DOI: https://doi.org/10.13161/kibim.2017.7.1.018

기하정보 기반 이상탐지분석을 이용한 BIM 개별 부재 IFC 분류 무결성 검토에 관한 연구

Using Geometry based Anomaly Detection to check the Integrity of IFC classifications in BIM Models

구본상[1], 신병진[2]
Koo, Bonsang[1] · Shin, Byungjin[2]

Received February 6, 2017 / Accepted March 3, 2017

ABSTRACT: Although Industry Foundation Classes (IFC) provide standards for exchanging Building Information Modeling (BIM) data, authoring tools still require manual mapping between BIM entities and IFC classes. This leads to errors and omissions, which results in corrupted data exchanges that are unreliable and thus compromise the validity of IFC. This research explored precedent work by Krijnen and Tamke, who suggested ways to automate the mapping of IFC classes using a machine learning technique, namely anomaly detection. The technique incorporates geometric features of individual components to find outliers among entities in identical IFC classes. This research primarily focused on applying this approach on two architectural BIM models and determining its feasibility as well as limitations. Results indicated that the approach, while effective, misclassified outliers when an IFC class had several dissimilar entities. Another issue was the lack of entities for some specific IFC classes that prohibited the anomaly detection from comparing differences. Future research to improve these issues include the addition of geometric features, using novelty detection and the inclusion of a probabilistic graph model, to improve classification accuracy.

KEYWORDS: Building Information Modeling, Industry Foundation Classes, Machine Learning, Anomaly Detection

키워드: BIM, IFC, 기계학습, 이상탐지분석

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 Building Information Modeling(BIM)에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, 국가별 주요 공공 발주자들은 건설 사업 전반에 걸쳐 BIM 사용을 의무화하고 있다. 2000년대 중반부터 핀란드, 노르웨이, 스웨덴, 이탈리아, 독일 등 주요 국가에서는 이미 50% 이상의 건설 프로젝트가 BIM을 통해 이뤄지고 있으며, 미국에서도 2006년부터 연방 조달청(GSA)에서 수행되는 모든 프로젝트에 BIM을 의무화하였다(Yu and Kim, 2013). 국내의 경우, 2012년부터 조달청에서 발주하는 500억원 이상의 턴키설계공모 건축공사에 BIM적용을 의무화하였으며, 2016년부터는 모든 건축공사에 BIM 의무 적용을 확대하였다.

현행 건설사업 프로세스에서 BIM을 적용 시, 국제표준 파일 포맷인 Industry Foundation Classes(IFC)를 활용하여 정보교환이 이뤄지고 있으며 주요 국가 공공기관들에 의해 BIM을 위한 중립 포맷으로 채택되고 있다(Park and Kim, 2009).

IFC는 BIM 정보를 교환할 수 있는 표준을 제공해주지만, 방대하고 복잡하게 얽혀있는 스키마 구조와 분야별 기술적 내용의 수반으로 인해 고도의 전문성을 필요로 한다. 또한 각 회사 내지 사용자마다 자체적으로 개발하는 BIM 라이브러리, 사업별 분류체계로 인해 IFC의 매핑(mapping)이 달라질 수 있으며, 이에 따라 객체 분류 오류 및 객체 관계 설정에 누락이 발생할 수 있다.

IFC파일을 분석하고 검토할 수 있는 소프트웨어가 존재하나, 이 역시 스키마 구조에 대한 이해가 선제되어야 하며, 궁극적으로 수동 검토 작업이 요구된다.

본 연구에서는 이러한 문제해결의 일환으로 기계학습(Machine

[1]정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 부교수 (bonsang@seoultech.ac.kr)
[2]정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정 (byungjin0826@gmail.com) (교신저자)

Learning)기법 중 하나인 이상탐지분석(Anomaly Detection)을 BIM에 접목하여 개선 방안을 모색하고자 한다.

즉, BIM 모델(IFC 파일)이 주어졌을 때, 각 객체 클래스(ifcWall, ifcRoof, ifcWindow, 등)별로 기하속성 정보를 매개변수로 이용하여 이상탐지분석을 통해 정상치(inlier)와 이상치(outlier)를 구분, 이를 토대로 객체 분류의 무결성(integrity)을 검증한다.

이는 Krijnen & Tamke (2015)가 처음 제안한 방법으로서, 본 연구에서는 이들의 연구를 시발점으로 삼고 있다. 그러나 이들 연구에서는 구체적인 검증 작업 없이 그 가능성에만 그치고 있고 적용 대상도 1개의 BIM 모델에 국한되어 있다.

본 연구에서는 본 방식을 다수의 BIM 모델에 적용해 봄으로써 그 유효성을 검증하고 더 나아가 한계점의 발견을 통해 추후 연구 방향을 구축하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 큰 맥락에서 BIM과 기계학습을 융합한 연구의 발판을 구축하고자 하며, 그 시발점으로서 Krijnen & Tamke (2015)가 제안한 이상탐지 분석 방법(이하 'Krijnen방식')을 집중 탐구하고 이를 토대로 향후 연구 방향의 가능성 제고하고자 하였다. 구체적으로는 다음과 같은 일련의 작업을 진행하였다.

1) IFC 운용 문제점 및 관련 연구 파악

IFC를 활용함에 있어 겪게 되는 문제점을 파악하고 이의 개선을 위해 진행된 다수의 연구를 정리하였으며, 이들 연구와의 차이점을 숙지하고 본 연구의 필요성을 제시하였다.

2) Krijnen 방식의 이론 숙지

Krijnen방식이 제시한 이상탐지 분석에 기반한 IFC 매핑 검토 방법을 이해하고 이의 구현을 위한 오픈소스 시스템을 구축하고 활용 방법을 숙지하였다.

3) 2개의 BIM 건축 모델에 적용

구축된 시스템을 기반으로 하여 2개의 건축 BIM 모델('듀플렉스' 및 '클리닉' 모델)에 이상탐지 분석을 수행하고 그 결과를 제시하였다.

