

발 간 등 록 번 호

11-1613000-002559-01

보안과제(), 일반과제(O) / 공개(O), 비공개()

국토교통기술촉진연구사업 제3차연도 최종보고서

R&D / 18CTAP-C116666-03

저비용제로에너지건축물 이행 촉진을 위한 (기술/비용) 최적화 시뮬레이터 개발 최종보고서

2019. 7. 1.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

위탁연구기관 / SK건설

/ (주)해안종합건축사무소

/ (주)아이포디엄

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘저비용 제로에너지 건축물 이행촉진을 위한 (기술/비용) 최적화 시뮬레이터 개발’(연구개발 기간 : 2016. 06. 27 ~ 2019. 04. 27) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 07. 01.

주관연구기관명: 한국건설기술연구원



주관연구책임자: 이 승 언



위탁연구책임자: 남 광 호

위탁연구책임자: 이 광 환

위탁연구책임자: 김 성 식

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C 116666-03	해당 단계 연구 기간	2016.06.27.~ 2019.04.27. (34개월)	단계구분	최종/ 3차연도
연구사업명	중사업명	일반사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	저비용 제로에너지 건축물 이행촉진을 위한 (기술/비용) 최적화 시뮬레이터 개발			
연구책임자	이 승 언	해당단계 참여연구원 수	총: 22 명 내부: 22 명 외부: 0 명	해당단계 연구비	정부: 365,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:365,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 22 명 내부: 22 명 외부: 0 명	총 연구비	정부: 880,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 880,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국건설기술연구원 국민생활연구본부			참여기업명: SK건설, (주)해안종합건축사사무소, (주)아이포디엄	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: SK건설(주)			연구책임자: 남광호 팀장	
	연구기관명:(주)해안종합건축사사무소			연구책임자: 이광환 소장	
	연구기관명:(주)아이포디엄			연구책임자: 김성식 대표이사	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
----------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호											
구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	5건	등록2건/ 출원4건				저작권 3건					

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약문

연구의 목적 및 내용	제로에너지 건축물 기술-비용 최적화 시뮬레이터 개발을 통한 건물부문 제로에너지 건축물 활성화 지원 및 합리적 이행 수단으로 활용 1) 제로에너지건축물 투입자재 및 설비 시스템 가격 데이터베이스 및 저비용화 방안 구축 2) 저비용 제로에너지 건축물 유형화 및 유형별 최적 의무화 기술 수준 설정 3) 라이프사이클코스트 관점에서의 최적비용 최대 효과 산정 분석 모델 및 시뮬레이터 개발 4) 비용 최적화 제로에너지 건축물 보급 기술 요구 조건 및 정책 추진 로드맵 구축				
연구개발성과	2020년 공공건물, 2025년 민간부문 제로에너지건축물이 의무화되고 있는 가운데, 제로에너지 건축물 보급 활성화를 위한 코스트다운 기법 및 최적 비용 산출을 지원하는 시뮬레이터 개발 특허출원 4건, 특허등록 2건, SCIE 2건 등 논문 총 5건, 소프트웨어 3건				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	제로에너지 건축물 보급 정책의 조기 활성화 및 성공적 이행을 촉진하여 2030년 건물부문 온실가스 감축목표에 기여				
국문핵심어 (5개 이내)	제로에너지 건축물	온실가스	비용최적화	지원방안	정책
영문핵심어 (5개 이내)	zero-energy building	greenhouse gas	optimization of cost	financial support	policy

목 차

저비용제로에너지건축물 이행 촉진을 위한(기술/비용) 최적화 시뮬레이터 개발 최종보고서

1	연구개발과제의 개요	1
2	연구수행내용 및 성과	9
3	목표 달성도 및 관련 분야 기여도	125
4	연구개발성과의 활용 계획 등	139

붙임. 참고 문헌

〈별첨〉 주관연구기관의 자체평가 의견서

표목차

[표 2-1] 제로에너지 건축물 에너지 해석 모델(안)	14
[표 2-2] 분위회기분석을 통한 가정부문 용도별 에너지 사용량 비율>	33
[표 2-3] 공공 및 상업부문 용도별 에너지 사용량 비율	33
[표 2-4] 카테고리별 에너지 용도 매칭 및 해당 코드 수	34
[표 2-5] 공사비 변동 요인	37
[표 2-6] 효율등급제도 DB 자재 분류 및 연계 데이터>	39
[표 2-7] 제로에너지빌딩 요소기술 매트릭스	46
[표 2-8] 패시브 설계 주요 요소기술	50
[표 2-9] 액티브 설계 주요 요소기술	51
[표 2-10] 신재생에너지 주요 요소기술	52
[표 2-11] 공동주택 규모 선정 조건 및 분포도	58
[표 2-12] 공동주택단지 베이스모델 개요	59
[표 2-13] 공동주택단지 베이스모델 에너지 성능 개요	59
[표 2-14] 공동주택단지 베이스모델 에너지 성능 개요	60
[표 2-15] 업무시설 규모 선정 조건 및 분포도	60
[표 2-16] 업무시설 -저층 소규모군 베이스모델 개요	61
[표 2-17] 업무시설 -저층 소규모군 베이스모델 에너지 성능 개요	61
[표 2-18] 업무시설 -고층 중규모군 베이스모델 개요	62
[표 2-19] 업무시설 -고층 중규모군 베이스모델 에너지 성능 개요	62
[표 2-20] 공동주택 - 디자인 프로세스에 따른 설계 기법	63
[표 2-21] 연구진행 프로세스	67
[표 2-22] Baseline Model 건축개요	68
[표 2-23] 경제성을 고려한 ZEB 등급별 설계 적용(안)	70
[표 2-24] 제로에너지건축물 인증 등급 달성 방안	71
[표 2-25] 에너지 절약 요소 성능 수준별 비용 분석	73
[표 2-26] 제로에너지건축물 구현을 위한 설계-시공-유지관리 단계별 이슈사항 (해외사례)	74
[표 2-27] 제로에너지건축물 설계전략 및 이해관계자간 체크리스트 (해외사례)	75
[표 2-28] 국내 공공/민간 건축물의 에너지 성능관련 사례조사 대상 건물	75
[표 2-29] 제로에너지건축물 통합설계 프로세스	78
[표 2-30] 에너지 절약 요소	79
[표 2-31] 보일러 효율에 따른 단위면적당 에너지량 (단위: KWh/m ² .년)	88
[표 2-32] 조명밀도에 따른 단위면적당 에너지량 (단위: KWh/m ² .년)	89

[표 2-33] 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터에 대한 전문가 검토의견 및 개선사항	101
[표 2-34] 제로에너지지 시범사업	109
[표 2-35] 에너지절약요소의 성능비용	112
[표 2-36] 건물 부문 로드맵 수정안의 정책 감축 수단 검토	114
[표 2-37] 조달청 등급별 유자격자 명부제도	117
[표 2-38] 연도별 에너지효율등급 인증 건축물 평균치	119
[표 4-1] R&D 사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계	145
[표 4-2] 동 연구개발 성과의 향후 5년간 성과활용 목표·계획	146
[표 4-3] 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)	146
[표 4-4] 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터의 사업화 계획	147

그림목차

[그림 1-1] 국내·외 제로에너지 빌딩 로드맵	3
[그림 1-2] 연구 범위 및 수행 체계	5
[그림 2-1] 연구 Framework	13
[그림 2-2] 제로에너지 건축물 성능수준별 비용산정 모델 계획(안)	14
[그림 2-3] 제로에너지빌딩 요소기술과 최적화모델	29
[그림 2-4] 제로에너지빌딩 요소기술 모델 분석 (예시)	30
[그림 2-5] 자재코드, 카테고리, 용도별 에너지 매칭 개념도	31
[그림 2-6] 단열재의 열관류율-면적당 가격 상관관계 분석	35
[그림 2-7] 1등급,2등급 창호의 면적당 가격 상관관계 분석	35
[그림 2-8] 태양광 설비 정격전력당 가격 상관관계 분석	35
[그림 2-9] 지열 에너지 시스템 난방용량당 가격 상관관계 분석	35
[그림 2-10] 주거용 건물 열원별 ZEB 등급에 따른 공사비 상승률	41
[그림 2-11] 비주거용 건물 열원별 ZEB 등급에 따른 공사비 상승률	41
[그림 2-12] 제로에너지빌딩을 위한 설계 및 기술적용 접근방법	44
[그림 2-13] 제로에너지빌딩 요소기술 매트릭스	45
[그림 2-14] 제로에너지빌딩을 위한 설계 프로세스	47
[그림 2-15] 1차에너지 소요량 분포	52
[그림 2-16] 단지 및 세대별 원활한 환기 및 맞통풍을 통한 쾌적성 확보	64
[그림 2-17] 신재생 에너지 설치 계획 및 활용 계획 수립	64
[그림 2-18] 기존안 및 ZEB 성능 개선안 비교표 및 절감량 (저층 소규모군)	65
[그림 2-19] 기존안 및 ZEB 성능 개선안 비교표 및 절감량 (고층 중규모군)	65
[그림 2-20] 건물에너지에 따른 설계기법 다이어그램	66
[그림 2-21] 설계 프로세스의 상호 연관성	66
[그림 2-22] 설계기법 및 요소기술 도출 과정	66
[그림 2-23] 건축 요소별 단위면적당 1차에너지 소요량	69
[그림 2-24] 설비 요소별 1차에너지 소요량 및 에너지자립률 분석	69
[그림 2-25] 건축설계 프로세스 분야별 업무	76
[그림 2-26] 제로에너지건축물 통합설계 프로세스 분석 항목	77
[그림 2-27] 제로에너지건축물 통합설계 프로세스	77
[그림 2-28] 기존 설계프로세스 대비 ZEB 건축설계프로세스 요구사항	82
[그림 2-29] 제로에너지건축물 관련 건축도서 추가항목 사례(해안건축)	83
[그림 2-30] 제로에너지건축물 구현을 위한 실시설계 도서리스트 추가방안 제안	83

[그림 2-31] 경제성 분석 프로그램을 통한 결과 도출 화면 예시	86
[그림 2-32] 기존 경제성 분석 프로그램을 통한 결과 도출 예시	87
[그림 2-33] 보일러 효율에 따른 1차에너지소요량	88
[그림 2-34] 조명밀도에 따른 1차에너지소요량	89
[그림 2-35] 제로에너지 성능 대비 금액 계산 툴 개발	91
[그림 2-36] 제로에너지 성능프로그램 v2.0_ 실행	95
[그림 2-37] 용도 및 에너지별 자재/설비 매칭 개념도	96
[그림 2-38] 시뮬레이터 입력값 (건축물 상세 정보)	102
[그림 2-39] 시뮬레이터 입력값 (설비시스템)	102
[그림 2-40] 시뮬레이터의 추가공사비 신뢰성 검토	103
[그림 2-41] 제로에너지 건물 등급에 따른 공사비 상승률	111
[그림 2-42] 제로에너지 건물 등급에 따른 공사비 상승률	112
[그림 2-43] 제로에너지 건축물 확대를 위한 시장 비용 산출 시뮬레이터 입력 화면	120
[그림 2-44] 제로에너지 건축물 확대를 위한 시장비용 산출 시뮬레이터 계산 결과	121
[그림 2-45] 제로에너지 건축물 확대 시나리오 분석 결과	121
[그림 2-46] 저비용 제로에너지건축물 이행 촉진을 위한 최적화 시뮬레이터 개발	122
[그림 4-1] 전문가가격조사·원가계산용역기관 (사)한국물가정보	142
[그림 4-2] 효율관리제도	142
[그림 4-3] 고효율기자재 제품검색 -한국에너지공단 효율관리제도	143

01

연구개발과제의 개요



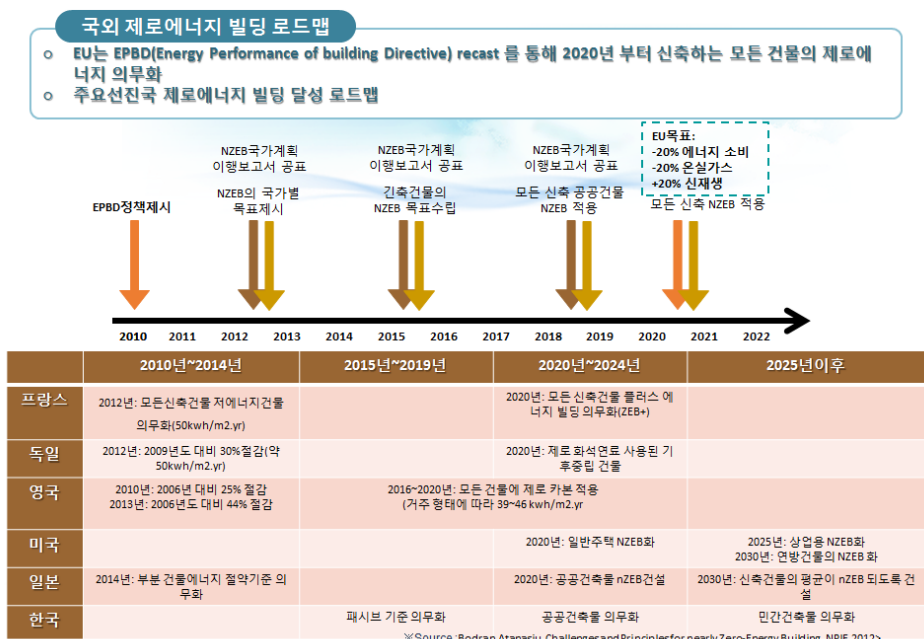
1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 필요성

(1) 과제추진 배경 및 필요성

(가) 배경

- 파리기후변화협약의 체결에 따른 포스트 2020 대응 건축물 부문 온실가스 감축 정책의 실효성 추진 필요성 강화
- 온실가스 감축을 위한 신축 건축물 부문의 핵심수단으로 제로에너지 건물이 국제적으로 부각되고 있으며 주요 선진국은 2020년 전후로 제로에너지 건축물 의무화를 선언
- 정부에서는 2020년 까지 우리나라 건물부문 온실가스 감축 목표를 달성하기 위하여, 2017년부터 신축주택 대상으로 냉난방에너지 소비량을 60%까지 절감하고, 2020년 공공건축물, 2025년 민간 신축 건축물에 대한 의무화를 공포하였고, 그에 따라 시범사업 등 준비를 강화중이나 제로에너지 건축물 구현을 위한 비용 문제가 부각되기 시작함



[그림 1-1] 국내·외 제로에너지 빌딩 로드맵

(나) 필요성

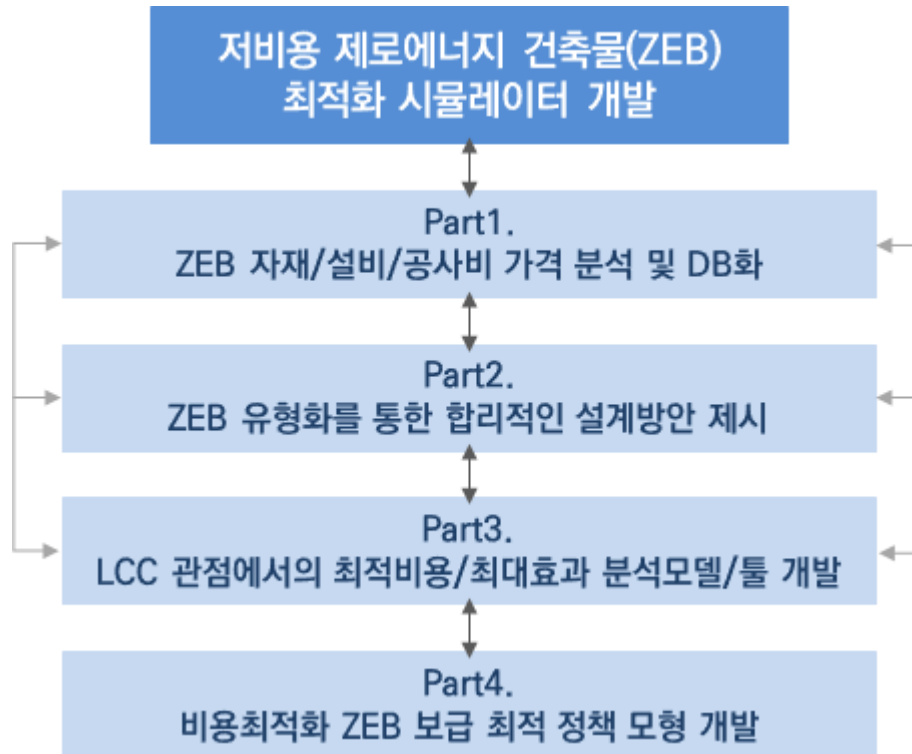
- 현재 제로에너지 건축물 구현 비용은 현행 건축공사비 대비 30~40%* 이상 추가 투입되는 것으로 업계는 전망하고 있으며, 제로에너지 건축물 의무 이행화하기 위해서는 추가 공사비 20% 이내에서 구현하는 기술, 정책 및 지원 방안에 대한 포괄적인 방안 개발이 필요하며 이를 체계적으로 관리하고 적용하기 위한 시스템 구축이 필요

* 5대에너지(난방, 급탕, 냉방, 조명, 환기) 기준, 가전/사무 기기 에너지는 제외

- EU등 주요 선진국은 지원을 통한 최적 비용 제로에너지 건축물 구현을 추진 중에 있으며, 의무화를 할 경우 일정 비용 내에서 구현되는 시장비용이 최저로 되는 방안을 강구중에 있음
- 우리나라에서도 '20년 공공건물 의무화, '25년 민간부문 제로에너지 건축물 의무보급을 대비하여 최저의 사회비용이 투입되는 현실적이고 시장을 반영한 제로에너지 활성화 지원 정책 구현이 필요
- 제로에너지 비용분석은 시장의 자율적 경쟁에 의해서도 진행될 수 있으나, 국가정책에 의한 자재, 시공, 조달 및 통합 라이프 사이클 코스트 관점에서의 통합적인 지원 없이는 실효적 진행이 어려움에 따라 전체 시장을 견인할 수 있는 시장 모형 기반 비용 분석 기법의 개발이 필요

(2) 연구개발의 개요

- 건축물은 최소 30년 이상 유지되기 때문에, 초기 구축 시 에너지 성능기준을 높이게 되면 그 효과가 누적되어 온실가스 감축에 효과적임. 따라서 국가에서는 제 6차 녹색성장위원회(2009.11)에서 2025년 신축건축물 제로에너지화 목표 수립
- 제로에너지건축물의 경우 에너지 절감에 획기적으로 기여하지만 투자비가 높고(30~40%) 회수기간이 길어 상용화 한계가 있고, 현 상황으로는 제로에너지건축물 구축을 위한 요소 및 시스템에 대한 최적화 연구가 선행되지 않았음
- 본 연구는 '25년부터 시작되는 제로에너지건축물 보급정책의 의무화의 성공적 이행을 촉진하기 위한 '코스트다운 기법을 개발하고, 적정비용 산출 모형을 통한 합리적인 정책 대안 개발'을 기획하는 것으로 제로에너지 건축물 비용 감축을 위하여 크게 ㉠ 제로에너지 구성요소(자재, 시스템, 공사비용)DB구축 및 비용 산정모델 구축, ㉡건축시장 내 비용저감 유형 개발, ㉢LCC관점 제로에너지 최적 분석 모형 개발 중장기 비용 모델에 근거한 시장 비용 및 지원 방안 구축으로 구분하여 제로에너지 건축물 비용을 최적화하는 연구 진행



[그림 1-2] 연구 범위 및 수행 체계

(3) 연구개발의 중요성

- 시범사업 추진결과, 제로에너지건축물을 위한 투입 비용이 과다하여 '25년 의무화와 R&D사업을 통한 개발 기술의 상품화가 어려울 수 있다는 우려 제기

* 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명 등 5대 에너지를 대상으로 할 경우 30~40% 전망

- 제로에너지건축물 구현을 위한 투자비 상승에 대한 문제를 해결하기 위하여 EU, 미국 등 선진국은 지속적인 노력을 진행 중이며, 이를 위해서는 기술 개발 뿐만 아니라 시장 체계의 합리적 개편이 필요하다는 권고하고 있으나, 국내에서는 시범사업을 통하여 세금 감면 혜택이나 인센티브 혜택을 주는 이외의 대안을 찾고 있지 못함
- 주요 선진국의 비용 문제에 대한 관점은 비용 최적점에 의한 추진(Cost Optimal Approach)로 귀결되고 있으며, 국내도 이를 위한 제로에너지건축물 비용 분석 모형 개발과 분석을 통한 합리적 의무화 설정과 온실가스 감축 목표량과의 겹 발생에 따른 대안 분석이 중요함

(4) 정부지원의 필요성

(가) 대외적 대응 측면

- 국내 '20년 공공, '25년 민간부문 제로에너지건축물 의무 보급을 대비하여 최저의 사회 비용이 투입되는 제로에너지 활성화 지원 정책 구현이 필요하나, 이를 위해서 제로에너지 건축물을 구성하는 각 요소의 개발뿐만 아니라 이를 통합하고 전체적으로 파악할 수 있는 정부 및 공공기관의 역할이며 국가리더로서의 방향설정이 매우 중요

(나) 정책적 측면

- 국내에서도, 제로에너지건축물 목표와 수준별 최적 비용점 도출 위한 비용 분석 모형 개발이 필요하며, 이는 성능기준별 최소의 국내 제로에너지 건축 비용을 제안하여, 제로에너지 건축물 의무 확산 시 일반 건축물의 비용갭에 대하여 국가가 최소한의 인센티브 및 지원레벨을 제시할 수 있음

(다) 경제 및 산업적 측면

- 제로에너지건축물 성능 수준 및 추진 로드맵 작성, 에너지 사용 감축정책 마련 등 공공부문이 주도적 역할을 수행해야 할 부분으로 정부주도 하에 건물부문의 에너지 절감과 온실가스 배출 억제함으로써 국내 건축산업 및 녹색기술의 경쟁력 향상을 지원 가능

나. 연구개발의 목표 및 내용

(1) 연구개발의 최종 목표

- 본 연구의 최종목표는 ‘저비용제로에너지 건축물 이행촉진을 위한 (기술)개발 최적화 시뮬레이터 개발’이며, 이를 위한 연구 개발 내용 및 범위는 다음과 같음

구분	내용
최종목표	제로에너지 건축물 기술-비용 최적화 시뮬레이터 개발을 통한 건물부문 제로에너지 건축물 활성화 지원 및 합리적 이행수단으로 활용
세부목표	• 제로에너지건축물 투입자재/설비시스템/공사비 가격 분석 및 DB화 • 제로에너지건축물 유형화 및 유형별 기술수준 구축 • 라이프사이클 코스트(LCC) 관점에서의 최적 비용 최대효과 산정 모델 및 툴 개발 • 비용 최적화 제로에너지 건축물 보급 기술수준 조건 및 정책 추진 로드맵 제시

(2) 연차별 연구개발 목표 및 내용

1차 연도

중점연구목표	개발내용 및 범위
1 제로에너지건축물 투입 자재/시스템/공사비 DB 구축 (KICT/SK/아이포디엄)	- 핵심자재/시스템조사 및 에너지 용도별 매칭 - 핵심자재/시스템의 공사대표 단가 산정을 위한 공종별 공사비 구성요소 도출 - 자재 사용량 예측을 위한 핵심자재/시스템의 소요 물량 도출
2 제로에너지건축물 유형별 설계기법 분석(해안)	- 주택 및 업무용 건물 대표모델 선정 - 건축물 유형화 - 설계요소별 공사비 분석
3 LCC기반 최적비용 최대효과 연계방안 도출(KICT)	- 제로에너지 건물 에너지 분석모형 개발 - 제로에너지 성능 수준별 기술 옵션 목록화
4 제로에너지건축물 보급 정책 조사(KICT)	- 국내·외 제로에너지건축물 활성화 방안 조사 - 제로에너지 건축물 확산 중장기 목표 조사

2차 연도

중점연구목표		개발내용 및 범위
1	제로에너지건축물 자재/시스템 /공사비 성능비용 분석 로직 개발	- 핵심자재/시스템의 에너지 관련 성능비용 추정로직 개발 - 제로에너지건축물 프로토타입 DB화 및 공사비 분석 - 제로에너지 기술 패키지 DB화 및 비용 추정 로직 개발
2	경제적인 제로에너지 건축물 설계방법 도출	- 유형 및 설계요소 별 공사비 분석 - 경제적인 설계방법 도출
3	LCC기반 최적비용 최대효과 연계방안 도출	- 제로에너지 건물 경제성 분석 모형 개발 - 적용 기술 경제성 인자 특성에 따른 LCC 최적 비용 도출 모형 개발
4	제로에너지건축물 수준별 지원 정책 도출	- 제로에너지건축물 활성화를 위한 기술 정책 유형화 - 제로에너지 건축물 확산을 위한 지원 정책 유형화

3차 연도

중점연구목표		개발내용 및 범위
1	건축물 제로에너지화를 위한 공동주택/업무용 건물 규모별 투입비 추정모델 개발	- 프로토타입별 비용 구조 분석 - 공사비 중요 항목의 결정 기준 수립 - 비용모델 지수 제시 - 핵심자재/시스템의 도출 공사비 구성요소 기반 공동주택/업무용 건물 규모별 투입비 추정모델 개발
2	경제적인 제로에너지 건축물 유형 설계방법 도출	- 제로에너지를 위한 건축설계 프로세스 구축 - 제로에너지 구현을 위한 정책 방안 제시(합리적 수준 제시)
3	LCC기반 최적비용 최대효과 기반 보급 정책 모델 도출	- 제로에너지건물 성능 수준별 비용 추정 방안 도출 모델 개발 - 자재 및 시공비 변화에 따른 LCC 기반 제로에너지 건축물 비용 변화 분석 - 비용기반 제로에너지 보급 정책 설정 모형 도출
4	제로에너지건축물 보급 확산 기술 정책 도출	- 제로에너지건축물 활성화 기술 수준 조건 설정 - 제로에너지 건축물 확산 중장기 로드맵 구축

02

연구수행내용 및 성과



2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구수행 내용

(1) 연구개발 추진 전략 및 방법

(가) 연구추진 중점 목표

최종목표

제로에너지 건축물 기술-비용 최적화 시뮬레이터 개발을 통한
건물부문 제로에너지 건축물 활성화 지원 및 합리적 이행 수단으로 활용

- 2025년 제로에너지건축물 의무화제도를 성공적으로 이행하기 위한 합리적 대응전략 마련 및 목표달성 방안 마련을 위한 기술개발 전략 수립
- 제로에너지건축물(Zero Energy Buildings, ZEB) 구현을 위한 최적비용과 정책지원 의사 결정의 활용을 위한 툴 구축
- 본 연구는 총괄목표를 달성하기 위해 총 4개의 세부목표로 구성하며, 각 세부별 목표별 주요 연구내용은 다음과 같음

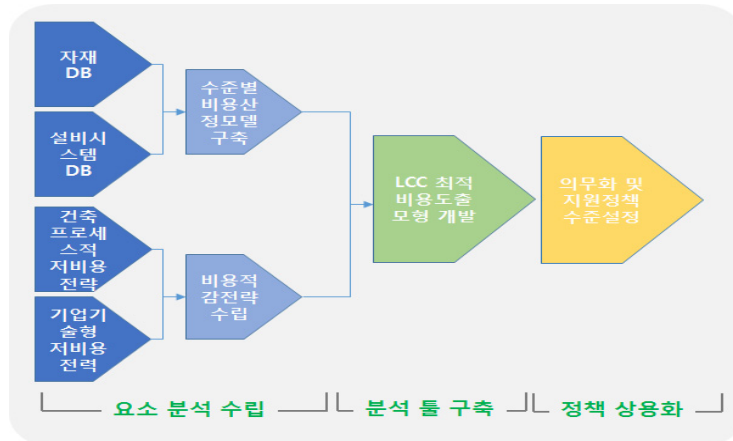
중점연구목표	주요 연구내용
제로에너지건축물 저비용화 방안 구축 마련	- 정책 활용을 위한 핵심 자재 및 시스템에 대한 기술 데이터베이스 구축 - 주요자재 및 시스템별 성능 대비 가격 추정 로직 개발 - 제로에너지 공사비 구성요소 추출 및 제로에너지 건물 성능 수준별 비용 산정 모델 구축
제로에너지건축물 축진을 위한 연계방안 도출	- 건축물 유형별(주택, 업무용) 최적 설계비용 모형 도출 - 최적비용에 근거한 시장수용이 가능한 의무화 수준 설정
LCC기반 최적비용 최대효과 연계방안 도출	- 제로에너지 에너지 분석 모형 개발 - 제로에너지 경제성 분석 모형 개발 - LCC최적 비용 도출 모형 개발
제로에너지 건축물 보급 최적화 정책 모형 개발	- 제로에너지건축물 확산 중장기 비용 투입 모형 구축 - 제로에너지 건축물 활성화 방안 도출

(나) 연구범위 및 수행방법

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
제로에너지건축물 투입자재/설비시스 템/공사비 가격분석 및 DB화	- 조달청/나라장터 코드를 바탕으로 한 DB 범위 설정 및 에너지 용도 별 매칭 80여건의 실 공사 내용을 토대로 공사비 분석 - 주요 기술문헌 및 논문을 기반으로 요소기술 분류 - 국내 관련 Vendor를 통한 기술 상세 및 비용 검토	- 기존 자재 코드 중 건물 에너지 사용량 저감에 연계되는 코드 선별 - 자재별 건물 에너지 특성에 따른 카테고리화 및 에너지총조사보고서 등에 따른 건물 에너지 용도 별 매칭 - 일반 건축물의 대공종 단위 분류 체계 작성 - 일반 건축물의 중공종 단위 분류 체계 작성 - 프로젝트별 중공종 단위 공사비 분석 : 사무소 건물, 공동주택 대상 각 각 40건 - 공사비 분석 변수와 중공종 또는 대공종 단위 공사비에 대한 상관 관계 분석 결과서 작성 - DOE 및 NREL 등의 제로에너지 관련 기술문헌의 분석을 통한 45개 요소기술 도출 - 국내 benchmark 건축물의 구현자료 분석을 통해 적용 기술 그룹핑 - 주요 기술별 비용편익 분석
제로에너지 건축물 유형화를 통 한 합리적인 설계방안 제시	- 업무시설 : 세움터에서 2014~ 2015년 업무시설자료(건축물 대장자료)를 통계화 하여 베이스 모델 선정 - 공동주택 : 총 724단지의 친환경주택 성능평가 데이터에 대한 자료를 통한 베이스 모델 선정 - Base Model 선정 후, ECO2 프로그램을 통해 1차 에너지 소요량 시뮬레이션 분석	- 설계기법 및 요소기술 성능분석 - Base Model 선정 후, ECO2 프로그램을 통해 1차 에너지소요량 시뮬레이션 분석 (별첨보고서 2-1-① 참고)
라이프사이클 코스트 (LCC) 관점에서의 최 적 비용 최대 효과 분 석 모델 및 툴 구축	표준건물을 기본으로 건축물 정보/설비정보/신재생정보/공사비 항목에 대한 분석을 통해 시뮬레이션 함	- 에너지 절약 요소별 시뮬레이션 검토를 통한 성능수준별 기술 옵션 툴 개발 - ZEB수준에 부합하는 에너지성능요소 제안 툴 개발 : 건축물에서 ZEB 수준과 설계자가 설계 가능한 요소를 입력하게 되면 선택하지 않은 에너지 설계 요소에 대한 범위를 리스트화하여 제공하도록 함
비용최적화 제로에너지 건축물 보급 최적정 책 모형 개발	- 국내 및 해외 전문 사이트의 기술자료 조사 및 분석 (별첨 보고서 4-1) - 제로에너지 건축물 설계 및 시공 실무자 인터뷰 조사 (별첨 보고서 4-1)	- 제로에너지건축물 정의 및 관계법령, 지원정책, 기대효과 - 정부 및 민간 운영 제로에너지 관련 포털 및 기술교육 조사 - 제로에너지건축물 정의 및 관계법령, 지원정책, 기대효과 - 해외 선진기관의 제로에너지건축물 활성화 촉진 프로그램 대비 국내 현 수준 분석

(다) 세부 추진 계획 및 방법

- 본 연구는 ①제로에너지건축물(ZEB) 가격 구성요소 분석 수립 및 DB구축 및 유형별 합리적인 설계방안 제시, ②라이프사이클 코스트 관점에서의 가격산정 분석틀 구축 ③분석틀을 이용한 합리적 정책제안 단계로 추진하려고 함



[그림 2-1] 연구 Framework

- ① 제로에너지건축물 구성요소 분석 및 수립 단계에서는 자재, 시스템, 공사비에 대한 시장조사 및 DB를 구축하여 제로에너지 건축물에 사용되는 성능별/수준별 비용 산정 모델 도출 하고, 외부적으로 가격을 결정짓는 건축 유통망이나 프로세스를 통한 가격절감 요소 분석을 수립하고, 실제 설계단계에서의 건물 유형별 설계안을 제시.
- ② 라이프사이클 코스트 관점에서의 가격산정 분석 틀 구축단계에서는 제로에너지 건축물 에너지 및 경제성을 기반으로 추가비용의 회수율을 고려한 건축물 생애 전주기에 대한 최적비율 도출함
- ③ 분석틀을 이용한 합리적인 정책제안 단계에서는 건축물 유형별 표준건물을 도출하고 그에 대한 비용 모형을 도출하여, 최적 비용에 근거한 의무화 수준을 결정짓고, 그에 따른 국가의 비용 보조 수단에 대한 레벨을 정립함

세부추진 전략

① 제로에너지건축물 가격 구성요소 분석 수립 및 DB구축

- 제로에너지 건축물 핵심 자재/시스템의 데이터베이스의 목록화를 진행하고, 구축한 데이터베이스의 가격과 성능 및 가격 영향요인 간 로직을 개발

-

출처 : 박용우 외, 시스템다이내믹스를 이용한 터널공사비 모델 개발, JKCA 2012

- 공동주택과 사무소의 유형을 분류하여 에너지 해석 모델을 구축하여 에너지 사용량 산출하고 이를 바탕으로 에너지 저감 기술 적용에 따른 에너지 사용량 산출 모델을 구축함

공동주택		사무소	
에너지 해석 모델	에너지 모델	에너지 해석 모델	에너지 모델
			

- 실 사례를 기반으로 에너지 저감 기술적용에 따른 비용을 에너지 사용량 모델과 연계하여 라이프사이클코스트 관점의 분석틀을 구축함

④ 분석틀을 이용한 합리적 정책제안 단계로 추진하려고 함

- 국내·외 사례를 조사하여 핵심성과 3의 결과 및 추가 공사비용에 대한 레벨을 설정하고 그에 따른 지원정책을 난이도로 구분하고 제시함. 또한 비용지원정책에 한정하지 않고 기업별 자체적 단가 저감에 대한 국가적 운영방안과 ZEB 추진 로드맵을 제시하려고 함

■ 실용화 방안

구분	구체적인 내용
형태/규모	• 서비스 형태 : 제로에너지 건축물 에너지 최적화 시뮬레이터 • 수요처 : 정부 부처, 업계(생산자), 개인 및 업계(소비자), 전국 건물 소유주 등 • 예상 단가 : 연간 시스템 운영유지비 • 개발 투입인력 및 기간 : - 개발 투입인력 : 1200M/M (3년간, 기업부담현금/현물 인건비, 학생인건비 포함) - 개발 기간 : 36개월 (2016~2019년)
상용화 능력 및 자원보유	• 건축물 구성요소 비용 제공(자재, 시스템, 공사비용) • 생산업체의 자생적 업로드를 통한 실시간 가격 정보 제공 • 조달청 등 준정부기관의 자재정보를 포함하여 신뢰성 기반 베이스 통합 데이터 베이스
상용화 계획 및 일정	• 파일럿 버전 구축 완료 : 2017년 • 베타버전 시스템 서비스 개시 : 2018년 (연구진 및 전문가 등 제한 공개) • 시스템 서비스 안정화 및 업그레이드 : 2018~2019년 (부분적 일반 공개 후 2019년 전면 공개)

(2) 연구수행 체계도



(3) 연구개발 추진일정

연구 과제명 (연구 수행 기관)	관련 성과목표/ 지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3 년도			
	핵 심 성 과	단위 성과	질적 성과 지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
한국 건설 기술 연구원 (KICT)	1	1-1	1-1-①	핵심자재 및 시스템 조사(제로에너지 주요 자재 및 시스템에 대한 체계적 DB구축)	조사 보고서	26.4												
			1-1-②	에너지 용도별 자재 매칭 테이블 구축	보고서 (매칭 테이블)	44												
			1-1-③	자재 성능 가격 추정 로직 개발	보고서 (추정로직)	26.4												
SK건설	1	1-2	1-2-①	건축물의 용도별 내역 항목, 공사비 구성 요소 파악	분석 결과	17.6												
				공사비 결정 주요 항목 도출	분석 결과	17.6												
			1-2-②	공사비 추정 로직 개발	보고서 (추정로직)	44												
KICT/ 아이포 디엠	1	1-3	1-2-③	공동주택 및 업무시설의 최적 공사비 산출모형 도출	분석 결과	44												
			1-3-①	요소기술별 절감 기여율 분석	분석 결과	22												
				에너지 절감기술 중요모형 도출	분석 결과	22												
			1-3-②	기술패키지별 에너지 비용변화 추정로직 개발	보고서 (추정 로직)	14												
				공동주택 규모 및 수준별 제로에너지화 비용 분석	분석 결과	14												
				업무건물 규모 및 수준별 제로에너지화 비용 분석	분석 결과	16												
			1-3-③	에너지 절감 수준별 공사비 분석	분석 결과	14												
				공사비 중요 항목의 결정 기준 수립	분석 결과	14												
				제로에너지 성능 수준별 표준모델 및 로직 개발	보고서 (추정로직)	16												

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

연구 과제명 (연구 수행 기관)	관련 성과목표/ 지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3 년도			
	핵 심 성 과	단위 성과	질적 성과 지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
(주)해안 종합건 축사사 무소	2	2-1	2-1- ①	공동주택 설계기법 분석	조사 및 분석 결과	22												
				업무시설 설계기법 분석	조사 및 분석 결과	22												
	2	2-1	2-1- ②	설계요소별 공사비 분석	조사 및 분석 결과	22												
				경제적인 설계방법 도출	방법 제안 보고서	22												
	2	2-1	2-1- ③	제로에너지를 위한 건축설계 프로세스 구축	구축 방안 보고서	22												
				제로에너지 구현을 위한 정책 방안 제안	방안 제안 보고서	22												
KICT	3	3-1	3-1- ①	제로에너지 에너지분석 모형 개발	분석 모형 S/W 1건	44												
				제로에너지 성능 수준별 기술옵션 목록화	기술 목록 10건	44												
	3	3-2	3-2- ①	제로에너지 경제성 분석 모형 개발	경제성 분석 모형 1건	44												
				적용 기술 경제성 인자 특성에 따른 LCC 최적 비용 도출 모형개발	비용 모형 S/W 1건	44												
	3	3-3	3-3- ①	제로에너지 성능 수준별 비용 추정 방안 도출 모델 개발	건물 유형에 따른 모델 2건	44												
				LCC기반 제로에너지건축물 비용 변화 분석 툴 개발 및 타당성 검증	최적 비용 모델 S/W 1건	44												
KICT	4	4-1	4-1- ①	국외 제로에너지 정책 조사	조사 보고서	14												
				비용(비용지원) 관련 조사	조사 보고서	14												
				국내 활성화 촉진 방안 작성	촉진 방안	16												

연구 과제명 (연구 수행 기관)	관련 성과목표/ 지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3 년도			
	핵 심 성 과	단위 성과	질적 성과 지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
KICT	4	4-2	4-2-①	제로에너지 건축물 비용 저감 분석	분석 결과	22												
				비용 지원 수준 설정	수준 설정 (안)	22												
				목표 수준별 비용분석 및 최적 비용점 도출	최적 비용점	14												
				제로에너지 의무화 레벨 설정	의무화 레벨 (안)	14												
				ZEB 추진 로드맵 작성	로드맵 (안)	16												

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구수행내용 및 성과
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도
4. 연구개발성과의 활용 계획 등

나. 연구수행성과 요약

(1) 연구개발 목표 및 결과 요약

저비용제로에너지건축물 이행 촉진을 위한(기술/비용) 최적화 시뮬레이터 개발

세부연구목표		1차년도	2차년도	3차년도	최종목표
1	제로에너지건축물 투입자재/설비시스템/공사비 가격 분석 및 DB화	제로에너지건축물 투입/자재/시스템/공사비 DB구축	제로에너지건축물 자재/시스템/공사비 성능비용 분석 로직 개발	건축물 제로에너지화를 위한 공동주택/업무용 건물 규모별 투입비 추정모델 개발	제로에너지 건축물 기술-비용 최적화 시뮬레이터 개발을 통한 건물부문 제로에너지 건축물 활성화 지원 및 합리적 이행 수단으로 활용
2	제로에너지건축물 유형화 기술 수준 구축	제로에너지건축물 유형별 설계기법 분석	경제적인 제로에너지 건축물 설계방안 도출	경제적인 제로에너지 건축물 유형 설계방법 도출	
3	라이프사이클코스트(LCC) 관점에서의 최적비용 최대효과 산정모델 및 툴 개발	LCC기반 최적비용 최대효과 연계방안 도출	LCC기반 최적비용 최대효과 연계방안 도출	LCC기반 최적비용 최대효과 기반 보급 정책 모델 도출	
4	비용 최적화 제로에너지 건축물 보급 기술 수준 조건 및 정책 추진 로드맵 제시	제로에너지건축물 보급 정책 조사	제로에너지건축물 수준별 지원정책 도출	제로에너지건축물 보급 확산 기술 정책 도출	

Part 1. 제로에너지건축물 투입자재/설비시스템/공사비 가격 분석 및 DB화

세부 과제명	구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1 제로 에너지건축물 투입자재/설비 시스템/공사비 가격분석 및 DB화	1차 연도 (2017)	핵심자재 및 시스템 DB	- DB 구축 방향 및 범위 설정 - 자재 DB 범위 설정 및 코드화	- 저비용 제로에너지 자재 DB 설계 139개 코드에 의한 자재 DB 범위 설정 - 자재 특징에 따른 23개 카테고리 분류 - 카테고리 별 에너지 매칭 테이블 작성
		제로에너지 최적 공사비 산출모형 도출	- 일반 건축물의 현재 수준 공사비 수준 분석 - 분석 대상 건축물 선정 - 공사비 실적 자료 수집, 정리 - 공사비 변동 요인 분석 - 공사비 변동 요인과 공종별 또는 전체 공사비 상관관계 분석	- 일반 건축물의 공사비 분석 결과서 - 대공종 단위 공사비 분류 체계 수립 - 중공종 단위 공사비 분류 체계 수립 - 프로젝트별 중공종 공사비 분석 공동주택, 사무소 건물 - 공사비 변동 요인과 공종별 또는 전체 공사비 상관관계 분석 결과서 작성
		주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정	- 제로에너지 중요기술 요소 분석 - 제로에너지 구현을 위한 단계별 기술 검토	- 건물일체형 패시브 기술요소 분석 - 효율적 냉난방을 위한 시스템 요소 기술 분석 - 신재생에너지 가용 기술 분석 - 주요45개 기술요소 분석 - 절감기여율 산정 모델 안 작성
	2차 연도 (2018)	제로에너지건축물 자재/시스템 성능비용 분석 로직 개발	- 자재 및 시스템 분석 로직 개발 - 자재 및 시스템의 특성에 따른 로직 개발	- 저비용 제로에너지 자재 DB 설계 1 차년도 구축 DB를 이용한 성능 / 가격 로직 구축 - 미래가격 예측을 위한 연도별 가격 변화 추이 산출
		제로에너지 최적 공사비 산출모형 도출	- 일반 건축물의 현재 수준 공사비 수준 분석 - 분석 대상 건축물 선정 - 공사비 실적 자료 수집, 정리 - 공사비 변동 요인 분석 - 공사비 변동 요인과 공종별 또는 전체 공사비 상관관계 분석	- 일반 건축물의 공사비 분석 결과서 - 대공종 단위 공사비 분류 체계 수립 - 중공종 단위 공사비 분류 체계 수립 - 프로젝트별 중공종 공사비 분석 공동주택, 사무소 건물 - 공사비 변동 요인과 공종별 또는 전체 공사비 상관관계 분석 방법 제시

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

세부 과제명	구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
	3차 연도 (2019)	주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정	- 제로에너지 기술 패키지별 비용추정 로직개발 - 주요로직 10개 도출	- 제로에너지 기술 패키지별 비용추정 로직개발 - 건물 외피단열 비용 추정
		핵심자재 및 시스템 DB	핵심자재 및 설비의 가격추정 로직 개발	자재성능가격 추정 로직 개발 5건
		제로에너지 최적 공사비 산출모형 도출	제로에너지 최적공사비 산출 모형 도출	공동주택 및 업무시설의 최적 공사비 산출모형 도출 1건
		주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정	제로에너지성능(표준모델) 수준별 비용 추정 로직 개발	수준별 비용 모델 개발 1건

