

IFC를 이용한 IndoorGML 데이터 자동 생성에 관한 연구 - Primal Space를 중심으로 - A Study of IndoorGML Automatic Generation using IFC - Focus on Primal Space -

남상관¹⁾ · 장한메²⁾ · 강혜영³⁾ · 최현상⁴⁾ · 이지영⁵⁾

Nam, Sang Kwan · Hanme Jang · Kang, Hye Young · Choi, Hyun Sang · Lee, Ji Yeong

Abstract

As the time spent in indoor space has increased, the demand for services targeting indoor spaces also continues to increase. To provide indoor spatial information services, the construction of indoor spatial information should be done first. In the study, a method of generation IndoorGML, which is the international standard data format for Indoor space, from existing BIM data. The characteristics of IFC objects were investigated, and objects that need to be converted to IndoorGML were selected and classified into objects that restrict the expression of Indoor space and internal passages. Using the proposed method, a part of data set provided by the BIMserver github and the IFC model of the 21st Century Building in University of Seoul were used to perform experiments to generate *PrimalSpaceFeatures* of IndoorGML. As a result of the experiments, the geometric information of IFC objects was represented completely as IndoorGML, and it was shown that *NavigableBoundary*, one of major features of *PrimalSpaceFeatures* in IndoorGML, was accurately generated. In the future, the proposed method will improve to generate various types of objects such as *IfcStair*, and additional method for automatically generating *MultiLayeredGraph* of IndoorGML using *PrimalSpaceFeatures* should be developed to be sure of completeness of IndoorGML.

Keywords : Indoor, IndoorGML, Primal Space, Automatic Generation, IFC

초 록

사람들이 실내공간에서 소비하는 시간이 증가함에 따라, 실내공간을 대상으로 하는 서비스들에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 실내공간정보 서비스를 제공하기 위해서는 실내공간정보를 구축하는 것이 우선적으로 이루어져야 하며 본 연구에서는 기 구축되어 있는 BIM (Building Information Management) 데이터로부터 실내공간정보 국제표준 데이터인 IndoorGML을 생성하는 방법을 제안하였는데 대표적인 BIM 데이터 자료인 IFC (Industry Foundation Class) 데이터를 IndoorGML로 변환하기 위하여 IFC 객체들의 특성을 조사하고, IndoorGML로 변환이 필요한 객체들을 선별하였으며 실내공간의 표현과 내부통행에 제약을 주는 객체로 구분하였다. 또한 개발된 변환도구를 이용하여 빔서버(BIMserver) 깃헙(github)에서 제공하는 데이터 셋 일부와 서울시립대학교 21세기관 IFC모델을 IndoorGML의 *PrimalSpaceFeatures* 데이터로 구축하는 실험을 수행하였다. 각각의 IFC 데이터를 IndoorGML로 변환한 결과 기하정보를 손실 없이 IndoorGML문서가 생성되었으며, IndoorGML이 가지고 있는 특징인 *NavigableBoundary*가 정확하게 생성되는 결과를 보였다. 추후, 다양한 형태의 *IfcStair* 객체를 변환하는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 프라임 스페이스(*PrimalSpace*) 데이터를 이용하여 듀얼 스페이스(*DualSpace*) 데이터인 *MultiLayeredGraph*를 자동 생성하는 방법에 대한 개발이 필요하다.

핵심어 : 실내, IndoorGML, 프라임 스페이스, 자동 생성, IFC

Received 2020. 11. 19, Revised 2020. 11. 26, Accepted 2020. 12. 11

1) Member, Ph.D. student, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul (E-mail: griffey00@gmail.com)

2) Corresponding Author, Member, Assistant Manager, All for Land Inc. (E-mail: janghanie1@all4land.com)

3) Member, General Manager, All for Land Inc. (E-mail: hyezzero@all4land.com)

4) Member, Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (E-mail: hyunsang@kict.re.kr)

5) Member, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul (E-mail: jlee@uos.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

대규모 쇼핑몰과 체육시설, 사무실 등을 중심으로 사람들이 실내에서 소비하는 시간이 증가함에 따라, 실내공간을 대상으로 하는 다양한 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 실내공간을 대상으로 하는 서비스를 제공하기 위해서는 실내공간 데이터의 구축이 선행되어야 한다. 이에, 실내공간 데이터를 획득하기 위하여 LiDAR (Light Detection And Ranging) 장비를 이용하여 포인트 클라우드(Point Cloud)를 추출한 후 3차원 매쉬(Mesh)를 획득하는 방법, 각 건물의 CAD (Computer -Aided Design)도면을 이용하여 기하정보를 추출하는 방법 등 실내공간 데이터를 구축하기 위한 다양한 방법들이 시도되고 있다. 특히, 최근에는 건축물의 생애주기에 걸쳐 BIM을 활용하는 사례가 보편화 되면서 BIM에서 주로 활용되고 있는 IFC 데이터를 활용하여 실내공간정보를 구축하는 방법에 관한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. IFC는 건축 분야에서 주로 사용되고 있는 표준으로, 실내공간을 구성하는 건축적 요소들을 세분화하여 정의하고 각각의 요소들의 조합을 통해 실내공간과 건축물을 표현한다. IFC는 실내공간을 이루고 있는 객체들을 매우 세밀하게 표현할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 공간과 객체 등의 위상관계를 표현하지 못한다는 한계가 있어, 이를 극복하기 위하여 IFC 데이터를 공간정보로 변환하는 연구가 이루어지고 있다. IFC 데이터를 공간정보로 변환하는 연구는 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째 방법은 IFC 데이터를 CityGML(OGC, 2008)로 변환하는 것이다. CityGML은 OGC (Open Geospatial Consortium)에서 제정한 3차원 도시모델 표준으로 도시를 10가지 주제로 나누어 각 주제별로 객체 모델을 제시하고 있다. 그 중 건물 주제에서 건물의 외관과 실내공간에 대한 객체 모델을 모두 정의하고 있으나, 실제로는 건물의 외부 형상을 표현하는데 중점을 두고 있어 실내공간은 세밀도(LOD: Level Of Detail) 4 수준의 데이터를 구축할 경우에만 표현이 가능하다는 제약이 있다. 이러한 제약을 극복하기 위하여 OGC에서는 실내공간을 표현하기 위한 새로운 국제표준으로 IndoorGML(OGC, 2019)를 제정하였다. IndoorGML은 실내공간의 위상과 형상을 표현하는 모델로, 실내공간을 단위공간인 셀(Cell)의 집합으로 표현하는 프라이멀 스페이스(Primal Space)와 각 공간들 사이의 위상관계를 NRS (Node-Relation Structure)의 네트워크 형태로 표현하는 듀얼 스페이스(Dual Space)의 2중 구조로 이루어져 있다. 그동안 IndoorGML의 네트워크 표현이 다른 3차원 데이터와 상호 호환되어 사용될 수 있다는 점 때문에 듀얼 스페이스 데이터 구축 방법에 대한 논의가 주로 이

