

## 효율적인 도심지 교량관리를 위한 교량자산관리 체계 및 서비스수준(LOS) 개발을 위한 기초연구

김경현<sup>1</sup>, 김동진<sup>2</sup>, 임종권<sup>3</sup>, 박미연<sup>4</sup>, 이민재<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>(주)아이엠디, <sup>2</sup>충남대학교 토목공학과, <sup>3</sup>(주)아이엠기술단, <sup>4</sup>(주)송화기술정책연구소

### Basic Study on Bridge Asset Management Framework and LOS for Efficient Downtown Bridge Maintenance

Gyung-Hyun Kim<sup>1</sup>, Dong-Jin Kim<sup>2</sup>, Jong-Kwon Lim<sup>3</sup>, Mi-Yun Park<sup>4</sup>, Min-Jae Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Infra & Marina Development Inc.

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Chungnam National University

<sup>3</sup>Infrastructure Asset Management Corporation

<sup>4</sup>S.H Tech&Policy Institute Co., LTD.

**요약** 사회기반시설물의 핵심 시설물 중 하나인 교량은 이용자들이 쉽게 접하고 이용하는 시설물로 일정 수준이상의 성능 유지는 필수적으로 요구된다. 교량건설 역사가 상당히 오래된 호주, 뉴질랜드, 미국, 유럽 등의 최근 관련 연구보고서 등의 사례를 비추어 보았을 때, 우리나라 또한 교량의 기대수명에 도달하는 10-20년 내 교량의 유지관리 및 개축 수요가 급격하게 증가될 것으로 예상되므로 비교적 건전한 상태를 유지하고 있는 현 시점에서 한정적인 예산을 효율적으로 분배하기 위해 교량 성능을 적정 수준 이상으로 유지하며 LCC 측면에서의 비용은 최소한으로 투입하는 합리적이고 공학적인 의사결정방법론이 필요하다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 호주, 뉴질랜드 및 미국 등에서는 오래전부터 자산관리체계를 마련하기 위하여 많은 노력이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 모든 교량을 관리할 수 있는 범용적인 자산관리체계와 교량이 제공하는 서비스수준(Level of Service)과 이를 측정하기 위한 성능측정기준을 개발하기 위한 사전 기초연구로써 연구의 범위를 도심지의 교량으로 한정하여 그 자산관리체계와 서비스수준을 개발하고자 한다. 전문가와 이해관계자로 구성된 워크숍을 실시하여 국내 실정에 맞는 도심지 교량자산관리체계와 그 서비스수준(LOS) 및 성능 척도(PM)를 개발하고 다속성 효용이론(Multi-Attribute Utility Theory)와 AHP기법을 이용하여 성능 지표별 가치의 값과 성능 척도의 가중치 분석을 실시하였다. 도출된 성능 척도의 가중치와 성능 지표의 가치(Value) 등의 적용 확인을 위해 00시의 교량 6개를 선별하여 LOS분석을 적용하고 그 결과를 고찰하였다.

**Abstract** Bridges, which constitute one of the key facilities in a social infrastructure, are easily accessed and used by users, so that keeping their performance above a certain level is essential. According to various cases in the U.S., Japan and Europe with a long construction history, it is expected that the maintenance cost of bridges in Korea will increase continuously in the future, so a rational decision making system based on engineering factors is necessary to optimize the performance of and maintain them by allocating the limited budget efficiently. This study is a preliminary basic study for the purpose of developing a common asset management system for managing all of the bridges and maintaining the level of service provided by them. The scope of this preliminary study is limited to bridges in urban areas. The bridge asset management system for bridges in urban areas, their level of service (LOS) and performance measure (PM) were developed by carrying out a workshop consisting of both experts and stakeholders. The analysis on the weights of the value and performance measure for each performance indicator was carried out by using the multi-attribute utility theory and the AHP method. In order to confirm the application of the weight of the performance measure and value of the performance indicator, six bridges in an example city were selected, LOS analysis was applied and its results were reviewed.

**Keywords :** Asset Management, Bridge, Level of Service, Multi-Attribute Utility Theory, Performance Measures

한국산업기술평가관리원 ‘지식서비스산업핵심기술개발’과제 “도시 인프라 자산관리 플랫폼과 서비스모델 개발(10044465)”의 지원에 의해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Min-Jae Lee(Chungnam National Univ.)

