

BIM과 GIS 연계를 위한 실내 세밀도 모형 개발에 관한 연구: 실내 시설물 관리 중심으로

A Study on the Development of an Indoor Level of Detail(LOD) Model for the Linkage between BIM and GIS: Focusing on the Indoor Facility Management

강 혜 영* 황 정 래** 홍 창 희***
Hye Young Kang Jung Rae Hwang Chang Hee Hong

요약 최근 국내외적으로 실내공간에 대한 관심이 높아지면서, 실내공간정보 구축 및 서비스에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 실내공간 정보를 구축함에 있어서 BIM(Building Information Modeling) 자료는 매우 유용하다. 이에, BIM 자료를 GIS에서 활용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. BIM 자료를 GIS에서 활용하기 위해서는 실내공간정보 구축을 위한 변환기술과 자료 가시화 기술이 반드시 필요하다. 기존 연구들이 대부분 실내공간 정보 구축을 위한 변환에 집중되어 있으며, BIM을 기반으로 구축된 공간정보들의 가시화에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 BIM과 GIS 연계를 위하여 BIM 자료를 기반으로 실내 공간 자료를 구축했을 때, 실내 시설물 관리 시스템에 적용할 수 있는 실내공간 세밀도(LOD:Level of Detail) 모델을 제시하였다.

키워드 : 실내공간, 세밀도 모델, 시설물 관리, BIM/GIS 연계

Abstract In recent years, according to the increase of interests in indoor space, various researches are being carried out for the construction and services of indoor spatial information. BIM data is very useful to build indoor spatial information. Accordingly, many studies for the use of BIM data on GIS part are in progress. In order to take advantage of BIM data on GIS part, the conversion technology for building indoor data and visualization techniques are required. However, most of the previous researches are focused on the conversion technology to construct indoor spatial information by importing BIM data into GIS applications while there is few research on visualization. In this study, an indoor LOD(Level of Detail) model is proposed to apply to on indoor facility management system when indoor data was constructed based on BIM data for the linkage between BIM and GIS.

Keywords : Indoor space, LOD model, Facility Management, the linkage between BIM and GIS

1. 서론

최근 국내외적으로 실내공간에 대한 관심이 높아지면서, 실내공간정보 구축 및 서비스에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 실내공간정보 구축에 있어 건물에 대한 기하적 정보 및 속성정보를 풍부하게 가지고 있는 건설데이터는 공간정보 측면에서 3차원 실내공간정보를 구축할 수 있는 우수한 원천 자료가 될

수 있다. 또한, 최근 건설데이터가 CAD(Computer Aided Design)에서 BIM으로 진화하면서 공간정보 구축 측면에서 매우 유용한 정보를 담게 됨으로써, 이를 효과적으로 활용하기 위한 관련 기술 개발에 대한 관심이 높아지고 있다[5]. 이에, 건설 자료를 활용하는 BIM과 공간정보를 다루는 GIS의 통합 및 연계에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. BIM과 GIS의 상호 운용을 위한 요소 기술들로 지형

† This work was supported by a grant from a strategic research project(Development of BIM/GIS Interoperability Open-Platform) funded by the Korea Institute of Construction Technology.

* Hye-Young Kang, Research Professor, Dept. of GeoInformatics, University of Seoul. hyezero@gmail.com

** Jung-Rae Hwang, Senior Researcher, Spatial Information Industry Promotion Institute. jr.hwang@spacen.or.kr

*** Chang-Hee Hong, Senior Researcher, Korean Institute of Construction Technology. chhong@kict.re.kr (Corresponding Author)

및 실사건물에 대한 화면 가시화 기술과 데이터베이스 구조 지원 기술을 정의하고, 효율적인 상호 운용을 위한 플랫폼 구조가 제시되었다[4]. 특히, 이 연구에서는 기존의 BIM과 GIS 연계에 관한 연구들로부터 각 자료의 특성 및 세밀도 수준 등이 매우 달라서, BIM과 GIS를 통합하는 것은 어렵다는 판단 하에 사용 사례에 따라 GIS수준의 데이터 모델 통합과 BIM 자료의 연계활용을 병행하는 것이 상호 운용성을 확보하는 최상의 방법임을 보였다. 이와 연계하여 두 데이터 모델 간의 연관성을 분석하는 연구도 이루어졌다[6]. 이 연구에서는 BIM의 대표적 모델인 IFC(Industry Foundation Classes)와 GIS의 대표 모델인 CityGML 간의 연관성을 분석하였다. 이러한 연관성 분석을 통해 IFC의 빌딩 객체들을 세밀도별 특성을 고려하여 CityGML의 빌딩객체와 매핑을 수행하고, 두 모델간의 효율적인 연계방안을 제시하였다.

BIM과 GIS를 상호운용하기 위해서는 서로 다른 자료에 대한 변환이 수행되어야 한다. 이에 BIM 자료를 GIS 자료로 변환하는 방법들이 제시되었다[4, 7, 8, 10]. 특히, 이러한 변환 방법들을 기반으로 하여 BIM과 GIS를 통합한 통합건물모델(UBM: Unified Building Model)을 제시하기도 하였다[9].

하지만, 이러한 연구들은 대부분 실내공간정보를 구축하기 위한 방법론 및 모델에 대해 이루어지고 있으며, 구축된 실내공간 자료를 서비스에서 활용하기 위해서는 [4]에서 분석한 것과 같이 반드시 가시화가 이루어져야 한다. 특히, 대용량 3차원 공간객체를 효율적으로 가시화하여 서비스하기 위해서는 실내공간 세밀도 모델이 반드시 필요하다. 이에, 본 연구에서는

건설 자료를 기반으로 구축되어지는 실내공간정보를 효과적으로 표현하기 위한 세밀도에 대해 실내시설물 관리를 중심으로 정의하고, 이를 만족하는 실내공간 세밀도 모델을 개발하고자 한다.

