

# 효과적인 포인트 클라우드 기반 건축 MEP 파이프 객체 역설계 처리를 위한 시스템 아키텍처

강태욱\*

<sup>1</sup>한국건설기술연구원

## System Architecture for Effective Point Cloud-based Reverse Engineering of Architectural MEP Pipe Object

Tae-Wook Kang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Construction Technology

**요약** 본 연구의 목적은 효과적인 건축 MEP(Mechanic, Electric and Plumbing) 파이프 객체 역설계 자동화를 위한 시스템 아키텍처를 제안하고, 프로토타입 개발을 통해 역설계 기술에서 향후 개선할 점을 도출하는 것이다. 이를 위해 역설계 작업에 필요한 요구사항, 유스케이스, 기능 및 클래스를 도출하였다. 도출된 기능을 바탕으로 건축 MEP파이프 객체 역설계를 위한 아키텍처를 설계하였으며, 시스템의 정적 구조, 알고리즘을 설계하였다. 제안된 시스템 아키텍처를 기반으로 한 프로토타입 개발 연구를 통해 향후 개선할 점을 도출하였으며, 일반적인 파이프 유형은 RANSAC(RANdom SAmple Consensus)등 일반적인 역설계 방법으로 처리가 가능하지만, 이형 파이프와 대용량 데이터 처리를 위한 공간 인덱싱 기반 LOD(Level Of Detail)기법이 별도로 고려될 필요가 있다는 것을 확인하였다.

**Abstract** The aim of this study was to suggest the System Architecture for Effective Architectural MEP Pipe Reverse Design(PRD) based on the Point Cloud and derive the consideration. To do this, the requirement and use-cases related to the MEP pipe reverse design work were defined and the architecture for the reverse design automation was proposed. To identify a consideration for finding the architecture issues, a prototype was developed using the architecture and evaluated.

**Key Words** : Design, MEP, Object Reverse Pipe, System Architecture

### 1. 서론

역설계 기술은 시설물 유지 관리 및 시공 등의 목적을 위해 시설물로부터 3D형상을 추출하고 객체 속성정보를 모델링하는 기술이다. 역설계 기술은 시설물/에너지 유지관리/운영, 모듈러(Modular) 시공, 시설물 개축 등에 필요한 핵심 기술이다. 이는 기존 시설물 도면의 현장 형상과 부정합 및 시설물 정보 오류/누락으로 인해 역설계 필요성이 증가된 이유이다. 시설물 유지관리 시장만 보

았을 때, 2012년도 국내 시설물관리 계약실적은 3조 5000억 원으로 시설물 유지관리 업체 수는 19년 전 1500개에서 4,700개로 급증 하였는데[1], 이 중 역설계 기술이 필수적으로 적용되는 시설물관리 시스템 개발과 관련된 시장규모는 2020년에 68,000억 원으로 예상된다[2]. 해외의 경우 최근 역설계 기술 활용해 병원 리노베이션 및 확장 프로젝트가 수행되었다[3]. 국내의 경우 2012년에 S사 반도체 공장을 BIM(Building Information Modeling)으로 설계하면서, 유지 관리 및 운영의 이유로 기존에 있던 시

본 연구는 한국건설기술연구원 2014년 주요사업(기존 시설물의 효율적인 유지관리를 위한 건축 MEP 객체 역설계 기술 개발)의 연구비지원에 의해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Tae-Wook, Kang(Korea Institute of Construction Technology)

Tel: +82-10-3008-5143 email: laputa9999@gmail.com

Received May 22, 2014

Revised July 3, 2014

Accepted September 11, 2014

설물들을 모두 역설계하고 있다. 이런 이유로 역설계 관련 시장은 꾸준히 증가하고 있다. 역설계 기술은 유지보수 시장 뿐 아니라 공장 부재 사전제작(Prefabrication), 시공 검증, 플랜트 시설물, 교량, 터널 구조물 검증에도 활용되고 있으며, 최근 각광을 받고 있는 3D 프린팅 기술에도 활용되는 등 파급효과가 큰 기술이다.

