



ISSUES

건설패러다임 변화를 위한 LH OSC PC공법 활성화 방안





REPORT

고품질 PC공동주택 공급을 위한 품질관리 시스템 고도화

C O N T E N S

건설패러다임 변화를 위한 LH OSC PC공법 활성화 방안

김민준 수석연구원

-  OSC 공법의 특징
-  OSC PC공동주택 기술력 제고를 위한 LH R&D 현황
-  LH PC공동주택 건설사업 수행 현황
-  공동주택 건설패러다임 변화를 위한 LH의 노력

건설패러다임 변화를 위한 LH OSC PC공법 활성화 방안

김민준 수석연구원

OSC공법의 특징

◎ OSC 공법 도입의 필요성

- 건설생산성 저하는 전세계적으로 발생하고 있는 현상으로 OSC(탈현장 : Off-site construction)공법 활성화로 건설생산성 확보가 필요한 시점
- OSC 공법은 공동주택의 고층화·대형화에 유리한 PC(Precast concrete)공법, 도심지 소규모·급속 시공형 주택에 유리한 모듈러 공법 등으로 구분

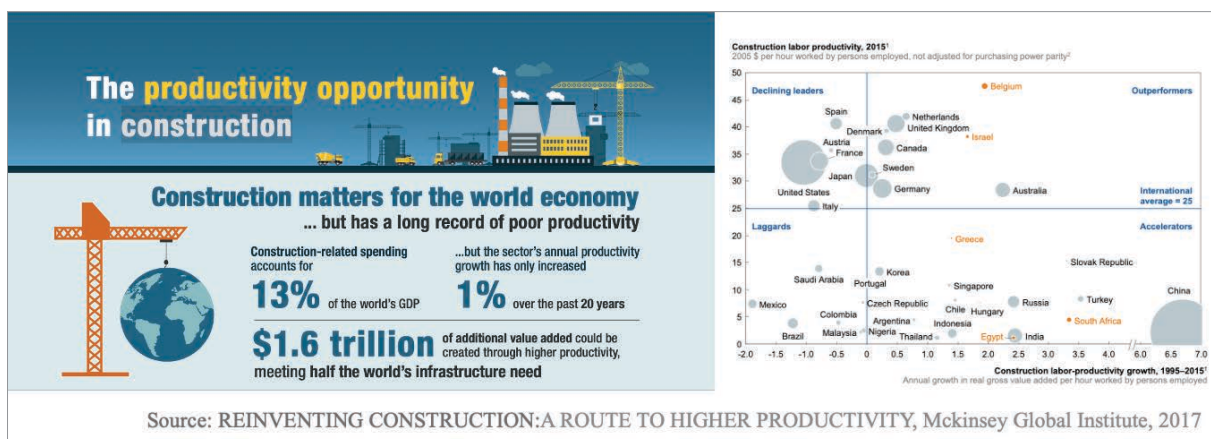


그림-1 전 세계적인 건설생산성 저하

◎ OSC PC공법의 특성

- OSC PC공법은 공장생산으로 공동주택의 품질을 확보할 수 있으며, 다양한 기술개발을 통하여 시공성 및 경제성 확보가 가능할 것으로 예상