Tel: +82-43-821-5677 email: LMJCM@cnu.ac.kr

Received April 6, 2016

Revised (1st May 4, 2016, 2nd May 11, 2016)

Accepted May 12, 2016

Published May 31, 2016

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

교량은 땅속에 묻혀있는 상하수도관과는 달리 외부에 노출되어 있어 이용자들이 쉽게 접하고 이용하는 시설물이다. 따라서 교량의 파손으로 인한 보수보강 및 교체에 따른 교통 통제, 극단적인 경우 갑작스런 붕괴 등이 발생할 경우 사회적으로 커다란 손실과 인명 피해를 유발하기 때문에 일정 수준이상의 성능을 유지하여야 한다[1]. 우리나라 교량의 경우 1970년대 이후에 건설되었기 때문에 부실시공 등 초기상태부터 문제가 있는 교량이 아닌 한 아직 기대수명을 넘기지 않은 비교적 건전한 교량이 많고 성수대교 붕괴 이후 시설물 안전관리에 관한 특별법이 공포됨으로써 유지관리 강화되어 비교적 매우 높은 수준의 관리가 이루어지고 있다. 하지만 선진국의 사례를 비추어 봤을 때 서비스 개시 후 20년 후에 들어 서면 교량의 노후화로 인한 유지관리 비용이 건설예산의 40%를 차지하는 등 신설예산 대비 기존시설물 유지관리비용에 대한 비중이 급격하게 증가하게 된다. 그러나 통상 유지관리를 위한 예산은 과거년도의 예산 수준으로 집행하게 되는 원인으로 인하여 적절한 시기에 유지관리 비용의 투입을 못하고 지연시키게되어 시간이 경과함에 따라 우리나라 재정에 큰 위협적인 요소가 된다. 이러한 문제에 대한 해법인 선진국(호주, 뉴질랜드, 미국, 영국)을 중심으로 연구 및 실무수준에서 상당부분 그 관리기술이 앞서 있는 자산관리체계를 우리나라도 조속히 도입해야 한다.

도로 교량 및 터널 현황조사에 따르면 2015년 30년 이상 된 교량의 수는 2786개소로 70~80년대 급격한 경제성장으로 건설된 교량의 수가 많은 것을 감안할 때 시간이 지남에 따라 노후교량의 수는 증가할 것으로 예상되고 이에 따라 급격한 유지관리비용의 상승이 예상된다 (Fig. 1). 따라서 한정적인 예산을 효율적으로 분배하여 교량의 성능은 특정 서비스수준 이상으로 유지하며 비용은 최소로 투입하는 합리적이고 공학적인 의사결정 시스템이 필요하다. 본 논문은 추후 모든 교량의 자산관리를 위한 자산관리체계와 서비스수준 개발을 위한 기초연구로써 도심지 교량만을 타겟으로 효율적 관리를 위한 교량자산관리 체계를 제안하고 교량 자산관리의 핵심요소인 서비스수준(Level of Service; LOS)과 그 성능척도(Performance Measure; PM)를 제안하고자 한다.

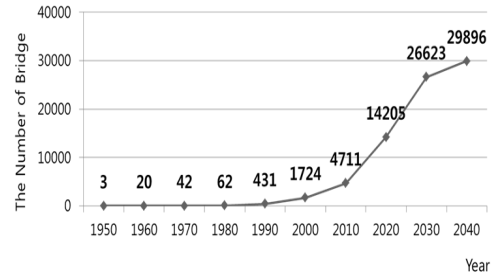


Fig. 1. The number of Bridges(Over 30years service time)

### 1.2 연구의 방법 및 절차

현재 우리나라에서는 대부분 도로나 철도의 교량만 분리해 내어 별도의 자산관리를 하는 경우는 거의 없으며 대개 교량은 도로나 철도의 핵심 자산으로 분류되어 관리되고 있다. 본 논문에서는 모든 교량의 자산관리 체계를 위한 기초연구로써 자산관리의 범위를 도심지 도로상의 교량으로만 한정지어 자산관리체계를 개발하고자 한다. 이를 위해 우선적으로 관련된 국/내외의 기존 연구를 조사하고 국/내외의 자산관리 현황을 파악할 것이다. 그리고 국내 실정을 반영하기 위해 국내 학계와 업계 교량 전문가 그리고 교량 이용자와 함께 워크숍을 실시하여 우리나라의 실정에 맞는 도심지 교량자산관리체계와 그 서비스수준 및 성능 척도를 개발하고 다속성 효용이론을 이용하여 성능 지표별 가치의 값과 성능척도의 가중치 분석을 실시한다. 도출된 성능 척도의 가중치와 성능 지표의 가치(Value) 등의 적용 확인을 위해 00시의 교량 6개를 선별하여 샘플 LOS분석을 적용하고 그 결과를 고찰한다(Fig. 2).

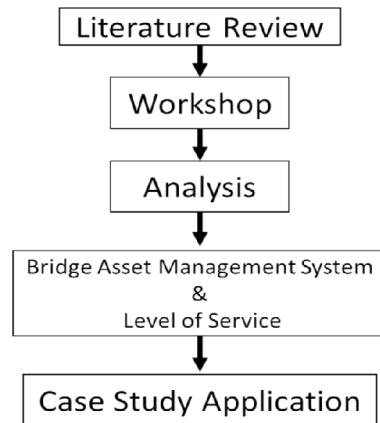


Fig. 2. Research Methods

## 2. 선행 연구 고찰

### 2.1 자산관리의 정의

여러 기술 선진국의 자산관리 정의를 살펴보면 호주 의 NSW 주에서는 시설자산관리를 Total Asset Management(TAM)이라는 용어를 사용하고 있다. TAM이란 “가능한 자원 안에서 서비스 조달 우선순위와 전략을 수립하여 10년간의 자산계획을 수립하는 물질적 자산 계획과 관리를 위한 전략적 접근법” 정의하고 있다 [4]. OECD는 여러 나라의 자산관리체계에 대한 조사 분석을 통하여 자산관리란 “공공의 기대사항 성취하기 위한 필요한 의사결정을 위해 보다 조직적이고 유연한 접근방식에 도움이 되는 건전한 Business 실무, 경제적 합리성에 기반 한 Engineering 원칙들을 조합할 수 있는 도구를 제공함으로써 자산관리, 업그레이드 및 운영 등을 위한 체계화된 프로세스”로 정의하였다[5].

