



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

2022년 2월
석사학위 논문

EC02-0D 에너지 성능기반 도시 단위
그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 개발

조선대학교 대학원

건축공학과

박 정 은

EC02-00 에너지 성능기반 도시 단위
그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 개발

Development of decision-making support program for
green remodeling of city scale based on EC02-00
energy performance

2022년 2월 25일

조선대학교 대학원

건축공학과

박 정 은

ECO2-00 에너지 성능기반 도시단위
그린리모델링 의사결정 지원 프로그램 개발

지도교수 황 태 연

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2021년 10월

조선대학교 대학원

건축공학과

박 정 은

박정은의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 조교수 김주욱 (인)

위원 조선대학교 부교수 황태연 (인)

위원 조선대학교 부교수 김태훈 (인)

2021년 12월

조선대학교 대학원

차 례

제1장 서론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구 방법	6
제2장 이론적 고찰	9
2.1 관련 법규 및 제도	9
2.2 그린 리모델링	14
2.3 에너지 시뮬레이션 프로그램	16
제3장 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램	21
3.1 프로그램 개발 프로세스	21
3.2 사용자 입력값 기준 설정	24
3.3 Base 모델 개발	29
3.4 EC02-00 프로그램 변수	35
3.5 프로그램 Input 요소 산출	38
3.6 엑셀 기반 Data Base 작성	56
3.7 사용자 인터페이스	61
제4장 프로그램 타당성 평가	63
4.1 실사용량 데이터 대비 오차율 분석	63
4.2 EC02-00 시뮬레이션 비교 성능평가	65
제5장 결론	69
참고문헌	71

표 차 례

[표 1] 건물에너지 효율화를 위한 해외 사례	4
[표 2] 건축물 에너지 소비총량제 의무기준	10
[표 3] 제로 에너지 건축물 인증제도 규정	13
[표 4] 그린 리모델링 기술 체계도	15
[표 5] 에너지 절약설계 기준 지역별 열관류율 기준	25
[표 6] 건축물 에너지 절약설계 기준-에너지 성능지표	27
[표 7] 서울시 프로그램 적용 기상데이터	29
[표 8] 주거 건축물 용도 프로파일	30
[표 9] 비주거 건축물 용도 프로파일_대규모 사무실	31
[표 10] ECO2-OD 프로그램 변수	36
[표 11] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 입력기준_패시브 요소	37
[표 12] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 입력기준_액티브 요소	37
[표 13] 패시브 부문 입력수식 결과	38
[표 14] 액티브 부문 입력수식 결과	39
[표 15] 입력값 계산 Data Base list	59
[표 16] 공공부문 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침-별표4 온실가스 배출량 등의 산정방법 ..	60
[표 17] 실 사용량 대비 오차검증 결과	64
[표 18] ECO2-OD 시뮬레이션 비교성능평가 결과	66

그 림 차 례

[그림 1] 우리나라 건축물 연면적, 용도별 연간 현황	1
[그림 2] 그린 리모델링 이자 지원사업 현황	3
[그림 3] 연구흐름도	7
[그림 4] 건축물 에너지효율등급 인증제도 기준	11
[그림 5] 녹색 건축 인증제도 평가항목	12
[그림 6] 그린 리모델링 개념	14
[그림 7] Energy Plus 프로그램 에너지 분석 프로세스	17
[그림 8] ECO2 프로그램 인터페이스	18
[그림 9] ECO2, ECO2-OD 프로그램 분석 개념도	19
[그림 10] ECO2-OD 프로그램 사용자 인터페이스	19
[그림 11] ECO2-OD 프로그램 에너지평가 툴 입력 프로세스	20
[그림 12] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 개발 프로세스	21
[그림 13] 패시브 하우스 건축기준	26
[그림 14] Base 모델-일반사항	32
[그림 15] Base 모델-패시브 부문 입력값	32
[그림 16] Base 모델-액티브 부문 입력값	33
[그림 17] Base 모델 에너지 소요량 평가서	34
[그림 18] 패시브 요소 / 외벽 / 열관류율-변화량 추세선	40
[그림 19] 패시브 요소 / 외벽 / 열관류율-절감률 추세선	41
[그림 20] 패시브 요소 / 창호 / 열관류율-변화량 추세선	42
[그림 21] 패시브 요소 / 창호 / 열관류율-절감률 추세선	43
[그림 22] 패시브 요소 / 지붕 / 열관류율-변화량 추세선	44
[그림 23] 패시브 요소 / 지붕 / 열관류율-절감률 추세선	45
[그림 24] 액티브 요소 / 난방 / 히트펌프 / 효율(COP)-변화량 추세선	46
[그림 25] 액티브 요소 / 난방 / 히트펌프 / 효율(COP)-절감률 추세선	47
[그림 26] 액티브 요소 / 급탕 / 전기 / 효율(COP)-변화량 추세선	48
[그림 27] 액티브 요소 / 급탕 / 전기 / 효율(COP)-절감률 추세선	49
[그림 28] 액티브 요소 / 냉방 / 압축식 / 효율(COP)-변화량 추세선	50
[그림 29] 액티브 요소 / 냉방 / 압축식 / 효율(COP)-절감률 추세선	51
[그림 30] 액티브 요소 / 공조 / 효율(COP)-변화량 추세	52
[그림 31] 액티브 요소 / 공조 / 효율(COP)-절감률 추세선	53
[그림 32] 액티브 요소 / 조명 / 소비전력-변화량 추세선	54

[그림 33] 액티브 요소 / 조명 / 소비전력-절감률 추세선	55
[그림 34] 리모델링 전 소요량 계산 프로세스	56
[그림 35] 엑셀 Data Base 사용자 입력창	58
[그림 36] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램	61
[그림 37] 대상건축물 5년 평균 전력사용량 대비 개발프로그램 오차율 검증	64
[그림 38] 의사결정 지원프로그램 사례비교 오차검증 - 순천00어린이집 적용	67
[그림 39] 의사결정 지원프로그램 사례비교 오차검증 - 광주00보건소 적용	67
[그림 40] 의사결정 지원프로그램 사례비교 오차검증 - 여수00보건소 적용	68

수 식 차 례

[수식 1] CO₂ 배출량 계산식60

ABSTRACT

Development of decision-making support program for green remodeling of city scale based on ECO2-OD energy performance

Park Jung Eun

Advisor : Prof. Taeyon Hwang, Ph.D

Department of Architectural Engineering,

Graduate School of Chosun University

Key words : Green remodeling, ECO2 simulation, decision-making support program, city scale

According to the '2050 Carbon neutral strategy of the Republic of Korea', the Green Remodeling(GR) business is being crucial. However, green remodeling adoption rate is decreasing recently. The reasons is that GR business feasibility assessment is not carried out properly before the GR project. The evaluation criteria for GR business feasibility assessment is energy consumption reduction and greenhouse gas reduction rates. In general, energy simulation is widely used to check the energy saving rate. Energy simulation require a lot of program techniques and data analysis abilities. Also, there are problems to make a city scale energy simulation because of increasing old buildings and expansion GR business. Therefore, this study evaluates the decision-making of the city scale GR projects quantitatively; develops a program that can calculate energy savings and greenhouse gas savings.

First, the decision-making program inputs building information on building register. Next, GR improvement elements (Passive, Active, and Renewable) enter the in Lv3 to Lv5, GR application result is designed to appear on the Excel dashboard. The development process was carried out in six stages, with the 1st stage 'Set User Input Value Criteria', the 2nd stage 'Base Model Development', the 3rd stage 'ECO2-OD Program Variable Extraction', the 4th stage 'Development of Reduction Rate Trend Line', the 5th stage 'Excel Data Base' and the 6stage 'User Interface Design'.

The decision-making program is conducted two significance evaluations such as real energy consumption and ECO-2 OD program result. As a result, it shows 36% error rate in real energy consumption. It was expected that there are different the definition

of primary energy consumption and real energy consumption. On the other hand, it was analyzed that the error rate of the comparative evaluation of the EC02-0D program was about 6%, and the error rate of the comparative evaluation of the EC02-0D program was relatively small because both the EC02-0D program and the decision support program applied the evaluation criteria. Although there was an error that the error rate was large in the comparative evaluation of actual usage, it was judged that the EC02-0D program used for actual energy performance evaluation and the error rate were around 10%, proving its validity as a simple evaluation tool.

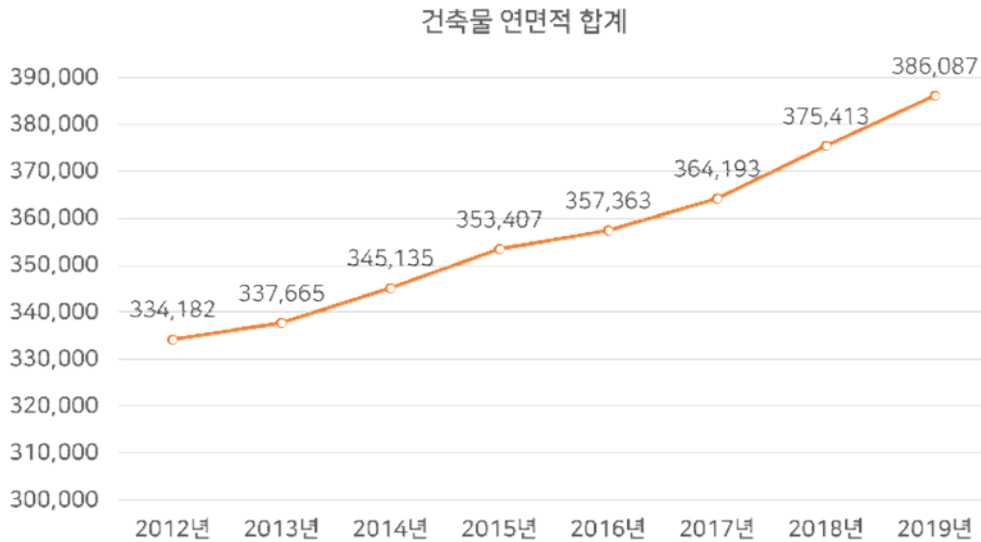
The "City-level Green Remodeling Decision Support Program" can calculate green remodeling energy performance and CO₂ emissions for the entire target building, purpose, and section. So it is expected highly useful as an decision-making program at the beginning of the green remodeling project.

제1장 . 서론

1.1 연구 배경 및 목적

산업혁명 이후 급속한 발전으로 인해 인류는 지구온난화, 폭설, 폭우 등 이상 기후와 같은 환경문제를 야기했으며, 이는 인류의 지속가능성을 저해하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전 세계는 대응책 마련을 위한 방안을 논의하고 있다. 노력 중 하나로서 파리협정은 지구 온도를 산업화 이전 대비 2° C 이하로, 나아가 1.5° C까지 억제하는 목표를 세웠으며 최근 영국 글래스고에서 11월에 제26차 당사국총회(COP26)가 개최되었다. COP26에서는 글래스고 기후합의(Glasgow Climate Pact)를 대표 결정문으로 선언하고, 6년간의 협상 동안 합의되지 않았던 파리협정 세부이행규칙을 완성하는 성과를 이루는 등 기후위기에 대처하기 위한 전 지구적 의지를 결집하였다 [1, 2].

2019년 기준 우리나라 건축물은 전년 대비 0.7% 증가한 약 724만 동이며, 총면적은 2.8% 증가한 386,087만 m² 로 매년 건축물의 동수와 연면적이 지속해서 증가하고 있다(그림1)[3].



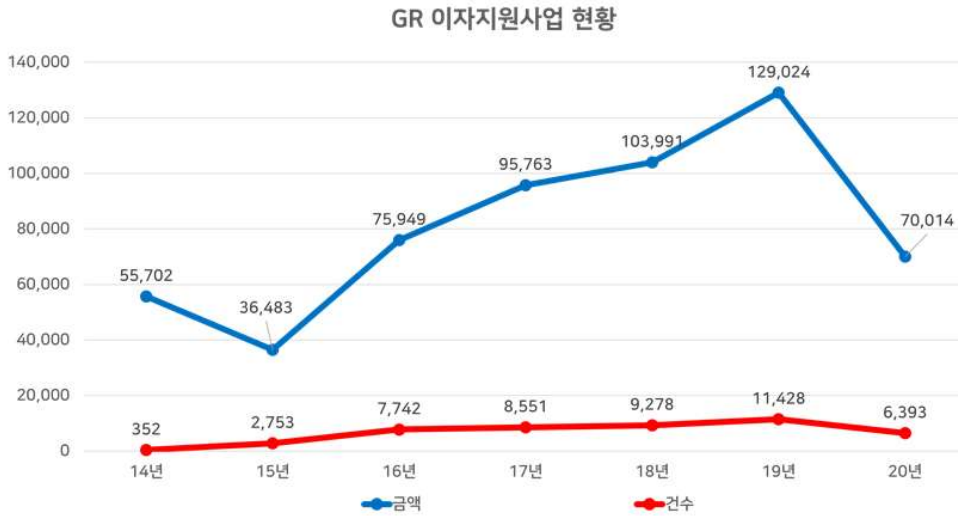
[그림 1] 우리나라 건축물 연면적, 용도별 연간 현황 (출처:제2차 녹색건축물 기본계획)

건물부문 총 에너지 소비량 또한 건축물의 연면적 증가와 산업구조 전환에 따른 서비스업의 지속적인 확대로 건축물 에너지 가용량 중 상업·공공 부문이 차지하는 비중이 증가하였다. 건물부문의 온실가스 배출량을 살펴보면 우리나라 온실가스 총배출량의 7%(2017년 기준, 간접 배출량 포함 시 24%)를 차지한다.

우리나라는 건물부문 에너지 절감을 위해 건물 자체의 에너지효율을 극대화하는 방안을 추진하고 있다. 신축건물의 경우 에너지 절약설계 기준, 제로 에너지 건축물 인증제도의 의무화 등 다양한 규제와 인센티브 제도로 건물에너지 이용효율을 극대화하기 위한 노력을 하고 있다. 하지만 이러한 제도가 생기기 전 지어진 노후 건축물들은 건물에너지 효율이 떨어질 수밖에 없고, 현대인의 바뀐 생활 방식이 노후건축물에서 적용될 경우 에너지 소비량과 온실가스 배출량이 상대적으로 크게 나타난다[4].

2015년 이후 건축허가 및 착공면적은 점차 감소하는 반면, 준공 후 20년 이상 지나간 노후건축물은 전체 건축물의 58.2%로 과반 이상을 차지한다. 특히, 현재보다 단열수준이 취약했던 30년 전 지어진 건축물이 약 37%로 건물부문 에너지사용량에 큰 영향을 미친다[4]. 나아가 2030 온실가스 감축 로드맵 이행 계획에 따라 기존건축물 감축 목표량이 신축 대비 약 9.6백만 톤 크므로 기존건축물의 성능 개선이 매우 중요하다. 이에 노후건축물의 그린 리모델링 활성화 및 관련 시장 육성을 위해 2014년부터 그린 리모델링 이자 지원사업을 추진하는 노력을 하고 있다[4].

하지만 21년 현재, 그린 리모델링 사업 현황(그림2)을 살펴보면 20년도 사업 건수가 현저하게 줄어든 것을 확인할 수 있다[5]. 이는 그린 리모델링 사업은 점차 확대되고 있지만, 제한된 예산 내에서 진행하는 사업으로서 사업 자체의 타당성과 대상지의 우선순위를 정하기는 쉽지 않아 사업의 진행에 있어 효율성이 떨어지는 것을 이유로 들 수 있다. 에너지 관리의 중요성이 점차 강조되고 있는 요즘, 그린 리모델링 사업에서도 민간 사업자들의 참여를 확대하는 방안 마련이 시급한 실정이다.



[그림 2] 그린 리모델링 이자 지원사업 현황 (출처:그린 리모델링 창조센터)

해외 주요국가에서도 효율적인 건물에너지 성능평가를 위한 다양한 제도와 연구가 진행 중인데, 주요국가에서는 주로 빅데이터를 활용한 건물에너지 정보 수집으로 효율성을 높이고 있다(표1)[3]. 국내에서는 공공데이터 개방, 사전 그린 리모델링 진행 시뮬레이션(GREENY) 등이 시행되고 있지만, 적게는 수백 개에서 많게는 수만 개의 대상지를 선정하여 진행하는 사업의 특성상 사업이 진행되기 전 사업성 평가로서 건물 하나하나의 에너지 성능평가를 진행하는 것은 시간과 경제적으로 어려운 실정이다.

[표 1] 건물에너지 효율화를 위한 해외 사례 (출처:제2차 녹색 건축 기본계획)

<p style="text-align: center;">미국</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (SEED) 미국에너지부가 운영하는 건물에너지 정보 플랫폼으로 건물에너지 성능정보를 표준화된 형식으로 수집, 저장, 분석 작업을 수행 - 정부는 에너지성능공시법 준수를 확인하고, 건축물 소유주는 에너지 성능정보 관리 및 제3자와 정보 공유, 관련 기준 준수 여부 확인 가능 • (뉴욕 에너지 소비지도) 수집된 뉴욕시 모든 건물에너지 소비량을 지리정보와 결합하여 블록 단위 정보 제공 - 각 건물의 주소와 에너지 소비데이터, 연료사용 데이터, 건물의 타입 (주거 /비주거) 정보를 통계적으로 분석 - 에너지사용량이 많은 지역의 분포를 한눈에 파악할 수 있도록 구성되어 있으며, 개별 획지의 정보를 확대하면 구체적인 에너지 소비 패턴까지 확인 가능
<p style="text-align: center;">영국</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 기후변화 부 (DECC)가 운영 주체로서 에너지효율 지표를 파악하기 위해 행정정보 등 인문사회적 정보, 에너지 소비데이터를 결합한 NEED(National Energy Efficiency Data Framework) 시스템 구축 - 주거 및 비주거 건물 대상의 에너지 정보관리시스템 • 수집된 데이터의 종류 : 주택 에너지효율 측정 정보, 국가 에너지 소비 통계, 전력 및 가스 소비데이터, 등록정보 속성 및 가구 특성 등
<p style="text-align: center;">독일</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 빌딩레이더 (Building radar)는 전 세계의 빌딩건축 프로젝트 관련 빅데이터를 인공위성 정보와 매칭, 분석하여 설계, 건축, 감리, 기자재, 인테리어 용품 생산업체 등에게 맞춤형 정보 서비스 제공 - AI 를 활용하여 온라인상의 수많은 빌딩건축 프로젝트 관련 정보를 입수하여 빅데이터화 하고, 유럽항공우주국으로부터 실시간 제공받는 인공위성 이미지와 매칭, 건설부지 매입, 에너지 효율적 입지 선정 등과 관련된 분석 도출 • 독일 정부가 의욕적으로 지원, 육성하는 항공 우주산업 기술 및 빅데이터 /인공지능 등 4차 산업기술이 자국 민간기업의 상용화 서비스 개발에 활용되어 부가가치 및 신규 서비스 시장을 창출

또한, 중앙정부 및 지자체의 담당자가 에너지 시뮬레이션에 대한 전문적인 지식과 기술을 갖고 있지 않았을 때 직접 에너지 시뮬레이션을 진행하는 것은 불가능하며, 만약 담당자가 이 분야 전문성을 갖고 있다 할지라도 그린 리모델링의 의사결정을 위해 관리하는 건축물 전체를 대상으로 에너지 시뮬레이션을 수행한다는 것은 물리적으로 불가능하다 할 수 있다. 중앙정부 및 각 지자체에서는 건축물에 대한 정보관리를 건축물대장을 기준으로 하고 있으며, 건축물대장에는 연면적, 건축면적, 용도 등의 기본정보만이 포함되어 있을 뿐이다. 건축물대장의 정보를 기반으로 그린 리모델링 에너지성능을 개략적으로라도 추정할 수 있다면 담당자 입장에서의 의사결정 근거 확보와 업무의 효율성이 극대화되는 장점을 갖게 될 것이다.

