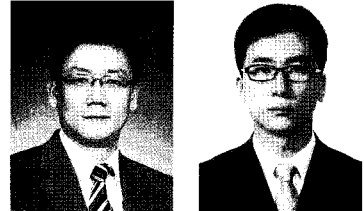


# KICFEM

## 토목공사 분야 BIM(Building Information Modeling) 활용 현황 및 적용 방안

강인석 경상대학교 토목공학과 교수  
 문현석 Teesside University, CCIR, Senior Researcher



### 1. 토목분야 BIM 개요

3차원 설계의 효율성 확대와 함께 BIM(Building Information Modeling)은 빠르게 보급되고 있으며, 국토해양부 등에서는 토목공사분야에도 BIM을 적용하는 방안을 검토하고 있다. 최근 대형 국책사업으로 추진 중에 있는 '4대강살리기 사업'에서는 보 구조물이 포함되는 일부 구간에 대하여 실시설계적격자가 공정과 연계한 3차원 시뮬레이션(Simulation)을 하도록 하는 사항이 입찰안내서에 포함되어 있다. 이른바 BIM환경에서 3D객체에 연동될 수 있는 4D CAD 활용이 국책 토목사업에 포함된 최초의 사례로 평가될 수 있다.

국내에서 BIM의 적용 추세는 대부분 건축물공사를 대상으로 이루어지고 있고, 광역 현장 및 비정형의 토공(Earthwork)을 포함한 수평적 작업 중심인 토목 시설물의 BIM 적용에는 제약이 있다.

건축분야는 디자인 및 설계 중심의 산업 특성으로 인해 보편적인 인식을 가질 수 있는 환경 조성이 마련된 반면, 토목분야는 설계단계보다는 시공 측면의 산업구조로 인하여 BIM의 인식확산 및 실무 도입에 많은 제약요인들이 있다. 그러나 토목 구조물의 설계시에도 구조해석 등의 엔지니어링 요소를 포함한 설계정보의 검토와 분석기법을 통한 기술적 피드백이 요구되고 있다. 또한 설계정보의 검토를 통해 공정 간섭 및 공기 지연 요소를 사전에 분석하여 설계와 시공을 일치시킬 수 있도록 하는 프로세스 기반의 통합 정보체계 구축(토목 BIM)이 요구되는 시점이다.

이와 같이 토목 BIM은 토목공사 생애주기(기획, 설계, 시공, 유지관리)에 걸쳐 발생하는 정보를 통합 및 관리하고, 수정된 정보의 갱신에 따라 연관된 프로세스 정보들이 일괄적

으로 재생산, 공유, 교환, 재배포 될 수 있는 3차원기반 정보 운용환경을 의미한다.

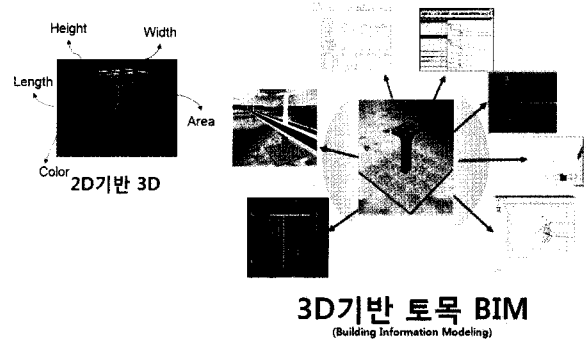


그림 1. 토목공사 BIM 구성 개요도

그림 1에서 좌측에 표현된 기존의 3D객체는 형상정보만을 갖고 있으므로, 교각의 CAD객체가 표현할 수 있는 정보는 높이, 폭, 색상, 면적 등이 되며, 이러한 정보는 설계도면 표현에는 유용하나 생애주기 정보로 활용성은 갖지 못한다. 이러한 객체가 BIM기반으로 되면 우측그림에서와 같이 동일한 교각의 3D객체에 구조해석, 공사일정, 공정시뮬레이션, 공사비 정보 등을 연동하여 표현하게 되므로, 공사 생애주기 동안 통합 관리적 정보로 활용성을 갖게 되는 것이다.

건축공사와 토목공사 모두 BIM의 활용은 프로젝트 생애주기 정보의 통합관리가 목적이다. 미묘한 차이점은 건축공사에서의 BIM은 전통적인 설계 프로세스에 중점을 두고 있는 반면에, 토목공사에서의 BIM은 설계 프로세스의 지원과 동시에 시공 프로세스 지원도 강화되어야 실무적 활용성을 갖을 수 있다는 점이다.

