



아스팔트포장 도로의 유지관리체계 개선에 관한 연구

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

조 병 완* · 한 상 주**

Jo, Byung-Wan · Han, Sang-Joo

Abstract

In this study, developed economic and efficient Pavement Management System (PMS) that can produce suitable M/R method through estimation 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 and pavement condition data of Seoul metropolitan, composed logical algorithm such as pavement condition investigation and analysis, detailed 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 eye investigation. Also, Considering user interface, developed PMS program and GIS program with such logical algorithm.

Key words : pavement management system, logical algorithm, PMS program, GIS program

요 지

본 연구에서는 과거의 비과학적인 포장관리의 한계를 극복하기 위해, 포장 상태를 정확하게 판단하고, 분석하여 적절한 유지보수 방법을 제시할 수 있는 경제적이고 효율적인 포장도로 유지관리 시스템(PMS)을 개발하였다. 우선 PMS에 관한 국내·외 자료와 서울시 포장 조사 데이터를 이용해서 포장 조사에서 분석, 평가, 의사 결정 등의 일련의 과정에 대한 논리적 알고리즘을 구성하고, 국내·외 연구사례와 상세육안조사 결과를 통해서 이러한 알고리즘의 적합성을 평가하였다. 또한 개발된 알고리즘을 바탕으로 도로 관리자가 쉽게 사용할 수 있도록 통합 시스템으로서 PMS 프로그램과 GIS 프로그램을 개발하였다.

핵심용어 : 포장도로 유지관리 시스템, 논리적 알고리즘, PMS 프로그램, GIS 프로그램

* 정회원 · 한양대학교 도시건설환경공학부 교수

** 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정



1. 서론

도로 포장은 시공이 완료됨과 동시에 교통하중, 기상변화 등 내·외적인 힘의 작용과 포장 자체의 노후화에 의해 내구성이 저하되고, 교통 수요의 증가추세와 교통 수단의 대형화로 인해 포장 파손에 기인한 공용성 저하 문제가 점차 가속됨에 따라 육안 순찰과 경험에 의한 유지관리 방법으로는 경제성, 효율성 면에서 한계가 있으므로, 이에 포장상태 조사에서 유지보수까지 하나의 통합된 시스템으로서 관리할 수 있는, 보다 체계적이고 과학적으로 포장업무를 수행하여 손상된 포장상태를 적기에 회복시키고 효율적인 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 수행되었으

며, 그림 1은 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.

2. 포장상태 조사

2.1 조사대상노선 선정

조사대상노선은 서울시 관할 포장 도로 중에서 현장조사대상과 비디오 촬영 내용의 분석을 통해 교통량, 포장상태, 최근 보수여부 등을 고려하여 다양한 상태를 포함함으로써 포장 평가의 전반적인 등급을 나타낼 수 있는 노선들에 대하여, 표 1과 같이 남부순환로, 능동로, 화랑로, 도봉로, 양천길, 통일로, 새문안길, 송파대로, 양재대로 등 총 9개 노선, 100km를 선정하였다.

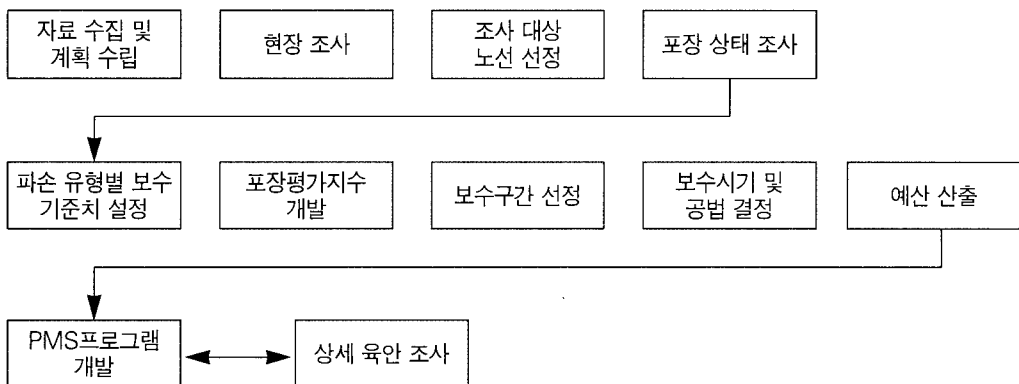


그림 1. 연구 수행 흐름도

표 1. 조사대상 노선

관할사업소	노 선 명	총연장(km)	시 점	종 점	조사차선
강서·남부·동부	남부순환로	36.3	강동대로	공항입구	상행1차로
성 동	능동로	4.4	중곡동길	강변북로	상행1차로
북 부	도봉로	10.0	미아3거리	도봉동시계	상행2차로
	화랑로	8.6	종암로	공릉동시계	상행1차로
서 부	새문안길	1.1	세종로4거리	서대문로타리	상행3차로
	통일로	6.8	홍은동4거리	진관내동시계	상행2차로
동 부	송파대로	6.2	잠실대교남단	장지동시계	상행1차로 하행1차로
남 부	양재대로	6.8	양재동시계	수서IC	상행3차로 하행2차로
강 서	양천길	7.5	양화교	개화초교	상행2차로
계	총 9개 노선	100.7			총 11개 차선

2.2 자동 포장 조사장비를 이용한 포장상태 조사

본 연구에서는 상세육안조사 과정에서 발생하는 안전성, 효율성과 경제성의 문제 등을 해결하고, 신속하게 넓은 구간에 대하여 정확한 자료수집 및 체계