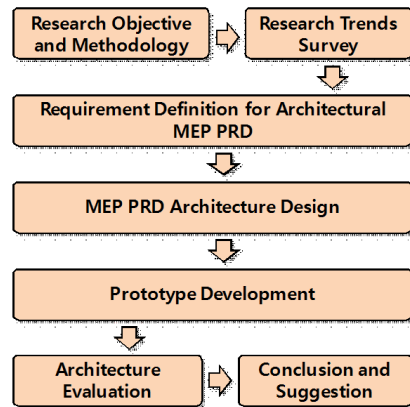
포인트 클라우드로부터 형상을 추출할 때는 라이더(LiDAR, Light Detection And Ranging) 기기 측량으로 발생한 오차, 부분 누락 등 다양한 변수가 존재하며, 현재 선진 기술 수준은 3D 모델에서 반자동으로 파이프를 실린더 형상으로만 추출하고, 후 처리를 수작업으로 모델링하는 수준이다.

건축 분야에서 역설계 적용 시 가장 효과가 있는 부분은 형상이 가장 복잡하고 설계 변경이 많은 MEP 부분이다. 최근, 많은 성능을 요구하는 건물의 특성상 MEP 시설 시공 및 관리 비용은 꾸준히 증가하고 있다. 특히, MEP 객체에서 가장 많이 차지하는 역설계 모델링 유형 중 하나는 파이프이다.

본 연구의 목적은 역설계 자동화 비율을 높여, 효과적인 건축 MEP 파이프 객체 역설계를 지원할 수 있는 시스템 아키텍처를 제안하고, 프로토타입 개발을 통해 역설계 기술에서 향후 개선할 점을 도출하는 것이다.

## 2. 연구 방법

본 연구의 흐름은 다음 그림과 같다. 자동화된 건축 MEP 파이프 객체 역설계와 관련된 문헌을 고찰하고, 역설계 과정을 효과적으로 지원하기 위해 필요한 핵심 사항을 정의한다. 또한, 요구사항을 효과적으로 지원할 수 있는 MEP PRD 아키텍처를 설계한다. 마지막으로, MEP PRD 아키텍처에서 핵심적인 부분인 형상 추출 부분을 구현해 보고, 아키텍처에서 개선할 점을 도출한다. 본 연구의 범위는 MEP PRD 아키텍처를 제안하고, 사례 연구를 통해 개선사항을 도출하는 것이다. 이를 통해, 향후 개발될 건축 MEP 파이프 객체 역설계 자동화에 활용하고자 한다.



[Fig. 1] Research Flow

## 3. 연구 동향 조사

역설계 기술은 크게 2D 도면 및 이미지를 통해 벡터화(Vectorization)하여 형상을 추출하는 기술과 라이더와 같은 측량장비를 통해 획득한 3D 포인트 클라우드에서 형상을 추출하는 기술로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 3D 포인트 클라우드로부터 파이프 객체를 역설계하는 것이므로, 이와 관련된 연구 동향을 조사하였다.

국내의 경우, 유형문화재 복원을 위한 역공학 기술 개발을 수행한 적이 있으며, 이와 관련된 형상 추출 연구가 진행되었다[4]. 대용량 포인트 클라우드 처리에 특화된 연구 개발이 있었으며[5], 이를 기반으로 한 렌더링 기술 연구가 있었다.

해외의 경우, Smoothness 제약조건을 이용한 포인트 클라우드 세그멘테이션에 대한 연구[6]가 있었으며, k-근접점 기반 방식으로 특정 점 근처의 주변 점의 제한 곡률 범위 내 점들을 탐색해 감으로써 포인트 클라우드를 세그멘테이션하였다. 세그멘테이션 된 포인트 클라우드를 이용해 플랜트의 파이프 객체 검출을 위한 실린더 형상 인식에 관한 연구[7]가 있었으며, 프로젝션 맵핑 방식을 이용해 실린더를 추출하고 있다. 플랜트의 파이프 객체를 추출하는 또 다른 연구[8]에서 As-built 3D 파이프 라인 모델을 자동으로 추출하는 방법을 제안하고 있으며, 파이프의 중심축을 결정하기 위해, 세그멘테이션 된 포인트 클라우드의 뼈대를 추출하는 알고리즘을 적용하고 있다. 포인트 클라우드의 뼈대를 추출하는 것과 관련된 연구는 컴퓨터 그래픽 분야에서 연구되어 왔었으며,

Laplacian smoothing 행렬을 이용한 방식이 적용[9]되었다. 포인트 클라우드의 정밀한 뼈대를 추출하는 연구 중 다수는 이 방식을 적용하고 있다.

