



Session 4

고품질 스마트 건설기술을 선도하는 LHRI

- 좌장 : 전주영(LHRI 건설기술연구실 실장)
- 토론 : 박철인(LH 설계검증처 처장), 정환영(LH 품질관리처 처장),
김태연(대한건축학회 부회장), 김강수(한국콘크리트학회 부회장),
최준성(한국도로학회 회장)

공동주택의 뉴 패러다임 : OSC기반 PC 공동주택 공급

김민준(LHRI 건설기술연구실 수석연구원)

탄소중립을 위한 산업부산물 자원화 기술개발

정종석(LHRI 건설기술연구실 연구위원)

AI 스마트하우징 서비스 개발 및 평가

김길태(LHRI 건설기술연구실 단장)

연구과제성과발표

공동주택의 뉴 패러다임: OSC기반 PC공동주택 공급

김민준 (LHRI 건설기술연구실 수석연구원)
이범식 (LHRI 건설기술연구실 연구위원)



목 차

- I. OSC PC구조 공동주택 공급활성화를 위한
LHRI 주요 추진내용
- II. OSC PC 공동주택 실증사업 개요
- III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황
- IV. 맺음말

I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

I 배경 및 목표

LH OSC PC공급 활성화 배경 · 목표 · 주요추진 내용

✓ 추진배경

- 국내 공동주택 공급 관련 건설환경 변화(인건비 상승, 품질저하, 근로자여건 등)
- 기능인력 및 현장 중심의 기존 생산방식으로 건설공사의 생산성 향상에 한계 봉착
- LH가 우수한 품질·적정 가격의 주택을 적기에 안정적으로 공급 하기 위해서는, 공장생산시스템과 스마트 기술을 접목한 새로운 공동주택 생산방식 도입 필요.

✓ 목 표

- LH PC구조 공동주택 생산성, 품질향상을 위한 PC구조 공동주택 생산시스템 구축

✓ 주요 추진내용

- OSC PC 공공주택 건설에 필요한 구조설계기준 수립 (2017~2019)
- OSC PC 구조 공동주택 시범사업 및 성과분석 수행 (벽식구조, 라멘구조/2018~2022)
- LH OSC 주택생산시스템 구축을 위한 국토부 R&D 수행(2020.04~ 24.03월 현재)

➡ **평택고덕 A58BL PC구조 공동주택 1개동 실증**

I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

I 기존 연구 1 : 미래수요대응형 LH 공동주택 건식공법 적용방안

LH OSC PC공동주택 구조설계 및 시공지침 작성

✓ 연구배경

- LH에서 OSC 기반 PC구조 공동주택 공급에 필요한 구조설계지침과 시방 수립 필요
- LHRI에서 관련 지침 수립을 위한 연구 수행(2019)
- LHRI 연구결과를 반영하여 국내 PC구조설계기준(KDS) 기준 제정예정(24년 하반기)

✓ 목 표

- 92년 발행된 “프리캐스트 콘크리트조립식건축 구조설계기준 및 해설” 를 기초로 LH에서 공급하는 PC구조 공동주택의 구조설계 시 적용할 수 있는 지침 개발

✓ 주요 추진내용

- LH에서 발주 시 수급가능하며, PC구조시스템의 변화 및 관련 설계기술의 발전 반영
- 현장타설(RC)공법과 PC공법의 동등한 구조성능을 보유하도록,
- PC부재생산, 운반, 조립, 유지관리 등의 과정에서 안전성, 시공성 및 경제성 등이 검증된 공법

I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

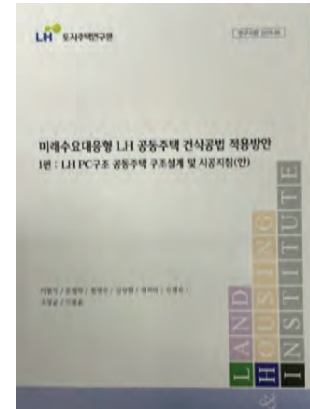
I 기존 연구 1 : 미래수요대응형 LH 공동주택 건식공법 적용방안

LH OSC PC공동주택 구조설계 및 시공지침 작성

✓ LH PC구조공동주택 구조설계지침(안) 주요 내용

- 구조설계부문 (안)
 - 총칙, 재료, PC공법, 구조해석 및 설계, 부재설계, 접합부 설계, 내진설계
 - 상기분야에 대한 기준, 해설 및 예제로 구성하여 **PC구조설계담당 실무자의 편의성 제고**
- 시공지침(안)
 - 일반사항, 성능, 재료, 시공, 품질
 - PC부재 제작, 시공에 이르는 전 단계에 대한 시공지침 수립

※ 지침(안)의 활용성 제고를 위해 LH PC공동주택 시범사업 (김포, 아산탕정)의 설계 내용 삽입



✓ 연구성과 환류

- 최신 구조설계기준, 공동주택 구조시스템 및 설계기술 등 국내외 PC관련 연구내용 등 반영
- PC구조 공동주택 구조설계기준 중 검증이 필요한 분야 (부재설계, 접합부, 내진설계 등)를 한국콘크리트학회와 협업하여 국가 PC구조 설계기준과 시공지침 수립에 필요한 자료 제공

I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

I 시범 사업 1 : LH 벽식구조 PC공동주택 시범사업 현장조사 및 성과분석

LH OSC PC 벽식 공동주택 시범사업

✓ 시범 사업 목적

- LH **벽식구조** PC공동주택 시범사업을 통한 **PC공동주택의 기술기반 구축**

✓ 현장개요

- 위치 : 김포한강 Aa-12BL
- 규모 : 행복주택 9개동 중 1개동, 지하 1층, 지상 4층 16Type 146세대
- PC조립일정 : 2019.11~2020.07(2021년 2월 입주)

✓ 주요연구내용

- 구조/공법 : 표준모듈 적정성(부재분할 적정성) 접합부 시공현황, 방수공법, 설계개선 등
- 사업관리: 발주방식, 공사관리 등
- 건설재료: PC부재 재료, 시공현황 등

✓ 연구성과환류

- PC공동주택 계획, 사업관리 및 발주지침수립
- OSC국책과제 실증사업을 위한 기초연구



I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

시범 사업 1 : LH 벽식구조 PC공동주택 시범사업 현장조사 및 성과분석

LH OSC PC 벽식 공동주택 시범사업

✓ 구조개요

- 층 수 : 피트층, 지상 4층, 옥탑층
- 층고/높이 : 2,800mm / 13,600mm
- 구조시스템 : RC보통 전단벽(R=3.0)
- 바닥구조 : Half PC Slab
- 구조재료
 - 콘크리트 : 24MPa(RC), 27MPa(PC)
 - 철근 : D13이하 SD 500, D16 이상 SD600
- 설계기준
 - KBC 2016, KCI 2012

✓ 구조부재

- 벽체 : Solid Wall
 - 외벽 및 복도, 계단실 : 200mm
 - 내부 벽체 중 세대 간벽 : 150mm
- 슬래브 : Half-Slab(t=70mm),
 - 기준층 거실 : 210mm
 - 1층 바닥, 기준층 복도, 지붕층 : 150mm
 - 화장실 : 130mm

PC부재종류	수량(매)	PC부재 종류	수량(매)
PC 벽체	423	PC보	118
하프슬래브(일반)	594	PC파라펫(실외기)	98
하프슬래브(욕실)	152	PC파라펫(옥상)	35
슬리드슬래브(실외기)	78	경사계단	36
PC기둥	12	계단참	11



I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

시범 사업 1 : LH 벽식구조 PC공동주택 시범사업 현장조사 및 성과분석

LH OSC PC 벽식 공동주택 시범사업

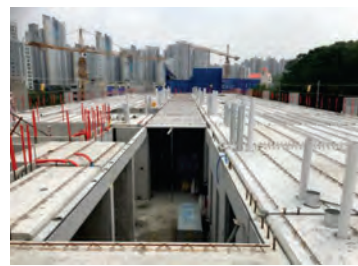
✓ PC부재 조립 현황



[부재현장반입]



[양중 및 조립]



[철근 배근 및 타설]



[내부 설비 배치]



[골조 조립 완료]



[외부 마감]

I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

시범 사업 2 : LH 보-기둥구조 PC공동주택 시범사업 현장조사 및 성과분석

LH OSC PC 보-기둥구조 공동주택 시범사업

✓ 시범 사업 목적

- LH 보-기둥구조 PC공동주택 시범사업을 통한 PC공동주택의 기술기반 구축

✓ 현장개요

- 위치 : 아산탕정A-15BL
- 규모 : 행복주택 22개동 1,422호 중 지하 1층, 지상 7층, 36m² 36호 1개동
- PC조립일정 : 20.12 ~ 21.09(22년 10월 입주)

✓ 주요연구내용

- 구조/공법 : 표준모듈 적정성(부재분할 적정성) 접합부 시공현황, 방수공법, 설계개선 등
- 사업관리 : 발주방식, 공사관리 등
- 건축 계획 : 표준모듈의 도입 여부 등
- 건설재료 : PC부재 재료, 시공현황 등

✓ 연구성과환류

- PC공동주택 표준모듈계획, 발주지침수립 등
- 단열, 누수공법 설계 시 반영



I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

시범 사업 2 : LH 보-기둥구조 PC공동주택 시범사업 현장조사 및 성과분석

LH OSC PC 보-기둥구조 공동주택 시범사업

✓ 구조개요

- 층 수 : 지하 1층, 지상 7층
- 높 이 : 지하 4.9m, 지상 25.5m, 옥탑 6.9m
- 층 고 : 지하 4.9m, 1층 4.8 기준층 3.45m
- 구조시스템 : X, Y방향 건물골조시스템(R=5.0) (PC중간전단벽 + 중간모멘트골조 상세 적용)
- 구조재료
 - 콘크리트 : PC 슬래브, 보, 벽체 27MPa / 기둥 40MPa, 현장타설콘크리트 24MPa
 - 철근 : D13이하 SD 500, D16 이상 SD600
- 설계기준
 - 적용기준 : KBC 2016, KCI 2012
 - 참고기준 : ACI 318-08, PCI Design Handbook
 - 기타 : LH PC구조 공동주택 구조설계 및 시공지침 (2019, LH)

✓ 구조부재

- 슬래브(Half Pc Slab)
 - 단위세대, 계단실, 화장실 : 180mm (PC 70mm)
 - 복도 : 250mm(PC 70mm)
- 벽체(Solid Wall)
 - 코아벽 : 200mm
 - 측벽 : 150mm
- Girder : 춤 540, 600, 700, 800mm
- Beam : 춤 600mm

※ 특기사항

- ✓ 2개 주동은 브리지로 연결
- ✓ 모든 세대는 복층으로 세대내부에는 철제 계단배치(PC계획 시 반영)

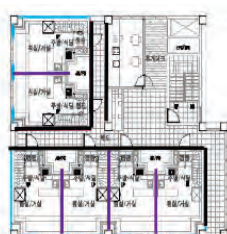
I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

시범 사업 2 : LH 보-기동구조 PC공동주택 시범사업 현장조사 및 성과분석

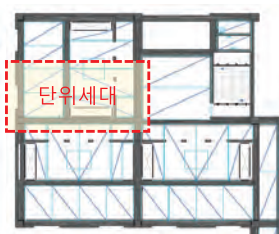
LH OSC PC 보-기동구조 공동주택 시범사업

✓ PC 적용 부위

- 기준층 평면 및 PC적용 부위



[2, 4, 6층]



[3, 5, 7층]

구분	PC적용 범위	
	입찰 안내서	최종
지하층(주요구조부, 외벽 제외)		PC
주요 구조부, 코아부 (벽체, 계단)	PC	PC
벽체(외벽)	PC	PC
세대문입구벽(내부현관벽)		PC
세대경계벽		경량벽체
비확장발코니벽(내부벽체)		경량벽체
비확장발코니벽(외부벽체)	PC	PC
확장형 발코니(벽+장호)		PC+PL장호

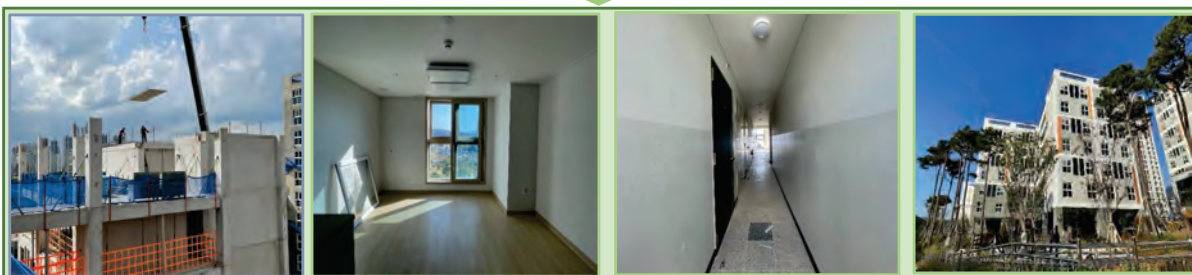
PC부재 종류	수량(대)	PC부재 종류	수량(대)
기둥	168	벽체	147
빔/거더	292	커튼월	200
하프슬라브	494	계단	72
합계	954	합계	419

I . OSC PC 공동주택 공급활성화를 위한 LH 추진내용

시범 사업 2 : LH 보-기동구조 PC공동주택 시범사업 현장조사 및 성과분석

LH OSC PC 보-기동구조 공동주택 시범사업

✓ LH 보-기동구조 PC공동주택 시범사업 시공과정



II. OSC PC 공동주택 실증사업 개요

사업개요

LH OSC PC 보-기둥구조 공동주택 실증사업

✓ 목표 및 목적

- PC구조 공동주택 기술기반 구축
 - LHRI 연구결과 및 시범사업의 성과를 적용하여 OSC PC공동주택 생산성 및 품질향상 효과 등 검증
 - OSC PC 공동주택 발주·설계·현장관리·유지관리 등에 필요한 기술기반 구축.
 - 국내 PC 공동주택에 적합한 OSC PC공동주택 생산시스템 검증 및 제안.



