

대용량 포인트 클라우드 기반 파이프 형상 역설계 자동화 방법 연구

강태욱*, 김지은¹
¹한국건설기술연구원

Large Point Cloud-based Pipe Shape Reverse Engineering Automation Method

Tae-Wook Kang^{*}, Ji-Eum Kim¹

¹Korea Institute of Construction Technology

요약 최근 신규 시설물 건설이 줄어들고 기존 시설물에 대한 확장공사 및 유지보수가 시설물 관리에 있어서 갈수록 큰 비중을 차지하고 있다. 이런 배경에서, 건축에서 가장 큰 관리 및 운영비용을 차지하고 있는 MEP(Mechanical Electrical and Plumbing) 설비에 대한 역설계 연구 필요성이 높아지고 있다. 연구의 목적은 대용량 MEP 포인트 클라우드의 파이프 배관 형상에 대한 역설계 자동화 방법을 제시하는 것이다. 이를 위해, 관련 연구를 조사하고, 대용량 포인트 클라우드를 고려한 형상 역설계 자동화 방법을 제안한다. 이를 바탕으로, 프로토타입을 개발하고, 결과를 검증하였으며, 3차원 대용량 포인트 클라우드 데이터 검색 등과 관련된 렌더링 성능을 측정하였다. 포인트 클라우드 샘플들을 준비해 검증한 결과, 제안된 방법에서 렌더링 성능 표준편차는 0.004로 차이가 적어, 대용량 데이터 처리에 적합함을 알 수 있다.

Abstract Recently, the facility extension construction and maintenance market portion has increased instead of decreased the newly facility construction. In this context, it is important to examine the reverse engineering of MEP (Mechanical Electrical and Plumbing) facilities, which have the high operation and management cost in the architecture domains. The purpose of this study was to suggest the Large Point Cloud-based Pipe Shape Reverse Engineering Method. To conduct the study, the related researches were surveyed and the reverse engineering automation method of the pipe shapes considering large point cloud was proposed. Based on the method, the prototype was developed and the results were validated. The proposed method is suitable for large data processing considering the validation results because the rendering performance standard deviation related to the 3D point cloud massive data searching was 0.004 seconds.

Keywords : Automation, Pipe, Point Cloud, Reverse engineering, 3D Image Scan

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 신규 시설물 건설이 줄어들고 기존 시설물에 대한 리모델링, 확장공사 및 유지보수가 시설물 관리에 있

어서 갈수록 큰 비중을 차지하고 있다. 시설물 유지관리 시장만 보았을 때, 2012년도 한국의 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 개

본 연구는 2016년 산업통상자원부 (3D객체 역설계 기반 MEP 설비 유지관리 시스템 개발) 연구비지원에 의해 수행됨.

*Corresponding Author : Tae-Wook Kang

Tel: 010-3008-5143 email: laputa99999@gmail.com

Received August 18, 2015

Revised (1st February 1, 2016, 2nd February 26, 2016)

Accepted March 3, 2016

Published March 31, 2016

발과 관련된 시장규모는 2020년에 68,000억 원으로 예상된다[2]. 3차원 LiDAR 기술의 눈부신 발전으로 대규모 영역, 대용량 데이터 획득이 용이해졌고, 그 정밀도 또한 높아지고 있다. 대용량 3차원 데이터에 대한 처리 기술 및 유용한 특징 정보 또는 형상정보를 정확하고 신속하게 추출할 수 있는 관련 연구도 국내외적으로 지속적으로 수행되고 있다. 따라서 업계에서는 최근 들어 LiDAR 장비를 도입하여 기존 시설물에 대한 3차원 디지털 모델을 구축함으로써 라이프사이클 관리에 대한 효율을 극대화 하려고 하는 추세이다.

이런 배경에서, 건축에서 가장 큰 관리 및 운영비용을 차지하고 있는 MEP 설비에 대한 역설계 연구 필요성이 높아지고 있다. 특히, MEP 설비에서 파이프와 같은 배관이 차지하는 비율은 다른 부재에 비해 매우 높다. 본 연구의 목적은 대용량 MEP 포인트 클라우드의 파이프 배관 형상에 대한 역설계 자동화 방법을 제시하는 것이다.

