Journal of KIAEBS Vol.18, No.1, February pp. 1-14

RESEARCH ARTICLE

건물에너지 성능평가를 위한 개방형 BIM 기반 IFC 모델의 요구정보 보완 프로세스 개발

박성현[1] · 이용하[2] · 박창영[3] · 장향인[4*]

[1](주)미래환경플랜건축사사무소 건축친환경신기술연구소 연구소장,
[2](주)미래환경플랜건축사사무소 건축친환경신기술연구소 선임연구원,
[3](주)미래환경플랜건축사사무소 건축친환경신기술연구소 부소장,
[4](주)이지솔루션즈 건축지능화기술연구소 연구소장

Development of Process to Supplement the IFC Model Requirement Information for OpenBIM-based Building Energy Performance Evaluation

Park, Seong-Hyun[1] · Lee, Yong-Ha[2] · Park, Chang-Young[3] · Jang, Hyang-In[4*]

[1]Director, Institute of Green Building and New Technology, Mirae Environment Plan, Seoul, Korea
[2]Junior Researcher, Institute of Green Building and New Technology, Mirae Environment Plan, Seoul, Korea
[3]Deputy Director, Institute of Green Building and New Technology, Mirae Environment Plan, Seoul, Korea
[4]Director, Intelligence Research Institute, EG Solutions, Seoul, Korea

***Corresponding author:** Jang, Hyang-In, Tel: +82-02-6741-1201, E-mail: hijang@egsol.co.kr

ABSTRACT

This study proposes a method for modifying and supplementing IFC model for building performance evaluation without requiring authoring BIM software. The proposed algorithm identifies the information required for BIM-based energy performance evaluation, such as building geometry, material, building envelope properties, and building system properties, and supplements the required information according to each type of information. The algorithms consider various scenarios of information availability, such as missing or incomplete information. The results of supplementing each type of algorithm demonstrate that building performance evaluation can be performed without using commercial BIM tools, which can significantly reduce the cost and time required for building performance evaluation. This approach increases the reliability of BIM-based performance evaluation and can contribute to achieving sustainable building design and operation. In conclusion, this study shows that the IFC model can be modified and supplemented for building performance evaluation without using separate commercial BIM software. The proposed algorithm for supplementing required information can be applied in various scenarios of information availability.

주요어 : 에너지 성능, 정보 보완, 건물 정보 모델링

Keywords: Energy Performance, Enhancing Data, Building Information Modeling

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2024 February, 18(1): 1-14
https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20240001

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: April 10, 2023
Revised: February 14, 2024
Accepted: February 14, 2024

Ⓒ 2024 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

BIM (Building Information Modeling)은 건물의 생애주기에서 발생하는 다양한 정보를 수집 및 저장하고, 이를 다양한 형태로 제공함으로써 건물에 관한 전반적인 정보에 접근을 가능케 한다. 특히, 건물의 성능 또는 품질의 검토를 위한 매개체로써 그 필요성이 더욱 부각되고 있는 실정이며, 건축물의 인허가, 에너지 성능평가 등과 같이 건축물과 관련한 다양한 분야에서 활용 가능하다. 그러나 이러한 정보를 열람하기 위해서는 상용 BIM 소프트웨어가 필요함에 따라 경제적인 부담이 발생하게 된다. 상기의 문제를 해결하고자 개방형 BIM이라는 개념의 도입과 함께 별도의 데이터 포맷이 개발 및 배포되어 현재는 상용 BIM 소프트웨어 없이도 BIM 데이터에 대한 접근성이 용이해진 실정이다.

개방형 BIM 데이터 포맷은 크게 BCF (BIM Collaboration Format)와 IFC (Industry Foundation Classes)로 구분되며, 이 중 IFC 포맷은 BuildingSMART가 주관하여 정립한 표준 포맷으로 접근성이 높아 이를 활용한 다양한 연구들이 진행되어지고 있다. Kim et al. (2019)는 IFC 데이터로부터 건물의 외피 전개도를 가시화하여 산출하는 연구를 수행하였으며, Porsani et al. (2021)는 IFC 데이터로부터 EnergyPlus와 연계를 위해 IFC-IDF (Input Data Format) 간의 정보 교환 자동화 알고리즘을 제안하였다. 이 외에도, 건축 법규 검토 자동화에 관한 연구(Kim et al., 2018), BIM 기반의 에너지 절약 및 저탄소 건물 최적화에 관한 연구(Liang et al., 2022) 등 IFC 데이터를 활용한 연구가 다양한 분야에 걸쳐 진행되고 있다. 이는 IFC 데이터를 활용한 연구에 입력되어야 하는 정보의 양은 증가하고, 질은 높아졌음을 의미한다. 반면, BIM 모델에 입력되어야 하는 정보의 양이 증가했다는 것은 IFC 데이터로 변환하는 과정에서 출력기 레이어 설정의 부재, 입력 과정에서의 휴먼 에러 등의 문제로 정보의 누락이 발생하거나 입력된 정보의 에러가 발생할 경우, 기존 연구의 결과를 온전히 활용하기 어려워진다는 문제점을 내포하고 있다(Koo et al., 2018).

또한, IFC 포맷으로 제작된 BIM 모델의 수정은 사용자가 직접 수행하기 어렵기 때문에 상용 BIM 소프트웨어를 사용하여 수정 후, 다시 IFC 포맷으로 변환해서 추출해야 하는 번거로움이 존재한다. 이에 본 연구에서는 건축물의 에너지 성능평가에 필요한 요구정보를 IFC 파일로부터 직접 수정이 가능한 방법을 제안하고자 한다. 선행적으로 기존 BIM 모델에서 에너지 성능평가에 요구되는 객체별 정보의 누락이 있는지를 판단하고, 보완하는 알고리즘을 개발한다. 개발된 알고리즘은 최종적으로 사용자의 입력 편의성과 가시화된 결과물 제공을 고려하여 편집기 형태의 시스템으로 취합 및 시스템화 된다. 이를 통해 다양한 정보를 직접 IFC 모델에 입력함으로써 별도의 상용 BIM 소프트웨어를 거치지 않고 IFC 데이터의 보완이 가능하게 된다.

