

AEC 역설계 지침 개발을 위한 고려사항 도출

Development Considerations for Reverse Engineering Guidelines for AEC

강태욱¹⁾

Kang, Tae Wook¹⁾

Received November 26, 2015 / Accepted December 15, 2015

ABSTRACT: The purpose of this study is to provide considerations for developing reverse engineering guidelines for AEC(Architecture, Engineering and Construction). The reverse engineering is a methodology which has the purpose of extracting and recognizing geometries and properties from physical objects such as buildings, facilities, terrain and infrastructure including roads, bridges, and tunnels. To handle them for the purpose of construction management, maintenance, and operation, we should know the exact position, orientation, and dimension of the objects including their properties. As the viewpoint of the information extraction from reverse engineering, it is necessary to derive consideration factors for developing reverse engineering guidelines.

KEYWORDS: AEC, Reverse engineering, 3D image scan, guideline, consideration

키워드: 건설, 역설계, 3차원 이미지 스캔, 지침, 고려사항

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 3차원 이미지 스캔과 같은 역설계 기술이 진보되고 가격이 저렴해짐에 따라, 역설계, 측량, 검수 등의 분야에서도 많은 변화가 일어나고 있다. 이동형 스캔 장비도 활용도가 높아져, 드론과 같은 UAV를 이용해 짧은 시간과 높은 정밀도로 대용량의 측량 데이터를 손쉽게 취득할 수 있다. 하지만, 발주자의 역설계 응용 목적에 부합하는 품질의 역설계 결과물을 얻기 위해서는, 생성된 대용량의 데이터셋을 어떻게 품질 보증하고, 저장하며, 비용 효과적으로 이런 단계들을 처리할 수 있는지에 대한 지침이 필요하다.

3차원 이미지 스캔은 원격 센싱 기술로 광범위하게 뿌려져 반사된 빛의 특성을 이용해, 주변의 위치(높이, 방향, 거리), 반사 강도 데이터를 빠른 시간 내에 획득한다. 이 데이터는 레이더 기술과 유사하게 계산되며, 반사되어 돌아온 시간 지연 및 위상 차이를 이용해 계산한다.

3차원 이미지 스캔은 다음과 같은 다양한 분야에서 활용할 수 있다.

1. 건축/구조: 실내 구조 측량, 3D 렌더링 및 공간 모델링, 역사 유물 보존 및 리노베이션, 빌딩 렌더링
2. 시설물 관리: 플랜트/설비(MEP) 측량, 빌딩 공간 측량, As-built 측량
3. 측량/엔지니어링: 지형 측량, 변위 측량, 부피 측량, 교량/터널/구조물 측량

전통적인 측량 방법은 특정 측량 지역에서, 측량 엔지니어가 작업하는 시간, 데이터 처리 시간 등을 요구한다. 최근에 사용 사례가 많아지고 있는 이동식 LIDAR(Light Detection and Ranging)의 경우에는, 현장에서 많은 양의 데이터를 수집하는 시간은 전체 작업 시간에 비해 10%밖에 안 된다. 그리고, 이동식 LIDAR를 운용하는 비용은 기존 전통식 측량 방식에 비해 5에서 10배 정도 높다. 이동식 LIDAR에서 획득한 3D 포인트 군을 캐드 객체로 변환하는 것은 시간이 오래 걸리는 작업이며, 아직은 수작업이 많다. 최근, 캐드와 GIS 소프트웨어 벤더사들은 특정 응용을 위한 포인트 클라우드 활용 방법을 지원하고 있다.

이동식 이미지 스캔 작업은 관련된 많은 변수들이 있으며, 이는 3차원 공간과 관련 정보로부터 목표된 어플리케이션이 얻을 수 있는 이익과 관련된 것이다. 이미지 스캔은 현장 조건이

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

작업에 문제가 없어야 하며, 이는 안정성과 관련된 변수들이다. 작업 현장 접근성, 날씨, 시야 확보 등은 이런 변수들 중 일부이다.

프로젝트 일정은 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. 결국, 역설계 작업 프로세스는 작업자 및 관리자의 경험과 능숙도에 따라 역설계 결과물의 품질과 비용에 큰 차이가 있을 수 밖에 없다.

해외에서는 이런 역설계 프로세스를 응용에 따라 정형화하여, 해당 응용 분야에 적합한 프로세스를 개발하고, 이를 엔지니어링 산업계에 지침으로 보급함으로써, 기술 전파를 촉진시키고, 기술 활용 시 시행착오를 막아, 산업계 자체의 경쟁력을 높여나가고 있다.

