

## 자치구 포장상태평가등급 기준 개선 및 포장상태 예측지수 개발

### Development of Borough Road Pavement Condition Evaluation Criteria and Prediction Index

이 상 yum Lee, Sang Yum | 정회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : yummy0220@induk.ac.kr)  
전 진 호 Jeon, Jin Ho | 정회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 학사과정 (E-mail : aoc0511@naver.com)

#### ABSTRACT

**OBJECTIVES :** This study develops an evaluation method, which is useful to inspect pavement condition of specific boroughs. This is because pavement condition is broadly divided into five grades via visual inspection, which does not consider the types of deteriorations, and is decided by an investigator having a subjective viewpoint. This visual inspection method is not a satisfactory method for accurate maintenance when various deteriorations occur.

**METHODS :** The performance model considers several factors such as crack, rutting, and IRI. This method is also modified from borough SPI based on SPI (Seoul Pavement Index). Considering limited budget of borough, PI (prediction index) is suggested, which is related to the grade of pavement condition evaluation and type of materials. Practical correlation review is also conducted with statistical verification by using the Monte Carlo simulation.

**RESULTS :** The results of the study show that modified criteria are reasonable. First, the comparison between the visual inspection result and the SPI result indicates that the R-square value is sufficiently high. Second, through the common section, each evaluation method could be compared, and the result shows considerable similarity, which increases when the range is modified. Finally, PI for predicting remaining life and the random number SPI have common parts, which means that each indicator would be adequate to be used as an evaluation method.

**CONCLUSIONS :** Comparison and analysis results show that the developed evaluation method is reasonable for specific boroughs where financial support is inadequate for the evaluation process by using the newer equipment. Moreover, for more accurate evaluation method, previous visual inspection data should be utilized, and the database of inspection equipment have to be collected.

#### Keywords

*Crack, IRI (international roughness index), PMS (pavement management system), Rutting, SPI (Seoul pavement index)*

Corresponding Author : Lee, Sang Yum, Assistant Professor  
Department of Construction Information, Induk University,  
12, Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul, 01878, Korea  
Tel : +82.2.950.7587 Fax : +82.2.950.7599  
E-mail : yummy0220@induk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Oct. 31, 2016 Revised Oct. 31, 2016 Accepted Dec. 01, 2016

## 1. 서론

### 1.1. 연구 개요

서울시에서는 총 연장 8,172km의 도로를 효율적으로 유지하기 위해서 2000년 초반에 도로포장 유지관리 체계 (Pavement Management System, PMS)를 도입하였고, 현재까지 매년 자동 포장상태 조사장비를 이용하

여 조사 및 분석을 진행하고 있다(손현장 외, 2014). 조사 데이터를 통해 서울시에서 자체 개발한 정량화 등급 지수인 SPI(Seoul Pavement Index)에 따라 포장상태 수준을 1~10으로 나타내어 평가하고 유지보수에 활용하고 있다(서울시, 2013). 그러나 도로포장 유지관리 예산이 상대적으로 적은 자치구의 경우, 도로포장상태를

평가하기 위해서는 추가적인 인력과 조사장비 사용 등에 필요한 별도의 예산이 소요되기 때문에, 특별시도와 같은 수준으로 도로포장상태 평가업무를 수행하기에는 어려움이 있다. 현재 자치구에서는 도로관리 조사 평가자들의 주관적인 경험기준에 따라 포장상태 평가 및 유지보수 여부를 판단하고 그 결과에 따라 보수공사를 시행해오고 있다.

본 연구의 대상지역인 서초구에서는 관내도로 포장상태에 대하여 육안조사 및 포장상태의 등급화를 통해 유지보수를 결정하는 방안을 시범시행 중에 있다. 도로관리 조사 평가자들의 눈으로 확인되는 균열과 소성변형, 보수상태 및 주행 중의 평탄성 등을 통해 A~E까지의 5단계로 등급을 나타내고 C등급을 기준으로 유지보수 여부를 결정하고 있다. 그러나 육안조사를 통해 도로의 포장상태를 등급으로 나타내고 유지보수를 결정하는 것은 자동포장상태 조사장비 및 유지보수 대상구간 선정 의사결정 로직이 적용된 서울특별시도 PMS 유지관리 기법 대비 정확도와 신속성, 효율성 등이 상당히 부족하다. 예로써 포장상태 등급이 C등급으로 나타나 유지보수가 필요하다고 판단되는 여러 구간이 존재할 경우 이 중 어떤 구간에 우선적인 보수를 실시해야 하는지, 또는 어떤 포장손상 유형이 나타나 이에 대응하는 적정 공법을 적용해야 하는지 등에 대한 정확한 분석 및 의사 결정을 내리기가 어렵다.

