

# 포인트 클라우드를 이용한 IndoorGML 데이터의 자동적 구축 Automated Construction of IndoorGML Data Using Point Cloud

김성환<sup>1)</sup> · 이기준<sup>2)</sup>

Kim, Sung-Hwan · Li, Ki-Joune

## Abstract

As the advancement of technologies on indoor positioning systems and measuring devices such as LiDAR (Light Detection And Ranging) and cameras, the demands on analyzing and searching indoor spaces and visualization services via virtual and augmented reality have rapidly increasing. To this end, it is necessary to model 3D objects from measured data from real-world structures. In addition, it is important to store these structured data in standardized formats to improve the applicability and interoperability. In this paper, we propose a method to construct IndoorGML data, which is an international standard for indoor modeling, from point cloud data acquired from LiDAR sensors. After examining considerations that should be addressed in IndoorGML data, we present a construction method, which consists of free space extraction and connectivity detection processes. With experimental results, we demonstrate that the proposed method can effectively reconstruct the 3D model from point cloud.

Keywords : Indoor Space, Point Cloud, 3D Model, Indoor Map, IndoorGML

## 초 록

실내공간에 대한 측위 기술과 함께 LiDAR (Light Detection And Ranging)나 카메라와 같이 공간을 측정 장비가 발달하면서 실내공간에 대한 분석과 탐색, 가상현실이나 증강현실을 통한 시각화 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 이를 위해서는 실제 세계로부터 측정된 데이터를 이용하여 3차원 객체로 모델링하는 작업이 필요하다. 또한 이렇게 구조화된 데이터의 가용성과 상호운용성을 높이기 위하여 표준화된 규격으로 저장하는 것도 매우 중요하다. 본 논문에서는 LiDAR 장비를 통해 획득한 포인트 클라우드 데이터를 이용하여 실내공간을 표현하기 위한 국제표준인 IndoorGML 데이터를 자동적으로 구축하는 방법을 제안하고자 한다. IndoorGML 데이터를 구성하는 과정에서 고려해야 할 점들을 살펴본 후, 자유공간추출과 연결성 검출 과정으로 이루어진 데이터 구축 과정을 통하여 실제로 IndoorGML 데이터를 구축한다. 실험을 통하여 제안 기법이 입력 포인트 클라우드로부터 3차원 데이터 모델을 효과적으로 재구성할 수 있음을 검증한다.

핵심어 : 실내 공간, 포인트 클라우드, 3차원 모델, 실내 지도, IndoorGML

Received 2020. 11. 18, Revised 2020. 11. 25, Accepted 2020. 12. 10

1) Member, Dept. of Computer Engineering, Post-doctoral researcher, Pusan National University (E-mail: [sunghwan@pusan.ac.kr](mailto:sunghwan@pusan.ac.kr))

2) Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Computer Engineering, Pusan National University (E-mail: [lik@pnu.edu](mailto:lik@pnu.edu))

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

인구의 도시 집중에 따라 건물이 대형화되면서 실내공간의 구조는 복잡하게 되고 있다. 이에 따라 실내 공간정보에 대한 수요가 계속 증가하고 있다. 그런데 실내공간정보를 구축하는 것은 실외와 비교하여 상대적으로 어려우며 많은 시간과 비용이 요구된다. 따라서 정확하면서도 효과적으로 실내공간 정보를 구축하는 방법을 개발하는 것은 실내공간정보 수요에 대응함에 있어 매우 중요한 사항이다.

실내공간정보를 구축하는 방법은 BIM (Building Information Model)이나 CAD (Computer Aided Design)로 준비된 건물 도면을 활용하는 방법, 종이도면으로부터 수동이나 자동으로 편집하는 방법 등 여러 가지가 있다(Jang *et al.*, 2020; Srivastava *et al.*, 2018; Teo and Yu, 2017). 최근 다양한 측량장비가 소형화되고 저렴하게 되면서 주목을 받는 방법은 포인트 클라우드로부터 3차원 실내공간정보를 추출하는 것이다. 이 방법은 비교적 정확도가 높으며, 자동화가 될 경우 실내공간정보의 구축비용도 낮출 수 있다는 장점이 있다. 그러나 아직은 자동으로 3차원 실내공간을 구축하는데 많은 한계가 있다.

본 논문에서는 이 한계를 극복하기 위하여 개발된 자동으로 포인트 클라우드에서 실내공간정보를 추출하는 방법 및 결과를 제시한다. 기존의 방법들이 주로 포인트 클라우드에서 단순 기하 정보만을 추출하는 반면, 본 연구에서 개발된 방법은 실내공간의 여러 가지 제약조건이 엄격하게 모델링된 OGC (Open Geospatial Consortium)의 실내공간표준 IndoorGML (Kang and Li, 2017) 데이터로 추출하고 변환하는 것이다. 특히 IndoorGML에 포함된 각 단위공간 사이 연결성을 추출하는 기능이 포함되어 있다. 따라서 이 방법을 이용하면 여러 가지 실내공간 기하정보가 가져야할 요구조건을 만족할 수 있게 되고, 더욱 고품질의 실내공간정보의 생산이 가능하며, 자동화를 통한 구축비용의 감소도 가능하다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 다음 장에서는 지금까지의 관련 연구를 알아보고, 그리고 본 연구에서 개발한 방법의 흐름과 각 단계에 적용되는 방법의 구체적 설명이 주어진다. 그리고 이 방법을 검증하기 위하여 수행된 실험 및 그 결과를 설명하고 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

IndoorGML 데이터는 다양한 형태의 데이터로부터 필요한 정보를 추출 또는 변환하여 구축할 수 있다. 그러나 포인트 클

라우드로부터 IndoorGML에 필요한 실내공간 정보를 추출하는 방법에 대한 연구는 미진한 편이다. 본 장에서는 이와 관련하여 IndoorGML 데이터를 구축하기 위해 활용되는 다른 형식의 정보들을 살펴보고, 또한 포인트 클라우드 데이터를 처리와 관련하여 기존의 연구들이 IndoorGML 구축에 직접적으로 활용되기 어려운 이유에 대하여 살펴보고자 한다.

### 2.1 IndoorGML 데이터 구축 방법

IndoorGML 데이터를 구축함에 있어서 이미 구조화된 다른 공간정보데이터가 있다면 이로부터 IndoorGML 데이터에 필요한 정보를 추출해서 변환하는 것이 용이할 수 있다. 실내공간 설계에 주로 사용되는 CAD를 이용해 모델링된 평면도를 이용하여 IndoorGML의 기하와 연결구조를 추출하는데 사용할 수 있다(Srivastava *et al.*, 2018). 또한 OpenStreetMap과 같은 클라우드소싱 기반의 데이터를 이용하여 실내공간 정보를 획득하고 이를 이용하여 데이터를 구축하는 방법도 제안되었다(Mirvahabi and Abbaspour, 2015). 공간정보관련 국제표준인 CityGML에서는 정밀도 단계(level of detail)에 따라 LOD0에서 LOD4까지 총 5단계로 표현되는 객체를 구분하고 있는데, 가장 정밀도가 높은 LOD4단계에서는 실내공간의 구조까지도 표현을 하도록 되어있다. CityGML에서 표현된 실내구조를 활용하여 IndoorGML 데이터를 구축하는 작업에 활용을 할 수 있다(Joo *et al.*, 2012). 건축물의 표현에 주로 사용되는 BIM 데이터에 기술된 구성요소를 IndoorGML의 각 구성요소와 대응시키고 이를 통하여 인접연결관계 그래프를 생성하는 방법도 제안되었다(Teo and Yu, 2017). 또한 가상현실 및 증강현실 기술의 발전과 더불어 실내공간을 3차원으로 모델링하여 시각화하는 서비스가 발달하고 있는데, 모델링된 실내 공간 3차원 메쉬를 단순화하여 IndoorGML의 기하 데이터로 활용할 수 있다(Li and Kim, 2018). 이차원 평면도 이미지(Jang *et al.*, 2020)나 전방위 카메라 영상(Claridades *et al.*, 2018)과 같이 비구조화된 영상 정보로부터 기계학습기법 등을 이용하여 IndoorGML 구축에 필요한 정보를 추출하는 연구도 진행되어 왔다.

