

사회기반시설물 자산관리의 교량구조물 적용방안에 관한 연구

Infrastructure Asset Management Methodology Application to Bridge Management

박경훈* · 선종완** · 박철우*** · 이민재****

Park, Kyung-Hoon · Sun, Jong-Wan · Park, Cheol-Woo · Lee, Min-Jae

Abstract

Many of the researchers have tried to enhance the satisfaction of both users and owners of social infrastructures by applying the asset management methodology. This study is to develop more efficient asset management framework for bridge management. Based on various literature review, an asset management procedure for bridge management was suggested, and appropriate practices at each step were given. The suggested procedures include the determination of operation and maintenance strategy, level of service, performance measure, valuation of assets, and decision-makings. In addition, this study suggests an applicable decision-making process for the resource distribution based on the management strategy.

Keywords : *infrastructures, asset management, bridges, life-cycle management, optimum maintenance*

요 지

사회기반시설물을 관리주체의 자산으로 인식하여 관리자뿐만 아니라 사용자 측면에서의 만족도에 대한 고려를 바탕으로 효율적으로 관리하고자하는 노력이 진행 중이다. 사회기반시설물의 자산관리체계 지원을 위하여 교량 자산관리 방안을 수립하였다. 교량 자산관리와 관련된 국내외 현황분석을 수행하고 교량 자산관리 절차를 제안하였다. 제안된 절차의 주요 기능을 정의하고 각 기능에 대한 정식화를 수행하였다. 교량의 서비스수준을 설정하고 정략적 평가를 위한 성능척도를 정의하였으며, LOS를 정식화하고 교량별 중요도에 따른 가중치를 고려하여 보다 실제적인 LOS의 평가가 가능하도록 하였다. 교량의 자산관리를 위한 장기 전략수립과 단기 계획수립 방법을 제안하고, 효율성지수를 도입하여 우선순위 산정을 위한 지표로 제시하였다. 또한 예산의 수립과 배정 문제를 순위최적화 문제로 정식화하여 자산관리 정책과 목표에 따라 다양한 의사결정을 지원할 수 있는 체계를 구축하였다.

핵심용어 : 사회기반시설물, 자산관리, 교량, 생애주기관리, 최적유지관리

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

다양한 종류의 사회기반시설물 중에서도 교량은 드물지만 붕괴라는 심각한 사회 경제적 충격을 유발하는 사건의 발생으로 인해 일찍부터 다양하고 세부적인 관리체계가 수립되고 시행되어왔으며, 다른 시설물의 관리체계에도 영향을 끼쳐왔다. 국외의 경우 근대화 초기 단계에서부터 건설된 다수의 교량구조물의 노후화가 심각한 문제로 대두되고 있는 구미 선진국을 중심으로 교량관리체계가 지속적으로 개선, 발전되어 오고 있다.

공용중인 교량의 갑작스런 붕괴사고를 겪은 후 체계화되기 시작한 초기 관리단계에서는 일부 중요교량을 제외한 대부분의 일반적인 교량의 관리에서 주 관심사는 상태평가에 기

초한 결보기 안전에 국한되어 왔으며, 비용적인 측면의 고려는 미흡한 실정이었다. 그러나 점점자의 주관적인 측면이 내재된 정성적인 안전성의 보다 정량적이고 객관적인 고려를 위한 연구와 더불어 유지관리비용을 고려한 생애주기비용(Life-Cycle Cost; LCC)적 관점에서 유지관리전략 수립을 위한 다양한 연구 성과도출과 개발이 국내외에서 진행 중이다(한국건설기술연구원, 2006; 박경훈 외, 2006; TRB, 2008; BRIME, 2001; Cambridge Systematics et al., 2005). 또한 사회기반시설물을 관리주체의 자산으로 인식하여 관리자뿐만 아니라 사용자 측면에서의 만족도에 대한 고려를 바탕으로 교량 구조물을 포함하는 전체 시설물을 효율적으로 관리하고자하는 노력이 진행 중이다(INGENIUM & IPWEA, 2006; Cambridge Systematics, 2009).

한편 2006년 현재 전국적으로 구조적인 결함이 있거나 기

*정회원 · 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 구조교량연구실 선임연구원 (E-mail : paul@kict.re.kr)

**정회원 · 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 구조교량연구실 연구원 (E-mail : jwsun@kict.re.kr)

***정회원 · 강원대학교 건설공학부 토목공학과 조교수 (E-mail : tigerpark@kangwon.ac.kr)

****정회원 · 교신저자 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 조교수 (E-mail : lmjcm@cnu.ac.kr)

능적으로 노후한 교량이 25% 이상 되는 미국이나, 14만개의 교량 중 건설 후 50년 이상 되는 교량만도 2016년이면 10,000개소에 달할 것으로 예상되는 일본과 같이 보수보강 또는 교체해야 할 필요성이 있는 교량의 증가를 예산의 지원이 따라가지 못하는 상황에 직면하게 된 국가의 경우, 교량의 사용수준과 적절한 예산의 수립 및 분배를 고려한 합리적인 의사결정의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이것은 교량만의 문제가 아니며 이러한 배경에서 사회기반시설물의 자산관리 적용이 최근 시설물 유지관리의 주요 현안으로 부상하고 있다(한국건설기술연구원, 2008).

교량에 대한 자산관리는 가까운 장래에 도래하게 될 교량 유지관리비용의 급격한 증가를 대비하여 반드시 구축해야 하는 국가적인 사안임에는 분명하다. 그러나 이를 구축하기 위한 지원이나 정책이 부재하여 아직까지 미진한 수준에 머물고 있다. 따라서 교량 유지관리 전략 수립 및 합리적인 예산분배 등과 같은 의사결정 지원 체계 구축을 통한 자산관리 차원의 교량관리시스템 구축을 위해서는 보다 깊이 있는 연구가 절실하다 할 수 있다.

최근 국내에서도 전체 사회기반시설물의 자산관리체계를 구축하기 위한 노력이 다양하게 진행 중에 있으며(채명진 외, 2009), 이러한 연구의 일환으로 본 논문에서는 교량의 효율적인 유지관리를 위하여 자산관리 개념의 도입을 통해 다양한 사회기반시설물의 자산관리 체계를 지원할 수 있는 기본적인 교량 자산관리 방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

넓은 의미에서 사회기반시설물의 자산관리라고 하면 전략적으로 시설물 유지관리 계획을 수립하고, 서비스수준을 최대화하는 동시에 최적의 보수보강 및 개축 계획 수립과 실행을 통해 예산지출을 최소화하고 장기적인 자산운용 계획을 수립하는 것으로 정의하고 있다(INGENIUM & IPWEA, 2006). 도로시설물의 자산관리 측면에서는 물리적인 자산을 생애주기에 걸쳐 비용-효율적으로 운영, 유지, 향상, 연장시키는 전략적이고 체계적인 절차로 정의하였다. 이것은 공학적인 원리와 건전한 업무수단 및 경제이론이 접목되어 의사결정을 위한 보다 조직적이고 논리적인 접근법을 용이하게 하기 위한 도구들을 제공한다. 결국 단기적이고 장기적인 계획을 조정하기 위한 프레임워크를 제시한다고 정의하고 있다(FHWA, 1999). 앞선 정의가 기술된 문헌에서 알 수 있듯이 교통, 상하수도 등 다양한 사회기반시설물, 범위를 좁혀 도로시설물 자산관리의 한 부분으로서 교량구조물이 포함되며, 기본적으로 위에 기술된 정의는 교량에도 동일하게 적용된다.

