

건축물 평면 형상 역설계 자동화를 위한 Scan-to-Geometry 맵핑 규칙 정의

Scan-to-Geometry Mapping Rule Definition for Building Plane Reverse engineering Automation

강태욱¹⁾

Kang, Tae-Wook¹⁾

Received May 11, 2019; Received June 29, 2019 / Accepted July 01, 2019

ABSTRACT: Recently, many scan projects are gradually increasing for maintenance, construction. The scan data contains useful data, which can be generated in the target application from the facility, space. However, modeling the scan data required for the application requires a lot of cost. In example, the converting 3D point cloud obtained from scan data into 3D object is a time-consuming task, and the modeling task is still very manual. This research proposes Scan-to-Geometry Mapping Rule Definition (S2G-MD) which maps point cloud data to geometry for irregular building plane objects. The S2G-MD considers user use case variability. The method to define rules for mapping scan to geometry is proposed. This research supports the reverse engineering semi-automatic process for the building planar geometry from the user perspective.

KEYWORDS: 3D Point cloud, Reverse engineering, scan, geometry, mapping rule definition, S2G-MD

키 워 드: 건축물, 3차원 포인트 클라우드, 스캔, 형상, 맵핑, 규칙 정의

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 유지보수, 정밀시공 등의 목적으로 스캔 프로젝트가 점차 많아지고 있다(Kang, 2018). 스캔 데이터는 유용한 데이터를 포함하고 있으며, 이는 3차원 공간과 관련 정보로부터 목표된 어플리케이션에서 생성될 수 있다.

3차원 이미지 스캔 데이터에서 형상 정보를 추출하기 위해서는 모델링 작업을 해야 한다. 모델링을 수행하는 비용은 도면에서 BIM(Building Information Modeling) 모델링하는 방식에 비해 많은 시간과 비용을 소모한다. 형상 모델링 비용은 작업 현장의 크기, 프로젝트 유형(긴급성) 변수에 영향을 받는다. 프로젝트 유형은 계획, 설계, 유지보수, 시공 등에 따라 LoD(Level of Detail), 정밀도, 작업 현장 크기 등이 달라진다. 이런 이유로, 스캔 데이터에서 획득한 3차원 포인트 클라우드(point cloud)를 3차원 객체로 변환하는 것은 시간이 오래 걸리는 작업이며, 모델링 작업

은 아직 수작업이 많다.

예를 들어, LiDAR(Light Detection And Ranging)에서 획득한 3D 포인트 군을 캐드 형상으로 모델링하는 것은 시간이 오래 걸리는 작업이며, 아직은 수작업이 많다. 최근, 캐드와 GIS(Geographic Information System) 소프트웨어 벤더사들은 특정 응용을 위한 포인트 클라우드 기반 역설계 방법을 지원하고 있다. 다만, 이런 상용 소프트웨어에서 제공하는 방식은 고정되어 있어, 사용자가 원하지 않는 형상이 생성되는 경우가 많다. 이런 문제는 사용자가 형상 역설계 방법을 직접 조작하고 사전 계획할 수 있는 방식으로 개선할 수 있다.

이 연구는 사용자 관점에서 벽체, 바닥, 천장, 문, 창호 등 건축물 평면객체에 대한 포인트 클라우드 데이터를 형상으로 맵핑하는 S2G-MD(Scan-to-Geometry Mapping Rule Definition) 방법을 제안한다. S2G-MD는 사용자 유스케이스 가변성을 고려한다. 이를 위해, 스캔 데이터를 형상으로 맵핑하는 규칙을 정의하는 방법을 제안한다. 이 연구는 사용자 관점에서 건축물 평면형

¹⁾정회원, 한국건설기술연구원, 연구위원 (laputa99999@gmail.com) (교신저자)

상에 대한 역설계 프로세스 자동화를 지원한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 논문의 연구 방법은 다음과 같다.

스캔 데이터에서 형상으로 맵핑하는 방법을 정형화한 연구를 살펴본다. 동향 조사를 통해 본 연구와의 차이점과 아이디어를 살펴본다. 이를 바탕으로, 맵핑에 필요한 시스템 컴포넌트와 구조를 정의하고, 맵핑 프로세스를 정형화할 수 있는 규칙을 정의한다. 제안된 개념을 바탕으로 프로토타입을 개발하고, 효과와 한계점에 대해 평가한다. 이후, 향후 연구 방향을 제안한다. 단, 본 연구는 스캔에서 평면 형상을 맵핑하는 규칙 기반 알고리즘을 제안하고, 프로토타입 개발을 통해 활용 가능성을 확인하는 범위에서 연구를 진행하였음을 밝힌다.