본 연구는 이러한 관점에서 미국 조달청 GSA(General Services Administration)와 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)의 역설계 관련 지침들을 소개하고, 역설계 지침을 개발할 때 고려해야하는 사항을 도출해 본다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 논문의 연구 방법은 다음과 같다.

미국 조달청 GSA와 NCHRP의 지침을 분석하기 위해, 지침의 개발 목적을 확인하고, 개발 목적에 따라 제안하고 있는 프로세스 작업 항목과 내용을 분석한다. 이를 바탕으로 각 지침을 분석해 정리한다. 마지막으로 각 지침을 분석한 내용을 활용해, 고려 사항을 도출한다. 그리고, 향후 연구를 기술한다.

2. 문헌조사

건설 분야 역설계 지침 분석과 관련된 연구는 아직 그리 많지가 않으며, 대부분 관련 연구들은 역설계 기술 구현에 초점이 맞춰져 있다.

국내 관련 연구는, 이상설 외(2014)는 리모델링 프로젝트의 역설계 적용을 위한 최적 3차원 레이저 스캐닝 정보 획득 방안을 위해, 3차원 형상정보 획득단계에서 스캐닝 데이터의 정밀도에 따른 측정시간 및 실측 데이터와 획득 데이터와의 오차분석을 통한 최적 스캐닝 데이터 획득 정밀도를 제시하였다. 이미나(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. 강태욱(2014)은 효과적 건축 MEP 객체 역설계를 지원하기 위한 시스템 아키텍처를 제안하고, 프로토타입을 개발하여 개선사항을 도출하였다. 이외 유지훈(2013)은 목조건축문화재 역설계를 위해 지상 라이다 기반의 문화재 스캐닝 데이터를 취득·가공하여 역

설계 도면을 작성하고 이를 동일 대상물에 대한 기존 기본도면과 비교·분석하였다.

해외 연구도 유사한 방향으로 진행되고 있으며, 지침에 대한 연구 자체는 매우 부족한 상황이다. 다만, 지침과 가까운 몇몇 연구를 살펴보면, K. 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. Ankit Bhatla (2012)는 as-built 3차원 모델링 정밀도 평가 방법에 대한 연구를 하였다.

앞서 언급한 대부분의 연구는 역설계 알고리즘 구현에 대해 초점이 맞춰져 있으며, 역설계 프로세스나 지침에 대한 연구는 부족하다.

본 연구는 이러한 관점에서 미국 조달청 GSA(General Services Administration)와 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)의 역설계 관련 지침들을 소개하고, 역설계 지침을 개발할 때 고려해야하는 사항을 도출해 본다.

3. 역설계 지침 내용 분석

3.1 GSA 3D 이미지 스캔 지침

3.1.1 개요

이 지침은 레이저 스캔등을 포함한, 3차원 포인트 클라우드 및 관련 정보를 취득하여, 활용할 때 고려해야할 내용, 기술 및 사례 등을 소개하고 있다. DoD(Department of Defense, U.S), 교통국 등 공공조직에서도 3D 이미징 기술을 활용하고 있으며, GSA는 3D 이미징 기술을 많은 프로젝트를 통해 적용하고 있는 상황이다. 이런 배경에서, GSA는 역사적 구조물 및 건물 기록/문서화, 건물 노후화로 인한 시공 불일치(품질저하), As-built 상태 기록 등이며, 이런 사례를 정리해, 지침으로 개발하였다.

3.1.2 내용 요약

이 지침에서 적용하고 있는 3차원 이미지 스캔 프로젝트의 예는 다음과 같다.

1. 역사적 건물에 대한 복원
2. 2D CAD 생성 및 치수 획득
3. 시설물 계획 시 BIM 모델의 빌딩 정보와 연계
4. MEP(mechanical, electrical, plumbing) 기록
5. Roof pattern 기록
6. 기존 구조물 평가, 리노베이션.

프로젝트 팀은 3차원 이미징 프로젝트의 목표를 명확히 기술하도록 명시하고 있다. 이미징할 영역, 서페이스, 객체를 명확히

설정해야 하며, 과거의 경험상 앞으로 발생할 수 있는 오해, 재작업, 재협상을 줄임으로써 명표를 명확히 해야 한다고 규정하고 있다.