## 2. CAD와 BIM

이러한 BIM 체계는 기본적인 3차원 CAD정보외에 4D CAD 환경에서 비용(5D)과 자원(6D) 등의 정보를 연동한 nD CAD 객체들이 연동되어 공사관리의 핵심요소로도 활용될 수 있다. 즉, 공정, 비용, 자원관리 등의 공사관리 정보들이 3D CAD객체와 연동되어 시각적으로 관리되는 것이다.

기본적으로 BIM의 활용은 3차원 객체기반이므로 설계객체의 CAD화 기술 정도가 중요한 요소가 된다. 현재의 CAD 기술은 3D, 4D, nD 등의 시각적 요소 중심이나, 향후 이러한 CAD기술은 시각적 정보에 오감(Five Senses)이 연계되어 차세대 개념의 CAD기술로 발전할 것이다.

오감 중에서 현재 시도되고 있는 것이 그림 2에서와 같이 청각 정보를 부가하여 현실감을 증대시킬 수 있는 Audio+CAD (이하 가칭 AudiCAD로 표현)를 구성함으로써 설계 오류 및 현장 프로젝트 관리를 위한 비시각적 정보의 인식기능을 확장시킬 수 있다. 이러한 개념이 시공에 적용되면 백호우 굴착작업의 시뮬레이션 VR화면 가동시에 백호 가동소리를 연동시켜 현장감을 극대화할 수 있는 것이다.

그림 2에서는 현재의 문자형태 도구인 워드프로세서(Word Processor)가 그림형태 도구인 CAD와 통합되어 사용될 수 있는 WorCAD라는 도구가 향후 출현될 수 있음을 표현하고 있다. 이러한 CAD의 기능 발전은 BIM의 실무 적용 정도와 비례할 수 있다.

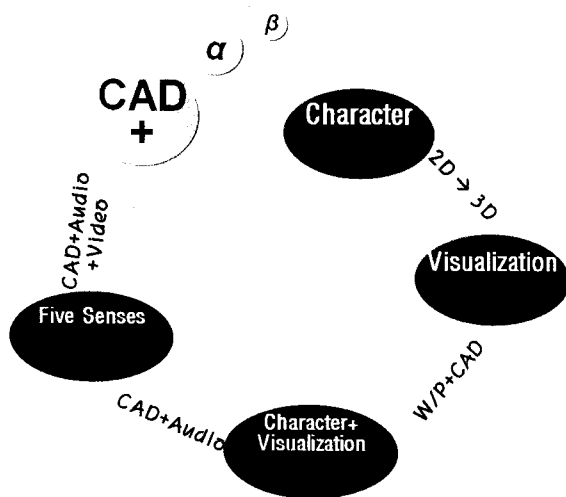


그림 2. CAD 도구의 발전 개념도

토목공사에 적용하는 BIM의 궁극적인 목적은 이러한 CAD 환경에서 다양한 형태의 프로젝트 생애주기 정보를 시

각화(Visualization), 현실화(Realization), 전자화(Digitization)시키는 환경을 구축하는 것이다.

## 3. 토목분야 국내외 BIM 적용 현황

토목공사 분야의 BIM 적용은 건축분야와 달리 기초적 수준에 머물러 있다. 기존 해외 프로젝트 중심의 토목 BIM은 확장된 개념의 BIM이 아닌 일부 기능을 통한 시각적 분석에 치중하고 있다. BIM 개념은 아니지만 국내 토목의 유사한 적용사례로는 호남고속철도와 경부고속철도 2단계 등에 철도시설물 설계를 위한 3D 설계지침을 기반으로 3차원 설계를 시도하고 있는 부분이다. 또한 최근 세종시 건설을 위해 도로 및 철도 등의 인프라 및 지하구조물 건설에 GIS 기반의 3차원 설계를 적용할 예정에 있다. 인천대교 및 두바이 교량 프로젝트 등에 3D 기반의 DMU(Digital Mock-up)가 적용된 부분적 BIM 설계를 시범적으로 도입하여 공공간섭 및 시공성 검증에 효과를 확인하고 있다. 이와 같이 초기의 BIM을 적용하는 범위는 공공간섭 검토 등의 기초적인 수준에 머물고 있다.

그림 3은 도로 기하요소 등이 도로설계의 주요한 안전성 평가 파라미터를 충족하는지를 판단하기 위해 RDB시스템의 Rapid Road Safety Analyzer에 적용된 BIM 사례<sup>1)</sup>를 나타낸 것이다. 이는 AutoCAD Civil 3D 기반에서 작성된 도로설계 정보 모델을 포함하고 있으며, 도로 설계시 거리, 시거, 경사, 표고, 설계속도 등의 설계 기하정보들이 설계 기준에 적합한지를 평가하기 위해 BIM을 적용하고 있다.