2. 문헌조사1

건축 분야 역설계 기술 개발에 관련된 연구는 아직 그리 많지가 않으며, 대부분 관련 연구들은 역설계 지침에 초점이 맞춰져 있다. 기계제조 분야에서 역설계 연구는 캐드 모델링에 연구가 되어 있으나 건축 분야 특성을 고려하고 있지는 않다.

해외 관련 연구는 모듈러 건축 기반 리노베이션에 스캔 데이터를 활용한 연구가 있었다. Borodinecs (2018)가 진행한 이 연구는 스캔 데이터를 리노베이션에 효과적으로 활용하는 방법을 제안하고 있다. Bhatta (2012)는 as-built 3차원 모델링 정밀도 평가에 대한 연구를 하였다. Liu (2018)은 3차원 스캔 데이터에서 건축 바닥 평면을 재구성하는 방법을 제안하였다. 이 연구는 딥러닝을 사용해 바닥 스페이스 기능을 구분하는 데 초점을 둔다. Ding (2019)는 건축물 리노베이션 프로젝트를 위해 역설계 기술을 활용한 디지털 건설 프레임워크 통합 정보 모델을 제안하였다. 이 연구는 스캔 기술을 이용해 모델링하는 과정을 자동화한 것이 아닌 BIM 모델 및 연계 데이터를 연계하고 사용하는 방법에 초점을 맞춘다. Murphy (2013)은 지상 LiDAR를 이용해 목조 건축물을 역설계하는 효과적인 방법을 제안하고 있다. 이 연구는 자동화보다는 작업 방법에 초점을 맞추고 있다.

국내 연구는, 포인트 클라우드를 이용해 MEP 객체를 역설계 하는 시스템에 대한 연구가 있었다. Kang (2016)이 진행한 이 연구는 MEP 역설계를 위한 시스템 구조를 분석하는 것에 목적이 있다.

Lee (2013)는 3차원 형상정보 획득기술을 이용하여 플랜트 품질관리를 위해 배관의 3차원 모델링 데이터와 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 3차원 포인트 클라우드 매칭 알고리즘을 제안하고 검증을 통해 플랜트 배관 시공관리 방안을 제시하였다. Kang

(2014)은 효과적 건축 MEP 객체 역설계를 지원하기 위한 시스템 아키텍처를 제안하고, 프로토타입을 개발하여 개선사항을 도출하였다. 이외 Yoo(2013)은 목조건축문화재 역설계를 위해 지상 라이더 기반의 문화재 스캐닝 데이터를 취득·가공하여 역설계 도면을 작성하고 이를 동일 대상물에 대한 기존 기본도면과 비교·분석하였다.

앞서 언급한 대부분의 연구는 스캔 데이터를 형상으로 역설계 하는 지침 및 알고리즘 구현에 대해 초점이 맞춰져 있으며, 역설계 프로세스 절차를 규칙화하는 본 연구와는 차이가 있다.

이 연구는 건축물 평면객체에 대한 포인트 클라우드 데이터를 형상으로 맵핑하는 S2G-MD(Scan-to-Geometry Mapping Rule Definition) 방법 개발에 초점을 맞춘다. S2G-MD는 사용자가 가능한 규칙 정의를 제공하여, 역설계 자동화에 유연성과 가변성을 줄 수 있다.

3. S2G-MD 시스템

3.1 개요

이 장에서는 형상 역설계 프로세스 자동화와 관련해 건축물 평면객체에 대한 스캔 데이터인 포인트 클라우드를 형상으로 맵핑하는 방법을 기술할 수 있는 S2G-MD 방법을 기술한다. 건축물 평면객체는 벽체, 바닥, 천장, 문, 창호와 같이 평면이 기본 형상인 객체를 의미한다.

S2G-MD 은 스캔된 3차원 포인트 클라우드에서 3차원 평면 형상으로 재구성한다. 아울러, 유스케이스 관점에서 다를 수 있는 역설계 프로세스를 사용자화하여 다양한 응용 목적에 부합할 수 있는 가변성을 지원한다.

3.2 시스템 구조

S2G-MD 시스템은 스캔 데이터에서 형상으로 맵핑하는 규칙을 제공한다. 이를 위해서는 규칙 정의 방식, 규칙 정의에 필요한 필터링, 대용량 포인트 클라우드를 격자(grid)로 분할하기 위한 컴포넌트, LoD(Level Of Detail) 처리, 세그먼테이션, 스캔 데이터를 단면화하는 함수, 스캔 데이터를 연결선으로 변환하는 함수, 연결선에서 3차원 형상을 만드는 함수가 필요하다.

이 중에서 세그먼테이션, 포인트 클라우드 외곽선 추출, 외곽선을 이용해 3차원 형상을 만드는 컴포넌트는 S2G-MD에서 형상을 모델링하는 데 중요한 기능을 제공한다.

