



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](#)

2024년 02월
석사학위 논문

다중 프로젝트 대상
최적 리모델링 계획
의사결정 지원 시스템

조선대학교 대학원

건축공학과

박한빈

다중 프로젝트 대상
최적 리모델링 계획
의사결정 지원 시스템

Decision Support System for Developing
The Optimal Renovation Strategy of
The Multiple Renovation Projects

2024년 2월 23일

조선대학교 대학교

건축공학과

박한빈

다중 프로젝트 대상
최적 리모델링 계획
의사결정 지원 시스템

지도교수 조 규 만

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2023년 10월

조선대학교 대학원

건축공학과

박한빈

박한빈의 석사학위논문을 인준함

위원장 김 태 훈 (인)

위 원 조 규 만 (인)

위 원 장 우 식 (인)

2023년 12월

조선대학교 대학원

<목 차>

ABSTRACT

제 1장 서론	1
1.1. 연구 배경 및 목적	1
1.2. 연구 범위 및 방법	4
제 2장 선행연구 분석 및 고찰	7
2.1. 리모델링 대안 선정 방안	7
2.1.1 그린 리모델링 대안의 기술요소	8
2.1.2 리모델링 대안 선정 방안 관련 기존 연구고찰	10
2.2. 리모델링 방안의 에너지 절감 성능 계산 방법	14
2.2.1 에너지 절감 성능 산정 기술	14
2.2.2 에너지 절감 성능 산정 관련 기존 연구고찰	16
제 3장 다중 프로젝트 대상 최적 리모델링 계획 의사 결정 지원 시스템	19
3.1. 리모델링 대안 선정을 위한 요구 데이터	21
3.2. 요구 데이터 획득 방법	23
3.2.1 일반적인 Scan to BIM 방식	23

3.2.2 최적 대안 선정을 위한 Scan to BIM 기술 변형	25
3.3. 리모델링 계획에 따른 에너지 성능 및 비용 평가 방법	27
3.3.1 Building renovation solution selection module	27
3.3.2 Energy evaluation module	29
3.3.3 Cost estimating module	34
3.4. 리모델링 계획 최적화 방법	38
제 4장 사례 적용	43
4.1. 사례 적용 대상	43
4.2. 데이터 획득 및 BIM 모델링	41
4.3. 개발 기술의 정확도 분석	50
4.4. 단일 건물 최적 대안과 다중 건물 최적 대안 비교분석	53
4.4.1 단일 건물 최적 리모델링 대안 선정	53
4.4.2 다중 건물 최적 리모델링 대안 선정	66
4.4.3 대안별 비교분석	68
제 5장 결론	71

참고문헌

<표 목차>

표 2-1 일반 리모델링과 그린 리모델링 비교	7
표 2-2 노후 공공건축물 그린 리모델링 적용 기술요소	8
표 2-3 적용 부재에 따른 단열기준의 변화량	9
표 2-4 에너지 해석 방법 및 특징	14
표 2-5 에너지 평가 프로그램 비교	15
표 3-1 에너지 성능 분석 요구 데이터	22
표 3-2 리모델링 대안 생성을 위한 Scan to BIM 프로세스 비교	25
표 3-3 냉·난방설비 능력 표기 및 환산계수	31
표 3-4 명목이자율, 물가상승률, 실질할인률	36
표 4-1 적용 대상 건축물 개요	43
표 4-2 적용 대상 건축물 별 데이터 취득 소요 시간 및 PCD	45
표 4-3 적용 대상 건축물 별 도면 제작 시간 및 BIM	49
표 4-4 대상 건물의 기존 도면과 PCD 기반 도면 오차 비교	52
표 4-5 ‘Case 1’의 BIM 모델링 기반 벽 일람표	53
표 4-6 ‘Case 1’의 BIM 모델링 기반 창호 일람표	54
표 4-7 각 사례별 BIM 모델링 기반 물량 산출값	55
표 4-8 ‘Case 1~3’의 건축물 기본 정보	56
표 4-9 에너지소요량 산출을 위한 환산계수 산정	58
표 4-10 태양광 패널 제원	60
표 4-11 Multiple Optimization Module을 통해 생성된 대안 비교(1)	66
표 4-12 Multiple Optimization Module을 통해 생성된 대안 비교(2)	67

<그림 목차>

그림 1-1 부문별 온실가스 배출량 추이	2
그림 1-2 본 연구의 흐름도	6
그림 2-1 그린 리모델링 하우스 및 적용 기술요소	8
그림 3-1 다중 프로젝트 대상 최적 리모델링 계획 의사결정 지원 시스템 프로세스	20
그림 3-2 Scan to BIM 기술 프로세스	24
그림 3-3 Single Optimization Module 개념도	38
그림 3-4 S.O.M 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 메인 시트	41
그림 3-5 Multiple Optimization Module 개념도	42
그림 4-1 Trimble사의 X7과 태블릿	44
그림 4-2 DJI사의 Mavic 2 드론	44
그림 4-3 ‘Case 1’ 건축물의 PCD 기반 2D 제작 도면	46
그림 4-4 ‘Case 2’ 건축물의 PCD 기반 2D 제작 도면	47
그림 4-5 ‘Case 3’ 건축물의 PCD 기반 2D 제작 도면	48
그림 4-6 대상 건물 전면 사진	50
그림 4-7 대상 건물 기준 도면과 PCD 기반 도면 비교	51
그림 4-8 기존 도면과 PCD 기반 도면 종·횡 길이 비교	52
그림 4-9 에너지소요량 산출과정 정리	59
그림 4-10 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 ‘Case 1’의 메인 시트	63
그림 4-11 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 ‘Case 2’의 메인 시트	64
그림 4-12 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 ‘Case 3’의 메인 시트	65
그림 4-13 단위 에너지소요량 대비 초기투자비 기준 대안 비교분석	69
그림 4-14 단위 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 대안 비교분석	70

ABSTRACT

Decision Support System for Developing The Optimal Renovation Strategy of The Multiple Renovation Projects

Park, Hanbin

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

Department of Architectural Engineering,
Graduate School of Chosun University

Since the recovery of the trend of rising blood pressure in 1992, many companies have maintained general shareholder meetings and are trying to increase their contribution to greenhouse gases. The Korean government officially declared in October 2020 that it will abolish the carbon amount, which consists of equal carbon amount and carbon absorption, to zero by 2050. In addition, we have a 2030 national greenhouse gasket goal that supports coordination of 26.3% of sneakers by 2030 with 26.3% of sneakers as of 2018, and cost aspects such as submission to post-change relations, urban regeneration-linked business model, and open building energy utilization performance. A description of greenhouse gases was agreed upon. As a result, the provisional greenhouse gas emissions for 2022 will begin to be adjusted to maintain 3.5%, and will account for 10% of the variable compared to the 2018 greenhouse gas adjustment.

Nevertheless, greenhouse gas emissions from the construction sector in 2022 increased compared to the previous year, and the cause was the increase in city gas consumption. Heating consumption may have increased due to the effects of rapid climate change, but the best way to reduce

consumption itself is to increase the energy saving performance of existing and aging buildings through remodeling. Accordingly, green remodeling projects to improve the energy saving performance of existing buildings are active. In addition, a green remodeling project to improve the energy performance of old buildings is also underway, but due to the nature of old buildings, the remodeling process is difficult due to the absence or change of existing drawings. To solve this problem, research is currently underway to conduct reverse engineering using cutting-edge equipment, including 3D scanners, to conduct remodeling based on reverse-engineered drawings, and to find the optimal remodeling alternative for a single building.

However, the number of aging buildings in Korea is very high, accounting for more than 30% of all buildings, and because the country went through rapid industrialization in the 1980s, there are many old public houses completed on residential land and city level around the same time. In order to improve energy saving performance in line with the demand for remodeling old buildings, efforts are needed to improve energy saving performance at the city level. Developed countries, including the EU, are promoting various smart city projects and are working to improve energy saving performance at the city level, and the results are being reported. However, in Korea, there is a lack of research on the selection of multiple remodeling alternatives to improve energy saving performance at the city level.

Therefore, in this study, we process reverse engineering using copper equipment that can select a 3D scanner, create a BIM model based on the reverse engineering, and then obtain the necessary information from the grid. After data selection, we fuse the modules to find selectable clusters for a single mixture, find selection ranges for multiple aspects, and compare alternatives for both cases to see which one we

think is more advantageous for greenhouse gas rate characterization. Analyze, do better. thinking about you This could help the surveyor find a more reasonable alternative, one that could provide favorable greenhouse gas performance in a large area such as a city.

제1장 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

온실가스 증가로 인해 빠르게 진행되는 지구 온난화와 이에 따른 급격한 기후변화로 인해 국제적으로 탄소 배출에 대한 규제가 강화되었다. 이에 2020년 10월 28일, 우리나라는 대기 중 온실가스 농도가 생산활동에 의해 증가하지 못하도록 탄소 배출량과 탄소 흡수량을 동일한 수치로 만들어 순 배출량이 0이 되도록 하는 탄소 중립을 선언했다.¹⁾ 그 후 2021년 12월, 기존 온실가스 감축 목표인 26.3%를 2030년까지 40%가량 감축한다는 상향된 2030 국가온실가스감축목표 (NDC, Nationally Determined Contribution)를 유엔기후변화협약 사무국에 제출하였다.²⁾ 그 밖에도 도시재생 연계 사업모델 및 공공건축물 에너지 효율 성능 지원 등 정부에서 탄소 배출 감축에 대해 다양한 노력을 하였다. 그 결과 2022년 국가 온실가스 배출량(잠정)은 전년도 대비 3.5% 감소한 수치를 나타냈으며, 이는 2018년 온실가스 배출량 대비 10% 감소한 수치이다

그러나 온실가스종합정보센터 보도자료³⁾에 따르면 건물부문에서는 2022년 온실가스 배출량이 전년 대비 3% 증가한 수치를 나타냈다. 이 수치는 2019년도 배출량과 비슷하며, 2020년 이후 2년 연속 증가한 수치이다 <그림 1-1>. 이에 온실가스종합정보센터는 건물부문의 온실가스 배출량이 증가한 원인으로 도시가스 소비량이 늘었기 때문이라 예상했다.

이러한 도시가스 소비량 자체를 줄이기 위해선 신축건축물 허가기준 강화와 기존 및 노후화 건축물의 에너지 소비 효율이 향상되어야 하며, 리모델링을 통해 에너지 절감 성능을 높이는 것이 가장 효과적인 방법이다. 신축건축물의 경우, 외피

1) 대통령직속2050 탄소중립 녹색성장 위원회 법령·정책, <https://www.2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=9&menuLevel=2&menuNo=11>
2) 환경부 보도자료, '상향된 2030 국가 온실가스 감축목표 (NDC)' 유엔기후변화협약 사무국에 제출, 2021. 12. 23
3) 2022년 온실가스 잠정배출량 관련 보도자료 <https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%EB%B0%B0%EC%B6%9C%EB%9F%89&menuId=11&boardId=178&boardMasterId=4&boardCategoryId=>

및 창호의 법적 열관류율 및 기밀 성능 강화, 제로 에너지 건축물 의무화를 통해 온실가스 감축을 진행하고 있다. 하지만 과거에 취약한 기준에 의해 시공된 노후 건축물의 경우 에너지 성능개선이 시급한 상황이다.⁴⁾

또한 노후 건축물 현황을 보면 2020년 기준 30년 이상의 노후화 건축물 비율이 31%로 많은 비중을 차지하고 있고 매년 증가하고 있으므로, 효과적인 온실가스 감축을 위해서는 노후화 건축물의 에너지 성능개선이 매우 시급한 상황이다.⁵⁾ 이에 한국토지주택공사는 노후 건축물의 그린 리모델링 활성화를 위해 그린 리모델링 창조센터를 통해 공공·민간 건축물의 리모델링 지원사업을 진행하고 있다.

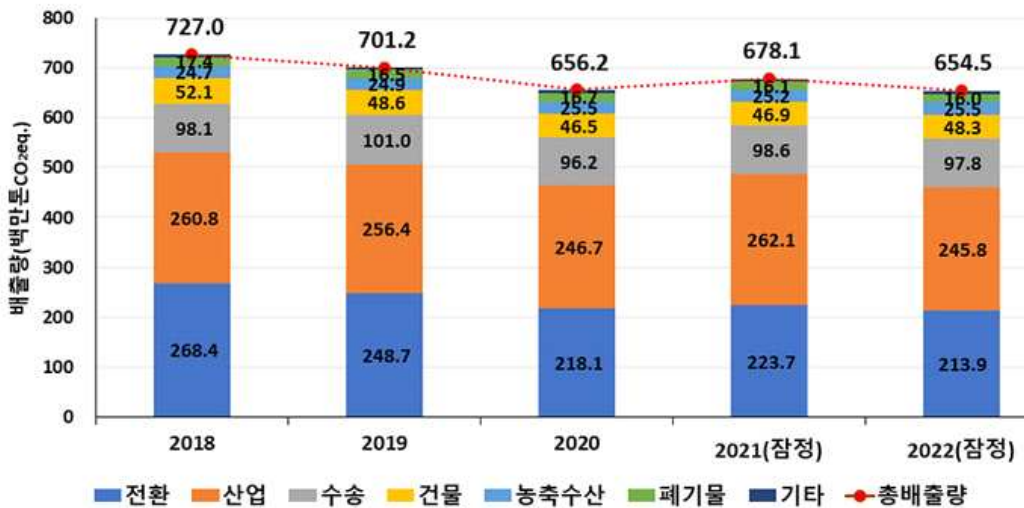


그림 1-1 부문별 온실가스 배출량 추이 (온실가스 종합정보센터, 2023)

그러나 다양한 지원에도 불구하고 노후 건축물 리모델링에는 많은 어려움이 따른다. 일반적으로 리모델링에 앞서 에너지 성능평가를 진행하며, 이때 건축물대장을 비롯한 도면정보가 필요하다. 그러나 노후 건축물은 사용 연한 동안 불투명하게 시행된 구조변경으로 인해 실제 건축물과 도면이 상이한 경우가 있으며, 아예 도면 자체가 소실된 경우가 심심치 않게 발생하게 된다. 이러한 경우, 건축물을

4) 한동익.(2021). 그린리모델링을 통한 노후 단독주택 에너지 절감 효과 분석. 부산대학교

5) 국토교통부 보도자료, 건물 에너지사용량 현황, 2020.12.03

직접 실측하여 도면을 다시 작성해야 한다.⁶⁾ 이를 해결하기 위해 최근 들어 3D Scanner를 비롯한 첨단 장비를 활용하여 역설계를 진행하고, 취득한 역설계 데이터를 3D 모델링 하여 건축물 정보를 취득하는 연구⁷⁾가 진행되었으며, 더 나아가 취득한 정보를 기반으로 하여 단일 건물의 리모델링 최적 대안을 제시하는 연구가 진행되고 있다.

그러나 앞서 언급한 바와 같이 국내 노후화 건축물은 그 수가 매우 많으며, 특히 1980년대 급격한 산업화 과정에서 택지 및 도시 단위로 준공된 노후 건축물들이 많다. 노후 건축물 리모델링 수요에 맞춰 에너지 절감 성능개선을 하기 위해선 도시 단위의 다중 건축물의 에너지 절감 성능개선을 하기 위한 노력이 필요하다. 실제 EU를 비롯한 선진국에서는 스마트 요소를 결합한 에너지 절감형 스마트시티 건설을 활발히 추진하고 있으며, 스마트시티에 제로에너지를 적용하여 온실가스 감축에 효과적인 성과를 나타내고 있다.⁸⁾ 최근 국내에서도 스마트 요소를 포함한 스마트시티 건설이 활발하게 추진되고 있다. 그러나 적용 범위가 신축 건물 및 단일 건축물에 한정되어 있어, 도시 단위의 다중 건축물을 대상으로 한 에너지 절감 성능개선의 노력은 미흡한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 다중 건축물을 대상으로 한 리모델링 프로젝트들을 통합하여 전체 프로젝트 측면에서 최적화할 수 있는 의사결정 지원 시스템을 개발하고자 하며, 단일 건축물에 대한 리모델링 최적 대안과의 비교분석을 통해 더 효과적인 방안을 찾고자 한다. 이를 통해 택지, 도시 등 넓은 범위에서의 효과적인 에너지 절감을 할 수 있는 리모델링 대안을 찾고 발주자에게 더 합리적인 대안을 선택할 수 있도록 의사결정에 도움을 줄 것으로 보인다.

6) 조준영.(2022). BIM 역설계를 활용한 노후 공공건축물 리모델링 건축 계획 방향 연구. 동국대학교. 석사학위논문

7) 채제현 & 이지영.(2017). 역설계를 통해 BIM 구축시에 3D모델링에 대한 세밀도(LOD)정립. 한국BIM학회논문집 7권 4호

8) 문정현.(2019). 국내외 스마트제로에너지시티 사업사례 동향. 숭실대학교. 조명·전기설비학회

1.2. 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 다중 건축물을 대상으로 한 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 의사결정 지원 시스템을 개발하였다. 3D Scanner를 비롯한 각종 첨단 장비를 활용하여 역설계를 진행하고, 역설계 도면을 기반으로 BIM 모델을 생성한 후 리모델링 대안 선정에 있어 필요한 정보를 취득한다. 그 후 에너지 평가 모듈, 경제성 분석 모듈 및 최적화 모듈을 활용하여 Excel Dashboard를 구축하고 발주자가 원하는 다중 리모델링 프로젝트의 대안 조합을 선정할 수 있도록 지원할 수 있다. 본 연구의 흐름도는 다음 <그림1-2>과 같다.

2장에서는 다중 리모델링 프로젝트를 대상으로 한 대안 선정 프로세스 확립을 위해 기존의 리모델링 대안 선정 방안에 대해 알아보고 그와 관련된 기존 연구를 고찰한다. 그리고 리모델링 대안의 에너지 절감 성능을 평가하는 다양한 에너지 성능평가 프로그램에 대해 해석 기준을 알아보고, 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 시 요구되는 입력변수를 비교한다. 이를 통해 각 성능평가 프로그램의 장단점을 분석하고, 이를 활용한 기존 연구를 고찰한다. 그리고 다중 리모델링 프로젝트 최적 대안을 선정하는 의사결정 지원 시스템 개발을 수행하기 위한 방안에 대해 알아본다.

3장에서는 에너지 성능 분석 프로그램 운용 시 필요한 요구 데이터를 분석한다. 이후 요구 데이터 중 Scan to BIM 기술을 통해 얻을 수 있는 데이터를 구분하고, 효율적으로 데이터를 얻기 위해 기존의 Scan to BIM 기술을 변형한 방안을 제시한다. 또한 최적 리모델링 대안 산정에 필요한 건축물의 에너지소요량, 초기투자비 및 LCC(Life Cycle Cost)를 계산하기 위해 적용된 에너지 성능평가 모듈을 기술한다. 이때 리모델링 계획 시 대안에 활용되는 기술은 크게 Passive, Active 및 신재생에너지로 구분되며, 본 연구에서는 노후화 건축물의 직접적인 단열성능 개선을 통해 에너지 절감 성능을 확보하는 Passive 기술요소를 적용한다. 이때 적용 범위는 최상층, 외피, 창호의 단열성능을 개선한다. 또한 무공해이며 재생 가능한 에너지인 신재생에너지를 적용하며 그중 태양광 패널을 활용한 대안을 계획한다. 이후 단일 건물 리모델링 계획안과 다중 프로젝트를 대상으로 한 리모델링 계획안

을 Excel Dashboard를 통해 구축하고 비교 분석하여 최적의 리모델링 대안을 나타내는 시스템을 제시한다.

4장에서는 3장에서 구축한 시스템의 적용성을 판단하기 위한 검증을 진행한다. 실제 노후화 건축물 세 동에 변형된 Scan to BIM 기술을 적용하여 건축물 데이터를 취득하고, 이를 기반으로 2D 도면과 3D 모델링 데이터를 작성 및 정확도 분석을 진행한다. 이후 구축된 3D 모델 데이터와 에너지 성능평가 모듈을 활용하여 건축물의 초기투자비, 에너지소요량 및 LCC(Life Cycle Cost)를 산출한다. 산출된 결과값을 기반으로 단일 건물의 리모델링 최적 대안과 복수의 건물을 하나의 프로젝트로 놓고 리모델링 진행 시 전체적으로 소요되는 에너지양 대비 초기투자비가 최적인 대안과 투입되는 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 최적 대안을 비교하여 제시한 시스템의 유효성을 검증한다.

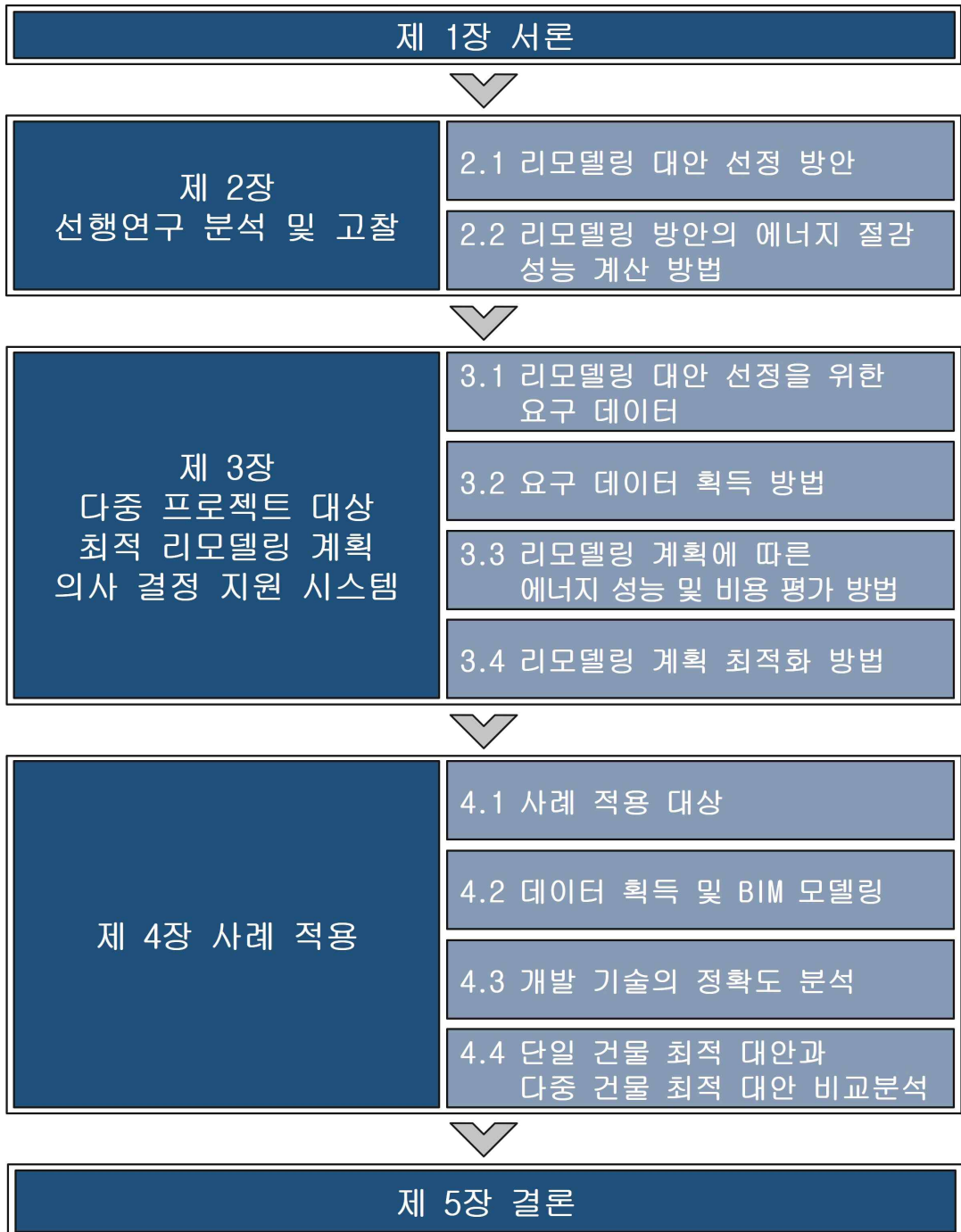


그림 1-2 본 연구의 흐름도

제 2장 선행연구 분석 및 고찰

2.1. 리모델링 대안 선정 방안

일반적인 리모델링의 경우, 건물의 주거 기능과 설비 및 시설 노후화 개선을 목적으로 하여 재건축 혹은 리모델링 사업성 검토를 진행한다. 이후 대상 건축물의 용적률과 환경 조건 등을 고려하여 현행 법령을 기반으로 한 대안을 생성하거나 유사 사례를 통해 적용했던 기술 및 재료를 선정해 대안을 추출한다.

