

3차원 이미지 스캔 기반 MEP 시설물 관리 기술 연구

Study on 3D Image Scan-based MEP Facility Management Technology

강태욱¹⁾
Kang, Tae Wook¹⁾

Received August 3, 2016; Received September 26, 2016 / Accepted November 28, 2016

ABSTRACT: Recently, for the purpose of maintenance of facilities and energy, there have been growing cases of the 3D image scan-based reverse design technology mostly in the manufacturing field. In the MEP field, because of differences between design and physical model, the reverse technology has been utilized in factory facilities such as a semiconductor factory. Because 3D point clouds from scanning include accurate 3D object information, the efficiency of management works related to the complex MEP facilities can be enhanced. In this study, the reverse technology was surveyed, and the MEP facility management based on 3D image scanning was analyzed. Based on the results, a method of 3D image scan-based MEP facility management was proposed.

KEYWORDS: AEC, 3D image scan, MEP, Reverse engineering, facility management

키워드: 건설, 3차원 이미지 스캔, 기계설비, 역설계, 시설물 관리

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 기반시설은 1970년대부터 1980년대까지 집중 건설되어 현재 노후화(25~40년)로 유지관리 보수 및 설비 교체가 지속적으로 증가되고 있으나 1세대 기술진 퇴진, 잦은 설계변경, 도면부재 등으로 시설 관리에 많은 문제들이 잠재되어 있다. 최근에 시설물-에너지 등의 유지관리를 목적으로, 기존에 제조 분야에서 연구되었던 역설계 기술을 건설 분야에 도입하는 사례가 늘어나고 있다(한국시설안전공단, 2012).

역설계 기술은 유지보수 시장 뿐 아니라 부재사전제작 (Pre-fabrication), 시공 검측, 플랜트 시설물, 교량, 터널 구조물 검측 등에도 활용되고 있으며, 최근 각광을 받고 있는 3D 프린팅 기술에도 필수적으로 사용되는 등 파급효과가 매우 큰 기술이다.

노후 구조물의 증가는 관리 비용의 증대로 이어져 유지비 상승을 야기 시키고, 정확한 안전 진단과 유지보수가 이루어지지 않을 경우 심각한 안전 문제로까지 이어 질 수 있는 상황이다. 이와 더불어 최근 플랜트와 같은 MEP(Mechanical, Electrical and Plumbing) 시설물에 대한 LCC(Life Cycle Cost)최소화, 유지관리 비용의 절감, 환경부담 경감 등을 목적으로 시설물의 장

기 수명화가 새로운 과제로 부각되고 있다. 따라서 기존 시설물들의 효율적인 유지관리를 위해 노후화된 기존 시설물들을 점검하고 문제 발생에 대한 사전적 예방과 대응이 가능한 시스템 구축이 필요한 실정이다.

이에 기존 산업단지 내 대부분을 차지하는 MEP시설물에 초점을 맞춰 3차원 이미지 스캔 기술을 기반으로 한 효과적인 MEP 시설물 관리 기술을 제안해 보고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 논문의 연구 방법은 다음과 같다. 우선, 본 연구와 관련된 기술동향을 조사하고, 분석해 본다. 이후, 조사된 기술과 관련 전문가 자문을 통해 시설물 유지관리에 적용할 수 있는 3차원 이미지 스캔 및 역설계 기술, 문제점 및 프로세스를 분석하고, 이를 고려해, MEP 시설물 유지관리 작업을 개선할 수 있는 기술 및 활용사례를 도출해 본다. 본 연구의 흐름은 다음 그림과 같다

2. 문헌조사

3차원 이미지 스캔 기술은 LiDAR(Light Detection and Ranging)와 같이 3차원 포인트 클라우드를 취득하고, 정합할 수 있는 기

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

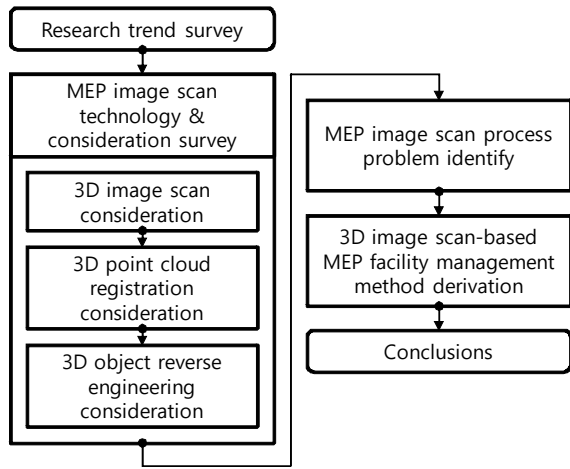


Figure 1. Research flow

술을 통칭한다. 이 기술을 통해 획득된 3차원 포인트 클라우드를 가공하여, 3차원 형상, 속성 및 객체 모델을 생성하는 기술을 역설계라 한다(한국건설기술연구원, 2016). 최근 역설계 기술이 건축, MEP, 플랜트 등의 다양한 분야에 적용한 사례가 급격히 늘고 있는 배경에는 BIM기술이 공공발주로 의무화되기 시작하고, 스캐닝 결과물인 3차원 포인트 클라우드를 효과적으로 처리하기 위해 필요한 컴퓨터 성능, 수치해석 알고리즘, 보급형 스캐닝 장치의 출현 등이 맞물린 결과이다.