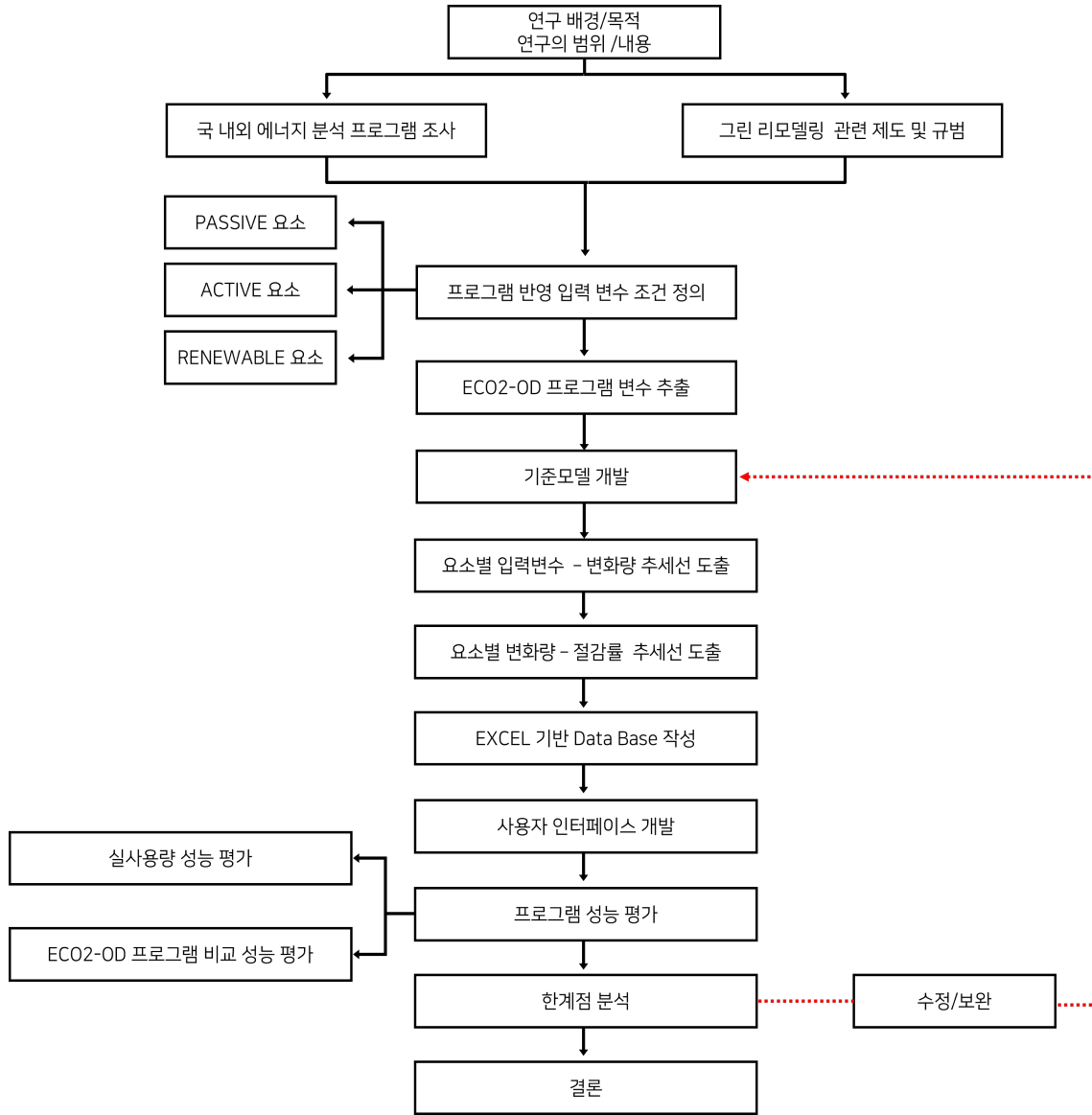
따라서 본 연구에서는 우리 정부의 2050 장기저탄소 발전전략에 따른 그린 리모델링 사업의 확대에 의해 최적의 그린 리모델링 사업 의사결정을 좀 더 정량적인 숫자로 평가할 수 있도록 사업 시행 전, 사업의 성과를 사전에 간이로 확인할 수 있는 그린 리모델링 대상지의 에너지 절감률과 온실가스 절감률을 계산하는 간이 프로그램을 개발한다. 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램은 지자체 공무원과 같은 사업시행자가 그린 리모델링 사업을 계획하는 데 있어 건축물대장의 정보만으로 건물에너지 절감률과 온실가스 절감률을 산정하고 절감률 순위를 나타냄으로써 대상지 선정의 우선순위, 용도별 대상지 선정 등 그린 리모델링 사업의 최적 시나리오를 설계할 수 있도록 지원한다. 이는 그린 리모델링 사업 시행 전에 사용되는 프로그램으로서 사업 시행 전 사업성 평가를 통해 비효율적으로 낭비되는 예산을 줄이고 최적 사업시나리오를 계획하는 데 도움을 주어 그린 리모델링 사업의 확대에 필요한 기본 Tool로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

1.2 연구 방법

본 연구에서 제안되는 프로그램은 제한된 예산 내에서 진행하는 그린 리모델링 사업에서 에너지 시뮬레이션에 대한 전문적인 지식과 기술이 부족한 지자체 공무원 또는 사업시행자가 리모델링 수준에 따라 에너지 절감효과를 분석할 수 있도록 지원하는 시스템이다. 프로그램을 이용하였을 때, 그린 리모델링 사업성과를 미리 판단함으로써 최적의 리모델링 방안을 찾는 것을 용이하게 한다. 에너지효율등급 인증제도의 공인 프로그램인 EC02-00의 속성들을 조합하여 누구나 쉽게 접근 가능한 엑셀 프로그램으로 대시보드를 작성하여 사용자가 사용하기 편한 인터페이스를 구성한다. 본 연구의 절차는 (그림3)과 같다.

본 연구에서 개발한 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램은 그린 리모델링 사업의 시행 전 리모델링 시나리오에 따라 전체 프로젝트의 효과를 정량적으로 예측하여 사업성 평가에 도움을 주며, 시나리오에 따른 최적의 대안을 선정할 수 있도록 지원한다. 프로그램 이용 대상자는 그린 리모델링 사업을 진행하기 위한 계획수립 단계에서 시행자의 역할을 하는 지자체 공무원 또는 기관 담당자들로서 그린 리모델링 사업 자체에 대한 이해는 충분하지만, 건물에너지 소비에 대한 세부적인 전공이 아니다. 따라서 프로그램 내의 다양한 변수들에 대한 조건을 정확하게 입력하는 것에 한계가 있어 본 연구에서 최대한 변수를 줄이고 일반적인 평균값을 고정값으로 적용해 사용자가 프로그램에 대한 전문적 지식이 없어도 프로그램을 구동할 수 있도록 하였다.

**ECO2-OD에너지 성능기반 도시단위 그린 리모델링
 의사결정 지원 프로그램 개발에 관한 연구**



[그림 3] 연구흐름도

그린 리모델링 의사결정 지원 시스템은 적게는 수십 개에서 많게는 수만 개의 노후건축물을 대상으로 진행되는 사업에 관해 비용 효율적인 최적 안을 찾을 수 있는 프로그램이다. 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램은 에너지효율등급 인증제에서 공인하는 에너지 분석프로그램인 EC02-0D 프로그램의 입력요소들을 각각 분류하여 결과에 영향을 미치는 변수를 구별한다. 각 변수는 에너지 절약설계기준(에너지성능 표)과 패시브 건축기준을 참고하여 리모델링 수준을 3~5단계로 분류하고 각각 분류된 변수들의 입력값을 정의한 뒤 기준모델을 개발한다.

기준모델의 각 요소에 대한 EC02-0D 프로그램의 정량적인 변화량을 추출하여 추세선을 통해 수식을 추출한다. 이 입력값 - 변화량 추세선을 통해 나온 값을 기반으로 변화량 - 절감률 추세선을 추출하여 각각의 요소별로 절감률 추세선을 추출한다. 이렇게 추출된 추세선은 이후 사용자 인터페이스에서 사용자가 직접 리모델링 수준에 대한 정확한 수치를 입력했을 때의 적용값을 추출하기 위함이다. 요소별로 추출된 입력변수들은 최종적으로 사용자 인터페이스에서 사용자가 리모델링 수준을 선택하는 입력값으로 사용된다.

제2장 . 이론적 고찰

2.1 관련 법규 및 제도

- 건축물의 에너지 절약설계기준

건축물의 에너지 절약설계기준은 건축물 설계단계에서 에너지 저감기술을 적용하도록 유도함으로써 원천적인 저에너지 건축물 구축을 통해 국가 온실가스·에너지 저감 목표 달성에 기여함은 물론 쾌적한 거주환경을 조성하는 것을 목적으로 한다[7]. 국토교통부는 ‘저탄소 녹색성장 기본법’에 근거하여 2012년 ‘녹색건축물 조성지원법’을 제정함으로써 건축물 부문 국가 온실가스 감축 목표에 맞추어 다양한 정책을 수행하기 위해 법적인 근거를 마련하였다. ‘녹색건축물 조성지원법’은 녹색 건축 활성화를 위한 계획, 인증, 신축 및 기존건축물에 대한 성능 기준, 정보체계 구축, 시범사업, 금융지원, 인력양성, 연구개발 등 녹색 건축 조성을 위한 다양한 내용으로 구성되어 있다. 2013년에는 녹색건축물 조성법이 시행되면서 500m² 이상 모든 용도 건축물로 적용이 확대됨에 따라 현재의 설계기준이 고시되었다[6, 7].

- 건축물의 에너지 소비총량제

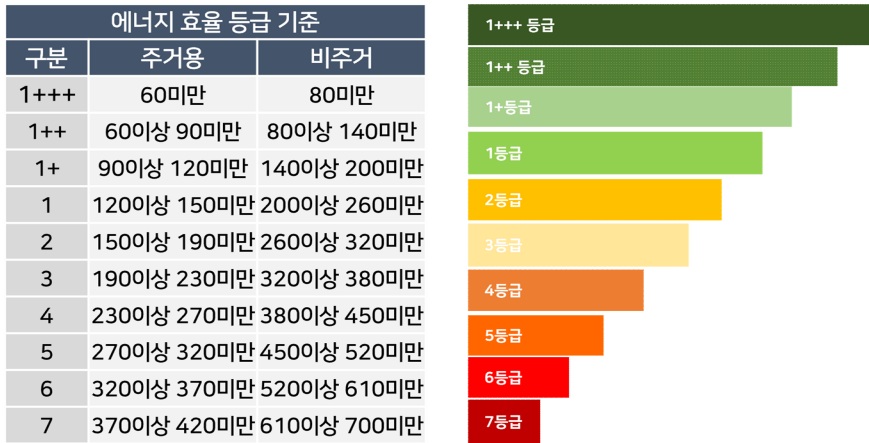
건축물 에너지 소비총량제는 건축물의 설계단계에서 연간 에너지사용량을 예측해서 단위면적당 에너지 소비량을 기준 이하가 되도록 관리하는 제도로써 EC02-00 프로그램을 공인 분석프로그램으로 규정하고 급탕, 조명, 환기, 난방, 냉방 등 요소를 평가한다(표2)[8].

[표 2] 건축물 에너지 소비총량제 의무기준 (출처: 한국 녹색 건축 연구소)

의무기준	
적용대상	업무시설 및 이와 유사한 건축물로 바닥면적의 합계가 3,000㎡ 이상 신축건물(단계적으로 대상건축물 확대 예정)
분석프로그램	EC02-00 : 국제규격 (ISO 13790) 등 국제규격에 따라 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 등에 대한 부분을 종합적으로 평가하도록 제작된 프로그램에 따라 산출된 연간 단위면적당 1차 에너지 소요량 평가
평가항목	업무시설 : 급탕, 조명, 환기, 난방, 냉방
법적 근거	건축물의 에너지 절약설계 기준 개정안

● **건축물의 에너지효율등급 인증제도**

건축물 에너지효율등급 인증제도는 건물에너지 성능, 주거환경 질과 같은 객관적인 정보를 받고, 건물의 가치를 인정받음으로써, 건설사업의 주체와 관리 주체 및 건물 사용자 등 건물과 관련된 모두에게 이익이 돌아가도록 하기 위한 제도이다. 냉난방 면적 500㎡ 이상 단독주택, 공동주택, 기숙사, 업무시설 등을 대상으로 연간 단위면적당 1차 에너지를 기준으로 7등급부터 1+++등급까지 나누어 인증등급을 부여한다(그림4)[9, 10].



[그림 4] 건축물 에너지효율등급 인증제도 기준(출처:에너지효율등급인증-별표2)

● **녹색건축물 인증제도**

녹색건축물 인증제도는 설계와 시공 유지관리 등 전 과정에 걸쳐 에너지 절약 및 환경오염 저감에 기여한 건축물에 대해 친환경 건축물 인증을 부여하는 제도이다. 지속 가능한 개발의 실현을 목표로 인산과 자연이 서로 친화하며 공생할 수 있도록 계획된 건축물의 입지, 자재선정 및 시공, 유지관리, 폐기 등 전 생애를 대상으로 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통하여 건축물의 환경성을 인증하는 제도를 말한다(그림5)[11].



[그림 5] 녹색 건축 인증제도 평가항목

● **제로 에너지 건축물**

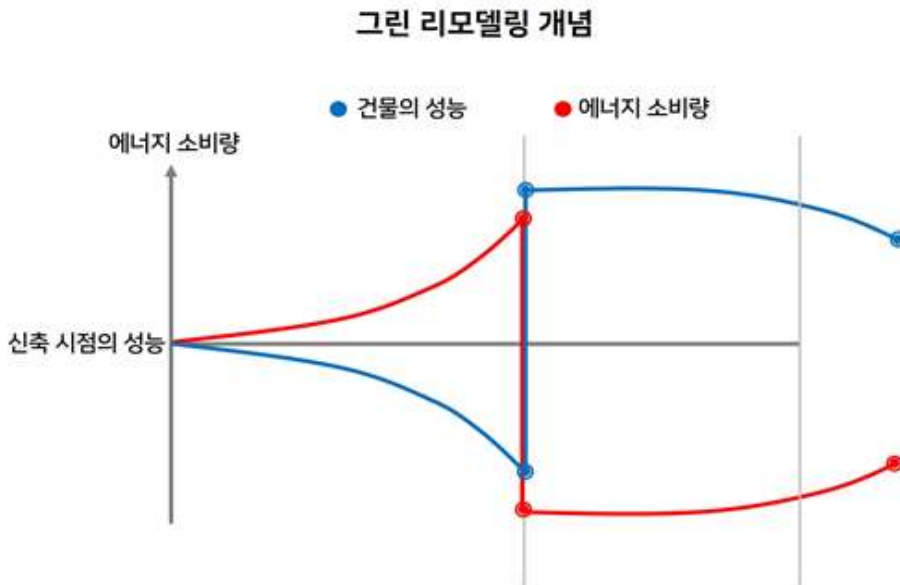
제로 에너지 건축물이란 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신에너지 및 재생에너지를 활용하여 에너지 소요량을 최소화하는 녹색건축물을 말한다. 인증제도 규정에 따라(표3) 총 5개 등급으로 나뉘며 건축물 에너지효율등급 1++이상, 에너지자립률 20% 이상 BEMS (Building Energy Management System) 또는 원격검침 전자식 계량기 설치 여부를 기준으로 하며 등급별로 건축기준 완화, 신재생에너지 설치 보조금 우선 지원 등 인센티브를 제공한다[12].

[표 3] 제로 에너지 건축물 인증제도 규정

건축물 에너지효율등급 1++이상, 에너지자립률 20% 이상, BEMS 또는 원격검침 전자식 계량기 설치		
<p>기준 01 건축물 에너지효율등급 1++ 이상</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건물에너지 해석 프로그램 (ECO2) 평가 • 주거용 :90kWh/m²년 미만 • 비주거용 :140kWh/m²년 미만 	<ul style="list-style-type: none"> • 냉방 /난방 /급탕 /조명 /환기 소요량 및 신재생에너지 생산량 평가 • 1 차에너지 소요량 (kWh/m²년) = 용도별 에너지소요량 x 1차에너지 환산계수
<p>기준 02 에너지자립률 20% 이상</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건물에너지해석 프로그램 (ECO2) 평가 • 건물에서 소비하는 에너지 중 신재생에너지 생산량 비율 	<ul style="list-style-type: none"> • 냉방 /난방 /급탕 /조명 /환기 소요량 및 신재생에너지 생산량 평가 • 에너지자립률 % = 단위면적당 1차 에너지 생산량(kWh / m² · 년) / 단위면적당1차 에너지 소비량(kWh / m² · 년) ×100
<p>기준 03 BEMS 또는 원격검침 전자식 계량기 설치</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 체크리스트 평가항목별 적용여부 판단 • 에너지 소비량을 계측, 실시간으로 관리하는 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> • (BEMS)데이터 수집 및 표시, 정보감시, 제어시스템 연동 등 9개 항목 평가 • (원격검침)데이터 수집 및 표시, 계측기 관리, 데이터 관리 등 6개 항목 평가 (추가 권장 3개)
건축물 에너지효율등급 1++이상, 에너지자립률 20% 이상, BEMS 또는 원격검침 전자식 계량기 설치		

2.2 그린 리모델링

그린 리모델링 사업은 2030 온실가스 배출 전망치(BAU: Business As Usual)를 달성하기 위해 건물부문에서 시행하는 사업 중 하나로서 건축물의 에너지효율을 높이고 온실가스 배출을 낮추어 기존 노후건축물의 가치를 향상시키기 위하여 국토교통부와 내에서 추진하는 정책사업이다(그림6). 그린 리모델링 핵심기술로는 크게 기존건축물의 건물 외피 단열보강, 열교, 결로방지공사, 고성능 창호공사를 진행하는 패시브 기술, 폐열회수형 환기장치, 고효율 냉난방 장치, 고효율조명(LED)과 같은 설비의 효율 개선을 위한 액티브 기술, 전략에너지 생산을 위한 신재생에너지 시스템으로 분류된다(표4)[13-15].



[그림 6] 그린 리모델링 개념(출처:국제기후환경센터 그린 리모델링 홍보영상)

[표 4] 그린 리모델링 기술 체계도 (한국건설기술 연구원-국가 온실가스 감축 대응을 위한 그린 리모델링 핵심기술 및 지원정책개발)

의사결정	그린 리모델링 의사결정 시스템	건축물 형태, 요소기술의 적용 수준에 따른 에너지 성능 개선 정도를 초기 기획단계에 사전 검토하기 위한 도구
Passive System	리트로핏 윈도우	기존 창호의 타입별 덧댐 창호 시스템을 적용하여, 재실 상태에서 적용 가능한 그린 리모델링 창호 시스템
	NoBI 윈도우	유리 중공층의 열교환을 통해 이중 외피의 SHGC 를 저감하며 VLT 성능을 유지한 무차양 일시저감 창호시스템
	열교차단 외단열 시스템	기존건축물의 그린 리모델링에 적용 가능한 구조체 일체형 건식 외단열 보강 시스템
	Cool Roof	기존건축물 최상층의 냉방에너지 저감에 효과적인 Cool Roof 시스템
Active System	주광 /동체감지 조명제어시스템	건축물의 DIMMING 제어 및 동체감지제어를 복합 활용한 실내 최적 조명제어시스템
	바이패스형 열 회수 환기 시스템	외기냉방과 전열교환 시스템을 병행 운영 가능한 Bypass 형 환기 시스템
	미스트 분사형 실외기	기존 실외기 미스트 분사 시스템을 설치함으로써, 실외기의 효율 향상 및 열섬현상을 관리하는 실외기 효율 개선 시스템
	피크부하 제어용 전력 수요 예측 시스템	소규모 상업시설에 적합한 전력 수요를 예측하고, 실시간 모니터링하여 피크부하를 관리하는 클라우드 기반 제어 시스템
Renewable Energy System	고층건물용 소형 풍력발전시스템	기존 고층건물 배기구 및 외기풍속의 회전력을 활용한 고층건물용 소형 풍력 발전 시스템
인증 기준	그린 리모델링 녹색 건축인증기준	기존 건축물의 그린 리모델링 가이드 및 A to Z 평가를 위한 주거 및 비주거용 그린 리모델링 인증 기준

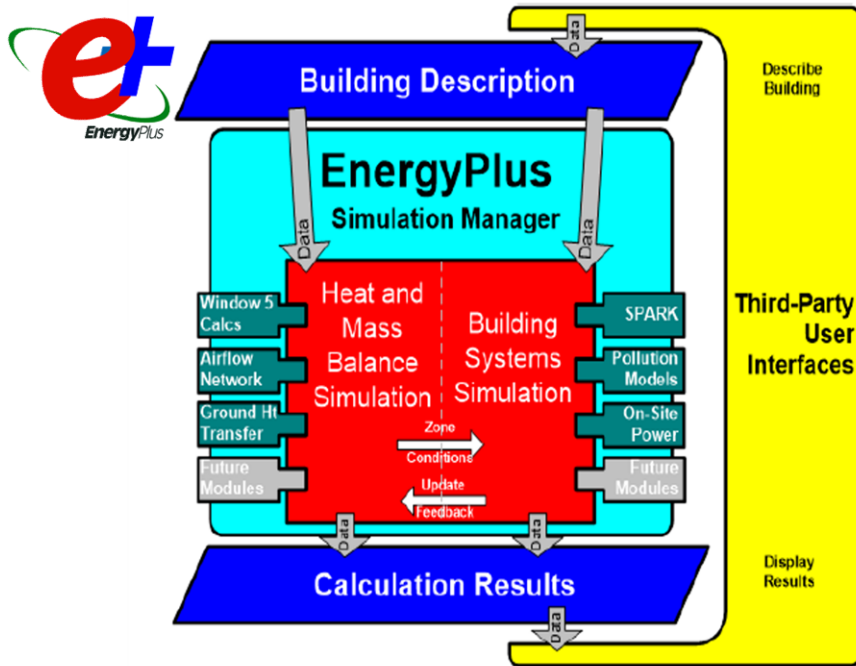
2.3 에너지 시뮬레이션 프로그램

- DOE -2

DOE-2는 미국에너지부가 1970년대 연구개발비를 지원하여 UCLA내 LBL이 만들어 낸 건물에너지 해석 프로그램으로서 주거용과 산업용 건물의 에너지 해석을 위한 프로그램으로 건물의 위치, 구조, 설비 운용에 관한 정보를 주어 매시간의 건물에너지 사용과 설비 운용의 life-cycle 원가와 냉난방, 환기 시스템에 대한 계산한다. BDL(Building Description Language) Processor, LOADS, SYSTEM, PLANT, ECON(Economics)의 5개 모듈로 구성되어 있으며 시각별 냉·난방 부하 해석 및 축열효과 고려, HVAC시스템 용량 산정 및 경제성 분석에 활용되고 있다. 이후 모델생성이 쉬운 Visual DOE, EZDOE로 진화되었고 version DOE -2.1E를 마지막으로 2001년 Energy Plus가 발표되었다[16-19].