### 2.2 포인트 클라우드 데이터 처리 및 분석

포인트 클라우드로부터 면이나 미리 정의된 객체를 정합시켜 3차원 모델을 만드는 연구들이 진행되어 왔다(Sanchez and Zakhor, 2012). 그러나 많은 연구들이 단일 객체를 시각적으로 이질감 없게 재구성하거나(Williams *et al.*, 2019), 분류나 분할에만 중점을 두고 있다(Qi *et al.*, 2017). 그러나 실내공간을 모델링하기 위해서는 단순한 포인트 클라우드 처리를 넘

어서 각 공간에 대한 기하를 실제와 근사하면서도 최대한 단순한 형태의 닫힌 다면체로 변환을 하는 추가적인 작업이 필요하다. 포인트 클라우드를 3차원 메시로 변환하기 위한 기본적인 도구로 푸아송 평면 재구축 기법(Kazhdan *et al.*, 2006)이 널리 활용되지만 실내 공간 내에서 장치나 가구, 실내장식 및 자재의 재질과 형태 의해 발생하는 다양한 노이즈가 재구축된 면의 형태에 그대로 반영되어 결과물의 형태가 지나치게 복잡하다는 단점이 있다. 실내 공간에서 깊이 영상등을 이용하여 메시를 재구성하는 기법은 주로 증강 및 가상현실을 위한 시각화에 초점을 맞추고 있기 때문에 기하의 닫힘 여부가 중요하지 않은 경우가 많다(Schöps *et al.*, 2019). 실내 공간 자체를 닫힌 기하로 재구성하는 연구들이 진행되어 왔지만 대부분이 평면 추출을 기반으로 하고 있다(Ochmann *et al.*, 2016; Mura *et al.*, 2016; Nan and Wonka, 2017). 이러한 면 추출 기반의 기법들은 만일 전체적인 기하 구성에 필수적인 평면이 추출되지 못하는 경우 포인트 클라우드 내에 포함된 노이즈의 강도에 비하여 결과 기하 객체의 형태에 매우 큰 오차가 발생할 수 있다. 예를 들어 추출된 면을 이용하여 선형정수계획법을 활용해 닫힌 다면체를 재구성하는 방법(Nan and Wonka, 2017)은 설정된 제약조건에 만족하는 다면체가 존재하지 않아 기하객체가 전혀 추출되지 못하는 경우가 발생한다. 평면 중심의 기법들은 이러한 문제들을 해결하기 위하여 데이터 처리 과정 도중에 수작업을 통한 보정 작업을 추가적으로 수행하기도 한다(Mura *et al.*, 2016). 따라서 포인트 클라우드로부터 IndoorGML 데이터에 필요한 정보를 효과적으로 추출하고 이를 자동적으로 구축하기 위한 기법에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

### 3. IndoorGML 데이터 구축 시 고려사항

#### 3.1 IndoorGML 개요

실내공간은 용도에 따라 개별의 단위공간으로 구성되며, 이들의 각 단위 공간의 의미나 연결 관계와 같은 다양한 속성들을 지니고 있다. IndoorGML은 국제표준화기구인 OGC에서 제정된 표준으로서, 실내공간의 활용에 필요한 정보들을 표현하기 위한 GML (Geography Markup Language)을 기반의 데이터 교환 모델이다.

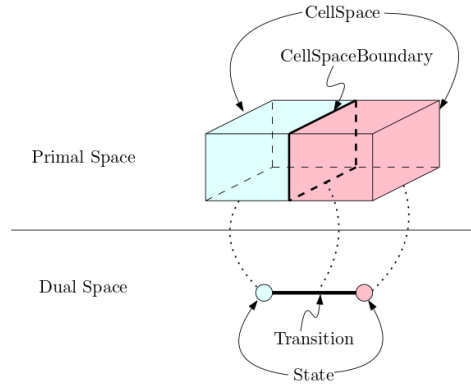


Fig. 1. Structured space model of IndoorGML

IndoorGML에서는 실내공간의 기하를 나타내는 부분과 실내공간 내의 연결관계를 나타내는 부분을 나누어서 표현한다. 실내공간의 기하를 표현함에 있어서 주어진 실내공간을 각각의 개별 단위 공간으로 분리해서 표현을 하며 각 개별 공간은 CellSpace 요소로 표현이 된다. CellSpace의 기하는 데이터가 표현하는 대상에 따라 2차원 다각형이나 또는 3차원 다면체로 표현된다. 서로 다른 CellSpace는 서로 교차할 수 없고, 경계면만을 공유할 수 있다. 인접한 CellSpace들이 공유하는 경계면은 CellSpaceBoundary요소로 나타낸다. 3차원 데이터의 경우 3차원 다면체의 경계면은 2차원 다면체로 표현되므로 CellSpaceBoundary 역시 2차원 객체로 표현된다.

IndoorGML에서는 실내의 단위 공간간의 인접 및 연결 관계를 푸앵카레 쌍대성(Poincaré duality)을 이용하여 나타낸다. N차원 공간내의 k차원 객체들은 쌍대공간에서 (N-k)-차원 객체로 표현된다. Fig. 1과 같이 공간을 나타내는 3차원 객체인 CellSpace가 쌍대공간(dual space)의 0차원 객체인 점으로 표현되는 그래프 노드를 나타내는 요소인 State로, 인접한 CellSpace의 접촉면인 2차원 객체 CellSpaceBoundary가 쌍대공간의 1차원 객체인 그래프 에지를 나타내는 Transition과 대응된다.

#### 3.2 실내공간 기하 구조

IndoorGML 데이터를 구축하기 위해서는 우선 실내 공간을 구성하는 각각의 단위 공간의 기하를 추출해야 한다. 추출된 기하는 CellSpace를 표현하기 위해 사용되며, 이 기하는 공간의 내부와 외부 구분할 수 있어야 하므로 닫힌 3차원 다면체로 표현되어야 한다. 많은 면 재구축(surface reconstruction) 기법들은 이러한 닫힌 위상을 고려하지 않고 수행된다. 시각화의 측면에서만 보면 닫히지 않은 3차원 다면

체로 표현되더라도 큰 문제는 없다. 하지만 공간을 분할하는 관점에서는 닫히지 않은 3차원 다면체로 각각의 단위 공간이 표현되는 경우 공간의 내외부의 구분이 불분명해지기 때문에 계산상으로 큰 문제가 발생하게 된다.

기하의 형태 역시 본래의 공간을 정확히 표현하면서도 최대한 단순한 형태이어야 한다. 실내공간을 LiDAR 센서를 이용하여 측정해서 나오는 포인트 클라우드 결과물은 매우 조밀한 점의 집합으로 구성되어 있는데, 자연히 이 데이터에는 노이즈가 수반된다. 이러한 노이즈를 모두 반영하여 기하를 구성하게 되면 결과물 기하가 지나치게 복잡해져 데이터의 크기가 늘어날 뿐만 아니라 데이터를 입출력하여 처리하는 입장에서 불필요하게 큰 부하가 가중되기 때문에 단순화된 형태로 기하를 구성해야 한다.

### 3.3 Node-Relation Graph

CellSpace들이 모두 추출되었다면 이들의 연결관계를 표현하는 Node-Relation 그래프를 구성하여야 한다. 이 그래프는 CellSpace를 표현하는 기하들의 푸앵카레 쌍대공간을 나타내는 그래프로, 각각의 노드가 CellSpace에 대응되고 노드간의 연결은 인접한 CellSpace간의 연결관계를 표현한다. 이 그래프는 특히 실내 네비게이션 시스템과 같은 실내공간응용에서도 자주 활용되는 정보이므로 매우 중요한 정보이다.

