시공이 간편하고 주행 쾌적성은 좋으나 중차량에 의한 소성변형에 취약한 특성을 갖고 있다.

콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브가 교통하중에 의해 발생하는 응력을 휨저항으로 지지한다. 일반적으로 슬래브와 보조기층 사이에 중간층을 두며, 중간층은 빈배합콘크리트 또는 아스팔트기층재를 사용한다. 중간층은 슬래브에 균등한 지지력을 제공하고 균열부의 팽팽현상을 방지하며, 표층콘크리트 포설시 평탄성을 제공한다. 콘크리트 포장 종류에는 횡방향 줄눈과 보강철근의 유무 및 형식에 따라 구분되며 다음과 같은 종류 등이 있다.

- 무근 콘크리트 포장
(JCP : Jointed Concrete Pavement)
- 철근콘크리트 포장
(JRCP : Jointed Reinforced Concrete Pavement)
- 연속철근콘크리트 포장
(CRCP : Continuously Reinforced Concrete Pavement)
- 프리스트레스트 포장
(PCP : Prestressed Concrete Pavement)
- 롤러다짐콘크리트 포장
(RCCP : Roller Compacted Concrete Pavement)

2.1 포장 형식 선정요건

포장형식은 상대적인 특성을 갖고 있어 모든 요소를 정량화하여 비교평가하기가 어려우므로 일반적으로 교통특성, 경제성, 시공성, 유지관리 등의 기술적인 사항과 시대적 특성 및 정책적인 사항을 동시에 고려하게 된다.

1) 교통특성

아스팔트포장의 가장 큰 단점은 소성변형이다. 따라서 중차량 통행량이 많거나 주행속도가 낮은 경우에는 콘크리트포장이 많이 적용되고 있으며,

중차량 통행이 상대적으로 작은 도로, 시·군도, 지방도, 관광지 도로 등은 대부분 아스팔트 포장을 적용하고 있다.

2) 토질특성

아스팔트 포장은 연약지반 및 부등침하에 대한 적응성이 다소 양호하나 콘크리트 포장은 침하량이 크거나 부등침하에 의한 포장파괴에 취약하다. 기존도로 확장인 경우와 절성토부가 빈번한 경우에도 노반의 침하량 차에 따른 부등침하 등이 포장형식 선정시 고려되고 있다.

3) 환경 특성

소음과 진동, 주행 쾌적성 및 공사후 교통 개방, 타이어 마모 등에서는 아스팔트 포장이 유리하지만 소성변형에 대한 내구성, 노면의 조도, 유지관리 등에서는 콘크리트포장이 유리하다.

4) 시공성

단계건설 여부, 시공속도, 시공의 연속성, 시공 중 교통소통, 평면 및 종단선형의 제약이 포장형식 선정에 영향을 미친다.

5) 기상

눈이 많이 오는 지역에서는 제설장비에 의한 포장 손상과 타이어 체인에 의한 마모가 적고 제설작업이 용이한 형식을 택하여야 한다. 또한 습윤시 노면의 미끄럼, 햇빛에 의한 노면 반사와 동결 및 융해 등이 고려되어야 한다.

6) 경제성

최근과 같이 고유가 시대에는 국제유가가 포장 공사비에 미치는 영향이 크다. 경제성은 공사비뿐만 아니라 생애주기비용(LCC: Life Cycle Cost) 개념의 유지관리비와 잔존가치 등이 함께 고려되어야 한다.

7) 유지관리

포장파손 등 유지보수 빈도는 아스팔트포장이 많으나 보수방법 및 보수공사 중 교통소통 등은 아스팔트포장이 유리하다. 보수를 위한 교통통제가 미치는 영향, 갓길에 매설되는 지하매설물 유무 등이 형식 선정시 고려되어야 한다.

8) 기타 고려사항

- 포장형식의 연속성
- 재료확보 및 운반로 검토
- 시공 경험 및 장비 확보
- 기술향상을 도모하기 위한 정책적인 고려
- 시멘트, 아스팔트의 사용 및 확보에 대한 국가적인 측면 고려

2.2 포장형식 적용현황

최근의 포장형식 적용현황을 살펴보면 고속도로는 콘크리트포장을 원칙으로 하며, 연약 지반이거나 대형차 혼입율이 특별히 적은 노선, 기존 고속도로를 단순 확장하는 경우에만 아스팔트포장을 적용하고 있다. 국도는 해당 도로의 기능, 교통특성, 지반여건, 연도상황 등을 고려하여 선정하고 있으며, 지방도와 시·군도는 대부분 아스팔트포장을 적용하고 있다.

콘크리트포장 형식은 무근콘크리트포장(JCP)이 주종을 이루고 있으며 이는 연속철근 콘크리

트포장(CRCP)이 JCP에 비해 공사비가 고가이며, 철근 가공 조립 및 콘크리트 포설 등 시공성이 복잡하고 하자발생시 보수가 어렵기 때문이다. 따라서 고속도로 일부구간에 시험포장 또는 중부고속도로 120km/hr구간에만 일부 적용되었다. 철근콘크리트포장(JRCP)은 차량의 정지와 출발이 반복되는 영업소 광장에 적용하고 있으며 세로줄눈의 간격은 JCP의 6m보다 긴 9m를 적용하고 있다.

