

도로시설물 자산관리를 위한 서비스수준체계 개발

Development of Level of Service System for Road Infrastructure Asset Management

한 대 석 Han, Dae Seok
유 인 균 Yoo, In Kyoon
이 수 형 Lee, Su Hyung

정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 교신저자 (E-mail: hands@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail:ikyoo@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail: shlee1@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The aim of this paper is developing user-oriented flexible Level Of Service (LOS) system for integrated asset management of various road facilities. It is essential to overcome limitations of general management systems which only focus on a type of assets (e.g. pavement, bridge etc.), and to serve a customizable LOS platform for smooth implementation and future improvement of the LOS considering various managerial environments of road agencies.

METHODS : This study suggested a total framework of the LOS system as a process for self-development, operation and improvement of LOS system to conduct the PDCA (Plan-Do-Check-Act) in management process. In the process, we adopted user-customizable elements regarding asset definition, service index and evaluation method to match with the managerial environment of road agencies. In addition, we conducted an empirical study on the entire process of the suggested LOS system with a real road agency (Korea Express Highway) to prove applicability of the LOS system.

RESULTS : From the empirical study, we confirmed that the suggested LOS system framework were suitable for development of customized LOS system. In addition, evaluation of asset conditions by LOS ratings, and quantification of vision achievement of the Korea Express Highway were successfully made. It would be the first trial in integrated management approach with LOS systems for numerous road facilities.

CONCLUSIONS : It was recognized that easy application and sustainable improvement of the LOS was the most critical point in asset management. The suggested LOS system would be a powerful weapon as a managerial tool in preparing tight budget, aging infrastructures, and increased demands for more accountability both in Korea and internationally. Implementation of the LOS system needs to be expanded to the other infrastructure members to serve satisfactory level of service to taxpayers.

Keywords

road infrastructures, asset management, level of service, maintenance, korea express highway

Corresponding Author : Han Dae Seok, Senior Researcher
Highway Pavement Research Division, SOC Research Institute, Korea
Institute of Civil engineering and Building Technology(KICT),
Goyangdaero 283, ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel: +82-31-995-0840 Fax: +82-31-910-0161
E-mail : hands@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received May, 30, 2014 Revised Jun, 5, 2014 Accepted Jul, 17, 2014

1. 서론

도로는 사람과 물자의 이동을 담당하는 주요 국가자산 중 하나로 국가경제의 질적, 양적 성장은 물론 국민

의 삶의 질 향상에 중요한 역할을 하고 있다. 도로연장은 1970년대 도로건설이 활발했던 시기를 지나 현재는 그 증가추세가 둔화되었지만 여전히 증가하고 있으며,

포장 이외에도 원활한 소통, 안전, 경관 등을 위해 수 많은 시설물들이 부가적으로 설치되고 있다. 이 도로시설물들은 신속, 안전, 쾌적한 이동을 경제적으로 제공하는데 목적이 있으며, 이들의 본래 기능을 유지하는 것은 국가적 차원에서 매우 중요한 일이다. 그러나 도로시설물들은 도로의 이용과 시간의 흐름에 따라 고유기능도 점점 저하되며, 일정 수준에 다다르게 되면 원래 의도했던 기능을 회복하기 위해 유지보수를 수행하게 된다. 이 시설물들의 관리는 국가적 차원에서 국민의 세금을 통해 수행되며, 도로관리자들은 이 예산을 효율적으로 활용하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

최근 우리나라는 물론 전세계적으로 도로시설물의 관리는 1) 유지보수수요 증가, 2) 관련예산부족, 그리고 3) 설명책임(accountability)이라는 새로운 국면을 맞이하고 있다. 1970년대부터 건설된 도로의 노령화로 인해 같은 도로 연장이라도 유지보수 수요는 점차 증가하는 추세에 있으며, 도로이용자의 다양한 수요를 충족하기 위해 과거에는 없던 새로운 시설과 장비가 추가되면서 관리해야 할 시설물도 많아지고 있다. 이에 반해 최근 복지와 환경, IT에 관심이 집중되면서 관련예산 확보에 어려움을 겪고 있다. 이는 예산협상에 있어 복지와 환경이 중요한 만큼 도로의 유지관리도 중요하다는 사실을 객관적으로 증명하기 어렵기 때문이다. 이러한 상황에서 도로관리자는 부족한 예산을 어떻게 집행할 것인가에 관한 의사결정을 수행해야만 하는데, 여기서 중요한 것이 바로 예산집행의 설명책임이다. 최근 국민의 의식수준이 향상됨에 따라 집행된 예산에 대한 당위성/투명성/객관성, 즉 무엇을 위해 얼마의 예산을 쓰고, 그 예산을 통해 무엇을 얻었는지, 그리고 그 예산집행이 국민의 요구에 부합하는가에 대한 설명과 책임이 필요하게 되었다. 이것이 가능해지면 예산부족에 대해 효율적으로 대처할 수 있으며, 나아가 적정예산을 요구하는 데에도 핵심정보로 활용될 수 있다. 즉, 도로관리자는 이제 사회적 요구에 입각한 목적을 설정하고, 이를 달성하기 위한 효율적이고 객관적인 도로관리전략을 수립해야 할 필요가 생겼다.

이러한 국면에 있어 우리나라는 물론이고 해외에서도 가장 큰 문제점으로 인식되고 있는 것이 바로 “소통”이다. 즉 관리자와 예산결정자의 소통, 계획과 현실간의 소통, 나아가 공학과 경영의 소통이다. 관리자는 공학적 관점에서 실행에 포커스를 두고 정량적 의사결정을 추구하지만, 운영자는 이상적인 목표를 위해 경영적 관점에서 다소 정성적인 의사결정을 수행한다. 이

들 사이에 소통을 위해서는 서로 공유할 수 있는 성과지표를 설정하고 이에 대한 “비용-효과”함수 개발이 필요하다.

이에 대한 해결책으로 부각되고 있는 것이 바로 자산관리시스템(asset management system), 그리고 서비스수준(Level Of Service; LOS)이다. 자산관리시스템은 국가공공재를 하나의 자산으로 인식하는 개념으로, 실물자산의 상태, 그리고 이에 따라 변화하는 자산의 기능, 그리고 목표를 달성하기 위한 재무자산운영의 황금비율을 찾아내기 위한 일련의 체계이다. 자산관리시스템은 자산의 현황파악부터, 지표설정을 통한 자산상태정의, 자산상태예측, 중장기 생애주기비용 분석, 예산제약-목적함수를 고려한 최적화 과정에 이르기 까지 다양한 내용을 포함한다. 그러나 이 모든 분석과 의사결정과정에 관여하면서 균형과 소통의 도구로 활용되는 것이 바로 서비스수준이다.

