

국내 고속도로 콘크리트포장의 설계현황 및 개선점

한 승 환* · 엄 인 수** · 강 재 수***

1. 머리말

우리나라 고속도로 시멘트 콘크리트 포장은 1982년 개통된 남해고속도로의 지선인 부산-마산간 고속도로에서 최초로 적용하였다. 국내 최초의 이 노선은 시멘트 콘크리트 포장(이후 콘크리트 포장이라고 함)의 평탄성을 고려하여 아스팔트 콘크리트 표층을 사용하였다. 그 이후 호남고속도로 확장 및 88올림픽 고속도로에 전단면 콘크리트 포장을 시행하였으며 현재는 중차량의 비율이 높은 우리나라 교통특성을 감안할 때 유지관리등 다각적인 측면에 아스팔트 포장보다 우수하다는 판단하에 연약지반 등 특수한 곳을 제외하고는 콘크리트 포장을 적용하고 있는 실정이다.

도로에서 포장은 포장면에 전달되는 차량하중을 하부 노상층으로 분산해서 전달시키는 기능을 수행한다. 고속도로 콘크리트포장의 두께 설계는 이러한 기능을 성공적으로 수행할 수 있도록 하기 위한 최적의 단면을 도출하여 초기 건설비용과 유지관리 비용을 최소화하는 것이다. 차량 윤택중에 대한 균등한 지지력의 확보, 중

차량으로 인한 팽팽을 방지할 수 있는 보조기층의 요건 충족, 충분한 하중 전달과 성능저하를 최소화하는 줄눈시스템, 설계수명기간동안의 공용기간내에 외부환경에 노출되는 콘크리트의 강도 및 내구성을 제공할 수 있는 재료의 배합 등 콘크리트 포장의 상태와 수명에 미치는 인자들을 충분히 고려하여야 한다.

국내 고속도로 콘크리트 포장의 설계는 1960년대 노상지지력(CBR)에 따른 일본도로협회의 콘크리트 포장 설계법을 사용하였으나, 1966년도에 교통 사용자 입장에서의 판정기준인 서비스 지수의 해석에 근거한 AASHTO 설계 개념과 1972년에 이를 도표화한 설계기법을 적용하여 사용해왔다. 그리고 이후 1986년도 신뢰도 및 동탄성계수를 이용한 지지력 산정, 환경조건등을 보완한 1986년 개정 내용을 적용하여 현재에 이르고 있다. 현재 국내 고속도로의 포장 설계는 이러한 미국 AASHTO 설계기준을 적용하고 있으며, 일부 일본도로협회의 콘크리트 포장요강의 설계법을 이용하도록 하고 있다.

2. 콘크리트포장 설계

2.1 기존 설계법

고속도로 콘크리트 포장 설계법 중 AASHTO 설계법을 기준으로 대표적 몇 가지를 간단히 비교하여 보면 표 1과 같다.(이길용, 1991) 특히

* 한국도로공사 도로연구소 책임연구원
(han_s_h@hotmail.com)

** 한국도로공사 설계심사실 과장
(dthree@freeway.co.kr)

*** 한국도로공사 부처장
(dthree@freeway.co.kr)

표 1. 콘크리트포장 설계법 비교

구분	일본콘크리트포장요강	PCA 설계법	'72 AASHTO 잡정지침	'86 AASHTO 설계법	비고	
특징	구조해석적인 방법으로 교통조건에 따른 슬래브 단면을 표준화	구조 해석적인 방법으로 교통량의 빈도수에 의한 누적 손상	공용자료를 근거로 한 설계법으로 교통량 통과 축수 개념 및 서비스 개념 도입	공용자료를 근거로 한 설계법으로 교통량 통과 축수 개념 및 서비스 개념 도입	AASHTO Road Test	
교통조건	일평균계획 교통량(대형차 1방향 교통량 L.A.B.C.D)-5ton이상 적재차량	공용교통량의 각 단축하중 및 복축하중의 분포와 통과 빈도수	공용교통량을 환산 단축하중 누가통과 축수	환산단축하중 누가 통과 축수 및 신뢰도 고려	ESAL (18kips)	
노상조건	노상의 설계지력 (K 30)	노상의 설계 지력	유효노상반력계수 (K)	유효노상반력계수 (K) 및 환경영향에 의한 지력 감소 고려		
포장 두께	슬래브 층력	단부 또는 세로줄눈부	단부	우각부	우각부	위험단면
	슬래브 두께	교통량구분에 따른 슬래브단면표준화 (15,20,25,28,30cm)	슬래브구조해석으로 두께 산정	포장공용성에 미치는 요소를 감안 두께 산정	포장공용성에 미치는 요소를 감안 두께 산정	

