

대도시 아스팔트 포장의 구조적 평가모델 개발에 관한 연구

A Study on Structural Evaluating Model's Development of Asphalt Pavement in Metropolitan

김도근* · 노동우** · 태기호*** · 조병완**** · 김준기*****

Kim, Do Keun · No, Dong Woo · Tae, Ghi Ho · Jo, Byung Wan

1. 서 론

본 연구는 서울시 아스팔트포장의 노면상태 조사자료를 이용하여, 도로망 수준(Network Level)에서 포장 관리정책의 대략적인 의사결정을 지원할 수 있는 기 개발된 서울시 포장관리시스템(PMS)의 Database를 이용하여, Project Level에서의 분석모델을 수행할 수 있도록 하여 보다 더 합리적인 포장유지관리업무 의사결정을 지원하기 위한 대도시 포장도로에 대한 평가모델의 개발방안을 제시하고, 이를 토대로 분석기법을 적용하여 포장평가모델을 개발하였다.

여기서, 대도시 포장평가지수 개발에 대해서는 기존의 평가지수를 이용한 델파이 방법 및 기존 포장조사 Data를 이용하며, 시도를 대상으로 가장 주가 되는 파손 유형인 균열, 러팅, 평탄성을 Factor로 내구성과 공용성을 적절하게 다룰 수 있는 평가지수 모델에 대하여 개별평가지수와 종합평가지수 각각에 대한 개발과 이를 기준으로 유지보수업무를 지원하기 위한 프로그램은 Visual Basic 6.0을 이용하였다.

2. 국내외 평가모델의 분석

국내외의 평가지수 개발에 따른 사례들을 살펴보면, 주로 사용되는 방법으로 수년간의 축적된 포장 Data를 이용한 회귀분석의 방법 및 다양한 방법을 통한 현장 조사값을 기초로 기술자의 지식과 경험 등을 적용하는 델파이 방법 등이 주로 사용된다. 또한, 각 지역의 도로 특성에 적합하도록 도로 유형(Ex. 고속도로, 국도, 시도, 공항 등) 및 파손 유형(Ex. 균열, 러팅, 평탄성, 포트홀, 미끄럼, 골재박리 등)들을 고려하여 조사 항목에 대한 범위를 결정하며, 평가 적용의 개념에 의하여 사용자 위주의 공용성에 중점을 두는 방법과 유지보수 개념 위주의 내구성에 중점을 두는 방법 등으로 구분된다.

여기서는 MCI, PSI, VI등급, PQI에 대해서 다루었으며, 각각의 장단점을 분석하여 대도시 포장평가모델 개발의 방향을 제시하고자 한다.

* 한양대학교 도시건설환경공학과군 토목공학과 석사과정 · E-Mail : dk_kim76@hotmail.com

** 한양대학교 도시건설환경공학과군 토목공학과 석사과정 · E-Mail : tyuion@hotmail.com

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

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

***** 서울특별시 건설기획국 도로관리과 과장 · 공학박사



2.1 기존 포장평가지수의 비교

기존 평가지수들의 일반적인 사항들을 비교하면 다음의 <표 1>과 같다.

<표 27> 기존 평가지수의 비교

지수 항목	PQI	MCI	PSI	VI
적용 기관	미네소타 도로국, 미국	일본건설성, 일본	AASHTO Road Test, 미국	건설기술연구원, 한국
개발 방법	회귀 분석	회귀 분석	회귀 분석	델파이 방법
파손 유형	균열, 패칭, 러팅, IRI	균열, 패칭, 러팅, IRI	균열, 패칭, 러팅, 평탄성(SV)	균열, 패칭, 러팅, 처짐
평가 체계	5점 체계	10점 체계	5점 체계	VI 7등급, QI 9등급
개별 평가지수	사용 (2개)	사용 (2개)	미사용	-
평가 주요인자	평탄성	균열, 러팅	평탄성	균열, 러팅
평가 방법	지수 사용	지수 사용	지수 사용	Table 사용
적용 도로	주 도로	시 도로	주 도로	국도
특 징	평탄성에 대한 등급 분류	각각의 개별 파손에 대하여 평가지수 개발	도로 사용자 입장에서 기능적 공용성 반영	등급을 이용, 보수공법 결정에 활용

2.2 대도시 포장평가 모델의 개발 방향

서울시의 경우 PMS가 처음 도입된 단계에 있기 때문에, 기존의 포장 Data에 대한 자료의 축적이 되어있지 않고, 기본 Data가 체계적으로 관리되어있지 않아서 회귀분석을 통한 접근은 무리가 있기 때문에 기존의 평가지수들을 활용하고, 전문가 의견을 적용시키는 델파이 방법을 통한 접근을 시도하였다. 평가지수의 개발 방향에 대해서는 포장의 내구성과 공용성 및 서울시 도로 특성을 반영할 수 있도록 고려하였으며, 주요 사항은 다음과 같다.