따라서 본 연구에서는 시범적인 인력 및 장비를 활용한 표면상태 조사가 진행중인 서초구 도로 포장상태 조사 데이터를 활용하였다. 조사 데이터를 통해 선행되어 개발된 서울시도 SPI를 활용한 서초구 도로포장상태 평

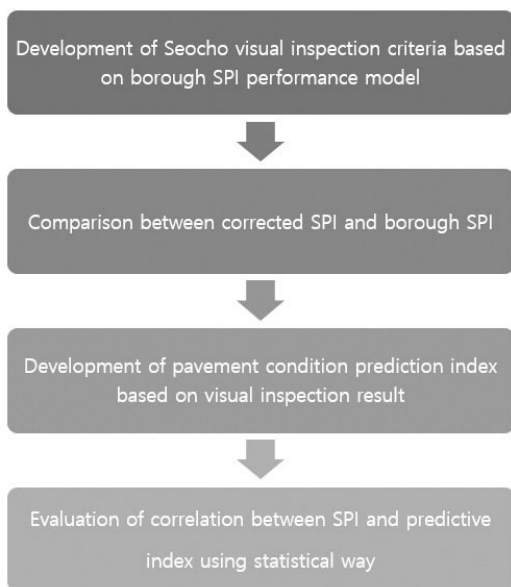


Fig. 1 Research Process in Flowchart

가모형인 자치구도 SPI(이하 구도SPI라 함)의 공용성 모형을 이용하여 육안조사 기준을 제안하였다. 또한 제안한 육안조사 기준을 활용하여 육안조사등급을 환산하여 수정한 SPI(이하 수정SPI라 함)와 구도SPI의 상관성을 확인하고자 한다. 또한 기존의 육안조사의 등급을 활용하여 향후 개략적인 유지보수 필요구간 및 시기를 예측할 수 있는 포장상태 예측지수(이하 Prediction Index, PI라 함)를 개발하여 사용하고자 한다.

## 2. 본론






### 2.1. 육안조사와 구도SPI(Seoul Pavement Index)

#### 2.1.1. 육안조사

포장상태 자동조사장비를 통한 도로포장상태의 평가가 어려운 자치구는 시범적으로 도로포장의 대략적인 상태를 도로관리 조사 평가자의 육안으로 점검하고 판단하여 유지보수를 결정하고 있다. 도로 포장상태의 객관적인 검증이 아닌 조사 평가자의 주관적인 판단으로 결정하고, 민원과 같은 시민의 의견을 수렴하여 유지보수를 시행중이다.

서초구의 도로표면 상태를 평가하기 위해 조사원이

Table 1. Pavement Condition Criteria of Seocho

View	Subject matter	Rating
	Very good	A
	Good	B
	Fair (No cutting and No damaged)	C
	Poor (Particular damaged)	D
	Very poor (Need to reconstruction)	E

투입되어 육안으로 도로표면의 포장상태를 판단한 구간을 사용했다. 육안조사는 조사원의 육안으로 전반적인 도로표면 파손상태 여부를 점검하여 A~E까지의 육안조사 등급을 나타내고 있다. 조사원이 실제 조사대상 구간에서 육안으로 확인한 도로의 파손정도를 자체적인 기준에 의해 판단하여 포장상태를 등급으로 산정한다. 육안조사의 도로포장상태 점검표는 Table 1과 같다.

본 연구에서는 서초구 도로 육안조사구간의 아스팔트, 콘크리트, 비포장도로의 총 161.1km를 사용하였다. 또한 구도SPI의 공용성 모형을 통한 육안조사 등급기준을 개발하고 새로운 육안조사기준을 통한 구도SPI를 수정하여 상관성을 검토하였다.

### 2.1.2. 구도SPI (Seoul Pavement Index)

기존의 SPI는 서울시의 환경을 기준으로 만들어졌기 때문에 자치구에 적용하기에 무리가 있다. 서울시 관할 도로의 교통량 및 포장두께만 해도 자치구 관할도로와는 적지 않은 차이가 있다. 따라서 자치구의 포장상태의 정량적인 파악을 위해서는 기존의 SPI를 기반으로 자치구의 환경을 고려하여 보완한 새로운 구도SPI를 이용하여 육안조사 등급기준을 개선하고자 한다.

구도SPI는 기존의 SPI에서 결함 인자들인 균열율, 소성변형, 종단평탄성에 대한 보수기준과 현장 시공 상태 및 설계 공용성능이 함께 반영되어 개발되었다. 자치구에 적합한 새로운 도로포장상태 평가 모형인 구도SPI는 다음 Eq. (1)과 같다(승화기술정책연구소, 2016).

$$\begin{aligned}
 SPI &= 10 - PDI \\
 &= 10 - [(10 - SPI1)^5 + (10 - SPI2)^5 + (10 - SPI3)^5]^{\frac{1}{5}} \\
 SPI1 (Crack) &= 10 - 10.0607C^{0.3} + (1 - \frac{C}{0.21\log_{(Age+1)}(Age+1)}) \\
 &\quad + (1 - \frac{C}{0.175}) \\
 SPI2 (Rutting) &= 10 - 0.453RD + (1 - \frac{RD}{1.3\log_{(Age+1)}(Age+1)}) \\
 &\quad + (1 - \frac{RD}{1.9}) \\
 SPI3 (IRI) &= 10 - 0.897IRI + (1 - \frac{IRI}{2.32\log_{(Age+1)}(Age+1)}) \\
 &\quad + (1 - \frac{IRI - 1.18}{5.5})
 \end{aligned} \tag{1}$$