건물에너지 성능평가 자동화를 위한 BIM 기반 연구사례

건물에너지 성능평가를 자동화하기 위하여 BIM 모델로부터 건물의 외피 성능, 설비에 관한 정보를 자동 추출하려는 시도가 연구적으로 활발히 진행되고 있다. 이 외에도, 건축 법규

검토 자동화, 이를 위한 데이터 생성 가이드 제시, 도면 생성 등과 같은 기초 연구가 이루어지고 있다. 그러나 현재 국내·외 BIM 기반의 평가 기술에 관해서는 평가 자체에 주안점을 두고 있어, 평가 방안 및 환경 등의 구축에 관한 연구가 주를 이루고 있다.

특히, 건축분야에서 에너지성능지표(Energy Performance Index)에 관한 평가 자동화의 경우, BIM 모델을 주요 매개로 하는 평가 자동화 기술에 관한 연구가 이루어졌다.

상용 BIM 제작도구인 Revit 소프트웨어를 기반으로 건물 에너지 환경 평가에 해당하는 건물 외피의 물성(Physical Properties)정보 추출방안 그리고 외피의 면적 산출에 관한 연구를 통하여 IFC 데이터의 활용 범위를 확장하였다(Lee et al., 2022). Lee et al. (2016)는 BIM 모델의 속성(Properties)정보를 활용하여 녹색건축인증 평가 방안을 제시하고, 그에 따른 가이드라인, 정보체계를 구축하여 BIM 기반의 녹색건축인증 평가 자동화에 방안을 제시하였다. Koo and Shin (2017)는 머신러닝 기법을 활용하여 IFC 데이터의 무결성 검토에 관한 연구를 수행하였으며, 사용자가 IFC 파일로부터 원하는 정보를 출력할 때, 발생할 수 있는 데이터 누락의 최소화 방안을 제시하였다. 그러나 해당 연구는 데이터 부재 관점에서 무결성을 검토하는 것에 초점을 두고 있어, IFC 내에서 요구되는 관계정보, 속성정보, 물성정보 등의 보완에 활용하기에는 용이하지 않다. 이와 같이 국내의 경우, IFC 데이터를 활용하기 위한 연구는 활발히 이루어지고 있으나 IFC 데이터의 수정 및 보완 등, 데이터 구축에 관한 연구는 여전히 미비한 실정이다.

국외에서도 IFC 데이터를 활용한 인증 평가 및 정보 교환을 목적으로 다양한 연구가 수행되고 있다. 개방형 BIM 데이터를 기반으로 CityGML과 같은 포맷 간의 정보 공유에 관한 연구(Zhu and Mao, 2015), 화재 및 에너지 시뮬레이션 등과 같이 여러 분야에 필요한 정보를 IFC 데이터로부터 취득하기 위한 연구(Michael and Kay, 2018)가 이에 해당한다. 그럼에도 불구하고, IFC 데이터 변환 과정에서 발생하는 누락된 정보의 보완 혹은 수정에 관한 연구는 여전히 미비한 실정이다.

또한, BIM 데이터를 활용한 법규 검토 및 인증평가 자동화에 관한 검토 기술 개선 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 대부분 속성 정보와 형상 정보를 이용하고 있다. 이는 IFC 데이터의 완성도가 떨어질 경우, 검토자가 건축 도면을 기반으로 수작업을 통해 재검토하거나 별도의 상용 BIM 소프트웨어를 거쳐 수정해야 함을 의미한다. 추가적으로 건축 법규, BF (Barrier Free) 인증 평가 자동화 측면에서는 활동공간에 관한 검토를 위해 요구되는 속성정보가 부재한 경우, 평가가 진행되기 어렵다. 이에 본 연구에서는 IFC 포맷에 저장되는 정보를 분석하여 에너지 성능평가에 요구되는 정보를 추출하고, 추출된 속성정보 및 형상정보를 토대로 각 평가에 요구되는 정보의 보완을 가능케 함으로써 IFC 데이터의 완성도를 높이고자 한다.

건물에너지 성능평가를 위한 BIM기반 정보의 보완 사항 도출

본 연구에서는 기존에 작성된 BIM 모델에 대하여 에너지성능 평가에 필요한 정보의 부재 여부를 판단하기 위해 우선적으로 객체별로 요구되는 정보를 도출하였다. IFC 데이터에서

입력되는 정보의 유형은 크게 객체정보, 물성정보, 형상정보, 속성정보가 있으며, 각 유형에 따른 정보는 독립적인 엔티티(Entity)로 구성된다. 여기서, 객체정보는 벽체, 바닥, 개구부 등의 구조체를 구분하기 위한 정보이며, 물성정보는 해당 객체가 지니는 열용량, 열관류율 등의 물리적 성질, 형상정보는 두께, 높이, 길이 등 객체의 모양을 정의하는 정보, 속성정보는 물성정보와 함께 재료명, ID 등의 명시적 정보를 의미한다. 따라서, 유형에 따라 입력되어야 하는 정보를 사전에 정의하고, 필요한 정보의 유무를 판단함으로써 기존 IFC 포맷으로 제작된 BIM 모델을 보완할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

Kim et al. (2017), Kim, et al. (2018) 등은 관련해서 에너지성능지표를 기반으로 IFC 포맷에서 요구되는 정보를 정의하였으며, 정의된 결과의 일부는 Table 1과 같다.

Table 1. Results of extraction and classification of required information for items related to the energy performance of building (partial)

Item	Required entity	Attribute entity	Data type	Attribute name	Required value
Roof	IfcSlab	-	IfcText	PreDefined Type	ROOF
	IfcRel Aggregates		IfcRelation-ship	Relating Object	IfcRoof
	IfcRoof	IfcRel Aggregates	IfcBuilding Element	Related Object	IfcSlab
Envelope	IfcWall, IfcSlab, IfcRoof	IfcProperty SingleValue	IfcBoolean	IsExternal	TRUE
Thermal Transmi-ttance	IfcWall, IfcSlab, IfcRoof	IfcProperty SingleValue	IfcThermal Transmit-tance Measure	Thermal Transmi-ttance	Physical Value
	IfcRel DefinesBy Properties		IfcRelation-ship	Related Object	IfcWall, IfcSlab, IfcRoof, etc.
Material	IfcMaterial	IfcMaterial Layer	IfcLabel	Name	Material Layer Name
	IfcMaterial Layer	IfcMaterial LayerSet	IfcLength Measure	Layer Thickness	Material Layer Thickness
	IfcRelAssociates Material		IfcRelation-ship	Relating Material	IfcMaterial
Door, Window	IfcOpening Element	IfcExtruded AreaSolid	IfcLength Measure	Depth	Height of Opening Element
	IfcOpening Element	IfcRectangle ProfileDef	IfcLength Measure	XDim, YDim	Width of Opening Element
	IfcRelVoids Element		IfcRelation-ship	Related Opening Element	Opening Object
	IfcRelFills Element	IfcRelVoids Element	IfcRelation-ship	Related Building Element	IfcWindow, IfcDoor

앞서 언급한 바와 같이 각 요구정보에서 입력되어야 하는 객체와 객체별로 정의되는 관계정보, 속성정보 등의 값에 따라 각 객체의 구조를 정의하였다. 예를 들어, 개구부인 문(Door) 객체에 관한 정보가 요구되는 경우, 단순히 엔티티만 정의하는 것이 아니라 문에 관한 형상정보, 물성정보, 관계정보, 속성정보가 반드시 EXPRESS 언어체계에 기반하여 별도로 생성되고, 인스턴스(Instance)로 출력되어야 한다는 것이다.

