

## 서울시 도로의 포장 공용성 상태 평가\*

박 성 완\*\* · 황 규 영\*\*\*

### Condition Assessment of Pavement Performance in Seoul Metropolitan City\*

Seong-Wan Park\*\* · Kyu-Young Hwang\*\*\*

요약 : 최근 서울시와 같은 도시부 포장도로는 교통량의 증가, 중차량 통행 및 정체구간의 증가, 환경적 변화에 따른 대기 온도 상승으로 과거에 비해 포장의 파손이 증가되고 있으나, 서울시 포장도로의 유지관리는 아스팔트 표층에 대한 노면 절삭과 덧씌우기만이 실시되는 등 기능적인 시스템 수준만을 향상시키고 있는 실정이다. 특히 아스팔트 표층 이하에 대한 보수 보다는 표층만을 대상으로 실시하는 덧씌우기는 하부층 균열로 인한 반사균열로 포장의 공용 수명을 감소시키고 있다. 따라서, 본 논문에서는 도시부 포장 파손의 유형과 그 원인을 조사하였으며, 분석결과 전체적인 서울시 도로의 상태는 예방보수 및 적정보수를 해야 하는 보통의 상태로 나타났다. 또한, 포장구조해석을 실시하여 서울시 포장도로 재포장 보수공법의 문제점을 파악한 결과, 덧씌우기 횟수가 증가할수록 차후 유지보수까지의 소요수명이 점차 줄어드는 경향을 나타내었고 유지 보수시 아스팔트 표층만 덧씌우기를 하는 경우보다 아스팔트 기층까지 재포장을 하여야 포장의 수명이 증가하는 결과를 나타내었으며 과다 하중차량이 운행되면 포장의 수명은 급격히 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 도시부 포장의 공용성과 도로관리의 특성을 반영한 현실적인 예방적 유지보수 프로그램의 개발이 필요하며 이를 기존의 포장관리시스템과 연계하면 보다 개선된 도로의 관리가 되리라 판단된다.

주제어 : 도시포장, 포장 공용성, 포장 수명, 중차량, 하중제한

**ABSTRACT** : Urban pavements in Seoul are presently maintained using asphalt milling and resurfacing overlay technique to minimize the development of deterioration due to excessive traffic loads and environmental changes. In reality, pavement damage is more related to overweight truck loads and routine maintenance strategy. Thus, this paper focuses on analyzing performance conditions of urban pavements throughout the city and examining distress types and causes on urban pavements, maintenance strategies, and overloaded vehicle problems. In conclusion, current conditions of pavement are assessed and an effective way of maintaining urban pavement conditions is proposed based on the structural analysis and previous data from fields.

**Key Words** : urban pavements, pavement performance, pavement life, heavy vehicle, load restrictions

\* 본 논문은 서울시에서 지원한 “서울시 포장도로 수준향상 방안 연구”의 일부이며 연구를 가능케 한 서울시 관계자에게 감사드립니다. 아울러 논문의 내용에는 서울시의 공식적인 견해나 정책이 포함되어 있지 않음을 밝힙니다.

\*\* 단국대학교 토목환경공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University), 논문주작성자임.

\*\*\* 단국대학교 토목환경공학과 박사과정(Doctor's Course Student, Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University)

## I. 서론

최근 서울시와 같은 도심부 포장도로는 교통량의 증가와 더불어 중차량 및 정체구간의 증가, 환경적 변화에 따른 대기온도 상승으로 과거에 비해 포장의 파손이 촉진되고 있다. 특히 서울시 간선도로 대부분은 최초 건설 후 20년 이상 공용중으로 포장의 노후화가 매우 빠르게 진행되는 실정이다. 실례로 아스팔트 포장의 최초 설계수명이 20년 임에도 불구하고 실제 공용중인 도로의 최초 재포장(Resurfacing) 주기는 5~10년 정도이다. 이는 도심부 포장도로의 특성상 도로의 노후화와 교통량 증가, 그리고 잦은 굴착 및 복구의 영향으로 포장의 수명을 유지하기 매우 힘든 상황을 반증하고 있다.

현재 서울시 포장도로의 유지관리는 파손 발생 후 사후보수 위주로 소성변형 등과 같은 파손이 발생된 아스팔트 표층에 대한 노면 절삭을 실시 후 덧씌우기로 이전의 공용성을 확보하는 등 제한적인 유지관리를 실시하는 실정이다. 아스팔트 표층 이하 층에 대한 보수 보다는 아스팔트 표층만을 대상으로 하는 덧씌우기는 하부 균열로 인한 상부층 반사균열을 반복적으로 발생시켜 포장의 공용성을 점차적으로 감소시키고 있다. 따라서, 본 논문에서는 서울시 포장도로의 파손 현황을 분석하고 현재 시행하고 있는 유지보수의 문제점을 파악하여 그에 따른 대책을 제시하고자 한다.

## II. 서울시 포장 상태 현황 조사

서울시 포장도로의 현황을 분석하기 위해 서

울시 포장관리시스템(PMS : Pavement Management System)의 약 2,000km의 자료를 활용하였다. 조사대상 구간 상세 내용은 아래의 <표 1>과 같다.

<표 1> 조사 구간

사업소	노선수	연장(km)
동부 도로관리사업소	36	619.50
서부 도로관리사업소	21	257.78
남부 도로관리사업소	29	566.56
북부 도로관리사업소	21	226.23
성동 도로관리사업소	24	357.56
강서 도로관리사업소	16	266.66

## III. 포장 파손의 정의

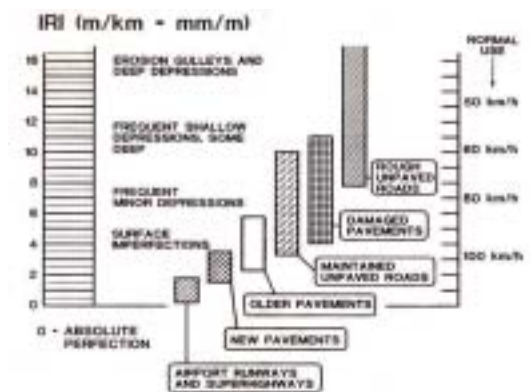
포장 파손은 <표 2>와 같이 대표적인 도로포장의 파손형태인 종단평탄성(Roughness), 소성변형(Rutting), 균열(Crack)로 각각 분석하였으며, 특히 균열의 경우는 종방향 및 횡방향 균열, 거북등 균열, 그리고 팽창 등 세부적으로 구분하였다.

