

서울시 포장도로 유지관리체계(PMS) 개선에 관한 연구

The Study on PMS Development for Effective Asphalt Pavement Maintenance & Rehabilitation

권혁미* · 태기호** · 조병완*** · 김준기****

Kwon, Hyuk Mee · Tae, Ghi Ho · Jo, Byung Wan · Suh, Young Chan

1. 서 론

도로 포장은 시공되기 시작하면서, 교통하중, 기상변화 등 내·외적인 힘의 작용과 포장 자체의 노후화에 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(Pavement Maintenance System: PMS)의 개발이 절실히 요구되고 있는 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 본 연구에서는 포장의 파손상태 평가, 보수시기, 보수구간, 보수공법, 보수비용 등을 과학적으로 결정할 수 있는 합리적이고 효율적인 포장도로 유지관리 시스템을 개발하고자 한다.

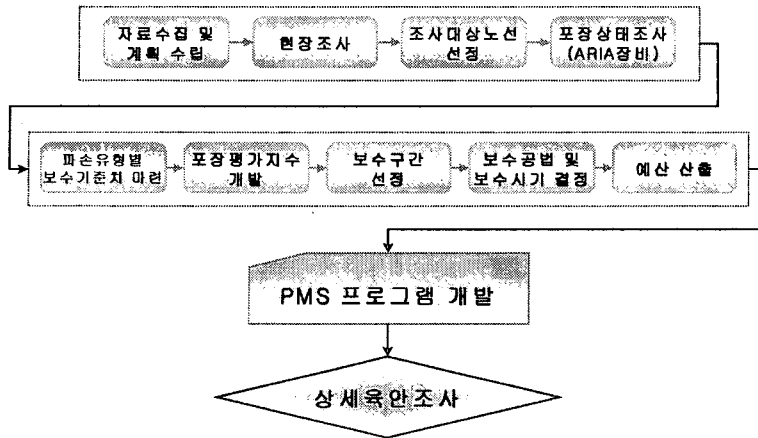
본 연구는 다음과 같이 크게 4단계로 수행되었으며, <그림 1>은 연구 수행 흐름도를 나타낸다. 첫 번째 단계는 자료수집 및 포장상태 조사 단계로써 기본자료 수집 및 자동포장상태조사를 위한 조사대상노선을 현장조사를 통해 선정하고, 두 번째 단계는 파손유형별 보수기준치를 마련하고, 포장평가지수를 개발하여 보수구간, 보수공법, 보수시기, 보수예산 등을 산출하는 알고리즘을 완성하는 포장평가 단계이며, 세 번째 단계에서는 위의 알고리즘을 바탕으로 PMS 프로그램을 완성하고, 마지막 단계에서 상세육안조사를 통해 전체적인 평가를 수행하였다. 또한, 본 연구는 이렇게 개발된 PMS 프로그램의 효율적인 현장 적용을 위하여 사업소 및 전문가의 의견을 수렴하여 사용자의 편의성을 향상시키고, PMS 시스템에 대한 주기적인 수정 및 보완작업을 병행하였다.

* 한양대학교 도시건설환경공학과의 토목공학과 석사과정 · E-Mail : amazing814@hotmail.com

** 한양대학교 도시건설환경공학과의 토목공학과 박사과정 · E-Mail : sting650081@hotmail.com

*** 한양대학교 도시건설환경공학과의 교수 · 공학박사 · E-Mail : joycon@hanmail.net

**** 서울특별시 건설기획국 도로관리과 과장 · 공학박사



<그림 1> 연구 수행 흐름도

2. 포장상태 조사

2.1 조사 대상노선 선정

조사대상노선은 서울시 포장도로 중 현장조사대장과 비디오 촬영 내용의 분석을 통해 교통량, 포장상태, 최근 보수여부 등을 고려하여, <표 1>과 같이 남부순환로, 능동로, 화랑로, 도봉로, 양천길, 통일로, 새문안길, 송파대로, 양재대로 등 총 9개 노선, 100km를 선정하였다.