교량은 하천, 계곡, 해상 등 가설되는 위치의 특성상 열악한 환경에 놓이게 되는 경우가 많으며, 태풍, 홍수, 지진과 같은 자연재해뿐만 아니라 물동량의 증대와 운송수단의 대형화로 인해 교통량 및 통행하중의 지속적인 증가를 겪게 된다. 이러한 교량의 파손으로 인한 보수보강 및 교체에 따른 교통통제, 극단적인 경우 갑작스런 붕괴 등이 발생할 경우 사회경제적으로 커다란 손실과 인명사상의 피해를 유발하기 때문에 일정 수준 이상의 성능을 유지하여야 한다. 이렇게 교량의 구조적인 성능부분이 중요한 요소이기는 하지

만 본 논문에서는 교량의 안전에 대한 구체적인 기술보다는 전체적인 자산관리 차원에서 교량부분의 특성을 고려하여 사회기반시설물 자산관리 체계를 지원할 수 있는 방안에 한정하여 논하고자 한다.

본 논문에서는 우선 교량과 교량이 속해있는 도로시설물의 자산관리에 대한 국내외 현황을 분석하고, 자산관리의 교량 적용을 위한 기본 방안 및 주요 연구내용을 도출하였다. 이를 바탕으로 국내 실정에 적합한 교량 자산관리 절차 및 프레임워크를 제안하였다. 제안된 방법의 적용성을 판단하기 위하여 교량 및 자산 관리주체의 요구사항에 부합될 수 있는 대표적인 기능 및 결과 사례들을 제시하였다. 마지막으로 향후 사회기반시설물의 자산관리체계 수립을 위하여 교량부분에서 실제 적용에 있어 해결해야 할 문제들과 발전방향에 대해서 논의하였다.

2. 교량 자산관리 현황 및 분석

2.1 국외의 교량 자산관리 현황

선진 각국은 교량 통행하중의 증가 및 통행차량의 증대, 지속적인 교량의 공용수명 증가 및 열화, 보수 및 교체 예산의 한계, 불충분한 예산에 맞춘 교량 보존 및 유지 프로그램, 세입감소, 구매력 저감, 가용한 예산에 대한 경쟁심화 등이 교량 자산관리에 주요요인으로 고려되고 있다. 미국 연방도로청(Federal Highway Administration; FHWA)에서는 수년간 자산관리와 관련된 기준 제정 및 정비, 연구활동, 시스템개발을 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 위원회와의 협동 연구 등을 통해 각 주정부 교통국이 효율적으로 자산관리체계를 적용할 수 있도록 도움을 주고 있다. 육상 도로교통관련 전체적인 자산관리체계의 수립과 관련된 내용에 초점이 맞추어져 있으며, 교량을 비롯하여 전체 기반시설물, 즉 터널, 포장 등등의 국가기반시설을 전체적인 자산으로 간주하여 이를 유지관리하는 방안을 연구 개발 중이다(Cambridge Systematics, 2009). 기존의 전통적인 토목공학의 기술과 함께 경제학적인 요소를 접목한 복합 기반기술을 활용하여 기반시설의 자산관리 개념을 도입하고 있다. 일본도 기존 교량관리 체계를 개선하여 교량관리회계시스템(Bridge Management Accounting System; BMAS)을 통해 자산관리 체계로의 발전을 도모하고 있으며(Kobayashi, 2008), 유럽연합 또한 기존의 교량관리체계 분석을 통해 발전적인 관리체계의 수립을 위한 연구개발을 수행하고 있다(BRIME, 2001).

지속적이고 체계적인 연구결과의 반영을 통해 전산시스템적인 측면에서 미국이 다양한 분석도구를 개발하여 폭넓게 사용하고 있어 가장 앞서 있다고 할 수 있다. 표 1은 미국에서 개발하거나 활용하고 있는 도로자산관리와 관련된 분석도구를 요약(Cambridge Systematics, 2009)한 것으로 교량의 자산관리와 관련된 프로그램으로는 AssetManager NT와 PT, BLCCA, MOOS Bridge Level Model과 Network Level Model, PONTIS 등이 있으며, 기타 프로그램도 관련 기능을 참고할 수 있을 것으로 판단된다(Vandana et al., 2007).

표 1. 자산관리를 지원하기 위한 분석도구(국외)

분석도구	시스템 유형	개발처	비고
AssetManager NT	Investment Analysis	AASHTO	다양한 자료로부터 투자해석 결과를 조합
AssetManager PT	Need and Project Evaluation	AASHTO	사용자가 정의한 척도에 기초한 프로젝트 우선순위 산정
BCA.Net	Need and Project Evaluation	FHWA	고속도로 투자를 위한 B/C 분석 수행
BLCCA	Need and Project Evaluation	NCHRP	교량 생애주기비용 분석
DIETT	Risk Assessment	NCHRP	교통시설 정체구간에 대한 위험도 우선순위 분석
HDM-4	Investment Analysis	McTrans Presses de l'ENPC(Paris)	고속도로 투자의 필요, 상태, 성능을 고려한 시뮬레이션
HERS-ST	Investment Analysis	FHWA	고속도로 투자의 필요, 상태, 성능을 고려한 시뮬레이션
IDAS	Need and Project Evaluation	McTrans and PCTrans	교통정보시스템 개선의 효과 분석
MOOS Bridge Level Model	Need and Project Evaluation	NCHRP	Pontis 데이터를 이용한 교량 수준 전략 개발, 교량의 위험도를 고려한 투자 우선순위 분석
MOOS Network Level Model	Investment Analysis	NCHRP	교량 수준 모델로부터 획득한 데이터를 이용한 다목적 최적설계 해석
NBIAS	Investment Analysis	FHWA	교량 투자의 필요, 상태, 성능을 고려한 시뮬레이션
PONTIS	Management System	AASHTO	대부분의 미국 교통국에서 사용하는 교량관리시스템
REALCOST	Needs and Project Evaluation	FHWA	포장 프로젝트를 위한 B/C 분석 수행
STEAM	Project Evaluation	FHWA	다양한 투자의 네트워크 효과 분석
TRNS'PORT	Results Monitoring	AASHTO	시공전, 계약, 사업관리 지원

2.2 국내의 교량 자산관리 현황

국내에서 실제적인 교량관리의 시작은 1990년대 중반 다수의 시공 및 공용 중인 교량의 붕괴사고가 발생한 이후부터라고 할 수 있다. 시설물의 안전관리에 관한 특별법이 제정되고, 시설물 유지관리체계 내에서 교량에 대한 별도의 관리지침이 제정되었으며, 전산화된 교량관리시스템(Bridge Management System; BMS)이 국토해양부, 도로공사 등 관리주체별로 개발되어 왔다. 현재의 BMS는 개발초기의 수준과 마찬가지로 교량의 기본정보, 유지보수조치정보, 점검정보 등 발생한 결과 위주의 데이터 축적 수준에서 활용되고 있으며, 시스템 운영체계 변경과 같은 소극적인 변화만 진행되어왔고 실질적인 기능 측면의 발전은 이루어지지 않아 활용도 및 성능이 매우 제한적인 상태이다.

최근 각 정부기관, 연구기관 등에서는 LCC 분석 및 자산관리와 관련된 연구에 관한 관심이 크게 고조되고 있지만 아직까지는 교량의 유지관리에 자산관리 개념을 도입하여 새로운 체계의 정립과 시스템의 구축을 위한 구체적인 실제 접근 사례를 찾기 어려운 것이 현실이다. 교량 공용수명의 증대와 유지관리비용의 절감, 사용자의 만족도 증진이라는 교량 자산관리의 기본적인 목표를 이루기 위해서는 제도적 뒷받침과 함께 여러 전문기관에서 실제적인 적용성 확보를 위한 지침, 시스템 개발 등 부단한 노력이 있어야 할 것으로 판단된다. 표 2는 국내 실정에 적합한 자산관리체계의 구축을 위하여 그동안 국내에서 개발되어 온 교량 관련 프로그램의 특징을 정리한 것이다.