<표 2> 포장 파손 구분

구 분	주요 항목	단위	비고
종단 평탄성	종단 프로파일	mm/m	20m 평균값
소성변형	횡단 프로파일	mm	20m 최대값
균 열	선형균열 (종·횡방향 균열)	m	20m 합계값
	거북등 균열	m <sup>2</sup>	
	팽창(소파보수)	m <sup>2</sup>	

종단평탄성은 차량에 탑승한 운전자가 차량 주행시 포장도로에서 느끼는 승차감을 의미한다. 평탄성의 지수는 조사장비에 따라 8,

SV, APL 지수, QI 등으로 매우 다양하나, 본 연구에서는 일반적으로 많이 활용하는 IRI (International Roughness Index)를 기준으로 결과 분석을 실시하였으며, 이에 따른 포장 상태는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> IRI에 따른 포장 상태 (Patterson, 1986)

소성변형은 지속적인 교통 하중에 의하여 바퀴가 접촉하는 양쪽 측면이 밀려 올라와 종 방향으로 포장이 손상되는 현상을 의미한다. 변형의 종류는 크게 보조기층 및 노상에서 발생하는 하부층 소성변형(Consolidation)과 표층에서만 발생하는 상부층 소성변형(Rutting)으로 구분할 수 있다. 국내의 경우 정확한 통계 자료는 없지만, 국내에서 시공되고 있는 노상재료(주로 화강풍화토)는 다짐으로 인한 특성이 상당히 양호하고 표층이 두꺼운 관계로 대부분의 경우 소성변형은 아스팔트 층에서 발생되고 있다. 소성변형 깊이는 포장 상태 기준으로 미국의 경우 보통 소성변형 깊이가 12mm 이하의 양호, 12~25mm는 보통, 25mm 이상은 불량으로 규정하고 있으며, 국내의 경우에는 건설교통부 관할 일반국도에서 12mm

이하의 양호, 12~20mm는 보통, 20mm 이상은 불량으로 통상 분류하고 있다.

한편 균열율은 조사대상 구간 중에 종·횡 방향 균열, 거북등 균열, 팽창이 발생한 면적의 비율로 산정한다. 현재 국내에는 균열율에 따른 포장의 상태 기준은 없으나 1998년 일반국도 포장관리시스템 보수구간의 보수 공법별 균열율로 기준을 간접적으로 활용할 수 있다. <표 3>과 같이 균열율 3% 이상이면 예방적 유지보수 공법인 표면처리가 적용되고 10% 이상이면 5cm 덧씌우기가 적용된다.

<표 3> 일반국도 보수 공법별 균열율  
(1998년 보수구간 자료)

보수공법	균열율(%)	
	평균	표준편차
무보수	1.4	2.1
절삭 덧씌우기	1.9	2.8
표면처리	3.4	4.0
5AC	10.0	9.8
7AC	10.6	7.0
7BB+5AC	18.5	6.4

포장의 전체적인 파손 상태를 나타내기 위한 통합적인 공용성 평가지수로 미국에서 제안된 PSI(Present Serviceability Index)가 사용되는데, 포장의 노후정도에 따라 포장의 서비스 능력과 공용성을 나타낸다.

$$PSI = 5.03 - 1.91 \times \log(1 \pm SV) - 1.38 \times RD^2 - 0.01 \sqrt{C + P} \quad (1)$$

여기서, SV : 종단경사 변화의 분산

RD : 평균 소성변형 깊이

C : 포장의 균열율

P : 포장의 팽창도

그러나 상용중인 PSI 공용성 지수는 과거에 평탄성 산정을 SV로 하였으나 최근 장비의 발전으로 IRI로 대체되고 있다. 따라서 본 연구에서도 종단평탄성을 IRI값으로 사용하여 SV값을 IRI값으로 변환하는 상관관계를 활용하여 아래의 식 (2)와 같이 설정하였다.

$$SV = 5 \times \text{EXP}(-0.00286 \times \text{IRI}) \quad (2)$$

PSI 수치로 나타내는 포장의 상태 및 유지·보수여부는 <표 4>와 같다.

<표 4> PSI 값에 따른 포장상태 등급

PSI	포장 상태	유지·보수여부
5~4	아주 좋음	-
4~3	좋음	-
3~2	보통	표면처리
2~1	나쁨	덧씌우기
1~0	아주 나쁨	재포장

또한, 서울시에서는 도시특성에 맞는 자체적인 포장 평가지수인 SPI(Seoul Pavement Index)를 개발하여 활용 중에 있는데 식 (3)과 같다.

$$\text{SPI} = 10 - \text{PDI} \quad (3)$$

$$\text{PDI} = \left[ \frac{(10 - \text{SPI}_1)^5 + (10 - \text{SPI}_2)^5 + (10 - \text{SPI}_3)^5}{3} \right]^{1/5}$$

$$\text{SPI}_1 = 10 - 2.23 \times C^{0.3}$$

$$\text{SPI}_2 = 10 - 0.2 \times \text{RD}$$

$$\text{SPI}_3 = 10 - 0.531 \times \text{IRI}$$

PDI : 포장파손지수

(Pavement Distress Index)

C : 포장의 균열율

RD : 평균 소성변형 깊이

IRI : 종단 평탄성

SPI 수치로 나타내는 상태구분, 포장의 상태 및 유지·보수여부는 <표 5>와 같다.

<표 5> SPI 값에 따른 포장상태 등급

SPI	상태구분	포장상태	유지·보수여부
10~8	매우 양호	거의 신설 포장과 같음	보수 불필요
8~6	양호	부분적으로 파손	일상적 유지관리
6~5	보통	보수시기가 다가옴	예방보수 및 적정보수
5~3	불량	보수시기가 1~2년 지남	보수보강 필요
3~0	매우 불량	보수시기가 상당히 지남	재포장

#### IV. 서울시 포장도로 공용성 현황

##### 1. 지역별 포장공용성

서울시의 지역별 종단평탄성 분석 결과는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 동부 사업소만 4.5mm/m이고 나머지 사업소는 5~6mm/m 정도를 나타내고 있다. <그림 1>에서 제시한 IRI에 따른 포장 상태로 비교하면, 전체적으로 서울시 포장도로는 노후된 포장 또는 유지보수

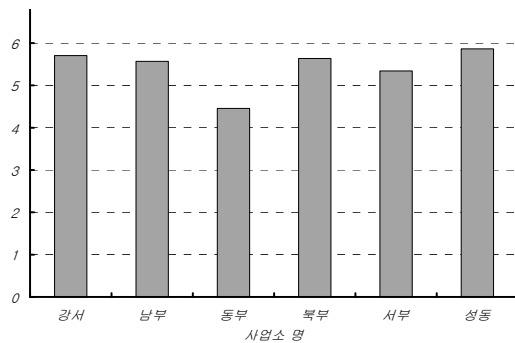
가 필요한 포장으로 판단된다. 이는 아스팔트 표층을 대상으로 하는 유지관리가 시행됨에도 불구하고 전반적인 노선에 대한 평탄성이 낮은 것은 서울시 포장도로의 수명이 주로 20년 이상으로 포장구조상태가 노후화 되어 있음을 반증하고 있다.