4) Krijnen 방식의 문제점 및 향후 개선 방향 도출

적용 사례의 결과를 토대로 문제점을 정립하고 이의 개선을 위한 연구 방향을 도출하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 IFC 문제점 및 관련 연구

IFC는 BIM 정보를 교환할 수 있는 표준을 제공해주지만, 1) 방대하고 복잡한 스키마 구조, 2) BIM 소프트웨어 간 호환성 문제, 3) 타 도메인 시스템 간 상호운용성(Interoperability) 문제, 4) 시멘틱(Semantic) 추론(Inference)이 불가한 문제 등, 다수의 한계점을 지니고 있으며, 이에 대응하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 여기서는 각 문제점과 이에 대응하기 위한 주요 연구들을 정리하였다.

2.1.1 방대하고 복잡한 스키마 구조

IFC는 방대하고 복잡하게 얽혀있는 스키마 구조와 분야별 기술적 내용의 수반으로 인해 고도의 전문성을 필요로 하여, IFC에 대한 깊은 이해 없이는 활용하기가 어려운 문제가 존재한다 (Tauscher et al., 2016). 이에 따라 IFC 스키마의 접근성과 활용성을 용이하게 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.

1) IFC 스키마 선별 및 무결성(Integrity) 검증

IFC를 대표적으로 관리·운용하는 빌딩스마트인터내셔널에서는 IFC 스키마 중 해당 사업 및 프로세스에서 필요로 하는 특정 인스턴스만 선별할 수 있도록 IDM 및 MVD[1]를 구현하고 있으며, 이중 Coordination View MVD, 및 COBie는 널리 활용되고 있다.

최근에는 'mvdXML Checker' (Zhang et al., 2014)를 통해 구축된 MVD의 적합성 검토가 가능해졌으며, 상용 프로그램 중에는 대표적으로 Solibri Model Checker (Solibri 2015)가 IFC 기준에 맞게 BIM 모델이 구축되어 있는지 분석할 수 있게 해준다.

이외에도 미국표준국립연구소(NIST)에서는 IFC-SPF 및 ifcXML을 세부 클래스별로 구분하고 개수를 읽는 시스템(ifc File Analyzer[2])를 제공하고 있다.

2) BIM 전용 탐색 언어(Query Language) 개발

BIM/IFC 모델을 검색할 수 있는 BIM 전용 탐색 언어(Query Language) 연구가 진행되었다. 초기에는 EXPRESS 기반의 EXPRESS-X 및 EQL로 탐색하는 연구가 진행되었고(Tauscher et at., 2016), 이는 IFC/BIM 전용 탐색언어인 BIMQL(Mazairac and Beetz, 2013) 및 QL4BIM(Daum and Borrmann, 2014)로 발전되었다. 국내에서는 이를 활용하여 뷰어 기반의 BIM 질의 개발 언어를 구축한 연구가 존재한다(Kang, 2015). 이들은 모두 SQL과 유사한 형태로 {SELECT, FROM, WHERE} 등의 탐색 함수를 통해 조건을 제시하면 모델의 검색을 통해 개별 요소 및 관계에 대한 데이터를 추출해 준다.

---

1) Information Delivery Manual; Model View Definition
2) http://www.nist.gov/el/msid/infotest/ifc-file-analyzer.cfm

2.1.2 BIM 소프트웨어 간 상호운용성 문제

상기 연구들의 진척에도 불구하고 수많은 BIM 관련 소프트웨어 간의 상호운용 문제는 여전히 존재하여, 이를 개선하기 위한 연구가 계속 진행 중이다.

1) BIM 저작도구 간 호환성 검증

IFC 도입 초기에는 BIM 상용 저작도구의 상호 호환성을 테스트하는 연구가 활발히 진행되었으며(Froese et al., 1999; Kiviniemi, 2009; Lipman et al., 2011), 국내에서도 유사한 연구가 수행되었다(Kang et al., 2008; Lee et al., 2009; Kim and Ock, 2009; Kim and Choi., 2010). 이들 연구에서는 IFC의 도입에도 불구하고 BIM 저작도구 간 객체 및 속성 정보가 다르게 정의되어 모델 교환 시 인식이 안 되는 문제를 제기하였다.

2) 국가별 BIM 표준 분류체계 구축

BIM을 도입하는 국가별 공공기관에서는 이를 위해 각 국가의 설계 표준 및 지침에 맞게 BIM 표준 분류 체계를 독자적으로 개발하였다.

BIM을 적극 도입하는 미국은 AIA E202 BIM Protocol Exhibit, NBIMS-US, 영국은 CIC BIM Protocol 등으로 자국에 맞는 BIM 표준 분류체계를 구축하고 있다.

국내에서 추진 중인 '개방형 BIM 기반의 건축물 설계 표준 및 인프라 구축' 과제 역시 설계단계에서의 표준 분류 체계 구축에 역점을 두고 있으며 이를 KBIMS(Korea BIM Standards)로 구현하였다.[3)]

2.1.3 타 도메인 시스템과의 상호운용(Interoperability) 문제

건축시설물을 도시차원에서 분석할 필요가 증가하면서 IFC 스키마를 지리정보시스템(GIS)이나 도시 모델과 같은 타 영역의 이질적인 데이터 구조와 연동시킬 필요성이 증가하고 있다.

이를 위해 IFC 스키마를 의미론적으로 유의한 온톨로지(Ontology)로 전환하여 타 데이터베이스나 웹상에서 호환이 가능토록 구축하는 연구가 진행되었으며 이로 인해 웹상에서 BIM 모델을 구현하고 GIS 및 CityGML과 정보교환이 가능해지고 있다.

대표적으로 BIM 모델의 속성을 웹상에서 이해할 수 있게 표현해 주는 연구(Pauwels and Van Deursen, 2012; Pauwels et al., 2010), GIS와 정보공유를 가능케 해주는 연구(Akinci et al., 2010), 그리고 CityGML과 연계를 한 연구 사례(El-Mekawy and stman, 2010)를 들 수 있다.

벨기에 겐트 대학(Pauwels and Van Deursen, 2012)의 경우 IFC를 Resource Description Framework(RDF)로 매핑 후 Web Ontology Language(OWL)로 표현할 수 있는 일련의 라이브러리를 구축하였으며 본 결과를 오픈소스로 공유하고 있다[4)].

2.1.4 시멘틱스(Semantics) 추론 부족

IFC 스키마 자체는 데이터 모델의 한 형식이기 때문에, 지능적 탐색이나 요소간의 관계를 통해 새로운 정보를 추론하지 못한다. 즉, 개별 요소나 공간 간의 위계 및 인과관계를 수동으로 명시해줘야 한다.

