

실내 공간정보 활용을 위한 세밀도 모델 LOD(Level of Detail) Model for Utilization of Indoor Spatial Data

강혜영¹⁾ · 남상관²⁾ · 황정래³⁾ · 이지영⁴⁾

Kang, Hye Young · Nam, Sang Kwan · Hwang, Jung Rae · Lee, Ji Yeong

Abstract

As the map paradigm shifts from analog to digital, the LOD (Level Of Detail) of spatial information needs to be redefined. In this study, we propose 4- dimensional indoor LOD model which can be used in digital map environment. For this purpose, the limitation of the previous research is derived through study of related works, and based on this, four different LODs are defined such PLOD (Position accuracy LOD) based on position accuracy, GLOD (Geometric LOD) based on shape representation, CLOD (Complete LOD) based on generalization, and SLOD (Semantic LOD) based on theme accuracy. In addition, we describe the relationships among the four different LODs, and explain how to express the indoor LOD using the four different LODs and show examples. In the future, the case studies of indoor LOD adoption for various indoor services and the study of method for applying CLOD and SLOD to each feature should be performed to verify the feasibility and validity of proposed indoor LOD.

Keywords : Indoor, Level of Detail, Position Accuracy, Geometry, Completeness, Semantics

초 록

아날로그 지도에서 디지털 지도로의 지도 패러다임의 변화에 따라 공간정보의 세밀도 개념의 재정의가 필요하다. 이에, 본 연구에서는 디지털 지도 환경에서 활용될 수 있는 4차원 실내 세밀도 모델을 정의하였다. 이를 위하여 기존의 세밀도 개념의 한계점을 도출하고, 이를 기반으로 실내공간정보의 위치 정확도 기반의 위치 세밀도(PLOD: Position accuracy Level Of Detail), 형상 표현기반의 기하 세밀도(GLOD: Geometric Level Of Detail), 일반화 기반의 완성도 세밀도(CLOD: Complete Level Of Detail), 주제 정확도 기반의 의미 세밀도(SLOD: Semantic Level Of Detail)의 4가지의 다른 세밀도를 정의하였다. 또한, 본 연구에서 정의한 4가지의 서로다른 세밀도간의 유기적 관계에 대해 설명하고, 이를 통해 실내 공간정보의 세밀도를 4차원으로 표현하는 방법과 적용 방법 및 예시를 보였다. 향후, 본 연구에서 제시한 4차원의 실내공간 세밀도의 효용성과 타당성을 검증하기 위하여 다양한 실내 서비스를 위한 세밀도 적용 사례 연구와 지형지물 별 완성도 세밀도와 의미 세밀도를 적용하기 위한 연구가 수행되어야 한다.

핵심어 : 실내, 세밀도, 위치 정확도, 기하, 완전성, 의미

Received 2018. 11. 19, Revised 2018. 12. 02, Accepted 2018. 12. 11

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

2) Member, All for Land Inc. (E-mail: griffey00@all4land.com)

3) Member, Spatial Information Industry Promotion Institute (E-mail: jr.hwang@spacen.or.kr)

4) Corresponding Author, Member, Dept. 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

아날로그 지도 환경에서는 제한된 2차원 공간평면에 실세계의 지리적 항목을 기하학적 요소와 그래픽 심볼을 이용해서 표현하기 위하여 축척을 기반으로 기하적 표현의 상세도와 위치 정확도가 단일하게 부여되었다. 즉, 지도의 축척 개념과 지도에 표현된 객체의 일반화와 위치정확도의 기준이 밀접하게 연결되어 있어, 대축척 지도는 소축척 지도에 비해 위치 정확도의 허용 범위가 낮고 일반화의 정도가 낮아서 보다 정확하게 상세하게 표현되었다. 그러나, 기술의 발달에 따라 아날로그 지도상에서 표현되던 지리적 항목들은 디지털화되어 디지털 지도 상에서 표현되고 디지털 지도가 대중화되었다. 디지털 지도환경에서는 공간적 범위에 대한 제약이 없어짐에 따라 실내공간에서부터 건물, 도시 등 같이 서로다른 스케일의 데이터들을 함께 표현할 수 있다. 디지털 지도에서 표현되는 지리적 항목의 상세도는 일반적으로 디스플레이 장치의 사양(크기와 공간적 해상도)에 따라서 결정되지만 확대, 축소를 통해서 다양한 축척으로 확장 가능하다. 이에 따라, 기존의 아날로그 지도환경에서 정립된 지도 축척개념은 디지털 지도에서 사용하기에는 부적합하다. 예를 들어, 네비게이션에서 사용하는 도로지도는 위치정확도는 소축척지도의 수준의 수준이지만, 실세계에 존재하는 모든 도로를 전부 표현하고 있어 공간 해상도 기준 또는 표현되고 있는

지리적항목의 수준의 측면에서는 대축척지도의 수준이다. 따라서, 실내공간 세밀도를 디지털 지도환경에서 활용할 수 있도록 축척 이외의 다양한 측면을 고려하여 정의해야할 필요가 있다. 활용 서비스들의 요구사항들을 고려하여 정의된 실내공간 세밀도에 따라 실내공간정보를 구축하게 된다면, 다양한 서비스에서 요구되는 여러 가지의 조건들을 만족할 수 있는 데이터를 효과적으로 구축할 수 있으며, 이를 통해 서비스별로 필요로 하는 데이터를 구축하기 위한 비용이 절감된다.