2. BIM 및 GIS 표준 형식의 세밀도 규정

2.1 GIS 분야의 LOD 규정

CityGML은 OGC(Open Geospatial Consortium) 의 표준으로 제정된 대표적인 개방형 데이터모델로 XML을 기반으로 하는 가상 3차원 도시모델의 저장과 교환을 위한 자료형식이다[12]. CityGML은 지형지물의 효과적인 표현 및 활용을 위하여 Fig. 1과 같이 5단계의 세밀도를 제공하고 있다.

각각의 해상도의 수준에 따라 동일한 객체에 대한 분석과 가시화를 가능하게 위해서 CityGML 자료집합에서는 동일한 객체에 대해 각각의 세밀도 정보를 모

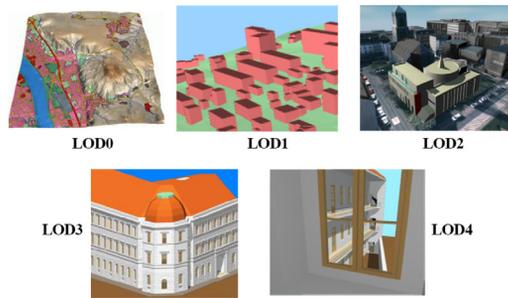


Figure 1. Example of LOD for CityGML[12]

Table 1. Required Accuracy for each LOD level of CityGML[12]

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	no	no	yes	representative exterior features	real object form
Roof structure/representation	yes	flat	differentiated roof structures	real object form	real object form
Roof overhanging parts	yes	no	yes, if known	yes	yes
CityFurniture	no	important objects	prototypes, generalized objects	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	no	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	no	>50*50m	>5*5m	< LOD2	< LOD2
...to be continued for the other feature themes					

Document Release: 20120913		DESIGN MODEL (CONSTRUCTION DOCUMENTS)	RECORD MODEL (AS-BUILTS)	FOR AGENCY OR CO NOT A CONTRAC
Element ID	LOD	GRADE (CD)	GRADE (AB)	Primary Discipline (This will allow design team to identify discipline specific areas of content)
Furnishings	•	•	•	Interiors
Fixed Furnishings	•	•	•	Interiors
Fixed Art	100	B	B+	Interiors
Window Treatments	200	B	B+	Interiors
Casework	300	A	A+	Interiors
Fixed Multiple Seating	200	A	A+	Interiors
Other Fixed Furnishings	200	A	A+	Interiors
Movable Furnishings	•	•	•	Interiors

Figure 2. the Minimum Modeling Matrix of the USACE[13]

두 포함하고 있다. 가장 하위 단계의 LOD 0은 기본적으로 2.5D 수치지형모형을 표현하고 수치지형모형에 항공영상 또는 지도가 중첩될 수 있으며, 건물의 경우에는 바닥 경계 또는 지붕 경계의 다각형을 표현한다. LOD 1의 건물은 평평한 지붕 구조를 갖는 블록 모형을 표현하며, LOD 2의 건물은 개별적인 지붕구조를 표현한다. LOD 3은 문과 창문을 포함한 상세한 벽면과 지붕구조를 포함한 건축적 모형을 세부적으로 표현하고 있으며 LOD 4는 LOD 3의 LOD에 건물의 내부 구조를 포함하여 표현한다. CityGML의 LOD는 객체의 정확도와 최소 차원을 정의하고 있다. CityGML의 LOD별 정확도는 Table 1에서 보이는 바와 같이, 3차원 절대좌표의 표준편차로 규정하고 있으며, 향후 3차원 좌표에 대한 상대 정확도 규정이 추가될 예정이다. LOD 1에서 수평 및 수직정확도는 5m 이상이며, 최소 6m×6m의 바닥경계를 갖는 모든 객체가 고려되어야 한다. LOD 2의 수평 및 수직 정확도는 2m 이하이고 최소 4m×4m의 바닥경계를 갖는 모든 객체가 고려대상이 된다. LOD 3의 정확도는 0.5m가 되어야 하고, 최소 바닥경계는 2m×2m이며, LOD 4에서는 0.2m 이하의 정확도를 규정하고 있다.

2.2 BIM 분야의 LOD 규정

BIM 기반 설계는 완벽하고 정밀한 모형을 요구하며, 실제로 시공되는 건물과 동일한 수준을 요구하고 있다. 하지만 설계의 모든 단계에서 완벽한 수준의 모델이 동일하게 필요한 것이 아니기 때문에, LOD 및 정밀도 수준(Level of Precision 또는 Accuracy)에 대한 정의가 필요하다는 의견이 BIM 도입 초기부터 대두되어 왔다. 이에 BIM모델과 관련한 대표적인 세밀도에 관한 몇 가지 사례를 살펴보았다.

- 미국 시애틀에 본부를 둔 미 공병대 북부지역대의

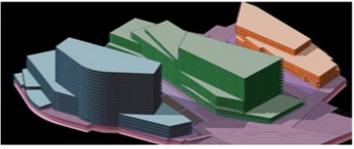
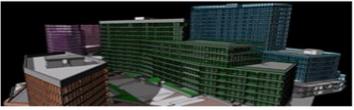
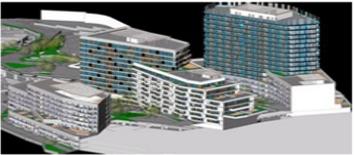
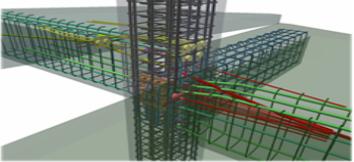
‘BIM LOD Matrix’[13]는 3차원으로 표현이 불가능하거나 표현이 무의미한 경우 등을 해결하기 위한 기준 정립을 위해 Fig. 2와 같은 형태로 만들어졌다. 이 매트릭스를 기반으로 작업한 내용을 분석해보면, 전체 BIM 모델 중 3차원 형상으로서의 표현은 62.5%, 2차원으로 표현은 11.54%, 도면에서의 표기는 25.96%가 사용이 되었다고 나온다. 이를 통해 37.5%가 3차원 형상으로 표현할 이유가 없음을 알 수 있으며, BIM 모델이 하나의 파일로 이루어질 수 없다는 사실도 알 수 있다.

