



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2023년 02월
석사학위 논문

Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 기술

조선대학교 대학원

건축공학과

김 초 원

Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 기술

Scan to BIM based Optimal Building Renovation
Alternatives Selection Method

2023년 2월 24일

조선대학교 대학원

건축공학과

김 초 원

Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 기술

지도교수

조 규 만

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2022년 10월

조선대학교 대학원

건축공학과

김 초 원

김초원의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김태훈 (인)

위원 조선대학교 교수 조규만 (인)

위원 조선대학교 교수 장우식 (인)

2022년 12월

조선대학교 대학원

< 목 차 >

ABSTRACT

제1장 서론	1
1.1. 연구 배경 및 목적	1
1.2. 연구 범위 및 방법	3
제 2장 예비적 고찰	5
2.1. Scan to BIM 기술	5
2.1.1 3D 스캐너를 활용한 포인트 클라우드 데이터 수집	7
2.1.2 드론을 활용한 포인트 클라우드 데이터 수집	11
2.1.3 Scan to BIM 관련 기존 연구 고찰	12
2.2. 에너지 절감형 리모델링	15
2.2.1 에너지 절감형 리모델링 요소 기술	16
2.2.2 에너지 절감형 리모델링 관련 기존 연구 고찰	18
제 3장 Scan to BIM 기반 최적 리모델링 대안 선정 모델	21
3.1. Scan to BIM 기반 최적 리모델링 대안 선정 기술의 개념적 체계	21
3.2. Module 1: 기존 건축물 3D 모델링을 위한 Scan to BIM 기술	22
3.3. Module 2: 최적 리모델링 대안 선정을 위한 Excel Spreadsheet 모델	35

3.3.1 건축물의 정보 입력	36
3.3.2 BIM Data 입력	41
3.3.3 에너지 절감 개선 수준 선정	42
3.3.4 리모델링 대안 생성 및 대안 별 평가	43
3.3.5 리모델링 대안 선정	55
제 4장 사례 적용	56
4.1. 개발 기술의 정확성 분석	56
4.2. 최적 리모델링 대안 선정 사례 적용	60
4.2.1 적용 대상 사례	60
4.2.2 BIM 모델링 구축 및 최적 리모델링 대안 선정	61
4.3 기존 에너지 평가 방법과 개발 모델 비교분석	69
제 5장 결론	71

참고문헌

<표 목차>

표 2-1 TOF 스캐닝 기술의 종류	10
표 2-2 일반 리모델링과 친환경 리모델링 차이	15
표 2-3 공공건축물 그린 리모델링 사업 적용 기술 요소	16
표 2-4 부위별 단열 규정의 변천	17
표 3-1 Trimble X7 제원	26
표 3-2 부위별 단열 규정의 변화	38
표 3-3 지역별 월별 평균 기온	39
표 3-4 지역별 기간별 평균 온도	40
표 3-5 패시브 요소 기준 열관류율 정의	42
표 3-6 적용된 외피 시스템	45
표 3-7 에너지 소요량 환산계수 산정 방법	51
표 3-8 명목이자율, 물가상승률, 실질 할인율	54
표 4-1 사례 건축물 기본 정보	56
표 4-2 대상 건축물의 부재 실측값과 모델링 측정값 비교	59
표 4-3 사례 적용 대상 건축물 개요	60
표 4-4 생성된 대안 비교	68
표 4-5 창면적비에 따른 에너지 성능 평가 결과 비교	70

<그림 목차>

그림 1-1 본 연구 흐름도	4
그림 2-1 레이저 스캐너를 활용한 건축물 PCD 수집 프로세스	6
그림 2-2 드론을 활용한 건축물 PCD 수집 프로세스	6
그림 2-3 레이저 3D 스캐너의 작동 원리	7
그림 2-4 Pulsed 측정 원리의 작동 방식	8
그림 2-5 Phase Shift 측정 원리의 작동 방식	9
그림 2-6 SfM Bundle 조정 기술의 원리	11
그림 2-7 포인트 클라우드 기반 BIM 3D 모델 구축 및 도면화	13
그림 2-8 Automated Scan-to-BIM process	14
그림 2-9 패시브와 액티브 하우스의 개념	16
그림 3-1 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 전체 프로세스	21
그림 3-2 Scan to BIM 프로세스	22
그림 3-3 Scan to BIM 사용 장비 및 소프트웨어	23
그림 3-4 3D 스캐닝 준비를 위한 대공표지 세팅	24
그림 3-5 Trimble 사의 X7과 태블릿	25
그림 3-6 DJI사의 Mavic 2 드론	25
그림 3-7 스캐너와 연동된 태블릿의 Field Link 소프트웨어에 표현된 PCD	27
그림 3-8 드론으로 취득한 이미지 데이터	27
그림 3-9 건물 스캐닝 간략 프로세스	28
그림 3-10 Drone Data Processing-UAS Master	29
그림 3-11 Merge 작업	30
그림 3-12 노이즈 제거를 위한 내·외부 아이템 자동 추출	31
그림 3-13 PCD 노이즈 제거	31
그림 3-14 Cutting Plane	32
그림 3-15 2D 단면도, 입면도 작성	33
그림 3-16 BIM 모델링 구축 예시	34
그림 3-17 BIM 모델링 벽 일람표의 일부	34
그림 3-18 사용자 인터페이스 Dashboard	35

그림 3-19 사용자 인터페이스 - 기본 정보	36
그림 3-20 사용자 인터페이스 - BIM 모델링 정보	41
그림 3-21 사용자 인터페이스 - 에너지 절감 개선 수준	42
그림 3-22 Excel 기반 데이터 생성 모듈	44
그림 3-23 대안 생성	47
그림 3-24 생성 대안별 에너지 성능 평가	50
그림 3-25 초기 투자비 대비 최적의 대안 선정	55
그림 3-26 회수 기간 대비 최적의 대안 선정	55
그림 4-1 사례 건축물 전경 사진	56
그림 4-2 기존 도면과 PCD 기반 제작 도면 비교	57
그림 4-3 부위 별 기존 도면과 PCD 기반 제작 도면 오차	58
그림 4-4 기존 도면과 드론 데이터 기반 제작 도면 비교	58
그림 4-5 대상 건축물의 PCD	61
그림 4-6 대상 건축물 PCD 기반 제작된 2D 도면	62
그림 4-7 2D 도면 기반 작성된 BIM 모델링	63
그림 4-8 BIM 모델링 기반 외벽 물량 산출 일람표	63
그림 4-9 창호 일람표	64
그림 4-10 대상 건축물 기본 정보	65
그림 4-11 선정된 최적의 대안들	67

ABSTRACT

Scan to BIM based Optimal Building Renovation Alternatives Selection Method

Kim, Chwon

Advisor : Prof. Cho, Kyu-man, Ph.D

Department of Architectural Engineering,

Graduate School of Chosun University

The domestic building sector accounts for 21% of the total energy consumption and 24.7% of the total greenhouse gas emissions. Korea declared carbon neutrality by 2050 in October 2020 and became the 14th country in the world to legislate carbon neutrality when the Framework Act on Carbon Neutral and Green Growth on responding to the climate crisis called the National Assembly in August 2021. In order to achieve carbon neutrality in 2050, it is essential to reduce greenhouse gas emissions by reducing energy consumption in the building sector. Accordingly, the government made various efforts such as strengthening legal standards, discovering urban regeneration-linked project models, and supporting energy performance of public buildings. In addition, although the green renovation project is actively underway to improve the energy performance of old buildings, difficulties are occurring in the process of selecting appropriate renovation alternatives due to the absence of existing drawings.

Therefore, this study intends to propose a technology for selecting an appropriate renovation alternative based on Scan to BIM. The results developed through the study are largely composed of two stages. First, 3D

scanners, drones, and GNSS equipment are used to scan existing buildings, and 3D BIM modeling is performed based on them. Next, a Dashboard module is created through an Excel spreadsheet and a renovation alternative is presented to the user. Through the previously constructed BIM model, information such as area and volume is acquired and input to the Dashboard module to evaluate the energy performance of the building and analyze the economy. By combining materials applied to green renovations, alternatives are created and energy performance assessments and economic analysis values by alternatives are compared to present an optimal renovation alternative according to the energy saving improvement level selected by the user.

Through the developed module, users who lack expertise or have difficulty using energy simulations can roughly estimate energy performance, which has the advantage of securing evidence for selecting remodeling alternatives and high work efficiency. In addition, it is expected that reasonable alternatives can be selected according to the purpose of the user because alternatives are selected and represented compared to the initial investment cost and payback period.

제1장 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

최근 글로벌 기후변화의 주범으로 대두되고 있는 탄소 에너지에 대한 규제가 국제적으로 공감대를 이루고 있으며, 화석에너지의 고갈 시기에 대한 경고가 꾸준히 언급되고 있다. 에너지 문제의 심각성에 발맞추어 정부에서도 에너지 절감에 관한 관심을 지속해서 보인다. 우리나라는 2020년 10월, 2050년까지 탄소중립을 선언하고, 2030 국가온실가스감축목표(NDC)를 2018 기준 총배출량 대비 24.4%를 감축하는 목표를 세웠으나, 2021년 10월 탄소 중립위원회 의결을 통해 감축량을 40%로 상향하여 확정하였다. 상향된 2030 NDC에 따라 건축물 부문의 감축 비율은 종전 19.5%에서 32.8%로 대폭 증가하였다.¹⁾

국내 건축물 부문은 전체 에너지 소비량 중 21%를 차지하고 있으며, 전체 온실가스 배출량의 24.7%를 차지하고 있다.²⁾ 급속한 도시화와 생활 수준의 향상, 소비의 증가 등으로 건축물 부문은 2035년까지 연간 2%씩 소비가 증가할 것으로 예측하였다. 즉, 건축물 부문의 온실가스 배출량은 지속해서 증가하여 2030년에는 189.0백만 톤에 이를 것으로 예상된다.³⁾ 또한, 국내 노후 건축물 현황에 따르면 2020년 기준 30년 이상 경과 된 건축물의 비율이 31.4%로 상당히 높은 비율을 차지하며 꾸준히 증가하고 있는 것으로 조사되었다.⁴⁾ 노후 건축물은 건축물 에너지가 전체 에너지 소비량과 탄소 배출량에 지대한 영향을 미친다는 문제점이 있다.⁵⁾ 따라서 2050 탄소중립 달성을 위해서는 노후 건축물의 에너지 소비 절감을 통한 온실가스 배출 저감이 필수적으로 요구되고 있다.⁶⁾

1) 윤순진. (2021). 탄소중립, 반드시 가야 할 길:도전과 기회, 기업시민리서치, - 137 -2021WINTER.vol2

2) 국토교통부 보도자료, 탄소중립 로드맵, 2021.12.23

3) Jeong, Young-Sun, and Suhyun Cho. "Post-2020 Greenhouse Gas Emission Projection in Building Sector." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, vol. 36, no. 10, 대한건축학회, Oct. 2020, pp. 117-125,

4) 국토교통부 보도자료, 건물 에너지 사용량 현황, 2020.12.03

5) 지현서(2022). 노후 건축물의 그린 리모델링 계획을 위한 온톨로지 기반 의사결정 지원모델 조선대학교, 석사학위논문

6) 김도희, 김은서, & 송두삼.(2022). 노후 건축물 그린리모델링안 작성에서 전문가와 건물 사용자 관점의 차이에 따른 에너지 절감 효과의 분석. *설비공학논문집*, 34(9), 399-409.

2020년에는 ‘한국형 뉴딜’ 정책인 ‘디지털 뉴딜’ 과 ‘그린 뉴딜’ 을 발표하여 단기적으로는 국가의 경제 부흥을 지원하고 중장기적으로는 온실가스 감축이라는 목표를 달성하고자 한다.⁷⁾ 그린 뉴딜의 대표과제 중 하나로 그린 리모델링이 선정되었다.⁸⁾ 또한, 노후 건축물의 그린 리모델링 사업 진행 시, 에너지 성능 평가를 위해 건축물의 도면정보가 필요하다. 하지만 대부분 실제 건축물의 정보와 도면이 상이하고, 도면이 소실된 경우가 빈번하며, 필요한 정보를 모두 실측하여 얻어야 하는 번거로움이 존재하는 등 사업 수행에 큰 어려움이 있다.⁹⁾ 또한, 기존 리모델링 방법의 결정은 예술성에 중점을 둔 설계 또는, 사용자의 요구를 중시하는 방법으로 이루어졌다. 이는 사업 완료 후 성능의 향상 정도가 사용자의 기대에 미치지 못하여 설계변경이 다수 발생하거나 과다 철거로 인한 공사비가 증가하는 문제로 이어졌다.¹⁰⁾¹¹⁾ 이에 리모델링을 합리적으로 수행하기 위한 체계적인 접근 방법이 필요하다.¹²⁾

따라서 본 연구는 노후 건축물의 도면정보를 쉽고 편리하게 취득하기 위해 Scan to BIM 기법을 기반으로 노후 건축물의 데이터를 구축하고자 한다. 더 나아가, 3D BIM 모델링 정보를 활용하여 건축물의 에너지 성능 평가와 경제성 분석을 통해 최적의 에너지 절감형 리모델링 대안을 제시할 수 있는 기법을 개발하여 기존의 결정 방식과는 달리 사용자가 합리적인 대안을 선택할 수 있도록 한다.

-
- 7) 지현서.(2022). 노후 건축물의 그린 리모델링 계획을 위한 온톨로지 기반 의사결정 지원모델. 조선대학교. 석사학위논문
 - 8) 김진업.(2016). 그린 리모델링 시 건물 외피 설계수준 의사결정에 의한 Framework 개발에 관한 연구, 서울시립대학교 국제도시과학대학원, 석사학위논문
 - 9) 조준영.(2022). BIM 역설계를 활용한 노후 공공건축물 리모델링 건축 계획 방향 연구. 동국대학교. 석사학위논문
 - 10) 홍종현, 염동준, 최수지, & 김영석.(2017). 국내 공동주택 리모델링 사업의 적정대안 선정을 위한 의사결정 지원모델 개발. 대한건축학회 논문집-구조계, 33(3), 41-50.
 - 11) 신영수.(2015). 에너지 절감형 리모델링을 위한 의사결정 지원모델, 조선대학교, 석사학위논문
 - 12) 김용인, 신경희, & 이찬식.(2003). 노후 공공건축물의 리모델링 우선순위 결정 절차 및 방법. 대한건축학회 논문집-구조계, 19(3), 107-114.

1.2. 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 Scan to BIM을 기반으로 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 기술을 개발하였다. Scan to BIM 기법으로 기존 노후 건축물의 도면 및 3D 모델링 건축 정보를 취득한다. 이러한 정보를 활용하여 에너지 소요량 계산과 경제성 분석을 할 수 있는 Excel Spreadsheet 모델을 구축하고 사용자가 원하는 에너지 성능 기준 최적의 리모델링 대안을 선정할 수 있도록 지원할 수 있다. 본 연구의 절차는 다음 <그림 1-1>과 같다.

2장에서는 BIM 모델링 프로세스를 확립하기 위해 Scan to BIM 기법을 알아보고 관련 기존 연구를 고찰한다. 또한 에너지 절감형 리모델링 대안 선정을 수행하기 위해, 에너지 절감형 리모델링의 개념과 의미가 비슷한 그린 리모델링, 친환경 리모델링의 개념을 포괄적으로 알아보고 에너지 절감형 리모델링 기반 연구를 고찰하여 본 연구에 활용할 리모델링 대안 선정을 수행할 방법에 관해 탐구한다.

3장에서는 Scan to BIM 기반 최적 리모델링 대안 선정을 위한 모델과 프로세스를 설명한다. 먼저 기존 노후 건축물의 정보를 취득할 Scan to BIM 기술을 선정한다. 그리고 취득된 정보를 활용해 Excel Spreadsheet에서 건축물의 에너지 소요량과 경제성을 계산 및 분석하는 구체적인 내용을 기술한다. 에너지 절감형 리모델링을 위한 기술은 Passive, Active, 그리고 신재생에너지 분야로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 에너지 절감형 리모델링을 위한 Passive 기술 중 가장 큰 영향을 미치는 외벽, 지붕 단열 개선과 그리고 창호 개선으로 범위를 제한하였다. 또한, 에너지 절감형 리모델링에 있어서 주거 건물에 비해 일반 건축물(비주거)이 상대적으로 효율적이기 때문에, 대상 범위는 비주거 건축물로 한정한다. 최종적으로 Dashboard를 구축하여 사용자가 원하는 에너지 수준에 따라 최적의 에너지 절감형 리모델링 대안을 제시한다.

4장에서는 앞장을 통해 구축된 리모델링 대안 선정 기술의 작동 여부를 확인하며 그 효과를 검증한다. 실제 사례의 노후 건축물을 Scan to BIM을 통해 3D 모델링과 도면 데이터를 취득하고 개발된 모델의 정확도를 평가하였다. 나아가 구축

된 BIM 모델의 정보를 활용하여 건축물의 에너지 소요량 및 경제성 분석을 통해 최적의 대안을 제시하고 결과값을 확인하여 리모델링 대안 제시 모델의 유효성을 검증한다.

서론
제 2장 예비적 고찰
2.1 Scan to BIM 기술
2.2 에너지 절감형 리모델링
제 3장 Scan to BIM 기반 최적 리모델링 대안선정 모델
3.1 Scan to BIM 기반 최적 리모델링 대안 선정 기술의 개념적 체계
3.2 Module 1: 기존 건축물 3D 모델링을 위한 Scan to BIM 기술
3.3 Module 2: 최적 리모델링 대안 선정을 위한 Excel Spreadsheet 모델
제 4장 사례 적용
4.1 개발 기술의 정확성 분석
4.2 최적 리모델링 대안 선정 사례 적용
4.3 기존 에너지 성능 평가 방법과 개발 모델 비교 분석
제 5장 결론

그림 1-1 본 연구 흐름도

제 2장 예비적 고찰

2.1. Scan to BIM 기술

노후 건축물을 효율적으로 유지관리하기 위해서는 BIM 모델을 제작할 필요성이 있지만, 상당수의 노후 건축물의 설계 도면은 유실되었거나, 설계 도면이 있더라도 실제 시공된 건축물과 차이가 있을 수 있으며, 노후화로 인한 구조물 변형 등과 같은 문제로 인하여 BIM 제작에 어려움이 있다.¹³⁾ As-built-BIM은 시공 후 실제 건축물의 위치정보를 포함하여 시공 오차까지 반영되어있는 BIM을 뜻한다. Scan-to-BIM은 3차원 스캐닝 장비를 사용하여 실제 건축물을 스캔하고 PCD(Point Cloud Data)를 얻어 이를 기반으로 BIM 모델링을 구축하는 것을 의미하며,¹⁴⁾¹⁵⁾ As-Built-BIM 데이터베이스를 만들기 위한 업무의 과정이라고도 말할 수 있다.¹⁶⁾ Scan-to-BIM 3D 모델을 제작을 위해 PCD를 습득하는 방법으로는 레이저 스캐너를 사용하거나 드론을 활용하여 사진 측량하는 방법이 있다.¹⁷⁾ 이후 습득된 PCD를 토대로 3D BIM 모델링을 구축하여 시각화할 수 있으며, 기존 건축물 상태를 정확하게 기록할 수 있다. 또한 새로운 프로젝트의 건설 및 품질검사 진행 상황을 관리하고 설계 모델과 비교하는 데도 사용되고 있다. 3D 스캐너를 사용한 현장 데이터 취득은 시간과 비용을 절약할 뿐만 아니라 위험한 건설 현장에서 작업할 때 안전 조건을 증가시킬 수 있다.¹⁸⁾

포인트 클라우드 데이터(PCD)란 3차원 공간상에 퍼져있는 여러 점의 집합을 의미하며 2D 이미지와는 다르게 X, Y, Z 좌표값을 가지고 있다. 이러한 데이터를 습득하는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 다양한 종류의 레이저 3D 스캐

13) 이재혁(2021), 딥러닝 기반 교량의 Scan-to-BIM 기술 개발. 충북대학교, 석사학위논문

14) Macher, H., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2017). From point clouds to building information models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings. *Applied Sciences*, 7(10), 1030.

15) Kim, S., Kim, S., & Lee, D. E. (2020). 3D point cloud and BIM-based reconstruction for evaluation of project by as-planned and as-built. *Remote Sensing*, 12(9), 1457.

16) 김태혁, 우운택, & 정광량. (2020). 건설 및 구조 모니터링을 위한 3D 스캐닝 및 정밀조사 과정-As-Built-BIM 구축을 위한 Scan-to-BIM. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 40(1), 428-431.

17) Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press.

18) Artec3D, 3D 스캐닝 원리. <https://www.artec3d.com>, 2022.10.17

너 장비를 사용하여 포인트 클라우드 데이터를 직접 얻는 방법이 있다. 두 번째 방법은 카메라나 장비를 통해 사진 자료를 수집하고, 프로그램을 활용해 데이터를 후처리하여 포인트 클라우드 데이터를 제작하는 방법이 있다.¹⁹⁾ <그림2-1>에서는 첫 번째 방법인 레이저 스캐너로 건축물의 PCD를 취득하는 프로세스를 나타냈고 <그림2-2>에서는 두 번째 방법인 드론을 사용하여 PCD를 취득하는 프로세스를 나타냈다.