기존 SPI는 서울시의 도로 환경을 반영하였기 때문에 구 단위에 적용하기에는 어려움이 있었다. 이것은 기존 SPI는 서초구 환경보다는 높은 수준의 유지보수 기준을

적용한 것이기 때문에 유지보수 시기 및 구간 결정이 비교적 명확하지 않았다. 특히, 서울시 내의 도시고속도로에 비해 자치구 내의 보조간선도로 및 이면도로는 특성상 주행속도가 비교적 낮고 일정하지 않다. 따라서 소성변형 모형에 대한 기준을 완화시켰으며, 균열과 종단평탄성은 유지하였다(이상염 외, 2015). 본 연구에서는 서초구 내 도로의 포장시공시기가 정확하지 않기 때문에 포장 공용수명인 Age=0으로 설정하여 구도SPI를 계산하였다. 결과적으로 자치구의 도로 환경에 적합하도록 시도SPI보다 완화된 유지관리기준, 예측 설계 공용성 및 시공현장상태가 반영된 구도SPI 모형과 도로포장 평가를 위한 새로운 육안조사 기준을 개발한 것이다.

## 2.2. 육안조사 기준 개발

### 2.2.1. 구도SPI의 공용성 모형을 통한 육안조사 등급 기준 산정

서초구에서 사용하는 기존의 육안조사로 나타내는 등급은 균열과 종단평탄성 및 소성변형 등 도로 파손의 유형을 종합적으로 판단하여 나타내고 있다. 예를 들어 포장상태의 균열, 소성변형 등을 기존의 육안조사 기준에 맞춰 판단 후 전체적으로 고려하여 등급을 나타내는 것이다. 여기서 문제점은 조사원마다의 개인차가 있을 수 있으며, 현재 사용 중인 서초구의 도로포장상태 점검표는 포장상태를 구분하기에는 상당히 포괄적으로 나타낸 것이므로 정확한 판단이 어렵다. 따라서 균열, 소성변형 및 종단평탄성이 반영된 구도SPI로의 산정은 정확하지 않을 수 있다.

따라서 포장상태 등급을 통해 구도SPI를 예측하기 위해서는 구도SPI 산정방식과 마찬가지로 균열율(Crack), 소성변형(Rutting), 종단평탄성(IRI)을 각각 육안조사 등급으로 나타내어 고려한 새로운 육안조사 등급기준을 제시할 필요가 있다.

기존의 전반적인 포장상태를 고려한 등급에서 세분화시켜 균열, 소성변형 및 평탄성에 대해 각각의 파손유형을 고려하는 것이다(김장락 외, 2014). 세 가지 파손유형을 고려한 등급을 나타내기 위해 구도 SPI의 공용성 모형을 이용, 각각의 등급을 나타내는 SPI 값을 찾고 그 값에 따른 인자의 값을 찾아내었다. 예를 들어 균열(Crack)에 대한 공용성 모형에서 “SPI = 9~10”인 파손정도(%)를 찾아 A등급으로 나타내었다. 이는 실제 신설 포장의 경우 “SPI = 8”로 나타나는데 신설포장과 같이 좋은 포장상태를 가졌더라도 “SPI = 10”에 미치지 못하는 수준을 반영한 것이다. 따라서 A등급을 “SPI =

9~10"의 높은 수준으로 나타낸 것이다. 실제 시공결과를 고려하여 SPI값에 따른 등급의 범위와 각각의 SPI의 범위에 따라 인자들의 기준치를 설정하였으며 그 결과는 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Suggested Visual Inspection Grade and Range

Borough SPI	Visual inspection grade	Range		
		Crack	Rutting	IRI
		(%)	(mm)	(m/km)
9~10	A	0~0.006	0~4.7	0~4
7~9	B	0.006~0.06	4.7~14.2	4~10
4~7	C	0.06~0.31	14.2~28.5	10~20
2~4	D	0.31~0.6	28.5~38	20~27
0~2	E	0.6~1	38~47	27~34

### 2.2.2. 육안조사 등급기준을 활용한 수정SPI

먼저 각각의 파손인자들에 대한 등급을 통해 수정SPI로 나타내기 위해서 등급별 계수를 산정하였다. 자치구 내의 도로의 특성을 고려하여 보조간선도로와 이면도로에 각각 다중회귀분석(Multi regression analysis)을 이용하여 찾아내었다. 다중회귀분석은 종속변수 값의 변화에 영향을 미칠 것으로 예상되는 여러 개의 적절한 독립변수들을 선택하여 종속변수를 이들의 함수로서 설명하고자 하는 통계적 분석 기법이다(심광식 외, 2012).

