

도로 균열을 사용한 소규모 지역 아스팔트 콘크리트 포장상태평가지수의 적정성 검토

김성호* · 김경남** · 김낙석***

Kim, Sung-Ho* · Kim, Kyungnam** · Kim, Nakseok***

A Applicability Study on the Asphalt Concrete Pavement Condition Index in Narrow Regional Roads using Road Crack

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose the evaluation criteria of asphalt pavement condition in narrow regional road considering the traffic environment in order to reduce road budget of local governments. In general, narrow regional roads are considered relatively less important because they have low travel speed and low traffic volume of heavy-vehicle. Generally, automatic surveying equipment is used for investigations of pavement condition, but the operating costs are not efficient for the narrow regional roads because the cost is too high. This study presents the pavement condition evaluation index suitable for narrow regional roads. In this study, the pavement condition evaluation index is presented considering the traffic environment of narrow regional roads. The pavement condition were classified into three classes based on the crack measured by visual inspection, and the validity of the pavement condition evaluation index presented through the expert's questionnaire survey was examined. Pavement condition for the narrow regional roads was classified into three grades based on the index values calculated by visual inspection. Expert's surveys were conducted to evaluate the validity of the proposed pavement condition evaluation. The proposed evaluation index shows a high correlation with questionnaire survey result ($R^2=0.88$). The proposed evaluation index which is obtained through visual crack inspection under limited conditions can be applied to narrow regional roads. In addition, it is expected that it will be effective not only for road management but also for road management budget by more economical evaluation method of pavement condition.

Key words : Narrow regional road pavement condition index, Pavement management system, Visual inspection, Crack

초 록

지자체 도로예산 절감을 위해 소규모 지역도로의 통행환경을 고려한 소규모 지역도로 포장상태 평가 기준을 제시하고자 하였다. 지방 지자체에서 관리하는 지역도로의 경우 설계속도가 낮고 일정하지 않으며 중차량 통행량이 작아 비교적 중요도가 떨어지는 구간이다. 일반적으로 포장상태 조사에는 조사장비를 이용하나 고가의 운영비가 소요되어 소규모 지역도로 적용에는 효율성 문제가 발생한다. 본 연구에서는 소규모 지역도로에 적합한 새로운 포장상태 평가지수를 제시하였다. 소규모 지역도로의 포장상태 평가는 제시된 평가지수에 따라 3등급으로 구분하였으며, 전문가 설문조사를 통해 타당성을 검토하였다. 제시된 평가지수는 포장상태 설문조사 결과와 R^2 가 0.88로 매우 높은 상관성이 높은 것으로 나타났다. 제한된 조건에서 육안 균열조사를 통해 산출된 포장상태평가지수는 소규모 지역도로에 활용이 가능하다. 또한 보다 경제적인 포장상태평가방법으로 지역도로 관리뿐 아니라 도로관리 예산절감에도 효과가 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 소규모 지역도로 포장상태평가지수, 포장관리시스템, 육안조사, 균열

* 종신회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (member · Kyonggi University · adonikim@naver.com)

** 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Kyonggi University · kimgoon000@gmail.com)

*** 종신회원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · member · Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

Received March 21, 2018/ revised April 13, 2018/ accepted May 2, 2018

1. 서론

국내 도로는 2016년 기준 전체 도로연장 108,780km에 포장률은 92.4% 수준으로 도로망의 구축이 완료 단계에 이르렀으므로 새로운 도로의 건설보다 기존 도로의 관리에 초점이 맞춰지고 있는 실정이다(MLIT, 2017). 도로포장은 차량 통행에 따른 교통 하중과 강우, 강설 등 환경 하중으로 인해 공용연수의 경과에 따라 지속적인 성능저하가 이루어져 체계적인 유지관리가 필요하다(Kim et al., 2017). 이에 따라 도로의 효율적 관리를 위해 1980년대 후반부터 도로포장을 체계적으로 관리하기 위해 도로포장과 관련된 계획, 설계, 유지보수 및 평가의 전단계를 종합적, 체계적으로 관리하는 포장관리시스템(이하, PMS; Pavement Management System)을 도입하여 운영하고 있다. PMS는 정기적인 포장상태를 조사 및 평가를 통해 보수대상 구간을 선정하고 최적의 보수공법과 우선순위를 결정하고 필요 예산을 산정하는 시스템으로 FHWA(Federal Highway Administration)의 Real Cost와 도로 사업을 위한 투자분석을 위한 Asset Management, BCA와 World Bank에서 개발한 HDM-4(Highway Development and Management) 등이 있다(GRI, 2014; Do et al., 2014).

