

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D /
16CTAP-C114950-02

제로에너지빌딩 구현을 위한, 공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 개발 최종보고서

2018. 09. 10.

주관연구기관 / 연세대학교 산학협력단
공동연구기관 / (주) 핸즈온 테크놀로지

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘제로에너지빌딩 구현을 위한, 공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 개발’(연구 개발 기간 : 2016. 06. ~ 2018. 06.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2018. 09. 10.

주관연구기관명 : 연세대학교 산학협력단 (대표자) 이 원 용 (인)
공동연구기관명 : (주)핸즈온테크놀러지 (1차년도) (대표자) 강 현 웅
참여기관명 : (주)핸즈온테크놀러지 (1차년도) (대표자) 강 현 웅



주관연구기관책임자: 홍 태 훈
공동연구기관책임자: 강 현 웅
참여기관책임자: 강 현 웅

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16CTAP-C11495 0-02	해당 단계 연구 기간	2016.06.22. ~ 2018.06.21.	단계구분	1/1 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	기초원천			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	제로에너지빌딩 구현을 위한, 공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 개발			
연구책임자	홍 태 훈	해당단계 참여 연구원 수	총: 22명 내부: 13명 외부: 9명	해당단계 연구개발비	정부:400,000천원 기업: 60,000천원 계:460,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 30명 내부: 17명 외부: 13명	총 연구개발비	정부:400,000천원 기업: 60,000천원 계:460,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	연세대학교 산학협력단			참여기업명: (주)핸즈온테크놀러지 (1차년도)	
국제공동연구	상대국명: 해당사항 없음.			상대국 연구기관명: 해당사항 없음.	
위탁연구	연구기관명: 한국감정원(2차년도)			연구책임자: 지창윤	
요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다.)				보고서 면수: 114쪽	
■ 연구목표 공동주택 그린리모델링 사업 초기단계에서의 의사결정 지원 시스템 개발					
■ 세부목표					
1. 그린리모델링 최적 대상 선정 모델(Selection Model for Optimal Multi-Family Housing; SMOM) 개발 2. 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(Selection Model for Optimal Technology, SMOT) 개발 3. 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(Decision Support System for Optimal Green Remodeling; DSSOG) 개발					

요 약 문

연구의 목적 및 내용	본 연구는 <u>민간 공동주택의 그린리모델링 활성화</u>를 위한 방안으로써, 기존 공동주택 중 에너지사용량의 감축이 우선적으로 요구되는 공동주택을 선정하고, 공동주택의 사업조건(에너지 개선목표, 투자비, 시공기간 등)을 고려한 최적의 요소기술을 파악하여, <u>그린리모델링 사업 참여 여부와 같은 기획/계획단계에서의 의사결정을 지원할 수 있는 의사결정 지원 도구의 개발</u>을 목표로 함. ○ 본 연구는 <u>그린리모델링의 활성화 방안</u>으로써, 그린리모델링 프로세스를 정의하고 개선하는 방안이 아닌, 사업적 타당성을 가진 잠재적 그린리모델링 대상 건축물을 발굴하고 <u>사업 참여를 유도할 수 있는 새로운 방안을 제시</u>함 ○ 본 연구는 공공업무용 건축물이 아닌 <u>민간 공동주택</u>을 대상으로 하며, 일부 지역에 국한하는 것이 아닌 서울 및 6대 광역시의 <u>공동주택을 시스템의 범위에 포함</u>함 ○ 연구목표의 달성을 위하여, 다음과 같이 <u>2개의 모델과 1개의 시스템을 개발</u>하고자 함 ○ 첫째, 공동주택 에너지소비량에 영향을 주는 <u>물리적 속성(규모, 지역, 향 등)</u>을 고려하여 <u>기존 공동주택 중 에너지사용량의 감축이 우선적으로 요구되는 공동주택을 파악</u>하고, 이를 기반으로 <u>그린리모델링 대상을 선정하는 모델</u> 개발 ○ 둘째, <u>그린리모델링 요소기술(단열, 창호, 조명, 태양광에너지)의 개별 적용뿐 아니라 통합 적용을 고려</u>하여 다양한 그린리모델링 시나리오에 따른 <u>에너지성능 향상 효과 및 비용을 평가</u>하고, 이를 기반으로 <u>최적의 요소기술 적용 대안을 제시하는 모델</u> 개발 ○ 셋째, 앞서 개발된 <u>두 가지 모델을 통합</u>하여, 기획/계획단계에서 그린리모델링 시행의 타당성 여부를 판단하고 저비용·고효율의 그린리모델링 방안을 제시하여 <u>민간의 그린리모델링 참여를 유도할 수 있는 기획/계획단계에서의 의사결정 지원 시스템</u> 개발
연구 개발성과	○ 전국의 공동주택 데이터를 기반으로, 기존 공동주택 중 우선적인 그린리모델링 적용이 요구되는 대상을 선정하는 <u>‘공동주택 그린리모델링 최적 대상 선정 모델(Selection Model for Optimal Multi-family housing; SMOM)’</u> ○ 건축물의 물리적 속성(규모, 지역, 향 등)과 사업조건(에너지성능 개선 목표, 투자예산, 시공기간 등)의 간단한 입력을 통해, 대상 공동주택에 대한 최적의 그린리모델링 요소기술의 조합을 제시하는 <u>‘공동주택 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(Selection Model for Optimal Technology; SMOT)’</u> ○ 기획/계획단계에 기존 공동주택에 대한 그린리모델링 타당성 여부를 파악하여, 민간 공동주택 소유자의 의사결정을 지원할 수 있는 <u>‘공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(Decision-making Support System for Optimal Green building; DSSOG)’</u>
연구 개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ <u>연구결과물은</u> 그린리모델링 사업과 관련한 다양한 의사결정 과정에서 활용될 수 있음. <u>정부 측면에서는 우선적 그린리모델링 적용 대상을 파악하여 선제적 관리가 가능하며, 잠재적 민간 수요자는 그린리모델링의 필요 여부 및 그린리모델링에 대한 사업성 검토가 가능하도록 지원</u>함 ○ <u>연구결과물은</u> 기존 공동주택 중 가장 우선적인 그린리모델링 시행이 요구되는 공동주택을 선정하고 해당 공동주택의 속성정보를 고려하여 비용과 성능 측면에서 효과가 가장 우수할 것으로 예상되는 최적의 요소기술을 파악함으로써, <u>잠재되어 있는 그린리모델링 사업 대상을 발굴하여 그린리모델링 시장의 활성화를 촉진</u>할 수 있음 ○ <u>연구결과물은 ‘공동주택관리정보시스템’이나 그린투게더의 ‘건물에너지정보공개 시스템’에 연동</u>됨으로써, 건축물의 그린리모델링 필요 여부 및 사업타당성 등에 대한 정보를 추가로 제공하도록 시스템의 기능을 확장할 수 있음
핵심어	제로에너지빌딩 그린리모델링 의사결정지원 에너지성능평가 다목적 최적화

SUMMARY

Purpose & Contents	This research aims to develop a decision supporting system for optimal green remodeling toward zero-energy buildings so as to <u>promote green remodeling of private multi-family housing</u>. The developed decision supporting system allows to select <u>the optimal multi-family housing</u> which is required to reduce the energy consumption and <u>the optimal technology</u> considering various business conditions of multi-family housing. Ultimately, this research enables to <u>support decision making process for participating in green remodeling business</u>. This research proposes <u>a new approach</u> for <u>selecting the potential building for green remodeling</u> and <u>promoting participation in green remodeling business</u>. This study targets to develop a decision supporting system for <u>private multi-family housing in Seoul and Six metropolitan cities</u>. ○ First, this study aims to develop <u>a model for selecting the optimal multi-family housing</u> which is required to reduce the energy consumption by <u>considering physical characteristics affecting the energy consumption of the multi-family housing, such as size, region, and orientation</u>. ○ Second, this study aims to develop <u>a model for selecting the optimal technology</u> by <u>evaluating the technical and economic performance of various green remodeling scenarios integrating different technologies, such as insulation, window, lighting, and renewable energy</u>. ○ Third, by <u>integrating the aforementioned two models</u>, this study ultimately aims to develop <u>a decision supporting system for optimal green remodeling</u> which allows to <u>evaluate the feasibility of green remodeling business</u> and <u>propose an optimal green remodeling strategy in planning and design phase</u>.					
Results	○ <u>'Selection Model for Optimal Multi-family housing (SMOM)'</u> selects the optimal multi-family housing which is required to reduce the energy consumption based on the national database. ○ <u>'Selection Model for Optimal Technology (SMOT)'</u> selects the optimal technology by considering various physical characteristics and business conditions of the multi-family housing. ○ <u>'Decision-making Support System for Optimal Green building (DSSOG)'</u> supports decision making process by evaluating the feasibility of green remodeling business in planning and design phase.					
Expected Contribution	○ The results of this study can be used in <u>various decision making process</u> related to green remodeling business for <u>both governments and residents</u>. ○ The results of this study can <u>promote green remodeling market</u> by determining <u>the potential multi-family housing for green remodeling</u>. ○ The results of this study can be <u>integrated into national systems</u> such as <u>'Apartment Management Info System'</u> and <u>'Building Energy Open System'</u> for providing additional information on green remodeling business.					
Keywords	Zero Energy Building	Green Remodeling	Decision Supporting	Energy Performance	Multi-objective Optimization	

Table of CONTENTS

1. Outline of research and development project	7
2. Status of domestic and overseas technology development	24
3. Research performance and achievements	26
4. Achievement of purpose and contribution to related field	83
5. Plan to utilize research and development achievements	97
6. International scientific and technical information collected in the research process	98
7. Security rating of research and development achievement	103
8. Status of research facilities and equipment registered at NTIS	104
9. Implementation of safety measures in laboratories based on R&D tasks	105
10. Representative research achievements of R&D tasks	108
11. ETC.	109
12. References	110

목 차

1. 연구개발과제의 개요	7
2. 국내외 기술 개발 현황	24
3. 연구 수행 내용 및 성과	26
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	83
5. 연구개발성과의 활용 계획	97
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	98
7. 연구개발성과의 보안등급	103
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	104
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	105
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	108
11. 기타 사항	109
12. 참고 문헌	110

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적

[최종 목표]

- 공동주택 그린리모델링 사업 초기단계에서의 의사결정 지원 시스템 개발
 - 그린리모델링 최적 대상 선정 모델(Selection Model for Optimal Multi-family housing; SMOM) 개발
 - 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(Selection Model for Optimal Technology; SMOT) 개발
 - 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(Decision Supporting System for Optimal Green remodeling; DSSOG) 개발



민간 공동주택의 그린리모델링 참여와
그린리모델링 공동주택 우선 적용대상에 대한 정책 보조를 통한
녹색건축물 보급확산 유도



[그림 1-1] 연구의 개념도

2. 연구개발의 필요성

가. 연구의 배경

- 우리나라는 세계 10위의 에너지 다소비 국가이고, CO₂ 배출량은 세계 8위를 차지한다. 또한, 에너지사용량은 최근 10년간 지속적으로 증가하고 있다¹⁾. 우리나라는 에너지 수입 의존도가 97%에 달하며, 전력생산을 위한 원자력/화력 발전시설은 100만kW 당 5조~8조원의 건설비용, 6~8년의 건설기간을 필요로 한다²⁾³⁾. 에너지소비의 감축은 환경적 측면뿐만 아니라 국가 운영의 안정성 측면에서도 매우 중요하기 때문에, 정부는 2015년 파리 기후협정에서 2030년 배출전망치(Business As Usual; BAU) 대비 37%(국내: 25.7%, 국외: 11.3%)의 CO₂ 감축을 선언하고, 건물부문에서 18.1%의 CO₂ 감축을 목표로 설정하였다⁴⁾. 2018.07 정부는 CO₂ 감축 로드맵을 개정을 통해, 건물부문에서의 CO₂ 감축량을 32.7%로 증가시켰다.
- 건물부문의 에너지소비량은 국가 전체 소비량의 약 20.5%를 차지(산업부문에 이어 2위)한다⁵⁾. 정부는 국가 온실가스 감축목표의 달성을 위하여, 건축물을 대상으로 하는 다양한 정책을 추진하고 있다. 제1차 녹색건축물 기본계획에 따르면, 정부는 신축 건축물에서는 16.08 백만 TCO₂eq.의 감축목표를 설정하였고, 기존 건축물에는 19.89 백만 TCO₂eq.의 감축목표를 설정하였다⁶⁾. 이러한 감축목표의 달성을 위하여, 신축 건축물에 대해서는 설계기준을 지속적으로 강화하는 방안을 제시하고, 기존 건축물에 대해서는 그린리모델링 활성화 방안을 제시하였다⁷⁾.
- 국토교통 건축부문 R&D 중장기전략에서는 녹색건축물 보급확산을 중장기연구주제로 규정하고 있다. 그린리모델링의 활성화를 목표로 하는 대부분의 기존 연구는 그린리모델링 관련 요소기술의 개발이나 실증사업을 통한 요소기술의 검증, 공공 업무용 건물에 대한 시범사업에 집중되어 있다. 하지만, 녹색건축관련 요소기술이 존재하더라도 시장에서 받아들여지지 않으면, 녹색건축물을 통한 에너지 절감이나 삶의 질 향상은 물론 그린리모델링 시장의 활성화에 한계가 있을 것으로 예상된다.
- 정부는 ESCO 투자사업, 신재생에너지 주택지원사업, 건물에너지효율화사업, 그린리모델링 이차지원사업 등의 그린리모델링에 대한 민간 참여 활성화를 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. 하지만, 정부의 직접적인 예산투입 정책만으로 기존 건축물에 대한 감축목표를 달성하기에는 한계가 있다.
- 이에, 정부 예산을 직접 투입하는 정책과 함께 민간 그린리모델링 시장을 활성화할 수 있는 새로운 방안이 모색될 필요가 있다. 즉, 기존 건축물을 대상으로 그린리모델링을 통한 비용 및 효과를 평가하여 그린리모델링의 사업적 타당성 여부를 사전에 파악함으로써, 민간의 그린리모델링 관련 의사결정을 지원할 수 있는 연구가 필요하다.

1) 산업통상자원부. (2015), “2015 에너지통계 연보”

2) OECD (2015). “World energy outlook 2015”

3) 한국에너지공단. (2015), “대한민국 에너지 편람”

4) 국토교통부. <https://www.molit.go.kr/USR/WPGE0201/m_36421/DTL.jsp>

5) 국가 통계 포털. <<http://kosis.kr>>

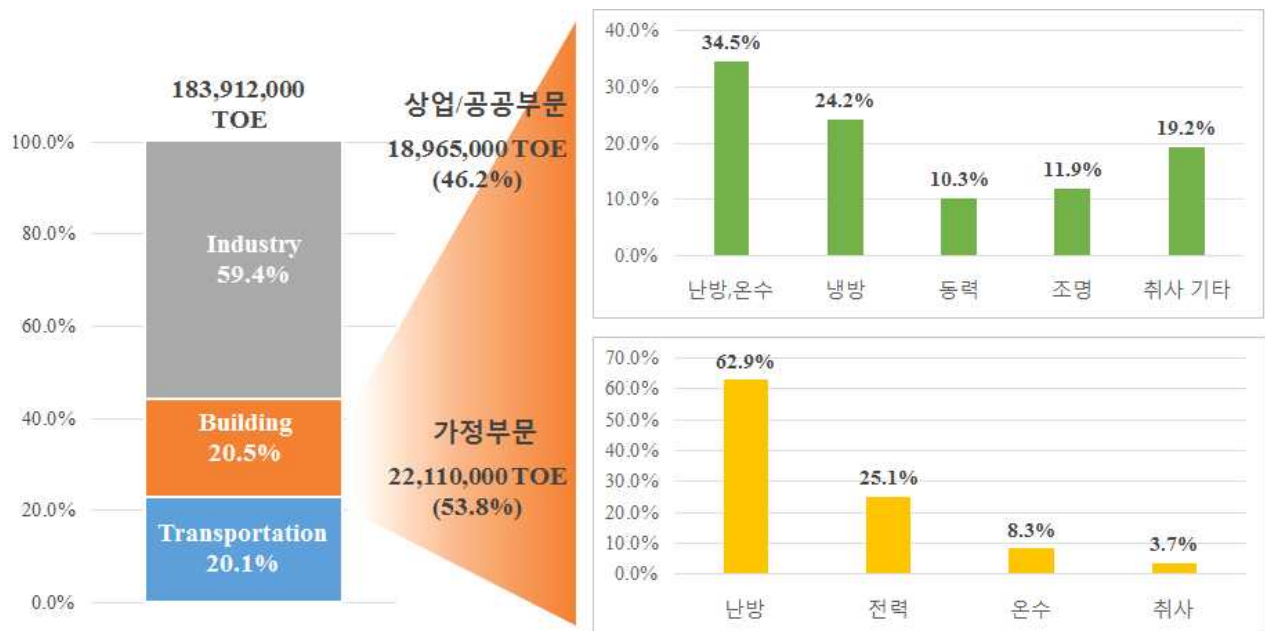
6) 국토교통부 (2014). “제 1차 녹색건축물 기본계획.”

7) 국토교통부 (2013). “그린리모델링 활성화를 위한 기술요소 가이드라인”

나. 연구개발의 중요성

(1) 에너지사용량 절감 이슈에 대한 대응

- 2011년 9월 15일 우리나라는 전력사용 급증으로 전국적인 순환단전사태가 발생한 바 있다. 최근 하절기의 냉방을 위한 전력수요의 급증으로 인해, 전력공급의 안정성에 대한 우려의 목소리가 높아지고 있다. 게다가, 우리나라의 전력수요 중 냉방은 약 23%, 난방은 더 많은 24% 정도를 차지하고 있어(조선일보, 2013), 연중 전력수요피크가 여름이 아닌 겨울에도 발생하고 있는 것으로 알려지고 있다.
- 에너지소비가 많은 곳은 산업부문이지만, 건물부문의 냉·난방수요가 실제 전력피크에 영향을 미치는 주요 요인으로 지목되고 있다. [그림 1-2]는 에너지경제연구원(2014)의 에너지총조사보고서에 제시된 2013년 국내 건물부문 용도별 에너지 소비량을 보여준다. 건물부문의 에너지사용량 중 냉·난방에 소요되는 에너지가 가장 큰 부분을 차지한다. 특히 난방·온수용 에너지소비는 도시가스(37%)와 전력(45%)을 중심으로 이루어지고 있으며, 냉방용 에너지소비의 대부분은 전력(80%)이 차지하고 있다.



[그림 1-2] 국내 건물부문 용도별 에너지소비량 (출처: 에너지총조사보고서, 2014)

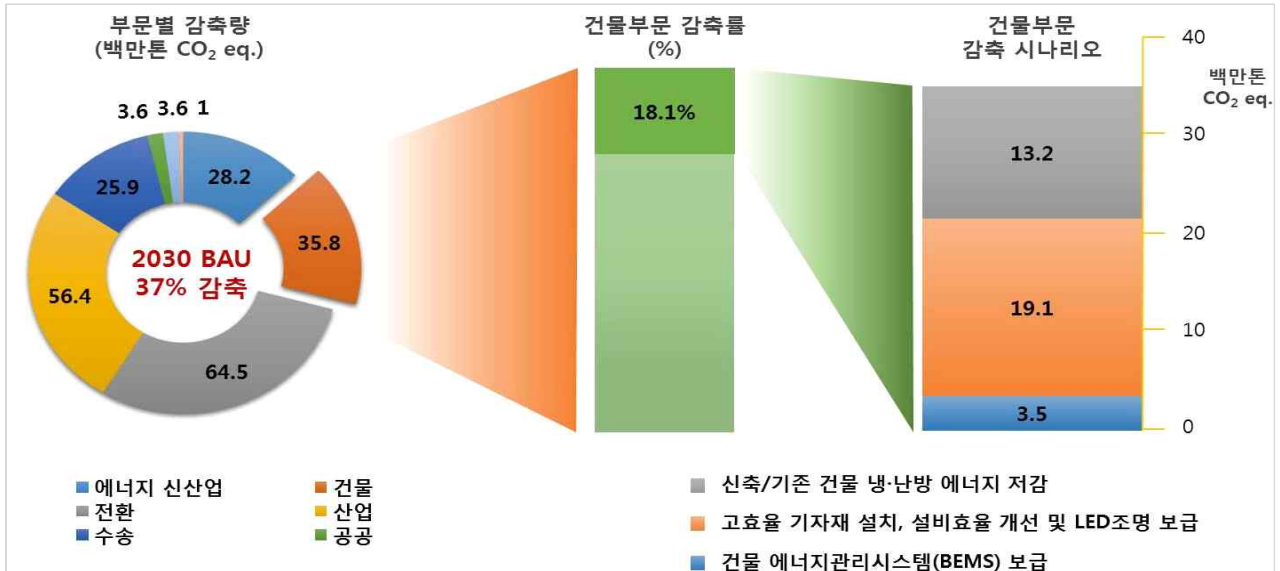
- 한편, [그림 1-3]에 제시된 바와 같이, 가정부문 주요 에너지원 소비량은 정부의 다양한 노력에도 불구하고 감소되지 않고 있다. 전력만을 고려한다고 하더라도, 이러한 증가세를 유지한다면, 평균적으로 3년에 한번씩 100만kW 규모의 원자력/화력 발전소가 건설되어야 한다. 이러한 규모의 발전소는 5조~8조원의 건설비용과 6~8년의 건설기간을 필요로 한다(강주명, 2013).
- 따라서 국가 에너지 공급의 안정성 향상을 위해서는 그린리모델링을 통해 기존 주거용 건축물에서 사용하는 냉난방 전력에너지에 대한 소비량 감축은 필수적이다.



[그림 1-3] 가정부문 주요 에너지원 소비량 변화 (출처: 에너지총조사보고서, 2014)

(2) 온실가스 배출량 감축 이슈에 대한 대응

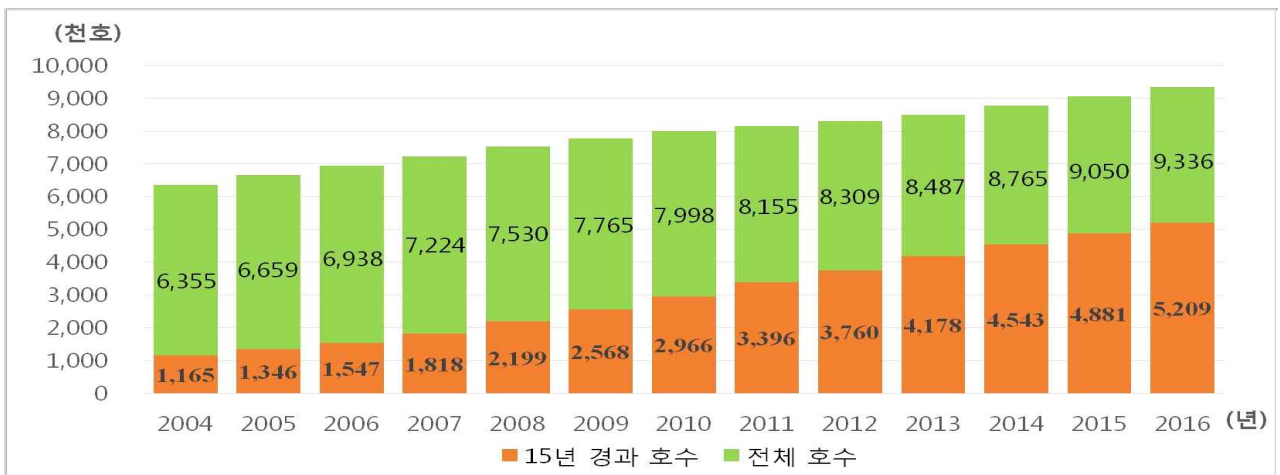
- 지구온난화와 같은 기후변화에 대한 우려와 관심의 증가에 따라, 1997년 3차 기후변화협약에서 교토의정서가 체결되었고, 2005년 정식 발효된 이후, 주요 선진국(37개국)들은 온실가스 감축목표를 발표하고 목표 달성을 위한 다양한 정책을 실행해 나가고 있다. 우리나라는 감축 의무 대상에 포함되지는 않지만, 포스트 교토의정서에 대한 대비를 위하여 2020년 BAU 대비 30%의 감축목표를 발표하였다.
- 690.2백만톤 CO₂ eq.의 국가 온실가스 배출량 중, 건물부문은 148.518백만톤 CO₂ eq.로 25.2%를 차지한다. 정부는 37%의 국가 온실가스 배출량 감축목표 달성을 위하여, 2015년 건물부문에서의 온실가스 배출량 감축목표를 18.1%로 설정하였다. 그리고 18.1%의 건물부문 온실가스 감축 목표를 위하여 신축/기존 건축물 단일 성능향상, 신재생 에너지 적용 등 냉,난방 에너지 저감을 통해 13.2백만톤 CO₂ eq, 고효율 기자재 설치, 설비효율 개선 및 LED조명 등 고효율 조명 기기 보급 등을 통해 19.1백만톤 CO₂ eq, 건물 에너지관리 시스템(BEMS) 보급 등 에너지사용 최적화를 통해 3.25백만톤 CO₂ eq의 감축목표를 수립하였다 ([그림 1-4] 참조).
- 하지만, 2016년 수립된 온실가스 감축로드맵이 국내외로부터 감축 의지가 약하다는 비판으로, 대한민국 정부는 건물부문 온실가스 감축목표를 32.7%로 상향 조정하였다. 2030년 BAU가 전망한 건물부문의 온실가스 배출량은 197.2백만톤으로 32.7%를 감축한다면, 감축 후의 배출량 132.7백만톤이 될 것으로 예상된다 (아직까지 구체적인 감축방안은 발표되지 않았다). (국토교통부, 2018).
- 기존 건축물의 감축목표 달성을 위하여, ESCO 투자사업, 신재생에너지 주택지원사업, 건물에너지 효율화사업, 그린리모델링 이차지원사업 등의 민간 참여 활성화를 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. 현재까지 약 950억원 규모의 그린리모델링 사업이 추진되었으나(그린리모델링창조센터), 정부 예산을 직접 투입하는 정책만으로는 감축목표를 달성하는 수준으로 그린리모델링을 활성화하는데 한계가 있다.
- 기존 건축물에 대한 그린리모델링 없이는 당초의 감축목표의 달성이 불가능하기 때문에, 기존 건축물에 대한 민간 그린리모델링 시장을 활성화할 수 있는 새로운 방안이 마련되어야 한다.



[그림 1-4] 건물부문 온실가스 배출량 감축목표

(3) 노후 공동주택의 대량 증가와 주택 성능 저하 문제에 대응

- 통계청 정보에 따르면, 2016년을 기준으로, 1,880만호의 주거용 건축물 중, 공동주택(아파트)은 905만 호로 전체의 약 50%를 차지한다. 그리고 934만호의 공동주택 중 15년 이상 경과된 노후 공동주택의 수는 전체의 56%를 차지하는 521만호에 달한다 ([그림 1-5] 참조).
- 1990년대 초반 200만호가 넘는 주택이 단기간에 건설되고 그 후에도 매년 20만호가 넘는 주택이 건설됨으로써, 15년 이상 경과된 노후 공동주택의 비율은 지속적으로 높아지고 있다.
- 노후화된 기존 공동주택은 낮은 에너지성능으로 인하여, 신축 주택에 비해 많은 에너지를 사용하며, 이로 인하여 국가 에너지사용량 및 온실가스 배출량의 큰 부분을 차지한다.
- 게다가, 15년 이상 경과된 노후 공동주택은 주거성능 저하로 삶의 질 하락이라는 문제를 내포하고 있어, 이를 해결하기 위한 국가 차원의 관리 및 지원 정책의 변화가 요구되고 있다.



[그림 1-5] 국내 노후 공동주택 현황 (출처: 국가통계포털, 2016)

(4) 그린리모델링 사업의 애로사항 해결

- 정부는 기존 건축물의 에너지성능 개선을 위한 그린리모델링을 활성화하기 위하여, 그린리모델링 관련 R&D에 투자하는 것은 물론, 여러 지원 정책을 시행해오고 있다 ([그림 1-6] 참조).
- 그린리모델링과 관련한 기존의 많은 연구들은 그린리모델링 사업의 사업성·수익성을 높이기 위하여 개별 요소기술의 성능을 향상시키거나, 합리적이고 효율적인 그린리모델링 사업의 추진을 지원할 수 있는 그린리모델링 사업의 표준 프로세스를 정의하는데 중점을 두었다.
- 정부는 그린리모델링의 활성화를 목적으로 공공건축물과 민간건축물을 구분하여, 공공건축물 그린리모델링 시범사업과 민간건축물 그린리모델링 이차지원사업을 시행하고 있다. 공공건축물 그린리모델링 시범사업에서는 다양한 연구를 통해 기 개발된 요소기술들을 적용함으로써, 그린리모델링 사업의 사업성 및 투자 타당성을 확인하고, 이러한 효과를 민간에 홍보하여 그린리모델링의 활성화를 유도하고자 한다. 민간건축물 그린리모델링 이차지원사업에서는 그린리모델링을 시행하고자하는 민간 사업자(또는 건축주)가 공공기관(그린리모델링창조센터)에 이차지원을 신청하고 공공기관은 선정된 사업의 투자비에 대한 이자를 지원함으로써, 민간의 그린리모델링 참여를 유도하고자 한다.
- 하지만, 시범사업이나 이차지원사업을 통한 효과는 일부 건축물에 국한된다. 특히, 그린리모델링 이차지원사업은 그린리모델링 이차지원사업에 대해 알고 직접 신청한 사업에 대해서만 지원하는 구조이기 때문에, 잠재되어 있는 그린리모델링 사업의 잠재적 대상을 활성화하기에는 부족함이 있으며, 정부의 예산의 한계로 지속적인 지원 역시 어려운 것이 현실이다.
- 따라서 그린리모델링에 대한 민간의 지속적·능동적 참여를 촉진하기 위해서는 그린리모델링을 통한 비용 및 효과를 사전에 평가하여 사업성이 우수한 잠재적인 그린리모델링 대상 건축물을 도출하고 사업시행으로 유도할 수 있는, 그린리모델링 사업의 판단을 위한 의사지원 도구가 개발되어야 한다.



[그림 1-6] 그린리모델링의 애로사항 및 해결방안

다. 국내·외 정책 현황

(1) 국내 정책 현황

[표 1~1] 국내 그린리모델링 시범사업의 개요

정책	내용	주요 특징																
그린리모델링 민간 이자 지원 사업	• 녹색건축물 조성을 활성화하고 민간부분으로 확산을 유도하기 위하여, 기존 공공건축물을 대상으로 우선적으로 <u>그린리모델링을 지원</u>하는 사업 • 총 두 가지 사업유형 (<u>사업기획지원</u> 및 <u>시공지원</u>)에 따라 <u>사업 단계별 맞춤형 기술 지원 및 시공비 지원</u> • 공모를 통한 사업 대상 선정 및 사업시행 기관과 협업을 통한 시행 • 사업 대상: 현재 리모델링 시공 예정이거나 구상중인 모든 공공건축물 • <u>2013년부터 시행</u>	• <u>사업기획지원</u> 분야: 사업초기단계 에너지 성능 개선을 위한 <u>사업기획 기술지원</u> - 지원유형: (1) <u>노후건축물 현황평가 (그린클리닉)</u>, (2) <u>설계컨설팅(그린코치)</u>, (3) 내진성능 평가 및 안전진단 - 최근 3년간(2015~2017), <u>그린코치 7건</u> 및 <u>그린클리닉 43건</u> 지원(119건 신청) • <u>시공지원</u> 분야: 그린리모델링 실현을 위한 <u>기술지원 및 시공비 지원</u> - 선정된 사업은 <u>사업이후 3년간</u> 에너지사용량 조사 및 사용자 설문에 의한 <u>모니터링</u> 실시 - 최근 5년간(2013~2017), <u>총 17개 건물</u>에 지원(135건 신청)																
그린리모델링 공공 시범 사업	• 건축주가 초기 공사비에 대한 부담 없이 건축물의 에너지 성능개선을 위한 그린리모델링 사업을 추진할 수 있도록, <u>대출금의 이자를 직접 지원</u> • 건축주는 필요한 사업비를 은행에서 대출하고, 운영과정에서 절감되는 에너지비용으로 대출금을 분할·상환 • <u>그린리모델링 창조센터의 심사 결과</u>에 따라 사업 대상 선정 및 지원 • 사업 대상: 기존 건축물에 대하여 <u>에너지 성능개선을 위한 리모델링</u>을 구상 또는 실행 중인 모든 유형의 민간산업 • 필수 공사범위: <u>외피 단열성능 향상</u> 공사 • 최근 4년간(2014~2017), <u>총 19,398개 건물</u>에 지원 • <u>2014년부터 시행</u>	• <u>지원금액</u>: 비주거건물 50억원(1동당), 공동주택 2천만원(1세대당), 단독주택 5천만원(1채당) • <u>지원기준</u>: 에너지 시뮬레이션에 따른 성능개선 비율로 이자지원을 산정<table><tr><th>에너지 성능개선 비율</th><th>이자지원율</th></tr><tr><td>30% 이상</td><td>3%</td></tr><tr><td>25% 이상 ~ 30% 미만</td><td>2%</td></tr><tr><td>20% 이상 ~ 25% 미만</td><td>1%</td></tr></table>에너지 시뮬레이션이 어려운 주거건축물 (아파트, 다세대/연립 주택)에 한하여, <u>창호 에너지소비 효율</u>등급으로 이자지원을 산정<table><tr><th>창호 에너지소비 효율등급</th><th>이자지원율</th></tr><tr><td>2등급 이상</td><td>3%</td></tr><tr><td>3등급</td><td>2%</td></tr><tr><td>4등급</td><td>1%</td></tr></table> • <u>지원 및 상환기간</u>: 5년	에너지 성능개선 비율	이자지원율	30% 이상	3%	25% 이상 ~ 30% 미만	2%	20% 이상 ~ 25% 미만	1%	창호 에너지소비 효율등급	이자지원율	2등급 이상	3%	3등급	2%	4등급	1%
에너지 성능개선 비율	이자지원율																	
30% 이상	3%																	
25% 이상 ~ 30% 미만	2%																	
20% 이상 ~ 25% 미만	1%																	
창호 에너지소비 효율등급	이자지원율																	
2등급 이상	3%																	
3등급	2%																	
4등급	1%																	

○ [표 1-1]은 국내 그린리모델링 시범사업의 개요를 나타내고 있다. 그린리모델링의 활성화를 위하여, 국내에서는 공공건축물의 경우 시범사업을 추진하고, 민간건축물의 경우에는 그린리모델링 이자지원사업을 추진하고 있다.⁸⁾⁹⁾

○ 정부는 녹색건축물을 ‘에너지이용 효율 및 신·재생에너지의 사용비율이 높고 온실가스 배

8) 국토교통부 (2013). “그린리모델링 활성화를 위한 기술요소 가이드라인”

9) 국토교통부 (2016). “규제 및 제도개선을 통한 그린리모델링 활성화 방안”

출을 최소화하는 건축물'로 정의하고, 다양한 제도적 장치를 통해 녹색건축물의 활성화를 유도하고 있다.

- 국내에서 녹색건축물을 확산하기 위하여, 시행 중인 주요 정책은 다음과 같음.
 - 신축 건축물의 에너지효율화를 규정한 건축물 에너지절약 설계기준은 2001년부터 지속적으로 강화되고 있다¹⁰⁾.
 - 건축물 에너지 효율등급 인증제도, 녹색건축물 인증제도, 친환경주택 설계기준 등을 통해 친환경 및 에너지효율적인 건축물의 건설을 유도하고 있다.
 - 최근 기존건물의 에너지효율화에 대한 중요성이 인식되면서 '그린리모델링 활성화 방안('13.7)'을 통해 건물별 에너지사용량 정보 공개와 용도별 그린 리모델링 가이드라인 및 매뉴얼을 개발하여 보급하였다.

(2) 국외 정책 현황

[표 1~2] 국외 온실가스 감축 정책

정책	내용	주요 특징
보조금 및 저리 융자 지원 사업 (독일)	• <u>독일재건은행(KFW)에서 2006년 이후 시행</u>하는 사업(비주거: 2015년 시행) • <u>기존 건축물을 개보수</u> 할 경우, <u>에너지 절감 정도에 따라 보조금을 차등지급</u>하고 <u>저금리 대출</u>을 지원 • 시행초기, 정부로부터 1조 7000억원의 예산을 지원받아, 개보수 사업에 대해 보조금 지급 • <u>주택 소유자는 초기설치비를 본인이 전부 부담</u>하지만, <u>보조금과 저금리 대출을 지원</u>받는 것이 가능	• <u>주거</u> (2016년 11월 기준) ~ <u>대출+보조금 방식</u>: 민간금융사로부터 <u>0.75%의 저금리로 1억 3,300만원(EUR 100,000)까지 대출</u>받고, <u>투자금의 27.5%이내에서 최대 3,700만원(EUR 27,500)까지 지원</u>받는 것이 가능 - <u>보조금 방식</u>: <u>투자금의 30%이내에서 최대 4,000만원(EUR30,000)까지 지원</u> 가능 • <u>비주거</u> (2016.11 기준) - <u>대출+보조금 방식</u>: 민간금융사로부터 <u>1%의 저금리로 333억 4,200만원(EUR 25,000,000)까지 대출</u>받고, <u>투자금의 17.5% 이내에서 단위면적당(m²) 최대 23만원(EUR 175)까지 지원</u>받는 것이 가능
에코론 (프랑스)	• <u>주거용 건물을 대상으로</u>, 에너지 절약을 위한 <u>개보수(단열, 에코난방) 비용</u>을 <u>무이자로 대출·지원</u>하는 제도 • 적용되는 <u>요소기술의 개수에 따라 지원금액은 차등 지원</u>됨 • 2009년 시행	• <u>대출한도</u>: 무이자로 <u>최대 4,000만원 (EUR 30,000)</u> (지역 및 가구원 수에 따라 결정) • <u>상환기간</u>: <u>10년-15년</u> • <u>건물 당 1회에 한해 지원</u> 가능(건물소유주가 변해도 재지원 불가) • <u>2009-2014년까지 약 29만 가구</u> 지원

10) 한국생산성본부인증원 <http://www.kpcqa.or.kr/arch/arch02_05.asp?mode=view&idx=5591&Page=1&schField=all&schWord=&schCategory=1000023>

정책	내용	주요 특징
그린딜 (영국)	• 영국 <u>에너지기후변화부(DECC)</u>¹¹⁾에서 <u>2013년 이후 시행</u>하는 사업 • <u>기존 주택의 에너지성능 향상을 위한 개·보수비용을 공사 이후 에너지 절감 비용으로 상환하는 지원 정책</u> • 사업에 참여한 <u>지원자들 중 선착순</u>으로, 개보수 된 사항에 대해 <u>보조금을 지원하는 Cash back제</u>도를 병행 • <u>2015년 7월 사업 중단</u>되었다가 <u>2017년 1월 민간부분에서 Green Deal Finance Company (GDFC)의 사업 및 사업 및 자산을 인수하여 재시작함.</u>	• 주택 소유자는 <u>초기비용 없이 개보수 진행</u> 가능 • <u>상환기간: 10년-25년 동안 약 7%의 금리로 분할 납부</u> 가능 • 시행 후 <u>첫 6개월간 3만 8천여건의 사업이 평가</u>되었으나, <u>단 4건의 사업만 실제로 지원</u>됨. 이로 인해, <u>2015년 7월 사업이 중단</u>됨. - <u>사업 중단 사유: 에너지절감량 평가 방법 문제, 에너지요금의 상승, 건물소유자 참여 및 민간투자 저조</u> • 3년간(2013-2015), <u>총 3,600억원(GBP 240,000,000)으로 14,000가구 지원</u>(Cashback 포함)
PACE (미국)	• 기존 건축물의 에너지 효율 향상 및 신재생 에너지 설비 설치 시, 공사비를 지자체에서 대출해주고 <u>대출금을 해당 부동산에 대한 재산세로 상환</u>할 수 있도록 지원 • <u>총 33개 주(DC 포함)에서 시행</u>하며, 각 주별로 독자적으로 운영됨 • <u>2010년부터 시행</u>	• 건축주는 <u>초기비용 없이 공사 진행 가능</u>(대출금은 재산세에 부과) • <u>상환기간: 20년</u> • 지원 대상: <u>주거용/상업용 건물</u> • 8년간(2010-2017), <u>총 5,800억원(USD 540,000,000)으로 1,170개의 상업용 건물 지원 / 총 4조 6,500억원(USD 4,300,000,000)으로 175,000가구 지원</u>

- [표 1-2]는 국외 온실가스 감축정책을 나타내고 있다. 대표적인 사례로, 보조금 및 저리융자사업(독일), 에코론(프랑스), 그린딜(영국), PACE(미국)에 대한 내용 및 주요 특징을 확인할 수 있다.
- 국가에 따라 차이는 존재하지만, 유럽연합(EU), 영국, 독일, 프랑스, 일본, 미국 등 주요국들은 온실가스가 지구온난화와 에너지 안보, 국가 경제 등에 부정적인 영향을 초래할 수 있는 문제로 인식하는데 동의하고, 국내 및 국제적 협력을 바탕으로 하는 통합적인 감축 정책을 채택하고 있다¹²⁾.
- 대부분의 선진국은 2020년을 전후로 제로에너지 주택 보급 의무화를 선언(EU: 2021년, 영국: 2016년, 미국: 2030년)하였으며, 이러한 목표를 달성하기 위한 정책과 기술 및 시장과의 연계를 통한 로드맵 구축 및 이행 계획을 수립하였다.
- 특히, 주요 선진국에서 기존 건축물의 녹색화를 활성화하기 위하여, 보조금 및 저리융자 지원 사업(독일), 에코론(프랑스), 그린딜(영국)을 시행하였다¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾.