3차원 이미지 스캔 기반 MEP 시설물 유지보수 분야는 최근 몇 년 사이에 연구가 되기 시작하였다. 이와 관련된 해외 연구 동향 및 국내 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다.

3차원 이미지 스캔 데이터에서 오류 값을 제거하고, 클러스터링(clustering)하는 것과 관련된 연구가 있었다(Nahangi et al., 2015). 이 연구는 3차원 포인트 클라우드 필터링 및 세그먼트이션에 초점이 맞춰져 있다. 레이저 스캔 데이터로부터 건설 시 3차원 빌딩 모델을 의미론적으로 생성하는 것과 관련된 연구가 있었다(Son et al., 2015). 이 연구는 모델링 데이터를 추출하는 것에 초점이 맞춰져 있다. 이와 유사한 연구로, 2차원 스캔 데이터로부터 3차원 빌딩 모델을 생성하는 것과 관련된 기술 조사 연구가 있었다(Gimenez et al., 2015).

MEP 파이프 형상에 대한 3차원 스캔 데이터를 BIM으로 변화하여, 이를 통해, 시설물을 모니터링하는 것과 관련된 연구가 있었다(Bosché et al., 2015). 이 연구는 사례 분석을 통해, 시설물 시공 시 모니터링하는 방법에 초점이 맞춰져 있다.

프로세스 및 가이드라인과 관련된 연구에서는 스캐닝을 통해 획득된 데이터를 이용해, 고속도로 3차원 엔지니어링 모델링 수행 방법을 연구한 사례가 있다(Reeder et al., 2015). 이 연구는 고속도로에 대한 3차원 이미지 스캔을 통해, 엔지니어링에 필요한 데이터를 모델링하는 방법에 초점이 맞춰져 있다. 이외,

Murphy(2010)의 3차원 이미지 정합에 대한 평가 표준에 대한 연구가 있었다. 이 연구에서 이미지 정합에 대한 품질을 언급하고, 이에 대한 평가 기준을 연구하고 있다. Bhatta(2012)는 as-built 3차원 모델링 정밀도 평가 방법에 대한 연구를 하였다.

국내 연구에서 비정형 건축물 외장재를 이용한 건축자재 품질 관리 프로세스에 관한 연구가 있었다(이상설, 2013). 이 연구는 건축자재 품질 관리 관점에서 프로세스를 조사하였다.

리모델링 프로젝트의 역설계 적용을 위한 최적 3차원 레이저 스캐닝 정보 획득 방안에 관한 연구가 있었다(이상설, 2014.5). 이 연구는 리모델링 프로젝트 관점에서 스캐닝 정보를 취득하는 방법에 대해 초점이 맞춰져 있다. 건축 MEP 역설계 지침 개발을 위한 프로세스 기초 연구가 있었다(김지은, 2015). 이 연구는 역설계 지침에 초점을 맞춘 프로세스 기초 조사 연구로, 본 연구인 유지보수 작업 개선 방안 도출과는 차이가 있으나, MEP 역설계 지침 연구 전에 사전 조사 작업으로 의미가 있다. 포인트 클라우드 기반 MEP 객체 역설계 처리를 위한 시스템 아키텍처에 대한 연구가 있었다(강태욱, 2014). 지상 LIDAR를 이용한 건축 구조물을 BIM 모델로 공간정보 구축하는 것과 관련된 연구가 있었다(김경민, 2015). 이 연구는 BIM 모델 구축 방법에 대해 초점이 맞춰져 있다.

노후화 시설물 건전성 모니터링을 위한 연구가 있었다(권기정, 2013). 이 연구는 모니터링 방안만 간단하게 제시한 수준이다. 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 터널 손상 부위 검출 알고리즘에 대한 연구가 있었다(윤정숙, 2007). 이 연구는 터널 분야에 대한 손상 검출 알고리즘 제공에 초점이 맞춰져 있다.

영상 기술을 활용한 콘크리트 외관 스캐닝 방법에 대한 연구가 있었다(지기환, 2014). 이 연구는 콘크리트 외관 스캐닝 방법에 대한 것으로 MEP 시설물 유지보수 방안 개선 연구와는 큰 관계가 없었다.

이외 유지훈(2013)은 목조건축문화재 역설계를 위해 지상 라이다 기반의 문화재 스캐닝 데이터를 취득·가공하여 역설계 도면을 작성하고 이를 동일 대상물에 대한 기존 기본도면과 비교·분석하였다.

3차원 이미지 스캔, 역설계 및 시설물 관리와 관련기술 동향 조사 결과, 대부분의 연구는 LiDAR기반 3차원 이미지 스캔 기술, BIM 기반 역설계 모델링 기술에 초점이 맞춰져 있다. 앞서 조사된 문헌을 확인해 보면, 주로 다음과 같은 연구 주제에 초점이 맞춰져 있다.

1. 3차원 이미지 스캔 기반 시공 관리
2. 3차원 포인트 클라우드 기반 3차원 모델 자동 생성
3. 3차원 이미지 스캔 기반 시설물 조사 및 관리
4. 3차원 이미지 스캔 기반 비정형 모델 및 구조 시공

시설물 관리와 관련된 연구가 있었으나, 이는 터널 등 인프라 스트럭처 및 문화재 등 시설물에 한정되어 있어, 본 연구 대상물과는 차이가 있다. MEP는 수많은 배관 및 설비로 구성되어 있어, 3차원 스캔 데이터의 유스케이스 관점에서 차이가 있다.

