

서울시도 SPI를 활용한 서초구 도로포장상태 평가모형 개발

이상염^{1*}, 박미연², 김군태³

¹인덕대학교 건설정보공학과, ²승화기술정책연구소, ³한국건설기술연구원 건설시스템연구센터

Development of Seocho Borough Pavement Condition Evaluation Model based on Seoul Metropolitan SPI

Sang-Yum Lee^{1*}, Mi-Youn Park², Kyoon-Tai Kim³

¹Construction Information Engineering, Induk University

²Research Center, S.H Tech & Policy Institute

³Construction System Research Center, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

요약 서울시도의 경우 자치구 관할 도로에 비해 관리상의 중요도에 차이가 있고, 교통량 및 포장두께가 다르며 도로파손으로 인한 포장상태 저하율이 상이하기 때문에 기존 서울시도의 엄격한 관리기준을 자치구도에 적용하는 것은 바람직하지 않다. 본 연구에서는 서초구의 한정된 도로포장 유지보수 예산으로 보다 합리적이고 효율적인 포장상태 평가 및 관리를 위해 서울시도 PMS(Pavement Management System) 체계인 SPI(Seoul Pavement Index) 평가방법에 기반 하여 자치구도 포장평가방안을 제시하였다. 기존 시도SPI의 주요 변수인 균열율(Crack), 소성변형(Rutting), 평탄성(IRI)에 대한 관리기준을 구청 도로관리 기준에 맞도록 완화시키고, 제안한 각각의 포장파손 공용성 모형에 적용하여 포장상태계수를 산정하였으며, 또한, 설계 시 공용성과 실제 공용성과의 차이점과 함께 준공 시 도로포장 상태도 반영되도록 수정하였다. 최종적으로 서초구 포장종합평가 모형식은 서울시의 모형식과 동일하게 각각의 공용성 항목인 균열, 소성변형, 평탄성을 동등한 비율로 설정하여 도로포장의 전체 공용성에 영향을 주도도록 설정된 제안 SPI를 개발하였다. 따라서 시도SPI보다 완화된 기준 및 설계와 시공현장상태를 반영한 구도SPI를 활용한다면 보다 합리적인 서초구도 포장의 합리적인 유지보수를 시행할 수 있을 것이다.

Abstract Adapting the maintenance criteria of Seoul City pavement is not applicable for borough pavement due to differences between the pavement of Seoul city and the borough, such as priority of maintenance, traffic volume, thickness of pavement, and pavement deterioration rate by distresses. To develop an efficient and reasonable evaluation method of the Seocho borough pavement condition within a limited budget, this study suggested the borough pavement condition evaluation model based on the PMS (Pavement Management System) of Seoul Metropolitan SPI (Seoul Pavement Index). The SPI was modified to predict the remaining life and determine the proper maintenance method for the pavement in Seocho borough. This was suggested to reflect the rate of the designed performance life and field performance life of pavement as well as the pavement condition at the stage of the completion of construction. Primary variables, such as crack, rutting and IRI in the final model affect the overall performance life due to their even composition. Therefore, the suggested model considering the lowered criteria, design performance factor, and construction factor can be used for the more efficient maintenance of Seocho borough pavement.

Keywords : Crack, IRI(International Roughness Index), PMS(Pavement Management System), Rutting, SPI(Seoul Pavement Index)

본 논문은 한국산업기술평가관리원(Korea Evaluation Institute Industrial Technology, KEIT) 및 한국건설기술연구원 개방형연구 활성화사업(건설정책연구소)(20160147-001)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sang-Yum Lee(Induk Univ.)

Tel: +82-2-950-7587 email: yummy0220@induk.ac.kr

Received October 13, 2016

Revised (1st October 24, 2016, 2nd October 27, 2016)