11) Department of Energy & Climate Change

12) 한국환경정책평가연구원 (2012). “주요국 온실가스 감축정책 동향 및 시사점”

13) KfW-Energy : <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt>

14) ECO infos : <http://www.les-energies-renouvelables.eu/financement-aides/credit-impot-financement-energies-renouvelables/eco-pre-taux-zero/>

15) Green Deal UK. <<http://www.greendealuk.co.uk>>

3. 연구개발 범위 및 수행 방법

가. 세부 과제별 연구개발 목표

구분	내용
최종 목표	■ 공동주택 그린리모델링 사업 초기단계에서의 의사결정 지원 시스템 개발 ① 기획/계획단계에서 <u>그린리모델링 시행 타당성 여부 판단</u> ② 그린리모델링 시행 시, <u>경제적, 시공적, 환경적 타당성 확보</u> 가능한 요소기술 제시 ③ 기존 공동주택의 <u>저비용·고효율 그린리모델링 활성화</u> ④ 국가 <u>에너지·온실가스 감축목표 달성</u> 및 <u>국민주거의 에너지 안정성 확보</u>
세부 목표	■ 그린리모델링 최적 대상 선정 모델 (Selection Model for Optimal Multi-family housing; SMOM) 개발 ① 빅데이터 분석을 통한, <u>공동주택 에너지성능에 영향을 미치는 물리적 속성 도출</u> ② 물리적 속성을 고려하여 <u>공동주택의 에너지성능을 평가</u>하고, 상대적으로 <u>에너지성능이 낮은 공동주택 단지를 선정</u>하는 기술 개발 ③ 모델의 데이터 범위는 <u>2001년 이전 건설된 서울 및 6대 광역시의 공동주택</u> ■ 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(Selection Model for Optimal Technology; SMOT) 개발 ① 그린 리모델링 요소기술 중 <u>단열, 창호, 조명, 태양광에너지 설비</u> 고려 ② <u>기존 연구를 통해 상용화된 단열, 창호, 조명, 태양광에너지 설비 기술의 성능 및 특성</u>을 반영하여, <u>개선 시나리오 생성</u> ③ <u>1,000 가지 이상의 요소기술 적용 시나리오에 대한 에너지시뮬레이션 평가 및 결과 데이터베이스(DB) 구축</u> ④ 요소기술의 단일 적용뿐만 아니라, <u>통합 적용에 따른 에너지성능 개선효과 평가</u> ⑤ 다목적 최적화 기법을 통한 <u>시공성, 환경성 측면의 최적 요소기술 선정 모델</u> 개발 ■ 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(Decision Supporting System for Optimal Green remodeling; DSSOG) 개발 ① <u>엑셀 Spread Sheet 기반 기존 공동주택 건축물 정보 및 그린리모델링 요소기술 정보 데이터베이스(DB) 구축</u> ② <u>최적 대상선정 모델과 최적 요소기술 선정 모델 통합</u> ③ 공동주택 그린리모델링을 위한 <u>최적 의사결정을 지원하는 엑셀 Spread Sheet 기반 의사결정 지원 시스템</u> 개발

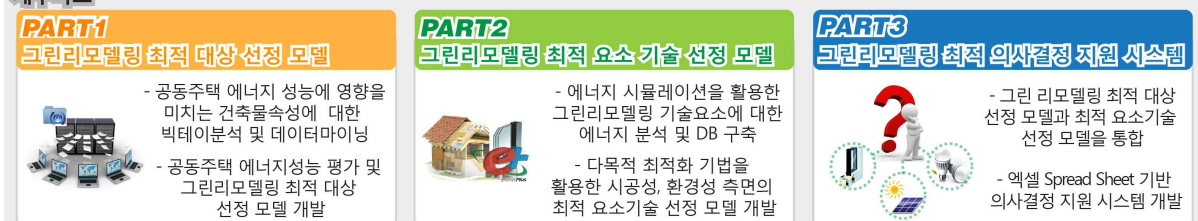
DSSOG Decision Supporting System for Optimal Green Remodeling

최종목표

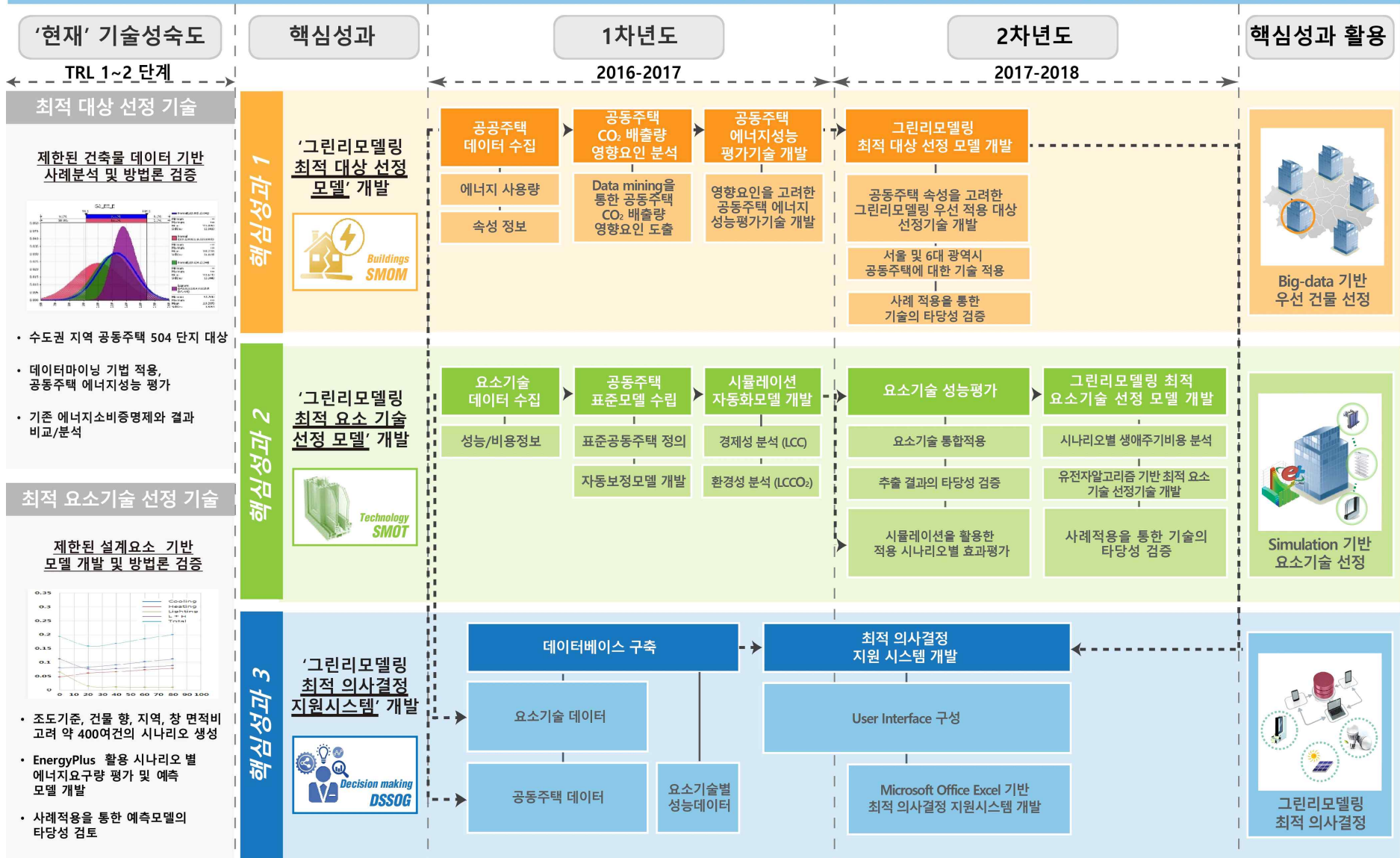
공동주택 그린리모델링 사업 초기단계에서의 의사결정 지원 시스템 개발



세부목표



[그림 1-7] 연구의 최종 목표



[그림 1-8] 연구의 흐름도

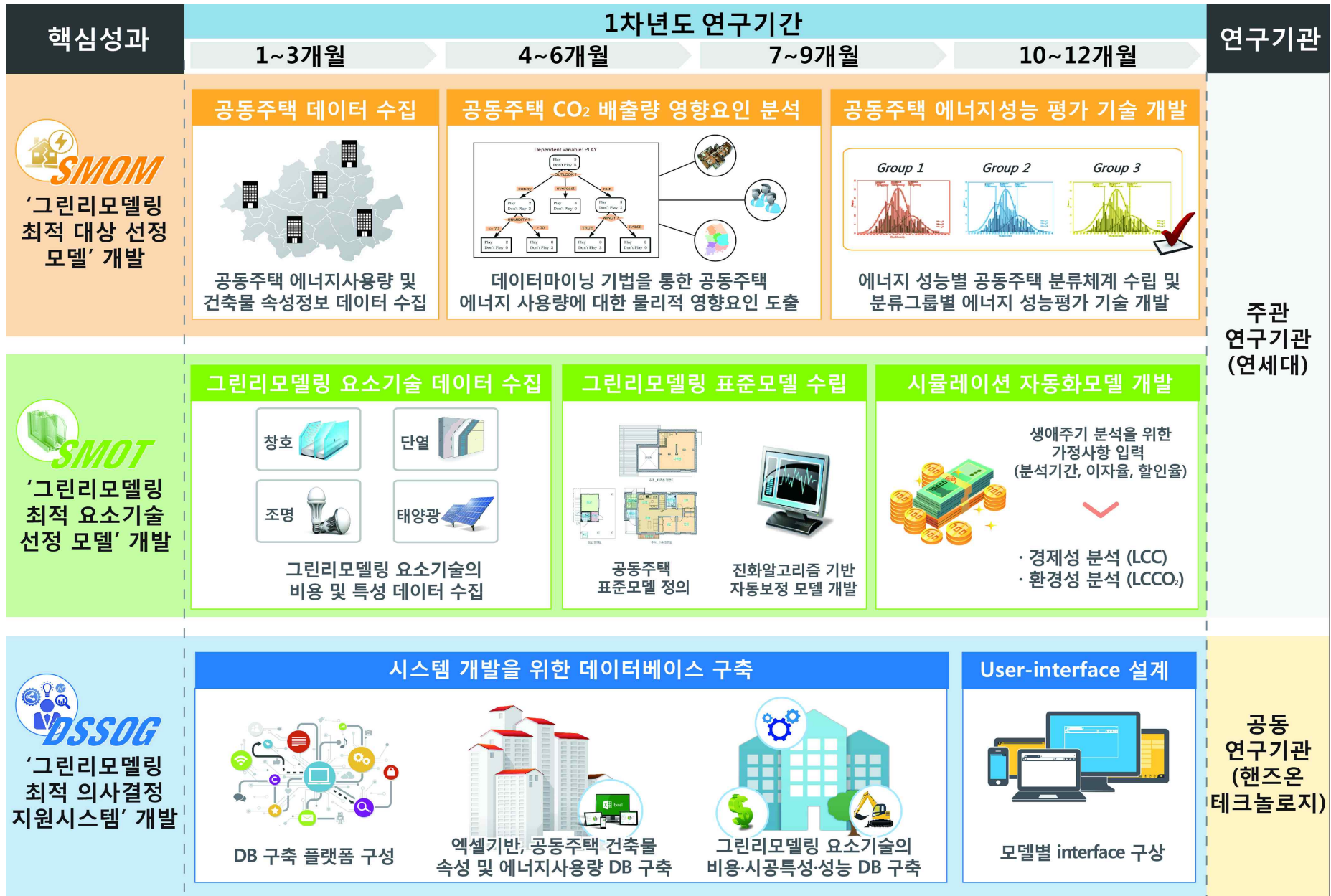
(1) 1차 연도

① 개발 목표

구분	연구목표	연구기관
그린리모델링 최적 대상 선정모델 (SMOM) 개발	• 공동주택 데이터 수집	주관 연구기관 (연세대)
	• 공동주택 CO ₂ 배출량 영향요인 분석	
	• 공동주택 에너지성능 평가 기술 개발	
그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	• 그린리모델링 요소기술 데이터 수집	
	• 공동주택 표준모델 수립	
	• 기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발	
그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	• 시스템 DB 구축	공동 연구기관 (한스온)
	• User-interface 설계	

② 개발 내용 및 범위

핵심성과	연구목표	연구내용	연구기관
그린리모델링 최적 대상 선정모델 (SMOM) 개발	공동주택 데이터 수집	- 한국감정원의 ‘건축물 에너지·온실가스 정보체계’으로부터 <u>기존 공동주택에 대한 에너지사용량 데이터 수집</u> - 국토교통부의 공동주택관리정보시스템(K-Apt), 녹색건축인증제(G-SEED) 통합운영시스템, 건축물 대장 등으로부터 <u>기존 공동주택 건축물 속성정보 데이터 수집</u>	주관 연구기관 (연세대)
	공동주택 CO ₂ 배출량 영향요인 분석	• <u>기존 연구문헌 및 데이터마이닝 기법(상관분석, 군집분석 등)을 통한 공동주택 CO₂ 배출량에 대한 물리적 영향요인 도출</u>	
	공동주택 에너지성능 평가 기술 개발	- 물리적 영향요인을 고려한 <u>에너지성능별 공동주택 분류체계 수립</u> - 영향요인에 따라 구분된 공동주택 <u>그룹별 에너지성능을 평가할 수 있는 기술(기준) 개발</u>	
그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	그린리모델링 요소기술 데이터 수집	- 기존 연구를 바탕으로 에너지성능 개선을 위한 <u>그린리모델링 요소기술(단열, 창호, 조명, 태양광에너지) 추출</u> - 그린리모델링 요소기술의 <u>비용 및 특성 데이터 수집</u>	
	공동주택 표준모델 수립	• 그린리모델링 대상 <u>공동주택에 대한 표준모델 정의</u>	
	기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발	- 그린리모델링 요소기술 적용을 위한 <u>자동보정기법 개발</u> <u>프로그램 언어(Python) 기반 EnergyPlus 시뮬레이션 도구</u>의 기능 개선 <u>다목적 최적화 진화 알고리즘 구현</u>	
그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	시스템 DB 구축	- 데이터베이스 구축을 위한 <u>DB 구축 플랫폼 구성</u> - 엑셀 Spread Sheet 기반 <u>공동주택 건축물 속성 및 에너지사용량 데이터베이스(DB) 구축</u> - 그린리모델링 요소기술의 <u>비용, 시공특성, 성능 데이터베이스(DB) 구축</u>	공동 연구기관 (한스온)
	User-Interface 설계	- 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)의 <u>사용성을 고려한 user-interface 설계</u> - 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)의 <u>개별 분석 모델(SMOM, SMOT)의 특성을 고려한 user-interface 설계</u>	



[그림 1-9] 1차년도 연구의 흐름도

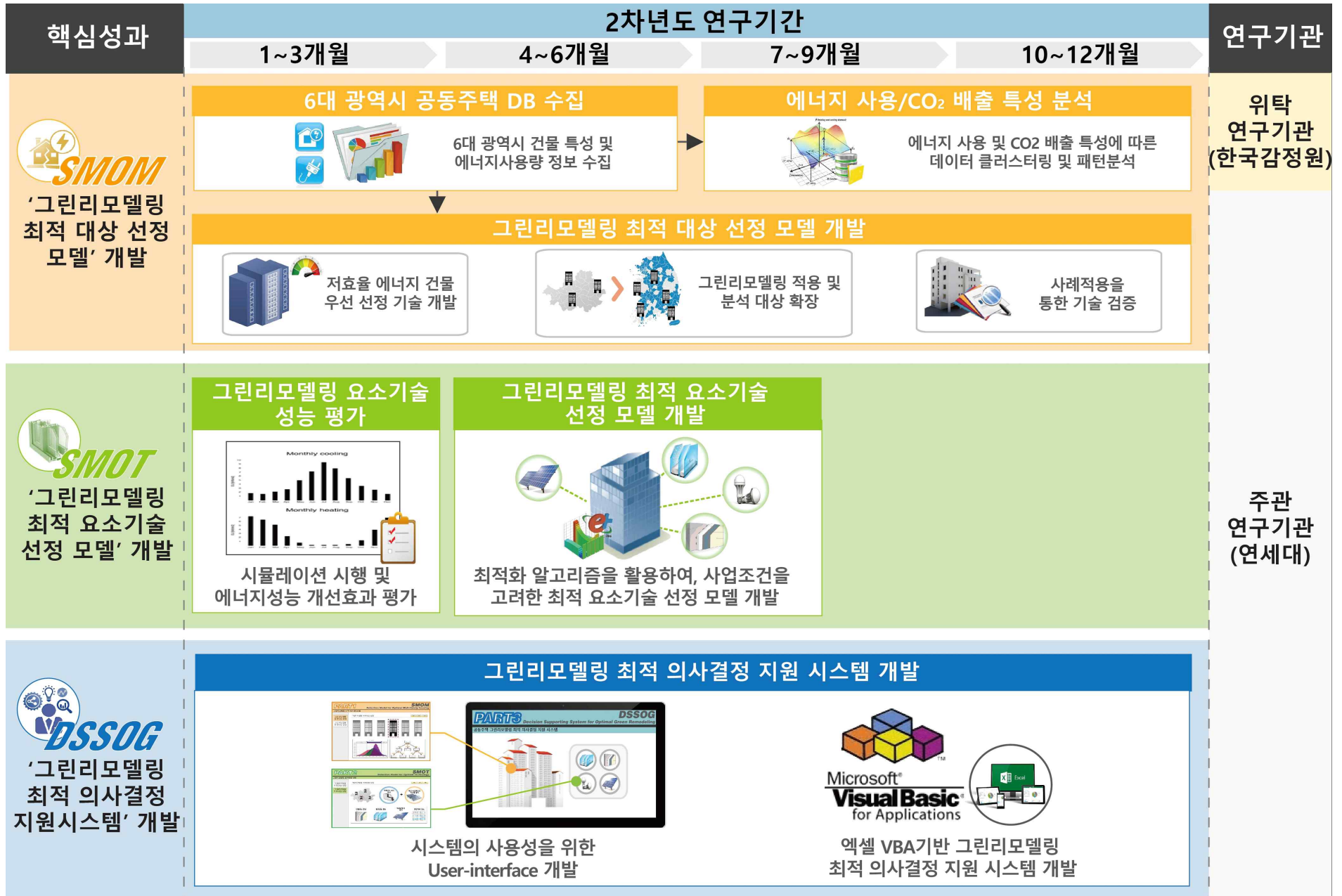
(2) 2차 연도

① 개발 목표

구분	연구목표	연구기관
그린리모델링 최적 대상 선정모델 (SMOM) 개발	• 6대 광역시 공동주택 DB 수집 및 에너지 사용/CO ₂ 배출 특성 분석	위탁 연구기관 (한국감정원)
	• 그린리모델링 최적 대상 선정 모델(SMOM) 개발	주관 연구기관 (연세대)
그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	• 그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가	
	• 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(SMOT) 개발	
그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	• 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG) 개발	

② 개발 내용 및 범위

핵심성과	연구목표	연구내용	연구기관
그린리모델링 최적 대상 선정모델 (SMOM) 개발	6대 광역시 공동주택 DB 수집 및 에너지 사용/CO ₂ 배출 특성 분석	• 6대 광역시 건물 특성 및 에너지 사용량 <u>정보 수집</u> • 6대 광역시 에너지 사용량 및 CO₂ 배출 <u>특성 분석</u>	위탁 연구기관 (한국감정원)
	그린리모델링 최적 대상 선정 모델 개발	• 공동주택 에너지사용량 및 물리적 속성을 고려한 <u>그린리모델링 우선 적용대상 공동주택 선정 모델 개발</u> • 기존 공동주택에 대한 <u>사례적용을 통한 기술 검증</u>	주관 연구기관 (연세대)
그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가	• 에너지 시뮬레이션 도구(예, EnergyPlus)를 활용하여, 다양한 요소기술이 적용된 그린리모델링 대안에 대한 <u>에너지시뮬레이션 시행</u> • 요소기술별 공동주택 <u>에너지성능 개선효과 평가</u>	
	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 개발	• 그린리모델링 요소기술 적용에 따른 <u>에너지사용량 감축효과 및 생애주기비용 분석</u> • 유전자알고리즘 기반의 최적화 알고리즘을 활용하여, <u>사업조건(예산, 감축목표, 시공조건 등)을 고려한 최적 요소기술을 제시하는 최적 요소기술 선정 모델 개발</u> • 기존 공동주택 대상 <u>사례적용을 통한 기술 검증</u>	
그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG) 개발	• <u>User-interface</u> 구성 • 그린리모델링 대상 건축물을 선정하고, 대상 건축물에 적용이 가능한 요소기술을 선정하는, <u>엑셀 기반 최적 의사결정 지원 시스템 개발</u>	



[그림 1-10] 2차년도 연구내용

나. 연구개발 범위 및 수행 방법

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
공동주택 데이터 수집 (단위성과 1-1-①)	- 대한민국 공공 데이터 정보 제공 사이트를 통한, 기존 공동주택에 대한 <u>에너지 데이터 및 건축물 속성정보</u> 데이터 수집 - 수집된 데이터의 정확성 및 통계적 신뢰성 확보를 위한, <u>데이터 필터링 및 표준화</u> <u>6대 광역시(서울, 인천, 대전, 대구, 부산, 광주) 공동주택의 에너지 사용량 및 온실가스, 특성정보 DB</u> 수집	- 국토교통부에서 운영하는 '<u>그린투게더</u>' 및 '<u>건물에너지 정보공개시스템</u>'을 통한 데이터 수집 - 한국 감정원에서 위탁운영하고 있는 '<u>건축물 에너지·온실가스 정보체계</u>' 및 '<u>공동주택관리정보시스템</u>'을 통한 데이터 수집 - 건축행정시스템 '<u>세움터</u>'를 통한 데이터 수집 - 국가건물에너지통합DB로부터 <u>단지단위로 집계된 공동주택 통합 데이터 추출</u>
공동주택 CO ₂ 배출량 영향요인 분석 (단위성과 1-2-①)	- 공동주택 CO₂ 배출량 영향요인 분석을 위한, <u>기존 연구문헌</u> 조사 - 통계분석도구 <u>R</u>을 이용하여, 영향요인을 고려한 <u>6대 광역시 공동주택의 에너지 사용 및 CO₂ 배출 특성 분석</u>	- 기존 <u>공동주택에 대한 에너지 사용량 및 CO₂ 배출량 예측 연구 및 온실가스 배출량 예측 연구들을</u> 기반으로, 독립변수와 종속변수 결정(16)(17)(18) <u>서울 및 6대 광역시의 공동주택</u>을 대상으로, 건물유형, 지역에 따른 <u>에너지사용 및 CO₂ 배출량 특성</u> 분석
공동주택 에너지성능 평가 기술 개발 (단위성과 1-3-①)	<u>공동주택단지에 대한 군집 형성 및 유효성 검증</u> <u>Operational rating system</u>을 이용한 최적 그린리모델링 대상 공동주택단지 결정	<u>의사결정나무(Decision tree)</u>를 이용하여 <u>공동주택 데이터의 군집</u>을 형성 <u>비모수검정(Kruskal-Wallis H)</u>을 이용하여 <u>군집의 유효성 검증</u> - 공동주택단지의 그룹별 <u>Operational rating system</u> 수립 - 각 군집별 <u>이산화탄소 배출량 벤치마크</u> 수립
최적 대상 선정 모델 개발 (단위성과 1-4-①)	최적 그린리모델링 대상 선정 모델의 성능평가를 위하여, 국내 <u>표준 공동주택을 대상으로 사례분석</u> 수행	- 최적 <u>그린리모델링 대상 선정 프로세스</u> 수립 - 최적 <u>그린리모델링 대상 선정 결과</u> 제시
그린리모델링 요소기술 데이터 수집 (단위성과 2-1-①)	한국토지주택공사 <u>그린리모델링 창조센터</u>에서 제공하고 있는 4가지 건축요소(단열재, 창호, 조명, 차양)에 대한 <u>비용 및 특성</u> 데이터 수집	4가지 건축요소에 대한 <u>특성정보</u> 및 <u>비용 정보</u>는 <u>물가정보지</u> 및 <u>표준품셈</u>을 통해 수집 <u>단열재</u>: 열전도율, 밀도, 열용량, 등급분류 <u>창호</u>: 열관류율, 일사획득 계수, 직달일사 투과율, 가시광선 투과율 <u>조명</u>: LED 조명의 타입 및 수량 <u>차양</u>: 일사투과율, 일사반사율, 가시광선 투과율, 가시광선 반사율
공동주택 표준모델 수립 (단위성과 2-2-①)	<u>공동주택 표준모델</u> 정의: 대한민국 '친환경 주택의 건설기준 및 성능평가 지침' 활용	<u>공동주택 표준모델을 정의</u>하기 위하여, 에너지경제연구원에서 발간하는 '<u>에너지 총조사 보고서</u>'와 전력거래소에서 발간한 '<u>가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사 결과보고서</u>'를 활용 <u>공동주택 표준모델을 수립</u>하기 위하여, <u>물리적 요인</u>(기후특성, 전용면적 등)과 <u>행태적 요인</u>(운영 스케줄, 근무 시간 등)을 고려

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발 (단위성과 2-3-①)	- 건물 에너지 시뮬레이션 모델에 대한 <u>파라미터 선정</u> - 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발을 위한, <u>최적화 알고리즘</u> 적용	- 건물에너지 시뮬레이션 도구인 <u>EnergyPlus</u> 와 최적화 알고리즘인 <u>유전자 알고리즘 (genetic algorithm)</u> 적용 - 최적화 알고리즘: <u>조정 파라미터, 최적화 목적함수, 제한조건</u> 설정 - 최적화 알고리즘을 이용한 보정기법 개발을 위하여, <u>프로그램 언어(Python)</u>와 <u>EnergyPlus 시뮬레이션</u>을 적용
그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가 (단위성과 2-4-①)	- 에너지성능 개선효과 평가를 위한, <u>전생애주기 경제성(LCC)·환경성(LCCO₂) 방법론</u> 적용 - 최적 대안 선정을 위한, <u>다목적 최적화 알고리즘</u> 적용	- 그린리모델링 <u>시나리오별 에너지 성능 개선효과 평가</u>: <u>경제성(LCC)·환경성(LCCO₂)</u> 평가를 위한 가정사항으로서, <u>분석 방법(현가법)</u>, <u>분석기간(25년)</u>, <u>실질 할인율</u> 등 설정. - 요소기술 적용에 따른 에너지 성능 평가를 위하여, <u>다목적 최적화 알고리즘</u>을 활용하여, <u>경제성·환경성 (에너지 절감량, CO₂ 배출 감축량, 초기투자비 등)</u>을 만족시키는 대안 선정.
그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 개발 (단위성과 2-5-①)	- 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델의 <u>성능평가를 위한, 사례분석</u> 수행 <u>태양광 시스템 최적 도입안 선정 프로세스</u> 수립	- 분석 <u>대상 건물 선정 결과</u> 제시 - 사례분석을 통한 <u>그린리모델링 시나리오별 최적 요소기술 선정 결과</u> 제시 <u>태양광 시스템 최적 도입</u>을 위한, <u>총 4 단계의 프로세스</u>(1단계: 기본 정보 설정, 2단계: 태양광 발전량 분석 기술 개발, 3단계: 경제성(LCC)·환경성(LCCO₂) 평가 기술 개발, 4단계: 엑셀기반 모델 개발) 수립
시스템 DB 구축 (단위성과 3-1-①)	<u>Open-API</u>를 활용하여, <u>공동주택 DB 구축 플랫폼</u> 구성 <u>엑셀 Spread Sheet</u> 기반 공동주택 건축물 속성 및 에너지사용량 데이터베이스(DB) 구축 - 그린리모델링 <u>요소기술에 대한 비용 및 특성에 대한 DB</u> 구축	<u>Open-API</u>를 활용하여, 국가 공공데이터 포털과 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)의 <u>데이터베이스 플랫폼 간의 데이터 공유</u> 수행: 인증키 발급 (Authentication), Open-API 요청, 데이터 제공 <u>엑셀 Spread Sheet</u> 기반 공동주택 DB 및 요소기술 DB 구축: 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)에서 에너지 시뮬레이션 분석에 활용 가능하도록 DB화
User-interface 설계 (단위성과 3-2-①)	<u>Microsoft VBA</u>를 이용한 <u>엑셀 Spread Sheet</u> 기반의 User-interface 설계	<u>Microsoft VBA</u>를 이용한 <u>엑셀 Spread Sheet</u> 기반 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)의 <u>user-interface</u> 설계
그린리모델링 최적 의사결정 시스템 개발 (단위성과 3-3-①)	<u>엑셀 Spread Sheet</u> 기반의 그린리모델링 최적의사결정 시스템 개발	- 엑셀 Spread Sheet 기반의 <u>그린리모델링 최적 대상 선정 시스템</u> 개발 - 엑셀 Spread Sheet 기반의 <u>그린리모델링 최적 요소기술 선정 시스템</u> 개발

- 16) Hong,T, Koo C, Park S (2012). A decision support model for improving a multi-family housing complex based on CO₂ emission from gas energy consumption. Building and Environment. 52, 142-151.
- 17) Jeong J, Hong T, Ji C, Kim J, Lee M, Jeong K (2016). Development of an integrated energy benchmark for a multi-family housing complex using district heating. Applied Energy. 179, 1048-1061.
- 18) Kim S, Yang I, Yeo M, Kim K (2005). Development of a housing performance evaluation model for multi-family residential buildings in Korea. Building and environment 40(8), 1103-1116.

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 기술 개발 현황

선행연구	연구 기간	연구내용	연구의 특화성
노후공동주택 재생을 위한, 그린리노베이션 기술 개발	‘11.05 ~ ’14.04	- 공동주택의 노후도 평가를 위한, 노후화 등급 기준을 수립 - 노후공동주택 재생을 위한, 그린리노베이션 기술 요소구축	에너지 성능 및 비용 목표에 부합하는 <u>수준별/유형별 그린리노베이션 표준기술 개발 연구</u>
공공임대주택의 주거환경 개선을 위한 리모델링 기술적용 및 법제도연구	‘11.09 ~ ’15.09	- 이중외피, 벽면녹화 등 에너지성능 개선을 위한 리모델링 기술 개발 - 리모델링 기술 보급과 커뮤니티 재생을 위한 지원정책 및 제도 연구	<u>리모델링 관련 요소기술의 개발과 함께, 개발된 기술의 보급/확산을 위하여 지원정책 및 제도의 제시</u>를 목표
그린리모델링 사업 분석 및 관리 플랫폼 + GOD-map 개발	‘14.08 ~ ’15.05	- 그린리모델링 제품에 대한 탄소배출량 및 경제성 DB구축 - GIS 기반의 기후/건물/에너지사용량 DB 맵핑을 통한, 에너지 지도 개발 - 웹기반 그린리모델링 사업을 위한 의사결정 지원 플랫폼 개발	그린리모델링 제품 및 건축물 DB의 구축 및 관리를 목적으로 개발된 <u>GIS 기반의 관리 플랫폼 연구</u>
건물외피 및 설비시스템의 그린리모델링 최적화 기술	‘14.01 ~ ’18.12	- 일사차단, 단열 및 통풍기능을 갖는 다목적 초슬림형 창호보강기술의 개발 - 커튼월 및 프레임의 전열차단을 위한 단열보강 기술의 개발	다목적 초슬림형 창호보강기술이나 단열보강 기술, Cool Roof 등 비용경제성을 가지는 <u>그린리모델링 요소 기술의 개발</u>을 목표
그린 리모델링 건축물의 환경성능 평가모델 개발 연구	‘15.05 ~ ’18.04	- 진단평가: 리모델링 계획 전 실측과 시뮬레이션을 활용한 기존 건축물의 평가 - 사전평가: 에너지 성능 향상을 위한, 다양한 시뮬레이션 수행 - 실측평가: 시공 후 사용자의 체감 성능 평가	<u>기획 및 사용단계에서, 그린리모델링 대상 건물에 대한, 진단평가·사전평가·실측평가를 수행</u>
공공건물 에너지효율 극대화를 위한 최적화 기술 개발	‘15.06 ~ ’19.05	- 공공건물 정책 지원 통합 서비스 구축 - 공공건물 에너지효율 최적화 개선 기술 및 모듈 개발 - 공공건물 리모델링 보급 확대를 위한, 벤치마크 모델 개발 및 실증	- 공공건물의 <u>실효적 관리방안 개발 및 표준화를 위한, 웹기반 공공건물 에너지 효율화 지원 시스템 개발</u> - 공공건물의 <u>에너지효율 개선(단열, 조명, 설비, 신재생 에너지 등) 기술 및 모듈 개발과 실증</u>
저비용·고효율의 노후 공동주택 수직증축 리모델링 기술개발 및 실증	‘15.07 ~ ’21.03	- 주거성능 향상을 위한 저비용·고효율의 공동주택 리모델링 요소기술 개발 - 리모델링 실증사업을 통한 요소기술 실증 및 사업화 구현	저비용·고효율의 <u>리모델링 요소기술을 개발하고, 실증사업을 통해 개발된 기술의 검증 및 사업화를 목표</u>
시장수요기반 기존건축물 녹색화 확산 연구	‘11.11 ~ ’16.06	- 기존 건축물의 그린리모델링 활성화 방안으로, 그린리모델링을 시행 시 사업자/발주자가 합리적·효과적으로 완수할 수 있도록 지원하는 방안 제시 - 지원 방안으로서 기획, 계획, 설계, 시공, 운영단계에서의 업무 및 역할을 정의한 표준절차 및 표준가이드를 제시	- 그린리모델링 전과정을 쉽게 이해할 수 있도록, <u>그린리모델링 설계·시공 표준 프로세스 개발</u> - 다양한 건물규모/유형의 <u>시범사업 실시로 비용·편익관점의 그린리모델링 신뢰성 확보와 확산전략 수립</u>

2. 국외 기술 개발 현황

연구제목	게재 년도	연구내용	연구의 특화성
A hybrid decision support system for sustainable office building renovation	2010	- 오피스 건물의 실내 열환경적 및 온습도 요소, 전기소모량, 수도사용량, 실내환경질 측면의 에너지 성능 개선에 대한 의사결정 지원시스템 평가 - A*search algorithm과 Genetic algorithm의 조합을 통한 실내 열환경적 및 온습도 요소, 전기소모량, 수도사용량, 실내환경질에 대한 목적별 최적화 방안 모색	건축물 성능 개선 시, 에너지, 비용, 환경성 측면의 목적에 따른 최적 의사결정을 위한 시스템 개발 및 검증
Existing building retrofits Methodology and state-of-the-art	2012	- 리뷰 논문으로, 기존 건축물의 에너지사용량을 저감하는 리모델링 기술 조사 - 경제성, 에너지효율, 환경성, 위험도평가를 고려하여, 기존 건축물에 대한 최적 리모델링 기술을 선정하는 방법 및 의사결정 연구동향 조사	많은 리모델링 기술 중, 대상 건축물에 최적인 리모델링 기술을 선정하기 위한 방법을 제시
Business models for full service energy renovation of single-family houses in Nordic countries	2013	- 계약단계에서의 full-service renovation을 제공하기 위한 컨설팅, 에너지 분석, 리모델링 작업, 수수료 및 비용에 대한 연구 - 통계적 방법론에 의한 single-family houses의 평균 건물 정보, 에너지 효율 측정, 국가정책 및 활성화 방안 비교	건물정보 및 컨설팅 방안, 금융정보 등 종합적인 리모델링 서비스를 제공하는 Business models의 비교·분석
Energy and investment intensity of integrated renovation and 2030cost optimal savings	2014	2030년까지 기존 건축물의 최대 에너지비용 절감을 위하여, 기존 건축물의 크기별, 용도별, 리모델링 요소별 시나리오에 대한 투자비용 및 에너지소비량을 분석 - 순현재가치법(NPV)을 통한 기존 건축물의 타입별 리모델링 시나리오에 대한 경제성 분석	기존 건축물의 에너지 저감 리모델링 설계 대안에 대한 비교·검토
Early stage decision support for sustainable building renovation: A review	2016	- 기존 건축물의 에너지 리모델링 설계 대안 평가를 통한 의사결정 지원 방안 목적 - 이를 위해, 설계단계에서 건물 에너지 성능 평가방법, 설계 대안 제시에 대한 기존 연구 동향 및 방법론 분석	설계 단계에서의 기존 건축물의 에너지성능 개보수 관련 의사결정을 지원하기 위한 시스템 개발 연구

3. 소결

- 대부분의 국내 연구는 그린리모델링 요소기술을 개발하거나 개별 성능을 향상시키는데 집중하였다. 다른 한편으로는, Test-bed를 구축함으로써 개발된 요소기술의 성능개선 효과를 검증하거나, 최적의 요소기술 조합을 도출하고자 하였다.
- 반면, 해외에서는 기존 건축물에 대한 그린리모델링을 활성화하기 위하여, 리모델링을 통한 에너지성능의 개선 수준을 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 지원하는 것을 목적으로 하는 다양한 방면에서의 연구가 진행되어 왔다. 특히, 최근 들어 기존 건축물의 에너지성능 향상을 위한 그린리모델링과 관련한 의사결정을 지원하는 도구의 필요성에 공감하고, 이를 위한 시스템의 개발에 관심이 높아지고 있다.
- 하지만, 아직까지 국내에서는 그린리모델링에 적합한 사업대상을 발굴하여 그린리모델링 사업을 활성화하고자 하는 연구는 수행되지 않았다. 그린리모델링을 통해 기존 건축물의 성능이 개선될 때, 경제성 및 환경성 측면에서 어느 정도의 효과를 얻을 수 있는지에 대한 정보를 제공함으로써, 그린리모델링에 대한 민간주택의 소유자의 능동적인 참여를 유도하는 연구가 필요하다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 핵심성과 1: 그린리모델링 최적 대상 선정 모델(SMOM) 개발

가. 단위성과 1-1-①: 공동주택 DB 구축

(1) 공동주택 DB 수집

공동주택에 DB는 국토교통부에서 운영하는 ‘그린투게더’ 및 ‘건물에너지 정보공개시스템’, 한국감정원에서 위탁운영하고 있는 ‘건축물 에너지·온실가스 정보체계’ 및 ‘공동주택관리정보시스템’, 그리고, 건축행정시스템 ‘세움터’를 통해 수집하였다. 특히, 본 연구에서는 한국감정원에서 위탁운영하는 ‘건축물 에너지·온실가스 정보체계’를 기준으로 DB를 수집한 후, 기타 시스템을 통해 데이터의 정확성을 검토하는 방향으로 연구를 진행하였다. ‘건축물 에너지·온실가스 정보체계’는 전국 약 690만동의 건축물 및 월별 에너지 사용정보를 수집하는 시스템으로서, 건물 특성정보(연면적, 층수, 세대 수 등)를 포함하는 건축물대장 정보와 에너지 사용정보(전기, 도시가스, 지역난방)가 관리되고 있다. 본 연구에서는 서울특별시에 위치하고 있는 1,143개 아파트에 대한 건축물 특성정보와 에너지 사용정보를 수집하였다.

[표 3-1] 서울특별시 공동주택의 특성 정보 및 CO₂ 배출량 DB

번호	구	동	연면적 (㎡)	세대수 (가구)	층수	총 건물 수	사용연한	난방방식	단위면적당 CO ₂ 배출량 (tCO ₂ /㎡·y)
1	1	2	55871.63	436	19.33	9	20	1	0.036570
2	1	3	65446.13	529	21	14	16	1	0.031885
3	1	3	59593.68	585	13.4	6	23	1	0.036933
4	1	3	92659.17	1006	14	14	22	1	0.037097
5	2	6	251093.96	2282	18.37	43	16	1	0.034440
6	3	11	37340.22	300	22	6	16	1	0.029112
7	3	15	72552.83	638	22	11	21	3	0.028295
8	3	15	57479.69	516	20.75	10	18	3	0.028832
9	3	15	136080.67	1001	21.33	15	17	3	0.026356
10	3	15	66057.61	499	20.83	18	16	3	0.025493
11	3	15	111756.42	787	18.33	20	16	3	0.025705
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
301	16	121	38844	348	14.67	9	20	1	0.035117
302	16	121	103169.46	778	17	18	17	1	0.033105
303	16	122	39688.37	317	19	8	18	3	0.016168
304	16	122	41874.88	339	18	12	16	1	0.033508
305	16	122	52064.55	430	16.5	7	16	3	0.020048
306	16	122	99209.58	2174	15	17	21	3	0.025783
307	16	122	65235.96	1575	14	10	20	3	0.032868
308	16	122	85102.53	457	16.83	11	20	3	0.014984
309	16	122	78220.37	712	14.71	8	21	3	0.020872
310	16	122	90865.42	680	19	14	20	3	0.020474

번호	구	동	연면적 (㎡)	세대수 (가구)	층수	총 건물 수	사용연한	난방방식	단위면적당 CO ₂ 배출량 (tCO ₂ /m ² ·y)
311	16	122	76407.53	1045	15	13	20	3	0.021982
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
577	25	204	128680.32	2300	5	64	32	1	0.057903
578	25	204	68259.74	890	5	25	32	1	0.054017
579	25	204	40616.51	410	13	8	23	1	0.041043
580	25	205	80872.94	744	12	10	32	1	0.043247
581	25	205	87908.59	972	12	14	32	2	0.053091
582	25	205	85079.82	811	15.67	13	21	1	0.036326
583	25	206	54048.92	498	12.6	10	31	1	0.041333
584	25	206	60251.99	460	22	5	17	1	0.033258
585	25	206	43179.5	354	15	8	31	2	0.045492
586	25	207	41002.78	417	23.67	4	16	1	0.045490
587	25	208	126706.5	1220	21	12	16	2	0.044806
588	25	209	48952.59	479	12	10	30	1	0.037169
589	25	209	55453.17	643	19.75	5	18	1	0.043343

(2) 공동주택 DB 필터링

수집된 공동주택 데이터의 정확성 및 통계분석의 신뢰성을 확보하기 위하여, 다음 6단계에 따라, 공동주택 데이터 필터링을 수행하였다. 첫째, 건축물속성 정보와 에너지사용 정보가 누락된 공동주택을 제외하였다. 둘째, 본 연구는 공동주택 중에서 아파트를 대상으로 연구범위를 설정하였다. 따라서 공동주택으로 분류된 건축물 중 아파트로 정의되지 않은 건물(다세대주택, 다가구 주택, 빌라 등 오층 이하의 건물)을 제외하였다. 셋째, 본 연구는 “건물의 에너지 절약 설계기준 규정·지침” 및 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”에 명시된 단열기준이 강화되기 전인 2001년 이전 공동주택을 대상으로 연구를 진행하기 때문에, 2001년 이후 사용이 승인된 건물을 제외하였다. 넷째, 공동주택의 난방방식이 개별난방, 중앙난방, 지역난방으로 분류되지 않은 건물을 제외하였다. 다섯째, 박스플롯 아웃라이어(Box-plot)를 활용해 통계적 이상치(Outlier)를 제거한다. 이를 통해, 최초에 수집한 1,143개의 데이터 중에서, 589개 아파트 단지만을 분석대상으로 결정하였다.

(3) 공동주택의 온실가스 배출량 분석을 위한, 에너지 사용량 단위 통일

공동주택단지에서 배출되는 이산화탄소를 기반으로 목표 다가구 공동주택단지의 그린리모델링 진행 유무를 결정하기 위해서는 에너지 소비 데이터를 이산화탄소 배출량 데이터로 변환하여야 한다. 이를 위해, 공동주택 간의 에너지 성능을 비교하기 위해 단위가 다른 두 가지 유형의 에너지(전기 에너지(kWh), 가스 에너지(MJ, Gcal))를 동일한 단위의 지표(tCO₂/m²·y)로 통일하였다. “에너지 기본법 시행규칙(제5조제1항)”에서 제시하는 “에너지열량환산 기준표”와 한국지역난방공사에서 제공하는 자료를 이용하여, 전기, 가스, 지역난방에 대한 이산화탄소 배출 계수는 각각 0.00046 tCO₂/kWh, 0.00006 tCO₂/MJ, 그리고 0.148 tCO₂/Gcal로 적용하였다.

