도로포장 설계법

최 계 식* · 이 철 영**

1. 머리말

우리나라에서 도로 포장설계는 1968년에 개통된 서울-인천간 및 1970년에 개통된 서울-부산간 고속도로 건설을 시발로 하여 본격적으로 도입되었다고 볼 수 있으며 지금까지 포장공법의 변화는 초기에는 아스팔트포장 일변도이었으나, 1981년 부산-마산간 고속도로 건설부터 시멘트콘크리트 포장으로 선택의 폭이 넓어졌고 포장단면의 구성 및 재료의 선택에서 다양화된 점은 변화라고 보지만 국내의 기후조건, 지반 및 재료적 특성을 고려한 포장설계법은 마련되지 못한채 아직까지는 미국의 AASHTO 설계법을 주로 사용하고 있다. 최근 건설교통부에서는 지금까지의 국내 도로포장 설계법에 대한 문제점과 그 해결방안을 도출하여 우리나라 실정에 맞는 한국형 포장설계법 개발을 추진하고 있어 머지않아 포장설계분야의 큰 발전이 있을 것으로 기대하면서 그동안 알려진 도로포장 설계법을 비교 고찰해보고 현재 국내의 고속도로 및 국도 설계에서 통상적으로 사용되고 있는 포장설계 방법을 정리 기술하고자 한다.

2. 아스팔트 콘크리트 포장설계법

그동안 국내에 알려진 아스팔트 콘크리트 포장 설계법으로는 크게 CBR에 의한 방법과 포장두께 지수(Thickness Index, Structural Num- ber, SN)에 의한 방법의 2종류로 구분되며 다시 두께지수에 의한 방법중에서는 AASHTO 방법, 미국아스팔트협회(AI)방법 및 일본도로협회의 TA방법이 대표적이다.

2.1 CBR에 의한 설계법

1940년대에 미국 켈리포니아주에서 포장의 파괴상황을 조사한 결과 CBR과 포장파괴상황과의 관계로부터 설계곡선을 구한 것으로 O. J. Porter에 의해 개발된 후 미 육군공병단이 비행장 건설에 이용하면서 크게 발전시킨 경험에 기초를 둔 설계법이다.

포장두께 설계는 각 지지층의 CBR과 계획교통량을 기초로 설계곡선에서 포장 각 층의 두께 값을 구하여 결정한다.

* 정회원 · 쌍용엔지니어링주식회사 부회장 (kyesik@hanmail.net)
** 정회원 · 쌍용엔지니어링주식회사 부사장 (lcy0315@ssyeng.co.kr)