표 2. 자산관리를 지원하기 위한 분석도구(국내)

분석도구	시스템 유형	개발처	비고
시설물유지관리시스템 (CALIS)	Management System	한국건설기술연구원	국도관리사무소 업무지원(시설물 유지관리, 인허가 등)
도로관리통합시스템 (HMS)	Management System	한국건설기술연구원	도로, 사면, 교량 등 도로시설물 상태 및 필요예산 확인
고속도로교량관리시스템 (HBMS)	Management System	한국도로공사	고속도로 교량의 유지관리 업무 지원
시설물관리시스템 (FMS)	Management System	한국시설안전공단	1, 2종 시설물의 점검이력, 유지보수 이력
도로시설물 관리 시스템	Management System	서울특별시	서울시 도로시설물에 대한 점검이력, 시설물통계정보확인, 공사현황 목록 관리
LCMSteB	Need and Project Evaluation	한국건설기술연구원	유지관리 시나리오 생성, 생애주기비용 분석, 생애주기 성능평가
유지관리비용산정시스템	Need Evaluation	한국건설기술연구원	자산관리에 기초한 교량 유지관리 비용 분석 프로그램
RLCC	Need and Project Evaluation	한국철도기술연구원	설계단계 철도 교량 생애주기비용 분석
LYCAS	Need and Project Evaluation	아이엠기술단	설계단계 도로 교량 생애주기비용 분석

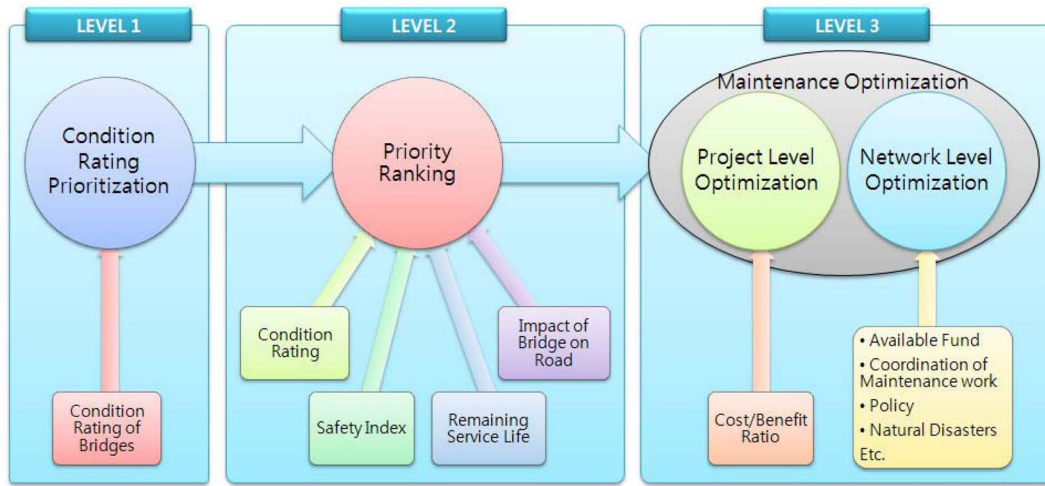


그림 1. 의사결정 수준에 따른 교량관리 수준의 구분

2.3 국내외 교량 자산관리 현황 분석

교량 유지관리 기술수준을 구분한 그림 1(BRIME, 2001)에서 알 수 있듯이 교량의 성능과 비용을 고려한 의사결정 관리수준을 3단계로 구분하고 있다. 단순한 상태점검 결과에 따른 우선순위 판정을 수준 1이라고 하면, 안전지수와 잔존수명 등을 고려한 우선순위 판단을 수준 2로 보고 있다. 최종적으로 비용/편의 비를 고려한 교량의 서비스수준 및 예산, 정책, 자연재해 등 자산관리개념이 고려된 교량군(群) 수준(network level)의 최적화를 통한 유지관리를 최고수준으로 구분하였다. 현재 국내의 경우 방법론적으로는 레벨2나 개별 교량수준(project level) 최적화에 머물고 있으며, 시스템적으로는 레벨1수준이라고 할 수 있다. 미국을 비롯해 유럽의 영국이나 덴마크, 핀란드 등이 레벨3 수준의 시스템 구축을 위한 다양한 연구개발을 진행 중에 있다.

아직까지 교량 자산관리체계의 정립은 세계적으로도 태동기에 있다고 할 수 있으며, 국내에서도 현재의 교량관리 수준을 향상시키기 위하여 구조적이고 미시적인 관점에서의 교량 유지관리와 함께 회계적인 관점에서 예산의 수립과 집행, 사용자 중심적이며 경제적인 관점에서의 자산관리 개념을 적용하기 위한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

3. 자산관리의 교량적용

3.1 교량 자산관리의 개념

최근까지 유지관리조치의 우선순위 결정 등과 같은 교량 유지관리 의사결정을 위해서 교량의 상태평가나 잔존수명에 대한 평가 등 공학적인 판단에 근거하여 정책적으로 우선순위를 결정하였으나, 근래 들어 유지관리의 경제성, 고객만족도 관점에서 교량이 제공해야하는 서비스수준(Level Of Service; LOS), 교량의 자산가치 유지 등 새로운 가치판단 기준을 추가하고자 하고 있다. 따라서 기존 BMS는 교량의 기본정보, 이력정보, 상태 및 성능정보 등을 고려하여 왔으나 교량 자산관리에서는 추가적으로 LOS, 자산가치, 경제성 등의 인자를 종합적으로 고려해 의사결정을 수행하고자 하고 있다. 이러한 과정은 합리적인 체계 및 절차를 수립하여 이루어지게 되며, 전산화된 시스템의 지원을 통해 보다 효율적으로 이루어질 수 있다.

교량이 속해 있는 상위 시설물인 도로의 자산관리는 정부 및 관리주체의 정책 목표에 따라 그 범위 및 세부 방법에서의 차이는 있을 수 있지만 그 목적과 전체적인 수행 흐름은 일반적인 자산관리절차와 동일하다 할 수 있으며, 도로를 구성하는 시설물의 관리와 운영, 보존 및 향상을 위한 자원의 최적 활용 방안을 찾는 전략적 접근법으로 정의할 수 있다. 본 연구에서 교량 자산관리는 개념적으로 전체 도로시설물의 자산관리를 위한 의사결정을 지원하는 기능을 포함한 도로시설물 구성 요소 중 교량에 대한 개별적인 유지관리 체계로 정의하고자 한다.