나. 단위성과 1-2-①: 공동주택 이산화탄소(CO₂) 배출량 영향요인 분석

(1) 공동주택의 CO₂ 배출에 영향을 미치는 요소 분석

기존 연구문헌을 참고하여, 공동주택의 이산화탄소 배출량과 에너지 효율성에 영향을 미치는 요인을 도출하였으며, 지리적 정보(지역)와 물리적 정보(면적, 층수, 세대 수, 건물 수, 경과연수, 난방방식 등)으로 구분할 수 있다([표 3-2] 참조). 첫째, 지리적 정보는 건축물이 위치하는 지역 데이터를 의미하고, 이는 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 온도, 태양 복사, 강수량 등의 기상요인에 차이가 발생시킨다. 즉, 지역에 따른 기상요인의 차이는 냉·난방도일의 차이를 만들고, 이산화탄소 배출량의 차이를 발생시킨다. 둘째, 물리적 정보인 면적, 층수, 세대 수, 건물 수, 경과연수, 난방방식 등은 공동주택의 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 면적, 세대 수, 건물 수가 커질수록, 냉·난방 면적이 증가하여 에너지 사용량을 증가시킨다. 경과연수는 건물 노후도 증가를 의미하고, 이는 건물의 단열 성능 등과 같은 에너지 성능을 약화시키기 때문에 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이 외에, 건물 자체의 요인인 복도형식, 거주상태 등이 조사되었으나, 데이터의 타당성과 신뢰성을 높이기 위하여, 대한민국 정부에서 공식적으로 제공하는 데이터베이스 (총 바닥 면적, 세대 수, 건물 수, 경과 년 수, 난방 타입)만을 본 연구에 적용하였다¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾.

[표 3-2] 공동주택 건물의 에너지 성능에 영향을 미치는 변수

변수 구분	변수		세부 내용	단위	변수 형태
독립변수	지리적 정보	지역	구	-	명목형
			동		
	물리적 정보	면적	총 연면적	m ²	연속형
		층수	-	층	연속형
		세대 수	-	세대	연속형
		건물 수	주 건축물수	동	연속형
			총 건축물수		
		경과연수	2001년 이전	년	연속형
		난방방식	개별난방, 중앙난방, 지역난방	-	명목형
종속변수	사용 정보	온실가스 배출량	-	tCO ₂ /m ² ·y	연속형

¹⁹⁾ Hong,T, Koo C, Park S (2012). A decision support model for improving a multi-family housing complex based on CO₂ emission from gas energy consumption. Building and Environment. 52, 142-151.

²⁰⁾ Jeong J, Hong T, Ji C, Kim J, Lee M, Jeong K (2016). Development of an integrated energy benchmark for a multi-family housing complex using district heating. Applied Energy. 179, 1048-1061.

²¹⁾ Kim S, Yang I, Yeo M, Kim K (2005). Development of a housing performance evaluation model for multi-family residential buildings in Korea. Building and environment 40(8), 1103-1116.

²²⁾ Hong T, Koo C, Kim H. A Decision Support Model for Improving a Multi-Family Housing Complex based on CO₂ Emission from Electricity Consumption. Journal of Environmental Management 2012;112(15):67-78.

(2) 7대 광역시 공동주택의 에너지 사용/CO₂ 배출 특성 분석

(1) 데이터 수집 및 필터링

(가) 데이터 수집

‘건축물 에너지·온실가스 정보체계’는 국가건물에너지통합DB(이하 통합DB)를 포함하고 있으며, 통합DB는 전국의 모든 건물에 대한 건축물대장 정보와 에너지사용량 정보를 포함하고 있다. 이에, 본 연구는 통합DB로부터 분석에 필요한 건물 특성정보와 에너지사용량 정보를 수집하였다. 2016년 12월을 기준으로 전체 6,373,579개의 데이터 중, 아래 표에 제시된 연구 범위에 적합한 데이터만을 추출한 결과 764,392개의 데이터가 추출되었다.

[표 3-3] 데이터 추출 기준

항목	내용	비고
지역	7대 광역시(서울, 인천, 부산, 광주, 대전, 대구, 울산)	기후에 따른 차이 분석
준공년도	1961~2015	2016년 이전 준공된 건물 한정
용도	공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택) 및 단독주택	-
에너지사용량	2016년 사용량	-

(나) 데이터 필터링

분석결과의 신뢰성을 확보하기 위하여, 데이터 필터링 과정을 진행하였다. 먼저, 분석에 필요한 정보가 누락된 데이터나 이상치를 포함하는 데이터는 제외되었다. 본 연구에서는 2016년 에너지사용량 및 온실가스 배출량의 분석하는 것이 목표이기 때문에, 2016년(1년)에 정상적으로 운영된 건물로 한정할 필요가 있다. 이에 따라, 2015년 12월 31일 이전에 준공되어 2016년 1월부터 12월까지 정상적으로 운영된, 즉 매월 전기에너지 사용량이 존재하는 건물로 한정하였다. 마지막으로, 본 절의 분석은 주거용 건물을 대상으로 하였으며, 건축법에 규정된 건물 유형 중 4가지 유형(단독주택, 연립주택, 다세대주택, 아파트)으로 한정하였다. 즉, 아래의 항목들에 따라 수집된 데이터의 필터링을 수행하였다.

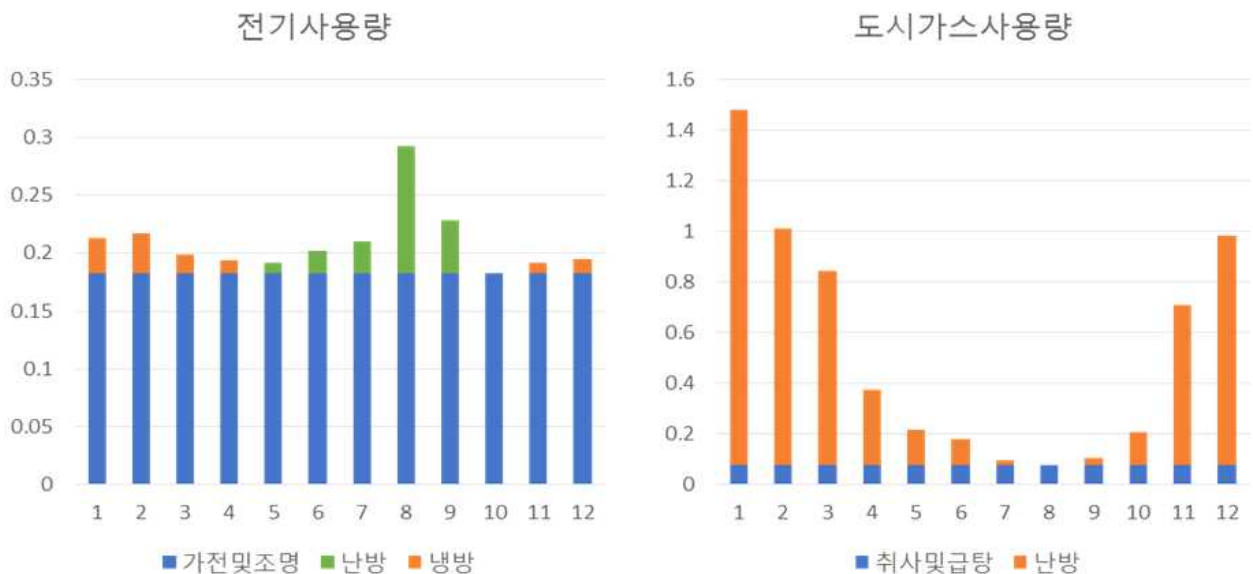
- ㉠ 준공년도, 건물용도, 연면적 정보가 없는 데이터 제외
- ㉡ 연면적과 연간 에너지사용량이 0이하인 건물 제외
- ㉢ 2016년 1월부터 12월까지 정상적으로 운영된 건물로 한정
- ㉣ 2016년 1년간 도시가스 에너지사용량이 0인 건물 제외
- ㉤ 전기사용량과 도시가스사용량을 모두 포함한 건물로 한정

[표 3-4] 데이터 필터링 결과

구분		필터링 전	필터링 후			
		데이터 수	데이터 수	건물수	세대수	연면적(m ²)
공동주택	연립주택	12,897	11,712	14,603	185,463	16,636,440
	다세대주택	130,458	122,168	129,074	1,105,415	64,462,096
	아파트	22,436	19,393	51,501	3,285,278	345,569,326
단독주택		598,601	320,630	328,810	328,981	54,980,684
합 계		764,392	153,273	195,178	4,576,156	426,667,864

(다) 에너지사용량의 용도별 구분

건물의 특성에 따른 에너지사용량과 온실가스배출량의 특징을 분석하기 위하여, 본 연구는 에너지사용량을 사용 목적에 따라 구분하였다. 예를 들어, 지속적으로 강화되는 단열성능기준으로 인해 신축 건물은 기존 건물에 적은 에너지를 사용할 것으로 기대된다. 하지만, 단열성능기준의 강화는 냉·난방 에너지의 사용에 영향을 미치는 반면, 조명이나 가전기기의 사용에는 상관관계가 크지 않은 것으로 보인다. 이러한 이유로, 본 연구는 단열성능기준의 변화에 따른 에너지사용량의 절감 수준을 파악하기 위해서는 냉·난방 에너지사용량의 변화만을 분석하고자 한다. 하지만, 수집된 데이터는 개별 건물에서 사용한 에너지를 에너지원의 종류에 따라 전기사용량과 도시가스사용량으로 구분하고는 있지만, 각각의 에너지원이 어떠한 용도로 사용되었는지를 설명하지는 못한다. 이에 따라, 본 연구는 [그림 3-11]에서 보는바와 같이, 몇 가지 가정 사항을 바탕으로, 전기사용량은 가전 및 조명, 난방, 냉방으로 구분하고, 도시가스사용량은 취사 및 급탕과 난방으로 구분하였다.



[그림 3-1] 에너지 용도에 따른 에너지 사용량 구분

에너지 용도에 따른 에너지 사용량 구분기준은 다음과 같다. 첫째, 12개월 중 가장 적은 양의 에너지를 사용한 월의 에너지사용량을 건물을 운영하기 위해 필요한 최소한의 에너지로 설정하였다. 즉, 여름철이나 겨울철의 기후 변화에 따라 추가적으로 요구되는 냉·난방 에너지를 제외한 조명, 가전, 취사, 급탕 등의 목적에 따라 요구되는 에너지를 기저 에너지(Base energy)로 가정하고 냉·난방에너지와 구분하였다.²³⁾ 예를 들어, [그림 3-1]에 제시된 사례에서 12개월 중 8월은 도시가스사용량이 가장 적은 기간이다. 이에, 8월의 도시가스 사용량을 기저 에너지로 가정하고([그림 3-1]에서 파란색으로 표현된 부분), 나머지 부분은 난방용 도시가스사용량([그림 3-1]에서 주황색으로 표현된 부분)으로 정의하였다. 전기사용량의 경우, 10월의 에너지사용량이 가장 적은 것으로 확인되었다. 이에, 10월의 전기사용량을 기저 에너지로 가정하

²³⁾ 실제로는 냉난방 에너지사용량과 기저 에너지로 정의하기 보다는 “계절 변화에 영향을 받아 계절에 따라 달라지는 에너지사용량”과 “계절의 변화와 관계없이 일정하게 유지되는 에너지사용량”으로 정의하는 것이 보다 정확한 정의이다.

고, 이를 초과하는 부분을 냉·난방에너지 사용량으로 가정하였다. 둘째, 도시가스 및 달리 전기는 냉방 및 난방을 위해 사용된다. 이에 따라, 전기사용량을 냉방용과 난방용으로 구분할 필요가 있다. 본 연구에서는 5월부터 9월까지의 기간을 냉방 사용기간으로 설정하고, 11월부터 4월까지의 기간을 난방 사용 기간으로 설정하였다.

(라) 온실가스 데이터 변환

통합DB로부터 수집된 데이터는 에너지공급기관으로부터 수집된 에너지사용량 정보를 포함한다. 건물의 에너지사용량과 온실가스배출량 특성을 모두 분석하기 위하여, 에너지사용량은 온실가스배출량으로 변환되어야 한다. 전기사용량과 도시가스사용량을 온실가스배출량으로 변환하는 방법은 다음과 같다.

① 전력

“온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침” [별표 16]²⁴⁾에서는 대한민국에서 적용할 수 있는 전기에너지에 대한 온실가스 배출계수를 제시하고 있다. 또한, 기후변화에 관한 정부 간 협의체 지침(Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines, 이하 „IPCC GL“)²⁵⁾에서는 다양한 온실가스별 지구온난화지수(GWP)를 제시하고 있다. 본 연구에서는 식 (3.1)에 “온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침”과 IPCC GL에서 제시하는 온실가스 배출계수와 지구온난화지수를 적용하여, 전력사용량을 온실가스배출량으로 변환하였다. 식 (3.1)에 각각의 계수를 적용하면, 1kWh의 전력 사용량은 0.4662504kg-CO₂ eq.로 변환된다.

$$E = TA \times [(EF_{CO_2} \times GWP_{CO_2}) + (EF_{CH_4} \times GWP_{CH_4} \div 1000) + (EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O} \div 1000)] \quad \text{식 (3.1)}$$

여기에서,

E	: 총 온실가스 배출량(tCO ₂ eq.)
TA	: 총 연료 사용량(kWh)
EF_{CO_2}	: 전력의 이산화탄소 배출계수 (tCO ₂ /MWh)
EF_{CH_4}	: 전력의 메탄 배출계수 (kgCH ₄ /MWh)
EF_{N_2O}	: 전력의 아산화질소 배출계수 (kgN ₂ O/MWh)
GWP_{CO_2}	: 이산화탄소의 지구온난화지수
GWP_{CH_4}	: 메탄의 지구온난화지수
GWP_{N_2O}	: 아산화질소의 지구온난화지수

① 도시가스(LNG)

온실가스종합정보센터(GIR)에서 발간하는 “국가 온실가스 인벤토리 보고서”²⁶⁾는 온실가스 배출 현황과 연료 연소에 따른 에너지원별 온실가스 배출량 산출 방법론을 제시한다. 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 참고하여, 본 연구는 도시가스 연소에 따른 온실가스 배출량을 산

²⁴⁾ 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 [환경부 고시 제2014-186호]

²⁵⁾ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

²⁶⁾ 온실가스종합정보센터 (2016), 2016 국가 온실가스 인벤토리 보고서

출하였다. 전력과 마찬가지로 도시가스 연소로 인해 배출되는 3대 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소)를 고려하도록 규정하고 있으며, 각 온실가스별 산출방법은 아래와 같다.

㉠ 이산화탄소(CO₂)

$$\begin{aligned}
 E &= \sum_i [(TA_i - NA_i \times FCS_i) \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \times 10^{-3}] & \text{식 (3.2)} \\
 &= \sum_i [TA_i \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \times 10^{-3}] \\
 &= \sum_i [NAE_i \times 41.868 \times EF_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \times 10^{-3}]
 \end{aligned}$$

여기에서,

E	: CO ₂ 배출량(t CO ₂)
TA	: 총 연료 사용량(TOE)
NA	: 비연료 사용량(TOE)
FCS	: 탄소몰입률
41.868	: Joule-TOE 단위 환산계수(GJ/TOE)
CF	: 전환계수(순발열량/총발열량)
EF	: 배출계수(t C/TJ)
OF	: 산화율
$44/12$	: 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(tCO ₂ /t C)
NAE	: 순 연료 사용량(TOE)
i	: 연료 유형
j	: 부문

㉡ 메탄(CH₄) 및 아산화질소(N₂O)

$$\begin{aligned}
 E &= \sum_{ij} [TA_i \times 41.868 \times CF_i \times EF_{ij} \times GWP_j \times 10^{-3}] & \text{식 (3.3)} \\
 &= \sum_{ij} [NAE_i \times 41.868 \times EF_{ij} \times GWP_j \times 10^{-3}]
 \end{aligned}$$

여기에서,

E	: 배출량(tCO ₂ eq.)
TA	: 총 연료 사용량(TOE)
41.868	: Joule-TOE 단위 환산계수(GJ/TOE)
CF	: 전환계수(순발열량/총발열량)
EF	: 배출계수(kg CH ₄ /TJ, kg N ₂ O/TJ)
GWP	: 온실가스의 지구온난화지수
NAE	: 순 연료 사용량(TOE)
i	: 연료유형
j	: 배출물

(2) 분석방법

(가) 건물 에너지사용량 및 온실가스 배출량에 대한 영향요인

본 연구는 건물의 특성에 따른 에너지사용량 및 온실가스배출량의 차이를 분석하고자 한

다. 선행 연구들에 따르면, 에너지사용량 및 온실가스배출량은 지역, 건물유형, 준공연도에 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구는 지역에 따른 차이, 건물 유형에 따른 차이, 준공연도에 따른 건물 에너지사용량 및 온실가스 배출량의 차이를 분석하고자 한다. 정의된 영향요인 중, 건물 유형과 지역은 명목형 변수인 반면, 준공연도는 연속형 변수이다. 한편, 본 연구에서는 이러한 특성요인에 따른 에너지사용 및 온실가스배출 특성을 분석하기 위하여, 다음의 기준에 따라 연속형 변수인 준공연도를 명목형 변수로 변환하였다. 즉, 준공시기에 따른 차이를 파악하기 위하여 준공연도에 따라 대상 건물을 2개 그룹으로 구분하였다. 특히, 정부는 2000년 이후부터 건물 에너지사용량 감축을 위한 건물에너지 효율향상 정책을 지속적으로 강화하고 있으며, 연구에서는 2000년 이전 준공된 공동주택을 대상으로 그린리모델링을 위한 의사결정지원시스템의 개발을 목표로 하고 있다. 이와 함께, 건물에너지 설계절약기준은 1985년부터 “건축물의 에너지 절약계획서”의 제출이 의무화되었고, 열관류율 기준은 지속적으로 강화되고 있다.²⁷⁾ 이에 따라, 준공연도를 기준으로 1985년 이전 준공건물, 1985년부터 2000년 이전 준공 건물, 2001년부터 2011년 이전 준공건물, 2011년 이후 준공건물 등 4개 그룹으로 구분하였다.

[표 3-5] 건물의 에너지 사용에 영향을 미치는 요인 적용 기준

구분	변수	세부 내용	단위	변수 형태
영향 요인	건물유형	단독, 연립, 다세대, 아파트	-	명목형
	지역	7개 광역시	-	명목형
	준공연도	4개 그룹 (1961~1984, 1985~2000, 2001~2010, 2011~2015)	-	연속형
종속 변수	온실가스배출량	단위면적당 온실가스배출량	kg-CO ₂ /m ² ·y	연속형
	에너지사용량	단위면적당 에너지사용량	10 ⁻³ toe/m ² ·y	

(나) 분석지표 및 분석방법

건물 에너지사용량에 따른 에너지사용 및 온실가스 배출 특성을 비교·분석하기 위하여, 국가 건물에너지 통합DB의 전기와 도시가스 단위를 TOE(Ton of Oil Equivalent) 단위로 통일하였다. 또한, 앞서 설명된 온실가스 배출량 변환방법에 따라 모든 에너지사용량은 온실가스 배출량(tCO₂ eq.)로 변환되었다.

본 연구에서는 건물의 특성에 따른 에너지사용 및 온실가스 배출 특성을 분석하기 위하여, 연간 단위면적당 에너지사용량(Energy Use Intensity; 이하 EUI)과 연간 단위면적당 온실가스 배출량(Greenhouse gas Emission Intensity; 이하 GEI)을 비교하였다. EUI의 단위는 10⁻³ toe/m²·y이며, GEI의 단위는 kg-CO₂ eq./m²·y이다. 한편, 평균값(mean)과 중위값(median)은 대표적인 통계지표이지만, 극도의 예외값(극소, 극대)이 많거나 편향된 표본에서는 평균보다 중위값이 표본을 대표하는 결과로 주로 사용된다. 이에, 본 연구는 건물의 에너지사용 및 온실가스 배출 특성을 비교·분석하기 위한 지표로서 중위값을 사용하였다. 비교·분석에는 통계분석 도구 중 하나인 R studio를 사용하였다.

²⁷⁾ 국토교통부 (2017), 건축물의 에너지절약 설계기준 해설서

(3) 분석결과 및 논의

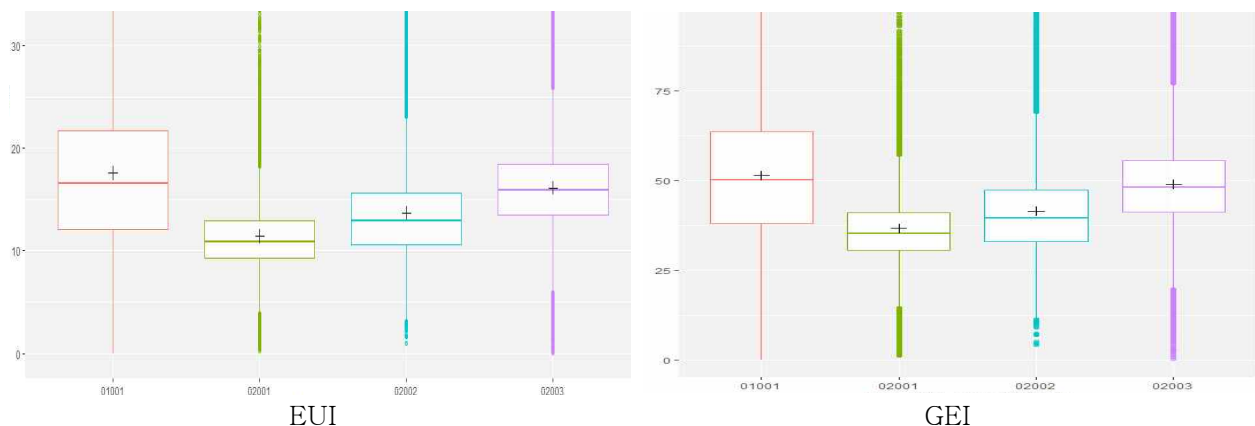
(가) 건물유형에 따른 결과

[표 3-6]은 주택유형에 따른 EUI와 GEI를 보여준다. 4가지 주택 유형 중 아파트의 EUI가 가장 작게 나타났으며, 단독주택이 가장 높은 EUI를 가지는 것으로 분석되었다. GEI의 결과 역시 EUI의 결과와 거의 유사하였다. 즉, 단독주택, 다세대주택, 연립주택, 아파트의 순으로 높은 GEI를 가지는 결과가 나타났다. EUI와 GEI의 분석결과가 유사한 특징을 보이는 이유는 모든 주택이 전기와 도시가스를 사용하고, 동일한 온실가스 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산출하였기 때문인 것으로 여겨진다. 한편, 아파트가 다른 건물에 비해 적은 에너지를 사용하는 건물이며 에너지효율 측면에서 우수하다고 단정하기는 어렵다. 아파트의 경우에는 공용면적을 포함한 단지의 총 연면적으로 총에너지사용량과 온실가스배출량을 나누어 EUI와 GEI를 산출하였다. 즉, 아파트는 주거전용공간에 비해 적은 에너지를 사용하는 공용면적이 포함된 결과인 반면 단독주택은 온전히 전용면적만으로 구성되어 있기 때문에, 상대적으로 높은 결과가 나타났다고 할 수 있다.

[그림 3-2]에 따르면, 다른 주택에 비해 아파트는 표준편차 역시 가장 작다. 단독주택의 경우에는 EUI와 GEI가 높고 표준편차 역시 가장 컸다. 이는 아파트는 표준화된 건물의 형태로 건설되고, 특히 법령에서 규정하는 성능기준의 적용대상이 되는 반면, 단독주택은 규정의 적용대상이 아닐 뿐만 아니라 형태 역시 다양하기 때문이다. 비록, 아파트에 비해 열등하다고 할 수는 없지만, 표준편차가 큰 단독주택을 고려할 때, 개선이 필요한 건물을 다수 포함하고 있는 것은 사실이다. 따라서 단독주택을 대상으로 하는 규정이나 개선 정책이 필요하다.

[표 3-6] 주택유형에 따른 EUI 및 GEI

주택유형	세대수	EUI ($10^{-3} \text{ toe}/\text{m}^2 \cdot \text{y}$)		GEI ($\text{kgCO}_2 \text{ eq.}/\text{m}^2 \cdot \text{y}$)	
		평균	중앙값	평균	중앙값
단독주택	320,630	18.686	16.703	59.245	51.988
아파트	19,393	11.614	10.9091	37.638	35.240
연립주택	1,712	13.843	12.913	42.815	39.718
다세대주택	122,168	16.235	15.907	49.506	48.19314



[그림 3-2] EUI 및 GEI에 대한 Boxplot

에너지원별로 구분하여 결과를 살펴보면, EUI와 GEI에 차이가 있는 것을 확인 할 수 있다. [그림 3-3]과 같이, EUI 측면에서는 도시가스의 비중이 약 70%를 차지하지만, GEI 측면에서는 약 50%로 낮아졌다. 이러한 결과는 도시가스에 비해 전기의 온실가스 배출계수가 월등히 크기 때문이다. 앞서 제시한 수식에 따르면, 전기와 도시가스에 대한 온실가스 변환계수는 각각 5.422 t-CO₂ eq./toe와 2.116t-CO₂ eq./toe로 산출되어, 전기에너지에 대한 온실가스 변환계수가 도시가스 대비 2배 이상이다. 이러한 결과는 정부 정책의 목표가 무엇인지에 따라 대응전략 역시 달라져야 함을 보여준다. 예를 들어, 건물의 에너지사용량 감축을 목표로 하는 경우에는 전기보다 도시가스 감축과 관련한 정책의 수립 및 추진이 타당하다. 하지만, 건물의 온실가스 감축이 목표라면 전기사용량에 대한 감축정책이 보다 적극적으로 추진될 필요가 있다.



[그림 3-3] 주택유형별 EUI 및 GEI에 대한 에너지원별 구분 결과

(나) 지역에 따른 결과

[표 3-7]은 지역에 따른 EUI와 GEI를 보여준다. 7개 지역 중, 서울에 위치한 건물이 가장 높은 EUI와 GEI를 가지는 것으로 나타났으면, 인천이 서울을 뒤따랐다. 반면, 부산지역은 가장 작은 EUI와 GEI를 가지는 것으로 나타났다. [표 2-25]의 결과는 건물의 에너지효율과 온실가스배출효율이 기후의 영향을 받는다는 사실을 보여준다. 에너지원 별로 구분하여 결과를 살펴보면, [그림 2-16]과 같이 전기와 도시가스의 결과에 차이가 있는 것이 확인된다. 전기와 도시가스 모두 서울에 위치한 건물이 가장 많은 에너지를 사용하는 것은 변함없이 동일하다. 가장 적은 양의 도시가스를 사용하는 지역은 총에너지사용량의 결과와 동일하게 부산지역이었지만, 가장 적은 양의 전기를 사용하는 지역은 부산이 아닌 대전이었다. 이는 전기에 비해 도시가스가 기후의 영향을 크게 받는다는 사실을 보여준다.

분석 결과는 준공년도에 따른 건물의 에너지효율이나 온실가스 배출 특성을 분석할 때, 전국의 모든 건물을 일괄적으로 검토하는 것 대신 지역에 따라 건물을 구분해야 한다는 사실을 보여준다. 또한, 준공년도뿐만 아니라 지역과 에너지원의 종류, 가능하다면 에너지의 사용 용도를 함께 고려하여 데이터 분석을 시행할 때, 보다 정확한 그린리모델링 대상의 선정이 가능하다는 사실을 보여준다.

[표 3-7] 지역에 따른 EUI 및 GEI

지역	세대수	EUI (10^{-3} toe/m ² ·y)			GEI (kgCO ₂ eq./m ² ·y)		
		전기	도시가스	총에너지	전기	도시가스	총에너지
서울	238,999	4.785	12.737	17.832	25.941	26.950	54.086
부산	63,495	4.437	7.746	12.536	24.057	16.390	41.652
대구	39,789	4.056	8.973	13.386	21.992	18.987	42.336
인천	50,815	4.575	12.013	16.823	24.803	25.417	51.083
광주	33,492	4.177	8.357	12.920	22.646	17.682	41.726
대전	22,286	3.836	8.780	13.057	20.795	18.576	40.746
울산	25,027	4.267	9.584	14.224	23.135	20.280	44.713



[그림 3-4] 지역별 EUI 및 GEI에 대한 에너지원별 구분 결과

(다) 서울지역에 대한 상세 분석 결과

건물의 특성에 따른 에너지사용 및 온실가스 배출 특성을 보다 상세하게 검토하기 위하여, 앞서 정의한 모든 특성요인을 고려하여 준공연도에 따른 EUI 및 GEI를 검토하였다. 모든 지역에 대한 설명은 비슷한 내용이 반복되므로 결과에 대한 서술은 서울지역에 위치한 주택으로 한정한다.

[표 3-8]은 주거용 건물의 EUI와 GEI를 준공연도에 따라 구분한 결과이다. 모든 주택에서 EUI와 GEI가 감소하는 경향에 있으나, 특히 단독주택의 감축 수준은 두드러진다. 단독주택의 EUI는 $20.57(10^{-3} \text{ toe/m}^2\cdot\text{y})$ 에서 $14.84(10^{-3} \text{ toe/m}^2\cdot\text{y})$ 까지 감소하였으며, GEI는 $61.37(\text{kgCO}_2\text{eq./m}^2\cdot\text{y})$ 에서 $43.88(\text{kgCO}_2\text{eq./m}^2\cdot\text{y})$ 까지 약 30% 감축되는 것으로 분석되었다. 다른 3가지 주택 역시 상당한 수준의 감소가 확인되었으나, 감소되는 경향은 2010년까지만 유지되었다. 예를 들어, 아파트의 EUI는 $14.91(10^{-3} \text{ toe/m}^2\cdot\text{y})$ 에서 $11.25(10^{-3} \text{ toe/m}^2\cdot\text{y})$ 까지 감소되었으나, 2011년 이후 다시 $12.93(10^{-3} \text{ toe/m}^2\cdot\text{y})$ 으로 증가하였다. 지속적으로 강화되는 단열성능 기준 및 감축 정책에 부합하는 결과가 나타나지 않은 것으로 분석되었다. 하지만, 이러한 결과는 다양한 원인이 추정될 수 있다. 예를 들어, 건물의 에너지사용량은 건물의 에너지성능뿐만 아니라, 거주자의 소득수준이나 행태, 가전기기 등에 영향을 받을 수 있다. 준공연도 따른 EUI 및 GEI의 차이를 상세하게 분석하기 위하여, 전기와 도시가스 사용량을 사용 용도에 따라 구분하고, 분석을 시행하였다.

[표 3-8] 주택유형별 준공년도에 따른 EUI 및 GEI

구분	준공년도	단독주택	연립주택	다세대주택	아파트
EUI (10^{-3} toe/ $m^2 \cdot y$)	1961~1984	20.57	16.44	18.82	14.91
	1985~2000	19.94	13.05	18.02	12.36
	2001~2010	17.17	11.73	15.59	11.25
	2011~2015	14.84	12.46	15.91	12.93
GEI ($kgCO_2eq./m^2 \cdot y$)	1961~1984	61.37	49.25	56.55	44.64
	1985~2000	59.67	39.22	53.68	38.77
	2001~2010	51.96	35.57	46.75	35.54
	2011~2015	43.88	39.65	49.14	43.78

[표 3-9]는 준공연도에 따른 에너지 용도별 EUI와 GEI 분석결과를 보여준다. 단독주택의 결과를 살펴보면, 모든 용도에서 EUI와 GEI가 감소하고 있음을 알 수 있다. 즉, 건물의 에너지 성능과 관련된 냉·난방 에너지뿐만 아니라, 기저 에너지도 감소하고 있다. 반면, 아파트는 난방 에너지는 감소하고 있으나, 냉방에너지와 기저에너지는 2011년 이후 상당한 수준으로 증가하였다. 이러한 결과는 단열성능 강화에 따른 건물(아파트)의 에너지성능 향상이 난방에너지를 저감시키는 것으로 분석되었다. 하지만, 건물의 에너지성능과 관련이 없는 가전기기의 증가로 인하여 기저 에너지는 오히려 증가하고 있다. 단독주택에서 확인되지 않는 이러한 결과는 상당한 공용면적을 포함하는 아파트의 특징으로 인한 것일 수 있다. 예를 들어, 최근 건설되는 아파트는 상당한 면적의 커뮤니티시설과 지하주차장 등을 포함하고 있으며, 이러한 시설들은 모두 기저 에너지의 사용을 필요로 한다. 따라서 향후에는 공용부위의 면적 및 공용공간에서 사용하는 에너지는 제외하고, 세대단위의 에너지사용량 데이터를 바탕으로 분석을 시행할 필요가 있다.

[표 3-9] 준공연도에 따른 에너지 용도별 EUI와 GEI의 분석결과

구분	준공년도	단독주택			아파트		
		난방	냉방	기저	난방	냉방	기저
EUI (10^{-3} toe/ $m^2 \cdot y$)	1961~1984	13.48	0.47	6.04	9.24	0.30	5.14
	1985~2000	11.94	0.50	6.50	7.04	0.25	4.84
	2001~2010	10.94	0.45	5.17	6.42	0.25	4.43
	2011~2015	9.48	0.38	4.29	6.59	0.42	5.74
GEI ($kgCO_2eq./m^2 \cdot y$)	1961~1984	30.99	2.54	26.21	20.69	1.63	22.02
	1985~2000	27.33	2.71	28.29	15.71	1.36	20.92
	2001~2010	25.24	2.46	22.30	14.24	1.35	19.36
	2011~2015	22.06	2.04	18.07	15.02	2.25	25.40

(4) 한계점

본 분석에서는 건물의 에너지사용량 및 온실가스 배출량에 영향을 주는 요인으로서 지역, 유형, 준공연도를 고려하였으나, 단지 규모나 난방 방식, 세대 규모와 같은 요인에 대한 분석은 수행하지 못한 한계점이 있다. 특히, “건축물의 에너지절약설계기준”은 연면적 $500m^2$ 이상의 건물을 의무제출 대상으로 규정하며, 녹색건축물 조성지원법은 연면적 $3000m^2$ 이상의 공공건물을 녹색건축인증 및 에너지효율등급인증의 의무취득대상으로 규정한다. 이러한 규정의 적용

여부는 건물의 에너지사용량 및 온실가스배출량에 차이를 야기할 수 있는 요인이므로, 향후 연구에서는 이들 요인을 고려한 분석이 수행될 필요가 있다. 또한, 본 분석은 세대별 에너지사용량 데이터를 기반으로 분석한 것이 아니라, 단지전체의 에너지사용량 데이터를 기반으로 시행되었다. 이로 인해, 본 결과는 공용시설의 증가 추세에 따른 공용에너지사용량의 증가를 별도로 구분하지 못한 결과이다. 앞서 언급한 것처럼 따라서 향후 세대단위의 에너지사용량 데이터를 활용하여 추가적인 분석이 필요하다. 한편, 본 연구는 2016년 에너지사용량을 기반으로 수행되었다. 이로 인해, 본 연구의 결과는 2016년 에너지사용량만의 결과일 수 있다. 따라서 분석 결과의 일반화를 위하여, 2016년 에너지사용량 뿐 만 아니라, 2012~2017년 에너지사용량에 대한 분석을 추가로 수행한다면, 분석결과를 신뢰성을 보다 더 향상시킬 수 있을 것이다.

다. 단위성과 1-3-①: 공동주택 에너지성능 평가 기술 개발

(1) 공동주택단지에 대한 군집 형성 및 유효성 검증

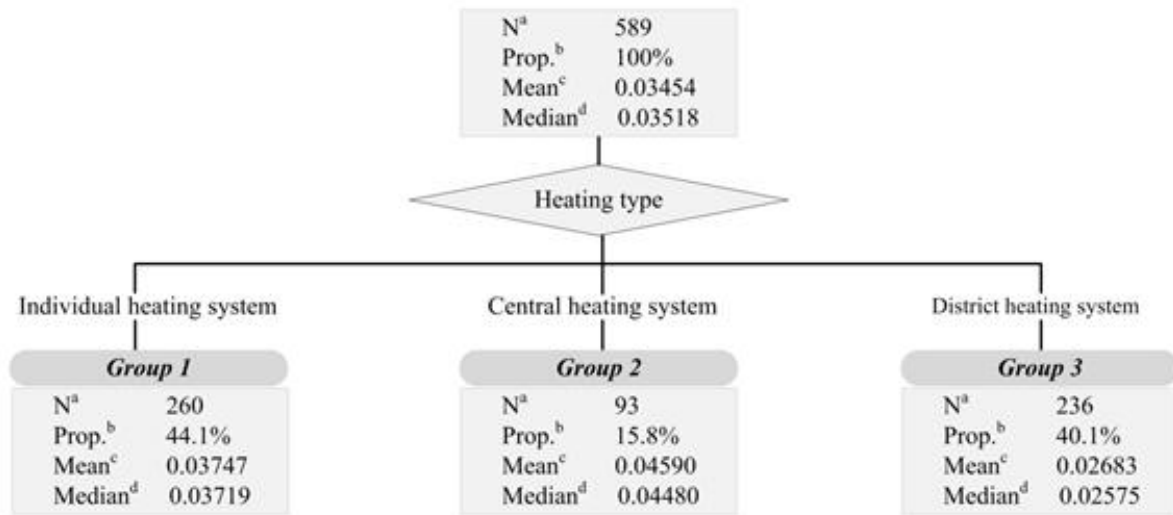
기존 연구들에 따르면, 공동주택단지는 그 특성에 따라서 온실가스 배출량에 차이가 발생한다. 이에 따라, 유사특성을 갖는 건물간의 온실가스 배출량을 비교 분석하기 위하여 유사한 특성을 가진 그룹을 형성하는 것이 필요하다. 따라서 공동주택의 특성정보를 포함하고 있는 공동주택 DB를 이용하여, 유사한 특성을 가지는 군집내 분석을 수행하고자 한다. 이를 위해, 본 연구는 (1) 의사결정나무(Decision Tree)를 이용하여 공동주택에 대한 군집을 형성하였고, (2) 비모수검정(Kruskal-Wallis H)를 이용하여 분류된 군집간 유효성 검증을 수행하였다. 본 연구를 서울특별시내 위치한 공동주택 589개 단지(2015년 에너지사용량 데이터)를 대상으로 분석을 수행하였다.

(가) 공동주택단지에 대한 군집 형성

본 연구는 공동주택단지별 독립변수를 기반으로, 유사특성을 가지는 군집분류를 수행하기 위하여, 의사결정나무 방법론을 적용하였다. 즉, 의사결정나무 방법론은 독립 및 종속 변수들 간에 상관관계를 기반으로 수집한 데이터를 분류하는 방법으로서, 크게 3가지(CART, C4.5 그리고 CHAID)로 구분할 수 있다. 첫째, CART(분류 및 회귀나무) 알고리즘은 종속 변수가 명사 혹은 비율 척도 모두 사용할 수 있다. 둘째, C4.5는 종속 변수가 명사 척도 일시에 사용할 수 있으나 데이터의 크기가 작을 때 사용되기 때문에, 본 연구에는 적합하지 않다. 셋째, CHAID(카이 제곱 검정)는 데이터 크기가 큰 경우에 적합하고, 다른 방법들과 비교하여 상대적으로 세밀한 나무 구조(Tree structure)로 분석할 수 있기 때문에, 본 연구에 적합한 방법으로 판단된다.

[그림 3-5]는 CHAID를 이용하여, 공동주택단지에 대한 군집분석을 수행한 결과를 나타내고 있다. 총 589가구의 공동주택단지는 난방방식(Heating type)에 따라 3개의 그룹으로 구분되었다. Group 1(개별난방), Group 2(중앙난방), 그리고 Group 3(지역난방)에 대한 단위면적당 이산화탄소 배출량은 각각 평균 0.03747 tCO₂/m²·year 0.04590 tCO₂/m²·year, 그리고 0.02683 tCO₂/m²·year로 분석되었다. 난방방식에 따라 군집이 분류된 원인은 난방 방식별로 난방열의

생산 및 공급 방식에 차이가 있기 때문이다. 즉, Group 1은 개별난방방식이며 세대수 단위에서 난방 유무를 결정할 수 있는 반면, Group 2는 중앙 난방방식에 다가구 공동주택단지 단위에서 일괄적으로 난방 유무를 결정한다. 또한, Group 3은 열병합 발전소에서 생산되는 열을 이용하기 때문에, 다른 난방방식과 비교하여, 이산화탄소를 보다 적게 발생한다.



Note. ^a N is the number of multi-family housing complex; ^b Prop. is the proportion; ^c Mean is the mean value of the yearly CO₂ emissions per unit area (unit: tCO₂/m²·year); ^d Median is the median value of the yearly CO₂ emissions per unit area (unit: tCO₂/m²·year).

[그림 3-5] 의사결정나무를 이용한 공동주택단지의 군집 분류 결과

(나) 비모수검정(Kruskal-Wallis H)기반 군집의 유효성 검증

공동주택단지의 군집분석 결과에 대한 유효성을 검증하기 위하여, 본 연구는 비모수검정 기법인 Kruskal-Wallis H를 적용하였으며, 사후 분석을 실시하였다. Kruskal-Wallis H는 귀무가설을 설정하고, P-value가 0.05보다 낮을 경우 통계적으로 유의하다고 분석하는 방법으로서, 3개 이상 그룹에 대해 각 그룹의 평균이 통계적으로 유의미한 차이를 갖고 있는지를 분석하는 방법론이다. 하지만, 비모수검정에서 유의미한 결과가 도출되더라도, 이는 적어도 하나 이상의 그룹이 독립적인 분포를 갖는다는 의미이므로, 모든 그룹간의 독립성을 확인하기 위해서는 사후 검증을 통한 비교검증이 필요하다. 사후 검증의 분석방식인 대응별 비교 분석은 두 개의 그룹을 짝지어 각각 비교하는 방식이다. 대응별 비교 분석의 경우, 각 그룹별 대응비교에 대한 분산의 유의확률(P-value)이 0.05보다 작을 경우 대상 그룹과 비교 대상 그룹이 통계적으로 잘 분류된 것으로 판단한다. 이에 따른 결과는 [표 3-10]에서 제시하였다.

[표 3-10] 의사결정나무 분석결과에 대한 사후검증 결과

구분	검정통계량	표준오차	표준검정 통계량	유의확률
Group 1 & Group 2	186.837	15.300	12.212	0.00
Group 1 & Group 3	-142.549	20.561	-6.933	0.00
Group 2 & Group 3	-329.386	20.835	-15.809	0.00

(2) Operational rating system을 이용한 최적 그린리모델링 대상 공동주택단지 결정

의사결정나무 방법론을 통해 도출된 3개의 그룹에 대하여, 각 그룹별 operational rating system을 이용하여 이산화탄소 배출 성능 평가를 수행하고자 한다. operational rating system은 건물 에너지효율등급인증 제도를 운영하기 위하여, 대한민국 정부에서 운영하는 등급 시스템으로서, 건물 에너지 성능에 따라 A등급에서 E등급까지 5단계로 구분한다. 이에 따라, operational rating system은 건물의 에너지 소비에 영향을 미칠 수 있는 건물의 특성을 반영할 수 있기 때문에 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 평가하기에 적합한 방법이다. 한편, operational rating system을 적용하기 위하여, 각 그룹별 온실가스 배출량 벤치마크를 수립해야 하며, 이에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

(가) 공동주택단지의 그룹별 operational rating system 수립

[표 2-11]에서 보는 바와 같이, Operational rating system에 따른 이산화탄소 배출량 등급은 5가지로 구분하며, 이산화탄소 배출량 100을 기준으로, 공동주택단지의 에너지 소비 성능이 우수한 상위그룹(A, B, C)과 에너지 소비 성능이 낮은 하위그룹(D, E)으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 공동주택의 온실가스 배출량에 대한 Operational rating system의 등급체계를 에너지사용량등급과 동일한 5 등급으로 구분하며, 각 등급은 식 (3.4)에 의해 계산된다.