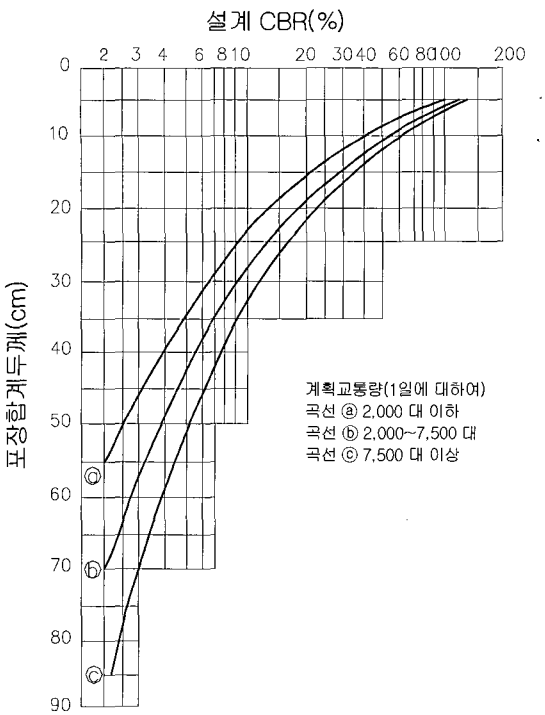


그림 1. CBR설계법의 설계곡선

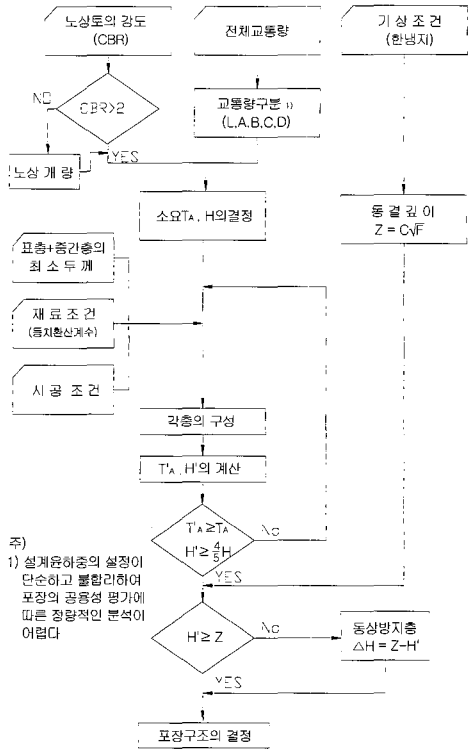


그림 2. T_A 설계법의 흐름도

2.2 T_A 설계법

AASHTO도로시험 결과를 일본도로협회가 일본의 실정에 맞도록 일반화시킨 포장두께 설계방법이며 근본적으로는 AASHO설계방법과 AI설계방법을 절충한 것으로서 설계의 순서는 교통량 분석, 설계CBR 결정, 전단면 아스팔트 콘크리트에 의한 포장두께(T_A)설계, 동결깊이 고려, 포장각 층의 두께 배분구성의 단계로 진행된다.

$$H = \frac{28.0N^{0.1}}{CBR^{0.6}}, \quad T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}}$$

표 1. T_A 목표치

설계CBR	L교통	A교통	B교통	C교통	D교통
(2)	(17)	(21)	(29)	(39)	(51)
3	15	19	26	35	45
4	14	18	24	32	41
6	12	16	21	28	37
8	11	14	19	26	34
12	11	13	17	23	30
20 이상	11	13	17	20	26

주) ( )는 보수공사 등에서 기존의 노상 설계 CBR이 2이고 노상의 개량이 곤란할 경우에 적용한다.

2.3 AASHTO 설계법

AASHTO도로시험 결과로부터 Liddle이 최초로 제안한 포장설계법으로서 도로이용자 측면의 서비스 지수개념을 도입하고 포장체의 강도를 정량화한 방법이다. 1966년 처음 AASHO에서 포장설계잠정지침을 내놓은 후 1972년에 AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures를 발간하였으며, 이것이 오늘날까지 국내에서 널리 사용되고 있는 설계법의 근간이다. AASHTO 포장설계법의 지침은 1986년에 개정판이 발간되었으며 잠정지침에 비하여 설계 교통량 및 공용성에 따른 신뢰도 개념의 도입, 노상지지력계수(Soil Support Value)를 회복탄성계수(MR)로 대체, 지역특성 계수(R)를 배수영향(Cd)으로 대체 및 환경영향을 고려한 서비스능력 손실(△PSI) 반영 등이 주요 개정된 내용이다.

