creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000498253

2021年 8月

碩士學位 論文

공공임대주택 그린리모델링의 에너지성능기반 대안 선정기법 연구

朝鮮大學校 大學院

建 築 工 學 科

姜 京 化

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

공공임대주택 그린리모델링의 에너지성능기반 대안 선정기법 연구

Technical methodology for Green Remodeling project of public rental apartments using ECO2 simulation

2021年 8月 27日

朝鮮大學校 大學院

建 築 工 學 科

姜 京 化

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

공공임대주택 그린리모델링의 에너지성능기반 대안 선정 기법 연구

指導敎授 黃 泰 然

이 論文을 工學 碩士學位申請 論文으로 提出함

2021年 4月

朝鮮大學校 大學院

建 築 工 學 科

姜 京 化

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

姜京化의 碩士學位論文을 認准함

委 員 長　　朝鮮大學校　副教授　金 兌 訓 (인)

委　　員　　朝鮮大學校　副教授　黃 泰 然 (인)

委　　員　　朝鮮大學校　助教授　金 周 煜 (인)

2021年　5月

朝鮮大學校 大學院

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

차 례

제1장 서론 ····· 1
1.1 연구 배경 및 목적 ····· 1
1.2 연구 방법 및 범위 ····· 6

제2장 이론적 고찰 ····· 9
2.1 그린 리모델링 ····· 9
2.2 ECO2 프로그램 ····· 13

제3장 그린 리모델링 대상지 현황조사 및 건축물 에너지 효율등급 ····· 27
3.1 그린 리모델링 대상지 현황조사 ····· 27
3.1.1 그린 리모델링 대상지 일반현황 ····· 27
3.1.2 그린 리모델링 대상지 실태진단 ····· 34
3.1.3 그린 리모델링 대상지 도면분석 ····· 40
3.2 그린 리모델링 대상지 건축물 에너지 효율등급 ····· 55
3.2.1 A 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급 ····· 55
3.2.2 B 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급 ····· 57
3.2.3 C 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급 ····· 58

제4장 그린 리모델링 기술선정 및 건축물 에너지 평가 ····· 59
4.1 그린 리모델링 기술선정 ····· 59
4.1.1 Passive 기술 ····· 59
4.1.2 Active 기술 ····· 63
4.1.3 신재생에너지 ····· 67
4.2 그린 리모델링 전·후 대안별 건축물 에너지 효율등급 ····· 68
4.2.1 A 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급 ····· 68
4.2.2 B 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급 ····· 74

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2.3 C 공공임대주택 건축물 에너지효율등급 ·····77
4.3 그린 리모델링 전·후 대안별 온실가스 저감량 계산 ·····80
4.3.1 A 공공임대주택 온실가스 저감량 ·····83
4.3.2 B 공공임대주택 온실가스 저감량 ·····84
4.3.2 C 공공임대주택 온실가스 저감량 ·····85

제5장 경제성 분석을 통한 그린 리모델링 대안 선정 ·····86
5.1 그린 리모델링 기술별 단가 ·····86
5.2 건축물 에너지효율등급과 사업비 비교를 통한 대상지별 그린 리모델링 대안 제시 ·····89
5.3 경제성 분석을 통한 그린 리모델링 대안 선정 ·····93

제6장 결론 ·····112

참고문헌 ·····114

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 차 례

[표 1-1] 2030로드맵의 배출전망치와 감축률 비교 ·····2
[표 2-1] 국내 그린 리모델링 현 제도 현황 및 주요 특징 ·····10
[표 2-2] 공공건축물 그린 리모델링 사업 적용기술요소 ·····11
[표 2-3] 건축물 에너지효율등급 인증 기준 ·····14
[표 2-4] 광주광역시 기상데이터 ·····15
[표 2-5] 주거공간 용도프로필 ·····16
[표 3-1] A공공임대주택 일반사항 ·····29
[표 3-2] B 공공임대주택 일반사항 ·····31
[표 3-3] C 공공임대주택 일반사항 ·····33
[표 3-4] A 공공임대주택 실태진단 ·····35
[표 3-5] B 공공임대주택 실태진단 ·····37
[표 3-6] C 공공임대주택 실태진단 ·····39
[표 3-7] A 공공임대주택 벽체 구성 현황 ·····41
[표 3-8] A 공공임대주택 서쪽 외측 세대 ·····42
[표 3-9] A 공공임대주택 내측 세대 ·····42
[표 3-10] A 공공임대주택 동쪽 외측 세대 ·····43
[표 3-11] A 공공임대주택 최하층 바닥 ·····43
[표 3-12] A 공공임대주택 중간층, 최상층 바닥 ·····44
[표 3-13] A 공공임대주택 최하층·중간층, 최상층 천장 ·····44
[표 3-14] B 공공임대주택 벽체 구성 현황 ·····45
[표 3-15] B 공공임대주택 서쪽 외측 세대 ·····46
[표 3-16] B 공공임대주택 내측 세대 ·····46
[표 3-17] B 공공임대주택 동쪽 외측 세대 ·····47
[표 3-18] B 공공임대주택 최하층 바닥 ·····47
[표 3-19] B 공공임대주택 중간층, 최상층 바닥 ·····48
[표 3-20] B 공공임대주택 최하층·중간층, 최상층 천장 ·····48
[표 3-21] C 공공임대주택 벽체 구성 현황 ·····49
[표 3-22] C 공공임대주택 동쪽 외측 세대 ·····50
[표 3-23] C 공공임대주택 내측 세대 ·····50
[표 3-24] C 공공임대주택 서쪽 외측 세대 ·····51
[표 3-25] C 공공임대주택 최하층 바닥 ·····51
[표 3-26] C 공공임대주택 중간층, 최상층 바닥 ·····52

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-27] C 공공임대주택 최하층·중간층, 최상층 천장 ·····52
[표 3-28] 남부지역 건축물 부위별 열관류율 ·····54
[표 4-1] 그린 리모델링 후 외피 열관류율 ·····61
[표 4-2] 외피 상태 및 단열성능개선 사항 ·····62
[표 4-3] K사 ECO콘덴싱 보일러 사양 ·····65
[표 4-4] 그린리모델링 전·후 거실 조명기기 ·····66
[표 4-5] 신재생에너지 현황 및 개선기술 ·····67
[표 4-6] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급 ·····69
[표 4-7] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1 ·····69
[표 4-8] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2 ·····70
[표 4-9] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3 ·····70
[표 4-10] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급 ·····71
[표 4-11] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1 ·····72
[표 4-12] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2 ·····72
[표 4-13] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3 ·····73
[표 4-14] B 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급 ·····74
[표 4-15] B 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1 ·····75
[표 4-16] B 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2 ·····75
[표 4-17] B 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3 ·····76
[표 4-18] C 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급 ·····77
[표 4-19] C 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1 ·····78
[표 4-20] C 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2 ·····78
[표 4-21] C 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3 ·····79
[표 4-22] 전력에 대한 온실가스 배출계수 ·····81
[표 4-23] 도시가스에 대한 온실가스 배출계수 ·····81
[표 4-24] A-1 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량 ·····83
[표 4-25] A-2 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량 ·····84
[표 4-26] B 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량 ·····84
[표 4-27] C 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량 ·····85
[표 5-1] Passive 기술 단가 ·····87
[표 5-2] Active 기술 단가 ·····87
[표 5-3] 신재생에너지 설치 단가 ·····88
[표 5-4] A-1 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비 ·····89
[표 5-5] A-2 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비 ·····90

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-6] B 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비 ·····91
[표 5-7] C 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비 ·····92
[표 5-8] 한국전력공사 하계 전력요금 ·····94
[표 5-9] 한국전력공사 기타계절 전력요금 ·····94
[표 5-10] 해양도시가스 도시가스요금 ·····94
[표 5-11] 명목이자율, 물가상승률, 실질할인율, 전기 및 도시가스 요금상승률 ·····95
[표 5-12] 40년간 현재가치환산계수(PWAF) ·····96
[표 5-13] A-1 공공임대주택 대안별 경제성 분석 ·····97
[표 5-14] A-1 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ·····99
[표 5-15] A-2 공공임대주택 대안별 경제성 분석 ·····101
[표 5-16] A-2 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ·····102
[표 5-17] B 공공임대주택 대안별 경제성 분석 ·····104
[표 5-18] B 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ·····106
[표 5-19] C 공공임대주택 대안별 경제성 분석 ·····108
[표 5-20] C 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ·····110

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 차 례

[그림 1-1] 한국형 도시 그린뉴딜 구상도 ····4
[그림 1-2] 연구 흐름도 ····8
[그림 2-1] 그린 리모델링 기술 체계도 ····12
[그림 2-2] ECO2 개요입력 ····17
[그림 2-3] ECO2 입력존 입력 ····18
[그림 2-4] ECO2 입력면/건축부위 입력 ····19
[그림 2-5] ECO2 열관류율 입력 ····19
[그림 2-6] ECO2 공조처리 입력 ····20
[그림 2-7] ECO2 신재생에너지 및 열병합 입력 ····21
[그림 2-8] ECO2 난방기기 입력 ····22
[그림 2-9] ECO2 난방공급시스템 입력 ····23
[그림 2-10] ECO2 난방분배시스템 입력 ····24
[그림 2-11] ECO2 냉방기기 입력 ····25
[그림 2-12] ECO2 냉방분배시스템 입력 ····26
[그림 3-1] A-1 공공임대주택 전경과 세대 복도 ····28
[그림 3-2] A-2 공공임대주택 전경과 세대 복도 ····28
[그림 3-3] B 공공임대주택 전경과 세대 복도 ····30
[그림 3-4] C 공공임대주택 전경과 세대 복도 ····32
[그림 3-5] A-1 공공임대주택 개선 전 ECO2시뮬레이션 결과 ····55
[그림 3-6] A-2 공공임대주택 개선 전 ECO2시뮬레이션 결과 ····56
[그림 3-7] B 공공임대주택 개선 전 ECO2시뮬레이션 결과 ····57
[그림 3-8] C 공공임대주택 개선 전 ECO2시뮬레이션 결과 ····58
[그림 4-1] 단열 시공 프로세스 ····59
[그림 4-2] 단열방식의 분류 ····60
[그림 4-3] A-1 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과 ····71
[그림 4-4] A-2 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과 ····73
[그림 4-5] B 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과 ····76
[그림 4-6] C 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과 ····79
[그림 4-7] 온실가스 배출량 산정 기본방법 ····82
[그림 5-1] A-1 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ····100
[그림 5-2] A-2 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ····103
[그림 5-3] B 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ····107

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[그림 5-4] C 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용 ·····111

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Technical methodology for Green Remodeling project of public rental apartments using EC02 simulation

Kang Gyeong Hwa
Advisor : Prof. Taeyon Hwang, Ph.D
Department of Architectural Engineering,
Graduate School of Chosun University

Key words : Green remodeling, EC02 simulation, Energy performance assessment, Life cycle cost analysis

Through the Paris Climate Agreement in 2015, we participated in greenhouse gas reduction and prepared a specific implementation plan, and set the goal of reducing greenhouse gas emissions by 37% compared to the standard emission by 2030.
Afterwards, the government adjusted the amount of greenhouse gas reduction in buildings to 32.7% by activating green remodeling of existing buildings as the importance of greenhouse gas reduction and the government's obligations increased. In particular, the government emphasizes the need to improve the energy performance of old public buildings, and since 2014, the government has been carrying out a pilot project to support the construction cost of the green remodeling project for old public buildings. Since then, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Korea Land and Housing Corporation (LH) have As part of Korea's Green New Deal project, we started a green remodeling project for aging public rental housing and public buildings in 2020.

The purpose of this paper is to evaluate the building energy using the EC02 program used and distributed by the Korea Energy Agency for the actual building energy efficiency rating certification for 4 public rental housing complexes in Gwangju.
Among the green remodeling technologies, passive technology, active technology, and element technology of new and renewable energy, technologies that can be applied to

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

the target site are selected and seven alternatives are presented. We intend to select an appropriate alternative based on the energy evaluation and economic analysis of buildings before and after green remodeling on the site.
As a result of this study, the installation of new renewable 'balcony solar panels' and 'fuel cells' together in green remodeling element technology in public rental housing can raise the building energy efficiency rating standard of new public rental housing to Grade 2 or higher. This was the most effective, but from an economic point of view, only 'balcony solar panels' were applied to evaluate the building energy again.

As a single alternative among passive technology, active technology, and new and renewable installation, the passive technology that improves the insulation performance of the outer shell is the most effective in increasing the energy efficiency of a building and has the largest amount of greenhouse gas reduction. However, as a result of economic analysis, as a single alternative among passive technology, active technology, and renewable installation, passive technology had the longest payback period, and since active technology and new renewable installation have different payback periods for each site, a quantitative analysis is presented. Therefore, it is necessary to recognize the characteristics of each alternative according to the situation of the green remodeling project and select an effective alternative by referring to the above results.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 . 서론

1.1 연구 배경 및 목적

우리나라는 세계 12위 경제 대국으로 성장함에 따라 국제사회로부터 온실가스 배출 감축을 위한 노력에 동참할 것을 지속적으로 요청받고 있다. 우리나라도 국제사회의 일원으로서 2015년 파리기후협약을 통해 온실가스 감축에 동참하고 구체적인 이행 계획을 마련하여 2030년까지 기준 배출량 대비 온실가스 배출량을 37% 감축 목표로 설정하였다. 가정·건물 부문은 전 세계 최종 에너지 소비량과 온실가스 배출량이 높은 부문으로 나타나고 급속한 도시화와 도시 인구의 증가로 인해 도시 내 건물에서의 에너지 소비와 온실가스 배출은 계속 증가할 것으로 전망되어 건축물 에너지 소비량 절감은 에너지 사용량과 온실가스 절감에 효과적으로 대응 해야 한다. 이에 대한 정책으로 국가에서는 그린 리모델링 ESCO(Energy Service Company) 지원 사업으로 기존 건축물의 에너지 절감을 유도하고 있다[1].

2018년 국내 온실가스 감축 잠재량을 재평가하여 국가 온실가스 감축 목표의 이행 가능성을 높이고자 「2030 국가 온실가스 감축 로드맵」의 수정안을 발표하였다. 부문별로 살펴보면, 건물부문에서는 신축 건축물 에너지 기준 강화, 기존 건축물의 그린 리모델링 활성화를 통하여 건축물 온실가스 감축량을 32.7%로 조정하였으며, 이는 2016년 제시한 로드맵보다 2배가량 많은 감축을 목표로 하였다[2]. 2030로드맵의 온실가스 배출전망치와 감축률을 [표 1-1]에 정리하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 1-1] 2030로드맵의 배출전망치와 감축률 비교

부문		배출전망 (BAU)	2016년 로드맵		2018년 로드맵	
			감축후 배출량 (감축량)	BAU대비 감축률	감축후 배출량 (감축량)	BAU대비 감축률
배출원 감축	산업	481.0	424.6	11.7%	382.4	20.5%
	건물	197.2	161.4	18.1%	132.7	32.7%
	수송	105.2	79.3	24.6%	74.4	29.3%
	폐기물	15.5	11.9	23.0%	11.0	28.9%
	공공(기타)	21.0	17.4	17.3%	15.7	25.3%
	농축산	20.7	19.7	4.8%	19.0	7.9%
	탈루 등	10.3	10.3	0.0%	7.2	30.5%
감축 수단	전환	(333.2)[1]	-64.5	-	(확정감축량) -23.7 (추가감축잠재량) -34.12[2]	-
	E신산업 /CCUS	-	-28.2	-	-10.3	-
	산림흡수원	-	-	-	-38.3	4.5%
	국외감축 등	-	-95.9	11.3%		
기존 국내감축		-	631.9	25.7%	574.3	32.5%
합계		850.8	536.0	37.0%	536.0	37.0%

비고 : 1. 전환부문 배출량(333.2백만톤)은 전기 및 열 사용량에 따라 부문별 배출량에 할당하여 전체 합계에서는 제외함

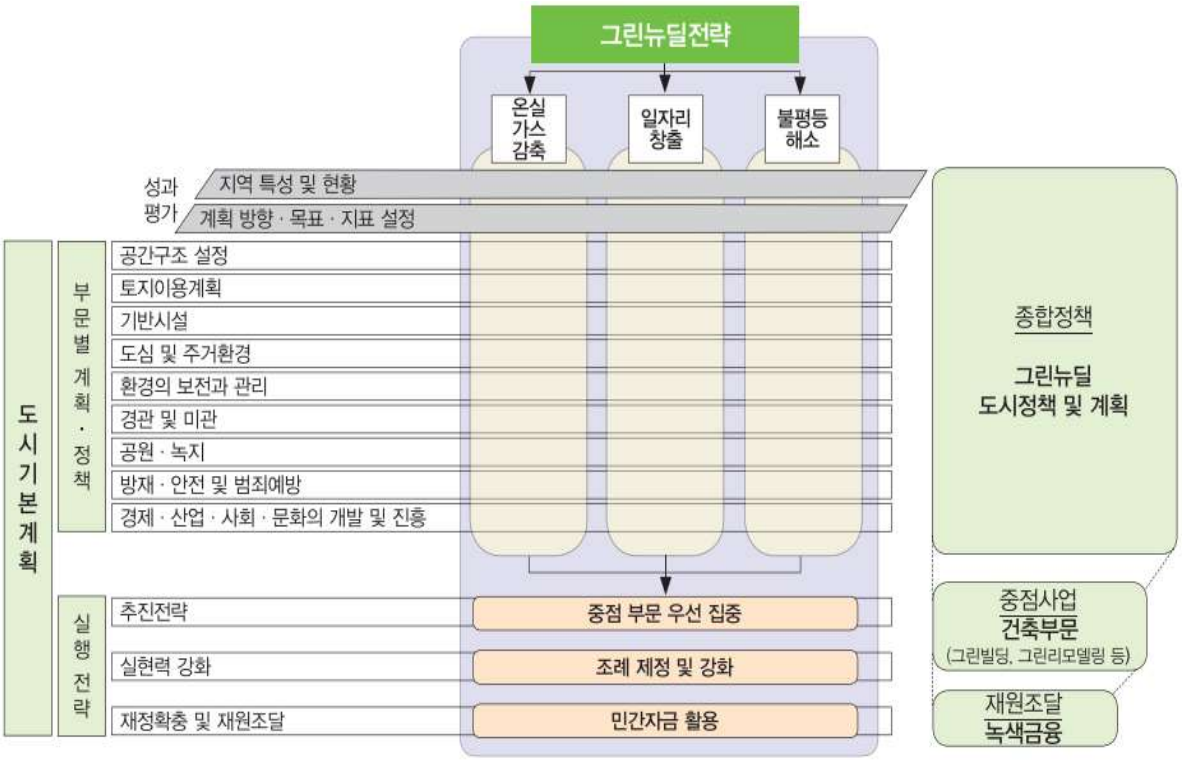
2. 전환부문 감축량 23.7백만톤 확정, 추가감축 잠재량은 2020년 NDC제출전까지 확정

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

신규 건축물에 대한 허가기준 강화와 기존 건축물에 대한 그린 리모델링 확대, 도시재생 연계사업 모델 발굴 등을 통하여 기존 건축물 에너지 성능 향상, 가전 및 사무기기와 조명효율 개선 및 정보 인프라 구축 등을 통하여 에너지 효율화를 유도하여 목표를 달성한다는 계획이다. 노후화된 공동주택이나 다가구·다세대주택, 상업·업무시설 등이 밀집된 도시 내 쇠퇴지역의 경우, 기후변화에 대한 대응력이 약하며 도시재해에 따른 피해가 상대적으로 크게 나타나기 때문이다[3]. 그러나 도시재생 정책에서는 기후변화에 대한 고려가 미흡하며 구체적인 계획 및 내용이 부재한 실정이다. 또한, 도시재생 관련 정책과 기후변화 관련 정책은 개별 법률에 따라 추진되고 있으며, 기후변화 대응 도시재생을 위한 제도적 기반은 마련되어 있지 않았다[4].

따라서, 2020년 7월에는 [그림 1-1]과 같이 한국형 뉴딜 정책인 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜이 발표되었다. 그린 뉴딜은 Thomas Friedman의 저서 Code Green(2008)에서 처음 제안되었으며, 기후변화 및 환경문제 대응을 상징하는 'Green'과 미국 대공황 시기 국가 주도로 추진한 대규모 경기부양책이었던 'New Deal'의 합성어로, 친환경 투자를 통해 분배와 성장을 동시에 달성하고자 하는 정책으로 주택·시설 에너지 효율 개선, 신재생에너지 전환, 대기·수질개선, 녹지 조성 및 토질 복원, 습지 회복, 도심 교통 체계 개선 등을 통해 일자리 창출, 기후변화 대응, 사회적 약자의 보호, 미래전략산업 육성이라는 목표를 달성할 수 있는 전략적인 조치이다. 그린 뉴딜의 목표는 첫째, 전환적 투자. 둘째, 기후 위기대응. 셋째, 일자리 창출을 목표로 하고 있다. 화석 연료 위주의 경제·산업 구조를 탈 탄소화로 전환하고, 그 과정에서 새로운 일자리를 창출하여 사회 불평등을 해소하기 위한 노력도 포함하고 있다[5]. 한국의 도시화율은 90% 이상으로 높고, 경제·사회·산업이 밀집되어 있어 도시의 중요성과 영향력이 높은 만큼 우선 대도시를 중심으로 친환경·에너지 전환을 실현하는 한국형 도시 그린 뉴딜 추진이 필요하다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 1-1] 한국형 도시 그린뉴딜 구상도

도시 내 온실가스 배출이 높고 주거의 격차 및 양극화 등 불평등한 요소가 많으면서도 일자리 창출 등 산업 효과가 높은 건축부문에 집중하여 우선적으로 사업이 추진된다. 2014년 국토교통부가 발표한 ‘제로 에너지 건축물 의무화 로드맵’에서 제외된 비제도권 건축물을 대상으로 산업 성장 및 공익성, 복지 및 민간투자 확대 측면 등을 고려해 사업 모형을 도출하되, 우선 공공부문을 중심으로 앵커사업을 진행하여 이를 토대로 민간부문까지 확산하려고 한다.

매년 진행되고 있는 공공건축물 그린 리모델링 지원 사업과는 별개로, 한국판 그린 뉴딜의 10대 대표과제 중 하나로 그린 리모델링이 선정됨에 따라 2020년에 ‘공공건축물 그린 리모델링 사업’이 진행됐다. 취약계층이 이용하는 노후 공공건축물의 에너지 성능 향상, 효율 개선, 환경개선 등을 위해 2025년까지 총 사업비 30.1조 원의 그린 리모델링 사업비가 지원된다. 준공 후 15년 이상 경과된 공공임대주택(22.5만 호), 국 · 공립 어린이집(440개소), 문화시설(1,148개소)에 대해 고성능 창호, 폐열회수형 환기장치, 내 · 외벽 단열재, 고효율 냉난방 장치, 고효율 보일러, 고효율 조명(LED), 신재생에너지, 건물에너지관리시스템(BEMS) 또는 원격

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

검침 전자식 계량기 등 그린 리모델링 기술요소를 위한 공사비를 지원하는 것이 이번 공공건축물 그린 리모델링 사업의 내용이다[6]. ‘제2차 녹색건축물 기본계획’에서 다양한 지원책을 통해 그린 리모델링 시장을 현재 대비 2배 이상 확대한다는 방침을 제시한 바 있는데, 공공건축물 그린 리모델링 사업은 취약계층의 생활환경 개선뿐만 아니라 건축산업 경기부양과 일자리 창출이라는 기대효과를 가지고 있다[7]. 대한민국 건축물의 75%가 15년 이상된 노후 건축물로 1,000동의 노후 건축물을 그린리모델링 할 경우 6만톤의 온실가스 감축과 5천개의 일자리 창출이 가능하다[8].

2020년 국토교통부와 한국토지주택공사(LH)는 노후 공공임대주택 및 공공건축물에 대한 그린 리모델링 사업을 본격화하면서 준공 후 15년 이상 경과한 노후 영구임대주택과 매입 임대주택 1만 3백 호를 대상으로 건축물 내·외부의 에너지 효율을 높이고 취약계층의 주거환경을 개선을 계획하였고 2021년에는 공공임대주택 8만 3천여 가구의 에너지 성능을 강화하고 주거환경을 개선한다. 이처럼 그린 리모델링의 기대효과가 높고 노후 공공임대주택을 대상으로 그린 리모델링 사업이 확대되고 있으나 그린 리모델링 전·후 건축물 에너지 성능 개선과 경제성 평가에 관한 연구가 미흡하다.

본 연구의 목적은 건축물 에너지 효율등급 인증에 사용되는 EC02 프로그램을 이용하여 노후 공공임대주택에 적합한 그린 리모델링 기술을 선정하고 그린 리모델링 전·후 건축물 에너지 평가와 사업비 비교 후 경제성 분석을 통해 그린 리모델링 대안을 선정하고자 한다. 이를 토대로 향후 진행될 그린 리모델링 사업 계획 및 경제성 분석 시 기초자료로서 활용이 가능할 것으로 예상된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 광주광역시의 공공임대주택 4단지를 대상으로 한국에너지공단에서 배포하고 실제 건축물 에너지 효율등급 인증에 사용되는 ECO2 프로그램을 이용하여 건축물 에너지 평가를 진행한다. 그린 리모델링 기술을 Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지의 요소기술 중 대상지에 적용할 수 있는 기술을 선정하여 대안 7가지를 제안한다. 대상지의 그린 리모델링 전·후 건축물 에너지 평가를 통해 건축물 에너지 효율등급의 변화를 비교하고 온실가스 감축량을 산정한다. 또한, 대안별로 사업비를 산출하고 그린 리모델링 전·후의 건축물 에너지 효율등급과의 비교를 통해 대상지별 그린 리모델링 최적안을 제시한다. 나아가 경제성 분석으로 그린 리모델링 대안을 선정한다. 연구 흐름도는 [그림 1-2]와 같다.

1) 그린 리모델링 및 ECO2 프로그램의 이론적 고찰

2장에서는 그린 리모델링에 대한 기본 개념과 2020년 한국형 그린 뉴딜에서의 그린 리모델링 사업을 알아보고 건축물 에너지 효율등급 인증 제도 분석 및 건축물 에너지 평가 프로그램인 ECO2에 대해 알아본다.

2) 그린 리모델링 대상지 현황조사 및 건축물 에너지 효율등급

3.1절에서는 연구 대상지의 일반현황, 실태 진단, 도면 분석을 진행하였다. 일반현황은 대상지별 기본 사항과 특이점을 조사하고 전문 컨설턴트의 협력으로 대상지를 방문하여 세대주들의 실제 거주 환경을 조사한다. ECO2 프로그램의 열관류율 부분 입력을 위해 도면분석을 하였다. 3.2절에서는 3.1절에서 수집된 정보를 활용하여 ECO2 프로그램에 적용하여 건축물 에너지 효율등급을 확인한다.

3) 그린 리모델링을 위한 기술선정 및 건축물 에너지 평가

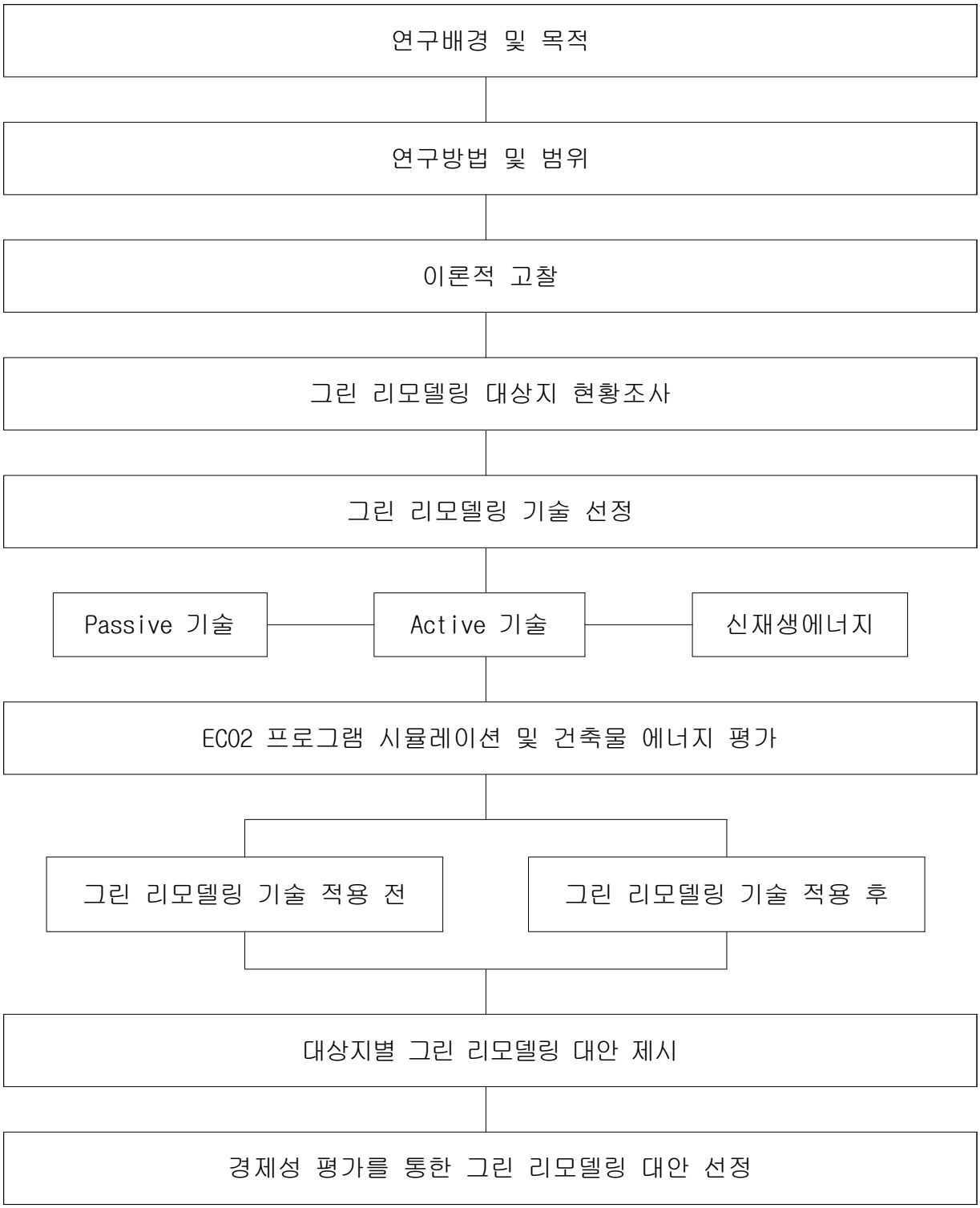
4.1절에서는 그린 리모델링 기술인 Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지 요소기술 중 대상지에 적용할 수 있는 기술을 선정하고 각 기술에 대해 설명한다. 4.2절에서는 연구 대상지에 그린 리모델링 기술을 조합하여 대안 7가지를 제안하고 대안별로 그린 리모델링 전·후 건축물 에너지 평가 및 온실가스 저감량을 계산한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4) 경제성 분석을 통한 그린 리모델링 대안 선정

5.1절에서는 그린 리모델링 대안별 사업비를 산출한다. 5.2절에서는 4.2절에서의 건축물 에너지 효율등급과 사업비를 비교하여 대상지별 그린 리모델링 최적 대안을 제시한다, 5.3절에서는 대안별 경제성 분석을 통해 4.2절에서 제시한 그린 리모델링 대안중 최적안을 선정한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 1-2] 연구 흐름도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 . 이론적 고찰

2.1 그린 리모델링

그린 리모델링이란 기존 건축물의 에너지 성능 향상 및 효율 개선 등을 통해 기존 건축물을 녹색건축물로 전환하는 활동으로 「그린 리모델링 관련 제도·정책 및 연구동향」(이하 “녹색 건축법”) 제27조에 따라 국토교통부의 인정을 받은 사업이다. 그린 리모델링은 노후하거나 에너지 소비량이 많은 건축물의 리모델링을 통해 기존 건축물의 에너지 소비량을 절감하여 온실가스 배출을 줄임으로써 환경친화적인 건축물로 만들며, 단순 리모델링이 아니라 기존 건축물 내에서의 생활환경을 개선하고, 냉·난방 비용을 절감하며, 기후변화의 주원인인 온실가스를 감축하고, 아울러 건축물의 가치 향상을 통해 기존 건축물의 성능과 거주자의 삶의 질 향상을 위한 사업이다.