미국연방도로청(Federal Highway Administration; FHWA)은 “유형 자산을 비용 효율적인 방법으로 유지관리, 개선, 운용하는 체계적인 절차”로 정의하였다. 위의 기술 선진국에서 본질적으로 추구하는 목표를 정리하자면 “현재와 미래의 사용자가 원하는 서비스수준을 비용 효율적으로 달성하기 위한 자원할당에 관한 체계적인 의사결정”으로 정의할 수 있다[3].

### 2.2 국내의 교량 자산관리

성수대교 참사 이전 건설된 수많은 시설물들은 공사비 절감 및 공기단축이 우선시 되던 터라 유지관리에 취약하였다. 따라서 준공한 시설물에 대한 사후 관리는 거의 고려되지 않았다. 여러 큰 건설 사고를 겪은 후 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”이 제정되면서부터 유지관리 분야에 대한 관심이 높아지게 되었다. 현재 일반국도에 속해 있는 교량은 각 지역 지자체 및 국토교통부 지방 국토관리청에 관리하며, 서울특별시의 경우 도시기반시설본부 시설안전부와 도로정보팀 등이 교량 유지관리 업무를 수행하고 있다. 그리고 1:2중에 해당하는 교량들은 한국 시설안전공단에서 관리를 수행하고 있다. 이렇듯 국내 교량의 관리체계는 일관된 통합관리체계가 아니라 관리주체별로 별도의 시스템 및 조직을 운영하고 있으며 교량의 기본정보, 점검이력, 유지보수이력 등의 기본정보만을 축적하고 있는 상태이다. Table 1은 현재 국내교량의 수를 도로종류별 교량의 개소 수를 나타낸다. 도로종류별로 살펴보면 고속국도 8,493개(28.4%),

일반국도 7,046개(23.6%), 특별 및 광역시도 1,173개(3.9%), 지방도 3,693개(12.4%), 시/군/구도 7,958개(26.6%) 그리고 국가지원지방도가 1233개(4.1%) 인 것으로 나타났다.

Table 1. Bridges status of the road classification(KOSIS)

Sort	The number of Bridges
Highway	8,493
National Highway	7,346
Metropolitan city, Province	1,173
Local Road	3,693
Road(in the Si, Gun, Gu)	7,958
Local Road supported by Nation	1,233
Total	29,896

### 2.3 국외의 교량 자산관리

#### 2.3.1 호주 및 뉴질랜드

호주와 뉴질랜드는 현재 교량자산관리 수준이 전 세계적으로 가장 앞서 있는 것으로 파악된다. 호주의 교량관리는 Austroads에서 운영하고 있으며 2004년 “Guidelines for Bridge Management:Structure Information”에서 상태모사, 점검방법, 교량상태지표 및 교량구조물의 신뢰성 등 최소한의 교량정보 항목이 무엇인지 개발한 바 있다. Austroads는 AM 가이드(Guide to Asset Management)에서 총 Part 1~8에 이르기 까지 일반적인 개요, 커뮤니티, 자산 전략, 프로그램 개발, 포장 성능, 정보, 등 다양한 자산관리 수행 지침을 정리해 놓았으며 이중 Part 6이 자산관리를 위한 교량의 성능 평가 방법에 대한 기준을 제시하고 있다. 이처럼 막대한 예산투입이 요구되고 있는 교량에 대한 성능 평가 및 장수명화를 위한 안간힘을 쓰고 있다.

#### 2.3.2 미국

미국의 자산관리는 1990년대부터 시작되었는데, 단일 부처에서 중장기 관점으로 단계적 추진을 통하여 체계적으로 시스템을 구축하였다. 미국의 경우, 교량만의 연구보다는 도로 자산관리의 범위 안에 도로의 핵심자산인 포장과 교량을 함께 다루고 있다. 미국연방도로청(FHWA)에서는 지난 십여 년 동안 자산관리와 관련된 규준 제정 및 정비, 연구 활동, 시스템개발을 통해 각 주 정부 교통국(Department of Transportation; DOT)이 효율적으로 자산관리 체계를 도입하고 적용할 수 있도록 도움을 주고 있다. 최근 MAP-21이 법제화됨으로써 건설자산관리를 위한 AASHITOWare와 같은 툴 개발 및