1.2 연구 방법 및 범위

역설계 자동화 방법을 제안하기 위해, Fig. 1과 같은 순서로 연구를 진행하였다. 먼저, 관련 연구를 조사 및 분석하고, 대용량 포인트 클라우드를 이용한 파이프 배관 형상 역설계를 위해 필요한 알고리즘을 설계한다. 설계된 알고리즘을 프로토타입을 통해 구현하고, 검증하여 결과를 도출한다. 단, 본 연구에서는 대용량 포인트 클라우드 기반 파이프 역설계 방법을 연구하는 것에 초점이 맞춰져 있으므로, 파이프 배관 중에서도 직선형 파이프만을 역설계 대상으로 고려한다. 이 결과는 향후, MEP 파이프 배관 역설계 자동화 시스템 개발 시 활용될 예정이다.

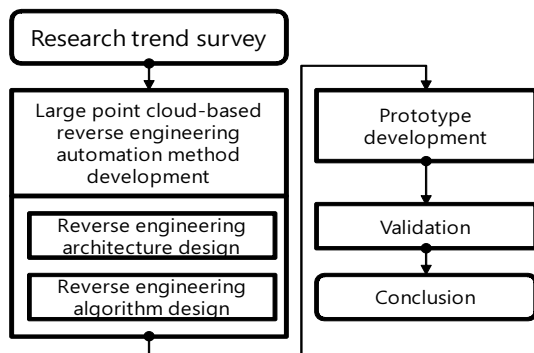


Fig. 1. Research process

2. 연구동향

본 연구에서는 대용량 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[3]. 대용량 포인트 클라우드 처리에 특화된 연구 개발이 있었으며[4], 이를 기반으로 한 렌더링 기술 연구가 있었다.

해외의 경우, Smoothness 제약조건을 이용한 포인트 클라우드 세그멘테이션에 대한 연구가 있었으며, k-근접점 기반 방식으로 특정 점 근처의 주변 점의 제한 곡률 범위 내 점들을 탐색해 감으로써 포인트 클라우드를 세그멘테이션하였다[5]. 세그멘테이션 된 포인트 클라우드를 이용해 플랜트의 파이프 객체 검출을 위한 실린더 형상 인식에 관한 연구가 있었으며, 프로젝션 맵핑 방식을 이용해 실린더를 추출하고 있다[6].

플랜트의 파이프 객체를 추출하는 또 다른 연구에서 As-built 3D 파이프라인 모델을 자동으로 추출하는 방법을 제안하고 있으며, 파이프의 중심축을 결정하기 위해, 세그멘테이션 된 포인트 클라우드의 뼈대를 추출하는 알고리즘을 적용하고 있다[7]. 포인트 클라우드의 뼈대를 추출하는 것과 관련된 연구는 컴퓨터 그래픽 분야에서 연구되어 왔었으며, Laplacian smoothing 행렬을 이용한 방식이 적용되었다[8]. 포인트 클라우드의 정밀한 뼈대를 추출하는 연구 중 다수는 이 방식을 적용하고 있다.

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

본 연구에서는 역설계 자동화를 위해, 시스템에 필요한 요구사항을 정의하고, 효과적으로 대용량 MEP 포인트 클라우드에서 파이프 객체 역설계를 지원할 수 있는 방법을 제안한다. 또한, 프로토타입 개발을 통해 역설계 기술에서 향후 개선할 점을 도출하도록 한다.

3. 대용량 MEP 포인트 클라우드 기반 파이프 역설계 자동화 방법

3.1 아키텍처 정의

앞서 조사된 연구와 같이, 포인트 클라우드 역설계 자동화 시스템 아키텍처에 대한 몇몇 연구가 있었다. 하지만, 이런 연구들은 대용량 포인트 클라우드를 어떻게 처리할 지에 대한 구체적인 방법을 제시하고 있지 않다.

