

교량의 유지관리를 위한 BIM기반 자산관리 모델 개발에 관한 연구

A Study on Development of BIM-based Asset Management Model for Maintenance of the Bridge

강 종 민*
Kang, Jong-Min

이 동 열**
Lee, Dong-youl

박 종 범***
Park, Jong-Bum

이 민 재****
Lee, Min-Jae

Abstract

The most of domestic bridge has an used life under 30 years, Future maintenance budgets can be expected to increase. However, because of bridge maintenance budgets are limited, demand for asset management being performed to achieve required performance within available budget is increasing. To perform effective asset management of bridges should be made the best use of information to occur in all phase of construction project. Therefore, the development of system and DB is required to support asset management by effective information management. The objective of this study is the development of the BIM-based bridge asset management model. Through previous research survey, BIM capabilities and asset management components were established and mutual linkages were examined. Bridge asset management model was composed of alternate assessment model. In addition, BIM-based asset management model was performed case studies to verify feasibility and applicability. The proposed model can be applied to a current bridge maintenance procedures and supported to perform effective bridge maintenance tasks within a limited budget.

Keywords : *Asset management, BIM, budgeting priorities estimation model, Budget calculation, Time calculation*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 교량은 총 26,920개소(2,567km, 도로업무편람 2010)로 국가 기간망을 구축하는데 필수적인 도로시설물이다. 현재 국내 교량의 건설 시기는 대부분 30년 미만의 사용 연수를 지니고 있

으며, 이는 OECD국가 평균 교량 공용 수명(Service Life)이 50~100년인 것을 고려한다면, 향후 시간이 지남에 따라 구조적/기능적 성능의 하락이 발생하는 교량의 수가 점차 증대될 것으로 예측할 수 있다. 또한 교량의 성능 하락을 방지하기 위한 유지보수 활동에 투입되어야하는 예산의 증대를 유발할 것으로 예상된다.

그러나 교량에 투입할 수 있는 예산은 한정되어 있기 때문에

* 일반회원, 충남대학교 대학원 토목공학과 석사과정, jmcv@cnu.ac.kr

** 일반회원, 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정, dylee@cnu.ac.kr

*** 일반회원, 한국도로공사, pijpjb@hanmail.net

**** 종신회원, 충남대학교 토목공학과 부교수, 공학박사(교신저자), lmjcm@cnu.ac.kr

효과적인 예산 투입을 통해 교량의 요구 성능을 충족시키기 위한 자산관리활동의 필요성이 증대되고 있다. 이러한 교량자산의 효율적인 관리를 위해서는 기획/설계 단계를 포함한 교량의 전체 생애주기 동안 발생하는 정보들을 효과적으로 이용해야 한다. 이 정보들은 단일 교량에 한정하여도 그 수가 매우 많으며, 관리 주체에서 담당하는 모든 교량으로 적용 범위를 확대할 경우에는 처리해야할 정보의 수는 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 효율적인 교량의 자산관리를 위해서는 교량에서 발생하는 정보를 분류하고 보수·보강 결과를 지속적으로 관리할 수 있는 시스템과 DB구축이 선행되어야 한다.

이에 따라 본 연구에서는 기획/설계단계부터 시공/유지관리 단계까지 교량에서 발생하는 정보를 관리하는 도구로 다양한 연구가 수행되고 있는 BIM을 이용하여, 교량의 효율적인 정보 관리 및 최적의사결정 지원 등에 활용될 수 있는 'BIM기반의 교량 자산관리모델'을 제안하고자 한다.

1.2 연구수행방법

BIM기반의 교량 자산관리 모델을 개발하기 위해 본 연구에서는 선행연구 조사를 통해 자산관리 모델 구축에 요구되는 세부 구성요소를 정립하고 이를 BIM과 연계할 수 있는 방안에 대해 고찰할 것이다. 이를 기반으로 교량 자산의 유지관리에 활용되는 대안을 평가하는 모델로 구성된 BIM기반의 자산관리모델을 제안하고 구축된 모델의 타당성 검증을 위해 지방자치단체의 교량을 대상으로 사례연구를 수행할 것이다.

2. BIM 및 자산관리 연구현황 조사

2.1 BIM 연구현황 조사

2.1.1 BIM의 정의

기존 토목분야는 CAD(Computer Aided Drawing) 프로그램을 통해 생성된 2D 도면의 경우, 사용자의 광범위한 해석을 통한 이해가 요구된다. 또한 다양한 정보들을 개별적인 문서나 저장매체에 저장하기 때문에 정보의 취합 및 관리에 한계점을 지니고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 많은 방안들 중 하나인 BIM(Building Information Model)은 3D Image Tool을 이용하여 가상의 공간에 시설물을 구성하고, 건설사업 수행단계에서 발생하게 되는 각각의 정보를 직접적으로 부재에 입력하여 활용하는 정보관리 시스템이다. 본 연구에서 BIM은 자산관리의 활용도구(tool)로써 교량을 구축하는 부재들을 작성하고, 각 부재

의 사용수명이 종료되는 시점까지 발생하는 비용, 재료, 공기와 같은 요소들의 정보를 입력하여, 각각의 자산관리 프로세스에서 요구되는 정보에 대한 분석 및 Simulation을 수행하고 결과를 도출하는데 사용될 수 있다.