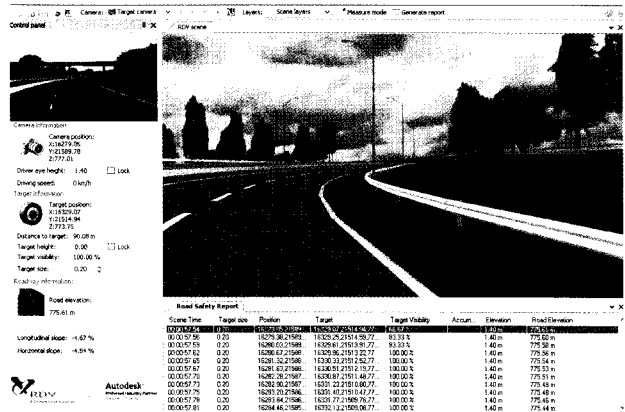


그림 3. 미국 토목 BIM 활용 사례<sup>1)</sup>

1) Adam Strafaci, CE NEWS: What does BIM mean for civil engineers, www. cenews.com, Autodesk, 2008, p64

이러한 도로설계정보의 안전성 분석 외에도 설계정보의 부정확한 오류나 간섭검증을 위해 시공성 분석과정에 BIM을 적용하고 있는 것으로 나타났다. 또한 미국의 WisDOT (The Wisconsin Department of Transportation)에서는 도로설계, 지형정보 관리, 교통용량, 소음, 경관, 배수 분석 등을 위해 Civil 3D를 활용한 BIM을 적용하고 있다.

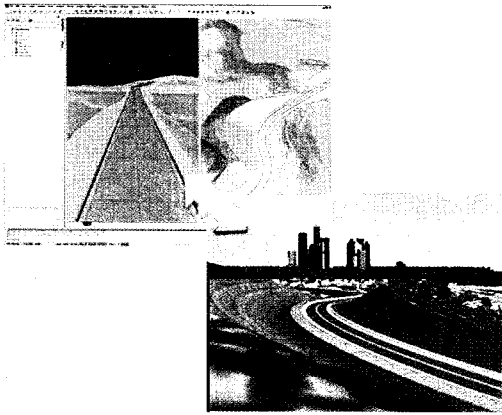


그림 4. Civil 3D와 UC-win/Road 통합\*

이와 같이 토목 BIM을 구현하는데 활용되는 대표적인 상용 프로그램은 미국 Autodesk사의 Civil 3D<sup>2)</sup>, 일본 FORUM8의 UC-win/Road, Bentley의 GEOPAK/InRoads/MXROAD와 핀란드 Tekla의 XStreet 등이 있다. 이들은 도로의 설계과정을 위해 지형정보 생성, 구조물 3차원 설계 및 시각화 분석 기능을 지원하며, 특히 Autodesk Civil 3D의 경우 Google Earth에서 토목 구조물 설계를 위해 지형정보의 생성 및 객체 모델의 상호 교환을 지원한다. 이러한 기능은 지형정보를 상호 공유함으로써 프로젝트의 타당성 검토나 설계단계에서 매우 유용하며, 자료를 구하기 어려운 해외 프로젝트의 경우 해당 현장 위치의 지형적 환경 등의 개략적 검토가 가능하다.