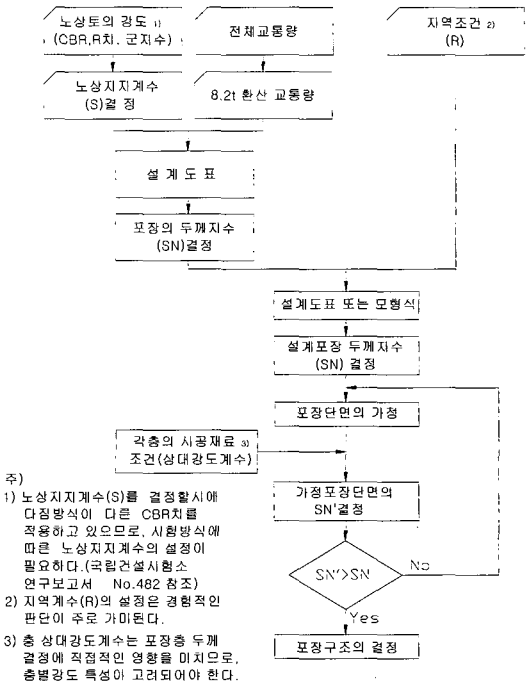


그림 3. '72 AASHTO 잠정 지침의 설계 흐름도

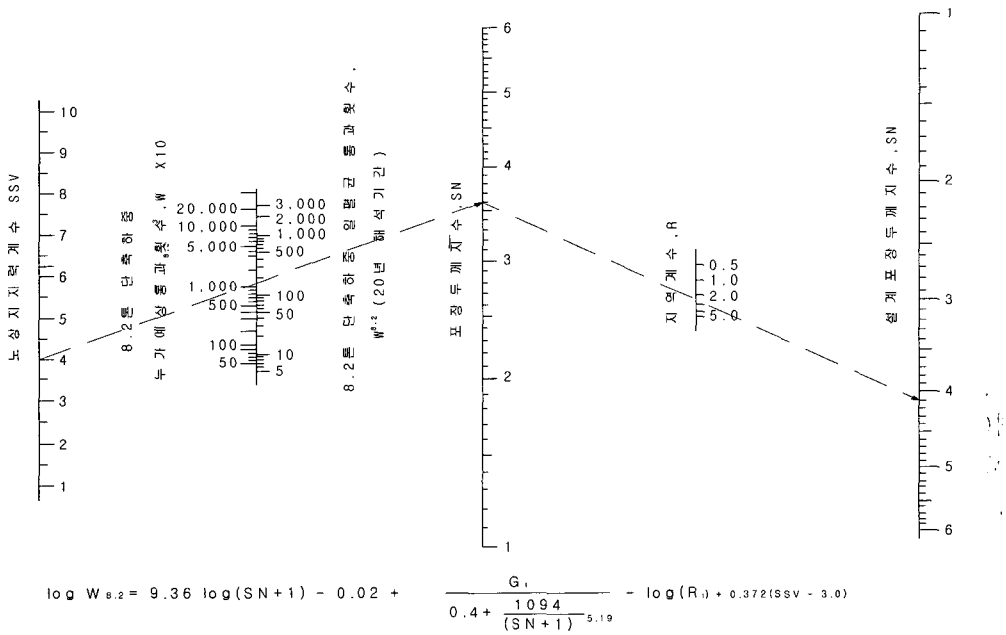


그림 4. '72 AASHTO 잠정 지침의 연성 포장 구조 설계도표(Pt=2.5)