2.1.2 기존 연구동향 조사 및 한계점 고찰

기존의 BIM에 대한 연구들은 건설 사업수행 전반에 걸쳐 발생하는 정보들을 효율적으로 활용할 수 있는 방법으로 주로 건설사업 분야에 BIM을 적용하기 위한 방안이나 계획 및 시공분야의 개선을 위한 연구가 주로 진행되었다. 유지관리와 관련된 연구는 부재에 발생한 유지보수 이력정보를 저장하고 관리하는 DB로써의 활용방안 및 기대효과 예측, 유지관리 모델 제안 등에 관한 연구들이 수행되었다.

표 1. 기존 연구문헌 (BIM)

연구자	제목	연구내용
정도영 외	BIM의 교량 시공단계 적용방안에 관한 연구	BIM을 교량시공에 적용할 수 있는 방안을 고찰하고 적용사례 제시
이주성 외	건설사업 BIM 활성화 저해 영향 요인 도출에 관한 연구	건설 프로젝트에서 BIM적용을 저해하는 영향 요인을 도출하고, 설문조사를 통해 도출된 영향요인의 중요도 산정 및 대체방안 제안
이현수 외	위치추적기술 이용한 BIM기반 건설현장 안전관리 시스템	BIM 기반의 실시간 모니터링 모델을 이용한 작업장 중심의 안전관리 시스템 구축
김덕원	건설프로젝트 생애주기 관리를 위한 3차원 교량정보모델의 개발	건설 프로세스의 각 단계별로 요구되는 기능 정의에 따라 작업분류체계와 비용분류체계를 고려한 BIM 활용방안 제안
서창석 외	설계 관리를 위한 정보 중심의 BIM기반 설계업무 프로세스에 관한 연구	국내 설계 프로세스 검토를 통한 정보중심의 BIM기반 통합설계프로세스 구축
김성아 외	BIM기반 물량산출 방안 및 이슈	BIM 기반 물량산출을 적용한 파일럿 테스트 사례를 기반으로 BIM 기반 물량산출 작업현황 및 문제점을 진단하고 해결방안 제안
조호규 외	BIM 기반 시공단계 가상건설 및 공사 관리 시스템(VDCS) 개발	현장 시공단계에서 효과적으로 적용하기 위한 BMS 운영 시스템 구축
이현규 외	BIM기반 유지관리 시스템 개발을 위한 핵심기능 도출	BIM 기반 유지관리 시스템 개발을 위한 요구 기능 제시
박찬식 외	시공성 분석업무 개선을 위한 BIM 기술의 적용방안	BIM의 개념과 기술의 시공성 업무에의 적용성을 분석 및 시공성 분석 적용에 따른 기대효과 분석
문성우 외	BIM 기술을 활용한 시설물 유지 관리 시스템의 개발	BIM 기술을 통한 구조물 3D 시뮬레이션 구현으로 관리하고자 하는 각종 정보를 웹상에서 실시간으로 확인할 수 있는 방안 모색

그러나 표 1의 기존 연구문헌에 따르면 제안된 모델들은 실질적인 활용에 대한 검증과정이 미비하고, 한정된 예산 내에서 최대의 효과를 추구하는 자산관리의 개념이 아닌 파손 부재의 보수·보강에 관련된 단순 유지보수에 대한 연구가 수행되었다는 한계점이 존재한다.

BIM은 교량의 전 생애주기동안 발생하는 모든 정보를 전산화

하여 개별 부재에 입력할 수 있기 때문에, 전설사업 전 단계에서 활용할 수 있는 정보관리시스템으로서의 역할을 수행할 수 있다. 이러한 기본 특성들을 자산관리 모델에 적용할 경우, 표 2에 정리한 바와 같이 DB로써의 활용, 물량산출, 분석, 시물레이션과 같은 기능을 수행할 수 있다. 이를 통해 개별적으로 구축된 비용DB와 연계하여 유지보수를 위한 예산 산정 및 경제성 평가, 성능 평가 등을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

표 2. BIM의 기능¹⁾

특성	내용
Data-Base 기능	BIM은 객체에 포함된 정보를 체계적으로 관리할 수 있는 Database를 구축하는 역할을 수행한다. 이를 통해 정보의 교환 및 갱신을 수행할 수 있다.
물량산출 기능	각 객체별로 정보를 입력하고, 정보에 대한 조건적 선택이 가능하여 이를 바탕으로 업무수행상의 총 물량을 산출할 수 있다.
분석기능	BIM에 입력된 정보의 수치 값을 통하여 대상을 분석하는 것이 가능하며, 구조·환경 분석 등이 이에 포함된다.
시물레이션 기능	3차원 모델링에 시산속성을 포함 시키면, 시간의 진행에 따른 시설물의 변화정도를 파악할 수 있다.

2.2 자산관리 정의 및 세부구성요소 정립

2.2.1 자산관리의 정의

교량의 자산관리를 수행하기 위해서는 자산관리에 대한 정확한 정의가 정립되어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 도로시설물의 자산관리를 수행하는 해외 관리주체별 자산관리 정의를 조사하였으며, 이는 다음 표 3과 같다.

