

# 토목공사 기획 및 설계단계의 BIM 적용방안 연구

## BIM Application for Civil Engineering Project in Planning and Design Phases

강인석\* Kang, Leen-Seok / 김슬기\*\* Kim, Seol-Gi / 김현승\*\*\* Kim, Hyeon-Seung / 문현석\*\*\*\* Moon, Hyoun-Seok

### 요약

국내에서 BIM의 실무 활용은 건축공사 중심으로 적용되고 있다. 건축공사의 부위별 객체 특성이 정형적, 수직적, 반복적인 형태를 갖는 반면에 토목공사의 객체 특성은 비정형적, 수평적, 비반복적인 형태를 갖으므로 3D객체 구성이 어렵기 때문이다. 본 연구에서는 토목공사의 기획단계부터 설계단계까지의 업무 및 정보관리의 문제점을 파악한 후 BIM기반에서의 적용 프로세스를 제안하며, 제시한 프로세스를 기반으로 BIM시스템을 구축하여 교량공사를 대상으로 실무 적용성을 검토한다.

키워드 : 토목공사 BIM, 4D CAD, 기획단계, 설계단계

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

토목공사의 경우 건축공사와 달리 작업체계가 비반복적이고 수평적, 비정형적이며, 프로젝트 수행 범위가 넓어 발생하는 정보의 양도 방대하다. 이로 인해 BIM (Building Information Modeling) 구축을 위한 초기 투자비용의 부담과 실무 활용성에 대한 업무적 부담을 갖고 있다. 본 연구에서는 토목공사에서의 BIM 도입의 활성화를 위해서 기획 및 설계단계에서의 BIM 적용 프로세스를 제안한다. 또한 이를 기반으로 BIM 시스템을 구축하고 교량공사를 대상으로 사례 적용함으로써 실무 적용성을 검증한다.

### 1.2 국내·외 연구 동향

국내외의 BIM연구들 역시 건축공사 위주로 시행되고 있다. 이상헌(2007)은 공공공사의 BIM도입을 위한 프로세스와 시스템 개발 로드맵을 제안하였고, 조재근(2007)은 BIM 모델의 프로세스 표준화, 체계화, 객체 정보의 데이터 구축 등을 제안하였다. 원종성(2008)은 해외의 BIM을 도입한 성공적인 프로젝트 사례의 조직 형태의 변화와 정보 관리 방식을 분석하였다. James D. Goedert(2008)는 프로젝트 사례를 통해 기존에 BIM이 시공 전 단계까지 활용되는 한계점에서 시공 후 단계까지 BIM의 활용을 확장할 것을 제안하였다. Kang(2010)에서는 BIM 기반 도로공사 생애주기의 시뮬레이션 정보 활용을 위한 시스템 개발사례를 제시한 바 있다. 국내 토목분야 BIM 적용사례는 4대강 사업에 4D 시뮬레이션기법이 적용된 바 있고, 조달청 건축공사 발주

를 위해 BIM적용 가이드라인이 제시된 바 있다.

국내의 토목공사의 BIM 적용은 여전히 활용성이 높지 않으며, 이의 개선을 위해서는 설계 및 시공단계의 활용성이 높은 BIM기능부터 순차적인 실무 적용이 필요하고, 또한 BIM기반 설계 및 시공을 위한 적정 대가수준이 구성되어야 한다.

## 2. 기획 및 설계단계의 업무 분석

### 2.1 기획단계의 업무 분석 및 문제점

최근 건설 프로젝트가 대형화 및 복잡화되고, 발주자의 요구사항이 증가하면서 다양한 발주자의 요구조건과 설계, 시공, 유지관리단계까지 고려한 프로젝트 기획이 요구되고 있다. 기획단계 업무에서는 주로 프로젝트의 실현 가능성을 판단하기위해서 환경, 교통, 재해 등에 관한 영향 평가 등을 수행한다. 즉, 현재의 기획단계 업무들은 프로젝트의 시공단계를 고려하지 않는 인·허가를 위한 법·제도 분석과 프로젝트 수행 방식 선정 등을 우선적으로 고려하고 있다. 이로 인해 시공단계에 공사가 진행됨에 따라 기획 의도와 다른 문제점들이 발생함으로써 공기 및 공사비를 초과하는 사례가 늘고 있다. 따라서 건설 프로젝트의 생애주기를 고려하기 위해서는 기획단계에서 시공단계를 포함한 공사 단계별 참여자간의 의견수립 및 협업이 원활하게 이루어질 수 있도록 구체화된 프로젝트 정보를 생산하고, 이를 제공하여야 한다.