국내의 경우 도로관리 기관별 도로 유지관리 시스템을 적용하며 한국도로공사는 고속국도, 국토교통부에서는 일반국도의 유지·보

수 조사·분석 업무를 수행하고 있다. 반면 도로법상 지자체 관할도로의 연장은 2016년 기준으로 90,365km로 전체 도로의 83.1%를 차지하고 있음에도 불구하고 예산상의 문제로 인해 지자체의 도로 포장 유지관리 시스템은 활성화되지 못하고 있다(MLIT, 2017). 2016년 도로관리 주체별 유지보수비용 집행현황을 살펴보면, Table 1과 같이 고속국도는 km당 91백만원, 일반국도는 89백만원, 특별·광역시도는 23백만원, 지방도는 17백만원, 시·군·구도는 12백만원으로 지자체의 도로 유지보수 예산은 고속국도 및 국도에 비해 현저히 낮게 집행되었다(MLIT, 2017). 또한 국토교통부 교통량 통계자료에 따르면 지방도 도로 교통량은 Fig. 1과 같이 고속국도의 약 13% 수준임에도 불구하고 Fig. 2와 같이 교통사고 발생건수가 5배 이상 높은 것으로 나타났다(MLIT, 2017).

도로관리예산의 감소는 포장 파손시 적절한 보수시기를 놓치거나 적절한 보수공법을 적용하지 못하게 되므로 도로포장의 서비스 능력 저하로 이어진다. 반면 차량의 성능 향상과 사용자의 인식개선에 따라 도로포장의 서비스 수준에 대한 요구수준은 높아지고 있는 실정이다. 한정된 예산을 효율적으로 집행하기 위해 지자체를 비롯한 도로관리기관에서는 포장관리시스템에 관한 관심이 높아지게 되었으며, 일부 지자체의 경우 자체 포장관리시스템 도입 및 구축을 수행하였거나 검토하고 있다.

지자체에서는 지역주민의 안전, 생활 여건 확보를 위해 도로포장

Table 1. Executions Status of Road Maintenance Cost by Road Management Agency (MLIT, 2017)

Classifications	Highway	National highway	Special·Metropolitan·si road	Local Road	si·gu·gun road	Sum
Road extension (km)	4,438 (4.1%)	13,977 (12.8%)	4,761 (4.4%)	18,121 (16.7%)	67,483 (62.0%)	108,780 (100.0%)
Maintenance cost (at the 2016 yr.) (million won)	401,996	1,240,190	110,899	312,528	817,370	2,882,983
Maintenance cost per km (million won)	91	89	23	17	12	232

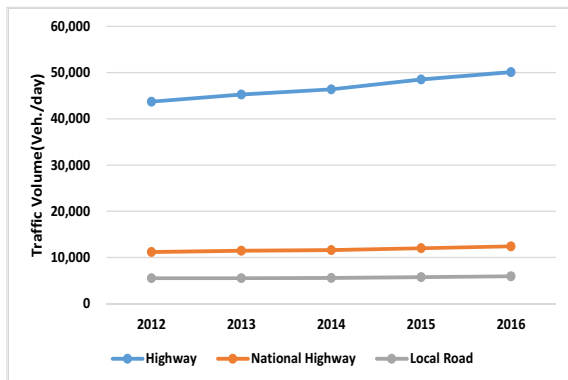


Fig. 1. Annual Traffic Volume by Road Type

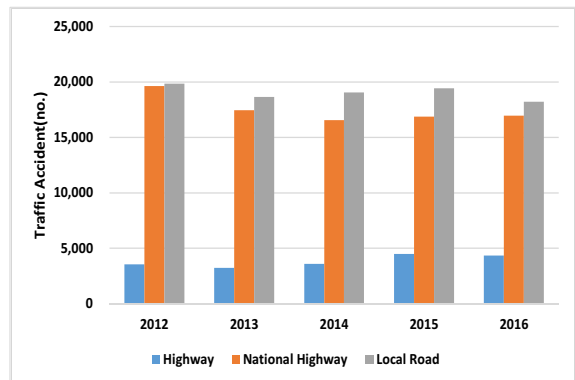


Fig. 2. Annual Traffic Accident by Road Type

을 관리하고자 노력하고 있으나 관련 예산 및 기술 부족으로 인해 문제해결에 어려움을 호소하고 있는 실정이다. 당면한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 합리적 근거자료에 근거한 지역도로 도로포장관리 방안을 제시하고자 한다.

2. 포장상태평가지수

포장관리시스템(PMS)은 도로포장과 관련된 계획, 설계, 유지보수 및 평가 전 단계를 종합적, 체계적으로 관리하는 시스템이다. PMS는 복잡하고 방대한 관할도로망의 정기적 포장상태 조사, 평가를 통해 보수 우선순위, 최적 보수 시기 및 공법 등을 결정하고 궁극적으로 제한된 예산을 합리적으로 효율적으로 운영하는 데 그 목적이 있다(IDI, 2012). 포장관리시스템의 의사결정을 위해서는 포장상태에 대한 객관적인 지표와 데이터의 확보가 중요하다. 따라서 각각의 포장관리시스템에서는 포장상태를 평가하기 위한 조사방법과 평가방법 및 포장상태 평가지수를 제시하고 있다.