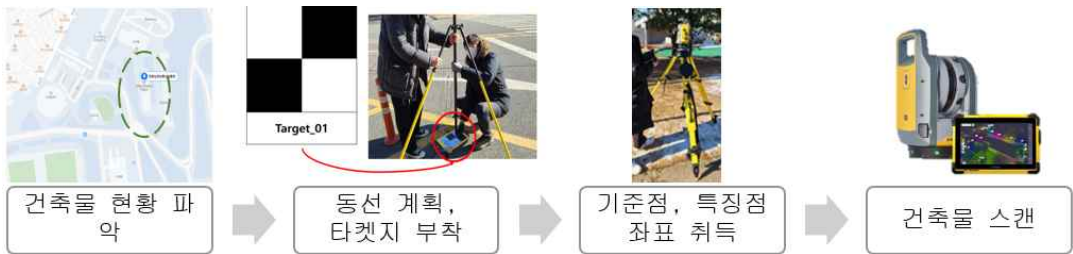


그림 2-1 레이저 스캐너를 활용한 건축물 PCD 수집 프로세스



그림 2-2 드론을 활용한 건축물 PCD 수집 프로세스

19) 김진업.(2016). 그린 리모델링 시 건물 외피 설계수준 의사결정에 의한 Framework 개발에 관한 연구, 서울시립대학교 국제도시과학대학원, 석사학위논문

2.1.1 3D 스캐너를 활용한 포인트 클라우드 데이터 수집

첫 번째 방법인 3D 스캐너의 종류와 작동 방식은 활용 분야에 따라 다양하나, 공통으로 물체에 레이저를 주사한 후 여기서 반사된 레이저를 수신하여 해석하고 3차원 좌표상에 일정 간격으로 분포된 점들의 집합을 기록한다.²⁰⁾ <그림2-3>에서 3D 스캐너의 작동 원리를 나타내고 있다.²¹⁾ 다양한 종류의 스캐너와 작동 방식이 있지만 크게 접촉식과 비접촉식 방법으로 나뉘게 된다. 접촉식 스캔 방법은 물체에 직접 닿게 하여 스캐닝하는 방법으로 정확도가 높은 것이 장점이지만, 물체의 변형이나 손상 가능성이 있어 주로 제품 검측에 많이 활용되고 있다.²²⁾ 산업이나 건축 분야에서 많이 사용되고 있는 비접촉 방식으로 비행시간 측정 (TOF: Time Of Flight) 스캐닝 기술을 사용하고 있다. TOF 방식은 레이저 펄스(pulse)를 이용하거나 반사된 레이저의 위상(Phase Shift) 차이를 측정하는 방식으로 나눌 수 있다.²³⁾

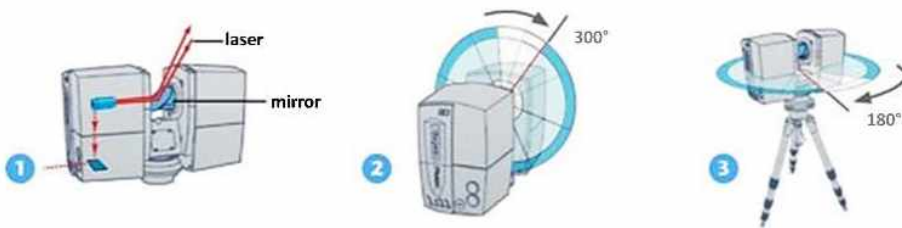


그림 2-3 레이저 3D 스캐너의 작동 원리
 (Salehi et al, 2017, p.13)

20) 민은종, 김경태, 이기륜, 조창연. (2019). 0-07 Time-of-Flight 방식과 Phase Shift 방식 LiDAR의 현장 적용성 기초연구. 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, (2019-11), 47-48.
 21) Salehi, V., & Wang, S. (2017). Using point cloud technology for process simulation in the context of digital factory based on a systems engineering integrated approach. In DS 87-3 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vol 3: Product, Services and Systems Design, Vancouver, Canada, 21-25.08. 2017 (pp. 011-020).
 22) 신명섭. (2011). GPS와 지상레이저 스캐너의 결합에 의한 3D 현황측량 개선, 강원대학교, 석사학위논문
 23) 첨단정보통신융합산업기술원(2018). 3D 스캐너 산업 국내외 시장/기술 동향 및 전망 보고서. 대구:첨단정보통신융합산업기술원

1) Pulsed 방식

Pulsed 방식은 보통 TOF 방식으로 사용되고 있다. 이 방식은 레이저 빛을 물체 표면에 조사하여 반사된 레이저가 수신기로 되돌아오는 시간을 계산하여 점의 거리를 측정한다. 고정된 측정 위치를 중심으로 스캐너 본체와 반사판이 좌우 360°로 회전하면서 레이저를 방사해 공간의 형상을 기록한다. Pulsed 방식의 특징은 초당 수천 개 포인트 데이터를 저장하기 때문에 점 사이의 거리를 좁게 하여 촘촘하게 측정할수록 고정밀 데이터를 얻을 수 있으나, 측정 시간과 데이터의 크기가 커지므로 데이터의 활용목적이나 스캐닝 환경에 따라 정밀도를 조정하여 측정할 수 있다.²⁴⁾ Pulsed 방식은 PS (Phase Shift) 방식에 비해 스캐닝 시간이 오래 걸리지만, 고출력의 레이저를 이용하여 장거리 측정에 용이해 다양한 산업에 적용되고 있다.²⁵⁾ <그림2-4>에서는 Pulsed 측정 원리의 작동 방식을 보여주고 있다.²⁶⁾

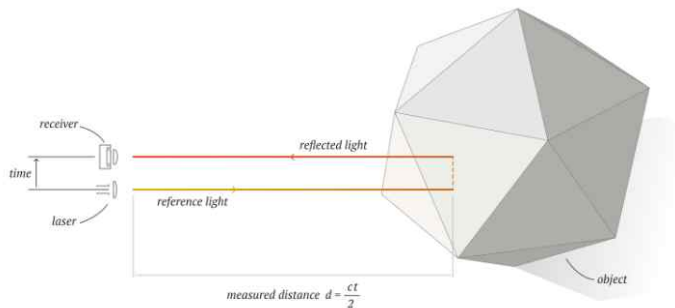


그림 2-4 Pulsed 측정 원리의 작동 방식
(Artec3D, 2022)

24) 이상익, (2021). 레이저 스캐닝 기술 개요 및 건축 리모델링 현장 시범 적용 사례, CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG, no. 78호, p93-98
 25) 장준환, 황성희, 원범식, & 박기환. (2015). 거리 및 형상 측정과 그 응용을 위한 펄스 비행시간법 기반 LIDAR 개발. 대한기계학회 춘추학술대회, 144-145.
 26) Artec3D, 3D 스캐닝 원리, <https://www.artec3d.com/ko/learning-center/laser-3d-scanning>, 2022.10.17

2) 위상 변위 방식(PS 방식)

위상 변위 방식(PS: Phase Shift)은 특정 주파수를 가지고 연속적으로 변조되는 레이저 빔을 방출하고 측정범위 내에 있는 물체로부터 반사되어 돌아오는 신호의 위상 변화량을 측정하여 시간 및 거리를 계산하는 방법이다.²⁷⁾ PS 방식은 초당 수십만 개의 데이터를 저장하는 스캐닝 속도가 매우 빠르지만, 측정 거리가 Pulsed 방식에 비해 매우 짧다는 특징이 있다. PS 방식은 정밀도가 상대적으로 높지만, 연속 신호의 강도에 따라 측정 정밀도 및 측정 거리가 결정되는데 거리가 멀어질수록 파형 변화가 매우 길어지고 레이저의 광출력을 높이는 데는 한계가 있어 단거리 고정밀 측정에 많이 사용되고 있다.²⁸⁾ 다음 <그림2-5>에서는 Phase Shift 측정 원리의 작동 방식에 대해 보여주고 있으며 <표2-1>에서는 TOF 스캐닝 기술 중 PS 방식과 Pulsed 방식의 다른 점을 볼 수 있다.²⁹⁾

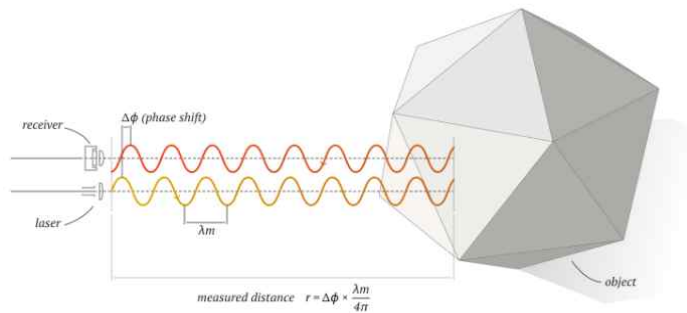


그림 2-5 Phase Shift 측정 원리의 작동 방식
(Artec3D, 2022)

27) Kim, S., Kim, S., & Lee, D. E. (2020). 3D point cloud and BIM-based reconstruction for evaluation of project by as-planned and as-built. *Remote Sensing*, 12(9), 1457

28) Salehi, V., & Wang, S. (2017). Using point cloud technology for process simulation in the context of digital factory based on a systems engineering integrated approach. In *DS 87-3 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vol 3: Product, Services and Systems Design*, Vancouver, Canada, 21-25.08. 2017 (pp. 011-020).

29) Artec3D, 3D 스캐닝 원리, <https://www.artec3d.com/ko/learning-center/laser-3d-scanning>, 2022.10.17

PS 방식은 앞서 설명했던 것과 같이 스캐닝 속도가 빠르나 측정 거리가 Pulsed 방식에 비해 짧아 단일 건축물 또는 문화재 등에 많이 사용되며 Pulsed는 그와 반대로 대형 구조물 또는 지형지물 같은 넓은 대지와 큰 규모의 건축물을 스캔하는데 많이 사용되고 있다.

표 2-1 TOF 스캐닝 기술의 종류 (Artec3D)

구분	Phase Shift	Pulsed
대상 물체 크기	100mm~10m	1m 이상
분해능	100 μ m	1mm 이상
측정 속도	~100만 pps	1~10만 pps
응용 분야	건축물, 문화재 등	대형 구조물, 지형지물 등

*pps: Point per second

2.1.2 드론을 활용한 포인트 클라우드 데이터 수집

두 번째 방법인 사진 측량 방식의 자료 수집 대체 수단으로 최근 드론 장비를 많이 활용하고 있다. 드론 장비를 사용하면 시간과 비용을 줄일 뿐만 아니라 위험한 건설 현장에서 작업할 때 안전 조건을 증가시킬 수 있다. 비정형 구조물이나 대형 건축물, 또는 고층 건축물은 3D 스캐너의 지상 레이저가 도달하지 못하는 폐색영역이 발생하여 완전한 모델링이 불가능하므로 3D 스캐너와 드론 장비를 조합하여 데이터를 취득해야 한다.³⁰⁾ 드론으로 데이터를 수집할 때, 장비가 비행하면서 촬영한 여러 장의 사진이나 영상을 기하학적 원리로 접합하여 대상물의 3차원 좌표를 획득하는 다중영상 접합이 기본적으로 사용된다. 더 나아가 SfM 번들 조정법(Structure from Motion Bundle)을 활용하여 포인트 클라우드, 정사 영상, 3D 모델링 데이터 등을 생성할 수 있다. 또한 GNSS 측량을 통해 건축물의 특징점과 지상기준점(GCP, Ground Control Point) 좌표를 구하므로 건축물의 3D 모델링의 기하학적 정확도를 높일 수 있다.³¹⁾ <그림2-6>에서는 SfM Bundle 조정 기술의 원리는 간략하게 표현하고 있다.³²⁾

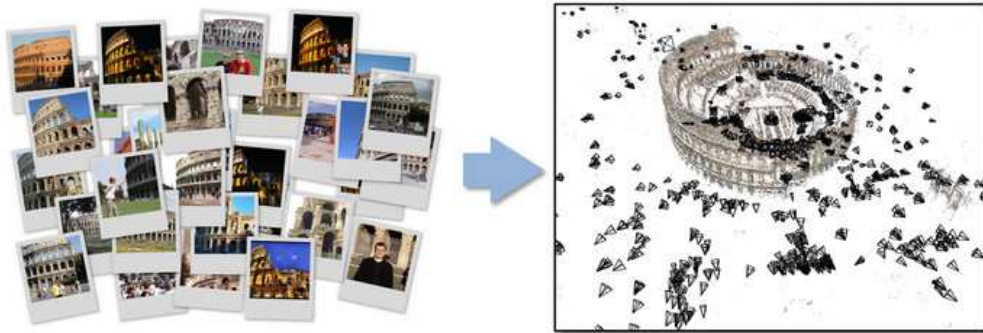


그림 2-6 SfM Bundle 조정 기술의 원리
(Snavely, 2007)

- 30) 백상호, & 장창수. (2021). 드론 및 지상 레이저 스캐너를 이용한 건축문화재 3 차원 모델링 정확도에 관한 사례연구. 한국군사학논집, 77(3), 577-593.
- 31) Kang, J.-O., & Lee, Y.-C. (2019). Construction of 3D Spatial Information of Vertical Structure by Combining UAS and Terrestrial LiDAR. Journal of Cadastre & Land InformatiX, 49(2), 57-66. <https://doi.org/10.22640/LXSIRI.2019.49.2.57>
- 32) Snavely N.(2007). Bundler : Structure from Motion (SfM) for Unordered Image Collections [Image].<https://www.cs.cornell.edu/~snavely/bundler/#S4>

2.1.3 Scan to BIM 관련 기존 연구 고찰

건축물에 Scan to BIM 기술을 적용하면, 설계 도면과 시공 현장의 차이, 간섭 및 시공 오류로 인한 재시공 같은 문제점을 예방할 수 있다. 또한, 노후 건축물이나 기존 설계 도면이 존재하지 않는 경우 PCD를 취득하여 이를 기반으로 3D BIM 모델링을 생성하여 데이터 베이스 구축 및 시설물 유지보수, 시설관리 측면에서 활용할 수 있는 이점이 있다.³³⁾ 이에 스캐닝 기술과 BIM 기술을 이용한 데이터를 활용하는 연구들이 증가하는 추세이다.

국내 역설계 및 Scan to BIM 관련 선행연구를 분석한 결과, 주로 3차원 측정 데이터를 이용하여 정밀한 형상을 추출하는 데이터 생성에 관한 연구와 오차를 줄이고 정확하게 모델을 추출하는 방법에 초점을 맞춘 연구가 대부분으로 BIM 모델링 자동화에 관련된 연구가 많이 이루어지고 있다.³⁴⁾

김태혁(2020)³⁵⁾은 As-Built-BIM 구축 과정을 세밀하게 정의하고 Scan to BIM 과정을 전자동화 시키며 이 과정에서 얻은 데이터들은 데이터 베이스 구축뿐만 아닌 안전진단 및 구조체 분석, 환경분석까지 활용하는 연구를 진행하였다.

이중서 (2021)³⁶⁾의 연구에서는 디지털 트윈 공간을 구성하는 3D 모델링을 3차원 공간 데이터를 기반으로 자동 생성하여 효율적인 디지털 트윈 공간을 구축하는 모델링 자동화 기법을 소개한다.

33) 조준영, & 이명식. (2022). BIM 역설계를 활용한 노후 공공건축물 리모델링 건축 계획 방향 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 42(1), 225-228.

34) 박혜진. (2018). 노후 건축물의 안전진단을 위한 BIM 기반 역설계 조사방안. 경북대학교 대학원, 석사학위논문

35) 김태혁, 우운택, & 정광량. (2020). 건설 및 구조 모니터링을 위한 3D 스캐닝 및 정밀조사 과정-As-Built-BIM 구축을 위한 Scan to BIM. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 40(1), 428-431.

36) 이중서. (2021). 3 차원 공간 데이터를 활용한 지하시설물의 효율적인 3D 모델링 자동화 기법. 한국정보통신학회논문지, 25(11), 1670-1675.

김소현외(2022)³⁷⁾는 기존 건축물에 대한 LCA 분석을 수행하기 위해 Scan to BIM을 기반으로 재료정보를 추출하고 BIM 모델을 자동으로 생성하는 방법을 제시하였다.

조준영 외(2022)³⁸⁾은 BIM 역설계를 통해 도출된 데이터를 바탕으로 기존 건축물 분석과 복합문화시설의 용도에 따른 이론적 개념 분석을 통한 결론을 설계 계획안에 적용하여 건축 도면 및 3D 모델링과 데이터 구축의 설계 결과물을 도출하였다. 그 결과물은 다음 <그림2-7>에서 나타났다.

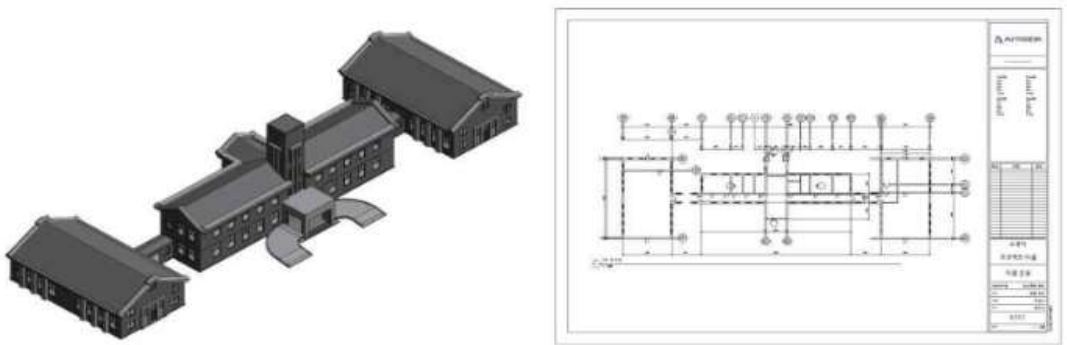


그림 2-7 포인트 클라우드 기반 BIM 3D 모델 구축 및 도면화(조준영, 2022)

최문영 외(2022)³⁹⁾는 기존의 안전 점검 및 진단 과정은 점검자의 육안 조사를 통해 이루어지기 때문에, 노동집약적이고 시간 소모적이며, 인적 오류 발생 가능성 등 데이터의 신뢰성이 떨어지는 문제점을 확인하고 3D 레이저 스캐너를 이용하여 건축물 노후 상태 정보를 수집하고 BIM 모델로 통합하여 시각화하는 방안을 제안하였다.

37) 김소현, 최창순, 정광복, & 이재욱. (2022). Scan-to-BIM 기반 LCA 분석을 위한 재료정보 자동생성 방법. 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 22(1), 164-165.
 38) 조준영, & 이명식. (2022). BIM 역설계를 활용한 노후 공공건축물 리모델링 건축 계획 방향 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 42(1), 225-228.
 39) 최문영, 김상용, & 김승호. (2022). 3D 레이저 스캐닝과 BIM 연동을 통한 건축물 노후 상태 정보 시각화 프로세스. 한국건축시공학회지 (JKIBC), 22(2), 171-182.

박준우 외 (2021)⁴⁰⁾는 딥러닝을 활용하여 객체 정보를 도출하고, BIM 객체의 매개변수를 제어하는 parametric algorithm을 적용함으로써 스캔 데이터, 즉 포인트 클라우드 데이터로부터 BIM 모델링 자동화 프로세스를 실증하였고 다음 <그림 2-8>에서 나타내고 있다.

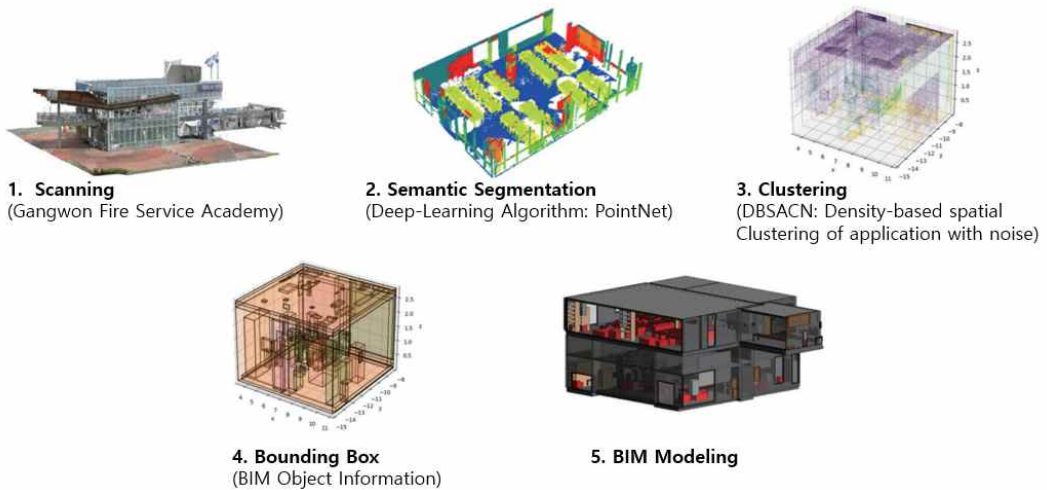


그림 2-8 Automated Scan-to-BIM process (박준우, 2021)

백상호 외(2021)⁴¹⁾은 국내 유형 문화재를 드론과 고정식 레이저 스캐너를 이용하여 3차원 모델을 구축하고, 검측점을 기준으로 PCD 기반 3차원 모델의 정확도를 고찰하였고 지붕에 대한 3차원 레이저 스캐너와 드론 PCD의 상대 오차를 고찰하였다.

이러한 Scan to BIM과 관련된 기존 연구 고찰 결과, 많은 연구를 통해 3D 스캐너 기술의 신뢰성이 확보되었고 BIM 모델링 자동화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 포인트 클라우드 기반으로 구축된 PCD 데이터와 BIM 모델링 정보 활용에 관한 연구는 미흡한 실정으로 분석되었다.⁴²⁾

40)46) 박준우, 김재홍, 김소현, 이지민, 최창순, 정광복, & 이재욱. (2021). Scan-to-BIM 자동화 기술을 활용한 건축물 단위의 BIM 모델 생성. KIBIM Magazine, 11, 53-62.

41) 백상호, & 장창수. (2021). 드론 및 지상 레이저 스캐너를 이용한 건축문화재 3 차원 모델링 정확도에 관한 사례연구. 한국군사학논집, 77(3), 577-593.

2.2. 에너지 절감형 리모델링

에너지 절감형 리모델링은 친환경 리모델링, 그린 리모델링과 그 의미가 비슷하다. 녹색 건축물 조성지원법 제27조에서 정의하는 그린 리모델링이란, “기존 건축물을 환경친화적 건축물로 만들기 위해 에너지 성능향상 및 효율 개선을 목적으로 하는 행위”로서, 건축법 제2조 제10호와 주택법 제2조 제15호에서 정의하는 일반 리모델링 “건축물의 노후화를 억제하거나 기능 향상 등을 위하여 대수선하거나 일부 증축하는 행위”와는 다른 개념을 가지고 있다.⁴³⁾ 즉, 에너지 절감형 리모델링이란 기존 건축물의 에너지 성능 및 에너지 자원 절약과 탄소 배출량 감소를 리모델링 핵심 목표로 정하여 기존에 시공된 마감재나 전기/ 냉난방 설비를 에너지 효율이 더 높은 것으로 교체하거나 추가적인 신재생에너지 기술을 도입하여 환경부하를 최소화하며 건강과 쾌적성에 중점을 두는 리모델링이라 할 수 있다. 일반 리모델링과 에너지 절감형 리모델링의 차이점을 <표2-2>로 나타냈다.⁴⁴⁾

표 2-2 일반 리모델링과 에너지 절감형 리모델링 차이 (신영수, 2015)

구분	일반 리모델링	에너지 절감형 리모델링
주요 목적	<ul style="list-style-type: none"> • 주거 기능의 개선 • 설비 또는 시설의 노후화 개선 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주거 기능 개선 시 환경부하 최소화
에너지 효율	<ul style="list-style-type: none"> • 동력, 전력 에너지 사용 • 일반 설비로 교체 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자연 에너지 이용 ▪ 신재생에너지 이용
건축 외피	<ul style="list-style-type: none"> • 마감 재료의 교체 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 에너지 절감 효율이 높은 재료 적용

43) 지현서. (2022). 노후 건축물의 그린 리모델링 계획을 위한 온톨로지 기반 의사결정 지원모델, 조선대학교, 석사학위논문

44) 신영수. (2015). 에너지 절감형 리모델링을 위한 의사결정 지원모델, 조선대학교, 석사학위논문

2.2.1 에너지 절감형 리모델링 요소 기술

건축물의 에너지 성능향상을 위한 그린 리모델링 기술은 패시브(Passive)와 액티브(Active) 기술로 나누어지며 <그림2-9>와 <표2-3>에서 관련된 요소들을 보여 주고 있다.⁴⁵⁾⁴⁶⁾ 액티브 기술은 열원 설비, 풍력발전, 조력 발전 등의 적절한 기계 장치를 활용함으로써 에너지를 적극적으로 생산하여 소비할 수 있도록 하는 기술이다.