Part 2. 제로에너지건축물 유형화 기술 수준 구축

세부 과제명	구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2 제로 에너지 건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시	1차 연도 (2017)	제로에너지건축 물 녹색건축 설계시스템 구축	- 제로에너지건축물 에너지 분석 모형개발 - 제로에너지성능 수준별 기술옵션 목록화 - 공동주택 및 업무시설 성능수준별 설계기법 분석	- 에너지 절약요소기술 범위 DB구축 및 절약 요소별 시뮬레이션 검토 - 에너지절약 요소 리스트 도출 - 성능수준별 기술 옵션 툴 개발 - Base Model 선정을 위한 데이터 수집 - 업무시설 Base Model 선정 - 공동주택 Base Model 선정 - ZEB 요소기술 도출 - ZEB 구현을 위한 설계기법 정의 - 설계기법에 따른 에너지 성능분석
	2차 연도 (2018)	경제적인 제로에너지 건축물 설계방법 도출	- 유형 및 설계요소별 공사비 분석 - 설계요소 세분화 및 정량화 - 설계요소별로 성능 수준에 따른 공사비 분석 수행 - 경제적인 설계방법 도출 - Base Model에 대한 에너지 자립률 및 1차 에너지 소요량 분석을 통해 계획/기술/신재생 요소별 민감도 분석	- 제로에너지건축물 녹색건축 설계시스템 제안 - 통합설계 프로세스 작성 - 통합설계 프로세스 분석 항목 작성 - 통합설계 시스템 제안 - 경제적인 제로에너지건축물 설계방법 도출 - 제로에너지건축물 국외 사례분석 - 제로에너지건축물 적용요소 체크리스트 작성 - Base Model 설정 및 ECO2 분석

세부 과제명	구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
				- 제로에너지건축물 적용 요소별 ECO2 분석 - 제로에너지건축물 에너지자립률 달성 방안 제시 - 제로에너지건축물 적용 요소별 비용 효율성 분석
	3차 연도 (2019)	제로에너지 건축물 녹색건축 설계시스템 구축	• 제로에너지건축물 설계프로세스 구축 • 제로에너지건축물 정책방향 도출	• 제로에너지건축물 설계 프로세스 구축 - 구축방안 연구보고서 • 제로에너지건축물 정책방안 제안 마련 - 방안제안 연구보고서

Part 3 라이프사이클코스트(LCC) 관점에서의 최적비용 최대효과 산정모델 및 툴 개발

세부 과제명	구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3 라이프사 이클 코스트 (LCC) 관점에서 의 최적 비용 최대 효과 분석 모델 및 툴 구축	1차 연도 (2017)	제로에너지 에너지 분석 모형 개발	• 샘플 건물을 이용하여 건축물의 정보, 설비, 신재생 관련 요소조건에 따른 1차 에너지소요량 대비 건축비용에 대한 제로에너지 성능대비 금액 계산 툴 개발	• 선택사항에 따른 최적 금액 그래프 도출 - 건축물정보 : 건물명, 주용도, 허가일, 연면적, 층수 등 입력 - 설비정보 : 기기방식(난방, 급탕, 냉방, 조명)에 대한 용량 효율 등 입력 - 신재생 정보 : 태양열, 태양광, 지열히트펌프 관련한 면적 및 방위 효율 등을 입력 - 기본 건설 단가 및 에너지 성능 조건에 따른 금액 입력
	2차 연도 (2018)	제로에너지 경제성 분석 모형 개발	• 샘플 건물의 ZEB 등급 별 초기투자비용 및 신재생 관련 요소조건에 따른 유지관리비용 계산 툴(모형) 개발	• 선택사항에 따른 유지관리비용변화 그래프 도출 - 건축물정보 : 건물명, 전용면적, 세대수 등 입력 - 설비정보 : 기기방식(난방, 급탕, 냉방, 조명)에 따른 가스 및 전기 소요량 등 입력 - 신재생 정보 : 태양광 설치 면적에 따른 전기 생산량, 수선주기 및 비용 입력 - 가스요금 및 전기요금 금액 및 요금 상승률, 할인율 입력

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

세부 과제명	구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
	3차 연도 (2019)	LCC관점에서의 최적 비용모델 개발 및 툴 개발	- 제로에너지건축물 성능 수준 별 비용 추정 방안 도출 모 형 개발 - 자재 및 시공비 변화에 따른 LCC기반 제로에너지건축물 비용 변화 분석 - 비용기반 제로에너지 보급 정책 설정 모형 도출	- 라이프사이클코스트 관점을 반영한 제로에너지 성능 수준별 비용추정 로직 개발 - 건물생애주기를 반영한 제로에너지 건축물 최적 비용 변화 툴 개발 및 타당성 검증 - 건물유형에 따른 모델 2건 - 최적비용 모델 S/W 1건

Part 4. 비용 최적화 제로에너지 건축물 보급 기술 수준 조건 및 정책 추진 로드맵 제시

세부 과제명	구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
4 비용 최적화 제로 에너지 건축물 보급 최적정책 모형 개발	1차 연도 (2017)	제로에너지건축 물 확산 중장기 비용 투입 모형 구축	- 국내·외 제로에너지건축물 활성화 방안 조사 - 제로에너지 건축물 확산 중장기 목표 조사	- 국내, 캘리포니아, 미국, EU, 영국 의 정책조사 및 분석 - 제로에너지건축물 국내 활성화 촉 진방안 마련 - 국내, 미국, EU, 국제 전문단체의 보급 활성화 정책 및 비용지원 프 로그램 조사 및 분석 - 제로에너지건축물 국내 활성화 촉 진방안 마련
	2차 연도 (2018)	비용연계 제로에너지 건축물 활성화 방안 도출	- 제로에너지건축물 수준별 지원정책 도출 - 제로에너지건축물 활성화를 위한 기술 정책 유형화 - 제로에너지 건축물 확산을 위한 지원 정책 유형화	- 제로에너지건축물 비용 저감 분석 - 제로에너지건축물 비용 지원 수준 설정 - 비용연계 제로에너지 건축물 활성 화 방안 도출
	3차 연도 (2019)	비용 연계 제로에너지 건축물 활성화 방안 도출 및 추진 로드맵 구축	- 건물부문 온실가스 목표량 달성과 투입 비용과의 관계 를 고려한 적정 의무화 수준 설정 - ZEB 추진 로드맵 구축	- 제로에너지건축물 활성화 기술 수준 조건 설정 - 의무화 레벨(안) - 제로에너지 건축물 확산 중장기 로드 맵 구축 - 로드맵(안)

다. 연구 개발 성과

PART 1. 제로에너지건축물 투입자재/ 설비시스템/ 공사비 가격 분석 및 DB화

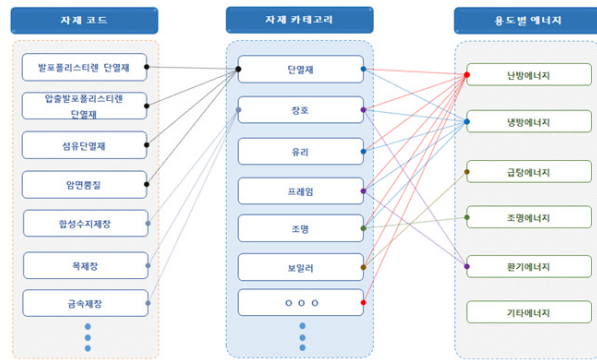
- 세부연구목표 : 1. 핵심자재 및 시스템 DB 구축
2. 제로에너지 최적 공사비 산출 모형 도출
3. 주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
제로에너지건축물 투입자재/설비시스 템/공사비 가격분석 및 DB화	조달청/나라장터 코드를 바탕으로 한 DB 범위 설정 및 에너지 용도별 매칭	- 기존 자재 코드 중 건물 에너지 사용량 저감에 연계되는 코드 선별 (별첨보고서 1-1-② 참고) - 자재별 건물 에너지 특성에 따른 카테고리화 및 에너지 총 조사 보고서 등에 따른 건물 에너지 용도별 매칭 (별첨보고서 1-1-② 참고)
	공동주택 및 일반 건축물의 도급 및 실행 내역을 바탕으로 중공종 단위의 공사비 분석	- 공동주택, 일반건축 중공종 단위 분류 체계 작성 (별첨보고서 1-2-② 참고) - 대공종, 중공종 단위 분류 체계 작성 - 프로젝트별 중공종 단위 공사비 분석 : 공동주택, 일반 건축물 대상 : 건축 분야 40건 - 공사비 분석 변수와 중공종 또는 대공종 단위 공사비에 대한 상관관계 분석 방법 및 모형 제시
	- 주요 기술문헌 및 논문을 기반으로 요소기술 분류 - 국내 관련 Vendor를 통한 기술 상세 및 비용 검토	- DOE 및 NREL 등의 제로에너지 관련 기술문헌의 분석을 통한 45개 요소기술 도출 (별첨보고서 1-3-② 참고) - 국내 benchmark 건축물의 구현자료 분석을 통해 적용 기술 그룹핑 - 주요 기술별 비용편익 분석

주요 연구내용 및 성과물

1. 핵심자재 및 시스템 DB 구축

- 조달청/나라장터 코드를 바탕으로 한 DB 범위 설정 및 에너지 용도별 매칭
 - 기존 자재 코드 중 건물 에너지 사용량 저감에 연계되는 코드 선별
 - 자재별 건물 에너지 특성에 따른 카테고리화 및 에너지총조사보고서 등에 따른 건물 에너지 용도별 매칭



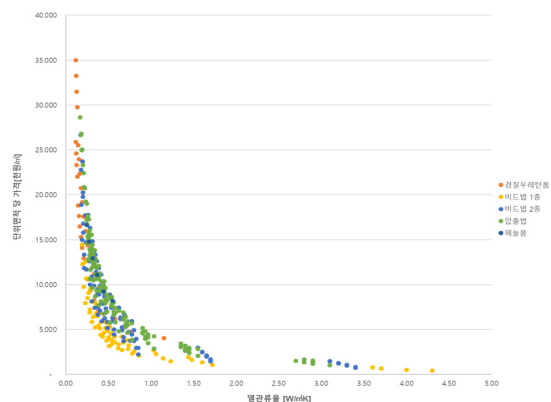
〈자재코드, 카테고리, 용도별 에너지 매칭 개념도〉

〈카테고리별 에너지 용도 매칭 및 해당 코드 수〉

순번	카테고리	매칭 코드 수	난방	냉방	급탕	조명	환기	기타
1	단열재	9	●	●			●	
2	유리	9	●	●		●	●	
3	복층유리	1	●	●		●	●	
4	창유리탈착	1	●	●		●	●	
5	창세트	3	●	●		●	●	
6	보일러	16	●		●			
7	열교환기	4	●		●			
8	냉동기	6		●				
9	난방기	14	●					
10	냉(난)방기	16	●	●				
11	공기조화기	5	●	●			●	
12	환기시스템	1	●	●			●	
13	송풍기	2	●	●			●	
14	조명	18	●	●		●		
15	문	4	●	●			●	
16	외벽단열	5	●	●			●	
17	블라인드	3	●	●		●		
18	태양열시스템	2	●	●	●	●	●	●
19	태양열시스템	1	●	●	●			
20	지붕재	3	●	●			●	
21	열교환기	4	●	●			●	
22	덕트	2	●	●			●	
23	필트	10	●	●	●			

- 에너지용도별 자재 매칭 테이블 구축
 - 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 등 5대 건물에너지 용도별 영향을 줄 수 있는 카테고리화 및 각 카테고리에 매칭되는 자재 코드 정리함

- 자재 성능가격 추정 로직 개발
 - 패시브 자재 및 신재생 에너지 설비의 성능과 가격간의 상관관계를 분석하여 성능-가격 로직을 도출함



〈단열재 종류별 연관류율-단위면적당 가격〉

2. 제로에너지 최적공사비 산출 모형 도출

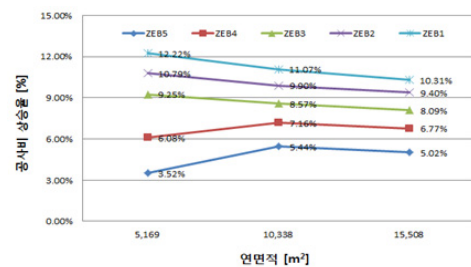
- 국내 주거 및 비주거 건축물의 전체 공사비 실태 분석
 - 공동주택, 사무소 건물 대상 공사비 자료 수집 및 분석

1	공동주택			2	사무소 건물		
	평당 공사비 (만원)		비율 (%)		평당 공사비 (만원)		비율 (%)
도목공사	24		6.2%	도목공사	32		5.91%
건축공사	237		61.21%	건축공사	237		43.74%
설비공사	42		9.3%	설비공사	112		20.67%
전기공사	36		10.85%	전기공사	104		19.2%
조경공사	13		3.36%	조경공사	7.6		1.4%
간접비	35.2		9.09%	간접비	49.2		9.09%
합계	387.2		100%	합계	541.8		100%

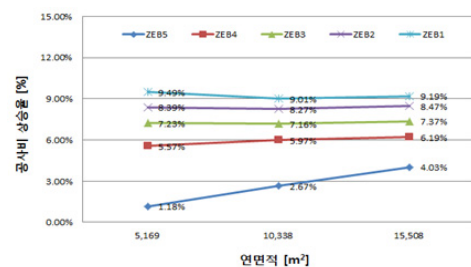
- 전체 공사비 변동 요인 검토 및 공종별 공사비 분석
 - 문헌 조사를 통한 공사비 변동 요인 도출
 - 공사비 변동 요인 별 공사비 변화 검토
 - ZEB 요소기술 단위 규격별 공사비 검토
 - 패시브, 액티브, 신재생 에너지 공사비
- 자료 수집 및 분석

구분	제품명/구분	형상	[단위: mm (인치)]	단면적 [mm ²]	지하철	일반건물	단면적 [mm ²]
강관	합금강 선재	0.021mm~0.025mm	19.2mm (3/4")	185mm ² (1)	185mm ² (1)	200mm ² (1)	200mm ² (1)
	합금강 선재	0.025mm~0.030mm	21.0mm (7/8")	210mm ² (1)	210mm ² (1)	225mm ² (1)	225mm ² (1)
	합금강 선재	0.030mm~0.035mm	22.8mm (1")	235mm ² (1)	235mm ² (1)	250mm ² (1)	250mm ² (1)
기타철강	합금강 선재	0.035mm~0.040mm	24.6mm (1")	260mm ² (1)	260mm ² (1)	275mm ² (1)	275mm ² (1)
	합금강 선재	0.040mm~0.045mm	26.4mm (1")	285mm ² (1)	285mm ² (1)	300mm ² (1)	300mm ² (1)
	합금강 선재	0.045mm~0.050mm	28.2mm (1 1/8")	310mm ² (1)	310mm ² (1)	325mm ² (1)	325mm ² (1)
강판	합금강 선재	0.050mm~0.055mm	30.0mm (1 1/4")	335mm ² (1)	335mm ² (1)	350mm ² (1)	350mm ² (1)
	합금강 선재	0.055mm~0.060mm	31.8mm (1 1/4")	360mm ² (1)	360mm ² (1)	375mm ² (1)	375mm ² (1)
	합금강 선재	0.060mm~0.065mm	33.6mm (1 3/8")	385mm ² (1)	385mm ² (1)	400mm ² (1)	400mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.065mm~0.070mm	35.4mm (1 3/8")	410mm ² (1)	410mm ² (1)	425mm ² (1)	425mm ² (1)
	합금강 선재	0.070mm~0.075mm	37.2mm (1 4/8")	435mm ² (1)	435mm ² (1)	450mm ² (1)	450mm ² (1)
	합금강 선재	0.075mm~0.080mm	39.0mm (1 5/8")	460mm ² (1)	460mm ² (1)	475mm ² (1)	475mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.080mm~0.085mm	40.8mm (1 5/8")	485mm ² (1)	485mm ² (1)	500mm ² (1)	500mm ² (1)
	합금강 선재	0.085mm~0.090mm	42.6mm (1 5/8")	510mm ² (1)	510mm ² (1)	525mm ² (1)	525mm ² (1)
	합금강 선재	0.090mm~0.095mm	44.4mm (1 5/8")	535mm ² (1)	535mm ² (1)	550mm ² (1)	550mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.095mm~0.100mm	46.2mm (1 7/8")	560mm ² (1)	560mm ² (1)	575mm ² (1)	575mm ² (1)
	합금강 선재	0.100mm~0.105mm	48.0mm (1 7/8")	585mm ² (1)	585mm ² (1)	600mm ² (1)	600mm ² (1)
	합금강 선재	0.105mm~0.110mm	49.8mm (1 7/8")	610mm ² (1)	610mm ² (1)	625mm ² (1)	625mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.110mm~0.115mm	51.6mm (1 7/8")	635mm ² (1)	635mm ² (1)	650mm ² (1)	650mm ² (1)
	합금강 선재	0.115mm~0.120mm	53.4mm (1 7/8")	660mm ² (1)	660mm ² (1)	675mm ² (1)	675mm ² (1)
	합금강 선재	0.120mm~0.125mm	55.2mm (1 7/8")	685mm ² (1)	685mm ² (1)	700mm ² (1)	700mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.125mm~0.130mm	57.0mm (1 7/8")	710mm ² (1)	710mm ² (1)	725mm ² (1)	725mm ² (1)
	합금강 선재	0.130mm~0.135mm	58.8mm (1 7/8")	735mm ² (1)	735mm ² (1)	750mm ² (1)	750mm ² (1)
	합금강 선재	0.135mm~0.140mm	60.6mm (1 7/8")	760mm ² (1)	760mm ² (1)	775mm ² (1)	775mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.140mm~0.145mm	62.4mm (1 7/8")	785mm ² (1)	785mm ² (1)	800mm ² (1)	800mm ² (1)
	합금강 선재	0.145mm~0.150mm	64.2mm (1 7/8")	810mm ² (1)	810mm ² (1)	825mm ² (1)	825mm ² (1)
	합금강 선재	0.150mm~0.155mm	66.0mm (1 7/8")	835mm ² (1)	835mm ² (1)	850mm ² (1)	850mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.155mm~0.160mm	67.8mm (1 7/8")	860mm ² (1)	860mm ² (1)	875mm ² (1)	875mm ² (1)
	합금강 선재	0.160mm~0.165mm	69.6mm (1 7/8")	885mm ² (1)	885mm ² (1)	900mm ² (1)	900mm ² (1)
	합금강 선재	0.165mm~0.170mm	71.4mm (1 7/8")	910mm ² (1)	910mm ² (1)	925mm ² (1)	925mm ² (1)
강선	합금강 선재	0.170mm~0.175mm	73.2mm (1 7/8")	935mm ² (1)	935mm ² (1)	950mm ² (1)	950mm ² (1)
	합금강 선재	0.175mm~0.180mm	75.0mm (1 7/8")	960mm ² (1)	960mm ²		

- 건축물의 용도 및 규모에 따른 전체 공사비 예측 모델 수립
 - 연면적 변화에 따른 전체 공사비 예측 모델식 도출
 - ZEB 요소기술 종류 및 용량 변화에 따른 추가 공사비 예측 모델식 도출
- ZEB 등급별 추가 예정 공사비 산정
 - ZEB 등급별 태양광 설치 용량 계산
 - ZEB 등급별 용도, 연면적, 열원 변화에 따른 추가 공사비 및 상승률 산정



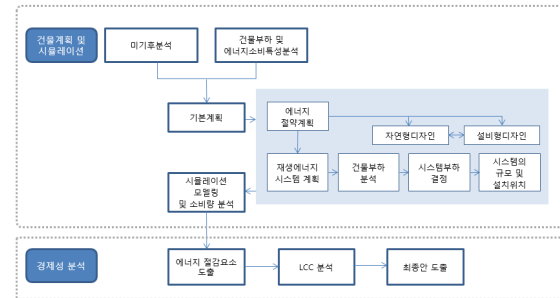
〈주거용 ZEB 등급별 연면적에 따른 ZEG
공사비 상승률〉



〈비주거용 ZEB 등급별 연면적에 따른 ZEG
공사비 상승률〉

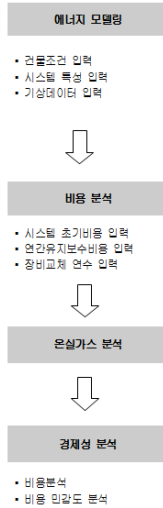
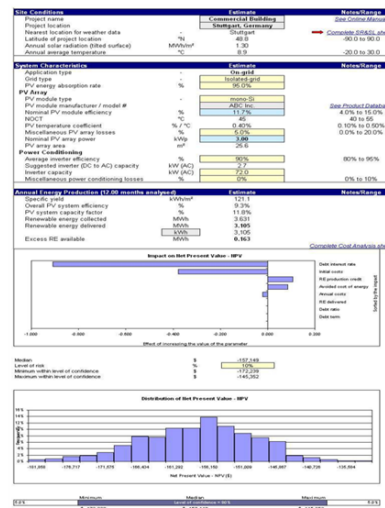
3.주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정

- 제로에너지 중요기술 요소 분석
 - 제로에너지 구현을 위하여 주요 요소기술을 분석하여 기초 data 구축
 - 제로에너지 빌딩 패시브 주요 15개 요소기술 분석
 - 제로에너지 액티브 시스템 주요 22개 요소기술 분석
 - 신재생 에너지 시스템 주요 8개 요소 기술 분석
 - 요소기술의 에너지 절감 기여율 평가를 위한 방법론 및 프로세스 검토

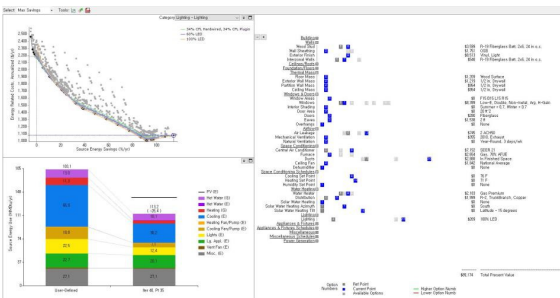


구분	세부기술	구분	세부기술	구분	세부기술
고단열외피	진공단열패널(VIP)	고효율	바닥급기시스템	환기시스템	ERV
복합단열재	복합단열재	HVAC	월동시스템	액티브 시스템	하이브리드환기
에어록킹	에어록킹		복사방난방	패시브 시스템	패시브 시스템
상변화단열재	상변화단열재		DOAS	조명시스템	SSL
열교차단시스템	열교차단시스템		고단열덕트	시스템제어	조명제어
기밀실패	기밀실패		고효율송풍기	실내환경제어	BEMS
바닥단열재	바닥단열재		고효율압축기	대양광	대양광
고성능창호	스마트창		구체축열 (TABS)	태양광	태양광
진공창호	진공창호		고성능 VAV	태양광	태양광
액티브외피	액티브외피		고효율보일러	태양광	태양광
차일시스템	가동형차일		고효율냉동기	태양광	태양광
조절형차일	조절형차일		고효율히트펌프	태양광	태양광
축열시스템	할로코어시스템		태양광히트펌프	태양광	태양광
트롬볼 시스템	트롬볼 시스템		급탕히트펌프	태양광	태양광

- 제로에너지 기술 패키지별 비용 추정 로직개발
 - 제로에너지 건축물 구현을 위한 에너지영향요소 및 성능범위 도출
 - 실험계획법을 통한 제로에너지 건축물 에너지 성능 최적화 평가
 - 다중회기법에 의한 건물냉난방 예측 모델 도출
 - 태양광을 이용한 신재생에너지 예측 기법 도출
 - 경제성 추정 분석 모델 도출



- 주택 및 업무용 건물의 ECO 항목 도출
- 베이스라인 모델 경제성 분석 수행
 - 에너지시뮬레이션과 최적화 수행 프로세스 수립
 - 공동주택과 업무용건축물에 대한 주요 인자를 분석하고 그 중요도에 따라 ECO의 순서 도출



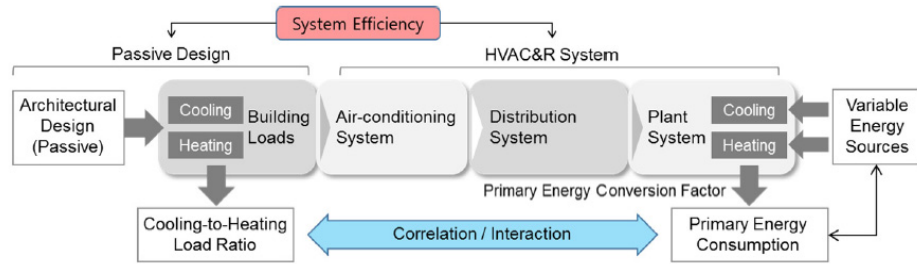
핵심성과 1	제로에너지 건축물 투입자재/설비시스템/공사비가격분석 및 DB화
정의	제로에너지 건축물 구현을 위해 투입되는 자재 및 설비시스템과 시공 비용 분석 DB
목적	비용 측면에서 실현 가능한 ZEB 모델 개발을 위해 현재 수준 일반 건축물(공동주택, 사무소 건물)에 대한 직접 공사비의 수준을 분석하고 공사비 영향 인자에 따른 상관관계를 파악함으로써 제로 에너지의 용도 및 규모에 따른 최적 공사비 예측에 활용 가능한 모델을 제시하고자 함
성능목표	(기존기술 수준) - 국내의 경우 제로에너지 건축물에 대한 표준모델이 확정되어 있지 않으며, 시범사업 등을 통해 요소에 대한 기술축적과 성능 검증 진행 중 - 제로에너지 건축물을 위한 개별 기술요소들에 대한 비용과 성능 효과를 고려한 경제적 분석은 미흡 (개발기술 수준) - 주택 및 업무용 건물표준모델 및 최적화 기법 수립 - 제로에너지 건축물 구현을 위해 연간에너지 사용량 저감을 위한 건물의 에너지 절약적 설계가 우선적이며, 다양한 다양한 분석변수에 대하여 효율적 평가를 위해 표준적 ECO(Energy Conservation Opportunity)항목을 주택 및 업무용 건축물을 대상으로 유형화하고 최적화 기법을 통한 경제적인 시스템 계획 프로세스 수립 - 공동주택과 업무용 건축물의 특성을 분석하고 용도와 규모, 구현 성능수준에 적절한 제로 에너지 건축물 ECO항목의 유형화로 효율적 설계 기준 제시 - 에너지 시뮬레이션과 Sequential Search Method 기반 최적화 프로그램 (BEopt)을 적용하여 실무적 설계 프로세스를 구축하였으며 분석변수의 표준화로 경제적인 제로에너지 건축물 계획 기법 도출 ECO 모델 유형화 건축물의 형상 단열시스템 환기시스템 조명 기기 난방시스템 냉방시스템 급탕시스템 + 최적화 시뮬레이션 효율성, 정밀성, 경제성 에너지 변수를 고려한 건물에너지 소요량 최소화 난방에너지 최소화 냉방에너지 최소화 급탕에너지 최소화 + 신재생 에너지 공급 조명에너지 최소화 환기에너지 최소화 [그림 2-3] 제로에너지빌딩 요소기술과 최적화모델 - 구현 기술별 투입비용에 따른 효율성 분석이 가능한 추정식을 개발하여 제로에너지 건축물의 성능수준에 따른 경제적 기술 도출 - 공동주택과 업무용 건축물의 규모별 특성을 분석하고 용도와 규모, 구현 성능수준에 적절한 제로에너지 건축물 모델 도출 기준 개발

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등



[그림 2-4] 제로에너지빌딩 요소기술 모델 분석 (예시)

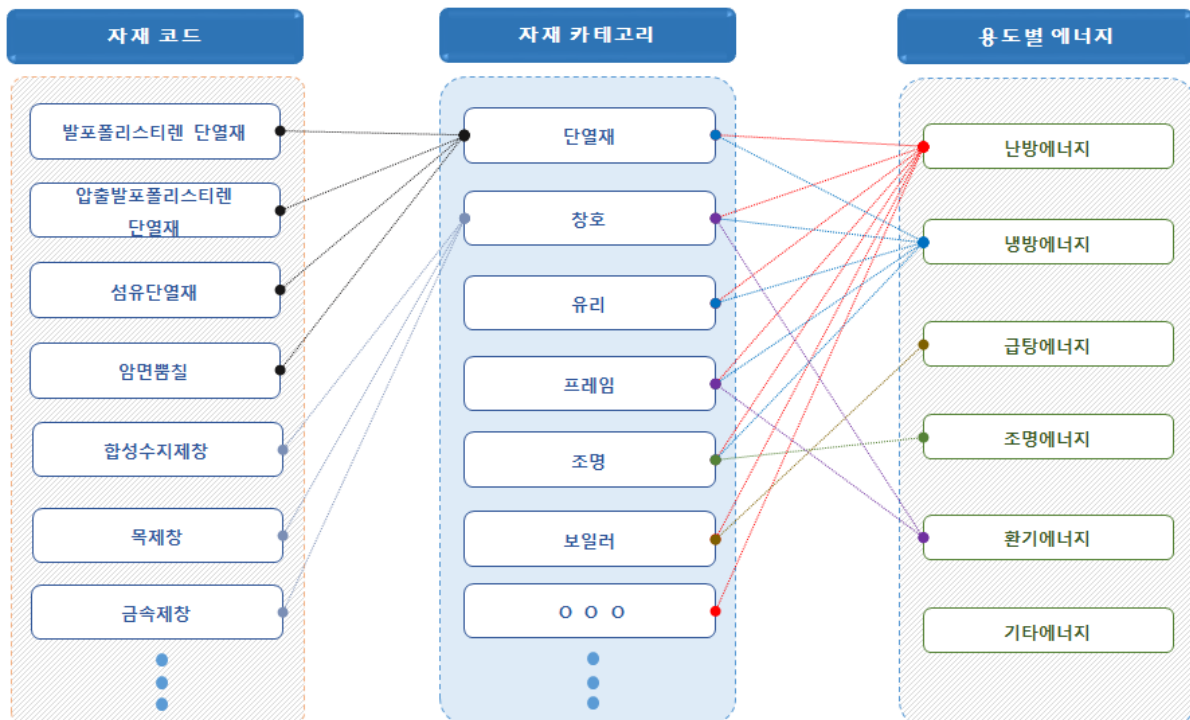
성과달성 책임자 (소속기관)	이승연(한국건설기술연구원)/김성식(아이포디엄)/SK건설	
소요기간	'16.06.27. ~ '19.04.27. (34개월)	
성과달성 확인방법	공사비체계 및 DB 구축율 / 조사 및 분석 결과 보고서	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허	출원 : 2건
		등록 : 1건
	논문	2 건
	시제품	0건
	S/W	0건

1-1. 핵심자재 및 시스템 DB

(1) 자재 및 시스템 조사

(가) 연구내용

- 건물 부문에서 사용되는 에너지는 국내 전체 에너지 사용량의 20% 이상을 차지하고 있으나, 산업 및 교통 문의 경우 에너지 사용 경로가 비교적 단순하여 에너지 저감을 위한 개선 사항을 도출하기 용이하나, 건물 부문에서의 에너지는 전국의 약 700만동 이상의 건물에서 다양한 용도로 사용되고 있어 저감 대책 수립이 어려운 실정임
- 1차년도 연구에서는 그림 1과 같이 건물에서 사용되고 있는 매우 다양한 자재 및 설비를 종류에 따라 분류하고 유사한 성격의 자재 및 설비를 카테고리 묶어 건물에서 사용되는 용도별 에너지와 매칭 하였음.
- 2차년도 연구에서는 1차년도 정의한 자재 코드별 자재 및 설비 DB를 구축하였으며, DB는 현재 시장에서 주로 사용되고 있는 각 DB를 활용하였음
- 구축된 DB를 활용하여 가장 대표적인 자재를 대상으로 비용/성능 로직을 도출하였으며, 저에너지 건물의 생애주기를 고려한 리모델링에 대응하기 위하여 연차에 따른 가격 변화를 분석하였음



[그림 2-5] 자재코드, 카테고리, 용도별 에너지 매칭 개념도

(나) 연구결과

■ 건축자재 분류 체계

- 건축 자재의 분류 방법론 중 정부 주도로 이루어진 체계는 2002년 전자정부 11대 사업으로 구축된 조달청의 나라장터가 가장 대표적으로 각 자재의 특성에 따른 코드를 분류하여 자재 데이터베이스를 구축하였으며, 자재 코드에 대한 정의를 함께 구축하여 추가되는 자재의 분류할 수 있도록 하였음
- 이에 본 연구에서는 조달청 코드를 기초로 다섯 단계의 분류체계로 건물 에너지에 영향을 줄 수 있는 139개의 코드와 코드 성격에 따른 카테고리를 부록 1과 같이 분류하였으며, 해당 코드 정의는 부록 2에 수록하였음

■ DB 구축을 위한 데이터

- 본 연구에서 구축하고 있는 DB의 범위를 한국물가정보에서 보유하고 있는 DB와 매칭하여 부록 표 1-02와 같은 범위의 DB를 확보하였음
- 난방, 냉방, 방열기 등 21개 대분류 및 온수패널, 온수히터, 폐열회수환기장치 등 175개 소분류
- 한국에너지공단에서 주관하는 ‘에너지소비효율등급제도’와 ‘고효율에너지기자재인증제도’의 DB 활용
- 효율등급제도 DB의 자재는 30개 종으로 분류되며 이 중 건축단위의 에너지저감에 관계되는 8개의 자재를 연계함
- 고효율에너지 기자재 DB에서는 48개 항목 중 건물 에너지에 영향을 미치는 14개 품목을 선정하여 연계효율등급제도 DB의 자재는 30개 종으로 분류되며 이 중 건축단위의 에너지저감에 관계되는 8개의 자재를 연계함

(2) 에너지용도별 자재별 매칭테이블 구축

(가) 연구내용

■ 국내 건물부문 용도별 에너지 현황

- 건물 부문에서 사용되는 에너지는 크게 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기를 5대 에너지로 구분하며 이외에 가정 및 사무기기, 동력 등으로 구분됨
- 국내 건물부문에서의 용도별 에너지 구분에 대한 연구 및 통계는 아직 충분하지 않은 상황임

- 공공상업 부문의 경우 에너지총조사 보고서에서 조사가 이루어지고 있으나, 가정부문의 경우 공식적인 통계는 아직 없는 상황임

(나) 연구결과

■ 용도별 에너지 현황

- 2013년 에너지경제연구원에서 분위회기분석을 통하여 분석한 가정부문의 용도별 에너지 사용량은 아래 표와 같으며, 난방에너지가 전체의 약 70%를 차지하는 것으로 분석 되었음

[표 2-2] 분위회기분석을 통한 가정부문 용도별 에너지 사용량 비율

건축시기	난방	냉방	기타
1979년 이전	67.5%	1.6%	30.9%
1980년 - 1989년	68.8%	1.8%	29.3%
1990년 - 1999년	70.0%	2.1%	28.0%
2000년 이후	71.0%	2.2%	26.8%

- 다음 표는 2014년 에너지총조사 보고서에서 조사한 공공 및 상업 부문의 용도별 에너지 사용량 비율을 나타냄
- 공공 및 상업부문에서는 난방 및 온수(급탕)에너지 사용량의 비율이 34.5%로 가정부문의 절반 수준인 반면, 냉방에너지의 비율은 24.2%로 조명, 동력 등에 비하여 크게 나타남

[표 2-3] 공공 및 상업부문 용도별 에너지 사용량 비율

	난방 및 온수	냉방	동력	조명	취사 및 기타
에너지 사용 비율	34.5%	24.2%	10.3%	11.9%	19.2%

■ 에너지 용도별 매칭

- 건물 에너지 용도별 영향을 줄 수 있는 카테고리화 각 카테고리에 매칭되는 코드 수를 다음 표에 정리하였음

[표 2-4] 카테고리별 에너지 용도 매칭 및 해당 코드 수

순번	카테고리	매칭 코드 수	난방	냉방	급탕	조명	환기	기타
1	단열재	9	●	●			●	
2	유리	9	●	●		●	●	
3	복층유리	1	●	●		●	●	
4	창유리필름	1	●	●		●		
5	창세트	3	●	●		●	●	
6	보일러	16	●		●			
7	탱크	4	●		●			
8	냉동기	6		●				
9	난방기기	14	●					
10	냉(난)방기기	16	●	●				
11	공기조화기	5	●	●			●	
12	환기시스템	1	●	●			●	
13	송풍기	2	●	●			●	
14	조명	18	●	●		●		
15	문	4	●	●			●	
16	외벽패널	5	●	●			●	
17	블라인드	3	●	●		●		
18	태양광시스템	2	●	●	●	●	●	●
19	태양열시스템	1	●	●	●			
20	지붕재	3	●	●			●	
21	열교환기	4	●	●			●	
22	덕트	2	●	●			●	
23	펌프	10	●	●	●			

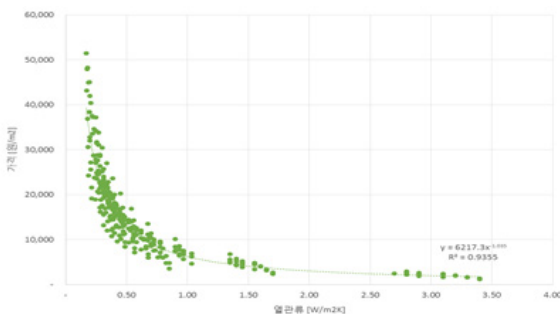
(3) 자재성능가격 추정 로직 개발

(가) 연구내용

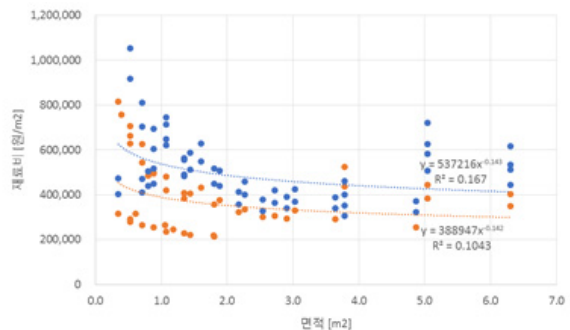
- 패시브 자재의 가격 로직 구축을 진행함. 단열재의 열관류율과 면적당 가격의 상관관계 분석을 진행하고, 창호의 경우 가격 결정요소가 매우 광범위하여 등급으로 구분하여 상관관계 분석을 진행함
- 신재생 에너지 가격 로직 구축을 위한 태양광 설비와 지열 에너지 시스템에 대한 분석을 진행함
- 태양광 설비는 정격전력과 가격의 상관관계 분석을 수행하였으며, 지열 에너지 시스템의 경우 난방 및 냉방용량과 큰 상관관계를 보임

(나) 연구결과

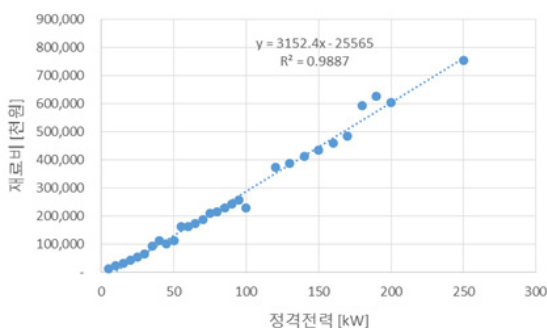
- 단열재, 창호의 경우 성능 등급 분류에 따른 가격과의 상관관계가 높게 나타났으며, 태양광 설비 및 지열에너지 시스템의 경우 정격전력 및 용량에 따라 큰 상관관계를 보임



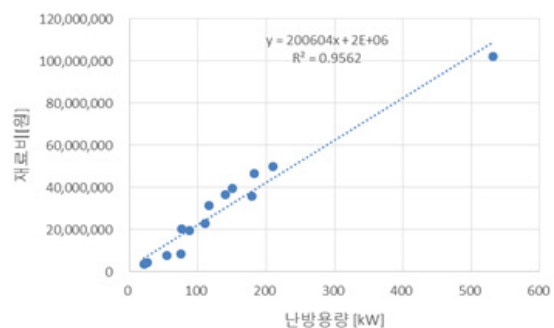
[그림 2-6] 단열재의 열관류율-면적당 가격 상관관계 분석



[그림 2-7] 1등급, 2등급 창호의 면적당 가격 상관관계 분석



[그림 2-8] 태양광 설비 정격전력당 가격 상관관계 분석



[그림 2-9] 지열 에너지 시스템 난방용량당 가격 상관관계 분석

- 대표 성능-가격 그래프를 기반으로 자재 및 설비의 성능 대비 가격 추정 로직을 구축함

종류		로직
단열재	경질우레탄폼	$y = 3.7013x - 0.923$
	비드법 1종	$y = 2.1963x - 1.024$
	비드법 1종	$y = 3.493x - 1.022$
	압출법	$y = 3.8275x - 1.026$
	페놀폼	$y = 4.6005x - 0.899$
창세트	1등급	$y = 417.02x - 21.856$
	2등급	$y = 211.52x + 20.092$
보일러	LNG/LPG	$y = 27.699x + 16403$
	가스	$y = 7.9267x + 17961$
	검용	$y = 11.604x + 24693$
	경유	$y = 11.832x + 9435.1$
냉방기기		$y = 230.17x + 22.405$
조명기구	직관형 형광등	$y = 0.2021x + 0.1284$
	LED	$y = 5.079x - 37.707$
태양광 설비		$y = 3058.3x + 13433$
지열 설비		$y = 249.68x - 2505.8$
		$y = 257.08x - 3036.4$

1-2. 제로에너지 최적 공사비 산출모형 도출

(1) 공사비 구성요소 도출(비용분석)

(가) 연구내용

연구 배경 및 목적

- 정부는 2025년 민간 분야에 신축 건축물의 제로 에너지 빌딩(ZEB) 의무화 목표를 수립
- ZEB 성능 확보시 신재생 에너지의 추가 설치를 위한 초기 비용 증가 및 투자비 회수 기간장기화에 따른 보급 활성화의 어려움이 존재함
- 경제적 측면의 리스크를 사전에 해결하기 위한 방안 수립이 중요함
- 추가 공사비 부담을 최소화하기 위한 일환으로 사업 초기 단계 ZEB 공사비 예측을 통한 사전 공사비 의사 결정 시스템 구축이 필요
- ZEB 사업 추진시 사업 초기 단계에서 획득 가능한 정보를 바탕으로 추가 공사비를 예측함으로써 사업 리스크를 최소화 하고 합리적 의사 결정이 가능한 비용 예측 모델을 제안하고자 함

연구 방법 및 범위

- 2015년 이후 준공 완료 및 설계 실시된 주거용 건축물 10개, 비주용 건축물 9개의 예산 견적을 통해 전체 공사비 자료 제시
- ZEB 요소기술 전문 업체의 예산 견적을 이용한 용량 및 규격별 공사비 분석
- 단순회귀분석을 활용한 전체 공사비 및 ZEB 요소기술별 공사비 예측 모델식 제안
- ZEB 등급별 예정 공사비 산정 기준 제시
- 산정 기준을 바탕으로 ZEB 등급별 건축물의 용도 및 규모에 따른 추가 예정 공사비 산정함

(나) 연구결과

공사비 변동요인을 개별, 일반, 우발적 요인에 의해 분류

- 건설공사비에 직접적으로 영향을 주는 변수는 연면적과 층수로
- 건설초기단계에서 활용 가능한 정보는 개략적 계획안 밖에 없기 때문에 이 단계에서 계획되는 투자비 규모는 주로 단위면적당 공사비(원/㎡)에 근거함

[표 2-5] 공사비 변동 요인

분류	구분	공사비 변동 요인
개별 요인	대지조건	지형
		지질
		지역
		교통 조건
	설계요인	규모
		평면
		층수
		기초
		세장비
		span
	시공요인	현장 운영 방법
		공기 요인
일반 요인	건축 법규	에너지, 친환경 정책 강화
	물가변동	자재비, 인건비 상승
우발적 요인	안전	사고
	천재지변	태풍, 지진

- 현재시점에서 ZEB 건축물의 추가공사비 비율은 약 “1.18% ~ 12.22%”수준으로 ZEB 등급별 추가 공사비의 편차가 비교적 큰 것으로 파악됨
- 건축물의 규모별 공사비 상승률은 ZEB 등급이 낮을수록(4,5등급 수준) 소규모 건물의 경우 전체 공사비 상승률은 중, 대형 규모의 건물 대비 낮게 나타나는 경향을 보이는 반면, 등급이 높아질수록 소규모 건축물의 공사비 상승률은 높아지는 경향을 보임
- 건축물의 용도별 공사비 상승률은 동일 등급 대비 주거용 건축물이 비주거 대비 약 1% ~ 3% 정도 높은 공사비 수준을 나타냄
- 건축물의 열원설비에 따른 공사비 상승률은 주거용 건물의 경우 개별 열원이 지역 열원 대비 0.7% ~ 3.2% 내외의 범위에서 공사비가 높고, 비주거용 건물의 경우 지역 열원이 개별 열원 대비 0.7% 내외의 범위에서 공사비가 높은 것으로 파악됨

(2) 공사비 구성 추정 로직 개발

(가) 연구내용

■ 연구 배경 및 목적

- 그동안 제로에너지건축물 성능 구현을 위한 추가 공사비에 대한 연구는 기술 연구에 비해 부족한 수준
- 제로에너지건축물 성능 확보시 신재생 에너지의 추가 설치를 위한 초기 비용 증가 및 투자비 회수 기간장기화에 따른 보급 활성화의 어려움이 존재함
- 건설 프로세스의 특성상 추가 공사비에 대한 의사 결정은 사업 초기 단계에서 신속하게 이루어져야 하는 특수성이 존재하므로, 제로에너지건축물 적용 의무화 도입시 추가 공사비 예측 및 의사결정을 가능하게 하는 시스템의 구축이 필요함
- 본 연구에서는 제로에너지건축물 신축사업 추진시 초기 단계에서 획득 가능한 정보를 바탕으로 추가 공사비를 예측함으로써 합리적 의사결정이 가능한 비용 예측 모델을 제안