또한, 온전한 IFC 모델로 출력되기 위해해서는 인스턴스 외에도, 각 인스턴스에 부여되는 고유식별자에 관한 수정이 추가적으로 이루어져야 한다. 이에 본 연구에서는 생성되어야 할 IFC 정보 전반에 걸쳐 수정 접근이 용이하도록 IFC 기반 요구정보 자동 생성 알고리즘을 개발하였다.

활동공간 정보가 추가적으로 필요한 BF 인증의 경우, 평가 항목을 분석하여 요구 정보를 도출하고, BIM 모델 내에서 작동하도록 정의하였다. 알고리즘은 IFC 구조에 따라 정의된 요구정보를 통해 검토대상을 식별하며, 이를 바탕으로 각 객체 유형별 속성정보 및 형상정보에 따른 활동공간 정보를 추출하게 된다.

에너지 성능평가를 위한 IFC기반 정보의 보완 알고리즘 개발

앞서 언급한 정보 추출 방안을 기반으로 IFC 데이터로부터 건물에너지 성능인자 평가를 위한 관련 요구정보의 부재여부를 판별한다. IFC 데이터에 정보가 부재한 경우, 보완을 수행하게 된다. Table 1에 언급된 관계정보부터 객체정보까지 보완이 필요한 요구정보의 대상이며, 범위는 객체의 유형과 양에 따라 상이하다. Figure 1은 이를 자동화하기 위한 각 요구정보에 따른 식별 방안과 그에 따른 보완 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

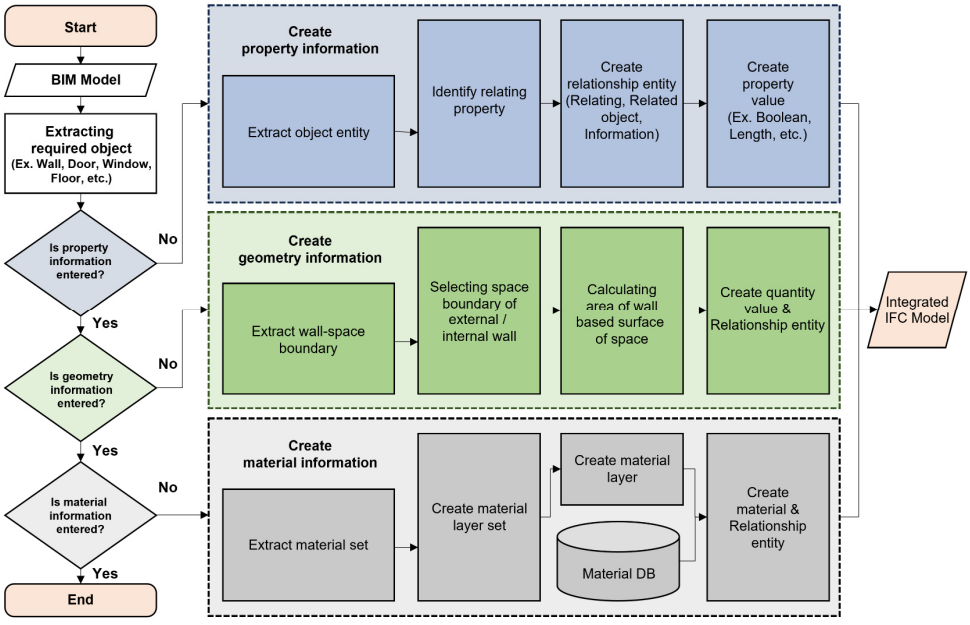


Figure 1. Process of IFC-based energy performance calculation automation by object type

속성성보를 통한 보완대상 식별 알고리즘

IFC 내에 정의되는 속성정보에는 객체 식별을 위한 물리적 특성 정보가 저장된다. 물리적 특성의 경우, 건물의 유형과 용도에 따라 데이터의 입력 방법과 열거되는 데이터의 체계 등이 상이한 구조를 가지게 되어 정보의 누락이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 IFC 데이터의 입력 단계에서 객체정보, 속성정보, 물성정보에 관한 정보 보완이 가능하도록 알고리즘을 각각 개발하였다.

정보 보완 알고리즘을 구현하기 위해 EXPRESS 기반의 언어체계를 가진 IFC 모델의 각 정보 체계(e,g. 스키마, EXPRESS-G 등)를 대상으로 분석을 진행하여 주요 요구정보를 도출하였다. 도출된 요구정보의 생성을 위해 필요한 정보를 객체단위로 분류하여 대상 객체, 객체 간 관계, 출력정보, 정보 유형을 정의하였다. 이후 각 알고리즘을 통해 정의된 요구정보의 입력 체계에 맞게 정보를 생성하고, 온전한 IFC 모델로 출력하게 된다.

객체정보 중 이름(Name)과 유형 등을 통해 객체 즉, 엔티티를 인식하고, 인식된 객체의 속성정보를 통해 대상을 식별한다. 속성정보는 관계 엔티티(IfcRelDefinesByProperties)를 통하여 각 객체(IfcObject)와 연계된다. IFC 객체의 비명시적 속성정보에 해당되는 IsDefinedBy의 속성값을 참조하는 것으로 데이터 열람이 가능하며, 불린(Boolean), 정수, 문자열 등의 형태로 속성정보가 저장된다. 이 외에도, IFC 포맷의 객체정보에는 기본적으로 ID, 이름, 사용자 등의 정보부터 좌표(ObjectPlacement), 형상(Representation) 등의 참조 엔티티까지가 포함되어 있다. 따라서, 개구부인 문의 설치 방향은 IfcDirection 엔티티를 통해 열람이 가능하므로 좌표 값을 얻을 수 없는 경우에는 입력된 정보가 요구정보에 부합하지 않는 것으로 보고, 정보가 부재인 것으로 판정하게 된다.

