

공공부문 성과관리를 위한 도로포장의 서비스수준과 서비스비용 함수 추정

Estimation of a Level of Service and Cost of Service Function for Road Pavements for Performance Management in the Public Sector

한 대 석	HAN, Daeseok	정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : handaeseok@kict.re.kr)
이 수 형	LEE, Suhyung	정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail : shlee1@kict.re.kr)
이 상 혁	LEE, Sang Hyuk	정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail : slee@kict.re.kr)
유 인 균	YOO, In-kyoon	정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : ikyoo@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aimed to evaluate the performance of pavement management works and to develop a function for estimating the level of service (LOS) and cost of service (COS) for the systematic and quantitative management of pavement performance in the public sector.

METHODS : The International Roughness Index (IRI) was used as the performance index for pavement management. Long-term pavement performance data for a period of 7 years (2007-2014) collected by the National Highway Pavement Management System and historical maintenance budget data published by the South Korean government were used to develop the LOS-COS function. Based on the function, a model for estimating the appropriate budget as well as the network conditions was suggested.

RESULTS : There was high degree of correlation between pavement performance and the investment level ($R = -0.74$). The developed LOS-COS function suggested that the unit cost to improve the network IRI to 1 m/km was 32.6 billion KRW. Further, the maintenance costs normalized with respect to the LOS levels were LOS-A = 88.2 billion KRW, LOS-B = 55.6 billion KRW, and LOS-C = 23.0 billion KRW.

CONCLUSIONS : This study proposes a simple way of developing a LOS-COS function. It also shows how to develop a network budget demand and condition estimation model using the LOS-COS function. In addition, it is the first attempt to evaluate the road maintenance budget in South Korea. It is expected that these results will help in the negotiations between the road managers and budget makers.

Keywords

Public management, performance management, road pavement, level of service, cost of service

Corresponding Author : Daeseok, HAN, Senior Researcher
Highway&Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil
Engineering and Building Technology (KICT), Goyangdae-ro 283,
Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0066 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : handaeseok@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ijhe.or.kr

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Apr. 11, 2016 Revised Jul. 27, 2016 Accepted Jul. 28, 2016

1. 서론

시장경제에서 영리추구라는 목표가 뚜렷한 민간부문에서는 비교적 이른 시기부터 투자에 대한 성과평가를 도입하여 조직의 투자계획수립·개선에 활용해 왔으나,

공공부문에서는 비교적 늦은 1960년대부터 그 도입이 시도되었다(Carter et al., 1992; Poister, 2003). 공공에서의 성과평가는 세계 각국이 국제무대에서 무한경쟁을 펼치게 되면서 작고 효율적인 정부가 필요하게 되

었고, 정부예산을 관장하는 의회에서 행정효율에 대한 설명책임을 요구하면서 점차 보편화되고 있다.

국제적으로 사회기반시설 관리부문의 성과평가는 국제회계시스템의 발생주의·복식부기로의 전환, 자산관리국제표준 ISO55000시리즈(ISO, 2014), 국제인프라관리메뉴얼(IPWEA, 2015)의 발간 등을 통해 그 당위성과 방법론이 구체화되어 가고 있으며, 이들은 모두 투자되는 비용에 대한 성과평가와 제공되는 서비스의 장기적인 지속가능성을 객관적으로 설명할 것을 요구하고 있다. 한편, 국내에서도 2007년 국가회계법의 개정(NAA, 2014)을 통한 사회기반시설의 자산가치평가, 2014년 도로법의 개정(NRA, 2014)으로 인한 자산의 효율적 운영관리가 의무화되었다.

도로투자는 초기건설비+유지관리비용으로 구분될 수 있으며, 이를 통해 생산되는 성과는 신속하고, 안전하며, 쾌적한 도로서비스라 할 수 있다. 지속가능한 도로서비스 제공을 위해서는 도로이용자가 요구하는 서비스수준을 정량화하여 측정·관리해야 하며, 그에 상응하는 예산수요를 추정하여 목표달성은 물론, 이면에 숨겨진 재무리스크에 대비할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 투자수준에 따라 변화하는 서비스수준(Level of Service; LOS)과 서비스비용(Cost of Service; COS)의 함수파악이 핵심이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 도로분야에서 도로이용자의 서비스수준에 가장 많은 영향을 미치고, 빈번하게 보수되며, 많은 예산이 투입되는 도로포장을 대상으로 투자와 성과의 관계에 대해 정량적으로 분석하고자 하였다. 본 연구에서는 약 30년의 자료가 축적되어 있는 일반국도의 포장상태자료와 국토교통부의 유지보수예산 자료를 활용하여 도로관리의 성과를 파악해 보았으며, 나아가 네트워크수준에서의 LOS-COS함수를 도출하고, 이를 활용한 적정예산수요 및 상태예측 모형을 제시한다.

2. 문헌고찰

민간부문에 비해 다소 늦게 시도된 공공부분의 성과평가는 1960년대 정책분석과 사업평가, 1970년대 목표관리(MBO; Management By Object) (Drucker, 1954), 영기준 예산추정(Zero-Base Budget; ZBB) (Smith and Lynch, 2003) 등으로 대표되었으며, 이러한 움직임은 1980년대 영국에서 태동한 신공공관리론(New Public Management; NPM)으로 더욱 발전되었다(JSCE, 2009). 2000년대에 돌입해서는 “자산관

리”를 키워드로 PAS55, ISO55000, IIMM, TAMG, MAP-21, GASB34, BSC(Balanced Score Card) 등 영국, 호주, 뉴질랜드, 미국 등을 중심으로 공격부분에 민간기업의 경영관리수법을 도입하여 경영자원의 사용에 대한 업적·성과관리가 국제적으로 보편화되고 있다(ISO, 2014; IPWEA, 2015; AASHTO, 2011).