**Table 2.** Current Condition of Bridge Management System in European regional (BRIME 2001)

Function	German	Denmark	France	U.K.	Norway	Finland
BMS Name	SIB-Bauwerke	Danbro	Edou-ard and OA	NATS	Brutus	
Operating Year	New	20		15	2	3
The number of Bridges	34,600	1,400	22,000	9,500	17,000	15,000
The list of Existing Assets	●	●	●	●	●	●
Check Schedule	●	●	●	●	●	●
Structures Condition	●	●	●	●	●	●
Establish Maintenance Budget		●	●	●	●	
Maintenance Priority		●	●	●	●	
Establish long-term budget		●		●	●	●
Detailed Cost Information for Maintenance	●	●	●			
Safety Assessment				●		
Maintenance strategy				●		
Lifecycle-Cost				●		
User Cost				●		
Deterioration Prediction						●

연구에 많은 투자를 하고 있고 교통시설자산관리 시범사업의 일환으로 루이지애나 DOT, 미네소타 DOT 그리고 뉴욕 DOT에서 Transportation Asset Management Plan(TAMP)를 시범 수행하여 자산관리를 수행하는 등 이제는 자산관리체계가 연구수준에서 실무수준으로 확대되는 추세이다[13].

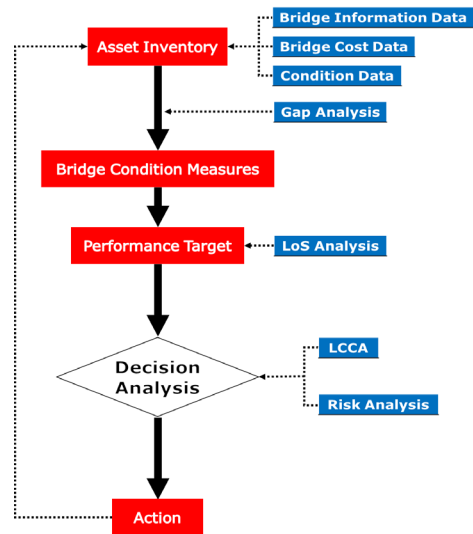
### 2.3.3 유럽

유럽공동체에서도 미국, 호주와 같이 급격한 유지관리비용 증가에 직면하면서 교량관리체계에 대한 중요성이 부각되었다. Bridge Management in Europe(BRIME)에서는 위의 Table 2과 같이 2001년 국가별 교량관리시스템(Bridge Management System; BMS)에 대해 검토하였으며 통합적인 교량관리시스템을 제안하고 있다. 장기간의 데이터 및 열화 상태 평가 등 자산관리에 필요한 기능을 다루고 있으나 아직은 근본적인 자산관리개념으로의 발전방향은 제시하지 못하고 있다. 이러한 분석 결과를 보면 아직 영국 정도를 제외한 유럽에서는 우리나라의 교량유지관리 수준의 관리체계를 갖고 있음을 알 수 있으며 호주, 뉴질랜드 수준의 자산관리수준까지는 올라가지 않은 것을 알 수 있다.

## 3. 국내형 도심지 교량 자산관리 체계

자산관리절차는 자산관리의 개념과 기능을 효율적으로 반영 및 처리 될 수 있도록 정의되어야 한다[9]. 기존

자산관리 기법의 교량적용에 관한연구[9]와 미국의 Transportation Asset Management Plan(TAMP)에서 제시하는 자산관리체계를 참고하고 거기에 국내 실정을 고려하여 Fig. 3와 같은 국내의 도심지 교량 자산관리를 위한 체계를 제안하였다.



**Fig. 3.** Downtown Bridge Asset Management Framework

### 3.1 자산인벤토리(Asset Inventory)

자산인벤토리는 교량의 교량기본정보데이터, 교량비용데이터 그리고 상태데이터로 구성되어 있다. 기존에 사용 중인 교량관리시스템(BMS)과 연동되어 교량의 연장, 위치, 준공연도와 같은 기본정보데이터, 교량유지보

수 이력데이터, 연도별 교량 상태 데이터, 교량 부재별 유지관리비용, 유지보수 공법별 유지관리 비용, 교통량과 기후 등의 데이터를 수집, 관리한다. 일상적인 점검, 정밀점검 및 정밀안전진단 등의 데이터가 존재하는 법정 시설물과 법정의 시설물에 대해서는 이러한 상태데이터에 대한 기본적인 정보 수집은 필요하다. 특히 제원 정보는 교량의 개축비용이나 중요 보강 비용 등을 산출하기 위하여 필수적인 자료이나 대부분 자료가 불충분한 경우가 많다. 이를 위하여 본 연구의 대상 OO시 OO구 관할 교량에 대한 기본 제원정보, 설치년도 등을 실제 조사하였다.