소성변형 분석 결과는 <그림 3>과 같이 11~14mm 분포로 평균적으로 12.4mm 정도이다. 소성변형 깊이는 일반 국도 기준으로 판단하면 서울시 포장도로의 소성변형 상태는 보통 이상으로 양호하다. 이는 전체적인 구간에 대한 평균 결과로 도시부의 특성상 소성변형의 발생이 교차로 및 경사진 도로와 같은 단속

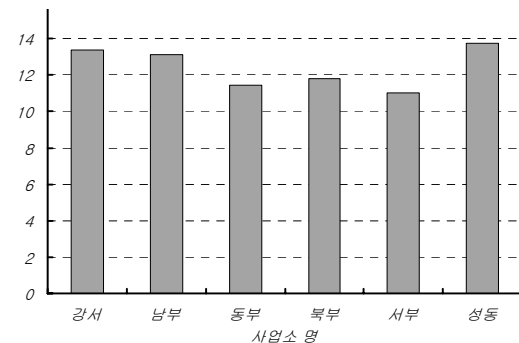
류나 저속류 도로포장에 교통하중이 반복적으로 가해지는 지점에 국부적으로 많이 발생된 것으로 추정된다.

전체적인 포장도로의 균열율은 <그림 4>와 같이 평균 6% 정도를 나타내고 있다. <표 3>의 기준과 비교해 보면, 현재 예방적 유지보수 공법이 필요한 상태로 분류된다.

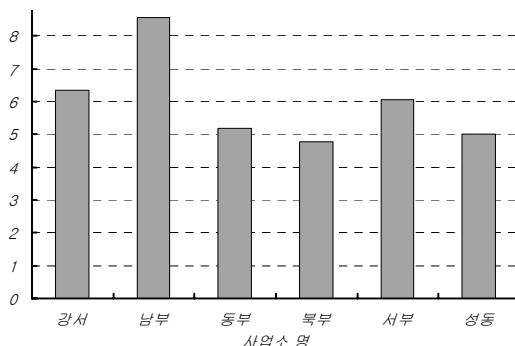
발생된 균열의 종류별 비율은 <그림 5>와 같다. 거북등 균열의 발생빈도가 가장 낮으며, 동부 및 북부 도로관리 사업소의 경우 선형균열과 팽창 발생 비율이 유사한 반면, 나머지 사업소에서는 팽창 발생 빈도가 높은 것으로 나타났다. 이는 포장 파손에 의한 팽창보수 이외



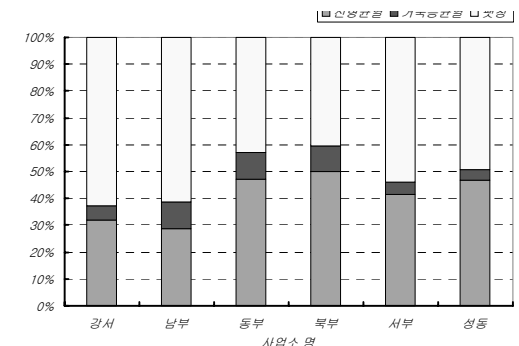
<그림 2> 사업소별 종단 평탄성(IRI)



<그림 3> 사업소별 소성변형



<그림 4> 사업소별 균열율



<그림 5> 사업소별 발생 균열 비율

에 포장도로의 굴착 및 복구에 따른 팻칭이 상당수 포함되어 있기 때문으로 판단된다.

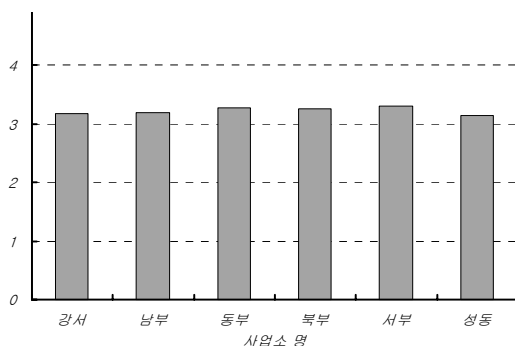
포장의 전체적인 파손상태를 분석하기 위해 도로관리 사업소별 파손 자료를 사용하여 포장상태 지수인 PSI 및 SPI 값을 나타내어 비교하였다. 분석 결과, <그림 6>에 나타난 바와 같이 PSI 값은 도로관리 사업소별로 3.0을 약간 상회하는 정도로 <표 4>의 기준으로 보면 보통의 상태를 나타내고 있고, <그림 7>에서는 도로관리사업소별로 SPI 값이 5~6으로 <표 5>의 SPI 값에 따른 포장상태 등급을 적용해 보면 보통의 상태를 나타내고 있고 유지·보수 적용도로 보았을 때 예방보수 및 적정보수를 해야 하는 상태로 분류되고 있다.

## 2. 차로별 포장공용성

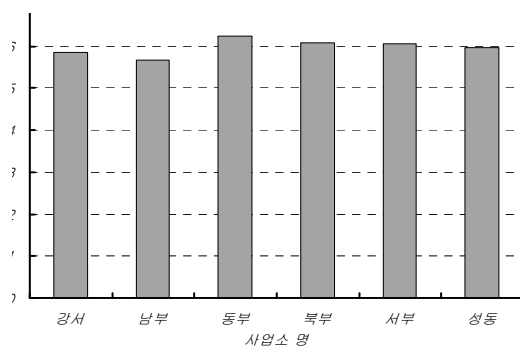
중차량이 포장의 파손에 영향을 미치는지 분석하기 위해 도로관리 사업소별로 1차로, 중간차로(1차로, 버스전용차로 제외한 차로), 버스전용차로로 구분하여 파손별 결과를 <그림

8>, <그림 9>에 비교하였다. 분석 결과, 뚜렷한 경향은 보이고 있지 않지만 상대적으로 1차로보다 중간차로 및 버스전용차로에서 포장 파손이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 1차로의 주 통행 차량들이 소형차들이며, 중간차로에서는 소형차 및 대형차가 혼재되어 통행하고 버스전용차로에서는 소형차에 비해 상대적으로 중차량인 버스가 운행하기 때문으로 판단된다. 포장관리시스템자료에서 강서, 북부사업소는 버스전용차로가 없는 관계로 분석에서 제외시켰다.

