

건설프로젝트 생애주기 BIM 활용 기능도출 및 시스템 구축 -교량공사를 중심으로-

Development of BIM Functions and System for Construction Project Through Project Life Cycle -Focusing on Bridge Construction Project-

김 현 승* 문 현 석** 최 광 열*** 김 창 학**** 강 인 석*****
Kim, Hyeon-Seung Moon, Hyoun-Seok Choi, Gwang-Yeol Kim, Chang-Hak Kang, Leen-Seok

Abstract

Recently, BIM (Building Information Modeling) technique is being considered as a critical delivery condition for the public projects according to the increase of best practices by practical application of BIM. However, since existing BIM studies are focused on the design and construction phases, those results are not considering the life cycle of a construction project. Therefore, this study suggests an integrated BIM operation process that enables an application of BIM for each phase of a construction project from planning to maintenance phases and develops an integrated BIM system based on the suggested methodologies. This study developed basic BIM functions and its application process by analyzing information systems in each project phase for a bridge construction project. Besides, this study performed case study and survey analysis for construction managers to verify a practical applicability of the developed system. Therefore, it is expected that the integrated BIM system is going to be utilized as a 3D-based integrated information management system considering life cycle of construction projects.

Keywords : *BIM process, Civil engineering project, Risk Management, Project Life-cycle, Workspace conflict*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 BIM (Building Information Modeling) 적용의 활성화와 함께 프로젝트의 생애주기 동안 발생하는 공사정보를 3차원 기반으로 관리하는 운영시스템 개발에 관한 연구들이 다수 진행되고

있다. 최근 4대강 사업의 4D 시뮬레이션 적용 및 공공공사 발주 과정에 BIM 도입의무화 등으로 향후 건설 분야의 BIM 적용은 더욱 확대될 것으로 예상된다. 그러나 기존의 BIM 관련 연구 및 개발 사례들은 대부분 설계 또는 시공분야를 중심으로 독립적으로 진행되고 있다. 이로 인해 기존의 BIM 활용 기능들은 프로젝트의 생애주기를 고려한 통합적인 정보관리 기능 보다는 일부 수행단

* 일반회원, 경상대학교 대학원 토목공학과 박사과정, wjdchs2003@yahoo.co.kr

** 중신회원, 경상대학교 토목공학과 선임연구원 공학박사, civilcm@gnu.kr

*** 일반회원, 경상대학교 대학원 토목공학과 석사, rhkdduf2004@nate.com

**** 일반회원, 경남과학기술대학교 토목공학과 교수, 공학박사, ch-kim@jinju.ac.kr

***** 중신회원, 경상대학교 토목공학과 공학연구원 교수(교신저자), Lskang@gnu.kr

계 또는 특정 업무 지원 기능 중심으로 활용되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 프로젝트 생애주기 동안의 통합적인 BIM 활용을 위한 단계별 BIM 운영 프로세스와 통합 BIM 시스템의 시안을 개발하여 제시하고 있다. 개발된 시스템은 교량 공사를 대상으로 생애주기 단계별 주요 기능에 대해 시스템의 활용성을 검증하였다. 또한 연구에서 구축한 단계별 주요 BIM 기능은 실무 전문가들의 설문 조사를 통하여 활용 적합성을 검증하고 있다. 이러한 연구내용은 기존의 설계 또는 시공 특정 단계에 국한된 BIM 운영체계를 생애주기 단계의 통합 BIM 프로세스로 확장 운영하는 방법론이 될 수 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 통합 BIM 시스템에 적용할 프로세스 개발을 위하여 토목분야의 대표적인 프로젝트인 교량공사를 대상으로 연구를 수행하였다. 본 연구의 수행 방법은 <그림 1>과 같다. 연구에서는 우선적으로 BIM 관련 연구동향 및 교량공사를 대상으로 수행된 사례를 분석하여 교량공사 수행단계별 BIM 활용 기능을 도출한다. 그리고 이를 기반으로 통합 BIM 운영을 위한 프로세스와 통합 BIM 시스템을 개발한다. 개발된 시스템은 사례 적용과 실무자의 설문 평가를 수행하여 시스템의 실무 활용성 및 적합성을 검증한다.

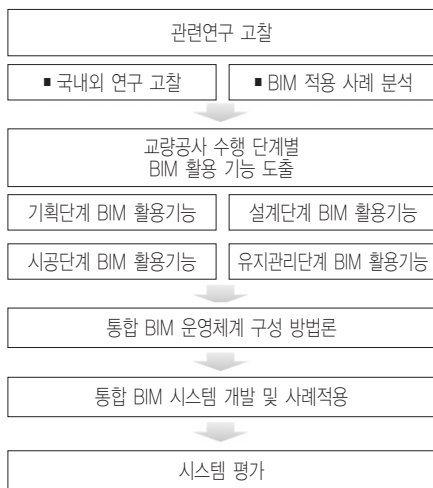


그림 1. 연구의 방법

2. 관련 연구 및 사례 고찰

2.1 국내외 BIM 연구 동향

본 연구내용과 관련된 국내·외의 BIM 관련 연구동향을 살펴보면 다음과 같다.

Taylor et al.(2009)은 BIM 적용 사례 분석을 통해 BIM 활용의 단계를 시각화(Visualization), 협업(Coordination), 분석(Analysis), 참여자간 통합(Supply Chain Integration)의 네 단계로 제시하였다. 전영웅 외(2010)는 국내 건설현장의 BIM 활용성을 높이기 위해서 업무수행단계 및 현업주체별 요구 기능을 분석하고 BIM기반 건설현장 관리모델을 제시하였다. Ning et al.(2010)은 AEC산업에 BIM 도입의 활성화를 위해서 표적집단 면접법(FGI)을 통해 업무주체별 BIM 도입 전략 및 기술적 요구 기능들을 분석하여 제시하였다. 이치주 외(2009)는 국·내외 다양한 BIM 소프트웨어를 건설업체에서 효율적으로 선정할 수 있도록 고려요인을 도출하여 중요도를 제시하였다. 박찬식 외(2010)는 국내 건설산업에서 수행되고 있는 시공업무를 분석하여 BIM 기술의 적용방안을 제시하였다. 박정욱 외(2009)는 국내외 BIM 적용현황 및 사례 분석을 통하여 국내 BIM 적용 문제점 및 대안을 제시하였다. 이경하 외(2009)는 기존의 4D 시뮬레이션 프로그램과 차별화된 BIM 기반 건축시공 시뮬레이션을 제시하였다. Kang et al.(2010)은 BIM기반 도로공사 생애주기의 시뮬레이션 정보 활용을 위한 시스템 개발사례를 제시하였다. James D. Goedert et al.(2008)은 프로젝트 사례를 통해 기존 BIM이 시공 전 단계까지 활용되던 한계를 시공 후 단계까지 확장하여 BIM을 활용할 것을 제안하였다. Adam Strafacci(2008)는 도로 및 고속도로의 BIM적용사례를 통해 토목공사의 BIM 활용성을 제시하였다. 또한, 문성우(2011)는 3D 그래픽 모델을 활용한 교량 구조물 유지관리 정보 시스템을 제시하여 필요한 설계정보를 실시간으로 검색하고 조회할 수 있는 환경을 구축하였다.

2.2 교량공사의 BIM 적용 사례 분석

초창기 교량공사의 BIM 적용은 간섭문제 해결을 위한 시공성 검토나 시공과정 시뮬레이션을 통해 사업의 이해를 돕는 수준이었다. 그러나 최근 효과적인 공사관리 및 시공계획의 방안으로 BIM이 도입되고 있다(김성훈 2011). 현재까지 교량공사에서 BIM이 적용된 사례를 살펴보면 <표 1>과 같다.

표 1. 교량공사의 BIM 적용 사례 분석

프로젝트명	BIM 적용내용
청풍대교	시공성 분석과 프로젝트 관리 능력 향상을 위한 공정/작업 수준에서의 4D 모델 적용
금강2교	시공 및 공사비관리 지원을 위한 자체적인 5D 시스템
호남고속철도 교량	5D 시스템, 공정과 자재 투입, 기간별 공사비 산출, 토목공사 시뮬레이션, 아바타 안전관리, 장비운영

청풍대교의 경우 BIM 적용을 통해 시공현장의 비용을 절감하고 작업의 안정성을 확보하는 사례를 제시하였으며, 금강2교는

EVMS의 공정 및 내역데이터를 BIM 모델과 연계한 5D 시스템을 통해 시각적으로 공정율 및 기성금액을 확인하는 기능을 표현한 바 있다. 호남고속철도 공사의 일부 교량공사 구간에서는 BIM을 활용한 5D, 공정관리 또는 아바타 안전관리 및 장비운영관리 등 다양하게 활용함으로써 공사의 안정성 및 효율성을 높이기도 하였다.