✓ 지구 및 대상

- 평택고덕 A-58BL 아파트 14공구
- 라멘 구조 공동주택 46m² 지상 12층 1개동 82세대
- 사업승인 : '18.12.
- 입찰공고 및 계약 : '21.10., '21.12.
- 공사기간 : '22.11. ~ '25.06(착공 후 949일)
- ※ 총공사일 949일, 건축공사일 831일
- 발주방식 : 시공책임형 건설사업관리방식
- PC구조 샵 및 PC부재 생산 : '22.12 ~ '23.06
- PC 조립 : '23.08 ~ '24.04(예정)

II. OSC PC 공동주택 실증사업 개요

현장전경

LH PC 공동주택 실증사업 현장 전경

✓ 현장 사무실, LH 연구실 및 홍보관 개설

- PC조립 공정에 따른 현장조사 및 PC공법의 홍보 효율화

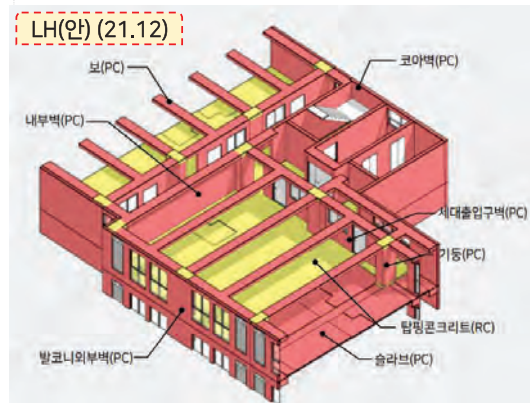
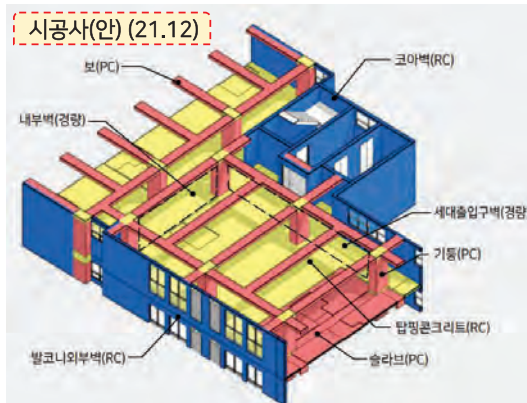


III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

OSC PC공법 적용 범위

LH PC 공동주택 실증사업

✓ OSC PC공법 적용 범위 검토



	시공사(안)	LH(안)
부재	PC: 기둥, 보, 슬라브 RC: 기둥, 보, 슬라브 탐핑콘크리트 + 발코니 외부벽, 코어벽, 계단 경량: 세대출입구벽, 내부벽	PC: 기둥, 보, 슬라브, 발코니 내부벽, 세대출입구벽, 내부벽, 코어벽, 계단 RC: 주동 지하기둥, 보, 주동 슬라브 탐핑콘크리트
비고	기준층 층고: 3,100 건물높이: 38,650	기준층 층고: 3,300(제한대비 200 증가) 건물높이: 41,200(제한대비 2,550 증가)

III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

OSC PC공법 검토

OSC PC공법 검토를 위한 협의체 운영

✓ OSC PC공법 검토를 위한 협의체 운영

- 성공적인 OSC PC공동주택 실증사업 수행을 위하여, LH, 시공사, 설계사(건축, 구조) 및 PC전문가(업계, 학계)를 통한 협의체를 구성하여 설계개선안 도출

회의	주요안건	일시
kick-off 미팅	실증사업지구 현황, 시공사 PC계획안 발표 및 적용안 논의	22.02.24
2차회의	LH, OSC연구단의 의견 반영한 PC 적용방안 논의	22.03.10
3차회의	표준모델에 기초한 다양한 평면계획, 구조계획(안) 논의	22.04.01
4차회의	평면확정, 구조계획 적절성 등 검토	22.04.06
5차회의	커튼월 계획 검토, 단열상세 검토	22.04.13
6차회의	기 검토되어 설계 중인 공법에 대한 중간 검토회의	22.05.18
7차회의	실증사업 변경사업승인 등 사업시행 관련 기관 회의	22.06.17
8차~ 12차회의	누수, 전역최적화 및 설계완성도 제고를 위한 연구진 회의 개최 (7/12, 7/27, 8/4, 9/29, 10/12)	



[협의체 회의 전경]

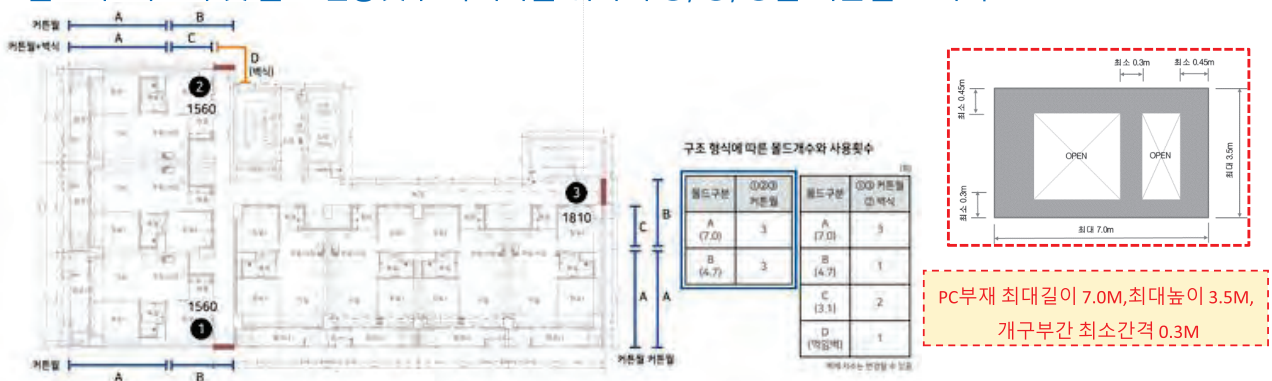
III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

OSC PC공법 적용

OSC PC공법 적용: 건축계획

✓ OSC PC공법 적용: 표준모듈 및 표준평면

- 국내 PC사 생산설비 여건과 부재운반을 고려한 경제성 있는 PC아파트 공급을 위하여 부재 몰드개수 최소화, 몰드 전용 횡수 증가 계획
- 기존 계획은 단위세대 벽체는 커튼월, 복도 및 코어는 벽식으로 계획함.
- 복도 끝벽 ①, ②, ③을 어떤 벽체로 구성하는 것이 경제성 및 효율성이 있는지 대안 검토
- 몰드 수 최소화 및 몰드 전용횡수 극대화를 위하여 ①, ②, ③을 커튼월로 계획

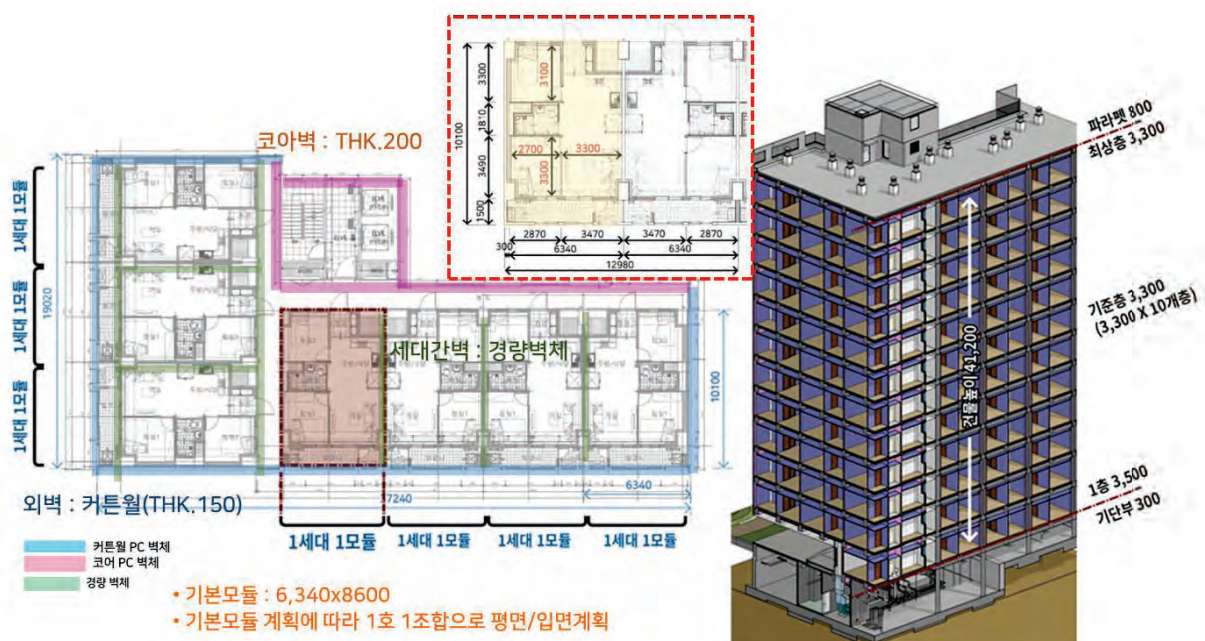


III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

OSC PC공동주택 기준층 계획

OSC PC공법 적용: 기준층 계획

✓ OSC PC공법 적용: 기준층 계획



III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

OSC PC공동주택 기준층 계획

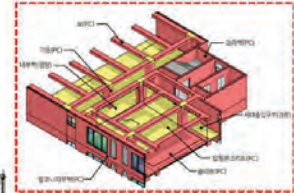
OSC PC공법 적용: 기본 구조 모듈

✓ 구조개요

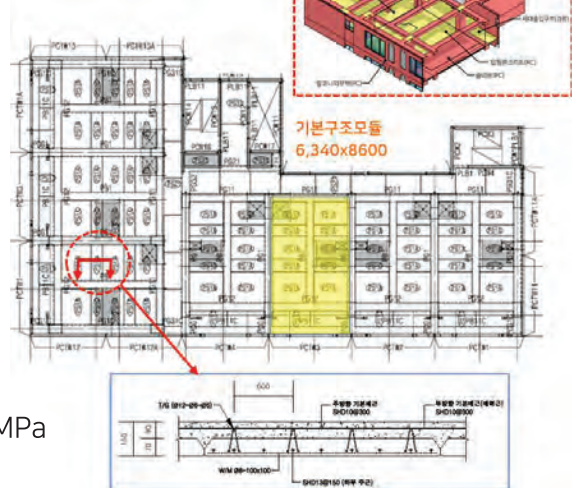
- 횡력저항 시스템 : 건물골조시스템(PC중간구조벽체 시스템 + 중간 모멘트골조 연성상세 적용)
- 기초형식 : 말뚝기초
- 특기사항 : 1층 부터 PC설계 적용

PC 부재 총 수량 : 2131

몰드 하나 당 평균 전용횟수 : 11.8매



기본구조모듈
6,340x8600



✓ PC부재 제원 및 사용재료

- 벽 체 : 코어 200mm, 커튼월 150mm
- 슬래브 : 발코니, 복도, 코어, 세대내부 160mm
(Half Slab : PC 70 + RC 90)
- 기 등 : 600x1000mm
- 보 : 500x600, 600x600mm
- 철근 : D13이하 SD500, D16이상 SD600
- PC콘크리트 : 기둥 40MPa, 보, 슬래브, 벽체 27MPa
- RC콘크리트 : 24MPa

III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

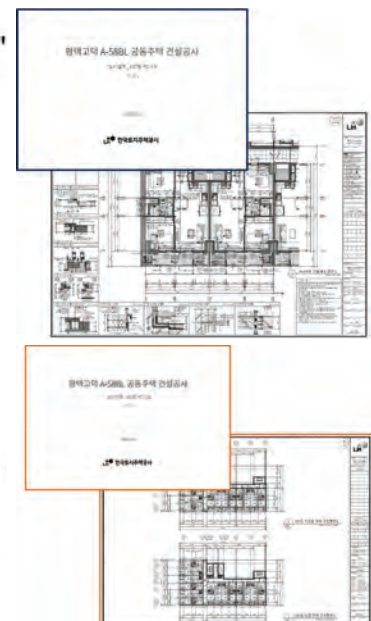
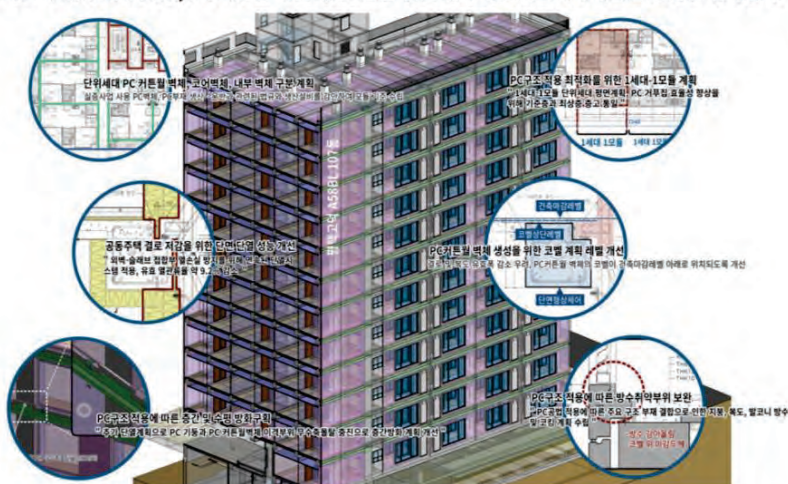
OSC PC공동주택 최종 설계

OSC PC공법 적용: 최종 설계내용

✓ 최종 설계내용

- OSC PC공법을 최종적용하여 건축 설계 및 구조 실시 설계도 작성

" 평택고덕 A58BL 107동, PC적용을 위한 평면·단면·단열·방수·방화·PC벽체계획을 포함한 상세설계 "



III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

LH OSC PC공동주택 실증사업 성과평가

LH OSC PC공동주택 실증사업: 성과평가

✓ 실증사업 성과평가계획

- LH에서 과거(96, 공업화공법 시범사업 성과분석)에 수행하였던 유사사업의 사례분석, 2건의 시범사업(20, 22) 사례 분석
- 연구영역(사업관리, 건설재료, 건축구조, 건축환경 등)별 성과분석 수행
- LH 연구진 현장상주, 동 실증사업 현장에 부합하는 성과평가계획 수립 후 평가 수행추진



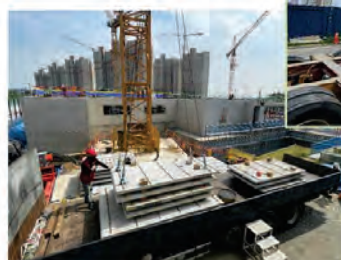
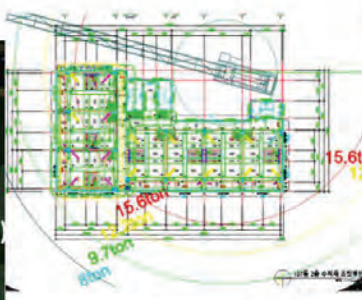
실증사업 주요단계	단계별연구내용및 연구성과
= PC조립 (23.08~24.04 예정)	① PC공사세부공종별(운송, 아작, 조립, 콘크리트타설, 건축마감 등) 작업시간 및 투입자원 측정 ⇒ 실증사업공종별 프로세스 및 생산성분석 결과 ② PC공사세부공종별 재료 및 구조분야 관련 연구결과, 기준, 시방과의 부합성 조사 ⇒ PC공사공종별 관련 기준, 시방과의 적합성 평가 결과 ③ PC공사 단계별(운반·조립·마감 등) 구조안전성 확보, 현장적용, 품질관리 적정성 평가 ⇒ PC시범사업성과분석 보고서 ④ 연구성과에 기초한 PC구조 공동주택 생산시스템 검토 ⇒ 한국형 PC구조 공동주택 생산시스템 및 공급확대를 위한 방안(공법중심) 제안