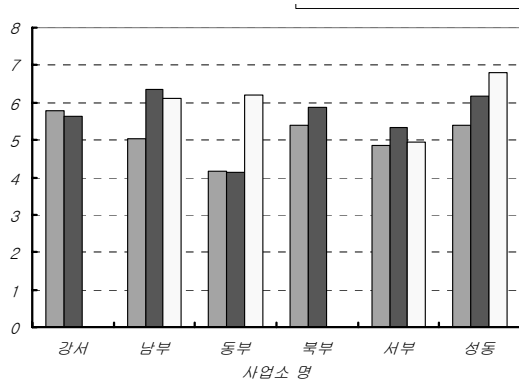
<그림 10>은 주교통량이 소형차인 1차로의 균열발생비율을 나타내고, <그림 11>은 버스전용차로의 균열발생비율을 나타내고 있는데 1차로 보다는 버스전용차로에서 팻칭의 비율이 현저하게 높게 나타났다. 서울시 대부분의 굴착공사는 마지막 차선인 버스전용차로에서 많이 실시되는 관계로 굴착공사 후 복구를 위한 팻칭이 포함되어 있고 상대적으로 중차량이 1차로보다 많은 관계로 팻칭 보수가 잦은 이유로 해석된다.



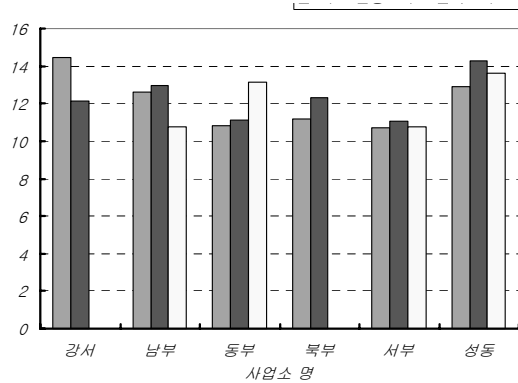
<그림 6> 포장평가 지수(PSI)



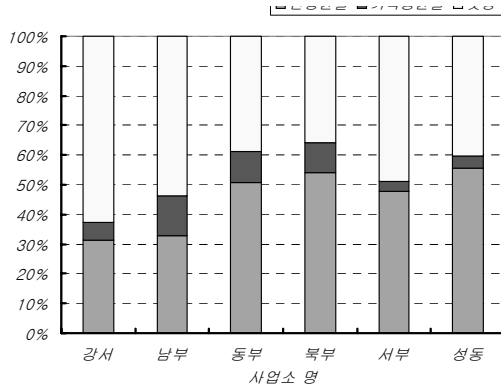
<그림 7> 포장평가 지수(SPI)



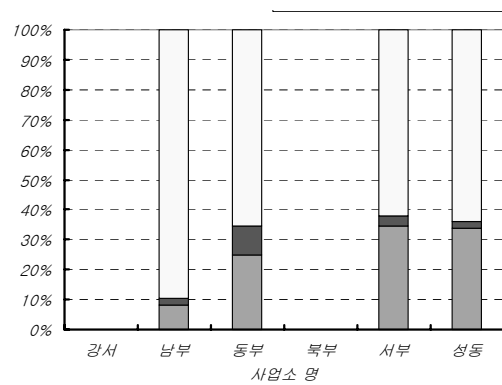
<그림 8> 차로별 종단평탄성(IRI)



<그림 9> 차로별 소성변형



<그림 10> 1차로 발생 균열 비율



<그림 11> 버스전용차로 발생 균열 비율

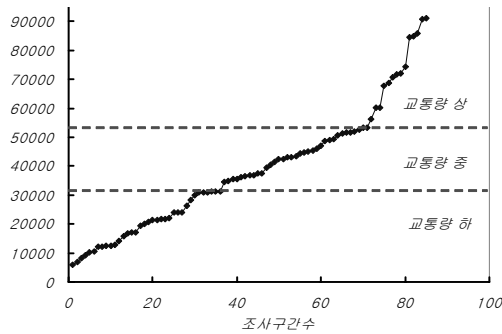
### 3. 교통량별 포장공용성

교통량에 따른 포장 파손을 분석하기 위해 서울시 84개 조사구간에 대한 일평균 교통량(ADT)분포를 조사하였다. 자료를 토대로 교통량이 작은 구간에서부터 많은 구간으로 정리하여 나타낸 결과는 <그림 12>와 같다. 구간별 교통량 등급을 상, 중, 하로 구분하기 위해 교통량이 급격히 증가하는 31,000대와 53,000대를 기준으로 하였다.

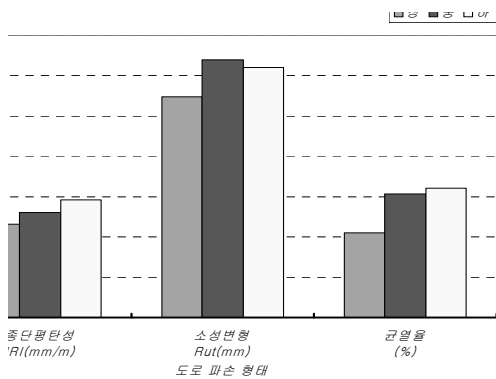
<그림 13>은 교통량에 따른 포장 파손의 형

태를 나타내고 있다. 교통량이 상인 구간에서 종단 평탄성, 소성변형, 균열율이 적은 값을 보여 교통량이 중, 하인 구간보다 상대적으로 양호한 포장상태를 나타내고 있다. 일반적으로 교통량이 많은 구간에서 포장상태가 불량할 것으로 판단되나, 서울시의 기존 유지보수공사가 교통량이 많은 구간에 우선적으로 시행되므로 포장상태가 양호한 것으로 나타났다. 이에 따른 포장평가지수를 PSI와 SPI로 분석하였는데, PSI 값은 모두 3.0이상으로 보통의 상태를 나타내고 있고, SPI 값은 교통량이 상인