- 시공관리용 BIM 소프트웨어를 제작하는 Vico 소프트웨어는 2004년 단계별 LOD를 적용하기 위한 MPS(Model Progression Specification)라는 개념을 개발하고 미국의 Webcor 건설사와 구체적으로 발전시켰다[6]. Fig. 3은 MPS의 Uni-format에 따른 각 요소별, 설계단계별 LOD 수준을 정의한 엑셀시트 중 일부를 나타내고 있다. 이 엑셀시트를 살펴보면, MPS는 건물 분류코드인 Uni-format을 적용하여 건물 구성요소를 구분하였으며, 설계단계에 따라 각 구성요소들의 표현수준을 LOD 1에서 LOD 5까지 LOD 단계를 통해 정의하고 있다. 하지만 MPS의 LOD 수준에 대한 정의는 사실상 템플릿만을 제시하고 있으며, LOD의 설정은 설계자가 발주처와 협의에 의해 결정하는 것을 전제로 하고 있다. 또한, MCA의 경우도 실제적으로 이 표와 동일하게 사용되지는 않고 있으므로 사실상 3차원 건물모델의 LOD를 결정하기에는 명확하거나 구체적이지 못한 점이 있다. MPS에서 발전된 AIA(American Institute of Architects) Doc. E202의 LOS 정의는 Table 2와 같다. E202의 경우는 각 LOD 단계에 따른 간략하고 추상적인 정의만 서술하였으나 MPS는 Uni-format으로 건물의 각

The content in G5.083 is shown for example only - it is expected that each project team will validate and adjust the content to align with the particular needs of the project and capabilities of the team members. The Level of Detail by Phase entries shown here are the minimum that would satisfy the phase descriptions in the AIA/AIACC IPD Guide [®] .				PD Prime Designer DC Design Consultants PC Prime Constructor TC Trade Contractors S Suppliers								
1 See "Level of Detail Descriptions" tab for descriptions of LOD 100 - 500.												
2 Integrated Project Delivery - A Guide												
3 Model Component (ASTM Uniformat II Classification)				Level of Detail and Model Component Author by Phase								
				Conceptual-ization		Criteria Design		Detailed Design		Implementation Docs		
				LOD	MCA	LOD	MCA	LOD	MCA	LOD	MCA	
6	A	SUBSTRUCTURE	A10 Foundations	A1010 Standard Foundations	100	PD	200	DC	300	TC	400	TC
7				A1020 Special Foundations	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC
8				A1030 Slab on Grade	100	PD	200	DC	300	TC	400	TC
9			A20 Basement Construction	A2010 Basement Excavation	100	PD	200	DC	300	TC	300	TC
10				A2020 Basement Walls	100	PD	200	DC	300	TC	400	TC
11	B	SHELL	B10 Superstructure	B1010 Floor Construction	100	PD	200	PD	300	PD	300	PC
12				B1020 Roof Construction	100	PD	200	PD	300	PD	300	PC
13			B20 Exterior Enclosure	B2010 Exterior Walls	100	PD	200	PD	300	TC	400	TC
14				B2020 Exterior Windows	100	PD	200	PD	300	TC	400	TC
15				B2030 Exterior Doors	100	PD	200	PD	300	TC	400	TC
16			B30 Roofing	B3010 Roof Coverings	100	PD	200	PD	300	TC	300	TC
17				B3020 Roof Openings	100	PD	200	PD	300	TC	300	TC
18	C	INTERIORS	C10 Interior Construction	C1010 Partitions	100	PD	200	PD	300	PD	400	TC
19				C1020 Interior Doors	100	PD	200	PD	300	PD	400	TC
20				C1030 Fittings	100	PD	100	PD	300	PD	400	TC
21			C20 Stairs	C2010 Stair Construction	100	PD	200	PD	300	TC	400	TC
22				C2020 Stair Finishes	100	PD	100	PD	100	TC	100	TC
23			C30 Interior Finishes	C3010 Wall Finishes	100	PD	100	PD	100	TC	100	TC
24				C3020 Floor Finishes	100	PD	100	PD	100	PD	100	TC
25				C3030 Ceiling Finishes	100	PD	100	PD	100	PD	100	TC
26	D	SERVICES	D10 Conveying	D1010 Elevators & Lifts	100	PD	200	PD	300	DC	400	TC
27				D1020 Escalators & Moving Walks	100	PD	200	PD	300	DC	400	TC
28				D1030 Other Conveying Systems	100	PD	200	PD	300	DC	400	TC
29			D20 Plumbing	D2010 Plumbing Fixtures	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC
30				D2020 Domestic Water Distribution	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC
31				D2030 Sanitary Waste	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC
32				D2040 Rain Water Drainage	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC
33			D30 HVAC	D3050 Other Plumbing Systems	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC
34				D3010 Energy Supply	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC
35				D3020 Heat Generation Systems	100	PD	100	DC	300	TC	400	TC

Figure 3. Complete Model Progression Specification using the Construction Specification Institute's(CSI) UniFormat classification system.[6]

Table 2. AIA BIM Protocol(E202) [1]

	<p>LOD 100 - Essentially the equivalent of conceptual design, the model would consist of overall building massing and the downstream users are authorized to perform whole building types of analysis (volume, building orientation, cost per square foot, etc.)</p>
	<p>LOD 200 - Similar to schematic design or design development, the model would consist of "generalized systems or assemblies with approximate quantities, size, shape, location and orientation." Authorized users would include "analysis of selected systems by application of generalized performance criteria."</p>
	<p>LOD 300 - Model elements are suitable for the generation of traditional construction documents and shop drawings. As such, analysis and simulation is authorized for detailed elements and systems.</p>
 <p><i>Image courtesy of Mortenson Construction</i></p>	<p>LOD 400 - This level of development is considered to be suitable for fabrication and assembly. The MEA for this LOD is most likely to be the trade contractor or fabricator as it is usually outside the scope of the architect's or engineer's services or would constitute severe risk exposure if such parties are not adequately insured.</p>
	<p>LOD 500 - The final level of development represents the project as it has been constructed - the as-built conditions. The model is suitable for maintenance and operations of the facility.</p>