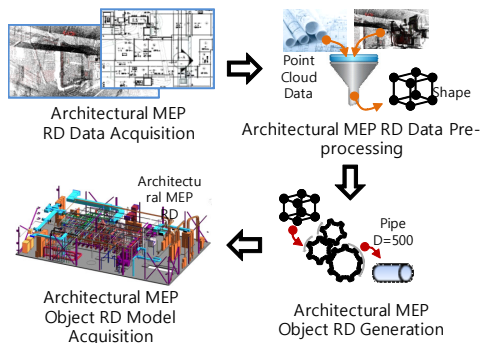
국내외 관련 연구는 파이프 객체의 형상인 실린더 형상을 추출 방법이 대부분이다. 또한, 파이프 대상이 플랜트 인 경우가 다수이며, 국부적인 역설계 알고리즘 개발에 초점이 맞춰져 있다.

본 연구에서는 역설계 자동화를 위해, 시스템에 필요한 요구사항을 정의하고, 효과적인 건축 MEP 파이프 객체 역설계를 지원할 수 있는 시스템 아키텍처를 제안한다. 또한, 프로토타입 개발을 통해 역설계 기술에서 향후 개선할 점을 도출하도록 한다.

## 4. 건축 MEP 역설계 요구사항 분석

### 4.1 개요

건축 MEP 객체 역설계 기술의 일반적인 작업 흐름은 Fig. 2와 같으며, 크게 건축 MEP 역설계 데이터 취득, 역설계 데이터 전처리, 객체 역설계, 역설계 모델 획득 기술로 구성된다. 본 연구의 경우 역설계 데이터는 라이더 장비로부터 획득한 포인트 클라우드 데이터이다. 객체 모델을 획득하기 위해서는 포인트 클라우드로부터 형상을 추출하고, 객체 속성 정보를 입력 및 연계할 수 있어야 한다.



[Fig. 2] Architectural MEP Object Reverse Design(RD) Workflow

### 4.2 상세 작업 흐름 정의

건축 MEP 객체 역설계 기술의 상세 작업 흐름은 Table 1과 같이 정리될 수 있다. Table 1의 각 열은 작업

순서, 내용, 작업 자동화 수준을 의미한다. 역설계 작업을 위해서는, 주어진 포인트 클라우드로부터 실린더와 같은 형상을 인식하기 좋도록, 포인트 클라우드에서 에러와 불필요한 부분을 삭제하고, 세그멘테이션하는 과정이 필요하다. 세그멘테이션 후 그룹화 된 포인트 클라우드 각각 실린더와 같은 형상을 인식한다. 그리고, 인식된 형상에 얼마나 오차가 포함되어 있는 지 검증한다. 검증된 형상은 형상 변수를 기반으로 파이프와 같은 객체로 생성되며, 생성된 객체의 속성 정보를 연계해 속성 값을 입력한다.

[Table 1] Architectural MEP Object Reverse Design(RD) Detail Workflow

No	Sequence	Description	Automatic Level
1	Point cloud acquisition	Obtaining the point cloud from LiDAR, Total Station.	Automatic
2	Preprocessing	Erasing the point cloud error and noise.	Semi-Automatic
3	Aligning & Merging	Merging the point clouds.	Semi-Automatic
4	Segmentation	Segmentation for grouping the point clouds.	Semi-Automatic
5	Post-processing	After segmentation, filtering the point cloud to improve its quality.	Semi-Automatic
6	Recognizing Shape	Recognizing the shape such as a cylinder, plane etc.	Semi-Automatic
7	Validating Shape	Calculating the shape recognition error and validating it.	Automatic
8	Generating Object	Generating the object such as a pipe from the cylinder shape.	Semi-Automatic
9	Allocating Properties	After creating the object and allocating the properties to it.	Semi-Automatic

### 4.3 상세 작업 흐름 분석 및 객체 맵핑 규칙 정의

Table 1의 작업 흐름에서, 8과 9번은 아직 연구가 부족한 상황이며, 기술적으로 완성되지 않은 부분이 많다. 1번에서 7번의 경우 부분적으로 많은 기술들이 연구되어 있으나, 근본적으로 보이지 않은 부분의 LiDAR 측량은 불완전한 포인트 클라우드를 만들어 낼 수밖에 없으며, 이는 형상을 인식할 때 에러를 발생한다. 이 때문에, 현장

작업에서 불필요하거나 잘못된 포인트 클라우드를 얻었을 경우, 이를 수작업으로 제거하고 보완할 필요가 있다. 8번 9번과 같이 형상을 인식한 후 객체화 작업이 필요한데, 이 작업에서 실린더와 같이 인식된 형상을 파이프와 같은 객체로 변환하고, 파이프 객체에 필요한 속성을 정의하여 입력하는 작업이 반복된다.