- Energy Plus

DOE -2시리즈 중 DOE -2-1E를 마지막으로 뒤이어 DOE가 개발한 것으로, 건물의 부하계산과 에너지 소비 특성을 분석하는 프로그램이며 DOE-2와 BLAST의 장점을 기반으로 새로운 기능들을 추가하여 건물의 열전달과 습기전달 계산이 가능하다. 건물의 기본 데이터(열관류율, 창 면적 비 등)를 입력하면 열 유체에너지 계산 부분에서는 창 부분 계산, 지중으로 열전달, 실제적인 시스템 컨트롤, 존별 기류, 방사열과 냉각 시스템, 건축요소들의 수분 흡착성과 탈착성 등을 고려한다(그림7). 에너지 플러스 프로그램의 주요기능은 열평형 부하계산, 동일 시간대에서 통합된 부하, 시스템, 플랜트 계산, 사용자 위주의 HVAC시스템 해석, 다른 개발자가 새로운 시뮬레이션 모듈을 첨가하기 쉬운 모듈구조, 그래픽 작업이 쉬운 간단한 입력과 출력데이터 양식을 지원한다[18, 20].

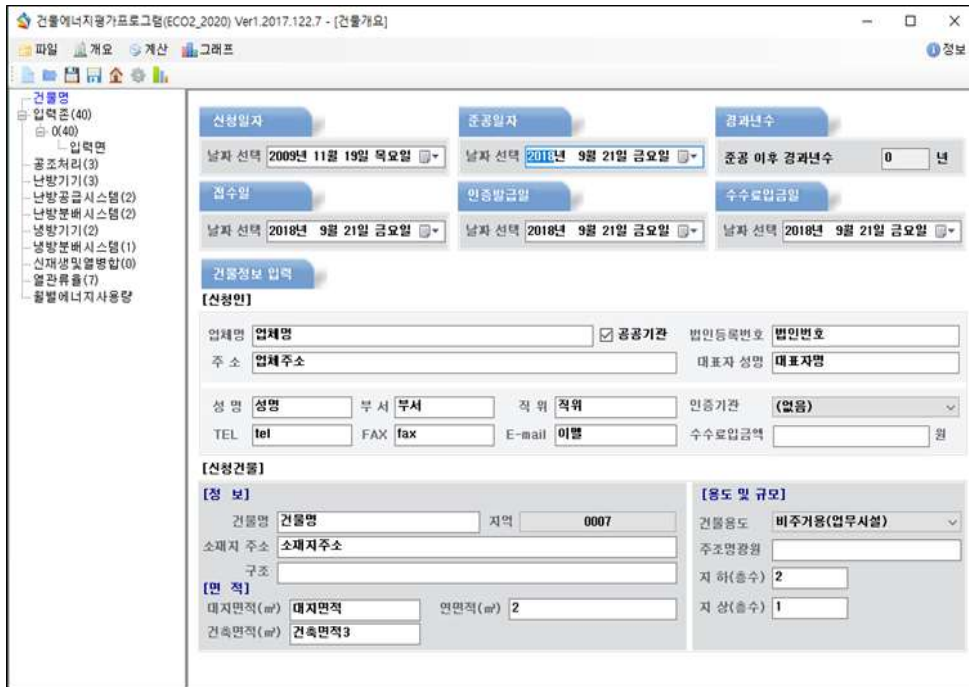


[그림 7] Energy Plus 프로그램 에너지 분석 프로세스

● EC02/EC02-00

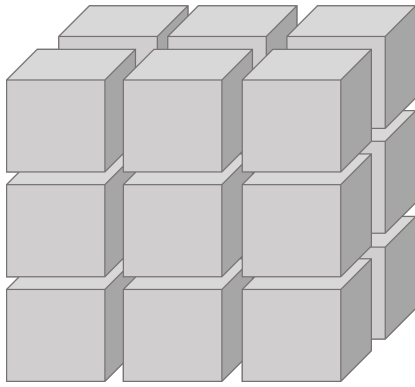
EC02 프로그램은 한국에너지공단에서 배포하고 실제 건축물 에너지효율등급인증에 사용되는 프로그램으로, ISO 13790과 DIN V18599를 기준으로 건물에 대한 에너지 평가기법을 마련하고, 월별 평균 기상데이터를 바탕으로 난방, 냉방, 조명, 급탕, 환기 시스템의 5가지 항목에 대하여 단위 면적당 건물의 에너지 요구량, 에너지 소요량을 계산한다(그림8)[21-24].

에너지 요구량이란 건축물의 난방, 냉방, 급탕, 조명 부문에서 표준설정 조건을 유지하기 위해 해당 공간에서 필요로 하는 에너지양을 말한다. 에너지 소요량이란 에너지 요구량을 만족하게 하도록 건축물의 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 부문의 설비 기기에 사용되는 에너지양을 말한다. 1차 에너지란 연료의 채취, 가공, 운송, 변환, 공급 등의 과정에서 손실분을 포함한 에너지를 말한다. 단위면적당 1차 에너지 소요량이란 단위면적당 에너지 소요량에 전력생산 및 연료의 운송 등에서 손실되는 손실분을 고려한 1차 에너지 환산계수를 곱한 에너지양을 말한다[25].

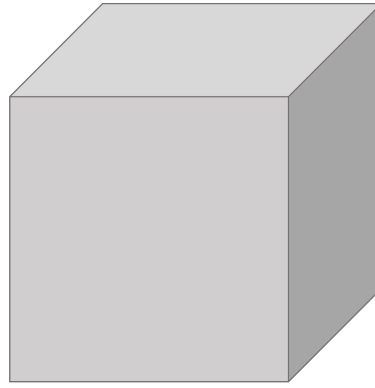


[그림 8] ECO2 프로그램 사용자 인터페이스

ECO2-0D 프로그램은 ECO2 프로그램과 같은 기준으로 소요량을 계산하여 공신력은 유지했지만, 분석과정을 간소화시킴으로써 평가시간을 단축하였다. 그림9는 ECO2 프로그램과 ECO2-0D 프로그램의 분석 방법을 시각적으로 나타낸 것으로, ECO2 프로그램은 각각의 ZONE 별로 구역을 나누어 에너지 부하를 산정하는 반면, ECO2-0D 프로그램은 건물 전체를 하나의 BOX 형태로 규정하여 1개의 ZONE으로 에너지 분석을 실시한다[26].



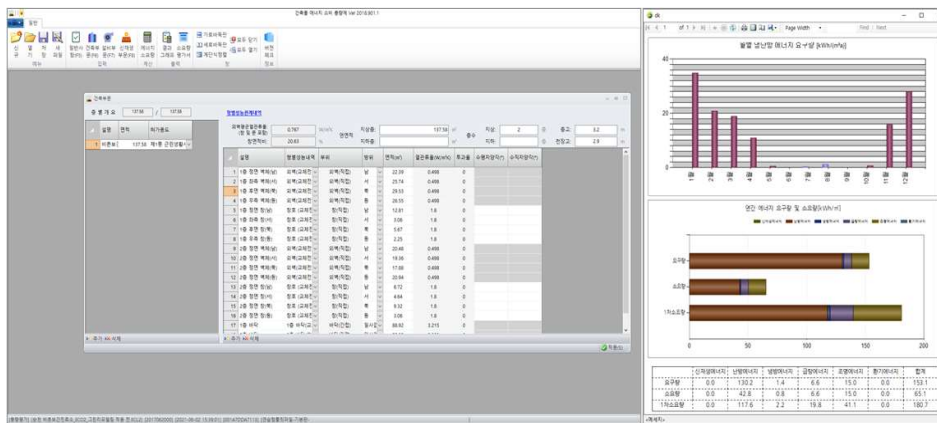
< ECO2 >



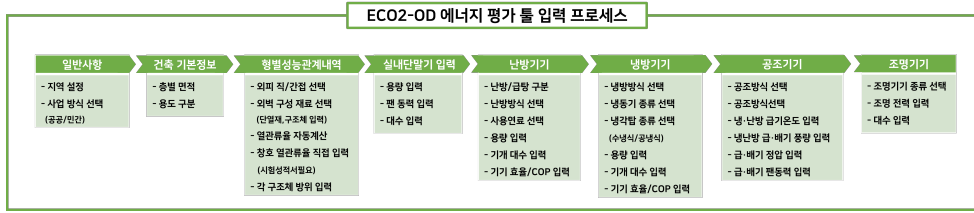
< ECO2-OD >

[그림 9] ECO2, ECO2-OD 프로그램 분석 개념도

이러한 시뮬레이션 구동 방식의 차이로, ECO2 프로그램은 정확하고 부분적인 성능평가가 가능하다. 하지만 시간과 노력이 많이 들고 노후화 건축물을 대상지로 하는 그린 리모델링 사업의 경우 ECO2-OD보다 세부적인 자료가 필요한 ECO2 프로그램을 사용하는 데에는 어려움이 있다(그림 10). 이에 본 연구에서는 에너지 소비총량제에서 공인 프로그램으로 인증하고, 자료의 입력이 상대적으로 간단한 ECO2-OD 프로그램을 기반으로 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 개발을 진행한다.



[그림 10] ECO2-OD 프로그램 사용자 인터페이스



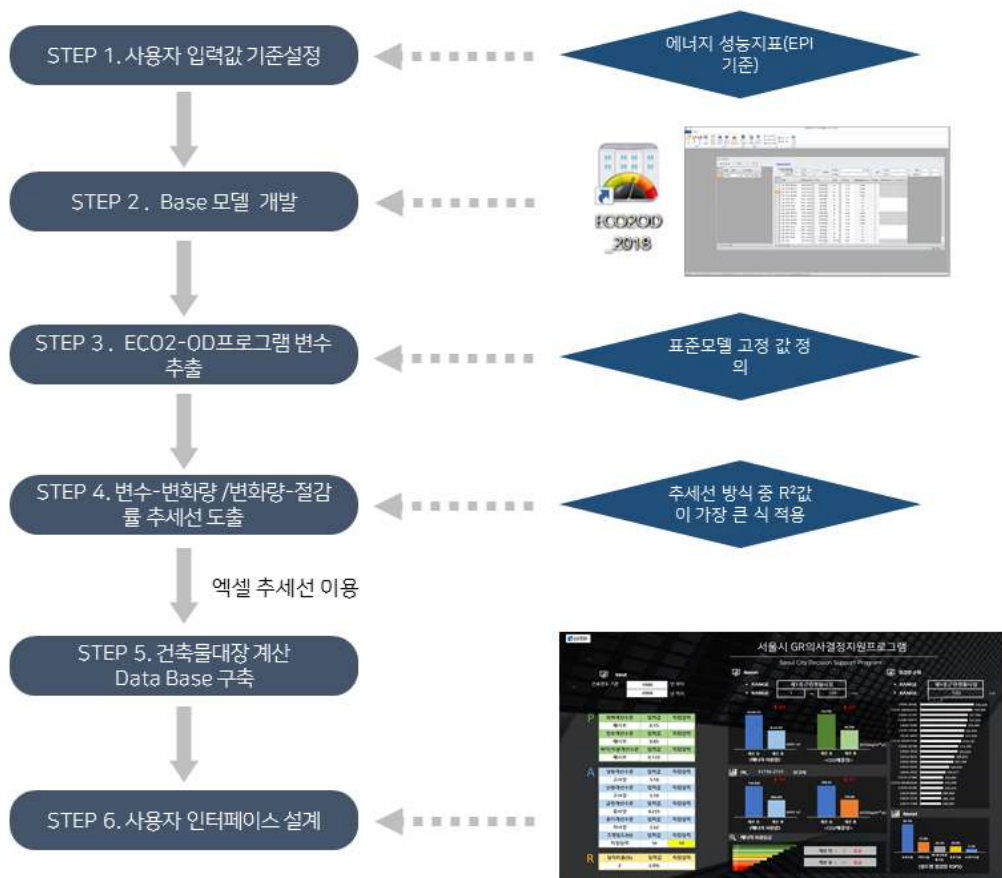
[그림 11] ECO2-OD 프로그램 에너지평가 툴 입력 프로세스

ECO2-OD 프로그램 입력 프로세스는 (그림11)과 같다. 일반사항에서 대상건축물의 지역을 구분하고 사업방식에 따라 공공/민간을 선택한다. 기본정보에서 층별 면적과 용도 구분을 진행한다. 용도별로 사용시간과 설비운전시간의 차이가 생기는데 용도별 기준은 건축물 에너지효율등급 인증제도 운영규정(2020개정)에 따른다. 형별 성능관계내역 부분에는 구조체와 단열재를 입력하고 창호의 경우 시험성적서를 바탕으로 열관류율 값을 직접 입력한다. 각 구조체와 창호 입력을 완료하면 외벽 평균 열관류율이 자동으로 산출된다. 액티브 부문과 신재생 부문에서는 장비 일람표를 바탕으로 각 설비 시스템의 구동 방식과 대수, 효율/COP, 면적을 입력한다.

제3장 . 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램

3.1 프로그램 개발 프로세스

그린 리모델링 의사결정 지원 간이 프로그램 개발을 위한 과정은 (그림 12)와 같다. 개발 프로세스의



[그림 12] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 개발 프로세스

- Step 1 : 사용자 입력값 기준 설정 (에너지 성능지표: EPI 기준)
 - Step 1에서는 각각 요소들을 단계별로 분류하였을 때, 단계별 기본값을 정의한다. 본 연구에서는 사용자가 임의로 리모델링 수준을 선택하여 그린 리모델링 프로젝트의 시나리오를 설계할 수 있도록 지원하는 프로그램을 개발한다. 이 과정에서 가장 중요하게 생각하는 부분은 사용자가 전문지식 없이도 프로그램을 구동할 수 있도록 하는 것으로, 사용자가 일상적으로 쉽게 이해할 수 있는 단어로 리모델링 수준을 구분하였다.

- Step 2 : Base 모델 개발
 - 국토부 그린 리모델링 사업에서 진행하는 시뮬레이션 중 하나를 예제파일로 선정하고, 입력값을 조정하였다. 사용자 입력값 기준에 따라 가장 낮은 수준을 입력한 모델을 Base 모델로 정의하고, EC02-00 입력변수를 도출해내기 위한 Base 모델을 개발하였다.

- Step 3 : EC02-00 입력변수 도출
 - EC02-00 입력변수들을 기준에 따라 변화시켜 결과값(1차 에너지 소요량)의 영향을 미치는 요소들을 도출해낸다. 입력변수의 변화가 결과값에 영향을 미치지 않는 경우, 법규와 규정에 따라 default 값을 정의한다.

- Step 4 : 변수-변화량, 변화량-절감률 추세선 도출
 - Step 3에서 도출한 입력변수들에 대한 변수- (결과값) 변화량 추세선과 변화량-절감률 추세선을 도출하여 해당 입력변수의 수식을 도출한다. 추세선을 이용한 수식은 사용자가 리모델링 수준을 선택할 때, 프로그램에서 임시로 정해놓은 값이 아닌 정확한 성능(열관류율, 기기 효율/COP)을 입력하고자 할 때 적용된다.

- Step 5 : 00시 건축물대장 10,000여 개 데이터 기반 엑셀 Data Base 구축
 - Step 4에서 추출된 수식을 서울시의 건축물대장 데이터에 적용해 예시 파일을 작성한다. 사용자가 Input 창에 리모델링 수준을 입력하였을 때, 입력값을 적용해 실제 건축물대장으로 계산식을 설계한다. 각 계산 데이터는 패시브 기술 적용결과, 액티브 기술 적용결과, 신재생 생산량 적용을 위한 패시브+액티브 적용결과, 신재생 생산량, 패시브, 액티브, 신재생 적용결과, CO2 배출량, 에너지효율등급을 부분별로 계산하였다.

- Step 6 : 계산된 데이터 바탕으로 사용자 인터페이스(UI:User Interface) 구성
 - Step 5에서 계산된 결과값을 바탕으로 필요데이터를 엑셀 대시보드 형식으로 구현하여 사용자가 Input 값에 따른 결과 변화를 바로 확인할 수 있도록 하였다. 사용자는 건축물대장을 불러와 적용하면 자동으로 계산 Data Base가 구축되고, 연결된 엑셀 수식으로 대시보드에 바로 적용된다.
 - 대시보드에서는 용도별 절감량 순위, 연도별 데이터 분류, 전체 프로젝트 절감량 성과를 예측할 수 있도록 설계하였다.

3.2 사용자 입력값 기준 설정

EC02-00 프로그램에서 리모델링 개선 요소는 패시브 부문에서는 열관류율, 액티브 부문에서는 효율/COP, 조명밀도, 신재생 부문에서는 에너지 생산량으로 규정할 수 있다. 각각의 요소별로 패시브 부문은 법적 기준, 저사양, 중사양, 고사양, 패시브 하우스 수준 총 5개 단계로 구분하고, 액티브 부문에서는 저사양, 중사양, 고사양 총 3가지 단계로 분류한다. 단계별 기본값의 기준은 건축물의 에너지 절약 설계기준의 에너지 성능지표(이하 EPI)와 패시브 하우스 건축기준을 참고하였다.

패시브 부문의 ‘법적 기준 수준’에 관한 기준값은 “건축물의 에너지 절약 설계기준-별표1의 지역별 건축물 부위의 열관류율 표” 중부 2 지역 비주거를 선택하여 기준으로 하였다. 기준에 따르면, 외벽 열관류율 $0.24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 지붕 $0.15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 바닥 $0.17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 창 및 문 $1.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로 명시되어있으며 ‘법적 기준 수준’ 기준값으로 정의하였다(표5). ‘패시브 하우스 수준’ 기준값은 패시브 하우스 설계기준에서 각각 요소별 기준을 가장 성능이 우수하다고 판단하여 입력값 기준으로 하였다[27]. 아래의 (그림 13)은 패시브 하우스 기준을 나타낸 것으로, 외벽 열관류율 $0.15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 지붕 $0.15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 창 및 문 $0.85 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 를 ‘패시브 수준’ 입력값 기준으로 정의하였다. 액티브 부문은 에너지 성능지표 5개의 배점 범위를 3개로 나누어 저사양, 중사양, 고사양으로 정의하였다(표6).

신재생 부문은 에너지 성능지표의 신재생 설비 부문의 ‘전체난방설비 용량에 대한 신재생에너지 용량비율’에 따라 5배점으로 나누어진 기준값을 3등분 하여 적용했으며, ‘저사양’ 수준은 전체 난방설비 용량의 1%, ‘중사양’ 수준은 1.5%, ‘고사양’ 수준은 2%를 적용했다. 이는 이후 Data Base 계산 단계에서 패시브 부문과 액티브 부문 리모델링 적용 후 사용량 값에 곱하여 신재생 생산량으로 계산된다.