본 연구에서 제안하는 교량 자산관리 체계와 기존의 교량 유지관리시스템은 서로 유기적인 상호관계를 가지며, 서로 독립된 체계가 아니라 상호 연관되어 있다고 할 수 있다. 표 3에 국내외 교량관리체계 내에서 수행되는 유지관리 기능과 자산관리체계로 전이되면서 추가적으로 필요한 기능을 구분하여 정리하였다. 교량수준의 경우 각 교량의 상태 및 성능 이력과 생애주기비용을 파악하고 미래를 예측하는 과정을 통해 가상의 조치(유지관리 대안) 가운데 비용효율성이나 경제적 관점에서 최적의 대안을 선정하게 된다. 교량군 수준에서는 교량 수준의 분석을 바탕으로 일정 교량 군 가운데 성능 및 비용효율성 등을 기준으로 유지관리우선순위를 결정하고, 생애주기 성능과 비용 사이의 상관관계를 고려하여 적절한 관리수준 및 예산을 결정하는 과정이 이루어지게 된다. 이러한 과정은 일반적으로 개별 시설물의 유지관리 수준에서 이루어지는 기능으로 발전된 BMS에서 구현되고 있다. 자산관리 수준에서는 구조적 성능과 유지관리비용의 고려뿐만 아니라 사용자관점에서의 LOS와 관리자 관점의 자산가치를 고려하여 의사결정을 지원하게 된다. 또한 도로나 기반시설물 등 상위단계에서 이종(異種) 자산의 관리수준을 조정함으로써 전체 자산의 관리를 효율적으로 수행할 수 있도록, 교량 자산관리 체계에서는 특정한 관리수준에 따른 예산 결정 시나리오를 제공해주게 된다.

3.2 교량의 자산관리 기본사항

International Infrastructure Management Manual(IIMM) (INGENIUM & IPWEA, 2006)에 따르면 사회기반시설물의 일반적인 자산관리전략 개발을 위한 절차는 그림 2(a)와 같

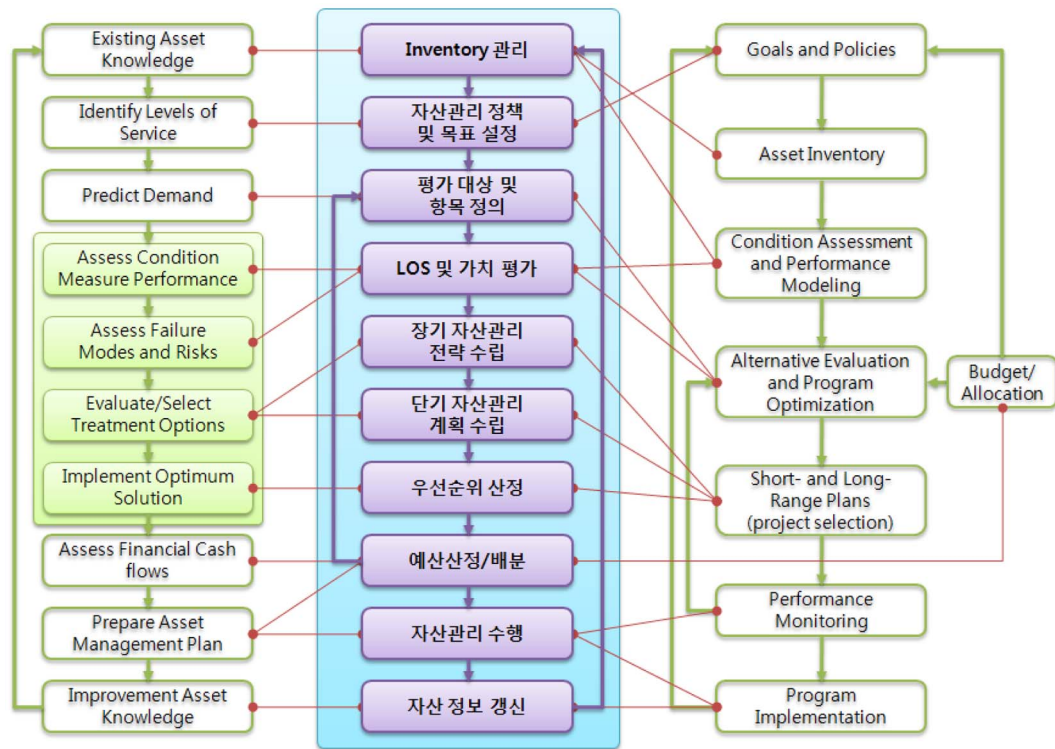
표 3. 수준별 교량관리 기능

유지관리수준		자산관리수준
교량 수준	교량군 수준	
<ul style="list-style-type: none"> - 교량 기본정보 관리 - 교량 구조정보 관리 - 진단점검 정보 관리 - 유지보수 정보 관리 - 교통량 정보 관리 - 상태등급 이력관리 - 내하성능 이력관리 - 상태변화 예측 - 성능변화 예측 - 위험요소 예측 - 유지관리 효과 예측 - 유지관리 비용 예측 - 이용자비용 예측 - 최적 유지관리 대안 수립 - 최적 유지관리 비용 산정 	<ul style="list-style-type: none"> - 유지관리 조치 특성 분석(비용, 공법, 시기) - 부재별 대표 상태/성능 예측 - 교량 형식별 대표 상태/성능 예측 - 투입예산에 따른 상태/성능 변화 예측 - 예산 지연에 따른 상태/성능 변화 예측 - 유지관리 소요예산 예측 - 생애주기 최적 예산배분 - 관리수준별 예산 수립 - 제약조건별 유지관리 우선순위산정 - 보수보강 우선순위 선정 - 개축 우선순위 선정 	<ul style="list-style-type: none"> - 서비스수준 정의 - 서비스수준 설정을 위한 요소 선정 - 서비스수준 평가 - 서비스수준 유지에 따른 소요예산 - 예산투입의 효과를 서비스수준 측면에서 정량화 - 예산 투입 지연에 따른 서비스수준 변화 예측 - 교량 자산가치 평가 - 자산가치의 감가상각 추정

이 나타낼 수 있다. 절차상 교량의 자산관리 또한 크게 다르지 않으나, 세부적인 내용에 있어서 분석 수준의 차이가 있을 수 있으며 교량의 특성이 고려되어야한다. 그림 2(a)에서 알 수 있듯이 자산관리 절차는 정성적인 서비스수준과 비용적인 측면만을 고려한 기본적인 방법과 구조물의 상태, 파괴 및 위험도, 최적대안의 생성 등이 종합적으로 고려된 진보적인 방법(그림 2(a)에 음영 처리된 부분)으로 구분할 수 있다. 기존의 교량 사고사례에서 알 수 있듯이 인명사상과 막대한 사회경제적 손실을 야기하는 교량의 자산관리는 구조물의 안전성능이 강조된 보다 발전적인 방법의 적용이 모색되어야 한다. 또한 교량의 자산관리를 위한 시스템적 접근이 가장 발전되어 있는 미국 FHWA의 경우 교량의 자산관리는 정책 및 목표를 설정하고 이를 수행하기 위한 계획과 프로그램을

개발하는 전략화과정으로서 자료수집, 분석, 전략평가, 의사결정, 프로그램 개발, 시행 그리고 모니터링과 같은 절차를 통해 합리적으로 진행하고자 하고 있으며, 제안된 자산관리 체계의 흐름도는 그림 2(c)와 같다(FHWA, 1999).

이러한 기본적인 자산관리체계를 고려하여 본 연구에서는 교량의 자산관리를 위한 연구내용과 절차를 제시하였다. 표 4에는 교량의 유지관리를 포함한 자산관리 체계 수립을 위해 요구되는 핵심기술을 정리하였다. 현실적으로 모든 연구항목에 대한 개발을 통해 체계 또는 시스템을 구축하는 것은 불가능할 것이다. 기존 국외의 자산관리 체계와 정의된 연구내용을 바탕으로 현 시점에서 실제적인 적용 가능성을 고려하여 교량의 자산관리를 위한 절차를 제시하였으며, 구체적인 내용은 다음 절에서 기술하였다.