적인 자료분석을 하기 위하여 자동 포장상태 조사장비인 ARIA가 활용되었다. 측정 항목은 균열(cracks), 러팅(rutting), 평탄성(roughness)으로 시 단위 도로에 대한 주요 파손 형태인 세 가지 항목으로 선정하였고, 측정 방법은 위에서 선정된 9개의

표 2. Aria Sample Data(화랑로)

노선명 : 화랑로			조사차선 : 상행1차로										조사일자 : 14/9/2001			
Segment	거리	폭	균 열								패칭	지배결합	균열율 (%)	IRI (mm/m)	RD (mm)	교차로
			lck	lcka	tck	tcka	dck	dcka	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 락																
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	

(lck : 종방향 균열, tck : 횡방향 균열, dck : 사선방향 균열, bck : 블록 균열, ack : 거북등 균열)



조사대상노선에 대하여 50 km/h의 속도로 주행하면서 노선의 단위구간을 20m로 구분하여 각 구간에 대한 포장 결함치를 측정하였다.

조사대상노선 중 화랑로에 대한 자동 포장 조사장비 측정 예가 표 2에 나와있다.

3. 포장상태 평가

3.1 유지보수 판단 기준

기존의 국내·외 연구에서 보수 기준치는 표 3에 나타난 바와 같이 대체적으로 균열율 15%, 러팅 25~40mm 그리고 평탄성(IRI) 3.5~6m/km정도

를 보수를 시작하는 시점으로 보았다.1),2) 그러나 서울시 아스팔트 포장도로의 포장 파손 패턴을 분석한 결과 그림 2에 나타난 바와 같이 균열율은 0~15%, 러팅은 0~35mm에 집중되어있어 기존의 유지보수 판단 기준치를 그대로 적용해도 무방하다고 판단되었으나, 평탄성의 경우 0~20m/km의 분포를 보이며 주로 0~9m/km 사이에 집중되어있으며, 대도시 도로에서 포장의 공용성 보다는 내구성에 중심을 두는, 즉 평탄성 인자는 고속도로, 국도 등에서 보다 더 중요하게 고려되어지기 때문에 표 4와 같이 평탄성의 기준을 기존의 것보다 상대적으로 높게 잡아 서울시 포장도로의 특성에 맞는 새로운 유지보수 판단의 기준치를 선정하였다.

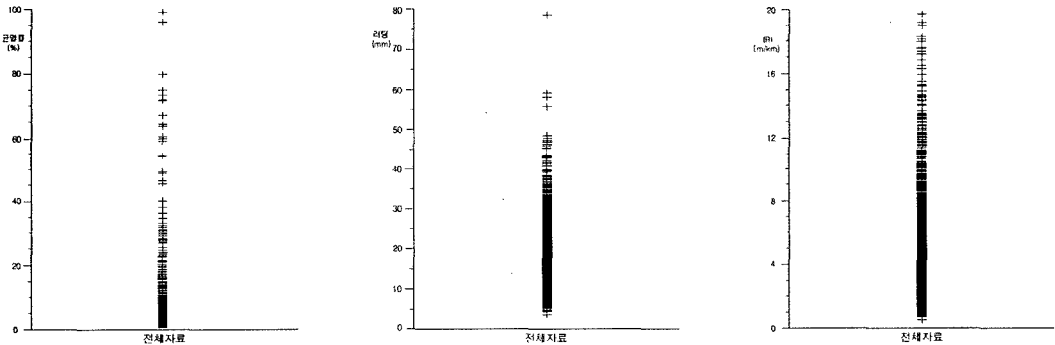


그림 2. 개별 파손결함에 대한 분포도

표 3. 기존 유지보수 기준표

분 류		유지 보수 여부 판단 기준		
		균 열	러 팅	평 탄 성
국도 UPCI		15% 이상(균열율)	25mm	50counts/km(QI)
일본 MCI	자동차전용도로	20cm/m ² (균열도)	25mm	90pri (8m profile)
	교통량(대)	30	30~40	5.0σ (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	6m 이상(σ)
균열율 15%, 러팅 25mm, 평탄성 3.5~6m/km				

표 4. 파손별 기준 유지보수 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 지수 및 서울시와 유사한 도로 여건을 가지고 있는 동경시에 적용되는 MCI를 바탕으로 델파이 방식을 이용하여 아래 식 (1)~(4)와 같이 새로운 포장평가지수 USPI(Universal Seoul Pavement Index)를 개발하였다. SPI 지수는 각각 균열, 러팅, 평탄성을 나타내는 개별 파손지수 USPI₁, USPI₂, USPI₃와 종합평가지수 USPI로 구성되어 있으며, USPI₁과 USPI₂는 표 4에 제시된 보수 기준치와 UPCI에서 제시한 보수기준치가 일치하기 때문에 UPCI의 CI 지수와 RDI 지수를 그대로 사용하였으며, 반면에 USPI₃는 UPCI에서 제시된 보수기준치와 상당한 차이가 있으므로 고속도로 등의 공용성 평가에 적합하고, 평탄성 값에 대해 민감한 PSI와 그와 반대로 시단위 도로에서의 내구성 평가에 적합한 MCI의 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 USPI는 각각 10점 체계를 이루며 10은 이상적인 포장상태를, 0은 포장이 완전히 파손된 상태를 나타낸다. 또한 평가지수의 사용은 파손량에 따른 정도를 지수화 하여 보수등급에 따라 구분된 표와의 비교를 현장 검증시 적용하기 위한 참고자료로써 활용하기 위함과 우선순위 판정에 있어서 교통량 등급과의 조합을 통하여 실무자들이 수치화된 결과로써 쉽게 알아볼 수 있도록 하는데 사용목적을 두었다.

$$USPI_1 = 10 - 2.23 * C^{0.3} \text{ for Cracking} \quad (1)$$

$$USPI_2 = 10 - 0.2 * RD \text{ for Rutting} \quad (2)$$

$$USPI_3 = 10 - 0.531 * IRI \text{ for Roughness} \quad (3)$$

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

$$USPI = 10 - PDI \quad (4)$$

표 5는 화랑로의 포장결합 측정 자료를 이용하여 개별지수 USPI₁~USPI₃와 종합지수 USPI를 계산하고 이를 MCI, PSI 지수와 비교한 결과이다.

