

한국형 도로포장설계법 관련한 賢問에 愚答



이 창 립 | 초대 도로기술사회 회장

1. 들어가기

정부당국은 「한국형 도로포장설계법(Korea Mechanistic-Empirical Method: 이하 KMEM)」을 2012년부터 각 해당사업에 적극 활용하기 위해 2011.12.14일 공포했다. 따라서 각 클라이언트는 신규 사업은 물론이고 기존 설계법에 따라 진행 중인 사업에도 적용을 검토하게 되었다. 이런 일련의 발전 과정으로 2월 중순에 기 계약된 도로 건설공사의 포장설계에 새로운 KMEM의 적용에 대한 적합성 검토가 필요하여 검토를 시작했다.

정보와 자료의 부족, 지식의 한계, 시간적 제약 등의 환경에서, 많은 유능한 석학들이 10년 동안 막대한 자원으로 성취한 우수하고 효율적인 KMEM에 접근하는 것은 무모한 용기라 인식하면서 그 적합성에 관한 현문(問)에 개인적 의견인 우답(愚答)으로 답하는데 대해 넓은 이해를 바란다.

KMEM에 대한 정보는 제4회 한·미 도로협력회의 발표문을 2002년 토목학회지를 통하여 보았으나, 2011년 12월에 공포한 것은 모르는 상태였다. 다행한 것은 정부당국의 친절한 정보 홍보로 KMEM의

여러 정보 및 소프트웨어 등에 접근할 수 있어서 나름대로의 판단에 도움을 받을 수 있었다.

2. 포장 설계법의 회고(回顧)

2.1 적용 설계법

기 계약된 공사의 설계는 2008년 시행되었는데 도로포장 설계에는 가장 보편화된 AASHTO 설계법의 1972년 및 1986년 잠정설계지침과 또 하나 비교설계로 일본의 1978년 TA법 등이 이용되었다

2.2 Road Test를 토대로 한 설계법

1972, 1986 잠정지침 AASHTO포장설계법은 1950년대 AASHO와 미국 내 여러 도로관련 기관이 참여한 「Road Test」에서 얻어진「경험적」설계법이다. 이 경험적 설계법은 지속적인 연구개발과 컴퓨터 등 과학기술의 발전으로 「역학적-경험적설계법(MECHANISTIC-EMPIRICAL PAVEMENT

DESIGN GUIDE)」으로 발전되었다. 우리의 KMEM와 2001년 공포된 일본의 TA설계법은 2002년 AASHTO설계법과 같은 개념으로 구성되어 있다.

2.3 Newark 공항포장시험

1960년대 또 하나의 포장시험은 뉴욕 항만국에 의하여 실시된 Newark 공항포장시험이다. 이 시험은 재하판, 압력계, 온도계 등에 의한 내부 응력상태 및 변위 등을 파악하고, 통계적, 경험적 해석과 결정론적 접근법으로 이 시험은 결과적으로 새로운 설계 해석 시스템의 기초가 되고 있다. 시험결과에서 얻어진 새로운 포장설계 해석 시스템의 내용은 다음과 같다.

- 기능적 설계 요소 : 포장표면의 점진적 악화, 탄성적인 균열 상태 등의 하중에 의한 휨 응력, 부등침하, 온도 변동, 종횡방향 평탄성, 포장 및 노상재료, 교통분포 등
 - 두께 설계 : Boussinesq의 응력이론 및 변형이론 등
 - 설계 단계 : 항복이론의 구조해석, 재료, 시공법, 경제분석, 기술적 판단 등
 - 포장 재료 : 변동계수, 시공성, 경제성, 구조적 퍼포먼스, 환경적 요인 등
 - 품질계획과 품질관리 : 품질보증이 설계에 미치는 영향, 시공의 허용한계 등
 - 수학적 모델 : 1962년 Jones의 광범위한 계수표 작성으로 층이론(理論)이 평가받게 되고, 컴퓨터 발달로 다층 구조모델이 개발되었다. 그러나 층구조(構)만으로는 포장문제 해결이 불충분하므로 Barenberg는 COE보고서에서 「포장시스템의 수학적 모델화」기술을 제시했다. 이 층시스템의 컴퓨터 해석에는 유한요소법이 이용되고 있으며, 각 층의 응력해석은 판이론(理論) 및 특별해석 식들이 이용되고 있다.
- 이와 같은 Newark 포장시험 결과는 지금의

AASHTO설계법인 「역학적-경험적」포장설계의 기틀을 마련하였으며, 컴퓨터해석을 이용한 소프트웨어를 개발하는 등 획기적 성과를 가져왔다.