<표 1> 조사 대상 노선 선정

관할사업소	노선명	총연장 (km)	시점	종점	조사차선
강서·남부·동부	남부순환로	36.3	강동대로	공항입구	상 1차로
성동	능동로	4.4	중곡동길	강변북로	상 1차로
북부	도봉로	10.0	미아3거리	도봉동시계	상 2차로
	화랑로	8.6	종암로	공릉동시계	상 1차로
서부	새문안길	1.1	세종로4거리	서대문로타리	상 3차로
	통일로	6.8	홍은동4거리	진관내동시계	상 2차로
동부	송파대로	6.2	잠실대교남단	장지동시계	상1차로, 하1차로
남부	양재대로	6.8	양재동시계	수서IC	상3차로, 하2차로
강서	양천길	7.5	양화교	개화초교	상 2차로
계	총 9개 노선	100.7			총 11개 차로

2.2 자동포장 조사장비를 이용한 포장상태 조사

본 연구에서는 상세 육안조사 과정에서 발생하는 비효율성과 비경제성을 해결하고, 빠른 시간 내에 넓은 구간에 대하여 정확한 자료수집 및 체계적인 자료분석을 하기 위하여 자동 포장상태 조사장비인 ARIA를 도입하였다. 측정 항목은 균열(cracks), 러팅(rutting), 평탄성(roughness) 세 가지 이며, 측정 방법은 위에서 선정된 9개의 조사대상노선에 대하여 50 km/h의 속도로 주행하면서 노선의 시점부터 종점까지 20m를 단위구간으로 하여 각 구간에 대한 포장 결함



항목을 측정하였다. 조사대상노선 중 화랑로에 대한 자동 포장 조사장비 측정 예가 <표 2>에 나와있다.

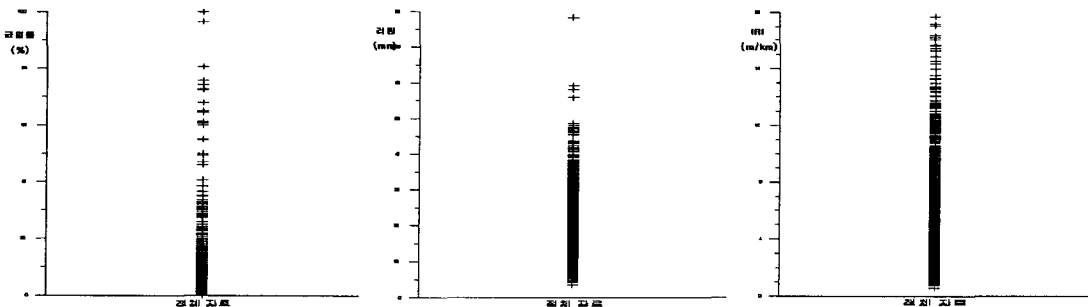
<표 2> ARIA 측정 Data 예 (화랑로)

노선명: 화랑로			조사차선: 상행1차로										조사일자: 14/9/2001			
Seg- ment	거리	폭	균 열								패 칭	지배 결합	균열율 (%)	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	
중 략																
5340			20	6		0						lck	10.0	3.0	15.2	
5360			20	6		0						lck	10.0	5.1	22.2	
5380			17	5.1	1.8	0.54						lck	9.4	5.9	11.9	
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 판단기준

기존의 국내·외 연구에서 보수 기준치는 <표 3>에 나타난 바와 같이 대체적으로 균열율 15%, 러팅 25~40mm 그리고 평탄성(IRI) 3.5~6m/km정도를 보수를 시작하는 시점으로 보았다.1),2) 그러나 서울시 아스팔트 포장도로의 포장 파손 패턴을 분석한 결과 <그림 2>에 나타난 바와 같이 균열율은 0~15%, 러팅은 0~35%에 집중되어있어 기존의 유지보수 판단 기준치를 그대로 적용해도 무방하다고 판단되었으나, 평탄성의 경우 0~20m/km의 분포를 보이며 주로 0~9m/km 사이에 집중되어있기 때문에 <표 4>와 같이 평탄성의 기준을 기존의 것보다 높게 잡아 서울시 포장도로의 특성에 맞는 새로운 유지보수 판단의 기준치를 선정하였다.