Accepted November 10, 2016

Published November 30, 2016

1. 서론

현재 서울시에서는 총 연장 8,172km에 해당하는 방대한 규모의 도로포장 유지관리를 효율적으로 수행하기 위하여 포장관리시스템(Pavement Management System; 이하 PMS라 함)을 도입하여 매년 자동 포장상태 조사장비를 이용한 조사 후, 자체 개발한 정량화 등급지수인 SPI(Seoul Pavement Index)에 따라 포장상태를 평가하고 있다. 또한 도로의 포장상태 조사를 위한 추가적인 인력과 장비 사용 및 조사결과 분석 등에 별도의 예산을 배정하고 있다. 그러나 도로포장 유지관리 예산이 비교적 적은 자치구의 경우에는 특별시도와 같은 수준으로 도로포장상태 평가업무를 수행하기에는 무리가 있다. 또한 기존의 SPI를 이용한 도로포장상태 평가는 서울시를 기준으로 만들어졌기 때문에 자치구 적용에는 어려움이 있다. 즉, 서울시 관할 도로와 자치구 관할 도로에 대한 관리상의 중요도(도로관리등급)에 차이가 있고, 교통량 및 포장두께가 다르며 그로인한 도로파손으로 인한 포장상태 저하율(Deterioration Rate)이 상이하다. 따라서 서울시의 관리기준은 자치구에 비해 상대적으로 엄격하므로, 이를 그대로 자치구도에 적용하는 것이 적합하지 않을 수 있다. 따라서 자치구도에 적합한 포장상태 평가모형 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 서울특별시 내의 자치구중 2015년 현재 전체 도로면적 기준 상위 3개 구인 강남구, 서초구, 송파구 중 도로율(도로면적을 시가화면적으로 나눈 값)이 가장 높은 서초구에 대해서 조사를 실시하였다[1]. 특히 서초구(24.76%)는 강남구(23.45%)와 송파구(20.31%)에 비해 고속도로 및 일반국도 등 넓은 면적의 다양한 등급별 도로들을 포함하고 있어 서울시도의 특성 반영이 타 자치구 대비 유리할 것으로 판단되었다. 또한, 조사범위는 서초구 관할 도로 중 구도 포장관리 대표구간(보조간선도로 63.9km, 이면도로 5.35km)을 선정하여 포장상태 자동조사장비로 조사된 구간을 선정하였다. 따라서 서초구 관내 대표구간 포장상태 평가결과를 활용하여 서초구 환경에 적합하도록 기존의 평가지수를 개선하였다. 즉, 서울시 SPI에 기반하여 서초구 도로의 특성이 반영된 포장상태 평가지수와 모형을 개발하는데 목적이 있다.

2. 본론

2.1 SPI(Seoul Pavement Index) 개요

포장관리시스템(PMS)은 객관적인 포장상태 조사자료를 바탕으로 정책결정자에게 필요한 정보를 제공함으로써, 합리적인 유지보수 의사결정을 내릴 수 있도록 지원하는 시스템이다. 미국 워싱턴 주와 캘리포니아주의 경우 1970년대 PMS를 도입 후 도로포장 개선에 큰 효과를 보았으며 매년 도로포장에 대한 전수조사를 실시하고 있다[2].

이와 같이 국내에서도 효율적인 도로관리를 위한 PMS의 운영으로 국내 도로관리기관들은 포장상태 조사 분석 및 평가를 실시해오고 있다[3]. 국도의 경우 NHPCI(National Highway Pavement Condition Index)를 사용하며 고속도로의 경우 HPCI(Highway Pavement Condition Index), 공항도로는 PCI(Pavement Condition Index)등을 사용하고 있으며 서울특별시는 SPI를 사용하고 있다. 이와 같이 도로포장상태를 정량화한 평가모형의 세부 지수 값은 다르나, 기본적으로 포장표면에 발생한 균열, 소성변형, 종단평탄성(International Roughness Index; 이하 IRI라 함) 등 도로포장 상태평가에 사용되는 3가지 결함 인자는 동일하다[4].

서울시에서는 고유의 포장상태지수를 개발하여 도로포장의 등급을 정량화하여 지수로 관리하고 있다. SPI는 0~10으로 구분되는데 10에 근접할수록 이상적인 포장상태를 의미한다. 신설도로포장에서 초기 SPI는 8.0~9.0이며, 유지보수대상의 SPI는 6.0 이하로 결정하고 있다. 여기에서 SPI는 각각의 결함별 지수를 우선적으로 산출하고, 산출된 지수를 종합하여 종합포장파손지수(PDI)를 구해낸 후 최종적으로 포장상태를 객관적으로 평가할 수 있는 서울시 포장평가지수인 SPI가 계산된다[5].