루어진 반면, 프라이멀 스페이스 데이터 구축에 대한 논의는 상대적으로 매우 적었다. 그러나 IndoorGML의 프라이멀 스페이스 데이터는 다른 3차원 데이터를 이용하지 않고도 독립적으로 실내공간정보를 가시화할 수 있으며, 듀얼 스페이스 데이터를 손쉽게 구축할 수 있기 때문에 기하정보를 표현하는 프라이멀 스페이스 데이터 구축의 필요성이 점차 증가하고 있다. 이에, 본 연구에서는 BIM에서 활용되고 있는 IFC 데이터를 원천데이터로 하여 IndoorGML의 프라이멀 스페이스 데이터를 구축하는 방법을 제시하였다.

2. 관련 연구

2.1 IFC 모델

IFC는 레빗(Revit), 아키캐드(ArchiCAD), 오토캐드(AutoCAD) 등의 다양한 BIM 소프트웨어로부터 생성한 3차원 모델들 간의 상호 호환을 위하여 빌딩스마트(BuildingSmart)에서 설계한 데이터 표준이다. IFC는 특정 소프트웨어 공급 기업에서 독점하고 있는 자산이 아니라, 누구나 활용할 수 있는 중립적인 모델이며 ISO 10303-11(ISO, 2004)에 등록된 EXPRESS 언어를 이용하여 객체지향 데이터 저장방법을 채택하고 있다. IFC의 모든 건축 구성요소는 EXPRESS 객체이며 각 객체들은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 포함, 상속, 동작 등의 계층구조를 가지고 있다.

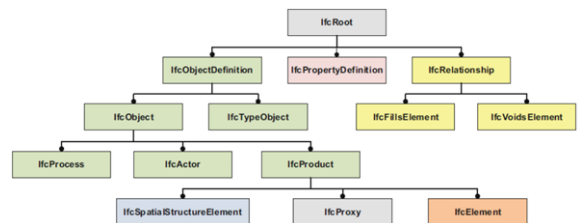


Fig. 1. Inheritance hierarchy in the upper IFC model level(Borrmann et al., 2015)

IFC에서는 객체를 Fig.2와 같이 3가지 방법으로 표현할 수 있다(Pavel, 2015). 첫 번째 방법은 가장 일반적인 경계표현 방법(Boundary Representation)으로 객체를 완벽하게 감싸는 면(Surface)의 조합으로 객체를 표현하는 방법이며, IFC에서는 가구 및 계단과 같은 객체들이 종종 이러한 형태로 표현된다. 두 번째 방법은 구조적 입체기하(Constructive Solid Geometry)로, 구(Sphere), 큐브(Cube)등 사전 정의된 3차원 기초요소(Primitives)를 조합하여 복합객체를 표현하는 방법이다. 마지막 방법은 스위프 부피(Sweep Volume)로 표현하는

것으로, 3차원 공간에서 하나의 면을 특정 경로를 따라 스위핑(sweeping)하여 객체를 생성하는 방법이다.

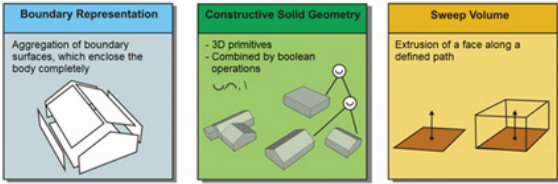


Fig. 2. 3 types of IFC object representation method(Pavel, 2015)

2.2 IndoorGML 모델

IndoorGML은 OGC에서 제정된 실내공간을 위한 국제 표준으로, CityGML, IFC 등의 기존 데이터 모델과는 달리 공간 내의 객체나 건축물의 구체적인 형상을 표현하기 보다는 건물 내부의 특정 공간이 차지하고 있는 영역과 그 공간이 인접하고 있는 다른 공간과의 연결성을 표현하는데 중점을 두고 있다. 모든 공간은 독립적인 식별자를 가지고 셀 형태로 추상화되어 표현되며, 각 셀들은 서로 중첩되지 않는다. 또한, 공간이 가지는 풍부한 의미를 표현하기 위하여 다중중첩구조(Multi-Layered Structure)를 사용하며 셀의 종류와 기능을 분류하여 표현할 수 있다. IndoorGML의 프라이멀 스페이스에서 표현되는 객체는 공간을 표현하는 CellSpace 객체와 셀 사이의 경계면을 표현하는 CellSpaceBoundary 객체로 구성된다. 공간 간의 연결성이 나타나는 경계면의 경우, 특별히 NavigableBoundary 객체로 표현한다. IndoorGML의 듀얼 스페이스는 푸앵카레 쌍대성(Poincare duality)원리를 이용하여 프라이멀 스페이스의 CellSpace 객체를 State로, NavigableBoundary를 Transition으로 표현하는 형태로 각 공간 사이의 연결성을 NRG (Node-Relation Graph)로 구조화한다.