III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

LH OSC PC공동주택 실증사업 현장조사

LH OSC PC공동주택 실증사업: 현장조사

✓ PC부재 반입 및 양중



PC조립 전용 타워크레인

- 315HC-L : Luffing형 24ton
- 작업반경: 40.0m(7.2m)
- 인양능력: 단부 9.0TON

PC부재 평균중량 / 최대중량(ton)
기둥 4.5 / 4.9, 거더 4.65 / 7.29, 슬래브 0.9 / 1.7
계단 1.9 / 2.76, 벽체 6.7 / 12.5, 파라펫 3.5 / 5.7

[PC부재 반입 및 양중]

III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

LH OSC PC공동주택 실증사업 현장조사

LH OSC PC공동주택 실증사업: PC조립공정

✓ PC공동주택 조립 공정



[파일 항타 : 23.04]



[기초타설 : 23.05]



[지하층 거푸집 공사 : 23.06]



[3층 슬래브 상부근 배근 : 23.09]



[1층 부재조립 : 23.08]



[1층 바닥(RC) 배근 : 23.07]

III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

LH OSC PC공동주택 실증사업 현장조사

LH OSC PC공동주택 실증사업: PC조립공정

✓ PC공동주택 조립 공정



[파일 항타 완료, 기초배근 및 기초타설 : 23.05]



[지하층 거푸집 공사 : 23.06]



[지상 1층 기둥조립 : 23.08]



[지상 1층 벽체, 슬래브 조립 : 23.08]



[지상 2층 벽체 조립 : 23.09]



[지상 3층 슬래브 조립 : 23.10]

동일한 공정으로 1개 층 PC조립 수행
조립 누적 층수 증가에 따른 작업자 숙련도 향상으로 공기단축 가능성 증대

III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

LH OSC PC공동주택 실증사업 현장조사

LH OSC PC공동주택 실증사업: PC조립공정

✓ PC공동주택 조립 공정



[PC공사공정율, 24.3월 현재]
(전체) 2,480㎡, 2,131매
(생산) 2,480㎡/(공정)100%
(시공) 11층 수직부재(기둥) 조립 중

III. OSC PC 공동주택 실증사업 추진현황

LH OSC PC공동주택 실증사업 대외홍보

LH OSC PC공동주택 실증사업 대외홍보

LH 건설안전연구소	국토부 1차관 LH 평택고덕 PC아파트 국책과제 실증사업 현장시연회 방문행사	담당 연구위원 이병식 (042)1066-6415 2023. 11. 30
---------------	---	---

■ 개요

- 국토부에서 “Off Site Construction 기반 공동주택 생산시스템 혁신기술 개발(20.04~24.12)” 과제를 기획하고 OSC연구단을 발족하여 과제 수행.
- 공사는 “OSC기반 PC구조 공동주택의 핵심 설계·엔지니어링 기술개발 및 실증”과제에 참여하고 있으며, 연구성과를 반영하여 공사 평택고덕 58BL에 PC 공동주택(46㎡, 12층 1개동) 실증사업 수행 중.
- PC공법 실증사업 홍보를 위하여 국토교통부 1차관 등 대외빈을 모시고 현장시연회를 개최코자 함.

■ 행사 개요

- (時/所) 11.28(화) 10:20~11:30 / 평택고덕 58BL PC아파트 실증사업 현장
- (주 권) 국토교통부 · 국토교통과학기술진흥원
- (주 권) OSC연구단(이화여대 산학협력단) · LH
- (참석자) 국토부(1차관), 국토교통과학기술진흥원, OSC연구단, LH, 건설사업관리단, 시공사, PC사, 설계사, 언론매체 등
- (프로그램)

시 간	내 용	비 고
10:20 ~ 10:30 (10분)	국책 OSC R&D 및 PC 공법 홍보관 점검	· 실증사업현장 홍보관
10:30 ~ 10:35 (5분)	내빈소개 및 국민의례	
10:35 ~ 11:00 (25분)	· 기념사(1차관) · 국책 R&D 및 실증사업 경과 보고 · PC부재 조립 시연회 개최 · 기념촬영 및 실증사업현장 순회	· 실증사업현장 내 야외 행사장
11:30 ~ 11:30 (30)	· PC업계 관계자 간담회	· 주택건설공급과장

(1차관 메시지)

- PC·모듈러 등 OSC공법을 활용한 주택공급 활성화 방안 마련(23.12)
- 후속 R&D 추진 등 정부지원 노력



25년만의 PC아파트...81회박 10분만에 착착

박차주 기자

11월 28일 오전 10시 20분, 평택고덕 58BL PC아파트 실증사업 현장. 박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

PC 수요 확대...설계·시공기준 손질 '박차'

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

박차주 기자는 현장에 도착하여 취재하고 있다.

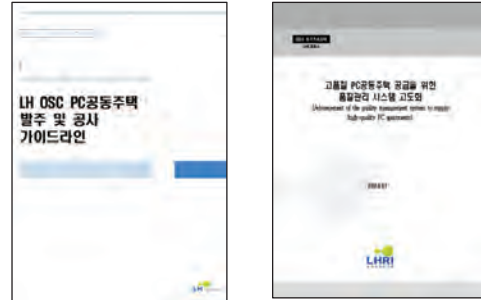
IV. 맺음말

LH OSC PC공동주택 실증사업 연구성과 환류

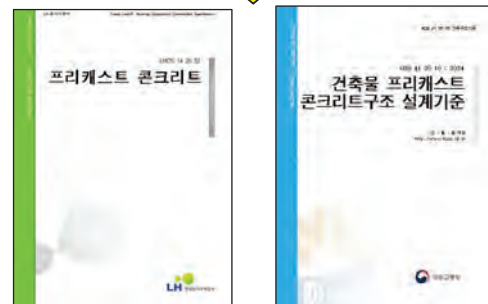
LH OSC PC공동주택 실증사업을 통한 기대효과

✓ PC공동주택 실증사업 연구결과 환류

- OSC PC공동주택 발주 시 필요한 공모지침
- OSC PC 공동주택 표준모듈(안)
- PC부재 생산 및 조립을 위한 품질관리방안
- PC공사 공종 및 공정분석 및 현장관리방안



[가이드라인 제작 및 추가 연구 수행]



[PC관련 LH전문시방서 및 KDS 기준 개정]

Thank You

「연구과제성과발표」

탄소중립을 위한 산업부산물 자원화 기술 개발

정 종 석 (LHRI 건설기술연구실 연구위원)



1. 연구개요 및 연구배경

연구 배경

- ◆ 기후변화에 대응 및 지속 가능한 개발을 위하여 CO₂ 배출을 많이 발생하는 포틀랜드 시멘트를 대체할 수 있는 건설재료 필요성 대두
- ◆ 지오폴리머 혼합물은 충분한 하중 지지력, 거친 환경, 화학적 공격에 대한 저항력 등 다양한 건설구조물에 적용 할 수 있는 잠재적인 건설 재료
- ※ 본 연구는 LHRI의 연구팀과 Texas A&M 대학교 연구팀간의 공동 연구
 - 연구책임 : 정종석 연구위원(LHRI), Prof. Yong-Rak Kim & Dallas Little(Texas A&M Univ.)

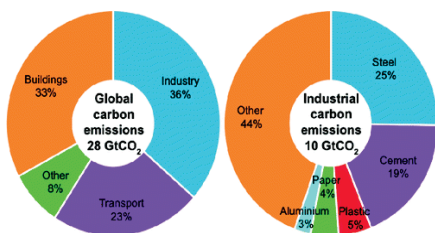
연구 목적

- ◆ 지오폴리머 혼합물을 적용할 수 있는 콘크리트 분야, 투수블록 분야, 연약지반 개량 분야 등에 적용 가능한 실용적인 지침 개발

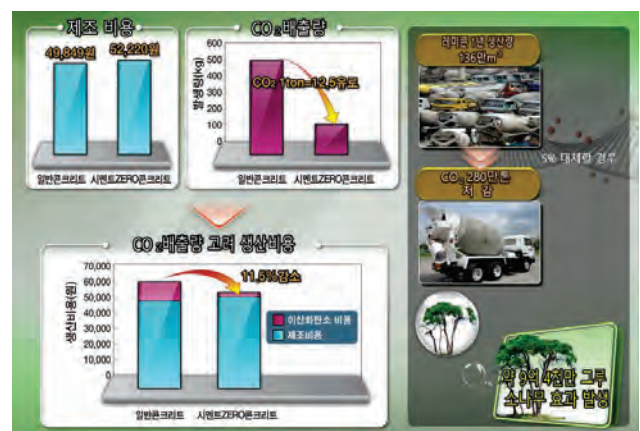
3

포틀랜드 시멘트(OPC) 주요이슈

- ◆ 시멘트 생산에 높은 CO₂ 배출량
- ◆ 거친 환경에 낮은 공용성
- ◆ 골재 표면과 약한 부착
- ◆ 화재 및 높은 기온에 낮은 저항성



지오폴리머 편의

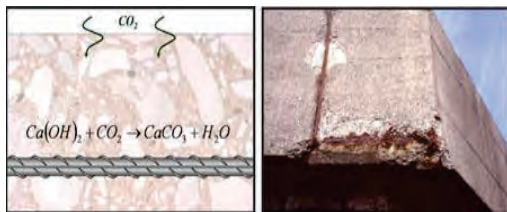


4

지오폴리머 혼합물 적용 시 문제점

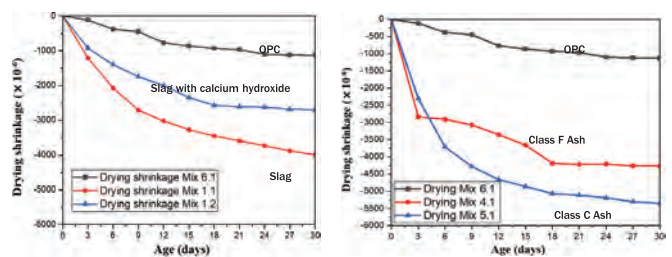
탄산화(Carbonation)

- ◆ 탄산화는 콘크리트 내구성에 해로운 반응 중의 하나
 - 콘크리트 내부에 pH를 떨어뜨려 철근 부식 우려 발생



건조수축(Shrinkage)

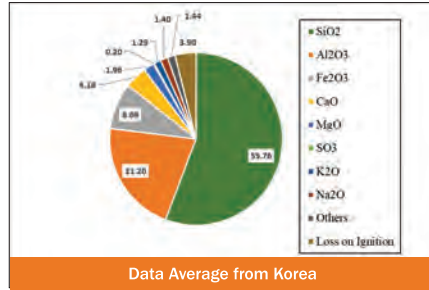
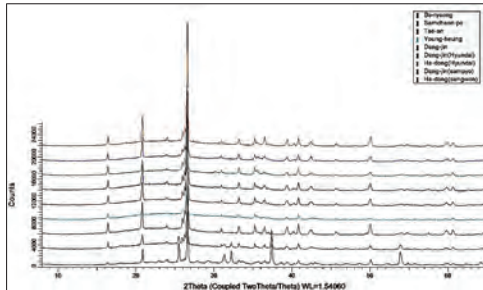
- ◆ 일반 콘크리트 보다 건조수축 크기 때문에 일반 구조물에 지오폴리머 적용에 어려움 존재
 - 원인 : 높은 비율의 중간크기의 공극과 반응 생성물의 부족



5

2. 원재료 분석

원재료 분석(Flyash)



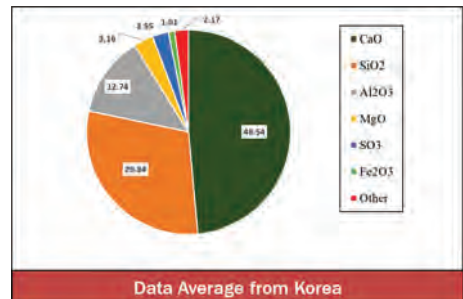
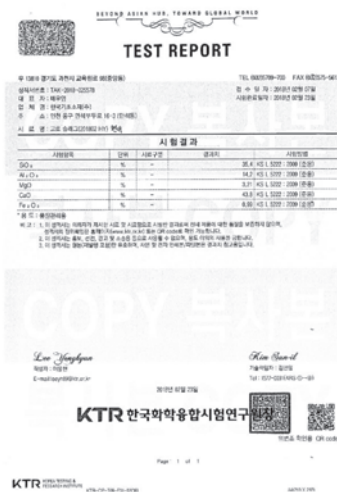
화학분석	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	I.L
당진	58.59	19.93	9.61	3.36	1.81	0.20	1.24	1.06	0.49	1.06	3.75
보령	40.63	16.99	6.17	24.06	3.14	4.77	1.08	1.53	0.31	0.69	3.01
삼천포	54.73	20.20	6.36	10.67	2.29	1.51	1.51	1.31	0.60	0.93	9.07
영흥	49.43	21.47	8.50	5.45	2.57	0.19	1.39	2.75	0.55	0.92	4.93
태안	63.26	19.31	5.15	3.10	1.17	0.23	0.91	0.77	0.97	1.02	3.87
하동	51.74	24.08	11.49	4.79	2.29	0.16	1.60	1.02	-	-	3.64

7

원재료 분석(Slag)

고로 수세 슬래그
인수검사 성적서

구분	항목	결과	비고
시험결과	시료명	고로 수세 슬래그	
	시험일자	2019.10.10	
	시험장소	YSD-102	
	시험방법	YSD-102	
	시험결과		
	시료명	고로 수세 슬래그	
	시험일자	2019.10.10	
	시험장소	YSD-102	
	시험방법	YSD-102	
	시험결과		



8

토양 분석 (Korea)

- USDA 분류시스템에 따른 토양 분포

Conserved Orders	Sub-Orders	No. of Series	Extent (ha)
Inceptisol	Aquepts	53	528,601
	Udepts	99	5,579,328
	Aquepts	12	31,782
Entisol	Fluvents	6	25,617
	Orthents	24	866,461
	Psamments	18	105,465
Ultisol	Aquults	5	39,310
	Humults	10	45,545
	Udults	48	1,118,276
Alfisol	Aqualfs	24	439,056
	Udalfs	47	420,405
Andisols	Udands	41	138,832
Mollisol	Aquolls	1	166
	Udolls	15	66,751
Histosol	Hemists	1	359
	Sapists	1	50