3. 포장 설계 기준

포장설계기준은 한국도로공사의 고속도로 설계기준과 건교부의 국도 설계기준이 있으며, 포장재료 기준, 축하중환산계수, 줄눈설치기준, 교면포장, 교량접속슬래브, 암거보강, 절성토경계보강, 영업소포장, 길어깨포장 설계기준 등이 세부적으로 수립되어 있다.

3.1 공용 기준

포장의 공용기간은 20년을 기준으로 하며 아스팔트포장은 초기 공사비 절감을 위하여 10년 후 덧씌우기를 고려하여 설계하고 있다. 초기서비스 지수(P0)는 4.2를 최종서비스 지수(Pt)는 2.5~2.0을 적용하고 있다.

표 2. 공용기간 및 서비스 지수기준

구 분	아스팔트포장	콘크리트포장
공 용 기 간	10년후 덧씌우기	20년
최종서비스 지수(Pt)	2.5 (2.0)	2.5 (2.0)

* 저급도로의 Pt기준은 2.0이나 현실적으로 적용하지 않음

표 1. 도로 포장형식 적용 기준

구 분	아스팔트 포장	콘크리트 포장
고속도로	연약지반, 중차량이 특별히 적은 도로, 단순확장 등 부동침하가 예상되는 곳, 시공의 연속성이 결여되는 구간 등	일반적으로 콘크리트형식을 적용
국 도	일반적으로 아스팔트형식을 적용	신설도로, 중차량이 많은 도로 등

3.2 동결심도 산정기준

동결작용은 노상과 포장층에 있는 수분이 결빙

과 융해작용에 의하여 포장의 응력을 이완시킴으로 포장이 파손되는 현상으로 동결심도는 노선이 위치한 지역의 동결지수와 계획도로의 표고 등을 토대로 결정된다. 동결심도 산정방법으로 미공병단은 TM 5-818-2에서 「동결 조건하에서 포장설계」 방법으로 아래의 3가지를 제시하였다. 이 중에서 노상동결이 포장파괴에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 가장 경제적인 「노상동결 관입 허용법」을 주로 적용하고 있으며 국립건설시험소의 산정식과 비교하여 큰 값을 적용하기도 한다.

1) 미 공병단의 동결심도 산정법

- ① 완전 방지법
(Complete Protection Method)
- ② 노상 동결관입 허용법
(Limited Subgrade Frost Penetration Method)
- ③ 감소 노상 강도법
(Reduced Subgrade Strength Method)

2) 국립건설시험소 산정식(1989)

$$Z = 14 \sqrt{F \cdot 0.33}$$

여기서, F : 수정동결지수(° C · 일)

3) 수정 동결지수 산정

전국 동결지수선도를 토대로 계획노선이 위치한 측후소의 지반고, 동결지수, 동결기간을 이용하여 계획노선의 최고표고에 대하여 표고 보정을 한다.

$$\begin{aligned} & \text{수정동결 지수}(^{\circ}\text{F} \cdot \text{일}) \\ & = \text{동결지수} \pm 0.9 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}}{100} \end{aligned}$$

* 표고차 = 설계노선 최고 계획고 - 측후소 지반고

4) 동결심도 산정방법 적용 현황

최근 고속도로와 국도의 동결심도 적용현황은 표 3에서 보는 바와 같이 중부 이북 지역에서는 노상동결 관입허용법을 주로 적용하고 있으며 남부지역에서는 동결심도 보다는 소요 SN에 대한 두께가 전체 두께를 결정하게 된다.

3.3 교면 포장

1) 목적

- 교통 하중에 의한 충격으로부터 교량 슬래브 보호
- 빗물 및 기상 조건에 대하여 교량 슬래브의 내구성 보존
- 쾌적한 주행성 확보

2) 조건

- 교량 슬래브와의 부착성이 우수
- 마모에 대한 저항성 우수
- 반복 응력에 대한 대응이 양호
- 평탄성이 양호
- 우수 침투로 인한 교량자체의 내구성 보호를 위해 불투수성 이어야 함.

3) 두께 및 형식

교면 포장 형식은 콘크리트 마모층과 아스팔트 표층이 있으며, 중부, 호남고속도로 등은 콘크리

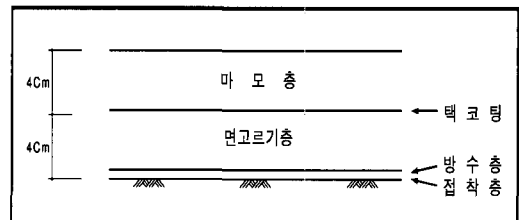


그림 1. 교면포장 기준

트 마모층 4cm를, 수도권 고속도로 및 1980년대 후반에 설계된 교량은 아스팔트 표층을 5cm 포설 하였으나, 장대교등은 소요 평탄성을 확보하기가 힘들며, 장기간 공용후에는 소성변형 등으로 평탄성 유지가 회의적이었다. 또한 교면포장의 노후화가 발생되었을 경우 기존 포장의 제거가 요구되기도 하였다. 따라서 한국도로공사의 교면포장 설계기준은 아스팔트 콘크리트 중간층(WC-3) 4cm를 먼고르기층으로 포설 후 마모층 SMA(Stone Matrix Asphalt) 4cm를 두어 총 8cm를 2회에 나누어 포설토록 하고 있다. 운하중에 의한 슬라브의 진동폭이 크고 접착이 어려운 강상관형교 등은 Guss 아스팔트를 먼 고르기층으로 포설한다.