여기서 눈에 띄게 두드러지는 수치로는 SPI, MCI에 비해 PSI값이 높은 차이를 보인다는 것이다. 그 주된 이유는 평탄성에 있는데, 주로 평탄성을 평가한다는 것은 도로의 거칠기를 나타내는 수치로서 도로 사용자에게 도로를 서비스한다는 공용성의 개념으로 볼 수 있다. 일반적으로 대도시 도로에서는 계속되는 교통체증 및 도로 시설물, Utility 등으로 인한 도로의 빈번한 유지보수로 인하여 평탄성에 대한 중요도는 그렇게 높지가 않다. 따라서, 서울시, 동경시포장을 대상으로하는 SPI, MCI 식은 값이 유사하게 나온 반면, 포장의 공용성을 주된 요인으로 하는 PSI(Pavement Serviceability Index)는 차이가 있는 값을 나타나게 된다. MCI 지수 역시 보수 관점에서 다루어지고 있으며, 기존의 대부분의 지수(예. PSI)들이 평탄성에 중점을 두고 있는 고속도로, 국도 등

표 5. 기타 포장평가지수와의 결과 비교 표

Segment	USPI ₁	USPI ₂	USPI ₃	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

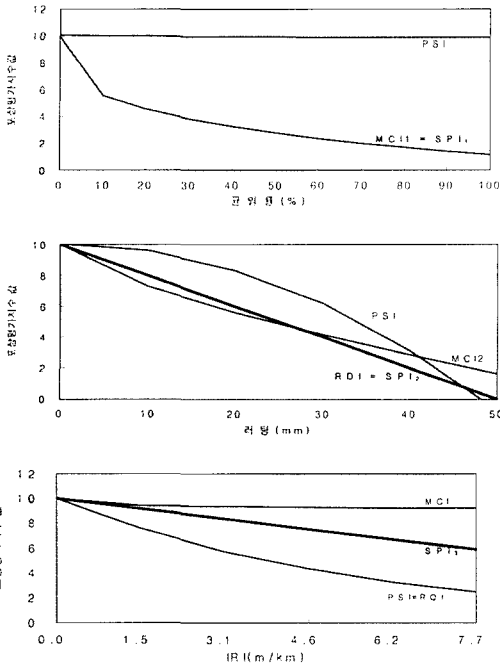


그림 3. 기존 평가지수와외의 민감도 분석

에 적합한 반면 대도시 도로를 대상으로 한다는 점에서 비교 대상으로서 다루었다. 따라서 서울시 포장 평가지수 또한 대도시 도로가 내포하고 있는 유지보수에 보다 더 중점을 두었다.

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 USPI 지수의 평균값을 바탕으로 표 6의 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 구간내에 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.

3.4 보수공법 선택

본 연구에서는 포장상태를 0~10으로 표시하는 포장평가지수(USPI)를 이용하여 각 단계별, 파손 유형별로 적용되는 보수공법을 달리하고, 표 6, 표 7과 같이 각각 1, 2차 유지보수공법 적용 기준표를 작성하여 보다 더 효과적인 의사 결정을 지원할 수 있게 나타내었다. 1차에서는 USPI 값에 따른 전반적인 유지보수 여부를 결정하고 2차에서는 파손유형별 보수공법을 세부적으로 적용하였다.

표 6. 1차 유지보수 공법 적용 기준표

USPI	상태	유지보수 적용도	정기유지보수	일상유지보수
10~8	매우양호	보수 불필요	DN	×
8~6	양호	일상적 유지관리	DN	○
6~5	보통	예방보수 및 적정보수	DMT	○
5~3	불량	보수 보강 필요	DMT	○
3~0	매우불량	재포장	노선 1/3 이상 재포장, DMT	○

(1) 1차 유지보수 적용 기준표

(USPI 값에 따른 유지보수 적용도)

보수공법을 선택하기 위한 첫 번째 단계에서는 측정된 포장 결함 데이터를 이용하여 계산된 포장평가 지수 USPI 값을 바탕으로 표 6과 같이 포장상태를 5단계로 나누고 이에 따라 개략적인 유지보수 적용도를 제시하였다.

(2) 2차 유지보수 적용 기준표

(파손유형별 보수공법)

두 번째 단계에서는 표 6에서 제시된 유지보수 판단 기준과, 전문가와 도로관리자의 의견을 종합하여 표 7과 같이 파손유형별 보수공법 결정표(DMT, Decision Making Table)를 만들고, 표 6에서 USPI 값이 6 이하, 즉 보수가 필요한 포장 상태를 나타내는 경우에 대해 이를 적용하였다.