한국의 대부분 지역의 차지하는
Inceptisol내의 Udepts 면적 :
5,579,328 Ha

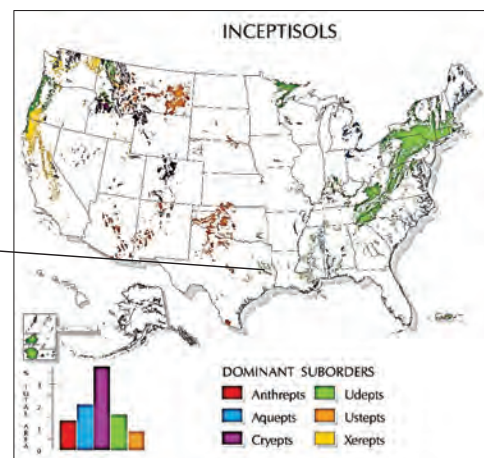
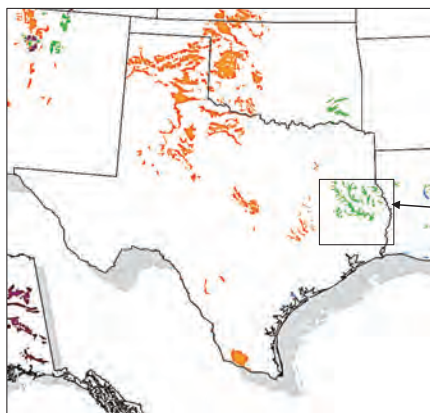


<http://soil.rda.go.kr/eng/atlas/classification.jsp>

9

토양 분석 (Texas)

텍사스 지역 내 토양분포 및 Udepts 토양지역:



https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/class/maps/?cid=nrscs142p2_053602

10

대상 토양

- 한국 및 텍사스 지역 고려한 토양의 공학적 특성의 목표값

Engineering Values	점토	사질토
N값	less than 6 (preferably less than 4)	less than 10
콘관입저항력(kPa)	less than 800	less than 4,000
1축 압축강도(kPa)	less than 100 (preferably less than 60)	N.A.
Cohesion (kPa)	13 - 25	N.A.
내부마찰각(°)	N.A.	23 - 33
상대밀도 (%)	N.A>	less than 35
토양분류	CL, CH	SM, SC

11

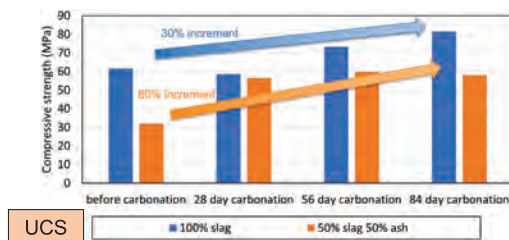
3. 콘크리트 분야

배합설계(콘크리트 분야)

Tier ID	Precursor	Additive
1	100% Slag	No
		5% Calcium Hydroxide
		5% Hydrotalcite
2	50% class F Fly Ash, 50% Slag	No
		5% Calcium Hydroxide
		5% Hydrotalcite
		5% Reactive MgO
3	50% class C Fly Ash, 50% Slag	No
4	100% class F Fly Ash	No
5	100% class C Fly Ash	No
6	Portland Cement	No

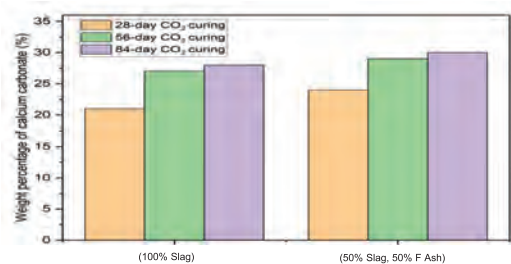
13

탄산화 시험결과 (농도 1%)



Precursor type	pH measurement at the cross section After 28d	pH measurement at the cross section After 56d	pH measurement at the cross section After 84d
100% Slag			
50% Slag 50% Ash			

Phenolphthalein Indicator



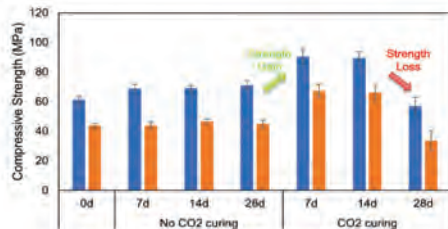
Calcium Carbonate Weight (%)

◆ 주요 시험결과

- 강도 증가 및 pH 감소
- 56일 이후 탄산화 속도 완화
- 50% 슬래그 & 50% F타입 플라이애쉬 배합이 탄산화에 더 취약한 것으로 나타남

14

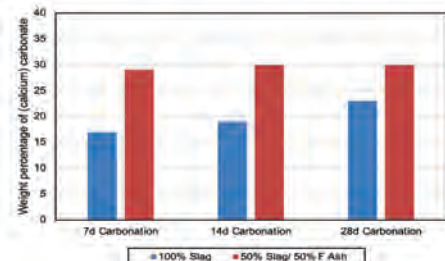
탄산화 시험결과(농도 5%)



UCS

Tier	Precursor type	pH measurement After 7 days carbonation	pH measurement After 14 days carbonation	pH measurement After 28 days carbonation
1	Slag (100%)			
2	Slag (50%) F Ash (50%)			

Phenolphthalein Indicator



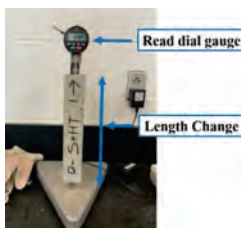
Calcium Carbonate Weight%

주요 시험결과

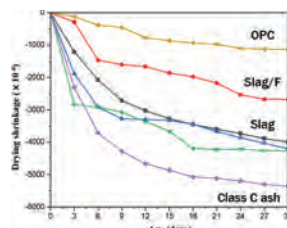
- 7일 강도증가 후 14일 부터 강도 손실 및 pH감소
- 28일이후 탄산화 증가량 감소
- 50% 슬래그 & 50% F타입 플라이애쉬 배합이 탄산화에 더 취약한 것으로 나타남

15

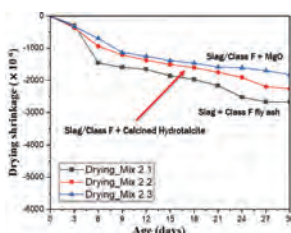
건조수축 시험결과



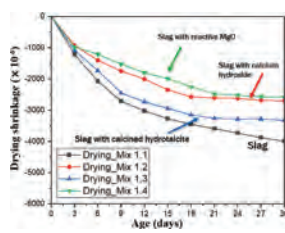
Shrinkage measurement setup



Different combinations of binder case



Slag/class F fly ash with additive case



Slag with additives case

주요 시험결과

- 지오폴리머 혼합물은 OPC보다 건조수축량이 큼
- 50% 슬래그 & 50% F타입 플라이애쉬 배합이 100% 슬래그 배합보다 건조수축량 적음
- 첨가제(MgO 및 Calcium hydroxide)가 포함된 배합은 건조수축량을 감소시킬 수 있음
- 첨가제중에서 MgO가 건조수축량 감소에 가장 좋은 효과를 보이지만 비용이 높음

16

배합설계 최적화

	w/c	Alkali-activator dosage (%)	Slag fraction (%)	Fluidity (mm)	Compressive strength (MPa)	Drying Shrinkage (με)
OPC	0.4	-	-	159	52.88	-790
Mix. 1	0.32	5	50	151.71	48.275	-980
Mix. 2	0.38	5	50	209.25	32.01	-860
Mix. 3	0.32	10	50	93.9	20.42	-1375
Mix. 4	0.38	10	50	198.5	57.565	-1700
Mix. 5	0.32	7.5	30	162.25	40.83	-1070
Mix. 6	0.38	7.5	30	201.25	38.35	-1680
Mix. 7	0.32	7.5	70	106.5	66.805	-740
Mix. 8	0.38	7.5	70	206	62.37	-1440
Mix. 9	0.35	5	30	195.25	28.53	-1095
Mix. 10	0.35	10	30	177.5	36.235	-2110
Mix. 11	0.35	5	70	165	52.4	-1065
Mix. 12	0.35	10	70	145.75	70.34	-1455
Mix. 13	0.35	7.5	50	163.5	56.553	-1495
Mix. 14	0.35	7.5	50	167.75	55.955	-1495
Mix. 15	0.35	7.5	50	165.25	55.435	-1485

◆ 최적화 조건

- 최고/최저 값 설정
 - 유동성(Fluidity) : 209.25mm / 93.9mm
 - 압축강도 : 20.42MPa / 70.34 Mpa
 - 건조수축 : -2110με / -740με
- 최고 및 최저값은 상/하 한계로 설정하여 최적화

최적 배합설계 도출

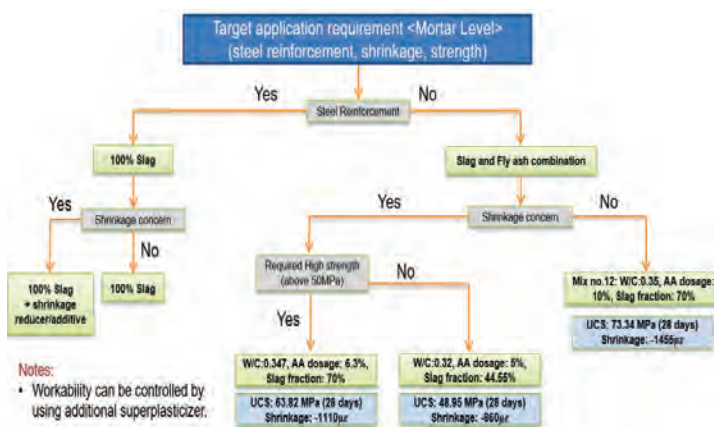
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Fluidity	Target	93.91	159.00	209.25	1
Compressive strength	Maximum	20.42	70.34		1
Drying shrinkage	Maximum	-2110	-740		1
Optimization results	w/c	Alkali-activator dosage	Slag fraction		
Optimal mix design	0.347	6.293	70.0		
	Fluidity	Compressive Strength	Drying shrinkage		
Predicted value	159mm	66.46 MPa	-1198με		
Experimental value	152.58mm	63.82 MPa	-1110 με		
Error (%)	4.21 %	4.14 %	7.93 %		
	Unit cost	CO ₂ emission			
	85.23 \$/m ³	83.39 kg CO ₂ /kg			

◆ 배합설계 최적화 결과

- 예측오차 10%미만으로 지오폐리머(AAM 기반) 현장 적용 가능한 것으로 판단됨
- 건조수축은 OPC보다 크지만 압축강도, 비용, CO₂ 저감 등은 우수한 것은 나타나 시멘트 대체재로서 건설재료 활용 가능

17

콘크리트 분야 적용 지침



◆ 적용지침 주요 사항

- 실험결과와 통계적 분석과 3가지 요소(철근유무, 건조수축, 압축강도)를 고려한 최소자승법을 이용하여 지오폐리머 혼합물의 종류에 따른 적용방안 제시
- 슬래그 혼합물의 경우는 탄산화의 위험이 크지 않아 철근 콘크리트 분야, 플라이애쉬가 함유된 혼합물은 탄산화 위험에 따라 무근 콘크리트 분야 적용
- (탄산화) 탄산화는 pH 농도를 떨어뜨려 철근을 부식시킬 우려가 있으며, 건조 수축은 지오폐리머 혼합물 콘크리트에 균열 발생 가능성을 높임
- 철근 유무 및 건조수축 영향을 고려하여 지오폐리머 혼합물 배합(결합재 비율, 활성제 비율, 슬래그 비율, 플라이애쉬 비율 등)의 적용분야에 따른 적용절차 제시

18

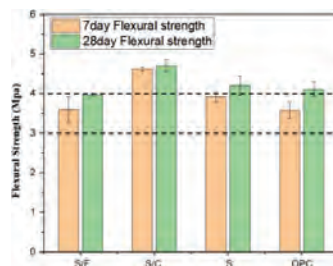
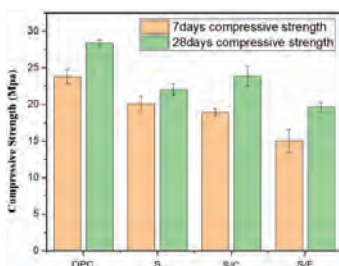
4. 투수블록 분야

투수블록 분야 시험결과

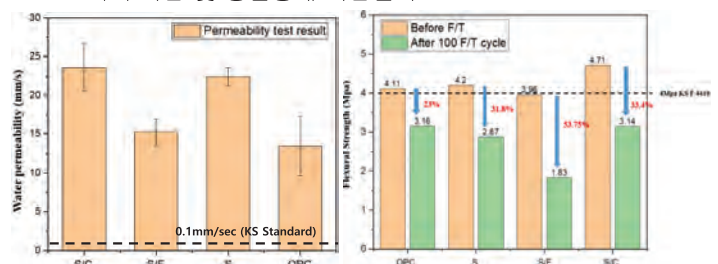
• 배합설계

(kg/m ³)	OPC	GGBFS	FFA	CFA	Sodium metasilicate	Coarse aggregate	Fine aggregate	Water
OPC	308.83	-	-	-	-	1428.32	115.81	108.09
S	-	220.59	-	-	22.06	1428.32	115.81	77.21
S/F	-	110.29	110.29	-	22.06	1428.32	115.81	77.21
S/C	-	110.29	-	110.29	22.06	1428.32	115.81	77.21

• 압축강도 및 휨강도 시험결과



• 투수시험 및 동결융해 시험결과



◆ 주요시험결과

- KS기준 4MPa(보도 기준) 만족
- 슬래그 및 C type 플라이애쉬 함강도 > OPC 투수블록
- 동결융해 시험 후(100cycle)

- 지오폐리머 혼합물 함강도 < OPC 투수블록

※ 본 시험은 본체를 대상으로 시험 수행. 완전한 투수블록(표층과 본체)를 제작하는 것은 실험실 수준에서는 구현하기 어려움

투수블록 제작 및 시험

- 동결융해 전·후 휨강도

	TAMU		LHRI	
	Before	After	Before	After
S	4.2	2.9	3.7	1
S/C	4.7	3.1	0.8	0.6

- 동결융해 전·후 휨강도(국내 상업제품)

	Before	After	4.0MPa (reference)
A사	6.83	0.25	6.30%
B사	6.65	2.24	55.90%
C사	6.2	1.59	39.60%
D사	5.86	0.63	15.80%
E사	7.05	1.18	29.50%
F사	7.16	1.44	35.90%
G사	5.16	1.61	40.30%
H사	7.43	3.43	85.80%
I사	7.43	0.28	6.90%



◆ 적용 시 고려 사항

- 슬래그 50%와 C 타입 플라이애쉬 50%의 혼합물을 이용하여 제작한 투수블록은 휨강도는 KS기준 4MPa(보도용) 미치지 못하여 현장적용이 어려울 것으로 판단됨
- 슬래그 100%의 혼합물을 이용하여 제작한 투수블록은 품질 관리가 적절하게 된다면 보도용 투수블록 현장에 적용 가능할 것으로 판단됨
- 지오폴리머 혼합물의 투수블록을 현장적용하기 위해서는 양생 과정이 중요하며, 블록제조 후 60℃에 48시간 동안 양생한 후, 현장 적용 시 까지 항온 항습기에 양생이 필요함. 이 조건을 만족할 경우, 지오폴리머 혼합물 적용을 추천

21

4. 연약지반개량 분야

지반분야 배합설계

- 토양 함수비 10%, 20%, 30% 등 3 level
- 지오폐리머 혼합물 8%, 10%, 12% 등 3 level

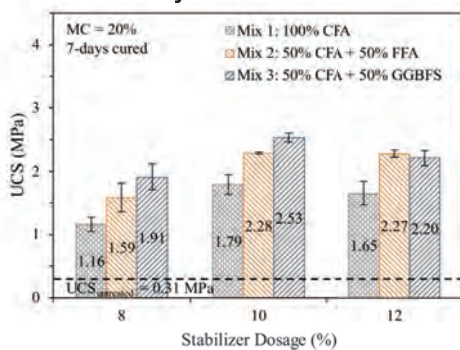
No.	Mix	Engineering characterization		Chemical and mineralogical characterization			
		UCS	Durability	pH	XRD	TGA	SEM
1	100% CFA	✓			✓	✓	✓
2	50% CFA + 50% FFA	✓			✓	✓	✓
3	50% CFA + 50% GGBFS	✓			✓	✓	✓
4	50% CFA + 25% FFA + 50% GGBFS	✓			✓	✓	✓
5	40% CFA + 40% FFA + 20% SM	✓		✓	✓	✓	✓
6	40% CFA + 40% GGBFS + 20% SM	✓		✓	✓	✓	✓
7	80% CFA + 20% G	✓					
8	40% CFA + 40% FFA + 20% G	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	40% CFA + 40% GGBFS + 20% G	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	40% CFA + 20% FFA + 20% GGBFS + 20% G	✓	✓	✓			

Note: CFA – class C fly ash, FFA – class F fly ash, GGBFS – ground granulated blast-furnace slag, G – gypsum, SM – sodium metasilicate.