그러나 파리협약 이후 국제적으로 탄소 배출량 절감이 의무화되면서 건물의 성능개선 및 경제성과 더불어 에너지소요량 절감의 중요도와 필요성이 강조되었고, 그 결과 그린 리모델링이 활성화되고 있으며, 이에 국내에서는 그린 리모델링, 제로 에너지 건축, 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 방안, 에너지 절감효과 및 경제성 분석에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그린 리모델링의 경우, 일반 리모델링과 다르게 기존의 건축물 에너지 성능을 평가 후 이를 향상시키기 위한 방안을 포함하고 있다. 그 외 기존의 리모델링과 그린 리모델링의 차이점은 <표 2-1>을 통해 확인할 수 있다.⁹⁾

표 2-1 일반 리모델링과 그린 리모델링 비교 (신영수, 2015)

구분	일반 리모델링	그린 리모델링
개선 목적	<ul style="list-style-type: none">주거 기능의 개선 및 향상설비 및 시설 노후화 개선	<ul style="list-style-type: none">기능 개선 시 환경부하 최소화
에너지 효율 방안	<ul style="list-style-type: none">동력·전력 에너지 사용일반 설비로 교체	<ul style="list-style-type: none">자연 에너지 이용신재생에너지 이용
건축 외피	<ul style="list-style-type: none">마감 재료 단순 교체	<ul style="list-style-type: none">에너지 절감 고성능 재료 사용

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

2.1.1 그린 리모델링 대안의 기술요소

건축물의 에너지 성능을 향상시키기 위한 방안으로 적용하는 그린 리모델링의 기술요소는 공사 항목에 따라 필수공사와 선택공사로 나눌 수 있다. 그중 기술 분류를 통해 Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지 기술 등으로 나눌 수 있으며, <그림2-1>과 <표2-2>에서 그린 리모델링 적용 기술과 관련 기술요소를 확인할 수 있다.¹⁰⁾¹¹⁾



그림 2-1 그린 리모델링 하우스 및 적용 기술요소

표 2-2 노후 공공건축물 그린 리모델링 적용 기술요소
(국토교통부 공고 제2021-291호, 2021)

항목	기술 분류	
필수공사	Passive	벽체 및 지붕(외단열), 열교·결로방지·창호 공사
	Active	폐열회수형 환기장치, LED 및 고효율 냉·난방장치
	신재생에너지	태양광
	에너지관리	전자식 원격 검침기(BEMS)
선택공사	석면제거, 일사조절장치, Smart air shower, 순간온수기, Cool Roof	

Passive 기술은 건축물의 벽체, 바닥, 지붕 등 각각의 단열재를 시공하거나 단열성능이 높은 창호를 시공하여, 열교 현상이 가장 많이 일어나는 부재의 단열성능을 직접적으로 높여 실의 쾌적성을 극대화 시킨다. Active 기술은 폐열회수형 환기장치, 열원 장치, 풍·조력과 같은 기계장치를 활용하여 에너지를 생산하고, 생산된 에너지를 활용하여 실제 건축물의 에너지소요량 감소에 영향을 미친다.

10) 에너지뉴아이티드님의 블로그, “[친환경건축컨설팅] 그린리모델링(Green Remodeling)알아보기”, <https://m.blog.naver.com/ener tecunited/222845531949>, 2022.08.11

11) 국토교통부 공고, 제2021-291호, 2021

이 중 Passive 기술의 단열 성능개선은 에너지 절감과 탄소 배출량 감소에 큰 영향을 미치며, <표2-3>과 같이 매년 단열기준이 높아지는 것을 고려해 볼 때 꼭 개선해야 하는 부분이다.¹²⁾ 이에 본 연구에서는 Passive 기술을 통해 단열성능을 개선하고 건축물의 직접적인 열관류율을 낮추고자 한다. 또한 태양광 패널을 활용하여 에너지생산량을 늘리고, 생산량을 통해 연간 에너지소요량을 감소시킬 계획이다.

표 2-3 적용 부재에 따른 단열기준의 변화량 (공공건축물 기준)
(중부지역 기준, W/m²·K), (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, 건축물 설계기준 등의 관련 규칙으로 개편			
2001.1	부위별 단열성능 평균 20% 강화, 지역 구분의 내용 및 창호 기준 변경			
2008.7	창호, 단열성능을 열관류율 기준 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

12) 한국에너지공단 ‘에너지절약설계기준 제2022-52호 해설서’ 2022.07.28. p243

2.1.2 리모델링 대안 선정 방안 관련 기존 연구고찰

그린 리모델링은 주로 경과년수 15년 이상의 건축물을 유지보수, 증·개축 및 대수선 등의 과정을 통해 건축물의 노후화를 억제하거나, 기능 향상을 통해 건축물의 수명을 연장함과 동시에 에너지 효율을 높이고, 온실가스 배출량을 감소시켜 에너지소요량을 최소화하는 리모델링을 말한다.¹³⁾

녹색건축물 조성 지원법 시행과 탄소중립선언을 통해 정부는 신축 및 노후 건축물의 에너지 효율 개선 및 온실가스 감축 사업이 추진하고 있다.¹⁴⁾ 그러나 대다수의 그린 리모델링 사례는 공공기관에 한정되어 있으며, 민간 시장에서도 리모델링을 진행하고 있으나, 건축주의 정보 부족으로 인해 리모델링 대안이 선정되더라도 합리적인 선택에 어려움을 겪고 있어 진행률이 다소 낮아 한계가 존재한다. 또한 기존 및 노후 건축물의 유지관리 비중은 매년 늘어나고 있으며, 효과적인 에너지 효율 성능향상을 고려했을 때 리모델링은 필수적인 사업이다. 따라서 노후화 건축물의 효과적인 리모델링 대안 선정을 위해, 리모델링 시 요구되는 건축물 기본 정보의 취득방안과 리모델링 시 적용되는 기술요소와 이에 대한 초기투자비 및 연간 에너지소요량 등을 산정하기 위한 방법 개발이 필요하다. 또한 합리적인 리모델링 대안을 사업자, 건축주, 운영 기관 등에 제공할 수 있도록 대안 선정 과정에 있어 의사결정을 위한 지원 시스템이 존재해야 한다. 이에 본 연구에서는 시스템 개발에 앞서 그린 리모델링, 제로 에너지 빌딩과 같은 에너지 절감형 리모델링의 대안 선정 및 적용 기술요소 방안에 관한 다양한 기존 연구를 고찰하였다.

먼저 리모델링 시 적용한 기술요소 중 Passive 기술요소 개선을 통한 연구사례가 많았으며, 그중 최선우 외(2012)¹⁵⁾는 Passive 기술요소인 외부 단열보강을 적용한 사무실 건물 그린 리모델링 프로젝트에 관해 연구하였다. 이 과정에서 에너

13) Kim, D. (2010). A Study on Determinants in the Decision Making for Remodeling Project Procedures of Apartment, Ph.D. Dissertation, Kangwon National University

14) 한동익 & 윤성환. (2021). 그린리모델링을 통한 노후 단독주택 에너지 절감 효과 분석-부산광역시 남구를 대상으로. Journal of the Architectural Institute of Korea Vol.37 No.9 (Serial No.395)

15) 최선우, et al. (2012). "사무소 건물의 외피 리모델링에 따른 에너지절감효과 및 경제성 분석." KIEAE Journal 12(6): 85-92.

지 성능평가 프로그램 ‘EC02’를 사용하여 에너지 절감 성능 및 효과를 분석했고, 표준품셈 및 물가자료 등을 활용하여 초기투자비용과 에너지 절감액 등을 산출했다. 이후 LCC (Life Cycle Cost) 분석을 통해 경제성 비교를 진행하였다.

또한 이한솔 외(2022)¹⁶⁾는 공공건축물을 대상으로 그린 리모델링의 기술요소 중 Passive 기술의 성능 강화를 추진했고, 에너지 성능개선 효과를 시뮬레이션 기법을 통해 분석하였다. 또한 ‘EC02’ 프로그램을 통하여 그린 리모델링 개선 전·후의 월간 에너지 요구량 및 소요량을 비교 분석하였고, 각각 25.9%, 17.9%가량 감소한 것을 확인하였다.

그리고 김석현 외(2020)¹⁷⁾는 외피 단열, 창호 성능, 기밀성능과 같은 Passive 기술요소의 개선 필요성을 우선적으로 강조하고 제안하며, 그린 리모델링 기술 적용 시 에너지 평가 및 해석을 위해 ‘EC02’ 프로그램을 활용했다. 그중 연간 에너지 절감량 및 생성량, 에너지 절감액 및 초기투자비 회수 기간 등 여러 항목에서 가장 효과적인 에너지 절감 성능을 나타낸 창호 성능개선안을 최적 대안으로 판단했다.

또한 강경화(2021)¹⁸⁾는 ‘EC02’ 프로그램을 활용하여 건축물 에너지 평가를 진행하고, 그린 리모델링의 요소기술 중 대상지에 적용할 수 있는 기술을 선정하고 대안 별 사업비를 산출했다. 이후 경제성 분석과 그린 리모델링 전·후의 건축물 에너지 효율 등급 비교를 통해 그린 리모델링 최적안을 제시했다.

대부분의 연구사례에서 Passive 기술요소 개선을 통한 그린 리모델링을 진행하였으며, 에너지 평가 및 해석 과정에서는 ‘EC02’ 프로그램을 활용하였다. 그중에서도 김두환(2015)¹⁹⁾은 그린 리모델링 계획 단계에서 비전문 의사결정자가 간편

16) 이한솔 & 최경석 (2022). "공공건물 그린리모델링에 따른 에너지사용량 분석 연구." 한국생태환경학회지 29(6): 694-701.

17) 김석현, et al. (2020). "노후대학건물의 에너지 성능 향상을 위한 리모델링 우선순위 도출 방안 연구." 한국건축친환경설비학회 논문집 14(6): 626-638.

18) 강경화 (2021). 공공임대주택 그린리모델링의 에너지성능기반 대안 선정 기법 연구, 조선대학교 대학원.

19) 김두환 (2015). 기존 건축물의 에너지 절감을 위한 외피 및 열원설비 성능개선 대안 선정 방법. 서울, 서울시립대학교 일반대학원.

하고 신속하게 대안을 검토할 수 있도록, ISO13790 월별 계산 방법과 물가 정보지를 통해 에너지소비량을 계산하는 프로그램을 연구했다. 또한 계산 결과 산출된 에너지 소비 목록 중 파레토 최적을 통해 효율적인 에너지 소비 대안을 추출했다. 이 과정에서 MATLAB 프로그램을 사용하여 대안 별 반복적인 시뮬레이션을 진행하였으며, 에너지 절감 대안 선정 방법에 관한 연구를 진행했다. 여기서 ISO13790 월별계산법은 'EC02' 프로그램의 전신 모델로써 활용된 방안이다. 이러한 'EC02' 프로그램과 Passive 기술요소 활용 이외에도 신재생에너지를 활용한 리모델링 대안 생성에 관한 연구가 진행되었다.

신영수(2015)²⁰⁾는 에너지 절감형 리모델링에 주요 요소를 외피 시스템과 신재생 에너지 시스템으로 선정하고, 두 시스템을 조합한 리모델링 솔루션을 제안하였다. 또한, 생성된 리모델링 솔루션을 대상지에 적용하고, 그에 따른 신재생에너지 생산비용, 에너지 절감량, 초기투자비, 회수기간 등을 확인할 수 있는 프로세스 모델을 개발하였다.

또한 Ehsan Asadi(2012)²¹⁾는 그린 리모델링 대안 선정 과정에서 Passive 기술요소로 창호의 단열성과 신재생에너지 요소인 태양열을 고려하여 그린 리모델링 대안을 산출하였고, 그중 최소 투자비용 대안과 최대 에너지 절감 대안을 제시하였다. 그러나 제시한 대안의 기준이 비용과 에너지 절감 성능으로 상이하며, 두 기준을 융합한 대안 선정에 관한 연구는 진행되지 않았다.

이와 같은 선행연구 분석 결과, 탄소 저감 계획에 따른 단일 건물의 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 방안을 제시하기 위해 'EC02' 와 같은 에너지성능분석 평가 프로그램의 활용하여 에너지 절감 성능평가를 진행하는 것을 확인했다. 또한 건축물의 에너지 절감 성능에 큰 영향을 미치는 부분은 Passive 기술요소 중 직접적인 열교 현상이 일어나는 창호 및 문과 같은 개구부라는 것을 확인할 수 있다.

20) 신영수, et al. (2015). "에너지절감형 리모델링을 위한 적정 대안 선정 프로세스 모델 - 건축물 외피 및 신재생에너지 시스템을 중심으로." 건설관리 : 한국건설관리학회 학회지 16(3): 91-100.

21) Asadi, E.,et al. (2012). "Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application." Energy and Buildings 44: 81-87.

또한 단순히 에너지 절감률을 기준으로 대안 선정 시, 기존보다 LCC(Life cycle cost)가 증가하여 불리할 수 있다는 것을 경제성 분석을 통한 회수시간 산정값을 통해 확인할 수 있다. 또한 목표값을 충족하는 다수의 대안들이 1차적으로 선정되더라도 경제성 평가를 통해 가장 비효율적인 대안이 될 수 있으며, 반대로 에너지 절감 성능 면에서 최고의 성능을 가진 대안이 아님에도 경제성 평가를 통해 가장 합리적인 대안이 될 수 있다.

즉, 목적 및 분석 방법에 따라 최적 대안의 변동성이 존재하나 기존 연구에서는 이러한 변동성을 고려하지 않았다. 이는 최적 대안 선정기준의 유연성이 부족한 것으로 사료 된다. 이러한 분석결과는 단일 건물 대안 선정에만 국한되는 것이 아닌 에너지 절감형 스마트시티와 같은 군집 건물 단위의 리모델링 대안 선정 과정 및 결과에도 영향을 미칠 것으로 보인다. 그러나 아직 군집 건물 단위의 에너지 절감형 리모델링 대안 선정 방안에 관한 연구가 부족하다.

2.2. 리모델링 방안의 에너지 절감 성능 계산 방법

2.2.1 에너지 절감 성능 산정 기술

그린 리모델링 계획 시 에너지 성능을 평가하기 위해 다양한 시뮬레이션 프로그램을 활용한다. 이러한 프로그램의 에너지 해석 방법은 <표2-4>와 같이 크게 3가지로 분류할 수 있다.

표 2-4 에너지 해석 방법 및 특징

해석 방식	특징
정상 상태 해석	<ul style="list-style-type: none">· 단순하고 빠르게 계산 가능· 정밀도가 가장 낮음
준 정상 상태 해석	<ul style="list-style-type: none">· 입력항목이 간편하고 분석의 신속성이 보장됨· 단순 대수식 기반의 투명성, 정밀도가 낮음· 상세한 건물 형상 및 최신 시스템 입력 불가능
동적 상태 해석	<ul style="list-style-type: none">· 해석의 정확성 및 실제 건물과의 유사성이 높음· 입력항목이 많고 계산 소요 시간이 많음· 사용자 수준 대비 편차가 심함

각각의 해석 방식에 따라 주로 사용하는 프로그램이 나라마다 상이하며, 국내에서는 입력항목이 간편한 준 상태 해석 방식의 'EC02' 프로그램을 주로 사용하고 있으며, 국외에서는 'EC02' 이외에도 독일의 'PHPP(Passive House Planning Package)', 미국의 'Energy-plus' 같은 다양한 프로그램이 사용되고 있고, 각각 동적 상태 해석과 준 정상 상태 해석을 기반으로 한다.

'EC02'는 ISO 52016 (ISO 13790 통폐합)과 DIN V 18599의 기준을 적용한 건물 에너지 효율 등급 평가 프로그램이며, 월별 평균 기상 데이터를 이용하여 외피, 냉난방, 공조 등의 요인을 분석하고 건물의 에너지 요구량을 산정한다. 또한 건물의 총량적 에너지소요량을 계산하여 단위면적당 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 에너지로 구분 짓는다.²²⁾

22) 권장혁, et al. (2012). "건물에너지평가도구와 동적해석프로그램의 연간냉난방요구량 해석 및 비교." 대한설비공학회 학술발표대회논문집: 363-366.

‘Energy-plus’는 ‘PHPP(Passive House Planning Package)’ 프로그램의 단점을 보완하기 위해 미국의 ‘DOE(Department Of Energy)-2’와 ‘BLAST’의 특성을 통합한 열평형 모델을 기초로 한 동적 시뮬레이션 프로그램이다. 면적, 열관류율, 창면적비와 같은 기본 건물 데이터를 입력하면 창 부분 계산, 지중 열전달, 각 층의 기류, 방사열과 냉각 시스템을 고려하여 열적 유체에너지 부분을 계산한다. 또한 정확한 값을 산출하기 위해 도면이나 시방서에서 제공하는 기본 데이터 이외에도 부재의 밀도, 비열, 장·단파복사 흡수율과 같은 데이터를 추가로 사용한다. <표2-5>를 통해 ‘EC02’와 ‘Energy-plus’의 기본 입력변수를 확인할 수 있다.

표 2-5 에너지 평가 프로그램 비교

항목	EC02 (월간 계산 방법)	Energy-plus (동적 상태 해석)
건물정보	총 건물 바닥 면적, 층수, 층고, 건물용도, 위치, 면적 및 열관류율 (외벽, 창, 지붕)	총 건물 바닥 면적, 층수, 층고, 건물용도, 위치, 면적 및 열관류율 (외벽, 창, 지붕), 창면적비
날씨 정보	월간, 휴일 제외	시간별(TMY2)
객실 유형	기본값	사용자 선택 가능
냉·난방 부하	월간	시간
신재생에너지	GSHP, 태양광발전, 열병합발전시스템 등	GSHP, 태양광발전, 열병합발전시스템 등
평가 항목	냉방, 난방, 온수, 조명, 환기	냉방, 난방, 온수, 조명, 환기, 펌프 및 열 방출 장비

해당 프로그램들은 각각의 장단점이 존재하며, 주거 혹은 비주거 건물과 같은 건물의 쓰임에 따라 적용성이 다르고 건물 규모에 따라서도 다르게 적용된다. 또한 준 정상 상태 해석 프로그램은 동적 상태 해석 프로그램에 비해 데이터 적용 폭이 제한적이지만 활용도가 높다. 동적 상태 해석 프로그램은 기상 데이터와 같은 상세 데이터를 활용하여 요소 기술 해석에 제한이 없으며, 최신 공법 및 신재생에너지 적용 폭이 넓어 상세 에너지 성능 파악에 용이하다.²³⁾

23) 권장혁, et al. (2012). "건물에너지평가도구와 동적해석프로그램의 연간냉난방요구량 해석 및 비교." 대한설비공학회 학술발표대회논문집: 363-366.

2.2.2 에너지 절감 성능 산정 관련 기존 연구고찰

효과적인 온실가스 감축을 위해 세계 각국에서 신축 건물을 포함하여 기존 건축물에 대해 강도 높은 건축물 에너지 절감 정책을 추진하고 있다.²⁴⁾ 이에 국내에서도 2050 탄소중립 선언 이후 건축물 에너지소요량과 온실가스 배출량을 규제하고 있다. 이 과정에서 리모델링의 수요가 전폭적으로 늘어나고 있으며, 에너지 성능평가 프로그램 또한 활용도가 높아지고 있다. 에너지 성능평가 프로그램은 에너지 효율 성능평가 및 에너지 효율 등급 분석을 통해 제로 에너지 빌딩 달성을 위한 인증제도운영을 목적으로 하며²⁵⁾, 기존 건축물의 에너지소요량과 리모델링 대안 적용 시 예상 에너지소요량을 통해 에너지 절감량을 산출하고 투입되는 단열재 및 장비에 대해 나열한다. 에너지 성능평가 프로그램을 활용하여 에너지 절감형 리모델링 대안 선정을 위한 다양한 연구가 국내에서도 활발히 이루어지고 있다.

먼저 김기석 외 (2014)²⁶⁾는 그린 리모델링 계획 시 절감 성능 산정을 쉽게 진행할 수 있는 에너지 성능평가 기준모델을 제시하기 위해 연구를 진행했다. 연구 과정에서 성능평가 기준모델의 에너지 소비 특성을 분석한 후 에너지 절감량을 데이터화 하는 과정에서 ‘Energy-plus’를 사용하였다. 이때 공공청사 리모델링 사례를 분석하였으며, 18개 사례 중 11개의 사례에서 에너지 성능평가 시뮬레이션 기준모델(Simulation Based Design) 적용 시, 창호계획과 관련하여 창면적비 및 기밀성능에 대한 개선안을 적용했다. 이때 창면적비는 건축물 에너지 절약을 위한 창호 설계 가이드 라인을 기준으로 65%에서 40%로 감축하였다. 감축 결과 전체 에너지 소비량의 5.3%를 절감시켰으며, 냉·난방에너지는 각각 1.9% 3.7% 감소시켰다. 그러나 정확한 창호면적의 측정값이 아닌 개략적인 비를 사용하여 진행하였고, 그 결과 창면적비 감소로 인해 내부 자연채광 투과량이 감소하여 조명에너지 소비량은 0.3% 이상 증가하였다. 이와 같은 결과는 프로그램에 입력하는 데이터의

24) 강재식, 배민정, & 안호상. (2022). 공공건물 제로에너지건물 (ZEB) 전환에 따른 그린리모델링 사례분석. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 559-561.