Floor System	BIM Object or Element		General Information	
	Item Category - Floor Description: A 2D and 3D element. A horizontal surface element most commonly attributed to the structural support system for a building.		Basic Tool Features Structural System, Assembly Information	Derived Material No, Material Su
Level of Development AIA Document E292 - 2008 Developed by Graphisoft 2001	Information Category for Information Item (See Master Information Tab)	Information Item (Information about the specific object or element)	Model Element Author	Inform Classif Ori
LOD 100 - Conceptual				
Overall Building Massing Indicative of Area, Height, Volume, Location, and Orientation.	Building Program & Project Meta Data	Facility ID		
	Building Program & Project Meta Data	Facility Name		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Facility Description		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Overall Length		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Overall Width		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Overall Height		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Overall Area		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Overall Volume		
	GeoSpatial and Spatial Location of Objects & Elements	Position Type		
	GeoSpatial and Spatial Location of Objects & Elements	Location Constraint		
	GeoSpatial and Spatial Location of Objects & Elements	Code Constraint		
	Costing Requirements	Conceptual Cost		
	Costing Requirements	Future Cost Assumptions		
	Sustainable Material LEED or Other Requirements	Green Assumptions		
	Sustainable Material LEED or Other Requirements	LEED Initiatives Bronze, Silver, Gold		
Project Environmental & Site Conditions	Utility Data			
Phases Time Sequencing & Schedule Requirements	Phasing (Corra/Class Table -32)			
Phases Time Sequencing & Schedule Requirements	Overall Duration			
LOD 200 - Approximate Geometry				
Generalized Systems or Assemblies with Approximate Quantities, Size, Shape, Location, . . . and Orientation.	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Length		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Width		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Height		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Area		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Volume		
	Physical Properties of BIM Objects & Elements	Maximum Size		
GeoSpatial and Spatial Location of Objects & Elements	Story Number			
GeoSpatial and Spatial Location of Objects & Elements	Zone/Space Name			

Figure 4. National BIM Guide of NATSPEC[10]

구성요소를 분류하여 요소별, 설계 단계별 LOD 수준을 정의하였으며, 각각의 모델요소의 작성책임자를 MCA(Model Component Author)로 구분하였다.

- MPS 기반의 LOD를 가장 적극적으로 사용한 BIM 가이드라인은 2010년 공개된 미국 보훈청의 BIM 가이드라인[11]이다. 이는 부속서인 엑셀 스프레드시트 포맷의 “The VA BIM Object/Element Matrix Manual”에서 Omniclass 기반으로 객체를 구분하였으며, 이를 통하여 Fig. 4와 같이 LOD에 대한 정의 및 구분을 보여주고 있다. Omniclass를 기반으로 건물객체를 구분한 후 해당하는 탭의 색을 다르게 하여 시각적으로 직접적인 인지가 가능하게 하였으며 AIA Document E202의 LOD100에서부터 LOD500까지의 LOD 단계를 구분하였다. 또한 BIM 국제표준규격인 IFC를 기반으로 객체 분류를 하여 LOD를 지정하여 적용성 및 데이터호환의 효율성을 높였으며 BIM 모델을 지원하는 소프트웨어(ArchicAD, Revit, Bentley)들을 구분하여 각 구성요소별로 LOD를 구분하였다.

GIS 분야에서 세밀도는 공간객체의 가시화를 위한 기하객체의 세밀도 및 표현방법에 대한 세밀도를 정의하고 있으나, BIM 분야에 적용되는 세밀도는 대부분이 건설과정과 연결된 세밀도이다. 따라서, 현재 제시되어 있는 BIM 분야의 세밀도와는 다른, BIM 자료를 이용하여 실내공간자료를 구축하고, 그 공간자료를 가시화할 때 적용할 수 있는 실내공간세밀도 모델이 필요하다.

3. BIM/GIS 연계를 위한 실내공간 세밀도 모델 설계

3.1 실내공간 세밀도 모델 설계 방법론

본 연구에서는 3차원 공간객체의 세밀도를 보다 효율적으로 설계하기 위하여 3차원 객체의 세밀도 모델을 결정할 때, 객체의 유형, 객체의 크기, 그리고 객체와의 거리를 고려한다. 3차원 공간객체 표현을 위한 세밀도 모델은 이러한 3가지 고려사항들을 포함하여 제시하며, 3차원 공간객체의 위치와 형태를 표현하는 기하데이터에 대하여 세밀도 개념을 적용하는 방법과 공간객체 자체의 중요도에 따라 세밀도 개념을 적용하는 방법을 제안한다.

첫째, 공간객체의 기하 자료에 대하여 세밀도 개념을 적용하는 방법은 가까이 있는 공간객체의 기하는 자세히 표현하고 멀리 있는 공간객체의 기하는 단순화하여 표현하는 방법으로 현재 다양한 컴퓨터 그래픽 분야에서 사용되고 있는 일반적인 세밀도 방법이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 세밀도 수준이 올라갈수록 공간객체를 세밀하게 표현할 수 있다. 이러한 방법을 적용하기 위해서는 관찰자로부터의 거리에 따라 공간객체가 표현하는 상세도를 나누고 이를 명시하여야 한다. 외형적으로 드러난 공간만을 표현하고 있는 GIS 데이터에서 주로 사용되고 있는 방법으로, 대표적인 GIS 공간 데이터 모델인 CityGML의 경우, Table 1에서 표시하는 바와 같이 세밀도 단계별로 객체의 일반화 정도(혹은 상세 표현정도)를 객체의 크기를 기반으로 하여 명시하고 있다.