포인트 클라우드에서 평면을 추출하는 것은 PCA(Principal component analysis), RANSAC(Random sample consensus) 함수를 이용한다.

Figure 1과 Table 1은 이 내용을 정의한 것이다.

Table 1. S2G-MD Component Role Definition

Component	Role
PCD	Point cloud data (PCD) management module
scan_to_filter	Filtering module to remove noise of scanned PCD
scan_to_grid	Processes grid for large capacity processing of scanned PCD
scan_to_LOD	Modules that adjust the level of detail (LOD) for processing large amounts of data in the scanned PCD
computational_geometry	It is a computational geometry processing module. For example, it supports numerical analysis functions such as matrix calculation.
S2G_mapping	A module related to mapping scan data to geometry.
S2G_mapping_rule	Defines rules when mapping scan data to geometry
scan_to_hull	The PCD mapped on the plane is straightened, and the outline is extracted.
line_to_smoothing	Smooths extracted planar contour lines
scan_to_merge	Combine the contour lines that are close to each other in the extracted outline lines.
scan_to_plane	Map scan data to a planar shape

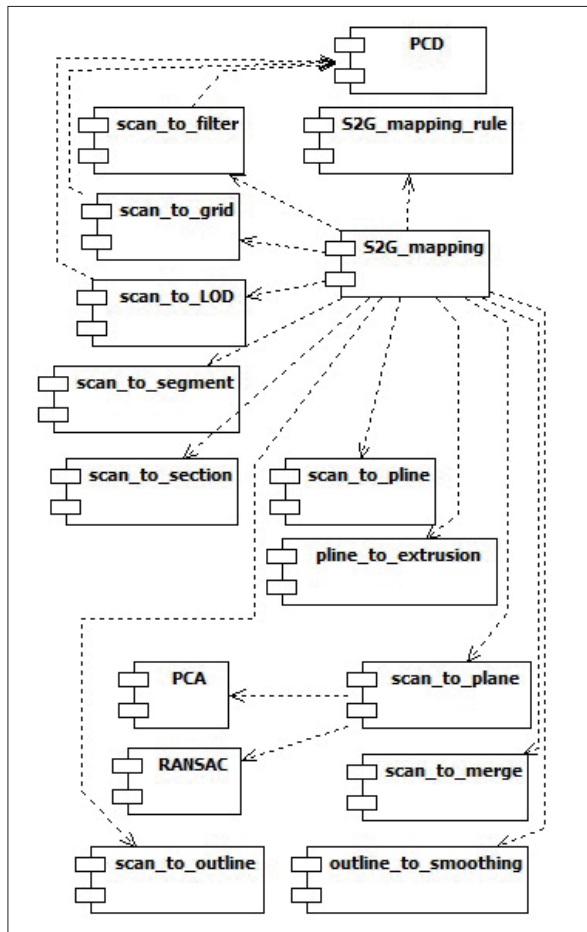


Figure 1. S2G-MD Component Architecture (UML)

3.3 알고리즘

이 장에서는 S2G-MD를 구현하기 위한 알고리즘을 기술한다. 이 알고리즘은 스캔된 대용량 PCD(Point Cloud Data)를 고려하여, 대용량 데이터를 분할 공략하여 처리한다. 이를 위해, 포인트 클라우드를 격자 단위로 분할되고, 각 그리드 내 PCD에서 형상을 추출하는 과정을 수행한다.

스캔에서 형상을 추출하는 매핑 과정과 결과물은 유스케이스(usecase) 관점에 따라 다를 수 있다. S2GM(Scan To Geometry Mapping) 기술은 맵핑 함수를 정형화해서, 맵핑 과정을 사용자화할 수 있다.

사용자화되는 맵핑 과정은 크게 다음과 같이 나눌 수 있으며, S2GM은 두 가지 모두를 지원한다.

M1. 건축물 평면 기반 형상 역설계: 3차원 평면 형상 추출 가능. 벽체, 천장, 바닥에 대한 평면 형상 맵핑함

M2. 건축물 단면 기반 형상 역설계: 실내 건축 공간 단면에서 추출 가능한 벽체 평면 형상 만 추출 가능. 바닥과 천장 평면 형상은 미리 정의된 값으로 추정해 생성

Figure 2는 S2G-MD 전체 알고리즘을 보여준다. 다음은 이 중에서 M1 맵핑방식에 대한 S2GM 프로세스를 상세히 기술한 것이다.