이와 같이 기존 연구 동향에서는 BIM 기술 활용의 정의 및 필요성과 활용 주체별 BIM 도입 전략 및 BIM 적용 모델 등을 제안하고 있다. 또한 사례 적용에서는 주로 시공단계 위주로 BIM 활용기능이 구성되어 있거나 특정 업무에 한정되어 있다. 이러한 BIM 활용 체계는 건설프로젝트의 생애주기 정보를 통합적으로 관리할 수 없기 때문에 BIM 정보의 활용성 증대를 위한 통합 BIM 관리 체계가 요구된다.

3. 교량공사 수행 단계별 BIM 활용 기능 도출

BIM은 건설공사 생애주기에 걸쳐 발생하는 정보를 통합 및 관리하고, 수정된 정보의 갱신에 따라 연관된 프로세스 정보들

이 일괄적으로 재생산, 공유, 교환, 재배포 될 수 있는 3차원 기반 정보이용환경을 의미한다 (강인석 2011). 따라서 생애주기 동안 발생하는 다양한 정보를 3차원 정보 모델로 나타내는 것이 활용성이 높은 건설공사 BIM 운영체계가 될 수 있다. 그러나 현재의 건설 분야 BIM 기술을 감안할 때 모든 정보를 3차원 정보 모델로 나타내는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 연구문헌 및 적용 사례를 토대로 교량공사 수행단계별 요구사항을 조사하여 실무 적용이 가능한 BIM 활용 기능들을 <그림 2>와 같이 도출하였다.

3.1 기획단계 BIM 활용 기능

기획단계에서는 프로젝트의 총체적인 진행 방향을 제시하는 단계로서 프로젝트의 성패를 결정지을 수 있는 중요한 업무단계이다. 그러나 기존의 업무는 프로젝트의 실현 가능성만을 판단하기 위한 경제적 타당성 조사 및 영향 평가 위주로 수행되고 있다. 이로 인해 공사가 진행되면서 초기의 기획 의도와 다른 구조물이 설계되거나 시공되는 오류가 다수 발생하고 있다. 따라서 기획단계에서부터 구체화된 프로젝트 정보를 생산하고, 이를 제

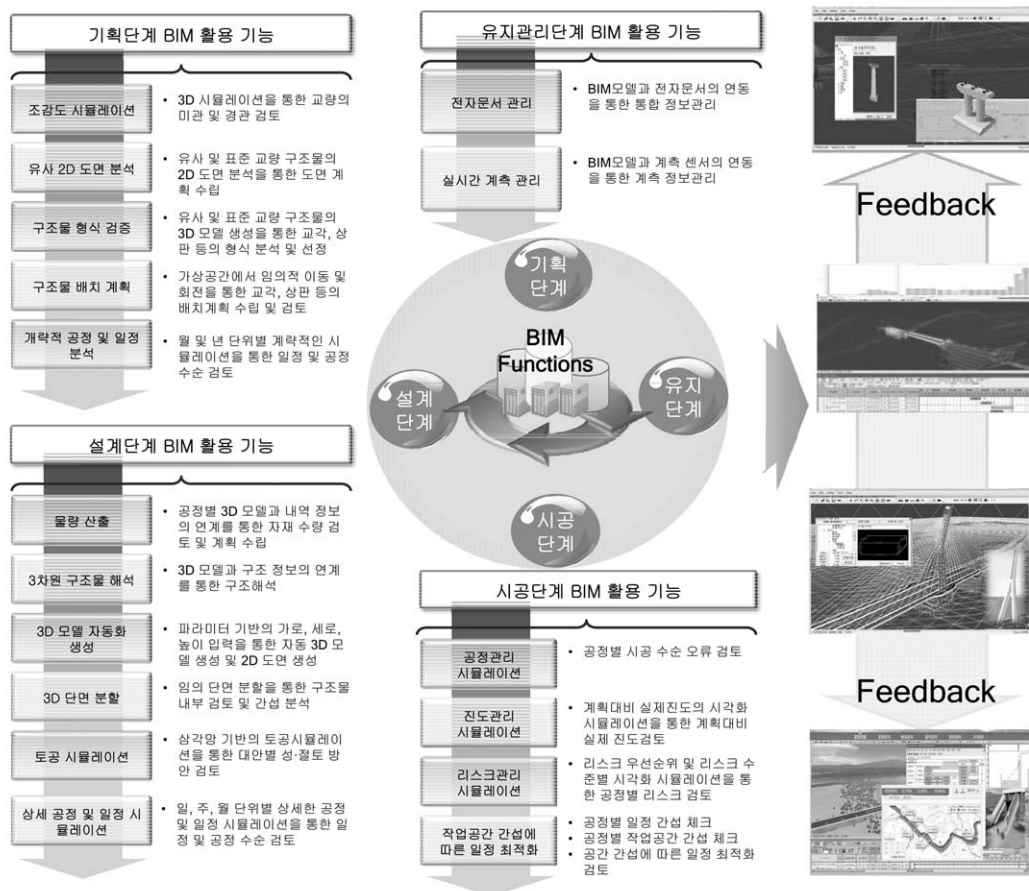


그림 2. 프로젝트 수행단계별 BIM 활용기능

공하여 발주자와 공사 단계별 참여자 간의 원활한 의견수립을 통한 최적의 기획안을 구성할 수 있도록 해야 한다. 이러한 업무는 프로젝트의 기획 정보를 3D 모델로 생성하여 시각적으로 제공될 때 편리성을 확보할 수 있다 (심창수 2010). 기획단계의 주요 업무는 프로젝트의 미관, 경관, 일정 및 시공 계획 등을 수립하는 것으로서 이를 구체화된 정보로 제공할 수 있는 BIM 기능이 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 <그림 2>와 같이 기획단계 BIM 활용 기능을 구성하였다.

먼저 조감도 시뮬레이션은 기획단계에서 높은 활용성을 갖는 기능이다. 이는 사전에 기획한 교량 구조물의 형상을 개략적 수준의 3D 모형으로 구현함으로써 보다 현실적으로 구조물의 외관과 주위환경의 적합성을 검토할 수 있다. 구조물 형식 검증과 유사 2D 도면 생성 기능은 표준 교량 구조물의 형상과 유사한 2D 도면을 BIM 서버에 데이터베이스화하여 계획된 예상 구조물의 형상을 3D 모델로 간편하게 구현함으로써 사전에 시각적으로 교량 구조물 형식과 유사 2D 도면을 검토할 수 있는 기능이다. 구조물 배치계획 기능은 공사현장을 3D 지형도로 생성하여 완성된 구조물을 3D 지형도 상에 구현함으로써, 공사현장을 고려한 구조물의 배치 계획을 수립할 수 있다. 개략적 공정분석 기능은 구조물의 상위 공정 및 개략적인 일정을 생성하고, 이를 3D 모델에 연계하여 시뮬레이션 함으로써 개략적인 일정과 공정에 따른 시공과정 및 공정오류를 파악할 수 있다.

3.2 설계단계 BIM 활용 기능

설계단계는 기획단계에서 구상한 정보를 구체화하는 단계로써 프로젝트의 기획안 및 설계안 검토가 요구되며, 현재 3D 기반 건물배치검토, 상세설계도면 검토, 조감도 검토 그리고 착공 이전 시공성 검토와 공정별 간섭체크 등에 BIM이 활용되고 있다 (박찬식 2010). 또한 교량공사는 토공사와 같은 작업의 특성상 3D 모델 생성이 용이하지 않다. 따라서 이를 효율적으로 3D 모델로 설계하고 검토할 수 있는 기능이 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 <그림 2>와 같이 설계단계 BIM 활용 기능들을 제시하였다.

물량 산출과 3차원 구조물 해석 기능은 공정별 3D 모델에 내역 및 구조 분석 정보를 연계함으로써 자동으로 물량과 구조 해석을 도출할 수 있다. 특히 이는 빈번한 설계 변경으로 인해 발생하는 재분석의 시간과 비용을 줄일 수 있다는 점에서 높은 활용성을 갖는다. 3D 모델 자동화 생성 기능은 파라미터 기반의 높이, 가로, 세로 등의 수치 입력으로 자동화된 3D객체 생성기능을 의미한다. 이를 통해 기존의 3D 모델 생성과정에 소요되던 시간과 비용을 효과적으로 절감할 수 있다. 3D 단면분할 기능은

3D 구조물과 3D 지형모델의 단면을 분할함으로써 내부형상과 지장물의 현황을 시각적으로 검토할 수 있다. 또한 토공 시뮬레이션 기능은 삼각망 기반으로 3D 지형을 생성하고 폭, 성토구배 등의 수치를 입력함으로써 성·절토 구간의 확인 및 예상 성·절토량 등을 파악할 수 있다.