■ 연구 방법 및 범위

- 2015년 이후 준공 및 발주한 주거용 및 비주거용 건물을 대상으로 전체 공사비와 제로에너지건축물 구현에 따른 요소기술의 2015년 이후 준공 완료 및 설계 실시된 주거용 건축물 10개, 비주거용 건축물 9개의 예산 견적을 통해 전체 공사비 자료 제시
- 제로에너지건축물 요소기술 전문 업체의 예산 견적을 이용한 용량 및 규격별 공사비 분석

- 가격/성능 로직 도출

- 구축된 DB의 활용을 위해서 각 자재별 데이터들의 표준화 및 규격화를 통한 비교가 가능한 로직을 제공하며 이를 위해서는 각 자재의 특성에 따라 성능과 규격에 기준설정이 필요함
- 건물의 에너지 저감을 위한 자재 중 건축적 요소의 경우 설비적 요소에 비하여 요구되는 성능이 비교적 단순한 경우가 많으며, 대표적으로 단열재의 경우 요구되는 성능은 단열성능(열관류율)에 집중되므로 이를 로직화할 수 있음

(나) 연구결과

■ 가격/성능 로직 도출

- 속성별로 분류된 자재는 자재 선택에 있어 가장 큰 요인 중 하나로 작용하는 가격을 기준으로 아래 표와 같이 특성에 따른 대푯값을 산출할 수 있는 로직을 도출하여 사용자의 선택에 가이드 라인으로 작용할 수 있도록 하였음
- 단열재의 성능에 따른 비용의 변화를 파악하기 위하여 가격은 단위면적(㎡)을 기준으로 하였으며, 일반적으로 단열재의 성능은 열전도율로 나타내지만, 건축물에 적용시 필요한 사항은 열관류율이므로 이를 적용하였음

[표 2-6] 효율등급제도 DB 자재 분류 및 연계 데이터

구분	인자		관계로직	R2값
	X 인자	Y 인자		
단열재	열관류율 [w/m2]	단위면적당 가격 [원/m2]	$y = 5582.1x^{-1.045}$	0.861
창호	열관류율 [w/m2]	단위면적당 가격 [원/m2]	$y = 14352x^{-0.68}$	0.947
가스보일러	출력 [kw]	가격 [원]	$y = -1.1151x^2 + 19982x + 350599$	0.921
증기보일러	출력 [kw]	가격 [천원]	$y = 26.31x + 19154$	0.608

(3) 공동주택 및 업무시설의 최적 공사비 산출 모형 도출

(가) 연구내용

■ 연구 배경 및 목적

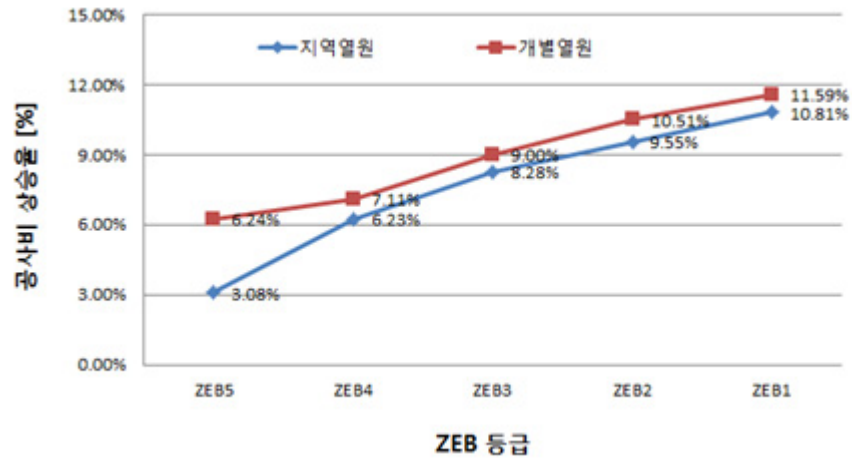
- 건설 프로세스의 특성상 추가 공사비에 대한 의사 결정은 사업 초기 단계에서 신속하게 이루어져야 하는 특수성이 존재하므로, 제로에너지건축물 적용 의무화 도입시 추가 공사비 예측 및 의사결정을 가능하게 하는 시스템의 구축이 필요함
- 본 연구에서는 제로에너지건축물 신축사업 추진시 초기 단계에서 획득 가능한 정보를 바탕으로 추가 공사비를 예측함으로써 합리적 의사결정이 가능한 비용 예측 모델을 제안

■ 연구 방법 및 범위

- 제로에너지건축물의 전체 공사비와 에너지 절감 요소기술의 예측모형을 바탕으로 건축물에너지 효율등급 프로그램(ECO2)을 활용하여 제로에너지빌딩 등급에 따른 신재생 에너지 설치 필요 용량을 예측하고 제로에너지건축물 등급별 예정 공사비를 산정하여 분석함
- 주거용 건축물과 비주거용 건축물을 대상으로 Baseline 모델 성능을 검토하고 태양광 설치 부위와 설치 용량, 1차 에너지소요량과 자립율 등을 고려하여 8가지 Case로 분석함

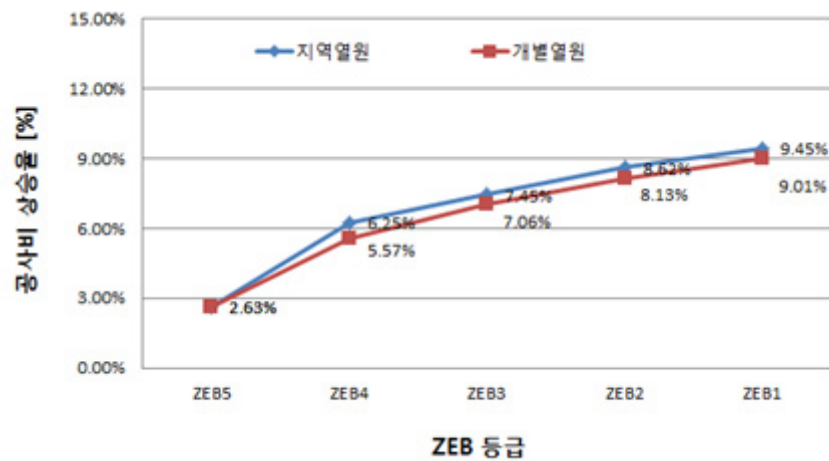
(나) 연구결과

- ZEB 등급 향상에 따른 공사비 상승률 분석 결과 ZEB 1개 등급 상향시 약 총 공사비의 1~3% 범위의 수준에서 공사비가 증가하는 것으로 추정됨



[그림 2-10] 주거용 건물 열원별 ZEB 등급에 따른 공사비 상승률

- 특히 ZEB 5등급에서 4등급 수준으로 성능 향상시 공사비 상승률이 상대적으로 높은 경향을 나타내는데, 이는 건축물의 입면 부위의 BIPV 적용 면적이 동측 및 서측 입면으로 급격히 늘어난 것에 기인하기 때문으로 판단됨



[그림 2-11] 비주거용 건물 열원별 ZEB 등급에 따른 공사비 상승률

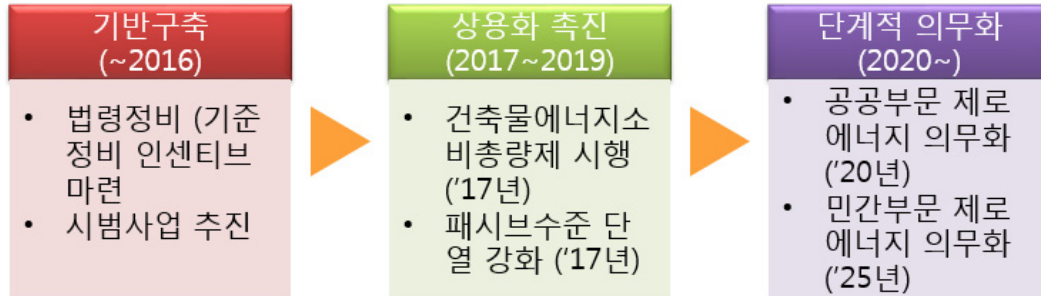
1-3. 주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정

(1) 제로에너지 중요기술 요소 분석

(가) 연구내용

■ 연구배경 및 동향

- 에너지 소비에 있어 건축물에서 차지하는 비중이 미국의 경우 약 46%에 이르고 국내에서도 약 23%에 이르고 있어 건축물은 에너지의 주요 소요처임
- 전 세계적으로 지구환경의 보전을 위한 탄소저감 등 지속적인 개발을 위해 WBCSD(World Business Council for Sustainable Development)에서 건축물에서 소비되는 에너지의 사용량을 획기적으로 줄이고 변혁을 위한 일환으로 Zero Energy Building을 주창
- 제21차 유엔기후변화협약 당사국 총회(2015 파리기후변화협약) 이후 기후변화 대응에 따른 포스트 2020 대응 건축물 부분의 온실가스 감축 정책 실현 필요
- 유럽의 경우 EPDB(Energy Performance of Building Directives) 주도로 패시브 하우스 및 제로에너지빌딩의 의무화를 추진하고 있어 건축물의 에너지 부하 절감이 주요 과제로 부각됨
- 미국은 DOE 주도로 zEPI(Zero Energy Performance Index)를 통한 건축물에너지 절감계획을 마련하여 시행하고 있으며 2030년까지 제로에너지빌딩을 의무화 계획
- 앞으로의 건축물은 기존 화석 연료에 근간한 에너지 소비처가 아닌 에너지 자립을 이루는 새로운 기술시장으로 재편될 것으로 예측되며 이러한 패러다임의 변화가 관련 산업 전반에 미치는 영향이 클 것으로 판단됨
- 화석연료 등의 에너지 고갈과 기후변화 대응을 위한 국제적이고 현실적인 지속가능한 개발을 위해 국내에서도 이에 부응하는 국가정책 수행
- 2015년 파리기후변화협약에서 국가 온실가스 감축목표를 기존 2009년 코펜하겐회의에 대비하여 상향조정하였으며, 2030년까지 BAU대비 37%를 감축하고 그 중 18.1%를 건축부분에서 감축하는 목표안 설정
- 온실가스 감축은 국제탄소시장에서 11.3%를 수입하여 활용하며 25.7%를 국내에서 감축하는 것으로 하였으며 국내온실가스량의 25%를 차지하는 건축물 분야에서 18.1%를 감축하는 것을 목표로 함
- 국토교통부 주관 제로에너지건축 인증제를 시행하여 국내 제로에너지빌딩 활성화 유도
- 장기적으로 제로에너지 건축국가 로드맵에 따라 2025년 민간부분 제로에너지 의무화 도입



연구목적

- 지속적인 기술개발과 자재기술 확보로 에너지 소요량을 줄이기 위한 다양한 방법들이 제안되고 있으나 적용하기 위한 비용적 측면에서의 현실화가 어려움
- 본 연구는 “저비용 제로에너지건축물 이행촉진을 위한 최적화 시뮬레이터 개발”의 1차년도 연구 내용으로 이러한 기술들을 분석하여 제로에너지빌딩 구축을 위한 기초 데이터를 마련하는데 그 목적이 있음
- 제로에너지빌딩 구현을 위한 개발기술을 연구문헌 및 관련 자료를 기준으로 특성과 장단점을 분석하였으며 적용 시 경제적 기여율 검토
- 개발 진행 중인 미래기술에 대하여도 조사를 하여 잠재적 가능성과 효율을 검토

제로에너지빌딩 설계프로세스

- 건축물의 에너지소비를 단열, 창호 등 건축적인 패시브디자인 요소들을 사용하여 부하발생을 줄임으로써 기초적 사용에너지를 감소시키고 냉,난방 등에 이용되는 열원기기 등을 에너지 절약적인 고효율 기기를 사용함으로써 전체적인 에너지 소비를 일차적으로 감소
- 최소화된 에너지소비량을 신재생에너지 시스템 등 별도의 에너지 생산을 통해 자체적으로 에너지소비량을 공급함으로써 제로에너지 빌딩 구현
- 단위면적 당 건축되는 건물의 규모가 작을수록 제로에너지빌딩을 구현하기 용이하며 고층형 건축물은 자체 대지 내에서의 에너지자립이 어려움
- 제로에너지빌딩은 일반적으로 신재생에너지의 공급 위치에 따라 Zero Energy Building Campus, Zero Energy Building Portfolio, Zero Energy Building Community 등으로 구분됨
- 제로에너지빌딩 구현을 위한 일반적인 프로세스는 다음의 그림과 같으며, 건축물이 위치한 지역의 기후를 기준으로 기후를 분석하여 건축물의 건물부하 기준을 정하고 예측되는 건축물의 단열과 같은 자연형 건축설계 요소들을 통한 패시브디자인 요소를 계획

- 따라서 제로에너지빌딩 구현을 위한 요소기술은 다음과 같이 패시브디자인 요소와 액티브시스템 기술, 그리고 신재생에너지 공급의 3개 주요 카테고리로 구분할 수 있으며, 각기 이용되는 방식에 따라 난방, 냉방, 환기, 조명, 급탕과 사용 기기 에너지로 분류될 수 있음
- 제로에너지빌딩 운영 시 에너지사용을 제로화하기 위해서는 설계단계에서부터 각 요소에 대한 통합적 고려가 필요하며 이는 부하의 발생부터 각 기기 적용에 따른 에너지 소비형태를 이해할 수 있어야 함



[그림 2-13] 제로에너지빌딩 요소기술 매트릭스

제로에너지 세부기술 분석

- 앞서의 요소기술매트릭스에 따라 현재 개발되어 적용이 가능한 세부기술들에 대하여 분류하면 다음의 표와 같으며 이러한 기술에 대하여 조사 분석을 수행
- 제로에너지빌딩 계획에는 통합적 설계를 위해 건물의 배치, 인접건물의 차폐, 일조 등의 건축적 계획에 대한 사전평가가 필요하나 이에 대한 내용은 본 연구에서는 제외하며 건물에 이용되는 시스템적 기술을 대상으로 하였음
- 패시브 디자인 요소로는 건축물의 단열성능과 관련하여 개발된 단열자재 및 창호, 차양 등 주요 15개 기술에 대하여 검토
- 건물의 초기 디자인에 있어 우선 고려되어야 하는 요소기술은 패시브디자인 요소 중 건물 외피에 대한 기술로 각기 지붕, 벽체, 바닥에 소요되는 단열성능을 유지하여 일차적 건물에너지를 감소시켜야 함

[표 2-7] 제로에너지빌딩 요소기술 매트릭스

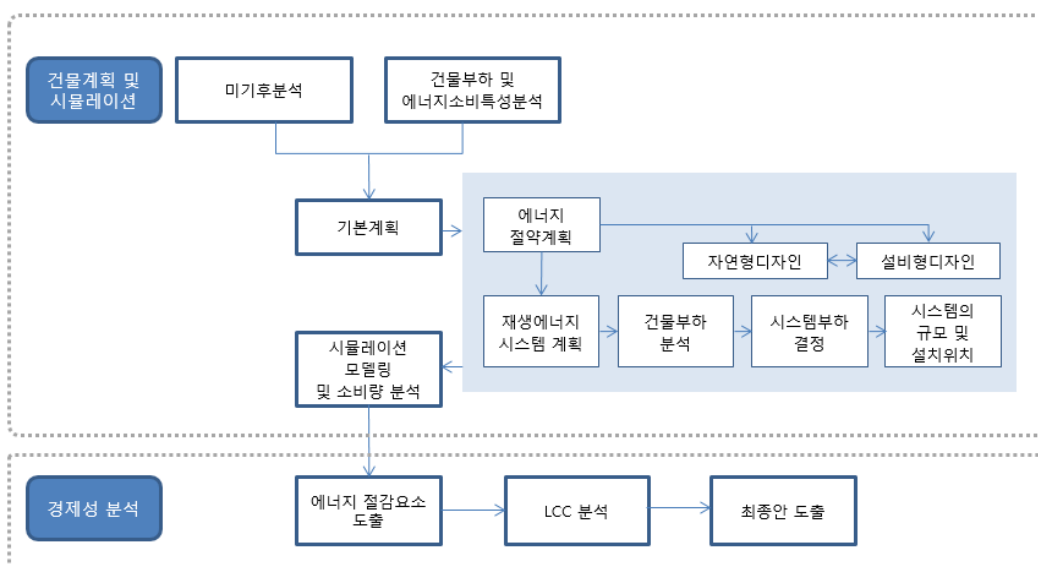
구 분		세부기술		구 분		세부기술	
패 시 브 디 자 인	고단열외피	진공단열패널(MP)	고효율	바닥급기시스템	액 티 브 시 스 템	환기시스템	ERV
		복합단열재	HVAC	철드빔시스템			하이브리드환기
		에어로겔		복사냉난방		폐열회수	하수열회수시스템
		상변환단열재		DOAS		조명시스템	SSL
		열교차단시스템		고단열덕트		시스템제어	조명제어
		기밀실링재	액 티 브 시 스 템	고효율송풍기		실내환경제어	
		바닥단열재		고효율압축기		BEMS	
	고성능창호	스마트창		구체축열(TABS)	태양광	태양전지	
		진공창호		고성능VAV		자연채광	
		액티브윈도우		고효율열원	마이크로열병합	신 재 생 에 너 지	태양열
		이중외피	고효율보일러				솔라월
	차양시스템	가동형차양	고효율냉동기		지열		지열히트펌프
		고정형차양	고효율히트펌프		풍력		풍력발전시스템
	축열시스템	할로코어시스템	데시컨트히트펌프		연료전지		연료전지시스템
		트롬월시스템		급탕히트펌프		바이오매스	펠릿보일러

- 액티브 시스템 요소로 고효율 공조시스템 및 고효율 열원기기, 환기 시스템 등 주요 22개 요소 기술을 대상으로 분석
- 건물부하 예측 후 쾌적조건을 유지하기 위한 적정 시스템의 적용이 필요하며 이 때 적용되는 열원 및 공조시스템은 가능한 최대 효율을 갖는 제품을 활용하여 실제 소비되는 건물 에너지를 최소화할 수 있어야 함
- 건물의 에너지 절감을 위한 효율적 시스템 운영은 최적화된 시스템 용량을 선정하여 설계되어야 하며 과다 설계된 시스템은 운영 시 비효율적인 작동에 따라 더 많은 에너지 소비와 운영비용이 소요됨
- 이를 위해 부분 부하요소에 대해 인버터 제어 등 발생할 수 있는 운영 시나리오에 따른 최적의 시스템 선정이 요구되나 현재까지 그 효과에 대하여 정량적으로 결정하기에 많은 어려움이 있어 이에 대한 지속적인 개발이 요구되고 있음
- 가용한 기술과 혁신적인 신제품에 대한 데이터베이스의 확충이 필요하며 모니터링을 통해 사용 후 특성에 대해서도 지속적인 연구분석 필요
- 시스템의 효율 향상은 건물의 규모와 필요로하는 쾌적성의 정도에 따라 이를 운영하기 위한 제어기술에도 영향을 받으며, 최적의 에너지 절감 운전을 위해서는 추가적으로 BEMS와 같은 관리 제어 기술도 요구됨

- 건축물에 이용가능한 신재생에너지 시스템을 중심으로 검토되었으며, 바이오매스, 지열시스템 등 8개 요소기술에 대하여 분석 수행
- 신재생에너지는 제로에너지빌딩을 구현하기 위한 필수적인 요소로 효율적인 신재생시스템을 도입하여 건물에 소요되는 필요 에너지를 공급하여야 함
- 근래 제품가격의 하락과 효율향상으로 태양광패널(PV)에 대한 적용성이 증대되고 있으며 이에 따라 많은 시스템 설치가 이루어지고 있음
- 그러나 용적률이 큰 건축물의 경우 연간 사용에너지를 대체할 수 있는 충분한 용량의 설치가 어려우며 대체할 수 있는 시스템 적용이 요구됨
- 제로에너지빌딩의 활성화에 따라 신재생에너지의 수요가 크게 증대할 것으로 예측되며 이에 대한 적절한 대안으로 신재생에너지 공급을 위한 마이크로 그리드 시스템 등에 대한 연구 개발이 진행

제로에너지빌딩 계획 프로세스

- 제로에너지빌딩에 도달하기 위해서는 이러한 기술과 관련하여 에너지 소비요소를 전체적으로 제로화하여야하기 때문에 초기에서부터 통합적인 고려가 이루어져야 하며 정량적으로 에너지 소비량을 평가할 수 있는 적정 시뮬레이션 기법과 기술에 소요되는 예산에 대한 종합적 평가가 요구
- 제로에너지빌딩의 구현을 위한 현실적 문제는 기존 건축물에 대비하여 초기투자비의 증가로 인한 비용 문제되며 이의 경제적 접근을 위해서는 각 요소기술을 적용함에 따라 제로에너지빌딩 구현을 위해 절감되는 적정에너지량을 예측하고 투자비용을 효과적으로 분석하여 전체적인 경제성을 판단할 수 있는 평가프로세스 도입 필요



[그림 2-14] 제로에너지빌딩을 위한 설계 프로세스

(2) 제로에너지기술 패키지별비용 추정 로직 개발

(가) 연구내용

■ 연구배경 및 동향

- 건물의 에너지 성능은 건축 이후 사용기간 동안 계속 유지되므로 초기의 계획과 시공 완성도가 중요하며 에너지 성능이 우수한 건축물은 효과적인 온실가스 감축이 가능
- 또한 건축물의 에너지성능 향상을 위한 계획기법, 재료, 설비시스템, 제어기술과 에너지 생산을 위한 신재생 시스템 등 관련 산업의 기술 발전을 유도하고 신산업 창출 효과가 기대됨
- 전 세계적으로 지구환경의 보전을 위한 탄소저감 등 지속적인 개발을 위해 WBCSD(World Business Council for Sustainable Development)에서 건축물에서 소비되는 에너지의 사용량을 획기적으로 줄이고 변혁을 위한 일환으로 제로에너지빌딩(Zero Energy Building)을 주창
- 유럽의 경우 EPDB(Energy Performance of Building Directives) 주도로 패시브 하우스 및 제로에너지빌딩의 의무화를 추진하고 있어 건축물의 에너지 부하 절감이 주요 과제로 부각됨
- 미국은 DOE 주도로 zEPI(Zero Energt Performance Index)를 통한 건축물에너지 절감계획을 마련하여 시행하고 있으며 2030년까지 제로에너지빌딩을 의무화 계획
- 우리나라에서도 2009년도에 2017년까지 패시브하우스 수준으로 60%의 에너지절감을 달성하고, 2025년에는 신축건축물의 제로에너지건축물 의무화를 목표로 하는 장기적인 로드맵 수립하였으며 2017년 1월 제로에너지건축물 인증제를 시행하고 있음
- 그러나 국내에서는 아직 제로에너지 건축물에 대한 필요성 및 인식이 미흡하며 관련 기술의 성숙도도 높지 않아 적용과 확산에 어려움이 큼
- 특히 제로에너지건축물을 건설하기 위한 비용이 문제가 되고 있으며, 에너지성능 향상에 따른 공사비용이 건축계획 방법과 운용방식, 적용시스템과 자재 등과 관련하여 편차가 크기 때문에 현실적이고 경제적인 적절한 예측기법이 필요
- 본 연구에서는 이러한 제로에너지건축물의 이행촉진을 위하여 필요 기술과 그 적용 방법, 계획을 위한 부하예측 및 최적화 선정, 비용 추정을 위한 기법을 제시

■ 연구목적 및 개요

- 지속적인 기술개발과 자재기술 확보로 에너지 소요량을 줄이기 위한 다양한 방법들이 제안되고 있으나 적용하기 위한 비용적 측면에서의 현실화가 어려움
- 본 연구는 “저비용 제로에너지건축물 이행촉진을 위한 최적화 시뮬레이터 개발”의 2차년도 연구내용으로 제로에너지건축물을 구현하기 위한 기술들을 분석하고 경제적이고 최적화된 사전계획

을 위한 평가기법 도출에 목적

- 건축물 에너지성능 계산을 위하여 에너지요구량 최적화와 이를 위한 요소기술을 정의하고 신재생가능 에너지원 도입 검토를 수행하며, 최종적으로는 제로에너지 건축물의 경제성 평가를 위한 방법론을 분석
- 본 연구의 범위와 방법을 요약하면 다음과 같음
 - (1) 제로에너지 건축물 구현을 위한 에너지영향요소 및 성능범위 도출
 - 제로에너지 건축물의 개별성능에 따른 정량적 성능평가를 위해 에너지 성능에 영향을 미치는 주요건축계획요소를 문헌조사 검토, 국내외 에너지절약주택 사례 분석등을 통해 주요 건축계획요소 및 성능 조사 분석
 - 도출된 건축계획요소 및 성능범위를 기준으로 건축적 설계변수 도출
 - (2) 제로에너지 건축물 에너지 성능 최적화 평가
 - 제로에너지 건축물 설계변수의 적용 별 에너지 특성 분석
 - 에너지 성능에 미치는 영향을 알아보고자 실험계획법에 의한 시뮬레이션을 실시하고, 통계적 기법인 분산분석을 이용해 유의한 변수를 파악
 - 분산분석 결과 값을 바탕으로 설계변수들이 건물의 연간 냉난방부하에 미치는 기여율 및 영향력을 분석하고 설계변수 평가표 작성
 - (3) 건축물 냉난방 부하량 예측 요소 모델도출
 - 시뮬레이션 결과 값에 대한 다중 회귀 분석 검토
 - 건물의 냉난방 부하 예측 모델 분석
 - (4) 제로에너지 건축물 구현을 위한 신재생에너지 공급
 - 신재생에너지의 종류와 특성 검토
 - 태양광 에너지 적용 제로에너지 건축물의 신재생에너지 발전량
 - RETscreen을 이용한 태양광 발전량 분석
 - (5) 제로에너지 건축물의 경제성 추정분석 검토
 - 경제성 분석 방법 검토
 - 제로에너지 건축물 분석을 위한 요소 분석

(나) 연구결과

제로에너지 건축물 기술요소 분석

- 제로에너지의 기술요소는 에너지부하를 줄여 건축물 에너지요구량을 절감하기 위한 패시브설계 요소기술과 건축물에 필요한 에너지를 최소한의 외부 에너지를 이용 하여 공급하기 위한 액티브 설계 기술로 분류 됨
- 패시브 계획기술
 - 건축물의 에너지부하를 줄이기 위해서는 열에너지손실을 최소로 하고, 열 에너지획득 은 최대 로 하여야 하는데 이를 위해 건축물의 형태, 배치, 실 구성 등 계획을 통한 에너지부하 절감과 단열, 기밀, 열교차단과 같은 요소의 성능향상을 통한 에너지부 하 절감방안이 가능
 - 전도열손실 방지 요소기술로서 단열방식, 외피단열, 열교차단, 창호의 단열 성능이 반영되어야 하며 법규에서 정하는 기준 이상의 자재적용으로 외피를 통한 손실 최소화 필요

[표 2-8] 패시브 설계 주요 요소기술

설계목표	계획 기술요소		세부 시공 기술요소	
전도열 손실방지	단열방식	내단열/외단열	(건축)외단열공사	외단열용 거꾸집 비계설치 포세린타일 지정타일 복합방수 외단열마감
		외피 열관류율	(건축)단열공사	파라펫
				단열재(록셀)
				압출법(XPS)
				발코니열교차단재
	열교차단	부위별 열교방지 설계적용	(건축)열교차단	창호열교차단재 ALC블록
				플라스틱윈도우
	창호(창&문) 열관류율	창유리	(건축)창호공사	운반 및 장비
		창프레임	(건축)문공사	단열문
		단열문	(건축)기밀공사	기밀테이프(건축)
침기열 손실방지	기밀	틈새 여부	(기계)기밀공사	일반코킹공사
			(기계)기밀공사	기밀테이프(기계)
태양에너지조절	차양	외부블라인드	(건축)창호공사	블라인드
	창호	일사유입 조절	(건축)창호공사	SHGC

● 액티브 계획기술

- 액티브설계 기술은 건축물이 필요로 하는 용도별 에너지를 효율적으로 공급하기 위한 고효율 설비시스템 계획
- 건물의 에너지 절감을 위한 효율적 시스템 운영은 최적화된 시스템 용량을 선정하여 설계되어야 하며 과다 설계된 시스템은 운영 시 비효율적인 작동에 따라 더 많은 에너지 소비와 운영비용이 소요됨
- 액티브설계 기술에 경우 다양한 설비들을 일관된 기준으로 구분하여 정의하는 것이 쉽지 않으며, 본 연구에 적용된 기술에 한정하여 공급용도, 에너지원, 공급형태 등을 기준으로 정리

[표 2-9] 액티브 설계 주요 요소기술

설계목표	계획 기술요소		세부 시공 기술요소	
냉/난방효율향상	고효율열원	지역난방	(기계)냉난방설비	고효율열교환기
		마이크로열병합		고효율열병합
		고효율보일러		고효율보일러
		고효율냉동기		터보냉동기
		고효율히트펌프		SUPER EHP
		데시컨트히트펌프		데시컨트히트펌프
		급탕히트펌프		급탕히트펌프
	고효율 HVAC	바닥급기시스템	(기계)냉난방설비	바닥급기시스템
		칠드빔시스템		칠드빔시스템
		복사냉난방		복사냉난방
		DOAS		DOAS
		고성능VAV		고성능VAV
열회수를 통한 에너지손실 최소화	고효율환기시스템	ERV	(기계)환기장치	열회수환기장치
		하이브리드환기	(기계)자동제어	하이브리드 제어
	열회수시스템	하수열회수시스템		하수열히트펌프
조명시스템 절감	고효율 조명	LED	(전기)LED조명	세대조명
				공용조명
			(전기)자동제어	전력제어
				조명제어

● 신재생 계획기술

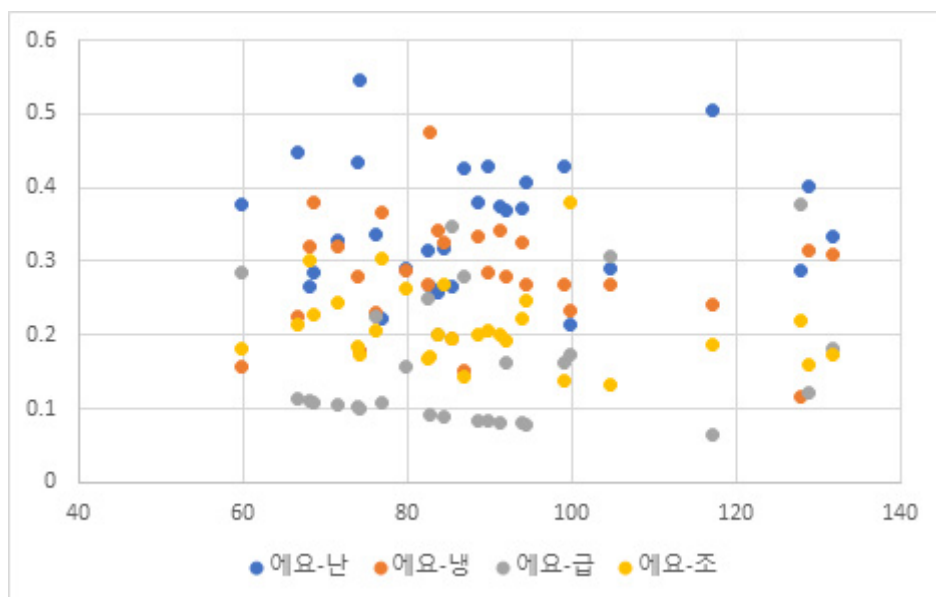
- 일반적으로 건축물에서 적용 가능한 신재생에너지 시스템으로는 설비는 태양광, 태양열, 지열, 소형풍력, 연료전지 등이 있으며, 한국에너지공단에서 신재생에너지보급을 목적으로 설치비용의 일부를 지원
- 이중 건축물 적용에 적용성이 가장 큰 태양광에 대해서는 별도의 장에서 세부적으로 기술

[표 2-10] 신재생에너지 주요 요소기술

적용기술	구 분	투입 에너지원	생산 에너지	소요량 계산 시 분류
신재생에너지 기술	태양광	-	전기	신재생에너지
	태양열	-	열	신재생에너지
	지열	전기	열	신재생에너지 (해외, 고효율설비)
	소형풍력	-	전기	신재생에너지
	연료전지	도시가스	전기, 열	신재생에너지 (해외, 고효율설비)

제로에너지 건축물 에너지 성능 최적화평가

- 건축물의 에너지 사용량을 예측하기 위해서는 건물 운영에 따른 에너지 분석 시뮬레이션 분석이 필요 하며 관련 알고리즘 검토
- 건축물 에너지 효율등급 주요 항목 분석
- 국내 현황 분석 및 효율등급 1등급을 위한 주요 인자 분석을 위하여 2014년부터 2018년 까지 수행된 72개 case를 다음 표와 같이 분석하였으며 대부분의 건축물이 에너지 효율1등급의 우수한 에너지 성능
- 건축물의 1차 에너지 소요량의 분포는 다음과 같으며 우수한 효율등급을 획득하기 위하여 일정 구간에 선형으로 분포하는 경향을 보임
- 벽체의 단열성능과 난방에너지 요구량과의 관련성이 있으며, 결정계수는 평가프로그램의 특성이 반영



[그림 2-15] 1차에너지 소요량 분포

- 실험계획법에 의한 시뮬레이션

- 제로에너지 건축물을 위한 에너지 절감기술 적용은 건축물의 종류와 목적에 따라 다양한 방법이 있으며, 본 연구에서는 공동주택을 기준으로 분석
- 공동주택의 주요 설계변수를 통한 냉난방 부하 예측을 위해서는 각 설계변수를 적용하여 냉난방부하를 분석할 수 있는 대상건물과 시뮬레이션 조건 필요
- 공동주택의 에너지 사용량 저감을 위한 주요인자로 영향이 클 것으로 예상되는 패시브 건축 기준에서 정하고 있는 항목 선정

- 시뮬레이션 결과

- 각 시뮬레이션 조건에 따라 건물 에너지 해석 프로그램인 eQuest를 이용하여 시뮬레이션을 실시하고 그 결과를 정리
- 시뮬레이션 결과, 연간 1차 난방 에너지 소요량의 평균은 $81 \text{ kW/m}^2\text{yr}$, 연간냉방 에너지 소요량은 $19 \text{ kW/m}^2\text{yr}$ 으로 나타났으며, 계산 결과는 분산분석을 위한 데이터베이스로 활용
- 패시브 주택 요소 적용 시 최소 연간 난방부하는 $53 \text{ kW/m}^2\text{yr}$, 연간 냉방부하는 $17 \text{ kW/m}^2\text{yr}$ 가 가능

다중회귀분석을 통한 부하량 예측

- 건물의 에너지성능은 선정된 설계변수에 의해 다양하고, 복합적으로 영향을 받으며 이때 다수의 설계변수들 중에서 유의한 변수를 선별하는 방법으로 분산분석을 활용
- 분산분석을 실시하고 분산분석 결과값을 바탕으로 설계변수들이 건물의 연간 냉난방부하에 미치는 효과 및 영향력을 분석하여 설계변수 평가표를 작성하였으며, 이를 통해 설계변수의 상대적인 중요성을 파악하고 건물의 냉난방부하를 쉽고 정확 하게 계산할 수 있는 회귀식 도출
- 설계변수의 수준 변화에 따라 난방부하의 변화에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 난방시스템의 효율이 약 22%를 차지하여 가장 큰 영향을 미치며, 열회수환기장치의 효율 (12.9%), 전면창 면적비(10.3%)가 비교적 크게 나타남
- 다음으로 창호의 열관류율(8.4%), 침기율(7.1%), 벽체열관류율(6.1%), 향(5.8%), 순으로 영향
- 설계변수의 수준 변화에 따른 냉방부하의 변화에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 냉방시스템의 효율이 46%를 차지하여 가장 영향이 큼
- 다음으로 침기율(10.6%), 세대면적(10.2%), 열회수환기장치 효율(9.1%), 창면적비(7.1%), 향 (5.0%)로 다양

❏ 제로에너지 건축물 구현을 위한 태양광활용

- 이상적인 제로에너지 건축물은 화석에너지의 공급이 전혀 없이 신재생에너지로 에너지를 충당하는 건축물이나 실제적으로는 에너지 소비가 많은 시간이나 계절에는 화석에너지원의 공급을 받고 차후 생산된 신재생에너지를 공급망에 돌려주는 방식이 보편적
- 비교적 설비가 간단하고 건축물 이용이 용이한 태양광 활용 방식이 많으며 본연구에서는 제로에너지 건축물을 구현하는 신재생에너지원으로 태양광시스템에 대하여 분석
- 태양광발전을 이용하기 위한 기본적 시스템구성방식은 태양전지를 비롯한 제어장치, 인버터, 계통 연계장치 및 축전지로 구성되며 이에 대한 분석평가 수행
- 태양광 에너지 산정 프로그램 (RETScreen)을 활용하여 신재생에너지원으로 사용하는 특정설비의 시행 타당성 분석을 위한 시장조사, 정책분석을 통한 사업 예비 가능성 평가 프로세스 검토

❏ 제로에너지 건축물 경제성 추정분석 검토

- 경제성 분석방법으로 회수기간법, 순현재가치법, 내부수익률법, 비용·편익비(B/C Ratio)에 대한 기초적 이론과 분석론 검토
- 제로에너지 건축물에 대한 경제성 평가를 위해 비용항목으로 제로에너지 주택 건축시 추가적으로 투자되는 공사비를 비용으로 추정
- 차후 자재비용 data를 활용하여 건축물 시스템 부하예측 식과 연동하여 비용 최소화 방식 검토

(3) 제로에너지 성능 수준별 비용 추정 로직 개발

(가) 연구내용

❏ 연구배경 및 동향

- 건축에너지 소비에 있어 건축물에서 차지하는 비중이 미국의 경우 약 46%에 이르고 국내에서도 약 25%에 이르고 있어 건축물은 에너지의 주요 소요처임
- 전 세계적으로 지구환경의 보전을 위한 탄소저감 등 지속적인 개발을 위해 WBCSD(World Business Council for Sustainable Development)에서 건축물에서 소비되는 에너지의 사용량을 획기적으로 줄이고 변혁을 위한 일환으로 제로에너지빌딩(Zero Energy Building)을 주창
- 우리나라에서도 2009년도에 2017년까지 패시브하우스 수준으로 60%의 에너지절감을 달성하고, 2025년에는 신축건축물의 제로에너지건축물 의무화를 목표로 하는 장기적인 로드맵 수립하였으며 2017년 1월 제로에너지건축물 인증제를 시행하고 있음

- 그러나 국내에서는 아직 제로에너지 건축물에 대한 필요성 및 인식이 미흡하며 관련 기술의 성숙도도 높지 않아 적용과 확산에 어려움이 큼

■ 연구방법 및 목적

- 건축물의 사용에너지절감을 위해 요구되는 건축물의 단열성 향상, 냉방과 난방 부하를 공급하기 위한 열원시스템의 효율향상 등의 많은 설계변수에 대한 결정과 이의 영향을 분석하는데 많은 시간과 노력이 필요
- 국내의 설계 인허가와 시공 일정 등을 고려할 때, 보다 신속하고 신뢰성이 있는 최적화 설계 평가 기법에 대한 필요성이 큼
- 본 연구는 “저비용 제로에너지건축물 이행촉진을 위한 최적화 시뮬레이터 개발”의 3차년도 연구 내용으로 제로에너지건축물을 구현하기 위하여 공동주택 및 업무용 건축물의 에너지절감 요소들을 유형화하고 효율적이고 경제적인 계획을 위한 최적화 설계 프로세스를 도출

(나) 연구결과

- 공동주택 ECO
 - 통계청의 행정구역별 주택유형에 따르면 2017년 기준으로 전국 평균 60%가 공동주택에 거주하며, 특히 세종특별자치시의 경우에는 65%, 광주광역시 63.7% 등 전국적으로 50% 이상이 아파트에 거주
 - 국내 주요 거주 유형인 공동주택에 대한 에너지절감요소 ECO의 규정이 중요하며 선행연구와 시범단지 시공 등을 통해 항목별 주요도 평가
 - 공동주택은 다른 건축물에 비교하여 정형화되어 있고 시공하자를 고려하여 최신 시스템의 적용이 제한적
 - 현재까지 개발되어 적용된 기술을 기준으로 ECO 항목 유형화
- 업무용 건축물 ECO
 - 업무용 건축물은 다양한 설계목표에 따라 상대적으로 적용이 가능한 신기술 선택이 포괄적이며 시스템의 적용이 다양
 - 판매를 목적으로하는 업무용건축물은 경제성에 대한 요구가 크며 에너지절감을 위한 신기술의 적용이 제한적
 - 업무용 건축물의 에너지절약요소 ECO 도출

PART 2. 제로에너지건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시

- 세부연구목표 : 1. 공동주택 및 업무시설 성능수준별 설계기법 분석
2. 경제적인 제로에너지 건축물 설계방법 도출
3. 제로에너지 건축물 설계프로세스 구축 및 정책방안 도출

주요 연구내용 및 성과물

1. 공동주택 및 업무시설 성능 수준별 설계기법 분석

- 제로에너지건축물 에너지 분석 모형개발
 - 제로에너지성능 수준별 기술옵션 목록화
 - 공동주택 및 업무시설 성능수준별 설계기법 분석

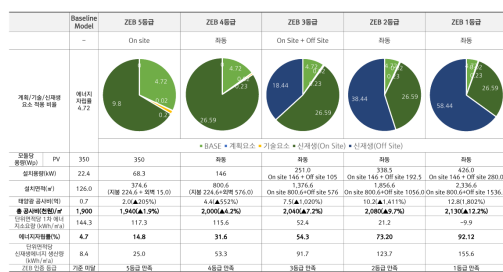
설계기법	요소기술	세부속성정의
1. 건축물의 부하를 줄이기 위한 설계기법	3-1-1 차양면적 증가를 고려한 건축물 배치 3-1-2 차양면적 증가를 고려한 건축물 배치 3-1-3 차양면적 증가를 고려한 건축물 배치 3-1-4 차양면적 증가를 고려한 건축물 배치 3-1-5 차양면적 증가를 고려한 건축물 배치	차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영
2. 차양면적에 따른 적용하는 기법	3-2-1 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-2-2 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-2-3 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-2-4 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-2-5 차양면적에 따른 적용하는 기법	차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영
3. 그늘을 시스템을 활용하는 기법	3-3-1 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-3-2 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-3-3 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-3-4 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-3-5 차양면적에 따른 적용하는 기법	차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영
4. 재생 가능한 에너지를 도입하는 기법	3-4-1 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-4-2 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-4-3 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-4-4 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-4-5 차양면적에 따른 적용하는 기법	차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영
5. 건축물 에너지를 최소화하는 기법	3-5-1 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-5-2 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-5-3 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-5-4 차양면적에 따른 적용하는 기법 3-5-5 차양면적에 따른 적용하는 기법	차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영 차양, 통풍, 차양 등 구조물 관련 요소 반영

2. 경제적인 제로에너지 건축물 설계방법 도출

- 경제적인 설계방법 도출
 - Base Model에 대한 에너지자립률 및 1차 에너지소요량 분석을 통해 계획/기술/신재생 요소별 민감도 분석

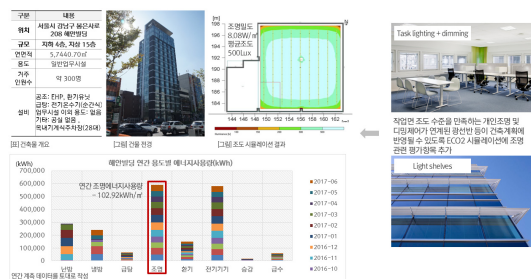
구분	성능 수준	난방	냉방	전력	합계	에너지자립률 (%)	1차 에너지소요량 (kWh/m ² ·a)
Baseline Model	기타 평균 성능수준	29.6	35.7	10.3	46.8	21.9	144.3
AB-Act1	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act2	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act3	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act4	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act5	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act6	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act7	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act8	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act9	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act10	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act11	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act12	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
AB-Act13	에너지 COP	29.1	32.4	10.3	45.2	21.9	138.9
평균		29.5	31.3	10.3	41.6	21.1	133.7

- 유형 및 설계요소별 공사비 분석
 - 설계요소 세분화 및 정량화
 - 설계요소별로 성능 수준에 따른 공사비 분석 수행



3. 제로에너지 건축물 설계프로세스 구축 및 정책방안 도출

- 제로에너지건축물 녹색건축 설계프로세스 제안
 - 통합설계 프로세스 및 분석 항목 작성
 - 통합설계 시스템 제안
- 제로에너지 건축물 관련 정책방안 제안
 - 제로에너지건축물 녹색건축 설계프로세스 적용의 문제점 제시
 - 건축 분야 도서작성의 문제점 및 관련 정책 제안
 - 인증제도 관련 문제점 및 관련 정책 제안