연결관계 그래프를 구성함에 있어서 노드를 표현하는 State와 노드간의 연결을 표현하는 Transition는 연결관계만 가지고 있는 것이 아니라 기하정보도 지니고 있다. 이들의 기하는 대응되는 CellSpace의 내부에 위치하여야 한다. 만일 단순히 CellSpace의 무게중심을 노드(State)로 하고 두 노드를 잇는 선분으로 Transition으로 표현하게 되면 이들이 CellSpace의 외부로 나가는 경우가 발생하게 되므로, 이들의 위치를 설정하는 데 있어 기하가 대응되는 CellSpace의 내부에 위치할 수 있도록 조정해주어야 한다.

### 3.4 공간 의미 부여

IndoorGML에서는 실내 네비게이션을 위한 모듈을 지원하고 있는데, 여기서는 CellSpace가 다시 출입문을 나타내는 ConnectionSpace, 복도와 같은 통로를 나타내는 TransitionSpace와 사무실이나 회의실 같은 일반적인 공간을 나타내는 GeneralSpace로 구분된다. 실내 공간에서 어떠한 공간이 가지는 의미는 중요한 정보이기 때문에 각각의 CellSpace를 일반적인 공간과, 출입문이나 복도와 같은 특수한 공간으로 세밀하게 나누어 의미를 부여하는 작업이 필요하다.

## 4. 데이터 구축 과정 개요

포인트 클라우드 데이터로부터 IndoorGML 데이터를 구축하는 과정을 간략하게 기술하면 다음과 같다 (Fig. 2). 우선 주어진 포인트 클라우드로부터 IndoorGML의 CellSpace에 해당하는 공간들을 검출해낸다. 우선적으로 개별 방과 같은 GeneralSpace와 복도나 통로 같은 TransitionSpace를 검출한다. 그 이후 탐지된 개별 공간 사이의 연결관계를 추론한 다음, 이를 이용하여 그 사이에 출입문과 같은 ConnectionSpace를 생성해준다. 그리고 각 단위 공간들의 의미적 속성을 부여한 후 이를 IndoorGML 형식에 맞춰 저장한다.

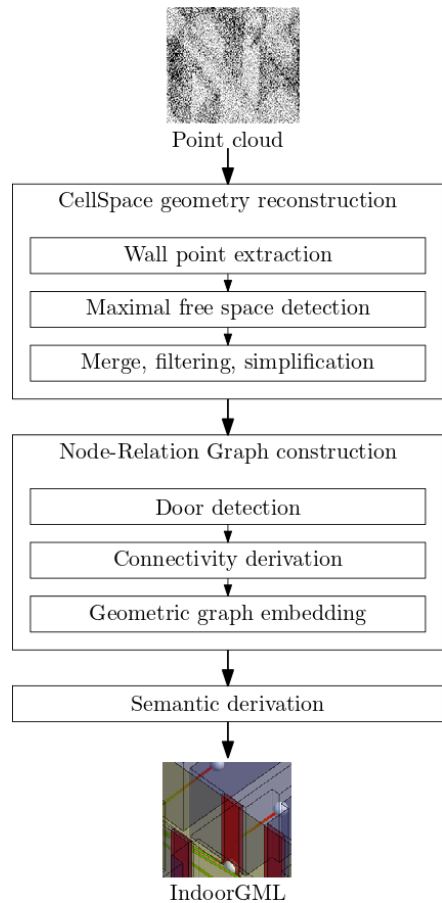


Fig. 2. Constructing IndoorGML from point cloud

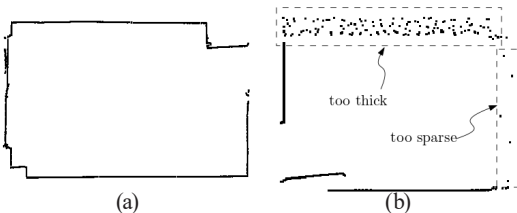
각각의 단계에서 데이터의 특성에 따라 다양한 방법들을 조합하여 사용할 수 있다. 본 논문에서는 문제의 단순화를 위하여 입력 데이터가 대부분의 사무용 및 주거용 건물에서 보이는 일반적인 형태인 바닥과 천장이 XY평면과 평행한 평면

상의 직교선형다각형(rectilinear polygon)들로 구성되고 벽면은 이에 수직인 건물이라는 가정 하에 데이터 구축을 진행하고자 한다. 구축 과정에 있어서 개별 단위 공간을 나타내는 벽면을 추출한 후, 벽면을 포함하지 않는 최대 자유 공간을 찾아내어 기본적인 CellSpace의 기하를 구성한다. 인접관계 그래프는 벽면의 포인트 클라우드 분포를 이용하여 출입문을 탐지한 후, CellSpace 간의 연결관계를 도출하고 이로부터 노드와 간선들의 기하적 속성을 부여한다. 마지막으로 그래프 상의 특성을 이용하여 CellSpace들을 하위 클래스로 분류하는 작업을 수행한 후, 최종적으로 IndoorGML로 저장한 뒤, 이를 시각화하여 그 결과를 검증한다.

## 5. CellSpace 기하 검출

본 장에서는 실내공간을 구성하는 기본적인 요소이면서 IndoorGML상에서 CellSpace로 표현되는 단위공간들의 기하를 포인트 클라우드로부터 검출하는 과정을 기술하고자 한다. 개략적으로 설명하면 우선 법선벡터와 위치정보를 이용하여 벽면에 해당하는 점들을 추출한 뒤, 이를 이용하여 각 단위공간의 경계면을 구하고, 이를 다시 3차원 기하로 압출(extrude)시키는 과정을 거친다.

경계면을 구하는 과정에 있어서 기존 연구에서는 3차원 상에서 그대로 기하를 구하는 경우 벽면을 이루는 단위 평면을, 2차원으로 사영시켜서 구하는 경우에는 직선 선분들을 이용하여 벽면 자체를 재구성하는 방법을 사용한다. 그러나 이 방법을 이용하는 경우 IndoorGML 데이터를 생성함에 있어서 두 가지 문제점이 있다. 첫째로는 가구의 배치, 측정위치와 시점에 따른 점 분포의 차이, 측정장비의 오차특성 등으로 인하여 직선이나 평면 선분을 재구성하기가 매우 힘든 경우가 발생한다는 점이다. Fig. 3(a)와 같이 2차원 상에서 살펴볼 때 직선 성분들이 비교적 깨끗하게 검출될 수 있을 정도로 벽면 점이 추출된다면 상대적으로 용이하겠지만, Fig. 3(b)와 같이 일부 벽면에 대하여 직선 성분을 검출하기 힘들게 되는 경우에는 이에 대한 별도의 처리가 필요하다.



**Fig. 3. Limitation of line extraction-based algorithm. While there are cases where lines can be clearly extracted as in (a), wall points are possibly not detected as clean lines as in (b)**

다른 하나의 이유는 IndoorGML의 각 단위공간의 기하는 닫힌 다면체여야 한다는 점이다. 부분적인 직선이나 평면 조각을 이용하여 완전히 닫힌 다면체를 구성하는 것은 경우에 따라 매우 난해하고 복잡한 상황들을 수반한다. 본 논문에서는 이러한 어려움을 우회하기 위하여 경계면을 추출한 뒤 이를 다시 공간을 나타내는 닫힌 기하로 표현하는 것이 아니라 공간자체를 직접 추출한 뒤 경계면을 후처리하는 방식을 통하여 기하를 완성하는 접근 방법을 택한다.