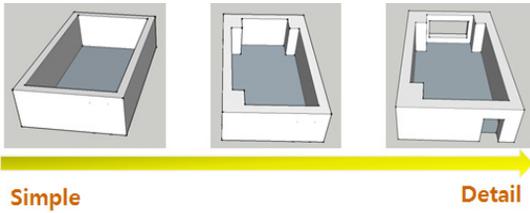


Figure 5. Example of LOD about geometry[3]

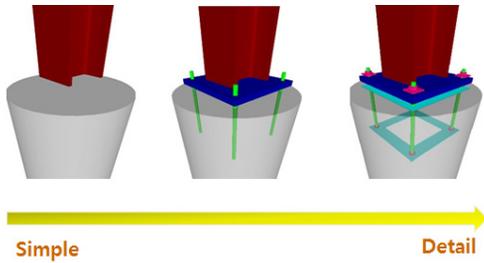


Figure 6. Example of LOD about importance[3]

공간 객체의 세밀도를 정의하는 두 번째 방법은 객체의 중요도에 따라 세밀도 수준을 지정하는 방법이다. 이는 중요한 공간객체는 낮은 수준에서부터 항상 표현되도록 하고, 그 외의 공간객체에 대해서는 상위 수준에서만 나타나도록 하여, 낮은 수준에서는 가시화되는 공간 내부에 표현되어야 하는 공간 객체의 수를 줄이는 방법이다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 반드시 표현되어야 하는 객체들을 낮은 수준에서부터 표현하여 상위 수준으로 올라감에 따라 기타 객체들이 표현되고, 보이지 않는 공간 속의 객체들도 가시화 하는 것이다. GIS 데이터와 달리, 외형적으로 드러나지 않는, 건물 내부에 들어있는 전기선, 수도관 등과 같은 시설물들도 가시화 하여야 할 필요가 있는 응용서비스들을 위해서 BIM 자료 기반 객체의 중요도에 따른 세밀도 정의가 반드시 필요하다.

3.2 실내 시설물 관리를 위한 실내공간 세밀도

본 연구에서는 실내 시설물 관리 시스템을 구축하

는데 있어서, BIM의 대표적인 모델인 IFC의 건설 자료 요소들을 GIS에서 활용하기 위한 세밀도 모델을 정의하였다. 본 연구에서 제안하는 시설물 관리 시스템을 위한 세밀도 모델은 3장에서 살펴본 설계방안에 따라 2가지 방법을 모두 적용하여 설계하였다. 본 연구의 세밀도 모델은 총 3단계의 순서로 설계되었다.

- 단계 1: IFC 데이터모델 중, GIS에서 활용 가능한 클래스들을 선출
- 단계 2: 선출된 각 클래스에 대하여 시설관리 시스템에 있어서의 중요도 분류 및 클래스 세밀도 수준 결정
- 단계 3: 각 클래스별 기하유형 및 일반화 정도 결정

단계 1에서는 IFC 데이터 모델의 다양한 항목 중에서 실내공간정보를 구축함에 있어서 반드시 가시화 되어야 하는 객체를 선별한다. 이를 위하여, 본 연구에서는 IFC를 기반으로 실내공간 정보를 구축하고, 이를 기반으로 실내 시설물 관리 서비스를 제공하기 위하여 반드시 가시화 되어야 하는 객체들을 IFC 2x 계열의 모델[3]에서 정의한 *ShareBuildingElement*, *SharedFacilityElement*에 속하는 객체들을 대상으로 선정하였다. 이 중에서, *IfcBuildingElement*는 실내공간을 표현하는 건축 요소들을 표현하는 객체로 CityGML의 각 피쳐 클래스들과 매핑하여 표현될 수 있는 객체이다. *IfcDistributionElement*의 경우, 시설물관리에 사용될 수 있는 실내객체들을 표현한 클래스들로 수도꼭지, 환기팬, 각종 관, 변압기 등이 포함되며, 현재 GIS에서 활용되는 대표적인 공간 데이터 모델인 CityGML에서는 표현되지 않는 객체들이 대부분이다. 기존의 GIS에서는 공간중심의 표현 및 분석이 대부분이었던 까닭에, 각종 시설물들을 표현하고 있는 국제표준의 데이터 모델은 없으나, BIM/GIS 데이터의 경우 이러한 시설물들의 위치정보 및 기하정보 역시 중요하게 활용될 수 있으므로, 반드시 가시화 되어야 할 필요가 있다. 마지막으로 가시화 되어야 하는 객체로는 *IfcFurnishingElement*가 있다. 이는 실내공간에 배치되어 있는 가구객체들을 통칭하는 클래스

Table 3. The mandatory object types for visualization of indoor space

Object Type	Sub-object Type
IfcBuildingElement	IfcDoor, IfcWindow, IfcWall, IfcCurtainWall, IfcRamp, IfcRampFlight, IfcSlab, IfcFooting, IfcStair, IfcStairFlight, IfcRoof, IfcColumn, IfcPile, IfcBeam, IfcPlate
IfcDistributionElement	IfcEnergyConversionDevice, IfcFlowSegment, IfcDistributionChamberElement, IfcFlowFitting, IfcFlowTreatmentDevice, IfcFlowController, IfcFlowStorageDevice, IfcFlowMovingDevice, IfcFlowTerminal,
IfcFurnishingElement	-

로, 실내공간의 가시화에 있어서 공간상에 존재하는 가구들 역시 중요한 가시화 요소이므로 반드시 표현되어야 한다.