표 3. 자산관리의 정의²⁾

기관	정의
FHWA	자산관리는 비용-효율적인 측면에서 물리적 자산을 유지관리하고 상태를 향상시키며, 운영하는 체계적인 프로세스이다.
OECD	자산관리는 공학적인 원리와 적절한 경영 방법 및 경제학적 합리성을 결합하고, 공공의 기대 목표를 달성하는데 필요한 의사결정을 더욱 조직적이고 유연성 있게 함으로써 자산을 유지관리, 개량, 운영하는 체계적인 프로세스이다.
Austrroads	자산관리는 공공의 이득을 효율적이고 효과적으로 창출해내기 위한 도구로서, 자산의 장기적 관리를 위한 합리적이고 조직화된 접근방법으로 정의내릴 수 있다.
NAMS	기반시설물 자산관리의 목적은 현재 및 미래의 사용자들을 위해자산의 창조, 취득, 유지, 운용, 보수, 폐기처분과 같은 일련의 과정에서 요구되는 서비스 수준을 가장 경제적인 방법으로 만족시키는 것이다.
TAC	자산관리는 포장, 구조물 그리고 다른 기반시설물에 자금을 효율적이고 효과적으로 분배하는 포괄적인 공정이다.

도로시설물 자산관리의 정의는 이를 수행하는 관리주체 및 관리대상 시설물에 따라 상이하지만, 효과적인 자산운용을 위한 체계정립에서의 측면과 경제적이며 효과적인 방안으로 자산을

운용하는 기법이라는 측면에서는 유사점을 지님을 알 수 있다.

2.2.2 자산관리의 세부 구성요소 구성

1) 자산 확인 및 관련 자료 수집

자산 확인 및 관련 자료 수집은 분석단계를 수행하기 위해 가장 먼저 이행되어야 하는 요소이다. 이는 교량의 현재 위치와 시설물 대장과 대조 및 현장 답사를 통해 누락된 부분이 없는지를 확인하고 도면 및 보수·보강이력 등과 같은 자산관리에 요구되는 정보를 수집하여 다음 단계의 업무 수행을 지원하는 역할을 담당한다.

2) 성능 및 LoS 평가

교량의 성능 및 LoS(Level of Service)의 평가는 교량의 접근성/이동성, 안전성 등과 같은 요소들을 평가하고 교량자산이 이용자에게 제공하는 서비스의 정도를 측정한다. 이러한 서비스 수준을 평가하기 위해서는 관리주체의 자산관리 목표에 따른 평가기준의 설정이 선행되어야 하며, 평가결과가 낮은 교량의 서비스수준을 요구되는 서비스 수준으로 상승시키기 위한 전략의 수립 및 이행이 수행되어야 한다.

3) 상태 평가

교량의 상태평가는 현재 국내의 유지관리 업무에서도 교량의 안전성 평가를 위해 수행하는 요소이다. 이는 공학적인 기준에 근거하여 교량의 파손정도와 파손유형 등을 평가하여 교량의 전체 상태를 나타낼 수 있는 지수나 등급의 형태로 표현된다.

4) 자산 가치평가

자산 가치평가는 교량자산의 가치를 정량적인 지표인 비용(Cost)을 이용하여 산정하며, 요구되는 결과에 따라 적용 가능한 다양한 가치평가 방법들이 존재한다. 현재 많이 활용되고 있는 가치평가방법론은 장부가액(Book Value)과 대체원가(Replacement Cost), 사회적 가치평가방법 등으로, 장부가액은 자산의 회계처리를 위해 사용되는 가치평가방법으로 교량의 착공시점부터 현재시점까지 투입된 예산의 총액을 합산하여 교량의 현재가치를 산출한다. 대체원가는 과거에 완공된 교량을 현재시점에서 재시공하였을 경우로 가정하고 소요되는 예산을 산정하는 방법이다.

대체원가방법을 통해 교량의 자산가치를 현재가치로 환산하는 방법 중 공학적/회계학적 요소를 비교적 가장 잘 반영하고 있는 WDRC(Written Down Replacement Cost)방법의 경우 교량의 현재시점에서의 교량의 재시공비용을 산정하여 교량의 전체 가치를 산정하고, 시간의 흐름에 따른 노후화 및 열화를 고려한 감가상각을 통해 교량의 현재 가치를 산정한다. 교량의 가치평가는 교량의 현재가치 대비 감가상각비가 높을 경우 교량이 매우 노후화되거나 많은 부분의 파손이 발생한 것으로 파악 될

1) 김상환, 김재준, 김주형, 'BIM(Building Information Modeling)기반 장기 수선계획 방안에 관한 연구', 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2009
 2) 한국시설안전관리공단, 시설물 안전관리지침, 2005

수 있으며, 이는 예산투입의 우선순위 산정의 근거로 활용될 수 있다.

5) 대안별 성능평가

대안별 성능평가는 유지보수가 요구되는 교량의 파손유형 및 파손 부재를 고려하여 선정된 보수·보강 대안들에 대하여 대안 적용시 예상되는 교량 사용가능수명 증진 및 공용 내하력 증가 등과 같은 물리적인 수치를 비교한다. 대안 별 성능평가를 통해 교량의 파손 부재에 적용되는 보수·보강공법을 안전성을 기준으로 분석하여 효과적인 보수·보강공법을 선정한다.

6) 대안별 비용평가

대안별 비용평가는 교량에 적용되는 보수·보강공법들 간의 경제성을 평가한다. 교량의 유지관리에 적용되는 대안의 소요 예산을 산정하여 직접적으로 비교하거나, 보수주기를 고려한 LCC 분석을 수행하며, 대안에 투입되는 예산의 산정근거를 제시하고 경제성을 고려한 대안의 선정을 지원할 수 있는 결과를 제안한다.