우리나라의 경우 1990년대 후반 외환위기를 계기로 정부업무평가제도(1998년), 성과감사 도입(1994년), 기획예산처의 성과주의 예산제도 시범실시(1999년) 등을 거쳐, 현재에는 정부업무평가기본법(2006년)을 통해 정부기관의 임무와 중장기 목표, 연도별, 목표, 성과지표 수립을 평가하고 있다. 또한, 2007년 국제회계기준에 준하여 국가회계법을 발생주의·복식부기로 전환한 것도 성과주의를 지향하기 위한 맥락으로 해석할 수 있다(Kim, 2013; Lee and Kang, 2013). 다만, 정부업무평가기본법에서 평가대상을 “기관”으로 설정하고 있어 집행예산의 목적과 그 효과를 직접적으로 평가하고 있다고 보기 어렵다. 또한, 기획재정부가 수행중인 사회기반시설 자산가치평가 역시 성과평가 측면에서 활발히 활용되고 있지 못하다.

성과평가의 시작은 조직이 추구하는 목표설정, 그리고 목표를 대표할 수 있는 정량적 지표의 설정에서 출발한다. 초기 도로포장관리 분야에서는 공학적 관점에서 포장의 파손형태를 균열, 소성변형 등으로 구분하고 이를 유지보수지표로 활용해 왔다. 이후 1980년대에 세계은행(World Bank)에서는 도로이용자의 관점을 보완하기 위한 “국제종단평탄성지수(International Roughness Index)”를 개발하였으며(Sayer et al., 1986), 현재는 ASTM(2015)에서 규격을 정의하여 세계 각국은 물론 우리나라의 일반국도와 고속국도, 일부 지방자치단체(서울시)에서도 활용하고 있다(KICT, 2015; EX, 2012; Lee et al., 2015).

세계적으로 도로포장의 핵심관리지표는 다소 상이하나 “평탄성”이라는데 그 맥락을 같이 한다. 1996년 미국 FHWA의 도로이용자 설문보고서에 따르면, “고속도로에서 개선해야 할 것 중 최고로 중요한 것은 도로표면의 주행성을 향상시키는 것이며, 이는 공공시설에 대한 만족 정도를 개선하는 가장 확실한 방법”으로 기술하고 있다(Kang and Cho, 2001). 현재 미국 대부분 주에서 포장의 주요 관리지표로 IRI와 PrI(Profile Index)를 주로 활용하고 있으며, 연도별 네트워크 IRI 상태를 조사하여 공표하고 있다(WSDOT, 2015; Reid and Clark, 2003; FHWA, 2002). 한편, 포장상태의 종합적인 평가를 위해 다양한 지표들도 개발된 바 있다. 대

표적으로 일본의 MCI(Maintenance Control Index), 미국의 PSI(Pavement Serviceability Index), 한국의 HPCI(Highway Pavement Condition Index), NHPCI(National Highway Pavement Condition Index) 등이 있으며, 각 지표들의 가중치는 상이하나 모두 IRI를 산정변수로 활용하고 있다(Kwon et al., 2000).

한국에서 운영되고 있는 포장관리시스템(고속국도, 일반국도, 서울시)에서도 네트워크 수준의 IRI를 조사하여 정보를 관리·누적하고 있으며, 이들의 분포특성이나 이용자 만족도와와의 상관성에 관한 연구들이 진행된 바 있다(Park et al., 2010; Son et al., 2010; Lee et al., 2015). 특히 일반국도를 한국건설기술연구원에서는 국도 네트워크에 대해 2,300여개 동질구간을 설정하고, 매년 동질구간 내 1km대표구간에 대한 장기공용성(Long Term Pavement Performance; LTPP)자료를 조사·누적하고 있다. 그러나 아직 해당자료를 포장관리 최적화나 유지보수 성과평가에 활용한 실적은 찾아보기 어렵다. 또한, 일반국도포장관리시스템의 유지보수공법 선정기준을 살펴보면 균열과 소성변형, 등가축하중(Equivalent Single Axle Loads; ESAL)만을 고려하도록 설계되어 있어 네트워크 관리에 평탄성 관리의 개념이 포함되어 있다고 평가하기 어렵다(KICT, 2015) (Fig. 1 참조).

가는 사회기반시설, 점점 축소되는 관리예산, 집행예산에 대한 설명책임(Accountability) 요구 등에 대응하기 위해서는 공공서비스를 대표하는 관리지표의 설정, 서비스비용의 일반화 연구를 통해 정부-관리자-국민이 소통할 수 있는 기반이 필요하다.

3. 도로포장관리의 성과지표 설정

Doran(1981)은 관리지표의 이상적 요건에 대해 5가지 기준 “SMART(Specific, Measurable, Attainable, Result, Time-bounded)”을 제시한 바 있다. 이를 도로관리분야에 접목해 좀 더 구체적으로 살펴보면, 1)도로관리 목표와 직접적인 연관성을 가지고 있어야 하며 (Specific), 2)측정이 가능·용이하고(Measurable), 3)달성이 가능하며(Attainable), 4)유지관리 행위의 결과가 지표에 반영됨으로써 직접적인 컨트롤이 가능할 뿐만 아니라(Result), 5)시간 내에 목표수준을 달성할 수 있어야 한다(Time-bounded)으로 해석 가능하다.

포장관리의 근본적인 목적은 투자자인 도로이용자에게 만족할만한 수준의 도로서비스를 효율적·경제적으로 제공하는 것이다. 본 연구에서는 도로이용자의 만족요소를 “신속성, 안전성, 쾌적성, 경제성”으로 설정하고, 이를 대표하는 성과지표로 국제중단평탄성지표 IRI를 제안한다.

도로의 중단평탄성은 운전자의 승차감·쾌적성·이동성에 영향을 줄 뿐만 아니라, 경제적 관점에서 이용자 및 사회환경비용에 영향을 준다는 연구결과가 제시된 바 있으며, 이를 모형화한 도로투자분석모형(HDM-4)도 개발되어 세계적으로 활용되고 있다(Odoki and Kerali, 2000). 또한, IRI가 교통사고에 영향을 미친다는 연구결과 또한 본 연구에서 IRI를 주요 성과지표로 설정한 이유를 뒷받침한다(Chan et al., 2009).

