

삼각분할된 3차원 실내공간데이터를 OGC IndoorGML로 변환하는 방법

Converting Triangulated 3D Indoor Mesh Data to OGC IndoorGML

이기준¹⁾ · 김동민²⁾

Li, Ki-Joune · Kim, Dong Min

Abstract

Most of 3D indoor spatial data recently constructed by many projects merely focus on the visualization rather than geospatial information applications. The 3D indoor data for visualization in 3DS or COLLADA format are based on triangular mesh representation. In order to implement meaningful applications, we need however more meaningful information in 3D indoor spatial data than visualization data in triangular meshes. For this reason, an OGC (Open Geospatial Consortium) standard, called IndoorGML(Indoor Geographic Markup Language) was published to meet the requirements on 3D indoor spatial data for several geospatial applications for indoor space more than simple visualization. It means that it becomes a critical functional requirement to convert triangular mesh representation in 3DS or COLLADA to IndoorGML. In this paper we propose a framework of the conversion, which consists of geometric, topological, and semantic construction of data from triangular meshes. An experiment carried out to validate the proposed framework is also presented in the paper.

Keywords : Indoor Spatial Data, 3D Data by Triangular Meshes, OGC IndoorGML, Geometry and Topology in Indoor Space

초 록

지금까지 만들어지고 있는 실내공간데이터는 공간적 활용을 위한 데이터라고 하기 보다는 삼각분할로 표현된 3DS나 COLLADA 형식의 가시화 데이터이다. 의미 있는 공간분석이나 실내응용서비스를 개발하기 위하여서는 단순히 삼각분할로 만들어진 가시화데이터가 아니라 의미적 공간정보가 필요하다. OGC (Open Geospatial Consortium) 표준인 IndoorGML(Indoor Geographic Markup Language)은 가시화가 아니라 실내공간 분석을 비롯한 다양한 응용을 위하여 만들어진 공간데이터 형식이다. 따라서 삼각분할로 표현된 3DS나 COLLADA형식의 실내 공간데이터를 OGC IndoorGML 형식으로 변환하는 것은 중요한 작업이 된다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여, 삼각분할 형식으로 표현된 원시 실내 공간데이터를 기하, 위상, 그리고 의미적으로 유용한 IndoorGML로 변환하는 방법을 제시한다. 또한 이 변환 방법의 타당성을 위하여 개발된 도구도 함께 소개한다. 실제 데이터를 통한 실험을 통하여 이 방법과 개발된 도구를 검증하였다.

핵심어 : 실내 공간데이터, 삼각분할로 표현된 3차원 데이터, OGC IndoorGML, 실내 3차원공간의 기하 및 위상

Received 2018. 11. 07, Revised 2018. 11. 19, Accepted 2018. 12. 04

1) Corresponding Author, Member, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University (E-mail: lik@pusan.ac.kr)

2) Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University (E-mail: dongmin.kim@pusan.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

최근 실내공간이 복잡해짐에 따라 정확한 실내공간정보에 대한 수요가 늘어나고 있다. 이에 따라 3차원 실내공간정보를 수집하고 구축하는 여러 방법이 제시되었다. Choi *et al.* (2013)는 LiDAR (Light Detection And Ranging) 센서를 이용하여 포인트 클라우드를 수집하고, 이를 활용하여 3차원 실내공간데이터를 구축하는 방법을 제시한다. 이렇게 구축되는 실내공간데이터는 주로 삼각형 메쉬(triangular mesh)를 기반으로 하는 3DS나 COLLADA 형식이다. 그러나 이러한 데이터는 주로 가시화용으로 사용되며 다양한 목적을 위한 의미적인 공간정보로 사용하는 것에는 어려움이 있다. 실내공간의 분석을 위해서는 실내의 단위공간에 대한 기하 및 위상 정보가 있어야 하며, 실내공간에 대한 응용서비스를 제공하기 위해서도 단순한 가시화 데이터로만은 거의 불가능하다.

OGC (Open Geospatial Consortium)에서는 실내공간데이터의 표현 및 교환 표준을 위하여 IndoorGML(Indoor Geographic Markup Language) (OGC, 2015)을 정의하였다. 이는 단순한 가시화데이터를 넘어서 실내공간의 기하데이터와 실내공간의 연결성을 나타내는 위상정보를 제공한다. 또한 각 단위공간의 의미적 정보를 모두 표현할 수 있는 데이터 모델을 제공한다. 실내공간의 분석이나 응용서비스를 제공하기 위해서는 IndoorGML과 같은 표준에서 정의하는 데이터 모델이 반영되어 실내공간데이터가 구축되어야 한다.