2.3 BIM과 자산관리의 연계성 고찰

교량의 자산관리에 BIM을 적용하기 위해서는 자산관리의 세부구성요소와 BIM의 기능간의 연계성 고찰이 요구된다.

표 4. BIM과 자산관리의 연계성 고찰³⁾

하위 구성항목	시각화	Database	물량산출	분석	시뮬레이션
자산 확인 및 관련 자료수집	√	√			
성능 및 LoS 평가		√		√	
상태 평가		√		√	
자산 가치평가		√		√	
대안별 성능평가		√		√	√
대안별 비용평가		√	√	√	√

교량 자산관리의 세부 구성요소 중 자산 확인 및 관련 자료 수집 절차는 BIM의 시각화와 DB로써의 활용을 통해 수행될 수 있으며, 성능 및 LoS 평가는 DB의 활용과 분석기능을 통해 구현될 수 있다. 교량의 상태 평가는 현장에서 점검 및 진단을 통해 수집된 정보들을 저장하고 이를 각각의 가중치를 고려한 상태등급의 산정을 통해 수행할 수 있다. 교량의 시공에 대한 DB데이터 자료나 보수·보강비용에 대한 DB가 구축되어 있다면, 교량의 자산가치 산정을 수행할 수 있다. 이러한 과정들을 통합하여 관리주체에서 설정한 관리기준에 도달하지 못하는 교량들에 대한 유지보수여부 판단 및 예산투입 우선순위 산정을 수행할 수 있다.

또한 유지보수가 요구되는 교량의 대안별 성능평가는 분석과정을 통한 단순한 성능평가 뿐만 아니라 시간의 흐름에 따른 열화 및 노후화를 시뮬레이션 할 수 있으며, 소요될 것으로 예측되는 대안별 예산에 대한 비용평가와 LCC(Life Cycle Cost)평가를 수행할 수 있을 것으로 사료된다(표 4).

3. BIM 기반 자산관리 모델 구축

유지관리 대안평가 모델은 파손된 부재에 적용 가능한 최적 보수·보강공법 제안을 목적으로 한다. 대안간 우위를 정확하게 판단하기 위해서는 공법별 성능의 지표라 할 수 있는 강도, 보수주기, 보수비용 등과 같은 요소들의 종합적인 검토가 요구된다. 그러나 모든 것을 고려한 평가에는 한계가 존재하기 때문에 본 연구에서는 적용할 수 있는 모든 공법들이 동일한 보수주기와 강도를 보유하고 있는 것으로 가정하고, 유지보수 업무동안 발생하는 정제 시간과 소요 예산을 판단 기준으로 설정하였으며, 최소의 시간과 비용이 산출 되는 대안이 최적대안으로 선정할 것이다.

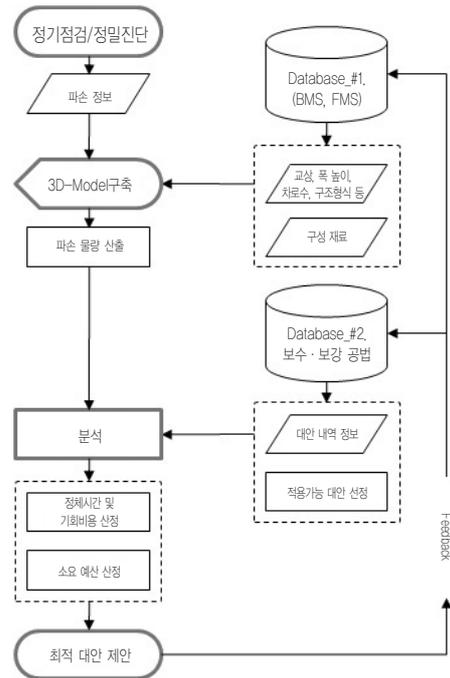


그림 1. 대안평가 모델

그림 1의 대안평가 모델은 Database_#1(BMS, FMS)에 등록되어 있는 교량 제원 정보를 바탕으로 대상 교량에 대한 3D-Model을 구축하고, 정기점검/정밀진단을 통해 얻어진 파손부재 정보(파손유형, 파손정도)의 입력과정을 통해 교량의 상태를 시

3) 강종민, 조진영, 이민재 '6D기반의 도시시설물 자산관리 시스템 개발에 관한 기초 연구' 대한토목학회 학술발표대회 논문집, 2011

각화하여 구현한다. 3D-Model로 구성된 교량의 부재의 파손유형과 파손정도를 고려한 물량산출을 실시하고, Database_#2의 보수·보강 공법의 비용정보와의 연계를 통해 소요 예산을 산정하여 최적 대안을 제안하게 된다. 또한 수행되는 자산관리 활동은 기존 Database에 저장함으로써 정보의 갱신과 함께 지속적인 자산관리 활동이 가능하다.

3.1 파손물량 산출

점검 및 진단과정을 통해 현장에서 수집된 교량의 각 부재에 발생한 파손유형 및 파손정도에 대한 정보를 BIM으로 구축함으로써, 유지보수를 수행해야하는 부분의 물량을 산출할 수 있다. 이는 일반적으로 사용되는 3D-Modelling Tool들에 내재되어 있는 기능으로 보수·보강공법의 비용정보와 결합되어 유지관리에 소요될 것으로 예상되는 예산의 산정에 이용될 수 있다.