25) 김성민. (2017). 기존 건축물 그린리모델링 적용 요소기술 및 에너지절감효과 분석. 한국건축환경설비학회 논문집, 11(3), 238-245.

26) 김기석, et al. (2014). "공공청사 그린리모델링을 위한 데이터 정량화 시뮬레이션 모델에 관한 연구." 대한건축학회 논문집-계획계 30(10): 53-62.

개략적인 정도에 따라 상이하게 나타났으며, 이러한 계산 방식의 개선 사항을 도출하기 위한 연구가 진행된 바 있다.

이명주 외 (2015)²⁷⁾는 국내 에너지 성능평가 프로그램에 의해 평가된 제로에너지 건축물의 신뢰성을 확보하기 위해 국내·외 에너지 성능 관련 평가도구를 비교 분석하는 연구를 진행했다. 그 결과 전도로 인한 열 손실 계산과정에서 외피 조건 및 설비에너지 계산 시 사용되는 계산 방식을 개선하는 등 기존 국내 건축물 에너지 성능평가 프로그램의 입력 방식 및 입력항목에 대한 개선 사항을 도출하였다. 또한 'EC02' 프로그램에서 창호 데이터 입력 시 창호 면적(개구부)에 따른 열관류율 값만 취급하도록 되어 있다. 이는 유리와 프레임의 열관류율 차이에서 발생하는 오차로 인해 성능향상 검토가 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하고자 노후 건축물의 기존 정보를 대체하기 위해 3D Scanner를 활용한 역설계 기반 도면을 생성하는 연구가 진행되었다.

김초원 (2023)²⁸⁾은 그린 리모델링 진행 시 노후 건축물의 도면정보를 편리하고 쉽게 취득하기 위해 Scan to BIM 기법을 활용하여 노후 건축물의 그린 리모델링 대안 데이터 구축을 제안하였다. 또한 해당 과정에서 기존 에너지 성능평가 시뮬레이션 프로그램의 건물정보 입력변수 출처인 도면정보가 설계변경 미반영, 훼손 및 소실된 경우 발생하는 데이터 미취득 및 오차로 인한 데이터의 불확실성에 대한 문제를 제기하였다.

이러한 선행연구 분석 결과, 그린 리모델링의 경우 기존의 에너지 성능평가 시뮬레이션 프로그램의 입력변수 데이터 획득 시 물리적 속성값에 대한 불확실성을 가지고 있고, 이에 따른 에너지 성능평가 결과에 편차가 크다는 단점이 있다. 따라서 건축물의 물리적 속성(창면적비, 설계변경에 따른 패시브 요소의 변경)의 정확한 정보 획득이 중요하다. 이에 본 연구에서는 Scan to BIM 기법을 통해 3D 모델을 구현하고, 이를 통해 획득한 건축물 정보를 활용하여 물리적 속성값에 대한 불확실성을 해결하고자 한다. 또한 단일 건물 리모델링 프로젝트 진행 시 선정되

27) 이명주 and 김정운 (2015). "제로에너지건축물 계획을 위한 국내외 에너지성능관련 제도의 평가도구 비교분석 및 개선방안 연구." 대한건축학회 논문집-계획계 31(4): 45-52.

28) 김초원 (2023). Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 기술. 광주, 조선대학교 대학원.

는 최적 대안과 복수의 건축물을 대상으로 한 리모델링 프로젝트 측면에서의 최적 대안을 비교하여 더 효과적인 방안을 찾고, 택지 및 도시 등 넓은 범위에서의 효과적인 에너지 절감을 할 수 있는 리모델링 대안을 통해 건축주에게 합리적인 대안을 선택할 수 있도록 의사소통에 도움을 주는 기술의 개발이 필요하다.

제 3장 다중 프로젝트 대상 최적 리모델링 계획 의사 결정 지원 시스템

다중 프로젝트를 대상으로 한 최적 리모델링 계획을 산정하고 사용자의 의사결정을 지원하는 시스템을 구축하기 위해서는 Part 1) 기존 노후화 건축물의 기본 건축물 정보 데이터와 에너지 성능평가 시 필요한 요구 데이터를 Scan to BIM을 통해 구축, Part 2) 구축된 BIM 데이터 정보와 비용 추정 모듈 및 에너지 산정 모듈을 활용하여 각 사례 건물별 LCC 분석 진행, 이후 Single Optimization Module 기반 리모델링 대안을 추출하고, 이를 단일 프로젝트로 통합한 Multiple Optimization Module 기반 리모델링 계획을 제시, 이 두 파트로 구분할 수 있으며, 다음 <그림3-1>에서 전체 프로세스를 확인할 수 있다.

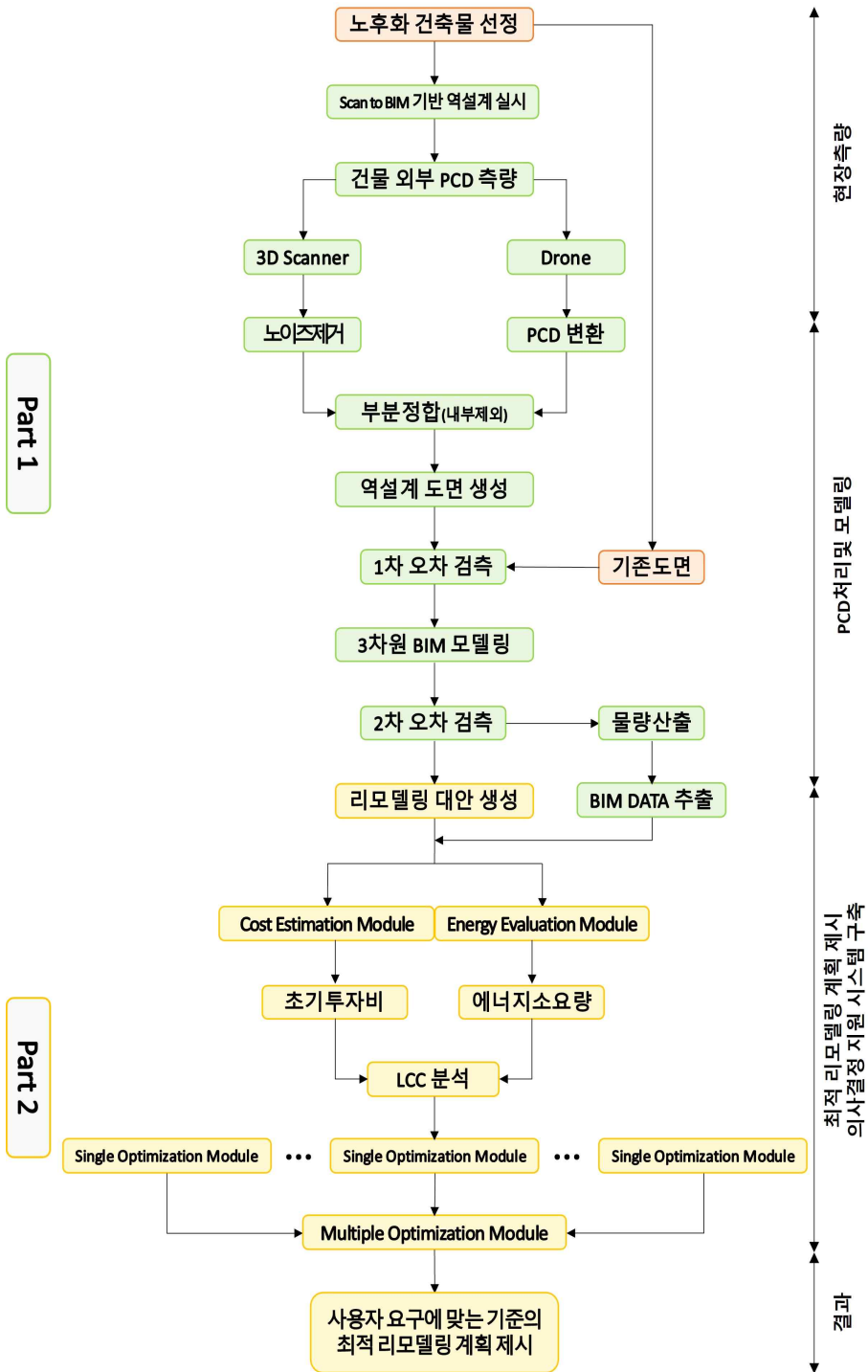


그림 3-1 다중 프로젝트 대상 최적 리모델링 계획 의사결정 지원 시스템 프로세스

3.1. 리모델링 대안 선정을 위한 요구 데이터

온실가스를 감축하기 위해 그린 리모델링 진행 시 활용되는 에너지 성능평가는 크게 7가지의 요구 데이터 항목을 필요로 하며, <표3-1>²⁹⁾³⁰⁾을 통해 확인할 수 있다. 먼저 기상청 및 한국 에너지공단 자료를 통해 ①기후정보 및 지역별 날씨 조건 등을 획득할 수 있으며, ②건축요소 정보는 건축물대장 열람을 통해 취득할 수 있다. 그리고 ③건물 3D Modeling 정보의 경우, 기존에는 실측을 진행하여 면적 및 체적을 산정하였지만, 현재는 BIM 등을 활용한 3D 도면을 통해 취득 가능하다. ④재질, ⑥설비 및 시스템 정보는 설치되어 있는 기존 제품 혹은 설치할 제품의 브로셔를 통해 확인하거나 법적 기준값을 통해 획득할 수 있다. ⑤, ⑦그 외 나머지 정보는 기존 건축물 현황 조사를 진행할 때 관련 도서 수집 및 분석, 건축 및 설비 도면 개보수 이력 등을 통해 파악하거나 현장 조사를 진행하여 획득 가능하다.

29) ASHRAE, 2009 ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009

30) 이권형, et al. (2014). "Energy BIM 기반 초기 건축 단계의 설계결정인자 간 상관성 분석: 에너지성능평가의 냉난방부하 절감을 중심으로." 대한건축학회 논문집-계획계 30(12): 31-39.

표 3-1 에너지 성능 분석 요구 데이터

요구정보	세부항목
1. 건물 위치 정보	1.1 기후설정(날씨정보)
	1.2 지역조건(위치정보)
2. 건축요소 정보	2.1 향/배치(방위)
	2.2 건물유형
	2.3 차양
	2.4 개구부 형상
	2.5 평면 세장비
3. 건물 3D Modeling 정보	3.1 바닥면적
	3.2 지붕면적
	3.3 총고/체적
	3.4 창호면적
	3.5 벽체면적
4. 재질정보	4.1 벽체의 열관류율
	4.2 지붕의 열관류율
	4.3 창호의 열관류율
	4.4 바닥의 열관류율
5. Zone / 열 영역 정보	5.1 존(Zone)
	5.2 공간(Space)
	5.3 보이드
6. 설비 / 시스템 정보	6.1 환기시스템
	6.2 난방시스템
	6.3 냉방시스템
	6.4 급탕시스템
	6.5 조명시스템
	6.6 전자기기
7. 운영 및 건축물 사용 정보	7.1 활동형태
	7.2 환기율/침기율
	7.3 설정 온도 조건
	7.4 재실자 수
	7.5 건물 운영 스케줄

3.2. 요구 데이터 획득 방법

3.2.1 일반적인 Scan to BIM 방식

리모델링 대안 선정을 위한 요구 데이터를 현장 조사 및 기존 도서 분석 이외의 방법을 통해 획득할 수 있는 방안에 대한 연구가 진행된 바 있다. 연구 사례분석 결과, 3D Scanner를 활용하여 3D BIM 모델을 구축하는 역설계 기술(Reverse Engineering)을 통해 건축물의 체적, 면적, 물량 등을 산출할 수 있으며 이를 통해 그린 리모델링 시뮬레이션 평가 프로그램 실행 시 Passive 요소의 요구 데이터를 활용함을 확인할 수 있다.

이러한 역설계 기술(Reverse Engineering) 중 시설물 관리작업에 핵심적인 ‘Scan to BIM’은 3D Scanner, Drone 등을 통해 획득한 PCD(Point Cloud Data)에서 객체 정보를 획득하여 BIM 모델링 하는 기술이며, 일반적으로 크게 ‘Scan to Geometry’, ‘Geometry to BIM’ 과정으로 구분된다. Scan to Geometry는 스캔 데이터 후처리를 통해 형상을 추출하기 위한 작업으로 샘플링(Sampling), 필터링(Filtering), 세그먼테이션(Segmentation), 맵핑(Mapping) 등으로 나뉘며, Geometry to BIM은 스캔 데이터를 맵핑(Mapping)하고 BIM 객체로 변환시키는 작업이다.

먼저 샘플링은 취득한 스캔 데이터의 밀도가 고르지 못하거나 불필요하게 큰 경우에 균일한 데이터를 추출하는 작업이다. 필터링은 스캔 데이터 후처리에 있어 불필요한 노이즈(Noise) 및 에러를 제거하는 작업이며, 세그멘테이션은 PCD(Point Cloud Data)를 Point 특성에 맞게 분류하여 필요 데이터만 남기는 작업이다. 추출된 필요 데이터는 Geometry mapping을 통해 3D Point Cloud에 형상 정보가 입혀지고, BIM 객체 모델링을 통해 3D 도면을 역설계한다. 31) <그림3-2>는 Scan to BIM 기술 프로세스를 나타낸 것이다.

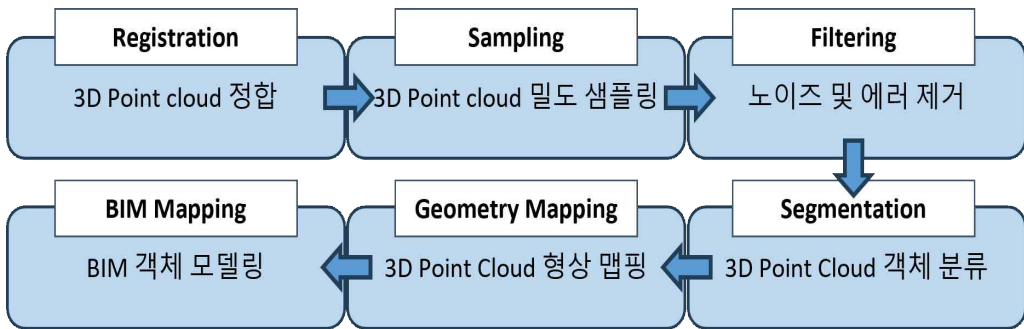


그림 3-2 Scan to BIM 기술 프로세스

31) 강태욱 (2020). "시설물 관리를 위한 Scan-to-BIM 역설계 기술 연구." 대한토목학회 학술대회: 1686-1687.

3.2.2 최적 대안 선정을 위한 Scan to BIM 기술 변형

본 연구에서는 최적 리모델링 대안 선정을 위해 필요한 요구 데이터의 범위를 <표3-1>의 2.4에서 3.5까지 지정하고, 노후 건축물로부터 기존 Scan to BIM을 변형시켜 획득한다. 해당 변형의 프로세스는 기존방식과 비교하여 구분하였고 다음 <표3-2>와 같다.

표 3-2 리모델링 대안 생성을 위한 Scan to BIM 프로세스 비교

A method of Scan to BIM for developing renovation alternatives			
Process	General method of Scan to BIM	Proposed method of Scan to BIM	Distinction
Data Acquirement (Scanning)	건물 내,외부 PCD 획득	건물 외부 PCD 획득 (표4.2.4~3.5 데이터 획득)	→ 작업범위간소화
Data Handling	스캐닝 데이터 정합 및 노이즈 제거 (외부 정합 > 내부 정합)	스캐닝 데이터 정합 및 노이즈 제거 (외부 정합 > 부분 정합)	→ 작업방법 최소화
Data Extraction	PCD 기반 3D 형상 데이터 추출	PCD 기반 2D 도면 생성 기존 도면 등과의 오차 검증(1차)	→ 작업오차 최소화
Reverse Engineering to BIM	3D 형상 기반 BIM 모델링 (LOD 300 수준)	2D 도면 기반 BIM 모델링 (LOD 100 수준)	→ 작업용량 최적화
Model Verification	오차 검증 및 객체 품질 검토	오차 검증(2차) 및 객체 품질 검토	→ 높은 신뢰성 확보

프로세스의 단계 구성은 기존과 동일하게 5단계로 이루어진다. 먼저 데이터 취득을 위한 스캐닝 단계에서 기존방식은 건축물 전체를 스캐닝하고 건물 내외부를 통합하는 반면, 변형 방식은 리모델링 대안 선정 시 필요한 외피 관련 데이터만 건물 외부 스캔을 통해 획득한다. 이 과정에서 본 연구에 필요한 요구 데이터(<표 3-1>의 세부항목 2.4~3.5)를 획득하는 것으로 작업 범위를 간소화시키고, 해당 범위만 스캔 촬영을 진행하여 소요 시간을 감소시킬 수 있다.

획득한 데이터를 처리하는 과정에서도 차이가 있다. 외부 정합을 진행하고 정합된 파일을 기준으로 내부 정합을 진행하는 일반적인 방식과 다르게 외부 정합 진행 이후 벽체의 두께 확인을 위해 외벽 외부면과 대응되는 최소한의 내부면 촬영 데이터만 대응 정합한다. 해당 과정으로 인해 작업 방법의 최소화가 가능하며 작업 소요 시간 또한 감소한다. 이후 정합된 데이터를 추출하는 과정에서 기존방식은 PCD(Point Cloud Data) 형상 자체를 추출하며, 변형된 방식은 각 층 평면도 및 건물 외관 입면도를 추출하기 위해 3D 형상 상태의 PCD(Point Cloud Data)를 ‘Cutting Plane’ 과정을 통해 평면 상태로 추출한다. 추출된 평면 상태의 PCD(Point Cloud Data)를 통해 외벽선과 앞서 진행한 대응정합을 통해 취득한 벽 두께를 기반으로 외벽 기준 평면도 및 입면도를 제작한다. 해당 방식으로 제작된 평면도는 건축물대장을 통해 획득한 기존 설계도면과 비교하여 최종도면 제작에 앞서 선제적으로 오차를 확인할 수 있으며, 반복적인 수정을 통해 오차율을 감소시킬 수 있다.

또한 추출된 데이터를 기반으로 BIM을 진행하는 과정에서도 차이가 있다. 기존방식의 경우, 3D 상태인 PCD(Point Cloud Data)를 BIM을 통해 포인트 간 거리 차를 구하고 선 및 면을 PCD(Point Cloud Data)에 오버랩하여 모델링 한다. 이때 모델링된 객체는 내·외부 모든 부재에 대해 모델링이 진행되기 때문에 모델 파일 자체의 용량이 크며, 모델링 작업 소요 시간이 상당히 요구된다. 하지만 LOD(Level of Development) 300 수준의 결과물로서 객체가 포함하고 있는 데이터의 폭이 넓다는 장점이 있다. 이와 반대로 변형된 방식은 앞서 설계한 외벽 기준 평면도와 입면도를 기반으로 3D BIM을 진행한다. 이때 획득하고자 하는 데이터의 범위가 외단열 공법 선정에 필요한 외피로 한정되어 있기에 모델링된 객체는 LOD(Level of Development) 100 수준의 결과물이 나온다. 이는 기존방식의 LOD(Level of Development) 300 수준의 결과물만큼 데이터 폭이 넓지 않지만, 모델 파일 자체의 용량을 최소화하여 모델링 작업 소요 시간이 현저히 작게 요구된다는 장점이 있다.

마지막으로 모델검정 단계에서 기존 및 변형 방식 모두 오차 검측 및 객체 품질 검토했을 진행하여 작업 결과물의 신뢰성을 확보한다. 이 과정에서 변형 방식은 데이터 추출 과정에서 선제적으로 1차 오차 검측 과정을 진행했기 때문에 최종 오차 검측 시 기존방식 대비 평균 오차율이 낮다는 것을 확인할 수 있다.

3.3. 리모델링 계획에 따른 에너지 성능 및 비용 평가 방법

3.3.1 Building renovation solution selection module

기존의 리모델링 대안은 현행 법규 및 유사 사례를 기반으로 생성하고 선정된다. 이러한 방식은 건축물의 경과년수에 따른 경제적인 타당성 조사 결과가 제대로 반영되지 못한 리모델링 대안이 제안되는 경우가 많다.³²⁾ 따라서 본 연구에서는 에너지 평가 모듈과 비용 추정 모듈을 활용하여 에너지 절감량과 경제성 측면을 고려하고, 가장 합리적인 에너지 절감형 리모델링 대안을 선정하기 위한 연구를 진행했다. 여기서 지속 가능한 리모델링 대안은 기존 건물 대비 에너지 성능을 향상시키는 리모델링 대안으로서 대안 선정 시 프로젝트 발주자의 의사결정에 도움을 준다.

먼저 i 개의 리모델링 부위에 대해 아래 식(3-1)과 같이 각각의 리모델링 부위별 리모델링 대안으로 정리할 수 있으며, 이를 ‘Renovation Scope’ 라고 한다. 예를 들어 리모델링 부위 1인 P_1 에 대해 j 개의 대안을 적용할 수 있는 경우, 프로젝트 발주자는 j 개의 대안 중에서 리모델링 대안을 선택할 수 있다. 이때 P_i 는 리모델링 진행 부위 i 를 의미하고, $A_{P_i}^m$ 은 리모델링 부위 i 에 대해 리모델링 방법 m 을 의미한다.

$$Renovation\ Scope = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_{P_1}^0 & A_{P_1}^1 & \cdots & A_{P_1}^j \\ A_{P_2}^0 & A_{P_2}^1 & \cdots & A_{P_2}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{P_i}^0 & A_{P_i}^1 & \cdots & A_{P_i}^m \end{Bmatrix} \quad \text{식(3-1)}$$

32) 신영수, et al. (2015). "에너지절감형 리모델링을 위한 적정 대안 선정 프로세스 모델 - 건축물 외피 및 신재생에너지 시스템을 중심으로." 건설관리 : 한국건설관리학회 학회지 16(3): 91-100.

또한 식(3-2)와 같이 기존 건물에 대한 리모델링 대안은 각 리모델링 범위에 대한 대안 그룹으로 정의할 수 있으며, i 개의 리모델링 부위를 가진 임의의 리모델링 대안을 'Renovation Alternative, RA_{abc} '로 나타내며, 기존 건물 대안은 식(3-3)과 같이 리모델링 대안 RA_{000} 로 나타낼 수 있다.

$$\text{Renovation Alternative, } RA_{abc} = \{A_{P_1}^a A_{P_2}^b \cdots A_{P_i}^c\}, \quad \text{식(3-2)}$$

$$\text{where } 1 \leq a \leq j, 1 \leq b \leq k, 1 \leq c \leq m$$

$$\text{Original Solution, } RA_{000} = \{A_{P_1}^0 A_{P_2}^0 \cdots A_{P_i}^0\} \quad \text{식(3-3)}$$

3.3.2 Energy evaluation module

본 연구의 에너지 평가 모듈은 앞서 언급한 Scan to BIM 과정을 통해 획득 가능한 외피 데이터<표3-1의 세부항목 2.4 ~ 3.5>를 기반으로 하며, 외피 시스템 개선을 통해 지속 가능한 리모델링 대안을 선정하는 것으로 한정한다.