본 연구는 3차원 이미지 스캔 기술을 사용하여, MEP 시설물 관리 작업을 개선할 수 있는 기술을 제안한다. 이와 관련해, 고려해야 할 문제점을 현장 이미지 스캔 작업 및 자문을 통해 분석해 본다.

3. 3차원 이미지 스캔 기술 조사 및 고려사항

3.1 개요

본 장에서는 3차원 이미지 스캔 기반 MEP 시설물 관리 기술을 도출하기 위해, MEP 시설물 현장에서 3차원 이미지 스캔 작업을 수행하고, 관련 실무 경험이 5년 이상인 전문가 4명의 자문을 통해, MEP 유지보수에 필요한 3차원 이미지 스캔 기술을 조사하였다. 스캔 작업은 10회에 걸쳐, 한국건설기술연구원의 본관, 제로에너지 빌딩 및 플랜트 MEP를 대상으로 수행하였다.

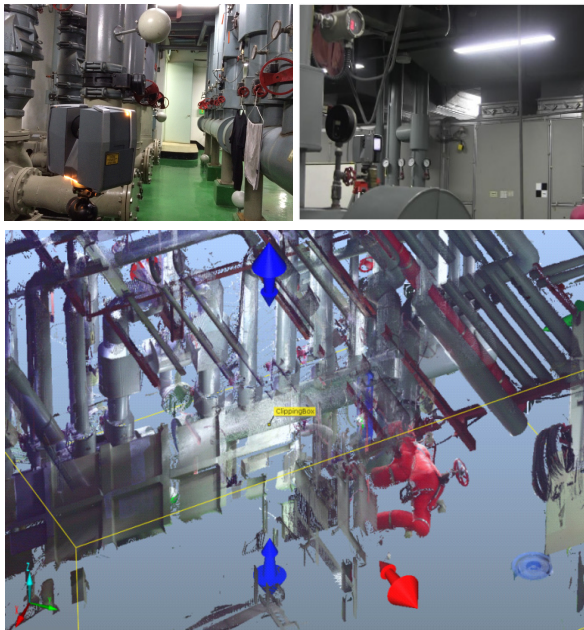


Figure 2. 3D image scanning and registered 3d point cloud

3차원 이미지 스캔 작업을 구성하는 주요 요소인 3차원 이미지 스캔 프로세스, 스캔 방법, 데이터 정합(Registration), 모델링 부분으로 나누어, 각 단계의 작업 내용 및 문제점을 확인하고, 고려사항을 도출하는 과정을 거쳤다.

3.2 3차원 이미지 스캔 프로세스

이 장에서는 3차원 이미지 스캔 작업을 통해, 분석한 스캔 작업 프로세스를 정리해 보았다.

1. 현장 답사

장면을 스캔한 지점을 미리 답사하고, 스캔 작업 시 작업 대상 및 범위, 스캔 품질, 작업자의 동선, 방해물, 그림자 영역, 스캔 가능한 작업 시간, 정합 포인트 등을 모두 체크한다.

2. 현장 스캔 계획

현장 답사 내용을 고려해, 스캔 계획. 효과적으로 스캔할 모든 대상물이 잘 스캔 될 수 있도록, 작업 도면에 기계 위치, 스캔 순서, 타겟 위치 등 표시한다.

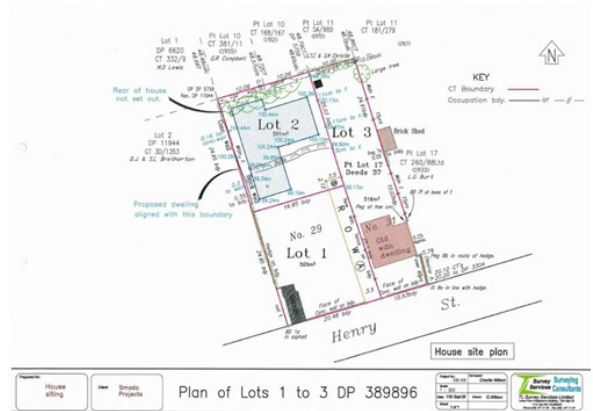


Figure 3. Survey planning example (TL survey services ltd)

3. 안전 장비 착용

안전 용구, 안경 등 착용 및 설치한다.

4. 스캔 현장 통제 공지/표시

스캔 대상이나 장소는 움직임이 없어야 한다. 통제 공지나 표시해야 한다.

5. 정합용 타겟 설치

설치된 스캐너에서 캡처한 장면에 가려진 부분(shadow area)이 있으면, 반대편에서 해당 부분을 스캔한다. 이 두개의 장면에서 얻은 스캔 데이터를 하나로 합쳐 정합하기 위해서는, 두 스캔 데이터의 공통 지점이 최소 3개 이상 인식되어야 한다. 공통 특징 점을 인식하기 위해 정합용 타겟을 사용해야 하며, 타겟이



Figure 4. Scan target types (Sphere target, checker board target)

부족할 때는 다음 그림과 같은 체커보드를 프린트해서 설치해야 한다. 단, 체커보드는 이미지 스캔 시점에서 보았을 때, 기울어지면 안 된다.

6. 모든 스캔 위치에 대해 다음 작업을 반복한다.