\* 경상대학교 토목공학과, 공학연구원, 교수, 공학박사 Lskang@gnu.kr

\*\* (주)아이엠기술단, 대리, 교신저자 tjfrlrla1@nate.com

\*\*\* 경상대학교 대학원 토목공학과 석사과정, wjdchs2003@yahoo.co.kr

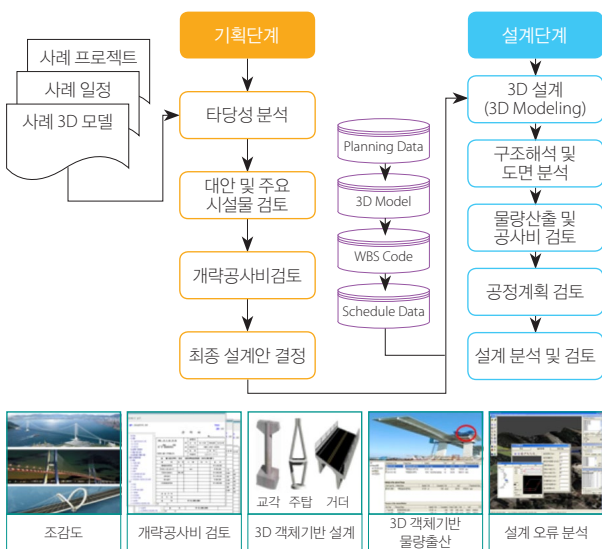
\*\*\*\* Teesside University CCR, Senior Researcher civilcm@gnu.kr

## 2.2 설계 단계의 업무 분석 및 문제점

설계단계는 기본설계와 실시설계로 나뉘는데 기본설계단계에서는 교통수요를 재검증하고 보완한다. 도로공사의 경우는 관계기관과 노선을 합의하여 최적 노선을 선정하고 주요 구조물의 위치 및 형식을 결정한다. 이에 따라 개략 공사비를 산정하고 공정 계획을 수립한다. 그리고 공정 계획이 수립되면 개략적인 설계 보고와 구조 및 수리계산, 토질조사 보고서 작성, 개략 설계 내역 및 설계 도면을 도출한다. 실시설계단계에서는 시설물의 상세설계와 정확한 공사비 산출 및 공사 시방서 작성을 수행한다. 또한 지질 및 지반조사 보고와 상세한 구조 및 수리 계산서와 2D 상세설계도면을 작성한다. 이와 같이 설계 단계에서 수행되는 업무는 다양하고, 발생하는 정보들 또한 방대하기 때문에 이를 효과적으로 통합 관리할 수 있는 방안이 요구된다. 이러한 현재의 설계단계 업무들은 자동화된 흐름이 아닌 매뉴얼적인 흐름으로 인하여 업무에 따라 도출된 정보는 현 단계에서만 활용되는 단편적인 성격을 나타내고 있다. 또한 목적에 따라 다양한 소프트웨어들이 설계, 구조해석, 지질분석, 공정분석 등에 사용되고 있으나 각각 다른 정보포맷으로 지원하기 때문에 상호 호환성 문제가 발생한다. 특히 설계를 변경할 경우, 기존에 작성된 도면을 모두 수정해야하므로 많은 시간이 소비되며, 개인 능력에 따라 설계오류 및 누락이 발생할 가능성이 높다. 따라서 설계단계 업무의 효율성 향상을 위해서는 각각의 업무에서 발생하는 방대한 정보를 효과적으로 관리하기 위해서 상호 호환성 및 연동성을 고려한 통합된 정보관리가 요구된다. BIM은 건설공사 생애주기의 발생정보들을 3차원기반으로 통합 관리하는 프로세스 및 활용 도구이므로, 이러한 기획 및 설계단계의 정보 단절 문제를 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

## 3. 기획 및 설계단계의 BIM 프로세스

본 장에서는 BIM의 실무적 활용성을 높이기 위해서 BIM에서 기획 및 설계단계에 활용 가능한 기능들을 제시하고 이를 시스템화할 수 있도록 방법론을 제시한다.