에너지 성능평가는 다음과 같은 과정으로 진행된다. 1) 실 체적에 대한 열용량 부하 산정, 2) 건물 외피에 따른 열관류 부하 산정, 3) 열용량 부하 및 열관류 부하에 따른 적정 냉난방 설비 시스템선택 및 해당 설비의 에너지소요량 산출, 4) 재생에너지 설비의 에너지생산량을 산출, 5) 에너지소요량과 에너지생산량을 합산한 후 건물의 총 연간 에너지소요량을 산출한다.

각 과정 별 산정 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

▶ 실 체적에 대한 열용량: 건물 체적[m³]에 따라 요구되는 열용량을 뜻하는 것이며, 어떤 물질 1kg의 온도를 1℃ 상승시키는 데에 필요한 열량[kcal]을 의미하는 비열[kcal/kg℃]에서 시작한 개념이다. 이러한 비열에 질량[kg]을 곱하면 해당 물체의 열용량(heat capacity)[kcal/℃]이 산출된다. 따라서, 일정한 실내의 공기 1℃를 상승 및 하강시키기 위해 요구되는 열용량[kcal]은 실의 체적[m³], 공기의 비열[kcal/kg℃] 및 공기의 비중량[kg/m³]을 곱하여 산정할 수 있다 식(3-4).

$$Q_{space1} = V \times C_p \times \gamma \quad \text{식(3-4)}$$

Q_{space1} : 체적에 따른 1℃당 열 부하[kcal/℃], V : 체적[m³],
 C_p : 공기의 비열[kcal/kg℃], γ : 공기의 비중량[kg/m³]

또한 일반적인 실 내부 온도는 실 외부 온도에 영향을 받아 열 이동이 일어나고, 이로 인해 재실자는 쾌적한 환경을 위한 적정온도를 유지하고자 한다. 따라서 실내·외의 온도차[℃]가 발생하는 조건에서 실내적정온도를 유지하기 위해 필요

한 열용량은 다음 식(3-5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{space2} = V \times C_p \times \gamma \times \Delta T \quad \text{식(3-5)}$$

Q_{space2} : 온도차가 존재하는 체적에 따른 열 부하[kcal], V : 체적[m³],
 C_p : 공기의 비열[kcal/kg·°C], γ : 공기의 비중량[kg/m³], ΔT : 실내·외온도차[°C]

▶ 외피 성능에 따른 열관류: 실내외의 온도 차이로 인해 외피에서 실내로 관류하는 열량을 뜻하며, 외피 열관류율(U-value)에 따라 영향을 받는다. 열관류율은 전반적인 열 흐름을 나타내는 표준 지표이며, 창호에서 열관류율은 대류, 전도, 복사의 열의 이동을 포함한 모든 시스템의 열 이동 계수를 나타낸다. 열관류율은 시간당 열의 흐름을 나타내고 단위는 W/m²·°C(kcal/m²·h·°C)를 사용한다. 표면적이 1m²인 구조체를 사이에 두고 온도 차가 1°C일 때 구조체를 통한 열관류율을 [W]나 [kcal]로 측정한다. 단열성능을 나타내는 열 저항(R-value)값은 총 열관류율의 역수(R=1/U)로 나타낸다. 재료의 열 저항값이 높을수록 높은 단열성능을 가지며, 낮은 열관류율은 적은 열적 이동을 한다. 따라서, 외피 열관류율에 따라 실 내부로 유입되는 열량은 다음 식(3-6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{ss1} = K \times A \times \Delta T \quad \text{식(3-6)}$$

Q_{ss1} : 외피로 인해 시간당 이동하는 열량[kcal/h], K : 외피 열관류율[kcal/m²·h·°C],
 A : 외피 면적[m²], ΔT : 외피 사이의 온도차[°C]

또한 건물은 사용 특성 및 용도에 따라 건물 일일 운영시간이 다르며, 건물 일일 운영시간 동안 관류되는 열관류 부하는 다음 식(3-7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{ss2} = K \times A \times \Delta T \times h \quad \text{식(3-7)}$$

Q_{ss2} : 건물 사용시간 동안 외피로 인해 이동하는 열량[kcal/h],
 K : 외피 열관류율[kcal/m²h°C], A : 외피 면적[m²],
 ΔT : 외피 사이의 온도차[°C], h : 건물 일일 운영시간[hour]

▶ 부하에 따른 적정 냉난방 설비시스템 선정 및 에너지소요량 산출: 1976년에 제정되어 2022년에 최종 개정된 “KS C 9306 (에어컨디셔너) - 단위 면적당의 냉난방부하 산출조건”³³⁾을 통해 냉방 능력에 따른 “냉·난방능력 표준단위환산표”를 제시하고 있으며, 필요 열용량(부하)에 따른 적정 냉·난방설비 및 해당 설비의 규격을 나타낸다. 따라서 앞서 산정한 부하에 적합한 최대부하 설비시스템을 선택하고, 해당 설비의 소요 전력량을 산출할 수 있다. 제시된 <표3-3>을 통해, 냉·난방설비 일일 전력사용량을 나타내는 환산계수(Conversion Factor: CF)를 확인할 수 있다.

표 3-3 냉·난방설비 능력 표기 및 환산계수

열용량[kcal/h]	환산계수(CF)
50,000	20
35,000	15
25,000	10
18,000	8
12,500	5.5
11,000	4.5
7,100	3
6,100	2.5
5,100	2
4,000	1.5

33) e-나라표준인증, 국가표준 에어컨디셔너,
<https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do?ksNo=KSC9306>

산정된 환산계수 값은 설비시스템의 일일 에너지사용량[Wh]이며, 건물 냉·난방 사용시간을 고려하여 연간 에너지소요량을 다음 식(3-8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$EC = CF \times h \times D \quad \text{식(3-8)}$$

EC : 연간 에너지소요량(Energy Consumption)[kWh/year],
CF : 환산계수(Conversion Factor)[kWh], *h* : 건물 일일 운영시간[hour/day],
D : 건물 연간사용일수[day/year]

▶ 재생 에너지 설비의 에너지생산량 산출: 신재생에너지는 1차 에너지를 필요로 하지 않고 자연 상태의 에너지를 통해 가동되는 시스템이며, 에너지 절감을 넘어 에너지 생산의 개념이기에 그 중요도가 높다. 그러나 신재생에너지 설비를 통한 에너지 생산은 그 생산 원리가 설비시스템마다 다르고, 대부분의 산출과정에서 복잡한 동적 시뮬레이션 프로그램을 사용하기 때문에 산식으로 표현하는데 한계가 존재한다. 그런데도 신재생에너지를 통해 생산된 에너지양을 산출하기 위해 “태양전지 어레이 설계용량” 과 같은 설계 발전용량을 기반으로 에너지생산량을 나타낼 수 있는 태양광 발전 시스템을 활용하여 연간 에너지생산량을 산출할 수 있다 식(3-9).³⁴⁾

$$EP = RES \ CAPACITY \times D \quad \text{식(3-9)}$$

EP: 연간 에너지생산량 (Energy Production)[kcal/year],
RES CAPACITY: 설비 발전용량[kWh], *D*: 건물 연간사용일수[day/year]

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

▶ 건물 총 에너지소요량 산출: 앞 과정에서 산출한 냉·난방설비를 통한 연간 에너지소요량과 신재생에너지 설비를 통한 연간 에너지생산량의 차를 통해 건물 총 연간 에너지소요량을 산출한다 식(3-10).

$$TEC = EC - EP \quad \text{식(3-10)}$$

TEC : 총 연간 에너지소요량(Total Energy Consumption)[kWh/year],

EC : 연간 에너지소요량(Energy Consumption)[kWh/year],

EP : 연간 에너지생산량(Energy Production)[kWh/year]

3.3.3 Cost estimating module

리모델링 프로젝트 초기투자비용과 건물운영 단계에서 발생하는 장기적인 비용 지출을 산정하기 위해 생애주기 비용 (Life Cycle Cost) 분석을 진행하며 해당 과정에서 각 리모델링 대안 별 1) 초기 투자비용, 2) 유지보수 및 에너지 소요 비용을 포함한 연간 운용비용, 3) 리모델링 이후 사용 연한에 따른 부재 교체 비용을 산정한다.

▶ 초기 투자비용 산정(Passive 요소): 초기 투자비용은 대안을 구성하는 재료별 단위 설치비용($UC_{A_{P_k}}^m$)과 적용된 면적(IA_{P_k})을 곱하여 산정할 수 있다. $UC_{A_{P_k}}^m$ 은 리모델링 부위 P_k 에 적용된 리모델링 방법 m 인 $A_{P_k}^m$ 의 단위 설치비용을 나타내며, IA_{P_k} 는 적용 부위 P_k 에 적용된 면적을 나타낸다. 따라서 k 개의 Passive 리모델링 부위를 가진 리모델링 프로젝트의 초기투자비를 식(3-11)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Initial\ Costs\ (Passive) = \sum_{m=ak=1}^c \sum_{i=1}^i (UC_{A_{P_k}}^m \times IA_{P_k}) \quad \text{식(3-11)}$$

▶ 초기 투자비용 산정(신재생에너지 요소): 신재생에너지 요소 대안으로 활용한 태양광 패널은 제작사마다 패널 규격이 다양하며, $1m^2$ 당 설치 면적이 아닌 패널 1개당 설치 면적에 따라 투입되는 패널량을 산출할 수 있다. 따라서 식(3-12)와 같이 패널 1개 설치비용과 투입되는 패널소요량을 곱하여 산정할 수 있다. 이때 $UC_{SP_{P_k}}^m$ 은 대안 $A_{P_k}^m$ 에 투입되는 패널 1개 설치비용을 나타내며, SP_{P_k} 리모델링에 투입되는 패널소요량[EA]을 나타낸다.

$$Initial\ Costs\ (\text{신재생에너지}) = \sum_{m=ak=1}^c \sum_{i=1}^i (UC_{SP_{P_k}}^m \times SP_{P_k}) \quad \text{식(3-12)}$$

▶ 유지보수 및 에너지 소요 비용을 포함한 연간 운용비용: 앞서 3.3 식(3-8)에서 산출한 연간 에너지소요량[Kwh]과 전력 요금[원/Kwh] 및 기후환경요금과 연료비조정요금을 곱하여 산정한다 식(3-13). 이에 본 논문은 사례 적용 시 ‘한국전력공사_전기요금표_일반용 전력(갑) 1_저압전력 여름철’을 기준으로 요금 단가를 산정했다.

$$OC = [DC + TEC \times (eC + C\&EC + FC)] \times 1.137 \quad \text{식(3-13)}$$

OC: 운용비용(Operation Cost)[W/year],
TEC: 총 연간 에너지소요량(Total Energy Production)[KWh/year],
DC: 기본요금 (Demand Charge)[W/year], **eC**: 전력 요금[W/kWh],
C&EC: 기후환경요금 (Climate & Environmental Charge)[W/kWh]
FC: 연료비조정요금 (Fuel Cost Pass-Through Adjustment Rate)[W/kWh]
TAX: 부가가치세 및 전력사업기반기금(0.137%)[W/year]

▶ 리모델링 방법별 유지보수 및 교체비용: 유지비용은 아래 식(3-14)와 같이 초기투자비용에 연간 대체 유지율 $MP_{P_k}^m$ 인을 곱하여 산정한다.

$$Maintenance\ Costs = \sum_{m=1}^c \sum_{ak=1}^i (MR_{P_k}^m \times UC_{P_k}^m \times IA_{P_k}) \quad \text{식(3-14)}$$

교체비용은 아래 식(3-15)과 같이 초기투자비용에 연간 교체 주기인 $RP_{x-A_{P_k}^m}$ 를 곱하여 산정한다. 이때 $A_{P_k}^m$ 교체 주기가 q 이면 $RP_q = 1$ 이고, q 가 아니라면 $RP_q = 0$ 이다. 즉 $RP_q - A_{P_k}^m = 1$ 이고, 이외는 0이다.

$$Replacement\ Costs = \sum_{x=1}^p \sum_{m=1}^c \sum_{ak=1}^i (RP_{x-A_{P_k}^m} \times UC_{P_k}^m \times IA_{P_k}) \quad \text{식(3-15)}$$

산정된 유지보수 비용과 교체비용은 시간이 지남에 따라 화폐 가치가 변화하기 때문에 현가 분석을 통해 현재가치의 유지보수 비용과 교체비용을 산정해야 한다. 아래 식(3-16)과 식(3-17)은 유지보수 비용 및 교체비용에 경과년수에 따른 실질 할인율을 적용하여 나타낸 것이며, 실질 할인율(D)은 명목이자율(i')과 물가 상승률(j')을 활용하여 산정할 수 있다 식(3-18). 이때 본 연구에서는 한국은행 시장금리 추이_국고채 5년 평균금리 이자율을 통한 명목이자율과 국가지표체계_소비자물가상승률을 통해 물가상승률을 나타냈으며, 이에 따른 실질할인률을 정리한 내용은 다음 <표3-4>와 같다.

$$Present\ Worth\ of\ *MC = \sum_{x=1}^p \sum_{m=ak=1}^c \sum_{i=1}^i (MR_{x-A}^m \times UC_{x-A}^m \times IA_{P_k}) \times \frac{1}{(1+D)^x} \quad \text{식(3-16)}$$

*MC = Maintenance Costs

$$Present\ Worth\ of\ *RC = \sum_{x=1}^p \sum_{m=ak=1}^c \sum_{i=1}^i (RP_{x-A}^m \times UC_{x-A}^m \times IA_{P_k}) \times \frac{1}{(1+D)^x} \quad \text{식(3-17)}$$

*RC = Replacement Costs

$$*D = \frac{(1+*i')}{(1+*j')^x} \quad \text{식(3-18)}$$

*D = 실질할인률 [%], *i' = 명목이자율 [%], *j' = 물가상승률 [%]

표 3-4 명목이자율, 물가상승률, 실질할인률

년도	명목이자율(%)	물가상승률(%)	실질할인률(%)
2013	3.00	1.30	0.74
2014	2.84	1.30	0.67
2015	1.98	0.70	0.75
2016	1.53	1.00	0.27
2017	2.00	1.90	0.03
2018	2.31	1.50	0.32
2019	1.59	0.40	0.85
2020	1.23	0.50	0.49
2021	1.72	2.50	-0.22
2022	3.32	5.10	-0.29
평균	2.15	1.62	0.36

앞서 산출한 초기투자비용과 현재가치의 유지보수비 및 교체비용을 합하여 전체 투자비용을 산정할 수 있으며, 아래 식(3-19)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Total\ costs &= \sum_{m=ak=1}^c \sum_{i=1}^i (UC_{-A}{}^m \times IA_{-P_k}) \\
 &+ \sum_{x=1}^p \sum_{m=ak=1}^c \sum_{i=1}^i \left\{ (MR_{-A}{}^m \times UC_{-A}{}^m \times IA_{-P_k}) + (RP_{-x-A}{}^m \times UC_{-A}{}^m \times IA_{-P_k}) \right\} \times \frac{1}{(1+D)^x} \quad \text{식(3-19)}
 \end{aligned}$$

3.4. 리모델링 계획 최적화 방법

하나의 건물에 대해 리모델링 최적 대안을 선정하는 Single Optimization Module (S.O.M)을 <그림3-3>와 같이 나타냈다. 단일 건물에 대한 리모델링 대안은 고유의 단일 프로젝트 내에서 생성된다는 개념이다. 예를 들어 ‘A Building’의 리모델링 프로젝트를 ‘Project 1’ 이라고 하며, 리모델링 적용 부위 ‘R=Roof’, ‘E=Exterior’, ‘W=Window’, ‘SP=Solar Panel’의 1번 자재를 사용할 시 선정되는 대안은 ‘ $Alt_1^A = R_1 + E_1 + W_1 + SP_1$ ’으로 나타낼 수 있으며, 각 부위에 적용하는 자재별로 조합이 이루어진다. 이때 최적 대안 선정의 기준은 ① ‘단위 에너지소요량 대비 초기투자비(원/kWh)’, ② ‘초기투자비 대비 단위 에너지소요량(kWh/원)’, ③ ‘LCC(전생애주기비용)’ 총 3가지로 분류하였다. 분류 기준을 산정하기 위해서는 초기투자비(IC) 및 총 연간 에너지소요량(TEC) 산정이 필수적이며 다음과 같다.

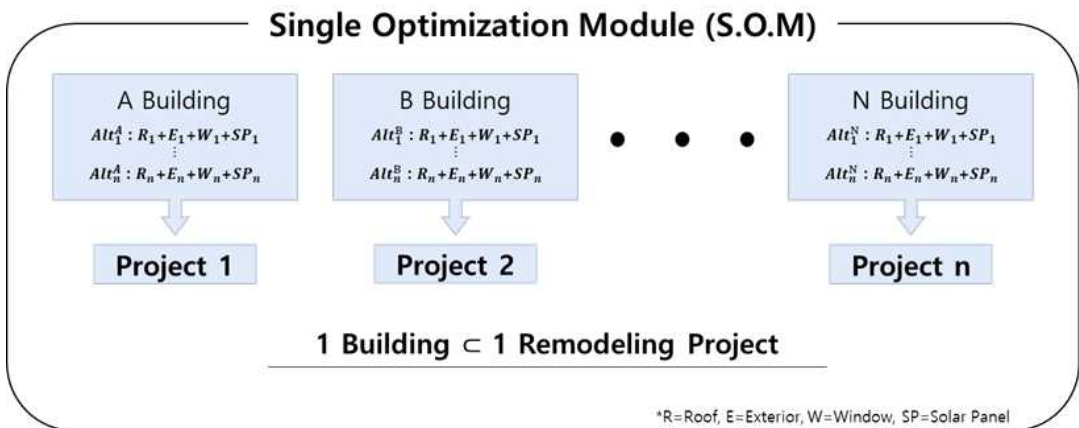


그림 3-3 Single Optimization Module 개념도

앞서 식(3-10)의 총 연간 에너지소요량(TEC)과 식(3-11), 식(3-12)의 초기투자비를 활용하여, ‘연간 발생한 에너지소요량 대비 투입된 초기투자비’를 아래 식(3-20)과 같이 산출할 수 있다. 이는 리모델링 대안 적용 후 1kWh의 에너지소요량이 발생할 때의 단위 초기투자비를 나타내며, 각 대안별 연간 에너지소요량을 기준으로 적용된 대안의 초기투자비가 가장 최적인 대안을 확인할 수 있다.

$$IC/TEC^i = \text{단위 에너지소요량 대비 초기투자비} \quad \text{식(3-20)}$$

IC : 초기투자비 (Construction Cost)[W],
 TEC^i : 총 연간 에너지소요량(Total Energy Consumption)[kWh/year]

또한 투입된 ‘초기투자비 대비 연간 에너지소요량’은 식(3-21)를 통해 나타낼 수 있다. 해당 값을 통해 각 대안별로 투입된 초기투자비를 기준으로 연간 발생하는 에너지소요량이 가장 최적인 대안을 확인할 수 있다.

$$TEC^i/IC = \text{단위 초기투자비 대비 에너지소요량} \quad \text{식(3-21)}$$

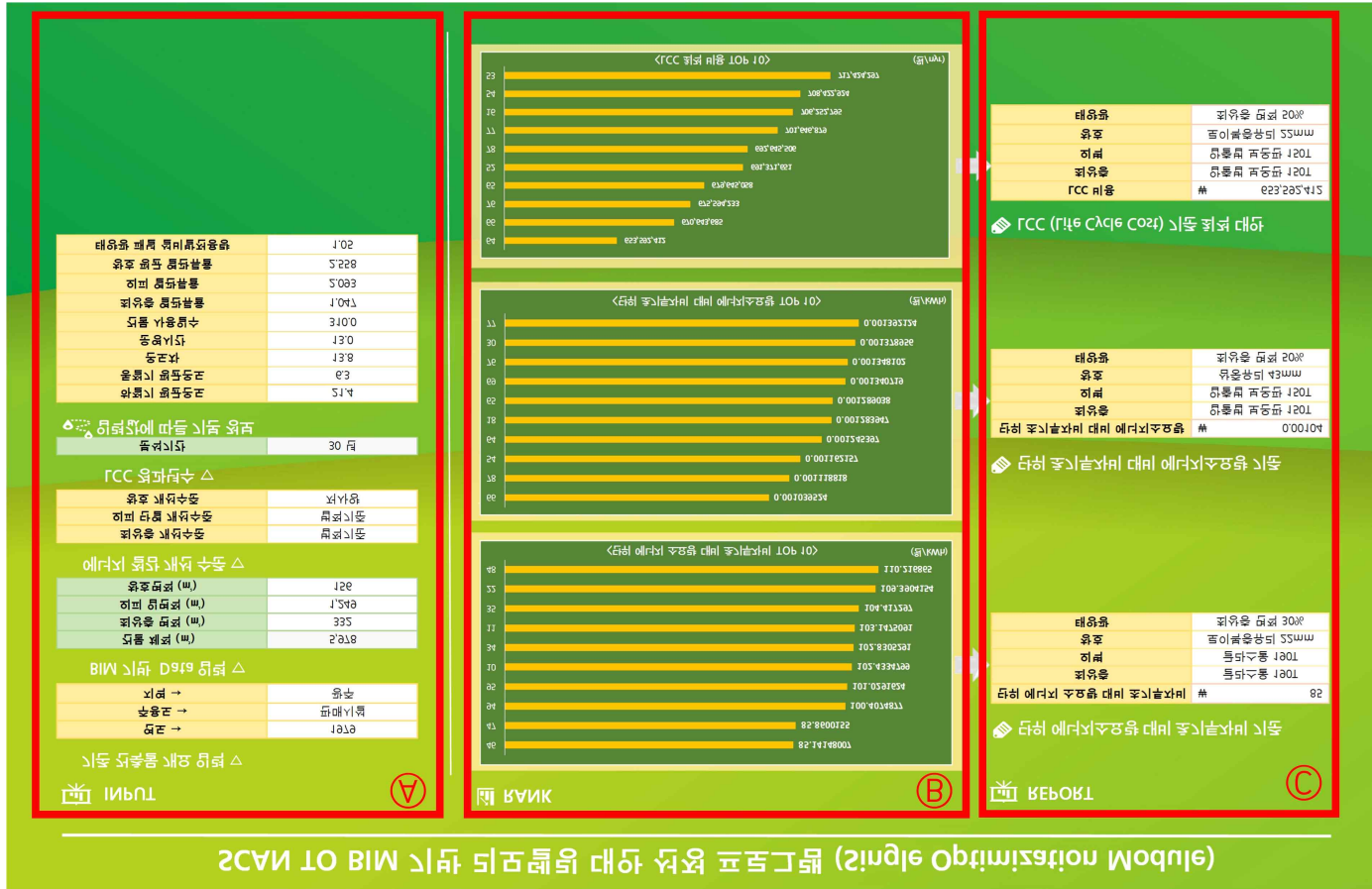
IC : 초기투자비 (Construction Cost)[W],
 TEC^i : 총 연간 에너지소요량(Total Energy Consumption)[kWh/year]

마지막으로 ‘LCC(Life Cycle Cost, 전 생애주기비용)를 통한 최적 대안’은 다음 방식과 같다. 앞서 산출한 ①초기투자비(식(3-11), 식(3-12))와 투입된 자재들의 수선을 및 교체율을 고려하여 사용자가 설정한 분석기간 동안의 ②유지비용(식(3-16)) 및 교체비용(식(3-17))을 현재가치로 환산하여 산출하고 합산한다. 이때 실질이자율은 식(3-18)을 통해 산출된다. 그리고 분석기간 동안 총 연간 에너지소요량에 따라 발생하는 ③운영비용(전력요금)을 식(3-13)을 통해 산출하고 합산한다. 즉, LCC 비용은 (①+②+③)을 합산한 값이며, 식(3-13)과 식(3-19)의 합과 같고 다음 식(3-22)과 같이 나타낸다.

$$LCC = IC + OC + MC + RC \quad \text{식(3-22)}$$

LCC: 전생애주기비용 (Life Cycle Cost)[W],
IC: 초기투자비용 (Initial Cost)[W],
OC: 운영비용(Operation Cost)[W],
MC: 유지비용 (Maintenance Cost)[W],
RC: 교체비용 (Replacement Cost)[W]

또한 <그림3-4>에서 Single Optimization Module (S.O.M)의 3가지 기준에 따라 선별된 Scan to BIM 기반 리모델링 대안을 확인할 수 있다. 먼저 <그림3-4의 ‘A’>는 건축물대장에서 얻을 수 있는 기존 건축물 개요와 BIM 기반 Data, 에너지 절감 개선 수준 및 LCC 경과년수를 직접 설정할 수 있는 입력 영역이며, 각 입력값에 따른 기본 정보를 확인할 수 있다. <그림3-4의 ‘B’>는 사용자가 설정한 값을 반영하여 각 기준별 리모델링 최적 대안 10가지를 나타낸 가시화 영역이다. <그림3-4의 ‘C’>은 각 기준별 가장 최적의 리모델링 대안의 부위별 재료를 보여주는 영역이다.