3.3 시공단계 BIM 활용 기능

시공단계에서는 설계 및 시공과정 동안에 발생될 수 있는 오류를 최소화하기 위한 효율적인 프로젝트 관리 방안이 요구된다. BIM은 현재 4D 시뮬레이션을 통한 공정관리, 안전관리, 일정관리, 공정간 간섭체크, 시공성 검토에 활용되고 있다 (박찬식 2010). 또한 광역현장에서의 효율적인 정보수집 및 공사현황 분석과 작업별 리스크 분석을 통해 다양한 시공 리스크정보를 BIM기반으로 시각화할 수 있는 기능들도 요구된다. 이를 위해 <그림 2>와 같이 본 연구에서는 시공단계 BIM 활용기능들을 제시하였다.

공정관리 시뮬레이션 기능은 사전에 시공과정에서 발생할 수 있는 공정 수순 오류를 파악함으로써 구조물의 재시공을 방지할 수 있다. 진도관리 시뮬레이션 기능은 공종별 실제 작업 시작일 및 종료일이나 소요 공사비를 입력하여 계획대비 실제 공사의 진도 상태를 파악할 수 있다. 특히 3D 모델의 색상속성을 통해 진도 상태 파악이 가능하므로 공사 참여자 간의 정보 전달에 효과적이다. 리스크관리 시뮬레이션 기능은 공정별 리스크 정도를 정량화하여 공정별 위험 수준의 우선순위를 제시한다. 또한, 공정별 리스크 수준에 따라 해당부재로 서로 다른 색상속성이 부여되어, 시뮬레이션 동안 모든 활동에 대한 시각적인 리스크 검토가 가능하다.

기존의 BIM체계가 단순 정보의 시각화 중심 운영체계라면, 향후 BIM체계는 시각화정보를 이용한 최적 공정계획을 분석하여 제공하는 의사결정도구 역할기능들이 다수 포함될 필요가 있다. 이러한 기능을 위해 일정별 작업공간 충돌을 최소화하여 생산성을 향상시키는 일정계획 시각화 기능 등이 주요 기능이 될 수 있다.

이러한 작업공간 간섭에 따른 일정 최적화 기능은 시공단계에서 발생하는 일정 및 작업공간의 간섭을 분석하여 최적화된 일정정보와 작업공간 배치 정보를 제공함으로써 효율적인 작업공간 및 일정계획을 수립할 수 있다. 특히, 기존 시공단계에서 시각화 위주로 구성되었던 수동적인 BIM 체계를 최적화 알고리즘을 통해 직접적인 대안을 제시함으로써 능동적인 BIM 체계로 발전시킬 수 있다.

3.4 유지관리단계 BIM 활용 기능

최근 일부 전자문서를 활용하여 유지관리 업무를 수행하고 있지만 여전히 도면, 시방서, 설계도서 및 지침 등의 많은 정보들이 문서형태로 사용되고 있다. 이러한 문서관리는 보관은 물론 이용 면에서도 자료 검색 및 휴대가 불편하여 활용효과가 낮은 실정이다. 따라서 유지관리 단계에서 공사정보를 전자문서화 하여 효율적으로 관리할 수 있는 기능이 요구된다 (강인석 2004). 또한 시설물 유지관리를 위해 다양한 계측관리시스템이 활용되고 있으나 대부분 수치적 정보로 제공되어 활용성이 낮다. 이를 위해서는 계측 정보를 효과적으로 파악할 수 있는 시각화된 계측 정보의 제공이 요구된다. 본 연구에서는 <그림 2>와 같이 유지관리 단계 BIM 활용기능들을 제시하였다.

전자문서 관리 기능은 전자문서를 스키마로 구축하고, 이를

BIM 모델과 연동함으로써 BIM 모델 상에서 전자문서를 확인할 수 있다. 이를 통해 BIM 모델별 정보 검색과 문서 작성이 가능함으로써 효율적으로 문서를 관리할 수 있다. 실시간 계측관리 기능은 BIM에서 시각화되는 공정정보와 구조물이 설치된 계측게이지의 계측 정보를 연동함으로써 공정별 계측 정보를 시각적으로 파악할 수 있다. 이를 통해 시설물내의 계측기 위치 및 위험경보를 BIM 모델 상에서 실시간으로 확인할 수 있으므로 신속한 시설물의 계측 관리가 가능해 진다.

4. 교량공사의 통합 BIM 운영체계 구성방법론

본 장에서는 앞서 분석한 프로젝트 수행단계별 요구기능 개발을 위하여 <그림 3>과 같이 교량공사를 대상으로 통합 BIM 프

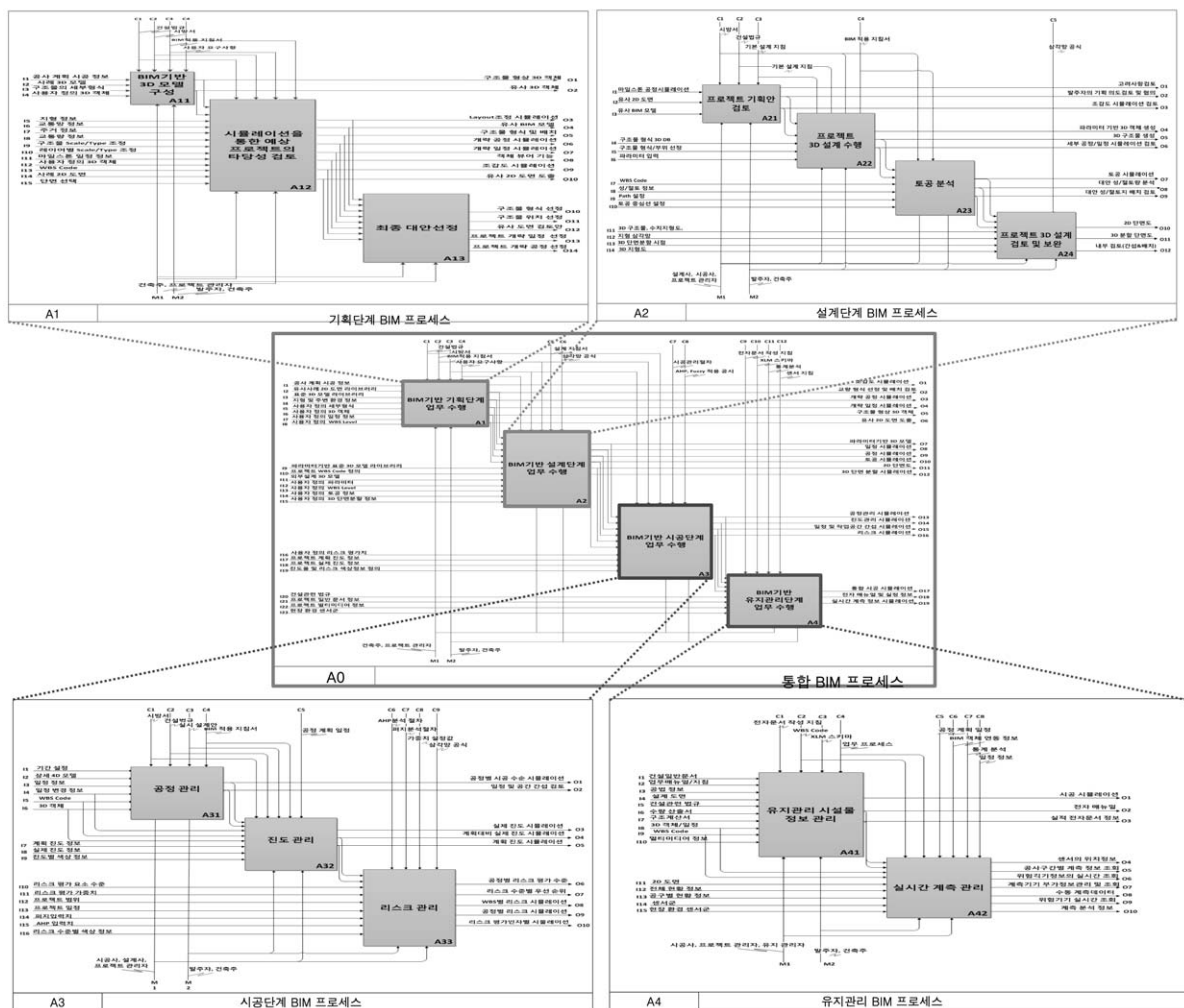


그림 3. 통합 BIM 운영 체계 (IDEFO)

로세스를 제시한다. 이를 위해 교량공사의 수행단계별 기능들의 입출력 정보를 분석하여 IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) 프로세스 모형도로 나타내었다.

4.1 기획단계 정보지원 BIM 프로세스(A1)

〈그림 3〉에서 기획단계의 업무 프로세스에 적용되는 BIM 활용 기능은 개념적으로 구상된 프로젝트 기획 정보를 시각화된 정보로 구체화할 수 있도록 구성하였다.