포장상태의 평가는 포장면에 발생한 균열, 패킹, 소성변형, 종단

평탄성 등을 개별적으로 조사하여 종합적으로 수치화하여 포장상태평가지수로 정량화한다. 국내에 적용되고 있는 포장상태평가지수는 고속국도에 적용하는 HPCI (Highway Pavement Condition Index), 일반국도에 적용하는 NHPCI (National Highway Pavement Condition Index), 서울시 포장상태평가지수인 SPI (Seoul Pavement Index), 시단위 포장상태평가지수인 MPCCI (Municipal Pavement Condition Index)가 있다. 각 평가지수는 관리도로의 설계속도, 안전성 등을 고려하여 유지보수 기준을 수립하여 운영하고 있으며 Table 2는 개별결합별 유지보수 경계기준이다.

Table 2와 같이 개별 평가지수의 유지보수 경계기준은 설계속도에 따라 차이가 있는 것을 알 수 있다. 예를 들어 차량의 속도가 높은 고속국도의 경우 평탄성 기준이 낮게 설정되어 있으며, 저속에서는 평탄성의 영향이 적기 때문에 다소 완화된 수준의 평탄성 기준을 경계기준으로 삼고 있다. 서울시 포장조사에 따르면 Table 3과 같이 자동차 전용도로와 같은 설계속도가 높은 도로는 평탄성 확보에 주안점을 두고 관리되고 있지만 저속도로의 경우는 상대적으로 평탄성에 의한 서비스 수준 영향이 적기 때문에 다소 높은 수준으로 관리되고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Boundary of Maintenance for the Individual Evaluation Index (SMG, 2013)

Classifications	Crack (%)	Rutting (mm)	IRI (m/km)	Travel speed (km/h)
Highway (HPCI)	10.0	13.0	3.0	100
National highway (NHPCI)	10.0	10.0	3.5	80
Seoul-si (SPI)	10.0	15.0	Urban & Main Arterial Road : 5.5, Local Distribution Road : 6.0	50 ~ 80
Urban areas (MPCI)	15.2	24.2	6.9	60
Local road	20.0	20.0	5.0	60
Japan (MCI)	15.0	25.0	-	Main Arterial Road

Table 3. Results of Road Function Analysis in Seoul-si at the 2012 Year (SMC, 2013)

Classifications	Crack (%)	Rutting (mm)	IRI (m/km)	SPI
Automobile driveway	6.40	4.83	2.48	6.80
Arterial roads	5.17	5.60	3.77	6.49
Local distribution road	5.66	5.40	4.44	6.31
Median bus lanes	4.20	6.95	3.75	6.62

2.1 일반국도 포장상태평가지수(NHPCI; National Highway Pavement Condition Index)

NHPCI는 한국건설기술연구원에서 2007년 도로포장관리시스템 연구를 통해 개발한 포장상태평가지수로 포장 전문가로 구성된 패널의 의견과 균열율, 소성변형, 종단평탄성 등 상세조사 자료 간의 통계분석을 통해 Eq. (1)과 같은 모델식으로 개발되었다 (MLTMA, 2011).

$$NHPCI = \frac{1}{(0.33 + 0.003X_{CR} + 0.004X_{RD} + 0.0183X_{IRI})^2} \quad (1)$$

Where, NHPCI : National Highway Pavement Condition Index

X_{CR} : Crack (%)

X_{RD} : Rutting (mm)

X_{IRI} : IRI (m/km)

NHPCI는 포장상태별로 “매우 양호”에서 “불량”까지 총 4단계로 구분하여 유지보수 공법 기준을 적용하고 있다. 일반국도에 적용된 보수공법의 적용 시기에 따른 NHPCI 분포를 살펴본 결과 예방적 유지보수는 5.64~5.68, 덧씌우기는 4.75~4.77, 재포장은 3.76~3.82의 범위에서 적용된 것으로 나타났다(Son et al., 2013).