2CAH TO BIM 시뮬레이션 결과 요약 프로그램 (Simulation Output to BIM)

그림 3-4 S.O.M 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 메인 시트

이러한 Single Optimization Module (S.O.M)와 비교하여 Multiple Optimization Module (M.O.M)은 에너지 절감형 스마트시티와 같은 군집 건물 단위의 에너지 절감형 리모델링 대안을 선정하기 위해, 복수의 리모델링 예정 건축물을 단일 프로젝트로 통합하는 복합적인 경우에 사용하는 방식이다. <그림3-5>를 통해 Multiple Optimization Module (M.O.M)의 개념도를 확인할 수 있다.

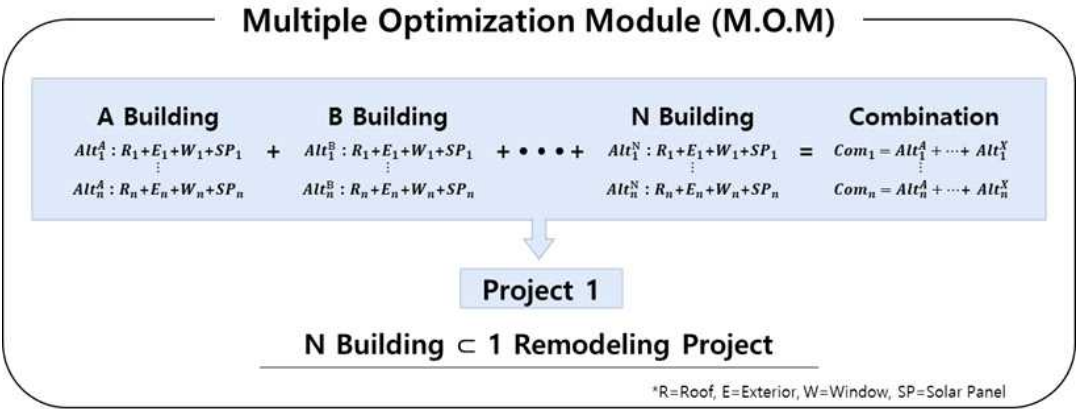


그림 3-5 Multiple Optimization Module 개념도

이러한 Multiple Optimization Module(M.O.M)은 단순히 각 건물에 적용되는 단열재에 따라 대안이 정해지는 Single Optimization Module(S.O.M)과 다르게 건물별 리모델링 대안을 나열하고 다시 건물별로 선정된 대안끼리 조합을 진행해야 하므로 수식이 복잡해지고 산정되는 대안의 경우의 수가 급격하게 증가한다. 그럼에도 Multiple Optimization Module(M.O.M)을 통한 리모델링 대안 조합은 S.O.M을 적용하였을 때 산출되는 대안보다 합리적인 대안이 산출될 수 있다. 예를 들어 단위 에너지소요량 대비 초기투자비 기준의 최적 대안은 리모델링 후 건축물을 단기간 내에 매도하여 초기투자비 이상의 이윤을 빠르게 회수하고자 하는 사용자를 위한 기준일 수 있으며, 단위 초기투자비 대비 에너지소요량 기준의 최적 대안은 리모델링 후 직접 건물을 장기간 운용하며 연간 발생하는 에너지소요량을 최적으로 하는 공공기관 건물로 활용하기 위한 기준일 수 있다. 그렇기에 Multiple Optimization Module(M.O.M)은 사용자의 요구에 맞는 대안을 더 넓은 범위에서 세부적으로 선정해 줄 수 있다.

제 4장 사례 적용

4.1. 사례 적용 대상

단일 건물 기준 리모델링 최적 대안 선정 결과와 복수의 건물 기준 리모델링 최적 대안 선정 결과를 비교하기 위해 사례 적용을 진행하였다. 대상 건축물은 광주광역시 동구 소재 근린생활 시설, 유통·공급시설, 교육시설로 3곳을 선정하였고 다음과 같다 <표4-1>.

표 4-1 적용 대상 건축물 개요

	Case 1	Case 2	Case 3
명칭	ooo사업본부 관리동	oo은행 대인동 지점	oo고 체육관
소재지	광주광역시	광주광역시	광주광역시
준공시기	1974.07.10	1977.10.05	1984
용도	유통·공급시설	근린생활시설	제1종 지구 단위 계획구역
구조	연와조, 철근콘크리트구조	철근콘크리트구조	연와조, 철근콘크리트구조
건축면적	376㎡	318.38 ㎡	1252.99 ㎡
연면적	752㎡	998.98 ㎡	3357.61 ㎡
건물높이	9.9 m	14.6 m	14.8 m
규모	지상 2층	지하 1층 ~ 지상 4층	지하 1층 ~ 지상 4층

각 건축물은 ‘에너지 절감을 위해 그린 리모델링을 진행한다.’는 전제하에 대안 선정 모듈을 적용하도록 하였다. 각 사례들은 Scan to BIM 과정을 통해 획득한 Point Cloud Data(PCD)를 기반으로 도면을 생성하고 BIM 모델을 구축하였다.

4.2. 데이터 획득 및 BIM 모델링

앞 장에서 언급한 대상 건축물들의 리모델링 대안을 생성하는 데 필요한 BIM 기반 데이터를 추출하기 위해 3D Scanner, Drone, GNSS 등 다양한 장비를 활용하여 각 건축물의 기지점 및 PCD(Point Cloud Data)를 취득하였다. 이때 Trimble 사의 X7 Scanner와 DJI의 Mavic 2 Enterprise Drone을 활용하였다. X7 장비를 활용하여 건축물의 내·외부 동선을 따라 지상에서의 PCD(Point Cloud Data)를 취득하였고 고층 건물의 옥상이나 지붕층 또는 스캐너로 측정이 불가하거나, 위험한 위치의 PCD(Point Cloud Data)는 Drone을 활용하여 이미지 데이터를 취득하였다 <그림 4-1>, <그림4-2>.



그림 4-1 Trimble사의 X7과 태블릿
(빌딩포인트, 2023)



그림 4-2 DJI사의 Mavic 2 드론
(DJI, 2023)

건물별 데이터 취득 시간은 ‘Case 1’의 경우, 기지점 및 드론 기반 데이터를 취득하는데 20분 정도 소요되었으며, 3D Scanner를 통한 내·외부 스캔 데이터는 2일에 걸쳐 총 9시간 소요되었다. 또한 지상 4층 지하 1층 규모의 ‘Case 2’의 경우 3D Scanner를 통한 내·외부 스캔 데이터는 17시간 소요되었으며, 기지점 및 드론 데이터 취득 소요 시간은 30분 소요되었다. 지상 4층 규모의 ‘Case 3’은 3D Scanner를 통한 내·외부 스캔 데이터를 취득하는 데 16시간가량 소요되었으며, 기지점 및 드론 데이터 취득 소요 시간은 40분으로 가장 많이 소요되었다. 데이터 취득 시간은 촬영 대상 건물의 규모 및 사용자의 숙련도에 따라 상이할 수 있으며 자세한 데이터 취득 소요 시간 및 대상 건축물 별 PCD(Point Cloud Data)는 다음과 같다 <표4-2>.

표 4-2 적용 대상 건축물 별 데이터 취득 소요 시간 및 PCD

	데이터 취득 소요 시간		Point Cloud Data (PCD)
	기지점 및 드론	내·외부 스캔	
Case 1	20 m	9 h	
Case 2	30 m	17 h	
Case 3	40 m	16 h	

다음으로 스캐너를 통해 획득한 PCD(Point Cloud Data)를 기반으로 하여 BIM 모델링을 진행하기 위해 대상 건축물 별 PCD(Point Cloud Data)를 각 층 1.5m 부근에서 단면 처리한다. 단면 처리된 파일을 추출하여 2D 도면으로 작성하였고, <그림4-3>, <그림4-4> 및 <그림4-5>을 통해 나타냈다. 다중 건물 리모델링 대안 선정 대시보드의 적용 범위는 앞서 언급한 것과 같이 패시브 기술요소 중 하나인 외단열 개선을 기반으로 하였으며, BIM 모델링 시 내부 시설물은 제외하고 외기에 면하는 벽과 창호로 한정하여 구축했다. 이때 각 사례의 건축물 규모 및 기반이 되는 2D 도면의 양에 따라 4시간에서 6시간 정도 모델링 도면 제작 소요 시간이 차이가 났다 <표4-3>.

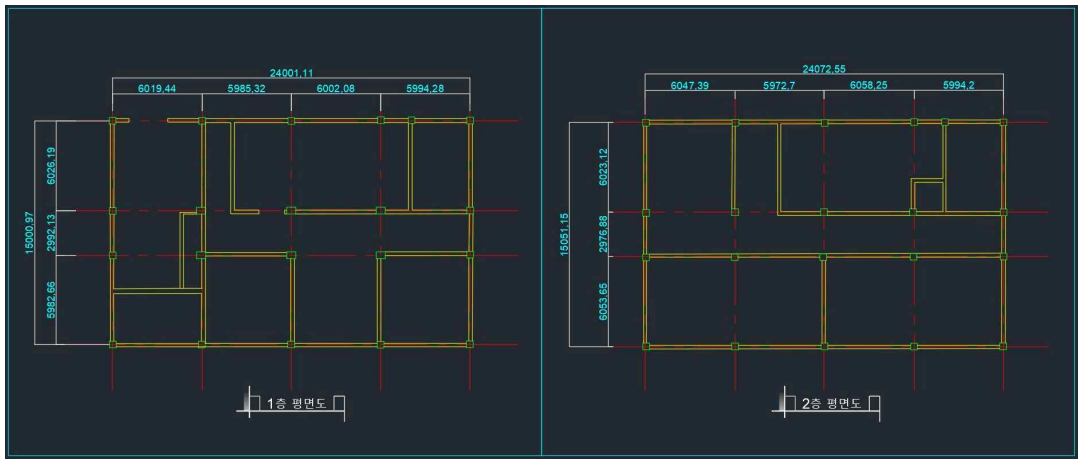


그림 4-3 ‘Case 1’ 건축물의 PCD 기반 2D 제작 도면

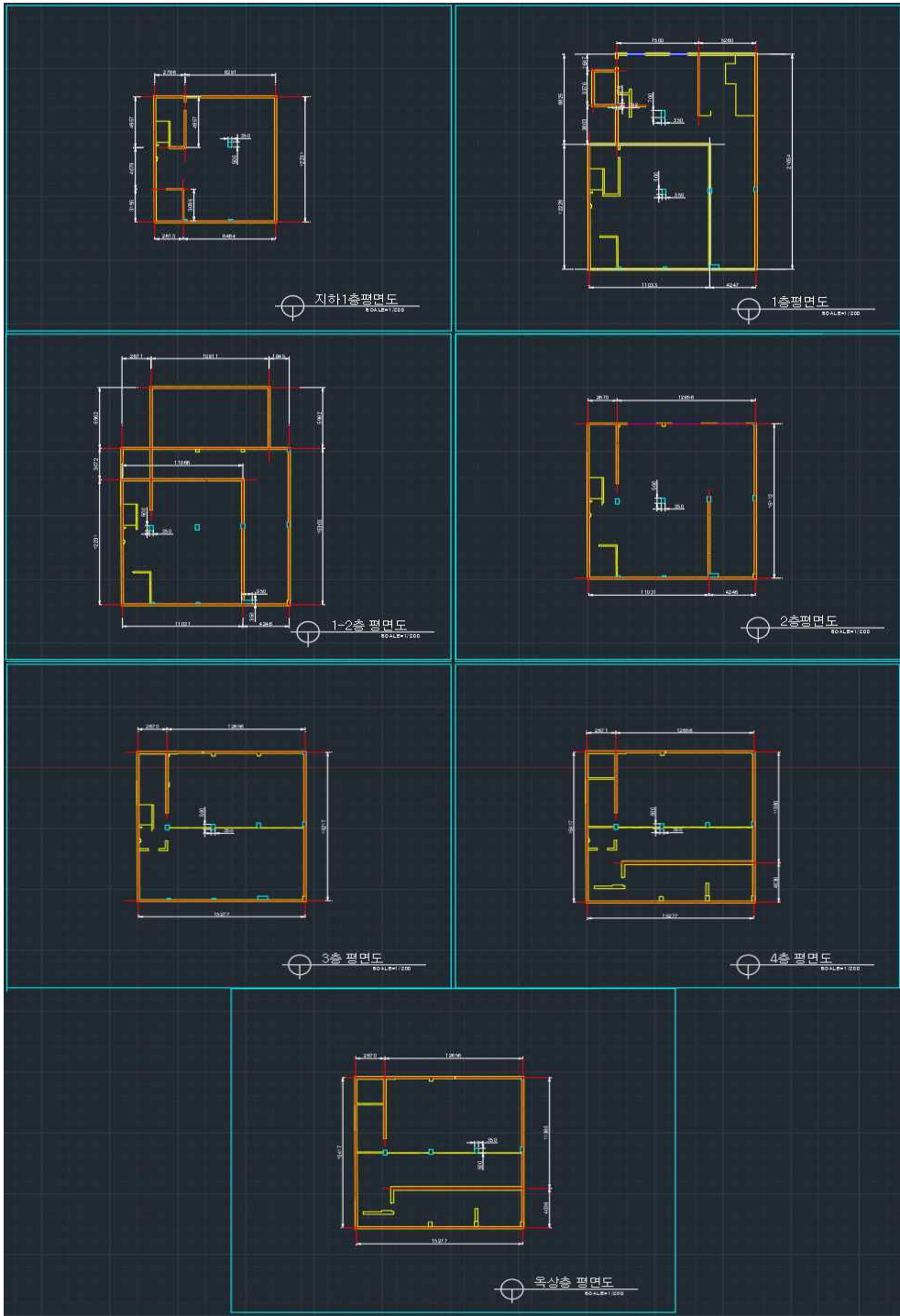


그림 4-4 'Case 2' 건축물의 PCD 기반 2D 제작 도면

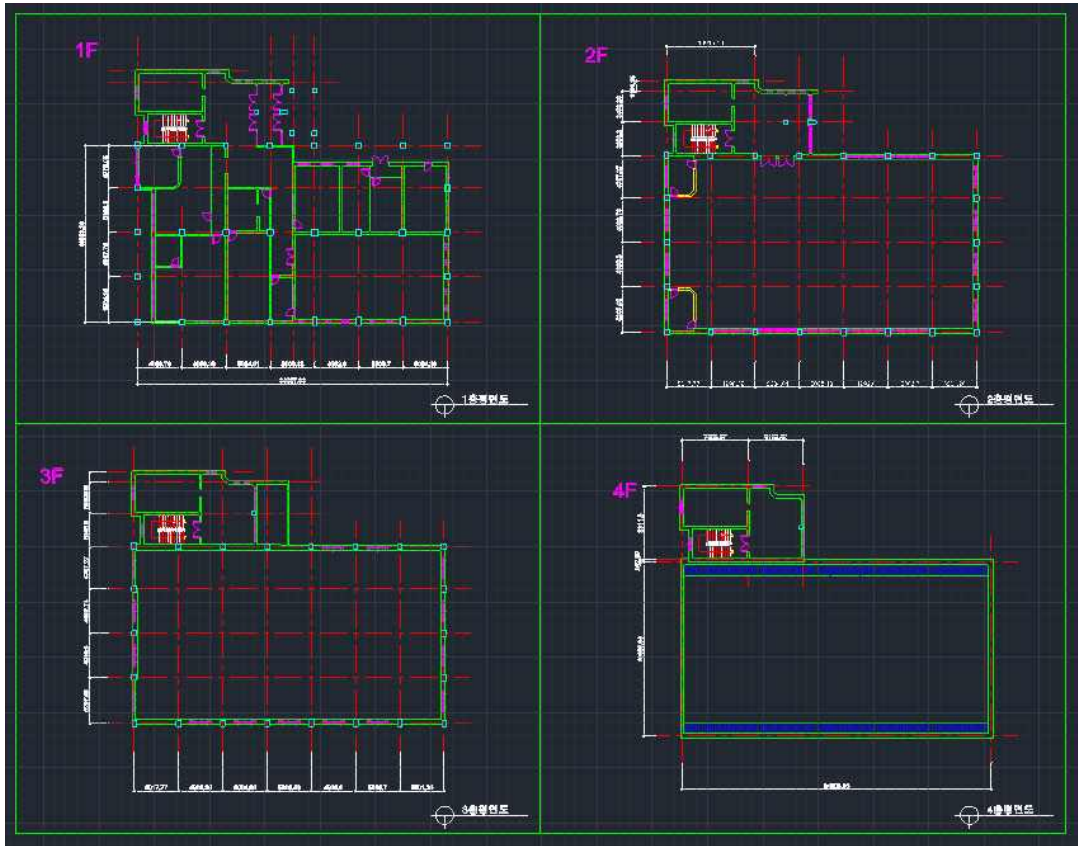

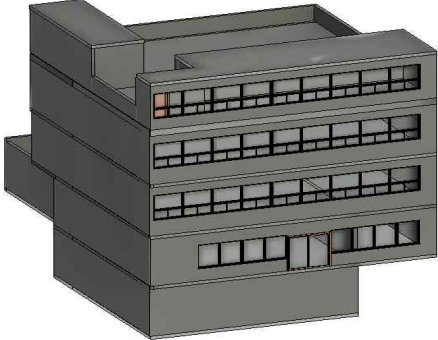
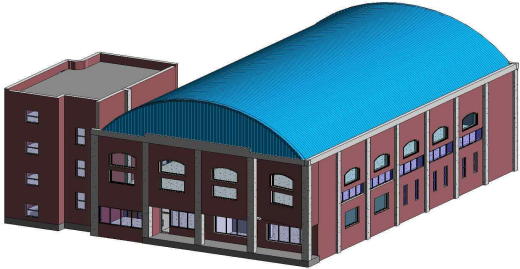


그림 4-5 'Case 3' 건축물의 PCD 기반 2D 제작 도면

표 4-3 적용 대상 건축물 별 도면 제작 시간 및 BIM

	도면제작 소요 시간	Building Information Modeling (BIM)
Case 1	2 h	
Case 2	6 h	
Case 3	8 h	

4.3. 개발 기술의 정확도 분석

본 절은 앞서 연구에 적용한 Scan to BIM 기반 데이터의 정확도를 파악하고, 취득한 정보의 리모델링 대안 선정 시 활용 가능성을 확인한다. 세 곳의 대상 건축물 중 ‘Case 1’ 인 상하수도 관련 사업본부를 분석대상으로 하였다 <그림4-6>.



그림 4-6 대상 건물 전면 사진

Scan to BIM 과정을 통해 제작한 도면의 정확도를 분석하기 위해 대상 건축물의 기존 도면과 PCD(Point Cloud Data) 기반 데이터값을 비교 분석하였다. PCD(Point Cloud Data) 기반 데이터값의 경우, 수많은 점구름 형상을 사용자의 판단을 기준으로 하여 2D 도면으로 제도화하기 때문에 스캔 외부 환경, 마감재 유무 및 요철 등에 의해 제작 데이터의 값이 다양하게 나타날 수 있다.

그러나 점구름 밀집도가 높은 형상을 기준으로 작성하기 때문에 기존 도면과 비교하면 그 오차가 적다. 본 연구 대상 건물의 경우, PCD(Point Cloud Data) 기반 도면과 비교했을 때 구조변경으로 인해 발생한 오차 이외 대부분의 오차율이 0.41%~5.2% 사이로 나타났다. 상세 오차 비교는 아래 <그림4-7>, <그림4-8>과 <표 4-4>를 통해 확인할 수 있다. 따라서 PCD(Point Cloud Data) 기반의 역설계 도면의 정확도를 확보하였으며, 리모델링 대안 선정 시 필요한 요구 데이터를 취득할 수 있다.