2.3 IFC기반의 실내공간정보 변환 연구

최근 BIM 데이터인 IFC를 이용하여 실내공간정보를 구축하기 위한 연구가 꾸준히 증가하고 있다. 기존에 그 중에서도 특히, 실내공간을 표현하는 대표적인 국제표준인 OGC의 CityGML과 IndoorGML로의 변환에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. Donkers *et al.* (2016)은 IFC에서 CityGML로 변환하기 위한 오픈소스 솔루션을 개발했으며, 의미적으로 풍부한 CityGML 세밀도 3수준 건물 데이터의 자동생성이 가능함을 보였다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 CityGML 세밀도 3수준 건물 데이터에서는 실내공간을 표현하지 않아, 해당 연구를 통해 실내공간정보를 생성할 수는 없다. 다만, Donkers *et al.* (2016)에서 제안하는 IFC에서 CityGML 세밀도 3수준 데이터 생성의 3단계는 IFC로부터 IndoorGML 데이터를 생성할 때 동일한 형태로 적용 가능하다. Stouffs *et al.* (2018)에서는 IFC를 CityGML로 변환하기 위한 방법으로 다양한 규칙세트(Rule set)를 통해 다양한 사용사례를 지원할 수 있는 3중 그래프 문법(Triple Graph Grammars) 기반의 변환 프레임워크를 제안하였다. 해당 연구를 통해 IFC에서 표현되는 의미정보와 기하정보를 모두 CityGML로 변환할 수 있을 뿐만 아니라, Donkers *et al.* (2016)에서는 표현하지 못한 CityGML 세밀도 4수준의 지형지물(예를 들면, Room, InteriralWallSurface 등)을 표현할 수 있다. 또한, CityGML ADE (Application Domain Extension)을 통해 CityGML에서 지원하지 않는 정보를 추가적으로 변환할 수 있는 방법도 제시하였다. 그러나 해당 연구 역시 IndoorGML에서 표현되는 위상적 정보를 포함하는 기하정보를 생성하지는 않는다. IFC에서 CityGML 데이터를 생성하는 방법에 대한 연구들의 대부분이 이와 같이 위상정보에 대한 고려가 없이 단순한 기하정보만을 생성한다는 단점이 있다. 이에 반해서, IFC를 이용하여 IndoorGML을 생성하는 연구에서는 실내공간의 기

Table 1. Relationship between IFC object and IndoorGML feature from related works

for IndoorGML Primal Space Feature				
Element type	IndoorGML Feature	IFC Entity		
		Teo <i>et al.</i> (2017)	Khan <i>et al.</i> (2014)	Diakité <i>et al.</i> (2016)
Room	CellSpace	IfcSpace	IfcSpace	IfcSpace
Door/Window		IfcOpeningElement	IfcOpeningElement	IfcOpeningElement
Interior Element		-	IfcColumn IfcBeam IfcStair	IfcFurnishingElement
Space Connection	CellSpaceBoundary	IfcRelSpaceBoundary	-	-

하정보 뿐만 아니라, IndoorGML의 주요 특징인 위상정보를 추출하는 방법에 초점이 맞춰지고 있다. Khan *et al.* (2014)에서는 IFC데이터를 CityGML 세밀도 4수준 데이터로 변환하고 이를 IndoorGML로 변환하는 방법을 소개하였다. IFC를 CityGML 데이터로 변환하는 기존의 연구들을 기반으로 CityGML을 IndoorGML로 매핑하는 방법을 제안하고, 이를 통해 기하정보와 네트워크 정보를 모두 생성하는 방법을 보였다. 그러나 해당 연구에서는 계단과 같은 수직공간에서의 이동을 상세히 다루고 있지 않다는 한계를 가진다. Teo *et al.* (2017)은 BIM데이터로부터 IndoorGML 듀얼 스페이스의 객체인 State와 Transition을 생성하는 방법에 초점을 두고 있다.

Table 1에서 보는 바와 같이 이전 연구에서는 공통적으로 IfcSpace와 IfcOpeningElement를 사용하여 실내공간과 문/창문공간을 표현하였다. 각각의 데이터들은 상대좌표 기반의 기하정보를 가지고 있으며, 보통은 육면체 형태로 표현되어 IndoorGML의 CellSpace로 표현이 가능하다. IndoorGML의 CellSpace는 방과 문, 창문뿐만 아니라 실내에 존재하는 모든 공간을 표현하는 클래스로, IFC에서 정의하고 있는 실세계의 다양한 객체들은 모두 CellSpace로 매핑이 가능하다. 그러나 본 연구에서는 실내통행과 관련되는 객체만을 선별하여 IndoorGML 프라이멀 스페이스 데이터를 생성하는 것을 목적으로 하기 때문에, IFC의 다양한 객체의 특성들을 모두 조사하여 IndoorGML의 프라이멀 스페이스 객체인 PrimalSpaceFeatures로 생성할 필요가 있는지에 대한 추가적인 정리가 필요하다.

3. IFC를 이용한 IndoorGML 데이터 구축방안

3.1 IFC 객체와 IndoorGML 객체의 매핑

IFC 데이터로부터 IndoorGML의 PrimalSpaceFeatures 객체를 생성하기 위해서는 서로 다른 두 데이터 객체들 사이의 변환 테이블이 필요하다. 변환테이블 작성을 위하여 IFC객체들 중 가장 높은 위계에 있는 IfcProduct 객체의 하위 객체들을 모두 조사하였고 객체들의 건축적인 요소뿐만 아니라 실내공간 객체로서 필요성, 기하학적 특성을 고려하였다. IfcProduct는 IFC 모델에서 좌표, 건축공정, 소유권, 인간 활동을 제외한 기하, 공간에 관련된 모든 객체를 포함하며 IFC 기하정보와 상대좌표를 가지고 있다. IfcProduct는 크게 물리적인 형상을 가지는 IfcElement와 추상적인 공간과 그 관계들을 표현하는 IfcSpatialStructureElement로 구분되는데 본 연구에서는 해당 객체들과 IndoorGML 객체들 간의 관계를 중심으로 분석을 진행하였다.