국내의 건축물 에너지 정책으로 사용자의 에너지 절약 유도, 신축 건축물 에너지 기준 강화, 기존 건축물 에너지 효율을 개선하는 방법인 녹색건축 정책을 시행중이다. 녹색건축 정책 중 기존 건축물에 대한 대표적인 정책 사안들은 온실가스·에너지 목표 관리제, 에너지 소비증명제, 그린 리모델링, 건물에너지 통합 관리 시스템 구축이 있다. 이 중 그린 리모델링은 정부와 각 지자체에서는 다양한 정책을 시행하고 있으며, 이를 통해 정부에서는 그린 리모델링을 활성화하여 에너지 사용량을 줄이고 온실가스 배출과 지구온난화 방지에 노력 중이다.[9]

현재의 건축물 에너지 소비량 저감에 대한 정책은 신축 건축물을 대상으로 하고 있어 기존 건축물에 대한 운영 관리 정책은 미비하여 온실가스 감축을 하기에는 한계가 있다. 향후 기존 건축물의 유지관리 비중이 높아지고 에너지 효율이 저하된다는 점을 고려할 때, 기존 건축물의 에너지 성능을 향상하고 효율을 개선하는 그린 리모델링은 꼭 필요한 사업이다. 그린 리모델링의 대표적인 정책으로는 그린 리모델링 공공 시범사업, 그린 리모델링 민간지원 사업, 건물에너지 효율화 사업(Building Retrofit Project; 이하 BRP) 융자지원, 저소득층 에너지 효율 개선 사업 등을 시행 중이며 현황 주요 특징을 [표 2-1]에 정리하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 2-1] 국내 그린 리모델링 현 제도 현황 및 주요 특징

구분	정책종류	주요특징
국내	그린 리모델링 공공시범사업	▪ 기존 공공건물을 대상으로 그린 리모델링 지원 사업 - 사업기획 지원 분야 : 사업단계별 맞춤형 기술지원 및 시공비를 지원 - 시공 지원분야 : 그린 리모델링으로 전환하기 위한 기술지원 및 추가공사비를 지원
	그린 리모델링 민간지원사업	▪ 민간의 그린 리모델링 참여를 유도하기 위해, 초기 공사비 대출금의 이자부분에 대해 직접적인 금융지원
	건물에너지효율화사업 (BRP)	▪ 건물의 단열공사, LED 조명교체, 고효율 보일러 교체 등 에너지 절약 설비를 설치하는 경우, 장기·저리로 융자를 지원 - 지원 대상 : 주택·건물 소유자, 세입자, ESCO사업자(에너지절약전문기업)
	저소득층 에너지효율개선	▪ 단열·창호 공사와 고효율기기 지원을 통한 에너지효율 개선으로 저소득층의 에너지 비용을 줄임으로써 에너지 빈곤층 해소에 기여 - 지원 대상 : 기초생활수급자(자가 제외), 차상위계층 및 복지 사각지대의 일반 저소득가구

정부는 기후변화 대응 및 친환경 경제 구현을 목적으로 하는 그린 뉴딜 사업으로 3가지 분야와 8과제로 구성되어 있으며, 이 중에서 그린 리모델링 관련 과제는 '국민 생활과 밀접한 공공시설 제로 에너지화' 과제에 포함되어 있다. 22.5만 호의 공공임대주택, 440개소의 국·공립 어린이집, 1,148개소의 문화시설 등을 그린 리모델링 대상으로 하고 있다. 2014년 이후 2019년까지 공공건축물을 대상으로 추진된 노후 건물 현황 평가와 설계 컨설팅 등의 그린 리모델링 사업의 건수가 매년 10~21건에 머무르는 것과 비교하면, 이번 그린 뉴딜 사업에서의 그린 리모델링 규모는 상당히 확대되었으며, 이를 통한 건축물 에너지 성능 개선을 기대할 수 있다[10].

그린 리모델링 기술은 Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지로 나뉘고[표 2-2][11], 건축물 각 부위별로 적용되는 기술 체계로 정리된다[그림 2-1]. 창호는

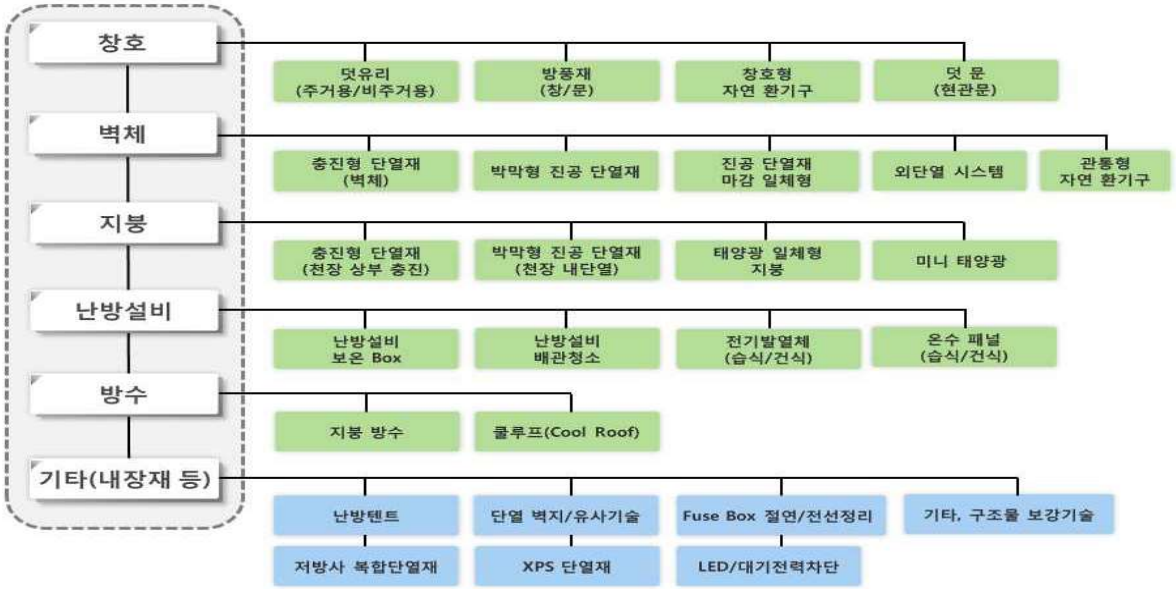
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

누기, 침기 등을 막아주는 덧 유리, 방풍재, 창호형 자연 환기구, 덧 문을 보강하는 기술이 있다. 벽체와 지붕에서는 건물 외피의 열성능을 향상시킬 수 있는 충진형 단열재와 진공단열재, 외단열 시스템, 광통형 자연 환기구 기술이 있다. 추가적으로 지붕에는 태양광 설비를 설치해서 지붕으로 입사하는 태양열을 차단할 수 있다. 난방설비는 유지관리와 설비용량을 추가하는 기술이 적용되는데, 난방설비 보온 Box, 난방설비 배관 청소, 전기발열체, 온수패널의 기술이 있다. 방수로는 지붕방수와 지붕쿨루프 공사 방법이 있다. 그 외 기타 기술은 내장재 재료를 교체하거나 추가 적용시키는 방법이 있다. 방법으로는 난방 텐트, 단열 벽지, Fuse Box 절연, 구조물 보강기술, 저방사 복합단열재, Extruded Polystyrene(XPS) 단열재, LED, 대기전력 차단 장치 등이 있다[12].

[표 2-2] 공공건축물 그린 리모델링 사업 적용기술요소

공사항목	기술 분류	기술요소
필수	Passive	벽체(외단열), 지붕(외단열), 열교·결로방지공사, 고성능 창호공사
	Active	폐열회수형 환기장치, 고효율 냉난방장치, 고효율 조명(LED)
	신재생에너지	신재생에너지(태양광)
	에너지관리	BEMS(또는 전자식 원격검침기)
선택	석면제거, 일사조절장치, 스마트 에어샤워, 순간온수기, Cool Roof (쿨루프), 기타	

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-1] 그린 리모델링 기술 체계도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2 ECO2 프로그램

ECO2 프로그램은 한국에너지공단에서 배포하고 실제 건축물 에너지 효율등급 인증에 사용되는 프로그램으로, ISO 13790[1]과 DIN V18599[2]를 기준으로 건물에 대한 에너지 평가 기법을 마련하고, 월별 평균 기상 데이터를 바탕으로 난방, 냉방, 조명, 급탕, 환기 시스템의 5가지 항목에 대하여 단위 면적당 건물의 에너지 요구량, 에너지 소요량 및 1차 에너지 소요량을 계산한다.

에너지 요구량은 특정 조건에서 실내 쾌적성을 위해 건축물이 요구하는 에너지양이다. 에너지 요구량은 건축물의 조건만을 고려하며 설비 등의 기계 효율은 계산되지 않는다. 평가 대상 건축물의 난방, 냉방, 급탕, 조명 부문에서 요구되는 단위 면적당 에너지양으로 실 용도를 고려한 냉·난방 설정온도, 사용시간, 내부 발열량, 외피 열관류율, 방위 등을 고려해서 각 요소들의 건축적 대안을 통해 요구량을 줄일 수 있다.

에너지 소요량은 평가 대상 건축물이 필요로 하는 에너지양을 공급하기 위해 각종 설비의 효율을 고려해 에너지 요구량에 설비 효율을 합산하여 계산한다. 건축물에 필요한 에너지를 공급할 때의 배관 손실, 보일러 효율 등을 고려하여 대상 건축물에 설치된 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 시스템에서 소요되는 단위 면적당 에너지양이다.

1차 에너지 소요량은 에너지 소요량에 연료를 채취, 가공, 운송, 변환, 공급과정 등의 손실을 포함한 에너지양이다.

등급 산출용 단위 면적당 1차 에너지 소요량은 1차 에너지 소요량에 등급 산정을 위한 보정계수를 적용한다. 국내 에너지 효율등급 산정을 위한 1차 에너지 소요

---

1) ISO 13790은 건물 에너지 효율에 관한 국제 표준으로서 건물의 냉난방 에너지 사용량 계산에 대한 내용이 기술되어 있다.(에너지효율등급 평가프로그램 ECO2 와 독일의 프로그램 개발 사례 분석 참조)

2) DIN V 18599 은 독일의 건축물 에너지 효율을 평가하는 시스템으로 독일의 프라운호퍼 건축 물리 연구소가 주도적으로 개발한 에너지 해석 알고리즘이다.(박상원, op. cit,2015. 02)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

량은 연료 1.1, 전력 2.75, 지역난방 0.728, 지역냉방 0.937의 환산 계수와 용도 프로필 및 난방 방식에 따른 가중치를 곱하여 계산한다.

건축물 에너지 효율등급은 건축물의 에너지 소요량 및 이산화탄소 발생량을 포함한 건축물의 에너지 성능을 평가하여 인증하고 에너지 이용 효율을 향상시키기 위해 만들어진 제도이다. 건축물 연간 단위 면적당 1차 에너지 소요량[kWh/㎡ · yr]에 따라 10개 등급(1+++ ~ 7등급)으로 나누어지며, 건축물 에너지 효율등급별 인증 기준을 [표 2-3]과 같다[13].

[표 2-3] 건축물 에너지효율등급 인증 기준

등급	연간 단위면적당 1차 에너지소요량 (kWh/㎡ · yr)	
	주거시설	주거시설 이외
1+++	60미만	80미만
1++	60이상 ~ 90미만	80이상 ~ 140미만
1+	90이상 ~ 120미만	140이상 ~ 200미만
1	120이상 ~ 150미만	200이상 ~ 260미만
2	150이상 ~ 190미만	260이상 ~ 320미만
3	190이상 ~ 230미만	320이상 ~ 380미만
4	230이상 ~ 270미만	380이상 ~ 450미만
5	270이상 ~ 320미만	450이상 ~ 520미만
6	320이상 ~ 370미만	520이상 ~ 610미만
7	370이상 ~ 420미만	610이상 ~ 700미만

본 연구에서 건축물 에너지 효율등급 인증을 위해 ECO2 프로그램에 적용되는 기상 데이터는 [표 2-4], 용도 프로필은 [표 2-5]와 같다[14].

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 2-4] 광주광역시 기상데이터

월	월별평균 외기온도 〔℃〕	수평면/수직면 월평균 전일사량 〔W/㎡〕								
		수평면	남	남동	남서	동	서	북동	북서	북
1월	1.1	103.1	145.0	110.4	117.6	62.8	68.4	33.4	34.1	31.5
2월	3.9	135.0	164.6	145.0	138.1	102.2	95.0	53.9	50.6	38.4
3월	8.3	175.7	144.0	128.0	131.0	97.9	100.6	60.8	61.8	47.5
4월	14.2	226.6	126.9	127.5	140.7	113.1	129.7	79.3	89.6	56.6
5월	18.4	259.4	102.5	127.5	137.7	136.2	154.1	108.0	123.0	78.3
6월	23.4	223.1	80.3	103.1	104.6	113.0	116.3	94.7	97.7	69.4
7월	26.2	191.6	77.8	96.1	102.6	104.7	117.2	88.8	99.9	70.8
8월	26.1	176.2	88.5	100.2	95.9	96.6	93.3	74.3	73.8	54.6
9월	22.7	179.3	121.8	116.1	121.1	96.6	104.0	65.0	70.4	49.8
10월	15.7	161.3	170.6	136.2	164.1	94.8	122.4	53.9	65.0	42.3
11월	10.2	135.1	206.0	155.9	178.0	92.0	113.5	42.2	50.3	35.3
12월	2.8	84.2	119.9	91.7	95.7	49.6	52.6	28.1	28.3	27.2

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 2-5] 주거공간 용도프로필

· hh:mm : 시간
· m^3 /(m^2 h) : 단위시간(h)당, 단위면적(m^2)당 외기도입풍량(m^3)
· Wh/(m^2 d) : 일일(d) 단위면적(m^2)당 발생열량(Wh)
· d/mth : 월간(mth) 일수(d)

구분		단위	값
사용시간과 운전시간	사용시작시간	[hh:mm]	00:00
	사용종료시간	[hh:mm]	24:00
	운전시작시간	[hh:mm]	00:00
	운전종료시간	[hh:mm]	24:00
설정 요구량	최소도입외기량	[m^3 /(m^2 h)]	1.1
	급탕요구량	[Wh/(m^2 d)]	84
	조명시간	[h]	5
열발열원	사람	[Wh/(m^2 d)]	53
	작업보조기기	[Wh/(m^2 d)]	52
실내공기온도	난방설정온도	[° C]	20
	냉방설정온도	[° C]	26
월간 사용일수	1월 사용일수	[d/mth]	31
	2월 사용일수	[d/mth]	28
	3월 사용일수	[d/mth]	31
	4월 사용일수	[d/mth]	30
	5월 사용일수	[d/mth]	31
	6월 사용일수	[d/mth]	30
	7월 사용일수	[d/mth]	31
	8월 사용일수	[d/mth]	31
	9월 사용일수	[d/mth]	30
	10월 사용일수	[d/mth]	31
	11월 사용일수	[d/mth]	30
	12월 사용일수	[d/mth]	31
용도별 보정계수	난방	-	1
	냉방	-	1
	급탕	-	1
	조명	-	1
	환기	-	1

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1) ECO2 개요 입력

[그림 2-2] ECO2 개요입력

[그림 2-2]의 개요 부분에서는 평가 대상 건축물의 지역과 건축물의 용도 및 규모를 입력한다. 지역 구분의 데이터는 서울, 광주, 강릉, 대구, 대전, 목포, 부산, 원주, 인천, 전주, 제주, 청주, 춘천 13개 지역이며, 건축물 용도는 주거용 건축물(단독주택), 주거용 건축물(공동주택), 비주거용(제1종 근린생활시설), 비주거용(제2종 근린생활시설), 비주거용(문화 및 집회시설), 비주거용(종교시설), 비주거용(판매시설), 비주거용(의료시설), 비주거용(교육연구시설), 비주거용(노유자시설), 비주거용(수련시설), 비주거용(운동시설), 비주거용(업무시설), 비주거용(숙박시설), 비주거용(위락시설), 비주거용(고장물품 제조가공 이용시설), 비주거용(창고시설), 비주거용(위험물처리장), 비주거용(자동차관리시설), 비주거용(동물 및 식물 관련시설), 비주거용(분뇨 및 쓰레기 처리시설), 비주거용(교정 및 군사시설), 비주거용(방송통신시설), 비주거용(발전시설발전소), 비주거용(묘지관리시설), 비주거용(관광휴게시설), 비주거용(장례식장), 비주거용(우수시설) 28개 용도이다. 이는 건축 허가 또는 사업승인에 기입된 용도로 입력한다.

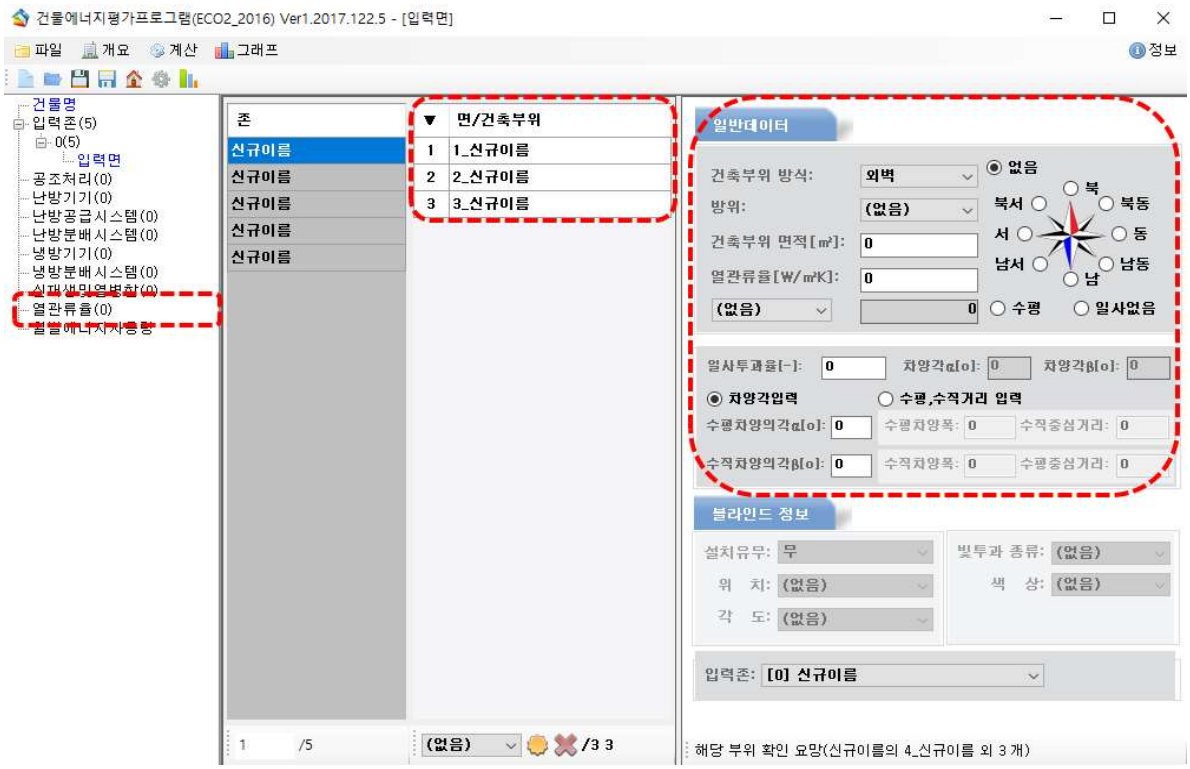
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[그림 2-3] ECO2 입력존 입력

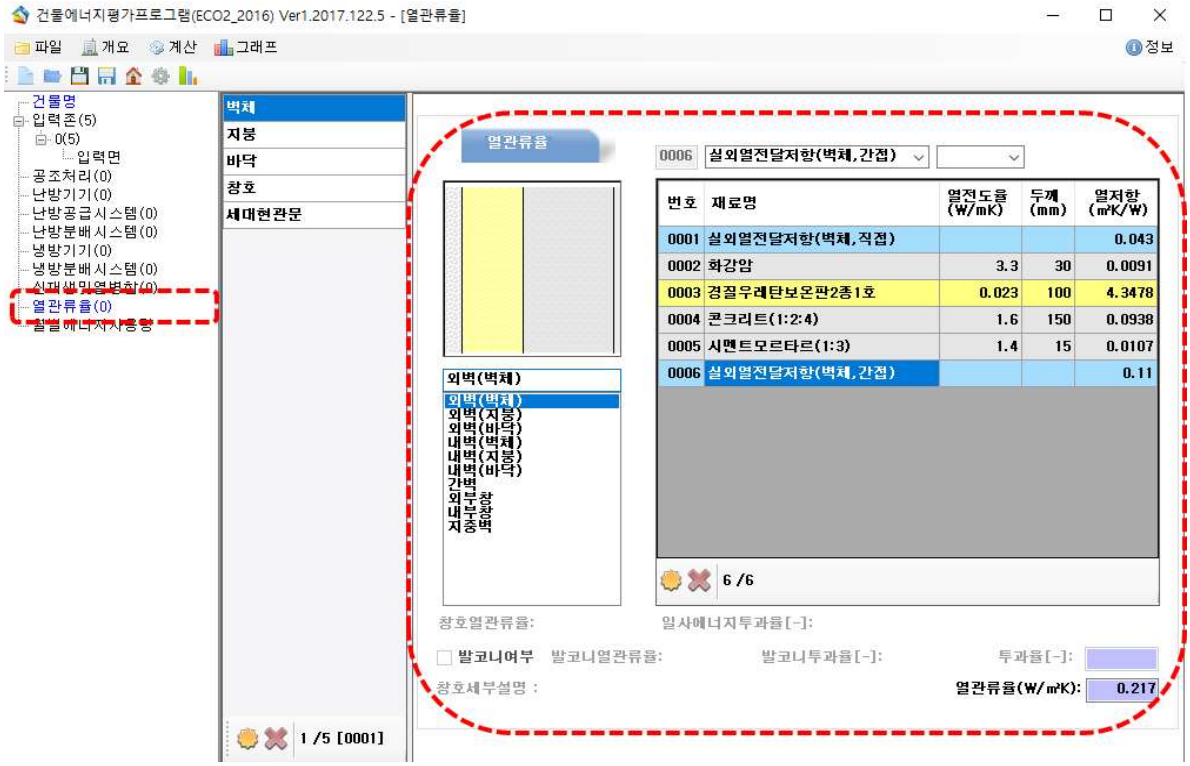
[그림 2-3]의 입력존 부분에서는 평가 대상 건축물의 각 실들을 생성하고 해당 실에 알맞은 사용 프로필, 면적, 천장고, 열저장능력, 열교가산치, 침기율, 냉난방 방식과 공급기기, 환기장비, 조명에너지부하율을 계산하여 입력한다.

적용 가능한 사용프로필은 주거 공간, 소규모사무실(30㎡이하), 대규모사무실(30㎡이상), 회의 및 세미나실, 강당, 구내식당, 화장실, 그 외 체류 공간, 부속 공간, 창고/설비/문서실, 전산실, 주방 및 조리실, 병실, 객실, 교실(초중고), 강의실(대학), 매장(상점/백화점), 전시실(전시관/박물관), 열람실(도서관), 체육시설로 주거용 1개, 비주거용 19개로 총 20개의 사용 프로필이 있다. 열저장 능력은 0, 130, 90, 50으로 나누어져 있다. 침기율은 비주거 부문에서 외기에 면하는 창호가 있는 경우 1.5, 외기에 면하는 창호가 없는 경우 0, 주거 부문에서 예비 인증시 6, 본 인증시 현장 측정 결과치를 적용한다. 선택하는 값을 포함한 모든 입력 내용은 도면에 모두 기입되어야 하며 본 인증 시에는 현장 실사를 통해 도면 내용을 확인한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



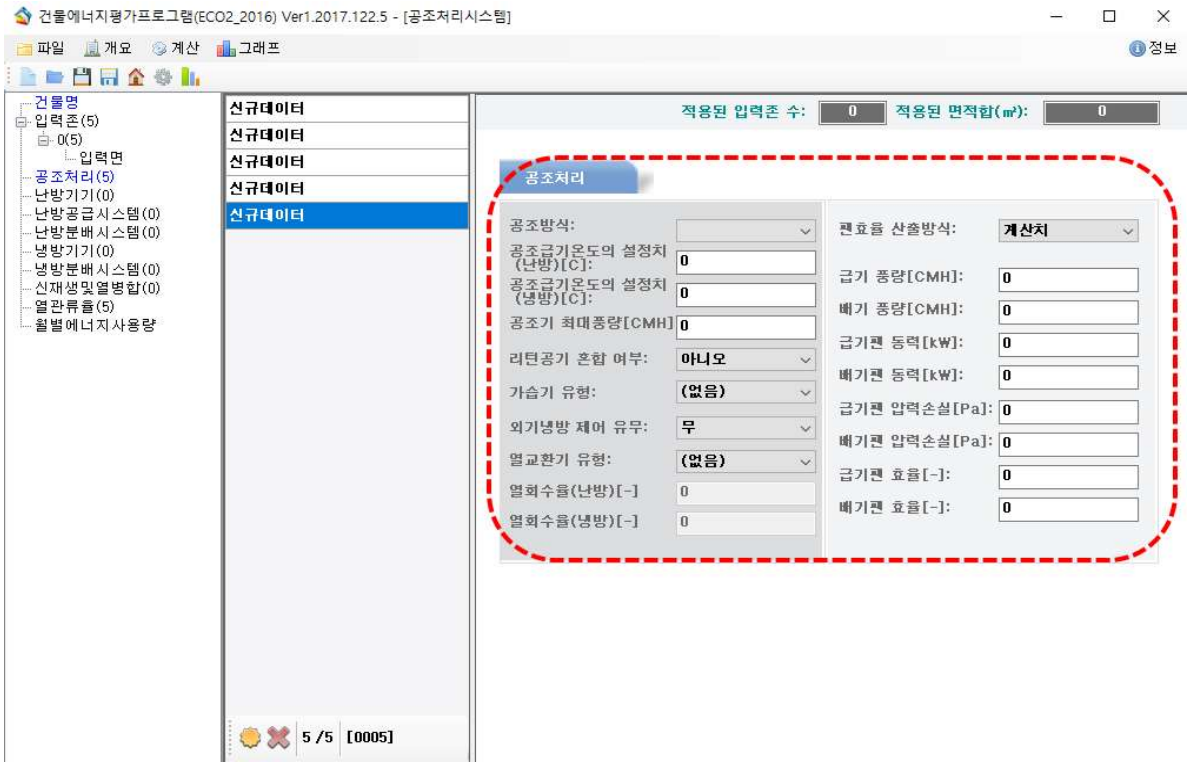
[그림 2-4] ECO2 입력면/건축부위 입력



[그림 2-5] ECO2 열관류율 입력

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

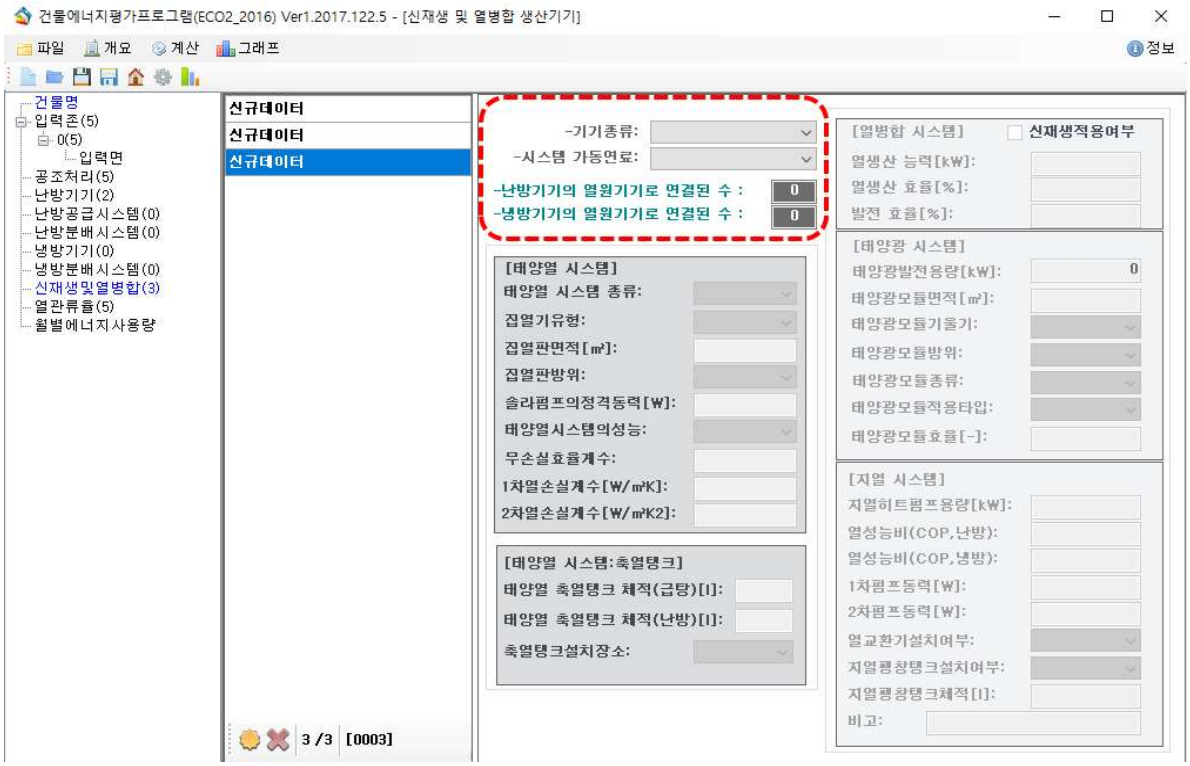
[그림 2-4]의 입력면/건축부위 부분에서는 해당 존의 건축부위방식, 방위, 건축부위 면적, 열관류율, 차양, 블라인드를 입력한다. 이때 열관류율은 [그림 2-5]와 같이 사전에 외기의 직접 및 간접 면하는 벽체와 창호 등 건축부위별로 열관류율을 입력하여 생성된 데이터를 선택하거나 건축물 에너지 절약 설계 기준에서 제시되는 값 또는 제출된 공인시험성적서의 성능치를 입력한다. 창호 열관류율은 창호 시험성적서(KOLAS) 또는 건축물 에너지 절약 설계 기준[15]에서 창 및 문의 단열성능 값을 참조한다. 일사 에너지 투과율은 제공된 차폐계수(SC) 값에 0.86를 곱하여 일사 에너지 투과율을 계산한다.