3.4 터널 내 포장

1) 동상 방지층

터널 내는 외부와 달리 온도의 변화 폭이 작아 동결심도가 작고 노상이 암반으로 구성되어 있어 지지력이 충분하나, 다음과 같은 원인을 없애기 위하여 동상 방지층을 설치한다.

- 지하 용수가 발파 凹凸에 고임에 따라 동상의 원인 및 암반의 풍화로 지지력 약화
- 터널 입·출구부 일정구간은 온도변화가 외부와 같음
- 암반내에 존재하는 절리 단층대의 존재

2) 설계기준

포장 유지 보수와 터널내 조도면에서 유리한 콘크리트 포장 형식을 원칙으로 하고 있으며 동상 방지층의 두께는 터널 갱구에서 50m까지는 토공부 포장 두께와 같게 하고, 터널 50m 이내에는 동상 방지층의 최소시공 두께를 고려하여 먼고르기를 포함하여 20cm를 적용한다.

표 3. 터널내 동상방지층 설치 현황

구 분	일반구간(cm)	터널구간(cm)	터널내 동상방지층 두께(cm)
경부고속도로	62.5	37.5	15cm : 포장과손 발생
일반국도	60-90	60-90	동일 두께 시공
일본 기준	60-90	50-90	20cm
축령터널 (중앙고속도로)	83	63	20cm
능동터널 (산외~상북)	80	60	15cm
수천터널 (여수우회도로)	60	60	15cm
침곡터널 (전주~함양)	90	60	15cm

4. 도로포장에 영향을 미치는 요소

4.1 노선 선정

노선 선정이 포장설계에 미치는 영향은 포장형식 측면에서는 연도변의 토지이용현황, 도로의 기능, 시공성 등이 있으며 포장두께 측면에서는 토질조건, 종단계획고 등이 있다.

1) 토지이용 여건

콘크리트 포장은 아스팔트포장에 비해 소음이 크고 주행 쾌적성이 다소 떨어지므로 도시부 및 주거지역을 통과하는 경우에는 주로 아스팔트 포장을 적용한다. 또한 도시부 도로에는 많은 지하 시설물이 도로노면 아래 매설되므로 지하시설물의 하자 발생시 도로 굴착 및 복구에 유리하고 공사후 즉시 교통개방측면에서도 아스팔트포장이 유리하다.

2) 도로의 기능

고속도로등 주요간선도로는 대형차 통행이 많고 유지보수를 위한 차량통제를 최소화 하기 위하여 콘크리트 포장을 주로 적용하고 있으며 지

방도, 시·군도등은 시공과 유지관리가 간편한 아스팔트 포장을 주로 적용하고 있다.

3) 기타 여건

동결·적설 지역은 미끄럼 마찰저항과 빗의 흡수에 의한 해빙은 아스팔트 포장이 유리하나 타이어 체인에 의한 마모에는 콘크리트 포장이 유리하므로 특별히 포장형식 선정시 고려되지는 않는다. 또한 평균기온이 높은 남부지역과 낮은 중부지역으로 볼 때 형식선정시 특별히 고려되지는 않으나 아스팔트포장의 표층재료는 소성변형을 고려하여 추풍령 이남지역은 AP-5(AC 60~70), 이북지역은 AP-3(AC 85~100)를 적용하기도 하였으나 최근에는 이상고온과 중차량의 증가, 정체 구간 증가 등으로 중부지역에서도 노선 특성에 따라 AP-5적용을 확대하고 있다.

고속도로의 경우 콘크리트포장을 원칙으로 하고 있으며 국도는 계획도로의 기능과 교통특성에 따라 형식을 선정하나 점차 콘크리트 포장형식이 확대되고 있는 추세이다. 기존도로의 단순확장인 경우에는 기존도로와의 단차발생, 시공중 교통소통, 공사기간 등을 고려하여 아스팔트 포장을 적용 (예 : 경부고속도로 확장(서울-대전)) 하였으며, 선형개량 구간이 많은 영동고속도로 확장공사 등은 콘크리트 포장을 적용하였다.

산지부와 같이 절·성토 경계부가 많거나 교량, 암거등의 구조물이 많은 경우에는 노반의 부등침하 위치가 많아 콘크리트포장을 적용하기도 하였으나, 최근에는 형식 선정시 크게 고려되지는 않는다. 콘크리트 포장의 경우 절·성토 경계부와 암거에는 보강 슬래브를, 교량은 교대 뒤에 접속 슬래브를 설치하여 노반의 침하, 차에 의한 콘크리트포장 슬래브의 파손에 대비하고 있다.