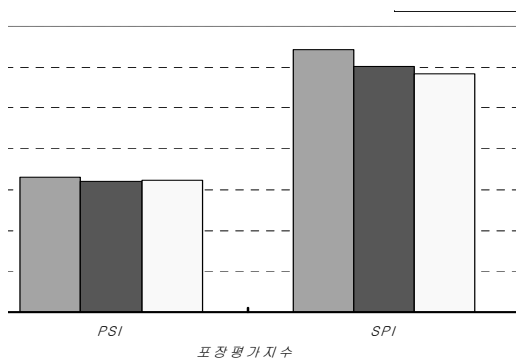
구간에서는 6.4, 교통량 중구간에서는 6.0, 교통량 하 구간에서 5.8로 교통량이 상인 구간에서 가장 높은 SPI 값으로 포장상태는 양호하고 일상적 유지관리만이 필요한 것으로 확인되었다.



<그림 12> 서울시 일평균 교통량(ADT)현황



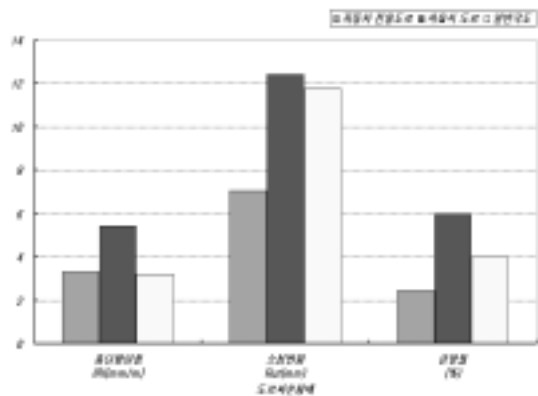
<그림 13> 교통량별 포장 파손 형태



<그림 14> 교통량별 포장평가 지수

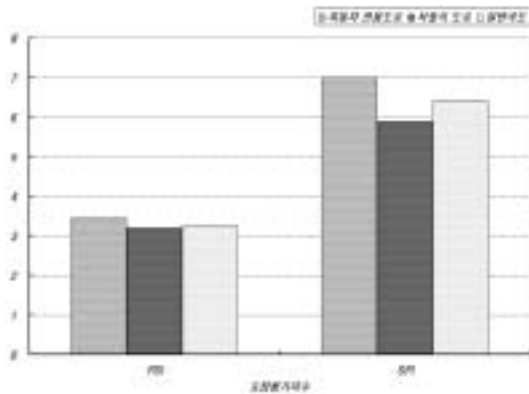
#### 4. 도로특성별 포장공용성

도시부 포장도로의 특성과 포장 파손에 대한 분석을 위하여 자동차 전용도로 및 건설교통부 관할 일반국도의 자료와 비교하였다. 자동차 전용도로는 강변북로와 올림픽대로의 자료를 조사하였고, 일반국도는 2002년에 조사된 전국 11개 국도의 자료를 참고하였다. 분석결과, 자동차 전용도로의 포장상태가 가장 양호하고 서울시 간선도로가 가장 불량한 상태로 나타났으며 소성변형은 평균 약 12mm로 일반국도의 상태와 비슷한 정도로 양호한 상태였다. 이는 최근 서울시가 도로관리를 위한 아스팔트 표층의 소성변형저감에 상당한 노력을 기울인 결과라 판단된다. 포장 평가지수인 SPI 값에서 자동차 전용도로는 7.0, 서울시 도로는 5.9, 일반국도는 6.4로 차이가 있었으나, PSI 값에서는 자동차 전용도로는 3.44, 서울시 도로는 3.21, 일반국도는 3.24로 도로별 포장 파손 현황의 값에 있어서 많은 차이가 있었지만, PSI 값은 큰 차이가 나타나지 않았다.



<그림 15> 도로별 포장 파손 형태





<그림 16> 도로별 포장 평가지수

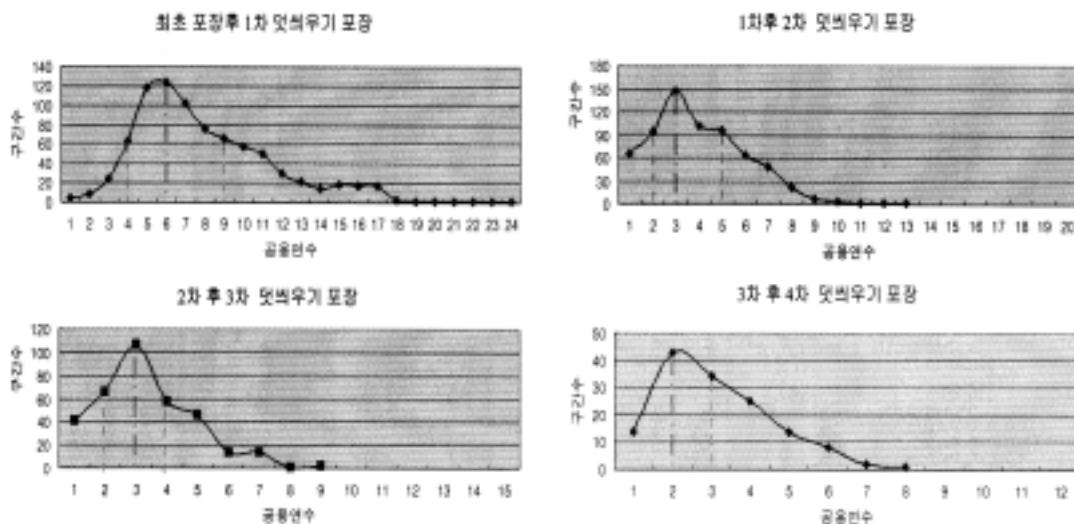
## V. 도시부 포장도로의 공용수명

### 1. 덧씌우기 횟수에 따른 포장도로 수명

서울시 포장도로의 수명은 잦은 굴착 및 복구, 그리고 재포장으로 객관적인 예측이 불가능한 실정이다. 현재 포장도로의 유지관리는 아스팔트 표층 5cm 절삭후 덧씌우기 재포장을

선별적으로 실시하고 있으며, 전체적으로는 포장도로 보수예산 범위에서 포장의 성능개선이 이루어지고 있다. 이러한 방식은 구조적인 성능의 증가 없이 평탄성 등의 기능적인 시스템 수준을 향상 및 유지시키므로 재포장의 횟수가 거듭될수록 기존 포장도로를 조기에 파손시키며 노후화를 촉진하게 만드는 요인을 제공하고 있다. 임영환(2003)의 연구에 의하면 일반국도의 경우 덧씌우기가 적용된 구간을 대상으로 최초 건설후 덧씌우기 횟수별로 <그림 17>과 같은 포장공용기간 분포를 나타낸다.

