

도로 프로젝트의 BIM 사례모델 구축을 통한 호환성 검증

Interoperability Verification using BIM Case Models of Road Project

문현석¹⁾, 김창윤²⁾, 조근하³⁾, 문진석⁴⁾, 주기범⁵⁾
Moon, Hyoun-Seok¹⁾ · Kim, Chang-Yoon²⁾ · Cho, Guen-Ha³⁾ · Moon, Jin-Seok⁴⁾ · Ju, Ki-Bum⁵⁾

Received March 16, 2015 / Accepted March 17, 2015

ABSTRACT: Recently, BIM has been widely applying in civil engineering projects centering on the private construction industry in order to establish self guidelines for spreading in practice. However, most BIM technologies and software are based on the architectural projects. In these environments, it is not easy to apply the BIM to a infrastructure field. Even BIM standards with IFC (Industry Foundation Classes) are also focusing on architectural projects. Especially, both private and public sectors do not know about how BIM delivery system should be performed, and how such deliverable should be submitted to the government yet. Thus, we need to analyze an application level of BIM S/W (Software) in real projects and verify their interoperability. Besides, since there are not any common standards that can exchange IFC models for civil engineering projects, we have many issues in converting as-built infrastructure models into IFC and delivering their design documents to the government. Accordingly, this study aims to perform a BIM process with commercial software for real road project after a detailed design process is finished and verify interoperability between diverse BIM software for securing BIM data reliability.

KEYWORDS: Building Information Modeling, Road Model, Interoperability, Industry Foundation Classes, 4D Simulation

키워드: 건설정보모델, 도로 모델, 호환성, 산업정보표준, 4차원 시뮬레이션

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축분야에서는 BIM (Building Information Modeling) 개념이 정착되어 가고 있으나 반면에 토목분야는 BIM 도입 상태나 개발 수준이 미흡한 실정이다(Moon and Ju, 2014). 일부 건설업체들이 자체 시공 프로젝트에 BIM 도입 타당성 검토를 수행하거나 도로공사 등 공공 발주기관이 자체 발주 프로젝트에 BIM을 적용하고 있다. 특히 기존 설계 수행방식을 3차원으로 전환하거나 물량산출에서의 신뢰성을 검증하기 위해 Pilot 프로젝트를 진행하고 있다. 이를 통해 해당 발주 기관의 특성에 적합한 로드맵이나 가이드라인을 개발하고 있으나 여전히 실제 BIM 발주

과정이나 프로세스 적용에 제약이 있다. 또한 국가적으로 관련 표준 및 지침 개발이 미흡하여 변화된 3차원 설계환경을 현업에 적용하는데 한계를 갖는다.

현재 IFC(Industry Foundation Classes)가 ISO16739 (building SMART 2014)라는 표준으로 정식 발간되었으나 건축분야 활용에 한정되어 있다. 기존 소프트웨어들도 건축시설 설계를 위해 표준에 대응하는 시스템 라이브러리를 IFC 파라미터에 맞도록 내장하고 있으나 토목 시설요소들은 이에 대응하지 못하고 있다. 최근 IFC의 소프트웨어간 상호운용성 분석 연구들도 건축에 한정(Choi and Kim 2011, Lim *et al.* 2010, Lim *et al.* 2008)되어 있으며, 토목분야에서는 시도된 사례가 미흡한 실정이다. 이로 인해 기존 건축 IFC 표준으로는 토목시설의 공간적 구조나 형상

¹⁾일반회원, 한국건설기술연구원, ICT융합연구소, 수석연구원 (hsmoon@kict.re.kr) (교신저자)

²⁾일반회원, 한국건설기술연구원, ICT융합연구소, 전임연구원 (ckim@kict.re.kr)

³⁾일반회원, 한국건설기술연구원, ICT융합연구소, 연구원 (cgh@kict.re.kr)

⁴⁾일반회원, 한국건설기술연구원, ICT융합연구소, 연구원 (jsmoon@kict.re.kr)

⁵⁾일반회원, 한국건설기술연구원, ICT융합연구소, 소장/연구위원 (kbju@kict.re.kr)

요소의 특성 표현에 한계가 있으며, 새로운 형상 파라미터 구성으로 인해 건축요소로의 변환에 대한 기하오류를 검증하지 못하거나 다양한 형태의 형상을 표준화하는 것이 어려워 소프트웨어 간 상호운용성 확보에 제약이 있다.

해외의 경우 영국 Crossrail, 카타르 지하철, 홍콩 MTR 등 대표적인 대형 토목 프로젝트에 BIM을 적용하고 있으나 이들 프로젝트들도 주로 객체화된 부재형상을 대상으로 모델링 측면에서 설계를 수행하고 있다. 즉, 토목분야 BIM 표준을 준수하거나 상호운용성 측면에서 대응하고 있지 못하고 있으며, 공사의 시각화, 난이도의 검토, 객체간섭 및 정보관리 측면에서 제한적 수준으로 BIM을 활용하고 있는 실정이다.

특히 최종 BIM 기반의 성과품을 어떠한 체계로 제출하여야 하며, BIM 기반 프로세스가 토목분야 프로젝트 실무에 어느 정도 활용이 가능한지에 대하여 객관적인 분석이 이루어지고 있지 않다(Ju *et al.* 2014).

따라서 본 연구에서는 현재의 BIM 기술 수준 검토를 통해 성과품에 요구되는 기술이 무엇인지를 확인하기 위해 실제 납품되는 2D기반의 도로설계 성과품을 구조물 및 도로선형으로 나누어 BIM 설계를 수행하며, BIM 소프트웨어 상호간 변환된 IFC 포맷의 상호운용성을 검증하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 현행 BIM 기술 및 상용 소프트웨어로 성과품을 제작하고 토목설계 성과품의 제작범위 및 BIM 적용 수준을 파악한다. 또한 향후 BIM관련 사업의 발주 및 납품시 성과품에 요구되는 기술 검토와 공정 및 공사비 연계를 통한 4D/5D 모델 기반의 실무 적용성을 검증한다. 그런 다음 작성된 성과품을 납품할 경우 현행 소프트웨어 기술 수준에서의 상호운용성을 검증하고 이에 따른 주요 이슈를 도출한다.

본 연구는 BIM 소프트웨어를 활용하여 토목시설에 대한 BIM 설계 및 시공단계 적용 가능성 및 타당성 수준을 확인하고 기존 IFC 표준 기반의 토목 요소의 대응체계와 향후 토목분야 표준 개발을 통한 상호운용성 개선방향을 검토하였다는 점에서 의의가 있다.