실험에서 사용되는 매개변수와 본 논문에서의 실험에 사용된 값이 Table 1에 요약되어 있다. 각각의 매개변수에 대한 자세한 설명은 각 기법이 서술될 때 같이 설명하도록 한다.

**Table 1. Description of parameters used in the proposed method**

Symbol	Description	Default (cm)
$d_w$	look ahead distance for checking wall points	1
$d_f$	look ahead distance for checking reference points	10
$n_w$	threshold of the number of wall points to block	1
$n_f$	threshold of the number of reference points to expand	1
$\theta_w$	threshold for filtering out expanded rectangles	100
$\delta_1$	threshold parameter for morphological closing operation	2
$\delta_2$	tolerance factor for boundary simplification	20
$\theta_g$	gap width parameter for door detection	50

### 5.1 벽면을 포함하지 않는 최대 사각형을 이용한 공간 확장

공간 검출을 위하여 포인트 클라우드를 이루는 점들을 2차원 그리드 상으로 사영을 내린 후, 임의의 한 점에서 시작하여 상하좌우로 공간을 확장해나간다. 공간을 확장해나갈 때 벽면에 해당하는 점은 포함하지 않으면서 벽면이 아닌 다른 점들은 포함하도록 함으로써 각 단위공간이 실제로 점유하는 영역을 검출한다. 이러한 벽면을 포함하지 않는 최대 사각형 영역을 임의의 점들로부터 시작하여 다수 추출한 후 병합 및 후처리함으로써 최종적인 공간 영역을 도출한다.

공간 검출에 앞서 Fig. 4(a)와 같이 벽면에 해당하는 점들을 추출한다. 바닥면에 가까운 점들은 의자나 책상, 서랍장과 같

은 물체들로 인하여 노이즈가 많기 때문에 적당히 바닥에서 떨어진 지점으로부터 시작하여 일정 Z좌표 구간에 해당하는 점들을 추출한다. 이 때, 자신의 이웃점들로부터 계산된 법선 벡터의 Z 성분이 0에 가까운 점들만을 추출함으로써 돌출부나 노이즈로 인한 오검출을 줄인다.

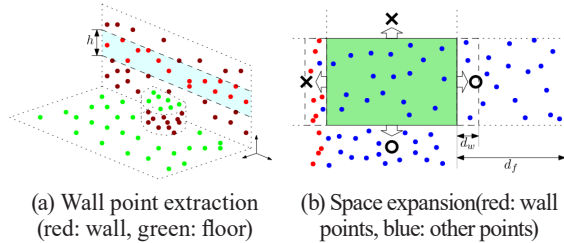


Fig. 4. Space detection using maximal empty rectangle with reference points

```

1: procedure EXPAND((x, y), d_w, d_f, n_w, n_f)
2:   (x_1, y_1, x_2, y_2) ← (x, y, x, y)
3:   loop
4:     w_u ← wcount(x_1, y_2 + d_w, x_2, y_2 + d_w).
5:     w_l ← wcount(x_1 - d_w, y_1, x_1 - d_w, y_2).
6:     w_d ← wcount(x_1, y_1 - d_w, x_2, y_1 - d_w).
7:     w_r ← wcount(x_2 + d_w, y_1, x_2 + d_w, y_2).
8:     f_u ← fcount(x_1, y_2 + d_f, x_2, y_2 + d_f).
9:     f_l ← fcount(x_1 - d_f, y_1, x_1 - d_f, y_2).
10:    f_d ← fcount(x_1, y_1 - d_f, x_2, y_1 - d_f).
11:    f_r ← fcount(x_2 + d_f, y_1, x_2 + d_f, y_2).
12:    A ← ϕ.
13:    if n_f < f_u ∧ w_u < n_w then A ← A ∪ {↑}
14:    if n_f < f_l ∧ w_l < n_w then A ← A ∪ {←}
15:    if n_f < f_d ∧ w_d < n_w then A ← A ∪ {↓}
16:    if n_f < f_r ∧ w_r < n_w then A ← A ∪ {⇒}
17:    if A = ϕ then return (x_1, y_1, x_2, y_2)
18:    Pick a randomly from A.
19:    if a = '↑' then y ← y + d_w.
20:    if a = '←' then x ← x - d_w.
21:    if a = '↓' then y ← y - d_w.
22:    if a = '⇒' then x ← x + d_w.
23:  end loop
24: end procedure
    
```

Fig. 5. Space detection using maximal empty rectangle with reference points

벽면 점들이 추출이 되었다면 이를 2차원 상에 사영을 시킨다. 계산의 편의를 위하여 크기가 1cm인 그리드 상에 사영을 시킨 후 각 그리드 셀별로 벽면 점들의 개수를 누적시켜 미리 계산한다. 그리드의 크기는 점밀도에 따라 유동적으로 설정할 수 있으나, 본 논문에서는 일반적인 실내 포인트 클라우드의 특성 상 인접한 점들 간의 평균 간격이 최대 수cm 이내이

며, 출입문이나 서로 다른 벽면 간격을 식별할 수 있는 거리가 10cm 단위의 규모이므로 이를 고려하여 1cm로 설정하였다. 마찬가지로 방법으로 벽면이 아닌 점들도 그리드 상에 사영시키는데, 이는 벽면이 미검출된 경우 해당 방향으로 무한히 확장해나가는 것을 방지하기 위하여 일정 범위 이내에 바닥이나 다른 물체에 해당하는 점이 있어야만 해당 구역으로 확장할 수 있도록 하기 위함이다. Fig. 4(b)와 같이 한 점에서부터 시작하여 점유 공간을 확장해나가는데, 상하좌우 방향으로 점들의 개수를 계산하여 거리  $d_f$  이내에 점들이  $n_f$  개보다 많으면서 거리  $d_w$  내에 벽면의 점이  $n_w$  개보다 적어야 확장 가능하다고 보고, 확장 가능한 방향 중 임의로 선택하여 사각형의 구역을  $d_w$  만큼 넓힌다. Fig. 4(b)에서는 왼쪽으로는 거리  $d_w$  이내에 벽면 점들(적색)이 있어 확장을 할 수 없고, 위쪽으로는 거리  $d_f$  이내에 더 이상 벽면이 아닌 점들이 없어서 확장을 멈춘다. 나머지 두 방향인 오른쪽과 아래쪽으로는 확장할 수 있다. 보다 자세한 과정은 Fig. 5에 기술되어 있다. 여기서 wcount()는 해당 구간 내의 벽면 점의 수, fcount()는 해당 구간 내에 점이 존재하는 셀의 수를 반환하는 함수이다.

전체 공간 내의 충분한 개수의 점에 대하여 위와 같이 벽면을 포함하지 않는 최대의 사각형을 구했다면 이들의 합집합을 구함으로써 실제 실내 공간이 차지하는 구역을 계산할 수 있다. 이 때, Fig. 6과 같이 어떤 적당한 임계값  $\theta_w$ 를 두어 모든 변의 길이가  $\theta_w$  이상인 사각형들만 추려내어 합집합을 구한다. 이를 통해 작은 틈이나 노이즈로 생긴 작은 사각형들이 반영되지 않도록 함으로써 노이즈에 의한 오류를 줄이는 동시에 실내공간들이 적당히 분할이 되는 효과를 얻을 수 있다. 특히, 실내의 각 단위 공간은 벽면 점들이 해당 공간을 둘러싸고 있으면서 출입문 부분이 비어있는 형태를 주로 지니고 있으므로,  $\theta_w$ 를 출입문의 너비보다 조금 긴 길이로 잡으면 방별로 공간들을 효과적으로 분할시킬 수 있다. Fig. 6에서 오른쪽으로 뻗어 나가는 길고 얇은 사각형이 필터링됨으로써 해당 공간의 구획이 나누어지는 것을 볼 수 있다.