포인트 클라우드를 처리하는 필터링(Filtering), 세그먼테이션, 뼈대 추출(Skeletonization), RANSAC(Random Sample Consensus) 알고리즘은 종류가 다양하며, 각 알고리즘을 적용한 결과로 처리된 포인트 클라우드를 얻을 수 있다.

이러한 방법들을 이용하면, 역설계 대상에 따라 역설계 알고리즘의 조합을 다양하게 함으로써 역설계 결과의 정밀도나 성능을 개선하거나 조절할 수 있다.

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

Table 1은 Fig. 2의 클래스 다이어그램 요소를 설명한 것이다.

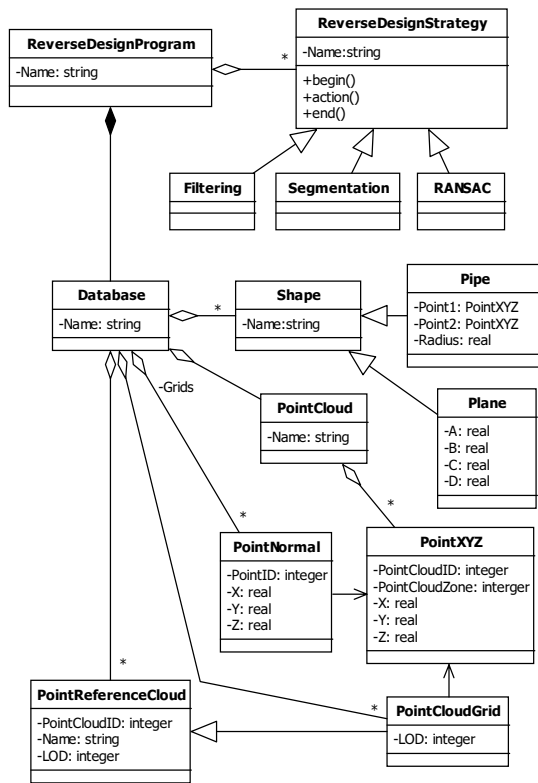


Fig. 2. Reverse engineering architecture of large point cloud-based pipe shape

Table 1. Definition of architecture class function

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, Shapes 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	Shape	Shape such as a pipe.
10	ReverseDe-sign Program	Algorithm container to manage the Shape mapping rule sets and reverse design algorithms.
11	ReverseDe-sign Strategy	Reverse design algorithm container to manage the algorithms.
12	Filtering	Filtering algorithm implementation class.
13	Segmentation	Segmentation algorithm implementation class.
14	RANSAC	RANSAC implementation class.
15	Recognition	Shape recognition implementation class.
16	Validation	Validation implementation class to calculate and check the recognition error.
17	Report	Validation results.

Table 1에서 정의된 것 중에서 역설계 자동화에 핵심적인 알고리즘인 Filtering, Segmentation, RANSAC은 포인트 클라우드에서 노이즈 등을 제거하기 위한 필터링, 필터링된 포인트 클라우드를 클러스터링하기 위한 세그먼테이션, 형상을 인식하기 위한 RANSAC 알고리즘을 처리한다.

다만 대용량 포인트 클라우드를 처리하기 위해서는 최초 입력되는 포인트 클라우드를 그리드 형태로 분할해서, 각 그리드에 존재하는 포인트 클라우드를 역설계 가능한 정도의 LOD(Level Of Detail)로 낮추지 않으면, 대용량 포인트 클라우드를 메모리로 불러 연산을 하기가 어려워진다. 이런 문제를 개선하기 위한 알고리즘을 포함한, 각 내용에 대한 상세는 다음 장에서 정의한다.

3.2 필터링 알고리즘 모델 정의

스캔 주변 환경, 물체의 재질에 의하여 스캔 시 불가

피하게 노이즈가 발생하거나, 또는 원하지 않는 영역이 스캔 되었을 경우, 또는 국부적인 관심영역을 선택하고자 할 때 필터링을 사용한다.