아직까지 삼각형 메쉬를 이용하여 표현된 데이터가 실내공간데이터로 변환되기 위한 방법론이나 과정을 설명하는 연구는 거의 없었다. 특히 실내공간 표준 데이터로 변환하는 방법론은 제시된 바 없다. 이러한 이유로 본 연구에서는 삼각형 메쉬로 구축된 3차원 실내공간데이터를 IndoorGML 데이터로 변환하는 방법론을 제시한다. 그리고 제시된 방법론으로 개발된 소프트웨어 도구도 함께 제시한다.

이 방법론의 개발을 위해 다양한 기술적 내용이 고려되었다. 첫 번째로 삼각형 메쉬로 표현된 면(surface) 데이터는 실내 벽면, 천정, 그리고 바닥을 이루는 건축적 요소와 책상, 가구와 같은 비건축적 요소로 구별되어야 한다. 예를 들어 Jun *et al.* (2017)이 제시하는 방법과 같이 수집된 포인트 클라우드 데이터를 건축적, 비건축적 요소로 분리하여 삼각형 메쉬를 생성하는 방법을 적용하여야 한다. 두 번째로 실내공간의 특징이 잘 반영된 방법론을 설계하여야 한다. 삼각형 메쉬의 기하적 실내공간의 특성을 고려하여 처리되어야 한다.

이 두 가지를 고려하여 본 연구에서는 다음과 같은 접근방법으로 삼각형 메쉬 데이터를 실내공간데이터로 변환하는 방법을

개발하였다.

- 동일 평면에 존재하는 면은 하나의 면으로 합한다.
- 실내의 건축적 요소와 비건축적 요소를 구별하여 데이터를 구축한다.
- 실내공간의 특징을 반영하여 예외적 데이터를 처리한다.
- OGC 표준인 IndoorGML로 데이터를 생성한다.

본 논문은 아래와 같이 구성된다. 먼저 2장은 지금까지의 관련 논문을 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제시하는 방법의 기본 개념을 제시하고, 4장, 5장 및 6장에서는 변환과정에 적용된 구체적 과정을 알아보고 7장에서는 제시된 변환방법을 검증하기 위하여 수행된 실험 결과를 소개한다. 8장은 앞으로의 연구와 결론으로 논문을 맺는다.

2. 관련 연구

본 연구와 관련 있는 분야는 삼각형 메쉬로 표현된 데이터의 처리이다. 이 분야에 대한 연구는 오래전부터 여러 가지 측면에서 수행되어 왔다. 먼저 데이터 크기를 줄이기 위한 연구는 오래전부터 이루어졌다. 먼저 삼각형의 수를 줄이는 것에 관한 대표적인 연구로 Cignini *et al.* (1998)이 다양한 방법을 소개하고, 이들 방법 사이의 성능과 정확도를 비교한 것이 있다. 부분적 기하 및 위상연산을 통하여 데이터를 줄이는 연구도 Schroeder *et al.* (1992)과 Kalvin and Taylor (1996)가 제시하였다. DeCoro and Tatarchuk (2007)은 확률적 Octree라고 불리는 자료구조와 GPU (Graphics Processing Unit)를 이용하여 삼각형 메쉬를 단순화하는 방법을 제시하였다. 삼각형 메쉬에 대한 연구는 현재도 계속 진행 중이다. 그러나 이들 연구는, 대상이 되는 객체의 특성을 고려하지 않는 일반화된 방법론에 대한 것이다. 본 연구의 목적인 실내 공간데이터를 위하여 실내공간이 가지는 중요한 특징을 고려하면 더 좋은 방법을 찾을 수 있을 것이다.

삼각형 메쉬를 이용한 가시화는 이미 컴퓨터 그래픽스 분야에서 일반화된 방법이다. 공간정보 분야와 관련되어 삼각형 메쉬를 사용하는 것은 주로 3차원 데이터의 가시화이다. 3DS와 COLLADA와 같은 파일포맷은 3차원 표면을 삼각형 메쉬로 만들어 저장하는 형식이다. 현재 많은 3차원 도시모델이나 실내 공간데이터가 삼각형 메쉬로 표현된 3DS 또는 COLLADA로 구축되어 왔다. 예를 들어 복잡한 기하구조를 표현하기 위하여 제공되는 구글의 KMZ (Keyboard Markup Language)는 COLLADA를 기본으로 한다. 그러나 삼각형 메쉬는 가시화 또는 지표면의 표현을 위하여 적합하지만 본격적인 3차원 분석과 응용개발에

는 제약이 많다. 특히 실내 공간데이터에 대한 3차원 분석이나 연결성을 고려한 이동경로 분석, 그리고 각 실내 단위공간의 속성에 따른 적합 공간 분석 등의 기능은 단순한 가시화를 위한 실내 공간데이터로 수행이 불가능하다.