4.2 교통량 및 교통특성

포장설계에 미치는 요소중에 교통량과 교통특

성이 포장 형식선정과 두께산정에 미치는 영향이 가장 크다. 포장형식은 중형차 비중이 높을수록 콘크리트 포장을 선정한다. 이는 아스팔트 포장의 소성변형과 표층마모에 의한 공용성 저하와 빈번한 보수에 의한 교통통제 및 유지 보수비 등에서 콘크리트 포장이 유리하기 때문이다.

1) 축하중환산계수

(ESALF: Equivalent Single Axle Load Factor)

AASHTO 설계방법에서는 차량의 축하중을 18kips(8.2ton)로 환산하여 공용기간의 통과차량을 누적하여 포장두께를 산정하고 있다. 18kips 축하중 환산계수는 「도로포장 설계지침서 작성 및 자동차 축하중 조사연구 1988.건교부」 보고서의 값을 적용하고 있다. 본 보고서에서는 강성포장과 연성 포장을 고속도로와 국도 및 일반도로로 구분하여 자동차의 바퀴축과 바퀴수에 따라 세분하여 환산계수를 나타내고 있으며 장래 교통수요 예측시의 차종구분과 서로 상이(특히 대형트럭)하여 설계마다 조금씩 달리 적용하고 있다.

2) 차선 분배 계수

다차선 도로에서 통상적으로 중형차는 우측차로로 통행하게 되므로 우측차로에 윤택중이 많이 부하된다. 따라서 편도 2차선 이상 도로는 윤택중에 대한 차선분배계수(DL)가 필요하다. AAS-

표 4. ESALF 적용기준(Pt=2.5)

구분	승용차	소형버스	보통버스	소형트럭	보통트럭	대형트럭	
아스팔트포장	국도	0.0002	0.001	0.758	0.001	0.601	2.394
	고속도로	0.0002	0.001	1.045	0.015	0.780	1.471
콘크리트포장	국도	0.0002	0.001	0.746	0.001	0.606	4.032
	고속도로	0.0001	0.0004	1.041	0.015	0.784	2.412

표 5. 국도 ESALF 적용 예

구 분	노 선 명	승용차	버 스		트 립		
			소형	보통	소형	보통	대형
아스팔트 포 장	신북-양구간 도로개설	0.0002	0.001	0.758	0.001	0.601	2.394
	의정부시 우회도로 개설	0.0001	0.0005	1.031	0.013	0.752	1.827
	산외-상북간 도로확장	0.0002	0.001	0.758	0.001	0.601	2.394
	일동-영중간 도로확장	0.0002	0.001	0.758	0.001	0.601	2.394
	일동-이동간 도로확장	0.0001	0.0005	0.758	0.001	0.601	2.394
	여주시 우회도로 개설	0.0001	0.001	0.758	0.001	0.601	2.394
콘크리트 포 장	신북-양구간 도로개설	0.0002	0.001	0.746	0.001	0.606	4.032
	의정부시 우회도로 개설	0.0001	0.0007	1.043	0.015	0.796	2.520
	산외-상북간 도로확장	0.0001	0.001	0.746	0.001	0.606	4.032
	일동-영중간 도로확장	0.0002	0.001	0.746	0.001	0.606	4.032
	일동-이동간 도로확장	0.0001	0.0007	1.043	0.001	0.796	2.841

표 6. 고속도로 ESALF 적용 예

노선명	승용차	버 스		트 립			
		소형	보통	소형	보통	대형	특 수
중 부	0.00018	0.908	0.908	0.032	0.960	0.960	2.626
중 앙	0.0001	0.0005	1.031	0.013	0.093	1.093	1.958
서해안	0.0001	0.0004	1.031	0.013	0.752	1.434	2.130
수원~남이	0.0002	0.0004	1.043	0.015	0.781	1.472	1.694
신갈~원주	0.0001	0.0005	1.013	0.013	0.752	1.434	1.957
구 마	0.0002	0.001	1.043	0.015	0.781	1.472	-
서울 외곽	0.0001	0.0005	1.031	0.013	0.752	1.827	-
동대구~경산	0.0001	0.0005	1.031	0.013	0.752	1.827	-
구미~동대구	0.0001	0.0004	1.031	0.013	0.752	1.434	1.957

HTO에서는 차선분배계수의 범위를 아래표와 같이 규정하고 있으며 우리는 AASHTO범위의 최소값을 적용하여 왔다. 최근에 분석한 기존도로(경부고속도로)에 대한 차선분배계수와 AASHTO 기준치를 비교하면 다음과 같다.