따라서 본 연구를 통해 향후 토목분야의 IFC표준 개발을 위해 요구 형상정보의 분류와 대상을 구성할 수 있으며, 토목시설의 형상 요소를 수용하는 BIM기반의 설계 및 납품 환경을 구축하기 위한 기반정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 도로 프로젝트의 BIM 사례 개요 및 구성방법

2.1 사례모델 개요

본 연구의 사례 프로젝트는 부산지방국토관리청에서 발주한 울산시의 옥동-농소 1공구에 속한 4.73km 구간의 도로 신설공사로서 실시설계가 완료된 설계정보를 바탕으로 BIM 작성 프로

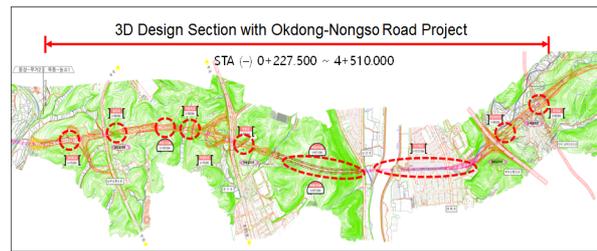


Figure 1 Design Section of Okdong-Nongso Road Project

세스를 진행하였다. 본 사례 프로젝트는 실시설계가 끝난 도로 프로젝트들 중 7km 이내의 짧은 도로구간에 걸쳐 다수 형식의 교량 및 터널 구간을 모두 포함하는 도로공사를 대상으로 선택한 것이다. 또한 본 도로 프로젝트는 토공을 포함한 토목 시설에 대한 BIM 설계 특성을 잘 표현할 수 있어 다양한 형상의 BIM객체에 대한 호환성 검증이 용이하기 때문에 선정하였다. 본 프로젝트에는 다수의 도로 및 토공구간과 함께 6개의 서로 다른 형식의 교량과 2개의 터널 및 1개의 지하차도 구조물을 포함하고 있다.

본 프로젝트는 현재 시공되고 있는 실제 시공 사례로서 국가에 납품되는 2D도면을 BIM으로 전환 설계하여 현재 존재하는 기술을 통해 향후 토목분야 BIM 적용 수준을 사전에 검토할 수 있는 기초 데이터로 활용할 수 있다.

2.2 사례 프로젝트의 BIM 구성 방법

본 연구에서는 기존의 다양한 BIM 설계 소프트웨어를 활용하여 도로, 구조물 및 철근모델을 작성하였다. 동일한 모델의 경우 각 소프트웨어간의 모델링 특징을 확인할 수 있다. 단일 소프트웨어에서 모든 토목 설계 요소를 모델링할 수 없어 각 모델 특성 및 4D/5D 활용 체계에 맞도록 프로그램을 선정하여 모델링을 수행하였다. 특히 5D 모델 구현을 위해서는 국내 BIM 설계 업체

Table 1 BIM Design Software for Applying Road Projects

Model		Autodesk	Bentley	Other Software
3D Model	Terrain/Road	AutoCAD Civil 3D 2013	Power InRoads (V8i SELECT series 4)	-
	Structure	Revit/Structure 2013	Architecture (V8i SELECT series 4)	-
	Rebar	-	Rebar (V8i SELECT series 4)	Allplan 2012 (Nemetschek 社)
4D Model		Navisworks Manage 2013	Navigator (V8i SELECT series 4)	-
5D Model & System		-	-	Smart VCM (Domestic System)

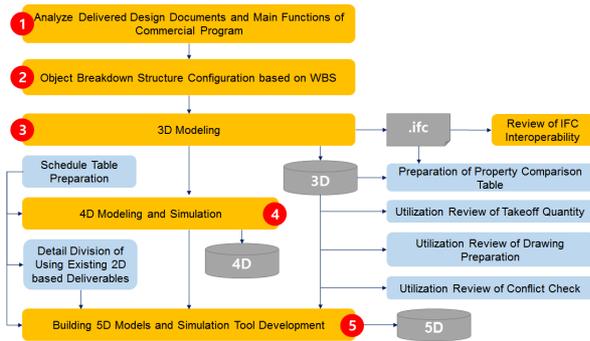


Figure 2 BIM Process of Road Projects

에서 자체 개발한 소프트웨어를 활용하였다.

현재 국내외에서 도로, 토공 및 구조물 등의 모든 토목 구조 요소를 한번에 모델링할 수 있는 소프트웨어는 부족한 실정이다. 건축의 경우 Autodesk Revit, ArchiCAD 등에서 대부분의 모델링이 가능하다. 토목은 도로선형 및 토공을 반영한 설계 특성을 고려하여 고유의 설계 방식을 지원하는 모델링 소프트웨어의 선정 및 활용이 중요하다. 지형 및 도로 횡단면 설계의 경우 Autodesk Civil3D 및 Bentley InRoads를 기본 모델러로 선정하였다. 이를 통해 소프트웨어의 사용자 측면에서의 설계 방식과 기능 구현체계와 함께 상호간 호환성을 검토하였다. 이러한 모델러 선정 방식을 통해 본 도로 프로젝트의 3D, 4D 및 5D 모델링 절차를 다음과 같이 구성한다.

Fig. 2는 본 사례 프로젝트의 BIM 수행 프로세스를 도식화한 것이다. 본 사례에서는 크게 3D, 4D 및 5D 모델로 구분되며, 3D 모델은 상용 소프트웨어에서 작성된 원본 데이터 파일과 구조물의 경우 IFC로 변환된 파일을 기본 모델들로 구성하였다. 이러한 시작품의 제작은 다음과 같이 크게 5개의 단계를 거쳐 수행되었다.

첫째, 모델 제작을 위해서 먼저 대상 시설물에 대하여 작성된 2D 도면, 수량산출서 및 내역서를 포함한 납품된 설계도서를 상세히 분석하였다. 둘째, 납품된 설계도서를 분석한 후 개발된 건설정보분류체계를 기반으로 공정과 연계되어야 하는 형상의 구분을 위해 객체분류체계를 정립하였다. 세 번째 단계에서는 앞서 정립된 2D기반 도로사업 성과품과 객체분류체계(OBS: Object Breakdown Structure)를 바탕으로 도로의 3D 모델을 구축하였다. 이는 객체 속성표 작성, 간섭 체크 및 4D 모델 작성에 활용하였다. 네 번째 단계에서는 4D 모델을 작성하기 위해 앞서 정립된 객체분류체계를 반영한 공정표를 작성하였으며, 이와 3D 모델을 연계하여 4D 모델을 제작하였다. 마지막 단계에서는 5D 모델 작성을 위해 본 사업 대상 설계도서의 수량산출서 및 내역서를 참조하여 4D 모델에 활용된 3D 객체 단위로 설계 내역을 분개하였으며, 이를 이용하여 웹 기반의 5D 시뮬레이션

시스템을 개발하였다.

이렇게 제작된 도로 BIM 데이터를 기반으로 모델링 소프트웨어 상호간의 정보호환성을 검증하기 위해 작성된 IFC모델에 대한 소프트웨어별 인식 수준 검토를 수행하였다. 현재 토목분야 IFC 형상 정의가 미흡하므로 건축분야의 IFC 엔티티 정의에 한정하였다. 또한 작성된 도로 BIM 데이터들이 수량산출, 2D도면 작성 및 간섭검토 항목에서 어떻게 활용할 수 있는지를 검증하였다.

2.3 도로분야 객체분류체계 작성

토목시설 요소의 상세 모델링에 앞서 국토해양부 공고 제 2009-781호에 따른 건설정보분류체계(MOLIT 2009)를 기반으로 시설-공간-부위 관점의 분류체계 코드 및 매핑 수준을 우선 결정하였다.