IfcSpatialStructureElement는 공간과 관련된 추상적인 객체들의 상위 객체이며 건물의 위치와 관련된 IfcSite, 건물의 건설, 목적 및 소유권에 관련된 IfcBuilding, 층에 관련된 IfcBuildingStorey 그리고 건물 내 공간을 나타내는 IfcSpace를 포함한다. 이 중 IfcSpace는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 공간의 모양과 경계를 표현하는 객체로서 PrimalSpaceFeatures의 CellSpace를 구성하는데 반드시 필요하며 다양한 선행 연구에서도 사용되었기 때문에 본 연구에서도 IfcSpace를 IndoorGML 데이터 생성에 사용하기로 결정하였다. 그리고 IfcBuildingStorey로부터 각 층의 객체와 높이 값을 추출하였으며 IfcSite와 IfcBuilding은 기하정보가 없는 추상적인 객체로 본 연구에서는 제외하였다. 한편 IfcSpace와 관련된 객체 중 인접한 객체를 표현하는 IfcRelSpaceBoundary는 IfcRelationship-IfcRelConnects의 하위 객체로서 IfcSpace에 대한 상대좌표로 인접 평면의 기하정보를 가지고 있다. 3D 공간상에서 IfcSpace들은 개방공간을 제외하고는 벽이나 문/창문으로 구분되어 서로 직접 맞닿는 경우는 존재하지 않고 반드시 다른 객체를 거쳐서 근처의 IfcSpace와 연결된다. 따라서 IfcRelSpaceBoundary의 인접 평면만으로 연결공간을 표현하는데 한계가 있으며 반드시 IfcSpace를 연결하는 다른 객체의 기하정보가 필요한데 이 때 인접 평면은 IfcSpace를 연결하는 객체들과 공간상에서 중복되며 따라서 본 연구에서는 3D 기하 연산을 통해 인접한 객체 간에 CellSpaceBoundary를 생성하기로 결정하였다.

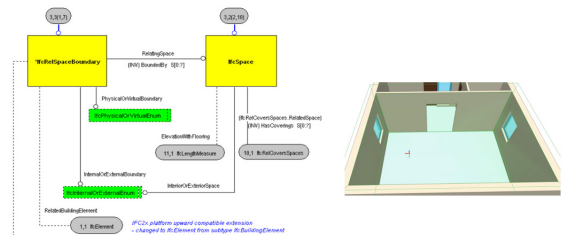


Fig. 3. Example of IfcSpace and related Diagram(BuildingSmart, IfcSpace, 2006)

IfcElement는 건물에 포함된 모든 물리적 객체들의 상위 객체이며 Table 2에서처럼 IfcElement에는 총 9가지 하위 객체가 존재한다. 아래에는 IfcElement 객체 9종류 중 더 이상 사용되지 않는 IfcElectricalElement와 IfcEquipmentElement를 제외한 7종류의 객체에 대한 특징을 정리하였으며 해당 객체들 중 IndoorGML PrimalSpaceFeatures 생성에 적합한 객체들을 선별하여 변환 테이블에 추가하였다.

Table 2. Summary of IfcElement object

IfcElement			
Object Name	Deprecated	Object Name	Deprecated
IfcElementAssembly	X	IfcDistributionElement	X
IfcBuildingElement	X	IfcTransportElement	X
IfcElectricalElement	O	IfcEquipmentElement	O
IfcFeatureElement	X	IfcVirtualElement	X
IfcFurnishingElement	X	-	-

IfcElementAssembly는 다수의 객체를 묶어서 한 번에 표현하기 위한 추상적인 객체인데, 다량의 철골로 구성된 구조를 하나의 프레임으로 나타내는 것처럼 실제 존재하는 객체들의 집합 개념이며 간혹 기하정보를 가지는 경우에도 하위 객체들과 3D 공간상에서 중첩되기 때문에 본 연구에서는 제외되었다. IfcBuildingElement는 빌딩의 주요 구조물인 지붕, 벽, 바닥, 문 등을 포함하며 그룹, 개별 속성, 연결정보, 재료, 투영 등의 다양한 Ifc의 속성을 함께 가지고 있다. IfcBuildingElement는 건물을 구성하는데 가장 중요한 객체들이지만 실제로 실내공간을 표현할 때 IfcDoor와 IfcWindow를 제외하고는 사용되는 경우가 드물며 IfcColumn, IfcBeam 등이 실내 통행의 장애물로서 고려된 사례가 있다. IfcFeatureElement는 실제로 존재하는 객체의 특징을 추출하여 일반화된 형태로 재구성한 객체로써 원본 객체와의 관계, 원본객체가 공간상에서 존재하는 특징 등을 표현하며 대표적으로 문, 창문의 기하정보를 단순화한 IfcOpeningElement객체가 있다. 한편, IndoorGML에서 문과 창문은 이동을 위한 공간이므로 주변의 공간과 정확하게 인접한 형태로 생성되어야 한다. 하지만 IFC에서 문과 창문은 실제 모양대로 모델링되기 때문에 근처의 IfcSpace와 겹치지 않거나 오히려 영역을 침범하기도 한다 (Fig. 4 참조). 따라서 문과 창문을 사용하면 IndoorGML의 CellSpace들이 서로 떨어져 있거나 중첩되지 않는다는 조건을 위반하는 문제가 발생하므로 본 연구에서는 두 IfcSpace와 인접한 Bounding Box로 제작되어 IfcWindow와 IfcDoor 객체를 대체할 수 있는 IfcOpeningElement를 활용하기로 결정하였다.

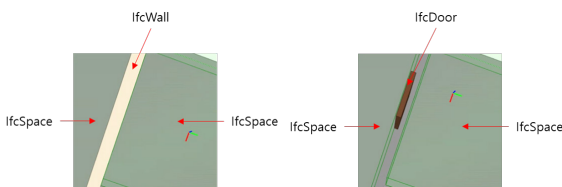


Fig. 4. IfcSpace and IfcWall/IfcDoor

IfcFurnishingElement는 모든 형태의 실내 가구를 의미한다. 가구는 실내공간 내부에 일시적이거나 영구적으로 존재하여 사람이나 로봇의 통행에 제약을 주는 요소로서 PrimalSpaceFeatures의 정확한 표현에 반드시 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 Table 3에서 IfcFurnishingElement의 하위 객체들을 조사하여 변환 테이블을 작성하였다. IfcDistributionElement는 액체, 공기, 전기 등의 에너지나 물질의 흐름에 관여하는 IFC 객체이며 IfcFurnishingElement와 마찬가지로 Table 4에서 하위 객체들에 대해 실내공간 표현에 대한 추가적인 검토를 수행하였다. IfcTransportElement는 이동에 관련된 객체이며 에스컬레이터, 엘리베이터, 무빙워크 등이 포함된다. IndoorGML core Model에서는 이동에 관련된 공간을 특별히 따로 정의하지 않고 실제로 이동에 관련된 객체가 매우 적기 때문에 일반적인 방법론을 개발하기에 적절하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 이동공간을 대표하는 IfcStair만을 고려하였다. IfcVirtualElement는 개방공간에서 가상의 경계면을 나타내는 객체로 IfcSpace와 문, 창문 사이의 경계면을 표현하기에는 적절하지 않아 본 연구에서는 해당 객체를 제외하였다. 대신 IndoorGML에서 필요한 모든 경계면들을 기존의 객체들의 3D연산을 통해 구현하였다.