3.2 정체시간 산정

파손 부재의 안전한 보수·보강을 수행하기 위해서는 이용자의 통행을 제한해야하는 경우가 발생한다. 이는 동일한 파손유형을 보수·보강하는 공법 간에도 수행하는 시간이 상이하며, 비용의 차이가 존재한다. 이에 따라 본 연구에서는 최소의 소요시간과 최저 예산이 소요되는 최적의 보수·보강 공법을 선정하기 위해, 보수·보강공법별 시간당 작업량(m³/hr)을 산정하고, BIM으로 구축된 교량의 파손물량(m³)을 나누어 교통을 통제하는 시간을 산출하였다.

$$\text{정체시간}(hr) = \frac{\text{파손물량}}{\text{시간당작업량}} \quad \dots(1)$$

3.3 예산 산정

유지관리 소요예산의 산정은 BIM을 통해 구축된 교량의 파손된 부분에 대한 물량과 파손된 부재의 요구 성능을 달성하기 위해 수행되는 보수·보강공법의 비용이 종합적으로 고려되어 산정된다. 또한, 단일 부재가 아닌 여러 부재의 파손에 대한 유지보수가 필요할 경우에는 각 부재의 유지관리 예산을 산정한 후 이를 함께 계상하여 파손교량에 요구되는 유지관리예산 총액을 파악하며 산정식은 다음과 같다.

$$\text{총 투입 예산} = \text{파손물량} \times \text{보수보강비용} \quad \dots(2)$$

4. 사례연구

본 연구에서 제안한 「BIM기반의 자산관리모델」의 적용성 및 타당성을 판단하기 위해 수행한 사례연구의 대상은 ○○지자체에서 관리하는 총 34개 교량 중 상태등급이 C등급 이하의 교량 3개를 대상으로 선정하였으며, 이 교량들의 제원 정보는 다음 표 5와 같다.

표 5. 대상 교량 제원 정보

교량명	A교	B교	C교
시설물종별	2종	2종	1종
준공년도	1993	1970	1990
시공비(천원)	8,560,000	3,013,000	3,710,000
설계하중	DB-24(43.2t)	DB-18(32.4t)	DB-24(43.2t)
교고	9m	7m	8m
총폭	46m	30m	21m
차로수	10	6	4
경간구성	7@29.6=207.2m	23.95+5@24+23.95=167.9m	1@70+1@80+1@70=220m
상부형식	PSCI	PSCI	STB
받침종류	고력형동반침판	고무받침	고무받침
신축이음	Transflex_Joint	강핑거조인트	강핑거조인트
교각	라멘식(Ra)	T형교각식	라멘식(Ra)
교대	반중력식/역T형	중력식	구주식
현재등급	C	C	C

유지관리 대안평가 모델을 적용하기 위해서는 대상 교량의 각 부재들을 3D-Model로 구축하는 과정이 선행되어야 한다. 이를 위해 교량 상/하부형식별 구성 부재로 구분하고 이를 3D-Model로 구축하였으며, 이는 표 6과 같다.

표 6. 대상 교량의 3D-Model 및 단면도

구분	3D-Model	구성 부재
A교		바닥판, 주형, 2차부재, 신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석, PC 강재, 라멘식(Ra)
B교		바닥판, 주형, 2차부재, 신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석, PC 강재, T형교각식
C교		바닥판, 강주형, 2차부재, 신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석, 라멘식(Ra)

표 7. A 교량의 파손 정보

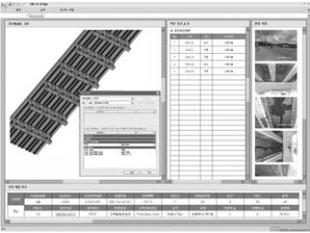
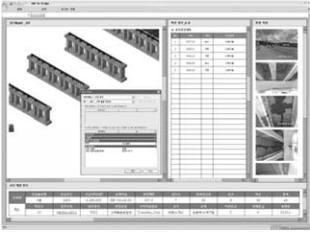
A교	파손유형	파손정도	파손정보입력
바닥판 (백테)	표면 전반에 얇은 백테	1,361㎡	
교차 장치	균열확대	6개	
신축	볼트, 너트	6개	

표 8. B 교량의 파손 정보

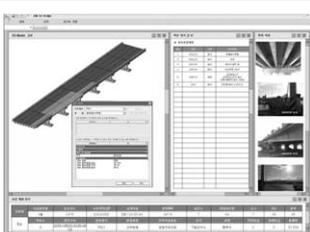
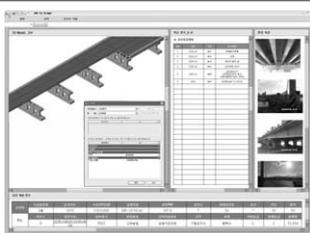
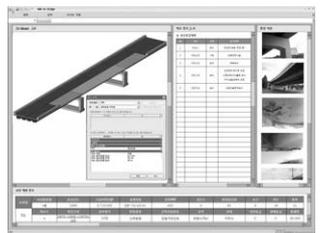
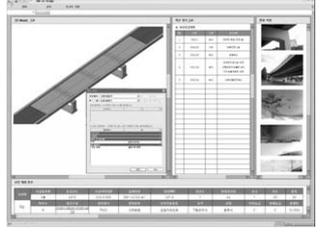
B교	파손유형	파손정도	파손정보입력
바닥판 (균열)	0.1~0.2mm 길이 20cm이상	48m	
교각 (균열)	0.2~0.3mm 균열	8m	
교차 장치	균열확대	6개소	