2.2 서울시 포장상태평가지수, SPI

서울시는 지자체 중 가장 먼저 PMS를 도입하였으며, 관할 도로를 체계적으로 관리할 수 있는 자체 평가지수인 SPI를 개발하여 적용하고 있다. 균열, 소성변형, 종단평탄성 등 파손유형별로 개별적으로 계산된 SPI₁, SPI₂, SPI₃을 Eq. (2)를 통해 종합적인 포장상태평가지수인 SPI로 산출된다.

$$PDI = [(10 - SPI_1)^5 + (10 - SPI_2)^5 + (10 - SPI_3)^5]^{1/5} \quad (2)$$

$$SPI = 10 - PDI$$

Where, SPI : Seoul Pavement Index

PDI : Pavement Distress Index

SPI₁ : Crack Index ($SPI_1 = 10 - 2.23 \times C^{0.3}$),
(C : Crack (%))

SPI₂ : Rutting Index ($SPI_2 = 10 - 0.2 \times RD$),
(RD : Rutting Depth (mm))

SPI₃ : IRI Index ($SPI_3 = 10 - 0.667 \times IRI$),
(IRI : International Roughness Index (m/km))

SPI는 세 가지의 개별적 파손지수를 동등하게 고려하고 있으며 일반적으로 도로포장의 보수를 고려하고 준비하는 보수대상 기준을 포장상태평가지수 6으로 설정하고 있다. 이는 조사구간에 대한 포장평가 시기와 실제 보수시기와의 시간차(약 6개월~1년 이상)를 고려한 것이다. 또한, 주요 간선도로 및 버스 중앙차로의 경우 6-7 사이의 구간에 대해서도 기능적 중요도를 고려하여 보수대상구간에 포함하고 있다.

2.3 시단위 포장상태평가지수(MPCI; Municipal Pavement Condition Index)

MPCI는 중소도시에 적용할 수 있는 포장상태평가지수로 서울시 및 기타 시단위 도로 포장상태 조사 자료를 이용하여 아스팔트 포장의 일반적 평가요소인 균열, 소성변형, 종단 평탄성 등 3가지 요소에 대한 평가를 통해 개발한 포장상태평가지수이다. MPCI의 범위는 SPI 지수와 같이 변별력이 있도록 10점 체계로 하며 Eq. (3)에 의해 산출된다.

$$MPCI = 10 - [(10 - PCI_{CR})^5 + (10 - PCI_{RD})^5 + (10 - PCI_{IRI})^5]^{1/5} \quad (3)$$

Where, MPCI : Municipal Pavement Condition Index

PCI_{CR} : $10 - 1.67 \times CR^{0.47}$, (C : Crack(%))

PCI_{RD} : $10 - 0.40 \times RD^{0.85}$, (RD : Rutting Depth

(mm))

PCI_{IRI} : $10 - 0.87 \times IRI$, (IRI : International Roughness Index (m/km))

3. 소규모 지역도로 관리 시스템

일반도로는 고속국도를 제외한 도로로 일반국도, 특별시·광역시·시도, 시도, 지방도 등으로 구분되어 있다(MLIT, 2016). 지역도로는 일반도로 중 특별시, 광역시를 제외한 지자체 관할지역 내의 도로로 지역 내에 일반국도부터 군도, 구도, 지방도까지 다양한 등급의 도로 종류가 분포한다. 광역시 이하의 지자체에서 관리하는 지역도로에는 교통량과 중차량 통행량이 매우 적은 구간, 2차로 이하의 좁은 도로, 그리고 설계속도가 60km/h 이하의 도로 등이 포함되어 있다. 이는 포장관리시스템의 운영을 위한 포장조사 장비의 운용, 데이터베이스 관리 등 예산 투입 대비 효과가 떨어지는 소규모 도로의 존재를 의미한다. 교통량이 작은 소규모 지역도로의 경우 도로관리 기관의 입장에서 중요도가 낮기 때문에 자동조사 장비를 통한 포장상태 조사에 부담을 느끼고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 교통량 및 중차량 통행량이 매우 적고 설계속도 60km/h 이하 2차로 이하의 좁은 도로의 포장상태평가를 위해 인력을 통한 저렴한 포장조사 방법과 이를 이용한 포장상태평가방법을 제시하고자 한다.

3.1 기존 포장상태평가지수 적용

기존 평가지수 분석을 위해 경상북도 김천시 관내 2차로 이하의 지역도로 30개 구간 도로의 포장상태 조사를 수행하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 동일한 균열율과, 소성변형, 평탄성 측정값을 사용하였음에도 불구하고 고속주행(설계속도 80km/h)에 맞춰 제시된 NHPCI로 평가할 경우 14개 구간이 유지보수가 필요한 것으로 나타났으나, 비교적 저속주행과 교통량이 많지 않은 도로에 주로 적용되는 MPCI의 경우는 2개 구간만 유지보수가 필요한 것으로 나타났다. 이는 각각의 포장상태평가지수가 도로의 용량, 설계속도, 통행량, 지역적 특성에 따라 알맞게 조정되어야 함을 의미한다.

조사대상 구간의 포장지수평가결과의 타당성을 검토하기 위해 포장 전공자, 도로관리기관소속의 관리자로 구성된 전문가 그룹을 구성하고 측정대상 구간에서 설문조사를 시행하였다. 설문은 조사대상 구간을 도로로 이동하면서 Table 5와 같이 포장상태에 따라 점수를 부여하도록 하였다. 평가점수 4점 이하의 경우는 유지보수가 필요한 수준을 의미한다. 조사결과는 Table 6과 같다.