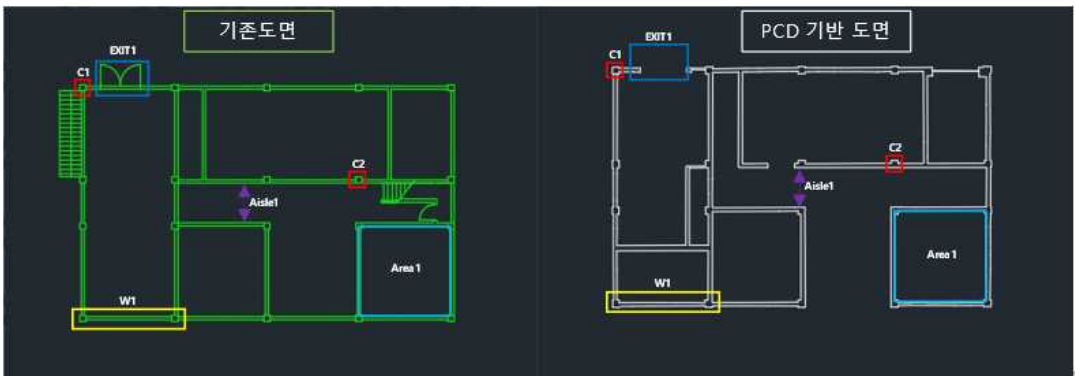


그림 4-7 대상 건물 기존 도면과 PCD 기반 도면 비교

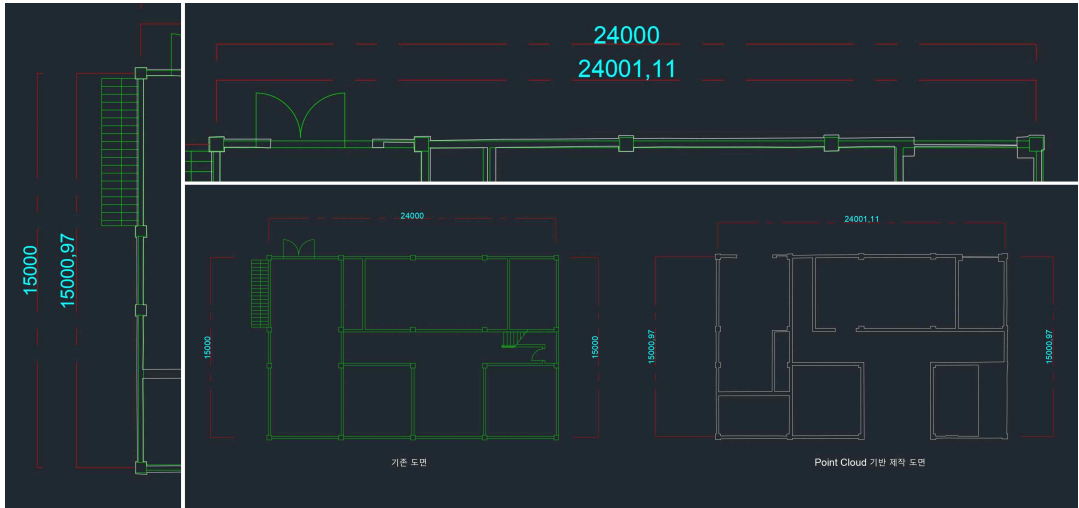


그림 4-8 기존 도면과 PCD 기반 도면 중 · 횡 길이 비교

표 4-4 대상 건물의 기존 도면과 PCD 기반 도면 오차 비교 (단위: mm)

구분	기존 도면(A)	PCD 기반 도면(B)	오차(A-B)	백분율 오차 [(A-B)/A]*100
C ₁	400*400	408.31*403.63	4,806 mm ²	3%
C ₂	450*600	466*605	11,930 mm ²	4.42%
W ₁	200	210.57	10.57 mm	5.285%
Asile ₁	2,600	2,585.19	14.81 mm	0.569%
Area ₁	5,900*5,900	5,909.48*5,914.73	142,978.64 mm ²	0.41%
Exit ₁	2,600*2,400	2,625*2,415	99,375 mm ²	1.59%
1F	24,000*15,000	24,001.11*15,000.97	39,931.08 mm ²	0.9%
2F	24,000*15,000	24,072.55*15,053.65	2,379,742.308 mm ²	0.6%

4.4. 단일 건물 최적 대안과 다중 건물 최적 대안 비교분석

4.4.1 단일 건물 최적 리모델링 대안 선정

앞서 4.2장에서 구축된 ‘Case 1’ BIM 모델의 부재 및 재료별 구분을 일람표를 통해 확인할 수 있다 <표4-5> 및 <표4-6>. 이때 일람표에 나타나는 결과값을 층별 혹은 유형 및 규격에 따라 재료 구분을 해야 하며, 창 일람표의 경우 설치 면적이 따로 나타나지 않기 때문에 데이터를 EXCEL로 변환하여 일람표 상의 ‘높이’와 ‘폭’ 값을 곱하여 면적을 산출하는 과정을 진행해야 한다. ‘Case 2’와 ‘Case 3’의 경우에도 동일한 방식을 진행하여 면적 및 체적을 산출하였으며, <표4-7>를 통해 산출값을 정리하였다.

표 4-5 ‘Case 1’의 BIM 모델링 기반 벽 일람표

BIM 물량표					Excel 변환																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5"><벽 일람표></th> </tr> <tr> <th>유형</th> <th>면적</th> <th>체적</th> <th>높이</th> <th>폭</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>58 m²</td> <td>11.51 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>78 m²</td> <td>15.61 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>51 m²</td> <td>10.18 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>69 m²</td> <td>13.71 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>49 m²</td> <td>9.79 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>61 m²</td> <td>12.23 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>47 m²</td> <td>9.31 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽</td> <td>60 m²</td> <td>12.08 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td></td> <td>472 m²</td> <td>94.43 m³</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					<벽 일람표>					유형	면적	체적	높이	폭	외벽 - 스틸 스테드 벽	58 m ²	11.51 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽	78 m ²	15.61 m ³	24200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽	51 m ²	10.18 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽	69 m ²	13.71 m ³	24200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽	49 m ²	9.79 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽	61 m ²	12.23 m ³	24200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽	47 m ²	9.31 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽	60 m ²	12.08 m ³	24200	기본 벽		472 m ²	94.43 m ³			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">벽 일람표</th> </tr> <tr> <th>유형</th> <th>면적</th> <th>체적</th> <th>길이</th> <th>패밀리</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>58 m²</td> <td>11.51 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>78 m²</td> <td>15.61 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>51 m²</td> <td>10.18 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>69 m²</td> <td>13.71 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>49 m²</td> <td>9.79 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>61 m²</td> <td>12.23 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>47 m²</td> <td>9.31 m³</td> <td>15200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td>외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200</td> <td>60 m²</td> <td>12.08 m³</td> <td>24200</td> <td>기본 벽</td> </tr> <tr> <td></td> <td>472 m²</td> <td>94.43 m³</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					벽 일람표					유형	면적	체적	길이	패밀리	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	58 m ²	11.51 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	78 m ²	15.61 m ³	24200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	51 m ²	10.18 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	69 m ²	13.71 m ³	24200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	49 m ²	9.79 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	61 m ²	12.23 m ³	24200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	47 m ²	9.31 m ³	15200	기본 벽	외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	60 m ²	12.08 m ³	24200	기본 벽		472 m ²	94.43 m ³		
<벽 일람표>																																																																																																																							
유형	면적	체적	높이	폭																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	58 m ²	11.51 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	78 m ²	15.61 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	51 m ²	10.18 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	69 m ²	13.71 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	49 m ²	9.79 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	61 m ²	12.23 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	47 m ²	9.31 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽	60 m ²	12.08 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
	472 m ²	94.43 m ³																																																																																																																					
벽 일람표																																																																																																																							
유형	면적	체적	길이	패밀리																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	58 m ²	11.51 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	78 m ²	15.61 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	51 m ²	10.18 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	69 m ²	13.71 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	49 m ²	9.79 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	61 m ²	12.23 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	47 m ²	9.31 m ³	15200	기본 벽																																																																																																																			
외벽 - 스틸 스테드 벽돌벽_THK200	60 m ²	12.08 m ³	24200	기본 벽																																																																																																																			
	472 m ²	94.43 m ³																																																																																																																					

표 4-6 'Case 1'의 BIM 모델링 기반 창호 일람표

BIM 물량표				Excel 변환																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
<p>특성 > 창 일람표</p> <p>일람표/수량 수정 새로 작성 삭제</p> <p>특성 > 창 일람표 > 창 일람표</p> <p>일람표: 창 일람표 유형 편집</p> <p>ID 데이터</p> <p>부 템플릿 < 없음 ></p> <p>부 이름 창 일람표</p> <p>의존성 독립적</p> <p>공정</p> <p>공정 필터 모두 표시</p> <p>공정 신축</p> <p>IFC 매개변수</p> <p>IFC로 내보내기 유형별</p> <p>기타</p> <p>필드 편집...</p> <p>필드 편집...</p> <p>정렬/그룹화 편집...</p> <p>형식 편집...</p> <p>모양 편집...</p> <p>특성 도움말</p> <p>프로젝트 탐색기 - modeling.rvt</p> <ul style="list-style-type: none"> 0. 뷰 (전체) <ul style="list-style-type: none"> 구조 평면 (구조 평면도) <ul style="list-style-type: none"> 평면 <ul style="list-style-type: none"> 1F <ul style="list-style-type: none"> PH 배치도 천장 평면도 3D 뷰 <ul style="list-style-type: none"> (3D) <ul style="list-style-type: none"> 인면도 (건물 인면도) <ul style="list-style-type: none"> 남측면도 동측면도 북측면도 서측면도 범례 <ul style="list-style-type: none"> 일람표/수량 (전체) <ul style="list-style-type: none"> 문 일람표 벽 일람표 창 일람표 시트 (전체) <ul style="list-style-type: none"> 패밀리 그룹 Revit 링크 				<p>자동 저장 장 일람표 상수</p> <p>파일 홈 삽입 페이지 레이아웃 수식 데이터</p> <p>맑은 고딕 11 가 가</p> <p>가 가 가 가 가 가 가 가</p> <p>클립보드 글꼴</p> <p>K87</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>창 일람표</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>유형</td><td>특</td><td>높이</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>850 x 1000</td><td>850</td><td>1000</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>850 x 1000</td><td>850</td><td>1000</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>850 x 1000</td><td>2550</td><td>3000</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>850 x 1200</td><td>900</td><td>1200</td><td></td><td></td><td>2.65</td></tr> <tr><td>8</td><td>900 x 1200</td><td>900</td><td>1200</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>900 x 1200</td><td>900</td><td>1200</td><td></td><td>1</td><td>1.08</td></tr> <tr><td>10</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>31</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>32</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>33</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>34</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>35</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>37</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>38</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>39</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>41</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>42</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>43</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>44</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>46</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>47</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>48</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>49</td><td>900 x 1800</td><td>900</td><td>1800</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>900 x 1800</td><td>36000</td><td>72000</td><td></td><td>40</td><td>64.8</td></tr> <tr><td>51</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>52</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>53</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>54</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>55</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>56</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>57</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>58</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>59</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>60</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>61</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>62</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>63</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>64</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>65</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>66</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>67</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>68</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>69</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>70</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>71</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>72</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>73</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>74</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>75</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>76</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>77</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>78</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>79</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>80</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>81</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>82</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>900</td><td>2400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>83</td><td>900 x 2400 mm^2</td><td>28800</td><td>76800</td><td></td><td>32</td><td>69.12</td></tr> <tr><td>84</td><td>1700 x 1000</td><td>1700</td><td>1000</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>85</td><td>1700 x 1000</td><td>1700</td><td>1000</td><td></td><td>1</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>86</td><td>1720 x 1000</td><td>1700</td><td>1000</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>87</td><td>1720 x 1000</td><td>1720</td><td>1000</td><td></td><td>1</td><td>1.72</td></tr> <tr><td>88</td><td></td><td>71670</td><td>155000</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>89</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>90</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>91</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>창호 재료별 전체면적</p> <p>창호 전체 면적</p>								A	B	C	D	E	F	1	창 일람표						2	유형	특	높이				3							4	850 x 1000	850	1000				5	850 x 1000	850	1000				6	850 x 1000	2550	3000				7	850 x 1200	900	1200			2.65	8	900 x 1200	900	1200				9	900 x 1200	900	1200		1	1.08	10	900 x 1800	900	1800				11	900 x 1800	900	1800				12	900 x 1800	900	1800				13	900 x 1800	900	1800				14	900 x 1800	900	1800				15	900 x 1800	900	1800				16	900 x 1800	900	1800				17	900 x 1800	900	1800				18	900 x 1800	900	1800				19	900 x 1800	900	1800				20	900 x 1800	900	1800				21	900 x 1800	900	1800				22	900 x 1800	900	1800				23	900 x 1800	900	1800				24	900 x 1800	900	1800				25	900 x 1800	900	1800				26	900 x 1800	900	1800				27	900 x 1800	900	1800				28	900 x 1800	900	1800				29	900 x 1800	900	1800				30	900 x 1800	900	1800				31	900 x 1800	900	1800				32	900 x 1800	900	1800				33	900 x 1800	900	1800				34	900 x 1800	900	1800				35	900 x 1800	900	1800				36	900 x 1800	900	1800				37	900 x 1800	900	1800				38	900 x 1800	900	1800				39	900 x 1800	900	1800				40	900 x 1800	900	1800				41	900 x 1800	900	1800				42	900 x 1800	900	1800				43	900 x 1800	900	1800				44	900 x 1800	900	1800				45	900 x 1800	900	1800				46	900 x 1800	900	1800				47	900 x 1800	900	1800				48	900 x 1800	900	1800				49	900 x 1800	900	1800				50	900 x 1800	36000	72000		40	64.8	51	900 x 2400 mm^2	900	2400				52	900 x 2400 mm^2	900	2400				53	900 x 2400 mm^2	900	2400				54	900 x 2400 mm^2	900	2400				55	900 x 2400 mm^2	900	2400				56	900 x 2400 mm^2	900	2400				57	900 x 2400 mm^2	900	2400				58	900 x 2400 mm^2	900	2400				59	900 x 2400 mm^2	900	2400				60	900 x 2400 mm^2	900	2400				61	900 x 2400 mm^2	900	2400				62	900 x 2400 mm^2	900	2400				63	900 x 2400 mm^2	900	2400				64	900 x 2400 mm^2	900	2400				65	900 x 2400 mm^2	900	2400				66	900 x 2400 mm^2	900	2400				67	900 x 2400 mm^2	900	2400				68	900 x 2400 mm^2	900	2400				69	900 x 2400 mm^2	900	2400				70	900 x 2400 mm^2	900	2400				71	900 x 2400 mm^2	900	2400				72	900 x 2400 mm^2	900	2400				73	900 x 2400 mm^2	900	2400				74	900 x 2400 mm^2	900	2400				75	900 x 2400 mm^2	900	2400				76	900 x 2400 mm^2	900	2400				77	900 x 2400 mm^2	900	2400				78	900 x 2400 mm^2	900	2400				79	900 x 2400 mm^2	900	2400				80	900 x 2400 mm^2	900	2400				81	900 x 2400 mm^2	900	2400				82	900 x 2400 mm^2	900	2400				83	900 x 2400 mm^2	28800	76800		32	69.12	84	1700 x 1000	1700	1000				85	1700 x 1000	1700	1000		1	1.7	86	1720 x 1000	1700	1000				87	1720 x 1000	1720	1000		1	1.72	88		71670	155000				89							90							91						
	A	B	C	D	E	F																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1	창 일람표																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2	유형	특	높이																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4	850 x 1000	850	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5	850 x 1000	850	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
6	850 x 1000	2550	3000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
7	850 x 1200	900	1200			2.65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
8	900 x 1200	900	1200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
9	900 x 1200	900	1200		1	1.08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
10	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
11	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
12	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
13	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
14	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
15	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
16	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
17	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
18	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
19	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
20	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
21	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
22	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
23	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
24	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
25	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
26	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
27	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
28	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
29	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
30	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
31	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
32	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
33	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
34	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
35	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
36	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
37	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
38	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
39	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
40	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
41	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
42	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
43	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
44	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
45	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
46	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
47	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
48	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
49	900 x 1800	900	1800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
50	900 x 1800	36000	72000		40	64.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
51	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
52	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
53	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
54	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
55	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
56	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
57	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
58	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
59	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
60	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
61	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
62	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
63	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
64	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
65	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
66	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
67	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
68	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
69	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
70	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
71	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
72	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
73	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
74	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
75	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
76	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
77	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
78	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
79	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
80	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
81	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
82	900 x 2400 mm^2	900	2400																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
83	900 x 2400 mm^2	28800	76800		32	69.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
84	1700 x 1000	1700	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
85	1700 x 1000	1700	1000		1	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
86	1720 x 1000	1700	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
87	1720 x 1000	1720	1000		1	1.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
88		71670	155000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

표 4-7 각 사례별 BIM 모델링 기반 물량 산출값

	Case 1	Case 2	Case 3
건물 체적 (m ³)	3,722	4,648	18,544
최상층 면적 (m ²)	375.8	237	824
외피 입면적 (m ²)	472	1,030	1,190
창호 면적 (m ²)	140.97	116.18	230

<표4-7>과 3장의 식(3-4)~식(3-22)을 통해 초기투자비(IC), 총 연간 에너지소요량(TEC) 및 LCC 비용을 산정하고, <그림3-3>과 같이 각 기준에 따른 건물별 최적의 에너지 절감형 리모델링 대안 선정을 진행했다.

먼저 ‘Case 1~3’의 모든 건축물은 단열 관련 규정이 시행된 1979년 이전에 준공되었던 건축물로 실제 준공일을 기준으로 단열기준을 산정할 수 없어 1979년도의 열관류율 법적 기준을 활용하였으며, 각각 최상층: 1.047, 외피: 2.093, 창호: 2.558이 산출되었다.

‘Case 1’과 ‘Case 2’의 경우 ‘업무시설’로 주 용도를 입력하였으며, 이때 하루 운영시간은 9시간이며 건물 사용일수는 282일로 산출하였다. ‘Case 3’은 ‘교육시설2’로 주 용도를 입력하였으며, 이때 하루 운영시간은 13시간이며 건물 사용일수는 282일로 산출하였다.

또한 ‘Case 1~3’ 모두 광주광역시 소재 건물이기에 지역을 ‘광주’로 설정하였고 그에 따른 하절기 및 동절기 평균온도는 각각 ‘21.4℃’와 ‘6.3℃’이며 온도차는 ‘13.8℃’이다. 각 사례별 건축물 기본 정보 상세는 <표4-8>를 통해 확인할 수 있다.

그리고 LCC 분석을 위한 기간을 ‘30년’으로 산정하였으며, 해당 기간과 에너지 절감 개선 수준은 사용자에게 의해 선택 가능한 사항이다. 이에 해당 연구에서는 ‘최상층 단열기준: 법적 기준’, ‘외벽 단열기준: 법적 기준’, ‘창호 기준: 저사양’ 수준으로 설정하여 진행했다.

표 4-8 'Case 1~3'의 건축물 기본 정보

Case 1		Case 2		Case 3	
INPUT		INPUT		INPUT	
기존 건축물 개요 입력 ▾		기존 건축물 개요 입력 ▾		기존 건축물 개요 입력 ▾	
연도 →	1979	연도 →	1979	연도 →	1979
주용도 →	업무시설	주용도 →	업무시설	주용도 →	교육시설 2
지역 →	광주	지역 →	광주	지역 →	광주
BIM 기반 Data 입력 ▾		BIM 기반 Data 입력 ▾		BIM 기반 Data 입력 ▾	
건물 체적 (m ³)	3,722	건물 체적 (m ³)	4,648	건물 체적 (m ³)	18,544
최상층 면적 (m ²)	375.8	최상층 면적 (m ²)	237	최상층 면적 (m ²)	824
외피 입면적 (m ²)	472	외피 입면적 (m ²)	1,030	외피 입면적 (m ²)	1,190
창호면적 (m ²)	141	창호면적 (m ²)	116	창호면적 (m ²)	230
에너지 절감 개선 수준 ▾		에너지 절감 개선 수준 ▾		에너지 절감 개선 수준 ▾	
최상층 개선수준	법적기준	최상층 개선수준	법적기준	최상층 개선수준	법적기준
외피 단열 개선수준	법적기준	외피 단열 개선수준	법적기준	외피 단열 개선수준	법적기준
창호 개선수준	저사양	창호 개선수준	저사양	창호 개선수준	저사양
LCC 경과년수 ▾		LCC 경과년수 ▾		LCC 경과년수 ▾	
분석기간	30년	분석기간	30년	분석기간	30년
입력값에 따른 기본 정보		입력값에 따른 기본 정보		입력값에 따른 기본 정보	
하절기 평균온도	21.4	하절기 평균온도	21.4	하절기 평균온도	21.4
동절기 평균온도	6.3	동절기 평균온도	6.3	동절기 평균온도	6.3
온도차	13.8	온도차	13.8	온도차	13.8
운영시간	9.0	운영시간	9.0	운영시간	13.0
건물 사용일수	282.0	건물 사용일수	282.0	건물 사용일수	282.0
최상층 열관류율	1.047	최상층 열관류율	1.047	최상층 열관류율	1.047
외피 열관류율	2.093	외피 열관류율	2.093	외피 열관류율	2.093
창호 평균 열관류율	2.558	창호 평균 열관류율	2.558	창호 평균 열관류율	2.558
태양광 패널 설비발전용량	1.05	태양광 패널 설비발전용량	1.05	태양광 패널 설비발전용량	1.05

이후 리모델링 대안을 부위별 적용 면적에 대한 단열재 설치비용과 에너지 생산을 위해 활용된 태양광 패널 설치비용을 합산하여 식(3-22)와 같이 초기투자비를 산정했으며, 이때 식(3-22)는 식(3-19)와 같은 식이며 각 사례에 적용한 대안에 맞춰 정리한 것이다.

Project 1' s Initial Costs 식(3-22)

$$= \sum_{m=a}^c (UC_{R-A_{P1}}^m \times IA_{P1}^R + UC_{E-A_{P1}}^m \times IA_{P1}^E + UC_{W-A_{P1}}^m \times IA_{P1}^W + UC_{SP-A_{P1}}^m \times SP_{P1})$$

$UC_{R-A_{P1}}^m$: 최상층 단열재 단위 설치비용[W/㎡], IA_{P1}^R : 최상층 설치 면적[㎡]

$UC_{E-A_{P1}}^m$: 외벽 단열재 단위 설치비용[W/㎡], IA_{P1}^E : 외벽 설치 면적[㎡]

$UC_{W-A_{P1}}^m$: 창호 단위 설치비용[W/㎡], IA_{P1}^W : 창호 설치 면적[㎡]

$UC_{SP-A_{P1}}^m$: 태양광 패널 설치 비용[W], SP_{P1} : 태양광 패널소요량[EA]

다음으로는 리모델링 적용 후 발생하는 총 연간 에너지소요량(TEC)을 산정하였다. 이때 총 연간 에너지소요량(TEC)은 에너지소요량(EC)과 에너지생산량(EP)을 합산하여 나타냈다 식(3-10). 먼저 에너지소요량(EC)은 앞서 언급한 식(3-4)~식(3-7)을 활용하여 최상층, 외피 창호 체적 열부하를 산정하고, 이를 합산하여 총 열부하량을 산출했다. 이후 앞선 <표3-3>을 기준으로 아래 <표4-9>과 같이 열용량에 대한 환산계수로 나타내고, 식(3-8)을 통해 에너지소요량(EC)을 산출했으며 아래 <그림4-9>와 같다.