만약, 인식된 형상을 기반으로 규칙 기반으로 객체를 정의하는 사상함수  $R: S \rightarrow O$  이 가능하다면, 이 반복 작업 시간을 아낄 수 있다. 함수  $R$ 은 다음과 같은 하위 규칙  $R_s$  들로 정의될 수 있다. 여기서,  $C_{op}$  는 형상 변수 비교 연산자이며, 추출된 형상과 인식될 객체 형상의 변수 값 비교를 위해 ‘작다’, ‘크다’, ‘작거나 같다’, ‘크거나 같다’, ‘같다’, ‘같지 않다’ 6개의 연산자로 구성된다.

$$R = \{R_n, R_s, \dots\}$$

$$R_s = \{P_n, P_v, C_{op}, T\}$$

$$C_{op} = \{<, >, \leq, \geq, =, \neq\}$$

허용오차를 정의하기 위해  $T$ 값을 포함한다.  $S$  는

$$S = \{P, \dots\}$$

$$P = \{P_n, P_v\}$$

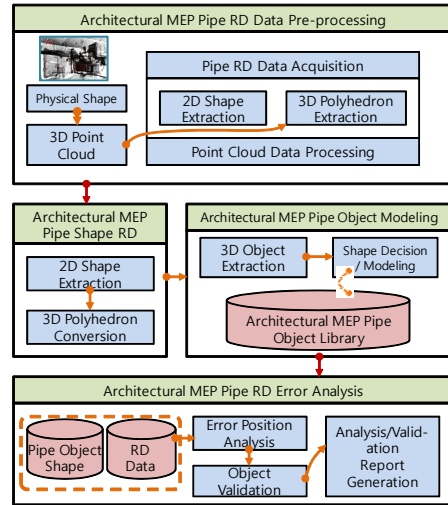
로 정의된 형상을 의미한다.

$S$ 는 형상을 표현하는 변수  $P$ 로 구성되며,  $P$ 는 이름과 값을 정의한다. 본 연구에서는 인식할 객체를 파이프 형상에 대한 것으로 한정하였으며, 이와 관련해 실린더  $C$ 와 평면  $PL$ 을 정의한다.

$$O = \{C, PL\}$$

이제  $R: S \rightarrow O$  사상함수는 가장 근사한 규칙 집합  $R$ 을 갖는 객체  $O$ 로 맵핑될 수 있다.

이 규칙을 정의해 놓은 것을 건축 MEP 파이프 객체 라이브러리 데이터베이스로 정의할 수 있다. 인식된 형상과 객체는 오차를 검증할 수 있으며, 계산된 오차는 리포트를 생성해 엔지니어링 작업을 도울 수 있다. Fig. 3은 앞서 정의한 역설계 요구사항을 기능으로 구분해 표현한 것이다.



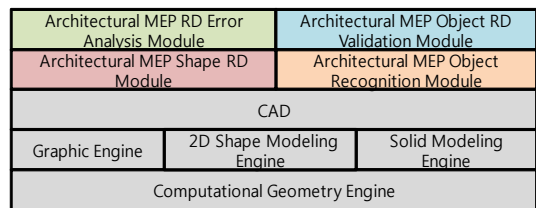
[Fig. 3] Architectural MEP Pipe RD Functions

## 5. 건축 MEP 객체 역설계 아키텍처

### 5.1 개요

4장에서 정의된 기능을 구현하기 위해, Fig. 4와 같은 컴포넌트가 필요하다. 역설계 모델링을 위해, 기본적으로 캐드(CAD) 컴포넌트가 필요하다. 캐드 컴포넌트는 그래픽 엔진, 2D 모델링 엔진, 3D 솔리드 모델링 엔진으로 구성된다.