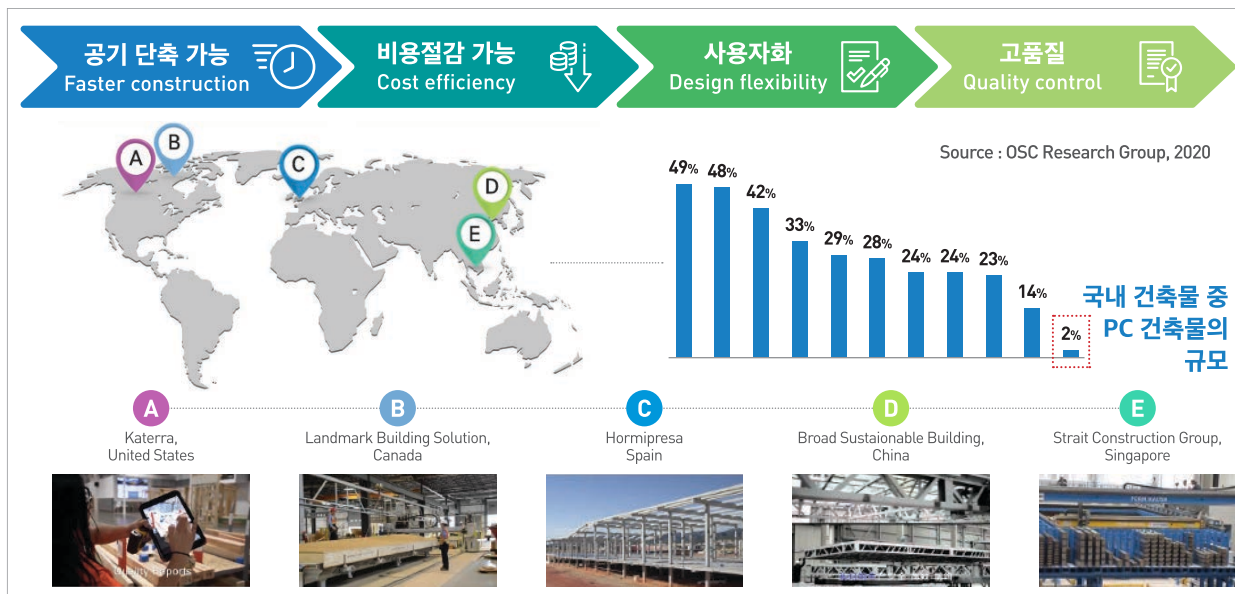


그림-2 OSC PC공법의 특성

OSC PC공동주택 기술력 제고를 위한 LH R&D 현황

◎ OSC PC구조설계 및 시공지침 제정 참여

- 1992년 제정된 프리캐스트 콘크리트 조립식건축 공사표준시방서의 개정 요구
 - 1992년 대비 사용재료(콘크리트, 철근)의 강도 상향 및 구조설계의 방법의 발전
 - * PC건축을 위한 공사시방서로 2024년 12월 이전까지 국가설계기준(KDS)에 프리캐스트 구조설계기준 전무
- 국내외 PC구조 관련연구 및 설계기술을 반영한 LH PC공동주택 구조설계지침 개발
 - PC구조 공동주택 건설에 필요한 구조설계분야(부재설계, 접합부, 내진설계 등)를 중심으로 학술적 연구를 수행하여 PC공동주택 건설에 필요한 지침 개발
 - * 지침(안)의 활용성 제고를 위해 LH PC공동주택 시범사업(김포, 아산탕정)의 설계 내용 반영
- 국가건설기준(KDS)의 건축물 프리캐스트 콘크리트구조 설계기준 제정 참여
 - LH PC공동주택 구조설계지침을 근간으로 2024년 12월 건축물 프리캐스트 콘크리트 기준 제정
 - ⇒ 국가건설기준을 근간으로 한 고품질의 PC공동주택 건설가능