표 4-9 에너지소요량 산출을 위한 환산계수 산정 (신영수, 2015)

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

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

열 부하 계산					환산계수										에너지 소요량 [kWh/year]	
최상층 열부하	외피 열부하	창호 열부하	채적 열부하	총 열부하량	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10		CF
7946.84	34586.50	17049.79	18576.34	78159.47	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250
7946.84	34586.50	17627.75	18576.34	78737.42	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250
7946.84	34586.50	16616.32	18576.34	77726.00	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250
7946.84	23057.67	17049.79	18576.34	66630.63	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
7946.84	23057.67	17627.75	18576.34	67208.59	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
7946.84	23057.67	16616.32	18576.34	66197.16	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
7946.84	29462.58	17049.79	18576.34	73035.54	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
7946.84	29462.58	17627.75	18576.34	73613.50	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.5	57,105.000
7946.84	29462.58	16616.32	18576.34	72602.07	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
7946.84	215717.30	17049.79	18576.34	259290.26	5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	78.375	198,915.750
7946.84	215717.30	17627.75	18576.34	259868.22	5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	78.375	198,915.750
7946.84	215717.30	16616.32	18576.34	258856.79	5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	78.375	198,915.750
5297.89	34586.50	17049.79	18576.34	75510.52	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	22.5	57,105.000
5297.89	34586.50	17627.75	18576.34	76088.48	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250
5297.89	34586.50	16616.32	18576.34	75077.05	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	22.5	57,105.000
5297.89	23057.67	17049.79	18576.34	63981.69	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
5297.89	23057.67	17627.75	18576.34	64559.64	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
5297.89	23057.67	16616.32	18576.34	63548.22	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
5297.89	29462.58	17049.79	18576.34	70386.59	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
5297.89	29462.58	17627.75	18576.34	70964.55	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
5297.89	29462.58	16616.32	18576.34	69953.12	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
5297.89	215717.30	17049.79	18576.34	256641.31	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	76.875	195,108.750
5297.89	215717.30	17627.75	18576.34	257219.27	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	77.25	196,060.500
5297.89	215717.30	16616.32	18576.34	256207.85	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	76.875	195,108.750
6769.53	34586.50	17049.79	18576.34	76982.16	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250
6769.53	34586.50	17627.75	18576.34	77560.12	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250
6769.53	34586.50	16616.32	18576.34	76548.69	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250
6769.53	23057.67	17049.79	18576.34	65453.32	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
6769.53	23057.67	17627.75	18576.34	66031.28	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
6769.53	23057.67	16616.32	18576.34	65019.85	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	20.25	51,394.500
6769.53	29462.58	17049.79	18576.34	71858.23	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
6769.53	29462.58	17627.75	18576.34	72436.19	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
6769.53	29462.58	16616.32	18576.34	71424.76	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	22.125	56,153.250
6769.53	215717.30	17049.79	18576.34	258112.95	5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	78.375	198,915.750
6769.53	215717.30	17627.75	18576.34	258690.91	5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	78.375	198,915.750
6769.53	215717.30	16616.32	18576.34	257679.48	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	77.25	196,060.500
49564.71	34586.50	17049.79	18576.34	119777.34	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	37.125	94,223.250
49564.71	34586.50	17627.75	18576.34	120355.30	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	37.125	94,223.250
49564.71	34586.50	16616.32	18576.34	119343.87	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	37.125	94,223.250
49564.71	23057.67	17049.79	18576.34	108248.51	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	33.375	84,705.750
49564.71	23057.67	17627.75	18576.34	108826.47	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	33.375	84,705.750
49564.71	23057.67	16616.32	18576.34	107815.04	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	32.25	81,850.500
49564.71	29462.58	17049.79	18576.34	114653.42	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	35.25	89,464.500
49564.71	29462.58	17627.75	18576.34	115231.38	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	35.25	89,464.500
49564.71	29462.58	16616.32	18576.34	114219.95	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	35.25	89,464.500
49564.71	215717.30	17049.79	18576.34	300908.14	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	228,420.000
49564.71	215717.30	17627.75	18576.34	301486.10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	91.125	231,275.250
49564.71	215717.30	16616.32	18576.34	300474.67	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	228,420.000
7946.84	34586.50	17049.79	18576.34	78159.47	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	23.625	59,960.250


그림 4-9 에너지소요량 산출과정 정리

에너지생산량(EP)은 태양광 패널을 통해 생산되는 에너지를 나타낸 것으로 앞선 식(3-9)과 같이 설비 발전용량과 <건축법 시행령 제3조의 5, 별표 1>³⁵⁾에 따른 건물 연간사용일수를 통해 산출했다. 본 연구에서 사용한 태양광 패널은 <표4-10>과 같은 제원을 가지고 있으며, 해당 패널의 설비 발전용량은 하루 중 직사광선 시간을 3.5시간으로 가정하였을 때 값이며, 다음 식(4-1)과 같다.

$$RES \text{ capacity} = \text{직사광선시간 동안 패널 1개의 발전용량} \\ = 3.5[\text{h}] \times 300[\text{w}] = 1050[\text{wh}] = 1.05[\text{kwh}] \quad \text{식(4-1)}$$

표 4-10 태양광 패널 제원

L사 태양광 패널 (300w)	
태양광패널 적용 분류	최상층면적비율(30% or 50%)
패널종류	**3000S1C-A5
개방전압	38.9 Voc
단락전류	10.7 Isc
최대출력동작전압	31.6 Vmax
최대출력동작전류	9.5 Imax
모듈 무게	16 kg
모듈 크기(mm)	1,016(가로)×1,686(세로)×40(높이)



따라서 본 연구에서 활용한 태양광 패널을 통한 에너지생산량(EP)은 식(4-2)와 같이 나타낼 수 있으며, 태양광 패널의 경우 단위면적 당 산출량이 아닌 소요패널량에 따른 산출을 진행하기 때문에 기존의 식(3-9)에 소요패널량을 곱하여 식(4-2)과 같이 나타냈다.

$$EP = RES \text{ capacity} \times D \times N \quad \text{식(4-2)}$$

EP: 연간 에너지생산량 (Energy Production)[kcal/year],
RES capacity: 설비 발전용량[kWh], *D*: 건물 연간 사용일수[day/year]
N: 소요패널량[EA]

35) 건축법 시행령 [별표 1], <개정 2023. 02. 14.>

산출한 초기투자비(IC)와 총 연간 에너지소요량(TEC)을 활용하여 최적대안 선정 기준 세 가지(①단위 에너지소요량 대비 초기투자비(IC/TEC), ②단위 초기투자비 대비 에너지소요량(TEC/IC), ③LCC(Life Cycle Cost))를 나타냈고 각 기준별 최적 대안 분석을 진행했다.

그 결과 ①단위 에너지소요량 대비 초기투자비(IC/TEC) 기준의 최적 대안은 각 건물별로 총 96개의 단열재 및 창호 조합 대안이 나왔으며, 그중 상위 10개의 대안을 시각화하여 나타냈다. 'Case 1'의 경우 47번 대안이 274[원/kWh]로 가장 최적으로 나타났으며 이때 성능개선을 위해 활용된 패시브 요소는 '최상층 단열: 글라스울 190T', '외벽 단열: 글라스울 190T', '창호: 로이복층유리 24mm(6+12AR+6)'가 선정되었으며, 태양광 패널 설치 면적은 '최상층 면적의 30%'가 최적으로 선정되었다. 또한 'Case 2' 및 'Case 3'의 경우 46번 대안이 각각 192[원/kWh], 112[원/kWh]로 가장 최적으로 나타났으며, 이때 활용한 패시브 요소는 '최상층 단열: 글라스울 190T', '외벽 단열: 글라스울 190T', '창호: 로이복층유리 22mm'가 선정되었으며, 태양광 패널 설치 면적은 '최상층 면적의 30%'가 최적으로 선정되었다 <그림4-10>, <그림4-11>, <그림4-12>.

②단위 초기투자비 대비 에너지소요량(TEC/IC) 기준의 최적 대안 또한 상위 10개의 대안을 시각화하여 나타냈으며, 'Case 1'의 경우 66번 대안이 0.00012[kWh/원]으로 가장 최적으로 나타났다. 이때 적용된 패시브 요소는 '최상층 단열: 압출법 보온판 150T', '외벽 단열: 압출법 보온판 150T', '창호: 삼중유리 43mm'가 선정되었으며, 태양광 패널 설치 면적은 '최상층 면적의 50%'가 최적으로 선정되었다. 'Case 2'와 'Case 3'도 동일하게 66번 대안이 최적으로 나타났으며 각각 0.00042[kWh/원], 0.00092[kWh/원]으로 나타났다. 가장 최적인 대안은 세 건물 모두 같은 대안을 나타냈지만, 2 ~ 10순위 최적 대안에서는 서로 상이하게 나타났다 <그림4-10>, <그림4-11>, <그림4-12>.

③LCC(Life Cycle Cost) 기준의 최적 대안 순위도 앞선 두 기준에 맞춰 상위 10개의 대안을 시각화해 나타냈다. ‘Case 1’의 경우 64번 대안이 131,805,803[원/nyr]으로 가장 최적으로 나타났으며, 이때 적용된 패시브 요소는 ‘최상층 단열: 압출법 보온판 150T’, ‘외벽 단열: 압출법 보온판 150T’, ‘창호: 로이복층유리 22mm’가 선정되었으며, 태양광 패널 설치 면적은 ‘최상층 면적의 50%’가 최적으로 선정되었다. ‘Case 2’는 52번 대안이 250,036,494[원/nyr]으로 가장 최적 대안으로 선정되었으며, 이때 적용된 패시브 요소는 ‘최상층 단열: 압출법 보온판 100T’, ‘외벽 단열: 압출법 보온판 150T’, ‘창호: 로이복층유리 22mm’가 선정되었으며, 태양광 패널 설치 면적은 ‘최상층 면적의 50%’가 최적으로 선정되었다. ‘Case 3’은 ‘Case 1’과 같은 64번 대안이 최적 대안으로 선정되었다 <그림4-10>, <그림4-11>, <그림4-12>.

Single Optimization Module(S.O.M)을 통해 도출된 각 건물별 대안을 비교하였을 때, 단위 에너지소요량 대비 초기투자비 기준 대안과 단위 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 대안이 서로 상이한 결과를 나타냈다. 이는 단위 에너지소요량 대비 초기투자비의 경우, 대안이 적용된 리모델링 건물이 1kWh 에너지가 소요될 때 투입된 대안의 초기투자비가 가장 최소인 값을 우선으로 하여 산출된다.

이와 반대로 단위 초기투자비 대비 에너지소요량의 경우, 리모델링 대안이 적용된 건물의 초기투자비 1원당 소요된 에너지량이 가장 최소인 값을 우선으로 선정한다. 그렇기에 두 기준은 서로 상반된 대안을 나타낸다.

LCC(Life Cycle Cost) 기준의 최적 대안 상위 10개를 각 건물별 비교하였을 때 ‘Case 1’과 ‘Case 3’은 상위 1·2위 대안은 같은 대안을 나타냈지만, 나머지 순위에서 상이한 대안을 나타냈으며, ‘Case 2’의 경우 몇몇 대안이 다른 두 건물 대안에는 없는 대안이 나타났다. 이는 각 건물의 체적, 외벽 및 최상층 면적, 창호 면적의 차이로 인해 투입되는 단열재의 운용비용 및 신재생에너지의 설치 면적에 따라 상이하게 나타나는 것으로 보인다.

SCAN TO BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 (상수도 사업본부 Building)

INPUT

기존 건축을 개요 입력 ▾

연도 →	1979
주용도 →	업무시설
지역 →	광주

BIM 기반 Data 입력 ▾

건물 체적 (m³)	3,722
최상층 면적 (m²)	375.8
외피 입면적 (m²)	472
창호면적 (m²)	141

에너지 절감 개선 수준 ▾

최상층 개선수준	법적기준
외피 단열 개선수준	법적기준
창호 개선수준	저사양

LCC 경과년수 ▾

분석기간	30년
------	-----

입력값에 따른 기본 정보

하절기 평균온도	21.4
동절기 평균온도	6.3
온도차	13.8
운영시간	9.0
건물 사용일수	282.0
최상층 열관류율	1.047
외피 열관류율	2.093
창호 평균 열관류율	2.558
태양광 패널 설비발전용량	1.05

RANK



REPORT

단위 에너지소요량 대비 초기투자비 기준 최적 대안

단위 에너지 소요량 대비 초기투자비 ₩	274
최상층	글라스울 190T
외벽	글라스울 190T
창호	로이복중유리 24mm(6+12AR+6)
태양광	최상층 면적 30%

단위 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 최적 대안

단위 초기투자비 대비 에너지소요량 ₩	0.00012
최상층	압출법 보온판 150T
외벽	압출법 보온판 150T
창호	삼중유리 43mm
태양광	최상층 면적 50%

LCC (Life Cycle Cost) 기준 최적 대안

LCC 비용 ₩	131,805,803
최상층	압출법 보온판 150T
외벽	압출법 보온판 150T
창호	로이복중유리 22mm
태양광	최상층 면적 50%

그림 4-10 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 'Case 1' 의 메인 시트

SCAN TO BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 (NH Building)

INPUT

기존 건축을 개요 입력 ▾

연도 →	1979
주용도 →	업무시설
지역 →	광주

BIM 기반 Data 입력 ▾

건물 체적 (m³)	4,648
최상층 면적 (m²)	237
외피 입면적 (m²)	1,030
창호면적 (m²)	116

에너지 절감 개선 수준 ▾

최상층 개선수준	법적기준
외피 단열 개선수준	법적기준
창호 개선수준	저사양

LCC 경과년수 ▾

분석기간	30년
------	-----

입력값에 따른 기본 정보

하절기 평균온도	21.4
동절기 평균온도	6.3
온도차	13.8
운영시간	9.0
건물 사용일수	282.0
최상층 열관류율	1.047
외피 열관류율	2.093
창호 평균 열관류율	2.558
태양광 패널 설치발전용량	1.05

RANK



REPORT

단위 에너지소모량 대비 초기투자비 기준 최적 대안

단위 에너지 소모량 대비 초기투자비 #	192
최상층	글라스울 190T
외벽	글라스울 190T
창호	로이복층유리 22mm
태양광	최상층 면적 30%

단위 초기투자비 대비 에너지소모량 기준 최적 대안

단위 초기투자비 대비 에너지소모량 #	0.00042
최상층	압출법 보온판 150T
외벽	압출법 보온판 150T
창호	삼중유리 43mm
태양광	최상층 면적 50%

LCC (Life Cycle Cost) 기준 최적 대안

LCC 비용 #	250,036,494
최상층	압출법 보온판 100T
외벽	압출법 보온판 150T
창호	로이복층유리 22mm
태양광	최상층 면적 50%

그림 4-11 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 'Case 2' 의 메인 시트

SCAN TO BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 (ACC Building)

INPUT

기존 건축을 개요 입력 ▾

연도 →	1979
주용도 →	교육시설 2
지역 →	광주

BIM 기반 Data 입력 ▾

건물 체적 (m³)	18,544
최상층 면적 (m²)	824
외피 입면적 (m²)	1,190
창호면적 (m²)	230

에너지 절감 개선 수준 ▾

최상층 개선수준	법적기준
외피 단열 개선수준	법적기준
창호 개선수준	저사양

LCC 경과년수 ▾

분석기간	30년
------	-----

입력값에 따른 기본 정보

하절기 평균온도	21.4
동절기 평균온도	6.3
온도차	13.8
운영시간	13.0
건물 사용일수	282.0
최상층 열관류율	1.047
외피 열관류율	2.093
창호 평균 열관류율	2.558
태양광 패널 설치발전용량	1.05

RANK



REPORT

단위 에너지소요량 대비 초기투자비 기준 최적 대안

단위 에너지 소요량 대비 초기투자비 #	112
최상층	글라스울 190T
외벽	글라스울 190T
창호	로이복층유리 22mm
태양광	최상층 면적 30%

단위 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 최적 대안

단위 초기투자비 대비 에너지소요량 #	0.00092
최상층	압출법 보온판 150T
외벽	압출법 보온판 150T
창호	삼중유리 43mm
태양광	최상층 면적 50%

LCC (Life Cycle Cost) 기준 최적 대안

LCC 비용 #	958,996,839
최상층	압출법 보온판 150T
외벽	압출법 보온판 150T
창호	로이복층유리 22mm
태양광	최상층 면적 50%

그림 4-12 Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 프로그램 'Case 3' 의 메인 시트

4.4.2 다중 건물 최적 리모델링 대안 선정

각 건물의 리모델링 개별 프로젝트를 통합하여 단일 프로젝트로 진행하는 Multiple Optimization Module(M.O.M)을 적용하기 위해, 앞서 Single Optimization Module(S.O.M)을 활용하여 산정된 각 건물의 리모델링 대안들을 통합하였다. 이 과정에서 ‘Case 1~3’의 개별 프로젝트 대안 96가지를 각각의 선택 요인으로 분류하였다.

예를 들어, <표4-11>의 ‘대안조합 1’은 앞서 S.O.M을 통해 선정된 대안 중 세 건물 전부 1번 대안이 선택된 경우이며, 각 1번 대안의 초기투자비(IC) 합과 에너지소요량(TEC) 합을 산출하고, 단위 에너지소요량 대비 초기투자비(IC/TEC)를 나타낸다. 그리고 산출된 단위 에너지소요량 대비 초기투자비(IC/TEC)의 순위를 매겨 나타냈다. 이때 총 884,736가지의 대안이 산출되며, 해당 순위를 통해 세 건물을 단일 프로젝트로써 리모델링을 진행할 때 발생하는 에너지소요량 대비 초기투자비가 최적인 대안을 산출해 낼 수 있다.

표 4-11 Multiple Optimization Module을 통해 생성된 대안 비교(1)

Multiple Optimization Module을 통한 에너지소요량 대비 초기투자비 기준 최적 대안							
대안조합	Case 1	Case 2	Case 3	IC	TEC	IC/TEC	Rank
1	1	1	1	166,880,958	867,198.45	192.44	402,034
2	1	1	2	168,122,958	873,210.45	192.53	402,142
3	1	1	3	189,949,958	858,180.45	221.34	462,510
4	1	1	4	179,375,958	777,018.45	230.85	494,936
:	:	:	:	:	:	:	:
884,733	96	96	93	255,162,614	1,969,778.55	129.54	343,971
884,734	96	96	94	228,872,284	3,358,550.55	68.15	35,148
884,735	96	96	95	230,114,284	3,364,562.55	68.39	35,890
884,736	96	96	96	251,941,284	3,358,550.55	75.015	51,940

단위 초기투자비 대비 에너지소요량(TEC/IC)의 순위 산정도 각 건물별 대안에 대해 대안조합 후 초기투자비(IC) 합, 에너지생산량(TEC) 합 그리고 단위 초기투자비 대비 에너지소요량(TEC/IC)을 산정하여 이에 대한 순위를 매긴다. 이때 앞선 순위와 동일하게 총 884,736가지의 대안이 산출되며 이를 통해 각 대안 조합의 초기투자비 1원당 발생하는 에너지소요량을 확인할 수 있다 <표4-12>.

표 4-12 Multiple Optimization Module을 통해 생성된 대안 비교(2)

Multiple Optimization Module을 통한 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 최적 대안							
대안조합	Case 1	Case 2	Case 3	IC	TEC	TEC/IC	Rank
1	1	1	1	166,880,958	867,198.45	0.00520	482,667
2	1	1	2	168,122,958	873,210.45	0.00521	483,296
3	1	1	3	189,949,958	858,180.45	0.00450	420,067
4	1	1	4	179,375,958	777,018.45	0.00433	390,241
:	:	:	:	:	:	:	:
884,733	96	96	93	255,162,614	1,969,778.55	0.00772	540,762
884,734	96	96	94	228,872,284	3,358,550.55	0.01467	849,586
884,735	96	96	95	230,114,284	3,364,562.55	0.01462	848,845
884,736	96	96	96	251,941,284	3,358,550.55	0.01333	832,795

4.4.3 대안별 비교분석

Single Optimization Module(S.O.M)을 통해 산정한 단일 건물 최적 대안과 Multiple Optimization Module(M.O.M)을 통해 산정한 다중 건물 최적 대안을 비교 분석하기 위해 각 사례별 상위 15위까지의 최적 대안을 나타내었다. 최적 대안 비교는 단위 에너지소요량 대비 초기투자비[원/kWh]와 단위 초기투자비 대비 에너지소요량[kWh/원] 두 가지의 기준을 분류하여 비교하였다.

단위 에너지소요량 대비 초기투자비 기준 대안 목록을 살펴보면, 단일 건물 기준의 경우 'Case 2' 와 'Case 3' 은 46번 대안이 최적 대안으로 나타났으며, 'Case 1' 은 47번 대안이 최적으로 나타났다. 그러나 Multiple Optimization Module(M.O.M)을 통한 멀티플 리노베이션 대안 순위 목록에서 가장 최적으로 나타난 대안은 419,086번 대안으로 나타났으며, 해당 대안은 'Case 1~3' 모두 46번 대안이 선택된 경우로 단일 건물 기준 최적 대안과 다른 결과가 나타났다. 이는 각각의 건물의 단위 에너지소요량 대비 초기투자비를 합산한 값과 멀티플 리모델링 대안 순위 목록을 산정을 위해 산출한 단위 에너지소요량 합계 대비 초기투자비 합계의 값의 차이로 인해 나타난 결과로 보인다 <그림4-13>.

또한 단위 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 대안 목록을 살펴보면, 단일 건물 기준 목록에서 모두 66번 대안이 선정되었으며 멀티플 리노베이션 대안 순위 목록에서도 모든 건물에 66번 대안이 적용되는 605,346번 대안이 선정되었다. 이 외에도 멀티플 리노베이션 대안 순위 목록을 통해 각 건물별 리모델링 대안 변동 우선순위를 확인할 수 있으며, 서로 상이한 대안 적용 시 가장 먼저 대안이 변동되는 건물은 'Case 2' 임을 확인할 수 있고, 그다음으로 'Case 1' 에 변동된 대안이 적용되는 것을 확인할 수 있다. 또한 상위 15위 대안 중 'Case 3' 의 대안이 66번 이외의 대안이 선정되는 경우가 없었으며 이를 통해 차선의 리모델링 대안 선정 시 'Case 3' 의 대안을 조정하는 것보다는 'Case 2' 을 우선적으로 변동시키고 'Case 1' 의 대안을 바꾸는 것이 합리적인 대안인 것을 확인할 수 있다 <그림 4-14>.