[표 2-11] Operational rating system의 등급 분류

Operational rating (%)	Grade	Note
Under 50	A	Energy efficiency is better than benchmark
50~75	B	
75~100	C	
100~125	D	Energy efficiency is worse than benchmark
Over125	E	

$$OR_i^j = EC_i \times \frac{1}{EB} \times 100 \quad \text{식 (3.4)}$$

여기에서,

OR_i^j : 그룹 j에서 공동주택단지 i의 운영 등급

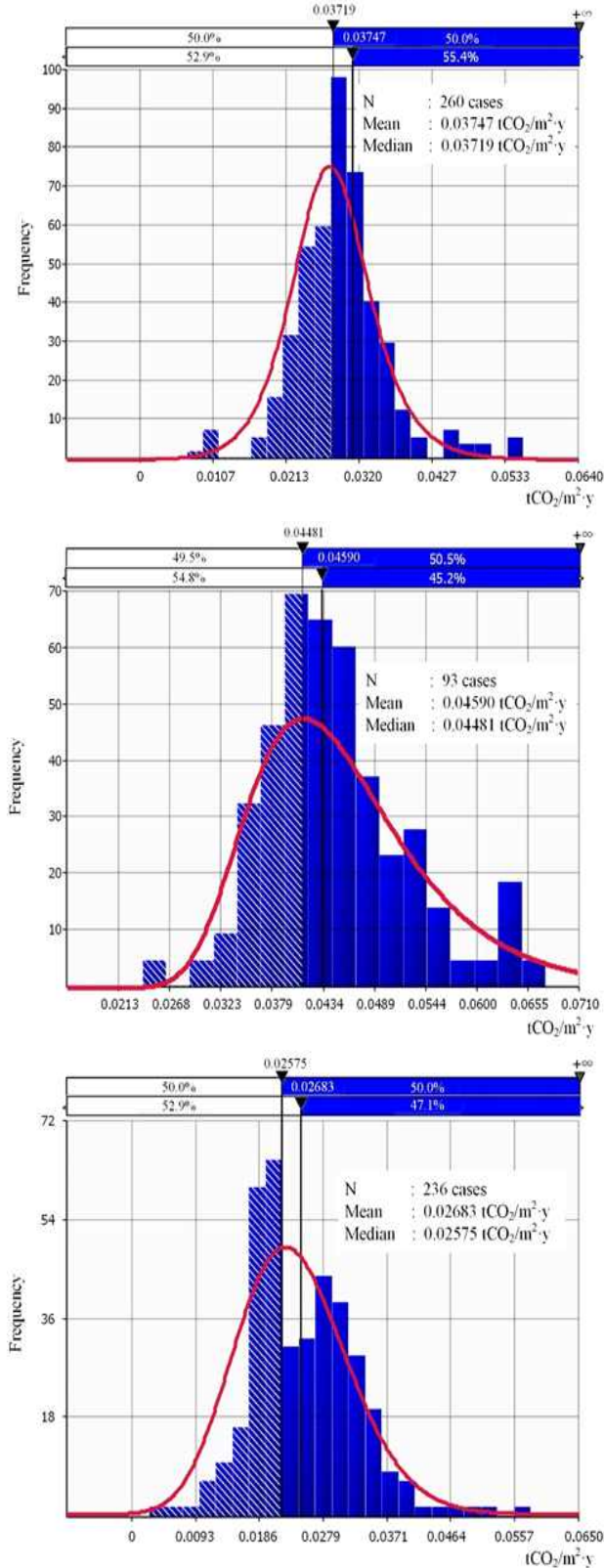
EC_i : 공동주택단지 i의 총 바닥 면적 대비 이산화탄소 배출량

EB : 공동주택단지의 연간 총 바닥 면적 대비 이산화탄소 배출량 기준

(나) 각 그룹별 이산화탄소 배출량 벤치마크 수립

이산화탄소 배출량 벤치마크를 이용하여 각 그룹별 온실가스 배출량 기준을 제시함으로써, 이산화탄소 배출량이 낮은 상위그룹(A, B, C등급)과 이산화탄소 배출량이 높은 하위 그룹(D, E 등급)으로 구분할 수 있다. 기존의 연구들에 따르면, 상위그룹(A, B, C등급)과 하위그룹(D, E 등급)을 50%로 동등하게 분배하는 것이 타당하다고 분석하고 있다. 이를 위해, 현재 에너지사용량등급에서는 에너지 벤치마크로서 평균값을 적용하고 하고 있다. 공동주택단지에 대

한 이산화탄소 배출량의 분포가 정규분포를 따른다면, 평균값 적용하는 것이 타당하다.



[그림 3-6] 그룹별 단위면적당 이산화탄소 배출량 분포

하지만, 이산화탄소 배출량의 분포에 편향을 보인다면, 이산화탄소 배출량 벤치마크 기준으로 평균값을 사용하는 것은 적합하지 않다. [그림 3-6]에서 보는 바와 같이, Group 1, Group 2, Group 3의 총 바닥 면적 대비 이산화탄소 배출량의 분포가 편향되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해, 이산화탄소 배출량 벤치마크로서 평균값을 사용하는 경우, Group 1,

Group 2, Group 3 모두에서, 상위그룹(A, B, C등급)에 속하는 공동주택 단지의 비율이 각각 52.9%, 54.8% 그리고 52.9%인 것으로 나타났다. 반면, 이산화탄소 배출량 벤치마크로서 중간값을 사용하는 경우, Group 1, Group 2, Group 3 모두에서, 상위그룹(A, B, C등급)과 하위그룹(D, E 등급)에 속하는 공동주택단지의 수가 50%로 동일하게 분배되었다. 결과적으로, Group 1, Group 2, Group 3에 대한 이산화탄소 배출량 벤치마크는 각각 0.03719 tCO₂/m²·year, 0.04481 tCO₂/m²·year, 0.02575 tCO₂/m²·year로 설정하였다. 이를 기반으로, 각 그룹별 Operational rating을 산정하여, 공동주택단지에 대한 온실가스 배출 성능을 평가하고자 한다.

[표 3-12] 각 그룹별 이산화탄소 배출량 벤치마크 산정 결과

구분	사례 수 (단지)	이산화탄소 배출량 벤치마크 (tCO ₂ /m ² ·y)	분류
Group 1	260	0.03719	개별난방
Group 2	93	0.04481	중앙난방
Group 3	236	0.02575	지역난방

[표 3-13]은 각 그룹별 공동주택의 이산화탄소 벤치마크를 기반으로, 공동주택단지에 대한 operational rating 결과를 나타내고 있다. 첫째, 본 연구는 공동주택단지에 대한 이산화탄소 배출량 벤치마크로서 평균값을 적용하였다. 이에 따라, 각 그룹별 상위그룹(A, B, C등급)과 하위그룹(D, E 등급)은 각각 균등하게 50%로 분배되는 것을 확인할 수 있다. 둘째, Group 1, Group 2, Group 3에서 E등급에 해당하는 공동주택단지는 각각 17개, 9개, 62개 단지로 산정되었다. 즉, E등급에 해당하는 총 88개 공동주택단지는 그린리모델링이 우선적으로 수행되어야 하는 대상으로 평가할 수 있다.

[표 3-13] Operational rating system 통한 에너지 성능 등급 평가 결과

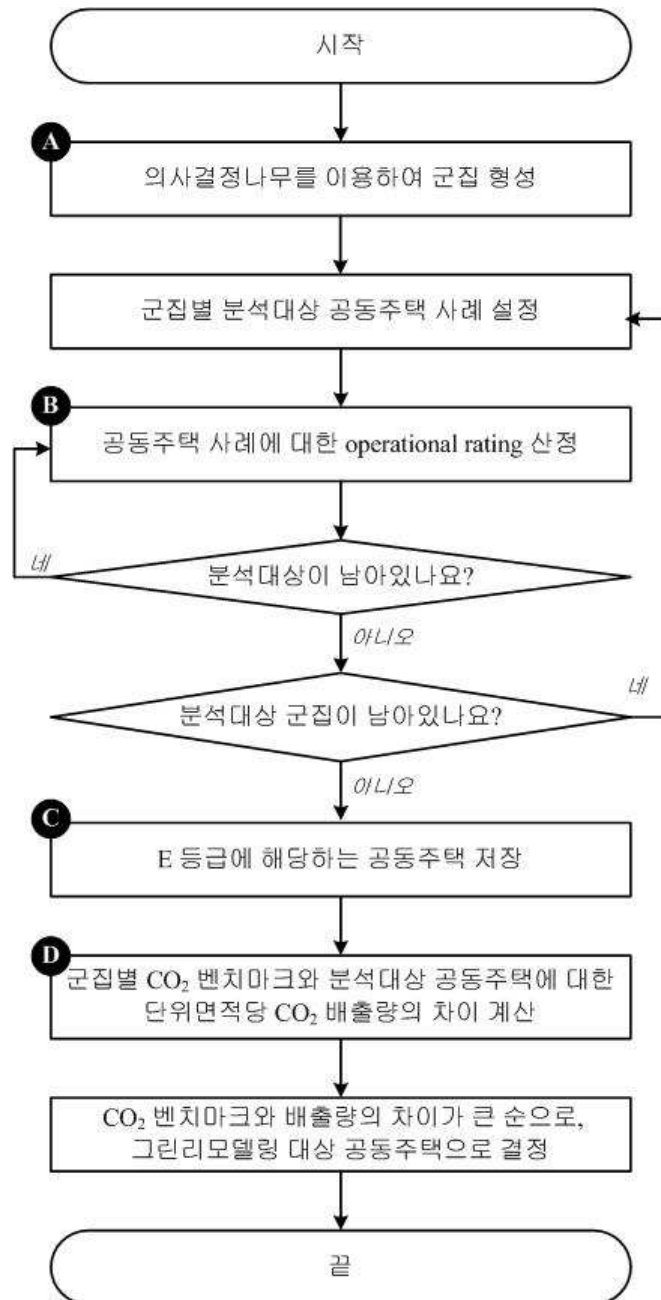
등급	Operational rate	사례 수(비율%)		
		Group 1	Group 2	Group 3
A	50 이하	2 (1%)	0 (0%)	7 (3%)
B	51~75	9 (3%)	2 (2%)	29 (12%)
C	76~100	119 (46%)	45 (48%)	82 (35%)
D	100~125	113 (43%)	37 (40%)	56 (24%)
E	125 이상	17 (7%)	9 (10%)	62 (26%)
총 사례수		260 (100%)	93 (100%)	236 (100%)

라. 단위성과 1-4-①: 그린리모델링 최적 대상 선정 모델 개발

(1) 그린리모델링 최적 대상 선정 프로세스

[그림 3-7]은 의사결정나무와 operational rating system을 기반으로, 공동주택에 대한 그린리모델링 최적 대상 선정 프로세스를 제시하고 있다. 첫째, 의사결정나무를 이용하여, 공동주택에 대한 군집을 형성한다 ([그림 3-7]의 (A) 참조). 둘째, 각 그룹별 공동주택단지에 대한 operational rating을 수행한다 ([그림 3-7]의 (B) 참조). 셋째, 각 그룹에서 이산화탄소 배출량이 높다고 평가되는 E 등급에 해당하는 공동주택단지를 저장한다 ([그림 3-7]의 (C) 참조). 넷째, E 등급에 해당하는 전체 공동주택단지 중에서, 단위면적당 이산화탄소배출량과 이산화탄소

배출량 벤치마크의 차이가 큰 순서대로 정렬한다. 이를 통해, 각 그룹별 E 등급에 해당하는 공동주택단지(그룹 A: 17개, 그룹 B: 9개, 그룹 C: 62개)중에서, 가장 우선적으로 그린리모델링이 수행되어야 하는 공동주택단지를 결정해야 한다. 단위면적당 이산화탄소배출량과 이산화탄소배출량 벤치마크의 차이가 큰 순서로 그린리모델링이 우선적으로 수행되어야 하는 공동주택단지로 선정할 수 있다 ([그림 12]의 (D) 참조).



[그림 3-7] Operational rating system을 이용한 그린리모델링 대상 공동주택단지 선정 프로세스

(2) 그린리모델링 최적 대상 선정 결과

공동주택단지에 대한 operational rating은 A 등급에서 E 등급으로 갈수록, 단위면적당 이산화탄소 배출량이 높은 것을 의미한다. 따라서 E 등급에 해당하는 공동주택단지에 대한 그린

리모델링이 우선적으로 수행되어야 한다. 하지만, 모든 그룹에 대해서 E 등급에 해당하는 88개의 공동주택(Group A: 17개, Group B: 9개, Group C: 62개) 중에서, 최우선적으로 그린리모델링을 수행해야 하는 공동주택을 선정해야 한다. 이에 그룹별로 단위면적당 이산화탄소배출량과 이산화탄소 배출량 벤치마크의 차이를 계산하여 E 등급에서 가장 우선적으로 그린 리모델링을 수행해야 하는 공동주택단지를 분석하였으며, 그 결과는 [표 3-14]와 같다. 첫째, 1,089번째 공동주택단지는 단위면적당 이산화탄소배출량과 이산화탄소 배출량 벤치마크의 차이가 0.0368 tCO₂/m² 으로 산정되어, 최우선적으로 그린리모델링을 수행해야 대상으로 분석되었다. 둘째, 963번째 공동주택단지는 단위면적당 이산화탄소배출량과 이산화탄소 배출량 벤치마크의 차이가 0.0065 tCO₂/m² 으로 산정되어, E 등급에 해당하는 88개의 공동주택단지 중에서 가장 우선 순위가 낮은 공동주택단지로 분석되었다.

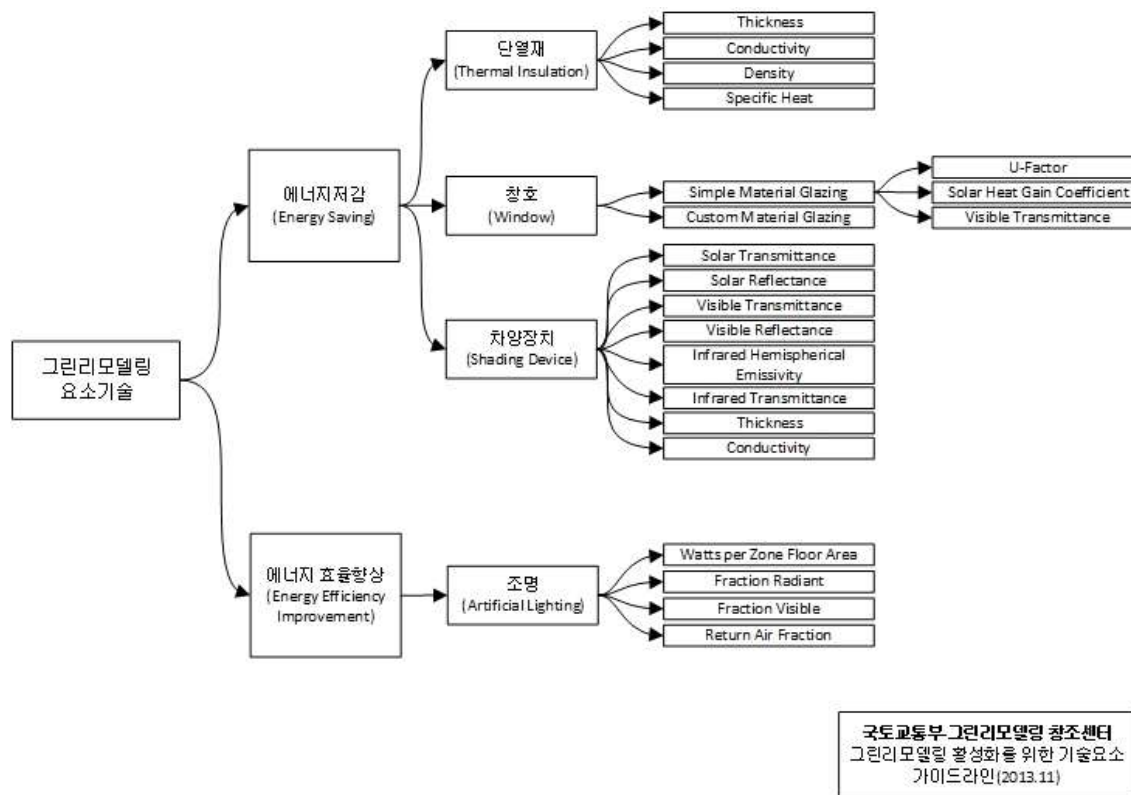
<표 3-14> 총 바닥 면적 대비 이산화탄소 배출량과 그룹 별 이산화탄소 배출량 기준 차이 기반 목표 다가구 공동주택단지 순위

순위	공동주택 단지	그룹	Operational rating (%)	단위면적당 이산화탄소 배출량 (tCO ₂ /m ²)	단위면적당 이산화탄소 배출량과 이산화탄소 배출량 벤치마크의 차이 (tCO ₂ /m ²)
1	1,089	3	242.89	0.0625	0.0368
2	995	3	214.99	0.0554	0.0296
3	1,012	3	203.46	0.0524	0.0266
4	967	1	168.01	0.0625	0.0253
5	961	1	167.72	0.0624	0.0252
6	686	1	166.49	0.0619	0.0247
7	537	3	194.83	0.0502	0.0244
8	1,010	3	185.55	0.0478	0.0220
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
40	876	1	131.05	0.0487	0.0115
41	958	1	130.85	0.0487	0.0115
42	977	3	144.42	0.0372	0.0114
43	351	3	144.28	0.0371	0.0114
44	752	3	143.83	0.0370	0.0113
45	928	3	143.65	0.0370	0.0112
46	749	2	125.04	0.0560	0.0112
47	856	2	125.00	0.0560	0.0112
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
81	313	3	126.99	0.0327	0.0069
82	751	3	126.74	0.0326	0.0069
83	925	3	126.20	0.0325	0.0067
84	627	3	126.20	0.0325	0.0067
85	1,035	3	126.10	0.0325	0.0067
86	935	3	126.03	0.0324	0.0067
87	1,051	3	125.44	0.0323	0.0066
88	963	3	125.17	0.0322	0.0065
			총합		1.1517

2. 핵심성과 2: 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(SMOT) 개발

가. 단위성과 2-1-①: 그린리모델링 요소기술 데이터 수집

기존 건축물에 대한 그린리모델링을 활성화하기 위하여, 건물 에너지 시뮬레이션 기반의 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 개발이 필요하다. 그린리모델링 최적 요소기술 적용에 따른 기존 건축물의 에너지 및 온실가스 배출량 절감은 분석대상 건물에 적용되는 그린리모델링 요소기술의 조합에 따라 결정된다. 본 연구는 그린리모델링 요소기술로서, 한국토지주택공사 그린리모델링 창조센터에서 제공하고 있는 4개의 건축요소인 단열재, 창호, 조명, 그리고 차양을 선정하였으며, 이를 활용해 사용자가 다양한 시스템 대안을 생성할 수 있도록 하였다 ([그림 3-8 참조]).



[그림 3-8] 그린리모델링의 요소기술

(1) 단열재의 종류 및 비용정보 수집

건물에서의 단열재는 외부의 온기와 냉기를 차단하여, 냉난방 부하를 효율적으로 줄일 수 있는 요소기술이다. 단열재가 갖는 고유 특성은 열전도율²⁸⁾, 밀도²⁹⁾, 열용량³⁰⁾으로 구분할 수 있다. 이를 적용하기 위해서, 국내에서 실제로 사용되고 있는 단열재를 대상으로, 단열재의 종류 및 비용에 대한 정보를 수집하였다. 본 연구에서는 한국산업표준(KS)으로 인증 받은 단열재들을 대상으로 정보를 수집하였으며, 이는 성능기준에 따라 4개의 등급 (가, 나, 다, 그리고 라)으로 분류되어 있다. 단열재 수집 결과는 [표 3-15]와 같다. 단열재의 가격의 경우, 물가정

²⁸⁾ 열전도율이란, 두께가 1미터인 재료의 열전달 특성이며, 단위는 W/mk 또는 kcal/mh℃ 이다.

²⁹⁾ 밀도란, 단열재의 부피당 질량을 나타내는 값이다. 밀도가 높을수록, 단열재의 높은 성능을 보장한다. 단위는 kg/m³이다.

³⁰⁾ 열용량이란, 단열재의 온도를 1℃ 높이는데 드는 열량이다. 단위는 J/kg/K이다.

보지 (2017.03) 및 전문업체의 유통가격에 근거하여 산출하였으며, 시공 노무비의 경우에는 표준품셈 및 업체의 일위대가에 근거하여 노임단가로 산출하였다.

[표 3-15] 단열재의 종류별 성능

종류		열전도율 (W/mk,at 20℃)	밀도 (kg/m³)	열용량 (J/kg/k)	등급분류
I1	압출법 보온판 (특호)	0.027	35	1500	"가"
I2	압출법 보온판 (1호)	0.028	30	1500	"가"
I3	압출법 보온판 (2호)	0.029	25	1500	"가"
I4	압출법 보온판 (3호)	0.031	20	1500	"가"
I5	비드법 보온판 1종 (1호)	0.036	30	1500	"나"
I6	비드법 보온판 1종 (2호)	0.037	25	1500	"나"
I7	비드법 보온판 1종 (3호)	0.04	20	1500	"나"
I8	비드법 보온판 1종 (4호)	0.043	15	1500	"다"
I9	비드법 보온판 2종 (1호)	0.031	30	1500	"가"
I10	비드법 보온판 2종 (2호)	0.032	25	1500	"가"
I11	비드법 보온판 2종 (3호)	0.033	20	1500	"가"
I12	비드법 보온판 2종 (4호)	0.034	15	1500	"가"
I13	경질우레텐폼 보온판 2종 (1호)	0.023	45	1500	"가"
I14	경질우레텐폼 보온판 2종 (2호)	0.023	35	1500	"가"
I15	미네랄 보온판 (3호)	0.038	230	850	"나"
I16	미네랄 보온판 (2호)	0.036	130	850	"나"
I17	미네랄 보온판 (1호)	0.037	85	850	"나"
I18	미네랄 보온판 (펠트)	0.038	55	850	"나"
I19	글라스울 보온판 (80K)	0.034	80	830	"가"
I20	글라스울 보온판 (64K)	0.034	64	830	"가"
I21	글라스울 보온판 (48K)	0.034	48	830	"가"
I22	글라스울 보온판 (40K)	0.035	40	830	"나"
I23	글라스울 보온판 (32K)	0.037	32	830	"나"
I24	글라스울 보온판 (24K)	0.038	24	830	"나"

단열재의 경제성 및 환경성을 분석한 과거 연구들은 공통적으로, 단열재의 두께를 중심으로 다양한 결과들이 도출하고 있다. 또한, 단열재의 시공단가를 최소화 하면서, 단열 성능을 최대화 시키는 최적 단열재의 두께를 중심으로 다양한 결과들이 도출되었다. 또한, 단열재의 시공단가를 최소화 하면서, 단열 성능을 최대화 시키는 최적 단열재의 두께를 선정하는 논문들도 다수를 이루었다. 이는, 단열재의 두께가 단열재 성능을 평가하는 주요 지표인 열관류율³¹⁾과 밀접한 관계를 이루고 있기 때문이다. (식 (3.5) 참조).

$$U = \frac{k}{L} \quad \text{식 (3.5)}$$

여기에서,

- U : 열관류율 (W/m²K)
- k : 열전도율 (W/mk,at 20℃)
- L : 단열재 두께 (m)

31) 열관류율이란, 두께를 가진 재료의 열전도 특성이며, U값이라고도 한다. 값이 낮을수록 단열재의 높은 성능을 보장하며, 단위는 W/m²K이다.

단열재 두께는 경제성과 환경성을 모두 고려할 수 있는 변수이며, 최적의 두께를 구하기 위해서는 대안분석을 수행해야 한다. 이를 위해서, 국토교통부에서 고시하고 있는 “건축물의 에너지절약설계기준 해설서”에 제시되어 있는 단열재 두께 기준을 활용하였다 ([표 3-16] 참조). 이는, 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위하여 열손실 방지 등 에너지절약 설계에 관한 기준 및 녹색건축을 활성화하기 위한 건축 기준으로써, 건축물을 건축하는 건축주와 설계자 등이 건축물의 설계 시 필수적으로 적용해야 하는 사항이다.³²⁾ 기존 공동주택에 적용할 수 있는 단열재는 내단열 시스템으로 적용하였으며, “건축물의 에너지절약설계기준 해설서”에서 제시하고 있는 “거실의 외벽 중에서 외기에 간접으로 면하는 경우”에 따른 허용두께를 기준으로 그린리모델링 대안을 선정하였다. 물가정보지에 제시되어 있는 단열재의 두께들은 대부분 5mm 단위로 가격정보가 형성되어 있기 때문에, 본 연구에서도 5mm 단위로 단열재의 대안들을 생성하였다.

[표 3-16] 남부지역의 건축물의 에너지절약설계기준 (단열재 두께)

건축물의 부위			단열재 등급별 허용 두께			
			가	나	다	라
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	125	145	165	185
		공동주택 외	100	115	130	145
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	80	95	110	120
		공동주택 외	65	75	90	95
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		180	215	245	270
	외기에 간접 면하는 경우		120	145	165	180
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	140	165	190	210
		바닥난방이 아닌 경우	130	150	175	195
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	95	110	125	140
		바닥난방이 아닌 경우	90	105	120	130
바닥난방인 층간바닥			130	35	45	50

(2) 창호의 종류 및 비용정보 수집

그린리모델링의 요소기술 중 창호는 단열성능 및 기밀성능을 향상시킬 수 요소로서, 창호의 종류에 따라 열 획득 또는 열 차단 효과를 가져올 수 있다. 이러한 창호의 특성에 따라, 냉·난방 부하 저감에 영향을 주고, 건축물의 1차 에너지 소요량 감소를 기대할 수 있다. 창호의 성능을 평가하기 위한 요소로는 열관류율, 일사획득계수³³⁾, 일사투과율³⁴⁾, 가시광선투과율³⁵⁾이 있다. 창호의 종류는 국내에서 생산되는 창호의 규격 중 효율관리기자재운용규정³⁶⁾에서 제시하는 최대 열관류율 기준인 3.4W/m²K 이하의 열관류율을 갖는 창호 제품을 기준으로 선정

³²⁾ 건축물의 에너지절약설계기준 해설서; 국토교통부, 2016

³³⁾ 일사획득계수(Solar Heat Gain Coefficient)란, 유리창을 통해 일사획득의 정도를 나타낸 것이다. 0.0-0.1의 수치로 표현되며, 0에 가까울수록 일사획득량이 감소하고, 1에 가까울수록 일사획득량이 증가한다.

³⁴⁾ 일사투과율(Solar Transmittance)이란, 유리에 입사한 일사에너지에 대한 투과 에너지 비율을 말한다.

³⁵⁾ 가시광선투과율(Visible Light Transmittance)이란, 유리창을 통한 빛의 통과 정도를 말한다. 0-100%의 수치로 표현되며, 0에 가까울수록 빛의 통과가 적고, 100에 가까울수록 빛의 통과가 많다. 빛이 많이 필요한 공간은 가시광선 투과율이 높은 유리를 계획하고, 적게 필요한 공간은 가시광선 투과율이 낮은 유리로 계획해야 한다.

³⁶⁾ 효율관리기자재운용규정; 지식경제부, 2012

하였다 ([표 3-17] 참조). 창호의 가격은 물가정보지 (2017.03) 및 전문 업체의 유통가격에 근거하여 산출하였다. 시공 노무비 산출을 위해서는 표준품셈 및 업체의 일위대가에 근거하여 노임단가로 산출하였다.

[표 3-17] 창호의 종류별 성능

번호	창호종류	열관류율 (W/m ² K)	일사획득 계수	가시광선 투과율	단가 (US\$/m ²)
W1	(Clr5+Air6+Clr5) & (Clr5+Air6+Clr5)	1.642	0.537	0.623	44.52
W2	(Clr5+Air12+Clr5) & (Clr5+Air6+Clr5)	1.512	0.545	0.623	49.98
W3	(Clr6+Air12+Clr6) & (Clr5+Air6+Clr5)	1.507	0.546	0.623	53.79
W4	(Clr5+Air12+Clr5) & (Clr5+Air12+Clr5)	1.408	0.539	0.623	55.44
W5	(Clr6+Air12+Clr6) & (Clr5+Air12+Clr5)	1.403	0.54	0.623	59.25
W6	(Clr6+Air12+Clr6) & (Clr6+Air12+Clr6)	1.399	0.539	0.623	63.06
W7	(Low-E Clr5+Air12+Clr5) & (Clr5+Air6+Clr5)	1.166	0.487	0.601	61.67
W8	(Low-E Clr6+Air12+Clr6) & (Clr5+Air6+Clr5)	1.163	0.469	0.594	63.40
W9	(Low-E Clr5+Air12+Clr5) & (Clr5+Air12+Clr5)	1.103	0.482	0.601	67.13
W10	(Low-E Clr5+Air12+Clr5) & (Clr6+Air12+Clr6)	1.1	0.482	0.601	68.86
W11	(Low-E Clr6+Air12+Clr6) & (Clr5+Air12+Clr5)	1.1	0.464	0.594	70.94
W12	(Low-E Clr6+Air12+Clr6) & (Clr6+Air12+Clr6)	1.097	0.463	0.594	72.67

(3) 조명의 종류 및 비용정보 수집

조명부하를 줄이기 위해 사용하는 LED (Light Emitting Diode)³⁷⁾는 일반 조명기구(형광 등)에 비해 에너지 절감효과가 우수한 것으로 평가받고 있다. 또한, 장시간 사용이 가능한 반영구적 수명을 지니고 있기 때문에 친환경적이다. 이처럼 LED 조명의 필요성이 급증하고 있기 때문에 국내에서는 고효율 기자의 공급을 촉진하기 위하여 효율관리제도와 관련한 여러 가지 보급지원정책을 시행하고 있다 (예를 들어, 장려금지원, 우수 조달물품 지정, 공공기관 사용 의무화 등). LED 조명의 종류 및 비용정보는 다음과 같다 ([표 3-18] 참조).

[표 3-18] LED조명의 종류별 성능

종류		조명 에너지(W)	Radiant Fraction	Visible Fraction	단가(US\$/EA)
L1	천장에 매달린 형태	382	0.42	0.18	51.97 ~ 90.95
L2	천장에 붙어있는 형태	382	0.72	0.18	51.97 ~ 90.95
L3	루버형 천장에 설치된 형태	382	0.37	0.18	51.97 ~ 90.95
L4	천장에 매립된 형태	382	0.37	0.18	51.97 ~ 90.95

(4) 차양의 종류 및 비용정보 수집

차양은 창호를 통해 유입되는 일사량을 조절할 수 있는 장치로서, 건물 에너지 절감 및 쾌적한 실내 환경을 조성할 수 있는 요소이다. 차양 장치는 커튼(Curtain), 롤업셰이드(Roll-up shade), 베니션 블라인드(Venetian blind)로 구분할 수 있다. 이들에 대한 성능 평가를

³⁷⁾ LED (Light Emitting Diode)란, 순방향으로 전압을 가했을 때 발광하는 반도체 소자이다. 백열등에 비하여 낮은 전력소비, 긴 수명, 친환경적인 특성으로 각종 광원 및 조명 등 다양한 분야에서 사용된다.

수행하기 위하여, 일사투과율, 일사반사율, 가시광선 투과율, 그리고 가시광선 반사율 정보를 수집하였다. 또한, 차양 장치의 성능 평가 요소를 구성하기 위하여 미 에너지부에서 개발한 건물의 열 유동 및 열 해석 시뮬레이션 도구인 BLAST³⁸⁾에서 제공하는 차양 장치 데이터를 활용하였다([표 3-19] 참조).

① 커튼(Curtain)

커튼은 주로 천 형태의 모직물을 이용하여 만들어진 내부차양 장치를 일컫는다. 다양한 색상, 형태, 길이를 연출할 수 있기 때문에 내부 장식으로도 활용한다.

② 롤업셰이드(Roll-up shade)

롤업셰이드는 갈대, 대나무와 같은 유연한 재료를 이용하여 와이어로프로 둥글게 말아 올리거나 접어 사용하는 실내 차양장치이다.

③ 베니션 블라인드(Venetian blind)

베니션 블라인드는 크게 알루미늄 슬랫과 타공 슬랫으로 나뉘어진다. 알루미늄 슬랫은 습기에 강하고 구겨짐에 강하기 때문에 커튼이나 롤업셰이드 보다 유지보수 및 수명 측면에서 나은 효율을 보인다. 타공 슬랫은 슬랫을 완전하게 접었을 때도 외부전경을 보장받을 수 있는 특징이 있다.

[표 3-19] 차양의 종류별 성능

번호	종류	일사 투과율	일사 반사율	가시광선 투과율	가시광선 반사율	단가 (US\$/m)
S1	커튼 (close weave dark)	0.05	0.10	0.05	0.10	12.99
S2	커튼 (close weave light)	0.05	0.30	0.05	0.30	12.99
S3	커튼 (close weave medium)	0.05	0.55	0.05	0.55	12.99
S4	커튼 (open weave dark)	0.45	0.15	0.45	0.15	12.99
S5	커튼 (open weave light)	0.45	0.25	0.45	0.25	12.99
S6	커튼 (open weave medium)	0.45	0.40	0.45	0.40	12.99
S7	커튼 (semi open weave dark)	0.70	0.05	0.70	0.05	12.99
S8	커튼 (semi open weave light)	0.70	0.15	0.70	0.15	12.99
S9	커튼 (semi open weave medium)	0.70	0.25	0.70	0.25	12.99
S10	롤업셰이드 (light opaque)	0.05	0.50	0.05	0.50	15.59
S11	롤업셰이드 (light translucent)	0.40	0.45	0.40	0.45	15.59
S12	롤업셰이드 (medium opaque)	0.05	0.35	0.05	0.35	15.59
S13	롤업셰이드 (medium translucent)	0.30	0.25	0.30	0.25	15.59
S14	베니션 블라인드 (light)	0.65	0.25	0.65	0.25	15.59
S15	베니션 블라인드 (medium)	0.60	0.12	0.60	0.12	15.59

³⁸⁾ BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics)란, 미 국방부 (U.S. Department of Defense)에서 1970년대에 개발한 열유동 및 열해석 시뮬레이션 도구이다.

나. 단위성과 2-2-①: 공동주택 표준모델 수립

공동주택 표준모델을 수립하기 위하여, 건축도면 및 시방서 등 기본적인 정보와 함께, 에너지 사용 양상을 파악할 필요가 있다. 공동주택 단지의 에너지 사용 양상에 영향을 미치는 요인은 크게 건축물의 물리적 요인과 거주자의 행태적 요인으로 구분할 수 있다. 첫째, 물리적 요인은 공동주택 단지의 단열재, 창면적비 등과 같이, 건축도면 및 시방서를 활용하여 객관적으로 파악할 수 있는 외적 요소 및 기후특성과 같이 에너지 시뮬레이션에 지대한 영향을 미치는 환경적 요소를 의미한다. 둘째, 행태적 요인은 가전제품의 종류 및 개수, 실내온도, 거주시간 등과 같이 거주자의 선호도에 따라 달라지는 내적 요소이다. 이와 같은 거주자의 행태적 요인은 건축물의 물리적 요인과는 달리, 객관적으로 파악하기 어렵다는 특징이 있다.

(1) 공동주택 표준모델 수립을 위한 물리적 요인 설정

(가) 기후특성

기본 공동주택의 지역 정보 및 기후 정보를 반영하기 위해서 건물에너지 시뮬레이션에서 활용할 수 있는 기후데이터를 수집하였다. 기후특성의 대표성을 지닌 지역 (중부지역³⁹), 남부지역⁴⁰), 제주도)들로 구분하였으며, 이는 패시브 건축물 및 제로에너지 건축물 달성을 위한 “건축물의 에너지절약설계기준 해설서”에 제시되어 있는 지역 분류를 이용하였다.⁴¹⁾

(나) 전용면적

공동주택의 에너지 성능을 정확하게 평가하기 위해서는 다양한 면적에 따른 대표성을 지닌 표준모델이 필요하다. 또한, 세대의 전용면적은 냉방과 난방 면적에 영향을 주기 때문에 정확한 분석을 위해 고려해야 하는 필수요소이다. 본 연구에서는 공동주택의 세대면적의 표준화를 위해서 국토교통부에서 제시하고 있는 “친환경 주택의 건설기준 및 성능평가 지침”에서 제시하는 표준주택 설계도면을 이용하였다. 친환경주택의 건설 기준 및 성능평가 지침에는 국내 공동주택 사례를 분석하여 다양한 면적에 해당하는 벽체, 창호, 바닥, 지붕 등의 면적기준을 포함하고 있다.⁴²⁾ [그림 3-9]은 지침에 구성되어 있는 5개의 공동주택 전용면적 별 설계 도면이다.

(2) 공동주택 표준모델 수립을 위한 행태적 요인 설정

교육시설물 또는 오피스 건물의 경우에는 일상적인 운영 스케줄 및 근무 시간 등의 거주자의 에너지 사용 양상을 분석할 수 있는 참고자료가 존재한다. 또한, 이러한 건축물 유형에 대해서는, 일반적으로 에너지 사용이나 시설물 운영이 중앙에서 통제 및 관리하는 경우가 대부분이므로, 에너지 사용 양상이 비교적 규칙적이다. 반면, 공동주택의 경우에는, 각 세대별 거주

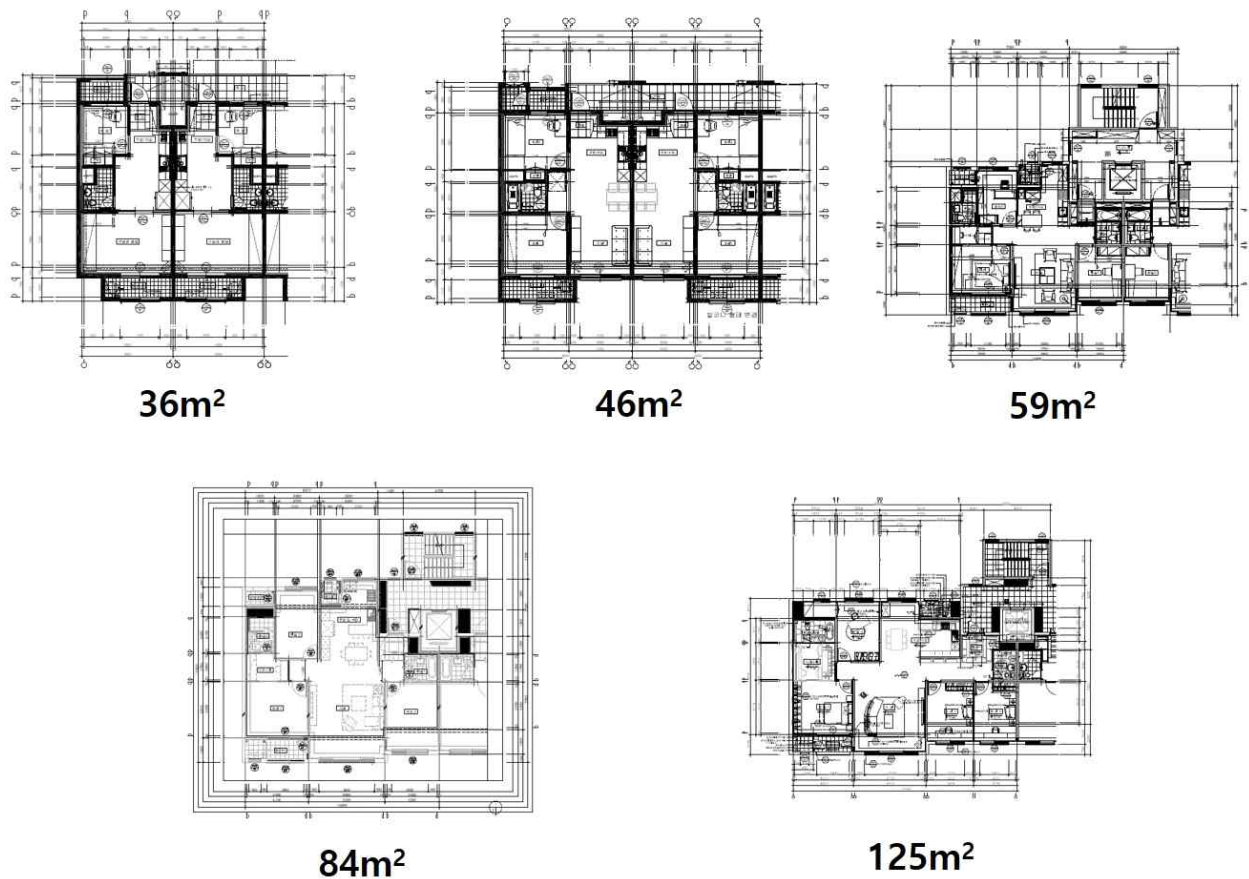
39) 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도 (강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도 (영동군 제외), 충청남도 (천안시), 경상북도 (청송군)

40) 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 강원도 (강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 충청북도 (영동군), 충청남도 (천안시 제외), 전라북도, 전라남도, 경상북도 (청송군 제외), 경상남도, 세종특별자치시

41) 건축물의 에너지절약설계기준 해설서; 국토교통부, 2015

42) 친환경 주택의 건설기준 및 성능평가 지침; 국토교통부, 2010

자의 선호도에 따라 에너지 사용 양상이 달라지므로, 표준화된 건물 운영 스케줄을 설정하기 어렵다는 한계점이 있다. 이에 따라, 기존에 수행되었던 대부분의 연구들은 주로 채실자 설문 조사를 기반으로 건물 에너지 사용 행태를 분석하고 있다⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾. 하지만, 설문조사의 경우 데이터 수집을 위해 많은 비용과 시간이 소모될 뿐만 아니라, 연구결과의 적용 및 확장에도 한계가 나타난다. 본 연구에서는 거주자의 에너지 사용 양상을 분석하기 위하여, 지식경제부에서 발간한 ‘에너지 총조사 보고서 (2014)’와 전력거래소에서 발간한 ‘가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사 결과보고서 (2013)⁴⁷⁾’를 참고하였다. 에너지 총조사 보고서는 20,000여 건의 표본조사를 통해, 건축물의 형태, 규모, 지역, 에너지원 등에 따른 에너지 사용량 통계정보를 제공하며, 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사 결과보고서는 4,000여 건의 표본조사를 통해, 공동주택의 규모 및 계절에 따른 가전제품의 보유대수, 사용시간, 소비전력 등에 대한 통계정보를 제공한다.