설문조사 결과는 비교적 도로용량이 지역도로와 비슷한 MPCI 분석결과와도 차이가 있었다. 1번 구간의 경우 MPCI 3.64로 유지

Table 4. Investigated Result of Pavement Condition

No.	Crack (%)	Rutting (mm)	IRI (m/km)	NHPCI	SPI	MPCI	Survey
1	0.00	8.70	7.29	4.03	5.11	3.64	9
2	1.04	4.72	2.29	6.55	8.09	7.79	8
3	1.01	6.34	3.63	5.39	7.44	6.77	7
4	3.40	8.48	5.07	4.79	6.36	5.43	7
5	3.60	8.56	4.11	5.04	6.75	6.07	5
6	11.38	5.20	2.68	6.25	5.78	4.74	5
7	0.98	5.17	2.39	6.43	8.06	7.72	6
8	7.38	6.49	3.32	5.76	6.36	5.60	5
9	7.24	4.82	1.86	6.81	6.46	5.75	5
10	4.53	5.78	2.80	6.11	6.96	6.46	5
11	23.47	11.53	6.14	4.19	4.19	2.35	2
12	0.08	6.32	1.30	6.96	8.30	8.05	8
13	0.00	8.13	2.03	6.26	7.79	7.53	7
14	0.08	6.68	3.14	5.83	7.74	7.16	7
15	0.70	7.47	1.24	6.72	7.92	7.73	7
16	2.51	6.36	4.20	5.28	6.96	6.20	7
17	0.00	5.83	2.86	6.08	7.97	7.43	7
18	0.36	6.45	2.83	6.02	7.90	7.39	6
19	9.98	8.95	2.13	6.10	5.94	5.03	5
20	0.00	11.82	2.64	5.52	6.81	6.63	7
21	0.00	5.99	1.33	6.99	8.38	8.13	7
22	0.00	5.14	2.40	6.43	8.27	7.81	7
23	0.00	5.27	3.19	5.96	7.82	7.18	8
24	0.31	2.31	1.97	7.10	8.60	8.26	8
25	0.34	5.33	3.59	5.75	7.56	6.85	7
26	0.76	9.33	2.18	6.03	7.44	7.22	8
27	2.35	7.36	2.40	5.97	7.46	7.16	6
28	5.26	8.26	2.08	6.21	6.76	6.25	5
29	10.08	11.46	2.18	5.79	5.80	4.94	7
30	4.43	8.82	3.33	5.51	6.78	6.25	6

※ The section requiring maintenance has shaded according to the evaluation of the pavement condition.

Table 5. Pavement Condition by Index

Index	Pavement Condition
10	Very Good
9	
8	
7	Good
6	Fair (No Cutting and No Damaged)
5	
4	Poor (Particular damaged)
3	
2	Very Poor (Need to Reconstruction)
1	
0	

보수가 필요한 것으로 나타났으나 전문가 그룹은 평균 9점으로 매우 양호한 수준으로 판단하였다. 기존 포장상태평가지수와 전문가 그룹의 평가결과가 상이한 것은 Table 4에 나타난 것과 같이 균열은 없으나 평탄성 지표인 IRI가 7.29m/km로 높게 측정되어 MPCI를 비롯한 포장상태평가지수가 낮게 산정되었다. 반면 전문가 그룹은 육안으로 평탄성 확인이 어렵기 때문에 평탄성에 대한 고려 없이 균열이 없는 표면상태에 따라 높은 점수를 부여한 것으로 판단되었다.

자동조사 장비를 통한 조사결과를 바탕으로 기존 포장상태평가지수를 산정하여 포장의 상태를 평가한 결과 교통용량이 작은 소규모 도로에 적용하기에는 무리가 있는 것으로 나타났으며 육안