IFC 스키마를 온톨로지로 표현해주면 앞서 언급한 호환성 문제의 해결과 더불어, 온톨로지 기반 탐색 언어(e.g., SPARQL)로 IFC 요소간의 추론이 가능해진다.

일례로, IFC에서 공간이라는 개념을 표현하기 위해서는 이를 'ifcSpace' 클래스로 일일이 명시해 줘야 한다.

이에 비해 온톨로지를 활용하면 '방은 일반적으로 네 개의 벽이 모여서 구성된다'는 명제를 규정하고, SPARQL과 같은 탐색언어를 통해 이 명제에 일치하는 공간을 자동 추론할 수 있다.

이는 최근 진행되는 연구 분야로 온톨로지를 이용해 표준내역항목을 자동 추론한 연구(Lee et al., 2014), 설계 일관성 검토 연구(Kim and Grobler, 2009), 실내 라우팅을 위한 공간 위계 추론 연구(Dudas et al., 2009) 사례가 있다.

국내에서는 BIM 정보의 상호호환을 위해 온톨로지를 적용한 연구(Lee et al., 2012)와 온톨로지를 이용해 표준내역항목을 자동 추론한 연구(Park and Jeong, 2010)가 대표적이다.

2.2 기계학습을 활용한 연구

최근에는 인공지능 및 기계학습의 발전으로 이들 기술을 활용하여 BIM에 적용하고자 한 연구가 증가하고 있다.

기계학습 기법은 최근에 건설 뿐 아니라 빅데이터, 인공지능 분야에서 핵심 알고리즘으로 활용되는 등 그 적용이 급증하고 있다. 이에 따라 BIM과 접목을 통한 연구도 점차 늘어나고 있으며 대표적으로 1) 빌딩 에너지 데이터 분석, 2) 기존 건물 유지관리를 위한 포인트 클라우드 연구 및 3) WiFi 데이터를 이용한 실내 위치 인식 연구 등이 있다.

1) 빌딩 에너지 데이터 분석

최근 BIM을 활용하여 효과를 보고 있는 분야 중 하나는 빌딩 에너지 분석이다. 이는 BIM 모델을 기초로 하여 Building Energy Simulation(BES) 분석 도구로 에너지 시뮬레이션을 수행하다. 이때 건축물의 구성 요소(지붕, 벽체, 창문, 기계설비 등)들 중 에너지 소모를 최소화할 수 있는 요소를 Feature selection을

---

3) 연구의 핵심 내용은 BIM정보표준을 확보하기 위하여 표준골격 및 시급한 표준분류체계를 개발하고 필요한 최소한의 공통적 BIM 라이브러리 콘텐츠를 개발구축하며 BIM업무수행에 필요한 공통적인 지식DB을 구축하고 설계사무소의 BIM도입 활성화에 필요한 국가 제도정책을 마련함.(http://kbims.or.kr/)

4) https://github.com/mmlab/IFC-to-RDF-converter

통해 추려낸다(Kim et al., 2011; Ahmed et al., 2011).

2) 포인트 클라우드 연구

레이저 스캐닝laser scanning)을 통해 측정된 포인트 클라우드(point cloud)를 기반으로 BIM 모델을 구축하는 연구는 기계학습을 이용해 포인트 클라우드 클러스터가 벽체, 창문 인지를 구분하는데에 활용한다(Xiong and Huber, 2010; Xiong et al., 2013).

3) WiFi 이용한 실내 위치 인식 연구

실내에서 WiFi 신호를 이용하여 위치 인식을 하는 연구에서도 3차원 실내 배치를 모델링하기 위해 BIM 모델을 활용하는 연구가 진행되고 있다(Park et al., 2016).

2.3 이론적 고찰

2.1절에서와 같이 IFC의 활용을 높이기 위한 다수의 연구가 진행되어 왔다. 특히 온톨로지의 구축을 통해 IFC기반 BIM 모델의 지능화를 증대하고자 하는 연구가 주류를 이루고 있다. 그러나 본 연구에서는 온톨로지가 아닌 기계학습에 기반하여 빔 모델을 분석하는 새로운 패러다임을 제시하고자 한다.

2.2절의 연구들은 BIM의 객체정보를 사용하기보다는 시설물을 직접 측정하여 관측된 데이터를 기계학습 기법으로 분석하고 이의 결과를 BIM 모델 구축에 적용하는 방식으로 본 연구에서 추구하는 방향과는 차이점을 보이고 있다.

이에 반해 본 연구에서는 BIM 모델의 IFC 분류에 대한 무결성 검증을 위해 기계학습을 이용하고자 한다. 즉, 기계학습의 유사패턴 학습 기능을 활용하여 BIM 모델의 IFC매핑 중 잘못된 분류를 찾고자 한다. 이는 실제로 Krijnen & Tamke(2015)이 처음 제안한 것으로서 본 연구에서는 그의 방법을 숙지하고 실제 다수의 BIM 모델에 적용해 보았으며, 이를 통해 본 방법의 실효성을 검증하고, 한계점을 정리하여 추후 연구 방향을 제시하고자 하였다.

3. Krijnen의 이상탐지 분석 방법

3.1 개요

Krijnen & Tamke(2015)는 IFC 분류 검토를 기계학습 기법 중 이상탐지 분석(anomaly detection)을 통해 자동으로 수행할 수 있는 방안을 제시하였다.

Figure 1에서와 같이 BIM 모델(IFC 파일)이 주어졌을 때, 각 객체 클래스(ifcWall, ifcRoof, ifcWindow, 등)별로 이상탐지분석을 실시한다. 이때 이상탐지분석은 각 객체별 기하속성 정보(면적, 체적, 회전반경(radius of gyration), 바닥부터의 거리, 방향

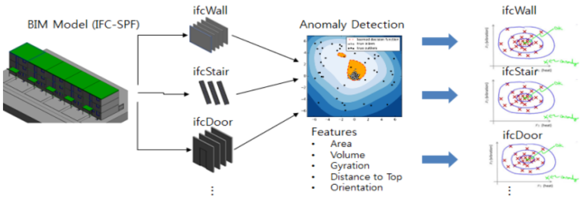


Figure 1. Overview of process for BIM component classification

(Orientation) 등)을 매개변수로 이용하여 정상치(inlier)와 이상치(outlier)를 구분하며, 이를 토대로 객체 분류의 무결성을 검증한다.