단계 2는 단계 1에서 선별된 항목들을 기반으로 클래스의 중요도를 분류하는 단계이다. 본 연구에서 클래스의 중요도를 분류하는데 고려하는 가장 큰 요소는 가시성이다. 즉, 각 클래스들이 가시화되었을 때, 사람이 공간을 인지하는데 얼마만큼의 영향을 줄 수 있는가를 기준으로 분류하였다. 사람이 공간을 인지하는데 가장 큰 영향을 주는 항목은 건물 내부와 외부의 형상을 결정짓는 Architecture Domain에 포함되는 객체들로서, 단계 1에서 선별된 IFC의 각 항목 중에서는 건축물의 주요 요소인 문, 벽, 바닥, 창 등을 표현하는 *IfcBuildingElement* 객체가 이에 해당한다. 또한, 실내 내부의 공간에 배치되어있는 *IfcFurnishingElement* 객체들도 반드시 가시화가 되어야 하는 객체들이다. 이에 본 연구에서는 건축요소를 표현하는 *IfcBuildingElement* 객체, 내부가구를 표현하는 *IfcFurnishingElement*는 낮은 단계에서도 반드시 표현되어야 하는 주요 항목으로 선정하였다. 그 외에 공간인지에는 크게 영향을 주지는 않지만 실내 시설물 관리 시스템에서는 3차원 가시화가 반드시 필요한 항목인 *IfcDistributionElement*를 일반 항목으로 선정하였다. 각각의 *Element*들에 포함되는 세부 객체들에 대한 세밀도는 객체별 가시성을 기본으로 분류하였다. 이를 바탕으로 공간객체들의 LOD 레벨을 Fig. 7과 같이 분류하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이, 기본적으로 *IfcBuildingElement*는 낮은 세밀도에서도 표현하도록 분류하였으나, *IfcBuildingElement*의 항목들 중에서도 외형으로 가시화되지 않지만 분석을 위해 반드시 표현될 필요가 있는 항목(*IfcBeam*,

IfcPile 등)에 대해서는 높은 세밀도 레벨을 부여하였다, *IfcFurnishingElement*는 낮은 수준인 세밀도 수준 1에서부터 표현되도록 정의하였으나, 모든 세부 항목들에 대한 세밀도 레벨 정의를 하기 보다는 앞서 살펴본 세밀도 정의 방법 중의 첫 번째 방법인 기하 객체에 대한 세밀도 정의를 적용한다. *IfcDistributionElement*들은 객체유형의 가시성에 따라 세밀도 레벨을 분류하였다.

세밀도 모델을 정의하는 마지막 단계 3에서는 각 클래스의 일반화 정도와 기하표현 방법에 대한 세밀도를 단계별로 정의한다.

Table 4. Guideline for geometry type and threshold value of generalization in case of *IfcFurnishingElement* class

	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Geometry	Curve & Surface	Curve & Surface	Solid	Solid
Generalization (Minimum)	2.5 x 2.5m	2 x 2m	2 x 2m /1m	-

*IfcFurnishingElement*의 경우, 세부항목들의 기하객체들을 전체 세밀도 수준상에서 3차원 객체로 표현하기 보다는 Table 4에서와 같이 낮은 수준에서는 2차원 객체로 표현하도록 하였다. 대부분의 실내공간의 가구들이 공간을 차지하고 있으므로 실내 공간상에 표현되어야 하지만, 실제로 그 가구들이 모든 세밀도 수준에서 사실적으로 표현되어야 할 필요는 없다. 또한, 회전바퀴가 달린 등받이 의자 등과 같은 구조가 복잡한 가구의 경우, 가구 자체를 표현하는 것만으로도 상당한 리소스를 필요로 하는 경우가 대부분이다. 이에, 본 연구에서는 낮은 수준의 세밀도에서는 가구의 존

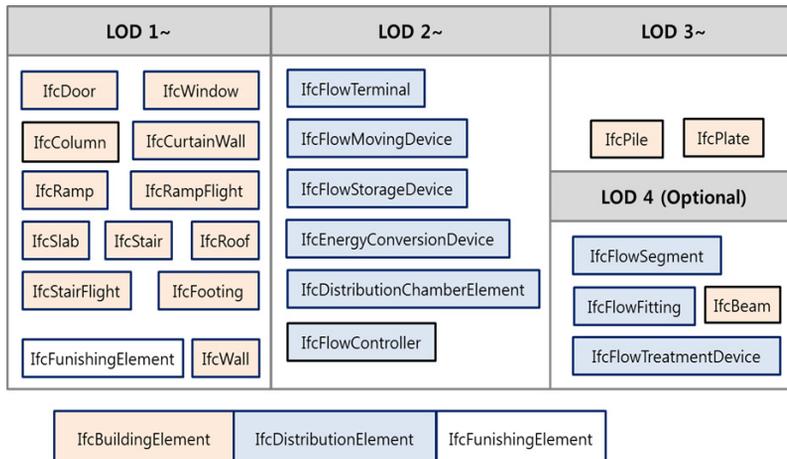


Figure 7. the definition of LOD for each object types

재의 유무 및 위치만을 인지하도록 하여 Table 4에서 보는 바와 같이 2차원 형태의 단순화된 기하로 표현한다. 세밀도 수준이 높아지면 3차원 형태의 객체로 표현하도록 하여, 세밀도 단계 3에서는 3차원 객체의 일반화를 수행하도록 정의하였다. 단계 3에서는 가시화되는 객체에 대해 각 수준별 기하유형을 정의하였고, 가시화 성능에 대한 보안을 위하여 각 표현수준에서 가시화되어 표현되는 객체들의 최소 크기를 정의하여, 가시화를 수행할 때, 화면상에 표현되는 객체의 수 및 객체 자체의 복잡도를 감소시켰다.

이와 같은 순서에 따라 BIM/GIS데이터의 원천 데이터로서 사용될 수 있는 IFC 모델의 실내공간 관련 공간객체에 대하여, 객체의 중요도 및 기하표현 방법 등에 따른 세밀도 수준을 정의하였다. 이렇게 정의된 세밀도 모델을 실제 시설물 관리 시스템에서 사용하기 위해서는 세밀도 수준이 적용되는 거리에 대한 정의가 필요하다. 실제 세밀도 모델의 기본적인 개념이 가까운 사물을 자세히 표현하고, 멀리 떨어진 사물을 일반화 시켜 표현하는 것이므로, 가까움과 먼 것에 대한 정의는 객체와 관찰자와의 거리를 기반으로 정의되어야 한다. 이에, 본 연구에서는 건물에 적용 가능한 축척을 고려하고, CityGML의 정의를 참고하여 실험을 통하여 Table 5와 같이 세밀도별 거리 임계값을 제시하였다.