최초 포장 이후 1차 덧씌우기까지의 공용연수는 평균 6년 정도이며, 1차 덧씌우기 후 2차 덧씌우기까지가 평균 3년, 3차부터 4차까지가 2년 정도의 기간이 소요되었다. 즉, 덧씌우기 횟수가 증가함에 따라서 차후 유지보수까지의 포장의 소요수명이 점차 줄어드는 경향을 나타내었다. 이는 획일적인 구역 차원(Network Level)의 유지보수로 포장의 파손과 손상에



<그림 17> 덧씌우기 횟수에 따른 일반국도 포장의 공용연수 (임영환, 2003)

&lt;표 6&gt; 포장상태 등급 기준

소성변형(mm) \ 처짐량(mm)	< 0.5	0.5 ~ 0.85	0.85 <
< 12	1등급	2등급	3등급
12 ~ 20	2등급	3등급	4등급
20 <	3등급	4등급	4등급

&lt;표 7&gt; 보수 이력에 의한 포장상태 등급

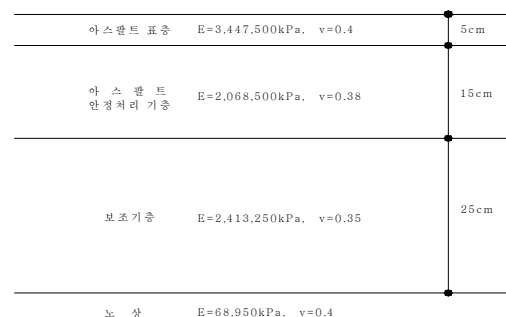
공용년수 \ 덧씌우기수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1회	1등급			2등급					3등급	
2회	1등급	2등급			3등급					
3회	1등급	2등급		3등급						
4회	1등급	2등급	3등급							
5회	1등급	2등급	3등급							
6회이상	2등급		3등급							

대한 구간별(Project Level) 유지보수가 아닌 아스팔트 표층 재포장만이 시행됨에 따라 포장수명이 점차적으로 감소하고 있는 것으로 판단된다.

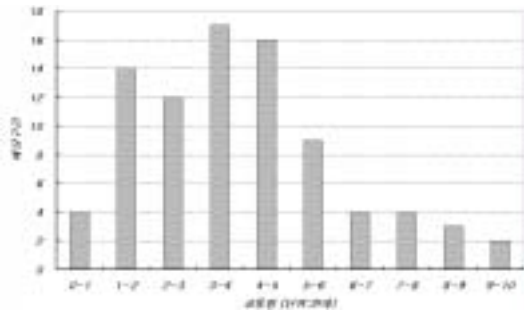
<표 6>은 소성변형과 비파괴 시험 장비인 FWD(Falling Weight Deflectometer) 시험에 대한 포장의 처짐량 자료를 통하여 일반국도의 포장상태 등급 기준을 제시한 것으로, 이를 <그림 17>의 보수 이력에 의한 포장상태 등급과 비교하여 나타내면 <표 7>을 얻을 수 있다. 따라서, 동일한 포장에 대한 표층만의 절삭후 덧씌우기를 적용하는 경우 다소 비합리적임을 단적으로 보여주고 있다.

서울시 포장도로 재포장 보수공법의 문제점을 파악하기 위해 다층탄성해석 프로그램인 KENPAVE(Huang, 2004)를 사용하여 구조해석을 실시하였다. 현재 서울시에서 사용 중인 아스팔트 포장체는 3층 또는 4층으로 구성된

다층 포장구조체로, 본 해석에서는 아스팔트 표층, 아스팔트 안정처리기층, 보조기층 및 노상의 4층으로 단면으로 가정하였고, 서울시의 실제적인 포장 단면 및 물성치는 조사된 자료가 없으므로 일반적인 포장단면과 물성치를 <그림 18>과 같이 활용하였다. 또한, <그림 19>는 서울시의 84개 조사 대상 구간에 대한 교통량을 나타내는데, 일교통량의 평균값이 약 40,000대로 나타나 이를 포장구조 해석의 기준으로 하였다.



&lt;그림 18&gt; 포장 구조해석에 사용된 대표단면



<그림 19> 서울시 교통량 분포

현재, 서울시 포장도로 보수시 아스팔트 표층 5cm 절삭 후 덧씌우기를 실시하고 있으므로, 아스팔트 표층은 신설 포장이지만 아스팔트 기층은 노후된 상태로 존재하여 기층에서 발생한 균열이 반사균열로 발전하여 아스팔트 표층에 많은 영향을 미치고 있다. 따라서, 본 해석에서도 신설포장 후 덧씌우기까지 기간을 산정한 후 아스팔트 표층 5cm만 신설공사로 실시하는 경우와 아스팔트 기층까지 재포장 하였을 경우를 서로 비교하여 포장의 수명을 분석하였다. 표층의 덧씌우기시, 기층의 강성도 감소는 연간 2%, 보조기층의 강성감소는 연간 1%로 가정을 하였다. 식 (4)는 본 해석에 사용된 피로균열에 대한 파괴기준식을 나타내고 있다.

$$N_f = f_1(\epsilon_t)^{-12}(E_1)^{-13} \quad (4)$$

여기서,  $N_f$  = 피로균열에 대한 허용하중 반복횟수

$\epsilon_t$  = 아스팔트 표층 하부에 생기는 인장변형률

$E_1$  = 아스팔트 표층의 탄성계수

$f_1, f_2, f_3$  = 실험실의 피로시험에 의해 결정되는 상수

해석에서  $f_1, f_2, f_3$ 는 AI(Asphalt Institute)에서 제시한 값인 0.0796, 3.291, 0.85를 사용하였다. 식 (5)는 영구변형의 파괴기준식을 나타내고 있으며,  $f_4, f_5$ 는 AI에서 제시한 값인  $1.365 \times 10^{-9}$ , 4.477을 사용하였다.