현재 ASTM에서 규정하고 있는 국제평탄성규격은 전문 조사장비가 없는 조사가 불가능하다는 단점이 있다. 한국의 경우 포장관리시스템(Pavement Management System; PMS)의 도입 초기(1989년)에는 캐나다의 ARAN장비차량을 수입하여 조사에 활용하였으나, 최근에는 장비차량의 국산화에 성공하여 일반국도, 고속국도는 물론 시가지도로(서울시)에도 폭넓게 활용되고 있다(KICT, 2015; EX, 2012; Lee et al., 2015). 이는 Doran의 두 번째 조건인 측정가능성에 대한 충족을 의미한다. 한편, IRI는 유지보수 행위를 통해 즉시 개선되므로 관리자의 직접적인 간섭이 가능하며, 유지보수 계

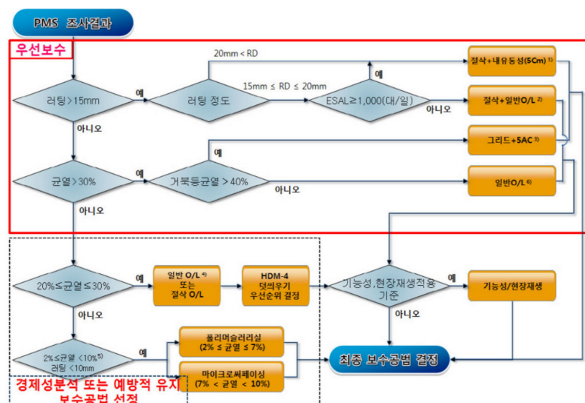


Fig. 1 Maintenance Criteria for Korean National Highway Network (KICT, 2015)

본 연구에서 고찰한 참고문헌들을 살펴보면 대부분 LOS, 상태지표개발, 성능보장계약, 파손모형, 생애주기비용분석, 고객만족도평가 등 자산관리에 필요한 요소들을 다루고는 있으나, 서비스수준과 재무관리에 핵심인 LOS-COS의 관계를 직접적으로 평가하고 정량적으로 모형화 한 사례는 찾아보기 어려웠다. 노후화되어

획에 따른 목표 IRI 달성여부를 사전에 평가할 수 있고, 역으로 달성하기 위한 예산수요 예측도 가능하다. 또한 회계연도를 기준으로 예산이 책정·지출되는 특성을 반영하여 경영의 사이클인 PDCA(Plan-Do-Check-Action) 운영이 가능하다. 이와 같이 본 연구에서 제안하는 IRI지표는 Doran이 제시한 관리지표로서의 이상적인 조건을 모두 충족하며, 무엇보다 포장관리부문의 성과평가와 LOS-COS함수 추정에 필수인 포장의 장기 공용성자료가 확보되었다는 이점이 있다.

한편, 우리나라는 물론 세계 대부분의 포장관리시스템에서 수집중인 대표적인 상태지표로 균열과 소성변형이 있다. 그러나 파손의 특정현상만을 표현하는 단독지표를 종합적인 도로서비스 평가에 활용하기에는 다소 무리가 있다. 다만 도로균열과 관련된 도로미관, 소성변형과 관련된 우천 시 주행안전 등 IRI만으로 평가하기 어려운 사항들에 대한 보완적 지표로서 충분한 활용가능성이 있다. 특히 이 두 포장지표는 일반국도포장관리시스템과 한국형포장설계법에서 활용되고 있어 향후 연구를 통한 서비스 지표로의 확대적용이 필요하다고 판단된다.

4. IRI지표를 이용한 서비스수준의 설정

서비스수준은 상태평가, 생애주기비용분석(Life Cycle Cost Analysis; LCCA), 목표 서비스수준 설정, Gap분석 등 거의 모든 자산관리 프로세스에 관여하고 있는 핵심도구로 “대상, 지표, 등급”을 설정하는 과정이다(Han et al., 2014). 본 연구에서는 IRI의 서비스등급 설정을 위해 세계은행, OECD보고서, 해외적용사례, 기존연구 등을 폭넓게 검토하였으며(Table 1 참조), 본 연구에서 수집한 7년간의 IRI자료의 확률분포 특성을 3 시그마규칙에 대입하여 임계값 설정에 참조하였다(Table 4, 5참조). 최종적으로는 장기간 실무경험이 누적된 일반국도 PMS전문가, 상태조사 실무자의 의견을 종합적으로 수렴하여 서비스수준체계를 설정하였다(Table 2 참조).

Table 2. Definition of LOS in This Study

Category	LOS grade	Threshold (m/km)	Note
Excellent	A	Under 1.5	New pavement
Good	B	1.5~2.5	General condition
Fair	C	2.5~3.5	
Poor	D	3.5~5.0	
Very poor	E	Over 5.0	Maintenance required

본 연구에서 서비스등급의 임계값은 국내외 선행연구 성과, 자료의 통계적 특성, 전문가/실무자의 의견을 반영하여 결정하였다. 그러나 가장 이상적인 방법은 IRI가 상이한 다수의 구간을 설정하고, 이 도로를 다수의 이용자가 주행한 이후에 평가한 자료를 통계처리하는 방법이다. 그러나 해당 자료는 전략적으로 설계된 대규모 현장조사가 필요하며, 별도의 연구프로젝트와 논문을 통해 보다 심도있게 다루어져야 할 필요가 있다.

5. 실증연구

실증연구에서는 일반국도를 대상으로 연도별 유지보수예산과 LTPP 자료를 매칭하여 예산과 성과의 상관성을 평가한다. 또한 해당자료를 활용한 LOS-COS 함수 추정, 추정된 함수식을 이용한 적정예산 및 네트워크상태 예측모형을 제시한다.