[그림 2-6] ECO2 공조처리 입력

[그림 2-6]의 공조처리 부분에서는 환기 장비 또는 냉난방 공조기를 생성하며 공조처리 입력 내용은 최종 도면의 장비 열람표와 현장실사를 통해 입력한다. 환기 설비가 없는 실은 냉난방 공조에서 '기능 없음'으로 적용한다.

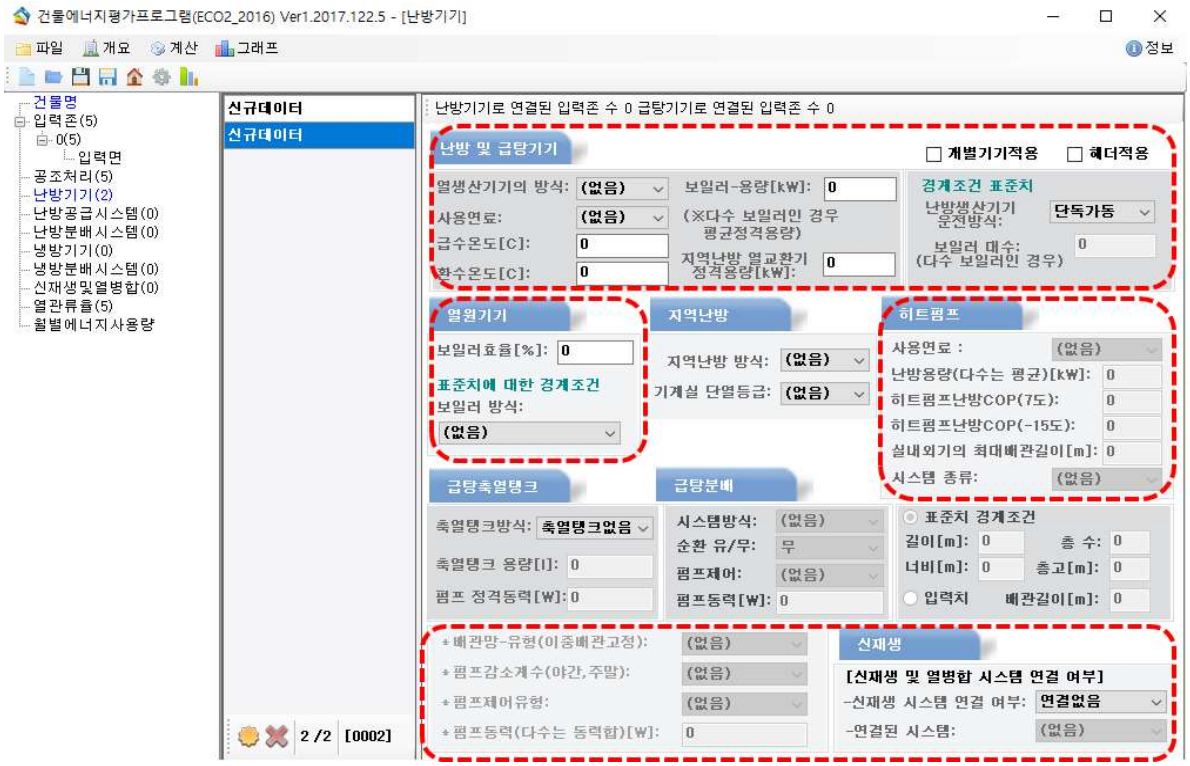
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-7] ECO2 신재생 및 열병합 입력

[그림 2-7]의 신재생 및 열병합 부분에서는 신재생 기기 종류로 태양열, 태양광, 지열 및 열병합시스템 중 선택하여 적용할 수 있으며 시스템 가동 연료로는 난방유, 천연가스, 액화가스, 전기 4개가 있다. 선택한 시스템에 따라 해당 항목이 활성화되어 각각의 정보를 입력할 수 있다.

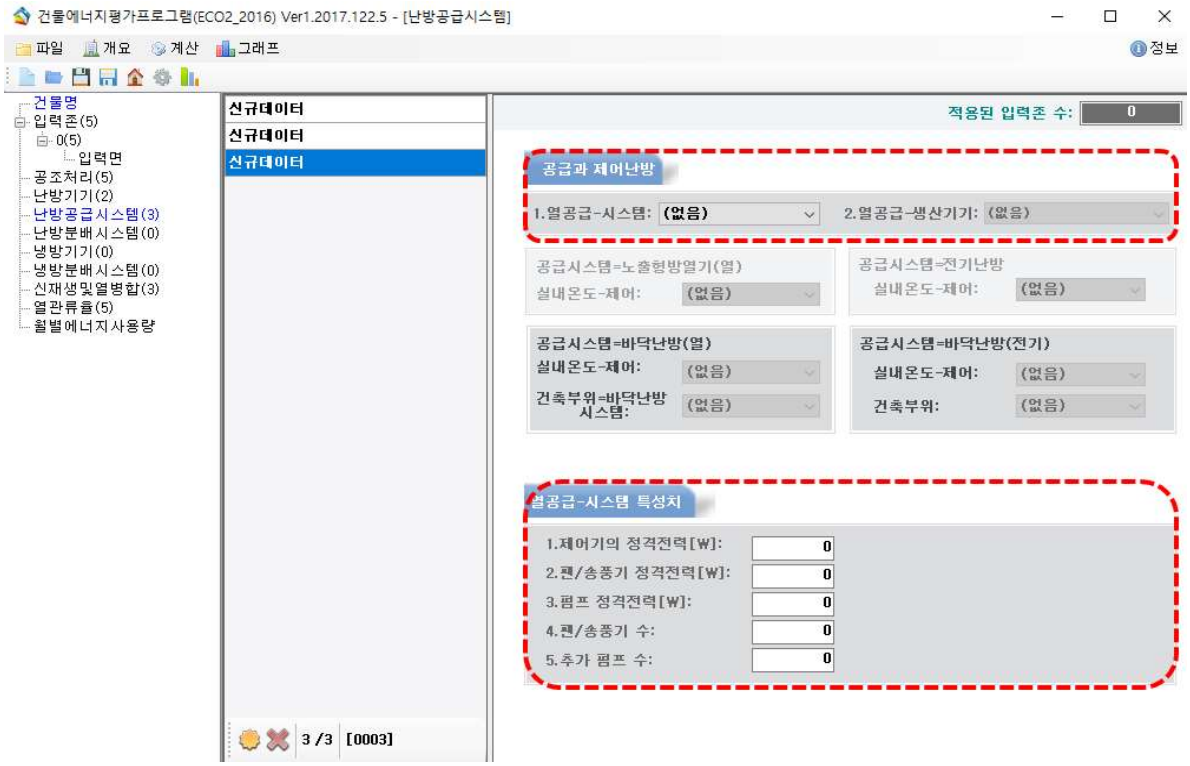
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-8] ECO2 난방기기 입력

[그림 2-8]의 난방기기 부분에서는 난방 및 급탕을 하는 열생산기기의 방식, 보일러효율, 급수·환수 온도, 열원기기 효율 및 COP를 계산하여 입력한다. 열생산기기 방식을 보일러로 선택할 경우 보일러가 사용하는 연료를 선택한다. 해당 기기가 순환 장비를 가지고 있으면 순환 장비의 소비 전력값을 입력하고 신재생 및 열병합 시스템이 적용되었으면 연결 여부와 연결된 시스템을 선택한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-9] ECO2 난방공급시스템 입력

[그림 2-9]의 난방공급시스템 부분에서는 평가하고자 하는 실의 난방 공급기기를 생성하는 곳으로 노출형 방열기(열), 바닥 난방(열), 바닥 난방(전기), 전기난방 같은 실내 공급 장비의 종류를 선택하고 소비전력 및 해당 장비의 열원을 연결해준다. 제어기의 정격전력은 공급 장비의 전력 소비량으로, 데이터가 없으면 0으로 입력한다. 제어기, 팬/송풍기, 펌프 등을 포함하지 않는 공급기기인 경우에도 공급 효율은 고려되기 때문에 생성해야 한다. 입력내용은 최종 도면의 장비 열람표와 현장 실사를 통해 입력한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[그림 2-10] ECO2 난방분배시스템 입력

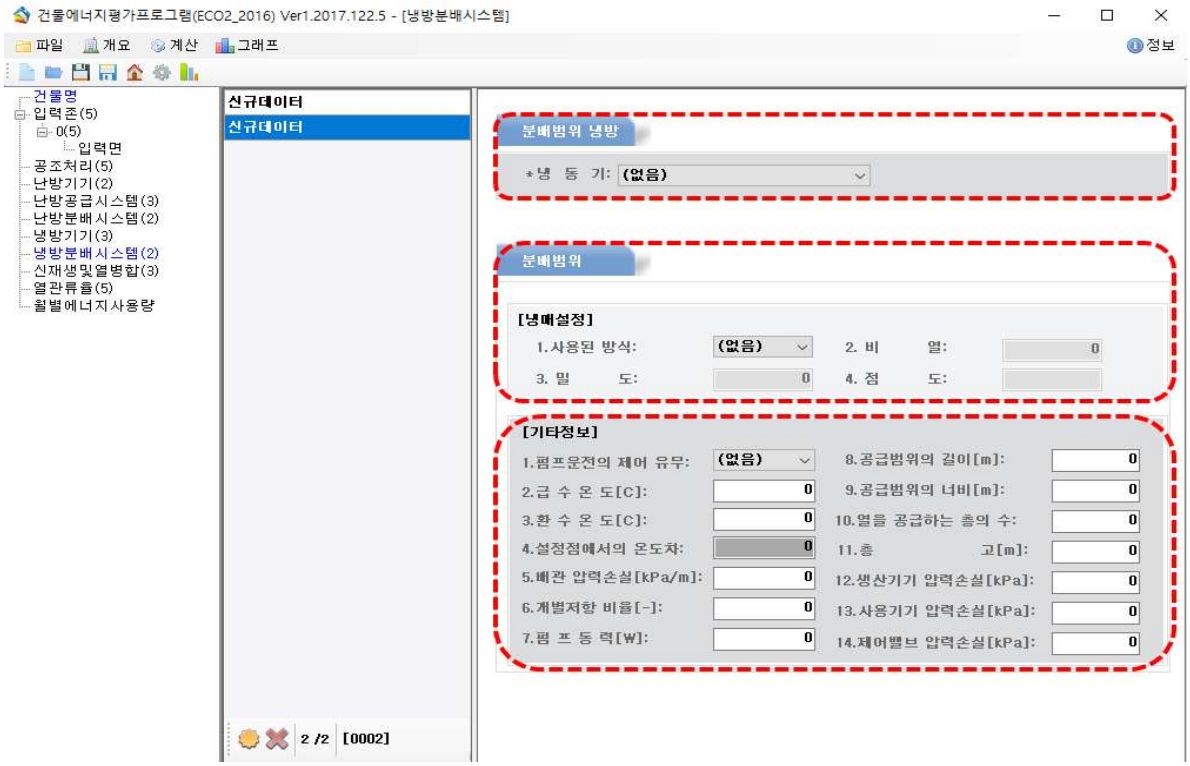
[그림 2-10]의 난방분배시스템 부분에서는 모든 난방열원기기에서 난방공급시스템 말단기기까지의 배관에서 손실되는 부분을 입력하여 계산하는 부분으로 배관은 주관, 지관으로 나누어 입력하고, 난방기기에 생성한 열원기기 중 열원 분배를 필요로하는 난방기기를 선택한다. 입력내용은 최종 도면의 장비 열람표를 통해 입력한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[그림 2-11] ECO2 냉방기기 입력

[그림 2-11]의 냉방기기 부분에서는 냉방열원을 생산하는 기기인 압축식, 흡수식, 지역냉방, 압축식(LNG)과 같은 냉동기의 종류와 압축식 냉동기의 종류 공냉식, 수냉식, 실내공조 시스템과같은 냉각시스템과 냉각탑의 사양을 입력하며, 냉방장비에도 신재생 및 열병합 시스템이 적용되었으면 연결 여부와 연결된 시스템을 선택한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-12] ECO2 냉방분배시스템 입력

[그림 2-12]의 냉방분배시스템 부분으로 냉방기기에서 냉동기는 생성한 기기 중 냉방열원 분배를 필요로 하는 냉방기기를 선택한다. 냉수 및 냉각수의 펌프제어, 급수·환수 온도, 배관압력 손실 및 개별저항 비율, 펌프의 동력, 여러 가지 압력손실 부분과 공급범위에 대해서 입력한다. 입력내용은 최종 도면의 장비 열람표를 통해 입력한다[16].

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 . 그린 리모델링 대상지 현황조사 및 건축물 에너지 효율등급

3.1 그린 리모델링 대상지 현황조사

본 연구의 연구 대상 건축물은 광주광역시의 공공임대주택으로 광주도시공사에서 선정하였다. 광주광역시 광산구 공공임대주택단지 1곳에서 2동, 서구의 공공임대주택단지 2곳에서 각각 1동씩 총 4동을 연구 대상으로 한다. 각 대상지에서 층별 세대 위치에 따른 에너지 성능의 차이를 알아보기 위해 외측 2세대, 중간측 1세대로 최하층에서 3세대, 중간층에서 3세대, 최상층에서 3세대 총 9세대를 선정하였다. 이후부터 광산구 공공임대주택 2동은 A-1 공공임대주택, A-2 공공임대주택으로 하며. 서구 공공임대주택 2동은 각각 B 공공임대주택, C 공공임대주택으로 한다. 대상지들은 90년대 초반에 준공되어 27~29년 경과된 노후 공공임대 아파트로 광주도시공사에서 운영 및 관리하고 있으며, 공가세대 발생 시 부분 보수를 진행 중이다. 유지관리가 오래된 세대들을 기준으로 주방가구(싱크대) 교체, 도배, 장판 교체를 실시하고 있다. 대상지 모두 공용부의 냉·난방 기기, 창호, 화장실, 조명을 제외한 벽체·지붕·바닥 단열 및 환기 성능은 준공 이후 눈에 띄는 개선점이 확인되지는 않았다.

그린 리모델링 대상지 현황조사는 일반현황, 실태 진단, 도면 분석을 진행했다. 건축물의 일반현황을 파악하고 실태 진단을 통해 세대주들의 의견 청취로 실제 주거환경을 조사한 후 주거환경 불평등을 개선하고자 했으며, 도면분석으로 EC02 프로그램을 사용하여 건축물의 열관류율을 계산한다.

3.1.1 그린 리모델링 대상지 일반현황

1) A 공공임대주택

A 공공임대주택은 1992년 준공되어 29년 경과된 노후 공공임대 아파트로 광주광역시 광산구에 위치한 공공임대 아파트 단지 내 2동을 선정하였다. 철근 콘크리트 구조로 지하 1층, 지상 15층 규모이며, A-1 공공임대주택에서 24.42㎡ 8세대, 31.50㎡ 1세대, A-2 공공임대주택에서 24.42㎡ 8세대, 40.50㎡ 1세대를 대상으로 하여 총 18세대를 조사하였다. 각 세대는 침실 2개, 주방, 화장실, 발코니로 구성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

되어 있다. A-1 공공임대주택과 A-2 공공임대주택의 전경 및 세대 복도는 [그림 3-1], [그림 3-2]에 정리하였다.

[그림 3-1] A-1 공공임대주택 전경과 세대 복도

[그림 3-2] A-2 공공임대주택 전경과 세대 복도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

A 공공임대주택의 리모델링 현황은 2009년도 공용 복도 측 창호 설치공사를 실시했고 아파트 출입구 및 복도 등 공용부의 LED 교체가 완료되었으며, 세입자 신청에 한해 세대별 발코니 측 창호교체 및 LED 교체사업을 실시하고 있다. 하지만 세입자들이 적극적으로 신청하지 않아 아직까지 전 세대교체가 이루어지지 않고 있다. 또한, 2019년 전국 최초로 '세대 벽 철거사업'을 시행했으며, 이는 그린 리모델링 사업 중 '통합 세대 리모델링'의 시작이라 할 수 있다. A 공공임대주택의 일반사항은 [표 3-1]에 정리하였다.

[표 3-1] A공공임대주택 일반사항

구 분		내 용
건 물 용 도		아파트
대 지 위 치		광주광역시 광산구 우산로 17
규 모		지하 1층, 지상 15층
구 조		철근콘크리트 구조
준 공 년 도		1992.10
조사 대상 세대 면적	A-1 공공임대주택	24.42㎡ 8세대
		31.50㎡ 1세대
	A-2 공공임대주택	24.42㎡ 8세대
		40.50㎡ 1세대
기계	냉방	일부 세대 에어컨 설치
	난방	세대별 가스보일러 설치
	급탕	세대별 가스보일러 설치
	환기	환기 및 공조 설비 없음

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) B 공공임대주택

B 공공임대주택은 1991년 준공되어 30년 경과된 노후 공공임대 아파트로 광주광역시 서구에 위치한 공공임대 아파트 단지 내 1동을 선정하였다. 철근 콘크리트 구조로 지하 1층, 지상 15층 규모이며, 26.37㎡ 9세대를 대상으로 조사하였다. 각 세대는 침실 2개, 주방, 화장실, 발코니로 구성되어 있다.

B 공공임대주택의 전경 및 세대 복도는 [그림 3-3]에 일반 사항은 [표 3-2]에 정리하였다.

[그림 3-3] B 공공임대주택 전경과 세대 복도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-2] B 공공임대주택 일반사항

구 분		내용
건 물 용 도		아파트
대 지 위 치		광주광역시 서구 화정로 87-1
규 모		지하 1층, 지상 15층
구 조		철근콘크리트 구조
준 공 년 도		1991.09
조사 대상 세대 면적		26.07㎡ 9세대
기계	냉방	일부 세대 에어컨 설치
	난방	중앙난방 및 급탕
	급탕	
	환기	환기 및 공조 설비 없음

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) C 공공임대주택

C 공공임대주택은 1993년 준공되어 28년 경과된 노후 공공임대 아파트로 광주광역시 서구에 위치한 공공임대 아파트 단지 내 1동을 선정하였다. 철근 콘크리트 구조로 지하 1층, 지상 15층 규모이며, 26.07㎡ 9세대를 대상으로 조사하였다. 각 세대는 침실 2개, 주방, 화장실, 발코니로 구성되어 있다. C 공공임대주택의 전경 및 세대 복도는 [그림 3-4]에, 일반 사항은 [표 3-3]에 정리하였다.

[그림 3-4] C 공공임대주택 전경과 세대 복도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-3] C 공공임대주택 일반사항

구 분		내용
건 물 용 도		아파트
대 지 위 치		광주광역시 서구 운천로32번길 23
규 모		지하 1층, 지상 15층
구 조		철근콘크리트 구조
준 공 년 도		1993.12
조사 대상 세대 면적		26.07㎡ 9세대
기계	냉방	일부 세대 에어컨 설치
	난방	세대별 가스보일러 설치
	급탕	세대별 가스보일러 설치
	환기	환기 및 공조 설비 없음

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1.2 그린 리모델링 대상지 실태진단

연구 대상지 실태진단은 광주광역시 (재)국제기후환경센터의 비산업부문(가정·상가·학교)온실가스 진단 컨설턴트가 2인 1조로 총 8명의 컨설턴트가 파견되어 실태 진단을 진행하였다. 실태 진단은 '2018년 공공건축물 그린리모델링 지원사업 백서'를 참고하여 진단표를 작성하였으며, 건축, 기계설비, 전기로 분류하였다. 2020년 9월 8일~18일 중 세대주들의 일정에 맞춰 방문하고 의견 청취와 육안조사를 통해 실제 주거환경을 조사한 후 주거환경 불평등을 개선하고자 했다. 실태진단 대상지인 36세대의 세대주들은 주로 고령자로 광주도시공사에서 추진하는 세대 내 LED 교체 사업, 베란다 창호 교체사업, 화장실 리모델링 사업들이 있었으나 신청 세대에 한해 진행되었고 사업들을 알지 못하거나 본인 부담금이 없더라도 필요성을 못 느껴 신청하지 않은 곳들이 대부분으로 건축물 전체적인 개선이 이루어지지 않고 있다. 세대주들은 '외풍 및 냉기가 심하다'는 공통적인 의견으로 세대 내 창호는 교체 사업이 진행 중이었으나 벽체 단열은 준공 이후 개선되지 않아 단열 성능 향상이 필요했다. 공가 세대 발생 시 실내 보수 및 리모델링을 하고 있지만 이후 관리가 제대로 되지 않아 벽체와 천장 부분에서 곰팡이가 발생하고 있었다. 공용부의 전체적인 하자 보수가 필요하다.

1) A 공공임대주택

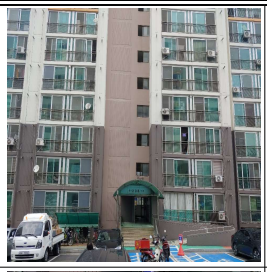
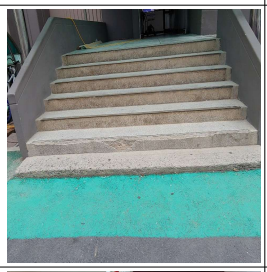
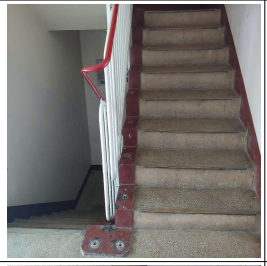
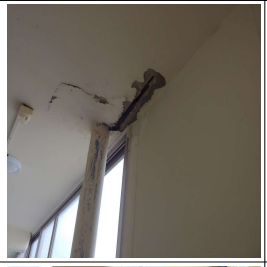
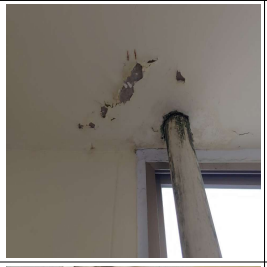
A 공공임대주택의 건축부문에서 외벽은 상시적으로 크랙을 보강하고 도색을 완료하여 상태가 양호했다. 공용부문에서는 출입구의 계단과 논슬립이 파손 및 마모로 안전상 개선이 필요했으며, 복도 측 바닥 부분과 벽에서 균열들이 발견되었고, 천장 부분은 페인트로 마감된 곳들이 곰팡이가 발생하고 들떠 있었다. 소화전은 내부 관리가 미흡하여 개선이 필요하다. 공용부의 전체적인 하자 보수가 필요하다.

기계설비 부문에서 난방·급탕설비는 세대별 가스보일러로 광주도시 공사가 관리하며 하자 발생 시 노후도에 따라 수리 및 교체하여 세대별 연식에 차이가 있었고 냉방설비의 경우 세입자가 설치하여 세대별로 설치 유무, 설치기기, 노후도가 달랐다.

전기부문은 신청 세대에 한해 세대 내 조명을 LED로 교체하고 있으나 제대로 이루어지지 않고 있었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-4] A 공공임대주택 실태진단

위치		사진		상태	개선 필요여부
외부	외벽			양호	불필요
	출입구			미흡	필요
공용부	계단			양호	불필요
	복도			미흡	필요
	천장			미흡	필요
	소화전			미흡	필요

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) B 공공임대주택

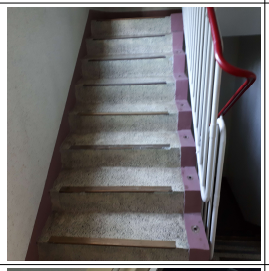
B 공공임대주택의 건축부문에서 외벽은 상시적으로 크랙을 보강하고 도색을 완료하여 상태가 양호했다. 공용부문에서는 출입구의 계단과 논슬립은 양호했으며, 복도 측에서는 벽에 균열들이 발견되고 빗물이 새어들어 손상되는 심각한 수준이었다, 천장 부분에서는 홈통 위주로 보수가 필요했다. 소화전은 내부 관리가 잘 되어있었다.

기계설비 부문에서 난방 및 급탕은 기온과 시기에 따라 중앙제어시스템으로 운영된다. 난방은 7~8월을 제외하고 운영되며 급탕은 365일 45℃~55℃로 온수가 공급된다. 냉방설비의 경우 세입자가 설치하여 세대별로 설치 유무, 설치기기, 노후도가 달랐다.

전기부문은 신청 세대에 한해 세대 내 조명을 LED로 교체하고 있으나 제대로 이루어지지 않고있었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-5] B 공공임대주택 실태진단

위치		사진		상태	개선 필요여부
외부	외벽			양호	불필요
	출입구			미흡	필요
공용부	계단			양호	불필요
	복도			미흡	필요
	천장			미흡	필요
	소화전			미흡	필요

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) C 공공임대주택

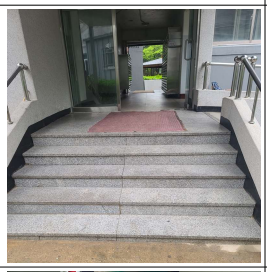
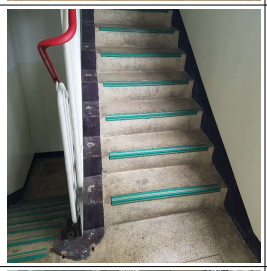
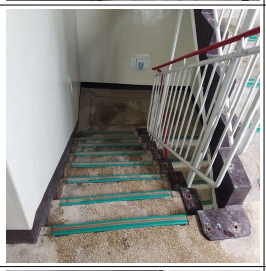
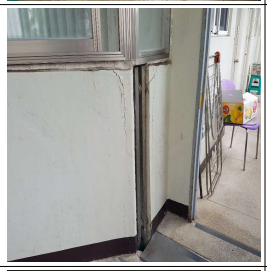
C 공공임대주택은 건축부문에서 다른 대상지와 달리 외벽 관리가 되지 않아 크랙 보수 및 도색이 필요했다. 공용부문에서는 최상층 천장 부분에서 페인트로 마감된 곳들이 들뜨고 곰팡이가 핀 심각한 수준이었다. 계단과 복도부분은 별다른 하자가 없었으며 소화전은 내부 관리가 잘 되어있었다.

기계설비 부문에서 난방·급탕설비는 세대별 가스보일러로 광주도시 공사 관리하며 하자 발생 시 노후도에 따라 수리 및 교체하여 세대별 연식에 차이가 있었고 냉방설비의 경우 세입자가 설치하여 세대별로 설치 유무, 설치기기, 노후도가 달랐다.

전기부문은 신청 세대에 한해 세대 내 조명을 LED로 교체하고 있으나 제대로 이루어지지 않았으며 A 공공임대주택, B 공공임대주택 대비 교체율이 가장 낮았다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-6] C 공공임대주택 실태진단

위치		사진		상태	개선 필요여부
외부	외벽			미흡	필요
	출입구			미흡	필요
공용부	계단			양호	불필요
	복도			양호	불필요
	천장			미흡	필요
	소화전			불필요	불필요

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1.3 그린 리모델링 대상지 도면분석

연구 대상지의 도면은 광주도시공사에서 준공 당시 도면과 2009년 영구임대주택 주거복지 증진사업을 위해 작성된 도면을 제공받았다. 도면을 분석을 통해 ECO2프로그램의 열관류율 입력란에 필요한 정보를 얻을 수 있었다. A 공공임대주택, B 공공임대주택, C 공공임대주택은 공간 구성은 똑같지만 면적에서 작은 차이가 있었다.