기획단계의 업무는 계획 프로젝트를 3D 모델화하기 위한 BIM 기반 3D 모델 구성 단계와 이를 3D 모델화 및 시뮬레이션으로 구현하여 프로젝트의 적합성을 판단하는 타당성 검토 및 평가 단계 그리고 구축된 BIM 모델을 토대로 프로젝트 관리자, 시공자, 설계자 및 발주자 간의 의견을 수립하기 위한 최종 대안선정 단계로 구성된다.

먼저, 기획단계의 한정된 기초 정보를 보완하기 위해, 구조물 유형별 표준 3D 모델과 유사 2D 도면을 BIM 서버에 데이터베이스로 구축하여 프로젝트의 구조물을 3D 모델과 유사 2D 도면을 생성할 수 있도록 하였다.



그림 4. 교량 형식별 부위분류

본 연구에서는 사례적용의 활용성을 위해 〈그림 4〉와 같이 교량공사를 대상으로 구조물 유형을 상부 및 하부 구조물로 분류하고, 이를 표준 3D 모델 라이브러리로 구축하였다. 이를 통해 기획 구조물의 부위별 표준 3D 모델이 가능하고, 이를 조합함으로써 전체 교량의 3D 모델을 편리하게 생성할 수 있다. 또한 이는 구조물의 외관을 파악할 뿐만 아니라 공사 현장의 3D 지형도상에 해당 구조물을 배치하고 크기를 조정하여 현장 환경을 고려한 최적의 구조물 위치를 파악할 수 있다. 그리고 교량공사의 경우 구조물의 위치에 따른 연장, 교각개수, 도로 폭 등 부대조건들의 세부정보를 파악할 수 있다. 또한 프로젝트의 일정과 WBS체계를 상위 단계로 구성하여 구조물의 개략적인 일정과

공정을 파악할 수 있다.

이와 같이 기획단계에서 BIM 기반으로 생성된 정보들은 공사 참여자간의 의견이 충분히 반영된 정보로서 후속 수행단계별 업무의 진행방향성에 대한 기초적 자료로 활용 될 수 있다.

4.2 설계단계 정보지원 BIM 프로세스(A2)

기획단계 BIM 업무 수행을 통해 생성된 정보들은 〈그림 3〉의 설계단계로 이관되어 3D 모델 설계 및 공정 계획 수립을 위한 의사결정 자료로 활용된다.

먼저, 기획단계에서 작성된 3D 모델 및 유사 2D 도면을 기반으로 기획안을 검토하고 3D 설계를 수행한다. 3D 설계방식은 외부 설계 소프트웨어를 통해 작성된 모델을 Importing하거나 자체적으로 생성할 수 있다. 특히 자체적으로 3D 모델을 생성하는 경우, 프로젝트 파라미터 수치를 통해 다양한 형태의 3D 객체를 자동으로 생성할 수 있다.

본 연구에서는 사례적용을 위해 〈그림 5〉와 같이 교량공사 교각을 대상으로 구조물 유형을 분류하고, 파라미터 수치 변경이 가능한 3D 모델을 트리구조로 구축하였다.

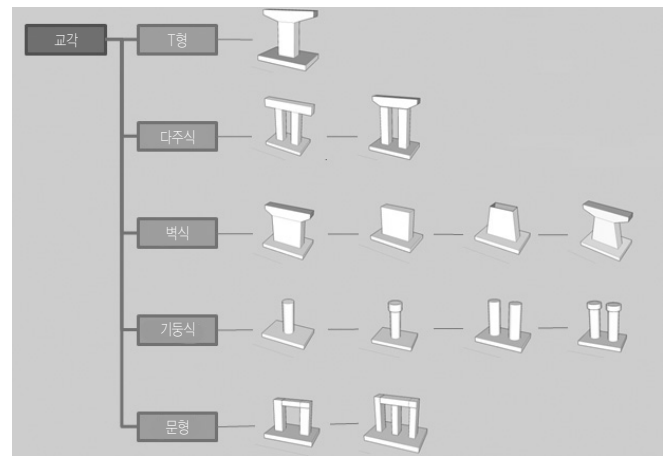


그림 5. 파라미터기반 교각 형식별 모델

파라미터기반의 모델 생성은 WBS Tree에서 형식을 선택한 후 생성된 구조물의 파라미터 수치를 입력하게 되면, 미리보기 형태로 3D 객체가 생성되어 사용자에게 제공된다. 파라미터기반의 3D 모델 생성이 가능한 형상은 가로, 세로, 높이의 입력 값을 가지는 육면체와 높이, Number, Radius의 입력 값을 가지는 원기둥 형태로 구성함으로써 다양한 구조물의 형상에 적용할 수 있도록 구성하였다. 또한 기획단계의 개략적인 공정 및 일정 시뮬레이션을 기반으로 세부적인 WBS Code와 일정을 생성하고 이를 연계함으로써 세부적인 공정관계를 파악할 수 있다. 그

리고 토공공사의 3D 설계 및 분석을 위해서 3D 삼각망 지형도 상에 도로의 폭, 성토구배 등의 수치를 입력함으로써 성·절토 모델을 생성하고, 이를 시각적인 토공시물레이션으로 구현할 수 있다. 이를 통해 성·절토량과 도로의 대안노선을 파악할 수 있다. 또한 구조물 및 지형 3D 모델의 단면분할을 통해서 내부형식 및 지장물의 시공상태를 파악할 수 있다. 단면분할은 화면상에 단면분할 구역을 두 점으로 지정하면 지점사이의 거리 및 고저차와 함께 자동적으로 분할된 단면이 나타난다. 그리고 분할된 단면에 대한 2D 도면을 자동 생성할 수 있다. 이와 같이 설계 단계에서 BIM 기반으로 생성된 정보들은 시공단계의 재시공 방지를 위한 공정 오류, 일정 분석 등의 정보를 포함함으로써 효율적인 시공계획 수립을 위한 기초적 자료로 활용 될 것으로 예상된다.

4.3 시공단계 정보지원 BIM 프로세스(A3)

설계단계 BIM 업무에서 생성된 정보들은 시공단계로 이관되어 시공계획 수립을 위한 검토 자료로 활용되며, 계획대비 실제 공사 진행 상황을 관리하기 위한 공정관리 및 진도관리 등의 업무에 활용된다.

〈그림 3〉의 시공단계에서와 같이 공정관리와 진도관리의 기능에서는 계획대비 실제 공사의 진도 상태를 시각화하여 시물레이션으로 구현할 수 있다. 이를 위해 설계단계에서 구축된 BIM 모델에 진도율과 진도상태에 따른 색상정보를 연동하여 공정별

진도를 시각적으로 파악할 수 있도록 하였다. 상세 공정관리를 위하여 공정별 3D 모델과 WBS 코드를 최하위 수준까지 상세히 구분하여 WBS 수준별로 집약된 공정관리도 가능하다.

리스크 관리 기능은 시공 중에 발생할 수 있는 리스크 요인을 사전에 판단하기 위해 리스크 분석기법을 사용하여 정량화하고, 이를 시각적인 정보로 제공함으로써 효율적인 리스크 관리를 가능하게 한다. 본 연구에서는 리스크 정량화를 위해서 리스크 평가 인자를 공기지연(Time), 공사비 증가(Cost), 작업환경(Work Condition)으로 정의하고, 이를 Fuzzy 및 AHP 분석 알고리즘이 내장된 모듈을 통해 정량화하도록 구성하였다. 또한 리스크 수준을 5단계로 구성하고 이에 따라 각각의 색상을 청색, 녹색, 황색, 주황색, 적색으로 지정함으로써 공정별 리스크 수준을 색상으로 파악할 수 있도록 하였다.

시공단계는 작업 상황에 따른 시공 생산성이 중요한 관리요소가 된다. 시공 생산성 확보를 위해서는 동일 일정에 시행되는 병행작업들 간에 작업공간의 충돌을 방지하기 위한 사전 확인절차가 요구된다.