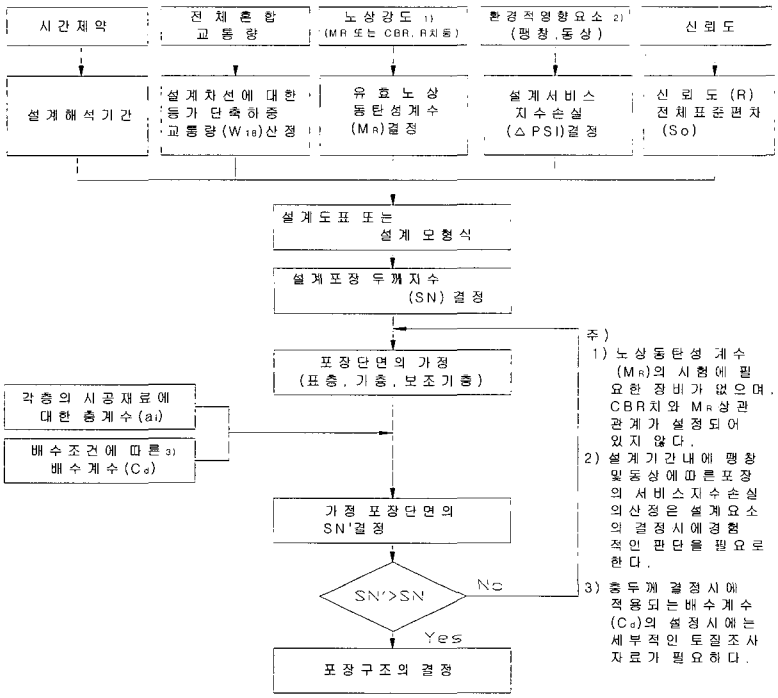


그림 5. '86 AASHTO 설계지침의 설계 흐름도

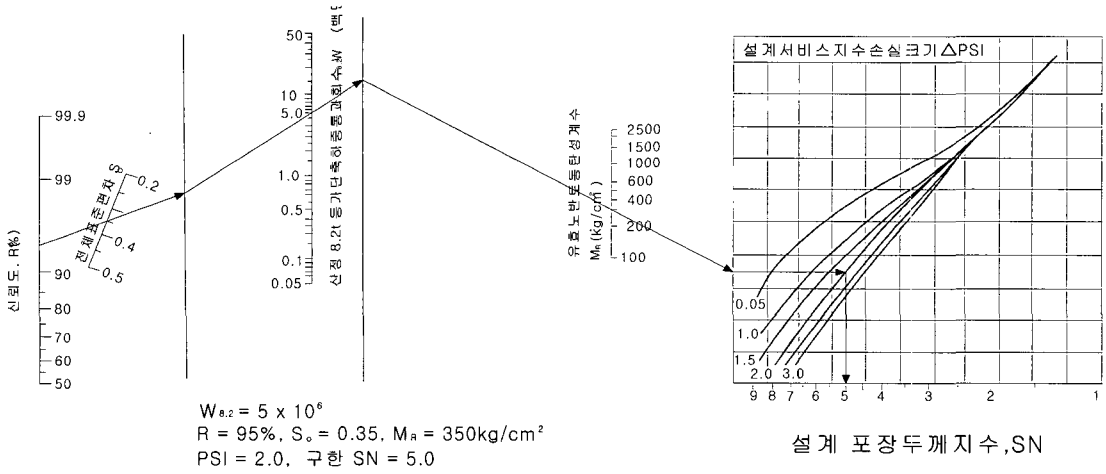


그림 6. '86 AASHTO 설계 지침의 가요성포장 구조 설계도표

3. 시멘트 콘크리트 포장 설계법

시멘트 콘크리트 포장설계법은 일본의 콘크리트포장 요강 설계법, 미국의 PCA 설계법, AASHTO설계법의 3가지 방법이 대표적으로 알려져 있다.

3.1 콘크리트포장요강 설계법

1955년 일본도로협회에서 제정 발간한 이후 1964년, 1973년, 1984년에 걸쳐 개정되었으며 우리나라에서는 건설부가 발간한 도로포장설계·시공지침(1973발간, 1985년 개정)을 통하여 적용되었다

콘크리트 포장층은 콘크리트 슬래브와 보조기층으로 구성되며 두께의 결정은 교통하중 조건과 하층재료의 지지력(CBR)에 따라서 정해진 표준값으로 한다.

표 3. 교통량구분과 슬래브 두께 표준

교통량구분	대형차교통량 (대/일·방향)	콘크리트 슬래브두께(cm)
L 교통	100 미만	15 (20)
A 교통	100 - 250	20 (25)
B 교통	250 - 1,000	25
C 교통	1,000 - 3,000	28
D 교통	3,000 이상	30

3.2 PCA 설계법

미국 포틀랜드 시멘트협회(PCA)에서 1946년에 발간한 후 1966년에 개정되어 사용되었던 설계법으로 콘크리트 슬래브 두께 산정시 교통하중의 형태별 재하에 따라 피로응력과 침식응력을 검토하는 구조해석적 설계방법이다.