### 3.2 교량 상태 측정(Bridge Condition Measure)

자산인벤토리에 저장된 정보는 현재의 교량의 상태를 나타내는 지표가 아닌 과거의 지표이다. 따라서 정확한 교량의 현재 상태를 파악하기 위한 교량상태점검이 필수적으로 수행되어야 한다. 실제 교량의 상태 정보는 법정 시설물 1, 2종 시설물에 대한 상태 조사 자료는 있으나 매우 부족한 것이 현실이며 자산별 상태 조사 결과보다는 교량의 주요 부재에 대한 상태정보 정도만 수집할 수 있다. 따라서 실제 주요 부재에 대한 상태 정보는 직접 수집할 필요가 있다.

### 3.3 성능 목표(Performance Target)

교량관리 주체가 추진하고자 하는 정책 및 교량의 성능 목표를 설정하기 위해 각 교량의 서비스수준(Level of Service ; LOS)을 측정하는 단계이다. 이 측정된 LOS를 바탕으로 관리주체는 각 교량의 LOS 목표치와 교량 전체의 LOS 목표치를 설정하게 된다. 교량을 성능을 나타내는 서비스수준에 대해서는 다음 장에서 보다 자세히 다루도록 한다.

### 3.4 의사결정분석(Decision Analysis)

의사결정분석단계는 앞서 정해진 성능 및 정책의 달성을 위해 수립된 장·단기 계획에 따라 요구되는 예상 비용 계산, 의사결정을 위해 요구되는 데이터 생성 그리고 이를 종합하여 의사결정을 수행하는 단계이다. 자산인벤토리의 데이터 및 상태파악을 위해 실시된 검사를 통해 얻은 데이터를 기반으로 의사결정을 위한 비교데이터를 생성한다. 이후 교량 간 성능의 제약을 주고 한정된 예산을 배분을 수행한다. 본 연구에서는 전문

가 워크숍을 통해 도심지의 교량을 분석하는 단계에서 요구되는 분석을 겹분석, 생애주기비용분석 그리고 리스크 분석을 제안하였다.

#### 3.4.1 갭(GAP)분석

자산관리에서 앞서가는 국가의 교량 자산관리 수준과 현재 우리나라의 교량 자산관리의 수준을 비교하고 목표 및 계획을 수립하는 단계이다. 또한 교량상태측정단계에서 분석된 현재의 서비스수준(LOS<sub>now</sub>)와 목표정한 서비스수준(LOS<sub>goal</sub>)의 차이를 분석하고 목표치까지 도달하기 위해 요구되는 해결방안을 찾고 그에 대응하는 생애주기비용분석(LCCA)을 실시하여 비용을 예측한다.

#### 3.4.2 리스크(Risk) 분석

본 연구에서 리스크 분석의 적용 범위는 교량들 간의 상대적 우선순위를 정하는 한 요소로 적용된다. 본래 리스크 분석은 위험정도(Consequence), 보수비용, 수입의 감소, 서비스수준미달, 인명 손실, 자산에 대한 위협, 지속적인 요구수준미달, 제3자 손실 등의 여러 가지 위험 요소들을 고려하여 가능한 경우 파손확률을 산출하여 분석하는 것이 가장 합리적이다[10]. 하지만 본 연구에서는 모든 교량을 대상으로 하는 것이 아닌 도심지의 교량을 상대로만 자산관리를 실시하는 과정이기 때문에 교량에 가장 위협적인 요소인 세굴 위험, 내진, 교통량만을 고려한다.

## 4. 서비스수준(LOS) 설정 및 평가

한국건설기술연구원의 자산관리 통합프레임워크 및 정책개발연구 II에서 정의하는 서비스수준(LOS)란 프레임워크를 구성하는 근간이 되며, 공공자산의 생애주기 동안에 수반되는 모든 의사결정을 위한 플랫폼을 제공한다.[11] LOS에 포함되는 것들은 관련된 법률적 제한, 사용자에 대한 배려, 재무적 관점에서의 고려요소들이며, 시설물이 제공하는 특정 서비스 분야에 대해서 정의된 품질을 의미한다[11]. 즉 LOS는 공공이 보유한 시설이나 서비스 영역에서 관련된 고객들에게 제공하는 다양한 기본적인 서비스 기능들의 기준 또는 성능지수이자 목표라 정의 할 수 있다[6].

**Table 3.** Set of Level of Service

Well Being	Community Outcomes	Customer Value	LOS
Economical	Efficient Bridge Maintenance	Proper Management	Efficient management of the bridge
		Quality	Adequacy of Bridge Fundamental Performance Demonstration
Social /Cultural	Safety and Good Service	Safety	User uses safely
		Accessibility	Ease of access of users
		Customer Service	Minimize customer inconvenience

**Table 4.** Performance Measure for Evaluating Bridge.

	Performance indicator	Performance Measure	
Technical LOS	Facility Safety	Girder Condition Evaluation Result	PM1
		Expansion joint Condition Evaluation Result	PM2
		Bridge bearing Condition Evaluation Result	PM3
		Abutment/Pier Condition Evaluation Result	PM4
		Earthquake impact on the traffic (Risk Matrix Analysis)	PM5
		Scour impact on the traffic (Risk Matrix Analysis)	PM6
Community LOS	Driver Safety	Pavement Condition Evaluation Result	PM7
		Drainage Condition Evaluation Result	PM8
	Pedestrian Safety	Railing/Curb Condition Evaluation Result	PM9
		Classification of sidewalks and driveways & Railings presence	PM10
	User convenience	Bicycle road presence	PM11
		Cleanliness of the upper, lower and around bridge	PM12