5.1. 자료의 수집과 가공

일반국도 PMS에서는 2007년부터 2,300여개 동질성 구간 내 1km 상세조사구간(즉, 대표구간)을 설정하고, 매년 동일구간의 상태정보를 추적조사하여 정보를 누적하고 있다. 이 자료를 시계열로 가공하여 네트워크 IRI 평가에 활용하였다. 한편, 해당연도의 도로관리 예산정보는 국토교통부에서 매년 발행하고 있는 도로업무편람(MOLIT, 2015)을 참조하였다. IRI의 기초통계와 분포 특성은 Fig. 2, Table 3~5를 참조한다.

Table 1. Comparison of IRI Category

Category	World Bank (Sayer et al.,1986)	OECD (1987)	FHWA (2006)	Virginia state (Reid et al.,2003)	Washington state (WSDOT, 2015)	Korea (Kobayashi et al., 2010)
Excellent	0.86	1.5	0.95	0.95	1.5	2
Good	1.97	2.5	1.5	1.58	2.68	2.5
Fair	3.53	3.5	1.89	2.21	3.47	3
Poor	6.19	4	2.68	3.16	5.05	3.5
Very poor	6.19	4	2.68	3.16	5.05	3.5

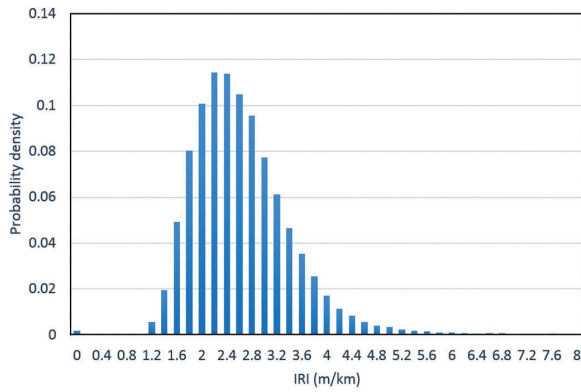


Fig. 2 IRI Distribution of Korean National Highway Network

Table 3. Basic Statistic of Time-series IRI Data

Sample scale	Average IRI (m/km)	Standard deviation (m/km)	Note
17,246	2.5733	0.9595	2007~2014

Table 4. Probability Density of IRI LTPP Data

IRI interval (m/km)	Frequency	Prob. density	Note
0 ~ 1	48	0.28%	98.09%
1 ~ 2	4,411	25.58%	
2 ~ 3	8,725	50.59%	
3 ~ 4	3,207	18.60%	
4 ~ 5	573	3.32%	
5 ~ 6	137	0.79%	1.64%
6 ~ 7	56	0.32%	
7 ~ 8	29	0.17%	
8 ~ 9	24	0.14%	
9 ~ 10	12	0.07%	
Over 10	24	0.14%	

Table 5. Thresholds of IRI by 3-Sigma Rule

3-sigma rule	Standard interval (%)	Threshold (IRI, m/km)	
		Minimum (left-side)	Maximum (right-side)
1-sigma	68.2689	1.81	3.26
2-sigma	95.4499	1.37	4.66
3-sigma	99.73	0	10.06

2007년부터 현재까지의 IRI의 평균은 2.57m/km, 표준편차 0.96m/km 수준으로 나타났으며, Fig. 2와 같이 정규분포에 근사함을 확인할 수 있다. 경험적으로 관리되고 있는 아스팔트 포장도로의 IRI 범위가 1~5수준으로 인식되고 있는 것을 감안할 때, 해당구간에 포함되는 자료는 98.37%로 데이터의 신뢰도는 확보되었다고 할 수 있다(Table 4 참조).

3시그마 규칙을 통해 분포의 특성을 구체적으로 살펴보면, 1-시그마(68%)의 임계값은 IRI 1.81~3.26m/km, 2-시그마(95.5%) 수준은 1.37~4.66m/km 수준으로 나타나 본 연구에서 설정한 LOS의 A등급과 E등급의 각 임계값 1.5m/km, 5.0m/km는 적절하다고 판단된다(Table 5 참조). 한편 IRI 1m/km 이하, 5m/km 이상 등 잠재적인 이상치로 의심가능한 자료들을 제거 후 가공하는 방안도 검토하였으나, 해당되는 샘플규모가 매우 작고(IRI 1m/km 이하 0.28%, 5m/km 이상 1.64%), 해당값도 도로현황에 따라 도출가능영역으로 판단될 수 있으므로, 주관적 자료가공에 대한 논란을 배제하기 위해 원시자료를 그대로 활용하였다.

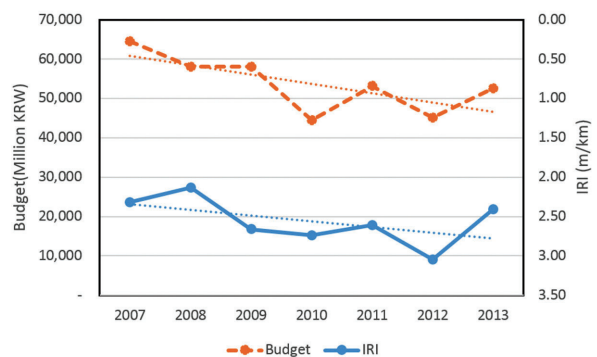
5.2. 투자예산과 성과간의 상관분석

본 절에서는 연도별 유지보수 관련 투자예산과 네트워크 수준 IRI의 상관성을 분석해 보기로 한다. 예산투자의 효과는 일반국도 포장관리시스템의 특성상 유지보수시기와 상태조사간의 시간차가 발생하기 때문에 y년도의 예산자료를 y+1년도 상태자료와 매칭하여 추이를 비교하였다. 두 시계열 자료간의 변화추이, 상관계수 등을 요약하면 Table 6, Fig. 3과 같다.