건설정보분류체계는 시설별 작업의 분류타입을 정의한 것으로 실제 3D 모델 내에 있는 세부 인스턴스 객체를 식별하기 어렵고 3D 모델을 4D 및 5D 모델과 연계하기 위해서는 인스턴스로 생성된 객체의 식별이 가능해야 한다. 이를 위해 모델 내에 생성되는 인스턴스 구분을 위한 시설물-공간-부위에 대한 확장 코드 규칙을 작성하였다.

1) 시설물 코드 작성: 대상 프로젝트에 포함된 시설물들은 큰 범주로 보면 일반국도(F1120)로 분류되는 시설물이며, 총 9개의 구조물을 포함한다. 본 사례 프로젝트의 BIM 제작에서는 4D 및 5D와 연결을 위해 추가의 확장코드를 부여하였다. Table 2는

Table 2 Mapping Code Configuration of Civil Facilities

Facilities	Construction Information Breakdown Structure	Structures	Extension code	Single Model	Entire Combination Model
Road	F11120	Road 1 Block	01	F11120-01	F11120-01
Bridge	F15100	IC Bridge 1	01	F15100-01	F11120-01) F15100-01
		Bridge 1	02	F15100-02	F11120-01) F15100-02
		IC Bridge 2	03	F15100-03	F11120-01) F15100-03
		Bridge 2	04	F15100-04	F11120-01) F15100-04
		Bridge 3	05	F15100-05	F11120-01) F15100-05
Tunnel	F16100	Bridge 4	06	F15100-06	F11120-01) F15100-06
		Tunnel 1	01	F16100-01	F11120-01) F16100-01
		Tunnel 2	02	F16100-02	F11120-01) F16100-02
		Underpass 1	03	F16100-03	F11120-01) F16100-03

사례 프로젝트를 대상으로 매핑된 코드체계를 나타낸 것이다.

교량과 터널의 경우 건설정보분류체계와 매핑되는 코드는 존재하나 지하차도와 일치되는 코드가 없다. 이는 '시설물의 안전 관리에 관한 특별법'에 의한 '구조물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침'에서는 지하차도를 터널 시설로 구분한 근거로 터널 시설로 분류하였다.

2) 공간 코드 작성: 공간은 전체 도로선형을 시설물별 구간으로 구분하였으며, 본 사례 프로젝트에서는 공구를 나타내는 S16240 코드를 이용하여 본 사업 대상 구간인 '옥동-농소 1공구'를 S16240-01을 기준으로 시설구간을 확장하였다. 일반적으로 도로는 단일의 선형으로 구성될 수도 있고, 상행선과 하행선, 램프와 같이 하나의 시설물명 아래 별도로 분리된 단위 시설물로도 구성될 수 있다. 단위 시설물의 구분은 건설정보분류체계 상에서 공간 구분 코드를 이용할 수 있다. 건설정보분류체계에서 독립된 시설물은 S11300(단일시설물)이므로 본 사례에서는 일반적인 도로의 경우에 대비하여 상하행선이 하나의 독립된 시설물인 경우, 상행선, 하행선 각각에 대하여 0, 1, 2의 확장코드를 사용하였다. 한편, 도로는 기점으로 이루어진 선형의 구간으로 세분화될 수 있으며, 이는 건설정보분류체계에서 '임의 구간'에 해당하는 S16140(스판(Bay))을 적용할 수 있다. 이에 따라 각 공간은 시작점으로부터 일련번호를 붙여 확장하였다. 또한 교량의 시점부 옹벽, 교대 등과 같이 구조물 구간의 경우 시점부와 종점부가 하나의 개념적 공간으로 정의되어 여러 구조물 부위가 포함되기 때문에 구조물 구간에서 시점 및 종점부는 건설정보분류체계의 S16130(기점)을 적용하였으며, 시점은 01로 종점은 02로 확장한 코드를 사용하였다.

3) 부위 코드 작성: 본 사례에서는 대상 구간에 포함된 각 시설물들의 구성요소를 조사하였다. 건설정보분류체계로부터 토공사부위(E02), 지하구조물부위(E07), 도로(E11), 교량(E13), 터널(E14)의 하위 요소를 사용하여 모델에 구축된 부위 코드를 정

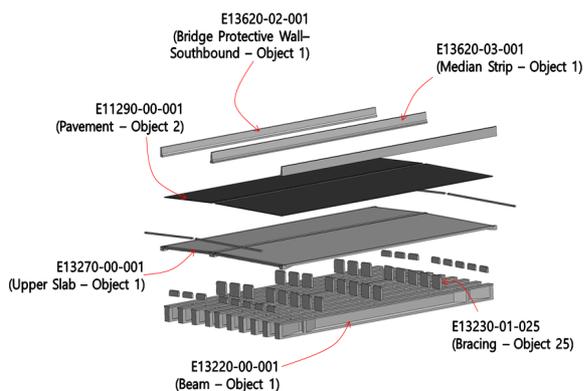


Figure 3 Element Code Extension of Bridge 1

의하였다. 예를 들어 교량에서 교대는 'E13120'이며, 여기서 날개벽의 확장 코드는 총 개소(N) 번호와 객체번호 (n)의 조합에 의해 결정된다.

시설-공간-부위의 구성을 통해 매핑된 교량 사례는 상기의 Fig. 3과 같다.

2.4 IFC 엔티티 매핑

현재 IFC4(ISO 16739)를 완벽하게 지원하는 설계 소프트웨어가 아직 없다. 그러므로 본 사례에서는 건축 중심의 구조물 설계용 BIM 소프트웨어(Bentley Architecture 및 Revit Structure)를 이용하여 IFC 2x3 버전으로 모델을 변환하였다. IFC2x3 버전에서는 토목 구조물을 위한 별도의 엔티티가 없으므로 각 톨의 IFC Export 옵션을 통해 다음의 매핑 표를 작성하여 IFC2x3로 대응하여 변환하였다.

이와 같이 각 토목 부재들은 기존 IFC에 정의된 형상 요소를 매칭하여 변환하였다. 기초(Foundation)의 경우 유사한 명칭(IfcFooting)으로 매핑되나, Pavement와 같은 경우 모두 IfcSlab의 형태로 매핑되어 서로 상이한 형상 요소 명칭으로 변환되는 것을 확인 할 수 있다.