〈그림 6〉는 공사일정에서 작업공간 충돌을 최소화하는 방법론을 나타내고 있다. 이러한 작업공간 및 일정 최적화 기능에서는 시물레이션을 통해 작업공간 및 일정의 간섭을 확인할 수 있으며, 이들의 간섭이 최소화될 수 있는 최적의 작업공간 배치 및 일정정보를 제공한다. 먼저 WBS코드를 선택하여 공정별 3D모델들의 작업공간을 생성한다. 3D모델의 작업공간 생성은 중심

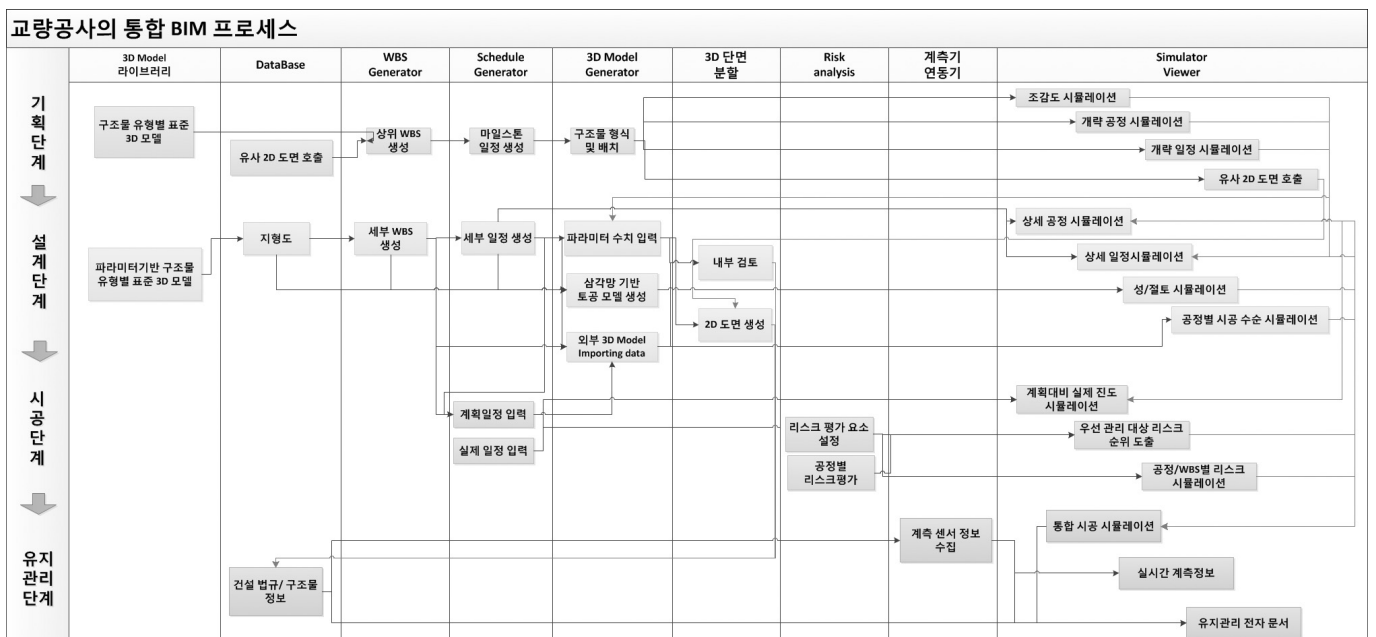


그림 7. 교량 공사의 통합 BIM 프로세스

좌표, 가로, 세로, 높이 등의 기하학적 정보와 공정별 작업공간의 타입, 일정 등의 속성정보들을 입력함으로써 각각의 공정들의 특성을 고려한 작업공간을 생성할 수 있다. 작업공간 생성이 완료되면, 일정상 동시에 작업이 진행되는 공정들의 간섭을 파악하기 위해서 단일 기준 공정과 후속 공정들의 일정을 차례로 비교함으로써 중첩되는 기간을 체크할 수 있다.

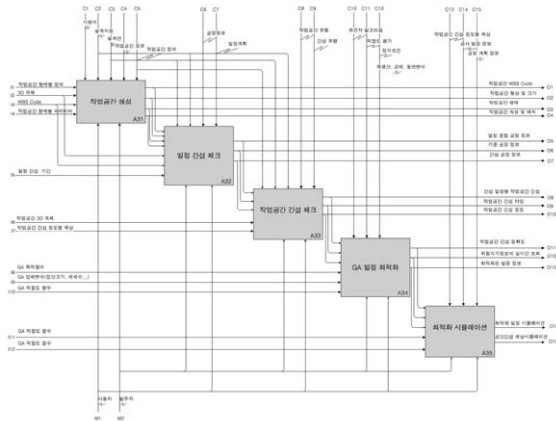


그림 6. 작업공간 및 일정 최적화 프로세스

그리고 중첩되는 작업기간을 통해서 작업 기간 내에 수행되는 공정들의 작업공간 모델을 추출하여 간섭을 파악한다. 간섭의 정도는 두 공간형상의 인접도에 따라 평가되고, 간섭 비율에 따라 색상을 지정함으로써 시각적으로 나타낼 수 있다. 이와 같이 일정을 고려한 작업공간 간섭이 확인되면, 최적화 알고리즘을 통해 일정과 작업공간 간섭이 최소화될 수 있도록 일정과 작업공간을 재배치한다. 이때 적용되는 일정 최적화 기법은 유전자 알고리즘(GA; Genetic Algorithm)을 사용하며, GA 절차에 따라 일정간섭이 최소화되는 목적함수와 이를 판단하는 적합도 함수를 정의하게 된다. 그리고 유전 연산자인 재생산-교배-변이 등의 과정을 통해 최종 적합도 함수를 만족하는 값으로 수렴할 때 까지 반복 수행함으로써 최적 일정정보를 재생성할 수 있다. 이와 같은 최적화된 일정 및 작업공간 간섭 정보는 4D 모델과 연계되어 시각화된 시뮬레이션으로 표현될 수 있다.

4.4 유지관리단계 정보지원 BIM 프로세스(A4)

본 연구에서 유지관리단계에 표현된 기능들은 연구에서 구축한 BIM시스템과 연동을 시도하지 않은 개별적 프로토타입으로 구축하였으며, 이를 통하여 우선적으로 BIM과의 활용성 검증을 시도하였다.

전자문서 관리 기능은 BIM 모델과 전자문서(Interactive

Electronic Technical Manual, IETM)를 연계함으로써 효율적으로 공사정보를 관리할 수 있다. 실시간 계측 관리기능은 BIM 모델과 계측정보 시스템을 연동함으로써 실시간으로 계측정보를 시각화된 시뮬레이션으로 파악할 수 있다. 이를 위해 구조물에 부착된 계측기의 위치를 4D 시뮬레이션 구현 화면에 표현되도록 구성하였다. 그리고 계측 관리 모듈을 통해 계측정보를 실시간으로 분석하여 위험신호를 시각화하여 나타낼 수 있도록 하였다.

5. 교량공사의 통합 BIM 시스템 개발 및 사례 적용

5.1 교량공사의 통합 BIM 시스템 개발

앞서 구축한 방법론을 기반으로 교량공사 수행단계별 업무지원을 위한 BIM기반의 통합 정보지원 시스템 시안을 구축하였다. 구축된 시스템은 Visual Basic 6.0 언어와 VRML을 활용하였으며, 주요 아키텍처는 <그림 8>과 같이 구성하였다.

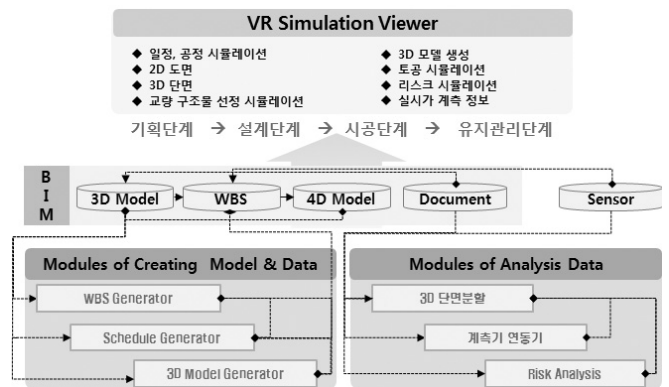


그림 8. 통합 BIM 시스템의 아키텍처

본 시스템은 교량공사의 수행단계별 활용 기능들의 효율적인 구현을 위해서 3개의 정보생성 모듈과 3개의 정보 분석 모듈 그리고 2개의 DB로 구성되어 있다. <그림 7>은 시스템 모듈들의 상호연계성과 프로젝트 수행단계별 입출력 정보를 나타내었다.

<그림 7>에서 정보 생성 모듈을 살펴보면 “WBS Generator”는 시스템내의 정보 연계의 중심체인 WBS Code를 생성하는 모듈로서 시설, 공간 및 부위 등으로 분류하여 다양한 Level별로 생성할 수 있다. “Schedule Generator”는 프로젝트의 일정을 생성하는 모듈로서 WBS와 공정별로 계획 및 실제 일정을 입력할 수 있다. “3D Model Generator”는 3D 모델을 생성하는 모듈로서 구조물의 3D 모델뿐만 아니라 토공 모델을 생성하거나 외부에서 제작된 3D 모델을 불러와 사용할 수 있다.

정보 분석 모듈을 살펴보면, “3D 조회 및 분석”은 3D 모델의 정보를 분석하는 모듈로써 단면을 분할하여 내부를 관찰하거나 2D 도면을 생성 할 수 있다. “Risk Analysis”는 리스크 분석을 위한 모듈로써 AHP 및 퍼지기법을 통해 “Time”, “Cost”, “Work Condition”별 리스크 수준을 분석할 수 있다. “계측기 연동기”는 계측기와 센서를 제어하는 모듈로써 위험 정보를 확인하거나 계측기 및 센서의 속성을 관리할 수 있다.