그간 도로유지관리와 관련된 연구들을 살펴보면, 주로 포장이나 교량 등 초기투자비용이나 관리비용이 큰 단종자산을 중심으로 공학적 측면에서 연구가 이루어지면서, 서비스수준의 도입을 통한 통합자산관리의 관점에서 해결책을 제시하고자 한 사례는 찾아보기 어려웠다(PIARC, 2000; Walls III et al., 1998; Han and Do, 2007; Han, 2011; Park et al., 2008; Kang et al., 2009). 한편, 기존의 서비스수준에 관한 연구나 지침들은 관리가 아닌 계획적 측면에서 시설물의 규모를 결정하기 위한 내용이거나, 개별 도로시설물의 준공(성능)기준에 관한 내용이 주를 이루고 있었다(TRB, 2010; Oh et al., 2013; Jo et al., 2009; Choi et al., 2009). 최근 해외에서 수행된 서비스수준을 전문으로 한 연구들을 살펴보면(Jenks et al., 2010; WSHDOT, 2012), 주로 자산유형별 서비스수준을 제시하는데 연구의 포커스가 맞추어지면서 서비스수준 자체의 현실성 평가에 관한 내용이 미흡하였으며, 활용적 측면에서 다양한 정보수요에 대처하기 위한 서비스수준의 통합방안에 대한 고려도 충분히 이루어지지 못했다. 즉, 본 연구에서 강조하고 있는 기술적 측면과 경영적 측면, 나아가 적용 및 활용가능성까지 고려하고 있는 연구는 찾아보기 어려웠다.

이에 본 연구에서는 자산관리시스템의 기반연구로써 서비스수준체계에 관한 연구를 수행하고자 하였다. 본 연구에서는 선행연구들의 한계와 실증연구에서의 수 많은 시행착오를 통해 얻어진 교훈을 기반으로 다음사항을 서비스수준의 주요개발전략으로 제시하고

있다. 먼저, 1) 서비스수준을 단순한 상태기준표가 아닌, 개발과정부터 통합 및 활용, 향후 개선방안 이르기까지 하나의 체계로서 정립하였다. 또한 2) 경영적 관점에서 관리자가 추구하고자 하는 거시적 목표에 대한 정량적 평가체계를 개발하였다. 그리고 마지막으로 3) 관리자가 처해있는 관리환경의 이질성을 고려하기 위해 조사가능성을 고려한 다중서비스수준체계의 적용 방안을 제시하여 현재는 물론 미래의 개선가능성도 고려하였다. 이는 기존의 국내외 서비스수준 연구들과는 차별화되는 내용으로, 서비스수준의 접목가능성과 활용도를 근본적으로 개선할 수 있는 대안이다. 본 연구에서는 이러한 전략을 기반으로 우리나라에서는 최초로 다양한 도로시설물에 대한 통합서비스수준체계를 개발하고, 실증연구를 통해 현실성과 그 접목가능성을 확인해 보았다.

2. 서비스수준체계의 정의

본 연구에서는 서비스수준을 ‘균형과 소통의 도구’로 언급하고 있다. 일반적으로 자산관리는 물리적인 자산을 관리한다는 측면에서 이해되고 있으나, 실물자산과 재무자산, 자산의 기능, 나아가 관리자의 유지보수 행위를 동시에 관리하는 것이 더 정확한 이해이다. 이에 대한 개념을 Fig. 1에 제시한다.

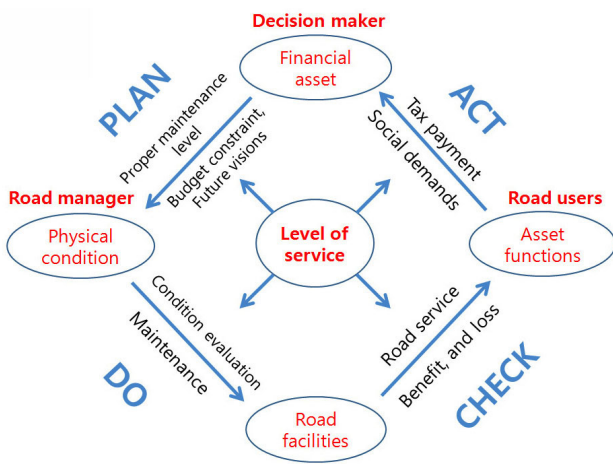


Fig. 1 Roles of Level Of Service(LOS) in Asset Management

Fig. 1과 같이 서비스수준은 자산의 상태평가부터 유지보수, 적정예산수요분석, 서비스제공, 경제성 평가, 사회적 수요의 정량화 등 자산관리의 모든 부분에 관여하고 있다. 서비스수준의 도입을 통해 자산관리절차의 정량화가 가능해지며, 목표 서비스수준에 의거한 단기/

장기 예산수요의 예측이 가능해져 객관적 예산편성에 필요한 정보를 제공할 수 있다. 또한, 집행된 예산의 효율성 평가, 관리자 및 기관평가, 외주사업의 달성도 평가 등 경영자적 측면에서도 다양한 활용이 가능하다. 그 외에도 사회환경에 따라 시시각각 변화하는 의사결정 기준에 유동적 대응이 가능해지며, 추구하고자 하는 목표를 어떻게 달성하고, 얼마나 달성했는지에 관한 정보 제공이 가능하다. 즉, 관리자는 예산의 집행과 평가에 대한 해답을 PDCA(Plan-Do-Check-Act)순환 과정을 통해 찾아내고 또 갱신해 나갈 수 있다.

서비스수준의 3요소는 1) 평가대상, 2) 평가지표, 3) 평가등급으로 정의될 수 있다. 여기에 보다 현실적이고 다양한 활용을 위해 4) 서비스수준의 통합평가를 추가할 수 있다. 평가대상은 어떤 자산을 관리대상으로 정의할 것인가에 관한 내용으로 포장, 교량, 터널, 조명 등을 그 예로 들 수 있다. 평가지표는 평가대상의 상태를 대표할 수 있는 지표를 의미하며, 평가등급은 수치화된 평가지표의 일반적인 범위를 설정하고, 그 수치가 내포하고 있는 의미를 고려하여 서비스 등급의 임계값(threshold)을 결정하는 것이다. Table 1은 서비스수준 3요소에 대해 간단한 예를 제시하고 있다.