이에, 본 논문에서는 기존의 세밀도 모델에서 정의된 세밀도 개념을 분석하고, 해당 모델의 한계점을 도출하고, 실내 세밀도 정립을 위한 매개변수를 도출하고, 이를 기반으로 실내세밀도를 재정의한다. 본 논문은 2장 관련연구, 3장 실내서비스를 위한 세밀도 모델, 4장 결론으로 구성된다. 2장에서는 실내공간정보 관련 기술 및 활용 서비스 분야와 세밀도에 관한 선행연구들을 살펴보고, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 세밀도 모델을 위한 매개변수를 도출한다. 또한, 도출된 매개변수들을 기반으로 실내 세밀도를 재정의하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 실내공간을 위한 세밀도

실내공간정보 세밀도에 관한 연구는 최근 10년 사이에 다양

Table 1. LOD 0-4 of CityGML with its accuracy requirements (OGC, 2012)

| | LOD0 | LOD1 | LOD2 | LOD3 | LOD4 |
|--|------------------------|--|--|---|--|
| Model scale description | regional, landscape | city, region | city, city districts, projects | city districts, architectural model(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 | Objects as real features; > 2*2m/1m | constructive elements and openings are represented |
| Building installations | no | no | yes | representative exterior effects | 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

하게 이루어지고 있다. 가장 대표적인 공간 세밀도 모델은 OGC (Open Geospatial Consortium) 국제표준인 CityGML (City Geographic Markup Language) (OGC, 2012)에서 제공하는 세밀도이다. CityGML은 지형지물의 효과적인 표현 및 활용을 위하여 세밀도 단계를 0에서 4까지 총 5단계의 수준으로 정의하고 있으며, 각 단계는 대단위 도시, 도시내 지역, 건물(외부), 건물(실내)로 구분된다. CityGML의 세밀도 모델은 Table 1과 같이 대상 모델의 축척, 정확도의 수준, 3차원 위치정확도, 일반화의 수준(최소객체의 크기), 건물 부속물의 유무, 지붕의 형태, 지붕 처마 유무, 도시 시설물, 토지 피복 표현의 유무 등을 기반으로 각 세밀도 단계를 정의한다. CityGML의 세밀도는 지도의 축척을 기반으로 지형지물을 표현하고 있으며, 실외와 실내의 지형지물에 대해 데이터의 일반화와 위치정확도의 일관성에 있어서 동일한 관점에서 정의하고 있다. 또한, 실내공간은 가장 높은 수준의 세밀도인 LOD (Level Of Detail)4에서만 표현 가능하고 매우 자세한 기하표현과 높은 위치정확도를 요구한다. 따라서, CityGML의 LOD4 데이터를 실내공간데이터로 활용하기에는 불필요한 상세도와 데이터 용량 등의 기술적인 문제가 존재하며, 단일 세밀도(LOD4)만으로 다양한 종류의 실내공간 응용서비스에 활용하기에는 부적합하다.

이에, 실내공간만의 세밀도 모델의 필요성이 대두되었으며, 실내공간 데이터를 기반으로 하는 응용서비스에 따라 세밀도를 정의하는 연구들이 진행되었다. 실내공간의 세밀도를 응용 목적별로 분류하여 제시한 연구로는 Benjamin *et al.* (2009), Kemec *et al.* (2012), Kang and Lee (2014) 등이 있다. Benjamin *et al.* (2009)은 건물의 경로 탐색을 목적으로 실내공간 내 객체의 기하표현에 초점을 맞춘 실내공간 세밀도 모델을 CityGML의 확장형태로 제안하였다. 제안된 세밀도 모델은 경로안내와

가시화를 위하여 각각 3가지 요소(주제, 기하, 경로 모델)들을 제시하고 이를 상세하게 서술하였다. 해당 논문에서 제시한 실내 세밀도는 LOD1에서는 2차원의 층의 바닥형상만을 표현하고, LOD1에서는 2차원의 층 평면도, LOD3는 3차원으로 표현되는 층 구성도, LOD4에서는 CityGML LOD4보다 상세한 3차원 방 수준으로 표현한다. 해당 논문은 경로 가시화를 중심으로 세밀도를 나누었으며, 이는 다른 서비스에서 활용하기에는 부적합한 점이 있다. Kemec *et al.* (2012)는 실내공간의 주제에 따른 공간분할을 고려한 실내 세밀도 계층모델을 제시하였다. 제시된 실내공간 세밀도는 재난관련 서비스에 특화된 것으로, CityGML에서 제시한 LOD1 ~ LOD3에 대응하는 실내 LOD를 정의하였다. 이는 실내 세밀도를 좀더 세분화하여 제시하고 있으나, 세밀도에 대한 명확한 기준을 제시하지는 않고 있다. 또한, 각 실내 세밀도 수준에서 표현되는 지형지물이 명확하게 명시되지 않으며, CityGML에서 표현되지 않는 Storey, Compartment, Apartment 등으로 표현되어 있다.

Kang and Lee (2014), Jung *et al.* (2016)은 실내 세밀도를 표현함에 있어서 기존의 벡터 데이터만을 이용하던 것에 덧붙여 전방위 영상과 같은 이미지 자료를 포함하는 실내공간 세밀도를 제안하였다. 이는 구글어스와 구글맵에서 스트리트뷰를 이용하는 것과 유사한 개념이다. Kang and Lee (2014), Jung *et al.* (2016)은 데이터의 차원을 기준으로 세밀도를 분류하고, 각 차원별로 세부 세밀도 수준에 대하여 CityGML에서 LOD를 정의하기 위해 적용한 요소들을 기반으로 위치정확도, 기하표현 등을 정의하였다. Kang and Lee (2014)는 실내공간 표현 방법에 따른 LOD 모델을 제안하였으며, 이는 실내공간을 표현하는 데이터의 형태나 표현방법에 따라 LOD를 정의한 응용서비스를 위한 세밀도 모델이다. 실내공간 모델링에 사용될 수 있는 데이터