그림 2-9 패시브와 액티브 하우스의 개념 (green_reporter_mu, 2021)

표 2-3 공공건축물 그린 리모델링 사업 적용 기술 요소 (강경화, 2021)

공사 항목	기술 분류	기술 요소
필수	Passive	벽체(외단열), 지붕(외단열), 열교·결로방지 공사, 창호공사
	Active	폐열회수형 환기장치, 고효율 냉난방장치, 고효율 조명(LED), 고효율 가전기기
	신재생에너지	신재생에너지(태양광)
	에너지 관리	BEMS(또는 전자식 원격 검침기)
선택	석면 제거, 일사 조절 장치, 스마트 에어 샤워, 순간온수기, 쿨 루프, 기타	

45) green_reporter_mu님의 블로그, “[경상권_그린플랫폼] 그린리모델링 핵심기술: 액티브 기술과 패시브 기술”, https://blog.naver.com/green_reporter_mu/222415251931_2022.10.26

46) 강경화. (2021). 공공임대주택 그린리모델링의 에너지 성능 기반 대안 선정 기법 연구, 조선대학교, 석사학위논문

본 연구에서 다루는 패시브 기술은 에너지 낭비를 줄이는 데 목적을 둔 기술로 별도의 기계장치를 활용하지 않고 건축물의 설계 요소에 의해 복사, 대류, 전도가 자연스럽게 이루어지도록 하여 열의 흐름을 조절하여 냉난방 효과를 얻고자 한다. 패시브 요소 중에서도 단열 성능 개선이 큰 영향력을 미치므로 건물 에너지 절감 및 탄소 배출량 저감을 위해 국가적 차원 중 건축물의 단열기준을 급격히 강화됨에 따라 외기에 직접 면하는 열관류율 기준은 단열 설치기준이 의무화된 1979년 이후 지속해서 높아지고 있음을 <표2-4>에서 알 수 있다.⁴⁷⁾⁴⁸⁾

표 2-4 부위별 단열 규정의 변천 (중부지역 기준, W/m² · K)
 (김진업, 2016), (한국에너지공단)

개정연도	외벽	최하층 바닥	지붕	외기에 면하는 창
1979.9	1.8	1.5	0.9	2.2 또는 이중창
1980.12	0.58	1.0	0.58	3.49 또는 이중창
1984.12	0.58 또는 50mm 단열재			3.49 또는 이중창
1987.7	0.58 또는 50mm 단열재	0.58 또는 50mm 단열재	0.41 또는 80mm 단열재	3.37 또는 이중창
1988.12	0.41 또는 80mm 단열재			
1992.6	내용은 개정 전과 동일, 건축물의 설계기준 등에 관한 규칙으로 개편			
2001.1	부위별 단열 성능 평균 20% 강화, 지역구분의 내용 변경, 창호 기준 변경			
2008.7	창호, 단열 성능을 열관류율 기준으로 약 28% 강화			3.4
2011.2	0.36	0.41	0.2	2.4
2013.10	0.27	0.29	0.18	2.1
2016.07	0.26	0.22	0.15	1.5
2018.09	0.17	0.17	0.15	1.3

47) 김진업.(2016). 그린 리모델링 시 건물 외피 설계수준 의사결정에 의한 Framework 개발에 관한 연구 (Doctoral dissertation, 서울시립대학교 국제도시과학대학원)

48) 한국에너지공단 '에너지절약설계기준 해설서' . 2022. 247p

2.2.2 에너지 절감형 리모델링 관련 기존 연구 고찰

국내의 건축물 에너지 정책으로 사용자의 에너지 절약 유도, 신축건축물 에너지 기준 강화, 기존 건축물 에너지 효율을 개선하는 방법인 녹색건축 정책을 시행 중이다. 그린 리모델링은 정부와 각 지자체에서는 다양한 정책을 시행하고 있으며, 이를 통해 정부에서는 그린 리모델링을 활성화하여 에너지 사용량을 줄이고 온실가스 배출과 지구 온난화 방지에 노력 중이다.⁴⁹⁾

현재의 건축물 에너지 소비량 저감에 대한 정책은 신축건축물을 대상으로 하고 있어 기존 건축물에 대한 운영 관리 정책은 미비하여 온실가스 감축하기에는 한계가 있다. 향후 기존 건축물의 유지관리 비중이 높아지고 에너지 효율이 저하된다는 점을 고려할 때, 기존 건축물의 에너지 성능을 향상하고 효율을 개선하는 그린 리모델링은 꼭 필요한 사업이다.⁵⁰⁾ 이에 국내에서는 제로 에너지 건축, 그린 리모델링, 에너지 절감형 리모델링 기술 및 정책과 에너지 평가, 경제성 분석, 타당성 평가에 관하여 다양한 연구가 이루어지고 있다.⁵¹⁾

강경화(2021)⁵²⁾ 연구는 광주광역시 공공임대주택을 대상으로 EC02 프로그램을 이용하여 건축물 에너지 평가를 진행하고 대상지에 적용할 수 있는 그린 리모델링 기술을 선정하여 대안 7가지를 제안하여 리모델링 전·후 건축물 에너지효율등급의 변화와 온실가스 감축량을 산정한다. 또한 대안별 사업비 산출하여 경제성 분석으로 그린 리모델링 대안을 선정하였다.

이상춘 외(2012)⁵³⁾ 연구는 노후화에 따른 리모델링이 필요한 중학교 건축물에서 에너지 절감을 위한 요소 기술의 여러 대안을 적용하여 각 요소 기술의 기본안

49) 한국토지주택공사, 그린리모델링, www.greenremodeling.or.kr 검색일자 : 2022.10.17

50) 김진업.(2016). 그린 리모델링 시 건물 외피 설계수준 의사결정에 의한 Framework 개발에 관한 연구. 서울시립대학교 국제도시과학대학원, 석사학위논문

51) 정진우, 주정훈, & 이건호. (2018). 그린리모델링 실증 시범사업을 통한 프로세스의 전 과정에 대한 검토. 한국대양에너지학회 논문집, 38(3), 37-45.

52) 강경화. (2021). 공공임대주택 그린리모델링의 에너지성능기반 대안 선정 기법 연구, 조선대학교, 석사학위논문

53) 이상춘, 최영준, & 최율. (2012). 교육시설 리모델링을 위한 에너지 절감 요소 기술의 성능 평가: 노후 중학교 건물 중심으로. 한국생태환경건축학회 논문집, 12(4), 105-110.

대비 연간 에너지 사용량을 산정하고 절감 효과를 평가하였다.

김진아(2013)⁵⁴⁾ 연구는 업무용 건축물의 에너지 절감을 위해 외피 계획 시 고려할 4가지 요소(창면적비, 투과체, 외부 차양, 외피 단열 성능)에 대한 성능별 에너지 평가를 하였다. 4가지 요소에 대하여 단일 적용으로 인한 경우와 복합 적용으로 인한 경우를 대안으로 설정하고, 에너지 평가를 하여 최적 외피 모델을 제시하였다.

이한솔 외(2022)⁵⁵⁾ 연구는 기존 공공건축물을 대상으로 그린 리모델링을 수행하여 개선 전·후의 에너지 성능을 시뮬레이션으로 평가하여 개선 전·후의 월별 에너지 요구량 및 소요량을 비교 분석하였다.

Üllar Alev 외(2014)⁵⁶⁾의 연구는 Baltic Sea 지역의 전통가옥의 에너지 성능향상에 대한 renovation 방법을 제시하였다. 에스토니아, 핀란드, 스웨덴 각각의 에너지 성능 기준을 바탕으로 건축물 외피 renovation 대안을 제시하고, 시뮬레이션을 통한 에너지 절감량 평가를 하였다.

Birgit Risole 의 (2013)⁵⁷⁾ 연구는 단독주택의 제로 에너지화 renovation을 위한 지표를 제시하였다. Renovation을 위해 건축주가 평가해야 할 4단계 (Performance, Economic, Usability, Social)를 제시하고, 패시브하우스 기준에 부합하는 대안을 예시로 제시한 4단계 평가 프로세스를 구현하였다.

이와 같은 선행연구 분석을 살펴본 결과, 국내에서 단일 요소 기술의 계획과 평가와 기본안 대비 선택 기술의 에너지 절감 효과에 대해서는 다수의 논문이 게재

54) 김진아. (2013). 건물 에너지 절감을 위한 업무용 건축물의 외피 계획에 관한 연구. 부산대학교, 석사학위논문

55) 이한솔, & 최경석. (2022). 그린리모델링을 통한 에너지 성능개선 효과 분석-공공건물의 패시브 기술을 중심으로. 한국생활환경학회지, 29(3), 281-288.

56) Alev, Ü., Eskola, L., Arunägi, E., Jokisalo, J., Donarelli, A., Siren, K., & Kalamees, T. (2014). Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region. Energy and Buildings, 77, 58-66.

57) Risholt, B., Time, B., & Hestnes, A. G. (2013). Sustainability assessment of nearly zero energy renovation of dwellings based on energy, economy and home quality indicators. Energy and Buildings, 60, 217-224.

되어 있지만 여러 대안에 대한 공사비 대비 에너지 절감 효과를 조사하는 경제성 분석에 관한 연구가 부족했다. 또한 3D 스캐너를 활용하여 자동화 모델링 관련 연구는 다수 진행되었으나 모델링에서 더 나아가 모델링 데이터 활용에 관한 연구는 부족했다. 따라서 본 연구에서는 도면의 부재로 인해 사업 진행의 어려움이 있는 노후 건축물 리모델링 시, 사용자의 편의성을 위해 Scan to BIM 기법으로 도면을 작성하고 3D BIM 모델을 구축하고자 한다. 구축된 3D BIM 모델 정보를 활용하여 리모델링 에너지 성능 평가시 요구되는 건축물의 정보를 쉽게 취득하여, 리모델링 대안별 에너지 성능 평가와 경제성 분석을 통해 최적의 리모델링 대안을 사용자가 목적에 따라 합리적으로 선정할 수 있도록 하는 기술의 개발이 필요하다.

제 3장 Scan to BIM 기반 최적 리모델링 대안 선정 모델

3.1. Scan to BIM 기반 최적 리모델링 대안 선정 기술의 개념적 체계

Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정을 위해서는 1) 기존 노후 건축물의 데이터 베이스 구축과 도면화를 위한 Scan to BIM, 2) 구축된 BIM 모델링 정보를 활용한 노후 건축물 리모델링 대안별 에너지 소요량 평가와 경제성 분석을 위한 Excel Spreadsheet 기반 리모델링 대안 제시, 이 두 단계로 나눌 수 있으며, 아래 <그림 3-1>에서 전체 프로세스를 나타냈다.

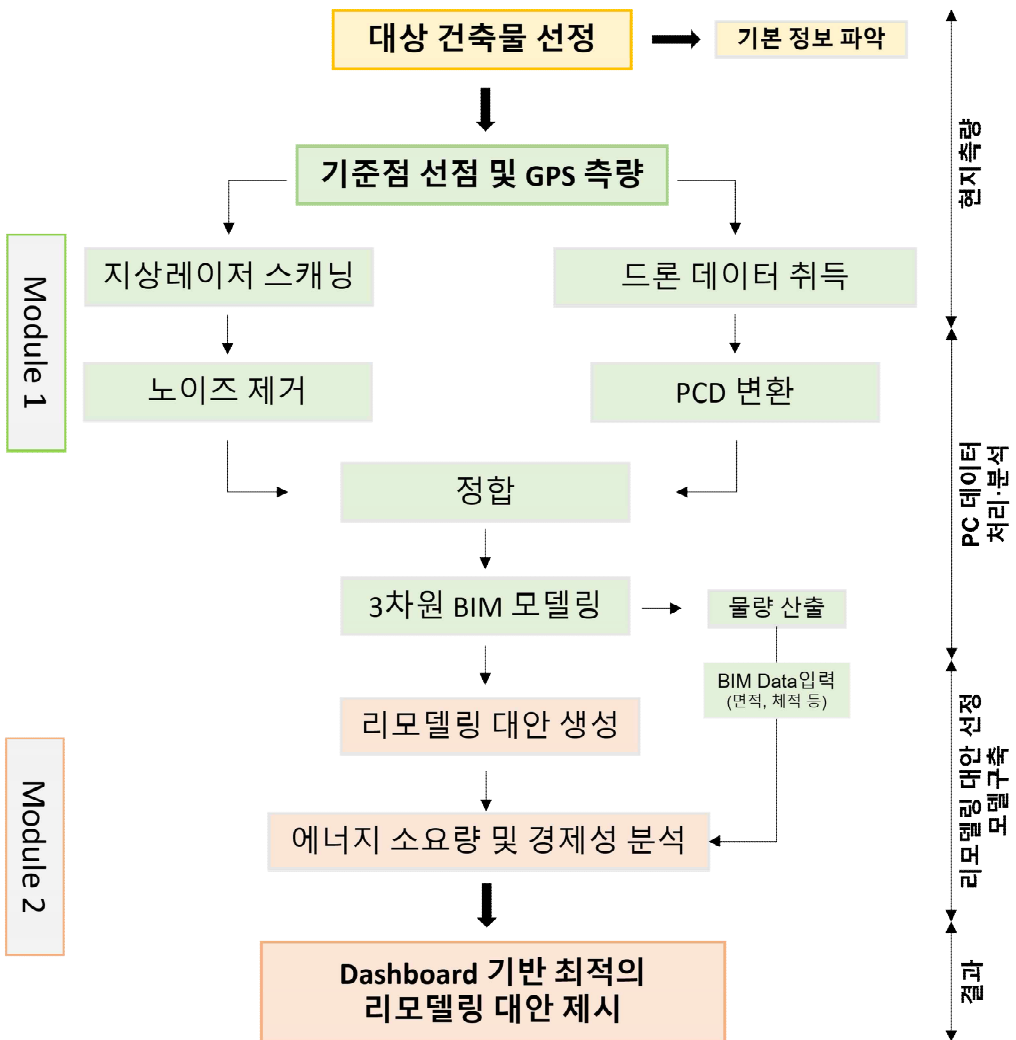


그림 3-1 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 전체 프로세스

3.2. Module 1: 기존 건축물 3D 모델링을 위한 Scan to BIM 기술

Module 1에서는 노후 건축물의 도면 부재와 실제 건축물과 설계 도면이 상이하다는 문제점을 해결하기 위해 3D 스캐너, 드론 등의 기술을 활용하여 BIM 모델링을 구축하고 도면화하고자 한다. 3D 스캐너로 한 번의 스캔만으로는 건축물 전체의 PCD를 취득할 수 없어, 여러 번의 스캐닝 과정을 거치기 때문에 이후 데이터 후처리 작업이 요구된다. PCD는 다양한 방식과 여러 소프트웨어를 통해 BIM 모델링 구축을 할 수 있다. Autodesk, Trimble, Leica, Faro 등 각종 스캐너 장비를 보유하고 있는 회사마다 PCD를 활용하여 모델링을 쉽게 할 수 있도록 PCD 관리, 정합, 분석, 시뮬레이션, Auto 모델링, 3D 모델링, BIM 설계 등을 할 수 있는 솔루션들이 있다. 또한 건축, 토목 등 분야별로, 또는 사용 장비 별로 특화된 솔루션들이 있으므로 프로젝트 특성에 맞게 소프트웨어를 선정하여 모델링 작업을 진행해야 한다. 3D 모델링을 구축하는 단계는 1) 건축물의 기본 정보를 파악하는 스캔 준비단계, 2) 3D 스캐너, 드론 등 장비를 활용하여 PCD를 취득하는 스캔 단계, 3) 취득한 PCD를 가공하는 데이터 후 처리 단계, 4) 가공된 PCD기반 2D 단면도 제작, 5) 2D 단면도 기반 3D BIM 모델링 구축으로 나뉘지며 프로세스는 <그림3-2>에서 나타냈다.

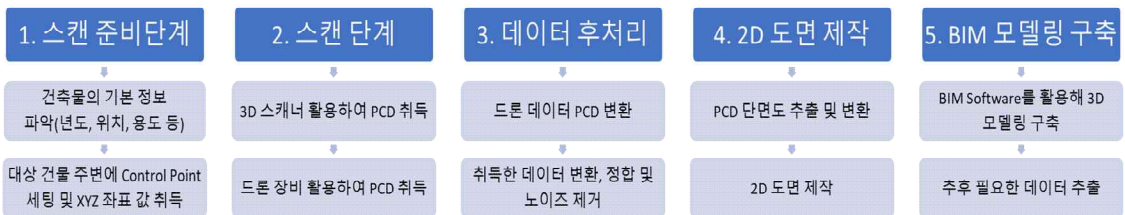


그림 3-2 Scan to BIM 프로세스

본 연구에서는 Trimble 사의 3D 스캐너와 장비들을 활용하여 PCD를 수집하였기 때문에 Trimble 사의 RealWorks, UAS Master와 Autodesk 사이 Revit, AutoCAD 프로그램을 활용하여 BIM 모델링을 구축하였다. 사용된 장비와 소프트웨어는 다음 <그림3-3>과 같다.

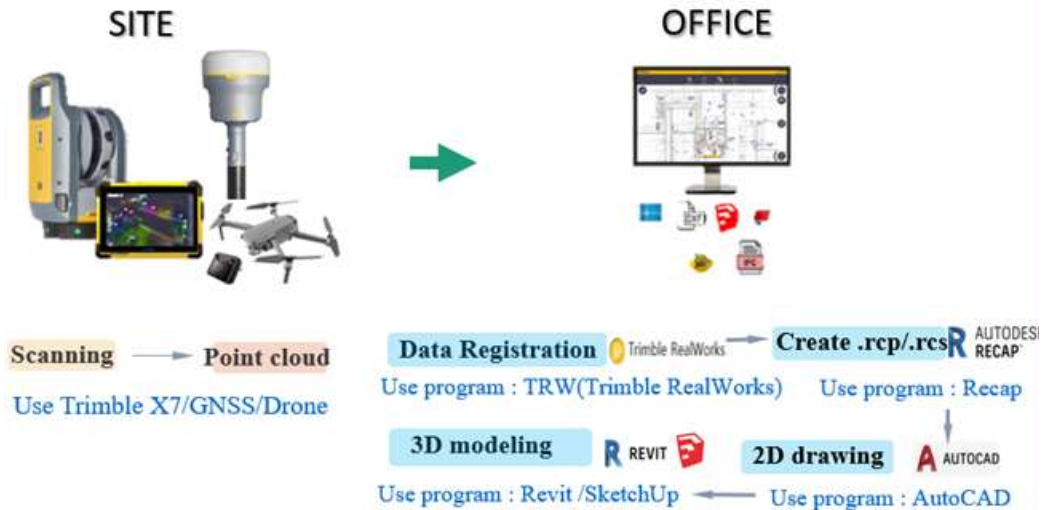


그림 3-3 Scan to BIM 사용 장비 및 소프트웨어

1) 스캔 준비단계

본격적으로 건축물 스캐닝에 앞서 건축물의 정보 파악 및 동선 계획 등 스캐닝 계획을 구성해야 한다. 추후 에너지 소요량 계산을 위해 열관류율, 평균기온 등 기본 정보를 얻기 위해서는 건축물의 규모, 준공 연도, 지역, 주 용도 등 또한 파악해야 한다. 건축물의 현황을 파악한 후 스캐닝을 위한 첫 단계는 건축물 주위에 기준점과 특징점의 좌표값을 Trimble 사의 GNSS 장비를 활용해 취득한다. 기준점과 특징점을 취득할 땐, 추후 드론 데이터와 스캐너 데이터 후처리를 수월하고 정확하게 하도록 대공표지를 설치한 후 좌표값을 취득해야 한다 <그림3-4>.

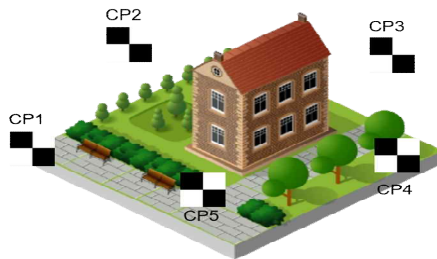


그림 3-4 3D 스캐닝 준비를 위한 대공표지 세팅

PCD는 취득되는 포인트 클라우드 양이 증가함에 따라 데이터의 크기 또한 커지며 후처리 시 작업자의 숙련도가 요구된다. 데이터의 크기가 커지면서 이를 처리하기 위해서는 고사양의 컴퓨터가 필요하게 되며, 이는 시간과 비용에도 영향을 미친다. 이런 문제점을 해결하기 위해선 스캐닝 진행 시, 필요 이상의 중복 데이터를 최소화해야 하므로 스캔 전 동선 계획은 필수사항이다. 사용되는 장비에 따라 포인트 클라우드를 취득할 수 있는 거리와 시야가 다르므로 장비의 제원을 고려하여 최대한 사각지대 없이, 그리고 최소의 중복 데이터를 취득할 수 있는 동선을 계획하여야 한다.

2) 스캔 단계

국내에서 쓰이는 3D 레이저 스캐너의 종류는 다양하나 본 연구에서는 Trimble사의 X7 스캐너와 DJI의 Mavic 2 Enterprise 드론을 사용하였다. 지상에서의 PCD는 X7 장비를 활용하여 건축물의 내 외부 동선을 따라 취득하였고 고층 건축물의 옥상이나 지붕 또는 지상 스캐너로 측정이 불가하거나, 위험한 위치의 PCD는 드론을 활용하여 이미지 데이터를 취득하였다 <그림3-5, 그림3-6>.



그림 3-5 Trimble사의 X7과 태블릿
(빌딩포인트, 2022)



그림 3-6 DJI사의 Mavic 2 드론
(DJI, 2022)

3D 레이저 스캐너 X7 장비는 ‘원 버튼 스캔’ 기능으로 설치 후 간편하게 3D 스캔 작업이 가능하다. 또한 자동 축 보정 기술이 탑재되어 자동 수평 축 보정, 자동 캘리브레이션 축 보정 지원이 되며, IMU(Inertial Measurement Unit) 센서 기반의 자동 오리엔테이션 및 자동 접합이 가능하다. 스캐닝 진행 시, 스캐너 장비와 태블릿을 연결하여 Trimble사의 Field Link 소프트웨어를 사용하는데 이는 촬영한 PCD를 실시간으로 보며 확인할 수 있으며 위치, 수·자동 접합, 거리 측정, 데이터 내보내기 등 다양한 작업 도구를 제공한다. 또한 실시간으로 찍히는 PCD를 확인할 수 있으므로 앞서 설명한 중복되는 불필요 데이터를 최소화하는 방법을 지속해서 확인할 수 있다. 연구에서 사용된 3D 레이저 스캐너 (Trimble X7)의 제원은 <표 3-1>⁵⁸⁾과 같으며, 취득한 포인트 클라우드의 형태는 <그림3-7>에서 나타냈다.