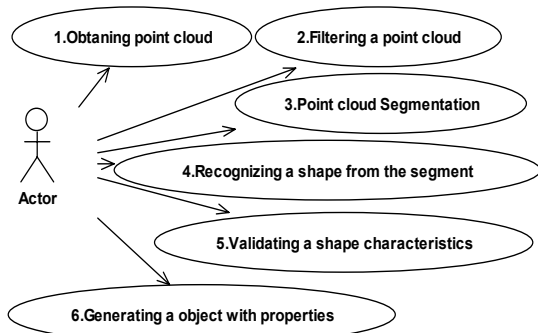
역설계 컴포넌트는 4개로 구성되며, 형상 역설계, 형상 에러 검증, 객체 인식, 객체 검증 컴포넌트로 구성된다. 이 중, 객체 검증은 올바른 객체 값이 정의되었는지 객체 속성 값의 범위나 무결성을 확인하는 역할을 하며, 객체 속성 값 검증 작업을 도와준다.



[Fig. 4] Architectural MEP RD Components

### 5.2 유스케이스 및 알고리즘 설계

4장에서 정의한 기능을 유스케이스로 구분해 보면 Fig. 5와 같다.



[Fig. 5] 포인트 클라우드 기반 역설계 유스케이스

이 유스케이스 중에서 기술적으로 입력 데이터의 품질에 영향을 많이 받고, 어려운 부분은 포인트 클라우드 세그먼테이션과 세그먼트로부터 형상을 인식하는 부분이다.

세그먼테이션은 문헌 조사와 같이 근접점 획득을 통한 거리 및 곡률 기반 방식이 일반적이며, 곡률을 얻는 방식은 특정 점  $PI$ 에 대한 주변점의 곡률 특징  $Cu$ 을 획득한 후 그 값들을 고려하는 방식이 일반적이다. 다음은 세그먼테이션  $S$ 를 추출하는 알고리즘을 나타낸다.

1. 포인트 클라우드  $Pc$ 에서 임의점  $PI$  획득
2.  $S = S \cap PI$
3.  $PI$ 에서  $K$ -근접점 알고리즘을 이용해  $K$ 개 점군 획득
4.  $K$ 개 점군에서 곡률  $Cu$ 을 계산.
5.  $PI$  근처에 유사 곡률  $Cu$ 를 가진 점  $P2$  획득
6.  $PI = P2$
7. 더 이상  $P2$ 가 존재하지 않을 때 까지 2-6 단계 반복
8.  $Pc = Pc - S$
9. 더 이상  $Pc$ 가 존재하지 않을 때 까지 1-8 단계 반복

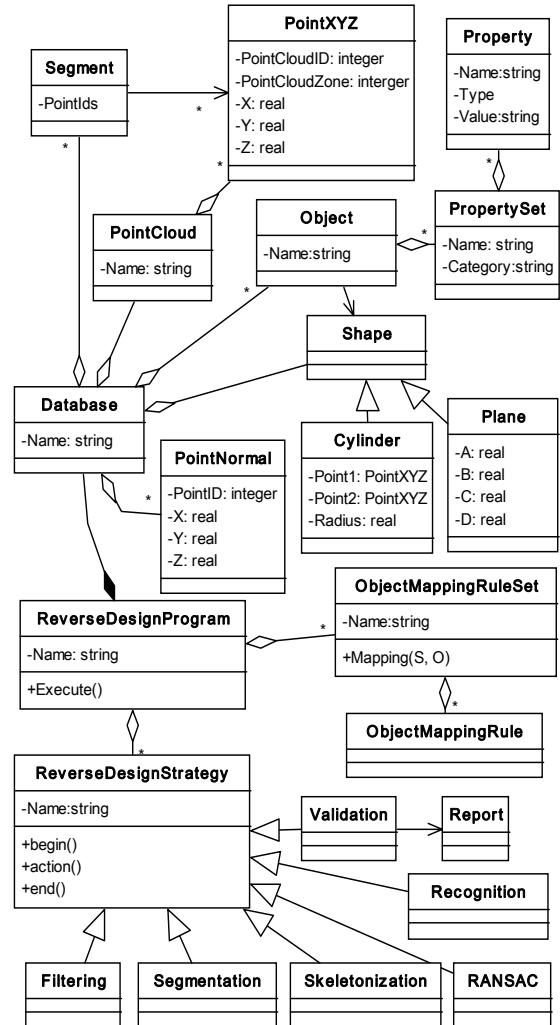
파이프 형상을 인식하기 위해서는 실린더 형상을 인식해야 한다. 본 연구에서는 RANSAC 알고리즘을 이용해 형상을 추출한다.