Table 6. Survey Data according to Crack

No.	MPCI	Survey result										Avg.
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	3.64	9	10	9	8	9	10	9	8	9	9	9
2	7.79	9	9	8	7	8	9	7	7	9	8	8
3	6.77	8	8	7	6	7	8	8	6	7	7	7
4	5.43	7	8	7	6	7	8	6	6	7	8	7
5	6.07	5	6	5	4	5	6	6	4	5	6	5
6	4.74	5	6	5	4	5	6	6	4	5	6	5
7	7.72	6	7	6	5	5	7	6	5	6	7	6
8	5.60	5	6	6	4	5	6	5	4	5	5	5
9	5.75	5	6	5	4	4	6	6	4	6	5	5
10	6.46	5	6	4	4	6	6	5	4	5	5	5
11	2.35	2	3	2	1	2	3	2	1	2	2	2
12	8.05	8	9	8	7	8	9	8	7	8	8	8
13	7.53	7	8	7	6	7	8	7	6	7	8	7
14	7.16	7	8	7	6	7	8	7	6	7	8	7
15	7.73	8	8	7	6	8	8	7	6	7	7	7
16	6.20	8	8	7	6	8	8	7	6	7	7	7
17	7.43	7	8	7	6	8	8	7	6	7	7	7
18	7.39	7	7	6	5	6	7	6	5	6	6	6
19	5.03	5	6	5	4	5	6	6	4	5	5	5
20	6.63	7	8	7	6	7	8	8	6	7	8	7
21	8.13	7	8	7	6	8	8	7	6	7	8	7
22	7.81	7	8	7	6	8	8	8	6	7	7	7
23	7.18	8	9	8	7	8	9	8	7	8	8	8
24	8.26	8	9	8	7	8	9	8	7	8	8	8
25	6.85	7	8	7	6	7	8	7	6	7	7	7
26	7.22	8	9	8	7	8	9	9	7	8	8	8
27	7.16	6	7	6	5	6	7	7	5	6	6	6
28	6.25	5	6	5	4	5	6	6	4	5	5	5
29	4.94	7	8	7	6	7	8	8	6	7	7	7
30	6.25	6	7	6	5	6	7	6	5	6	6	6

을 통한 관찰 결과와 자동조사 장비 측정결과에도 다소간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 전문가 그룹의 경우 실제 도로의 교통량, 규모, 중요도 등을 보고 포장상태 평가시 주관적인 판단이 작용하는 경향을 보였다. 즉, 교통량이 적은 지방도의 경우 어느 정도의 균열이나 소성변형에 있더라도 보수 할 필요가 없는 것으로 판단하였으며, 평탄성의 경우에는 포장상태 판단에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.2 소규모 지역도로 포장상태평가지수

지역도로 중에서도 2차로 이하의 소규모 도로의 경우 앞서 살펴

본 바와 같이 기존 포장상태평가지수의 적용이 어려우며, 조사와 분석에 비용이 많이 드는 자동조사 장비의 이용에 도로관리기관이 부담을 느끼는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 비교적 비용이 저렴한 인력에 의한 조사방법을 검토하였다. 인력조사의 경우 육안으로 도로상태를 관측하기 때문에 평탄성에 대한 평가는 어려우며, 실제 객관적 측정자료로 사용할 수 있는 부분은 균열의 측정에 한정되는 것이 사실이다.

현실적인 이유 외에도 균열율만으로 포장상태를 평가하고자 한 것은 설문조사 과정에서 전문가 그룹의 소규모 도로의 포장상태 평가에 균열율이 가장 큰 영향을 미치는 요소였기 때문이었다.

균열율만으로 포장상태를 평가한 사례를 살펴본 결과 일본에서도 개별결함 지수의 산정이 어려운 구간에 대해 균열율만으로 포장상태를 평가하는 Eq. (4)와 같은 MCI (Maintenance Control Index)를 사용하고 있는 것으로 조사되었다(MLIT, 2013).

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \quad (4)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3}$$

Where, MCI : Maintenance Control Index

Table 7. Survey Data according to Crack

No.	Crack (%)		NRPCI	Survey result
	by Equipment	by Person		
1	0.00	0.00	8.4	8
2	1.04	1.92	7.6	7
3	0.82	2.06	7.6	7
4	3.40	2.51	7.4	6
5	3.60	13.78	4.3	4
6	11.38	8.52	5.5	6
7	0.98	8.98	5.4	6
8	7.38	9.18	5.3	5
9	7.24	9.92	5.1	5
10	4.53	11.36	4.8	5
11	23.47	23.13	2.7	2
12	0.08	0.00	8.4	8
13	0.00	0.28	8.3	8
14	0.08	2.66	7.3	8
15	0.70	2.90	7.3	7
16	2.51	3.98	6.9	6
17	0.00	4.99	6.6	6
18	0.36	7.50	5.8	6
19	9.98	10.93	4.9	5
20	0.00	2.66	7.3	7
21	1.15	2.81	7.3	7
22	0.00	2.98	7.2	7
23	0.00	0.09	8.3	8
24	0.31	0.30	8.2	8
25	0.34	3.96	6.9	7
26	0.76	0.38	8.2	8
27	2.35	5.67	6.3	6
28	5.26	9.25	5.3	6
29	10.08	2.68	7.3	7
30	4.43	7.72	5.7	6

MCI_1 : Maintenance Control Index according to Crack

C : Crack (%)

D : Rutting (mm)

σ : Roughness in Longitudinal (mm)

본 연구에서는 앞서 자동조사 장비를 사용한 조사와 전문가 그룹의 설문조사 대상 구간 30개소에 대해 인력 육안 조사로 균열의 길이를 측정하고 균열율을 계산하였다. 육안조사중 균열은 선형균열과 면적균열로 구분하여 측정하였으며 거북등 균열의 경우 폭, 길이를 측정하여 면적균열로 반영하였다.