Table 2. Characteristics of indoor LOD model (Kang and Lee, 2014)

| Characteristics | Image | | Geometry | |
|--|----------------------|--|---|---|
| | LOD1 | LOD2 | LOD3 | LOD4 |
| Model scale description | - | - | 3D rooms | High detailed 3D rooms |
| Geometric accuracy (position/[height]) | - | - | High (0.4m/0.4m) | Very high (0.2m/0.2m) |
| Generalization | - | - | Object are real features: >0.5m X 0.5m / 1m | Constructive elements |
| Furniture | - | - | Representative exterior feature | Real object form |
| Data for Visualization | 2D floor plan images | Omni-directional images | True ortho-image | True ortho-image |
| Resolution for texturing | - | - | 7-9cm | 5-7cm |
| application | Indoor navigation | Store view, Virtual indoor space experience, Indoor navigation | Indoor navigation, virtual building design, disaster simulation | Disaster simulation, Indoor facility management |

의 형태를 크게 영상데이터와 기하데이터로 구분하고 표현방법에 따라 실내공간 LOD를 4단계로 나누어 제안하였으며, 각 LOD 별 표현방법과 정확도, 응용가능한 서비스 등을 정의하였다(Table 2 참조). Jung *et al.* (2016)은 영상데이터를 이용한 실내 세밀도 정의에 2D CAD (Computer Aided Design)와 같은 이미지를 포함하는 단계를 추가하여 정의하였다. 그러나, 이러한 방법들도 역시 CityGML에서 제시한 축척기반의 세밀도 개념을 그대로 적용하고 있으며, 서비스들에서 요구되는 개별적인 세밀도들을 고려하지는 못한다.

또한, 세밀도를 정의함에 있어서 기존의 세밀도 모델과는 달리 하나의 요소(기하유형, 의미 등)만을 고려한 세밀도를 제안하는 연구도 있다. Benner *et al.* (2013)과 Löwner *et al.* (2013)에서는 지형지물의 모양만을 고려하여 2D 또는 2.5D geometry, Solid vertical extrusions, Generalized 3D geometry, and Exact 3D geometry로 나누어지는 4단계의 GLOD (Geometric LOD)를 제안했으며, Jorge (2018)에서는 지형지물이 가지는 의미를 고려한 SLOD (Semantic LOD)를 정의하고 Löwner *et al.* (2013)에서 제안한 GLOD와 함께 활용할 수 있는 방안을 제안하였다. 그러나, 이 방법들 역시 축척을 기반으로 지형지물을 표현하는 방법에 대해서 정의한다는 한계점은 존재한다.

2.2 실내공간정보 활용 서비스

실내공간정보 활용 서비스란 실내를 대상으로 국민의 생활을 편리하게 하는 서비스를 말하며, 실내공간과 직간접적으로 관련된 정보를 획득 및 관리하여 유무선 단말 등을 통해 제공하는 서비스로 정의할 수 있다(Kim *et al.*, 2015). 이러한 실내공간정보 활용 서비스는 위치정보를 제공하는 기본적인 서비스를 바탕으로 국민 안전확보 및 편익증진, 시설물 관리, 마케팅 등의 분야로 나눌 수 있으며, 10여가지의 서비스 유형을 각각의 분야별로 분류할 수 있다. 실제로 개별적으로 구축된 실내공간정보 활용서비스는 대부분이 실내 내비게이션 서비스를 주로 제공하고 있으며 이외에 상점 정보, 이벤트 정보 등의 다양한 부가서비스가 더해진 형태로 제공되고 있다. 또한, Jorge (2018)에서는 실내공간정보를 활용하는 다양한 연구사례들을 기반으로 17가지의 실내공간지도의 잠재적 수요처를 도출하였다. 이는 실제 연구되고 있거나 제공되고 있는 서비스로부터 도출한 것으로 Kim *et al.* (2015)에서 제시한 분류에 비해 좀더 세분되어 있다. 그러나, Kim *et al.* (2015), Jorge (2018)에서는 실내공간정보 활용 서비스 분야들에 대한 분류 및 정리를 하였으나, 각각의 서비스 분야들이 사용하는 데이터들에 대해서는 언급하지 않는다.

Park and Lee (2017)에서는 공공행정업무를 중심으로 업무 분야를 조사하여 실제로 업무에 활용가능한 실내공간정보 활용분야 5개 부문의 총 29의 서비스를 제시하였다. 또한, 실내공간정보 활용분야 및 서비스별로 데이터 형태, 정확도 데이터 및 시스템 관리 등에 대한 요구사항을 정리하여 제시하였다. 특히, Park and Lee (2017)의 연구에 따르면 실내공간정보 활용 분야가 동일한 경우에도 서비스에 따라서 요구되는 실내공간 표현에 관한 세밀도와 위치 정확도가 모두 다르다. 예를 들어 동일한 실내공간 안내 분야이지만, 쇼핑몰 방문자를 위한 서비스에서 필요로 하는 실내공간 표현에 관한 세밀도와 위치 정확도는 공사장에서 작업자들에게 제공되는 안내서비스에서 요구되는 세밀도와 위치정확도는 서로 다르다. 쇼핑몰 방문자를 위해서는 Park and Lee (2017)에서 제시하는 실내 세밀도 LOD0 ~ LOD3 수준의 공간 표현과 10-5m의 위치정확도 수준을 만족하는 데이터가 필요하다. 그러나, 공사장 작업자들을 위해서는 Park and Lee (2017)에서 제시하는 실내 세밀도 LOD0 수준의 공간표현과 5-2m의 위치정확도 수준을 만족하는 데이터가 필요하다. 즉, 동일한 실내 길안내 서비스이지만 목적과 활용 분야에 따라 요구되는 공간정보 표현수준과 위치정확도 수준 등이 확연하게 다르게 나타난다. 따라서, 실내공간정보를 다양한 분야에서 활용하기 위해서는 각각의 서비스에서 요구되는 데이터들의 특성을 명확하게 표현할 수 있는 세밀도 모델이 필요하다.