앞서 IfcProduct하위 객체들을 분석한 내용을 바탕으로 Table 5에 IndoorGML 객체 생성에 이용할 IFC객체 변환 테이블을 작성하였다. 공간을 구성하는 객체인 IfcOpeningElement, IfcStair, IfcSpace는 변환테이블에 포함시켰으며 내부 공간의 통행에 직접적으로 제약을 주는 객체인 IfcFurniture와 IfcFlowTerminal을 테이블에 추가하였다.

3.2 CellSpace의 생성

일반적으로 IfcSpace는 바닥과 천장이 평행한 스위프드 솔리드(Swept solid)이며 바닥의 기하정보, 바닥 이동 벡터의 방향 및 길이에 대한 정보를 이용하여 구현되어 있는 반면 3D GML 객체를 구현하기 위해서는 솔리드(Solid)를 둘러싸고

Table 3. IfcDistributionElement subtype

IfcDistributionElement			
- Utilities need to maintain and control building			
- Function to distribute resource like electricity, air, water, etc.			
	name	description	Space
subclass	ChamberElement	Store resources (manhole, septic tank, etc.)	Outside
	EnergyConversionDevice	Convert energy (boiler, warmer, etc.)	Outside
	FlowController	Control flow (damper, switch, etc.)	Outside
	FlowFitting	Change flow direction (T, L pipe etc.)	Outside
	FlowMovingDevice	Generate Flow (pump, etc.)	Outside
	FlowSegment	Linear pipe	Outside
	FlowStorageDevice	Store flow (tank, etc.)	Outside
	FlowTerminal	Flow system terminal (ventilation opening, light, sink, etc.)	Inside
	FlowTreatmentDevice	Resource treatment (air filter, noise filter, etc.)	Outside

Table 4. IfcFurnishingElement subtype

IfcFurnishingElement			
- Furniture and every object related to Furniture (ex. Systemfurniture, chair, bed, table, etc.)			
- Almost objects are classified to furniture.			
	name	description	Space
subclass	SystemFurniture	Furniture inside the wall	Outside
	Furniture	Normal Furniture	Inside

Table 5. Ifc objects mapping table for IndoorGML

IfcFurnishingElement				
Ifc Entity	subtype	Ifc Object	IndoorGML feature	Function in IndoorGML
IfcElement	FeatureElement	OpeningElement	CellSpace, CellSpaceBoundary	Navigable Space
	BuildingElement	Stair		
	FurnishingElement	Furniture	CellSpace	Obstacle
	DistributionElement	FlowTerminal	CellSpace	Obstacle
IfcSpatialStructureElement	IfcSpace	Space	CellSpace, CellSpaceBoundary	General Space

있는 다중 면(MultiSurface)에 대한 정보가 필요하다. 이는 TIN (Triangulated irregular network)모델과 매우 유사하지만 삼각형 이외의 다각형으로도 구성되는데 모든 IFC객체는 Fig. 5와 같이 면 모델(Surface model)로 변환을 거쳐야 한다.

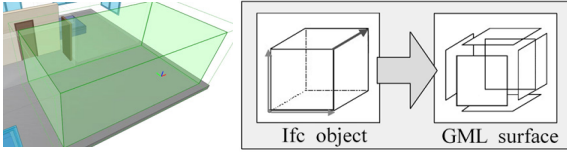


Fig. 5. IfcSpace(Swept Solid Model) and B-rep Surface Model (Wu, 2007)

IfcOpeningElement 객체는 일반적으로 IfcSpace와 동일한 게 스웨드 솔리드이며 주변 공간과 직접 연결되어 있다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 IfcWall은 일반적으로 문이나 창문과 크기가 다르기 때문에 벽의 두께와 정확히 같은 두께를 가진 IfcOpeningElement를 이용하여 양쪽에 존재하는 IfcSpace객체와 각각 하나의 면을 공유하도록 한다.

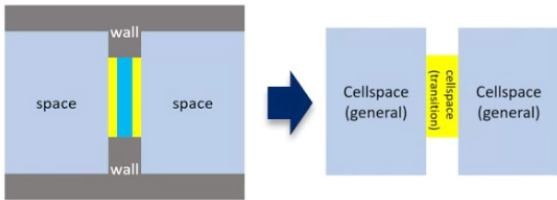


Fig. 6. Generation method of CellSpace from IfcOpeningElement

IfcFurniture 및 IfcFlowTerminal은 실내공간 내부의 통행에 제약을 주는 객체이며 Fig. 7처럼 IFC의 셸 기반 표면 모델(shell based surface model), 면 기반 표면 모델(face based surface model) 또는 경계표현방법으로 표현되어 있다. 해당 모델들은 모두 삼각형 매쉬로 구성되어 있기 때문에 곧바로 IndoorGML 면형으로 변환할 수 있다.