#### 4. 토목공사 프로젝트 단계별 BIM 활용 기능

##### 1) 기획단계

토목분야 기획단계 BIM 활용 기능은 주로 타당성 검토,

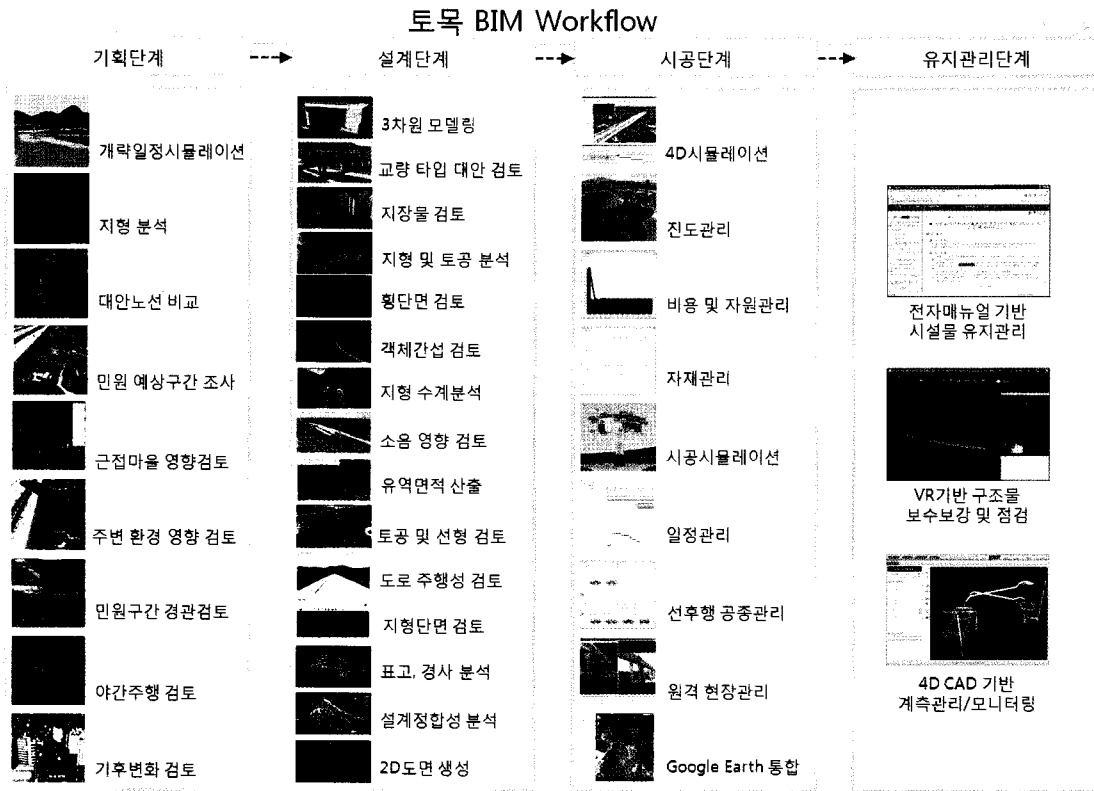


그림 5. 토목공사 프로젝트 단계별 BIM 적용 기능

2) AUTODESK, <http://www.autodesk.com>, 2009

3) FORUM8, <http://www.forum8.co.jp>, 2009

주변 환경성 평가 및 교통영향 분석 등의 업무를 지원하는 기능으로 구성된다. 이러한 기능으로는 그림 5에 나타난 바와 같이 3차원 지형정보 생성에 의한 지형분석 기능, 3차원 형상 모델을 기반으로 하는 개략일정 시물레이션 기능, 구조물 배치 및 경관 계획 시물레이션 기능, 대안 검토 및 선정 시물레이션 기능과 주변 환경평가 시물레이션 기능 등이 구성될 수 있다.

## 2) 설계단계

설계단계 BIM 활용의 기본 기능은 구조해석정보와 공사비 정보 등을 설계 객체 부위별로 관리할 수 있는 기능이다. 이러한 기본적인 활용 외에도 지하시설물 시각화 검토 기능, 지형의 표고, 경사, 수계 분석 및 토공 시각화 분석 기능이 구현될 수 있다. 또한 객체의 설계 오류, 간섭, 위치 등을 파악하기 위해 횡단면 검토 및 객체 간섭검증 기능이 활용된다.

이와 같이 설계정보의 기하요소를 확인하기 위해 입의의 단면/거리/깊이/경사/표고 분석과 도로/교량 등의 선형 및 타입의 대안 검토, 유역면적 산출 등의 기능이 구현될 수 있다. 특히 토목공사는 토공과 직접 연관되므로, 토공의 성/절토 상태를 시각적으로 분석할 수 있는 기능과 완성된 3차원 모델의 설계통합성 분석 기능이 적용될 수 있다. 이와 같이 주변 환경과의 적합성을 판단할 수 있으며, 3차원 모델로부터 요구 단면을 추출하여 상세한 2D 도면을 생성할 수 있는 기능이 구성될 수 있다. 이러한 설계정보가 완성되면 각 공종을 구성하고 WBS 코드와 연계하여 계획 공정표를 생성하게 된다. 이와 같이 생성 완료된 3차원 모델은 시공단계에서 광역 현장의 다중 프로젝트 및 구조물 관리가 가능하도록 Google Earth의 지형정보와 통합하여 설계단계 BIM 구현을 위한 다차원 카드 기반의 시물레이션 체계를 구현할 수 있다(그림 6).

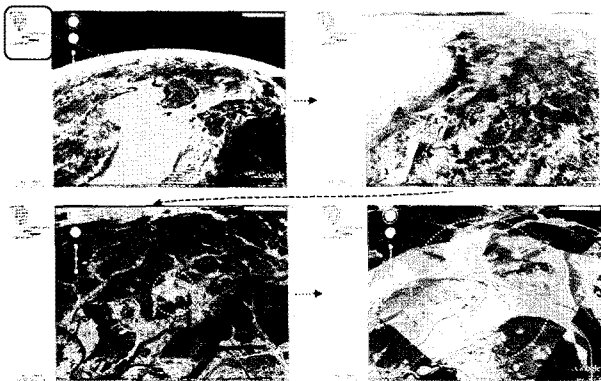


그림 6. 교량 3D 모델의 Google Earth 통합 및 관리\*

이러한 설계정보의 생성을 위한 지원 기능으로서 각 기능들이 개별 프로세스를 위한 단일 시물레이션 기능으로 통합되어야 하며, 동일한 시스템 환경 내에서 통합 구성됨이 바람직하다. 특히 이러한 기능을 구현하기 위해서는 상세 수준의 설계정보를 표현하는 파라메트릭 정보 기반의 모델 구성과 프로세스를 구조화할 수 있어야 한다.