Table 3 IFC Entity Mapping with Elements for Bridge 2

Elements	Level	IFC TITLE
A1 - Mass Concrete	Truncation Concrete	IFCFOOTING
A1 - Foundation	Concrete Foundation	IFCFOOTING
A1 - Body	Concrete Wall	IFCWALL
A1 - Parapet	Concrete Wall	IFCWALL
A1 - Wing Wall	Concrete Wall	IFCWALL
A1 - Shoe	Bridge Shoe	IFCFOOTING
A2 - Mass Concrete	Concrete Foundation	IFCFOOTING
A2 - Foundation	Concrete Foundation	IFCFOOTING
A2 - Body	Concrete Wall	IFCWALL
A2 - Parapet	Concrete Wall	IFCWALL
A2 - Wing Wall	Concrete Wall	IFCWALL
A2 - Shoe	Bridge Shoe	IFCFOOTING
PSC-Beam	Concrete Beam	IFCBEAM
Slab Concrete	Concrete Slab	IFCSLAB
Pavement	Asphalt	IFCSLAB
A1 - Approach Slab	Concrete Slab	IFCSLAB
A2 - Approach Slab	Concrete Slab	IFCSLAB
Protective Wall Installation	Concrete Wall	IFCWALL
Median Strip Installation	Concrete Wall	IFCWALL

3. BIM 데이터 작성

3.1 도로 프로젝트의 3D지형 및 도로모델 작성

2.3절에서 구성된 객체분류체계를 기반으로 세부 형상의 LOD(Level Of Detail) 수준(Eastman *et al.*, 2011)에 따라 개별 3D 모델링을 수행한다.

우선 사례 프로젝트에 대한 지형 모델과 도로모델을 작성하기 위해 Autodesk Civil3D 및 Bentley InRoad를 활용하여 동일한 방식의 도로 설계 프로세스를 수행하였다.

1) Autodesk Civil3D에서의 지형 및 도로모델 작성: 3차원 지형 및 도로모델 작성을 위해 Civil3D에 기본적인 수치지형도와 납품된 도로 2D도면을 참조한다. 그리고 지형도를 삼각망으로 변환하며, 여기에 평면선형 자료를 바탕으로 종단을 작성한 후 도로의 표준 횡단면도와 함께 최종 도로 코리더를 작성하여 모델링을 완료한다.

BIM 소프트웨어를 통해 작성된 지형 및 도로모델은 Fig. 4와 같다.

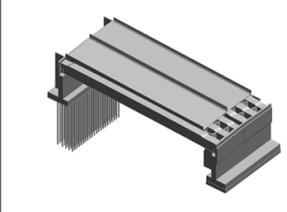
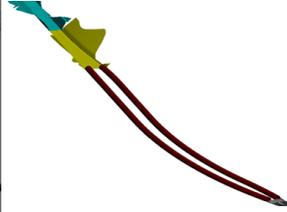
2) Bentley InRoad에서의 지형 및 도로모델 작성: 해당 도로 프로젝트 개요의 설정 후 등고선 데이터 및 표고점 데이터를 호출하여 DTM(Digital Terrain Model)을 생성하고 이로부터 삼각망을 구성한다. 그런 다음 Civil3D의 코리더 모델링 절차와 동일한 설계 방식을 따른다. 공통적으로 토공의 횡단 구성을 위해 횡단면도 작성시 경사구배와 도로횡단요소를 정의 한다.

3.2 교량 및 터널의 구조물 모델 작성

상기의 지형 및 도로의 3D모델이 완료되면 해당 지형에 위치하는 교량과 터널 등의 구조물 요소를 모델링(Table 3)하여 각 지형의 위치에 적절히 배치한다.

1) Revit Structure에서의 구조물 모델링: Autodesk Revit은 건축시장에서 가장 많이 보급된 소프트웨어로 알려져 있다. 이는 DWG, DWF, DXF 및 DGN 포맷 지원, 작업 공유 등 다양한

Table 4 3D Structure Models for Bridge and Tunnel in Autodesk Revit and Bentley Architecture

Autodesk Revit Structure	Bentley Architecture
Bridge 2	
	
Tunnel 2	
	
Bridge 3	
	

기능을 통해 구조 엔지니어와 설계자에게 효율적인 건물 구조를 더욱 정확히 설계하고 시공할 수 있도록 지원하며, IFC 표준으로의 변환이 가능하다. 본 연구에서는 구조물 모델 구축을 위해 Autodesk 사의 제품군 중 Revit Structure를 활용하였다. 우선 구조 템플릿을 생성하고 구조물 배치 레벨 및 평면도 그리드를 작성한다. 그런 다음 새로운 Revit 패밀리 템플릿을 선택하여 원하는 형태의 부위 객체를 모델링 한다. 이때 높이 및 길이 값 등의 매개변수를 적용하고 패밀리 객체를 완성한다. 이는 반복적으로 유사 형상에 활용 가능하고 패밀리 수정을 통해 타 패밀리를 구성할 수 있다. 구조 템플릿 화면에서 해당 패밀리나 시스템 패밀리 등을 활용하여 교량 및 터널의 구조 모델링을 수행한다.

2) Bentley Architecture에서의 구조물 모델링: Bentley Architecture는 개념 설계부터 시공 문서 작성에 이르는 건축 설계 워크플로우의 모든 단계를 지원하고 설계, 시각화, 도면 작성 및 수량/비용 보고서 생성 기능을 모두 제공하는 통합 솔루션이다. Bentley InRoads의 경우 IFC 변환이 지원되지 않기 때문에 본 사례 프로젝트에서는 구조물 모델의 IFC 변환 후 속성정보의 비교를 위해 Bentley Architecture를 사용하였다. 구조물 모델링은 기본적으로 납품된 2D도면을 바탕으로 하여 모델링을 수행한다. 개별 요소에 대한 카테고리를 정의하고 각각의 매개변수를 적용하여 패밀리로 구성한다. 물량산출 기능을 통해 물량표를 작성한 후

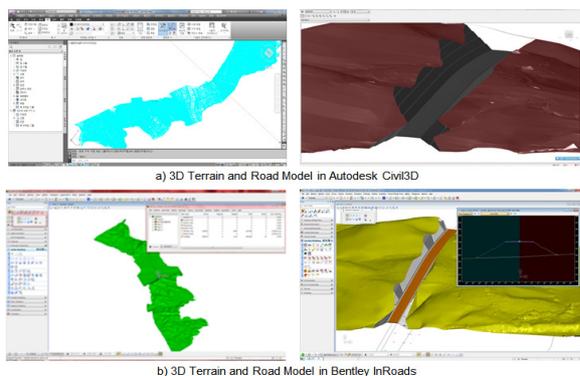


Figure 4 3D Terrain and Road Model

요소의 패밀리 유형과 연구에서 정의한 IFC 엔티티 매핑표에 따른 변환을 통해 IFC 파일을 생성한다.

3) Bentley Rebar와 Allplan에서의 철근 모델링: Bentley Rebar는 콘크리트 보강재 모델 생성을 통해 재료표 및 물량 보고서를 자동으로 생성하는 기능을 지원한다. Bentley Rebar는 2D 기반 콘크리트 보강재 모델링을 통해 3D 모델을 생성하는 과정으로 진행된다. 이는, 기존 2D 철근 도면의 문제점을 파악하는데 유리하다. 또 다른 강점은 타 프로그램에 비해 메모리 사용량이 적어 많은 양의 철근 데이터를 다루는 작업에 적합하다. Nemetschek사의 Allplan은 빠르고 간편한 3차원 모델링을 위한 컴포넌트 라이브러리와 자동 철근 배근 기능을 지원함으로써 기본 설계부터 상세 설계지원이 가능하다. Bentley Rebar의 경우 2D 모델을 통해 3D 모델을 생성하는 방식이지만 Allplan의 경우 3D 모델을 이용하여 철근을 모델링하고 2D 철근 도면을 생성하는 프로세스로 진행되어 초기부터 3D 설계를 진행하는데 있어 유리하다.