[그림 3-9] 기본주택의 에너지 모델 평면 (84m²)

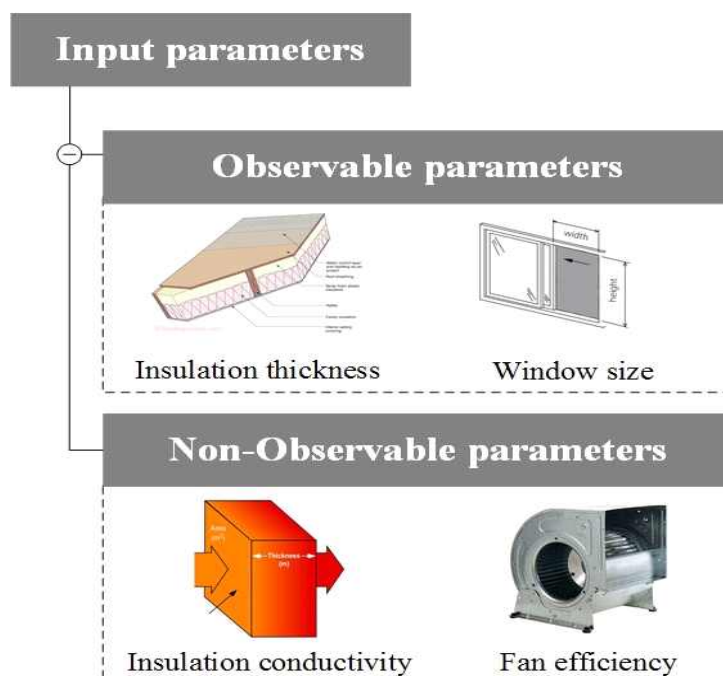
- 43) Tso, G., Yau, K. (2007). "Predicting electricity energy consumption: a comparison of regression analysis, decision tree and neural networks." Energy 32(9), 1761-8.
- 44) Ouyang, J., Hokao, K. (2009). "Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China." Energy and Buildings 41(7), 711-720.
- 45) Lopes, L., Hokoi, S., Miura, H., Shuhei, K. (2005). "Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings - research methodology and surveyed results." Energy and Buildings 37(7), 698-706.
- 46) Wood, G., Newborough, M. (2005). "Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances : environment, behaviour and design." Energy and Buildings 35(8), 821-841.
- 47) 한국 전력거래소 (2011). 2011년 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사 결과 보고서, 한국 전력거래소

다. 단위성과 2-3-①: 기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발

건물에너지 시뮬레이션 결과의 정확성과 신뢰성은 시뮬레이션 도구의 성능을 평가하는 척도로 활용되어 왔다. 특히, 에너지 절감 기술(Energy saving measure) 적용에 따른 에너지 절감 효과를 정확하게 평가하기 위하여, 기준 에너지 시뮬레이션 모델(Base simulation model)의 시뮬레이션 정확도를 향상시키는 것이 필요하다. 하지만, 정확한 실측과정을 거치지 않는 한 시뮬레이션으로부터 추출된 결과와 실제 결과가 다소 차이가 나는 한계점이 발생한다. 이를 해결하기 위하여, 에너지 시뮬레이션 소프트웨어(Designbuilder Ver. 5와 EnergyPlus Ver. 8.5.0)과 최적화 알고리즘(유전자 알고리즘)을 이용하여, 건물 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발하였다. 기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발은 크게 2가지 단계로 수행되었다: (i) 건물 에너지 시뮬레이션 모델에 대한 파라미터 선정, (ii) 최적화 알고리즘을 이용한 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발.

(1) 건물 에너지 시뮬레이션 모델에 대한 매개변수 선정

건물 에너지 시뮬레이션은 실제와 유사한 다양한 환경을 고려하여 분석을 수행할 수 있다. 건물 에너지 시뮬레이션을 수행하기 위한 가상의 환경은 매개변수로 설정할 수 있으며, 이러한 매개변수를 실제와 유사하게 설정할 경우 건물 에너지 시뮬레이션 결과의 정확도가 향상된다. 따라서 분석자는 건물 에너지 시뮬레이션을 수행하는 과정에서 최적의 매개변수를 결정하는 것이 필요하다. 이를 위해, 기존 연구들은 에너지 시뮬레이션을 수행하기 위한 최적의 매개변수를 설정하기 위하여, 에너지 소비량과 에너지 시뮬레이션 모델의 매개변수 사이의 상관관계를 분석하였다.



[그림 3-10] 입력 매개변수의 범주화

[표 3-20] 건물에너지 시뮬레이션의 자동보정을 위한 매개변수 범주에 관한 연구사례

매개변수 범주	에너지 성능 요소의 예제	참조
Observable parameters	Window size, Insulation thickness, Equipment multiplier, etc.	Mustafaraj 외 4명 (2014), Yang and Becerik-Gerber (2015), Royapoor and Roskilly (2015), Kim and Haber (2015), Cipriano 외 5명 (2015), Heo 외 3명 (2012), Sun and Reddy (2006), Westphal and Laberts (2015), Güçyeter and Günaydın (2012) ⁴⁸⁾
Non-Observable parameters	Light radiant fraction, Solar heat gain coefficient, Door open / close status, Indoor temperature set-point, Occupancy schedule, etc.	Yang and Becerik-Gerber (2015), Chu and Yang (2013) ⁴⁹⁾ , Heo 외 3명 (2012) ⁵⁰⁾ , Mustafaraj 외 4명 (2014), Yang and Becerik-Gerber (2015), Pan 외 2명 (2007) ⁵¹⁾ , Raftery 외 2명 (2011) ⁵²⁾ , Royapoor and Roskilly (2015) ⁵³⁾ , Kim and Haber (2015) ⁵⁴⁾ , Cipriano 외 5명 (2015) ⁵⁵⁾ , Heo 외 3명 (2012), Sun and Reddy (2006) ⁵⁶⁾ , Westphal and Laberts (2015) ⁵⁷⁾

건물 에너지 시뮬레이션 모델을 수립하기 위하여, observable parameter와 non-observable parameter를 결정해야 한다 ([그림 3-10] 참조)⁵⁸⁾. Observable parameter는 도면 및 시방서를 통해 실제 값을 확인할 수 있는 것으로서, 연면적, 벽체 면적 등을 의미한다. 반면, non-observable parameter는 도면 및 시방서를 통해 실제 값을 확인하기 어려운 것으로서, 건물의 운영 및 유지관리 단계에서 변화되는 수치(i.e., 침기율, 냉방기기의 효율 등)를 의미한다 ([표 3-20] 참조). 이에 따라, 기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법을 개발하기 위하여, observable parameter와 non-observable parameter는 각각 다음의 프로세스로 결정하였다.

첫째, observable parameter는 연면적, 벽 면적 등과 같이 건축도서(도면, 시방서 등)를 통해 확인할 수 있는 정보이다. 따라서 이러한 정보를 바탕으로, 표준 공동주택에 대한 기준 시뮬레이션 모델은 에너지 시뮬레이션 소프트웨어인 Design builder Ver. 5와 EnergyPlus Ver. 8.5.0을 이용하여 수립되었다.

둘째, non-observable parameter는 침기율, 냉방기기의 효율 등과 같이 운영 및 유지관리 단계에서 변화되는 값으로서, 그 값을 결정하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 연

48) Güçyeter, B., & Günaydın, H. M. (2012). Optimization of an envelope retrofit strategy for an existing office building. *Energy and Buildings*, 55, 647-659.

49) Chu, S. C., & Yang, H. L. (2013, June). One-time ray-tracing method for the optimization of illumination system. In *Proc. of SPIE Vol (Vol. 8769, pp. 87692M-1)*.

50) Heo, Y., Choudhary, R., & Augenbroe, G. A. (2012). Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty. *Energy and Buildings*, 47, 550-560.

51) Pan, Y., Huang, Z., & Wu, G. (2007). Calibrated building energy simulation and its application in a high-rise commercial building in Shanghai. *Energy and Buildings*, 39(6), 651-657.

52) Raftery, P., Keane, M., & O'Donnell, J. (2011). Calibrating whole building energy models: An evidence-based methodology. *Energy and Buildings*, 43(9), 2356-2364.

53) Royapoor, M., & Roskilly, T. (2015). Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings*, 94, 109-120.

54) Kim, K. H., & Haber, J. S. (2015). Development of methodology for calibrated simulation in single-family residential buildings using three-parameter change-point regression model. *Energy and Buildings*, 99, 140-152.

55) Cipriano, J., Mor, G., Chemisana, D., Pérez, D., Gamboa, G., & Cipriano, X. (2015). Evaluation of a multi-stage guided search approach for the calibration of building energy simulation models. *Energy and Buildings*, 87, 370-385.

56) Sun, J., & Reddy, T. A. (2006). Calibration of building energy simulation programs using the analytic optimization approach (RP-1051). *HVAC&R Research*, 12(1), 177-196.

57) Westphal, F. S., & Lamberts, R. (2005, August). Building simulation calibration using sensitivity analysis. In *Ninth International IBPSA Conference* (pp. 1331-1338).

58) Yang, Z., & Becerik-Gerber, B. (2015). A model calibration framework for simultaneous multi-level building energy simulation. *Applied Energy*, 149, 415-431.

구에서는 EnergyPlus Ver. 8.5.0와 최적화 알고리즘을 이용하여, non-observable parameter들의 값을 결정하고자 하였다.

(2) 최적화 알고리즘을 이용한 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발

실제 에너지 사용량과 시뮬레이션 결과값의 오차를 줄이기 위하여, 시뮬레이션 모델에 대한 최적 매개변수를 결정하는 것이 필요하다. 본 연구는 EnergyPlus Ver. 8.5.0에 적용되는 non-observable parameter의 최적값을 도출하기 위하여, 유전자 알고리즘을 적용하고자 한다. 유전자 알고리즘은 자연세계의 진화과정에 기초한 계산 모델 및 전역 최적화 기법으로서, 생물의 진화를 모방했으며 세대(Population), 돌연변이(Mutation), 교배(Crossover) 연산 등을 차용하였다. 특히, 유전자 알고리즘은 병렬적이고 전역해를 탐색하는 성능이 우수한 알고리즘으로서, 다양한 공학연구 분야에서 활용되고 있다⁵⁹⁾. [표 2-21]은 유전자 알고리즘의 의사코드를 나타내고 있으며, 초기화(Initialize), 세대의 생성(Generate), 평가(Evaluate), 교체(Replace) 등을 확인할 수 있다⁶⁰⁾.

[표 2-21] 유전자 알고리즘의 의사코드

-
1. **Initialize** a population of μ individuals
 2. **Evaluate** the μ individuals
 3. **While** Stopping criteria
 4. **Generate** λ offsprings from parents
 5. **Evaluate** the λ offspring
 6. **Replace** the population with μ individuals from parents and offsprings
 7. **End While**
 8. **Output** Best individual or population found.
-

한편, Non-observable parameter의 최적화를 위해, 조정 파라미터 (adjustable parameter), 최적화 목적함수 (optimization objective), 제약변수 (constraint)은 다음과 같이 결정하였다.

(가) 조정 파라미터 (adjustable parameter)

기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법의 최종 목적은 기존 공동주택을 대상으로 모델링된 시뮬레이션 결과의 정확도를 향상시키는 것이다. 하지만, 공동주택을 구성하고 있는 요소들(단열재, 창호, 창면적비)과 관련된 속성을 매개변수로 지정하는 것은 기존 건물을 구성하고 있는 물리적 요소들을 변경하는 것이므로 모순이 될 수 있다. 이에 따라, 앞서 언급한 건물의 물리적인 속성을 의미하는 observable parameter는 조정 파라미터에서 제외하였다. 그리고, 운영 및 유지관리 단계에서 인간의 행동패턴 및 건설자재의 열화도를 의미하는 non-observable parameter를 조정 파라미터로 선택하였다. 본 연구에서는 앞서 언급하였던 기존 연구들을 기반으로, [표 3-22]에서 제시된 바와 같이, 총 13개의 조정 파라미터들이 결정되었다. 또한, 유전자

⁵⁹⁾ Goldberg, D. E., & Holland, J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. Machine learning, 3(2), 95-99.

⁶⁰⁾ Talbi, E. G. (2009). Metaheuristics: from design to implementation. John Wiley & Sons.

알고리즘을 기반으로하는 최적화 과정을 통해, 조정 파라미터들의 값은 각각의 범위 내에서 결정된다.

[표 3-22] 최적화를 위해 선정된 파라미터의 정보

요소	Adjustable parameter	단위	범위		변수명
			최소	최대	
Internal loads	Number of people	Person	1	6	var1 ⁶¹⁾
	Lighting power	W	457.9	732.64	var2 ⁶²⁾
	Electric equipment power density	W	457.9	1007.38	var3 ⁶³⁾
	Infiltration rate	times/h	0.25	2	var4 ⁶⁴⁾
HVAC system	Cooling equipment efficiency	W/W	3.66	8.6	var5 ⁶⁵⁾
	Heating equipment efficiency	–	0.82	0.9	var6 ⁶⁶⁾⁶⁷⁾
	Heater thermal efficiency	–	0.554	0.824	var7 ⁶⁸⁾
	Cooling set point	℃	26	29	var8 ⁶⁹⁾
	Heating set point	℃	18	21	var9 ⁷⁰⁾
Construction condition	U-value of the window	W/m ² ·K	1.642	3.4	var10 ⁷¹⁾⁷²⁾
	SHGC of the window ⁷³⁾	–	0.537	0.7	var11 ⁷⁴⁾
	Conductivity of the insulation	–	0.029	0.031	var12 ⁷⁵⁾
Schedule	Operation schedule	–	0(Off)	1(On)	var13

(나) 최적화 목적함수 (optimization objective)

건물 에너지 시뮬레이션의 정확도를 평가하기 위하여, 본 연구는 최적화 목적함수로서, ASHRAE Guideline 14에서 제공하고 있는 시뮬레이션 정확도 평가 지표인

61) KOSIS (Korean Statistical Information Service), http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=A#SubCont (accessed on 10.12.2017).

62) Autodesk, <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/equipment-and-lighting-loads> (accessed on 10.12.2017)

63) Autodesk, <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/equipment-and-lighting-loads> (accessed on 10.12.2017)

64) Kim G, Yoo JH, Hwang HJ, Kim KS. A study on the calculation method of infiltration for detached houses. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 2013;25(9):493-498.

65) MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Regulation on Energy Efficiency Labeling and Standards, https://bpms.kemco.or.kr:444/efficiency_system/pds/read.aspx?searchfield=&searchword=&page=2§ion=&pdsseq=18 (01.05.2017).

66) OEERE (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy), <https://energy.gov/eere/femp/incorporate-minimum-efficiency-requirements-heating-and-cooling-products-federal#boilers> (accessed on 10.12.2017).

67) ASHRAE Standard 90.1 2010. Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

68) Aydinalp M, Ugursal VI, Fung AS. Modeling of the space and domestic hot-water heating energy-consumption in the residential sector using neural networks. Applied Energy 2004;79:159-178.

69) MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Code of Building Energy Management. <http://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EA%B4%80%EB%A6%AC%EA%B8%B0%EC%A4%80> (accessed on 10.12.2017).

70) MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Code of Building Energy Management. <http://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EA%B4%80%EB%A6%AC%EA%B8%B0%EC%A4%80> (accessed on 10.12.2017).

71) Ahn BL, Kim JH, Jang CY, Leigh SB, Jeong H. Window retrofit strategy for energy saving in existing residences with different thermal characteristics and window sizes. Building Services Engineering Research & Technology 2016;37(1):18-32.

72) MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Regulation on Energy Efficiency Labeling and Standards, https://bpms.kemco.or.kr:444/efficiency_system/pds/read.aspx?searchfield=&searchword=&page=2§ion=&pdsseq=18 (01.05.2017).

73) Solar heat gain coefficient.

74) Ahn BL, Kim JH, Jang CY, Leigh SB, Jeong H. Window retrofit strategy for energy saving in existing residences with different thermal characteristics and window sizes. Building Services Engineering Research & Technology 2016;37(1):18-32.

75) MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Code of Energy Saving Design Criteria of building. <http://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EA%B1%B4%EC%B6%95%EB%AC%BC%EC%9D%98%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EC%A0%88%EC%95%BD%EC%84%A4%EA%B3%84%EA%B8%B0%EC%A4%80> (accessed on 10.12.2017).

CV(RMSE)(Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error)를 이용하고자 한다. CV(RMSE)는 0%에 가까울수록, 에너지 시뮬레이션 모델에서 산정한 에너지 사용량과 실제 에너지 사용량이 유사하다는 것을 의미한다.

(다) 제한조건 (constraint)

ASHRAE Guideline 14에서는 건물 에너지 시뮬레이션 모델에 대한 보정 프로세스를 다음과 같이 제시하고 있다: (i) 보정 계획수립, (ii) 데이터 수집, (iii) 시뮬레이션에 매개변수 입력, (iv) 시뮬레이션 결과 값과 실제 값의 비교, (v) 오차범위를 만족할 때까지 건물 에너지 시뮬레이션 모델 보정 수행. 건물 에너지 시뮬레이션에 대한 보정 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여, ASHRAE Guideline 14는 건물 에너지 시뮬레이션 결과값과 실제 에너지 사용량 사이의 오차를 평가하는 CV(RMSE)와 시뮬레이션 모델의 편향(bias)을 평가하는 지표인 MBE(Mean Bias Error)에 대한 기준을 제시하고 있다([표 2-15] 참조). 본 연구는 월별 에너지 사용량에 대한 보정을 수행하기 때문에, CV(RMSE) 지표는 15% 이하를 만족하고, MBE(Mean Bias Error)는 -5% 이상 5% 이하를 만족하도록 제한조건을 설정하였다. 식 (3.6), 식 (3.7), 식 (3.8), 식 (3.9)를 이용하여, CV(RMSE)와 MBE를 산정한다.

[표 3-23] ASHRAE Guideline 14에서 제시하는 보정모델의 기준

분석기준	지표	기준
Hourly	MBE	±10% 이내
	CV(RMSE)	30% 이하
Monthly	MBE	±5% 이내
	CV(RMSE)	15% 이하

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{estimate_usage} - Y_{actual_usage})^2}}{n-1} \quad \text{식 (3.6)}$$

여기에서,

$RMSE$: Root mean square error
 $Y_{estimate_usage}$: 월별 에너지 소비량(시뮬레이션 추측 값)
 Y_{actual_usage} : 월별 에너지 소비량(실제 값)
 n : 데이터(개월) 수

$$Y_{average_usage} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{actual_usage, i}}{n} \quad \text{식 (3.7)}$$

여기에서,

Y_{actual_usage} : 월별 에너지 소비량 (실제 값)
 $Y_{average_usage}$: 연평균 에너지 소비량 (실제 값)
 n : 데이터(개월) 수

$$CV(RMSE) = \frac{RMSE}{Y_{average_usage}} \times 100 \quad \text{식 (3.8)}$$

여기에서,

$CV(RMSE)$: Coefficient of variation of the root mean square error

$RMSE$: Root mean square error

$Y_{average_usage}$: 연평균 에너지 소비량 (실제 값)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{actual_usage,i} - Y_{estimate_usage,i}}{n} \quad \text{식 (3.9)}$$

여기에서,

MBE : Mean biased error

$Y_{estimate_usage}$: 월별 에너지 소비량 (시뮬레이션 추측 값)

Y_{actual_usage} : 월별 에너지 소비량 (실제 값)

n : 데이터(개월) 수

라. 단위성과 2-4-①: 그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가

본 연구는 전문분야 뿐만 아니라, 전문적인 지식을 가지고 있지 않은 의사결정자가 사용할 가능한 그린리모델링 최적 의사결정 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해, 그린리모델링 최적 의사결정 시스템은 그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과를 제시할 수 있어야 한다. 이를 구현하기 위하여, 본 연구는 그린리모델링 요소기술(단열재, 창호 등) 적용 시나리오에 따른 경제성 및 환경성을 평가하고, 그 결과를 대안별로 점수화 하여 제시하고자 한다. 또한, 기존 시뮬레이션 도구들에서 한계점으로 지적되었던 경제성 및 환경성 분석을 체계적으로 지원함으로써 의사결정자에게 수준 높은 분석결과를 도출 해줄 수 있을 것으로 사료된다.

(1) 생애주기 관점에서 경제성 및 환경성 평가

최적 그린리모델링 요소기술의 경제성 및 환경성 평가를 수행하기 위하여, 전생애주기비용(Life cycle cost, LCC) 및 생애주기 이산화탄소(Life cycle CO₂) 분석이 요구된다. 본 연구에서는 다음과 같은 3가지의 가정사항을 바탕으로 단열재에 대한 경제성 및 환경성 평가를 진행하였다. 1) 분석시점, 2) 분석기간, 3) 실질할인율.

(가) 분석기간

국토교통부에서 고시한 “주택법 시행규칙, 별표 5”에서 제시하는 철근콘크리트 구조물의 사용연한은 40년이다⁷⁶⁾. 그린리모델링은 기존 공동주택단지에 적용하는 것이기 때문에, 사용연한에서 경과연수를 뺀 시간을 분석기간으로 설정한다. 예를 들어, 사용한지 10년이 경과된 공동주택단지의 경우, 사용연한 40년에서 경과 연수 10년을 뺀 30년을 분석기간으로 설정한다.

⁷⁶⁾ 주택법시행규칙 제26조 및 별표5 (장기수선계획수립 및 대상); 국토교통부

(나) 실질할인율

물가상승률, 전기요금 상승률, 가스요금 상승률 그리고 온실가스 할당 배출권(KAU) 가격 상승률에 대한 실질할인율을 산정하였다. 이를 위하여, 명목이자율과 물가상승률, 전기요금, 가스요금, 온실가스 할당 배출권(KAU) 가격 정보를 활용하였다. 명목이자율과 물가상승률은 한국은행 경제통계시스템에서 정보를 수집하였으며, 전기요금은 한국전력공사, 가스요금은 한국도시가스협회, 그리고 온실가스 할당 배출권 가격은 한국거래소에서 제공하는 정보를 수집하였다.⁷⁷⁾⁷⁸⁾⁷⁹⁾⁸⁰⁾ 실질할인율은 식 (3.10)을 활용하여 산정하였다.

$$i = \frac{(1+i_n)}{(1+i_f)} - 1 \quad \text{식 (3.10)}$$

여기에서,

i : 실질할인율

i_n : 명목이자율

i_f : 물가상승률, 전기요금 상승률, 가스요금 상승률, 온실가스 할당 배출권 가격 상승률

(다) 순현재가치(Net Present Value, NPV)

순 현재가치는 개선 사업의 가치를 나타내는 척도이며, 실질할인율을 이용하여 현재 가치로 환산 후, 수익의 현재가치에서 비용의 현재가치를 제외한 값이다. 순 현재가치는 절대적 투자가치이며, “NPV>0”일 때, 개선 방안이 투자가치가 있는 것으로 판단한다. 순 현재가치는 다음의 식 (3.11)을 이용하여 산출하였다.⁸¹⁾

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad \text{식 (3.11)}$$

여기에서,

NPV : 순현재가치

B_t : t년의 수익

C_t : t년의 비용

i : 실질할인율

n : 분석기간

(라) 투자수익률(Saving-to-Investment Rate, SIR)

투자수익률은 투자 금액대비, 수익의 비율을 의미한다. 순 현재가치 분석과 같이 실질할인율을 이용하여 현재 가치로 환산한 후, 수익과 비용을 비율로 나타낸 값이다. 투자수익률은 두 개 이상의 대안에 대한 상대적 투자가치이며, “SIR=1”일 때, 손익분기점이 발생한다. 투자수익률은 다음의 식 (3.12)를 이용하여 산출할 수 있다.⁸²⁾

77) 한국은행 경제통계시스템. <ecos.bok.or.kr>

78) 한국전력공사. <www.kepco.co.kr>

79) 한국도시가스협회. <http://www.citygas.or.kr/info/charge.jsp>

80) 한국거래소. <www.krx.co.kr>

81) Hong, T., Kim, D., Koo, C., & Kim, J. (2014). Framework for establishing the optimal implementation strategy of a fuel-cell-based combined heat and power system: Focused on multi-family housing complex. Applied Energy, 127, 11-24.

82) Hong, T., Koo, C., Kwak, T., & Park, H. S. (2014). An economic and environmental assessment for selecting the optimum new renewable energy system for educational facility. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 286-300.

$$SIR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad \text{식 (3.12)}$$

여기에서,

SIR : 투자수익률

Bt : t 년의 수익

Ct : t 년의 비용

i : 실질할인율

n : 분석기간

(마) 한계감축비용(Marginal Abatement Cost, MAC)

한계감축비용은 에너지 절감 기술 이용에 따른 이산화탄소 배출량 감축 비용을 평가하는 방법이다. 이는, 순현재가치를 생애주기 동안의 온실가스절감량으로 나누어 산정하며, 식 (3.13)을 이용해 산정한다. 한계감축비용이 높은 에너지 절감 기술과 비교하여, 한계감축비용이 낮은 에너지 절감 기술은 경제적 타당성이 우수하다는 것을 의미한다.

$$MAC_n = \frac{NPV_n}{\sum_i CER_i} \quad \text{식 (3.13)}$$

여기에서,

MAC_n : 분석기간 n년 동안의 한계감축비용

NPV_n : 분석기간 n년 동안의 순현재가치

CER_i : 에너지 절감 기술 i 적용에 따른 이산화탄소 감축량

(2) 대안별 점수화를 위한 다목적 최적화 기법의 수립

여러 경제성 지표들을 종합적으로 고려할 때, 여러 대안에 있어서 우열을 가리기 힘든 부분이 있다. 이는 지표들에서 나타나는 상충관계로 인하여, 하나의 객관적인 지표로 순위를 선정할 수 없기 때문이다. 이를 해결하기 위하여, 본 연구는 과거 연구에서 개발되었던 iMOO (Integrated multi-objective optimization) 모델에 기반 한 최적해 도출식을 사용한다. 본 기법은 최적 건물 설계를 위한 다수의 대안을 비교평가하기 위해 개발된 방법론이며, 다음과 같은 특징을 가지고 있다. (1) 해당 방법론은 파레토 최적개념⁸³⁾을 적용해 최적해를 구한다. (2) 선형계획법⁸⁴⁾을 사용하지 않고도, 복잡한 지표들의 관계를 정립하는데 있어서 시간이나 노력을 최소화 할 수 있다. (3) 최적 건물 설계를 위한 목적 외에 다양한 분야에서도 유연하게 사용할 수 있다. (4) 방법론을 사용하는 연구자 및 의사결정자들을 위해 쉽게 사용할 수 있도록 유용성을 높였다.⁸⁵⁾ 본 연구에서는 다음 세 가지 개념에 의해 iMOO모델을 적용 하였다. 파레토 최

⁸³⁾ 파레토 최적(Pareto optimality)이란, 어느 대안들의 효율성이 가장 최적으로 이루어진 상태를 말한다.

⁸⁴⁾ 선형 계획법(Linear programming)이란, 주어진 선형 조건들을 만족시키면서 목적함수를 최적화 하는 문제이다.

⁸⁵⁾ Koo, C., Hong, T., & Kim, S. (2015). An integrated multi-objective optimization model for solving the construction time-cost trade-off problem. Journal of Civil Engineering and Management, 21(3), 323-333.

적개념을 기반으로, 에너지 절감 기술 적용에 따른 경제성과 환경성을 평가하기 위하여 다수의 최적화 목적 함수 값들을 표준화해야 한다. 본 연구에서는 5가지 최적화 목적함수(초기투자비, 순현재가치, 투자수익률, 이산화탄소 절감량, 한계감축비용)를 설정하였다 ([표 3-24] 참조).

[표 3-24] 최적화 목적 함수

구분	최적화 목적함수	목적
1	초기투자비(Initial Investment Cost, IIC)	최소화
2	순현재가치(Net Present Value, NPV)	최대화
3	투자수익률(Saving to Investment Ratio, SIR)	최대화
4	이산화탄소 감축량(CO ₂ Emissions Reduction, CER)	최대화
5	한계감축비용(Marginal Abatement Cost, MAC)	최소화

한편, 다목적 최적화를 도출하기 위하여, 최적화 목적에 따라 적합도 함수를 결정할 수 있다. 기본적으로 최적화 지표들의 가중치에 의해 최적화 결과가 달라지기 때문에, 가중치를 산정하는 과정이 필요하다 (식 (3.14) 참조). 이를 위해 본 연구에서는 총 5개의 최적화 지표들을 선정하였으며, (초기투자비, 순현재가치, 투자수익률, 이산화탄소 절감량, 한계감축비용) 적합도 함수를 정의하였다. 표준화 과정과 적합도 함수를 통해서 점수화되며, 낮은 점수를 기록할수록 최적해에 가까워진다.

$$S_i = \left| \frac{Z_i - Z_i^{\min}}{Z_i^{\max} - Z_i^{\min}} \right| \quad \text{식 (3.14)}$$

여기에서,

S_i : Z_i 에 대한 표준화된 값
 Z_i : 최적화 목적함수 i 에 속하는 값
 $Z_i^{\min}$: Z_i 의 최소값
 $Z_i^{\max}$: Z_i 의 최대값

$$Fitness = \sqrt{W_{IIC} \times (S_{IIC} - 0)^2 + W_{NPV} \times (1 - S_{NPV})^2 + W_{SIR} \times (1 - S_{SIR})^2 + W_{CER} \times (1 - S_{CER})^2 + W_{MAC} \times (S_{MAC} - 0)^2} \quad \text{식 (3.15)}$$

여기에서,

W_{IIC} : 초기투자비(IIC)에 대한 가중치
 W_{NPV} : 순현재가치(NPV)에 대한 가중치
 W_{SIR} : 투자수익률(SIR)에 대한 가중치
 W_{CER} : 이산화탄소 절감량(CER)에 대한 가중치
 W_{MAC} : 한계감축비용(MAC)에 대한 가중치
 S_{IIC} : 초기투자비(IIC)에 대한 표준화된 값
 S_{NPV} : 순현재가치(NPV)에 대한 표준화된 값
 S_{SIR} : 투자수익률(SIR)에 대한 표준화된 값
 S_{CER} : 이산화탄소 절감량(CER)에 대한 표준화된 값
 S_{MAC} : 한계감축비용(MAC)에 대한 표준화된 값

마. 단위성과 2-5-①: 최적 요소기술 선정 모델 개발

(1) 분석 대상 건물 선정

그린리모델링 시나리오에 대한 에너지시뮬레이션 평가를 수행하기 위하여, 그린리모델링이 필요한 대상 건물을 선정하고자 한다. 이를 위해, 대한민국의 기존 공동주택에 대한 전용면적 현황자료를 조사한 결과, 가장 높은 비율을 차지하는 전용면적은 66m²~99m²로 조사되었

다⁸⁶⁾. 또한, 5개씩 표준 공동주택((36m², 46m², 59m², 84m², 125m²) 중 66m²~99m² 사이에 해당하는 84m²의 면적을 지닌 공동주택 세대를 본 연구에서 대표성을 지닌 세대면적으로 적용하였다. 앞서 선정된 대표성을 지니는 기준주택을 바탕으로, 사례적용을 위한 실제 공동주택 1세대를 선별하였다. 따라서 본 연구에서는 서울에 위치한 전용면적 84m²인 'D' 공동주택을 분석 대상 건물로 선정하였다 ([표 2-17] 참조).

[표 3-25] 대상 공동주택 건축물의 개요

속성		상세 정보
건물명		'D' 공동주택
지역		대한민국, 서울
물리적 정보	사용연한	16년
	전용면적	84m ²
	난방유형	개별난방시스템
사용 정보	2015년 단위면적당 이산화탄소 배출량	0.052 tCO _{2eq} /m ²

(2) 사례분석을 통한 그린리모델링 최적 요소기술 선정 결과

그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델을 기반으로, 'D' 공동주택에 적용할 수 있는 최적 요소기술을 산정하였다. 본 연구는 총 21,600개 (=24*12*5*15)의 에너지 절감 기술 시나리오를 검토하였다. 총 5가지 최적화 목적 함수(IIC, NPV, SIR, CER, MAC)를 고려하여, 경제성 및 환경성 분석을 실시하였다. [표 3-26]는 파레토 최적개념을 이용하여 도출한 상위 10위까지의 최적 그린리모델링 요소기술 시나리오를 나타내고 있다. 본 분석 대상 공동주택에서는 I8(비드 법 보온판 1층 (4호)) 단열재와 L4(천장에 매립된 형태) 조명을 적용하는 경우에 최적화 점수(0.2252)가 가장 낮게 산정되어, 그린리모델링 최적 요소기술 대안으로 평가되었다. 이 경우, IIC, NPV, SIR, CER, MAC는 각각 2,794,730원, 2,014,246원, 0.07613, 0.6046 tCO₂, 0.03217원/tCO₂로 산정되었다.

[표 3-26] 상위 10위까지의 최적 그린리모델링 요소기술 시나리오

순 위	에너지 절감 기술				IIC (원)	NPV (원)	SIR	CER (tCO ₂)	MAC (원/CO ₂)	최적화 점수
	단열재	창호	조명	차양						
1	I8	-	L4	-	2,794,730	2,014,246	0.7613	0.6046	0.03217	0.2252
2	I8	-	L3	-	2,794,730	2,014,246	0.7613	0.6046	0.03217	0.2252
3	I8	-	L2	-	2,794,730	2,000,880	0.7562	0.5957	0.03228	0.2299
4	I24	-	L4	-	2,623,858	2,072,681	0.8327	0.5248	0.03032	0.2327
5	I24	-	L3	-	2,623,858	2,072,681	0.8327	0.5248	0.03032	0.2327
6	I8	-	L1	-	2,794,730	1,988,287	0.7515	0.5901	0.03241	0.2334
7	I8	-	L5	-	2,794,730	1,973,884	0.7460	0.5824	0.03256	0.2379
8	I24	-	L5	-	2,623,858	2,042,503	0.8205	0.5085	0.03057	0.2420
9	I24	-	L1	-	2,623,858	2,040,143	0.8196	0.5066	0.03059	0.2430
10	I24	-	L2	-	2,623,858	2,028,849	0.8150	0.4987	0.03066	0.2473

86) 전국공동주택현황; 국가통계포털, 2013

(3) 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델

본 연구에서는 총 4 단계의 프로세스를 통해, 그린리모델링 시 활용할 수 있는, 건축물에서의 태양광 시스템 최적 도입안을 선정할 수 있는 모델을 개발하였다. 태양광 시스템 최적 도입안 선정을 위한 총 4 단계의 프로세스에서는 태양광 시스템의 핵심 영향요인들이 반영될 수 있도록 하였다.

(가) 1 단계: 건축물 및 태양광 시스템 특성에 따른 기본 정보 설정

① 지역 설정

태양광 시스템은 설치 지역에 따라 도입 효과에 큰 차이를 보인다. 지역에 따라 태양광 시스템의 발전량 및 생애주기비용에 큰 영향을 미치는 일사량, 기온, 패널의 최적 설치각도, 전기요금 등이 달라지기 때문에, 그린리모델링을 통한 태양광 시스템 최적 도입안 선정 시 시스템을 설치하고자 하는 지역을 먼저 설정해야 한다. 그린리모델링 대상 시설물이 위치한 지역에 따라, 기 구축된 지역별 정보인 위치(위도/경도) ([표 3-27] 참조) 및 기상(일사량/기온) ([표 3-28]과 [표 3-29] 참조) 정보 DB를 활용하여, 태양광 시스템 최적 도입안을 선정할 수 있다.

[표 3-27] 지역별 위도와 경도 정보

구분	지역	Latitude	Winder Solstice Meridian Transit Altitude
1	서울	37.3	29.2
2	부산	35.1	31.4
3	대구	35.52	30.98
4	인천	37.28	29.22
5	광주	35.09	31.41
6	대전	36.2	30.3
7	울산	35.32	31.18
8	경기	37.15	29.35
9	강원	37.45	29.05
10	충청북도	36.38	30.12
11	충청남도	36.46	30.04
12	전라북도	35.49	31.01
13	전라남도	34.48	32.02
14	경상북도	36.33	30.17
15	경상남도	35.1	31.4
16	제주	33.29	33.21

[표 3-28] 지역별 월평균 일사량

(단위: kwh/m²/day)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서울	2.31	2.79	3.15	4.24	4.8	5.38	3.68	3.27	3.46	3.42	2.59	1.99
부산	2.89	2.86	3.15	4.46	5.29	5.5	4.89	5.14	4.4	3.74	3.19	2.46
대구	2.85	2.82	3.13	4.40	5.39	5.52	4.05	4.11	3.69	3.47	2.95	2.27
인천	2.30	2.83	3.30	4.44	4.98	5.5	4.53	3.93	3.81	3.50	2.65	1.99
광주	2.33	2.68	3.12	4.72	5.26	5.14	4.08	4.04	4.02	3.70	2.96	2.24
대전	2.53	2.82	3.07	4.66	5.56	5.89	4.49	4.03	3.92	3.50	2.94	2.25
울산	2.98	2.93	3.09	4.70	5.63	6.14	5.1	4.62	4.1	3.53	3.31	2.56
경기	2.30	2.78	3.11	4.41	5.00	5.44	4.22	3.67	3.75	3.41	2.53	1.97
강원	2.47	2.71	2.89	4.60	5.2	6.06	4.36	3.42	3.51	3.22	3.03	2.38
충청북도	1.56	2.69	3.00	4.48	5.32	5.36	4.2	3.75	3.7	3.23	2.67	2.14
충청남도	2.27	2.75	3.26	4.67	5.07	5.41	4.55	4.00	3.98	3.57	2.65	2.15
전라북도	2.42	2.55	3.06	4.60	5.35	5.37	4.33	3.86	4.02	3.34	2.79	2.14
전라남도	2.33	2.66	3.32	4.77	5.54	5.15	4.72	4.88	4.42	3.68	2.97	1.91
경상북도	2.79	2.84	3.27	4.86	5.46	5.97	4.68	4.24	3.78	3.2	2.99	2.40
경상남도	3.02	2.93	3.31	4.79	5.79	5.38	4.42	4.42	4.47	3.98	3.33	2.59
제주	1.75	2.43	3.01	4.27	5.78	4.68	5.15	5.48	4.19	3.3	2.68	1.75

[표 3-29] 지역별 월평균 온도

(단위: ℃)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
서울	-4.5	1.4	4.3	9.5	17.2	23.4	25.8	26.5	21.8	14.5	6.5	-1.3
부산	3	5.8	7.8	11.5	17.2	22	25.2	27.9	24.1	18.2	11.3	5.2
대구	0	3.9	6.9	11.5	19.4	24.8	26.7	28.7	23.3	16.4	8.6	2
인천	-3.2	1.7	5.1	9.6	16.1	21.9	24.7	26.1	22.1	15.1	7.7	0.1
광주	0.5	4.4	7.4	11.2	18.6	23.7	26.3	28.1	23.6	15.7	8.4	2.5
대전	-2.7	2.1	5.3	10	17.8	23.4	25.7	27.1	21.9	14.2	6.9	0.1
울산	1.5	4.4	7	10.8	17.6	22.2	25.4	27.8	22.7	16.6	9	3.3
경기	-4.4	1.4	4.6	9.6	17.1	23.1	26	26.9	22.2	14.4	6.4	-0.9
강원	-0.1	2.4	4	10.1	17.4	22	25.8	26.5	20.7	14.9	9.4	2.9
충청북도	-3.2	2.1	5.3	10.4	18.5	24	26.6	28	22.8	14.8	7	0
충청남도	-2.7	1.1	4.3	8.4	15.2	21	24.4	25.7	21.3	13.7	7	0.8
전라북도	-0.8	3.2	6.3	10.3	18	23.5	26.5	27.7	23.2	15	7.9	1.6
전라남도	1.1	3.7	6.4	10	16.5	21.4	24.8	27.1	23	15.6	9	3.5
경상북도	-3.3	1.3	4.7	9.8	17.6	23.2	26	27.3	21.4	13.8	5.5	-0.7
경상남도	-0.5	3.5	6.5	10.4	17.3	22	25.1	27	22.7	15.3	6.7	1.7
제주	5.3	7.3	9.3	11.8	17.3	21.2	25.9	28.8	24.2	17.6	11.7	7.1

② 시설물 용도 설정

시설물의 용도(주거용/상업용/교육용/공공용 등)에 따라, 태양광 시스템을 설치했을 때 받을 수 있는 정부 보조금 및 지원 혜택이 달라질 뿐만 아니라, 태양광 발전량에 따른 수익성에 영향을 미치는 전기 요금도 달라진다. 그린리모델링 대상 시설물의 용도에 따라, 정부 보조금 및 전기요금 정보 DB를 활용하여, 태양광 시스템 최적 도입안을 선정할 수 있다.

③ 계통 구성방식 설정

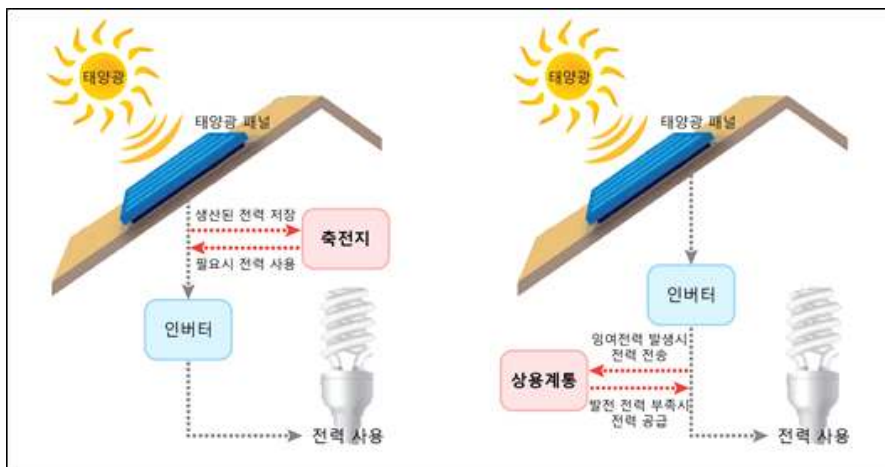
태양광 시스템의 계통 구성방식은 크게 독립형과 계통연계형으로 나눌 수 있다. 독립형의 경우, 상용 전력 계통과 연결이 어려운 산간 벽지 및 도서 지역에서, 계통연계형의 경우, 도심 지역의 가정 및 일반 건물에서 주로 사용된다. 그린리모델링 대상 시설물에 설치하고자 하는 태양광 시스템의 계통 구성방식에 따라, 태양광 시스템 최적 도입안을 선정할 수 있다.

㉠ 독립형

- 상용 전력 계통으로부터 독립되어 독자적으로 전력을 공급하는 시스템
- 태양광 발전이 가능한 낮 시간 동안 생산한 전력을 저장하였다가 필요할 때 전력을 사용할 수 있도록 하기 위한 축전지 또는 에너지 저장 장치 필요
- 주로 상용전력계통이 없는 산간 벽지 및 도서 지역 등에 전기를 공급하기 위하여 활용되며, 비상전원용, 해양기지 전원용, 등대 전원용, 원거리 통신기지 전원용 등으로 사용
- 독립형 태양광 시스템으로 전력 공급이 충분하지 않을 경우, 디젤발전기 및 소형 풍력 발전기 등의 보조발전기를 연결하여 복합발전형시스템 (Hybrid System)으로 활용 가능

㉡ 계통연계형

- 상용 전력 계통과 연결되어, 태양광 발전 전력이 부족할 때에는 계통으로부터 전력을 공급 받고, 잉여전력이 발생할 때에는 계통으로 전송시키는 시스템
- 태양광 발전으로 생산된 직류전력을 인버터를 통하여 교류전력으로 변환시켜 계통과 연계하는 시스템으로 축전지가 필요 없음
- 주로 가정 및 일반 건물 전원용, 태양광 발전소용 등으로 사용



[그림 3-11] 독립형(좌) 및 계통연계형(우) 태양광 시스템 개념도

④ 설치 유형 설정

건축물에 태양광 시스템을 도입하는 경우, 태양광 패널을 설치하는 위치에 따라 설치 유형을 크게 옥상/지붕형, 입면/창호형, 차양형으로 나눌 수 있다. 그린리모델링 대상 시설물에 설치하고자 하는 태양광 시스템의 설치 유형에 따라, 태양광 시스템 최적 도입안을 선정할 수 있다.