**Table 5.** Example of Detailed Evaluation Criteria

Grade	A	B	C	D	E
PM1	A	B	C	D	E
PM5	Very Low	Low	Moderate	High	Very High
PM12	Very Good appearance and cleanliness	Good appearance and cleanliness	Inadequate appearance and cleanliness	Poor appearance and cleanliness	-

**4.1 도심지 교량의 서비스수준(LOS) 및 성능 척도 설정**

본 연구에서는 기존 연구에서 제시한 LOS를 참고하여 도심지 교량의 효율적인 관리를 위한 서비스수준을 위의 Table 3와 같이 제시하였다. Table 4은 서비스수준을 Technical과 Community로 구분하고 서비스수준에 대한 만족여부 또는 서비스수준 평가를 위해 직접 측정할 수 있는 수치나 객관적/정량적 기준인 성능척도를 제시하였다. 각 성능 척도별 세부 평가 기준을 아래의 Table 5와 같이 A, B, C, D, E 다섯 개의 등급으로 설정해준다.

**4.2 서비스수준의 평가**

확정된 서비스수준의 평가를 위해 본 논문에서는 다른 연구에서 적용[12]된 다속성 효용이론(Multi-Attribute Utility Theory; MAUT)를 채택하여 LOS

에 대한 성능지표를 평가 항목으로 하여 서비스만족 정도를 정량화하였다. 다속성 효용이론에 의해 서비스수준을 수식으로 표현해보면 다음과 같다.

$$LOS = \sum k_i \times u_i(x_i) \tag{1}$$

여기서, LOS는 대상 성능척도( $x_i$ )별 LOS 값을 의미하며,  $k_i$ 는 성능척도별 가중치,  $u_i(x_i)$ 는 성능척도별 LOS 함수값을 의미한다.

성능지표별 LOS 함수는 다속성 효용이론을 적용할 경우, 단일 성능지표에 대한 효용함수(Single attribute utility function)로서, 단일 성능지표 내의 등급변화와 효용가치와의 상관관계를 나타낸다[12].

본 방법은 최하위 등급인 E를 가치가 0인 것으로 최상위 등급 A를 가치가 1인 것으로 가정한 후, 최하위 등급인 E(E등급이 없을시 D등급)에서 D(D등급이 없을시

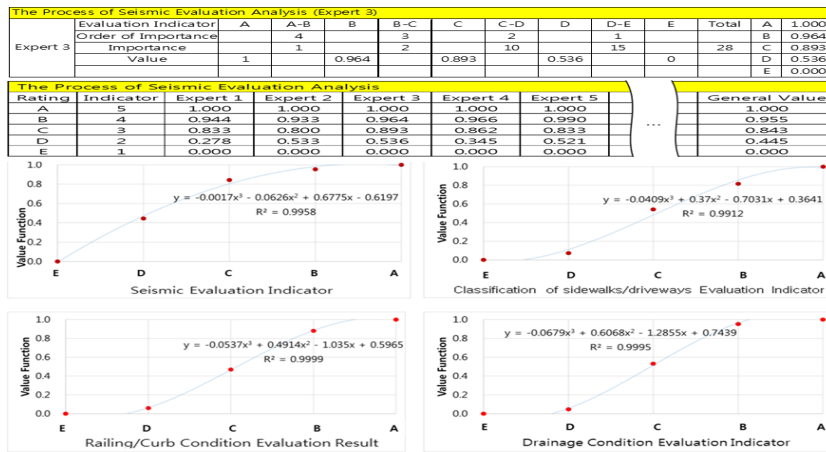


Fig. 4. Example of Result applied Multi-Attribute Utility Analysis

LOS Assessment	Technical LOS						Community LOS						Total Score
	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8	PM9	PM10	PM11	PM12	
1 Bridge1	Grade	A	A	A	A	B	D	C	C	D	C	C	83.8
	Score	21	7	7	14	10.5	8.4	3	4.5	3.6	1.2	1.8	
2 Bridge2	Grade	C	A	A	B	B	A	C	C	C	B	C	75.9
	Score	12.6	7	7	11.2	8.4	10.5	4.5	4.5	3.6	2.4	1.8	
3 Bridge3	Grade	B	A	A	B	C	D	B	A	C	B	C	75.6
	Score	16.8	7	7	11.2	6.3	4.2	6	7.5	3.6	2.4	1.8	
4 Bridge4	Grade	B	A	A	A	A	A	A	B	B	D	C	89.5
	Score	16.8	7	7	14	10.5	10.5	7.5	6	4.8	1.2	1.8	
5 Bridge5	Grade	C	B	B	C	D	B	C	C	C	B	C	64
	Score	12.6	5.6	5.6	8.4	4.2	8.4	4.5	4.5	3.6	2.4	1.8	
6 Bridge6	Grade	B	B	B	C	C	A	B	C	B	A	A	77.5
	Score	16.8	5.6	5.6	8.4	6.3	10.5	6	4.5	4.8	3	3	

Fig. 5. LOS Analysis Results in 00 City

C등급)로 상승되는 상황을 기준으로 E→D, D→C, C→B, B→A로 상승하는 상황이 각각 몇 배의 중요성을 갖는지 평가하고 연립하여 등급의 상대적인 중요도 값을 얻는 방법이다(Fig. 4).