이처럼 각 객체의 속성정보를 통하여 요구정보의 부합여부를 판별할 수 있다. 특히, 열관류율, 밀도, 열용량, 외피의 치수 등과 같이 속성정보가 정량적인 값으로 정의되는 경우에는 유리수 값을 판별함으로써 객체식별이 가능하게 된다. IsExternal, FloorNetArea 등과 같이 IFC 내에서 정의되는 속성정보 외에도, 사용자 정의에 의한 식별도 가능하다. 예를 들어, 벽체의 구성요소는 HasAssociations 속성값을 통해 IfcRelAssocialtesMaterial 엔티티를 열람함으로써 해당 벽체에 입력된 자재 레이어셋(IfcMaterialLayerSet) 정보를 확인할 수 있게 된다. 레이어셋에는 기본적으로 자재의 두께부터 명칭까지의 정보가 저장되어 있다. 이 외에도 객체 명, 객체 유형 등의 정보를 보완함으로써 복도, 사무공간, 회의실 등과 같은 공간객체의 식별도 가능하게 된다.

구조체 정보 보완 알고리즘

구조체에는 Table 1에서 언급한 바와 같이, 지붕, 바닥, 벽체, 기둥 등의 객체정보(Name, GlobalID, Owner History, Representation 등)와 형상정보(IfcProductRepresentation), 속성정보, 물성정보가 입력되어야 한다. 대표적 구조체인 벽체 클래스에는 유형에 따라 정보가 입력되어야 하며, 이를 IfcWall 엔티티의 정보 구조로 나타내면 Figure 2와 같다.

```
ENTITY IfcWall;
   ENTITY IfcRoot;
      GlobalId              : IfcGloballyUniqueId;
      OwnerHistory          : IfcOwnerHistory;
      Name                  : OPTIONAL IfcLabel;
      Description           : OPTIONAL IfcText;
   ENTITY IfcObjectDefinition;
   INVERSE
      HasAssignments        : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
      IsDecomposedBy        : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
      Decomposes            : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
      HasAssociations       : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
   ENTITY IfcObject;
      ObjectType            : OPTIONAL IfcLabel;
   INVERSE
      IsDefinedBy           : SET OF IfcRelDefines FOR RelatedObjects;
   ENTITY IfcProduct;
      ObjectPlacement       : OPTIONAL IfcObjectPlacement;
      Representation        : OPTIONAL IfcProductRepresentation;
   INVERSE
      ReferencedBy          : SET OF IfcRelAssignsToProduct FOR RelatingProduct;
   ENTITY IfcElement;
      Tag                   : OPTIONAL IfcIdentifier;
   INVERSE
      FillsVoids            : SET [0:1] OF IfcRelFillsElement FOR RelatedBuildingElement;
      ConnectedTo           : SET OF IfcRelConnectsElements FOR RelatingElement;
      HasCoverings          : SET OF IfcRelCoversBldgElements FOR RelatingBuildingElement;
      HasProjections        : SET OF IfcRelProjectsElement FOR RelatingElement;
      HasStructuralMember : SET OF IfcRelConnectsStructuralElement FOR RelatingElement;
      ReferencedInStructures : SET OF IfcRelReferencedInSpatialStructure FOR RelatedElements;
      HasPorts              : SET OF IfcRelConnectsPortToElement FOR RelatedElement;
      HasOpenings           : SET OF IfcRelVoidsElement FOR RelatingBuildingElement;
      IsConnectionRealization : SET OF IfcRelConnectsWithRealizingElements FOR RealizingElements;
      ProvidesBoundaries  : SET OF IfcRelSpaceBoundary FOR RelatedBuildingElement;
      ConnectedFrom         : SET OF IfcRelConnectsElements FOR RelatedElement;
      ContainedInStructure : SET [0:1] OF IfcRelContainedInSpatialStructure FOR RelatedElements;
   ENTITY IfcBuildingElement;
   ENTITY IfcWall;
END_ENTITY;
```

Figure 2. Example of IFC information system (wall object) (BuildingSMART (2007), IFC 2x3 Final Documentation)

여기서, GlobalId, OwnerHistory, Name 등과 같이 명시적 정보에 해당하는 객체정보의 보완은 단순한 텍스트 편집을 통해 수정 및 보완이 가능하다. 그러나 비명시적 정보를 통해 관계정보로 연계되는 속성정보, 형상정보, 물성정보의 경우에는 수정 및 보완을 위해 별도의 관계 엔티티와 각 관계에 종속되는 속성값 엔티티, 물성값 엔티티 등이 필요하다. 따라서, 이를 보완하기 위해서는 Table 1에서 언급한 바와 같이, 속성정보에 대한 관계 엔티티와 종속 엔티티(IfcPropertySet, IfcProperty 등)의 연계를 위한 관계 정보의 생성이 필요하다. 물성정보의 경우에도 IfcRelAssociatsMaterial 엔티티에 따른 종속 엔티티가 입력되어야 한다. 이 외에도, 공간 객체의 치수를 보완하기 위해서는 형상정보에 관한 직접적인 연계가 선행되어야 한다.

즉, IFC 모델의 보완을 위해서는 벽체 엔티티에 대한 객체정보의 단순한 보완 외에도, 속성정보와 물성정보 간의 관계와 종속 엔티티를 정의하여야 하며, 형상정보는 각 구조체에 연계되는 벽체 간 혹은 바닥과 공간 객체(IfcSpace) 등의 연결관계를 고려하여 구조체의 형상정보를 생성하고, 해당 엔티티에 연계함으로써 온전한 구조체의 IFC 생성이 가능하다는 것이다.

형상정보의 경우, 공간 또는 벽체 객체의 경계를 기준으로 기준점(Local Placement)과 형상 엔티티(Representation)을 생성한다. 바닥 객체의 경우에는 형상에 대한 유형이 일정하지 않기 때문에 점(IfcCartesianPoint)을 기준으로 닫힌 프로필(IfcArbitraryClosedProfileDef) 엔티티를 생성하여 바닥의 평면 형상을 정의한다. 평면 프로필 엔티티를 기반으로 돌출부 엔티티(IfcExtrudedArea)와 연계하여 높이(Depth) 값을 입력함으로써 바닥 객체의 두께를 정의하고, 이를 3D 형상으로 출력하게 된다. 앞선 과정을 통해 최종적으로 바닥 객체에 관한 객

체 및 관계정보에 관한 인스턴스를 생성하여 누락된 구조체 정보를 보완할 수 있게 된다.