인테리어 분야에서, 프로젝트 팀은 이미지되어야 할 모든 실과 공간을 확인하도록 하고 있다. 층 계획, 도면 혹은 스케치 등을 입찰 정보에 포함시키고 있으며, 이 정보는 서비스 제공자가 입찰할 때 활용할 수 있도록 정의하고 있다. 인테리어 공간의 레이아웃은 명시하고 있으며, 상세한 면적, 실 수, 중요한 객체 위치 등이 명시하고 있다.

이 지침에는 공간과 관련해, 다음과 같은 문제를 또한 고려하고 있다.

1. 요구되는 보안 허가
2. 복잡한 작업공간의 방해물
3. 특정 지역의 접근 제한
4. 특정 시간의 접근 제한
5. 데이터 처리 및 저장에 대한 보안 규정
6. 반사 표면의 이미징 처리 혹은 낮은 반사 표면 문제

3D 이미징 시스템 사용과 관련된 경제성 의사결정은 여러 요인과 관련된 다양한 방법에 따라 다르므로, 이에 대해 구분하고 있다. 특히, 의사결정에 영향을 미치는 중요한 요인을 분석하고 있는 데, 이를 프로젝트 요구사항으로 포함해야 한다고 권고하고 있다. 예를 들어, 측정 불확실성, 해상도, LOD (level of detail), 프로젝트 일정, 비용 등을 고려해야 함을 밝히고 있다. 비용은 의사결정에서 중요한 요인이므로, 이를 비용 추정에 고려해야 한다고 기술하고 있으며, 3차원 이미징 프로젝트를 수행할 때 비용 절감한 사례들을 기술하고 있다.

발주와 관련해, 프로젝트 팀은 산출물의 내용과 단위를 명시해야 한다고 규정하고 있다. 스캔 계획, 스캔 시 안전문제, 모델링 계획, 품질 관리, 리소스 요구사항을 명확히 하도록 하고 있다. 다음과 같은 예로 명확하게 목표와 발주 받을 것들을 명시해야 한다고 기술하고 있다.

PROJECT OBJECTIVES (see Section 1.4)	DATA				Level	Type (see section 2.3.2)
	Generic Requirements (see Section 2.4)			AOI (Area of Interest) (see section 2.3)		
	Scan Plan (see Section 2.4.1)	Modeling Plan (see Section 2.4.2)	QC Report			
Urban Design	x	x	x		Level 1	Type 1 Type 3
Architectural Design	x	x	x		Level 2	Type 1 Type 2
Facade Restoration	x	x	x		Level 3	Type 1
Room Space Measurement	x	x	x		Level 2	Type 1
Maintenance/Damage Identification	x	x	x		Level 3	Type 1 Type 3
Historic Documentation	x	x	x		Level 1 Level 2	Type 1
Renovation	x	x	x		Level 2 Level 3	Type 1 Type 2
Above ceiling condition capture	x	x	x		Level 2	Type 1 Type 3

Figure 1 Project definition matrix

Level of Detail (Section 2.3.1)	Area of Interest (Section 2.3.1)	Deliverable (Section 2.3.2)		Category	Tolerance mm (in)	Minimum Artifact Size (resolution) mm x mm (in x in)
		Type	Description			
Level 1	(Description)	3.1	Point cloud	Base	± 51 (± 2)	152 x 152 (6 x 6)
Level 2	2-A (Description)	1.1	Plan	Base	± 13 (± ½)	25 x 25 (1 x 1)
		1.3	Elevation	Base	± 13 (± ½)	25 x 25 (1 x 1)
		2.1	Surface model	Option	± 13 (± ½)	25 x 25 (1 x 1)
		3.1	Point cloud	Base	± 13 (± ½)	25 x 25 (1 x 1)
Level 3	3-A (Description)	1.3	Elevation	Base	± 13 (± ½)	25 x 25 (1 x 1)
		2.1	Surface model	Option	± 13 (± ½)	25 x 25 (1 x 1)
		3.1	Point cloud	Base	± 13 (± ½)	25 x 25 (1 x 1)
		3.1	Point cloud	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
Level 3	3-B (Description)	1.1	Plan	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
		1.3	Elevation	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
		3.1	Point cloud	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
		3.1	Point cloud	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
Level 3	3-C (Description)	1.3	Elevation	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
		3.1	Point cloud	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
		3.1	Point cloud	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
		3.1	Point cloud	Base	± 6 (± ¼)	13 x 13 (½ x ½)
Level 4	(Description)	2.1	Surface model	Base	± 3 (± 1/8)	13 x 13 (½ x ½)
		3.1	Point cloud	Base	± 3 (± 1/8)	13 x 13 (½ x ½)