3) 적용교통량

교통수요 예측결과 계획도로의 용량을 초과하

표 7. 차선 분배계수(DL) 비교

1방향 차로 수	AASHTO 기준(%)	기존도로 분석결과(%)	국내 적용 기준(%)
1	100	100	100
2	80 - 100	70	80
3	60 - 80	60	60
4 이상	50 - 75	50	50

는 경우에는 도로용량으로 ESAL을 산출한다. 이와같이 교통량이 많은 경우 AASHTO의 포장구조 설계도표의 그래프 범위를 벗어나므로 임의로 그래프를 연장하여 사용하고 있다. 물론 계산식을 사용하면 되지만 ESAL의 유효범위에 대한 검토가 필요하며 일반적으로 그래프가 계산식보다 약 10%정도 포장두께가 두껍게 산출된다.

4.3 토질 여건

지반의 토질특성과 부등침하 요소등이 포장형식 결정에 영향을 미친다. 즉, 연약지반 위에 성토를 하는 경우에는 성토 및 윤하중에 의한 장기침하가 발생하므로 콘크리트 포장 보다는 아스팔트 포장을 주로 적용하고 있다. 노상의 강도는 포장설계의 중요한 입력 요소이다. 노상은 포장층의 기초로서 노면에 작용하는 모든 하중을 최종적으로 지지한다. 노상은 포장하부의 약 1m부분을 말하며, 흙쌓기부에서는 흙쌓기 마무리면(노체면)에서, 절토부에서는 절토면 밑으로 약 1m 부분이 노상에 해당한다. 포장의 공용성은 노상토의 상태와 물성에 직접 관계되기 때문에, 적정한 실내시험에 의해서 얻어지는 노상토의 강도지수를 기준하여 포장층 두께를 결정하고 시공품질관리를 통하여 소오의 다짐 및 재료시방 기준을 만족하여야한다. 노상강도의 표현 방법으로 AASHTO 잠정지침에서는 노상지지력 계수(SSV : Soil Support Value)를, T_A설계법에서는 CBR(California Bearing Ratio)을, AASHTO 개정 설계법(1986)에서는 동탄성계수(MR : Resilient Modulus)를 적용하고 있으며 현재 국내에서 노상지지력의 측정은 CBR값을 이용하여 노상 지지력 계수를 산정하고 있다.

AASHTO 86 설계법은 동탄성계수의 시험장비를 갖추지 못하고 있을 뿐 아니라 설계입력 변수(MR, a, m)의 산정 기준이 아직 없어 설계에 적용하지 못하고 있다. CBR 시험은 성토재료 즉

계획 노선의 절토부 및 토취장에 대하여 실시하며 설계 CBR은 평균CBR 산정식과 그래프를 이용하는 두 가지가 이용되고 있다.

1) 설계CBR

CBR 시험결과로부터 설계CBR을 구하는 방법은 국내에서 다음 두 가지 방법을 이용하고 있다.

① AASHTO의 설계CBR 산정방법

- CBR 시험값을 크기 순서대로 나열한다.
- 각각의 시험 CBR 값에 대하여 같거나 큰 값을 가지는 표본 수(누적 빈도)와 대응백분율을 계산한다.
- 모눈종이 위에 각각의 시험값(가로축)과 대응백분율(세로축)에 해당하는 점을 찍고 이들 점에 적합한 곡선(Smooth Best-Fit Curve)을 그린다.
- 이 곡선상에서 세로축상의 90%에 대응되는 가로축 상의 대응 CBR값이 설계CBR 값이 된다.

② 일본 도로공단의 설계CBR 산정방법

- 먼저 극단적으로 크거나 작은 CBR 값을 포함할 것인지 기각할 것인지에 대한 기각 판정을 실시
- 기각되지 않은 값으로 설계 CBR 계산

설계 CBR = CBR의 평균값

$$= \frac{CBR_{최대치} - CBR_{최소치}}{d_2}$$

표 8. 설계 CBR 계산용 계수 (d₂)

CBR 계수	2	3	4	5	6	7	8	9	10이상
d ₂	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

③ 설계 CBR 산정법 적용 현황

최근에는 계산식에 의한 방법을 주로 적용하고 있으며 두 가지 방법을 비교하여 작은 값을 적용

하기도 한다.

표 9. 설계 CBR 산정 예

노 선 명	계 산 식	그 래 프	적 용
신북-양구간 도로개설	9.3	9.3	9.3
산외-상북간 도로확장	7.7	7.7	7.7
일동-영중간 도로확장	11.5	-	11.5
일동-이동간 도로확장	9.4	9.4	9.4
여수시 우회도로 개설	7.7	-	7.7
웅천 IC 개설공사	7.7	13.3	7.7
청주-상주간고속도로	10.5	10.3	10.0

2) 노상지지력 계수(SSV)

노상지지력 계수는 포장층이 놓일 지반의 지지 강도를 표시하는 척도로서 AASHO 도로시험에서 개발된 지표이다. 이 계수의 산정은 노상토의 지지 강도를 나타내는 CBR, R값, 군지수, 동탄성계수(M_R, Resilient Modulus)등의 강도와 상관시켜 결정한다. 일반적으로 우리나라 KS시험법에 따라 구한 수정CBR값은 미 Utah주의 CBR값과 유사하여 현재 국내에서 사용하고 있다. 이 KS F 2320(노상토 지지력비 시험방법)에 의하여 구한 CBR과 SSV와의 관계는 다음 식과 같다.