Table 1. A typical Example on LOS Definition (Case : Pavement)

Asset type	LOS indicator	Rating	Threshold (m/km)	Description
Pave-ment	IRI (Inter-national Roughness Index, m/km)	A	0.0~2.0	Very good: Best condition after construction or maintenance
		B	2.0~2.5	Good: Comfort in driving, and difficult to find deterioration evidence
		C	2.5~3.0	Normal: Most general condition. No problem in driving but deterioration accelerated
		D	3.0~3.5	Poor: Deteriorated condition can be easily found by visual inspection, and drivers can easily feel vibration in the driving
		E	Over 3.5	Very poor: Vibration disturbs usual driving patterns, and demands maintenance works over rehabilitation level (e.g. overlay)

3. 서비스수준체계의 개발

본 연구에서는 서비스수준체계의 개발과정을 PDCA

과정에 착안하여 다음 순서로 제시하기로 한다. 1) 서비스수준의 활용목적과 개발전략수립, 2) 자산목록정의, 3) 서비스지표와 등급정의, 4) 조사방안 정의를 통한 초안설정이 완료되면, 5) 초안에 대하여 관리자, 조사자, 정책결정자들과 기술적/운영적/경영적 측면에 대한 적합성을 검토하고, 마지막으로 6) 현장조사와 평가를 통해 설정된 서비스수준체계를 최종검증한다. 본 절에서는 이들 과정에 대해 보다 구체적으로 서술하기로 한다.

3.1. 서비스수준체계의 개발전략과 기본 틀 제시

국내의 선행연구 고찰, 실증연구에서의 반복적 시행착오를 통해 정립된 본 연구의 서비스수준체계 개발전략은 다음으로 요약될 수 있다. 먼저, 1) 단순히 자산유형별 서비스수준만이 아닌 개발과정과 정보수요에 대처하기 위한 통합기법에 이르기까지 하나의 체계로써 정립해야 할 필요성이 있다는 점이다. 그리고 2) 경영적 관점에서 관리자가 추구하고자 하는 거시적 목표에 대한 정량적 평가체계를 개발하여 제시할 필요가 있다. 또한, 3) 관리자가 처해있는 관리환경의 이질성을 고려하기 위해 조사가능성을 고려한 다중서비스수준체계를 제시함으로써 관리자의 관리환경에 적합한 서비스수준체계를 스스로 구성하고 갱신할 수 있도록 해야 한다. 4) 마지막으로 문헌고찰이나 선행연구만을 참조해서는 현실적인 서비스수준체계가 성립될 수 없기 때문에, 실증연구를 통한 현실성과 적용가능성의 평가절차가 반드시 필요하다.

한편 서비스수준체계의 기본 틀은 1) LOS의 도입목적의 정의, 2) 자산의 정의 및 자산레지스터 구축, 3) 서비스 지표정의, 4) 서비스수준 평가로 구성되며, 5) 서비스수준체계의 개선으로 구성된다. 여기서 서비스수준의 개선은 관리자의 유지관리환경, 관리목표 등이 변화함에 따라 현재 활용 중인 서비스수준체계가 적합하지 않은 경우에 활용되는 절차로 크게 자산항목의 개정, 서비스지표의 개정, 서비스 등급의 개정, 평가방법의 개정으로 구분된다. 관리자는 변화하는 관리환경에 대응하기 위해 지속적인 적합성 평가를 수행하여 LOS를 개선한다. 이에 관한 절차는 Fig. 2를 통해 제시한다.

3.2. 자산의 정의방안

자산의 정의는 서비스수준개발의 첫 단계로써 시스템의 근간을 결정하는 매우 중요한 사항이다. 본 연구에서

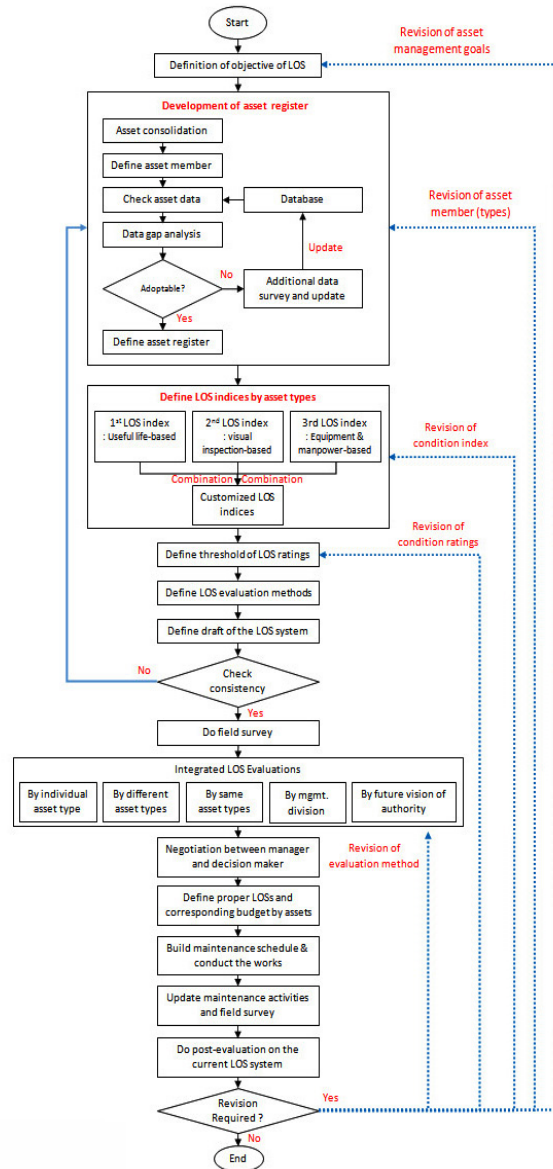


Fig. 2 Development of Framework of LOS Systems

는 이에 관한 방안으로 자산의 계층화 구조를 활용하는 방안을 제시한다.

도로자산에는 토지부터, 가로수, 사무소, 차량, 인적 자원 등 다양한 유형의 자산이 포함될 수 있는데, 이와 같이 가장 포괄적인 수준을 Level 1으로 정의한다. 여기에 실물자산을 위해 재무자산이 투입되지 않는 자산을 제외한 경우를 Level 2로 정의한다. 다음으로 Level 2의 자산 중에 현황파악이 가능한 자산을 Level 3로 정의한다. Level 3가 일반적인 자산관리의 영역으로 구분될 수 있지만, 경우에 따라 그 수가 너무 많아 운영이 어렵거나 자료가 불완전한 경우가 많다. 이에 선택과 집중이 필요하게 되는데, 자산이긴 하지만 연간 유지보수비용의 투자비율이 미미한 자산들이 선택적으로 제외될 수 있다. 이를 Level 4로 정의한다. 그러나, 교량이나

터널, 옹벽 등 안전과 관련된 핵심자산들은 포함되어야 하며, 연간 유지보수비용이 작더라도 도로의 주요 기능과 밀접한 관계를 갖는 자산들은 포함되어야 할 필요가 있다. Level 5는 자산의 구체도에 대한 정의로 Level 1~4와는 다른 차원의 개념이다. 예를 들어 교량을 하나의 자산으로 간주할 지, 교량을 구성하는 부재들을 최소 자산으로 정의할 지에 관한 개념이다. 위계가 구체적일 수록 결과물의 신뢰성은 증가하지만, 반대로 시스템의 개발과 운영은 극도로 복잡해진다. 마지막으로 자산유형의 추가적 관점에서 자산이 무형이거나 시설물이 아니라도 예산이 투입되고 있다면 자산으로 추가될 필요가 있다. 예를 들어 청소나 삭초, 차선도색 등은 실물자산은 아니지만 현실에서 많은 인력과 비용을 투입하고 있는 사항이다. 자산관리의 목적이 재무자산의 분배와 도로의 기능유지라는 측면에서 고려되어야 할 사항이다. 이것이 포함되면 “Plus”를 덧붙이기로 한다(Fig. 3 참조).