[표 5] 에너지 절약설계 기준 지역별 열관류율 기준

(단위 : W/㎡·K)

지역 건축물의 부위			중부1지역 ¹⁾	중부2지역 ²⁾	남부지역 ³⁾	제 주 도	
거실의외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하	
		공동주택 외	0.170 이하	0.240 이하	0.320 이하	0.410 이하	
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하	
		공동주택 외	0.240 이하	0.340 이하	0.450 이하	0.560 이하	
최 상 층 에 있는 거실 의 반자 또 는 지붕	외기에 직접 면하는 경우	0.150 이하			0.180 이하	0.250 이하	
	외기에 간접 면하는 경우	0.210 이하			0.260 이하	0.350 이하	
최 하 층 에 있는 거실 의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경 우	0.150 이하	0.170 이하	0.220 이하	0.290 이하	
		바닥난방이 아 닌 경우	0.170 이하	0.200 이하	0.250 이하	0.330 이하	
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경 우	0.210 이하	0.240 이하	0.310 이하	0.410 이하	
		바닥난방이 아 닌 경우	0.240 이하	0.290 이하	0.350 이하	0.470 이하	
바닥난방인 층간바닥			0.810 이하				
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	0.900 이하	1.000 이하	1.200 이하	1.600 이하	
		공 동 주 택 외	창	1.300 이하	1.500 이하	1.800 이하	2.200 이하
			문	1.500 이하			
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	1.300 이하	1.500 이하	1.700 이하	2.000 이하	
		공 동 주 택 외	창	1.600 이하	1.900 이하	2.200 이하	2.800 이하
			문	1.900 이하			
공 동 주 택 세대현관문 및 방화문	외기에 직접 면하는 경우 및 거실 내 방화문	1.400 이하					
	외기에 간접 면하는 경우	1.800 이하					

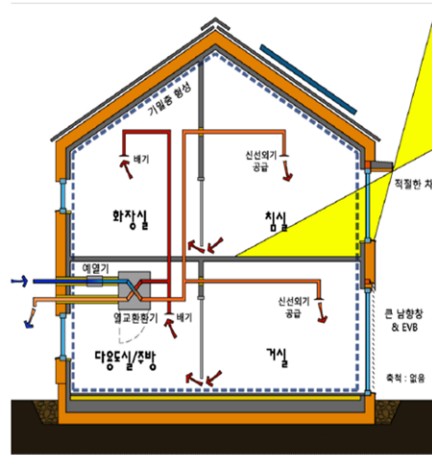
비 고

1) 중부1지역 : 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척 제외), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주), 충청북도(제천), 경상북도(봉화, 청송)

2) 중부2지역 : 서울특별시, 대전광역시, 세종특별자치시, 인천광역시, 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주 제외), 충청북도(제천 제외), 충청남도, 경상북도(봉화, 청송, 울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산 제외), 전라북도, 경상남도(거창, 함양)

3) 남부지역 : 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시, 전라남도, 경상북도(울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산), 경상남도(거창, 함양 제외)

구분	세부구분	조건
외벽	외벽열관류율	0.15 W/m ² ·K 이하
	지붕열관류율	0.15 W/m ² ·K 이하 (우리나라 : 0.12 W/m ² ·K)
창호	유리열관류율	0.8 W/m ² ·K 이하
	창틀열관류율	0.8 W/m ² ·K 이하
	창호 설치후 열관류율	0.85 W/m ² ·K 이하
문	유리 g값(SHGC)	0.5 이상 (우리나라 0.4 이상)
	문 열관류율	0.8 W/m ² ·K 이하
열교환장치	문 기밀성능	0.45 m ³ /m ² ·h 이하
	효율	75% 이상 (난방, 전열)
열교환장치	소비전력	0.45 W/m ² ·h 이하
	Out Air 조건	0°C 이상 (예열기 또는 이중열교환 필요)
열교환장치	급기/배기 비율차이	10% 이하
	선형열교	0.01 W/m·K 이하 (엄격히 적용하지 않음)
열교환장치	점형열교	0.01 W/m ² ·K 이하 (엄격히 적용하지 않음)
	건물전체성능	기밀성
건물전체성능	가전기기의 효율	고효율 가전기기 사용
	조명부하	최소한의 조명기기 사용



[그림 13] 패시브 하우스 건축기준

[표 6] 건축물 에너지 절약설계 기준-에너지 성능지표

2. 에너지성능지표												
항 목		기본배점 (a)				배점 (b)						
		비주거		주거		1점	0.9점	0.8점	0.7점	0.6점		
		대형 (3,000㎡ 이상)	소형 (500~ 3,000㎡ 미만)	주택 1	주택 2							
건 축 부 문	1.외벽의 평균 열관류율 U_e (W/㎡·K) (창 및 문을 포함)	21	34			중부1	0.380미만	0.380~0.430미만	0.430~0.480미만	0.480~0.530미만	0.530~0.580미만	
						중부2	0.490미만	0.490~0.560미만	0.560~0.620미만	0.620~0.680미만	0.680~0.740미만	
						남부	0.620미만	0.620~0.690미만	0.690~0.760미만	0.760~0.840미만	0.840~0.910미만	
						제주	0.770미만	0.770~0.860미만	0.860~0.950미만	0.950~1.040미만	1.040~1.130미만	
			31	28	중부1	0.300미만	0.300~0.340미만	0.340~0.380미만	0.380~0.410미만	0.410~0.450미만		
					중부2	0.340미만	0.340~0.380미만	0.380~0.420미만	0.420~0.460미만	0.460~0.500미만		
					남부	0.420미만	0.420~0.470미만	0.470~0.510미만	0.510~0.560미만	0.560~0.610미만		
					제주	0.550미만	0.550~0.620미만	0.620~0.680미만	0.680~0.750미만	0.750~0.810미만		
	2.지붕의 평균 열관류율 U_r (W/㎡·K) (천창 등 투명 외피 부분을 제외한 부분의 평균 열관류율)	7	8	8	8	중부1	0.090미만	0.090~0.100미만	0.100~0.110미만	0.110~0.130미만	0.130~0.150미만	
						중부2	0.090미만	0.090~0.100미만	0.100~0.110미만	0.110~0.130미만	0.130~0.150미만	
						남부	0.110미만	0.110~0.120미만	0.120~0.140미만	0.140~0.150미만	0.150~0.180미만	
						제주	0.150미만	0.150~0.170미만	0.170~0.190미만	0.190~0.210미만	0.210~0.250미만	
3.최하층 거실바닥의 평균 열관류율 U_f (W/㎡·K)	5	6	6	6	중부1	0.100미만	0.100~0.110미만	0.110~0.130미만	0.130~0.150미만	0.150~0.180미만		
					중부2	0.120미만	0.120~0.130미만	0.130~0.150미만	0.150~0.170미만	0.170~0.210미만		
					남부	0.150미만	0.150~0.170미만	0.170~0.190미만	0.190~0.210미만	0.210~0.260미만		
					제주	0.200미만	0.200~0.220미만	0.220~0.250미만	0.250~0.280미만	0.280~0.340미만		
기계 설비 부 문	1. 난방설비 효율(%)	기름 보일러	7	6	9	6	93이상	90~93미만	87~90미만	84~87미만	84미만	
							90이상	86~90미만	84~86미만	82~84미만	82미만	
		가스보일러	양방향	7	6	9	6	1등급제품	-	-	-	그 외 또는 미설치
			개별방식					고효율 인증제품, (신재생 인증제품)	에너지 소비효율 1등급제품	-	-	그 외 또는 미설치
	기타 난방설비											
2. 냉방설비	원심식 (성적계수)						5.18이상	4.51~5.18미만	3.96~4.51미만	3.52~3.96미만	3.52미만	

	COP)									
	6.폐열회수형 환기장치 또는 바닥열을 이용한 환기장치, 보일러 또는 공조기의 폐열회수설비 ^{주10)}	2	2	2	2	전체 외기도입 풍량합의 60% 이상 적용 여부 (폐열회수형 환기장치는 고효율에너지기자재 인증제품 또는 에너지계수 값이 냉방시 8이상, 난방시 15이상, 유효전열교환효율이 냉방시 45%이상, 난방시 70%이상일 경우 배점)				
전 기 설 비 부문	1.제5조제10호가목에 따른 거실의 조명밀도 (W/m ²)	3	2	2	2	8 미만	8~ 11미만	11~ 14미만	14~ 17미만	17~ 20미만
신 재 생 설 비 부문	1.전체 난방설비용량에 대한 신.재생에너지 용량비율	4	4	5	4	2% 이상	1.75% 이상	1.5% 이상	1.25% 이상	1% 이상
						단, 의무화 대상 건축물은 2배 이상 적용 필요				

3.3 Base 모델 개발

국토부 그린 리모델링 사업대상지 시뮬레이션 예제파일 중 00시 대상지를 예제 파일로 선정하고 패시브 요소와 액티브 요소를 3.2절에서 정의한 각 리모델링 입력 기준 중, ‘법적 기준 수준’, ‘저사양 수준’ 으로 수정하여 Base 모델을 생성한다. 이 Base 모델은 EC02-00 프로그램의 의미 있는 변수를 추출하고, 각 요소에 대한 변화량을 추세선을 추출하기 위해 사용된다. Base 모델의 일반사항은 (그림 14) 과 같이 서울시로 설정하고 공공부문 그린 리모델링 대상으로 적용했다. Base 모델의 용도는 그린 리모델링 사업 예시 그대로 제1종 근린생활시설을 적용하였으며 EC02-00 내 적용되는 근린생활시설 용도 프로필을 (표8)에 나타내었다. 그린 리모델링 사업대상지는 공공건축물로서, 어린이집, 보건소, 의료시설이 주 대상지이다. 따라서 에너지효율등급 인증제도 운영규정에 명시되어있는 용도 기준 20여 개 중 ‘주거공간’ 과 ‘대규모 사무실(30m²)’ 용도 프로필을 적용해 에너지 시뮬레이션을 진행하였고, 기상데이터는 서울시 기준으로 적용하였다(표7, 9).

[표 7] 서울시 프로그램 적용 기상데이터 (출처:에너지효율등급인증제도운영규정)

월	월별 평균 외기온도 [℃]	수평면/수직면 월평균 전일사량 [W/m ²]								
		수평면	남	남동	남서	동	서	북동	북서	북
1월	-1.5	87.6	126.4	96.9	97.7	48.4	48.8	26.7	26.6	26.4
2월	2.3	120.5	147.4	119.1	112.8	67.5	62.8	34.9	34.5	32.5
3월	5.1	164.1	138.0	124.0	118.8	92.2	87.5	58.4	57.0	48.0
4월	13.1	199.1	121.5	116.5	120.4	97.3	102.4	65.7	69.1	49.3
5월	18.4	202.2	92.4	105.8	105.1	104.5	104.7	81.8	82.7	59.6
6월	21.8	181.0	75.5	86.2	89.5	88.6	93.9	74.9	79.0	60.0
7월	24.2	145.7	65.7	71.2	74.9	71.8	76.4	61.8	64.5	51.8
8월	26.1	175.2	91.1	99.1	93.8	93.6	87.0	71.5	67.5	52.9
9월	21.7	160.4	119.3	112.1	104.8	87.6	82.2	54.9	54.4	43.2
10월	15.2	161.8	177.7	146.2	141.5	90.4	87.2	46.4	46.6	39.9
11월	8.3	89.1	116.3	87.5	96.8	49.3	56.8	29.4	30.6	28.4
12월	1.9	84.3	134.9	103.8	101.8	48.2	46.7	25.1	25.1	25.1

[표 8] 주거 건축물 용도 프로파일 (출처 : 에너지효율등급인증제도운영규정)

.Uhr : 사용시간		
.m ³ /(h m ²) : 단위시간(h)당, 단위면적(m ²)당 외기도입풍량(m ³)		
.Wh/(m ² d) : 일일(d) 단위면적(m ²)당 발생열량(Wh)		
.d/mth : 월간(mth) 일수(d)		
구분	단위	값
사용시간과 운전시간		
사용시작시간	[Uhr]	0:00
사용종료시간	[Uhr]	24:00
운전시작시간	[Uhr]	0:00
운전종료시간	[Uhr]	24:00
설정 요구량		
최소도입외기량	[m ³ /(h m ²)]	1.1
급탕요구량	[Wh/(m ² d)]	84
조명시간	[h]	5
열발열원		
사람	[Wh/(m ² d)]	53
작업보조기기	[Wh/(m ² d)]	52
실내공기온도		
난방설정온도	[°C]	20
냉방설정온도	[°C]	26
월간 사용일수		
1월 사용일수	[d/mth]	31
2월 사용일수	[d/mth]	28
3월 사용일수	[d/mth]	31
4월 사용일수	[d/mth]	30
5월 사용일수	[d/mth]	31
6월 사용일수	[d/mth]	30
7월 사용일수	[d/mth]	31
8월 사용일수	[d/mth]	31
9월 사용일수	[d/mth]	30
10월 사용일수	[d/mth]	31
11월 사용일수	[d/mth]	30
12월 사용일수	[d/mth]	31
용도별 보정계수		
난방	-	1
냉방	-	1
급탕	-	1
조명	-	1
환기	-	1

[표 9] 비주거 건축물 용도 프로파일_대규모 사무실(출처 : 에너지 효율등급인증제도운영규정)

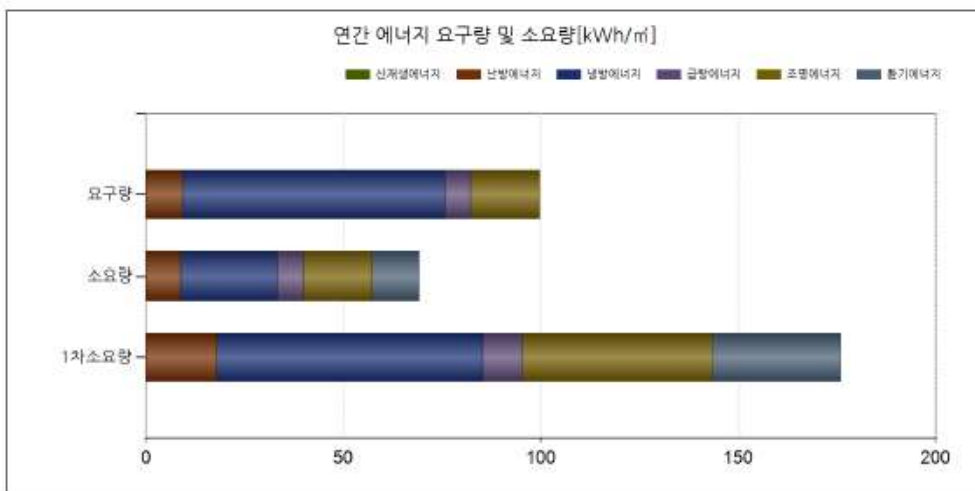
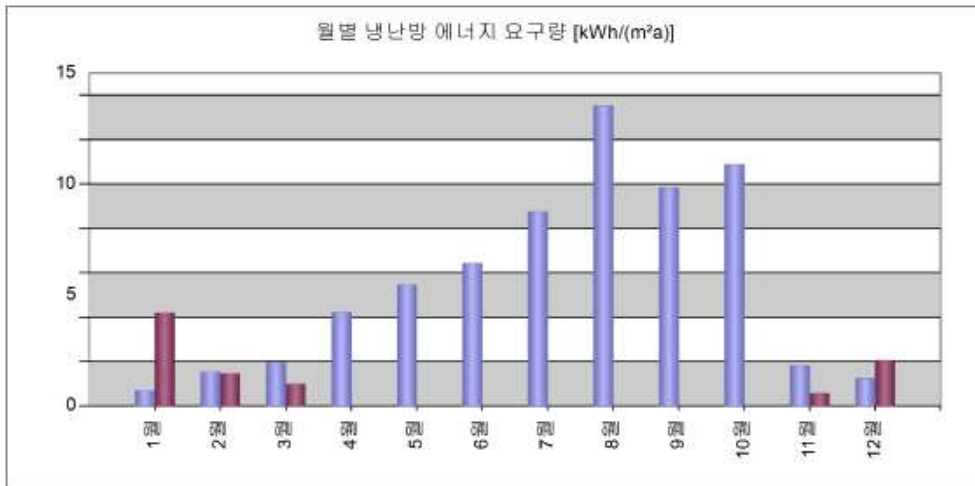
구분	단위	값
사용시간과 운전시간		
사용시작시간	[Uhr]	09:00
사용종료시간	[Uhr]	18:00
운전시작시간	[Uhr]	07:00
운전종료시간	[Uhr]	18:00
설정 요구량		
최소도입외기량	[m ³ /(h m ²)]	6
급탕요구량	[Wh/(m ² d)]	30
조명시간	[h]	9
열발열원		
사람	[Wh/(m ² d)]	55.8
작업보조기기	[Wh/(m ² d)]	126
실내공기온도		
난방설정온도	[°C]	20
냉방설정온도	[°C]	26
월간 사용일수		
1월 사용일수	[d/mth]	22
2월 사용일수	[d/mth]	19
3월 사용일수	[d/mth]	21
4월 사용일수	[d/mth]	22
5월 사용일수	[d/mth]	22
6월 사용일수	[d/mth]	20
7월 사용일수	[d/mth]	22
8월 사용일수	[d/mth]	21
9월 사용일수	[d/mth]	18
10월 사용일수	[d/mth]	21
11월 사용일수	[d/mth]	21
12월 사용일수	[d/mth]	21
용도별 보정계수		
난방	-	1
냉방	-	1
급탕	-	1
조명	-	1
환기	-	1

Base 모델의 창 면적 비는 ‘서울시 녹색건축물 설계기준’ 가장 불리한 값인 50%를 기준으로 하였으며 변수 조정의 편의성을 위해 연면적을 1,000m² 로 설정하였다[28]. 패시브 요소는 법적 기준값을 기본값으로 설정하여 외벽 열관류율 0.24W/m² ·K, 지붕 0.150W/m² ·K, 바닥 0.17W/m² ·K, 창 및 문 1.5W/m² ·K로 설정하였다(그림 15).



[그림 16] Base 모델-액티브 부문 입력값

액티브 요소는 건축물 에너지 소비총량제 평가요소인 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 요소를 변수로 설정하고, 히트펌프로 설정된 난방, 급탕, 냉방 부문은 COP, 공조는 냉난방 회수율, 조명은 조명밀도를 입력 변수값으로 설정하였다(그림16). 최종적으로 개발된 Base 모델의 에너지 소요량 평가서를 (그림 17)에 나타내었다.



	신재생에너지	난방에너지	냉방에너지	급탕에너지	조명에너지	환기에너지	합계
요구량	0.0	9.3	66.4	6.6	17.5	0.0	99.7
소요량	0.0	8.8	24.5	6.6	17.5	11.8	69.2
1차소요량	0.0	18.0	67.3	10.0	48.1	32.6	176.0

[그림 17] Base 모델 에너지 소요량 평가서

3.4 EC02-00 프로그램 변수

EC02-00 프로그램 내 다양한 입력변수 중 결과값(1차 에너지 소요량)에 영향을 미치는 요소들을 구분하기 위해 3.3절에서 개발된 Base 모델을 이용하였다. 일반사항, 패시브, 액티브 요소의 모든 변수값을 조절하여 결과값을 비교했을 때, 패시브 부문은 열관류율 값을 변화시켰을 때 결과값에 차이를 보였다. 액티브 부문의 난방과 급탕 부문에서는 변수조절 결과, (표10)과 같이 도출되었는데 난방방식과 연료의 잘못된 입력은 프로그램 내에서 충돌을 일으켜 결과값에 변화가 없는 것을 확인하였다. 액티브 부문에서는 이 부분을 고려하여 작동방식과 소비되는 연료를 제한하였고, 효율/COP에서 결과값에 일정한 차이를 보여 COP를 입력변수로 선정하였다.

신재생 부문은 프로그램 내에서 태양광, 태양열, 지열, 열병합 발전 4개의 종류로 분류되어 있지만, 일반적으로 가장 많이 설치되는 태양광만을 고려하기로 한다. 패시브 요소에서는 외벽, 창호 및 문, 바닥 및 천장의 열관류율을 입력변수로 선정하였고 액티브 요소에서는 COP/효율을 입력변수로 선정하였다. 설비의 작동방식은 사용 연료를 가장 흔히 쓰이는 ‘전기’로 통일시키기 위하여 히트펌프 방식으로 고정한다. 환기 작동방식은 정풍량 방식으로 고정하여 환기설비의 냉난방 회수율을 입력변수로 정의한다. 조명은 조명밀도를 입력변수로 설정하여 면적당 W값을 변수로써 조절한다. 최종적으로 패시브, 액티브, 신재생 요소 각각의 변수를 분류하고, 3.2절에서 정의한 입력변수 기준값을 정리하여 (표11, 12)에 나타내었다.