표 9. C 교량의 파손 정보

C교	파손유형	파손정도	파손정보입력
바닥판 (균열)	0.1~0.2mm 길이 50cm이상	80m	
주형 (부식)	도장탈락, 국부적인 부식	320㎡	
신축 이음 장치	볼트, 너트 부분탈락	18 개소	

4.1 파손 정보 입력

유지관리 대안평가를 위해 입력되어야 하는 파손 정보는 부재별 파손 유형과 파손 정도이다. 파손 유형은 부재별 구성 재료에 따라 구분되어지고, 파손 정도는 현장조사를 통해 얻어진 물리적 수치를 의미한다. 이와 같은 파손 정보는 현장조사 결과가 저장된 DB를 활용하여 입력할 수 있지만, 현재 국내에서 활용되고 있는 DB에는 기 수행된 유지관리 이력과 현재의 상태등급만 존재하기 때문에 본 연구에서는 다음 표 7~9와 같이 교량의 파손 정보를 가정하여 유지관리 대안평가 모델에 적용하였다.

4.2 보수·보강 공법 적용

입력된 파손 정보는 이를 보수·보강하기 위한 공법과 연계되어 소요예산과 정체시간 산정에 활용된다. 이를 위해 도로공사의 2011년 일위목록과 단가집을 활용하여 교량의 파손 유형별 보수·보강 공법을 분류하고 단위당 소요 비용을 산출하였으며, 단위 작업당 소요 시간을 산출하였다.

표 10. A교 보수·보강공법

부재	공법	규격	수량	단위	재료비	노무비	경비	합계	정체 시간
바닥판	백화제거 (보통백화)	-	1	M2	2,310	3,287		5,597	0.04
신축이음 장치	신축이음장치 보수공	FINGER 120	1	M	1,642,406	193,625	6,011	1,842,042	0.46
교좌장치	슈 교체	POT받침 기준	1	EA		106,794		106,794	6.12
	축이음장치 판교체	TF-70	1	M	358,224	48,725	1,638	408,587	0.345
	축이음장치 보수공	TF-70	1	M	422,182	174,599	5,690	602,471	0.46



그림 2. A교 보수·보강공법 입력

표 11. B교 보수·보강공법

파손 부재	공법	규격	수량	단위	재료비	노무비	경비	합계	정체 시간
바닥판	콘크리트 균열보수	B=0.5mm, T=20cm	1	M	7,730	21,419	428	29,577	2
	콘크리트 균열보수 (BICS공법)	B=0.5, T=20CM	1	M	21,810	21,419	428	43,657	2
	철판부착	T = 6 M/M	1	M2	240,628	363,884	7,277	611,789	30.4
	철판부착	T = 5 M/M	1	M2	193,391	340,294	6,805	540,490	28.34
	철판부착	T = 4.5 M/M	1	M2	177,357	327,429	6,548	511,334	27.2
교각	콘크리트 균열보수	B=0.3mm, T=30cm	1	M	7,257	21,419	428	29,104	0.25
	콘크리트 균열보수 (폴리우레탄계)	B=2mm, T=15CM	1	M	40,113	21,419	428	61,960	0.25
	콘크리트 균열보수 (폴리우레탄계)	B=2mm, T=30CM	1	M	58,257	21,419	428	80,104	0.25
	콘크리트 균열보수 (마이크로 시멘트)	B=0.5mm, T=25CM	1	M	19,743	21,419	428	41,590	0.25
	콘크리트 균열보수 (SKI공법)	B=(0.3~1.0mm), T=(100~150mm)	1	M	13,322	76,003	2,280	91,605	0.99
교좌 장치	고무패드 교체	300*400*29	1	EA	63,086	29,077	107	92,270	1.82
	슈 교체	POT받침기준	1	EA	-	106,794	-	106,794	6.12



그림 3. B교 보수·보강공법 입력

표 12. C교 보수·보강공법

파손 부재	공법	규격	수량	단위	재료비	노무비	경비	합계	정체 시간
바닥판	콘크리트 균열보수	B=0.5mm, T=20cm	1	M	7,730	21,419	428	29,577	2
	콘크리트 균열보수 (BICS공법)	B=0.5, T=20CM	1	M	21,810	21,419	428	43,657	2
	철판부착	T = 6 M/M	1	M2	240,628	363,884	7,277	611,789	30.4
	철판부착	T = 5 M/M	1	M2	193,391	340,294	6,805	540,490	28.34
주형	강교외부도장	일반부분, 뽀칠	1	M2	1,544	2,114	105	3,763	0.25
	강교외부도장	천정부분, 뽀칠	1	M2	1,852	2,536	105	4,493	0.3
	강교외부도장	일반부분, 붓 또는 롤러	1	M2	1,175	2,402	120	3,697	0.025
	강교외부도장	천정부분, 붓 또는 롤러	1	M2	1,410	2,882	120	4,412	0.03
	신축이음장치	신축이음장치 보수공	FINGER 120	1	M	1,642,406	193,625	6,011	1,842,042



그림 4. C교 보수·보강공법 입력

4.3 대안 도출 및 대안 비교

대상 교량의 최적 대안을 제안하기 위해 그림 8과 같이 각 파손 부재별 보수·보강공법들의 조합을 통해 적용 가능한 대안들을 도출하였다. 각 대안간의 우선순위 결정은 리스크, 파급효과, 강도, 수선주기 등과 같은 다양한 요소들을 고려해야 한다. 그러나 모든 것을 고려하는 것에는 한계가 존재하기 때문에 본 연구에서는 모든 공법들의 요소들이 동일하다고 가정하고, 소요 예산과 정체 시간이 최소인 대안을 최적대안으로 선정하였다.