## 3) 시공단계

시공단계에서는 설계단계에 생성된 3차원 모델을 바탕으로 일정정보와 연계하여 순차적 객체 구현이 가능한 4D 시물레이션 기능이 기본적으로 활용될 수 있다. 이를 토대로 계획대비 실적의 진도관리 시각화 검토 기능과 비용(5D)과 자원(6D)의 다차원 정보 분석 기능, 시공 조립 시물레이션 및 일정관리 기능을 활용할 수 있다. 이러한 기능들은 Google Earth의 지형정보 기반에서 운영될 수도 있으므로 다중 프로젝트 현장의 통합 공사관리가 가능하다. 또한 하드웨어와 연동된 원격 현장 관리를 위한 Telepresence 기능, HMD(Head Mount Display)에 의한 AR(Augment Reality) 연동 기능 및 RFID와 연동된 현장 시공정보 관리 기능이 동시에 구성될 수 있다. 이외에도 시공단계에는 BIM의 기본적 정보인 일정, 공사비, 도면정보 등이 연동되어 활용될 수 있다.

## 4) 유지관리단계

유지관리단계의 BIM 지원 기능은 기획, 설계, 시공단계에서 도출된 시각화 정보들이 표준화된 XML 전자문서 기반의 전자매뉴얼로 연동되는 기능들이 구성될 수 있다. 이를 통해 구조물의 유지관리 이력정보 등이 3D객체와 연동되어 소요 정보를 제공할 수 있다. 또한 손상부위의 확인과 VR 시물레이션 기반의 보수보강 및 점검 관리정보를 제공할 수 있으며, 4D CAD 환경에서 실적 기반의 계측 정보 관리 기능도 구현될 수 있다.

## 5. 토목공사 BIM구현을 위한 활성화 방안

현재 건축공사 위주로 적용되고 있는 BIM을 토목공사에 활용하기 위해서는 토목공사 설계환경이 3D CAD 기반으로 조성되어야 하며, 이를 위해서는 다음 사항의 실행이 필요하다.

4) GEONT, <http://www.geont.co.kr/googleweb>, 2009

1) 토목공사 3D 설계지침 구성

토목분야 2D 설계가 보편화된 것은 관련 설계지침이 구성된 이후였으며, 3D기반 설계가 활성화되기 위해서도 각 기관별 보편적으로 적용 가능한 3D 설계지침이 우선적으로 구성될 필요가 있다. 이러한 3D 설계지침에는 형상도면 외에 구조해석, 시뮬레이션, 적산정보 등의 3D연동 지침이 포함되어야 BIM과 연계될 수 있다. 현재 건설교통기술평가원 가상건설연구단에서는 이러한 3차원 설계지침을 구성 중에 있다(그림 7).

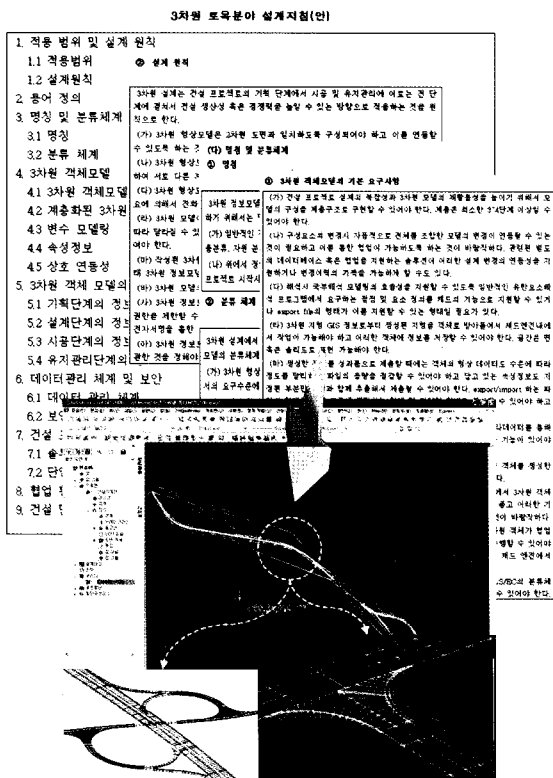


그림 7. 3차원 토목 설계지침 구성도 예<sup>6)</sup>

2) 3D설계 객체 데이터베이스 구축

3D설계에서 부위별 3D객체 구성은 가장 많은 품과 시간을 요하며, 3D설계 환경 확산의 장애요인이 되기도 한다. 이러한 3D객체 구성에 요하는 시간을 감소시키기 위해서는 기본적인 토목 부위별 3D객체가 표준적으로 구성되어 있을 필요가 있다. 사용자는 이러한 3D DB(Database)를 이용하여 설계 부위별 3D객체 구성을 용이하게 할 수 있도록 해야 한다.