서울시에서 자체적으로 개발 및 사용 중인 도로 포장상태 평가 모형인 SPI는 2단계로 구분되어 개발, 개선되었다. 특히, SPI지수는 포장의 상태를 10점을 만점으로 평가하여 정량화한 값으로, 포장상태 평가 결과 임의의 구간에 대한 지수가 일정 수치 이하로 하락할 경우 보수를 실시할 수 있도록 기준을 제시하고자 개발되었다. 그러나 초기 SPI 모형은 지수 값과 실제 현장 포장 상태의 차이가 있다는 단점을 가지고 있었다. 예를 들어 SPI가 현재저기 낮은 상태로 평가되어 보수시기가 경과 하였음에도 현장의 포장상태는 시각적으로 매우 우수할 수 있다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 2013년에 서울시에서는 자체적으로 이 모형을 개선했다.

2013년 개선된 SPI 모형은 포장상태, 도로등급, 보수

연장을 고려하여 보수우선순위 결정기법을 활용했다는 면에서 PMS의 효율성을 개선하였다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 이 모형은 서울시에 대하여 제시한 보수 기준으로 개발되었기 때문에 자치구 단위 도로에 적용 시 정확성과 효율성이 저하될 수 있다는 문제점이 있다. 이와 관련하여 SPI 모형에 대한 문제점 및 보완점이 해결되고, 서초구의 환경에 적합한 새로운 모형이 개발되어야 할 필요성이 제기되고 있다.

2.2 기존시도 SPI의 구 단위 적용 시 문제점

SPI는 포장의 균열율(%), 소성변형(mm), 종단평탄성(m/km)의 파손상태를 종합하여 지수로 나타낸 것이다. 초기 개발된 SPI는 "SPI=5"를 보수기준으로 설정하여 각각의 3가지 인자들을 종합 평가하여 나타내었다. 그 이후 기존의 계수를 변경하여 개선된 SPI는 "SPI=6.0" 이하 구간을 보수대상 기준으로 설정하였으며 "SPI=6.0"에 해당하는 단일 파손량의 값과 산출 식은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. SPI Equation and Maintenance Criteria

Defect	Equation		Maintenance Criteria
Crack	10-(1.667*Cr0.38)		10%
Rutting	10-(0.267*RD)		15mm
IRI	Urban expressway	10-(0.8*IRI)	5m/km
	Arterial road	10-(0.727*IRI)	5.5m/km
	Minor artery road	10-(0.667*IRI)	6m/km

전체적인 SPI 산출에서는 정확한 서울시 노선별 교통량을 확보할 수 없다는 단점을 보완하기 위해 교통량에 대한 보정함수를 추가하였다. 실제 보수기준 "SPI=6.0"은 세 종류의 파손이 복합적으로 적용되어 도로포장 유지보수가 필요한 시점을 나타낸다. 보정함수와 그에 대한 계수는 다음 Table 2와 같다[6].

Table 2. SPI Road Factor and Maintenance Scale Coefficient

Road Coefficient(K1)			
Road Factor	Urban expressway	Arterial road	Minor artery road
K1	0.32	0.11	0
Maintenance Scale Coefficient(K2)			
Maintenance Scale Factor	0.5km Below	0.5~1.0km	More than 1km
K2	1.0	0.990	0.980

$$SPI^* = (SPI - K_1) \times K_2$$

그러나 이 모형은 다음과 같은 단점이 있다.

- ① 기존 함수를 그대로 반영했기 때문에 설계 및 개방 초기 포장 상태를 반영할 수 없다.
- ② 미지수가 개발자의 선택에 의해 산정되었기 때문에 실제 서울시의 유지관리기준을 적용한 경우 오차가 있다.
- ③ 교통 개방 초기의 현장상태를 반영하지 못한다. 이는 시공 초기에 비해 어느 정도 열악해졌는지를 가늠할 수 없다.
- ④ 국제 평탄성지수의 완벽한 시공 조건인 1.18m /km를 반영할 경우 SPI지수는 5점 이하로 평가된다.
- ⑤ 전체 SPI가 10점 만점으로 표현되었으나, 실제 완벽한 도로에도 10점을 나타내지 못한다.
- ⑥ 서울시 기준만 적용된 모형으로 환경적 요소를 반영할 수 없기 때문에 각 자치구와 같은 다양한 환경에 적용할 수 없다.
- ⑦ 시도SPI를 이용함으로써 과거 데이터가 신뢰성이 있다는 가정 하에 만들어졌다.

