

최종보고서(일반과제용)										보안등급 일반[☒], 보안[☐]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명				국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명					
공고번호	공고-제00호				총괄연구개발 식별번호				-		
					연구개발과제번호				20CTAP-C152173-02		
국가과학기술 표준분류	ET1204 친환경건축물 설 계/시공/관리기술	50%	SE0604 주거관리/평가	30%	SE0603 주거환경/친환경 주거			20%			
총괄연구개발명	국문	-									
	영문	-									
연구개발과제명	국문	제로에너지 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가(POE) 기술개발 및 성능검증 연구									
	영문	A Study on the Post-Occupancy Evaluation Technology and Performance Verification for the Spread of Zero Energy Housing									
주관연구기관	기관명	명지대학교 산학협력단				사업자등록번호	135-82-11060				
	주소	경기도 용인시 처인구 명지로 116				법인등록번호	134571-0003971				
주관연구책임자	성명	이명주				직위	교수				
	연락처	직장전화	031-324-1075				휴대전화	010-3797-1649			
		전자우편	zedlab2013@naver.com				국가연구자번호	1000 6863			
연구개발기간	전체	2019.04.19. - 2021.06.30. (2년 3개월)									
	1년차	2019.04.19. - 2019.12.31. (9개월)									
	2년차	2020.01.01. - 2020.12.31. (12개월)									
	3년차	2021.01.01. - 2021.06.30. (6개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원	기관부담		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
	연구개발비	연구개발비		자립자단체 기타()							
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	570,000			-	-	-	-			570,000	-
1년차	130,000			-	-	-	-			130,000	-
2년차	350,000			-	-	-	-			350,000	-
3년차	90,000			-	-	-	-			90,000	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고			
								역할 기관유형			
공동연구기관	성균관대학교	정해관	교수	031-299-6300		hkcheong@skku.edu					
연구개발담당자 실무담당자	성명	김현아				직위	연구교수				
	연락처	직장전화	031-324-1075				휴대전화	010-3727-7585			
		전자우편	zedlab2013@naver.com				국가연구자번호	11102266			

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021 년 8 월 12 일

주관연구책임자 : 이 명 주

주관연구기관의 장 : 명지대학교 산학협력단



국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업			총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명					연구개발과제번호		20CTAP-C152173-02	
국가과학기술 표준분류		EI1204 친환경건축물 설계/시공/관리기술	50%	SE0604 주거관리/평가	30%	SE0603 주거환경/친환경주거	20%	
총괄연구개발명		-						
연구개발과제명		제로에너지 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가(POE) 기술개발 및 성능검증 연구						
전체 연구개발기간		2019.04.19. - 2021.06.30. (2년 3개월)						
총 연구개발비		총 570,000 천원 (정부지원연구개발비 : 570,000 천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준() 종료시점 목표(☒)	
연구개발과제 유형		지정공모 [☒] 자유공모 []						
연구개발과제 특성		실용화						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		○제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구를 개발하고, 제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 거주 후 평가를 진행함으로써 2025년 제로에너지 의무화에 앞서 거주성을 입증하고 국민 인식 긍정적 전환과 제로에너지 주택 보급 확산 촉진을 목표로 함 ○국내 최초 시범사업으로 구축된 제로에너지 주택 대상 성능저하요인에 대한 개선기술을 개발하고 현장 적용 및 지속적 모니터링을 통한 관련 기술 안정화로 향후 제로에너지 보급 시 국가적으로 검증되고 향상된 기술 보급을 목표로 함					
	전체 내용		○제로에너지 공동주택과 일반주택을 대상 실내환경 측정 DB 기반 거주자 쾌적성에 미치는 영향요인 도출 및 사회적 비용편익을 산출 분석을 통한 제로에너지 공동주택의 환경적·경제적 효과를 입증함으로써 제로에너지 공동주택을 통한 국민의 주거환경 개선에 대한 구체적 정책 개발의 기반 마련을 목표로 함					
	1년차	목표	○제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구 -제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발 -제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 거주 후 평가 시행					
		내용	○제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술 개발 및 적용 연구 -제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출					
	2년차	목표	-제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 현장적용 효과 분석 ○제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구					
		내용	-제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발 -제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 시행 및 DB구축					
	3년차	목표	-제로에너지 공동주택과 일반주택 환경별 거주자 쾌적성 영향요인 도출 -제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용가능한 주거환경평가시스템(Housing health and safety rating system) 개발					
		내용	-제로에너지 공동주택과 일반주택 환경별 거주자 쾌적성 손실로 인한 경제적 비용 정량화					
연구개발성과		○제로에너지 공동주택 거주 후 평가 SW 개발 ○개발된 평가도구를 활용하여 기 구축된 제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 거주 후 평가 시행을 통한 활용성 검증 및 실용화 ○제로에너지 공동주택 기술적 성능저하요인 발굴 ○성능저하요인에 대한 개선기술 개발 후 실제 현장 적용 및 지속적 모니터링을 통한 효과 검증 ○제로에너지 공동주택이 거주자의 쾌적성에 미치는 영향요인을 도출하기 위한 분석체계 정립 및 측정도구 개발 ○기 구축된 제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 실내환경 측정을 통한 DB 구축 및 거주자						

	쾌적성 영향요인 도출 ○제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용가능한 주거환경평가기스템(Housing health and safety rating system) 개발 및 현장 적용을 통한 시스템 활용성 검증 ○제로에너지 공동주택 거주자의 쾌적성 영향요인에 대한 정량화 및 주거쾌적성비용편익 도구 개발 ○개발된 도구를 활용하여 제로에너지 공동주택의 사회적 주거쾌적성 비용편익 산출												
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 실용화를 통한 향후 제로에너지 주거환경 관련 사업 대상 활용가능 ○제로에너지 관련 정량적 평가와 정성적 평가가 가능한 종합적 주거환경 평가 가능 시스템 구축으로 다양한 후속연구 진행 가능 ○제로에너지 공동주택 성능검증을 통한 성능저하요인 및 기술적 핵심요인을 도출함으로써 관련 기술력 확보 및 안정화 ○기 구축된 제로에너지 공동주택 대상 개발된 성능개선 기술 현장적용을 통해 효과 검증 및 실용화 가능성을 입증함으로써 향후 제로에너지 주택 보급시 국가적으로 검증·향상된 기술 보급 가능 ○제로에너지 공동주택 주거환경에 대한 실내환경 측정 파일럿테스트 시행 및 DB확보로 효과를 입증함으로써 국민의 주거환경 개선을 위한 구체적 솔루션 제안 가능 ○제로에너지 공동주택 거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인 도출을 통한 관련 신산업 창출과 다양한 후속연구 추진 가능하며 거주자에 미치는 영향요인(사회적 비용) 산출로 제로에너지 공동주택 초기 투자비용 적절성 검토 및 경제적 이익 추산 가능												
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음												
연구개발성과의 등록·기탁 건 수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종		
								생명 정보	생물 자원		정보	실물	
	3		2		1	3							
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호			
	-	-	-	-	-	-	-	-		-			
국문핵심어 (5개 이내)	제로에너지 공동주택		거주 후 평가		주거환경평가		실내 공기질		성능검증				
영문핵심어 (5개 이내)	Zero Energy Housing		Post occupancy evaluation		Housing health and safety rating system		Indoor air quality		Performance verification				

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨. 참고문헌 등

1. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발과제의 최종 목표

MISSION

제로에너지 공동주택 성능 검증 및 거주자 쾌적성 영향요인 분석

제로에너지 주택 보급확산 촉진

제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구를 개발하고, 제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 거주 후 평가를 진행함으로써 2025년 제로에너지 의무화에 앞서 거주성을 입증하고 국민 인식 긍정적 전환과 제로에너지 주택 보급 확산 촉진을 목표로 함

제로에너지 관련기술 안정화 및 성능향상

국내 최초 시범사업으로 구축된 제로에너지 주택 대상 성능저하요인에 대한 개선기술을 개발하고 현장 적용 및 지속적 모니터링을 통한 관련 기술 안정화로 향후 제로에너지 보급 시 국가적으로 검증되고 향상된 기술 보급을 목표로 함

국민 주거환경 개선 정책개발 근거 마련

제로에너지 공동주택과 일반 주택의 주거환경 및 건강 수준 조사 결과에 기반하여 거주자 쾌적성에 미치는 영향요인을 도출함으로써 제로에너지 공동주택의 환경적·경제적 효과를 입증하고, 제로에너지 공동주택을 통한 국민의 주거환경 개선에 대한 구체적인 정책 개발의 근거를 마련함

[세부과제1] 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선 기술개발 및 적용 연구

- 제로에너지 공동주택 기술 요소 중 성능 저하 요인 선정 : 지열 시스템
- 성능 저하 요인 원인 분석 및 개선 공사 진행 : 2020년 5월
- 성능 개선 공사 이후 모니터링 진행 및 효과 분석



[세부과제2] 제로에너지 공동주택 거주 후 평가(POE) 기술개발 및 적용 연구

- 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 (POE) 도구 개발
- 개발된 POE 도구를 활용하여 분기별 입주자 설문 진행 : 2019년 10월(1차), 2020년 9월 (2차)
- 일반 주택 POE 결과 및 실내 환경 측정 값과 비교 분석 (일반주택 25세대, 제로에너지주택 25세대)

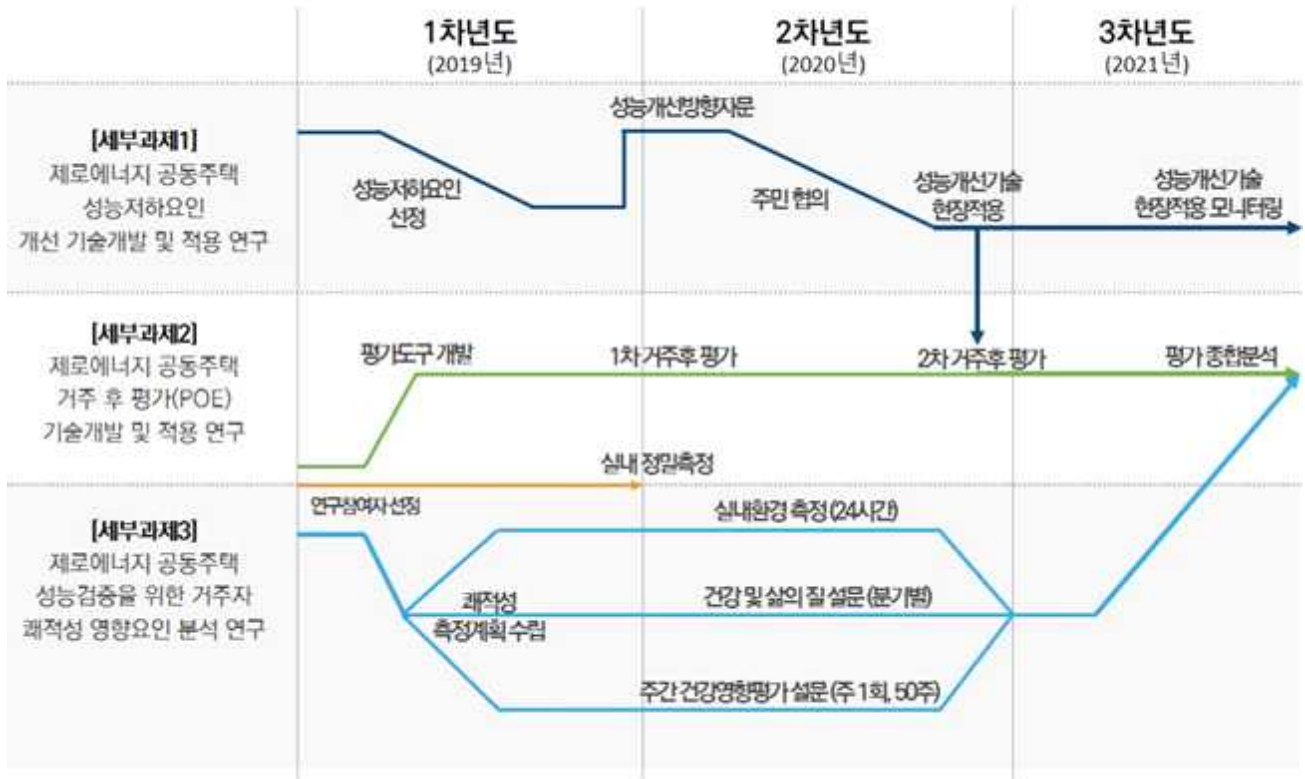


[세부과제3] 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구

- 제로에너지 공동주택 성능 검증을 위한 실내환경 쾌적성 평가 기법 개발
- 제로에너지 주택(25세대)와 일반주택(25세대) 대상 실내환경 측정
- 거주자 쾌적성에 미치는 영향요인 및 제로에너지 공동주택의 환경성 입증



1.2 연구개발과제의 연차별 목표



[세부과제 1] 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선 기술개발 및 적용 연구

-성능저하요인에 대한 개선기술 개발로 기술 안정화를 통한 국가적 검증되고 향상된 제로에너지 관련 기술 보급을 목표로함

1차년도	성능저하요인 선정 및 원인 분석
2차년도	성능저하요인에 대한 개선기술 개발 및 현장 적용
3차년도	성능개선 기술 적용에 따른 기술 안정화

[세부과제 2] 제로에너지 공동주택 거주 후 평가(POE) 기술개발 및 적용 연구

-제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구를 개발하고, 제로에너지 공동주택에 대한 거주성을 입증하고 국민 인식 긍정적 전환과 제로에너지 주택 보급 확산 촉진을 목표로함

1차년도	제로에너지 거주 후 평가 도구 개발 및 연구 참여자 선정
2차년도	제로에너지 거주 후 평가 시행 (성능개선공사 전후 효과 분석)
3차년도	제로에너지 거주 후 평가 결과 비교 분석

[세부과제 3] 제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구

-제로에너지 공동주택의 환경적, 경제적 효과를 입증하고 국민의 주거환경 개선에 대한 구체적 정책 개발의 근거 마련을 목표로 함

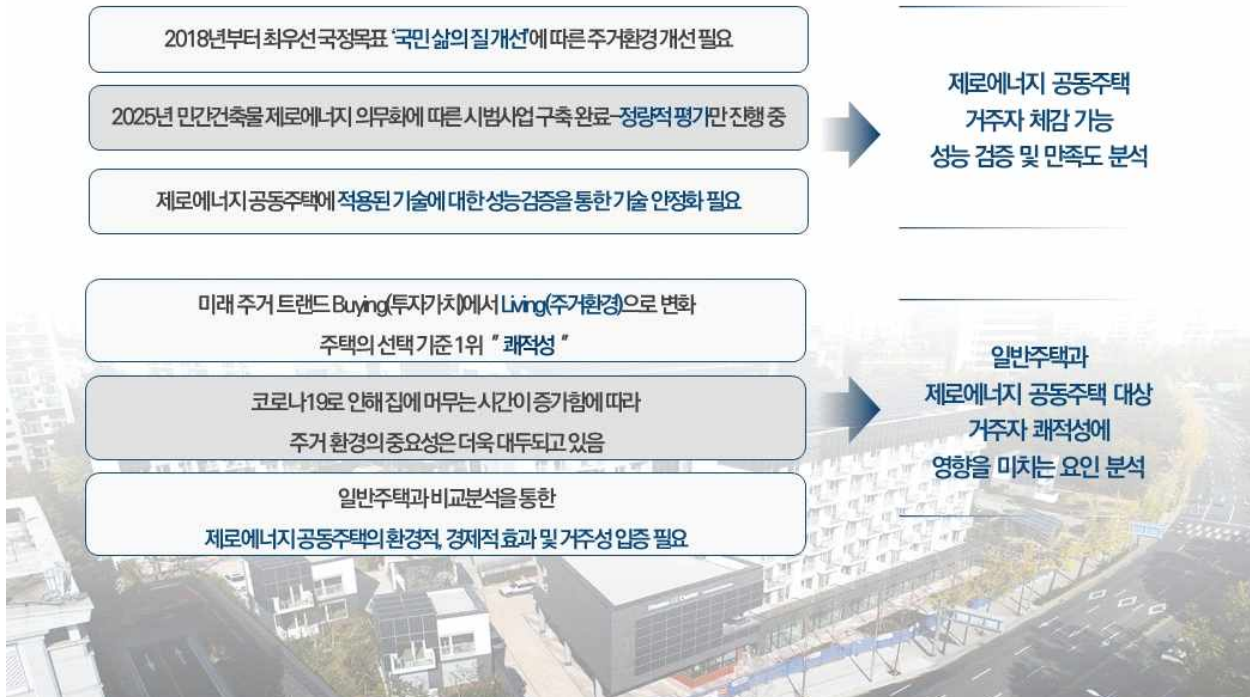
1차년도	제로에너지 공동주택 쾌적성 영향요인 분석 계획 수립 및 연구참여자 선정
2차년도	제로에너지 공동주택 쾌적성 영향요인 분석을 위한 실내환경 측정 및 설문 진행
3차년도	일반주택 대비 제로에너지 주택의 쾌적성 비교 분석 및 건강과의 연계성 분석

핵심성과물	세부 연구개발 목표	추진일정별 목표			평가목표 및 착안점	가중치
		1차년도 (9M)	2차년도 (12M)	3차년도 (6M)		
○ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구						
제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	거주 후 평가 관련 기반 조사 및 보완	100%	-	-	국토교통부 제로에너지 가이드라인 내 기술분류 및 국제적 기준 준용 -파일럿테스트에 활용가능한 스프레드 시트 SW 개발	15
	거주 후 평가도구 개발	100%	-	-		
제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	평가 대상 선정	100%	-	-	개발된 평가도구를 활용한 테스트 시 행 -제로에너지 주택과 일반주택 대상 평 가 결과 DB 통계시물레이션 수행을 통한 분석	10
	거주 후 평가 진행	30%	50%	20%		
	거주 후 평가 DB 수집 및 분석	20%	50%	30%		
○ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술개발 및 적용 연구						
제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출	성능 관련 의견 취합 분석	100%	-	-	적용기술요소 관련 의견수집 및 전문 가 자문을 통한 객관적 저하요인 선정	10
	성능저하요인 도출 및 개선 필요 요인 선정	100%	-	-		
제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 적용	성능개선기술 개발	50%	50%	-	성능저하요인에 대한 기술적 해결 보 장 및 모니터링을 통한 효과 검증	15
	성능개선기술 현장적용	-	100%	-		
	모니터링을 통한 보완 및 평가	-	30%	70%		
○ 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구						
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	실내환경 측정 관련 조사 시행	100%	-	-	체계적 실내환경 측정 요소 정립 -파일럿테스트시 거주자들이 활용가능 한 쾌적성 측정도구 개발	10
	실내환경 측정체계 설정 및 주거쾌적성 측정도구 개발	100%	-	-		
제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	측정 대상 선정 및 설치	100%	-	-	거주 후 평가를 진행한 동일대상 실내 환경 측정 진행 및 DB 종합하여 객관 적 분석	10
	계절별 실내환경 측정 진행	30%	50%	20%		
	측정값 DB 수집	30%	50%	20%		
제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	측정데이터와 거주자의 쾌적성간의 연관성 분석	30%	70%	-	실내환경 측정값과 거주자 주거쾌적 성간의 상관성 통계분석 진행	15
	주거형태에 따른 영향요인 비교 분석	30%	70%	-		
제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템 개발	거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인들 정량화 및 비용편익도구 개발	-	100%	-	제로에너지 공동주택과 일반주택 대 상 사회적 비용 산출 비교 분석 -추후 활용가능하도록 도구 Sheet 개발	15
	파일럿 test DB를 활용한 제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인에 대한 사회적 편익 산출	-	100%	-		

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2.1. 연구개발과제 개요

2.1.1 연구 필요성

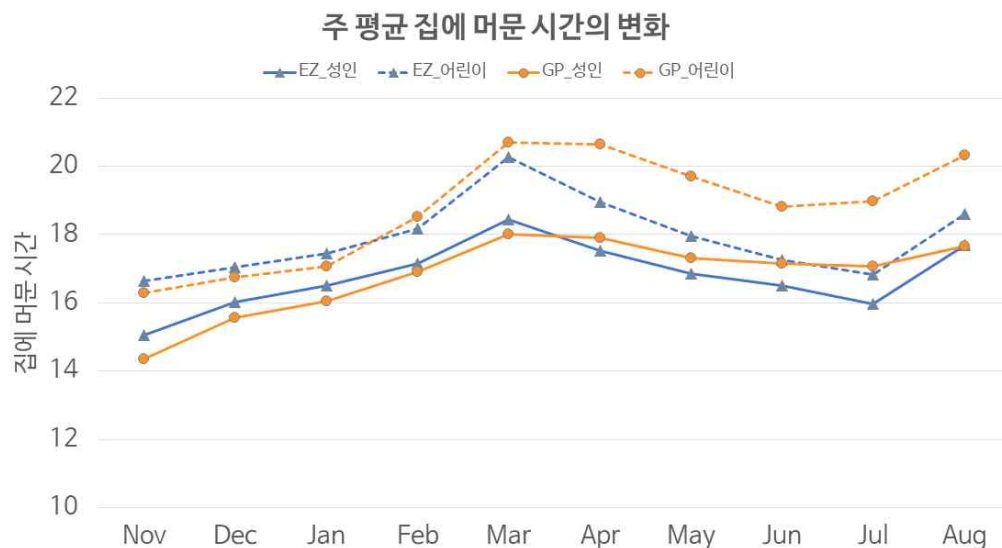


- 현 정부는 2018년부터 최우선 국정목표로 ‘국민 삶의 질 개선’을 선정하여 달성을 위한 초석 마련을 위해 다양한 분야의 정책을 시행하고 있음
- 2014년 통계청의 생활시간조사 자료에 따르면 하루 24시간 중 절반 이상(14시간 13분)을 가정에서 보내는 것으로 나타나, 국민 삶의 질 개선을 위해서는 주거환경을 우선적으로 개선하는 방안을 마련해야 함
- 또한 정부는 온실가스 감축 및 건축 부문 신산업 활성화 등을 위해 2025년까지 민간건축물의 제로에너지 의무화 정책 추진 로드맵을 단계적으로 추진하고 있으며, 제로에너지 관련 연구와 시범사업 구축을 활발히 진행하고 있음



노원 에너지제로주택 조감도

- 여러 테스트베드 시범단지 중, 실제 완공되어 사람이 거주하고 있는 사례는 2017년 10월 국내 최초로 완공되고, 2018년 1월 입주 완료한 노원에 위치한 제로에너지 공동주택 시범사업이 유일함. 해당 사례는 현재 정량적 제로에너지 달성여부 검증은 계속적으로 진행되고 있으나 제로에너지 공동주택에 적용된 기술에 대한 성능검증과 주거환경변화에 따른 실 거주자에 대한 거주 후 평가에 대한 연구 및 사업은 진행되고 있지 않음
- 거주 후 평가는 건축물의 질을 높이는 가치판단의 중요한 요소이며 중요한 주택 성능 평가 척도로, 2025년 민간건축물 제로에너지 의무화에 앞서 국가적 기술 확보와 제로에너지 공동주택 보급 확산을 위해서는 거주자가 체감 가능한 성능 검증과 제로에너지 공동주택이 일반 주택과 비교하여 거주자에 미치는 영향에 대한 연구가 시급함
- 제로에너지주택은 주택단위에서 에너지 효율성을 고도로 높였을 뿐 아니라 실내공기질의 근본적인 변화를 초래함으로써, 이러한 실내 환경의 변화는 거주자들이 체감하는 효과에 큰 영향을 미침으로서, 적용된 기술요소에 대한 성능검증과 함께 일반주택과 제로에너지 공동주택의 주거형태의 변화에 따른 거주자의 만족도 및 실제 쾌적성에 영향을 미치는 요소 등에 대한 세부적인 연구가 필요함
- 또한 전 세계적으로 코로나19가 유행하고 사회적 거리두기가 지속됨에 따라 집에 머무는 시간이 증가하였음. 특히 국가적 코로나19 유행 통제 개입 수준에 따라 성인과 어린이가 집에 머무는 시간이 크게 달라짐에 따라 실내 환경에 대한 관심도 증가하였음. 본 연구에 참여한 대상자들의 평균 집에 머문 시간을 2019년 11월부터 2020년 8월까지 조사한 결과, 국내 코로나 19 환자가 급증했던 2020년 3월과 8월 동안 집에 머문 시간이 다른 시기에 비해 크게 증가했던 것으로 나타남. 이에 본 연구의 중요성이 코로나 19로 인하여 더 대두되었음



주 평균 집에 머문 시간 변화 (코로나 19 유행 이후)

- 따라서 본 연구는 기 구축된 제로에너지 공동주택과 일반주택을 대상으로 거주 후 평가를 진행하여 거주자가 체감하는 효과를 분석하고, 성능저하요인을 발굴하고 개선기술을 개발 및 현장에 적용함으로써 제로에너지 공동주택 관련 기술력을 향상하고자 함. 또한 주거환경변화에 따른 실내환경을 측정하여 실 거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인들을 도출하는 주거환경평가시스템을 개발하여 제로에너지 공동주택의 성능검증과 동시에 효과를 입증하려함
- 또한 기존 일반주택과 제로에너지 공동주택의 주거환경변화에 따른 거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인 도출과 관련한 사회적 비용편익을 산출 비교함으로써 제로에너지 공동주택의 초기 투자비용에 대한 타당성을 확보함으로써 제로에너지 공동주택의 시장 확대가 가능함
- 따라서 위와 같이 본 연구는 제로에너지 공동주택에 적용된 요소기술에 대한 성능검증 및 개선과 실 거주자가 체감하는 효과를 향상시킬 방안 마련을 통해 제로에너지 의무화 정책 목표 달성을 위한 제로에너지 공동주택 보급 확산 촉진 및 주거환경변화에 따른 국민 삶의 질 개선에 대한 효과 입증이 가능하기에 시급히 시행되어야 할 필요가 있음

2.1.2 연구 대상

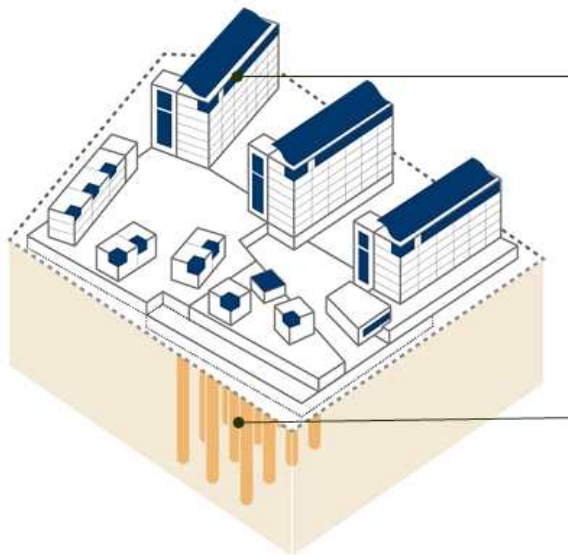
국내 최초 제로에너지 공동주택 노원 EZ 하우스

- 2017년 10월 준공 완료

- 위치 : 서울특별시 노원구 한글비석로97(하계동251-9, 서울온천 옆)
- 규모 : 지하2층/지상7층 연면적 17,652㎡,
- 주택 유형 : 임대주택 등 121세대 주거시설
아파트형 3동(106세대), 연립주택형 1동(9세대),
단독주택형 2동(2세대), 합벽형주택 2동(4세대)
- 전용면적 별 세대구성 : 39㎡ (36세대), 49㎡ (51세대), 59㎡ (34세대)
- 운영방식 별 세대구성 : 행복주택 공공임대(115세대), 연구모니터링(2세대), EZ공동체 임대주택(4세대)

구분	예상 세대인원	세대 수	TFA (㎡)	연면적 (㎡)	법정면적 (㎡)	법정연면적 (㎡)
101동	2	36	43.9	1580.4	39	1404
102동	3	42	55.3	2322.6	49	2058
103동	4	28	66.1	1850.8	59	1652
201동	4	2	64.9	129.8	59	118
202동	4	2	64.9	129.8	59	118
203동	3	9	55.7	501.3	49	441
301동	4	1	64.9	64.9	59	59
302동	4	1	64.9	64.9	59	59
합	-	121	-	6644.5	-	5909

태양광 발전 408kW, 지열설비시스템 130RT 설치



태양광 발전시스템

- 용량 : 408 kW 설치
- 전력 생산량 : 연간 411 MWh (교류기준) 생산 예정
- 사용자 : 단지 내 공용전기, 지열히트펌프 운영 등에서
사용 후 잉여전력을 한전으로 역전송

지열히트펌프 시스템

- 용량 : 130 RT 설치
(지하주차장 및 커뮤니티 하층부 48공 천공)
- 에너지 생산량 : 연간 413 MWh 생산 예정
- 사용자 : 세대별 난방, 냉방, 온수 공급을 위한 열에너지 공급

-실제 제로에너지 공동주택 거주자의 만족도와, 실내 환경 측정이 이루어지는 본 연구는 2017년 10월 준공이 완료되어 121세대가 입주하여 생활하고 있는 국내 최초 제로에너지 공동주택 단지 노원 에너지제로주택을 연구 대상으로 함

2.1.3 연구 추진전략 방법

[세부과제1] 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선 기술개발 및 적용 연구

- 국내 최초 지열시스템 적용 제로에너지 공동주택 - 설비 전문가 자문 진행
- 2017년 10월 준공 이후 축적된 데이터 분석을 바탕으로 성능저하요인 원인 분석
- 연구세대 내 연구원 상주로 지속적 모니터링 가능

[세부과제2] 제로에너지 공동주택 거주 후 평가(POE) 기술개발 및 적용 연구

- 제로에너지 공동주택 시범사업 총괄 경험 보유 기관으로서 연구의 전문성, 연속성 확보
; 평가 참여 거주자의 신뢰도 상승
- 정량적 에너지성능 평가와 동시에 정성적 거주자 평가를 통한 종합적 제로에너지 공동주택 성능검증 가능

[세부과제3] 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구

- 제로에너지 전문 연구기관 + 주거환경 관련 전문 의대학과 협업
: 국내 최초 제로에너지 공동주택과 주거환경 (거주자 쾌적성 관련) 연구로 실질적 국민 주거환경 개선방향 도출 목표
- 인증받은 실내환경 측정기기 활용 : 복합적 실내공기질 측정 (에어가드K)
- 동일 조건의 일반주택을 섭외하여 실내공기질 비교 분석을 통한 제로에너지 공동주택의 환경적 효과 검증

1) 연구개발 세부추진전략·방법

- 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 관련 국내외 문헌·사례 분석을 통한 평가 도구 기반 자료 구축
- 제로에너지 관련 전문가 자문을 통한 평가도구 보완 및 개발
- 2017년 10월 준공 이후 1년 이상 노원 제로에너지 공동주택 거주자 대상 파일럿 테스트 시행
- 노원 제로에너지 공동주택 입주 이후 적용 기술요소 관련 거주자 의견 및 거주 후 평가 결과 분석을 통한 기술적 성능저하요인 도출
- 제로에너지 공동주택과 일반 주택의 주거특성에 따른 성능검증을 위해 대상가구 선정 후 실내외 환경요인 자료 수집을 위한 사계절 포함한(12개월) 24시간 연속 정밀측정 DB수집
- 측정 세대의 거주자 대상, 거주자들이 손쉽게 활용 가능하며 측정 DB 수집의 유용성을 위한 주거 쾌적성 평가 도구 개발
- 일반 주택과 제로에너지 공동주택의 12개월간 24시간 간이측정 DB 수집 및 정밀측정과 타당성 검증
- 계절별 실내 환경 측정값과 거주자의 주거쾌적성 변화간의 DB 비교를 통한 연관성 분석
- 제로에너지 공동주택과 일반 주택의 주거형태에 따른 실내외 측정요소들이 거주자의 주거쾌적성에 미치는 연관성 분석을 통한 종합적 주거환경평가시스템 기반 구축
- 거주자의 쾌적성 및 주거 만족도에 미치는 영향요인들의 정량화를 통한 손실 및 이점을 계산하여 사회적 편익 산출

2). 기술 개발 및 실용화 전략·방법

- 본 연구 대상인 노원 제로에너지 공동주택 시범사업에 참여하였고 연구를 총괄한 연구 기관이 본 연구의 주관연구 기관으로 연구의 전문성·연속성 확보 및 평가에 참여하는 거주자의 신뢰도 상승
- 주관기관은 노원 제로에너지 공동주택 관련 총괄 연구 및 제로에너지 거주 후 평가체계 관련 학술연구를 수행한 경력이 있어 관련 기반 자료 수집과 제로에너지 전문가 섭외 및 원활한 소통·피드백 가능
- 제로에너지 공동주택의 연구 참여 경험으로, 적용기술요소에 대한 개념을 인지하고 있으며, 전문가와 연계되어 있어 성능저하요인에 대한 원활한 개선기술 개발 가능 및 효과에 대한 모니터링 세부적 분석 가능
- 노원 제로에너지 공동주택 121세대 중 연구세대 내 주관기관 연구원 상주로 실내환경 측정 및 거주 후 평가, 주거 환경종합평가 진행시 거주자와 빠른 피드백 진행 가능

- 국내 최초로 시도되는 제로에너지와 주거환경(실내 공기질, 실내 환경 등)에 따른 거주자의 쾌적성 관련 연구로서, 다양한 제로에너지 관련 연구 경험을 보유한 명지대학교와 주거환경 건강영향평가 관련 연구를 수행한 성균관 대학교의 협력으로 실질적 국민의 주거환경 개선 방안 도출 가능
- 국가 시범사업으로 구축된 제로에너지 공동주택으로, 적용 기술요소에 대한 자료 객관성 확보
- 국가 시범사업 중 최초로 구축되어 거주하고 있는 노원의 제로에너지 공동주택을 대상으로 성능 검증 및 거주 후 평가, 주거환경영향평가를 계획한 본 연구를 수행함으로써 주거복지차원의 공공성을 가진 지속적 연속 연구 수행 가능

국내 최초 제로에너지 공동주택과 주거환경의 연관성 분석을 위한 최적의 인프라 보유



1) 연구진의 인적 능력

- 2025년 제로에너지 의무화에 앞서 다양한 제로에너지 건축물 관련 국가 시범사업이 진행되고 있으나, 시범사업 구축 완료 이후 적용 기술에 대한 검증과 구축된 건축물을 이용하는 국민들을 대상으로 진행되는 프로젝트는 전무한 상황임
- 따라서 본 연구는 노원구에 위치한 2017년 10월 국가 시범사업으로 구축 완료 후 121세대가 입주하여 생활하고 있는 국내 최초 테스트베드 제로에너지 공동주택을 대상으로, 해당 시범사업을 총괄했던 연구진이 주관으로 참여함으로써 국내 최초 제로에너지 공동주택 기술 검증과 실 거주자 대상 거주 후 평가 및 주거환경영향평가 도구 개발 및 실용화를 통해 국민 삶의 질 개선을 위한 주거환경 해결방안 도출을 목표로함
- 주관기관인 명지대학교 산학협력단은 에너지 관련 건축물 다수의 연구 및 사업실적을 보유하고 있으며 국가 제로에너지 실증단지 구축 및 최적화 모델 개발 실증 R&D 총괄기관을 수행하며 성공적으로 2017년 10월 준공하여 이 분야의 전문성을 인정받고 있음. 주관 연구책임자는 독일건축사, 독일 패시브하우스 디자이너, 독일 패시브하우스 기술자 자격증을 보유하고 있고, 다수의 제로에너지 관련 연구를 수행한 전문가이며 참여 연구원들 또한 제로에너지 주택 실증단지 시범사업에 참여한 전문 인력으로 구성되어 있음
- 또한 제로에너지 공동주택 거주 후 평가체계 개발 연구라는 박사학위 논문 작성을 통해 제로에너지 공동주택의 거주 후 평가와 관련한 이론적 기반 지식이 있는 연구자의 참여로서 빠른 연구 진행이 가능하며 이론에서 벗어나 현장 활용 가능한 실질적 연구 성과를 도출할 수 있음
- 공동기관인 성균관대학교 의과대학 사회의학교실은 아토피피부염 발생 환경유해인자 규명 및 대기 오염으로 인한 건강피해 연구, 기후변화로 인한 사회경제적 영향평가 등 환경성 질환과 환경요인에 의한 여러 질환들의 동태에 대한 다양한 형태의 역학 연구에 핵심적인 역할을 수행한 실적이 있으며, 이러한 보건환경 및 관련 역학 연구를 수행하면서 관련 자료원과 학술 실적을 다수 보유하고 있음. 또한 본 연구진 및 협력전문가의 세부 연구분야와 전공이 제로에너지 공동주택 거주자의 쾌적성에 미치는 영향요인 도출과 종합적 주거환경영향평가를 통한 사회적 편익 산출등 관련 연구에 최적화된 전공 요소를 갖추고 있음

2) 연구진의 전문성

구분	기관명	실적	지원기관
주관	명지대학교 산학협력단	• 제로에너지 주택 실증단지 구축 및 최적화 모델 개발 기획	명지대학교 국토교통과학기술진흥원
		• 제로에너지 주택 최적화 모델 개발 및 실증단지 구축	명지대학교 국토교통과학기술진흥원
		• 미래형 스마트홈 기술개발사업 기획	명지대학교 국토교통과학기술진흥원
		• 효율적인 에너지 운용을 위한 플러스에너지 주거단지 핵심 기술 개발 기획 -1과제 플러스에너지 커뮤니티를 위한 에너지 플랫폼 개발 및 실증 기술	명지대학교 국토교통과학기술진흥원
		• 지방도시 소규모 공공건축물 에너지 진단 및 리모델링 방법론을 통한 에너지 효율화 방안 연구	명지대학교 한국에너지기술연구원
		• 한국형 패시브하우스 인증모형 개발 및 쾌적지수에 따른 경제성 평가 연구	국토해양부
공동	성균관대학교 의과대학	• 기후변화 건강영향 감시체계 실용화 및 선진화 기술개발	질병관리본부
		• 알레르기질환 발생 환경유해인자 규명기술개발	환경산업기술원
		• 대기오염에 대한 건강피해 연계성 연구	질병관리본부
		• 상대위험도 표준화를 통한 환경위해요인의 환경성 질병부담 평가 기술개발	환경산업기술원
		• 기후변화로 인한 건강피해 부담 및 사회경제적 영향평가	질병관리본부

[세부과제1]

제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술 개발 및 적용연구

1. 연구목적
2. 연구수행 절차
3. 연구내용
4. 연구결과

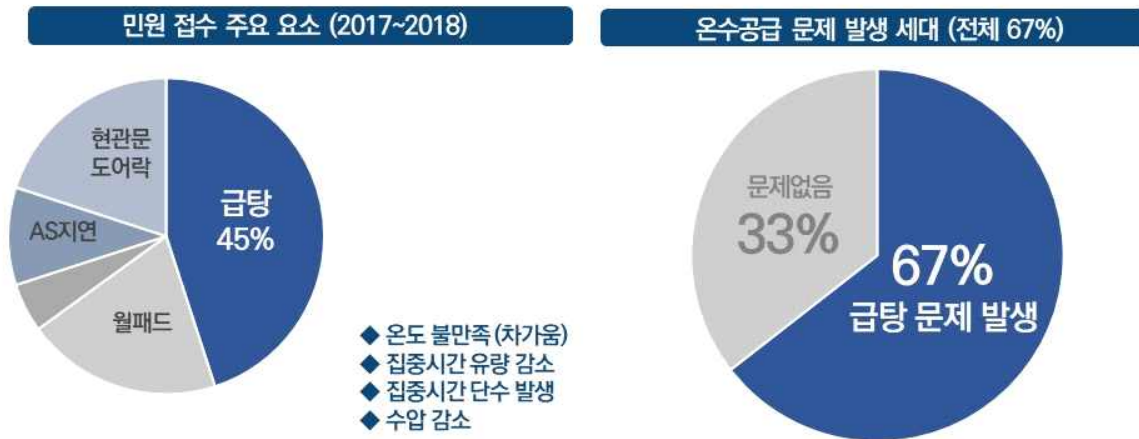
1. 연구목적

3. 연구내용 (요약)

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출을 위한 자료 수집 분석 및 현장 방문 데이터 분석

- 노원 에너지제로주택의 2017년 10월 준공 이후 민원 접수 내역 및 국회의원 간담회 등 다양한 주민 의견 내용을 수집 분석한 결과 급탕에 대한 주요 요소가 민원으로 상당부분 접수 되었음 (45%)
- 또한 2019년 노원구에서 공식적으로 문제를 제기한 사항이 121세대 중 67% (약 78세대) 가 급탕 문제를 겪고 있으며 해결방안 대책 마련에 대한 공식적 요청 사항 접수로 인해, 본 연구에서는 성능 저하요인을 지열 설비시스템으로 선정함

◆ 성능저하요인 도출을 위한 자료 수집 분석

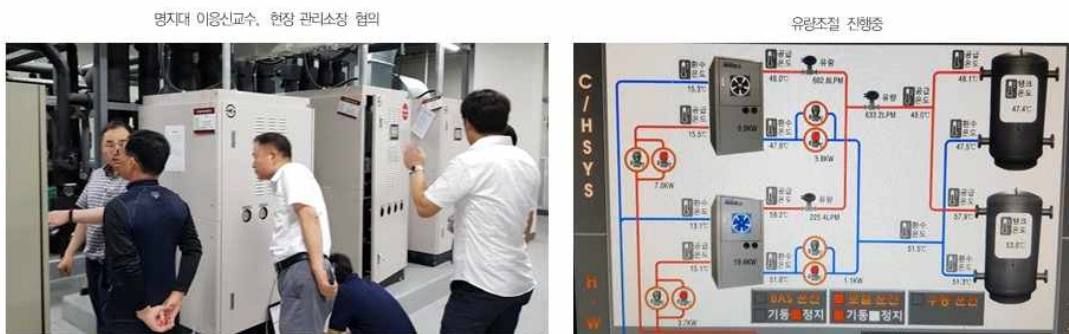


2019.02 노원구에서 공식적으로 문제 제기 : 전체 세대의 64% (78세대) 가 온수공급 문제 발생으로 민원 접수
국토부로 에너지제로주택 관련 문제 해결을 위한 전문 TF팀 구축 운영 요청 (ex. 온수공급 및 급탕 관련 문제 해결)

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인에 대한 모니터링 데이터 분석

- 명지대학교 IT& 제로에너지 건축센터에서는 한국 지역난방공사에서 진행하고 있는 모니터링 영역(~'22.01)을 기반으로 지열 설비시스템에 대한 데이터 검토를 통해 성능 저하에 대한 원인 분석을 진행함

◆ 성능저하요인 원인 분석 (모니터링 데이터 분석 및 현장 방문)



시뮬레이션 기준 (동시사용율 30% + 위험률 10%) 과 실제 급탕 집중 사용량이 상당한 차이를 보임 => 부족현상 발생
고온으로 운영시 히트펌프가 부하를 감당하지 못하는 경우가 상당히 발생함
지열히트펌프의 난방시 출수 온도가 설계치를 하회함 (사용 1년차에는 이상 無, 2년차부터 성능 저하 발생)

◆ 시간대별 평균 급탕부하 분석 (시뮬레이션 vs 실제 사용량)

2018 ~ 2019년 월 시간대별 평균 급탕부하: 2018년 11월 ~ 2019년 3월

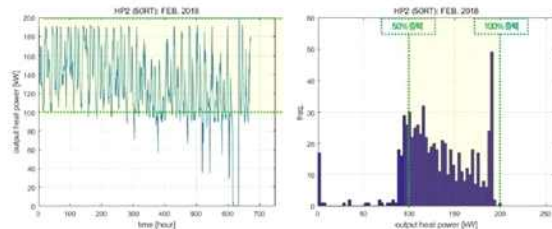


2018~2019년 겨울철 급탕부하 모니터링

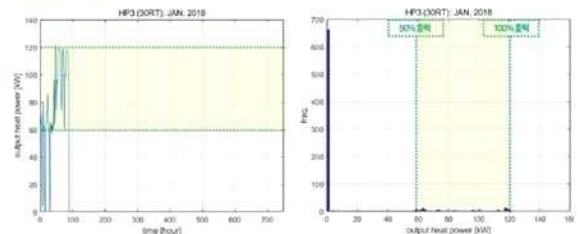
-실제 사용량에 따른 급탕부하는 최대 예상부하인 기준 연결부하 값보다 상당량 초과함

◆ 지열에너지 열에너지 생산 출력 분석 (히트펌프 출력량)

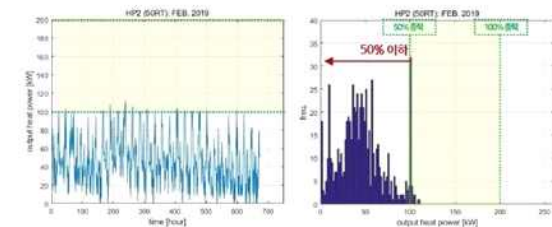
2018년 2월



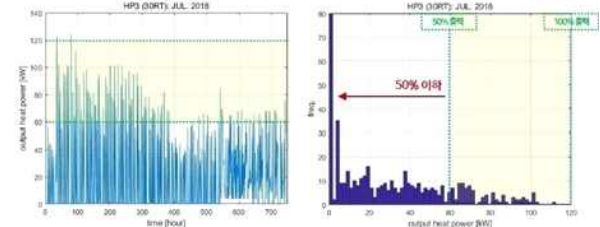
2018년 1월



2019년 2월



2018년 7월



2018~2019년 출력량 비교 분석 (2년차 부터 50% 이하로 출력됨)

-히트펌프 1~3 모두 첫해는 최대 출력 부근에서 작동했으나 2년차부터 50% 출력 또는 그 이하에서 운영됨

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 원인 분석 및 개선 방향 설정을 위한 자문회의 진행

-2019년 8월 9일 지열 설비 관련 전문가 5인을 자문위원으로 자문회의 진행

-노원 에너지제로주택 설비 시스템 기획 담당 실무진 참여를 통해 성능 저하요인 원인 분석과 예산 범위 내 최적의 개선 방향 논의 진행

◆ 성능저하요인 원인에 대한 전문가 의견 및 성능개선방향 설정

1) 지열 히트펌프가 현재 성능저하 또는 기능저하가 있는 것으로 판단됨.