자들의 중요도를 분석한 결과 USPI 값과 교통량이 가장 큰 영향을 미친다고 판단하여 각각 0.6, 0.4의 상대적 가중치를 고려하여 우선순위 식을 산정하였다. 여기서 USPI 값은 최종적으로 선정된 보수구간의 평균 USPI 값을 사용하였고, 교통량은 서울시 지점별 일일교통량자료를 바탕으로 작성한 교통량 등급(TADTR)을 사용하였다. USPI와 교통량 그리고 Rank(i)는 모두 10점 체계를 갖도록 하였으며, 가장 보수가 시급한 곳의 우선순위가 0이 되도록 하였다. 교통량 등급은 교통량 측정기(Marksman)을 이용하여 조사된 주요지점 교통량을 정리하여 10개 구간으로 나누었고, 구간별 조정을 통하여 10개 등급으로 분류하였다.

$$\text{Rank}(i) = 0.6 * \text{USPI} + 0.4 * \text{TADTR}$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n \quad 0 \leq \text{Rank}(i) \leq 1) \quad (5)$$

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

선정된 조사대상노선에 대한 자동포장조사장비(ARIA) 데이터를 바탕으로 포장평가지수를 계산하고, 그 결과를 이용하여 보수구간, 보수공법, 보수우

3.5 보수시기 및 보수비용 결정

본 연구에서는 보수가 필요한 구간을 기간 내에 효율적으로 보수하기 위하여 식 (5)와 같이 보수의 필요도를 나타내는 유지보수 우선순위 식을 작성하여 시스템에 적용하였다. 보수시기에 영향을 여러 인

표 7. 2차 유지보수 공법 적용 기준표

USPI ₁	선형균열(%)	유지보수공법	USPI ₁	면적균열(%)	유지보수공법
6~5	4.5~14.8	표면처리/실링처리	6~5	4.5~14.8	패칭
5~4	14.8~25	패칭	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
USPI ₂	RD(mm)	유지보수공법	USPI ₃	IRI(m/km)	유지보수공법
6~5	18~25	평삭	6~5	7.5~9.4	패칭
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

표 8. 포장 상태 평가표의 예 (화랑로)

Seg.	USPI ₁	USPI ₂	USPI ₃	PDI	USPI	100m SPI	1차공사구간		2차공사구간		우선순위결정			예산결정 공사비
							자동연산 유지보수	과 손 종 류	관리자임무 최종요구	최 종 SPI평균	TADT	교통량 등 급	우 선 순 위	
20	10.00	6.55	6.31	4.11	5.89				무		35,366	9		
40	10.00	8.27	8.08	2.11	7.89						(센서지점79)	9		
60	10.00	8.33	8.56	1.81	8.19							9		
80	10.00	7.26	8.82	2.75	7.25							9		
100	10.00	7.83	7.07	3.05	6.95	7.23	무					9		
중 략														
3480	10.00	7.49	7.90	2.69	7.31							9		
3500	10.00	7.26	8.23	2.80	7.20	6.54	무					9		
3520	10.00	7.36	7.43	2.99	7.01		OK	RD				9		
3540	10.00	5.91	3.27	6.83	3.17		절삭	IRI				9		
3560	10.00	7.24	6.46	3.72	6.28		OK	IRI				9		
3580	10.00	6.71	8.71	3.30	6.70		OK	RD				9		
3600	10.00	6.65	8.58	3.36	6.64	5.96	OK	RD				9		
3620	10.00	7.95	8.65	2.10	7.90							9		
3640	10.00	6.05	8.27	3.96	6.04							9		
3660	10.00	6.62	9.06	3.38	6.62							9		
3680	10.00	6.56	8.20	3.47	6.53							9		
3700	10.00	6.57	8.64	3.44	6.56	6.73	무					9		
중 략														
4900	10.00	7.01	9.16	2.99	7.01	7.42	무			7.34		9		
4920	10.00	3.38	7.01	6.64	3.36		절삭	RD	절삭덧씩우기			9		
4940	10.00	3.64	6.03	6.48	3.52		절삭	RD				9		
4960	10.00	3.37	4.81	6.98	3.02		절삭	RD				9		
4980	10.00	6.91	2.22	7.79	2.21		절삭	IRI				9		
5000	10.00	2.71	6.62	7.32	2.68	2.96	절삭	RD				9		
5020	6.39	5.55	2.24	7.89	2.11		절삭	IRI				9		
5040	6.96	7.07	5.75	4.50	5.50		패칭	IRI		3.20		9	2	2,100,000
5060	10.00	6.42	8.77	3.58	6.42		OK	RD	무			9		
5080	10.00	7.84	7.73	2.55	7.45		OK	IRI				9		
5100	10.00	7.51	7.78	2.72	7.28	5.75	OK	RD				9		
5120	10.00	8.01	8.56	2.06	7.94		OK	RD				9		
5140	10.00	6.78	8.56	3.23	6.77		OK	RD		7.17		9	19	
5160	5.24	5.87	8.17	5.16	4.84		패칭	CI	소파			9		
5180	5.55	5.03	8.27	5.45	4.55		덧씩우기	RD		4.70		9	6	200,000
중 략														
												총 예 산		₩ 9,300,300

량 조사시스템 등을 내포하는데, 본고에서 다루고자 하는 통합시스템이라 함은 포장 관리에 대한 통합 관리 시스템으로서 PMS, GIS, KMS(Knowledge Management System)의 세 가지 분류로 나누었을 때, PMS와 GIS 부문에 대해서 우선적으로 고찰하였다. 대략적으로 보면 자료의 저장을 담당하는 Database와 자료를 토대로 정보를 추출해주는 PMS Application, 정보를 변환해서 고품질의 정보를 제공하기 위한 GIS Application으로 이루어져서 포장 업무를 지원한다고 볼 수 있다. 각각의 주요 구성요소와 기능을 살펴보면 그림 5와 같이 요약할 수 있다.