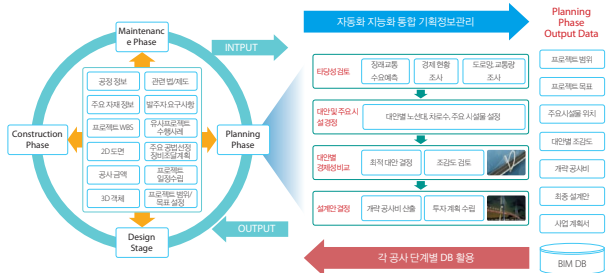


[그림 1] 기획 및 설계단계의 BIM 활용 구조도

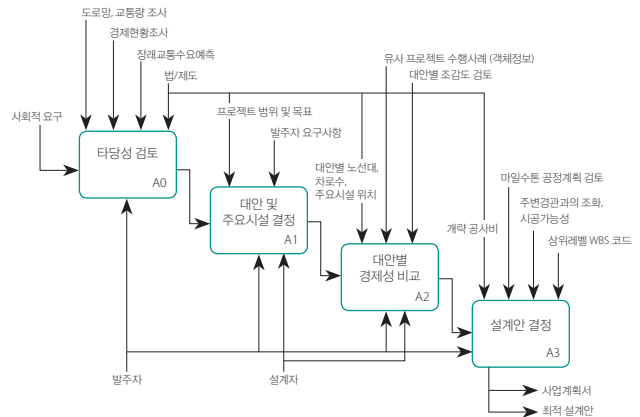
그림 1은 BIM을 통한 기획 및 설계단계의 업무 프로세스를 나타낸다. 기획단계에서는 프로젝트의 기초자료를 기반으로 BIM 정보를 구성함으로써 조감도 및 개략 일정·공사비 등을 파악할 수 있다. 그리고 설계단계에서는 다양한 BIM 도구를 활용한 3D 설계, 구조해석, 물량 산출 등을 통해 상세한 설계 분석 및 검토할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 설계자의 판단 착오나 실수로 인한 오류를 쉽게 파악할 수 있다. 따라서 이와 같이 BIM을 통한 정확한 정보 생산, 전달 및 공유는 공사참여자들의 의견수렴을 원활하게 함으로써 업무의 효율성을 높일 수 있다.

## 3.1 기획단계 BIM 프로세스

토목공사의 기획단계에서 효율적으로 BIM을 활용하기 위해 도로공사를 사례로 업무 프로세스를 그림 2와 같이 나타내었다. 타당성 검토부터 최종 설계안 결정 단계까지 4단계로 구성하였으며, 프로젝트가 기획 의도에 맞게 수행될 수 있도록 설계, 시공 그리고 유지관리 단계까지 고려하여 입·출력 정보를 구성하였다. 그림 3은 동일한 기획단계 업무들의 상호간 관계도를 IDEF0로 나타낸 것이다.



[그림 2] BIM기반 기획단계업무 프로세스



[그림 3] 기획단계 BIM 프로세스 업무 상관도

먼저, 첫 번째 단계에서는 사회적 요구에 따라 환경적, 경제적 효과를 고려한 타당성 평가를 실시한다. 이는 관련 법규 및 제도를 토대로 장래 교통 수요 예측과 경제 현황, 도로망, 교통망 조사가 이루어지고, 이에 따라 프로젝트의 범위 및 목표를 도출한다.

두 번째 단계에서는 정해진 프로젝트의 범위 내에서 발주자의 요구사항을 반영한 대안별 주요 시설, 노선대, 차로수 등을 결정한다. 이와 같이 발주자의 요구조건에 따라 개념적으로 프로젝트 계획이 수립되면,

이를 구체화하기 위한 3D 모델을 구축한다. 기획단계에서 구축되는 지형 및 구조물의 3D 모델은 대상물의 형상 정보와 개략적인 일정 정보만 요구될 뿐 다양한 속성 정보는 필요하지 않다. 따라서 유사 프로젝트 사례의 3D 객체 데이터 활용이 가능함으로써 3D 객체 제작의 번거로움과 비용을 줄일 수 있다.