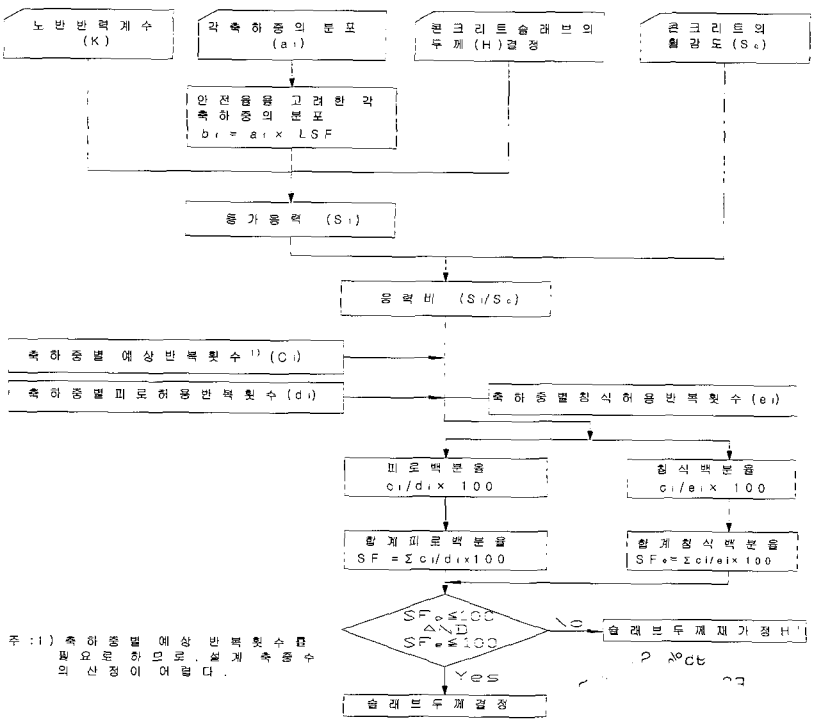


그림 7. PCA 설계법의 강성포장 설계 흐름도

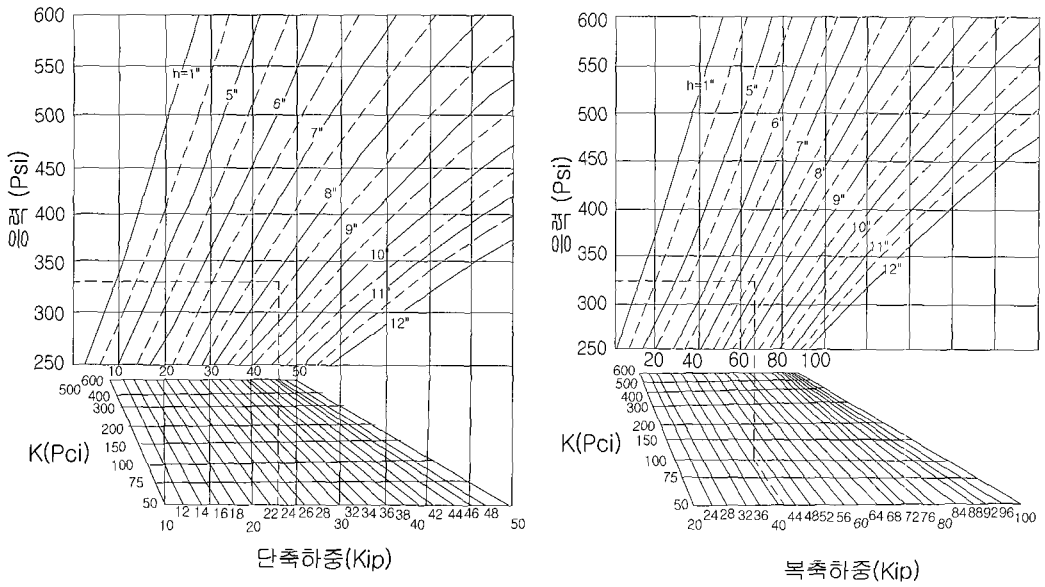


그림 8. PCA 설계를 위한 축하중-응력곡선

응 력 비	통과회수	피로곡선식
0.51 - 0.85	30 - 4 X 10^5	Sr = 97.1 - 8.21log N_f

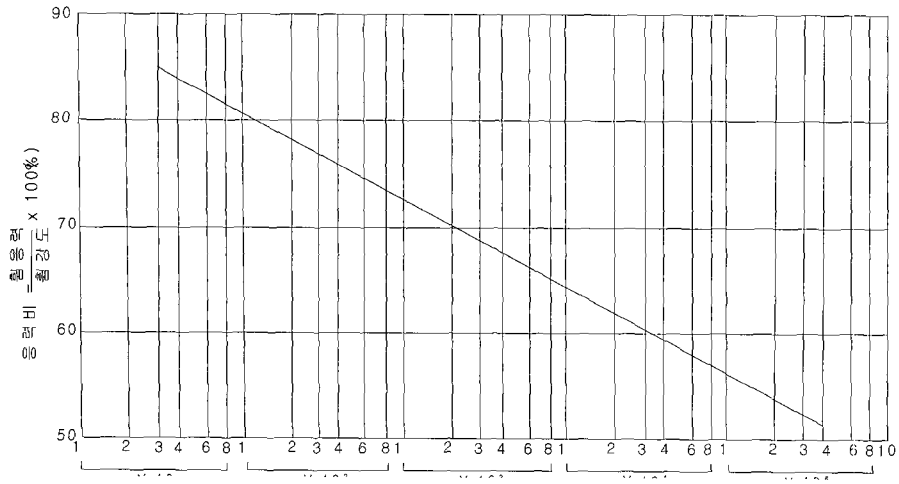


그림 9. 콘크리트의 피로곡선(반복횟수 Nr)