<그림 2> 포장 결함별 분포도



<표 3> 국내·외 유지보수 판단 기준치

분 류		유지보수여부 판단 기준		
		균열	러팅	평탄성
국도 UPCI		15% 이상(균열율)	25mm	50counts/km(QI)
일본 MCI	자동차전용도로	20cm/m2(균열도)	25mm	90pri (8m profile) 5.0 σ (3m profile)
	교통량 (대)	30	30~40	5.0 σ (3m profile)
	교통량 (소)	50	40~50	-
	안 산 시	5~15% 이상 (균열율)	1~2cm 이상	-
일본 MNI		15% 이상(균열율)	1~2cm 이상	6mm 이상(σ)
균열율 15%, 러팅 25mm, 평탄성 3.5~6m/km				

<표 4> 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 아래 식 (1)~(4)와 같이 새로운 포장평가지수 USPI(Universal Seoul Pavement Index)를 개발하였다. USPI 지수는 각각 균열, 러팅, 평탄성을 나타내는 개별 파손지수 USPI1, USPI2, USPI3와 종합평가지수 USPI로 구성되어 있으며, USPI1과 USPI2는 <표 4>에 제시된 보수 기준치와 UPCI에서 제시한 보수기준치가 일치하기 때문에 UPCI의 CI 지수와 RDI 지수를 그대로 사용하였으며, 반면에 USPI3는 UPCI에서 제시된 보수기준치와 상당한 차이가 있으므로 평탄성 값에 대해 민감한 MCI와 그와 반대인 PSI의 중간 값을 사용하여 새로운 선형식 USPI3를 개발하였다. 실제 데이터를 이용한 분석 값과 현장조사 결과를 비교·분석한 결과 이는 평탄성 분포도가 대체로 높은 서울시 포장도로의 특성에 잘 맞는 것으로 검증되었다. 포장평가지수 USPI1~USPI3와 SPI는 각각 10점 체계를 이루며 10은 이상적인 포장상태를, 0은 포장이 완전히 파손된 상태를 나타낸다.

$$USPI_1 = 10 - 2.23 \times C^{0.3} \quad (20)$$

$$USPI_2 = 10 - 0.2 \times RD \quad (21)$$

$$USPI_3 = 10 - 0.531 \times IRI \quad (22)$$

$$PDI = [(10 - USPI_1)^5 + (10 - USPI_2)^5 + (10 - USPI_3)^5]^{1/5}, \quad USPI = 10 - PDI \quad (23)$$

<표 5>는 화랑로의 포장결합 측정 자료를 이용하여 개별파손지수 USPI1~USPI3와 종합평가지수 USPI를 계산하고 이를 MCI, PSI 지수와 비교한 결과이다.

<표 5> 기존평가지수와와의 비교

Segment	USPI1	USPI2	USPI3	PDI	USPI	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 보수구간의 선정

본 연구에서는 유지보수공법 적용 기준표를 이용해 다음과 같은 기준에 따라 보수가 필요한 구간을 선정하였다.

(1) 1차 보수구간의 선정

보수구간을 선정하기 위한 첫 번째 단계에서는 100m 구간에 대한 SPI 지수의 평균값을 바탕으로 <표 6>의 유지보수공법 적용 기준표를 이용하여 핵심적인 공사구간을 선정한다.

(2) 2차 보수구간의 선정

두 번째 단계에서는 실제 보수 시 보수공법의 적용성과 경제성을 고려하여 일정한 기준에 따라 1차 결정된 보수구간을 확장 및 조정하여 최종적으로 관리자의 평가를 거치도록 한다.

- ① 1차 보수구간에서 100m 구간 내에 OK구간이 3구간(60m) 이상이면 무보수이며 OK구간 앞 또는 뒤에 연속적으로 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 확장 및 조절에 대한 기준은 제시했지만, 최종적으로 도로관리자의 평가를 거쳐야 한다.

3.3 보수공법 선택

본 연구에서는 포장상태를 0~10으로 표시하는 포장평가지수(SPI)를 이용하여 각 단계별, 파손 유형별로 적용되는 보수공법을 달리하고, <표 6>, <표 7>과 같이 각각 1, 2차 유지보수공법 적용 기준표를 작성하여 1차에서는 USPI 값에 따른 전반적인 유지보수 여부 결정하고 2차에서는 파손유형별 보수공법을 세부적으로 적용하였다.

(1) 1차 유지보수 적용 기준표 (SPI 값에 따른 유지보수 적용도)

보수공법을 선택하기 위한 첫 번째 단계에서는 측정된 포장 결함 데이터를 이용하여 계산된 포장평가지수 SPI 값을 바탕으로 <표 6>과 같이 포장상태를 5단계로 나누고 이에 따라 유지보수 적용도를 제시하였다.