- ① 포장 평가에 고려하기 위한 주요 항목으로는 균열(패칭 포함), 러팅, 평탄성을 이용.
- ② 포장평가모델은 개별 평가지수와 종합 평가지수 각각에 대하여 개발.
- ③ 포장평가가 적용되는 단위구간은 기본 20m 단위에 대한 파손자료를 활용, 100m 구간에 대한 평가 수행.
- ④ 서울시 도로 유형에 적합한 평가모델 개발.
- ⑤ 기 개발된 서울시 PMS Database와 연계 가능.

3. 포장평가에 사용할 파손항목의 선정 및 포장조사 방안

3.1 포장평가 파손항목

본 연구에서는 기존의 평가지수에서 사용되는 변수들과 서울시에 주로 나타나는 파손 형태를 고려할 때, 그리고 조사장비를 통해 신속하게 조사업무를 수행할 수 있기 위해 구조적 공용성(균열, 패칭, 러팅)과 기능적 공용성(평탄성)의 두 가지 사항에 대하여 고려하였다. 안정적 공용성에 대해서는 교통량을 고려한 대도시 도로 조건에 대해 조사가 어렵기 때문에 포장평가를 위한 조사 항목으로 다루지 않았다. 기존에 사용되고 있



는 국내의 대부분의 평가지수 또한 균열, 러팅, 평탄성을 주요인자로 다른 평가식을 제안하여 실무에 적용시키고 있는 실정이다. 따라서, 서울시 포장평가를 위한 조사항목으로는 균열, 러팅, 평탄성을 다루도록 한다.

3.2 포장조사 장비 및 조사구간

포장 파손 Data의 조사는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 미국 MHM사에서 제작된 한양대학교의 ARIA 장비를 이용하였다. 본 장비를 사용한다.

조사구간은 본 연구에서 개발되어 이미 서울시 포장유지관리업무에 이용되고 있는 PMS Database에 구축되어 있는 단위구간(20m)을 이용하였다. 또한, 단위구간 5개 100m 구간에 대해 전체적인 종합평가가 이루어진 결과 유사한 등급으로 분포되어 있다면, 하나의 포장분석 구간으로 결정한다. 이는 유지보수 관리 범위 결정 및 동질성 구간 판별 결정 시 유용하다.



<그림 1> 자동 포장 조사장비 ARIA

4. 개별파손의 정량화 및 평가모델 개발

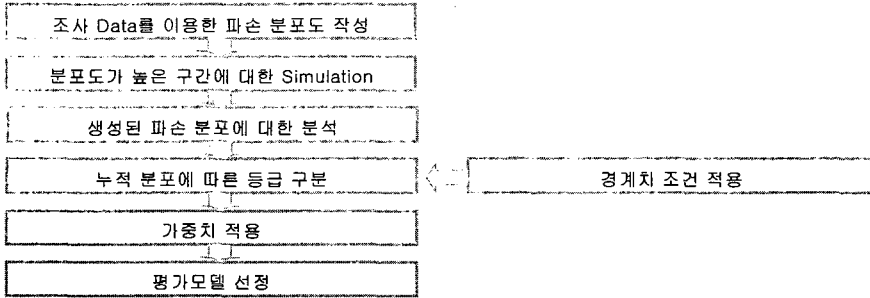
4.1 조사분석 Data 및 개별평가 분석방법

본 연구에서 다루는 포장 조사 Data는 ARIA 장비를 통해 취득된 자료로써 9개 노선, 총 100km의 11개 차로에 대한 Data이다. 노선의 일반적인 속성자료는 요약하면 다음 <표 2>와 같다.

평가모델 개발에 있어서는 기존의 Data의 부재로 인하여, 기존의 조사자료를 근거로 전문가 의견을 반영한 델파이 방법을 이용하였다. 분석 방법은 다음 <그림 2>의 주요 흐름을 따른다.