3.3 4D 모델 작성

사례 프로젝트의 4D 모델 제작을 위해 MS-Project를 이용하여 공정표를 작성하였으며, 도로 BIM 데이터를 기반으로 Autodesk Navisworks와 ProjectWise Navigator를 활용하여 4D Simulation을 수행하였다. Fig. 5는 상기 소프트웨어를 활용한 4D모델 구성 절차를 나타낸 것이다.

작업그룹을 3D 모델과 연계하기 위한 Activity Code는 객체 분류체계의 마지막 일련번호로서 '000'으로 정하였다. 즉, 옥동-농소1공구 교량의 경주방향 시점부 교대 기초의 강재파일 중 하나의 작업그룹으로 연계되는 코드로 'F11120-01+F15100-01_S16240-01-01+S11300-02+S16130-01_E04300-00-000'을 이용하였으며, 이를 MS-Project의 WBS 필드의 값으로 입력하였다. Navisworks의 작업그룹에 대한 코드는 Revit Structure에 정의 되어 있는 '생성공정' 속성을 활용하였으며, Navigator에서는 'Level' 명 필드를 이용하였다.

1) Autodesk Navisworks에서의 4D 모델링: Revit에서 작성

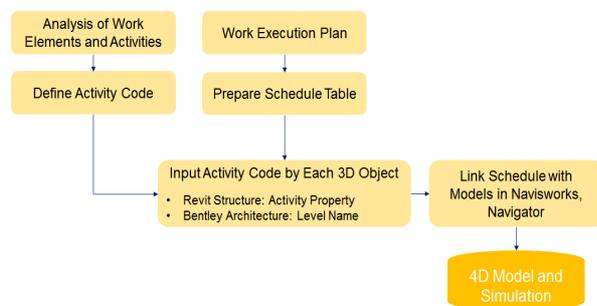


Figure 5 4D Modeling Process of Road Project

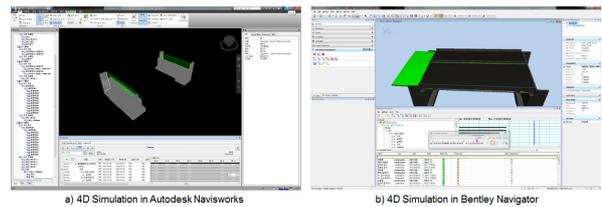


Figure 6 Completed 4D Simulation

된 구조물 모델의 공정속성에서 작업코드를 객체별로 입력하여 생성한다. MS-Project에서 CSV로 공정데이터를 출력하고 이를 Navisworks에서 공정정보로 매핑하여 입력한다. 입력된 3D 모델과의 연결을 위해 규칙을 생성하고 명시적 선택을 통해 자동 연결하여 4D 시뮬레이션을 수행한다.

2) Bentley Navigator에서의 4D모델링: ProjectWise Navigator의 경우 Microstation 계열에서 설계된 모델의 스키마를 인식하지 못하여 공정표와 자동으로 병합하는 것이 현재의 버전에서는 불가능하다. 따라서 본 사례모델 제작 시에는 Navigator에서 Named Group을 직접 생성하고 이를 공정표와 병합하여 4D 모델을 구축하였다.

3.4 5D 모델 작성

5D Model은 3D 객체가 공사 일정에 따라 시각화됨과 동시에 소요되는 비용을 측정하는 시뮬레이션 기법이다. 이를 적용하기 위해 연구에서는 5D를 위한 웹기반의 시스템을 개발하였다. 먼저 5D를 생성하기 위해 수량 산출서와 내역서의 각 항목을 조달청의 공종분류와 매핑하여 WBS를 구축하였다. 이와 같은 WBS를 하나의 축으로 하면서 4D 모델에 이용한 각 작업그룹에 따라 물량과 비용을 입력하는 엑셀 테이블을 작성하였다.

본 5D 시스템은 상용 소프트웨어를 사용하지 않고 별도로

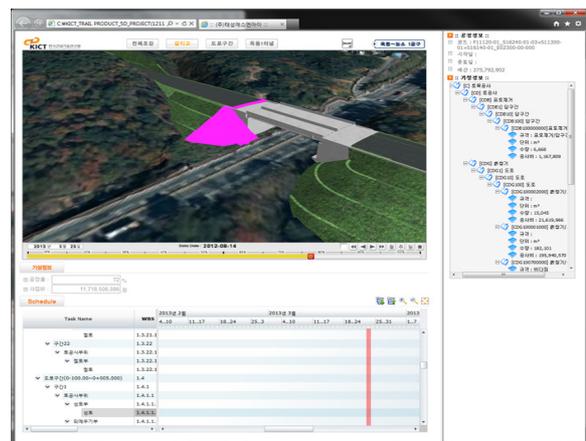


Figure 7 5D Simulation in Web-based System

웹 브라우저에서 구동될 수 있도록 3DVIA Vrttools¹⁾를 이용하여 구현하였다. 5D 모델에 구축에 이용한 4D 모델은 Revit Structure에서 완성된 각 모델로부터 작업그룹 코드를 활용하여 작성하였다. 이를 통해 일정의 진행에 따라 해당 객체의 시각적 시공 상태의 확인과 함께 오른쪽 트리구조의 수량 및 내역정보에서 투입비용의 실시간 검토가 동시에 가능해진다.

4. 도로 BIM 데이터의 호환성 검증

4.1 IFC 변환 개요 및 호환성 검증 체계

3장에서 구축된 도로, 지형 및 구조물에 대한 변환된 IFC모델의 소프트웨어간 상호운용성을 확인하기 위해 다음의 시스템 환경이 구성되었다. 운영체제는 Windows 7(64비트), 인텔 i5-3570 (3.4GHz) 클럭 속도, DDR3 4GB (1600MHz) 및 NVIDIA GDDR5 1GB (5200MHz)이다. 본 사례 프로젝트에 활용된 상용 프로그램 총 8종 중 Navisworks와 Navigator는 IFC 모델 파일의 읽기 기능만 제공하며, Nemetschek 사의 Allplan의 경우 철근 3D 모델은 IFC로 내보내기를 수행할 수 없었다. 따라서 본 설계 모델 제작시 IFC 변환은 Revit Structure와 Bentley Architecture를 이용하여 구축한 구조물 모델만 수행하였다. IFC 버전은 현재 상용 프로그램에서 지원하는 최신의 버전인 IFC2x3로 정하였다. 또한, Revit Structure와 Bentley Architecture에서 변환된 IFC 파일을 여러 프로그램으로 입력하는 호출분석(Import Analysis)을 수행하였다.