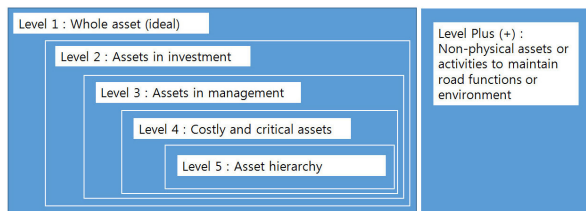


Fig. 3 Definition of Asset Objects based on Hierarchical Structure

3.3. 서비스 지표의 설정방안

서비스 지표는 자산의 상태를 대표하는 지표를 의미한다. 본 절에서는 서비스 지표의 요건과 설정방안에 대해서 제시하기로 한다.

먼저, 서비스 지표는 측정/조사가 가능해야 하며, 이 정보를 참조하여 관리자가 유지보수를 수행함으로써 직접적으로 목표를 달성할 수 있어야 한다. 이에 관해 Doran(1981)은 SMART(Specific-Measurable-Assignable-Relevant-Time bounded) 개념을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 이 개념을 도로관리관점에서 재해석하여 “SMART-UC”의 개념을 제시하기로 한다. 1) (Specific) 자산유형 혹은 추구하고자 하는 목적과의 연계성이 확보되어야 한다. 2) (Measurable) 측정이 가능해야 한다. 3) (Attainable) 달성이 가능해야 한다. 4) (Result) 유지보수 활동을 통해 달성되는 구체적인 결과물 이어야 한다. 5) (Time-bounded) 일정한 기간에 달성여부를 확인할 수 있어야 한다. 추가적으로 6)

(User-oriented) 서비스 지표는 고정된 것이 아닌 적용하고자 하는 주체의 관리환경, 목표달성에 적합해야 한다. 7) (Cost-effective) 상태조사를 위한 비용이 합리적이고 수용 가능한 수준이어야 한다.

다음으로 서비스 지표의 설정방안에 관해 “Input-Output-Outcome” 기반 서비스지표, 그리고 맞춤형 서비스수준 개발을 위한 “다중서비스수준체계”에 대해 제시하기로 한다. 서비스수준체계 개발전략에 있어서 핵심은 서비스 지표를 정의하는 것으로, 자산의 상태관리(input)와 관리수준에 따라 변화하는 기능(output), 그리고 이 기능을 도로이용자가 활용함으로써 나타나는 성과(outcome)에 관한 이해가 필수적이다. 서비스수준체계가 “Input-Output-Outcome” 중 무엇을 지향할 것인지를 결정하는 것은 자산관리시스템의 근간을 결정하는 것이며, 이들은 각각 “운영(operation)-전술(tactics)-전략(strategy)” 기반 서비스수준체계로 간주될 수 있다. 이에 관한 개념을 Fig. 4에 나타내었다.

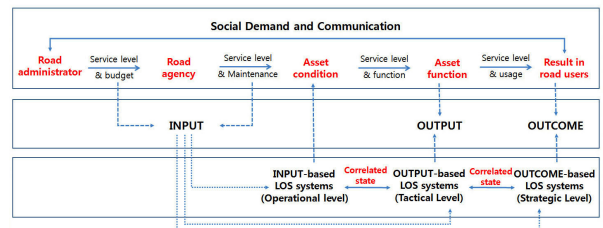


Fig. 4 Different Dimensions of LOS Systems and their Relationship by Input, Output and Outcomes

Input기반 서비스수준체계는 도로관리자가 유지보수 업무에 직접적으로 활용이 가능하기 때문에 매우 현실적이고 객관적이다. 그러나 Input-Output간의 관계, 나아가 Output-Outcome간의 관계를 정량화해야 한다는 문제가 잔존한다. 역으로 Outcome기반 서비스수준체계는 가장 이상적이지만, 이를 조절하기 위해 관리자가 어떤 자산유형에 어떤 유지보수를 얼마나 더 투입해야 하고, 그를 위해 얼마의 예산이 요구되는지에 관한 정보를 도출해야만 한다. 관리자의 입장에서 세금을 내는 국민의 사회적 요구와 만족을 추구한다는 점은 분명히 지향해야 할 부분이지만, 구체적이고 명확한 기준 없이 Outcome기반 서비스수준체계를 도입하는 것은 오히려 관리자가 아무것도 할 수 없게 만든다. 이들의 관계를 정량적으로 규명하는 것은 심도있는 연구가 필요한 사항으로 향후 연구로 남겨두기로 한다.

한편, 본 연구에서는 얻어진 핵심성과 중 하나는 서비

스수준체계의 성공적 도입과 지속적 운영가능성은 서비스지표의 조사가능성에 달려 있다는 것이다. 즉 서비스수준체계가 관리자의 예산/장비/인력현황에 부합하는지, 그리고 관리주체의 의지와 부합하는지에 관해 충분히 고찰이 이루어져야 한다는 점이다. 이러한 측면을 고려했을 때, 일률적으로 제시된 서비스수준들은 관리환경이 상이한 다른 기관에 직접적으로 도입되기 어렵다는 점을 쉽게 유추할 수 있다. 이에 본 연구에서는 조사가능성을 기초로 한 다중서비스수준체계를 3단계로 구분하여 제시하고자 한다.

먼저 1단계는 가장 열악한 조건으로 상태조사를 전혀 수행할 수 없는 경우이다. 이러한 경우 자산의 상태개신은 관련법규나 연구를 통해 제시된 내용연한의 잔존수명을 통해서만 가능하다. 그러나, 이 결과는 법적/이론적 평가결과로서 관리대상에 대한 현실적인 평가로 해석되기에는 무리가 있다. 2단계는 최소수준에서 상태조사가 가능한 여건으로, 전문조사장비나 전문인력 없이 간단한 시각조사를 통해 상태조사를 수행하는 방안이다. 이는 자산의 상태를 “정상/비정상”으로 구분하여 보수가 필요한 자산의 비율을 서비스수준 지표로 활용한다. 시각조사의 특성상 조사자의 편향이 포함될 수 있지만, 한정적인 상황에서 자산상태를 직접적으로 평가할 수 있는 최선의 대안으로 간주될 수 있다. 마지막으로 3단계는 관련 조사장비, 예산, 인력이 충분한 경우이다. 사실 “도로안전시설 설치 및 관리지침(MLTM, 2012)”이나 포장상태에 관한 보고서(Choi et al., 2012)를 살펴보면 대부분의 상태지표는 전문조사장비를 필요로 한다. 객관적인 지표 하에 제시된 관리기준에 따라 자산의 상태를 평가하고 유지보수할 수 있다는 장점이 있지만, 많은 인력과 예산이 투입되는 점을 고려할 때 비효율적인 지표로 인식될 수도 있다. 이 세가지 경우에 대한 서비스수준체계를 별도로 구축하면 관리자가 현재의 상황에 맞추어 바로 적용이 가능한 서비스수준의 조합을 찾아낼 수 있으며, 향후 관리여건의 변화에 따라 개선한다.