각 엔티티의 연계를 위해서는 불완전한 기존의 속성값 또는 형상정보에 관한 엔티티를 삭제하고 벽체와 공간 객체만이 입력된 IFC 모델을 생성해야 한다. 이 과정을 통해 기존에 입력된 값들을 제거함으로써 새로 입력된 정보와의 중복 가능성을 배제시킬 수 있다. 또한, 벽체에 관한 형상정보와 공간 객체를 통해 각 실의 경계 정보를 추출하면 지붕(IfcRoof) 및 바닥(IfcSlab)에 관한 정보를 생성할 수 있다. 이 외에도, 지붕과 바닥 객체의 정보 입력을 위해 속성 엔티티와 물성 엔티티를 생성한다. 해당 엔티티를 생성된 바닥과 지붕에 연계하기 위해 추가적인 엔티티를 생성함으로써 온전한 IFC 모델을 생성할 수 있게 되며, 이를 알고리즘 흐름도로 나타내면 Figure 3과 같다.

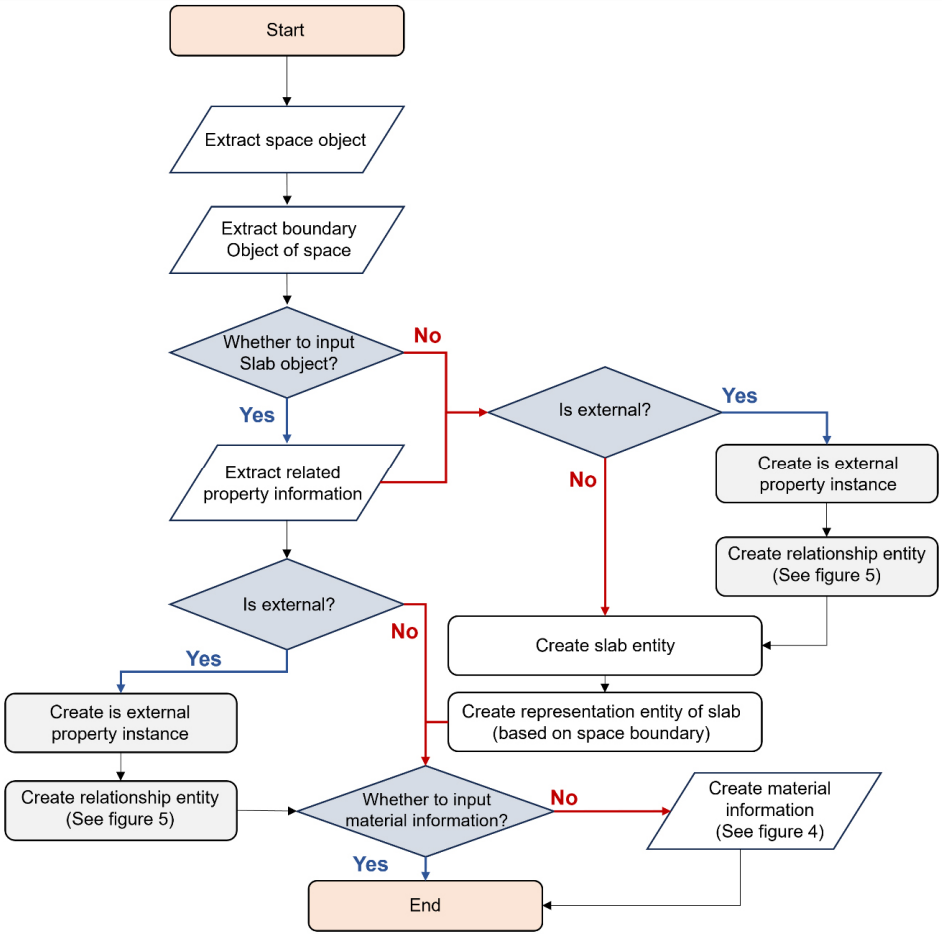


Figure 3. Enhancing process of object information (attribute & relationship) at the wall

개구요소 보완 알고리즘

벽체의 구성요소 중 하나인 개구요소(IfcOpeningElement)의 경우 별도의 관계 엔티티(IfcRelVoidElement)에 의해 개구부와 벽체 간 연계가 이루어진다. IFC 모델 내에서 기존의 개구요소에 입력되는 창과 문에 관한 정보의 수정을 위해서는 앞서 기술된 구조체 정보의 보

완 과정과 마찬가지로 기존에 입력된 창과 문에 관한 엔티티를 제거하는 과정을 거쳐 IFC 모델을 단순화해야 한다. 즉, 식별 정보를 토대로 보완이 요구되는 객체를 선정하고 요구정보의 입력 여부에 따라 단순화를 거쳐 각 객체의 요구정보를 생성하게 된다.

생성된 요구정보는 창(IfcWindow)과 문(IfcDoor) 엔티티로, 벽체 간의 소속관계를 정의하기 위해 IfcRelFillsVoid 엔티티를 생성하고 기존의 개구요소와 연계한다. 또한, IfcRel VoidElement 엔티티를 인스턴스로 출력함으로써 벽체-개구부-창, 문으로 관계가 정의된다. 사전에 정의한 바와 같이 각 객체 간의 관계 정보에 관한 인스턴스를 출력하고, 각 연결 관계에 따라 요구되는 정보를 연계한다. 연계를 위해서 앞서 생성된 객체 엔티티(IfcWindow, IfcDoor)와 관계 엔티티 간의 Express Id를 파악하고, 각 속성값에 해당하는 정보를 입력한다.

입력과정을 거쳐 벽체에 소속되는 개구부와 개구부에 소속되는 창, 문 객체를 생성함으로써 요구되는 정보의 보완이 가능하게 된다. 그러나 온전한 IFC 모델로 출력하기 위해서는 새로 생성되는 개구 요소 객체에 대한 추가적인 정의가 필요하다. 이를 위해, 기존에 입력된 개구부에 관한 형상 정보(IfcRepresentationDefinition)를 토대로 창, 문 객체의 형상 엔티티를 생성한다. 이후, 바닥 객체와 마찬가지로 개구부의 평면 프로필 및 돌출 엔티티를 생성 및 연계함으로써 창과 문 객체 등의 개구요소에 대한 정보보완이 가능하게 된다.