4.2 IFC엔티티 매핑 현황

Bentley Architecture의 경우 모든 파일의 변환이 가능하였으나, Revit Structure의 경우 터널 1의 IFC 변환이 실험 환경에서는 불가능하였다. 객체의 수로 보았을 때 Revit Structure를 이용한 터널 1 모델은 총 76개로 4612개의 교량 3의 P.C.T. 거더 구간에 대한 모델에 비해 매우 작았음에도 불구하고 10분 이상의 '응답없음' 시간을 보였으며, 성능이 유사한 여러 대의 컴퓨터에서도 동일한 현상을 보여 IFC 변환 실패로 구분하였다.

우선 각 요소 객체별로 변환된 IFC의 엔티티를 조사하였으며, Bentley Architecture를 이용한 경우에 대하여 교량 1과 터널 1, 2를 사례로 나타내었다.

구조물 객체는 최대한 IFC에 존재하는 유사한 유형의 엔티티로 매핑할 수 있도록 하였기 때문에 토목구조물의 구성요소를

1) 3DVIA Vrttools은 카티아(CATIA)로 대표되는 다쏘시스템의 3D콘텐츠 작성 프로그램으로써 인터랙티브한 콘텐츠 제작 환경을 제공하며, 다양한 포맷으로의 출력을 지원한다. 주로 동적 시뮬레이션 구축을 위한 워크플로우 제작환경을 구성하고 있으며, 토목의 경우 장비의 시퀀스 시뮬레이션 구축이나 3D모델의 가시화를 위해 주로 활용한다.

Table 5 IFC Entity Mapping in Bentley Architecture

Structure	Shape Library	Elements	IFC	IFC Shape
Bridge 1	Linear Form	Pavement	IfcSlab	IfcExtrudedAreaSolid
	Smart Solid	Approach Slab	IfcSlab	IfcFacetedBREP
	Slab Form	Upper Slab	IfcSlab	IfcShellBasedSurfaceModel
	Linear Form	Beam	IfcBeam	IfcFacetedBREP
	Linear Form	Bracing	IfcBeam	IfcExtrudedAreaSolid
	Linear Form	Shoe	IfcFooting	IfcFacetedBREP
	Linear Form	Abutment Foundation	IfcFooting	IfcExtrudedAreaSolid
	Linear Form	Protective Wall	IfcBeam	IfcExtrudedAreaSolid
	Linear Form	Abutment-Parapet	IfcWall	IfcExtrudedAreaSolid
	Linear Form	Abutment-Wing Wall	IfcWall	IfcFacetedBREP
	Linear Form	Abutment-Body	IfcWall	IfcExtrudedAreaSolid
	Tunnel 1 & 2	Slab Form	Slab	IfcFooting
Linear Form		Supporting Wall	IfcWall	IfcShellBasedSurfaceModel
Slab Form		Upper Slab	IfcSlab	IfcShellBasedSurfaceModel

IFC의 건설객체를 나타내는 요소로 변환하는 것에는 문제점이 없었다. 다만, Table 4에 나타난 바와 같이 형상 엔티티의 경우 사용자가 컨트롤하여 지정할 수 없다. 이에 따라서 앞서 Revit Structure에서는 IFC를 내보낼 수 없는 경우와 타 프로그램에서 IFC를 읽을 수 없는 경우가 발생할 수 있다.

4.3 도로 BIM 프로젝트의 상호호환성 검증

상호호환성은 앞서 4.2절에서 언급된 IFC 파일들을 활용한 BIM 소프트웨어 중 IFC 파일의 읽기가 가능한 프로그램에서 읽을 때의 오류 발생 여부를 검토하였다. Revit Structure에서 변환된 IFC 파일은 각 프로그램별로 차이는 있으나 전체 평균 80.2% 정도의 변환 성공률을 보였으며, 반면 Bentley Architecture에서 변환된 IFC 파일은 전체 평균 92.2% 정도의 성공률을 보였다.

한편, 읽기 성공률을 모델 원본 파일의 객체 수에 대하여 비교하면 '불러들인 객체 수'는 IFC 파일을 읽은 후 각 프로그램에서 나타내는 모든 객체의 수를 의미한다. '원본 대비 유효 객체율'은 불러들인 객체에서 불필요한 객체(opening 요소 및 참조 선과 같은 객체)를 제외한 객체의 수('이하 유효 객체 수'라 한다)를 모델 원본에서 사용자가 확인이 가능한 전체 객체 수로 나누는 비율을 나타낸 것이다. 또한 '입력 대비 유효 객체율은 '유효 객

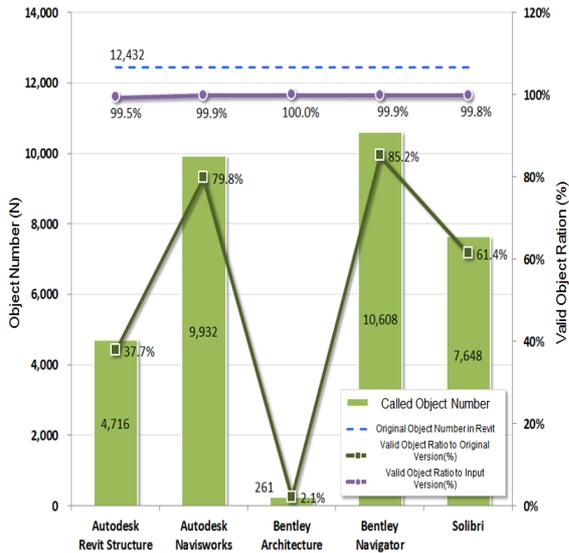


Figure 8 Success Ratio of Object Recognition of Revit IFC Files

체 수'와 불러들인 전체 객체 수와의 비율을 나타낸다.

Revit Structure에서 IFC의 경우 원본 대비 유효 객체를 평균이 53.24 %였으며, Bentley Architecture에서 IFC의 경우 원본 대비 유효 객체를 평균은 74.4%였다. 이는 Bentley Architecture의 경우 Revit Structure의 IFC 파일을 불러들이는데 있어서 다른 프로그램에 비해 성공률이 낮았기 때문인 것으로 볼 수 있다. 특히 Bentley Architecture이 상대적으로 낮은 이유는 Revit Structure의 IFC 입력 성공률에 큰 영향을 받았다. 이에 따라, Revit Structure IFC 파일을 읽지 못하는 경우의 원인을 조사하였다. 그 결과 Revit Structure가 일부 패밀리 형상을 수 많은 점으로 이루어진 곡면 쉘 요소로 구성된 Brep으로 내보내는 경우 Revit Structure 자체를 포함하여 다른 프로그램에서 파일을 불러들이는데 상당한 컴퓨팅 자원 소모가 이루어지기 때문인 것으로 분석되었다.