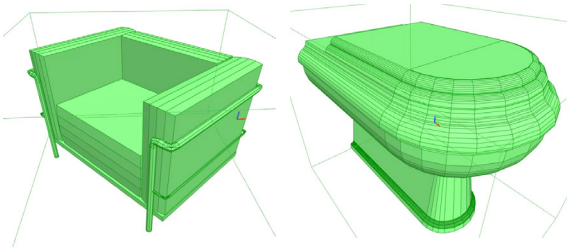


Fig. 7. Example of IfcFurniture and IfcFlowTerminal

3.3 TransferSpace와 NavigableBoundary 생성

IndoorGML의 PrimalSpaceFeatures에는 각 CellSpace의 기하정보만 포함되어 있으며 PrimalSpaceFeatures가 단독으로 존재하는 경우 IndoorGML 데이터는 단순히 3차원 공간 모델에 불과하다. 따라서 향후 듀얼 스페이스 데이터 자동생성을 위해 본 논문에서는 두 공간 사이의 인접성 정보를 생성하고 CellSpaceBoundary에 인접성 정보를 저장하였다. Fig. 8처럼 IfcSpace와 IfcOpeningElement로부터 각각 도출한 CellSpace들이 공유하는 CellSpaceBoundary를 얻기 위해서는 3D 공간 Intersection연산이 필요했고 그 결과 생성된 2개의 면에 각각 탐색가능(navigable) 속성을 부여하였다. 이때, 해당 면은 정확히 동일한 기하정보를 가지기 때문에 중복을 피하기 위해 한 면의 꼭짓점들은 시계방향, 다른 한 면의 꼭짓점들은 반 시계 방향 순서로 표현하였다. IfcDoor를 추상화한 IfcOpeningElement의 양쪽 면은 모두 IfcSpace와 접하고 있기 때문에 두 면 모두 NavigableBoundary가 되지만 실내공간과 바깥공간을 연결하는 IfcWindow를 추상화한 IfcOpeningElement는 한 쪽 면만 IfcSpace와 접하기 때문에 3D 연산 없이도 대칭면에 NavigableBoundary를 추가해주는 규칙을 추가하였다.

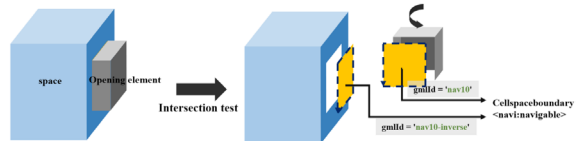


Fig. 8. Generation method of NavigableBoundary

IfcOpeningElement 뿐만 아니라 IfcStair 객체도 TransferSpace로서 역할을 부여할 수 있으며 Fig. 9와 같이 다양한 형태를 가진다. 계단의 모양은 매우 복잡하고 다양하기 때문에 본 논문에서는 계단 객체의 모양에 대하여 다음과 같은 3가지 가정을 도입하였다.

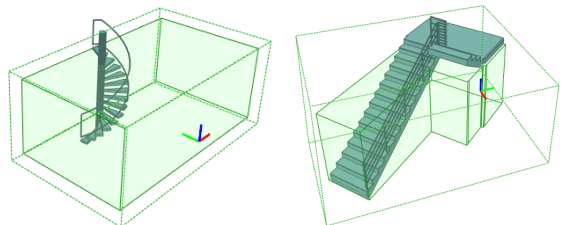


Fig. 9. Example of IfcStair

- 모든 계단은 하나 이상의 IfcSpace로 둘러싸여 있다.
- IfcStair는 자신을 둘러싸고 있는 IfcSpace를 통해서만 간접적으로 주변의 IfcSpace 및 IfcOpeningElement로 연결될 수 있다.
- 계단의 모양과 방향에 관계없이 계단은 밑면과 윗면이 평행한 다면체이다.

3가지 가정을 통해 IfcSpace와 IfcOpeningElement의 사례와 마찬가지로 계단의 형상 정보를 추출하고 주변 공간과 계단 객체를 이용하여 3D 교차분석을 수행하였다. 그리고 IfcBuildingStorey객체로부터 계단이 위치한 바닥의 상층 높이를 추출하여 CellSpace의 높이를 결정하였다.

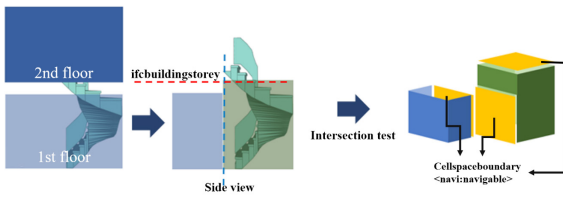


Fig. 10. Generation method of CellSpace and NavigableBoundary from IfcStair

Fig. 10에서 볼 수 있듯이 일반적으로 계단객체는 자신을 둘러싸고 있는 IfcSpace보다 높고, 따라서 돌출된 부분은 아래층에서 위층으로 연결하는 공간이 된다. 이 때 계단을 제외한 IfcSpace의 나머지 부분은 별도의 3D 공간연산을 통해 CellSpace로 분리되며 두 공간 사이의 경계면에는 2개의 탐색 가능한 CellSpaceBoundary가 생성된다.

4. IFC2IndoorGML 생성기 개발 및 실험

4.1 개발 및 실험환경

3장에서 작성한 변환 테이블에 근거하여 IFC객체들을 IndoorGML PrimalSpaceFeatures에 적합한 형태의 객체들로 변환하는 IFC2IndoorGML 생성기를 개발하였으며 기하 연산과 객체 선택, 기하정보 추출을 위한 도구들은 Java의 gdal, IfcOpenShell 플러그인, WKT 엔진을 사용하여 구현하였다. 또한 변환한 객체들의 기하 및 속성정보를 IndoorGML 텍스트로 작성하기 위해 JAXB를 활용하여 개발한 IDCM (IndoorGML Database Converting Management)(Kwak *et al.*, 2020)을 사용하였다. 실험에 사용한 데이터는 빔서버의 깃헙(OpensourceBIM, 2016b)에서 제공하는 데이터 셋의 일부와 서울시립대학교의 21세기관 IFC모델이며

IfcDoor, IfcSpace, IfcOpeningElement 등의 객체로 구성되어 있다. 그리고 IFC데이터는 BIMVision, IndoorGML 문서는 InViewer(STEMLab, 2018)로 가시화하였다. IndoorGML은 CellSpace들이 서로 중첩되는 것을 금지하고 있는데 Fig. 11처럼 실내공간을 구성하는 객체인 IfcSpace, IfcOpeningElement, IfcStair로부터 생성한 CellSpace와 실내공간 통행에 제약을 주는 객체인 IfcFurniture와 IfcFlowTerminal로부터 생성한 CellSpace는 공간상에서 중첩되기 때문에 서로 분리하여 두 개의 유효한 IndoorGML 문서를 생성하였다.

