

포장도로 유지관리 시스템 구축을 위한 프로그램 개발

The Program Development for Building Pavement Maintenance and Rehabilitation System

조 병 완* 태 기 호** 한 재 호*** 최 혜 미**** 권 병 철*****
Jo, Byung Wan Tae, Ghi Ho Han, Jae Ho Choi, Hye Mi Kwon, Byung Chul

ABSTRACT

In this study, developed economical and scientific Pavement Management System(PMS) that can produce suitable maintenance method through judgement and analysis of pavement condition exactly, to overcome past unscientific pavement management limitations. First, on the basis of data of the inside and outside of the country on PMS, composed logical algorithm such as pavement condition investigation and analysis, detailed naked eye investigation, whole system estimation etc., and it verified that this algorithm is suitable system through the inside and outside of the country PMS research examples and results of detailed naked eye investigation. Also, developed easily usable PMS program and PMS_GIS program with such logical algorithm.

Keywords : *Pavement Management System, algorithm, PMS program, PMS_GIS program*

1. 서 론

도로 포장은 시공되기 시작하면서, 교통하중, 기상변화 등 내·외적인 힘의 작용과 포장 자체의 노후화 의해 공용성이 저하되고, 교통 수요의 증가추세와 교통 수단의 대형화로 인해 포장 파손 및 노후화가 점차 가속됨에 따라 육안 순찰과 경험에 의한 유지관리 방법으로는 경제성, 효율성 면에서 한계가 있으므로, 이에 포장상태평가에서 유지보수까지 하나의 통합된 시스템으로 보다 체계적이고 과학적으로 포장관리를 수행하여 손상된 포장상태를 적기에 회복시키고 과학적인 유지관리와 예산절감을 할 수 있는 포장도로 유지관리 시스템(PMS, Pavement Maintenance System)의 개발이 필요한 실정이다.

선진 외국에서는 이미 70년대부터 포장관리시스템 구축을 위한 자료조사 및 개발에 착수하여 현재 PMS의 활용이 보편화되어 있으며, 이러한 국제적인 추세와 유지보수에 투입되는 막대한 비용을 고려하여 포장의 파손상태 평가, 보수시기, 보수구간, 보수공법 등을 과학적으로 결정할 수 있는 합리적이고 효율적인 포장도로 유지관리 시스템을 개발하고자 한다.

* 정회원, 한양대학교 도시건설환경공학부 교수

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 서울특별시 도로운영과장

**** 정회원, (주)승화이엔씨

***** 한양대학교 토목공학과 석사과정

2. 포장상태 조사

2.1 조사대상노선 선정

조사대상노선은 서울시 포장도로 중 현장조사대장과 비디오 촬영 내용의 분석을 통해 교통량, 포장 상태, 최근 보수여부에 따라 남부순환로, 능동로, 화랑로, 도봉로, 양천길, 통일로, 새문안길, 송파대로, 양재대로 등 총 9개 노선 100km를 선정하였다.

2.2 자동 포장조사 장비를 이용한 포장상태 조사

본 연구에서는 상세육안조사 과정에서 발생하는 비효율성과 비경제성을 해결하기 위하여 자동 포장 상태 조사장비인 ARIA를 사용하여 균열, 러팅, 평탄성 등의 포장 결함을 측정하였으며, 주행속도 50km로 노선을 20m구간으로 나누어서 측정하였다.

ARIA장비를 통해 측정된 균열, 러팅, 평탄성의 초기데이터는 표 1과 같다.

표 1. 화랑로 ARIA장비 최종데이터

노선명: 화랑로		조사차선: 상행1차로										조사일자: 14/9/2001				
Segment	거리	폭	균열								패칭	균열 종류	균열률(%)	IRI (mm/m)	RD (mm)	교차로
			lck	lcka	tck	tcka	jck	jcka	bck	ack						
20	7.8	3		0		0						lck	0.0	7.0	17.2	
40				0		0						lck	0.0	3.6	8.7	
60				0		0						lck	0.0	2.7	8.4	
총 략																
5400			10	3		0						lck	5.0	3.1	12.4	
5420			5	1.5		0						lck	2.5	4.6	19.2	
5440			20	6		0						lck	10.0	3.2	20.9	

3. 포장상태평가

3.1 유지보수 판단 기준

기존의 국내·외 연구에서 보수 기준치는 대체적으로 균열율 15%, 러팅 25~40mm 그리고 평탄성 (IRI) 3.5~6m/km정도를 보수를 시작하는 시점으로 보았다. 이 기준치를 바탕으로 본 연구에서 조사된 서울시 포장상태 자료를 분석한 결과 서울시 포장도로의 특성에 맞는 새로운 유지보수 판단의 기준치를 다음과 같이 선정하였다.