3.4. 서비스 등급의 설정방안

서비스 등급은 평가지표의 일반적인 범위를 해석하여 최소/최대값을 설정하고, 사전에 설정된 등급 수와 의미를 반영하여 그 범위를 분해하는 것이다. 참고로 서비스 등급은 전 세계적으로 5등급으로 구분하는 것이 일반적으로 여겨지고 있다. 서비스 등급의 정의는 지수에 관한 절대적 의미는 물론 경험적 범위가 동시에 고려되어야 할 필요가 있다. 그 예로 포장의 국제 평탄성 지표

인 IRI(International Roughness Index; m/km) 범위는 일반적으로 0~16으로 구분되지만 (Odoki et al., 2000), 현실에서는 1.0~4.0 정도가 일반적인 상태범위로 인식된다(Khan et al., 2010; Kobayashi et al., 2010). 또한, ITS 시설물의 가동률은 이론적으로 0~100%의 값을 갖지만, 실제 가동률은 99~100%에서 결정된다면 이 구간이 최소/최대값의 기준으로 참조되어야 할 필요가 있다. 또한, Table 1에서 표현된 바와 같이 각 등급의 값들이 어떤 상태를 의미하는가에 대한 해석이 필요하다. 시트법의 경우 시설물의 안전도를 표현할 수 있는 상태지표를 설정하고, 안전성과의 관계를 해석하여 5단계(양호-보통-불량-위험)로 구분한 후, B등급(안전) 이상으로 유지될 수 있도록 규정하고 있다. 이와 같은 정량적 수치들을 근거로 한 정성적 해석은 임계값 설정에 중요한 요소가 된다.

3.5. 서비스수준의 통합과 활용방안

자산유형별 서비스수준만으로는 유추해 낼 수 있는 정보는 매우 한정적이다. 그러나 현실에서는 관리자의 관점이나 여건의 변화로 인해 다양한 정보수요가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이에 보다 유연하게 대응하기 위해 다양한 통합방안을 고안하여 제시하기로 한다 (Table 2 참조).

Table 2에서 제시된 통합방안은 각각 고유의 의미와 활용방안을 갖는다. 이 중에서 주목할 만한 통합기법은 모든 통합기법의 근간이 되는 서비스등급점수법(TRB, 2010)과 관리주체 측면에서 가장 매력적일 수 있는 전략영역체계(본 연구에서는 계층형배열연계법(Hierarchical Alignment Cascading method; HAC)을 개발하여 적용, 4.2절 추가설명 참조), 그리고 자산관리 회계기준에 부합하는 잔존자산가치법이 있다. 또한, 성능기반 유지관리계약(Hyman et al., 2009)이나 외주사업이 증가함에 따라 평가기준으로 활용 가능한 목표등급법도 실무에 널리 활용 중이다(Takeshi, 2004). 이와 같이 서비스등급의 통합은 시설물의 상태평가는 물론 관리행위, 시스템 기능, 관리주체의 목적달성 평가에 유용하게 활용될 수 있기 때문에 관리주체 모두가 반드시 이해해야 할 부분이다. 통합서비스등급 및 점수산정의 핵심은 가중치의 결정으로 자산의 중요도를 수치화하는 과정으로 볼 수 있다. 가장 간편하고 객관적인 방안은 역시 유지보수 예산의 비율을 가중치로 활용하는 것이다. 이는 “더 많이 예산을 투입한 자산에 높은 가중치를 부여한다”는 의미로 집행된 예산의 평가 및

Table 2. Suggestion of Aggregation of the LOS Measures

Classification	Method	Description	Application
Aggregation of the same asset type	Letter grade conversion	Scoring asset condition by assigning numerical values to the letter grade	Relative evaluation of specific managers(or branches) or asset types in network level
Aggregation of different asset types	Hierarchical Alignment & Cascading method (HAC)	Quantifying achievement of stated goals by assigning relationship among agency's goals-relevant asset types-asset condition	Quantifying achievement of stated goals Finding solution on budget balance to achieve the stated goals
	Residual value	Discounting 100% initial asset value (investment) by a function of elapsed time or condition deteriorated	Evaluating current asset value as remaining life or condition based on initial investment (Matched with a guideline on asset accounting)
	Target rating	Quantifying achievement to target LOS based on user-specified grade as 100%	Quantifying achievement of performance based outsourcing project
	Minimum rating	Defining the minimum rating as representative LOS grade	A case that a fatal deficient of a part(asset) causes entire system malfunction
	Conditional weighting	Defining the minimum rating method or general weighting method by the user-specified preconditions(e.g. when a rating below specific rating)	Mitigating radical judgment of the minimum rating method by referring to tolerable condition of critical assets
	Expert system	Finding solutions as qualitative way based on expert knowledge system, such as AHP(Analytic Hierarchy Process), and Delphi method	When quantitative information for decision making is not available, or practical experience and knowledge have much more importance in decision making
Aggregation of user-specified asset groups	User specified grouping	Grouping ways to satisfy user's information demands(e.g. asset class, managers, maintenance type etc.)	Evaluation with special considerations of analyzer, such as branch evaluation, maintenance types, asset class

재무자산의 운영적 차원에서 자산관리 개념에 부합한다. 현실에서 도로관리자는 어느 자산에 높은 가중치를 두어야 할가에 대해 많은 고민을 하지만, 이미 관리자는 예산의 비중을 통해 자신은 인지하고 있지 못한 가중치를 부여하고 있는 것이다. 여기서, 관리자는 이 가중치가 앞서 언급된 “황금비율”에 얼마나 근접 한가에 대한 평가를 수행해야 한다. 이에 해답은 HAC기법의 응용을 통해 한정적으로 고려될 수 있다.

4. 실증연구

실증연구에서는 한국도로공사가 관리하는 고속국도를 대상으로 유지관리 서비스수준체계를 개발하고자 하였다. 서비스수준체계의 현실성과 접목가능성을 확보하기 위해 실무담당자 회의는 물론 표본지사를 선정하여 현장조사도 수행하였다. 서비스등급체계 개발에 많은 절차와 의사결정, 시행착오가 있었으나 지면상 주요 의사결정과정과 그 결과를 중심으로 서술하기로 한다.