이 중에서도 국내 포장설계법의 많은 부분을 구성하고 있는 AASHTO 설계법의 경우 1986년에 개정하면서 몇 가지 중요한 설계개념이 도입되었으며, 이를 비교하여 기술해보면 표 2와 같다. 현재 국내 설계 기준의 경우 1986년도 AASHTO 개정사항 중 일부 쟁점사항을 채택하고 있지 못하고 있다. 신뢰도의 경우 국내 공용자료의 축적이 미비하여 적용에 어려움이 있으며, 노상강도 평가를 위한 동탄성계수의 경우도 연구성과 및 실용적 시험법이 없는 상황이다. 그리고 재료의 상대강도 및 지역별 배수 특성을 표현하는 데에도 많은 한계점을 가지고 있는 실정이다.

2.2 AASHTO 2002 포장설계법

1998년도부터 2001년도까지 미국 NCHRP (National Cooperative Highway Research Program)에서 "Development of the 2002 Guide for the Design of New and Rehabilitation Pavement Structures : Phase II"라는 과제로 AASHTO 2002 개정을 위한 작업을 수행하고 있다. 이러한 개정작업 및 개정내용이 국내 고속도로 설계기준에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.(김형배, 2000)

AASHTO 2002 Guide는 기존 AASHTO 설계기준이 AASHTO Road Test에 근거를 둔 경험적

표 2. AASHTO '86년도 설계법의 주요 개정사항 및 적용현황

구분	개정사항	적용	비고
교통-등가단축하중계수	AASHTO 도로시험 결과 자료 표준화	AASHTO 자료 근거로 국내 축하중 조사자료 적용	국내 축하중 연구조사
환경-서비스 능력 손실	AASHTO 지침 도표화	AASHTO 도표 활용	
노상강도-동탄성계수	설계 지역별 시험 실시 후 성과 적용	AASHTO 지침 예시자료 활용	국내 지역별 시험성과 및 공인 시험법 부족
신뢰도	공용실적 평가자료 표준화	AASHTO 지침자료 활용	국내 공용실적 평가자료 미흡
재료-상대강도계수-기층,보조기층,배수계수	AASHTO 시험결과자료 활용 및 자료 표준화	AASHTO 시험자료 근거로 국내 기층과 유사한 미국 4개주 평균값 적용	국내 기층 및 재료조건에 따른 연구자료 부족

설계방법인 것에 반해서 역학적인 포장체 해석 개념을 도입한 역학-경험적(Mechanistic Empirical) 설계개념을 적용하는 것으로 알려져 있다. 이런 설계법의 개정은 그 동안의 많은 연구를 통해 얻어진 설계이론들과 장기공용성 조사 및 평가를 통한 경험축적, 그리고 급속한 속도로 개발, 양산되고 있는 컴퓨터 하드웨어의 보급을 토대로 하여 진행되어지고 있다.

새로운 AASHTO 설계법은 설계자가 도로의 사용재료, 통과 차량하중, 설계현황 등에 대한 개별적인 변동성을 평가할 수 있도록 모듈화되며, 재료의 사용연수 및 온·습도 조건에 의한 장단기 변동성을 합리적으로 고려할 수 있는 토대를 마련하는 방향으로 진행되고 있다. 따라서 좀 더 정확한 공용성 예측이 가능해져 콘크리트 포장체의 조기파손 및 과대한 유지관리 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대하고 있다.

국내에서도 자체의 설계기준을 만들기 위한 연구가 계획·진행되고 있으며, 이러한 설계법 개발 연구는 국내외 연구개발 결과와 시험도로, 포장가속시험기, 포장장기공용성 조사자료의 연구결과를 포괄하여 추진하고 있다.(윤경우, 1999)

3. 포장설계법 현황 및 개선점

현재 국내 고속도로 콘크리트포장체의 두께설계기준은 많은 부분을 AASHTO 설계 기준을 채용하고 있어 설계법 현황 및 개선사항의 많은 부분이 AASHTO의 문제점과 국내 적용상의 문제점을 동시에 포함하고 있다. 본 절에서는 간단히 국내포장설계현황과 AASHTO 설계기준의 문제점 및 AASHTO 2002에서 개선되는 내용을 기술하고, 국내 설계적용상의 문제점을 검토하고자 한다.