$$SSV = 3.8 \log_{10} CBR + 1.3$$

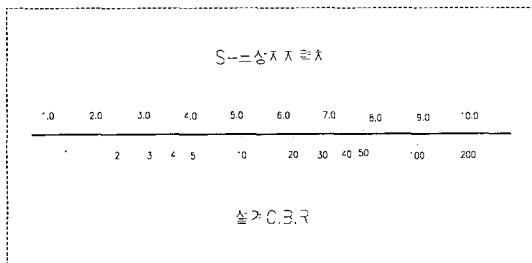


그림 2. 설계 CBR과 SSV와의 상관 그래프

4.4 기 상

기상 상태가 포장설계에 미치는 영향요소는 기

온, 강수, 적설 등이 있으며 기온은 동결심도 산정, 노면결빙에 대한 고려가 있으며, 아스팔트포장의 소성변형은 기온에 민감하므로AASHTO잠정 설계법에서는 지역계수(R)를 적용하고 있으며 표층의 아스팔트 종류를 달리 적용하고 있다.

1) 지역계수(R)

지역계수는 포장이 시공되는 지역의 기후조건을 반영하기 위한 척도로서 노상토의 온도와 함수량의 연간 변화를 고려한 가중평균치로 0-5의 계수로 정의되며 우리나라에서는 다음과 같이 적용하고 있다.

- 대전 이남 지역 : 1.5
- 서울 이북 지역 및 표고 500m 이상지역 : 2.5
- 그 밖의 지역 : 2.0

2) 도로 포장용 아스팔트 규격

아스팔트는 침입도(Penetration)에 따라 5가지로 분류되며 지역의 기온 특성에 따라 선택하여 사용한다.

- AC 40-50 (AP-7)
- AC 60-70 (AP-5): 열대지방, 추풍령이남
- AC 85-100 (AP-3): 온대, 한대지방, 추풍령이북
- AC 120-150 (AP-1)
- AC 200-300 (AP-0)

3) 노면 결빙 및 적설

노면 결빙 및 적설지역에서는 미끄럼 저항이 크고 제설장비의 영향, 타이어 체인에 의한 노면 마모, 복사열 흡수에 의한 해빙 등을 고려한다. 미끄럼 저항은 미끄럼 방지포장을 추가로 포설하거나 SMA포장, 배수성포장 등을 이용하고 있으며 제설 및 타이어 체인에 대해서는 콘크리트 포장이 유리하나 복사열흡수에는 아스팔트 포장이 유리하여 정량적인 판단은 쉽지 않다.

4) 배수

배수가 포장에 미치는 영향은 강우시 노면수에 의한 미끄럼저항 감소, 물보라, 수막 반사에 의한 차선식별 곤란 등이 있다. 또한 지하수의 포장층 유입에 따른 파손과 겨울철의 포장 동결이 있다. 도로에 침투하는 물은 인접지대나 노면에서 침투하는 것과 지하면에서 상승하는 경우가 있다. 이러한 침투수를 억제하거나 빨리 배제하기 위하여 노면 배수시설과 맨암거를 설치한다. 노면배수 시설로는 L형측구, 성토부 도수로, 집수정, 중·횡 배수관 등이 있으며, 지하 배수시설인 맨암거는 주로 절토부의 길어깨, 절·성토 경계부에 설치하며 채움재는 투수성이 큰 강자갈과 입도조정한 쇄석을 사용한다. 고속도로의 맨암거 모형은 지반 상태와 설치 위치에 따라 그림 3과 같이 적용하고 있다.

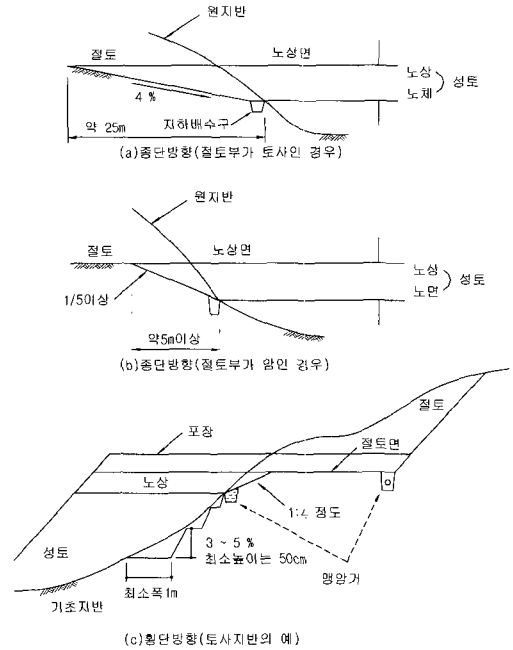


그림 3. 맨암거 설치 예

4.5 포장 재료

AASHTO 포장설계 식에서는 포장각층의 상대 강도계수(ai)와 두께(Di)로 포장두께지수(SN)를 산정 한다.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