핵심성과 2	제로에너지건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시	
정의	제로에너지 건축물의 경제적인 구현을 위한 유형별 합리적인 설계안 구축	
목적	제로에너지 건축물의 유형별 구현 기술 특성을 분석하고 제로에너지 공사비 구성요소 추출 및 제로에너지건축물 성능 수준별 비용 산출 및 합리적 에너지 성능지표 제안하여 경제적인 제로에너지 건축물 활성화 구축	
성능목표	(기존기술 수준) - 제로에너지 건축물을 위한 개별 기술요소들에 대한 비용 및 성능 효과를 고려한 경제적 분석이 매우 미흡한 실정임 - 현재의 건축설계 프로세스 상에서 제로에너지 건축물을 구현하기 위해 패시브, 액티브, 신재생에 대한 합리적인 검토가 가능한 프로세스는 부재한 상황임 - 제로에너지 건축물의 구현 기술은 크게 패시브적 기술, 액티브적 기술, 신재생에너지 시스템, 제어시스템으로 구성되며, 소비되는 최소의 에너지를 태양광, 풍력 등을 통하여 공급함으로써 건축물의 소비에너지를 제로화할 수 있으나, 건물의 구성, 대지의 조건 그리고 경제적인 문제로 인하여 현실적인 제약이 있음 (개발기술 수준) - 건축설계에 적용할 수 있는 설계기법을 제안하였음 - 건축설계 단계 별로 제로에너지 건축물 구현을 위한 검토 필요사항에 대해 프로세스를 도출하였음 - 제로에너지 건축물 등급 달성을 위한 방안 및 증가되는 공사비를 도출하였음	
성과달성 책임자 (소속기관)	이광환 ((주)해안종합건축사사무소)	
소요기간	'16.06.27. ~ '19.04.27. (34개월)	
성과달성 확인방법	• 조사 및 분석 결과 • 보고서(방법 제안)	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허	출원 : 0건
		등록 : 0건
	논문	0건
	시제품	0건
	S/W	0건

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

2-1. 제로에너지건축물 녹색건축 설계시스템 구축

(1) 공동주택 및 업무시설 성능수준별 설계기법 분석

(가) 연구내용

■ 공동주택

- 공동주택 베이스모델 선정을 위한 기준 설정을 위해 친환경주택 성능평가 평가기관 제공자료 중 2012-2015년 평가 건인 3,883단지를 대상으로 통계적 기법 기반의 건물 규모 경향을 분석하였음. 단지 평균층수 분포와 전용면적-평균층수 간의 상관관계를 분석하였을 때 8층(15.77%)~20층(15.63%)이 빈도가 가장 높게 나타났음. 따라서 전용면적 59~84㎡, 층수 18~20층, 기준층 세대수 4호 조합의 공동주택으로 공동주택으로 베이스모델의 범위를 도출하였음

[표 2-11] 공동주택 규모 선정 조건 및 분포도

구분	상세내용
수집자료	친환경주택 성능평가 평가기관 제공자료
수집범위 접근방법	2012~2015년 전체 평가 건의 18.6% (전체 : 3,883단지) 통계적 기법 기반의 건물 규모 경향 분석
접근방법	통계적 기법 기반의 건물 규모 경향 분석

전용면적 유형별 분포	단지별 평균층수 추정 그래프

- 공동주택은 단지로 계획되는 특성을 반영하기 위해 통계에서 추출된 단위세대 전용면적들로 구성되는 단지를 베이스모델로 선정하였음

[표 2-12] 공동주택단지 베이스모델 개요

구분	상세내용	조감도
건축물명	강남 A7블록	
대지위치	서울시 강남구 자곡동 일원	
대지면적	47,683.00㎡	
건축면적	7,927.69㎡	
연면적	106,995.72㎡	
용적률	16.63%	
건폐율	159.97%	
규모	10동, 지상 12~15층, 지하 1층	
생산에너지	연간 236kWh (태양광 집열판) (총에너지소비량의 7.3%)	
G30 : 전용면적 59㎡ 4호 조합, G60 : 전용면적 84+74㎡ 4호 조합		

- 전용면적 59㎡ 4호 조합은 일반 공동주택 대비 30% 에너지 절감주택으로 계획하였음

[표 2-13] 공동주택단지 베이스모델 에너지 성능 개요

구분	상세내용
성능 개요	일반 공동주택 대비 30% 에너지 절감주택
건축 설계 기법	외벽 : 0.231W/㎡·K (비드법보온판2종1호)
	바닥 : 0.241W/㎡·K (비드법보온판2종1호)
	지붕 : 0.119W/㎡·K (비드법보온판2종1호)
	창호 : 1.300W/㎡·K (THK22 로이복층유리 이중창) 기밀성능 1등급
기계설비	열원설비 : 지역난방, 제2종 기계환기장치(급기 전용)
전기설비	조명기구 : LED조명, 대기전력 차단장치

- 전용면적 $84+74\text{m}^2$ 4호 조합은 일반 공동주택 대비 60% 에너지 절감주택으로 계획하였음

[표 2-14] 공동주택단지 베이스모델 에너지 성능 개요

구분	상세내용
성능 개요	일반 공동주택 대비 60% 에너지 절감주택
건축 설계 기법	외벽 : $0.105\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ (내·외단열 비드법보온판2종3호)
	바닥 : $0.120\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ (비드법보온판2종1호)
	지붕 : $0.119\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ (비드법보온판2종1호)
	창호 : $1.500\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ (THK39 더블로이삼중유리 단창) / 기밀성능 1등급
	슬래브 열교차단재 적용
기계설비	열원설비 : 지역난방, 폐열회수 환기장치
전기설비	조명기구 : LED조명, 대기전력 차단장치
신재생에너지	태양광 집광판(PV) : $0.033\text{kW}/\text{세대}$

업무시설

- 업무시설 베이스모델 선정을 위한 기준 설정을 위해 세움터 기재 자료 중 2014-2015년 서울지역의 업무시설 총 120건을 바탕으로 업무시설 건축물의 규모 경향을 도출하였음. 통계를 통해 저층 소규모군과 고층 중규모군으로 구분됨

[표 2-15] 업무시설 규모 선정 조건 및 분포도

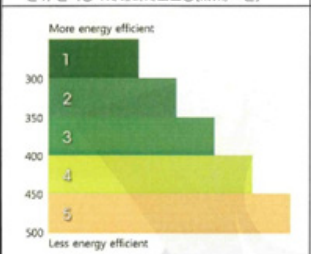
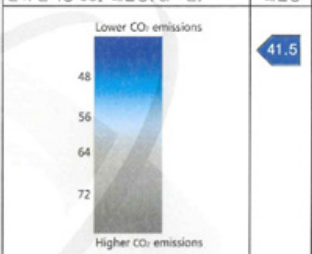
구분	상세내용	업무시설 규모 분포도
수집자료	세움터(건축물 대장) 기재 자료	
수집범위	2014~2015년 서울지역 업무시설	
접근방법	통계적 기법 기반의 건물 규모 경향 분석	
연면적 기준	20,000 m^2 이하(500 m^2 미만은 에너지절약계획 의무대상이 아니고, 20,000 m^2 이상은 거의 없어서 제외함)	
층수 기준	20층 이하 (21층 이상은 거의 없어서 제외)	

- 저층 소규모군에 대해서 다음 표와 같이 베이스모델을 선정하였음

[표 2-16] 업무시설 -저층 소규모군 베이스모델 개요

구분	상세내용	조감도
건축물명	한강로동 주민센터	
대지위치	서울시 용산구 용산동 5가 2-4번지	
지역지구	제3종 일반주거지역	
용도	공공업무시설, 노유자시설	
대지면적	1,700.30㎡	
건축면적	847.17㎡	
연면적	4,999.07㎡	
용적률	201.37%	
건폐율	49.82%	
규모	지상 5층, 지하2층	

[표 2-17] 업무시설 -저층 소규모군 베이스모델 에너지 성능 개요

구분	상세내용	에너지효율등급 인증내용																												
성능 개요	에너지효율등급 1등급_2014년 예비 인증(단위면적당 1차 에너지소요량: 236.6kWh/㎡·년)	건축물 개요 건축물명 : 한강로동 주민센터 준공연도 : 2014-5-30 주소 : 서울 용산구 용산동 5가 2-4번지 일대 층수 : 지하2층~지상5층 연면적 : 4,996.36(㎡) 주용도 : 업무시설 인증 개요 인증번호 : 14-업-에-1-0009 인증기관 : 한국시설안전공단 운영기관 : 에너지관리공단 에너지효율등급 단위 면적당 1차에너지소요량(kWh/㎡·년)  CO2 배출량 단위 면적당 CO2 배출량(kg/㎡·년)  용도별 에너지소요량 및 CO2 배출량 <table><tr><th>구 분</th><th>단위면적당 에너지소요량 (kWh/㎡·년)</th><th>단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/㎡·년)</th><th>단위면적당 CO2 배출량 (kg/㎡·년)</th></tr><tr><td>난 방</td><td>36.2</td><td>46.6</td><td>8.4</td></tr><tr><td>급 탕</td><td>16.9</td><td>20.1</td><td>3.7</td></tr><tr><td>냉 방</td><td>36.5</td><td>51.8</td><td>9.3</td></tr><tr><td>조 명</td><td>21.1</td><td>58.1</td><td>9.9</td></tr><tr><td>환 기</td><td>21.8</td><td>60</td><td>10.2</td></tr><tr><td>합 계</td><td>132.5</td><td>236.6</td><td>41.5</td></tr></table>	구 분	단위면적당 에너지소요량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 CO2 배출량 (kg/㎡·년)	난 방	36.2	46.6	8.4	급 탕	16.9	20.1	3.7	냉 방	36.5	51.8	9.3	조 명	21.1	58.1	9.9	환 기	21.8	60	10.2	합 계	132.5	236.6	41.5
구 분	단위면적당 에너지소요량 (kWh/㎡·년)		단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 CO2 배출량 (kg/㎡·년)																										
난 방	36.2		46.6	8.4																										
급 탕	16.9		20.1	3.7																										
냉 방	36.5		51.8	9.3																										
조 명	21.1		58.1	9.9																										
환 기	21.8		60	10.2																										
합 계	132.5		236.6	41.5																										
건축 설계 기법	외벽: 0.209~0.224W/㎡·K (비드법보온판2종1호)																													
	바닥: 0.150~0.159W/㎡·K (비드법보온판2종1호)																													
	지붕: 0.110~0.111 W/㎡·K (경질우레탄2종2호)																													
	창호: 1.942W/㎡·K (THK24 로이복층유리) 기밀성능 1등급																													
	창면적비: 19.83%																													
기계 설비	중앙 냉·난방 시스템(GHP) COP: 난방 1.48~1.58, 냉방 1.29~1.33																													
	보일러 효율: 난방 89.7%, 급탕 89.6%																													
전기 설비	조명기구 : LED 49W 평균조명밀도 : 5.3W/㎡																													
신재생 에너지	지열 : 77RT COP : 난방 3.87, 냉방 5.88																													

- 고층 중규모군에 대해서 아래 표와 같이 베이스모델을 선정하였음

[표 2-18] 업무시설 -고층 중규모군 베이스모델 개요

구분	상세내용	조감도
건축물명	역삼 오닉스타워	
대지위치	서울시 강남구 역삼동 653-2	
지역지구	도시지역, 3종일반주거지역, 일반상업지역, 중심지미관지구	
용도	업무시설,	
대지면적	643.10㎡	
건축면적	347.91㎡	
연면적	5,533.20㎡	
용적률	611.04%	
건폐율	54.10%	
규모	지상 13층, 지하5층	

[표 2-19] 업무시설 -고층 중규모군 베이스모델 에너지 성능 개요

구분	상세내용	에너지효율등급 인증내용																																																																																									
성능 개요	에너지효율등급 1+등급_2016년도 예비인증 (단위면적당 1차에너지 소 요량: 152.6kWh/㎡·년)	<table><tr><th colspan="2">건축물 개요</th><th colspan="2">인증개요</th></tr><tr><td>건축물명</td><td>: 역삼동 H-Tower</td><td>인증번호</td><td>: 16-비-에-1+-0072</td></tr><tr><td>준공연도</td><td>: 2018년 03월 01일</td><td>평가자</td><td>: 이송민</td></tr><tr><td>주 소</td><td>: 서울특별시 강남구 봉은사로 236 (역삼동)</td><td>인증기관</td><td>: 한국환경건축연구원</td></tr><tr><td>층 수</td><td>: 지하5층 / 지상13층</td><td>운영기관</td><td>: 한국에너지공단</td></tr><tr><td>연 면 적</td><td>: 5533.20(㎡)</td><td>유효기간</td><td>: 사용승인 또는 사용검사 완료일</td></tr><tr><td>건축물의 주된 용도</td><td>: 업무 시설</td><td colspan="2">인증등급</td></tr><tr><td>설계자</td><td>: (주)에안종합건축사사무소</td><td colspan="2">인증등급 : 1+등급</td></tr></table> <table><tr><th colspan="5">건축물 에너지효율등급 평가결과</th></tr><tr><th>단위면적당 에너지요구량(kWh/㎡·년)</th><th>요구량</th><th>단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡·년)</th><th>등급</th><th>단위면적당 CO₂ 배출량(kWh/㎡·년)</th><th>배출량</th></tr><tr><td></td><td>96.4</td><td></td><td>1+</td><td></td><td>31.8</td></tr></table> <table><tr><th colspan="5">에너지 용도별 평가결과</th></tr><tr><th>구분</th><th>단위면적당 에너지요구량 (kWh/㎡·년)</th><th>단위면적당 에너지소요량 (kWh/㎡·년)</th><th>단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/㎡·년)</th><th>단위면적당 CO₂ 배출량 (kWh/㎡·년)</th></tr><tr><td>냉방</td><td>37.1</td><td>46.3</td><td>52.3</td><td>9.4</td></tr><tr><td>난방</td><td>16.9</td><td>32.2</td><td>38.3</td><td>6.8</td></tr><tr><td>급탕</td><td>26.7</td><td>31.1</td><td>9.8</td><td>6.4</td></tr><tr><td>조명</td><td>15.7</td><td>14.1</td><td>36.6</td><td>6.6</td></tr><tr><td>환기</td><td></td><td>5.5</td><td>15.6</td><td>2.6</td></tr><tr><td>합계</td><td>96.4</td><td>129.3</td><td>152.6</td><td>31.8</td></tr></table>	건축물 개요		인증개요		건축물명	: 역삼동 H-Tower	인증번호	: 16-비-에-1+-0072	준공연도	: 2018년 03월 01일	평가자	: 이송민	주 소	: 서울특별시 강남구 봉은사로 236 (역삼동)	인증기관	: 한국환경건축연구원	층 수	: 지하5층 / 지상13층	운영기관	: 한국에너지공단	연 면 적	: 5533.20(㎡)	유효기간	: 사용승인 또는 사용검사 완료일	건축물의 주된 용도	: 업무 시설	인증등급		설계자	: (주)에안종합건축사사무소	인증등급 : 1+등급		건축물 에너지효율등급 평가결과					단위면적당 에너지요구량(kWh/㎡·년)	요구량	단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡·년)	등급	단위면적당 CO ₂ 배출량(kWh/㎡·년)	배출량		96.4		1+		31.8	에너지 용도별 평가결과					구분	단위면적당 에너지요구량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 에너지소요량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 CO ₂ 배출량 (kWh/㎡·년)	냉방	37.1	46.3	52.3	9.4	난방	16.9	32.2	38.3	6.8	급탕	26.7	31.1	9.8	6.4	조명	15.7	14.1	36.6	6.6	환기		5.5	15.6	2.6	합계	96.4	129.3	152.6	31.8
건축물 개요			인증개요																																																																																								
건축물명	: 역삼동 H-Tower		인증번호	: 16-비-에-1+-0072																																																																																							
준공연도	: 2018년 03월 01일		평가자	: 이송민																																																																																							
주 소	: 서울특별시 강남구 봉은사로 236 (역삼동)		인증기관	: 한국환경건축연구원																																																																																							
층 수	: 지하5층 / 지상13층	운영기관	: 한국에너지공단																																																																																								
연 면 적	: 5533.20(㎡)	유효기간	: 사용승인 또는 사용검사 완료일																																																																																								
건축물의 주된 용도	: 업무 시설	인증등급																																																																																									
설계자	: (주)에안종합건축사사무소	인증등급 : 1+등급																																																																																									
건축물 에너지효율등급 평가결과																																																																																											
단위면적당 에너지요구량(kWh/㎡·년)	요구량	단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/㎡·년)	등급	단위면적당 CO ₂ 배출량(kWh/㎡·년)	배출량																																																																																						
	96.4		1+		31.8																																																																																						
에너지 용도별 평가결과																																																																																											
구분	단위면적당 에너지요구량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 에너지소요량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/㎡·년)	단위면적당 CO ₂ 배출량 (kWh/㎡·년)																																																																																							
냉방	37.1	46.3	52.3	9.4																																																																																							
난방	16.9	32.2	38.3	6.8																																																																																							
급탕	26.7	31.1	9.8	6.4																																																																																							
조명	15.7	14.1	36.6	6.6																																																																																							
환기		5.5	15.6	2.6																																																																																							
합계	96.4	129.3	152.6	31.8																																																																																							
건축 설계 기법	외벽: 0.230~0.252W/㎡·K (경질우레탄2종2호)																																																																																										
	바닥: 0.150~0.204W/㎡·K (압출법보온판1호)																																																																																										
	지붕: 0.116~0.117W/㎡·K (경질우레탄2종2호)																																																																																										
	창호: 1.398W/㎡·K (THK28 로이복층유리) SHGC 0.3, 기밀성능 1등급																																																																																										
	창면적비: 31.68%																																																																																										
기계 설비	개별 냉·난방 시스템(GHP) COP: 난방 1.37, 냉방 1.18																																																																																										
	환기: 난방 70.5%, 냉방 60.7%																																																																																										
	보일러(급탕용) 효율: 91.4%																																																																																										
전기 설비	조명기구 : LED 40W																																																																																										
	평균조명밀도 : 7.377W/㎡																																																																																										
신재생 에너지	태양광 집광판(PV): 43kW																																																																																										
	설치계획: 남향, 45도 각도																																																																																										

(나) 연구결과

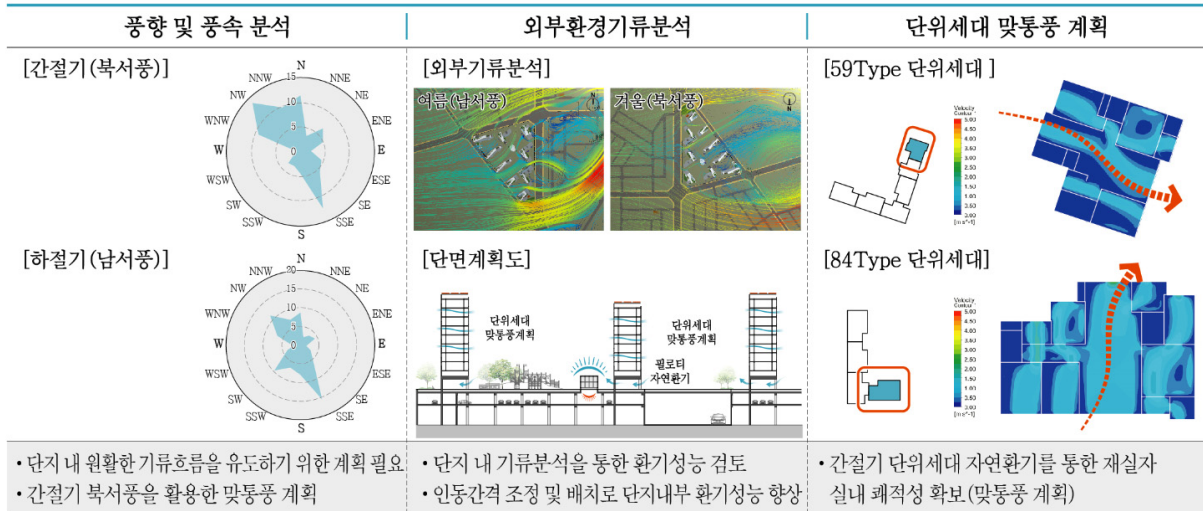
 공동주택

- ZEB 설계 프로세스 구축을 위해 아래 표와 같은 디자인프로세스 및 설계기법을 적용하고자 함
- 공동주택 현상설계 프로젝트에서 이러한 디자인프로세스 및 설계기법을 적용해 보았음

[표 2-20] 공동주택 - 디자인 프로세스에 따른 설계 기법

단계	프로세스	설계기법		해당설계단계
패시브 (건축)	1단계 건축물 부하 절감	부지내 옥외 환경의 적정화	건물배치의 적정화 - 통풍/일조 외부계획의 적정화 - 녹화/수면 확보	기획 계획 중간
		옥내 환경의 적정화	열환경-온도/습도 빛환경-조도 공기환경-실내공기질	
		부하의 억제	일사광선 건물외피 단열강화 내부발열저감	
	2단계 자연에너지 이용	실내환경의 최적화	자연채광	계획 중간
			자연환기	
			지중열, 태양열 이용	
액티브 (기계, 전기)	3단계 설비·시스템의 고효율화	-	조명설비	중간 실시
			열원설비	
			반송설비	
			개별분산시스템	
			전기설비	
			기타설비	
	4단계 재생가능한 에너지 생산	-	미이용에너지활용	계획중간
			자원(물)에 대한 배려 재료에 대한 배려 폐기물 저감 태양광/태양열 지열/풍력/연료전지	
매니지 먼트	5단계 에너지 매니지먼트	-	Life Cycle Energy Management 실시	실시 준공후
			Building Energy Management 활용	
		-	자원·재료에 관한 고려	
		-	오프사이트에서의 노력	
		-	지역에너지시스템과의 연계	

● 건축물 부하 절감 및 자연에너지 이용을 통한 단지 및 세대의 자연환기 최적화 설계



[그림 2-16] 단지 및 세대별 원활한 환기 및 맞통풍을 통한 쾌적성 확보

● 재생가능한 에너지 생산을 위한 신재생 에너지 설치 계획 사례



[그림 2-17] 신재생 에너지 설치 계획 및 활용 계획 수립

업무시설

- 업무시설 베이스모델(저층 소규모모군)에 대한 에너지성능 목표를 ZEB 등급에 맞는 성능으로 개선한 경우 절감량을 ECO2 시뮬레이션을 통해 도출하였음

설계기법	요소기술	에너지성능 (현재)	ZEB 성능 개선 (효율등급 1'', ZEB S등급)	절감량
1. 건축물의 부하를 줄이기 위한 설계기법	1-1	-	-	72.7% 절감
	1-2	-	-	
	1-3	40%	변경없음	
	1-4	외벽:0.21, 최하층바닥:0.165, 최상층지붕:0.111, 창 및 문:1.941	외벽:0.21, 최하층바닥:0.165, 최상층지붕:0.111, 창 및 문:1.7	
	1-5	SHGC:0.5, 기밀성능:1등급	변경없음	
	1-6	-	-	
	1-7	1.5	변경없음	
	1-8	-	-	
2. 자연에너지를 이용하는 기법	2-1	-	-	
	2-2	-	-	
	2-3	-	-	
	2-4	-	-	
3. 고효율 시스템을 활용하는 기법	3-1	보일러:89.3%, 난방:1.33, 냉방:1.33	보일러:89.3%, 난방:1.58, 냉방:1.33	
	3-2	환기-난방:73.6%, 냉방:73.6%	변경없음	
	3-3	개별작동방식	변경없음	
	3-4	LED 30W	변경없음	
	3-5	15	10	
	3-6	-	-	
	3-7	-	-	
4. 재생 가능한 에너지를 도입하는 기법	4-1	-	태양광 패널 200kW(남향, 45°)	
	4-2	지열 92kW(개방형)	지열 92kW(개방형)	
	4-3	-	-	
5. 건축물 에너지를 매니지먼트하는 기법	5-1	-	-	
	5-2	-	-	

[그림 2-18] 기존안 및 ZEB 성능 개선안 비교표 및 절감량 (저층 소규모모군)

- 업무시설 베이스모델(고층 중규모모군)에 대한 에너지성능 목표를 ZEB 등급에 맞는 성능으로 개선한 경우 절감량을 ECO2 시뮬레이션을 통해 도출하였음

설계기법	요소기술	에너지성능 (현재)	ZEB 성능 개선 (효율등급 1'', ZEB S등급)	절감량
1. 건축물의 부하를 줄이기 위한 설계기법	1-1	-	-	72.5% 절감
	1-2	-	-	
	1-3	40%	변경없음	
	1-4	외벽:0.23, 최하층바닥:0.15, 최상층지붕:0.117, 창 및 문:1.4	외벽:0.20, 최하층바닥:0.14, 최상층지붕:0.11, 창 및 문:1.2	
	1-5	SHGC:0.3, 기밀성능:1등급	변경없음	
	1-6	-	-	
	1-7	1.5	변경없음	
	1-8	-	-	
2. 자연에너지를 이용하는 기법	2-1	-	-	
	2-2	-	-	
	2-3	-	-	
	2-4	-	-	
3. 고효율 시스템을 활용하는 기법	3-1	보일러:91.4%, 난방:1.37, 냉방:1.18	보일러:91.4%, 난방:1.58, 냉방:1.33	
	3-2	환기-난방:70.5%, 냉방:60.7%	환기-난방:80%, 냉방:80%	
	3-3	개별작동방식	변경없음	
	3-4	LED 40W	변경없음	
	3-5	7,377	변경없음	
	3-6	-	-	
	3-7	-	-	
4. 재생 가능한 에너지를 도입하는 기법	4-1	태양광 패널 13kW(남향, 45°)	PV : 170kW(남향, 45°) BIPV : 128kW	
	4-2	-	-	
	4-3	-	-	
5. 건축물 에너지를 매니지먼트하는 기법	5-1	-	-	
	5-2	-	-	

[그림 2-19] 기존안 및 ZEB 성능 개선안 비교표 및 절감량 (고층 중규모모군)

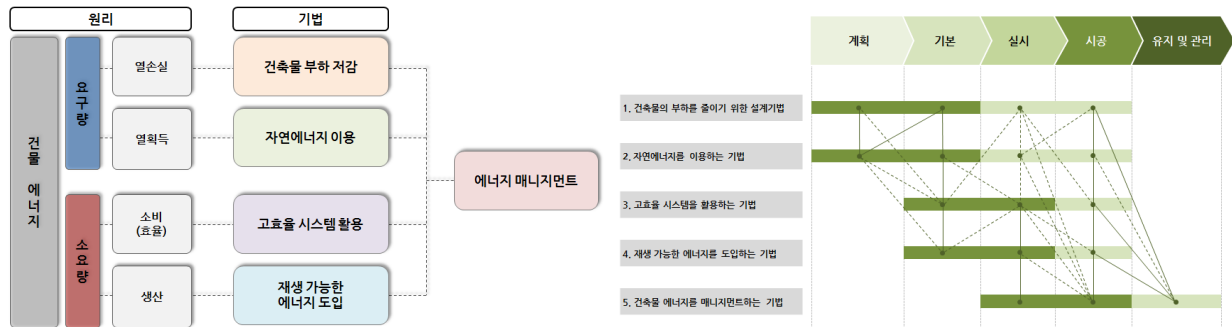
1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

- ZEB 구현을 위한 설계기법을 도출하기 위해 건물 에너지 및 설계 프로세스와의 상호 연관성을 이해하고 통합적인 고려를 하였음



[그림 2-20] 건물에너지에 따른 설계기법 다이어그램

[그림 2-21] 설계 프로세스의 상호 연관성



[그림 2-22] 설계기법 및 요소기술 도출 과정

(2) 경제적인 제로에너지건축물 설계방법 도출

(가) 연구내용

- 2020년 공공부문, 2025년 민간부문 제로에너지건축물 의무화 시행을 앞두고, 제로에너지 건축물 보급 활성화를 위해 건축설계 분야를 위한 경제적인 설계방법이 요구됨
- 건축설계 프로세스에서 건물 에너지 절감을 위한 노력은 건축 인허가 시에 에너지절약설계 기준을 준수하고, 인증이 요구되는 경우 이에 따라 해당 등급을 달성하는 것을 목표로 진행하고 있음
- 건축설계 초기 단계에서 건물 에너지 성능에 대한 목표치를 설정하지 않고, 점수 및 인증 등급을 만족하는 수준의 계획으로는 제로에너지건축물을 구현하기 어려움
- 건축설계 프로세스에 녹색건축 설계기법을 적용한 녹색건축 통합설계 프로세스를 통해 합리적이고 경제적인 제로에너지건축물을 구현하기 위한 실질적인 방안 마련이 필요함
- 건축물의 용도별(주거용/비주거용), 건물의 크기, 용도에 따른 합리적인 설계 방안을 순차적으로 제시하며, 최적비용에 근거한 제로에너지건축물의 의무화 수준 설정 방안을 제시하고자 함
- 통합설계 프로세스를 통해 건축설계 프로세스에서 제로에너지건축물 계획을 위해 필요한 계획요소(패시브), 기술요소(액티브), 신재생 요소를 세분화 및 정량화 하고, 이를 적절하게 적용할 수 있는 판단기준을 제시하고자 함

[표 2-21] 연구진행 프로세스



(나) 연구결과

■ Baseline Model 설정 및 ECO2 분석

- 제로에너지건축물의 적용 요소별 성능을 ECO2로 분석하기 위해 Baseline Model을 선정함
 - Baseline Model은 서울시 녹색건축물 설계기준 '나'등급(연면적 1만㎡~10만㎡)에 해당되며 중규모 업무시설에 해당됨

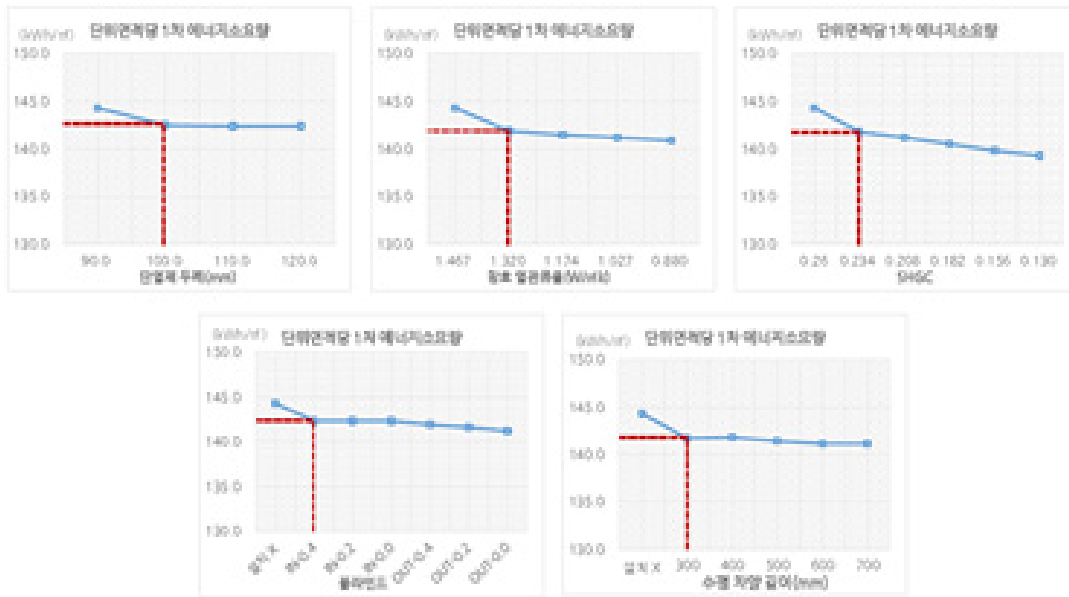
[표 2-22] Baseline Model 건축개요

	구분	내용	조감도
1	대지위치	서울시 강남구 역삼동 653-2(중부지역)	
2	지역/지구	도시지역, 3종 일반주거지역, 일반상업지역, 중심지미관지구, 가로구역별높이제한구역	
3	도로현황	북측 35M도로에 접함	
4	대지면적	643.10㎡	
5	건폐율	54.10%	
6	연면적	5,533.20㎡(약 1,680평) (서울시 녹색건축물 설계기준 '나' 등급 해당)	
7	용적률	611.04%	
8	최고 높이	54.2m	
9	건축규모	지상 13층, 지하 5층	
10	주요용도	업무시설, 교육연구시설	
11	주요구조	철근콘크리트조	
12	외벽면적	4,174.34㎡	
13	창 및 문 면적	1,090.73㎡(26.2%)	
14	인증	에너지효율등급 1등급 녹색건축인증 우수등급	
15	공사비	6,179,000원/평, 1,900,000원/㎡	

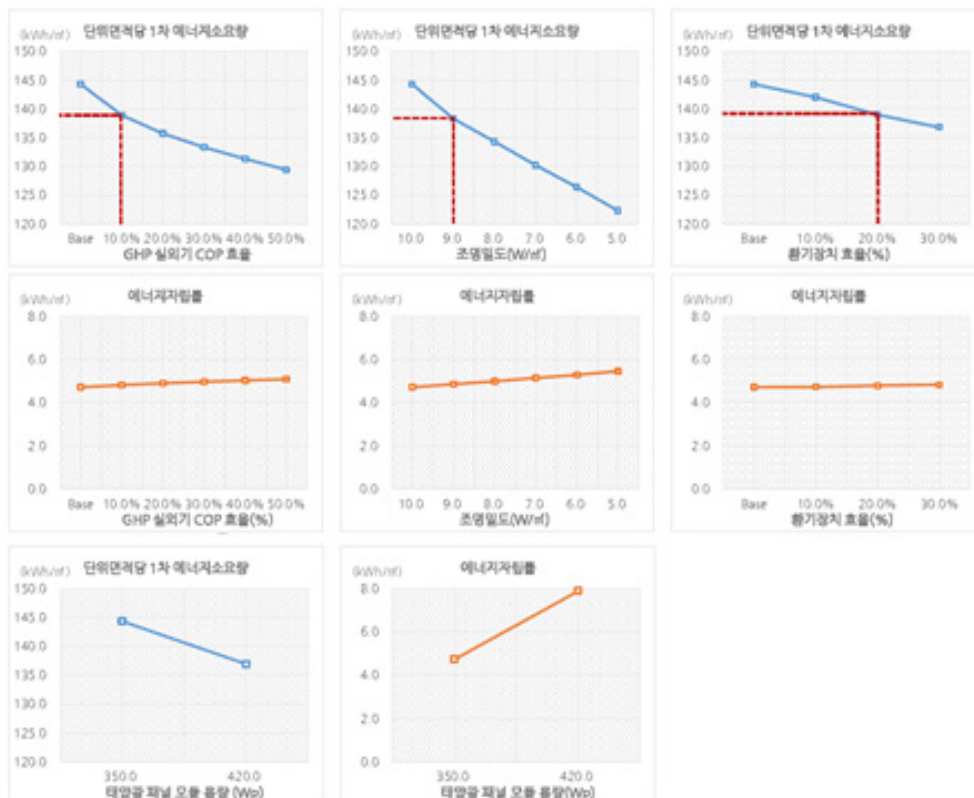
- ECO2 입력 변수를 설정
 - 에너지 절약 요소(계획 및 기술, 신재생 요소)에 대한 입력변수를 선정하여 성능수준 별 대안을 분석하였음
- ECO2 분석 결과
 - 단위면적당 1차에너지소요량 : 144.3kWh/㎡a(에너지효율 1등급 수준)
 - 에너지자립률 : 4.7%, 단위면적당 1차에너지생산량 : 8.4kWh/㎡,년

경제적인 설계방법 도출

- 베이스모델에 대한 에너지자립률 및 1차에너지소요량 분석을 통해 계획/기술/신재생 요소별 민감도 분석



[그림 2-23] 건축 요소별 단위면적당 1차에너지 소요량



[그림 2-24] 설비 요소별 1차에너지 소요량 및 에너지자립률 분석

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

제로에너지건축물 에너지자립률 달성방안 제시

- Baseline Model은 태양광 발전을 통한 에너지자립률이 4.7%로 제로에너지건축물 인증 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났음
 - 계획요소 및 기술요소 성능 수준 향상을 통해 에너지자립률을 높일 수 있는 최대 수준은 6.0%로, 인증등급 달성을 위해서는 신재생 추가 설치가 필수적인 것으로 판단됨
 - 5등급 까지는 건물 지붕 및 외벽 태양광 설치를 통해 등급 달성이 가능하나, 4등급 이상부터는 off-site 신재생 설치 용량이 필요한 것으로 판단됨

[표 2-23] 경제성을 고려한 ZEB 등급별 설계 적용(안)

적용 설계 요소			BASELINE MODEL	ZEB 5등급	ZEB 4등급	ZEB 3등급	ZEB 2등급	ZEB 1등급
단열	열관류율	벽	0.236(90mm)	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
		바닥	0.148(120mm)	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
		지붕	0.116(190mm)	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
창호	열관류율		1.467	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	SHGC		0.260	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	유리조합		5LE+14AR+5CL	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
차양	무		무	무	무	무	무	무
블라인드	무		무	무	무	무	무	무
냉난방 설비	난방방식		GHP 히트펌프	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	용량	난방	71.5	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
		냉방	65.8	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	대수		12	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	성적계수 (COP)	난방	2.75	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
		냉방	12.9	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
급탕설비	급탕기기		보일러	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	펌프동력		550	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	기기용량		282.56	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	대수		1	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	효율		91.4	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
공조설비	공조방식		전열교환기	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	급기온도(난방/냉방)		26/20	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	급/배기 풍량		150~800	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	급배기 정압		98	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	급배기 팬동력		0.175	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	열회수율(난방/냉방)		0.70/0.47	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
조명밀도	조명밀도		10W/m ²	좌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	모듈당 용량(Wp)		350	350	350	350	350	350
태양광	설치 용량(kW)		22.4	146	251.0 (On site 146 + Off site 105)	338.5 (On site 146 + Off site 192.5)	426.0 (On site 146 + Off site 280.0)	566 (On site 146 + Off site 420.0)
	설치면적(m ²)		126.0	800.6 (지붕 224.6+외벽 576.0)	1,376.6 (On site 800.6+Off site 576)	1,856.6 (On site 800.6+Off site 1056.0)	2,336.6 (On site 800.6+Off site 1536.0)	3,104 (On site 800.6+Off site 2303.4.0)

유형 및 설계요소별 공사비 분석

- 설계요소 세분화와 정량화 및 설계요소별로 제로에너지 성능수준에 따른 공사비 분석을 수행함

[표 2-24] 제로에너지건축물 인증 등급 달성 방안

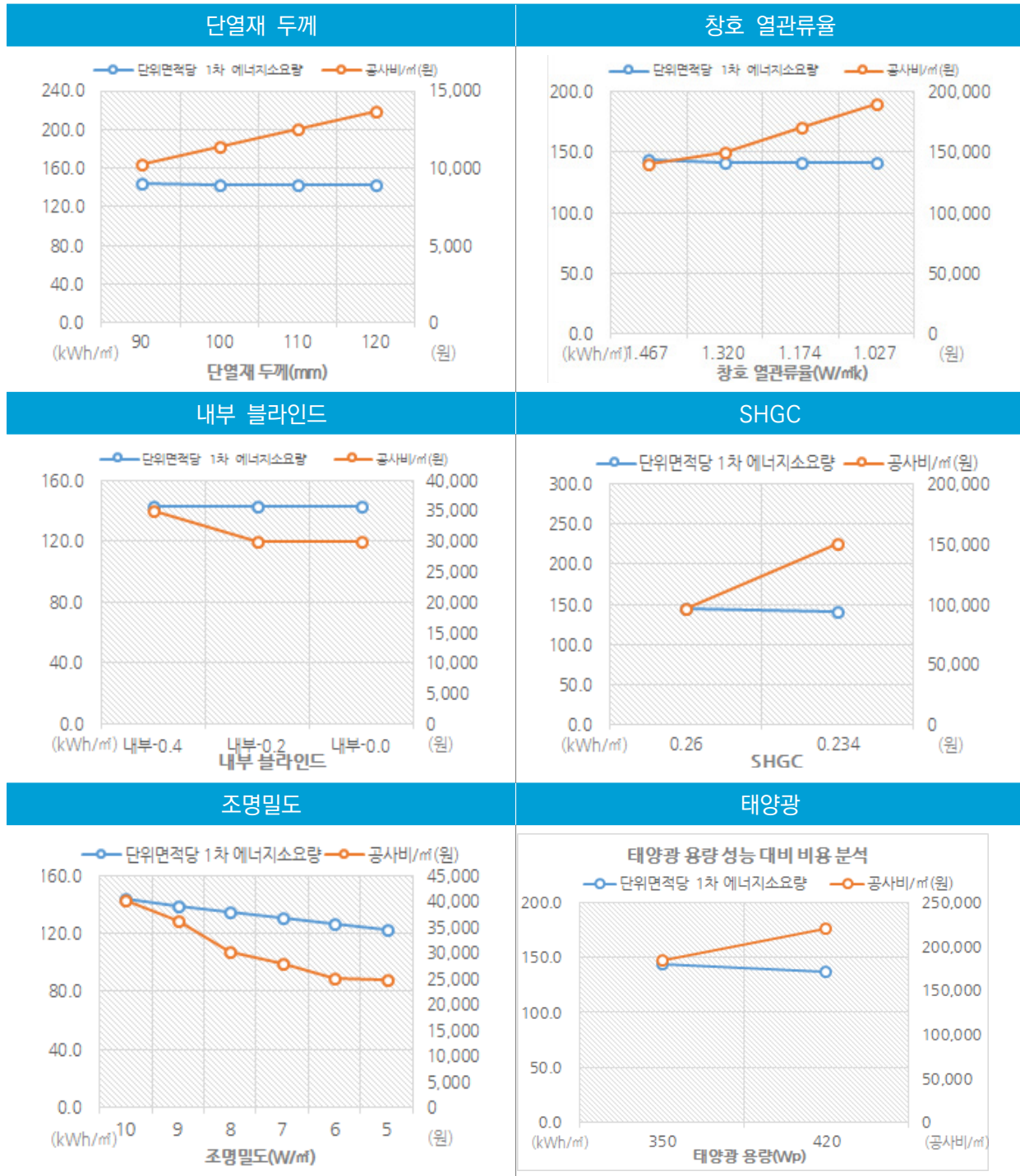
	계획/기술/신재생 요소 적용 비율	구분	내용
Baseline Model		모듈당 용량(Wp)	350
		설치용량(kW)	22.4
		설치면적(m ²)	126.0
		태양광 공사비(억)	0.7
		총 공사비(천원)/m ²	1,900
		단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/m ² a)	144.3
		에너지자립률(%)	4.7
		단위면적당 신재생에너지 생산량(kWh/m ² a)	8.4
		ZEB인증 등급	기준 미달
ZEB 5등급		모듈당 용량(Wp)	350
		설치용량(kW)	146
		설치면적(m ²)	800.6 (지붕 224.6+외벽 576.0)
		태양광 공사비(억)	4.4 (▲552%)
		총 공사비(천원)/m ²	2,000 (▲4.2%)
		단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/m ² a)	115.6
		에너지자립률(%)	31.6
		단위면적당 신재생에너지 생산량(kWh/m ² a)	53.3
		ZEB인증 등급	5등급 만족
ZEB 4등급		모듈당 용량(Wp)	350
		설치용량(kW)	251.0 (On site 146 + Off site 105)
		설치면적(m ²)	1,376.6 (On site 800.6 +Off site 576)
		태양광 공사비(억)	7.5 (▲1,020%)
		총 공사비(천원)/m ²	2,040 (▲7.2%)
		단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/m ² a)	52.4
		에너지자립률(%)	54.3
		단위면적당 신재생에너지 생산량(kWh/m ² a)	91.7

	계획/기술/신재생 요소 적용 비율	구분	내용
		ZEB인증 등급	4등급 만족
ZEB 3등급	■ BASE ■ 계획요소 ■ 기술요소 ■ 신재생(On Site) ■ 신재생(Off Site)	모듈당 용량(Wp)	350
		설치용량(kW)	338.5 (On site 146 + Off site 192.5)
		설치면적(m²)	1,856.6 (On site 800.6 + Off site 1056.0)
		태양광 공사비(억)	10.2 (▲1,411%)
		총 공사비(천원)/m²	2,080 (▲9.7%)
		단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/m²a)	21.2
		에너지자립률(%)	73.20
		단위면적당 신재생에너지 생산량(kWh/m²a)	123.7
		ZEB인증 등급	3등급 만족
ZEB 2등급	■ BASE ■ 계획요소 ■ 기술요소 ■ 신재생(On Site) ■ 신재생(Off Site)	모듈당 용량(Wp)	350
		설치용량(kW)	426.0 (On site 146 + Off site 280.0)
		설치면적(m²)	2,336.6 (On site 800.6 + Off site 1536.0)
		태양광 공사비(억)	12.8 (▲1,802%)
		총 공사비(천원)/m²	2,130 (▲12.2%)
		단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/m²a)	-9.9
		에너지자립률(%)	92.12
		단위면적당 신재생에너지 생산량(kWh/m²a)	155.6
		ZEB인증 등급	2등급 만족
ZEB 1등급	■ BASE ■ 계획요소 ■ 기술요소 ■ 신재생(On Site) ■ 신재생(Off Site)	모듈당 용량(Wp)	350
		설치용량(kW)	566
		설치면적(m²)	3,104
		태양광 공사비(억)	16.9 (▲2,426.8%)
		총 공사비(천원)/m²	2,206 (▲16.2%)
		단위면적당 1차 에너지소요량(kWh/m²a)	-37.8
		에너지자립률(%)	122.3%
		단위면적당 신재생에너지 생산량(kWh/m²a)	206.8
		ZEB인증 등급	1등급 만족