온수공급온도 55℃ 이상으로 공급될 수 있도록 히트펌프에 대한 개선공사가 필요함.

2) 제로에너지 건물 특성상 모든 요소(배관 환경, 펌프 용량 등)가 에너지절약형 기준으로 계획되어 있음.

급탕, 난방의 원활한 공급을 위해 펌프 신설 및 배관 계통 조절이 필요함.

3) 현재 지열설비시스템과 자동제어 시스템이 분리되어 있는데, 운영 스케줄까지 고려된

통합운영시스템 구축이 필요함.



◆ 성능저하요인 해결을 위한 개선공사 요소 선정

개선공사
01

지열시스템 개선공사 (장비 설치공사, 기계실 배관공사)

개선공사
02

온수 순환펌프 교체 공사

개선공사
03

온수탱크 위치변경 및 기계실 배관 철거, 신설

개선공사
04

201, 202, 203동 단독배관 공사

개선공사
05

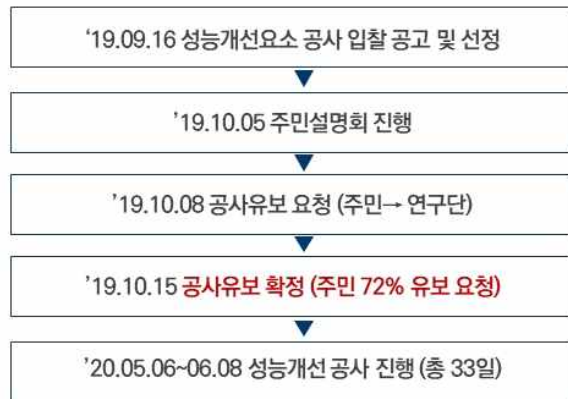
자동제어 및 전기공사



■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선을 위한 현장적용 계획 (주민 협의)

- 2019년 하반기 성능개선 공사 진행 예정이었으나, 동절기 온수 중단에 따른 주민 우려로 공사 유보 요청 (주민의 72%가 유보 요청)
- 2020년 상반기 공사 진행 (2차 유보 요청)
- 연구 2차년도, 사전 협의를 통해 주민과 공사 시기를 조율하여 5월 6일~6월 8일 총 33일간 공사 진행

◆ 성능개선요소 현장적용 시기 조율 (주민협의)



노원 에너지제로주택 지열설비시스템 개선공사 안내

[영지대학교 제로에너지건축센터 기획, 2020.06.01]

□ 공사개요

- 국토교통기술혁신연구로 추진하고 있는 「제로에너지 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가 기술개발 및 성능검증 연구2. 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술개발 및 적용연구」에서 개선필요 요인으로 지열설비시스템이 선정되었으며, 이에 대한 개선공사를 아래와 같은 일정으로 진행할 예정입니다.

* 2019 국토교통기술혁신연구 사회이슈분야 혁신과제 선정 (국토교통과학기술진흥원)
* (주요기관) 영지대학교 건축학부, (연구기관) '19.4.' 21.6.

- (공사목적) 지열설비시스템 공사를 통한 원활한 난방·급탕 공급 및 입주인 생활면의 개선
- (공사일정) '20.05.06~'06.08 (총 공사기간 33일, 온수공급 중단 30일)

일정	주요내용
'20.04.27~'05.03 (7일)	전기문수기 공사 -각세대 전기문수기 설치 공사 -기계실 및 각종 배관 교체 공사 -히트 펌프 변경 공사 -펌프 교체 공사 -버퍼탱크 배관 공사
'20.05.06~'05.23 (18일)	기계실 개선공사 (온수 공급 중단)
'20.05.24~'05.31 (8일)	자동제어 공사 (온수 공급 중단)
'20.06.01~'06.04 (4일)	시운전 -배관 물 채움 -공기抜き 작업
'20.06.05~'06.08 (3일)	시운전 마무리 (온수 정상 공급) -공사 완료 점검 -온수 공급 재개

※ 당초 안내했던 것과 같이 지난주부터 (05.24) 온수 일부 공급을 진행하며 하였으나, 개선된 지열설비시스템의 시운전까지 계획하여 완료하여 6월 5일 (금)부터 전체 온수 공급을 재개 하려합니다. 양해하여 주시기 바랍니다.
최대한 빠른 시일 내로 원활한 난방·급탕 공급이 이루어질 수 있도록 노력하겠습니다.

□ 문의사항

- 신성엔지니어링 열원인 차량 TEL) 02.2600.9678
- 영지대학교 제로에너지 건축센터 김현아 박사 TEL) 031.330.6495

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선을 위한 개선 공사 진행

- 총 공사 비용 2억 범위 내 최적의 급탕 문제 개선을 위한 4가지 요소 공사 진행 완료
- 급탕 온도 고온 유지(기존 55℃→ 최대 58℃), 집중시간 급탕 중단 문제 해결 등을 위한 지열히트펌프 교체, 축열탱크, 공급배관 등 지열 설비시스템의 주 요소 교체

◆ 성능개선공사 진행 완료

구분	기 준	개 선
1 지열히트펌프	온수공급 가능온도: 50~55℃, dT 5℃	온수공급 가능온도: 48 ~ 58℃ dT 10℃, 순환유량 감소
2 축열탱크	탱크수량 2EA 각탱크가 공급, 환수를 동시에담당	공급탱크 1EA, 환수탱크 1EA로 분리 공급(탱크)온도유지에 최적화
3 공급배관	1개의 메인배관에서 가지관분기형식	공급헤더 및 환수헤더 설치, 특정 동 별 분리 공급
4 펌프	온수순환펌프(2차측 온수공급): 2대, 2대, 2대 지열대류펌프(히트펌프↔축열탱크): 2대, 2대	통합 온수순환펌프(2차측 온수공급): 3대 지열대류펌프(히트펌프↔축열탱크): 동력감소
기 타	수동 정유량밸브	특정 동 별 환수배관에 수동 정유량밸브 설치 필요시 유량조절 가능
	차단밸브	공급, 환수헤더측 배관 및 B1 입상배관에 차단밸브 설치

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선을 위한 개선 공사 진행

[동절기, 급탕 집중시간 제기되는 문제 해결을 목표로함]

지열히트펌프	히트펌프 고온수 및 대온도차 모델로 변경 (기존 55℃ → 58℃)
축열탱크/ 환수탱크 분리	용도분리에 따른 공급탱크 온도 확보
동별 공급배관 추가 설치	온수 공급 유량 확보
통합 온수 공급 펌프 유량 및 수량 변경	안정적 급탕 사용 공급 가능
동별 수동 정유량 밸브 설치	유량 제어 가능
히트펌프 운영시스템 변경	자동제어 수정

◆ 성능개선공사 진행 요소 : 1) 지열히트펌프

변경 후 효과

고온수 및 대온도차 모델로 변경, **순환유량 감소로 소비동력 감소**
 기존 대비 **고온수를 세대측으로 공급 가능**. **흑한기 등 부하대응 우수**

구분		30 RT		50 RT	
		기존	개선	기존	개선
유량	LPM	360	150	600	243
			48	50.9	48
온도	℃	↓	↓	↓	↓
		55	58	55	58



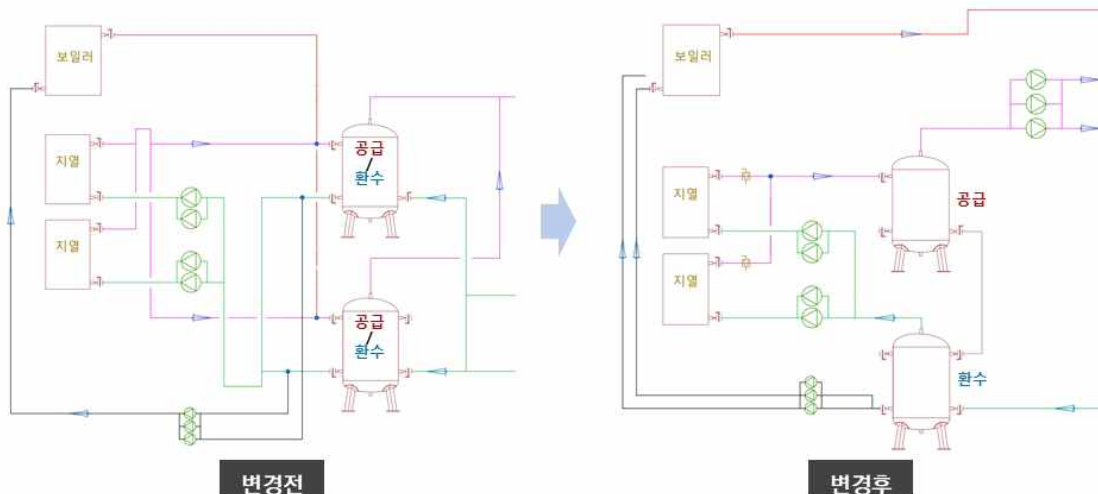
◆ 성능개선공사 진행 요소 : 2) 축열탱크

변경 후 효과

기존 대비 고온수를 세대측으로 공급 가능, 흑한기 등 부하대응 우수

환수와 공급탱크가 분리되어 온수공급탱크에 보다 고온의 온수 축열 가능

*변경 전 : 온수와 환수가 혼합되어 고온의 온수 공급이 어려움



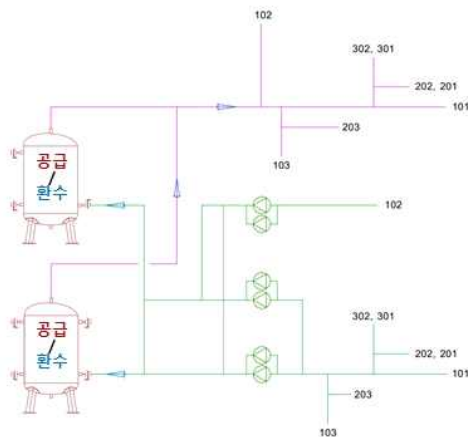
◆ 성능개선공사 진행 요소 : 3) 공급 헤더 및 환수헤더 설치

변경 후 효과

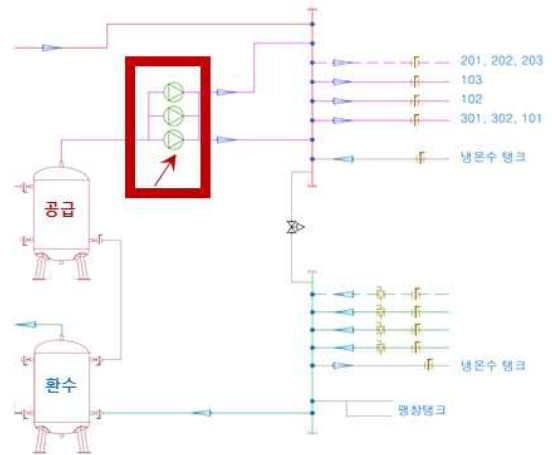
공급헤더 및 환수헤더 설치, **특정동별 분리공급 가능**

통합 온수순환펌프 설치 (3.7 Kw * 3EA)

*변경전 : 1개의 메인배관에서 분기하여 온수 공급됨 (집중시간유량 감소)



변경전



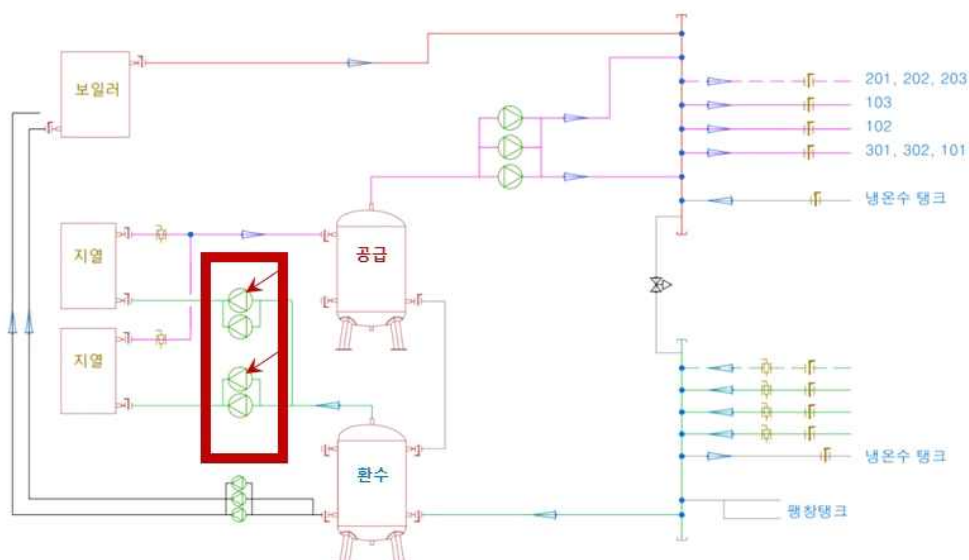
변경후

◆ 성능개선공사 진행 요소 : 4) 펌프

변경 후 효과

지열히트펌프 순환유량 감소에 따른 지열대류펌프 소비동력 감소

		30 RT		50 RT	
		기존	개선	기존	개선
용량	kW	1.5	0.75	3.7	1.5



◆ 성능개선공사 진행 요소 : 5) 헤더 변경

변경 후 효과

특정동별 환수배관에 수동 정유량밸브 설치

1. 온수 차단 등 유지관리 편의성 2. 환수온도, 공급 및 환수 압력 확인 가능 3. 유량조절 가능



온수공급헤더

특정 동 별 공급배관에 차단밸브 설치.
배관 별 압력계 설치.



온수환수헤더

특정 동 별 공급배관에 차단밸브 설치.
특정 동 별 환수배관에 수동 정유량밸브 설치.
배관 별 온도계, 압력계 설치.



노원 에너지제로주택 기계실 (개선공사 완료)

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선공사 진행을 통한 연구결과

-1차 거주 후 평가시 가장 불만족 요소였던 급탕 만족도 (급탕 집중시간 유량, 유속, 온도) 가 개선공사 이후 진행된 2차 거주 후 평가 결과 매우 만족하는 요소로 변경됨
-개선 공사 이후 “너무 뜨겁다” 라는 의견이 제시될 정도로 지열 설비시스템 개선공사의 효과를 검증할 수 있었음

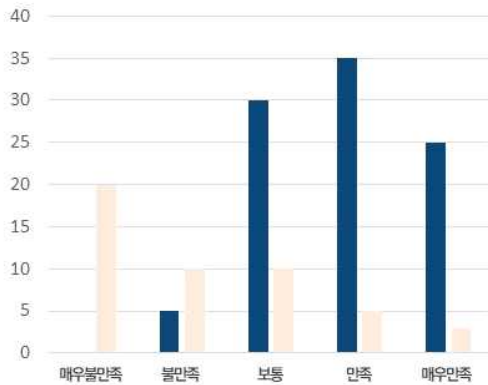
◆ 성능개선공사 진행 효과 분석

공사 전 : 50% 이상이 불만족~보통

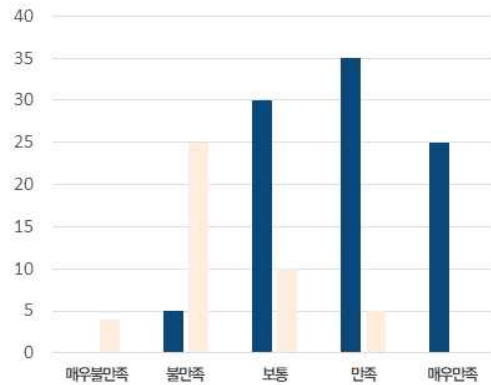


공사 후 : 55% 이상 매우 만족~만족

급탕에 대한 전반적 만족도 (불만족~) 만족



온수 공급 유량, 온도에 대한 만족도



성능저하요인에 대한 개선 공사를 진행하기 전 만족도 평가와 공사 진행 이후 만족도 평가 결과

급탕에 대한 만족도가 불만족 → 만족으로 대다수 의견이 변경됨 (온수 공급 온도 만족, 공급 유량 만족)

◆ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선공사 진행 연구 결과

연구 결과에 따른 성과물

연구성과물	목표	달성	달성률
자문회의	1건	1건	100%
정책제안	1건	1건	100%
공법	1건	1건	100%
운영매뉴얼	-	1건	추가달성

- 난방/급탕 전용 히트펌프 제조
 - 현재는 히트펌프 제조 승인 기준이 냉/난방용으로만 승인 받을 수 있으나, 난방 및 급탕 전용 히트펌프 제조 승인이 필요함 (현용제품의 경우 기계적으로 추가되는 불필요 항목을 삭제하여, 제품의 신뢰성을 향상 시킬 수 있으며, 해당 목적에 부합하게 운영될 수 있음)
- 대용도차 히트펌프 제조 인증기준
 - 공동주택용의 경우 난방 및 급탕 시용 시 대용도차 히트펌프 사용이 일반적으로 혼산 발주가 되고 있는 실정이나, 2kW 및 공동주택의 경우 혼산 특성상 시스템의 안정적임 제어 및 운영을 위하여 통합 발주가 표준으로 시설 기준에 채택되어 시설운영 및 자동제어의 체계성 및 일관성을 향상하여야 한다.
- 시설 및 설비기준 통합발주
 - 지열공사에 있어 히트펌프와 1차 및 2차 자동제어 공사에 대하여 현재는 일반적으로 혼산 발주가 되고 있는 실정이나, 2kW 및 공동주택의 경우 혼산 특성상 시스템의 안정적임 제어 및 운영을 위하여 통합 발주가 표준으로 시설 기준에 채택되어 시설운영 및 자동제어의 체계성 및 일관성을 향상하여야 한다.

“지열설비시스템 시설 운영 및 자동제어의 체계성, 일관성 향상을 위한 통합 발주 표준화 정책 제안”



운영매뉴얼 관리자 배포 완료

2. 지열시스템 제어

● 지열시스템 제어
 1. 지열시스템 제어는 시스템의 안정성과 효율을 높이기 위해 설계된 제어 시스템이다.
 2. 지열시스템 제어는 시스템의 안정성과 효율을 높이기 위해 설계된 제어 시스템이다.
 3. 지열시스템 제어는 시스템의 안정성과 효율을 높이기 위해 설계된 제어 시스템이다.

5. 지열히트펌프 설명

● 지열히트펌프 설명
 1. 지열히트펌프는 지열을 이용하여 난방 및 냉방을 제공하는 장치이다.
 2. 지열히트펌프는 지열을 이용하여 난방 및 냉방을 제공하는 장치이다.
 3. 지열히트펌프는 지열을 이용하여 난방 및 냉방을 제공하는 장치이다.

4. 세부 연구내용

4.1 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술 개발 및 적용연구 추진과정

1. 성능저하요인 (지열설비 시스템)에 대한 문제 인식 및 주민 의견 수렴	-노원 에너지제로주택 입주자대표단이 에너지 제로주택 TF회의(2019.02.16.)에 참석하여 제시한 내용들 중 동절기 지열난방 관련 개선을 요청하여, 문제 인식 및 개선방안 논의 시작
▽	
지열설비 관련 진행일지 정리	-2017년 11월~2019년 6월 기간동안 지열설비 관련한 내용이 언급되었던 간담회 및 회의 등 내용 요약 및 일지 정리
▽	
2. 지열설비 관련 내부 논의 및 개선방향 정립	-2019.07.01.(월) -제로에너지주택실증단지 설비커미셔닝 업무를 담당했던 한국설비와 내부 회의를 통한 지열설비 관련 현황 파악 및 향후 해결방안 논의
▽	
3. 지열설비 개선 항목 확정 및 도면작성 진행	-2019.07.08.~07.26 (약 3주) -개선 항목 확정 및 개선 도면 작성 (한국설비)
▽	
4. 개선공사 예상비용 산출 및 도면 검토 자문단 구성 진행	-2019.07.27.~2019.08.02. -각 개선 항목에 대한 예상 비용 산출 -설비 전문가로 구성된 도면 검토 자문단 구성 완료
▽	
5. 지열설비 개선공사 관련 자문회의 진행	-2019.08.09. 노원 EZ센터 회의실 -작성된 도면을 바탕으로 검토 및 자문회의 진행 -자문위원 구성 [(주)우원엠앤이 변운섭 사장, 삼신설계(주) 정종림 대표이사, 나우 설비기술 김용인 대표이사, 구성이앤씨 윤석구 대표]
▽	
6. 지열설비 자문의견 수신 및 의견 반영하여 공사 도면 작성	-2019.08.14 -자문회의 이후, 추가의 서면 의견서 수신 -자문위원 의견 취합 후 검토 내용이 반영된 도면 작성
▽	
7. 지열설비 개선공사 공사 항목 확정 및 공사 일정 논의	-2019.08.14 -자문회의 이후, 추가의 서면 의견서 수신 -자문위원 의견 취합 후 검토 내용이 반영된 도면 작성
▽	
8. 지열설비 개선공사 공사 입찰 공고	-2019.09.04. -지열설비 개선공사 입찰 공고 (명지대학교 산학협력단) -공고 기간 : 2019.09.04.~2019.09.11.
▽	
9. 공사 현장설명회 진행	-2019.09.09. 15시, 노원EZ하우스 -지열설비 개선공사 공사 현장설명회 진행 -현장설명회 참여 업체만 입찰에 참가할 수 있음
▽	
10. 공사 업체 선정 및 계약 실시	-2019.09.16.(월) 개찰 이후 -공사 업체 선정 (신성엔지니어링)

	-공사비용은 2차년도에 (2020.01 이후) 지급 예정
▽	
11. 공사 진행 전 주민설명회 실시	-2019.10.05. (토), 11시, 노원 EZ하우스 -지열설비 개선 공사관련 주민설명회 진행
▽	
12. 공사 유보 요청 공문 수신 및 공사 유보	-노원 EZ하우스 협동조합 공사 유보 요청 공문 수신 -이에 따라 2019.10.07.~11.15(약 38일)로 예정되어 있던 공사 유보 결정 -추워진 날씨로 난방, 온수 공급 중단에 대한 우려 및 추가 자세한 설명을 요하는 자리 요청 -2020년 상반기(6월 이전) 공사 진행 예정
▽	
13. 공사 시기 선정 논의	-2019.11월 공사 유보 결정 이후, 2020년 연초 주민 이사회가 새로 선정되고 지속적으로 공사 시기를 논의함 (2020년 상반기 안에 해결하도록 제안) -평년 대비 높은 기온으로, 2020년 5월중 공사 진행하는 것으로 논의함
▽	
14. 공사 진행 완료	-2020년 5월~6월 공사 진행을 계획으로, 공사 진행 중 단수로 인한 주민 불편 해결을 위해 순간온수기 대여를 논의하고 구체적으로 계획안을 작성하여 주민들에게 안내 -2020년 5월 6일~6월 8일 (33일) 동안 지열설비 개선공사 진행 완료

4.2 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술 개발 및 적용연구 세부내용

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 선정 (의견 수집 및 모니터링 데이터 분석)

- 노원 에너지제로주택의 2017년 10월 준공 이후 민원 접수 내역 및 국회의원 간담회 등 다양한 주민 의견 내용을 수집 분석한 결과 급탕에 대한 주요 요소가 민원으로 상당부분 접수 되었음 (45%)
- 또한 2019년 노원구에서 공식적으로 문제를 제기한 사항이 121세대 중 67% (약 78세대) 가 급탕 문제를 겪고 있으며 해결방안 대책 마련에 대한 공식적 요청 사항 접수로 인해, 본 연구에서는 성능 저하요인을 지열 설비시스템으로 선정함
- 성능저하요인의 원인을 분석하기 위해 현재 명지대학교 IT&제로에너지건축센터에서 진행하고 있는 모니터링 영역에서 지열설비시스템의 데이터를 검토함 (별첨 참조)
- 노원 에너지제로주택 설계시 지열설비시스템을 설계 및 구축한 실무팀의 분석 자료도 동시에 검토함 (별첨 참조)

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선 방향 설정 (별첨. 모니터링 분석 보고 참조)

- 노원 에너지제로주택의 지열설비시스템 관련하여 모니터링 분석 결과 히트펌프 교체 및 축열탱크 분리 등 공사적 요소도 있었으나 정책적 개선 필요 요소도 도출됨
- 시뮬레이션 상의 기준과 실제 운영시 온도가 상이한 것이 원인이 되어 급탕 부족 문제를 발생한 것으로 판단됨
- 시뮬레이션상 20℃, 실제 입주인 설정 온도 22~24℃로 난방 부하 차이 발생 및 급탕 최대 부하 계산시 동시사용율 30%와 위험률 10% 추가하여 총 40%로 계산하였으나, 사용량 집중시 급탕 부족현상 발생으로 시뮬레이션 상 적용되는 동시사용율에 대한 재계산 필요성 대두됨

시뮬레이션 ALT에 따른 난방부하 비교					시뮬레이션 ALT에 따른 급탕부하 비교		
온도 설정에 따른 ALT					기준 연질 부하와 최대 연질부하		
					- 고시에 따른 최대 부하 계산으로 하면 겨울철에 17% 이상 설계 최대 부하를 초과하여 사용함 - 고시에 따른 기준 연질부하로 계산하여 안전함		
구분	기준 시뮬레이션	ALT 1	ALT 2	ALT 3	구분	기준 연질 부하	최대 연질부하
설계조건	PHPP 고정 실내/실내 온도	PHPP 한국 기후 최저온도/ PHPP 고정 실내온도	PHPP 한국 기후 최저온도/ 에너지절약설계기준 실내온도	PHPP 기밀 최대 온도/ 에너지절약설계기준 실내온도	급탕부하	119.69 kW	63.83 kW
실외/실내 설계온도	-8.4℃/20℃	-15℃/20℃	-15℃/22℃	-20℃/22℃	단위 연질당 최대 부하	17.60	9.36
단위 연질 난방부하	95.38 kW	125.95 kW	133.53 kW	157.47 kW	지중열교환기 부하 감수 (9.56kW/EA)	12.52	6.68
평균 난방부하	14.0 W/㎡	18.5 W/㎡	19.6 W/㎡	23.2 W/㎡	평가	13개에서 생산	7개에서 생산
지중열교환기 부하 감수 (9.56kW/EA)	10개 (9.98)	14개 (13.17)	14개 (13.96)	17개 (16.47)	가파	-	~동시부하율 = 30%+위험률 10% = 40% 로 계산 ~수송손실률 = 배관과 분배수실 합계 25%로 가정
오차 [%]	100%	132.1%	140.0%	165.1%	2018년 1월	0%	12.5%
비고					2018년 2월	0.6%	17.1%
※2018년 1월은 현대로 건축적 특성을 고려한 온도는 -21℃, 입주인 평균 실내 설정 온도는 23~24℃로 PHPP 설정 기준 온도 (ALT 3) 보다 1~3~3℃ 차이 발생					2018년 3월	0.5%	13.2%
					2018년 11월	0%	3.9%
					2018년 12월	0%	12.5%
					2019년 1월	0.1%	17.2%
					2019년 2월	0%	17.2%

시뮬레이션과 실제 부하 비교 (별첨 참조_지열설비시스템 모니터링 분석 결과)

■ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선공사 진행 (별첨. 개선공사 보고서 참조)

- 성능저하요인 개선 공사는, 히트펌프 교체 및 축열탱크 분리, 배관 및 펌프 조정 등으로 진행함
- 1차연도 자문회의 논의 내용과 정해진 예산 범위 내에서, 우선순위를 선정하여 공사 범위를 선정함
 - 히트펌프에 대한 개선 공사 진행 (온수공급온도 상향)
 - 원활한 급탕 및 난방공급을 위한 펌프 신설 공사
 - 설비시스템과 자동제어시스템 연계를 위한 통합운영시스템 구축
- 크게 이 3가지에 대해, 본격적으로 공사를 진행하기에 앞서 다시 한번 시뮬레이션 및 점검 진행하여 최종적으로 결정된 공사항목은 다음과 같음

1	지열히트펌프	히트펌프 고온수 및 대온도차 모델로 변경 (기존 55℃ → 58℃)
2	축열탱크/ 환수탱크 분리	용도분리에 따른 공급탱크 온도 확보
3	동별 공급배관 추가 설치	온수 공급 유량 확보
4	통합 온수 공급 펌프 유량 및 수량 변경	안정적 급탕 사용 공급 가능
5	동별 수동 정유량 밸브 설치	유량 제어 가능
6	히트펌프 운영시스템 변경	자동제어 수정

- 연구계획상으로는 1차연도에 개선공사 진행 완료가 되었어야하나, 주민들의 동절기 공사 반대에 대한 의견으로 유보되어 2020년 5월 6일~6월 8일 (33일)동안 공사 진행함
- 총 33일 공사 기간 중 약 18일간만 온수가 중단됨. 온수 중단기간에는 공사업체 자부담으로, 세대마다 순간온수기 대여를 통해 세대 입주민들의 불편을 최소화 하도록 노력함
- 성능개선공사에 대한 세부 내용은, 지열히트펌프를 교체하여 기존 대비 고온수로 공급될수있도록 개선하였으며, 축열탱크의 역할도 분리하여 혹한기 또는 급탕 집중시간에 부하대응을 향상시키도록 공사를 진행함
- 또한 개선 전보다 유지관리가 용이하고 유량조절이 가능하게끔 배관별로 정유량밸브와 차단밸브, 온도계, 압력계를 설치하는 등 보다 향상된 성능을 위해 기존 계획보다 공사를 추가적으로 진행함
- 성능저하(급탕 집중 시간 수압 약화, 난방 효율 개선 등)에 대한 민원 뿐 아닌, 관리자 측면에서도 지속적으로 지열시스템에 대한 운전 매뉴얼, 유지보수 매뉴얼을 요청하였는데 본 연구를 통해 공사를 진행하며 관리자의 어려움 해결을 위해 운영매뉴얼을 작성하여 직접 배포함

지열시스템 운전매뉴얼

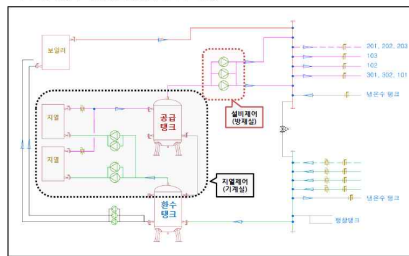
노원 에너지제로하우스

2020. 09

Shinsung Engineering

1. 시스템 구성과 설명

기본구조 및 화면전환 등의 사용법은 기존 매뉴얼을 참고하며, 여기서는 변경 후 내용 및 설정법에 대하여 기술한다.



<지열원 냉, 온수 시스템 계통도>

■ 시스템구분

[지열원용 이용원 냉, 온수를 생성하여 버퍼탱크에 저장하는 지열시스템용 제어]와 [저장된 냉, 온수를 2차측으로(각 실) 보내는 설비제어]로 각각 별도의 구성임.

▶ 지열시스템 제어 항목

[지중순환펌프]

[지열히트펌프]

지열히트펌프 ~ 공급, 환수측 사이 [대류펌프]

▶ 설비제어 항목

생성된 냉, 온수를 2차측(각 실)로 보내는 [순환펌프]

2. 지열시스템 제어

■ 지열시스템 제어

이 항목에서는 A.지열시스템제어 및 B.지열히트펌프 설정에 대하여 설명한다.

- A. 지열자동제어(반별)에 의한 시스템 제어 [기계설 위치]
- B. 히트펌프 자체로직에 의한 장비 설정 [히트펌프 터치스크린]



A. 지열자동제어(반별)에 의한 시스템 제어 기동

설정조건에 따라 지열시스템 기동신호 발생
기동/정지 조건은 ① [공급(환수)온도] 및 [환수(탱크)온도], [평균온도기준]으로 선택 가능

설정조건 충족 → 시스템 기동신호 → 지중측 순환펌프 운전 → 버퍼탱크측 순환펌프 운전
→ 히트펌프 기동신호 송출

! 설정조건에 따라 시스템기동으로 발생하며

[지중순환펌프] 및 [버퍼탱크측 순환펌프]가 운전중이어도

히트펌프 자체로직의 설정이 충족되지 않으면 히트펌프는 기동하지 않음

2. 지열시스템 제어

▶ 설정조건 및 방법

모든 항목은 터치스크린으로 설정한다.

- Ex 1: 급탕기동온도-공급탱크기준, 56℃ 설정시
→ 공급탱크가 56℃ 이하로 낮아지면 시스템 기동신호 발생
- Ex 2: 급탕기동온도-환수탱크기준, 56℃ 설정시
→ 환수탱크가 56℃ 이하로 낮아지면 시스템 기동신호 발생
- Ex 3: 급탕정지온도-환수탱크기준, 54℃ 설정시
→ 공급탱크가 54℃ 이상으로 높아지면 시스템 정지신호 발생
- Ex 2: 급탕정지온도-공급탱크기준, 58℃ 설정시
→ 공급탱크가 58℃ 이상으로 높아지면 시스템 기동신호 발생

※ 현장별 사용환경에 따라 운전조건을 설정하여 사용하시기 바랍니다.

▶ 감시화면



센서 위치별 온도 및 유량, 소비량 등 확인 할 수 있으며, 각 센서의 위치에 따라 온도편차가 발생하는 것은 정상임.

3. 지열히트펌프 설정

ENG-SET1	ENG-SET2	ENG-SET3	ENG-SET4	ENG-SET5
온도 설정	온도 설정	온도 설정	온도 설정	온도 설정
부하 출구 온도 설정	부하 출구 온도 설정	부하 출구 온도 설정	부하 출구 온도 설정	부하 출구 온도 설정
사동 복귀 온도	사동 복귀 온도	사동 복귀 온도	사동 복귀 온도	사동 복귀 온도
기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도
기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도
기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도
기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도	기동/정지 온도

<관리자 전용 화면으로 이력을 동기화한 예시임>

① 부하출구온도설정 56℃ 설정시

히트펌프는 온도조건에 따라 부분운전 할 수 있음.

압축기1, 압축기2는 서로 다른 목표온도 편차값에 따라 자동으로 설정되며

부하측(환수측) 온도 (=히트펌프 입구온도)에 따라 기동/정지 수행

Ex1: 부하측(환수측) 온도 46℃ 일때 → 압축기1, 2 모두 기동

Ex2: 부하측(환수측) 온도 51℃ 일때 → 압축기1 or 2 현대만 기동

Ex3: 부하측(환수측) 온도 54℃ 일때 → 미기동

■ 시스템 제어설정과 히트펌프 설정 관계

Ex 1: 급탕기동온도-공급탱크기준, 56℃ 설정시

→ 공급탱크가 56℃ 이하로 낮아지면 시스템 기동신호 발생

이때 환수탱크의 온도가 51℃ 이하 이면 히트펌프가 기동함.

→ 만약 공급탱크가 55℃ 이고, 환수탱크는 53℃ 이면 (dt=2℃)

대류 순환펌프들은 운전중이나 히트펌프는 기동하지 않음.

※ 정상적인 부하 사용시 공급, 환수측은 약 5~10℃의 dT가 유지되며 최적의 효율성을 가짐.

3. 지열히트펌프 설정

A. 지열자동제어(반별)에 의한 시스템 제어 [기계설 위치]

B. 히트펌프 자체로직에 의한 장비 설정 [히트펌프 터치스크린]



① 설정화면 ② 온도설정 ③ 부하출구온도 설정조건에 따라 히트펌프 자체 기동/정지 수행

④ 부하출구온도 설정 온도부 터치 → 온도입력

전제조건: 지열자동제어(반별)에 의한 시스템 제어로 히트펌프가 기동신호 송출중

Ex1: 부하 출구온도 설정 56℃, 자동정지편차 2℃ 설정시

정비:는 56℃ 출수중이라도 정지하지 않고 편차값 만큼, 58℃에서 정지.