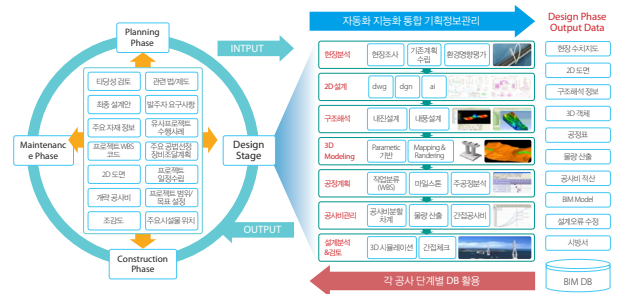
세 번째 단계에서는 구축된 3D 모델을 활용하여 대안별 3D 모델을 검토하고, 경제성을 비교하여 최적의 대안을 결정한다. 이와 같이 3D 모델을 통한 최적 대안 결정방법은 대안 구조물의 자유로운 위치 및 형상 변경과 주변 경관을 고려한 조감도 등을 시각화된 정보로 제시함으로써 공사 참여자들 간의 의사결정에 도움을 준다.

끝으로 네 번째 단계에서는 마일스톤 계획 일정 그리고 상위 WBS를 구성하여 3D 모델과 연계함으로써 개략 일정에 따른 시공성을 검토한다. 이를 통해 최적의 설계안을 선정하고, 이를 기반으로 사업계획서를 작성한다. 또한 유사 프로젝트 사례의 3D 객체 데이터를 통해 기존에 개념설계단계에서 가능한 개략 공사비를 도출함으로써 보다 정확한 투자 계획을 반영한 사업계획서의 작성이 가능하다. 이러한 과정을 통해 도출된 모든 정보는 BIM DB에 저장되며, 설계단계 등으로 공유된다.

### 3.2 설계단계 BIM 프로세스

토목공사 설계단계에서 통합설계정보관리를 위한 BIM기반 업무를 그림 4와 같이 나타내었다. 설계단계의 역학적 해석, 공사비작성, 공사일정관리 등의 업무가 BIM기반으로 통합할 수 있도록 구성하였다. 또한 그림 5는 BIM기반의 설계단계 업무 흐름을 IDEF0로 구성하여 업무 프로세스별 입·출력 정보를 나타내었다.

첫 번째 단계에서는 기획단계에서 3D기반 대안별 위치 적정성, 경제성 등의 분석 자료를 기본 정보로 활용하여 현장분석을 실시한다. 현장분석은 공사에 적용되는 법규 및 현장 조사 그리고 기획단계에서의 환경영향평가 자료를 통해 수행되고, 이를 통해 기본계획을 수립한