따라서 기존의 함수를 수정함으로써 개선된 사항은 다음과 같다.

- ① 과거의 다양한 경험적, 이론적, 현장의 데이터를 반영했기 때문에 SPI에 대한 신뢰성을 상당히 높였다.
- ② 도로등급계수 및 보수규모계수를 반영함으로써 실제 보수에 대한 가산을 주어 현실적인 SPI가 나오도록 했다.
- ③ 도로특성을 구분함으로써 포장상태에 대한 적용을 실시했다.
- ④ 유지보수 기준에 대한 변경사항을 반영했다.

2.3 구 단위 적용 가능한 SPI 제안

2.3.1 기본 모형식

현재 서울시에서 사용하는 SPI를 활용하는 경우 포장상태가 완벽하여 물리적으로 이상이 없더라도 10점으로 평가될 수 없는 함수식을 사용하고 있다. 예를 들어, 현재 국내에서 사용하고 있는 IRI 함수식은 다음 식(1)과 같다.

$$IRI = 1.18 + 0.066Age + 0.08RD + 0.05FC \quad (1)$$

여기서, 공용연수(Age)가 0인 직전 시공된 구간에서 소성변형(Rut Depth, RD)과 피로파괴(Fatigue Crack, FC)가 없다면 RD=0, FC=0이다. 그럼에도 불구하고 IRI값은 1.18m/km값을 갖는데 이 값을 그대로 적용해 PDI 및 SPI를 산출해도 9.2점의 상태로 기존 점수보다 0.8점 누락된 포장상태 평가점수로 평가된다. 현실적인 평가점수는 포장 초기값을 10점 만점으로 한다면 10점을 나타내야 한다. 그렇다면, 어떻게 시공을 해야 결함이 발생하지 않도록 하여 포장상태를 10점으로 나타낼 수 있는가에 대한 의문이 있을 수 있다. 현실적으로 완벽한 평탄성을 갖도록 시공을 하더라도 실제 평탄성 인자가 0인 값을 가질 수 없다는 것을 의미한다. 즉 완벽한 상태에 대한 평탄성 인자 값이 0이 아닌 것이다.

또한 한국형포장설계법(Korea Pavement Research Program; 이하 KPRP라 함)의 파손모형을 통해서 시공 후 시간의 경과에 따라 공용성이 어느 정도 저하될 것을 감안하여 설계한다면 시공구간의 포장 유지관리 계획도 함께 결정해야 한다. 그러나 현재 사용하고 있는 식으로는 위와 같은 공용성에 대한 부분이 이론적으로 누락된 상태이다.

제안 식에서는 공용연수와 그에 대한 포장유지능력점수를 반영하였으며 Crack Index같은 경우는 다음 식(2)와 같다.

$$C_d = \frac{f(Age_{(Present)})}{f(Age_{(Performance)})} \quad (2)$$

f함수는 한국형포장설계법과 관련된 공용성 평가 결과이다. 그러나 이 함수는 한국형 포장설계의 공용성 결과와 관련될 뿐 실제 값을 사용하지 않는다. 한국형 포장설계법의 반영은 설계에 대한 반영만을 의미하기 때문이다.

포장의 공용성 모형은 포장구조설계의 주요 인자로 구조해석 모형을 통해 포장체의 거동특성을 확인하여 포장의 설계수명을 예측할 수 있도록 한다[7]. 또한 파손유형별 공용성 모형은 역학적 실험을 통해 아스팔트 포장의 거동을 예측하기 때문에 온도, 응력, 아스팔트 공극률 변화에 따른 파손모형을 직접 산정한다[8]. 그러나 실제 도로포장의 파손은 여러 가지 환경적 요인에도 영향을 받게 되므로 인접구간임에도 불구하고 포장 두께가 다르거나 또는 잦은 유지보수로 인해 서로 다른 물성을 나타낼 수 있다.

따라서 실제 구 도로 포장의 특성을 고려한 본 연구에서는 아이디어 단계로 함수식 $\eta_d \ln(Age)$ 를 가정하여 사용하였다. 위 C_d 함수식의 분모는 결국 해당 측정을 실시하는 현재의 예측 공용성 결과에 대한 Crack Index를 나타내며, 분자는 현재 측정된 Crack Index를 나타낸다. 결국 예측한 현재 포장상태에 비해 실제 포장이 어느 정도 성능을 나타내고 있는가에 대한 평가도 가능하다는 것이다.