이와 같은 제약을 극복하기 위하여 공간정보 국제표준화 기구인 OGC에서 CityGML (OGC, 2012)과 IndoorGML (OGC, 2015)을 정의하였다. CityGML은 일반적인 3차원 도시모델 표준으로 객체기반 데이터모델 표준이다. 이 표준은 실내 및 실외의 공간객체를 표현하는 데이터모델 표준과 이에 따른 인코딩 표준을 정의한다. 단순히 가시화 정보뿐 아니라 객체의 의미적 정보 (Kang and Li, 2017)도 표현할 수 있는 표준 모델을 제공한다. 특히 CityGML의 상세도 수준 4는 실내공간을 위한 표준으로 정의된다. Building Smart International에서 정의한 IFC (Industry Foundation Classes)도 CityGML과 비슷한 특성을 가지고 있다.

CityGML이나 IFC가 공간객체모델의 표준인 것에 반하여 IndoorGML은 실내공간을 모델링하는 것으로 정의되어 있다. 이를 셀기반 공간 데이터모델(cellular space data model) 이라고 부른다. IndoorGML의 셀기반 공간데이터모델은 하나의 실내공간을 단위공간인 셀의 집합으로 정의하고 각 셀의 기하모델, 의미적 모델, 셀간의 위상모델과 다중 공간모델로 구성되어 있다. 이 네 가지 모델을 통하여 CityGML 보다는 보다 엄격하고 풍부하게 실내공간을 표현하는 특징을 가지고 있다. 이 두 가지 표준을 실내공간의 관점에서 비교한 연구는 Ryoo *et al.* (2015)가 제시하였다. 이 네 가지 모델로 제공되는 실내공간데이터를 통하여 다양한 종류의 분석과 공간 정보 서비스를 구현할 수 있다. 따라서 본격적으로 실내공간 정보 서비스를 위하여서는 IndoorGML이 더 많은 정보를 가지고 있어 적합하다.

3DS나 COLLADA과 같이 삼각형 메쉬로 표현된 가시화 데이터를 CityGML이나 IndoorGML과 같은 의미적 데이터로 변경하는 기술은 제한적으로만 이루어졌다. 일부 3DS나 COLLADA의 기하정보를 CityGML에서 정의하는 기하모델로 변경하는 기술이 제한적으로 개발되었지만 실내 공간데이터에 대하여 적용된 사례는 매우 드물다. 특히 삼각형 메쉬데이터를 보다 엄격한 실내공간데이터 표준인 IndoorGML로 변환하는 연구는 지금까지 이루어지지 않고 있다.

이러한 지금까지 연구 및 기술의 한계를 극복하기 위하여 본 논문에서 제시하는 연구는 삼각형 메쉬로 표현된 실내 공간데이터를 IndoorGML 데이터로 변경하는 방법론을 제시한다.

3. 기본 개념

본 장에서는 삼각형 메쉬데이터로부터 IndoorGML 데이터로 변경하는 방법에 필요한 기본 개념을 제시한다. 전체적인 과정은 Fig. 1에서 설명된다. 이 과정에서 중요한 개념을 설명하도록 한다.

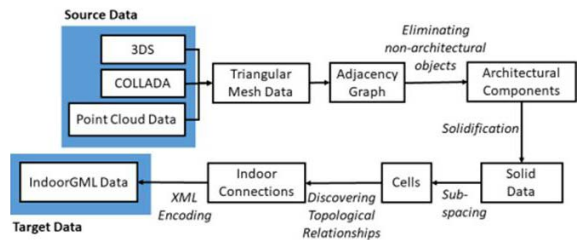


Fig. 1. Overall conversion from triangular meshes to IndoorGML

3DS나 COLLADA 또는 포인트클라우드에서 주어지는 데이터는 삼각형 메쉬데이터로 변경한다. 본 연구에서 사용하는 삼각형 메쉬 모델은 ISO (International Organization for Standardization) 19107 (ISO/TC211, 2003)에서 정의된 것을 따른다.