4.1. 한국도로공사 서비스수준체계의 정의

서비스수준체계 개발계획 수립의 첫 단계는 도입목적의 정의를 하는 것으로, 이에 따라 자산목록과 서비스 지표, 그리고 통합방안이 결정된다. 먼저 관계자 회의를 통해 나타난 한국도로공사의 유지관리 의사결정체계의 문제점을 요약해 보면 1) 본부/지사/자산유형별 예산분배의 객관성 확보, 2) 예산집행 및 지사의 업무성과 평가체계 부재, 3) 유지관리에 대한 명확한 목표의 부재가 가장 문제 시 되고 있다. 즉, 유지관리업무와 예산분배의 적정성 확보와 평가체계 확립이 서비스수준체계 도입의 가장 큰 목적으로 정의된다. 이에 본 연구에서 제시하고 있는 한국도로공사의 서비스수준체계는 그 정보수요에 맞추어 관리자의 유지관리기준과 평가체계확립에 중점을 둔 “Input기반 서비스수준체계”임을 분명히 한다.

4.2. 관리자산의 범위 결정

본 연구에서 정의한 고속국도의 자산정의 수준은

“Level 4 Plus” 수준으로, 일반자산 중 연간예산투자 비율이 높은 자산유형을 기본으로 선택하고, 여기에 제설, 청소, 삭초, 차선도색 등 일반적으로 지사수준에서 수행되는 일상유지보수 업무, 그리고, 예산의 비율은 낮더라도 안전과 관련된 핵심 자산유형과 시특법에 적용 받는 자산들은 포함하기로 한다. Table 3에서는 자산관리 대상으로 결정된 15개 자산유형에 대한 2012년도 순유지보수 예산집행 결과를 보여주고 있다.

Table 3. Definition of Asset Member and Annual Budget in 2012 (Maintenance Budget Only)

Asset class		Asset member	Annual budget (Million KRW)	Ratio
Pavement	25.84%	Pavement	93,580	25.84%
Safety facility-Type A	46.89%	Bridge	162,755	44.94%
		Tunnel	743	0.21%
		Slope	3,893	1.07%
		Retaining wall	5	0.001%
		Pipeline	1,071	0.30%
		Side gutter	1,524	0.42%
		Culvert	905	0.25%
Safety facility-Type B	16.94%	Guardrail	723	0.20%
		ITS facilities	32,675	9.02%
		Lamp	16,689	4.61%
		Pavement marking	11,256	3.11%
Routine maintenance	10.04%	Snow removal	18,142	5.01%
		Weeding	14,464	3.99%
		Cleaning	3,767	1.04%

Table 3을 보면 교량이 절반에 가까운 보수예산을 차지하고 있으며, 포장과 합산하면 70%에 육박한다. 즉, 관리자는 두 종류의 자산만 다루어도 70% 수준의 재무자산관리가 가능하다는 의미이다. 그러나, 앞서 언급된 바와 같이 도로가 제공하여야 할 기능적 측면과 시설물의 안전사고와 관련된 자산유형, 그리고 평가하고자 하는 관리자들의 주요업무들도 포함시켜야만 서비스수준 체계의 운영목적에 부합할 수 있다.

4.3. 서비스지표와 등급 정의

서비스지표와 등급은 우선 본 연구에서 제시하고 있는 다중서비스등급에 대한 초안을 우선 작성한 후, 이를 실무자 회의, 관계법령과 내부기준, 현행유지보수기준,

현장조사결과, 유지보수실적 등을 종합적으로 분석/검토하여 최대한 고속국도의 관리현황과 부합하도록 보정을 시도하였다(Table 4 참조).

그 결과 주요안전시설물에 관련된 서비스수준은 법령(시특법)에 의거하도록 정의되었으며, 포장의 경우 한국도로공사가 직접 개발하여 활용하고 있는 HPCI를 그대로 도입하였다. 그 외 현황자료가 없거나 서비스수준 개발에 적합하지 않았던 청소, 가드레일, 제초 등에 대해서는 현장조사를 수행하여 얻어진 자료를 통해 서비스등급의 임계치를 결정하였다.

4.4. 서비스수준 산정 및 통합

본 연구에서는 표본지사를 선정해 1) 자산유형별 평가, 2) 관리노선별 평가, 3) 표본지사 전체평가, 4) 전략경영체계 평가로 구분하여 서비스수준을 평가/통합해 보았다. 표본지사로는 본 연구에서 정의한 모든 자산유형을 포함하고, 유지보수물량이 많아 A등급 지사로 구분되고 있는 시흥지사를 선택하였다. 먼저, Table 5를 살펴보면, 시흥지사의 종합 서비스수준은 B+(88.58)로 나타났다. 자산유형별 서비스수준은 A~B로 대체적으로 양호했으나 차선도색과 청소에서 상대적으로 낮은 점수를 받았다. 한편, 서비스수준이 가장 양호한 노선은 서울외곽순환도로로 서해안선과의 편차는 약 2.28점 수준이었다.

전략경영체계는 관리주체가 지향하고자 하는 정성적 목표에 대한 달성도를 정량적으로 평가하고, 이를 예산편성의 기준으로 활용하기 위한 방법론이다. 본 연구에서는 BSC를 착안하여 자체 개발한 HAC기법을 통해 평가를 시도하였다. HAC기법은 1) 관리주체의 목표정의, 2) 목표와 연관된 주요/세부기능의 정의, 3) 기능과 연관된 자산유형들을 정의하는 사전준비 단계를 거쳐, 4) 각 자산들의 서비스수준을 평가/통합하는 과정들로 이루어지며, 평가과정에서는 5) 각 기능(혹은 자산유형)들의 가중치를 결정하는 것이 핵심이라고 할 수 있다. 이를 위해 관리주체의 의지가 반영된 정성적 가중치를 활용하는 전방향(Forward)기법, 그리고 현실에서 지출하고 있는 예산의 가중치, 즉 관리주체 자신은 인지하지 못하고 있으나 현실에서 반영하고 있는 가중치를 고려한 후방향(Backward)기법을 각각 적용한다. 한국도로공사의 경우 “안전한 길 빠르고 쾌적하게”를 조직의 목표로 내세우고 있다. 이를 기반으로 후방향기법을 적용하여 현재 각 목표를 위해 투자하고 있는 예산의 비율을 평가해 보았다(Table 6 참조).