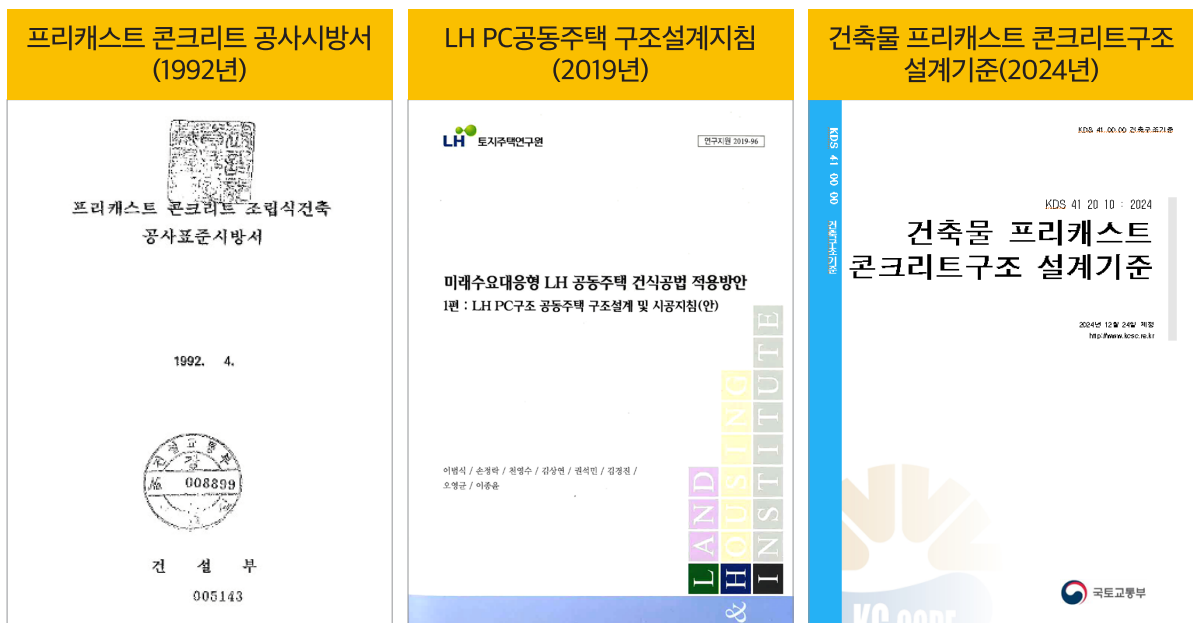


그림-3 OSC PC구조설계 및 시공지침 제정 변천

◎ 고품질 OSC PC공동주택 요소기술 개발

- PC공동주택의 품질 확보에 중요한 요소인 PC접합부 구조성능 확보기술 개발
 - 현행 PC공법에 널리 사용되는 습식접합부(스플라이스 슬리브)를 대상으로 그라우트 강도 및 비파괴 검사법을 이용한 품질확보 방안 연구
 - * 고품질 PC공동주택 공급을 위한 품질관리 시스템 고도화(2024년 LHRI 연구완료)
- 기존 RC공법대비 품질확보가 용이한 PC공법을 이용한 무량판 PC지하주차장 공법 개발
 - 공동주택 주동에만 국한된 PC공법의 적용을 탈피하여 지하~주동까지의 ALL PC공동주택 구현을 위한 무량판 PC지하주차장 공법 개발 연구
 - * LH 주차장 PC무량판 구조 공법 제안(2025년 LHRI 연구수행중)

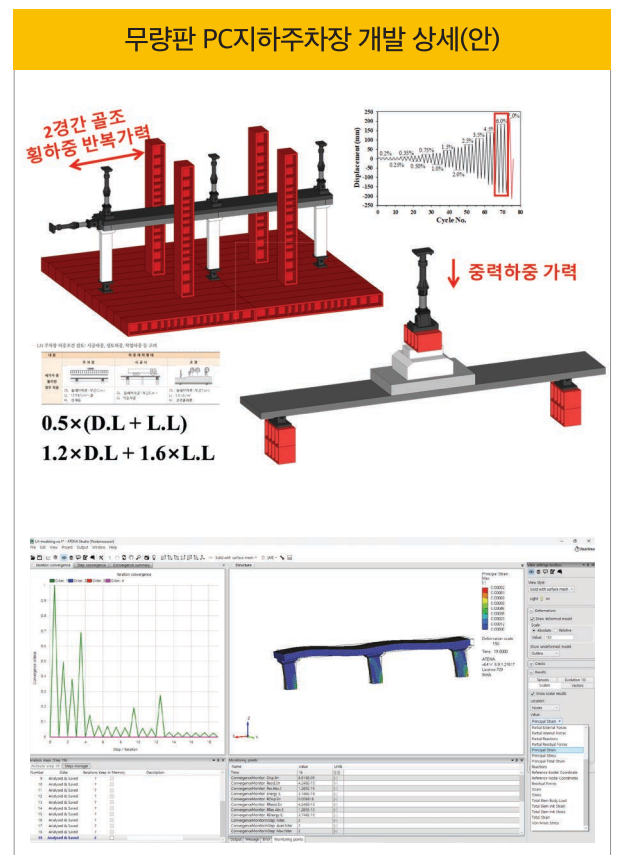


그림-4 LH의 고품질 OSC PC공동주택 요소기술 개발 현황

◎ LH PC공동주택 시범사업(LH 자체 수행)