Ex2: 편차값이 0℃ 일때? (설정불가)

이론적으로 출수온도 56℃에서 정지, 55.9℃에서 정지, 55.8℃에서 정지, 55.7℃에서 정지, 55.6℃에서 정지, 55.5℃에서 정지, 55.4℃에서 정지, 55.3℃에서 정지, 55.2℃에서 정지, 55.1℃에서 정지, 55.0℃에서 정지, 54.9℃에서 정지, 54.8℃에서 정지, 54.7℃에서 정지, 54.6℃에서 정지, 54.5℃에서 정지, 54.4℃에서 정지, 54.3℃에서 정지, 54.2℃에서 정지, 54.1℃에서 정지, 54.0℃에서 정지, 53.9℃에서 정지, 53.8℃에서 정지, 53.7℃에서 정지, 53.6℃에서 정지, 53.5℃에서 정지, 53.4℃에서 정지, 53.3℃에서 정지, 53.2℃에서 정지, 53.1℃에서 정지, 53.0℃에서 정지, 52.9℃에서 정지, 52.8℃에서 정지, 52.7℃에서 정지, 52.6℃에서 정지, 52.5℃에서 정지, 52.4℃에서 정지, 52.3℃에서 정지, 52.2℃에서 정지, 52.1℃에서 정지, 52.0℃에서 정지, 51.9℃에서 정지, 51.8℃에서 정지, 51.7℃에서 정지, 51.6℃에서 정지, 51.5℃에서 정지, 51.4℃에서 정지, 51.3℃에서 정지, 51.2℃에서 정지, 51.1℃에서 정지, 51.0℃에서 정지, 50.9℃에서 정지, 50.8℃에서 정지, 50.7℃에서 정지, 50.6℃에서 정지, 50.5℃에서 정지, 50.4℃에서 정지, 50.3℃에서 정지, 50.2℃에서 정지, 50.1℃에서 정지, 50.0℃에서 정지, 49.9℃에서 정지, 49.8℃에서 정지, 49.7℃에서 정지, 49.6℃에서 정지, 49.5℃에서 정지, 49.4℃에서 정지, 49.3℃에서 정지, 49.2℃에서 정지, 49.1℃에서 정지, 49.0℃에서 정지, 48.9℃에서 정지, 48.8℃에서 정지, 48.7℃에서 정지, 48.6℃에서 정지, 48.5℃에서 정지, 48.4℃에서 정지, 48.3℃에서 정지, 48.2℃에서 정지, 48.1℃에서 정지, 48.0℃에서 정지, 47.9℃에서 정지, 47.8℃에서 정지, 47.7℃에서 정지, 47.6℃에서 정지, 47.5℃에서 정지, 47.4℃에서 정지, 47.3℃에서 정지, 47.2℃에서 정지, 47.1℃에서 정지, 47.0℃에서 정지, 46.9℃에서 정지, 46.8℃에서 정지, 46.7℃에서 정지, 46.6℃에서 정지, 46.5℃에서 정지, 46.4℃에서 정지, 46.3℃에서 정지, 46.2℃에서 정지, 46.1℃에서 정지, 46.0℃에서 정지, 45.9℃에서 정지, 45.8℃에서 정지, 45.7℃에서 정지, 45.6℃에서 정지, 45.5℃에서 정지, 45.4℃에서 정지, 45.3℃에서 정지, 45.2℃에서 정지, 45.1℃에서 정지, 45.0℃에서 정지, 44.9℃에서 정지, 44.8℃에서 정지, 44.7℃에서 정지, 44.6℃에서 정지, 44.5℃에서 정지, 44.4℃에서 정지, 44.3℃에서 정지, 44.2℃에서 정지, 44.1℃에서 정지, 44.0℃에서 정지, 43.9℃에서 정지, 43.8℃에서 정지, 43.7℃에서 정지, 43.6℃에서 정지, 43.5℃에서 정지, 43.4℃에서 정지, 43.3℃에서 정지, 43.2℃에서 정지, 43.1℃에서 정지, 43.0℃에서 정지, 42.9℃에서 정지, 42.8℃에서 정지, 42.7℃에서 정지, 42.6℃에서 정지, 42.5℃에서 정지, 42.4℃에서 정지, 42.3℃에서 정지, 42.2℃에서 정지, 42.1℃에서 정지, 42.0℃에서 정지, 41.9℃에서 정지, 41.8℃에서 정지, 41.7℃에서 정지, 41.6℃에서 정지, 41.5℃에서 정지, 41.4℃에서 정지, 41.3℃에서 정지, 41.2℃에서 정지, 41.1℃에서 정지, 41.0℃에서 정지, 40.9℃에서 정지, 40.8℃에서 정지, 40.7℃에서 정지, 40.6℃에서 정지, 40.5℃에서 정지, 40.4℃에서 정지, 40.3℃에서 정지, 40.2℃에서 정지, 40.1℃에서 정지, 40.0℃에서 정지, 39.9℃에서 정지, 39.8℃에서 정지, 39.7℃에서 정지, 39.6℃에서 정지, 39.5℃에서 정지, 39.4℃에서 정지, 39.3℃에서 정지, 39.2℃에서 정지, 39.1℃에서 정지, 39.0℃에서 정지, 38.9℃에서 정지, 38.8℃에서 정지, 38.7℃에서 정지, 38.6℃에서 정지, 38.5℃에서 정지, 38.4℃에서 정지, 38.3℃에서 정지, 38.2℃에서 정지, 38.1℃에서 정지, 38.0℃에서 정지, 37.9℃에서 정지, 37.8℃에서 정지, 37.7℃에서 정지, 37.6℃에서 정지, 37.5℃에서 정지, 37.4℃에서 정지, 37.3℃에서 정지, 37.2℃에서 정지, 37.1℃에서 정지, 37.0℃에서 정지, 36.9℃에서 정지, 36.8℃에서 정지, 36.7℃에서 정지, 36.6℃에서 정지, 36.5℃에서 정지, 36.4℃에서 정지, 36.3℃에서 정지, 36.2℃에서 정지, 36.1℃에서 정지, 36.0℃에서 정지, 35.9℃에서 정지, 35.8℃에서 정지, 35.7℃에서 정지, 35.6℃에서 정지, 35.5℃에서 정지, 35.4℃에서 정지, 35.3℃에서 정지, 35.2℃에서 정지, 35.1℃에서 정지, 35.0℃에서 정지, 34.9℃에서 정지, 34.8℃에서 정지, 34.7℃에서 정지, 34.6℃에서 정지, 34.5℃에서 정지, 34.4℃에서 정지, 34.3℃에서 정지, 34.2℃에서 정지, 34.1℃에서 정지, 34.0℃에서 정지, 33.9℃에서 정지, 33.8℃에서 정지, 33.7℃에서 정지, 33.6℃에서 정지, 33.5℃에서 정지, 33.4℃에서 정지, 33.3℃에서 정지, 33.2℃에서 정지, 33.1℃에서 정지, 33.0℃에서 정지, 32.9℃에서 정지, 32.8℃에서 정지, 32.7℃에서 정지, 32.6℃에서 정지, 32.5℃에서 정지, 32.4℃에서 정지, 32.3℃에서 정지, 32.2℃에서 정지, 32.1℃에서 정지, 32.0℃에서 정지, 31.9℃에서 정지, 31.8℃에서 정지, 31.7℃에서 정지, 31.6℃에서 정지, 31.5℃에서 정지, 31.4℃에서 정지, 31.3℃에서 정지, 31.2℃에서 정지, 31.1℃에서 정지, 31.0℃에서 정지, 30.9℃에서 정지, 30.8℃에서 정지, 30.7℃에서 정지, 30.6℃에서 정지, 30.5℃에서 정지, 30.4℃에서 정지, 30.3℃에서 정지, 30.2℃에서 정지, 30.1℃에서 정지, 30.0℃에서 정지, 29.9℃에서 정지, 29.8℃에서 정지, 29.7℃에서 정지, 29.6℃에서 정지, 29.5℃에서 정지, 29.4℃에서 정지, 29.3℃에서 정지, 29.2℃에서 정지, 29.1℃에서 정지, 29.0℃에서 정지, 28.9℃에서 정지, 28.8℃에서 정지, 28.7℃에서 정지, 28.6℃에서 정지, 28.5℃에서 정지, 28.4℃에서 정지, 28.3℃에서 정지, 28.2℃에서 정지, 28.1℃에서 정지, 28.0℃에서 정지, 27.9℃에서 정지, 27.8℃에서 정지, 27.7℃에서 정지, 27.6℃에서 정지, 27.5℃에서 정지, 27.4℃에서 정지, 27.3℃에서 정지, 27.2℃에서 정지, 27.1℃에서 정지, 27.0℃에서 정지, 26.9℃에서 정지, 26.8℃에서 정지, 26.7℃에서 정지, 26.6℃에서 정지, 26.5℃에서 정지, 26.4℃에서 정지, 26.3℃에서 정지, 26.2℃에서 정지, 26.1℃에서 정지, 26.0℃에서 정지, 25.9℃에서 정지, 25.8℃에서 정지, 25.7℃에서 정지, 25.6℃에서 정지, 25.5℃에서 정지, 25.4℃에서 정지, 25.3℃에서 정지, 25.2℃에서 정지, 25.1℃에서 정지, 25.0℃에서 정지, 24.9℃에서 정지, 24.8℃에서 정지, 24.7℃에서 정지, 24.6℃에서 정지, 24.5℃에서 정지, 24.4℃에서 정지, 24.3℃에서 정지, 24.2℃에서 정지, 24.1℃에서 정지, 24.0℃에서 정지, 23.9℃에서 정지, 23.8℃에서 정지, 23.7℃에서 정지, 23.6℃에서 정지, 23.5℃에서 정지, 23.4℃에서 정지, 23.3℃에서 정지, 23.2℃에서 정지, 23.1℃에서 정지, 23.0℃에서 정지, 22.9℃에서 정지, 22.8℃에서 정지, 22.7℃에서 정지, 22.6℃에서 정지, 22.5℃에서 정지, 22.4℃에서 정지, 22.3℃에서 정지, 22.2℃에서 정지, 22.1℃에서 정지, 22.0℃에서 정지, 21.9℃에서 정지, 21.8℃에서 정지, 21.7℃에서 정지, 21.6℃에서 정지, 21.5℃에서 정지, 21.4℃에서 정지, 21.3℃에서 정지, 21.2℃에서 정지, 21.1℃에서 정지, 21.0℃에서 정지, 20.9℃에서 정지, 20.8℃에서 정지, 20.7℃에서 정지, 20.6℃에서 정지, 20.5℃에서 정지, 20.4℃에서 정지, 20.3℃에서 정지, 20.2℃에서 정지, 20.1℃에서 정지, 20.0℃에서 정지, 19.9℃에서 정지, 19.8℃에서 정지, 19.7℃에서 정지, 19.6℃에서 정지, 19.5℃에서 정지, 19.4℃에서 정지, 19.3℃에서 정지, 19.2℃에서 정지, 19.1℃에서 정지, 19.0℃에서 정지, 18.9℃에서 정지, 18.8℃에서 정지, 18.7℃에서 정지, 18.6℃에서 정지, 18.5℃에서 정지, 18.4℃에서 정지, 18.3℃에서 정지, 18.2℃에서 정지, 18.1℃에서 정지, 18.0℃에서 정지, 17.9℃에서 정지, 17.8℃에서 정지, 17.7℃에서 정지, 17.6℃에서 정지, 17.5℃에서 정지, 17.4℃에서 정지, 17.3℃에서 정지, 17.2℃에서 정지, 17.1℃에서 정지, 17.0℃에서 정지, 16.9℃에서 정지, 16.8℃에서 정지, 16.7℃에서 정지, 16.6℃에서 정지, 16.5℃에서 정지, 16.4℃에서 정지, 16.3℃에서 정지, 16.2℃에서 정지, 16.1℃에서 정지, 16.0℃에서 정지, 15.9℃에서 정지, 15.8℃에서 정지, 15.7℃에서 정지, 15.6℃에서 정지, 15.5℃에서 정지, 15.4℃에서 정지, 15.3℃에서 정지, 15.2℃에서 정지, 15.1℃에서 정지, 15.0℃에서 정지, 14.9℃에서 정지, 14.8℃에서 정지, 14.7℃에서 정지, 14.6℃에서 정지, 14.5℃에서 정지, 14.4℃에서 정지, 14.3℃에서 정지, 14.2℃에서 정지, 14.1℃에서 정지, 14.0℃에서 정지, 13.9℃에서 정지, 13.8℃에서 정지, 13.7℃에서 정지, 13.6℃에서 정지, 13.5℃에서 정지, 13.4℃에서 정지, 13.3℃에서 정지, 13.2℃에서 정지, 13.1℃에서 정지, 13.0℃에서 정지, 12.9℃에서 정지, 12.8℃에서 정지, 12.7℃에서 정지, 12.6℃에서 정지, 12.5℃에서 정지, 12.4℃에서 정지, 12.3℃에서 정지, 12.2℃에서 정지, 12.1℃에서 정지, 12.0℃에서 정지, 11.9℃에서 정지, 11.8℃에서 정지, 11.7℃에서 정지, 11.6℃에서 정지, 11.5℃에서 정지, 11.4℃에서 정지, 11.3℃에서 정지, 11.2℃에서 정지, 11.1℃에서 정지, 11.0℃에서 정지, 10.9℃에서 정지, 10.8℃에서 정지, 10.7℃에서 정지, 10.6℃에서 정지, 10.5℃에서 정지, 10.4℃에서 정지, 10.3℃에서 정지, 10.2℃에서 정지, 10.1℃에서 정지, 10.0℃에서 정지, 9.9℃에서 정지, 9.8℃에서 정지, 9.7℃에서 정지, 9.6℃에서 정지, 9.5℃에서 정지, 9.4℃에서 정지, 9.3℃에서 정지, 9.2℃에서 정지, 9.1℃에서 정지, 9.0℃에서 정지, 8.9℃에서 정지, 8.8℃에서 정지, 8.7℃에서 정지, 8.6℃에서 정지, 8.5℃에서 정지, 8.4℃에서 정지, 8.3℃에서 정지, 8.2℃에서 정지, 8.1℃에서 정지, 8.0℃에서 정지, 7.9℃에서 정지, 7.8℃에서 정지, 7.7℃에서 정지, 7.6℃에서 정지, 7.5℃에서 정지, 7.4℃에서 정지, 7.3℃에서 정지, 7.2℃에서 정지, 7.1℃에서 정지, 7.0℃에서 정지, 6.9℃에서 정지, 6.8℃에서 정지, 6.7℃에서 정지, 6.6℃에서 정지, 6.5℃에서 정지, 6.4℃에서 정지, 6.3℃에서 정지, 6.2℃에서 정지, 6.1℃에서 정지, 6.0℃에서 정지, 5.9℃에서 정지, 5.8℃에서 정지, 5.7℃에서 정지, 5.6℃에서 정지, 5.5℃에서 정지, 5.4℃에서 정지, 5.3℃에서 정지, 5.2℃에서 정지, 5.1℃에서 정지, 5.0℃에서 정지, 4.9℃에서 정지, 4.8℃에서 정지, 4.7℃에서 정지, 4.6℃에서 정지, 4.5℃에서 정지, 4.4℃에서 정지, 4.3℃에서 정지, 4.2℃에서 정지, 4.1℃에서 정지, 4.0℃에서 정지, 3.9℃에서 정지, 3.8℃에서 정지, 3.7℃에서 정지, 3.6℃에서 정지, 3.5℃에서 정지, 3.4℃에서 정지, 3.3℃에서 정지, 3.2℃에서 정지, 3.1℃에서 정지, 3.0℃에서 정지, 2.9℃에서 정지, 2.8℃에서 정지, 2.7℃에서 정지, 2.6℃에서 정지, 2.5℃에서 정지, 2.4℃에서 정지, 2.3℃에서 정지, 2.2℃에서 정지, 2.1℃에서 정지, 2.0℃에서 정지, 1.9℃에서 정지, 1.8℃에서 정지, 1.7℃에서 정지, 1.6℃에서 정지, 1.5℃에서 정지, 1.4℃에서 정지, 1.3℃에서 정지, 1.2℃에서 정지, 1.1℃에서 정지, 1.0℃에서 정지, 0.9℃에서 정지, 0.8℃에서 정지, 0.7℃에서 정지, 0.6℃에서 정지, 0.5℃에서 정지, 0.4℃에서 정지, 0.3℃에서 정지, 0.2℃에서 정지, 0.1℃에서 정지, 0.0℃에서 정지, -0.1℃에서 정지, -0.2℃에서 정지, -0.3℃에서 정지, -0.4℃에서 정지, -0.5℃에서 정지, -0.6℃에서 정지, -0.7℃에서 정지, -0.8℃에서 정지, -0.9℃에서 정지, -1.0℃에서 정지, -1.1℃에서 정지, -1.2℃에서 정지, -1.3℃에서 정지, -1.4℃에서 정지, -1.5℃에서 정지, -1.6℃에서 정지, -1.7℃에서 정지, -1.8℃에서 정지, -1.9℃에서 정지, -2.0℃에서 정지, -2.1℃에서 정지, -2.2℃에서 정지, -2.3℃에서 정지, -2.4℃에서 정지, -2.5℃에서 정지, -2.6℃에서 정지, -2.7℃에서 정지, -2.8℃에서 정지, -2.9℃에서 정지, -3.0℃에서 정지, -3.1℃에서 정지, -3.2℃에서 정지, -3.3℃에서 정지, -3.4℃에서 정지, -3.5℃에서 정지, -3.6℃에서 정지, -3.7℃에서 정지, -3.8℃에서 정지, -3.9℃에서 정지, -4.0℃에서 정지, -4.1℃에서 정지, -4.2℃에서 정지, -4.3℃에서 정지, -4.4℃에서 정지, -4.5℃에서 정지, -4.6℃에서 정지, -4.7℃에서 정지, -4.8℃에서 정지, -4.9℃에서 정지, -5.0℃에서 정지, -5.1℃에서 정지, -5.2℃에서 정지, -5.3℃에서 정지, -5.4℃에서 정지, -5.5℃에서 정지, -5.6℃에서 정지, -5.7℃에서 정지, -5.8℃에서 정지, -5.9℃에서 정지, -6.0℃에서 정지, -6.1℃에서 정지, -6.2℃에서 정지, -6.3℃에서 정지, -6.4℃에서 정지, -6.5℃에서 정지, -6.6℃에서 정지, -6.7℃에서 정지, -6.8℃에서 정지, -6.9℃에서 정지, -7.0℃에서 정지, -7.1℃에서 정지, -7.2℃에서 정지, -7.3℃에서 정지, -7.4℃에서 정지, -7.5℃에서 정지, -7.6℃에서 정지, -7.7℃에서 정지, -7.8℃에서 정지, -7.9℃에서 정지, -8.0℃에서 정지, -8.1℃에서 정지, -8.2℃에서 정지, -8.3℃에서 정지, -8.4℃에서 정지, -8.5℃에서 정지, -8.6℃에서 정지, -8.7℃에서 정지, -8.8℃에서 정지, -8.9℃에서 정지, -9.0℃에서 정지, -9.1℃에서 정지, -9.2℃에서 정지, -9.3℃에서 정지, -9.4℃에서 정지, -9.5℃에서 정지, -9.6℃에서 정지, -9.7℃에서 정지, -9.8℃에서 정지, -9.9℃에서 정지, -10.0℃에서 정지, -10.1℃에서 정지, -10.2℃에서 정지, -10.3℃에서 정지, -10.4℃에서 정지, -10.5℃에서 정지, -10.6℃에서 정지, -10.7℃에서 정지, -10.8℃에서 정지, -10.9℃에서 정지, -11.0℃에서 정지, -11.1℃에서 정지, -11.2℃에서 정지, -11.3℃에서 정지, -11.4℃에서 정지, -11.5℃에서 정지, -11.6℃에서 정지, -11.7℃에서 정지, -11.8℃에서 정지, -11.9℃에서 정지, -12.0℃에서 정지, -12.1℃에서 정지, -12.2℃에서 정지, -12.3℃에서 정지, -12.4℃에서 정지, -12.5℃에서 정지, -12.6℃에서 정지, -12.7℃에서 정지, -12.8℃에서 정지, -12.9℃에서 정지, -13.0℃에서 정지, -13.1℃에서 정지, -13.2℃에서 정지, -13.3℃에서 정지, -13.4℃에서 정지, -13.5℃에서 정지, -13.6℃에서 정지, -13.7℃에서 정지, -13.8℃에서 정지, -13.9℃에서 정지, -14.0℃에서 정지, -14.1℃에서 정지, -14.2℃에서 정지, -14.3℃에서 정지, -14.4℃에서 정지, -14.5℃에서 정지, -14.6℃에서 정지, -14.7℃에서 정지, -14.8℃에서 정지, -14.9℃에서 정지, -15.0℃에서 정지, -15.1℃에서 정지, -15.2℃에서 정지, -15.3℃에서 정지, -15.4℃에서 정지, -15.5℃에서 정지, -15.6℃에서 정지, -15.7℃에서 정지, -15.8℃에서 정지, -15.9℃에서 정지, -16.0℃에서 정지, -16.1℃에서 정지, -16.2℃에서 정지, -16.3℃에서 정지, -16.4℃에서 정지, -16.5℃에서 정지, -16.6℃에서 정지, -16.7℃에서 정지, -16.8℃에서 정지, -16.9℃에서 정지, -17.0℃에서 정지, -17.1℃에서 정지, -17.2℃에서 정지, -17.3℃에서 정지, -17.4℃에서 정지, -17.5℃에서 정지, -17.6℃에서 정지, -17.7℃에서 정지, -17.8℃에서 정지, -17.9℃에서 정지, -18.0℃에서 정지, -18.1℃에서 정지, -18.2℃에서 정지, -18.3℃에서 정지, -18.4℃에서 정지, -18.5℃에서 정지, -18.6℃에서 정지, -18.7℃에서 정지, -18.8℃에서 정지, -18.9℃에서 정지, -19.0℃에서 정지, -19.1℃에서 정지, -19.2℃에서 정지, -19.3℃에서 정지, -19.4℃에서 정지, -19.5℃에서 정지, -19.6℃에서 정지, -19.7℃에서 정지, -19.8℃에서 정지, -19.9℃에서 정지, -20.0℃에서 정지, -20.1℃에서 정지, -20.2℃에서 정지, -20.3℃에서 정지, -20.4℃에서 정지, -20.5℃에서 정지, -20.6℃에서 정지, -20.7℃에서 정지, -20.8℃에서 정지, -20.9℃에서 정지, -21

- 본 연구과제를 통해, 향후 지열설비시스템을 설계할 때 계획단계에서부터 통합설계과정이 필요하며 공간 배치 (펌프의 배치, 배관 배치)에 따른 효율이 차이가 크다는 것을 발견하여 정책제안 내용에 반영함
- 현재 지열시스템 설계시 건설사는 1차측 공사와 2차측 공사를 분리하여 발주하는 경우가 많은데 이러한 실정에 상호 검토하지 않아 발생하는 문제점이 상당함
- 일반 공동주택보다, 제로에너지 공동주택의 경우 운전 특성상 시스템의 안정적인 제어 및 운영을 위해 통합발주가 의무로 채택되어 자동제어의 체계성 및 일관성을 향상시켜야 하는 필요성이 본 연구의 과정에서 대두됨
- 본 연구과제에서 제안한 것과 같이 1,2차측으로 분리발주가 아닌 지열시스템 통합 발주가 의무화 될 경우, 유기적인 검토가 이루어 질 수 있으며 이러한 성능 저하가 발생하는 현상이 상당히 감소할 것으로 기대되어 이 또한 개선 방향이라 판단되어짐

5. 후속 과제 연계 필요성

- 본 연구는 국내 최초로 제로에너지 공동주택을 대상으로 하였다는 것에 의미가 크다. 또한 난방 급탕을 실제 거주자에게 공급 운영하고 있는 지열설비시스템의 성능 저하요인 원인을 분석하고 성능 개선 공사를 진행하여 거주 환경을 개선하였으며 효과 또한 거주자들에게 직접 검증 받았다는 점이 성과로 도출되었다. 이러한 개선 기술의 현장 적용 관련하여 신뢰도와 정확한 개선 여부 파악 및 효과에 대한 유지관리 운영 측면으로 지속적인 데이터 모니터링이 필요하여 후속 연구가 필요하다.
- 공동주택에 지열설비시스템으로 난방,급탕을 운영하는 최초의 제로에너지 주택단지로 성능 개선에 따른 효과도 중요하지만 전체적인 지열설비시스템 운영, 제어 등에 대한 상세 데이터 모니터링이 지속적으로 필요하다. 2025년 제로에너지 의무화를 목표로 하는 국가 정책에 기여하며, 신재생에너지 보급 확대에 앞서 기술 안정화를 위해서는 본 연구를 통해 성능 개선 (시스템 개선) 이 진행된 지열설비시스템에 대한 심화된 상세 데이터 측정 검증 후속 연구 기획 및 지원이 필요하다.

[세부과제2]

제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구

1. 연구목적
2. 연구수행 절차
3. 연구내용
4. 연구결과

[세부과제 2]. 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구

1. 연구목적

[세부과제 2]
제로에너지 공동주택 거주 후 평가 (POE) 기술개발 및 적용 연구

제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구를 개발하여
기 구축된 제로에너지 공동주택과 일반주택 거주자 대상 평가 진행을 통한 거주자 측면의 성능 검증 및 보완

◆ 거주 후 평가 도구 개발 → 거주 후 평가 진행 → 평가 DB 분석

세부과제 연구항목	연구내용
제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	제로에너지 공동주택 거주 후 평가 관련 항목 분류 및 구성
	제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구 보완 및 정립
	제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구 개발
제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿테스트 진행
	제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 거주 후 평가 파일럿테스트 DB수집
	제로에너지 공동주택과 일반주택 대상거주 후 평가 결과 분석

2. 연구수행 절차

연구수행 세부일정

	1차년도		2차년도		3차년도	
제로에너지 공동주택 거주 후 평가(POE) 기술개발 및 적용 연구	평가항목 도출 (문헌, 전문가 보완)	평가도구 정립 (엑셀화)			평가결과 분석	
			1차 POE 평가 (제로에너지/일반주택)		2차 POE 평가 (제로에너지/일반주택)	
		평가 참여자 모집 (쾌적성 평가자와 동일)	개선공사 진행 (세부과제 1과 연계)	쾌적성 측정평가 종료 (세부과제 3과 연계)		

핵심성과물	세부 계획	1차년도 (9개월)			2차년도 (12개월)			3차년도 (6개월)		
제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	거주 후 평가 관련 기반 조사 및 보완									
	거주 후 평가도구 개발									
제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	평가 대상 선정									
	거주 후 평가 진행									
	거주 후 평가 DB 수집 및 분석									

■ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 및 쾌적성 영향요인 연구 참여자 대상 설명회 진행

- 2019.10.19. (토) 연구 참여자 대상 (일반주택 25세대, 제로에너지 주택 25세대) 연구 설명회 개최 진행 및 실내환경 측정 기기 배포
- 제로에너지 공동주택의 특징으로 기술적 요소 관련하여 1:1 인터뷰 형식으로 설명 진행
- 설명회 당일 1차 거주 후 평가 설문과 건강영향평가 설문 진행 완료

◆ 연구 참여자 대상 설명회 개최

- 2019.10.19 (토) 연구 설명회 개최
 - 제로에너지 주택 25세대, 일반 주택 25세대
- 정밀측정 일정 조율, 실내 환경 측정 기기 배포
- 거주 후 평가 1차 설문 진행



거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구 연구참여자 대상 설명회 개최 안내

□ 연구개요

- 국토교통기술혁신연구로 추진하고 있는 「제로에너지」 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가 기술개발 및 성능검증 “연구3. 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구”로 명지대학교 제로에너지 건축센터와 건강영향평가 전문·성균관대학교 의과대학 사회의학교실에서 연구를 진행하고 있습니다.
- 본 연구에서는 일반 주택 25세대, 노원 EZ하우스 25세대를 대상으로 거주자 쾌적성 영향요인 분석(실내환경 간이측정 및 정밀측정, 설문조사 등)을 진행할 계획입니다. 이에 대한 연구참여자 대상 설명회를 아래와 같은 일정으로 진행하려오니 협조 요청 드립니다.
 - 2019 국토교통기술혁신연구 사회이슈분야 혁신리제 선정 (국토교통과학기술진흥원)
 - (주관기관) 명지대학교 건축원학단, (출연기관) '19A, ~'21A

□ 연구참여자 대상 설명회 일정

- (일 시) '19.10.19.(토), 11:00~12:30
- (장 소) 노원 EZ하우스 가재울 지하마루 1층 다목적실
- (내 용) 간이측정 기기배포, 설문내용 설명, 개인정보 수집 등

시간	구분	주요 내용	비고
11:00~11:15	15'	연구책임자 (이명주교수, 황해균교수) 인사말	
11:15~11:30	15'	연구과제 개요 및 연구참여 항목 설명	명지대
11:30~11:45	15'	성균관대학교 전원 설문항목 설명	성균관대
11:45~12:00	15'	케어웨어 간이측정기기 및 정밀측정 관련 설명	케어웨어
12:00~12:10	10'	질의를응답 및 연구보조원 지참자 모집	
12:10~12:30	20'	설문지 작성 및 개인정보 자료 수집 ~주거환경평가 1식, 거주 후 평가 1식 ~개인정보자료 (신분증사본, 통장사본)	

○ (문의사항) 명지대학교 제로에너지건축센터 TEL) 031.330.6495

■ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 관련 항목 분류 및 구성

-제로에너지 공동주택 거주 후 평가를 위해 평가 항목을 구성함

-객관적이며 추후 보급 가능한 평가 도구 개발을 위해 단계별로 관련 문헌 검토 및 전문가, 거주자 자문을 통한 평가 항목 보완 과정을 거쳐 평가 항목을 정립함

◆ 거주 후 평가 항목 구성방법



◆ 평가항목 구성을 위한 검토 항목



- 평가 속성 (대분류) 설정 : WHO 주거환경 이념 검토 (**기능, 편리, 쾌적, 경제**)
- 하위 평가항목 설정 : 제로에너지 기술요소 (**단열, 기밀, 환기 등**), 실내 환경 쾌적성 (**온도, 습도, 소음 등**)
- 항목 보완 및 구성 : 전문가 검토 진행으로 항목 세부 검토 후 구성 완료

◆ WHO 주거환경이념 기반 최상위 평가속성으로 분류체계 구성

1961년 세계보건기구(WHO)에서는
건강한 주거환경의 질적 목표로 4가지 이념을 제시함 (편리성, 안전성, 보건성, 쾌적성)

구분	주거환경이념	본 개념
1	편리성, 편의성 (Convenience)	생활의 편리성이 경제적으로 확보되어 있을 것
2	안전성 (Safety)	인간의 생명 및 재산이 자연재해, 화재, 위험 등으로부터 안전하게 보호되어 있을 것
3	보건성 (Health)	육체적, 정신적 건강상태가 유지되어 있을 것
4	쾌적성 (Amenity)	아름다움, 위락 등이 충분히 확보되어 있을 것

구분	평가항목 속성	개념
1	기능성	제로에너지 공동주택의 기능 및 성능에 대한 만족도
2	편리성	제로에너지 공동주택 생활의 편리성·효율성·안전성에 대한 만족도
3	쾌적성	제로에너지 공동주택 실내 환경 요소에 대한 만족도
4	경제성	제로에너지 공동주택 지불 비용에 대한 만족도

- 15개 선행연구 문헌 분석 : 평가항목 재구성 (편리성/안전성 하위항목 중복 및 쾌적성/보건성 하위항목 중복)
- 제로에너지 특징으로 기능적 측면 추가

◆ 거주 후 평가 만족도 항목 보완

- 자문을 통해 항목별 보완 진행 (제로에너지 전문가, 제로에너지 교육을 이수한 거주자)
- 보완 결과 항목 세분화 됨 (45개 세부항목 → 61개 세부항목)

전문가보완의견

- 태양광패널, 외부블라인드 등미관 환경에 대한항목 추가
- 경제성평가항목을 실제 고지서와 동일한 항목들로 수정
- 온습도를 폭염, 폭한민이 아닌 계절 세분화 필요
- 기능적측면 만족도 항목에 대한 알기 쉽게 설명 필요
- 층간소음, 유입소음외 기계 소음 유무 항목 추가 (환기장치소음)



델파이 조사 그룹(총 15명)

거주자보완의견

- 설문항목에 대한구체적 설명필요 (1:1 대응 설명 필요함)
- 입주자교육, AS관리등유지 관리 부문 항목 추가
- 여름:초여름, 폭염, 장마철, 겨울:초겨울, 한파, 호린날로세분화
- 한파문개폐시 무거운, 아래쪽및 윗패드 등작동이 어려움 항목추가 요청
(제로에너지 주택의 특성으로 기술 작동이 어려운 경우가있음)



구분	인원
제로에너지 관련 연구자	5 명
제로에너지 관련 설계, 시공 종사자	6 명
공공기관 실무자	2 명
제로에너지 주택 거주자	2 명
총계	15 명

■ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 평가 도구 개발

-기능, 편리, 쾌적, 경제성 측면의 체감만족도 (4가지) 평가 속성으로 총 61개의 항목 구성

기능적 측면의 체감만족도	단열, 기밀, 열원, 환기 기능 등
편리성 측면의 체감만족도	안전성, 유지 및 관리, 접근성, 작동 및 제어 등
쾌적성 측면의 체감만족도	계절별 온습도, 공기 순환, 소음, 조명 및 미관 등
경제성 측면의 체감만족도	일반 관리비, 임대비, 에너지(온난방) 비용 등

▶ 평가항목 구성

기능적 측면의 체감만족도

- 단열, 기밀, 환기 등 기술요소 성능에 대한 만족도

중분류	세부 항목
단열·기밀 기능	벽체 단열성능 만족도
	창호 단열성능 만족도
	현관문 단열성능 만족도
	발코니 단열성능 만족도
	창, 문틈 틈새바람 유입 만족도
열원·환기 기능	난방성능 만족도
	냉방성능 만족도
	급탕성능 만족도
	바닥난방 성능 만족도
	급기, 흡기 성능 만족도
배치 및 태양에너지 조절 기능	남향배치 만족도
	주동별 간격 만족도
	창문을 통한 햇빛 유입량 만족도
	블라인드 통한 햇빛 조절량 만족도
그 외 기능	월패드 제공 정보 만족도
	주방 후드 성능 만족도
	태양광 발전 성능 만족도

편리성 측면의 체감만족도

- 단열문, 월패드 등 적용 기술요소 작동 (유지관리) 편리성

중분류	세부 항목
안전성	창호 개폐시 안전성 만족도
	창호 개폐시 활용공간 만족도
	현관문 개폐시 안전성 만족도
유지·관리	입주자교육 만족도
	AS관리 만족도
접근성	공용부분 위치 만족도
	EV, 계단 위치 만족도
작동·제어	난방 온도 제어 만족도
	냉방제어 만족도
	환기 작동 제어 만족도

쾌적성 측면의 체감만족도

- 온도, 습도, 소음, 공기질 등 실내환경에 대한 만족도

중분류	세부 항목
조명 및 미관	실내조명 밝기 만족도
	실내조명 위치 만족도
	창문의 크기·투명도 만족도
	발코니 미관 만족도
	외부 블라인드 미관 만족도
겨울철 습도	태양광 패널 미관 만족도
	초겨울 실내습도 만족도
	한파철 실내습도 만족도
	하린날 실내습도 만족도
겨울철 온도	초겨울 실내온도 만족도
	한파철 실내온도 만족도
	하린날 실내온도 만족도
여름철 습도	초여름 실내습도 만족도
	폭염시 실내습도 만족도
	장마철 실내습도 만족도
여름철 온도	초여름 실내온도 만족도
	폭염시 실내온도 만족도
	장마철 실내온도 만족도
공기 순환	실내 공기 순환 만족도
	주방, 욕실 공기 순환 만족도
세대 소음	실내 전체 공기질 만족도
	세대 내 유입소음 만족도
기기 소음	층간소음 만족도
	주방 후드 소음 만족도
	급기, 흡기 디퓨저 소음 만족도

경제성 측면의 체감만족도

- 실제로 지불하는 비용에 대한 만족도

중분류	세부 항목
일반비용	일반관리비 만족도
	공용 관리비 만족도
	임대비용 만족도
	공용전기비용 만족도
에너지 비용	온난방비용 만족도
	냉방비용 만족도
	음식(취사)비용 만족도
	세대 전기비용 만족도

■ 제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿테스트 진행

-총 2회의 거주 후 평가 진행으로 개선공사 진행 전후를 정량적으로 비교 가능함

-각 설문 결과의 결과를 점수화 하기위해 부분별 배점은 「제로에너지 공동주택 거주자 만족 평가지표 개발연구」(김현아, 2019)를 참고하여 활용함

◆ 거주 후 평가 만족도 설문 진행 계획

- 성능개선공사 전후로 총 2회의 설문 진행



- 부분별 배점화 (100점 만점)

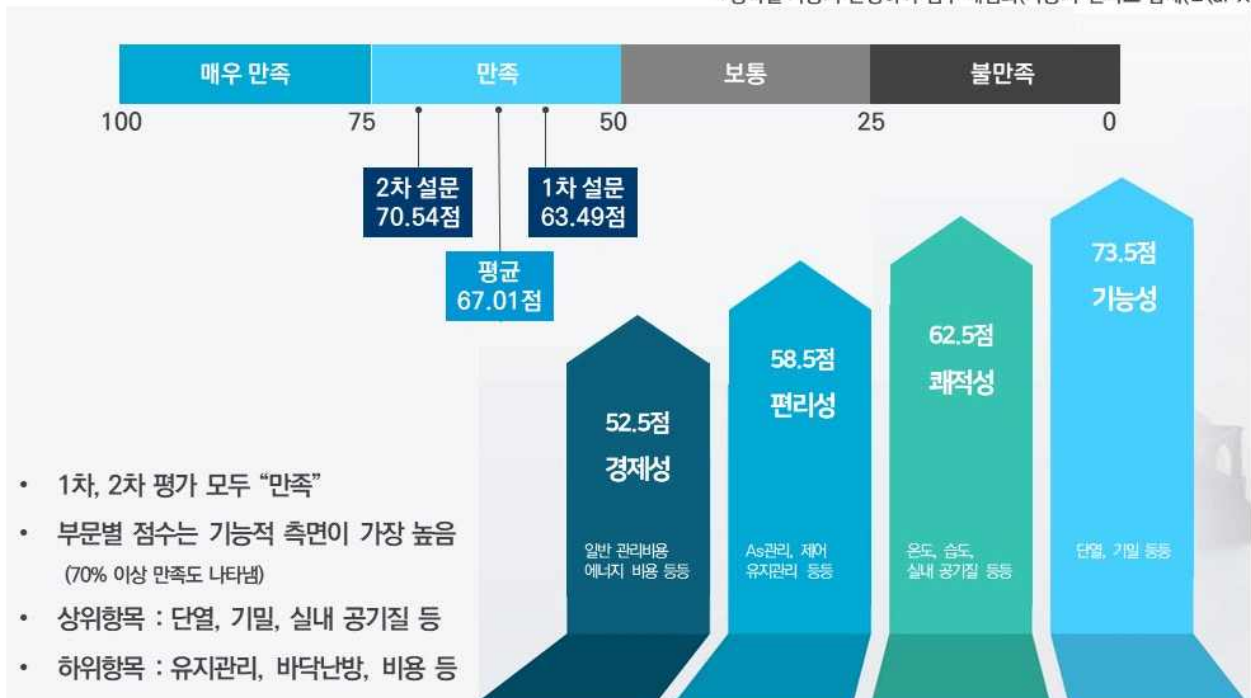
구분	배점	총점
기능적 측면의 체감만족도	49.94	100
편리성 측면의 체감만족도	16.65	
쾌적성 측면의 체감만족도	16.65	
경제성 측면의 체감만족도	16.65	



■ 제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿테스트 결과 분석

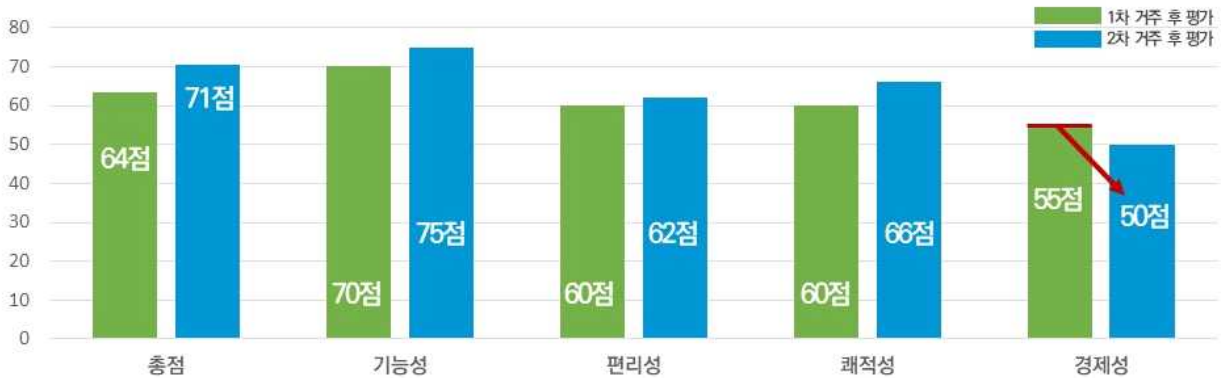
◆ 1-2차 거주 후 평가 만족도 설문 결과

* 항목별 가중치 산정하여 점수 배점화(가중치*만족도 합계($\sum(a_i \cdot X_i)$))



- 총 2회의 거주 후 평가 분석 결과 1차 평가 대비 총점은 7점 상승, 경제성을 제외한 모든 부문의 점수가 상승함 (개선공사를 기점으로)
- 지열 설비시스템 개선 공사에 따라 급탕 성능 개선과 동시에 지불 비용 감소를 기대하였으나, 실제 지불비용은 비슷하여 경제성 만족도 점수가 하락한 것으로 해석됨

◆ 1-2차 거주 후 평가 만족도 설문 결과



- 쾌적성, 기능성 만족도 증가 / 경제성 만족도 감소
- 급탕 온도 및 수압 에 대한 평가 변화
[1차 평가] 매우 불만족 → [2차 평가] 매우 만족으로 변경
- 지열 개선 공사에 따른 지불 비용 감소 기대로 인한 경제성 만족도 하락

◆ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 (POE) 기술개발 및 적용 연구

연구 결과에 따른 성과물

연구성과물	목표	달성	달성률
자문회의	1건	1건	100%
설문 DB	1건	1건	100%
설문 SW	1건	1건	100%
논문	1건	1건	100% (게재예정)




4. 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구 세부내용

■ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가를 위한 연구참여자 모집

- 거주 후 평가 및 실내환경 쾌적성영향요인 분석 연구 참여자 모집이 당초 총 30세대(제로에너지주택단지 15세대, 일반주택단지 15세대)로 계획되었으나, 보다 구체적이고 심화된 연구를 위해 각 25세대씩총 50세대로 모집 인원을 확대함 (모집 공고 2회 연장함)
- 명확한 연구 결과 도출을 위해 변수 설정 최소화가 필요하여, 내부적으로 선행연구 분석 및 기타 연구 사례를 참고하여 연구 참여자(일반주택단지 25세대)에 대한 모집 조건을 설정함(기계식 환기를 사용하지 않는 국민주택 규모의 표준 아파트, 건축 연도는 20년 이내, 0~15세 이하 영유아 어린이 거주, 반려동물이 있는 곳은 제외)
- 변수 최소화를 위해 연구 참여자 조건을 설정하여, 연구 참여자 모집 시작 시기가 늦춰졌으며, 참여 모집 인원 충족을 위해 모집 기간을 연장하여 당초 계획된 연구 진행 시기보다 3개월 지연됨 [7-8월→11-12월]

거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구 연구참여자 대상 설명회 개최 안내

□ 연구개요

- 국토교통기술혁신연구로 추진하고 있는 「제로에너지 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가 기술개발 및 성능검증 연구3. 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구」로 명지대학교 제로에너지 건축센터와 건강영향평가 전문 성균관대학교 의과대학 사회의학교실에서 연구를 진행하고 있습니다.
- 본 연구에서는 일반 주택 25세대, 노원 EZ하우스 25세대를 대상으로 거주자 쾌적성 영향요인 분석(실내환경 간이측정 및 정밀측정, 설문조사 등)을 진행할 계획입니다. 이에 대한 연구참여자 대상 설명회를 아래와 같은 일정으로 진행하려오니 협조 요청 드립니다.
- 2019 국토교통기술혁신연구 사회이슈분야 촉진과제 선정 (국토교통과학기술진흥원)
- (주관기관) 명지대학교 산학협력단, (총연구기간) '19.4.~'21.6.