3.3.1 get PCD

이 단계는 PCD파일 데이터를 접근할 수 있도록 한다. get PCD 단계를 수행하여 PCD파일을 접근할 수 있는 핸들(handle)을 얻는다. 핸들은 PCD파일 경로가 포함되어 있다. PCD파일은 point 집합이며, 저장된 순서는 없다. point는 x, y, z값과 data가 포함될 수 있다. data는 법선 벡터, 반사강도, RGB값을 갖을 수 있다. 법선 벡터는 평면의 곡률 등을 계산할 때 사용된다. 각 data 값은 세그멘테이션할 때 필요한 정보를 제공한다.

```

PCD={point*}
point={x, y, z, data}
data={normal, intensity, RGB}
normal=법선 벡터
intensity=반사 강도
RGB={red, green, blue}
*=multiple
    
```

3.3.2 create GRID

스캔된 데이터는 수백만에서 수천만 포인트 이상인 빅데이터이다. 이 데이터를 직접 메모리에 로딩해 처리하기가 어려우며

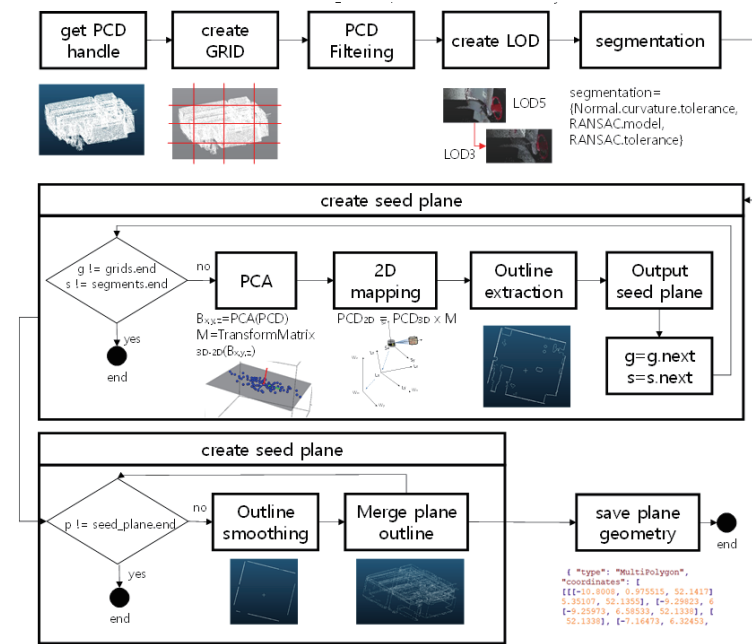


Figure 2. S2G-MD algorithm

로, 격자 단위로 PCD를 분할한다. 이후 처리 과정은 분할된 PCD 별로 데이터가 처리된 후, seed plane 형상이 추출되어 데이터가 간략화된 후에는 병합되어 처리된다. 병합 전략은 다양할 수 있으며, Convex hull과 같은 알고리즘이 될 수 있다. 이런 병합 전략은 산출물 결과에 영향을 주게 되므로, 사용자 유스케이스 관점에 따라 달라질 수 있어야 한다.

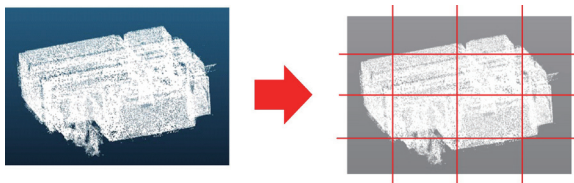


Figure 3. Divided point cloud by grid

3.3.3 PCD filtering

필터링은 포인트 클라우드에 포함된 노이즈 등을 제거할 때 사용된다. 여기서는 다음 두 가지 옵션을 고려하고 있다.

A. PCD clustering: 분리된 grid의 PCD에서 밀도에 따른 clustering 알고리즘을 이용해, cluster를 생성함

B. Remove noise cluster: 밀도가 낮은 noise cluster를 제거함
두 가지 옵션 및 관련 파라미터는 스캔 데이터를 어떻게 활용 할지에 따라 사용될 수 있어야 한다. 이는 사용자가 맵핑 규칙을 정의할 때 지정된다.

3.3.4 create LoD

대용량 포인트 클라우드는 처리하는 시간과 비용면에서 문제가 있을 수 있다. 특히, 매우 높은 정확도가 요구되지 않는 유스케이스에서 불필요하게 밀도 높은 포인트 클라우드를 사용할 필요는 없다. 이 경우, LoD를 조정해 이 문제를 해결할 수 있다.

각 grid에 포함된 PCD의 LoD를 미리 정해진 LoD로 생성한다. LoD는 다음과 같이 정의된다.

$LoD = \{LoD_name, LoD_density, sampling_method\}$

LoD_name=LoD 이름

LoD_density=point 간 거리

sampling_method=LoD_density의 대표 point 샘플링 방법 정의

3.3.5 segmentation

각 grid의 PCD에서 곡률과 형상 유사도에 따라 segment를 생성한다. Region growing 알고리즘과 RANSAC을 사용한다. Region growing은 특정 점으로부터 근처에 있는 점군을 검색한 후, 유사도를 계산해 세그먼트에 포함될 점을 결정한다. RANSAC은 평면 방정식과 주성분분석 기법을 이용해 평면 파라미터를 추출할 수 있다.