- 1) 스캔 위치에 장비 설치
- 2) 스캔 설정
스캔 장면 이름, 참고 내용, 품질 등
- 3) 스캔 시작
- 4) 스캔 결과 확인
문제가 있으면 다시 스캔
- 5) 스캔 결과 기록
차후 후처리를 위해, 스캔 결과 및 장면에서 특이사항 등을 기록

7. 스캔 데이터 정합

소프트웨어를 이용해 각 장면 별 획득한 3차원 이미지 스캔 데이터를 정합한다.

8. 정합 품질 확인

정합 보고서를 확인해, 각 스캔 데이터를 정합한 편차가 얼마나 있는 지 확인한다.

9. 정합 데이터 정리

불필요한 정합 데이터를 정리한다.

10. 납품

고객이 필요한 3차원 포인트 클라우드 형식으로 납품한다. 주로 사용되는 데이터 형식은 LAS(LASer File Format), LAZ표준파일, PTS, PTX, XYZ 등 이다.

3.3 3차원 이미지 스캔

3차원 이미지 스캔 기술은 대상 물체가 가지는 형상 정보를 취득하기 위한 단계이다. 이를 위해 스캐너와 타겟(Target)을 위치 시켜야 한다. 여기서 타겟은 취득신호의 세기(Reflection)가 매우 높은 물체로써, 데이터 취득의 다음과같은 데이터 정합을 위해 사용되며, 일반적으로 마커 및 원구형 타겟인 스피어(Sphere) 타겟이 많이 이용된다.

이 과정에서는 이미지 스캔 데이터의 활용 목적을 고려하여, 그에 맞는 스캔의 정밀도 및 스캔 횟수를 산출하고 이를 사전에 계획한 뒤, 각 스캔마다 타겟을 포함시켜 실제로 스캔을 수행한다.

3차원 이미지 스캔 시 고려사항은 다음과 같다.

Table 1. 3D Image scan consideration

Item	Description
스캐너 설치	LiDAR는 바닥이 평평한 곳에 안정적으로 설치해야 함. 바닥이 기울어져 있으면, 기계가 넘어져 고장이 날 수도 있음.
타겟 설치	1. 각 스캔 장면 별로 보이는 타겟 수는 최소 3개가 되어야 함. 그렇지 않으면 정합되지 않음. 2. 타겟이 부족하면, 체커 보드를 프린트해서 사용해야 함. 다만, 기울어진 체커 보드는 제대로 인식되지 않을 수 있음. 3. 스캔 작업 시 항상 정합을 고려해 작업해야 함.
작업 구역 통제	1. 사람이 타겟이나 측량 기계의 삼각발을 건들지 않도록 조심해야 함. 건들면 기준점이 모두 흔들리는 것이므로, 다시 재작업해야 함. 2. 스캔 장소는 사람이 들어오지 않도록 통제선을 설치하는 것을 고려해야 함.
스캔 동선 계획	스캔 장면의 동선은 연결되게 계획해야 함.
작업자 안전	스캔 레이저가 눈에 직접 들어오지 않도록 조심함.
스캔 밀도	스캔 포인트 밀도는 작업 결과물을 어디에 사용할 것인지, 정합 정밀도는 어느 수준으로 할 것인지를 고려해 결정해야 함.
작업 시간	가능하면 되도록 사람이 없는 시간대에 스캔 해야 함.
스캔 대상 재질	거울과 같은 반사물은 스캔되지 않음. 이 경우에는 반사면에 별도 스프레이 등 처리가 필요.
진동 문제	진동이 있는 대상물은 스캔 결과가 노이즈가 생기므로, 가동을 중지하거나 해서, 고정된 상태에서 스캔해야 함.
작업 기록	스캔 장면의 데이터 취득 시 후처리에 도움이 되는 메모를 남기는 것이 좋음. 스티커로 표시해 붙여 놓고 작업할 수도 있음.

3.4 3차원 이미지 스캔 데이터 정합 결과 품질 테스트

이미지 스캔 및 정합 작업을 진행하면, 대량의 포인트 클라우드 데이터가 수집된다. 정합된 포인트 클라우드의 품질을 적절히 관리하지 않으면, 비효율적인 역설계 작업이 된다.

스캔된 3차원 포인트 클라우드는 역설계의 핵심적인 데이터 소스가 된다. 품질에 문제가 있는 포인트 클라우드는 후 작업 결과에 매우 나쁜 영향을 미칠 수 있으며, 이런 이유로, 스캔 결과에 대한 품질 테스트가 필요하다. 다음은 정합된 스캔 데이터의 품질 테스트 방법이다.

1. 현장에서 고정된 두 측정점 A, B 를 정함.
2. 두 측정점에 토탈 스테이션용 타겟을 설치.
3. 토탈 스테이션으로 시준해 두 측정점의 거리 A를 측정.
4. 두 측정점에 스캔용 타겟을 설치.
5. 스캐너를 이용해 두 측정점의 타겟을 스캔.
6. 스캔된 포인트 클라우드에서 두 측정점 타겟을 인식해 거리 B를 측정.
7. 정밀도 오차를 계산.

다음은 품질 테스트를 위해, 한국건설기술연구원 MEP 설비에서 무반사 토탈 스테이션을 이용해, 두 측정점을 측정하고, 3차원 이미지 스캔을 하여 비교하는 모습이다.



Figure 5. Total station based distance measurement for checking scan quality

오차는 다양한 3차원 포인트 클라우드 처리 소프트웨어를 이용해 분석할 수 있다. 실제로 정밀도를 체크한 결과 오차는 고정되지 않은 삼각대, 물체 진동 등 다양한 원인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 품질 측정 오차를 줄이기 위해서는, 측정 시 흔들리지 않은 바닥 및 삼각대, 진동이 없는 곳에 타겟 설치, 측정지점에서 정면으로 보이도록 타겟 설치, 스피어 타겟의 경우 측정 장비별 반사형 타겟 마운팅 제작 등의 사전 준비 조건이 필요하다.