3. 실내공간정보 활용을 위한 세밀도 모델

일반적인 세밀도 모델에서는 스케일, 정확도, 일반화를 위한 최소 치수 등의 다양한 매개변수들을 복합적으로 정의하여 하나의 세밀도 수준을 정의한다. 그러나, 실제 응용서비스에서는 세밀도를 정의하기 위해 고려된 모든 요소들에 대해 각기 다른 요구사항을 가지고 있다. 다시 말해, 실내공간정보 서비스에서는 각각의 요구에 따라 필요로 하는 데이터의 위치 정확도, 외형을 표현하는 데이터의 수준(기하표현의 세밀도, 텍스처의 형태), 속성정보의 양, 일반화(generalization)되는 객체의 수와 유형 등이 모두 다르다. 이에 본 연구에서는 실내공간정보 서비스에서 필요로 하는 세밀도를 정의하기 위하여 세밀도를 정의하기 위해 고려해야 하는 요소들을 정리하고, 이를 기반으로 실내서비스를 위한 세밀도 모델을 제시한다.

3.1 실내 서비스를 위한 세밀도 매개변수

기존의 연구에서는 실내공간정보를 위한 단일 세밀도를 정의하기 위하여 Table 3에서 제시한 것과 같은 다양한 매개변수를 고려하였다.

Table 3. Parameters of concern to define Indoor LOD

| Parameter | Definition |
|---------------------|---|
| Positional Accuracy | The quantifiable value that represents the positional difference between a geospatial layer and reality |
| Shape | The nonquantifiable value that represents the geometrical difference between a geospatial layer and reality |
| Texture | The visual or tactile surface characteristics and appearance of features |
| Attributes | Amount of characteristic described to features |
| Scale | Whether or not a feature appears on the map according to the requirement of application services |

이와 같이 복합적인 요소들을 고려하여 정의된 단일 세밀도 모델을 사용할 경우 개별 응용서비스에서 적합한 세밀도 수준에 적합한 데이터 셋을 선정하는 것이 어렵다. 예를 들어, Table 2와 같이 주어진 CityGML 세밀도 모델을 이용하여 실내 길안내 서비스를 제공하기 위해서는 가장 상세한 세밀도 수준이 LOD4를 선택해야한다. 그러나, 실제 실내 길안내 서비스의 경우 데이터의 위치정확도는 LOD3 수준으로도 서비스 가능하고, 실내에 배치된 가구 등과 같은 지형지물에 대한 기하 표현의 수준 역시 LOD3 수준의 데이터로 서비스를 제공할 수 있다. 이에, 본 연구에서는 실내서비스를 위한 복합 세밀도를 제공하기 위하여, 기존의 세밀도 연구에서 공통적으로 사용하고 있는 매개변수들 중에서 위치 정확도(positional accuracy), 모양(geometry), 외형(appearance), 완성도(completeness), 의미(semantics)를 실내서비스를 위한 세밀도 수준을 결정하기 위해 공통적으로 고려하는 매개변수로 도출하고, 각각에 대하여 Table 4와 같이 정의한다.

Table 4. Parameters and its definition for Indoor Service LODs

| Parameter | Definition |
|---------------------|--|
| Positional Accuracy | the positional difference between a geospatial layer and reality |
| Geometry | the geometrical difference between a geospatial layer and reality without consideration of accuracy |
| Appearance | the visual similarity between a geospatial layer and reality |
| Completeness | the quantifiable value that determines whether a feature appears on the map according to the requirement of application services |
| Semantics | the inclusion or omission of mapped features based on their meanings |

본 연구에서 실내 서비스를 위한 세밀도 수준 정의에 사용하는 첫 번째 매개변수는 위치 정확도이다. 위치 정확도는 구축되어진 데이터의 위치좌표와 실제 지형 지물의 위치좌표 사이의 오차를 나타낸다. 두번째 매개변수는 형상(모양과 외형)표현이다. 기존의 세밀도 모델에서는 축척기반의 세밀도 개념을 적용하여 위치 정확도와 형상 표현은 항상 연계되어 표현되었으나, 다중 축척의 데이터를 표현할 수 있는 디지털 지도 환경에서는 위치 정확도 형상 표현 수준은 서로 개별적으로 정의되어야 한다. 예를 들어, 실내 대피 시뮬레이션의 경우 지형지물의 위치 정확도는 매우 높아야 하지만 지형지물의 형상은 단순한 3차원 복셀(voxel)형태 일지라도 서비스가 가능하다. 세번째 매개변수는 데이터의 완전성이다. 앞서 설명한 바와 같이 기존의 축척기반의 지도에서는 축척에 따라 일반화 수준이 결정되어 세밀도의 수준이 낮을 경우 표현되는 객체의 양이 높은 수준의 세밀도일 때와 차이가 있다. 예를 들어, 현재 서비스 되고 있는 네이버 지도, 구글 맵 등에서 건물의 경우 소축척에서는 건물군의 형태로 건물들을 병합하여 표현하지만, 대축척에서는 개별 건물들을 모두 독립적으로 표현한다. 그러나, 서비스에 따라서는 축척과 상관없이 모든 지형 지물을 표현해야만 한다. 예를 들어, 실내 시설물 관리 서비스의 경우, 관리 대상에 포함되는 모든 시설물의 크기, 면적, 부피 등과 상관없이 각각의 시설물들을 독립적으로 표현해야 한다. 마지막으로 실내공간정보 세밀도를 정의하기 위해 고려한 매개변수는 의미(semantic)이다. 의미는 하나의 주제(theme)를 표현하기 위해 해당 주제에 포함되는 지형 지물의 표현 및 속성 정보의 수준에 관한 것이다. 예를 들어, 실내 시설물 관리 서비스에서는 건축적 요소(벽, 문, 천장, 기둥 등)이외에도 실내공간에 설치되어 있는 에어컨, 세면대 등과 같은 장치 및 시설, 의자, 책상, 액자 등과 같은 가구 그리고 수도관, 전기선과 같이 벽 속에 매립되어 있는 시설물 등의 지형 지물이 모두 표현되어야 하지만, 소평물의 실내 길안내 서비스에서는 수도관, 전기선과 같은 매립형 시설물에 대한 정보는 필요하지 않다.