표 2. 새로운 유지보수 판단 기준치

균열율(%)	러팅(mm)	평탄성(m/km)
15 이상	25 이상	8.5 이상

3.2 포장평가지수

본 연구에서는 현재 우리나라 국도에 적용되고 있는 UPCI 지수를 바탕으로 델파이 방식을 이용하여 새로운 포장평가지수를 SPI(Seoul Pavement Index)를 개발하였다. SPI 지수는 각각 균열, 러팅, 평탄성을 나타내는 개별 파손지수 SPI₁, SPI₂, SPI₃와 종합평가지수 SPI로 구성되어 있으며, SPI₁과 SPI₂는 표 2에서 제시된 보수 기준치와 UPCI에서 제시한 보수기준치가 일치하기 때문에 UPCI의 CI 지수

와 RDI 지수를 그대로 사용하였고, 반면에 SPI₃는 UPCI에서 제시된 보수기준치와 상당한 차이가 있으므로 평탄성 값에 대해 민감한 MCI와 그와 반대인 PSI의 중간 값을 사용하여 새로운 선형식 SPI₃를 만들어 내었으며, 실제 데이터를 통해 평탄성 분포도가 대체로 높은 서울시 포장도로의 특성에 잘 맞는 것으로 검증되었다. 포장평가지수 SPI₁~SPI₃와 SPI는 각각 10점 체계를 이루며 10은 이상적인 포장상태를, 0은 포장이 완전히 파손된 상태를 말한다.

$$SPI_1 = 10 - 2.23 \times C^{0.3}, \quad SPI_2 = 10 - 0.2 \times RD, \quad SPI_3 = 10 - 0.531 \times IRI \quad (1)$$

$$PDI = [(SPI_1)^n + (SPI_2)^n + (SPI_3)^n]^{1/n}, \quad SPI = 10 - PDI \quad (2)$$

표 3은 화랑로의 포장상태 자료를 이용해 개별파손지수 SPI₁~SPI₃와 종합평가지수 SPI를 계산하고 이를 MCI, PSI 지수와 비교한 결과이다.

표 3. 포장평가지수 값 비교

Segment	SPI ₁	SPI ₂	SPI ₃	PDI	SPI	MCI	PSI
20	10.00	6.55	6.31	4.11	5.89	7.142	1.557
40	10.00	8.27	8.08	2.11	7.89	8.043	4.858
60	10.00	8.33	8.56	1.81	8.19	8.114	5.811
80	10.00	7.26	8.82	2.75	7.25	7.604	5.87
100	10.00	7.83	7.07	3.05	6.95	7.764	3.174
중 략							
5400	6.39	7.53	8.34	3.73	6.27	5.294	4.867
5420	7.06	6.17	7.57	4.08	5.92	5.09	2.684
5440	5.55	5.83	8.31	4.97	5.03	3.992	3.561

3.3 보수공법 선택

본 연구에서는 포장상태를 0~10으로 표시하는 포장평가지수를 이용하여, 각 단계별, 파손 유형별로 적용되는 보수공법을 달리하고, 1, 2차 유지보수공법 기준표를 만들어서 1차에서는 SPI 값에 따른 전반적인 유지보수 여부 결정, 2차에서는 파손유형별 보수공법을 세부적으로 적용하였다.

(1) 1차 유지보수 적용 기준표 - SPI값에 따른 유지보수 적용도

종합 포장평가지수 SPI 값을 바탕으로 포장상태를 5단계로 나누고 이에 따라 유지보수 적용도를 제시하였다.

(2) 2차 유지보수 적용 기준표 - 파손유형별 보수공법

표 4에서 제시된 유지보수 판단 기준과 전문가와 도로관리자의 의견을 종합하여 표 5 ~ 표 8과 같은 파손유형별 보수공법 결정표(DMT)를 만들고, 표 4에서 SPI 값이 6 이하인 경우에 대해 이를 적용하였다.