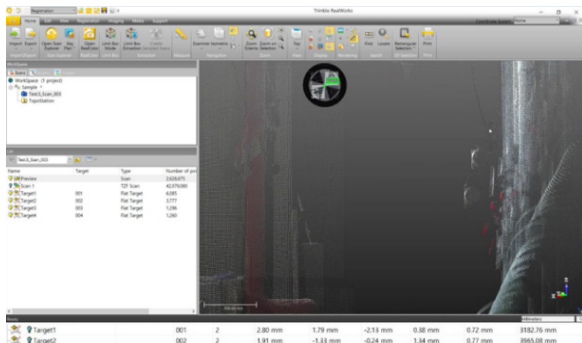


Figure 6. Results of scan quality check

포인트 클라우드 밀도 체크는 특정 거리에 설치된 대상물의 스캔된 점군 갯수를 체크해야 한다. 예를 들어, 10미터 거리에 사각 박스를 설치하고, 스캔된 점군을 체크하는 방식으로 계산한다. 이 방법이 불가능하면, 포인트 클라우드 처리용 소프트웨어에서 1제곱미터 크기의 폴리라인을 제도한 후, 그 안의 점군 갯수를 체크하도록 한다.

3.5 MEP 시설물 관리

정합된 MEP 3차원 포인트 클라우드를 획득하고, 품질 테스트를 마쳤다면, 이 데이터를 기반으로 시설물 관리를 수행할 수 있다. 현재, 3차원 포인트 클라우드 기반 시설물 관리는 다음과 같은 방법을 적용하고 있다.

1. 3차원 포인트 클라우드와 현장 비교
2. 3차원 포인트 클라우드와 설계 데이터 비교

3. 3차원 포인트 클라우드 간 비교
4. 3차원 포인트 클라우드 분석을 통한 문제점 확인

1번 방식은 현장 스캔 데이터를 3차원 가상 공간에 가시화한 후, 별도의 뷰어를 통해 시공 등 각 분야 전문가들이 문제점을 확인할 때 사용한다. 이 방식은 전문가의 의견을 반영하기 좋으나, 많은 검토 시간이 걸리고, 시설물에 발생된 문제를 미처 발견하지 못할 수도 있다.

2번 방식은 설계 데이터가 있다는 가정에서 적용할 수 있는 방식이다. 설계 데이터를 3차원 모델로 변환할 수 있다면, 3차원 모델과 현장의 3차원 포인트 클라우드를 비교할 수 있다. 이를 통해, 간섭 등의 문제를 자동으로 확인할 수 있다.

3번 방식은 포인트 클라우드 간 비교를 통해, 시간 변화에 따라 시설물의 상태 변화를 확인한다.

4번 방식은 포인트 클라우드 데이터를 통계적인 방법 등으로 분석하여, 곡률 변화, 수직 및 수평 제약조건 위배 등의 문제점 등을 자동으로 확인한다.

언급된 방식들은 3차원 포인트 클라우드를 가시화하고 분석하는 소프트웨어에 의해 처리될 수 있다.

4. MEP 3차원 이미지 스캔 작업 문제점 및 개선 방안

4.1 작업 공간 및 시간 문제

레이저 스캐너로 구조물 전체의 3D 모델을 생성하려면 여러 위치에서 대상을 스캔하고 이들 데이터를 병합하는 작업에 시간이 많이 소요된다. 시공이 진행 중인 구조물의 경우 스캔을 진행할 수 있는 시간과 장소가 제한적이다. 드론 등을 적용한 스캐너의 활용이나, 3D 스캐닝으로 취득한 대규모 데이터를 경량화하여 후처리 시간을 단축시킬 수 있는 기술의 개발 및 연구가 필요하다.

4.2 비가시 영역 스캔 및 고가 장비 운용 문제

3차원 이미지 스캔의 특성 상 비가시영역이 존재 할 수밖에 없다. 특히, 스캔 장비가 진입하기 어려운 고층부, 저층부 설비 스캔 작업은 비가시영역이 많이 발생한다. 비가시영역은 불완전한 3차원 포인트 클라우드 취득의 원인이 되며, 불완전한 데이터는 불완전한 역설계 모델 생성의 주요 원인이다. 이런 장비 진입불가 영역의 스캔을 위해서 드론, 로버와 같은 스캔 장비 마운트가 가능한 로봇이 유용할 수 있다.

아울러, 3차원 이미지 스캔에서 많이 활용되고 있는 LIDAR의 경우에도 고가 비용으로 인해, 장비 유지 비용에 큰 부담으로 작용하고 있다. 고가 장비는 다루는 작업자의 능숙도에 따라 장

비 감가 상각 비용에 영향을 주기 때문에, 별도로 훈련받은 엔지니어가 장비를 다룰 수 밖에 없는 구조이다. 아직, 역설계 지침 등을 숙지한 엔지니어가 많지 않은 환경에서, 이런 점은 역설계 기술 확산이 장애물이 된다.

이런 의견들을 정리해 보면 다음과 같은 문제들이 있음을 알 수 있다.