Table 7과 같이 육안조사한 균열율과 설문조사를 바탕으로 Fig. 3과 같이 회귀분석을 통해 Eq. (5)와 같은 소규모 지역도로 포장상태 평가지수(NRPCI, Narrow Regional Road Pavement Condition Index)를 제시하였다.

$$NRPCI = 8.37e^{-0.048cr} \quad (5)$$

Where, $NRPCI$: Narrow Regional Road Pavement Condition Index

cr : Crack (%)

조사결과를 Table 2의 집산, 국지도로(지방도) 균열율 결합 경계기준인 균열율 20% 이상에 적용할 경우 Fig. 3과 같이 유지보수가 필요한 시점의 NRPCI는 3.1점으로 산정되었으며, 따라서 NRPCI에 의한 도로포장의 유지보수 경계치는 4 이하로 결정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

자동조사장비와 육안조사 결과에 의한 균열율로 NRPCI의 계수를 결정하여 전문가 그룹의 평가결과와 비교하면, 육안조사에 의한 NRPCI의 R^2 는 0.91이었으며, 자동조사장비의 경우는 R^2 가 0.58으로 육안조사에 의한 균열율이 현장평가결과와 더 유사성을 갖는

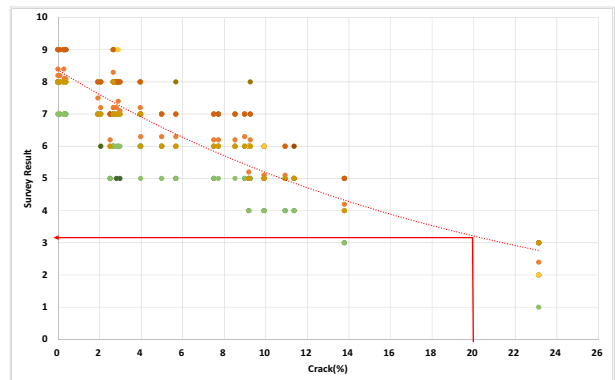


Fig. 3. Result of Survey According to Crack

것으로 나타났다. 이에 대한 원인은 균열을 산정방식에서 기인한 것으로 분석되었다. 자동조사장비의 경우 굴착복구나 패칭된 부분까지 균열로 파악하고 균열율로 계산한 반면 육안조사에서는 복구된 부분을 균열로 판단하지 않았다. 실제 전문가 그룹도 굴착복구된

도로에 대해 파손으로 판단하지 않았으며 따라서 자동조사장비의 분석결과와 육안조사 결과와의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Table 8. Standard for Pavement Management in Narrow Regional Road

NRPCI	Pavement condition
> 4.0	Very good
≤ 4.0	Poor (need to maintenance)
≤ 2.0	Very poor (need to reconstruction)

Table 9. NRPCI Data According to Crack

No.	by Person crack (%)	NRPCI	Survey
1	7.20	8.4	5
2	1.26	7.6	7
3	3.41	7.6	7
4	3.89	7.4	7
5	11.51	4.3	5
6	7.59	5.6	6
7	7.95	5.4	6
8	8.94	5.4	6
9	10.85	5.2	5
10	20.49	4.9	2
11	3.46	2.8	7
12	3.24	8.4	7
13	2.94	8.3	7
14	3.84	7.4	6
15	4.12	7.3	6
16	5.21	6.9	6
17	10.59	6.6	5
18	3.18	5.8	8
19	6.84	5.0	7
20	3.84	7.4	7
21	24.15	7.3	2
22	2.54	7.3	7
23	16.46	8.3	3
24	6.48	8.3	6
25	3.95	6.9	7
26	4.12	8.2	7
27	8.56	6.4	6
28	19.54	5.4	3
29	8.49	7.4	6
30	7.72	5.8	6

3.3 현장 적용 결과

NHPCI, SPI, MPCI의 포장상태평가지수는 각 평가지수의 구간을 5단계로 세분화하여 포장상태를 정의하였으나 소규모 지역도로의 경우 도로의 중요도가 낮기 때문에 효율적인 관리를 위해 3단계로 단순화하였으며 관리기준은 Table 8과 같이 제시하였다.

NRPCI의 적용성을 검토하기 위해 Eq. (5)를 결정하기 위한 데이터를 얻은 조사구간과 유사한 도로용량과 교통량을 갖는 김천시 관내 도로 30개 구간에 대해 육안관찰에 의한 균열율 조사를 실시하였다. 조사된 균열율로 Eq. (5)를 통해 NRPCI를 계산하였으며, 그 결과는 Table 9와 같다. 이후 앞서 설문조사와 같이 전문가 그룹 10인에게 조사된 구간에 대한 평가를 의뢰하였으며 Table 9에 그 결과를 NRPCI 결과와 비교하였다.