3.2 실내 서비스를 위한 세밀도

3.2.1 PLOD (Position Accuracy Level of Details)

위치 정확도 세밀도는 실제 객체의 위치 좌표와 수치지도상에 표현되는 지형지물의 위치 좌표의 차이에 따른 것으로, 실내 공간정보의 위치 정확도에 따라 제공가능한 서비스들이 정의되므로 실내공간정보의 위치 정확도는 서비스의 유형과 기능을 정의함에 있어서 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 Fig. 1과 같이 총 4단계의 위치 정확도 수준을 정의한다. 위치 정확도의 수준은 매우 낮음, 낮음, 높음, 매우 높음 순으로 정의되고,

각각의 수준에 해당하는 절대 위치 정확도와 상대 위치 정확도는 Park and Lee (2017)의 설문결과로 나타난 응용서비스들의 요구사항을 기반으로 정리하여 매핑하였다.

| Position Accuracy LOD | | | |
|--|------------------|-----------|--|
| Absolute 3D Point Accuracy (Location/Height) | Positional Error | | Relative 3D Point Accuracy (Location/Height) |
| 2m | P0 | Very low | 1m |
| 1m/1m | P1 | Low | 0.5m/0.5m |
| 0.4/0.4m | P2 | High | 0.2/0.2m |
| 0.2/0.2m | P3 | Very high | 0.1/0.1m |

Fig. 1. Positional accuracy LOD

3.2.2 GLOD (Geometric Level of Details)

기하학적 세밀도는 하나의 지형지물을 표현함에 있어서 해당 지형지물의 기하학적 모양을 얼마나 세밀하게 표현하는가를 의미하며, 본 연구에서 기하 세밀도는 Fig. 2와 같이 총 5단계로 구성된다. 가장 낮은 수준인 GLOD0는 다음의 스토어 뷰와 같이 전방위 영상만으로 실내공간에 존재하는 지형 지물을 표현하는 단계로 지형지물의 도형적 특성을 개별적으로 표현하지 않는다. 하지만, Kang and Lee (2014)에서 제시한 것과 같이 지오 레퍼런싱된 실내 전방위 영상을 이용할 경우, 단순히 전방위 영상을 이용한 보기 기능 외에도 경로 찾기 등의 서비스도 지원할 수 있다. GLOD1은 실내공간과 공간에 존재하는 지형 지물 모두를 2차원 평면상의 다각형으로 표현하는 단계로, 구글 인 도어 맵에서 사용되고 있는 형태와 동일하다.

Geometric LOD

| Geometry type | | Appearance |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|
| G0 | omni-directional image | |
| G1 | 2D Generalized Polygon | Monochromatic opaque coloring |
| G2 | 3D Minimum bounding Cube | Semi-transparent coloring |
| G3 | 3D generalized composite solid | Pattern |
| G4 | 3D exact | Photorealistic |

Fig. 2. Definition of geometric LOD

GLOD2는 실내공간정보를 3차원 입방체로 표현하는 단계로, 지형 지물을 포함하는 최소경계큐브(MBC: Minimum Bounding Cube)로 나타내며 이는 GLOD1의 데이터를 3차원으로 압축한 것과 같다. GLOD3은 실내공간정보를 일반화된 3차원 기하객체들의 조합으로 표현하는 단계로, 하나의 지형지물을 2개 이상의 3차원 기하객체로 나타낸다. GLOD4는 실내공간정보를 실제와 동일하게 표현하는 단계로, CityGML LOD4 단계에서 표현되는 기하와 동일한 수준이다. Fig. 3은 전등과 의자를 GLOD2 단계부터 GLOD 4단계로 표현한 예시이다.

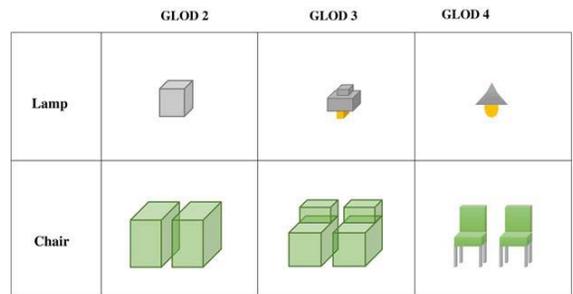


Fig. 3. Example of GLOD for lamp and chair

지형 지물의 형상을 표현하는 기하 세밀도를 정의함에 있어서, 기하적 표현 이외에도 외형을 표현하는 텍스처 역시 중요하고 고려요소이다. 외형에 대한 세밀도는 Fig. 4와 같이 총 4단계로 나눌 수 있으며, 불투명 단색, 반투명 컬러, 패턴, 실사 이미지 단계로 나눌 수 있다. 그러나, 지형지물의 텍스처는 기하적 표현의 상세도와 연관되어 있고 생각가능한 경우도 많이 존재하므로, 텍스처의 상세도는 개별적 세밀도로 정의하지 않는다.