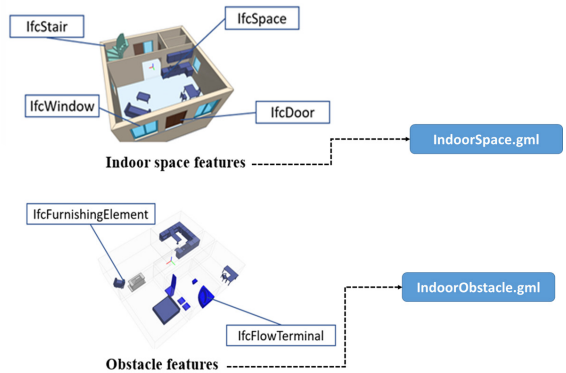


Fig. 11. Separate document generation according to the IFC object type

본 연구에서 개발한 생성기의 처리 프로세스는 Fig. 12와 같이 요약할 수 있다.

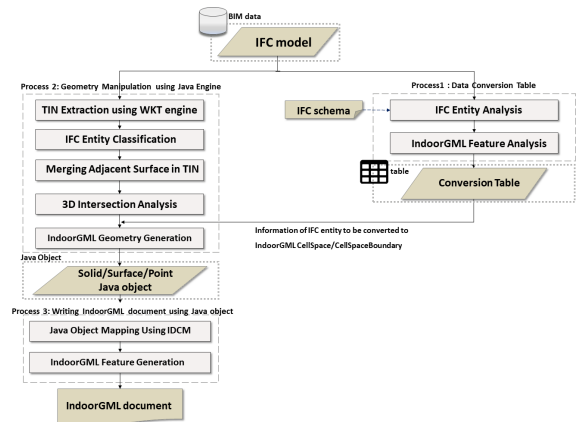


Fig. 12. Workflow for automatic generation of IndoorGML using IFC data

4.2 IFC2IndoorGML 생성 결과 및 검증

IFC2IndoorGML 생성 모듈을 통해서 문서가 정해진 규칙에 의해 정확히 생성되었는지를 확인하기 위하여 BIMviewer와 InViewer를 이용하여 각각의 데이터파일을 가시화하였다. Fig. 13의 IfcSpace, IfcOpeningElement, IfcStair객체는 각각 3차원 솔리드 형태의 CellSpace로 변환된 모습이다. 또한 붉은색으로 표시한 부분은 CellSpace끼리의 연산을 통해 공간과 공간을 연결하는 NavigableBoundary이며 통행이 가능한 면과 공간을 확인할 수 있다. Fig. 14 또한 각 공간들이 CellSpace로 변환된 것이며 실제로 존재하는 대규모 시설에 대해서 성공적으로 변환이 수행되었다. 계단공간의 경우 IfcStair와 IfcSpace가 가지고 있는 기하정보를 이용하여 재조립한 새로운 CellSpace로 표현하였는데 Fig. 15에서 3개의 IFC 공간과 2개의 계단 객체가 5개의 IndoorGML CellSpace와 4개의 CellSpaceBoundary로 변환된 것을 볼 수 있다. 이때 초록색으로 표시한 공간은 원래 1개의 IFC 공간을 계단객체를 기준으로 2개로 구분한 것으로 오른쪽의 공간이 왼쪽 공간에 비해 더 높으며 3층의 바닥면과 접하고 있다. Fig. 16은 실내공간 통행에 제약을 주는 객체들을 따로 분리한 모습이며 IFC객체가 원래 가지고 있던 삼각 매쉬의 기하정보를 그대로 IndoorGML CellSpace 3차원 솔리드로 나타냈다.

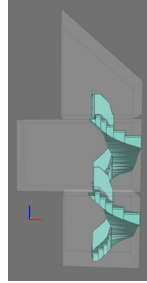


Fig. 15-a). IfcStair

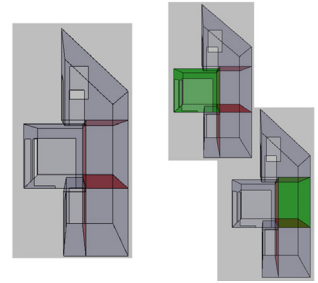


Fig. 15-b). Conversion Result of IfcStair

Fig. 15. Conversion Result of IfcStair



Fig. 16-a). IfcFurniture



Fig. 16-b). Conversion Result of IfcFurniture

Fig. 16. Conversion Result of IfcFurniture

스키마의 검증은 TUDelft에서 개발된 val3dity(<https://github.com/tudelft3d/val3dity>) (TuDelft, 2017)를 이용하였다. val3dity는 XML로 작성된 3D 기하정보의 유효성 검사를 위해 개발된 소프트웨어이며 최근 IndoorGML 중심모듈(core module)의 검증 기능이 추가되었다. IndoorGML 스키마에 의하면 IndoorGML 문서는 반드시 1개 이상의 MultiLayerGraph를 포함해야 하므로 본 연구에서 제작한 PrimalSpaceFeatures의 모든 CellSpace에 적합한 state를 생성한 후에 유효성 검사를 수행하였다. Fig. 17에서 val3dity로 수행한 유효성 검사 결과이며 하나의 IFC파일로부터 제작된 2개의 IndoorGML파일이 각각 IndoorGML 스키마를 따르고 있음을 확인하였다.

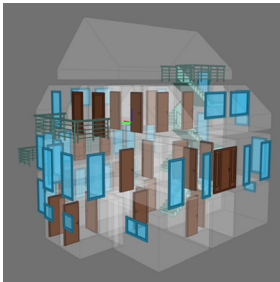


Fig. 13-a). IFC data1

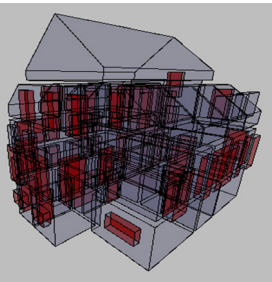


Fig. 13-b). Conversion Result1

Fig. 13. Conversion result of IFC data1

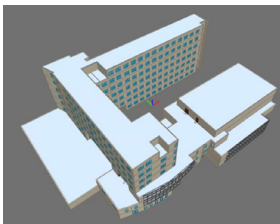


Fig. 14-a). IFC data2 (21C building of Uos)

