

# 시멘트콘크리트포장의 유지관리체계(PMS)에 관한 연구

## A Study on Development of Pavement Management System for Cement Concrete Pavement

엄 주용\*                      김 남 호\*\*                      임 승 욱\*\*\*  
Eum, Joo-Yong      Kim, Nam-Ho      Lim, Seung Wook

---

### ABSTRACT

PMS(Pavement Management System) is the effective and efficient decision making system to provide pavements in an acceptable condition at the lowest life-cycle cost. As the highway system become larger, the necessity of the PMS in increasing. As of december 1995, the 3rd stage of PMS project was completed. The accomplishment of the research work can be itemized to the followings :

- Calibration of PMS submodules
  - (1) Pavement Condition Evaluation Model
  - (2) Pavement Distress Prediction Model
  - (3) Pavement Performance Prediction Mode
  - (4) Selection of Pavement Rehabilitation Criteria
  - (5) Optimization Technique for PMS Economic Analysis
- Development of Computer Program to Implement PMS Logic
- A Study to Implement the Automized Pavement Condition Survey Equipment to PMS
- PMS Test Run
- Development of PMS Operation Guideline
- The 2nd Pavement Condition Survey for Long-Term Pavement Performance Monitoring.

---

## 제1장 서론

### 1.1 연구배경

우리나라 도로개발의 역사는 한국전의 전후복구사업을 통해 시작되었고 이후 교통량의 급속한 증가에 따라 고속도로 건설 역시 증가하여 1995년말 현재 1,700km에 이르고 있다.

이 과정에서 도로의 노후화에 따른 유지보수비용 역시 증가하였는데 이를 연도별로 살펴보면, 고속도로의 경우 1970년 1억원에 불과하던 비용이 80년대에는 73억원으로 증가하였고 90년에는 691억원에 달하고 있다.

현재 우리나라에서 행하여지고 있는 도로유지보수는 고속도로의 경우, 포장상태의 육안관측을 통하여 포장의 결함이 발견되면 기존의 경험 및 관례를 토대로 보수 및 유지관리를 실시하는 실정으로 포장상태의 평가나 파손된 도로에 대한 적절한 보수방법의 결정 등이 매우 주관적이며 체계화되어 있지 않은 상태이다. 이

---

\* 정회원 한국도로공사 책임연구원 (공학박사)  
\*\* 정회원 건설기술연구원 선임연구원 (공학박사)  
\*\*\* 정회원 한국도로공사 연구원

러한 기존의 보수유지관리방법에 대한 문제점은 다음과 같은 3가지로 정리할 수 있다.

- 포장상태의 평가 및 보수방법 결정의 비객관성
- 합리적인 포장유지관리 계획의 부재
- 도로유지보수에 대한 전산화된 Data Base의 부재

이러한 실정을 고려할때 방대한 고속도로망의 유지보수 우선순위, 보수시기, 보수공법 등을 결정하는 합리적이고 객관적인 방법을 마련하기 위해서는 고속도로에 대한 PMS구축이 절실하다. 따라서, 본 연구에서는 최신 포장평가 및 관리기법, 지형정보시스템(GIS)등의 활용을 통해 고속도로 콘크리트 포장에 대한 PMS를 순수한 국내기술로 개발하고자 수행하였다.

## 1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 목적은 고속도로 시멘트콘크리트 포장의 PMS를 개발하는 것으로서 이를 통해 방대한 포장관련 자료의 효율적인 관리를 위한 데이터베이스를 구축하고 운용체계를 개발하는 것이다. 총 4개년에 걸친 연구를 도식화하면 다음 그림 1과 같다.

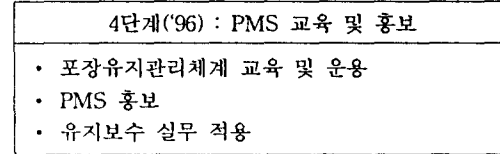
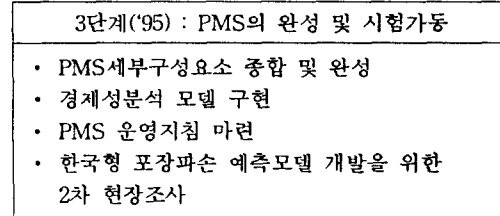
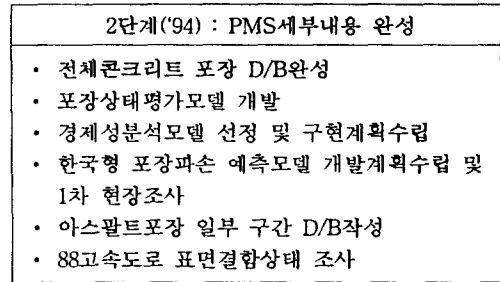
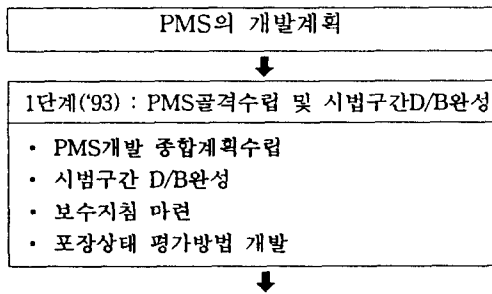


그림 1 PMS종합 개발계획 단계별 구분

시멘트콘크리트포장의 PMS개발 제3단계에서의 주요연구범위는 다음과 같다.