기존 SPI 모형의 경우 현재 포장의 상태만 반영할 뿐 과거 설계 혹은 시공시의 환경은 고려하지 않는다는 문제를 가지고 있다. 제안 식은 포장 설계뿐만 아니라 e_0 라는 설계 초기 환경을 덧붙여 설명하기 때문에 시공 상태 및 현장 여건을 반영할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

따라서 균열이 존재 하더라도 포장유지관리의 계획여부를 예상하여 반영할 수 있으며, 포장평가점수에 대해 가산된 점수를 부여할 수 있게 된다. 결론적으로 이 제안식의 특징은 다음과 같다.

- ① 현실적인 점수를 반영하여 포장 평가지수를 10점 만점으로 평가할 수 있다.
- ② 포장 공용수명과 함께 현재 상태를 설계 및 시공 상황에 반영하여 평가할 수 있다.
- ③ 포장유지관리와 관련된 정확한 계획 수립에 기여가 가능하다.

이를 통해 개발한 제안 모형 식은 다음 Table 3.과 같다.

Table 3. Suggested Pavement Condition Model

Defect	Equation
Crack	$SPI1 = 10 - a_1 C_d^{b_1} + \zeta_1 C_d \pm \beta e_0$
Rutting	$SPI2 = 10 - a_2 RD + \zeta_2 RD_d \pm \beta e_0$
IRI	$SPI3 = 10 - a_3 IRI + \zeta_3 IRI_d \pm \beta e_0$

각각의 포장파손 상태 인자를 고려하여 제안한 서초구 포장 종합 평가 모형 식은 다음 식(3)과 같다.

$$SPI = 10 - PDI \quad (3)$$

$$= 10 - [(10 - SPI1)^{n_1} + (10 - SPI2)^{n_1} + (10 - SPI3)^{n_1}]^{\frac{1}{n_2}}$$

제안한 모형에는 현재까지 있는 데이터를 활용하여 계수 산정하였다. 각각 오른쪽 항의 ‘10.’이후의 함수는

포장유지관리 기준에 따른 함수식을 나타내고, 아래첨자 d 가 들어간 항은 설계(design) 공용성에 대한 것을 의미하며, 마지막 e_0 항은 현장의 상태를 반영하는 것을 의미한다. 따라서 제안된 종합평가 모형식은 전반적인 유지관리기준, 설계 공용성 만족여부, 현장 시공상태를 반영할 수 있다.

균열에 대한 Index의 경우 서초구내 교통량을 감안하여 시도SPI 보수기준인 10%에서 기준을 12%로 완화하였고, 소성변형에 대한 Index는 PMS기준을 나타내는 함수의 계수를 반영한 국토교통부에서 제시하는 2등급 국도 설계기준과 서울시에서 초기 개발한 SPI의 계수 산정 기준의 중간 값인 19mm를 사용하였다. 평탄성에 대한 Index는 시도SPI의 등급별 각각의 기준치에 따라 보수기준인 6m/km에서 이면도로를 함께 고려하여 6.5m/km로 완화하였다.

2.3.2 포장상태 계수 산정

구도로 포장상태에 대하여 지속적인 조사 평가가 시행되지 않았기 때문에 우선적으로 시도SPI와 유사하게 구도SPI의 개별 파손별 공용성능이 저하된다는 가정 하에 Table 3에서 제안한 포장상태별 공용성 모형에 Table 4의 보수기준을 적용하였다.

Table 4. Maintenance Criteria Metropolitan SPI and Borough SPI

Defect	Seoul Metropolitan SPI	Seocho Borough SPI
	Maintenance Criteria	Modified Maintenance Criteria
Crack	10%	12%
Rutting	15mm	19mm
IRI	6m/km	6.5m/km

변경된 보수기준을 적용하여 포장상태별 공용성 모형에 적용할 계수를 다음 Table 5와 같이 산정하였다.