물성정보 보완 알고리즘

구조체(IfcBuildingElement)에서 건물 에너지 성능평가를 위해 요구되는 정보는 대표적으로 물성정보와 속성정보가 있다. 특히, 물성정보는 외피의 열성능 산출을 위한 필수 정보로 쓰이기 때문에 정확한 자재명과 두께 그리고 면적 등의 정보가 입력되어야 한다. 면적 정보의 경우, 별도의 속성값에 의해 입력될 수 있으나 구조체의 구성 자재에 관한 정보는 별도의 자재 엔티티(IfcMaterial)로 저장해야 한다. 따라서, 물성정보를 보완하기 위해서는 물성정보의 정의체계에 부합하는 별도의 방안이 요구됨을 의미한다.

이를 위해, 물성정보에 구조체를 구성하는 자재별 레이어셋을 IfcMaterialLayerSetUsage-IfcMaterialLayerSet-IfcMaterialLayer-IfcMaterial 구조에 따라 정의하여야 한다. 자재 구성, 자재 레이어셋에 관한 소속 정보가 이에 해당한다. 특히, 자재명에 관한 정보는 IfcMaterail 엔티티로 출력되지만 자재의 두께에 관한 정보는 IfcMaterialLayer에 저장된다. 따라서, 단일 자재에 관한 정보를 입력하기 위해서는 자재와 자재 레이어에 관한 인스턴스가 생성되어야 하며, 이는 IfcRelAssociatesMAterial 엔티티를 통하여 구조체와 연계된다. 재료에 관한 정보를 저장하는 인스턴스들과 이를 연계할 수 있는 관계 엔티티를 생성함으로써 구조체에 관한 물성정보를 보완할 수 있게 되는 것이다. Table 1에 언급된 바와 같이 물성 정보에 관한 클래스를 생성한 뒤, 해당 객체와 소속되는 재료 엔티티에 관한 관계를 정의 및 출력하여 구조체의 물성에 관한 IFC 정보를 보완하게 된다. Figure 4는 해당 과정을 알고리즘 순서도로 나타낸 그림이다.

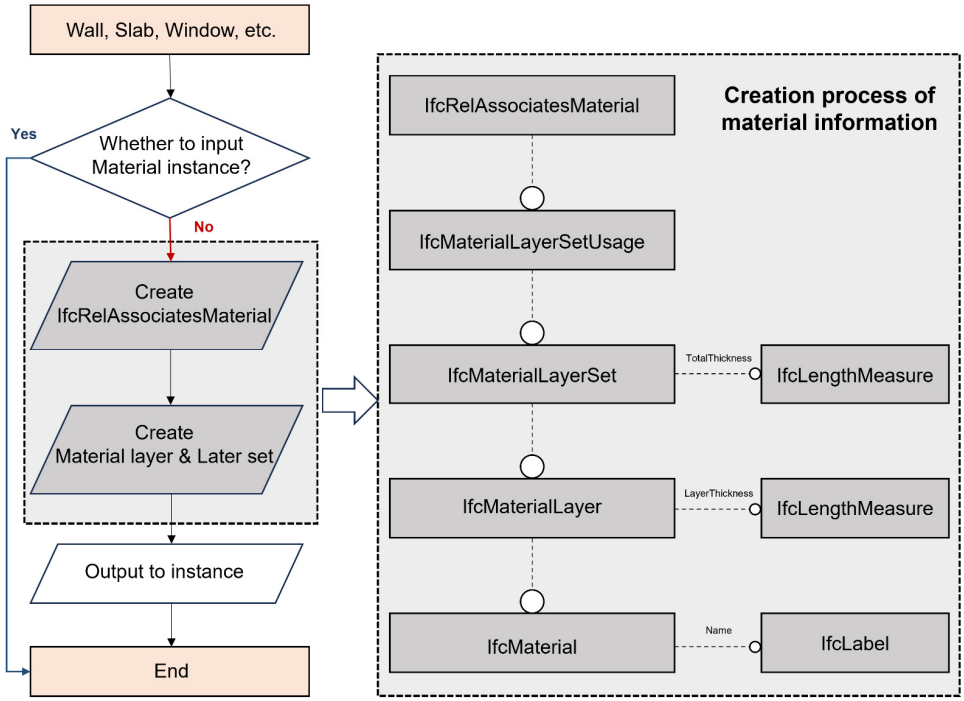


Figure 4. Enhancing process of material information

속성정보 보완 알고리즘

구조체, 개구요소, 물성정보는 앞서 기술한 바와 같이 각각의 관계와 객체 엔티티를 생성하고, 연계함으로써 IFC 모델 내에서 부재한 정보를 보완할 수 있었다. 그러나 건물의 에너지 성능평가에 필요한 외피 여부, 방위 등의 정보는 구조체의 객체정보, 물성정보, 형상정보에 의해 정의되지 않는다. 따라서, 해당 정보는 추가적으로 IfcProperty 단위의 IfcSingleProperty Value 엔티티와 같은 속성정보를 인스턴스 형태로 출력해야 한다. 다시 말해, 속성정보에 관한 보완을 위해서는 IfcSinglePropertyValue-IfcProperty-IfcPropertySet 순으로 정의되는 속성정보를 엔티티와 관계 정보에 관한 엔티티로 출력시켜야 함을 의미한다. 반면, IfcPropertySet는 기존 IFC 구조에서 정의되는 정보와 사용자 정의에 따라 별도의 Pset으로 정의되는 정보가 동시에 출력됨으로 이를 고려하여야 한다.

본 연구에서는 사용자 정의에 따른 입력 정보를 바탕으로 속성정보를 생성 및 출력시켜 건물의 에너지 성능평가에 필요로 하는 정보를 보완하도록 알고리즘을 개발하였다. 사용자의 입력 정보에 따라 생성될 속성정보의 유형을 판별하여 요구정보를 생성하게 된다. 예를 들어, 벽체의 외피 여부에 관한 정보는 'Pset_WallCommon' 로 정의되는 IfcPropertySet 산하의 'IsExternal' 속성값으로 표현되며, 해당 정보는 불린(Boolean) 유형의 정보로 저장된다. 이를 보완하기 위해, 앞서 언급한 Pset에 관한 엔티티와 속성값에 해당하는 엔티티에 IfcBoolean을 입력하여 외피 여부에 관한 정보를 보완하게 된다. Figure 5는 해당 보완 과정을 알고리즘 순서도로 나타낸 그림이다.