3. 기존설계와 KMEM의 개념

실무적 도로설계에서 가장 오랫동안 이용된 AASHTO 1972년 잠정지침과 KMEM의 기본개념은 표 1과 같다.

표 1. 포장설계법의 기본개념

1972 AASHTO 설계법	2011 한국형 도로포장설계법
<ul style="list-style-type: none"> • 입력 데이터 <ul style="list-style-type: none"> - W8.2(18Kips)ESAL - 노상지지계수(SSV) - 지역계수(R) - 서비스지수(PSI 공용지수) • 도표(GUD)에서 상대강도계수 SN치 산정 • SN치에 접합한 포장층 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 컴퓨터에 의한 도로포장설계 프로그램(KPRP)으로 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 차종별 축하중 분포에 의한 교통하중 모델 - 포장 물성평가모델, 환경하중모델 등의 데이터베이스 구축 • 포장 구조해석 <ul style="list-style-type: none"> - 응력, 변위, 처짐 계산 • 공용성모델 <ul style="list-style-type: none"> - 포장손상(ΔDr) - 하중에 의한 누적손상(ΔD) - 피로균열, 영구변형, IRI기준 • 초기 입력 단면구성의 만족 여부 검토

4. 기존설계와 KMEM의 입·출력

KMEM은 우리나라 실정에 최적한 교통, 환경, 물성 등에 대한 통계 및 실험으로 얻은 데이터를 통계와 확률에 의한 컴퓨터 database를 구축하고, 이를 이용한 일반 유저 사용에 용이한 우수하고 유효한 실용적 설계해석 프로그램을 제공하고 있다. 기 설계된 1972년 AASHTO설계 결과와 새로운 KMEM의 컴퓨터에 의한 시험적 실행결과는 표 2와 같다.

표 2. 포장설계 input output

항 목	1972년 AASHTO 포장설계	2011년 KMEM
in put	<ul style="list-style-type: none"> 장래교통량(6종) <ul style="list-style-type: none"> - 2015(open) 83,046대 - 2024(목표) 115,201대 CBR 12 최종서비스지수(Pt) 2.5 해석기간 10년 지역계수(R) 2.0 노상지지력계수(SSV) 5.4 (도표에 의함) 상대강도계수(A) 8.2ton ESAL 및 D_D, D_L 고려한 설계교통하중 계산 	<ul style="list-style-type: none"> 과업정보(기본정보, 설계 정보) <ul style="list-style-type: none"> - 도로구분: 지방도/도시 지역 - 설계속도: 70km/hr - 공용기간: 10년 - 설계등급: 2 횡단설정 <ul style="list-style-type: none"> - 차로수: 양방향 8차로 - 차로폭: 3.25m 기상정보: 서울, 인천, 수원 예비 포장단면설계 <ul style="list-style-type: none"> - Ascon: 5+6+20cm - 보조기층: 20cm 재료특성 및 환경조건: 시방 및 기초자료에 준함 동상방지층 공용성 <ul style="list-style-type: none"> - 파괴균열: 20% - 영구변형: 1.3cm - IRI: 3.5m/km - 신뢰도: 50
out put	<ul style="list-style-type: none"> input 자료에 의한 GUI 에 의한 SN치 포장층 구성 소요 SN치. 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 5+6+20+20=51cm 동상방지층 : 29cm 총 두께 80cm 	<ul style="list-style-type: none"> 공용성 해석결과의 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 초기입력 포장단면이 만족되면 종료 필요 시 대안검토
특기 사항	<ul style="list-style-type: none"> 소성변형 최소화 방안 소성변형 방지대책 	<ul style="list-style-type: none"> 대안 중에서 LCC에 의한 경제분석으로 최적안 결정
현장 사항	<ul style="list-style-type: none"> 횡단구성 <ul style="list-style-type: none"> - 5+4 차로의 비대칭 포장 하부구조 <ul style="list-style-type: none"> - 하부에 대형구조물 매설 기초지반 <ul style="list-style-type: none"> - 해안 매립 연약지반 특수사항 <ul style="list-style-type: none"> - 일부차로는 overlay에 의한 기존 포장 이용 	<ul style="list-style-type: none"> 횡단구성 <ul style="list-style-type: none"> - 4+4 차로(안전측으로) 현장 특수조건 <ul style="list-style-type: none"> - 포장하부구조 내용 미반영 - 해안 매립 연약지반 미반영 - 일부기존 포장이용은 반영할 수 없음

5. 설계시행 결과와 적합성

5.1 KPRP 소프트웨어

1972 AASHTO설계법에 의한 포장에 대한 새로운 KMEM의 적합성을 실질적 피포먼스를 통한 검토가 유효한 방법으로 생각되므로 KPRP 소프트웨어를 실행하기로 했다. 이 두 설계법의 줄기는 같은 AASHTO의 기본개념을 가지고 있으며 시간과 접근법의 방법론 차이가 있을 뿐이다. 이들 기본개념은 표 1에 기술한 바와 같다.