Table 4. Definition of LOS Systems for Express Highway in Korea

Asset members	LOS index	Thresholds of LOS ratings					Note
		A	B	C	D	E	
Pavement	Total Highway Pavement Condition Index (HPCI) (KEC, 2012)	≥4	>3.5	>3	>2	≤2	A revised form of original 7 ratings–evaluation system
Bridge	Minimum rating between condition and safety index of bridge	≤0.13	<0.26	<0.49	<0.79	≥0.79	By referring facilities safety management law in Korea
Tunnel	Minimum rating between condition and safety index of tunnel	≤0.15	<0.30	<0.55	<0.75	≥0.75	
Slope	Minimum rating between condition and safety index of slope	≤0.15	<0.30	<0.55	<0.75	≥0.75	
Retaining wall	Minimum rating between condition and safety index of retaining wall	≤0.15	<0.30	<0.55	<0.75	≥0.75	
Pipeline	Total linear length of filled or damaged pipe in percentage	≤5	<10	<15	<20	≥20	NCHRP 677, MAP, and field manager(Standard for filled = 50% or more full)
Side gutter	Total linear length of filled or damaged drainage in percentage	≤5	<10	<15	<20	≥20	
Culvert	Total linear length of filled or damaged culvert in percentage	≤5	<10	<15	<20	≥20	
Guardrail	Total linear length of broken guardrail in percentage	≤0.5	<1.0	<1.5	<2.0	≥2.0	Specified by field data collection
ITS facilities	Percentage of ITS facilities in malfunction or broken	≤0.3	<0.6	<0.9	<1.2	≥1.2	Field manager and actual operation rate
Lamp	Percentage of street lamp in malfunction or broken	≤1.0	<1.5	<2.0	<2.5	≥2.5	Specified by field data collection
Pavement marking	Percentage of samples marking which is not satisfied with brightness standard	≤5	<10	<15	<20	≥20	Self–standard of the road agency (Threshold was from the MAP)
Snow removal	The number of calibrated road closure	0	>0.62	>1.00	>1.86	≤1.86	Specified by field data collection
Weeding	Maximum value between average height and length sticking out of bed in cm	≤20	<40	<60	<70	≥70	Based on height of reflector settled on the guardrail, with field data
Cleaning	Number of litter over the size 10cm*10cm per unit kilometer	≤10	<20	<30	<40	≥40	Specified by field data collection

Table 5. Assessment of LOS by Asset Members, Lines, and Siheung Branch

Asset member	Weighting factor (by budget scale)	LOS measures by corresponding lines			LOS score	Final LOS grade	Weighted score
		Seohaean–line	2 nd Gyeongin –line	Seoul ring expressway			
Pavement	25.84%	B	A	A	91.01	A	23.51
Bridge	44.94%	B	B	B	87.16	B	39.16
Tunnel	0.21%	N/A ¹⁾	B	B	85.07	B	0.17
Slope	1.07%	A	A	A	94.68	A	1.02
Retaining wall	0.001%	A	A	A	92.11	A	0.00
Pipeline	0.30%	D	B	A	84.07	B	0.25
Side gutter	0.42%	C	B	C	80.51	B	0.34
Culvert	0.25%	B	A	B	84.07	B	0.21

(Table Continued)

Guardrail	0.20%	N/A	A	A	91.56	A	0.18
ITS facilities	9.02%	A	A	C	88.76	B	8.01
Lamp	4.61%	A	A	B	91.38	A	4.21
Pavement marking	3.11%	E	C	C	76.15	C	2.37
Snow removal	5.01%	A	A	A	100.00	A	5.01
Weeding	3.99%	B	B	B	83.89	B	3.35
Cleaning	1.04%	D	C	B	75.00	C	0.78
Total LOS rating	100%	B(86.99)	B(89.01)	B(89.27)	B(87.03)	B(87.03)	B(88.58)

Note : 1) "N/A" = no asset element in the target link

2) LOS score was defined as normalized values by referring Min-Max ranges of thresholds of LOS ratings as follows :
A=100~90, B=90~80, C=80~70, D=70~60 and E=60~0

Table 6을 살펴보면 우선 (A)는 관리기관의 목표를 세분화하고 있으며, (B)는 이와 연관된 주요기능, (C)는 각 주요기능을 위해 관리자가 투자하고 있는 예산의 비율로 해석할 수 있다. (D)는 (B)의 기능을 좀 더 구체

화하여 표현하고 있으며, (E)는 (F)에서 결정된 예산비율을 통합하여 보여주고 있다. 즉, (F)의 결과를 통해 순차적으로 (E)와 (C)가 도출되기 때문에 후방향기법으로 명명하고 있다. 한편, 본 연구에서는 자산유형과 서브기

Table 6. Quantitative Evaluation of Achievement, and Practical Weights for the Stated Goals with HAC Method

Vision	Main-function	Weight of main-function	Sub-function	Weight of sub-function	Relevant asset members (budget ratio)	Score of sub-function	Score of main-function	LOS of sub-function	LOS of main-function	Final LOS in AC
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)
Fast	Mobility	20.94%	Mobility	100%	• ITS(9.02) • Pavement(25.84) • Snow removal(5.01)	91.63	91.63	A-	A-	B+
			Visibility	23.92%	• Lamp(4.61) • Marking(3.11) • Cleaning(1.04)	84.03	88.66	B0	B+	
Driving safety	19.22%	Surface safety-evenness & obstacle	73.44%	• Pavement(25.84) • Cleaning(1.04)	90.39	A-		B0		
		Surface safety-drainage	2.64%	• Pipeline(0.30) • Side gutter(0.42) • Culvert(0.25)	82.52					
Safe	Facility safety	24.38%	Safety facility-equipment type	0.43%	• Guardrail(0.20)	91.56	87.34	A0	B+	
			Safety facility-on ground type	99.57%	• Bridge(44.94) • Tunnel(0.21) • Slope(1.07) • Retaining wall (0.0001)	87.32		B+		
Comfort	Driving quality	17.62%	Vibration	77.00%	• Pavement(25.8)	91.01	89.68	A-	B+	
			Recognition /Guidance	23.00%	• Marking(3.11) • Lamp(4.61)	85.25		B0		
	Environment	17.84%	Sight	12.21%	• Cleaning(1.04) • Marking(3.11)	75.86	88.32	C0	B+	
			Air-pollution	76.04%	• Pavement(25.84)	91.01		A-		
			Landscape	11.75%	• Weeding(3.99)	83.89		B0		
Quantification of achievement of the "Fast, safe, and comfortable customer service"						86.77	89.08	B0	B+	

능과의 관계를 1-1이 아닌 1-다수로 정의하는 방법론을 적용하여, 하나의 자산유형이 다수의 도로기능에 미치는 영향을 정량적으로 반영하고자 하였다. 이에 따른 주요기능 C_m 및 E_{m_s} 서브기능의 가중치 산정방법을 수식을 통해 정식화 하면,

$$w(C_m | E_{m_s} | F_{m_{s_i}}) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I [w(F_{m_{s_i}}) / \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I w(F_{m_{s_i}})]}{\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I w(F_{m_{s_i}})} \quad (1)$$