표 4 1차 유지보수공법 적용 기준표

SPI	상태	유지보수 적용도	정기유지보수	일상유지보수
10~8	매우양호	보수불필요	DN	X
8~6	양호	일상적 유지관리	DN	O
6~5	보통	예방보수 및 적정보수	DMT	O
5~3	불량	보수보강 필요	DMT	O
3~0	매우불량	재포장	노선1/3이상 재포장 DMT	O

표 5 2차 유지보수공법 적용 기준표 - 선형균열

SPI ₁	선형균열(%)	유지보수공법
6~5	4.5~14.8	표면처리/실링처리
5~4	14.8~25	소파보수
4~3	25~45.3	덧씌우기
3~0	45.3 이상	절삭덧씌우기

표 6 2차 유지보수공법 적용 기준표 - 면적균열

SPI ₁	면적균열(%)	유지보수공법
6~5	4.5~14.8	소파보수
5~4	14.8~25	덧씌우기
4~3	25~45.3	절삭덧씌우기
3~0	45.3 이상	절삭덧씌우기

표 7 2차 유지보수공법 적용 기준표 - 러팅(RD)

SPI ₂	RD(mm)	유지보수공법
6~5	18~25	평삭
5~4	25~30	덧씌우기
4~3	30~35	절삭덧씌우기
3~0	35 이상	절삭덧씌우기

표 8 2차 유지보수공법 적용 기준표 - 평탄성(IRI)

SPI ₃	IRI(m/km)	유지보수공법
6~5	7.5~9.4	소파보수
5~4	9.4~11.3	덧씌우기
4~3	11.3~13.2	절삭덧씌우기
3~0	13.2 이상	절삭덧씌우기 ¹

3.4 보수구간의 선정

본 연구에서는 유지보수공법 적용 기준표를 이용해 다음과 같은 기준으로 보수구간을 선정하였다.

(1) 1차 보수구간의 선정

100m 구간 SPI 평균값을 바탕으로 표 5 ~ 표 8의 유지보수공법 적용 기준표를 이용하여 핵심적인 공사구간을 선정한다.

(2) 2차 공사구간의 선정

주변 상황을 고려하여 일정한 기준을 마련하여 1차 공사구간의 확장 및 조정을 하며 최종적으로 관리자의 평가를 거치도록 한다.

- ① 1차 공사구간에서 100m 구간 내에서 OK구간이 3구간(80m) 이상시 무보수이며 OK구간 앞 또는 뒤에 이어서 무보수 구간이 있을 경우 OK구간은 무보수에 합병된다.
- ② 같은 보수공법이 연속으로 3구간 이상 적용되었을 때 그 부분을 핵심구간으로 보고 앞뒤로 확장한다. 단 연관이 없는 보수공법일 경우 확장이 불가능하다.
- ③ 일반적인 보수구간의 조정 및 확장에 대한 기준은 제시했지만, 최종적으로 도로관리자가 결정해야 한다.

3.5 보수시기 및 보수비용 결정

본 연구에서는 보수시기에 영향을 미치는 두 요소로 SPI 값과 교통량을 고려하여 우선순위 식을 산정하였다. 여기서 SPI 값은 최종적으로 선정된 보수구간의 평균 SPI 값을 사용하였고, 교통량은 서울시 지점별 일일교통량자료를 바탕으로 개발한 교통량 등급을 사용하였다. SPI, 교통량 모두 각각 10점 체계를 갖도록 했으며 우선순위 식은 다음과 같다.

$$\text{Rank}(i) = 0.6 * \text{SPI} + 0.4 * \text{TADTR} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad 0 \leq \text{Rank}(i) \leq 1) \quad (3)$$

또한, 선정된 보수구간의 보수공법에 대한 보수비용을 산출하기 위해 본 연구에서는 ‘도로보수공사 설계지침’을 참고하여 대략적인 보수공법별 단가를 산출하였다.

4. 프로그램 개발

4.1 D/B 구성

PMS database는 다음과 같은 총 14개의 Table로 구성되며 PK(Primary Key)와 FK(Foreign Key)를 이용하여 상호 연관되어 있다.

- 로그인 테이블
- 도로유형 테이블
- 포장상태 테이블
- 결함유형 테이블
- 교통자료 테이블
- 노선일반 테이블
- 포장종류 테이블
- 분석결과 테이블
- 보수구간 테이블
- 기상자료 테이블
- 관할사업소 테이블
- 구간일반 테이블
- 보수공법 테이블
- 보수이력 테이블

4.2 PMS Main Program

본 프로그램의 알고리즘은 포장 유지관리의 논리적 이론을 바탕으로 하였으며, 실제 사용자의 편의성을 고려하여 ‘파일’, ‘일반현황’, ‘보수이력현황’, ‘PMS 분석’, ‘보고서’, ‘참고자료’, ‘일괄처리’, ‘도움말’ 등의 8개의 메뉴로 구성하였다.