Fig. 9는 적용된 도로의 사례모델에 대한 형상 변환에 따른 유효객체의 인식수와 인식률 현황을 도식화한 것이다. 객체인식에 대한 전체 불러들인 객체 수에서 불필요한 객체 수를 제외한 유효 객체의 수를 모델 원본 파일에 속한 전체 객체 수에 대하여 나누게 되면 Solibri의 인식률이 제일 높게 나타났다. 본 사례 모델링에 활용된 프로그램으로는 Bentley Navigator가 가장 인식률이 높은 것으로 나타났다. 이는 IFC가 서로 다른 프로그램 간의 상호운용성을 확보한다는 취지에서 볼 때에 생성된 IFC 파일의 상호운용성은 형상이나 속성정보가 온전하다는 전제하에서 객체의 인식률 측면에서는 최대 80% 정도인 것으로 볼 수 있다. 실제 인식된 객체의 형상 자체에서도 아직 불완전한 측면이 있는데 그 사례를 Fig. 10에 나타내었다. 형상 정보의

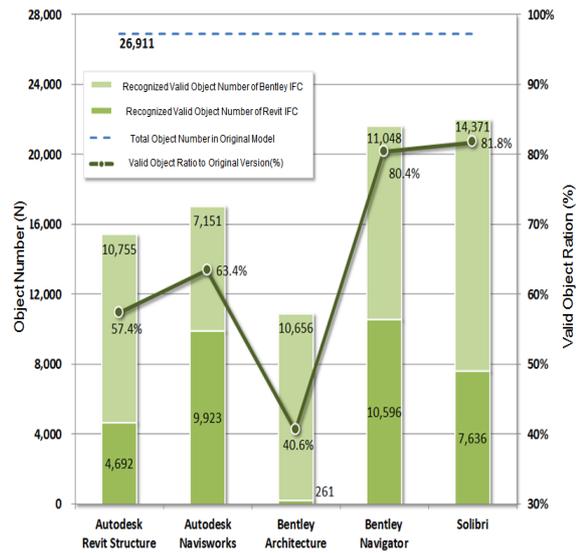


Figure 9 Recognized Number and Ratio of Valid Objects for Entire IFC Files

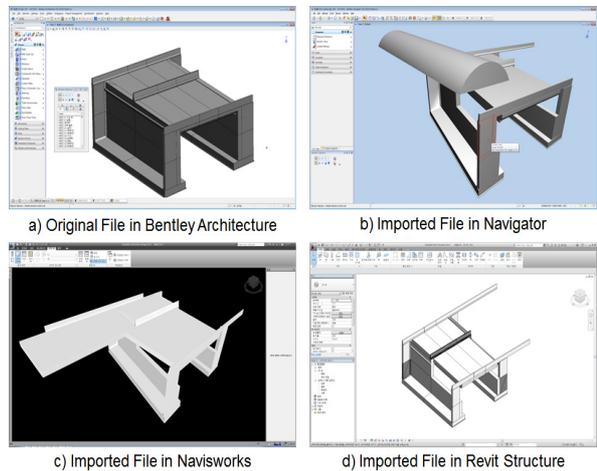


Figure 10 Broken Status of Bentley Architecture IFC File for Bridge 'IC Bridg 2'

깨짐으로 볼 수 있는 것은 형상객체가 원본과 같은 위치에 놓이지 않는 경우를 포함한다.

이와 같은 형상이 불완전한 객체수를 제거한 후 최종적으로 형상이 온전한 객체수의 비율을 조사하여 Fig. 11에 표현하였다.

Revit Structure IFC를 대상으로 한 경우 원본 객체 수를 기준으로 하였을 때에 형상이 온전한 객체를 평균은 51.1%였으며, 유효한 객체수를 기준으로 하였을 때의 평균은 97.1%로 나타났다. 또한 Bentley Architecture IFC를 대상으로 한 경우 원본 객체 수를 기준으로 하였을 때에 형상이 온전한 객체를 평균은 74.5%, 유효한 객체수를 기준으로 하였을 때의 평균은 99.9%로 나타났다. 이러한 결과는 Fig. 11과 같으며, 원본 객체 수를 기준으로 하였을 때에 형상이 온전한 객체율의 평균은 63.7%, 유효

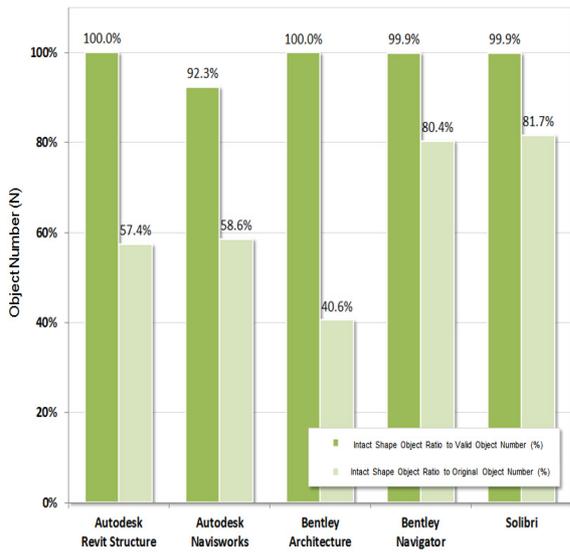


Figure 11 Object Ratio of Intact Shape for Whole Project IFC Model

한 객체수를 기준으로 하였을 때의 평균은 98.4%로 나타났다.

4.4 도로 BIM 프로젝트의 호환성 분석 결과

4.3절에서 살펴본 바와 같이 3D 모델을 다루는 일반적인 컴퓨팅 환경에서 총 5개의 상용 프로그램을 대상으로 수행된 본 사례 모델의 IFC 상호호환성 수준은 약 63.7%인 것으로 평가할 수 있다. 본 시작품의 상호호환성 평가에서 IFC 변환에 의한 정보교환시 발견된 문제점은 크게 세 가지로 다음과 같다.

1) 첫 번째 문제점으로는 곡면 형상을 IFC2x3 버전으로 내보내기 하거나 불러들일 때 처리 포인트 수가 방대하여 상당한 컴퓨팅 자원을 필요로 한다. 이는 특히 Autodesk Revit Structure에서 IFC를 내보내기를 수행할 때와 Revit Structure의 IFC를 불러들이는 과정에서 IFC의 상호호환성을 떨어뜨리는 결과를 초래하였다.

2) 두 번째 문제점은 IFC를 통해 받아오는 형상의 일부가 원본의 형상과 달라지는 점이다. 이는 앞서 첫 번째의 문제점에 먼저 언급한 곡면형상 처리 방식에 의해 유발되는 경우도 있고, 형상의 위치가 바뀌는 경우 또한 존재한다. 이러한 형상 깨짐은 IFC 변환에 대한 프로그램 자체의 품질이 직접적인 원인인 것으로 분석할 수 있으며, 간접적으로는 IFC의 곡면처리에 관한 데이터 스키마 자원이 매우 한정적인 것도 원인으로 볼 수 있다. 다만 최근 IFC4에서 새로운 곡면형상 자원에 관한 데이터 스키마가 보강되었으므로 이에 따라 곡면에 대한 형상처리에 대한 상호호환성이 보다 개선될 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 이러한 형상 깨짐 현상을 최소화하기 위한 가이드로서 주요 상용 모델링 툴에 대한 매뉴얼 개발이 이루어진다면 보다 효과적으로

IFC를 현업에서 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 예로서 Revit의 패밀리 형상 작성 시 Extruded Solid 적용이 가능한 경우 가급적 Extruded Solid 방식으로 형상을 작성하도록 유도하는 것이다.