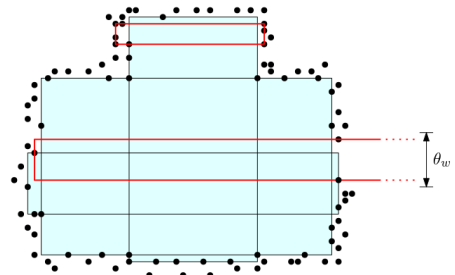


Fig. 6. Merging and filtering maximal empty rectangles computed from multiple number of starting points. Rectangles with short sides are filtered out (red). The union of the remaining rectangles becomes the cell geometry (blue)

## 5.2 기하 단순화

앞서 설명한 것과 같이 최대 사각형들의 합집합을 구하는 과정에서 매개변수  $\theta_w$ 를 이용하여 변의 길이가 짧은 사각형을 제외했다고 하더라도 사각형들이 서로 겹쳐짐으로써 합집합의 결과가 매우 복잡한 형태를 지니고 있을 가능성이 높다. 그러나 지나치게 복잡한 기하는 최종 결과물의 크기를 증가시킬 뿐만 아니라 이를 이용하는 입장에서 바람직하지 않으므로 이를 단순화 시키는 작업을 수행할 필요성이 있다.

단순화 시키는 과정은 우선 주어진 다각형에 대하여 모폴로지 연산인 확장연산과 침식연산을 수행하여 내부에 노이즈로 인해 생긴 구멍을 제거한다. 이후 Fig. 7(a)과 같이 기준점으로부터 시작하여 다각형의 외곽선을 따라가다가 X-좌표나 Y-좌표가 미리 주어지는 매개변수인  $\delta$  이상 떨어진 점에도 달했을 때 해당 점에 따라 기준점을 옮기는 방식을 반복한다. 이 때, 현재 점과 기준점이 가로로 떨어져있다면 기준점을 가로(X방향)로만 움직이고, 세로로 떨어져있다면 Y-좌표만 움직이므로써 최대한 단순한 형태의 직교다각형을 유지하도록 한다. 만일 현재 기준점이 현재까지 완성된 결과다각형의 마지막 점의 Y-좌표가 서로 다른 상태에서 X축을 따라 이동해야 하는 경우가 발생하게 되면 이는 모서리점에 해당되는 것을 의미하므로, 먼저 해당 기준점을 결과다각형의 모서리에 추가한 후 기준점의 좌표를 갱신 하도록 한다. Fig. 7(b)는 이러한 방식으로 단순화시킨 예시를 나타낸다. 붉은 청색 점선이 결과다각형을 구성하는 변을 나타내고 있다.

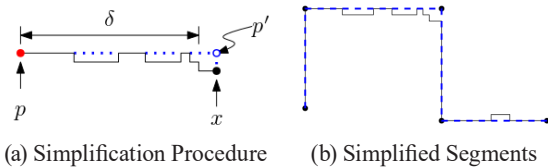


Fig. 7. Geometry simplification

이에 대한 보다 자세한 서술은 Fig. 8에 기술되어 있다. 어떤 선형링(linear ring)이 주어지고, 두 매개변수  $\delta_1$ 와  $\delta_2$ 가 주어진다. 선형링은 점의 배열로 주어지며 첫 점  $r[1]$ 과 마지막 점  $r[|r|]$ 이 같다고 가정한다.  $\delta_1$ 은 처음에 모폴로지(morphology) 연산을 통해 내부의 노이즈를 제거할 때 사용하는 값이고,  $\delta_2$ 는 경계면 단순화 과정에서 사용되는 임계값이다. 기준점  $p$ 를 갱신시키면서  $p$ 가 이동하는 축이 달라질 때마다 결과 다각형의 모서리 점을 추가하는 것을 반복한다. 이 과정을 거쳐 지정된 임계값 범위 이내의 오차들을 제거하여 경계면을 단순화시킬 수 있다.

```

1: procedure SIMPLIFY( $r$ : linear ring,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ )
2:    $r \leftarrow$  MorphologicalClosing( $r$ ,  $\delta_1$ ).
3:    $c \leftarrow []$ .
4:    $p \leftarrow \phi$ .
5:   for  $i = 1$  To  $|r|$  do
6:     if  $p = \phi$  then
7:        $p \leftarrow r[i]$ .
8:       continue
9:     end if
10:    if  $|r[i].x - p.x| \geq \delta_2$  then
11:      if  $|c| = 0$  or  $p.y \neq c[|c| - 1].y$  then
12:         $c.append(p)$ 
13:      end if
14:       $p \leftarrow (c.x, p.y)$ .
15:    else if  $|r[i].y - p.y| \geq \delta_2$  then
16:      if  $|c| = 0$  or  $p.x \neq c[|c| - 1].x$  then
17:         $c.append(p)$ 
18:      end if
19:       $p \leftarrow (p.x, c.y)$ .
20:    end if
21:  end for
22:  return  $c$ 
23: end procedure

```

Fig. 8. Algorithm to simplify a rectlinear linear ring

경계면을 단순화한 후 서로 다른 공간이 교차하는 것을 방지하기 위하여 차연산을 수행한 후, 결과 경계면을 이용하여 Fig. 9와 같이 Z축을 따라 압출시켜 3차원 기하를 생성하도록 한다. 이 때 각 면의 법선 벡터는 해당 기하의 바깥을 향하도록 구성하여야 한다.

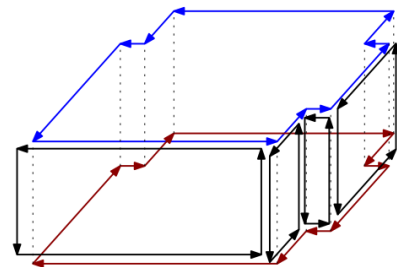


Fig. 9. Constructing a 3D geometry by extruding along the z-axis

## 6. 연결구조 구축 및 속성 부여

각 단위 공간들의 단순화된 경계면을 계산했다면 이들간의 연결관계를 검출하고 구성해야한다. 이전 단계에서 검출된 단위 공간들은 방이나 복도, 로비와 같은 큰 공간들이며, 이들 공간들은 서로 교집합이 없이 분리되어 있는 상태이다. 본 장에서는 이들 공간을 이어주는 출입문과 같은 작은 공간

을 검출하고, 이를 바탕으로 전체 공간 내에서의 단위 공간 간의 인접관계를 도출하고 IndoorGML에서 요구하는 Node-Relation 그래프로 구성하는 방법을 기술한다.

### 6.1 출입문 검출 및 기하 생성

출입문을 검출하는 과정은 다음과 같다. 우선 Fig. 10(a)와 같이 경계면에 가까운 벽면점들을 추출한다. 이 점들을 가까운 경계면으로 사영시키면 Fig. 10(b)와 같이 되는데, 경계면을 이루는 각 선분마다 사영된 점들을 좌표순으로 정렬하면 사영된 점들이 존재하지 않는 구간을 알 수 있다. 만일 이 구간이 어떤 임계값  $\theta_g$ 보다 크다면, 이는 이 지점을 통하여 현재의 경계면으로 정의된 내부공간으로부터 외부로 나갈 수 있다는 것을 의미한다. 만일 서로 다른 단위공간의 두 변이 가까운 거리에서 마주보고 있는 상황에서 Fig. 10(c)와 같이 비슷한 위치에서 이러한 구간이 나타난다면 이는 해당 구간이 두 공간을 잇는 출입문 역할을 하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 해당 구간에 맞게 출입문의 경계면을 추출(청색 구역)한 후 이를 바탕으로 3차원 기하를 앞서 설명한 바와 같이 구축하면 된다. 구축된 모든 3차원 기하들은 IndoorGML 데이터 상에서 각각의 CellSpace로 기술이 되고, 이와 같이 검출된 CellSpace와의 인접면이 CellSpaceBoundary로 기술이 된다. CellSpace와 CellSpaceBoundary는 다음 절에서 설명하는 과정에 따라 쌍대공간 상에서 State와 Transition으로 기술되는 Node-Relation 그래프와 각기 대응이 된다.