Figure 2 Deliverable selection matrix

산출물을 평가하고 검수하는 단계에서는, 스캔 데이터의 누락 데이터나 불완전한 데이터가 있는 지, 측정된 데이터의 오차 정밀도는 어떤지, 스캔 계획은 적절한 지, 포인트 클라우드 정합은 제대로 되었는지, 모델링 품질은 문제가 없는 지를 평가/검수하여 품질 관리를 해야 함을 기술하고 있다.

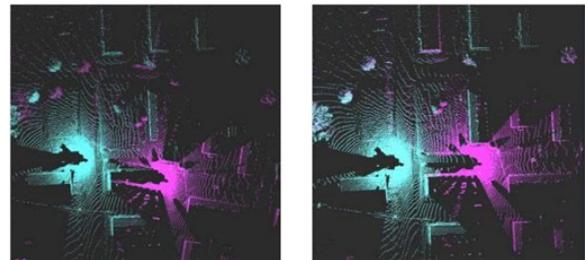


Figure 3 Registered point clouds (Courtesy of NIST)

2D Drawings, Plans의 평가는 독립적인 방법을 통해 얻은 거리를 이용해 평가하도록 하고 있다. 3D Cad Models는 앞서 제안된 방법들을 이용해, 수평거리, 수직 거리, 대각 거리, 두 평면 사이 각, 수직성 등을 평가하도록 권고하고 있다. 만약, 요구사항에 크랙 부분을 고려해야한다면, 해상도 등이 나올 수 있는 지도 체크하도록 예시를 기술하고 있다. 이외, 데이터를 다룰 수 있는 관련 교육 및 훈련 내용을 명시하고 있다.



Figure 4 3M ball bar between 2 SMRs (Spherically Mounted Retroreflectors) (Courtesy of NIST)

3.1.3 지침 분석

지침만으로도 역설계에 대한 좋은 내용을 포함하고 있으며, 발주자 입장에서 어떤 부분을 고려해야 하는 지를 잘 설명하고 있다.

역설계 프로세스, 발주 시 평가 항목, 역설계 비용에 관한 정의, 역설계 사례, 교육 및 훈련 등 광범위한 부분에 대해 기술하고 있다.

다만, BIM (Building Information Modeling) 관점에서 정의가 되어 있어, 시설물 및 건물에 대한 역설계에 치우쳐져 있으며, 인프라스트럭처에 대한 역설계 기술은 언급이 없다.

지침에 대한 상세가 부족하여, 세부적인 부분은 다른 지침들을 참고해야 한다.

3.2 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)의 MLS(Mobile Laser Scanning)역설계 지침 분석

3.2.1 개요

NCHRP의 MLS지침은 이동식 역설계 방법을 기술한 지침이다. MLS지침에서 주로 언급되는 이동식 레이저 스캔(MLS, Mobile Laser Scanning)은 땅위나 하늘에서 운행할 수 있는 플랫폼으로부터 정확한 공간 데이터를 취득하는 방식으로, GNSS(Global Navigation Satellite Systems)와 IMU(Inertial Measurement Unit(IMU))가 조합된 레이저 센서를 사용한다. 전통적인 항공 라이다 시스템(ALS, Airborne LiDAR System)은 지표면 맵핑을 위한 넓은 지역을 스캔할 수 있다. 항공 MLS는 보통, UAV, 드론, 헬리콥터 등을 활용한다.

모바일 레이저 스캔 기술을 사용하면, 안전하고, 효과적으로 데이터를 수집할 수 있다. 또한, 짧은 시간에 경제적으로 특정 영역의 스캔이 가능하다. 사진 이미지와 레이저 스캔 이미지를 결합하면, 더욱 효과적인 작업이 가능하다.

MLS지침의 주요 응용 대상은 인프라스트럭처이며, 관련 역설계 기술 및 프로세스가 잘 표현되어 있다.

3.2.2 내용 요약

데이터 관리 관점에서, MLS 작업 흐름에서 어려운 작업들은 보통 초기 단계에 있는 데, 이는 포인트 클라우드가 매우 큰 빅 데이터이며, 이를 고려해 작업을 처리해야 한다. 후반 단계는 적당한 크기로 정리된 모델을 이용해, 측정을 하거나, 형상을 얻는 데, 데이터를 사용하면 되며, 각 단계 별 데이터 관리 방법을 다음과 같이 기술하고 있다(Table 1).