Table 6. Annual Maintenance Budget and Network IRI

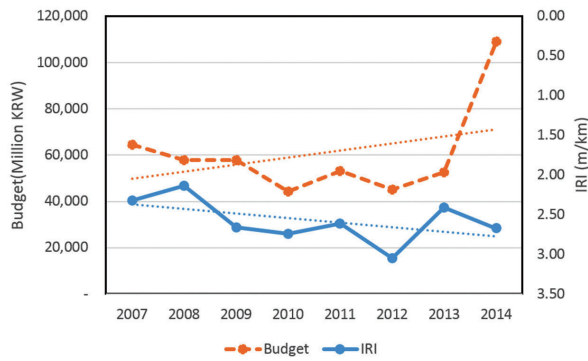
Fiscal year	Budget (billion KRW)	IRI (m/km)	Correlation R ¹⁾
2007	64.53	2.32	- 0.74
2008	58.01	2.13	
2009	58.01	2.66	
2010	44.42	2.74	
2011	53.13	2.61	
2012	45.19	3.05	
2013	52.53	2.41	
2014	109.181	2.67	

Note: 1) '2014 data excluded



(a) '2014 Excluded

<Fig. Continued>



(b) '2014 Included

Fig. 3 Correlation between Budget and Network IRI Level

Fig. 3은 두 변수간의 변화추이가 매우 상이한 2014년도 자료를 제거한 경우(Fig. 3(a))와 포함한 경우(Fig. 3(b))로 구분하여 구성하였다. 먼저 Fig. 3(a)를 살펴보면 전반적으로 예산감소에 따라 네트워크 서비스수준도 동반 하향하는 추세를 보여주고 있다. 또한 특정연도의 예산수준에 따라 상태도 민감하게 반응하여, 두 변수간의 상관계수 R값도 -0.74 로 통계적으로 상당히 유의한 수준으로 나타났다. 그러나 Fig. 3(b)에서는 2014년에 유지보수 예산지출이 급격히 증가했음에도 불구하고 네트워크 상태는 오히려 악화된 것으로 나타났으며, 이로 인해 상관계수도 0.10 수준(정상관)으로 변화했다.

이에 대한 원인은 먼저 2014년도의 포장상태 정보의 신뢰성을 의심할 필요가 있다. 현실적으로 IRI정보수집과 가공에 많은 절차와 관계자가 관여하고 있어 조사 오류, 측정오차 등이 포함될 가능성이 있다. 대표적으로 조사장비의 교체, 검지센서 보정, 정보수집구간 오류, 자료가공 상의 인적오류 등이 있을 수 있다. 예산 정보는 정부회계기준에 따라 집계된 정확한 자료라고 판단할 수 있으나, 그 활용이 기준과는 다른 패턴으로 집행되었을 수 있으며, 상세조사구간에 유지보수가 많이 이루어지지 않았을 가능성도 있다. 본 사례는 투자와 성과관리를 위해서는 정보의 신뢰성 확보가 매우 중요하다는 점을 시사한다. 한편, 본 논문내용의 일관성을 유지하기 위해 2014년도의 상이한 추세에 대한 원인은 향후 연구에서 구체적으로 검토하기로 하며, 이후의 분석에서는 2014년도 자료를 이상치로 간주하고 분석에서 배제하기로 한다. 다음으로 본 연구에서 설정한 LOS등급을 활용하여 예산수준에 따른 네트워크 IRI 상태를 보다 상세히 살펴보기로 한다(Table 7, Fig. 4~5 참조).

Table 7. Composition of LOS Grade by Calendar Year

Grade	Threshold (IRI m/km)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
LOS-A	Under 1.5	0.07	0.12	0.03	0.03	0.03	0.02	0.06
LOS-B	~ 2.5	0.61	0.64	0.44	0.43	0.46	0.38	0.55
LOS-C	~ 3.5	0.27	0.22	0.42	0.40	0.41	0.38	0.33
LOS-D	~ 5.0	0.05	0.03	0.11	0.12	0.09	0.15	0.06
LOS-E	Over 5.0	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.07	0.01
Budget (Million KRW)		64,532	58,010	58,010	44,419	53,128	45,191	52,528

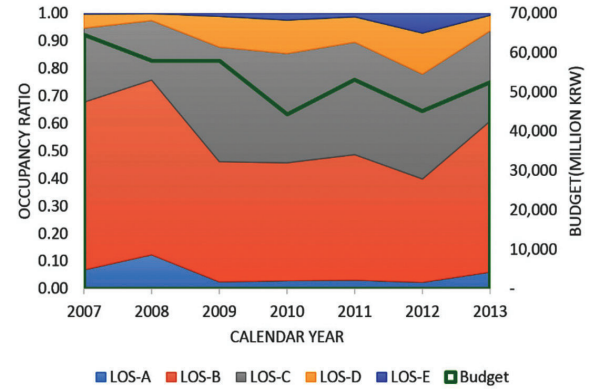


Fig. 4 Transition of LOS Rates by Investment Level

Fig. 4는 네트워크 LOS구성비의 변화과정을 보여주고 있다. 전반적으로 예산수준에 따라 보수수요와 잠재 보수 수요가 변화하고 있는 것을 확인할 수 있다. 만약 투자자와 자산관리인이 목표 서비스수준을 “D(Poor)수준 이하 10% 미만”으로 유지한다는 시나리오에 합의하였다고 가정하였을 때, 예산이 상대적으로 많이 확보된 2007, 2008년, 그리고 예산증액으로 잠시 상태가 개선된 2013년을 제외하고는 목표수준을 달성하지 못하고 있음을 알 수 있다. 당연히 보수수요(LOS D, E)와 잠재 수요(LOS C)의 비율도 증가추세에 있음을 확인할 수 있다.

5.3. LOS-COS 함수추정

도로관리자는 매년 차기 회계연도 필요예산을 추정해야 한다. 여기서, 필요예산은 GAP분석, 즉 현재 서비스수준과 목표서비스수준의 편차를 극복하는데 필요한 예산으로 정의할 수 있다. 예산수요추정은 프로젝트수준에서 유지보수 효과와 비용을 시뮬레이션하는 미시적 접근방법, 그리고 네트워크수준에서 LOS-COS간의 함수관계를 도출하는 거시적 방법이 있다. 본 연구에서는 후자의 관점에서 LOS-COS의 함수관계를 도출하기로 한다(Table 8, Fig. 5 참조).