Table 5. Threshold value of distance for LODs

	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Distance (Minimum)	-	10m	5m	2.5m

본 연구에서는 실내공간을 가시화할 때 거리 20m를 기준으로 20m보다 멀리 있는 객체의 경우에는 세밀도 1 수준으로 표현하고, 10m ~ 20m 내에 존재하는 객체의 경우 세밀도 2 수준, 5m ~ 10m 내에 존재하는 객체의 경우 세밀도 3, 가장 가까운 5m 내에 존재하는 객체의 경우는 가장 높은 수준의 세밀도 4를 따라 표현하도록 한다.

4. 실내 세밀도 모형의 검증에 위한 실험

본 연구에서 제시한 실내 시설물 관리 시스템을 위한 실내 세밀도 모형의 검증에 위하여, IFC자료로부터 필요한 자료를 추출하고, 이를 기반으로 가시화 도구를 구축하였다. 구축된 가시화 도구를 통해 세밀도의 수준별 거리 임계값에 대한 실험을 수행하였다. 실험을 위해서 IFC 데이터를 위한 IFC Importer를 구현하고, 이를 WWJ(World Wind Java)에 삽입하였다. 또

한, 한국건설기술연구원의 본관건물을 IFC 형식으로 구축한 데이터와 송도 신도시 지역의 위성영상 및 주변 건물 데이터를 사용하였다. 본 실험에서 사용한 실험환경은 Table 6과 같다.

Table 6. Experimental environment

Machine	CPU	Intel(R) Core(TM) i5 760 2.80 Ghz
	RAM	8GB
	Graphic Card	NVIDIA GeForce GTS 450
	OS	Window 7 Professional K(64bit)
Application	WWJ(World Wind Java) version 1.5	
Data	main building of KICT(Korea Institute of Construction and Technology) : IFC format	
	buildings and satellite image of Songdo International Business District : KML and TIF	

본 연구에서 제안한 실내 세밀도의 적정성을 평가하기 위해서, 주어진 데이터 건물의 2층 남쪽 창문 밖에서 2층을 통과하여 북쪽 창문 바깥까지 약 80m의 거리를 일정한 속도로 카메라(시점)의 위치를 이동시키면서, 일정 시간간격(0.5초)으로 화면의 프레임률(FRS: Frame per Second)를 측정하였다. 이때, 건물 내부의 각 객체의 렌더링 여부 확인을 위하여 벽은 렌더링 하지 않았다. 화면의 프레임률은 초당 전송되는 프레임의 수를 나타내는 것으로, 화면에 렌더링 되는 객체의 수가 작을수록 초당 전송할 수 있는 장면의 수는 많아진다.

실험을 위하여, Table 7과 같이 3가지 경우에 대하여 동일한 카메라 이동 경로를 이용하여 프레임률을 측정하였다. 실험의 편의를 위하여 실내 세밀도에 대한 임계값과 각 클래스의 가시화 수준을 Fig. 8과 같이 간단한 XML 파일로 설정하여 조절하였다.

Table 7. Threshold value of distance for experiment

	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Case 1	None			
Case 2	-	20m	10m	5m
Case 3	-	10m	5m	2.5m

Fig. 9와 Fig. 10은 본 연구에서 구현한 가시화 도구를 이용하여 실내 세밀도에 관한 실험을 수행했을 경우의 화면이다. Fig. 9는 실내 세밀도를 적용하지 않은 화면으로, 화면에 보여지는 모든 IfcBuildingElements

객체들(단, 렌더링을 하지 않도록 설정한 벽 객체를 제외)을 화면에 표현하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 10은 Table 7에서 제시한 3번째 경우로 실내 세밀도의 임계값의 차이를 크게 적용하였을 경우의 화면으로, 카메라와의 임계 거리값 보다 먼 거리에 존재하는 객체들은 가시화되지 않음을 알 수 있다.

```

<?xml>
<!-- LOD -->
<LOD>
<depth level="4" distanceToCamera="5.0" sizeToHide="0.0" sizeToShow="1000.0"/>
<depth level="3" distanceToCamera="10.0" sizeToHide="0.0" sizeToShow="1000.0"/>
<depth level="2" distanceToCamera="20.0" sizeToHide="0.0" sizeToShow="1000.0"/>
<depth level="1" distanceToCamera="40.0" sizeToHide="0.0" sizeToShow="1000.0"/>
</LOD>
<!-- OBJECT -->
<filter level="4">IfcBeam IfcBuildingElementProxy IfcChimney IfcColumn
IfcCovering IfcCurtainWall IfcDoor IfcDoorStandardCase IfcFooting
IfcFurniture IfcFurnishingElement IfcMember IfcPile IfcPlate IfcRailing IfcRamp
IfcRampFlight IfcRoof IfcShadingDevice IfcSite IfcSlab IfcStair IfcStairFlight
IfcWall IfcWallStandardCase IfcWindow IfcSpace</filter>
<filter level="3">IfcBuildingElementProxy IfcColumn IfcCovering IfcCurtainWall
IfcDoor IfcDoorStandardCase IfcFooting IfcMember IfcPile IfcPlate IfcRailing
IfcRamp IfcRampFlight IfcRoof IfcShadingDevice IfcSite IfcSlab IfcStair
IfcStairFlight IfcWall IfcWallStandardCase IfcWindow IfcSpace</filter>
<filter level="2">IfcChimney IfcColumn IfcCovering IfcCurtainWall IfcFooting
IfcPile IfcRoof IfcSlab IfcStair IfcStairFlight IfcWall IfcWallStandardCase
IfcSpace</filter>
<filter level="1">IfcPile IfcCovering IfcRoof IfcSlab IfcWall
IfcWallStandardCase</filter>
</OBJECT>
</?xml>
    
```

Figure 8. sample xml file for indoor lod configuration



Figure 9. Screen shot of Case 1: Without an Indoor LOD

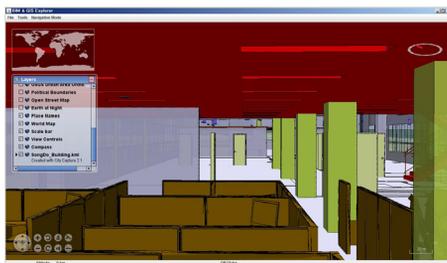


Figure 10. Screen shot of Case 3: with long distance value for an indoorLOD threshold