스캔한 포인트 클라우드에 원하지 않는 영역이 스캔 되었을 경우, 대부분은 관심 스캔 영역과 유리되어 있거나 노이즈 아웃라이어의 형태로 존재하게 된다. 이러한 영역 데이터에 대하여 수동/반자동/자동화 방식을 적용하여 효율적인 제거 처리과정은 이후 작업 과정에 직접적으로 영향을 주게 된다. 자동 필터링은 일정 기준 파라미터를 이용하여 프로그램이 내부적으로 제거해야 할 영역을 판단하여 자동으로 걸러내는 방식이다. 소수의 포인트 클라우드 형태로 밀집 영역으로부터 떨어져 존재하는 데이터들을 제거하거나, 스캔 포지션, 스캔 방향을 기준으로 하여 일정 거리 이상 또는 일정 각도 이상의 노말 방향 데이터를 제거하거나 스캔 데이터의 반사율 값을 참조하여 일정 반사율 값 구간 데이터를 클립 마스크 하는 등 데이터 필터링 방식이 존재한다.

대용량 포인트 클라우드 노이즈 제거에 효과적인 방식은 복셀(Voxel) 기반의 통계적 아웃라이어 제거 기법으로서 데이터 간략화(샘플링)와 아웃라이어 제거 필터링이 같이 처리됨으로 건축 MEP 객체 역설계 프로그램 개발에 유용하게 적용 할 수 있다[9]. 그 기본 알고리즘은 다음과 같다.

포인트 클라우드 공간 영역을 이용하여 일정한 규격의 복셀 그리드를 생성하고 각 복셀 할당된 포인트 셋의 평균치로 모든 복셀의 무게중심 점을 산정한다.

$$\bar{x} = \frac{1}{s} \sum_{(x,y,z) \in A} x$$

$$\bar{y} = \frac{1}{s} \sum_{(x,y,z) \in A} y$$

$$\bar{z} = \frac{1}{s} \sum_{(x,y,z) \in A} z$$

여기서 s 는 임의의 복셀 A 에 소속된 포인트 수이다. 이 과정은 복셀 그리드 기반의 샘플링 기법으로 활용 할 수 있고 샘플링을 통과하면 원시 데이터는 비교적 균질화된 가벼운 데이터로 압축된다.

3.3 세그멘테이션 알고리즘 모델 정의

포인트 클라우드 자동 프로세싱에서, 세그멘테이션은 가장 중요한 프로세스 중 하나이다. 이 중 많이 사용되는 방식은 곡률 유사도에 기반 한 Region growing 방법이다. 이를 통해, 포인트 클라우드에서 연결된 지역을 부드럽게 탐색해 연결하는 방법을 제안한다. 이 방법은 단지 지역 표면 법선과 점 연결성을 사용하며, 점 연결성은 k 근접점 혹은 고정 거리 근접점을 사용한다. 제안된 방법은 작은 수의 파라미터만 요구하며, 세그멘테이션 수를 조정할 수 있다.

$$\| n_p \cdot n_s \| > \cos(\theta_{th})$$

여기서, n_p 는 각 포인트의 법선, n_s 는 현재 포인트와 주변 포인트의 법선 간 각도, θ_{th} 는 허용 각도를 의미한다.

3.4 형상 추출 알고리즘 정의

포인트 클라우드에서 형상을 추출하기 위해, 본 연구에서는 RANSAC 알고리즘을 사용한다. RANSAC 알고리즘은 기본 형상 인식 시 많이 활용되고 있는 방식으로 유명하다. 파이프 형상은 기본 형상인 실린더로 표현할 수 있으므로, 손쉽게 인식이 가능하다. 실린더는 다음 그림과 같이 축, 지름, 반경, 길이로 정의할 수 있다.

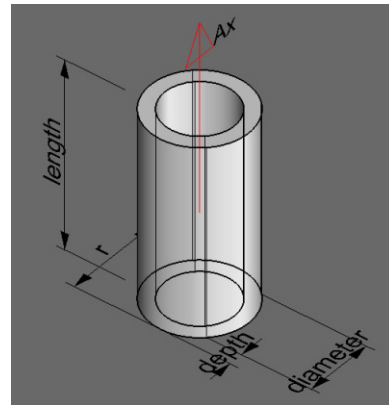


Fig. 3. Mathematical model of Cylinder

실린더 모델을 수학적으로 간략화하면 다음과 같다.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

파이프 형상을 추출하기 위한 RANSAC 알고리즘 모델은 다음과 같으며, 실린더 형상을 만족하는 포인트들을 얻을 때까지 각 단계를 반복한다.