□ 연구참여자 대상 설명회 일정

- (일 시) '19.10.19.(토), 11:00~12:30
- (장 소) 노원 EZ하우스 가재울 지혜마루 1층 다목적실
- (내 용) 간이측정 기기배포, 설문내용 설명, 개인정보 수집 등

시간	주요 내용	비고
11:00~11:15	15' 연구책임자 (이명주교수, 정해관교수) 인사말	
11:15~11:30	15' 연구과제 개요 및 연구참여 항목 설명	명지대
11:30~11:45	15' 성균관대학교 진행 설문항목 설명	성균관대
11:45~12:00	15' 케이웨더 간이측정기기 및 정밀측정 관련 설명	케이웨더
12:00~12:10	10' 질의응답 및 연구보조원 지원자 모집	
12:10~12:30	20' 설문지 작성 및 개인정보 자료 수집 -주거환경평가 1식, 거주 후 평가 1식 -개인정보자료 (신분증사본, 통장사본)	

- (문의사항) 명지대학교 제로에너지건축센터 TEL) 031.330.6495



연구 참여자 대상 설명회 개최 (2019. 10. 19.)

- 연구 대상자 모집은 2019년 9월~10월 이루어졌으며 2019년 10월 19일 참여 대상자를 대상으로 한 설명회를 개최함
- 참여 대상자 선정 기준은 객관적인 비교를 위해 대조군(일반 주택)으로는 20년 이내에 지어진 노원구에 위치한 일반 환기 방식의 아파트에 거주 중인 15세 미만의 자녀가 있는 가구를 모집하였다. 특히 알레르기 질환(아토피 피부염, 천식, 알레르기 비염)이 있는 경우는 연구 참여자로 포함하여 이에 대한 세부과제3. 건강영향을 분석하고자 함.
- 다만 제로에너지 주택과 일반 주택 모두 심혈관 질환, 암, 당뇨병 등 만성 질환이 있는 사람이나 애완동물을 키우는 가구는 연구 참여를 제한하였음

■ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가를 위한 평가항목 구성

4.1 평가속성 도출 (대분류)

본 연구는 추후 활용이 가능하도록 제로에너지 공동주택의 거주 후 평가도구를 개발하는 것으로 질적 성과목표로 국제적 기준을 차용하여 체계적인 도구를 개발하는 것을 설정하였다. 이에 본 연구에서는 세계보건기구인 WHO의 주거환경 이념에 근거한 거주 후 평가 관련 기존 문헌을 검토하여 상위항목을 설정하였으며, 기존 제로에너지 관련 연구를 바탕으로 성능 항목들을 세부적으로 분류하여 1차적으로 평가항목을 구성하였다.

1) WHO (세계보건기구) 의 주거환경 이념 관련 문헌 검토

세계보건기구(WHO)에서는 1961년 사람다운 생활을 영위하기 위한 건강한 주거환경의 질적 목표로 편리성(convenience), 쾌적성(amenity), 보건성(health), 안전성(safety)을 제시한바 있다.¹⁾

제해성(2006)에 따르면 WHO에서 제시하고 있는 주거환경이념 4가지는 전 세계적으로 보편적으로 활용되고 있다.²⁾ 이에 본 연구에서도 WHO의 주거환경 이념을 바탕으로 거주 후 평가 관련 연구를 진행한 15개의 기존 문헌을 검토하였다.

거주 후 평가 관련 기존 선행연구

구분	연구자	연구대상	지표구성항목	WHO항목				추가*
				편리성	안전성	보건성	쾌적성	
1	이창호 외 3인 (2009)	일반공동주택	편리성, 안전성, 보건성, 쾌적성, 지속가능성	●	●	●	●	●
2	신은진 외 2인 (2012)	일반공동주택	편리성, 안전성, 쾌적성, 일반만족도	●	●		●	
3	이하나 외 2인 (2011)	일반공동주택	편리성, 안전성, 보건성, 쾌적성, 경제성, 사회성	●	●	●	●	●
4	아사미야스시 (2003)	일반공동주택	편리성, 안전성, 보건성, 쾌적성, 지속가능성	●	●	●	●	●
5	김선숙 외 3인 (2002)	일반공동주택	환경성, 쾌적성, 기능성 (안전성, 편리성)	●	●		●	
6	양인호 외 3인 (2004)	일반공동주택	환경성, 쾌적성, 기능성 (안전성, 편리성)	●	●		●	
7	최용부 (2005)	일반공동주택	쾌적성, 안전성, 안락성, 경제성, 유지관리성 등					●
8	권오현 외 2인 (2014)	일반공동주택	경제성, 사회성, 외부환경, 내부환경					●
9	박영기 외 3인 (2005)	초고층 공동주택	편리성, 안전성, 쾌적성, 경제성, 거주성	●	●		●	●
10	신종진 외 5인 (2001)	초고층 공동주택	편리성, 안전성, 쾌적성, 적응성	●	●		●	
11	강순주(2004)	초고층 공동주택	입지, 디자인, 환경친화성, 유지관리, 경제성				●	
12	양승우 외 2인 (2013)	친환경인증 공동주택	편리성, 안전성, 쾌적성, 보건성, 지속가능성	●	●	●	●	●
13	이근희 외 3인 (2010)	친환경인증 공동주택	토지이용, 에너지, 유지관리, 실내환경, 경제성					●
14	한인덕 외 3인 (2014)	도시형생활주택	편리성, 안전성, 보건성, 편리성, 쾌적성	●	●	●	●	
15	임지혜 외 3인 (2017)	리모델링주택	쾌적성, 경제성, 일반만족도, 건물가치 상승 등				●	●

*추가 : 경제성 또는 지속가능성

1) 신상영. (2008). 「서울시 주거환경의 질 지표와 평가에 관한 연구」, 서울연구원

2) 제해성·이재혁·홍수진. (2006). 초고층 공동주택의 삶의 질에 근거한 주거환경지표 체계화 연구, 「대한건축학회 논문집」, 22(8):89-96

총 15개의 기존 문헌의 대부분이 WHO에서 제시한 안전성, 보건성, 편리성, 쾌적성 4가지 주거환경이념을 모두 사용하였고 2001년 일본의 Asami Yasushi 교수를 시작으로 그 이후의 연구들은 지속가능성 또는 경제성 항목을 추가하여 연구하였다.

WHO에서 제시하는 주거환경이념의 본래의 개념은 아래 [표 13]과 같지만, 기존 문헌 분석 결과 연구자마다 항목에 대한 해석차이로 하위 항목들이 중복되거나 상이하다. 항목의 세부 구성뿐만이 아닌 거주 후 평가에서 거주자의 만족도를 판단하는 값 또한 거리, 비율, 수량 등 정량적 측정을 기준으로 하는 연구와 거주자의 만족 수준 등 정성적 측정을 기준으로 하는 연구로 분류할 수 있었다.

이에 본 연구에서는 4가지의 주거환경이념별 기존문헌들의 하위항목을 세부적으로 분석하여 제로에너지 공동주택 거주자 만족 평가항목 구성의 평가속성을 설정하였다.

주거환경이념의 본 개념

구분	주거환경이념	본 개념
1	편리성, 편의성 (Convenience)	생활의 편리성이 경제적으로 확보되어 있을 것
2	안전성 (Safety)	인간의 생명 및 재산이 자연재해, 화재, 위험 등으로부터 안전하게 보호되어 있을 것
3	보건성 (Health)	육체적, 정신적 건강상태가 유지되어 있을 것
4	쾌적성 (Amenity)	아름다움, 위락 등이 충분히 확보되어 있을 것

출처 : 신상영(2008), 「서울시 주거환경의 질 지표와 평가에 관한 연구」, 서울연구원

2) 평가속성 도출 (대분류)

15개의 기존 문헌의 세부 평가항목 분석 결과 표면적으로는 모두 정량적 척도로 평가하는 항목으로 보이지만, 실제 연구 내용을 분석해보니 총 10개의 문헌이 거주자의 체감 만족도 즉 정성적 척도로 연구를 진행하였고, 5개의 문헌만이 정량적 측정을 평가척도로 하여 거주자 만족도 및 주거환경의 질을 판단하였다.

5개의 문헌 중 신은진(2012)은 주거환경에 대한 평가에서 물리적 주거환경도 중요하지만 정성적 측면 또한 주거환경을 평가하는데 매우 중요한 부분이라 하였으며, 자료 획득의 문제로 정성적 측면을 고려하지 못한 부분을 연구의 한계로 나타냈다.³⁾ 그리고 양인호(2004) 또한 최근 국내에서 기존 이상의 성능을 갖춘 공동주택이 중점적으로 개발되고 있어 이에 객관적 성능을 평가하는 모델 도출도 중요하지만, 거주자의 선호도(만족도)를 충분히 반영한 거주자 입장의 성능 정도를 파악할 수 있는 평가 모델이 필요하다 라 제시하였다.⁴⁾ 이와 같은 선행연구의 결과에 따라 본 연구에서는 정성적 평가항목을 기준으로 거주자의 체감만족도를 평가할 수 있도록 거주 후 평가의 평가항목을 구성하고자 한다.

그리고 WHO의 4가지 주거환경이념 중 기존 문헌들의 세부항목 분석 결과 항목간의 중복성이 나타난 편리성과 안전성, 그리고 쾌적성과 보건성 중 더 많은 세부항목을 포함한 편리성과 쾌적성을 차용하고, 지속가능성 안에서 경제성적 측면을 나타내는 경제성 항목으로 평가항목의 속성을 구성하고자 한다. 또한 제로에너지 공동주택이라는 특정 주택으로 연구를 진행함으로써 기능적 측면에 대한 거주자의 만족도를 평가하는 것은 매우 중요한 부분이라고 판단되기에 기능성의 항목을 추가하였으며, 이를 통해 도출된 본 연구의 평가항목 속성과 개념은 아래와 같다

평가속성 도출

구분	평가항목 속성	개념
1	기능성	제로에너지 공동주택의 기능 및 성능에 대한 만족도
2	편리성	제로에너지 공동주택 생활의 편리성·효율성·안전성에 대한 만족도
3	쾌적성	제로에너지 공동주택 실내 환경 요소에 대한 만족도
4	경제성	제로에너지 공동주택 지불 비용에 대한 만족도

3) 신은진·남진. (2012). 서울시 아파트 단지의 주거환경 유형별 주거만족도 결정요인에 관한 연구, 「대한국토도시계획학회」, 47(5):139-154

4) 양인호·김선숙·김광우. (2004). 공동주택의 거주성능 평가모델 개발에 관한 연구, 「대한건축학회 논문집」, 20(9):265-272

4.2 제로에너지 관련 평가 하위항목 도출

독일 패시브하우스 연구소는 패시브하우스를 ‘에너지 효율적이며, 쾌적하고 경제적이면서 동시에 환경 친화적인 건축물’ 또는 ‘에너지 효율성, 쾌적성, 경제성을 동시에 만족시키는 표준적 건축물’로 정의하고 있다.⁵⁾ 이에 따라 패시브하우스의 상위 개념인 제로에너지 주택의 주거환경은 에너지 효율화를 이루는 기술요소와 쾌적성 그리고 경제성의 영향을 받는다 말할 수 있다.

본 연구는 일반 공동주택이 아닌 제로에너지 공동주택을 대상으로 하여 평가항목 개발을 목적으로 함으로써, 먼저 제로에너지 공동주택의 주거환경에 영향을 미치는 기술요소와 쾌적성 그리고 경제성 관련 문헌 검토를 통해 세부항목을 구성하였다.

1) 제로에너지 공동주택 적용 기술요소

현재 국토교통부 주택 건설 공급과에서 배포하고 있는 공동주택 제로에너지 설계가이드라인 (2016)과 도서로 발간되어진 제로에너지 주택 설계강론 (이명주, 2018), 건축물 중심 제로에너지 도시 (이명주, 2017) 및 관련 논문 등 5개의 기존 문헌을 검토하였다. (본 연구는 제로에너지 공동주택 가이드라인을 활용하여 객관적인 적용 요소 검토를 통해 하위 항목을 구성하도록 질적 성과지표를 설정함)

제로에너지 공동주택 적용 기술요소 관련 문헌

문헌명 (저자,연도)	대분류	중분류	세부항목
공동주택 제로에너지 설계 가이드라인 (국토교통부, 2016)	에너지절약기술	형태계획	배치계획, 평면계획
		전도열 손실방지	단열계획, 유리창 및 단열문, 열교방지
		침기열 손실방지	창, 문 주변 및 배관, 덕트 등 기밀
		태양에너지 조절계획	태양에너지 획득량, 일사조절 기능
	고효율설비기술	열원설비	난방, 냉방, 급탕, 바닥난방
		환기설비	환기장치, 급기흡기, 소음기, 공기교환
		전기설비	조명
		모니터링설비	모니터링
건축물 중심 제로에너지도시 (이명주, 2017)	에너지절약기술	규모, 공급 및 운영 계획	태양광발전, 한전연계
		기본계획	남향배치
		외피단열성능	벽체 열관류율, 열교
		창호성능	창호 단열, g-value, 틸트엔턴, 기밀성능
	고효율설비기술	기밀성능	주동 기밀성능
		차양	외부블라인드
		난방	지열히트펌프, 난방온도 조절
		냉방	지열히트펌프, 열회수형환기장치
		급탕	지열히트펌프, 급탕온도 조절
		환기	열회수형환기장치, 디퓨저, 소음기
	신재생에너지적용기술	조명	LED 조명
		모니터링	분리계측, 실내 공기질 계측
제로에너지주택 설계강론 (이명주, 2018)	패시브 설계기술	태양광, 지열	용량, 발전량, 위치
		형태계획	배치, 평면, 입면, 매스
		전도열 손실방지	고단열, 창호, 단열문, 열교방지
		침기열 손실방지	부위별 기밀성능 확보
	액티브 설계기술	태양에너지 조절계획	외부차양
		열원설비	난방, 냉방, 급탕설비, 열교환기
		환기설비	열회수형 환기장치
		전기 및 모니터링 계획	고효율 조명, 모니터링 등
	에너지 생산기술	신재생에너지 적용 계획	전기 생산, 열생산

5) 한국패시브건축협회, (<http://www.phiko.kr>)

제로에너지 공동주택 비용편익 분석 연구 (임인혁, 2018)	패시브 설계기술	전도열 손실방지	단열, 열교차단, 벽체, 창호 열관류율
		침기열 손실방지	기밀
		환기열손실 회수	열회수형 환기장치
		태양에너지 조절	차양(외부 블라인드)
	액티브 설계기술	난방	지역난방, 지열
		급탕	지역난방, 지열
		냉방	EHP, 지열
		환기	열회수형 환기장치
		조명	조명기구
		태양광 발전	태양광 발전
독일 패시브하우스의 핵심성공요인에 대한 실증연구 (정해조, 2015)	내부적 요소	-	환기시스템, 에너지비용, 난방냉방시스템 등 기술요소
	외부적 요소	-	단열, 기밀, 채광, 고효율창호, 열교, 신재생에너지 등
	건설 관리적 요소	-	디자인 질, 엔지니어링, 시설가치, 탄소 저감 기술 등

위와 같이 기존 문헌들을 검토한 결과 국토교통부에서 배포하고 있는 가이드라인을 기준으로 용어 통일 및 기술요소 재분류를 하였으며, 기존 문헌들의 항목과 중복성 검토 결과 아래와 같이 정리할 수 있다.

제로에너지 공동주택 적용 기술요소 관련 문헌 세부항목 중복성 검토

대분류	중분류	세부항목	A	B	C	D	E
에너지 절약기술	형태계획	남향배치	●	●	●	●	
		주동 간격			●	●	
		평면 배치	●		●	●	
	전도열 손실방지	벽체 단열성능	●	●	●	●	●
		창호 단열성능	●	●	●	●	●
		현관문 단열성능	●		●	●	●
		발코니 단열성능	●		●		●
	침기열 손실방지	창·문 틈새바람 여부	●	●	●	●	●
		콘센트 틈새바람 여부	●	●	●	●	●
	태양에너지조절	태양에너지획득 (자연채광)	●				●
		일사조절 (블라인드)	●	●	●	●	
고효율설비 기술	열원설비	난방 설비	●	●	●	●	
		냉방 설비	●	●	●	●	
		급탕 설비	●	●	●	●	
		바닥 난방	●				
	환기설비	환기장치	●	●	●	●	●
		급기, 흡기	●	●	●		
	조명설비	조명 설비	●	●	●	●	
	모니터링	모니터링 설비 (월패드)	●	●	●		
에너지 생산기술	신재생에너지적용	태양광 발전	●	●	●	●	●

A : 공동주택의 제로에너지 설계 가이드라인, 국토교통부 주택건설공급과 (2016)

B : 건축물 중심 제로에너지도시, 이명주 (2017)

C : 제로에너지주택 설계강론, 이명주 (2018)

D : 제로에너지 공동주택 비용편익 분석 연구, 임인혁 (2018)

E : 독일 패시브하우스의 핵심성공요인에 대한 실증연구, 정해조 (2015)

2) 제로에너지 공동주택 쾌적성 및 경제성 관련 요소

일반주택을 대상으로 실내 환경(쾌적성)을 주요 평가항목으로 설정한 문헌과, 제로에너지 관련하여 SH 도시연구원에서 제시한 거주자 관점의 평가지표 연구 문헌을 바탕으로 분석하여 항목을 재분류 하였다.

제로에너지 공동주택 쾌적성 및 경제성 관련 문헌

문헌명 (저자,연도)	대분류	중분류	세부항목
공동주택의 거주성능 평가에 관한 연구 -거주의 쾌적성을 중심으로- (김선숙, 2002)	온열환경	온습도 조건	냉난방기 실내 온도
			상대 습도
			거주자에 의한 실내온도조절
		단열성능	열관류율
			결로방지 대책
			부위별 단열기준 만족상태
		냉난방 조건	냉난방 부하
			외부유입 소음상태
			실내 소음상태
	음환경	소음상태	설비 소음상태
			침실과 침실대 욕실 인접 여부
			창문과 도로/공용 공간 높이차
			창호와 엘리베이터 거리
			세대간 경계벽의 차음성능
			바닥 충격음
		차음성능	외벽 차음성능
			향
			일조시간
	시환경	채광성능	복도, 계단실 채광상태
			주방,욕실 창문 유무
			방위별 개구비
			실내 조도
		조명성능	복도, 계단실의 조명상태
			실내 조명기구
			조망환경
		공기환경	조망 환경
			CO 발생량, 농도
			재실자에게 미치는 영향
			건물 자체발생 공기오염원
		환기성능	외기 도입량
			전반 환기 대책
			환기에 의한 공기순환 상태
			주방, 욕실 국소 환기 설비
		통풍성능	주동배치에 의한 통풍 상태
			실배치에 의한 통풍 상태
공동주택의 거주 성능 평가모델 개발에 관한 연구 (김광우외 2인, 2004)	온열환경	단열성능	거실외벽 및 축벽 단열성능
			지하층, 바닥의 단열성능
			창,문의 단열성능
			결로방지 성능
		실온조절	거주자에 의한 실온조절
			세대간 경계벽 차음성능
	음환경	차음성능	바닥 충격음 차단 성능
			외벽 차음성능
		소음상태	설비 소음상태
	시환경	채광성능	향
			일조 시간

제로에너지 성능 검증방법 개발 연구 -거주자 관점의 평가지표- (SH도시연구원, 2018)	공기환경	조망	복도, 계단실의 채광상태
			외부조망
		환기성능	전반 환기상태 (실내)
			국소 환기상태 (주방, 욕실)
	주거만족도	에너지상대 사용률	에너지 비용 비교율
		온열쾌적감	열적 쾌적 만족도
		제습 쾌적감	여름철 제습 만족도
		제로에너지건강지수	감기 건수 및 회복 시간
	쾌적성	온열 쾌적성	온열 쾌적성
		공기 쾌적성	실내 공기질
		수직 온도 변화율	실내 바닥온도와 천정온도 차이
		온도 항상성	외기온도 대비 실내온도 변동
		제로에너지 쾌적성	온도, 습도, 기류 등 전체적 쾌적성
	에너지비용	에너지 표준비용	전체 에너지 비용
		에너지 엔겔지수	전체 비용 중 5대부하가 차지하는 비용
		난방비용	단위면적당 난방비용
		냉방비용	단위면적당 냉방 비용
		난방감축비용	단위면적당 난방 감축 에너지 비용
		냉방감축비용	단위면적당 냉방 감축 냉방 비용

적용 기술요소와 중복되는 항목을 제외하고, 쾌적성을 중심으로 평가지표를 개발한 선행연구의 대분류 체계를 중심으로 항목을 재분류하였다. 경제성 또한 SH도시연구원에서 제시한 에너지 비용부분의 항목을 차용하여 구성하였으며, 기존 문헌들의 항목과 재분류한 항목과의 중복성 검토 결과 아래와 같다.

제로에너지 공동주택 쾌적성 및 경제성 관련 문헌 세부항목 중복성 검토

대분류	중분류	세부항목	A	B	C
쾌적성 (실내환경)	음환경	세대내 소음	●		
		층간 소음	●	●	
		외부 유입 소음	●		
		설비 소음 (환기장치)	●	●	
	공기환경	세대 전체 공기순환	●	●	
		주방, 욕실 공기순환	●	●	
		실내 전체 공기질	●	●	●
	시환경	세대 내 일조량 (채광)	●		
		실별, 실내 조명 조도	●		
		공용부분 채광	●	●	
	온열환경	실내 온도	●		●
		실내 습도			●
경제성	에너지비용	에너지 총 비용			●
		난방 비용			●
		냉방 비용			●

A : 공동주택의 거주성능 평가에 관한 연구-거주의 쾌적성을 중심으로, 김선숙 (2002.06)

B : 공동주택의 거주성능 평가모델 개발에 관한 연구, 김광우외 2인 (2004.09)

C : 제로에너지 성능 검증방법 개발 -거주자 관점의 평가지표, 국토교통부 제로에너지주택 최적화모델 개발 및 실증단지 구축연구 최종보고서, SH도시연구원, 242page (2018.05)

4.3 제로에너지 거주 후 평가를 위한 평가항목 설정

1) 제로에너지 관련 항목 분류 (평가속성에 따른 기술요소 분류)

앞서 기존 문헌 분석을 통해 분류한 제로에너지 공동주택 관련 기술요소들은, 일반 주택에 적용되는 기술 및 자재와 달리 기능적면 뿐만이 아닌 작동 및 제어 측면에서도 다르다. 고효율 창호와 단열문은 일반 창호, 현관문과 달리 무거운 특성이 있으며 블라인드 또한 외부블라인드로 작동법이 일반 블라인드와 다른 특성을 갖고 있다. 열원설비와 환기설비 또한 일반주택의 열원과 제어 및 작동 방법이 다르기 때문에 평가항목에 작동에 대한 편리성과 성능에 대한 항목을 추가하였다. 모니터링 성능은 월패드에서 제공하는 정보의 유용성 여부로 만족도를 판단하고, 홈오토메이션 작동에 대한 편리성을 추가하여 분류하는 등 각 항목별 관련된 특징들을 고려하여 아래와 같이 세부적으로 분류하고 평가 속성을 설정하였다.

제로에너지 공동주택 적용 기술요소 관련 세부 분류 및 속성 설정

대분류	중분류	세부항목	항목 세부 분류	평가속성
에너지 절약기술	형태계획	남향배치	" (작동)	기능성
		주동 간격	"	기능성
		평면 배치	"	기능성
	전도열 손실방지	벽체 단열성능	"	기능성
		창호 단열성능	단열성능	기능성
		현관문 단열성능	안전성 (무게, 위험여부)	편리성
		발코니 단열성능	단열성능	기능성
	침기열 손실방지	창·문 틈새바람 여부	안전성 (무게, 위험여부)	편리성
		콘센트 틈새바람 여부	"	기능성
	태양에너지조절	태양에너지획득 (자연채광)	"	기능성
		일사조절 (블라인드)	창을 통한 햇빛 유입량	기능성
고효율설비 기술	열원설비	난방 설비	공용부분 채광	기능성
		냉방 설비	블라인드 일사조절 기능	기능성
		급탕 설비	블라인드 작동 편리성	편리성
		바닥 난방	난방 성능	기능성
	환기설비	환기장치	난방 온도제어 편리성	편리성
		급기, 흡기	냉방 성능	기능성
	조명설비	조명 설비	냉방 제어 편리성	편리성
	모니터링	모니터링 설비 (월패드)	"	기능성
	신재생에너지	태양광 발전	후드 성능	기능성
			환기장치 작동 편리성	편리성
에너지 생산기술	신재생에너지	태양광 발전	급기, 흡기 성능	기능성
			환기조절 작동 편리성	편리성
			"	기능성
			모니터링 제공 정보 유용성	기능성
			홈오토메이션 작동 편리성	편리성
			"	기능성

2) 평가항목 관련 보완 진행

앞서 1차적으로 구성된 평가항목은 기존문헌에 의존하여 구성된 것으로, 제로에너지 공동주택이라는 특이점에 대해 관련 전문가와 실제 거주자를 대상으로 델파이 기법을 통해 평가항목을 검토하여 기존 문헌의 미흡한 점을 보완하고 향후 일반화가 가능하도록 맞춤형 평가항목을 도출하고자 한다.

이를 위해 제로에너지 관련 연구 경력 3년 이상 전문가들과 실제 제로에너지 공동주택에서 살고 있으며, 제로에너지 관련 교육을 이수한 거주자들을 선정하여 이메일, 인터뷰를 통해 연구의 목적과 연구 방법 그리고 익명성의 보장 등에 관한 정보 제공 후 2차에 걸쳐 평가항목에 대한 수정 및 보완을 실시하였다.

델파이조사 대상자

구분	인원
제로에너지 관련 연구자	5
제로에너지 관련 설계, 시공 종사자	6
공공기관 실무자	2
제로에너지 주택 거주자	2
총계	15

○ 전문가를 통한 항목 보완

전문가 델파이 조사를 통한 평가지표 보완내용은 아래 표와 같다. 먼저 전체적 의견으로는 실제 거주자 대상 설문을 진행시 평가항목에 대한 구체적 설명이 필요하다는 의견으로, 평가항목이 이론적 개념을 중심으로 구성되어 있어 실제 거주자들이 설문을 이해하는데 어려움이 있을 것이라는 우려를 제시하였다.

평가 속성에 대한 의견으로는, 현재 기능성, 편리성, 쾌적성, 경제성으로 이루어진 중분류 외에도 거주자의 전체 만족도 파악을 위한 거주성 평가 속성 추가의견이 나타났다. 이를 위해 대한주택공사(1992)에서 제시한 주거환경에 대한 전체만족도 조사문항을 차용하여 '거주성' 항목을 추가하였다.

1992년 대한주택공사에서 작성된 공사 주택 거주 후 평가 모델 개발연구 보고서에 따르면, 전체만족도의 조사 방법으로써 현 주택에 대한 전체만족도를 직접적으로 묻는 문항과 '친지에게 권유 의향', '이사 시 다시 선택할 의향'을 묻는 문항 등 3개 문항을 사용하여 응답의 평균값을 전체 만족도로 집계하는 방법을 제시하였다.

전문가 델파이 조사 결과

순번	구분	전문가 의견	
1	전체적 의견	1	거주자 설문 진행시 평가항목에 대한 구체적 설명 필요
		2	만족도를 평가하는 목적이 드러나도록 단어 표현 수정
2	중분류	1	'작동여부'와 '제어관리' 항목 통합 (편리성)
		2	'접근성' 분류체계 추가 (편리성)
		3	'미관환경' 분류체계 추가 (쾌적성)
3	세부 평가항목	1	'홈오메이션 제어' 항목으로 통합 (조명제어, 콘센트제어)
		2	'창문의 크기 및 투명성' 항목 추가 (고효율 창호의 특성)
		3	'경제성' 부문 항목 수정 필요 (실제 고지서에 근거하여 구성)
		4	'실내 온도·습도' 부문 여름철, 겨울철의 기간별 세분화 필요
		5	'지불하는 비용 대비 전체 거주환경에 만족하는가' 항목 추가

중분류에 대한 의견으로는 편리성에서 구분하고 있는 '작동여부'와 '제어관리'의 세부 평가항목 성격이 비슷하여 설문에 혼동을 줄 수 있다는 의견에 항목을 '작동·제어'로 통합하였다. 또한 엘리베이터 및 계단의 위치, 그리고 공용부분 위치에 대한 평가 항목 추가 의견을 제시하여 편리성 내에 '접근성'이라는 분류를 추가하였다.

세부항목에 대한 의견으로는 제로에너지 공동주택에 적용하는 창호는 일반주택 대비 크기가 크게 계획되어지고 투명성이 높은 고효율 창호를 사용함으로써 이에 대한 거주자의 만족도를 판단하는 것이 필요하다 하여 쾌적성 부문의 시환경 분류에 '창호의 크기 및 투명성에 대한 만족도' 항목을 추가하였다. 또한 경제성 부문은 거주자가 지불하는 비용에

관한 체감 만족도를 평가하는 속성이므로 실제 거주자의 고지서에 근거하여 항목을 구성해야한다는 의견이 제시되어 항목을 추가 수정하였다.

○ 제로에너지 관련 교육 이수 거주자를 통한 항목 보완

실제 거주자 델파이 조사 결과

순번	구분	거주자 의견	
1	전체적 의견	1	설문 항목에 대한 구체적 설명 필요
2	중분류	1	'유지관리' 분류체계 추가 (편리성)
3	세부 평가항목	1	'입주자 교육' 및 'AS 관리' 항목 추가
		2	'조명 위치' 항목 추가 (실내 조도 결정)
		3	'초여름, 폭염, 장마철'로 여름철 세분화
		4	'초겨울, 한파, 흐린날'로 겨울철 세분화
		5	'모니터링 정보 제공의 유용성'으로 항목명 수정
		6	'창호 개폐시 공간 활용에 대한 안전성' 항목 추가
		7	'실제 제로에너지 주택에 사는 것을 체감하는가' 항목 추가

제로에너지 관련 교육을 이수하거나, 관심이 있었던 사람들에게는 설문 항목의 이해가 높지만, 그렇지 않은 사람들이 대다수이기 때문에 설문항목에 대해 구체적으로 설명하는 것이 필요하다는 전체적 의견을 제시해주었다.

또한 입주자 교육 및 AS관리에 대한 항목이 포함된 '유지관리' 항목에 대한 추가를 제안하였다. 제로에너지 공동주택은 새로운 형식의 주택으로 입주 전 교육이 이루어졌지만 이론적 측면에 집중된 교육으로 실제 거주하는데 어려운 점이 많아 개선이 필요하다는 것과, 일반주택에는 적용되지 않은 기술요소들로 AS에 대한 피드백이 많이 필요함으로써, 이에 대한 평가가 진행될 수 있도록 유지관리 항목 추가 의견을 가장 중요하게 제시하였다.

현재 여름철, 겨울철 실내온도·습도로 구분한 항목에 대해 실제 거주자의 의견을 수렴하여 기간별 세분화를 권장하라는 전문가 델파이 조사에 따라 여름철은 '초여름, 폭염, 장마철'로 그리고 겨울철은 '초겨울, 한파, 흐린날'로 항목을 세분화 하였다.

3) 최종 제로에너지 공동주택 거주 후 평가를 위한 평가 항목

대분류	중분류	세부 항목
기능적 측면의 체감만족도	단열·기밀 기능	벽체 단열성능 만족도
		창호 단열성능 만족도
		현관문 단열성능 만족도
		발코니 단열성능 만족도
		창, 문틈 틈새바람 유입 만족도
		콘서트 틈새바람 유입 만족도
	열원·환기 기능	난방성능 만족도
		냉방성능 만족도
		급탕성능 만족도
		바닥난방 성능 만족도
		급기, 흡기 성능 만족도
	배치 및 태양에너지 조절 기능	남향배치 만족도
		주동별 간격 만족도
		창문을 통한 햇빛 유입량 만족도
		블라인드 통한 햇빛 조절량 만족도
	그 외 기능	월패드 제공 정보 만족도
		주방 후드 성능 만족도
		태양광 발전 성능 만족도
편리성 측면의 체감만족도	안전성	창호 개폐시 안전성 만족도
		창호 개폐시 활용 공간 만족도

	유지·관리	현관문 개폐시 안전성 만족도
		입주자교육 만족도
		AS관리 만족도
	접근성	공용부분 위치 만족도
		EV, 계단 위치 만족도
	작동·제어	난방 온도 제어 만족도
		냉방제어 만족도
		환기 작동 제어 만족도
쾌적성 측면의 체감만족도	조명 및 미관	실내조명 밝기 만족도
		실내조명 위치 만족도
		창문의 크기·투명도 만족도
		발코니 미관 만족도
		외부 블라인드 미관 만족도
		태양광 패널 미관 만족도
	겨울철 습도	초겨울 실내습도 만족도
		한파철 실내습도 만족도
		흐린날 실내습도 만족도
	겨울철 온도	초겨울 실내온도 만족도
		한파철 실내온도 만족도
		흐린날 실내온도 만족도
	여름철 습도	초여름 실내습도 만족도
		폭염시 실내습도 만족도
		장마철 실내습도 만족도
	여름철 온도	초여름 실내온도 만족도
		폭염시 실내온도 만족도
		장마철 실내온도 만족도
	공기 순환	실내 공기 순환 만족도
		주방, 욕실 공기 순환 만족도
		실내 전체 공기질 만족도
	세대 소음	세대 내 유입소음 만족도
		충간소음 만족도
	기기 소음	주방 후드 소음 만족도
		급기, 흡기 디퓨저 소음 만족도
경제성 측면의 체감만족도	일반비용	일반관리비 만족도
		공용 관리비 만족도
		임대비용 만족도
		공용전기비용 만족도
	에너지 비용	온난방비용 만족도
		냉방비용 만족도
		음식(취사)비용 만족도
		세대 전기비용 만족도

4.4 제로에너지 거주 후 평가 진행 및 DB 구축 분석

1) 제로에너지 거주 후 평가 진행

- 제로에너지 거주 후 평가는 총 2회로 진행되었다. 연구참여자 모집 이후 2019.10.19. 설명회 자리에서 1차 거주 후 평가를 진행하였고, 이후 보안을 통해 성능개선 공사 이후 2차 거주 후 평가 설문을 시행하였다.
- 조사는 이메일, 1대 1 인터뷰를 통해 연구의 목적과 연구 방법 그리고 익명성 보장 등에 관한 정보 제공 후 2차에 걸쳐 조사를 실시하였다.
- 1차 설문은 주민설명회가 개최된 2019년 10월, 그리고 2차 설문은 개선공사 진행(6월) 3개월 이후인 2020년 9월 설문을 진행함. (2차 설문의 목적이 개선공사에 대한 만족도 분석)

거주 후 평가 설문지 (인쇄용, 모바일용 2가지)

설문지

안녕하십니까!
바쁘신 중에도 소중한 시간을 내어 설명회 용례 주신 것에 감사드립니다.

본 설문지의 목적은 거주자 쾌적성 향상요인 도출을 위해
거주하고 개선 거주 환경에 대한 만족도와 중요도를 분석하기 위함입니다.
평가 항목에 대하여 생각하시는 중요도와, 거주자로서 느끼신 만족도 2가지를 평가해주시면 감사드리겠습니다.

조사 내용은 평가항목으로 3분하여 연구이외의 목적에는 절대 사용되지 않을 것임을 약속드립니다.
귀하의 생각을 솔직하게 답변해주시기를 부탁드립니다. 감사합니다.

2019.10.19
동지대학교 제로에너지건축센터
김한아 박사
E-MAIL : shin1015@naver.com 전화 : 010-3727-7585

○ 다음에 제시한 해설을 참고하여, 각 항목의 중요도와 만족도를 평가하여 주시기 바랍니다.
- "평가항목에 대하여 평소 생각하시는 중요도"
- "평가항목에 대해 거주해오나, 제감하는 만족도"

EX. "기능성"에 대하여 매우 중요하다 생각되나, 살아보니 불만족스러운 경우 (각각 표시 = 2개 표시)

중요도					만족도				
필수 중요	매우 중요	보통	약간 중요	중요 하지 않음	매우 불만족	약간 불만족	보통	약간 만족	매우 만족
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
5	4	3	2	1	1	2	3	4	5

1. 부문별 중요도와 만족도를 각각 평가해주시기 바랍니다.

평소에 일반적으로 생각하는 중요도					평가항목	거주해오나 제감하는 만족도				
필수 중요	매우 중요	보통	약간 중요	중요 하지 않음		매우 불만족	약간 불만족	보통	약간 만족	매우 만족
5	4	3	2	1	기능성 (단지 전체의 성능) 편리성 (단지 이용의 편리함) 쾌적성 (거주자의 쾌적함) 경제성 (거주하여 지불하는 비용)	1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5

2. 기능성 부문의 중요도-만족도 평가

평소에 일반적으로 생각하는 중요도					평가항목	거주해오나 제감하는 만족도				
필수 중요	매우 중요	보통	약간 중요	중요 하지 않음		매우 불만족	약간 불만족	보통	약간 만족	매우 만족
5	4	3	2	1	형태 (난방 배지, 동별 간격 등) 단열성능 (벽, 창호, 현관문 등) 기밀성능 (틈새바람 들어오는지) 태양에너지 조절성능 (외부블라인드 기능, 창문을 통한 햇빛 유입량) 열원성능 (난방, 냉방, 급탕, 바닥난방 성능) 환기성능 (환기장치 성능, 주방 후드 성능) 모니터링 성능 (콜센터에서 제공하는 정보) 태양광 발전 성능	1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
5	4	3	2	1		1	2	3	4	5

- 거주자의 만족도와 중요도를 같이 설문을 진행하였으나, 중요도 부분은 유의미한 통계결과가 나오지 않았으며 만족도 부분에만 설문을 집중적으로 하셔서 거주자 만족도 설문만 진행함 (중요도 설문은 연구 범위와 별도)
- 일반 주택의 경우도 거주 후 평가 설문을 1차 진행하였으나, 모든 요소들에서 유의미한 결과가 나오지 않아 (거의 대부분 무의미한 응답 표기 및 보통, 모르겠음으로 표기) 2차 설문을 시행하지 않음

2) 제로에너지 거주 후 평가 결과

부문별 1-2차 만족도 결과						
항 목		매우 만족	만족	약간 만족	보통	불만족
기능성 측면	1차		70			
	2차		75			
편리성 측면	1차		60			
	2차		62			
쾌적성 측면	1차		60			
	2차		66			
경제성 측면	1차		55			
	2차		50			
총 만족도	1차		64			
	2차		71			

- 1차 평가 결과 총점 약 63.49점, 2차 평가시 총점 약 70.54점으로 1,2차 평균 67.01점으로 나타남. 이는 매우만족, 만족, 보통, 불만족 범위 내에서 '만족'에 해당하여 본 제로에너지 주택에 거주자들은 상위 수준으로 만족하고 있다. 라고 해석할 수 있으며 거주 후 평가 결과 상위 수준의 주택이라 해석 가능하다.