- (1) 시멘트 PMS 논리 구성요소들의 종합적 보정
- (2) 시멘트 PMS 논리 구성요소들의 전산화
- (3) 노면결합 조사장비와 시멘트 PMS와의 연계 방안 수립
- (4) 시멘트 PMS의 시험가동 및 문제점 보완
- (5) 시멘트 PMS 운영방안 연구
- (6) 포장파손 예측모델개발을 위한 2차 현장조사

## 제2장 시멘트 PMS 논리 구성요소들의 종합적 보정

시멘트 PMS의 경제성 분석은 크게 다음의 다섯가지 부모모델로 이루어져 있다.

- 포장파손예측모델
- 포장상태평가모델
- 포장공용성 예측모델
- 보수공법결정기준
- 보수우선순위 결정기준

선정된 각종 부모모델들의 현황은 다음의 표 1과 같다.

표 1 경제성분석에서 사용되는 각종 부모모델의 현황

부모모델구분	현황
1. 포장파손 예측모델 1.1 균열예측 모델 1.2 종단평탄성 예측모델	NCHRP 277, M. Darter(1989) SHRP-P-393, LTPP(1994)
2. 포장상태 평가모델	자체 개발
3. 포장공용성 예측모델	1.1, 1.2의 부모모델이 2의 부모모델로 대입되어 계산되는 형태
4. 보수공법 결정기준	펜실베이니아 도로국에서 사용되는 기준의 절충 형태
5. 보수우선순위 결정기준	NCHRP 277, M. Darter(1989)

## 2.1 포장파손 예측모델의 보정

본 장에서는 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수 대책에 대한 연구 제 2단계에서 선정된 균열예측모델에 대한 보정작업 수행과정을 정리하였다. 표 2는 선정된 분석변수 및 분석에 사용된 최대, 최소, 중간값을 정리한 것으로, 이들은 국내의 환경 및 여건을 기준으로 산정된 것이다.

표 2 균열예측모델의 분석변수 및 분석에 사용된 최대, 최소, 중간값

분석대상변수	중간값	변화범위	비고
● ESAL, 18kips Accumulated, Millions	20	0~25	
● SOILCRS (Fine Grained : 0, Coarse Grained : 1)	0	0.1	모델 규정
● FI, Freezing Index, °F · Day	500	100~823	도로설계 요령근거 (내부결정)
● TRANGE Average Max Temp. in July - Average Min Temp. in January, °F	50	40~60	
● Pavement Slab Thickness, in	12	11, 12	
● Modulus of Subgrade Reaction, psi	200	115~350	국내 최소, 최대값 Bowles,1988 McGraw Hill 근거

위에서 선정된 분석변수를 대상으로 NCHRP 277 Crack 모델에 대한 민감도 분석을 실시하였고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- 균열의 예측량 k, h는 값이 증가할수록, TRANGE와 FI는 값이 감소할수록 줄어든다.
- SOILCRS는 예측 균열량에 거의 영향을 받지 않는다.
- 분석대상변수들은 다음과 같은 민감도 수준의 순위를 갖는다.
- $H > FI > K > TRANGE > SOILCRS$
- 전체적으로 NCHRP 277의 균열 예측모델은 균열의 양을 과도하게 예측하는 경향이 있다. 균열 예측모델의 예측량 보정은 먼저 경험적 보정기준을 선정하고, 그 보정기준에 맞추어 균열의 예측량을 보정하는 방법을 택하였다. 국내의

상황에 맞는 균열예측의 민감도 수준은, 균열예측 모델의 입력변수 특성상 최악의 조건에서 5~8년 동안의 공용기간후 포장 슬래브 5개당 1개소에 전 폭에 걸친 균열이 발생하는 수준으로 설정하였다. 즉, 누적환산축하중 25,000,000 18 kips ESAL에서 균열이 36 m/1000m<sup>2</sup> 정도를 유발하는 수준으로 균열 예측모델의 민감도가 조정되었다. 그림 2는 최종 보정된 균열 예측모델을 나타내고 있다.