Table 5. Borough SPI Coefficient 1

Coefficient 1	value
a_1	10.0607
b_1	0.3
a_2	0.453
a_3	0.897

2.3.3 설계 공용성 계수 산정

설계 공용성에 대한 미지수의 결정은 다음의 식 (4), (5), (6)과 같은 포장 공용성 기본식에 따른다.

$$C_d = 1 - \frac{f(Age_{(Present)})}{f(Age_{(Performance)})} \quad (4)$$

$$RD_d = 1 - \frac{f(Age_{(Present)})}{f(Age_{(Performance)})} \quad (5)$$

$$IRI_d = 1 - \frac{f(Age_{(Present)})}{f(Age_{(Performance)})} \quad (6)$$

여기서, 분자는 각 파손별 현재의 공용성 조사결과를 나타내고, 분모는 한국형포장설계법(KPRP)의 분석에 의해 예측된 공용성으로 설계시 반영하는 함수이다. 기본 제안식에 따라 예측공용과 조사결과와의 현재 공용성능이 같다면 가산점이 없고, 더 높게 나타내고 있는 경우는 1점의 가산을 줄 수 있다. 그 반대의 경우는 오히려 더 감산될 수 있다. 다음 Table 6의 공용성 함수는 일반적인 변화를 나타낼 수 있는 log 함수로 가정하였다.

Table 6. Pavement Performance Equation

Defect	Equation
Crack	$C_d = \gamma_1 \log_{(Age+1)}(Age+1)$
Rutting	$RD_d = \gamma_2 \log_{(Age+1)}(Age+1)$
IRI	$IRI_d = \gamma_3 \log_{(Age+1)}(Age+1)$

여기서, γ 값은 설계의 공용수명에 따른 한계 값을 나타내기 때문에, 설계 시 결정된 공용수명에 따라 다른 값을 갖는다. 그러나 본 연구에서는 공용수명 10년을 기준으로 계수를 산정했기 때문에 미지수를 결정하기 위한 이 단계에서도 균열에 대한 설계 제한 값인 20%, 소성변형의 공용 설계 제한값 13mm, IRI의 공용 설계 제한값 3.5m/km를 반영하여 다음 Table 7과 같이 각각의 γ 값을 얻을 수 있었다.

Table 7. Borough SPI Coefficient 2

Coefficient 2	value
γ_1	0.2
γ_2	1.3
γ_3	2.32

이 설계값은 실제 설계 시 예측한 공용성에 비해 포장 이 어느 정도 성능을 발휘하고 있는지를 반영하기 위한

값이다. 따라서 설계에 대한 미지수 ζ 값은 현재(Age)에 측정한 공용을 그대로 발휘하고 있다는 가정 하에 가산을 반영하도록 하였다. 이 값은 개발자의 결정에 따라 변경이 가능하지만, 본 연구에서는 초기 제안단계이기 때문에 설계에 대한 가산을 1점으로 준다는 가정과, 설계 시 예측한 공용에 비해 최소 1/4배까지 성능을 발휘할 수 있다는 가정 하에 이 ζ 미지수를 산정하였고 따라서 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ 모두 1이 된다.

2.3.4 시공 계수 산정

마지막으로 시공에 대한 값 역시 가산을 1점으로 준다는 가정과 초기상태는 균열과 소성변형이 발생되지 않고 완벽한 평탄성을 유지하여 1.18m/km를 나타낸다는 가정 하에 미지수를 산정하여 각각의 e_0 값은 다음과 같은 식(7)에 나타났다.

$$e_0 = 1 - \frac{\text{present}(CI) \text{ or } (RD) \text{ or } (IRI - 1.18)}{\text{restrict}(CI) \text{ or } (RD) \text{ or } IRI} \quad (7)$$

이는 현재 측정된 각 값들이 서초구에서 제한한 값들에 비해 정확한 성능을 발휘하고 있다면 양의 수로 1이하의 가산을 주고, 이 이상이면 감산한다는 의미를 갖는다. 만약 도로가 균열의 경우 17.5%기준의 2배 이상 발생하면 감산은 1점 이상이 된다. 이는 현장의 상태를 크게 반영한다는 것을 의미한다. 따라서 Table 3의 기본모형식의 β 값은 1로 정의 된다.

2.3.5 종합평가 모형식

결과적으로 기본모형식에서 포장상태 계수와 설계 공용성 계수, 그리고 시공 계수를 반영하여 나타난 종합평가 모형식은 다음 Table 8과 같다.