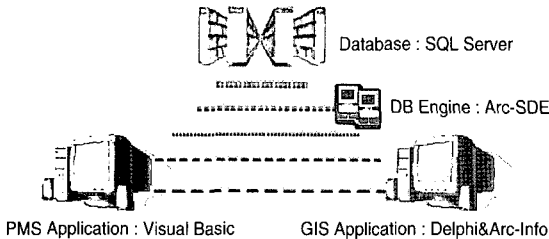


그림 5. 통합 시스템의 구성도

4.2 PMS Database

PMS Database는 MS-SQL Server로 개발되었고, 총 14개의 테이블로 구성되며 각각의 테이블에 노선 및 포장에 관련된 제반 데이터들을 포함하도록 하였다. 주요 테이블간의 상호 연관관계를 나타내는 ERD(Entity Relationship Diagram)는 그림 6과 같다. PMS Database의 설계에 있어서 우선적으로 고려한 사항은 기존의 포장 관리 자료에 대하여 체계적으로 관리되지 않은 단점을 극복하기 위하여 기존의 자료와 신설되는 자료들에 대한 자료 보관소를 구축하는데 두었다. 그리고 Database의 기본 기능인 경영정보시스템(MIS, Management Information System) 및 의사결정 지원 시스템(DSS, Decision Making Support System)으로서의 기능을 수행할

수 있도록 고려하였다.

4.3 PMS Application

본 프로그램은 MS-Visual Basic 6.0을 이용, 윈도우 환경에서 사용자의 편의성을 최대한 고려하여 개발되었으며, 기본 알고리즘은 Database 관리와 포장 유지관리의 논리적 이론을 바탕으로 하였다. 주요 기능으로는 포장 데이터의 조회 및 입력, 입력된 데이터의 분석을 통해 노선별 보수구간, 보수공법, 보수우선순위, 보수비용 등을 산출하게 되며, 측정치에 대한 그래프 조회 및 이미지, 동영상 파일들의 조회와 더불어 보고서 양식 등의 출력 기능을 포함하고 있다. 주요 메뉴 구성은 그림 7과 같이 구성되었고, 본 프로그램의 주요 화면 구성은 그림 8과 같다.

4.4 GIS Application

PMS Application이 포장 결함 데이터를 이용하여 포장상태를 분석하고 평가하여 포장 평가 알고리즘을 통해 유지보수와 관련된 사항들을 결정해주는 프로그램이라면, GIS 프로그램은 수치지도를 이용하여, 도로에 대한 위치정보 및 공간정보 등을 확인하며 동시에 메인 프로그램에서 분석된 자료를 시각적으로 조회할 수 있는 프로그램이다. PMS는 도로를 바탕으로 하는 시스템이므로 실제 보수 시나 현장 조사 시에 위치파악이 무엇보다도 중요하나 메인 프로그램의 시,종점 자료만으로는 자료에 해당되는 노선의 실제 위치를 파악하기란 쉽지 않으므로 GIS 프로그램을 통해 이를 보완하고자 하였다.

무엇보다도 GIS 프로그램의 주 기능은 사용자들이 더욱 인식하기 쉽도록 데이터를 가공하여 고품질의 정보를 제공하는데 있다고 볼 수 있다. 본 프로그램은 Esri사의 수치지도의 편집을 위한 Arc-Info와 GIS 프로그램 개발을 위한 Map Object, Database Engine으로서 Arc-SDE를 이용하며 개발되었으며, 주요 기능으로는 노선 및 포장 자료의 조회 및 검색,