삼각형 메쉬 데이터가 만들어지면 이로부터 인접그래프를 유도한다. Fig. 2와 같이 인접관계가 있는 삼각형을 연결하여 그래프를 만든다. 이는 벽, 천정, 바닥과 같은 건축적 요소와 의자, 책상과 같은 비건축적 요소를 구분하는데 사용된다. 이에 대한 자세한 설명은 다음 장에서 하기로 한다.

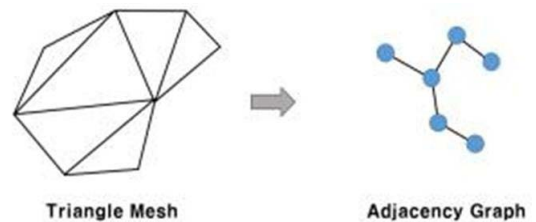


Fig. 2. Adjacency graph

비건축적 객체가 제거되고 나면, 단위공간을 닫혀진 다면체인 GM_Solid (ISO/TC211, 2003) 기하로 변환한다. IndoorGML에서는 각 단위공간의 기하가 닫혀진 다면체로 정의되어 있다. 이는 CityGML이나 IFC와 달리 셀기반 공간모델에 따른 것으로 공간분석이 보다 정확하게 된다는 장점이 있다. 단위공간의 기하가 닫힌 다면체로 변환되면 기본적인 기하정보는 추출된 것

이다. 그러나 실내공간은 기하적으로 하나의 단위공간이지만의 미적으로 여러 개의 공간으로 나누어지는 경우가 있다. 예를 들어 긴 복도나 전시장의 전시홀은 기하적으로 하나의 공간이지만 사실은 여러 개의 세부공간으로 나누어져야 한다. 이를 공간 분할(Krūminaitė and Zlatanova, 2014)이라고 한다.

여러 가지 방법으로 공간분할이 되면 IndoorGML의 단위공간에 대한 데이터는 완성된다. 그 다음 요구되는 작업은 단위공간 사이의 연결성(Kang and Li, 2017)을 정의하는 것이다. 예를 들어 하나의 방과 복도가 문으로 연결되었으면 이 두 개의 단위공간의 연결성을 표현하여야 한다. IndoorGML에서는 이 연결성이 State와 Transition으로 표현된다. 즉 두 개의 단위공간은 State로 정의되고, 이 두 State 사이의 연결성은 Transition으로 표현된다.

단위공간의 기하정보와 연결성을 나타내는 위상정보가 표현되면 가장 기본적인 실내공간데이터는 완성된다. 물론 추가로 의미적 데이터와 다중 공간모델을 위한 데이터가 더하여 질 수 있지만 본 논문에서는 이 과정은 제외하기로 한다. 단위공간의 기하 및 위상데이터는 IndoorGML의 스키마에 맞게 XML (Extensible Markup Language)로 인코딩된다. 이 인코딩 과정은 Jeong et al. (2018)이 제안하는 InFactory를 이용하여 쉽게 구현 될 수 있다.

4. 비건축적 요소의 제거

본 논문에서 제한하는 방법은 실내공간을 이루고 있는 건축적 요소의 기하적 특성을 충분히 고려하였다. 우선 IndoorGML에서 요구하는 실내공간데이터는 Fig. 3과 같이 다음의 네 가지 종류의 면으로 만들어지는 단위공간으로 정의된다.

- $W_S = \{s_w | s_w \text{ is a planar wall surface}\}$
- $F_S = \{f_w | f_w \text{ is a planar floor surface}\}$
- $C_S = \{c_w | c_w \text{ is a planar ceiling surface}\}$
- $I_S = \{i_w | i_w \text{ is a planar furniture surface}\}$

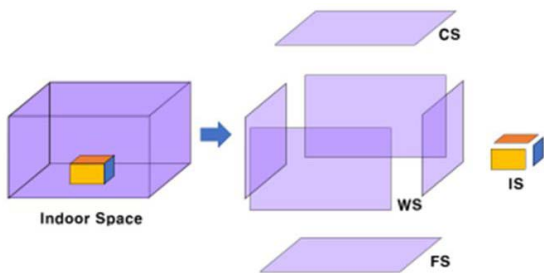


Fig. 3. Four surface types in indoor space

따라서 모든 삼각형 메쉬데이터의 삼각형은 위의 네 가지 면 중의 하나에 포함되어야 한다. 이 때, 건축적 요소는 W_S, F_S 과 C_S 의 중 하나의 면에 해당되며, I_S 는 비건축적 요소에 해당된다. 따라서 IndoorGML의 실내공간 데이터를 구축할 때 I_S 는 제외되어야 한다.