도면상에서 ECO2 프로그램 열관류율 평가부분에 해당되는 곳으로 내·외부 벽체, 내·외부 지붕, 바닥, 내·외부 창이 확인되었다. A 공공임대주택, B 공공임대주택과 달리 C 공공임대주택은 내벽 단열 부분이 확인되지 않았다. 대상지 3곳의 벽체, 지붕, 바닥 부분의 구성과 ECO2 프로그램을 통해 계산된 내·외부 벽체, 내·외부 지붕, 바닥, 내·외부 창의 열관류율[W/㎡K]을 건축물 에너지 효율등급 평가 양식에 맞춰 아래와 같이 정리하였다.

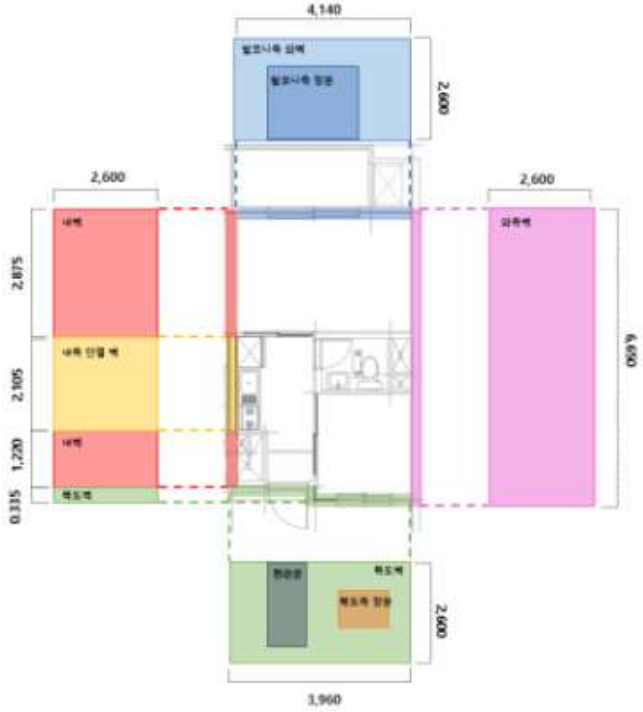
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-7] A 공공임대주택 벽체 구성 현황

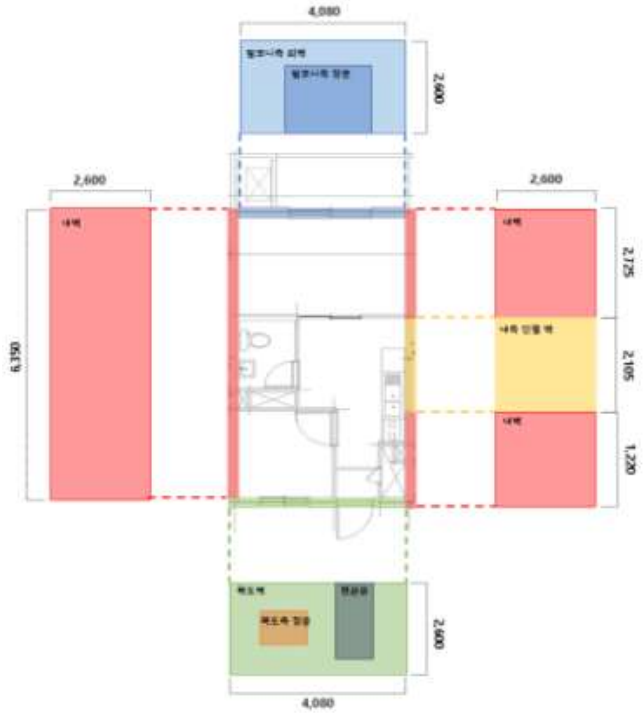
구분				내용
건축	벽체	측세대 외벽		180mm Con’c + 50mm 비드법보온판2종4호 + 9mm 석고보드
		발코니측 외벽		24mm 시멘트모르타르 + 90mm 시멘트벽돌 + 40mm미넬랄울보온판2호 + 10mm 공기층 + 90mm 시멘트벽돌 + 18mm 석고보드
		내벽		180mm Con’c
		내측 단열벽		20mm 석고보드 + 120mm 콘크리트 + 20mm 석고보드
		복도측 외벽		18mm 석고보드 + 90mm 시멘트벽돌 + 20mm 공기층 + 40mm 미네랄울보온판2호+ 90mm 시멘트벽돌 + 34mm 시멘트모르타르
	지붕	1층, 기준층		30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c
		최상층		80mm Con’c + 와이어 메쉬 + 0.03mm 포리에칠렌 필링 2겹 + 30mm 비드법보온판2종2호 + 30mm 보호모르타르 + sheet방수 + 15mm 고름모르타르 + 120mm 콘크리트 + 30mm 비드법보온판2종4호 + 30mm 공기층 + 20mm 목재(중간) + 9mm 석고보드
	바닥	1층	바닥	30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
			화장실	5mm 타일 + 80mm 방수모르타르 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
			현관	5mm 타일 + 55mm 시멘트모르타르 + 10mm 방수모르타르 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
		기준층 최상층	바닥	30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c
			화장실	5mm 타일 + 80mm 방수모르타르 + 120mm Con’c
			현관	5mm 타일 + 55mm 시멘트모르타르 + 10mm 방수모르타르 + 120mm Con’c

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-8] A 공공임대주택 서쪽 외측 세대

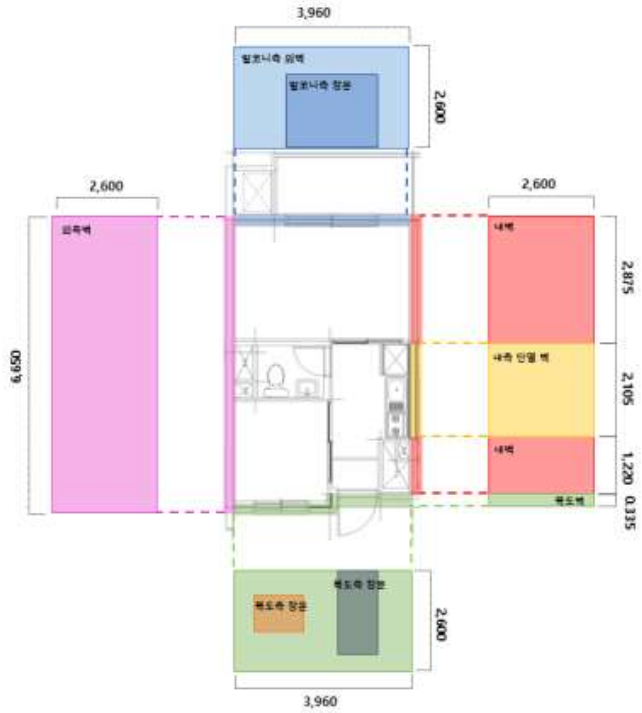
도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	외측벽	0.560
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	내측단열벽	1.888
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

[표 3-9] A 공공임대주택 내측 세대

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	내측단열벽	1.888
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-10] A 공공임대주택 동쪽 외측 세대

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	외측벽	0.560
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	내측단열벽	1.888
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

[표 3-11] A 공공임대주택 최하층 바닥

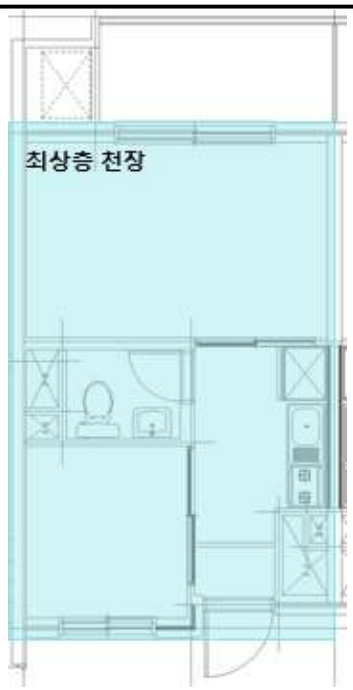
도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	바닥	0.460
	화장실 바닥	0.646
	현관바닥	2.769

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-12] A 공공임대주택 중간층, 최상층 바닥

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	바닥	1.070
	화장실 바닥	3.207
	현관바닥	3.365

[표 3-13] A 공공임대주택 최하층 · 중간층, 최상층 천장

도면		
건축부위 방식	1층, 기준층 천장	최상층 천장
열관류율[W/㎡K]	1.070	0.424

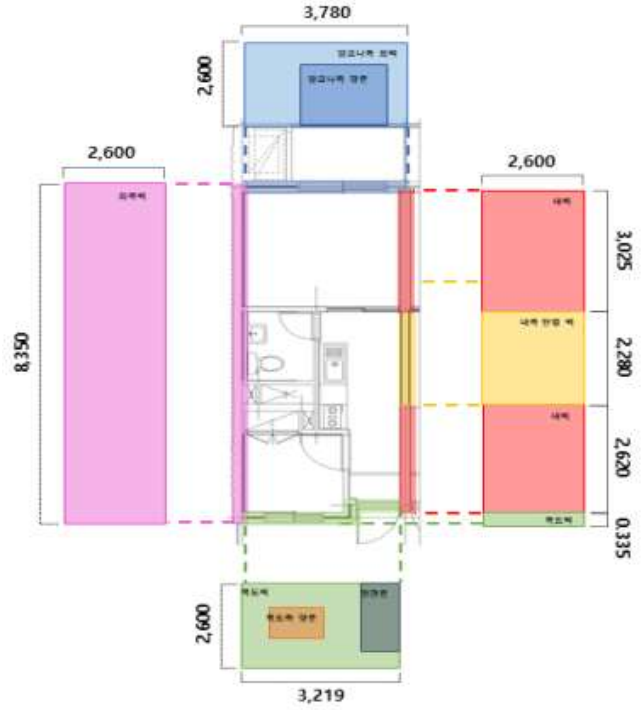
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-14] B 공공임대주택 벽체 구성 현황

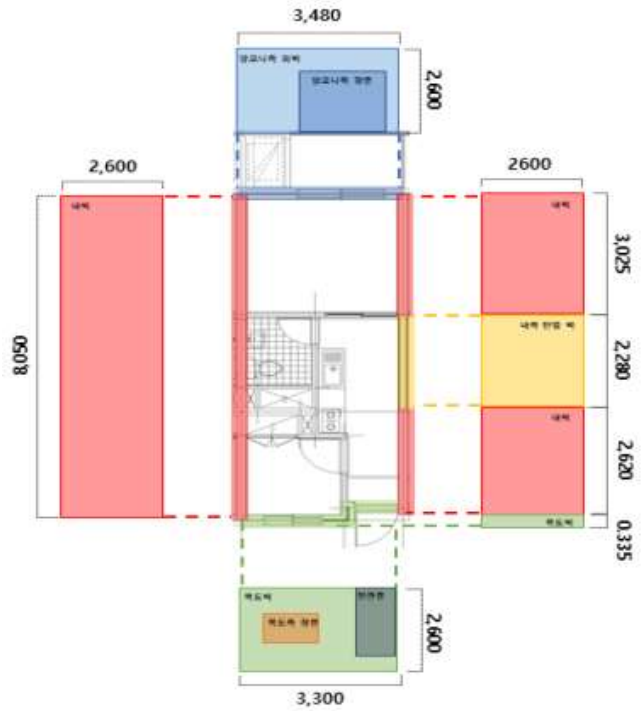
구분				내용
건축	벽체	측세대 외벽		180mm Con’c + 50mm 비드법보온판2종4호 + 9mm 석고보드
		발코니측 외벽		24mm 시멘트모르타르 + 90mm 시멘트벽돌 + 40mm미넬랄울보온판2호 + 10mm 공기층 + 90mm 시멘트벽돌 + 18mm 석고보드
		내벽		180mm Con’c
		내측 단열벽		20mm 석고보드 + 120mm 콘크리트 + 20mm 석고보드
		복도측 외벽		18mm 석고보드 + 90mm 시멘트벽돌 + 20mm 공기층 + 40mm 미네랄울보온판2호+ 90mm 시멘트벽돌 + 34mm 시멘트모르타르
	지붕	1층, 기준층		30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c
		최상층		80mm Con’c + 와이어 메쉬 + 0.03mm 포리에칠렌 필링 2겹 + 30mm 비드법보온판2종2호 + 30mm 보호모르타르 + sheet방수 + 15mm 고름모르타르 + 120mm 콘크리트 + 30mm 비드법보온판2종4호 + 30mm 공기층 + 20mm 목재(중간) + 9mm 석고보드
	바닥	1층	바닥	30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
			화장실	5mm 타일 + 80mm 방수모르타르 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
			현관	5mm 타일 + 55mm 시멘트모르타르 + 10mm 방수모르타르 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
		기준층 최상층	바닥	30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c
			화장실	5mm 타일 + 80mm 방수모르타르 + 120mm Con’c
			현관	5mm 타일 + 55mm 시멘트모르타르 + 10mm 방수모르타르 + 120mm Con’c

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-15] B 공공임대주택 서쪽 외측 세대

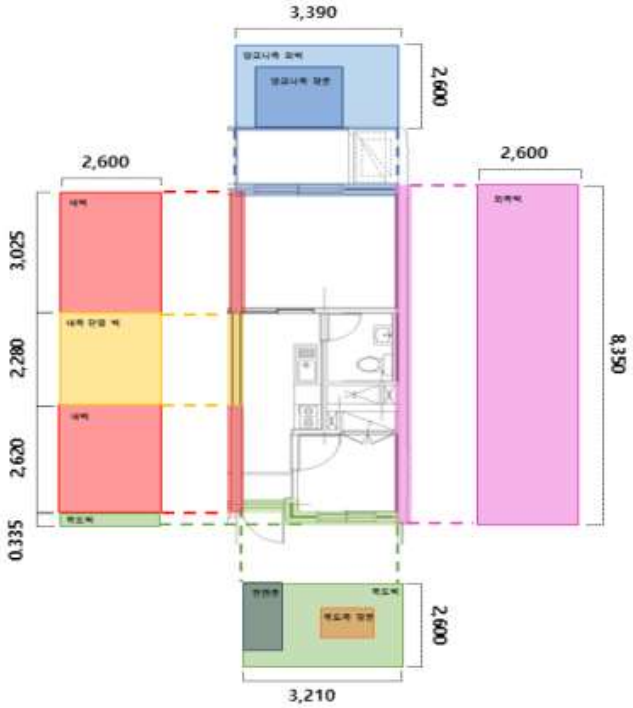
도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	외측벽	0.560
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	내측단열벽	1.888
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

[표 3-16] B 공공임대주택 내측 세대

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	내측단열벽	1.888
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-17] B 공공임대주택 동쪽 외측 세대

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	외측벽	0.560
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	내측단열벽	1.888
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

[표 3-18] B 공공임대주택 최하층 바닥

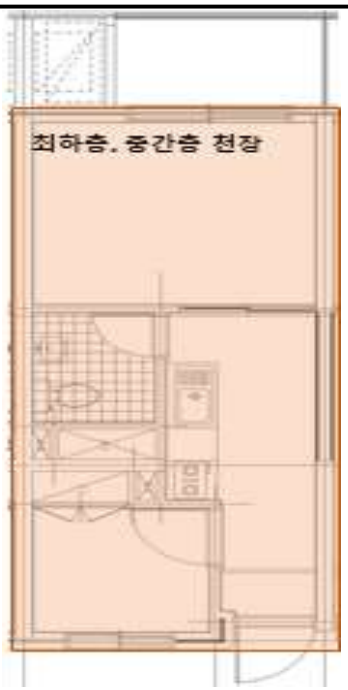
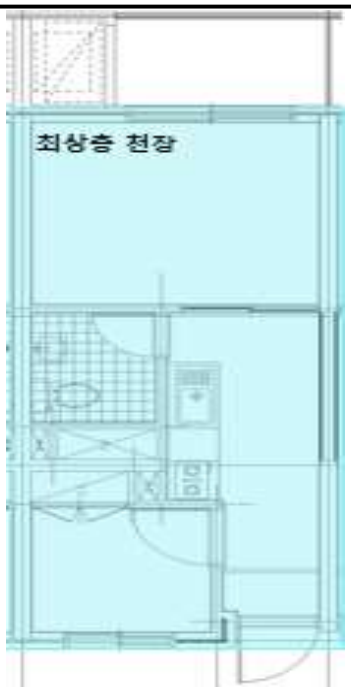
도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	바닥	0.460
	화장실 바닥	0.646
	현관바닥	2.769

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-19] B 공공임대주택 중간층, 최상층 바닥

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	바닥	1.070
	화장실 바닥	3.207
	현관바닥	3.365

[표 3-20] B 공공임대주택 최하층 · 중간층, 최상층 천장

도면		
건축부위 방식	1층, 기준층 천장	최상층 천장
열관류율[W/㎡K]	1.070	0.424

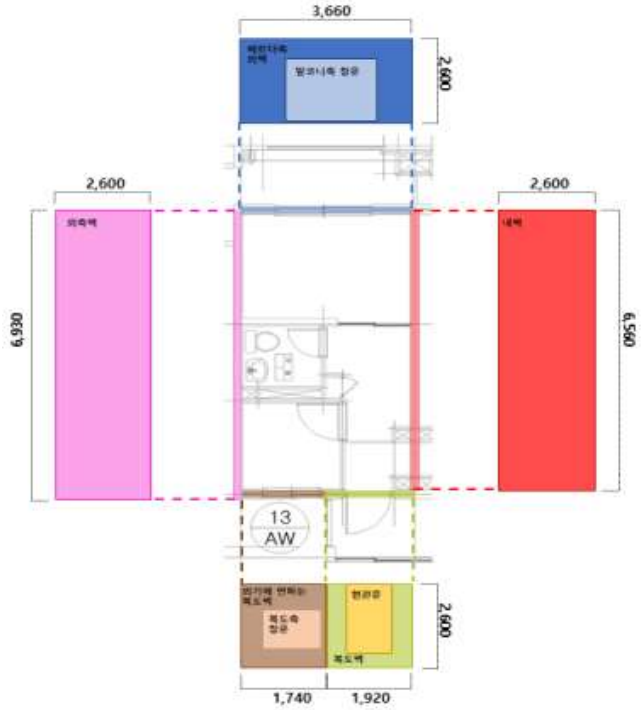
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-21] C 공공임대주택 벽체 구성 현황

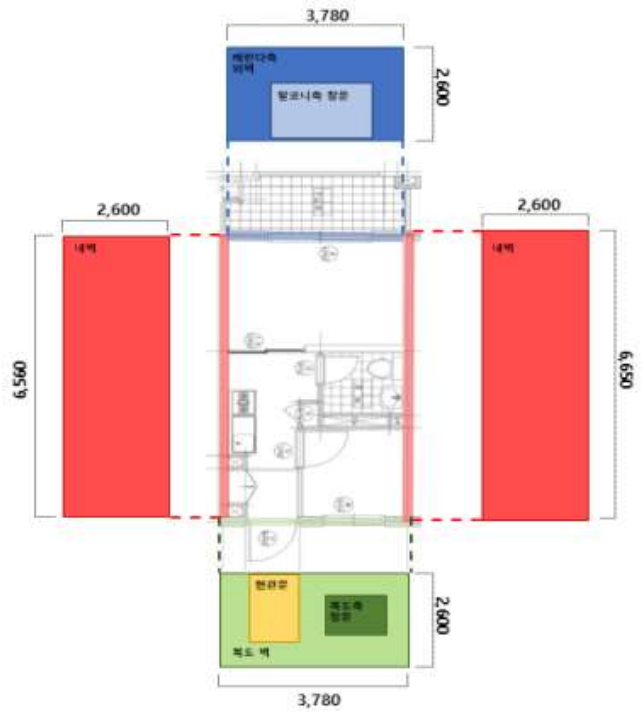
구분				내용
건축	벽체	측세대 외벽		180mm Con’c + 50mm 비드법보온판2종4호 + 9mm 석고보드
		발코니측 외벽		24mm 시멘트모르타르 + 90mm 시멘트벽돌 + 40mm미넬랄울보온판2호 + 10mm 공기층 + 90mm 시멘트벽돌 + 18mm 석고보드
		내벽		180mm Con’c
		복도측 외벽		18mm 석고보드 + 90mm 시멘트벽돌 + 20mm 공기층 + 40mm 미네랄울보온판2호+ 90mm 시멘트벽돌 + 34mm 시멘트모르타르
	지붕	1층, 기준층		30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c
		최상층		80mm Con’c + 와이어 메쉬 + 0.03mm 포리에칠렌 필링 2겹 + 30mm 비드법보온판2종2호 + 30mm 보호모르타르 + sheet방수 + 15mm 고름모르타르 + 120mm 콘크리트 + 30mm 비드법보온판2종4호 + 30mm 공기층 + 20mm 목재(중간) + 9mm 석고보드
	바닥	1층	바닥	30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
			화장실	5mm 타일 + 80mm 방수모르타르 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
			현관	5mm 타일 + 55mm 시멘트모르타르 + 10mm 방수모르타르 + 120mm Con’c + 40mm 비드법보온판 2종4호
		기준층 최상층	바닥	30mm 시멘트모르타르 + 메탈라스 + 40mm 자갈 + 30mm 누름모르타르 + 20mm 비드법보온판2종2호 + 120mm Con’c
			화장실	5mm 타일 + 80mm 방수모르타르 + 120mm Con’c
			현관	5mm 타일 + 55mm 시멘트모르타르 + 10mm 방수모르타르 + 120mm Con’c

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-22] C 공공임대주택 동쪽 외측 세대

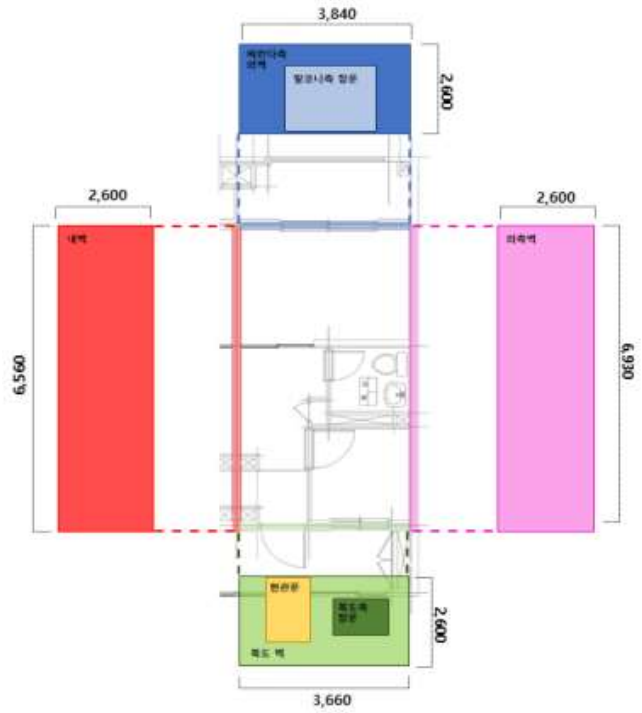
도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	외측벽	0.560
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	외기에 면하는 복도측 벽	0.566
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

[표 3-23] C 공공임대주택 내측 세대

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-24] C 공공임대주택 서쪽 외측 세대

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	외측벽	0.560
	발코니측 벽	0.545
	발코니측 창문	1.800
	내측벽	3.008
	복도측 벽	0.543
	복도측 창문	1.800
	현관문	1.800

[표 3-25] C 공공임대주택 최하층 바닥

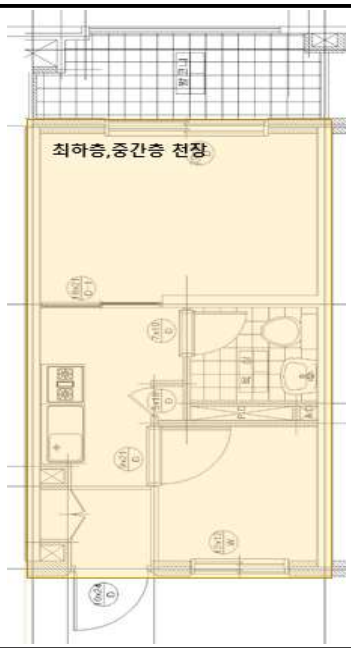
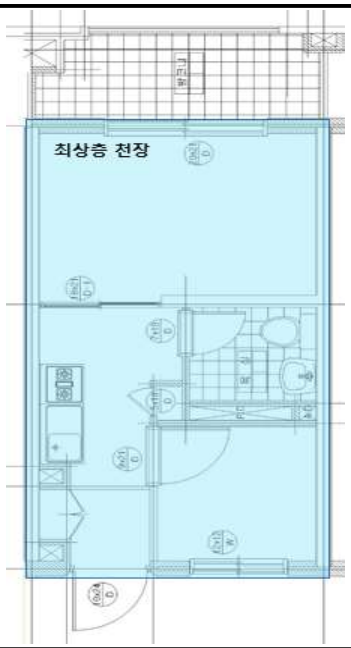
도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	바닥	0.460
	화장실 바닥	0.646
	현관바닥	2.769

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-26] C 공공임대주택 중간층, 최상층 바닥

도면	건축부위 방식	열관류율[W/㎡K]
	바닥	1.070
	화장실 바닥	3.207
	현관바닥	3.365

[표 3-27] C 공공임대주택 최하층 · 중간층, 최상층 천장

도면		
건축부위 방식	1층, 기준층 천장	최상층 천장
열관류율[W/㎡K]	1.070	0.424

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

열관류율 기준은 최근 에너지 절약 및 온실가스 저감 정책에 따라 2010년 이후 지속적으로 강화되고 있으며 광주광역시의 경우 외기에 면하는 거실의 외벽 기준이 2010년 11월 0.45W/㎡K, 2012년 11월 0.34W/㎡K, 2015년 12월 0.26W/㎡K, 2017년 12월 0.22W/㎡K로 열관류율 기준이 강화되었다. 원칙적으로는 공동주택은 건축승인 연도에 고시된 열관류율 기준을 충족시켜야 하며, 지속적으로 강화되고 있는 에너지절약 기준에 맞추어 건축물의 단열수준도 꾸준히 향상되어야한다. 하지만 연구대상 건축물은 준공이후 단열 보완이 확인되지 않았고 외피 단열성능은 현재 건축물 에너지 절약 설계 기준의 건축물 부위별 연관류율에 한참 못 미치고 있어 건축물 단열성능 향상을 위한 개선이 필요하다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-28] 남부지역 건축물 부위별 열관류율

(단위 : W/㎡·K)

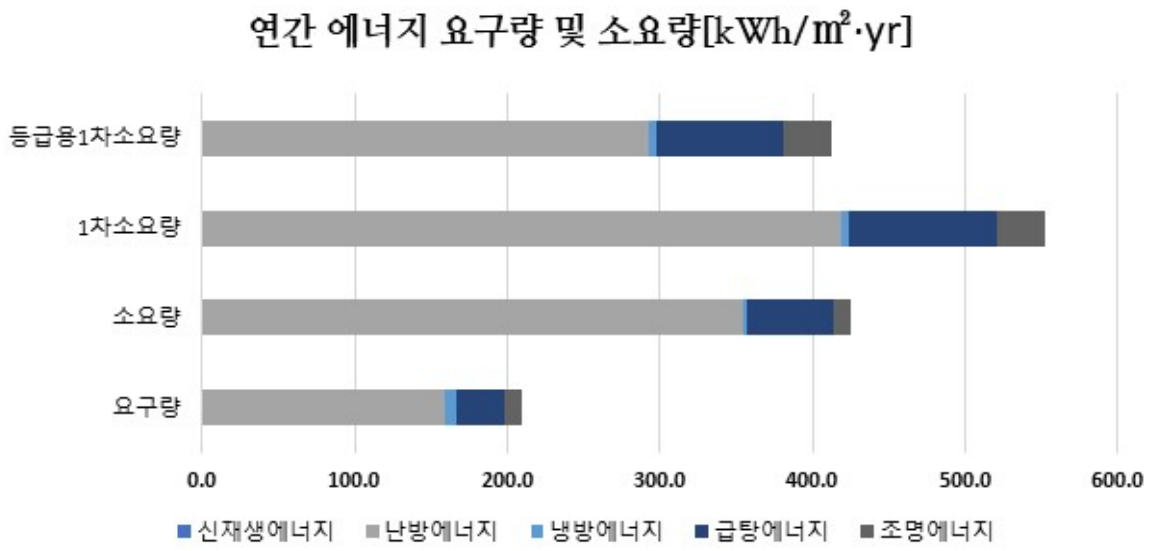
건축물 부위				남부지역
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택		0.220 이하
		공동주택 외		0.320 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택		0.310 이하
		공동주택 외		0.450 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우			0.180 이하
	외기에 간접 면하는 경우			0.260 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우		0.220 이하
		바닥난방이 아닌 경우		0.250 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우		0.310 이하
		바닥난방이 아닌 경우		0.350 이하
바닥난방인 층간바닥				0.810이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택		1.200 이하
		공동주택 외	창	1.800 이하
			문	
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택		1.700 이하
		공동주택 외	창	2.200 이하
			문	
공동주택 세대현관문 및 방화문	외기에 직접 면하는 경우 및 거실 내 방화문			1.400이하
	외기에 간접 면하는 경우			1.800이하

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 그린 리모델링 대상지 건축물 에너지 효율등급

3.2.1 A 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급

A-1 공공임대주택과 A-2 공공임대주택은 각 9세대 중 3세대의 평수의 차이가 조금 있어 건축물 에너지 평가의 결과에도 큰 차이가 없었다. 등급용 1차 소요량이 413.1kWh/㎡ · yr, 421.9kWh/㎡ · yr이고, 에너지 효율 등급은 6등급이다. 이중 난방 에너지 71.0%, 급탕 에너지 20.2%로 난방 에너지의 종합적인 저감 대책이 필요하다.