1. 플랜트 MEP 파이프 배관과 같이 비가시 영역, 시선이 미치기 어려운 고층부 문제
2. 사람이 진입하기 어려운 낮은 박스/파이프 스캔 문제
3. 고가의 스캔 장비 비용

4.3 모델링 라이브러리 부족

MEP 역설계를 위해서는 각종 밸브, 펌프, 기타 설비에 대한 구성요소가 필요하다. 국내에서 사용하고 있는 대부분의 BIM 소프트웨어는 외국에서 수입된 것이어서 국내 실정하고 맞지 않거나 그 구성요소가 부족하다.

4.4 불명확한 LOD 수준 정의

LOD 수준에 따라 MEP 모델링에 필요한 시간과 비용은 크게 차이가 난다. 적절한 LOD의 개념을 이해하고 부재 표현에 있어 범위를 확실하게 정의할 필요가 있다. 다음은 AIA의 LOD 규정과 MEP LOD 모델링 시 고려사항이다.

Table 2. BIM-based mep modeling requirement

LOD	E202 (AIA)	MEP LOD 요구사항
100 (기획단계)	비 형상 위주의 메스모델링, 건축물의 규모검토, 현장조사 등 사전 업무	기획단계에는 MEP 모델링을 위한 별도의 정보는 필요하지 않음
200 (계획단계)	3차원의 일반적 요소모델링, 건축물의 규모, 예산 등을 정의	초기 모델링을 위한 객체 선택 및 선택된 객체의 모델링 위치 정보 등 요구
300 (중간설계)	구체적인 3차원 요소 모델링, 시스템에 따른 자재, 장비 등 구체화	모델링 객체 선택 및 수정, 선택된 객체의 모델링 위치 정보, 객체 상세 속성 정보, MEP 객체 기계적 속성 정의, MEP 시스템 설정
400 (실시설계)	삼 드로잉 및 실시설계도면 추출자재와 장비의 치수, 위치 재질 등을 구체화하여 모델링 완료	모델링 객체 수정 요청, MEP 객체 고유 속성, MEP 시스템 설정, 선택된 객체의 모델링 위치 정보, 시공 상 요구되는 정보, 도면 추출 표기 확정

4.5 문제점 개선 방안

앞서 언급한 문제점은 다음과 같은 방식으로 일부 개선이 가능하다. 다만, 작업자 작업 방식에 따라 파생되는 문제점까지 해결하기에는 한계가 있음을 밝힌다.

Table 3. Consideration for solving scanning issue

No	Issue	Consideration
1	작업 공간 및 시간 문제	작업 목적 및 범위에 따른 적절한 작업 계획 및 장비 사용 필요 스캔 데이터 전/후처리 기술 개선
2	비가시 영역 스캔 및 고가 장비 운용 문제	비가시 영역 스캔 방법 사전 계획 스캔 데이터 유스케이스에 따른 포인트 클라우드 정밀도/밀도 결정 후 장비 선정
3	모델링 라이브러리 부족	역설계 용 모델 라이브러리 표준화 역설계 시 모델 자동/반자동 맵핑 기술 개발
4	불명확한 LOD 수준 정의	작업 목적에 따른 명확한 LOD 설정 지침 개발 필요 LOD에 대한 형상/속성 역설계 수준 정의 필요

5. 역설계 기반 MEP 시설물 관리 기술

5.1 개요

본 장에서는 전문가 자문 의견을 바탕으로 현장에 적용가능한 3차원 이미지 스캔 기반 MEP 시설물 관리 기술을 제안한다.

5.2 SCAN-BIM 기반 시설물 통합관리

BIM기반 시설물 유지관리 시스템은 BIM설계 정보를 기반으로 3차원적인 공간과 설계정보, 건물에 설치되어 운영되는 시설의 유지관리 정보를 입체적으로 관리하는 시스템이다.

노후화된 설비 및 도면이 존재하지 않는 설비와 도면과 다르게 설치되어있는 설비 및 건축물의 상태를 3차원 이미지 스캔 및 역설계를 통하여 데이터를 생성하여 BIM 데이터와 결합시킴으로서 한 단계 높은 시설물 관리가 가능하다.

다음 그림은 3차원 이미지 스캔을 통해 획득한 포인트 클라우드로부터, 자동으로 배관 BIM 모델을 생성해, 시설물 관리 시스템과 연동할 수 있는 기술의 예이다.

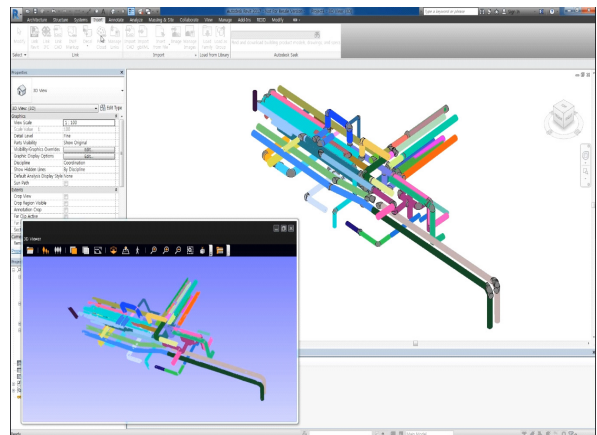


Figure 7. 3D point cloud-based reverse engineering system (Korea institute of civil engineering and building technology, 2016)