$(i = 1, \dots, I; s = 1, \dots, S; m = 1, \dots, M)$

으로 표현 가능하다. 한편, 서비스수준의 평가는 (F)에 속해있는 자산유형들의 서비스 점수를 기준으로 서브기능에 대한 통합점수 (G)를 산정하고, (G)를 해당 주요기능별로 취합하여 (H)를 계산한다. 이를 통해 시흥시사의 최종전략경영체계(H)는 “B+” 등급으로 평가되었다. 참고로, Table 6에서 주요-세부기능과 그와 연관된 자산유형 항목은 본 연구에서 적합한 예제를 제시하기 위해 정의된 사항으로, 해당기관의 공식적인 평가결과로 해석되기에는 무리가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 도로관리가 새로운 국면을 맞이함에 따라 부각되고 있는 자산관리시스템의 기반연구로써 서비스수준체계에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에서 추구하고자 했던 서비스수준체계의 방향성은 1) 단순히 자산유형별 서비스수준만이 아닌 개발과정부터 다양한 정보수요에 대응하기 위한 통합기법에 이르기까지 하나의 체계로써 정립해야 할 필요성이 있다는 점과 2) 경영적 관점에서 관리자가 추구하고자 하는 거시적 목표에 대한 정량적 평가체계가 필요하다는 점, 그리고 3) 관리자가 처해있는 관리환경을 유연하게 고려할 수 있는 다중서비스수준체계의 제시, 마지막으로 4) 실증연구를 통한 “Best Practice”의 실현이었다. 본 연구에서는 이에 관한 주요 내용으로 서비스수준의 정의와 역할부터, 고찰해야 할 내용과 개발과정, 서비스수준의 통합/활용 방안 등 서비스수준의 개발 및 활용, 개선에 필요한 일련의 내용들을 다루고자 하였으며, 실증연구를 통해 국내에서는 최초로 다양한 도로시설물에 대한 통합서비스수준체계를 제시하고 그 적용 가능성을 확인해보았다.

본 연구를 통해 서비스수준의 개념은 매우 단순하지만 경영적 측면에서 절대적으로 필요한 핵심도구임을 알

수 있었다. 이는 곧 경영에 있어 “측정”의 중요성과 동일한 의미로 해석된다. 또한, 서비스수준의 개발과 운영에는 각 개별자산에 대한 전문지식부터, 실무에서의 조사가능성, 관계법률, 파손모형의 구축, 생애주기비용분석에 이르기까지 이와 연관된 요소들에 대한 고찰이 요구됨을 알 수 있었다. 무엇보다, 실증연구를 통해 아무리 잘 만들어진 서비스수준체계라도 다양한 관리환경에 일반화 되기 어렵고, 도입 및 지속적 운영에 있어 가장 큰 변수는 지표의 조사가능성이란 점을 인지한 것도 실증연구를 통해서만 얻어질 수 있는 본 연구의 수확이라 할 수 있다. 이는 관리자의 현황에 정확히 일치하는 맞춤형 서비스수준체계가 요구됨을 의미하며, 나아가 변화하는 관리자의 목표와 관리현황에 맞추어 서비스수준체계도 지속적으로 변화되어야 한다는 점을 시사한다.

향후 연구에서는 “Input-Output-Outcome” 서비스수준체계간의 상관관계에 관한 연구가 수행되어야 할 필요가 있으며, 최종적으로 도로뿐만 아니라 상하수도, 전력, 철도, 항만, 공항 등 국가적 차원에서의 통합자산 관리에 대한 접근이 필요하다.

References

- Choi, L. et al. (2012), Highway Pavement Condition Survey and Analysis, Korea Expressway Company, Seongnam-Si(In Korean).
- 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.
- Han, D. (2011), Development of Open-source Hybrid Pavement Management System for an International Standard, A Doctoral Dissertation, Kyoto University, Japan.
- Han, D., Do, M., Kim, S., and Kim, J. (2007), Life Cycle Cost Analysis of Pavement Maintenance Standard Considering User and Socio-environmental Cost, J.of the Korean Society of Civil Engineering, Vol.27, No.6D, pp.727-740(In Korean).
- Hyman, W.A. et al. (2009), NCHRP Report 389: Performance-based Contracting for Maintenance, TRB(Transportation Research Board), Washington, D.C.
- Jenks, C.W. et al. (2010), NCHRP Report 677 : Development of Level of Service for the Interstate Highway System, TRB(Transportation Research Board), Washington, D.C.
- Jo, Y. et al. (2009), Performance Evaluation and Quality Management of Variable Message Sign(VMS), Korea Expressway Company(In Korean).
- Kang, H., Park, C., and Shin, J. (2009), Development of Prototype Bridge Asset Management System, Report No. 2010-08-534.9607, Expressway & Transportation Research Institute, Hwaseong-Si(In Korean).

- Khan, M.U. and Odoki, J.B. (2010), Establishing Optimal Pavement Maintenance Standards using the HDM-4 Model for Bangladesh, *J. of Civil Engineering(IEB)*, Vol.38, No.1, pp.1-16
- 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. DOI:10.1007/s12205-010-0343-x
- MLTM (Ministry of Land Transport and Maritime Affairs) (2012), *Guidelines for Management and Installation of Road Safe Facilities*, MLTM, Sejong-Si(In Korean).
- Odoki, J.B. and Kerali, H.G.R. (2000), *Highway Development and Management Series Vol.4 : Analytical Frame work and Model Descriptions*, PIARC, La Defense Cedex.
- Oh, S. et al. (2013), *Development of Proper Maintenance and Management Standards for Private-financed Highways*, Report No.11-1611000-002651-01, Ministry of Land, Transportation, and Maritime, Sejong-Si(In Korean).
- Park, C., Shin, J., and Lee, B. (2008), *Development of Estimation Model for Bridge Rating in Maintenance Actions*, Report No.2009-10-534.9607, Expressway&Transportation Research Institute, Hwaseong-Si(In Korean).
- PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) (2000), *Highway Development and Management Series:Vol.1~7*, PIARC, La Defense Cedex.
- Takeshi, Y. (2004), *Performance Measures and Applications for Performance-based Maintenance Contracts: First year Post-evaluation of Maintenance Project on D.C. Street in U.S., Pavement*, Vol.39, No.4, pp.13-18(In Japanese).
- TRB (Transportation Research Board) (2010), *Highway Capacity Manual*, TRB, Washington, D.C.
- Walls III, J. and Smith, M. R. (1998), *Life-cycle cost analysis in pavement design: in search of better investment decisions*, FHWA-SA-98-079, FHWA(Federal Highway Administration), Washington, D.C.
- WSHDOT (Washington State Department of Transportation) (2012), *Maintenance Accountability Process: Manual, and Field Data Collection Manual*, WSHDOT, Washington, D.C.