(2) 2차 유지보수 적용 기준표(파손유형별 보수공법)

두 번째 단계에서는 <표 6>에서 제시된 유지보수 판단 기준과, 전문가와 도로관리자의 의견을 종합하여 <표 7>과 같이 파손유형별 보수공법 결정표(DMT)를 만들고, <표 6>에서 USPI 값이 6 이하인 경우에 대해 이를 적용하였다.

<표 6> 1차 유지보수공법 적용 기준표

USPI	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 7> 2차 유지보수공법 적용 기준표 -균열

USPI1	선형균열(%)	유지보수공법	USPI1	면적균열(%)	유지보수공법
6~5	4.5~14.8	표면처리/실링처리	6~5	4.5~14.8	소파보수
5~4	14.8~25	소파보수	5~4	14.8~25	덧씌우기
4~3	25~45.3	덧씌우기	4~3	25~45.3	절삭덧씌우기
3~0	45.3 이상	절삭덧씌우기	3~0	45.3 이상	절삭덧씌우기
USPI2	RD(mm)	유지보수공법	USPI3	IRI(m/km)	유지보수공법
6~5	18~25	평삭	6~5	7.5~9.4	소파보수
5~4	25~30	덧씌우기	5~4	9.4~11.3	덧씌우기
4~3	30~35	절삭덧씌우기	4~3	11.3~13.2	절삭덧씌우기
3~0	35 이상	절삭덧씌우기	3~0	13.2 이상	절삭덧씌우기

3.5 보수시기 및 보수비용 결정

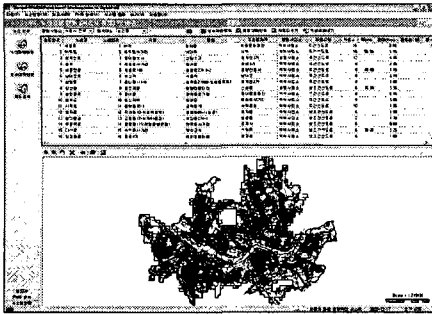
본 연구에서는 보수가 필요한 노선을 기간 내에 효율적으로 보수하기 위하여 식 (5)와 같이 보수의 필요도를 나타내는 유지보수 우선순위 식을 작성하여 시스템에 적용하였다. 우선순위는 장비조사에 의해 산출된 도로의 SPI지수(종합평가지수)와 교통량흐름, 도로등급, 도로연장 등의 요소에 의해 결정되며, 또한 각각의 요소에 가중치를 부여하여 적합한 순위를 도출할 수 있다. 이 중에서 우선순위에 가장 영향을 미치는 요소로 종합평가지수, 교통량흐름, 노선 내 보수대상 구간을 우선순위 결정 시 고려하였다. 여기서 SPI지수 값은 최종적으로 선정된 보수공사구간의 평균 SPI 값을 사용하도록 하였고, 교통량흐름은 서울시 지점별 일일교통량 자료를 바탕으로 교통량, 도로등급, 연장, 전용차선에 대해 등급을 매겼으며, 노선 내 보수대상 구간은 전체구간에 대해 SPI가 6이상인 구간에 대해서도 등급별로 분류하여 모두 각각 10점 체계를 갖도록 하였다. 우선순위 산정 시 포장의 결합을 가장 정확히 반영할 수 있는 종합평가지수(SPI)에 60%를 고려하였으며, 기타 환경적인 요인인 교통량 흐름과, 노선 내 보수대상 구간의 영향도를 각각 20%의 가중치로 고려하였다. 우선순위는 그 값이 낮을수록 보수시기가 우선해야함을 의미한다.

$$Rank = 0.6 \times SPI + 0.2 \times T + 0.2 \times S \quad (24)$$

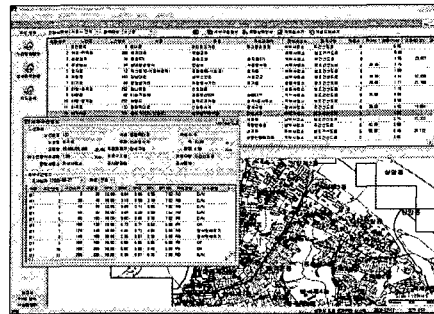
보수 우선순위에 따른 보수 노선에 대하여 예산의 효율적 분배는 포장의 적절한 보수와 적정한 상태유지 면에서 매우 중요한 부분이다. 현행 보수비용에 대한 단가는 6개 사업소 모두 다르게 계산되고, 적용되는 구간마다 다르게 나타나고 있다. 그 이유는 사업소마다 재처리 비용이 다르기 때문이므로 이를 본 연구에 반영하여 보수비용을 산출하는 것이 타당하다. 사업소별 보수단가는 지배결합의 종류에 따라 20m 단위별 면적으로 환산하여 적용하였다.