<표 2> 조사 노선 및 조사차로

관할 사업소	노선명	총연장 (km)	시점	종점	조사차로
강서, 남부, 동부	남부순환로	36.3	강동대로	공항입구	상1차로
성 동	능동로	4.4	중곡동길	강변북로	상1차로
북 부	도봉로	10	미아3거리	도봉동시계	상2차로
	화랑로	8.55	종암로	공릉동시계	상1차로
서 부	새문안길	1.1	세종로4거리	서대문로타리	상3차로
	통일로	6.85	홍은동4거리	진관내동시계	상2차로
동 부	송파대로	6.2	잠실대교남단	장지동시계	상, 하1차로
남 부	양재대로	6.8	양재동시계	수서IC	상3, 하2차로
강 서	양천길	7.5	양화교	개화초교	상2차로
합 계	총 9개 노선	총 100.7			총 11개 차로

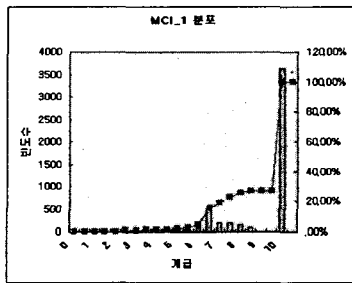


<그림 2> 개별평가 분석방법

4.2 개별 파손의 정량화 및 분석

① 균열 : 균열에 대한 평가는 앞에서 다루었던 4가지 포장평가의 방법에서 MCI를 모델로 하기로 하였다.

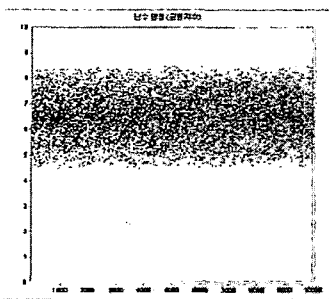
계급	빈도수	누적 %
4	7	1.32%
4.5	8	1.48%
5	27	2.02%
5.5	24	2.50%
6	83	4.16%
6.5	547	15.12%
7	193	18.98%
7.5	181	22.61%
8	141	25.43%
8.5	89	27.21%
9	1	27.23%
9.5	0	27.23%
10	3634	100.00%



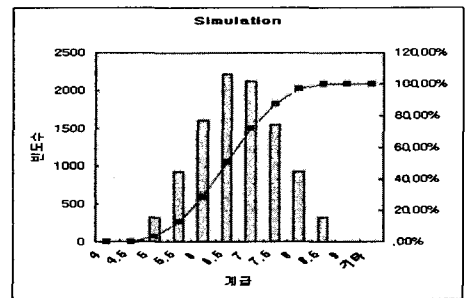
<표 3> 균열 평가표

등급	균열율(%)	적용보수공법	비고
7~10	2.7 미만	DN	Do Nothing
6~7	2.7~7.0	일상유지관리	Daily Routine
5~6	7.0~14.5	표면처리 / 실링처리 및 패칭	
4~5	14.5~27	덧씌우기	일반, 개질AC
3~4	27~45	절삭덧씌우기	
0~3	45이상	절삭덧씌우기	5cm

<그림 3> 시범조사구간에 대한 균열 분포 자료



계급	빈도수	누적 %
4	0	.00%
4.5	0	.00%
5	328	3.28%
5.5	935	12.63%
6	1602	28.65%
6.5	2216	50.81%
7	2113	71.94%
7.5	1547	87.41%
8	936	96.77%
8.5	323	100.00%
9	0	100.00%
기타	0	100.00%



<그림 4> 균열분포에 대한 시뮬레이션 결과 자료

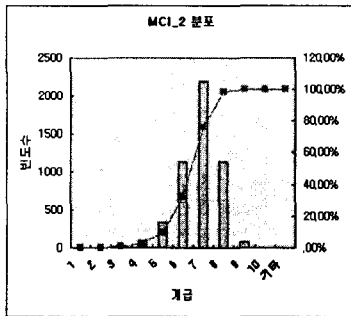
<그림 4>는 균열지수 4.5~8.5까지 범위 내에서 삼각형 분포에 의하여 10000번의 시뮬레이션을 수행한 결과, 30%, 50%, 70% 확률에 포함되는 지수 경계값이 6.03, 6.5, 7.0 인 것을 알 수 있으며, 보수 경계를 6.5로 선정하되 안전측을 고려, 등급 분포를 6.0~7.0은 일상유지관리(Daily Routine) 단계로 구분하였다.