● 제로에너지건축물 적용 요소 비용 효율성 분석

- 단열재 두께, 창호 열관류율, 내부 블라인드, SHGC, 조명밀도에 대해서 비용 효율성을 분석함

[표 2-25] 에너지 절약 요소 성능 수준별 비용 분석



(3) 제로에너지건축물 설계프로세스 구축 및 정책방향 도출

(가) 연구내용

- 건축물의 설계, 시공, 유지관리에 대한 단계별 이슈사항에 대한 해외 문헌 조사를 수행하였음
- 해외의 경우 개념을 잡는 초기 설계단계부터 유지보수 단계까지 단계별 이슈사항을 검토하고 있음

[표 2-26] 제로에너지건축물 구현을 위한 설계-시공-유지관리 단계별 이슈사항 (해외사례)

단계	이슈사항
Inception	• 녹색건축 설계를 위해 고려되어야 하는 이슈사항에 대한 확인 • 건축물의 환경 성능 목표에 대한 동의 • 재개발 부지 보다는 개발 가능한 부지에 대한 선호
Design Preliminary Studies	• Sunlight, shelter, 차양 설치 가능 여부에 대한 대지 분석 • 관련 건축물 용도 조사 및 유사 사례 분석 • 주어진 공사비의 제약을 달성하기 위해 고려할 점
Sketch Studies	• 배치: 채광을 포함한 일사 관련 패시브 전략의 활용 • 거주 공간에 대한 일사 유입 제공 • 온도 변화의 폭을 줄이기 위한 축열 활용 • 평면 및 단면의 개구부를 활용한 자연채광 극대화 • 급수 및 폐수 활용 방안에 대한 고려 • 인근 지역에서 생산하는 자재 활용 • 디자인 컨셉의 반복적인 스터디를 통한 목표 성능 달성
Pre-Project	• 난방 및 냉방, 자연채광을 고려한 층고 선정 • 건축물 사용 패턴을 고려하여 축열 활용에 반영: 간헐적 또는 연속적 • 냉난방을 고려한 개구부의 최적 위치 및 비율 검토 • Service를 위한 구체적인 디자인 기준 • 예상되는 에너지 성능 계산 및 목표 달성 방해 요소 검토
Basic Project	• 인허가를 위한 최종 배치(평면, 단면, 입면)도 작성: 채광/환기/패시브 및 액티브 시스템에 대한 영향 검토 • 축열, 개구부 및 차양, 자재 구매를 고려한 자재 선정 및 시공방법
Execution of Project	• 숙련된 기술력 및 현장 관리를 위한 시방서 디벨롭 • 열적 성능, 채광, 환기 제어를 위한 디테일 • 환경 성능을 고려한 유리 및 문에 대한 사양 명기 • 환경 친화적인 실내외 마감에 대한 고려 • 환경 성능을 고려한 냉난방 설비, 라디에이터, 제어 관련 선정 • 사용량 저감을 위한 조명 설비 및 제어에 대한 사양 명기
Construction Tender Procedure	• 계약 임찰을 위한 녹색건축 설계 요구사항 설명 • 시공 사례 및 관례에서 더 요구되는 사항에 대한 명시
Supervision	• 가능한 대지 내의 자연 경관을 최대한 보전 • 외피 단열의 시공 완성도 및 개구부의 열교 부위 방지 • 건축 도급업자는 건축주의 승인 없이 자재 및 부품의 교체를 하지 않도록 함 • 수용 가능한 폐기를 재사용 방안에 대한 확인
Acceptance	• 건축물 개념 및 시스템을 건축주 및 사용자가 이해했는지에 대한 확인(유지 관리 매뉴얼 제공) • 설비 시스템 제어를 통한 최대값
Defects Period	• 예상 에너지 성능과의 비교를 위한 설비 시스템 모니터링
Maintenance And Refurbishment	• 친환경 자재가 적용된 실제 위치 • 친환경적인 청소 및 위생 관련 자재 적용 • Undertake energy audit prior to commencing project • 설비 시스템의 업그레이드에 대한 설문조사 • 외피 사양의 업그레이드에 대한 설문조사 • 실내 공기질 및 건강한 실내 환경에 대한 고려

- 건축의 설계, 시공, 유지관리 단계별로 에너지 관련 설계 전략 제시 및 건축주와의 에너지 관련 협의 사항을 제시함

[표 2-27] 제로에너지건축물 설계전략 및 이해관계자간 체크리스트 (해외사례)

단계	단계별 녹색건축 설계 전략	건축주-건축가 계약 핵심 사항
Inception	- 녹색건축 설계를 위해 고려되어야 하는 이슈사항에 대한 확인 - 건축물의 환경 성능 목표에 대한 동의 - 재개발 부지 보다는 개발 가능한 부지에 대한 선호	- 지속가능한 이슈(친환경성 및 LCC, 프로젝트 목표 등)에 대한 조사 - 지속가능성의 완성도를 위한 컨설턴트 인터뷰 - 차폐 및 일사량 스테디를 위한 지형 모델 만들기 - 대지에 대한 미기후 분석 - 각 분야에 대한 평균 이상의 수준
Design Preliminary Studies	- Sunlight, shelter, 차양 설치 가능 여부에 대한 대지 분석 - 관련 건축을 용도 조사 및 유사 사례 분석 - 주어진 공사비의 제약을 달성하기 위해 고려할 점	
Sketch Studies	- 배치: 채광을 포함한 일사 관련 패시브 전략의 활용 - 거주 공간에 대한 일사 유입 제공 - 온도 변화의 폭을 줄이기 위한 축열 활용 - 평면 및 단면의 개구부를 활용한 자연채광 극대화 - 급수 및 폐수 활용 방안에 대한 고려 - 인근 지역에서 생산하는 자재 활용 - 디자인 컨셉의 반복적인 스테디를 통한 목표 성능 달성	- 실제적인 냉난방 환경 성능에 대한 계산 - 지속 가능한 시스템 및 자재, 요소에 대한 리서치 - 녹색건축 이슈 및 전체적인 성능에 대한 비전문적인 컨설턴트에 대한 조언 - 건축 법규, 단열 성능, 냉난방 및 환기 기준, 급수 및 물 사용량과 폐기를 처리
Pre-Project	- 난방 및 냉방, 자연채광을 고려한 층고 선정 - 건축물 사용 패턴을 고려하여 축열 활용에 반영: 간헐적 또는 연속적 - 냉난방을 고려한 개구부의 최적 위치 및 비율 검토 - Service를 위한 구체적인 디자인 기준 - 예상되는 에너지 성능 계산 및 목표 달성 방에 요소 검토	
Basic Project	- 인허가를 위한 최종 배치(평면, 단면, 입면)도 작성: 채광/환기/패시브 및 액티브 시스템에 대한 영향 검토 - 축열, 개구부 및 차양, 자재 구매를 고려한 자재 선정 및 시공방법	
Execution of Project	- 숙련된 기술력 및 현장 관리를 위한 시방서 디벨롭 - 일적 성능, 채광, 환기 제어를 위한 디테일 - 환경 성능을 고려한 유리 및 문에 대한 사양 명기 - 환경 친화적인 실내외 마감에 대한 고려 - 환경 성능을 고려한 냉난방 설비, 라디에이터, 제어 관련 선정 - 사용량 저감을 위한 조명 설비 및 제어에 대한 사양 명기	- 일사 최적화 및 현회 최소화화를 위한 실내 공간 스테디 - 에너지 성능 최적화를 위한 파사드에 대한 입면 스테디 및 재 디자인
Construction Tender Procedure	- 계약 입찰을 위한 녹색건축 설계 요구사항 설명 - 시공 사례 및 관례에서 더 요구되는 사항에 대한 명시	- 특별한 요구사항과 관련된 자격증 소유 전문가와 계약 - 경쟁력 없는 입찰을 피하기 위한 체크 - 대지를 보호하기 위한 계약업자에 대한 조언
Supervision	- 가능한 대지 내의 자연 경관을 최대한 보전 - 외피 단열의 시공 완성도 및 개구부의 열교 부위 방지 - 건축 도급업자는 건축주의 승인 없이 자재 및 부품의 교체를 하지 않도록 함 - 수용 가능한 폐기를 재사용 방안에 대한 확인	- 전생애주기 비용에 대한 특별한 매뉴얼 준비 - 건축물의 패시브 및 액티브 요소에 대한 특성을 건축주에게 조언
Acceptance	- 건축물 개념 및 시스템을 건축주 및 사용자가 이해했는지에 대한 확인(유지 관리 매뉴얼 제공) - 설비 시스템 제어를 통한 최대값	
Defects Period	예산 에너지 성능과의 비교를 위한 설비 시스템 모니터링	
Maintenance And Refurbishment	- 친환경 자재가 적용된 실제 위치 - 친환경적인 청소 및 위생 관련 자재 적용 - Undertake energy audit prior to commencing project - 설비 시스템의 업그레이드에 대한 설문조사 - 외피 사양의 업그레이드에 대한 설문조사 - 실내 공기질 및 건강한 실내 환경에 대한 고려	- 신축과 재건축 비용에 대한 전생애주기 비용 비교 분석 - 기존 건축물에 대한 친환경성 검토

- 국내 공공/민간 건축물의 에너지 성능 관련 사례조사를 통해 에너지 성능 관련 적용 요소를 파악하고 에너지효율등급 1등급 이상인 건축물을 제로에너지건축물 5등급을 만족하기 위한 신재생에너지 추가 설치 용량을 검토하고자 함

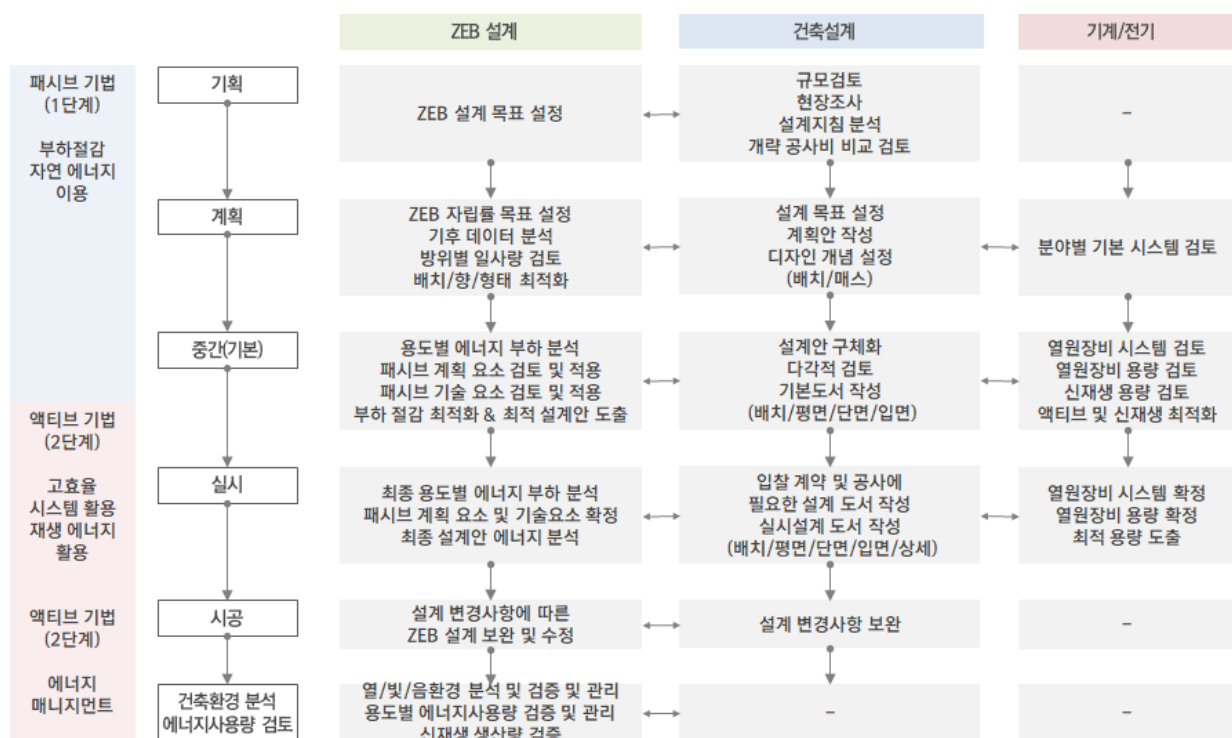
[표 2-28] 국내 공공/민간 건축물의 에너지 성능관련 사례조사 대상 건물

1	2	3	4
			
5	6	7	8
			

(나) 연구결과

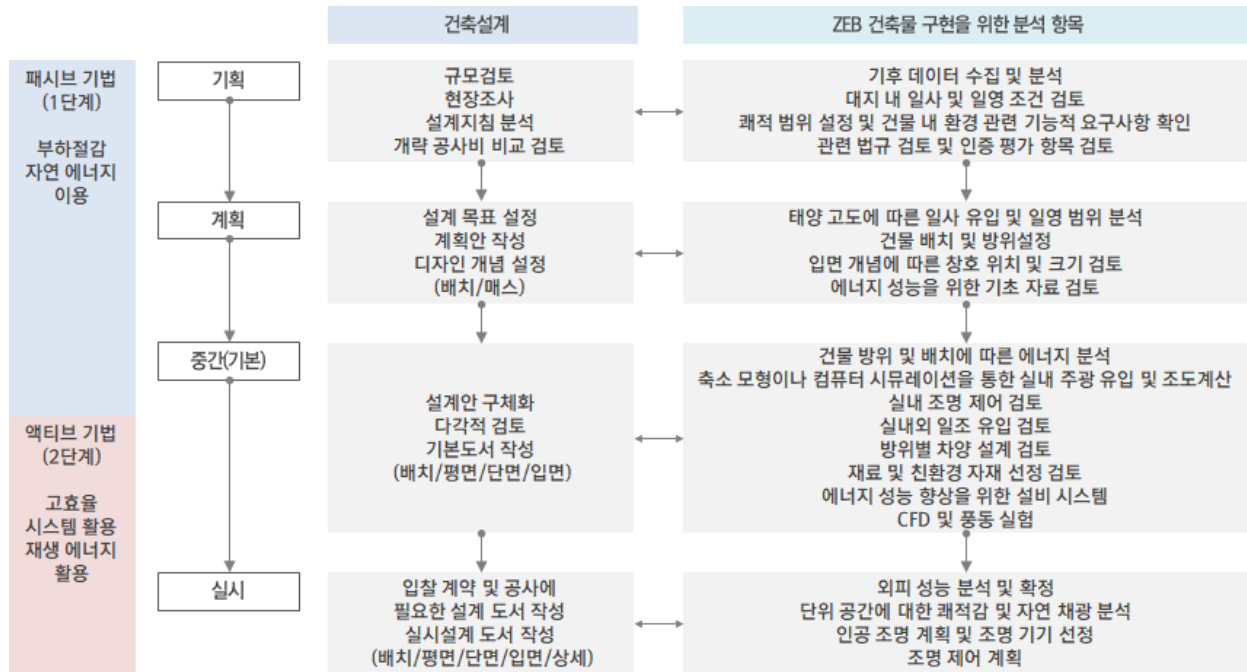
제로에너지건축물 설계프로세스 제안

- 녹색건축 통합설계 프로세스 상에서 건축 환경 및 에너지 성능을 분석을 통해 제로에너지건축물 성능을 구현하는 의사결정 과정이 필요함
- 아래 표와 같이 의사결정을 위해 필요한 분석항목을 제시하고 향후 관련 지표를 건축허가 도서에 표기하여 제출하는 정책적 방안을 제안하고자 함



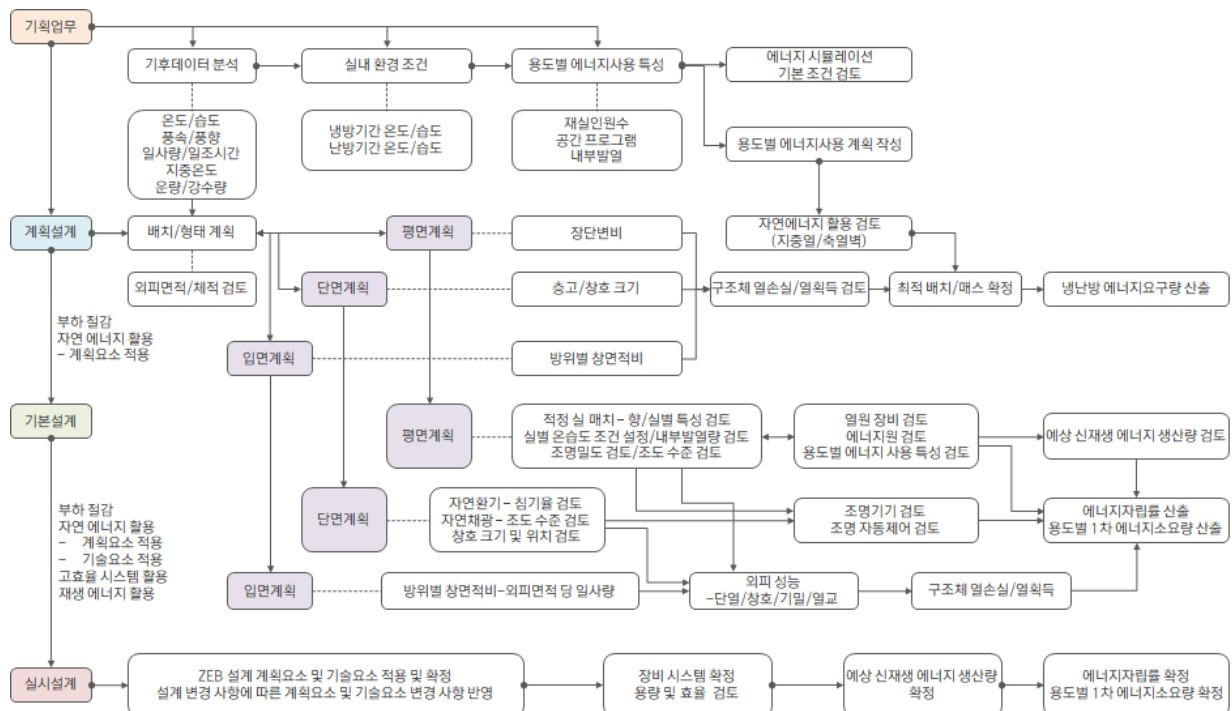
[그림 2-25] 건축설계 프로세스 분야별 업무

- ZEB 통합설계 시스템을 설계 프로세스에 따라 분석 또는 적용이 요구되는 항목들로 구성하여 제안함
- ZEB 통합설계 시스템을 토대로 경제적인 ZEB 설계방법 도출을 위한 분석을 수행함
- 녹색건축 통합설계 프로세스와 분석항목을 접목하여 녹색건축 통합설계 시스템을 다음과 같이 제안함
- 제로에너지건축물 구현을 위하여 설계 프로세스에 따라 요구되는 분석 항목을 작성함



[그림 2-26] 제로에너지건축물 통합설계 프로세스 분석 항목

- 녹색건축 설계기법을 기존의 건축설계 프로세스(기획, 계획, 중간, 실시, 시공)에 접목하여 제로 에너지건축물 통합설계 프로세스를 제시하였음



[그림 2-27] 제로에너지건축물 통합설계 프로세스

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

[표 2-29] 제로에너지건축물 통합설계 프로세스

단계	통합설계 프로세스	디자인 기법		설계 단계
패시브	1단계 건축물 부하 절감	부지 내 옥외 환경의 적정화	건물 배치의 적정화 - 통풍/일조 외부 계획의 적정화 - 녹화/수면확보	계획/중간
		옥내 환경의 적정화	열 환경 - 온도/습도 빛 환경 - 조도 공기 환경 - 실내 공기질	
		부하의 억제	일사광선 건물 외피 단열 강화 내부 발열 저감	
	2단계 자연에너지 이용	실내 환경의 최적화	자연채광/자연환기 지중열 이용/태양열 이용	
액티브	3단계 설비·시스템의 고효율화	-	조명 설비 열원설비 반송설비 개별 분산시스템 전기설비 기타 설비 미이용 에너지활용	중간/실시
	4단계 재생가능한 에너지 생산	-	자원(물)에 대한 배려 재료에 대한 배려 폐기물 저감 태양광/태양열 지열/풍력/연료전지	중간/실시
매니지먼트	5단계 에너지 매니지먼트	- - - -	Life Cycle Energy Management 실시 Building Energy Management 활용 자원·재료에 관한 고려 오프사이트에서의 노력 지역 에너지 시스템과의 연계	사용 승인 이후

- 기존 건축설계 프로세스와의 차이점은 설계 초기에 제로에너지건축물 구현을 위한 목표 수준을 정확하게 설정하고 이에 적합한 녹색건축 설계기법을 적용하는 것임
- 녹색건축 설계기법을 적용하기 위해서는 건축 실내외 환경 및 에너지 시뮬레이션이 가능한 녹색건축 분야와 건축, 기계, 전기가 설계 초기부터 협업하여 설계를 진행하는 것이 필요함
- 녹색건축 통합설계 프로세스는 건축 설계 프로세스 상에서 건축 환경 및 에너지 관련 의사 결정 요소들이 합리적인 분석을 통해 결정되어야 함

■ 녹색건축 통합설계를 위한 설계기법 (에너지 절약 요소)

- 녹색건축 통합설계에서 적용되는 제로에너지건축물 설계 요소를 세분화 및 정량화하여 아래와 같이 체크리스트로 작성함
- 설계 요소는 계획요소(패시브), 기술요소(액티브), 신재생 요소로 분류하였으며, 에너지절약계획서 상의 용어 및 분류 기준을 따라 작성함
- 아래 표의 에너지 절약 요소에 대한 비용, 효율성을 Baseline model로 분석하여, 설계 단계에서 우선적으로 고려가 필요한 요소를 확인하고자 함

[표 2-30] 에너지 절약 요소

단계	분류		관련 요소
계획요소 (패시브)	배치		향/배치, 형태
	평면/단면/입면		조닝, 실의 장단변비, 층고, 창 크기, 외피면적(창면적비)
	단열		단열재 ,창호(프레임+유리), 열교 , 지붕
	기밀		침기
	자연채광		천창, 측창, 아트리움, 블라인드, 차양, 광선반, 광덕트
	환기		개폐창, 아트리움, 발코니
	원리/효과		맷통풍, 베르누이 효과, 연돌 효과, 나이트 퍼지, 쿨튬브, 열미로, 콘크리트 구조체
기술요소 (액티브)	기계	열원설비	난방방식, 급탕기기, 냉방방식, 냉동기, 송풍기, 펌프
		공조설비	송풍기, 펌프, 덕트, 급배기구
		반송설비	배관, 펌프
		제어설비	대수분할운전, 비례제어, 다단계제어, 공기조화기 팬, 펌프
		고효율설비	이코노마이저시스템, 고효율원심식냉동기, 고효율가스보일러, 폐열회수형환기장치, 축열 축냉 시스템, 고효율 냉방방식
	전기	수변전설비	고효율변압기, 역률개선용콘덴서
		간선 및 동력설비	전압강하, 가변속제어기, 변압기 대수제어
		조명설비	조명밀도, 조도, 조명기기, 자동제어
		자동제어 설비	일괄소등스위치
		에너지모니터링 시스템	BEMS, 원격검침전자식계량기
신재생요소	태양광		태양광 패널, BIPV
	태양열		평판형 집열기, 진공관형 집열기
	지열		수평형, 수직형
	에너지저장시스템		배터리 방식, 비배터리 방식

제로에너지건축물 설계 가이드라인

- 공동주택 및 업무시설 대상 제로에너지건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시

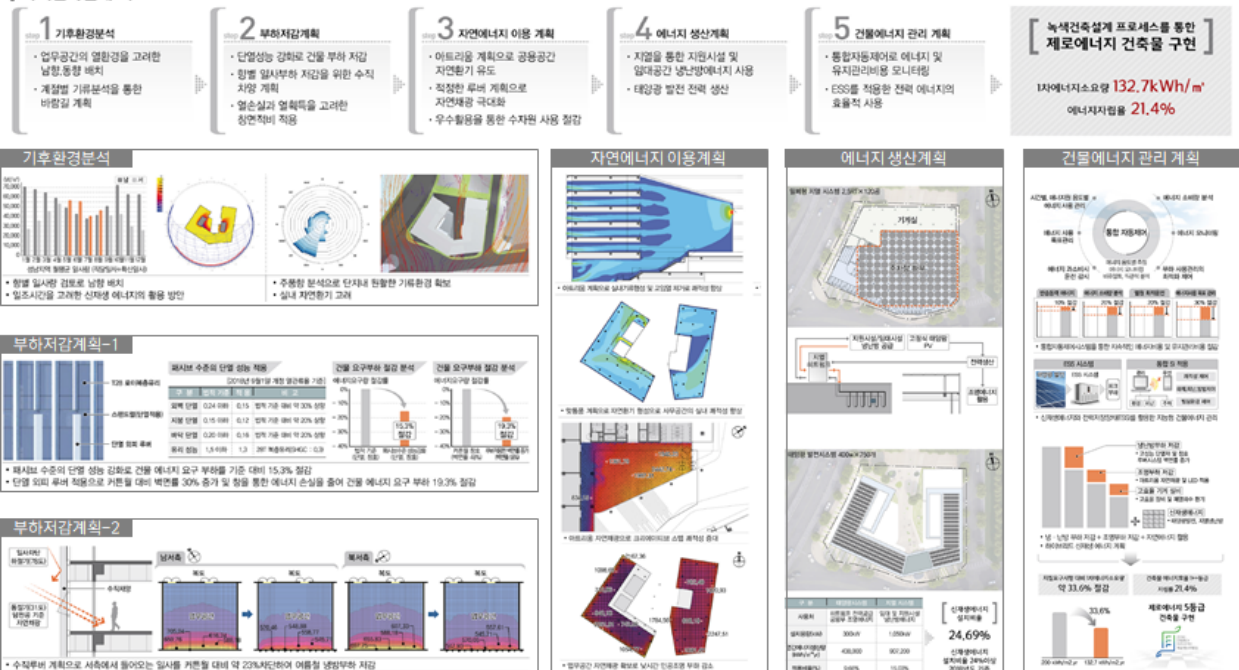
단계	통합설계 프로세스	디자인 기법	설계 단계	관련 분야 협업
패시브	1 단계 건축물 부하 절감	부지 내 옥외 환경의 적정화	계획/중간	건축 - 방위를 고려한 배치, 부하 절감을 고려한 매스 형태, 실 용도 특성을 고려한 평면배치, 입면 창면적비 최소화, 실 부하 절감을 위한 적정 단면 층고 설정
		옥내 환경의 적정화		
		부하의 억제		
2 단계	자연에너지 이용	실내 환경의 최적화		
액티브	3 단계 설비·시스템의 고효율화	-	중간/실시	- 기계 -합리적인 냉난방 부하 계산 및 적정 장비 용량 산정 - 전기 - 합리적인 조명부하 산정
	4 단계 재생가능한 에너지 생산	-	중간/실시	건축, 기계, 전기 - 용도 특성에 적합한 재생에너지원 선정 및 유지 보수, 생산 에너지 활용성을 고려하여 용량 산정
매니지먼트	5 단계 에너지 매니지먼트	- - - -	사용 승인 이후	사용자, 유지보수 - 에너지사용량 관리 시스템을 통한

- 건축설계사무소, 기계설비 및 전기설비 사무소등 관련 엔지니어링 업체 대상 성과 활용 기대
- 건축설계는 정해진 프로세스가 있으나 프로젝트의 용도, 위치 등의 특성에 따라 계획이 달라질 수 있음
- 제로에너지건축물 설계기법을 프로젝트 특성에 맞게 적용 및 활용하여 건축, 기계, 전기, 신재생 분야에서 최적화된 계획안을 제시해야 함
- 제로에너지건축물 설계기법은 대지 특성 분석 및 자연에너지활용, 부하저감기법, 에너지관리를 프로젝트의 특성에 맞게 적용해야 함
- 건축물의 배치 및 형태, 용도에 따라 에너지 사용특성 등을 고려하여 기본설계, 계획설계, 중간설계, 실시설계 각 과정에 제로에너지건축물 설계기법을 활용할 수 있어야 함
- 건축설계 파트에서 에너지요구량 절감을 위한 배치 및 형태를 계획하고 이에 대해 기계 및 전기 설비 엔지니어링 단계에서 에너지 소요량 절감 방안을 제시하고 이를 종합적으로 반영하여 신재생에너지 설치 용량을 최적화하여 제로에너지건축물을 계획해야 함

제로에너지건축물 건축설계 프로세스 제안 및 적용사례

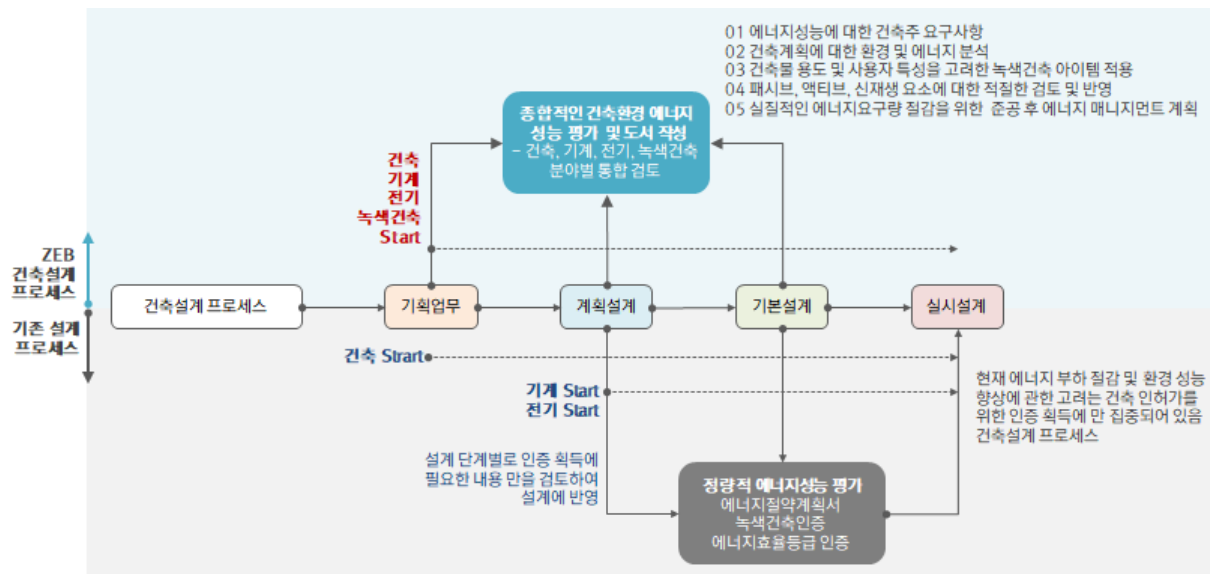
- ZEB 건축설계 프로세스를 적용하여 제로에너지건축물을 제안한 현상설계 사례임 - 기후환경분석, 부하저감, 자연에너지 이용, 에너지생산, 에너지관리 프로세스 적용
- 지붕에 기계실 면적을 제외하고 태양광 패널을 설치하였으며, 주차장 하부에 지열을 설치하여 신재생에너지를 1,350kW 설치하였음

녹색건축설계 목표



제로에너지건축물 관련 정책방안 제안

- 제로에너지건축물 건축설계 프로세스 적용의 문제점
 - 현재의 건축설계 프로세스는 발주처 요구사항 반영 및 건축인허가, 인증이 중심이 되어 있어 제로에너지 건축설계 프로세스 적용에 한계가 있음
 - 건축, 기계, 전기의 협업을 통한 제로에너지 건축설계 프로세스 구현을 위해서 제로 및 녹색건축 분야의 역할이 필요한 것으로 판단됨



[그림 2-28] 기존 설계프로세스 대비 ZEB 건축설계프로세스 요구사항

- 제로에너지건축물 관련 건축분야 도서작성의 문제점
 - 건축법 하위 기준인 건축물의 설계도서 작성기준에 따른 실시설계 도서 목록에 녹색건축과 관련된 별도의 도서 목록이 없음
 - 제로에너지건축물 구현을 위해서는 신재생에너지 설치 계획이 매우 중요하나 지열 및 태양광 도면이 기계 및 전기 도서에 포함되어 있고, 건축 도면에는 배치도 정도만 나타내는 수준으로 신재생에너지 설치에 대한 건축계획 관련 도서 작성은 매우 미미한 수준임
 - 형별성능내역도의 경우 에너지절약계획서 근거서류로 포함되어 있어 건축에서 반드시 작성해야 하는 도서로 인식되어 있음

● 건축도서작성관련 개선안 제안

- 해안건축의 경우 건축개요에 건축물 에너지 및 인증, 신재생 관련 내용을 포함하여 작성함

[illegible]

[그림 2-29] 제로에너지건축물 관련 건축도서 추가항목 사례(해안건축)

- 실시설계 단계 건축분야 도서리스트에 제로에너지 분야 도면 리스트를 추가하는 방안을 제안
- 현재 비율 맞추기에 한정되어 있는 신재생에너지 설치 계획에 대한 건축계획 및 기술적 검토가 함께 이루어지는 것이 필요할 것으로 판단됨

실시절계 단계 건축분야 도서 리스트			제로에너지건축 분야 도면 리스트	
구분	종류		구분	종류
일반사항	공사시방서, 설계개요, 각 공종별 공사비 내역서, 각종 계산서, 심의에서 각종 인허가 관련자료		제로 에너지· 녹색건축 분야 도면	
일반도면	표지, 도면목록표, 안내도, 구적도, 지적도, 면적산출표, 대지중·횡단면도, 배치도, 주차계획도, 평면도, 입면도, 단면도, 실내벽 및 반자의 마감도			
상세도면	수직동선 관련상세도(코어, 계단, 승강기 샤프트, 주차 경사로, 주차 리프트)			
부분 상세도	주요부분 상세도, 주 출입구 평입단면, 부출입구평입단면, 서터, 핏트, 발코니, 출입구, 지상층 외벽 입단면, 지하층 단면, 주요부분 내벽 상세도			외단열 시공 상세도 열교 부위 보강 시공 상세도 태양광 설비 관련 건축 기초 공사 상세도 태양광 설비 관련 건축 기초 공사 방수 계획도 지열 공급 배관 기계실 외벽면 연결부위 상세도 지열 공급 배관 기계실 방수 계획도 지열 공급 배관 기계실 단열 계획도 . . 등
창호도	창호 일람표, 창호 평면도, 창호 상세도, 창호 입면도, 창호 잡철물 목록			제로 에너지건축 관련 분야 도면 리스트 추가
천정도	각층 천정 평면도, 천정상세도, 부분 상세도, 천장 관련 설치 상세도			
내부상세도	로비바닥 패턴도, 로비 전개도, 주요실 전개도, 승강기 Hall 전개 상세도, 화장실 전개 상세도, 간막이 전개도 및 상세도			
실내부위	실내마감 상세도			
부품도	각 부품도			
정화조	건축용 평단면도, 각종 설비도, 계산서			
특수분야 도면	소음, 방진, 무대조명, 주방, 음향, 전시, 미술장식품 등			

[그림 2-30] 제로에너지건축물 구현을 위한 실시설계 도서리스트 추가방안 제안

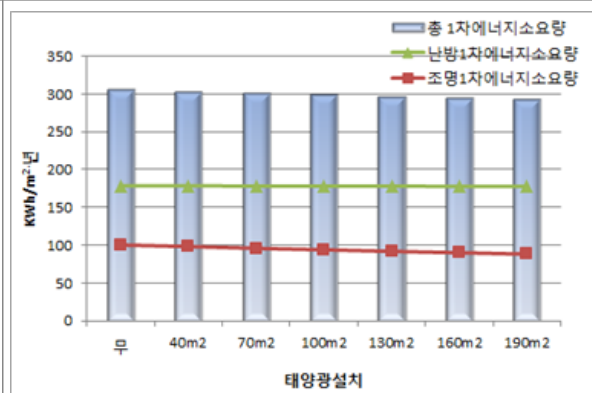
PART 3. 라이프사이클코스트(LCC) 관점에서의 최적비용 최대효과 분석 및 톨 구축 제시

- 세부연구목표 : 1. 제로에너지 에너지 분석 모형 개발
2. 제로에너지 경제성 분석 모형 개발
3. LCC관점에서의 최적비용모형 개발 및 톨 개발

주요 연구내용 및 성과물

1. 제로에너지 에너지 분석 모형 개발

- 제로에너지 에너지분석 모형 도출
 - 에너지 절약요소별 절감률
 - 보일러 효율, 조명밀도, 기밀성능, 환기장치 설치유무, 신재생설치, 창면적비 등 각각의 변경에 따른 1차에너지소요량 도출



〈신재생기기 설치 유무에 따른 1차에너지소요량〉

- 제로에너지 성능 수준별 기술옵션 목록화
 - 표준건물을 기본으로 건축물 정보.설비정보/에너지 절약요소별 절감률
 - 보일러 효율, 조명밀도, 기밀성능

요 소			제로에너지 등급수준				
			ZEB5	ZEB4	ZEB3	ZEB2	ZEB1
1차에너지소요량 (단위: KWh/m ² ·년)			85.7	57	22.5	-11.9	-57.8
에너지 자립률(%)			27.82%	43.27	61.82	80.37	105.0
난방기기			91%	91%	91%	91%	91%
			분열식보일러	분열식보일러	분열식보일러	분열식보일러	분열식보일러
열관류율	별채단열	외기에 직접면할	0.17	0.21	0.17	0.17	0.17
		외기에 간접면할	0.24	0.28	0.24	0.24	0.24
		속벽	-	0.17	-	-	-
	최상층에 있는 거실의 반사 지붕	외기에 직접면하는 경우	0.15	0.18	0.15	0.15	0.15
		외기에 간접면하는 경우	0.21	0.26	0.21	0.21	0.21
	최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방 인 경우	0.17	0.23	0.17	0.17
			바닥난방 이 아닌 경우	0.17	0.29	0.17	0.17
		외기에 간접 면하는 경우	바닥난방 인 경우	0.24	0.35	0.24	0.24
			바닥난방 이 아닌 경우	0.24	0.41	0.24	0.24
	창	외기에 직접면할	1	1	1	1	1
		외기에 간접면할	1.6	1.9	1.5	1.6	1.6
창기울			0.5	6	3	0.5	0.5
열교가산치			외단열	내단열	내단열	외단열	외단열
창면적비(%)			20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
조명			7	13	10	7	7
계열화수장치			-	-	-	-	-
신재생기기	태양광	면적 450m ² 기울기 45% 후면통풍형/ 효율20%	면적 700m ² 기울기 45% 후면통풍형/ 효율20%	면적 1000m ² 기울기 45% 후면통풍형/ 효율20%	면적 1300m ² 기울기 45% 후면통풍형/ 효율20%	면적 1700m ² 기울기 45% 후면통풍형/ 효율20%	

〈성능수준별 기술 옵션 목록화〉

2. 제로에너지 경제성 분석 모형 개발

- 제로에너지 경제성 분석 모형 개발
 - 샘플 건물에 대한 건축물/설비/신재생 설치에 대한 각각의 성능에 대하여 1차에너지소요량 대비 건축물 건설비용에 대한 프로그램 개발
- 적용 기술 경제성 인자 특성에 따른 LCC 최적 비용 도출 모형 개발
 - 샘플 건물의 ZEB등급별 초기투자비용 및 신재생 관련 요소조건에 따른 유지관리비용 계산 툴 개발
 - 각각의 조건에 따른 최적화 조건(성능대비 저비용 조건)을 구한 로직 개발

제로에너지성능분석프로그램 v2.0

건축물 정보	설비	신재생	비용	성능	지표	해석리플렉
건물명	기타정보	총량	총량	총량		
난방가	지역난방	968.3652470707	KWh	1000	%	
급탕가	보일러	561.4224376406	KWh	100	%	
냉방가	냉방	717.5162993164	KWh	3.78	CCP	
조명가	조명					
조명가	15	W/m2				

〈제로에너지 성능프로그램 v2.0 설비정보〉

건축물의 생애주기와 LCC(Life Cycle Cost)

- LCC(Life Cycle Cost)란 건축물이나 기반시설물의 계획, 설계, 시공, 운영, 해체, 폐기까지 생애 전반에 걸쳐 발생하는 비용.

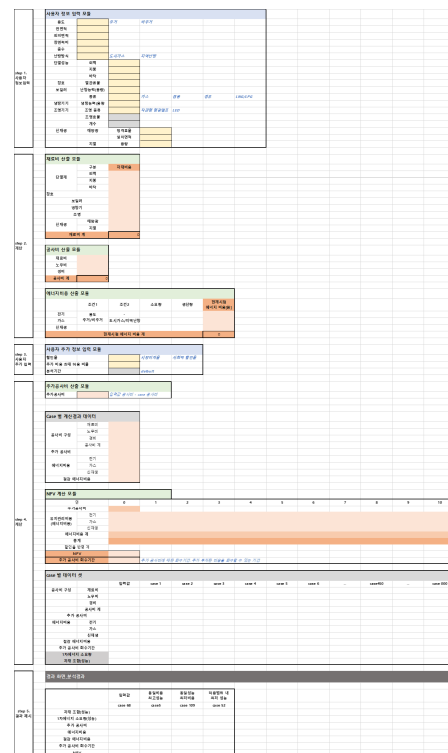
$$LCC = \text{계획 비용} + \text{설계 비용} + \text{건설 비용} + \text{유지보수 비용} + \text{해체 비용}$$

- 또한, 초기투자비용(공사비, 설계비, 감리비, 보상비 등), 유지관리비용(점검 및 진단비, 관리비, 에너지비용, 보수비, 교체비, 보강비 등), 이용자비용, 사회/경제적 손실비용, 해체/폐기비용, 잔존가치 등 시설물의 생애주기동안 발생하는 모든 비용.