3.3.6 create seed plane

A. PCA

주어진 PCD에서 PCA(주성분 분석)를 통해, 차원을 축소하기 위한 기저 벡터를 얻는다.

B. 2D mapping

주어진 PCD를 3차원에서 2차원으로 축소한다. 이를 위해, PCA에서 얻은 기저 벡터를 이용해, 차원 변환 행렬 M을 구하고, 3D PCD에 적용해 2D PCD를 계산한다.

C. Outline extraction

차원 축소된 2차원 PCD에서 외곽선을 추출한다. 외곽선 추출 방법은 concave hull, convex hull을 선택할 수 있다.

D. Output seed plane

추출된 외곽선을 geojson파일로 출력한다.

3.3.7 create seed plane

A. Outline smoothing

추출된 외곽선은 수많은 point들로 연결되어 있는 polyline이다. 가까에서 보면 polyline이 거칠다. 시공된 물체의 표면은 원래 매끄럽지 않고 곡률이 일정하지 않고 거칠다. 아울러, 스캐너 특성에 따라 스캔된 point가 재질에 따라 noise가 포함된다. 이런 이유로 거친 polyline이 생성된다. 이를 smoothing하는 과정이 필요하다. smoothing알고리즘은 polyline근사법을 사용한다.

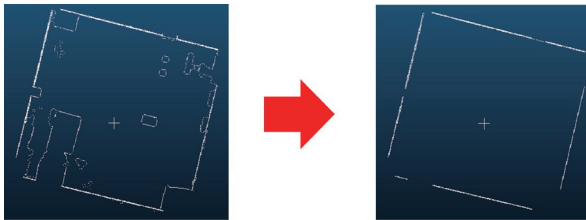


Figure 4. Plane outline extraction

B. Merge plane outline

polyline으로 정의된 polygon은 분리된 grid에 따라 생성되어 있어, 원래 평면 형상으로 병합해야 한다.

병합된 형상은 산업계에서 표준적으로 활용하고 있는 GeoJSON 파일로 저장된다. 이 파일은 간단한 형식으로 형상과 속성을 함께 표현할 수 있다.

```
{ "type": "MultiPolygon",
  "coordinates": [
    [[[-10.8008, 0.975515, 52.1417]
      5.35107, 52.1355], [-9.29823, 6
      [-9.25973, 6.58533, 52.1338], [
      52.1338], [-7.16473, 6.32453,
```

Figure 5. Plane outline polygon data

4. S2G-MD 모델

4.1 연산자 정의

이 장에서는 스캔 데이터에서 형상으로 맵핑 작업을 자동화하기 위한 S2G-MD의 개념적 모델과 물리적 구현에 필요한 요구사항을 기술한다. S2G-MD는 맵핑 지원 연산자(MS-OP, mapping support operator)와 연산자 파라미터의 순서집합으로 정의되어 확장성을 고려한다.

Table 2. MS-OP(Mapping Support Operator) Definition

Component	Operator	Function
S2G_mapping	set Dimension Unit	Set the unit of measure. Inputs are dimension units by length and angle
scan_to_LOD	defineLOD	The input is a grid_space value that defines the LOD name and LOD semantics, sampling specifies how to get representative points in the space partitioned by grid_space sampling = {near_point, middle_point, average_point} near_point = grid get closest point in center middle_point = Calculate and obtain center point in grid average_point = Get the mean of all points in grid
PCD	loadPCD	The input is the path where the PCD file is located, and the output is the loaded PCD object.
scan_to_grid	createGrid	Input is PCD, grid interval, output is divided grid and partitioned PCD
scan_to_filter	create Cluster	The input is the grid or PCD, the minimum number of points min_data, the maximum distance between points in the cluster, max_distance, and the output is cluster
	filter_min_data_removal	The input is the minimum number of points contained in the cluster, and the output is a cluster that has not been removed.
scan_to_LOD	createLOD	The inputs are PCD, and the predefined LOD, and the output is the PCD converted according to the LOD
scan_to_segment	Segmentation	Inputs are PCD, region growing algorithm and curvature curvature for applying RANSAC, RANSAC model type model, RANSAC tolerance tolerance.
S2G_mapping	createSeed Plane	The input is the PCD, and the output is the seed plane shape.
	refining Geometry	The input is the grid containing the seed plane shape and the output is the merged plane shape.
S2G_mapping_rule	execute S2GM	The input is the path where the rule script file is located.
scan_to_outline	createOutline	Inputs are PCD, outline calculation mode, tolerance tolerance. The output is an outline shape. The outline is a polyline. mode = {concave_hull, convex_hull} tolerance = tolerance angle
outline_to_smoothing	smoothing Outline	Inputs are outline, allowable value tolerance for smoothing, and output is smoothed outline.
merge_plane	mergePlane	Inputs are plane geometry, tolerance tolerance, and output is a merged plane shape.
scan_to_section	createSection	The input is the PCD, cutting plane, and the output is the 2D PCD mapped to the cutting plane.
scan_to_pline	createPline	The input is the allowable value tolerance of the 2D PCD, RANSAC line model, and the output is the polyline shape to which the line is connected.
pline_to_extrusion	extrude Surface	The input is 2D polyline, extrusion vector, extrusion height, and the result is a protruding surface shape.