거주 후 평가 1-2차 만족, 불만족 순위			
1차	만족	불만족	내용
1순위	단열성능	급탕 온도	- 총 121세대 중 67%의 세대가 급탕 집중시간에 차가운 온도의 온수 발생 및 수압 감소에 대한 문제를 겪어 해결 필요성을 노원구에서 공식적으로 제기함 - 실제 거주 후 평가 결과 불만족 요소 1-2순위로 급탕의 문제 제기됨
2순위	실내공기질	급탕 수압	
3순위	실내온도	AS 관리	
4순위	창호 기밀성능	입주자 교육	
2차	만족	불만족	내용
1순위	급탕 온도	에너지 비용	- 지열설비시스템 개선공사 진행 완료 3개월 이후 진행된 2차 거주 후 평가 결과 급탕에 대한 요소가 가장 만족 요소 1-2순위로 선정됨 - 제로에너지 주택의 거주 후 평가에서는 기능, 쾌적, 편리, 경제성에서 기능적 순위는 항상 만족도 상위권에 분포되어 있음
2순위	급탕 수압	관리 비용	
3순위	단열성능	무거운 단열문	
4순위	창호 기밀성능	창호 개폐성	

- 부문적으로 보면 1-2차 평가 결과 기능, 편리, 쾌적성 측면의 만족도는 모두 상승하였으나 경제성 부분의 만족도는 감소하였다. (-5점) 이는 성능개선공사를 기점으로 시행된 평가로서 지열시스템 성능 개선공사에 따라 기능 상승과 더불어 지불 비용(급탕, 난방) 또한 감소할 것으로 기대하였으나 공사 전과 비슷하여 경제성에 대한 만족도가 하락한 것으로 해석할 수 있다.
- 실제로 1차 평가시 (2019.10) 가장 불만족 요소였던 급탕 집중시간의 온도 및 수압 부분이 2차 평가 (2020.06) 시에는 매우 만족 요소로 변경되어 세부과제1. 성능저하요인 개선공사에 대한 성능 검증으로 활용할 수 있다.

[세부과제3]

제로에너지 공동주택 성능검증을 위한

거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구

1. 연구목적
2. 연구수행 절차
3. 연구내용
4. 연구결과

[세부과제 3]. 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구

1. 연구목적

[세부과제 3]
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구

제로에너지 주택과 일반 주택의 주거환경, 실내 공기 질을 객관적으로 비교하여
제로에너지 건물이 실내 공기 질 개선에 효과가 있는지를 평가하고,
실내 공기 질 개선이 거주자의 쾌적성 및 건강수준에 긍정적인 영향을 미치는지 분석하는 것을 목표로 함

◆ 실내환경과 쾌적성 평가 기법 개발 → 실내환경 측정 테스트 시행 → 쾌적성 영향요인 도출

세부과제 연구항목	연구내용
제로에너지 공동주택 성능 검증 위한 실내 환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	주거환경과 관련된 건강영향 및 질환을 선정하고, 주거환경과 건강수준, 삶의 질 평가를 위한 설문 도구 개발
	실내 공기 질 측정을 위한 실시간 실내 공기 질 평가 시스템 구축
제로에너지 공동주택과 일반 주택 실내 환경 측정 파일럿 테스트 시행 및 DB 구축	주택 유형에 따른 실내 공기 오염물질 농도 비교
	거주자 건강 및 삶의 질 DB와 연계한 통계적 분석 실시
제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	실내 공기 질 개선이 실제로 거주자 체감 쾌적성에 영향을 미치는지 상관관계 분석
	실내 공기 질 개선이 거주자 증상 위험에 영향을 미치는지 상관관계 분석
제로에너지 공동주택과 일반 주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템 개발	실내 공기 질 개선에 따른 거주자 증상 위험도 변화를 정량적으로 산출
	거주자 쾌적성 및 건강과 관련 있는 주거환경 요인을 체계적으로 제시

2. 연구수행 절차

연구수행 세부일정				
	1차년도			2차년도
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구	쾌적성 측정 계획수립	설문 평가도구 정립	평가 참여자 모집 (POE 평가자와 동일)	
				실내환경측정 (24h)
				건강영향평가설문 (분기별, 주1회, 총 50주)
				측정 결과 분석

핵심성과물	세부 계획	1차년도 (9개월)									2차년도 (12개월)								
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	실내환경 측정 관련 조사 시행																		
	실내환경 측정을 위한 체계 설정 및 주거쾌적성 측정도구 개발																		
제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	측정데이터와 거주자의 쾌적성간의 연관성 분석																		
	주거형태에 따른 영향요인 비교 분석																		
제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템 개발	거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인들 정량화 및 비용편익도구 개발																		
	파일럿 test DB를 활용한 제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인에 대한 사회적 편익 산출																		
제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	측정 대상 선정 및 설치																		
	계절별(주기적) 실내환경 측정 진행																		
	측정값 DB 수집																		

3. 연구내용 (요약)

■ 제로에너지 공동주택 쾌적성 영향요인 도출을 위한 연구 방법 (실내환경 측정, 설문 진행)

-3가지 연구 방법으로 진행됨

1	실내환경 측정	24시간 거실 측정	에어가드K (CO2, VOCs, 온도, 습도, 미세먼지)
2	건강 및 삶의 질 조사	6개월에 1회 모바일	삶에 질에 대한 설문항목
3	주간건강영향평가	주 1회 모바일	알레르기 증상, 실내 공기질 설문항목

◆ 쾌적성 영향요인 도출을 위한 3가지 연구 진행 방법

실내환경 측정

환경부 인증 제품
에어가드 K

- 환경부 공인 인증시험1등급, 90.4% 정확도 인증(타제품 대비 우수한 성능)
- 실내 온도, 습도, 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 아산화탄소, 휘발성 유기화합물(VOCs) 측정
- 5분마다 실시간 측정값이 서버로 전송-모바일 어플리케이션에서 확인 가능
- 측정환경 표준화 하여 24시간, 연구기간(2019.11~2020.10) 1년동안 거실에서 측정 진행

설문조사1

6개월 간격
건강 및 삶의 질 조사

- 삶의 질에 대한 36개의 설문항목(Short Form Survey) 과 성인, 어린이 각각에 대한 수면의 질 설문 포함
- 6개월 간격으로 1년간 총 3회(2019년 10월, 2020년 4월, 2020년 10월 실시)

설문조사2

매주 1회
주간건강영향평가

- 영국의 주택 건강안전평가시스템(HHSRS, Housing Health and Safety Rating System) 항목에서 추출 인용
- 일일 알레르기 증상, 두통, 피부 건조함, 불면증 등 증상 유무에 대한 질문
- 한주간 실내 공기질, 실외 공기질 등에 대한 질문
- 매주 월요일 모바일 설문으로 진행



■ 제로에너지 공동주택 쾌적성 영향요인 도출을 위한 연구모델 설정

◆ 제로에너지 공동주택 쾌적성 영향요인 도출을 위한 평가기법

- 세부과제 2 거주 후 평가와 동일 연구 참여자 모집
- 실내 거주환경 측정 (객관적 데이터) 과 주기적 거주자 설문 (주관적 데이터) 으로 평가 진행
 - 1) 측정 : 실내공기질 측정, 정밀측정
 - 2) 설문 : 주거환경평가 설문 (분기별), 건강영향평가(주1회)

연구 참여 항목		
연구진이 세대 내 방문하는 것은 정밀측정 1회 뿐입니다. 설문은 총 2회 우편, 그리고 주 1회 모바일(URL) 로 진행되며 실내공기질은 개별로 세대에 설치하시는 장비로 측정됩니다.		
01	실내공기질 측정장비 설치	개별설치
02	정밀측정 (집먼지 진드기, 곰팡이)	11월 중 방문측정
03	거주 후 평가 설문	분기별 (총2회), 우편
04	주거환경평가 설문	분기별 (총2회), 우편
05	건강영향평가 설문	주 1회, URL (모바일)

거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구 연구참여자 대상 설명회 개최 안내

□ 연구개요

- 국토교통기술혁신연구과 추진하고 있는 「제로에너지 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가 기술개발 및 성능향상 연구」로 제로에너지 공동주택 성능 향상을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구로, 영지대학교 제로에너지 건축센터와 건강영향평가 전문 전문대학과 차과대학 사회과학교실에서 연구를 진행하고 있습니다.
- 본 연구에서는 일반 주택 25세대, 노후 E2하우스 25세대를 대상으로 거주자 쾌적성 영향요인 분석을 위한 간이측정 및 정밀측정, 설문조사 등을 진행할 계획입니다. 이에 대한 연구참여자 대상 설명회를 아래와 같은 일정으로 진행하려오니, 협조 부탁드립니다.
- 2019 국토교통기술혁신연구과 사회과학분야 혁신성과 인정 (국토교통과학기술진흥원)
- 연구기관: 영지대학교 건축학부 (총학: 유진원) (연구: 김민수, 김민수)

□ 연구참여자 대상 설명회 일정

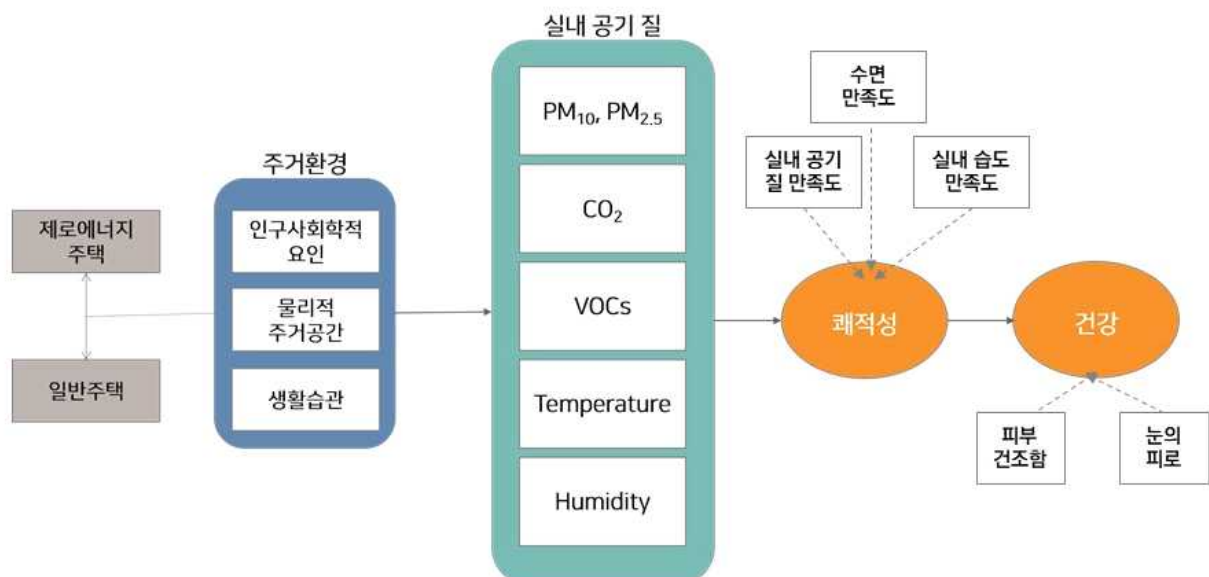
- (일) 시: 11월 19일(수), 11:00 ~ 12:30
- (장 소) 노후 E2하우스 1세대 1층 다목적실
- (내 용) 간이측정 기기배치, 설문내용 설명, 개인정보 수집 등

시간	주요 내용	비고
11:00~11:15	연구책임자 (대행주최) 인사말	
11:15~11:30	연구목적 개요 및 연구결과 활용 설명	참가자
11:30~11:45	영지대학교 소개 및 방문목적 설명	영지대
11:45~12:00	제0에너지 건축센터 소개 및 정밀측정 관련 설명	영지대
12:00~12:10	간이측정 및 연구목적 설명	
12:10~12:30	설문조사 방법 및 개인정보 자료 수집	
12:30~12:45	주거환경평가 1차, 2차, 3차 설문지 1차	
12:45~13:00	개인정보자료 (본인확인서, 동의서)	

○ (문의사항) 영지대학교 제0에너지건축센터 TEL: 010-300-0695

◆ 쾌적성 영향요인 도출을 위한 연구모델 설정

- 제로에너지 주택과 일반주택의 연구참여자 비교 분석
 - 1) 주거환경 특성 분석 (인구사회학적 요인, 물리적 주거공간, 생활습관)
 - 2) 실내 공기질 측정 데이터 분석
 - 3) 설문을 통한 쾌적성 영향요인, 건강 영향요인 분석

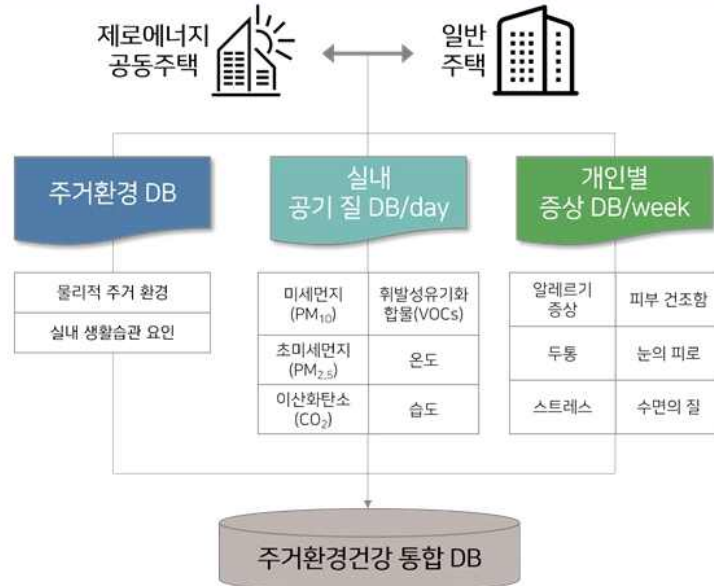


■ 제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 결과 (인구 사회학적, 물리적 공간 특징 분석)

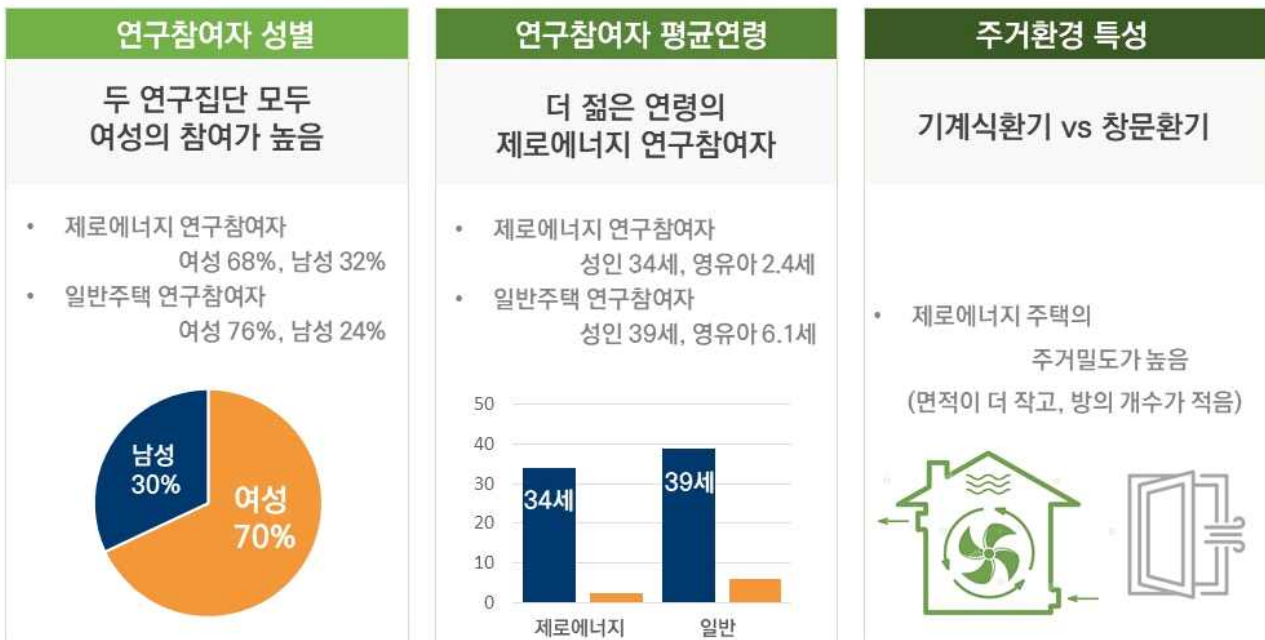
-2019.11~2020.10 1년간 실내환경 측정 및 설문 데이터 DB 구축 완료
-인구 사회학적 특징 비교 분석, 물리적 공간 특징 비교 분석

◆ 제로에너지 주택과 일반주택의 실내환경 측정 결과

- 시간 단위별 데이터 구축 (2019.11 ~ 2020.10)
 - 주별 DB (주 평균 실내 공기질과 증상 유무, 총 1,815건 구축 완료)
 - 일별 DB (일 평균 실내 공기 질 수준과 증상 점수, 총 14,315건 구축 완료)



◆ 제로에너지 주택과 일반주택의 주거환경 특성 분석 (인구사회학적, 물리적 공간 특징)



■ 제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 결과 (실내 공기질, 삶의질 분석)

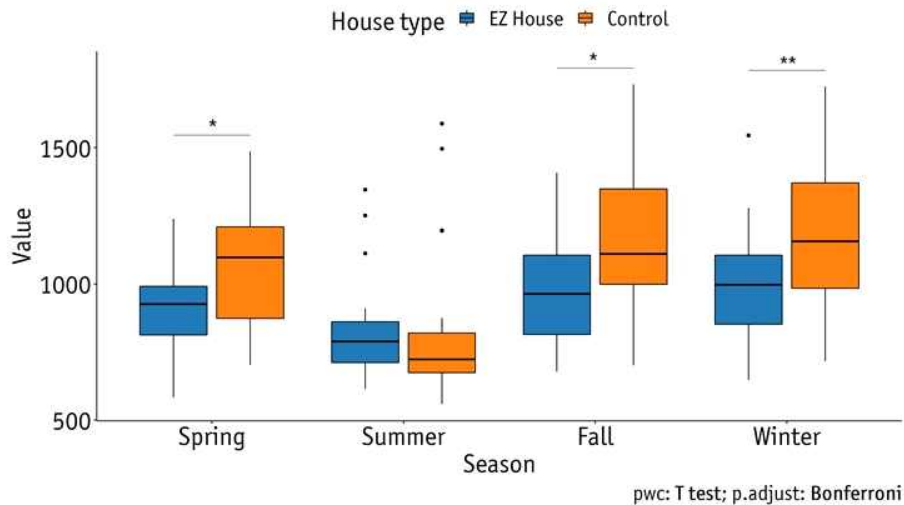
-2019.11~2020.10 1년간 실내환경 측정 및 설문 데이터 DB 분석 결과

1	실내공기질	제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 연중 내내 온습도가 일정하게 유지됨
2	건강 및 삶의질 질병 발생 비율	제로에너지 주택 어린이들의 알레르기 발생률이 일반주택에 비해 낮게 나타남
3	주거, 수면 만족도	제로에너지 주택 거주자들의 실내공기질, 수면 만족도가 높음

◆ 제로에너지 주택과 일반주택의 실내환경 측정 결과 (실내공기질)

거주자들이 체감하는 쾌적성과 관련 있는 **실내 온습도는**
 제로에너지 주택이 일반주택에 비해 **연중 내내 비교적 일정하게 유지됨**
 (제로에너지 주택은 일반 주택에 비해 여름철 온습도는 낮고, 겨울철의 온습도는 높게 유지됨)

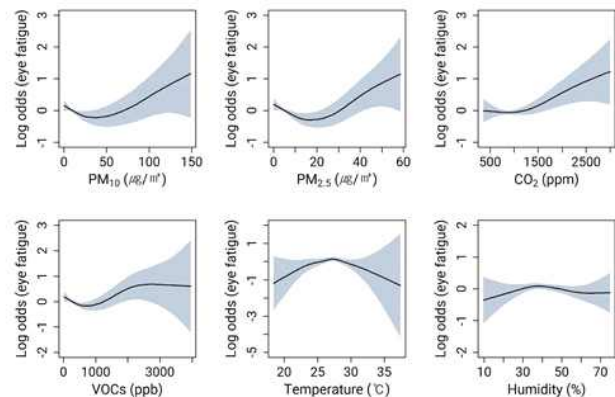
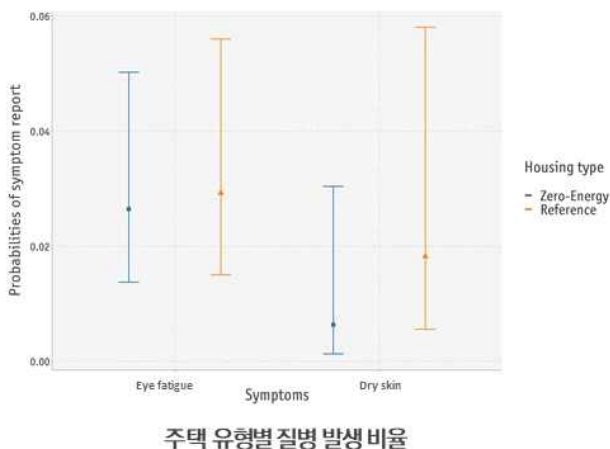
Anova, $F(1.58, 71.19) = 3.81, p = 0.036, \eta_g^2 = 0.04$



◆ 제로에너지 주택과 일반주택의 실내환경 측정 결과 (건강 및 삶의질-질병 발생 비율)

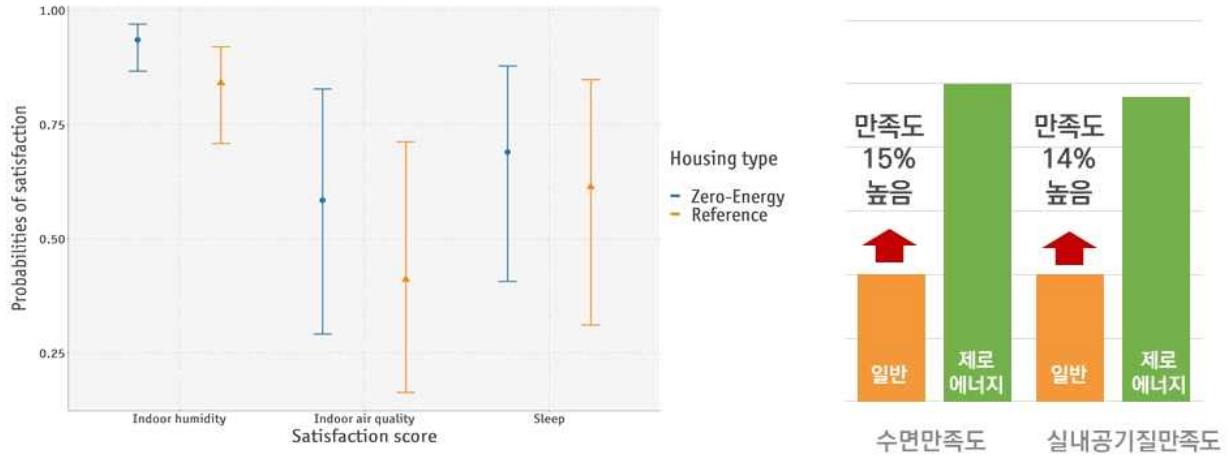
제로에너지 주택 어린이의 **알레르기 비염, 아토피 피부염 증상 발생률이 일반주택에 비해 낮게 나타남**
 제로에너지 주택 거주자들의 **눈의 피로, 피부 건조함 증상을 보일 확률이 더 낮게 나타남**

- 높은 실내환경기술이 알레르기 증상의 위험을 낮추는 것으로 알려져있음
- 실내 온습도, 실내 공기 오염원 영향을 가장 직접적으로 받는 눈의 피부, 피부 건조함과 실내 환경간의 상관관계 분석 결과



◆ 제로에너지 주택과 일반주택의 실내환경 측정 결과 (주거, 수면만족도)

제로에너지 주택의 거주자들이 일반 주택 거주자들에 비해
실내공기질, 수면에 대한 만족도가 더 높게 나타남



◆ 제로에너지 주택 쾌적성 영향요인 분석 연구 결과



제로에너지 관련 주거환경, 실내 공기질, 거주자의 건강 간 복잡한 상호작용을 정량적으로 분석하고
평가한 최초의 연구로서 제로에너지 공동주택의 실내 공기질 개선 효과를 입증하여
국내 제로에너지 건축물 확대 도입의 근거로 활용할 수 있음

■ 제로에너지 공동주택 쾌적성 영향요인 분석 연구 결과

- 주간 설문 및 분기별 설문 S/W 2건 및 쾌적성 영향요인 분석 연구 방법론, 연구 결과를 바탕으로 SCI 논문 작성 및 게재 완료
- SCI 논문을 바탕으로 언론 홍보 2건 성과 추가 달성

◆ 제로에너지 주택 쾌적성 영향요인 분석 연구 결과

연구 결과에 따른 성과물			
연구성과물	목표	달성	달성률
S/W	1건	1건	100%
보고서	1건	1건	100%
논문(SCIE)	1건	2건	100%+추가달성
학회 발표	-	1건	추가달성
언론홍보	-	2건	추가달성
특허등록	1건	-	-

ZEH, 일반주택 대비 재실자 건강보호 '효과'

에너지부서 대상 1년간 비교평가
국제 학술지 '종합환경과학' 게재
연진규 기자 gyeon@shinil.kr 등록 2021-05-21

▲ % 참가자 지정한 제로에너지주택은 에너지부서로 선정.

제로에너지주택(ZEH)이 일반주택보다 실내공기질(AQI) 개선효과가 좋아 거주자들의 쾌적성 향상은 물론 비염, 아토피, 감기 등 호흡기 피부질환예방 등에 효과가 있다는 국내 연구진의 연구결과가 발표됐다. 이번 연구는 제로에너지건축물(ZEB)의 1년 이상 장기간 건강영향평가로서는 세계적으로 드문 사례여서 의미가 크다는 평가다.

◆ 제로에너지 주택 쾌적성 영향요인 분석 연구 결과

- 제로에너지 주택과 일반주택의 실내 공기질과 증상 경험에 대한 비교 결과 SCI 논문 게재
- 제로에너지 주택 쾌적성 영향요인 분석 연구 방법론을 바탕으로 ESCI 논문 게재

Science of the Total Environment
Effects of mechanical ventilation on indoor air quality and occupant health status in energy-efficient homes: A longitudinal field study

Ah-Young Lim*, Myoung Yoon*, Eun-Hye Kim*, Hyun-Ah Kim*, Myoung-Ju Lee*, Han-Kwan Cheong**

*Department of Environmental Health, School of Environmental Health, Seoul National University
**Department of Environmental Health, School of Environmental Health, Seoul National University

ABSTRACT

Indoor air quality (IAQ) is a key factor in occupant health. The effects of mechanical ventilation (MV) on indoor air quality (IAQ) and occupant health status in energy-efficient homes (EEH) have not been fully understood. This study aimed to evaluate the effects of MV on IAQ and occupant health status in EEH. A longitudinal field study was conducted in three EEHs over one year. The results showed that MV significantly improved IAQ and occupant health status in EEHs. The study also found that MV had a positive effect on occupant health status, particularly in terms of respiratory symptoms and allergies. The study concluded that MV is an effective way to improve IAQ and occupant health status in EEHs.

Indoor air quality and health of occupants in energy-efficient residential buildings

Ah-Young Lim*, Myoung Yoon*, Eun-Hye Kim*, Hyun-Ah Kim*, Myoung-Ju Lee*, Han-Kwan Cheong**

*Department of Social and Preventive Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine, Suwon, Republic of Korea
**Department of Environmental Health, School of Environmental Health, Seoul National University

ABSTRACT

There has been a growing interest in the association between indoor air quality (IAQ) and human health. However, there is still a lack of evidence on the impact of IAQ on occupant health status in the long term. This study aimed to evaluate the effects of IAQ on occupant health status in energy-efficient residential buildings (EERBs) over one year. The study used a longitudinal field study design to evaluate the effects of IAQ on occupant health status in EERBs. The results showed that IAQ significantly affected occupant health status in EERBs. The study also found that IAQ had a positive effect on occupant health status, particularly in terms of respiratory symptoms and allergies. The study concluded that IAQ is an important factor in occupant health status in EERBs.

32nd Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology
Advancing Environmental Health in a Changing World

Indoor air quality and health of occupants in energy-efficient residential buildings

Ah-Young Lim*, Myoung Yoon*, Eun-Hye Kim*, Hyun-Ah Kim*, Myoung-Ju Lee*, Han-Kwan Cheong**

*Department of Social and Preventive Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine, Suwon, Republic of Korea
**Department of Environmental Health, School of Environmental Health, Seoul National University

CONCLUSION

The indoor air quality (IAQ) and health of occupants in energy-efficient residential buildings (EERBs) were significantly different between the two groups (EERBs and general apartment buildings). The difference in the number of self-reported symptoms between the two groups (EERBs and general apartment buildings) was also significant. The study concluded that IAQ is an important factor in occupant health status in EERBs.

4. 세부 연구내용

4.1 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 평가기법 개발

4.1.1 대상자 선정

연구 대상자 모집 공고를 통해 제로에너지 주택과 일반 주택 각 25가구씩 총 50개 가구(성인 50명, 어린이 50명)를 선정하였다. 연구 대상자 모집은 2019년 9월~10월 이루어졌으며 2019년 10월 19일 참여 대상자를 대상으로 한 설명회를 개최하였다.

거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구 연구참여자 대상 설명회 개최 안내

□ 연구개요

- 국토교통기술혁신연구로 추진하고 있는 「제로에너지 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가 기술개발 및 성능검증 “연구3. 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구”」로 명지대학교 제로에너지 건축센터와 건강영향평가 전문 성균관대학교 의과대학 사회의학교실에서 연구를 진행하고 있습니다.
- 본 연구에서는 일반 주택 25세대, 노원 EZ하우스 25세대를 대상으로 거주자 쾌적성 영향요인 분석(실내환경 간이측정 및 정밀측정, 설문조사 등)을 진행할 계획입니다. 이에 대한 연구참여자 대상 설명회를 아래와 같은 일정으로 진행하려하오니 협조 요청 드립니다.
- 2019 국토교통기술혁신연구 사회이슈분야 촉진과제 선정 (국토교통과학기술진흥원)
- (주관기관) 명지대학교 산학협력단, (출연기관) '19.4.~'21.6.



□ 연구참여자 대상 설명회 일정

- (일 시) '19.10.19.(토), 11:00 ~ 12:30
- (장 소) 노원 EZ하우스 가재울 지혜마루 1층 다목적실
- (내 용) 간이측정 기기배포, 설문내용 설명, 개인정보 수집 등

시간	주요 내용	비고
11:00~11:15	15' 연구책임자 (이명주교수, 경해관교수) 인사말	
11:15~11:30	15' 연구과제 개요 및 연구참여 항목 설명	명지대
11:30~11:45	15' 성균관대학교 진행 설문항목 설명	성균관대
11:45~12:00	15' 케이웨더 간이측정기기 및 정밀측정 관련 설명	케이웨더
12:00~12:10	10' 질의응답 및 연구보조원 지원자 모집	
12:10~12:30	20' 설문지 작성 및 개인정보 자료 수집 -주거환경평가 1식, 거주 후 평가 1식 -개인정보자료 (신분증사본, 통장사본)	

- (문의사항) 명지대학교 제로에너지건축센터 TEL) 031.330.6495

연구 참여자 대상 설명회 개최 (2019. 10. 19.)

참여 대상자 선정 기준은 객관적인 비교를 위해 대조군(일반 주택)으로는 20년 이내에 지어진 노원구에 위치한 일반 환기 방식의 아파트에 거주 중인 15세 미만의 자녀가 있는 가구를 모집하였다. 특히 알레르기 질환(아토피 피부염, 천식, 알레르기 비염)이 있는 경우는 연구 참여자로 포함하여 이에 대한 건강영향을 분석하고자 하였다. 다만 제로에너지 주택과 일반 주택 모두 심혈관 질환, 암, 당뇨병 등 만성 질환이 있는 사람이나 애완동물을 키우는 가구는 연구 참여가 제한되었다.

4.1.2 실내환경 측정 방법 (Exposure measurement)

실내 환경 노출 측정은 크게 주거환경 평가와 실내 공기 질 측정의 두 가지로 구분되었다.

첫째, 주거환경 평가는 방의 개수, 주택 크기 및 거주 기간 등을 포함한 물리적 주거 조건을 평가하였다. 또한 거주자의 생활 습관에 따른 실내 공기 특성(환기 방법, 환기 빈도 및 지속 시간, 공기청정기 또는 가습기 사용, 조리 중 주방 후드 사용, 난방 연료 유형 및 흡연 여부 등), 도로까지의 인접성 등을 조사하였다.

둘째, 실내 공기 질 측정 항목으로는 실내 온도, 습도, 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 이산화탄소(CO2), 휘발성 유기화합물(VOCs)이 포함되었다. 측정 장비는 케이웨더 사의 에어가드K(IAQ Station T2 LTE, 케이웨더, 서울, 대한민국)를 이용하였으며 매 5분마다 실시간으로 측정 데이터 값이 서버로 전송되어 모바일 애플리케이션과 웹 페이지를 통해 모니터링이 가능했다. 측정환경을 표준화하기 위해 모든 참가자는 연구기간(2019년 11월 1일 ~ 2020년 10월 31일) 동안 가족 구성원이 가장 많은 시간을 보내는 거실에 기기를 설치하고 기기의 위치를 이동하지 않도록 안내하였다. 구체적으로 참가자들은 기기를 1 m 이상의 높이에 놓고 에어컨, 공기청정기, 주방, 욕실, 화장대 등 실내 공기 질에 직접적인 영향을 미치는 특정 실내 요소와는 거리를 두도록 안내하였다.

4.1.3 주거환경 및 거주자 건강 측정 (Outcome measurement)

주거환경 및 실내 공기 질이 건강에 미치는 영향을 조사하기 위해 두 종류의 설문지를 개발하였다. 첫째, 건강 및 삶의 질에 대한 장기 영향을 분기별로 평가하기 위해 「건강 및 삶의 질 조사」 도구를 개발하였다. 이는 성인의 전반적인 삶의 질(Quality of Life, QoL)에 관한 36개 항목의 Short Form Survey (SF-36)와 성인, 어린이 각각에 대한 기 개발된 수면의 질 설문지를 포함한다. 6개월 간격으로 1년간 총 3회 각각 2019년 10월, 2020년 4월, 2020년 10월에 실시되었다.

둘째, 주거환경과 관련된 건강의 단기 영향을 평가하기 위해 「주간 건강영향 평가」라는 모바일 기반 설문조사 도구를 개발하였다. 이 웹 설문조사에는 일일 알레르기 증상(아토피 피부염, 알레르기 비염, 천식)의 증상 점수(0~2점), 두통, 눈의 피로, 피부 건조함, 불면증 및 감기 증상 등 유해한 실내 대기 오염물질에 노출된 직후 나타날 수 있는 일일 증상 유무에 대한 질문 약 20개 항목이 포함되었다. 또한 한 주 간 실내 공기 질, 실외 공기 질 및 습도, 수면 만족도에 대한 질문도 포함되었다. 이러한 설문 항목은 관련 문헌들과 영국의 주택건강안전평가시스템(HHSRS, Housing Health and Safety Rating System)을 검토한 뒤 우리나라 주택환경에 적합한 항목들을 추출한 것이다. 설문 URL은 매주 월요일 모든 참가자에게 전송되어 직전 한 주간의 증상에 대해 응답하도록 하였다. 다만 지난주 4일 이상 집에 머물지 않은 경우 설문에 참여하지 않았다.

4.1.4 연구대상 측정 방법

항목	평가 방법	내용		문항 수	측정 주기	
실내 환경 측정 (Exposure)	인구사회학적 특성	인구학적 특성(성인)		7	3회 (분기별)	
		인구학적 특성(어린이)		5		
		가구 정보		2		
		교육 및 경제활동		4		
	주거환경 특성	거주장소		17		
		실내 공기환경		36		
		의류, 침구환경		13		
		도로 및 유해시설		4		
	실내 공기 질 측정	PM10			12개월 (24시간 모니터링)	
		PM2.5				
		CO2				
		VOCs				
		온도				
		습도				
건강영향 평가 (Outcome)	건강수준과 삶의 질 조사	질병력(성인)		33	3회 (분기별)	
		질병력(어린이)		8		
		삶의 질(SF-36)		11		
	주간	성인	실내 생활환경		2	12개월

	건강영향 평가 (모바일 설문조사)		통증, 불편감	5	(주 1회)
			알레르기성 질환	7	
			실내 환경 관련 증상	4	
			정신건강	2	
			계절성 질환	2	
			수면의 질	2	
			실내외 공기 질 만족도	3	
	어린이		실내 생활환경	1	
			알레르기성 질환	6	
			계절성 질환	2	

4.1.5 통계적 분석 방법

설문 조사 결과 연속형 변수는 평균과 표준편차로 제시하였으며 범주형 변수는 빈도와 퍼센트로 나타내고 설문조사 시기에 따른 차이를 카이제곱 검정(Chi-square test) 통계량으로 제시하였다. 계절성의 영향을 보정한 뒤에 두 집단 간의 실내 공기 질의 차이가 있는지 평가하기 위해 이원혼합분산분석(Two-way Mixed Analysis of variance, ANOVA) 방법을 사용하였다.

주거환경, 실내 공기 질, 거주자의 건강 간 관계를 분석하기 위해 세 가지 통계적 혼합모형을 개발하였다. 혼합모형(Mixed Model)이란, 동일한 연구 참여자에 대해 독립변수, 종속변수를 반복해서 측정하는 경우 개인이 가지는 상관관계를 반영하기 위한 분석 방법이다. Model 1은 주거환경에 따른 실내 공기 질의 차이를 반영한 선형혼합모형(Linear Mixed Model)로, 각 네 가지의 실내 공기 질 변수 각각을 종속변수로, 거주자의 사회인구학적 특성 및 실내 공기 환경에 영향을 미치는 실내 공기 오염원 및 환기의 영향 등을 반영한 모형이다.

실내 공기 질은 다양한 요인들이 상호작용한 결과로서 나타나지만, 모든 요인들의 영향을 모형에 포함하는 것이 통계적 설명력이나 예측력에 크게 도움이 되지 않으므로 크게 사람의 영향, 공간의 영향, 환기의 영향, 실내 공기 오염물질 발생원의 네 가지 범주로 나눈 다음 각 실내 공기 질 변수를 가장 잘 설명하는 변수들의 조합을 고정효과(fixed effects)로 포함하는 최종 모형을 선택하였다(부록 1 그림 15 참조). 모형은 Akaike Information Criteria (AIC) 값을 기반으로 선택하였다. 랜덤효과(random effects)로는 각 조사 참여자 ID와 설문 주차(survey week)를 포함하였다.

실내 공기 오염물질별 포함 변수 (Model 1)

구분	변수명	비교기준/단위	PM10	PM2.5	CO2	VOCs
사회경제적 요인	가구 소득 수준	월 평균 300만원	○	○	○	○
사람의 영향	집에 머문 시간	시간	○	○	○	○
	가족 구성원 수	명	○	○	○	○
	직업	주부	○	○	○	○
	아이 연령	세	○	○	○	○
공간의 영향	집 면적	m ²	○	○	○	○
	집 층수	층	○	○	○	○
	거주 기간	개월	○	○	○	○
	건축년도	20년	○	○	○	○
환기의 영향	창문환기 빈도	일 평균 환기시간 *2환기빈도	○	○	○	○
	주방환기장치 이용 빈도	빈도 높음 VS. 낮음	○	○	○	○
	공기청정기 이용 여부	Yes/No	○	○	X	X
	바닥청소 빈도	빈도 높음 VS. 낮음	○	○	X	X
실내 공기 오염물질 발생원	조리활동 빈도	일 2회 이상	○	○	○	○
	주방 연료	인덕션 VS. 가스레인지	○	○	○	○
	방향제 사용	Yes/No	X	X	○	○
	향수 사용	Yes/No	X	X	○	○

	헤어스프레이 사용	Yes/No	X	X	○	○
	살충제 사용	Yes/No	X	X	○	○

Model 2는 주택 유형에 따른 각 증상의 일별 발생률의 차이를 분석하기 위한 포아송 GLMM으로, 주택 유형, 계절, 요일과 관련 질환의 진단력을 고정효과로 포함하고 설문 주차를 랜덤효과로 포함하였다. 또한 설문주차별 총 응답자 수를 반영하기 위해 오프셋(offset) 항으로 포함하였다. 상대위험도(Relative risk, RR)를 계산하여 주택 유형에 따른 증상 발생률의 변화율을 산출하였다.