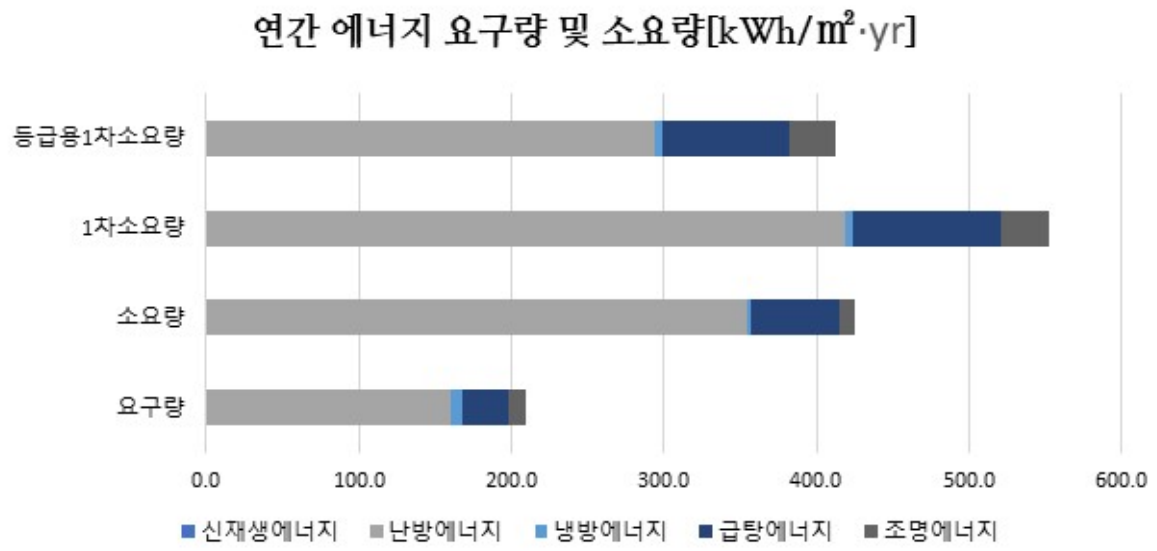


(단위 : kWh/㎡ · yr)

구분	난방에너지	냉방에너지	급탕에너지	조명에너지	합계
요구량	159.7	7.5	30.7	11.5	209.4
소요량	354.7	1.9	57.6	11.5	425.7
1차소요량	418.7	5.1	97.1	31.7	552.5
CO2발생량	76.3	0.9	17.1	5.4	99.6
등급용1차소요량	293.1	5.1	83.2	31.7	413.1
1차 소모량 비율	71.0%	1.2%	20.1%	7.7%	

[그림 3-5] A-1 공공임대주택 개선 전 ECO2시뮬레이션 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(단위 : kWh/㎡ · yr)

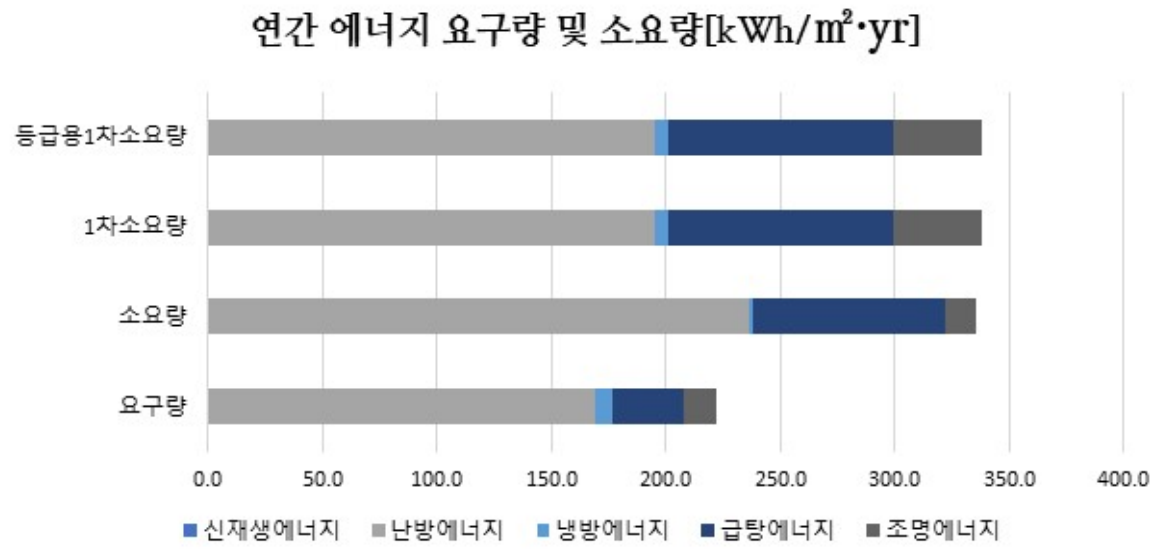
구분	난방에너지	냉방에너지	급탕에너지	조명에너지	합계
요구량	159.7	7.5	30.7	11.4	209.3
소요량	354.7	1.8	57.6	11.4	425.7
1차소요량	418.7	5.1	97.1	31.4	552.3
CO2발생량	76.3	0.9	17.1	5.3	99.6
등급용1차소요량	293.2	5.1	83.2	31.4	412.9
1차 소모량 비율	71.0%	1.2%	20.2%	7.6%	

[그림 3-6] A-2 공공임대주택 개선 전 ECO2시뮬레이션 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2.2 B 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급

B 공공임대주택의 경우 등급용 1차 소요량이 335.8kWh/㎡·yr이고, 에너지 효율 등급은 평균 6등급이다. 난방에너지가 58.4%, 급탕에너지가 29.5%, 조명에너지가 10.6%로 난방에너지 부분에서의 저감대책이 필요하다. 다른 대상지와 달리 중앙난방으로 설비 부문 보다는 단열성능 향상이 필요하다.



(단위 : kWh/㎡·yr)

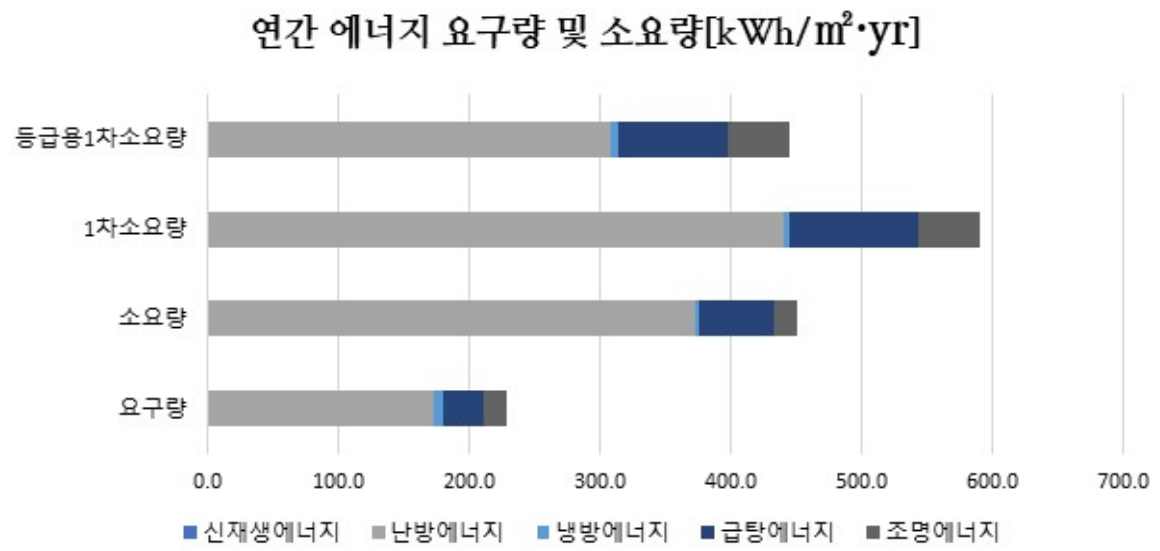
구분	난방에너지	냉방에너지	급탕에너지	조명에너지	합계
요구량	169.8	7.7	30.7	12.9	221.1
소요량	237.0	1.9	83.8	12.9	335.6
1차소요량	196.0	5.2	99.0	35.5	335.8
CO2발생량	42.4	0.9	19.5	6.1	68.8
등급용1차소요량	196.0	5.2	99.0	35.5	335.8
1차 소모량 비율	58.4%	1.5%	29.5%	10.6%	

[그림 3-7] B 공공임대주택 개선 전 EC02시뮬레이션 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2.3 C 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급

C 공공임대주택의 경우 등급용 1차 소요량이 에너지 효율 등급은 7등급 기준인 '370kWh/㎡ · yr이상 420kWh/㎡ · yr미만' 을 벗어나는 444.0kWh/㎡ · yr로 현재 건축물의 에너지 부하가 크다. 난방에너지가 69.0%, 급탕에너지가 19.1%, 조명에너지가 10.6%로 난방에너지 부분에서의 종합적인 에너지 저감 대책이 필요하다.



(단위 : kWh/㎡ · yr)

구분	난방에너지	냉방에너지	급탕에너지	조명에너지	합계
요구량	172.1	8.2	30.7	17.2	227.7
소요량	373.0	2.0	58.2	17.2	449.2
1차소요량	439.6	5.5	98.6	47.2	589.5
CO2발생량	80.1	0.9	17.3	8.0	106.1
등급용1차소요량	307.2	5.3	84.5	47.0	444.0
1차 소모량 비율	69.0%	1.3%	19.1%	10.6%	

[그림 3-8] C 공공임대주택 개선 전 ECO2시뮬레이션 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

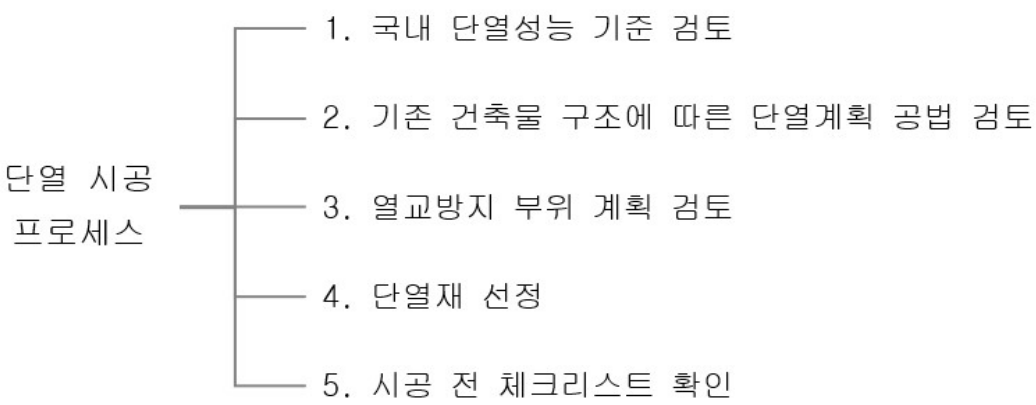
제4장 . 그린 리모델링 기술선정 및 건축물 에너지 평가

4.1 그린 리모델링 기술선정

연구 대상 건축물 현황조사 결과 전체적으로 창호교체, LED 교체사업이 전 세대에 시행되어야 하며, 현재 건축물들의 외피가 에너지절약설계 기준의 건축물 부위별 연관류율에 한참 못 미치고 있어 건축물 단열성능 향상을 위한 개선이 필요하다. 중앙난방을 하는 B 공공임대주택을 제외한 나머지 대상지들은 노후한 저효율 난방기기를 사용하고 있어 고효율 난방기기로 교체해야 한다. 또한, 현재 신축 공공임대 주택 건축물 에너지 효율 등급 기준은 2등급으로 신재생에너지까지 설치한다는 조건을 적용하여 ECO2 건축물 에너지 성능 평가를 진행한다.

4.1.1 Passive 기술

Passive 기술중 외피 단열성능 향상은 건축물의 벽체, 바닥, 지붕 등 각 부분에 단열성능을 갖춘 재료를 시공하여 건축물 내·외부 간 열성능을 향상시키고 실내 거주자의 쾌적성을 높이는 역할을 한다. 특히, 그린 리모델링 공사에서 단열성능을 확보하기 위하여 우수한 단열재를 두껍게 사용해도 시공이 불량하게 되면 단열성능이 저하되므로 효율적인 시공관리 계획이 반드시 필요하다. 단열 시공 프로세스는 [그림 4-1]과 같다.

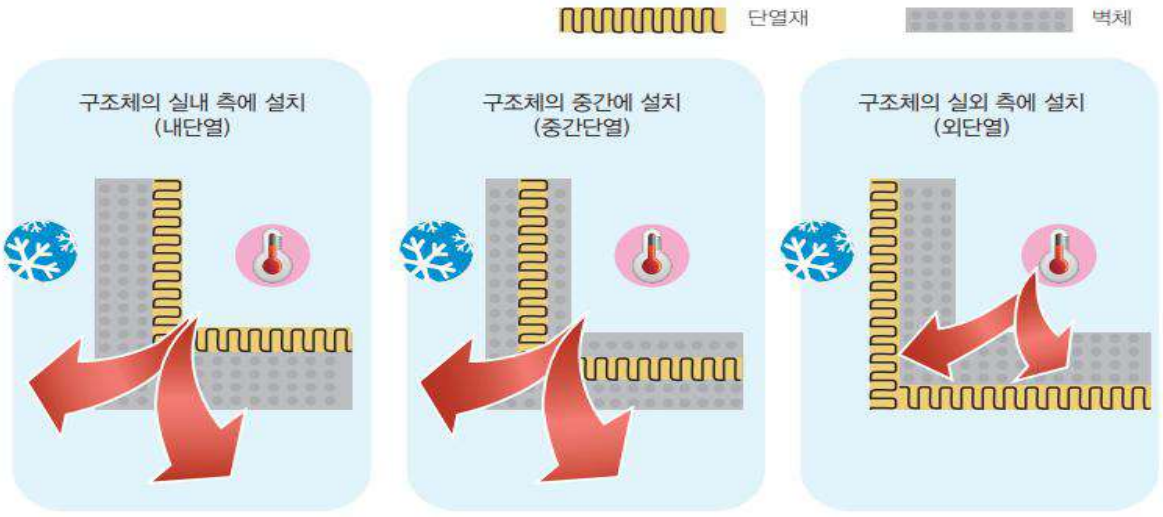


[그림 4-1] 단열 시공 프로세스

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그린 리모델링 공사에서는 일반적으로 거주자가 생활하면서 공사가 가능한 외단열공법을 적용하는 사례가 많은데, 기존 건물의 노출된 가스 배관과 한전 전력계량기 등은 사전에 연장 배관과 이동 설치를 고려하는 시공 계획을 수립하여야 한다. 화재 시 수직 연소 확대로 안전사고가 빈번히 일어남에 따라 준불연 이상의 단열성능이 요구되고 있으며, 자연상태 노출 시 유해가스가 방출되는 등 검증이 필요한 단열재도 있으므로 단열재 선정 시 주의가 필요하다. 단열과 밀접한 관련이 있는 건축물 내부 결로는 구조체의 열화를 촉진하고, 표면 결로는 곰팡이 유발로 실내 환경에 악영향을 주며 단열재 성능과 수명을 감소시키므로 단열재 및 공법 선정 시에는 유지관리 비용까지 고려하여야 한다.

외벽의 단열 방식은 구조체를 기준으로 단열재 설치 위치에 따라 내단열, 중열, 외단열로 분류한다. 건축물의 에너지 성능을 높이기 위해서는 외단열 방식이 이상적인 대안으로 거론되고 있으며, 공동주택에서는 외장재에 따라서 시공성 저하, 공사비 증가, 유지관리의 어려움 등 단점이 있어 내단열 공법을 채택하는 경우도 있다.



[그림 4-2] 단열방식의 분류

시공 시 유의 사항으로는 기존 건축물의 외장재료 및 구조 상태를 진단한 후 외장재의 철거 여부, 보강 후 존치 여부를 판단해야 한다. 기존 벽체의 지장물 여부 및 기존 고정 시설물(도시 Gas배관, 전력량계 등)연장 시공, 또는 이설 후 외단열

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

시공을 착수한다. 1.5m 이하는 외부 충격으로부터 내구성을 갖도록 별도의 보강 방안을 검토한다. 그린 리모델링 대상이 되는 공공임대 주택은 노후도가 높아 균열 및 창호의 기밀성 저하 등에 따른 열 손실로 에너지가 새어 나가거나, 에너지 사용 효율이 현저히 떨어지는 부위가 존재하는지, 누수로 인하여 곰팡이 등 실내환경이 저해되는지, 외벽마감재의 열화, 탈락 여부, 방화성능 저하 등 지속적인 유지관리를 위해서는 관리주체에서 유지관리 점검자를 선정하여 정기, 수시 점검 실행함으로써 건축물 수명 기간을 연장하고 거주자의 안전과 쾌적성을 제공하여야 한다. 개정된(2019.8.6.) “건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙” 24조 5항의 규정에 따라 단열재는 난연재 이상 재료를 사용하도록 되어 있다. 따라서 연구 대상 건축물의 외피 단열 성능 향상을 위해 열전도율 0.034W/mK이하의 준불연 경질 우레탄 단열재로 보강하였으며, 건축물 에너지절약 설계기준과 ECO2 프로그램에 입력하여 계산한 열관류율 결과값은 [표 4-1]과 같고 단열 개선 사항은 [표 4-2]과 같다. 이후부터 Passive 기술은 ALT1이라고 한다.

[표 4-1] 그린 리모델링 후 외피 열관류율

(단위 : W/㎡k)

분류	측정대상	건축물 에너지절약 설계기준			건축물 부위	수치
외피 단열성능	열관류율	외기에 직접 면하는 벽	0.220 이하	→	외벽	0.217
					내벽	0.296
		외기에 간접 면하는 벽	0.310 이하		단열 내벽	0.291
					발코니측 외벽	0.28
					복도측 외벽	0.218
		외기에 직접 면하는 지붕	0.180 이하		최상층 지붕	0.149
		외기에 간접 면하는 거실의 반자	0.260 이하		거실의 천장	0.251
		외기에 간접 면하는 바닥난방 바닥	0.310 이하		바닥	0.214~0.251

※ 기준도서 : 건축물 에너지절약 설계기준(2018)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-2] 외피 상태 및 단열성능개선 사항

구분				현황/상태		개선사항
외피	벽체 단열	발코니측 외벽		40㎜ 미네랄울보온판 2호 + 18㎜ 석고보드		40㎜ 준불연 경질우레탄단열재 보강
		복도측외벽	외기에 직접 면하는 경우	40㎜ 미네랄울보온판 2호 + 18㎜ 석고보드		65㎜ 준불연 경질우레탄단열재 보강
			외기에 간접 면하는 경우			35㎜ 준불연 경질우레탄단열재 보강
		외벽		50㎜ 비드법보온판2종4호 + 9㎜ 석고보드	→	65㎜ 준불연 경질우레탄단열재 보강
		내벽		40㎜ 석고보드		70㎜ 준불연 경질우레탄단열재 보강
	지붕단열 (최상층)			30㎜ 비드법보온판2종2호 + 30㎜ 비드법보온판2종4호 + 9㎜ 석고보드		100㎜ 준불연 경질우레탄단열재 보강
	바닥단열 (최하층)			20㎜ 비드법보온판2종2호 + 40㎜ 비드법보온판 2종4호		50㎜ 경질 우레탄 단열뿜칠 보강

또한, 그린 리모델링에서 외피 단열성능 부문에서 창호계획을 통해 개선할 수 있다. 건축물의 용도에 따라 창호를 통한 열획득, 열차단으로 냉·난방부하 저감이 가능하며, 이를 통해 건축물의 1차 에너지 소요량 감소를 기대할 수 있다. 그 외에도 각 실의 기능에 따라 창호의 가시광선 투과율을 이용하여 실내 빛환경을 조절

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

할 수 있다. 일반적으로 창호는 환기 개선과 일사 및 일조 획득을 위한 장치이다. 창호는 열관류율과 기밀성, 가시광선투과율, 태양열취득률, 유리두께 등의 값에 따라 성능이 달라지게 되며 건축물의 전체 에너지 성능에 영향을 준다. 창호는 유리의 열관류율만 낮추는 것이 아니라 프레임 열관류율까지 포함한 전체 열관류율을 낮추는 것이 중요하다. 고성능 창호의 경우 일반창호에 비해 유리 및 프레임의 단열성능이 우수하여 겨울철 난방으로 얻은 실내 열을 잘 유지시켜줄 수 있기 때문에 난방비 저감에 도움이 된다. 기존 시행되고 있는 창호교체 사업을 전 세대가 신청할 수 있도록 적극적인 참여 유도가 필요하다. 본 연구에서는 창 외기에 직접 면하는 창문에 열관류율이 1.2W/㎡·K인 24㎜ 2코팅 복층유리 이중창을 적용하였다.

4.1.2 Active 기술

Active 기술에는 먼저 쾌적한 실내환경을 유지하기 위한 냉·난방 및 급탕 등을 위한 기계설비가 반드시 필요하며, 설비시설의 효율에 따라 건축물의 에너지 소비량이 달라지게 된다. 따라서 그린 리모델링을 계획할 때에는 기존 건축물의 노후한 설비에 대한 대책을 마련함과 에너지를 절약을 위해 고효율 설비로 교체하는것이 중요하다. 고효율 설비에는 보일러, 히트펌프, 흡수식냉온수기, 냉방기 등이 있다. 건축물이 소비하는 에너지의 상당 부분은 난방과 급탕 설비시스템에서 소비하는 가스, 기름, 전기등의 사용연료와 설비의 낮은 효율로부터 발생한다. 이에 정부에서는 에너지효율화 정책을 바탕으로 에너지소비효율등급표시제도, 고효율기자재 인증제도, 대기전력저감프로그램 등의 운영을 통해 설비시스템의 효율화를 추진하고 있다. 이처럼 고효율 설비에 대한 요구가 나날이 증가함에 따라, 고효율 설비를 판단하는 기준에 대한 인식 또한 필요로 한다.

국내에서는 고효율 기자재로의 시장 전환을 촉진하기 위하여 효율관리제도와 관련한 여러 가지 보급지원정책을 시행하고 있으며, 각 지원대상 별로 상이하지만 장려금 지원부터 조달청 우선구매, 우수 조달물품 지정, 공공기관 사용 의무화, 에너지절약 시설투자에 대한 세액 공제 등이 있다.

본 연구에서는 그린 리모델링 후 ECO2 프로그램의 난방 및 급탕기기의 사양 입력값은 현재 판매 되고 있는 제품 중 K사의 ECO콘덴싱 보일러 제품을 임의선정하였

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

고 전용면적에 따라 용량을 선정하여 입력하였다. 세부 사양은 [표 4-3]과 같다 [17].

냉방기기 부문에서는 전 세대의 22%만 설치되어 있어 본 연구에서는 동일한 조건에서의 결과값을 위해 현장조사를 통해 설치가 확인된 냉방기기효율중 고효율 냉방기기의 기준값으로 전 세대에 적용하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-3] K사 ECO콘덴싱 보일러 사양

구분					K사 eco 콘덴싱 가스보일러(대기개방식) 18H/(B)	
에너지소비효율등급					1	
NOx등급					1	
설치 및 급배기 방식			Type		벽걸이형, 강제급배기식(FF)	
사용연료			GAS		LNG,13A	LPG
난방출력	전부하	콘덴싱	kW		20.9	
			kcal/h		18.000	
		일반	kW		18.6	
			kcal/h		15.996	
	부분부하		kW		5.9	
			kcal/h		5.074	
온수출력			kW		20.9	
			kcal/h		17.974	
온수공급능력	Δt 30℃		L/min		10.0	
난방 열효율	FF	콘덴싱	%총 (진)		94.6(103.9)	94.6(103.9)
		일반			88.0(96.6)	90.2(99.5)
		부분부하			98.0(107.6)	96.5(105.9)
		온수			88.0(96.6)	92.0(101.5)
최대가스 소비량 (난방/온수)		난방	kW		22.1	
			kcal/h	kg/h	19.006	1.58
		온수	kW		23.5	
			kcal/h	kg/h	20.210	1.68
사용가스 압력			kPa (mmH_2 0)		도시가스(LNG 13A)	
가스 조절방식					비례제어방식	
난방 최고 사용압력			kPa (kgf/㎠)		98.1	
적정 온수 사용압력					78 ~ 343 (0.8 ~ 3.5)	
소비 전력			W		130	

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

조명기기는 LED 교체사업이 원활하지 않아 기존 백열등과 형광등이 혼용되어 현관 1개, 주방 1개, 작은방 1개, 큰방 2개, 베란다 1개가 설치되어 있었다. 동일한 조건에서의 결과값을 위해 그린리모델링 전 입력값은 전 세대 백열등, 형광등 11W, 36W, 50W, 그린리모델링 후 입력값은 현재 교체중인 LED 15W, 25W, 40W를 공간별 조명에너지를 실의 면적으로 나눈 조명밀도를 구하여 ECO2 프로그램에 입력하였다. LH한국토지주택공사 연구결과에 따르면 공동주택에서 LED 설치시 초기비용을 포함하여 2년 후부터 일반등 대비 절감액이 발생된다고한다[18]. 거실등 예시안은 [표 4-4]이다.

이후부터 Active 기술은 ALT2라고 한다.

[표 4-4] 그린리모델링 전·후 거실 조명기기

구분	그린리모델링 전	그린리모델링 후
	형광등	LED
소비전력	36W 2개	40W
램프수명	8,000 시간	50,000~60,000 시간
효율	72 lm/W	100 lm/W
광속	4,640 lm	4,400lm
월소비전력	46.08 kWh	28.8 kWh

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1.3 신재생에너지

현재 연구 대상지에는 신재생에너지가 미설치되어있다. 신축 공공임대 주택 건축물 에너지효율 등급 기준은 2등급으로 신재생에너지까지 적용해야 기준을 맞출수 있었다[19]. EC02프로그램의 신재생 및 열병합 부분에서는 신재생에너지 종류로 태양열, 태양광, 지열 및 열병합시스템이 있으며 이 중 적용 가능한 태양광과 연료전지를 선택하여 적용해 보았다. 태양광은 정부 및 지자체의 지원 대상 모델 성능을 기준으로 아파트 발코니에 설치하는 발코니 태양광 패널 305W 용량 2대를 적용하고, 연료전지는 1KW 가정용 연료전지를 적용하였다.

이후부터 신재생에너지는 ALT3이라고 한다.

[표 4-5] 신재생에너지 현황 및 개선기술

분야	구분	현황		개선기술
신재생에너지	태양광	미설치	➜	305W 태양광 패널 2개 설치
	연료전지			1KW 가정용 연료전지 설치

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2 그린 리모델링 전·후 대안별 건축물 에너지 효율등급

연구 대상 건축물의 세대별로 '그린 리모델링 기술 ALT1, ALT2, ALT3'을 각각 적용해보고 아래와 같이 조합하여 대안별 건축물 에너지효율등급을 산정한다. ALT1은 외피단열성능은 외벽 단열성능 개선과 창호성능 향상이 있고, ALT2의 설비시설은 고효율 난방 및 급탕기기 교체와 LED 교체가 있다. ALT3의 신재생에너지는 가정용 발코니 태양광 패널과 연료전지 설치를 적용한다.