그림 8은 교각의 3차원 모델링을 위해 데이터베이스에 내장된 교각의 각 부위별 WBS 선택을 통해 해당 부위의 속성

을 입력함으로써 3차원 교각을 간편히 구성하는 과정을 표현한 것이다. 우선 교량 하부의 기초, 교각, 교대를 각각 선택하고 형상의 기하요소를 입력하면 해당 모델이 정의된 형상에 따라 자동 생성되어 각 부위별 후속위치에 배치된다. 이들 객체 정보들은 파라미터의 기하요소를 이용하므로 하나의 속성을 변경하게 되면, 시뮬레이션 화면에 구성된 3차원 모델의 연관정보들도 동시에 변경되어 BIM의 파라메트릭 모델링 요구사항을 반영할 수 있다.

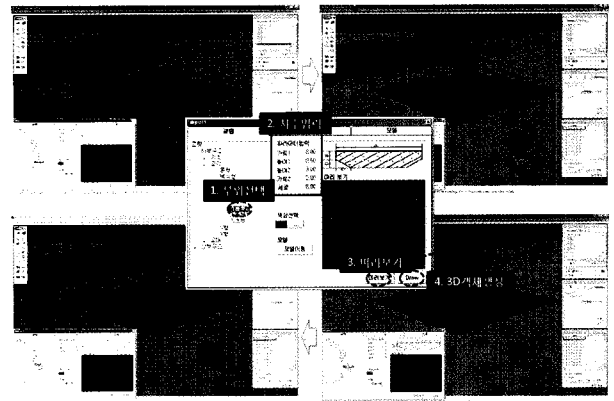


그림 8. 3D객체 내장 DB에 의한 간편화된 설계도 구성

3) 토목분야 3D 표준도의 구성과 보급

2D 개념의 설계 표준도에 의해 2D 설계가 보편화되고 있듯이, 토목공사 주요 구조물별 3D 표준도의 구성과 보급이 필요하다. 이러한 표준도 개념은 3D객체 구성에 요하는 품과 설계 변경시 3D설계 과정을 대폭 감소시킬 수 있다.

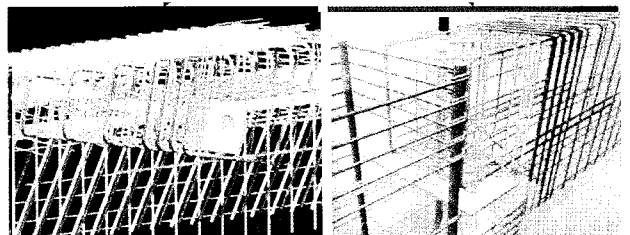
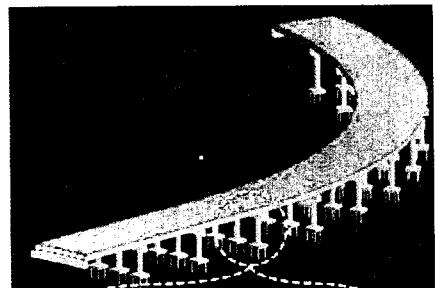


그림 9. 토목 3D설계 표준도 개념<sup>7)</sup>

5) 가상건설연구단, 2차년도 연구보고서, 건설교통기술평가원, 2008

6) Bentley, <http://www.bentley.com>, 2009

7) TEKLA, <http://www.tekla.com>, 2009

4) 토목 3D설계 객체의 호환성 확보 도구 구축

현재 IAI (International Alliance for Interoperability) 에서 STEP (Standard for the Exchange of Product Data Model)과 IFC (Industry Foundation Classes) 등으로 토목 시설물의 3D설계 객체간 호환성 확보를 시도하고 있고, 건설 분야에 적용 가능한 호환코드의 구성은 IFC를 중심으로 구성되고 있다. 그러나 IFC 코드 구성 역시 건축공사 구조물 위주로 구성되어 있으므로 현재 시점에서 토목공사 적용은 곤란한 실정이다.