분석 시 사용한 구간은 장비조사구간인 보조간선 6,390개의 구간, 이면도로 535개의 구간을 사용하였다. 이 구간을 사용한 이유는 조사장비로 취득된 균열율, 소성변형, 종단평탄성을 분석 산출한 구도SPI와 이와 동일한 데이터를 사용하여 제한한 육안조사 등급기준을 통해 나타낸 구도SPI 예측값을 비교하여 각각의 상관성을 검토하기 위함이다. 수정SPI 산출식은 다음 Eq. (2)와 같다.

$$\frac{(VI_{Crack} \times W_{Crack} + VI_{Rutting} \times W_{Rutting} + VI_{IRI} \times W_{IRI})}{3} \times 2 \quad (2)$$

여기서,

VI : 등급별 계수 값

W : 포장 파손별 가중치

위 식에서 VI값은 다중회귀분석을 이용하여 각 등급별 등급계수를 산출하였고 자치구 도로특성을 반영하여 보조간선도로와 이면도로에 각각의 가중치를 두었다. 다중회귀분석 시 만족할 종속변수를 구도SPI와 수정SPI의 R-square값으로 설정하여 상관성이 최대값으

로 설정될 때의 독립변수들의 값으로 결정하였다. 여기서, 독립변수는 균열율(Crack), 소성변형(Rut), 종단평탄성(IRI)에 대한 5가지 등급과 가중치를 적용하였다. 각각의 인자들의 등급계수와 가중치는 다음 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Visual Inspection Coefficient and Weighted Value for Each Grade

Minor artery road		A	B	C	D	E
Visual inspection coefficient	Crack	4.93	4	2.88	1.57	-5
	Rutting	4.7	4.3	3.41	2.25	-5
	IRI	4.19	3.08	0.87	-1	-5
Community road		A	B	C	D	E
Visual inspection coefficient	Crack	4.87	3.97	2.85	1.56	-3
	Rutting	4.69	4.3	3.49	-1	-3
	IRI	4.63	3.8	2.79	1.55	-3

Weight(W)

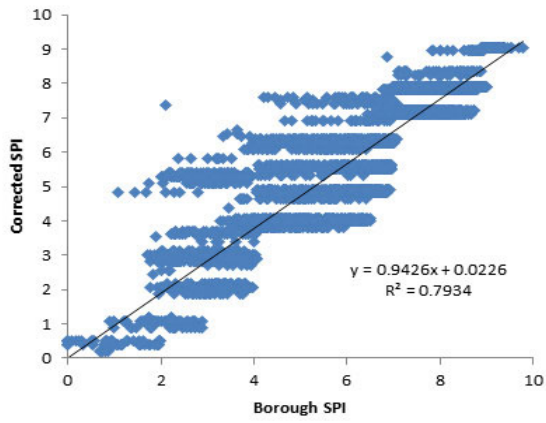
Crack		Rutting		IRI	
Minor artery road	Community road	Minor artery road	Community road	Minor artery road	Community road
1.12	0.69	0.33	0.38	1.55	1.92

산정결과 각각의 파손형태에 따른 가중치는 균열율, 종단평탄성에 비해 상대적으로 소성변형이 낮았다. 이는 자치구 도로 특성상 상대적으로 차차량이 이동이 적은 것을 고려해 볼 때 나타날 수 있는 결과라고 판단된다. 또한 위의 가중치들을 볼 때 이면도로의 균열에 대한 가중치 값이 보조간선도로보다 낮은 수치로 나타난다. 이것은 이면도로는 보조간선도로에 비해 교통량이 적어 피로균열에 대한 비중이 적은 영향으로 판단할 수 있다. 또한 이 등급계수는 보조간선도로를 기준으로 만들었던 계수들로서 이면도로의 교통량 및 설계두께 등을 고려해볼 때 SPI값이 높게 나타난 것이다. 따라서 이면도로의 수정SPI결과에 전체적인 감산 보정을 하였다. 수정SPI에 대한 보정 값은 다음 Table 4와 같다.

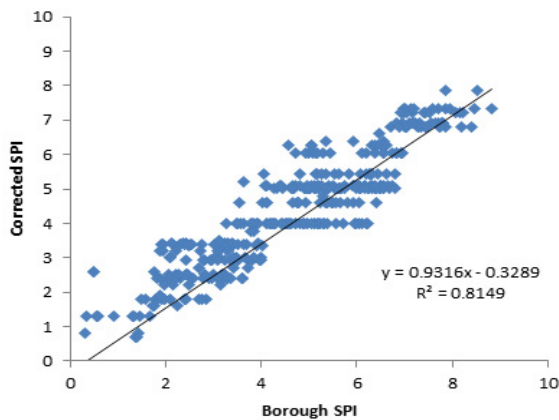
Table 4. SPI Correction of Community Road

Community road SPI	SPI correction
0~2	-1
2~6	-2
6~7	-1.5
7~10	-1

등급계수, 가중치, 이면도로의 보정을 적용한 동일구간의 비교결과는 Fig. 2와 같다.