비건축적 요소를 제외하는 방법은 두 가지 특성을 고려한다. 첫 번째로 I_S 중의 일부는 건축적 부하를 받지 않는 면을 포함한다. 즉 다음의 세 가지에 해당하는 삼각형은 I_S 에 해당한다.

특성 1 (I_{S-1}): F_S 와 평행하도록 수평으로 되어 있지만 일정한 높이 (h_e) 이상의 차이를 가지고 있는 삼각형의 집합.

특성 2 (I_{S-2}): 특성 1을 만족하는 삼각형 중 하나와 인접하면 서 그 법선 벡터의 각도가 일정한 값 (p_e) 이상인 삼각형의 집합.

특성 3. (I_{S-3}): 특성 2를 만족하는 삼각형 중 하나와 인접하며 두 법선 벡터의 각도가 일정한 값 (a_e) 이하인 조건으로 이행적 폐쇄(transitive closure)를 이루는 삼각형 집합.

본 연구에서는 $h_e=0.5m$, $p_e=80^\circ$, 그리고 $a_e=10^\circ$ 로 설정하였다. 이 수치는 바닥면과 구별되기 위한 최소한의 높이, 그리고 책상과 같은 비건축적 객체의 윗면과 옆면의 최소한의 각도, 그리고 비건축적 객체의 옆면과 바닥면의 최대한의 각도를 고려하여 경험적으로 설정된 것이다. 본 연구의 실험에서는 위의 수치를 적용하여 수행하였지만, 일반적인 경우 성립할 수는 없으며, 특별한 예외 조건에는 만족되지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법의 가정에 해당되며, 보다 일반적인 경우에 대하여서는 추가의 연구가 필요하다. 특성 1, 특성 2. 그리고 특성 3을 만족하는 삼각형으로 구성된 I_S 는 $I_{S-1} \cup I_{S-2} \cup I_{S-3}$ 로 정리되며 이에 해당되는 모든 삼각형으로 구성된 인접그래프는 독립된 그래프로 정의한다.

비건축적 요소와 건축적 요소를 구별하는 두 번째 특성은 법선벡터의 방향이 안쪽으로 향하여야 한다. Fig. 4과 같이 비건축적 요소 면의 법선벡터는 바깥쪽 방향을 가리키는 반면, 건축적 요소 면의 법선벡터는 안쪽을 가리켜야 한다.

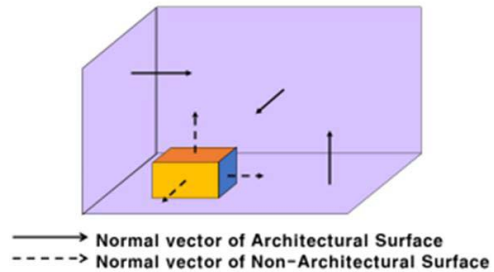


Fig. 4. Normal vectors of architectural and non-architectural surfaces

이 두 가지 실내공간의 특성을 이용하여 비건축적 요소의 면에 해당되는 f_s 를 삼각형 메쉬에서 제거한다. 그리고 이로 인하여 발생하는 바닥면의 구멍을 채우기 위하여 추가의 삼각형을 생성하는 작업도 필요하다.

본 연구에서는 이 두 가지 특성을 활용하여 실내공간의 건축적 요소에 해당되는 면과 비건축적 요소의 면에 해당되는 삼각형을 구별하였다. 물론 이 두 가지 특성으로도 발견될 수 없는 비건축적 요소가 있을 수 있고, 동시에 이 특성을 만족하지 않지만 건축적 요소에 해당되는 경우도 있을 수 있다. 이 두 가지 경우에 대한 해결은 앞으로의 연구에서 다루어져야 할 것이다.

5. 다면체의 생성

비건축적 요소의 삼각형이 제거되고 나면 나머지 삼각형 메쉬와 구멍난 바닥면을 채우는 삼각형 메쉬를 이용하여 다면체(Solid)를 만들어야 한다. 이 과정은 세 가지 단계로 구성된다.