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5} \quad (5)$$

여기서,  $N_d$  = 영구변형에 대한 허용하중 반복횟수

$\epsilon_c$  = 노상층 상부의 압축변형률

$f_4, f_5$  = 현장공용성에 의해 결정되는 상수

해석 결과, <그림 20> 및 <표 9>에 나타난 바와 같이 아스팔트 표층만 재포장시 신설포장의 수명은 11.7년, 1차 덧씌우기 후 포장의 수명은 8.2년, 2차 덧씌우기 후 포장의 수명은 5.8년, 3차 덧씌우기 후 포장의 수명은 4.3년으로 나타나 차후 유지보수까지의 소요수명이 점차 줄어드는 경향을 나타내었다. 반면, 아스팔트 표층과 기층까지 모두 재포장시 1차 덧씌우기 후 포장의 수명은 9.5년, 2차 덧씌우기 후 포장의 수명은 7.6년, 3차 덧씌우기 후 포장의 수명은 6.3년으로 나타나 이 경우도 차후 유지보수까지의 소요수명이 점차 줄어드는 경향을 나타내었지만, 표층만 재포장한 경우와 비교시 덧씌우기 횟수가 증가함에 따라 포장수명의 차이는 더 많은 것으로 나타났다.

&lt;그림 20&gt; 덧씌우기 횟수에 따른 포장수명

&lt;표 9&gt; 덧씌우기 횟수에 따른 포장 수명

구 분	포장수명		포장수명 차이
	표층만 재시공시	표층+기층 재시공시	
신설포장	11.7년	11.7년	-
1차 덧씌우기	8.2년	9.5년	1.3년
2차 덧씌우기	5.8년	7.6년	1.8년
3차 덧씌우기	4.3년	6.3년	2.0년

## 2. 중차량에 의한 포장도로 수명

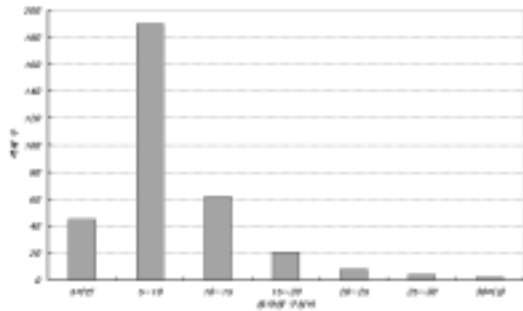
서울시는 수도권을 포함하여 경제적인 활동이 매우 활발한 관계로 차량의 대형화 및 중량화로 인한 제한된 축하중 이상의 차량운행이 증가하고 있으며, 이로 인한 포장도로의 수명 단축, 그리고 포장도로의 적절한 상태를 유지하기 위한 보수가 빈번하게 실시되고 있는 실정이다. 일반적으로 포장도로의 수명은 차량 하중, 중차량 비율, 교통량, 환경, 노상 조건 등의 영향을 많이 받는데, 포장도로가 파손 상태에 도달하기까지 여러 원인들이 복합적으로 작용한다고 알려져 있다. 특히, 차량의 반복 하중 및 과다 하중에 의한 포장층의 역학적 손상과 포장 재료의 물리적, 역학적 성질 악화 등

이 주된 요인이다. 이는 포장 손상의 진행에 영향을 미치는데, 트럭에 의한 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 화물 트럭은 기본적으로 축을 통해 하중을 포장에 전달하므로 축하중은 아스팔트 포장 손상에 영향을 미치는 가장 중요한 인자 중 하나이며, 이외에도 축간 거리, 현가장치 그리고 타이어의 종류와 개수 등 다양한 트럭의 특성이 포장 손상에 영향을 미친다.

따라서, 서울시에서는 자동차의 대형화, 중량화로부터 포장도로 및 교량 등의 시설물 보존과 교통의 안전 확보를 위해서 과다 하중 차량에 대한 규제를 실시하고 있다. 본 연구에서는 과다 하중 차량 운행이 포장에 미치는 영향을 분석하기 위하여 KENPAVE를 사용하여 포장구조해석을 실시하였다. 포장구조해석에 사용된 재료의 물성값 및 피로균열, 영구변형의 파괴기준식은 앞서 제시한 것과 동일하게 사용하였다. 본 해석에 사용된 일교통량(ADT) 조건은 <표 10>과 같이 설정하여 적용하였다.

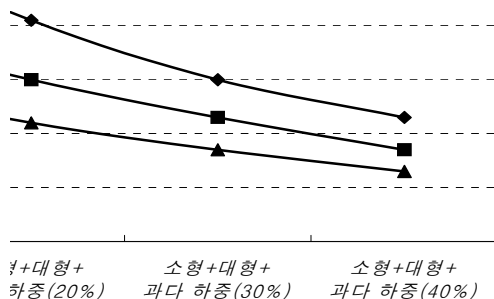
&lt;표 10&gt; 포장구조해석에 사용된 일교통량

구 분	교 통 량 (대)		
	소형차량	대형차량	과다 하중차량
소형+대형	37,200	2,800	-
소형+대형+과다 하중 (10%)	37,200	2,520	280
소형+대형+과다 하중 (20%)	37,200	2,240	560
소형+대형+과다 하중 (30%)	37,200	1,960	840
소형+대형+과다 하중 (40%)	37,200	1,680	1,120



<그림 21> 중차량의 운행 구성비 현황  
(건설교통부, 2004년)

교통량은 서울시 일교통량의 평균값인 40,000대를 적용하였으나, 서울시에는 중차량 운행 구성비에 대한 자료가 전무한 실정이므로 일 반국도의 자료를 참고하면 <그림 21>과 같이 중차량 비율은 5~10% 정도이므로 중차량 구성비는 평균값인 7%를 적용하였다. 또한, 과다 하중 차량 운행이 포장에 미치는 영향을 분석 하기 위해 과다 하중 차량의 교통량은 중차량의 비율중에서 10%~40%까지 증가시키는 것 을 해석조건으로 하였다. 현재 서울시에서는 중차량에 대한 하중제한을 총중량 40ton, 축하중 10ton으로 규제하고 있으므로, 과다 하중 차량의 축하중을 12ton으로 설정하여 포장구조해석을 실시하였다.