<표 3>은 균열율 분포를 MCI₁으로 환산하여 등급을 세분화 한 결과이다.



② 러팅 : 러팅의 평가 역시 균열에서와 마찬가지로 MCI를 모델로 하였다.

계급	빈도수	누적 %
1	3	.06%
2	2	.10%
3	27	.64%
4	104	2.72%
5	333	9.39%
6	1133	32.08%
7	2190	75.93%
8	1135	98.66%
9	67	100.00%
10	0	100.00%
기타	0	100.00%

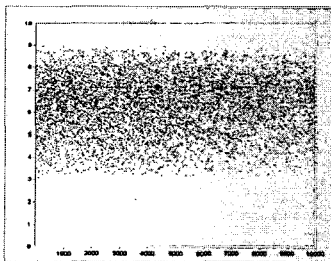


<표 4> 러팅 평가표

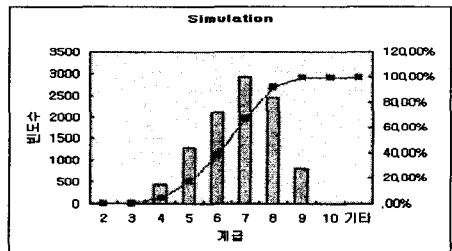
등급	Rut (mm)	적용보수공법	비고
7 ~ 10	11.5미만	DN	Do Nothing
6 ~ 7	11.5~17.4	일상유지관리	Daily Routine
5 ~ 6	17.4~24.0	평삭	
4 ~ 5	24.0~31.0	덧씌우기	일반,
3 ~ 4	31.0~38.5	절삭덧씌우기	개질AC 5cm
0 ~ 3	38.5 이상	절삭덧씌우기	일반, 개질AC 5cm +BB7cm

<그림 5> 시범조사구간에 대한 러팅 분포 자료

<그림 6>은 러팅 평가지수 3~9까지 범위 내에서 삼각형 분포에 의하여 10000번의 시뮬레이션을 수행한 결과, 30%, 50%, 70% 확률에 포함되는 지수 경계값이 5.6, 6.4, 7.1인 것을 알 수 있으며, 보수 경계를 6.5로 선정하되 안전측을 고려, 등급 분포를 6.0 ~ 7은 일상유지관리(Daily Routine) 단계로 구분하였다. <표 4>는 러팅 분포를 MCI₂로 환산하여 등급을 세분화 한 결과이다.



계급	빈도수	누적 %
2	0	.00%
3	0	.00%
4	432	4.32%
5	1279	17.11%
6	2114	38.25%
7	2930	67.55%
8	2444	91.99%
9	801	100.00%
10	0	100.00%
기타	0	100.00%

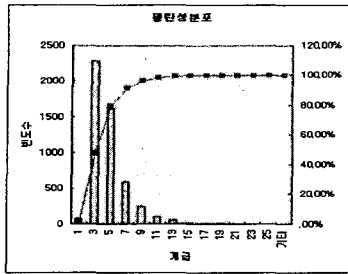


<그림 6> 러팅분포에 대한 시뮬레이션 결과 자료

③ 평 탄 성 : 평탄성의 경우는 교통량과 보수 위주의 관점에서 도로 관리가 이루어지는 시 단위 도로에서는 그 중요성이 크지는 않지만, 대도시 관할 자동차 전용도로 및 국도, 고속도로의 경우는 다른 파손유형보다 훨씬 더 중요한 요소로 고려되어진다. 따라서, MCI의 경우는 평탄성에 대한 개별평가지수를 고려하지 않은 반면, PSR의 경우는 단독 요소로서 평탄성을 고려하였다. 따라서, 본 연구에서는 PSR을 모델로 평탄성 평가에 관한 모델을 제시하고자 한다.