$$CRACK = ESAL^{2.756} 3092.4(1-SOILCRS) RATIO^{10.0} + ESAL^{0.5}(1.233 TRANGE^{2.0} RATIO^{2.866}) + ESAL^{2.416}(0.2296 FI^{1.53} RATIO^{7.31}) 0.0471$$

$$Ratio = \frac{Westergaard\ Edge\ Stress}{Modulus\ of\ Rupture}$$

Westergaard Edge Stress

$$\sigma_r = \frac{0.803}{h^2} [4 \log(l/a) + 0.666(a/l) - 0.034]$$

where,

$$l = \left[ \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \right]^{0.25}, \text{ Radius of Relative Stiffness}$$

CRACK		Calibrated Crack Prediction Model
ESAL		Accumulated 18 kip ESAL, Millions
SOILCRS	0	Fine Grained
	1	Coarse Grained
Ratio	0.286	(Westergaard Edge Stress)/(Modulus of Rupture)
FI	850	Freezing Index
TRANGE	50	Average Min Temp. in January
CALIB1	0.3372	Calibrated Factor
Mr	600	Modulus of Rupture of Concrete
F	171.6	Edge Stress on Circular Loading
P	9000	Wheel Load
h	12	Pavement Slab Thickness
a	6	Radius of Loading
l	41.4	Radius of Relative Stiffness
k	200	Modulus of Subgrade Reaction
<	0.15	Poisson's Ratio of Concrete
E	4.E+06	Modulus of Elasticity of Concrete

그림 2 최종 보정된 균열 예측모델

## 2.2 종단평탄성 예측모델

시멘트 콘크리트 포장의 유지보수 대책에 대한 연구 제2단계에서 아래와 같은 예측모델을 선정하였으며, 본 장에서는 이에 대한 보정작업의 과정을 정리하였다.

$$IRI = 105.9 + 159.1 \times \frac{AGE}{KSTATIC} + 2.167 \times JTSPACE - 7.127 \times THICK + 13.49 \times EDGESUP$$

여기서,

IRI = International Roughness Index

AGE = Age Since Construction

KSTATIC = Mean Backcalculated Static K-Value

JTSPACE = Mean Transverse Joint Spacing

THICK = Concrete Slab Thickness

EDGESUP = 1 for Tied Concrete Shoulder

0 for Any Other Shoulder Type

위 식에서 적용된 변수에 대한 민감도 분석 보정을 실시하였으며 다음 그림 3은 최종결과를 보인 것이다.

$$IRI = 105.9 + 159.1 \times \frac{AGE}{KSTATIC} + 2.167 \times JTSPACE - 7.127 \times THICK + 13.49 \times EDGESUP 0.0158 + CALIB2$$

IRI	(m/km)	International Roughness Index
AGE		age since construction
KSTATIC	10(psi/in)	mean backcalculated static k-value
JTSPACE	20(ft)	mean transverse joint spacing
THICK	12(in)	concrete slab thickness
EDGESUP	0	1 for tied concrete shoulder 0 for any other shoulder type
CALIB2	0.49	Calibration Factor

그림 3. 최종 보정된 종단 평탄성 예측모델

### 2.3 포장상태 평가모델 및 포장공용성 예측모델

포장 공용성의 예측기능은 효율적인 Project Level의 PMS분석에 필요한 핵심 기능중의 하나이다. 이러한 포장의 공용성을 예측하기 위하여, 독립적인 포장 공용성 예측모델을 사용하는 것이 아니라 포장 상태평가모델과 앞서 보정된 포장파손예측모델(중단평탄성 및 균열 예측모델)을 이용한다. 즉, 각각의 포장파손 예측모델의 예측치가 포장상태 평가모델에 입력되어, 포장의 공용성을 예측하는 것이다. 본 절에서는 이와 관련되어 수행된 포장상태 평가모델에 대한 보정작업의 과정을 정리하였다.

1m 균열의 보수에 의해 패칭 1m<sup>2</sup>가 발생하면 포장상태 평가에는 균열 1/3 m에 의한 포장상태와 같은 수준으로 평가받게 된다는 것을 가정한 것이다. 이러한 가정을 기초로 포장상태 평가모델을 재보정한 결과, 다음과 같은 평가모델을 도출하게 되었다.

$$HPCI = 7.35 - 4.65\text{LOG}(1 + \text{IRI}) - 1.06\text{LOG}(10 + C) - 0.32\text{LOG}(10 + P)$$

여기서,

HPCI = Highway Pavement Condition Index

IRI = International Roughness Index

C = Amount of Crack

P = Amount of Patching

### 2.4 보수공법 결정기준

포장관리체계에 사용되는 보수공법 결정기준을 결정하는 데에는 다음과 같은 세가지 측면을 고려하는 것이 바람직하다.