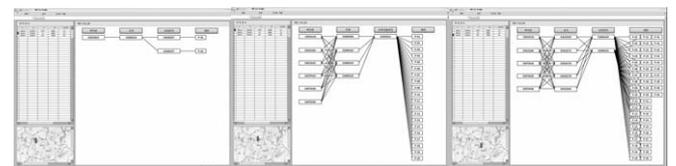


그림 5. 보수·보강 대안 도출

A교의 대안은 적용 가능한 보수·보강공법이 한정적이기 때문에 총 2개의 대안이 선정되었다. 두 대안의 정체시간은 1시간 차이로 큰 차이를 보이지 않지만, 소요예산에 있어서 최소 비용이 소요되는 P-01안(10,709,803원)을 최적대안으로 선정하였다.

B교의 경우, 총 50개의 적용 가능한 보수·보강공법이 선정

되었으나, 이중 교통의 지체를 최소화하고 예산에 측면에서 비교적 적은 비용이 소요되는 보수·보강대안인 P-01안(2,206,148원, 109hr)을 최적대안으로 선정하였다.

표 13. A교 대안분석 결과

No.	소요 예산	정체 시간	No.	소요 예산	정체 시간
P-01	10,709,803	93	P-02	11,873,107	94

표 14. B교 대안분석 결과

No.	소요 예산	정체 시간	No.	소요 예산	정체 시간
P-01	2,206,148	109	P-26	30,647,468	1,498
P-02	2,293,292	135	P-27	30,252,212	1,472
P-03	2,468,996	109	P-28	30,339,356	1,498
P-04	2,556,140	135	P-29	30,652,332	1,478
P-05	2,614,148	109	P-30	30,739,476	1,504
P-06	2,701,292	135	P-31	26,729,972	1,373
P-07	2,306,036	109	P-32	26,817,116	1,399
P-08	2,393,180	135	P-33	26,992,820	1,373
P-09	2,706,156	115	P-34	27,079,964	1,399
P-10	2,793,300	141	P-35	27,137,972	1,373
P-11	2,881,988	109	P-36	27,225,116	1,399
P-12	2,969,132	135	P-37	26,829,860	1,373
P-13	3,144,836	109	P-38	26,917,004	1,399
P-14	3,231,980	135	P-39	27,229,980	1,379
P-15	3,289,988	109	P-40	27,317,124	1,405
P-16	3,377,132	135	P-41	25,330,484	1,319
P-17	2,981,876	109	P-42	25,417,628	1,344
P-18	3,069,020	135	P-43	25,593,332	1,319
P-19	3,381,996	115	P-44	25,680,476	1,344
P-20	3,469,140	141	P-45	25,738,484	1,319
P-21	30,152,324	1,472	P-46	25,825,628	1,344
P-22	30,239,468	1,498	P-47	25,430,372	1,319
P-23	30,415,172	1,472	P-48	25,517,516	1,344
P-24	30,502,316	1,498	P-49	25,830,492	1,324
P-25	30,560,324	1,472	P-50	25,917,636	1,350

C교의 경우, 총 20개의 대안이 선정되었으며, 최소 정체시간(176hr)이 소요되는 대안인 P-03안과 P-07안 중에서 유지관리에 소요되는 예산이 36,705,956원으로 최소 비용이 소요되는 P-03안을 최적대안으로 선정하였다.

표 15. C교 대안분석 결과

No.	소요 예산	정체 시간	No.	소요 예산	정체 시간
P-01	36,727,076	248	P-11	83,282,916	2,448
P-02	36,960,676	264	P-12	83,511,716	2,450
P-03	36,705,956	176	P-13	77,600,116	2,355
P-04	36,934,756	178	P-14	77,833,716	2,371
P-05	37,853,476	248	P-15	77,578,996	2,283
P-06	38,087,076	264	P-16	77,807,796	2,285
P-07	37,832,356	176	P-17	75,267,636	2,264
P-08	38,061,156	178	P-18	75,501,236	2,280
P-09	83,304,036	2,520	P-19	75,246,516	2,192
P-10	83,537,636	2,536	P-20	75,475,316	2,194

5. 결론

교량 유지관리 예산이 증대될 것으로 예측됨에 따라 효율적인 자산의 운용과 함께 투입된 예산 내에서 최대의 효과를 얻기 위한 노력으로 자산관리에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 본 논문에서는 건설사업의 효과적인 정보관리를 위해 많은 연구가 수행되고 있는 BIM을 활용하여 교량 자산관리의 효과적인 수행을 지원할 수 있는 자산관리 모델을 구축하고자 하였다.

이를 위해 선행연구를 조사하여 자산관리 업무에서 요구되는 세부구성항목들을 파악하고, BIM이 수행할 수 있는 기능과의 연계성을 고찰하였으며, 유지관리 대안의 평가와 수행을 위한 BIM기반의 자산관리 모델을 제안하였다.