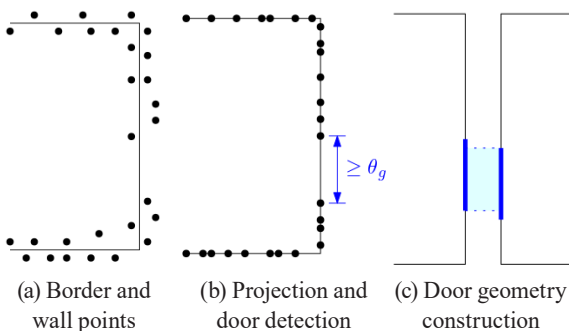


Fig. 10. Door detection procedure

### 6.2 연결구조 및 인접관계그래프 구축

앞선 과정에 따라 출입문을 포함한 단위공간을 검출하여 구성하게 되면 방과 출입문, 복도와 출입문 간에 인접 관계가 발생한다. 따라서 각각의 단위 공간에 대응하는 노드를 생성하여 IndoorGML 상의 State 요소로 표현하고, 인접한 두 단위 공간에 대응하는 노드 간에 연결관계를 생성하여 Transition 요소로 표현을 한다.

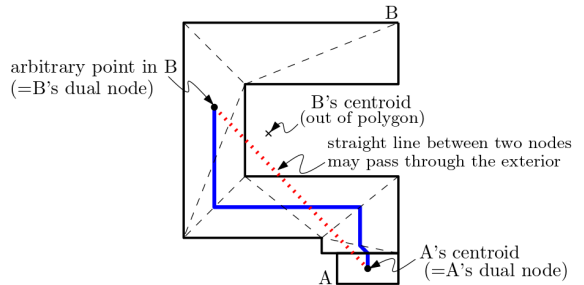


Fig. 11. Establishing nodes and edges for the Node-Relation graph

생성된 State와 Transition은 단위 공간을 나타내는 CellSpace 간의 연결관계를 나타낼 뿐만 아니라 자체적으로도 기하를 가지는데, State는 0차원인 점, Transition은 1차원 곡선(실질적으로는 연결된 선분의 집합인 LineString)으로 표현된다. 이 기하들은 대응되는 CellSpace의 기하에 포함되도록 구성해야 한다. 우선 State의 위치를 결정을 함에 있어서 CellSpace의 바닥면을 기준으로 하여, 이 바닥면의 무게중심이 내부에 있다면 무게중심을 해당 위치로 사용하고, 만일 그렇지 않다면 적당한 내부의 임의의 점을 사용하도록 한다. Transition의 기하를 구성할 때에 두 State를 단순히 잇는 선분을 사용하게 되면 Fig. 11에서 적색 점선으로 나타낸 것과 같이 CellSpace의 외부를 통과하는 일이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 바닥면을 삼각화한 후, 삼각형 변의 중점을 이어서 Transition의 기하로 사용하도록 한다 (Fig. 11의 청색 실선).

### 6.3 공간 속성 부여

마지막으로 구성된 CellSpace들을 특성에 따라 하위클래스인 GeneralSpace, ConnectionSpace, TransitionSpace로 분류하는 작업을 수행하도록 한다. 우선 출입문 검출 과정에서 구성된 CellSpace들은 모두 ConnectionSpace로 분류를 한다. 최초 단계에서 검출된 CellSpace들은 강의실이나 사무실과 같은 일반적인 방을 나타내는 공간(GeneralSpace)과 통로 역할을 하는 복도를 나타내는 공간(TransitionSpace)으로 분류하도록 한다. 이들의 가장 큰 차이점은 해당 공간과 연결된 인접한 공간이 몇 개가 존재하는지와 연관되어 있다. 방의 경우에는 출입문이 일반적으로 1-2개에 그치지만, 복도는 많은 경우 수십개의 방과 연결되어 있을 수도 있다. 따라서 인접 연결관계 그래프 상에서의 차수(degree), 즉 자신과 연결된 단위공간의 수를 기준으로하여 일반적인 방을 나타내는 GeneralSpace와 복도나 통로를 나타내는 TransitionSpace로 분류할 수 있다.



## 7. 실험 및 결과

### 7.1 실험 데이터

실험을 위하여 공개데이터인 S3DIS 데이터셋에 있는 포인트 클라우드 데이터(Armeni *et al.*, 2016)를 이용하였다. 데이터는 총 6개의 포인트 클라우드로 이루어져 있으며, 각 포인트 클라우드는 건물의 한 층에서 측정된 결과이다. 데이터 규모와 특성은 Table 2에 요약되어 있으며, 그 중 Area 1 가시화 결과가 Fig. 12에 나타나 있다. 원 데이터에는 좌표값 이외에도 각 점에 대한 색상정보(RGB)가 추가적인 속성으로 부여되어 있으나, 본 실험에서는 색상정보는 이용하지 않고 추가 정보가 없는 단순한 점의 집합으로써 활용을 하였다.

Table 2. Dataset used in the experiments

Data	Number of Points ( $\times 10^6$ )		Area ( $m^2$ )	#Unit Spaces (Room, Corridor, etc)
	Raw	Subsampled		
Area 1	44.0	1.13	965	45
Area 2	47.3	1.20	1,100	39
Area 3	18.7	0.49	450	24
Area 4	43.5	1.11	870	49
Area 5	78.6	2.00	1,700	55
Area 6	41.4	1.07	935	53

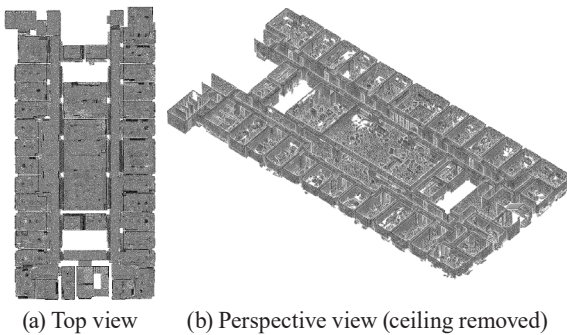


Fig. 12. Point cloud data used in the experiment (Area 1)

### 7.2 실험 결과

벽면 추출을 위해서 바닥으로부터 눈높이 정도에 해당하는 1.5-1.8m 높이의 점들 중 법선 벡터의 Z-성분이 0.05 이

하인 점들을 추출하였다(Fig 13(a)). 공간 검출을 위한 직사각형 공간 확장에 사용된 매개변수는  $d_f = 10$ ,  $d_w = 1$ ,  $n_f = n_w = 1$ 이다. 이 값은 간격 1cm의 그리드 상의 값이므로, 실제 좌표계 상으로는 10cm 이내에 참조점이 있으면서 벽면점이 없는 방향을 선택하여 1cm씩 확장해나가는 것을 의미한다. 필터링을 위한 직사각형 변의 길이 임계값은  $\theta_w = 1m$ 로 설정하였으며, 다각형 단순화를 위한 매개변수는  $\delta_1 = 2cm$ ,  $\delta_2 = 20cm$ 를 사용하였다. 출입문 검출을 위한 매개변수로는  $\theta_g = 50cm$ 를 사용하였으며, 이들을 이용하여 공간 및 출입문을 검출한 결과는 Fig. 13(b)와 같다. 회색으로 표시된 영역이 검출된 각 단위공간이며, 출입문에 해당하는 공간은 주황색으로 나타나있다. Fig. 13(c)는 이를 바탕으로 인접관계를 연결하고 쌍대공간 상의 노드와 에지를 논문에서 제안한 방법에 따라 각기 대응되는 단위공간 내에 위치하도록 설정한 결과를 나타낸다. 이 정보를 바탕으로 3차원 기하를 구성하고 이를 IndoorGML로 저장하였다. 이 과정에서 IndoorGML 데이터 생성을 위한 인터페이스를 제공하는 RESTful 서버인 InFactory 소프트웨어<sup>3)</sup>를 이용하였다. 최종적으로 구축된 IndoorGML 데이터를 시각화도구인 InViewer<sup>4)</sup>로 나타낸 결과가 Fig. 14(a)에 나타나있다. 비교를 위하여 기존 연구(Nan and Wonka, 2017)을 이용하여 전체 데이터의 기하 재구성 결과를 Fig. 14(b)에 나타내었다. 기존 기법은 하나의 방과 같은 단일 공간의 기하를 재구성하는 데 적합하도록 설계되었기 때문에 개별 공간이 세부적으로 재구성 되는 대신 전체적 형상만 단순하게 표현되었다.