- ALT1 : Passive 기술
- ALT2 : Active 기술
- ALT3 : 신재생에너지
- ALT1 + ALT2 : Passive 기술 + Active 기술
- ALT1 + ALT3 : Passive 기술 + 신재생에너지
- ALT2 + ALT3 : Active 기술 + 신재생에너지
- ALT1 + ALT2 + ALT3 : Passive 기술 + Active 기술 + 신재생에너지

4.2.1 A 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급

1992년도에 준공된 A-1 공공임대주택과 A-2 공공임대주택은 [표 4-6], [표 4-10]과 같이 18세대 모두 기존 건축물의 에너지효율등급이 7등급부터 그 이상의 값이 나와 에너지 손실이 큰 것으로 평가되었다. A 공공임대주택의 2단지는 내부세대 면적에 차이가 있어 연간 단위 면적당 1차 에너지소요량 (kWh/㎡·yr) 결과값이 다르지만, 면적의 차이가 작아 건축물 에너지 효율 등급은 동일한 등급으로 나왔다. [표 4-7]과 [표 4-11]과 같이 ALT1, ALT2, ALT3 대안을 각각 적용했을 때, ALT3이 가장 큰 기대효과를 나타냈으며, [표 4-8], [표 4-12]와 같이 대안을 2가지씩 조합하여 적용한 결과 ALT1과 ALT3을 같이 적용했을 때 4등급 상승하여 3등급으로 평가되었고, [표 4-9], [표 4-13]과 같이 ALT1, ALT2, ALT3 대안 모두를 적용했을 때 A 공공임대주택 18세대 모두 5등급 상승하여 현재 신축 공공임대 아파트 건축물 에너지 효율등급 기준인 2등급까지 상향시킬 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-6] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

구분	기존
101호	397.3
109호	420.2
111호	389.9
1001호	402.9
1009호	443.3
1011호	413.6
1501호	411.0
1509호	436.2
1511호	403.6
평균	413.1
건축물 에너지 효율등급	7등급

[표 4-7] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

구분	ALT1	ALT2	ALT3
101호	319.4	336.7	296.0
109호	309.0	362.9	318.1
111호	311.5	337.6	288.2
1001호	317.9	348.6	301.5
1009호	325.0	374.8	341.3
1011호	328.0	349.8	357.8
1501호	334.9	348.3	309.7
1509호	325.8	374.9	334.1
1511호	336.0	349.2	302.0
평균	323.1	353.6	316.5
건축물 에너지 효율등급	6등급	6등급	5등급

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-8] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

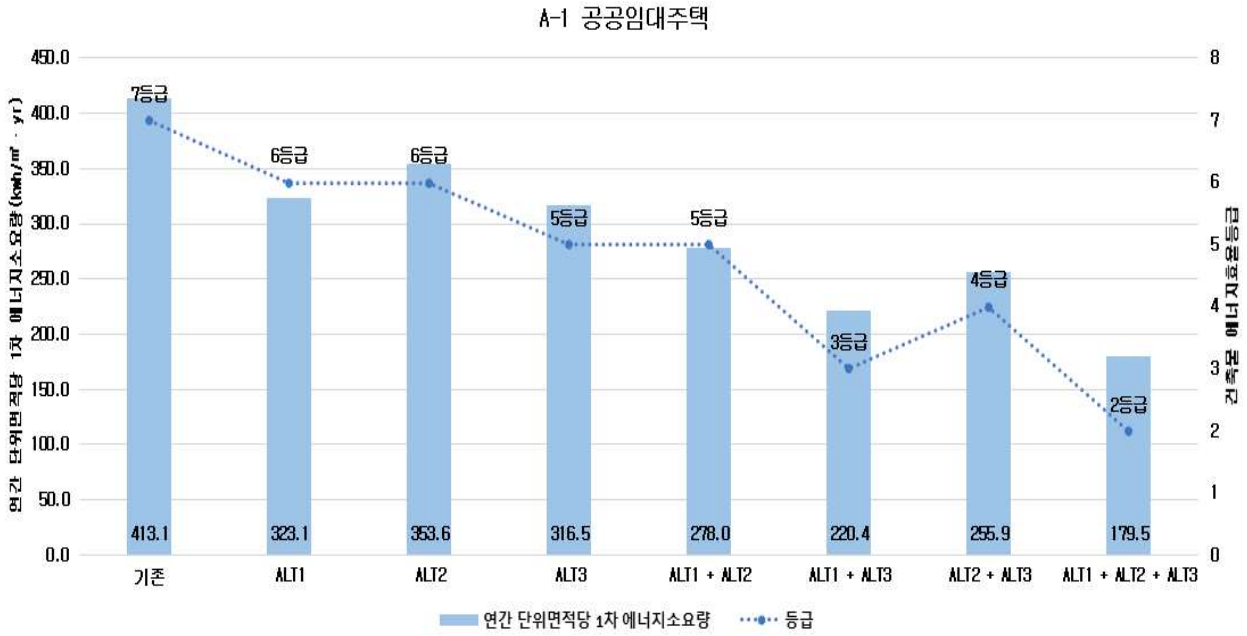
구분	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3
101호	271.2	218.2	239.6
109호	269.4	207.0	265.4
111호	271.5	209.8	240.2
1001호	277.0	216.6	251.5
1009호	275.4	223.0	277.1
1011호	277.8	226.3	252.5
1501호	293.2	233.5	251.2
1509호	281.8	223.6	273.8
1511호	284.4	225.2	251.8
평균	278.0	220.4	255.9
건축물 에너지 효율등급	5등급	3등급	4등급

[표 4-9] A-1 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

구분	ALT1+ALT2+ALT3
101호	174.1
109호	171.8
111호	174.1
1001호	179.9
1009호	177.5
1011호	180.4
1501호	187.0
1509호	184.0
1511호	187.1
평균	179.5
건축물 에너지 효율등급	2등급

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 4-3] A-1 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과

[표 4-10] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

구분	기존
101호	397.3
109호	420.2
111호	398.8
1001호	411.9
1009호	434.1
1011호	413.5
1501호	402.4
1509호	434.3
1511호	403.6
평균	412.9
건축물 에너지 효율등급	7등급

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-11] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

구분	ALT1	ALT2	ALT3
101호	319.4	336.7	296
109호	308.4	363.2	318.1
111호	320.3	337.9	297.1
1001호	326.8	349.0	310.6
1009호	315.4	374.9	332.0
1011호	320.3	350.2	311.8
1501호	326.2	348.3	301.0
1509호	323.2	375.2	332.1
1511호	328.5	349.6	311.0
평균	320.9	353.9	312.2
건축물 에너지 효율등급	6등급	6등급	5등급

[표 4-12] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

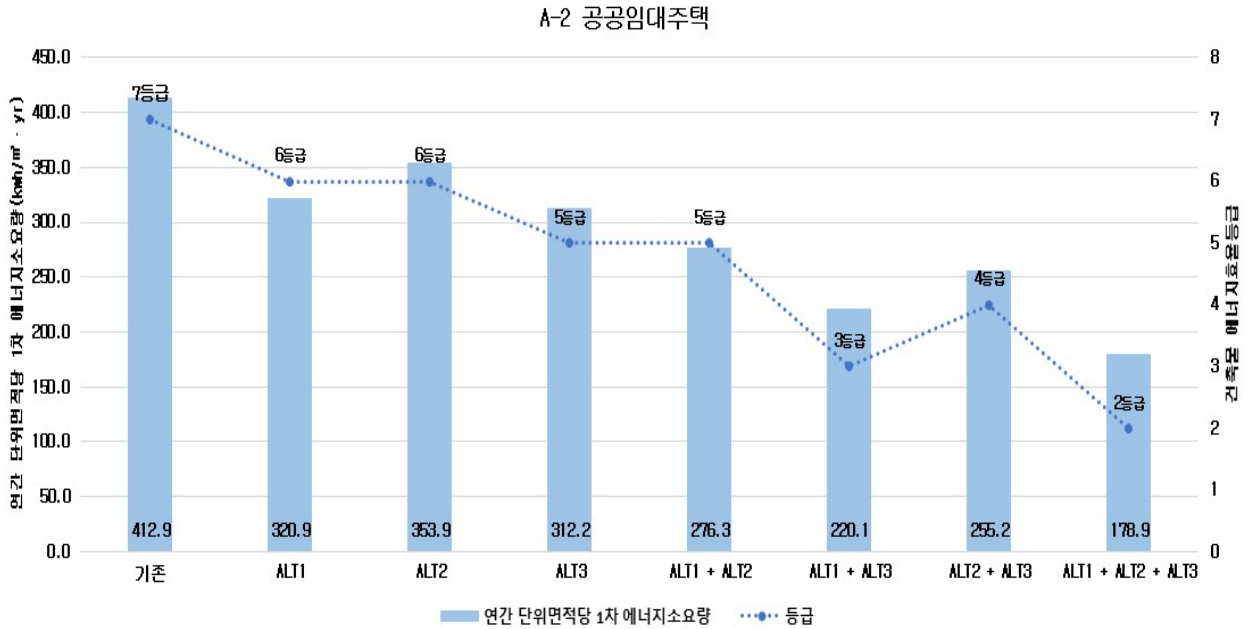
구분	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3
101호	271.2	218.2	239.6
109호	269.0	206.3	265.4
111호	271.8	218.7	240.6
1001호	277.4	225.6	251.8
1009호	274.9	213.3	265.7
1011호	278.0	226.1	252.9
1501호	284.1	224.9	251.2
1509호	281.6	221.2	277.4
1511호	278.6	226.8	252.2
평균	276.3	220.1	255.2
건축물 에너지 효율등급	5등급	3등급	4등급

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-13] A-2 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡·yr)

구분	ALT1+ALT2+ALT3
101호	174.1
109호	171.3
111호	174.5
1001호	180.2
1009호	177.1
1011호	180.8
1501호	187.0
1509호	183.7
1511호	181.4
평균	178.9
건축물 에너지 효율등급	2등급



[그림 4-4] A-2 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2.2 B 공공임대주택 건축물 에너지효율등급

1991년도에 준공된 B 공공임대주택은 중앙난방으로 난방에너지 부문에서 에너지 사용량이 절감되었고, LED 교체가 잘 이행되고 있었다. [표 4-14]와 같이 기존 건축물 에너지 효율등급이 6등급으로 다른 대상지보다 상대적으로 좋은 결과지만 건축물 에너지 손실이 발생하고 있다. [표 4-15]와 같이 ALT1, ALT2, ALT3 대안을 각각 적용했을 때, ALT3이 가장 큰 기대효과를 나타냈으며,[표 4-16]과 같이 대안을 2가지씩 조합하여 적용한 결과 ALT1과 ALT3을 같이 적용했을 때 5등급 상승하여 평균 1등급으로 평가되었고, 일부 세대의 경우 1+등급까지 상승하였다. [표 4-17]과 같이 ALT1, ALT2, ALT3 대안 모두를 적용했을 때에도 1+등급까지 상향시킬 수 있다. 현재 신축 공공임대 아파트 건축물 에너지효율등급 기준은 2등급으로 경제성 평가를 통해 B공공임대 주택에 적합한 그린 리모델링 대안을 찾고자 한다.

[표 4-14] B 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡·yr)

구분	기존
101호	314.2
103호	364.7
114호	306.7
801호	328.8
803호	358.1
814호	320.9
1501호	328.2
1503호	379.9
1511호	320.4
평균	335.8
건축물 에너지 효율등급	6등급

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-15] B 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

구분	ALT1	ALT2	ALT3
101호	206.8	314.2	163.6
103호	220.9	343.8	190.2
114호	202.4	306.7	157.6
801호	215.2	328.8	178.3
803호	208.2	358.1	207.5
814호	210.5	320.9	171.6
1501호	222.7	328.2	177.6
1503호	236.6	258.6	229.2
1511호	218.0	320.4	171.0
평균	215.7	331.1	183.0
건축물 에너지 효율등급	3등급	6등급	2등급

[표 4-16] B 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

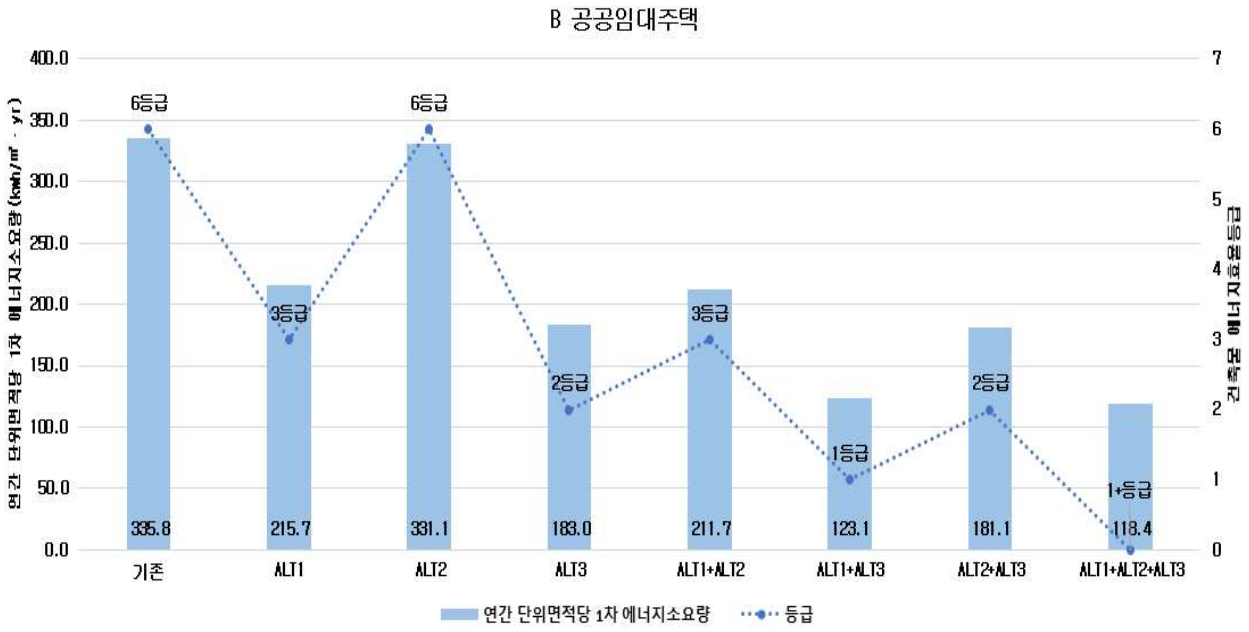
구분	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3
101호	206.8	113.2	163.6
103호	199.8	127.2	193.1
114호	202.4	109.9	159.3
801호	215.2	121.5	178.3
803호	214.4	120.7	207.5
814호	210.5	118.1	171.6
1501호	222.7	129.0	177.6
1503호	215.6	142.9	208.0
1511호	218.0	125.5	171.0
평균	211.7	123.1	181.1
건축물 에너지 효율등급	3등급	1등급	2등급

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-17] B 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡ · yr)

구분	ALT1+ALT2+ALT3
101호	113.2
103호	106.2
114호	109.9
801호	121.5
803호	120.7
814호	118.1
1501호	129.0
1503호	121.9
1511호	125.5
평균	118.4
건축물 에너지 효율등급	1+등급



[그림 4-5] B 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2.3 C 공공임대주택 건축물 에너지효율등급

1993년도에 준공된 C 공공임대주택은에너지 효율 등급은 [표 4-18]과 같이 7등급 기준인 '370kWh/㎡·yr이상 420kWh/㎡·yr미만' 을 벗어나는 444kWh/㎡·yr로 현재 건축물의 에너지 부하가 크고 다른 대상지에 비해 건축물 에너지 손실이 가장 큰 것으로 평가되었다. 이는 다른 대상지보다 LED 교체가 원활하지 않고 내벽에 단열재가 시공되지 않은 결과값이다. [표 4-19]와 같이 ALT1, ALT2, ALT3 대안을 각각 적용했을 때, ALT3이 ALT1보다 낮지만 0.6kWh/㎡·yr로 차이가 작다. [표 4-20]과 같이 대안을 2가지씩 조합하여 적용한 결과 ALT1과 ALT2를 같이 적용했을 때 평균 3등급으로 평가되었고, [표 4-21]과 같이 ALT1, ALT2, ALT3 대안 모두를 적용했을 때 현재 신축 공공임대아파트 건축물 에너지효율 등급 기준인 2등급까지 상향시킬 수 있다.

[표 4-18] C 공공임대주택 그린 리모델링 전 건축물 에너지 효율등급

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡·yr)

구분	기존
101호	419.3
102호	454.7
122호	424.2
401호	434.8
515호	470.3
522호	439.9
1501호	438.0
1515호	470.8
1522호	443.9
평균	444.0
건축물 에너지 효율등급	7등급 이상

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-19] C 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 1

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡·yr)

구분	ALT1	ALT2	ALT3
101호	317.0	349.3	316.4
102호	330.7	379.1	351.5
122호	338.5	353.5	321.3
401호	341.8	362.5	332.0
515호	341.3	392.3	367.2
522호	349.0	366.7	337.0
1501호	349.8	365.1	335.2
1515호	349.1	392.8	367.6
1522호	357.1	370.1	341.0
평균	341.6	370.2	341.0
건축물 에너지 효율등급	6등급	7등급	6등급

[표 4-20] C 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 2

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡·yr)

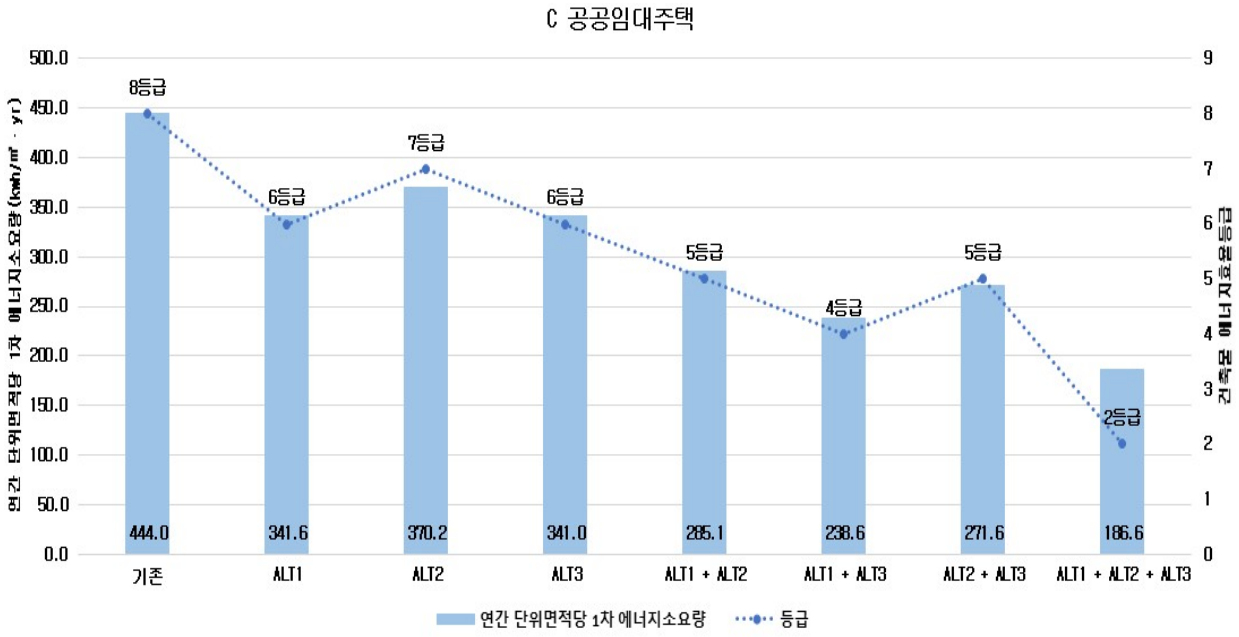
구분	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3
101호	274.4	214.1	250.8
102호	274.7	227.6	280.3
122호	281.3	235.6	255.1
401호	284.1	239.0	263.9
515호	283.7	238.1	293.5
522호	290.0	246.2	268.3
1501호	290.7	246.9	266.7
1515호	290.3	246.1	294.0
1522호	296.9	254.1	271.5
평균	285.1	238.6	271.6
건축물 에너지 효율등급	3등급	4등급	5등급

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-21] C 공공임대주택 그린 리모델링 후 건축물 에너지 효율등급 3

연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/㎡·yr)

구분	ALT1+ALT2+ALT3
101호	175.9
102호	176.0
122호	182.8
401호	185.7
515호	185.0
522호	191.7
1501호	192.2
1515호	191.4
1522호	198.4
평균	186.6
건축물 에너지 효율등급	2등급



[그림 4-6] C 공공임대주택 건축물 에너지 평가 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.3 그린 리모델링 전·후 대안별 온실가스 저감량 계산

온실가스 배출량 산정은 3가지 방법이 있다. 첫째. 2006 IPCC 가이드라인, 둘째. WRI/WBCSD 산정지침, 셋째. 한국 지자체 온실가스 배출량 산정지침이 있다. 본 논문에서는 한국 지자체 온실가스 배출량 산정지침을 사용해 온실가스 배출량을 산정한다. 지자체 온실가스 배출량 산정지침은 환경부의 한국환경공단 지원으로 지자체 온실가스 인벤토리 구축 사업 수행 과정과 결과를 발간한 산정지침이다. 이 지침은 국내 지자체를 대상으로 온실가스 배출량 산정 방법을 표준화 시킨 첫 가이드라인이다. 직접 배출량(Scope 1) 인벤토리 체계는 2006 IPCC 체계를 체계를 적용하였으며, 간접 배출량(Scope 2)는 온실가스 프로토콜에서 제시한 전력, 열 뿐만 아니라 수도와 폐기물 발생에 대한 배출량을 추가하였다. 지자체 산정지침은 간접 배출량을 고려함으로써 지자체 온실가스 감축을 위해 소비의 중요성을 반영했다는 측면에서 의의가 있다. 현재 지자체 온실가스 배출량 산정지침에는 2006 IPCC 기본값과 국내에서 개발된 배출 계수들이 수록돼있다.

온실가스 배출에는 간접배출과 직접배출이 있다. 간접배출은 전력, 열의 소비와 폐기물 배출 등에 의해 간접적으로 배출되는 온실가스를 의미한다. 한국 전력산업은 발전, 송전, 배전, 판매 등의 모든 부문에서 독점적 형태를 유지한다. 전력을 생산하기 위한 발전기를 구동하는 에너지원으로는 석탄, LNG, 경유 등 화석연료가 많이 사용된다. 전력 발전 시 화석연료에 의한 온실가스가 배출되는데 이를 소비단에서 고려하는 것이 온실가스 간접배출이다. 열의 경우에도 마찬가지로 소비단에서 고려한다. 한국환경공단에서 발간한 '지차체 온실가스 배출량 산정지침' 에는 간접배출 카테고리를 전력, 열, 수도 소비, 폐기물 발생에 의한 부문으로 나누고, 전력은 가정, 공공, 농림어업, 광업, 제조업용으로 구분하여 배출량을 산정한다. 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 직접배출 뿐 만 아니라 간접배출까지 고려해야한다. 간접배출 전력 온실가스 배출량 산정은 다음 식과 같다[20].

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$CO_{2eq}Emissions = \sum(Q \times EF_j \times F_{eq,j})$$

$CO_{2eq}Emissions$: 전력 사용에 따른 온실가스 배출량(tCO_{2eq})

Q : 외부에서 공급받은 전력 사용량(MWh)

EF_j : 전력 간접 배출계수($tGHG/MWh$)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO_2GWP

건물부문에서 전력사용에 의한 온실가스 배출량은 전력사용량에 배출계수, 지구온난화지수(GWP; Global Warming Potential)를 곱하여 이산화탄소당량 톤으로 환산한 후 각각의 합을 통해 산정한다. 전력과 도시가스에 대한 온실가스 별 배출계수는 [표 4-22]와 [표 4-23]과 같다.

[표 4-22] 전력에 대한 온실가스 배출계수

구분	배출계수		
단위	$CO_2(tGHG/MWh)$	$CH_4(kgGHG/MWh)$	$N_2O(kgGHG/MWh)$
전력	0.4653	0.0054	0.0027

[표 4-23] 도시가스에 대한 온실가스 배출계수

구분	배출계수		
단위	$CO_2(tGHG/TJ)$	$CH_4(kgGHG/TJ)$	$N_2O(kgGHG/TJ)$
전력	56,100	1	0.1

[그림 4-7]은 온실가스 배출량 산정 기본방법이다[21]. 기본적으로 온실가스 배출량은 활동데이터에 매개변수(배출계수, 발열량, 산화계수 등)를 곱하여 산정한다. 활동데이터는 연료별사용량, 전력소비량 등 다양하며, 본 논문에서는 전기에너지와 도시가스 사용량이 활동데이터로 사용된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

배출량	=	활동데이터	X	매개변수
직접배출량	=	활동데이터	X	순발열량X배출계수X산화계수XGWP
간접배출량	=	전력사용량 스팀사용량	X	간접배출계수XGWP

[그림 4-7] 온실가스 배출량 산정 기본방법

건물부문에서 고정 연소에 의한 온실가스 직접 배출량은 연료원별 소비량, 발열량, 배출계수, 지구온난화지수를 곱하여 이산화탄소당량 톤으로 환산한 후 각각의 합을 통해 산정한다. 직접 배출 고정 연소 온실가스 배출량 산정은 다음 식과 같다.

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times F_{eq,j} \times \text{단위환산}$$

$E_{i,j}$: 연료(i)연소에 따른 온실가스(j)별 배출량

Q_i : 연료(i)사용량(측정값, kl톤, m^3-연료)

EC_i : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, MJ/kl톤, m^3-연료)

$EF_{i,j}$: 연료별(i)온실가스(j)배출계수$(kg-GHG/TJ-$연료)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)별 GWP

발열량은 에너지기본법 시행규칙(제5조 1항)에 반영되어 있는 저위발열량을 사용하며, 만약 해당 연료가 에너지 기본법의 저위발열량이 존재하지 않을 경우, IPCC 2006 가이드라인에서 제시하는 연료원별 저위발열량을 사용한다. 온실가스 배출계수는 CO_2의 경우 국가 배출계수를 적용하고, 국가 배출계수가 존재하지 않는 연료원에 한해서는 IPCC 2006 가이드라인에서 제시하는 배출계수를 사용한다. 전기에너지 부문 온실가스 각각의 배출계수는 $CO_2 = 0.4653tCO_2/MWh$, $CH_4 = 0.0054kgCH_4/MWh$, $N_2O = 0.0027kgN_2O/MWh$이다. 온실가스 각각의 지구 온난와 지수는 $CO_2 = 1$, $CH_4 = 21$, $N_2O = 310$이다. 단위 환산으로 사용되는 값은 $TJ/10^6MJ$이다. 단위 환산 값은 $CO_2 = 10^{-3}$ $(10^{-3}kWh = 1MWh)$, CH_4와$N_2O = 10^{-6}$ $(10^{-3}KWh = 1MWh, 10^{-3}kg = 1$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이다. LNG의 순발열량 39.4MJ/m^3이며, 도시가스 부문 온실가스 각각의 배출계수는 $CO_2 = 0.56{,}100kgCO_2/TJ$, $CH_4 = 1kgCH_4/TJ$, $N_2O = 0.1kgN_2O/TJ$이다. 온실가스 각각의 지구 온난와 지수는 $CO_2 = 1$, $CH_4 = 21$, $N_2O = 310$이다. 단위 환산으로 사용되는 값은 $TJ/10^6MJ$이다.

4.3.1 A 공공임대주택 온실가스 저감량

A-1 공공임대주택에서 ALT1, ALT2, ALT3 대안의 총 온실가스 저감량은 [표 4-24]와 같이 ALT1이 7.664321CO_2-eq , ALT2가 4.152234CO_2-eq , ALT3이 1.705642CO_2-eq로 ALT1 대안의 온실가스 저감량이 가장 큰 것으로 나타났다.

[표 4-24] A-1 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량

(단위 : CO_2-eq)

구분	온실가스 저감량		총 온실가스 저감량
	전기	도시가스	
ALT1	-0.001052	7.665372	7.664321
ALT2	0.002601	4.149633	4.152234
ALT3	0.004860	1.700782	1.705642
ALT1 + ALT2	0.001601	10.612728	10.614329
ALT1 + ALT3	0.005492	9.499671	9.505162
ALT2 + ALT3	0.008150	6.088749	6.096898
ALT1 + ALT2 + ALT3	0.008087	12.453890	12.461977

A-2 공공임대주택에서 ALT1, ALT2, ALT3 대안의 총 온실가스 저감량은 [표 4-25]와 같이 ALT1이 7.818416CO_2-eq , ALT2가 4.160694CO_2-eq , ALT3이 1.923751CO_2-eq로 ALT1 대안의 온실가스 저감량이 가장 큰 것으로 나타났다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 4-25] A-2 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량

(단위 : CO_2-eq)

구분	온실가스 저감량		총 온실가스 저감량
	전기	도시가스	
ALT1	-0.00106	7.819478	7.818416
ALT2	0.002326	4.158368	4.160694
ALT3	0.0046	1.919151	1.923751
ALT1 + ALT2	0.001932	10.67138	10.67331
ALT1 + ALT3	0.004973	9.593257	9.598231
ALT2 + ALT3	0.007916	6.166114	6.174029
ALT1 + ALT2 + ALT3	0.00788	12.52938	12.53726

4.3.2 B 공공임대주택 온실가스 저감량

B 공공임대주택에서 ALT1, ALT2, ALT3 대안의 총 온실가스 저감량은 [표 4-26]과 같이 ALT1이 6.792101CO_2-eq , ALT2가 0.002829CO_2-eq , ALT3이 1.448424CO_2-eq 로 ALT1 대안의 온실가스 저감량이 가장 큰 것으로 나타났다.

[표 4-26] B 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량

(단위 : CO_2-eq)

구분	온실가스 저감량		총 온실가스 저감량
	전기	도시가스	
ALT1	-0.00042	6.792520	6.792101
ALT2	0.002829	0	0.002829
ALT3	0.010309	1.438115	1.448424
ALT1 + ALT2	0.002419	6.672729	6.675149
ALT1 + ALT3	0.006294	8.327966	8.334260
ALT2 + ALT3	0.00862	1.606571	1.615192
ALT1 + ALT2 + ALT3	0.008538	8.320479	8.329016

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.3.3 C 공공임대주택 온실가스 저감량

C 공공임대주택에서 ALT1, ALT2, ALT3 대안의 총 온실가스 저감량은 [표 4-27]와 같이 ALT1이 8.611796CO_2-eq , ALT2가 4.085106CO_2-eq , ALT3이 1.769230CO_2-eq 로 ALT1 대안의 온실가스 저감량이 가장 큰 것으로 나타났다.

[표 4-27] C 공공임대주택 대안별 온실가스 저감량

(단위 : CO_2-eq)

구분	온실가스 저감량		총 온실가스 저감량
	전기	도시가스	
ALT1	-0.000673	8.612469	8.611796
ALT2	0.009719	4.075387	4.085106
ALT3	0.007305	1.761925	1.769230
ALT1 + ALT2	0.009164	11.236639	11.245804
ALT1 + ALT3	0.007108	10.317618	10.324726
ALT2 + ALT3	0.015423	6.031973	6.047395
ALT1 + ALT2 + ALT3	0.015293	13.142688	13.15798

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제5장 . 경제성 분석을 통한 그린 리모델링 대안 선정

5.1 그린 리모델링 기술별 단가

개선안은 기존 건축물의 에너지 성능 개선을 위한 그린 리모델링 방안으로 ALT1, ALT2, ALT3을 조합하여 총 7가지 대안으로 건축물 에너지평가를 진행하였다. 이후 대안별 경제성 분석도 7가지 대안으로 진행한다. 이는 그린 리모델링 대상 건축물마다 투자할 수 있는 사업비가 다르고, 대안별로 투자비 회수기간이 상이하기 때문에 정량적인 분석안을 제시함으로써 프로젝트 상황에 따라 각 개선안의 특징을 인식하고 이를 통해 효과적인 대안을 선택할 수 있도록 하기 위함이다[22].

‘4.2 그린 리모델링 전·후 대안별 건축물 에너지 효율등급 산정’에서 대안별 건축물 에너지 효율등급은 ALT1과 ALT3의 등급 상승에는 차이가 없거나 한 등급 차이가 있었다. 하지만, ALT1과 ALT3의 비용 차이가 약 12,600,000원으로 ALT3의 신재생에너지 부문에서 연료전지가 차지하는 비용이 큰 것이 원인이다. 발코니 태양광 패널은 정부 정책에 따라 지자체별로 지원금과 지원 규모가 상이하지만 경제적 부담을 줄일 수 있으나 연료전지의 경우 2010년에 5,000만 원 이상이던 1KW 연료전지 가격은 2019년 2,600만 원, 2020년 2,200만 원 수준으로 떨어졌지만 여전히 경제적으로 부담이 된다고 판단한다[23]. 건축물 에너지 소요량을 낮추는 데에는 ALT1 + ALT2 + ALT3 대안 모두를 적용하는 것이 현재 신축 공공임대 주택 건축물 에너지효율 등급 기준인 ‘2등급이상’까지 상향시킬수 있지만 ALT3에서는 현실적인 대안과 비용적인 측면을 고려하여 ALT3 신재생에너지는 가정용 발코니 태양광 패널만 적용하여 건축물 에너지성능 평가를 재진행하고 사업비를 산출하였다. 하지만 가정용 발코니 태양광 패널과 마찬가지로 정부의 지원과 업계의 기술개발 노력을 통해 추후에는 연료전지 역시 경제적 부담 없이 설치할 수 있을 것으로 사료된다.