포장구조의 역학적 해석은 공용성 검토의 중요 요소인데 KMEM에서 사용된 「다층탄성프로그램(KICTMLE)」는 12종 차량의 축하중 및 교통하중 분포 조건이 포함된 구조해석으로 복잡한 부분이므로 KPRP 프로그램에 의존한다. 한편「AASHTO MEPDG」은 피로균열, 영구변형에 대한 포장체의 응력, 변위 및 처짐의 공용성 분석의 역학적 해석에 「유한요소법(Wu 2001)」이 이용되고 있다.

시험적 테스트에서 접근방법인 input data의 차이점으로 결과의 효율성과 신뢰성은 떨어지고, 컴퓨터에 의한 응력해석에는 접근이 불가능한 점들이 있으나, 두 설계법의 공통점인「경험적」이란 면에서 초기 input와 설계결과인 output를 고찰하는 것이 바람직한 방법이라 생각된다. 이 「실험적 적합성 검토」의 input data는 결정론적 기법으로 두 방법이 최대한 근사접근을 위한 기존 자료의 활용 및 안전 측의 공통성 도출에 의한 근사치 적용 및 KMEM의 KPRP에 축적된 data base의 표준적 자료를 사용하였다.

5.2 입력과 결과의 요약

- 공용기간 : 10년
- 설계등급 : 2
- 설계속도 : 70km/hr

- 차로 : 양방향 8차로, 차로 폭 : 3.25m
- 교통량 : 2015년 공용개시의 6차종의 총 교통량 추정 83,048 대
- 초기 포장단면 : 표층 5cm, 중간층 6cm, 기층 20cm, 보조기층 20cm, 동상방지층 29cm 합계 80cm 등 입력 자료에 의한 KPRP 프로그램 실행결과와 output에 의한 「설계보고서」〈 7. 결과 요약(22쪽)〉은 표 3과 같다.

표 3. 설계 결과보고서 요약

항 목	설계기준	설계결과	대 비(%)
균열(crack)	20.0%	13.64%	68.2
변형(rutting)	1.3cm	0.99cm	76.1
평탄성(IRI)	3.5m/km	3.21m/km	91.7

공용성 해석에서 피로균열은 구조해석에서 구한 인장변화율, 영구변형은 연직압축 변화율 데이터로 예측한 것이고, 균열 및 변형의 누적량과 포장의 재령(齡)에 의하여 예측되는 것이 평탄성이다. 표 3에서 균열은 68.2%의 약간의 여유가 있고, 변형도 76.1%의 안전 측에 있는데 이 두 항목과 재령이 포함된 평탄성은 91.7%로 추정된다. 따라서 기존설계에 대한 KMEM의 적정수준의 유효성이 증명되므로 적합성이 인정된다.

6. 미래의 도로포장

6.1 정보로서의 소프트웨어

KMEM이 공고되지 불과 석 달이 지난 현재 일반 유저로서 충분한 내용도 알 수 없는 상태에서 적합성을 검토하는 자체가 부적당한 처사라고 생각된다.

사회적 공공성 소프트웨어는 그 사회성을 고려하여 제작자는 유저에 제시해야 하는 최소의 「설명책임(Accountability)」은 (1)프로그램의 목적과 기본 개념 (2)기본 프로세스 설명의 흐름도 (3)기본 공식,

공리의 제시와 해설 (4)편리하고 유효한 유저 매뉴얼의 제시 등이다.

또한 유저 입장에서 볼 때, KMEM의 하이라이트인 TPRP software는 연구, 실험한 우리나라에 적용되는 방대한 database를 가진 목적지향적 프로그램이라 생각된다. 목표지향성의 「C# 언어」로 제작된 프로그램 소스는 복잡하며, 방대하여 error debugging은 거의 불가능하며, 정보 매체인 컴퓨터와 소프트의 noise를 수용하는 문제 등에 대한 제작진의 「 α -test」는 통과한 상태이지만 공공성의 사회적 안전 및 효율을 위한 유저와 사회에 의한 「 β -test」검증은 보편화된 「연구윤리, 정보윤리」의 절차이므로 이 단계에서 지금의 version 1이 upgrade 되어 보다 우수한 국제적 프로그램이 되기를 바란다.