1. P1 = SelectRandomPoint(PCD)
2. P2 = SelectRandomPoint(PCD)
3. P3 = SelectRandomPoint(PCD)
4. Plane = GetPlane(P1, P2, P3)
5. Pc = GetCenterPoint(P1, P2, P3, Plane)
6. R = GetRadius(Pc, P1, P2, P3)
7. AxisVector = GetAxis(Plane, Pc)
8. Cylinder = GetCylinder(AxisVector, Pc, R)
9. InlierNum = GetInlierNum(PCD, Cylinder, Tol)

여기서, P1-3는 실린더 탐색을 위한 시드(seed) 포인트를 의미한다. SelectRandomPoint() 함수는 PCD 포인트 클라우드로부터 임의의 포인트를 선택해 리턴한다. GetPlane()은 시드 포인트로 부터 평면을 얻는 함수이다. 평면과 시드 포인트들을 이용해, 원을 구성하고, 원의 중심점 Pc를 얻을 수 있으며, 반경 R도 함께 얻을 수 있다. 평면과 Pc를 이용해 축을 획득하면, 실린더 형상을 계산할 수 있다. 계산된 실린더 형상에 허용오차 Tol을 적용하여, 포함되는 포인트들을 탐색한 후, 그 개수를 InlierNum으로 리턴한다.

위 알고리즘을 최대 InlierNum가 되도록, 반복한다. 여기서, PCD의 임의의 포인트를 어떻게 선택하느냐에 따라, 알고리즘의 수행 성능과 품질을 크게 달라질 수 있다.

3.5 대용량 포인트 클라우드 처리 모델

대용량 포인트 클라우드를 처리하기 위해서는 포인트 클라우드를 3차원 공간상에서 격자 그리드 구조로 분할하여, 각 그리드가 포함하는 포인트 클라우드의 LOD를 역설계 처리에 문제가 없는 수준에서 줄일 필요가 있다. 다음은 이를 고려한 알고리즘 의사코드이다.

```
Grids = CreateGrid(PCD, GridPointNumber)
```

```
Loop Grid in Grids
```

```
Loop p in PCD
```

```
IF IsIn(Grid, p) Then
```

```
Grid = Grid + p
```

```
End
```

```
End
```

```
End
```

```
Loop Grid in Grids
```

```
LODpoints = GetLODpoints(LODindex, Grid)
```

```
Grid[LODindex] = LODpoints
```

```
End
```

LOD 포인트를 얻는 GetLODpoints() 함수는 Grid의 전체 포인트 클라우드에서 주어진 LOD index로 정해진 포인트 최대 개수보다 같거나 낮은 포인트들을 얻기 위해, 해당 그리드를 Octree 공간으로 분할하고, 분할된 공간의 중심점에 가장 가까운 포인트를 LOD points로 추가한다.

4. 알고리즘 구현 및 검증

제안한 자동화 방식을 검증하기 위해, 앞서 정의한 대용량 포인트 클라우드 기반 파이프 형상 역설계 자동화 아키텍처를 바탕으로, 프로토타입을 구현해 보았다. 샘플은 한국건설기술연구원의 MEP 설비를 레이저 스캔으로 얻은 포인트 클라우드를 사용하였다. 샘플의 개수는 41,790,655포인트이다. 각 포인트마다 좌표 x, y, z 실수값(8 x 3바이트), 반사강도값(8바이트) 실수값, 포인트 번호 n 정수값(4바이트)을 포함하고 있다. 전체 포인트 클라우드 용량은 1,504,463,580 바이트이다.

이를 A=10만, B=100만, C=300만, D=원본 포인트 클라우드의 경우로 구분하여, 로딩 시간과 렌더링 시간에 대한 성능을 테스트해 보았다. 테스트한 컴퓨터의 재원은 CPU는 쿼드코어, 메모리는 4G이다.