58) 지오시스템, Trimble X7, <https://geosys.co.kr>, 2022.10.29

표 3-1 Trimble X7 제원 (지오시스템)

Trimble X7 3D Laser Scanner		
성능	스캔 시간	01:34~14:57 (min:sec), 500,000포인트/초 최고속도 : 이미지 사용 시 2:34 미사용 시 1:34
	정확도	2.4mm @ 10m, 3.5mm @ 20m, 6.0mm @ 40m
	레이저 파장	1,550nm, 적외선
	레이저 등급	Class 1, IEC EN60825-1
	디지털카메라	해상도: 158 MP(1분)~316 MP(2분), 3 통합 카메라
	스캐닝 범위 (Trimble X7 3D Laser Scanner)	0.6m - 80m (측정범위) 360° x 282° (시야)
외부 사양	스캐너 무게, 크기	2.5kg, 178mm(W) × 353mm(H) × 170mm(D)
	전원	충전식 리튬 이온 배터리 11.1V, 6.5Ah(Trimble 광학 기기용 표준)
	배터리 사용 시간	배터리당 4시간
	데이터 저장	표준 SD 카드(32GB SDHC 포함)
환경	작동 온도	-20℃~50℃ (-4°F~122°F)
	보관 온도	-40℃~70℃ (-40°F~158°F)
	방수, 방진 등급	IP55(방진 및 워터젯)

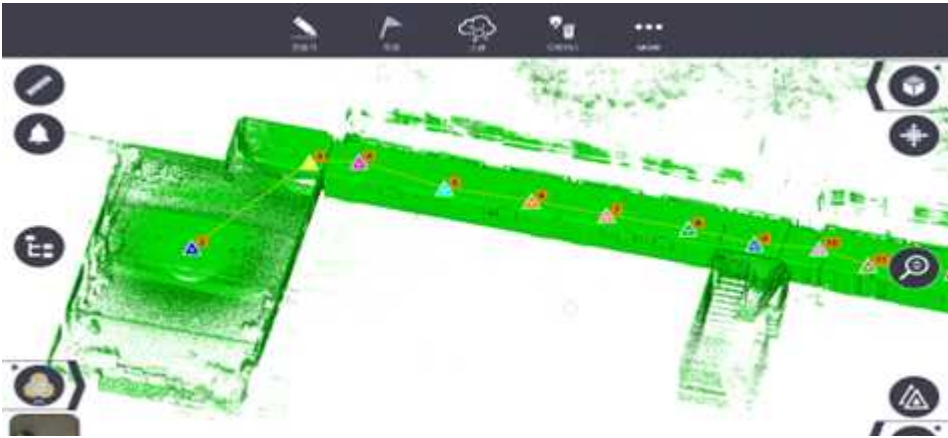


그림 3-7 스캐너와 연동된 태블릿의 Field Link 소프트웨어에 표현된 PCD

드론을 활용하여 이미지를 취득할 때는 GPS 기반 3D 지도 맵핑을 하여 자동 비행경로를 설정할 수 있다. 이때 드론의 고도, 비행 속도에 따라 취득되는 이미지의 양이 달라지므로 필요한 정보에 따라 설정할 수 있다. 드론을 활용한 데이터 취득은 3D 스캐너와는 다르게 취득한 이미지가 많을수록 PCD로 변환했을 때 정확한 데이터가 나오기 때문에 다양한 각도와 높이에서 이미지를 취득하는 것이 중요하다. 또한 드론을 활용하여 이미지를 취득할 때, 취득한 이미지가 위도, 경도, 고도의 정보 값을 포함하고 있어야 한다 <그림3-8>. PCD를 취득하는 스캐닝 프로세스는 다음 <그림3-9>와 같다.

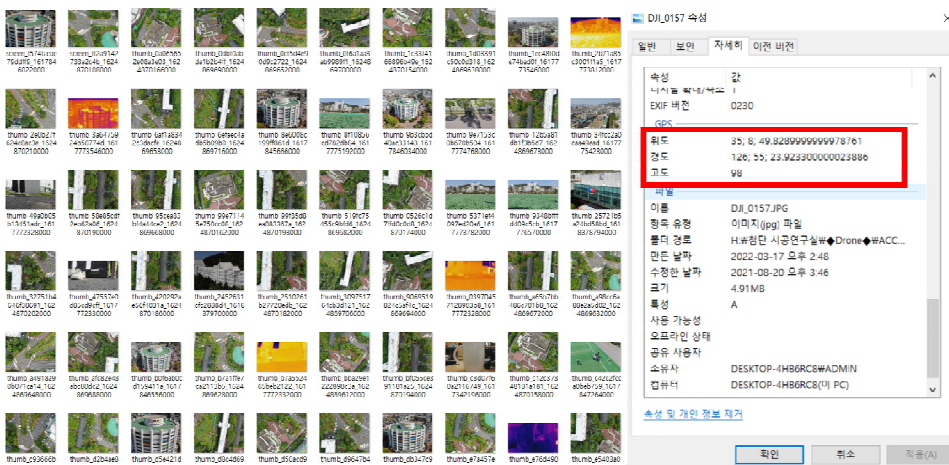


그림 3-8 드론으로 취득한 이미지 데이터



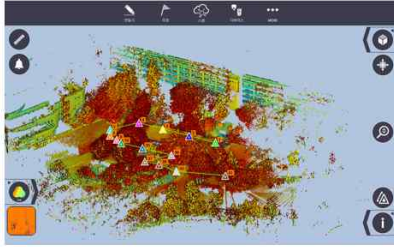
1. 대상지 주변 기준점 좌표 취득



2. 스캐너 연동 태블릿에 취득된 좌표 등록



3. 풍선에 따라 건물 스캔



4. 스캐너로 취득한 PCD 실시간 확인



5. Drone 촬영 이미지 데이터 취득

그림 3-9 건물 스캐닝 간략 프로세스

3) 데이터 후처리

3D 레이저 스캐너와 드론으로 데이터를 취득 완료한 후, 레이저 스캐너의 PCD는 태블릿을 통해 내보내기 과정을 거쳐 컴퓨터로 작업을 진행할 수 있다. 하지만 드론 데이터는 이미지를 촬영한 데이터이기 때문에 PCD로 변환 과정이 필요하다. 이에 데이터 후처리는 1) 드론 이미지 데이터 변환, 2) PCD merge, 3) Noise deleting 단계로 나뉜다.

먼저, 드론 이미지 데이터를 PCD로 변환하기 위해 Trimble사의 UAS Master 소프트웨어를 활용하였다. PCD로 변환하는 과정은 다음과 같다. 첫 번째, 스캔 준비 단계에서 GNSS로 취득한 기준점 좌표를 엑셀로 정리한다. 두 번째, 드론에서 일정한 간격으로 취득한 이미지들을 한 폴더에 모아 정리한다. 마지막으로 앞서 정리한 두 데이터를 소프트웨어에 업로드하여 상대 조정, 절대 조정하여 한 장의 정사 영상 및 PCD 생성한다. 자세한 과정은 <그림3-10>에서 나타났다.



그림 3-10 Drone Data Processing-UAS Master

두 번째, 스캐너로 현장 데이터 취득 후 Field Link 소프트웨어를 통해 데이터를 내보내고 앞서 변환한 드론 데이터와 함께 병합, 노이즈 제거와 같은 데이터 가공 단계를 진행한다. 데이터 가공을 위해 레이저 스캐너와 호환되는 Trimble 사의 Trimble Realworks 소프트웨어를 사용했다.

데이터 가공을 시작하기 전에, 건축물이 클 때 하나의 프로젝트에서 모든 포인트 클라우드를 취득하게 되면 용량이 매우 커져 후처리 가공이 어려울 수 있으므로 여러 프로젝트 파일로 나누어 취득하게 된다. 또한 본 연구에서처럼 드론과 레이저 스캐너 장비를 동시에 사용하여 데이터를 취득할 땐, 각각의 드론과 스캐너 데이터를 취득하게 된다. 이때 나누어진 프로젝트 또는 파일을 공통으로 취득된 포인트를 기준으로 하나의 프로젝트로 병합하는 과정을 Merge라고 한다 <그림 3-11>.

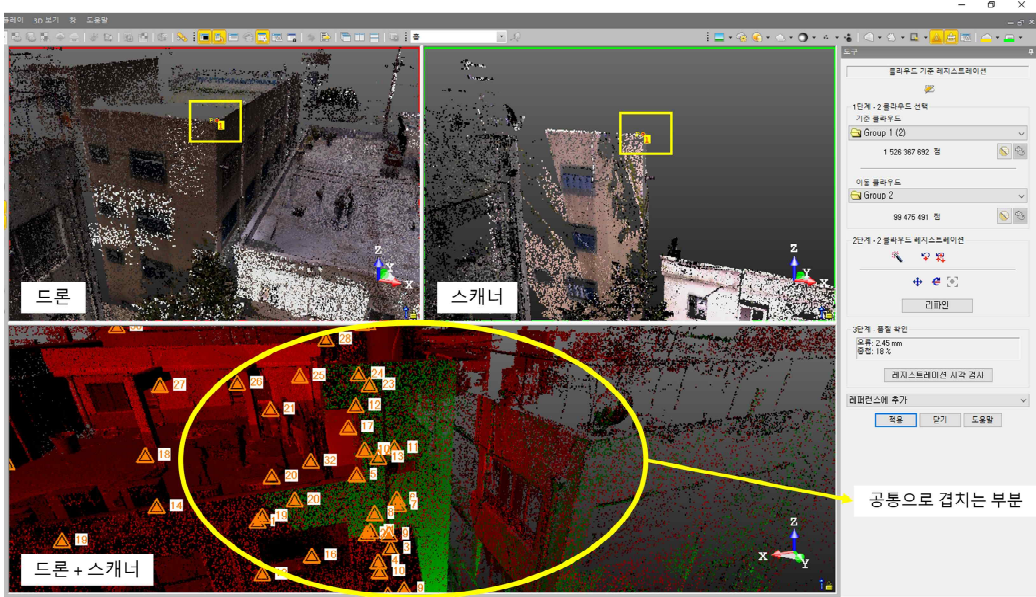


그림 3-11 Merge 작업

세 번째, 앞서 장비들을 통해 취득된 포인트 클라우드 데이터는 건축물 외에 외부 환경의 영향으로 발생한 노이즈 즉, 불필요한 데이터가 포함되어 있다. 건축물의 포인트 클라우드를 활용하여 모델링을 구축하기 위해서 우선 데이터의 노이즈 제거를 수행하였다. 불필요한 데이터를 최대한 줄여 용량의 크기도 줄이고 건축물의 데이터를 깔끔하게 정리하여야 2D 도면을 제작할 때 정확한 데이터를 얻을 수 있다. 노이즈 제거할 때, Realworks 소프트웨어에서 제공하는 Auto-Classify outdoor & indoor를 기능을 사용하여 외부, 내부에 사용자가 선택한 영역이나 구조에 따라 자동 추출이 가능하다 <그림3-12>. 추출된 데이터 중 필요한 부분만 남겨 두어 작업하거나 더 세밀하게 노이즈를 제거해야 한다면 Segmentation 기능을 사용하여 원하는 영역의 PCD를 지운 후 사용할 수 있다. 노이즈가 제거된 건축물의 PCD는 <그림3-13>과 같다.

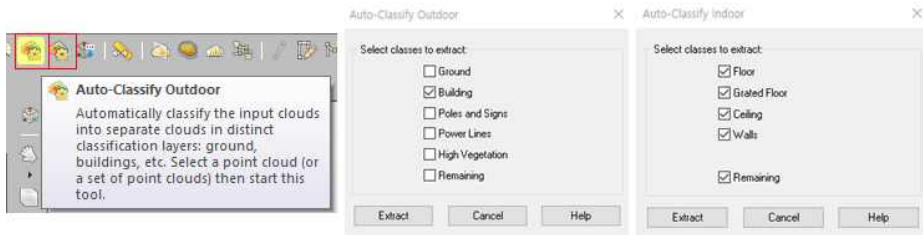


그림 3-12 노이즈 제거를 위한 내·외부 아이템 자동 추출



그림 3-13 PCD 노이즈 제거

4) 2D 도면 제작

노이즈가 제거되고 건축물만 남아있는 데이터를 활용하여 2D 도면을 제작한다. Realworks 소프트웨어에서 Cutting Plane 기술을 활용하여 건축물의 단면도 데이터를 총별로 얻을 수 있다. 총별로 단면도 데이터를 얻은 후 AutoCAD를 통해 2D 도면을 제작할 수 있다 <그림3-14>. 이때, Realworks와 AutoCAD가 호환할 수 있는 파일 확장자명이 다르므로 파일 변환 과정을 거치게 된다. Trimble Realworks에서 .e57 또는 .rcp 확장자 파일로 추출하여 Autodesk Recap 프로그램으로 파일 변환을 거치면 AutoCAD 프로그램에서 작업이 가능하다.

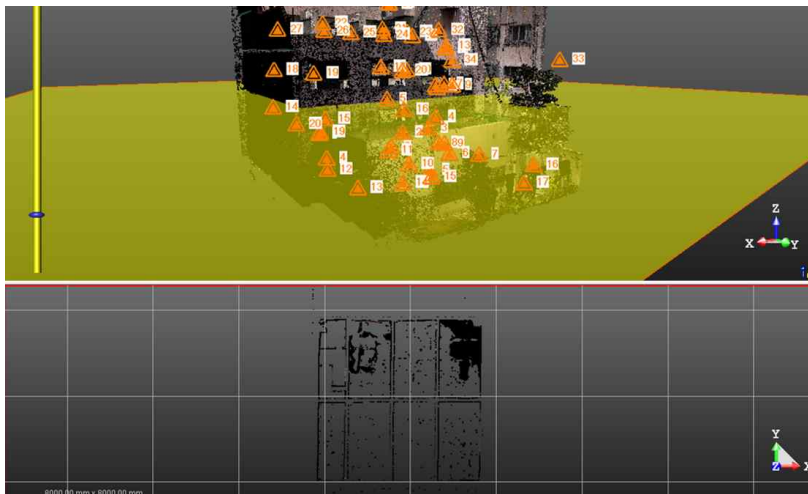


그림 3-14 Cutting Plane

파일 변환을 거쳐 내보내진 단면도 데이터를 활용하여 AutoCAD 프로그램에서 2D 도면을 작성할 수 있다. 앞서 추출한 데이터를 기반으로 AutoCAD에서 2D 도면을 제작할 때, 수많은 PCD 점이 모여 하나의 선으로 보이는 것을 토대로 작성자가 직선과 가장 유사하게 선을 그려내어 2D 단면도, 입면도 도면을 제작하게 된다 <그림3-15>.

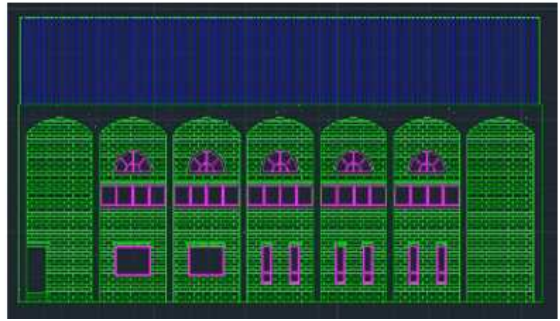
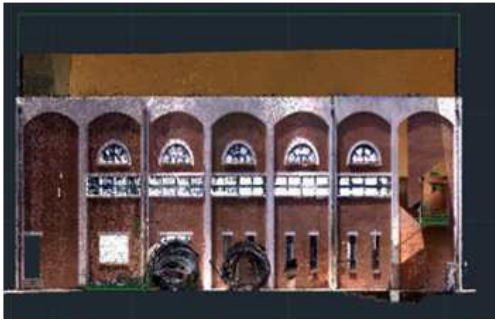
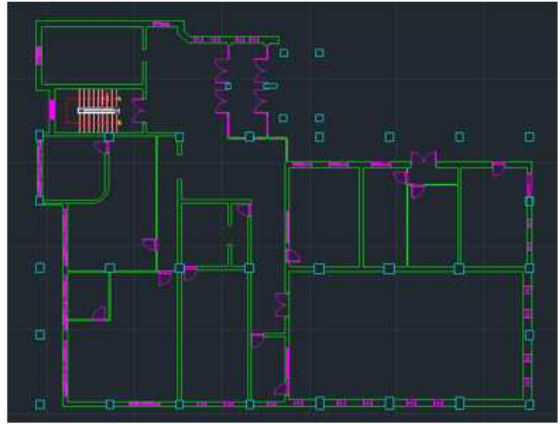
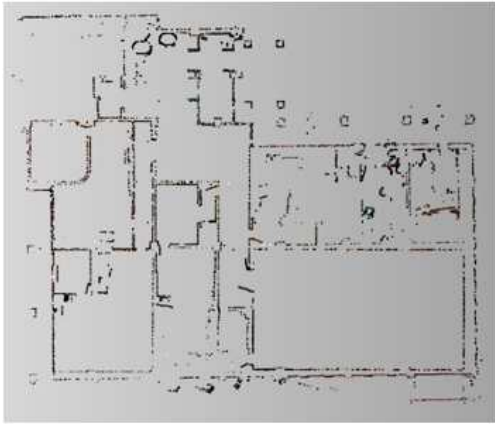


그림 3-15 20 단면도, 입면도 작성

5) BIM 모델링 구축

앞서 제작된 2D 도면을 토대로 Autodesk 사의 Revit 소프트웨어를 활용하여 BIM 모델링을 구축한다. BIM 모델링을 할 때는 수많은 건축 정보를 자세하게 입력할 수 있지만 본 연구에서는 외벽, 지붕, 창호 성능 개선을 목표로 모델링을 구축하기 때문에 기본적인 구조체 외의 내부 모델링은 생략하고 벽체, 기둥, 최상층(지붕), 개구부만 작성하였다. 작성된 모델링에서 면적, 체적, 크기에 대한 물량 산출을 하여 Module 2에서 사용될 건축물 정보를 추출하였다. 다음 <그림3-16, 그림 3-17>에서는 BIM 모델링과 일람표의 예시를 나타내고 있다.

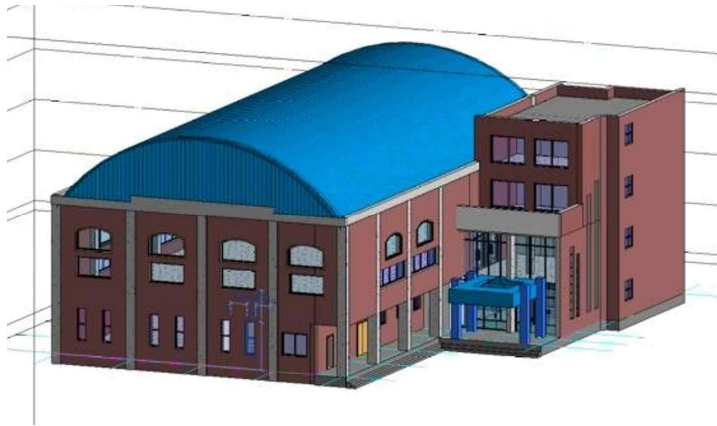


그림 3-16 BIM 모델링 구축 예시

구분	구분명	수량	단위	단위량	총량	비고
외벽	외벽 벽체	11	㎡	11.0000	11.0000	
	외벽 창호	21	㎡	21.0000	21.0000	
지붕	지붕 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	지붕 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
기둥	기둥 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	기둥 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
창호	창호 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	창호 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
벽체	벽체 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	벽체 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
기둥	기둥 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	기둥 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
창호	창호 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	창호 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
벽체	벽체 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	벽체 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
기둥	기둥 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	기둥 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
창호	창호 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	창호 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
벽체	벽체 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	벽체 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
기둥	기둥 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	기둥 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
창호	창호 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	창호 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
벽체	벽체 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	벽체 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
기둥	기둥 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	기둥 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	
창호	창호 벽체	1	㎡	1.0000	1.0000	
	창호 창호	1	㎡	1.0000	1.0000	

그림 3-17 BIM 모델링 벽 일람표의 일부

3.3. Module 2: 최적 리모델링 대안 선정을 위한 Excel Spreadsheet 모델

Module 2에서는 앞서 취득한 포인트 클라우드 데이터 기반으로 구축한 BIM 모델링 데이터를 활용하여 건축물의 에너지 성능 및 경제성 분석을 통해 사용자가 설정한 에너지 성능 기준에 따라 초기 투자비와 회수 기간별 최적의 리모델링 대안을 출력할 수 있는 Excel Spread Sheet을 활용한 사용자 인터페이스 Dashboard를 구축하고자 한다. Dashboard 기반 리모델링 대안 제시 과정은 다음과 같다. 1) 기존 건축물 현황 입력 후 그에 따른 법적 기준값 산정 <그림3-18의 '①', '①-1' >, 2) BIM 모델을 통해 얻은 데이터값 입력 <그림3-18의 '②' >, 3) 사용자가 원하는 에너지 절감 개선 수준 입력 <그림3-18의 '③' >, 4) 대안 생성 후 대안 별 에너지 성능 평가와 경제성평가, 5) 초기 투자비 대비 최적 대안 선정 <그림3-18의 '⑤' >, 6) 회수 기간 대비 최적 대안 선정으로 진행된다<그림3-18의 '⑥' >. <그림3-18>에서는 사용자 인터페이스 Dashboard를 나타냈다. 4번째 단계는 Dashboard에서 대안을 추출하기 위한 전체 데이터와 여러 식을 포함하고 있어 별도의 Sheet에서 작성되며 Dashboard에서는 생략되었다.