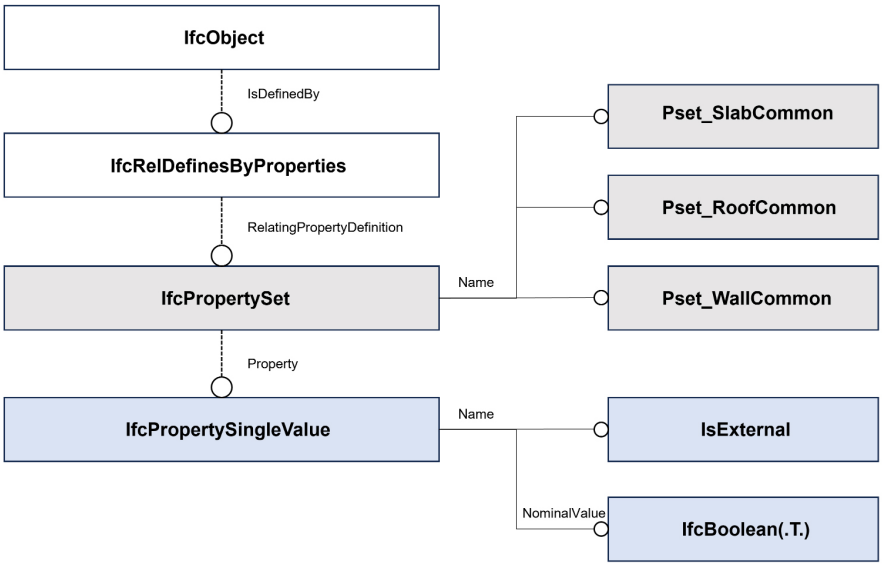


Figure 5. Enhancing process of property information at the object (Information of envelope properties)

개방형 BIM기반의 에너지 성능평가 인자 편집기 검증

Test model을 통한 편집기 성능 검증

본 연구에서는 개방형 BIM을 활용하여 건물의 에너지 성능평가 인자 정보를 보완할 수 있는 자동화 알고리즘을 개발하였다. 이를 기반으로 별도의 프로그램 없이도 사용자가 IFC 포맷으로 작성된 BIM 모델을 대상으로 지정한 정보를 자동으로 생성하고, 입력할 수 있는 편집기 시스템을 구축하였다. 본 장에서는 Test model을 통하여 시스템으로 구현된 IFC 데이터의 편집기에 대한 검증을 수행하였다. 기존의 IFC 포맷으로 작성된 BIM 모델을 대상으로 입력된 정보가 건물의 에너지 성능평가에 부합하지 않을 경우, 부재한 정보를 자동으로 판단하여 보완하게 된다. Test model은 'A' 건물로 표준파일 포맷의 BIM 모델이며, IFC 데이터는 2x3 버전으로 작성되었다. 보다 명확한 결과를 제시하기 위해 벽체와 개구부 정보만 입력된 모델을 대상으로 선정하였다. Table 2는 Test model의 2D 도면(평면도) 및 3D 형상정보를 나타내며, 건물의 에너지 성능평가를 위해 Test model에서 보완이 요구되는 인자정보는 Table 3과 같다.

Table 2. 2D & 3D view images of test model

2D (Floor Plan)	3D View (BIM Vision)

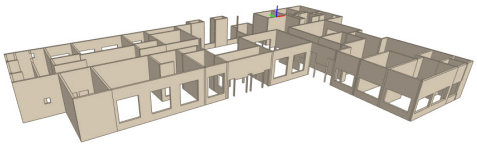
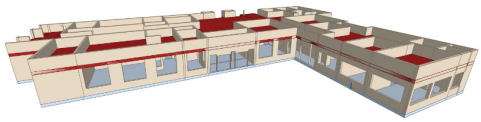
Table 3. Object and attribute information of test model

Category	Required Information	Data Type	Relationship Instance	Required Geometry	Connected Space
WALL	IsExternal	IfcBoolean	IfcRelDefinesBy Properties	No	No
	Material Information	IfcMaterial	IfcRelAssociates Material	No	No
		IfcMaterialLayer		Yes	No
	Window Object	IfcWindow	IfcRelFillsVoids	Yes	Yes
	Door Object	IfcDoor	IfcRelFillsVoids	Yes	Yes
SLAB	Slab Object	IfcSlab	-	Yes	Yes
ROOF	Roof Object	IfcRoof	-	Yes	Yes

건물에너지 성능평가를 위한 IFC 데이터의 인자정보 보완 결과

개방형 BIM 모델을 기반으로 건물에너지 성능을 평가하기 위해 기존 IFC 데이터의 객체정보를 바탕으로 부재한 요구정보에 관한 보완 자동화 알고리즘을 검증하였다. 기존 BIM 모델은 공간 객체와 경계 조건(IfcRelSpaceBoundary) 수준까지 모델링이 되어 있으며, 객체정보로는 벽체와 개구요소와 같이 형상에 관한 사항만 입력되어 있는 상태이다. 따라서, 벽체 및 공간에 관한 정보를 바탕으로 개구요소 및 바닥 객체의 정보를 요구수준으로 보완하였다. 또한, 객체별로 요구되는 형상, 물성, 속성정보와 이를 연계하기 위한 관계 엔티티를 출력하여 IFC 데이터를 보완하였다. Table 4는 Test mode의 벽체를 대상으로 IFC 데이터의 인자정보 보완 자동화 알고리즘을 수행한 결과로 #No. 는 추가로 정의된 인스턴스의 목록 중 일부를 나타낸다.