(a) IIMM의 자산관리 절차 (b) 교량 자산관리 절차 (c) FHWA의 자산관리 절차

그림 2. 교량 자산관리 절차 비교

표 4. 교량 자산관리를 위한 핵심기술

대분류	LOS 평가 및 예측 기술	자산 평가 및 산정 기술	생애주기관리기술	자산관리의 제도화
소분류	- LOS 정량화 및 평가 기술 - 건전도 평가 및 진단기술 - 보수보강 평가 및 예측기술 - 성능 및 상태 DB구축	- LCC 예측기술 - 예산수립 및 분배 - COST DB구축 - 가치평가기술	- 최적의사결정기술 - 지속 가능한 관리기술 - 위험도기반 관리기술	- 제도화 및 표준화 - 새로운 방법의 전파, 교육 - 시스템의 지속적 운용방안

4. 교량 자산관리 절차 및 기능

4.1 교량 자산관리 절차

자산관리절차는 자산관리의 개념과 기능을 효율적으로 반영 및 처리될 수 있도록 정의되어야 한다. 본 연구에서는 NAMS(National Asset Management Steering Committee)의 IIMM과 FHWA에서 제안한 일반적인 자산관리 절차를 반영하고 국내 실정을 고려하여 그림 2(b)와 같이 교량 자산관리 절차를 정의하였다. 그림 2의 (a) 및 (c)와 같은 자산관리체계 구조는 특정한 시설물이나 관리책임자를 대상으로 한 것이 아니고 기본적인 흐름을 나타내는 개념적인 구성도이므로, 전체적이고 두 기관에서 제안한 절차와 세부적인 구현 방법에서는 차이가 있을 수 있지만 기본적인 방향은 모두 고려한 자산관리절차를 제안하였다.

관리주체는 시설물을 관리하기 위한 이상적인 목표, 정책 그리고 예산을 계획하여야 한다. 따라서 교량 자산관리 절차는 교량의 성능을 예측하고 예산을 책정하며 정책결정을 위한 의사결정 수단뿐만 아니라 해석절차의 지침으로 사용될 수 있어야 한다. 그림 2(b)에 제안한 교량 자산관리 절차에 따라 실제적인 자산관리를 수행하기 위해서는 항목별로 보다 구체적인 방법론의 적용이 요구되며 전산 프로그램의 도움이 필요할 수 있다.

표 5와 같이 그림 2(b)의 자산관리 절차 구현을 위해 필요한 기능을 간략하게 정의하였다. 정의된 절차를 시스템화를 위한 기능 측면에서 구분하면 기존의 국내 교량관리시스템에서 지원되고 있는 ① 인벤토리(Inventory) 관리기능과, 본 연구에서 제안한 ② LOS 및 가치 평가 기능(메뉴 1), ③ 자산관리기능(메뉴 2)으로 구분할 수 있다. 인벤토리 관리 기능은 이미 기존에 활용되고 있는 다양한 교량관리시스템을 통해 충분히 인지되고 있으므로 본 논문에서는 논하지 않았다. 자산관리를 위한 관리주체의 정책 및 목표 설정은

관리수준과 예산간의 시간변화에 따른 상관관계가 고려되어 이루어져야 할 것이다. 자산관리 전략/계획에 따른 실제적인 관리의 수행과 수행결과에 반영을 통해 자산관리체계의 신뢰도 증진이 이루어지도록 하여야 한다. 표 5의 제안된 교량 자산관리 절차에 따른 기능 중 전산화를 통해 보다 효율적으로 적용될 수 있는 메뉴 1, 2의 기능들에 대한 체계적인 구현 방안에 대해서 보다 자세하게 논하였다.

4.2 교량 자산관리 기능

4.2.1 서비스수준(LOS)의 설정 및 평가

자산관리에서 서비스수준(LOS)은 계량되어질 수 있는 서비스 성능에 대응하는 특정한 활동 또는 서비스영역에 대해 정의된 서비스의 질을 의미한다. LOS는 일반적으로 서비스의 질, 양, 신뢰도, 반응성, 환경적 용인성 그리고 비용과 연관되어 있다. 자산의 관리를 위한 지표로 LOS 이외에도 가치(value)가 적용될 수 있다. 본 연구에서는 사용자 중심의 LOS를 지표로 적용한 경우에 대해서 논하였으며, 관리자적 측면이 강조되는 가치를 지표로 적용한 경우에도 유사한 과정을 거치게 된다. LOS는 모든 자산관리 의사결정에 영향을 미치는 중요한 열쇠다. 따라서 적절하고 계량 가능한 LOS의 설정이 중요하며, 기술적으로 의미 있어야하고 중요하다고 판단되는 논점을 나타낼 수 있어야 한다. 사회기반시설물의 전체적인 자산관리체계에 부합되도록 설정된 지역사회에 미치는 영향과 고객가치를 고려하여 교량의 LOS를 표 6과 같이 정의하였다.

4.2.2.1 평가대상 및 항목 정의

자산관리 전략 및 계획 수립을 위해 대상 교량을 선정하고 평가항목을 설정하는 단계이다. 자산관리 분석을 수행하고자하는 ① 대상교량이 결정되면, ② 고려하고자하는 LOS 항목을 설정하고, ③ 각 LOS를 정량화하기 위한 성능척도(performance measure)를 설정한다(선종완 외, 2009). 각각

표 5. 교량 자산관리 기능

기능	기능정의	비고
Inventory 관리	교량 기본정보, 점검정보 등 관리	
자산관리 정책 및 목표 설정	교량 관리주체가 추진하고자 하는 정책 및 관리 목표 설정	
평가 대상 및 항목 정의	자산관리 전략 수립을 위한 대상 교량 선정 및 평가 항목 설정	메뉴 1
LOS 및 가치 평가	평가항목별 LOS 및 교량별 자산가치 평가	
장기자산관리 전략 수립	성능, 기간, 예산 등 제약조건에 따른 LOS-LCC 관계 분석 수행	메뉴 2
단기자산관리 계획 수립	평가 대상 교량에 대한 LOS-LCC 관계에 따른 대안 수립	
우선순위 산정	투입비용 대비 LOS 및 가치 변화에 따른 조치 우선순위 산정	
예산산정/세분	관리수준별 예산수립 및 투입예산에 따른 LOS 및 가치변화 추정	
자산관리 수행	수립된 단기 계획에 따라 예산 및 우선순위를 고려한 조치 수행	
자산 정보 갱신	수행된 조치에 따른 정보 수집 및 Feedback	

표 6. LOS의 설정

Well Being	Community Outcomes (지역사회 성취)	Customer value (고객가치)	LOS (서비스수준)
환경	다음세대를 위한 환경의 보전	지속가능성*	환경에 대한 역기능 없이 지속적인 서비스 제공
경제	유기적이고 효율적인 사회기반시설	접근성*	사용자의 제약 없는 교량 접근
		비용의 적절성**	교량을 효율적으로 관리
		품질*	교량의 기본기능 발휘 적절성
사회/ 문화	안전하고 좋은 서비스	건강/안전*	사용자가 안전하게 사용
		신뢰성/대응**	예측가능하고 연속성 있는 서비스 제공
			위급발생 시 즉각적인 대응으로 영향 최소화
		고객서비스**	서비스 요구에 대한 친절한 응대
민원 발생을 최소화			

* : 교량별(project level) 평가항목, ** : 교량군(network level) 평가항목

의 교량은 각기 다른 사회·경제적, 공학적인 가치를 가진 것이므로 개별 교량의 중요도 평가를 통한 가중치 결정이 필요하다. 일반적으로 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법 등을 사용하여 교량군별로 고객가치별 성능척도의 가중치를 결정할 수 있다.