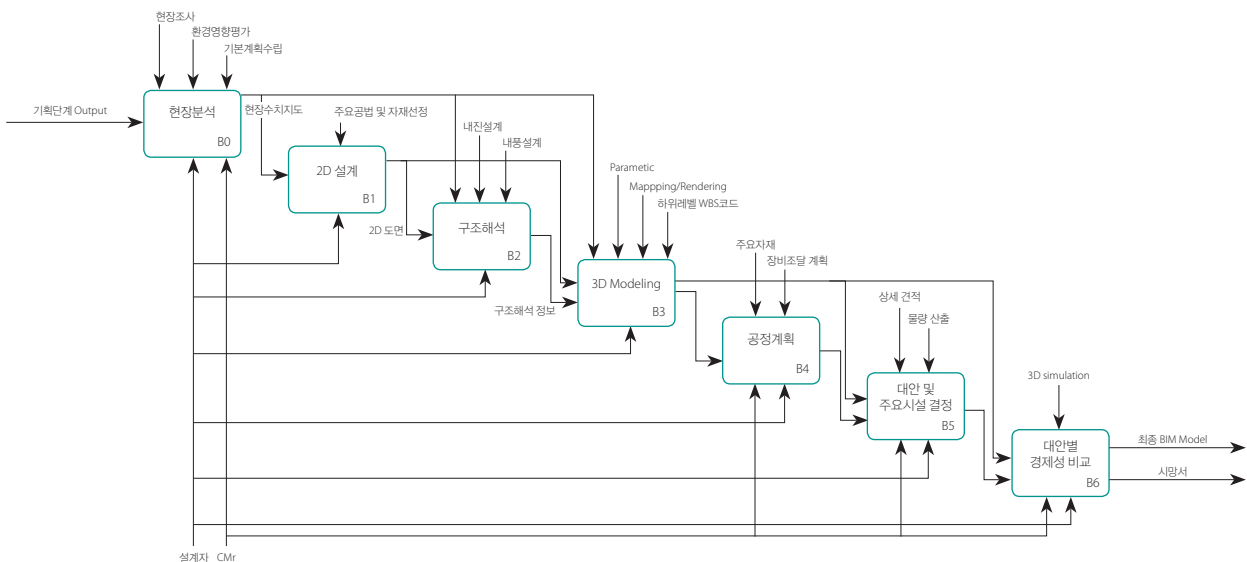
[그림 4] BIM기반 설계단계업무 프로세스

다. 교량 공사의 경우, 기본계획은 교량의 연장, 시간분할, 지지 지반의 선정, 가설 공법 등을 말한다. 그리고 수립된 기본계획의 현장 수치 정보를 통해 기획단계에서 지형 3D 모델을 보완하거나, 새로운 지형 3D 모델을 구축한다.

두 번째 단계에서는 발주자의 요구사항, 유사 프로젝트 수행사례의 설계데이터를 바탕으로 설계자는 2D 및 3D 설계를 한다. 그리고 도면 설계 시에는 공사 조건에 맞는 주요 공법과 자재선정을 고려하여 작성한다.

세 번째 단계에서는 앞서 2D 및 3D로 설계된 도면을 맵핑과 랜더링 기술을 이용하여 BIM 기반 3D 객체로 생성한다. 3D 객체는 파라메트릭기반의 특성을 부여함으로써 모델링 할 때 마다 구속 조건과 치수 등을 설정하여 설계 의도를 반영해야하는 번거로움을 없애고 설계 변경 시 간단한 치수 입력 및 수정만으로 모델의 손쉬운 변경이 가능하다. 또한 생성된 3D 객체에 하위 WBS (Work Breakdown Structure) 코드를 부여함으로써 레벨 등급에 따른 프로젝트 체계를 한눈에 알아볼 수 있다.

네 번째 단계에서는 공정계획을 수립하기 위해 3D 객체, WBS코드 및 일정정보를 연계함으로써 주요 공법별 공기를 분석한다. 연계 방식은



[그림 5] 설계단계 BIM 프로세스 업무 상관도

WBS코드와 3D 객체 명을 동일하게 구성함으로써 자동으로 연계된다. 이를 통해 주공정의 손쉬운 분석이 가능하고, 일별, 주별 및 월별 등의 기간 설정을 통해 단위 공정계획을 수립할 수 있다. 또한 주요 장비 및 자재 정보와의 연계를 통해 공사 장비 및 주요 자재 조달 계획을 수립할 수 있다.

다섯 번째 단계에서는 3D 객체의 속성정보에 자재 종류 및 수치 등을 입력하여 물량 및 공사비를 도출한다. 또한 물량 산출 및 공사비 도출은 3D 객체, WBS와 일정 연계에 의해서 총 물량 및 공사비는 물론 객체별, 공정별, 일정에 따라 정확하게 물량과 공사비를 도출할 수 있다. 이를 통해 정확한 물량 및 공사비 투자계획을 수립할 수 있다.

여섯 번째 단계에서는 BIM 모델을 통해 설계 오류를 검토 및 수정하여 시방서를 도출한다. 설계 오류 검토는 3D 객체의 시뮬레이션을 이용하여 시각적으로 공정 및 일정간의 간섭을 체크할 수 있다. 즉 간섭이 발생한 부위에 특정 색상으로 나타나게 함으로써 시각적으로 구별할 수 있다.