### 5.3 MEP 역설계 클래스 구조

앞 장에서 정의된 기능과 알고리즘을 처리하기 위해서는 유연한 시스템 정적 구조가 필요하다. 특히, 포인트 클라우드를 처리하는 필터링(Filtering), 세그먼테이션, 뼈대 추출(Skeletonization), RANSAC 알고리즘은 종류가 다양하며, 각 알고리즘을 적용한 결과로 처리된 포인

트 클라우드를 얻을 수 있다. 이러한 방법들을 이용하면, 역설계 대상에 따라 역설계 알고리즘의 조합을 다양하게 함으로써 역설계 결과의 정밀도나 성능을 개선하거나 조정할 수 있다.

다음은 정적 구조를 UML(Unified Modeling Language) 클래스 다이어그램으로 표현한 것이다.



[Fig. 6] MEP Pipe RD Class Diagram (UML)

Table 2는 Fig. 6의 클래스 다이어그램 요소를 설명한 것이다.

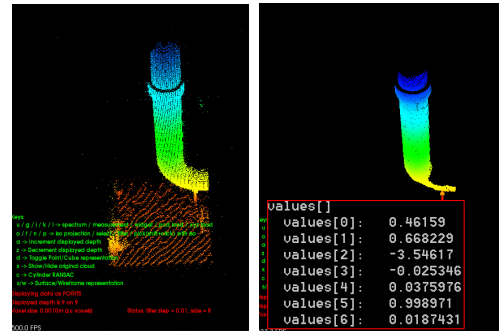
[Table 2] MEP Pipe RD Class Diagram Element

No	Class	Description
1	PointXYZ	3D point structure which consists of X, Y, Z.
2	PointNormal	3D normal vector
3	PointCloud	3D points container
4	Segment	Point cloud segmentation results.
5	Database	Database to manage the point clouds, shapes, objects and reverse design algorithms.
6	Shape	Shape base class.
7	Cylinder	Cylinder is represented by a point 1, point 2 and radius.
8	Plane	Plane is represented by A, B, C and D.
9	Object	Object such as a pipe.
10	PropertySet	Object's property container.
11	Property	Property is represented by a name, type and value.
12	ReverseDesignProgram	Algorithm container to manage the object mapping rule sets and reverse design algorithms.
13	ObjectMap-pingRuleSet	Object mapping rule set for mapping shape to object.
14	ObjectMap-pingRule	Object mapping rule is represented by $R_s$ equation.
15	ReverseDesignStrategy	Reverse design algorithm container to manage the algorithms.
16	Filtering	Filtering algorithm implementation class.
17	Segmentation	Segmentation algorithm implementation class.
18	Sekeletonization	Skeletonization algorithm implementation class.
19	RANSAC	RANSAC implementation class.
20	Recognition	Shape recognition implementation class.
21	Validation	Validation implementation class to calculate and check the recognition error.
22	Report	Validation results.

#### 5.4 프로토타입 개발 및 개선점 도출

본 장에서는 프로토타입을 개발해 봄으로써, 제안된 아키텍처를 검증하고 개선점을 도출해 본다. 본 장에서는 개발 비용의 한계 상 설계된 아키텍처를 기반으로 역설계 유스케이스를 정의한 Fig. 5의 4번 유스케이스 만 프로토타입으로 구현해 보았다.

형상을 세그먼트로부터 인식하기 위해 RANSAC 알고리즘을 활용하였다. 주어진 포인트 클라우드에서 평면을 먼저 RANSAC으로 인식한 후, 기존 포인트 클라우드에서 평면 부분을 제거하였다. 평면이 제거된 포인트 클라우드에서 RANSAC 을 이용해 파이프 형상에 해당하는 실린더 형상을 인식하였으며, Fig. 7과 같이 실린더 축의 첫번째 점, 두번째 점과 실린더 반경을 획득하였다.



[Fig. 7] Prototype Development and Cylinder Extraction Results (Left=Input, Right=Output and Cylinder Parameter)

프로토타입을 통한 실험 결과, 다음과 같은 부분을 확인할 수 있었다.

1. RANSAC의 특성상 불완전한 포인트 클라우드의 경우에도 비교적 정확하게 파이프 실린더를 추출한다.
2. 파이프의 Elbow나 Branch 부분에 대한 별도 처리가 필요하다.
3. 형상 인식 시 주어지는 공차는 응용 대상에 따라 결정될 필요가 있다.
4. 대용량 포인트 클라우드의 경우 렌더링 속도가 늦어지며, 원활한 작업 처리를 위해 이를 개선할 필요가 있다.