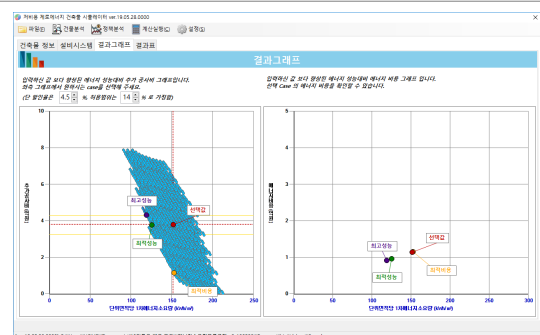
$$LCC = \text{초기투자비용} + \text{유지관리비용} + \text{이용자비용} + \text{사회/경제적 손실비용} + \text{해체/폐기비용}$$

3. LCC 관점에서의 최적비용 모델 개발 및 툴 개발

- 제로에너지 성능 수준별 비용 추정 방안 도출 모델 개발
 - 제로에너지 성능 수준별 비용 추정 모델 구축을 위해 공사비, 에너지비용 산출 로직을 구축
 - 분석 기간동안의 화폐가치 및 물가상승을 반영할 수 있는 경제성 지표 정의
 - 재료비 산출 모듈, 공사비 산출 모듈, 에너지비용 산출 모듈을 구축하여 비용 추정 모델 구축



- LCC기반 제로에너지 건축물 비용 변화 분석 툴 개발
 - 케이스 별 에너지비용의 변화를 그래프로 제시
 - 에너지 성능 향상을 위한 케이스 선택시 동일 비용 최고 성능, 동일 성능 최저 비용, 사용자가 설정한 추가 비용 최대허용 비율 내의 가장 좋은 성능의 케이스 제시 툴 개발

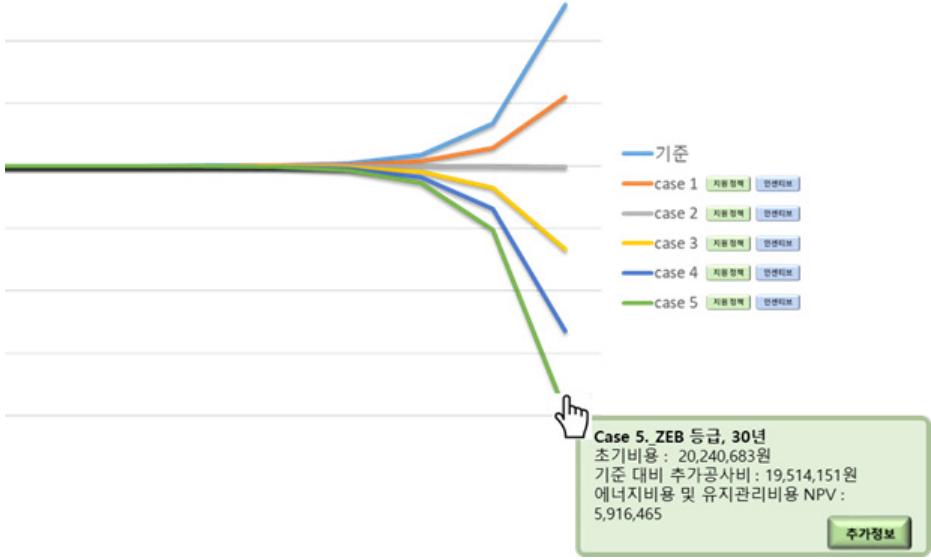


1. 연구개발과정의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

핵심성과 3	라이프사이클코스트관점에서의 최적비용 최대 효과 분석모델 및 툴 구축	
정의	제로에너지 건축물 경제성 분석 모형 개발 및 적용 기술의 특징에 따른 최적 생애비용 도출 모형 개발	
목적	LCC 기반 최적비용 최대효과 연계방안 도출	
성능목표	(기존기술 수준) - 현재 국내에서 사용되고 있는 건물 에너지 경제성 평가 모델은 주로 에너지 해석 프로그램을 기반으로 에너지 사용량을 평가하고 그에 따른 투입비용을 자재 비용 중심으로 해석 - 실제 저에너지 기술 적용 시 시공비용, 현장 적용 자재 비용 등 현장에서 반영되는 비용이 고려되지 못하는 경우가 많아 실제 적용에 한계가 있음  Case 5. ZEB 등급, 30년 초기비용 : 20,240,683원 기준 대비 추가공사비 : 19,514,151원 에너지비용 및 유지관리비용 NPV : 5,916,465 추가정보	
	[그림 2-31] 경제성 분석 프로그램을 통한 결과 도출 화면 예시	
성과달성 책임자 (소속기관)	(개발기술 수준)	
	- “핵심성과 1”과 결합하여 상세 DB 및 공사비용 등을 결합한 해석 가능 - ZEB 등급 및 신재생 자재의 성능별 에너지비용을 도출하여 초기투자비용 대비 효과 분석 - 기술의 특성별 및 기술의 조합에 따른 해석 - 레퍼런스 모델을 기반으로하여 개별 건물 설계시 지표로 사용할 수 있으며, 거시적 효과 분석이 가능한 모형 개발 (경제성 분석 모형 개발 1건)	
소요기간	'16.06.27. ~ '19.04.27. (34개월)	
성과달성 확인방법	적용기술별 경제성 모형 구동	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허	출원 : 2건 (초과달성) 등록 : 1건
	논문	2 건 (초과달성)
	시제품	0건
	S/W	3건

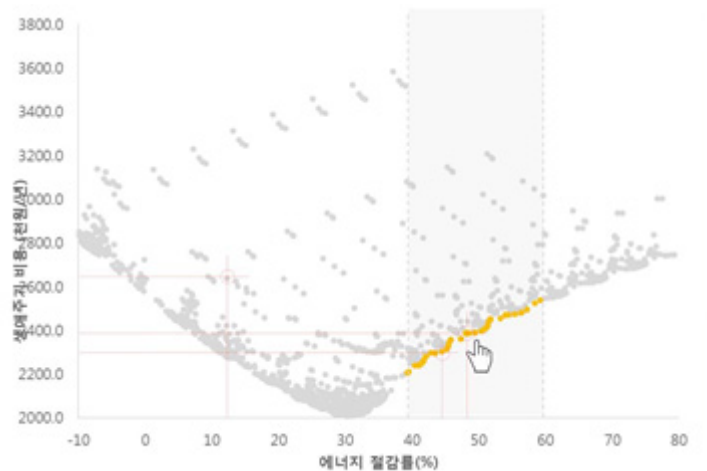
3-1. 제로에너지 에너지 분석 모형 개발 구축

(1) 제로에너지 에너지 분석 모형 도출

(가) 연구내용

■ 연구배경 및 동향

- 현재 국내에서 사용되고 있거나 개발 중에 있는 건물 에너지 경제성 평가 모델은 주로 에너지 해석 프로그램을 기반으로 에너지 사용량을 평가하고 그에 따른 투입 비용을 자재비용을 중심으로 해석하고 있음
- 그러나 실제 저에너지 기술의 적용에는 시공비용, 현장 적용 자재비용 등의 변수를 고려하지 못하는 경우가 많아 기술의 실제 적용에 한계가 있음



[그림 2-32] 기존 경제성 분석 프로그램을 통한 결과 도출 예시

■ 연구목적 및 개요

- 제로에너지 건축 기술 시 적용 최적 비용 산출을 통하여 기술 적용 의사결정자에게 정확한 경제성을 예측하여 제공할 수 있는 모델 개발
- 샘플 건물을 이용하여 우선적으로 건축물의 정보, 설비, 신재생 관련 요소들에 따른 1차에너지 소요량 대비 건설비용에 대한 제로에너지 성능대비 금액 계산 툴을 개발함

(나) 연구결과

- 샘플 건물에 대한 건축물/설비/신재생 설치에 대한 각각의 성능에 대하여 1차 에너지소요량 대비 건축물 건설비용에 대한 프로그램 개발

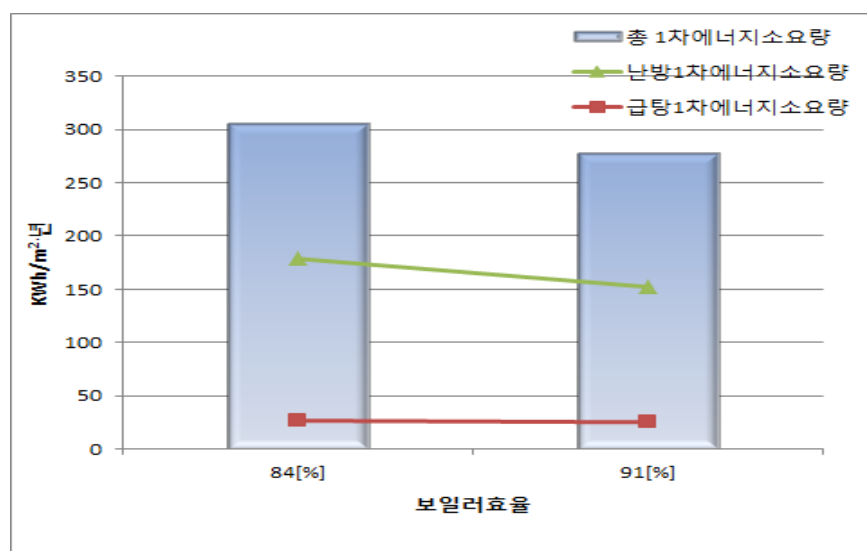
- 각각의 조건에 따른 최적화 조건(성능대비 저비용 조건)을 구한 로직 개발
- 선택사항에 따른 최적 금액 그래프 도출
 - 건축물정보 : 건물명, 주용도, 허가일, 연면적, 층수 등 입력
 - 설비정보 : 기기방식(난방, 급탕, 냉방, 조명)에 대한 용량 효율 등 입력
 - 신재생 정보 : 태양열, 태양광, 지열히트펌프 관련한 면적 및 방위 효율등을 입력
 - 기본 건설 단가 및 에너지 성능 조건에 따른 금액 입력

보일러 성능에 따른 에너지 절감

- 보일러 효율과 연관성을 보이는 항목은 난방 1차에너지소요량과 급탕 1차에너지소요량

[표 2-31] 보일러 효율에 따른 단위면적당 에너지량 (단위: KWh/m².년)

보일러 효율	84%	91%
총 1차에너지소요량	305.9	278
에너지요구량	194.6	194.6
난방1차에너지소요량	178.8	152.3
급탕1차에너지소요량	26.8	25.3
조명1차에너지소요량	100.4	100.4
환기1차에너지소요량	0	0
건축물에너지절감률(%)	-	9.12



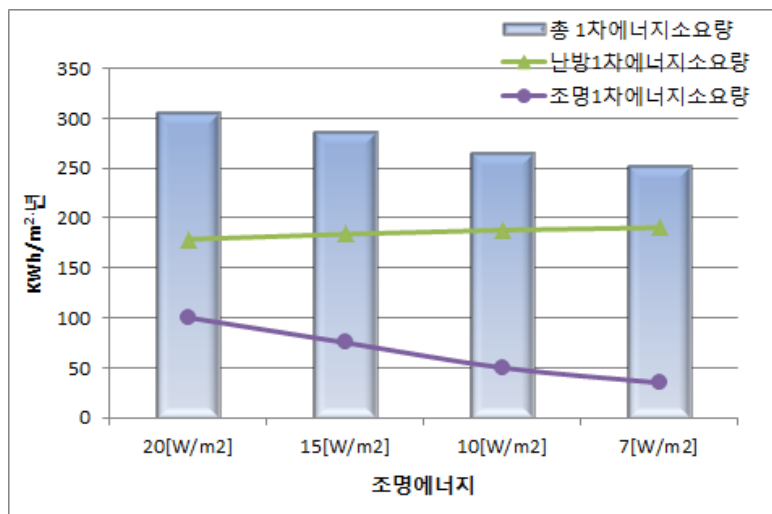
[그림 2-33] 보일러 효율에 따른 1차에너지소요량

조명밀도에 따른 에너지 절감

- 조명밀도 20W/m² 조건의 1차 에너지소요량 기준으로 15W/m² 일 경우, 6.51% 절감, 10W/m² 일 경우 13.37%절감하는 것으로 계산됨

[표 2-32] 조명밀도에 따른 단위면적당 에너지량 (단위: KWh/m².년)

조명에너지	20 [W/m ²]	15 [W/m ²]	10 [W/m ²]	7 [W/m ²]
총 1차에너지소요량	305.9	286	265	252.4
에너지요구량	194.6	189.4	184.2	181.1
난방1차에너지소요량	178.8	184	188	190.5
급탕1차에너지소요량	26.8	26.8	26.8	26.8
조명1차에너지소요량	100.4	75.3	50.2	35.1
환기1차에너지소요량	0	0	0	0
건축물에너지절감률(%)	-	6.51	13.37	17.49



[그림 2-34] 조명밀도에 따른 1차에너지소요량

기밀성능에 따른 에너지 절감

- 계산결과에 따르면, 침기율은 급탕, 조명, 환기에 대한 단위면적당 1차에너지 소요량에는 영향이 없으나 건물내부에서의 열손실을 감소시킴
- 침기로 인한 에너지 손실량줄어 따른 난방기기의 추가 가동도 적어짐

❏ 환기장치에 따른 에너지 절감

- 폐열회수환기장치를 적용했을 경우, 조명이나 환기의 1차에너지소요량은 변동이 없으나 난방 1차에너지소요량은 줄어들어 표준주택 에너지 소요량 대비 14.7%의 절감이 되는 반면, 기계식 환기에 의한 전력소비량 발생으로 환기 1차에너지소요량이 13.9KWh/m².년에 발생하여 이를 가감하였을 경우 최종적으로 10.3KWh/m².년 대한 에너지 절감(표준건물 대비 4.02%의 에너지 절감) 달성

❏ 신재생설치에 따른 에너지 절감

- 건축물에너지절감 프로그램의 로직상 신재생으로 생산되는 전기에너지를 난방펌프나 조명에서 사용되는 전기에너지에서 차감하기 때문에 신재생기기 적용시 조명과 난방의 1차에너지소요량 감소

❏ 창면적비에 따른 에너지 절감

- 창면적비에 따라 급탕이나 조명의 1차 에너지 소요량은 변동이 없으나 난방 1차에너지 소요량은 감소
- 특히, 창호를 통한 태양열 입사에 의해 에너지 요구량 감소에 따른 절감률 발생

(2) 제로에너지성능 수준별 기술옵션 목록화

(가) 연구내용

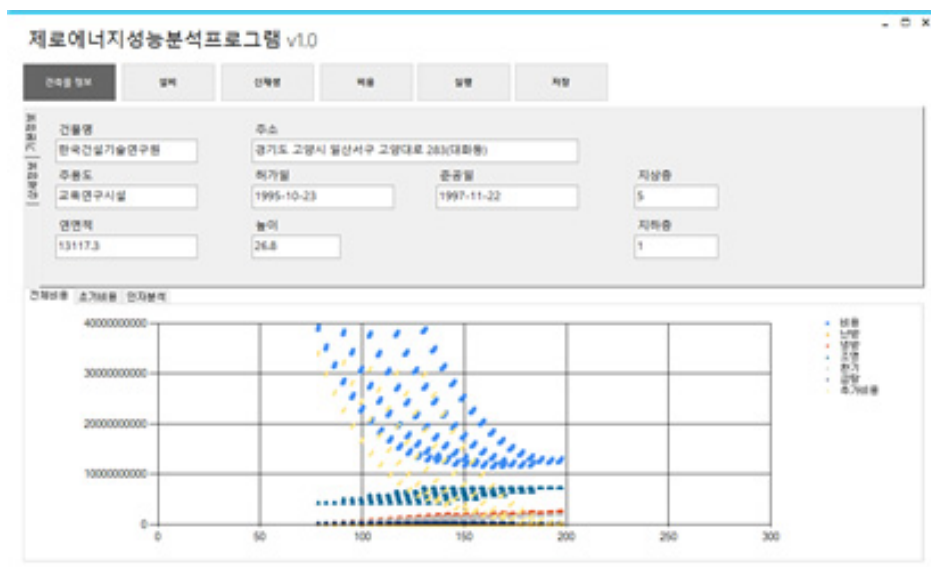
- 샘플 건물을 이용하여 건축물의 정보, 설비, 신재생 관련 요소 조건에 따른 1차 에너지소요량 대비 건축비용에 대한 제로에너지 성능대비 금액 계산 툴 개발
- 제로에너지건축물 인증 등급 수준별 1차에너지소요량, 에너지자립율, 난방기기, 열관류율, 침기율, 열교가산치, 창면적비, 조명, 폐열회수장치, 신재생기기(태양광) 요소기술을 반영하여 구성

(나) 연구결과

- ZEB수준에 부합하는 에너지성능요소 제안 툴 개발 : 건축물에서 ZEB 수준과 설계자가 설계 가능한 요소를 입력하게 되면 선택하지 않은 에너지 설계 요소에 대한 범위를 리스트화하여 제공하도록 함

제로에너지성능분석프로그램 v1.0

- 건축물 정보: 건물명, 주용도, 허가일, 연면적, 층수 등 입력
- 설비정보: 기기방식(난방, 급탕, 냉방, 조명)에 대한 용량 효율 등 입력



[그림 2-35] 제로에너지 성능 대비 금액 계산 툴 개발

- 신재생 정보: 태양열, 태양광, 지열히트펌프 관련한 면적 및 방위 효율등을 입력
- 기본 건설단가 및 에너지 성능 조건에 따른 금액 입력

성능수준별 기술 옵션 목록화

요소			제로에너지 등급수준				
			ZEB5	ZEB4	ZEB3	ZEB2	ZEB1
1차에너지소요량 (단위: KWh/m2.년)			85.7	57	22.5	-11.9	-57.8
에너지 자립률(%)			27.82%	43.27	61.82	80.37	105.0
난방기기			91%	91%	91%	91%	91%
			콘덴싱보일러	콘덴싱보일러	콘덴싱보일러	콘덴싱보일러	콘덴싱보일러
열관류율	별채단열	외기에 직접 면함	0.17	0.21	0.17	0.17	0.17
		외기에 간접 면함	0.24	0.28	0.24	0.24	0.24
		측벽	-	0.17	-	-	-
	최상층에 있는 거실의	외기에 직접 면하는 경우	0.15	0.18	0.15	0.15	0.15

요소				제로에너지 등급수준				
				ZEB5	ZEB4	ZEB3	ZEB2	ZEB1
	반자·지붕	외기에 간접 면하는 경우		0.21	0.26	0.21	0.21	0.21
	최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방 인 경우	0.17	0.23	0.17	0.17	0.17
			바닥난방 아닌 경우	0.17	0.29	0.17	0.17	0.17
		외기에 간접 면하는 경우	바닥난방 인 경우	0.24	0.35	0.24	0.24	0.24
			바닥난방 아닌 경우	0.24	0.41	0.24	0.24	0.24
	창	외기에 직접면함		1	1	1	1	1
		외기에 간접면함		1.6	1.9	1.5	1.6	1.6
침기율				0.5	6	3	0.5	0.5
열교가산치				외단열	내단열	내단열	외단열	외단열
창면적비(%)				20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
조명				7	13	10	7	7
폐열회수장치				-	-	-	-	-
신재생기기		태양광		면적 450㎡ 기율기 45%, 후면통풍형/ 효율20%	면적 700㎡ 기율기 45%, 후면통풍형/ 효율20%	면적 1000㎡ 기율기 45%, 후면통풍형/ 효율20%	면적 1300㎡ 기율기 45%, 후면통풍형/ 효율20%	면적 1700㎡ 기율기 45%, 후면통풍형/ 효율20%

3-2. 제로에너지 경제성 분석 모형 개발 구축

(1) 제로에너지 경제성 분석 모형 개발

(가) 연구내용

연구배경 및 동향

- 제로에너지건축물은 단열성능 강화 등을 통해 건축물 에너지 부하를 최소화하고(패시브), 태양광, 지열 등 신재생 에너지를 생산(액티브)하여 건축물의 기능을 위한 에너지 소요량을 최소화하는 건축물임. 사전적으로 사용에너지와 생산에너지의 합이 0이 되는 건물(Net Zero)이나 현재의 기술수준·경제성 등을 고려하여 정책적으로는 에너지 소비를 최소화(90%감축)하는 건축물

(Nearly Zero)을 제로에너지빌딩으로 추진 중임.

- 제로에너지건축물 인증기준은 건축물 에너지효율등급 1++ 이상의 에너지 성능 수준을 만족하는 건축물을 대상으로, 건축물에너지관리시스템(BEMS) 또는 원격검침전자식 계량기 설치여부와, 에너지자립률에 따라 평가됨.

$$\text{에너지자립률(\%)} = \frac{\text{1차 에너지 생산량}}{\text{1차 에너지 소비량}} \times 100$$

연구목적 및 개요

- 샘플 건물의 ZEB 등급 별 초기투자비용 및 신재생 관련 요소조건에 따른 유지관리비용 계산 툴 (모형) 개발
- 샘플건물의 실제 시공정보를 기반으로 에너지 자립률 별 초기투자비용 및 유지관리비용에 대한 분석을 통해 시뮬레이션 함
- 연구범위는 경제성 분석모형 개발이며, 경제성은 순현재가치(Net Present Value)로 산출 및 비교 하였음

(나) 연구결과

선택사항에 따른 유지관리비용변화 그래프 도출

- 건축물정보 : 건물명, 전용면적, 세대수 등 입력
- 설비정보 : 기기방식(난방, 급탕, 냉방, 조명)에 따른 가스 및 전기 소요량 등 입력
- 신재생 정보 : 태양광 설치 면적에 따른 전기 생산량, 수선주기 및 비용 입력
- 가스요금 및 전기요금 금액 및 요금 상승률, 할인율 입력
- 샘플건물의 ZEB 등급에 따른 태양광 설치 면적을 산정하여, 에너지비용 및 유지관리비용을 산출하여 비교분석함
- ZEB 수준 별 태양광 설치 면적(off-site 포함) 및 에너지비용(소요량 및 절감량), 유지관리비용 산정 후 순현재가치를 산정하여 비교하도록 함

제로에너지빌딩성능분석프로그램 v.2 주요기능

- 건축물 정보/설비/신재생 관련 정보 입력에 따른 에너지 공사비를 산출하고 단위면적당 1차 에너지 소요량 예측 가능

- 또한 이에 대한 결과 데이터를 저장하고 출력 하므로 공사 기초 단계에서 각각의 적용 조건에 따른 공사비를 예측함으로써 제로에너지 건축물의 검토 용이성 확대
- 입력값 : 건축물 정보, 설비, 신재생, 비용부분
- 실행 후 결과값 도출 및 데이터 저장 가능

(2) 적용 기술 경제성 인자 특성에 따른 LCC 최적 비용 도출 모형 개발

(가) 연구내용

■ 연구배경 및 동향

- 제로에너지빌딩의 성능 타겟 모델은 현재 녹색건축물조성지원법 제2조 4항의 정의, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증에 관한 규칙 제8조 (에너지효율등급 1++이상으로서 신재생에너지 20% 이상 적용)에 근거하여 진행하고 있음
- LCC(Life Cycle Cost)란 건축물이나 기반시설물의 계획, 설계, 시공, 운영, 해체 및 폐기까지 생애 전반에 걸쳐 발생하는 비용을 일컬음

$$\text{LCC} = \text{계획 비용} + \text{설계 비용} + \text{건설 비용} + \text{유지보수 비용} + \text{해체 비용}$$

- 또한, 초기투자비용(공사비, 설계비, 감리비, 보상비 등), 유지관리비용(점검 및 진단비, 관리비, 에너지비용, 보수비, 교체비, 보강비 등), 이용자비용, 사회/경제적 손실비용, 해체/폐기비용, 잔존가치 등 시설물의 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 말함.

$$\text{LCC} = \text{초기투자비용} + \text{유지관리비용} + \text{이용자비용} + \text{사회/경제적 손실비용} + \text{해체/폐기비용}$$

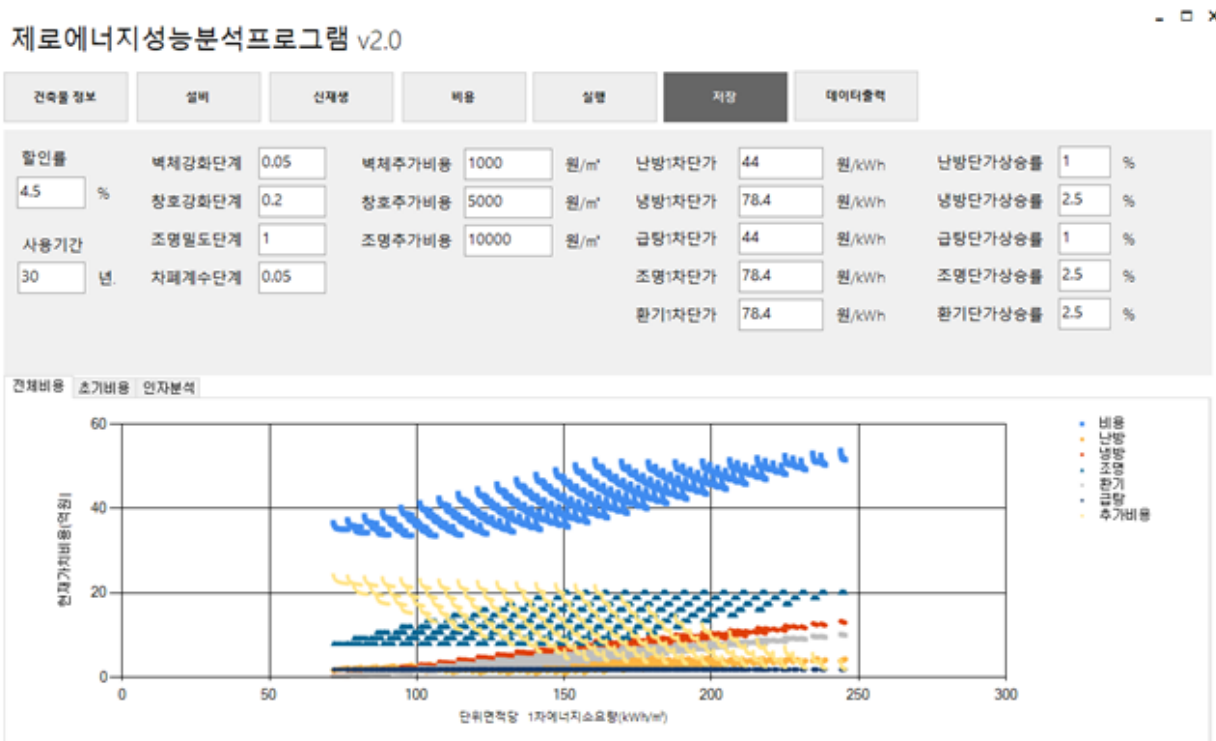
■ 연구목적 및 개요

- 제로에너지 건축 기술 시 적용 최적 비용 산출을 통하여 기술 적용 의사결정자에게 정확한 경제성을 예측하여 제공할 수 있는 모델을 개발하고자 함
- 건축물 정보 : 건축물 정보는 건물명, 주소, 주용도, 허가일, 준공일, 연면적, 높이, 지상층, 지하층으로 구성되어 있으며, 각각의 기초 정보를 입력할 수 있음
- 설비입력 : 난방기기/급탕기기/냉방기기/조명기기 각각의 기기방식 및 용량 및 효율을 입력함. 조명기기는 조명밀도로 표시함
- 신재생 : 신재생 부분은 가장 많이 사용되고 있는 태양열, 태양광, 지열히트펌프에 대한 조건인 면적과 방위 및 효율등의 해당하는 스펙을 입력할 수 있음

- 비용 : 투자 비용에 대한 할인율 및 건물에 대한 사용기간을 입력한후, 벽체/창호/조명/차폐계수 단계를 입력한후, 각각의 요소(벽체, 창호, 조명)들의 강화단계에 따른 추가비용을 m2당 설정함. 또한에너지원인 난방1차단가, 냉방 1차단가, 급탕 1차단가, 조명 1차단가, 환기 1차단가를 입력 하고 각각 단가에 대한 상승률을 적용할 수 있음

(나) 연구결과

- 실행 : 입력한 Input값에 의하여 난방/냉방/급탕/조명/환기에 대한 에너지 단가가 계산(현재가 치비용)되며 이에따른 추가비용이 계산됨. 또한 최종적인 공사에 필요한 최종 값이 산출됨



[그림 2-36] 제로에너지 성능프로그램 v2.0_ 실행

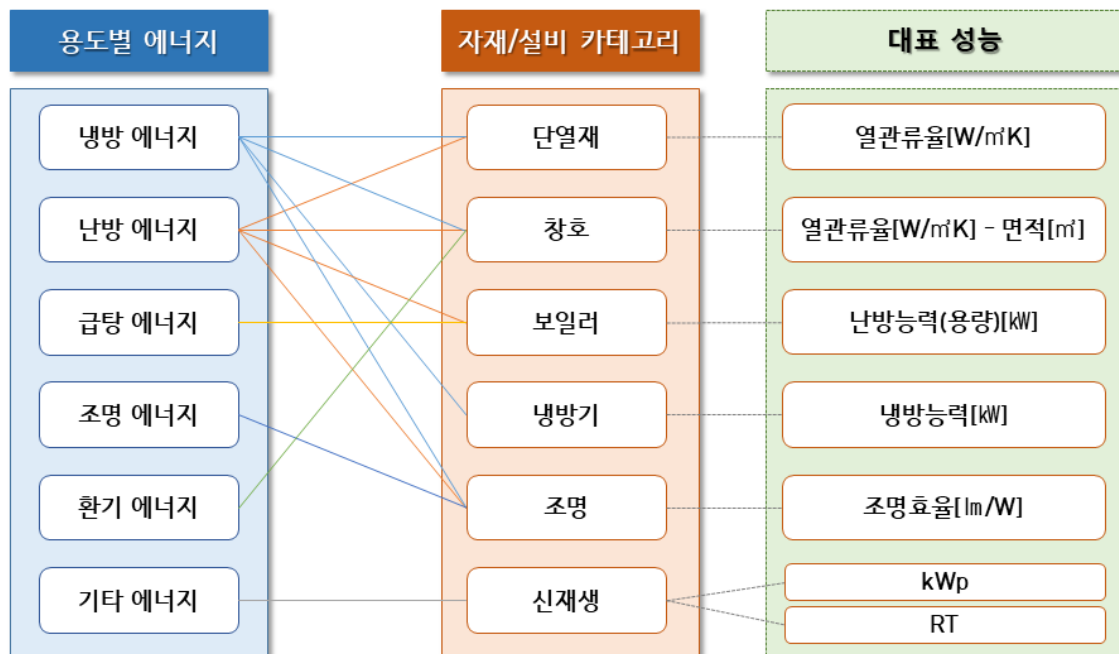
- 저장 및 데이터 출력 : 앞서 입력 값에 의한 결과를 저장할 수 있으며 이에 대한 값을 TXT파일 로 출력 할 수 있음

3-3. LCC관점에서의 최적 비용 모델 개발 및 툴 개발

(1) 제로에너지 성능 수준별 비용 추정 방안 도출 모델 개발

(가) 연구내용

- 건축물의 성능 수준은 사용된 건축 자재와 설비의 성능 정보를 기반으로 1차 에너지 소요량을 도출하여 판단할 수 있음
- 건축공사에서 사용되는 건축 자재/설비의 경우 수만 종 이상의 자재가 사용되고 있어 1차 에너지 소요량 도출을 위해 필요한 건물 에너지와 밀접한 연관이 있는 자재/설비 범위에 대한 한정 이 필요함
- 건물 부문에서 사용되는 에너지는 크게 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기를 5대 에너지로 구분함. 5대 용도별 에너지와 밀접한 연관을 갖고 있는 자재/설비의 카테고리를 각 용도별 에너지와 매칭 하고 자재/설비의 1차 에너지 소요량을 계산하여 성능의 수준을 판단함



[그림 2-37] 용도 및 에너지별 자재/설비 매칭 개념도

- 자재 성능치에 따른 자재의 비용 도출을 위해 이번 연구에서 구축된 자재 성능-가격 추정 로직을 이용함. 성능-가격 추정 로직은 성능에 따른 가격의 추정만 가능하기 때문에, 건축공사 자재비의 산출을 위해서는 자재의 물량 정보 산출이 필요함

- 단열재의 설치 면적을 산출을 위해 사용자가 입력한 연면적과 층수 정보를 통해 외피면적(외벽, 지붕, 바닥의 면적)을 계산하여 물량을 산출하였으며, 열관류율에 따른 단위면적당 가격을 반영하여 단열재 시공에 필요한 재료비를 산출함
- 창호의 경우 열관류율에 따른 단위면적 당 가격로직을 통해 단위면적 당 가격을 산출하였으며, 사용자가 입력한 창면적비를 이용하여 단열재 물량산출을 위해 도출된 외피면적 대비 창면적비를 계산하여 창호 설치 면적을 도출함
- 조명의 개수는 건물 용도에 따른 조도기준, 광원의 광속 등 다소 복잡한 수식을 통해 산출이 가능하며, 조명 종류에 따라 디플트 값을 제공하여 물량을 산출하였음
- 신재생 설비는 태양광의 경우 사용자가 입력한 설치면적, 지열의 경우 용량을 통해 물량을 산출하였음
- 본 성능 수준별 비용 도출 모형은 설계 초기 개략적인 성능 및 비용을 알아보기 위한 모형으로, 보일러 및 냉방기는 1대 설치를 기준으로 모형 구축을 진행하였음
- 건설공사에서의 비용은 크게 자재비, 노무비, 현장경비, 외주비로 구분할 수 있으며, 대한건설협회에서는 매년 완성공사의 원가통계를 통해 구성비를 분석하여 공표하고 있음.
- 대한건설협회에서 제공하는 완성공사 원가통계의 최근 10년간의 통계자료를 통해 재료비 외 노무비, 현장경비, 외주비의 재료비 대비 구성비를 도출함. 현재 본 모델은 자재/설비를 통한 성능 및 비용을 산출하기 때문에, 재료비를 기준으로 비율을 산정하여 전체 공사비를 도출함
- 건축물은 공사 이후에도 건물을 사용하는데 지속적인 비용이 소요됨. 5대 용도별 에너지를 사용함에 따른 에너지 비용이 소요되게 되며, 에너지 비용은 크게 용도(주거, 비주거)와 에너지원(가스, 전기)에 따라 산출 방식이 달라지게 됨
- 5대 용도별 에너지와 신재생 에너지의 에너지원을 정의하고, 건물 용도에 따른 요금 체계를 분석하여 에너지비용 산출을 위한 수식을 도출함
- 가스의 경우 지역에 따라 도시가스, 지역난방으로 공급 방식이 다르며, 이에 따라 요금 산정 방법 또한 상이함. 도시가스의 요금 체계 및 지역난방 요금 체계의 분석을 통해 각각 주택용과 업무용에 따른 요금 산정 수식을 구축하였음
- 도시가스는 주택용의 경우 기본요금을 외 사용량 516MJ(=143.333kWh)을 기준으로 516MJ까지는 취사용 요금을 부과하고 있음. 전국 도시가스를 공급하는 지역의 가장 최신 도매요금(2019.04.01.조정분)을 기준으로 기본요금 최고 3,960원, 최소 2,700원으로 기본요금 뿐 아니라 취사용, 주택난방용 요금이 지역마다 상이함. 전국 요금의 기본요금, 취사용, 주택난방용 요금의 중간값을 산출하여 계산된 소요량에 따른 가스비 요금을 산출함. 업무용은 사용량에 따른 단일 요금을 적용하고 있어, 전국 요금의 중간값을 산출하여 요금을 산출함

- 지역난방은 기본요금, 단일요금으로 요금을 산정하며, 주택용의 경우 계약면적의 단위면적 당으로 업무용의 경우 계약용량의 단위 용량 당으로 요금을 산정함. 그 외 계절별, 시간대별 차등 요금제가 적용되나, 본 모델에서는 이 부분은 생략하고 기본요금과 단일요금으로만 계산을 적용함.
- 전기요금은 한국전력의 요금 부과 방식을 사용하였음. 계약방식은 주택용은 고압/저압으로 일반용은 갑/을로 나뉘어져 있으나, 일반 사용자가 계약 방식에 따른 요금 차이를 인지하기 어려움으로 주택용은 저압으로, 일반용은 갑/을 구분을 두지 않고 수식을 적용함
- 주택용의 경우 기본요금과 전력량 요금이 각각 사용량에 따라 부과 요금이 달라 이를 반영하였으며, 필수사용량 보장 공제, 슈퍼유저요금 등 변동성이 있는 부분에 대해서는 생략하였음
- 신재생의 경우 현재 전력거래 시장에서 활발히 거래가 이루어지고 있는 태양광의 전력 거래 가격을 분석하였음. 태양광 전력거래는 SMP(계통한계가격)와 REC(신재생에너지 공급인증서)로 나누어 거래가 이루어지는데, 본 모델에서는 직접적인 전력의 거래 가격인 SMP의 육지 기준 가중평균SMP의 2001년부터의 데이터를 분석하여 회귀식을 도출하여 생산량 대비 가격을 산출하였음
- 경제성 분석은 산출된 금액의 단순 합이 아닌, 화폐의 가치, 인플레이션 반영 등 시간의 흐름에 따른 비용 변화의 반영이 중요함. 경제성 분석을 위한 지표에는 물가상승률, 인건비 상승률, 할인율 등이 있음.
- 본 모델에서는 공사비 산출을 위한 물가상승률, 노무비 증감률, 에너지 비용 산출을 위한 에너지 물가지수 증감률, 설정 기간 동안의 화폐의 가치를 반영하기 위한 할인율이 사용됨
- 공사비 산출을 위한 지수 중 물가상승률은 e-나라지표의 소비자 물가상승률을 적용하였으며, 노무비 상승률은 건설공사 인부의 임금이 타 업종과 달라 단순 최저 임금 상승률을 적용하지 않고, 대한건설협회에서 조사, 분석하여 제공하는 건설업임금실태조사의 평균 임금 현황을 사용함
- 에너지 비용 산출을 위해서는 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 전국 소비자 물가지수 중 전기, 가스 및 기타연료에 해당하는 전기료, 도시가스, 지역난방비 데이터를 활용함. 신재생(태양광) 거래금액의 경우 2001년부터의 가중평균 SMP의 가격 증감률 평균 값을 활용함
- 할인율은 공공공사의 예비타당성 조사에 사용되는 사회적 할인율, 한국은행 기준금리, 기타 민간 분석 기관에서 자체적인 분석을 통해 도출하여 사용하는 할인율 등이 있음. 본 모델에서는 예비타당성조사 수행 총괄지침 제 50조(사회적할인율)에 명시되어 있는 사회적 할인율과 한국은행 경제통계시스템에서 제공하는 한국은행 기준금리를 사용함

(나) 연구결과

- 제로에너지 성능 수준별 비용 추정 모델 구축을 위해 공사비, 에너지비용 산출 로직을 구축하였으며, 분석 기간동안의 화폐가치 및 물가상승을 반영할 수 있는 경제성 지표를 정의하였음

- 구축된 모델은 공사비 산출을 위한 재료비 산출 모듈, 공사비 산출 모듈 및 에너지비용 산출을 위한 에너지비용 산출모듈로 구성되어 있음
- 재료비, 공사비, 에너지비용 산출 모듈 결과를 활용하여 추가 공사비 및 NPV(Net Present Value, 순현재가)를 산출하는 계산 모듈을 구축하였음
- 본 모델은 성능 수준별 비교를 위해 1차에너지 소요량 총량을 기준으로 케이스 별 구성 자재에 대한 계산을 수행하고, 그 결과값을 비교할 수 있음
- 분석 결과는 사용자가 에너지 성능 향상을 위한 선택을 할 수 있도록 케이스 별 자재 조합, 1차 에너지 소요량, 원안 대비 추가 공사비, 에너지 비용, 절감 에너지 비용, 추가 공사비 회수기간, NPV 값을 제공함

(2) LCC기반 제로에너지 건축물 비용 변화 분석 툴 개발

(가) 연구내용

- 엑셀을 기반으로 구축한 성능 수준별 비용 추정 모델을 기반으로 비용 변화 분석 툴 개발을 진행함
- 사용자 입력 항목과 디폴트 제공 항목을 정의하고, 화면 표출 사항과 내부 로직에 의해 진행될 항목을 구분함.
- 사용자에게 입력값 대비 추가 공사비와 성능값을 그래프로 제공하고, 에너지 성능 향상을 위한 케이스 선택시 동일 비용 최고 성능, 동일 성능 최저 비용, 사용자가 설정한 추가 비용 최대허용 비율 내의 가장 좋은 성능의 케이스를 에너지 비용으로 비교할 수 있도록 구성함
- 사용자의 선택 케이스에 따라 케이스 별 에너지비용의 변화를 그래프로 제시하여, 전문 지식이 없는 사용자도 쉽게 비용의 변화에 대해 인식할 수 있도록 함
- 최종 분석결과를 표 형태로 제시하고, 사용자가 원할 경우 추가 상세 정보를 제공함

(나) 연구결과

(1) 건축물 정보

- 건물명을 비롯한 성능, 비용 산정 시 필요한 용도, 허가 및 준공일, 연면적, 층 수 등 기본정보와 외피면적, 창면적비 등 상세 정보를 입력함
- 벽체면적 및 창면적은 외피면적과 창면적비를 통해 자동 산출됨

(2) 설비 정보

- 설비 정보인 난방/냉방/급탕/조명기기에 대한 방식 및 성능 정보와 신재생 정보인 태양광/지열 히트펌프의 성능 및 비용 도출을 위한 정보를 입력함

(3) 비용 변화 분석 및 케이스 선택

- 할인율과 허용범위는 기본 디폴트로 제공하며, 사용자가 원할 경우 변경할 수 있도록 제시함. 할인율은 사회적 할인율을 기본 설정으로 하며, 허용범위는 선택점을 기준으로 최고 성능, 최저 비용 케이스를 제시할 때 선택값과의 오차에 대한 허용 범위를 의미함
- 단위면적당 1차에너지 소요량별 추가공사비를 좌측에 그래프 형태로 제시함
- 각 점은 하나의 케이스를 의미하며, 사용자는 본인의 입력값 대비 성능 향상을 원하는 케이스를 선택함
- 사용자가 선택한 케이스를 기준으로 최고 성능, 적정성능, 최저비용의 점을 추천하여 우측에 에너지비용에 대한 그래프를 제시함
- 사용자가 좌측 그래프의 선택 케이스를 변경할 시, 우측 에너지비용 그래프의 점도 변화하여 사용자는 최적의 케이스를 선택할 수 있음
- 케이스 선택 후 결과표 탭을 클릭하면 분석 결과 정보를 얻을 수 있음

(4) 결과

- 경제성 분석 결과를 표 형태로 제공함
- 추가공사비, 에너지비용, 절감에너지비용 값을 제공하며, 추가 공사비와 절감 에너지비용을 통해 추가 공사비에 대한 회수기간을 산정함
- 통상적으로 회수기간은 시간의 흐름에 대한 반영을 하지 않고 단순 계산을 진행하나, 본 시뮬레이터에서 제공하는 회수기간은 시간의 흐름이 반영된 에너지 비용의 절감분을 통해 추가 공사비의 회수기간을 산정하여 미래의 가치가 반영된 회수기간을 제시하고 있음
- 또한, 케이스 별 가장 적절한 대안을 선택할 수 있도록 NPV(Net Present Value, 순현재가) 값을 제공함

(3) 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터 신뢰성 및 타당성 검토

■ 시뮬레이션 검증과정 보완

(가) 시뮬레이터의 객관적 성능 및 신뢰도 확인을 위한 전문가 시연 및 자문회의

- LCC관점에서의 최적 비용 최대 효과 분석 모델 개발 성과품에 대한 제로에너지건축물 전문가 자문회의를 개최하여 시뮬레이터의 성능을 시연하고 보완할 점에 대한 의견을 수렴함
- 중·소규모 건물을 대상으로 사업초기 단계에서 건축사가 발주처와 제로에너지 성능 목표에 따른 개략견적을 검토시 최저 비용뿐만 아니라 LCC 관점에서 에너지비용을 최소화하는 설계안을 제안하는데 도움을 준다는 측면에서 활용 가치가 있다는 평가를 받음

[표 2-33] 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터에 대한 전문가 검토의견 및 개선사항

구분	전문가 검토의견 및 보완사항
시뮬레이터 적용 건물 규모 및 사용자 타겟 구체화하면 활용도가 높을 것으로 기대함	- 대형건물과 녹색 및 제로에너지건축물 사업 경험이 있는 종합건축사사무소의 경우 자체 DB와 설계안에 따른 개략견적 정보를 확보하여 사업을 수행하는 반면, 건축사 1~2인 규모의 건축사사무소와 3군이하 시공사의 경우 제로에너지에 대한 용어도 아직은 익숙하지 않은 수준으로 본 시뮬레이터를 활용하여 목표 성능 구현을 위한 사업계획 수립시 도움이 될 것으로 판단됨 ⇒ 사용자 타겟 : 7군 건설사(시공능력평가액 120억~78억원) 및 건축사 1~2인 규모의 건축사사무소 - 대형건물의 경우 복잡용도와 조닝에 따른 다양한 시스템이 적용되며 설계사 및 시공사 자체 역량에 따라 발주처 대응이 가능한 상황. 본 시뮬레이터는 3천㎡ 미만 규모 건물의 사업계획시 발주처와 개략견적 수립시 활용성이 높을 것으로 판단됨 ⇒ 대상 건물 규모 : 3천㎡ 미만* 공동주택 및 업무용 시설 *2018년 건축인허가 현황에 따르면 전국 허가면적의 97.2% 차지
결과그래프에 제시되는 용어에 대한 정의 명시 필요	- 선택값 : 사업 초기 예산 또는 1차에너지소요량 등 임의의 기준 값 - 최적비용 : 제로에너지 추가공사비와 회수기간이 최저인 설계안 - 최고성능 : LCC 관점에서 에너지비용을 최소화하는 설계안 - 최적성능 : 타겟 추가예산에 맞는 최저 에너지 비용 설계안
현실적인 baseline값을 제시하는 것이 프로그램에 대한 인식에 기여	- 소규모 건축물의 경우 제로에너지건축물 구현을 위한 설계 대안의 폭이 좁은 것이 현실이므로 시뮬레이터의 기본 반영값의 범위도 창면적비 등 법규를 반영하여 시뮬레이터 입력값에 반영하면 계산 결과의 신뢰성 확보에 기여할 것으로 사료됨 - 현재 법규(패시브 수준이 이미 반영된) 수준을 baseline으로 신재생 추가 방식 및 비용이 관건인 수준임
향후 기존건축물의 그린리모델링시 활용 가능성	- 신축건물 뿐만 아니라 기존건축 대상으로 현재 에너지사용량 대비 제로에너지 성능 구현을 위한 자재 및 시스템 적용시 추가 공사비 대비 에너지비용 절감에 대한 컨설팅 자료로도 확대 활용이 기대됨

(나) 시뮬레이션의 신뢰성 검증 과정

- 시뮬레이터의 객관적 성능 및 신뢰성을 확인하기 위하여 K업무용 건축물을 대상으로 건축물 정보 및 설비시스템 용량을 입력하여 시뮬레이션을 실시하였고, 추가공사비 범위의 신뢰성 검토를 위하여 비주거용 건축물의 1차에너지 소요량에 따른 추가공사비 사례와 비교 검토함
- 건축물 상세 정보

상세 정보

형상	단열성능	방위	외피면적	창면적비	벽체면적	창면적
주방위 남	외벽열관류율 0.2 W/m2K	남	1,772.13 m2	60 %	708.85 m2	1,063.28 m2
장단변비 2	지붕열관류율 0.2 W/m2K	서	886.07 m2	60 %	354.43 m2	531.64 m2
	바닥열관류율 0.2 W/m2K	북	1,772.13 m2	60 %	708.85 m2	1,063.28 m2
	창호열관류율 3 W/m2K	동	886.07 m2	60 %	354.43 m2	531.64 m2
	창호SHGC 0.56					

[그림 2-38] 시뮬레이터 입력값 (건축물 상세 정보)

- 설비시스템

기기방식	용량	효율
난방기기 보일러	868.36524 kW	87 %
급탕기기 보일러	561.4204 kW	87 %
냉방기기 히트펌프(전기)	717.516 kW	3.78 COP