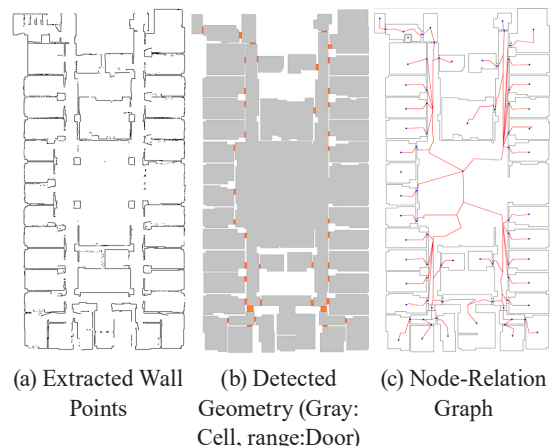
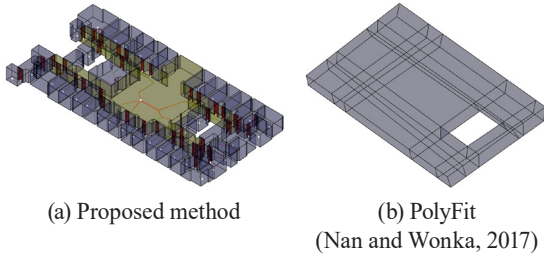


Fig. 13. Constructed underlying geometries and the connectivity graph on Area 1

3) InFactory, <https://github.com/STEMLab/InFactory>

4) InViewer, <https://github.com/STEMLab/InViewer-Desktop>



**Fig. 14. Constructed IndoorGML data for the entire floor of Area 1**

실험 과정에서 수행시간과 성능을 측정하여 Table 3에 기술하였다. 포인트 클라우드로부터 메쉬를 구성하는데 주로 사용되는 푸아송 평면 재구성 기법도 적용해보았지만 수행시간이 10시간 이상 소요되어 사실상 활용이 불가능하였다. 성능 지표로는 재구성된 면을 XY평면에 사영시켰을 때 바닥면에 해당하는 점들을 포함하는 비율(floor coverage)과 벽면 점이 재구성된 벽면으로부터 떨어진 거리가 20cm 이하가 되는 점들의 비율(wall coverage)을 계산하였다. 기존 연구는 전체 공간을 하나의 공간으로 나타내었기 때문에 벽면 점들이 재구성된 면으로부터 멀리 떨어져있고, 일부 구조만 재구성되었기 때문에 성능이 매우 낮게 나왔고, 수행 시간이 제안 기법에 비해 평균 1.6배 오래 걸렸다. 또한 5번 포인트 클라우드 데이터에 대해서는 면 구성에 완전히 실패하였다.

<p><b>Point cloud</b></p>		
<p><b>PolyFit (Nan and Wonka, 2017)</b></p>	<p>(Failed to construct a closed polyhedron)</p>	<p>(room in the middle is missing)</p>
<p><b>Proposed</b></p>	<p>(a)</p>	<p>(b)</p>

**Fig. 15. Comparison of reconstructed geometries from partial structures**

기존 기법(Nan and Wonka, 2017)을 활용함에 있어서 개별의 단위 공간으로 분할(segmentation)한 후 각각의 개별 공간에 대하여 기하를 재구성하는 방법을 취할 수 있지만, 완벽하게 분할되었다고 가정하여 수행하는 경우에도 긴 복도와 같은 경우에는 기하 추출에 실패함을 확인할 수 있었다. 또한 포인트 클라우드 측정이나 분할 시에 다양한 오류들이 발생할 수 있는데, 이로 인하여 개별 공간이 평면 재구성에 적합하게 분할되지 않는 경우 많은 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어 포인트 클라우드 측정 당시의 오류나 후처리 과정, 또는 분할 과정에서 방의 한쪽 벽면의 포인트 클라우드가 면을 이를 만큼 충분히 존재하지 않는 경우가 발생할 수 있다(Fig. 15(a)). 이러한 경우 기존 기법은 육면체를 이루는 한쪽 면이 애초에 존재하지 않기 때문에 닫힌 기하를 생성하는데 완전히 실패하게 된다. Fig. 15(a)의 가운데 그림은 기하 구성을 위해 추출된 면들을 보여주고 있는데 후면에 위치해야 할 벽면이 처음부터 추출되지 않게 됨을 알 수 있다. 반면 하단의 제안 기법은 육면체 기하를 성공적으로 재구성하였다. 포인트 클라우드 분할 시에 다수의 인접한 개별 공간이 추출되는 경우(Fig. 15(b))에도 기존 기법은 인접한 두 개의 벽면을 하나의 평면으로 합쳐서 추출하게 되어 가운데에 있는 방의 벽면을 구성할 평면이 존재하지 않게 되는 현상을 관찰할 수 있었다. 이로 인하여 가운데에 위치한 방이 결과에 정상적으로 반영되지 않았다. 또한 천장에 해당하는 평면이 오차로 인하여 2개가 추출이 되었는데, 이로 인하여 3개의 독립적이어야 할 개별 공간들이 비정상적으로 결합된 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이에 비하여 제안 기법은 개별 공간들을 적절히 분리하여 성공적으로 기하를 재구성함을 확인할 수 있었다.

제안 기법을 통하여 전체 데이터에 대한 재구성을 수행하였을 때 전반적인 건물의 구조가 잘 반영되었지만 일부 개선해야 할 점을 관찰할 수 있었다. Fig. 16(a)와 같이 긴 유리벽이나 의미적으로는 분리된 공간이지만 넓은 영역에 걸쳐 연속적으로 이어진 공간의 경우, 이를 완벽하게 분리하지 못하고 하나의 공간으로 합쳐지는 것을 관찰하였다. 이로 인하여 본래는 두개의 긴 복도와 개별적인 회의실이 합쳐져서 하나의 큰 CellSpace가 생성되는 결과로 이어졌다. 만약 직사각형 영역을 병합하는 과정에서 필터링 임계치인  $\theta_g$ 를 높은 값으로 설정하게 되면 이러한 공간 역시 분리할 수 있겠지만, 반대로 크기가 작은 공간들을 검출하지 못하게 되는 문제점이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 각 구역별로 적응적인 임계값 설정을 수행할 수 있는 방법을 모색해야 할 것으로 판단된다. 또한 Fig. 16(b)와 같이 문이 닫혔을 때 측정된 포인트 클라우드의 잔상으로 인하여 출입문을 성공적으로 검출하지 못하

Table 3. Experimental results

Data	Execution Time (sec)		Floor Coverage		Wall Coverage (@20cm)	
	Baseline	Proposed	Baseline	Proposed	Baseline	Proposed
1	333.59	70.31	0.745	0.963	0.159	0.939
2	183.44	141.50	0.554	0.952	0.100	0.905
3	453.98	26.21	0.553	0.954	0.168	0.892
4	488.95	61.89	0.351	0.963	0.081	0.886
5	366.53	125.11	N/A	0.966	N/A	0.910
6	432.37	65.22	0.803	0.973	0.114	0.944