단계 1 (면 병합): 면 병합과정은 삼각형의 인접그래프의 인접한 두 개의 삼각형 법선벡터의 각도가 앞에서 동일평면의 조건을 나타내는 최대한의 각도(a_c)이하인 조건으로 수행된다. 즉 인접하며 두 법선 벡터의 각도가 일정한 값 (a_c) 이하인 조건으로 이행적 폐쇄(transitive closure)를 이루는 삼각형의 집합을 만든다. 그리고 이 삼각형의 집합으로 하나의 면을 만들면 앞에서 정의된 W_s , F_s 과 C_s 에 해당하는 면이 각각 만들어진다.

단계 2 (엣지 단순화): 단계 1에서 만들어진 면의 경계선은 삼각형의 변이 연결된 것이다. 그런데 여러 가지 이유로 이 경계선이 직선으로 되지 않는 경우가 존재한다. 이를 해결하기 위하여 두 개의 인접한 면의 양쪽 끝점을 중심으로 경계선을 단순화한다.

단계 3 (면 평면화): 단계 1과 단계 2를 거쳐서 만들어지는 각각의 면은 W_s , F_s 과 C_s 중 하나가 되며 평면이어야 한다. 그러나 약간의 오류 값이 포함되어 평면성이 깨지는 경우가 있다. 이 경우는 오류 값에 해당되는 점을 찾아 일정한 값 이하이면 강제로 평면화 한다.

다면체 생성이 완료되면 가장 기본적인 실내 공간데이터가 완성된 것이다. 그러나 IndoorGML 데이터 생성에는 추가의 작업이 요청된다. 이는 다음 장에서 알아보기로 한다.

6. 공간분할과 공간 연결성 생성

실내 단위공간의 다면체를 생성한 후, 실제 실내공간의 상황을 고려하면 추가의 작업이 필요하다. 그 중에 가장 중요한 것은 커다란 단위공간의 분할이다. 예를 들어 Fig. 5에 나타난 실내공간은 사실 하나의 단위공간으로만 표현되었다. 그러나 이 공간은 여러 개의 세부적 공간으로 분할되는 것이 분석이나 응용서비스를 위하여서 필요하다.

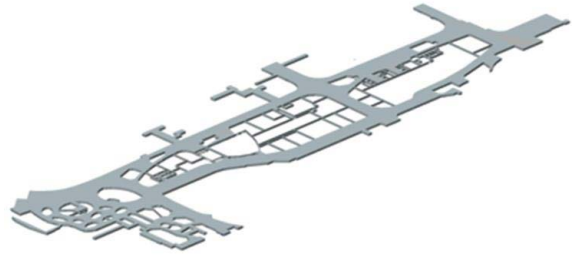


Fig. 5. An example of big cells originated from Ryoo et al. (2015)

공간분할은 여러 가지 관점에서 이루어지나 가장 중요한 고려 요소는 공간의 의미적 특성이다. 하나의 단위 공간이 여러 가지 다른 용도로 사용되고 있으면 이를 용도별로 분할하여야 한다. 또는 하나의 단위공간을 여러 명이 소유한다면 각각의 소유권자에 대한 공간으로 분할하여야 한다. 그러나 이러한 정보는 삼각형 메쉬로 주어지는 데이터에는 포함되어 있지 않아 어떠한 처리과정으로도 발견될 수 없다.

공간분할과 더불어 것이 필요한 추가의 작업은 단위공간의 연결성을 정의하는 것이다. 예를 들어 두 개의 방이 문을 통하여 연결되어 있다면, 두 개 방에 해당되는 단위공간의 연결성은 명시적으로 표현되어야 한다. 그러나 이 경우도 문이라는 객체의 속성을 찾아야 하는데, 어떠한 정보도 표현하지 않은 삼각형 메쉬 데이터로부터 문에 해당되는 객체 속성을 찾아내는 것은 매우 어려운 작업이다.

이 두 가지 추가의 과정은 일부 자동화될 수 있으나, 대부분의 경우 수동편집 작업으로만 가능하다. 따라서 이 수동편집 작업을 지원하는 저작도구가 지원되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 본 연구팀에서 개발한 InEditor(<https://github.com/stemlab/ineditor/>)를 이용한다. InEditor는 2차원 평면도로부터 3차원 실내공간데이터를 편집하여 IndoorGML 데이터를 생성하는 도구이다. 이 과정에서 공간의 분할 및 문의 정보를 편집하고, 이를 통하여 실내 단위공간의 연결 네트워크 정보를 생성할 수 있다.