이는 동일한 IFC 객체들이 유사한 기하속성 및 형상을 갖추고 있다는 점에 착안하여, 각 객체 클래스 별로 발견된 이상치는 분류 오류의 가능성이 높다는 가정에 기인한다.

상기 방법론을 실행하기 위해서 Krijnen은 일련의 프로그램을 활용하고 있다. 즉, IFC파일에서 객체 클래스별로 정보를 갖고 오기 위해서는 자체적으로 개발한 ifcOpenShell(Krijnen, 2015a)을 사용하고 있으며, 여기서 기하정보를 추출하기 위해서는 오픈소스 패키지인 pythonOCC(Piviot, 2014)를 활용하고 있다. 마지막으로 이상탐지분석을 구현하기 위해서는 python 라이브러리인 scikit-learn(Pedregosa, 2011)을 사용하였다.

Krijnen은 본 방법론을 2층 스튜디오 BIM 모델에 적용하여 벽체(ifcWallStandardCase)에 분류 오류를 발견한 사례를 제시하고 있다. 즉, Figure 2에서와 같이 대부분의 벽체들은 초록색 및 갈색으로 정상치에 속하나, 3개의 벽체는 빨간색으로 다른 형상을 갖는 벽체인 것을 파악하였다. 이를 Solibri Model Checker에서 확인해 본 결과, 이들은 벽체가 아닌 지붕 및 창문으로서 IFC 매핑이 잘못된 것을 알 수 있다(Fig. 3 참조).

3.2 이상탐지 분석 기법 숙지

Krijnen방식이 활용한 이상탐지분석 (Anomaly detection)은

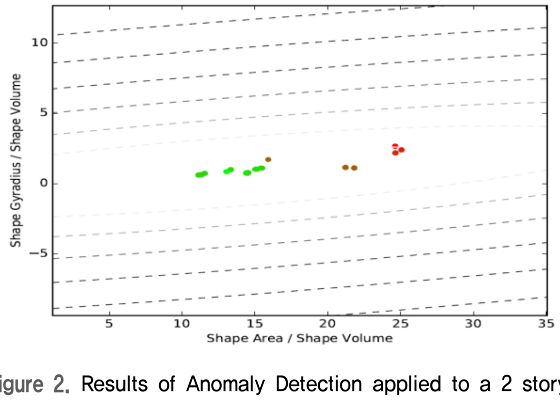


Figure 2. Results of Anomaly Detection applied to a 2 story studio BIM model

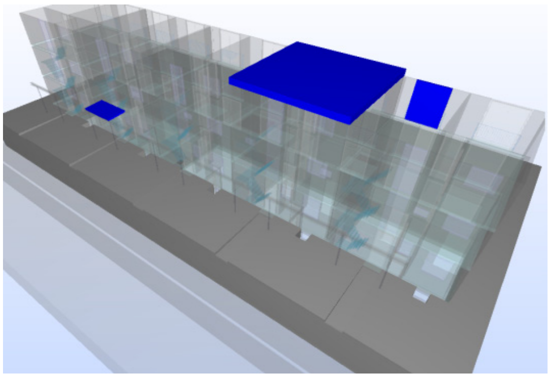


Figure 3. Confirmation of the anomalies using Solibri Model Checker

주어진 데이터 세트 중 일정한 패턴에 수렴하지 않는 아이템이나 관측치를 찾아내는 기법으로써 일반적으로 금융보안, 구조적 결함 또는 의료 문제 해결에서 사용된다.

이상탐지분석은 데이터 세트에 이상치 존재 유무를 기준으로 다시 Novelty detection과 Outlier detection으로 구분하여 활용된다. Novelty detection은 정상치만 있는 데이터세트로 알고리즘을 훈련한 후 이를 기반으로 이상치를 찾는 방법으로 대표적으로 One-class SVM을 활용한다. Outlier detection은 데이터 세트에 정상치와 이상치가 혼재하고 이중 다수의 유사 패턴에서 벗어나는 데이터 포인트를 이상치로 분류하는 것으로 대표적으로 Mahalanobis distance를 활용한다.

Krijnen방식은 IFC 객체 중 이상치가 존재하는 것을 전제하므로 Outlier detection을 활용한 것이며 개별 BIM 데이터를 정규분포로 가정하고 Mahalanobis distance를 계산하여 정상치(inlier)와 이상치(outlier)를 구분한 것이다.

Mahalanobis distance는 다변량 데이터에서 이상치를 분류하기 위한 데이터 간의 비유사성(Dissimilarity) 측정 방법이다.

일반적으로 많이 사용되는 Euclidean Distance를 통한 다변량 데이터 분석 시 발생할 수 있는 변수들 간의 상관관계와 척도(Scale)의 차이에 따른 오류를 제거할 수 있다.

Mahalanobis distance는 식 (1)과 같이 각 변수에 대한 관측값($\vec{x}=(x_1,x_2,x_2,\cdots,x_n)^T$)과 관측값의 평균($\vec{\mu}=(\mu_1,\mu_2,\mu_3,\cdots,\mu_n)^T$), 공분산 행렬($S$)로 정의하고 있다.

$$D(\vec{x}) = \sqrt{(\vec{x}-\vec{\mu})S^{-1}(\vec{x}-\vec{\mu})} \quad (1)$$

계산된 거리(Distance)는 Figure 4와 같이 Elliptical Envelop method를 활용한 diagram으로 나타낼 수 있으며, 파란색 점선은 거리(Distance)가 동일한 통계적 등고선(Contour)를 의미한다. 이를 활용하여 이상탐지 분석의 정확도를 높일 수 있다.

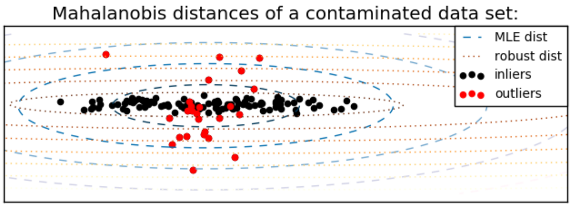


Figure 4. Output diagram using the Elliptical Envelope method for anomaly detection

3.3 Krijnen 접근법의 검증 필요성

Krijnen방식은 기계학습 기법을 활용한 독창적인 접근 방식을 제시했지만 그의 논문에는 구체적인 검증 작업 없이 그 가능성에만 그치고 있고 적용 대상도 1개의 BIM 모델에 국한되어 있다.