Model 3은 실내 공기 질에 따른 각 증상의 발생 여부를 반영한 이항 일반화선형혼합모형(Generalized Linear Mixed Model, GLMM)으로, 성인, 어린이의 각 증상 발생 여부를 종속변수로 포함하였다. 고정효과로는 성별, 연령, 실내 공기 질 변수(PM₁₀, PM_{2.5}, CO₂, VOCs), 실내 온·습도, 요일을 포함하였고 랜덤효과로는 조사 참여자 ID와 설문 주차를 포함하였다. 오즈비(Odds ratio, OR)를 계산하여 실내 공기 질 단위 변화에 따른 각 증상 발생 확률의 변화를 결과로 제시하였다. 또한 실내 공기 질과 증상 발생의 비선형적인 관계를 시각화하기 위해 일반화가법혼합모형(Generalized Additive Mixed Model, GAMM)을 이용하여 같은 방법으로 모형을 구축하였다.

모든 통계적 분석 시 p 값이 0.05보다 작을 때 통계적으로 유의한 것으로 간주하였으며, 통계 소프트웨어로는 R studio (version 1.3.1093)를 이용하였다.

4.2 제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 결과 분석

4.2.1 연구참여자의 인구학적 특성과 주거환경 특성

1) 인구사회학적 특성 및 물리적 주거환경

연구 참여자 모집 과정을 통해 제로에너지 주택 25가구, 일반 주택 25가구가 선정되었다. 각 가구당 성인 1명, 어린이 1명으로 총 성인 50명, 어린이 49명⁶⁾이 연구에 참여하였다. 다만 일반 주택 1개 가구는 타 지역으로 이사로 인해 조사 중간에 참여 중단하였다.

두 연구 참여집단의 인구사회학적 특성 비교 결과, 제로에너지 주택과 일반 공동주택 성인 대상자의 성별은 여성의 비율이 각각 68.0%, 76.0%로 여성대상자가 남성 대상자보다 많았으며 어린이 대상자의 경우 제로에너지는 남아(60.0%)가 여아보다 많았으나 일반 공동주택은 여아(58.3%)가 남아보다 많았다. 성인 연령은 제로에너지 주택이 평균 34.0세로 평균 38.8세인 일반 공동주택에 비하여 낮았다. 어린이 연령 또한 제로에너지 주택이 평균 2.4세로 평균 6.1세인 일반 공동주택에 비하여 낮았다. 본인 포함 동거가족 수는 제로에너지 주택은 3명이 72.0%로 가장 많았으며, 일반 공동주택은 4명이 60.0%로 가장 많았다(표 4).

기본적인 주택환경 조사 결과를 주택 유형별로 정리한 결과는 표 5와 같다. 표에서 제시된 바와 같이 2017년에 준공된 제로에너지 주택에 비해 일반 주택 거주자들의 건물 건축연한이 오래되었고, 거주 기간도 길었다. 층수는 제로에너지 주택의 대부분은 1~5층(68.0%)이나, 일반 공동주택의 경우 다양한 층수에 고루 분포되어 있었다. 이는 제로에너지 주택의 경우 아파트 3개 동, 연립 1개 동, 합벽형 2개 동, 단독형 2개 동으로 이루어진 단지이며, 아파트 경우 최고 층수가 7층이므로 제로에너지 주택의 특성이 반영된 결과이다. 또한 주택의 규모 면에서는 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 면적이 작고, 방의 개수도 적었고, 따라서 주거 밀도가 상대적으로 높다고 할 수 있다.

연구참여대상자의 인구사회학적 특성

구분	설문 항목	제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=25)	p value
개인	성인	성별	여성 17 (68.0%) 남성 8 (32.0%)	19 (76.0%) 6 (24.0%) 0.529
		연령(세)	34.0 ± 3.3	38.8 ± 4.5 <.001
		신장(cm)	166.2 ± 7.3	164.5 ± 8.8 0.450
		체중(kg)	63.9 ± 11.1	61.5 ± 13.9 0.491
	어린이	성별	여성 10 (40.0%) 남성 15 (60.0%)	14 (58.3%) 10 (41.7%) 0.199
		연령(세)	2.4 ± 1.6	6.1 ± 4.1 <.001
		신장(cm)	92.3 ± 11.5	119.0 ± 26.4 <.001
		체중(kg)	14.1 ± 4.0	24.9 ± 13.1 <.001
	본인 포함 동거 가족 수	3명	18 (72.0%)	9 (36.0%) 0.031
		4명	6 (24.0%)	15 (60.0%)
		5~6명	1 (4.0%)	1 (4.0%)
가구	가구 월평균 소 득	100만원 미만	1 (4.0%)	1 (4.0%) <.001
		100~200만원	0 (0.0%)	0 (0.0%)
		200~300만원	7 (28.0%)	1 (4.0%)
		300~400만원	8 (32.0%)	2 (8.0%)
		400~500만원	8 (32.0%)	8 (32.0%)
		500만원 이상	1 (4.0%)	13 (52.0%)
	직업 유형	전문가 및 관련 종사자	8 (32.0%)	4 (16.0%) 0.550
		사무종사자	9 (36.0%)	9 (36.0%)
		서비스종사자	1 (4.0%)	2 (8.0%)
		판매종사자	1 (4.0%)	0 (0.0%)
		기능원 및 관련 기능 종사자	0 (0.0%)	1 (4.0%)
		무직	0 (0.0%)	1 (4.0%)
		주부	6 (24.0%)	8 (32.0%)

6) 일반 주택 어린이 1명은 연령으로 인해(출생 직후) 조사 시작 시점부터 참여에서 제외됨.

연구참여대상자의 물리적 주거환경 특성

구분	설문 항목		제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=25)	p value
주택환경	주택 건축연도	1990년대 이전	0 (0.0%)	10 (40.0%)	0.000
		1990~1999년	0 (0.0%)	5 (20.0%)	
		2000~2004년	0 (0.0%)	6 (24.0%)	
		2005년 이후	25 (100.0%)	4 (16.0%)	
	거주 기간(개월)		23.2 ± 2.5	48.3 ± 37.5	0.003
	주택 규모	전용 면적(㎡)	55.0 ± 13.2	81.8 ± 11.6	0.000
	방의 개수	2개	16 (64.0%)	9 (36.0%)	0.090
		3개	9 (36.0%)	16 (64.0%)	
	층수	1~5층	17 (68.0%)	8 (32.0%)	0.000
		6~10층	8 (32.0%)	6 (24.0%)	
		10층 이상	0 (0.0%)	11 (44.0%)	

2) 실내환경 특성

제로에너지의 주택의 난방연료는 전기나 태양열(48.0%), 지열(44.0%)을 주로 사용하는 반면 일반 주택은 도시가스(52.0%)와 지역난방(40.0%)을 주로 사용하는데 차이가 있었다. 이불세탁의 빈도는 월 1~2회가 제로에너지 주택 72.0%, 일반 주택 44.0%로 가장 많았으며, 1년에 3~4회 이상이 제로에너지 주택 16.0%, 일반 주택 36.0%로 두 번째로 많았다. 세탁 시 사용하는 세제의 종류는 제로에너지 주택과 일반 주택 각각 61.0%, 60.0%로 액상세제를 가장 많이 사용하며, 세탁 시 표백제 사용 여부는 제로에너지 주택 76.0%, 일반 주택 72.0%로 사용하지 않는 가구가 사용하는 가구보다 더 많았다. 세탁 시 섬유유연제 사용 여부는 제로에너지 주택 88.0%, 일반 공동주택 68.0%로 사용하는 가구가 사용하지 않는 가구보다 더 많았다(표 6).

연구참여대상자의 실내 생활환경 및 의류, 침구 특성

구분	설문 항목		제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=25)	p value
실내 생활환경	겨울철 개별난방	가능	25 (100.0%)	19 (76.0%)	0.009
		불가능	0 (0.0%)	6 (24.0%)	
		설정 온도	25.5 ± 1.7	24.4 ± 1.8	0.056
	난방연료	도시가스	0 (0.0%)	13 (52.0%)	<.001
		전기/태양열	12 (48.0%)	0 (0.0%)	
		석유	0 (0.0%)	1 (4.0%)	
		지역난방	0 (0.0%)	10 (40.0%)	
		지열	11 (44.0%)	0 (0.0%)	
		기타	2 (8.0%)	1 (4.0%)	
		에어컨 설치	예	23 (92.0%)	
	아니오		2 (8.0%)	1 (4.0%)	
	설정 온도		23.9 ± 2.4	24.6 ± 3.0	0.367
의류·침구 특성	카펫/러그 사용 여부	사용함	8 (32.0%)	4 (16.0%)	0.185
		사용하지 않음	17 (68.0%)	21 (84.0%)	
	이불세탁 빈도	1년에 1~2회	1 (4.0%)	2 (8.0%)	0.246
		1년에 3~4회 이상	4 (16.0%)	9 (36.0%)	
		월 1~2회	18 (72.0%)	11 (44.0%)	
		주 1회	2 (8.0%)	3 (12.0%)	
	세탁 시 사용하는 세제 종류	아기전용세제	5 (20.0%)	3 (12.0%)	0.354
		액상세제	16 (64.0%)	15 (60.0%)	
		빨랫비누	0 (0.0%)	1 (4.0%)	
		가루세제	2 (8.0%)	6 (24.0%)	
		세제 사용하지 않음	1 (4.0%)	0 (0.0%)	
		기타	1 (4.0%)	0 (0.0%)	
	세탁 시 표백제 사용 여부	사용함	6 (24.0%)	7 (28.0%)	0.747
		사용하지 않음	19 (76.0%)	18 (72.0%)	
	세탁 시 섬유유연제 사용 여부	사용함	22 (88.0%)	17 (68.0%)	0.088
		사용하지 않음	3 (12.0%)	8 (32.0%)	

3) 실내 공기 오염물질 발생원 특성

주거환경 요인 중 실내 공기 환경에 영향을 미치는 요인들, 특히 시간에 따라 변화가 있는 요인들을 선별하여 분기별 설문조사에 포함하였다. 먼저, 실내 공기 질의 측정 요인인 VOCs에 영향을 주는 최근 6개월간 실내 개조(리모델링)와 새 가구 또는 가전제품 구입 여부를 조사하였다. 연구 기간 동안에 실내 개조를 시행한 가구는 제로에너지 주택이 5가구, 일반 주택이 12가구였다.

다음으로, 실내 공기 오염물질 발생원의 사용 여부에 대해 설문을 실시하였다. 전반적으로 방충제, 방향제, 향수, 헤어 스프레이 사용은 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 집 안에서 방충제 사용 여부는 1차와 3차 조사에서 제로에너지 주택이 12.0%로 방충제를 사용하는 가구가 사용하지 않는 가구보다 현저하게 적었으며, 일반 주택의 경우 사용하는 가구가 40.0%와 45.9%로 절반 정도를 차지하였다. 2차 조사는 방충제 사용량이 적은 4월에 수행되어 사용하지 않는 가구가 대부분이었다(표 7). 방향제 사용 여부는 제로에너지 주택의 경우 1차, 2차, 3차 각각 56.0%, 37.5%, 28.0%로 점차 줄어들었으며, 일반 주택의 경우에도 80.0%, 24.0%, 29.2%로 확연하게 줄어드는 경향을 보였다(표 7).

실내 조리활동은 PM, CO₂ 발생의 주요 원인이다. 조리 시 사용연료와 조리활동 빈도에 대한 설문을 실시하였다(조리 활동 빈도는 3차 조사에만 포함되었음). 제로에너지 주택의 경우 모든 가구가 인덕션이나 전기레인지를 사용하는 반면, 일반 주택은 도시가스 이용 비율이 더 높았다. 다만 1차에서는 일반 주택의 인덕션/전기레인지 사용 비율이 20.0%였지만, 3차 조사에서는 33.3%로 약간 증가하였다. 일 평균 조리활동 빈도의 경우, 주중 일 3회 이상 조리하는 비율이 제로에너지 주택은 24.0%, 일반 주택은 33.3%였고 주말동안 일 3회 이상 조리하는 비율은 20.0%, 25.0%로 주중과 주말 모두 일반 주택의 조리활동 빈도가 약간 더 높았지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

연구참여대상자의 실내 공기 환경 특성 (실내 공기 오염물질 발생)

설문 항목		1차			2차			3차		
		제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=25)	p value	제로에너지 주택 (N=24)	일반 주택 (N=25)	p value	제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=24)	p value
실내 개조		4 (16.0%)	6 (24.0%)	0.480	0 (0.0%)	3 (12.0%)	0.083	1 (4.0%)	3 (12.5%)	0.287
새 가구 또는 가전제품 구입		15 (60.0%)	15 (60.0%)	1.000	9 (37.5%)	8 (32.0%)	0.693	22 (88.0%)	12 (50.0%)	0.003
실내 방충제 사용		3 (12.0%)	10 (40.0%)	0.024	0 (0.0%)	2 (8.0%)	0.164	3 (12.0%)	11 (45.8%)	0.008
실내 방향제 사용		14 (56.0%)	20 (80.0%)	0.069	9 (37.5%)	6 (24.0%)	0.315	7 (28.0%)	7 (29.2%)	0.930
향수 사용		8 (32.0%)	9 (36.0%)	0.765	7 (29.2%)	7 (28.0%)	0.930	7 (28.0%)	8 (33.3%)	0.693
헤어스프레이 사용		7 (28.0%)	4 (16.0%)	0.459	7 (29.2%)	4 (16.0%)	0.446	4 (16.0%)	4 (16.7%)	1.000
요리 연료	도시가스(LPG)	0 (0.0%)	20 (80.0%)	<.001	0 (0.0%)	19 (76.0%)	<.001	0 (0.0%)	16 (66.7%)	<.001
	인덕션/전기레인지	25 (100.0%)	5 (20.0%)		24 (100.0%)	6 (24.0%)		25 (100.0%)	8 (33.3%)	
조리활동 빈도 (주중)	일 1회 이하	-	-	-	-	-	-	9 (36.0%)	8 (33.4%)	0.608
	일 2회	-	-	-	-	-	-	10 (40.0%)	8 (33.3%)	
	일 3회	-	-	-	-	-	-	2 (8.0%)	5 (20.8%)	
	일 4회	-	-	-	-	-	-	4 (16.0%)	3 (12.5%)	
조리활동 빈도 (주말)	일 1회 이하	-	-	-	-	-	-	9 (36.0%)	5 (20.8%)	0.543
	일 2회	-	-	-	-	-	-	11 (44.0%)	13 (54.2%)	
	일 3회	-	-	-	-	-	-	4 (16.0%)	4 (16.7%)	
	일 4회	-	-	-	-	-	-	1 (4.0%)	2 (8.3%)	

4) 실내 공기질 개선 노력

바닥청소 빈도는 제로에너지 주택의 경우 1차, 2차 각각 40.0%, 37.5%로 주 2~3회가 가장 많았고, 3차 조사에서는 주 4~6회(36.0%)라고 응답한 대상자가 가장 많았다. 일반 주택의 경우 1차 조사에서 주 2~3회가 32.0%로 가장 많았으며, 2차 조사에서 매일이 32.0%로 가장 많았고, 3차 조사에서는 주 2~3회 33.3%라고 응답한 대상자가 가장 많았다(표 8). 헤파필터 청소기를 사용하는 제로에너지 주택 가구는 1차, 2차, 3차 각각 36.0%, 58.3%, 64.0%로 점차 증가하였으며, 일반 주택의 경우 참여대상자의 약 절반 정도가 헤파필터 청소기를 사용한다고 답했다(표 8). 바닥청소 빈도와 헤파필터 청소기 사용여부 모두 두 집단 간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

창문 환기 빈도는 제로에너지 주택의 경우 매일 환기를 하는 가구가 1차, 2차, 3차 각각 48.0%, 50.0%, 56.0%로 가장 많았으며, 일반 주택의 경우 매일 환기를 하는 가구가 1차, 2차, 3차 각각 40.0%, 56.0%, 66.7%로 두 집단 모두 창문 환기를 매일 하는 비중이 점차 증가하였다(표 8). 평균 창문 환기 시간은 제로에너지 주택의 경우 1차 조사에서는 2시간 이상이 32.0%, 2차 조사에서는 30분 이내가 41.7%, 3차 조사에서는 30분~1시간(28.0%)이라고 응답한 비중이 가장 높았다. 일반 공동주택의 경우 30분 이내가 1차, 2차, 3차 각각 32.0%, 52.0%, 33.3%로 가장 많았다(표 8). 창문 환기 빈도와 창문 환기 시간 모두 두 집단 간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

공기청정기를 사용하는 가구는 제로에너지 주택의 경우 1차 조사에서 68.0%, 2차 조사에서 58.3%, 3차 조사에서는 40.0%로 점차 사용하는 가구의 비중이 감소하였다. 일반 주택의 경우 1차 조사 76.0%, 2차 조사 88.0%, 3차 조사에서는 50.0%로 제로에너지 주택에 비해 그 비중이 약간 높거나 비슷하였다(표 8). 공기청정기를 사용하는 가구의 경우, 공기청정기 사용 시간은 제로에너지 주택의 경우 1차, 2차, 3차 각각 평균 13.4 시간, 14.0 시간, 12.8 시간이었으며, 일반 주택은 평균 13.5시간, 12.6시간, 15.2 시간으로 두 집단 간의 차이는 유의하지 않았다.

실내 가습기를 사용하는 가구는 제로에너지 주택의 경우 1차 64.0%, 2차 58.3%로 약 2/3 정도가 가습기를 사용한다고 응답하였으나, 3차 조사에서는 44.0%로 그 비중이 약간 감소하였다. 일반 주택의 경우 1차, 2차 조사에서 모두 60.0%가 가습기를 사용한다고 응답하였으나, 3차 조사에서는 29.2%로 제로에너지 주택과 마찬가지로 비중이 감소하였다(표 8). 이는 계절(여름)의 영향이 반영된 결과인 것으로 보인다. 가습기를 사용하는 경우 가습기 사용 평균 시간은 제로에너지 주택의 경우 1차, 2차, 3차 각각 평균 10.6 시간, 11.9 시간, 11.5 시간이었으며, 일반 주택의 경우 각각 평균 9.5 시간, 7.6 시간, 11.7 시간으로 두 집단 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

조리 시 주방후드 사용 빈도는 제로에너지 주택의 경우 1차 조사와 2차 조사, 3차 조사에서 각각 64.0%, 66.7%, 56.0%로 '항상 사용'한다고 응답한 비중이 가장 많았으며, 일반 주택의 경우도 1~3차 조사 각각 64.0%, 56.0%, 41.7%로 '항상 사용'한다고 응답한 가구가 가장 많았다.

연구 참여 대상자의 실내 공기 환경 특성(실내 공기 질 개선 노력)

설문 항목		1차			2차			3차			
		제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=25)	p value	제로에너지 주택 (N=24)	일반 주택 (N=25)	p value	제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=24)	p value	
바닥청소 빈도	주 1회 이하	2 (8.0%)	8 (32.0%)	0.225	2 (8.4%)	6 (24.0%)	0.661	2 (8.0%)	7 (29.2%)	0.121	
	주 2~3회	10 (40.0%)	8 (32.0%)		9 (37.5%)	6 (24.0%)		8 (32.0%)	8 (33.3%)		
	주 4~6회	7 (28.0%)	3 (12.0%)		5 (20.8%)	5 (20.0%)		9 (36.0%)	4 (16.7%)		
	매일	6 (24.0%)	5 (20.0%)		8 (33.3%)	8 (32.0%)		6 (24.0%)	5 (20.8%)		
헤파필터 청소기 사용	예	9 (36.0%)	14 (56.0%)	0.216	14 (58.3%)	15 (60.0%)	0.953	16 (64.0%)	12 (50.0%)	0.538	
	아니오	12 (48.0%)	10 (40.0%)		9 (37.5%)	9 (36.0%)		8 (32.0%)	10 (41.7%)		
	모름	4 (16.0%)	1 (4.0%)		1 (4.2%)	1 (4.0%)		1 (4.0%)	2 (8.3%)		
창문 환기 빈 도	환기 안 함	1 (4.0%)	0 (0.0%)	0.466	2 (8.3%)	1 (4.0%)	0.730	3 (12.0%)	1 (4.2%)	0.152	
	주 1회 미만	0 (0.0%)	3 (12.0%)		1 (4.2%)	0 (0.0%)		1 (4.0%)	1 (4.2%)		
	주 1회	1 (4.0%)	2 (8.0%)		0 (0.0%)	1 (4.0%)		1 (4.0%)	3 (12.5%)		
	주 2~3회	6 (24.0%)	5 (20.0%)		4 (16.7%)	6 (24.0%)		5 (20.0%)	1 (4.2%)		
	주 4~6회	5 (20.0%)	5 (20.0%)		5 (20.8%)	3 (12.0%)		1 (4.0%)	2 (8.3%)		
	매일 1회	12 (48.0%)	10 (40.0%)		7 (29.2%)	6 (24.0%)		7 (28.0%)	9 (37.5%)		
	매일 2회 이상				5 (20.8%)	8 (32.0%)		7 (28.0%)	7 (29.2%)		
창문 환기 시 간	환기 안 함	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0.380	2 (8.3%)	1 (4.0%)	0.123	3 (12.0%)	1 (4.2%)	0.423	
	30분 이내	4 (16.0%)	8 (32.0%)		10 (41.7%)	13 (52.0%)		5 (20.0%)	8 (33.3%)		
	30분~1시간	7 (28.0%)	3 (12.0%)		5 (20.8%)	6 (24.0%)		7 (28.0%)	6 (25.0%)		
	1~2시간	6 (24.0%)	7 (28.0%)		3 (12.5%)	3 (12.0%)		6 (24.0%)	4 (16.7%)		
	2시간 이상	8 (32.0%)	7 (28.0%)		4 (16.7%)	2 (8.0%)		4 (16.0%)	5 (20.8%)		
공기청정기 사용	예	17 (68.0%)	19 (76.0%)	0.529	14 (58.3%)	22 (88.0%)	0.018	10 (40.0%)	12 (50.0%)	0.492	
	아니오	8 (32.0%)	6 (24.0%)		10 (41.7%)	3 (12.0%)		15 (60.0%)	12 (50.0%)		
	평균 사용시간 (Mean ± SD)	13.4 ± 9.5	13.5 ± 10.3	0.622	14.0 ± 8.24	12.6 ± 10.5	0.622	12.8 ± 8.4	15.2 ± 9.6	0.559	
가습기 사용	예	16 (64.0%)	15 (60.0%)	0.771	14 (58.3%)	15 (60.0%)	0.908	11 (44.0%)	7 (29.2%)	0.291	
	아니오	9 (36.0%)	10 (40.0%)		10 (41.7%)	10 (40.0%)		14 (56.0%)	17 (70.8%)		
	평균 사용시간 (Mean ± SD)	10.6 ± 6.2	9.5 ± 6.3	0.072	11.9 ± 6.7	7.6 ± 5.4	0.072	11.5 ± 6.8	11.7 ± 8.8	0.945	
조리 시 주방후드 사용 빈도	전혀 사용하지 않음	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0.753	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0.412	0 (0.0%)	1 (4.2%)	0.348	
	거의 사용하지 않음	1 (4.0%)	0 (0.0%)		0 (0.0%)	0 (0.0%)		1 (4.0%)	2 (8.3%)		
	가끔 사용	2 (8.0%)	3 (12.0%)		3 (12.5%)	5 (20.0%)		2 (8.0%)	3 (12.5%)		
	자주 사용	6 (24.0%)	6 (24.0%)		5 (20.8%)	6 (24.0%)		8 (32.0%)	8 (33.3%)		
	항상 사용	16 (64.0%)	16 (64.0%)		16 (66.7%)	14 (56.0%)		14 (56.0%)	10 (41.7%)		

4.2.2 제로에너지 주택과 일반 주택의 실내 공기 질 비교

2019년 11월 1일부터 2020년 10월 31일까지 수집된 실내 온·습도, 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 이산화탄소(CO2), 휘발성 유기 화합물(VOCs)에 대한 측정 데이터를 서버로부터 모두 추출하였다. 추출한 데이터 중 결측치, 장비 A/S 및 교체로 인한 데이터 이상치, 측정오류로 인한 이상치 등을 모두 제거하였으며, 이를 시간 평균, 일별 평균, 주별 평균 DB로 구축하였다. 일별 실내 환경 DB는 가구별, 일별 증상 점수와 매칭하였으며, 총 16,262건의 데이터를 하나의 DB로 통합하였다. 주별 실내 환경 DB는 가구별, 주별 증상 유무와 매칭하였으며, 총 2,324건의 데이터를 하나의 DB로 생성하였다.

1) 실내 공기질 측정 결과 비교

아래 표는 2019년 11월 1일부터 2020년 10월 31일까지 측정된 각 실내 공기 질 항목별 요약값을 주택 유형에 따라 제시한 것이다. 전반적으로, 연간 평균 PM10, PM2.5, CO2, VOCs 농도는 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 낮게 나타났으며 두 집단 간의 차이는 통계적으로 유의했다($p < 0.05$). 온도는 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 통계적으로 유의미하게 높았고, 습도는 약간 더 낮았지만 차이가 유의미하지 않았다.

일별 실내 공기질 측정결과 요약

측정변수	Mean (SD)		p value
	제로에너지 주택	일반 주택	
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10.7 (10.5)	16.8 (18.1)	0.000
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6.0 (6.9)	8.7 (8.6)	0.000
CO2 (ppm)	895.4 (274.9)	1,046.4 (420.3)	0.000
VOCs (ppb)	412.4 (426.7)	455.8 (383.1)	0.000
Temperature (°C)	27.4 (1.7)	26.7 (2.3)	0.000
Humidity (%)	40.8 (10.4)	40.9 (11.3)	0.541

* 2019년 11월 1일 ~ 2020년 10월 31일

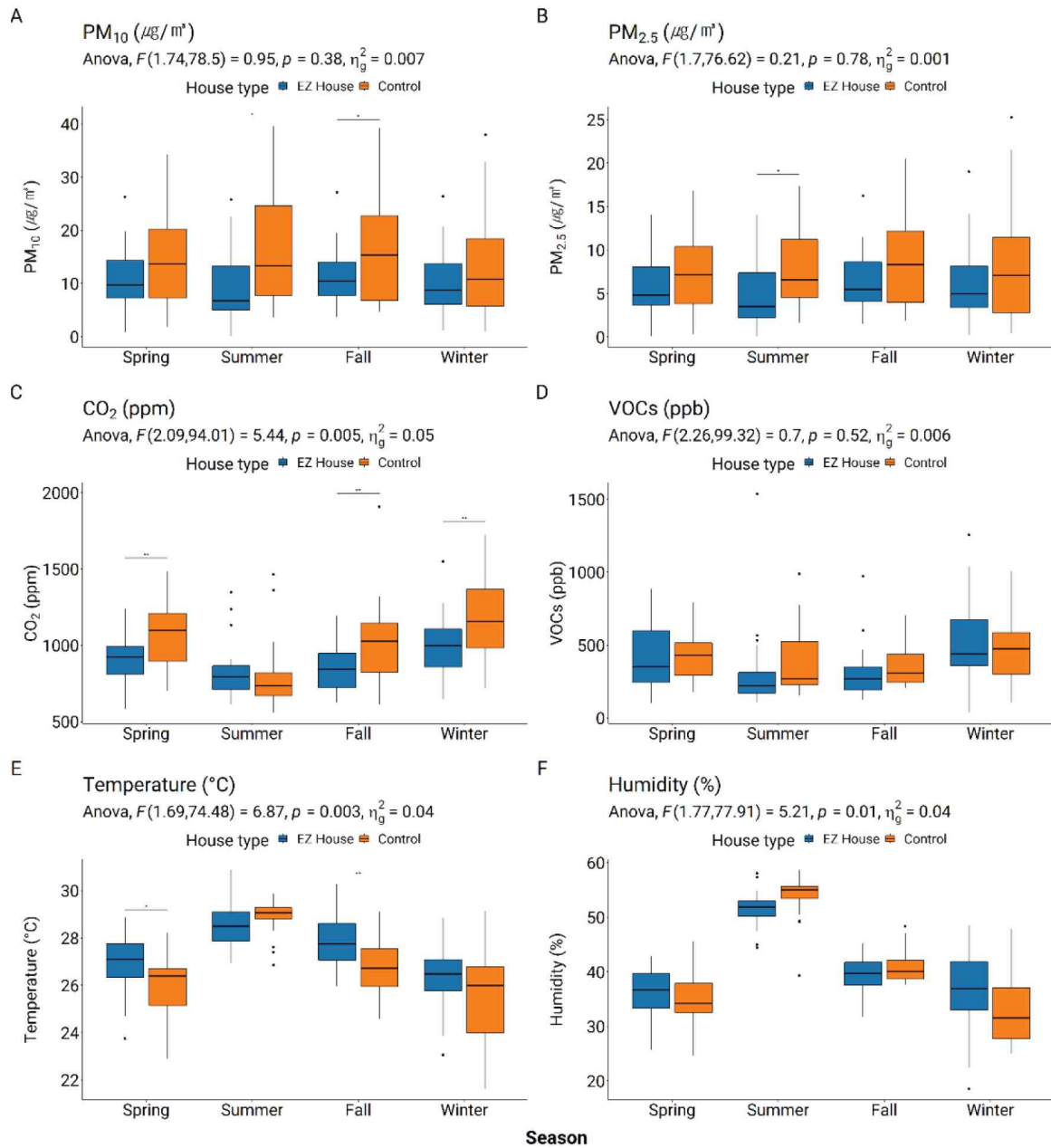


그림 3. 계절, 주택 유형에 따른 실내 공기 환경 비교

그림 3은 계절별, 주택 유형별 실내 공기 질 측정 결과를 나타낸 것이다. 계절성을 고려하였을 때도 전반적인 실내 공기 질은 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 좋은 것으로 나타났다. PM_{10} 의 경우 특히 여름과 가을에 제로에너지 주택에서의 농도가 통계적으로 유의하게 낮았고($p = 0.025$), $PM_{2.5}$ 의 경우 여름에 유의하게 낮았다($p = 0.049$). 실내 CO_2 농도는 여름을 제외한 모든 계절에 제로에너지 주택에서 더 낮게 나타났다($p = 0.01$). 여름을 제외하고 모든 계절에서 제로에너지 주택의 실내 온도가 더 높게 나타났다. 그러나 여름과 겨울의 두 집단 간 실내 온도 차이는 통계적으로 유의하지는 않았다. 제로에너지 주택의 경우 연중 최고 온도와 최저 온도의 차이가 $12.8^{\circ}C$ ($20.4 \sim 33.2^{\circ}C$)인 반면, 일반 주택의 경우 $19.1^{\circ}C$ ($18.4 \sim 37.5^{\circ}C$)였다. 실내 습도의 경우 여름에는 제로에너지 주택이 더 낮고, 겨울에는 더 높게 나타났으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다. 연중 최고 습도와 최저 습도의 차이는 제로에너지 주택이 58.2% (9.6~67.8%), 일반 주택에서는 3.4% (11.6~75.0%)로 나타났다.

2) 주거환경이 실내 공기질에 미치는 영향

상기한 바와 같이 각 실내 공기 질 측정항목을 가장 잘 설명하는 변수들의 조합을 최종 모형으로 선택한 후, 각 변수들이 실내 공기 질에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 실내 공기 질 측정항목별 최종 모형은 아래 표와 같다.

표 10. 실내 공기 질 측정항목별 최종 모형

구분	(A) 사람의 영향	(B) 공간의 영향	(C) 환기의 영향	(D) 실내 공기 오염물질 발생원
PM10	집에 머무는 시간	집의 면적	- 창문환기 빈도 - 바닥청소 빈도(+)	조리 시 사용 연료
PM2.5	자녀 연령	거주 기간	창문환기 빈도	조리 시 사용 연료
CO2	집에 머무는 시간	거주 기간	- 창문환기 빈도 - 바닥청소 빈도(-)	- 조리 시 사용 연료 - 일 평균 조리활동 빈도
VOCs	자녀연령	거주 기간	- 창문환기 빈도 - 주방환기장치 사용	- 조리 시 사용 연료 - 헤어스프레이 사용 여부

아래 그림 4~7은 각 실내 공기 질 측정항목별 모형의 결과를 나타낸다. 먼저 실내 PM10 농도는 가구 소득 수준이 낮을수록, 바닥 청소 빈도가 높을수록, 집의 크기가 클수록, 주방 연료가 인덕션이 아닌 가스레인을 사용할수록 높게 나타났다. 다만 통계적으로 유의하게 큰 차이를 보이지는 않았다. 반면 집에 머무는 시간이 길수록, 평일보다 주말일수록, 창문환기를 할수록 실내 PM10 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 창문환기 점수가 높을수록 PM10 농도가 통계적으로 유의하게 낮아졌다(환기점수 1점 증가당 $0.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소). 다른 변수들의 영향을 보정했을 때, 일반 주택에 비해 제로에너지 주택의 PM10 농도가 $3.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

실내 PM2.5 농도는 가구 소득이 낮을수록, 조리 시 사용연료(가스레인지), 자녀 연령이 높을수록 높게 나타났다. 거주 기간이 길수록, 창문환기를 자주할수록, 조리 시 주방후드를 자주 사용할수록 낮아졌다. 다른 변수들의 영향을 보정했을 때, 일반 주택에 비해 제로에너지 주택의 PM2.5 농도가 $1.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮은 것으로 나타났으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다.

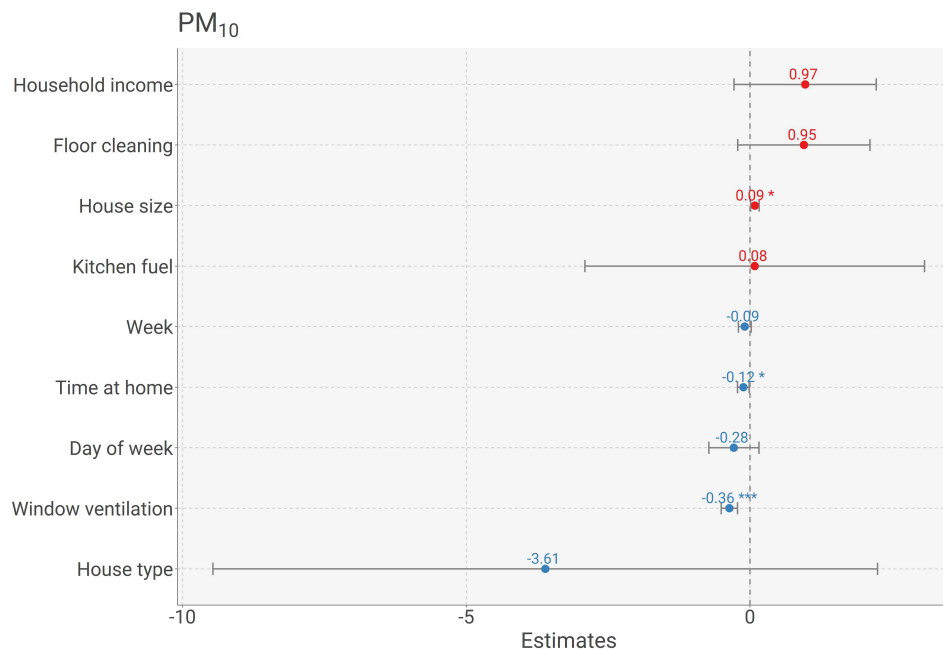


그림 4. 실내 PM10 농도와 주거환경 특성 간 상관관계

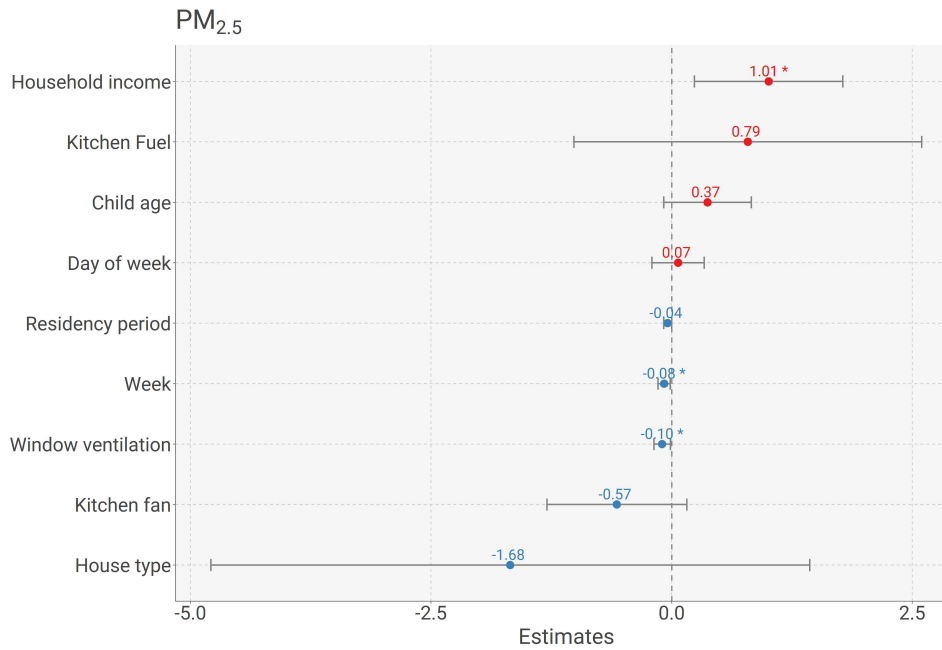


그림 5. 실내 PM2.5 농도와 주거환경 특성 간 상관관계

실내 CO₂ 농도는 조리 시 사용연료가 가스레인지인 경우 인덕션/하이라이트 사용하는 경우보다 216.9 ppm 높게 나타났다. 또한 가구 소득이 낮을수록, 조리빈도가 높을수록, 주중보다 주말에 유의하게 높게 나타났고 집에 머무는 시간이 증가할수록 유의하게 높아졌다. 반면 창문환기 빈도가 높을수록, 직업이 주부일수록 실내 CO₂ 농도가 유의하게 낮아졌다. 다른 변수들의 영향을 보정했을 때, 일반 주택에 비해 제로에너지 주택의 CO₂ 농도가 7.86 ppm 높은 것으로 나타났으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다.

실내 VOCs 농도는 가구 소득수준이 낮을수록(119.4 ppb), 헤어스프레이 사용이 많을수록(89.0 ppb), 조리활동 빈도가 높을수록(22.8 ppb), 거주기간(개월)이 길수록(3.1 ppb) 통계적으로 유의하게 높아졌다. 다른 변수들의 영향을 보정했을 때, 일반 주택에 비해 제로에너지 주택의 VOCs 농도가 55.7 ppb 낮은 것으로 나타났으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다.