국내 아스팔트 포장 설계에 적용하고 있는 상대강도계수는 다음과 같다

· 표 층	SMA	아스팔트	0.157
	밀입도	아스팔트	0.145
· 기 층		아스팔트	0.110
· 보조기층		강 자 갈	0.034
		쇄 석	0.051

동상방지층은 선택층 재료로 SB-1을 사용하고 있으며 설계자에 따라 포장두께 산정시 선택층의 지지력을 고려하는 경우와 그렇지 않은 경우가 있다. 지방사에서 동상방지층 재료의 수정CBR은

10 이상으로 규정하고 있으며 아스팔트포장층의 재료별 CBR 및 상대강도계수는 CBR이 30이상인 재료에 대한 기준만 있어 CBR 이 10에서 30 사이의 재료에 대한 적용이 곤란하다. 동상방지층 재료로 선택층 재료를 일반적으로 적용하고 있으며 최근에는 국내 재료여건상 보조기층과 선택층은 쇄석골재를 많이 사용하고있다. 선택층 입도는 SB-1(최대골재 규격:75mm)을 보조기층은 SB-2(최대골재 규격:35mm)를 적용하고있으며, 선택층은 쇄석과 모래의 혼합비율을 8:2 보조기층은 7:3으로 설계하고있다. 따라서 동상방지층으로 쇄석골재의 SB-1을 사용하는 경우 수정CBR이 80 이상으로 일반노상의 SSV보다 크므로 선택층을 포장두께 계산에 포함하는 것이 타당하다고 생각한다. 그러나, AASHTO의 아스팔트포장 이론은 층개념으로 두께를 산정하므로 선택층을 고려하여도 아스팔트 표층과 기층의 두께에는 큰 차이

표 10. 혼합골재의 입도

체크기 입도번호	통과 중량 백분율(%)							
	80mm	50mm	40mm	19mm	4.75mm (No.4)체	2.36mm (No.8)체	0.42mm (No.10)체	0.075mm (No.200)체
SB-1	100	-	70-100	50-90	30-65	20-55	5-25	2-10
SB-2		100	80-100	55-100	30-70	20-55	5-25	2-10

가 없다. 다만 보조기층의 두께를 줄이고 선택층의 두께를 크게 할 수 있으나 보조기층의 시공성(1회 다짐두께:20cm이하)과 SB-1과 SB-2의 공사비 차이가 크지 않다는 것을 고려하여야 한다.

- 표층두께 : 5cm 중간층 두께 : 6cm

5. 포장설계 요소가 포장두께에 미치는 영향검토

AASHTO 포장 설계법으로 아스팔트포장 두께 산정 요소가 포장두께에 미치는 영향을 검토한 결과 아스팔트층에는 설계차선 교통량이 가장 큰 영향을 미치며, 보조기층 두께에는 노상지지력이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다

표 11. 설계차선 교통량별 포장 소요두께

구 분	R	SSV	$W_{18}(10^3)$	소요 SN	소요 두께
기 층	2.0	7.8	15,000	3.5	17.3
			20,000	3.6	18.2
			30,000	3.9	21.0
			40,000	4.1	22.8
			50,000	4.2	23.7
			60,000	4.3	24.6
보조 기층	4.7	7.8	70,000	4.4	25.5
			15,000	5.2	33.3
			20,000	5.4	35.3
			30,000	5.7	35.3
			40,000	6.0	37.3
			50,000	6.2	39.2
			60,000	6.3	39.2
			70,000	6.4	39.2

5.1 설계차선 교통량

아스팔트 포장구조 설계도표의 교통량 적용 범위는 20,000~50,000($W_{18} \cdot 10^3$)으로 일반적으로 4차선이 요구되는 도로에서는 공용 약 10년 후에는 20,000을 초과하므로 공용목표년도인 20년까지는 그래프를 임의로 연장하여 사용하고 있으며 이로 인한 오차발생은 물론 자의적인 산출이 가능하다.

아래 조건으로 설계차선 교통량 15,000~70,000(10^3)에 대한 소요두께 변화를 분석한 결과 기층이 17.3cm~25.5cm으로 크게 증가하나, 보조기층은 33.3cm~39.2cm로 그 영향이 크지 않다.

* 검토조건

- 노상지지력 계수(SSV) : 4.7
- 지역계수(R) : 2.0
- Pt : 2.5

5.2 노상 지지력

국내 설계에서 노선이 통과하는 지역의 절토부와 토취장에 대한 CBR시험 결과는 대략 6-14%의 범위를 보이고 있으며 이 범위에 대한 보조기층의 두께변화는 43.1cm~25.5cm로 매우 크다.