본 연구에서는 상기 Krijnen의 방법론을 활용하여 다수의 BIM 모델에 적용하였으며 이를 통해 본 방법론의 잠재적 한계점을 파악하고 더 나아가 그의 방법론을 일반화하여 정립하고 발전시켜 나가고자 하였다.

4. 적용사례 및 결과

4.1 적용 사례 I: 듀플렉스(Duplex) 모델

첫 번째 모델은 듀플렉스[5](Duplex)형태의 건축 모델로서 본 모델은 미국 국가빌딩사이언스 연구소(NIBS[6])에서 제공하는 기본적인 BIM 모델이며, 159개의 IFC 객체로 구성되어 있는 비교적 단순한 모델이다.

본 모델에 대해 이상 탐지 분석을 한 결과는 Table 1에 각 IFC 클래스 별로 정리되어 있다. 총 159개의 객체 중 9개의 이상치를 탐지했으며, 클래스별로는 벽체(ifcWallStandardCase), 슬래브(ifcSlab), 창문(ifcWindow) 및 문(ifcDoor) 등에서 이상치

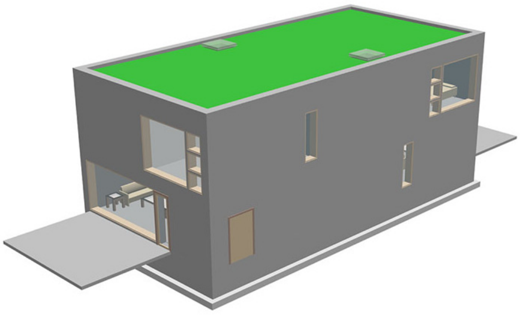


Figure 5. The duplex BIM model

5) 한 필지에 두 가구의 건물을 붙여 짓는 집
6) National Institute of Building Sciences, https://www.nibs.org/?page=bsa_commonbimfiles

Table 1. Results of the outlier detection applied to the Duplex BIM model

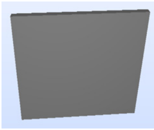
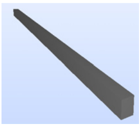
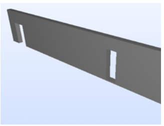
IFC Class	# of totals	# of inliers	# of outliers	Analysis of Results
IfcBeam	8	8	0	–
IfcCovering	13	13	0	–
IfcWall StandardCase	57	54	3	1 outlier represents mis-classification, in which, a railing is misclassified as ifcWall 2 outliers are walls, but have openings
IfcSlab	21	18	3	1 outlier has different geometry than inliers 2 outliers are slabs, but have openings
IfcRoof	1	1	0	–
IfcFooting	7	7	0	–
IfcWindow	24	23	1	1 outlier has different height to inliers
IfcDoor	16	14	2	2 outliers have different width than inliers
IfcStair	4	4	0	–
IfcRailing	4	4	0	–
IfcMember	4	4	0	–
Total	159	150	9	

가 발견된 것을 볼 수 있다. 다음은 이들 개별 클래스별로 이상치에 대한 구체적 원인분석을 정리하였다.

4.1.1 벽체(ifcWallStandardCase)

벽체를 살펴보면 57개 중 3개의 객체를 이상치로 분류했는데, 이 중 1개는 벽체가 아닌 난간(Railing)으로서 이상치로 분류된 것이 맞다. 그러나, 나머지 두개는 벽체임에도 불구하고 벽체에 개구부(Opening)가 존재하여 이상치로 분류된 것이다. 그러므로 이 경우 이상치 분류가 잘못된 것을 알 수 있다.

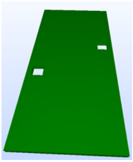
Table 2. Images comparing inliers and outliers for ifcWall-StandardCase

	Inliers	Outliers	
			
# of items	54	1	2
M dist	2.32	11.08	14.74

4.1.2 슬래브(ifcSlab)

슬래브의 경우 총 21 개 중 3개의 객체를 이상치로 분류했으나, 이 중 한 개는 Table 3에서와 같이 일반 직사각형 형태가 아닌 슬래브들을 오분류한 것을 볼 수 있으며, 나머지 두개도 개구부가 있어 이를 이상치로 오분류한 것이다.

Table 3. Images comparing inliers and outliers for ifcSlab

	Inliers	Outliers	
			
# of items	18	1	2
M dist	2.84	16.05	19.05

4.1.3 창문(ifcWindow) 및 문(ifcDoor)

창문의 경우 총 24개 중 1개를 이상치로 분류했다. 그 이유는 대부분의 창문과 유달리 크기가 작기 때문인 것으로 분석되었다 (Table 4 참조).

문(ifcDoor)의 경우 총 16개 중 2개를 이상치로 분류했는데 2개의 문은 나머지 문에 비해 폭이 상대적으로 크기 때문이다 (Table 5 참조).

Table 4. Images comparing inliers and outliers for ifcWindow

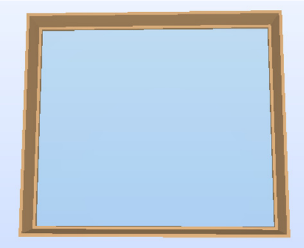
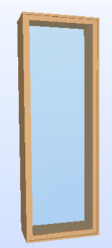
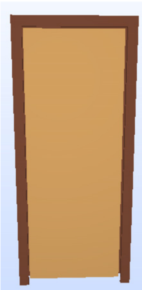
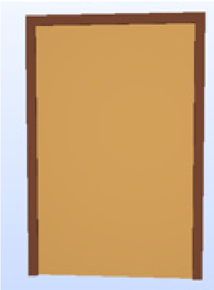
	Inliers	Outliers
		
# of items	24	1
M dist	3.40	16.22

Table 5. Images comparing inliers and outliers for ifcDoor

	Inliers	Outliers
		
# of items	16	2
M dist	3.45	11.80

4.1.4 소결

상기 분석 결과를 살펴보면, 벽체 및 슬래브의 경우 다수이면서 가장 일반적인 형태의 객체를 정상치로 분류하고 있으며, 반면에 소수이면서 특이한 형태의 객체를 이상치로 분류하는 것을 볼 수 있다. 창문 및 문의 경우도 동일한 기준을 따르고 있다.