멀티플 리노베이션 대안 순위 목록								
대안조합번호 (Combo No.)	상수도사업본부	NH Building	ACC Building	초기투자비 합계 (원)	에너지소요량 합계 (kWh)	단위 에너지소요량 합계 대비 초기투자비 합계 (원/kWh)	순위 (RANK)	
419086	46	46	46	₩ 166,026,305	3413536.95		48.64	1
419182	46	47	46	₩ 166,652,705	3416392.20		48.78	2
428302	47	46	46	₩ 166,787,543	3416392.20		48.82	3
419087	46	46	47	₩ 167,268,305	3419548.95		48.92	4
428398	47	47	46	₩ 167,413,943	3419247.45		48.96	5
419183	46	47	47	₩ 167,894,705	3422404.20		49.06	6
415630	46	10	46	₩ 166,075,364	3384032.70		49.08	7
428303	47	46	47	₩ 168,029,543	3422404.20		49.10	8
428399	47	47	47	₩ 168,655,943	3425259.45		49.24	9
424846	47	10	46	₩ 166,836,602	3386887.95		49.26	10
415726	46	11	46	₩ 166,701,764	3384032.70		49.26	11
417934	46	34	46	₩ 166,667,864	3384032.70		49.29	12
87310	10	46	46	₩ 166,104,087	3366901.20		49.33	13
415631	46	10	47	₩ 167,317,364	3390044.70		49.36	14
418030	46	35	46	₩ 167,294,264	3384032.70		49.44	15

상수도 사업본부 단일 리모델링 대안 순위 목록								
대안번호 (No.)	태양열	최상층	외벽	창호	초기투자비 (원)	에너지소요량 (kWh)	단위 에너지소요량 대비 초기투자비 (원/kWh)	순위 (RANK)
47	1	4	4	2	₩ 40,003,661	146,061.90	₩ 273.88	1
46	1	4	4	1	₩ 39,242,261	143,206.65	₩ 274.03	2
48	1	4	4	3	₩ 53,384,561	143,206.65	₩ 372.78	3
95	2	4	4	2	₩ 49,712,965	133,033.50	₩ 373.69	4
94	2	4	4	1	₩ 48,951,565	130,178.25	₩ 376.03	5
10	1	1	4	1	₩ 39,320,052	96,570.90	₩ 407.16	6
11	1	1	4	2	₩ 40,081,452	95,619.15	₩ 419.18	7
34	1	3	4	1	₩ 40,259,552	93,715.65	₩ 429.59	8
35	1	3	4	2	₩ 41,020,952	93,715.65	₩ 437.72	9
23	1	2	4	2	₩ 44,027,352	93,715.65	₩ 469.80	10
22	1	2	4	1	₩ 43,265,952	90,860.40	₩ 476.18	11
96	2	4	4	3	₩ 63,093,865	130,178.25	₩ 484.67	12
37	1	4	1	1	₩ 39,339,965	79,439.40	₩ 495.22	13
38	1	4	1	2	₩ 40,101,365	79,439.40	₩ 504.80	14
43	1	4	3	1	₩ 40,519,965	78,487.65	₩ 516.26	15

NH 상업시설 단일 리모델링 대안 순위 목록								
대안번호 (No.)	태양열	최상층	외벽	창호	초기투자비 (원)	에너지소요량 (kWh)	단위 에너지소요량 대비 초기투자비 (원/kWh)	순위 (RANK)
46	1	4	4	1	₩ 41,412,703	215,983.80	₩ 191.74	1
47	1	4	4	2	₩ 42,039,103	218,839.05	₩ 192.10	2
10	1	1	4	1	₩ 41,461,762	186,479.55	₩ 222.34	3
11	1	1	4	2	₩ 42,088,162	186,479.55	₩ 225.70	4
35	1	3	4	2	₩ 42,680,662	186,479.55	₩ 228.88	5
95	2	4	4	2	₩ 48,217,751	210,548.25	₩ 229.01	6
34	1	3	4	1	₩ 42,054,262	183,624.30	₩ 229.02	7
94	2	4	4	1	₩ 47,591,351	207,693.00	₩ 229.14	8
22	1	2	4	1	₩ 43,950,262	182,672.55	₩ 240.60	9
23	1	2	4	2	₩ 44,576,662	183,624.30	₩ 242.76	10
48	1	4	4	3	₩ 53,047,503	215,983.80	₩ 245.61	11
58	2	1	4	1	₩ 47,640,410	178,188.75	₩ 267.36	12
59	2	1	4	2	₩ 48,266,810	178,188.75	₩ 270.87	13
83	2	3	4	2	₩ 48,859,310	178,188.75	₩ 274.20	14
82	2	3	4	1	₩ 48,232,910	175,333.50	₩ 275.09	15

ACC 문화시설 단일 리모델링 대안 순위 목록								
대안번호 (No.)	태양열	최상층	외벽	창호	초기투자비 (원)	에너지소요량 (kWh)	단위 에너지소요량 대비 초기투자비 (원/kWh)	순위 (RANK)
46	1	4	4	1	₩ 85,373,672	762,669.00	₩ 111.94	1
47	1	4	4	2	₩ 86,615,672	766,793.25	₩ 112.96	2
48	1	4	4	3	₩ 108,442,672	759,919.50	₩ 142.70	3
94	2	4	4	1	₩ 106,557,608	734,243.40	₩ 145.13	4
95	2	4	4	2	₩ 107,799,608	738,367.65	₩ 146.00	5
10	1	1	4	1	₩ 85,544,240	533,085.75	₩ 160.47	6
11	1	1	4	2	₩ 86,786,240	535,835.25	₩ 161.96	7
34	1	3	4	1	₩ 87,604,240	526,212.00	₩ 166.48	8
35	1	3	4	2	₩ 88,846,240	528,961.50	₩ 167.96	9
96	2	4	4	3	₩ 129,626,608	731,493.90	₩ 177.21	10
22	1	2	4	1	₩ 94,196,240	519,338.25	₩ 181.38	11
23	1	2	4	2	₩ 95,438,240	519,338.25	₩ 183.77	12
37	1	4	1	1	₩ 85,620,002	428,604.75	₩ 199.76	13
38	1	4	1	2	₩ 86,862,002	431,354.25	₩ 201.37	14
12	1	1	4	3	₩ 108,613,240	533,085.75	₩ 203.74	15

그림 4-13 단위 에너지소요량 대비 초기투자비 기준 대안 비교분석

멀티플 리노베이션 대안 순위 목록								
대안조합번호 (Combo No.)	상수도사업본부	NH Building	ACC Building	초기투자비 합계 (원)	에너지소요량 합계 (kWh)	단위 초기투자비 대비 에너지소요량(kWh/원)	순위 (RANK)	
605346	66	66	66	₩ 296,147,917	630853.05	0.00213	1	
606498	66	78	66	₩ 294,251,917	630853.05	0.00214	2	
604194	66	54	66	₩ 293,659,417	630853.05	0.00215	3	
715938	78	66	66	₩ 293,141,837	632756.55	0.00216	4	
632994	69	66	66	₩ 292,371,917	632756.55	0.00216	5	
717090	78	78	66	₩ 291,245,837	632756.55	0.00217	6	
714786	78	54	66	₩ 290,653,337	632756.55	0.00218	7	
634146	69	78	66	₩ 290,475,917	632756.55	0.00218	8	
494754	54	66	66	₩ 292,202,437	636563.55	0.00218	9	
631842	69	54	66	₩ 289,883,417	632756.55	0.00218	10	
577698	63	66	66	₩ 291,191,917	636563.55	0.00219	11	
495906	54	78	66	₩ 290,306,437	636563.55	0.00219	12	
493602	54	54	66	₩ 289,713,937	636563.55	0.00220	13	
743586	81	66	66	₩ 289,365,837	636563.55	0.00220	14	
578850	63	78	66	₩ 289,295,917	636563.55	0.00220	15	
상수도 사업본부 단일 리모델링 대안 순위 목록								
대안번호 (No.)	태양열	최상층	외벽	창호	초기투자비 (원)	에너지소요량 (kWh)	단위 초기투자비 대비 에너지소요량(kWh/원)	순위 (RANK)
66	2	2	2	3	₩ 72,171,260	8,354.25	0.00012	1
64	2	2	2	1	₩ 58,028,960	8,354.25	0.00014	2
78	2	3	2	3	₩ 69,164,860	10,257.75	0.00015	3
69	2	2	3	3	₩ 68,395,260	10,257.75	0.00015	4
65	2	2	2	2	₩ 58,790,360	9,306.00	0.00016	5
76	2	3	2	1	₩ 55,022,560	10,257.75	0.00019	6
77	2	3	2	2	₩ 55,783,960	11,209.50	0.00020	7
54	2	1	2	3	₩ 68,225,360	14,064.75	0.00021	8
67	2	2	3	1	₩ 54,252,960	11,209.50	0.00021	9
63	2	2	1	3	₩ 67,215,260	14,064.75	0.00021	10
81	2	3	3	3	₩ 65,388,860	14,064.75	0.00022	11
57	2	1	3	3	₩ 64,449,360	14,064.75	0.00022	12
75	2	3	1	3	₩ 64,208,860	14,064.75	0.00022	13
68	2	2	3	2	₩ 55,014,360	14,064.75	0.00026	14
53	2	1	2	2	₩ 54,844,460	14,064.75	0.00026	15
NH 상업시설 단일 리모델링 대안 순위 목록								
대안번호 (No.)	태양열	최상층	외벽	창호	초기투자비 (원)	에너지소요량 (kWh)	단위 초기투자비 대비 에너지소요량(kWh/원)	순위 (RANK)
66	2	2	2	3	₩ 72,791,920	30,667.50	0.0004	1
78	2	3	2	3	₩ 70,895,920	30,667.50	0.0004	2
54	2	1	2	3	₩ 70,303,420	30,667.50	0.0004	3
65	2	2	2	2	₩ 61,783,520	30,667.50	0.0005	4
64	2	2	2	1	₩ 61,157,120	30,667.50	0.0005	5
77	2	3	2	2	₩ 59,887,520	30,667.50	0.0005	6
53	2	1	2	2	₩ 59,295,020	30,667.50	0.0005	7
76	2	3	2	1	₩ 59,261,120	30,667.50	0.0005	8
52	2	1	2	1	₩ 58,668,620	30,667.50	0.0005	9
69	2	2	3	3	₩ 64,551,920	35,426.25	0.0005	10
81	2	3	3	3	₩ 62,655,920	35,426.25	0.0006	11
57	2	1	3	3	₩ 62,063,420	35,426.25	0.0006	12
18	1	2	2	3	₩ 66,613,272	38,958.30	0.0006	13
63	2	2	1	3	₩ 61,976,920	36,378.00	0.0006	14
30	1	3	2	3	₩ 64,717,272	38,958.30	0.0006	15
ACC 문화시설 단일 리모델링 대안 순위 목록								
대안번호 (No.)	태양열	최상층	외벽	창호	초기투자비 (원)	에너지소요량 (kWh)	단위 초기투자비 대비 에너지소요량(kWh/원)	순위 (RANK)
66	2	2	2	3	₩ 151,190,506	138,976.65	0.00092	1
78	2	3	2	3	₩ 144,598,506	147,225.15	0.00102	2
54	2	1	2	3	₩ 142,538,506	148,599.90	0.00104	3
69	2	2	3	3	₩ 141,670,506	151,349.40	0.00107	4
65	2	2	2	2	₩ 129,363,506	138,976.65	0.00107	5
64	2	2	2	1	₩ 128,121,506	138,976.65	0.00108	6
63	2	2	1	3	₩ 138,695,506	154,098.90	0.00111	7
81	2	3	3	3	₩ 135,078,506	152,724.15	0.00113	8
57	2	1	3	3	₩ 133,018,506	160,972.65	0.00121	9
76	2	3	2	1	₩ 121,529,506	147,225.15	0.00121	10
77	2	3	2	2	₩ 122,771,506	151,349.40	0.00123	11
75	2	3	1	3	₩ 132,103,506	163,722.15	0.00124	12
68	2	2	3	2	₩ 119,843,506	148,599.90	0.00124	13
53	2	1	2	2	₩ 120,711,506	152,724.15	0.00127	14
52	2	1	2	1	₩ 119,469,506	152,724.15	0.00128	15

그림 4-14 단위 초기투자비 대비 에너지소요량 기준 대안 비교분석

제 5장 결론

2050년까지 탄소중립을 실천하기 위해 국가적 차원에서 온실가스 배출량 감소를 위해 다양한 노력을 기하고 있으며, 산업계 전반에 걸쳐 탄소 감소를 몸소 실천하고 있다. 그러나 2022년 건설부문 온실가스 배출량은 전년 대비 증가한 수치를 나타냈으며 그 원인으로 도시가스 소비량의 증가를 꼽았다. 이러한 도시가스 소비량의 증가는 노후 건축물의 에너지 성능 감소로 인해 발생한 결과로 보인다. 이러한 문제는 비단 국내뿐만 아니라 해외에서도 발생하는 문제이며, 세계 각국에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 스마트 요소를 결합한 에너지 절감형 스마트시티 조성에 힘쓰고 있다. 그러나 국내에는 도시 단위에서의 에너지 절감 성능개선을 위한 멀티플 리모델링 대안 선정에 관한 연구가 부족한 실정이다. 이를 개선하기 위해서 본 연구에서는 각종 데이터 모듈을 활용하여 단일 건축물에 대한 리모델링 최적 대안과 다중 건축물에 대한 리모델링 최적 대안을 찾고 대안들을 비교하였다. 이를 통해 온실가스 배출량 감소를 위한 더욱 효과적인 방안이 무엇인지 분석하고, 더 효과적인 방안에 대해 제시하는 Multiple Optimization Module 기반 Excel Dashboard를 제시했다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다. 먼저 기존의 그린 리모델링 진행 시 필요한 요구 데이터를 노후 건축물 3D 스캐닝 및 드론 촬영을 통해 포인트 클라우드 데이터를 취득하고 2D 도면을 작성하였다. 이를 기반으로 3D BIM 모델을 구축하여 건축물의 체적, 면적, 물량 산출하였다. 다음으로 Excel Spreadsheet를 활용하여 에너지 성능평가 모듈, 경제성 평가 모듈, LCC 산정 모듈 및 Multiple Optimization Module(M.O.M)을 구축하였다. 이때 모듈은 사용자접근이 용이하도록 건축물대장 기반의 건축물 속성 정보와 BIM 모델링을 통해 획득한 외피 면적과 건축물의 체적 및 창호 면적을 기반으로 구성하였다. 또한 그린 리모델링 수행 시 주로 적용하는 패시브 요소 중 최상층(4개), 외벽(4개) 및 창호(2개) 재료와 신재생에너지 요소 중 태양광 패널(3개)을 활용하여 총 96가지의 단일 건물 리모델링 대안 조합을 생성하였다. 이 데이터를 통해 사용자가 선택하는 에너지 절감 개선 기준에 따라, 초기 투자비 및 에너지소요량을 고려한 최적의 대안 추출이 가능한 모델이 생성되었다. 그리고 구축된 모델을 노후 건축물 사례에 적용하여 BIM 모델

링 기반 역설계 도면과 Excel Dashboard의 정확도를 분석하였고, 그 결과 기존 도면과 PCD(Point Cloud Data) 기반으로 제작된 2D 도면의 오차율이 0.05 이내로 오차범위 안에 들어와 정확도를 입증했다. 또한 BIM을 통해 얻은 데이터와 Single Optimization Module(S.O.M) 기반 데이터를 Excel Dashboard 모델에 입력하였다. 이때 산정된 단일 건물 기준 리모델링 최적 대안을 초기투자비와 에너지소요량의 비와 LCC 분석을 통해 나타내었고, 노후 건축물 사례 3곳에 각각 적용하여 대안을 산출하였다. 마지막으로 복수의 건물을 단일 프로젝트로 하여 진행하는 리모델링 프로젝트 대안 산출을 위해 각 건물의 대안 96가지를 각각의 선택요소로 나열하여 총 884,736가지의 멀티플 리노베이션 대안을 산출했으며, 단일 건물 기준 대안과 멀티플 리노베이션 대안을 직관적으로 비교하여 사용자가 원하는 합리적인 대안이 제시할 수 있도록 하였다.

본 연구의 기대효과는 다음과 같다. 첫째, 비교적 낮은 상세 수준의 요구 데이터만으로도 에너지 성능평가가 가능한 다중 프로젝트 대상 리모델링 의사결정 지원 시스템으로 인해 기본 건물정보가 부족한 노후화 건축물의 에너지 성능평가를 진행하는데 활용성이 확보될 수 있을 것으로 보인다. 둘째, 여러 건물을 대상으로 리모델링을 진행할 때 대상 건물들을 통합하여 단번에 여러 건물의 대안을 선정할 수 있어 적용성이 확보될 수 있을 것으로 보인다. 셋째, BIM 모델링을 통해 노후 건축물의 정보를 3D로 구축하고 디지털 매체에 저장함으로써 기존 종이도면 활용에 따른 탄소 발생을 줄일 수 있을 것으로 보인다. 또한 3D 모델을 통해 건축물의 유지관리가 용이하며, 적용될 리모델링에 대한 시각화 정보를 얻을 수 있다. 넷째, 그린 리모델링 또는 에너지 절감형 리모델링에 대해 사전지식이 없는 사용자도 개략적으로 산정된 대안의 에너지소요량, LCC(Life Cycle Cost) 비용, 초기투자비를 추정할 수 있어 리모델링 대안 선정에 대한 의사결정지원 효율이 높아질 것이다. 다섯째, 추후 리모델링 시 액티브 요소 및 신재생에너지 설비시스템을 추가하여 더욱 다양한 대안을 산정할 수 있어, 여러 대안을 생성할 수 있는 점에서 높은 활용 가능성이 나타난다. 여섯째, 사용자가 입력한 에너지 개선 수준에 따라 대안이 추출됨으로 최상의 성능 조건의 대안이 아닐지라도 사용자의 요구에 알맞게 적용 가능한 합리적인 대안 선택이 가능할 것이다.

해당 Excel Dashboard 모델의 한계와 향후 연구는 다음과 같다. 첫째, 3D 스캐너 및 드론 등의 첨단 장비는 저렴하지 않고, 속련도에 따라 데이터 처리 정확도가 달라지기 때문에 추후 BIM 가이드라인을 구축하여 정확한 BIM 모델링 프로세스 구축에 관한 연구가 필요하다. 둘째, 에너지 성능평가 시 실내 열 환경을 구성하는 요인들과 액티브 기술요소를 고려하지 못한 한계가 있다. 이를 보완하기 위해서 다양한 에너지 시뮬레이션 프로그램과 연동할 수 있는 방안을 추가로 연구해야 할 것이다. 셋째, 대안 생성을 위해 활용된 재료들의 기준 열관류율 대부분이 법적 기준으로 제한적이기 때문에 대안의 다양성이 부족하다. 추후 재료 및 기술에 대한 데이터가 확보되고 더 다양해진다면 이 부분에 대한 보완이 이루어져야 할 것이다. 넷째, 현재 건설산업에서 활용되는 제품군과 개발 제품군들의 현황과 가격변동을 지속적으로 모니터링하고 갱신하여 최적의 대안 선정이 가능하도록 해야 한다는 한계가 있다.

참 고 문 헌

<국내 문헌>

▶ 학위 및 학술 논문

- Kim, D. (2010). A Study on Determinants in the Decision Making for Remodeling Project Procedures of Apartment, Ph.D. Dissertation, Kangwon National University
- 강경화. (2021). 공공임대주택 그린리모델링의 에너지 성능 기반 대안 선정기법 연구, 조선대학교, 석사학위논문
- 강재식, 배민정, & 안호상. (2022). 공공건물 제로에너지건물 (ZEB) 전환에 따른 그린리모델링 사례분석. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 559-561.
- 강태욱 (2020). "시설물 관리를 위한 Scan-to-BIM 역설계 기술 연구." 대한토목학회 학술대회: 1686-1687.
- 권장혁, et al. (2012). "건물에너지평가도구와 동적해석프로그램의 연간냉난방요구량 해석 및 비교." 대한설비공학회 학술발표대회논문집: 363-366.
- 김기석, et al. (2014). "공공청사 그린리모델링을 위한 데이터 정량화 시뮬레이션 모델에 관한 연구." 대한건축학회 논문집-계획계 30(10): 53-62.
- 김두환 (2015). 기존 건축물의 에너지 절감을 위한 외피 및 열원설비 성능개선 대안 선정 방법. 서울, 서울시립대학교 일반대학원.
- 김석현, et al. (2020). "노후대학건물의 에너지 성능 향상을 위한 리모델링 우선순위 도출 방안 연구." 한국건축친환경설비학회 논문집 14(6): 626-638.

- 김성민. (2017). 기존 건축물 그린리모델링 적용 요소기술 및 에너지절감효과 분석. 한국건축친환경설비학회 논문집, 11(3), 238-245.
- 김초원 (2023). Scan to BIM 기반 리모델링 대안 선정 기술. 광주, 조선대학교 대학원.
- 문정현.(2019). 국내외 스마트제로에너지시티 사업사례 동향. 송실대학교. 조명·전기설비학회
- 신영수. (2015). 에너지 절감형 리모델링을 위한 의사결정 지원모델, 조선대학교, 석사학위논문
- 신영수, et al. (2015). "에너지절감형 리모델링을 위한 적정 대안 선정 프로세스 모델 - 건축물 외피 및 신재생에너지 시스템을 중심으로." 건설관리 : 한국건설관리학회 학회지 16(3): 91-100.
- 이권형, et al. (2014). "Energy BIM 기반 초기 건축 단계의 설계결정인자 간 상관성 분석: 에너지성능평가의 냉난방부하 절감을 중심으로." 대한건축학회 논문집-계획계 30(12): 31-39.
- 이명주 and 김정운 (2015). "제로에너지건축물 계획을 위한 국내외 에너지성능관련 제도의 평가도구 비교분석 및 개선방안 연구." 대한건축학회 논문집-계획계 31(4): 45-52.
- 이한솔, & 최경석. (2022). 그린리모델링을 통한 에너지 성능개선 효과 분석-공공 건물의 패시브 기술을 중심으로. 한국생활환경학회지, 29(3), 281-288.
- 조준영, & 이명식. (2022). BIM 역설계를 활용한 노후 공공건축물 리모델링 건축

계획 방향 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 42(1), 225-228.

- 채제현 & 이지영.(2017). 역설계를 통해 BIM 구축시에 3D모델링에 대한 세밀도 (LoD)정립. 한국BIM학회논문집 7권 4호
- 최선우, et al. (2012). "사무소 건물의 외피 리모델링에 따른 에너지절감효과 및 경제성 분석." KIEAE Journal 12(6): 85-92.
- 한동익, & 윤성환. (2021). 그린리모델링을 통한 노후 단독주택 에너지 절감 효과 분석-부산광역시 남구를 대상으로. Journal of the Architectural Institute of Korea Vol.37 No.9 (Serial No.395)

▶ 단행본 및 보고서

- 건축법 시행령 [별표 1], <개정 2023. 02. 14>
- 국토교통부 공고, 제2021-291호, 2021
- 국토교통부 보도자료, 건물 에너지사용량 현황, 2020.12.03.
- 한국에너지공단 ‘에너지절약설계기준 해설서’ . 2022. 247p
- 환경부 보도자료, ‘상향된 2030 국가 온실가스 감축목표 (NDC)’ 유엔기후협약에 제출, 2021.12.23.

<국외 문헌>

▶ 학위 및 학술 논문

- Asadi, E., et al. (2012). "Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application." Energy and Buildings 44: 81-87.
- ASHRAE, 2009 ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009

<인터넷 자료>

- e-나라지표, 시장금리추이, https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1073, 2022.08.19.
- e-나라표준인증, 국가표준 에어컨디셔너, <https://standard.go.kr/KSCI/>
- 대통령직속2050 탄소중립 녹색성장 위원회 법령·정책, <https://www.2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=9&menuLevel=2&menuNo=11>
- 에너지유나이티드님의 블로그, “[친환경건축컨설팅] 그린리모델링(Green Remodeling)알아보기”, <https://m.blog.naver.com/enerotecunited/222845531949>, 2022.08.11.
- 2022년 온실가스 잠정배출량 관련 보도자료 <https://www.gir.go.kr/>