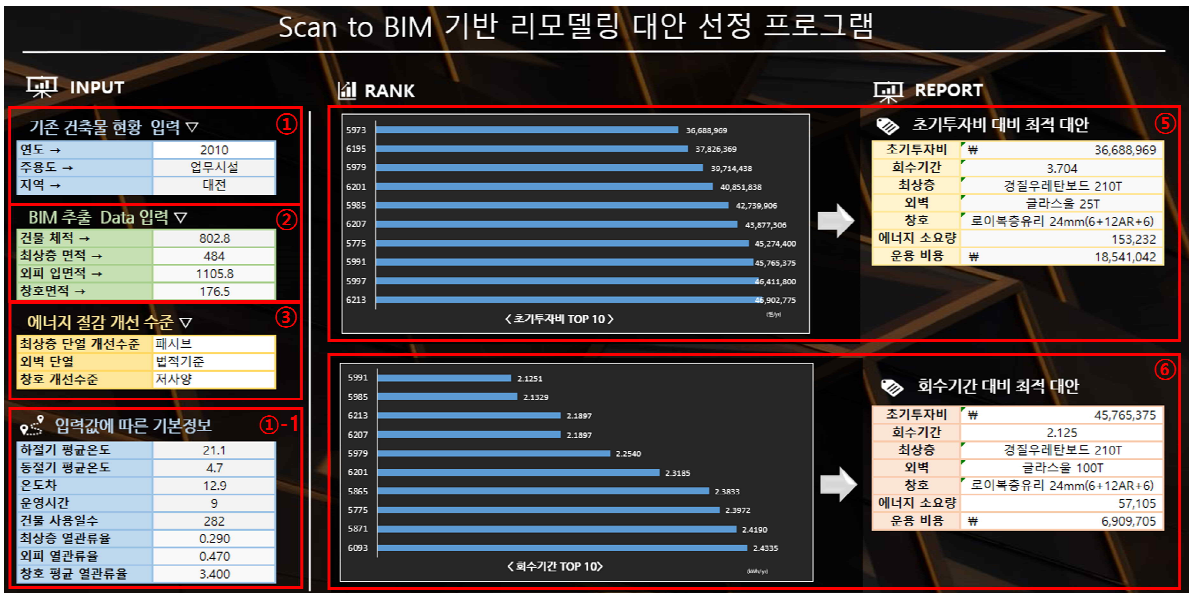


그림 3-18 사용자 인터페이스 Dashboard

3.3.1 건축물의 정보 입력 (그림3-18의 ‘①’)

노후 건축물의 기본 정보로는 사용자가 쉽게 접근할 수 있는 건축물대장에서 얻을 수 있는 정보로, 건축물의 준공 연도, 주 용도, 지역을 입력하게 된다. <그림 3-19>에서는 건축물의 기본 정보를 입력하는 인터페이스를 나타냈다. 기본 정보를 입력함에 따라 산정되는 기준값의 설명은 아래와 같다.

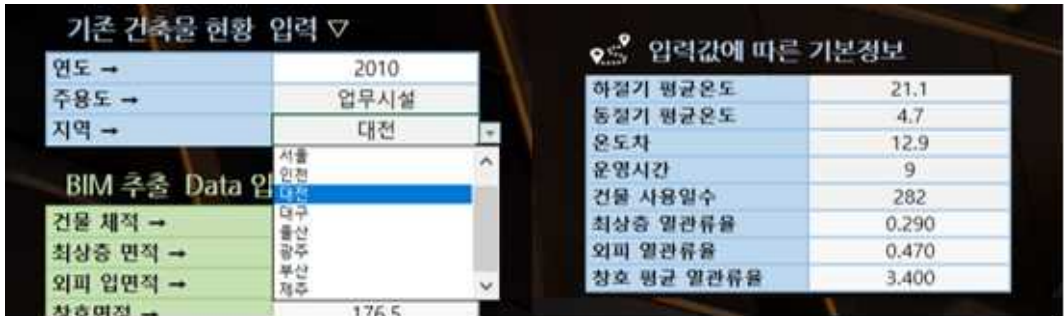


그림 3-19 사용자 인터페이스 - 기본 정보

- ▶ 준공 연도 - 노후 건축물의 대부분 설계 도면이 부재한 경우가 많기에 준공 연도와 지역에 따라 그에 해당하는 법적 기준의 열관류율을 입력받게 된다. 열관류율은 국내의 단열재 규정이 강화된 1979년 이후로 지속해서 높아진 법적 기준으로 공동주택 외에 외기에 직접 접하는 경우만 포함하여 <표3-2>에서 나타났다.⁵⁹⁾⁶⁰⁾
- ▶ 지역 - 대상 건축물의 지역은 국내 건축물의 에너지 절약 설계기준 제2조 1, 별표 1에 따르면 중부 1(강원도), 중부 2(서울, 인천, 대전), 남부(대구, 울산, 광주, 부산), 제주도로 크게 4 지역으로 나뉘며, 준공 연도와 함께 노후 건축물의 연도에 따른 법적 기준 외피 열관류율을 산정하게 된다. <표3-3> 또한 지역에 따라 실내외 온도 차 (ΔT)를 산정하게 되며, 이는 해당 지역별 하절기와 동절기의 평균 온도 차가 선정되도록 구성하였고, 지역은 강원도, 서울, 인천, 대구, 울산, 광주, 부산, 제주 중 하나를 입력하도록 되어있다<표3-4>.

59) 한국에너지공단 ‘건축물 에너지절약설계기준해설서’ 2022.249p

60) 김진업.(2016). 그린 리모델링 시 건물 외피 설계수준 의사결정에 의한 Framework 개발에 관한 연구, 서울시립대학교 국제도시과학대학원, 석사학위논문

- ▶ 주 용도 - 건축물의 용도는 일일 사용 시간과 건축물 연간 사용 일수를 산출하기 위한 자료가 된다. 국내 건축법 시행령 제3조의 5, 별표 1 자료에 따라 입력할 수 있는 용도별 건축물의 종류는 10종류로 문화 및 집회시설, 판매시설, 의료시설, 교육시설 1(유치원, 초등학교 중학교), 교육시설 2(교육시설 1을 제외한 교육시설), 노유자 시설 1(아동 관련 시설), 노유자 시설 2(노인 복지 시설), 업무시설, 숙박시설 중 하나를 입력하도록 되어있다. 입력된 용도에 따라 건물 일일 운영시간, 연간 사용일 수가 자동으로 산출된다.

표 3-2 부위별 단열 규정의 변화 (한국에너지공단)

최상층 지붕 및 옥상(외기에 직접 면하는 경우 / 공동주택 외)

년도 지역	1979	1980	1984	1987	2001	2008	2011	2013	2016	2018
중부 1	0.900	0.581	0.582	0.407	0.325	0.290	0.200	0.180	0.150	0.150
중부 2	0.900	0.581	0.582	0.407	0.325	0.290	0.200	0.180	0.150	0.150
남부	0.900	0.581	0.582	0.523	0.418	0.350	0.240	0.220	0.180	0.180
제주	0.900	0.581	1.163	0.756	0.605	0.410	0.290	0.280	0.250	0.250

외벽(외기에 직접 면하는 경우 / 공동주택 외)

년도 지역	1979	1980	1984	1987	2001	2008	2011	2013	2016	2018
중부 1	1.800	0.581	0.582	0.582	0.465	0.47	0.36	0.27	0.26	0.17
중부 2	1.800	0.581	0.582	0.582	0.465	0.47	0.36	0.27	0.26	0.24
남부	1.800	0.581	0.582	0.756	0.604	0.58	0.45	0.34	0.32	0.32
제주	1.800	0.581	1.163	1.163	0.930	0.76	0.58	0.44	0.43	0.41

창호(외기에 직접 면하는 경우 / 공동주택 외)

년도 지역	1979	1980	1984	1987	2001	2008	2011	2013	2016	2018
중부 1	2.200	3.488	3.492	3.376	3.84	3.4	2.4	2.1	1.5	1.3
중부 2	2.200	3.488	3.492	3.376	3.84	3.4	2.7	2.1	1.5	1.5
남부	2.200	3.488	3.492	3.608	4.19	3.8	2.7	2.4	1.8	1.8
제주	2.200	3.488	3.488	5.814	4.651	4.4	3.4	3.0	2.4	2.2

표 3-3 지역별 월별 평균 기온 (통계청 지상 기상통계)

관측지점	2021.01	2021.02	2021.03	2021.04	2021.05	2021.06	2021.07	2021.08	2021.09	2021.10	2021.11	2021.12
	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온	평균기온
강원도	-4.7	1.2	7.8	13.1	16.4	22.3	27.7	24.9	21.3	14.0	6.3	-1.2
서울	-2.4	2.7	9.0	14.2	17.1	22.8	28.1	25.9	22.6	15.6	8.2	0.6
인천	-2.0	2.1	7.7	13.2	16.2	21.6	27.2	25.5	22.7	16.0	8.8	1.3
대전	-1.0	4.0	9.6	14.7	17.7	23.5	27.8	25.8	22.4	15.7	8.9	1.9
대구	0.5	4.8	10.2	14.5	18.3	23.2	26.9	25.7	22.1	16.5	9.5	3.1
울산	2.11	6.5	10.5	13.8	17.8	21.7	25.9	25.3	22.1	17.1	11.1	4.7
광주	1.4	5.1	10.6	14.9	18.4	23.3	27.0	25.8	22.9	17.2	10.2	4.1
부산	3.3	7.2	11.4	14.7	17.7	21.9	26.3	26.2	22.9	18.7	12.5	6.0
제주	6.8	9.4	12.5	15.4	19.0	23.4	27.8	27.3	24.9	20.1	14.0	8.9

표 3-4 지역별 기간별 평균 온도

	지역	하절기(4~10월)	동절기(11~3월)
강원도	중부 1	20.2	1.9
서울	중부 2	20.9	3.6
인천	중부 2	20.3	3.6
대전	중부 2	21.1	4.7
대구	남부	21.0	5.6
울산	남부	20.5	7.0
광주	남부	21.4	6.3
부산	남부	21.2	8.1
제주	제주	22.6	10.3

3.3.2 BIM Data 입력 (그림3-18의 ‘②’)

에너지 성능 평가를 위해선 건축물의 구체적인 면적과 체적 정보가 필요하다. 도면이 부재한 노후 건축물은 Scan to BIM 프로세스를 거쳐 생성된 3D BIM 모델로부터 데이터를 추출할 수 있다. BIM 모델링을 통해 얻은 건축물 정보는 외피 면적, 창호 면적, 지붕 면적과 건물의 체적 정보이다. <그림3-20>은 사용자 인터페이스에 BIM 모델링 추출 데이터 입력받는 부분을 나타냈다.

BIM 추출 Data 입력 ▾	
건물 체적 →	802.8
최상층 면적 →	484
외피 입면적 →	1105.8
창호면적 →	176.5

그림 3-20 사용자 인터페이스 - BIM 모델링 정보

- ▶ 건축물 실 체적 - 에너지 평가 중 “실 체적에 따른 열부하”를 산정하기 위해서는 건축물의 실 체적이 입력되어야 한다. 에너지 성능 평가의 정확성을 위해 층과 실을 구분하여 입력해야 하지만, 본 모델은 BIM 모델링을 통한 건물 전체 체적을 제안하여 입력하도록 되어있다.
- ▶ 건축물 입면적 - 에너지 평가 중 “외피 열관류율에 따른 부하”를 산정하기 위해 건축물의 입면적이 입력되며, 건축물의 형태에 따라 그 수는 매우 다양하지만 본 모델은 BIM 모델링 물량 산출을 통한 창호, 외벽, 지붕 면적을 입력하도록 되어있다.

3.3.3 에너지 절감 개선 수준 선정 (그림3-18의 ‘③’)

사용자가 원하는 에너지 절감 개선 수준을 최상층 단열, 외벽 단열, 창호로 나누어 선택한다. 최상층과 외벽 단열은 법적 기준, 저사양, 중사양, 고사양, 패시브로 나누었고, 창호 또한 5단위로 나눌 수 있지만 본 연구에서 사용된 자료가 제한적이므로 사용자는 저사양과 중사양, 두 가지에서 선택할 수 있다. <그림3-21> 해당 패시브 요소들의 기준 열관류율은 건축물 에너지 절약 설계기준 서식 1에 표기된 에너지 성능 지표와 패시브하우스를 근거로 구성하였다.



그림 3-21 사용자 인터페이스 - 에너지 절감 개선 수준

최상층 단열의 법적 기준 열관류율은 0.15 이상, 저사양은 $0.15 > x \geq 0.135$, 중사양 $0.135 > x \geq 0.120$, 고사양 $0.12 > x \geq 0.11$, 패시브는 0.11 이하로 설정하였다. 외벽 단열의 법적 기준 열관류율은 0.24 이상, 저사양은 $0.24 > x \geq 0.20$, 중사양 $0.2 > x \geq 0.18$, 고사양 $0.18 > x \geq 0.15$, 패시브는 0.15 이하로 설정하였다. 마지막으로 창호 단열의 법적 기준의 경우 열관류율은 1.5, 저사양은 1.35, 중사양 1.2, 고사양 1.05, 패시브는 0.85로 설정하였고 이는 <표3-5>에 정리하였다.

표 3-5 패시브 요소 기준 열관류율 정의

최상층	법적 기준	저사양	중사양	고사양	패시브
열관류율	0.15 이상	$0.15 > x \geq 0.135$	$0.135 > x \geq 0.120$	$0.12 > x \geq 0.11$	0.11 이하
외벽	법적 기준	저사양	중사양	고사양	패시브
열관류율	0.24 이상	$0.24 > x \geq 0.20$	$0.2 > x \geq 0.18$	$0.18 > x \geq 0.15$	0.15 이하
창호	법적 기준	저사양	중사양	고사양	패시브
열관류율	1.5 이상	1.35	1.2	1.05	0.85

3.3.4 리모델링 대안 생성 및 대안 별 평가

노후 건축물의 에너지 성능개선을 수행한 70여 개의 사례를 수집하였고, 사례에 적용된 패시브 요소 기술 중 대안 생성에 적용될 37개의 단열재와 6개의 창호 요소를 추출하여 리모델링 대안을 형성하였다. <그림3-22>에서는 대안 생성 및 평가를 위한 Excel 기반 데이터 생성 모듈을 나타내고 있다. <그림3-22의 ‘@’>는 앞에서 설명한 사용자가 입력하는 건축물의 기본 정보와 그에 따른 법적 기준 정보, BIM 데이터를 나타낸다. <그림3-22의 ‘㉑’>는 리모델링 대안에 적용된 재료 기술을 나타냈다. <그림3-22의 ‘㉒’>에서는 적용된 각 재료를 조합하여 대안을 생성하는 과정을 나타내었고, <그림3-22의 ㉓, ㉔>에서는 대안별 에너지 성능 평가와 경제성 분석하여 나타냈다.

대안 생성을 위해 최상층 단열(R)과 외벽 단열(E)은 외단열 공법으로, 동일한 37개의 단열재를 대안 생성에 각각 적용했다. 적용된 단열재의 종류는 압출법 보온판, 경질 우레탄 보드, 준불연 비드법, 글라스울 4가지로 대분류하였고, 재료의 두께별로 소분류 하였다. 또한 창호(W)는 로이복층유리와 삼중 유리 2가지로 분류하였고 단열재와 같이 두께별로 소분류 하였으며 이는 <표3-6>에 나타냈다. 식 (3-1)과 같이 외벽 단열, 최상층 단열, 창호의 재료 수를 조합하여 모든 경우의 수를 대안으로 추출하였으며 그 결과 총 8,214개(37(외벽) x 37(최상층) x 6(창호))의 조합이 대안으로 생성되었다 <그림3-22의 ‘㉒’, 그림3-23>.

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_{37} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_{37} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_6 \end{bmatrix} \tag{3-1}$$

E: 외벽 단열재

R: 최상층 단열재

W: 창호

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	User input information (A)	Year	Roof U-value	R _U			Material (B)	Roof	Type	U-value	Legal Standard	Cost	
2			Exterior U-value	E _U					R ₁	R ₁ ^U	R ₁ ^L	R ₁ ^C	
3			Window U-value	W _U					
4		Purpose	Days	D					R ₃₇	R ₃₇ ^U	R ₃₇ ^L	R ₃₇ ^C	
5			Hours	H					E ₁	E ₁ ^U	E ₁ ^L	E ₁ ^C	
6		Districts	Summer Temperature	T _S					
7			Winter Temperature	T _W					E ₃₇	E ₃₇ ^U	E ₃₇ ^L	E ₃₇ ^C	
8		BIM Data	Roof Area	A _R					
9			Exterior Area	A _E					W ₁	W ₁ ^U	W ₁ ^L	W ₁ ^C	
10			Window Area	A _W					
11			Volume	V					W ₆	W ₆ ^U	W ₆ ^L	W ₆ ^C	
12	Create Alternatives (C)	Material	Roof			Exterior			Window				
13		Alternative	R ₁	~	R ₃₇	E ₁	~	E ₃₇	W ₁	~	W ₆		
14		Alt.1	▪			▪			▪				
15		~		~		~			~				
16		Alt.8214		▪		▪			▪				
17	$D8 * J2 * D5 * (D6 - D7)$			$D9 * J2 * D5 * (D6 - D7)$									
18	Energy Performance Assessment (D)	Heat Capacity Load	Alt.1	~	Alt.7	Alt.8	~	Alt.222	Alt.223	~	Alt.8214		
19			Roof	Q ₁ ^R	~	Q ₁ ^R	Q ₁ ^R	~	Q ₁ ^R	Q ₂ ^R	~	Q ₈₂₁₄ ^R	
20			Exterior	Q ₁ ^E	~	Q ₁ ^E	Q ₂ ^E	~	Q ₃₇ ^E	Q ₁ ^E	~	Q ₈₂₁₄ ^E	
21			Window	Q ₁ ^W	~	Q ₆ ^W	Q ₁ ^W	~	Q ₆ ^W	Q ₁ ^W	~	Q ₈₂₁₄ ^W	
22		Volume	$D10 * J2 * D5 * (D6 - D7)$			Q _V			$D11 * 0.24 * 1.205 * (D6 - D7)$				
23		Total Heat Load		Q ₁	~	Q ₇	Q ₈	~	Q ₂₂₂	Q ₂₂₃	~	Q ₈₂₁₄	
24		Conversion Factor*	c1	$D24 = \text{SUM}(D19 - D22)$			c ₁₇	c ₁₈	~	c ₁₂₂₂	c ₁₂₂₃	~	c ₈₂₁₄
25			c2	c ₂₁	~	c ₂₇	c ₂₈	~	c ₂₂₂₂	c ₂₂₂₃	~	c ₂₈₂₁₄	
26			c3	c ₃₁	~	c ₃₇	c ₃₈	~	c ₃₂₂₂	c ₃₂₂₃	~	c ₃₈₂₁₄	
27			c4	c ₄₁	~	c ₄₇	c ₄₈	~	c ₄₂₂₂	c ₄₂₂₃	~	c ₄₈₂₁₄	
28	c5		c ₅₁	~	c ₅₇	c ₅₈	~	c ₅₂₂₂	c ₅₂₂₃	~	c ₅₈₂₁₄		
29	c6		c ₆₁	~	c ₆₇	c ₆₈	~	c ₆₂₂₂	c ₆₂₂₃	~	c ₆₈₂₁₄		
30	c7		c ₇₁	~	c ₇₇	c ₇₈	~	c ₇₂₂₂	c ₇₂₂₃	~	c ₇₈₂₁₄		
31	c8		c ₈₁	~	c ₈₇	c ₈₈	~	c ₈₂₂₂	c ₈₂₂₃	~	c ₈₈₂₁₄		
32	c9		c ₉₁	~	c ₉₇	c ₉₈	~	c ₉₂₂₂	c ₉₂₂₃	~	c ₉₈₂₁₄		
33	c10		c ₁₀₁	~	c ₁₀₇	c ₁₀₈	~	c ₁₀₂₂₂	c ₁₀₂₂₃	~	c ₁₀₈₂₁₄		
34	CF		CF ₁	$D34 * D4 * D5$	CF ₇	CF ₈	~	CF ₂₂₂	CF ₂₂₃	~	CF ₈₂₁₄		
35	Energy Consumption(TEC)		TEC ₁	$D34 * D4 * D5$	TEC ₇	TEC ₈	~	TEC ₂₂₂	TEC ₂₂₃	~	TEC ₈₂₁₄		
36	$D34 - (15 * D24) - (11.25 * D25) + (7.5 * D26) + (6 * D27) + (4.125 * D28) - (3.375 * D29) + (2.25 * D30) - (1.875 * D31) + (1.5 * D32) + (1.125 * D33)$												
37	Economic Assessment (E)	Initial Cost	IC ₁	$D35 * W121$	IC ₇	IC ₈	~	IC ₂₂₂	IC ₂₂₃	~	IC ₈₂₁₄		
38		Operation Cost	OC ₁	~	OC ₇	OC ₈	~	OC ₂₂₂	OC ₂₂₃	~	OC ₈₂₁₄		
39		Operational Saving	OS ₁	~	OS ₇	OS ₈	~	OS ₂₂₂	OS ₂₂₃	~	OS ₈₂₁₄		
40		Payback Period	PP ₁	~	PP ₇	PP ₈	~	PP ₂₂₂	PP ₂₂₃	~	PP ₈₂₁₄		
			$\text{ROU} \text{D} \text{N} \text{U} \text{P} (D37 / D39)$										
			$D38 = (D8 * L2) + (D9 * L5) + (D10 * L8)$										

그림 3-22 Excel 기반 데이터 생성 모듈

표 3-6 적용된 외피 시스템

Passive 요소 기술	재료	두께(mm)	열관류율(W/㎡K)
외 단열 (최상층 + 외벽)	압출법 보온판 (15)	50	0.540
		90	0.300
		100	0.270
		110	0.245
		120	0.225
		130	0.207
		140	0.192
		150	0.180
		160	0.168
		170	0.158
		180	0.150
		190	0.142
		200	0.135
		210	0.128
		220	0.122
	경질 우레탄 보드 (13)	50	0.460
		60	0.383
		70	0.328
		80	0.287
		90	0.255
		100	0.230
		110	0.209
		150	0.153
		180	0.127
		190	0.121
200	0.115		
210	0.109		
220	0.104		

외 단열(최상층 + 외벽)	준불연 비드법 (5)	50	0.860
		60	0.716
		100	0.430
		120	0.358
		200	0.215
	글라스울 (4)	25	1.280
		50	0.640
		75	0.426
		100	0.320
창호	로이복층유리 (5)	22	1.180
		24 (5+14AR+5)	1.100
		24 (6+12AR+6)	1.220
		26	1.100
		28	1.070
	로이 삼중 유리	43	1.150