3.3 AASHTO 설계법

기본 설계식은 AASHO 도로시험에서 정립된 서비스 능력-공용성 개념을 기초로 만들어진 경험적 공용방정식에 근거한다. AASHO도로시험에서는 축중이 포장에 미치는 상대적 손상정도를 검토하고 콘크리트 슬래브 두께와 같이 보조기층 두께, 보강철근, 기상여건 등의 설계조건에 대하여 종합적인 시험연구를 시행하였다.

AASHO설계지침은 1972년 처음 잠정적으로 제안된 후 1981년 강성포장부분을 개정하였고 1986년에 다시 개정되었다. 국내에서는 '86 AASHTO 지침을 적용하기에는 여러가지 입력변수들이 한국실정에 맞게 정립되지 않았으므로 현실적으로 어려운점이 있으며 기본적으로는 '81년에 개정된 잠정지침을 사용한다.

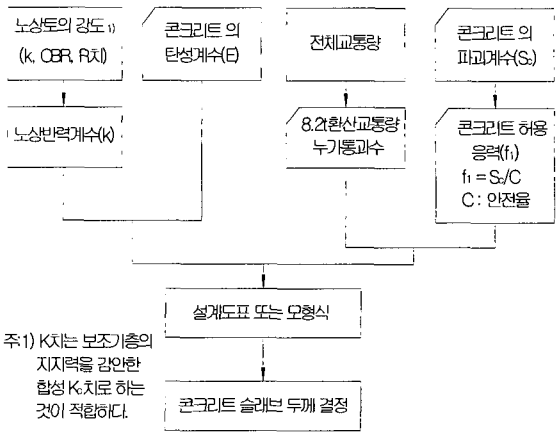


그림 10. '81 AASHTO 잠정지침의 강성포장 설계 흐름도

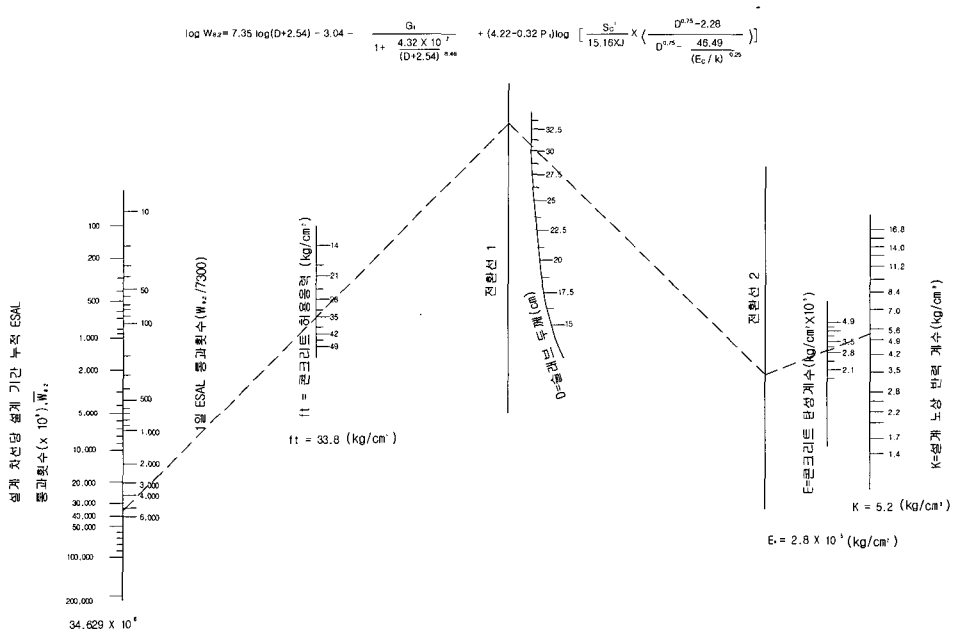
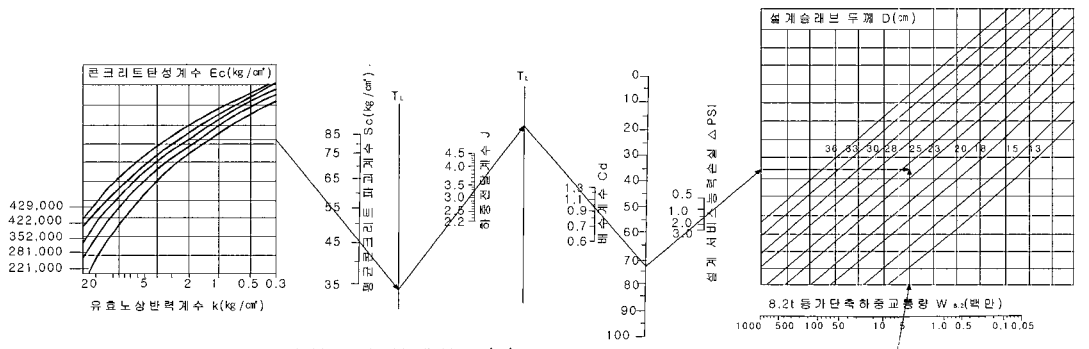