Table 8. Regression between IRI and Cost in Network Level

Predictor	Coefficient (α, β)	Std. Error	t-value	R^2
Constant	4.2039	0.6809	6.1744	0.542
Budget	-0.003063	0.0013	-2.4343	

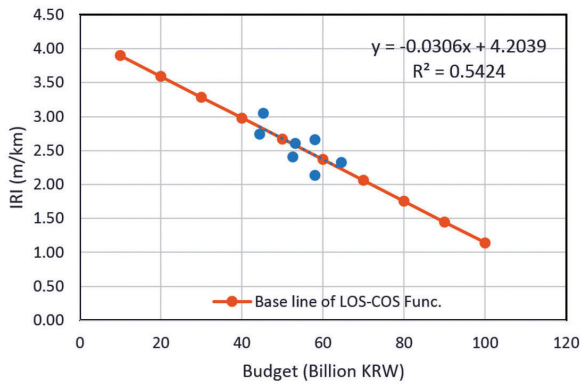


Fig. 5 Baseline of the LOS-COS Function

Table 8을 통해 도출된 함수식은 $IRI = 4.2039 + (-0.00306331x)$, 설명변수인 연간예산 x 의 t 통계치는 2.43으로 유의한 설명변수로 나타났다. 여기서 파라미터 β 값을 역산($1/|\beta|$)하면 네트워크의 IRI 1m/km을 개선하는데 326.442억 원이 필요하다는 결론을 얻을 수 있다. 이 단위비용을 근거로 각 서비스등급을 지속적으로 유지하는데 필요한 일반화비용은 A등급 882.67억/년, B등급 556.23억/년, C등급 229.78억/년 수준으로 분석되었다. 또한 분석기간 7년간의 평균 네트워크 IRI 2.56m/km을 유지하는데 필요한 예산추정액은 536.6억/년으로, 실제 예산집행액의 평균인 536.9억/년과 거의 동일한 수준으로 나타나 추정모형이 자료의 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

한편, Cohen(1988)의 분석기법에 따라 회귀모형 개발에 필요한 적정샘플규모를 추정해 본 결과 Effect size(f^2) 1.1834, 신뢰수준 90%에서 9개의 샘플이 요구되는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 활용한 샘플은 총 7개로 향후 지속적인 자료가공을 통한 통계적 유의성을 확보할 필요가 있다. 다만, 함수의 특성상 사용한 샘플들이 “시간”이라는 속성을 가지고 있어 단순히 통계적인 의미에서만 모형의 신뢰성을 판단하는 것은 무리가 있다. 무엇보다 해당모형의 핵심은 과거 정보에 대한 통계적 모형화라기보다는 차년도 도로서비스 수준과 예산 수요추정에 대한 신뢰성이기 때문이다. 한 예로 모형 개발에 너무 오래된 정보를 활용하면 도로연장의 변화, 유지보수자료/설계기준의 변화, 물가상승 등 최신 경향을

모형에 담아내기 어렵다는 한계가 있다. 향후 연구에서는 모형개발/업데이트에 활용될 샘플의 정상성과 시간적 규모에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

5.4. LOS-COS 함수를 이용한 적정예산수요 및 네트워크 상태예측 모형 개발

도로관리자-예산할당자 간의 예산협상 시 순조로운 소통을 위해서는 “예산수준에 따라 무엇이 변화하는가?”에 대한 정보가 필요하다. 특히 도로관리자는 1)현재 서비스수준 유지를 위해 필요한 한계예산수준, 2)목표 서비스수준 달성을 위한 필요예산, 그리고, 3)예산할당자가 제안한 예산수준에 따라 도로서비스수준이 어떻게 변화할 것인가에 대한 객관적 증거를 준비해야 할 필요가 있다. 예산수요와 도로상태는 전년도의 구간별 상태와 도로규모, 포장의 파손속도, 유지보수 기준, 보수 유형과 단가, 예산제약수준 및 최적화기법 등 다양한 요소에 영향을 받아 결정되며, 추정에 복잡하고 정교한 생애주기비용분석모형이 요구된다. 그러나 활용되는 변수에 많은 불확실성이 내재되어 있고 폭넓은 가정을 포함하고 있어 높은 정확성을 보장하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 도출된 LOS-COS 함수를 이용하여 상기 3가지 정보를 제공할 수 있는 모형을 제시하기로 한다.

본 연구에서 제시하는 모형은 전년도 네트워크 상태에 따라 해당수준을 유지하는데 필요한 임계예산을 계산하고 이보다 많은 예산이 투입되면 상태개선, 그렇지 않을 경우 상태가 악화된다는 개념을 구현한다. 해당모형은 경험적 추정기법으로 이해관계자들의 이해가 용이하며, 추정도 매우 간단하여 높은 활용도를 기대할 수 있다. 모형의 기본식은,

$$\hat{R}_{y+1} = \bar{R}_y + \Delta \hat{R}_y \quad (y = 1, \dots, Y) \quad (1)$$

여기서,

$$\hat{R}_{y+1} = y + 1 \text{년도의 네트워크 IRI}$$

$$\bar{R}_y = y \text{년도의 네트워크 IRI}$$

$$\Delta \hat{R}_y = [y - y + 1] \text{년에 발생하는 네트워크 IRI 변화량}$$

으로 각 변수에 표기된 $[\hat{\quad}]$ 은 추정치, $[\bar{\quad}]$ 는 조사된 값으로 확정치를 의미한다. Eq. (1)의 형태와 같이 목적함수는 $\Delta \hat{R}_y$ 로 $[y, y + 1]$ 년도 사이에 발생하는 네트워크 IRI의 변화량이다. 이 목적함수를 “0”으로 만드는 예산수준은 현재 서비스수준 유지를 위한 임계예산이 되며,