적용 재료	단가	두께	열관류율	최상층 에너지 수준	외벽 에너지 수준	적용재료	단가	두께	열관류율	창호 에너지 수준
1 압출법 보온판 50T	10500	50	0.5	법적기준	법적기준	1 로이복중유리 22mm	50000	22	1.18	중사양
2 압출법 보온판 90T	18900	90	0.1	법적기준	법적기준	2 로이복중유리 24mm(5+14AR+5)	54300	24	1.1	중사양
3 압출법 보온판 100T	21000	100	0.2	법적기준	법적기준	3 로이복중유리 24mm(6+12AR+6)	55400	24	1.2	저사양
4 압출법 보온판 110T	23100	110	0.2454	법적기준	법적기준	4 로이복중유리 26mm	58700	26	1.1	중사양
5 압출법 보온판 120T	25200	120	0.22	법적기준	저사양	5 로이복중유리 28mm	64100	28	1.07	중사양
6 압출법 보온판 130T	27300	130	0.2076	법적기준	중사양	6 삼중유리 43mm	150300	43	1.15	중사양
7 압출법 보온판 140T	29400	140	0.1928	법적기준	고사양					
8 압출법 보온판 150T	31500	150	0.11	법적기준	고사양					
9 압출법 보온판 160T	33600	160	0.1677	법적기준	고사양					
10 압출법 보온판 170T	35700	170	0.1586	법적기준	고사양					
11 압출법 보온판 180T	37800	180	0.11	저사양	패시브					
12 압출법 보온판 190T	39900	190	0.1421	저사양	패시브					
13 압출법 보온판 200T	42000	200	0.13	저사양	패시브					
14 압출법 보온판 210T	44100	210	0.1285	중사양	패시브					
15 압출법 보온판 220T	46200	220	0.1227	중사양	패시브					
16 경질우레탄보도 50T	12000	50	0.4	법적기준	법적기준					
17 경질우레탄보도 60T	14400	60	0.3833	법적기준	법적기준					
18 경질우레탄보도 70T	16450	70	0.3285	법적기준	법적기준					
19 경질우레탄보도 80T	18800	80	0.2871	법적기준	법적기준					
20 경질우레탄보도 90T	21150	90	0.2555	법적기준	법적기준					
21 경질우레탄보도 100T	23500	100	0.2	법적기준	저사양					
22 경질우레탄보도 110T	25850	110	0.2090	법적기준	중사양					
23 경질우레탄보도 150T	35250	150	0.1533	법적기준	고사양					
24 경질우레탄보도 180T	42300	180	0.12771	중사양	패시브					
25 경질우레탄보도 190T	44650	190	0.1210	중사양	패시브					
26 경질우레탄보도 200T	47000	200	0.11	고사양	패시브					
27 경질우레탄보도 210T	49350	210	0.1095	패시브	패시브					
28 경질우레탄보도 220T	51700	220	0.1045	패시브	패시브					
29 준봉연 비드법 50T	20700	50	0.8	법적기준	법적기준					
30 준봉연 비드법 60T	24800	60	0.7166	법적기준	법적기준					
31 준봉연 비드법 100T	41400	100	0.4	법적기준	법적기준					
32 준봉연 비드법 120T	49600	120	0.3583	법적기준	법적기준					
33 준봉연 비드법 200T	82700	200	0.21	법적기준	중사양					
34 글라스울 25T	2736	25	1.2	법적기준	법적기준					
35 글라스울 50T	5472	50	0.6	법적기준	법적기준					
36 글라스울 75T	8208	75	0.4266	법적기준	법적기준					
37 글라스울 100T	10944	100	0.3	법적기준	법적기준					

리모델링 적용 재료

최상층	단가	열관류율	외벽	단가	열관류율	창호	단가	열관류율
1 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 50T	₩ 10,500	0.54 법적기준	로이복중유리 22mm	₩ 50,000	1.18 중사양
2 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 50T	₩ 10,500	0.54 법적기준	로이복중유리 24mm(5+14AR+)	₩ 54,300	1.1 중사양
3 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 50T	₩ 10,500	0.54 법적기준	로이복중유리 24mm(6+12AR+)	₩ 55,400	1.22 저사양
4 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 50T	₩ 10,500	0.54 법적기준	로이복중유리 26mm	₩ 58,700	1.1 중사양
5 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 50T	₩ 10,500	0.54 법적기준	로이복중유리 28mm	₩ 64,100	1.07 중사양
6 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 50T	₩ 10,500	0.54 법적기준	삼중유리 43mm	₩ 150,300	1.15 중사양
7 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 90T	₩ 18,900	0.30 법적기준	로이복중유리 22mm	₩ 50,000	1.18 중사양
8 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 90T	₩ 18,900	0.30 법적기준	로이복중유리 24mm(5+14AR+)	₩ 54,300	1.1 중사양
9 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 90T	₩ 18,900	0.30 법적기준	로이복중유리 24mm(6+12AR+)	₩ 55,400	1.22 저사양
10 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 90T	₩ 18,900	0.30 법적기준	로이복중유리 26mm	₩ 58,700	1.1 중사양
11 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 90T	₩ 18,900	0.30 법적기준	로이복중유리 28mm	₩ 64,100	1.07 중사양
12 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 90T	₩ 18,900	0.30 법적기준	삼중유리 43mm	₩ 150,300	1.15 중사양
13 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 100T	₩ 21,000	0.27 법적기준	로이복중유리 22mm	₩ 50,000	1.18 중사양
14 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 100T	₩ 21,000	0.27 법적기준	로이복중유리 24mm(5+14AR+)	₩ 54,300	1.1 중사양
15 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 100T	₩ 21,000	0.27 법적기준	로이복중유리 24mm(6+12AR+)	₩ 55,400	1.22 저사양
16 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 100T	₩ 21,000	0.27 법적기준	로이복중유리 26mm	₩ 58,700	1.1 중사양
17 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 100T	₩ 21,000	0.27 법적기준	로이복중유리 28mm	₩ 64,100	1.07 중사양
18 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 100T	₩ 21,000	0.27 법적기준	삼중유리 43mm	₩ 150,300	1.15 중사양
19 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 110T	₩ 23,100	0.25 법적기준	로이복중유리 22mm	₩ 50,000	1.18 중사양
20 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 110T	₩ 23,100	0.25 법적기준	로이복중유리 24mm(5+14AR+)	₩ 54,300	1.1 중사양
21 압출법 보온판 50*	₩ 10,500	0.54 법적기준	압출법 보온판 110T	₩ 23,100	0.25 법적기준	로이복중유리 24mm(6+12AR+)	₩ 55,400	1.22 저사양

2	2	2			
8207 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	로이복중유리 28mm	₩ 64,100	1.07 중사양
8208 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	삼중유리 43mm	₩ 150,300	1.15 중사양
8209 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	로이복중유리 22mm	₩ 50,000	1.18 중사양
8210 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	로이복중유리 24mm(5+14AR+5)	₩ 54,300	1.1 중사양
8211 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	로이복중유리 24mm(6+12AR+6)	₩ 55,400	1.22 저사양
8212 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	로이복중유리 26mm	₩ 58,700	1.1 중사양
8213 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	로이복중유리 28mm	₩ 64,100	1.07 중사양
8214 글라스울 100T	₩ 10,944	0.32 법적기준	삼중유리 43mm	₩ 150,300	1.15 중사양

적용 재료 조합으로 생성된 대안

그림 3-23 대안 생성

에너지 성능 평가는 열용량 산정과 열량 변환의 계산식을 통해 리모델링 대안 별 에너지 성능을 평가하고자 한다. 이 방식은 부하 계산법을 정의한 국제 기준 ISO-13790 및 DIN V 18599를 따르며 열 환경 분야의 기초적인 계산식과 실무에서 사용하는 냉난방 설비 선정의 계산식을 통한 방법으로 현재 사용되는 에너지 시뮬레이션 프로그램에 비해 정확도는 떨어지는 단점이 있지만 까다로운 데이터 셋이 불필요하며 프로그램의 복잡성을 피할 수 있어 사용자의 편의성 측면에서의 장점이 있다.⁶¹⁾ 경제적인 대안 선정을 위해 대안 별 운용비용 분석 및 회수 기간 평가가 필요하다. 에너지 성능 평가에서 산출된 연간 에너지 소요량을 기반으로 운용비용을 산정하고, 적용된 재료에 따라 초기 투자비 산정한다. 회수 기간은 대안 적용 전·후의 운용비용을 비교하여 연간 운영 절감 비용을 산정하여 이를 기반으로 산출하였다.

에너지 성능 평가를 시행하기 위해서는 체적에 따른 열부하 산정, 외피 열관류에 따른 부하 산정, 환산계수 산정, 건물 총 연간 에너지 소요량 산정과정이 있다.

- ▶ 체적에 따른 열부하 - 체적에 따른 열부하를 산정하는 단계로, 앞서 BIM 모델링으로부터 얻은 건물 체적(V)과 공기의 비열(C_p)0.24, 공기의 비중량(γ)1.205(20°C 기준), 실내·외 온도 차(ΔT)를 이용하여 식(3-2)을 통해 산정하며 <그림3-22의 'B22' >에서는 대안별 체적에 따른 열부하를 나타냈다.

$$Q_v = V \times C_p \times \gamma \times \Delta T \quad \text{식(3-2)}$$

Q_v : 체적에 따른 1°C당 열부하[kcal/°C]

V : 체적(Volume)[m³]

C_p : 공기의 비열[kcal/kg °C]

γ : 공기의 비중량[kg/m³]

ΔT : 실내·외 온도 차[°C]

61) 한국패시브건축협회, ISO-13790&EC02, <<http://www.phiko.kr>>, 2022.10.3

<그림3-24>에서는 생성된 대안 별 계산된 열 부하량과 환산계수, 연간 전력 소
요량을 정리하여 나타냈다.

생성된 대안	최상층 열부하	외피열부하	창호 열부하	체적 열부하	총 열 부하	환산계수(CF)	소요량
1	15893.67	69173.00	17049.79	18576.34	120692.80	37.125	94,223.25
2	15893.67	69173.00	15893.87	18576.34	119536.89	37.125	94,223.25
3	15893.67	69173.00	17627.75	18576.34	121270.76	37.125	94,223.25
4	15893.67	69173.00	15893.87	18576.34	119536.89	37.125	94,223.25
5	15893.67	69173.00	15460.40	18576.34	119103.42	37.125	94,223.25
6	15893.67	69173.00	16616.32	18576.34	120259.34	37.125	94,223.25
7	15893.67	38429.45	17049.79	18576.34	89949.25	27.375	69,477.75
8	15893.67	38429.45	15893.87	18576.34	88793.33	27.375	69,477.75
9	15893.67	38429.45	17627.75	18576.34	90527.21	27.75	70,429.50
10	15893.67	38429.45	15893.87	18576.34	88793.33	27.375	69,477.75
11	15893.67	38429.45	15460.40	18576.34	88359.86	27.375	69,477.75
12	15893.67	38429.45	16616.32	18576.34	89515.78	27.375	69,477.75
13	15893.67	34586.50	17049.79	18576.34	86106.30	27.375	69,477.75
14	15893.67	34586.50	15893.87	18576.34	84950.38	25.875	65,670.75
15	15893.67	34586.50	17627.75	18576.34	86684.26	27.375	69,477.75
16	15893.67	34586.50	15893.87	18576.34	84950.38	25.875	65,670.75
17	15893.67	34586.50	15460.40	18576.34	84516.91	25.875	65,670.75
18	15893.67	34586.50	16616.32	18576.34	85672.83	26.25	66,622.50
19	15893.67	31442.27	17049.79	18576.34	82962.07	24.75	62,815.50
20	15893.67	31442.27	15893.87	18576.34	81806.16	24.375	61,863.75
21	15893.67	31442.27	17627.75	18576.34	83540.03	25.875	65,670.75
22	15893.67	31442.27	15893.87	18576.34	81806.16	24.375	61,863.75
23	15893.67	31442.27	15460.40	18576.34	81372.69	24.375	61,863.75
24	15893.67	31442.27	16616.32	18576.34	82528.61	24.75	62,815.50
25	15893.67	28822.09	17049.79	18576.34	80341.89	24	60,912.00
26	15893.67	28822.09	15893.87	18576.34	79185.97	23.625	59,960.25
27	15893.67	28822.09	17627.75	18576.34	80919.84	24	60,912.00
28	15893.67	28822.09	15893.87	18576.34	79185.97	23.625	59,960.25
29	15893.67	28822.09	15460.40	18576.34	78752.50	23.625	59,960.25
30	15893.67	28822.09	16616.32	18576.34	79908.42	23.625	59,960.25
~							
8207	9418.47	54655.21	15460.40	18576.34	98110.43	30.375	77,091.75
8208	9418.47	54655.21	16616.32	18576.34	99266.34	31.5	79,947.00
8209	9418.47	40991.41	17049.79	18576.34	86036.01	27.375	69,477.75
8210	9418.47	40991.41	15893.87	18576.34	84880.09	25.875	65,670.75
8211	9418.47	40991.41	17627.75	18576.34	86613.97	27.375	69,477.75
8212	9418.47	40991.41	15893.87	18576.34	84880.09	25.875	65,670.75
8213	9418.47	40991.41	15460.40	18576.34	84446.62	25.875	65,670.75
8214	9418.47	40991.41	16616.32	18576.34	85602.54	26.25	66,622.50

그림 3-24 생성 대안별 에너지 성능 평가

표 3-7 에너지 소요량 환산계수 산정 방법 (신영수, 2015)

C1~10	C11~9	환산계수 (CF)
$C1 = \text{QUOTIENT}(Q/50000)$	$C11 = Q - (50000 * C1)$	15
$C2 = \text{IF}(C11 > 35000, 1, 0)$	$C12 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2)\}$	11.25
$C3 = \text{IF}(C12 > 25000, 1, 0)$	$C13 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2) + (25000 * C3)\}$	7.5
$C4 = \text{IF}(C13 > 18000, 1, 0)$	$C14 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2) + (25000 * C3) + (18000 * C4)\}$	6
$C5 = \text{IF}(C14 > 12500, 1, 0)$	$C15 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2) + (25000 * C3) + (18000 * C4) + (12500 * C5)\}$	4.125
$C6 = \text{IF}(C15 > 11000, 1, 0)$	$C16 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2) + (25000 * C3) + (18000 * C4) + (12500 * C5) + (11000 * C6)\}$	3.375
$C7 = \text{IF}(C16 > 7100, 1, 0)$	$C17 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2) + (25000 * C3) + (18000 * C4) + (12500 * C5) + (11000 * C6) + (7100 * C7)\}$	2.25
$C8 = \text{IF}(C17 > 6100, 1, 0)$	$C18 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2) + (25000 * C3) + (18000 * C4) + (12500 * C5) + (11000 * C6) + (7100 * C7) + (6100 * C8)\}$	1.875
$C9 = \text{IF}(C18 > 5100, 1, 0)$	$C19 = Q - \{(50000 * C1) + (35000 * C2) + (25000 * C3) + (18000 * C4) + (12500 * C5) + (11000 * C6) + (7100 * C7) + (6100 * C8) + (5100 * C9)\}$	1.5
$C10 = \text{IF}(C19 > 1, 1, 0)$	-	1.125

$$\therefore \text{Total CF} = (15 * C1 + 11.25 * C2 + 7.5 * C3 + 6 * C4 + 4.125 * C5 + 3.375 * C6 + 2.25 * C7 + 1.875 * C8 + 1.5 * C9 + 1.125 * C10)$$

경제성평가를 시행하는 과정은 다음과 같다. 1) 대안 별 초기 투자비 산정, 2) 연간 운용비용 산정, 3) 연간 운용비용 산정, 4) 회수 기간 산정 순으로 진행된다.<그림3-22의 ‘B37~B40’>에서는 대안별 경제성평가를 하였다.

- ▶ 초기 투자비(Initial Cost) 산정 - 초기 투자비는 대안 별 최초 설치비용을 말하며 이는 설치 면적과 설치비용을 곱해 산정 할 수 있다. 해당 정보는 국내 물가 정보 홈페이지에서 발행되는 물가 정보지를 통해 얻을 수 있었으며 식(3-5)을 통해 초기 투자비를 산출하였다.

$$IC = (A_E \times UC_E) + (A_W \times UC_W) + (A_R \times UC_R) \quad \text{식(3-5)}$$

A_E : 외벽 면적[m ²]	UC_E : 외벽 설치비용[₩/m ²]
A_W : 창호 면적[m ²]	UC_W : 창호 설치비용[₩/m ²]
A_R : 최상층 면적[m ²]	UC_R : 최상층 설치비용[₩/m ²]

- ▶ 연간 운용비용(Operation Cost) 산정 - 연간 운용비용은 앞서 산출한 연간 에너지 소요량과 전기 단가 121원을 활용해 식(3-6)을 통해 산출하였다.⁶³⁾

$$OC = EC \times {}_eC \quad \text{식(3-6)}$$

EC : 연간 에너지 소요량 [kWh/year]
 ${}_eC$: 전력 요금[₩/kWh]

- ▶ 연간 운용 절감 비용(Operational Savings) 산정 - 연간 운용 절감 비용은 에너지 절감형 리모델링 대안 적용 전·후의 연간 운용비용 차이로 식(3-7)을 통해 산출하였다.

$$OS = OC_{ori} - OC_{alt} \quad \text{식(3-7)}$$

OC_{ori} : 대안 적용 전 연간 운용비용 [₩ /year]
 OC_{alt} : 대안 적용 후 연간 운용비용 [₩ /year]

63) 한국전력 보도자료, 3분기 연료비조정단가 5원/kwh으로 확정, 2022.06.27

▶ 회수 기간(Payback Period) 산정 - 회수 기간 산정은 리모델링 대안의 초기 투자비 대비 연간 운영 절감 비용 누적값이 커지는 연도를 찾는 방식이다. 건물 운용비용은 시간의 흐름에 따른 화폐가치 변화를 고려해야 하므로 생성된 대안별 현가 분석을 통해 회수 기간 식(3-8)을 선정하였다. 현가 분석이란 미래에 생길 자산의 가치를 현재가치로 산정해주는 것이다. 매년 동일하게 발생하는 운용비용을 현재가치로 환산하기 위해 연금현재가수를 산출해야 하며 이를 위해선 실질 할인율을 입력해야 한다.

$$Present\ Worth = A' \times PWA, \quad PWA = \frac{(1 + I')^N - 1}{I' \times (1 + I')^N} \quad \text{식(3-8)}$$

A' : 연간 동일하게 발생하는 운용비용 PWA : 연금현재가수
 I' : 실질 할인율[%] N : 경과 년수 [년]

실질 할인율은 명목이자율과 물가상승률을 활용하여 산정한다. 본 연구에서는 한국은행에서 발표한 국고채 5년 평균 금리 이자율을 선택하여 산출하였고 이는 표 <3-8>에 나타냈다.⁶⁴⁾ 평균 명목이자율은 전체적으로 하강세이며 최근 10년간의 평균 명목이자율은 2.144%이며, 종합물가지수를 사용한 평균 물가상승률 (1.33%)를 식(3-9)에 대입하여 실질 할인율은 계산하였다. 실질 할인율은 평균값은 0.88%로 산출되었다.

$$I' = \frac{1 + i'}{1 + j'} \quad \text{식(3-9)}$$

I' : 실질 할인율 [%]
 i' : 명목이자율 [%]
 j' : 물가상승률 [%]

64) e-나라지표, 시장금리추이, https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtIIPageDetail.do?idx_cd=1073, 검색일자 : 2022.08.19

표 3-8 명목이자율, 물가상승률, 실질 할인율

년도	명목이자율(%)	물가상승률(%)	실질할인율(%)
2021	1.72	2.5	-0.008
2020	1.23	0.5	0.726
2019	1.59	0.4	1.185
2018	2.31	1.5	0.798
2017	2.00	1.9	0.098
2016	1.53	1	0.525
2015	1.98	0.7	1.271
2014	2.84	1.3	1.520
2013	3.00	1.3	1.678
2012	3.24	2.2	1.018
평균	2.144	1.33	0.881

3.3.5 리모델링 대안 선정 (그림3-18의 ‘⑤’, ‘⑥’)

앞서 진행된 에너지 성능 평가와 경제성 분석을 진행하여 대안 별 데이터를 생성 후, 사용자가 입력한 에너지 절감 개선 수준에 해당하는 대안 중 초기 투자비가 가장 낮은 상위 10개의 대안을 추출하였다. 또 한 상위 10개의 대안 중에서 가장 낮은 대안을 초기 투자비 대비 최적의 대안으로 선정하여 초기 투자비, 회수 기간, 최상층 단열 재료, 외벽 단열 재료, 창호 재료, 에너지 소요량, 운용비용을 나타냈다 <그림3-25>.

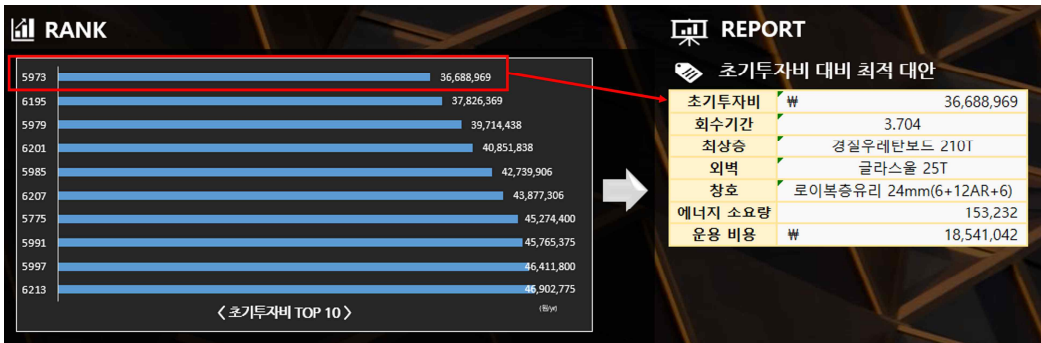


그림 3-25 초기 투자비 대비 최적의 대안 선정

초기 투자비 대비 대안 선정 방법과 동일하게 회수 기간 대비 상위 10개의 대안을 추출하여 그 중의 가장 짧은 회수 기간에 해당하는 대안을 선정하여 초기 투자비, 회수 기간, 최상층 단열 재료, 외벽 단열 재료, 창호 재료, 에너지 소요량, 운용비용을 나타냈다 <그림3-26>.



그림 3-26 회수 기간 대비 최적의 대안 선정

제 4장 사례 적용

4.1. 개발 기술의 정확성 분석

본 절에서는 연구에서 활용했던 3D 스캐너의 정확성과 Dashboard 모듈의 효율성을 분석하고자 한다. 본 연구 대상 건축물은 광주광역시에 위치하였고 1980년대에 완공되어 고등학교의 체육관으로 사용되었다. 해당 건축물의 기본 정보는 다음 표에 정리하였다.



그림 4-1 사례 건축물 전경 사진

표 4-1 사례 건축물 기본 정보

건물명	00여고 체육관
소재지	광주광역시
준공 시기	1984
용도	제1종 지구 단위 계획구역
건축면적	1252.99㎡
연면적	3357.61㎡
규모	지하 1층 ~ 지상 4층

본 연구에서 활용한 3D 스캐너와 드론의 정확성을 분석하기 위해 부재의 현장 실측값과 PCD 데이터의 값을 비교하였다. PCD는 점 데이터로 사용자나 선택하는 점의 기준으로 측정하여 수치화하기 때문에 외부 환경과 표면의 요철 및 부재의 마감 등으로 인해 값이 다양하게 나타날 수 있지만, 실측값과의 오차가 작은 것으로 보여졌다. 해당 건축물은 기존 2D 도면이 존재하여 PCD 기반 구축된 2D 도면과 비교했을 때, 스캐너와 드론 데이터의 정확성이 더욱 높게 나타났다. 구조적인 변경 및 시공 시 발생한 오차를 제외한 나머지 부분에서는 대부분의 오차율이 0.009 ~ 0.01로 확인되었으며 이를 길이로 환산 시, 3mm 이내의 오차를 보여 PCD 기반 BIM 역설계 데이터의 신뢰성이 확보되었다. 이는 다음 그림들과 <표4-2>에서 나타났다.