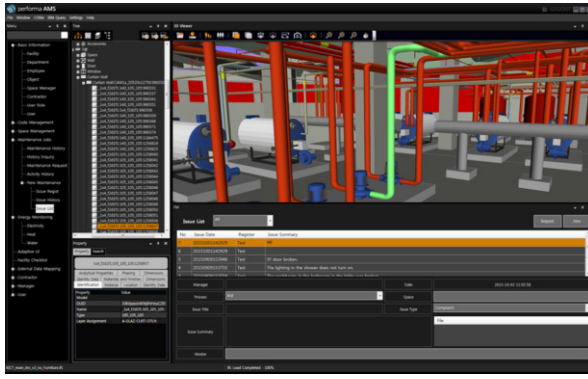


Figure 8. 3D reverse engineering-based mep facility management system (Korea institute of civil engineering and building technology, 2016)

BIM기반 시설유지관리 업무는 직관적인 건물의 3D 형상을 통하여 시설에 대한 유지보수를 요청하고, 요청에 대한 처리를 하고 처리에 대한 내용을 3차원 이미지 스캔 데이터와 비교함으로써 직관적인 시설물 관리가 가능하다.

5.3 3차원 역설계 데이터 검증 기술

역설계 디자인 검증은 지능화된 역설계 모델을 통해, 자동적으로 수행될 수 있다. 참고로, 역설계 모델은 파라메트릭하게 모델링 된다. 파라메트릭 구속조건과 위상정보는 역설계된 모델이 제대로 시공되었는지, 유지보수 시 문제가 없는지 등을 확인하는 기본 정보로 사용될 수 있다. 이런 정보들은 검사 규칙을 정의한 규칙 기반 검사 언어(RIDL, Rule-based Inspection Description Language)에 의해 정의될 수 있으며, RIDL에 정의된 검사 유스케이스들은 효과적으로 라이브러리화되어, 특정 응용 목적에 따라 재활용될 수 있다.

5.4 안전사고 예측 및 분석 기술

반도체, 플랜트와 같은 설비의 MEP 배관 종류 및 수는 많기 때문에, 효율적인 관리가 어렵고, 문제점을 제때 찾아 해결하기 까다롭다. 하지만 3.5장에서 기술된 설계 데이터 및 분석 방법을 통해 미리 사고를 예측하고, 시설물을 효과적으로 관리할 수 있다.

1) MEP 배관 팽창

내부 압력 불안정에 의해서 배관의 파손이 일어날 수 있는 현상을 검출할 수 있다.

2) MEP 배관 처짐

자체하중에 의해서 배관의 과도한 처짐에 따라 내구력 약화될 수 있는 상황을 검출할 수 있다.

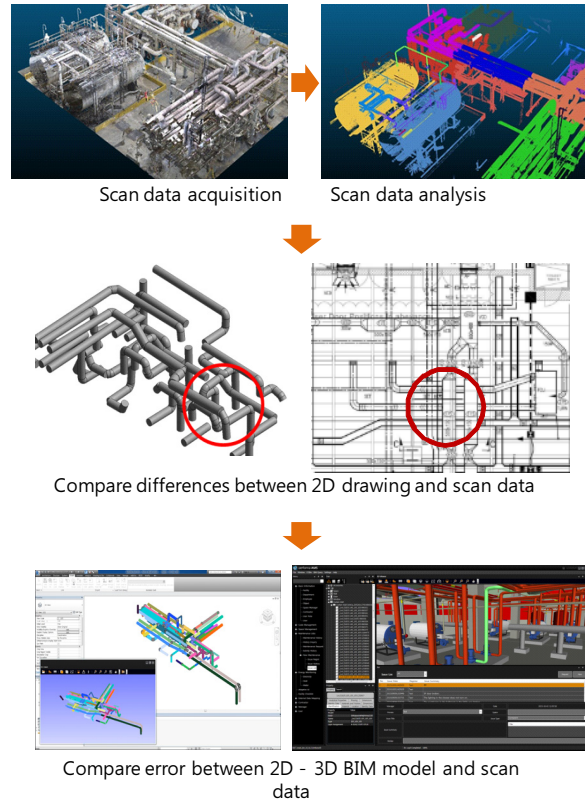


Figure 9. Quality control process for facility management

3) 기울어진 MEP 설비

착오시공 또는 추가설비 설치에 과도한 힘이 서포터에 가해짐에 따라 전체적인 형상이 변형을 일으킨 것을 검출할 수 있다.

4) MEP 설비 손상

현장의 작업자에 의해 의도하지 않은 물리적 충격이나, 내외부에 다른 압력차에 손상된 설비를 검출할 수 있다.

5) 잘못된 배관 구경

착오시공에 의한 잘못된 배관 검출이 가능하다.

6) 맞지 않은 배관

설비로 들어가는 노즐(밸브)의 위치가 설계와 불일치하며 서포터의 착오 시공에 따라 전체적인 배관의 위치가 틀어진 경우를 검출할 수 있다.

5.5 효과적인 시설물 데이터 관리

스캐너를 통해 수집하고 정합과 모델링 거쳐 속성 정보까지 입력된 시설물 정보는 도면정보, 스캔정보, 관리이력 등을 포함하는 시설물 빅 데이터의 자원이 된다. 이는 시설물 이력 관리를 체계적으로 할 수 있으며 정보를 분석하고 노후화, 교체 시기

등을 예측 할 수 있는 토대가 된다.