* 검토조건

- 설계차선 교통량(W_{18}) : 50,000(10^3)
- 지역계수 : 2.0
- Pt : 2.5
- 표층 두께 : 5cm 중간층 두께 : 6cm

표 12. 설계 CBR별 포장 소요두께

구분	W_{18} (10^3)	R	설계CBR	SSV	소요 SN	소요두께 (cm)
기층	50,000	2.0	수정 CBR50%	7.8	4.2	23.7
			6	4.3	6.4	43.1
8			4.7	6.2	39.2	
10			5.1	5.9	33.3	
12			5.4	5.7	29.4	
14			5.6	5.5	25.5	
보조 기층						

5.3 지역 계수

지역계수는 기후환경 여건에 따른 노상지력
의 연간 변화를 감안하기 위한 계수로 AASHTO
에서는 0.5~5.0의 값을 제시하고 있으며 우리나
라에서 적용하고 있는 1.5, 2.0, 2.5에 대한 검토결
과 포장 두께에 미치는 영향은 아스팔트층이 약
12%, 보조기층이 약 7%정도이다.

* 검토조건

- 설계차선 교통량(W_{18}) : 50,000(10^3)
- 노상지력 계수 : 4.7
- Pt : 2.5
- 표층 두께 : 5cm 중간층 두께 : 6cm

표 13. 지역 계수별 포장 소요두께

구분	W_{18} (10^3)	SSV	R	소요SN	소요두께 (cm)
기층	50,000	.8	1.5	4.0	20.0
			2.0	4.2	21.5
			2.5	4.4	22.4
보조 기층		4.7	1.5	5.9	39.2
			2.0	6.1	42.0
			2.5	6.3	42.0

5.4 최종서비스 지수

국내에서 최종 서비스지수 2.0은 거의 적용하
고 있지 않으며 기층은 두께차이가 1.8cm이고 보
조기층은 5.9cm의 차이를 보이고 있다.

* 검토조건

- 설계차선 교통량(W_{18}) : 50,000(10^3)
- 노상지력 계수 : 4.7
- 지역계수 : 2.0
- 표층 두께 : 5cm 중간층 두께 : 6cm

표 14. 최종서비스지수별 포장 소요두께

구분	S	R	W_{18} (10^3)	Pt	소요 SN	소요두께 (cm)	
기층	7.8	2.0	50,000	2.0	4.0	21.9	
				2.5	4.2	23.7	
보조 기층				4.7	2.0	5.7	33.3
					2.5	6.2	39.2

6. 맺 음 말

1988년 203만대의 자동차가 10년 후인 1998년
에는 1,047만대로 약 5.1배 증가하였으나, 도로는
55,778km에서 86,990km로 약 1.5배 증가하는데 그
쳐 물류비 증가가 경제발전의 걸림돌이 되고 있
어, 향후에도 도로의 건설은 계속될 것이다. 도로
포장은 공용기간 동안 자동차 타이어와 끊임없는
마찰과 운하중을 받게되며, 동결융해, 배수, 온도
차에 의한 신축등 기상영향을 받게 되므로 시간
이 경과 함에 따라 공용성이 저하된다.

도로포장 설계는 형식선정, 재료선정, 두께산정
등이 있으며, 형식선정은 도로의 기능과 교통특
성, 지질조건, 연도여건 등에 따라 정성적인 판단
으로 결정되며, 재료는 지방서의 기준과 재료구득
의 용이성 및 가격 등을 고려하여 결정한다. 최근
국내의 하상골재 고갈로 바다모래 및 석산 조골
재를 주로 사용하고 있으며 아스팔트 표층과 기
층은 SMA, PMA, 캠프리트 등의 설계적용이 증
가하고 있다. 아스팔트포장 두께산정에 직접적인
영향을 미치는 요소는 교통량(특히 대형차) 및
축하중환산계수, CBR값, 지역계수, 최종 서비스
지수 순으로 나타났으며, 각 요소 산정과 적용방
법에 조금씩 차이를 보이고 있었다.

최근에는 초기공사비뿐만 아니라, 유지관리비,

공용편익, 잔존가치 등을 고려한 LCC(Life Cycle Cost) 개념의 포장설계를 실시하고 있으며, LCC 개념에 의한 도로포장설계 요소에 대한 세부설계 기준 정립 및 설계편람 제정이 필요한 시기라고 생각된다.

1. 건교부, "도로포장 설계·시공지침", 1991
2. AASHTO Interim Guide for Design of pavement structure. 1972, 1981
3. 한국도로공사, "고속도로 설계기준", 2000
4. 건교부, "도로공사 설계적용기준", 2000
5. 국립건설시험소, "동결심도 조사 보고서", 1989
6. 최근 국토 및 고속도로 설계보고서

참고문헌

아스팔트포장공학의 첨단기술

5th International Symposium on Advanced Technology in Asphalt Pavements

제5차 아스팔트 포장의 첨단기술에 관한 국제 심포지엄에 귀하를 초대합니다.

Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composites at Kangwon National University invites you to the 5th International Symposium on Advanced Technology in Asphalt Pavements.

- 일 시 : 2001. 3. 9. (금) 13:00 ~ 18:00
- 장 소 : 강원대학교 석재신소재센터 3층 대회의실
- 주 최 : 한국과학재단지정 강원대학교부설 석재복합신소재제품연구센터
- 후 원 : 한국도로포장공학회, 한국도로공사, 강원지방중소기업청