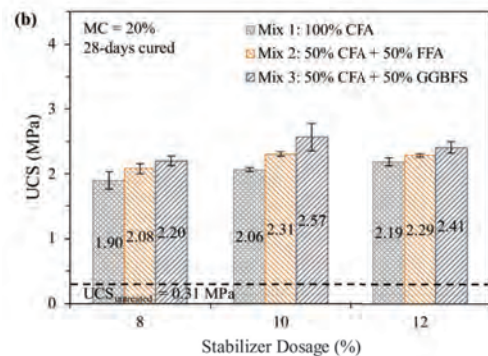
23

배합 및 사용량에 따른 압축강도

7-days UCS:



28-days UCS:

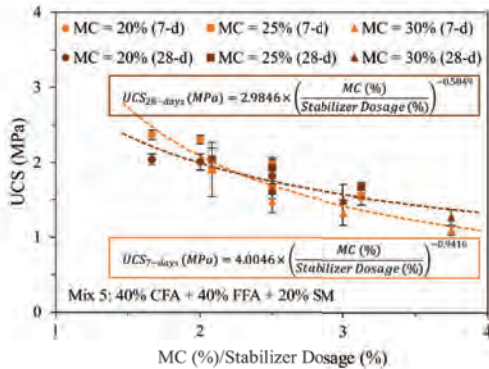


- ◆ 함수비 20% 경우 ;
 - 최적 지반안정처리제 사용량은 10%
 - 12% 이상 지반안정제 사용은 10% 사용량과 비교할때 크게 차이가 없음
 - 최적 지오폐리머 혼합물은 50% CFA + 50% GGBFS 임

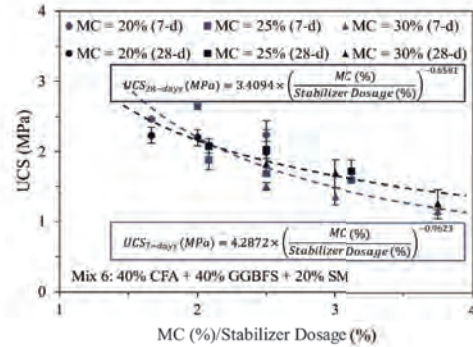
24

Sodium Metasilicate 및 함수비에 따른 압축강도

Mix 5 – 40% CFA + 40% FFA + 20% SM:



Mix 6 – 40% CFA + 40% GGBFS + 20% SM:



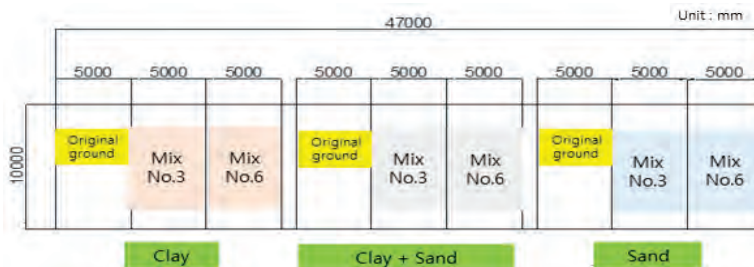
◆ 주요시험결과

- 압축강도는 목표(7일 1MPa, 28일 2MPa) 만족
- 지오폴리머 혼합물 종류별 함수비에 따른 지반안정제 적정량 추정을 위한 모델 개발
- 이러한 모델을 이용하여 실제현장 적용 추진

25

시험시공 개요

- 시험시공 단면



- 시험시공 대상지 토양



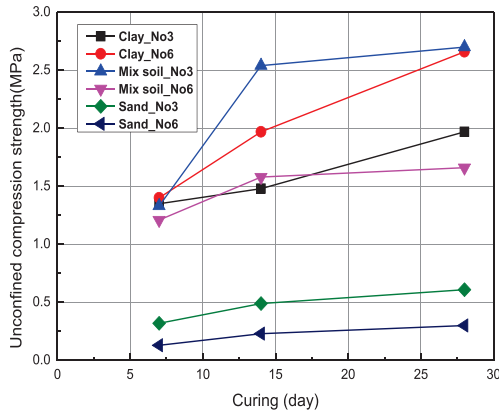
◆ 시험시공 : 총 9개 단면

- 현장적용을 위한 10개의 지오폴리머(AAM 기반) 혼합물 개발
 - ※ 이 중에서 혼합물 3번과 6번을 선정하여 시험시공
- (목표강도) 연약지반에 공사차량 운행을 위하여 목표강도 7일 1MPa과 28일 2MPa 설정
- 점토, 점토 및 사질토의 혼합토, 사질토 등 3개 연약지반과 2개 지오폴리머 혼합물을 사용

26

현장시험 결과

- 현장제작 기반안정처리제의 양생일별 압축강도



구 분		현장제작 고화토 압축강도(MPa)				허용지지력(MPa)	
		1	2	3	평균	수정 Terzaghi	Meyerhof
점토	양생 7일(MPa)	1.19	1.45	1.42	1.35	1.03	1.38
	양생 14일(MPa)	1.40	1.36	1.67	1.48	1.13	1.51
	양생 28일(MPa)	2.13	2.08	1.71	1.97	1.51	2.01
점토	양생 7일(MPa)	1.78	1.10	1.32	1.40	1.07	1.43
	양생 14일(MPa)	1.83	2.04	2.06	1.97	1.51	2.01
	양생 28일(MPa)	2.03	2.90	3.04	2.66	2.04	2.71
혼합토	양생 7일(MPa)	1.14	1.20	1.65	1.33	1.02	1.36
	양생 14일(MPa)	2.21	3.23	2.18	2.54	1.94	2.59
	양생 28일(MPa)	2.75	2.53	2.82	2.70	2.07	2.76
혼합토	양생 7일(MPa)	1.11	1.35	1.18	1.21	0.93	1.23
	양생 14일(MPa)	1.32	1.47	1.95	1.58	1.21	1.61
	양생 28일(MPa)	1.45	1.76	1.77	1.66	1.27	1.69
사질토	양생 7일(MPa)	0.30	0.35	0.31	0.32	0.24	0.33
	양생 14일(MPa)	0.45	0.50	0.51	0.49	0.38	0.50
	양생 28일(MPa)	0.63	0.64	0.56	0.61	0.47	0.62
사질토	양생 7일(MPa)	0.11	0.13	0.13	0.12	0.09	0.12
	양생 14일(MPa)	0.27	0.21	0.22	0.23	0.18	0.23
	양생 28일(MPa)	0.30	0.26	0.33	0.30	0.23	0.31

27

현장시험 결과

구 분		허용지지력(MPa)			침하량(mm)		
		원지반	7일	28일	원지반	7일	28일
점토	No.3	0.49	0.37 (-25%)	0.48 (-2%)	7.44	30.00	7.81
	No.6		0.97 (98%)	1.07 (118%)		10.14	12.35
혼합토	No.3	0.75	1.41이상 (88%)	1.91이상 (155%)	12.35	9.43	3.31
	No.6		1.41이상 (88%)	1.91이상 (155%)		11.44	3.62
사질토	No.3	0.22	1.41이상 (540%)	1.91이상 (768%)	30.00	10.98	7.69
	No.6		1.41이상 (540%)	1.91이상 (768%)		21.75	20.82

- 기반안정처리제 목표강도 : 2MPa

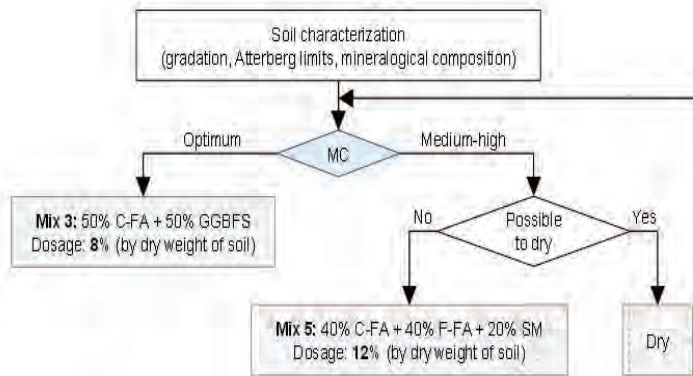
지지력산정법	수정Terzaghi 방법	Meyerhof 방법
--------	------------------	-------------

◆ 평판재하시험결과

- 고화재 혼합지반의 목표허용지지력을 비교하면,
Meyerhof 지지력(2.04MPa)과 혼합토와 사질토의 28일
지지력(1.91MPa 이상)이 비슷
- 혼합토와 사질토의 28일 지지력(1.91MPa 이상) :
➡ 목표지지력 2.04MPa를 만족
- 점토 No.3과 No.6의 28일 지지력 :
➡ 각각 0.48, 1.07MPa으로 목표지지력(2MPa) 미만
※ 평판재하시험전 집중호우에 의한 고탍수비 영향으로 분석
- 28일 허용지지력 증가율은 원지반 대비 점토 < 혼합토 < 사질토
- 28일 침하량은 혼합토 < 점토 < 사질토

28

지반개량 분야 적용 지침



◆ 적용지침 주요 사항

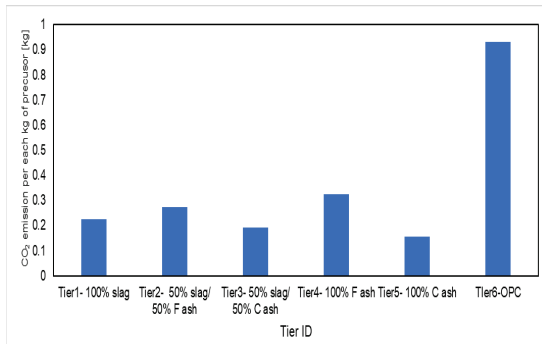
- 실내시험과 시공시공 결과에 따라 개발된 지오폴리머의 현장적용은 합리적이라고 결론 도출
 - ※ 함수비 30%의 이상 연약 사질토 지반 개량에서는 지오폴리머 혼합물 적용을 제외
- 연약지반은 점토와 사질토로 분류하고, 함수비는 20%(Optimum), 25%(Medium), 30%(High)로 분류하여 개발된 지오폴리머 혼합물 배합 및 사용량을 적용
- 연약지반 및 함수비에 따른 지오폴리머 혼합물의 연약지반에 적용절차 제시

29

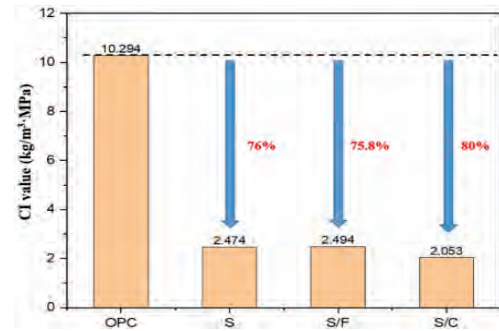
5. 탄소저감

이산화탄소 배출량

- 콘크리트 분야



- 투수블록 분야



- CO₂ 지표와 관련하여 지오폐리머 혼합물이 OPC비해 75%이상 탄소저감

31

6. 주요 성과

논문(sci)

- Multiscale Characterization of Fly Ash-based Geopolymer and Type V Portland Cement Exposed to MgSO_4 .” *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE 34(6): 04022095, 2022.01
- One-part Alkali-activated Soil Stabilization with Sodium Metasilicate : Mechanical-Geochemical-Mineralogical Characterization, *Transportation Geotechnics*, 2023.12.

논문발표(Presentation)

- Effect of CO_2 Curing on One-Part Alkali-Activated Material: Nanomechanical Properties and Microstructure
- Development of Eco-friendly One-Part Alkali-Activated Pervious Concrete Blocks with Industrial Byproducts
- Fly Ash- and Slag-Based Stabilization of Wet Clayey Soils Using Solid Sodium Metasilicate
- CO_2 Capture of Alkali-Activated Materials: Micromechanical Properties Coupled with Nano-Microstructure Characteristics, Abstract Submitted to the 2022 SES Conference, College Station, Texas.