유지관리 대안평가 모델은 보수·보강 DB와의 연계성을 통해 각각의 보수·보강 대안별 유지관리 소요 예산을 산정하여 비교할 수 있으며, 이를 수행하기 위해 요구되는 차량통제시간을 산정하여 보수·보강 공법의 수행이 사회에 미치는 영향의 파악에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

또한 제안된 모델의 타당성 검증에 위한 사례연구에서는 대상별로 다양한 대안들을 도출하여 각 대안별 소요 예산과 정체시간을 산정하고, 대안들 간의 비교를 통한 최적대안수립의 과정을 수행하였다. 이는 제안된 모델이 실질적인 유지관리 업무 수행을 지원할 수 있는 모델로 활용이 가능하다는 것을 보여주었다.

본 논문의 향후 연구방향으로는 성능을 고려한 최적대안의 선정에 대해 보수·보강공법별 수선주기에 대한 정보가 저장된 DB 구축이 요구되며, 사전 예방적인 관점의 교량 자산관리 수행으로 확대하기 위해 열화모델을 적용한 BIM모델 개발에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업(No. 20110027375 : 도시시설의 효율적인 유지관리를 위한 자산관리 기법 개발에 관한 연구)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 강종민 · 조진영 · 이민재, '6D기반의 도시시설물 자산관리 시스템 개발에 관한 기초 연구' 대한토목학회 학술발표대회 논문집, 2011
- 강종민 · 장운성 · 이민재, '도로의 통행량과 자산가치를 고려한 유지관리 예산투입 우선순위 산정방안에 대한 연구', 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2011

- 국토해양부, '도로업무편람', 2010
- 국토해양부, 안전점검 및 안전진단 세부지침, 2010
- 김덕원, '건설프로젝트 생애주기관리를 위한 3차원 교량정보 모델의 개발', 중앙대학교 석사학위 논문, 2009
- 김상환 · 김재준 · 김주형, 'BIM(Building Information Modeling)기반 장기수선계획 방안에 관한 연구', 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2009
- 김우영, 'BIM 국내 도입을 위한 단상', 한국건설관리학회지, v.9 n.4 3-5, 2009
- 문성우 · 박미경, 'BIM 기술을 활용한 시설물 유지관리 시스템의 개발', 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 2010
- 이동열 · 강종민 · 안재민 · 장운성 · 이민재, '사회기반시설물 자산가치 평가방법론의 특징 비교 및 교량에 대한 적용성 고찰', 한국건설관리학회 학술발표대회, 2010
- 이민재 · 박경훈 · 박철우 · 선종완 · 이동열, '교량 자산관리를 위한 가치평가방법 및 체계수립에 관한 연구', 한국 건설관리학회 논문집, v.11 n.6, 2010
- 한국시설안전관리공단, '시설물 안전관리지침, 2005
- AASHTO, 'Transportation Asset Management Guide ; A Focus on Implementation', 2011
- Austrroads Inc., 'Intergrated Asset Management Guidelines for Roat Networks', 2002
- Eastman, C. Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K., 'BIM Handbook: A guide to building Information Modeling for Owner, Managers, Designer, Engineer, and Contractors', 2008
- FHWA, 'Asset Management Primer, Office of Asset Management', 1999
- FHWA, 'Transportation Asset Management in Australia, Canada, England and New Zealand', 2005
- NRC-CNRC, 'Integration of Municipal Infrastructure asset management processes', 2008
- OECD, 'Asset Management for the Road sector', OECD, 2001
- Transportation Research Board of the national Academies, 'NCHRP Report 632 : An asset-Management FrameWork for the Interstate Highway System', 2009
- Transportation Association of Canada, 'A Comparison Asset Valuation Methods For Civil Infrastructure', 2004
- U.S. Department of Transportation, 'Asset Management Primer', 1999

논문제출일: 2012.01.17
 논문심사일: 2012.01.20
 심사완료일: 2012.07.11

요 약

국내 교량의 사용 수명은 대부분 30년 미만으로 향후 유지보수에 투입되어야하는 예산이 증대될 것으로 예측할 수 있다. 그러나 교량에 투입할 수 있는 예산은 한정되어 있기 때문에 효과적인 예산 투입을 통한 교량의 요구 성능 달성을 목표로 수행되고 있는 자산관리에 대한 필요성이 증대되고 있다. 교량의 효과적인 자산관리를 수행하기 위해서는 건설사업 수행 전 단계에서 발생하는 정보들을 효과적으로 활용해야한다. 따라서 효과적인 정보관리를 통해 자산관리를 지원할 수 있는 시스템과 DB의 구축이 요구된다. 본 연구에서는 현재 건설사업의 정보관리에 활용되고 있는 BIM을 활용하여 교량의 유지관리에 적용할 수 있는 BIM기반 교량 자산관리모델 개발을 목표로 설정하였으며, 선행연구조사를 통한 BIM 기능 및 자산관리 세부 구성항목 도출을 수행하고 상호간의 연계성을 고찰하였다. 이를 기반으로 구축된 자산관리 모델은 유지보수 대안별 소요예산과 정체시간을 산정하는 모델로 구성하였다. 또한 구축된 BIM기반 교량 자산관리 모델의 타당성 및 적용성 검증을 위해 사례연구를 수행한 결과, 본 연구에서 제안된 BIM기반 교량 자산관리모델은 현행 교량 유지관리 업무절차에 적용이 가능한 모델로써 한정된 예산 내에서 효율적인 교량 유지관리 업무를 지원할 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 자산관리, BIM, 유지보수 대안평가 모델, 예산산정, 정체시간 산정