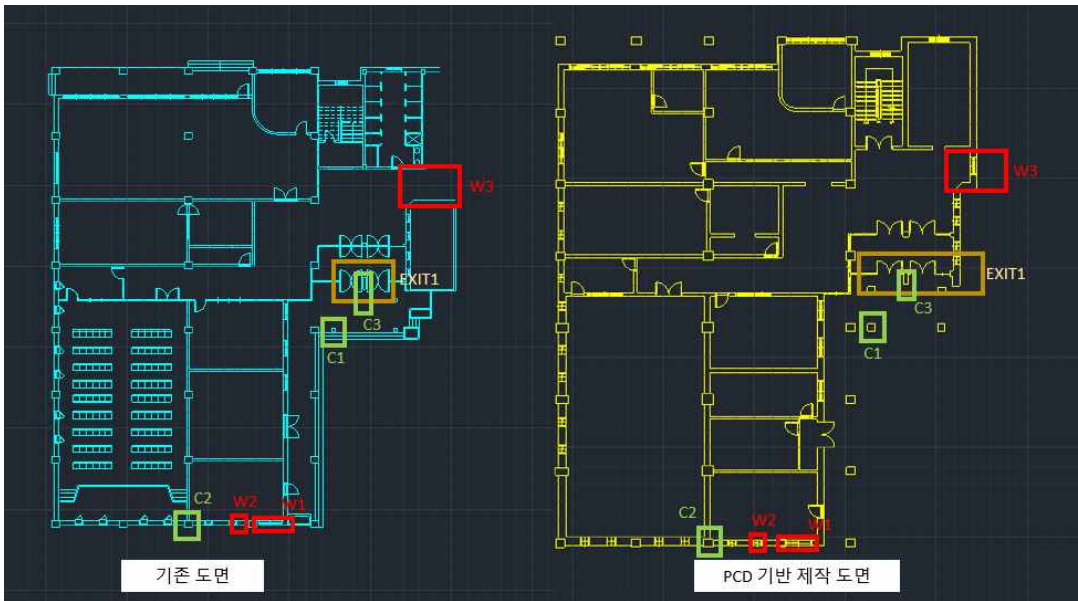


그림 4-2 기존 도면과 PCD 기반 제작 도면 비교

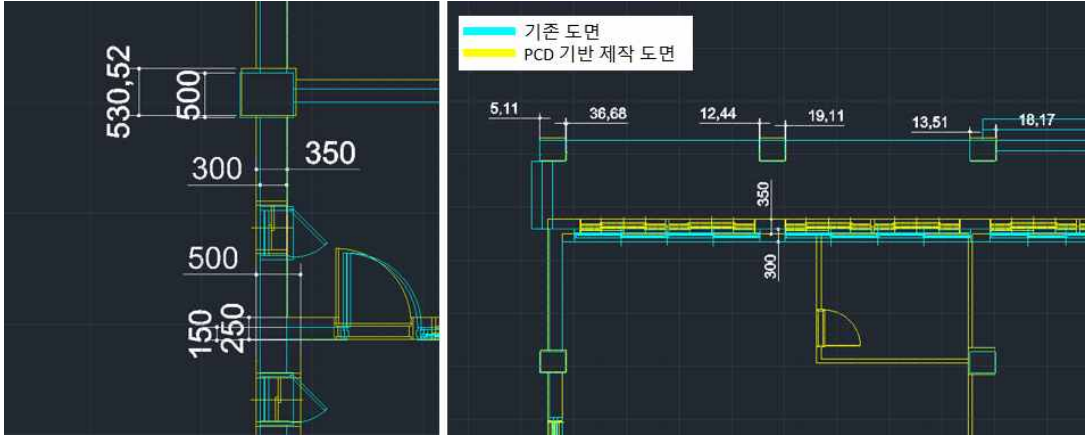


그림 4-3 부위 별 기존 도면과 PCD 기반 제작 도면 오차

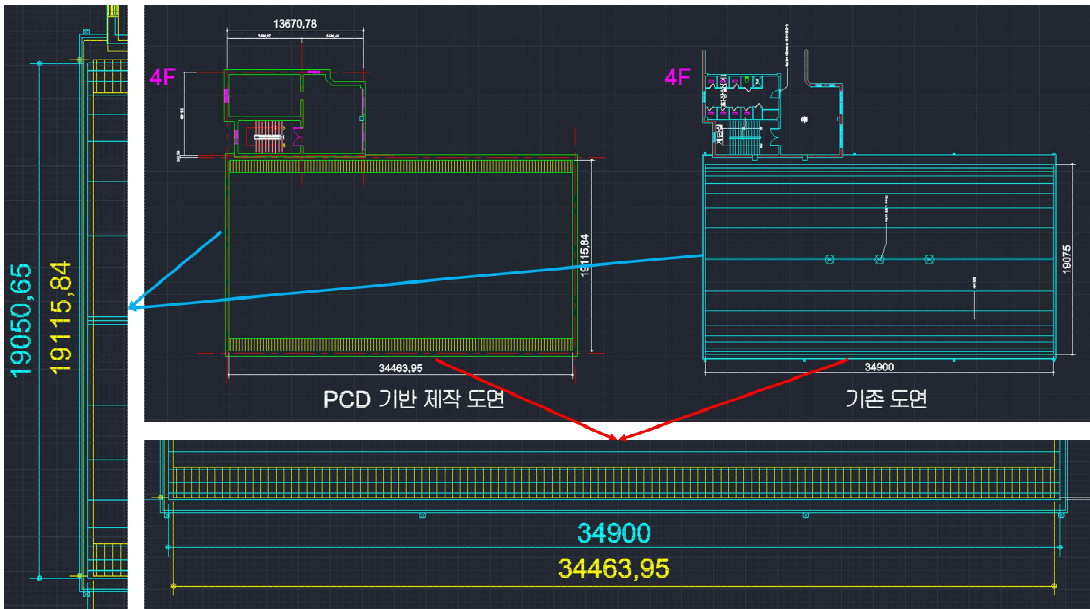


그림 4-4 기존 도면과 드론 데이터 기반 제작 도면 비교

표 4-2 대상 건축물의 부재 실측값과 모델링 측정값 비교 (단위:mm)

항목	현장 실측(A)	PCD 기반 2D 도면정보(B)	오차(A-B)	오차율 [(A-B)/A]	
기둥	C1	510*510	517*511	4,087mm ²	0.0157
	C2	630*630	602*602	34,496mm ²	0.0869
	C3	330*900	303*910	21,270mm ²	0.0716
창호	W1	1,780*1,450	1,800*1,500	119,000mm ²	0.0460
	W2	600*2,100	600*2,110	6,000mm ²	0.00476
	W3	1,200*1,300	1,210*1,310	25,100mm ²	0.0160
	W4	4,400*1,130	4,470*1,140	123,800mm ²	0.0248
출구	EXIT 1	1,800*2,100	1,800*2,140	7,200mm ²	0.0190
지붕 (4F)		34,900 * 19,050.65	34,463.95 * 19,115.84	6,060,331mm ²	0.0090

4.2. 최적 리모델링 대안 선정 사례 적용

4.2.1 적용 대상 사례

개발한 모델의 실용성을 증명하기 위해 사례 적용을 시행하였다. 대상 건축물은 광주광역시 동구에 있는 근린생활시설로 상세한 건물정보는 다음과 같다 <표 4-3>.

표 4-3 사례 적용 대상 건축물 개요

명칭	○○은행 대인동 지점
소재지	광주광역시
준공 시기	1977.10.05 (45년)
용도	근린생활시설
구조	철근콘크리트구조
건축면적	318.38㎡
연면적	998.98㎡
건물 높이	14.6
규모	지하 1층 ~ 지상4층

해당 건축물이 에너지 절감형 리모델링이 필요한 건축물이라 가정하고, 대안 선정을 위해 본 연구에서 개발한 모듈을 사용하도록 하였다. 대상 건축물은 1989년 수평 증축이 이루어졌을 때 수기로 작성된 평면도밖에 남지 않아 PCD 기반 도면 작성 후 BIM 모델을 구축하였다.

4.2.2 BIM 모델링 구축 및 최적 리모델링 대안 선정

대상 건축물의 BIM 모델을 구축하기 위해 GNSS, 드론, 3D 스캐너 등 여러 장비를 활용해 기준점 및 PCD를 취득하였다. 지하 1층부터 지상 4층으로 이루어진 건축물을 GNSS 장비와 드론으로는 30분 이내로 외부 데이터를 취득할 수 있지만, 1대의 3D 스캐너로는 이틀간 촬영을 진행하였고 총 17시간 소요되었다. 데이터 가공은 컴퓨터 사양과 속련도에 따라 하루에서 이틀 정도 소요되었으며 건축물의 PCD는 다음과 같다 <그림4-5>.



그림 4-5 대상 건축물의 PCD

앞 장에서 설명한 프로세스와 같이 BIM 모델링을 위해 건축물의 PCD에서 층별로 필요 부위만 추출하여 파일 변환 후 2D 도면 작성하였으며 <그림4-6>에서 나타났다. 본 연구에서 작성된 리모델링 대안 선정 모듈은 적용 패시브 기술의 외단열로 제한하였기 때문에 BIM 모델 구축 시 건축물의 내부 표현은 생략하였고 패시브 기술 중 주요 기술이 되는 외벽과 창호를 중점으로 작성하였다 <그림4-7>. BIM 모델 구축 시, 추후 일람표에서 결과값을 구분하기 위해 층별로 또는 목적에 따라 재료 이름을 구분해줘야 한다. <그림4-8>과 <그림4-9>에서는 벽과 창호 일람표를 나타내고 있다. 창호 일람표에서는 창호의 종류에 따라 폭, 높이 값이 산출되기 때문에 엑셀로 추출 후 면적 값으로 변환 과정이 필요하다.

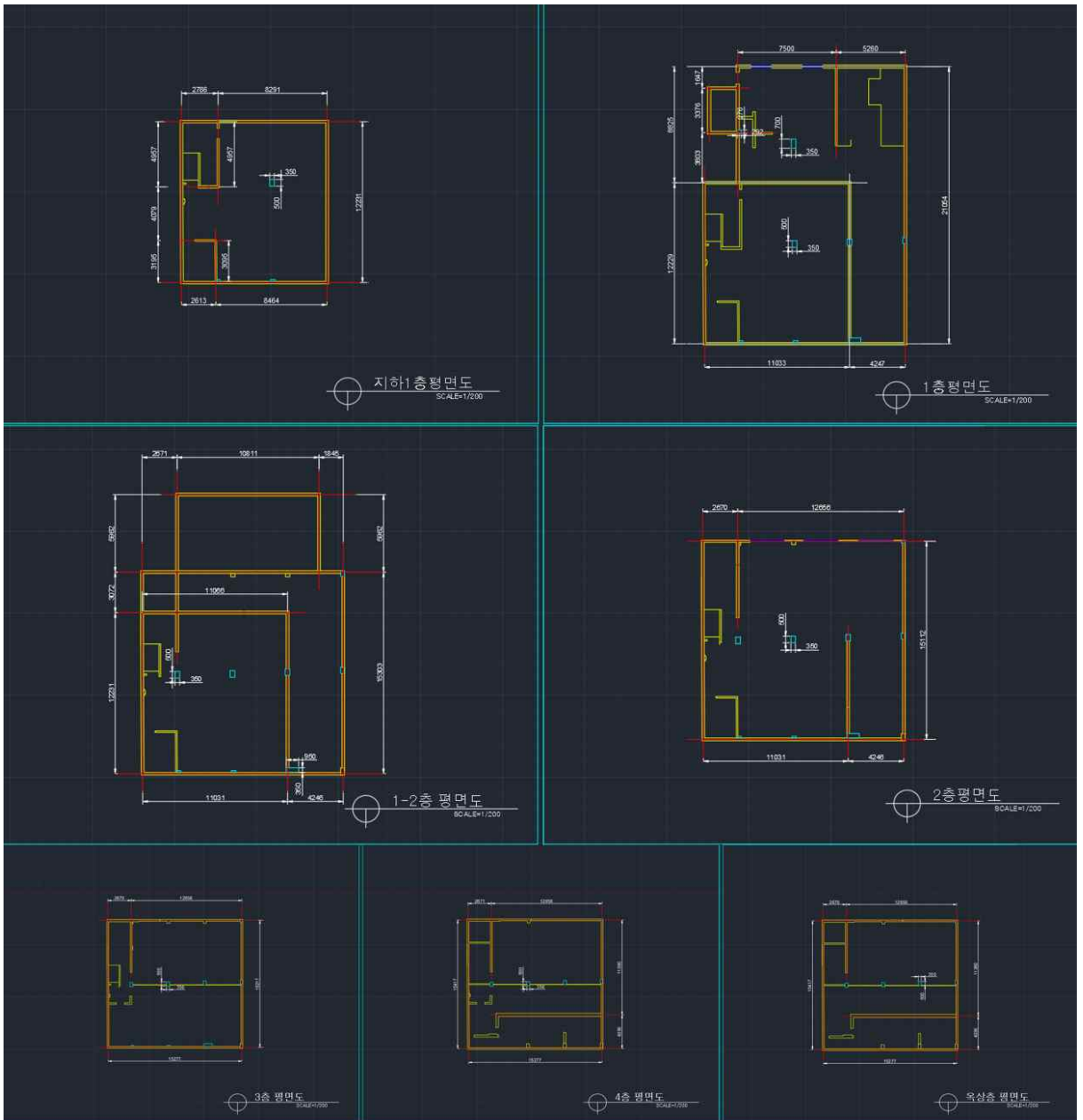


그림 4-6 대상 건축물 PCD 기반 제작된 2D 도면

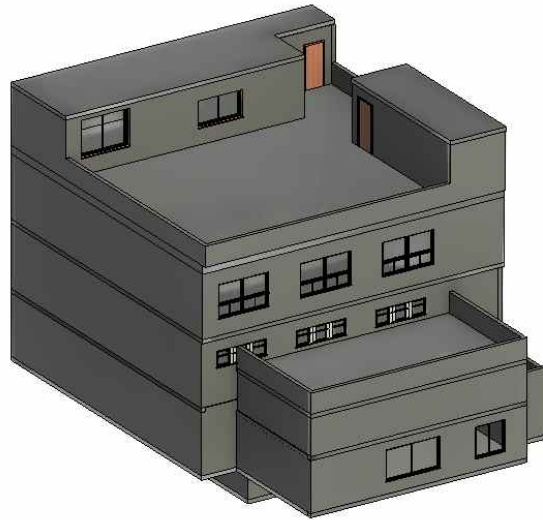


그림 4-7 2D 도면 기반 작성된 BIM 모델링

BIM 일람표

구분	A	B	C	D	E
구분	면적	체적	길이	체적	체적
지하벽	40 m²	7.96 m³	12331	기본 벽	
지하벽	33 m²	6.65 m³	11077	기본 벽	
지하벽	37 m²	7.34 m³	12231	기본 벽	
지하벽	33 m²	6.53 m³	11077	기본 벽	
1층벽	27 m²	5.46 m³	15323	기본 벽	
1층벽	45 m²	9.08 m³	15127	기본 벽	
1층벽	3 m²	0.57 m³	1676	기본 벽	
1층벽	9 m²	1.50 m³	2169	기본 벽	
1층벽	21 m²	4.19 m³	7179	기본 벽	
1층벽	2 m²	0.34 m³	369	기본 벽	
1층벽	39 m²	7.70 m³	12231	기본 벽	
2층벽	50 m²	10.08 m³	15180	기본 벽	
2층벽	24 m²	4.88 m³	15323	기본 벽	
2층벽	47 m²	9.35 m³	15127	기본 벽	
2층벽	41 m²	8.13 m³	15323	기본 벽	
2층벽	54 m²	10.79 m³	15217	기본 벽	
3층벽	31 m²	6.10 m³	15323	기본 벽	
3층벽	53 m²	10.65 m³	15217	기본 벽	
3층벽	40 m²	8.07 m³	15323	기본 벽	
4층	19 m²	3.83 m³	15279	기본 벽	
4층	13 m²	2.55 m³	12857	기본 벽	
4층	5 m²	1.05 m³	1780	기본 벽	
4층	12 m²	2.40 m³	4050	기본 벽	
400	27 m²	10.80 m³	12049	기본 벽	
400	5 m²	2.10 m³	2471	기본 벽	
400	6 m²	2.53 m³	3231	기본 벽	
4층	6 m²	1.16 m³	5790	기본 벽	
4층	19 m²	3.88 m³	7745	기본 벽	
4층	7 m²	1.38 m³	2622	기본 벽	
4층	22 m²	4.34 m³	7846	기본 벽	
4층	11 m²	2.25 m³	11366	기본 벽	
4층	8 m²	1.58 m³	2622	기본 벽	
1층벽	40 m²	8.05 m³	12785	기본 벽	
1층벽	34 m²	6.85 m³	10707	기본 벽	
1층벽	39 m²	7.70 m³	12231	기본 벽	
1층벽	39 m²	7.70 m³	12231	기본 벽	
1층벽	22 m²	4.47 m³	7179	기본 벽	
중속	12 m²	2.30 m³	5958	기본 벽	
중속	22 m²	4.46 m³	10940	기본 벽	
중속	12 m²	2.32 m³	6006	기본 벽	
중속	11 m²	2.23 m³	10940	기본 벽	
중속	6 m²	1.16 m³	6006	기본 벽	
1층벽	24 m²	4.74 m³	10980	기본 벽	
1층벽	16 m²	3.11 m³	5958	기본 벽	
합계	1030 m²	213.52 m³	418025	체적	

Excel 변환

구분	A	B	C	D	E
구분	면적	체적	길이	체적	체적
지하벽	40 m²	7.96 m³	12331	기본 벽	
지하벽	33 m²	6.65 m³	11077	기본 벽	
지하벽	37 m²	7.34 m³	12231	기본 벽	
지하벽	33 m²	6.53 m³	11077	기본 벽	
1층벽	27 m²	5.46 m³	15323	기본 벽	
1층벽	45 m²	9.08 m³	15127	기본 벽	
1층벽	3 m²	0.57 m³	1676	기본 벽	
1층벽	9 m²	1.50 m³	2169	기본 벽	
1층벽	21 m²	4.19 m³	7179	기본 벽	
1층벽	2 m²	0.34 m³	369	기본 벽	
1층벽	39 m²	7.70 m³	12231	기본 벽	
2층벽	50 m²	10.08 m³	15180	기본 벽	
2층벽	24 m²	4.88 m³	15323	기본 벽	
2층벽	47 m²	9.35 m³	15127	기본 벽	
2층벽	41 m²	8.13 m³	15323	기본 벽	
2층벽	54 m²	10.79 m³	15217	기본 벽	
3층벽	31 m²	6.10 m³	15323	기본 벽	
3층벽	53 m²	10.65 m³	15217	기본 벽	
3층벽	40 m²	8.07 m³	15323	기본 벽	
4층	19 m²	3.83 m³	15279	기본 벽	
4층	13 m²	2.55 m³	12857	기본 벽	
4층	5 m²	1.05 m³	1780	기본 벽	
4층	12 m²	2.40 m³	4050	기본 벽	
400	27 m²	10.80 m³	12049	기본 벽	
400	5 m²	2.10 m³	2471	기본 벽	
400	6 m²	2.53 m³	3231	기본 벽	
4층	6 m²	1.16 m³	5790	기본 벽	
4층	19 m²	3.88 m³	7745	기본 벽	
4층	7 m²	1.38 m³	2622	기본 벽	
4층	22 m²	4.34 m³	7846	기본 벽	
4층	11 m²	2.25 m³	11366	기본 벽	
4층	8 m²	1.58 m³	2622	기본 벽	
1층벽	40 m²	8.05 m³	12785	기본 벽	
1층벽	34 m²	6.85 m³	10707	기본 벽	
1층벽	39 m²	7.70 m³	12231	기본 벽	
1층벽	39 m²	7.70 m³	12231	기본 벽	
1층벽	22 m²	4.47 m³	7179	기본 벽	
중속	12 m²	2.30 m³	5958	기본 벽	
중속	22 m²	4.46 m³	10940	기본 벽	
중속	12 m²	2.32 m³	6006	기본 벽	
중속	11 m²	2.23 m³	10940	기본 벽	
중속	6 m²	1.16 m³	6006	기본 벽	
1층벽	24 m²	4.74 m³	10980	기본 벽	
1층벽	16 m²	3.11 m³	5958	기본 벽	
중속	6 m²	1.16 m³	6006	기본 벽	
합계	1030 m²	213.52 m³	418025	체적	

그림 4-8 BIM 모델링 기반 외벽 물량 산출 일람표

BIM 모델링을 통해 얻은 데이터를 구축한 Dashboard에 입력하였다. 앞 장에서 기술한 계산식에 따라 연간 에너지 소요량 및 운용비용 등이 계산되며 이를 기반으로 초기 투자비, 회수 기간 대비 최적의 에너지 절감형 리모델링 대안을 선정하였다.

국내 단열에 관한 규정은 1979년부터 시행되었으므로 대상 건축물의 준공 연도인 1977년을 입력 시, 1979년도의 법적 기준 열관류율인 최상층은 1.047, 외피는 2.093, 창호는 2.558로 산출되었다. 주 용도를 업무시설로 입력함에 따라 운영시간이 9시간 건물 사용 일수는 282일로 산출되었으며 마지막으로 지역을 광주로 설정함에 따라 하절기와 동절기 평균 온도가 각각 21.4℃와 6.3℃로 산출되었으며 온도 차는 13.8℃이다 <그림4-10>.

기존 건축물 현황 입력 ▾	
연도 →	1977
주용도 →	업무시설
지역 →	광주
BIM 추출 Data 입력 ▾	
건물 체적 →	4648.348
최상층 면적 →	236.66
외피 입면적 →	1030
창호면적 →	116.18
에너지 절감 개선 수준 ▾	
최상층 단열 개선수준	중사양
외벽 단열	법적기준
창호 개선수준	중사양
📍 입력값에 따른 기본정보	
하절기 평균온도	21.4
동절기 평균온도	6.3
온도차	13.8
운영시간	9
건물 사용일수	282
최상층 열관류율	0.900
외피 열관류율	1.800
창호 평균 열관류율	2.200

그림 4-10 대상 건축물 기본 정보

BIM으로부터 추출된 정보를 입력함에 따라 대상 건축물의 총 열 부하량은 503,745[kcal], 환산계수(CF)는 150으로 산정되었다. 에너지 성능 평가 결과, 연간 에너지 소요량은 549,900[kWh]으로 평가되었다. 또한, 경제성평가 결과로는 연간 운용비용이 66,537,900[원]이 산정되었다.