연구과제성과발표

AI 스마트하우징 서비스 개발 및 평가

김길태 (LHRI 건설기술연구실 단장)



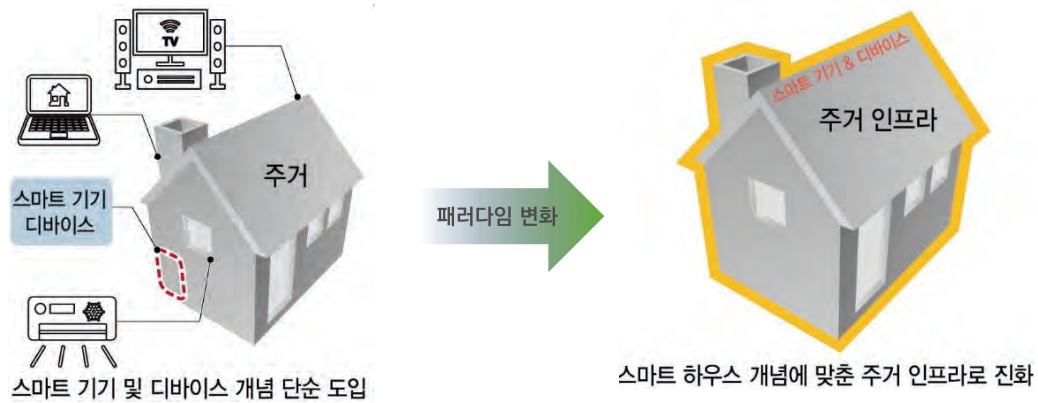
목 차

- ① 스마트하우징 개요
- ② 연구목표
- ③ 스마트하우징 리빙랩 구축
- ④ 스마트하우징 종합 실증
- ⑤ 스마트 주거서비스 리빙랩 운영
- ⑥ 연구성과 및 활용계획

1 스마트하우징 개요

스마트하우징이란?

공간, 환경, 가전, 디바이스 등으로 구성된 스마트하우스(물리시스템)와 이와 관련된 정보(빅데이터), 스마트홈 기술(IoT기술), AI기술 등을 연계·활용하여 최적화된 공간 환경과 서비스를 제공하여 완성되는 주택



3

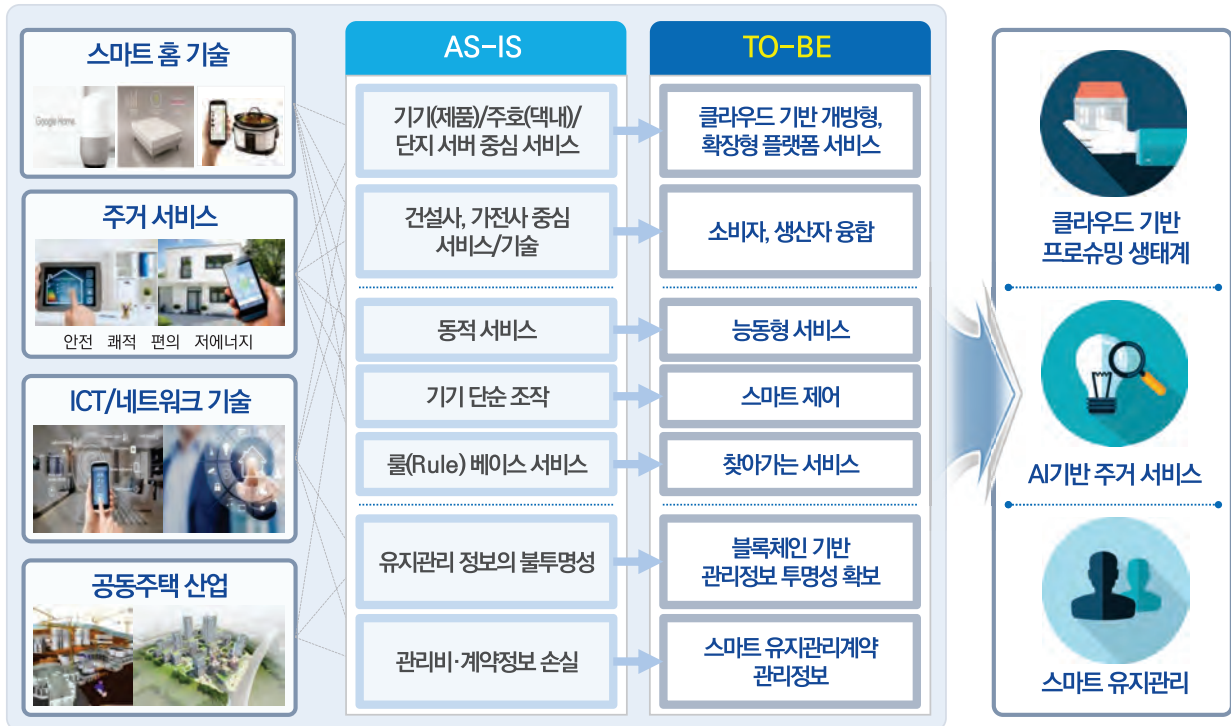
1 스마트하우징 개요



4

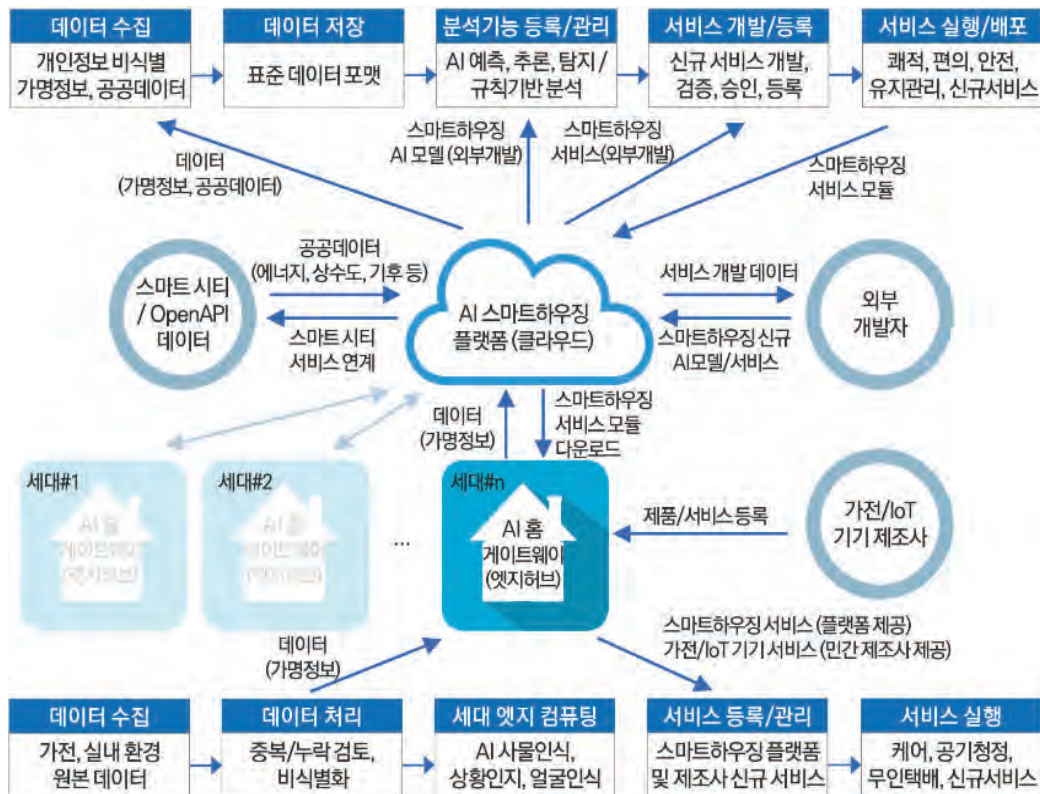
1 스마트하우징 개요_도입 배경

- 클라우드 기반 사용자 등록 및 서비스 운영 관리를 통해 특정 세대 및 사용자가 희망하는 **서비스 독립적 제공** 가능
- 기 구축된 인프라로 데이터를 확보**하고, 스마트하우징 **플랫폼 기반**(데이터 수집·분석·처리, 서비스 등록·관리 등) **물리적 자원의 제약 없이 서비스 확장** 가능



5

1 스마트하우징 개요_차별성



6

2 연구목표_스마트 주거서비스 적용 및 검증



7

3 스마트하우징 리빙랩 구축

- 실 증 1** 상리 에너지자립마을 리빙랩 2세대 및 LH 주택성능연구개발센터 리빙랩 2세대
- 실 증 2** 상리 에너지자립마을 33개 거주세대(23년 8월 준공) 스마트하우징 플랫폼 및 기술 종합 실증

실증기술명	부처/기관	기술 개요	1단계				2단계
			HERI		상리(에너지 체험하우스)		상리(임대 주택 세대)
			84m ²	59m ²	59m ²	34m ²	공공부 및 세대
스마트도어서비스	국 토 부	• 스마트 도어를 활용한 보안기능			●	●	
화재안전서비스		• 화재예방/설비자동제어, 최적피난경로제공			●	●	● (공공부)
방범안전서비스		• 이상상황 감지, 경고 및 CPTED 환경조성	○		●	●	● (공공부)
쾌적+청정 환기서비스		• 통합환경제어, 개인맞춤형제어		●			
스마트원도우서비스		• 거주자 반응형 클래딩, 상황인식형 환경제어	●				
스마트월 재택근무 자원서비스		• ICT 내장 인필 기술, 거주자 반응형 인필				●	
유지관리서비스	산 업 부	• 신속한 하자처리, 체계적 시설물 이력관리	●		●	●	● (28세대)
웰빙서비스		• 주택 내 정보 시각화			●	●	
시니어안전사고 알림서비스		• 고독사 예방 및 위급상황 알림			●	●	
수면케어서비스		• 비인자적 수면질 관리			●	●	
에너지케어서비스		• 전원 및 전등제어			●	●	● (28세대)
무인배송서비스		• 세대별 자동 택배 전달			●		
지능형 청정환경서비스		• 사용자 생활패턴 및 실내공기질 최적화 제어	●				

8

3 스마트하우징 리빙랩 구축_실증주택 리빙랩 구축

위치: 세종특별자치시 라온로66(주택성능연구개발센터, HERI)

구성: 실증주택 2개 세대(84m², 59m²)

목적: 실증을 위한 실험동 기반 플랫폼 연동 시험, 데이터 수집 및 서비스 효율성 검증



〈실증 세대 평면 84m²〉



〈실증 세대 평면 59m²〉

3

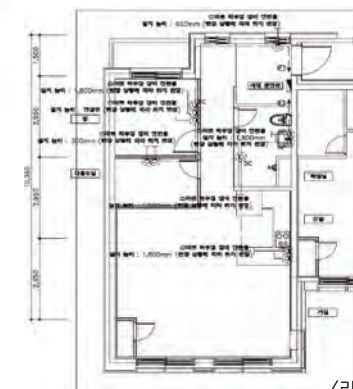
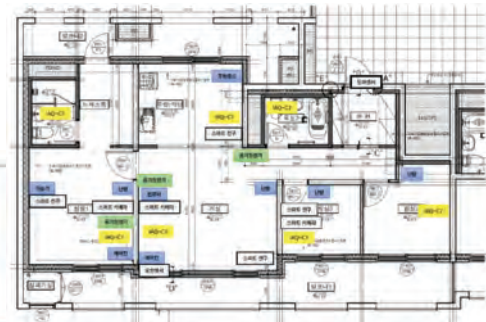
3 스마트하우징 리빙랩 구축_실증주택 기반 스마트 주거서비스 평가

스마트 주거서비스 인프라 구축

- 스마트 주거서비스 평가 전략 수립 및 관련 센서 및 측정항목 조사
 - 기존 주거서비스 대비 스마트 주거서비스 기술의 정량/정성적 평가 방향 수립
 - 주거 공간에 적용가능한 센서 및 장치를 조사하고, 허용 가능한 데이터 수준 정립



〈센서 및 측정항목 조사〉



〈리빙랩 전열 구성도〉

10

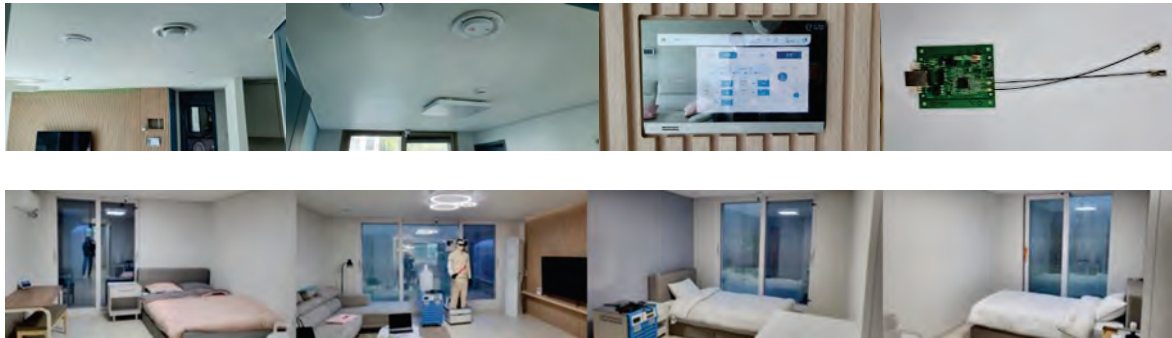
3 스마트하우징 리빙랩 구축_ 실증주택 기반 스마트 주거서비스 평가

리빙랩 활용 스마트하우징 서비스 평가

- LH 주택성능연구개발센터(HERI) 종합성능실험동 2세대 리빙랩 구축
- 서비스 별 성능평가 및 스마트하우징 플랫폼 연동 테스트

〈서비스 평가 항목 정의〉

평가분류	평가항목	평가목표	평가방법
기술구현 평가	측정	측정값이 실제사람의감각을대표하는지평가	데이터센서측정값비교
	작동	신호부여시장치가정상적으로작동하는지평가	신호부여후예정된장치의작동여부확인
시모델 평가	판단	A판단상황이정확한지평가	레이블링된상황확인
	예측	A예측값이정확한지평가	실제값예측값비교
개선효과 평가	정량비교	A사건수로기준치는물량평가	비용시간인력절감도검증
	만족도	A사건수로기준치는만족도평가	평가집단만족도설문