3) 마지막으로 사용자도 모르게 모델 원본에 내재되어 있는 불필요한 객체정보가 IFC로 내보내어 진다. 이러한 현상은 Bentley Architecture를 이용한 모델에서 Opening 객체가 다수 포함되는 것에서 발견되었다. 이를 보완하기 위해서는 IFC로 내보내기를 수행하거나 불러오기를 수행할 때에 사용자가 참조할 수 있도록 각 툴에서 제공하는 IFC와 관련한 옵션에 대한 상세 매뉴얼의 보급이 필요한 것으로 판단된다. 또한 이러한 옵션의 기능을 잘 활용하기 위해서는 어느 정도 사용자에게 IFC 요소들에 대한 사전 교육이 요구된다.

6. 결론

본 사례 프로젝트 및 상호운용성 검증을 위해 옥동-농소 1공구에 포함된 시설물들에 대한 3D 기반 BIM 데이터를 작성하였으며, 일부 시설물에 대하여 4D 모델 및 5D 모델을 작성하였다. 이에 대한 상용 BIM 소프트웨어간 상호호환성을 검증하였다. 도로 시설물에 대한 BIM 데이터 납품체계 작성과 관련하여 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 시설물을 건설정보분류체계에 따라 시설물의 종류(F)를 분류하는 과정에서 본 사례 모델 제작에서는 지하차도를 터널로 구분하였다. 그러나 공학적 측면과 구조적 측면에서 지하차도와 터널은 다소 차이가 있으며, 건설정보분류체계의 공중(W) 구분으로 보면 지하차도의 공중은 터널 공중에 비하여 지하구조물 공중과 유사한 점이 많았다. 따라서 보다 명확한 시설물 구분을 위해서는 건설정보분류체계에서 지하차도에 대한 재검토가 필요한 것으로 판단된다.
- (2) 구조물 3D BIM 데이터를 IFC2x3로 변환하였을 때 모델 내에 있는 각 형상 객체에 할당된 속성집합(Pset)과 형상을 Solibri 뷰어에서 확인할 수 있었다. 그러나 각 상용 소프트웨어에 포함된 불필요한 고유의 속성정보들까지 변환되어 IFC 파일의 속성정보 구성은 각 소프트웨어마다 다르게 나타났다. 현재 상용 소프트웨어의 IFC 변환 기능은 형상 객체의 종류(유형)를 IFC에서 가장 의미가 유사한 엔티티로 매핑할 수 있도록 지원하고 있지만 속성체계에 대한 옵션은 아직 지원하지는 않고 있다. BIM 데이터의 활용용도에 따른 MVD (Model View Definition)에 따라 정보를 산출하기 위해서는 속성체계에 대한 변환 옵션이 상용 소프트웨어에서 추가적으로 지원되어야 할 것이다.

- (3) 본 사례모델 제작에서는 5D 모델을 구축하기 위해 건설정보 분류체계와 조달청 코드를 비교하였다. 기존 건설정보분류 체계의 경우 공종에 대한 분류가 실무에서 작성된 일부 항목들을 포함하지 못하는 한계점이 있어 실무에서 작성된 수량 및 비용 산출 항목과 가장 유사한 조달청 코드를 사용하였다. 따라서 현재의 건설정보분류체계의 공종분류가 토목 시설물에서 다루는 다양한 공종을 포함할 수 있는지의 여부가 다시 한 번 검토될 필요가 있으며, 이를 실무에 활용하기 위해서는 개선이 필요한 것으로 판단된다.
- (4) 현재 IFC의 상호호환성은 토목분야의 실무에서 활용하기에는 여러 제약사항이 존재한다. 특히 형상 깨짐과 객체 손실 등을 감안한다면 IFC를 납품 받을 때에 반드시 각 모델 파일의 형상 확인에 대한 체크를 통한 검수가 납품 절차에 포함되어야 할 것이다.

본 연구를 통해 토목분야의 BIM 기반 납품체계 구성을 위해 도로, 터널, 교량뿐만 아니라 기타 철도, 하천 및 항만과 같은 다수의 토목시설 요소에 대응할 수 있는 새로운 IFC 표준의 개발이 수행되어야 할 것이다. 특히, 표준화된 형상에 맞는 시스템 라이브러리를 개발하여 기존 BIM 소프트웨어에서 이를 수용한다면 IFC 표준을 준용한 공통된 파라메트릭 설계 방식을 따르게 되므로 정보의 상호호환성은 개선될 수 있다. 이와 함께 토목 부재 요소의 다양한 설계방식에 대응하고 설계 생산성을 개선할 수 있도록 BIM 라이브러리의 구축과 이를 보급하는 시스템의 개발이 시급하다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 “(15주요-임무) Infra BIM 정보모델 표준 및 검증기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

Choi, J-S, and Kim, I-H (2011), “Interoperability Tests of IFC Property Information for Open BIM based Quality Assurance”, Transaction of the Society of CAD/CAM Engineers”, Vol. 16, No. 2, pp. 92-103.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R, and Liston K. (2011), BIM Handbook: A Guide to building Information Modeling for Owner, Managers, Designers, Engineeris and Contractor, (2nd ed.) JohnWiley&Sons.

Ju, K-B, Seo, M-B, and Moon, J-S (2014), “Analysis for IFC Compatibility among BIM Software”, Proceedings of 2014 Korea Institute of Building Information Modeling Conference.

Lim, C-W, Yu, J-H, and Kim, C-D (2010), “Analysis for BIM Object Information Compatibility Problem Classification Among BIM Softwares”, Proceedings of the 2011 Korea Institute of Building Construction Conference, Vol. 10, No. 1, pp. 257-260.

Lim, J-I, Kim, J-W, Kwon, H-D, Yoon, S-W, Kwon, S-W, and Chin, S-Y (2008), “IFC test between commercial 3D CAD application using IFC”, Vol. 9, No. 3, pp. 85-94.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2009), “Integrated Construction Information Breakdown Structure”.

Moon, H-S, and Ju, K-B. (2014), “Development of BIM Library for Civil Structures based on Standardized Drawings-Focused on 2D Standard Drawings of The MOLIT”, Transaction of the Society of CAD/CAM Engineers”, Vol. 19, No. 1, pp. 80-90.

Autodesk Revit Architecture, (2012), <http://www.autodesk.com>

Autodesk Revit Structure, (2012), <http://www.autodesk.com>

Autodesk Civil3D 2013 (2012), <http://www.autodesk.com>

Autodesk Navisworks Manage 2013 (2012), <http://www.autodesk.com>

Bentley InRoads V8i, (2012), <http://www.bentley.com>

Bentley Architecture, (2012), <http://www.bentley.com>

Bentley ProjectWise Navigator, (2012), <http://www.bentley.com>

buildingSMART International, (2014), <http://www.buildingsmart.org/>

Nemetschek Allplan 2009, (2012), <http://www.nemetschek.com>

3DVIA Virtools, (2012), <http://a2.media.3ds.com/products/3dvia/3dvia-virttools/>