4.2.2.2 대상 교량별, 평가항목별 LOS 평가

분석 대상 교량에 대하여 설정된 고객가치별 성능척도에 따라 LOS 수준을 평가하는 단계이다. 대상 교량 각각에 대하여 관리지는 주기적으로 고객가치별 성능척도에 따라 LOS를 평가할 수 있으며, 이 값은 다시 교량군, 교량형식, 관리주체수준 또는 각 분류기준별 성능척도수준으로 취합된다. 각각의 분류기준별 LOS 평가 결과는 그 자체로도 지역별, 교량형식별, 특정 교량군별, 공용년수별 등 다양한 통계 정보를 제공하여 줄 수 있으며, 실제적인 자산관리 전략 및 계획 수립단계에 활용될 수 있다. 이러한 과정은 식 (1)과 같이 정식화할 수 있다.

표 6에서 제시된바와 같이 교량의 LOS를 평가하는데 지표로 사용되는 고객가치는 교량별로 평가할 수 있는 항목과 교량군별로 평가할 수 있는 항목으로 구분할 수 있다. 예를 들어 고객서비스 항목은 교량별로 고객서비스가 좋고 나쁨을 평가할 수는 없으며, 최소한 관리주체, 지역, 교량군 등 자산관리 계획을 수립할 수 있는 주체에 따라 평가되는 인자로 분류할 수 있기 때문이다.

$$\text{개별교량의 고객가치별 LOS} : LOS_{P_{cv_i}} = \sum_{i=1}^{pm_N} w_{N_{pm_i}^{cv}} \cdot Score_{pm_i}$$

$$\text{개별교량별 LOS} : LOS_P = \sum_{i=1}^{cv_N} LOS_{P_{cv_i}}$$

평가 대상 그룹별 LOS :

$$LOS_{G_j} = \sum_{i=1}^{P_N} \acute{W}_{P_i} \cdot LOS_{P_i}, j=1, \dots, G_N$$

평가대상그룹에 따른 고객가치별 LOS :

$$LOS_{G_{cv_j}} = \sum_{i=1}^{P_N} \acute{W}_{P_i} \cdot LOS_{P_{cv_i}}, j=1, \dots, G_N$$

$$\text{그룹별 교량 가중치} : \acute{W}_{P_i} = W_{P_i} / \sum_{i=1}^{P_N} W_{P_i} \quad (1)$$

여기서 $LOS_{P_{cv}}$ 는 교량별 고객가치 측면의 LOS로 고객가치를 구성하는 개별 성능척도의 등급을 점수로 환산한 값 Score와 그 교량군에 따른 고객가치별 성능척도의 가중치 $w_{N_{pm}^{cv}}$ 을 곱한 값의 합으로 구성, pm_N 은 개별 고객가치를 평가하기 위한 성능척도의 개수, pm 은 성능척도, cv 는 고객가치를 의미한다. LOS_P 는 개별교량의 LOS로 개별교량의 고객가치별 LOS를 합한 값이며, cv_N 은 교량군별 고객가치의 수이다. LOS_{G_j} 는 평가대상 분류별 LOS를 의미하는데, 평가대상분류에는 관리주체, 교량군, 지역 및 교량형식 등이 있으며, G_N 은 평가분류개수(예: 교량형식의 개수, 지역 개수, 교량군 개수 등)이다. \acute{W}_{P_i} 는 개별교량의 가중치를 평가대상 그룹에 포함되는 전체교량의 가중치의 합으로 정규화한 w_{P_i} 값이며, P_N 은 평가대상 그룹 내 전체 교량의 개수를 의미한다.

4.2.2 자산관리 전략 및 계획 수립

4.2.2.1 장기자산관리 전략 수립

교량 관리주체에게 장기적인 관점에서 교량 관리정책의 방향 설정을 위한 전략 수립을 지원하기 위하여 목표관리수준,

표 7. 장기자산관리 전략 수립을 위한 의사결정사항의 종류

Case	제약사항			의사결정사항
	목표관리수준	투입예산	기간	
1	-	-	-	유지보수비용을 투자하지 않았을 때 LOS의 변화(비교대안)
2	고려	고려	-	투입예산제약이 있는 경우 목표관리수준에 도달하기 위해 필요한 최소 기간 및 전략
3	고려	-	고려	정의된 기간 내 목표관리수준에 도달하기 위해 필요한 최소 예산 수준 및 전략
4	-	고려	고려	정의된 기간 내 일정 또는 변동 예산을 투입할 경우 최대 예상 LOS 수준 및 전략
5	고려	고려	고려	목표관리수준과 투입예산, 그리고 기간제약을 두었을 때 투입예산을 가지고 목표관리수준에 도달하기 위한 최적 전략

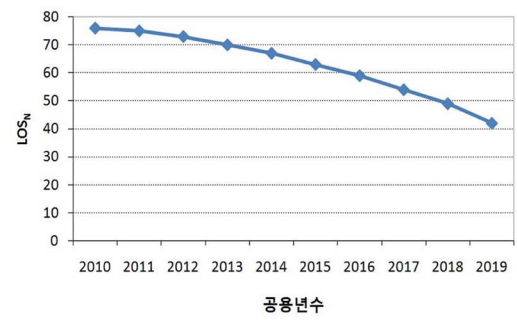
투입예산, 관리기간 등 주요 의사결정 인자에 따른 미래예측 결과를 제시하는 단계이다. 관리대상 교량군의 목표관리수준을 정하고 이에 대응하는 예산의 과소와 전략 수립의 기간에 따라 적합한 장기자산관리 전략 수립이 요구된다. 상기의 3가지 조건의 변화에 따른 전략 수립을 위한 의사결정사항을 구분하면 표 7과 같다. 표 7에서 Case 1은 의사결정을 위한 비교대안으로 별도의 분석이 필요하지 않으나, Case 2~6은 각각 의사결정문제로 목적함수가 자산관리비용, 관리주체의 서비스수준, 시간이고 제약조건이 목표서비스수준, 기간, 예산인 최적화 문제로 정식화할 수 있으며, 해를 구하기 위해 별도의 시스템적인 접근이 필요하다. 장기자산관리 전략 수립을 위한 항목은 표 6의 고객가치 중 시간의존적인 고객가치, 예를 들어 ‘품질(교량의 상태변화, 성능변화 등)’과 같은 항목을 고려할 수 있으며, 시간불변 특성을 가지고 있는 항목은 일회성 조치로 고려되어 일정한 영향을 미치지 않으므로 고려되지 않는다.

그림 3은 표 7에서 구분한 의사결정사항에 따른 분석 사례를 보여주는 것으로 관리주체의 장기적인 자산관리 전략 수립을 위한 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 3(a), 즉 표 7의 Case 1은 다른 Case와의 비교를 위한 분석 결과로서 관리예산을 투자하지 않았을 때 LOS의 변화를 도시한 것이다. 그림 3(b)는 정해진 목표관리수준에 도달하기 위해 투입되는 예산의 규모에 따른 기간 산정 결과를 예시한 것으로, 연간 800억원 또는 1,000억원을 투자했을 경우 각각 10년, 4년 후 목표관리수준에 도달하게 된다. 4년간 1,000억원을 투입하고 목표관리수준을 지속적으로 유지하기 위해서는 향후 6년간 연 300억원이 소요될 것으로 산정된 경우, 10년간 총 투입예산 측면에서 예방적관리로 인해 다른 대안에 비해 더 경제적인 것으로 판단할 수 있다. 그림 3(c)는 예산의 제약이 없이 목표관리수준을 유지하기 위해 필요한 예산을 도출하는 경우로, 목표관리수준을 유지하기 위해서 필요한 연 투입 예산을 정량적으로 산정할 수 있다. 그림 3(d)는 그림 3(c)과 반대로 예산의 한계가 일정하게 정해졌을 때 예상되는 교량군 품질의 변화를 분석한 결과로, 공용연수가 증가할수록 LOS가 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 3(e)는 예산과 투입기간이 정해졌을 때 목표관리수준에 도달하기 위한 최적의 유지관리 전략 결과를 의미하며, 각 년도는 선정된 유지보수 항목들의 평균 유지보수비용의 합과 유지보수를 조치하였을 때 예상되는 교량군의 품질 LOS 수준으로 구성되어 있다.