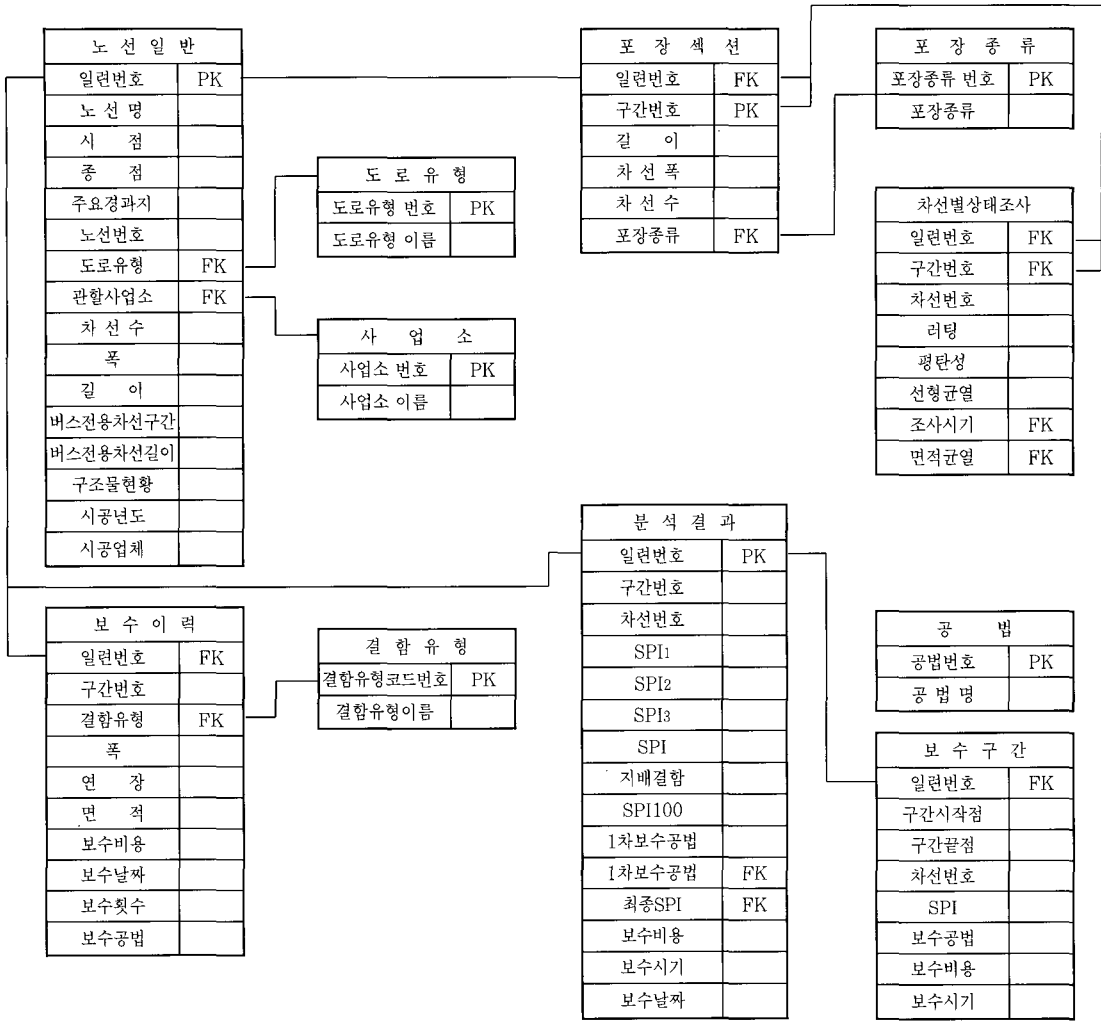


그림 6. ERD(Entity Relationship Diagram)

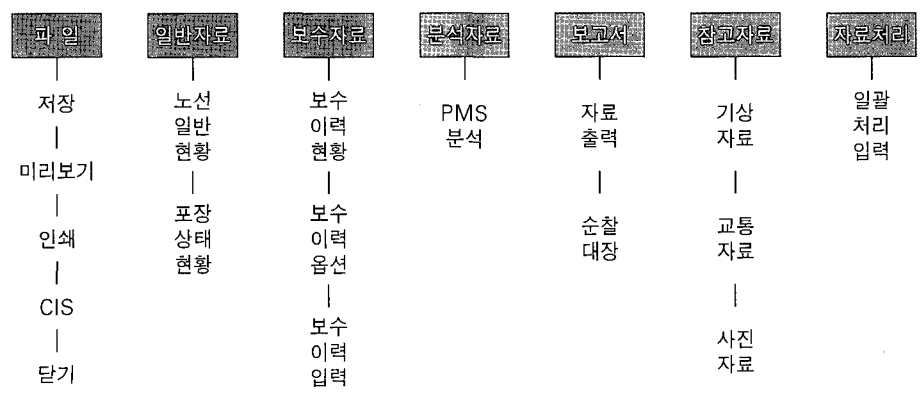


그림 7. PMS 프로그램의 Menu 구성

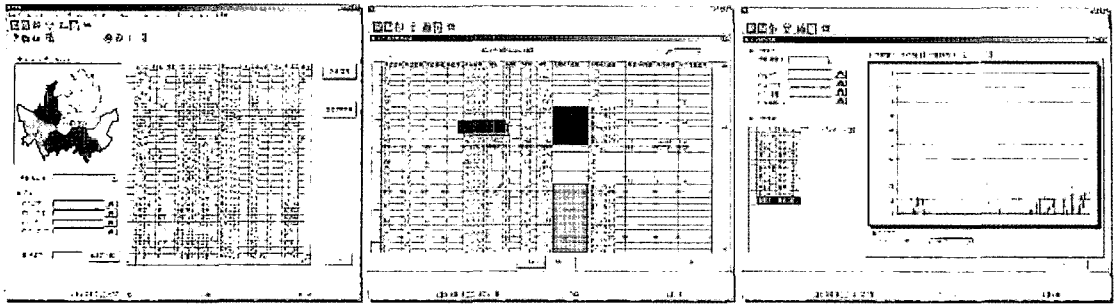


그림 8. PMS 프로그램의 주요 화면

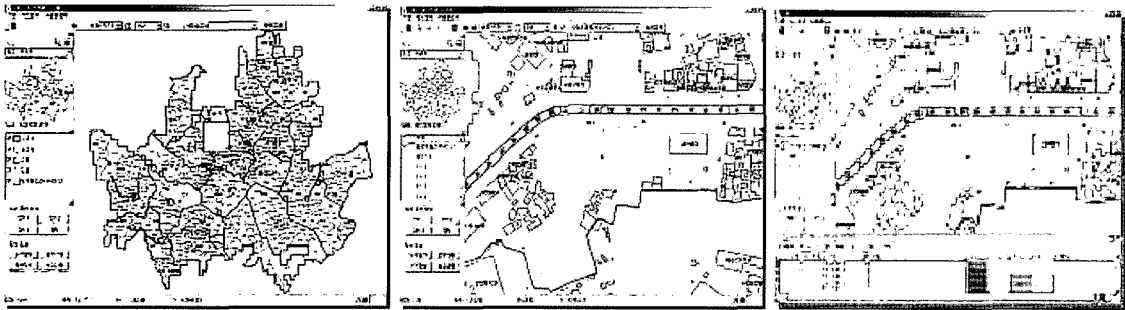


그림 9. GIS 프로그램의 주요 화면

해당 자료의 실제 도로상의 위치 파악, 그리고 색의 명암에 의한 포장상태 파악 등의 기능이 있다. 그림 9는 GIS 프로그램의 주요 화면들이다.

조사를 통한 속성(길이, 폭, 차로수...) 비교

(3) 논리적 알고리즘을 바탕으로 노선별로 제시된 보수구간, 보수공법, 보수우선순위의 적합성 검증

5. 상세육안조사

본 장은 지금까지 연구된 포장도로 유지관리 시스템의 논리적 알고리즘을 검증하는 단계로서 자동 포장상태 조사장비인 ARIA 장비로 포장상태를 측정된 노선에 대해 상세육안조사를 실시하여 다음과 같은 항목으로 포장도로 유지관리 시스템의 신뢰성을 확보하도록 하였다.