MLS는 수집하는 포인트 클라우드의 응용 관점에 따라 정밀도 차이가 발생하므로, 이를 고려해야 함을 기술하고 있다. 다음은 이 지침에서 MLS 유형에 따른 정밀도 차이이다(Table 2).

Table 1 MLS workflow and data management (NCHRP, 2013.4)

단계	내용
데이터 취득 (Data Acquisition)	데이터 취득 단계는 이동식 모바일 장치를 직접 사용하여 3D 이미지 스캔 데이터를 취득하는 프로세스이다. 일반적으로 정제 작업이 필요하기 때문에 이런 데이터로부터 직접 신뢰성있는 정보를 얻을 수 는 없다. 모바일 LiDAR 시스템은 2 채널 데이터를 기록하기도 하며, 이는 3D 이미지 스캔 데이터(내부 자료)와 이동 장치의 위치/방향(외부 자료)이다.
지오 레퍼런싱 (Geo-referencing)	후처리 단계는 기본적인 처리과정을 포함하는 데, 일반적으로, 자동이나 사용자의 입력을 받아 실행된다. 대용량 LiDAR 데이터셋을 관리하기 위한 필터링(filtering), 분류(classification) 등이 수행된다. 분류는 데이터 셋을 개별적인 객체나 작업 단위로 구분한다. 후처리를 하면, 각 포인트에 분류나 필터링 값이 할당된다. 모바일 LiDAR 시스템은 고속의 컨트롤되지 않은 환경에서 운영되며, 극단적으로 많은 데이터가 수집된다. 이 데이터에는 의미없는 노이즈 등이 포함되어 있고, 이를 필터링으로 적절히 제거해야 한다. 이런 노이즈 데이터는 나무의 캐노피(canopy), 빠르게 지나가는 행인/차량/자전거 등이 될 수 있다. 대용량 포인트 클라우드를 의미있는 그룹으로 나누기 위해서는 분류가 필요하다. 분류의 결과로, 포인트 클라우드는 초목, 나무, 빌딩, 도로 등으로 구분된다.
계산 및 분석	이 단계에서, 저수준의 데이터에서 의미있는 고수준의 정보가 추출된다. 요구되는 결과는 프로젝트 전체 목적에 따라 달라진다. 계산 및 분석 옵션은 분석 패키지, CAD 시스템 등에 따라 달라진다. 분석 결과, 좀 더 다루기 쉽게, 데이터 크기는 작아지며, 표준 정보 기술 프로세스 내에서 활용될 수 있도록 처리된다. 이런 정보를 처리하기 위한 비용과 노력은 상당할 수 있다. 그리고, 이런 노력은 잘 개발된 워크플로우하에서 관리되는 것이 매우 중요하다.
패키징 및 인도	마지막 단계는 프로젝트를 완성하고, 이 데이터들을 전달하는 것이다. 이 단계에서, MLS 데이터의 활용 과정의 피드백을 포함한, 사후 프로젝트 리뷰를 수행할 것을 권장한다.

Table 2 MLS Precision difference by MLS Type (FDOT, Terrestrial Mobile LiDAR (TML) Guidelines)

MLS 유형	정밀도
고정 날개 비행 LiDAR 맵핑 (ALS, Fixed Wing Aerial LiDAR Mapping)	±0.5 ~ 1.0 feet (±15.24 ~ 30.48 cm)
저 고도 MLS (Low Altitude MLS)	±0.1 ~ 0.2 feet (±3.05 ~ 6.1 cm)
차량 MLS (Vehicle MLS)	±0.05 ~ 0.1 feet (±1.53 ~ 3.05 cm)
정지 레이저 스캐닝 (Static Laser Scanning)	±0.005 ~ 0.05 feet (±0.153 ~ 1.53 cm)
토탈 스테이션 (Total Station)	±0.01 ~ 0.05 feet (±3.05 ~ 0.153 cm)

MLS에서, 포인트 클라우드 밀도 (해상도)는 각도와 마찬가지로, 측정된 포인 간 간격 간의 거리에 따라 달라진다. 만약, 1,000 점군/m² 이 포장 표면에 포함되어 있다면(포장의 2미터 높이에서 스캐너가 있다고 가정), 20미터 높이에서는 좀 더 낮은

밀도인 10 점군/m²이 획득된다. 이 지침은 획득되는 형상 (feature)과 요구되는 점군 밀도가 무엇인지를 작업 기술서에 명시하도록 하고 있다.