Table 2는 테스트 결과로, 로딩 타임은 대용량 포인트 클라우드 처리를 위한 그리드와 LOD를 생성하고, RANSAC 등 알고리즘에 필요한 포인트 별 법선벡터를 계산하는 시간으로 인해, 각 경우마다 로딩 시간(Load Time)은 표준편차 435.8로 차이가 많으나, 그리드와 LOD가 생성된 후에는 포인트 클라우드검색과 관련된 렌더링 시간(Rendering Time)은 표준편차 0.004로 큰 차이가 없음을 알 수 있어, 대용량 데이터 처리에 적합함을 알 수 있다.

Table 2. Performance Results

Case	Loading Time (Second)	Rendering Time (Second)
A	3.58	0.008
B	21.93	0.008
C	146.21	0.015
D	919.5	0.016
STD	435.8	0.004

Fig. 4는 D 경우의 포인트 클라우드가 렌더링 된 결과이다. Fig. 5는 3.3장에서 기술된 알고리즘에 기반하여, 포인트 클라우드를 세그멘테이션한 후, 평면 및 파이프 형상을 색상별로 구분한 결과이다.

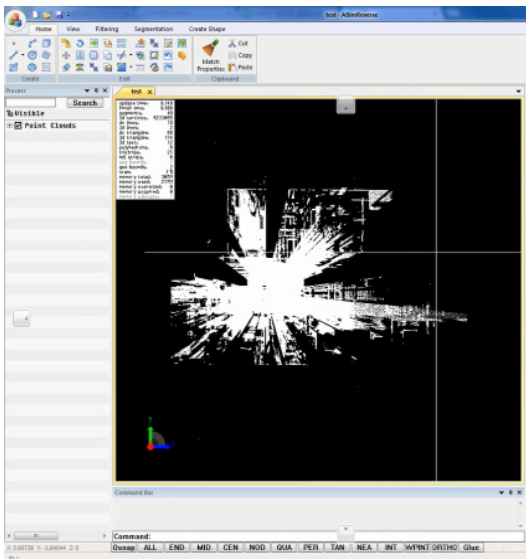


Fig. 4. Reverse engineering prototype of pipe based on large point cloud

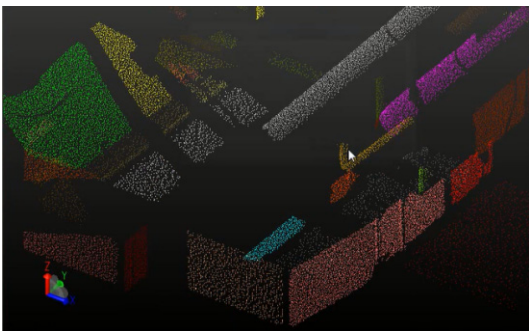


Fig. 5. Result of segmentation

Fig. 6는 3.4절에 기술된 알고리즘에 따라, 전체 포인트 클라우드에 대해, 직선형 파이프 형상을 자동으로 추출해 본 결과이다. 추출된 파이프들의 지름과 추출된 파이프에 해당하는 포인트 클라우드 간의 표준편차를 계산한 평균값은 0.018이며, 단위는 mm이다.

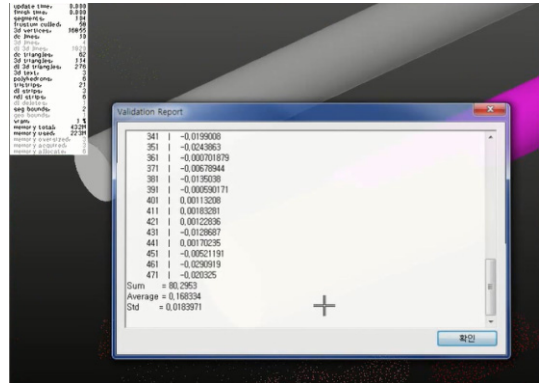


Fig. 6. Result of pipe shape extraction

본 연구에서 제안한 대용량 포인트 클라우드 처리 방식을 사용하지 않은 경우, D와 같이 대용량 포인트 클라우드를 로딩해 작업할 때, 컴퓨터의 물리 메모리가 부족하여, 화면 렌더링 및 파이프 추출 작업에 인터럽트가 많아 원활한 작업이 힘들었다.