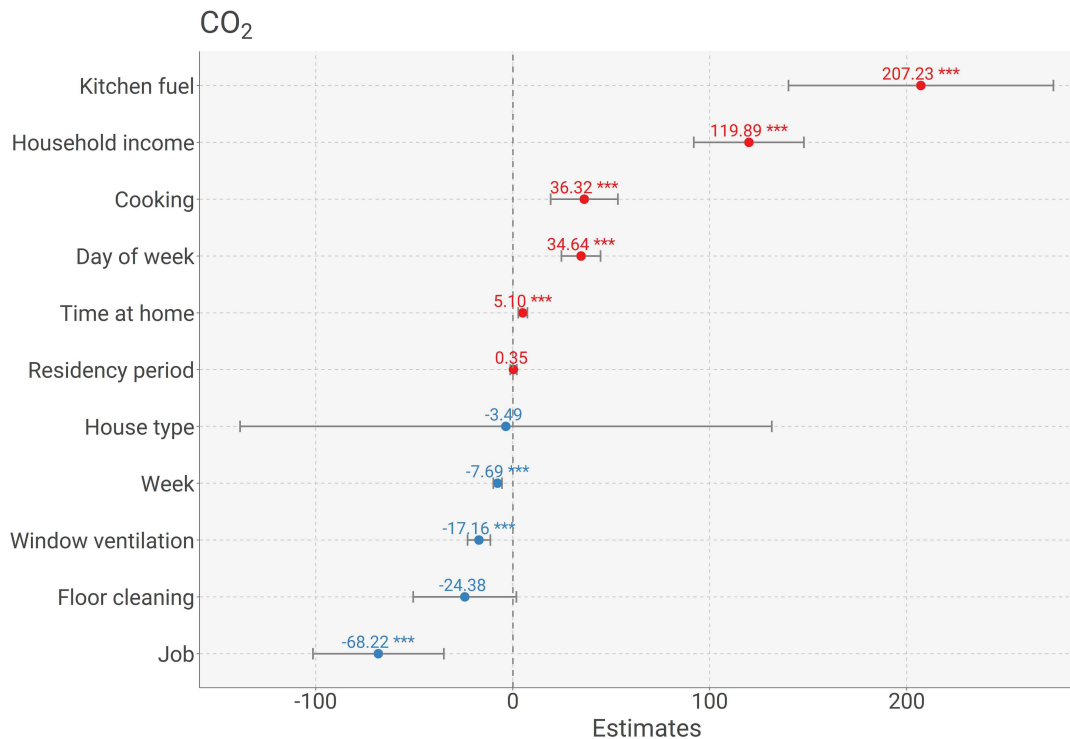


그림 6. 실내 CO₂ 농도와 주거환경 특성 간 상관관계

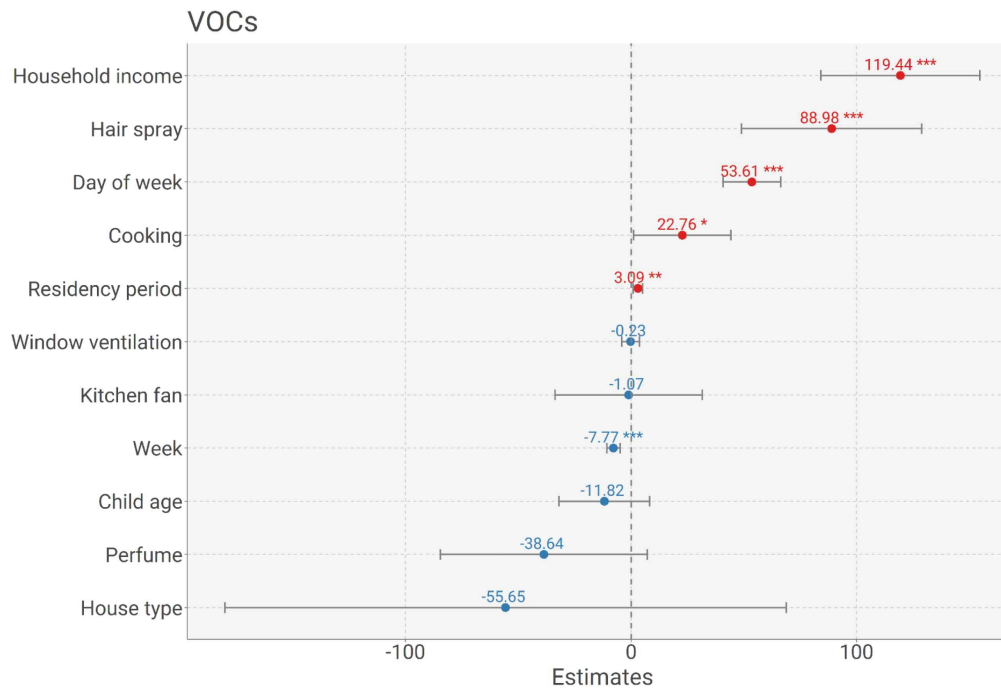


그림 7. 실내 VOCs 농도와 주거환경 특성 간 상관관계

4.3 제로에너지 공동주택과 일반 주택 거주자의 건강 및 삶의 질 비교

4.3.1 건강 및 삶의 질 조사

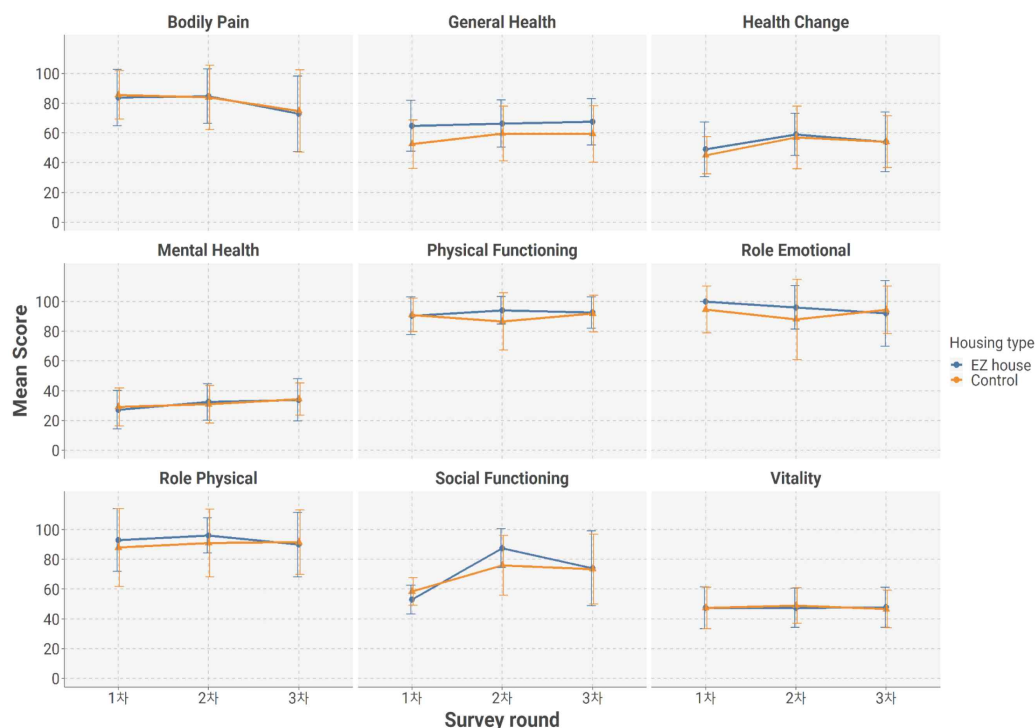
조사 참여대상자 선정 시 고혈압, 당뇨 등의 기저질환이 있는 경우는 최대한 참여에서 제외하였으나, 참여대상자 모집의 어려움으로 인해 일부가 포함되었다. 또한 안질환, 피부질환 등 조사 기간 동안 발생한 의사 진단 질병력은 아래와 같다. 두 집단의 객관적인 비교를 위해서는 각 질환의 진단력이 있는 사람 수에 유의한 차이가 존재하지 않아야 하지만, 성인 알레르기 비염의 경우 제로에너지 주택이 13명, 일반 주택이 6명으로 제로에너지 주택 거주자의 알레르기 비염 진단 경험 이 훨씬 많았다.

연구 참여 대상자의 의사 진단 질병력

구분	조사 기간 내 의사 진단 경험	제로에너지 주택 (N=25)	일반 주택 (N=25)	p value
성인	알레르기 비염	13 (52.0%)	6 (24.0%)	0.080
	아토피 피부염	2 (8.0%)	1 (4.0%)	—*
	만성질환 (고혈압, 당뇨, 암병력, 감상선질환)	3 (12.0%)	6 (24.0%)	0.462
	안질환 (황반변성, 백내장)	1 (4.0%)	1 (4.0%)	—
	호흡기 질환 (부비동염)	1 (4.0%)	0 (0.0%)	—
어린이	아토피 피부염	5 (20.0%)	4 (16.0%)	1.000
	알레르기 비염	8 (32.0%)	9 (36.0%)	1.000
	피부질환 (접촉성 피부염)	1 (4.0%)	0 (0.0%)	—
	호흡기 질환 (폐렴, 기관지염)	2 (8.0%)	0 (0.0%)	—

*N=5 미만인 경우 카이제곱 검정이 불가능하여 p value를 제시하지 않음.

SF-36 설문도구를 이용하여 두 집단의 장기적인 건강 및 삶의 질 영향을 조사하였다. 그 결과 삶의 질 전체 영역의 평균 점수, 주관적 건강수준 영역의 평균 점수는 두 집단 간 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았다. 또한 각 집단별로 설문조사 시기에 따른 점수의 변화도 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다(제로에너지 주택 $p = 0.830$, 일반 주택 $p = 0.297$).



조사시기별, 주택 유형별 삶의 질 변화

조사 시기	삶의 질 전체 영역(All domains)			주관적 건강수준(General Health)		
	제로에너지 주택	일반 주택	p value	제로에너지 주택	일반 주택	p value
1차	67.6 ± 25.2	65.8 ± 24.2	0.875	64.8 ± 17.1	52.6 ± 16.3	0.013
2차	73.7 ± 23.4	69.1 ± 21.0	0.666	66.4 ± 15.9	59.6 ± 18.4	0.168
3차	69.4 ± 20.9	69.0 ± 21.7	0.966	67.6 ± 15.6	59.4 ± 18.8	0.102

4.3.2 주간건강영향조사

2019년 11월 ~ 2020년 10월까지 총 50주에 걸쳐서 조사가 실시되었으며, 총 2,459건의 설문 응답이 수집되었다 (제로에너지 주택: 1,237건, 일반 주택: 1,222건). 각 증상의 일 평균 증상 발생률은 아래 표와 같다.

일 평균 증상 발생률 * (2019년 11월 ~ 2020년 10월, 총 50주차)

구분	증상의 종류	제로에너지 주택	일반 주택	p value
성인	두통	6.0%	4.4%	0.00
	불면증	8.5%	4.8%	0.00
	알레르기 증상			
	- 비염	9.6%	3.3%	0.00
	- 아토피	1.2%	0.9%	0.13
	- 천식	0.5%	0.0%	0.00
	눈의 피로	7.0%	6.4%	0.12
	피부 건조함	8.1%	7.9%	0.69
어린이	감기 증상	4.6%	4.1%	0.15
	비염	10.1%	9.7%	0.49
	아토피	8.6%	9.2%	0.14
	천식	0.4%	0.4%	1.00
	감기 증상	9.9%	4.5%	0.00

*산출방법: 일별 평균 증상 보고자 수 / 일별 평균 응답자 수

증상의 종류에 따라 제로에너지 주택과 일반 주택의 일 평균 증상 발생률에 차이가 존재하였다. 그러나 이는 계절성, 연령, 기저질환 유무 등 다른 변수들을 고려하지 않은 단순 평균치이므로 두 집단을 직접적으로 비교하는 데는 한계가 존재한다.

아래 표는 주별로 성인, 어린이가 집에 머문 시간과 수면 시간, 실내 쾌적성 관련 만족도 점수(5점 만점), 수면 만족도(5점 만점)와 한 주간 경험한 통증 점수(10점 만점)에 대한 요약치이다. 성인이 하루 평균 집에 머무른 시간은 제로에너지 주택이 16.9시간, 일반 주택이 16.8 시간으로 두 집단 간 유의한 차이는 없었다. 그러나 성인 수면 시간은 제로에너지 주택이 7.7시간, 일반 주택이 7.1시간으로 차이가 있었다. 어린이가 하루 평균 집에 머문 시간은 제로에너지 주택이 17.9시간, 일반 주택 18.7시간으로 차이가 있었고 어린이의 일 평균 수면 시간도 제로에너지 주택이 10.6시간, 일반 주택이 9.9 시간으로 차이가 있었다.

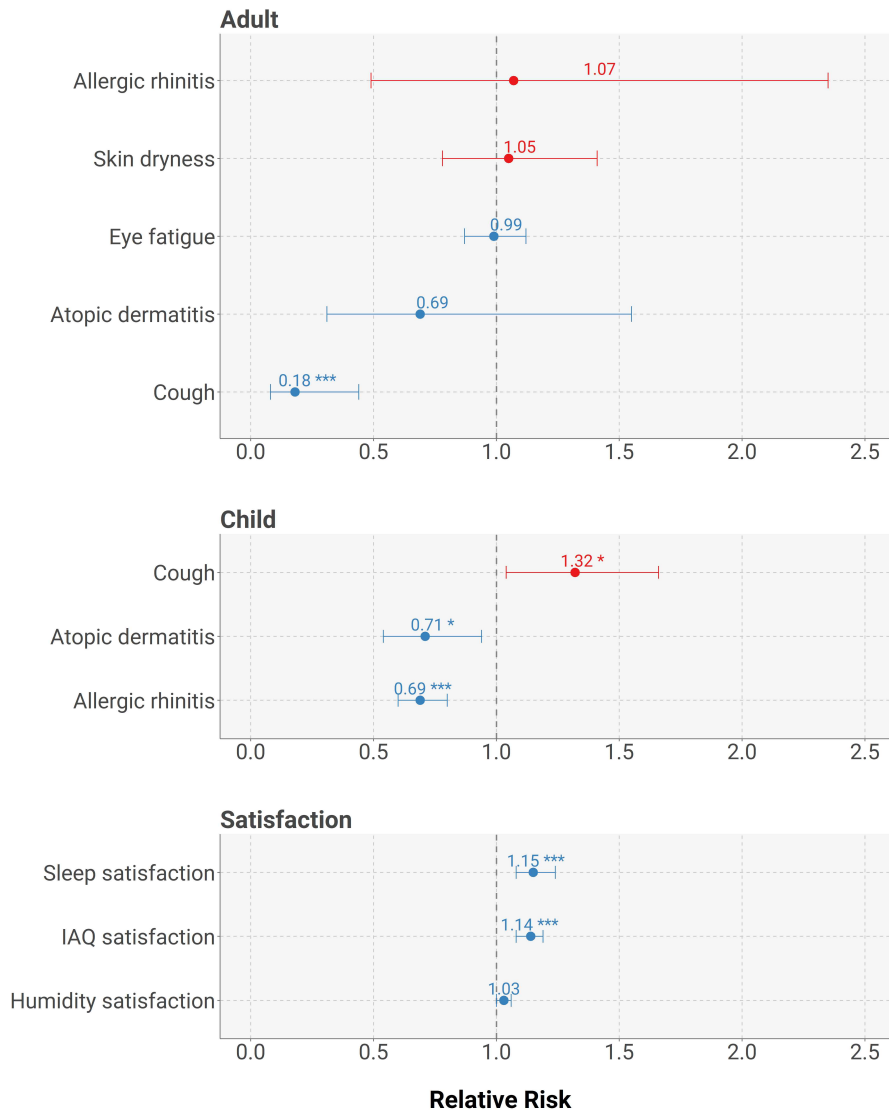
주별 수면 만족도, 실내 공기 질 만족도, 실외 공기 질 만족도는 두 집단 간의 유의한 차이가 없었으나, 실내 습도 만족도에서 제로에너지 주택이 3.2점, 일반 주택이 3.3점으로 제로에너지 주택이 약간 더 낮았다. 한편, 한 주간 경험한 통증이나 불편감은 제로에너지 주택이 1.8점, 일반 주택이 1.6점으로 제로에너지 주택이 약간 더 높았으나 대체로 가장 낮은 수준인 1점대를 기록하였다.

주별 실내 쾌적성 만족도, 수면 만족도 및 집에 머문 시간과 수면 시간

항목	요약	제로에너지 주택	일반 주택	p value
성인 집에 머무른 시간	Mean $\pm$ SD	16.9 $\pm$ 4.1	16.8 $\pm$ 4.2	0.470
	Min	2.0	7.0	
	Median	16.0	16.0	
	Max	24.0	24.0	
성인 수면 시간	Mean $\pm$ SD	7.7 $\pm$ 1.7	7.1 $\pm$ 1.2	0.000
	Min	5.0	4.0	
	Median	8.0	7.0	
	Max	18.0	12.0	
수면 만족도	Mean $\pm$ SD	2.7 $\pm$ 0.8	2.7 $\pm$ 0.9	0.277
실내 공기 질 만족도	Mean $\pm$ SD	2.6 $\pm$ 0.7	2.5 $\pm$ 0.9	0.195
실내 습도 만족도	Mean $\pm$ SD	3.2 $\pm$ 0.9	3.3 $\pm$ 1.0	0.028
실외 공기 질 만족도	Mean $\pm$ SD	3.4 $\pm$ 0.8	3.4 $\pm$ 1.0	0.899
통증 및 불편감 점수	Mean $\pm$ SD	1.8 $\pm$ 1.5	1.6 $\pm$ 1.3	0.009
	Min	1.0	1.0	
	Median	1.0	1.0	
	Max	10.0	8.0	
어린이 집에 머무른 시간	Mean $\pm$ SD	17.9 $\pm$ 3.1	18.7 $\pm$ 3.8	0.000
	Min	7.0	7.0	
	Median	18.0	19.0	
	Max	24.0	24.0	
어린이 수면 시간	Mean $\pm$ SD	10.6 $\pm$ 1.7	9.9 $\pm$ 1.5	0.000
	Min	8.0	6.0	
	Median	10.0	10.0	
	Max	18.0	16.0	

4.3.3 주택 유형에 따른 건강수준 비교

상기한 바와 같이 본 연구에서 실시한 설문조사에 포함된 증상들은 기저질환의 유무, 연령, 집에 머문 시간 등의 영향에 따라 달라지기 때문에 단순 일별 증상 발생률을 집단별로 비교하는 것은 해석에 주의가 필요하다. 이러한 영향들을 보정하고 난 후의 주택 유형 간 거주자 건강수준을 비교하기 위해 앞서 설명한 포아송 GLMM 모델을 구축하였다.



주택 유형별 거주자 증상 발생 위험도 비교

그림의 각 숫자는 일반 주택 대비 제로에너지 주택 거주자들의 각 증상별 발생률의 상대위험도를 나타낸 것으로, 1에 가까울수록 두 집단에 차이가 없고, 1보다 크면 준거집단(reference group)인 일반 주택에 비해 제로에너지 주택의 위험이 높은 것, 1보다 작으면 제로에너지 주택의 위험이 낮은 것을 의미한다.

먼저 성인의 경우, 피부 건조함, 눈의 피로감의 발생률은 제로에너지 주택과 일반 주택의 차이가 없었다. 그러나 성인의 감기 증상은 제로에너지 주택이 통계적으로 유의하게 낮았다. 아토피 피부염 증상의 위험도 통계적으로 유의하지는 않지만 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 31% (RR 0.69, 95% CI 0.31 - 1.54) 낮은 것으로 나타났다. 알레르기 비염 증상의 경우 제로에너지 주택의 발생률 위험도가 더 높았으나, 통계적으로 유의하지는 않았다. 이는 제로에너지 주택 거주자들의 알레르기 비염 진단 경험이 훨씬 더 많기 때문인 것으로 보인다. 어린이 감기 증상의 경우 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 32% 높게 나타났으나, 어린이 알레르기 비염 증상은 31% (RR 0.69, 95% CI 0.60 - 0.80), 어린이 아토피 피부염은 29% (RR 0.71, 95% CI 0.54 - 0.94) 낮게 나타났으며 그 차이도 통계적으로 유의했다.

전반적인 주거 만족도를 비교했을 때, 수면 만족도는 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 15%, 실내 공기 질 만족도는 14% 높았으며 차이가 통계적으로 유의했다. 실내 습도 만족도는 제로에너지 주택이 3% 높은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

4.4 거주자 쾌적성 영향요인 모형 구축

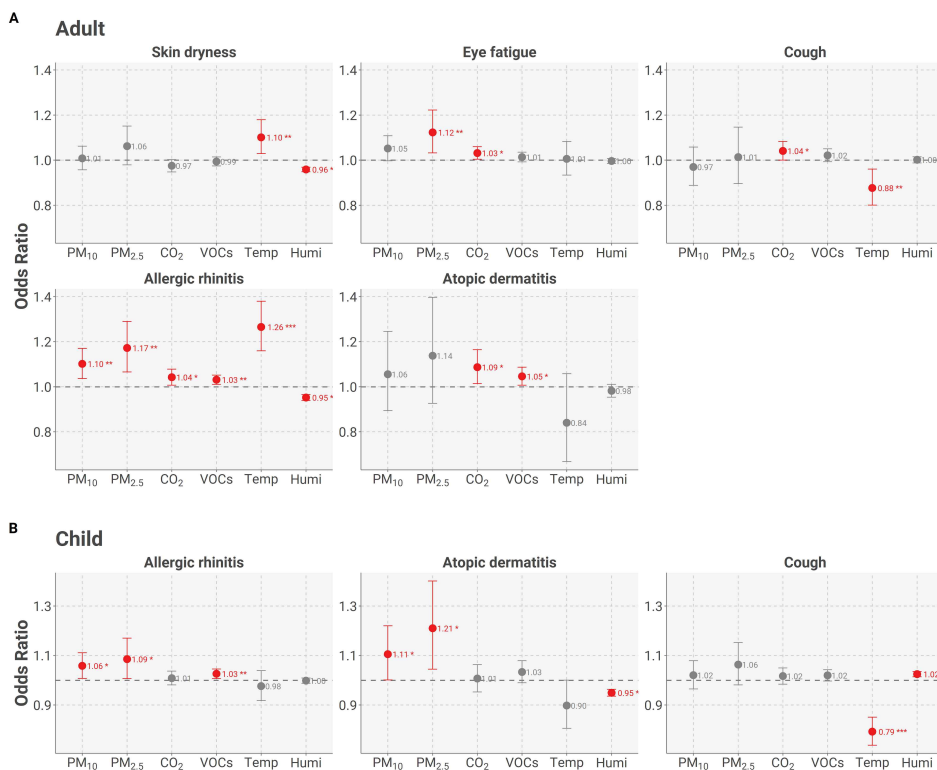
4.4.1 실내 공기 질과 거주자 증상 간 상관관계

거주자 쾌적성에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 각 실내 공기 질 지표와 증상 간의 상관관계에 관한 GLMM 모형을 구축하였다. 그림의 각 숫자는 실내 공기 질 지표 단위 증가당 각 증상의 위험도 증가를 나타낸다.

PM10 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당, 성인과 어린이의 알레르기 비염 증상의 오즈비가 각각 1.10 (95% CI 1.03 - 1.17), 1.06 (95% CI 1.01 - 1.11)으로 증가하였다. PM2.5의 경우 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당 눈의 피로의 오즈비가 1.12 (95% CI 1.03 - 1.22)로 증가하였다. 또한 PM2.5가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할수록 어린이 알레르기 비염 증상과 아토피 피부염 증상이 각각 9%, 21% 증가하였다.

실내 CO2 농도의 100 ppm 증가는 성인 눈의 피로 증상과 감기 증상의 오즈비가 각각 1.03 (95% CI 1.00 - 1.06), 1.04 (95% CI 1.00 - 1.08)로 증가하였다. 특히, 성인의 알레르기 비염 증상은 모든 종류의 실내 공기 오염물질과 관련이 있었으며 오즈비 증가는 PM10, PM2.5 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당 1.10 (95% CI 1.04 - 1.17), 1.17 (95% CI 1.07 - 1.29), CO2 100 ppm 증가당 1.04 (95% CI 1.01 - 1.08), VOCs 100 ppb 증가당 1.03 (95% CI 1.01 - 1.05) 만큼 증가하는 것으로 나타났다.

피부건조함 증상의 경우 실내 공기 오염물질과 통계적으로 유의한 관계를 보이지는 않았지만, 실내 습도 1% 감소에 따라 피부 건조함 증상의 위험은 4% 감소하는 것으로 나타났다.



실내 공기 질에 따른 증상 발생 위험도

실내 공기 질 지표와 각 거주자 증상 간 비선형적인 관계를 보여준다. 눈의 피로도 발생위험은 실내 PM10, PM2.5, CO2, VOCs 농도가 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 실내 습도가 높아지면 피부 건조함 발생 위험은 낮아지는 한편, 어린이 감기 증상과 알레르기 비염 증상은 높아지는 것으로 나타났다.

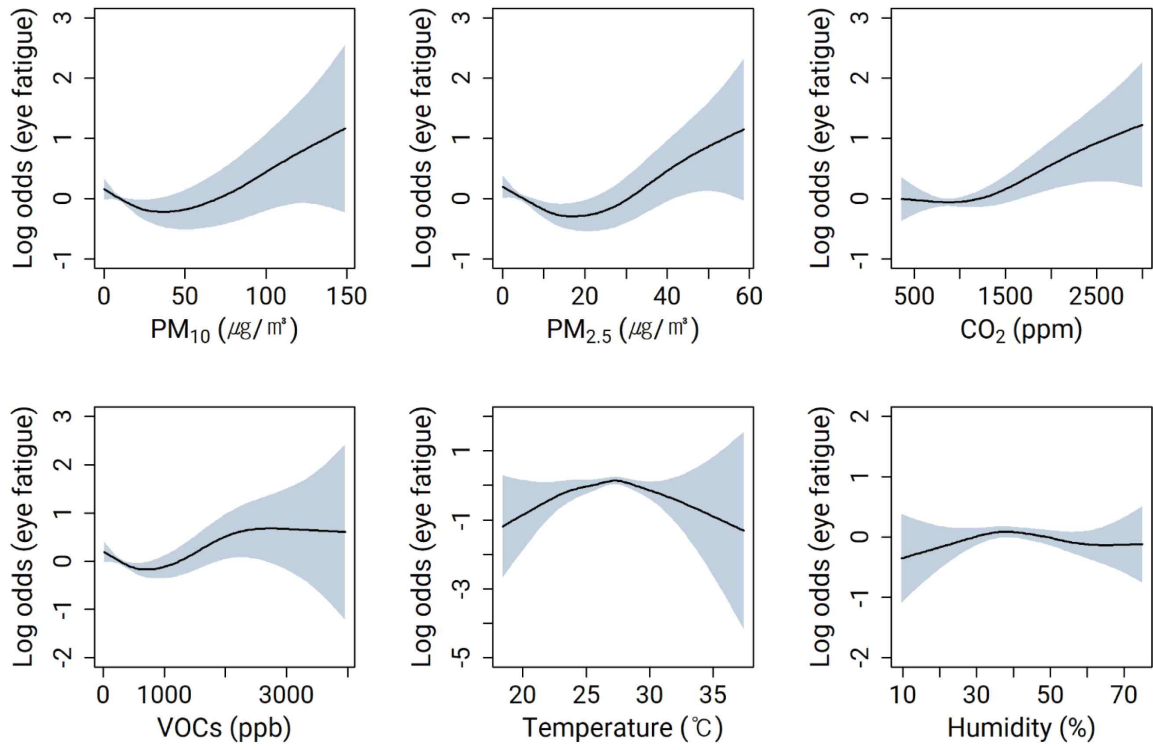


그림 78 실내 공기 질에 따른 눈의 피로 증상 발생 위험 변화

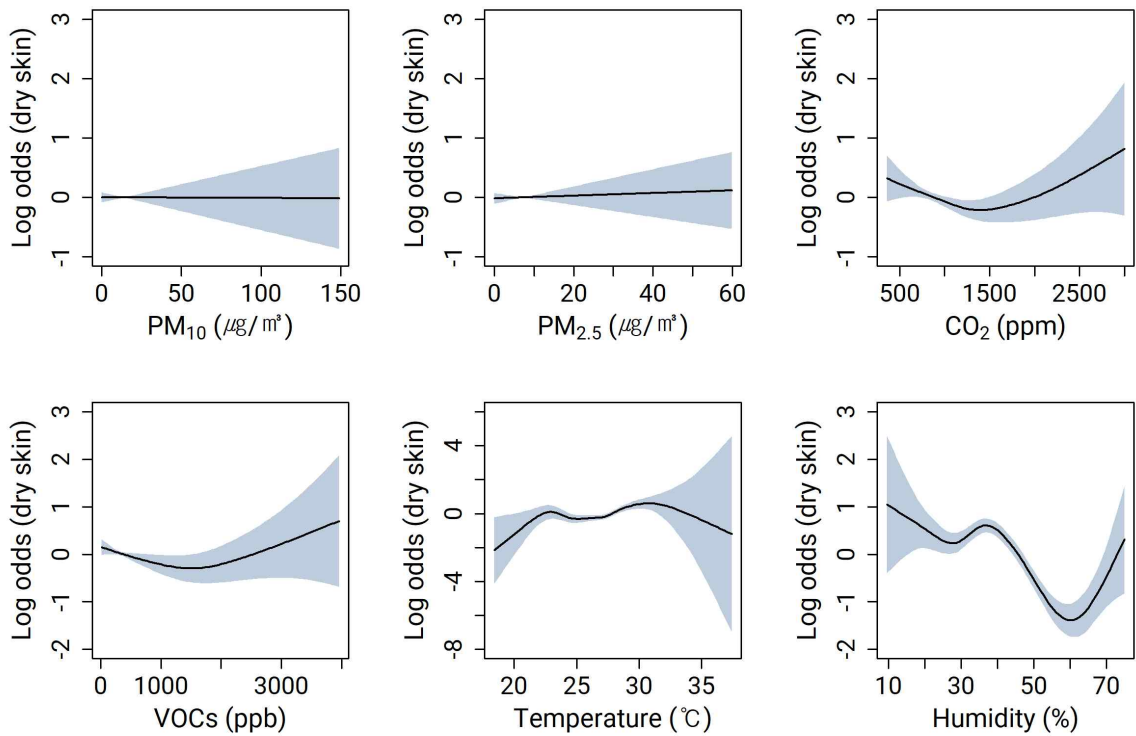


그림 79 실내 공기 질에 따른 피부 건조함 증상 발생 위험 변화

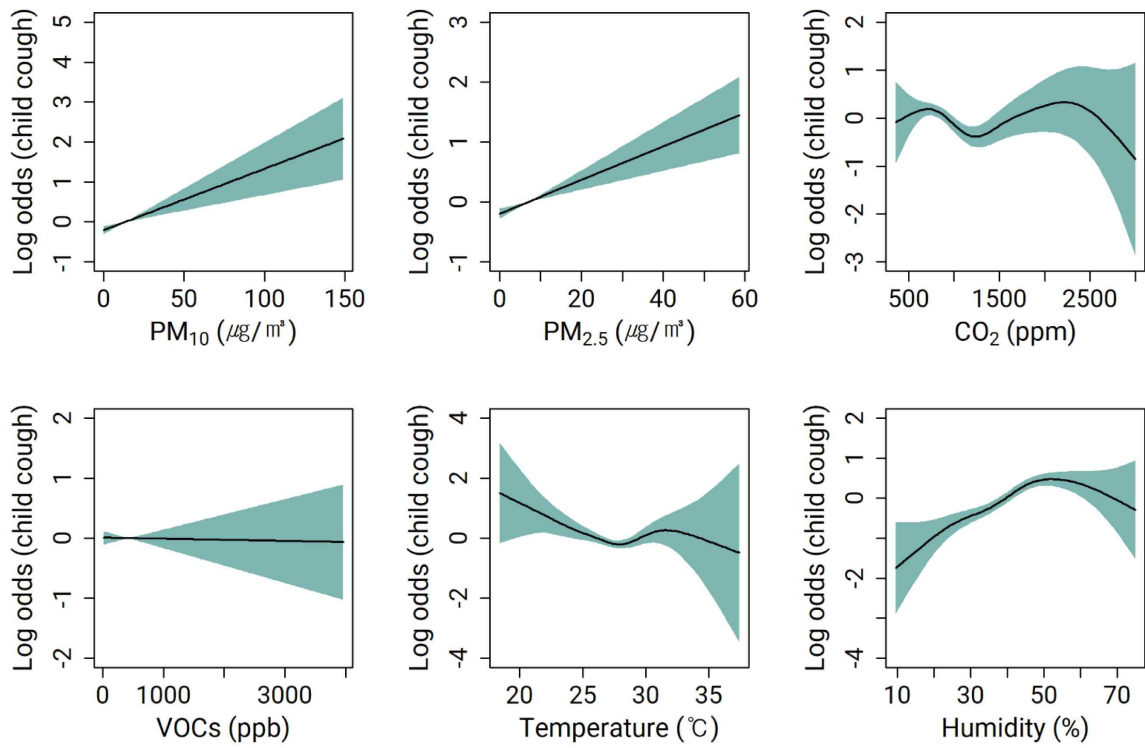


그림 80 실내 공기 질에 따른 어린이 감기 증상 발생 위험 변화

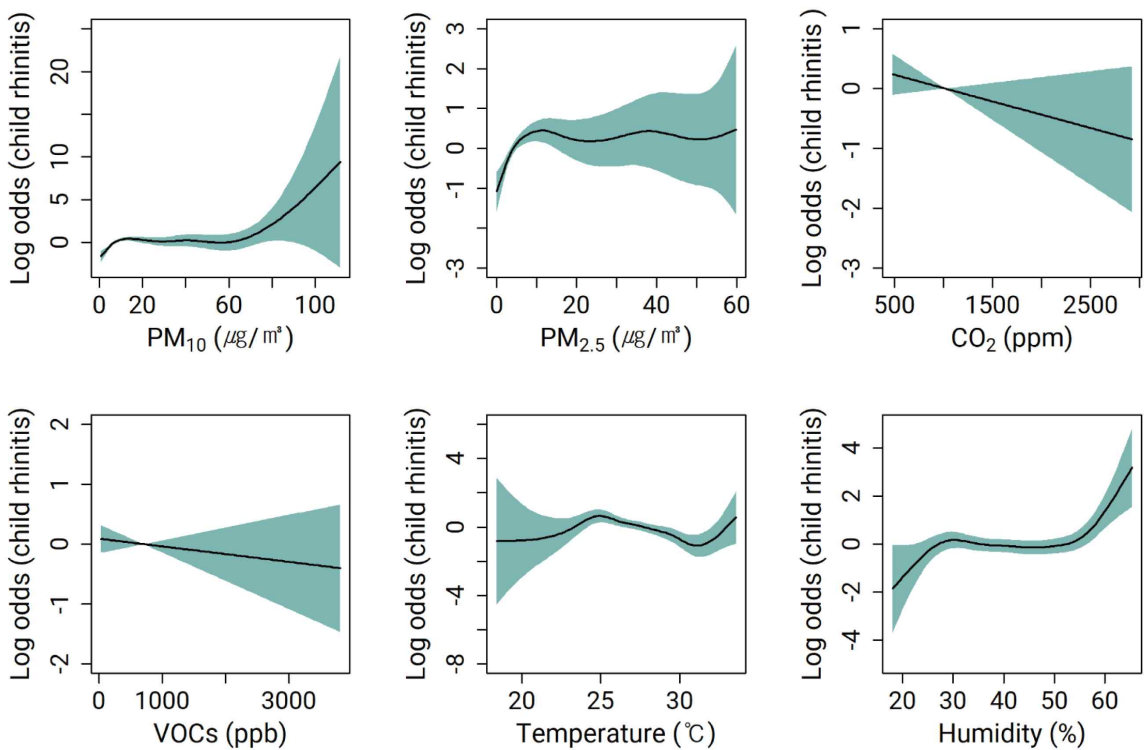


그림 81 실내 공기 질에 따른 어린이 알레르기 비염 증상 발생 위험 변화

5. 연구결과

본 연구는 제로에너지 주택과 일반 주택의 주거환경, 실내 공기 질을 객관적으로 비교하여 제로에너지 건물이 실내 공기 질 개선에 효과가 있는지를 평가하고, 실내 공기 질 개선이 거주자의 쾌적성 및 건강수준에 긍정적인 영향을 미치는지 분석하는 것을 목표로 수행되었다. 각 절의 내용을 요약하면 아래와 같다.

- 제로에너지 주택과 일반 주택의 연구 참여 대상 가구의 인구사회학적 특성을 비교하였을 때, 성인 및 어린이 연령과 소득 수준에서 차이를 보였다. 비교적 최근에 건축된 제로에너지 주택에 비해, 일반 주택의 경우 건축연도가 다양하게 나타났고 평균 거주 기간도 더 길었다. 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 층수가 낮고, 집의 면적이 작고 방의 개수가 더 적었다.
- 두 주택 유형의 거주자들의 실내 공기 질과 관련된 생활습관에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 두 집단의 주거환경 측면에서 가장 두드러진 차이는 조리 시 사용 연료와 환기의 방식(제로에너지 주택: 기계식 환기 + 창문 환기 VS. 일반 주택: 창문 환기)이었다.
- 전반적으로, 제로에너지 주택의 실내 오염물질 농도가 일반 주택에 비해 더 낮았다. 계절의 효과를 보정하고 난 뒤에도 두 집단 간의 차이가 있었다.
- 거주자들이 체감하는 쾌적성과 관련 있는 실내 온·습도는 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 연중 내내 비교적 일정하게 유지되었다. 특히, 제로에너지 주택이 일반 주택에 비해 여름철의 온·습도는 낮고, 겨울철의 온·습도는 높게 유지되었다.
- 주택유형과 관계없이, 가구별 실내 공기 오염물질 발생 행동(방향제, 헤어스프레이 등 사용, 조리 활동 빈도)과 실내 공기 질 개선 노력 행동(환기 빈도, 조리 시 주방후드 사용 등)이 실내 공기 오염물질 농도와 관계가 있었다. 이러한 거주자들의 생활습관 요인들을 고려했을 때, 여전히 제로에너지 주택의 실내 공기 오염물질 농도가 낮게 나타났다. 그러나 이러한 주택 유형의 영향은 통계적으로 유의하지는 않았다.
- 선행연구에서 알려진 제로에너지 주택의 부작용으로서 기계식 환기로 인한 낮은 습도와 이로 인한 눈의 피로, 피부 건조함 등의 증상이 본 조사 결과에서도 나타났다. 그러나 일반 주택 거주자들과 비교했을 때 증상 발생률의 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. 실내 공기 질과 관련 있는 두통, 불면증 등의 다른 증상들도 양 집단 모두에서 보고되었으나, 실내 생활뿐만 아니라 다른 요인들의 영향을 배제할 수 없어 통계적인 비교 분석에서는 제외하였다.
- 높은 실내 환기율이 알레르기 증상의 위험을 낮추는 것으로 알려진 바 있으며, 본 조사 결과에서도 성별, 연령, 질병력 등을 보정했을 때 제로에너지 주택의 어린이의 알레르기 비염, 아토피 피부염 증상 발생률이 일반 주택에 비해 낮게 나타났다. 다만 성인의 경우 두 집단 간 알레르기 질환의 의사 진단 경험률의 차이로 비교에 한계가 있었다.
- 제로에너지 주택의 거주자들이 일반 주택 거주자들에 비해 실내 공기 질에 대한 만족도, 수면 만족도가 더 높았다. 반면 실내 습도 만족도는 두 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았다.
- 실내 공기 오염물질인 PM10, PM2.5, CO2, VOCs와 실내 온·습도가 거주자들의 일별 증상 발생 위험과 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 특히 실내 환기와 밀접한 관련이 있는 CO2가 증가하면 성인 눈의 피로도, 감기 증상, 알레르기 비염, 아토피 피부염 증상 위험도 증가하는 것으로 나타났다.
- 위의 결론을 종합할 때, 제로에너지 주택이 일반 주택과 비교해 실내 공기 오염물질 저감에 효과적이며, 실내 공기 질 개선이 개인별 증상 발생 위험도 감소와 관련이 있음을 고려할 때, 제로에너지 주택의 실내 공기 질 개선이 제로에너지 주택 거주자들의 건강에도 긍정적으로 작용한다고 볼 수 있다. 또한, 선행연구에서 언급된 기계식 환기로 인한 건조함, 눈의 피로와 같은 건강 부작용들이 본 조사에 참여한 대상자들을 통해 보고되기는 하였으나, 일반 주택과 비교했을 때 그 차이가 유의하지 않았다.

6. 연구의 한계점 및 의의

본 연구는 다음과 같은 한계점을 지닌다.

- 거주자들의 건강수준의 평가가 대상자의 기억에 의존하였기 때문에 이로 인한 편향이 존재할 수 있다. 또한 의사 진단이 아닌 주관적 증상에 기반하였기 때문에 사회적 편익비용 산출에 한계가 있다.
- 제로에너지 주택의 실내 공기 질 개선 효과와 거주자 쾌적성 및 건강수준의 보다 객관적인 평가를 위해, 대조군을 함께 조사하였으나, 성인, 어린이 대상자의 연령과 소득 수준 측면에서 두 집단에 차이가 존재하였다. 또한 참여대상자 모집 과정에서 가능한 만성질환이 있는 경우는 배제하고자 하였으나, 대상자 모집의 어려움으로 인해 일부 만성질환자들이 두 집단 간 불균형하게 포함되었다. 알레르기 질환이 있는 경우 연구 참여 대상으로 포함되었지만, 제로에너지 주택의 성인 알레르기 비염 환자가 두 배 많았던 점이 두 집단 간 비교 결과 해석 시 유의해야할 부분이다.
- 거주자들의 장기적인 삶의 질 변화 측정을 위해 SF-36 설문도구를 사용하였으나, 조사 시기별, 주택 유형별 비교 결과 유의한 차이가 없었다. 이는 연구 기간(1년)이 장기간 변화를 추적하기에 짧았던 점, SF-36 설문도구가 주거 환경과 관련된 삶의 질을 평가하는데 적합하지 않았기 때문인 것으로 유추된다.

그럼에도 불구하고, 본 연구가 가지는 의의는 다음과 같다.

- 주거환경, 실내 공기 질, 거주자의 건강 간의 복잡한 상호작용을 정량적으로 분석하고 평가하였다.
- 제로에너지 건축물의 건강영향에 대한 평가 연구는 전 세계적으로 매우 드물고, 특히 본 연구와 같이 장기간(1년 이상)에 걸쳐 반복적으로 조사한 자료는 전무하다는 점에서 의의가 있다.
- 선진국에 비해 아직까지 우리나라는 제로에너지 건축물 도입 단계에 있다는 점에서, 국내 최초로 완공되어 실제 거주자가 입주 중인 노원 EZ 하우스의 실내 공기 질 개선 효과와 이로 인한 거주자 쾌적성 및 건강수준에 대한 평가를 통해 국내 제로에너지 건축물 확대 도입의 근거로 활용할 수 있다.

7. 후속 과제 연계 필요성

- 본 연구의 성과로 도출된 거주후 평가 설문 및 건강영향평가 시스템 설문 도구는 총 50세대 (제로에너지 25세대, 일반주택 25세대)를 대상으로만 활용성을 검증하였으며, 이 도구의 신뢰도와 정확도에 대한 지속적 실증 검사 및 연구 확대를 위하여 더 많은 표본을 대상으로 하며, 더 다양하게 활용될 수 있도록 도구 상용화 (어플리케이션 개발 등) 작업이 이루어 질수 있는 지속적인 연구 진행이 필요하다. (개인정보 보호법에 의거하여 현재 진행된 설문 Law Data 에 대한 보안유지 필요)
- 또한 본 연구를 통해 제로에너지 주택이 일반주택 대비 높은 쾌적성과 적은 질병발생률을 유발하는 결과를 보였으나 실제 비용으로 치환하여 경제적 효과를 도출하는 후속 연구가 필요하다. (제로에너지 주택 보급 확산으로 가정 내 공기질 개선으로 인한 질병 부담 감소 효과와 질병부담 감소로 절감된 비용 산출 필요)
- 질병부담 감소 효과와 절감된 비용 산출을 위해서는 조금더 큰 집단의 연구대상이 필요하여 연구를 진행함으로써 일반화 하는 것이 필요하다. (표본 수 증가를 통한 연구 진행으로 질병 부담 산출 필요)
- 또한 질병 부담 감소로 절감된 비용은 직접 의료비와 간접 의료비(질병으로 인해 감소된 생산성의 가치 등)에 대한 분석이 필요하며, 이러한 경제적 비용 산출을 위해서는 건강보험심사평가원 자료 등을 이용한 추가적 자료 분석이 필요하며 이 연구 또한 후속 연구로서 기획하여 표본 집단을 넓히고, 심화된 연구 진행이 필요하다.