즉, Krijnen방식이 IFC 클래스별로 다수의 유사한 형태의 객체를 정상치로 보고 그 중 소수인 것을 이상치로 구분하는 것을 알 수 있다. 이런 방식이 이상치를 찾는 데에는 적합하나, 특이한 형상을 무조건 이상치로 분류한다는 점에서는 한계가 있는 것을 알 수 있다.

또한 듀플렉스 모델은 지붕(ifcRoof)클래스의 객체가 하나 밖에 없는데, 이 경우 비교 대상이 없어 이상치 여부를 판별할 수 없다는 것을 알 수 있다.

4.2 적용 사례 II: 의료시설(Medical Clinic) 모델

두 번째 모델은 의료시설(Medical Clinic)인 '클리닉' BIM 모델로서, 듀플렉스 모델과 동일하게 미국 국가빌딩사이언스 연구소(NIBS)에서 제공하는 기본적인 BIM 모델이며, 1,413개의 IFC 객체로 구성되어 있는 비교적 복잡한 모델이다. 본 모델은 벽체(ifcWallStandardCase)가 1,080개 및 문(ifcDoor)가 254개로 모델의 대부분을 차지하고 있어, 개별 클래스에 다양한 형태의 객체가 존재할 때 Krijnen 방식을 검증하는데 유효하여 선정하였다.

Table 6에 이상탐지 분석 결과가 정리되어 있으며, 총 1,413개의 객체 중 79개의 이상치를 탐지하였다. 클래스별로는 벽체(ifcWallStandardCase), 창문(ifcWindow) 및 문(ifcDoor) 등에서 이상치가 발견된 것을 볼 수 있다. 다음은 이들 개별 클래스별로 이상치에 대한 구체적 원인분석을 정리하였다.

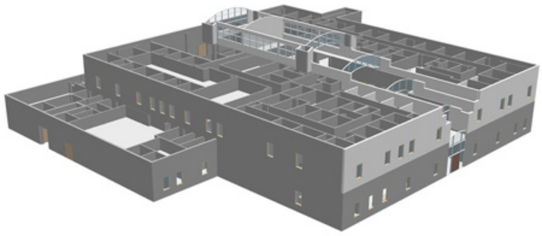


Figure 6. Medical Clinic BIM model

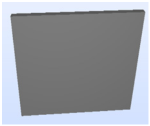
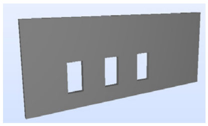
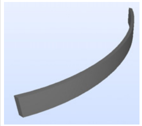
Table 6. The Medical Clinic BIM model

IFC Class	# of totals	# of Inliers	# of Outliers	Analysis of Results
IfcDoor	254	230	24	Classifies doors in curtain walls as outliers
IfcRailing	9	9	0	
IfcSlab	3	3	0	
IfcStair	9	9	0	
IfcWall StandardCase	1080	1025	55	Classifies wallls with openings or walls with curvatures as outliers
IfcWindow	58	58	0	
Total	1,413	1,334	79	

4.2.1 벽체(ifcWallStandardCase)

벽체를 살펴보면 1,080개 중 55개의 객체를 이상치로 분류했는데, 55개의 이상치는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 53개로 대다수를 차지하는 듀플렉스와 유사한 개구부가 존재하는 벽과 듀플렉스에는 존재하지 않는 곡면 형태의 비정형 벽 2개를 이상치로 분류하였다.

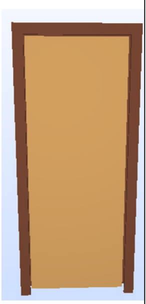
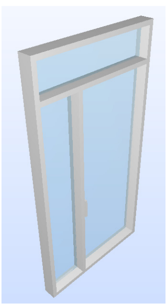
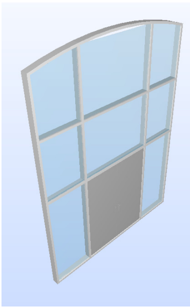
Table 7. Images comparing inliers and outliers for ifcWall-Standadcase

	Inlier	Outlier	
			
# of items	1025	53	2
M dist	0.96	40.95	29.84

4.2.2 문(IfcDoor)

문(ifcDoor)의 경우 총 254개 중 24개를 이상치로 분류했는데, Table 8에서와 같이 여닫이문의 경우 정상치로 분류하였다. 그러나 커튼월 내에 존재하는 문과 미닫이문을 전부 이상치로 분류하는 문제점이 발생하였다.

Table 8. Images comparing inliers and outliers for ifcDoor

	Inlier	Outlier	
			
# of items	230	20	4
M dist	0.13	40.95	34.54

4.2.3 소결

앞선 듀플렉스 모델 사례와 유사하게, 본 분석에서도 역시 IFC 클래스별로 형상이 유사한 다수의 객체를 이상치로 구분하고 소수의 객체들은 이상치로 분류하는 것을 볼 수 있다.

본 모델에서는 클래스별로 객체수가 많기 때문에, 이상치의 객체도 여러 개로 다시 세분화하는 것을 볼 수 있다. 즉, 개구부가 존재하는 벽체의 경우 53개로 비교적 많은 객체수가 존재함에도 이상치로 분류하는 오류가 발생하였고, 곡면 벽체의 경우 비정형 구조에 대해 분류가 정확하지 않음을 알 수 있다.

이는 이상탐지 기법의 문제라기보다는 여러 종류의 다른 형태를 띈 객체 유형(예: 외벽, 내벽, 커튼월 등)을 하나의 IFC 클래스에 포함시키는 IFC 분류 기준의 한계로 볼 수 있다.

4.3 종합 분석

두 적용 사례에서 발견된 Krijnen 방식의 문제점을 정리하면 다음과 같다.

4.3.1 형상이 다른 객체를 이상치로 오분류

Krijnen방식이 이상치를 찾는 데 유효한 방식이긴 하지만, 이상치가 아니고 실제로 형상이 특이한 동일 IFC클래스의 객체일 경우 무조건 이상치로 분류하는 문제가 발생한다.