[표 10] ECO2-OD 프로그램 변수

난방	기름보일러	난방유, 액화 가스, 천연가 스	84	173.2	급탕	기름보일러	난방유, 액 화가스, 천 연가스	84	176
			85	173.2				85	175.8
			86	173.1				86	175.7
			87	173				87	175.6
			88	173				88	175.5
			89	172.9				89	175.4
			90	172.8				90	175.3
			91	172.8				91	175.2
			92	172.7				92	175.1
			93	172.6				93	175
		94	172.6	94			174.9		
		95	172.5	95			174.8		
		전기 , 지역난방	84	70.4			84	80.2	
			85	70.4			85	80.2	
			86	70.4			86	80.2	
			87	70.4			87	80.2	
			88	70.4			88	80.2	
			89	70.4			89	80.2	
	90		70.4	90		80.2			
	91	70.4	91	80.2					
	92	70.4	92	80.2					
	93	70.4	93	80.2					
	94	70.4	94	80.2					
	95	70.4	95	80.2					
	히트펌프	전기	3.52	176.0		3.52	176.0		
			3.62	175.8		3.62	175.8		
			3.72	175.6		3.72	175.5		
			3.82	175.3		3.82	175.3		
			3.92	175.1		3.92	175		
			4.02	174.9		4.02	174.8		
			4.12	174.7		4.12	174.6		
			4.22	174.5		4.22	174.4		
			4.32	174.3		4.32	174.2		
			4.42	174.2		4.42	174		
			4.52	174		4.52	173.8		
4.62			173.9	4.62	173.7				
4.72			173.7	4.72	173.5				
4.82			173.6	4.82	173.3				
4.92			173.4	4.92	173.2				
5.02			173.3	5.02	173.1				
5.12			173.2	5.12	172.9				
5.22			173	5.22	172.8				
5.32			172.9	5.32	172.7				
5.42			172.8	5.42	172.5				
5.52	172.7	5.52	172.4						
5.62	172.6	5.62	172.3						
5.72	172.5	5.72	172.2						

[표 11] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 입력기준_패시브 요소

패시브 요소	외벽	법적기준	저사양	중사양	고사양	패시브수준
	열관류율	0.24 이상	$0.24 > x \geq 0.20$	$0.2 > x \geq 0.18$	$0.18 > x > 0.15$	0.15 이하
	창호 /문	법적기준	저사양	중사양	고사양	패시브수준
	열관류율	1.5	1.35	1.2	1.05	0.85
	지붕	법적기준	저사양	중사양	고사양	패시브수준
	열관류율	0.15 이상	$0.15 > x \geq 0.135$	$0.135 > x \geq 0.120$	$0.12 > x > 0.11$	0.11 이하
	바닥	법적기준	저사양	중사양	고사양	패시브수준
	열관류율	0.17 이상	$0.17 > x \geq 0.16$	$0.16 > x \geq 0.15$	$0.15 > x > 0.14$	0.13 이하

[표 12] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램 입력기준_액티브 요소

액티브 요소	냉방	저사양	중사양	고사양
	COP	3.52 미만	$3.96 \leq x < 4.51$	5.18 이상
	난방	저사양	중사양	고사양
	구분	히트펌프		
	효율 /COP	3.52 미만	$3.96 \leq x < 4.51$	5.18 이상
	급탕	저사양	중사양	고사양
	구분	히트펌프		
	효율 /COP	3.52 미만	$3.96 \leq x < 4.51$	5.18 이상
	환기	저사양	중사양	고사양
	효율	84 미만	$93 > x > 84$	93 이상
	조명 (조명밀도 :W/m ²)	8 미만	8~20	20 미만
	가중치	1.11617	1.47977	1.87362

3.4 프로그램 Input 요소 산출

EC02-00 프로그램을 기반으로 분류한 변수들에 따라 소요량 변화 추세를 도출하였다. 엑셀로 정리된 데이터를 기반으로 그래프를 생성하고, 추세선을 도출하여 R² 값이 가장 큰 추세선 속성을 채택하였다. 여기서 R² 값은 통계학에서 결정계수 (coefficient of determination)로서 추정된 선형모형이 주어진 자료에 적합한 정도를 재는 척도로 사용된다. 엑셀 프로그램에서 추세선의 타당성을 평가하는 척도로 사용한다[29]. 요소별 변수-결과값/결과값-가중치 추세선을 아래의 그림에 나타내었다.

패시브 부문의 변수별 절감량을 산정한 결과 각각의 수식은 (표13)과 같다. 수식은 추세선의 속성 중 R² 값이 가장 큰 다항식 추세선을 적용했으며, 바닥과 지붕은 변화량의 차이가 미세하여 상대적으로 변화량을 확인할 수 있는 지붕 기준으로 바닥과 지붕을 통일하였다. 액티브 부문에서 변수별 절감량을 산정한 결과 각각의 수식은 (표14)와 같다. 난방과 급탕 부문에서 작동방식과 사용 연료에 따라 히트펌프와 보일러로 구분되는데, 사용 연료를 전력으로 통일하여 계산하기 위해 히트펌프 기준 추세선을 적용하였다. 냉방 부문에서는 냉방기의 종류에 따라 압축식, 흡수식, 압축식(LNG)로 나뉘는데, 소요량이 가장 큰 압축식 냉방기를 적용하였다. 조명 부문은 에너지 성능지표의 조명밀도 기준을 적용하였으며 조명밀도 값이 가장 큰 20(W/m²)을 1.000 값으로 설정하고 추세선을 도출하였다[그림 18-33].

[표 13] 패시브 부문 입력수식 결과

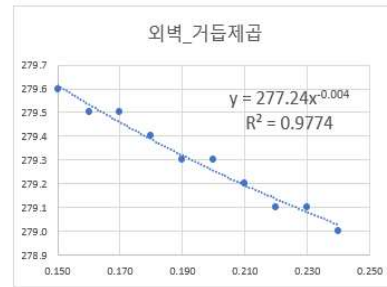
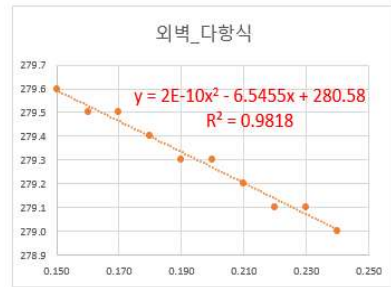
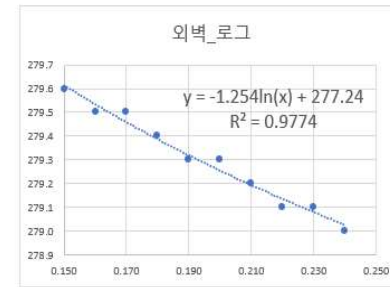
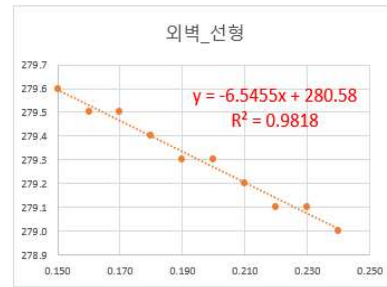
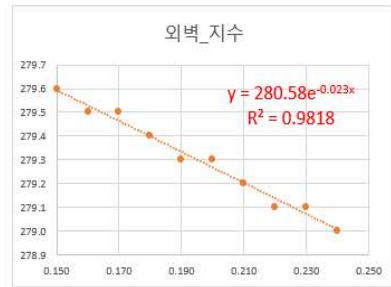
구분		열관류율 -변화량	열관류율 -절감률
외벽	다항식	$y = 2E-10x^2 - 6.5455x + 280.58$	$y = 2E-12x^2 - 0.0235x + 1.0057$
창호		$y = 5.2473x^2 - 24.212x + 303.5$	$y = 0.0188x^2 - 0.0868x + 1.0878$
바닥 / 지붕		$y = -3E-09x^2 + 9.3333x + 277.59$	$y = 0.0335x + 0.9949$

[표 14] 액티브 부문 입력수식 결과

구분		효율 /소비전력 -변화량	효율 /소비전력 -절감률
난방	다항식	$y = 0.4145x^2 - 5.5904x + 293.49$	$y = 0.0015x^2 - 0.02x + 1.0519$
급탕		$y = 0.0019x^2 - 0.0259x + 1.067$	$y = 0.0019x^2 - 0.0259x + 1.067$
냉방		$y = 3.4136x^2 - 45.396x + 396.04$	$y = 0.0122x^2 - 0.1627x + 1.4195$
공조		$y = 3E-05x^2 + 0.0326x + 277.47$	$y = 1E-07x^2 + 0.0001x + 0.9945$
조명		$y = 2E-08x^2 + 0.0069x + 135.1$	$y = 9E-11x^2 + 4E-05x + 0.7066$

외벽	열관류율	결과값	가중치
	0.240	279.0	1.000
	0.230	279.1	1.000
	0.220	279.1	1.000
	0.210	279.2	1.001
	0.200	279.3	1.001
	0.190	279.3	1.001
	0.180	279.4	1.001
	0.170	279.5	1.002
0.160	279.5	1.002	
0.150	279.6	1.002	

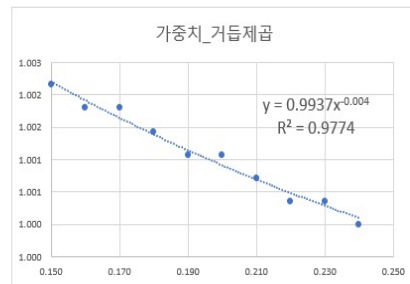
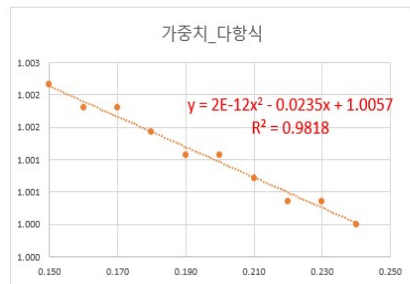
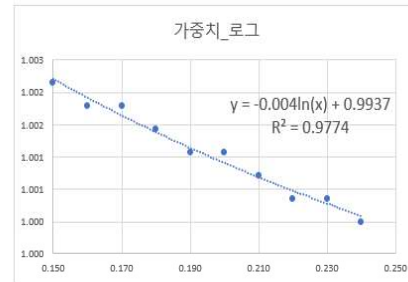
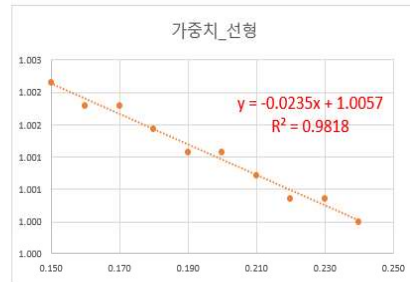
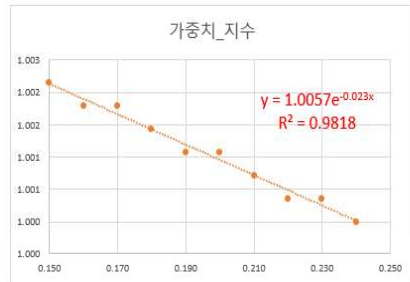
구분	수식	R ²
지수	$y = 280.58e^{-0.023x}$	0.9818
선형	$y = -6.5455x + 280.58$	0.9818
로그	$y = -1.254\ln(x) + 277.24$	0.9774
다항식	$y = 2E-10x^2 - 6.5455x + 280.58$	0.9818
거듭제곱	$y = 277.24x^{-0.004}$	0.9774



[그림 18] 패시브 요소 / 외벽 / 열관류율-변화량 추세선

외벽	열관류율	결과값	가중치
	0.240	279.0	1.000
	0.230	279.1	1.000
	0.220	279.1	1.000
	0.210	279.2	1.001
	0.200	279.3	1.001
	0.190	279.3	1.001
	0.180	279.4	1.001
	0.170	279.5	1.002
	0.160	279.5	1.002
0.150	279.6	1.002	

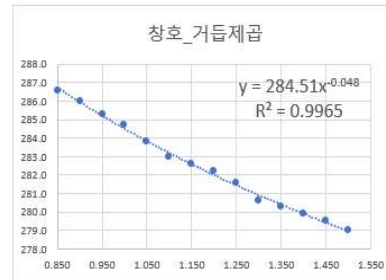
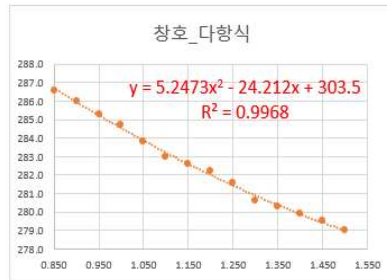
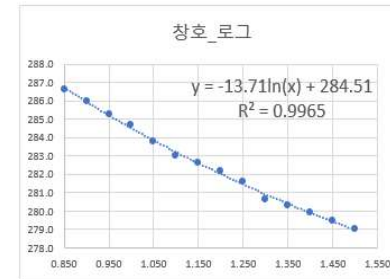
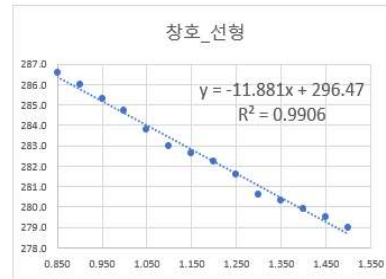
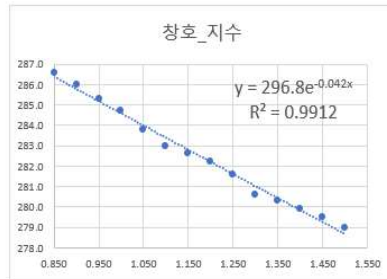
구분	수식	R ²
지수	$y = 1.0057e^{-0.023x}$	0.9818
선형	$y = -0.0235x + 1.0057$	0.9818
로그	$y = -0.004\ln(x) + 0.9937$	0.9774
다항식	$y = 2E-12x^2 - 0.0235x + 1.0057$	0.9818
거듭제곱	$y = 0.9937x^{-0.004}$	0.9774



[그림 19] 패시브 요소 / 외벽 / 열관류율-절감을 추세선

창호	열관류율	결과값	가중치
	1.500	279.0	1.000
	1.450	279.5	1.002
	1.400	279.9	1.003
	1.350	280.3	1.005
	1.300	280.6	1.006
	1.250	281.6	1.009
	1.200	282.2	1.011
	1.150	282.6	1.013
	1.100	283	1.014
	1.050	283.8	1.017
	1.000	284.7	1.020
	0.950	285.3	1.023
0.900	286	1.025	
0.850	286.6	1.027	

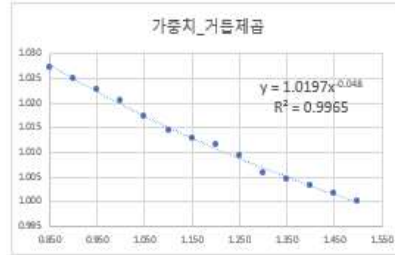
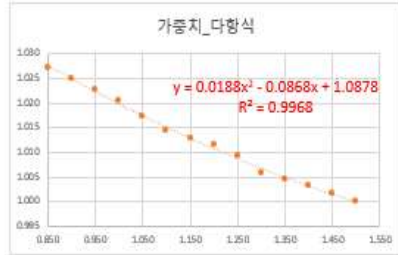
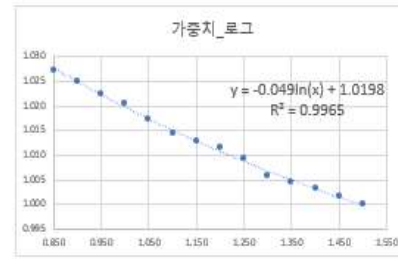
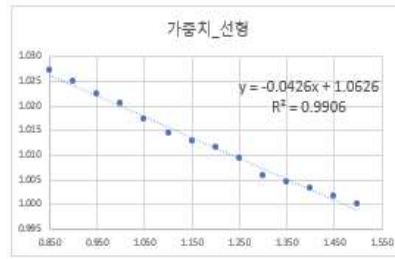
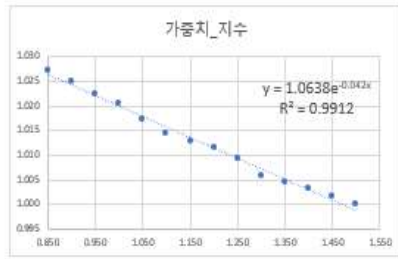
구분	수식	R ²
지수	$y = 296.8e^{-0.042x}$	0.9912
선형	$y = -11.881x + 296.47$	0.9906
로그	$y = -13.71\ln(x) + 284.51$	0.9965
다항식	$y = 5.2473x^2 - 24.212x + 303.5$	0.9968
거듭제곱	$y = 284.51x^{0.048}$	0.9965



[그림 20] 패시브 요소 / 창호 / 열관류율-변화량 추세선

열관류율	결 과값	가중치
1.500	279.0	1.000
1.450	279.5	1.002
1.400	279.9	1.003
1.350	280.3	1.005
1.300	280.6	1.006
1.250	281.6	1.009
1.200	282.2	1.011
1.150	282.6	1.013
1.100	283	1.014
1.050	283.8	1.017
1.000	284.7	1.020
0.950	285.3	1.023
0.900	286	1.025
0.850	286.6	1.027

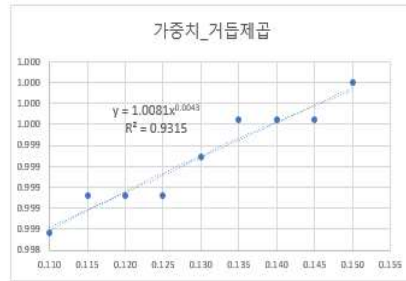
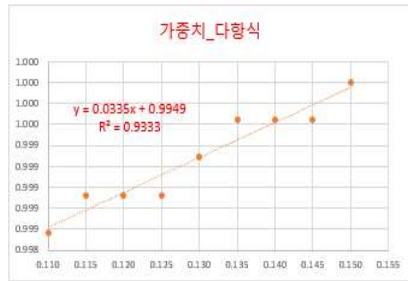
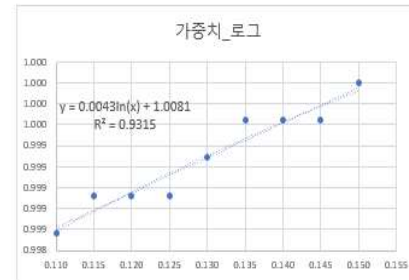
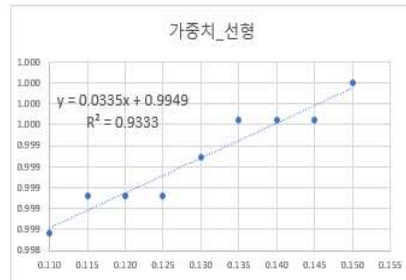
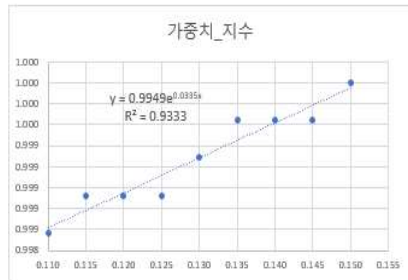
구분	수식	R ²
지수	$y = 1.0638e^{-0.0426x}$	0.9912
선형	$y = -0.0426x + 1.0626$	0.9906
로그	$y = -0.049\ln(x) + 1.0198$	0.9965
다항식	$y = 0.0188x^2 - 0.0868x + 1.0878$	0.9968
거듭제곱	$y = 1.0197x^{-0.048}$	0.9965



[그림 21] 패시브 요소 / 창호 / 열관류율-절감률 추세선

지붕	열관류율	결과값	가중치
	0.150	279.0	1.000
	0.145	278.9	1.000
	0.140	278.9	1.000
	0.135	278.9	1.000
	0.130	278.8	0.999
	0.125	278.7	0.999
	0.120	278.7	0.999
	0.115	278.7	0.999
0.110	278.6	0.999	

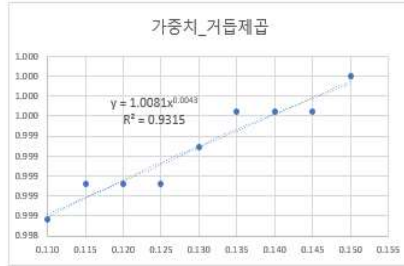
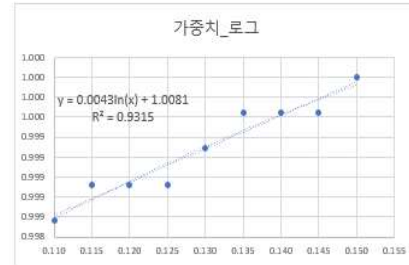
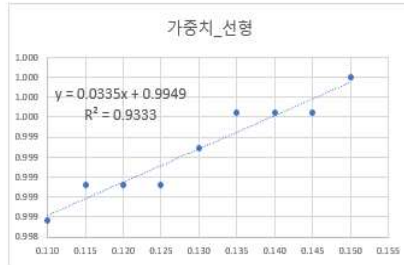
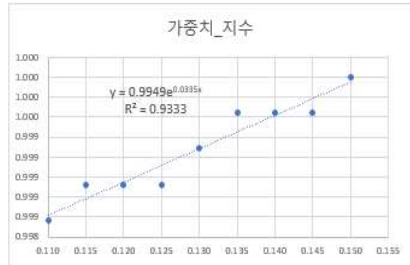
구분	수식	R ²
지수	$y = 0.9949e^{0.0335x}$	0.9333
선형	$y = 0.0335x + 0.9949$	0.9333
로그	$y = 0.0043\ln(x) + 1.0081$	0.9315
다항식	$y = 0.0335x + 0.9949$	0.9333
거듭제곱	$y = 1.0081x^{0.0043}$	0.9315



[그림 22] 패시브 요소 / 지붕 / 열관류율-변화량 추세선

지붕	열관류율	결과값	가중치
	0.150	279.0	1.000
	0.145	278.9	1.000
	0.140	278.9	1.000
	0.135	278.9	1.000
	0.130	278.8	0.999
	0.125	278.7	0.999
	0.120	278.7	0.999
	0.115	278.7	0.999
	0.110	278.6	0.999

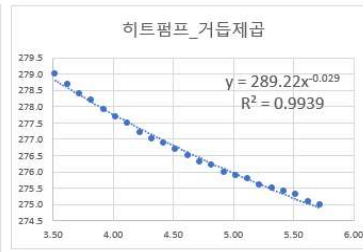
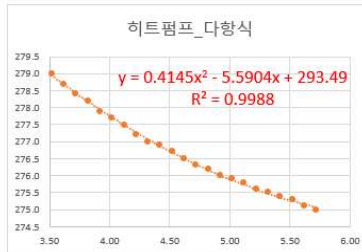
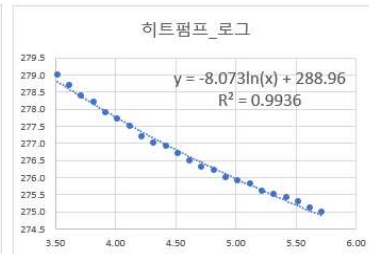
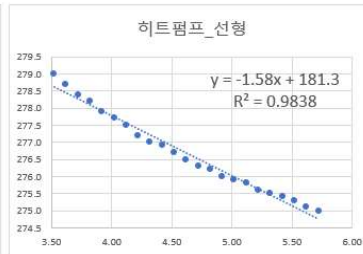
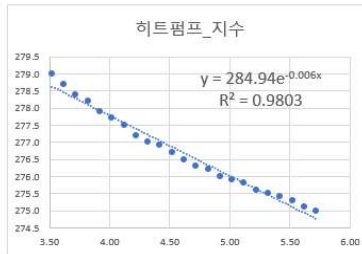
구분	수식	R ²
지수	$y = 0.9949e^{0.0335x}$	0.9333
선형	$y = 0.0335x + 0.9949$	0.9333
로그	$y = 0.0043\ln(x) + 1.0081$	0.9315
다항식	$y = 0.0335x + 0.9949$	0.9333
거듭제곱	$y = 1.0081x^{0.0043}$	0.9315