- (1) ARIA 장비를 통해 측정된 포장상태 자료의 정확성 검증
- (2) 기존 노선 자료 및 수치지도 자료와 실제 현장

5.1 조사노선 및 조사방법

상세육안조사를 위한 대상노선은 표 1의 노선 중에서 내년도 보수예상지역을 중심으로 능동로, 도봉로, 화랑로, 송과대로 4곳을 선택하였으며, 노선별 조사차선 또한 동일한 차선에 대해 실시하였다.

조사방법은 포장 파손치 측정에 대해 개인의 주관적인 판단에 따른 오차를 미연에 방지하기 위하여 균열에 대한 기준치를 미리 설정하여 조사자에 따라 객관적인 측정이 이루어지도록 하였으며, 인원을 3명씩 두 팀으로 나누어 각 노선에 대해 시점부터 종점까지 도보로 육안조사를 실시하며 다음의 사항을 기록하도록 하였다.

(1) 노선의 총 연장에 대해 시점부터 20m간격으로 거리 및 차선 폭 측정

(2) 20m 구간별로 균열 종류 및 균열 크기 측정

(3) 도로 주변 시설물 및 Utility 조사

(4) 비교란에 주요 경과지 및 교차로 등의 위치 표시

(5) 포장관리시스템의 분석결과 표에 비교란을 만들어 실제 적용될 보수공법 및 공사구간을 기록

여기서 구간별 포장 파손 기록 시에 균열항목만을 고려한 이유는 러팅이나 평탄성은 자동 포장상태 조사장비에 의해 측정된 자료가 상세육안조사에 의해 측정되는 자료보다 정확하기 때문이며, 러팅이나 평탄성은 측정시간 및 측정 시 안정상의 이유로 불가능하기 때문에 제외하였다.

5.2 결과 비교 및 분석

상세육안조사를 실시한 노선 중 화랑로에 대해 다음의 항목을 바탕으로 조사 장비를 이용하여 조사한 측정치의 비교와 함께 본 포장도로 유지관리 시스템의 신뢰성을 검증하였다.

(1) 총 연장 및 차선폭의 비교

(2) 20m 구간별 균열크기 및 위치, 균열유형의 비교

(3) 노선 전체의 총 균열율 및 균열종류별 총 균열 면적 비교

(4) 포장관리시스템의 분석결과 적용된 보수공법, 보수공사구간의 일치 및 적합성 판단

상세육안조사를 통한 검증 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) 상세육안조사 결과와 ARIA 장비로 측정된 20m구간의 균열발생 위치가 정확히 일치하지 않았는데 이는 장비에 의해 측정된 구간길이와 사람이 측정된 구간길이의 오차로 인해 생긴 문제이므로 두 경우 모두 균열 발생구간 주위로 사방 100m까지 거리 오차를 확장하여 균열자료를 비교하였고 이를 바탕으로 포장도로 유지관리 시스템을 평가하였다.

(2) 표 9와 표 10의 균열유형별 총면적(①~⑥)을 비교하면 ARIA 균열데이터는 상세육안조사 결과에 비해 선형균열 면적과 패칭 면적은 크게 나왔는데, 이는 육안 조사자의 판단기준과 달리 조사장비를 통한 경우는 미세 균열까지도 포함하였기 때문이라 보여진다. 또한 총 균열율(%)을 비교해 보면 ARIA 균열데이터의 총 균열율(⑦)은 상세육안조사 결과에 비해 총 균열률이 약 5배정도 높게 나왔는데, 이는 ARIA 장비 자료의 선형균열면적과 패칭면적이 상대적으로 육안조사의 결과에 비해 비교적 높기 때문이다. 따라서 각 조사자들의 파손량 측정에 따른 기준이 제시되어야 한다고 사료된다.

(3) 마지막으로 표 8에 제시된 포장 관리 시스템에 의한 보수공법 및 보수구간의 적합성 여부를 검토해 본 결과, 역시 육안에 의한 거리 측정과 장비에 의한 거리측정의 오차로 보수구간은 대체로 일치하지 않았으나 거리오차를 보정하여 분석한 결과과 표 8에서 제시된 보수공법은 대체로 신뢰할만한 적용성을 나타냈다.

추가적으로 시 단위 도로에 대하여 장비 조사와 육안 조사의 장단점을 비교하여 두 가지 조사 방법의 병행을 고려하는 것도 효율적이고 정확한 포장조사가 이루어질수 있을 것이다. 시 단위 도로의 가장 큰 문제점인 교통 체증과 조사자의 안전, 조사의 신속함 등의 이유로 인하여 조사장비의 사용이 필수적이기는 하지만 장비 조사의 경우 시단위 도로의 보수공법 선정에 있어서 주변 도로 시설물, Utility 등의 단차로 인하여 공법 선정에 제약을 받게 되는데 조사장비를 통해서도 도로 현황에 대한 정확한 자료 수집이 어려운 점이 있다. 또한 육안 조사의 경우 균열 등의 파손, 위치, 현황조사에 대한 정확성은 있지만 조사자에 따른 주관적인 판단으로 인한 오차, 러팅과 평탄성 등에 대한 정확한 측정 및 정제 구간에 대해서 조사가 어려운 점이 있기 때문이다. 이러한 사항들은 사전조사 계획 수립 시 중요하게 고려하여야 할 사항이다.