〈LH HERI 리빙랩 설치 시스템(환기장치, 제어 장치, 스마트원도우)〉

11

3 스마트하우징 리빙랩 구축_리빙랩을 활용한 스마트 주거서비스 평가

리빙랩 운영방안 수립

	1 1차년도 (계획단계)	2 2차년도 (1단계)	3 3차년도 (2단계)	4 4차년도 (3단계)		1 1차년도	2 2차년도	3 3차년도	4 4차년도
연구목표	• 리빙랩 운영방안 수립	• 리빙랩 구축	• 리빙랩 검증 및 기술 고도화	• 평가 및 고도화	구성단계	• 추진단 평가집단 구성(안) 도출	• 리빙랩 구축 • 선행 서비스 검증	• 리빙랩 평가 및 기술고도화 • 실증단지 구축	• 실증단지 적용 및 평가 • 평가 방안 고도화
연구내용	• 리빙랩 구축 계획	• 리빙랩 설계 및 구축	• 스마트 주거서비스 리빙랩 구축	• 스마트시티 리빙랩 구축 및 실증	진행전략	• 리빙랩 구축계획	• 실증단지(4세대) 기술 검증 평가 • 리빙랩 설계 및 구축 반영	• 리빙랩(5세대) 기술검정 평가 • 실증단지(5세대) 실증 평가	• 실증단지(5세대) 검증 평가
연구방법	• 리빙랩 구성(안) 설정 • 추진단 평가집단 구성(안) 도출 • 리빙랩 운영방안 도출	• 선행 서비스 시나리오 검토 • 주거서비스별 적용 범위 검토 • 리빙랩 평가(안) 선정 및 운영 • 리빙랩 설계 및 구축(안) • 선행 서비스 실증단지 검증	• 리빙랩 프로토타입 개발 • 리빙랩 구축 및 시운전 • 리빙랩 실증 최적 방안 도출 • 리빙랩 평가(안) 확대 및 운영 • 리빙랩 실증단지 테스트	• 리빙랩 실증단지 테스트 • 리빙랩 평가(안) 다량화 및 운영 • 스마트시티 리빙랩 구축 및 운영 • 스마트시티 실증 리빙랩 구축	평가인정 구성	• 전문가 지문 실시간(주거복지포럼) • 지자체(서울시, 사회적기업) 전문가 자문(실시) • 지자체 주도형 평가(안) 구성 (시민단체, 관공회, 학회)	• 지자체 주도형 평가(안) 구성 및 교육(시민단체, 관공회, 학회) • 전문가 주도형 평가(안) 확대 (전문가 평가인력 4명(안) 구성) • 주거복지 평가(안) 구성	• 지자체 주도형 평가(안) 교육 (시민단체, 관공회, 학회) • 전문가 주도형 평가(안) 확대 (전문가 평가인력 4명(안) 구성) • 주거복지 평가(안) 구성	• 평가(안) 다량화 • 전문가 주도형(시민단체, 학회) • 지자체 주도형(시민단체, 학회) • 사용자 주도형(일반인) • 주거복지 평가(안)
제도 및 논의사항	• 리빙랩 구성(안) 검토 • 평가집단 구성 및 운영계획 검토	• 서비스 선정 및 실증단지 검증 • 평가집단(전문가) 4명(안) 선정 및 평가 실시(21.11) • 리빙랩 설계(안)	• 주거서비스 실증 리빙랩 구축 • 리빙랩 평가(안) 확대(전문가, 학생, 시민)에 대한 선정 및 교육, 운영 • 리빙랩 실증단지: 서울 상지	• 리빙랩 실증단지: 서울 5-1 • 리빙랩 평가(안) 확대(전문가, 학생, 시민)에 대한 선정 및 교육, 운영 • 스마트시티 실증 리빙랩 구축	평가인정 운영	• 시민단체 및 관공회 학회 평가 인제 선정 • 전문가 및 주거복지 평가(안)에 선정 검토	• 시민단체, 학생 평가(안) 교육 및 운영 • 전문가 평가(안) 실증단지 기술 평가 및 서비스 개선, 보완 • 주거복지 평가(안) 교육 및 개선 반영	• 시민단체, 학생 평가(안) 교육 및 운영 • 전문가 평가(안) 리빙랩 기술 평가 및 서비스 개선, 보완 • 주거복지 평가(안) 교육 및 개선 반영	• 전문가 평가(안): 서비스 적용방안 검토 및 고도화 • 지자체: 평가 및 설문 • 사용자: 거주(입주)자의 만족도 및 제언 • 주거복지: 평가 및 제언

〈리빙랩 운영 로드맵 수립〉

〈추진단, 평가집단 구성(안)〉

- 리빙랩 교육 및 체험 프로그램 기획, 서비스 평가 실시



〈리빙랩 체험단/평가단 사전 교육〉

12

4 스마트하우징 종합실증/리빙랩 구축



위치: 세종특별자치시 조치원읍 상리 56-2번지 외 13필지

구성: 임대주택 2개동 31세대(34㎡, 59㎡), 리빙랩 2세대, 주민공동생활시설

지원사업명: 조치원읍 상리 도시재생 뉴딜사업, 에너지 자립마을 조성 사업

- (21.12.) 에너지 자립마을 착공
- (23.05.) 에너지 자립마을 전세 세대 실증 추진 협의 (세종시-KICT-LH)
- (23.06.) 입주자 계약기간 중 실증 세대 참여 의향서 접수
- (23.07.~) 플랫폼 서버 이관, 전세대 네트워크 구축, 전세대 스마트홈 자동화 장치 설치 등, 실증 세대 구축
- (23.08.) 준공 및 사용승인
- (23.10.) 입주민 대상 설명회 개최, 스마트하우징 플랫폼 및 서비스 이용 매뉴얼, 이용 태플릿 배포

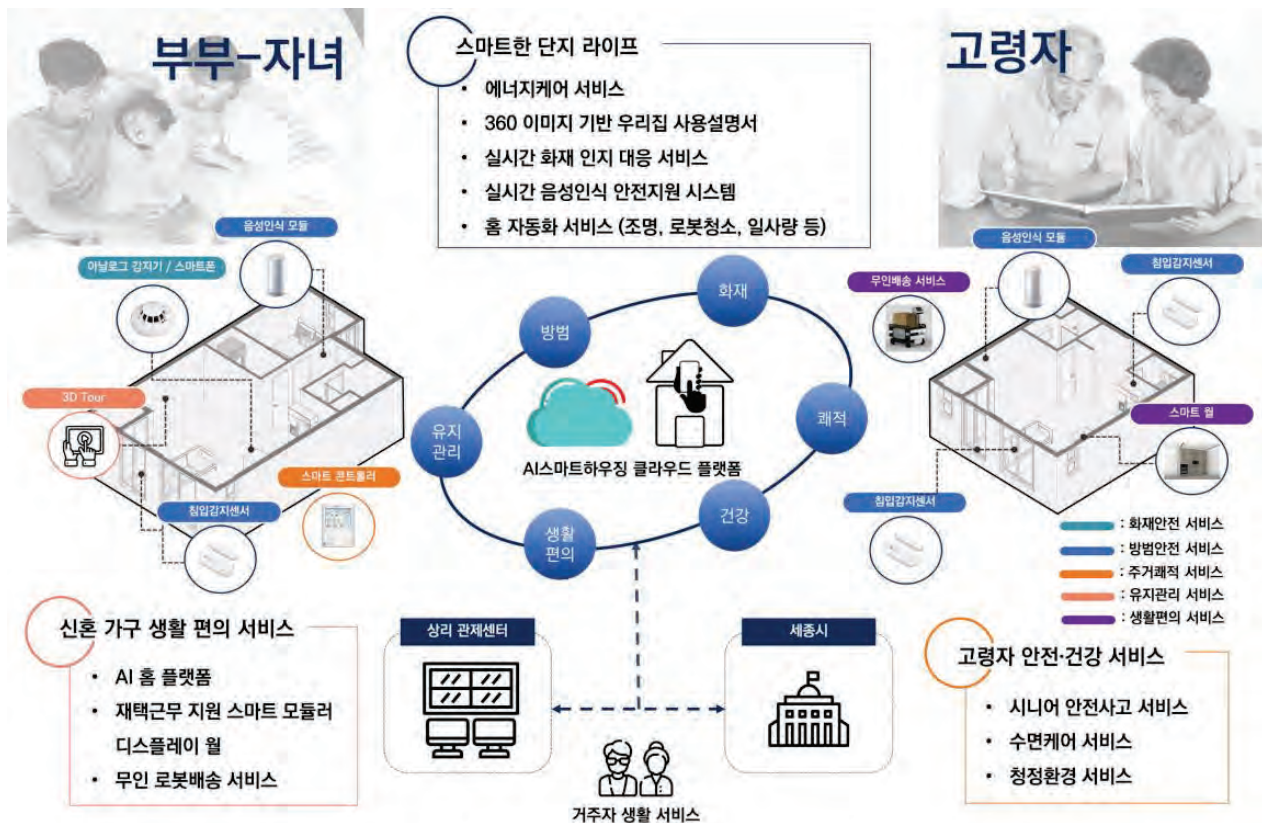
13

4 스마트하우징 종합실증/리빙랩_추진사항



14

4 스마트하우징 종합실증/리빙랩 구축_종합실증 세대 구성



15

3 스마트하우징 종합실증/리빙랩 구축_실증세대 리빙랩 구축



실증기술명	부처/기관	기술 개요	상리 임대주택		
			실증세대 (3개 세대)	공공부	일반세대 (28세대)
화재안전서비스	국토부	• 화재예방/설비자동제어, 최적피난경로제공	●	●	●
방법안전서비스		• 이상상황 감지, 경고 및 CPTED 환경조성	●	●	●
쾌적+청정 환기서비스		• 통합환경제어, 개인맞춤형제어	●	●	●
스마트원도우서비스		• 거주자 반응형 클래딩, 상황인식형 환경제어		●	
스마트월 서비스		• 무방월 기반 공간 가변, 소음 알림			
유지관리서비스	산업부	• 신속한 하자처리, 체계적 사설물 이력관리	●		●
스마트홈 자동화 서비스		• 조명, 보일러, 에어컨 제어, 출입 및 재실 감지			●
AI홈플랫폼 서비스 운영		• 주택 내 정보 시각화	●		
시니어안전사고 알림서비스		• 고독사 예방 및 위급상황 알림	●		
수면케어서비스		• 비인식적 수면질 관리	●		
에너지케어서비스	원익로보틱스	• 전원 및 전등제어	●		
무인배송서비스		• 세대별 자동 택배 전달		●	
지능형 청정환경서비스	위니아	• 사용자 생활패턴 및 실내공기질 최적화 제어			

16

4 스마트하우징 종합실증_스마트 주거서비스 평가를 위한 리빙랩 구축

공동주택 실증_리빙랩 1(201호)

- 세종 조치원 상리 에너지 자립마을 실증: 다부처(국토부/산업부) 종합실증 3개 세대, 국토부 3종 서비스 28세대, 리빙랩 2세대

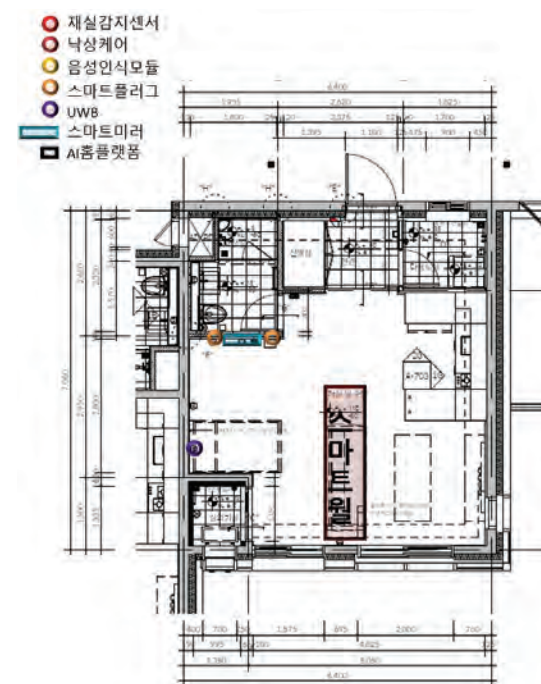


17

4 스마트하우징 종합실증_스마트 주거서비스 평가를 위한 리빙랩 구축

공동주택 실증_리빙랩 2(202호)

- 세종 조치원 상리 에너지 자립마을 실증: 다부처(국토부/산업부) 종합실증 3개 세대, 국토부 3종 서비스 28세대, 리빙랩 2세대



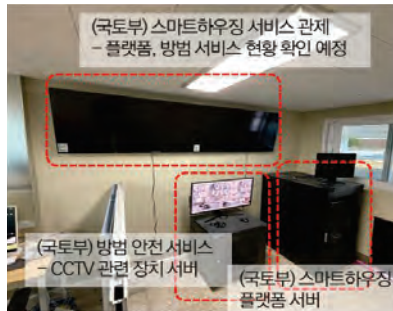
<리빙랩#2>

18

4 스마트하우징 종합실증_스마트 주거서비스 평가를 위한 리빙랩 구축

공공부를 활용한 스마트서비스 실증

- 세종 조치원 상리 에너지 자립마을 실증: 다부처(국토부/산업부) 종합실증 3개 세대, 국토부 3종 서비스 28세대, 리빙랩 2세대



〈공공부 적용 서비스〉

19

4 스마트하우징 종합 실증_스마트 주거서비스 종합 실증세대 구축

공동주택 종합실증 1

- 세종 조치원 상리 에너지 자립마을 실증: 다부처(국토부/산업부) 종합실증 3개 세대, 국토부 3종 서비스 28세대, 리빙랩 2세대



〈종합실증세대#1〉

20

4 스마트하우징 종합실증_스마트 주거서비스 종합 실증세대 구축

공동주택 종합실증 2

- 세종 조치원 상리 에너지 자립마을 실증: 다부처(국토부/산업부) 종합실증 3개 세대, 국토부 3중 서비스 28세대, 리빙랩 2세대



<종합실증세대#2>

21

4 스마트하우징 종합 실증_스마트 주거서비스 종합 실증세대 구축

공동주택 종합실증 3

- 세종 조치원 상리 에너지 자립마을 실증: 다부처(국토부/산업부) 종합실증 3개 세대, 국토부 3중 서비스 28세대, 리빙랩 2세대



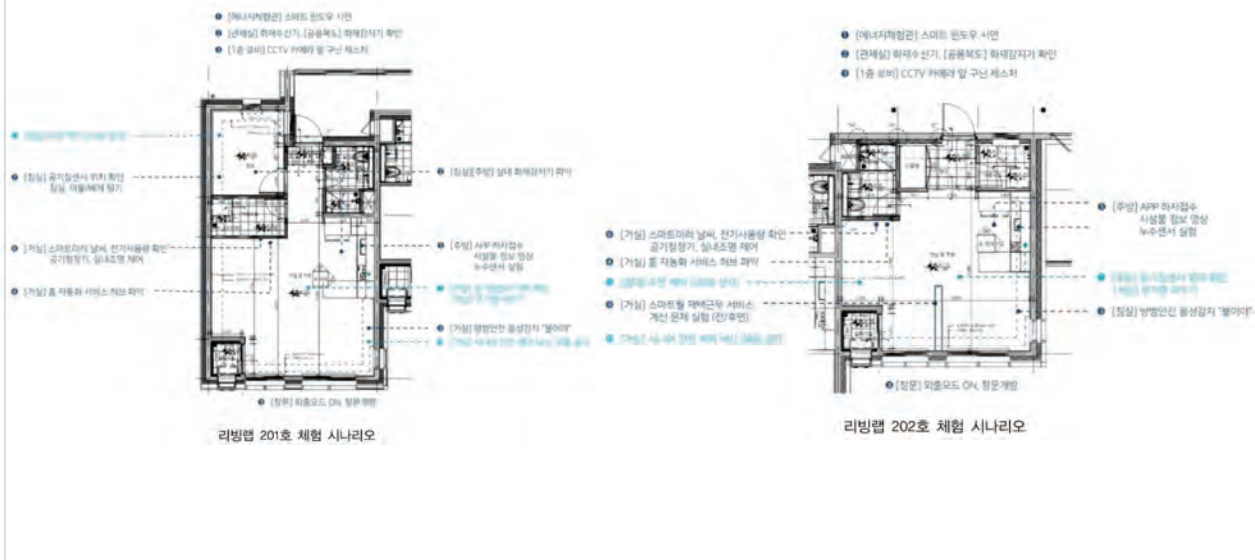
<종합실증세대#2>

22

5 스마트 주거서비스 리빙랩 운영_체험 시나리오 개발

리빙랩을 활용한 스마트 주거서비스 체험 시나리오 개발

- 조치원 상리 에너지 자립마을 리빙랩 운영
 - 에너지 자립마을 리빙랩 체험2세대 구축 후 주거서비스 기술 적용 완료(10개)
 - 실제 주거세대(31세대)에 주거서비스 기술 적용(3개)에 대한 리빙랩 운영
- ⇒ 적용된 주거서비스 기술에 대한 리빙랩 참가자 및 실 거주자의 사용자 경험 및 만족도 평가