(a) Minor Artery Road



(b) Community Road

Fig. 2 Comparison between Corrected SPI and Borough SPI

특정 구간의 조사결과에서 균열 및 소성변형 등 인자들에 대한 값이 (-)의 결과로 나타난 구간을 제외하여 나타낸 R-square가 보조간선과 이면도로에 각각 0.79, 0.81로 나타났으며, R-square와 추세선의 기울기를 볼 때 제안한 육안조사 등급기준을 통해 나타낸 수정SPI값과 구도SPI의 값이 어느 정도 높은 상관성을 나타내고 있다.

### 2.3. 기존 육안조사 구간의 데이터를 활용한 구도 SPI 예측

#### 2.3.1. 기존 육안조사 결과

표면상태 시범조사를 시행한 서초구의 조사구간 중 자동포장상태 조사장비를 이용하여 조사한 아스팔트 포장 도로는 69.25km이며, 육안조사구간은 아스팔트 콘크리트 포장, 시멘트 콘크리트 포장, 그리고 비포장도로 포함 총 연장 161.1km이다. 자동포장상태 조사장비를 이용한 구간이 실제 육안조사 구간에 대해 일부분 포함 되는 구간이 존재한다. Table 2에서 제안한 육안조사기

준의 등급별 구도SPI 범위의 적용성을 파악하기 위해 서초구의 육안조사 구간과 자동포장상태 조사장비 구간을 비교하여 확인하고자 한다. 조사구간의 연장 및 평균 포장상태는 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Average for Visual Inspection and Equipment Visual Inspection Zone

Division		Length (km)	Average	Research methods
Visual inspection	Pavement condition grade	161.1	B	Staff survey
Equipment inspection	SPI	69.25	4.96 (Minor artery road) 2.76 (Community road)	Equipment survey

장비조사구간의 시도SPI의 평균은 보조간선도로 4.96, 이면도로 2.76으로 비교적 특별시도 보수기준인 SPI=6에 비해 낮은 수준으로 나타나며, 이면도로는 보수기준의 50%에도 미치지 못하여 조사구간의 대부분이 유지보수가 필요하다고 할 수 있다(조병완 외, 2013). 반면에 장비조사 구간이 아닌 육안조사 등급의 평균은 B등급으로 A등급 157개소, B등급 2,722개소, C등급 1,685개소 D등급 343개소, E등급 78개소로 나타났다. C등급 이하를 보수기준으로 볼 때 평균적으로는 B등급을 나타내어 양호한 수준이나 C등급 이하인 구간이 전체 구간에 대해 약 42% 정도로 조사구간의 절반에 가까운 구간이 보수가 필요한 구간을 나타낸다.

시도SPI는 아스팔트 포장도로에 대한 포장상태 평가 지수이므로 조사 구간의 비교를 위해 서초구의 육안조사 구간 중 아스팔트포장 구간 125.8km, 장비조사구간 중 보조간선도로 구간 63.9km를 사용하였다. 장비조사구간은 시도SPI로 나타나는데 시도SPI를 포장상태 등급에 맞추어 5등급으로 나누어 육안조사 등급과 비교하였다.

그러나 육안조사구간에 대해 포장상태 조사장비 활용구간이 대부분 포함되기는 하나 두 구간의 총연장이 다르고 데이터의 기준이 다르다. 또한 조사단위의 연장은 장비조사구간 10m, 육안조사 구간은 각 등급별 연장이 일정하지 않다. 인력을 통한 육안조사와 장비를 활용한 육안조사를 비교하기에는 어려움이 있다. 따라서 두 구간 중 동일한 구간의 등급분포만큼의 가중치를 주어 두 구간을 동일한 구간의 조사를 진행한 것으로 가정하여 진행하고자 한다.

### 2.3.2. 조사구간의 비교를 위한 가정

조사 방식이 다른 두 구간의 비교를 위해 가중치를 주어 포장상태 장비조사구간을 두 구간의 차이만큼 증가시켰다. 이 때의 가중치는 구간 포장상태 평가가 가장 유사한 동광로 구간의 포장상태 조사장비구간 비율을 가중치로 사용하여 구간수를 보정하였다. 이는 동광로 구간을 완벽한 동일구간으로 가정하여 각 구간의 분포만큼 등급별 가중치를 주어 포장상태 장비조사구간의 연장을 증가시킨 것이다. 결과적으로 조사연장 및 범위가 일부 다른 두 구간을 조사결과가 가장 유사한 구간의 분포를 통해 일부 증가시켜 동일한 조사구간으로 가정한 것이다. 5단계의 등급을 고려한 대한 SPI범위 및 가중치를 둔 조사구간 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Comparison of Research Sections

Previous range	Visual inspection section		
	Num. of sections	Length (m)	Num. of sections (10m)
E(0~2)	28	671.08	67
D(2~4)	218	7225.73	722
C(4~6)	1491	43176.48	4317
B(6~8)	1941	67159.53	6716
A(8~10)	151	7044.54	704
Total	3829	125,277	12,526

Previous range	Equipment inspection section		
	Num. of sections(10m)	Weighted value	Num. of sections (10m)
E(0~2)	816	0.01	873.94
D(2~4)	1129	0.01	1206.25
C(4~6)	1817	0.17	2763.38
B(6~8)	2170	0.64	5743.05
A(8~10)	993	0.17	1939.38
Total	6,925	1	12,526

육안조사 등급별 비율을 비교한 결과는 Fig. 3과 같다.