스캔 이미지 데이터를 손쉽게 구분, 검색하기 위해, 데이터 컬렉션 분류 (DCC, Data Collection Category) 명세를 정의 다음과 같이 정의하고 있다.

N-????-L-????-D-####

여기서, N은 네트워크 정밀도, L는 로컬 정밀도, D는 점군 밀도이다. 아울러, 응용 분야를 고려한, MLS 데이터에 대한 로컬 정밀도와 점군 밀도값을 표현하기 위해, DCC 분류를 이용해, 다음과 같은 다이어그램을 정의하고 있다.

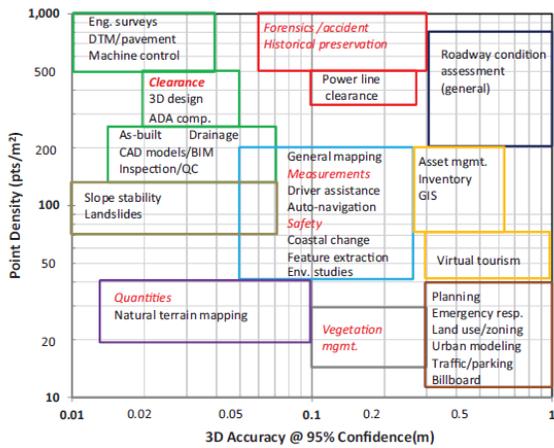


Figure 5 Application considering 3D point cloud precision and density (Courtesy of NIST)

이 지침에서는 MLS를 사용할 때의 비용 구성 및 고려사항을 정의하고 있다. 다음 표에서 데이터 처리를 제외한 나머지는 비용 변동 폭이 크지 않고, 그 수준을 예측할 수 있음을 기술하고 있다(Table 3).

MLS의 비용 및 이익은 프로젝트 범위 및 요구사항에 따라 많이 달라질 수 있다. 그러므로, B/C (benefit / cost) 분석을 통해 ROI (return on investment)를 계산해 볼 필요가 있다. 각 프로젝트 유형에 따라, 발주자는 작업 범위를 명확히 결정할 필요가 있으며, 현장에서 데이터를 스캔한 외업의 결과물을 처리하기 위해, 내업으로 가져올 때, 데이터를 처리할 하드웨어와 소프트웨어가 충분해야 함을 언급하고 있다. 또한, 훈련된 인력도 준비되어 있어야 한다고 기술하고 있다. 다음 표는 이 지침에서 작업 흐름에 따른 비용 증가 범위와 고려사항을 보여준다 (Table 4).

Table 3 Cost variables and considerations (NCHRP, 2013)

카테고리	비용 요소	변수
장비	스캐너, IMU, GNSS 카메라, GNSS 기반 장비 유지보수 등	정밀도 및 해상도 요구사항에 따른 장비/시스템 비용, 고사양 시스템에 필요한 고수준 캘리브레이션 절차.
이동장비 (예-차량/드론 등)	장비 소유/렌트, 보험 및 유지보수, 연료/충전, 저장장치, 운송	정밀도 및 해상도 요구사항에 따른 장비 고려, 정밀도, 해상도 및 범위에 따른 연료, 위치에 따른 비용.
인력	운전/조작자 LIDAR시스템 조작자 현장 제어/안전 인원	품질/안전 제어 필요에 따른 고려사항.
운송	사람/장비 운송비 일비/숙박비	현장 여건에 따라 고려함.
취득	작업현장 방문계획 지상 측량 3D 이미지 스캔 캘리브레이션 현장/교통 통제 등	프로젝트 유형 및 요구사항에 따른 고려, 품질 관리 요구에 따른 비용 고려, 프로젝트 요구 완성 시간에 따른 고려.
데이터 처리	소프트웨어 라이선스 인력 훈련 데이터 저장 및 관리	납품 방식에 따른 큰 비용 변동 고려, 데이터를 접근하는 사람의 수와 발주 유형에 따른 큰 비용 변동 고려가 필요.
기타	프로젝트 유형에 따른 기타 비용	발주 방식에 따라 비용 변동 폭이 큼.