S2G-MD={MS-OP*}

*=multiple, 0..n개 까지 반복 가능.

Table 2는 MS-OP를 정의한 것이다. MS-OP는 앞서 정의한 S2G-MD 컴포넌트 역할에 따라 연산자를 구현하고 있다. 예를 들어, scan_to_LoD 컴포넌트는 포인트 클라우드 LoD를 생성하는 defineLoD 연산자를 지원한다. 이런 연산자들을 이용해 스캔 데이터에서 형상으로 맵핑하는 절차를 규칙화한다.

4.2 연산자 작업 흐름 제어

맵핑 절차는 맵핑 연산자를 이용해 정의한다. 이때 사용자가 원하는 결과물을 획득하기 위해 필요한 절차를 정의해야 한다. 이 장에서는 맵핑 절차를 기술하는 방법을 기술한다.

S2G-MD는 각 연산자를 순차적으로 실행하거나 실행 흐름을 제어하는 방법으로 S2G-MCC(Scan-to-Geometry Mapping Control Command)을 제한한다. 제어 명령 구현은 S2G_mapping 컴포넌트에서 수행된다.

Table 3. S2G MCC(Mapping Control Command)

Command	Description	Function
module	{name, [sequence], function*} name = module name [] = Options	Define module
function	{name, var *, sequence*} name = function name	Define function
var	{var, [type], name, [{=, value}] name = variable name value = variable value [] = Optional type = {integer, real, string}	Define variables
sequence	{begin, call if elseif endif while, end}	Define sequential processing structure
begin	none	Define start in sequential processing structure
end	none	Define an end in a sequential structure
equation	{left_var, '=', right_eq} right_eq={('(', var, eq_op, var, ')', [eq_op, right_eq])* eq_op={'+', '-', '*', '/', '**'}	Define equation with condition
call	{name, parameter, [return_value]} name = MS-OP name parameter = {var name, '=', value}* return = {var*}	Invokes MS-OP or function
if	condition	Define conditional statements
elseif	condition	Define conditional statements
while	condition	Define loop
condition	{cp, {and or, cp}*} cp={left var, c-op, right var} c-op={ '<', '>', '<=', '>=', '==', '!=' }	Define conditional statements
return	value	Return value

4.3 구현 방법

S2G-MD와 S2G-MC(Scan-to-Geometry Mapping Control)의 구현은 XML, python과 같은 다양한 언어를 통해 물리적으로 구현될 수 있다.

다음은 XML로 구현한 예를 보여준다. 이 예에서는 역설계 단위를 setDimensionUnit 연산자로 설정하고, LoD 수준을 defineLoD로 정의한다. 대용량 포인트 클라우드를 처리하기 위해 createGrid 연산자를 통해 격자로 분할한다. 이후, segmentation 연산자를 이용해 포인트 클라우드를 세그먼테이션한다.

맵핑 절차와 각 연산자에 입력되는 파라미터는 사용자의 활용 목적에 따라 사용자가 가능하도록 스크립트로 기술된다.

```
<!DOCTYPE S2G "S2G-MCC.dtd">
<S2G>
  <module name='scan to geometry for informal'>
    <sequence>
      <begin>
        <call name='setDimensionUnit'
          parameter='length=meter, angle=degree'/>
        <call name='defineLOD' parameter='LOD2,
          space=2cm, origin=near'/>
        <call name='getPCD' return='PCD'/>
        <call name='createGrid' parameter='PCD, space=5,
          origin=left_bottom' return='grids'/>
        <equation>g=grids.begin</equation>
        <while condition='g != null'>
          <begin>
            <call name='segmentation' parameter='
              g.PCD, Normal.curvature.tolerance=0.1,
              RANSAC.model=plane, RANSAC.tolerance=0.1'
              return='g.segments'/>
            <call name='nextElement' parameter='g'
              return='g'>
          <end>
        </while>
      </sequence>
    </module>
  </S2G>
```