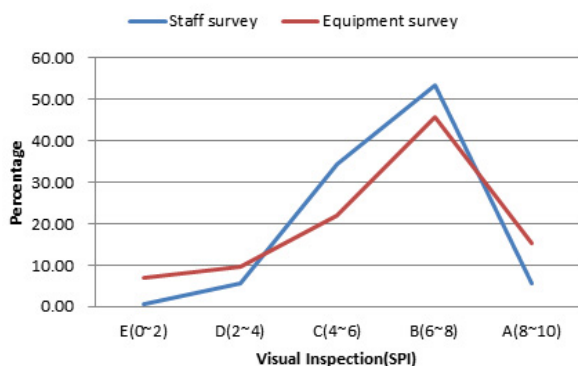


Fig. 3 Comparison of Survey Section

두 구간을 비교한 결과 유사성을 보이기는 하나 A와 C등급에서 비교적 큰 차이가 나타났다. 따라서 두 구간의 정확한 비교를 위해서 장비조사구간의 SPI 등급범위를 Table 2에서 제안한 육안조사 등급결정 범위표와 같은 SPI범위를 적용한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Equipment Visual Inspection Exchange Count for After Range change

Range correction	Visual inspection	
	Num. of sections (10m)	(%)
E(0~2)	67	0.53
D(2~4)	722	5.76
C(4~7)	4317	34.46
B(7~9)	6716	53.62
A(9~10)	704	5.62
Total	12,526	100

Range correction	Equipment inspection	
	Num. of sections (10m)	(%)
E(0~2)	873.94	6.98
D(2~4)	1206.25	9.63
C(4~7)	3909.38	31.21
B(7~9)	5464.05	43.62
A(9~10)	1072.38	8.56
Total	12,526	100

변경한 범위를 적용한 두 구간의 등급별 비율 비교결과는 Fig. 4와 같다.

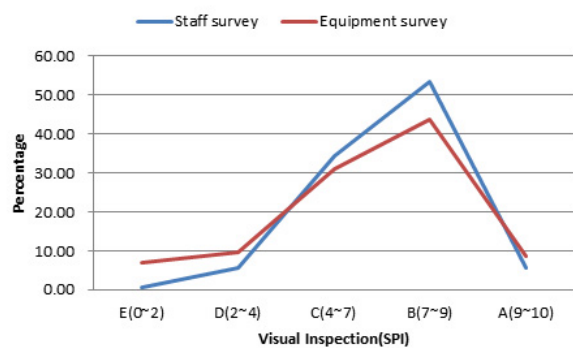


Fig. 4 Comparison with Research Sections after Range Correction

시도SPI의 범위를 수정한 결과는 유사한 상태로 나타났다. 이는 Table 2에서 제안한 육안조사 등급결정 범위표와 마찬가지로 시도SPI의 평가 범례를 고려해 볼 때 신설 포장의 경우 “SPI=8” 수준의 값을 나타내는데, 시도SPI의 평가 체계에서 최상위 점수범위는 실제로 존재하는 경우가 드물기 때문이다.

### 2.3.3. 포장상태 예측지수 개발

현재 자치구의 특성상 포장상태 조사장비를 이용한 정확한 포장상태 조사는 어렵다. 따라서 기존의 데이터를 최대한 활용하여 유지보수를 진행하기 위해 통계적 방법을 이용하여 SPI를 예측하고자 한다. 기존 육안조사구간과 본 연구에서 개발한 구도SPI를 이용하여 유지보수를 결정하기 위해 육안조사구간에 대해 이 모형은 시뮬레이션(Monte carlo Simulation)을 활용하였다. 이 몬테카를로 기법은 확률적 오차한계(Probabilistic Tolerance)를 나타내는 도구로서, 정규 분포 함수로 표현할 수 있는 일련의 적은 수의 표본 집단에서 난수를 발생시킨 뒤 기존 표본함수에 대응시켜 실제로 발생할 수 있는 상황의 통계적인 분포를 다수의 표본을 산출하여 표본의 모집단의 통계량에 가깝도록 재현하는 방법이다(최성웅 외, 2004).