등급	빈도수	누적 %
1	82	1.64%
3	2278	47.26%
5	1609	79.48%
7	584	91.17%
9	242	96.02%
11	101	98.04%
13	59	99.10%
15	27	99.64%
17	8	99.80%
19	7	99.94%
21	3	100.00%
23	0	100.00%
25	0	100.00%
기타	0	100.00%



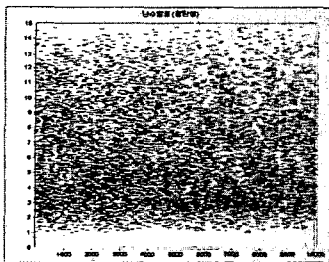
<표 5> 평탄성 평가표

등급	IRI (m/km)	언어학적평가	가중치 부여
8 ~ 10	1.8미만	매우 좋음	
6 ~ 8	1.8~7.3	좋음	
4 ~ 6	7.3~16.4	보통	1 ~ 2
2 ~ 4	16.4~29.2	나쁨	2 이상, 평가식에 의거
0 ~ 2	29.2 이상	매우 나쁨	

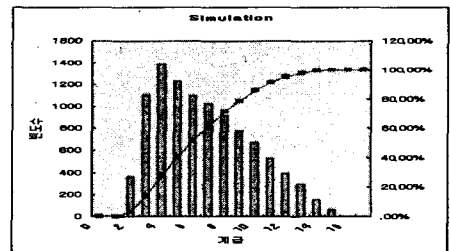
<그림 7> 시범조사구간에 대한 IRI 분포자료

<그림 8>은 1 ~ 15 범위내에서 삼각형 분포에 의하여 10000번의 시뮬레이션을 수행한 결과, 30%, 50%, 70% 확률에 포함되는 IRI 경계값은 4.12, 5.84, 7.87이고, 보수경계를 IRI값 5.84로 고려하여, 평탄성에 관련한 평가지수를 10점 체계화하여 보정하면, $PER_3 = 10 - 1.48\sqrt{IRI}$ 과 같은 식으로 표현할 수 있다.

평탄성이라 함은 포장파손을 의미하기보다는 균열과 러팅의 복합적인 메커니즘으로 발생하며, 도로 사용자들에게 쾌적한 주행을 제공하기 위해 평가되는 일종의 서비스 지수라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 평탄성에 관한 평가는 보수 공법을 결정하기 위한 등급 분류가 아닌 균열과 러팅 평가에서 구간내 포장의 분포도를 고려하기 위한 가중치로서 포함시켰다. 따라서, 평탄성의 평가 기준은 보수선정 기준이 아닌 언어학적 평가로 나타내었다. 평탄성의 평가에 관한 주요 내용을 <표 5>에 나타내었다.



등급	빈도수	누적 %
1	0	0.00%
2	363	3.63%
3	1102	14.65%
4	1390	28.55%
5	1224	40.79%
6	1100	51.79%
7	1029	62.08%
8	915	71.23%
9	776	78.99%
10	671	85.70%
11	524	90.94%
12	394	94.88%
13	292	97.80%
14	154	99.34%
15	66	100.00%
16	0	100.00%



<그림 8> IRI에 대한 시뮬레이션 결과 자료

4.3 개별평가모델 개발

평탄성 평가에서 다루었던 것이 평탄성 지수에서 6을 기준으로 하여, 평탄성 지수가 6일때 균열과 러팅의 가중치에 1을, 5일때 1.5, 4일때 2를 부여하는 것을 기준으로 하였다. 각 파손에 적용되는 평탄성의 가중치 요소와 평탄성에 대한 가중치를 균열과 러팅의 각각의 식에 대입하면 다음 <표 6>과 같다.

<표 6> 항목별 개별평가모델

개별 항목	평가 모델	
균열	$PER_1 = 10 - 2.23C^{0.3} - 0.15IRI^{0.93}$	
러팅	$BER_2 = 10 - 0.54C^{0.7} - 0.15IRI^{0.93}$	
평탄성	$PER_3 = 10 - 1.48\sqrt{IRI}$	$Weighted Factor = 0.15IRI^{0.93}$



5. 종합평가모델 개발

종합평가모델의 평가지수 선정부분은 매트릭스 평가기법을 이용하여서 각 항목별 가중치를 선정하여 부여하였다. 본 연구에서는 노선유형의 특징을 고려하여 주,보조간선도로와 자동차 전용도로의 두 가지 경우에 대하여 고려하였다. 따라서, 이들 가중치를 적용한 종합평가모델은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$PER = 0.3(PER_1) + 0.5(PER_2) + 0.2(PER_3) \quad (\text{주,보조간선도로})$$