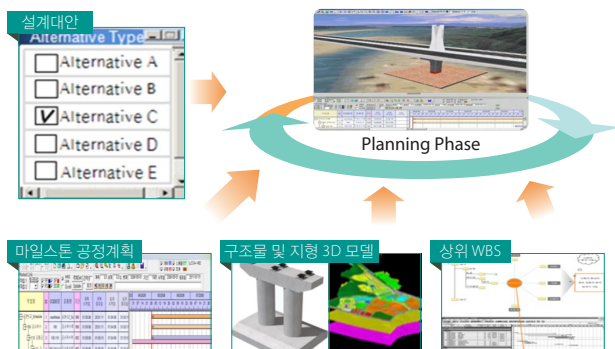
이와 같은 과정을 통해 완성된 BIM 모델은 기존의 복잡하고 중복된 정보교환에서 벗어나 BIM DB를 중심으로 3D 객체 기반의 통합 정보 관리 환경을 제공할 수 있다. 즉, 발주자, 설계자, 시공자, 하청업체들 간의 즉각적인 정보 교환이 가능한 통합된 환경을 제공하여 적시에 정확한 의사결정을 가능하게 함으로써 공기 단축 및 비용의 절감이라는 효과를 가져 올 수 있다.

#### 4. 기획 및 설계단계 BIM 시스템 적용 사례

본 연구에서는 토목공사의 기획단계 및 설계단계에 활용한 BIM 적용 시스템 시안을 구축하였다. 연구에서 구축된 시스템은 메인메뉴상에서 기획 및 설계단계의 기능이 독자적으로 수행될 수 있다. 본 장에서는 개발된 시스템의 기능을 교량 공사를 대상으로 적용함으로써 실무 적용성을 검증한다. 모든 기능에 적용되는 3D객체는 Autocad 또는 Microstation 등에서 작성된 객체들이며, 본 시스템에서는 이들 외부 객체들을 자체 변환하여 활용하는 기능을 갖고 있다.

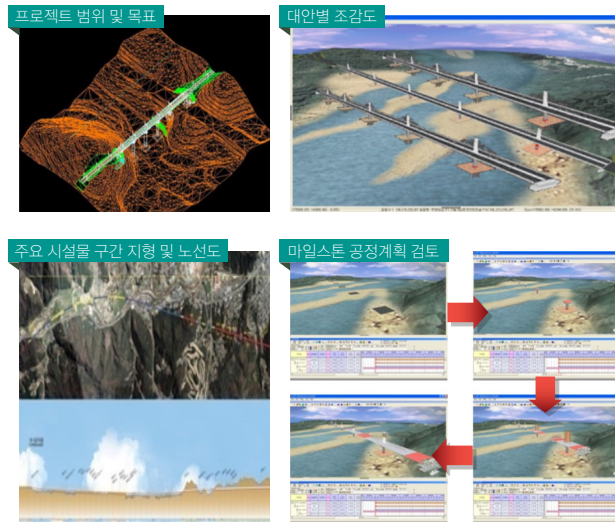
##### 4.1 교량공사 기획단계에서의 시스템 적용

기획단계에서의 데이터 구성은 그림 6과 같이 개념적인 계획이 수립되었다는 가정 하에 구조물 및 공사 현장 지형을 3D 형상 모델로 구



[그림 6] 기획단계 업무의 BIM 데이터 구성

축하였다. 앞서 기획단계에 명시한 업무들을 수행하기 위해서 개략적 공정검토를 위한 월별 및 년별 단위의 대략적인 마일스톤 공정계획 정보와 상위 레벨로만 구성된 WBS 정보를 입력하였다. 3D 지형 형상 모델은 Autodesk의 3D MAX로 구성하여 사용하였으며, 마일스톤 공정 및 WBS은 본 연구진이 자체적으로 개발한 'Schedule Modeler'와 'WBS Generator'를 통해 생성하였다. 공사일정 정보는 외부의 MS Project 또는 P3 파일을 공유할 수도 있다.



[그림 7] 기획 단계의 BIM 시스템 적용사례

그림 7은 입력된 데이터 정보로부터 수행된 결과를 나타낸다. 그림 7과 같이 발주자는 지형 및 구조물의 3D 형상 모델로부터 구조물의 위치, 외관, 지형의 형상 등을 시각적으로 파악함으로써 프로젝트의 범위와 목표를 파악할 수 있다. 또한, 주요 시설물 구간의 지형 및 노선도를 통해 지형의 개략적인 성·절도 및 주변 노선을 3D형태로 고려한 교량의 최적방안을 확인할 수 있다. 그리고 대안별 조감도기능에서는 사용자가 교량의 형식 및 위치 변경이 가능함으로써 다양한 대안 설계안을 3D기반으로 나타내어 시각적으로 비교 및 검토가 가능하다.