육안조사구간은 새롭게 제안한 육안조사 등급기준을 이용해 나타낸 것이 아닌 이전의 전반적인 포장상태 등급을 나타낸 것으로 표본이 없어 구도SPI예측과 같은 예측식을 산출하기는 어렵다. 따라서 통계적 방법으로 접근하여 몬테카를로 시뮬레이션을 진행하였으며 이 방법을 통해 장비조사구간의 구도SPI의 확률분포를 통해 평균과 표준편차를 이용하여 육안조사구간의 등급범위에 적용하여 난수(Random Number)를 생성하였다. 각 등급마다 난수는 구도SPI의 분포를 통해 입력된 것으로 적은 수의 표본인 장비조사구간으로부터 모집단의 통계량에 가까운 다수의 표본을 산출한 것이다. 따라서 실제로 발생할 수 있는 상황의 통계적인 분포를 재현하여 통계적인 방법으로 등급에 대한 구도SPI값을 나타낸 것이다.

여기서 나타낸 Random Number SPI는 바로 적용이 가능하나 정확한 포장상태 조사로 나타낸 결과가 아니다. 따라서 이 Random Number SPI를 이용하여 향후 유지보수 구간을 선정하기 위해서는 현재를 기준으로 설

정이 가능하며, 똑같이 몬테카를로 시뮬레이션을 진행하더라도 값의 차이가 생긴다. 따라서 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 나타낸 결과를 기준으로 하여 육안조사구간의 등급을 통해 대략적으로 포장상태를 예측할 수 있는 예측지수 PI(Prediction Index)를 만들어 내었다. PI(Prediction Index)의 산정기준은 Table 8과 같다.

PI(Prediction Index)는 포장상태 등급을 이용하여 산정하기 위해 교통량과 포장재료, 이전 국부적인 보수이력을 감안하여 육안조사 등급점수에 가감을 시켰다. 이것은 대략적으로 설정된 것이긴 하나 등급에 대해 추가적인 환경적 요인들을 고려한 것으로 기존 등급보다는 유지보수 구간 및 시기 선정 시 비교적 효율적인 적용이 가능하다. 또한 서초구의 도로환경 및 기존 도로의 유지보수 내역을 통해 주된 파손원인을 고려한 인자를 적용한다면 효율적인 예측지수 산정식으로 활용할 수 있을 것이다.

육안조사 등급점수는 구도SPI 등급범위의 최대값으로 설정하였으며 이는 육안조사로 나타낸 최대점수에서 교통량과 포장재료, 보수이력을 고려하여 육안조사 시 더 많은 인자를 고려해주는 것이다. 교통량에서는 3가지 척도를 고려하여 많음, 중간, 적음으로 감산기준을 잡았고 교통량이 많아 발생하는 피로균열에 대한 특성을 반영하였다. 포장 재료에서는 소성변형을 고려하여 아스팔트 콘크리트 포장에서는 감산 1점을, 콘크리트 포장에서는 소성변형이 발생하지 않아 0점으로 설정하였다. 또한 보수이력은 육안조사 해당도로의 국부적인 보수가 보이지 않을 경우 가산 1점을, 국부적 보수(패칭, 균열보수재 사용 등)가 있을 경우 0점으로 선정하였다.

선정된 PI의 적용가능성을 검토하기 위해서 이 모형을 시뮬레이션(Monte carlo Simulation)을 통해 나타낸 Random Number SPI와 상관성을 비교한 결과는 Fig. 5와 같다.

Table 8. PI(Prediction Index) Factor and Equation

Visual inspection grade value (VI)		Traffic factor (T)		Material factor (M1)		Maintenance factor (M2)	
A	10	H	1	As	1	Repair history O	1
B	9						
C	7	M	0.5	Con'c	0	Repair history X	0
D	4	L	0				
E	2						

PI(Prediction Index) equation

$$VI = (T + M1 - M2)$$

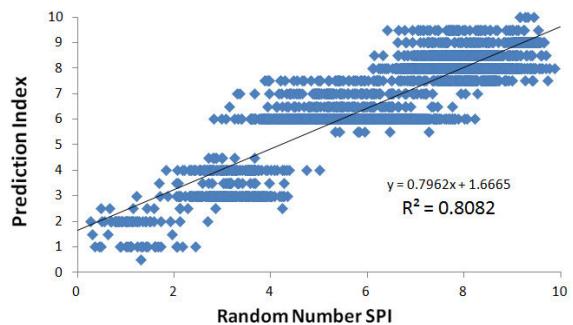


Fig. 5 Correlation of PI(Prediction Index) and Random Number SPI

PI와 Random Number SPI와의 상관도는 R-Square가 0.81로 높은 수준으로 나타났으며 Random Number SPI는 구도SPI의 평균과 표준편차를 통해 나타낸 Random Number이므로 이 결과를 통해 통계적으로 제안 SPI와의 상관성이 있다고 할 수 있다. 이 PI를 통해 향후 보수기준에 맞는 잔존수명을 예측하였으며 예측 식은 다음 Eq. (3)과 같다.

$$Remaining\ Life = \frac{PI - 6}{Material\ Reduction\ Factor} \quad (3)$$

여기서, 포장 재료 감소계수는 아스팔트 포장인 경우 연간 수명을 고려해 볼 때 보수기준 SPI 6에 도달하는 시점이 6~7년으로 나타난다. 따라서 아스팔트 포장의 감소계수는 연간 0.5로 산정하였고 콘크리트 포장에 대해서는 아스팔트보다 내구성이 뛰어나고 수명이 긴 것을 고려하여 연간 0.3으로 설정하였다.