[그림 23] 패시브 요소 / 지붕 / 열관류율-절감률 추세선

난방	히트펌프	전기	효율/COP	결과값	가중치
			3.52	279.0	1.000
			3.62	278.7	0.999
			3.72	278.4	0.998
			3.82	278.2	0.997
			3.92	277.9	0.996
			4.02	277.7	0.995
			4.12	277.5	0.995
			4.22	277.2	0.994
			4.32	277	0.993
			4.42	276.9	0.992
			4.52	276.7	0.992
			4.62	276.5	0.991
			4.72	276.3	0.990
			4.82	276.2	0.990
			4.92	276	0.989
5.02	275.9	0.989			
5.12	275.8	0.989			
5.22	275.6	0.988			
5.32	275.5	0.987			
5.42	275.4	0.987			
5.52	275.3	0.987			
5.62	275.1	0.986			
5.72	275	0.986			

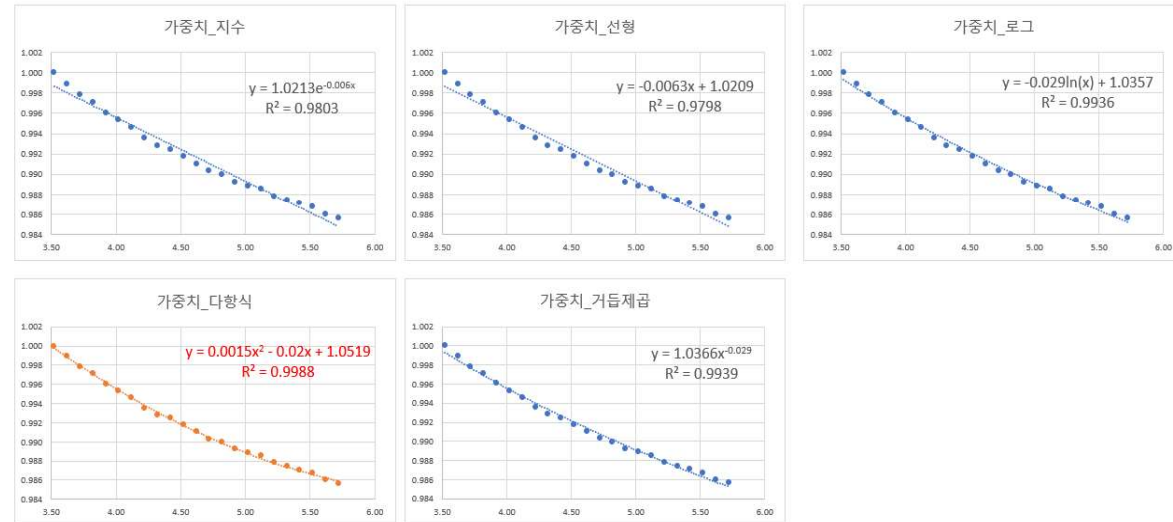
구분	수식	R ²
지수	$y = 284.94e^{-0.006x}$	0.9803
선형	$y = -1.58x + 181.3$	0.9838
로그	$y = -8.073\ln(x) + 288.96$	0.9936
다항식	$y = 0.4145x^2 - 5.5904x + 293.49$	0.9988
거듭제곱	$y = 289.22x^{-0.029}$	0.9939



[그림 24] 액티브 요소 / 난방 / 히트펌프 / 효율(COP)-변화량 추세선

난방	히트펌프	전기	효율/COP	결과값	가중치
			3.52	279.0	1.000
			3.62	278.7	0.999
			3.72	278.4	0.998
			3.82	278.2	0.997
			3.92	277.9	0.996
			4.02	277.7	0.995
			4.12	277.5	0.995
			4.22	277.2	0.994
			4.32	277	0.993
			4.42	276.9	0.992
			4.52	276.7	0.992
			4.62	276.5	0.991
			4.72	276.3	0.990
			4.82	276.2	0.990
			4.92	276	0.989
			5.02	275.9	0.989
			5.12	275.8	0.989
			5.22	275.6	0.988
			5.32	275.5	0.987
5.42	275.4	0.987			
5.52	275.3	0.987			
5.62	275.1	0.986			
5.72	275	0.986			

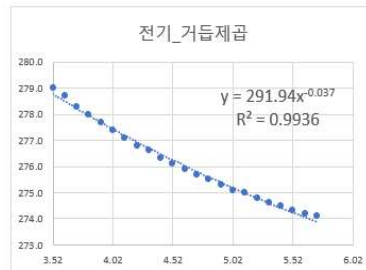
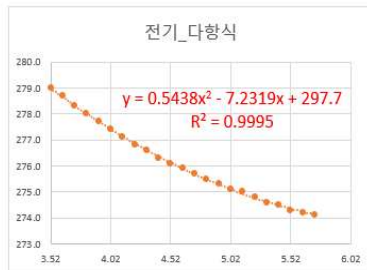
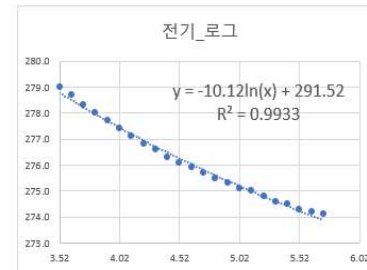
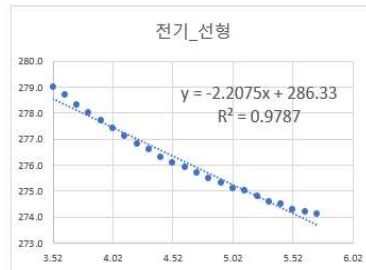
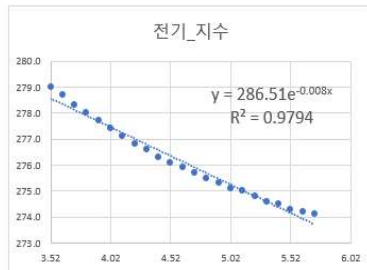
구분	수식	R ²
지수	$y = 1.0213e^{-0.006x}$	0.9803
선형	$y = -0.0063x + 1.0209$	0.9798
로그	$y = -0.029\ln(x) + 1.0357$	0.9936
다항식	$y = 0.0015x^2 - 0.02x + 1.0519$	0.9988
거듭제곱	$y = 1.0366x^{-0.029}$	0.9939



[그림 25] 액티브 요소 / 난방 / 히트펌프 / 효율(COP)-절감률 추세선

효율/COP	결과값	가중치
3.52	279.0	1.000
3.62	278.7	0.999
3.72	278.3	0.997
3.82	278	0.996
3.92	277.7	0.995
4.02	277.4	0.994
4.12	277.1	0.993
4.22	276.8	0.992
4.32	276.6	0.991
4.42	276.3	0.990
4.52	276.1	0.990
4.62	275.9	0.989
4.72	275.7	0.988
4.82	275.5	0.987
4.92	275.3	0.987
5.02	275.1	0.986
5.12	275	0.986
5.22	274.8	0.985
5.32	274.6	0.984
5.42	274.5	0.984
5.52	274.3	0.983
5.62	274.2	0.983
5.72	274.1	0.982

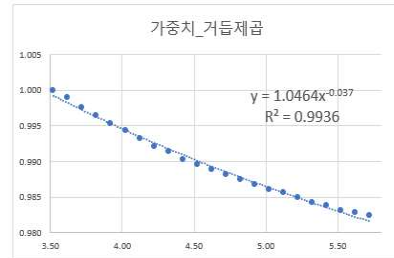
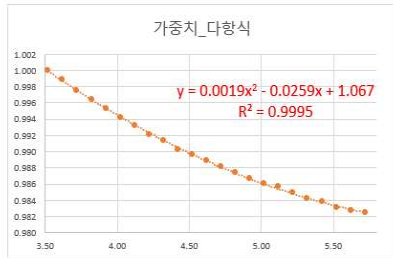
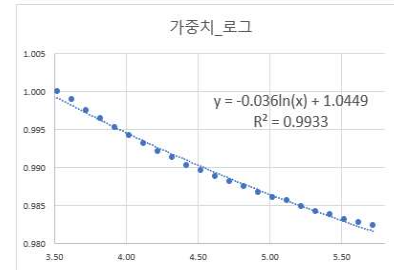
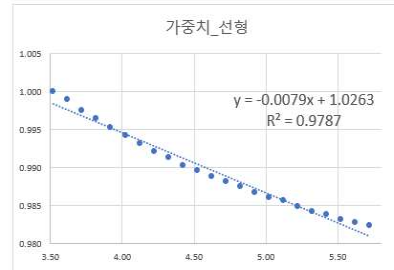
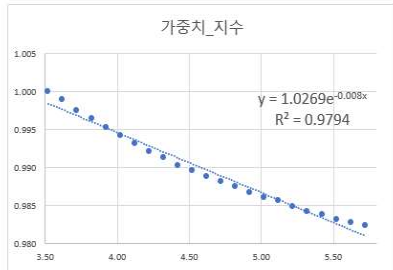
구분	수식	R ²
지수	$y = 286.51e^{-0.008x}$	0.9794
선형	$y = -2.2075x + 286.33$	0.9787
로그	$y = -10.12\ln(x) + 291.52$	0.9933
다항식	$y = 0.5438x^2 - 7.2319x + 297.7$	0.9995
거듭제곱	$y = 291.94x^{-0.037}$	0.9936



[그림 26] 액티브 요소 / 급탕 / 전기 / 효율(COP)-변화량 추세선

급탕	전기	효율/COP	결과값	가중치
		3.52	279.0	1.000
		3.62	278.7	0.999
		3.72	278.3	0.997
		3.82	278	0.996
		3.92	277.7	0.995
		4.02	277.4	0.994
		4.12	277.1	0.993
		4.22	276.8	0.992
		4.32	276.6	0.991
		4.42	276.3	0.990
		4.52	276.1	0.990
		4.62	275.9	0.989
		4.72	275.7	0.988
		4.82	275.5	0.987
		4.92	275.3	0.987
5.02	275.1	0.986		
5.12	275	0.986		
5.22	274.8	0.985		
5.32	274.6	0.984		
5.42	274.5	0.984		
5.52	274.3	0.983		
5.62	274.2	0.983		
5.72	274.1	0.982		

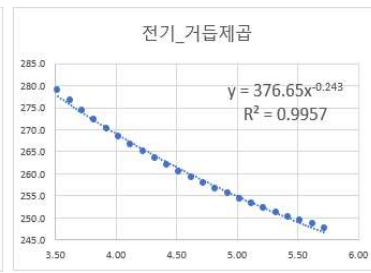
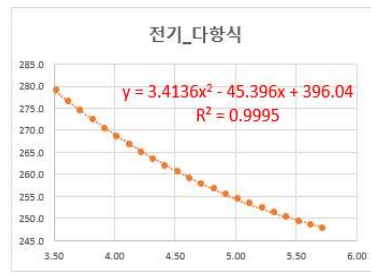
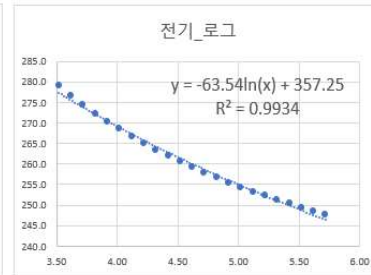
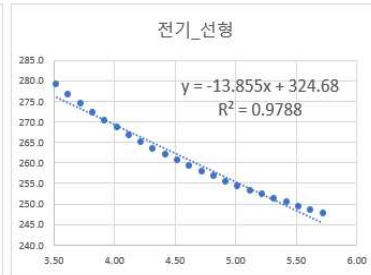
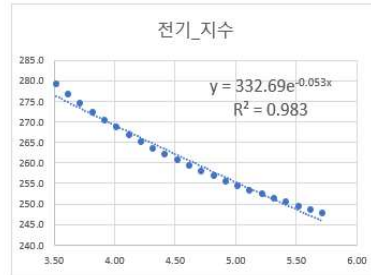
구분	수식	R ²
지수	$y = 1.0269e^{-0.008x}$	0.9794
선형	$y = -0.0079x + 1.0263$	0.9787
로그	$y = -0.036\ln(x) + 1.0449$	0.9933
다항식	$y = 0.0019x^2 - 0.0259x + 1.067$	0.9995
거듭제곱	$y = 1.0464x^{-0.037}$	0.9936



[그림 27] 액티브 요소 / 급탕 / 전기 / 효율(COP)-절감률 추세선

냉방	압축식	전기	효율/COP	결과값	가중치
			3.52	279.0	1.000
			3.62	276.6	0.991
			3.72	274.4	0.984
			3.82	272.3	0.976
			3.92	270.3	0.969
			4.02	268.5	0.962
			4.12	266.7	0.956
			4.22	265	0.950
			4.32	263.5	0.944
			4.42	262	0.939
			4.52	260.5	0.934
			4.62	259.2	0.929
			4.72	257.9	0.924
			4.82	256.7	0.920
4.92	255.5	0.916			
5.02	254.4	0.912			
5.12	253.3	0.908			
5.22	252.3	0.904			
5.32	251.3	0.901			
5.42	250.3	0.897			
5.52	249.4	0.894			
5.62	248.6	0.891			
5.72	247.7	0.888			

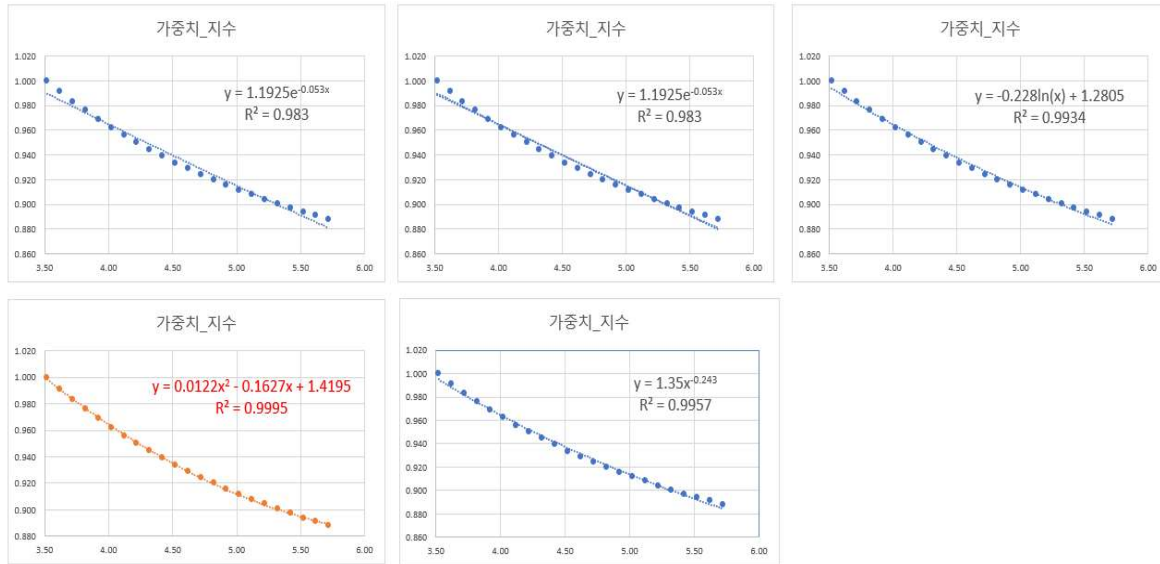
구분	수식	R ²
지수	$y = 332.69e^{-0.053x}$	0.983
선형	$y = -13.855x + 324.68$	0.9788
로그	$y = -63.54\ln(x) + 357.25$	0.9934
다항식	$y = 3.4136x^2 - 45.396x + 396.04$	0.9995
거듭제곱	$y = 376.65x^{-0.243}$	0.9957



[그림 28] 액티브 요소 / 냉방 / 압축식 / 효율(COP)-변화량 추세선

냉방	압축식	전기	효율/COP	결과값	가중치
			3.52	279.0	1.000
			3.62	276.6	0.991
			3.72	274.4	0.984
			3.82	272.3	0.976
			3.92	270.3	0.969
			4.02	268.5	0.962
			4.12	266.7	0.956
			4.22	265	0.950
			4.32	263.5	0.944
			4.42	262	0.939
			4.52	260.5	0.934
			4.62	259.2	0.929
			4.72	257.9	0.924
			4.82	256.7	0.920
			4.92	255.5	0.916
			5.02	254.4	0.912
			5.12	253.3	0.908
5.22	252.3	0.904			
5.32	251.3	0.901			
5.42	250.3	0.897			
5.52	249.4	0.894			
5.62	248.6	0.891			
5.72	247.7	0.888			

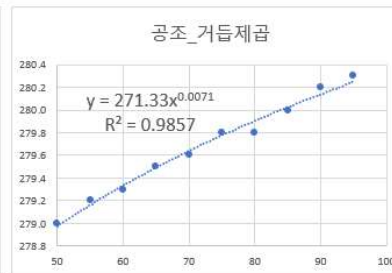
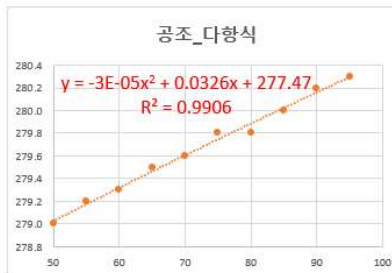
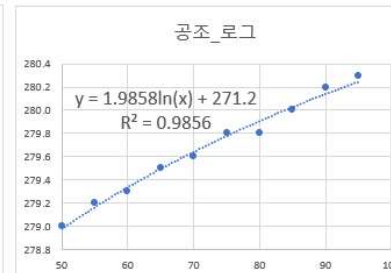
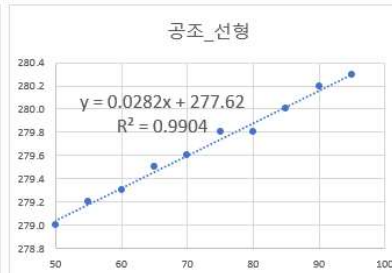
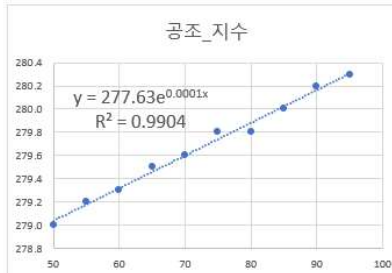
구분	수식	R ²
지수	$y = 1.1925e^{-0.053x}$	0.983
선형	$y = 1.1925e^{-0.053x}$	0.983
로그	$y = -0.228\ln(x) + 1.2805$	0.9934
다항식	$y = 0.0122x^2 - 0.1627x + 1.4195$	0.9995
거듭제곱	$y = 1.35x^{-0.243}$	0.9957



[그림 29] 액티브 요소 / 냉방 / 압축식 / 효율(COP)-절감률 추세선

공조	효율/COP	결과값	가중치
	50	279.0	1.000
	55	279.2	1.001
	60	279.3	1.001
	65	279.5	1.002
	70	279.6	1.002
	75	279.8	1.003
	80	279.8	1.003
	85	280	1.004
	90	280.2	1.004
95	280.3	1.005	

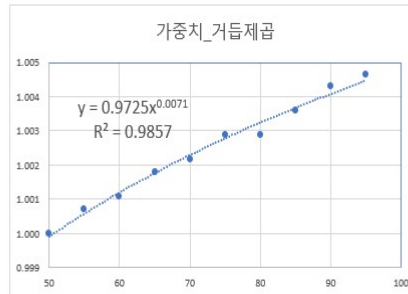
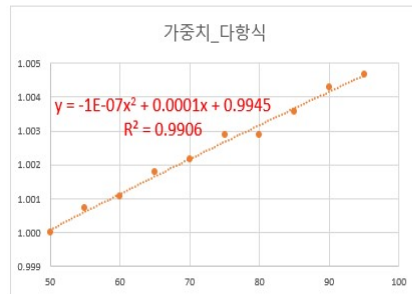
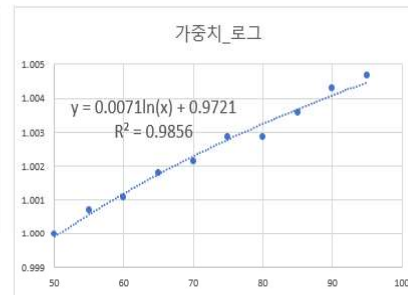
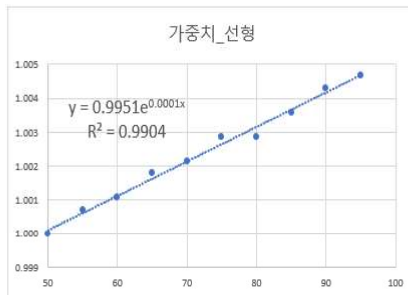
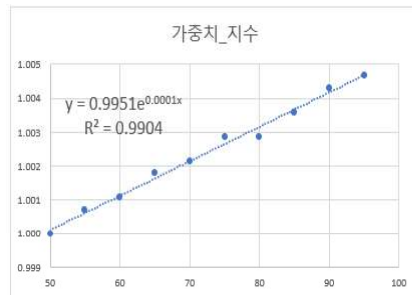
구분	수식	R ²
지수	$y = 277.63e^{0.0001x}$	0.9904
선형	$Y = 0.0282x + 277.62$	0.9904
로그	$y = 1.9858\ln(x) + 271.2$	0.9856
다항식	$y = 3E-05x^2 + 0.0326x + 277.47$	0.9906
거듭제곱	$y = 271.33x^{0.0071}$	0.9857