3.1 고속도로 콘크리트포장 설계현황

국내 고속도로 포장은 그림 1과 같은 AASHTO 1986을 적용하기에 현실적으로 입력변수 등이 한국실정에 맞도록 정립되어 있지 않아 많은 어려움이 있다. 따라서 현재까지 콘크리트포장의 경우 1981년도의 AASHTO 설계법을 주로 사용하고 있다. 제시되는 설계절차에서 설계기간의 총 교통량이 50,000 등가단축하중(Equivalent Single Axle Load, 8.2톤) 이상일 경우에는 AASHTO 설계법을 적용하고, 교통량이 더 적거나 설계입력변수 산정에 요구되는 기본

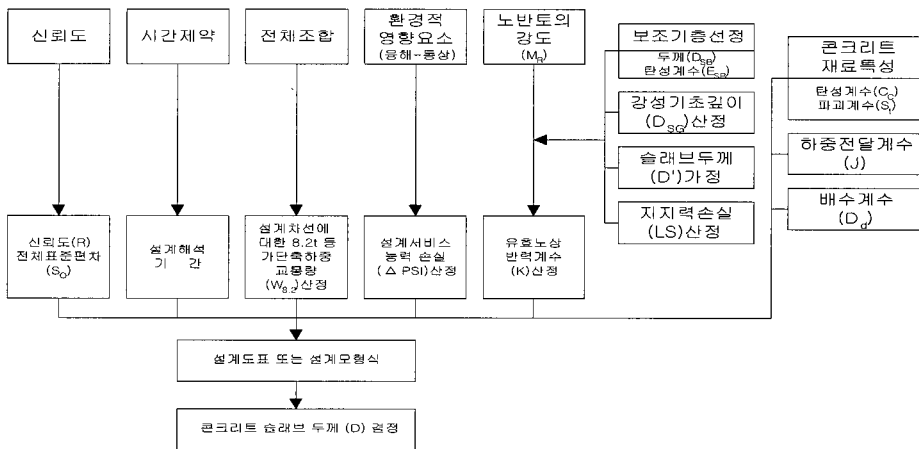


그림 1. AASHTO 86 설계법에 의한 포장설계순서

설계자료가 미비한 경우이거나 개략적 설계를 수행하고자 할 때에는 일본도로협회의 콘크리트포장요강 설계법을 적용하도록 권장하고 있다.(한국도로공사, 1997) 그리고 보강철근 및 구조세목에서는 AASHTO 86의 일부 내용을 따르고 있다. 표 3은 고속도로 노선별 포장설계현황을 나타낸 것으로 대부분의 콘크리트포장이 AASHTO 81에 의해 이루어졌음을 알 수 있다.

3.2 설계기준의 개선방향

현행 설계법을 구성하는 개념의 문제점 및 개선사항 및 가치를 간단히 기술하기로 한다.

(가) 교통하중

현 설계법의 기본개념을 이루는 AASHTO 도로시험과 비교하여 현재 공용중인 포장체는 상당한 양의 차량 축하중을 경험한다. 따라서 최대 약 1,000,000회 정도의 시험결과를 AASHTO 도로시험의 결과를 토대로 작성된 현 설계법의 개념상에 오차를 포함할 수 있으며, 많은 운하중의 반복효과에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

(나) 유지관리 영향

현 설계기준은 유지관리 업무의 수행에 의해 관리되고 보수·보강된 포장체의 공용성 예측 및 수명증가에 대한 반영이 없다. 유지관리 업무에 인한 공용성 증진의 효과를 감안하여 설계 시 이를 반영할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

(다) 환경조건의 합리적 반영

한정된 지역의 실험조건을 기준으로 작성된 콘크리트 포장의 공용성 모델은 각기 다양한 환경조건을 합리적으로 반영하기가 어렵다. 그리고 아울러 주어진 환경조건이 포장체에 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 분석 또한 미흡한 것으로 판단된다.