6.2 도로포장의 진화

• 도로포장의 발전 : 고대 로마도로로 거슬러 올라간다. 20세기 초반의 아스팔트포장은 CBR설계법에 의한 침투식 마카담공법에서 미국 Topkasi가 개발한 지금의 아스팔트 콘크리트(Asphalt Concrete)이다. 발전된 현대에는 새로운 재료 및 신공법이 개발되고 있으며, 중요과제인 환경개선을 위한 「저에너지 공법 및 재료」의 개발이 지속되고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 획기적인 <돌연변이>의 진화는 볼 수 없는 실정이다.

• F1의 비밀 : 300km/hr의 F1(Formula One)은 많은 비밀을 간직하고 있다. 어떤 선형설계와 포장으로 된 circuit 인가? 이 의문의 300km/hr 비밀은 다름 아닌 「타이어」에 있다. 경주 시작에서 전차량의 지그재그(zigzag) 운전은 마찰을 이용한 타이어 온도상승을 위한 것이다. 경주 시의 타이어의 온도는 약 100℃이다. 이 100℃ 타이어가 풀처럼 되어 마찰을 증대하므로 고속주행이 가능한 것이다. 그래서 경주차는 자주 타이어를 교체하는데 이때의 타이어의 온도는 50℃를 유지하기 위하여 커버를 하며, 따라서 이 타이어에는 마찰 흡이

없는 평판이다. 여기에서 고속주행의 안전은 선행, 포장이 아닌 「타이어」 등 다른 요소에서 찾을 수 있다는 사실이 F1 비밀의 하나이다.

- 미래지향적 포장설계 : F1의 비밀에서 우리는 안전하고 평탄성이 높은 쾌적한 주행을 제공하는 견고하고 긴 수명의 자연환경적인 포장은 지금의 설계 해석법에서 포장자체만으로는 해결할 수는 없다.

그래서 미래의 포장은 보다 「진보된 기능적 포장 이론의 연구개발, 사용되는 모든 재료의 고품질화, 장비를 포함한 시공법의 개발, 품질관리기법의 개발, 전 생애를 위한 유지관리법 및 재활용, 폐기처리법의 개발 및 LCC의 경제분석을 통한 최적화 의사결정」 등을 통하여 일관성 있고 전체론적 시너지 효과가 나타날 수 있어야 하겠다.

회원가입안내

본 학회는 건설교통부장관의 설립허가(1999. 5. 29)를 받은 사단법인 한국도로학회입니다. 본 학회는 다음 사업내용으로 건설한 학회운영을 하고 있습니다. 여러분의 기술적 자질향상을 위해서 널리 회원을 모집하오니, 본 사업취지에 찬동하시는 개인이나 단체는 입회하시어 본 학회의 발전에 협조하여 주시기 바랍니다.

사업내용

- 도로공학에 관한 국내외 기술교류와 공동연구
- 도로공학에 관한 조사연구와 성과의 보급
- 도로공학에 관한 자문, 평가 및 교육
- 도로공학에 관한 시방과 기준의 연구
- 학회지 · 논문집 및 도서의 간행
- 학술발표회, 세미나의 개최
- 현장견학, 시찰 등의 실시
- 기타 학회의 목적에 필요한 사업

회원의 종류

- 정 회원 : 도로 및 포장공학과 관련된 학문의 학식 또는 경험이 있는 자
- 학생회원 : 도로 및 포장공학과 관련이 있는 학과의 대학, 전문대학에 재학중인 학생
- 특별회원 : 본 학회의 목적사업에 찬동하는 단체
- 참여회원 : 학회 회장을 역임한 자
- 명예회원 : 대의원회에서 추대한 자

회비

- 입회비 : 20,000원(정회원예 포함)
- 연회비 : ① 정 회원 : 30,000원 / (중신회비 400,000원)
② 학생회원 : 15,000원(대학 및 전문대학생에 한함)
③ 특별회원 : 특급 : 100만원 이상, 1급 : 50만원 이상
2급 : 30만원 이상, 도서관회원 : 10만원

입회신청

회원이 되고자 하는 개인이나 단체는 소정의 입회원서와 입회비 및 연회비를 납부하시기 바라며, 자세한 사항은 학회사무국에 문의하시기 바랍니다.

회비납부

(가입회원명으로 입금) 한국씨티은행 : 102-53510-243 (사)한국도로학회

사무국 : 우)121-706 서울시 마포구 공덕동 456 르네상스타워 1410호

전화 : 02-3727-1992~3 전송 : 02-3272-1994

E-mail : ksre1999@hanmail.net http://www.ksre.or.kr

사단법인 **한국도로학회**