[그림 30] 액티브 요소 / 공조 / 효율(COP)-변화량 추세

공조	효율/COP	결과값	가중치
	50	279.0	1.000
	55	279.2	1.001
	60	279.3	1.001
	65	279.5	1.002
	70	279.6	1.002
	75	279.8	1.003
	80	279.8	1.003
	85	280	1.004
	90	280.2	1.004
95	280.3	1.005	

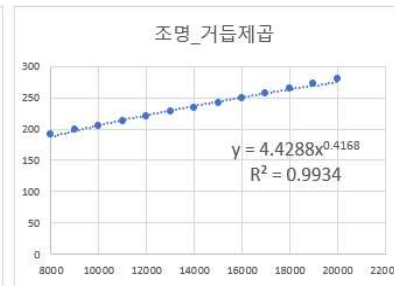
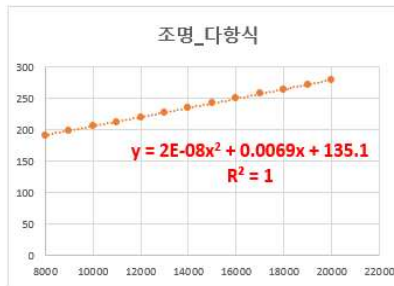
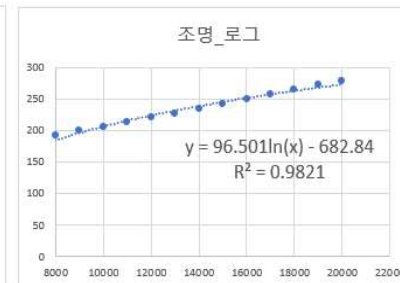
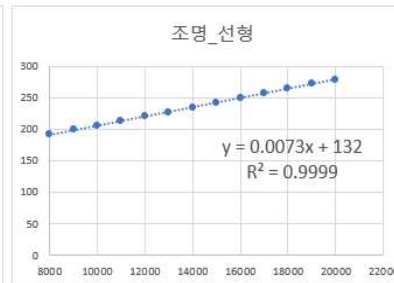
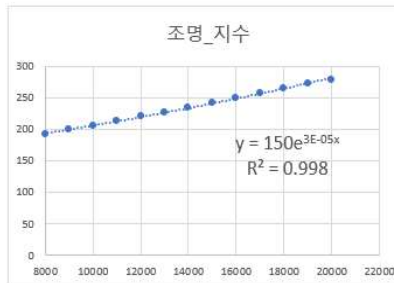
구분	수식	R ²
지수	$y = 0.9951e^{0.0001x}$	0.9904
선형	$y = 0.9951e^{0.0001x}$	0.9904
로그	$y = 0.0071\ln(x) + 0.9721$	0.9856
다항식	$y = 1E-07x^2 + 0.0001x + 0.9945$	0.9906
거듭제곱	$y = 0.9725x^{0.0071}$	0.9857



[그림 31] 액티브 요소 / 공조 / 효율(COP)-절감률 추세선

조명	소비전력	결과값	가중치
	8000	191.2	0.685
	9000	198.5	0.711
	10000	205.3	0.736
	11000	212.3	0.761
	12000	219.6	0.787
	13000	227.2	0.814
	14000	234.6	0.841
	15000	242	0.867
	16000	249.4	0.894
	17000	256.8	0.920
18000	264.3	0.947	
19000	271.5	0.973	
20000	279.0	1.000	

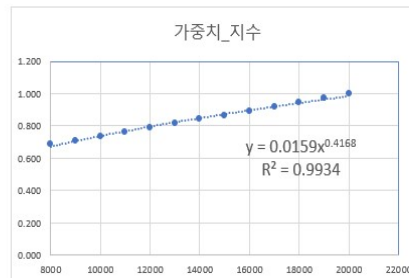
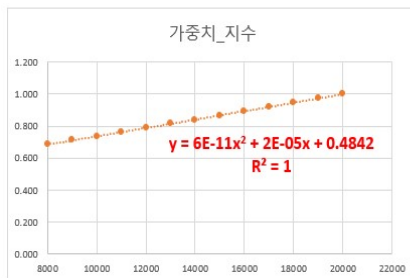
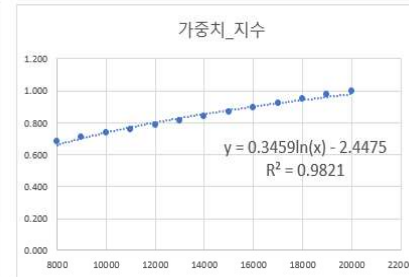
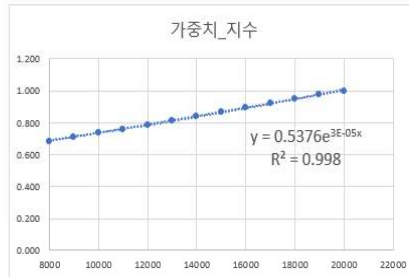
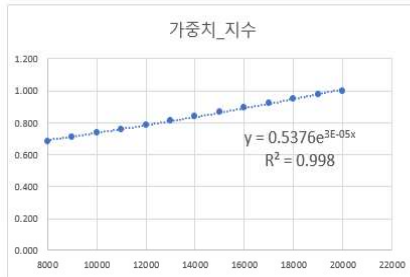
구분	수식	R ²
지수	$y = 150e^{3E-05x}$	0.998
선형	$y = 0.0073x + 132$	0.9999
로그	$y = 96.501\ln(x) - 682.84$	0.9821
다항식	$y = 2E-08x^2 + 0.0069x + 135.1$	1
거듭제곱	$y = 4.4288x^{0.4168}$	0.9934



[그림 32] 액티브 요소 / 조명 / 소비전력-변화량 추세선

조명	소비전력	결과값	가중치
	8000	191.2	0.685
	9000	198.5	0.711
	10000	205.3	0.736
	11000	212.3	0.761
	12000	219.6	0.787
	13000	227.2	0.814
	14000	234.6	0.841
	15000	242	0.867
	16000	249.4	0.894
	17000	256.8	0.920
18000	264.3	0.947	
19000	271.5	0.973	
20000	279.0	1.000	

구분	수식	R ²
지수	$y = 0.7845e^{3E-05x}$	0.998
선형	$y = 0.7845e^{3E-05x}$	0.998
로그	$y = 0.5047\ln(x) - 3.5713$	0.9821
다항식	$y = 9E-11x^2 + 4E-05x + 0.7066$	1
거듭제곱	$y = 0.0232x^{0.4168}$	0.9934

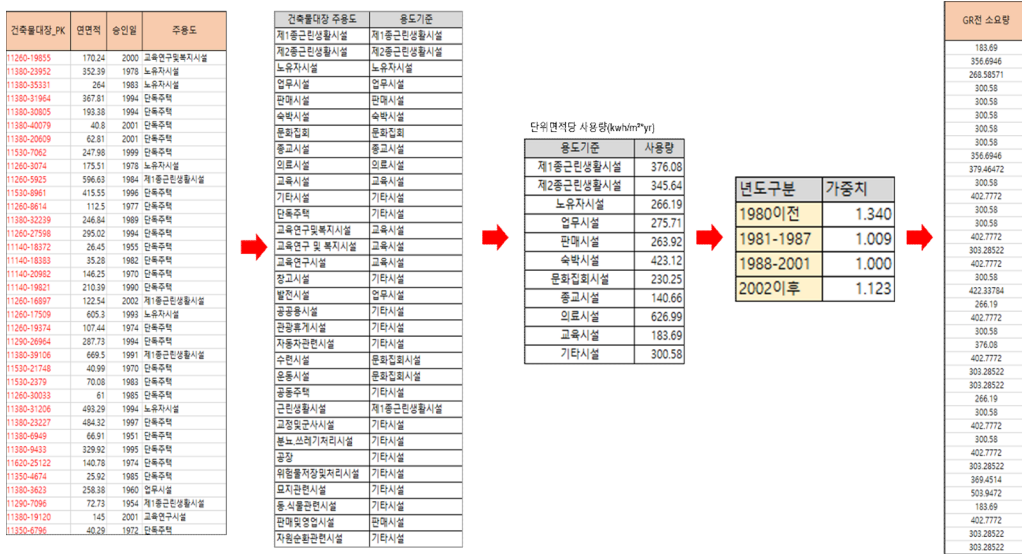


[그림 33] 액티브 요소 / 조명 / 소비전력-절감률 추세선

3.6 엑셀 기반 Data Base 작성

위에서 정리된 수식과 기준을 바탕으로 ‘서울시 건축물대장 리스트’를 바탕으로 요소별 수식과 입력값을 적용해 건축물대장에 기재된 전체 건물에 대한 에너지 소요량 계산을 시행하였다. 건축물대장 내의 정보 중 개발프로그램에 필요한 데이터는 PK 번호, 연면적, 사용승인일, 주 용도가 사용된다.

건축물대장 내의 용도는 25개 종류로 나누어져 있는데, EC02-00 내에서 적용되는 건축물 용도는 11개로서 일차적으로 건축물대장 내 25개 종류 용도 프로필을 EC02-00 내 분류되는 11개의 용도로 분류하였다. 분류 기준은 에너지사용량 값이 가장 유사한 값으로 나누었으며, EC02-00 프로그램에서 취급하지 않는 용도는 기타 시설로 분류하였다(그림34). 분류된 용도는 사용자 인터페이스 구상단계에서 필요한 용도의 절감량을 확인할 수 있도록 지원한다.



[그림 34] 리모델링 전 소요량 계산 프로세스

그린 리모델링 개선 효과를 확인하기 위해서는 개선 전과 후의 사용량 비교를 통해 확인할 수 있는데 위에서 도출한 요소별 절감률을 적용하기 위해서는 개선 전

의 사용량이 필요하다. 용도별 리모델링 전 사용량은 녹색 건축 포털(그린 투게더)의 2020년 서울시 용도별 단위 면적당 연간 사용량 데이터에 연도별 가중치를 곱하여 계산하였다. 가중치는 LH 그린 리모델링 백서의 자료를 바탕으로 1980년 이전, 1981~1987년, 1988년~2001년, 2002년 이후 4구간으로 분류한 뒤 해당하는 가중치를 곱하였다.

(그림35)는 사용자 입력창 예시로, 사용자가 리모델링 수준을 선택할 수 있는 입력창을 제작하고, 입력값 선택에 따라 10,000개의 데이터가 한 번에 계산될 수 있도록 데이터를 작성하였다. 입력창 값에 따라 계산되는 데이터를 (표15)에 정리하였다.

GR전 총 소요량	0.00
-----------	------

PASSIVE	외벽개선수준	입력값	직접입력	절감율
	중사양	0.2		1.001
	창호개선수준	입력값	직접입력	절감율
	패시브	0.85		1.0276
	바닥/지붕개선수준	입력값	직접입력칸	절감율
	중사양	0.155		1.0070
절감량	0.00			
절감율(%)				
ACTIVE	냉방개선수준	입력값	효율 입력칸	절감율
	중사양	4.235		0.9224
	난방개선수준	입력값	효율 입력칸	절감율
	고사양	5.18		0.8941
	급탕개선수준	입력값	효율 입력칸	절감율
	중사양	4.235		0.9224
	환기개선수준	입력값	효율 입력칸	절감율
	고사양	93		1.0009
	조명밀도(W)	입력값	입력칸	절감율
	8~20	14		0.8409
절감량	0.00			
절감율(%)				
RENEWABLE	설치비율(%)	입력값	직접입력칸	
		2	2	
생산량	0.00			
절감율(%)				

TOTAL	절감량	0.00
	절감율(%)	

CO2배출량(tCO2eq)	GR전	0.000
	GR후	0.000
절감량	0.000	
절감율(%)		

[그림 35] 엑셀 Data Base 사용자 입력창

[표 15] 입력값 계산 Data Base list

ACTIVE														ACTIVE 결과												
냉방개선수준	입력값	효율	입력칸	절감률	난방개선수준	입력값	효율	입력칸	절감률	급탕개선수준	입력값	효율	입력칸	절감률	평균개선수준	입력값	효율	입력칸	절감률	조명일도(W)	입력값	입력칸	절감률	A적용후소요량	절감량(kwh/m2*yr)	절감율
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	106.09	59.61	35.98				
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	93.95	52.79	35.98				
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	93.95	52.79	35.98				
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	106.09	59.61	35.98				
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	106.09	59.61	35.98				
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	106.09	59.61	35.98				
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	106.09	59.61	35.98				
고사양	5.18	0	0.9224	고사양	5.18	0	0.8941	중사양	4.235	0	0.9224	고사양	93	0	1.0009	8-20	14	0	0.8409	93.95	52.79	35.98				

PASSIVE												PASSIVE 결과			
외벽개선수준	입력값	직접입력	절감률	창호개선수준	입력값	직접입력	절감률	바닥/지붕개선수준	입력값	직접입력칸	절감률	P적용 후 소요량(kwh/m2*yr)	절감량(kwh/m2*yr)	절감율(%)	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	171.6367	-5.9367	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	151.9974	-5.2574	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	151.9974	-5.2574	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	171.6367	-5.9367	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	171.6367	-5.9367	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	171.6367	-5.9367	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	171.6367	-5.9367	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	171.6367	-5.9367	-3.6	
중사양	0.2	0	1.001	패시브	0.85	0	1.0276	중사양	0.155	0	1.0070	151.9974	-5.2574	-3.6	

P+A+R적용 후 결과			CO2 배출량(tCO2eq/m2*yr)			에너지 효율등급표	
P+A+R 적용 후 소요량(kwh/m2*yr)	절감량(kwh/m2*yr)	절감율(%)	GR전	GR 후	절감량	GR전	GR후
107.69	58.01	35.01	0.076	0.049	0.026	1+	1++
95.37	51.37	35.01	0.067	0.044	0.023	1+	1++
95.37	51.37	35.01	0.067	0.044	0.023	1+	1++
107.69	58.01	35.01	0.076	0.049	0.026	1+	1++
107.69	58.01	35.01	0.076	0.049	0.026	1+	1++
107.69	58.01	35.01	0.076	0.049	0.026	1+	1++
107.69	58.01	35.01	0.076	0.049	0.026	1+	1++
107.69	58.01	35.01	0.076	0.049	0.026	1+	1++
95.37	51.37	35.01	0.067	0.044	0.023	1+	1++

위에서 계산된 개선 전 에너지사용량 값에 요소별 절감률을 곱하여 패시브, 액티브 소요량 값을 계산한다. 패시브와 액티브 절감률이 적용된 사용량 값에 신재생 입력값(%)을 곱하여 신재생 생산량을 구한다. 결과적으로 ‘P+A+R 적용 후 결과 값’이 그린 리모델링 후 소요량이 된다. 위 값을 적용하여 온실가스 배출량과 에너지효율등급을 산정한다. 에너지효율등급은 (그림4)를 적용하고, 온실가스 배출량은 ‘공공부문 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침-별표4 온실가스 배출량 등의 산정방법’ (표16)에 따라 계산한다.

본 연구에서 적용되는 온실가스 배출량은 온실가스 중 가장 많은 부분을 차지하는 CO2만을 계산한다. 따라서 프로그램 내에서도 온실가스 배출량이 아닌 CO2 배출량으로 표시하며, 기준에 따라 CO2 배출량을 계산할 경우 계산식은 (수식1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2\text{배출량} &= \text{전력사용량}(MWh) \times \text{국가고유 전력 배출계수}(\text{CO}_2)(tGHG/MWh) \\
 &\quad \times \text{지구온난화지수} \\
 &= \text{개선 후 에너지소요량} \times 0.4567 \times 1.000
 \end{aligned}$$

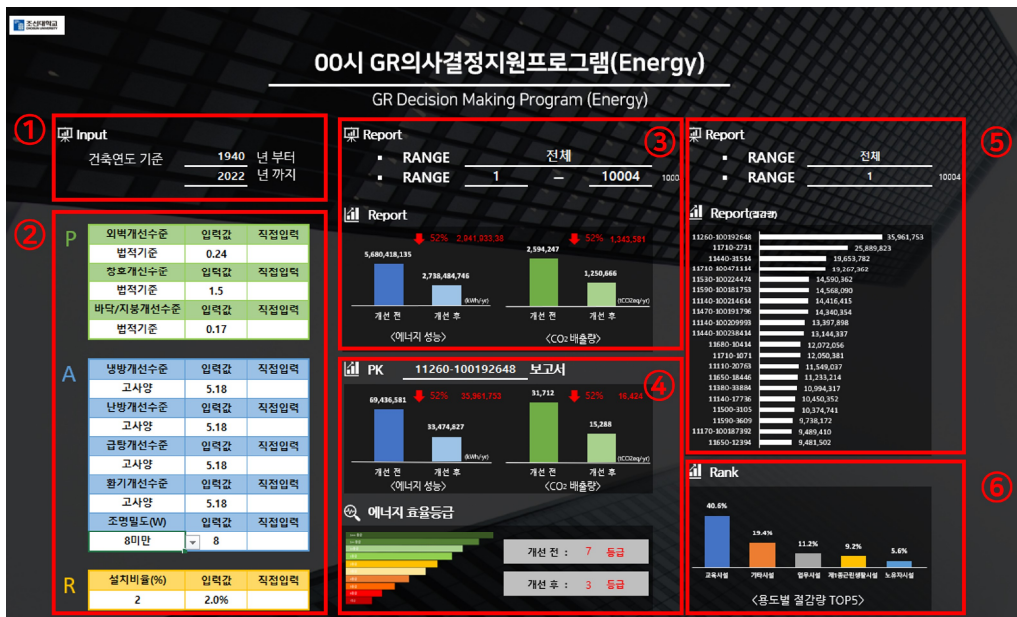
[수식 1] CO₂ 배출량 계산식

[표 16] 공공부문 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침-별표4 온실가스 배출량 등의 산정방법

온실가스 배출량(tCO ₂ eq) = ∑[전력사용량(MWh) × 배출계수(tGHG(CO ₂ /CH ₄ /N ₂ O)/ MWh) × 지구온난화지수]			
에너지 사용량(TJ) = 전력사용량(MWh) × 총발열량(MJ/kWh) × 10 ⁻³			
- 5. 전기의 사용			
가. 배출원			
공공부문에서 소유 또는 사용하고 있는 건물의 조명·사무기기·기계·설비(에너지 관리의 연계성, 즉 전기 수전점을 공유하고 있는 다른 건물 및 부대시설 등 포함)의 사용에 따른 온실가스 배출량과 에너지 사용량을 산정한다.			
나. 배출량 산정방법			
비고 1. 전력사용량 : 법정계량기 등으로 측정된 시설별 전력 사용량(한국전력 등 전력공급자가 발행하고 전력사용량이 기입된 요금청구서의 전력사용량 등을 이용하여 산정)			
2. 배출계수 : 아래에 제시된 기준연도에 해당하는 3개연도('14~'16년) 평균값을 적용하고, 향후 한국전력거래소에서 제공하는 전력간접배출계수를 온실가스종합정보센터에서 확인·공표하여 지침에 수록된 경우 그 값을 적용			
3. 발열량 : [별표 4]의 <참고 1>에 따른 국가 고유 발열량 값 사용			
4. 지구온난화지수 : CO ₂ = 1, CH ₄ = 21, N ₂ O = 310			
< 국가 고유 전력배출계수('14~'16년 평균) >			
년도	CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	CH ₄ (kgCH ₄ /MWh)	N ₂ O (kgN ₂ O/MWh)
3개년 평균 (2014~2016)	0.4567	0.0036	0.0085
* 출처 : 국가온실가스 배출계수(온실가스종합정보센터, 2018년)			

3.7 사용자 인터페이스

건축물대장 기반 계산 데이터를 바탕으로 사용자 인터페이스를 구상하여 사용자가 데이터를 편리하게 추출할 수 있도록 대시보드를 제작하였다(그림36). 사용자의 편의를 고려하여 엑셀 대시보드 기능을 이용하여 가시성을 높이고, 용도나 건축연도 범주화로 사용자가 손쉽게 원하는 데이터를 추출할 수 있도록 하였다. 대시보드 구역별 설명은 아래와 같다.