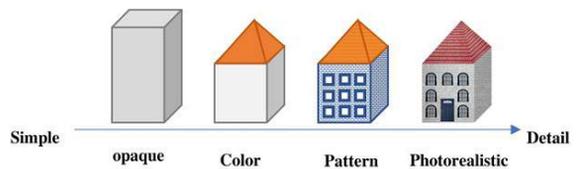


Fig. 4. Concept of appearance LOD

3.2.3 CLOD (Complete Level of Details)

완전성 세밀도는 현실세계에 존재하는 지형지물이 지도상에서 얼마만큼 많이 표현되는가를 나타낸다. 이는 일반적인 세밀도 모델의 형태인 일반화(generalization)에 대한 조건으로 표현된다. 일반화 조건은 CityGML에서 제시한 일반화의 조건을 차용하여 Fig. 5와 같이 일반화를 적용할 지형지물의 최소면적(AC: Area Constraint)과 높이로 표현할 수 있다. 본 논문에서

는 Kang and Lee (2014)에서 제시한 일반화 조건을 수용하였으며, 가장 높은 세밀도 수준인 CLOD3의 단계에서는 모든 객체들이 표현된다.

Complete LOD

| Generalization | | Condition |
|----------------|-------------------|-------------------------------------|
| C0 | > AC ₀ | AC ₀ = 1.5 X 1.5m / 2m |
| C1 | > AC ₁ | AC ₁ = 1 X 1m / 1m |
| C2 | > AC ₂ | AC ₂ = 0.5 X 0.5m / 0.5m |
| C3 | Real object | AC ₃ = 0 |

Fig. 5. Definition of complete LOD

Fig. 6에서는 CLOD를 건물 객체에 적용하고, 각각의 세밀도 단계는 건물의 면적을 일반화 조건으로 제시한 예로 주황색으로 나타난 건물이 각 단계의 일반화 조건을 만족하는 최소크기의 건물이다. CLOD1에서 CLOD4로 변화함에 따라 표현되는 건물의 수가 증가하며, 가장 높은 수준이 CLOD4에서는 모든 건물이 표현되고 있다.

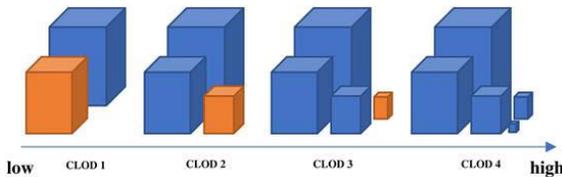


Fig. 6. Example of CLODs of Building

3.2.4 SLOD (Semantic Level of Details)

의미 세밀도는 현실세계에 존재하는 지형지물의 의미의 수준에 따라 표현하는 지형지물의 종류와 형태가 달라진다. 본 논문에서는 실내공간의 의미 세밀도를 Fig. 7과 같이 실내공간에 존재하는 지형지물의 테마별로 구분하였다. SLOD0 단계는 실내공간을 구성하는 건축적 요소인 벽, 문, 계단 등과 같이 건축 시점부터 물리적으로 고정되어 있는 지형지물들을 포함한다. SLOD1 단계는 실내에 설치된 장치 또는 장비로 에어컨, 세면대와 같이 특정한 위치에 물리적으로 고정되어 있으나, 교체가 가능한 지형지물들을 포함한다. SLOD2 단계는 실내에 배치된 책상, 의자, 벽시계, 액자 등과 같이 이동가능한 지형지물을 포

함한다. SLOD3 단계는 실내에 설치된 스위치, 전기 콘센트 등과 같이 작은 장치들을 포함하며, 가장 마지막 단계인 SLOD4 단계에는 벽 속에 매립되어 있는 전기 배선, 배관 등을 표현한다. 본 논문에서 제시하는 의미 세밀도의 단계별로 표현되는 지형지물들은 모두 CityGML에서 표현되는 지형지물과 매핑할 수 있다.

Semantic LOD

| Theme | | Features |
|-------|-----------------------|---|
| S0 | Structural element | Wall, Door, Stair, Elevator, etc. |
| S1 | Changeable element | Air conditioning, washstand, etc. |
| S2 | Movable element | Table, Chair, Wall clock, Photo frame, etc. |
| S3 | Miscellaneous element | Light switch, Power point, etc. |
| S4 | Hidden element | Pipe, wiring, etc. |

Fig. 7. Definition of semantic LOD

Fig. 8은 본 논문에서 제시하는 SLOD를 건물과 실내공간을 대상으로 표현한 예시이다.

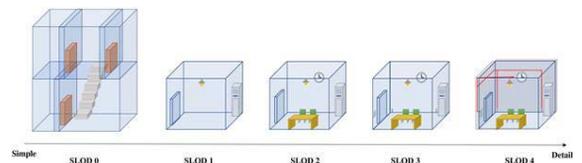
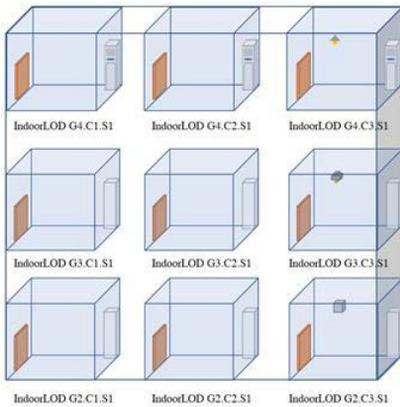