물론, 형상이 다르기 때문에 이상치로 분류하는 것이 알고리즘 상으로는 옳지만, 각 클래스별로 형상이 모두 유사할 것이라는 가정의 문제점을 보여주고 있다.

4.3.2 객체 수가 많을 경우 이상치 오분류 증가

동일 IFC클래스의 객체 수가 많아질수록 상기 문제점은 더욱 두드러지는 것을 볼 수 있다. 두 번째 클리닉 모델의 벽체나 문처럼 객체수가 많은 경우, 이상치를 탐지하기보다는 클래스 내의 유사 객체들을 세분류하는 효과를 가져왔다. 이는 이상치 분석보다는 클러스터링을 한 결과와 유사하다.

이는 알고리즘의 문제라기보다는 애초 IFC의 분류체계의 한계라고 볼 수 있다. 예를 들어, IFC는 모든 벽체를 기본적으로 ifcWallStandardCase로 분류하고 이를 세부적으로 다시 분류할 수 없다.

4.3.3 객체 수가 작을 경우 비교 대상이 없는 한계점

듀플랙스 모델의 지붕 및 클리닉 모델의 슬래브(ifcSlab)와 같이 객체 수가 1~3개 밖에 없을 경우에는 이상탐지 분석에서 비교를 할 대상이 없기 때문에 이상탐지 분석을 하는 의미가 자체가 없어진다.

이처럼 Krijnen방식에서는 IFC 객체별로 필요한 적정 객체수를 제시하지 않고 있으며 이는 한 개의BIM 모델을 분석하는 것에 국한하고 있는데서 비롯된다.

5. 향후 개선 방안

5.1 기하 정보의 추가 및 클래스 별 세분화

4.3.1 및 4.3.2 절에서와 같이 형상이 다른 소수의 객체를 오분류하는 문제를 해결하기 위해서는 크게 두 가지 방법으로 해결 할 수 있다.

첫째, IFC클래스별로 더 세분화된 분류를 만들거나, ifcPropertySet를 이용한 속성 부여를 통해 재분류한 후 이를 기준으로 이상탐지 기법을 적용할 수 있다.

이와 동시에 분류의 정확성을 높이기 위해 Krijnen이 사용한 기하정보 외에 추가 기하정보를 이상탐지 분석 시 활용하여 알고리즘의 변별력을 높이는 것이다. 예를 들어, 곡면의 벽체일 경우, 곡면의 반경이나 변곡점과 같은 기하정보를 통해 일반 벽체와 구분할 수 있게 된다.

5.2 Novelty detection방식으로 이상탐지분석 수행

Krijnen방식의 문제점을 해결할 수 있는 또 다른 방법은 이상탐지분석 방법 중 대안인 Novelty detection을 적용하는 것이다. Novelty Detection은 Outlier detection 방법과는 달리 정상적인 데이터 포인트로만 구성된 데이터세트로 기계학습 알고리즘을 훈련시킨 후, 추후 데이터세트에 적용하여 이 중에서 이상치를 찾는 방식이다.

예를 들어, 정상적인 벽체들만 모아 이를 기반으로 알고리즘이 벽체의 기하정보를 학습하게 한 후, 이를 기반으로 문제의 벽체를 선별하게 해준다.

이 경우, 사전적으로 구축된 IFC클래스별 객체의 형상을 학습하게 되므로 4.3.3절에서 언급한 객체 수 부족으로 인한 문제점을 해결할 수 있으며, 동시에 1개의 BIM모델에 국한되지도 않는다.

5.3 확률그래프모델을 이용한 객체 간 시멘틱 관계 활용

Krijnen방식은 BIM 객체를 구분하는 데 있어 근본적으로 기하정보만을 활용하고 있다. 그러나 BIM 모델의 개별 객체를 분류하기 위해 좋은 또 다른 정보는 객체간의 시멘틱 관계이다. 예를 들어 벽체는 일반적으로 천정과 슬래브에 연결돼 있다. 이러한 관계 정보를 활용하면 객체를 분류할 때 정확성을 높일 수 있다.

실제로 타 연구에서는 이런 시멘틱 정보를 활용하고 있으며 이를 'Contextual modeling'이라고 명명하고 있다(Xiong and Huber, 2010; Fisher and Hanrahan, 2010; Fisher et al., 2011; Xiong et al., 2013) 단, 이런 시멘틱 정보를 사용자가 수동으로 명시하는 것이 아니고 모델을 학습하여 객체간의 관계를 확률적으로 유추한다. 이처럼 변수간의 관계를 데이터로부터 학습하여

예측 및 분류에 활용하는 기계학습 기법을 'structured learning'이라 하며 이는 인공지능의 세부 분야인 확률그래프모델(Probabilistic Graphical Model)에 근간을 두고 있다(Koller and Friedman, 2009).

본 연구에서 발견된 문제점들은 상기 방법들로 상당 부분 해결을 될 것으로 판단되어 향후 연구 진행 시 집중적으로 개발하고자 한다.

6. 결론

IFC는 BIM 정보의 교환을 가능케 하는 표준을 제공해주지만, IFC 스키마 구조와 운용 방식에 대한 이해를 요하고 있다. 실제로 실무에서는 각 회사 내지 사용자마다 자체적으로 개발하는 BIM 라이브러리, 사업별 분류체계로 인해 IFC의 매핑이 달라질 수 있으며, 이에 따라 객체 분류 오류 및 객체 관계 설정에 누락이 발생할 수 있다. 그러므로 BIM 모델 개별 객체의 IFC 매핑의 무결성 검증이 필요하며 Krijnen은 기계학습 방법인 이상탐지분석을 활용하여 이를 해결하고자 하였다.

본 연구에서는 Krijnen 방식을 실제 두개의 건축 BIM 모델에 적용해 보고 이를 토대로 본 방식의 한계점을 도출하였다. Krijnen방식이 IFC 분류상 오류를 구하는데 효과적인 면도 있지만, 1) 이상치가 아니고 실제로 형상이 특이한 동일 IFC클래스의 객체일 경우 무조건 이상치로 분류한다는 점, 2) 객체수가 많을수록 오분류가 증가한다는 점, 그리고 3) 분석에 필요한 적정 객체수를 정립하지 않았다는 점 등에서 본 방식의 한계점을 발견하였다.