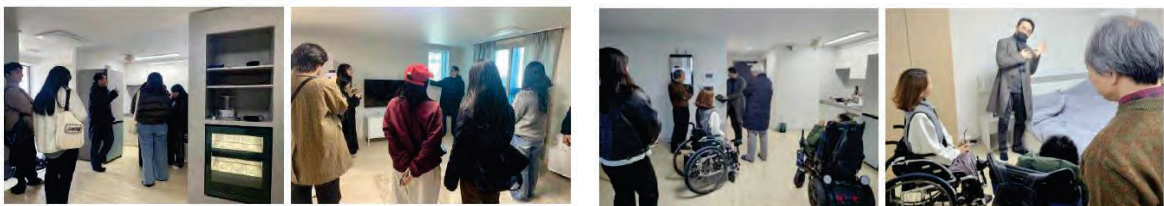


23

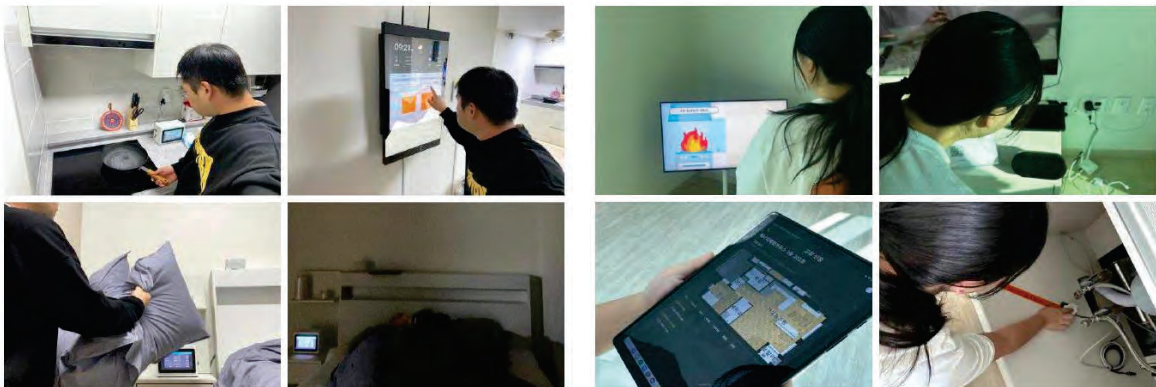
5 스마트 주거서비스 리빙랩 운영_체험 프로그램 운영

리빙랩을 활용한 스마트 주거서비스 체험프로그램 운영

- 조치원 상리 에너지 자립마을 주거서비스 리빙랩 종합평가 수행 중
 - 다양한 주거서비스 기술의 성능(상호 연계성, 간섭 여부 등) 종합평가
 - 서비스 체험 대상자(50인)에게 Task 부여를 통한 서비스평가



〈당일체험〉



〈숙박체험〉

24

5 스마트 주거서비스 리빙랩 운영_스마트 주거서비스 평가

리빙랩을 활용한 스마트 주거서비스 평가

- 조직원 상리 에너지 자립마을 리빙랩 운영

스마트하우징 리빙랩 1차 설문조사

안녕하십니까.

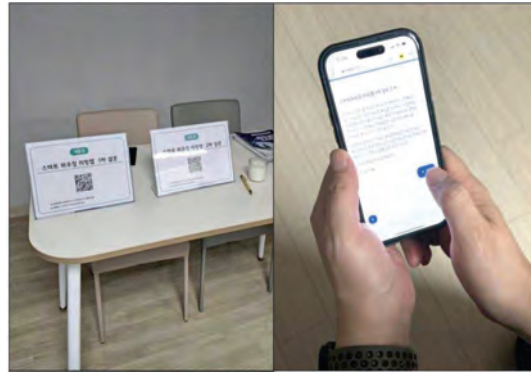
본 조사는 한국도시주택공사가 수행하고 있는 「AI기반 스마트하우징 플랫폼 및 서비스 기술개발」, 국토과학기술진흥원(국토과학기술진흥원)의 일환으로 개발된 주거서비스가 적용된 리빙랩에서 체험 전 이해도 및 기대정도를 조사하기 위한 것입니다. 귀하께서 응답하신 내용은 통계법 제33조 비밀보호의 원칙에 따라 통계 목적으로만 사용되며, 조사목적 외의 다른 용도로는 사용하지 않을 것을 약속드립니다.

설문에 응해주셔서 감사합니다.

2023년 10월

※ 통계학적 질문 항목입니다.

1. 귀하의 성별은 어떻게 되십니까?	① 남자 ② 여자
2. 귀하의 만 나이는 어떻게 되십니까?	만 () 세
3. 귀하는 현재 어느 시/구에 거주하고 계십니까?	_____시/도 _____구
4. 귀하는 결혼을 하셨습니까?	① 미혼 ② 기혼
5. 귀하에게 함께 살고 계신는 동거가족(가족/친지/동업자) 등의 수는 귀하를 포함해 총 몇 명입니까?	_____명
6. 귀하께서는 자녀가 있으십니까?	① 있음(____명) ② 없음
7. 귀하는 현재 몇 층에 거주하고 계십니까?	_____층
8. 귀하께서는 평소 청문을 주기적으로 열어 자연환기를 시키는 편이십니까?	① 예 ② 아니오
9. 귀하께서는 평소 수면 장애(불면증, 코골이 등)를 겪고 계십니까?	① 예 ② 아니오
10. 귀하의 직업은 어떻게 되십니까?	1. 전문직/전문기술직 2. 관리직/행정직 3. 사무직/기술직 4. 판매직 5. 기능직/노동직 6. 서비스업 7. 자영업 8. 대학원생 9. 전업주부 10. 무직 11. 기타(구체적으로)



스마트하우징 리빙랩 2차 설문조사

안녕하십니까.

본 조사는 한국도시주택공사가 수행하고 있는 「AI기반 스마트하우징 플랫폼 및 서비스 기술개발」, 국토과학기술진흥원(국토과학기술진흥원)의 일환으로 개발된 주거서비스가 적용된 리빙랩에서 교육 체험 후 이해도 및 기대정도를 조사하기 위한 것입니다. 귀하께서 응답하신 내용은 통계법 제33조 비밀보호의 원칙에 따라 통계 목적으로만 사용되며, 조사목적 외의 다른 용도로는 사용하지 않을 것을 약속드립니다.

설문에 응해주셔서 감사합니다.

2023년 11월

※ 통계학적 질문 항목입니다.

1. 귀하의 성별은 어떻게 되십니까?	① 남자 ② 여자
2. 귀하의 만 나이는 어떻게 되십니까?	만 () 세
3. 귀하는 현재 어느 시/구에 거주하고 계십니까?	_____시/도 _____구
4. 귀하는 결혼을 하셨습니까?	① 미혼 ② 기혼
5. 귀하에게 함께 살고 계신는 동거가족(가족/친지/동업자) 등의 수는 귀하를 포함해 총 몇 명입니까?	_____명
6. 귀하께서는 자녀가 있으십니까?	① 있음(____명) ② 없음
7. 귀하는 현재 몇 층에 거주하고 계십니까?	_____층
8. 귀하께서는 평소 청문을 주기적으로 열어 자연환기를 시키는 편이십니까?	① 예 ② 아니오
9. 귀하께서는 평소 수면 장애(불면증, 코골이 등)를 겪고 계십니까?	① 예 ② 아니오
10. 귀하의 직업은 어떻게 되십니까?	1. 전문직/전문기술직 2. 관리직/행정직 3. 사무직/기술직 4. 판매직 5. 기능직/노동직 6. 서비스업 7. 자영업 8. 대학원생 9. 전업주부 10. 무직 11. 기타(구체적으로)

25

5 스마트 주거서비스 리빙랩 운영_스마트 주거서비스 평가

리빙랩을 활용한 스마트 주거서비스의 고도화

스마트 윈도우 서비스

- 스마트 윈도우 서비스 적합여부에 대해 '실내 적정조도 유지', '적정시선 구비여부' 모두 80% 이상이 적합한 서비스라 응답하였으며, 스마트 윈도우 서비스를 통한 기대효과로 편리함과 시간절감 및 기회비용 절감에 대한 기대수준이 높은 것으로 나타남
- 기타 개선이 필요한 의견으로 ' 프라이버시 보호 색 개선 필요(현재는 약함)', '거주자에 대한 반응 속도가 느림', '인공지능을 통한 자동화시스템 필요', '유리 파손 시 알림서비스 필요' 등 다양한 의견을 제시함



화재안전 서비스

- 화재안전 서비스 체험 후 화재정보 제공에 대한 도움여부 설문결과 전 항목에서 90% 이상이 도움이 된다고 응답하여 전반적으로 긍정적으로 인식하고 있었으며 특히 '화재 센서정보 확인', '화재정보제공'의 도움도가 높은 것으로 나타남
- 기타 개선이 필요한 의견으로 '알림조절', '시청각 자료 내 대피경로 안내', '가시성 저하 시 전선 등 감광한 마무리 필요', '연령대를 고려한 다양한 알림 시스템', '서비스 이용 전 교육안내 보완', '즉각적 반응 및 신속한 정보전달', '주거약자에 대한 맞춤형 서비스 필요' 등 다양한 의견을 제시함

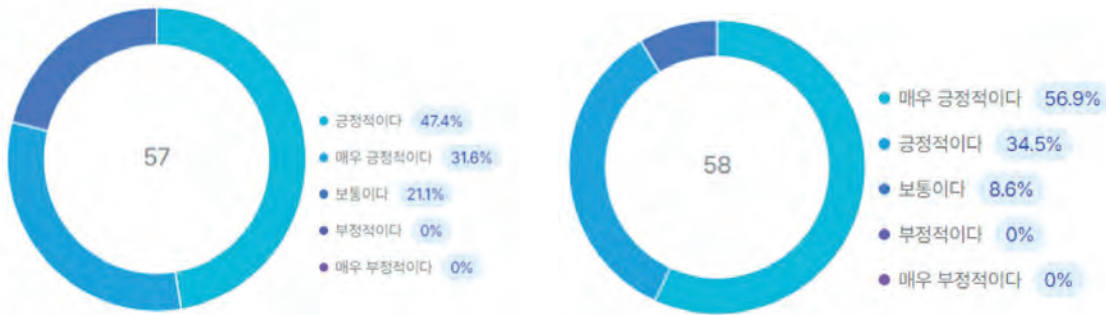


<리빙랩을 활용한 스마트하우징 서비스 평가예>

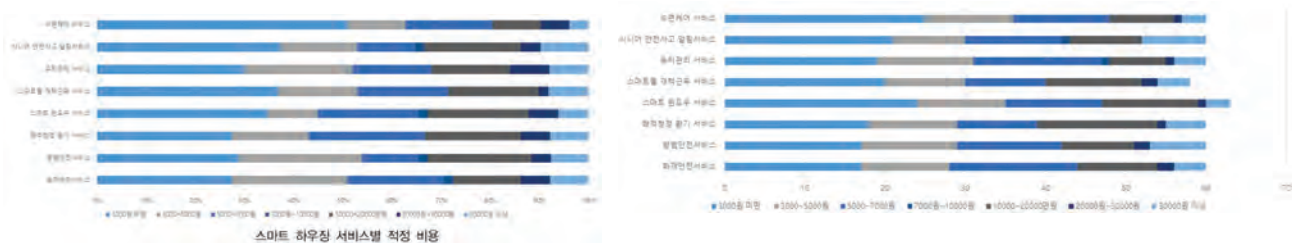
26

5 스마트 주거서비스 리빙랩 운영_스마트 주거서비스 평가

리빙랩을 활용한 스마트 주거서비스의 고도화



〈스마트하우징 서비스 적용에 대한 의견〉



〈스마트하우징 서비스 적정비용에 대한 의견〉

27

6 연구성과 및 활용계획

세부성과

- 스마트 주거서비스 평가방안 개발
 - 스마트 주거서비스 평가 시나리오 작성 및 시나리오별 평가인자 도출
- 스마트 주거서비스 시나리오 별 성능평가 시스템 구축
 - 서비스별 성능평가 시스템 구축
 - 스마트주거서비스 구현을 위한 리빙랩 설계 및 구축
- 리빙랩 운영
 - 리빙랩 운영 수립 : 평가집단 인력풀, 리빙랩 방법론, 교육 프로그램 및 유지관리
 - 리빙랩 종합평가 : 실제 주거환경을 대상으로 다양한 주거서비스 기술의 성능 (상호 연계성, 간섭 여부 등) 종합평가



· 논문 : 4건
· 특허 등록 : 5건
· 저작품 : 2건

연구성과 우수성 및 활용계획

(우수성)

- 클라우드 플랫폼 기반 지능형 주거 서비스 리빙랩 운영을 통해 미래형 주거 플랫폼의 지향점 제시

기존 서비스의 경우 공급자 중심에서 수요자 중심으로 전환된 주택정책의 구조 안에서 주거 서비스와 스마트 기술 연계계획이 미래형 주거 플랫폼의 지향점이라 할 수 있으며, 현재 구축되어 있는 실거주 가능 리빙랩을 활용해 사용자들의 반응을 수집하고 분석함으로써 시 기반 스마트 하 우징 서비스 연구의 실효성을 높이고자 함

(활용계획)

- 스마트하우징 기술 모니터링 및 검증

- 리빙랩 구축 : 실거주환경 리빙랩 체험공간 4세대를 기술체험 및 성능평가에 활용
- 리빙랩 운영 및 평가방안 : 스마트 주거서비스에 대한 표준적인 평가 및 교육프로그램에 활용
- 특허(인체모사장치) : 비재실환경에서 거주자 재실 모사 및 서비스 평가에 활용
- 특허(외부환경챔버) : 건물외피기능 및 기후조건 모사
- 특허(PMV예측모델) : 거주자의 온열 쾌적도를 빠르고 효율적으로 항상 시킬 수있는 제어 모델 및 제품개발에 활용

28

Thank You

29



Land



Housing



Research



Institute