게 되어 고립된 방이 한 군데 발생하였다. 이를 해결하기 위해서는 단순히 벽면을 검출하고 곧바로 사영을 내리는 것이 아니라 추가적인 노이즈 제거 기법을 적용할 필요성이 있다. Fig. 16(c)는 화장실과 같은 공간에서 개별 칸막이 내의 공간(A)과 같이 매우 작은 분리된 공간이 있는 경우 해당 영역들이 모두 필터링되어 최종 결과에 반영되지 않는 부분이 있었다. 또한 같은 그림의 (B)와 같이 벽면이 반사가 잘 되는 재질로 되어 있는 등의 이유로 인하여 건물 공간 밖에 실제로는 존재하지 않는 구조에 대한 포인트 클라우드가 측정됨에 따라 해당 지점에 독립적인 단위 공간이 검출되는 문제점도 있었다. 이러한 오류들 역시 특정 구역의 지역적 특성에 따른 적응적인 임계값 조절을 통하여 노이즈를 제거하거나 작은 영역을 필터링하지 않고 남겨두는 등의 추가적인 보완을 통하여 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

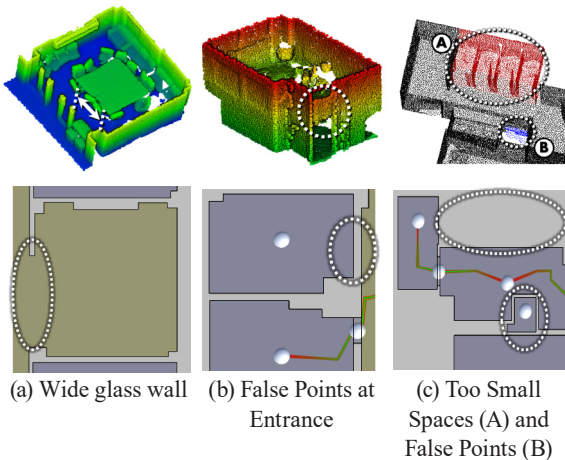


Fig. 16. Failure Cases of the proposed method

## 8. 결론 및 향후 연구

LiDAR 센서 및 카메라와 같이 실내공간을 측정할 수 있는 기술이 발전하면서 측정된 데이터를 이용하여 실내공간을 자동적으로 모델링할 수 있는 방법의 중요성이 증가하고 있다. 또한 모델링된 데이터의 범용성과 가용성을 위해 표준화된 형태로 구성할 필요가 있다. 본 논문에서는 포인트 클라우드 데이터로부터 실내공간을 모델링한 후 이를 실내공간 국제표준인 IndoorGML 데이터의 규격에 맞게 필요한 정보를 추출하고 재구성하는 방법을 제안하였다. 제안 기법은 각 단위 공간에 대한 자유 공간을 검출한 후 이들 간의 연결 관계를 도출함으로써 전체적인 데이터를 구성하는 과정으로 이루어져 있으며, 실험을 통하여 입력 포인트 클라우드에 대한 실내 공간 모델이 IndoorGML 규격에 적합하게 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 부분적으로 추출한 포인트 클라우드 데이터에 대하여 비교 실험을 수행한 결과 기존 기법에 비하여 다양한 오차 유형에 강인한 면을 보임을 관찰할 수 있었다.

추후에는 실험을 통하여 관찰된 일부 구조가 미검출 또는 오검출 되는 부분을 해결하기 위하여 노이즈 필터링 기법을 추가하고, 최적의 매개변수를 찾는 문제를 다루고자 한다. 특히 데이터의 지역적 특성에 따라 적응적인 매개변수 조절 기법을 도입함으로써 전반적인 성능을 개선시킬 것이다. 또한 실내에 위치한 책상이나 옷장과 같은 대형가구에 의하여 탐지되는 벽면이나 천장이나 바닥의 높이가 일정하지 않은 경우를 해결하기 위해 다양한 높이에서 2차원 공간탐지를 수행한 후 병합하는 방향으로 본 논문의 기법을 확장할 수 있는데, 이와 관련되어 발생하는 다양한 문제들에 대하여 다루고자 한다. 추가적으로 실내공간 상에서 표현할 수 있는 다양한 특징들을 자동적으로 탐지 및 구축할 수 있는 방법에 대하여도 연구를 수행할 예정이다.

## 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부의 재원으로 국토교통부 국토공간정보연구사업 (20NSIP-B135746-04)의 연구비 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.

## References

- Armeni, I., Sener, O., Zamir, A.R., Jiang, H., Brilakis, I., Fischer, M., and Savarese, S. (2016), 3D semantic parsing of large-scale indoor spaces, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 27-30 June, Las Vegas, NV, USA, pp.1534-1543.
- Claridades, A.R., Lee, J., and Blanco, A. (2018), Using omnidirectional images for semi-automatically generating IndoorGML data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 36, No. 5, pp. 319-333.
- Jang, H., Yu, K., and Yang, J.H. (2020), Indoor reconstruction from floorplan images with a deep learning approach, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 9, No. 2, pp. 65:1-15.
- Joo, C.H., Kim, J.S., and Li, K.J. (2012), Method for generating IndoorGML derived from CityGML, *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*, 12 October, Seoul, Korea, pp.38-41. (in Korean)
- 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. 116:1-25.
- Kazhdan, M., Bolitho, M., and Hoppe, H. (2006), Poisson surface reconstruction, *The 4th Eurographics Symposium on Geometry Processing*, 26-28 June, Cagliari, Italy, pp.61-70.
- Li, K.J. and Kim, D.M. (2018), Converting triangulated 3D indoor mesh data to OGC IndoorGML, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 36, No. 6, pp. 499-505. (in Korean with English abstract)
- Mirvahabi, S.S. and Abbaspour, R.A. (2015), Automatic extraction of IndoorGML core model from OpenStreetMap, *International Archive of the Photogrametry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. XL-1/W5, pp. 459-462.
- Mura, C., Mattausch, O., and Pajarola, R. (2016), Piecewise-planar reconstruction of multi-room interiors with arbitrary wall arrangements, *Computer Graphics Forum*, Vol. 35, No.7, pp. 179-188.
- Nan, L. and Wonka, P. (2017), PolyFit: polygonal surface reconstruction from point clouds, *IEEE International Conference on Computer Vision*, 22-29 October, Venice, Italy, pp.2372-2380.
- Ochmann, S., Vock, R., Wessel, R., and Klein, R. (2016), Automatic reconstruction of parametric building models from indoor point clouds, *Computers & Graphics*, Vol. 54, pp. 94-103.
- Qi, C.R., Su, H., Mo, K., and Guibas, L.J. (2017), PointNet: deep learning on point sets for 3D classification and segmentation, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 21-26 July, Honolulu, HI, USA, pp.77-85.
- Sanchez, V. and Zakhor, A. (2012), Planar 3D modeling of building interiors from point cloud data, *IEEE International Conference on Image Processing*, 30 September-3 October, Orlando, FL, USA, pp.1777-1780.
- Schöps, T., Sattler, T., and Pollefeys, M. (2019), SurfelMeshing: online surfel-based mesh reconstruction, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 42, No. 10, pp.2494-2507.
- Srivastava, S., Maheshwari, N., and Rajan, K.S. (2018), Towards generating semantically-rich IndoorGML data from architectural plans, *International Archive of the Photogrametry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. XLII-4, pp. 591-595.
- Teo, T.A and Yu, S.C. (2017), The extraction of indoor building information from BIM to OGC IndoorGML, *International Archive of the Photogrametry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. XLII-4/W2, pp. 167-170.
- Williams, F., Schneider, T., Silva, C., Zorin, D., Bruna, J., and Panozzo, D. (2019), Deep geometric prior for surface reconstruction, *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 15-20 June, Long Beach, CA, USA, pp.10122-10131.