그림 11. '81 AASHTO 잠정지침의 강성포장 설계도표(P_t=2.5)

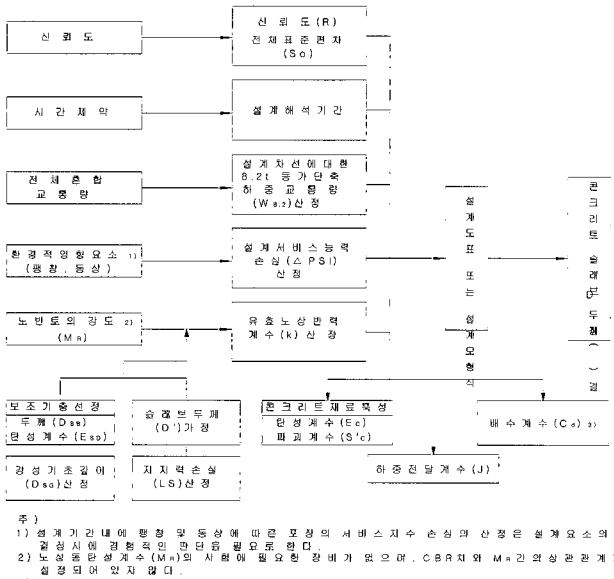
$$\log W_{8.2} = Z_R \cdot S_o + 7.35\log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right]}{1+\frac{1.624\times10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32P_t)\log\left[\frac{S_c' \cdot C_d\,[\,D^{0.75}-1.132\,]}{215.63J\,[\,D^{0.75}-\frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}}\,]}\right]$$



강성포장 설계도표(1)

그림 12. '86 AASHTO 설계지침의 강성포장 설계도표

강성포장 설계도표(2)



주)
1) 설계기간내에 팽창 및 동상에 따른 포장의 서비스지수 손실의 산정은 설계요소의 결정시에 경험적인 판단을 필요로 한다.
2) 노상토탄성계수(MR)의 시험에 필요한 장비가 없으며, CBR치와 MR간의 상관관계가 설정되어 있지 않다.
3) 배수계수의 설정시에는 세부적인 조사 자료가 필요하다.

그림 13. '86 AASHTO 설계지침의 강성포장 설계흐름도

표 4. 시멘트 콘크리트 포장 설계법의 비교

구 분		콘크리트 포장요강	PCA 설계법	AASHTO 설계법	
				'81 잠정지침	'86 개정지침
특 징		구조 해석적인 방법으로 교통조건에 따른 슬래브 단면을 표준화	구조 해석적인 설계법으로 교통량의 빈도수 개념	공용자료를 근거로한 설계법으로 교통량 통과 축수 개념 및 서비스 개념 도입	공용 자료를 근거로한 설계법으로 교통량 통과 축수 개념, 서비스 개념 및 신뢰도 도입
교통조건		일평균 계획교통량 (대형차 1방향교통량 L, A, B, C, D) * 5 TON 이상 적재차량	공용 교통량의 각 단축 하중 및 복축하중의 분포와 통과 빈도수	공용 교통량을 8.2T 환산 단축 하중 누가통과 축수	공용 교통량을 8.2T 환산 단축 하중 누가통과 축수 신뢰도 고려
노상조건		노상의 설계지지력 (K 30)	노상의 설계지지력 (K 75)	유효 노상 반력 계수(K)	유효 노상 반력 계수(K) 환경영향에 의한 지지력 감소(LS)고려
포장두께	슬래브 응력	단부 또는 세로 줄눈부	단부	우각부	우각부
	CON'C 슬래브 두께	교통량 구분에 따른 슬래브 단면 표준화(15, 20, 25, 28, 30cm)	슬래브 구조해석으로 두께 산정	포장 공용성에 미치는 요소를 감안 두께 산정	포장 공용성에 미치는 요소를 감안 두께 산정