마일스톤 공정에 따른 공정계획 검토는 4D 시뮬레이션을 통해 6개월 또는 1년 단위로 공사 진행 상황을 시각적으로 제공한다. 그림 7과 같이 6개월 단위로 교량이 완성되는 모습을 발주자에게 제공함으로써 보다 정확한 공사기획 정보를 제공할 수 있다. 이에 따라 발주자는 기획단계에서부터 교량의 기능적인 면, 형태 및 규모 뿐 아니라 질감 및 색채를 고려한 교량의 시각적 가치, 지역의 자연환경과의 조화 등의 다양한 공사 정보를 파악함으로써 최적의 사업계획서를 선정할 수 있다.

##### 4.2 교량공사 설계단계에서의 시스템 적용

앞서 기술된 BIM기반 설계단계 업무들을 위한 BIM 데이터 구성은 그림 8과 같다. 설계단계에서는 기획단계에서 입력된 정보들로 구축된 3D 형상 모델에 다양한 속성 정보값을 입력함으로써 BIM모델을 생성한다. 먼저 'WBS Generator'를 통해 교량 공사의 WBS를 세분화하여 구성하고, 각각의 공정에 해당하는 3D모델을 생성하였다. 그리고 기

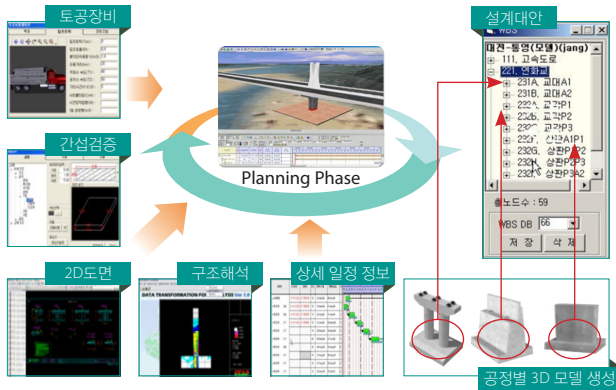


그림 8) 설계단계 업무의 BIM 데이터 구성

존의 마일스톤 공정계획을 일별 단위로 관리할 수 있도록 ‘Schedule Modeler’를 통해 공정일정을 보완하였다. 본 연구에서 구축한 BIM시스템은 모든 정보를 WBS코드를 중심으로 연동하므로, 시스템에 해당 공사의 WBS코드를 DB에 사전에 정장해 놓았으며, 이러한 WBS는 트리(Tree) 또는 환상의 시각적 고리형태로 화면상에 나타내게 된다.

설계단계의 기본적 업무는 주요 부위별 2D, 3D도면 해석이며, 부위별 3D객체 해석을 통한 간섭검증 등도 주요 업무들이 된다. 그림 9과 같이 교량의 교각, 상판 등의 구조물의 상세설계는 구조해석 정보와 연계하여 안정성을 고려할 수 있으며, 또한 2D 설계의 평면도, 정면도, 측면도 등의 도면 산출이 가능하다. 그리고 기본 설계안 또는 유사한 다른 구조물을 생성할 경우에는 추가적인 3D 모델링 작업 없이 파라미터 기반의 3D 객체 생성 기능을 활용하여 그림과 같이 교각과 기초를 가로, 세로, 높이 등의 일정한 변수 값 입력만으로 객체를 생성할 수 있다.