Fig. 8. Example of semantic LOD

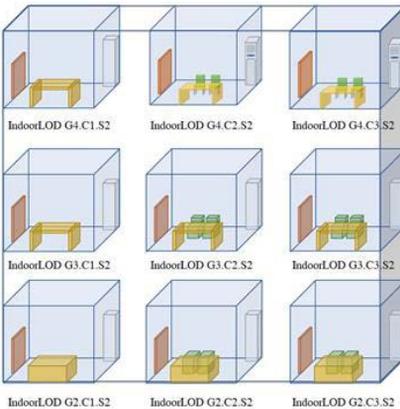
3.2.5 4차원 실내공간 세밀도

본 논문에서는 위치 세밀도(PLOD), 기하 세밀도(GLOD), 완전성 세밀도(CLOD), 의미 세밀도(SLOD)를 각각 하나의 축으로 하는 4차원 실내공간 세밀도를 제안한다. 4차원 실내공간 세밀도는 'IndoorLOD P.G.C.S'의 형태로 표현가능하다. P는 위치 세밀도, G는 기하 세밀도, C는 완전성 세밀도, S는 의미 세밀도를 뜻한다. Fig. 9는 본 논문에서 제안한 기하 세밀도(GLOD)와 완전성 세밀도(CLOD)를 의미 세밀도(SLOD)의 단계에 따라서 표현한 실내공간 데이터의 예시이다. 위치 세밀도의 경우 데이터를 구축하는 시점에 결정되어지며, 이는 다른 세밀도 요

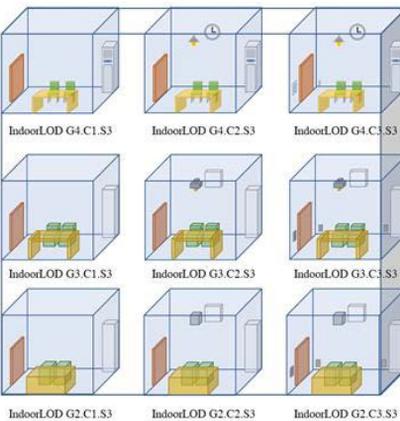
소들과의 연계성이 가시적으로 표현되지 않아서 그림에서 표현되는 않는다.



(a) IndoorLOD matrix sample(when SLOD = 1)



(b) IndoorLOD matrix sample(when SLOD = 2)



(c) IndoorLOD matrix sample(when SLOD = 3)

Fig. 9. Example of IndoorLOD matrix

(1) 실내공간 세밀도 적용 예: 실내 대피 시뮬레이션 서비스
 실내 재난 대응 솔루션 내에 포함되는 대피 시뮬레이션 모델의 경우, 30cm*30cm의 격자로 셀을 구성하므로, 3차원 좌표 위치 정확도는 CityGML의 LOD4수준인 0.2/0.2m의 정확도가 요구되며, 건물의 창문 및 각 출입문에 대해서는 객체의 크기와 상관없이 반드시 표시되어야 하며, 실내 가구와 같이 보행자의 이동에 영향을 미치는 객체를 포함하여야 한다. 또한, 실내공간의 용도(방, 계단, 복도)등이 반드시 식별되어야 하며, 건축요소의 구성물질 및 내력벽 유무 등의 속성정보가 필요하다. 실내재난대응 서비스에서 요구하는 일반적인 데이터의 세밀도는 Table 5와 같다.

Table 5. Requirements of indoor disaster management service

| Parameter | Requirements |
|---------------------------|---|
| Position Accuracy | - indoor space is divided to 30cm x 30cm grid cell - 0.2/0.2m for 3D point position accuracy is required |
| Generalization Constraint | - Opening is always represented - Only movable furniture is represented as 3D |
| Installation | - Stair is always represented |
| Semantics | - All spaces be classified such as room, corridor, stair |
| Attributes | - Building architectural information is needed |



Fig. 10. Example of IndoorLOD P3.G3.C3.S2 for evacuation simulation

본 연구에서 제시한 실내공간 세밀도는 실내 대피 시뮬레이션 모델에 다음과 같이 적용할 수 있다. 우선, 실내 대피 시뮬레이션 모델에서 요청하는 위치 정확도는 0.2/0.2m로 본 연구에서 제시한 PLOD3 수준에 해당한다. 해당 서비스에서 요청하는 일반화 수준은 모든 문과 창문의 표시와 이동 가능한

가구에 대한 3차원 표출이므로, 해당 조건을 통해 기하 세밀도 GLOD3 수준으로 선택 가능하며, 의미 세밀도는 이동 가능한 가구를 포함하는 SLOD2 수준을 선택할 수 있다. 마지막으로 완전성 세밀도 CLOD는 모든 창과 문을 포함할 수 있는 CLOD3 수준에 해당한다. 즉, 실내 대피 시뮬레이션 모델에서 요구되는 실내공간 세밀도는 본 연구에서 제시한 4차원 실내공간 세밀도 Indoor P3.G3.C3.S2 의 형태로 표현할 수 있다.

(2) 실내공간 세밀도 적용 예: 실내 시설물 관리서비스

실내 시설물 관리 서비스는 시설물의 점검 및 교체 등과 같은 업무를 지원하기 위한 것으로 해당 시설물의 위치가 정확하게 표현되어야 한다. 예를 들어 전기 배선공사를 추가적으로 진행하고자 하는 경우, 기존에 배치되어 있는 전기선의 정확한 위치를 알지 못한다면 배선공사의 진행에 있어서 시간과 비용이 증가한다. 따라서, 실내 시설물 관리 서비스를 위한 실내공간정보는 가장 높은 정확도 수준인 PLOD3 수준이 요구된다. 시설물의 기하 세밀도는 실제 지형지물과 동일한 형상을 제공할 수 있는 GLOD4 수준이 필요하며, 시설물 관리를 위해서는 모든 시설물들이 빠짐없이 표현되어야 하므로 CLOD3 수준을 지원해야 한다. 마지막으로 의미 세밀도 측면에서는 벽 속에 매립되어 있는 배관에 대한 정보까지 제공할 수 있어야 하므로, SLOD4 단계의 데이터가 필요하다.