Table 4 Cost elements by workflow (NCHRP, 2013)

카테고리	비용 범위	고려사항
계획 및 취득	\$-\$\$\$\$	취득 단계는 프로젝트의 작은 작업(제한된 작업현장) 혹은 큰 부분(광범위한 데이터 취득)이 될 수 있다.
지오펜터런스 포인트 클라우드	\$-\$\$\$\$	일반적으로, 이 단계는 시스템, 소프트웨어에 의해 처리될 수 있다. 하지만, 기하학적 보정 및 변환을 포함할 수도 있으며, 높은 정밀도 요구가 있을 경우, 추가적 제한조건으로 인해 비용은 급격히 증가할 수 있다. 이 경우, 고 수준의 프로세싱, 보정, 숙련된 기술자가 요구된다.
품질 관리/품질 보증 (QA/QC) 평가	\$	고 정밀 작업의 경우, QA/QC가 좀 더 요구될 수 있다.
데이터 구성	\$	이 작업은 다양한 소프트웨어를 통해 처리될 수 있다.
포인트 클라우드 필터링/사전작업	\$\$	분류는 형상 유형 등에 따라 결정된다. 지상 혹은 비지상 구분은 상대적으로 비용이 많이 들지 않는다. 다른 형상들의 구분은 알고리즘이나 작업 기술이 필요하다.
데이터 추출/속성 처리	\$\$-\$\$\$\$	데이터 마이닝 단계에서 추가적 속성을 형상에 맵핑한다.
3D 형상 객체 모델링	\$\$\$-\$\$\$\$	객체 유형에 따라 모델링된다. 몇몇 형상은 반자동 프로세스로 취득될 수도 있다.
분석	\$-\$\$\$	요구되는 분석 유형에 따라 비용은 달라진다.

\$-프로젝트 비용에서 작은 정도 \$\$-프로젝트 비용에서 보통 정도
 \$\$\$-프로젝트 비용에서 큰 정도 \$\$\$\$-프로젝트 비용에서 매우 큰 정도

이동식 이미지 스캔 지침은 항공, 차량 등 이동장비의 유형과 교통, 지형, 빌딩, 플랜트, 설비와 같은 응용 유형에 따라 고려사항이 달라짐을 언급하고 있다. 이 지침에서 정의한 요구사항의 공통적인 사항은 다음과 같다.

1. 표준 정밀도 리포팅 방법
2. 포인트 밀도 요구사항
3. 스캔 오버랩 요구사항
4. 정밀도 검증을 위한 포인트군 체크/통제 횟수
5. 납품 유형

FGDC(미 연방지리정보위원회)에서는 데이터 정밀도와 관련해, 공간 데이터 정밀도 국가 표준(NSSDA, National Standard for Spatial Data Accuracy)를 개발했으며, 여기에는 공간 데이터 정밀도 리포팅(FGDC 1998)에 대한 지침이 포함되어 있다. 이 문서는 리포팅의 기본적인 사항이 제공되고 있다. NSSDA는 RMSE (root mean square error)를 이용해, 95% 신뢰도로 지상에서 거리를 리포트할 때의 위치 정밀도를 계산한다고 규정하고 있다. 데이터셋은 최소 20 제어점에 대해 테스트되어야 하며, 다음과 같이 리포트하여야 한다고 규정하고 있다.

이 데이터는 95% 신뢰수준에서 수평(수직) 거리(미터, 피트) 정밀도를 테스트하였음을 기술하고 있다.

3.2.3 지침 분석

NCHRP MLS 역설계 지침을 분석해 보면, 다음과 같은 부분을 매우 상세히 규정하고 있음을 확인할 수 있다.

1. 응용 분야 별 LOD, 정밀도 및 허용오차 정의
2. 품질 평가 방법
3. 평가 리포트 방법
4. 납품 산출물 종류
5. 스캔 시 정합 방법 (오버랩 범위 포함)
6. 신뢰성 고려 방법

이 지침은 특히, 이동식 역설계 방법에 대한 프로세스를 상세히 설명하고, 관련 항목들을 기술하고 있으며, 인프라스트럭처에 대한 응용 사례를 많이 소개하고 있는 특징이 있다.

4. 역설계 지침 개발 시 고려사항 도출

GSA와 NCHRP 역설계 지침을 비교해 보면, 다음과 같은 차이가 있다(Table 5).