조명밀도	종류
조명기기 10 W/m2	형광등

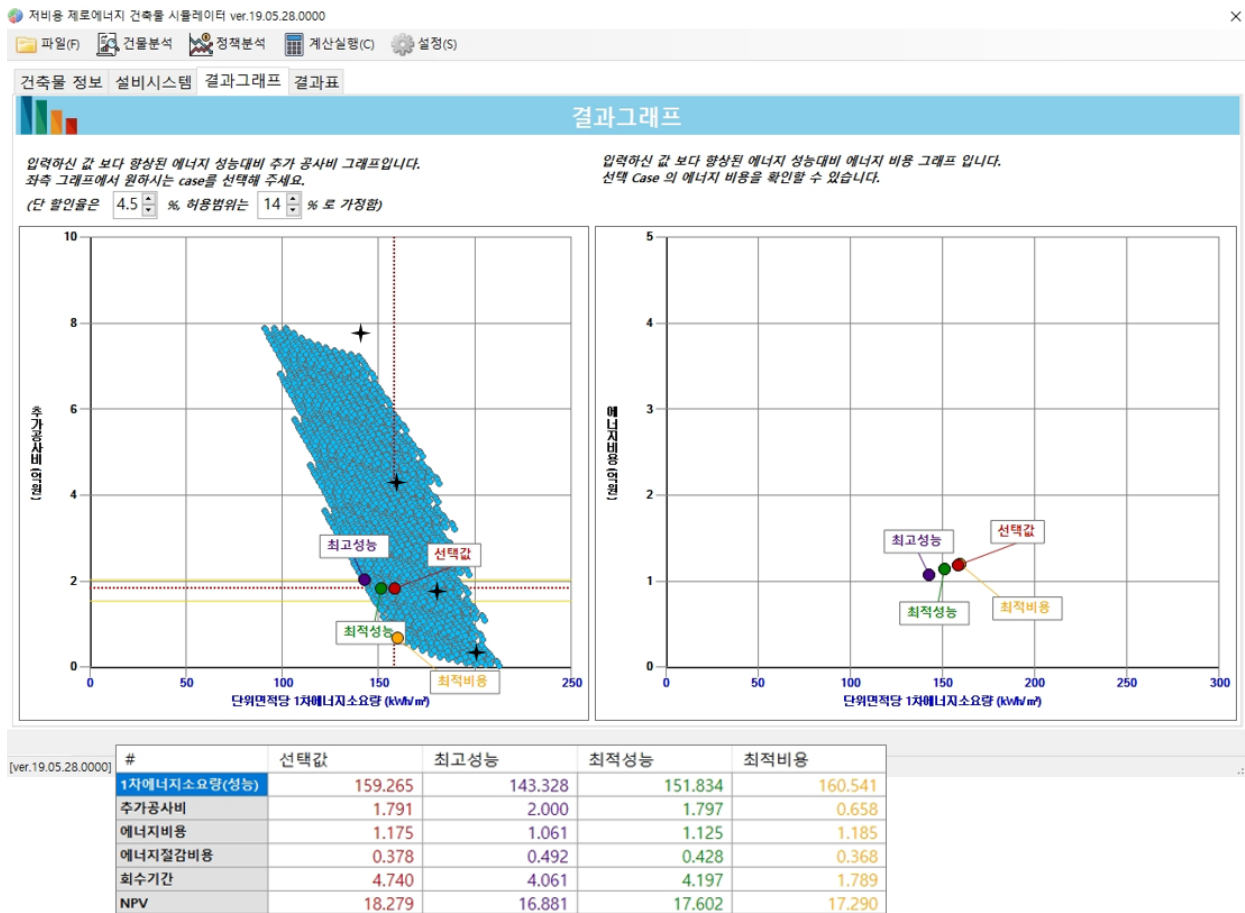
용량	방위
태양광발전 30 kW	남

용량	효율
지열시스템 50 kW	4.12 COP

[그림 2-39] 시뮬레이터 입력값 (설비시스템)

- 시뮬레이터를 통한 건물 분석 결과, 입력값에 의한 연간 단위면적당 1차에너지 소요량은 213.5kWh/m²였고 입력한 값 보다 향상된 1차에너지 소요량에 따른 추가공사비 분포 범위는 파란색 점들로 제시됨(아래 그림 참고)

- 제시된 추가공사비의 신뢰성 확인을 위하여 사례조사를 실시한 1차에너지소요량에 따른 추가공사비 정보와 비교한 결과, 그림에서 +로 표기된 바와 같이 시뮬레이터가 제시하는 추가공사비 범위에 포함되는 것으로 파악됨
- 입력한 값보다 향상된 에너지 성능대비 추가 공사비를 파악하기 위해서 그래프 화면에서 값을 선택한 경우(선택값 159.3) 이에 따른 최적비용, 최적성능, 최고성능 정보가 표기되고 각각에 따른 추가공사비를 확인할 수 있음
- 또한, 입력한 값보다 향상된 에너지 성능대비 에너지 비용도 확인할 수 있으며 결과표 양식으로 비교 검토할 수 있는 정보를 제공함



[그림 2-40] 시뮬레이터의 추가공사비 신뢰성 검토

시뮬레이터 업데이트 계획

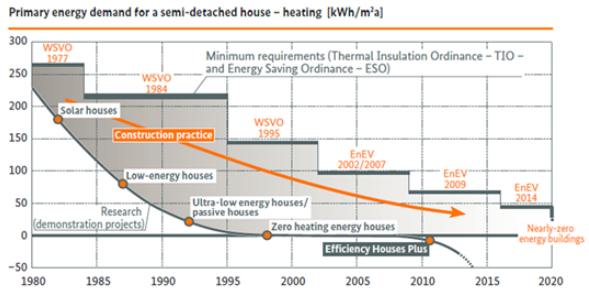
- 저비용 제로에너지 건축물 시뮬레이터는 추가 공사비, 에너지비용, 에너지 절감비용, 회수기간, NPV의 결과 값을 제공함
- 결과 값의 제공을 위해서는 자재비용, 물가상승률, 에너지 물가지수, 건설업임금실태조사 데이터, 전기,가스,열 요금, 신재생 에너지 거래 금액, 완성공사 원가통계 데이터를 사용하며, 해당 데이터는 고정된 값이 아닌 지속적으로 변동이 됨
- 변동되는 데이터의 반영을 위한 주기적 데이터 업데이트가 필요하며, 데이터 업데이트를 위한 연계 시스템 구축이 필요함
- 본 연구에서 구축된 자재 DB 및 속성-가격 로직의 업데이트 값을 반영할 수 있는 연계 시스템의 구축을 추진하여 자재비용 데이터 업데이트 진행
- 자재비용 외 필요 데이터는 산재되어 있으며, 연간 새로운 수치를 발표하고 있음
- 데이터 공표 시기에 맞춰 시뮬레이터의 최신 버전으로의 업데이트를 추진하여 지속적인 최신 데이터 반영을 통한 시뮬레이터 신뢰성 향상을 추진

PART 4. 비용최적화 제로에너지 건축물 보급 최적 정책 모형 개발

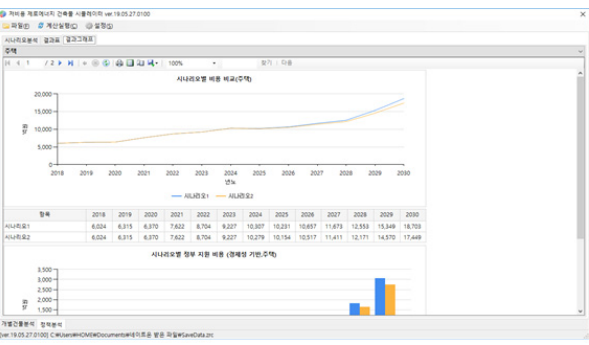
- 세부연구목표 : 1. 제로에너지 건축물 확산 중장기 비용 투입 모형 구축
2. 비용연계 제로에너지 건축물 활성화 방안 도출 및 ZEB 추진 로드맵 구축

주요 연구내용 및 성과물

1. 제로에너지 건축물 확산 중장기 비용 투입 모형 구축

〈주요연구내용〉	〈주요성과물〉
- 제로에너지 건축물 보급 활성화를 위한 정책 동향 조사 및 분석 - 국내 활성화 촉진 방안 프레임 구축	 〈독일의 제로에너지 빌딩관련 규제〉

2. 비용연계 제로에너지 건축물 활성화 방안 도출 및 ZEB 추진 로드맵 구축

- 비용연계 제로에너지건축물 활성화 방안 도출 - 제로에너지 등급별 비용 모형 구축 - 온실가스 감축 국가 로드맵에서의 제로에너지 활성화 정책 분석 - 제로에너지 건축물 보급확산 추진 및 향후 추진사항 제안	 제로에너지빌딩 실현 및 보급을 위한 로드맵
- 건물부문 온실가스 목표량 달성과 투입비용과의 관계를 고려한 적정 의무화 수준 설정 - 의무화 대상 로드맵에 따른 시장비용 산출 시뮬레이션 설계 - 주택 및 업무용으로 구분 계산 - 입력조건 및 시나리오별 연도별 시장 비용과 정부 지원 비용을 산출 - ZEB 추진 로드맵 구축	 〈제로에너지 건축물 확대 시나리오 분석 결과〉

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

핵심성과 4	비용최적화 제로에너지 건축물 보급 최적화 정책 모형 개발	
정의	중장기 제로에너지 확산을 위한 기술 기반 정책 및 ZEB 추진 로드맵 구축	
목적	제로에너지 건축물 중장기 로드맵을 통하여 건축물 유형별(주택, 업무용) 합리적인 수준의 국가 의무화 수준 및 지원제도를 운영할 수 있도록 함.	
성능목표	(기존기술 수준) - 국내의 경우, 제로에너지건축물 설계에 대한 표준건물이 없으며, 각 건물마다 건축물에너지효율등급 1++기준에 맞춘 시범사업만이 존재하고 있기 때문에 설계사들의 성향에 따른 제로에너지 건축물이 설계되고 있음 - 제로에너지 국가지원의 경우, 용적률 높이기준 15% 이내 완화, 지방세 15% 감면(취득세 15%, 재산세 5년간 15% 감면), 태양광, 지열 등 신재생에너지 설치보조금 우선지원 및 BEMS 설치보조금 지원을 하고 있으나, 이는 제로에너지 성능기준을 근거로 한 보조금이 아닌 시범사업 촉진을 위한 지원 사업으로 한정되어 있음 (개발기술 수준) ▷ 제로에너지 건축물 확산 중장기 비용 투입 모형 구축 - 제로에너지건축물 보급 활성화를 위한 정책 동향 조사 (정책조사 및 분석 5건) - 국내 활성화 촉진방안 프레임 구축 (촉진방안마련 1건) ▷ 비용 연계 제로에너지 건축물 활성화 방안 도출 및 핵심 추진 로드맵 구축 - 비용 연계 저비용 제로에너지 건축물 활성화 방안 구축 (지원방안 설정용 시뮬레이터 마련 1건) - 건물부문 온실가스 목표량 달성과 투입 비용과의 관계를 고려한 적정 의무화 수준 설정 및 핵심전략 기술 추진 로드맵 구축 (로드맵 구축 1건)	
성과달성 책임자 (소속기관)	이승언 (KICT)	
소요기간	'16.06.27. ~ '19.04.27. (34개월)	
성과달성 확인방법	- 최적비용에 근거한 제로에너지 건축물 의무화 성능 기준 제안 여부 - 제로에너지 건축물 중장기 비용 투입 모형을 통한 기술 수준별 요구 수준 및 제안 정책의 적정성 여부 - 제로에너지 핵심 추진 기술	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허	출원 : 1건
		등록 : 0건
	논문	1 건
	시제품	0건
	S/W	0건

4-1. 제로에너지 건축물 확산 증장기 비용 투입 모형 구축

(1) 제로에너지건축물 정책 동향 조사 및 국내 활성화 촉진 방안 프레임 구축

(가) 연구내용

■ 연구배경 및 동향

- 제로에너지건축물 구현에 따른 비용 증가는 현재 시장 활성화의 가장 큰 장애 요인임.
- 기존 건축물 대비 건물 에너지 효율을 획기적으로 향상시키기 위한 기술 혁신 및 에너지 효율성 향상을 장려하는 적극적인 조치와 정책을 이행하기 위해서는 상당한 선행 투자가 필요함
- 각 국의 에너지 가격에 따라 제로에너지건축물에 대한 경제성 분석이 영향을 받으며, 산업 고도화에 따라 제로에너지건축물 추가 비용은 수 년 안에 크게 감소할 것으로 예상됨
- 이를 통해 제로에너지건축물은 건물 에너지 효율을 개선하고 건물부문 온실가스 배출을 저감하는 가장 적절한 대안이 될 것으로 기대함

■ 연구목적 및 개요

- 해외 선진 사례분석을 통해 다음의 항목을 중심으로 조사 및 비교·분석을 실시하였음
 - 건축물 활성화를 위한 기술 정책
 - 제로에너지건축물 비용 저감을 위한 항목별 영향도 조사
- 국내 활성화 추진 방안을 점검하고 비용연계 활성화 방안을 위한 항목을 도출함

(나) 연구결과

■ 해외 제로에너지 건축물 활성화를 위한 기술 정책 동향 조사

- 아시아태평양경제협력체(APEC) 100대 제로에너지건축물 사례 조사
 - 패시브 설계를 통해 태양열을 획득하는 기술(천창 및 자연환기)은 추운 지역의 경우 가장 보편적이고 경제적인 대안으로 효과적임 - 85개 프로젝트가 설계단계에서 채택
 - 액티브 시스템의 경우, 태양열 튜브와 지열 냉방시스템은 적용 건물 규모가 제한되고 가격이 아직은 고가이지만 최근 프로젝트에서 보급되는 추세임.
 - 고효율 조명은 적은 비용으로 에너지 소비량 절감이 가능한 효과적인 기법으로 우선적인 고려가 필요함 - 89개 프로젝트가 채택하였고 69건은 개선된 조명제어시스템까지 반영함

- 제로에너지 건축물 비용 저감을 위한 항목별 영향도 조사
 - 에너지 성과면에서 본 프로젝트는 다음 세 가지 주요 기준을 충족 시키려고 시도함
 - (1) Title 24 (2005) 캘리포니아 에너지 법규보다 25 % 향상된 성능
 - (2) 표준 주택에 비해 거주자의 전기 비용을 70 % 절감
 - (3) 여름철 최대 전력 수요가 주택 단위당 1kW 이하로 절감
 - 비용지원 프로그램 : 추가 저소득 주택 세액 공제, 연방 태양열 사업 투자 세액 공제, 태양열 및 에너지 효율 할인, 재래식 부채 등 최소한의 재정적 도구를 사용하여 순 비용을 최소한으로 유지함
- 에너지가 거의 들지 않는 주택 프로젝트는 경제적으로 실행 가능함.
 - 합리적인 주택 세액 공제, 연방 태양열 투자 세액 공제, 에너지 효율 및 태양열 설치에 대한 주 리베이트 및 에너지 비용 절감으로 인한 추가 부채의 결함을 통해 개발자는 순수 전기 제로 빌딩을 건설하는 첫 번째 비용을 완전히 충당 가능.
- 에너지 비용 모델링은 에너지 비용이 저렴한 주택 프로젝트 자금을 마련하기 위해 필요한 추가 부채를 충당 할 만큼 정확 가능
 - 합리적인 정도의 정확성을 가지고 미래의 유틸리티 비용을 예측할 수 있다는 것은 에너지가 전혀 들지 않는 주택 경제 모델에 있어 중요한 사항임. 상태 승인 소프트웨어, 유틸리티의 일일 청구 요금, 재실자 행동 정보 및 예상되는 플러그로드의 신중한 분석을 사용하여 유틸리티 공제 및 전반적인 운영비용을 조율하는데 충분한 정확도로 에너지 절감을 예측할 수 있음
- 더 높은 건물은 향후 10 년 동안 제로 에너지를 의무화 규정으로 전환하려는 규제 당국에 도전 과제를 제기함
 - 캘리포니아 시범사업 결과를 토대로 현재 기술을 사용하여 전기 제로 목표를 달성하고자하는 주거용 건물에 대한 3 층 높이 한계가 있는 것으로 판단됨.
 - 3 층 이상의 건물이 미래의 제로 에너지 요구 사항을 충족 시키려면 태양광 효율 향상 및 조명 전력 소비의 진보와 플러그 부하를 낮추는 보다 엄격한 기기 표준이 필요함.

국내 활성화 촉진 방안 프레임 구축

- 재정지원과 규제정책, 기술지원 카테고리 분류하여 구성 항목을 도출
- 국내 제로에너지건축물 지원방안

[표 2-34] 제로에너지지 시범사업

지원방안	내용
건축기준 완화	- 용적률 및 높이기준 15%이내 완화 - 시범사업 사업성 확보 및 경제적 유인 제공
지방세 감면	- 취득세 15%, 재산세 5년간 15% 감면
보조금 지원	- 태양광, 지열 등 신재생에너지 설치보조금 우선지원(신재생에너지 보급 지원 사업 공고 시 내용 반영) - BEMS 설치보조금 지원 검토(R&D 사업비와 연계)
제로에너지빌딩 지원센터	- 설계검토 및 에너지절약을 위한 녹색기술 적용방안 컨설팅 - 에너지 시뮬레이션 등을 통한 에너지 성능 향상 유도 - 에너지 사용량 확인 등 유지관리 지원

제로에너지건축물 보급 활성화를 위한 추진방안

- 현재 국내 지원방안의 경우, 직접적인 재정지원의 형태보다 용적률을 높이거나 세제 혜택으로 유도하는 간접적인 재정지원의 형태임
- 정부가 목표로 하는 제로에너지 건축 의무화와 에너지 신산업 육성을 위해서는 범정부적인 추진 체를 구성하여 대국민 교육과 홍보를 포함한 정보플랫폼 구축 등 포괄적이고 구체적인 실행계획의 수립·시행이 필요하며, 각 부처별 협업을 통한 지원 제도 개발도 요구됨
- 제로에너지 빌딩에 대한 환경론적인 이유만으로 목적을 달성하기에는 부족하므로 사업자나 입주자로 하여금 자발적으로 제로에너지 빌딩에 대한 관심과 참여를 이끌기 위하여, 건강, 쾌적성 등과 같은 제로에너지 빌딩의 홍보 타겟을 넓히고, 그에 따른 이행 부문의 데이터를 수집하고, 의무 이행 부문 추진관리 / 보고체계 구축이 필요함

4-2. 비용 연계 제로에너지 건축물 활성화 방안 도출 및 핵심추진 로드맵 구축

(1) 비용 연계 저비용 제로에너지 건축물 활성화 방안 구축

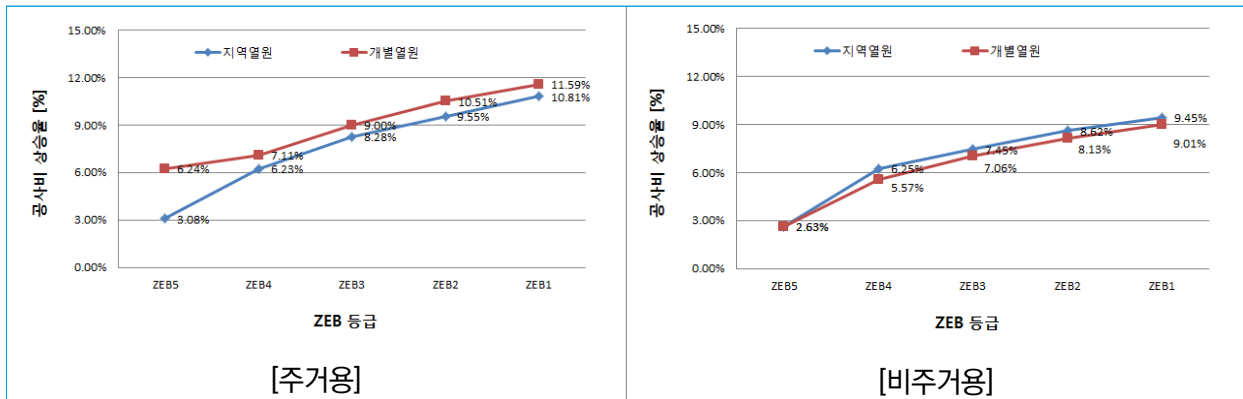
(가) 연구내용

- 제로에너지 건축물 기본 공사비 도출
 - 주거용 건축물 10개, 비주거용 건축물 9개의 예산 견적을 통해 전체 공사비와 ZEB 요소기술 별 공사비용 분석
- 제로에너지 등급별 비용 분석
 - 베이스라인 설정을 위한 제로에너지 건축물 기본 타입 설정
 - 기본 타입 대비 ZEB 등급 상향에 따른 공사비 변화 분석
- 제로에너지 등급별 비용 모형 구축
 - 선형, 비선형 등급별 비용 모형 분석
- 온실가스 감축 국가 로드맵에서의 제로에너지 활성화 정책 분석
 - 제로에너지건축물 역할 및 정책 방안 검토

(나) 연구결과

제로에너지 건축물 공사비 분석 (a)

- ZEB 등급 향상에 따른 공사비 상승률 분석 결과 ZEB 1개 등급 상향시 약 총 공사비의 1~3% 범위의 수준에서 공사비가 상승
- ZEB 5등급에서 4등급 수준으로 성능 향상시 공사비 상승률이 상대적으로 높은 경향을 나타내는 데, 이는 건축물의 입면 부위의 BIPV 적용 면적이 동측 및 서측 입면으로 급격히 늘어나 것에 기인
- 주거용 건물의 경우 에너지 효율 등급의 평가 특성상 냉방 에너지 소요량이 평가 결과에 미반영됨에 따라 지역 열원 시스템이 개별 열원 대비 약 1% 이내의 범위에서 공사비가 절감됨



[그림 2-41] 제로에너지 건물 등급에 따른 공사비 상승률

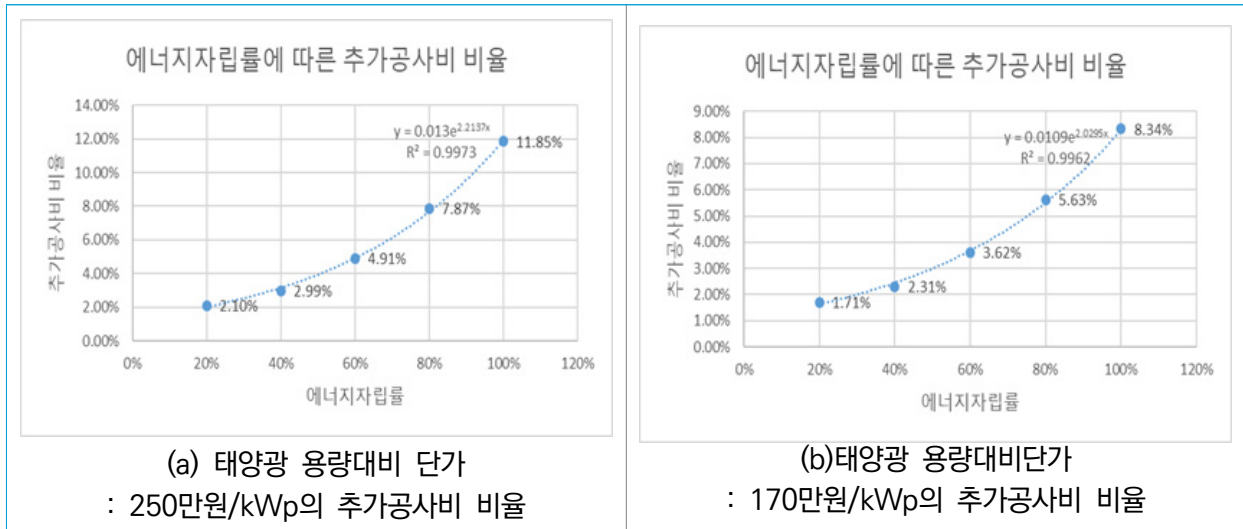
2. 제로에너지 등급별 비용 분석 (b)

- 가상 설계된 프로토타입 기본 설계안(자립율 4.72%) 대비 등급별 추가 공사비는 5등급 4.2%에서 1등급 16.2%까지 증가

		Baseline Model	ZEB 5등급	ZEB 4등급	ZEB 3등급	ZEB 2등급	ZEB 1등급
		-	On site	작동	On Site + Off Site	작동	작동
계획/기술/신재생 요소 적용 비율	에너지 자립율	4.72					
	에너지 자립율	4.72					
모듈당 용량(Wp)	PV	350	작동	작동	작동	작동	작동
설치용량(kW)		22.4	146	251.0 On site 146 + Off site 105	338.5 On site 146 + Off site 192.5	426.0 On site 146 + Off site 280.0	350
설치면적(㎡)		126.0	800.6 (지붕 224.6+외벽 576.0)	1,376.6 On site 800.6+Off site 576	1,856.6 On site 800.6+Off site 1056.0	2,336.6 On site 800.6+Off site 1536.0	3,104
태양광 공사비(억)		0.7	4.4(▲552%)	7.5(▲1,020%)	10.2(▲1,411%)	12.8(1,802%)	16.9(▲2,426.8%)
총 공사비(천원/㎡)		1,900	2,000(▲4.2%)	2,040(▲7.2%)	2,080(▲9.7%)	2,130(▲12.2%)	2,206(▲16.2%)
단위면적당 1차 에너지소요량 (kWh/㎡·a)		144.3	115.6	52.4	21.2	-9.9	-37.8
에너지자립률(%)		4.7	31.6	54.3	73.20	92.12	122.3%
단위면적당 신재생에너지 생산량 (kWh/㎡·a)		8.4	53.3	91.7	123.7	155.6	206.8
ZEB 인증 등급	기준 미달		4등급 만족	3등급 만족	2등급 만족	1등급 만족	1등급 만족

제로에너지 등급별 비용 분석 (c)

- 실제 설계되고 시공되고 있는 공동주택 단지에 대한 제로에너지 등급 적용 비용 산출



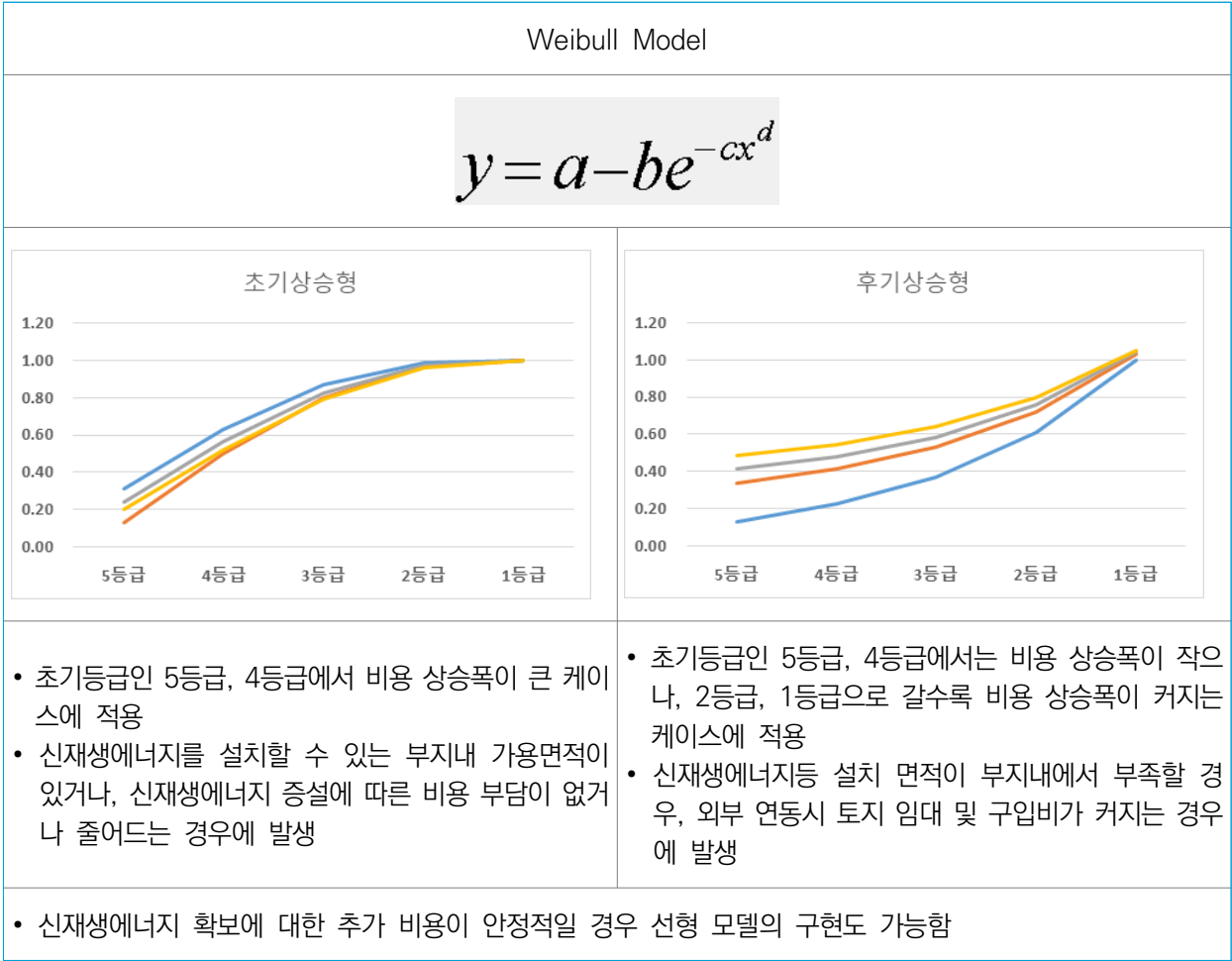
[그림 2-42] 제로에너지 건물 등급에 따른 공사비 상승률

[표 2-35] 에너지절약요소의 성능비용

	항목	사양	성능비용(원/kWh)
1	보일러	0.94%	332
2	태양광	일반형	737
3	세대현관문	1.25 W/m ² ·K	744
4	조명기기	6W/m ²	789
5	세대현관문	0.94 W/m ² ·K	1013
6	소형태양광	1.5kW	1228
7	태양열	평판형, 진공관형	1413
8	조명기기	8W/m ²	1540
9	환기장치	난방71%	1725
10	창호	0.60 W/m ² ·K	1801
11	환기장치	난방75%	1968
12	창호	0.81 W/m ² ·K	2206
13	연료전지	연료형	2308
14	경질우레탄	0.15 W/m ² ·K	2434
15	창호	0.76 W/m ² ·K	2455
16	경질우레탄	0.14 W/m ² ·K	2656
17	지열	수직밀폐형	7516
18	외단열	0.17 W/m ² ·K	8027
19	태양광	BIPV	10884

제로에너지 등급별 비용 모형 구축

- 3가지 설계 사례에 대한 비용 분석 결과 건물 특성 및 단지 연건 등에 따라 다양한 형태의 비용 변화 곡선이 발생
- 등급별 비용 모형은 초기증폭, 후기증폭 등 0과 1사이에서 선형 및 비선형의 다양한 커브 구현이 가능한 Weibull 모형을 적용하여 비용 변동성에 대응토록 구축



1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

온실가스 감축 국가 로드맵에서의 제로에너지 활성화 정책 분석

- 제로에너지건축물 역할 및 정책 방안 검토
- 건물 부문은 신축기준 건물 에너지성능 향상, 설비효율개선 등으로 2030년 기준 6,450만톤*을 감축 목표(△32.7%)

구분 (담당)	감축량 (비율)	감축수단
신축 건물 (국토부)	540만톤 (15.0%)	▶ 제로에너지 단계적 의무화 등 신축건물 기준 강화
기존 건물 (국토부)	960만톤 (26.7%)	▶ 그린리모델링 활성화 ▶도시재생 연계사업 확대
소비 개선 (국토부)	580만톤 (16.1%)	▶ 건물에너지DB 고도화 ▶온실가스 감축정보 제공
설비·신재생 (산업부)	1,520만톤 (42.2%)	▶ 가전·사무기기 효율향상 ▶ LED 조명 확대 ▶ 태양열·지열 등 신재생에너지 보급 확대

※ 2030년 실질배출전망 조정(1억 9,720만톤)에 따른 감축효과 2,850만톤 포함

[표 2-36] 건물 부문 로드맵 수정안의 정책 감축 수단 검토

정책방향	감축수단	2030 변경 BAU		분야별 감축량 (백만톤)	감축후배출량 (백만톤)
		BAU (백만톤)	증감		
- 제로에너지빌딩의무화(‘25) - 신축건축물허가기준강화 - 기존건축물성능향상 등 고효율건축물보급확대	친환경주택 및 건축설계기준강화 지속추진 및 제로에너지주택 의무화 준비(‘25) (가정)	161.4	28.7	1.91	132.7
	단열·일사조절 및 에너지절감기술 관련 신축허가 기준 단계적 강화 및 제로에너지건축물 의무화 준비(‘25)(상업)			1.79	
	그린홈보수 사업			4.68	
	그린리모델링 활성화			1.12	
	노후건축물 성능진단 및 유지관리			2.61	
- 냉난방설비 및 가전/사무기기 효율개선 - LED 보급 확대 - 신재생에너지보급확대	에너지소비효율등급 및 고효율에너지기자재 인증 기준 강화를 통한 냉난방기기 효율화			2.09	
	에너지소비효율등급 표시 품목 확대 및 기준 상향을 통한 가전사무기기 효율개선			5.03	
	30년까지 LED 등 고효율조명기기 보급			3.91	
	지열 태양광 등 신재생에너지 활용			4.17	
- 건물에너지관리시스템보급확대 - 운영단계에서의 에너지절약 및 에너지성능개선 유도 - 건물에너지데이터관리체계 고도화	BEMS 확산기술개발 및 제도 기반 마련			1.22	
	에너지사용량 모니터링을 통한 에너지절약 및 자발적 에너지성능개선 유도			1.44	
	에너지사용 행태개선 유도를 위한 정보 인프라 구축 및 정보제공			1.97	
	배출권거래제 및 목표관리제 등 에너지다소비형 건축물의 온실가스 감축제도 운영			1.16	

- 국가로드맵 기반 신축 부문의 제로에너지 건축물 의무화 및 기축 부문의 그린 리모델링의 확대를 위해서는 비용 분석

온실가스 감축을 위한 시장 비용		'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
허가기준 강화 및 제로에너지 건축	온실가스 감축량	0.109	0.292	0.498	0.732	1.005	1.277	1.575	1.941	2.457	3.115	3.925	4.714	5.473
	연면적(백만㎡)	22.8	22.1	21.5	20.8	20.8	20.2	19.5	18.2	16.9	16.3	15.6	15.6	15.6
	세대수	350000	340000	330000	320000	320000	310000	300000	280000	260000	260000	250000	240000	240000
	소요 예산(억)	6,025	6,315	6,370	7,622	8,704	9,227	10,307	10,232	10,657	11,675	12,553	15,352	18,703
	연면적(백만㎡)	26.9	26.6	28.3	29.0	28.6	30.2	30.1	30.0	29.9	29.7	29.6	29.4	28.8
	동수(5년제2기준)	5,387	5,318	5,660	5,797	5,725	6,037	6,022	6,002	5,978	5,950	5,917	5,880	5,761
	소요 예산(억)	5,681	6,051	6,692	8,457	9,538	11,007	12,673	13,435	15,010	16,364	18,198	23,037	27,500
	소요예산 합계	11,706	12,366	13,062	16,079	18,242	20,234	22,980	23,668	25,667	28,038	30,751	38,389	46,203
기존 건축물 에너지 성능 향상	온실가스 감축량	0.455	0.633	0.811	1.260	1.667	2.071	2.467	2.904	3.512	3.942	4.368	4.729	5.158
	비주거	0.657	0.891	1.097	1.340	1.555	1.778	2.041	2.588	2.924	3.256	3.610	4.064	4.408
	합계	1.112	1.525	1.909	2.600	3.221	3.849	4.508	5.492	6.436	7.198	7.978	8.793	9.566
	주거(단독)													
	주거(공동)													
	주거합계	25,851	25,563	25,330	25,111	25,358	25,970	26,752	29,185	30,641	26,558	26,192	25,825	29,321
	비주거	22,853	22,802	22,801	22,743	23,079	23,669	24,406	26,374	27,647	24,810	24,720	24,631	27,272
	소요예산 합계	48,704	48,364	48,131	47,854	48,437	49,639	51,157	55,559	58,288	51,368	50,912	50,456	56,593
	연면적	1,069	1,061	1,054	1,048	1,041	1,035	1,028	1,022	1,015	1,009	1,002	996	990
	비주거	780	779	777	776	774	773	772	770	769	767	766	764	763
	합계	1,848	1,840	1,831	1,824	1,816	1,808	1,800	1,792	1,784	1,776	1,768	1,760	1,753
정보인프라 구축 및 현대화 선 유도	온실가스 감축량	0.134	0.176	0.291	1.242	1.445	1.653	1.855	2.242	2.562	2.630	3.374	4.531	5.794
기타 효율화와 및 신재생에너지 확대	소요 예산(억)	50	50	150	300	350	450	250	50	50	50	50	50	50
	소요 예산(억)	3,265	4,478	5,568	6,556	7,569	8,610	9,622	10,878	11,787	12,641	13,508	14,355	15,187
합 계		4,620	6,471	8,266	11,130	13,240	15,389	17,561	20,553	23,242	25,584	28,785	32,392	36,020
	소요 예산(억)	60,460	60,780	61,343	64,233	67,029	70,322	74,388	79,276	84,005	89,457	95,173	101,895	108,846

- 온실가스 배출 및 비용 산정을 위한 기본 전제 조건 검토

항목	단위	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
인 구	백만명	51.3	51.4	51.6	51.7	51.8	51.9	52.0	52.0	52.1	52.1	52.2	52.2
주택	백만호	17.6	17.8	18.0	18.2	18.5	18.7	18.8	19.0	19.2	19.3	19.4	19.6
주택평균 면적	㎡	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
상업건물 면적	km ²	1,770	1,824	1,879	1,933	1,991	2,048	2,106	2,162	2,219	2,275	2,331	2,386
상업면적 증가율	-	1.03	1.04	1.05	1.07	1.08	1.09	1.11	1.12	1.14	1.15	1.16	1.17
배출계수 (전력)	TCO2/TOE	5.74	5.34	5.24	5.02	4.89	4.78	4.78	4.78	4.78	4.78	4.78	4.78
에너지 수요 (가정)	백만 TOE	22.5	22.7	22.8	23.2	23.5	23.7	23.9	24.0	24.2	24.3	24.4	24.5
에너지 수요 (상업)	백만 TOE	18.1	18.5	18.9	19.2	19.4	19.8	20.2	20.6	20.9	21.2	21.5	21.8

나. 건물부문 온실가스 목표량 달성과 투입 비용과의 관계를 고려한 적정 의무화 수준 설정 및 핵심 전략 기술 추진 로드맵 구축

(가) 연구내용

- 목표량 달성을 위한 신축부문 제로에너지 의무화 및 보급 로드맵 설정
 - 제로에너지 의무화 기본안 검토
 - 의무화 대상 및 대상별 시기 설정 제안
- 온실가스 감축 로드맵 이행을 위한 시장 비용과 국가지원 전략 도출을 위한 비용 시뮬레이터 개발
 - 의무화 대상 로드맵에 따른 시장 비용 산출 시뮬레이터 설계
 - 시나리오별 시장 비용 산출 로직 구축 및 구현

(나) 연구결과

- 목표량 달성을 위한 신축부문 제로에너지 의무화 및 보급 로드맵 설정
- 의무화 로드맵 국가 기본안
 - 온실가스 감축 및 건축부문 신산업 활성화를 위해 2030년까지 모든 건축물의 제로에너지건축물 의무화 정책 추진 로드맵 단계적 추진
 - 2020년 공공건축물(5백~3천㎡미만), >2025년 공공·민간건축물(5백~5천㎡미만), >2030년 모든 건축물(5백㎡이상) 등으로 제로에너지건축물 확대 계획

제로에너지건축물 인증 의무화 세부 로드맵(안)

	2017~2018년	2020년	2025년	2030년
대상	공기업(시장형·준시장형)	공공건축물	공공·민간건축물	모든 건축물
연면적	3천㎡ 이상	5백~3천㎡미만	5백~5천㎡미만	5백㎡이상
용도	업무시설, 교육연구시설	제외대상* 외 모든 건축물		

*제외대상: 위락시설, 위험물저장 및 처리시설, 자동차관련시설, 동식물관리시설, 방송통신시설, 발전시설, 묘지관련 시설, 자원순환시설

- 의무화 로드맵 국가 기본안에 대한 검토 사항
 - 제로에너지건축물 의무화 수준은 제로에너지건축물 5등급 수준에서 단계적 강화
 - 에너지자립률(신재생에너지 적용) 달성 등 제로에너지건축물 의무화 이행을 위한 설계사 및 시공사의 시공능력을 감안하여 3천㎡이상 규모 우선 추진 검토 필요
 - * 3천㎡미만 공공건축물은 시공능력평가 최하위 7등급 수준
 - * 현행 로드맵에서 공기업 일부 용도 및 규모는 30년에 제로에너지 의무화

- 정책 활성화를 위한 off-site 신재생생산의 합리적 적용방안 마련 추진 중(~19년)
- 국토부, 산업부 협의를 통하여 공공건축물 의무대상 및 범위 조정 필요
- 제로에너지건축물 평가를 위한 설계검토서 항목 및 배점 조정 검토(건축→신재생)

[표 2-37] 조달청 등급별 유자격자 명부제도

등급	시공능력평가액 (토건, 토목, 건축)	공사배정규모(추정금액기준)		비고
		토목공사	건축공사	
1	6000억원 이상	1700억원 이상	1200억원 이상	
2	6000억원~ 1200억원	1700억원~950억원	1200억원~950억원	
3	1200억원~ 600억원	950억원~550억원	950억원~550억원	
4	600억원~ 330억원	550억원~400억원	550억원~400억원	
5	330억원~200억원	400억원~220억원	400억원~220억원	
6	200억원~120억원	220억원~140억원	220억원~130억원	
7	120억원~78억원	140억원~78억원	130억원~78억원	

의무화 및 보급 로드맵 제안

■ 비주거용 건물 의무화(안)

구분	범위	용도	연면적	~19년	20년	23년	25년	28년	30년
공공	(준)시장형 공기업	업무, 교육연구	3천㎡이상	ZEB 5등급					
		그 외		효율등급 1++ 등급 ¹⁾	ZEB 5등급				
	공공 건축물	제외대상 ²⁾ 외 모든 용도		효율등급 1등급	ZEB 5등급				
			5백~3천	효율등급 1+등급수준 156 kWh/㎡년	효율등급 1++등급	ZEB 5등급			
			5백㎡미만		효율등급 평가대상 포함				
	신재생 에너지 공급의무 제도 ³⁾	모든 용도 (기타 ⁴⁾ , 발전시설 제외)	1천㎡이상	신재생 에너지 공급의무 비율 27%	신재생 에너지 공급의무 비율 30%	의무비율 확대 예정			
민간	민간 건축물	모든 용도	3천㎡이상	에너지절약 설계검토서 65점 이상 200 kWh/㎡년 미만 면제		1차에너지 소요량 200 미만 ⁵⁾ (kWh/㎡년) (1+등급 수준)	1차에너지 소요량 140 미만 (kWh/㎡년) (ZEB 5등급 수준)		
			5백~3천	에너지절약 설계검토서 65점 이상 200 kWh/㎡년 미만 면제			1차에너지 소요량 200 미만 (kWh/㎡년) (1+등급 수준)	1차에너지 소요량 140 미만 (kWh/㎡년) (ZEB 5등급 수준)	
			5백㎡미만		효율등급 평가대상 포함				

※ 연간 단위면적당 1차에너지 소요량 (비주거)

260(kWh/㎡년) 미만 ⇒ 1등급, 200(kWh/㎡년) 미만 ⇒ 1+등급, 140(kWh/㎡년) 미만 ⇒ 1++등급,

1) 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정 [시행일자 2018.1.1.]

2) 제외대상 : 위락시설, 위험물저장 및 처리시설, 자동차관련시설, 동식물관리시설, 방송통신시설, 발전시설, 묘지관련시설, 자원순환 시설

3) 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 - 공공건축물에 대하여 일정비율 이상을 신·재생에너지를 통해 공급되는 에너지로 사용토록 신재생설비 설치 의무화)을 신재생에너지로 공급하도록 의무화

4) 기타(창고시설, 위험물저장및처리시설), 발전시설

5) 건축물의 에너지절약설계기준 [시행일자 2018.9.1.]