5.6 설비 변위 분석

Fig. 8과 같이 일정한 주기로 촬영한 3D 스캔 데이터와 도면 및 3차원 모델과의 비교 분석을 통해 변위부위를 파악 할 수 있다. 밀리미터 단위로 분석이 가능하며, 변형에 의한 사고 예방 이 가능하다. 또한, 사고 발생 시 처지거나 뒤틀린 부분의 빠른 파악으로 신속히 사고에 대응을 할 수 있다.

5.7 시설물 개선 및 교체 기성검수

3차원 스캔데이터를 통한 시설물 교체, 시공오차 분석 및 전 환설계 시 시공 적합성 검수가 가능하다.

6. 결론

본 연구에서는 역설계 모델링 기술 및 프로세스 조사 및 분석 을 통해 기술 고려사항 및 문제점을 분석하였으며 이를 바탕으 로 역설계 기술을 기반으로 한 효과적인 시설물 관리 작업 개선 방안을 제시하였다.

스캔 데이터와 BIM를 통합한 시설물 관리 시스템은 현장 데 이터와 설계 데이터를 시설물 관리 정보와 통합해 가시화할 수 있다. 아울러, 시설물 관리에 필요한 정보를 통합적으로 질의할 수 있다. 이를 통해, 시설물 관리에 필요한 다양한 분석이 가능 하다. 분석된 정보는 시설물 관리자의 효과적인 의사결정에 도 움을 줄 수 있다.

본 연구에서 제시된 MEP 시설물 관리 작업 개선 방안은 시설 물 빅 데이터의 구축, 시설물의 관리 및 사고의 예측, 기성검수, 전환설계와 기존 시설물에 대한 시공 적합성 평가 등의 활용 방안은 건설 전반에 걸쳐 시간과 비용의 감소를 통한 효율적인 시설물 운영에 도움이 될 수 있을 것이다. 향후, 이 연구를 바탕 으로 역설계 기반 시설물 유지관리 시 효과를 정량적으로 분석 하고, 이를 효과적으로 지원하는 기술을 연구할 계획이다.

감사의 글

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

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*,

Vol. 28, 116–127.

Bosche, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C. T., & Haas, R., 2015, The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components, *Automation in Construction*, Vol.49, pp. 201–213

Gimenez, L., Hippolyte, J. L., Robert, S., Suard, F., & Zreik, K., 2015, Review: reconstruction of 3D building information models from 2D scanned plans, *Journal of Building Engineering*, Vol. 2, pp. 24–35.

GSA, <https://sites.google.com/site/bimprinciple/in-the-news/gsabimguidefor3dimaging>, 2014.

J. Dollner, B. Hagedorn, 2008, Integrating urban GIS, CAD, and BIM data by service-based virtual 3D city models, *Urban and Regional Data Management*, pp. 157–170.

M. Podevyn, 2012, Developing an Organizational Framework for Sustaining Virtual City Models, Doctor degree paper, Northumbria 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. *tial Information Sciences*, Vol. 2, No. 2, pp. 31–34.

Nahangi, M., Czerniawski, T., & Haas, C. T., 2015, Automated 3D Shape Detection and Outlier Removal in Cluttered Laser Scans of Industrial Assemblies. In Proc. of the International Conference of Innovation in Construction, pp. 1–10.

Reeder, G. D., & Nelson, G. A., 2015, Implementation Manual-3D Engineered Models for Highway Construction: The Iowa Experience.

Son, H., Na, J., & Kim, C., 2015, Semantic As-built 3D Modeling of Buildings under Construction from Laser-scan Data Based on Local Convexity without an As-planned Model. In ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Vol. 32, pp. 1–7.

TL Survey Services Ltd, <http://www.tlsurvey.co.nz>

강태욱, 2014, System Architecture for Point Cloud-based Reverse Engineering of Architectural MEPObject, 한국건설관리학회 학술발표대회.

- 권기정, 신주호, 박승희, 2013, Health Monitoring of Aging Facilities using Noncontact Laser 3D Scanning-based BIM, 한국BIM학회 정기학술발표대회 논문집 Vol. 3, No. 1.
- 김경민, 2015, BIM-based on spatial information construction using terrestrial LiDAR, 전북대학교.
- 김지은, 박상철, 강태욱, 2015, 건축 MEP 역설계 지침을 위한 라이더 기반 포인트 클라우드 데이터 자료 구조 및 프로세스 기초연구, 한국산학기술학회 논문지, Vol. 16, No. 8, pp. 5695-5706.
- 유지훈, 2013, study on reverse design of wooden architecture heritage using terrestrial LiDAR, 석사논문, 청주대학교.
- 윤정숙, 이준석, 이규성, 사공명, 2007, A detection algorithm for the installation sand damages on a tunnel liner using the laser scanning data, 한국터널지하공간학회, Vol. 9, No. 1, pp. 1229-2338.
- 이상설, 권숙옥, 2014, 5, A Study on Optimal Laser Scanning method for Reverse Engineering at Interior, 건설관리학회, Vol. 15, No. 3.
- 이상설, 권숙옥, 신중환, 2013, Development of process for quality awareness of construction materials using reverse engineering, 한국건설관리학회 학술발표대회.
- 지기환, 윤영민, 윤태국, 추진호, 2014, 11, 디지털영상처리기술을 활용한 콘크리트시설물 외관 스캐닝조사방법, 콘크리트학회지, Vol. 26, No. 6, pp. 60-63.
- 한국건설기술연구원, 2016, 3D객체역설계기반MEP설비유지관리시스템, 산업통상자원부.