이 중에서 개선이 필요한 2, 4번은 각각 다음과 같은 방식으로 처리가 가능하다.

2번의 경우 포인트 클라우드의 뼈대를 추출해, 뼈대에서 뼈대를 구성하는 선들이 분기하는 부분을 추출하면 Elbow, Branch를 처리할 수 있다.

4번의 경우 Octree와 같은 공간 인덱싱 기반으로 포인트 클라우드 LOD를 처리하여 카메라 거리에 따라 적절한 LOD를 렌더링하거나, 현재 작업 중인 부분에 대해서만 포인트 클라우드를 메모리에 올리고, 나머지는 하드 디스크에 저장하는 방식을 적용할 수 있다.

## 7. 결론

본 연구에서 역설계 자동화를 위해, 시스템에 필요한 요구사항을 정의하고, 효과적인 건축 MEP 파이프 객체

역설계를 지원할 수 있는 시스템 아키텍처를 제안하였다. 이러한 아키텍처에 기반한 프로토타입 개발을 통해 역설계 기술에서 향후 개선할 점을 다음과 같이 도출하였다.

첫 번째, RANSAC의 특성상 불완전한 포인트 클라우드의 경우에도 비교적 정확하게 파이프 실린더를 추출할 수 있으나, 파이프의 Elbow나 Branch 부분은 별도 처리가 필요하다.

두 번째, 형상 인식 시 주어지는 공차는 응용 대상에 따라 결정될 필요가 있다.

세 번째, 대용량 포인트 클라우드의 경우 렌더링 속도가 늦어지며, 원활한 작업 처리를 위해 이를 개선할 필요가 있다.

그러므로, 형상을 추출할 경우, 형상 유형에 따른 유사성 비교 방법이나 뼈대 추출 방법을 이용한 파이프 Branch 방법 적용이 필요하다. 또한, 대용량 포인트 클라우드를 처리할 수 있도록, LOD와 공간인덱싱을 고려할 필요가 있다.

제안된 아키텍처 모델은, 향후 개발될 건축 MEP 파이프 객체 역설계 자동화에 효과적으로 활용될 수 있다.

향후 연구 계획은 아직 연구가 부족한 포인트 클라우드 대용량 처리 알고리즘을 개발하고, 제안된 아키텍처를 기반으로 전체 건축 MEP 파이프 객체 역설계 도구를 구현 한 후, 역설계 도구의 이익과 효과를 평가해 보는 것이다.

"Cylinder Detection in Large-Scale Point Cloud of Pipeline Plant", IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS (SCIE), 2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2013.74>

- [8] J. H. Lee, H. J. Son, C. M. Kim, C. W. Kim, "Skeleton-based 3D reconstruction of as-built pipelines from laser-scan data", Automation in Construction, Vol.35, 2013, pp199-207

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.009>

- [9] O. K. Au, C. L. Tai, H. Chu, D. T. Lee, "Skeleton Extraction by Mesh Contraction", ACM Transactions on Graphics, Vol.27, No.3, 2008.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1399504.1360643>

## 강 태 옥(Tae-Wook Kang)

[정회원]



- 2005년 2월 : 숭실대학교 소프트웨어공학 (공학석사)
- 2009년 3월 : 중앙대학교 건설환경공학 (공학박사)
- 2010년 6월 ~ 2011년 5월 : 중앙대 겸임교수
- 2011년 6월 ~ 2012년 6월 : 한길아이티 BIM본부장
- 2012년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

CAD, CAM, BIM, GIS, Computer Graphics, SW공학

## References

- [1] Korea Facilities Maintenance Association, CNEWS, 2013
- [2] Ministry of Knowledge Economy, "Facility Management System Development", 2008
- [3] K. P. Corble, "Feature: Generating BIM Under Pressure", Professional Survey Magazine, 2012
- [4] D. S. Han, "Cultural Horitage Experience Technology Development for Cultural Property and Scenario Recovery", Korea Culture & Content Agency, 2005
- [5] D. H. Lee, "Giga Point Cloud-based Reverse Design Module Development", inus technology, 2009
- [6] T. Rabbani, "SEGMENTATION OF POINT CLOUDS USING SMOOTHNESS CONSTRAINT", Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol.36, No.5, 2006, pp248-253
- [7] Y. J. Liu, J. B. Zhang, J. C. Hou, J. C. Ren, W. Q. Tang,