Table 4. The comparison of test results (partial)

Contrast Object (WALL)	
Original IFC Model Instance (partial) Total Number of Instance: 7,325	Enhancing IFC Model Instance (partial) Total Number of Instance: 14,446
#17=IFCWALLSTANDARDCASE('0387a2e6-e1cb-4700-9f18-90bc44e9332',$,'Wall',$,$,#18,#21,$);	
#33=IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('70591ac3-d5db-4008-a68a-d197a998e385',$,'ContainedInSpatial0',$,(#17),#13); … #50=IFCRELVOIDSELEMENT('123f91e6-04fc-4cc1-8711-5197c4c9f7a9',$,'VoidsElement0',$,#17,#34);	(The same instance as the existing IFC model is output: #33, #50, #4866, #5071) … #11740=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1sOsanfseHxPZJrFNlA9fj',#2,$,$,(#17),#11739); #12376=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1s_PPNfseHxQ$brFNlA9fj',#2,$,$,(#17),#12375);
	

앞서 언급한 바와 같이 외피 여부, 열관류율과 같은 속성정보와 물성정보가 자동으로 생성됨에 따라 구조체와 관계정보에 관한 인스턴스가 정의되었으며, 이를 통해 요구정보에 관한 보완이 이루어졌음을 확인할 수 있다. 기존의 IFC 데이터 경우, 총 7,325개의 인스턴스가 출력되었다. 반면, 본 연구에서 개발한 편집기를 통해 보완된 IFC 데이터의 경우 벽체, 지붕, 바닥에 관한 속성정보의 입력 및 출력에 관여하는 인스턴스가 총 14,446개 생성되었음을 알 수 있다. 이는 Table 1에서 정의한 바와 같이 공간의 형상정보를 기반으로 바닥과 지붕 객체에 관한 형상정보 및 속성정보를 생성하고, 각각의 인스턴스에 번호를 새롭게 부여하여 출력함으로써 요구정보에 대한 보완이 이루어졌음을 의미한다.

결 론

본 연구에서는 IFC 포맷으로 제작된 BIM 모델을 활용하여 건물에너지 성능평가에 요구되는 정보의 보완에 대한 자동화 방안을 제안하고, 편집기 형태의 시스템으로 개발하였다. 이를 위해, 건물에너지 성능평가를 위한 인증항목별 요구정보를 추출하고, 그에 따른 정보체계를 정의하였다. 또한, 정보의 유형에 따른 보완 프로세스를 알고리즘 형태로 도출하고, Test model을 통하여 검증하였다. 다음은 본 연구의 주요 결과를 나타낸다.

첫째, 건물에너지 성능평가를 위해 요구되는 정보를 바탕으로 BIM 모델 내에 입력되어야 하는 정보를 도출하였으며, 이를 IFC 내에서 데이터의 유형, 관계 정보, 출력 형태로 정의하였다. 요구정보는 우선적으로 대상 객체의 식별을 위해 입력되어야 하는 객체정보와 속성정보로 구분할 수 있다. 이를 객체 간의 연계를 위한 관계 엔티티로 정의하여 출력함으로써 온전한 IFC 데이터의 생성이 가능한 것으로 확인되었다.

둘째, IFC 객체의 유형에 따른 요구정보 보완 방안을 제안하였다. IFC 포맷의 파일에서 추출한 객체정보를 바탕으로 각 유형에 따른 평가 요구사항을 분석하고, 각 요구사항에 따른 요구정보 보완 방안을 제시하였다. 그 결과, 각 객체를 정의하는 유형 엔티티로부터 관계정보를 추출하고, 벽체의 위치, 방향 등의 형상정보 및 속성정보로부터 외피에 관한 정보를 생성 및 연계함으로써 IFC 데이터의 보완이 가능한 것으로 나타났다.

셋째, Test model을 통해 본 연구에서 제안한 알고리즘과 시스템의 정합성을 검토하였다.

편집기를 통해 대상 모델의 IFC 파일을 불러오면 속성정보 및 형상정보가 자동으로 추출되고, 이 과정에서 부재한 요구정보가 출력된다. 요구정보가 부재한 경우, 건물에너지 성능평가에 요구되는 정보를 자동 생성하고 별도의 IFC 포맷 파일로 저장시키게 된다. 보완 전·후의 IFC 포맷 데이터를 비교 분석한 결과, 속성정보, 물성정보 객체정보가 온전한 형태로 입력되어 정합성에는 문제가 없는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 개발한 시스템은 건물에너지 성능평가, 건축법규 검토, BF 인증평가 과정에서 기존 IFC 포맷의 파일 활용 시 발생하는 데이터 누락을 별도의 상용 BIM 소프트웨어 없이 방지할 수 있어 경제성을 지니고 있다. 따라서, 향후 관련 분야에서의 활용가치가 높을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00217322).

References

1. Kim, C.M., Kim, J.Y., Park, C.Y., Yoo, D.C., Choi, C.H. (2019). Development of BIM-based Program for Extracting Thermal Performance Details and Planar Figures to Calculate the Average U-value. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, 13(5), 347-357.
2. Kim, C.M., Kim, Y.A., Hong, J.P., Choi, C.H., Lee, H.W. (2017). A Study on IFC-BIM based Automated Information Extraction Method for Evaluation of Low-energy Green Home : Focused on Architectural BIM. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, 11(2), 91-99.
3. Kim, I.H., Kim, M.C., Choi, J.S. (2018). Development of Structured BIM Data Modeling Requirements Focused on Energy Performance Index in Korea. Korean Journal of Computational Design and Engineering, 23(1), 68-79.
4. Koo, B.S., Shin, B.J. (2017). Using Geometry based Anomaly Detection to check the Integrity of IFC classification in BIM models. Journal of KBIM, 7(1), 18-27.
5. Koo, B.S., Yu, Y.S., Jung, R.K. (2018). Machine Learning Based Approach to Building Element Classification for Semantic Integrity Checking of Building Information Models. Korean Journal of Computational Design and Engineering, 23(4), 373-383.
6. Lee, Y.H., Park, C.Y., Kim, K.S., Jang, H.I. (2022). Development of Area-based Building Energy Performance Factor Extraction Algorithm Using IFC Spatial Boundary and Geometry Information. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, 16(6), 433-448.
7. Lee, Y.J., Kim, M.K., Jun, H.J. (2016). A Study on the Application of BIM System for G-SEED Certification Assessment. Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design, 32(12), 63-70.
8. Liang, Z., Wei, Z., Wenshun, W. (2022). BIM-Based Multi-Objective Optimization of Low-Carbon and Energy-Saving Buildings. Sustainability, 14(20), DOI: https://doi.org/10.3390/su142013064.
9. Michael, T., Kay, S. (2018). IFC Monitor − An IFC Schema Extension for Modeling Structural Health Monitoring Systems. Advances Engineering Informatics, 37, 54-65.
10. Porsani, G.B., Lersundi, K.D.V., Gutiérrez, A.S., Bandera, C.F. (2021). Interoperability between Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Model (BEM). Applied Sciences, 11(5), 2167. DOI: 10.3390/app11052167.
11. Zhu, L., Mao, H. (2015). Building Interior Model Interpolation between IFC and City GML. The Open Construction and Building Technology Journal, 9(1), 170-176.
12. BuildingSMART. (2007). IFC 2x3 Final Documentation, URL: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/