(라) 다양한 노상조건

국내 고속도로 포장 두께설계에서 이용되는 AASHTO 81, AASHTO 86 모두 기본적으로는 AASHTO 도로시험의 결과를 바탕으로 하고 있다. 따라서 정규화된 노상조건을 토대로 작성된 공용성 모델은 각 지역별, 사용재료별 노상조건을 충분히 반영하고 있지 못하다. 따라서 이의

표 3. 고속도로 노선별 포장설계 현황

구 분	개통시기	포장공법	포장설계법	포장층두께 (cm)
경 부 선	'70. 7.	아스팔트	T _A	22.5
경 인 선	'68.12.	"	"	20.0
호 남 선	'73.11.	"	AASHTO 잠정지침	20.0
영 동 선	'75.10.	"	"	14~20
동 해 선	'75.10.	"	"	17.0
남 해 선	'73.11.	"	"	30.0
구 마 선	'77.12.	"	"	19~24
부 마 선	'81. 9.	콘크리트,아스팔트	"	30.0
88울림픽선	'84. 6.	콘크리트	"	30.0
중 부 선	'87.12.	"	"	30.0
영동-동해연결선	'88.12.	"	"	30.0
판교-구리 신갈-안산	'91.11.	"	AASHTO 81	30.0
중앙선	'95. 8.(일부)	"	"	25~28
제2경인	'94. 7.	"	"	30.0
서울의곽순환	'99. 6.(일부)	"	"	30.0
서해안	'01.12.	"	"	30.0

영향을 분석하여 합리적인 고려방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

(마) 기층, 보조기층재료의 변동성

AASHTO에서는 당초 포장 슬래브 하부에 보조기층을 설치하여 노상반력계수 K를 산정하고 있으나, 국내 고속도로의 경우 세석층 및 노상의 침식을 방지하기 위하여 안정처리된 보조기층(Lean Con'c)을 사용하고 있다. 그러나 이를 고려할 수 있는 포장구조 설계에 대한 표준적인 해석방법이 개발되거나 시험되어 있지 않다. 따라서 막연히 설계자의 판단에만 전적으로 의존하게 되어 포장 구조설계의 일관성이 없다.

(바) 차량

도로를 주행하는 차량의 변화는 그 양적측면과 더불어 종류의 다양성, 그리고 현가장치와 같은 차량 시스템에 많은 변화가 있었다. 따라서 공용중인 포장시스템을 통과하는 차량의 축중량, 축간거리, 현가장치, 타이어 종류 등과 같은 차량제원의 다양성을 반영할 수 있는 방법이 강구되어야 할 것으로 판단된다. 즉 국내의 공용중인 차량특성, 차로별 운행특성 그리고 콘크리트 포장 시스템과의 상호작용 등을 고려하여야 한다.

(사) 배수특성

도로의 배수 특성은 포장시스템의 수명을 결정짓는 중요한 요소 중의 하나이다. 따라서 이에 대한 영향성 검토와 합리적인 예측은 도로설계에 필수불가결한 요소이다. 그러나 현재 국내 고속도로포장설계는 국내 포장체의 배수특성에 대한 조사자료가 미흡하여 AASHTO 86의 설계법의 배수계수(Cd, Drainage Coefficient)를 합리적으로 반영하기 위한 노력이 수행되고 있다.

(아) 사용성 평가

현 설계상에서는 사용성 평가를 위한 공용성 모델로 PSI(Present Serviceability Index)를 사

용하고 있다. 기본적으로 Panel Rating 방식의 평가방법에서 출발한 것으로 객관적이고 정량적인 판단조건이 부족하다. 따라서 현재 포장 유지관리 시스템(Pavement Management System)에서 적용하고 있는 사용성 평가 자료와 같은 객관적 지수로부터 도출되는 평가기준이 필요한 것으로 판단된다. 이러한 기준은 설계 뿐만이 아니라 포장 유지관리시 보수시기 및 공법에 대한 의사결정을 위한 수단으로 활용되며 설계법과의 연계성을 확보할 수 있을 것이다.

(자) 콘크리트의 특성

AASHTO도로시험에서 콘크리트에 작용하는 평균휨강도는 28일강도로 690psi, 탄성계수는 정역학적 압축시험(ASTM C 469)에 의해 구한 평균값 4,200,000psi으로 계산에 사용되어지고 있으나 국내에서 이러한 물성치에 대한 실험적 검증없이 적용하고 있다.