본 연구에서는 학계, 업계 그리고 사용자 등 다 분야의 사람을 대상으로 워크숍을 개최하여 성능 척도 별 지표에 대한 다속성 효용분석과 함께 성능 척도 별 가중치 분석을 위한 설문조사를 실시하였다. 다속성 효용분석 결과 12개의 성능척도(PM)들의 성능지표별 가치의 분포형태가 대개 3차 그래프의 패턴을 보였으며 양 끝단 E→D, B→A로 상승하는 가치(Value) 간격보다 중간지점 D→C, C→B로 가치를 끌어올리는 단계가 더 가치(Value)의 폭이 크음을 알 수 있다. 10명의 전문가(학계 3명, 업계 5명, 일반인 2명)를 대상으로 Technical LOS와 Community LOS에 대한 AHP분석을 각각 실시하였으며 그 결과는 아래의 Table 6와 같다. 분석의 일관성 지수(Consistency Index)값이 데이터의 일관성이 있다고 판단되는 0.1보다 작은 값인 0.0774, 0.0363이 나왔기에 신뢰성이 확보된 데이터라고 판단할 수 있다. Technical

LOS와 Community LOS의 중요도는 전문가와의 인터뷰를 통해 기술적 LOS에 우위를 둔 7:3의 비율로 설정하였다. 그 결과 바닥판(거더)의상태(PM1)이 가장 중요한 평가척도임을 확인할 수 있었고 Community LOS에서 가장 중요한 요소는 포장의 상태, 배수의 상태, 난간/연석의 상태 등 운전자의 안전과 관련된 시설물이 중요한 성능 척도로 파악되었다.

Table 6. Performance Measures Weight

Technical LOS						
PM	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
Weight(%)	21.4	7.7	7.7	12.2	10.6	10.4
Community LOS						
PM	PM7	PM8	PM9	PM10	PM11	PM12
Weight(%)	7.7	7.6	5.9	3.3	2.8	2.7

## 5. 00시 교량자산 서비스수준 파악

앞서 분석을 통해 도출된 성능 척도(PM) 12개의 성

능 지표별 점수를 바탕으로 결정된 성능척도와 그 평가 지표의 적용 확인을 위하여 00시의 6개 교량의 서비스 수준 상태를 파악해 보고자한다. 실제 해당 6개 교량의 상태 조사를 실시하여 얻어진 데이터를 기반으로 성능척도의 성능지표 A~E까지 5개의 등급으로 평가를 실시하였다(Fig. 4). 그리고 앞서 분석을 통해 얻어진 등급별 가치(Value)의 값에 가중치를 적용하여 최종 LOS점수를 계산하였다. 그 결과 Fig. 5와 같이 64점부터 89.5점까지 다양한 서비스 수준 값(점수)을 얻을 수 있었다. 이 서비스수준 점수를 기준으로 목표 서비스수준을 설정하고, 서비스수준 점수와 함께 국가적 정책, 리스크 분석, 생애주기비용분석 등이 맞물려 의사결정에 활용 될 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 도심지의 효율적인 교량 자산관리를 위한 기초연구로써 교량자산관리체계와 함께 서비스수준(LOS)과 그 성능 척도(PM)를 제안하였다.

1. 교량자산의 성능제한 및 한정된 예산의 분배 등의 의사결정을 위한 분석으로 값분석, 생애주기비용분석 그리고 리스크 분석을 제안하였다.

2. 학계, 업계 그리고 일반 사용자 등 다분야의 사람들을 대상으로 설문조사를 실시하여 다속성 효용 분석과 및 AHP분석을 실시하였고 이를 통해 성능 지표별 가치(Value)와 함께 성능 척도(PM)별 가중치를 분석 하였다.

3. 다속성 효용분석 결과 D~C, C~B 구간의 점수의 폭이 컸으며 성능척도(PM)별 가중치를 분석한 결과 기술적인 LOS에서는 바닥판(거더)의 상태(PM1)가 Community LOS에서는 포장의 상태가 가장 중요한 성능 척도였다.

4. 도출된 성능척도(PM)와 성능지표별 점수를 이용하여 적용성 확인을 위해 00시의 교량 6개를 대상으로 샘플 LOS분석을 수행하였다.