4. 맺 음 말

도로포장공법의 종류와 그들의 설계방법을 비교 고찰하고 주로 사용되는 AASHTO설계법에 의한 포장설계예를 살펴보았다. 그동안 우리나라에서는 AASHTO설계법이 이론적, 경험적으로 근거가 충분하고 적용에도 무리가 없어 가장 널리 사용되어 왔다. 아스팔트 콘크리트포장의 경우 TA설계법 사용은 간편하지만 제반 설계조건에 대해 정량적으로 분석하기에 부적합하며 시멘트 콘크리트 포장의 PCA 설계법은 축하중별 누적 축중수가 산정되어야 하므로 설계 윤하중의 적용이 어렵다. '86 AASHTO 설계지침은 설계 및 측정교통량의 오차를 감안한 신뢰도 개념 도입, 노상지지력의 회복탄성계수 시험에 의한 산정 그리고 동상 및 노상팽창으로 인한 포장서비스 지수 손실의 정량적인 평가 등 설계요소를 추가 또는 보완적인 측면에서 고려함으로써 보다 분석적인 설계기법으로 정확성을 기하였다고 본다. 그러나 실제 적용에 있어서는 회복탄성계수 시험 및 자료수집의 미비와 각종 설계입력자료의 정확한 적용이 어려운 실정으로 아직까지도 '72 AASHTO 잠정설계법을 주로 사용하고 있어 아쉬운 상황이다. 그런가하면 포장공사가 설계당시의 시방조건에 맞게 이루어 졌는지 또 준공이후 실제 도로의 공용기간을 통하여 제반설계 입력조건이 예측치와 어느 정도 차이나는지, 그 영향이 무엇인지 등을 조사 분석평가해야 하는 사후관리가 이루어지지 않고 있어 그 동안 적용해온 포장설계법에 대한 문제와 해법을 찾기 어렵고 아울러 국내 실정에 맞는 포장설계법의 마련이 힘들다는 생각이 든다.

최근에 한국형 포장설계법 개발연구 과업이 본 학회와 한국 건설기술연구원 중심으로 진행되고 있어 그 동안의 국내 도로포장 설계의 문제점과

설계법 개발전략의 장애원인을 찾아내고 그 해법을 도출하여 한국형 포장설계법을 개발해낼 계획이므로 이번 기회에 크게 발전할 수 있기를 기대하며 또한, 지금까지 미흡했던 도로포장의 설계입력자료와 공용중 실제값을 수집, 분석 및 평가하는 많은 비교 자료 축적이 이루어질 수 있도록 보다 적극적인 사후관리가 절실히 요망된다.

참고문헌

1) 건설부, "1986 AASHTO 도로포장 구조설계 지침서",1988
2) 건설부, "도로포장 설계시공 지침", 1991
3) 한국도로공사, "도로설계 실무편람(포장공)", 1997
4) 한국도로공사, "설계실무자료집(제2권)", 1998
5) 건설교통부, "도로공사 설계적용기준", 2000
6) 건설교통부, "콘크리트 포장시방서", 1996
7) AASHTO Interim Guide for Design of pavement structures, 1972, 1981
8) AASHTO Guide for the Design of pavement structures, 1986
9) Pavement Design for seasonal Frost Conditions ARMY TM 5-818-2, Air Force AFM 88-6, chap4, 1985

관련기관 비회원 학회지 발송 중단 안내

우리 학회는 그동안 통권 7호까지 발간하면서 관련기관에 무료로 배포하였습니다. 통권 8호부터는 회원에 한하여만 발송코자 하오니, 이점 양지하시고 회원에 가입해 주시기를 간곡히 부탁드립니다.

- 사업담당 이사 올림 -