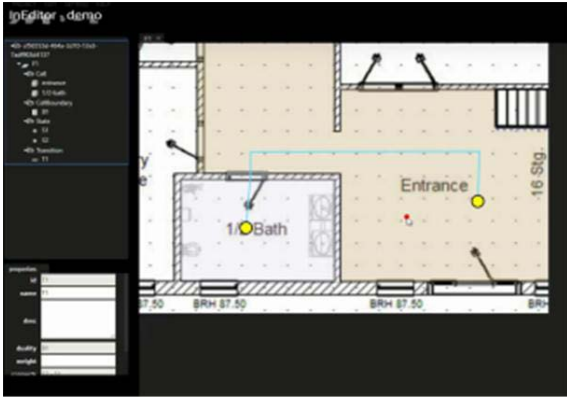


Fig. 6. Making doors and indoor network by InEditor

단위공간에 대한 다면체 데이터에서 바닥면에 해당하는 F_s 를 가지고 InEditor로 문을 생성하여 실내 연결성 네트워크를 편집하여 생성한다. 또한 마찬가지로 커다란 단위공간을 작은 단위공간으로 공간분할할 수 있다. 공간분할과 실내 연결네트워크를 편집하고 나면 InEditor를 통하여 최종 실내 공간데이터를 IndoorGML로 출력할 수 있다.

7. 실험

본 장에서는 앞에서 제시한 방법을 확인하기 위하여 수행된 실제 삼각형메쉬 데이터로부터 IndoorGML 데이터를 생성하는 실험 결과를 소개한다. 우선 이 실험에 사용된 삼각형 메쉬데이터는 포인트 클라우드에서 생성된 것이다. 그 이유는 일반적인 3DS나 COLLADA 데이터보다 다양한 오류의 데이터가 포함된 것이어서 보다 실험적 의미가 크기 때문이다. 이 데이터에 대한 자세한 내용은 Table 1과 같다. 그리고 Fig. 7은 이 삼각형 메쉬를 가시화한 것이다.

Table 1에서 나타나 있는 바와 같이 많은 삼각형이 비건축적 요소에 해당되어 제거되었으며, 제거되고 남은 건축적 요소에 해당하는 삼각형들이 이루는 요소는 한 개다. 이 과정을 통하여 만들어진 다각형의 면은 Fig. 8과 같다.

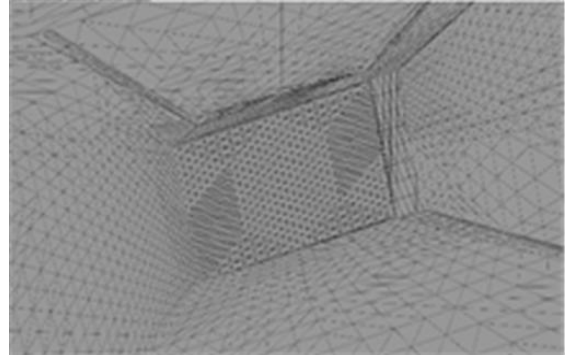


Fig. 7. Initial triangular meshes

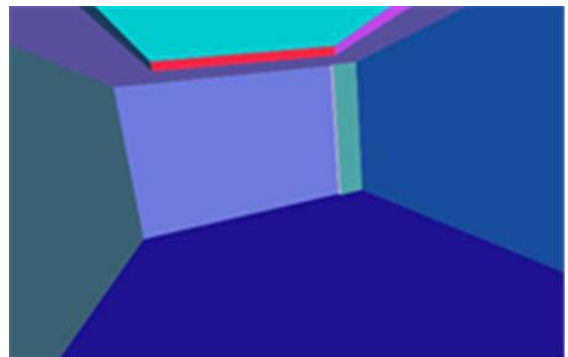


Fig. 8. Surfaces

InEditor를 이용하여 공간분할과 실내공간의 연결성을 추가한 후, 최종적으로 IndoorGML 데이터를 만들어낸다. Fig. 9에서 이 IndoorGML 데이터를 실제 공간과 비교하면, 실제 실내공간을 정확하게 반영한 결과라는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Experiment data and results

Experiment data	Results			
	Number of remaining triangles after the elimination of non-architectural components	Number of connected Components	Number of connected components belonging to I_s	Number of surfaces (W_s, C_s, F_s)
43,368	18094	18	17	110