추정 소요 사업비는 에너지 성능 개선 공사 비용에 기타 마감공사 비용 등을 포함한 금액으로 LH 한국토지주택공사의 ‘2018년 공공건축물 그린 리모델링 지원사업 백서’ 아파트 그린 리모델링에 적용된 공사비를 토대로 산출하였다. 한정된 정보에 의한 개략적인 추정 공사비로 현장여건에 따라 달라질 수 있다[24].

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

또한, 2018년 공공건축물 그린 리모델링 지원사업 백서에 따라 단가 산출에서는 [표 5-1]과 같이 Passive 기술에 창호와 현관문, [표 5-2]와 같이 Active 기술에 욕실 환기팬을 포함하였다. 이는 ECO2 프로그램에서 그린리모델링 전·후 값을 동일하게 입력하여 건축물 에너지 저감율에 영향을 주지 않아 그린리모델링 사업비 산출을 위해 포함하였다. 신재생에너지 설치 단가는 [표 5-3]과 같다.

1) Passive 기술 단가

[표 5-1] Passive 기술 단가

분야	구분	해당물량	단가(원)금액	기술요소
단열	벽체	1㎡	76,952	55㎜ 준불연 경질우레탄 단열재
	지붕		139,912	100㎜ 준불연 경질우레탄 단열재
	바닥		97,939	70㎜ 경질 우레탄 단열뿜칠
	창호 (철거비용 포함)	1EA	217,000	창호교체 (24㎜ 로이복층유리 이중창) 등 성능 개선
세대 현관문	현관문	1EA	700,000	고기밀 단열방화도어

2) Active 기술 단가

[표 5-2] Active 기술 단가

분야	구분	해당물량	단가(원)금액	기술요소
기계설비	난방/급탕 기기	1EA	44,0000	고효율보일러
	욕실 환기팬		119,791	욕실 환기팬 교체
조명설비	조명기기	1㎡	16,000	LED 100% 교체

※ 난방/급탕 기기는 G사의 친환경 1등급 가스 보일러로 친환경 지원금 20만원 및 설치비 포함

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 신재생에너지 설치 단가

[표 5-3] 신재생에너지 설치 단가

분야	구분	해당물량	단가(원)금액	기술요소
신재생에너지	태양광	2EA	260,000	발코니 태양광 패널
	연료전지	1EA	22,000,000	1KW 가정용 연료전지 설치

※ 광주광역시는 2020년도 공동주택 빛고을발전소 보급지원 사업의 참여세대를 선착순으로 모집하여 소형 태양광발전시스템(265W~335W)의 설치 보조금을 지원해 신재생에너지 설치 확대에 기여함

※ 300W의 소형 태양광발전시스템을 설치할 경우 총 설치비 약 60만원 중 보조금 43만5000원을 지원받을 수 있고, 신청 가구는 16만원만 부담

※ 사업의 활성화를 위해 2020년 신규설치 세대를 대상으로 공동주택 단지 내 다수의 세대가 참여 할 경우 세대 당 최대 10만원의 인센티브(1개단지 20세대 이상:10만원, 1개단지 10세대 이상:5만원, 1개동 5세대 이상:3만원)를 추가로 지급한다.

※ 연료전지 가격은 '월간 수소 경제'의 1KW 가정용 연료전지 설치 비용

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5.2 건축물 에너지효율등급과 사업비 비교를 통한 대상지별 그린 리모델링 대안 제시

1) A 공공임대주택

A공공임대주택은 기존 건축물 에너지효율 등급이 7등급으로 전 세대에 ALT1 + ALT2 + ALT3를 적용하면 4등급으로 상향 시킬수 있었다. 7등급의 기존 건축물을 5등급으로 만족한다면 ALT2 + ALT3을 적용하는 것이 경제적인 측면에서 적합하다고 생각하지만 대안별로 저감되는 연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡ · yr)과 사업비 경제성 분석을 통해 검증이 필요하다.

- ALT1 + ALT2 + ALT3 세대당 평균 11,203,000원 : 4등급
- ALT2 + ALT3 세대당 평균 1,241,000원 : 5등급

[표 5-4] A-1 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비

구분	등급	연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡ · yr)	사업비(원)
기존	7	413.1	0
ALT1	6	323.1	9,963,000
ALT2	6	353.6	701,000
ALT3	6	372.5	520,000
ALT1 + ALT2	5	278.0	10,664,000
ALT1 + ALT3	5	276.6	10,483,000
ALT2 + ALT3	5	307.4	1,221,000
ALT1 + ALT2 + ALT3	4	231.1	11,184,000

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-5] A-2 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비

구분	등급	연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡ · yr)	사업비(원)
기존	7	412.9	0
ALT1	6	320.9	9,963,000
ALT2	6	353.9	701,000
ALT3	6	369.0	520,000
ALT1 + ALT2	5	276.3	10,663,000
ALT1 + ALT3	5	276.0	10,483,000
ALT2 + ALT3	5	306.8	1,221,000
ALT1 + ALT2 + ALT3	4	230.4	11,184,000

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) B 공공임대주택

B 공공임대주택은 중앙난방과 높은 LED 보급율로 기존 건축물 에너지효율 등급이 6등급으로 전 세대 ALT1 + ALT2 + ALT3, ALT1 + ALT3을 적용하면 현재 신축 공공임대 아파트 건축물 에너지효율 등급 기준인 2등급까지 상향시킬수 있다. ALT1 + ALT3 선택시 2등급으로 높일 수 있으며 사업비는 세대별로 약 195,000원 절약할 수 있다.

- ALT1 + ALT2 + ALT3 세대당 평균 11,183,000원 : 2등급
- ALT1 + ALT3 세대당 평균 10,483,000원 : 2등급

[표 5-6] B 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비

구분	등급	연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡·yr)	사업비(원)
기존	6	335.8	0
ALT1	3	215.7	10,163,000
ALT2	6	331.1	195,000
ALT3	5	281.3	520,000
ALT1 + ALT2	3	211.7	10,358,000
ALT1 + ALT3	2	174.0	10,683,000
ALT2 + ALT3	5	288.7	715,000
ALT1 + ALT2 + ALT3	2	169.3	10,878,000

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) C 공공임대주택

C 공공임대주택은 기존 건축물 에너지효율 등급이 7등급 기준인 '370kWh/㎡·yr이상 420kWh/㎡·yr미만' 을 벗어나는 444kWh/㎡·yr로 전 세대에 ALT1 + ALT2 + ALT3를 적용하면 4등급으로 상향 시킬수 있었다. 7등급 기준 이상의 기존 건축물을 5등급으로 만족한다면 ALT1 + ALT3을 적용하는 것이 경제적인 측면에서 적합하다고 생각하지만 대안별로 저감되는 연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡·yr)과 사업비 경제성 분석을 통해 검증이 필요하다.

- ALT1 + ALT2 + ALT3 세대당 평균 11,157,000원 : 4등급
- ALT1 + ALT3 세대당 평균 10,637,000원 : 5등급

[표 5-7] C 공공임대주택 대안별 건축물 에너지효율등급 및 사업비

구분	등급	연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡·yr)	사업비(원)
기존	-	444.0	0
ALT1	6	341.6	9,750,000
ALT2	7	370.2	887,000
ALT3	7	396.9	520,000
ALT1 + ALT2	5	285.1	10,637,000
ALT1 + ALT3	5	294.5	10,270,000
ALT2 + ALT3	6	323.1	1,407,000
ALT1 + ALT2 + ALT3	4	238.1	11,157,000

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5.3 경제성 분석을 통한 그린 리모델링 대안 선정

5.2 건축물 에너지 효율등급과 사업비 비교 분석을 통한 대상지별 그린 리모델링 최적안 제시'의 분석 결과로 각 개선안의 개략적인 비교는 가능하지만 각 개선안의 비용 대비 효율의 크기 및 경제성을 확인하는 것은 힘들다. 이를 비교하기 위해, 기존 건축물과 7가지 개선안의 LCC (Life Cycle Cost) 분석을 하였다. LCC 분석은 건축물 전 생애주기 동안 발생하는 총비용을 말하며, LCC 비용 범위는 초기 투자비와 운영 단계에서 발생하는 유지관리비, 에너지 비용, 개보수 비용뿐 아니라 잔존가치, 해체, 철거비용 등으로 구성된다. 본 연구에서는 유지관리 비용과 개보수 비용 및 잔존가치 등은 각 대안별로 동일하게 발생될 것으로 가정하여, 건축물의 그린 리모델링에 따른 LCC 분석은 초기 투자비와 에너지 비용만으로 분석하였다. 또한, LCC 산정 시, 건물의 운영단계에서 발생하는 비용은 시간의 흐름에 따른 화폐 가치 변화를 고려해야 한다. 본 연구에서는 기존 건축물 및 개선안과의 비교를 위해 순 현재가치(Net Present Value)로 변환한 비용(NPV)의 누적 합계(누적 NPV)로 산정하였다. 순 현재가치법은 식 (1)을 활용하여 운영단계 동안 발생하는 비용을 현재가치로 환산하였다.

$$P_F = F \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \qquad \text{식 (1)}$$

P_F : $\mathrm{Present\ value\ of\ future\ cost}$
F : $\mathrm{Future\ cost}$
i : $\mathrm{Discount\ rate}$
n : $\mathrm{Elapsed\ year}$

연구 대상 건축물의 에너지 비용은 전력부문과 가스부문을 산정하였다. 전력부문 에너지 비용은 한국전력공사의 "주택용 전력(저압)"의 전력 요금이 부과되는 건축물로 [표 5-8], [표 5-9]에 해당 요금표를 참고하였다[25]. 다음 표에서 보는 것과 같이 우리나라 전력요금은 계절별, 전력 사용량에 따라 금액이 다르게 산정된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-8] 한국전력공사 하계 전력요금

구간		기본요금(원/호)	전력량 요금(원/kWh)
1	300kWh 이하 사용	910	88.3
2	301~450kWh	1,600	182.9
3	450kWh 초과	7,300	275.6

※ 하계 기간 : 7.1~8.31

[표 5-9] 한국전력공사 기타계절 전력요금

구간		기본요금(원/호)	전력량 요금(원/kWh)
1	200kWh 이하 사용	910	88.3
2	201~400kWh	1,600	182.9
3	400kWh 초과	7,300	275.6

※ 기타 계절 : 1.1 ~ 6.30, 9.1 ~ 12.31

가스부문 에너지 비용은 해양에너지공사의 “주택·난방용”의 가스요금이 부과되는 건축물로 [표 5-10]에 해당 요금표를 참고하였다[26].

[표 5-10] 해양도시가스 도시가스요금

용도		단가 광주	용도내용	비고
주택용	기본요금	750원	주택건설 촉진법 제 3조에 의한 주택에서 취사 또는 난방용으로 사용하는 가스에 적용	- 취사용 : 516MJ 까지 - 난방용 : 516MJ 부터
	주택취사	14.0435		
	주택난방	15.2497		

본 연구에서 분석기간은 건물 수명주기를 얼마동안으로 설정할 것인가에 대한 가정이다. LCC분석을 위한 기간은 ‘법인세법 시행규칙 제15조 3항’ [27]에서 “철근콘크리트조로의 대상 건물”을 참고하여 40년으로 설정하였다.

식 (1)에서 i에 해당하는 실질할인율은 미래에 발생될 현금을 현재가치로 환산할 때 사용되는 것으로 명목이자율(nominal interest rate)과 물가상승률

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(inflation rate)등을 활용하여 식 (2)를 기반으로 산정한다[28]. 본 연구의 LCC분석에서는 미래비용인 에너지비용을 현재의 가치로 환산하는 것이 필요하기 때문에, 에너지 비용에 대한 물가상승률을 고려한 실질할인율을 산정하였다.

$$실질할인율 = \frac{1+명목이자율}{1+물가상승율} - 1 \qquad 식\ (2)$$

[표 5-11]에서 보는 바와 같이, 본 연구에서는 한국은행에서 발표하는 국고채 5년의 이자율을 선택하여 평균 이자율을 산출하였다[29]. 이자율은 다소 불규칙하지만 전체적으로 하강세이며, 2011~2020년의 10년간 평균 명목이자율은 2.362%이다. 한편, 최근의 에너지가격은 불규칙한 상승률을 보이고 있어 에너지 분야가 포함된 종합물가지수를 사용한 물가상승률을 식 (2)를 대입하여 실질할인율을 계산하였다. 실질할인율의 평균값은 0.87%이다.

[표 5-11] 명목이자율, 물가상승률, 실질할인율, 전기 및 도시가스 요금상승률

년도	명목이자율(%)	물가상승률(%)	실질할인율(%)	전기 및 도시가스 요금상승률(%)
2020	1.23	0.50	0.73	0.50
2019	1.59	0.40	1.19	1.20
2018	2.31	1.50	0.80	0.70
2017	2.00	1.90	0.10	1.70
2016	1.53	1.00	0.52	-0.80
2015	1.98	0.70	1.27	-0.60
2014	2.84	1.30	1.52	2.90
2013	3.00	1.30	1.68	3.50
2012	3.24	2.20	1.02	4.60
2011	3.9	4.00	-0.10	4.50
평균	2.362	1.48	0.87	1.82

연간 투입되는 운영유지비를 현재가치로 계산하기 위해서는 현재가치환산계수 PWAF를 계산하여 운영유지비에 곱해주어야 한다. PWAF는 식 (3)을 활용하여 계산하며 n=40의 결과값은 33.64이다[30].

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$PWAF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \qquad \text{식 (3)}$$

[표 5-12] 40년간 현재가치환산계수(PWAF)

경과 연수	PWAF
0	-
1	0.991
2	1.974
3	2.948
4	3.914
5	4.872
6	5.821
7	6.762
8	7.695
9	8.620
10	9.536
11	10.445
12	11.346
13	12.240
14	13.125
15	14.003
16	14.873
17	15.736
18	16.591
19	17.439
≀	≀
30	26.295
31	27.059
32	27.817
33	28.567
34	29.312
35	30.050
36	30.781
37	31.506
38	32.225
39	32.938
40	33.644

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

연간 에너지사용량은 각 대안의 1차 에너지소요량(kWh/㎡ · yr)에서 대상지의 면적을 곱하여 연간 1차 에너지 사용량을 산정하고 위의 결과값을 토대로 식 (4)에 대입하여 다음과 같이 대상지별 비용 절감률을 계산하였다[31].

$$\text{누적현재가치} = \text{초기투자비용} + (PWAF \times \text{연간에너지비용}) \quad \text{식 (4)}$$

1) A-1 공공임대주택

A-1 공공임대주택은 건축물을 40년간 운영한다 가정하였을 경우, 기존 건축물은 약 26,984,908원의 비용이 소요되는 것으로 나타났으며, ALT1은 30,813,244원, ALT2는 23,855,934원, ALT3은 25,326,042원, ALT1 + ALT2는 28,664,629원, ALT1 + ALT3은 28,774,240원, ALT2 + ALT3은 21,890,445원, ALT1 + ALT2 + ALT3은 26,629,131원의 비용이 발생하는 것으로 분석되었다. [표 5-13]의 대안별 절감률과 같이 ALT2+ALT3은 18.88% 저렴한 것으로 나타났으며, 5.2절에서 제시한 최적안에 해당되는 대안으로 연간 절감 가능한 에너지 비용은 23.40%이다.

[표 5-13] A-1 공공임대주택 대안별 경제성 분석

구분	초기투자비용(원)	연간에너지비용(원)	40년간 누적 현재가치비용(원)	대안별 절감율	
				연간비용	누적비용
기존	-	802,065	26,984,908	-	-
ALT1	9,963,000	619,726	30,813,244	22.73%	-14.19%
ALT2	701,000	688,227	23,855,934	14.19%	11.60%
ALT3	520,000	737,303	25,326,042	8.07%	6.15%
ALT1+ALT2	10,664,000	535,027	28,664,629	33.29%	-6.22%
ALT1+ALT3	10,483,000	543,665	28,774,240	32.22%	-6.63%
ALT2+ALT3	1,221,000	614,352	21,890,445	23.40%	18.88%
ALT1+ALT2+ALT3	11,184,000	459,071	26,629,131	42.76%	1.32%

[표 5-14]은 [표 5-13]의 40년간 발생하는 총비용의 현재가치에 대한 연간 누적 비용을 산정하는 과정을 보여주고 있다. ‘0년도’에 해당하는 누적 비용은 그린 리모델링을 위한 초기투자비 즉 사업비를 의미하고 있으며, 1년 차부터 연간 에너지비용에 실질할인율을 적용하여 현재가치로 변환한 금액을 직전연도 금액에

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

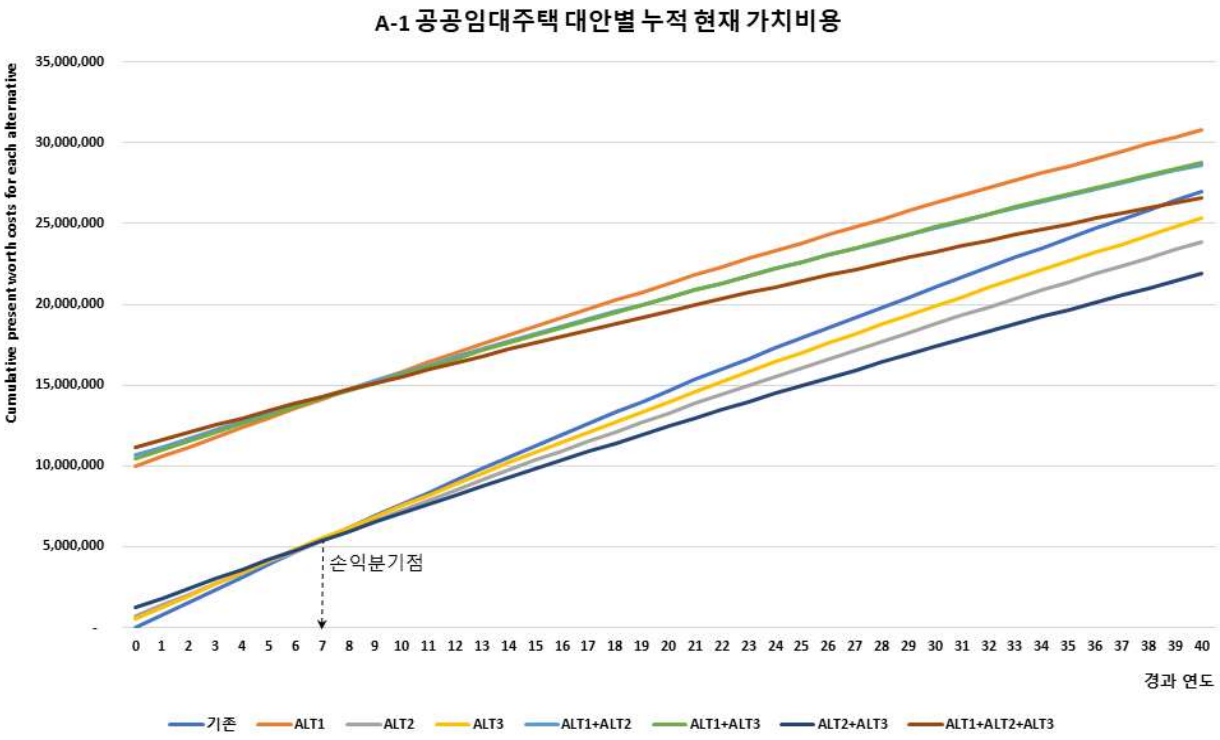
합산한 결과를 보여주고 있다. [그림 5-1]은 [표 5-14]의 누적금액을 그래프로 나타낸 것이다. [그림 5-1]과 [표 5-14]에서 볼 수 있듯이, ALT1, ALT1 + ALT2, ALT1 + ALT3의 40년간 누적비용은 기존 건축물의 누적비용보다 크기 때문에 총 누적비용이 역전되는 손익분기점 (Breakeven point)이 존재하지 않는다. 연간 에너지비용 절감액이 가장 큰 대안은 ALT2 + ALT3으로 경우 기존 건축물의 누적비용보다 경제적으로 나아지는 손익분기점이 7년임을 알 수 있다. 결론적으로 그린 리모델링 대안별 경제성 분석을 수행한 결과, ALT2 + ALT3 대안으로 대상지를 그린 리모델링할 경우, 7년이 지난 후 그린 리모델링을 위한 초기비용 약 1,221,000원을 연간 에너지비용 절감액(기존대비 23.40%)을 통해 회수할 수 있는 것으로 나타났으며, 나아가 40년간 운영할 경우 원래의 건축물 대비 총 18.88% 의 비용 절감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 건축물 1차 에너지소요량을 고려한다면 5.2절에서 제시한 ALT1 + ALT2 + ALT3 대안으로 대상지 그린 리모델링을 할 경우 , 39년이 지난후 그린 리모델링을 위한 초기비용 약 11,184,000원을 연간 에너지비용 절감액(기존대비 42.76%)을 통해 회수할 수 있는 것으로 나타났으며, 나아가 40년간 운영할 경우 원래의 건축물 대비 총 1.32% 의 비용절감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-14] A-1 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

경과 연수	기존	ALT1	ALT2	ALT3	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3	ALT1+ALT2+ALT3
0	-	9,963,000	701,000	520,000	10,664,000	10,483,000	1,221,000	11,184,000
1	795,128	10,577,366	1,383,276	1,250,927	11,194,401	11,021,964	1,830,039	11,639,101
2	1,583,380	11,186,419	2,059,651	1,975,532	11,720,214	11,556,266	2,433,811	12,090,266
3	2,364,815	11,790,206	2,730,176	2,693,871	12,241,480	12,085,948	3,032,361	12,537,530
4	3,139,492	12,388,770	3,394,904	3,405,998	12,758,239	12,611,049	3,625,735	12,980,926
5	3,907,470	12,982,158	4,053,882	4,111,966	13,270,528	13,131,609	4,213,978	13,420,487
6	4,668,806	13,570,414	4,707,161	4,811,829	13,778,387	13,647,667	4,797,133	13,856,246
7	5,423,558	14,153,583	5,354,791	5,505,639	14,281,854	14,159,262	5,375,246	14,288,238
8	6,171,783	14,731,709	5,996,821	6,193,449	14,780,967	14,666,433	5,948,358	14,716,493
9	6,913,537	15,304,835	6,633,297	6,875,311	15,275,764	15,169,218	6,516,515	15,141,045
10	7,648,877	15,873,005	7,264,270	7,551,277	15,766,281	15,667,655	7,079,758	15,561,925
⌇	⌇	⌇	⌇	⌇	⌇	⌇	⌇	⌇
31	21,703,331	26,732,364	19,323,972	20,470,920	25,141,485	25,194,217	17,844,951	23,606,158
32	22,310,767	27,201,707	19,845,195	21,029,309	25,546,683	25,605,956	18,310,225	23,953,831
33	22,912,950	27,666,992	20,361,910	21,582,870	25,948,377	26,014,135	18,771,475	24,298,498
34	23,509,925	28,128,252	20,874,156	22,131,643	26,346,597	26,418,784	19,228,736	24,640,184
35	24,101,737	28,585,524	21,381,972	22,675,670	26,741,373	26,819,934	19,682,042	24,978,915
36	24,688,432	29,038,841	21,885,397	23,214,992	27,132,735	27,217,614	20,131,429	25,314,716
37	25,270,052	29,488,238	22,384,468	23,749,651	27,520,713	27,611,855	20,576,929	25,647,613
38	25,846,643	29,933,748	22,879,223	24,279,685	27,905,335	28,002,687	21,018,576	25,977,632
39	26,418,247	30,375,406	23,369,700	24,805,136	28,286,631	28,390,139	21,456,404	26,304,796
40	26,984,908	30,813,244	23,855,934	25,326,043	28,664,629	28,774,240	21,890,445	26,629,132

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 5-1] A-1 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

2) A-2 공공임대주택

A-2 공공임대주택은 건축물을 40년간 운영한다 가정하였을 경우, 기존 건축물은 약 29,104,098원의 비용이 소요되는 것으로 나타났으며, ALT1은 32,626,636원, ALT2는 25,713,299원, ALT3은 26,922,194원, ALT1 + ALT2는 30,198,686원, ALT1 + ALT3은 30,238,028원, ALT2 + ALT3은 23,227,419원, ALT1 + ALT2 + ALT3은 27,758,378원의 비용이 발생하는 것으로 분석되었다. [표 5-15]의 대안별 절감률과 같이 ALT2 + ALT3은 20.19% 저렴한 것으로 나타났으며, 5.2절에서 제시한 최적안에 해당되는 대안으로 연간 절감 가능한 에너지 비용은 24.39%이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-15] A-2 공공임대주택 대안별 경제성 분석

구분	초기투자비용(원)	연간에너지비용(원)	40년간 누적 현재가치비용(원)	대안별 절감율	
				연간비용	누적비용
기존	-	865,053	29,104,098	-	-
ALT1	9,963,000	673,625	32,626,636	22.13%	-12.10%
ALT2	701,000	743,433	25,713,299	14.06%	11.65%
ALT3	520,000	784,745	26,922,194	9.28%	7.50%
ALT1+ALT2	10,664,000	580,624	30,198,686	32.88%	-3.76%
ALT1+ALT3	10,483,000	587,173	30,238,028	32.12%	-3.90%
ALT2+ALT3	1,221,000	654,090	23,227,419	24.39%	20.19%
ALT1+ALT2+ALT3	11,184,000	492,635	27,758,378	43.05%	4.62%

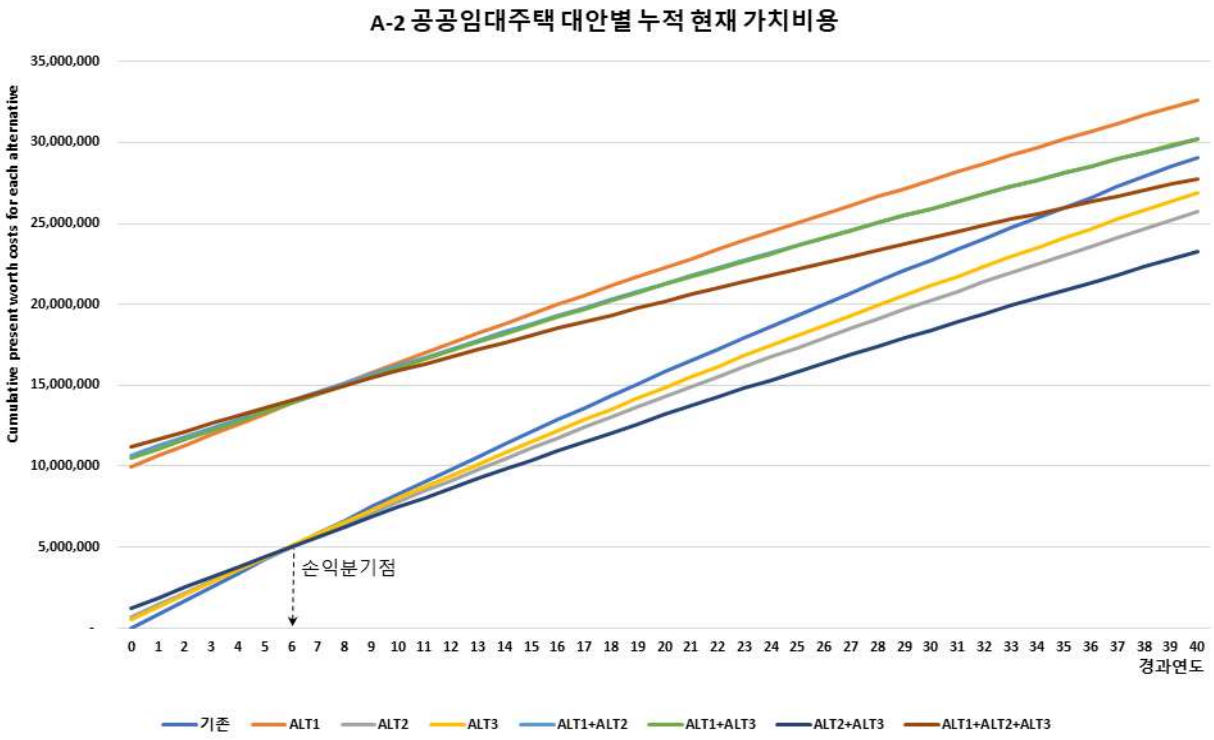
[표 5-16]는 [표 5-15]의 40년간 발생하는 총비용의 현재가치에 대한 연간 누적비용을 산정하는 과정을 보여주고 있다. '0년도'에 해당하는 누적 비용은 그린리모델링을 위한 초기 투자비 즉 사업비를 의미하고 있으며, 1년차부터 연간 에너지비용에 실질할인율을 적용하여 현재가치로 변환한 금액을 직전연도 금액에 합산한 결과를 보여주고 있다. [그림 5-2]는 [표 5-16]의 누적금액을 그래프로 나타낸 것이다. [그림 5-2]과 [표 5-16]에서 볼 수 있듯이, ALT1, ALT1 + ALT2, ALT1 + ALT3의 40년간 누적비용은 기존 건축물의 누적비용보다 크기 때문에 총 누적비용이 역전되는 손익분기점 (Breakeven point)이 존재하지 않는다. 연간 에너지비용 절감액이 가장 큰 대안은 ALT2 + ALT3으로 기존 건축물의 누적비용보다 경제적으로 나아지는 손익분기점이 6년임을 알 수 있다. 결론적으로 그린 리모델링 대안별 경제성 분석을 수행한 결과, ALT2 + ALT3 대안으로 대상지를 그린 리모델링할 경우, 6년이 지난후 그린 리모델링을 위한 초기비용 약 1,221,000원을 연간 에너지비용 절감액(기존대비 24.39%)을 통해 회수할 수 있는 것으로 나타났으며, 나아가 40년간 운영할 경우 원래의 건축물 대비 총 20.19% 의 비용절감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 건축물 1차 에너지소요량을 고려한다면 5.2절에서 제시한 ALT1 + ALT2 + ALT3 대안으로 대상지 그린 리모델링을 할 경우 , 35년이 지난 후 그린 리모델링을 위한 초기비용 약 11,184,000원을 연간 에너지비용 절감액(기존대비 43.05%)을 통해 회수할 수 있는 것으로 나타났으며, 나아가 40년간 운영할 경우 원래의 건축물 대비 총 4.62% 의 비용절감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-16] A-2 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

경과 연수	기존	ALT1	ALT2	ALT3	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3	ALT1+ALT2+ALT3
0	-	9,963,000	701,000	520,000	10,664,000	10,483,000	1,221,000	11,184,000
1	857,572	10,630,799	1,438,004	1,297,958	11,239,602	11,065,095	1,869,434	11,672,375
2	1,707,727	11,292,823	2,168,634	2,069,188	11,810,227	11,642,156	2,512,260	12,156,527
3	2,550,530	11,949,122	2,892,946	2,833,749	12,375,917	12,214,227	3,149,527	12,636,491
4	3,386,044	12,599,745	3,610,994	3,591,698	12,936,715	12,781,350	3,781,282	13,112,305
5	4,214,333	13,244,741	4,322,832	4,343,092	13,492,662	13,343,568	4,407,575	13,584,004
6	5,035,459	13,884,159	5,028,514	5,087,987	14,043,802	13,900,925	5,028,451	14,051,623
7	5,849,483	14,518,048	5,728,094	5,826,441	14,590,176	14,453,461	5,643,957	14,515,199
8	6,656,468	15,146,454	6,421,623	6,558,509	15,131,825	15,001,220	6,254,141	14,974,766
9	7,456,474	15,769,427	7,109,154	7,284,245	15,668,789	15,544,241	6,859,047	15,430,358
10	8,249,561	16,387,011	7,790,740	8,003,706	16,201,110	16,082,566	7,458,723	15,882,010
≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀
31	23,407,745	28,190,832	20,817,807	21,754,667	26,375,291	26,371,506	18,920,248	24,514,385
32	24,062,885	28,700,996	21,380,839	22,348,986	26,815,021	26,816,196	19,415,617	24,887,477
33	24,712,358	29,206,747	21,939,002	22,938,165	27,250,948	27,257,040	19,906,702	25,257,344
34	25,356,215	29,708,124	22,492,338	23,522,249	27,683,105	27,694,072	20,393,541	25,624,011
35	25,994,504	30,205,166	23,040,889	24,101,282	28,111,525	28,127,324	20,876,169	25,987,508
36	26,627,273	30,697,909	23,584,696	24,675,307	28,536,240	28,556,830	21,354,623	26,347,861
37	27,254,570	31,186,391	24,123,800	25,244,368	28,957,281	28,982,621	21,828,939	26,705,098
38	27,876,441	31,670,648	24,658,241	25,808,508	29,374,682	29,404,729	22,299,154	27,059,245
39	28,492,935	32,150,718	25,188,061	26,367,769	29,788,473	29,823,188	22,765,302	27,410,330
40	29,104,097	32,626,636	25,713,299	26,922,193	30,198,685	30,238,027	23,227,419	27,758,378

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 5-2] A-2 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) B 공공임대주택

B 공공임대주택은 건축물을 40년간 운영한다 가정하였을 경우, 기존 건축물은 약 17,865,568원의 비용이 소요되는 것으로 나타났으며, ALT1은 22,253,990원, ALT2는 17,651,881원, ALT3은 15,415,865원, ALT1 + ALT2는 22,075,070원, ALT1 + ALT3은 20,324,620원, ALT2 + ALT3은 275,564원, ALT1 + ALT2 + ALT3은 20,149,161원의 비용이 발생하는 것으로 분석되었다. [표 5-17]의 대안별 절감률과 같이 ALT3은 13.71% 저렴하고 연간 절감 가능한 에너지 비용은 16.62%로 나타났지만 건축물 에너지 효율등급은 5등급으로 최적안에 해당되지 않았다. 최적안으로 제안되었던 ALT1 + ALT2 + ALT3은 12.78% 비싸지만 절감 가능한 에너지 비용은 48.11%이고, ALT1 + ALT3은 13.76% 비싸지만 절감 가능한 에너지 비용은 46.03%이다.