목표 서비스수준 \bar{R} 을 만족하도록 $\bar{R}_y + \Delta\hat{R}_y = \bar{R}$ 로 구성하면 목표서비스수준 달성을 위한 예산수요추정이 가능하다. 마지막으로 예산할당자가 제안한 예산수준을 활용해 $\Delta\hat{R}_y$ 를 계산하면, 예산제약 하에서의 차기년도 상태 \hat{R}_{y+1} 를 예측할 수 있다. 여기서, $\Delta\hat{R}_y$ 는 Eq. (2)~(5)를 통해 순차적으로 추정한다.

$$\Delta\hat{R}_y = \Delta\hat{C}_y / \hat{C} \quad (2)$$

$$\Delta\hat{C}_y = \bar{C}_y - \hat{C}_y \quad (3)$$

$$\hat{C}_y = (\alpha - \bar{R}_y) \times \hat{C} \quad (4)$$

$$\hat{C} = \frac{1}{|\beta|} \quad (5)$$

여기서,

\bar{C}_y = y 년도의 실제예산

\hat{C}_y = y 년도의 IRI수준을 유지하는데 필요한 예산수준

\hat{C} = IRI 1m/km를 개선(-)하는데 필요한 단위비용함수

α, β = 회귀식 파라미터(Table 8 참조)

한편, 앞서 언급했던 목표서비스 수준 \bar{R} 을 달성하는데 필요한 예산수준 $\hat{C}_y(\bar{R})$ 은,

$$\hat{C}_y(\bar{R}) = \hat{C}_y + \{(\bar{R} - \bar{R}) \times \hat{C}\} \quad (6)$$

로 정식화할 수 있다. 본 연구에서 제시한 모형에 과년도 예산집행실적과 상태자료를 활용하여 연도별 네트워크 IRI상태를 예측하고, 실제 측정치와 추세를 비교해 보았다(Fig. 6 참조).

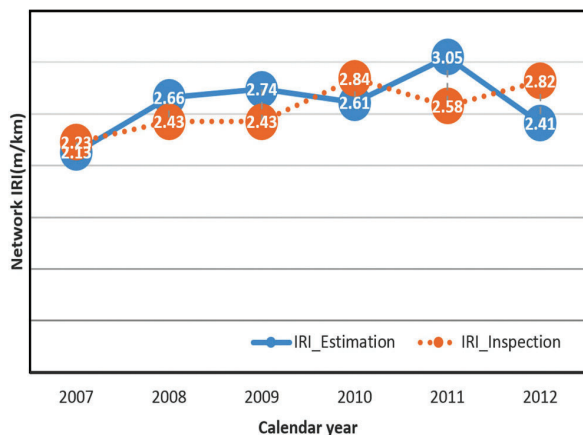


Fig. 6 Estimation of Network IRI Condition Using the LOS-COS Function

이와 같이 LOS-COS 함수를 이용하면 예산수요추정

및 네트워크 상태예측에 관한 정보를 비교적 쉽게 도출할 수 있으며, 응용에 따라 장기 재무리스크 분석모형 개발도 가능하다.

본 연구에서 제시한 LOS-COS 함수의 추정 및 활용 방안은 매우 간단하다. 그러나 함수추정을 위해서는 장기간에 걸쳐 수집된 장기공용성자료, 그리고 순수하게 보수에만 사용된 예산의 취합정보가 필요하다. 이는 사전에 전략적으로 조사·취합하지 않으면 구성하기 어려운 정보이다. 또한, 해당정보의 신뢰성(정보수집기준/방법 변화, 가공상의 오류, 조사장비 및 센서보정 등)을 면밀히 검토해야 하며, 함수개발 후에도 추가적인 정보수집에 따른 지속적인 업데이트는 물론, 이벤트나 정책 변화 등으로 인한 추세변화에 따라 모형분리·재구성이 요구될 수 있다.

6. 결론

본 연구는 공공부문의 성과관리를 위한 기반연구로 1)도로포장관리에 대한 성과평가체계, 2)LOS-COS함수추정, 3)네트워크 수준에서의 적정예산 및 상태예측 모형을 주요 연구내용으로 하고 있다. 본 연구의 주요연구결과·성과를 요약하면 다음과 같다.

- 도로포장의 서비스지표(성과)로 국제포장평탄성지표 IRI를 제안한다.
- 도로투자과 성과간의 상관계수는 -0.74수준으로 비교적 높은 상관도를 나타냈다.
- LOS-COS함수로 $IRI=4.2039+(-0.00306331^* \text{예산(억 원)})$ 를 제시한다.
- 일반국도네트워크 IRI 1m/km 개선에 필요한 단위비용은 326.4억으로 분석되었다.
- LOS등급별 예산수요는 A=882억/년, B=556억/년, C=230억/년 수준으로 분석되었다.
- 도출된 LOS-COS함수를 응용한 도로상태-예산수요 예측모형을 제시하였다.
- LOS-COS함수 추정/관리를 위해서는 전략적인 정보수집, 정보의 신뢰성 관리가 필요하다.

본 연구는 비교적 손쉽게 LOS-COS 함수를 개발할 수 있는 방법론의 제시, 도출된 LOS-COS함수를 응용한 도로상태/예산수요 예측모형의 개발, 그리고 우리나라에서는 최초로 포장관리에 대한 성과평가를 시도했다

는 점에서 연구의 기여도와 독창성이 있다. 본 연구에서 제시한 LOS-COS 함수의 추정방안은 매우 간단하나 함수추정을 위한 장기공용성자료와 예산정보의 수집, 정보의 신뢰성 확보 등 관련정보 수집과정이 매우 까다롭고 많은 노력과 비용이 필요함을 알 수 있었다.

도로에는 포장 이외에도 독자적 기능을 갖는 수습 가지의 자산유형이 존재한다. 이들은 모두 도로관리 목표에 영향을 미치고 있으며, 매년 유지보수 예산을 필요로 한다. 향후 연구에서는 종합적인 관점에서의 목표경영을 위해 도로시설물 전반에 걸친 성과지표와 LOS체계, 그리고 LOS-COS함수가 개발되어야 할 필요가 있다. 또한 자산유형별 가중치 설정, 리스크 분석체계 도입 등 예산수요들 간의 경쟁관계에 대한 균형을 도모할 수 있는 자산관리 분석도구의 개발이 필요하다.