- 포장의 기능성 측면 (Functional Pavement Management)
- 포장의 안정성 측면 (Safe Pavement Management)
- 포장의 구조적 측면 (Structural Pavement Management)

## 제3장 시멘트 PMS논리 구성요소들의 전산화

본 장에서는 그동안 수행된 PMS 논리구성요소들의 전산화작업 결과 도출된 출력물을 예시하기로 한다. 이는 포장상태조사의 실측자료와 각종 포장관련 시공·보수이력등에 대해 구축된 데이터베이스에 기초한 것이다. 아래 그림 4는 전국 고속도로의 제 현황을 보인 것이며 그림 5는 지금까지의 보수이력, 그림 6은 이상을 통해 적용가능한 보수계획을 보인 것이다. 그림 7은 이러한 그래픽 자료의 근거가 되는 수치자료의 관리형태를 보인 것이다.



그림 4 포장상태 현황조회

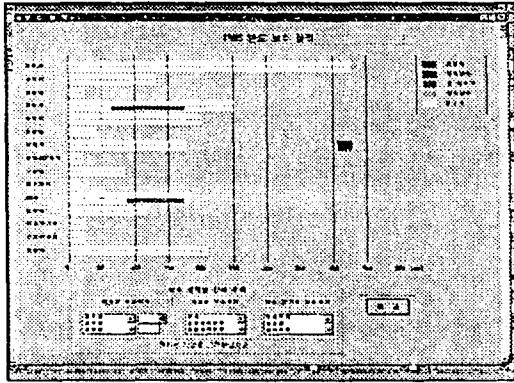


그림 5 보수실적 조회

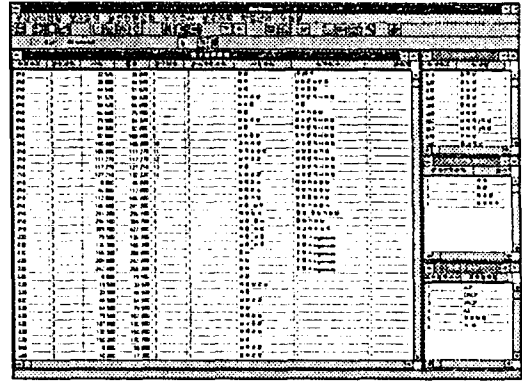


그림 7 자료관리

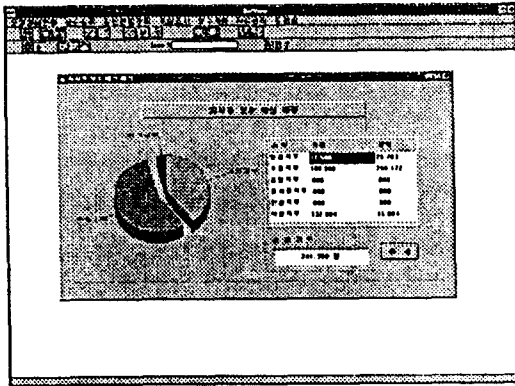


그림 6 보수계획

## 제 4 장 결론

본 연구의 목적은 한국도로공사에서 관할하고 있는 시멘트콘크리트 포장 고속도로에 대한 PMS 를 개발하는데 있다. 본 연구는 1993 년부터 1996 년까지 4 개년에 걸쳐 4 단계로 수행되고 있는데 현재 개발 제 3 단계의 연구가 완성되었다.

본 연구를 통하여, 시멘트콘크리트 PMS 논리 부분의 구성요소들 (포장상태 평가모델, 포장파손 예측모델, 포장공용성 예측모델, 보수공법 결정기준 및 보수우선순위 결정기준)에 대한 종합적 보정작업을 완료하고 이를 프로그램화하여, PMS 데이터베이스 운용 시스템과 연계시킴으로써 일원화된 시멘트콘크리트 PMS 를 완성하였으며 완성된 시멘트콘크리트 PMS 의 시험 가동을 실시하여

파악된 문제점들에 대한 보완작업을 수행하였다.

## 참고문헌

1. Dater et al., "Portland Cement Concrete Pavement Evaluation System, COPE", National Cooperative Highway Research Report 277, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., September 1985
2. Mohseni et al., "Alternative Methods for Pavement Network Rehabilitation Management", Research Report 529-1, Illinois Cooperative Highway Research Program, May 1992
3. 시멘트콘크리트 포장의 유지보수대책에 대한 연구 (II) - 1994 년도 보고서
4. 포장의 평탄성 특성연구 (II), 1992 년도 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소, 1992
5. 한국도로공사, "포장의 평탄성 특성 연구 (II), 포장의 미끄럼 특성 연구 (III)", 도로연구소, 1992