구현된 결과와 같이, 제안된 방법을 이용하면, 대용량 포인트 클라우드를 기반으로 파이프 형상 역설계를 할 수 있음을 확인할 수 있다. 다만, 인접된 그리드에서 각 그리드의 포인트 클라우드의 LOD가 차이가 날 수 있어, 그리드에 걸쳐진 연속된 파이프 형상에서 각 그리드의 포인트 클라우드에 대한 파이프를 추출할 경우, 파이프 형상이 분할되어 품질에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 건축에서 가장 큰 관리 및 운영비용을 차지하고 있는 MEP 설비에 대한 역설계 자동화를 위한 대용량 포인트 클라우드 처리와 파이프 역설계에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다. 이를 통해, 대용량 MEP 포인트 클라우드의 파이프 배관 형상에 대한 역설계 자동화 방법을 제시하고, 역설계를 위해 필요한 알고리즘을 설계한다. 또한, 설계된 알고리즘을 프로토타입을 통해 구

현하고, 검증하여 결과를 도출하였다. 이 결과는 향후, MEP 파이프 배관 역설계 자동화 시스템 개발 시 효과적으로 활용될 수 있다.

향후, 부족한 샘플 데이터를 보완하고, 좀 더 큰 대용량 데이터에 대해 테스트할 필요가 있다. 또한, 직선형 파이프가 아닌 파이프가 접하는 지점의 브랜치와 같은 비직선형 파이프에 대한 역설계 처리도 함께 연구할 필요가 있다.

References

- [1] Korea Facilities Maintenance Association, CNEWS, 2013.
- [2] Ministry of Knowledge Economy, Facility Management System Development, 2008.
- [3] D. S. Han, "Cultural Heritage Experience Technology Development for Cultural Property and Scenario Recovery", Korea Culture & Content Agency, 2005.
- [4] D. H. Lee, Giga Point Cloud-based Reverse Design Module Development, INUS technology, 2009.
- [5] T. Rabbani, F. A. Heuvel and G. Vosselman, "Segmentation of point clouds using smoothness constraint", Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.36, No.5, pp.248-253, 2006.
- [6] Y. J. Liu, J. B. Zhang, J. C. Hou, J. C. Ren and W. Q. Tang, "Cylinder Detection in Large-Scale Point Cloud of Pipeline Plant", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.19, No.10, pp.1077-2626, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2013.74>
- [7] J. H. Lee, H. J. Son, C. M. Kim and C. W. Kim, "Skeleton-based 3D reconstruction of as-built pipelines from laser-scan data", Automation in Construction, Vol.35, pp.199-207, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.009>
- [8] O. K. Au, C. L. Tai, H. K. Chu, D. C. Or and T. Y. Lee, "Skeleton Extraction by Mesh Contraction", ACM Transactions on Graphics, Vol.27, No.3, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1360612.1360643>
- [9] F. Hu, Y. Zhao, W. Wang and X. Huang, "Discrete Point Cloud Filtering And Searching Based On VGSO Algorithm", European Council for Modeling and Simulation, pp.850-856, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.7148/2013-0850>
- [10] J. S. Lee, Y. S. Lee, J. H. Kim and J. J. Kim, "A study about developing the BIM-based decision making support system at pre-design stage", Proc. of 2008 Architectural Institute of Korea, Vol.28, No.1, pp.637-640, 2008.
- [11] C. Fu, G. Aouad, A. Lee, A. Mashall-Ponting and S. Wu, "IFC model viewer to support nD model application", Automation in Construction, Vol 15, No 2, pp.178-185, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2005.04.002>

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

김 지 은(Ji-eun Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 경희대학교 건축공학과(공학사)
- 2012년 8월 : 경희대학교 건축학과(공학석사)
- 2013년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 연구원

<관심분야>

BIM, GIS, 유지관리