연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1. 연구 수행 결과
2. 목표 달성 수준
3. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도
4. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 (요약)

◆ 연구개발성과 달성정도 (질적성과, 양적성과)

[세부과제 1] 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술개발 및 적용 연구

핵심 연구개발 목표	질적 성과 달성 정도	양적 성과 달성 정도	달성도
제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출	의견수집을 통한 최우선 성능저하요인 도출	• 자문회의 1건 • 현장공법 1건 • 정책제안 1건 • 운영매뉴얼 (추가)	100%
제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 적용	현장 모니터링(만족도 조사)를 통한 기술 안정화 검증		100%

[세부과제 2] 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구

핵심 연구개발 목표	질적 성과 달성 정도	양적 성과 달성 정도	달성도
제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	국제적 기준 준용 체계적 분류 체계 적용	• 자문회의 1건 • S/W 1건 • DB 1건 • 논문 1건	100%
제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 테스트 시행 및 DB 구축	활용가능한 평가도구로(스프레드시트) 유효 설문 데이터 40건 이상 확보		100%

[세부과제 3] 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구

핵심 연구개발 목표	질적 성과 달성 정도	양적 성과 달성 정도	달성도
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	실내환경 측정 관련 활용 가능한 도구 개발 (실시간 확인 가능 모바일 활용)	• SCI 논문 1건 • 보고서 1건 • S/W 2건 • DB 2건 • 국제 학술발표 1건 (추가) • ESCI 논문 1건 (추가) • 언론 홍보 2건 (추가)	100%
제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	측정 도구를 활용한 테스트 시행 및 유효한 50세대의 설문 데이터 확보		100%
제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	실내환경 측정값과 거주자의 쾌적성 간 상관관계 확인		100%
제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템 개발	일반주택 대비 제로에너지 공동주택의 환경적 성능 검증		100%

연구개발과제의 차별성 및 파급효과 (요약)

◆ 연구개발성과의 차별성

제로에너지 주택의 **정량적 성능 검증**과 거주자의 주거환경에 대한 **정성적 평가**가
동시에 이루어진 **국내 최초의 연구**



제로에너지 주택의 실내환경 우수성

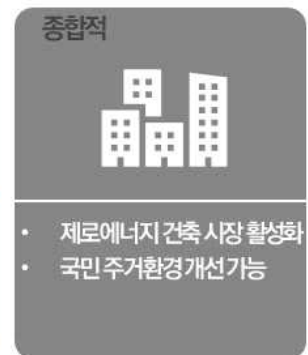
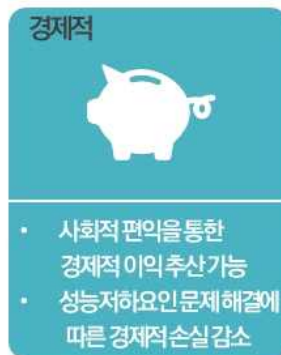


실제 거주자들의 의견을 바탕으로 성능저하요인 개선



1년간 지속적 소통을 통해 평가 및 측정 진행

◆ 연구개발성과의 파급효과 및 활용방안



연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1. 연구수행 결과

1.1 성과점검기준표 (연구개발계획서, 연차실적계획서)

구분	핵심 성과물 (CTE)	단위 성과물	성과점검기준							양적성과 현황		
			질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	해당 기관	목표치	달성치	가중치
주관	A 제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	A-1 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 관련 항목 분류 및 구성	① 국토교통부 제로에너지 가이드라인 내 기술 분류 및 국제적 기준 준용	국토교통부 가이드라인 및 국제적 기준에서 제시한 기술요소 항목 통합하여 제시	-	국내외 관련 기술 분류 기준 비교	개발 평가도구에 분류기준 적용	5	명지 대학교	S/W : 1 건	-	20
		A-2 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구 보완 및 정립	① 제로에너지 공동주택 적용 기술요소 체계적 분류	국토교통부 가이드라인 내 제로에너지 기술요소 3단계로 분류 (대분류, 중분류 세부항목 등)	-	보완 전후 단계의 평가항목 비교표 작성	자문회의를 통한 단계별 보완과정 DB에 포함	5		자문회의 : 1건		2
		A-3 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 도구 개발	① 제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 Sheet 개발	실제 제로에너지 공동주택에 활용 실험 가능하도록 엑셀 스프레드시트 형태로 개발	-	평가지표를 활용한 스프레드시트 S/W개발	개발된 평가 Sheet 제출 및 테스트시 활용	5				
	B 제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	B-1 제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿테스트 진행	① 제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구를 활용한 테스트 시행	각 15세대 이상 평가진행을 통한 테스트 결과데이터 확보	-	실제 거주자 대상 평가도구를 활용한 파일럿테스트 시행	테스트 결과를 기반으로 논문 작성	5	명지 대학교	논문(비SCI) : 1건	-	8
		B-2 제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 거주 후 평가 파일럿테스트 DB수집	① 제로에너지 공동주택과 일반 주택의 거주 후 평가 설문 데이터 확보	비교 분석이 가능한 15건 이상의 유효 설문 데이터 확보	-	거주 후 평가 설문 코딩 정리	통계 분석 raw DB 제출 및 논문 내 반영	5		DB : 2건	-	7
		B-3 제로에너지 공동주택과 일반주택 대상거주 후 평가 결과 분석	① 제로에너지 주택과 일반 주택간의 거주 평가 결과 만족도 차이 분석	평가 데이터를 활용하여 만족도 통계분석 진행 및 유효한 결과값 도출	-	파일럿테스트 데이터를 활용한 통계시뮬레이션 수행	통계분석 결과에 따른 논문 작성	5				
	C 제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출	C-1 제로에너지 공동주택 적용기술요소 관련 의견 수집	① 제로에너지 공동주택 적용기술요소에 대한 성능 검증	적용기술 관련 의견 수집을 통해 기술요소 개선 필요 순위별 나열	-	적용기술요소 관련 민원 및 AS데이터 확인	수집 데이터 자문회의의 자료로 활용	5	명지 대학교	자문회의 : 1건	-	3
		C-2 제로에너지 공동주택	① 성능저하요인 중요도에	적용기술요소 중 최우선 개선필요	-	자문회의의 1건	자문회의를 통한 자료	5				

			성능저하요인 중 최우선 개선필요항목 선정		다른 순위별 도출	요소 선정 및 개선 기대효과에 대한 자문 검증			제출					
D	제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 적용	D-1	제로에너지 공동주택 성능저하요인에 대한 성능개선 기술 개발	①	성능저하요인에 대한 성능개선 기술 개발	성능개선기술 적용에 대한 시뮬레이션으로 개선 효과 보장 데이터 제시	-	성능저하요인 원인 분석과 효과 예상 분석 정리	분석 자료에 대한 중간 보고서 제출	5	명지대학교	공법(적용) : 1건	-	3
		D-2	개발된 성능개선 기술 현장적용	①	개발된 기술 현장적용을 통한 성능 개선 검증	성능개선기술 현장 적용 후 일정기간 동안 정상 운영가동 점검	-	현장 적용 사진촬영 및 적용 공법 정리	적용 공법 자료 제출	5		보고서 : 1건		3
		D-3	성능개선기술 현장 적용 후 모니터링 보완 및 효과 검증	①	성능 개선기술 현장 적용 후 모니터링을 통한 기술 안정화	성능개선기술 적용을 통한 만족도 상승 여부 거주자 대상 설문 평가 진행으로 효과 검증	-	거주 후 평가를 통한 개선기술 적용 전후 비교 정리	모니터링 DB 및 효과에 대한 거주 후 평가 의견 적용한 최종보고서 제출	5		정책제안 : 1건		7
주관 공동	E 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	E-1	실내환경과 거주자 쾌적성 평가를 위한 계획 및 측정요소 정립	①	실내환경 측정 관련 문헌 분석 및 조사를 통한 요소 정립	실제 공동주택 대상 파일럿테스트 진행시 정립된 측정요소 활용하여 진행	-	체계적 측정 요소 정립	정립된 측정요소 S/W에 적용	5	명지대학교 성균관대학교	S/W : 1건	-	10
		E-2	주거쾌적성 측정도구 개발	①	파일럿테스트시 거주자들이 활용가능한 도구 개발	파일럿테스트 대상 거주자 대상 개발된 도구 보급 및 측정 데이터 확보	-	파일럿테스트 진행시 활용	측정을 위한 웹사이트 설문 도구 S/W 개발 및 활용	5				
주관 F	제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	F-1	제로에너지 공동주택 및 일반주택 대상 실내환경 측정 파일럿 테스트 진행	①	측정도구를 활용한 파일럿테스트 시행	개발된 도구를 활용하여 각 15세대 이상 테스트 결과데이터 확보	-	거주 후 평가를 진행한 동일 대상 실내환경 측정 진행	테스트 결과를 기반으로 정책제안	5	명지대학교	DB : 2건		5
		F-2	제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 실내환경 측정 DB 구축	①	제로에너지 공동주택과 일반주택의 실내환경 측정 데이터 확보	비교 분석이 가능한 15건 이상의 유효 설문 데이터 확보	-	측정체계에 따른 기간별 실내환경 DB 수집	실내환경 측정 raw DB 제출	5				
공동 G	제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	G-1	계절별 실내환경 측정값과 거주자의 주거쾌적성 영향요인 분석	①	실내환경의 측정값과 거주자의 주거쾌적성간의 영향요인 확인	분석 데이터를 통한 통계 분석으로 실내환경 측정값과 거주자 쾌적성간 유효한 연관성 값 제시	-	실내환경 측정값과 거주자 주거쾌적성간의 상관성 통계분석	상관성 분석 결과를 반영한 논문 제출	5	성균관대학교	논문(SCIE 급) : 1건	-	10
		G-2	제로에너지와 공동주택과 기존 일반주택의 주거형태에 따른 거주자의 쾌적성 영향요인 비교 분석	①	제로에너지 공동주택과 일반주택의 실내환경 차이에 따른 거주자의 쾌적성 체감효과 확인	제로에너지와 일반주택 측정 분석 데이터를 통한 분석값 비교하여 제로에너지 공동주택의 체감 효과 객관적으로 제시	-	제로에너지공동주택의 분석값과 일반주택의 분석값 비교 분석	상관성 분석 결과를 반영한 논문 제출	5				

H	제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용가능한 주거환경평가시스 템 개발	H-1	거주자 쾌적성에 영향을 미치는 요인 정의와 정량화	①	거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 영향요인에 대한 정량화	거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요소에 대하여 통합하고 영향요인에 대한 자체적으로 정의하여 제시	-	국외 선행연구와 문헌조사를 통한 영향요인 정량화 분류	영향요인 정의 및 정량화 보고서 내 적용	5	성균관 대학교	보고서 1건	-	5
		H-2	주거형태에 따른 사회적 편익 비용 산출	①	주거환경평가시스템을 통한 사회적 편익 비용 산출로 도구 활용성 검증	개발된 주거환경평가시스템 활용하여 제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 사회적 편익 비용 산출 및 비교 데이터 제시	-	국외 선행연구와 문헌조사를 통한 알고리즘을 활용하여 비용편익 산출	비용편익 산출 내용 보고서 내 적용	5		S/W : 1건	-	7
		H-3	주거형태에 따른 종합 주거환경평가 도구개발 및 검증	①	일반주택 대비 제로에너지 공동주택의 경제적, 환경적 성능·효과 검증 및 주거환경평가 도구 개발	일반주택 대비 제로에너지 공동주택 분석값 비교를 통한 주거환경평가 도구 활용성 검증 및 제로에너지 공동주택 거주성 입증	-	활용 가능한 시스템 도구 S/W로 개발	주거환경평가 시스템 특허 출원 및 S/W 개발	5		특허등록 : 1건	-	7
		계			-	-	-	-	-	-	100	-	특허 등록 1건 논문(BISCI) : 1건 논문(SCIE) : 1건 S/W : 3건 보고서 : 3건 자문회의 : 2건 DB : 4건 공법(적용) : 1건 정책제안 : 1건 -	

1.2 정성적 연구개발성과 (질적 성과지표)

핵심성과물	세부 연구개발 목표	질적성과지표	목표 달성 및 검증 방법
○ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구			
제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	거주 후 평가 관련 기반 조사 및 보완	-국토교통부 제로에너지 가이드라인 내 기술분류 및 국제적 기준 준용	-15건 이상의 문헌 분석을 통한 평가 요소 구성
	거주 후 평가도구 개발	-제로에너지 공동주택 적용 기술요소 체계적 분류	-국토교통부 가이드라인 내 제로에너지 기술요소 기반 3단계로 체계적 구성 (대분류, 중분류, 세부항목)
제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	평가 대상 선정	-제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구를 활용한 테스트 시행	-실제 공동주택에 활용 가능하도록 엑셀 스프레드 시트 형태로 테스트 도구 개발
	거주 후 평가 진행	-비교 분석이 가능한 15건 이상의 유효 설문 데이터 확보	-비교분석이 가능한 40건 이상의 유효 설문 데이터 확보
	거주 후 평가 DB 수집 및 분석		
○ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술개발 및 적용 연구			
제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출	성능 관련 의견 취합 분석	-적용기술 관련 의견 수집을 통해 가장 최우선 성능저하요인 도출	-적용기술요소 관련 민원 및 AS 데이터 확인 결과 급탕 관련 사항이 최우선요소로 선정
	성능저하요인 도출 및 개선 필요 요인 선정	-최우선 개선필요요소 선정 및 개선 기대효과에 대한 자문 검증	-설비 전문 위원 대상 자문회의의 진행을 통해 성능 저하 원인 분석 및 해결방안 제시
제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 적용	성능개선기술 개발	-성능개선기술 적용에 대한 시뮬레이션으로 개선 효과 보장 데이터 제시	-성능저하요인 원인 분석과 효과 예상 분석 정리
	성능개선기술 현장적용	-개발된 기술 현장 적용을 통한 성능 개선 검증	-거주 후 평가 만족도 설문을 통한 기술 만족도 검증
	모니터링을 통한 보완 및 평가	-모니터링을 통한 기술 안정화 검증	
○ 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구			
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	실내환경 측정 관련 조사 시행	-실내환경 측정 관련 문헌 분석 및 조사를 통한 요소 정립	-문헌분석, 영국의 주거환경영향평가 요소를 바탕으로 측정 계획 수립
	실내환경 측정체계 설정 및 주거쾌적성 측정도구 개발	-파일럿 테스트시 거주자들이 활용가능한 도구 개발	-모바일 설문 도구 개발 및 거주자들이 확인 가능한 에어가드K 기기 활용 측정 진행
제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	측정 대상 선정 및 설치	-측정 도구를 활용한 파일럿테스트 시행	-개발된 도구를 활용하여 총 50세대의 테스트 결과 데이터 확보
	계절별 실내환경 측정 진행	-제로에너지 공동주택과 일반주택의 15건 이상의 유효 데이터 확보	
	측정값 DB 수집		
제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	측정데이터와 거주자의 쾌적성간의 연관성 분석	-실내환경의 측정값과 거주자의 주거 쾌적성간의 영향요인 확인	-실내환경 측정값과 거주자 주거 쾌적성 설문 값의 상관관계 통계분석 (연구결과 참고)
	주거형태에 따른 영향요인 비교 분석	-실내환경 차이에 따른 거주자의 쾌적성 체감 효과 확인	-일반 주택 대비 제로에너지 주택 연구 참여자 설문의 만족도가 높은 결과 도출
제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템 개발	거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인들 정량화 및 비용편익도구 개발	-거주자의 쾌적성 영향을 미치는 영향요인에 대한 정량화	-그래프화, 정량화를 통한 일반주택 대비 제로에너지 공동주택의 거주성, 환경성 입증
	파일럿 test DB를 활용한 제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인에 대한 사회적 편익 산출	-일반주택 대비 제로에너지 공동주택의 환경적 성능 검증 도구 개발	-본연구에서 도출된 쾌적성 영향요인 분석 및 주거환경영향평가 설문 도구는 타 주택에서도 활용가능하도록 설문 S/W로 개발됨

1.3 정량적 연구개발성과

핵심성과물	세부 연구개발 목표	평가목표 및 착안점	가중치	정량적 성과	
				목표치	달성치
○ 제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구					
제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	거주 후 평가 관련 기반 조사 및 보완	국토교통부 제로에너지 가이드라인 내 기술분류 및 국제적 기준 준용 파일럿테스트에 활용가능한 스프레드 시트 SW 개발	15	자문회의 1건 SW 1건	자문회의 1건 SW 1건
	거주 후 평가도구 개발				
제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	평가 대상 선정	개발된 평가도구를 활용한 테스트 시행 제로에너지 주택과 일반주택 대상 평가 결과 DB 통계시뮬레이션 수행을 통한 분석	10	DB 1건 논문 1건	DB 1건 논문 1건 (게재예정)
	거주 후 평가 진행				
	거주 후 평가 DB 수집 및 분석				
○ 제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선기술개발 및 적용 연구					
제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출	성능 관련 의견 취합 분석	적용기술요소 관련 의견수집 및 전문가 자문을 통한 객관적 저하요인 선정	10	공법 현장적용 1건 자문회의 1건	현장적용 1건 자문회의 1건
	성능저하요인 도출 및 개선 필요 요인 선정				
제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 적용	성능개선기술 개발	성능저하요인에 대한 기술적 해결 보장 및 모니터링을 통한 효과 검증	15	정책제안 1건 보고서 1건	정책제안 1건 보고서 1건
	성능개선기술 현장적용				
	모니터링을 통한 보완 및 평가				
○ 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구					
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	실내환경 측정 관련 조사 시행	체계적 실내환경 측정 요소 정립 파일럿테스트시 거주자들이 활용가능한 쾌적성 측정도구 개발	10	SW 1건	SW 1건 학술발표 1건(추가)
	실내환경 측정체계 설정 및 주거쾌적성 측정도구 개발				
제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	측정 대상 선정 및 설치	거주 후 평가를 진행한 동일대상 실내환경 측정 진행 및 DB 종합하여 객관적 분석	10	DB 2건	DB 2건
	계절별 실내환경 측정 진행				
	측정값 DB 수집				
제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	측정데이터와 거주자의 쾌적성간의 연관성 분석	실내환경 측정값과 거주자 주거쾌적성간의 상관성 통계분석 진행	15	논문(SCIE) 1건	논문(SCIE) 1건 언론보도 3건 (추가)
	주거형태에 따른 영향요인 비교 분석				
제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템 개발	거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인들 정량화 및 비용편익도구 개발	제로에너지 공동주택과 일반주택 대상 사회적 비용 산출 비교 분석 추후 활용 가능 하도록 도구 Sheet 개발	15	특허등록 1건 S/W 1건 보고서 1건	논문(ESCI) 1건 (특허등록 대체) S/W 1건 보고서 1건
	파일럿 test DB를 활용한 제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인에 대한 사회적 편익 산출				

1.4 연차별 정량적 연구성과 목표 및 달성치

구분		목표치			계 (목표치/달성치)
		1차년도	2차년도	3차년도	
논문 게재	비SCI			1	(1/1)
	SICE		1	1	(1/2)
특허출원	국내		1		(1/0)
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	1	1	1	(3/3)
	기술 개선 공법		1		(1/1)
	소프트웨어	2	1		(3/3)
	기술 DB	2	2		(4/4)
기타	자문회의	2			(2/2)
	정책제안		1		(1/1)
	언론보도				(0/3)
	학술발표				(0/1)

1.5 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Effects of mechanical ventilation on indoor air quality and occupant health status in energy-efficient homes: A longitudinal field study	Science of the Total Environment	Ah-young Lim	785	ELSEVIER	SCIE	2021.09	00-48-9697	
2	Field-based longitudinal study design for measuring the association between indoor air quality and occupant health status in residential buildings	MethodsX	Ah-young Lim	101426	ELSEVIER	SCIE	2021.10	-	
3	제로에너지 공동주택 거주자 만족도 분석을 위한 평가체계 제안	대한건축학회	김현아	-	대한건축학회	비 SCIE	게재예정	-	

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	32 nd Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (2020년 국제 환경역학학회례 학술대회)	Indoor air quality and health of occupants in energy efficient residential buildings	임아영	2020.08.24	-	-

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	작성 기관
1	2020	제로에너지 공동주택 성능 검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구	2020.12	성균관대학교 의과대학 사회의학교실
2	2020	노원 EZ하우스/ 제로에너지 주택 실증단지 지열시스템 개선 공사 보고서	2020.09	신성엔지니어링

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	주거환경 및 건강영향조사	2019.10	성균관대학교 의과대학 사회의학교실	2019.10-2020.10	Survey Monkey 등록 (사용 라이선스 만료)	성균관대학교 의과대학 사회의학교실	
2	건강수준과 삶의 질	2019.10	성균관대학교 의과대학 사회의학교실	2019.10-2020.10	Survey Monkey 등록 (사용 라이선스 만료)	성균관대학교 의과대학 사회의학교실	
3	제로에너지 공동주택 거주 후 평가	2019.10	명지대학교 산학협력단	2019.10-2020.12	Survey Monkey 등록 (사용 라이선스 만료)	명지대학교 산학협력단	

*연구 종료에 따른 S/W 사용 라이선스 만료로 인해 설문 문항만 보유함.(스프레드시트 형태) 추후 S/W 재이용시 결제 후 이용 가능 (Survey Monkey)

[경제적 성과]

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	지열설비시스템 성능저하요인 개선 공사	2020.05.06.	신성엔지니어링	명지대학교 산학협력단	노원 에너지제로주택

[사회적 성과]

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	정책제안	지열설비 시스템 시설 및 설비기준 관련 통합발주 제안	국토교통부 주택건설공급과	2020	(제안) 현재 지열공사는 분산 발주가 되고 있으나, 제로에너지 공동주택의 경우 시스템의 안정 적인 제어 및 운영을 위하여 통합발주가 표준 으로 시설 기준에 채택되어 시설 운영 및 자 동제어의 체계성 일관성 향상이 필요함

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	언론보도	khan (냉난방공조 신재생 녹색건축 전문 저널)	ZEH, 일반주택 대비 재실자 건강보호 '효과'	2021.05.31
2	언론보도	명지뉴스	명지대 IT&제로에너지 건축센터, 제로에너지 주택 거주 효과 입증 연구 결과 발표	2021.05.15
3	언론보도(국외)	The Academic Times	Energy-efficient housing hosts healthier air in the long term	2021.05.23

[그 밖의 성과]

번호	성과명	성과내용	작성일
1	지열설비시스템 운영매뉴얼 제작 및 배포	시스템 구성과 설명 및 자동제어 관련 매뉴얼 작성하여 관리실 배포	2020.09

2. 목표 달성 수준

2.1 연구개발목표별 달성내용 및 달성도

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	·1차년도에 목표 달성 완료 ·양적 성과 목표인 S/W (거주 후 평가 스프레드시트) 개발 ·관련 전문가 대상 자문회의의 진행을 통해 일반주택 거주 후 평가 체계 보완	100%
제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	·제로에너지 주택 25세대, 일반주택 25세대 연구 참여세대 선정 완료 후 1차 테스트 진행 ·성능저하요인을 도출하여, 개선 공사를 진행하고 그 이후 2차 거주 후 평가 테스트 진행 완료를 통해 정량적 성과 목표인 DB 수집 완료 ·일반주택 같은 경우 거주 후 평가 결과가 의미가 무의미하여 제로에너지 주택 결과를 바탕으로 분석 진행 (공사 전후 효과 분석에 유의미)	100%
제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출	·1차로 진행된 거주후 평가와 운영 기간동안 수집된 민원 자료 등 분석을 통해 성능저하요인 선정 완료 (지열시스템) ·전문가 자문회의를 통한 제로에너지 공동주택 성능 저하 요인인 지열설비시스템에 대한 원인 분석 및 개선 방향 설정	100%
제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 적용	·성능저하 원인 분석을 통한 개선 방안 도출 및 현장 적용 계획 수립 ·정량적 성과 (개선공사를 위한 공법 1건, 정책제안 1건) 달성 완료 및 운영 매뉴얼 작성을 통한 추가 성과 달성 ·2차 거주 후 평가를 통해 개선기술에 대한 만족도 분석 (매우 만족)	100%
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	·실내환경 평가 체계 및 평가 모델, 쾌적성 평가 설문 도구를 활용하여 2차년도 조사 수행 완료 ·분기별 주거환경 및 건강영향조사, 주1회 주간 건강영향평가 설문 진행 (총 50주) ·평가기법 관련하여 논문(ESCI) 작성 후 게재 완료	100%
제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	·환경부 1등급 인증 에어가드K 를 활용하여 연구참여세대 (50세대) 의 주거환경 실측 (5분간격으로 데이터 축적) ·약 1년간의 실내환경 측정 데이터 DB 구축 완료 및 일반주택과 제로에너지 주택 실내환경 비교 분석 완료	100%
제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	·실내환경과 거주자 쾌적성간 상관관계 분석 모델 구축, 두 집단(제로에너지 주택과 일반주택)간의 차이 비교를 위한 통계적 모형 구축 완료 ·인구사회학적 특징, 물리적 거주 공간 특징, 그리고 실내 공기질 요소별로 비교 분석하여 제로에너지 공동주택의 실내환경 이점과 환경성 입증 완료 ·제로에너지 주택의 실내공기질이 더 좋았으며, 거주자의 만족도 측면에서도 실내 공기 질 만족도, 습도 만족도, 수면 만족도가 높았음.	100%
제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용가능한 주거환경평가시스템 개발	·거주자 쾌적성 영향요인 분석 결과를 바탕으로 본 연구에서 활용한 평가기법을 일반주택과 다른 제로에너지 주택에서 활용 가능 할수 있도록 검증함 (실제 테스트베드 노원 에너지제로 주택을 대상으로 파일럿 테스트 진행) ·평가 기법과 평가 결과를 바탕으로 SCI 논문, ESCI 논문 게재 완료	100%

2.3. 목표 미달 시 원인분석

2.3.1 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

목표 미달 항목 (1건)

- 제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구 성과 특허 등록 1건 목표 미달

연구내용	목표치	달성치
제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템 개발	특허등록 1건	논문(ESCI) 1건으로 대체

목표 미달 원인(사유) 자체분석

- 본 연구과제에서는 제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템, 쾌적성 영향요인 분석 방법 등을 연구 초반에 수행하여, 해당 내용을 바탕으로 실측 및 분석을 진행하는 프로세스임
- 이에 관련 내용 (쾌적성 영향요인 분석 방법론, 연구 진행에 따른 측정 데이터 바탕으로 측정 결과 분석) 으로 SCI 논문을 작성하여 게재하였음
- 이후 특허 등록을 진행하려 하였으나, 성균관대학교 산학사업팀 및 특허 담당 변리사를 통해 특허 등록은 논문, 학회 발표 등으로 발표한적이 없는 내용이어야 등록 가능하여 해당 사항은 특허등록 진행이 어렵다고 답변을 받음

2.3.2 자체 보완활동

목표 미달 사항에 대한 자체 보완 활동

- 특허 등록을 진행하려 했던 내용은 제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능하며, 본 연구에서 계획하였던 연구 방법론에 기반한 주거환경평가시스템에 대한 내용임
- 특허 등록이 불가하게 되어 해당 내용 (연구 방법론)을 중심으로 논문 투고 및 게재 완료함
- 특허 등록은 불가하게 되었으나, 게재된 논문은 국외 Elsevier에서 운영하는 저널로 ESCI에 등재되어 있는 유명한 저널로 본 연구의 방법론에 대한 내용으로 게재되어 특허 등록 대신 논문 게재로서 본 연구의 우수성을 국제적으로 알리며, 객관적으로 성과를 검증받는 과정으로 자체 보완활동을 수행함

2.3.3 연구개발 과정의 성실성

연구개발 과정의 성실성

연구개발 과정의 특수성	특수성에 따른 조율(해결) 과정
학술적 연구가 아닌 실제 연구참여자 모집을 하고, 피드백으로 데이터를 취합함	연구참여자 모집 공고 2회, 모집 기간 2회 연장
실제 거주자의 주거환경을 개선하는 공사로 거주자와의 조율, 협의 과정이 많았음	공사 보류 2회, 공사 기간 협의 회의 3회
총 50세대의 연구참여자, 주 1회의 설문을 50주동안 이끌어 나가며 데이터의 손실이 발생되지 않도록 지속적으로 참여를 독려함	중도 포기자 1세대, 여행 또는 부득이한 사정으로 인해 설문 누락시 재 설문 진행 등
제로에너지 공동주택이라는 특수성으로 적용 기술요소에 대한 만족도 설문 진행시 1:1 인터뷰로 설명을 진행함	50세대 연구참여자 대상 1:1 인터뷰 진행 (약 2주 소요)
연구 참여시, 공사 진행시, 공사 진행 이후 등 약 1년간 지속적인 소통을 통해 원활한 설문, 인터뷰, 평가 진행	민원 대응, AS 대응, 1년간 설문 데이터 모니터링 등 연구 참여자와 지속적인 소통 진행

3. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

3.1 현재 기술 개발 현황 및 본 연구개발성과의 기여 정도

구분		현재 기술 개발 현황	본 연구과제 기술개발 성숙도	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☒	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☒	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

- 2025년 제로에너지 의무화에 앞서 제로에너지 공동주택 관련 분야의 시장은 현재 제로에너지에 대한 기술 개념 정립과 테스트 베드 구축을 통한 실험적 증명단계인 TRL 2-3 단계에 있음
- 본 연구는 현재 제로에너지 공동주택 시범사업 중 완공되어 실제 거주자가 생활하고 있는 노원 에너지제로주택을 대상으로함
- 테스트베드로 구축된 여러 제로에너지 건축물은 실제 이용자들에 대해 만족도 평가가 시행된 적이 없으며 적용된 기술요소에 대한 검증연구가 진행되고 있지 않으며, 정량적인 제로에너지 달성여부만 모니터링 연구를 진행하고 있음. 이에 본 연구는 제로에너지 공동주택 보급 및 국가적 기술력 확보를 위해 정량적 성능 검증과 정성적 평가가 동시에 이루어진 국내 최초의 연구임
- 본 연구 결과에 따라 제로에너지 공동주택의 거주성, 환경성이 입증됨에 따라 지속적인 거주자가 체감 가능한 성능 검증과 제로에너지 공동주택이 일반 주택과 비교하여 거주자에 미치는 영향에 대한 다양한 연구가 시급함
- 본 연구는 기 구축된 제로에너지 공동주택을 대상으로 거주 후 평가와 거주자의 쾌적성에 미치는 영향요인 도출 및 주거환경영향평가 등 성능검증을 위한 신기술을 개발하고, 개발 도출한 기술에 대하여 현장 적용을 통한 활용성 검증까지 완료하여 현재 기술 개발 현황보다 더 나아간 시제품 설치 및 성능시험단계인 TRL 8단계라 할수 있음
- 관련하여 본 연구에서 도출된 제로에너지 주택의 거주성, 일반주택과 비교하여 쾌적한 실내 환경 등은 국제적으로 논문을 통해 검증 되었으므로 향후 제로에너지 주택, 건축물의 보급 확산에 기반 근거로 활용될 수 있음

3.2 본 연구개발성과의 기술적, 사회적, 종합적 기대효과

기술적 파급효과 (기대효과)

- 기 구축된 제로에너지 공동주택에 적용된 기술 검증을 통한 기술 실효성 검토를 통한 관련 기술 안정화
- 제로에너지 공동주택 성능 개선 및 보완을 통해 추후 제로에너지 주택 보급시 국가적으로 검증 및 향상된 기술 보급 가능
- 주거특성에 따라 거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 실내환경 요인을 확인함으로써 주거환경에 대한 표준화된 관리체계 확립 가능
- 실내 환경 측정 및 거주자 쾌적성에 미치는 영향요인 도출을 통해 제로에너지 공동주택의 효과를 입증함으로써 관련 건축 기술 경쟁력 선점

경제적·산업적 파급효과 (기대효과)

- 국내 최초 시범사업으로 구축된 제로에너지 주택 대상 성능 저하요인 도출과 개선기술 개발 및 지속적 모니터링 피드백을 통한 기술력 확보로 제로에너지 관련 기술 시장의 국가적 경쟁력 확보
- 성능 검증을 통한 기술적 핵심요인 및 성능저하 주의요인 도출로 향후 유사 시범사업 시 경제적 손실 감소
- 제로에너지 공동주택 보급에 따른 사회적 편익 비용 산출로 경제적 이익 추산 가능
- 거주자의 쾌적성에 미치는 영향요인과 사회적 편익 비용 산출로 초기 제로에너지 공동주택의 투자비용에 대한 적절성 검토 가능

사회적 파급효과 (기대효과)

- 지속적 거주 후 평가를 통해 정량적·정성적 성능 검증을 수행함으로써 제로에너지 공동주택의 거주성 입증
- 실제 거주자 대상 거주 후 평가를 통해 국내 최초 시범단지 제로에너지 공동주택의 신뢰도 확보
- 거주 후 평가 결과 분석을 통해 주거환경 개선방안을 연구함으로써 실제 거주자의 만족도 확보와 국민 주거환경 개선 가능

종합적 파급효과 (기대효과)

- 제로에너지 공동주택 주거환경에 대한 효과 입증을 통해 국민의 주거환경 개선을 위한 구체적 솔루션 구축
- 제로에너지 건축물에 대한 효과 검증으로 국민 인식 긍정적 전환 및 제로에너지 건축 시장 활성화 촉진
- 기 구축된 제로에너지 공동주택 대상 실내환경 측정을 통한 거주자 쾌적성과의 연관성 분석 및 사회적 비용편익 산출 연구를 통한 제로에너지 공동주택의 환경적·경제적 효과 입증함으로써 기술 확산 및 보급 확대 촉진 가능

4. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

최종성과물		최종성과물 활용방안
제로에너지 공동주택 거주 후 평가 기술개발 및 적용 연구	제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구 개발	-개발된 제로에너지 공동주택 거주 후 평가도구는 실용화를 통한 유사 사업 활용 가능 -거주 후 평가 결과에 따라 제로에너지 공동주택 관련 정책 개발의 근거 제공 -개발된 평가도구를 활용하여 연구 범위 확장을 통한 추가 연구 수행으로 국가적 DB 확보 가능 -정량적 평가와 정성적 평가가 가능한 종합적 제로에너지 공동주택 주거환경 평가 가능 시스템 구축
	제로에너지 공동주택과 일반주택 거주 후 평가 파일럿 test 시행 및 DB구축	
제로에너지 공동주택 성능저하요인 개선 기술개발 및 적용 연구	제로에너지 공동주택 성능저하요인 도출	-제로에너지 공동주택 성능 검증을 통한 성능저하요인 도출로 기술적 핵심요인을 도출함으로써 관련 신산업 창출 -제로에너지 관련 유사 시범사업에 기술 적용 및 보급 가능 -제로에너지 공동주택에 최초로 지열시스템이 적용된 사례를 대상으로 한 연구로서, 향후 유지관리 보수, 운영 관련 추가 연구를 통해 기술 안정화 및 신재생에너지 보급 확대 기반 마련 가능 -성능저하요인 개선기술 개발로 향후 제로에너지 관련 기술 안정화 및 국내 제로에너지 건설시장 활성화 가능
	제로에너지 공동주택 성능개선기술 개발 및 적용	
제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 거주자 쾌적성 영향요인 분석 연구	제로에너지 공동주택 성능검증을 위한 실내 환경과 거주자 쾌적성 평가기법 개발	-국내 일반주택과 제로에너지 공동주택 등 모든 주택 대상 활용이 가능한 주거환경평가시스템(Housing health and safety rating system) 구축 및 실용화를 통한 사업 확대 가능 -본 연구에서 개발한 설문조사 도구를 앱 실용화로 사업 연계하여 다양한 시범사업 적용을 통한 DB 구축 확대 연구 추진 -실내 환경 측정 값 및 질병발생비율 등 정량적 값을 통한 비교를 넘어 경제성으로 치환하여 제로에너지 공동주택의 사회적, 건강적 효과를 비용으로 산출하는 심화 연구 연계 추진 -제로에너지 공동주택과 일반주택의 실내환경 측정 관련 국가적 DB확보 및 활용 가능 -개인정보 문제로 Law Data 공개 및 활용에 대한 한계가 있어 추후 심화된 연구로 연계하여 다양한 연구활동과 연계하여 확대될 수 있도록 활용 예정 -주거환경별 거주자의 주거환경 개선 방안 도출 등 관련 후속 연구 추진 가능 -주거특성에 따른 성능검증을 위해 개발한 실내환경과 거주자 쾌적성 평가기법 실용화를 통한 유사사업 활용 가능 -제로에너지 공동주택과 거주자의 쾌적성에 영향을 미치는 요인 도출을 통한 관련 신산업 창출 가능 -주거환경에 따른 측정 DB 및 영향요인 분석 결과 활용으로 다양한 추가 연구로 확장 가능 -향후 타 제로에너지 주택의 편익 산출을 통한 제로에너지 주택의 경제성 관련 DB 구축 가능 -개발된 제로에너지 공동주택 비용 편익 도구를 활용하여 제로에너지 공동주택 초기투자 비용에 대한 타당성 확보 및 관련 후속 연구 가능
	제로에너지 공동주택과 일반주택 실내환경 측정 파일럿 test 시행 및 DB구축	
	제로에너지 공동주택 거주자 쾌적성 영향요인 도출	
	제로에너지 공동주택과 일반주택에서 활용 가능한 주거환경평가시스템(Housin g health and safety rating system) 개발	

[별첨. 참고문헌]

1. Lucon O., D. Ürge-Vorsatz, A. Zain Ahmed, H. Akbari, P. Bertoldi, L.F. Cabeza, N. Eyre, A. Gadgil, L.D.D. Harvey, Y. Jiang, E. Liphoto, S. Mirasgedis, S. Murakami, J. Parikh, C. Pyke, and M.V. Vilariño, (2014). Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. 김현아, (2019), 제로에너지 공동주택 거주 후 평가체계 개발 연구, 명지대학교 대학원, 용인. Retrieved from <http://www.riss.kr/link?id=T15058112> (국내박사학위논문)
3. Burghelle, B. D., Botoş, M., Beldean-Galea, S., Cucos, A., Catalina, T., Dicu, T., Tenter, A. (2021). Comprehensive survey on radon mitigation and indoor air quality in energy efficient buildings from Romania. *Sci Total Environ*, 751, 141858. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141858
4. Derbez, M., Wyart, G., Le Ponner, E., Ramalho, O., Riberon, J., & Mandin, C. (2018). Indoor air quality in energy-efficient dwellings: Levels and sources of pollutants. *Indoor Air*, 28 (2), 318-338.
5. Wallner, P., Munoz, U., Tappler, P., Wanka, A., Kundi, M., Shelton, J. F., & Hutter, H. P. (2015). Indoor Environmental Quality in Mechanically Ventilated, Energy-Efficient Buildings vs. Conventional Buildings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (11), 14132-14147.
6. Burghelle, B. D., Botoş, M., Beldean-Galea, S., Cucos, A., Catalina, T., Dicu, T., Tenter, A. (2021). Comprehensive survey on radon mitigation and indoor air quality in energy efficient buildings from Romania. *Sci Total Environ*, 751, 141858. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141858
7. Derbez, M., Berthineau, B., Cochet, V., Pignon, C., Riberon, J., Wyart, G., ... Kirchner, S. (2014). A 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses. *Building and Environment*, 82, 288-299. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000346543500028
8. Mickael, D., Bruno, B., Valerie, C., Murielle, L., Cecile, P., Jacques, R., & Severine, K. (2014). Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. *Building and Environment*, 72, 173-187.
9. Carrer, P., Wargocki, P., Fanetti, A., Bischof, W., De Oliveira Fernandes, E., Hartmann, T., Seppänen, O. (2015). What does the scientific literature tell us about the ventilation-health relationship in public and residential buildings? *Building and Environment*, 94, 273-286. doi:10.1016/j.buildenv.2015.08.011
10. Wallner, P., Tappler, P., Munoz, U., Damberger, B., Wanka, A., Kundi, M., & Hutter, H. P. (2017). Health and Wellbeing of Occupants in Highly Energy Efficient Buildings: A Field Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(3).
11. Hamilton, I., Milner, J., Chalabi, Z., Das, P., Jones, B., Shrubsole, C., Wilkinson, P. (2015). Health effects of home energy efficiency interventions in England: a modelling study. *BMJ Open*, 5(4), e007298. doi:10.1136/bmjopen-2014-007298.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 **‘제로에너지 공동주택 보급 확산을 위한 거주 후 평가(POE) 기술개발 및 성능검증 연구’** 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.