Table 8. Final Suggested Model

Defect	Equation
Crack (SPI1)	$10 - 10.0607C^{0.3} + (1 - \frac{C}{0.21 \log_{(Age+1)}(Age+1)}) + (1 - \frac{C}{0.175})$
Rutting (SPI2)	$10 - 0.453RD + (1 - \frac{RD}{1.3 \log_{(Age+1)}(Age+1)}) + (1 - \frac{RD}{1.9})$
IRI (SPI3)	$10 - 0.897IRI + (1 - \frac{IRI}{2.32 \log_{(Age+1)}(Age+1)}) + (1 - \frac{IRI - 1.18}{5.5})$

SPI1~3을 모두 고려한 최종적인 서초구 포장종합평가 모형식은 서울시의 모형식과 동일하게 각각의 도로포

장 상태별 공용성능인 균열, 소성변형, 평탄성이 동등한 비율로 도로포장의 전체 공용성에 영향을 주도록 다음의 식(8)과 같이 설정하였다. 또한 서초구 도로 조사구간의 정확한 공용수명 판단이 불가하여 초기상태인 Age=0 으 로 가정하여 진행하였다.

$$SPI = 10 - PDI = 10 - [(10 - SPI1)^5 + (10 - SPI2)^5 + (10 - SPI3)^5]^{\frac{1}{5}} \quad (8)$$

표면상태 자동조사장비를 활용하여 조사한 서초구내 대표구간의 시도SPI와 구도SPI의 공용성 모형을 각 상태별 공용성능에 따라 비교한 결과는 다음 Fig 1과 같다.

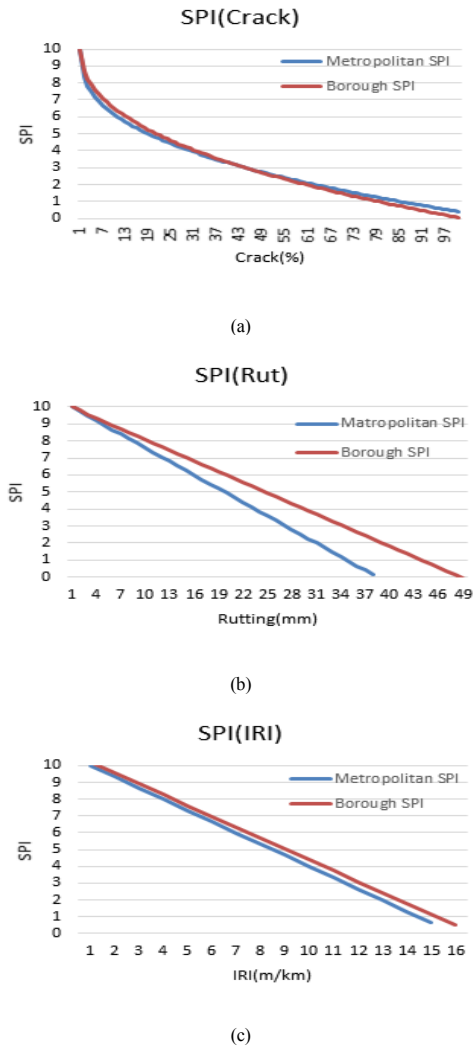


Fig. 1. Comparison of Performance Model between Metropolitan and Borough SPI
(a) Crack, (b) Rutting, (c) IRI

또한 시도SPI 평균값과 구도SPI 평균값 비교 결과는 다음 Table 9과 같다.

Table 9. Average of Metropolitan and Borough SPI

Road Group	Metropolitan SPI average	Borough SPI average
Minor artery road	4.96	5.33
Community road	2.76	3.18

Table 8의 종합평가 모형식을 활용하여 시도SPI와 비교한 결과 보조간선도로에서 약 0.37, 이면도로에서 0.42 증가한 것으로 나타났다. 결과적으로 시도SPI에 비해 완화된 기준을 적용한 구도SPI가 동일 구간에 대한 포장상태를 양호한 것으로 나타내는 것이다.