■ 주거용 건물 의무화(안)

구분	용도	~19년 현행	20년	23년	25년	28년	30년
공공	공동주택 (30세대 이상)	연면적3천㎡이상 효율등급 2등급 ⁶⁾ 표준주택대비 60% 절감 ⁷⁾ 효율등급 1등급수준 (144 kWh/㎡)	효율등급 1+등급 (120 kWh/㎡)	ZEB 5등급			
	공동, 단독주택	연면적3천㎡이상 효율등급 2등급			효율등급 1+등급	ZEB 5등급	
민간	공동주택 (30세대 이상)	표준주택대비 60% 절감 효율등급 2등급수준 (154 kWh/㎡ 중부1 기준)		1차에너지 소요량 120 미만 (kWh/㎡년) (1+등급 수준)	1차에너지 소요량 90 미만 (kWh/㎡년) (ZEB 5등급 수준)		
	공동, 단독주택 (5백㎡이상)	에너지절약 설계검토서 65점 이상 200 kWh/㎡년 미만 면제		1차에너지 소요량 150 미만 (kWh/㎡년) (1등급 수준)	1차에너지 소요량 120 미만 (kWh/㎡년) (1+등급 수준)	1차에너지 소요량 90 미만 (kWh/㎡년) (ZEB 5등급 수준)	

※ 연간 단위면적당 1차에너지 소요량 (주거)

190(kWh/㎡년) 미만 ⇒ 2등급, 150(kWh/㎡년) 미만 ⇒ 1등급
120(kWh/㎡년) 미만 ⇒ 1+등급, 90(kWh/㎡년) 미만 ⇒ 1++등급

※ 에너지절약형 친환경주택의 건설기준 [시행 2018.9.3.] [국토교통부고시 제2018.9.3., 일부개정]

※ 총에너지 절감률 [%] : 평가기준주택의 단위면적당 1차에너지소요량 대비 평가대상주택의 단위면적당 1차에너지소요량에 대한 절감률로 평가

[표 2-38] 연도별 에너지효율등급 인증 건축물 평균치

구분	연도	1차에너지 소요량	벽체 열관류율	창호 열관류율	창면적비	조명밀도	신재생 생산량	자립률
공동주택	2016	152.5	0.224	1.37	20.4	9.07	0.241	0.16%
	2017	150.5	0.214	1.37	20.51	8.21	0.491	0.33%
	2018	144.4	0.196	1.39	20.57	7.61	0.961	0.66%
비주거	2016	163.4	0.272	2.07	27.94	6.13	8.23	4.80%
	2017	158.7	0.252	2.23	27.85	6.03	9.11	5.43%
	2018	155.8	0.255	2.17	28.3	6.19	10.24	6.17%

6) 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정 [시행일자 2018.1.1.]

7) 에너지절약형 친환경주택의 건설기준 [시행일자 2019.7.1.]

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

온실가스 감축 로드맵 이행을 위한 시장 비용과 국가지원 전략 도출을 위한 비용 시뮬레이터 개발

■ 의무화 대상 로드맵에 따른 시장 비용 산출 시뮬레이터 설계

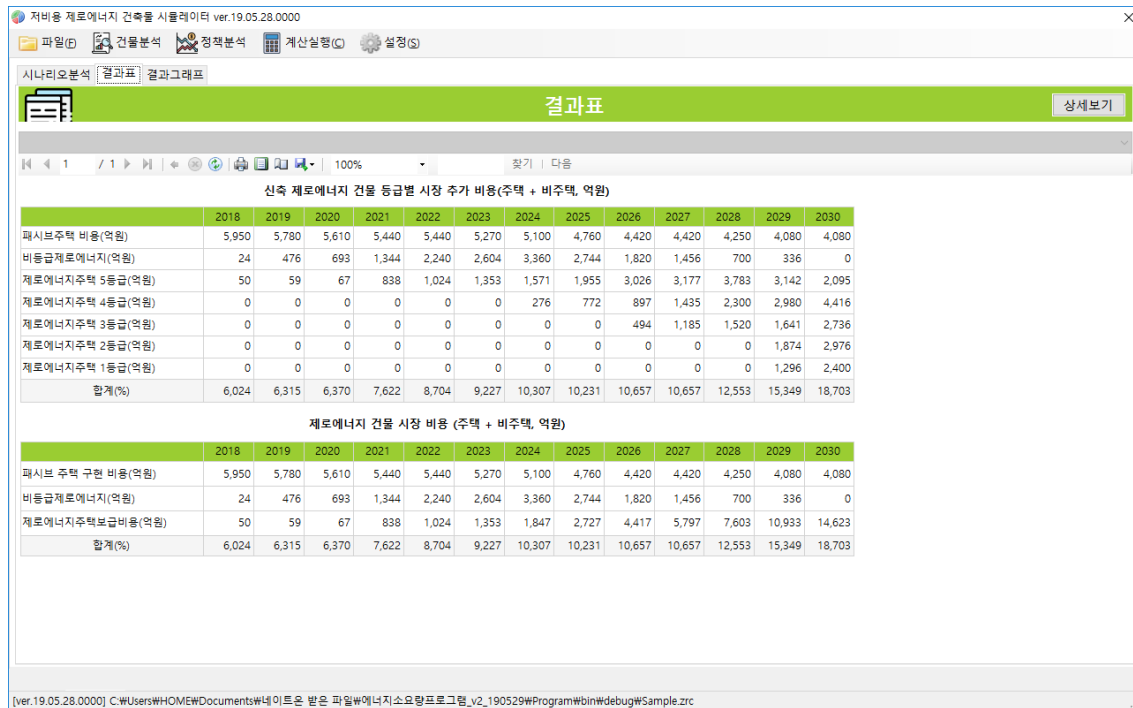
- 주택 및 업무용으로 구분
- 주택 공급 물량, 상업용 공급 면적, 제로에너지 적용율, 제로에너지 등급별 비율 등을 입력 변수로 설정
- 비용 분석에서 도출된 Weibull 모형 기반 비용 또는 등급별 사용자 설정 비용을 입력
- 정부 지원 여부 판단은 회수연도를 기준으로 판단하도록 하며, 설정된 회수연도 이상이 될 경우 정부의 추가 지원으로 제로에너지 건물 이행력을 강화할 수 있는 로직 반영



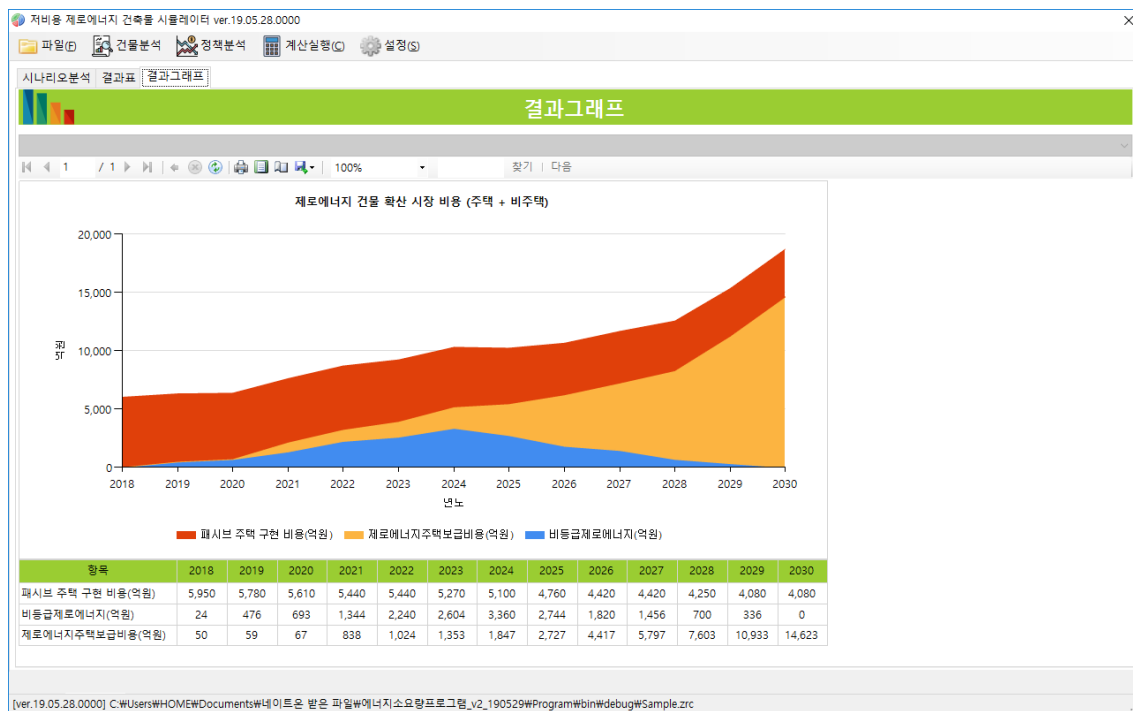
[그림 2-43] 제로에너지 건축물 확대를 위한 시장 비용 산출 시뮬레이터 입력 화면

■ 의무화 조건 변화에 따른 계산 결과 출력

- 주택 및 업무용으로 구분 계산
- 입력 조건 및 시나리오별 연도별 시장 비용과 정부 지원 비용을 산출

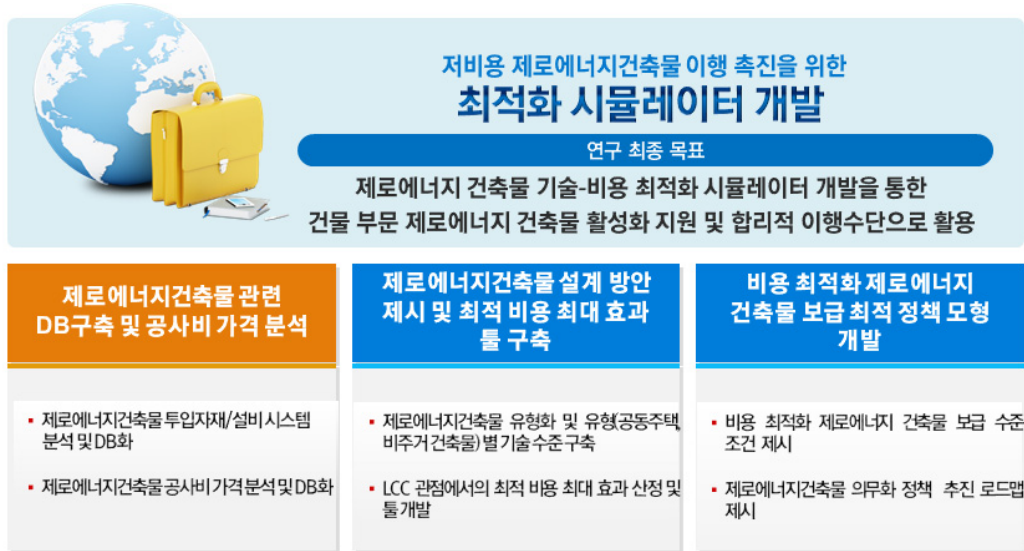


[그림 2-44] 제로에너지 건축물 확대를 위한 시장비용 산출 시뮬레이터 계산 결과



[그림 2-45] 제로에너지 건축물 확대 시나리오 분석 결과

라 연구 결과



[그림 2-46] 저비용 제로에너지건축물 이행 촉진을 위한 최적화 시뮬레이터 개발

(1) 기술적 성과

- 본 연구의 최종목표는 ‘저비용제로에너지 건축물 이행촉진을 위한 (기술)개발) 최적화 시뮬레이터 개발’이며, 이를 위한 세부 목표는 다음과 같음

구분	내용
최종목표	제로에너지 건축물 기술-비용 최적화 시뮬레이터 개발을 통한 건물부문 제로에너지 건축물 활성화 지원 및 합리적 이행수단으로 활용
세부목표	- 제로에너지건축물 투입자재/설비시스템/공사비 가격 분석 및 DB화 - 제로에너지건축물 유형화 및 유형별 기술수준 구축 - 라이프사이클 코스트(LCC) 관점에서의 최적 비용 최대효과 산정 모델 및 툴 개발 - 비용 최적화 제로에너지 건축물 보급 기술수준 조건 및 정책 추진 로드맵 제시

- 본 연구를 통한 양적 성과 건수를 초과 달성함

구분	내용
특허 출원	목표 2건, 실적 4건
특허 등록	목표 2건 달성
논문	목표 3건, 실적 5건 (SCIE 2건 포함)
소프트웨어	목표 저작권 등록 3건 달성

- 최종년도의 핵심 연구성과 및 기술성숙도의 수준은 다음과 같음

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형1)	연구기관	기술적 성과
1	제로에너지 건축물 투입자재/설비 시스템/공사비 가격분석 및 DB화	- 건물 에너지 용도에 따라 카테고리화된 주요 자재 및 설비 시스템의 가격 대비 성능 로직 및 미래 가격 예측	로직	한국건설기술연구원/ SK건설/ 아이포디엄	TRL3 ⇒ TRL7
2	제로에너지건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시	- 유형별 제로에너지건축물 설계 프로세스를 구축하고 이를 구현하기 위한 실질적인 정책방안 제안	정책·제도	해안건축사 사무소	TRL4 ⇒ TRL7
3	라이프사이클코스트관점에서의 최적비용 최대 효과 분석모델 및 툴 구축	- 1번 핵심성과의 DB와 레퍼런스 모델 기반의 건물 에너지 해석 기법을 이용하여, 건물 특성 및 ZEB 등급에 따른 라이프사이클코스트 모델 및 툴 구축	소프트웨어	한국건설기술연구원	TRL2 ⇒ TRL7
4	비용최적화 제로에너지 건축물 보급 최적정책 모형 개발	- 핵심 연구성과 1,2,3번을 통합하여 제로에너지 자재, 시장 회수기간까지 고려한 제로에너지건축물 비용 최적화 툴을 통하여 제로에너지건축물 중장기 활성화 방안 도출 및 핵심 추진 로드맵 구축	정책·제도	한국건설기술연구원	TRL2 ⇒ TRL6

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

(2) 경제적 성과

- 제로에너지 건축물 구현을 위해 투입되는 자재 및 설비시스템과 시공 비용 분석 DB를 구축을 통하여 제로에너지 구현 기술별 투입 비용에 따른 효용성 분석이 가능한 추정식을 개발하여 제로에너지 건축물의 성능 수준에 따른 경제적 기술을 도출함
- 공동주택과 업무용 건축물의 규모별 특성을 분석하고 용도와 규모, 구현 성능 수준에 적절한 제로에너지 건축물 모델 도출 기준을 개발함
- 비용 측면에서 실현 가능한 제로에너지건축물 모델 개발을 위해 현재 수준 일반 건축물(공동주택, 사무소 건물)에 대한 직접 공사비의 수준을 분석하고 공사비 영향 인자에 따른 상관관계를 파악함으로써 제로에너지의 용도 및 규모에 따른 최적 공사비 예측에 활용이 가능한 모델을 제시함
- 제로에너지 건축물의 유형별 구현 기술 특성을 분석하고 제로에너지 공사비 구성요소 추출과 제로에너지 건물 성능 수준별 비용의 산출 그리고 합리적 에너지 성능지표를 제안하여 경제적인 제로에너지 건축물 활성화를 위한 유형별 합리적인 설계안을 구축함
- 선진형 제로에너지 건물 촉진 정책의 도입을 통한 시장 활성화 및 비용 최적화 방식에 의한 제로에너지 건물 시장을 활성화하는데 기여할 것으로 기대함
- 제로에너지건축물 구현시 건축주 입장의 비용 부담 발생시, 이를 지원할 수 있는 비용 지원 모델을 통해 시장 장애 요인을 해소하는데 본 연구의 성과가 활용될 것으로 기대함
- 제로에너지건축물 활성화로 인한 건물에너지관련 신시장의 확대 및 고용 증대에 기여할 것으로 기대함

03

목표 달성도 및 관련 분야 기여도



3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 및 목표 달성여부

연구개발 목표의 달성도 및 기여도

● [총괄]

- 핵심성과별 성과 목표를 모두 달성하였음
- 양적성과 목표 특허출원 2건, 특허등록 2건, 논문 3건, 소프트웨어 3건 외에 특허출원 2건 및 논문 2건 초과 달성함

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							구분	기술발전 기여도
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관	
1	제로에너지 건축물 투입자재/ 설비시스템 /공사비 가격분석 및 DB화	1-1	핵심자재 및 시스템 DB	①	자재 및 시스템 조사	10건	23건	조사 분석 및 구축 여부	공사비 체계 및 DB 구축률	3	KICT	특허출원 2건 특허등록 1건 논문 2건 목표 초과 달성
				②	에너지 용도별 자재 매칭 테이블 구축	10건	10건			5		
				③	자재 성능가격 추정 로직 개발	5건	5건		전문가 자문	3		
		1-2	제로에너 지 최적 공사비 산출모형 도출	①	공사비 구성요소 도출 (비용분석)	구성 요소 1건	1건	로직 및 모델 개발 여부	전문가 자문	4	SK	
				②	공사비 구성 추정 로직 개발	구성 요소 1건	1건			5		

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						구분	기술발전 기여도	
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치		기관
		1-3	주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정	③	공동주택 및 업무시설의 최적 공사비 산출모형 도출	산출 모형 1건	1건	도출 여부	산출 모형 오차출 보완 검증	5	아이포 디엄/K ICT	
				①	제로에너지 중요기술 요소 분석	중요 기술 45개 기술 요소 도출	45건	기술 모형 구축	요소 기술 도출 여부	5		
				②	제로에너지 기술 패키지별 비용 추정 로직 개발	주요 로직 10개 도출	10개	로직 모형 구축	전문가 자문	5		
				③	제로에너지 성능(표준 모델) 수준별 비용 추정 로직 개발	수준별비 용 모델 개발 1건	1건	모델 개발 여부	오차율 분석을 통한 검증	5		
2	제로 에너지 건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시	2-1	제로에너지 건축물 녹색건축 설계시스 템 구축	①	공동주택 및 업무시설 성능수준별 설계기법 분석	공동 주택 설계 기법 분석 2건	2건	분석 요소 확인	조사 및 분석 결과	3	해안	제로에너지 건축물 녹색건축 설계시스템 구축
						업무 시설 설계 기법 분석 2건	2건	분석 요소 확인	조사 및 분석 결과	2		
				②	경제적인 제로에너지 건축물 설계방법 도출	설계 요소별 공사비 분석 2건	2건	분석 요소 확인	조사 및 분석 결과	3		

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							구분	기술발전 기여도				
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관					
					경제 적인 설계 방법 도출 2건	2건	방법 모색 여부	보고서 (방법 제안)	2							
				③	제로에너지 건축물 설계프로세스 구축 및 정책방향 도출	프로 세스 구축 1건	1건	구축 여부	보고서 (구축 방안)			3				
						정책 방안 제안 1건	1건	방안 마련 여부	보고서 (방안 제안)			2				
				3-1	제로 에너지 분석 모형 개발	①	제로에너지 에너지분석 모형 도출	5개 (모형 1개, 목록화 4개)	5개			에너지 분석 모형 개발 여부	분석 모형 전문가 검증	10	KICT	특허출원 2건 특허등록 1건 논문 2건 S/W 3건 목표 초과 달성
						②	제로에너지 성능 수준별 기술옵션 목록화									
						3-2	제로 에너지 경제성 분석 모형 개발	①	제로에너지 경제성 분석 모형 개발			모형 개발 1건	1건	경제성 분석 모형 개발 여부	적용 기술별 경제성 모형 구동	
②	적용 기술 경제성 인자 특성에 따른 LCC 최적 비용 도출 모형개발															
3-3	LCC관점 에서의 최적 비용모델 개발 및 툴 개발	①	제로에너지 성능 수준별 비용 추정 방안 도출 모델 개발	개발 로직 및 툴 1건	1건	최적 비용 모델 개발 여부	최적 모델 베타테 스트	10	KICT							

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						구분	기술발전 기여도	
				질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관		
				②	LCC기반 제로에너지 건축물 비용 변화 분석 툴 개발							
4	비용최적화 제로에너지 건축물 보급 최적 정책 모형 개발	4-1	제로에너 지건축물 확산 중장기 비용 투입 모형 구축	①	제로에너지 건축물 보급 활성화를 위한 정책 동향 조사 및 국내 활성화 촉진 방안 프레임 구축	정책 조사 및 분석 5건	5건	분석 개수 확인	조사 및 분석 결과	3	KICT	논문 1건 목표 달성
						촉진 방안 마련 1건	1건	마련 여부	보고서 촉진 방안)	2		
		4-2	비용 연계 제로에너 지 건축물 활성화 방안 도출 및 핵심 추진 로드맵 구축	①	비용 연계 저비용 제로에너지 건축물 활성화 방안 구축	지원 방안 마련 1건	1건	마련 여부	보고서 비용 지원 방안)	5		
				②	건물부문 온실가스 목표량 달성과 투입 비용과의 관계를 고려한 적정 의무화 수준 설정 및 핵심 전략 기술 추진 로드맵 구축	로드맵 구축 1건	1건	구축 여부	보고서 (로드맵)	5		
										100		

논문 1건
목표 달성

● [1차년도]

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							구분	양적 성과 건수
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관	
1	제로에너지 건축물 투입자재/ 설비시스템 /공사비 가격분석 및 DB화	1-1	핵심자재 및 시스템 DB	①	자재 및 시스템 조사	10건	23건	조사 분석 및 구축 여부	DB 구축률	10	KICT	특허출원 1건 논문 1건 목표 달성
		1-2	제로 에너지 최적 공사비 산출모형 도출	①	공사비 구성요소 도출 (비용분석)	구성요소 1건	1건	로직 및 모델 개발 여부	전문가 자문	13	SK	
		1-3	주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정	①	제로에너 중요기술 요소 분석	중요기술 45요소 도출	45건	기술 모형 구축	요소 기술 도출 여부	15	아이포 디엄/ KICT	
2	제로에너지 건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시	2-1	제로 에너지 건축물 녹색건축 설계 시스템 구축	①	공동주택 및 업무시설 성능수준별 설계기법 분석	공동주택 설계기법 분석 2건	2건	분석 요소 확인	조사 및 분석 결과	10	해안	-
						업무시설 설계기법 분석 2건	2건	분석 요소 확인	조사 및 분석 결과	6		
3	라이프 사이클 코스트 (LCC) 관점에서의 최적 비용 최대 효과 분석 모델 및 툴 구축	3-1	제로 에너지 에너지 분석 모형 개발	①	제로에너지 에너지분석 모형 도출	5개 (모형 1개, 목록화 4개)	5개	에너지 분석 모형 시제품 개발 여부	분석모 형 전문가 검증	30	KICT	특허출원 1건 논문 1건 S/W 1건 목표달성
				②	제로에너지 성능 수준별 기술옵션 목록화							

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						구분	양적 성과 건수
				질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관	
4	비용최적화 제로에너지 건축물 보급 최적정책 모형 개발	4-1	제로에너지 건축물 확산 중장기 비용 투입 모형 구축	① 제로에너지 건축물 보급 활성화를 위한 정책 동향 조사 및 국내 활성화 촉진 방안 프레임 구축	정책 조사 및 분석 5건	5건	분석 개수 확인	조사 및 분석 결과	10	KICT	-
					촉진방안 마련 1건	1건	마련 여부	보고서 (촉진 방안)	6		
									100		목표달성

● [2차년도]

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							구분	양적 성과 건수
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관	
1	제로에너지 건축물 투입자재/ 설비시스템 /공사비 가격분석 및 DB화	1-1	핵심자재 및 시스템 DB	②	에너지 용도별 자재 매칭 테이블 구축	10건	10건		공사비 체계 및 DB 구축 룰	12	KICT	특허등록 1건 논문 1건 목표 초과 달성
		1-2	제로 에너지 최적 공사비 산출모형 도출	②	공사비 구성 추정 로직 개발	구성요소 1건	1건	로직 및 모델 개발 여부	전문가 자문	14	SK	
		1-3	주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정	②	제로에너지 기술 패키지별 비용 추정 로직 개발	주요로직 10개 도출	10개	로직 모형 구축	전문가 자문	14	아이포 디엄/K ICT	
2	제로에너지 건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안	2-1	제로 에너지건 축물 녹색건축 설계시스 템 구축	②	경제적인 제로에너지 건축물 설계방법 도출	설계 요소별 공사비 분석 2건	2건	분석 요소 확인	조사 및 분석 결과	9	해안	-

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							구분	양적 성과 건수
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관	
	제시				경제 적인 설계 방법 도출 2건	2건	방법 모색 여부	보고서 (방법 제안)	6			
3	라이프 사이클 코스트 (LCC) 관점에서의 최적 비용 최대 효과 분석 모델 및 툴 구축	3-2	제로에너 지 경제성 분석 모형 개발	① 제로에너지 경제성 분석 모형 개발 ② 적용 기술 경제성 인자 특성에 따른 LCC 최적 비용 도출 모형개발	모형 개발 1건	1건	경제성 분석 모형 시제품 개발 여부	적용 기술별 경제성 모형 구동	30	KICT	특허출원 1건 특허등록 1건 논문 1건 S/W 1건 목표 초과 달성	
4	비용최적화 제로에너지 건축물보급 최적정책 모형 개발	4-2	비용 연계 제로에너 지 건축물 활성화 방안 도출 및 핵심 추진 로드맵 구축	① 비용 연계 저비용 제로에너지 건축물 활성화 방안 구축	지원 방안 마련 1건	1건	마련 여부	보고서 (비용 지원 방안)	15	KICT	-	
									100		초과달성	

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

● [3차년도]

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							구분	양적 성과 건수
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관	
1	제로에너지 건축물 투입자재/ 설비시스템 /공사비 가격분석 및 DB화	1-1	핵심자재 및 시스템 DB	③	자재 성능가격 추정 로직 개발	5건	-		전문가 자문	10	KICT	특허출원 1건 특허등록 1건 목표
		1-2	제로 에너지 최적 공사비 산출모형 도출	③	공동주택 및 업무시설의 최적 공사비 산출모형 도출	산출 모형 1건	-	도출여 부	산출 모형 오차출 보완 검증	15	SK	
		1-3	주택 및 업무용 건물 표준 모델 설정	③	제로에너지 성능 (표준모델) 수준별 비용 추정 로직 개발	수준별비 용 모델 개발 1건	-	모델 개발 여부	오차율 분석을 통한 검증	10	아이포 디엠/K ICT	
2	제로에너지 건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시	2-1	제로 에너지 건축물 녹색건축 설계 시스템 구축	③	제로에너지 건축물 설계프로세 스 구축 및 정책방향 도출	프로 세스 구축 1건	-	구축 여부	보고서 (구축 방안)	14	해안	-
						정책 방안 제안 1건	-	방안마 련 여부	보고서 (방안 제안)	6		
3	라이프 사이클 코스트 (LCC) 관점에서의 최적 비용 최대 효과 분석 모델 및 툴 구축	3-3	LCC관점 에서의 최적 비용모델 개발 및 툴 개발	①	제로에너지 성능 수준별 비용 추정 방안 도출 모델 개발	개발 로직 및 툴 1건	-	최적 비용 모델 개발 여부	최적 모델 베타 테스트	30	KICT	특허출원 1 건 S/W 1건 목표 초과 달성
				②	LCC기반 제로에너지 건축물 비용 변화 분석 툴 개발							
4	비용최적화 제로에너지 건축물보급 최적정책	4-2	비용 연계 제로 에너지 건축물	②	건물부문 온실가스 목표량 달성과 투입	로드맵 구축 1건	-	구축 여부	보고서 (로드맵)	15	KICT	논문 1건 목표 달성

핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						구분	양적 성과 건수
				질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	기관	
모형 개발			활성화 방안 도출 및 핵심 추진 로드맵 구축	비용과의 관계를 고려한 적정 의무화 수준 설정 및 핵심 전략 기술 추진 로드맵 구축							
									100		

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구수행내용 및 성과
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도
4. 연구개발성과의 활용 계획 등

나. 연구개발 활용방안 및 기대효과

(1) 기대효과

기술적 측면

- 제로에너지건물 기술 요소 데이터베이스 구축에 의한 제로에너지 기술DB등 제로에너지 건물비용 관리 플랫폼 구축에 활용
- 제로에너지건축물에 사용되는 고효율 저비용 자재들이나 시스템 기술 발전 독려
- 선진 기술수준과의 기술격차 해소 (구체적인 수치 년, %)
- 온실가스 감축을 위한 비용 산출용 정량 모형 로직의 제시로 비용 특성 유형화 가능

경제적·산업적 측면

- 선진형 제로에너지건물 촉진 정책의 도입을 통한 시장 활성화 및 비용-최적화 방식에 의한 제로에너지건물 시장의 합리적 견인
- 제로에너지건축물 구현 시 건축주 입장의 비용 부담 발생시, 이를 지원할 수 있는 비용지원 모델을 통한 시장 장애 요인 해소
- 제로에너지건축물 활성화로 인한 건물에너지관련 신시장의 확대 및 고용 증대에 기여
- 제로에너지건축물 보급 활성화를 위한 증장기 비용 저감 정책 설정에 활용

사회적 측면

- 고비용 저에너지건축물에 대한 시장 기피 문제의 해소를 위한 합리적 의무화 수준설정으로 차질 없는 건물부문 온실가스 정책 견인
- 국가온실가스 감축 목표 달성을 위한 제로에너지 보급 추진의 합리적 정책 지원모델로 활용되어 기술과 비용을 동시에 고려하는 통합의사결정 체계 구축
- 건물부문 국가온실가스 감축 목표 이행을 위한 제로에너지건축물 보급 활성화 및 의무화 수준 설정을 위한 논리적 정책 의사 결정 수단으로 활용
- 저비용 제로에너지건축물에 대한 사회적 이해 증진에 기여

■ 연구개발의 창의성 · 혁신성

- 본 연구는 국가 당면과제인 온실가스 감축목표 달성의 주요 수단인 제로에너지건물의 조기 보급 및 활성화를 위한 비용 중심의 시장 메커니즘을 도출하는 과제로 파리기후변화 협약 이후 Post 2020 신 기후체계에 대응하기 위한 건물부문 필수 과제로 진행되는 의미를 갖고 있음
- 국가 온실가스 감축 목표가 설정되고 제로에너지건축물 및 건축물 시범사업 등이 진행되고 있으나 제로에너지 건축물의 활성화를 위해서는 적정 비용에 대한 분석과 정책 활용을 위한 모형 개발이 필요함 이에 따라 모형개발을 중점으로 연구 진행
- EU 등 주요 선진국은 금융 지원과 연계한 최적 비용 제로에너지 건축물 구현을 추진 중에 있으며, 의무화를 할 경우 일정 비용 내에서 구현되는 시장비용이 최저로 되는 방안을 강구 중 우리나라도 ‘20년 공공, ‘25년 민간부문 제로에너지 건축물 의무 보급을 대비하여 최저의 사회 비용이 투입되는 제로에너지 활성화 지원 정책 구현이 필요함에 따라 본 연구를 기반으로 적정 지원 제도에 대한 연구를 진행
- 제로에너지 비용 분석은 시장의 자율적 경쟁에 의해서도 진행될 수 있으나, 국가 정책에 의한 자재, 시공, 조달 관점에서의 통합적 지원 없이는 실효적 진행이 어려움에 따라 전체 시장을 견인할 수 있는 시장 모형 기반 비용 분석 기법을 개발

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구수행내용 및 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

다. 목표 미달성시 원인(사유) 및 차후대책

- 해당없음

04

연구개발성과의 활용 계획 등



4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 연구개발 활용방안

(1) 연구 개발성과의 활용방안

연구목표	활용방안	수요처
ZEB자재/설비/공사비 가격 분석 및 DB화	- 통합DB 구축 기반 마련 국가 녹색건축포털인 그린투게더의 고도화(다양한 컨텐츠 제공)을 통한 녹색건축 대국민 서비스 제공	정책입안자, 연구자 등
제로에너지건축물 유형화를 통한 합리적인 설계방안 제시	- 국내 기후조건에 맞는 요구수준별 ZEB 통합설계에 대한 구체적인 설계기법을 공동주택 및 업무시설에 적용 가능 - 기본설계, 계획설계, 중간설계, 실시설계 과정에서 ZEB 설계기법을 대지특성 분석 및 자연에너지활용, 부하저감기법, 에너지매니지먼트 등 프로젝트의 특성을 고려하여 활용 가능 - 건축설계 파트에서 에너지요구량 절감을 위한 배치 및 형태를 계획하고 이에 대해 기계, 전기 파트에서 에너지소요량 절감방안을 제시하며 이를 종합적으로 반영하여 신재생에너지 설치용량을 최적화할 때 합리적인 통합설계가 도출됨	중·소규모 건축사사무소, 기계설비/전기설비ENG 사무소
LCC관점에서의 최적비용/최대효과 분석 모델/툴 개발	- 제로에너지 건축물 관련 이해관계자(건축주, 건축가 등)가 주어진 예산 범위 안에서 가장 효율적인 요소 기술의 대안 선정을 위한 도구로 사용	정책입안자, 연구자, 개발자, 건축 관계자
비용최적화 ZEB 보급 최적 패키지 제시	- 초기 기획단계에서 에너지 효율화 효과 및 금액증액에 대한 효과를 검토함으로써 국민의 건축물 에너지 효율화를 유도하기 위한 지원정책 등 정책적 도구로서 활용 가능	정책입안자

- (과제이후) 제로에너지 건축물 기술/지원 시뮬레이터는 과제 종료 후, 제로에너지 플랫폼 사업 및 녹색건축 포털 그린투게더 와 연계하여, 지속적인 개발 및 대국민 활용

(2) 건축 자재 성능-가격 추정 로직의 업데이트 계획

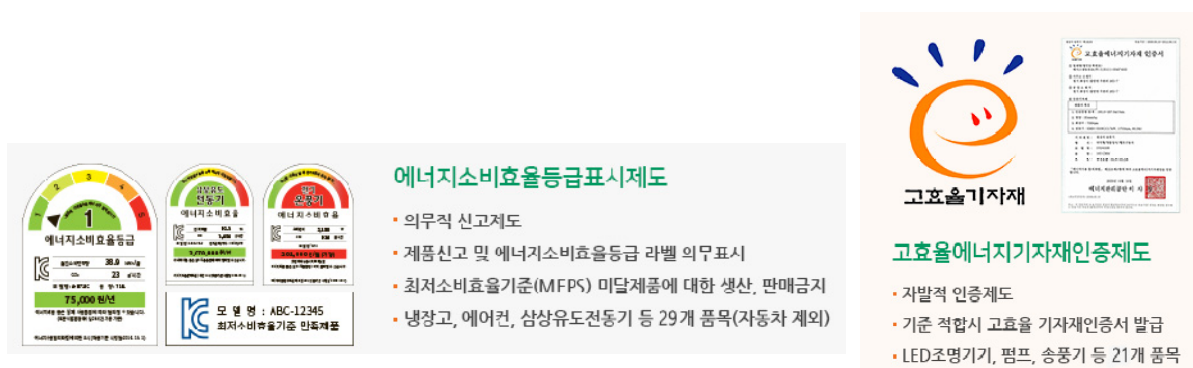
■ 건축 자재 DB 업데이트 계획

- 물가 상승 및 신규 자재 출시, 자재 성능 업데이트 등을 반영하기 위한 지속적인 자재 DB 업데이트가 필요함
- 한국물가정보, 종합물가정보, 종합적산정보 등 가격조사기관의 구축 DB 및 산업통상자원부와 한국에너지공단이 추진하고있는 효율관리제도의 에너지소비효율등급표시제도 및 고효율에너지기자재인증제도의 DB와의 연계 추진하여 지속적 DB 업데이트를 추진



[그림 4-1] 전문가가격조사·원가계산용역기관 (사)한국물가정보

*종합물가정보, 종합적산정보지 발간



[그림 4-2] 효율관리제도



[그림 4-3] 고효율기자재 제품검색 -한국에너지공단 효율관리제도

- 데이터 관리의 효율성 및 부하를 고려하여 실시간 API가 아닌 분기, 반기 등 주기적 데이터 연계를 추진
- 데이터 연동 규격(input/output)에 대해 연계 기관과의 협의를 통해 정의하여 데이터 송신 및 수신 진행
- 추후 신규 자재에 대한 빠른 대응을 위해 자재 생산자 및 판매자가 직접 데이터 업데이트를 할 수 있는 DB 등록 시스템의 구축 추진이 필요함

■ 성능-가격 추정 로직 업데이트 계획

- 건축 자재의 성능-가격 추정 로직은 신규 자재의 출시에 따른 새로운 데이터 추가 및 기존 자재의 가격 변동의 반영이 필요함
- 자재 DB와 연계하여 데이터 추가 및 변경시 변경 데이터를 반영한 성능-가격 추정 로직을 자동 산출하는 기능 개발 추진
- 수정 로직의 반영을 위한 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터와의 연계 시스템 구축하고 주기적인 시뮬레이터 업데이트를 추진하여 시뮬레이터의 신뢰성 향상을 추진할 계획임

❏ 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터 업데이트 계획

- 투입 자재 DB 및 속성성건축 자재의 성능-가격 로직의 업데이트 값을 반영할 수 있는 연계시스템을 구축하고 업데이트된 데이터와 로직이 반영될 수 있도록 정기적인 시뮬레이터 버전 개정을 통한 신뢰성 보완 추진
- 효율등급인증 및 제로에너지건축물인증 사례 중 공동주택과 중소규모 업무시설 건물을 대상으로 실제 사업초기 개략전적 정보와 실제 추가 공사비를 시뮬레이터 결과와 비교 분석하여 성능-가격 로직의 보완 및 필요시 추가 로직 반영 등을 통해 제로에너지건축물 의무화 정책 이행시 저비용 제로에너지건축물 보급에 활용될 수 있는 신뢰도를 지속적으로 보완하고자 함

(3) 추가연구의 필요성

- 건물부문 국가 온실가스 감축 목표 이행을 위한 제로에너지건축물 보급 활성화 및 의무화 수준 설정을 위한 논리적 정책 의사 결정 수단으로 본 연구에서 개발한 「저비용 제로에너지 건축물 시뮬레이터」를 활용할 것으로 기대함
- 본 연구성과물의 기술개발 성숙도는 TRL 7단계로 실제환경 시작품 데모 단계임
- [기술 및 비용 데이터베이스 확충] 제로에너지 보급화를 위한 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터의 신뢰도를 확보하고 현장 및 시장에서의 적용을 확대하기 위해서는 제로에너지건축물 성능 구현을 위한 기술 및 제품과 시스템에 대한 비용 데이터 베이스의 지속적인 확충이 추가로 요구됨
- 저비용 제로에너지 건축물 시뮬레이터는 추가 공사비, 에너지비용, 에너지 절감 비용, 회수기간, NPV의 결과에 대한 값을 제공하는 톨로서 변동되는 입력 데이터를 반영하는 주기적인 업데이트가 필요하며 데이터 업데이트를 위한 연계 시스템 구축이 필요함
- [통합설계 프로세스 가이드와 연계 정량적 체크리스트 톨 개발] 또한, 본 연구성과물은 사업 초기단계에서 개략전적 작성시 제로에너지 목표 성능에 따른 비용 최적화를 검토하는 의사결정 지원 톨로 개발되었는데, 추후 ZEB 설계 프로세스가 진행됨에 따라 구체화되는 설계 단계별 정량적 요인 들을 추가로 추적 분석하여 제로에너지건축물 통합설계 가이드(지침) 제공시 실무에서 활용할 수 있는 정량적 체크리스트를 추적하여 개발하면 활용성이 높을 것으로 기대함

나. 연구개발 성과활용 계획

(1) 성과활용 계획

국토교통 R&D 성과활용

- 국토교통 R&D 성과의 활용이란 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함
 - 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장 적용을 성과 활용으로 분류
 - 다만, R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

[표 4-1] R&D 사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

단계	단계명(R&D 종료시점)	단계정의
I	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계 (※ 본 연구 요소기술인 '저비용 제로에너지 건축물 시뮬레이터' 해당 단계)
	■ 완료 ✓	
II	기술 검증·보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계
	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	
III	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계
	□ 준비 □ 진행중	
IV	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	

- 요소기술명 : 저비용 제로에너지 건축물 시뮬레이터
- 국토교통기술촉진연구사업으로 수행한 본 연구는 R&D 사업이 종료된 현재 시점에서 기술개발 단계가 완료된 단계로 아직 성과가 활용되지는 않았으나 성과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행할 예정임
- 향후 2년동안 효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 대상 건축물의 투입 자재 및 성능 수준과 추가공사비 정보를 반영하여 시뮬레이터의 신뢰성을 확보하고 기술의 검증 및 보완을 추진하여 완료할 계획

[표 4-2] 동 연구개발 성과의 향후 5년간 성과활용 목표·계획

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
I	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	☐ 완료	☐ 완료	☐ 완료	☐ 완료	☐ 완료
II	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	☐ 준비 ☒ 진행중 ☐ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☒ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료
III	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	☐ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☐ 진행중	☒ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☒ 진행중	☐ 준비 ☐ 진행중
IV	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☒ 초기발생 ☐ 지속발생

[표 4-3] 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
I	기술 개발 단계	-	-	R&D종료시점	• R&D 기간 내 완료
II	기술 검증·보완 단계	LH, SH(주거) 공공기관(비주거)	주거, 비주거/각 1회	~종료후 2년	• 신축공공 주거용 프로젝트 기획설계단계에 시험적용 • 신축공공 비주거용 프로젝트 기획설계단계에 시험적용
III	실용화 추진 단계 (마케팅)	한국에너지공단	기술실시계약/1회 사업화·제품화/1개	~종료후 4년	• 연구개발성과 기술이전 • 신축제로에너지건축물 사업 입찰 추진
IV	시장수용 단계	주택협회 회원사	현장적용 3회	~종료후 5년	• 신축 주거용 민간공사 • 신축 비주거용 민간공사

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명

** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

※ R&D 성과물을 활용하기 위해서 기준이나 지침의 제·개정은 필요하지 않은 것으로 판단됨

(2) 상품화 전략

■ 사업화 계획

- 건물부문 국가 온실가스 감축목표 이행을 위한 제로에너지건축물 보급 활성화 및 의무화 이행추진을 위한 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터 기술의 사업화 및 제품화 추진

[표 4-4] 저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터의 사업화 계획

기관명	사업화명	향후 계획
한국건설기술연구원	저비용 제로에너지건축물 시뮬레이터	• 기술 검증·보완 단계를 완료한 이후 제로에너지건축물 의무화 정책의 이행 촉진을 위한 상품으로 제로에너지건축물 기술지원 기관인 한국에너지공단과 협업방안 또는 사업화를 검토
		• 사업화 소요기간 : 1년 • 예상 매출 규모 및 산정 근거 : 정책 이행 촉진을 위한 공공성격의 성과물로 무상이관을 추진 함 • 예상 시장 점유율 : 연간 건축허가 면적의 50% 이상* • 마케팅 계획 : 시공능력평가액 기준 최하등급인 7등급 건설공사 대상으로 건축사 1~2인 규모의 건축사사무소 대상으로 공공 및 민간 제로에너지건축물 구현을 위한 사업 계획 수립 단계의 의사결정 지원 툴로 활용

* 2018년 건축인허가 현황(국토교통부 녹색건축과)자료 : 전국 3천㎡ 이상 건축허가 면적은 2.8% 차지

2019년 6월 대한건설협회 자료 : 시공능력평가액 최하등급인 7등급(건축업 120억~78억원) 업체수는 1,033개소로 건축업의 55.8% 차지

※ 시공능력평가액 기준 7등급 건설업의 건축공사 배정규모(추정금액기준) 130억원~78억원

붙임

참고문헌

- [01] 김철호, 양자강, 이승언, 유기형, 김강수 (2015). High - Performance Buildings 구현을 위한 신 기술 개요 및 에너지 절감 효과 분석. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 673-676
- [02] 박용우 외(2012), 시스템 다이내믹스를 이용한 터널공사비 모델 개발, JKCA
- [03] Shinichi Tanabe, 서장후 (2014). ZEB의 동향과 필요성. 설비저널, 43(8), 78-82.
- [04] 송두삼, 제로에너지 건물 구현을 위한 공조 기술, 건축 제58권 제03호, 2014
- [05] 최원기, 고단열·고기밀 창호 및 일사차단 기술, 태양에너지, 14(1), 17-23
- [06] 최경석(2016), 열교 차단을 위한 단열공법 기술 동향, 태양에너지, 14(1), 10-16.
- [07] 최정만 (2016), 제로에너지 건축물 기술 동향. 태양에너지, 14(1), 3-9.
- [08] 윤종호 (2014), 제로에너지 건물 구현을 위한 기술현안 및 신재생에너지의 역할. 건축, 58(3), 32-37
- [09] 윤종호 (2016), 제로에너지건물을 위한 신재생에너지의 역할과 정량적 기여효과. 태양에너지, 14(1), 24-32.
- [10] 윤희원 외 (2016), 녹색설비기술의 분류체계에 관한 연구, 대한설비공학회하계학술발표대회 논문 집, pp. 722 ~ 725
- [11] Edwin Rodriguez-Ubinas, Claudio Montero, Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses, Energy and Buildings, 2014
- [12] Piljae Im, Jeff S. Haberl, A survey of High-performance schools, Texas A&M University System Collage Station, 2006
- [13] P. Torcellini (2016), Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, Conference Paper NREL/CP-550-39833
- [14] Marco Pietrobon (2014), Report on Cost/Energy curves calculation, D3.3. of WP3 of the Entranze Project
- [15] Hashem Akbari, Ronnen Levinson, Leo Rainer, Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings, Energy and Buildings, 2005(37)
- [16] Meral Ozel, Determination of optimum insulation thickness based on cooling transmission
- [17] 건설업임금실태조사:평균 임금 현황, 대한건설협회
- [18] 2017년 기준 완성공사 원가통계, 대한건설협회
- [19] KS A 3011 조도기준
- [20] KDS317010 옥내조명설비 설계기준

- [21] 예비타당성조사 수행 총괄지침, 기획재정부훈령 제436호
- [22] 건축물의 에너지절약설계기준, 국토교통부고시 제2017-881호
- [23] 한국은행경제통계시스템, <http://ecos.bok.or.kr/>
- [24] 한국전력, <http://cyber.kepco.co.kr/>
- [25] 한국도시가스협회, <http://www.citygas.or.kr/>
- [26] 한국지역난방공사, <http://kdhc.co.kr/>
- [27] 전력통계시스템, <http://epsis.kpx.or.kr>
- [28] e-나라지표, <http://www.index.go.kr/main.do>

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

비매품/ 무료



ISBN 979-11-87770-24-4