다음은 python으로 구현한 예를 보여준다. 앞서 기술한 XML 방식과 비슷하게 정의할 수 있다. 이 예에서는 세그먼테이션된 후 평면 형상을 생성하고, 주변에 곡률이 비슷한 형상과 합쳐 형상을 재생성하는 refiningGeometry 연산자를 사용하고 있다.

```
setDimensionUnit(length=meter, angle=degree)
defineLoD("LoD2", space=2cm, origin=near)
PCD = getPCD(path)
grids = createGrid(PCD, space=5, origin=left_bottom)
grids = createCluster(grids, min_data=50, max_distance=0.5)
grids = filter_min_data_removal(grids, min_data=100)
grids = createLoD(grids, "LoD2")
for g in grids:
  g.segments = segmentation(g.PCD,
    Normal.curvature.tolerance=0.1, RANSAC.model=plane,
```



```
RANSAC.tolerance=0.1)
geometries = createSeedPlane(grids)
geometries = refiningGeometry(geometries, outline.smoothing.p
runing.perpendicular=0.05)
```

5. 프로토타입 개발

이 장에서는 앞서 기술된 S2G-MD 알고리즘을 일부 구현해 보고, 그 효과를 확인해 본다.

스캔 대상은 도심재생과 관련해 S상가이다. 스캔된 데이터를 정합한 포인트 클라우드를 사용하였다. 스캔 대상은 지하실이며 설비가 복잡하게 노출되어 있다. 이런 이유로 스캔하기 전 그림자 영역을 제거하기 위해 스캔 시뮬레이션을 한 후 스캔 지점들을 결정하였다.

스캔 후 정합은 Faro Scene 소프트웨어를 사용하였다. 개발된 프로토타입의 중간 처리 결과물을 확인하기 위해 PCD 파일 포맷으로 저장하였으며, 이 파일은 CloudCompare를 이용해 확인하였다. 변환된 형상을 가시화해주는 뷰어는 GeoJSON 뷰어와 Revit Addin으로 개발되었다. 맵핑에 활용되는 S2G-MD 스크립트는 XML과 파이썬으로 구현하였다.

Figure 6, Figure 7은 각각 LiDAR로 스캐닝하는 장면과 스캐닝 결과물을 보여준다.



Figure 6. S-commercial building scanning

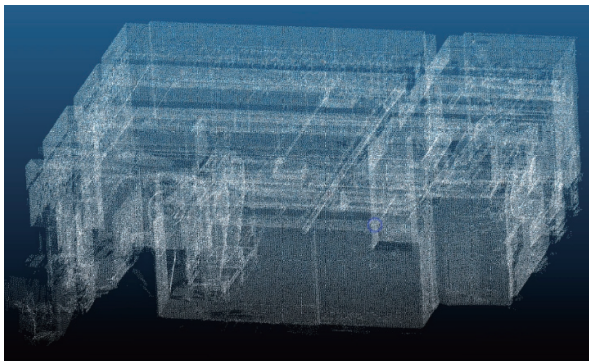


Figure 7. Scan results (point cloud)

Figure 8, Figure 9는 스캔 데이터에서 평면을 PCA와 RANSAC을 이용해 세그멘테이션한 후 맵핑 규칙에 따라 정의된 바닥 평면 형상을 획득한 결과이다. 이 세그먼트의 외곽선을 추출하면 평면을 획득할 수 있다.

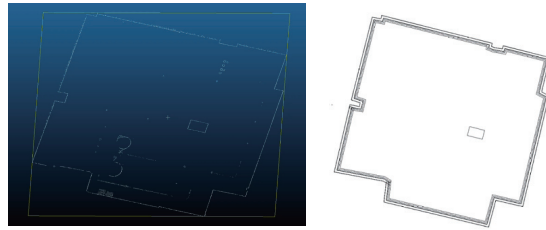


Figure 8. Plane geometry segmentation from 3D point cloud and mapping results

평면 형상을 얻는 데 투입된 노력은 수작업에 비해 효과적이다. 역설계 자동화 효율 연구에 의하면 스캔 대상 복잡도에 따라 생산성은 118 ~ 162%까지 향상될 수 있다(Kang, 2016). 다만, 역설계 자동화 생산성은 스캔 대상의 응용 목적, 크기, 복잡도에 따라 달라질 수 있다.

S2G-MD 방식은 사용자 유스케이스에 따라 규칙을 재 정의할 수 있어 가변성이 있다. 예를 들어, 응용 목적이 정확도가 높지 않아도 되면 맵핑 규칙 정의에서 사용하는 LoD정의 함수인 defineLoD의 파라미터를 목적에 맞게 조정해 활용할 수 있다. 이 경우, 불필요한 데이터까지 처리할 필요가 없어, 이후 작업성이 개선된다.