GSA와 NCHRP 역설계 지침을 살펴보면 다음과 같은 공통점

Table 5 Differences of reverse engineering guidelines

항목	GSA 3차원 이미지 스캔 역설계 지침	NCHRP MLS기반 역설계 지침
지침 적용 초점 대상	건물 및 관련 설비	인프라스트럭처 및 관련 설비
고정식/이동식 스캔	고정식	이동식
응용 분야별 정밀도 구분	없음	있음
정밀도 및 밀도 별 분류법	없음	있음
BIM 고려사항	있음	없음
정밀도 검증 방법	있음. 예시 제시.	있음. 오차 계산 방법 및 예시 제시.
이미지 스캔 개념 및 고려사항	있음. 예 - 스캔 쉐도우(shadow), 정합 오버레이(overlay) 비율, 품질 체크 고려사항 등	있음. 예 - 스캔 쉐도우(shadow), 정합 오버레이(overlay) 비율, 품질 체크 고려사항 등이 매우 상세히 기술됨
역설계 프로세스 정의	있음. 간략히 기술되어 있음.	있음. 상세히 기술되어 있음.
역설계 데이터 저장 방법	있음. 간략히 기술되어 있음.	있음. 상세히 데이터 저장 방식에 대해 기술되어 있음.
비용 견적 지침	없음.	있음. 비용에 대한 견적 지침이 개략적으로 제시됨

을 확인할 수 있다.

1. 역설계 전체 프로세스와 내용
2. 응용 분야 별 LOD, 정밀도, 허용오차, 밀도 정의
3. 스캔 이미지 정합 방법 및 품질 확보 방안 기술
4. 품질 평가 방법 및 리포트 방법
5. 발주 시 산출물 규정
6. 역설계 비용 견적 기준 마련
7. 신뢰성을 고려한 산출물 확보 방안 제시
8. 3차원 이미지 스캔 시 이슈 및 해결 방안 제시
9. 역설계 작업 참조 사례
10. 응용 범위별 한계를 규정

이러한 지침은 실무적인 관점에서 쓰여 있으며, 역설계의 대상과 응용에 따른 목적과 한계를 명확히 구분하도록 설계되어 있어, 지침 적용에 따른 실무자의 혼란을 최소화하고 있다.

다만, 다음과 같은 부분은 부족하다.

1. BIM과 같은 3차원 객체 모델링 및 프로세스를 고려한 지침
2. 역설계된 형상과 객체 속성 연계 방안 및 지침
3. 역설계 과정 중에 발생하는 데이터 관리 방법
4. 각 이해당사자 관점 별 역설계 프로세스 및 지침

5. 3차원 레이저 스캔 및 역설계 작업 시 ROI 계산법

6. 역설계 산출물 품질 평가 및 확보 방법

아울러, 국내에 이 지침들을 적용할 경우, 국내 상황에 안 맞는 부분이 있어, 활용 시 이를 고려할 필요가 있다.

5. 결론

발주 시, 혹은 작업 시 정확한 명세가 없이 진행되는 스캔 및 포인트 클라우드 처리 작업은 후에 이루어질 계획, 시공, 유지관리 단계에 큰 영향을 준다. 잘못된 작업 방식은 결과물의 품질에 악영향을 줄 수밖에 없고, 재작업을 위해 큰 비용이 소모될 수밖에 없다.

본 연구에서는 역설계 지침 개발 시 고려해야 하는 사항을 기존 지침을 비교/분석해, 10개의 항목으로 도출해 보았으며, 이 지침에서 부족한 부분을 6개 항목으로 도출해 보았다.

향후 이 기초 연구는 역설계 지침을 개발하는 데 활용할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2015년 산업통상자원부 (3D객체 역설계 기반 MEP 설비 유지관리 시스템 개발)의 연구비지원에 의해 수행되었음.

References

- GSA, <https://sites.google.com/site/bimprinciple/in-the-news/gsabimguidefor3dimaging>, 2014.
- S. S. Lee and S. W. Kwon, "A study on optimal laser scanning method for reverse engineering at interior remodeling project", Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 15, No. 3, pp. 3-11, 2014.
- M. N. Lee, A study on scan data matching for reverse engineering for pipes in plant construction, Master thesis, SungKyunKwan University, 2013.
- T. W. Kang, "System Architecture for Effective Point Cloud-based Reverse Engineering of Architectural MEP Pipe Object", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 9, pp. 5870-5876, 2014.
- J. H. Yoo, A study on reverse design of wooden architectural heritage using terrestrial LiDAR, Master thesis, CheongJu University, 2013.
- 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.
- 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, 116-127.