본 연구는 이런 한계점을 인지하고 이에 따라 Krijnen 방식을 개선할 수 있는 방안으로 1) 기하 정보의 추가 및 클래스 별 세분화, 2) Novelty Detection 방법으로 이상탐지분석 및 3) 확률그래프모델을 이용한 객체 간 시멘틱 관계 활용 등을 제시하였다.

본 연구는 기계학습 기법과 BIM 연구를 융합하여 새로운 연구분야를 구축하고자 하는 취지로 기초적이면서도 향후 잠재성이 높은 연구로 발전해 나가고자 한다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.(2015-1454)

References

Ahmed, A., Korres, N. E., Ploennigs, J., Elhadi, H., Menzel, K. (2011). Mining building performance data for energy-efficient operation, Advanced Engineering Informatics, 25(2), 341-354.

Akinci, B. (2008). CAD and GIS interoperability through semantic web services, Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 13, 39-55.

Daum, S., Borrmann, A. (2014). Processing of Topological BIM Queries using Boundary Representation Based Methods, Advanced Engineering Informatics, 28(4), 272-286.

Dudas, P. M., Ghafourian, M., Karimi, H. A. (2009). ONALIN: Ontology and Algorithm for Indoor Routing, Presented at the 2009 Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware, IEEE, pp. 720-725.

El-Mekawy, M., Östman, A. (2010). Semantic Mapping : An Ontology Engineering Method for Integrating Building Models in IFC and CityGML., 3rd ISDE DIGITAL EARTH SUMMIT. pp. 1-11.

Froese, T., Grobler, F., Ritzenthaler, J., Yu, K., Akinci, B., Akbas, R. (1999). Industry Foundation Classes for Project Management - A Trial Implementation, Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 4(2), 17-36.

Fisher, M., Hanrahan, P. (2010). Context-based search for 3D models, In ACM Transactions on Graphics (TOG), 29(6), pp. 182.

Fisher, M., Savva, M., Hanrahan, P. (2011). Characterizing structural relationships in scenes using graph kernels, In ACM Transactions on Graphics (TOG), 30(4), p. 34.

Kang, H. S., Lee, G., Shin, Y. A. (2008). A Framework for the IFC Interoperability Test Method to Support BIM, Proceedings of KICEM Annual Conference, 675-678.

Kang, T. W. (2015). Open source viewer-based BIM Query Development for BIM information visualization, Journal of KIBIM, 5(2), 19-25.

Kim, I. H., Choi, J. S. (2011). IFC Standard Interoperability for Quality Assurance Based on the Open BIM Environment, 2010 COSEIK Annual Conference, 1-4.

Kim, J. W., Ock, J. H. (2009). A Study on the Development of the Problem Improvement Directions in Enhancing BIM Data Interoperability through IFC, Korean Journal of Construction Engineering and Management, 10(6),

88–98.

Kim, H., Grobler, F. (2009). Design Coordination in Building Information Modeling (BIM) Using Ontological Consistency Checking, International Workshop on Computing in Civil Engineering 2009, American Society of Civil Engineers, 346, pp. 410–420.

Kim, H., Stumpf, A., Kim, W. (2011). Analysis of an energy efficient building design through data mining approach. Automation in Construction, 20(1), 37–43.

Kiviniemi, A. (2009). IFC Certification Process and Data Exchange Problems. Proceedings of the 2008 ECCPM, Conference, pp. 6.

Koller, D., Friedman, N. (2009). Probabilistic graphical models: principles and techniques. MIT press.

Krijnen, T. (2015). IfcOpenShell, https://ifcopenshell.org (May 2015).

Krijnen, T., Tamke, M. (2015). Assessing Implicit Knowledge in BIM Models with Machine Learning, Modelling Behaviour, pp. 397–406.

Lee, S. K., Kim, K. R., Yu, J. H. (2012). Automatic Inference of Standard BOQ(Bill of Quantities) Items using BIM and Ontology. Korean Journal of Construction Engineering and Management, 13(3), 99–108.

Lee, S. K., Kim, K. R., Yu, J. H. (2014). BIM and ontology-based approach for building cost estimation. Automation in Construction, 41, 96–105.

Lipman, R., Palmer, M., Palacios, S. (2011). Assessment of conformance and interoperability testing methods used for construction industry product models. Automation in Construction, 20(4), 418–428.

Lee, J. Y., Seo, M. R., Son, B. S. (2009). A Study on the Exchange Method of Building Information Model between BIM Solutions using IFC File Format, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 25(3), 1–10.

Mazairac, W., Beetz, J. (2013). BIMQL – An open query language for building information models. Advanced Engineering Informatics, 27(4), 444–456.

Park, J., Cho, Y. K., Martinez, D. (2016). A BIM and UWB integrated Mobile Robot Navigation System for Indoor Position Tracking Applications, Journal of Construction Engineering and Project Management, 6(2), 30–39.

Park, J. D., Kim, J. W. (2009). A Study on the Ontology Representation of the IFC based Building Information Model, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 25(5), 87–94.

Paviot, T. (2014). Pythonocc, 3D CAD/CAE/PLM development framework for the python programming language, https:// github.com/DURAARK/pyIfcExtract (May 2015).

Pauwels, P., Van Deursen, D. (2012). IFC/RDF: adaptation, aggregation and enrichment. Proceedings of the 5th International Conference on Semantic and Digital Media Technologies, pp. 1–3.

Pauwels, P., De Meyer, R., Van Campenhout, J. (2010). Interoperability for the Design and Construction Industry through Semantic Web Technology. In Semantic Multimedia. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 6725, pp. 143–158

Pedregosa, F. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, pp. 2825–2830.

Tauscher, E., Bargstadt, H. J., Smarsly, K. (2016). Generic BIM queries based on the IFC object model using graph theory. Eccpm, 1–8.

Xiong, X., Huber, D. (2010). Using Context to Create Semantic 3D Models of Indoor Environments. British Machine Vision Conference 2010, British Machine Vision Association. pp. 45.1–45.11.

Xiong, X., Adan, A., Akinci, B., Huber, D. (2013). Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. Automation in Construction, 31, 325–337.

Yu, J. H., Kim, G. R. (2013). Application of BIM information using ontology-based approach, Construction Engineering and Management, 14(1), 52–57.

Zhang, C., Beetz, J., Weise, M. (2014). Interoperable validation for IFC building models using open p standards. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 20(2), 24–39.