3. 결론

기존 SPI는 서울시의 도로 환경을 고려하여 적용하였기 때문에 구 단위 적용의 어려움이 있었다. 기존 SPI는 서초구 환경보다는 높은 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 평탄성은 유지하였다. 결과적으로 시도SPI보다 완화된 기준 및 설계와 시공현장상태를 반영한 구도SPI를 활용한다면 보다 합리적인 서초구 내의 유지보수 방법을 선정할 수 있을 것이다.

상기 제안식을 활용한 구도SPI가 시도SPI 보다 보조간선도로에서 약 0.37 증가하였고 이면도로에서는 약 0.42 증가한 것으로 나타났다. 공용수명(Age)이 0인 시공 초기상태를 반영하였지만 이는 기존의 SPI보다 완화된 기준을 적용한 결과이며 기존보다 포장상태가 양호한 것으로 표현된다. 본 연구의 개발 모형은 기존 서울시도의 데이터를 활용해 알고리즘을 적용하여 미지수를 산정한 것이 아니므로 도출한 함수와 계수는 제안함수와 계수라고 할 수 있다. 따라서 서초구의 개별적 SPI 함수를 정확히 도출하기 위해서는 서초구 도로 포장의 한계 범위를 나타내는 균열, 소성변형, 평탄성지수가 있어야 한다. 또한, 이 모형은 도로포장표면상태, 설계, 시공결과

를 각각 8:1:1의 비율로 반영한 식이기 때문에 이 역시 자치구 특성에 맞는 반영비율을 시범구간 추적조사를 통하여 결정하고 조사 구간의 시공년도 등을 통해 제안식의 공용수명(Age)을 반영한다면 정확한 함수를 도출할 수 있을 것이다. 결과적으로 위에서 제안한 구도SPI의 검증을 위하여 동일 조사 구간의 비교분석을 통해 검증하고, 서초구 시범구간에 적용할 수 있도록 육안조사의 추가적인 활용방안 및 포장지수 예측에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] Seoul Statistics. Seoul Statistic road status table [Internet]. Seoul statistics[cited 2015 March] From: <http://stat.seoul.go.kr/octagonweb/jsp/WS7/WWSDS7100.jsp> (accessed Oct., 20, 2015)
- [2] Y. S. Bae, S. I. Shin, "Development of Integrated Pavement Management Policies in Seoul" *Seoul Development Institute*, pp. 63-64, 2011.
- [3] J. B. Park, Y. J. Lee, M. J. Lee, "Basic Study of the Improvement of Maintenance Process for Efficient Highway Pavement Management", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, pp. 6933-6934, nov. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.11.6932>
- [4] B. S. Ohm. "Development of Correlation Models between Pavement Condition Indices and Improvement of Decision Tree for Selecting Pavement Maintenance and Rehabilitation Alternatives", *Department of Transportation Engineering Graduate School of Hanyang University*, pp. 15-16, June 2016.
- [5] Seoul Metropolitan Government, Report of Seoul Metropolitan Government Pavement Management System Project, pp. 80-94, June 2007.
- [6] Seoul Metropolitan Government, Final report of Seoul Metropolitan Government pavement condition evaluation project, pp. 45-48, Feb. 2013.
- [7] Ministry of land, Transport and Maritime Affairs, "Pavement Structural Design guide", p. 253, nov. 2011.
- [8] K. H. Lee "The Permanent Deformation of Asphalt Pavement by Artificial Neural Networks", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, p. 3101, Aug. 2010.

이 상 염(Sang-Yum Lee)

[정회원]



- 2000년 8월 : 경희대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 12월 : 미국 North Carolina State Univ.(공학박사)
- 2009년 2월 ~ 2014년 3월 : 서울특별시청 도로관리과 및 도로포장연구센터
- 2014년 4월 ~ 현재 : 인덕대학교 건설정보공학과 조교수

<관심분야>

건설재료, 도로포장 유지관리, 도로합물

박 미 연(Mi-Youn Park)

[정회원]



- 2007년 2월 : 한양대학교 토목공학과(박사)
- 2012년 1월 ~ 현재 : ㈜승화기술 정책연구소 연구소장
- 2011년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 소방방재학과 부교수/겸임교수

<관심분야>

시설물 자산관리, 구조물 안전

김 균 태(Kim-Kyoon Tai)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1995년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건설시스템연구센터 연구위원
- 2006년 6월 ~ 현재 : 한국건설VE연구원 이사

<관심분야>

건설관리, 건축시공, 건설자동화