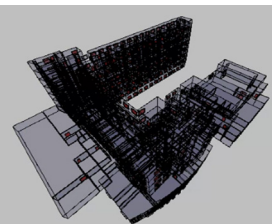


Fig. 14-b). Conversion Result2

Fig. 14. Conversion result of IFC data2

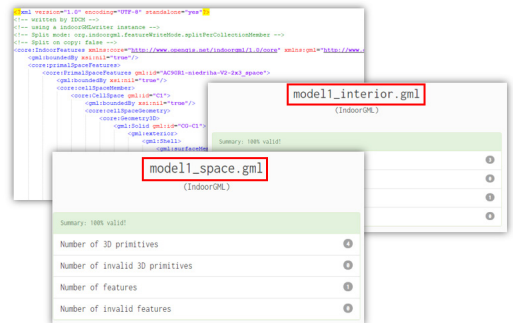


Fig. 17. Schema validation results

5. 요약 및 결론

본 논문은 IFC데이터를 이용하여 IndoorGML의 3차원 모형인 PrimalSpaceFeatures를 생성하는 방법을 제시하였다. 먼저 IFC객체들의 특성을 조사하였으며 선별된 IFC객체들을 실내공간의 표현과 내부 통행에 제약을 주는 객체로 구분하였다. 모든 IFC객체들은 IndoorGML의 CellSpace 3차원 솔리드 형태로 변환되었고 JAXB기반의 IndoorGML 작성 도구를 활용하여 IndoorGML 문서를 생성하였다. 본 논문은 그동안 IndoorGML 문서를 생성하기 위해 자의적으로 활용되었던 IFC객체들의 특성을 체계적으로 정리하여 IndoorGML 문서에서 사용할 수 있는 객체를 선별, 변환 테이블로 정리하였으며 실내 통행에 관련된 객체들을 고려하여 의미적으로 풍부한 데이터 변환을 수행했다는 데 의미가 있다. 또한 IfcStair 객체의 기하정보를 단순히 복제하는 것이 아니라 실내 통행의 특징을 고려한 변환 방법을 제시하였다. 다만 IfcStair 객체의 처리를 위한 3가지 가정에서 벗어난 이동공간의 경우 데이터 변환에 한계가 있다. 추후에는 IFC데이터의 불완전함으로 인해 3D 연산으로 CellSpaceBoundary가 추출되지 않는 경우, IfcSpace끼리 인접하는 경우 등을 대비하기 위해 본 연구에서 제외된 IfcRelSpaceBoundary나 IfcVirtualElement 등의 객체를 함께 활용하는 방안이 개발되어야 하며 두 종류로 분리된 IndoorGML 문서를 하나의 IndoorGML PrimalSpaceFeatures로 표현할 수 있도록 GML 객체 표현방법도 개선되어야 할 것이다. 또한 PrimalSpaceFeatures를 이용하여 MultiLayerGraph를 도출하여 3D 공간 모델과 공간 사이의 위상관계를 나타내는 완전한 형태의 IndoorGML 문서를 자동으로 생성할 수 있도록 추가적인 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 공간정보 연구사업의 연구비지원(20NSIP-B135746-01)에 의해 수행되었음.

References

- Borrmann, A., Beetz, J., Koch, C., Liebich, Thomas, and Muhic, S. (2018), Industry Foundation Classes: A Standardized Data Model for the Vendor-Neutral Exchange of Digital Building Models, *Building Information Modeling*, Springer, pp. 81-126
- Diakité, A.A., and Zlatanova, S. (2016), EXTRACTION OF THE 3D FREE SPACE FROM BUILDING MODELS FOR INDOOR NAVIGATION. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. IV-2/W1, pp. 241-248.
- Donkers, S., Ledoux, H., Zhao, J., and Stoter, J. (2016) Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings, *Transaction in GIS* vol.20, pp. 547-569.
- ISO (2004), *Industrial Automation Systems and Integration. Product Data Representation and Exchange. Part 11L Description Method: The EXPRESS Language Reference Manual*, International Standard ISO 10303-11, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Khan, A.A., Donaubaauer, A., and Kolbe, T.H. (2014), A Multi-Step Transformation Process for Automatically Generating Indoor Routing Graphs from Existing Semantic 3D Building Models, *9th 3DGeoInfo Conference 2014 - Proceedings*, 11-13 November, Dubai, pp. 123-156.
- Kwak, J., Kang, H., Kim, S., and Nam, S.(2020), A case study of cloud-based IndoorGML database storage and management technique, *2020 KASGIS Fall Conference*, 12-14 November, Jeju, Korea, pp.233-234. (in Korean)
- OGC (2012), *OGC City Geography Markup Language(CityGML) Encoding Standard 2.0.0*, OGC 12-019, Open Geospatial Consortium, Wayland, MA, USA.
- OGC (2019), *OGC IndoorGML 1.1* OGC 19-011r4, Open Geospatial Consortium, Wayland, MA, USA.
- OpensourceBIM (2016a), IfcOpenShell-BIMserver-plugin, *Github*, <https://github.com/opensourceBIM/IfcOpenShell-BIMserver-plugin> (last date accessed: 23 October 2020).
- OpensourceBIM (2016b), TestFiles, *Github*, <https://github.com/opensourceBIM/TestFiles.git> (last date accessed: 12 November 2020).
- Pavel Tobiáš (2015), An Investigation into the Possibilities of BIM and GIS Cooperation and Utilization of GIS in the BIM Process, *Geoinformatics FCE CTU*, vol.14(1), pp.65-78
- STEMLab (2018), InViewer, *Github*, <https://github.com/STEMLab/InViewer> (last date accessed: 12 November 2020).
- Stouffs, R., Tauscher, H., and Biljecki, F. (2018) Achieving Complete and Near-Lossless Conversion from IFC to

CityGML, *International Journal of Geo-Information*, vol.7, pp. 355-371.

Teo, T.A., Yu, S.C. (2017), The extraction of indoor building information from BIM to OGC IndoorGML, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.XLII-4/W2, pp. 167-170.

TuDelft (2017), val3dity, *Github*, <https://github.com/tudelft3d/val3dity> (last date accessed: 12 November 2020).

Wu, I. and Hsieh, S.(2007), Transformation from IFC data model to GML data model: Methodology and tool development, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol.30(6), pp. 1085-1090.