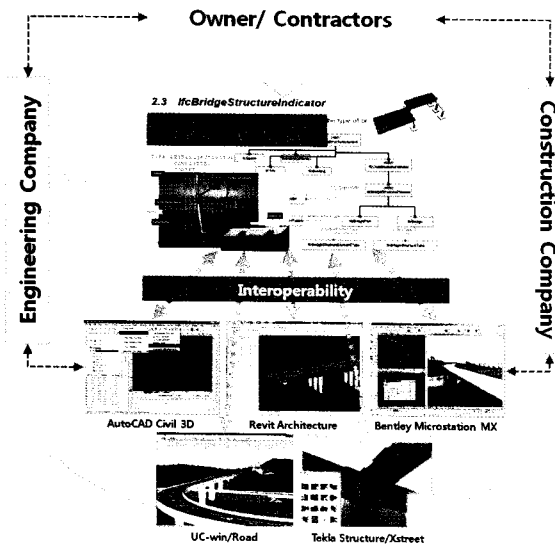


그림 10. 3D 객체 호환성 확보 도구 구성

2.6 IfcBridgePart

An IfcBridgePart element is a sub-part of a bridge with a specific structure type and technological type.

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcBridgePart
SUBTYPE OF (IfcBridgeStructureElement);
StructureElementType : IfcBridgeStructureElementType;
TechnoElementType : IfcBridgeTechnologicalElementType;
END_ENTITY;
```

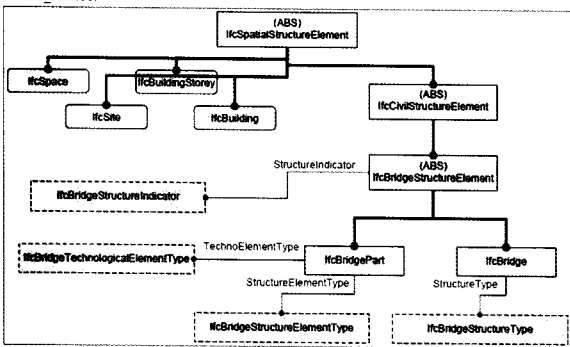


그림 11. EXPRESS-G : Spatial Structure Elements®

토목공사 적용을 위한 IFC 코드는 교량 IFC객체가 일부 해외 프로젝트(Milau Bridge, 2006)에 활용된 사례(그림 11)8)가 있으나 현재까지 실무적 적용은 곤란한 상태이며, 국내 가상건설연구단 등에서 한국형 IFC (K-IFC)등의 개발을 시도하고 있으나 건축공사에 치중되어 있다.

토목공사는 자연지형을 대상으로 하는 토목공사가 많은 부분으로 포함되며, 특히 교량, 터널, 댐, 항만 등의 객체간 시설물 모양이 상이한 구조물들로 구성되므로 그만큼 표준화된 호환성 코드 구성이 어려운 부분이다.

5) 2D객체의 3D변환 도구 구축

3D객체 구성작업을 간편화 시킬 수 있는 방법으로, 기존 2D객체에 높이, 폭, 직경 등의 간단한 제원만 입력하면 3D객체가 생성되는 간편화된 변환도구가 보편화되어야 한다. 이러한 파라미터 정보에 의한 모델링 방식은 모델 연관요소들의 동시 수정 및 업데이트가 가능해진다. 이러한 도구들은 다양한 기관에서 개발 중에 있으므로 조만간 가시적인 성과가 기대되고 있다.

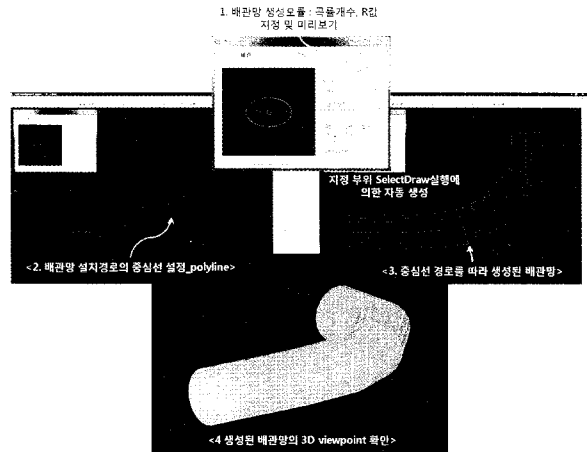


그림 12. 2D객체의 3D변환 도구 시연(배관망)

그림 12는 플랜트 배관의 간단한 제원 (길이, 직경 등) 입력만으로 3D 배관 모델이 자동 생성되는 과정을 구성한 화면이다. 이는 2D 기반에서 배관망의 형상을 속성 값으로 정의하고 배관망이 설치될 경우 평면상에서 경로를 정의함으로써 경로를 중심으로 하는 3D 배관 모델이 자동 생성될 수 있다. 이와 같이 BIM 구성을 위해서는 개별 3D 객체의 간편화된 구성방법이 요구되며, 제시된 객체 구성 방법을 통해 기초적인 형상의 3차원 모델을 신속하게 생성할 수 있는 체계를 마련하게 된다.

8) IAI, <http://www.iai-tech.org>, IFC-BRIDGE V2 Data Model, 2007