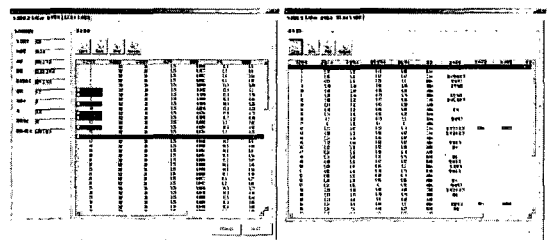
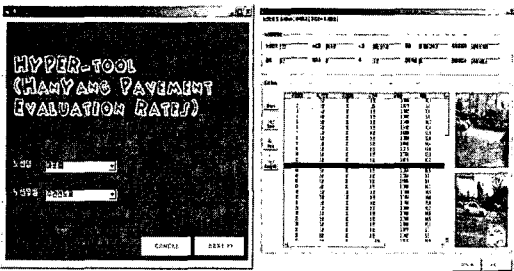
$$PER = 0.2(PER_1) + 0.2(PER_2) + 0.6(PER_3) \quad (\text{자동차전용도로})$$

위의 지수식에 의해 산출된 값에 의해 각 단위구간의 종합적인 포장현황을 제시하며, 보수구간의 우선순위를 판별하게 된다. 하지만, 종합평가지수의 단점으로는 산출된 지수값에 의해 구간의 정확한 파손형태를 포장관리자들은 구분하지 못한다. 즉, 지수값이 6이하인 경우 균열에 의해 지배된 값인지 러팅에 의해 지배된 값인지 판단이 모호하게 된다. 따라서, 다음 <표 7>의 등급분류를 통해 파손형태별 종합평가등급 모델을 개발하였다.

<표 7> 파손 형태별 기호학적 등급 분류표

파손형태	등급별 평가 분류					
	6 ~ 10	A	4 ~ 6	B	0 ~ 4	C
PER ₁	6 ~ 10	A	4 ~ 6	B	0 ~ 4	C
PER ₂	6 ~ 10	A	4 ~ 6	B	0 ~ 4	C
PER ₃	6 ~ 10	A	4 ~ 6	B	0 ~ 4	C

6. 포장평가모델 프로그램



<표 8> 프로그램시작화면 및 조사 Data연동화면

<표 9> 포장평가분석 화면 및 최종결과 출력화면

7. 결론

- (1) 서울시 포장도로를 ARIA 장비를 통하여 조사한 결과, 러팅과 평탄성이 좋지 않게 나왔는데, 평탄성이 균열과 러팅의 복합적인 메커니즘으로 발생한다는 점을 고려하면, 주요 파손형태가 러팅인 것으로 나타났다.
- (2) 100km의 시범조사구간에 대한 Data를 이용하여, 주요 분포를 고려한 후 발생 가능성에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 세 가지 평가요소에 대한 유지보수기준치를 균열율 7%, 러팅 17.4mm, 평탄성 7.3m/km로 설정하였고, 최종 보수공법의 결정은 이들의 평가지수와 평가등급의 조합을 통하여 산정하도록 하였다.
- (3) 포장평가모델의 합리적인 활용을 위해 개별평가지수(PER1, PER2, PER3)와 종합평가지수(PER)를 개발하였다.



(4) 기존의 지수들이 보수 판단에 대해 파손량만을 고려하여 대략적으로 제시한 반면, 본 연구에서 제시한 평가모델은 평탄성 인자를 가중치로 부여하고, 평가지수 및 평가등급을 통해 파손량과 파손분포를 고려하여 보다 합리적인 유지보수 판단을 제시하도록 하였다.

(5) 포장평가모델의 지수를 근거로 보수공법 및 우선순위를 산정하고, 평가 등급을 근거로 동질성 구간을 분류하는 체계를 갖추도록 하였다.

(6) 기 개발된 PMS의 서브모듈로서 사용 가능할 수 있도록, 기존의 SQL Server로 구축된 PMS Database를 활용하였고, Visual Basic으로 평가 모듈을 개발하여 연동성을 쉽게 할 수 있게 하였다.

참고문헌

1. An Overview of Mn/DOT's Pavement Condition Rating Procedures and Indices, 미네소타 재료 및 도로 연구소
2. 아스팔트 포장도로 유지보수 설계에 관한 지침, 일본 동경도 건설국, 1993
3. 유인균, Markovian 의사결정과정을 이용한 포장관리정책의 확률적 평가모델 개발, 고려대학교, 박사학위논문, 1999
4. 도로포장관리체계 조사 및 분석, 건설교통부, (99~00)
5. 유인균, 유평준, 도로포장 보수대안의 경제성 평가, 건설기술정보, 1998
6. Value Analysis Report Guide , Caltrans, 1999
7. 2000 도로포장관리시스템 연구보고서, 건설교통부, 2001