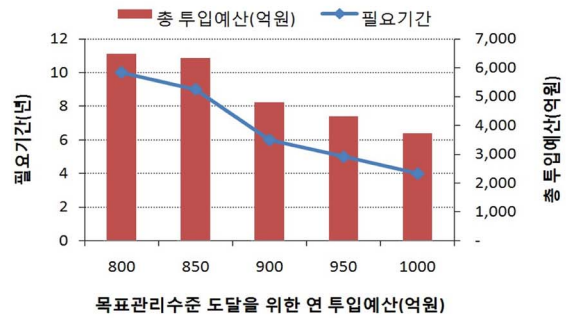
4.2.2.2 단기자산관리 계획 수립

단기자산관리 계획 수립은 차년도 또는 향후 몇 년 내의 구체적이고 실제적인 관리계획을 수립하는 단계이다. 대상 교량군 또는 교량별로 LOS가 목표 관리수준에 미치지 못하거나 장기자산관리 전략에서 결정된 관리조치를 조정하거나 새롭게 정의하여, 목표 관리수준을 재 산정하고 소요 예산을 산출한다. 단기자산관리 계획은 교량 관리자가 현실성이 고려된 구체적인 관리 시나리오를 생성하기 위하여 장기자산관리전략에서 수립된 조치 시기 및 방법을 예산이나 구조물 특징에 따라 최적의 방법으로 변경할 수 있다.

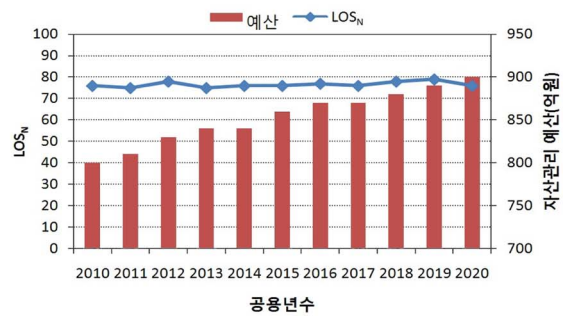
교량 자산의 LOS를 높이기 위해서는 다양한 방법이 존재하며, 각각의 관리조치는 교량 또는 교량군 단위의 LOS를



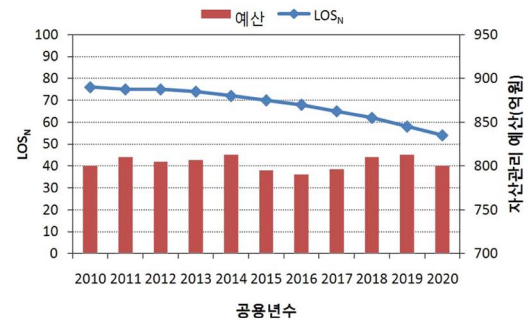
(a) 제약사항이 없는 경우(Case 1)



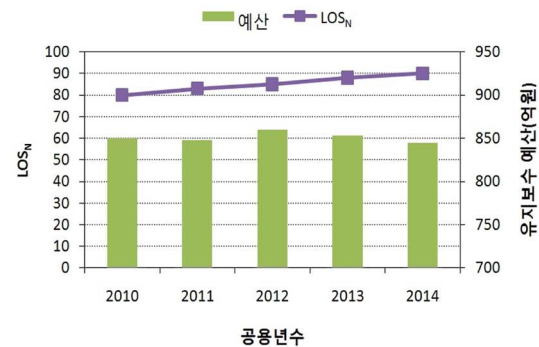
(b) 관리수준 및 예산을 제약하는 경우(Case 2)



(c) 관리수준 및 기간을 제약하는 경우(Case 3)



(d) 예산 및 기간을 제약하는 경우(Case 4)



(e) 모든 조건을 제약하는 경우(Case 5)

그림 3. 장기자산관리 전략 수립을 위한 의사결정 지원 분석 결과 예시

높이는 조치, 하나 또는 복수의 고객가치를 높일 수 있는 조치 등으로 구분된다. 개별 교량, 고객가치 및 성능척도별로 중요도가 다르기 때문에 각각의 조치별로 LOS에 미치는 영향이 다르므로 조치별 LOS의 변화와 영향, 비용정보 등에 대해서 사전 정의되어야 한다.

관리주체는 단기자산관리 계획 수립을 통해 관리주체별, 교량군별, 지역별, 교량형식별로 조치 전·후 LOS와 필요예산을 추정할 수 있다. 그러나 예산이 한정되어 있는 경우에 교량관리자가 결정한 모든 관리조치를 수행할 수는 없고 우선순위 산정을 통해 그 중에서 가장 필요한 순서로 업무를 정의할 필요가 있으며, 이러한 사항은 우선순위 산정과 예산 수립 및 배정에서 다루게 된다.

4.2.2.3 우선순위 산정

관리주체별, 교량군별, 지역별, 교량형식별 또는 각 분류별 고객가치 측면 등 다양한 형태로 관리조치 대안의 우선순위를 산정할 수 있으며, 이를 이용해 예산을 수립, 배정할 수 있다. 본 논문에서는 우선순위 결정을 위해 효율성지수(Efficiency Index; EI)를 도입하였다. 여기서 효율성지수는 각 자산관리 조치에 따른 LOS의 변화량과 소요비용의 비로 정의한 값으로, 식 (2)와 같이 정식화하였다.

$$\begin{aligned}
 EI_{alt}^{cv} &= \Delta LOS_{P_{cv}} / cost_{alt} \cdot W_P \\
 EI_{alt}^P &= \Delta LOS_P / \sum_{i=1}^{cv_N} cost_{alt} \cdot W_P \\
 EI_{alt}^N &= \Delta LOS_N / cost_{alt} \cdot \sum_{i=1}^{P_N} W_P \\
 EI_{alt}^A &= \Delta LOS_A / cost_{alt} \cdot \sum_{i=1}^{P_A} W_P
 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 EI_{alt}^{cv} , EI_{alt}^P , EI_{alt}^N , EI_{alt}^A 는 각각 자산관리 조치별 고객가치, 교량, 교량군, 관리주체에 대한 효율성지수를 의미한다. $\Delta LOS_{P_{cv}}$ 는 교량의 고객가치항목을 변화시키는 조치항목에 대한 LOS의 변화량의 합이며, ΔLOS_P , ΔLOS_N , ΔLOS_A 는 각각 교량, 교량군, 관리주체의 LOS를 변화시키기 위해 정의한 관리조치에 의한 변화량의 합으로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \Delta LOS_{P_{cv}} &= \sum_{i=1}^{pm_N} w_{N_{pm}^{cv}} \cdot (Score_{pm}^{after} - Score_{pm}^{current}) \\
 \Delta LOS_P &= \sum_{i=1}^{cv_N} \Delta LOS_{P_{cv}} \\
 \Delta LOS_N &= \sum_{i=1}^{cv_N} (LOS_{N_{cv}}^{after} - LOS_{N_{cv}}^{current}) \\
 \Delta LOS_A &= \sum_{i=1}^{cv_N} LOS_{A_{cv}}^{after} - LOS_{A_{cv}}^{current}
 \end{aligned} \quad (3)$$

EI_{alt}^N , EI_{alt}^A 에서 각각의 범주내 모든 교량의 가중치의 합을 곱한다는 것은 관리자가 정의한 특정 관리조치가 교량군 또는 관리주체 수준 전체의 LOS를 향상시키는 대안이라는 것을 의미하며, $\Delta LOS_{P_{cv}}$, ΔLOS_P 는 한 조치가 하나 또는 다수의 고객가치를 향상시킬 수 있기 때문에 별도로 정의하여 더하도록 하였다.