BIM의 3D 객체는 주요 장비, 자재의 조달 계획을 고려한 교각의 거푸집 제작, 철근 조립, 콘크리트 타설 등의 일정 정보를 포함할 수 있

다. 따라서 일정에 따라 생성된 공정으로부터 주 공정을 파악할 수 있으며, 정확한 공정별 공사비 내역정보 등을 파악할 수 있다. 세분화된 WBS 및 공정 일정에 따라 공정별 수순에 따른 설계 오류 및 공정 간의 간섭뿐만 아니라 일정에 따른 설계 오류 및 간섭은 4D 시뮬레이션으로 파악할 수 있다. 또한 토공작업등에 대해서도 3D객체기반으로 성·절토 상태를 분석하여 최적 토공설계안의 도출이 가능하게 된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 토목공사의 기획 및 설계단계에서 BIM을 효율적으로 활용할 수 있도록 BIM 적용 프로세스를 제시하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 기획단계에서 BIM을 통해 대안별 조감도, 개략 일정 및 공사비 산정 등의 보다 상세한 프로젝트 정보를 사용자에게 제공할 수 있도록 구성하였다. 이를 통해 기존의 통상적 기획단계 업무에서 시공단계 등을 고려한 보다 능동적인 기획업무의 정보처리가 가능해지고, 생애주기를 고려한 실용적인 프로젝트 기획이 가능하게 할 수 있다.
- 2) 설계단계에서 BIM을 통해 구조물의 상세설계부터 시각적 시뮬레이션을 통한 설계 오류 검토 기능 등을 제시함으로써 효율적으로 BIM 설계안을 구성할 수 있도록 하였다. 또한 BIM의 속성정보를 통해 정확한 공사비 및 물량 산출과 설계대안 검증업무 등의 시행이 가능함을 제시하였다. 또한 연구에서는 제시한 BIM 프로세스를 기반으로 시스템을 구축하고, 이를 교량공사를 대상으로 사례 적용함으로써 시스템의 활용성을 부분적으로 검증하였다.

본 연구는 향후 BIM관련 어플리케이션의 개발과 통합된 정보관리한 경 구축을 위한 기초자료로서 활용성이 있을 것으로 기대된다.

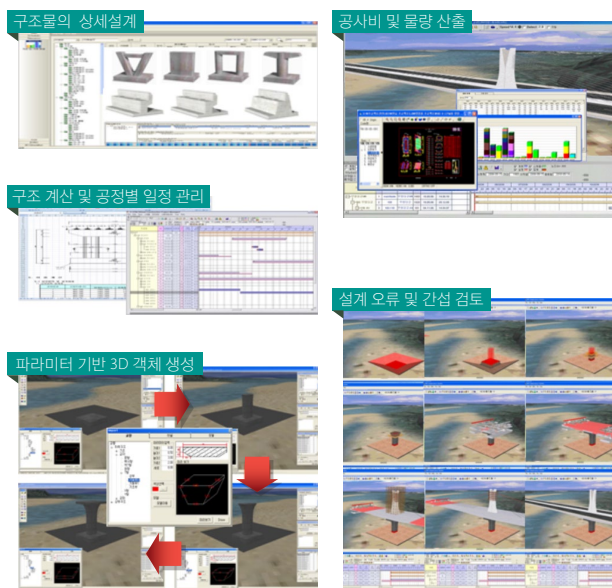


그림 9) 설계 단계의 BIM 시스템 적용사례

### 감사의 글

본 연구는 건설기술혁신사업(과제 번호:06첨단융합E01)의 지원으로 이루어진 것으로, 본 연구를 가능케 한 국토해양부 및 한국 건설교통평가원에 감사드립니다.

### 참고문헌

강인석, 문현석, 박서영 (2008), “건설공사 진행단계별 4D CAD시스템의 적용방법론 및 프로세스 모델 구성”, 대한건축학회 논문집, 제24권, 제7호, pp. 127-134.

강인석, 지상복 (2006), “토목시설물 공사관리 시각화를 위한 4D시스템 적용방안”, 대한토목학회 논문집, 제26권, 제1D호, pp. 95-103.

이상헌 (2007), “국내 AEC산업의 BIM적용에 대한 연구”, 경희대 대학원 석사학위논문.

조재근, 전한중 (2007), “BIM을 적용한 초등학교 설계에 관한 연구”, 한국교육시설회지, 제14권, 제3호, pp. 5 -16.

원종성, 이정주, 이강 (2008), “BIM 협업 조직 및 정보관리 방식에 관한 사례연구”, 대한건축학회 논문집, 제24권, 제8호, pp. 25-32.

James, D. G. and Pavan, M. (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.

---

### Abstract

Due to the characteristics of 3D objects of building construction projects which have regular, vertical and repetitive shapes, the most practical utilization of BIM in the country is focused on building projects. The characteristics of 3D objects of civil engineering project have irregular, horizontal and non-repetitive shapes. Therefore, consisting of a practical BIM model is difficult comparing with building project. This study suggests an application process of BIM for the planning and design phases for civil engineering project. A BIM system is developed based on suggested BIM process and it is verified through a bridge construction project.

Keywords : BIM for civil engineering project, 4D CAD, Planning phase, Design phase

---