새로 조사된 구간에서 NRPCI로 평가된 유지보수 필요구간은 총 4곳이며, 전문가 그룹의 설문결과와 일치하는 것으로 나타났다. 또한 NRPCI 값과 전문가 그룹의 설문결과와의 R²는 0.88로 상당히 높은 수준으로 나타났다.

인력에 의한 육안조사를 통한 균열율 조사와 이를 이용하여 NRPCI의 산정이 소규모 지역도로의 포장상태평가에 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다. 본 연구는 한정된 조사구간과 유사한 교통, 환경조건에서 비교되었기 때문에 높은 수준의 평가 적합성을 나타내었다. 다만 더 많은 조사와 자료수집으로 제시된 식의 계수를 결정할 경우 관할 지역 내 소규모 도로에 대한 포장상태평가 가능할 것이다.

예산 부족의 이유로 등한시되었던 소규모 도로에 대한 포장상태 평가를 경제적으로 수행할 수 있으며, 축적된 데이터를 기반으로 더욱 합리적인 도로 유지보수 예산의 관리가 이루어질 수 있으므로 지역의 도로관리에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구는 소규모 지역도로의 포장상태를 평가하기 위해 포장상태 평가지수 개발과 등급체계를 제시하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 포장상태 조사결과로 포장상태평가지수를 산정하여 비교한 결과 도로용량, 속도, 도로구조 등에 따라 결과에서 큰 차이가 있었으며, 따라서 교통량이 적고 설계속도가 낮은 지역의 소규모 도로의 경우 그에 맞는 포장상태평가지수가 필요한 것으로 나타났다. 소규모 지역도로의 경우 전문가 그룹의 평가 경향을

살펴보면 평탄성과 소성변형보다는 균열 발생 정도가 포장상태 평가에 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

- (2) 인력을 통한 육안조사로 측정된 균열율과 전문가 그룹의 포장상태평가 결과를 바탕으로 소규모 지역도로 포장상태 평가지수를 제시하였다. 자동조사장비에 의한 균열을 측정자료를 통한 평가지수의 제시보다 육안조사에 의한 평가가 실제 도로상태를 나타내는데 보다 적합하였으며, 이는 소규모 지역도로의 특성상 전문가 그룹의 평가에서는 굴착복구나 소파보수에 대해 사용이 가능한 상태로 판단한 반면 자동조사장비에서는 이를 균열율에 반영하였기 때문이다.
- (3) 제시된 소규모 지역도로 포장상태평가지수의 검증에 위해 유사한 교통·환경조건에 도로에 대해 균열을 측정과 전문가 그룹 평가를 실시하였으며, R²가 0.88로 상당히 높은 값을 나타내었다. 제한된 조건하에서 균열율을 통한 포장상태평가지수의 적용이 가능한 것으로 나타났으며, 향후 추가적인 조사자료를 통해 제시된 식을 보완한다면 소규모 지역도로의 포장상태평가에 활용 가능하여 보다 경제적인 포장상태평가방법으로 지역의 도로관리와 예산절감에 효과가 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2018학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

References

- Do, M. S., Kwon, S. A., Lee, S. H. and Kim, Y. J. (2014). "Development of the decision-making system for national highway pavement management." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 35, No. 2, pp. 645-654 (in Korean).
- Gyeonggi Research Institute (GRI) (2014). "Directions to introduce the pavement management system for Gyeonggi-do." No. 2014-48 (in Korean).
- Incheon Development Institute (IDI) (2012). "A study on the establishment pavement maintenance system (PMS) implementing in the Incheon-si." No. 2012-22 (in Korean).
- Kim, K. N., Kim, S. H. and Kim, N. S. (2017). "A study on algorithm for materials take-off using pothole detection system." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 37, No. 3, pp. 603-610 (in Korean).
- Korea Construction Management Corporation (KCMC) (2017). "A study on the improvement of system for road management of a local government." (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2013). "A manual of road pavement maintenance." (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2016). "Standards for road design." (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2017). "Annual occurrence of traffic volume and traffic accident." Available at: http://www.road.re.kr/analysis/analysis_01.asp?pageNum=2&subNum=1 (Accessed: Feb 26, 2018).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2017). "Road statistics and maintenance information system." Available at: http://rsis.kr/statistics_road_summary.htm (Accessed: Feb 26, 2018).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2011). "Annual research report of the national highway pavement management system 2010." (in Korean).
- Seoul Metropolitan Government (SMG) (2013). "A final report on a survey and analysis service on pavement in Seoul-Si." (in Korean).
- Son, H. J., Kwon, S. A., Lee, J. J., Baek, C. M., Lim, J. K. and Sin, H. J. (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, No. 2, pp. 1-9 (in Korean).