㉠ 옥상/지붕형

- 태양광 패널이 건물의 지붕에 설치되어 건물의 지붕재 또는 지붕자체로 활용
- 태양광 패널이 수평으로 설치되어 일사량 획득이 용이한 방법으로 태양광 발전량이 많음
- 표면적 대비 지붕 면적이 넓은 단독주택, 학교, 연구소에 적용하는 것이 적합하며, 설치 각도를 조절하여 태양광 발전량을 최대화할 수 있도록 함

㉡ 입면/창호형

- 태양광 패널이 건물의 입면에 설치되어 건물의 외장재 또는 창호로 활용
- 태양광 패널이 수직으로 설치되어 태양광 패널이 수평으로 설치되는 옥상/지붕 위치에 비하여 태양광 발전량이 상대적으로 적음
- 도심지의 고층 건물의 경우 수직 면적이 많기 때문에 적용 면적이 넓으며, BIPV 시스템으로 설치 시, 별도의 비용 부담 없이 기존의 커튼월 공법으로 설치할 수 있음

㉢ 차양형

- 과도한 일사를 막아 실내 냉방 부하를 줄이며, 차양각도를 조절하여 태양광 발전량을 최대화

⑤ 설치 방법 설정

태양광 시스템 설치 방법은 크게 고정식과 추적식으로 나눌 수 있다. 그린리모델링 대상 시설물에 설치하고자 하는 태양광 시스템의 설치 방법에 따라, 태양광 시스템 최적 도입안을 선정할 수 있다.

㉠ 고정식

- 가장 일반적인 방식으로, 태양광 패널이 일정한 각도로 고정 설치되는 방법
- 추적식에 비하여 설치단가는 비교적 낮으나 발전효율이 낮음

㉡ 추적식

- 발전 효율을 극대화하기 위한 방식으로, 태양광의 직사광선이 항상 태양광 패널에 최대로 입사할 수 있도록 태양의 위치를 추적하는 방법
- 단방향(1축) 추적식: 태양광 패널이 태양 방위각 변화에 따라 태양의 한 축만을 추적하도록 설계된 방식 (동→서 회전)
- 양방향(2축) 추적식: 태양광 패널이 항상 태양광 일사량이 최대가 되도록 태양 방위각 및 고도 변화에 따라 상하, 좌우를 동시에 추적하도록 설계된 방식 (동→서, 남→북 회전)

⑥ 제약 조건 설정

그린리모델링 대상 시설물에 태양광 시스템을 설치하고자 하는 경우, 실질적으로 설치가 가능한 태양광 시스템에 대한 대안을 도출하기 위하여, 태양광 시스템 설치 예산 한도, 태양광 시스템 설치 가능 규모, 태양광 시스템 설치 목표 용량 범위와 같은 제약 조건을 설정해야 한다. 이와 같이 설정한 태양광 시스템 설치를 위한 제약 조건에 따라, 태양광 시스템 최적 도입안을 선정할 수 있다.

㉠ 예산 한도 설정

사용자가 시스템 도입 시 투자 가능한 적정예산을 설정하여, 이후 최적 도입안을 결정하는데 있어서 그 예산 한도를 넘지 않도록 하는 범위에서 시스템 도입을 결정할 수 있다.

㉡ 설치 가능 규모 설정

그린리모델링 대상 시설물의 용도, 형태, 설치 위치 등을 고려하여 태양광 시스템의 설치 가능 규모를 산정해야 한다. 태양광 시스템의 설치 가능 규모 산정 시, 같은 설치 면적이라도 가로, 세로 규격이 달라짐에 따라 설치 가능한 태양광 패널의 수가 달라지기 때문에, 설치 공간의 면적뿐만 아니라 가로, 세로 규격도 알아야 한다.

㉢ 목표 용량 범위 설정

그린리모델링 대상 시설물의 에너지 요구량을 파악하여 태양광 시스템의 목표 용량 범위를 설정해야 한다.

(나) 2 단계: 핵심 영향요인을 고려한 태양광 발전량 분석 기술 개발

① 핵심 영향요인 도출

태양광 시스템 설치를 위한 핵심 영향요인을 고려하여 시나리오를 생성함으로써, 그린리모델링을 통하여 도입 가능한 태양광 시스템의 다양한 설치 대안을 도출할 수 있다. 태양광 시스템 설치를 위한 핵심 영향요인을 고려하여 발생 가능한 시나리오를 생성하기 위하여, 먼저 태양광 발전량에 크게 영향을 미치는 핵심 영향요인인 지역적 요인, 현장 설치 요인, 시스템 요인을 도출하였다.

㉠ 지역적 요인: 일사량 및 기온

태양광 시스템의 에너지 생산량은 지역적 요인인 월평균 일사량과 월평균 기온의 영향을 크게 받는다. 일사량과 기온은 지역에 따라서 달라지기 때문에, 효율적인 태양광 시스템의 도입을 위해서는 정확한 일사량과 기온을 파악하는 것이 매우 중요하다. 국내 지역에 따른 월별 태양광 일사량 및 기온에 대한 DB를 구축함으로써, 그린리모델링 대상 시설물이 위치한 지역의 월평균 일사량과 기온을 고려하여 태양광 시스템 설치 시나리오를 생성할 수 있다.

㉔ 현장 설치 요인: 패널의 방위각 및 패널의 설치각도

태양광 발전량은 현장 설치 요인인 패널의 방위각 및 패널의 설치각도의 영향을 크게 받는다. 태양광 일사량은 위에서 말했듯이 지역, 즉 위도에 따라 변화하며, 이러한 일사량 최대 획득량은 시스템의 현장 설치 요인, 즉 패널의 방위각 및 패널의 설치각도에 의해 결정된다. 서울의 패널의 방위각 및 설치각도에 따른 일사 획득률([그림 3-12] 참조)을 살펴보면, 패널의 방위각에 따라 패널의 설치각도의 최적값이 달라지는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 패널의 방위각이 0°, 즉 정남향인 경우에 태양광 발전량이 최대가 되며, 패널의 방위각이 180°, 즉 정북향인 경우에 태양광 발전량이 최소가 된다. 또한, 패널의 최적 설치각도는 그 지역의 위도에 의해 결정된다. 서울의 경우, 위도가 북위 37°임에 따라, 패널의 최적 설치각도가 약 35°로 나타나는 것을 볼 수 있다.

		방위각 (Azimuth)													
		West		SW		South				SE		East			
		270°	285°	300°	315°	330°	345°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
경사각 (Slope)	V	90°	56	61	65	68	71	73	73	71	68	65	61	56	
	80°	61	67	72	76	79	81	82	81	79	76	72	67	61	
	70°	66	72	78	82	86	88	89	88	86	82	78	72	66	
	60°	71	77	83	87	91	94	94	94	91	87	83	77	71	
	50°	75	81	87	91	95	97	98	97	95	91	87	81	75	
	40°	79	85	90	94	97	99	100	99	97	94	90	85	79	
	30°	83	87	91	95	98	99	100	99	98	95	91	87	83	
	20°	86	89	92	94	96	98	98	98	96	94	92	89	86	
	10°	87	89	91	92	93	94	94	94	93	92	91	89	87	
H	0°	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	

[그림 3-12] 서울의 패널의 방위각 및 설치각도에 따른 일사 획득률

㉕ 시스템 요인: 패널 및 인버터 종류

태양광 발전량은 시스템 요인인 태양광 패널 및 인버터 종류의 영향을 크게 받는다. 태양광 패널은 종류에 따라 용량, 효율, 크기, 무게, 온도계수 등이 달라지며, 인버터는 종류에 따라 용량과 효율이 달라진다. 태양광 패널 종류에 따라서 총 설치 면적 및 패널의 개수가 달라지며, 이로 인해 시스템 총 용량이 달라진다. 또, 시스템 총 용량에 따라 인버터 종류가 결정된다. 이는 최종적으로 태양광 발전량에 영향을 미친다. 기 구축된 국내 태양광 패널 및 인버터 종류 정보 DB([표 3-30], [표 3-31] 참조)를 활용하여, 태양광 시스템 설치 시나리오를 생성할 수 있다.

[표 3-30] 태양광 패널의 특성 정보

구분	용량(W)	효율(%)	단위 면적			단가(원/Unit)
			가로(mm)	세로(mm)	두께(mm)	
1	300	18.30%	1641	1000	36	514,900
2	240	14.00%	1651	1004	46	249,320

구분	용량(W)	효율(%)	단위 면적			단가(원/Unit)
			가로(mm)	세로(mm)	두께(mm)	
3	185	14.00%	1580	808	35	243,900
4	195	14.00%	1580	808	36	259,076
5	250	14.00%	1641	991	40	260,160
6	260	14.00%	1639	991	51	271,000
7	260	14.00%	1639	990	40	271,000
8	250	14.00%	1641	991	41	271,000
9	255	14.00%	1641	991	41	271,000
10	250	14.00%	1641	991	41	276,420
⋮	⋮				⋮	
50	290	14.00%	1641	1000	36	432,516
51	295	14.00%	1641	1000	36	475,876
52	300	14.00%	1641	1000	36	514,900
53	305	14.00%	1641	1000	36	525,740
54	100	14.00%	1062	534	3	323,032
55	100	14.00%	1042	534	6	214,632
56	50	14.00%	559	559	3	130,080
⋮	⋮				⋮	
112	305	14.00%	1956	991	51	313,276
113	295	14.00%	1956	991	46	313,276
114	310	14.00%	1956	991	51	341,460
115	72	14.00%	2741	379	5	194,036
116	88	14.00%	2741	379	5	274,252
117	300	14.00%	5161	889	5	649,316
118	315	14.00%	5161	889	5	670,996
119	307	14.00%	5161	889	5	655,820
120	291	14.00%	5161	889	5	627,636
121	280	14.00%	5393	737	5	596,200

[표 3-31] 인버터의 종류 및 특성 정보

구분	Efficiency (%)	Power capacity (kW)	Miscellaneous losses (%)
1	0.946	12.5	0.03
2	0.946	30	0.03
3	0.958	50	0.03
4	0.969	100	0.03
5	0.969	250	0.03
6	0.98	500	0.03
7	0.90	10	0.03
8	0.90	15	0.03
9	0.90	20	0.03
10	0.90	25	0.03
⋮	⋮	⋮	⋮
50	0.87	0.125	0.03
51	0.89	0.125	0.03
52	0.89	0.125	0.03
53	0.952	2	0.03
54	0.952	2.7	0.03
55	0.952	4	0.03

구분	Efficiency (%)	Power capacity (kW)	Miscellaneous losses (%)
56	0.952	5	0.03
⋮	⋮	⋮	⋮
86	0.90	1.5	0.03
87	0.92	1.5	0.03
88	0.89	0.7	0.03
89	0.89	1	0.03
90	0.92	1	0.03
91	0.93	1	0.03
92	0.89	2	0.03
93	0.92	2	0.03
94	0.93	2	0.03
95	0.88	3	0.03

② 핵심 영향요인 및 제약 조건을 고려한 시나리오 생성

앞서 도출한 태양광 시스템의 핵심 영향요인 중 패널의 방위각, 패널의 설치각도, 패널 종류, 패널 개수, 인버터 종류 등을 고려하여, 태양광 시스템 최적 도입안 선정을 위한 시나리오를 생성해야 한다. 이러한 핵심 영향요인들을 조합하여 시나리오를 생성할 때, 사전에 설정된 다음과 같은 세 가지 제약 조건을 만족해야 한다: (1) 예산 한도(제약 조건) 이내; (2) 설치 가능 규모(제약 조건)에 따른 최대 시스템 용량 이내; (3) 목표 용량 범위(제약 조건) 이내. [표 3-32]는 핵심 영향요인 및 제약 조건을 고려한 시나리오 생성 과정이 본 연구에서 개발한 모델에 어떻게 반영되었는지 정리한 것이다.

[표 3-32] 핵심 영향요인 및 제약 조건을 고려한 시나리오 생성 과정

구분			반영 사항
핵심 영향요인	지역적 요인	일사량	그린리모델링 대상 시설물이 위치한 지역에 따라 결정됨
		기온	
	현장 설치 요인	패널의 방위각	일반적으로 정남형(0°)일 때 가장 최적이나, 대상 시설물의 방위나 형태에 맞게 방위각을 설정해야 하는 경우도 발생
		패널의 설치각도	일반적으로 태양광 시스템 설치 지역의 위도에 따라 최적 설치각도가 결정되나, 대상 시설물의 설치 가능 규모가 제한됨에 따라 조정해야 하는 경우도 발생
	시스템 요인	태양광 패널 종류	태양광 패널 종류에 따라 총 설치 면적 및 패널의 개수가 달라짐
		인버터 종류	시스템 총 용량에 따라 인버터 종류가 달라짐
제약 조건		예산 한도 이내	예산 한도 이내로 시스템 총 용량 결정
		설치 가능 규모 이내	설치 가능 규모에 따른 최대 시스템 용량 이내로 시스템 총 용량 결정
		목표 용량 범위 이내	목표 용량 범위에 해당되도록 시스템 총 용량 결정

③ 태양광 시스템의 시나리오에 따른 발전량 분석 기술 개발

태양광 발전량은 일사량, 패널의 방위각, 패널의 설치각도, 시스템 총 용량에 따라 달라진다. 엑셀 기반으로 상용화되어 있는 RETScreen 소프트웨어를 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델에 연동시켜, 태양광 시스템 설치 시나리오에 따른 월별 연간 발전량을 계산하였다.

(다) 3 단계: 경제성 및 환경성 평가를 통한 태양광 시스템 최적 도입안 선정 기술 개발

① 태양광 시스템의 생애주기비용 및 생애주기 CO₂ 평가 기술 개발

각 태양광 시스템 설치 시나리오 별 비용항목(초기투자비 및 유지관리비)과 수익항목(정부 보조금 및 에너지 수익)에 따라 생애주기비용 및 생애주기 CO₂ 평가 결과가 달라진다. 각 시나리오 별로 비용항목과 수익항목을 계산하여, 생애주기비용 및 생애주기 CO₂를 평가함으로써, 태양광 시스템의 최적 도입안을 선정할 수 있다. 본 연구에서는, 다음과 같이 4 가지의 가정 사항을 기반으로, 태양광 시스템의 생애주기비용 및 생애주기 CO₂를 현재가치로 평가할 수 있는 기술을 개발하였다: (1) 실질할인율: 명목이자율, 물가상승률, 전기요금상승률, 온실가스 환산 가치 상승률을 기반으로 산정됨; (2) 분석기간: 태양광 시스템 보증 기간으로 설정됨; (3) 비용항목: 태양광 패널 및 인버터 종류 정보 DB 및 패널 개수를 기반으로 산정됨; (4) 수익항목: 정부 보조금 및 전기요금 정보 DB 및 태양광 발전량 시뮬레이션 결과를 기반으로 산정됨.

② 다목적 최적화 기술을 활용한 태양광 시스템 최적 도입안 선정 기술 개발

발생 가능한 태양광 시스템 설치 시나리오 중, 최종 의사결정자의 목적 (초기투자비, 연간 태양광 발전량, 순 현재가치, 투자대비 에너지 절감 비율 등)에 적합한 최적의 시나리오를 선정하기 위하여, 다목적 최적화 기술을 활용하여 태양광 시스템 최적 도입안 선정 기술을 개발하였다. 다목적 최적화 기술을 구현하기 위하여, 다양한 시나리오를 빠르고 정확하게 분석하여 최적해를 제시할 수 있는 유전자 알고리즘 및 여러 가지 목적들 간의 상충 관계를 해결할 수 있는 파레토프론트 개념을 활용하였다.

(라) 4 단계: 그린리모델링을 통한 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델 개발

① 그린리모델링을 통한 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델 개발: 입력 단계

프로젝트 세부정보, 즉 태양광 시스템을 도입할 그린리모델링 대상 시설물 및 제약조건 등의 정보를 입력하고, 이를 구축된 정보 DB와 연동시키기 위하여, 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델의 입력 단계 module을 개발하였다.

② 그린리모델링을 통한 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델 개발: 분석 단계

태양광 발전량, 생애주기비용, 생애주기 CO₂ 평가 결과를 바탕으로 최적안을 선정하기 위하여, 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델의 분석 단계 module을 개발하였다.

③ 그린리모델링을 통한 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델 개발: 출력 단계

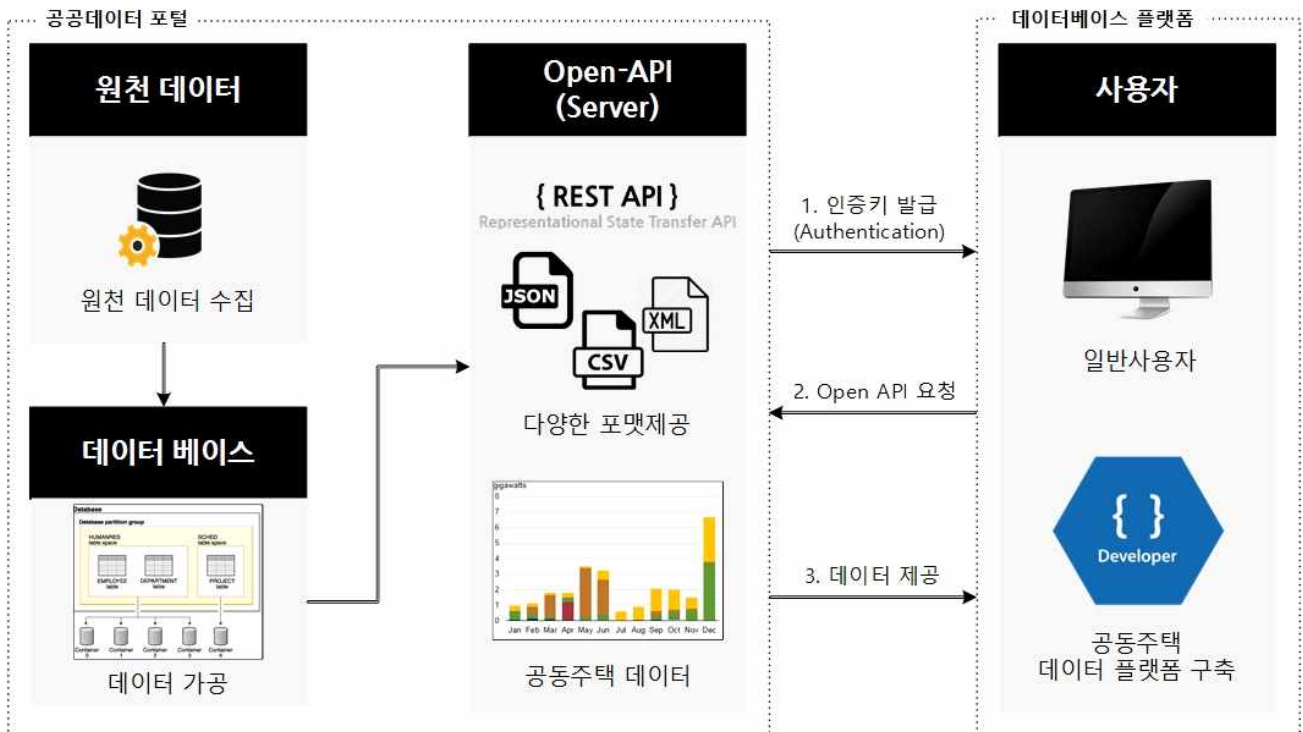
평가 결과를 기반으로 선정된 태양광 시스템 최적 도입안에 대한 맞춤형 보고서를 작성하기 위하여, 태양광 시스템 최적 도입안 선정 모델의 출력 단계 module을 개발하였다.

3. 핵심성과 3: 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발

가. 단위성과 3-1-①: 시스템 DB 구축

(1) Open-API를 활용한 공동주택 DB 플랫폼 구성

본 장에서는 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템을 개발하기 위하여 DB 플랫폼을 구성하는 과정에 대해 설명한다. DB 플랫폼을 구성하는 방법은 크게 2가지로 나뉜다. 첫째, 데이터 셋(Data set)을 활용한 방법이다. 데이터 셋은 일반적으로 다운로드가 가능한 파일로 구성되어 있는 단편적 대용량 데이터를 의미한다. 데이터 셋을 다운로드 후, 쉽게 활용 가능하다는 장점이 있지만, 데이터의 업데이트가 실시간으로 이루어지기 힘든 단점이 있다. 둘째, Open-API를 활용하는 방법이다. Open-API는 사용자나 개발자가 원하는 데이터를 시간에 구애받지 않고 데이터를 제공받을 수 있다는 장점이 있다 (On-demand). 또한, Open-API 서버에서 데이터를 수집할 수 있기 때문에 데이터의 업데이트에 대하여 유연하게 대처할 수 있다. 이러한 이유로, 활용도가 높은 시스템의 서비스를 구성하는데 있어서 Open-API의 사용은 필수적이다 ([그림 3-13] 참조). 본 연구에서는 공공데이터 포털 (data.go.kr)에서 제공하는 Open-API를 활용하였으며, 제공받는 데이터의 종류는 [표 3-33]과 같다.



[그림 3-13] Open-API를 활용한 공동주택 DB 플랫폼 구성 과정

[표 3-33] 공공데이터 포털에서 제공받을 수 있는 공동주택 데이터의 범주

번호	항목 명	번호	항목 명	번호	항목 명	번호	항목 명
1	아파트코드	6	건축물대장상 연면적	11	관리사무소연락처	16	관리방식
2	아파트명	7	동수	12	관리사무소 팩스	17	사용승인일
3	법정도주소	8	세대수	13	홈페이지주소	18	관리비부과면적
4	분양형태	9	시공사	14	단지분류	19	전용면적별 세대현황
5	난방방식	10	시행사	15	호수	20	월간 에너지 소비량

(2) 엑셀 Spread Sheet 기반 공동주택 건축물 속성 및 에너지 사용량 DB 구축

[표 3-34]과 [표 3-35]는 한국감정원에서 제공받은 서울시 공동주택 건축물의 속성 및 연간 에너지 사용량을 DB로 구축한 예제이다. 해당 예제에서는 임의로 16개의 공동주택을 선정하였다. 공동주택의 건축물 속성과 연간 에너지 사용량을 중심으로 사례추론기법을 활용하게 된다.

[표 3-34] 공동주택 건축물 속성 (예시)

번호	대지면적 (㎡)	건축면적 (㎡)	건폐율 (%)	용적률 (%)	연면적 (㎡)	세대 수	지상층 수	건축물 수	사용 승인일
1	19692.30	6836.52	34.72	392.92	142037.70	495	40	7	2014.09.16
2	22641.00	4750.26	20.98	258.30	67929.98	636	15	15	1995.05.22
3	118458.20	27101.24	22.87	254.20	405203.72	3,649	15	86	2000.12.20
4	47777.20	8866.66	18.56	295.96	201282.93	1,410	22	39	2003.12.23
5	20930.40	5183.19	24.76	224.73	73674.87	457	14	16	2011.05.02
6	37667.40	7376.96	19.58	295.00	161258.06	1,174	22	31	2001.10.26
7	74375.00	14874.21	19.99	255.79	251093.96	2,282	18	43	1999.07.29
8	193813.00	43326.86	22.36	231.16	560994.79	5,150	18	114	2002.05.25
9	18707.70	3996.87	21.36	297.05	83067.67	461	18	20	2005.12.28
10	36896.20	9141.99	24.78	225.04	127963.69	784	15	24	2011.10.28
11	39204.20	21647.96	55.22	557.31	378865.94	1,870	33	8	2008.12.22
12	12776.00	3218.82	25.19	336.63	59336.59	425	21	10	2001.12.14
13	30564.80	5111.96	16.72	245.12	107440.01	758	18	26	2004.11.30
14	8096.60	4347.65	53.70	535.78	63860.73	455	26	3	2006.09.13
15	13415.80	2935.11	21.88	187.89	37023.15	400	12	10	2006.11.21
16	22158.10	5963.98	26.92	253.55	76087.58	498	15	19	1998.07.15

[표 3-35] 공동주택 연간 에너지 사용량 (예시)

번호	에너지 소비량		
	전기 (kWh)	가스 (MJ)	총 에너지 소비량 (kWh)
1	7,864,808	29,648,547	16,107,104
2	2,674,005	19,327,462	8,047,039
3	16,634,079	119,250,929	49,785,837
4	6,645,444	60,086,007	23,349,354
5	3,130,674	17,925,543	8,113,975
6	5,058,821	43,332,843	17,105,351
7	8,608,747	78,126,016	30,327,779
8	20,859,792	177,592,925	70,230,625
9	2,658,460	20,144,849	8,258,728
10	5,103,643	27,874,001	12,852,615
11	29,479,824	75,282,561	50,408,376
12	2,012,966	15,207,965	6,240,780
13	3,580,676	30,696,625	12,114,338
14	4,123,483	22,704,428	10,435,314
15	1,526,688	8,541,255	3,901,157
16	2,420,252	21,485,551	8,393,235

(3) 그린리모델링 요소기술에 대한 비용 및 특성에 대한 DB 구축

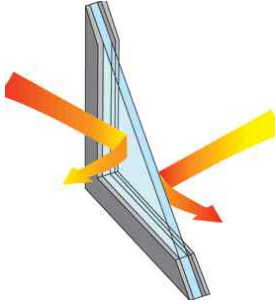
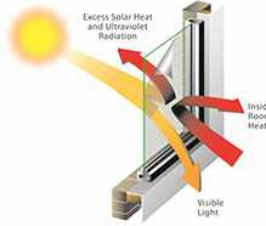
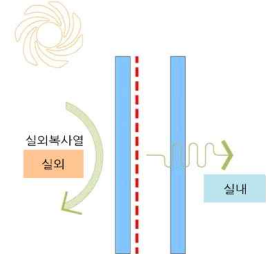
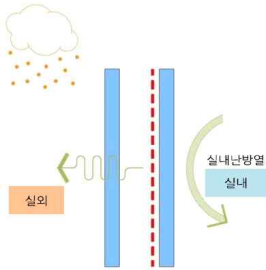
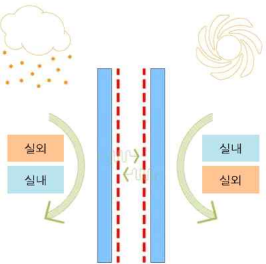
(가) 그린리모델링 요소기술의 특징

본 연구에서 정의하고 있는 4가지 그린리모델링 요소기술 (단열재, 창호, 조명, 차양)에 대한 종류 및 특성은 아래 [표 3-36]~[표 3-39]과 같다.

[표 3-36] 단열재의 종류 및 특성

종류	특징	열전도율
압출법 보온판 (XPS)	 -발포 폴리스티렌(PS)계열 단열재이다. -압축강도가 높고, 자기소화성이 있다. 또한, 수분 흡수율이 낮기 때문에 대지에 면하는 부분이나 지하공간에 설치 할 수 있는 장점이 있다. -시공 후, 시간이 경과하면 단열성능이 떨어지는 단점이 있다.	0.031~0.027 (W/mK)
비드법 보온판 (EPS)	 -발포 폴리스티렌(PS)계열 단열재로 1종(EPS), 2종(네오펜)로 구분된다. -가공이 용이하며, 시공방법에 따른 단열성능의 오차가 적은 장점이 있다. -압출법에 비해 수분 흡수율이 높고, 습기에 노출될 경우 단열성능이 저하되는 단점이 있다. -시공 후, 단열재의 휨 현상이 발생할 수 있다.	0.043~0.032 (W/mK)
미네랄 보온판 (Rock Wool, Mineral Wool)	 -단열 및 보온효과가 우수하며, 내열성이 높기 때문에 사용온도 범위가 넓은 장점이 있다. -미네랄 보온판 특성상 인체에 유해하기 때문에 시공이 어려운 단점이 있다.	0.036~0.038 (W/mK)
폴리우레탄 (PUR, PIR)	 -현장에서 스프레이폼으로 발포하는 제품과 공장에서 일정 규격으로 생산되는 제품으로 구분된다. -비드법, 압출법 보온판에 비해 단열성능이 우수한 장점이 있다. -가격이 비싸다는 단점이 있다.	0.025~0.019 (W/mK)
글라스울 (Glass Wool)	 -유연하고 부드러우며, 흡습성능이 뛰어나며, 무기질 원료로 구성되어 있기 때문에 불연재료(난연 1급)으로 구분된다. -흡수율이 높기 때문에 습기에 노출될 경우 단열성능이 저하되는 단점이 있다. 또한, 밀도가 낮아(10~24K) 외단열 사용에 어려움이 있다.	0.042~0.038 (W/mK)

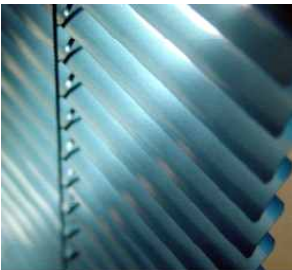
[표 3-37] 창호의 종류 및 특성

종류		특징
투명유리		-투명유리는 가시성이 우수한 장점이 있지만, 로이유리나 복층유리와 같이 단열성능을 위해 가공된 유리들에 비해 단열성능이 매우 취약하다. -여름에는 높은 일사취득계수(SHGC)로 인해 냉방부하가 급증할 우려가 있기 때문에 적절한 차양계획이 선행되어야 한다.
로이유리		-로이유리는 투명 금속필름(일반적으로 은을 사용)을 부착해 열을 흡수한 후 재방사함으로써 실내의 열을 보존하거나 외부의 열 유입을 줄일 수 있다.
복층유리	2면 코팅 로이유리	 -실외의 복사열(태양)이 획득이 많은 방향에 사용하는 유리이다. -냉방부하가 많이 발생하는 향에 배치하는 것이 유리하다.
	3면 코팅 로이유리	 -전도에 의한 열손실로 난방부하가 많이 발생하는 방향에 배치하는 것이 유리하다.
	2,3면 코팅 로이유리	 -전도에 의한 열손실로 난방부하가 많이 발생하는 방향에 사용하는 유리이다.

[표 3-38] 조명의 종류 및 특성

종류	특징
LED 조명	 -LED조명은 일반 형광등에 비하여 에너지 절약효과가 우수하다. 또한, 긴 수명을 가지고 있기 때문에 반영구적으로 사용 가능하다는 장점이 있다.

[표 3-39] 차양의 종류 및 특성

종류		특징
커튼 (Curtain)		-커튼은 실내에서 채광조절, 보온, 및 방음을 목적으로 하는 넓은 천을 말한다. -다양한 재료와 색깔, 무늬, 모양으로 실내 장식에도 쓰인다.
롤업 셰이드 (Roll-up Shade)		-롤업 셰이드는 가볍고 유연성이 있는 재료(갈대, 대나무, 고판재 등)를 와이어로프로 연결하여 둥글게 말아 올리거나 접어서 사용할 수 있도록 설치하는 차양장치이다. -계절에 따른 일사량 조절이 쉬우며, 각 창문에 따른 개별적 일사차단이 가능하다.
베니션 블라인드 (Venetian Blind)	알루미늄 슬랫 	-알루미늄 슬랫은 습기에 강하고 구겨짐에 강하여 복원력과 내구성이 좋아 수명이
	타공 슬랫 	-타공 슬랫은 슬랫을 닫았을 경우에도 외부전경을 보장받을 수 있다는 장점이 있다.

(나) 그린리모델링 요소기술의 비용정보

① 단열재(Thermal Insulation)

단열재의 종류는 압출법 보온판 (XPS), 비드법 보온판 (EPS), 미네랄 보온판 (Mineral Wool), 글라스울 (Glass Wool), 경질우레탄 2종으로 구분할 수 있으며, 각 종류별 비용정보는 [표 3-40] ~ [표 3-44]와 같다. 본 정보는 물가정보지 (2017.03) 및 전문업체의 유통가격을 통해 수집하였다.

[표 3-40] 압출법 보온판 비용정보

종류	단위	수량	4호	3호	2호	1호
압출법 보온판	원/mm m ²	1매	141	148	160	173

[표 3-41] 비드법 보온판 비용정보

종류	단위	수량	4호	3호	2호	1호
비드법 1종	원/mm m ²	1매	46	62	77	92
비드법 2종	원/mm m ²	1매	52	70	89	105

[표 3-42] 미네랄 보온판 비용정보

종류	단위	수량	펠트	1호	2호	3호
미네랄 보온판	원/mm m ²	1매	203	270	406	676

[표 3-43] 글라스울 비용정보

종류	단위	수량	24K	32K	40K	48K	64K	80K
글라스울	원/mm m ²	1매	33	44	55	65	87	109

[표 3-44] 경질우레탄 2종 비용정보

종류	단위	수량	2호	1호
경질우레탄 2종	원/mm m ²	1매	216	228

② 창호 (Window)

실제로 국내에서 생산되며, 공동주택의 설계에 사용하고 있는 창호의 규격 및 종류를 선별하였으며, 물가정보지 및 시장의 유통비용 조사를 활용하였다 ([표 3-45 참조]).

[표 3-45] 창호의 비용특성

종류	수량	단위	단가
투명이중창 (Clr 5+Air 6+Clr 5) & (Clr 5+Air 6+Clr 5)	1	원/m ²	51,400
투명이중창 (Clr 5+Air 12+Clr 5) & (Clr 5+Air 6+Clr 5)	1	원/m ²	57,700
투명이중창 (Clr 6+Air 12+Clr 6) & (Clr 5+Air 6+Clr 5)	1	원/m ²	62,100
투명이중창 (Clr 5+Air 12+Clr 5) & (Clr 5+Air 12+Clr 5)	1	원/m ²	64,000
투명이중창 (Clr 6+Air 12+Clr 6) & (Clr 5+Air 12+Clr 5)	1	원/m ²	68,400
투명이중창 (Clr 6+Air 12A+Clr 6) & (Clr 6+Air 12+Clr 6)	1	원/m ²	72,800
로이이중창 (Low-E Clr 5+Air 12+Clr 5) & (Clr 5+Air 6+Clr 5)	1	원/m ²	71,200
로이이중창 (Low-E Clr 6+Air 12+Clr 6) & (Clr 5+Air 6+Clr 5)	1	원/m ²	73,200
로이이중창 (Low-E Clr 5+Air 12+Clr 5) & (Clr 5+Air 12+Clr 5)	1	원/m ²	77,500
로이이중창 (Low-E Clr 5+Air 12+Clr 5) & (Clr 6+Air 12+Clr 6)	1	원/m ²	79,500
로이이중창 (Low-E Clr 6+Air 12+Clr 6) & (Clr 5+Air 12+Clr 5)	1	원/m ²	81,900
로이이중창 (Low-E Clr 6+Air 12+Clr 6) & (Clr 6+Air 12+Clr 6)	1	원/m ²	83,900

③ 조명 (Lighting), 84m²기준

조명은 LED 타입으로 구성하였으며, 문헌조사를 통해서, 전용면적당 등기구용량(W)을 결정하였다. [표 3-46]은 전용면적 84m²의 공동주택의 LED조명 구성 정보를 나타내고 있다. LED조명의 비용정보는 물가정보지 및 조명 설치 업체들의 유통가격 조사를 통해 수집하였다.

[표 3-46] 조명의 비용특성

종류	설명	등기구타입	수량	단가
LED 조명	거실	LED 52W	1	185,000
LED 조명	침실1	LED 40W	1	170,000
LED 조명	침실2	LED 40W	1	170,000
LED 조명	침실3	LED 40W	1	170,000
LED 조명	주방	LED 20W	1	140,000
LED 조명	식탁	LED 12W	1	60,000
LED 조명	욕실1	LED 12W	1	60,000
LED 조명	욕실2	LED 12W	1	60,000
LED 조명	드레스룸	LED 12W	1	60,000
LED 조명	현관	LED 12W	1	60,000
LED 조명	복도	LED 8W	1	47,200
LED 조명	발코니	LED 12W	1	60,000

④ 차양 (Shading Device)

차양은 앞서 제시한 3가지 종류에 따라서 비용정보를 중심으로 비용정보를 구축하였다. 위의 조명 비용정보와 마찬가지로 물가정보지 및 창호 설치 전문업체들의 유통가격 조사를 통해 비용특성을 수집하였다 ([표 3-47] 참조).

[표 3-47] 차양의 비용특성

종류	수량	단위	단가
커튼	1	원/ m ²	15,000
쉐이드롤	1	원/ m ²	25,000
베니션 블라인드	1	원/ m ²	18,000

⑤ 태양광 패널 (Photovoltaic panel)

태양광 패널은 용량, 효율, 단위 면적, 단가에 대한 특성정보를 중심으로 DB를 구축하였다. 이러한 정보는 태양광 설치 전문업체들의 유통가격 조사를 통해 비용특성을 수집하였다 ([표 3-48] 참조).

[표 3-48] 태양광 패널의 특성 정보

구분	용량(W)	효율(%)	단위 면적			단가(원/Unit)
			가로(mm)	세로(mm)	두께(mm)	
1	300	18.30%	1641	1000	36	514,900
2	240	14.00%	1651	1004	46	249,320
3	185	14.00%	1580	808	35	243,900
4	195	14.00%	1580	808	36	259,076
5	250	14.00%	1641	991	40	260,160
6	260	14.00%	1639	991	51	271,000
7	260	14.00%	1639	990	40	271,000
8	250	14.00%	1641	991	41	271,000
9	255	14.00%	1641	991	41	271,000

10	250	14.00%	1641	991	41	276,420
⋮	⋮				⋮	
50	290	14.00%	1641	1000	36	432,516
51	295	14.00%	1641	1000	36	475,876
52	300	14.00%	1641	1000	36	514,900
53	305	14.00%	1641	1000	36	525,740
54	100	14.00%	1062	534	3	323,032
55	100	14.00%	1042	534	6	214,632
56	50	14.00%	559	559	3	130,080
⋮	⋮				⋮	
112	305	14.00%	1956	991	51	313,276
113	295	14.00%	1956	991	46	313,276
114	310	14.00%	1956	991	51	341,460
115	72	14.00%	2741	379	5	194,036
116	88	14.00%	2741	379	5	274,252
117	300	14.00%	5161	889	5	649,316
118	315	14.00%	5161	889	5	670,996
119	307	14.00%	5161	889	5	655,820
120	291	14.00%	5161	889	5	627,636
121	280	14.00%	5393	737	5	596,200

나. 단위성과 3-2-①: User-Interface 설계 & 다. 단위성과 3-3-①: 평가시스템 개발

단위성과 3-2-①(user-interface 설계)과 단위성과 3-3-①(평가시스템 개발)의 연구성과물은 연계되기 때문에, 본 절에서 설명하고자 한다. 우선, 본 연구에서는 그린리모델링 최적 의사 결정 지원 시스템에 대한 User-interface 설계를 진행하였다. User-interface는 사용자와 컴퓨터가 정보를 효율적으로 주고받기 위하여 구성하는 프로그램의 핵심요소이다. 본 연구에서 User-interface 개발의 목적은 사용자는 프로그램에 대한 전문 지식이 없더라도, 프로그램과 편리하게 상호작용할 수 있는 접근성을 제공할 수 있다. 따라서 본 연구는 전문가 뿐만 아니라, 비전문가도 간단한 입력을 통해 분석결과를 확인할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

(1) 그린리모델링 최적 대상선정 시스템

핵심성과 1-1-① (공동주택 데이터 수집), 핵심성과 1-2-① (공동주택 CO₂ 배출량 영향요인 분석), 핵심성과 1-3-① (공동주택 에너지성능 평가 기술 개발), 핵심성과 1-4-① (최적 대상 선정 모델 개발)의 연구 결과를 기반으로, 그린리모델링 최적 대상 선정 시스템을 개발하였다. 본 시스템에 대한 사용자 인터페이스는 [그림 3-14] ~ [그림 3-15]과 같다.

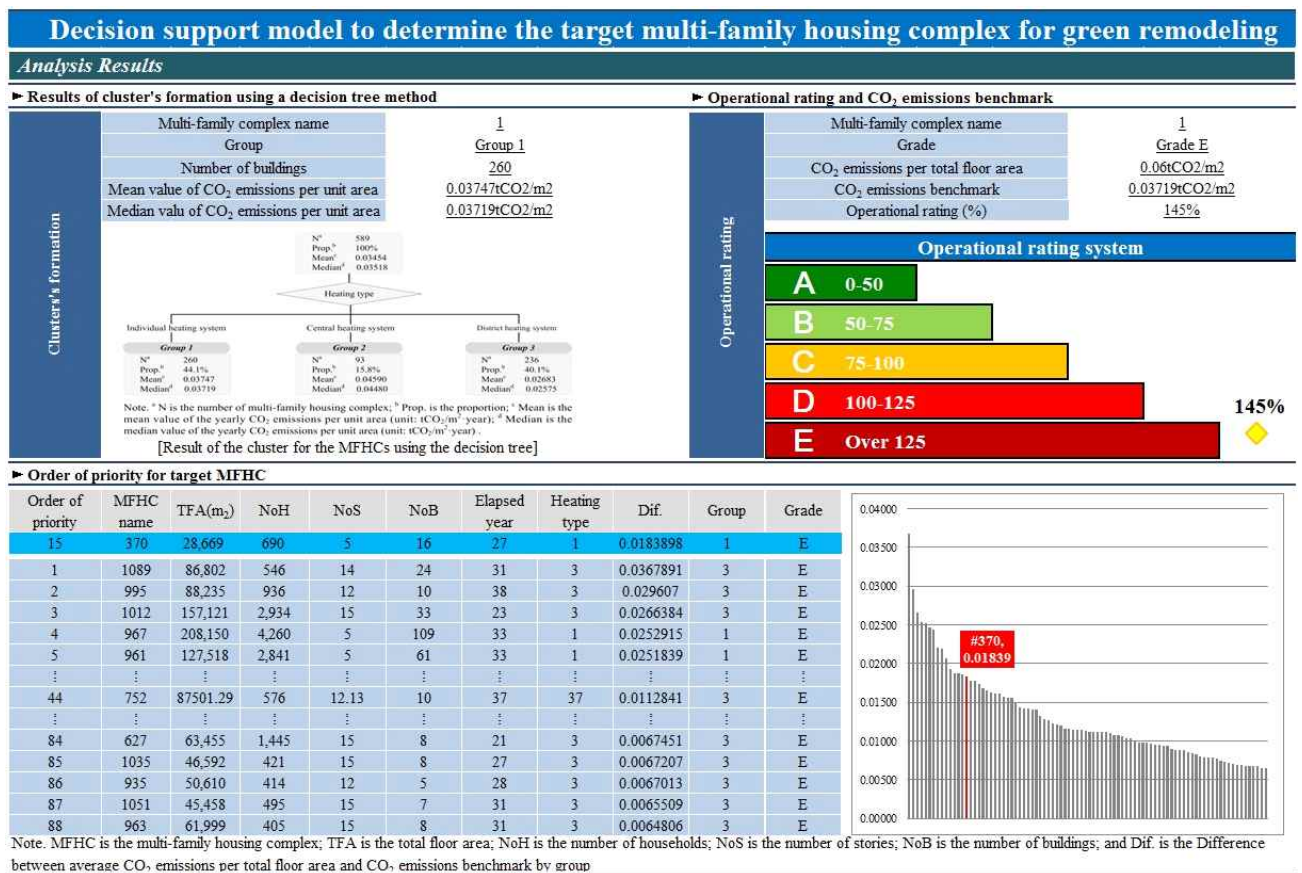
(가) STEP 1: 분석대상 공동주택 정보 입력 및 검색

분석대상 공동주택이 그린리모델링을 우선적으로 수행해야 하는 대상인지를 평가하기 위하여, 사전적으로 분석대상 공동주택에 대한 기본 정보를 입력한다. 기본 정보는 분석대상 공동주택이 위치하고 있는 지역 및 공동주택 명을 입력한다. 그 이후, 검색을 클릭하면, 분석대상

공동주택에 대한 정보(연면적, 세대수, 층수, 동 수, 사용연한, 난방방식, 에너지사용량 등)을 불러들일 수 있다.