6) BIM기반 설계/시공을 위한 CAD 활용 환경의 확대

일반 3D설계 객체는 형상정보만을 갖고 있으나, BIM 기반 3D설계 객체는 각종 속성정보를 연동하여 구성된다. 이러한 속성정보에는 공사일정 정보와 일정이 3D와 연계된 4D객체 등이 포함된다. 즉, BIM의 활용은 하나의 객체에서 이러한 4D 시뮬레이션과 적산, 구조해석정보 등을 통합하여 관리하므로 차세대 설계 패러다임이 되고 있는 것이다. 그림 13은 기획부터 유지관리단계까지 BIM활용이 가능한 CAD 관련 정보들을 표현한 것이다. 이러한 다양한 CAD정보들이 프로젝트 수행단계별로 실무적으로 활용되도록 하는 환경조성이 필요한 부분이다.

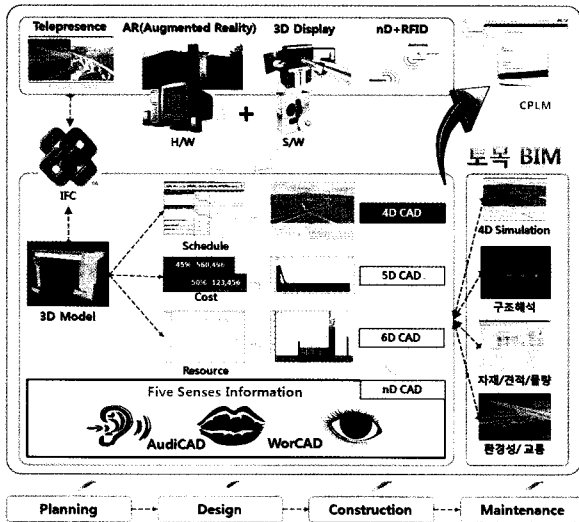


그림 13. 토목분야 4D CAD 객체의 BIM 연동

즉, 토목공사 BIM의 활용성을 확보하기 위해서는 기존의 형상정보 위주인 3D 모델의 구성 외에 시공단계 4D객체 활용 등에 대한 환경 조성이 필요하며, 이러한 환경이 선행되어야 BIM의 활용성이 극대화될 수 있을 것이다.

7. 결론

본 고에서는 토목분야의 BIM 개요와 BIM 활용 현황을 살펴보고, 향후 토목분야 BIM 활성화를 위한 개선방안을 제안하였다. 토목 BIM의 적용에 대한 연구는 일부 파일럿 프로젝트를 중심으로 실무 적용을 위한 노력이 진행되고 있다. 그러나 아직 2D 기반의 설계환경을 탈피하지 못하고 있으며, 발주자의 요구나 이해가 부족한 것도 토목분야에 BIM이 조기 도입되지 못하는 이유가 되고 있다. 이를 기술적으로 해결하기 위해서는 다양한 토목 시설물의 표준화된 3차원 설계도

와 상세 수준의 모델링이 가능한 객체 라이브러리의 구성 및 토목분야 Workflow 구축을 위한 단위 프로세스의 정립이 요구되며, 3D 설계 기반의 업무환경 조성도 필요하다.

이러한 토목분야 BIM 적용의 장애요인을 해결하기 위해서는 국가 차원의 장기적인 로드맵 구축이 필요한 시점이다. 토목분야 BIM은 건축과 달리 설계단계 외의 시공단계까지 중요 요소로 고려해야 하므로 단위 구조물 객체의 시공시뮬레이션 정보가 중요 요소가 될 수 있으며, 이러한 점에서 단순 3D외에 4D, nD객체의 연동체계 구성도 필요한 것이다.

최근 토목분야의 대형 국책사업에 3D, 4D 시뮬레이션 구성이 의무화된 사례 등은 토목분야 BIM환경 구축에 고무적인 사항이다. 이러한 사례들은 설계 및 시공성과품의 고품질화와 함께 점차 증대될 것으로 기대되고 있으며, 특히 최근 프로젝트 규모가 대형화 및 복잡화되고 있는 점을 고려하면 토목분야 BIM의 활성화된 적용은 선택의 문제가 아닌 시기의 문제가 되고 있다.

(원고에 표현된 토목분야의 BIM 적용 화면은 본 연구팀이 가상건설연구단 개발과제에서 구축한 토목시공시뮬레이션 시스템을 적용한 것임)

- 강인석 e-mail : Lskang@gnu.kr
- 문현석 e-mail : civilcm@gnu.kr