4. PMS(Pavement Management System) Program

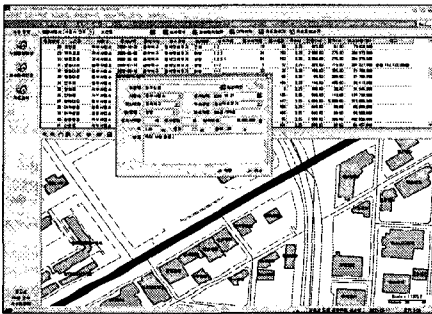
개발된 PMS 시스템은 <그림 3>~<그림 6>에서 보는 바와 같이 사업소 및 전문가의 의견을 수렴하여 사용자의 편의성을 향상시키고, 개발된 프로그램의 현장 적용성을 높이기 위한 수정 및 보완 작업이 병행되었다.



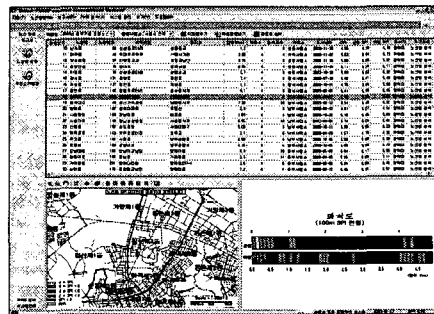
<그림 3> GIS와 통합된 메인화면



<그림 4> 노선별 세부구간정보



<그림 5> 보수이력현황 화면



<그림 6> 노선별 현황 화면

5. 결 론

포장도로 유지관리 시스템의 개발에 대한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 서울시 포장상태 자료와 기존의 연구에서 제시되었던 보수 기준치를 분석한 결과 균열율 15%, 러팅 25mm, 평탄성 8.5m/km가 서울시 포장 특성에 맞는 새로운 보수기준치로 적합한 것으로 나타났다.
- (2) 위의 기준치를 바탕으로 세 가지 파손 유형별 포장상태를 정량적으로 나타낼 수 있는 개별 파손지수 SPI1~SPI3와 종합평가지수 SPI를 개발하였다.

$$USPI_1 = 10 - 2.23 \times C^{0.3}$$

$$USPI_2 = 10 - 0.2 \times RD$$

$$USPI_3 = 10 - 0.531 \times IRI$$

$$PDI = [(10 - USPI_1)^5 + (10 - USPI_2)^5 + (10 - USPI_3)^5]^{1/5}, \quad USPI = 10 - PDI$$

- (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 보수구간을 조정 및 확장하였다.



(4) 상세육안조사를 통하여 선정된 보수공법 및 보수구간의 적절성을 검토한 결과 노선별로 제시된 보수공법 및 보수구간이 대체로 적절한 것으로 나타났으나, 장기간에 걸쳐 경제성 분석을 실시하여 본 연구에서 제시된 논리적 알고리즘의 타당성을 입증해야 할 것이다.

참고문헌

1. “국도유지보수조사 연구보고서 및 최종보고서”, 국립건설시험소 건설교통부, '97~'98
2. “도로포장관리체계 조사 및 분석”, 건설교통부, '99~'00
3. “AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES”, AASHTO, 1996
4. 유인균, “Markovian 의사결정과정을 이용한 포장관리정책의 확률적 평가모델 개발”, 박사학위논문, 고려대학교, 1999
5. 박경부, “고속도로 포장유지관리체계 논리개발 연구”, 박사학위논문, 한양대학교, 2001
6. “도로포장 유지보수 실무 편람”, 건설교통부 도로관리과, 1999
7. 도로관리사업소 도로보수와 설계지침, 건설안전관리본부, ('00~'01)
8. “HIGHWAY PAVEMENT TRAINING COURSE”, MICHIGAN STATE Univ. Department of Civil and Environmental Engineering General Notes