프로토타입에서 스캔 데이터를 형상으로 맵핑한 결과, 맵핑 객체의 모서리 등 표현시 정확도면에서 이슈가 있어 개선이 필요함을 확인할 수 있었다. 이는 기존 데이터가 부족한 경우, 노이즈를 제거하기 위해 사용한 필터링이 부적절한 경우가 대부분이었다. 제한한 규칙기반 맵핑방식은 이와 관련된 파라미터를 적절히 조정함으로써 좀 더 요구사항에 부합하는 결과물을 얻을 수 있는 가변성을 사용자에게 제공할 수 있다.

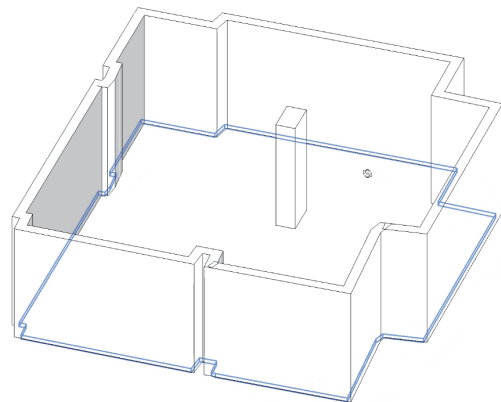


Figure 9. BIM model from geometry

6. 결론

본 연구에서는 스캔 데이터에서 형상으로 맵핑하는 방법을 정
형화한 연구를 살펴보았다. 이를 바탕으로, 맵핑에 필요한 시스
템 컴포넌트와 구조를 정의하고, 맵핑 프로세스를 정형화할 수
있는 S2G-MD 방법을 정의하였다. 제안된 개념을 바탕으로 프로
토타입을 개발해 본 결과, 형상 맵핑 절차를 규칙 기반으로 정의
하여, 신속하게 형상을 맵핑할 수 있다.

다만, 포인트 클라우드에서 세그먼테이션한 결과에 대한 정확
도 등에 문제가 있었다. 이는 포인트 클라우드 자체에 포함된 노
이즈, 누락된 데이터 및 필터링 적용상 문제이다.

향후, 스캔 데이터에서 형상을 맵핑할 때 정확도를 확보하기
위해 필터링 기법을 개선하고, 누락된 데이터에 대한 보완 방법
을 연구할 계획이다. 또한, 테스트 데이터 양을 보완해 역설계 자
동화 효율에 대한 정량적 분석을 할 계획이다. 아울러, 사용자 의
도가 개입되어 역설계할 수 있는 반자동 방식을 연구해 프로토타
입을 개발할 계획이다.

감사의 글

This research was supported by a grant
(19AUDP-B127891-03) from the Architecture & Urban
Development Research Program funded by the Ministry of
Land, Infrastructure and Transport of the Korean government.

References

Bhatla, A., Choe, S. Y., Fierro, O., & Leite, F. (2012).
Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from
photos taken by handheld digital cameras. *Automation in
construction*, 28, pp. 116-127.

Kang, T. W. (2018). BIM-based Smart Facility Management
Framework for Existing Buildings. *Review of Architecture
and Building Science*, 62(6), pp. 37-42.

Kang, T. W., Kim, J. E., Jung, T. S. (2016). Study on 3D
Reverse Engineering-based MEP Facility Management
Improvement Method. *Journal of the Korea Academia-
Industrial Society*, 17(8), pp. 38-45.

Kang, T. W. (2016). Study on 3D Image Scan-based MEP
Facility Management Technology. *Korea Institute of BIM*,
6(4), pp. 18-26.

Kang, T. W., Gwon, B. H. (2016). Performance evaluation of
automated 3D image-scan-based reverse engineering in
architectural MEP pipe object modeling. *Journal of Korea
Spatial Information Society*, 24(6), pp. 701-708.

Kang, T. W. (2014). System Architecture for Effective Point
Cloud-based Reverse Engineering of Architectural MEP
Pipe Object. *Journal of the Korea Academia-Industrial
cooperation Society*, 15(9), pp. 5870-5876.

Kim, J. E., Kang, T. W. (2016). Large Point Cloud-based
Pipe Shape Reverse Engineering Automation Method.
Journal of the Korea Academia-Industrial Society, 17(3),
pp. 692-698.

Lee, M. N. (2013). A study on scan data matching for
reverse engineering for pipes in plant construction, Master
thesis, SungKyunKwan University.

Murphy, K., van Ginneken, B., Klein, S., Staring, M., de Hoop,
B. J., Viergever, M. A., Pluim, J. P. (2011). Semi-automatic
construction of reference standards for evaluation of
image registration. *Medical Image Analysis*, 15(1), 71-84. *tal
Information Sciences*, Vol. 2, No.2, pp. 31-34.

Yoo, J. H. (2013). A study on reverse design of wooden
architectural heritage using terrestrial LiDAR, Master
thesis, CheongJu University.