Decision support model to determine the target multi-family housing complex for green remodeling															
Basic building information															
▶ Input and Search the MFHC it															
Building information	City		Seoul												
	District		Nowon-gu												
	Village		Sanggye-dong												
	Multi-family complex name		370												
Search >															
▶ Output the MFHC information															
Building information	Total floor area (m ²)		28,669												
	Number of households		690												
	Number of stories		5												
	Number of building		16												
	Elapsed year		27												
	Heating type		1												
Utilization information	Class	Total	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
	Energy	Elec.	1,516,227 kWh	134,828	133,846	115,985	123,825	116,849	123,236	129,617	148,917	126,383	116,483	122,537	123,721
		Gas	14,932,745 kWh	2,947,576	2,682,209	2,211,857	1,796,884	1,170,912	519,337	341,397	288,482	239,556	351,021	620,851	1,762,663
	CO ₂	Elec.	699 kWh	62	62	53	57	54	57	60	69	58	54	56	57
		Gas	895 kWh	177	161	133	108	70	31	20	17	14	21	37	106

[그림 3-14] 분석대상 공동주택 정보 입력 및 검색



[그림 3-15] 분석대상 공동주택에 대한 그린리모델링 우선 순위를 출력하는 사용자 인터페이스

(나) STEP 2: 분석결과 출력

본 연구의 분석결과는 3가지 형태로 나타난다. 첫째, 분석대상 공동주택과 유사한 공동주택 군집을 출력한다. 둘째, 공동주택이 속하는 군집내에서 이산화탄소 배출량 등급(예를 들어, E 등급)이 출력된다. 셋째, 분석대상 공동주택이 속하는 지역(예를 들어, 서울) 내에서, 그린리

모델링이 수행되어야 하는 우선순위가 출력된다. 예를 들어, 분석대상 공동주택의 우선순위가 1번으로 나타났다면, 지역 내에서 이산화탄소 배출량을 과도하게 배출하고 있다는 의미로서, 그린리모델링이 시급히 필요하다는 것을 의미한다.

(2) 그린리모델링 최적 요소기술 선정 시스템

핵심성과 2-1-① (그린리모델링 요소기술 DB 구축), 핵심성과 2-2-① (기존 공동주택 표준모델 정의), 핵심성과 2-3-① (기준 시뮬레이션 모델에 대한 보정기법 개발), 핵심성과 2-4-① (그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가), 핵심성과 2-5-① (그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델)의 연구 결과를 기반으로, 그린리모델링 최적 요소기술 선정 시스템을 개발하였다. 본 시스템에 대한 사용자 인터페이스는 [그림 3-16] ~ [그림 3-19]과 같다.

(가) 1단계: DB 구축 단계

1단계는 그린리모델링을 수행하고자 하는 공동주택에 기본 정보 (지역정보 및 공동주택 정보)를 입력하는 단계이다. 첫째, 분석대상 공동주택에 위치하고 있는 지역을 선택한다. 이를 통해, 사용자가 선택한 지역에 대한 기상데이터가 자동으로 입력되어, 건물 에너지 시뮬레이션이 수행된다. 둘째, 분석대상 공동주택 정보(사용자 데이터: 전기사용량 및 가스사용량, 물리적 데이터: 벽체, 조명, 창호, 차양 등)를 선택한다. 이를 통해, 분석대상 공동주택에 특성이 반영된 기본 에너지 시뮬레이션 모델이 설정된다.

Step 1: Establishment of the database

► Input the regional information

Meteorological data	Region	Seoul, South Korea
	Source	World Meteorological Organization region and Country (WMO) Regions 2

► Input the MFHC information

Utilization data	Class	Total	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
			Electricity	3,961.00 kWh	290.00	325.00	280.00	303.00	297.00	358.00	382.00	431.00	285.00	353.00
Gas	1,190.96 m ³	247.21	216.47	147.27	78.99	49.20	27.54	37.46	29.44	23.65	58.97	117.54	157.22	

Physical data

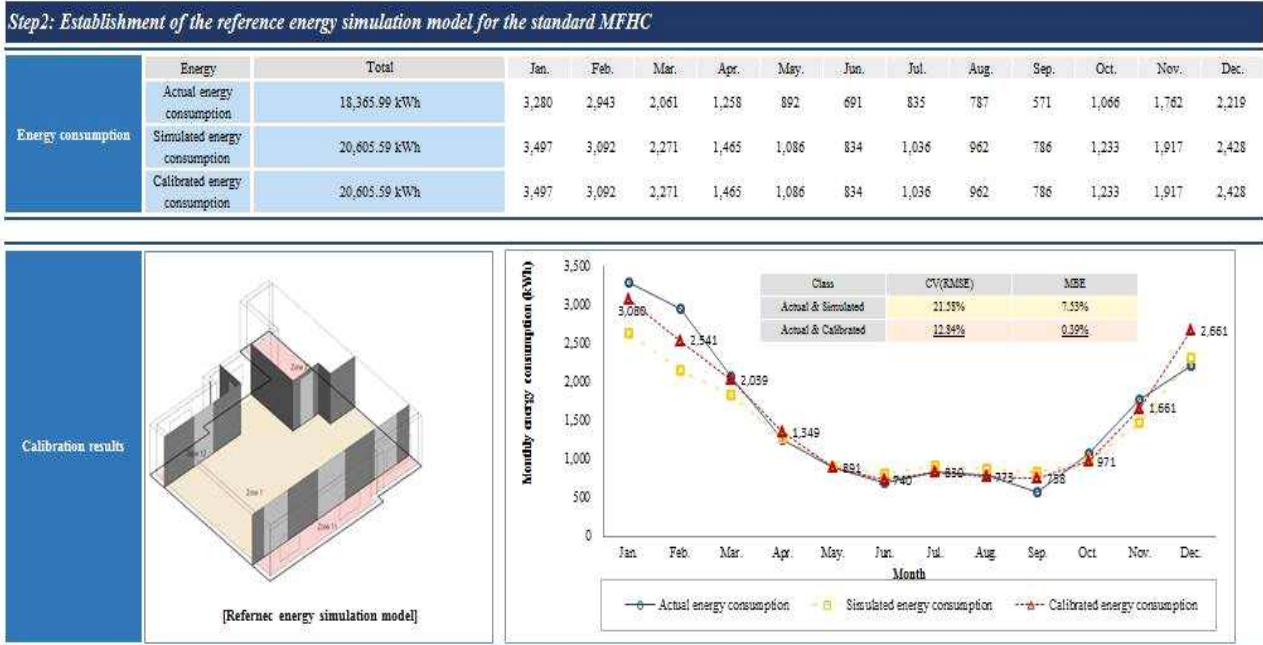
Physical data	External wall	Type of the wall	Concrete	Input the external wall data >
		Thickness of the concrete wall (mm)	200 mm	
		Type of the insulation	ExpandablePolyStyrene 1 - Type 2	
		Thickness of the insulation (mm)	140 mm	
		Type of the gypsum board	Gypsum	
	Lighting system	Thickness of the gypsum board (mm)	60 mm	Input the lighting system data >
		Type of the lighting system	Recessed	
		Lighting energy (W)	382	
		Return air fraction	0.18	
	Window system	Radiant fraction	0.54	Input the window system data >
		Visible fraction	0.18	
		Type of the window system	(Low-E Clrd-Air12-Clrd)&(Clrd-Air12-Clrd)	
		U-value (W/m ² K)	1.403	
	Shading system	Solar heat gain coefficient (SHGC)	0.54	Input the shading system data >
		Visible transmittance (VT)	0.623	
		Type of the shading system	Curtains (dark color & tight fabrics)	
Solar transmittance		0.45		
		Solar reflectance	0.15	
		Visible transmittance (VT)	0.45	
		Infrared hemispherical emissivity	0.15	

[그림 3-16] 1단계(DB 구축 단계)에 대한 사용자 인터페이스

(나) 2단계: 기본 시뮬레이션 모델(Base simulation model)에 대한 보정 단계

1단계에서 입력한 정보를 기반으로, 건물 에너지 시뮬레이션이 수행된다. 1차적으로 수행한 건물 에너지 시뮬레이션 모델이 CV(RMSE) 및 MBE 기준을 충족하지 못하는 경우, 기본

시뮬레이션 모델에 대한 보정을 수행한다. ASHRAE Guideline 14에 따라, CV(RMSE)와 MBE 기준은 각각 15% 이하 및 -5% - 5%로 설정되었다.



[그림 3-17] 2단계(기본 시뮬레이션 모델(Base simulation model)에 대한 보정 단계)에 대한 사용자 인터페이스

(다) 3단계: 에너지 절감 기술 적용에 따른 이산화탄소 절감량 산정

2단계에서 ASHRAE Guideline 14의 기준을 만족하는 기본 시뮬레이션 모델이 수립된 경우, 분석대상 공동주택에 적용하고자 하는 에너지 절감 기술(단열재, 창호 등)을 선택한다. 분석자가 선택한 에너지 절감 기술을 기반으로, 다양한 조합의 에너지 절감 시나리오가 생성되고, 그에 대한 이산화탄소 절감량이 산정된다.

Step 3: Estimation of the monthly energy consumption in MFHCs

ON ESM-1 Insulation system	Type of insulation system Thickness (mm) External wall Thermal conductivity (W/mK) Density (kg/m ³) Thermal capacity (J/kg.K)	Extruded polystyrene board - Type 1 100 0.037 25 1500	Input Total alternatives Activation	Completed 2 Activated	Select the insulation system >
ON ESM-2 Window system	Type of window system U-Value (W/m ² .K) Solar heat gain coefficient (SHGC) Visible transmittance (VT)	(Clr6+Air12+Clr6)&(Clr5+Air6+Clr5) 1.40 0.54 0.62	Input Total alternatives Activation	Completed 2 Activated	Select the window system >
ON ESM-3 Lighting system	Type of lighting system Lighting energy (W/m ² -100lux) Radiant fraction z Visible fraction	LED lighting hanging from the ceiling 382 0.18 0.54	Input Total alternatives Activation	Completed 2 Activated	Select the lighting system >
ON ESM-4 Shading system	Type of shading system Solar transmittance Solar reflectance Visible transmittance Visible reflectance Infrared hemispherical emissivity	Curtains (medium color & less tight fabrics) 0.45 0.15 0.45 0.15 0.90	Input Total alternatives Activation	Completed 2 Activated	Select the shading system >

[그림 3-18] 3단계(에너지 절감 기술 적용에 따른 이산화탄소 절감량 산정)에 대한 사용자 인터페이스

(라) 4단계: 에너지 절감 기술 적용에 따른 경제성과 환경성 평가

3단계에서 생성된 에너지 절감 시나리오를 기반으로, 그린리모델링 수행에 따른 경제성과 환경성이 평가된다. 앞서 설명하였던 다목적 최적화 방법론을 기반으로, 5가지 최적화 목적 함수 (초기투자비, 순현재가치, 투자수익률, 이산화탄소 절감량, 한계감축비용)를 고려한 최적의 대안을 추출할 수 있다.

Step 4: Determination of the optimal CO₂ emission reduction strategies in MFHCs by using the iMoo model

LCC and LCCO ₂ analyses	Analysis approach		Present-worth method													
	Starting point of analysis		2016													
	Analysis period		24 years													
	Real discount rate	Inflation rate (%)	0.95%													
		Electricity price growth rate (%)	2.15%													
		Gas price growth rate (%)	1.68%													
CO ₂ emissions trading price growth rate (%)		3.32%														
		Automatic >		Manual >												
Class		Fitness score		0.6076		Optimization goal		Weight								
Optimization objectives	1. Initial investment cost (IC) (US\$)		0.572		Minimization		1									
	2. Net present value at year 24 (NPV ₂₄)		0.754		Maximization		1									
	3. Saving to investment cost at year 24 (SIR ₂₄)		0.151		Maximization		1									
	4. CO ₂ emission reduction (CER)		1.587		Maximization		1									
	5. Marginal abatement cost (MAC)		3E-07		Minimization		1									
Class		Type of energy saving measures				Detailed information										
Adjustable parameters	1. Insulation (I1 ~ I24)		I5		ExpandablePolyStyrene 1 - Type 1											
	2. Window (W1 ~ W12)		W5		(C1r5-A1r12-C1r5)&(C1r5-A1r12-C1r5)											
	3. Lighting (L1 ~ L4)		L5		Return-Air Ducted											
	4. Shading (S1 ~ S15)		S4		Curtains (dar color & less tight fabrics)											
Constraint		National CO ₂ emissions reduction target by 2030				18.1%										
						Retrive Results >										
Optimal strategies	CO ₂ emission reduction strategies					CO ₂ emissions reduction by 2030 (%)					Optimization objectives					iMoo score
	Ranking	Insulation	Window	Lighting	Shading						IC	NPV	SIR	CER	MAC	
	1	I0	W5	L4	S4	13.14					0.545	0.770	0.157	0.605	-0.008	0.595
	2	I0	W5	L4	S5	13.14					0.545	0.770	0.158	0.605	-0.008	0.594
	3	I0	W5	L4	S5	13.09					0.545	0.770	0.158	0.598	-0.008	0.594
	4	I0	W0	L0	S0	12.74					0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000
	5	I0	W0	L0	S0	12.74					0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000

[그림 3-19] 4단계(에너지 절감 기술 적용에 따른 경제성과 환경성 평가)에 대한 사용자 인터페이스

4. 핵심성과 및 성과유형

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과유형	연구기관	해당연차	TRL
1	그린리모델링 최적 대상 선정 모델 (SMOM)	기존 공동주택의 속성을 고려한 에너지성능 평가; 에너지성능 열위 건축물 선정; 그린리모델링 관련 정책적 관리 대상 도출	소프트웨어	주관 (연세대)	2	4
2	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT)	에너지시뮬레이션 기반 에너지성능 데이터베이스 구축; 그린리모델링 요소기술의 에너지성능 개선효과 평가; 건축물 속성정보를 고려한 최적의 그린리모델링 요소기술 제시	소프트웨어	주관 (연세대)	2	4
3	그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG)	잠재적 사용자(정부 및 민간)를 위한 설계 이전 단계에서 평가가 가능한 프로그램으로 제시; 수요자의 사업조건(감축목표, 예산, 시공기간 등)을 고려한 그린리모델링 최적안 제시; 경제적/기술적 측면의 그린리모델링 관련 의사결정 지원	소프트웨어	공동 (한글은)	2	4

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가, 총괄 연구수행 성과

(1) 성과점검기준표

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	기준치	
주관	1	그린리모델링 최적 대상 선정 모델 (SMOM) 개발	1-1	공동주택 DB 구축	① 기존 대비 공동주택 데이터의 수 증가율	30%	47,097 %	증가율	보고서	5	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 논문 : 1 건 학술대회 : 2 건
			1-2	공동주택 CO ₂ 배출량 영향요인 정의	① CO ₂ 배출량 영향요인	-	자문 1건, 분석 1건	전문가 검증 및 분석결과	보고서	10	
			1-3	에너지성능 평가방법 개발	① 에너지성능 평가방법	1건	586건	사례분석을 통한 비교 분석	논문게재, 보고서	10	
			1-4	그린리모델링 최적 대상 선정 모델 개발	① 최적 대상 선정 모델	1건	1건	사례분석을 통한 비교 분석	논문게재, 보고서	15	
	2	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	2-1	그린리모델링 요소기술 DB 구축	① 종류별 요소기술 데이터 확보	10건	60건	건수	보고서	5	특허 : 출원 1 건 논문 : 2 건 학술대회 : 1 건 인력양성 : 1 건
			2-2	기존 공동주택 표준모델 정의	① 기존 공동주택 표준모델	6건	6건	건수	보고서	5	
			2-3	에너지시뮬레이션 분석 자동화 모델 개발	① 에너지시뮬레이션 평가속도 향상률	100%	600%	전문가 검토	전문가 검토	10	
			2-4	그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가	① 시나리오에 대한 에너지시뮬레이션 평가	1,000 건	21,600건	분석결과	보고서	10	
			2-5	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델	① 최적 요소기술 선정 모델	1건	1건	사례분석을 통한 비교 분석	논문게재, 보고서	10	
	공동 주관	3	그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	3-1	시스템 DB 구축	① 시스템 DB 구축	1건	1건	소프트웨어	프로그램 등록	5
3-2				User-interface 개발	① User-interface	1건	1건	소프트웨어	프로그램 등록	10	
3-3				그린리모델링 최적 의사결정 시스템	① 평가 시스템	1건	1건	소프트웨어	프로그램 등록	10	
계										100	특허 : 출원 2 건 등록 1 건 논문 : 3 건 학술대회 : 3 건 SW : 1 건 인력양성 : 1 건

○ 1차년도

구분	핵심성과 (CTE)	단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수
				질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치		
주관	1	그린리모델링 최적 대상 선정 모델 (SMOM) 개발	1-1	공동주택 DB 구축	① 기존 대비 공동주택 데이터의 수 증가율	30%	81%	증가율	보고서	5	특허: 출원 1 건 논문: 1 건 학술대회: 1 건
			1-2	공동주택 CO ₂ 배출량 영향요인 정의	① CO ₂ 배출량 영향요인	-	전문 가자 문 1건	전문가 검증	보고서	10	
			1-3	에너지성능 평가방법 개발	① 에너지성능 평가방법	1건	586건	사례분석 을 통한 비교분석	논문게재, 보고서	10	
	2	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	2-1	그린리모델링 요소기술 DB 구축	① 종류별 요소기술 데이터 확보	10건	60건	건수	보고서	5	논문: 1 건 인력양성: 1 건
			2-2	기존 공동주택 표준모델 정의	① 기존 공동주택 표준모델	6건	6건	건수	보고서	5	
			2-3	에너지시물레 이션 분석 자동화 모델 개발	① 에너지시물 레이션 평가속도 향상률	100%	600%	전문가 검토	전문가 검토	10	
공동	3	그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	3-1	시스템 DB 구축	① 시스템 DB 구축	1건	1건	소프트웨 어	프로그램 등록	5	
			3-2	User-interface 개발	① User-interface	1건	1건	소프트웨 어	프로그램 등록	10	
계							-			60	특허: 출원 1 건 논문: 2 건 학술대회: 1 건 인력양성: 1 건

○ 2차년도

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	1	그린리모델링 최적 대상 선정 모델 (SMOM) 개발	1-1	공동주택 DB 구축	① 기존 대비 공동주택 데이터의 수 증가율	30%	47,097 %	증가율	보고서	2	특허: 등록 1 건 학술대회: 1 건
			1-2	공동주택 CO ₂ 배출량 영향요인 정의	① CO ₂ 배출량 영향요인	1건	1건	분석	보고서	3	
			1-4	그린리모델링 최적 대상 선정 모델 개발	① 최적 대상 선정 모델	1건	1건	사례분석을 통한 비교 분석	논문게재, 보고서	10	
	2	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	2-4	그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가	① 시나리오에 대한 에너지시뮬레이션 평가	1,000 건	21,600건	분석결과	보고서	10	특허: 출원 1 건 논문: 1 건 학술대회: 1 건
			2-5	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델	① 최적 요소기술 선정 모델	1건	1건	사례분석을 통한 비교분석	논문게재, 보고서	10	
	3	그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	3-3	그린리모델링 최적 의사결정 시스템	① 평가 시스템	1건	1건	소프트웨어	프로그램 등록	5	SW: 1 건
계								-		40	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 학술대회: 2 건 SW: 1 건

(2) 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1		
정의	• <u>그린리모델링 최적 대상 선정 모델 (SMOM): 기존 공동주택을 대상으로 에너지성능을 평가하여, 에너지사용량 및 온실가스 감축 효과가 더 높은 건축물을 파악하고, 우선적인 그린리모델링 적용이 요구되는 사업 대상을 발굴하는 모델</u>	
목적	• 에너지사용 및 이산화탄소 배출 측면에서 높은 비중을 차지하는 기존 공동주택을 대상으로, 동등 조건에서 에너지성능이 낮은 공동주택을 도출하여, 민간주택 소유자가 그린리모델링의 필요성을 검토하고 <u>기획/계획단계에서 그린리모델링 시행의 타당성을 판단할 수 있도록 지원</u> • 기존 공동주택을 대상으로 에너지성능이 낮은 공동주택을 도출하여, <u>정부기관이 중점 관리 대상 건축물을 파악할 수 있도록 지원</u> • 민간 공동주택에 대한 그린리모델링 활성화를 통해, <u>국가 에너지·온실가스 감축목표 달성 및 국민주거 안정성 확보</u>	
성능목표	(기존기술 수준) • 선행연구를 통해 개발된 기술은 <u>수도권 지역의 공동주택만</u>을 포함 • 에너지소비증명제에서는 기초자치단체단위로 공동주택을 구분하여 에너지성능을 파악하기 때문에, <u>에너지사용량의 주요 영향 요인을 반영하는 것에 한계가 있음</u> (개발기술 수준) • <u>6대 광역시의 공동주택</u>을 범위로 함 • 건축물의 에너지사용량에 영향을 주는 <u>주요요인을 도출하여, 에너지성능 평가시 이를 반영한 결과를 제시함</u>	
성과달성 책임자 (소속기관)	홍태훈 (연세대학교)	
소요기간	2016.06 ~ 2017.06(1년, 1차년도), 2017.06 ~ 2018.06(1년, 2차년도)	
성과달성 확인방법	(1차년도) • <u>서울특별시의 공동주택 데이터</u> 확보 • CO₂ 배출량 영향요인 도출 <u>방법에 대한 타당성 검토</u> (전문가 검토) • 사례분석을 통한 <u>공동주택 에너지성능 평가방법의 타당성 검토</u> (사례분석) • 공동주택 그린리모델링 최적 대상 선정 <u>모델 개발</u> (특허출원, 논문게재, 학술발표) (2차년도) • <u>서울 및 6대 광역시의 공동주택 데이터</u> 확보 • 서울 및 6대 광역시의 <u>공동주택 에너지 사용 및 CO₂ 배출특성 분석</u> 완료 • 공동주택 그린리모델링 최적 대상 선정 <u>모델 개발</u> (특허등록 및 논문게재)	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	[출원 : 1건], [등록 : 1건]
	논문	[SCI(E)급 학술지(IF 평균 미만) : 1건, 학술대회 : 1건], [학술대회 : 1건]
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타 (인력양성)	-

핵심성과 2		
정의	• <u>그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT)</u>: 기존 공동주택을 대상으로 그린리모델링을 시행하고자 할 때, <u>건축물의 위치나 규모와 같은 특성정보</u>는 물론 <u>예산이나 시공기간 등의 사업조건</u>을 고려하여 투자비 대비 에너지사용 감축 효과가 가장 우수한 <u>그린리모델링 요소기술의 조합을 제시</u>하는 모델	
목적	• 기존 공동주택을 대상으로 그린리모델링을 시행하고자 할 때, 다양한 <u>그린리모델링 요소기술의 적용에 따른 에너지사용량 감축 효과 평가</u> • 경제성, 시공성, 환경성 측면을 동시에 고려하여, <u>최적의 요소기술 조합 및 적정 성능 개선수준 제시</u> • 기존 공동주택을 대상으로 저비용·고효율의 그린리모델링 요소기술 적용 방안을 제시하여, <u>민간주택 소유주의 그린리모델링 시장 참여 활성화 유도</u>	
성능목표	(기존기술 수준) • 하나의 표준건축물만을 정의하거나, 요소기술 중 창호부부만을 포함하고 있음 • 개략적 에너지사용량 예측모델은 <u>에너지성능 개선 효과만을 고려</u>하여, 최적의 창호기술을 제시 (개발기술 수준) • 공동주택의 표준건축물 정의 • 1차년도 사전적 연구(단열)를 기반으로, 그린리모델링 요소기술 (<u>창호, 조명 등</u>)에 대한 <u>통합 적용에 대한 타당성 평가</u> 수행 • 다목적 최적화 방법을 활용하여 <u>경제성, 시공성, 환경성을 통합적으로 고려</u>한 최적의 결과를 제시하는 것이 가능	
성과달성 책임자 (소속기관)	홍태훈 (연세대학교)	
소요기간	2016.06 ~ 2017.06(1년, 1차년도), 2017.06 ~ 2018.06(1년, 2차년도)	
성과달성 확인방법	(1차년도) • 그린리모델링 <u>요소기술별 데이터 확보</u> 여부 (4가지 요소기술, 10건 이상 데이터 확보) • 그린리모델링 시나리오에 대한 <u>에너지시뮬레이션 평가속도 평가</u> (기존 대비 100% 향상) (2차년도) • 그린리모델링 시나리오에 대한 <u>에너지시뮬레이션 평가</u> (1,000건 이상 시행) • 공동주택 그린리모델링 최적 요소기술 선정 <u>모델 개발</u> (특허출원 및 논문게재)	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	[출원 : 1건]
	논문	[SCI(E)급 학술지(IF 평균 미만) : 1건, 학술대회 : 1건], [SCI(E)급 : 1건]
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타 (인력양성)	[박사 :1 건]

핵심성과 3		
정의	• <u>공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG): 에너지사용량 감축 효과가 더 높은 건축물을 우선적으로 선정</u>하고 그린리모델링 사업조건을 고려하여 에너지사용 감축 효과가 <u>가장 우수한 요소기술의 조합을 제시할 수 있는 의사결정 지원 도구</u>	
목적	• 에너지사용 및 이산화탄소 배출 측면에서 높은 비중을 차지하는 기존 공동주택을 대상으로, 동등 조건에서 에너지성능이 낮은 공동주택을 도출하여 <u>그린리모델링의 필요성을 검토하거나 중점 관리 대상 건축물로 선정</u> • 기존 공동주택을 대상으로, <u>기획/계획단계에서 그린리모델링 시행의 타당성 여부 판단</u> • 그린리모델링 시행 시, 경제적, 시공적, 환경적 타당성을 확보할 수 있는 <u>요소기술의 조합 및 적정 성능 개선수준 제시</u> • 기존 공동주택을 대상으로 저비용·고효율의 그린리모델링 방안을 제시하여, <u>민간주택 소유주의 그린리모델링 시장 참여 활성화 유도</u> • 민간 공동주택에 대한 그린리모델링 활성화를 통해, <u>국가 에너지·온실가스 감축목표 달성 및 국민주거 안정성 확보</u>	
성능목표	(기존기술 수준) • 기존 공동주택의 <u>에너지성능을 파악하는 기술과 요소기술의 적용을 통한 에너지성능 개선 효과를 예측하는 기술이 별도로 존재</u> • 별도로 존재하는 기술은 <u>수도권 지역의 공동주택만을 포함하거나, 요소기술 중 창호부부만을 포함하고 있음</u> (개발기술 수준) • 기존 공동주택의 에너지성능을 파악하는 기술과 요소기술의 적용을 통한 <u>에너지성능 개선 효과를 예측하는 기술을 통합하여, 기획/계획단계에서의 의사결정을 지원함</u> • <u>전국의 공동주택 데이터를 범위</u>에 포함하고 있으며, <u>요소기술 측면에서는 창호뿐만 아니라 단열, 조명, 신재생에너지 설비의 통합 적용</u>에 대한 타당성 평가 가능	
성과달성 책임자 (소속기관)	홍태훈 (연세대학교)	
소요기간	2016.06 ~ 2017.06(1년, 1차년도), 2017.06 ~ 2018.06(1년, 2차년도)	
성과달성 확인방법	(1차년도) • 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발 과정으로서, 시스템 DB구축 및 user-interface 설계를 수행 함. (2차년도) • 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발(프로그램 등록 (1건))	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	-
	논문	-
	저작	-
	S/W	[1건]
	신기술	-
	기타 (인력양성)	-

나. 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	3	133%	• 게재 완료: 4건 (달성도 포함)
	비SCI	2	350%	• 국외 학술발표: 4건 (달성도 포함) • 국외 학술지(Scopus) 게재: 3건 (달성도 포함)
	계	5	220%	-
국내 논문 게재	SCI	-	-	-
	비SCI	1	300%	• 국내학술발표: 3건 (달성도 포함)
	계	1	300%	-
특허 출원	국내	2	100%	• 특허 출원: 2건 (달성도 포함)
	국외	-	-	-
	계	2	100%	-
특허 등록	국내	1	100%	• 특허 등록: 1건 (달성도 포함)
	국외	-	-	-
	계	1	100%	-
인력 양성	석사	-	-	-
	박사	1	100%	• 박사 졸업: 1건 (달성도 포함)
	계	1	100%	-
기술 이전	계약 건수	-	-	-
	계약액	-	-	-
	징수액	-	-	-
국제 표준화	기고서 제출	-	-	-
	기고서 채택	-	-	-
	표준안 채택	-	-	-
국내 표준화	기고서 제출	-	-	-
	기고서 채택	-	-	-
	표준안 채택	-	-	-
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	-	-	-
	연구시설·장비	-	-	-
	기술요약정보	-	-	-
	생명자원	생명정보	-	-
		생물자원	-	-
		신품종	-	-
	소프트웨어	1	100%	• 소프트웨어 등록: 1건 (달성도 포함)
기타	화학물	-	-	-
	시제품	-	-	-
	성과 홍보	-	-	-
기타	일자리 창출	-	-	-

다. 연구성과 목표에 대한 자체평가

핵심성과 (CTE)	성과 목표	자체 평가
그린리모델링 최적 대상 선정 모델 (SMOM) 개발	공동주택 데이터 수집 (<u>단위성과 1-1-①</u>)	• 1차년도 연구를 통해, <u>서울특별시 공동주택 589개 DB 구축</u> 완료. • 2차년도 연구를 통해, 서울 및 6대 광역시 공동주택 데이터 153,273개 추가 수집하여, 총 <u>153,862개의 데이터 수집</u> 완료. 이는, 기존 공동주택 데이터 수(공동주택: 326개) 대비 <u>약 47,097% 증가</u>함. <u>연구목표 (30%)를 초과 달성</u> 함.
	공동주택 CO ₂ 배출량 영향요인 분석 (<u>단위성과 1-2-①</u>)	• 공동주택의 물리적 특성과 CO₂ 배출량 사이의 영향요인에 대해, <u>기존 연구 문헌을 통해 분석을 수행</u>하였음. • 공동주택의 물리적 특성과 CO₂ 배출량 사이의 영향요인에 대해, <u>전문가 자문을 통한 검증 완료</u>. • 2차년도 <u>위탁연구(한국감정원)</u>를 통해, 서울특별시뿐만 아니라, <u>6대 광역시에 대한 공동주택 CO₂ 배출량 특성 분석 완료</u>.
	공동주택 에너지성능 평가 기술 개발 (<u>단위성과 1-3-①</u>)	• 본 연구에서 개발한 <u>에너지성능 평가방법은 데이터마이닝 기법(의사결정 나무)과 Operational rating system을 이용하여 개발</u>하였음 (보고서 3-1-다 참고).
	최적 대상 선정 모델 개발 (<u>단위성과 1-4-①</u>)	• <u>그린리모델링 최적 대상 선정 모델 개발을 완료</u>하였으며, 개발된 모델의 성능을 검증하기 위하여 <u>사례분석을 수행</u>하였음. • 개발된 모델을 이용한 <u>사례분석 결과는 보고서에 제시</u>되어 있음 (보고서 3-1-라 참고).
그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 (SMOT) 개발	그린리모델링 요소기술 데이터 수집 (<u>단위성과 2-1-①</u>)	• 그린리모델링 <u>요소기술 4가지 (단열, 창호, 조명, 차양)에 대한 특성 및 비용 정보 수집 완료</u>.(보고서 3-1-가 & 3-3-가 참조) • 현재 그린리모델링에 활용 가능한 요소기술 별 정보 총 <u>60건(단열재(24개), 창호(9개), 조명(12개), 차양(15개))에 대한 정보</u>를 수집 완료하였음. <u>연구목표(10건)을 초과 달성</u> 함.
	공동주택 표준모델 수립 (<u>단위성과 2-2-①</u>)	• ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능평가 지침’에서 제시하는 표준주택 설계 도면을 기반으로, <u>공동주택 표준모델(36m², 46m², 59m², 84m², 125m²)을 수립</u>함. • 서울 및 6대 광역시에 위치하고 있는 공동주택 단지에 대한 표준모델 수립을 완료함. 따라서 본 연구의 <u>목표(6건)를 달성</u> 함.

핵심성과 (CTE)	성과 목표	자체 평가
	기준 시물레이션 모델에 대한 보정기법 개발 (<u>단위성과 2-3-①</u>)	- 그린리모델링 요소 기술 적용에 따른 에너지시물레이션을 수행하기 위하여, 기존에는 분석자는 매번 분석조건을 입력해야 하는 단점이 있었음. <u>분석시간은 시나리오 건당 최소 1분 이상 소요</u> 되었음. - 하지만, 본 자동화 모델을 통해, <u>시나리오 건당 분석시간은 10초 이내로 소요</u>되어, 에너지시물레이션 평가속도 <u>향상률은 약 600%로 분석</u> 됨. 본 연구의 <u>목표(에너지시물레이션 평가속도 향상률 100%)</u>를 초과 달성 함.
	그린리모델링 시나리오별 에너지성능 개선효과 평가 (<u>단위성과 2-4-①</u>)	- 그린리모델링 시나리오별 에너지 성능 개선효과를 평가하기 위하여, <u>경제성 평가 방법(전생애주기(Life Cycle Cost: LCC) 분석)) 및 환경성 평가 방법(전생애주기이산화탄소(Life Cycle CO₂: LCCO₂) 분석))을 적용</u>하였음. <u>그린리모델링 요소 기술 (단열, 창호, 조명, 차양)의 조합을 통하여, 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델은 총 21,600건의 시나리오를 생성</u>하였음. 본 연구의 <u>목표(시나리오 1,000건)를 2,160배 초과 달성</u> 함.
	그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델 개발 (<u>단위성과 2-5-①</u>)	- 본 연구에서 개발한 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델의 성능을 평가하기 위하여, 단위성과 2-4-①에서 수립된 <u>21,600건의 에너지 절감 시나리오를 대상으로, 경제성·환경성 평가를 수행</u>하였으며, 그 <u>사례분석 결과는 보고서에 제시</u>되어 있음 (보고서 3-2-마 참고). 즉, 본 <u>단위성과 목표를 달성</u> 함. - 에너지 사용량 대체 기술인 <u>태양광 시스템 최적 도입안 선정 프로세스</u>를 수립하였으며, 그 <u>결과는 보고서에 제시</u>되어 있음 (보고서 3-2-마 참고).
그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 (DSSOG) 개발	시스템 DB 구축 (<u>단위성과 3-1-①</u>)	- 시스템 DB 구축을 위한, <u>데이터베이스 구축을 위한 DB 구축 플랫폼, 공동주택 건축물 속성 및 에너지사용량 DB 구축, 그린리모델링 요소기술의 비용, 성능 DB 구축을 완료</u> 함. - 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG) 개발을 위한 <u>시스템 DB 구축 목표를 달성</u> 함.
	User-Interface 설계 (<u>단위성과 3-2-①</u>)	그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)의 세부모델인 <u>그린리모델링 최적 대상 선정 모델(SMOMO)과 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(SMOT)에 대한 User-interface 설계를 완료</u>함. 즉, 본 <u>단위성과 목표를 달성</u> 함.
	그린리모델링 최적 의사결정 시스템 개발 (<u>단위성과 3-3-①</u>)	본 연구에서 개발한 <u>그린리모델링 최적 의사결정 시스템에 대한 프로그램 등록을 완료</u>하였음. 즉, 본 <u>단위성과 목표를 달성</u> 함.

라. 연구개발 성과

(1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저 자명	호	국명	발행 기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
1	Establishment of a base price for the Solar Renewable Energy Credit (SREC) from the perspective of residents and state governments in the United States	Renewable and Sustainable Energy Reviews	홍태훈	75	미국	Elsevier	SCIE/ Impact factor: 9.184 (JCR: 3.03%)	2017.08.01	-
2	Mapping of the Rescue Equipment Mobilization Potential: A Decision Support Tool for Emergency Management	Journal of Management in Engineering	홍태훈	33(6)	미국	ASCE	SCIE/ Impact factor: 2.282 (JCR: 23.44%)	2017.11.01	-
3	Multi-criteria analysis of a self-consumption strategy for building sectors focused on ground source heat pump systems	Journal of Cleaner Production	홍태훈	186	미국	Elsevier	SCIE/ Impact factor: 5.651 (JCR: 8.71%)	2018.06.10	
4	Advanced Strategies for Net-Zero Energy Building: Focused on the Early Phase and Usage Phase of a Building's Life Cycle	Sustainability	홍태훈	9(12)	스위스	MDPI	SCIE & SSCI/ Impact factor: 2.075 (JCR: 47.22%)	2017.10.08	-

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
5	Framework for the Analysis of the Potential of Ground Source Heat Pump System in Elementary School Facility	Energy Procedia	홍태훈	105	네덜란드	Elsevier	비SCI (Scopus)	2017.05.01	-
6	Automatic calibration model of a building energy simulation using optimization algorithm	Energy Procedia	홍태훈	105	네덜란드	Elsevier	비SCI (Scopus)	2017.05.01	-
7	Analysis of energy consumption and indoor temperature distributions in educational facility based on CFD-BES model	Energy Procedia	홍태훈	105	네덜란드	Elsevier	비SCI (Scopus)	2017.05.01	-

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	International Conference on Applied Energy (ICAE2016)	채명수	2016.10	베이징	중국
2	International Conference on Applied Energy (ICAE2016)	김지민	2016.10	베이징	중국
3	International Conference on Applied Energy (ICAE2016)	이명휘	2016.10	베이징	중국
4	2016 한국건설관리학회 학술발표대회	오정운	2016.11	인천	대한민국
5	2017 대한건축학회 춘계학술발표대회	이명휘	2017.04	제주도	대한민국
6	2017 한국태양에너지학회 학술발표대회	지창운	2017.10	서울	대한민국
7	11 th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection	정승훈	2018.05	글래스고	영국

(3) 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도
-	-	-	-	-

(4) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품중, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기 여 율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호	등록인	등록일	출원번호	등록번호	
1	건축물의 환경적 가치 평가방법 및 그 시스템	대한 민국	연세대 학교 산학협 력단	2017.01. 31	10-2017 -001369 9	-	-	-	-	-	100 %
2	건축물의 환경적 가치 평가방법 및 그 시스템	대한 민국					연세대 학교 산학협 력단	2018.05. 18	10-2017 -001369 9	10-1861 323	100 %
3	유전자 발현 프로그래밍과 메타휴리스틱 알고리즘을 활용한 건물부문 온실가스 예측 시스템 및 예측 방법	대한 민국	연세대 학교 산학협 력단	2018.06. 19	10-2018 -007023 6	-					100 %

(5) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	기존 건물의 최적 온실가스 배출량 절감 전략을 수립하기 위한 다목적 최적화 시스템 및 방법	2018.03.12	연세대학교 산학협력단	2018.03.20	C-2018-007466	연세대학교 산학협력단	100%

(6) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	박사인력 양성	2016	○	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-

(7) 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원
-	-	-	-	-	-	-

(8) 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
-	-	-	-	-	-	-

(9) 사업화 투자 실적

번호	연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격
-	-	-	-	-	-

(10) 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(11) 표준화

번호	수행 기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
-	-	-	-	-	-	-	-

(12) 기술요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호
-	-	-	-	-

(13) 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호
-	-	-	-

2. 관련 분야 기여도

가. 경제·산업적 측면

(1) 노후 공동주택의 현황

- 공동주택의 재건축 비용 및 공사시간과 비교하여, 증축 기반 공동주택 리모델링의 비용 및 공사기간은 80~90% 수준으로 분석되고 있다. 에너지 성능 및 이산화탄소 감축 성능 향상에 목표를 둔 그린리모델링을 통해 공동주택 거주자의 만족도를 향상시키고, 공동주택 그린리모델링 시장의 활성화가 유도될 것으로 기대한다.
- 2016년 기준 905만호에 달하는 공동주택(아파트) 중에서, 2000년 이전 건설되어 15년 이상 경과된 노후 공동주택은 2016년 현재 약 521만호에 달하고, 2020년까지 지속적으로 증

가할 것으로 예상된다.

(2) 그린리모델링 시장 활성화

- 본 연구의 최종성과물(공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템)을 통해, 그린리모델링이 우선적으로 시행되어야 하는 공동주택을 전략적으로 선별할 수 있다.
- 그린리모델링 최적 대상으로 선정된 공동주택에 대하여, 그린리모델링의 도입 초기단계에서의 사업성 분석을 수행할 수 있다. 이는, 본 연구의 최종성과물(공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템)은 그린리모델링 기술(단열, 창호, 조명 등) 시나리오에 대한 경제성 및 환경성 분석 결과를 제시해주기 때문이다.
- 이를 통해, 그린리모델링 전문가 뿐 만 아니라, 비전문가인 공동주택 거주자들도 보다 쉽게 그린리모델링의 효과를 분석하고 확인할 수 있기 때문에, 공동주택 거주자의 자발적 참여가 증가 될 것으로 판단되어 그린리모델링 시장 규모가 성장할 것으로 예상된다.

나. 기술적 측면

(1) 그린리모델링에 적용할 수 있는 요소기술의 범위 확장

- 본 연구의 최종성과물(공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템)은 에너지 절감 기술(단열, 창호, 조명, 차양)과 에너지 대체기술(태양광시스템)에 대한 경제성 및 환경성 분석을 수행할 수 있다.
- 하지만, 신재생에너지 기술인 지열 시스템, 연료전지 시스템 등과 같이 건축물의 에너지를 절감·대체할 수 있는 요소기술들은 지속적으로 개발되고 적용되고 있다. 즉, 추후 연구를 통해, 본 연구의 최종성과물(공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템)에 다양한 그린리모델링 요소기술을 지속적으로 업데이트 시킬 수 있다.

(2) 그린리모델링을 적용할 수 있는 건물유형의 범위 확장

- 본 연구의 최종성과물(공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템)은 공동주택을 연구의 범위로 한정하였다. 하지만, 추후 연구를 통해, 공동주택 뿐 만 아니라, 공공 시설물 및 교육시설물까지 분석범위를 확장할 수 있다. 이를 통해, 최종성과물은 지속적으로 성장하는 시스템으로 개선·개발이 가능하다.

(3) 재실자 특성을 고려한 공동주택의 에너지 및 온실가스 배출 성능 평가 기반 제공

- 본 연구의 최종성과물(공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템)은 공동주택의 단열, 창호, 조명, 차양 등 물리적인 요소로 연구의 범위를 한정하였다. 하지만, 추후 연구를 통해, 공동주택의 재실자 특성 정보를 수집하여, 공동주택의 물리적인 정보 뿐만 아니라, 재실자의 특성(재실인원, 거주시간 등)을 고려한 에너지 및 온실가스 배출 성능 평가 및 검증을 수행할 수 있다.