한편, 본 연구에서는 IRI를 중심으로 한 단일지표체계를 제시하였다. 그러나 도로미관과 관련된 균열, 우천시 주행안전과 관련된 소성변형 등 IRI만으로 평가하기 어려운 요소들은 여전히 존재한다. 특히 이 두 포장지표는 일반국도포장관리시스템과 한국형포장설계법에서 활용되고 있어 향후 연구를 통한 서비스 지표로의 확대 적용이 필요하다.

REFERENCES

AASHTO(American Association of State highway and Transportation Officials) (2011), Asset Transportation Asset Management Guide; A Focus on Implementation, AASHTO, Washington, D.C.

ASTM (2015), ASTM E1926-08: Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Carter, N., Klein, R. and Day, P. (1992), How Organizations Measure Success: The Use of Performance Indicators in Government, Routledge, London.

Chan, C.Y., Huang, B., Yan, X. Richards, S.H. (2009), "Effects of asphalt pavement conditions on traffic accidents in Tennessee utilizing pavement management system", Transportation Research Board Annual Meeting 2009, Paper #09-2054, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Doran, G.T. (1981), "There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management's Goals and Objectives", Management Review, Vol. 70, No. 11, pp.35-36.

Drucker, P.F., (1954), The Practice of Management, Harper & Row, New York.

EX (Korean Expressway Corporation) (2012), Highway Pavement Condition Survey and Analysis (2012), Korean Expressway Corporation).

FHWA (Federal Highway Administration) (2002), Pavement Smoothness Index Relationship; Final Report, Federal Highway Administration, VA.

FHWA (Federal Highway Administration) (2006), Pavement Distress Identification Manual: for the NPS Road Inventory Program Cycle 4, 2006-2009(Available in: <http://www.wistrans.org/mrutc/files/Distress-ID-Manual.pdf>).

Han, D., Yoo, I., and Lee, S. (2014), "Development of Level of System for Road Infrastructure Asset Management", International Journal of Highway Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. 76-86 (in Korean).

IPWEA (Institute of Public Works Engineering Australasia) (2015), International Infrastructure Management Manual, 5th eds., Institute of Public Works Engineering Australasia.

ISO (2014), ISO 55000~2; Asset Management, International Standard Organization, Geneva.

JSCE (Japan Society of Civil Engineers) (2009), Challenge for Implementation of Asset Management(アセットマネジメント導入への挑戦), Japan Society of Civil Engineers, Tokyo (in Japanese).

Kang, J. and Cho, Y. (2001), "Suggestions for Improvement of Pavement Roughness: Case Study in Arizona state", Journal of the Korean Society of Pavement Engineers, Vol. 3, No. 2, pp.52-58. (in Korean).

KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) (2015), Final-Report of the National Highway Pavement Management System 2015, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong-Si (in Korean).

Kim, K. (2013), "An Analysis of the Attitude on the Performance of the Double-entry and Accrual Basis Accounting System in Korean Local Governments", Korean Governmental Accounting Review, Vol. 11, No. 1, pp.61-84 (in Korean).

Kobayashi, K., Do, M., and Han, D. (2010), "Estimation of Markovian Transition Probabilities for Pavement Deterioration Forecasting", KSCE J. of Civil Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 341-351.

Kwon, S., Kim, N. and Seo, Y. (2000), "A Study on Development of the Concrete Pavement Condition Index", Journal of the Korean Society of Pavement Engineers, Vol. 2, No. 3, pp.145-154 (in Korean).

Lee, S., Bae, Y., Kwon, Y. and Kim, J. (2015), A Study for Pavement Smoothness Index Reflecting Urban Road Characteristics, Journal of Seoul Research, Vol. 16, No. 4, pp.129-145 (in Korean).

Lee, W. and Kang I. (2013), "Ways to Improve Cost Management at Local Government", Korean Governmental Accounting Review, Vol. 11, No. 1, pp.31-64 (in Korean).

- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2015), A Handbook of Road Works, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejeong-Si (in Korean).
- NAA (National Accounting Act) (2014), National Accounting Act (in Korea), Korean Government (in Korean).
- NRA (National Road Act) (2014), National Road Act (in Korea), Korean Government (in Korea).
- Odoki, J.B. and Kerali, H.G.R. (2000), Highway Development and Management Series Vol. 4: Analytical Framework and Model Descriptions, PIARC, La Defense Cedex.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (1987), Pavement Management systems, Road Transport Research, OECD, Paris, France.
- Park, Y., Chon, B., Kim Y. and Lee S. (2010), "Development of Roughness-Model for Jointed Plain Concrete Pavement in Express Highway", Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol. 12, No. 2, pp.9-16 (in Korean).
- Poister, T. (2003), Measuring Performance in Public and Nonprofit Organizations, Jossey-Bass, San Francisco.
- Reid, R.A., Clark, T.M. (2003), Roughness on Virginia's Road; 2003 Annual Roughness Report, Virginia Department of Transportation, Virginia. (Available in: <http://www.virginiadot.org/business/resources/bu-mat-pde-03IRIRReport.pdf>).
- Sayers, M.W., Gillespie, T.D., and Queiroz, C.V.V. (1986), The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements, The World Bank Technical Paper No. 45, Washington, D.C. US.
- Smith, R.W. and Lynch, T. D., (2003), Public Budgeting in America (5th eds.), Pearson.
- Son, Y., Lee, J., Lee, S. and Jung C. (2010), "Comprehensive Evaluation of Freeway Surface Conditions based on User's Satisfaction", Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 37-47 (in Korean).
- WSDOT (2015), WSDOT Pavement Roughness (IRI) Report: 2010~2012, WSDOT Pavement Notebook, Washington Department of Transportation, Washington DC. (Available in: <http://www.wsdot.wa.gov/Business/MaterialsLab/Pavements/PavementNotebook.htm>).