4.3 PMS_GIS Program

PMS_GIS program은 위치정보를 실시간으로 확대, 축소, 이동시키면서 동시에 메인 프로그램에서 분석된 자료를 조회할 수 있도록 개발하였다.

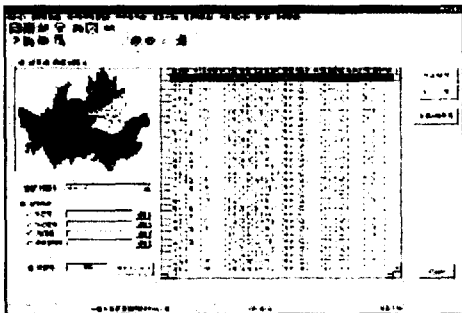


그림 5 PMS main program

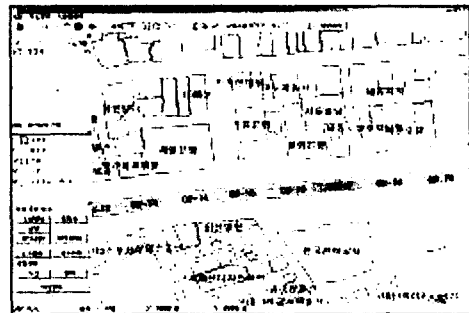


그림 4 PMS_GIS program

5. 상세육안조사

지금까지 연구된 포장도로 유지관리 시스템의 논리적 알고리즘을 검증하기 위해 ARIA장비로 포장 상태를 측정된 노선 중 능동로, 도봉로, 화랑로, 송파대로에 대해 다음과 같은 항목으로 상세육안조사를 실시하였다.

- (1) 노선의 총 연장에 대해 시점부터 20m간격으로 거리와 차선 폭 측정
- (2) 20m 구간별로 균열 종류 및 크기 측정
- (3) 비고란에 교차로 위치 표시
- (4) 포장관리 시스템의 분석결과표에 비고란을 만들어 실제 적용될 보수공법 및 공사구간을 기록

검증 결과, ARIA 균열 데이터는 선형균열과 패칭에 대한 판단기준을 다소 낮게 잡아 비율이 다소 과대하게 산정되었으며 면적균열은 이와 반대인 것으로 나타났다. 또한 포장관리 시스템에 의해 제시된 보수공법 및 보수구간의 적합성 여부를 검토해 본 결과 제시된 보수공법은 대체로 신뢰할만한 것으로 나타났다.

6. 결 론

포장도로 유지관리 시스템의 개발에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 서울시 포장상태 자료와 기존의 연구에서 제시되었던 보수 기준치를 분석한 결과 균열율 15%, 러팅 25mm, 평탄성 8.5m/km가 새로운 보수기준치로 적합한 것으로 나타났다.
- (2) 위의 기준치를 바탕으로 서울시 도로 특성에 맞는 개별 파손지수 $SPI_1 \sim SPI_3$ 와 종합평가지수 SPI를 개발하였으며, 이를 기존 포장평가지수와 비교한 결과 SPI 지수의 신뢰성이 입증되었다.
- (3) 10점 체계의 포장평가지수를 이용하여 파손유형별로 개별 파손지수 값을 5단계로 나누어 심각도에 따라 보수공법을 적용하였으며, 노선을 하나의 Project로 보고 포장상태의 최적 분석구간을 100m로 보아 이를 기본으로 공사구간의 조정 및 확장을 하였다.
- (4) 상세육안조사를 통하여 선정된 보수공법 및 보수구간의 적절성을 검토한 결과 노선별로 제시된 보수공법 및 공사구간이 대체로 적절한 것으로 나타났으나, 장기간에 걸쳐 경제성 분석을 실시하여 본 연구에서 제시된 논리적 알고리즘의 타당성을 입증해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 국토유지보수조사 연구보고서 및 최종보고서, 국립건설시험소 건설교통부, 1997~1998.
2. 도로포장관리체계 조사 및 분석, 건설교통부, 1999~2000.
3. 도로포장 유지보수 실무 편람, 건설교통부 도로관리과, 1999.
4. AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES, 1996.
5. HIGHWAY PAVEMENT TRAINING COURSE, MICHIGAN STATE Univ. Department of Civil and Environmental Engineering General Notes.
6. 유인균, Markovian 의사결정과정을 이용한 포장관리정책의 확률적 평가모델 개발, 고려대학교, 박사학위논문, 1999.
7. 박경부, 고속도로 포장유지관리체계 논리개발 연구, 한양대학교, 박사학위논문, 2001.