“DataBase”는 기초 정보와 생성된 정보를 통합하여 관리하기 위한 모듈로써 일반 프로젝트 정보뿐만 아니라 교량 구조물의 형식별로 구축된 표준 3D 모델들과 파라미터기반으로 형상 변경이 가능한 3D 모델들로 구성되어 있다.

그리고 이와 같이 각각의 모듈로 통해 생성된 정보는 “Simulator Viewer”에서 3D 모델 및 시뮬레이션으로 구현된다. <그림 9>는 6개의 주요 모듈로 구성된 통합 BIM 시스템의 메인 화면을 나타낸다.



그림 9. 통합 BIM 시스템의 메인화면

5.2 사례 적용

본 연구에서 개발된 BIM기반 통합 정보지원 시스템의 활용성을 평가하기 위해서 교량공사를 대상으로 사례적용을 수행하였다. 사례 적용의 수행 절차는 <그림 10>과 같이 동일한 사례 프로젝트를 대상으로 앞서 제시한 단계별 BIM 기능구성 프로세스에 따라 프로젝트 수행단계(A1~A4)별 주요 기능을 활용하여 정보의 생성 및 분석결과를 제시하였으며, 생애주기 동안의 정보 연계성 및 업무 활용성을 평가하였다.

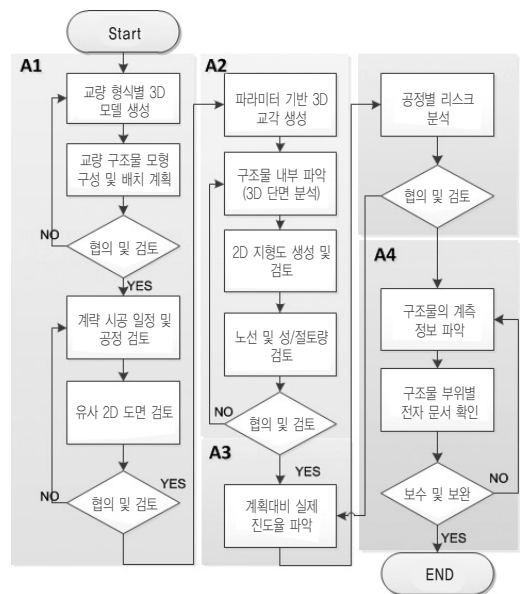


그림 10. 통합 BIM 시스템의 사례적용 절차

5.2.1 기획단계 BIM 기능의 사례분석 (A1)

우선, <그림 11>과 같이 구조물 형식 검증과 구조물 배치계획 기능을 활용하여 계획된 교량 프로젝트의 형상을 3D 모델로 구현한다.

표준 3D 모델은 표준 교량의 3D 모델 라이브러리에서 교각의 상부 및 하부 구조물 형식을 선택함으로써 생성된다. 이와 같이 상하 부위별로 생성된 3D 모델들은 위치 및 Scale 조정 또는 조합 과정을 통해 완성된 교량 구조물 모델로 완성된다. 이를 통해 교량 구조물의 형식 및 외관을 파악할 수 있으며, 또한 완성된 구조물을 외부로부터 맵핑한 공사현장 3D 지형도상에 구현함으로써 공사현장의 환경을 고려한 교량의 규모 (교각의 개수, 경간 크기 등) 및 위치를 파악할 수 있다.

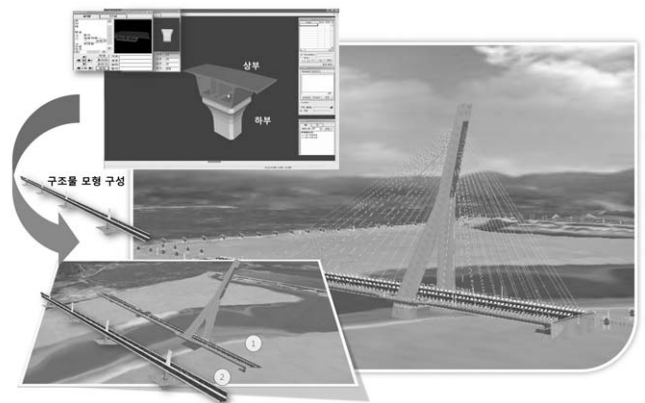


그림 11. 구조물 형식 검증 및 배치 계획 수립

완성된 교량의 3D 모델로부터 교량의 형식 및 배치계획을 수립하면, <그림 12>와 같이 개략적인 공정 및 일정 시물레이션과 유사 2D도면 조회기능을 수행한다.

“WBS Generator”와 “Schedule Generator” 모듈을 통해 상위 수준의 WBS와 1년 단위의 일정을 생성하고, 공정과의 연계 과정을 반복 수행하면 <그림 12>와 같이 1년 단위로 프로젝트의 진행 상태를 시물레이션으로 구현할 수 있다.



그림 12. 기획단계 공정/일정관리 및 2D 도면관리

이를 통해 교량 프로젝트의 개략적인 공정과 일정을 파악할 수 있으며, 또한 WBS Code에 연계된 유사 2D 도면을 검토함으로써 해당 공정의 이해도를 높일 수 있다.

5.2.2 설계단계 BIM 기능의 사례분석 (A2)

설계단계 BIM 업무에서는 기획단계에서 생성된 BIM 정보로부터 예상 교량의 형식, 개략적인 공정 및 일정 등을 파악하여 설계 방향을 수립한 후 파라미터 기반의 3D 모델 생성 기능을 활용하여 교량의 구조물을 3D 모델로 설계한다.

먼저, <그림 13>과 같이 교각 형식별 라이브러리를 통해 교각의 기초부위를 선택하면, 3D 모델 생성모듈에 생성된 기초부의 3D 모델을 확인할 수 있다. 그리고 파라미터 단면 형태에 따라 높이, 가로, 세로, Number 및 Radius의 수치를 입력하고 생성

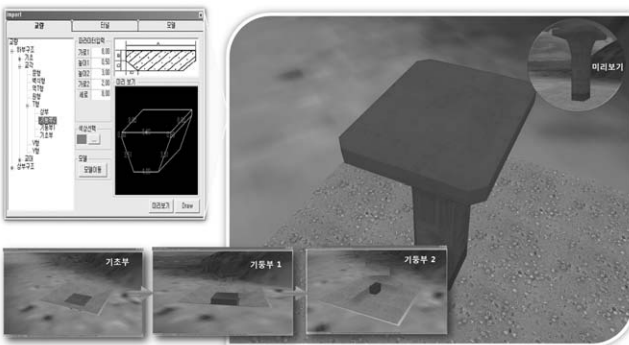


그림 13. 파라미터기반 3D 객체 생성

위치를 지정하면, 입력 값에 따라 변경된 3D 모델이 생성된다. 이와 같은 방법으로 교각의 기둥 및 상판 3D 모델을 생성하여 조합함으로써 완성된 교각 3D 모델을 생성할 수 있다.

구조물의 3D 모델을 생성한 후 <그림 14>와 같이 3D 단면분할 및 2D 도면생성 기능을 활용하여 구조물의 내부형태 또는 지하 시설물의 매설형태를 시각적으로 파악할 수 있으며, 분할된 단면의 2D 도면을 자동으로 생성할 수 있다. 우선 단면 분할대상을 마우스로 지정하면, <그림 14>와 같이 시점과 종점의 위치 및 사이 거리와 지정된 구역이 황색으로 나타난다. 황색으로 표시된 구역을 기준으로 시점을 이동하면, 이동방향에 따라 구조물 내부의 형상을 확인할 수 있다.



그림 14. 3D 단면 분할 및 2D 도면 생성



그림 15. 토공 시물레이션

교량 구조물의 설계 및 검토가 완료되면 <그림 15>와 같이 토공 시물레이션을 통해 교량과 연결되는 접속도로의 노선을 선정할 수 있다. “3D Model Generator”모듈의 토공 시물레이션 기능을 통해 3D 지형도 상에 중심선을 지정하면 <그림 15>와 같이 적색 선과 중심선의 거리가 표시된다. 그리고 차선 간격, 좌우 넓이, 높이, 성토의 구배 등을 입력하면 자동으로 도로 선형을 표시한 3D 모델이 생성된다. 이와 같은 방법으로 여러 개의 대안도로 노선을 생성함으로써 시각적으로 최적 대안 노선을 분석할 수 있다. 또한

도로의 노선별로 성·절토량이 자동으로 산출됨으로써 토량 배분 계획을 수립할 수 있다.

5.2.3 시공단계 BIM 기능의 사례분석 (A3)

설계단계에서 생성된 정보로부터 교량 구조물의 형식, 내부 구조 및 2D 도면 또는 대안 노선 등을 검토하여 시공계획을 수립한다. 시공단계 BIM은 기본적으로 4D 기반 일정 시뮬레이션을 기반으로 운영되고, 이를 기반으로 <그림 16>, <그림 17>과 같은 진도 또는 리스크관리 기능들이 수행 될 수 있다.