[표 5-17] B 공공임대주택 대안별 경제성 분석

구분	초기투자비용(원)	연간에너지비용(원)	40년간 누적 현재가치비용(원)	대안별 절감율	
				연간비용	누적비용
기존	-	531,013	17,865,568	-	-
ALT1	10,163,000	359,377	22,253,990	32.32%	-24.56%
ALT2	195,000	518,866	17,651,881	2.29%	1.20%
ALT3	520,000	442,745	15,415,865	16.62%	13.71%
ALT1+ALT2	10,358,000	348,263	22,075,070	34.42%	-23.56%
ALT1+ALT3	10,683,000	286,575	20,324,620	46.03%	-13.76%
ALT2+ALT3	715,000	446,871	15,749,670	15.85%	11.84%
ALT1+ALT2+ALT3	10,878,000	275,564	20,149,161	48.11%	-12.78%

[표 5-18]는 [표 5-17]의 40년간 발생하는 총비용의 현재가치에 대한 연간 누적비용을 산정하는 과정을 보여주고 있다. ‘0년도’에 해당하는 누적비용은 그린리모델링을 위한 초기투자비 즉 사업비를 의미하고 있으며, 1년차부터 연간 에너지비용에 실질할인율을 적용하여 현재가치로 변환한 금액을 직전연도 금액에 합산한 결과를 보여주고 있다. [그림 5-3]는 [표 5-18]의 누적금액을 그래프로 나타낸 것이다. [그림 5-3]과 [표 5-18]에서 볼 수 있듯이, ALT1, ALT1 + ALT2, ALT1 + ALT3, ALT1 + ALT2 + ALT3의 40년간 누적비용은 기존 건축물의 누적비용보다 크기 때문에 총 누적비용이 역전되는 손익분기점 (Breakeven point)이 존재하지 않는

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

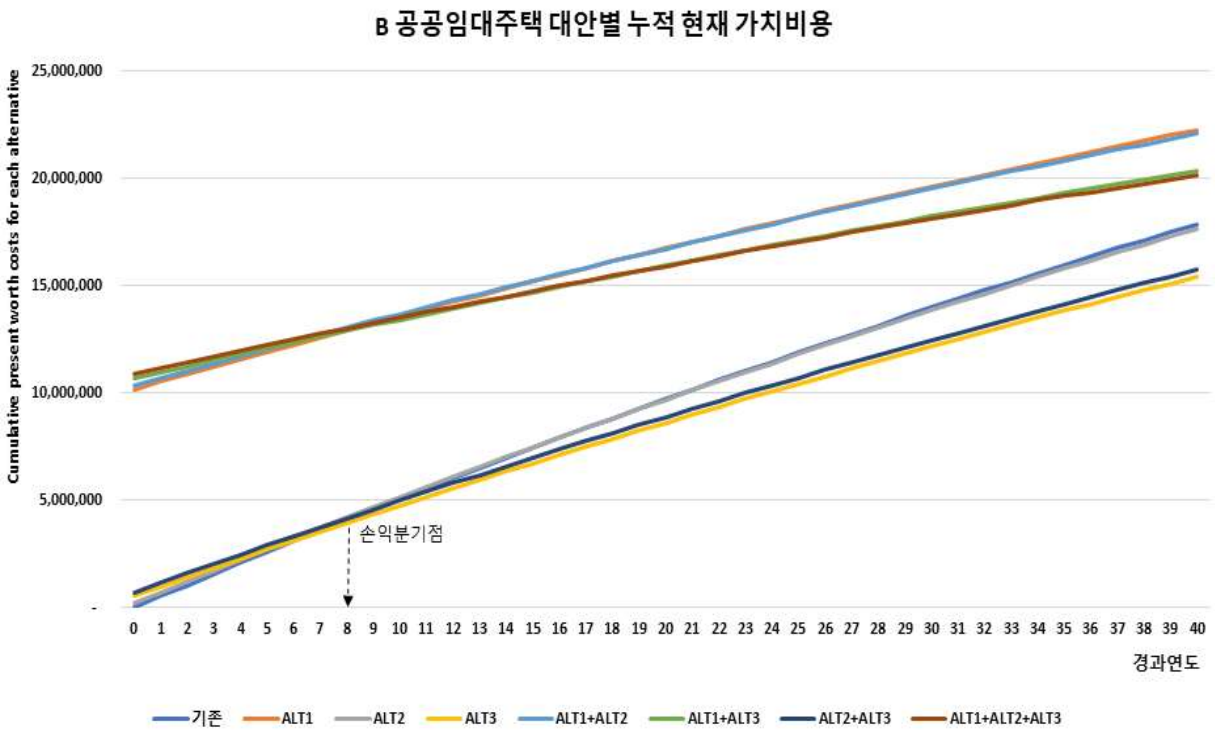
다. 연간 에너지 비용 절감액이 가장 큰 대안은 ALT3으로 기존 건축물의 누적비용보다 경제적으로 나아지는 손익분기점이 8년임을 알 수 있다. 결론적으로 그린 리모델링 대안별 경제성 분석을 수행한 결과, ALT3 대안으로 대상지를 그린 리모델링할 경우, 8년이 지난 후 그린 리모델링을 위한 초기비용 약 715,000원을 연간 에너지비용 절감액(기존대비 15.85%)을 통해 회수할 수 있는 것으로 나타났으며, 나아가 40년간 운영할 경우 원래의 건축물 대비 총 11.84% 의 비용절감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 5.2절에서 제시한 ALT1 + ALT2 + ALT3, ALT1 + ALT3 대안으로 대상지 그린 리모델링을 할 경우, 손익분기점에 도달하지 못하지만 연간 에너지비용 절감액이 기존대비 48.11%, 46.03% 저감되는 것으로 나타났다. 이는 초기투자비의 차이가 커서 나타나는 결과로 그린 리모델링 프로젝트 상황에 따라 대안을 선택 해야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-18] B 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

경과 연수	기존	ALT1	ALT2	ALT3	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3	ALT1+ALT2+ALT3
0	-	10,163,000	195,000	520,000	10,358,000	10,683,000	715,000	10,878,000
1	526,421	10,519,269	709,379	958,917	10,703,251	10,967,097	1,158,007	11,151,181
2	1,048,289	10,872,457	1,219,309	1,394,037	11,045,517	11,248,737	1,597,182	11,421,999
3	1,565,644	11,222,591	1,724,829	1,825,395	11,384,822	11,527,941	2,032,559	11,690,476
4	2,078,525	11,569,696	2,225,978	2,253,022	11,721,193	11,804,730	2,464,171	11,956,630
5	2,586,971	11,913,800	2,722,792	2,676,952	12,054,656	12,079,126	2,892,051	12,220,483
6	3,091,019	12,254,928	3,215,310	3,097,215	12,385,234	12,351,149	3,316,230	12,482,054
7	3,590,709	12,593,106	3,703,569	3,513,843	12,712,954	12,620,820	3,736,741	12,741,363
8	4,086,077	12,928,359	4,187,605	3,926,869	13,037,839	12,888,158	4,153,615	12,998,429
9	4,577,161	13,260,713	4,667,455	4,336,322	13,359,915	13,153,184	4,566,884	13,253,273
10	5,063,998	13,590,193	5,143,155	4,742,235	13,679,205	13,415,918	4,976,579	13,505,912
11	5,546,625	13,916,823	5,614,742	5,144,637	13,995,734	13,676,381	5,382,731	13,756,366
12	6,025,078	14,240,629	6,082,250	5,543,560	14,309,526	13,934,590	5,785,371	14,004,655
13	6,499,394	14,561,634	6,545,715	5,939,032	14,620,604	14,190,567	6,184,528	14,250,796
14	6,969,607	14,879,864	7,005,172	6,331,084	14,928,992	14,444,330	6,580,234	14,494,809
15	7,435,754	15,195,341	7,460,656	6,719,746	15,234,713	14,695,898	6,972,518	14,736,711
16	7,897,870	15,508,090	7,912,201	7,105,047	15,537,790	14,945,291	7,361,408	14,976,522
17	8,355,989	15,818,134	8,359,840	7,487,015	15,838,246	15,192,527	7,746,936	15,214,258
18	8,810,147	16,125,497	8,803,608	7,865,680	16,136,104	15,437,625	8,129,130	15,449,939
19	9,260,377	16,430,202	9,243,539	8,241,071	16,431,386	15,680,604	8,508,019	15,683,581
≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀
40	17,865,568	22,253,990	17,651,880	15,415,864	22,075,070	20,324,619	15,749,669	20,149,160

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 5-3] B 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4) C 공공임대주택

C 공공임대주택은 건축물을 40년간 운영한다 가정하였을 경우, 기존 건축물은 약 30,154,253원의 비용이 소요되는 것으로 나타났으며, ALT1은 32,689,255원, ALT2는 25,959,835원, ALT3은 27,961,973원, ALT1 + ALT2는 29,709,636원, ALT1+ ALT3은 30,466,107원, ALT2 + ALT3은 23,867,859원, ALT1 + ALT2 + ALT3은 27,590,089원의 비용이 발생하는 것으로 분석되었다. [표 5-19]의 대안별 절감률과 같이 ALT2 + ALT3은 20.85% 저렴하고 연간 절감가능한 에너지 비용은 25.51%로 나타났지만 건축물 에너지효율등급은 6등급으로 최적안에 해당되지 않았다. 최적안으로 제안되었던 ALT1 + ALT2 + ALT3은 8.50% 저렴하고 연간 절감가능한 에너지 비용은 45.50%이다.

[표 5-19] C 공공임대주택 대안별 경제성 분석

구분	초기투자비용(원)	연간에너지비용(원)	40년간 누적 현재가치비용(원)	대안별 절감율	
				연간비용	누적비용
기존	-	896,266	30,154,253	-	-
ALT1	9,750,000	681,817	32,689,255	23.93%	-8.41%
ALT2	887,000	745,233	25,959,835	16.85%	13.91%
ALT3	520,000	815,650	27,961,973	8.99%	7.27%
ALT1+ALT2	10,637,000	566,890	29,709,636	36.75%	1.47%
ALT1+ALT3	10,270,000	600,283	30,466,107	33.02%	-1.03%
ALT2+ALT3	1,407,000	667,598	23,867,859	25.51%	20.85%
ALT1+ALT2+ALT3	11,157,000	488,436	27,590,089	45.50%	8.50%

[표 5-20]는 [표 5-19]의 40년간 발생하는 총 비용의 현재가치에 대한 연간 누적비용을 산정하는 과정을 보여주고 있다. '0년도'에 해당하는 누적비용은 그린 리모델링을 위한 초기투자비 즉 사업비를 의미하고 있으며, 1년차부터 연간 에너지비용에 실질할인율을 적용하여 현재가치로 변환한 금액을 직전년도 금액에 합산한 결과를 보여주고 있다. [그림 5-4]는 [표 5-20]의 누적금액을 그래프로 나타낸 것이다. [그림 5-4]와 [표 5-20]에서 볼 수 있듯이, ALT1, ALT1 + ALT3의 40년간 누적비용은 기존 건축물의 누적비용보다 크기 때문에 총 누적비용이 역전되는

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

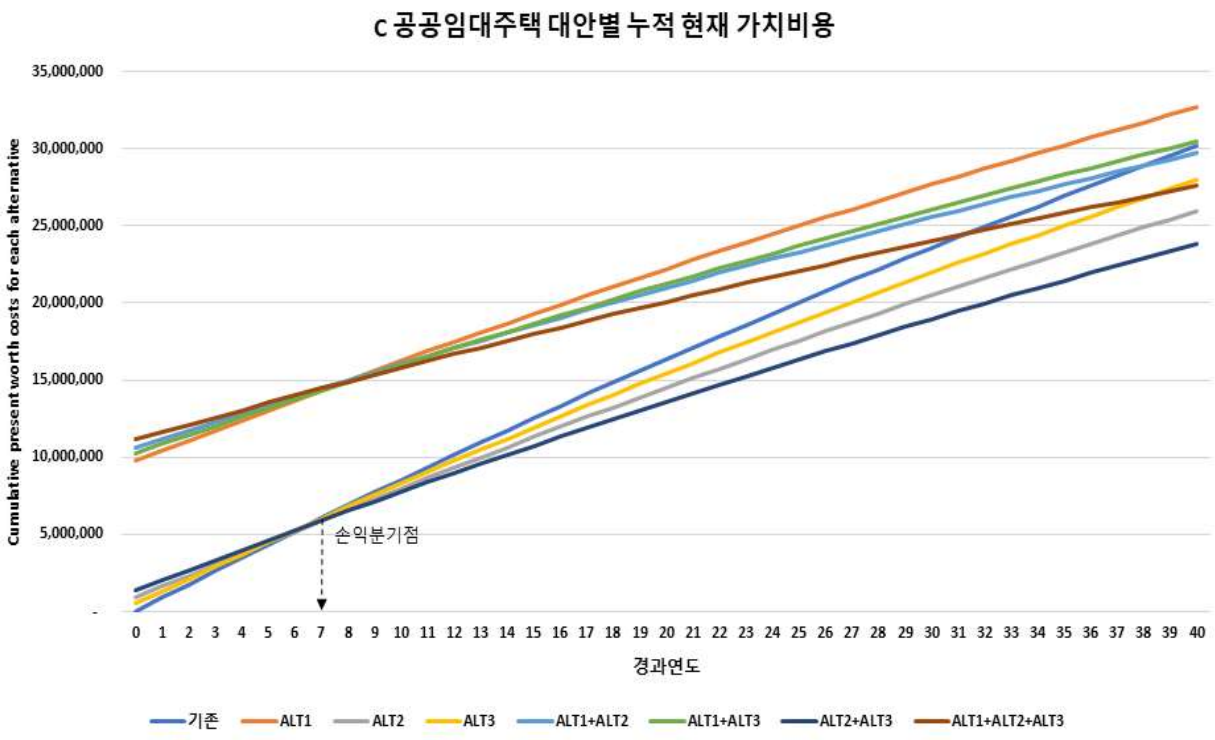
손익분기점 (Breakeven point)이 존재하지 않는다. 연간 에너지비용 절감액이 가장 큰 대안은 ALT2 + ALT3으로 기존 건축물의 누적비용보다 경제적으로 나아지는 손익분기점이 7년임을 알 수 있다. 결론적으로 그린 리모델링 대안별 경제성 분석을 수행한 결과, ALT2 + ALT3 대안으로 대상지를 그린 리모델링을 할경우, 7년이 지난후 그린 리모델링을 위한 초기비용 약 1,407,000원을 연간 에너지비용 절감액(기존대비 25.51%)을 통해 회수할 수 있는 것으로 나타났으며, 나아가 40년간 운영할 경우 원래의 건축물 대비 총 20.85% 의 비용절감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 건축물 1차 에너지소요량을 고려한다면 5.2절에서 제시한 ALT1 + ALT2 + ALT3 대안으로 대상지 그린 리모델링을 할 경우, 32년이 지난후 그린 리모델링을 위한 초기비용 약 11,157,000원을 연간 에너지비용 절감액(기존대비 45.50%)을 통해 회수할 수 있는 것으로 나타났으며, 나아가 40년간 운영할 경우 원래의 건축물 대비 총 8.50% 의 비용절감을 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 5-20] C 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

경과 연수	기존	ALT1	ALT2	ALT3	ALT1+ALT2	ALT1+ALT3	ALT2+ALT3	ALT1+ALT2+ALT3
0	-	9,750,000	887,000	520,000	10,637,000	10,270,000	1,407,000	11,157,000
1	888,515	10,425,920	1,625,788	1,328,596	11,198,988	10,865,092	2,068,824	11,641,212
2	1,769,346	11,095,995	2,358,186	2,130,199	11,756,116	11,455,037	2,724,925	12,121,236
3	2,642,560	11,760,275	3,084,251	2,924,870	12,308,425	12,039,880	3,375,351	12,597,109
4	3,508,222	12,418,811	3,804,037	3,712,668	12,855,959	12,619,666	4,020,153	13,068,867
5	4,366,398	13,071,651	4,517,598	4,493,654	13,398,757	13,194,438	4,659,378	13,536,545
6	5,217,152	13,718,846	5,224,988	5,267,885	13,936,861	13,764,239	5,293,076	14,000,178
7	6,060,548	14,360,443	5,926,260	6,035,421	14,470,311	14,329,112	5,921,293	14,459,802
8	6,896,651	14,996,492	6,621,468	6,796,319	14,999,148	14,889,100	6,544,077	14,915,451
9	7,725,524	15,627,040	7,310,664	7,550,637	15,523,412	15,444,245	7,161,475	15,367,160
10	8,547,228	16,252,136	7,993,899	8,298,432	16,043,142	15,994,590	7,773,534	15,814,962
≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀	≀
31	24,252,360	28,199,506	21,052,495	22,590,937	25,976,675	26,513,256	19,471,744	24,373,749
32	24,931,139	28,715,874	21,616,890	23,208,662	26,406,004	26,967,875	19,977,342	24,743,661
33	25,604,047	29,227,776	22,176,403	23,821,045	26,831,620	27,418,562	20,478,569	25,110,375
34	26,271,137	29,735,251	22,731,079	24,428,131	27,253,556	27,865,352	20,975,460	25,473,917
35	26,932,457	30,238,337	23,280,957	25,029,968	27,671,842	28,308,277	21,468,055	25,834,315
36	27,588,058	30,737,073	23,826,080	25,626,599	28,086,511	28,747,372	21,956,389	26,191,596
37	28,237,989	31,231,495	24,366,488	26,218,071	28,497,594	29,182,670	22,440,500	26,545,787
38	28,882,299	31,721,642	24,902,224	26,804,428	28,905,122	29,614,204	22,920,425	26,896,916
39	29,521,038	32,207,549	25,433,326	27,385,714	29,309,126	30,042,005	23,396,199	27,245,007
40	30,154,253	32,689,255	25,959,835	27,961,973	29,709,636	30,466,107	23,867,859	27,590,089

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 5-4] C 공공임대주택 대안별 누적 현재 가치비용

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제6장 결론

본 논문에서는 실제 건축물 에너지 효율등급 인증에 사용되는 ECO2 프로그램을 이용하여 광주광역시의 공공임대주택 4단지를 대상으로 그린 리모델링 기술인 Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지의 요소기술 중 대상지에 적용할 수 있는 기술을 선정하여 대안 7가지를 적용해 그린 리모델링 전·후 건축물 에너지 성능평가를 진행하여 건축물 에너지 효율등급 산정 및 온실가스 저감량을 계산하고 경제성 분석을 통해 다음과 같은 결론이 나왔다.

1) 연구 대상 건축물은 27~29년 경과된 노후한 공공임대주택으로 . Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지 설치 중 단일 대안으로는 신재생에너지를 설치했을 때 건축물 에너지 효율이 가장 좋았다. 대안을 모두 적용했을 때 신재생에너지 중 가정용 발코니 태양광 패널과 가정용 연료전지를 설치했을 때 현재 신축 공공임대주택 건축물 에너지 효율등급 기준인 2등급이상으로 상향시킬 수 있었다.

2) 현재 연료전지의 가격은 2,200만원 수준으로 경제적으로 부담이 된다고 판단하여 신재생에너지는 발코니 태양광 패널만 적용하여 건축물 에너지 평가를 재진행 하였다. 하지만, 2021년 서울시에서 수소연료전지 보급 활성화를 위한 사업을 시작하였으며 이처럼 정부의 지원과 업계의 기술개발 노력을 통해 추후에는 연료전지 역시 경제적 부담 없이 설치할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 연료전지를 제외한 후 건축물 에너지 평가를 진행한 결과 Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지 설치 중 단일 대안으로는 외피 단열성능을 향상시키는 Passive 기술이 건축물 에너지 효율을 높이는데 가장 효과적이고, 온실가스 저감량도 가장 큰 것으로 나타났다.

4) 경제성 분석 결과 Passive 기술, Active 기술, 신재생에너지 설치 중 단일 대안으로는 Passive 기술의 투자비 회수기간이 가장 길었고, Active 기술과 신재생에너지 설치는 대상지별로 투자비 회수기간이 상이하기 때문에 정량적인 분석안을 제시함으로써 그린 리모델링 프로젝트 상황에 따라 각 대안의 특징을 인식하고 위

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

의 결과를 참고하여 효과적인 대안을 선정해야한다.

본 논문에서는 각 대상지에서 층별 세대 위치에 따른 에너지 성능의 차이를 알아보기 위해 외측 2세대, 중간측 1세대로 최하층에서 3세대, 중간층에서 3세대, 최상층에서 3세대 총 9세대를 선정하였으나 세대의 위치에 따른 ECO2 건축물 에너지 성능 시뮬레이션 결과의 통계적 유의차는 증명할 수 없었다. 이러한 결과는 ECO2 프로그램의 분석 특성에 기인한다고 할 수 있는데, 본 프로그램은 미시기후에 대한 반영이 크지 않고 건물외피의 열성능의 경우 단열성능에 크게 좌우되는데 설계 지표 상 건물의 외기와 면하는 부분의 단열보강이 이루어지고 있기 때문에 미시기후의 영향보다는 단열재 구성에 의한 열관류율의 에너지 성능 해석결과가 더 크게 반영되기 때문으로 판단된다. 아울러, 향후 연구대상지의 에너지사용량을 지속적으로 모니터링하여 본 연구결과와 에너지사용량 데이터를 기반으로 한 그린 리모델링의 예측 효율성을 향상시키고 투자대 회수기간에 대한 예측도 데이터기반에서 유추할 수 있는 실증연구가 필요하다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

[1] 이근. “ECO2 분석을 통한 기존 업무용 건축물의 에너지 절감 방안 연구”. 연세대학교 석사학위논문. 2018.

[2] 우수진, 이상윤. “기후변화 대응 도시재생을 위한 기존건축물 온실가스 감축 효과분석 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집. 제 39권 제1호(통권 제71집) 2019.

[3] 유선철, 여관현. “기후변화에 대응한 도시정책과제 우선순위 및 단계별 추진 방안”,정책과학학회보. 2017.

[4] 왕광익, 유선철, 노경식. “기후변화 대응 도시재생 정책과제 및 전략계획 수립방향”. 국토연구원.2014.

[5] 변병설, 이영성, 윤동근, 최민성, 이희정. “그린 뉴딜정책”, 대한국토·도시계획학회, 2020.

[6] 기획재정부, “한국판 뉴딜 종합계획”, 관계부처 합동, 2020.

[7] 김소윤. “제로에너지 건축물 인증제도/공공건축물 그린 리모델링 사업”. 국토연구원.2020.

[8] 그린리모델링창조센터 한국토지주택공사, 국토교통부, 그린 리모델링 홍보동영상, https://www.greenremodeling.or.kr/,

[9] 한국토지주택공사, 그린리모델링, https://www.greenremodeling.or.kr/business/bus1000.asp, 검색일자 : 2021.03.10

[10] 정광복. “그린 리모델링 관련 제도·정책 및 연구동향”. KICEM. 2020.

[11] 고범석. “공공건축물 외피 개선을 통한 단열성능 향상 및 에너지 절감 효과 분석”. 조선대학교 석사학위논문. 2017.

[12] 국토교통부. “공공건축물 그린리모델링 지원사업 가이드라인”.2021.

[13] 김창성. “ECO2 프로그램을 이용한 공동주택의 단위세대 평면 형태에 따른 에너지 효율 평가”. 2015.

[14] 한국에너지공단, 에너지효율향상, 건물부분, 건축물에너지효율등급인증, https://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/ener_efficiency/building_02.asp, 검색일자 : 2021.03.12.

[15] 건축물의 에너지절약 설계기준 설명서, 한국에너지공단, 국토교통부, 2017.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[16] 이은주, “공동주택에서 ECO2를 이용한 냉방기기 유무에 따른 건물에너지 효율 평가”. 서울과학기술대학교 석사학위논문. 2017.
[17] https://krb.co.kr/product/16251, 검색일자 : 2021.04.01.
[18] LH 한국토지주택공사, “공공건축물 그린리모델링 시공가이드”.2020.
[19] 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정, 산업통상자원부, 에너지효율과, 2020.
[20] 온실가스 감축 및 관리기술, 한국환경공단, 2013.
[21] 광주광역시 온실가스 인벤토리 보고서, 국제기후환경센터, 2016
[22] 김재문, 이정혁, 이두환. “공공건축물의 그린리모델링 수준별 LCC(Life Cycle Cost) 분석을 통한 경제성 비교. 삼우씨엠건축사사무소 기술연구소 기술지원팀. 2018.
[23] 월간수소경제, http://www.h2news.kr/news/article.html?no=8124, 검색일자 :2021.04.01.
[24] LH 한국토지주택공사, “2018년 공공건축물 그린리모델링 지원사업 백서”.2019.
[25] 한국전력, 조회·납부, 전기요금표, 전기요금 구조, https://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/E/E/CYEEHP00101.jsp, 검색일자 : 2021.05.02
[26] 해양도시가스, 요금, 요금안내, https://www.hyenergy.co.kr/charge/pay_notify01.asp, 검색일자 : 2021.05.02.
[27] 법인세법 시행규칙 제15조 3항, 별표 5, 검색일자 : 2021.05.02.
[28] 김상갑, 조규만, 홍태훈, 현창택, 구교진, “공동주택 지하구조물의 방수공법별 생애주기비용 분석에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 2007.
[29] e-나라지표, 시장금리추이, https://www.index.go.kr/main.do, 검색일자 : 2021.05.02.
[30] 국토해양부 기술안전정책관, “생애주기비용 분석 및 평가요령”, 2008.12
[31] 채충훈, 조규만, 김재연, “이중외피 리모델링 공사의 경제적 타당성 연구”, 조선대학교 공학기술연구원, 2015.