<그림 22> 과다 하중 차량 증가에 따른 포장수명

<표 11> 과다 하중 차량 증가에 따른 포장 수명

구분	포장 수명					
	신설 포장	수명차	1차 덧씌우기	수명차	2차 덧씌우기	수명차
소형+대형	10.4년	-	7.3년	-	5.7년	-
과다 하중 (10%)	7.7년	2.7년	5.9년	1.4년	4.9년	0.8년
과다 하중 (20%)	6.1년	1.6년	5.0년	0.9년	4.2년	0.7년
과다 하중 (30%)	5.0년	1.1년	4.3년	0.7년	3.7년	0.5년
과다 하중 (40%)	4.3년	0.7년	3.7년	0.6년	3.3년	0.4년

분석결과, <그림 22> 및 <표 11>에 나타난 바와 같이 신설포장일 경우, 일반적 차량구성인 소형차+대형차의 포장수명은 10.4년, 과다 하중 차량이 10%일 때 포장수명은 7.7년, 과다 하중 차량이 20%일 때 포장수명은 6.1년으로 나타났다. 제한하중 이내의 차량만이 운행하는 경우와 과다 하중 차량이 10% 운행하는 경우의 포장수명 차이는 2.7년이고 과다 하중 차량이 10%씩 증가할 때마다 포장수명의 차이는 1.6년, 1.1년, 0.7년으로 포장수명의 차이는 점차 줄어들었다. 제한하중 이내의 차량만이 운행하는 경우에서 과다 하중 차량이 10%로 증가한 경우에 포장의 수명차이가 가장 많은 것으로 나타났다. 따라서 과다 하중 차량 통행을 제한하지 않으면 포장의 수명은 급격히 저하된다는 것을 알 수 있으며, 포장수명의 차이가 감소하는 것은 과다 하중 차량이 운행함으로써 그 포장은 이미 많은 파손이 발생되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 1차 덧씌우기 및 2차 덧씌우기를 행한 경우에도 신설포장의 경우와 비슷한 경향을 나타내었다. 덧씌우기 횟

수 및 과다 하중 차량 증가에 따른 포장수명을 분석하면 앞서 언급한 바와 같이 과다 하중 차량의 증가율과 관계없이 덧씌우기 횟수가 증가함에 따라 포장의 수명은 점차 줄어드는 경향을 나타내었다.

과다 하중 차량이 10%인 경우 신설포장의 수명은 7.7년, 1차 덧씌우기 후 포장수명은 5.9년, 2차 덧씌우기 후 포장수명은 4.9년이고 과다 하중 차량이 40%인 경우 신설포장의 수명은 4.3년, 1차 덧씌우기 후 포장수명은 3.7년, 2차 덧씌우기 후 포장수명은 3.3년으로 과다 하중 차량의 비율이 많아질수록 차후 유지보수까지의 소요수명차이가 줄어드는데, 이는 과다 하중 차량이 운행함으로서 그 포장은 이미 포장 하부구조까지 많은 파손이 발생되었기 때문인 것으로 판단된다.

## VI. 결 론

서울시 도로의 포장 공용성 자료를 활용하여 서울시의 포장 공용성 상태를 비교분석한 결과는 다음과 같다.

1. 2003년 현재 서울시 도로의 평균 종단평탄성(IRI)은 5~6mm/m, 소성변형깊이는 11~14mm(평균 12.4mm), 균열율은 평균 6% 정도로 나타났다. 포장평가 지수인 PSI값은 3.0을 약간 상회하는 정도로 보통의 상태를 나타내고 있고, SPI값은 5~6으로 보통의 상태를 나타내고 있으므로 전반적으로 서울시 도로는 예방보수

및 적정보수를 해야 하는 상태로 분류되는 것으로 나타났다.

2. 중차량이 포장의 파손에 영향을 미치는지 분석하기 위해 1차로, 중간차로, 버스전용차로로 구분하여 파손별 결과를 비교한 결과, 1차로 보다는 상대적으로 중차량 비율이 많은 중간차로 및 버스전용차로에서 포장 파손이 다소 높은 것으로 나타났다.
3. 교통량에 따른 포장 파손을 분석한 결과, 교통량이 많은 구간에서 상대적으로 양호한 포장상태를 나타내었다. 이는 서울시의 기존 유지보수공사가 교통량이 많은 구간에 우선적으로 시행됨에 따라서 포장상태가 양호하기 때문인 것으로 판단된다.
4. 도시부 포장도로의 파손 특성 분석을 위해 서울시 도로, 일반국도, 자동차 전용도로와 비교한 결과, 도시부 포장의 특성상 서울시 도로에서 팻칭의 비율이 타 도로보다 상당히 높은 것으로 나타났고, 이는 서울시 도로에서 굴착복구를 비롯한 여타공사가 자동차전용도로 및 일반국도보다 빈번하기 때문에 나타난 결과라 판단된다.
5. 서울시 포장도로 재포장 보수공법의 문제점을 파악하기 위해 포장구조해석을 실시한 결과, 덧씌우기 횟수가 증가할수록 차후 유지보수까지의 소요수명이 점차 줄어드는 경향을 나타내었고 과다 하중 차량 운행이 포장에 미치는 영향은 구조해석을

실시한 결과, 과다 하중 차량이 운행되면 포장의 수명은 급격히 저하되는 결과를 나타내었다. 따라서, 포장도로의 공용성의 증대시키기 위해서는 과다 하중 차량의 운행을 엄격히 규제해야 할 것으로 판단된다.

6. 따라서 이러한 도시부 포장의 공용성과 도로관리의 특성을 반영한 현실적인 예방적 유지보수 프로그램의 개발이 필요하며 이를 기존의 포장관리시스템과 연계하면 보다 개선된 도로의 관리가 되리라 판단된다.

#### 참고문헌

건설교통부, 2003, 『2002 도로포장관리시스템 연구보고서』.

건설교통부, 2004, 『한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구보고서』.

서울특별시, 2004a, 『서울특별시 포장도로 유지관리 시스템(PMS) 구축사업 보고서』.

서울특별시, 2004b, 『중차량 통행노선 및 시스템 개발 보고서』.

서울특별시, 2005, 『서울시 포장도로 수준향상 방안 연구 보고서』.

임영환, 2003, “일반국도 PMS의 Project Level 개선과 Network Level 개발 연구”, 중앙대학교 박사학위논문.

Huang, Yang H., 2004, Pavement Analysis and Design, 2nd edition ; Prentice Hall.

Paterson, W. D. O., 1986, “International Roughness Index : Relationship to Other Measures of Roughness and Riding Quality”, *Transportation Research Record* 1084.

원 고 접 수 일 : 2006년 4월 7일

1차심사완료일 : 2006년 5월 30일

최종원고채택일 : 2006년 6월 7일