진도관리기능은 공사의 진척 상황을 시각적으로 파악하기 위함이며, "Schedule Generator" 모듈에 진도관리 입력 정보인 공정별 실제작업일, 작업물량 및 실제단가를 입력하면 자동으로 계획대비 진도율이 나타난다.

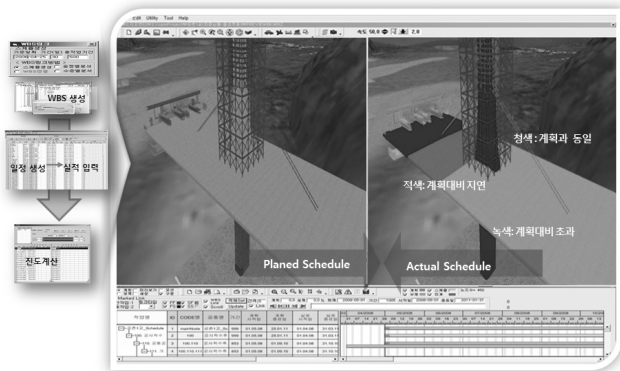


그림 16. 공정 진도관리

이와 같이 계산된 진도율은 <그림 16>과 같이 좌측화면의 계획 일정에 따른 공정 시뮬레이션과 우측화면의 계획 대비 실제 일정의 공정 시뮬레이션으로 나타난다. <그림 16>의 사례모델과 같이 적색으로 나타난 교량의 상판 공정은 지연 상태이며, 청색으로 나타난 주탑 공정은 계획과 일치함을 모델의 변화된 색상을 통해



그림 17. 리스크 시각화 관리 시스템

파악할 수 있다. 이와 같이 색상에 의한 시각적인 진도정보는 별도의 분석 과정이 필요 없이 공정별 진도 상태를 직관적으로 파악할 수 있다.

시공상에 발생할 수 있는 리스크를 사전에 파악하기 위해 <그림 17>과 같이 리스크 시각화 시뮬레이션 기능을 활용할 수 있다. 우선, "Risk Analysis" 모듈에 분석기간을 입력하여 리스크 분석 대상 공정을 WBS Tree로 생성한다. 생성된 WBS Tree에서 대상 공정을 선택하면, 공정별 리스크 정량화를 위한 Fuzzy & AHP 입력창이 나타난다. 리스크 분석 값의 입력이 완료되면 리스크평가 알고리즘을 통해 자동으로 리스크별 우선순위, 리스크 수준, 리스크 종합점수 및 리스크 수준별 색상이 도출된다. 그리고 이와 같은 분석결과를 4D 기반의 리스크 시뮬레이션으로 구현할 수 있다. 이를 통해 효율적으로 공정별 리스크 관리 계획을 수립할 수 있다. 특히 리스크 수준이 색상으로 표현된 3D 모델 및 시뮬레이션을 통해 리스크 일정 및 부위별 리스크 정도를 별도의 해석 과정없이 시각적으로 파악할 수 있다.

5.2.4 유지관리단계 BIM 기능의 사례분석 (A4)

유지관리단계의 BIM 기능들은 기획, 설계 또는 시공단계에서 생성된 BIM 정보를 유지관리단계에서 검색할 수 있고, 또한 실시간으로 계측 정보를 관리할 수 있다. <그림 18>은 BIM 모델과 전자문서의 연계를 통한 통합 문서관리 기능을 구현한 것이다.



그림 18. BIM기반 전자문서 관리

WBS 코드 및 3D 모델을 직접 선택하면 해당 코드 및 모델과 연계된 전자문서 목록이 나타난다. 해당 목록의 항목을 선택하면 관련된 전자문서뿐만 아니라 관련 동영상, 사진, 음성 등의 멀티미디어 정보들을 확인할 수 있다. 이러한 정보들은 BIM운영체제에서 공정과 연계된 3D정보들로 구성되어 유지관리의 효율성을 제고하는데 활용된다.

<그림 19>은 BIM 모델과 계측시스템의 연계를 통한 계측정보 관리의 시각화 기능을 나타낸다. 계측기기가 장착된 위치를 BIM 모델에 연계한 후 계측기기를 활성화하면 <그림19>와 같이 BIM

모델을 통해 계측기기의 위치를 파악할 수 있다. 그리고 BIM 모델에 표시된 계측기 아이콘을 선택하면 해당 기기의 종류 및 위험정도를 시각적으로 파악할 수 있다. 또한 일정에 따라 계측정보를 수집 및 기록함으로써 향후 계측이력 정보의 재활용이 가능하다.



그림 19. BIM기반 계측관리 시스템

6. 시스템 평가

연구에서 제시한 통합 BIM시스템의 구성기능과 개발된 시스템의 성능을 객관적으로 평가하기 위해 2회에 걸친 설문조사를 실시하여 시스템의 실무 활용성을 검증하였다. 설문 방법은 5점 척도를 활용하여 항목별로 매우높음(5점), 높음(4점), 보통(3점), 낮음(2점), 매우낮음(1점)으로 평가하고, 크론바흐(Cronbach)의 알파계수를 통해 설문 신뢰도를 검증하였다. 국내 엔지니어, 설계사, CMr 등의 건설공사 실무자를 대상으로 1차 설문을 실시하여 본 시스템에 구성된 기능들의 실무 적합성을 평가하였다. 2차 설문은 건설정보화 도구의 사용 경험이 있고, 평균 실무 경력이 10년 이상인 시공, 설계 및 BIM tool 개발 분야 등의 전문가들을 대상으로 본 시스템의 시운전을 통한 실무 운영 효율성 및 적합성을 평가하였다.

〈표 2〉은 설문조사 결과를 종합적으로 나타낸 것이다.

1차 설문분석을 위한 설문 항목은 BIM 관련 문헌과 교량 공사를 대상으로 BIM이 적용된 사례를 분석하여 교량공사수행단계별 활용 기능들로 구성하였으며, 총 30부의 설문지를 배포하여 19부를 회수하였다. 1차 설문의 결과는 기획(4.38), 설계(4.30),

시공(4.53), 유지관리단계(4.46) 모두 적합성 평균값이 4점 이상으로 평가되어 실무 적합성이 높은 것으로 분석되었다. 이중 시공단계의 평균값이 4.53점으로 가장 높은 적합성을 가지므로 파악되었다. 이러한 결과는 본 연구의 제안기능들이 주로 시공단계 활용성이 높은 점을 감안한 것으로 평가된다. 2차 설문항목은 건설정보화 시스템 평가 항목(박경아 2008)과 전문가 인터뷰를 통해 구성하고, 이를 6인의 실무 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 2차 설문의 결과는 “사용자 편의성”, “협업가능성”, “활용성”, “반응 속도”, “정보의 신뢰성”의 평가 항목들이 대체로 3점 이상으로 개발된 시스템의 실무적 효율성과 적합도가 있는 것으로 파악되었다. 본 설문결과에서 크론바흐의 알파계수가 모두 0.8이상으로 설문의 신뢰도는 높은 것으로 측정되었다.

표 2. 시스템 활용성 평가를 위한 설문조사 결과

단계별 BIM기능 활용성 평가항목	평균값	표준편차	통합 BIM 시스템 운영 평가항목	평균값	표준편차
구축된 기획단계의 BIM기능의 활용 정도	4.3846	0.76795	사용자 편의성	4.1687	0.75277
구축된 설계단계의 BIM기능의 활용 정도	4.3077	0.75107	협업 가능성	3.8687	0.51640
구축된 시공단계의 BIM기능의 활용 정도	4.5385	0.68023	활용성	3.8333	0.40825
구축된 유지관리단계의 BIM기능의 활용 정도	4.4615	0.77625	반응 속도	3.8333	0.40825
Cronbach의 알파	0.876		정보의 신뢰성	4.0000	0.83246
Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	0.881		Cronbach의 알파	0.866	
			Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	0.897	