3.3 설계법 적용상의 개선점

앞 절에서도 언급한 바와 같이 고속도로 콘크리트 포장설계는 AASHTO 81, AASHTO 86, 일본도로협회 포장요강의 설계법이 이용되고 있다. 이러한 설계법의 나열은 명확한 개념과 충분한 검토가 미흡함을 나타내는 것이라 할 수 있다.

따라서, 전체적으로 포장설계에 대한 일관성과 결과에 대한 신뢰도가 확보되어 있지 못하다고 할 수 있다. 본 절에서는 간단히 설계법 적용상의 문제점을 기술한다.

(가) 적용기준

앞서 기술한 바와 같이 여러 개의 설계법이 나열되어 고속도로 콘크리트포장에 대한 명확하고 일관된 설계기준 및 절차가 수립되어 있지 않다.

(나) 합성노상반력계수 산정

현재 AASHTO 81을 적용함에 있어 PCA 설

계법에 의한 CBR값을 이용하여 간접적으로 노상의 반력계수를 산정후에 AASHTO 81에 제시된 노모그래프를 이용해서 린콘크리트와 노상의 합성노상반력계수를 사용하고 있었다. AASHTO 86의 동탄성계수를 통한 반력계수의 산정은 적용자제를 수행하지 못하고 있는 실정이다. 최근의 적용을 위해 CBR 값으로 추정된 동탄성계수로부터 합성노상반력계수산정을 위한 방법(AASHTO 86 Appendix LL)을 권장하고 있으나 이의 보정을 위한 작업이 생략된 채 사용되고 있다.

(다) 등가축하중 계수

기존 등가축하중 계수를 포장두께 조건을 30cm로 맞추어 일률적인 적용을 해왔다. 그러나 최근 국내 연구 결과를 채용하여 적용할 것을 권장하고 있다.(한국건설기술연구원, 1988)

(라) 교통량 분배

방향별 차로별 교통량 분배 조건을 별다른 근거 없이 AASHTO 86의 최소조건을 권장하고 있다.

(마) 획일적 두께 설계

고속도로 콘크리트 포장의 경우 입력변수의 적정성을 검토하여 두께 설계를 수행하기 보다는 임의의 설계두께를 미리 상정하고 설계절차를 이에 맞추어 수행하는 경우가 있다.

4. 맺음말

앞서 기술한 바와 같이 현재 고속도로 포장의 두께 설계는 전체적으로 AASHTO 81을 근간으로 하고 있으며 부분적으로 AASHTO 86의 설계법을 혼용하여 사용하고 있는 실정이다. 그리고 통행량이 작은 곳에서는 일본도로협회의 콘크리트포장요강을 권장하고 있다.

이와 같이 일관적인 설계 기준이 없는 상태에

서 고속도로 콘크리트포장설계는 부분적으로 과다 또는 과소설계가 발생되어질 가능성이 많게 되고, 이로 인한 건설비 과다투자와 조기파손으로 인한 비효율적인 설계가 이루어질 수 있다.

따라서 일관된 설계기준을 마련하고 고속도로 콘크리트포장에 적용할 수 있게 함으로써 합리적인 설계절차를 수행할 수 있어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국도로공사, 도로설계요령, 92.12.
2. 한국도로공사, 도로설계실무편람, '97.12.
3. 이길용, "고속도로 포장설계법 비교", 고속도로, 한국도로공사, 1991.
4. 윤경구, 최준성, 김도형, "시험도로건설과 한국 도로포장 설계법 개발", 도로포장공학회지, 제1권, 제1호, 1999.
5. 김형배, "AASHTO 포장설계법 및 PCA 포장설계법의 비교", 한국도로공사 교육교재, 2000.
6. 이풍희, "고속도로 설계 발전 방향", 대한토목학회지, 제48권, 제7호, 2000.
7. 한국건설기술연구원, "도로설계실무편람작성 및 자동차 축하중 조사 연구", 1988.
8. 강재수, 도로계획과 설계, 도서출판 엔지니어즈, 1998.
9. AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
10. PCA, Thickness Design Procedure for Concrete Highways and Streets, Portland Cement Association, 1984.