정식화에서 확인할 수 있듯이 EI_{alt}^{cv} , EI_{alt}^P , EI_{alt}^N , EI_{alt}^A 는 관리주체 수준의 효율성지수로 정의된 값이므로 별도의 변환과정 없이 교량 고객가치 항목, 교량별, 교량군별, 관리주체별 등 다양한 분류조건에 따라 관리조치 대안의 우선순위를 평가할 수 있다.

4.2.2.4 예산 수립 및 배정

앞서 각 조치 항목별로 우선순위가 산정되어 있으므로 이를 이용하여 비교적 손쉽게 예산 수립 및 배정을 수행할 수 있다. 여기서 예산수립은 교량 관리주체가 목표 LOS를 확보하기 위해 예산이 최소화되는 최적 계획을 수립한다는 것을 의미하고, 예산배정은 실제 배정된 예산으로 LOS를 최대화할 수 있는 조치 대상을 결정한다는 것을 의미한다. 이는 전형적인 순위최적화 문제로 각각 다음 식 (4), (5)로 정식화 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{설계변수} &: X_{jk} \\
 \text{목적함수} &: \text{Minimize } \sum Cost_{alt_{jk}} \cdot X_{jk} \\
 \text{제약조건} &: LOS_{Target} - LOS_A \leq 0 \\
 &X_{jk} \in 0, 1 \quad k=1, 2, \dots, n, \quad j \in L_k
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 \text{설계변수} &: X_{jk} \\
 \text{목적함수} &: \text{Minimize } \sum EI_{alt_{jk}} \cdot X_{jk} \\
 \text{제약조건} &: Budget_{Target} - \sum Cost_{alt_{jk}} \cdot X_{jk} \leq 0 \\
 &X_{jk} \in 0, 1 \quad k=1, 2, \dots, n, \quad j \in L_k
 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 L_k 는 관리주체의 관리조치 후보군, X_{jk} 는 설계변수로 k 교량 j 자산관리 대안의 선택여부를 의미하며, LOS_{Target} 는 관리주체의 목표 LOS, $Budget_{Target}$ 는 배정된 예산을 의미한다. 예산의 수립과 배정은 자산관리 정책 및 목표의 변화에 따라 앞서 정의된 자산관리 분석과정들을 체계적으로 수행하여 결과를 도출하게 된다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 보다 효율적이고 광범위한 사회기반시설물의 자산관리체계 지원을 위하여 교량 자산관리 방안을 수립하고자 하였다. 이를 위해 교량 자산관리와 관련된 국내외 현황분석을 수행하고, 기존의 교량관리시스템과 자산관리체계의 기능분석을 수행하여 교량 자산관리의 개념을 정의하고 체계 정립을 위한 핵심기술을 제안하였다. 또한 국외의 대표적인 자산관리 절차 분석을 통하여 국내 현실에 부합할 수 있는 교량 자산관리 절차를 제안하고, 제안된 절차의 주요 기능을 정의하고 각각의 기능에 대해 정식화를 수행하였다.

교량의 서비스수준(LOS)의 정의를 지역사회 성취와 고객가치에 대응하여 설정하고, 정략적 평가를 위한 성능척도를 정의하였으며, 고객가치별, 교량별, 교량그룹별 대상교량의 LOS를 정식화하였다. 또한 교량별 중요도에 따른 가중치를 적용하여 보다 실제적인 LOS의 평가가 가능할 것으로 판단된다.

교량의 자산관리를 전략수립과 계획수립으로 구분하여, 교량의 관리주체가 장기적으로 교량자산을 효율적으로 관리하기 위한 정책수립을 지원하기위하여 다양한 의사결정사항을

정의하고 활용사례를 예시하였으며, 단기적으로 보다 구체적이고 실제적인 관리조치의 결정이 가능한 계획수립의 방법을 제안하였다. LOS와 예산의 관계를 효율성지수로 정량화하여 우선순위 산정을 위한 지표로 제시하였으며, 효율성지수를 바탕으로 예산의 수립과 배정 문제를 순위최적화 문제로 정식화하여 자산관리 정책과 목표에 따라 다양한 의사결정 지원을 할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 제안된 절차에 따라 체계적인 교량 자산관리 수행 결과를 제시하고자 하며, 성능척도에 따른 LOS 변화 모델, LOS 변화에 따른 각 조치별 대표 비용모델 등의 개선과 의사결정 절차의 전산화를 통해 장기적 및 단기적으로 교량의 공용기간 동안 최적의 비용으로 최대의 LOS를 제공할 수 있는 자산관리 전략 수립이 가능할 것으로 기대되며, 이를 통하여 교량 유지관리 예산의 절감 및 효율적 사용이 가능해질 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 기본연구사업(교량의 성능 및 사용효율 증대를 위한 자산관리 기법 개발)으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

박경훈, 공정식, 황윤국, 조효남(2006) 생애주기 성능 및 비용에 기초한 교량 유지관리기법 개발, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권 제6A호, pp. 1023~1032.
 선종완, 박경훈, 박철우, 이민재, 이동열(2009) 교량 자산관리를 위한 서비스수준 설정을 위한 연구, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회.

채명진, 이규, 김정렬, 조문영(2009) 국내의 사회기반시설물 자산 관리 사례분석을 통한 국내 발전방안, **한국건설관리학회논문집**, 한국건설관리학회, 제10권 제2호, pp. 55~63.
 한국건설기술연구원(2006) **강교량의 최적설계와 경제적 유지관리를 위한 생애주기비용 분석 기법 및 시스템 개발**, 건설교통부/한국건설교통기술평가원 연구보고서.
 한국건설기술연구원(2008) **교량의 성능 및 사용효율 증대를 위한 자산관리 기법 개발**, 한국건설기술연구원 기본연구사업 1차년도 보고서.
 BRIME (2001) *Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline framework for a European System*, Bridge Management in Europe, The European Commission under The Transport RTD. Program of the 4th Framework Program.
 Cambridge Systematics, Inc. (2009) *NCHRP Report 632 : An Asset-Management Framework for the Interstate Highway System*, Transportation Research Board.
 Cambridge Systematics, Inc., PB Consultant, System Matrix Group, Inc. (2005) *NCHRP Report 545 : Analytical Tools for Asset Management*, Transportation Research Board.
 FHWA(Federal Highway Administration) (1999) *Asset management Primer*, Office of Asset Management, US DOT.
 INGENIUM and IPWEA (2006) *International Infrastructure Management Manual - Version 3.0*, ISBN 0-473-10685-X.
 Kobayashi Kiyoshi (2008) *Efficient Budgeting for Sustainable Management*, Bridges and Foundations, No. 8, pp. 109-111.
 TRB (Transportation Research Board) (2008) *International bridge and structure management, 10th International Conference on Bridge and Structure Management*, Buffalo, New York.
 Vandana Patidar, Samuel Labi, Kumares C. Sinha, and Paul Thompson (2007) *NCHRP Report 590: Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
 (접수일: 2009.9.16/심사일: 2009.10.13/심사완료일: 2009.11.2)