〈BIM 기능 활용성 평가_1차설문 결과〉 〈통합 BIM 시스템 활용성 평가_2차설문 결과〉

평가항목	세부평가항목	평균값	표준편차
사용자 편의성	시스템 레이아웃 구성은 효율적으로 구성되어 있습니까?	3.3333	0.81650
	사용자가 이해하기 쉽도록 시스템 메뉴들이 구성되어 있습니까?	3.6667	1.21106
협업 가능성	각 업무별 출력되는 정보가 공사장여직원간의 공유정보로 활용될 수 있도록 구성되어 있습니까?	3.1667	0.75277
	다양한 공사용어자들에 의한 정보의 생성 및 수정사항이 효율적으로 반영될 수 있도록 구성되어 있습니까?	3.1667	0.75277
활용성	기획단계 업무를 효과적으로 지원할 수 있는 지원메뉴로 구성되어 있습니까?	3.1667	0.40825
	실제단계 업무를 효과적으로 지원할 수 있는 지원메뉴로 구성되어 있습니까?	3.5000	0.64772
	유지관리단계 업무를 효과적으로 지원할 수 있는 지원메뉴로 구성되어 있습니까?	4.3333	0.51640
반응 속도	시스템에서 각각의 기능을 운영할때의 반응 속도는 적당합니까?	2.8333	0.40825
	기능별 출력되는 정보들의 정확성에 대하여 어느 정도 만족하십니까?	3.3333	0.81650
정보의 신뢰성	업무 수행에 있어서 기능별 출력되는 정보들의 양이 어느 정도 적당하다고 생각하십니까?	3.6667	0.51640
	업무 수행에 있어서 기능별 출력되는 정보들의 상세 수준이 어느 정도 적당하다고 생각하십니까?	3.8333	0.40825
Cronbach의 알파		0.820	
Cronbach's Alpha Based on Standardized Items		.801	

〈통합 BIM 시스템의 세부 항목 평가_2차설문 결과〉

7. 결론

본 연구는 BIM 기술을 건설공사의 생애주기에 걸쳐 일관성 있게 효율성을 가질 수 있도록 교량공사 프로젝트를 대상으로 생애주기 업무별 적용 가능한 BIM의 주요기능 및 운영 프로세스를 구성하였다. 또한 이를 기반으로 교량공사의 통합 BIM시스템 시안을 구성하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 연구에서는 설계 및 시공단계 일부에 국한된 BIM 운영체계

1) 크론바하가 설문의 신뢰도를 평가하기 위하여 1951년에 제안한 평가값으로써 알파계수가 0에서 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 신뢰도가 높다고 해석된다. 대체로 0.8이상이면 상당히 신뢰도가 높은 것으로 평가되고 0.6이상이면 허용할 만하다고 본다.

- 를 생애주기 단계의 통합 BIM 프로세스로 확장할 수 있는 BIM 운영 시스템을 구축하여 활용성을 검토하였다. 이를 위해 기획, 설계, 시공, 유지관리단계별 업무 분석을 통해 BIM 시스템의 실무 활용성이 높은 BIM 활용 기능들을 우선적으로 제시하였다. 이러한 기능들은 향후 BIM체계 구축 시 단계별 중점기능으로 활용성을 가질 수 있다.
2. 기획단계에서는 초기 공사정보의 부재에 따른 설계 및 시공 오류를 최소화하기 위해 교량 형식 검증 또는 개략 공정 시뮬레이션 등과 같이 BIM 기반의 구체화된 3차원 모델로 제시할 수 있도록 하였다. 설계단계에서는 토공사와 같이 비정형 시설물의 3D 모델 생성에 소요되는 시간과 비용을 최소화하기 위해 파라미터 입력을 통한 3D 모델 생성이 가능하도록 하였다.
 3. 시공단계에서는 광범위한 공사현장의 신속한 공정관리를 위해 진도 및 리스크 정보를 시각화 시뮬레이션으로 구현할 수 있도록 하였다. 또한 작업공간을 고려한 일정 최적화 프로세스를 제시함으로써 공사정보의 분석 및 시각화 위주로 구성된 기존의 수동적인 BIM체계를 최적화된 대안을 제시할 수 있는 능동형 BIM 체계로 발전시킬 수 있도록 하였다. 유지관리단계에서는 향후 활용성 확대가 예상되는 전자매뉴얼과 BIM의 연동성을 검증하였다.
 4. 연구에서 개발된 통합 BIM 시스템은 교량공사를 대상으로 생애주기 단계별 주요 기능의 사례적용을 시도하였고, 개발된 통합 BIM시스템의 단계별 주요 기능은 실무 전문가들의 설문 분석을 통해 실무활용성 및 적합성을 분석하였다. 이러한 결과물은 생애주기를 고려한 건설공사의 3차원 기반 통합정보관리체계로 활용성을 가질 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업 (No. 06 첨단융합E01)으로 수행되었으며, 연구의 일부는 한국연구재단 도약연구사업(No. 2011-0016064)의 지원으로 수행된 연구임.

참고문헌

- 강인석, 김슬기, 김현승, 문현석(2011). “토목공사 기획 및 설계 단계의 BIM적용 방안 연구”, 한국BIM학회논문집, 제1권 제 1호 pp. 26~31
- 강인석, 문현석, 박서영(2008). “건설공사 진행단계별 4D CAD 시스템의 적용방법론 및 프로세스 모델 구성”, 대한건축학회 논문집, 제24권 제7호 pp. 127~134
- 강인석, 곽중민, 정성운(2004). “시설물 유지관리를 위한 건설 전자매뉴얼 구축방안 연구”, 대한토목학회 논문집, 제24권, 제5D호 pp. 767~775
- 김성훈(2011). “국내 토목 BIM 적용사례”, 한국BIM학회 KIBIM Magazine, 제1권 제 1호 pp. 41~44
- 문성우, 김상도, 박미경(2011). “3D 그래픽 모델을 활용한 교량 시설물 유지관리 시스템”, 한국건설관리학회 논문집, 제12 권 제2호 pp. 64~71
- 박경아, 이정호, 김영석, 한승우(2008). “사용자 만족도 및 중요도를 고려한 건설 정보화 시스템 평가모형 개발”, 한국건설 관리학회 논문집, 제9권 제5호 pp. 137~148
- 박정욱, 김상철, 이상수, 송하영(2009). “사례 분석을 통한 국내 BIM 적용 문제점 및 대안 도출에 관한 연구”, 한국건축시공 학회 논문집, 제9권 4호 pp. 93~102
- 박찬식, 박희택(2010). “시공성 분석업무 개선을 위한 BIM 기술의 적용방안”, 한국건설관리학회 논문집, 제11권 제2호 pp. 137~146
- 심창수(2010). “3차원 정보모델 기반 건설 실무적용”, 한국건설 관리학회지, 제11권 제2호 pp. 39~43
- 이경하, 박재현, 방광수, 윤석현, 백준홍(2009). “BIM기반 건축 시공 시뮬레이션 개발에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 구조계 제25권 제5호 pp. 205~212
- 이치주, 이강, 원종성(2009). “BIM 소프트웨어 선정요인 분석”, 대한건축학회 논문집, 구조계 제25권 제7호 pp. 153~163
- 전영웅, 이명식(2010). “BIM기반 건설현장 관리모델 개발에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, 제10권 제1호 pp. 127~135
- Adam Strafaci (2008). “What does BIM mean for civil engineers.” www.cenews.com, pp. 62~65
- James D. Goedert and Pavan Meadati (2008). “Integrating construction process documentation into building information modeling.” Journal of construction engineering and management, 134(7), pp. 509~516
- Kang L. S., Moon H. S., Dawood N. and Kang M. S. (2010). “Development of Methodology and Virtual System for Optimized Simulation of Road Design Data.” Automation in Construction, 19(8), pp. 1000~1015
- Ning Gu and Kerry London (2010). “Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry.” Automation in Construction 19, pp. 988~999

Taylor, J.E. and Bernstein, P.G. (2009). "Paradigm Trajectories of Building Information Modelling Practice in Project Network." *Journal of Management in Engineering*, 25(2), pp.69~76

논문제출일: 2011.07.04

논문심사일: 2011.07.08

심사완료일: 2011.11.15

요 약

최근 공공사업 발주조건에 BIM(Building Information Modeling)이 의무화되고 있고, 실무 도입을 통한 성공 사례가 증대되면서 건설 분야의 BIM 도입이 본격화되고 있다. 그러나 기존의 BIM 관련 연구는 대부분 설계 또는 시공단계에 한정되어 수행됨에 따라 건설프로젝트의 생애주기를 고려하지 못하고 있고, 특정 업무지원 기능 위주로 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 건설공사 프로젝트의 기획부터 유지관리단계의 생애주기 동안 단계별 BIM 적용이 가능한 통합 BIM 운영 프로세스를 제안하고 이를 토대로 통합 BIM 시스템을 개발한다. 이를 위해 교량공사를 대상으로 수행단계별 정보체계를 분석하여 BIM 활용 기능과 적용 프로세스를 제시하였으며, 이에 근거하여 수행단계별 BIM 운영 시스템을 구축하였다. 연구에서는 개발된 시스템의 실무 적합성 검증을 위해서 사례적용과 건설 실무자의 활용성 설문 조사를 수행하였다. 이러한 BIM 통합 운영체계는 생애주기를 고려한 건설공사의 3차원 기반 통합정보관리체계로 활용성이 기대된다.

키워드 : 토목 BIM, 4D CAD, 리스크관리, 프로젝트 생애주기 BIM, 작업공간간섭