이후 사용자가 설정하는 에너지 절감 개선 수준에 따라 초기 투자비 또는 회수 기간 대비 최적의 대안이 선정된다. 최상층 단열을 중사양 수준, 외벽 단열을 법적 기준 수준, 창호를 중사양 수준으로 설정하였다.

초기 투자비 대비 최적의 대안으로 총 8,214개의 재료 조합 대안 중 초기 투자비가 가장 낮은 상위 10개의 대안이 추출되었고 그중 5,305번째 대안의 초기 투자비가 가장 낮게 산정되었다. 사용된 패시브 요소는 최상층 단열에는 경질 우레탄 보드 180T, 외벽 단열에는 글라스울 25T, 창호로는 로이복층유리 22mm로 선정되었다. 초기 투자비는 18,637,798[원], 회수 기간은 0.39[년], 에너지 소요량은 155,135[kWh], 운용비용은 18,771,365[원]로 산정되었다.

초기 투자비와 동일하게 회수 기간이 낮은 대안 상위 10개 중 가장 짧은 회수 기간의 대안으로는 5311번째의 대안이 추출되었고 최상층에는 경질 우레탄 보드 180T, 외벽에는 글라스울 50T, 창호는 로이복층유리 22mm로 선정되었다. 초기 투자비는 21,455,878[원], 회수 기간은 0.38[년], 에너지 소요량은 94,223[kWh], 운용비용은 11,401,013[원]으로 산정되었다.

도출된 두 대안을 비교했을 때, 초기 투자비 대비 대안과 회수 기간에서의 차이는 미비하였고 회수 기간 대비 대안이 초기 투자비가 2,818,080원 더 높았으나 에너지 소요량이 60,912[kWh], 운용비용이 7,370,352원 낮게 산출되었다 <그림 4-11>. 다음 <표4-4>에서는 기존과 도출된 대안들을 비교하여 나타냈다.



그림 4-11 선정된 최적의 대안들

표 4-4 생성된 대안 비교

구분	열 부하량	연간 소요량 (kWh)	운영비용(₩)	초기 투자비(₩)	회수 기간(년)	적용 기술		
						최상층	외벽	창호
기존	503,744.98	549,900.00	66,537,900.00	-	-	-	-	-
Alt. 1	120,692.80	94,223.25	11,401,013.00	19,108,930.00	0.35	압출법 보온판 50T	압출법 보온판 50T	로이복층유리 22mm
Alt. 2	119,536.89	94,223.25	11,401,013.00	19,608,504.00	0.36	압출법 보온판 50T	압출법 보온판 50T	로이복층유리 24mm (5+14 AR+5)
Alt. 3	121,270.76	94,223.25	11,401,013.00	19,736,302.00	0.36	압출법 보온판 50T	압출법 보온판 50T	로이복층유리 24mm (6+12 AR+6)
:	:	:	:	:	:	:	:	:
Alt. 5305	203,352.68	155,135.25	18,771,365.00	18,637,798.00	0.39	경질 우레탄 보드 180T	글라스울 25T	로이복층유리 22mm
Alt. 5311	121,369.80	94,223.25	11,401,013.00	21,455,878.00	0.38	경질 우레탄 보드 180T	글라스울 50T	로이복층유리 22mm
:	:	:	:	:	:	:	:	:
Alt. 8212	81,789.66	84,880.09	7,946,161.00	20,682,093.00	0.41	글라스울 100T	글라스울 100T	로이복층유리 26mm
Alt. 8213	81,356.19	84,446.62	7,946,161.00	21,309,465.00	0.42	글라스울 100T	글라스울 100T	로이복층유리 28mm
Alt. 8214	82,512.10	85,602.54	8,061,323.00	31,324,181.00	0.62	글라스울 100T	글라스울 100T	삼중 유리 43mm

4.3 기존 에너지 평가 방법과 개발 모델 비교분석

기존의 에너지 평가 프로그램인 EnergyPlus는 건물의 기본데이터 (면적, 열관류율, 창면적비 등) 를 입력하면 창 부분 계산, 지중으로 열전달, 존별 기류, 방사열과 냉각 시스템 등을 고려하여 열 유체에너지 부분을 계산하게 된다.⁶⁵⁾ 또한 EnergyPlus 프로그램을 기반으로 제작된 건축물 에너지 성능 진단 프로파일링 시스템에 관한 연구에서 적용된 에너지 분석을 위해 선정된 입력변수의 하나인 건물 형상 정보에서는 연면적, 층수, 창면적비, 방위 각 정보를 사용하였다.⁶⁶⁾ 건물의 형상 정보는 대부분 설계 도면 및 시방서를 통해 획득하게 된다. 하지만 노후화 건축물은 신축건축물과는 달리 많은 설계변경으로 실제 정보는 소실되거나 왜곡된 경우가 빈번하다. 또한 도면이 존재한다고 하더라도 3차원의 건물을 2차원으로 함축하여 표현하기 때문에 정확하지 못하거나 모호하게 표현되는 경우가 발생하게 된다. 이에 따라, 2차적으로 발주자나 시스템 및 플랜트 운영자들과 수 차례 면담과 현장 방문을 통해 형상 정보를 재확인하는 작업을 거치며 정보 누락을 최소화할 수 있지만 많은 시간이 소비되기 때문에 사업의 지연 가능성이 크다.⁶⁷⁾

이에 본 연구에서 제시한 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 Dashboard 모델에 적용되는 건물 형상 정보는 도면정보에 의해 면적 대비 비율로 구해진 정보를 활용하는 기존 프로그램과는 달리 Scan to BIM을 통해 정확한 면적 및 체적을 얻을 수 있는 장점이 있다. 서울시 녹색 건축물 설계기준 중 창면적비 적용기준인 창면적비 50%, 38%, 31%일 때, 해당 사례에 적용하여 비교하였다.⁶⁸⁾ 창면적비 50%를 적용하였을 때 에너지 소요량과 운용비용이 기존 대비 40%가 증가하였고 38%일 때 28% 증가, 31%일 때 21% 증가하여 기존 면적값을 통한 에너지 소요량과 운용비용 대비 변화율의 차이가 크게 나타났다<표4-5>. 이에 정확한 건물 형상 정보를 활용하는 것이 중요한 것을 알 수 있었다. 하지만 노후화 건축물 특성상 기존 도면으

65) 박정은. (2022). EC02-0D 에너지 성능 기반 도시 단위 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 개발. 조선대학교. 석사학위논문

66) 안기연, 김영민, 김용세, 윤성환, 신한솔, & 박철수. (2016). 기존 건축물을 위한 건물 에너지 프로파일링 시스템 개발. 대한건축학회 논문집-구조계, 32(12), 77-87.

67) 서원준, & 박철수. (2012). 건물 에너지 진단을 위한 시뮬레이션 적용시 쟁점과 한계. 대한건축학회 논문집-계획계, 28(1), 273-283.

68) 서울특별시청 '서울시 녹색건축물 설계기준'. 2016. 13p

로부터 얻을 수 있는 정보가 정확하지 않기 때문에 실제 건축물 스캔을 통해 얻은 PCD 기반 3D BIM 모델을 활용하면 현장 방문을 통해 형상 정보를 재확인하는 작업의 시간과 비용을 줄이며 정확한 형상 정보를 얻을 수 있을 것이다. 또한 기존 에너지 평가 프로그램 사용 대비 간편하고 빠른 에너지 소요량 평가가 가능하여 사용자의 업무 효율성을 높일 수 있다.

표 4-5 창면적비에 따른 에너지 성능 평가 결과 비교

	창면적 (㎡)	연간 에너지 소요량 (kWh/year)	에너지 소요량 변화율(%)	운영 비용 (원)	운영비용 변화율(%)
실제값*	116.18	481,162.5	-	58,220,663	-
창면적비 (50%)	573.09	675,002.25	+ 40%	81,675,272	+ 40%
창면적비 (38%)	435.55	617,262.75	+ 28%	74,688,793	+ 28%
창면적비 (31%)	355.32	582,894.00	+ 21%	70,530,174	+ 21%

* 본 연구에서 개발된 방법론에 의한 실제값 및 그에 따른 에너지 성능

제 5장 결론

노후 건축물의 에너지 소요량을 줄이며 2050 탄소중립을 달성하기 위해 정부에서는 그린 리모델링 사업을 추진하고 있다. 이때, 노후 건축물에 도면정보가 부재한 경우가 많아 사업을 진행하는 데 어려움이 있다. 또한 리모델링 대안 선정 시 에너지 시뮬레이션에 대한 전문지식과 기술을 갖고 있지 않으면 에너지 성능 평가를 진행하는 것은 불가능하며 현행 법규 기준에만 맞추어 담당자 또는 발주자와의 협의를 통해 리모델링 대안을 선정한다는 문제점이 있다. 이 문제를 개선하기 위해서 본 연구에서는 리모델링 사업 진행 전 필요한 정보 구축과 효율적인 업무가 가능한 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 Dashboard 모델을 제시하였다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다. 첫째, 설계도면 부재로 노후 건축물을 3D 스캐너와 드론 등 장비를 활용하여 포인트 클라우드 데이터를 취득하여 2D 도면을 작성하였다. 이를 기반으로 3D BIM 모델을 구축하여 건축물의 체적, 면적, 물량 산출을 할 수 있다. 둘째, Excel Spreadsheet를 활용한 에너지 성능 평가 및 경제성평가 모듈을 구축하였다. 이때 모듈은 사용자가 접근하기 쉬운 건축물대장에 있는 건축물의 기본 속성인 건축물 용도, 건축 연도, 지역과 같은 정보와 BIM 모델링을 통해 취득한 외피 면적과 건축물의 체적을 기반으로 구성하였다. 셋째, 그린 리모델링 수행 사례 70개에 적용한 패시브 요소 중 최상층(37개)과 외벽(37개), 창호(6개)의 사용 재료를 활용하여 총 8,214개의 조합을 리모델링 대안으로 생성하였다. 이 데이터를 기반으로 사용자가 선택하는 에너지 절감 개선기준에 따라 초기 투자비와 회수 기간 대비 최적의 대안 추출이 가능한 모델이 생성되었다. 넷째, 구축된 모델에 노후 건축물 사례를 적용하여 Scan to BIM과 Dashboard 모델의 정확성과 효율성을 분석하였다. 기존 도면이 존재하는 노후 건축물의 PCD를 취득하여 2D 도면 작성 및 BIM 모델링을 구축하여 비교했을 때 기존 도면과 PCD 기반으로 제작된 2D 도면의 오차율이 0.01 이내로 오차범위 안에 들어와 정확성이 확보되었다. 또한 기존 도면의 부재로 노후 건축물의 Scan to BIM을 통해 얻은 데이터를 개발된 Dashboard 모델에 입력했을 때 초기 투자비 대비 최적의 대안과 회수 기간 대비 최적의 대안을 추출하였고 개략적으로라도 에너지 소요량, 운용비용 추정이 가능하고 직관적으로 두 대안을 비교할 수 있으므로 합리적인 대안 선정이

가능하다.

본 연구의 기대효과는 다음과 같다. 첫째, Scan to BIM 기법을 통해 노후 건축물의 정보를 Scan to BIM 기반 3D 모델을 구축하여 디지털화함으로 탄소중립에 한 발짝 다가갈 수 있다. 또한 구축된 3D 모델을 활용하여 건축물의 유지관리 편의성이 높으며, 추후 적용될 리모델링에 대한 시각적인 정보를 얻을 수 있다. 둘째, 그린 리모델링 또는 에너지 절감형 리모델링에 전문지식이 없는 사용자도 개략적으로 추출된 대안의 에너지 소요량, 회수 기간, 운영비용, 초기 투자비를 추정할 수 있어 리모델링 대안 선정에 대한 업무의 효율이 높아질 것이다. 셋째, 대안 생성에서 외피 시스템의 적용된 재료들을 조합하여 대안을 생성하였기 때문에 추후 리모델링을 위해 적용할 액티브 요소나 신재생에너지 설비 등의 시스템을 서로 조합하여 더욱 다양한 대안을 평가할 수 있어 여러 가지 대안을 능동적으로 생성할 수 있는 점에서 활용 가능성이 클 것으로 예상된다. 넷째, 사용자가 입력한 에너지 개선 수준에 따른 대안이 추출됨으로 최상의 성능 조건의 대안이 아님에도 사용자의 환경에 알맞게 적용할 수 있는 가장 합리적인 대안 선택이 가능하다.

개발된 Dashboard 모델의 한계와 향후 연구는 다음과 같다. 첫째, 초기에 3D 스캐너 비용이 저렴하지 않고 속련도에 따라 데이터 처리 정확도가 달라지기 때문에 추후 BIM 모델링 시 가이드라인을 설정하여 정확한 BIM 모델링 구축 프로세스에 관한 연구가 필요하다. 둘째, 에너지 성능 평가 시 실내 열 환경을 구성하는 인자들과 액티브 기술 및 신재생에너지 설비 모두 고려하지 못한 한계가 있다. 이를 보완 하기 위해서는 에너지 시뮬레이션 프로그램과 연계하는 방법을 추가로 연구해야 할 것이다. 셋째, 대안 생성 시 활용한 적용 재료들의 기준 열관류율 대부분이 법적 기준으로 한정적이기 때문에 도출된 대안의 다양성이 부족하다. 추후 적용 재료 및 기술에 대한 데이터가 더 방대해지면 추후 이 부분에 대한 보완이 이루어져야 할 것이다. 넷째, 현재 건설시장에서 활용하는 제품 및 개발되는 제품들의 현황과 가격변동을 지속해서 갱신하여 최적의 대안 선정이 가능하도록 업데이트해야 한다는 한계가 있다.

참 고 문 헌

<국내 문헌>

▶ 학위 및 학술 논문

- Jeong, Young-Sun, and Suhyun Cho. “Post-2020 Greenhouse Gas Emission Projection in Building Sector.” *Journal of the Architectural Institute of Korea*, vol. 36, no. 10, 대한건축학회, Oct. 2020, pp. 117-125.
- Kang, J.-O., & Lee, Y.-C. (2019). Construction of 3D Spatial Information of Vertical Structure by Combining UAS and Terrestrial LiDAR. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 49(2), 57-66. <https://doi.org/10.22640/LXSIRI.2019.49.2.57>
- 강경화. (2021). 공공임대주택 그린리모델링의 에너지 성능 기반 대안 선정기법 연구, 조선대학교, 석사학위논문
- 고동환. (2010). 건물 환경 성능 및 에너지 효율 평가를 통한 BIM 기반 친환경 설계 프로세스 연구. *대한건축학회 논문집-계획계*, 26(9), 237-247.
- 김도희, 김은서, & 송두삼. (2022). 노후 건축물 그린리모델링안 작성에서 전문가와 건물 사용자 관점의 차이에 따른 에너지 절감 효과의 분석. *설비공학논문집*, 34(9), 399-409.
- 김소현, 최창순, 정광복, & 이재욱. (2022). Scan-to-BIM 기반 LCA 분석을 위한 재료정보 자동 생성 방법. *한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집*, 22(1), 164-165.
- 김용인, 신경희, & 이찬식.(2003). 노후 공공건축물의 리모델링 우선순위 결정 절차 및 방법. *대한건축학회 논문집-구조계*, 19(3), 107-114.

- 김진아. (2013). 건물 에너지 절감을 위한 업무용 건축물의 외피 계획에 관한 연구. 부산대학교, 석사학위논문
- 김진업. (2016). 그린 리모델링 시 건물 외피 설계수준 의사결정에 의한 Framework 개발에 관한 연구, 서울시립대학교 국제도시과학대학원, 석사학위논문
- 김태혁, 우운택, & 정광량. (2020). 건설 및 구조 모니터링을 위한 3D 스캐닝 및 정밀조사 과정-As-Built-BIM 구축을 위한 Scan-to-BIM. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 40(1), 428-431.
- 민은중, 김경태, 이기륜, 조창연. (2019). 0-07 Time-of-flight 방식과 Phase Shift 방식 LiDAR의 현장 적용성 기초연구. 한국 건설관리학회 학술발표대회 논문집, (2019-11), 47-48.
- 박정은. (2022). EC02-00 에너지 성능 기반 도시 단위 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 개발. 조선대학교. 석사학위논문
- 박준우, 김재홍, 김소현, 이지민, 최창순, 정광복, & 이재욱. (2021). Scan-to-BIM 자동화 기술을 활용한 건축물 단위의 BIM 모델 생성. KIBIM Magazine, 11, 53-62.
- 박혜진. (2018). 노후 건축물의 안전진단을 위한 BIM 기반 역설계 조사방안. 경북대학교 대학원, 석사학위논문
- 백상호, & 장창수. (2021). 드론 및 지상 레이저 스캐너를 이용한 건축 문화재 3차원 모델링 정확도에 관한 사례연구. 한국군사학논집, 77(3), 577-593.
- 서원준, & 박철수. (2012). 건물 에너지 진단을 위한 시뮬레이션 적용시 쟁점과 한계. 대한건축학회 논문집-계획계, 28(1), 273-283.

- 신명섭. (2011). GPS와 지상레이저 스캐너의 결합에 의한 3D 현황측량 개선, 강원대학교 산업대학원, 석사학위논문
- 신영수. (2015). 에너지 절감형 리모델링을 위한 의사결정 지원모델, 조선대학교, 석사학위논문
- 안기연, 김영민, 김용세, 윤성환, 신한솔, & 박철수. (2016). 기존 건축물을 위한 건물 에너지 프로파일링 시스템 개발. 대한건축학회 논문집-구조계, 32(12), 77-87.
- 이상춘, 최영준, & 최율. (2012). 교육시설 리모델링을 위한 에너지 절감 요소 기술의 성능 평가: 노후 중학교 건물 중심으로. 한국생태환경건축학회 논문집, 12(4), 105-110.
- 이재혁. (2021). 딥러닝 기반 교량의 Scan-to-BIM 기술 개발. 충북대학교, 석사학위논문
- 이종서. (2021). 3 차원 공간 데이터를 활용한 지하 시설물의 효율적인 3D 모델링 자동화 기법. 한국정보통신학회논문지, 25(11), 1670-1675.
- 이한솔, & 최경석. (2022). 그린리모델링을 통한 에너지 성능개선 효과 분석-공공 건물의 패시브 기술을 중심으로. 한국생활환경학회지, 29(3), 281-288.
- 장준환, 황성의, 원범식, & 박기환. (2015). 거리 및 형상 측정과 그 응용을 위한 펄스 비행시간법 기반 LIDAR 개발. 대한기계학회 춘추학술대회, 144-145.
- 정진우, 주정훈, & 이건호. (2018). 그린리모델링 실증 시범사업을 통한 프로세스의 전 과정에 대한 검토. 한국태양에너지학회 논문집, 38(3), 37-45.
- 조준영, & 이명식. (2022). BIM 역설계를 활용한 노후 공공건축물 리모델링 건축 계획 방향 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 42(1), 225-228.

- 지현서. (2022). 노후 건축물의 그린 리모델링 계획을 위한 온톨로지 기반 의사결정 지원모델, 조선대학교, 석사학위논문
- 최문영, 김상용, & 김승호. (2022). 3D 레이저 스캐닝과 BIM 연동을 통한 건축물 노후 상태 정보 시각화 프로세스. 한국건축시공학회지 (JKIBC), 22(2), 171-182.
- 홍중현, 염동준, 최수지, & 김영석. (2017). 국내 공동주택 리모델링 사업의 적정 대안 선정을 위한 의사결정 지원모델 개발. 대한건축학회 논문집-구조계, 33(3), 41-50.

▶ 단행본 및 보고서

- 국토교통부 보도자료, 건물 에너지 사용량 현황, 2020.12.03.
- 국토교통부 보도자료, 탄소중립 로드맵, 2021.12.23.
- 변병설, 이영성, 윤동근, 최민성, 이희정. (2020). 그린 뉴딜정책. 도시정보, (461), 5-16.
- 서울특별시청 ‘서울시 녹색건축물 설계기준’ . 2016. 13p
- 윤순진, 2021, 탄소중립, 반드시 가야 할 길:도전과 기회, 기업시민리서치,- 137 - 2021WINTER.vol2
- 이상익, “레이저 스캐닝 기술 개요 및 건축 리모델링 현장 시범 적용 사례”, CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG, 권no.78호,(2021):p93-98
- 첨단정보통신융합산업기술원(2018). 3D 스캐너 산업 국내외 시장/기술 동향 및 전망 보고서. 대구:첨단정보통신융합산업기술원
- 한국에너지공단 ‘에너지절약설계기준 해설서’ . 2022. 247p
- 한국전력 보도자료, 3분기 연료비조정단가 5원/kwh으로 확정, 2022.06.27.

<국외 문헌>

- Alev, Ü., Eskola, L., Arunägi, E., Jokisalo, J., Donarelli, A., Siren, K., & Kalamees, T. (2014). Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region. *Energy and Buildings*, 77, 58–66.
- Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press.
- Kim, S., Kim, S., & Lee, D. E. (2020). 3D point cloud and BIM-based reconstruction for evaluation of project by as-planned and as-built. *Remote Sensing*, 12(9), 1457.
- Macher, H., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2017). From point clouds to building information models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings. *Applied Sciences*, 7(10), 1030.
- Risholt, B., Time, B., & Hestnes, A. G. (2013). Sustainability assessment of nearly zero energy renovation of dwellings based on energy, economy and home quality indicators. *Energy and Buildings*, 60, 217–224.
- Salehi, V., & Wang, S. (2017). Using point cloud technology for process simulation in the context of digital factory based on a systems engineering integrated approach. In DS 87-3 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vol 3: Product, Services and Systems Design, Vancouver, Canada, 21–25.08. 2017 (pp. 011–020).

<인터넷 자료>

- Artec3D, 3D 스캐닝 원리, <https://www.artec3d.com>, 2022.10.17.
- e-나라지표, 시장금리추이, https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtIPageDetail.do?idx_cd=1073, 2022.08.19.
- green_reporter_mu님의 블로그, “[경상권_그린플랫폼] 그린리모델링 핵심기술: 액티브 기술과 패시브 기술”, https://blog.naver.com/green_reporter_mu/222415251931, 2022.10.26.
- Snavely N,(2007). Bundler : Structure from Motion (SfM) for Unordered Image Collections [Image].<https://www.cs.cornell.edu/~snavely/bundler/#S4>
- 지오시스템, Trimble X7, <https://geosys.co.kr>, 2022.10.29.
- 한국토지주택공사, 그린리모델링, <https://www.greenremodeling.or.kr/business/bus1000.asp>, 검색일자 : 2022.10.17.
- 한국패시브건축협회, ISO-13790&EC02, <<http://www.phiko.kr>>, 2022.10.3.