다. 사회적 측면

(1) 에너지사용량 및 이산화탄소 배출량 감축

- 정부는 2018년 7월, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵을 수정하였다. 당초 온실가스 국외 감축량(해외 배출권 구매 등)을 국내 감축량으로 전환하여, 2030년 국내 온실가스 감축 비율은 25.7%에서 32.5%로 증가되었다. 이로 인해, 2030년 건물부분의 온실가스 감축 비율은 기존의 18.1%에서 32.7%로 증가되었다. 결과적으로, 노후화된 공동주택의 에너지 효율을 향상시키기 위한, 그린리모델링 사업의 중요성이 더욱 증가되었다.
- 특히, 고비용의 장기계획으로 추진되는 발전소 건설 등의 정책과는 달리, 그린리모델링을 통한 저비용 기술 적용은 비교적 빠르게 국가 에너지 절감 효과를 기대할 수 있다. 예를 들어, 2016년 기준 15년 이상 경과된 아파트 호수(약 521만호)에 1호당 에너지소비 저감량을 적용하면, 매년 전력 759천TOE(3,530 백만kWh/년), 가스 및 지역난방 1,073천 TOE(1,017 백만Nm³/년) 감축이 가능한 것으로 분석되었다.

(2) 전력대란 해소

- 고비용의 장기계획으로 추진되는 발전소 건설 등의 정책과는 달리, 그린리모델링 사업은 상대적으로 저비용·단기간에 건물에 적용하여 에너지 절감을 가능하게 한다. 이를 통해, 여름·겨울철 전력대란 문제를 줄일 수 있다.

(3) 일자리 창출

- 2030년 국가 온실가스 감축 로드맵에서 설정된 2030년 건물부분 온실가스 감축목표 32.7%를 달성하기 위하여, 정부는 신축·기축 건물에 대한 단열설비, 신재생에너지 도입 확대, 조명 효율 개선 등을 제시하고 하고 있다. 즉, 건물부분 온실가스 감축목표가 상향조정됨에 따라 기존 건축물에 대한 그린리모델링 비즈니스 시장 활성화를 통해 신성장동력으로 산업화 가능할 것으로 판단된다.
- 특히, 그린리모델링 사업은 타 사업과 비교하여, 상대적으로 중·소기업 규모에서 시장진입이 용이할 뿐 만 아니라, 그린리모델링 관련 컨설팅 분야의 전문기업 및 새로운 일자리 창출 가능할 것으로 판단된다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

구 분	내 용
기술 수요처	본 연구의 최종 성과물(DSSOG)은 그린리모델링을 통해 에너지 성능 개선 효과가 큰 공동주택을 선정하는 기술과, 경제적/기술적 측면에서 그린리모델링 대상 단지에 적용 가능한 최적 요소기술과 그 적용범위를 사전에 파악할 수 있는 기술을 제시한다. 따라서 다음과 같은 기술수요처를 고려해볼 수 있다. ▪ 자가사용자(공동주택 단지 입주자): 유사조건의 공동주택 대비 에너지 소비가 많아 에너지 비용 절감을 필요로 하는 민간 공동주택 소유자는 그린리모델링을 위한 비용 및 개선효과를 미리 파악하여, 그린리모델링의 참여 여부를 결정하는 의사결정 과정에 활용할 수 있음 ▪ 그린리모델링 사업자(설계사무소 및 관련 기업): 그린리모델링 사업자는 최종 성과물(DSSOG)을 이용하여 도출된 사업성 평가결과를 바탕으로 그린리모델링 사업 대상을 발굴하고, 민간 자가사용자의 그린리모델링 참여를 유도하는데 활용 가능. 또한, 공동주택의 그린리모델링 사업 계획 시, 에너지 및 생애주기비용 절약 방향 및 목표를 설정하고, 경제적/기술적 측면에서 합리적인 디자인을 제시하는데 활용할 수 있음 ▪ 정부기관: 그린리모델링을 통한 에너지소비 감축 효과가 높게 나타나는 에너지 다소비 공동주택에 대한 정책적 관리를 통해, 한정된 지원예산을 효율적으로 사용하는데 활용할 수 있음 자가사용자 그린리모델링의 참여 여부 등 합리적인 의사결정 그린리모델링 사업자 Green Remodeling Value up • 그린리모델링 사업 대상 발굴 • 경제적/기술적 측면에서 합리적인 디자인 제시 정부기관 에너지 다소비 공동주택에 대한 효율적 관리
실용화 방안	현재 국토교통부는 공동주택 관련 정보의 관리 및 공유를 목적으로, ‘공동주택관리정보시스템’과 그린투게더의 ‘건물에너지정보공개시스템’을 운영하고 있다. 본 연구의 최종 성과물(DSSOG)은 ‘공동주택관리정보시스템’이나 ‘건물에너지정보공개시스템’에 통합됨으로써, 각 시스템이 건축물의 그린리모델링 필요 여부 및 사업타당성 등에 대한 정보를 추가로 제공하고, 이를 통해 시스템의 활용성을 확장시킬 수 있음. 특히, 시스템에 저장된 다양한 데이터를 바탕으로, 공동주택뿐만 아니라 모든 용도의 건축물로 활용 범위를 확장하는 것이 가능 DSSOG Integration Apartment Management Info System 공동주택관리정보시스템 K-apt 건물에너지정보 건물에너지정보공개시스템 기존 정보시스템과의 통합을 통한 실용화 실현
신사업 창출	국토교통부는 2014년 그린리모델링 창조센터를 개소하고, 공공 건축물에 대한 ‘그린리모델링 시범사업’과 민간 건축물에 대한 ‘그린리모델링 이자지원사업’을 시행하여, 기존 건축물의 에너지사용량을 감축할 수 있는 그린리모델링을 유도하고 있다. 서울시 역시 ‘건물에너지효율화사업 융자지원’ 정책을 시행하여, 건축물의 에너지성능을 개선하고자 노력하고 있다. 하지만, 시범사업이나 지원사업을 통한 효과는 일부 건축물에 국한될 뿐만 아니라, 정부의 예산의 한계로 지속적인 지원 역시 어려운 것이 현실이다. 그리고 이러한 지원사업은 민간 주도의 그린리모델링 산업 활성화를 유도하기에는 어려움이 있다. 본 연구의 최종결과물(DSSOG)을 이용하면, 다음과 같은 신사업 창출이 가능할 것으로 판단된다. ▪ 그린리모델링 컨설팅 사업: 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)을 활용하여, 그린리모델링 사업 대상을 발굴하는 것은 물론 기존 건축물의 자가 사용자를 대상으로 그린리모델링 관련 상담을 수행하는 신사업 창출 가능. 이를 통해 그린리모델링 관련 시장을 확대 가능 Green remodeling 그린리모델링 컨설팅 사업 Green remodeling Market 그린리모델링 시장 확대

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

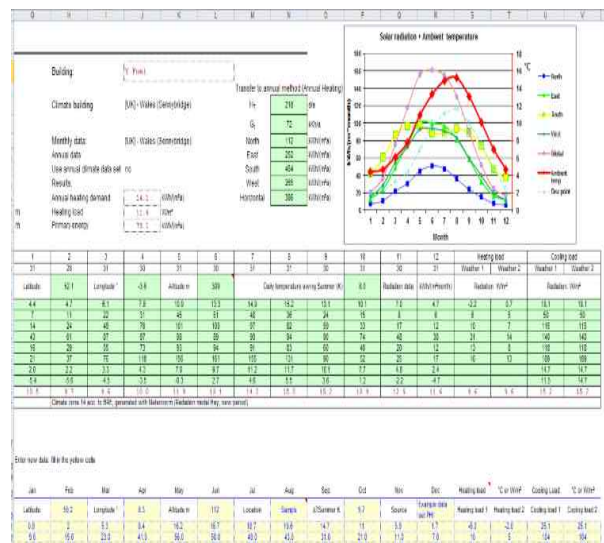
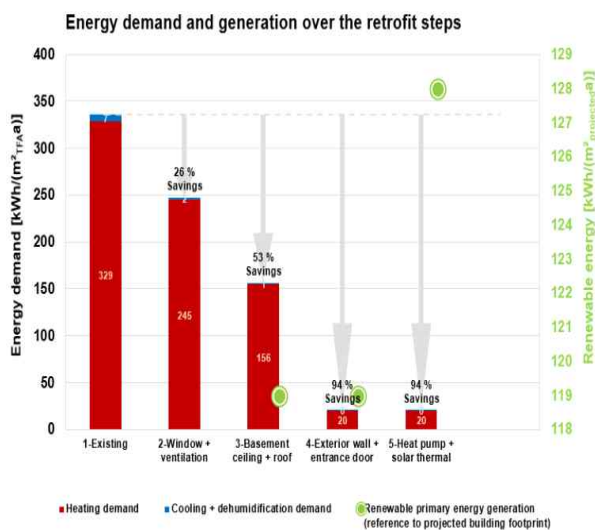
1. 국외 건물에너지 성능평가 프로그램

가. PHPP(Passive House Planning Package)⁸⁷⁾

(1) 개요

PHPP는 독일 패시브하우스연구소(Passivhaus Institute, PHI)에서 개발한 엑셀 기반의 건물에너지 밸런싱 프로그램으로서, 패시브하우스 디자인 및 인증 시 건물 에너지 소비량을 계산하기 위한 도구이다. 주요 특징은 다음과 같다⁸⁸⁾.

- ① PHPP는 사용이 간편하고 데이터 입력에 필요 이상의 시간과 노력을 요구하지 않기 때문에, 전세계 많은 건축가와 엔지니어들이 사용하고 있다.
- ② PHPP는 Microsoft Excel에서 실행되며, U-value, 난방에너지, 열 분배 및 공급, 전력 수요 및 1차 에너지 수요, 여름철 냉방부하 계산 등 약 30개의 워크시트로 구성되어 있다.



[그림 6-1] PHPP의 유저인터페이스

(2) 입력 데이터

(가) 실내온도

계획과 검사를 위해 사용하는 기본 실내 설정 온도는 섭씨 20도이다.

(나) 내부발열

- ① 워크시트에서 내부발열과 관련된 선택은 오른쪽 가장자리에서 할 수 있다.

⁸⁷⁾ Passive House Planning Package (PHPP) : https://passivehouse.com/04_phpp/04_phpp.htm

⁸⁸⁾ PASSIPEDIA : https://passipedia.org/planning/calculating_energy_efficiency/_phpp-_the_passive_house_planning_package

- ② 건물용도(주거,요양시설,사무실,학교 등)와 건물유형(주거/비주거)을 선택해야 한다. 그러면 검사를 위한 내부발열 값은 자동적으로 입력된다.
- ③ 패시브하우스와 EnerPHit verification 검사를 위해, ‘사용된 값의 유형’을 “표준(Standard)”으로 선택한다.
- ④ 내부발열의 “사용패턴”이 “other”이거나 “사용된 값의 유형”이 “standard”가 아닌 경우, (“PHPP-Calculation”선택) 내부발열의 총합은 IHG나 IHG Non-Dom 워크시트에 입력하여야 한다.

(다) 재실자 수 계획

- ① 패시브하우스 검사 단계에서, 주거용 건물에 대한 재실자 수는 패시브하우스와 EnerPHit 인증에 요구되는 표준점유율 값인 35m²/인으로 입력된다.
- ② 패시브하우스 계획 단계에서, 점유율의 기준 값은 최소 20m²/인에서 최대 50m²/인까지의 값을 입력할 수 있다.

(라) 기후지역

PHPP는 기본적으로 독일의 표준 기후 데이터가 사용된다. 다른 기후 지역에 대한 데이터는 Climate Data 워크시트에서 선택할 수 있으며, 적용 가능한 기후 지역은 Verification 워크시트에 표시된다. 프로그램 상에서 독일 및 기타 유럽지역, 미국, 캐나다 등의 국가별 여러 도시에 대한 기후데이터가 제공되고 있으나, 아직 아시아 지역의 기후데이터는 제공되지 않는다. 하지만 국내 기후 사용을 원하는 PHPP 구매자는 패시브제로에너지건축연구소(IPAZEB)에 문의하여 국내 기후 데이터를 제공받을 수 있다.

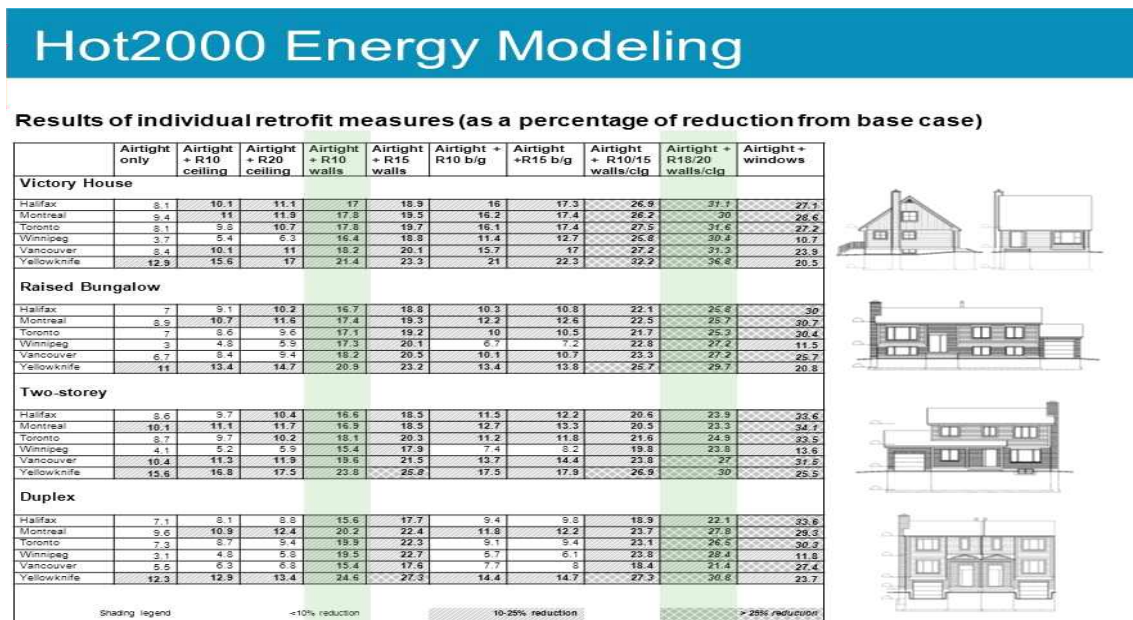
(3) 결과값

PHPP의 결과값은 연간 기상데이터를 이용하는 연간법과 월간기상데이터를 이용하는 월간법으로 출력할 수 있다. 연간계산법과 비교하여, 월간계산법은 정확도가 우수하고, 다양한 건물 유형에 대한 더욱 많은 데이터를 제공할 수 있다는 특징이 있다. 따라서 난방 요구량을 계산하는 경우, 월간계산법을 이용하는 것이 효과적이다. 한편, verification worksheet에는 연간 난방 부하량, 난방부하, 냉방부하, 냉방과 제습요구량, 여름철 과열 민도, 1차 에너지 요구량 등이 출력된다.

나. HOT2000⁸⁹⁾

(1) 개요

HOT2000은 에너지 소비량을 산정하는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램으로서, 수퍼-E 하우스의 에너지 시뮬레이션 단계에서 이용한다. 수퍼-E 하우스는 기밀성, 환기장치 시험, 적절한 벽체 디자인 그리고 에너지 시뮬레이션의 4가지 인증단계를 거쳐 그 성능이 수퍼-E 하우스의 표준에 적합할 때 캐나다 정부가 인증하는 친환경 저에너지 주택시스템이다. HOT2000 소프트웨어는 분석 대상 주택의 에너지 성능을 예측하여 연간 예상 에너지 소비량을 건물이 착공되기 전에 미리 산정할 수 있다. 주택은 난방, 온수, 전열 및 전기제품 등을 사용하기 위해 에너지를 필요로 하는데, HOT2000은 설계도에 명시되어 있는 각종 데이터를 분석하여 매달 사용될 에너지 소비량을 알려준다. 에너지 소비량의 결과에 따라 건축 전에 몇 번이고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 해당 주택의 최적 에너지 소비량을 결정할 수도 있다. 프로그램의 주요 장점은 연간 에너지 사용량을 결정하고 업그레이드 비용을 효율적으로 결정한다⁹⁰⁾.



[그림 6-2] HOT2000의 유저인터페이스

(2) 입력 데이터

에너지 소비량에 영향을 미치는 주택의 요소들은 아래와 같이 8가지로 분류할 수 있으며, 이러한 8가지 요소가 에너지 시뮬레이션에 필요한 기본 데이터 값이 된다.

- ① 지상층의 건물외피: 벽, 바닥 및 천장 구조물과 같은 건물 요소에 대한 면적과 열저항값을 입력한다. 사용자가 입력하는 건물에 대한 상세내용을 바탕으로 HOT2000은 효과적인 열저항값을 계산하며, 천장과 지붕이 교차하는 부분에 대한 열교까지 고려한다.
- ② 창문: 주택의 창문이 설치된 방위, 크기, 면적, 형태 등을 입력하면 태양열 획득, 건물내부분

⁸⁹⁾ HOT2000|Best Dictionary : <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/hot2000>

⁹⁰⁾ 캐나다우드 한국사무소: <http://www.canadawood.or.kr/services/qs-details.php? p=1220>

름, 건물 내부 온도 및 온도차, 난방계수 등을 기초로 각 창문에 대한 열저항값 및 태양열 획득 계수를 계산할 수 있다.

③ 기초 및 지하층: 기초에 사용된 단열재 저항값, 높이, 깊이, 넓이, 길이 및 토양의 조건을 기준으로 열손실을 계산한다. 기초의 내외부 벽 단열재, 슬라브 밑 단열재, 슬라브와 벽 사이 열교, 기초벽과 1층 벽 사이 연결부위의 열교도 고려된다.

④ 환기에 의한 열 손실: 주택이 바람에 노출되는 양, 풍속, 기밀성, 기온차를 기반으로 바람과 온도가 주택 내부로 들어오는 비율을 계산한다.

⑤ 난방 시스템: 난방 시스템에 대한 효율성을 계산할 수 있다.

⑥ 냉방 시스템: 냉방 시스템에 대한 열손실율을 계산할 수 있다.

⑦ 온수 시스템: 분석 대상 주택에 태양열 온수 시스템이 설치된 경우 산정할 수 있다.

⑧ 실내 열 획득

(3) 결과값

본 프로그램의 최종 결과물은 에너지 시뮬레이션의 분석 조건과 결과값을 출력한다. 분석 대상 주택에 대한 결과값은 최대 4개까지 동시에 출력가능하고, 월간/연간 에너지 분석 결과를 확인할 수 있다.

다. California GHG Tool⁹¹⁾

(1) 개요

건물용 GHG Tool은 건물 설계자, 건축가 및 엔지니어가 캘리포니아 위치하고 있는 건물의 전기 및 가스 소비에 따른 온실가스배출량을 예측하기 위한 것을 목적으로 하는 프로그램으로서, Microsoft Excel 기반 스프레드시트로 설계되어있다. 본 프로그램은 동시에 2가지 설계 대안에 대한 온실가스 배출량을 비교 평가 할 수 있으며, 분석 결과는 연간/계절별 온실가스 배출량을 출력할 수 있다.

(2) 입력 데이터

본 프로그램에 대한 주요 입력사항은 다음과 같다.

① 시간당 전력 부하 프로파일 또는 전력 사용시간(Time-of-Use: TOU)을 입력한다.

② 시간당 가스 부하 프로파일 또는 가스 사용시간(Time-of-Use: TOU)을 입력하고, 사용된 연료의 종류(천연가스 혹은 프로페인) 선택한다.

③ 분석 대상건물에서의 예상 거주년도(2008년에서 2020년 사이에서 선택)와 예상 수명을 입력한다.

⁹¹⁾ Developing a Greenhouse Gas Tool for Buildings in California: Methodology and User's Manual v.3 , GHG Tool for Building in CA v3 Dec2010

Building Data Input: Paste building hourly load and therm profile of building

START HERE: Select fuel type: Propane

Select building occupancy date: 2010

Enter name of building design: Design 1

Enter True or False: Use TOU Inputs? (TRUE) TRUE

Use Hourly Inputs? (FALSE)

Enter Net Electricity Use of Facility 1 Below [kWh](TOU)

Enter Gas Use of Facility 1 Below [therm](TOU)

Time of Use (TOU) Periods:		Enter Net Electricity Use of Facility 1 Below [kWh](TOU)	Enter Gas Use of Facility 1 Below [therm](TOU)
1	Summer On-Peak	6363	1
2	Summer Off-Peak	4953	11
3	Winter On-Peak	5293	69
4	Winter Off-Peak	4101	34
5	Fall On-Peak	5814	14
6	Fall Off-Peak	4618	15
7	Spring On-Peak	5891	17
8	Spring Off-Peak	4449	37

Enter Net Electricity Use of Facility 1 Below [kWh](Hourly)

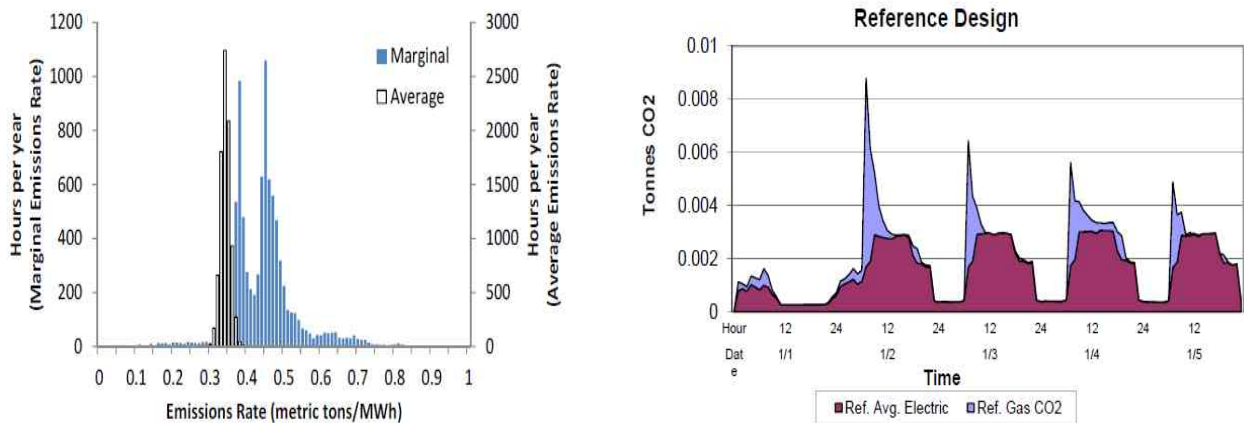
Enter Gas Use of Facility 1 Below [therm](Hourly)

Date & Time	Enter Net Electricity Use of Facility 1 Below [kWh](Hourly)	Enter Gas Use of Facility 1 Below [therm](Hourly)
1/1/91 0:00		
1/1/91 1:00		
1/1/91 2:00		

[그림 6-3] California GHG Tool의 user-interface

(3) 결과값

본 프로그램은 분석 대상건물의 설계별 전기와 가스에너지 사용량을 기반으로 온실가스 배출량을 산정할 수 있다. 또한, 분석자가 설정한 분석기간 및 예상 수명에 따라 출력결과를 확인할 수 있다.



[그림 6-4] California GHG Tool의 결과값

제7장. 연구개발성과의 보안등급

일반과제

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

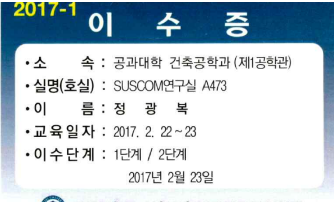
1. 연구실 안전조치 이행계획

○ 연구실 안전점검 및 정밀안전진단 계획

본 연구실은 소속되어 있는 연세대학교에서는 실험실 환경안전관리규정(개정: 2011.07.28.)에 의하여, 연구실 환경안전관리위원회를 구성하고, 실험실 안전관리를 위한 연구실 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하고 있음. 첫째, 실험실 위험등급은 3등급(A, B, C)로 구분되어 있으며, 본 연구실의 위험등급은 C등급(이화학 실험을 수행하지 않는 전기, 설계 실험실 등)에 해당됨. 이에 따른, 환경안전 점검체계는 총 3단계(① 1단계: 연구실 책임교수 관리 하 매일 1회의 점검 실시, ② 소속대학 관리 하 연 1회 정기점검 실시, ③ 3단계: 전담부서 관리 하 연 1회 실시)로 구축되어 있음. 둘째, 연구실의 정밀안전진단은 “연구실 안전환경 조성에 관한 법률 제 8조”에 의거하여, 해당연구실은 2년마다 1회 이상 실시함.

○ 참여연구원의 교육훈련 계획

본 연구실에 소속되어 있는 연세대학교는 참여연구원의 교육훈련 및 건강검진을 실시하고 있음. 첫째, 연구실 종사자 및 관계자 전원(석사·박사과정 신입생 및 교육 이수 후 2년이 경과된 보수교육 대상자)을 대상으로, 안전의식을 고취 및 안전을 확보하기 위하여 참여연구원의 교육훈련(실험실 환경안전 의무교육)을 실시하고 있음. 본 의무교육은 총 9 과목(① 실험실 환경안전관리, ② 전기안전, ③ 소방안전, 개인보호구, 안전표지, ④ 응급처치요령, ⑤ 화학약품의 안전관리, 실험시약, 폐수 및 폐액관리, ⑥ 가스안전, ⑦ 실험장비 및 기구의 안전, ⑧ 생물학 실험실 및 동물실험실 안전, ⑨ 방사선 안전관리)을 이수하는 것으로 구성되어 있으며, 이를 완료할 경우, 연세대학교 실험실환경안전관리위원장 명의의 이수증(아래 그림 참조)을 부여하고 있음. 둘째, 참여연구원의 건강검진은 유해인자 또는 유해인자로 어느 정도 인정되는 물질에 노출되는 연구자(이공계열 대학원생 약 2,600명)를 대상으로 연구실 안전환경 조성에 관한 법률에 의해 의무적으로 실시하고 있음. 또한, 연세대학교는 연구원의 각종 안전사고에 대비하기 위하여 학생 상해보험 규정을 준수하고 있음.

실험실 환경안전 의무교육 이수증	학생 상해보험
	- 가입보험 종류: 학생단체 상해보험 - 보험 가입기간: 매년 갱신 - 보험 가입대상: 연세대학교 재학생(학부생, 대학원생) - 보상내용: 상해 및 후유장애시 최고 2억원 - 보상기간: 사고발생 후 1년간 치료받은 금액(2년 이내 청구)

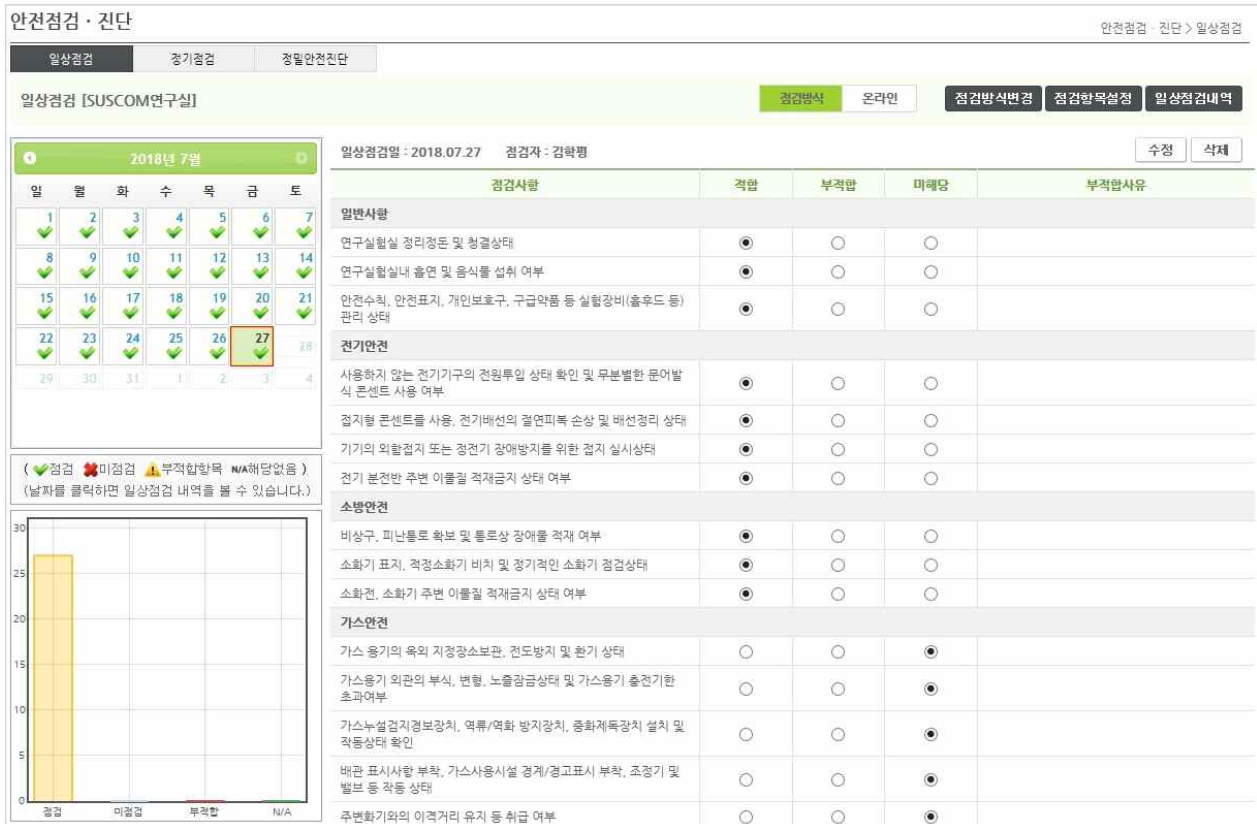
○ 연구실안전 확보 계획

본 연구실은 위험등급이 C등급으로서, 상대적으로 안전사고의 위험성이 적은 편이지만, 컴퓨터와 냉·난방기기 사용에 따른 전기안전사고에 대비할 계획임. 이를 위해, 연구실 책임교수 관리 하에 전기사용에 따른 안전사고에 유의하기 위하여 환경안전설비를 구비하고, 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침에 대한 교육·훈련을 실시할 계획임.

2. 연구실 안전조치 이행실적

○ 연구실 안전점검 실시

본 연구실이 소속되어 있는 연세대학교는 연구실 환경안전관리시스템을 개발하여, 연구실 관리, 안전점검·진단 등을 실시함. 특히, 환경안전관리시스템을 통해, 기구 및 구성, 환경안전관리, 실험실 환경안전교육, 비정기 환경안전교육 등의 자료를 공유하고 있음. 연세대학교에서 실시한 일상점검 및 정기점검에 대한 설명은 다음과 같음. 첫째, 연구실 책임 교수 관리하에 매일 1회의 일상점검을 실시하였음([그림 9-1] 참조). 둘째, 소속대학 관리하에 연1회의 정기점검을 실시하였음([그림 9-2] 참조).



[그림 9-1] 연세대학교 i-SUSCOM의 일상점검 실시 결과



[그림 9-2] 연세대학교 i-SUSCOM의 정기점검 실시 결과

○ 참여연구원의 교육훈련 실시

본 연구실이 소속되어 있는 연세대학교에서는 국내 40개 대학 및 연구기관의 안전교육을 지원하는 아이엠지테크와이 협약을 통해, 안전교육센터를 운영하고 있음. 안전교육센터를 통해, 정기교육, 채용시 교육 등을 실시하였음. [그림 9-3]과 [그림 9-4]은 교육실시에 따른 수료증임.



연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

산업안전보건교육 이수증명서

■ **교육생 정보**

성명	정 광 복	사 번		소 속	공학연구원
----	-------	-----	--	-----	-------

■ **산업안전보건교육 이수정보**

번호	교육과정	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	정 기	2018년 2분기 산업안전보건교육(이공계열 연구활동종사자)	2018. 07. 28	4	연 세 대 학 교 _20180728_00075
총 이수시간				4	

위와 같이 산업안전보건교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 28일

연세대학교 산학협력단장



<그림 9-3> 산업안전보건교육 이수증명서 사본

2017-1 이 수 증

- 소 속 : 공과대학 건축공학과 (제1공학관)
- 실명(호실) : SUSCOM연구실 A473
- 이 름 : 오 정 윤
- 교육일자 : 2017. 2. 22~23
- 이수단계 : 1단계 / 2단계

2017년 2월 23일

 연세대학교 실험실환경안전관리위원장

2017-1 이 수 증

- 소 속 : 공과대학 건축공학과 (제1공학관)
- 실명(호실) : SUSCOM연구실 A473
- 이 름 : 강 현 아
- 교육일자 : 2017. 2. 22~23
- 이수단계 : 1단계 / 2단계

2017년 2월 23일

 연세대학교 실험실환경안전관리위원장

2018-1 이 수 증

- 소 속 : 공과대학 건축공학과 (제1공학관)
- 실명(호실) : SUSCOM연구실 A472
- 이 름 : 임 요 셉
- 교육일자 : 2018. 2. 21~22
- 이수단계 : 1단계 / 2단계

2018년 2월 22일

 연세대학교 실험실환경안전관리위원장

<그림 9-4> 프로젝트 기간 신규 실험실환경안전관리 교육 이수증

○ 연구실 안전 확보

본 연구실은 위험등급이 C등급으로서, 컴퓨터와 냉·난방기기 사용에 따른 전기안전사고 예방을 위하여, 일상점검 및 정기점검을 실시하였음. 또한, 연구실 안전 확보를 위하여, 연구원들이 안전관련 법규, 규정 및 지침을 준수할 수 있도록 교육훈련을 실시하였음.

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번 호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Establishment of a base price for the Solar Renewable Energy Credit (SREC) from the perspective of residents and state governments in the United States	연세대학교 산학협력단	주저 자	Renewabl e and Sustainab le Energy Reviews	Impact factor: 9.184 (JCR: 3.03%)	2017.08.01	단독사사	SCIE/ 인용횟수: 1회(web of science, 8회(google scholar)
2	논문	Mapping the Rescue Equipment Mobilization Potential: Decision Support Tool for Emergency Management	연세대학교 산학협력단	주저 자	Journal of Managem ent in Engineeri ng	Impact factor: 2.282 (JCR: 23.44%)	2017.11.01	단독사사	SCIE/ 인용횟수: 0회(web of science, 0회(google scholar)
3	논문	Multi-criteria analysis of a self-consumption strategy for building sectors focused on ground source heat pump systems	연세대학교 산학협력단	주저 자	Journal of Cleaner Productio n	Impact factor: 5.651 (JCR: 8.71%)	2018.06.10	단독사사	SCIE/ 인용횟수: 0회(web of science, 0회(google scholar)
4	논문	Advanced Strategies for Net-Zero Energy Building: Focused on the Early Phase and Usage Phase of a Building's Life Cycle	연세대학교 산학협력단	주저 자	Sustainab ility	Impact factor: 2.075 (JCR: 47.22%)	2017.10.08	단독사사	SCIE/ 인용횟수: 0회(web of science, 0회(google scholar)
5	특허	건축물의 환경적 가치 평가방법 및 그 시스템	연세대학교 산학협력단	개발 자	대한민국	-	2018.05.18	단독사사	특허등록

제11장. 기타 사항

해당사항 없음.

제12장. 참고 문헌

1. 건축물의 에너지절약설계기준 해설서; 국토교통부, 2015.
2. 건축물의 에너지절약설계기준 해설서; 국토교통부, 2016.
3. 국가 통계 포털. <<http://kosis.kr>>
4. 국토교통부. <https://www.molit.go.kr/USR/WPGE0201/m_36421/DTL.jsp>
5. 국토교통부 (2013). “그린리모델링 활성화를 위한 기술요소 가이드라인”
6. 국토교통부 (2014). “제 1차 녹색건축물 기본계획.”
7. 국토교통부 (2016). “규제 및 제도개선을 통한 그린리모델링 활성화 방안”
8. 국토교통부 (2017), 건축물의 에너지절약 설계기준 해설서
9. 산업통상자원부. (2015), “2015 에너지통계 연보”
10. 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 [환경부 고시 제2014-186호]
11. 온실가스종합정보센터 (2016), 2016 국가 온실가스 인벤토리 보고서
12. 전국공동주택현황; 국가통계포털, 2013
13. 주택법시행규칙 제26조 및 별표5 (장기수선계획수립 및 대상); 국토교통부
14. 친환경 주택의 건설기준 및 성능평가 지침; 국토교통부, 2010
15. 캐나다우드 한국사무소: <http://www.canadawood.or.kr/services/qs-details.php?p=1220>
16. 한국거래소. <www.krx.co.kr>
17. 한국도시가스협회. <<http://www.citygas.or.kr/info/charge.jsp>>
18. 한국에너지공단. (2015), “대한민국 에너지 편람”
19. 한국생산성본부인증원. <http://www.kpcqa.or.kr/arch/arch02_05.asp?mode=view&idx=5591&Page=1&schField=all&schWord=&schCategory=1000023>
20. 한국은행 경제통계시스템. <ecos.bok.or.kr>
21. 한국전력공사. <www.kepco.co.kr>
22. 한국 전력거래소 (2011). 2011년 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사 결과 보고서, 한국 전력거래소
23. 한국환경정책평가연구원 (2012). “주요국 온실가스 감축정책 동향 및 시사점”
24. 효율관리기자재운용규정; 지식경제부, 2012
25. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
26. Ahn BL, Kim JH, Jang CY, Leigh SB, Jeong H. Window retrofit strategy for energy saving in existing residences with different thermal characteristics and window sizes. Building Services Engineering Research & Technology 2016;37(1):18-32.
27. ASHRAE Standard 90.1 2010. Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
28. Autodesk, <<https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/equipment-and-lighting-loads> (accessed on 10.12.2017)>
29. Aydinalp M, Ugursal VI, Fung AS. Modeling of the space and domestic hot-water heating energy-consumption in the residential sector using neural networks. Applied Energy 2004;79:159-178.

30. Chu, S. C., & Yang, H. L. (2013, June). One-time ray-tracing method for the optimization of illumination system. In Proc. of SPIE Vol (Vol. 8769, pp. 87692M-1).
31. Cipriano, J., Mor, G., Chemisana, D., Pérez, D., Gamboa, G., & Cipriano, X. (2015). Evaluation of a multi-stage guided search approach for the calibration of building energy simulation models. *Energy and Buildings*, 87, 370-385.
32. Department of Energy & Climate Change
33. Developing a Greenhouse Gas Tool for Buildings in California: Methodology and User's Manual v.3 , GHG Tool for Building in CA v3 Dec2010
34. ECO infos : <http://www.les-energies-renouvelables.eu/financement-aides/credit-impot-financement-energies-renouvelables/eco-pre-taux-zero/>
35. Goldberg, D. E., & Holland, J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning*, 3(2), 95-99.
36. Green Deal UK. <<http://www.greendealuk.co.uk>>
37. Güçyeter, B., & Günaydın, H. M. (2012). Optimization of an envelope retrofit strategy for an existing office building. *Energy and Buildings*, 55, 647-659.
38. Heo, Y., Choudhary, R., & Augenbroe, G. A. (2012). Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty. *Energy and Buildings*, 47, 550-560.
39. Hong, T., Kim, D., Koo, C., & Kim, J. (2014). Framework for establishing the optimal implementation strategy of a fuel-cell-based combined heat and power system: Focused on multi-family housing complex. *Applied Energy*, 127, 11-24.
40. Hong T, Koo C, Kim H. A Decision Support Model for Improving a Multi-Family Housing Complex based on CO2 Emission from Electricity Consumption. *Journal of Environmental Management* 2012;112(15):67-78.
41. Hong, T., Koo, C., Kwak, T., & Park, H. S. (2014). An economic and environmental assessment for selecting the optimum new renewable energy system for educational facility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 286-300.
42. Hong,T, Koo C, Park S (2012). A decision support model for improving a multi-family housing complex based on CO2 emission from gas energy consumption. *Building and Environment*. 52, 142-151.
43. HOT2000|Best Dictionary : <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/hot2000>
44. Jeong J, Hong T, Ji C, Kim J, Lee M, Jeong K (2016). Development of an integrated energy benchmark for a multi-family housing complex using district heating. *Applied Energy*. 179, 1048-1061.
45. KfW-Energy : <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt>
46. KOSIS (Korean Statistical Information Service), http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=A#SubCont (accessed on 10.12.2017).
47. Kim S, Yang I, Yeo M, Kim K (2005). Development of a housing performance evaluation model for multi-family residential buildings in Korea. *Building and environment* 40(8), 1103-1116.
48. Kim G, Yoo JH, Hwang HJ, Kim KS. A study on the calculation method of infiltration for

- detached houses. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 2013;25(9):493-498.
49. Kim, K. H., & Haberl, J. S. (2015). Development of methodology for calibrated simulation in single-family residential buildings using three-parameter change-point regression model. *Energy and Buildings*, 99, 140-152.
 50. Koo, C., Hong, T., & Kim, S. (2015). An integrated multi-objective optimization model for solving the construction time-cost trade-off problem. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(3), 323-333.
 51. Lopes, L., Hokoi, S., Miura, H., Shuhei, K. (2005). "Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings - research methodology and surveyed results." *Energy and Buildings* 37(7), 698-706.
 52. MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Regulation on Energy Efficiency Labeling and Standards, https://bpms.kemco.or.kr:444/efficiency_system/pds/read.aspx?searchfield=&searchword=&page=2§ion=&pdsseq=18 (01.05.2017).
 53. MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Code of Building Energy Management. <http://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EA%B4%80%EB%A6%AC%EA%B8%B0%EC%A4%80> (accessed on 10.12.2017).
 54. MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), Code of Energy Saving Design Criteria of building. <http://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99%EA%B1%B4%EC%B6%95%EB%AC%BC%EC%9D%98%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EC%A0%88%EC%95%BD%EC%84%A4%EA%B3%84%EA%B8%B0%EC%A4%80> (accessed on 10.12.2017).
 55. OEERE (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy), <https://energy.gov/eere/femp/incorporate-minimum-efficiency-requirements-heating-and-cooling-products-federal#boilers> (accessed on 10.12.2017).
 56. OECD (2015). "World energy outlook 2015"
 57. Ouyang, J., Hokao, K. (2009). "Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China." *Energy and Buildings* 41(7), 711-720.
 58. Pan, Y., Huang, Z., & Wu, G. (2007). Calibrated building energy simulation and its application in a high-rise commercial building in Shanghai. *Energy and Buildings*, 39(6), 651-657.
 59. PASSIPEDIA : https://passipedia.org/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package
 60. Passive House Planning Package (PHPP) : https://passivehouse.com/04_phpp/04_phpp.htm
 61. Raftery, P., Keane, M., & O'Donnell, J. (2011). Calibrating whole building energy models: An evidence-based methodology. *Energy and Buildings*, 43(9), 2356-2364.
 62. Royapoor, M., & Roskilly, T. (2015). Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings*, 94, 109-120.
 63. Sun, J., & Reddy, T. A. (2006). Calibration of building energy simulation programs using the analytic optimization approach (RP-1051). *HVAC&R Research*, 12(1), 177-196.

64. Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation*. John Wiley & Sons.
65. Tso, G., Yau, K. (2007). "Predicting electricity energy consumption: a comparison of regression analysis, decision tree and neural networks." *Energy* 32(9), 1761–8.
66. Wood, G., Newborough, M. (2005). "Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances : environment, behaviour and design." *Energy and Buildings* 35(8), 821–841.
67. Westphal, F. S., & Lamberts, R. (2005, August). Building simulation calibration using sensitivity analysis. In *Ninth International IBPSA Conference* (pp. 1331–1338).
68. Yang, Z., & Becerik-Gerber, B. (2015). A model calibration framework for simultaneous multi-level building energy simulation. *Applied Energy*, 149, 415–431.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.