따라서, 육안조사 시 등급결정과 함께 교통량과 포장 재료, 보수이력을 함께 고려하여 나타낸 PI로 해당구간의 잔존수명을 예측할 수 있을 것이다.

### 3. 결론

수정SPI와 구도SPI를 비교한 결과 Fig. 4와 같이 상관도가 높은 수준으로 나타난다. 비교대상인 이 구간은 포장상태 조사장비를 이용하여 조사한 구간으로 동일한 인자들을 통해 구도SPI를 나타냈으며 같은 인자들이 이용한 육안조사에서 수정SPI로 나타난 결과의 상관도가 매우 높은 수준이다. 이는 구도SPI의 공용성 모형을 적용한 새로운 육안조사 기준표인 Table 2의 활용이 가능한 것으로 판단된다. 또한 육안조사 구간에 대해 향후 보수 결정을 위한 잔존수명을 예측하기 위해서 나타낸 PI(Prediction Index)와 Random Number SPI의 상관도 또한 Fig. 4와 같이 높은 수준으로 나타난다. PI는 예측 지수로서 간단히 포장의 포장상태를 육안조사를 통해 지수로 예측한 값을 나타낸다. 이와 비교한 Random Number SPI는 구도SPI의 평균과 표준편차를 적용한 몬테카를로 시뮬레이션(Monte carlo Simulation)을 통해 나타낸 난수이므로 통계적으로 구도SPI의 분포특징을 가지고 있는 난수이다. 따라서 PI는 간단히 예측한 지수이기는 하나 육안조사구간에 대해 등급(A~E)으로 나타낸 대략적 포장상태를 조금 더 자세히 비교가 가능하도록 숫자로 표현한 것이다. 유지 보수 기준은 SPI=6을 기준으로 계산하여 잔존수명에

따른 보수를 실시하여야 하는 구간으로 판단할 수 있다.

결과적으로 예산의 부족으로 인한 장비조사가 어려운 경우 Table 2의 육안조사 기준을 적용하여 유지보수 여부를 결정할 수 있다. 기존 관할 도로의 인력 조사 데이터를 활용할 경우는 Table 8에서 제안한 포장상태지수 예측 값을 통해 유지보수를 진행할 수 있다.

본 연구를 통하여 제안된 평가를 포장상태 장비조사가 어려운 구간에 적용한다면 기존의 도로담당자의 정성적 육안조사 방법에 의한 평가결과보다 유지보수 시기 및 구간을 선별함에 있어 객관적이고 합리적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

### Acknowledgement

The authors would like to thank the support for a R&D project(No. R0005668) funded by Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT).

### REFERENCES

- Choi, Sung Oung. Chung, So Keul., 2004. Assessment of RMR with the Monte Carlo Simulation and Stability Analysis of Rock Slopes, Journal of Korean Society for Rock Mechanics, Vol. 14. 97-107.
- Jo, Byung Wan. Han, Sang Joo., 2003. The Study on PMS System Development for Effective Asphalt Pavement Maintenance & Rehabilitation, International Journal of Highway Engineering, Vol. 5. 19-34.
- Kim, Jang Rak. Lee, Sang Yum. Mun, Sung ho., 2014. Pavement Maintenance System Through using the Permutation Algorithm, International Journal of Highway Engineering, Vol. 16. 67-72.
- Lee, Sang Yum. Bae, Yoon Shin. Kwon, Young Chan. Kim, Jong Ho., 2015. A study for Pavement Smoothness Index Reflecting Urban Road Characteristics, Journal of The Seoul Institute Vol. 2. 129-145.
- Seoul Metropolitan Government, 2013. Final report of Seoul Metropolitan Government pavement condition evaluation project, 84-87.
- S.H Tech & Policy Institute, 2016, Development of Urban Infrastructure Asset management system(Pavement).
- Sim, Gwang Sic. Kim, Jae Yun., 2012. The Development of the DEA-AR Model using Multiple Regression Analysis and Efficiency Evaluation of Regional Corporation in Korea, Korean Operations Research And Management Society, Vol. 37. 29-43.
- Son, Hyeon Jang. Kwon, Soo Ahn. Lee, Jae-Jun. Back, Cheol Min. Lim, Jae kyu. Sin, Hyun Jin., 2013. A Study for Determining the Rehabilitation Method Group using NHPCI on Asphalt Concrete Pavement of National Highway, International Journal of Highway Engineering, Vol. 15. 1-9.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2003, "Distress Identification Manual".