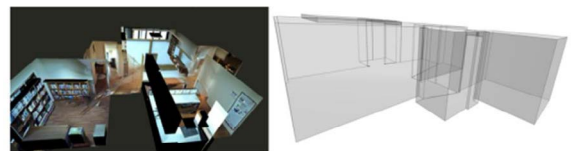


Fig. 9. Actual indoor space and final IndoorGML data

8. 결론

실내공간에서 수집된 원시 기하 데이터로부터 실내공간의 분석이나 실내공간데이터에 대한 응용서비스를 제공하기 위해서는 실내공간 표준 데이터 구축이 필요하다. 본 논문에서는 가공되지 않은 삼각형 메쉬로 표현된 3차원 실내공간데이터를 OGC 표준인 IndoorGML 데이터로 변환하는 방법을 제시하였다. 이 변환과정은 삼각형 메쉬로 주어지는 실내공간데이터를 폐쇄된 다각형으로 변환하여 기하 데이터를 만들고, 공간분할 작업과 실내공간의 연결성 정보를 만드는 작업으로 구성된다. 또한 이 방법을 실험으로 검증하였다. 이 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 방법이 올바르게 동작한다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구는 단순히 가시화를 위하여 주어지는 데이터를 의미 및 위상 데이터를 추가하여 본격적인 실내공간데이터로 변환시킨다는 면에서 의미적인 공간정보 구축에 기여할 것으로 기대된다. 그러나 앞으로 더 많은 실험을 통하여 이 방법의 적절성을 검증하여야 하며, 공간분할 및 단위공간의 연결성을 가능한 자동으로 생성할 수 있는 방법론도 개발되어야 한다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)과 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단의 지원을 받아 수행되었다.

References

- Choi, H.S., Jun, C.H., Li, Y., Cho, H., and Doh, N.J. (2013), Joint solution for the online 3D photo realistic mapping using SfM and SLAM, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 10, No.1, pp. 8-14.
- Cignoni, P., Montani, C., and Scopigno, R. (1998), A comparison of mesh simplification algorithms. *Computers & Graphics*, Vol. 22, No. 1, pp. 37-54.
- DeCoro, C. and Tatarchuk, N. (2007) Real-time mesh simplification using the GPU, *The 2007 Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, 29 April – 2 May, Seattle, USA, pp. 161–166.
- ISO/TC211. (2003), Geographic information - Spatial schema, ISO 19107:2003, *International Organization for Standardization*, <https://www.iso.org/standard/26012.html?browse=tc>, (last date accessed: 7, November, 2018)
- Jeong, H.M., Ryoo, H.G., and Li, K.J. (2018), InFactory: a RESTful API server for easily creating IndoorGML, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 29-31 August 2018, Dar es Salaam, Tanzania, pp. 77-84.
- Jun, C.H., Kang, J.H., Yeon, S.Y., Choi, H.G., Chung, T.Y., and Doh, N.J. (2017), Towards a realistic indoor world reconstruction: preliminary results for an object-oriented 3D RGB-D mapping, *Intelligent Automation and Soft Computing*, Vol. 23, No. 2, pp. 207–218.
- Kalvin, A.D. and Taylor, R.H. (1996), Superfaces: polygonal mesh simplification with bounded error. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 16, No. 3, pp. 64–77.
- Kang, H.K. and Li, K.J. (2017), A standard indoor spatial data model - OGC IndoorGML and implementation approaches, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 6, No. 4, pp. 116-140.
- Krūminaitė, M. and Zlatanova, S. (2014), Indoor space subdivision for indoor navigation, *The 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*, 4-7 November, Dallas/Fort Worth, TX, USA, pp. 25-31.
- OGC. (2012), OGC city geography markup language (CityGML) encoding standard, *Open Geospatial Consortium*, <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>, (last date accessed: 7, November, 2018)
- OGC. (2015), OGC IndoorGML, *Open Geospatial Consortium*, <http://www.opengeospatial.org/standards/indoorgml>, (last date accessed: 7, November, 2018)
- Ryoo, H.G., Kim, T.H., and Li, K.J. (2015), Comparison between two OGC standards for indoor space: CityGML and IndoorGML, *The 7th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*, 3-6 November, Seattle, USA, pp. 1-9.
- Schroeder, W.J., Zarge, J.A., and Lorensen, W.E. (1992). Decimation of triangle meshes. *ACM Siggraph Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2, ACM, pp. 65–70.