상하수도 파열 등으로 인한 도로함몰, 폭우 등에 교량 붕괴 등의 위험요소를 사전에 인지하여 적은 비용으로 시설물의 안전수준을 유지하기 위해 호주, 뉴질랜드 및 미국 등에서 급속히 발전하고 있는 기반시설물의 자산관리(Asset Management)에 관해 우리 한국은 도입적용이 필요한 시급성에 비해서 현재 연구의 초기단계에 머물고 있다. 따라서 본 논문은 사회기반시설물 중 교량의 범용

적인 자산관리체계를 개발하기 위한 사전 기초연구로써 자산관리의 범위를 도심지 교량으로 한정하여 자산관리 체계, 서비스 수준 그리고 서비스 수준 평가를 위한 기준을 제시하였으며 이를 실제 교량데이터를 적용하여 LOS 점수까지 도출해 보았다. 아직 교량에 대한 확립된 자산관리체계가 없는 현 시점에서 도시라는 작은 범위로 한정하여 도출한 서비스수준(LOS)과 그 가중치는 추후 연구에 기초자료로서 지원 할 수 있을 것이다. 향후 보다 범용적인 교량의 자산관리 수행을 위해서 보다 광범위한 범위의 서비스수준설정과 그를 평가하기 위한 기준 개발, 교량의 의사결정을 위한 분석기법과 그 기법을 지원하기 위한 인벤토리 구성, 교량의 유지관리 공법 선정과 단기 장기적인 계획을 선정하기 위해 필요한 부재별 열화 모델 개발 등과 같은 많은 연구가 필요하다.

## Reference

- [1] C. Park, K. Park, Y. Hwang, J. Kong and S. Hong. Introduction of Performance Measure in Asset Management Principles for Enhancement of Bridge Performance and Serviceability. KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. pp.3297-3300. 2008.
- [2] J. Sun, K. Park, M. Lee and C. Park. A Study on Development of Performance Measures for Level of Service(LOS) of bridge Asset Management. Korean journal of construction engineering and management. v12. no.2. pp.101-110. 2001
- [3] Chae, M. and Yoon, W.. (2014). Introduction to Infrastructure Asset Management. Goomibook. pp.8. 2014
- [4] NSW Government Asset Management Committee.. Total Asset Management Manual. pp. 1. 1992.
- [5] OECD. Asset Management of the Roads Sector. pp. 13. 2001.
- [6] Chae, M. and Yoon, W.. Introduction to Infrastructure Asset Management. Goomibook. pp. 64-66. 2014.
- [7] Austroads. Guidelines for Bridge Management - Structure Information. pp.74. 11 June 2004.
- [8] Austroads. Guide to Asset Management. Austroads Report . <http://www.austroads.com.au/road-operations/asset-management/resources/guide-to-asset-management>. 2015.
- [9] K. Park, J. Sun, C. Park and M. Lee. Infrastructure Asset Management Methodology Application to Bridge Management. KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. 11. pp727-736. 2009.
- [10] H. Choi, J. Sun and K. Park. A Study on Risk-based Bridge Performance Evaluation Method for Asset Management. Korean Institute Of Construction Engineering and Management. 14. Issue 3. pp.22-32.



2013.

- [11] M. Jo. Development of Framework and Policy for KTAM-40. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. pp. 42. 2009.
- [12] J. Sun. K. Park. M. Lee and C. Park. A Study on Development of Performance Measures for Level of Service(LOS) of Bridge Asset Management. Korean journal of construction engineering and management. v.12. no.2. pp. 101-110. 2011.
- [13] FHWA. Pilot Project - Development of Transportation Asset Management Plans. <https://www.fhwa.dot.gov/asset/tamp/>. 2015.

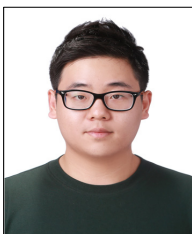
**김 경 현(Gyung-Hyun Kim) [정회원]**



- 1999년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(석사)
- 2004년 8월 ~ 2010년 1월 : (주)아이엠기술단 본부장
- 2010년 2월 ~ 현재 : (주)아이엠디 대표이사

<관심분야>  
SOC 자산관리, 사업관리, marina 개발

**김 동 진(Dong-Jin Kim) [정회원]**



- 2015년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과(석사과정)

<관심분야>  
SOC 자산관리

**임 종 권(Jong-Kwon Lim) [정회원]**



- 1999년 2월 : 한양대학교 토목공학과(박사)
- 2004년 8월 ~ 현재 : (주)아이엠기술단 대표이사
- 2007년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 겸임교수
- 2015년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 겸임교수

<관심분야>  
VE, SOC 자산관리

**박 미 연(Mi-Yun Park) [정회원]**



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

<관심분야>  
위험도 분석, SOC 자산관리

**이 민 재(Min-Jae Lee) [정회원]**



- 2000년 12월 : 위스콘신대학교 (건설관리학석사)
- 2002년 12월 : 위스콘신대학교 (건설관리학박사)
- 2003년 3월 ~ 2003년 12월 : 위스콘신대학교 강사 및 연구원
- 2004년 2월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>  
건설관리, SOC 자산관리