[그림 36] 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램

- ① 건축물대장 리스트를 연도별로 필터링한다. 사용자는 선택한 연도 범주 내의 계산된 데이터만을 확인할 수 있다.
- ② Input 창에는 사용자가 그린 리모델링 개선 수준을 입력한다. 패시브는 외벽, 창호, 바닥/천장으로 나누어져 있으며 법적 기준, 저사양, 중사양, 고사양, 패시브 단계로 나누어져 있고 액티브는 저사양, 중사양, 고사양으로

나누어져 있다. 사용자는 각각 개선 수준을 드롭바에서 선택할 수 있고 만약, 정확한 개선 수치를 알고 있다면 ‘직접입력’을 선택하여 개선 수치를 직접 입력할 수 있도록 구성하였다.

- ③ 첫 번째 RANGE 창에서는 용도를 구별하고, 용도에 따라서 두 번째 RANGE는 절감량 순위에 따라 입력한 순위까지의 데이터를 아래의 Report에서 확인할 수 있다.
- ④ 건축물대장의 PK 번호를 입력하면 해당하는 대상지의 개별보고서를 확인할 수 있다. 개별보고서에서는 에너지효율등급을 도출시켜 에너지효율등급 인증제도 등에 활용할 수 있도록 하였다.
- ⑤ 해당 구역은 절감량 순위를 나타내며, 마찬가지로 RANGE에서 용도를 분류하고 두 번째 RANGE에 입력한 숫자부터 이하 20위까지를 아래의 막대 그래프에 나타내었다.
- ⑥ 건축물대장 내 리스트에서 Input 값을 적용했을 때, 용도별로 총 절감량 순위를 나타내었다. 해당 데이터는 그린 리모델링 사업을 계획할 때, 우선 대상지를 선정하는 데 있어 도움을 줄 것으로 판단된다.

제4장 . 프로그램 타당성 검사

4.1 실사용량 데이터 대비 오차율 분석

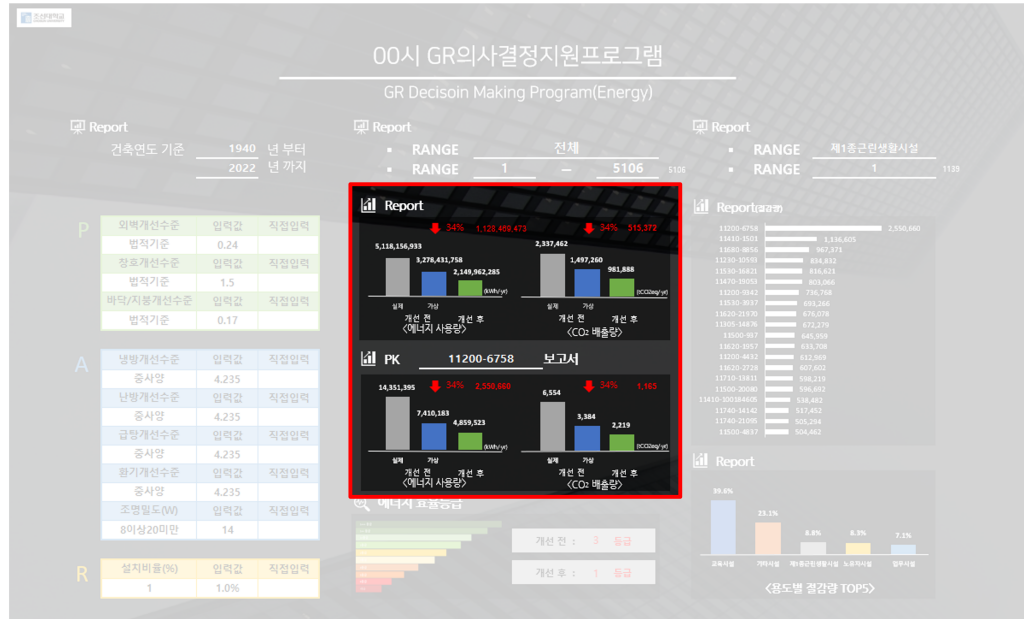
EC02-00 프로그램 기반 의사결정 지원프로그램과 실제 서울시 건축물의 5년 평균 전력사용량을 비교하여 본 연구에서 개발한 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램의 유의성 평가를 수행하였다. 의사결정 지원프로그램의 리모델링 전 에너지사용량은 (용도별 기준 사용량 x 연면적)으로 산출하였는데, 이는 건축물의 성능과 설비 시스템 성능을 고려한 것으로 건물 사용자 변수가 고려되지 않은 값으로 실제 에너지사용량과 비교 시 오차가 발생한다.

건축물의 에너지효율등급을 산출할 경우, 건축물이 가지고 있는 고유의 에너지 성능인 건물 외피 성능(패시브 요소), 건축설비시스템성능(액티브 요소) 및 신재생 에너지 전력생산량을 평가하여 단위면적당 연간 1차 에너지 소요량을 산출하는 것에 비해, 실제 사용량의 경우에는 건축물 고유의 에너지성능에 사용자의 특성(행태, 인원수, 건물용도 등 사용자 변수)이 반영되기 때문에 같은 건물을 사용하더라도 다른 행태의 사용자 특성에 따라 전력사용량에는 큰 차이가 발생한다는 것은 고려하였다.

표본의 추출방법으로는 무작위 추출(random sampling)과 유의 추출(purposive sampling)이 있다. 유의 추출은 모집단을 대표한다고 생각되는 표본을 의식적으로 뽑는 행위를 말하고 무작위 추출은 난수(random number)나 추첨(lot)을 통해서 표본을 뽑는 방법을 말한다[30]. 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램의 실사용량 대비 오차율을 분석하기 위해서 프로그램의 기반 데이터인 서울시 10,000여 개 데이터 전체의 비교분석을 하는 것은 시간적으로 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 무작위 추출(random sampling)방법을 사용하여 유의성 평가를 진행한다.

대시보드 Report 부분에 실제 사용량 값 차트를 추가하여 의사결정 지원프로그램 원본 데이터와 비교하였다(그림37). 본 연구에서 사용한 “서울시 건축물대장”에 등재된 전체 건축물의 5년 평균 실사용량과 EC02-00 기반 그린 리모델링 의사결정

지원프로그램에서 산출된 1차 에너지 소요량은 약 35.9% 차이가 발생한다(표17). 이것은 앞서 설명한 건축물 에너지성능에 기반을 둔 “1차 에너지 소요량” 과 사용자의 특성에 따른 “실제 전력소비량” 이라 하는 정의의 차이에서 발생한 결과로 판단된다.



[그림 37] 대상건축물 5년 평균 전력사용량 대비 개발프로그램 오차율 검증

[표 17] 실 사용량 대비 오차검증 결과

PK 번호	실사용량(kwh/yr)	시뮬레이션(kwh/yr)	오차율
전체	5,118,156,933	3,278,431,758	36%
11440-100238414	30,586,955	25,379,680	17%
11290-40958	42,937	47,585	-11%
11410-100188508	1,533,678	1,859,711	-21%
11590-10438	42,013	64,904	-54%
11710-15038	243,890	134,387	45%
11500-100252152	303,526	678,348	-123%
11500-5357	160,474	182,399	-14%
11470-13224	25,030	26,560	-6%
11710-8614	337,687	450,875	-34%
11140-17736	19,181,214	20,178,014	-5%
오차평균			36%

4.2 EC02-00 시뮬레이션 비교 성능평가

국토부 그린 리모델링 사업대상지 중 3개 대상지를 선택하여 실제 EC02-00 시뮬레이션 결과값과 간이 의사결정 지원프로그램 결과값을 비교하였다. 기존 EC02-00 시뮬레이션은 세부적인 건축물 열성능과 설비 시스템 성능이 입력되어 있으며 본 사례비교 평가에서는 실제 사용량 값이 아닌 리모델링 전·후 절감량 값을 중점적으로 확인하였다.

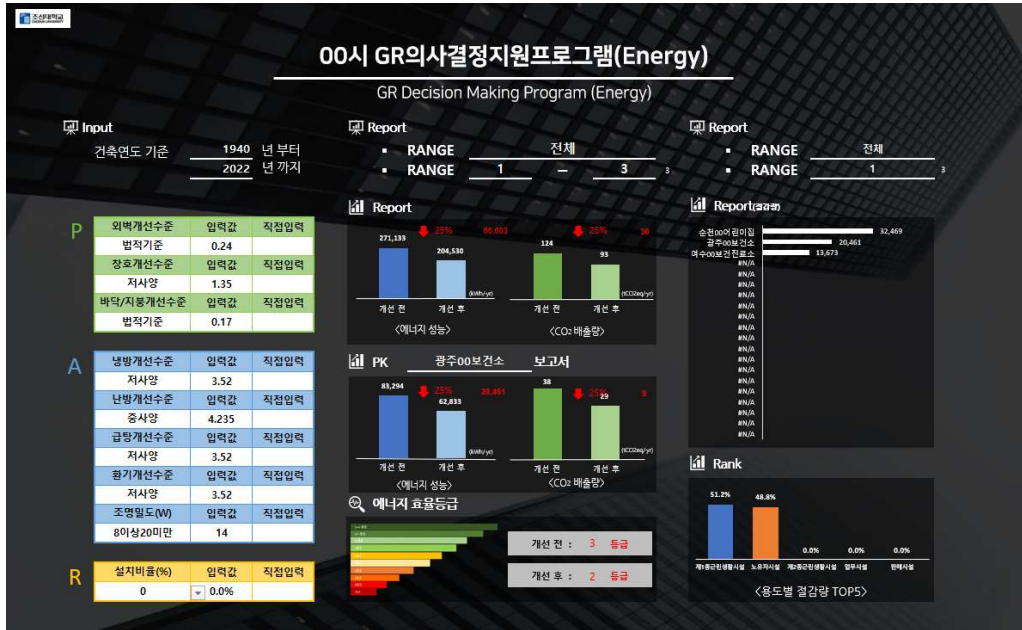
3개 대상지는 순천 00 어린이집, 광주 00 보건소, 여수 00 보건진료소이며 실제 그린 리모델링이 진행된 대상지로서 EC02-00 프로그램을 사용하여 에너지 분석이 진행되었다. 해당 대상지는 전남권을 대상으로 한 국토부 그린 리모델링 사업대상지 중 인구밀도가 가장 큰 3곳인 순천, 광주, 여수를 선정하였는데, 이는 무작위 표본추출 과정 중 다단계추출방법을 진행하여 추출하였다. 여기서 다단계추출 방법이란, 모집단으로부터의 추출을 몇 단계로 나누어 실시하는 방법으로 추출된 표본은 ‘전남 - 인구밀도 상위 3순위 지역 - 보건소/어린이집/의료시설’ 과정을 거쳐 추출하였다[30].

성능평가는 실제 EC02-00 시뮬레이션 데이터를 참고하여 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램에 적용했으며, 리모델링 개선 수준은 실제 EC02-00에 입력된 값과 가장 유사한 값을 입력하였고 각각의 대상지 프로그램 적용 화면은 (그림 38-40)과 같으며, (표18)에 결과값을 나타내었다.

성능평가 결과 의사결정 지원프로그램과 EC02-00 프로그램 절감률 오차는 평균 6.2%로서 실사용량 평가와 오차율 차이가 나는 것은 ECO2-OD 프로그램과 의사결정 지원프로그램 모두 “1차 에너지 소요량”을 산출하므로 상대적으로 오차율이 크지 않다고 판단된다. 하지만 순천, 광주, 여수 세 지역 변수가 적용되어 각각 대상지 별로 오차율의 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

[표 18] ECO2-OD 시뮬레이션 비교성능평가 결과

구분		순천 00 어린이집	광주 00 보건소	여수 00 보건진료소	
일반사항	연면적 (m ²)	496.56	120	148	
	구조형식	철근콘크리트	철근콘크리트	철근콘크리트	
	용도	노유자시설	제 1 종 근린생활시설	제 1 종 근린생활시설	
	사용 규모	지상 2 층	지상 2 층	지상 2 층	
	사용승인 연도	1998	1990	1998	
열관류율	개선 전	외벽	0.756	0.226	0.756
		지붕	0.122	0.523	0.523
		바닥	0.756	0.756	0.756
		창호	1.27	3.6	3.608
	개선 후	외벽	0.756	0.23	0.213
		지붕	0.122	0.523	0.466
		바닥	0.756	0.756	0.367
		창호	1.27	2.1	1.3
성능	개선 전	냉방	3.00	3.00	3.50
		난방	3.00	3.00	3.27
		급탕	3.52	3.52	3.52
		환기	X	X	X
		조명	11	8	11
		신재생	X	O	X
	개선 후	냉방	4.52	3.82	3.83
		난방	4.52	4.52	4
		급탕	3.52	3.52	3.52
		환기	3.52	X	3.52
		조명	11	8	11
		신재생	X	O	X
1차 에너지 소요량	ECO2-OD	개선전	125	116.6	165.8
		개선후	100.1	70.0	123.4
		절감률 (%)	19.9	40.0	25.6
	의사결정 지원프로그램	절감률 (%)	37.0	39.0	25.0



[그림 40] 의사결정 지원프로그램 사례비교 오차검증 - 여수00보건소 적용

제5장 결론

본 연구에서는 그린 리모델링 사업 전·후의 에너지성능에 기반을 둔 에너지 절감효과를 간단한 기준 설정으로 누구나 산출 가능한 “에너지 성능기반 도시 단위 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램”을 개발하였고, 이에 대한 성능검증을 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 의사결정 지원프로그램에서 사용자가 입력하는 Input 값의 기준을 설정하기 위해 에너지 성능지표, 패시브 하우스 기준을 기반으로 입력값 프로 파일에 대한 유용성을 확보하였다. 이 기준을 바탕으로 의사결정 지원프로그램 Base 모델을 개발하고 ECO2-OD 프로그램 입력변수를 도출한다. 도출한 입력 변수의 변수를 일정 범위만큼 조절하여 결과값 데이터를 추출하고 추출된 데이터를 기반으로 에너지 절감을 예측 식을 도출한다. 이후 서울시 건축물 대장 데이터와 위에서 추출한 수식을 적용하여 엑셀 Data Base를 구축한다. 최종적으로 Data Base를 기반으로 한 사용자 인터페이스를 구성하였다.
- 2) 개발된 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램의 유의성 평가를 위해 실사용량 대비 성능평가와 ECO2-OD 에너지 시뮬레이션 프로그램 비교 평가를 시행하였다. 실 사용량 평가에서 오차검증을 수행한 결과 약 36% 오차율을 보였고, ECO2-OD 프로그램 비교 평가에서는 약 6%의 오차율을 나타내었다. 실사용량 비교 평가에서 오차율은 건축물 고유의 건물에너지 성능에 해당하는 “1차 에너지 소요량”과 해당 건물을 사용하는 사용자의 특성(행태, 인원수, 용도 등 개인변수)이 반영된 상대적 데이터인 “실 사용량” 정의에서 발현하는 오차로 판단된다. ECO2-OD 프로그램 비교 평가의 오차율이 상대적으로 적게 나온 것은 ECO2-OD 프로그램과 의사결정 지원프로그램 모두 “1차 에너지 소요량”이라는 평가 기준을 적용하였기 때문이라 분석하였다. 하지만 순천, 여수, 광주 세 지역 변수가 적용되어 각각 대상지 별로 오차율의 차이가 발생하는 것으로 판단된다.
- 3) 두 가지 유의성 평가로 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램을 평가한 결

과, 비록 실사용량 비교 평가에서는 오차율이 크다는 오류가 있었지만, 실제 에너지 성능평가에 사용되는 ECO2-OD 프로그램과 오차율은 10% 내외로 그린 리모델링 사업 전 간이 평가 도구로서의 타당성은 증명했다고 판단하였다. 추가로 프로그램 자체의 정확도는 건축물 데이터와 설비 시스템 운영데이터를 축적하고 Base 모델 다양화로 오차범위를 줄일 수 있을 것으로 평가하였다.

본 연구에서 개발한 “에너지 성능기반 도시 단위 그린 리모델링 의사결정 지원프로그램”은 연면적, 주 용도, 사용승인 날짜와 원하는 수준의 리모델링 계획을 입력하면 개략적으로 그린 리모델링 개선 전·후의 에너지성과 CO₂ 배출량 및 절감 순위 등을 산출할 수 있도록 설계하였다. 지자체에서 관리하는 엑셀 기반 건축물대장을 데이터베이스로 하여 대상건축물 전체, 용도 별 전체 및 해당 구간에 대한 그린 리모델링 에너지성능 및 CO₂ 배출량을 산출할 수 있으므로, 그린 리모델링 사업 초기에 에너지성능기반 의사결정이 가능한 프로그램으로 활용성이 매우 높다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 정광복, “그린리모델링 관련 제도 정책 및 연구동향”.KICEM.2020
- [2] 2050 LEEDS. 기후변화 홍보포털.
<https://www.gihoo.or.kr/netzero/intro/intro0201.do>. 2021.12.02. 접속
- [3] 국토교통부, “제2차 녹색건축물 기본계획”,2019.12
- [4] 대한민국 정부, 2050 장기저탄소 발전전략(LEDS) 보고서
- [5] 그린 리모델링 민간 이자 지원사업 현황, 그린 리모델링 창조센터,
<https://www.greenremodeling.or.kr/support/sup3000.asp>. 2021.11.20접속
- [6] 국토교통부 고시 제2017-881호, 2017. 12. 28. 건축물의 에너지 절약설계기준
- [7] 김지혜, 성제은, 김혜기, 박덕준, 김선숙.(2020).건축물의 에너지절약설계기준 강화에 따른 업무용 건물의 에너지성능 개선 효과. 한국건축친환경설비학회 논문집,14(1),101-111.
- [8] 건축물의 에너지 소비총량제 , 한국 녹색 건축 연구소, <http://www.kgbri.co.kr/>. 2021.11.14. 접속
- [9] “에너지효율등급 인증제도 운영규정” , 한국 에너지 관리공단
- [10] 국토교통부고시 제2020-574호, 2020. 8. 13. 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증기준
- [11] 녹색건축인증제도 개요, 녹색 건축인증 홈페이지
<http://www.gseed.or.kr/siteMain.do>. 2021.12.02접속
- [12] ZEB소개, 제로에너지 빌딩 인증시스템 홈페이지
https://zeb.energy.or.kr/BC/BC00/BC00_01_001.do.2021.11.20접속
- [13] 고범석. "공공건축물 외피 개선을 통한 단열성능 향상 및 에너지 절감 효과 분석." , 2017.조선대학교 대학원 ,국내 석사학위논문
- [14] 한국건설기술 연구원-국가온실가스 감축대응을 위한 그린리모델링 핵심기술 및 지원정책개발, 미래창조과학부,2016.12
- [15] 김대원. "표준모델 개발을 통한 공동주택 그린리모델링 의사 결정 지원에 관한 연구." 2015. 국내박사학위논문, 서울과학기술대학교,
- [16] 박상동. (1981). DOE-2 Computer Program에 의한 건물에너지 해석 (Building Energy Analysis By DOE-2 Computer Program). 건축, 25(5),

41-49.

- [17] The magazine for energy service companies no.73 = no.73 , 2011년, pp.14 - 21 조정훈 ((주)피앤디소프트) ; 홍구표 (쌍용건설 건축기술부)
- [18] 조정훈, 유현형, 김일환. 2011. “건물에너지 해석 및 시뮬레이션 프로그램 CE3TM 소개” , 한국설비기술협회 28(12)), 97-104.
- [19] 전미연, 유정호. "IFC 표준 포맷과 DOE-2 기반 건물에너지 시뮬레이션 입력 정보 비교 ." 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, . (2010): 385-386.
- [20] 공성훈. (2000). [신기술 소개] Energy Plus 부하 해석 프로그램. 설비저널, 29(7), 56-59.
- [21] Kim, C.-S. (2015, October 31). The Influence of Unit Plan Shapes to the Energy Efficiency of Collective Housing Simulated by EC02 Software. KIEAE Journal. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment.
- [22] ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling
- [23] DIN V 18599-2, Energy efficiency of buildings - part2 : Energy needs for heating and cooling of building zones
- [24] 김철호, 김강수. "DIN V 18599 기반 월간계산법과 EnergyPlus의 외피 투과체 에너지 해석 비교 연구 ." 추계학술발표대회, . (2017): 100-101.
- [25] 국토교통부고시 제2021-832호, 에너지 절약형 친환경 주택의 건설기준
- [26] 강경화, 공공임대주택 그린 리모델링의 에너지 성능기반 대안 선정기법 연구. 2020. 조선대학교 대학원 ,국내 석사학위논문
- [27] 패시브 하우스 기준 , 한국 패시브 건축협회 <http://www.phiko.kr/>.21.10.07 접속
- [28] 주택건축국 건축기획과, 서울시 녹색건축물 설계 기준, 2019.2.24시행
- [29] 김석우, 《기초통계학》, 학지사, 2007, p.127
- [30] 노형진, 2002, 한글 SPSS10.0에 의한 조사방법 및 통계분석, 형설 출판사