다음 표 9와 표10은 각각 조사대상노선 중 분석에

표 9. 상세 육안조사 결과표 (화랑로)

노선명 : 화랑로										
조사차선 : 상행1차로 총 연장 : 7.8km / 차선 폭 : 3m 조사일자 : 4/10/2001										
Segment	균열								균열율	비고
	중방향		횡방향		시공		블록&거북등	폐창		
	L(m)	A(m ²)	L(m)	A(m ²)	L(m)	A(m ²)				
중략										
4820	17	5.1		0		0			8.5	
4840		0		0		0			0	
4860		0		0		0			0	
4880		0		0		0			0	
4900		0		0		0			0	
4920		0		0		0			0	
4940		0		0		0			0	
4960		0		0		0			0	
4980		0	2.5	0.75		0			1.25	화랑대입구
5000		0		0		0			0	
5020		0		0		0			0	
5040	7.5	2.25		0		0	10.8		21.75	
중략										
5160	4	1.2		0		0	3		7	
5180	20	6		0		0			10	
5200	20	6		0		0			10	
5220	14	4.2	3	0.9		0			8.5	
5240		0		0		0			0	
중략										
6300		0		0		0			0	
6320		0		0		0			0	
6340		0		0		0			0	
6360		0		0		0			0	
6380		0		0		0			0	
6400		0		0		0			0	
6420		0		0		0			0	
6440		0		0		0			0	
6460		0		0		0			0	
6480		0		0		0			0	
6500		0		0		0			0	
6520		0		0		0			0	
6540		0		0		0			0	
6560		0		0		0			0	
6580		0		0		0			0	
6600		0		0		0			0	
6620	3	0.9		0		0			1.5	
6640		0	6	1.8		0			3	
중략										
7160		0		0		0			0	
7180		0		0		0			0	
7200		0		0		0			0	
합계		① 33.45		② 8.4		③ 2.16	④ 23.4	⑤ 0.5	⑥ 113.18	

표 10. 포장 상태 평가표의 예 (화랑로)

노선명: 화랑로										
조사차선: 상행1차로 총연장: 7.8km / 차선평: 3m 조사일자: 14/9/2001										
Segment	관 열								패 칭	균열율(%)
	중 방 향		횡 방 향		시 공		불 력	거복등		
	lck	lcka	tck	tcka	jck	jcka	bck	ack		
중 락										
4820		0		0						0.0
4840		0		0						0.0
4860		0		0						0.0
4880		0		0						0.0
4900		0		0						0.0
4920		0		0						0.0
4940		0		0						0.0
4960		0		0						0.0
4980		0		0						0.0
5000		0		0						0.0
5020	10	3		0						5.0
5040		0		0					1.68	2.8
중 락										
5160	18	5.4		0					2.1	12.5
5180	20	6		0						10.0
5200	20	6		0						10.0
5220	20	6		0						10.0
5240	20	6		0						10.0
중 락										
6300	20	6		0						10.0
6320	20	6		0						10.0
6340	20	6		0						10.0
6360	20	6		0						10.0
6380	20	6		0						10.0
6400	20	6		0						10.0
6420	20	6		0						10.0
6440	20	6		0						10.0
6460	20	6		0						10.0
6480	20	6		0						10.0
6500	20	6		0						10.0
6520	20	6		0						10.0
6540	20	6		0						10.0
6560	20	6		0						10.0
6580	20	6		0						10.0
6600	20	6		0						10.0
6620	20	6		0						10.0
6640	3	0.9		0						1.5
중 락										
7160	16	4.8		0						8.0
7180	20	6		0						10.0
7200	20	6		0						10.0
합계		① 300		② 1.17		③ 0	④ 0	⑤ 0	⑥ 24.53	⑦ 543.3



이용된 화랑로에 대한 상세육안조사와 자동 포장상태 조사장비 ARIA에 의해 측정된 결과를 나타내었다.

6. 결 론

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

(1) 서울시 포장상태 자료와 기존의 연구에서 제시되었던 보수 기준치를 분석한 결과를 바탕으로 균열율 15%, 러팅 25mm, 평탄성 8.5m/km를 서울시 포장 특성에 맞는 새로운 보수기준치로 제시하였다.

(2) 위의 기준치를 바탕으로 세 가지 파손 유형별 포장상태를 정량적으로 나타낼 수 있는 개별 파손지수 $SPI_1 \sim SPI_3$ 와 종합평가지수 SPI를 개발하였으며, 상세육안조사 결과 SPI 지수의 신뢰성을 입증하였다.

$$USPI_1 = 10 - 2.23 * C^{0.3}$$

$$USPI_2 = 10 - 0.2 * RD$$

$$USPI_3 = 10 - 0.531 * IRI$$

$$PDI = \{ (USPI_1)^5 + (USPI_2)^5 + (USPI_3)^5 \}^{(1/5)}$$

$$USPI = 10 - PDI$$

(3) 조사 노선 선정에서 조사자료를 이용, 포장의 평가에서 분석에 이르기까지의 구체적인 PMS 흐름도에 대한 틀을 제시하였고, 이를 사용자가 사용하기 쉽도록 프로그램화 하였다.

(4) 상세육안조사 및 포장조사장비를 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. 도로관리사업소 도로보수와 설계지침, 건설안전관리본부, ('00~'01)
4. “도로포장 유지보수 실무 편람”, 건설교통부 도로관리과, 1999
5. 박경부, “고속도로 포장유지관리체계 논리개발 연구”, 박사학위논문, 한양대학교, 2001
6. 유인균, “Markovian 의사결정과정을 이용한 포장관리정책의 확률적 평가모델 개발”, 박사학위논문, 고려대학교, 1999
7. “Aashto Guide for Design of Pavement Structures”, AASHTO, 1996
8. “Highway Pavement Training Course”, Michigan State Univ. Department of Civil and Environmental Engineering General Notes

〈접수 : 2002. 10. 25〉