Fig. 11은 3가지 경우의 실험에서 시간에 따른 프레임 임율을 그래프로 표현한 것이다. Fig. 11에 따르면, 실내 세밀도를 적용하지 않은 경우보다, 실내 세밀도를 적용한 경우의 프레임율이 평균적으로 높은 것을 알 수 있으며, 특히 거리 임계값을 짧게 설정할수록 프레

임율이 높게 나타났다. 실내 세밀도를 적용하지 않은 경우의 프레임율은 평균 38.3 FPS 이었으며, 짧은 임계값을 가지는 실내 세밀도를 적용한 경우에는 평균 47.8 FPS, 긴 임계값을 가지는 실내 세밀도를 적용한 경우의 프레임율은 평균 45.6FPS이었다. 이를 통해, 실내공간을 가시화할 경우, 실내 세밀도를 적용하는 것이 실내 세밀도를 적용하지 않는 것에 비해 좋은 가시화 성능을 가짐을 알 수 있으며, 특히, 거리 임계값을 짧게 설정한 경우 실내 세밀도를 적용하지 않았을 때에 비해 124%의 가시화의 성능적 향상이 있음을 알 수 있다.

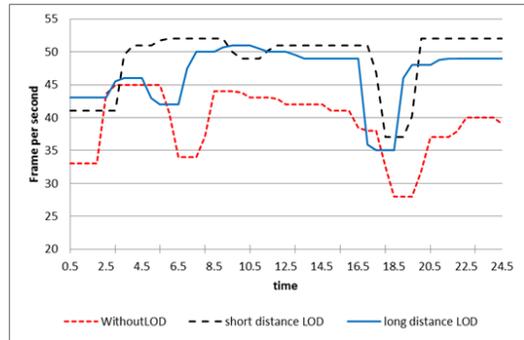


Figure 11. Experiment result: Frame per second over time for each case

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 BIM에서 활용되는 대표적인 모델인 IFC 데이터를 실내 시설물 관리 시스템에서 활용할 수 있도록 하기 위하여, IFC 모델의 실내공간 표현을 위한 클래스들을 대상으로 하는 실내공간 세밀도 모델을 제시하였다. IFC 모델에서 실내공간을 표현할 수 있는 객체들을 클래스별로 분류하고, 각 클래스의 중요도에 따라 세밀도 수준을 정의하고, 각 수준에 따른 기하표현을 위한 세밀도 수준을 일반화 적용 기준과 기하유형을 통해 제시하였다. 또한, 본 연구에서 제시한 세밀도 모델을 응용에서 적용할 때 참고할 수 있는 각 세밀도 수준의 적용을 위한 세밀도 수준별 거리 임계값을 실험을 통하여 함께 제시하였다.

본 연구에서 제시한 세밀도 모델은 시설물 관리 시스템을 위한 모델로서, 실제 건물 내부에 매립되어 외형적으로 드러나지 않는 객체들에 대해서도 세밀도 수준을 정의하였다. 현재, 본 연구에서 제시한 세밀도 수준을 적용한 응용 서비스를 구현하여 세밀도 정의 및 세밀도 수준별 거리 임계값을 이용하여 다양한 실험을 수행중이다. Table 4에서 제시한 객체의 크기에

따른 가시화 방법에 대한 실험은 추후 각 객체별 세밀도 데이터를 구축한 이후에 실험을 통하여 객체별 실내 세밀도에 따른 표현 방법이 가시화 성능에 미치는 영향을 분석할 것이다. 이러한 실험을 바탕으로 응용 서비스에 적용 가능한 실내공간 세밀도의 거리 임계값 및 객체별 세밀도 수준을 정의할 수 있을 것으로 생각된다.

향후, 본 연구에서 정의한 세밀도 수준을 기반으로 다양한 응용 서비스에 활용하기 위해서는, 각 응용에서 요구하는 기능에 적합하도록 세밀도별 표현 수준 및 표현객체들을 변경할 수 있으며, 세밀도 수준별 거리 임계값을 조정해야할 것이다.

References

[1] All things BIM, <http://www.allthingsbim.com>

[2] BIMFORUM, www.bimforum.org

[3] BuildingSmart Alliance. www.buildingsmart.org

[4] Hwang, J. R; Kang, H. Y; Hong, C. H. 2012, A Study on the Platform Design for Efficient interoperability of BIM and GIS, Journal of the Korea Society for GeoSpatial Informaton System, 20(6):99-107.

[5] Hwang, J. R; Kang, T. W; Hong, C. H. 2012, A Study on The Correlation Analysis Between IFC and CtyGML for Efficient Utilization of Construction Data and GIS Data, Journal of the Korea Society for GeoSpatial Informaton System, 20(5):49-56.

[6] Jim Bedrick. 2008, Organizaing the Development of a Building Information Model, <http://www.aecbytes.com>

[7] Kang, T. W; Hong, C. H; Hwang, J. R; Choi, H. S. 2012, The External BIM Reference Model Suggestion for Interoperability Between BIM and GIS, Journal of the Korea Society for GeoSpatial Informaton System, 20(5):91-98.

[8] Léon va Berlo; Ruben de Laat. 2010, Integration for BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension, Advances in 3D Geo-Information Sciences Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pp. 211-225.

[9] Mohamed El-Mekawy; Anders Östman; Ihab Hijazi. 2012, A Unified Building Model for 3D Urban GIS, International Journal of Geo-Information, 1(2):120-145.

[10] Mohamed El-Mekawy; Anders Östman; Ihab Hijazi. 2012, An Evaluation of IFC-CityGML Unidirectional Conversion, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 3(5):159-171.

[11] NATSPEC Building Information Modelling Portal, <http://bim.natspec.org>

[12] OGC City Grography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>

[13] USACE, <https://cadbim.usace.army.mil>

논문접수 : 2013.09.13
수정일 : 2013.10.25
심사완료 : 2013.10.31