Fig. 11은 실내 시설물 관리를 위해 활용되고 있는 데이터의 예시이다.



Fig. 11. Example of IndoorLOD P3.G4.C3.S4 for facility management

4. 요약 및 결론

지도의 패러다임 변화에 따라 아날로그 지도 환경에 적합하게 정의된 축척기반의 세밀도의 개념 역시 변화되어야 한다. 특

히, 기존의 세밀도 모델은 도시 데이터 모델 관점의 세밀도 기준에 의하여, 실내공간은 단일 세밀도로만 정의되었다. 그러나, 실내공간정보의 경우 응용 서비스별로 다양한 데이터 세밀도를 요구하며, 이에 대한 조건들 역시 축척 기반의 기하적 세밀도와 위치 정확도 뿐만 아니라 의미, 텍스처, 일반화 정도 등 다양하게 요구되고 있다. 이에, 본 연구에서는 실내공간정보 세밀도를 정의하기 위하여 위치 세밀도(PLOD), 기하 세밀도(GLOD), 완전성 세밀도(CLOD), 의미 세밀도(SLOD)를 정의하고, 4차원 실내공간 세밀도 개념을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 4차원 실내공간 세밀도는 축척에 독립된 세밀도로 단순하게 표현되던 실내공간 세밀도를 4차원으로 확장하였으며, 다양한 실내공간 서비스에서 요구하는 복합적인 데이터 사양을 명확하게 정의할 수 있는 세밀도 표현방법을 제공한다.

이를 위하여 본 논문에서는 기존의 실내공간 세밀도 모델들을 분석하고, 그동안의 실내공간 세밀도 모델들이 세밀도를 결정하기 위해 복합적으로 고려해온 각각의 요소들을 도출하고, 이를 기반으로 세밀도 매개변수들을 정리하고 각각의 매개변수들에 대해 독립적인 세밀도 기준을 정의하였다. 또한, 정의한 4가지의 세밀도 모델들을 조합하여, 실내공간 서비스에서 요구하는 데이터의 세밀도 수준을 표현하는 예시를 제시하였다. 본 연구에서 제안하는 실내 세밀도 모델에 따라 실내 공간정보를 구축할 경우, 활용 서비스별로 최적화된 데이터를 구축하여 불필요한 정보들에 대한 구축비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 다음과 같은 한계점을 가진다. 첫째, 본 연구에서 제시한 의미 상세도(SLOD)는 주제별로 표현되는 지형지물을 고려하지만 지형지물의 속성들이 표현하는 의미에 대해서는 고려하지 않고 있어, 각 지형지물별 속성정보의 상세도에 대한 정의 방안을 제시하지는 않는다. 둘째로, 완전성 세밀도(CLOD)의 일반화 조건은 지형지물별로 달리 적용될 수 있으나, 본 연구에서는 지형지물별로 적용할 수 있는 방안을 제시하지는 않는다. 이에, 향후 본 논문에서 제시한 실내공간 세밀도 모델들을 좀더 다듬어, 지형지물별 속성의 상세도와 일반화 조건을 적용할 수 있도록 추가할 것이다. 또한, 이를 적용한 실내 공간 세밀도 데이터를 구축하고, 각각의 세밀도 데이터들을 실내공간기반의 서비스에 활용하도록 하여 본 논문에서 제시하는 실내공간 세밀도의 적정성에 대하여 검증은 수행할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 공간정보연구사업의 연구비지원(18NSIP-B135746-02)에 의해 수행되었음.

References

- Benjamin H., Matthias T., Tassilo G., and Jürgen D. (2009), Towards an indoor level-of-detail model for route visualization, *International conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware*, IEEE, 18-20 May, Taipei, Taiwan, pp. 692–697.
- Benner, J., Geiger, A., Groger, G., Häfele, K. H., and Löwner, M.-O. (2013), Enhanced LOD concepts for virtual 3D city models, *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. II-2/W1, pp. 51–61.
- Jorge, C. (2018), Defining semantic levels of detail for indoor maps, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. IV-4/W7, pp. 27-34.
- Kang, H. and Lee, J. (2014), A study on the LOD model for applications based on indoor space data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 2, pp. 143-151. (in Korean with English abstract)
- Kemec, S., Zlatanova, S., and Duzgu, S. (2012), A new LoD definition hierarchy for 3D city models used for natural disaster risk communication tool, *International Conference on Cartography and GIS*, Vol. 2, Albena, Bulgaria, pp. 17-28
- Kim, M., Jang, M. Hong, S., and Kim, J. (2015), Practices on BIM-based indoor spatial information implementation and location-based services, *Korean Institute of Building Information modeling*, Vol. 5, No. 3, pp. 41-50. (in Korean with English abstract)
- Löwner, M.-O., Benner, J., Gröger, G., and Häfele, K.-H. (2013), New concepts for structuring 3D city models – an extended level of detail concept for CityGML buildings, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2013*, Ho Chi Minh City, Vietnam, pp. 466–480.
- OGC (2012), City geography markup language (CityGML) encoding standard, *Open Geospatial Consortium*, <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0> (last date accessed: 15 November, 2018).
- Park, J. and Lee, J. (2017), Establishing required LOD and positioning accuracy for indoor spatial information applications in public administrative works, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 35, No. 2, pp. 107-116.