- PC공법을 적용한 2건의 벽식 및 보-기둥 구조 아파트 시범 사업 수행

① (벽식구조) 김포한강 Aa-12BL 지하 1층 지상 4층 규모 1개동(2021년2월 준공)

② (보-기둥구조) 아산탕정 A-15BL 지하 1층 지상 7층 규모 1개동(2022년 10월 준공)

* PC건축을 위한 공사시방서로 2024년 12월 이전까지 국가설계기준(KDS)에 프리캐스트 구조설계기준 전무

- (주요내용) 벽식 및 보-기둥 구조 PC공동주택 시범사업을 통한 PC공법의 구조, 건축계획, 사업관리, 건설재료 등의 기술기반 구축

◎ LH PC공동주택 실증사업(국가연구개발 과제 연계)

- OSC 공법의 국가연구개발 과제(OSC 연구단)와 연계한 PC공동주택 실증사업 수행

* OSC 연구단: Off-Site Construction 공동주택 생산시스템 혁신기술 개발(2020년 4월~2025년 12월)

- 평택고덕 A-58BL 보-기둥 구조, 지하 1층 지상 12층 규모 1개동(2025년 09월 준공예정)

- 실증사업은 LHRI 및 OSC연구단의 연구결과와 LH PC공동주택 시범사업의 성과를 적용



그림-5 LH PC공동주택 건설현황

공공주택 건설패러다임 변화를 위한 LH의 노력

◎ 2030 LH OSC 주택 로드맵

- LH는 2024년 3월 2030 LH OSC 주택 로드맵을 발표하고 국내 OSC 기반 공공주택의 활성화 방안을 모색 중
- ① (최종목표) 고품질, 시공성, 경제성 확보된 OSC 주택 공급
- ② (추진방법) OSC 기술개발, 제도 합리화 등을 통하여 공공주도 OSC 주택 시장 확대

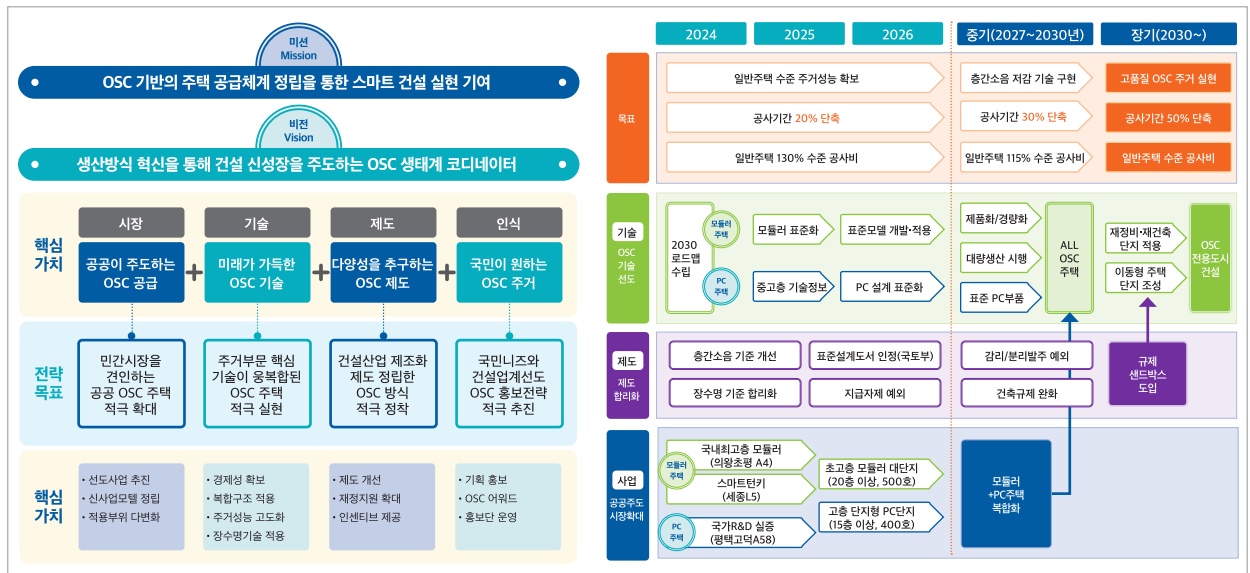


그림-6 2030 LH OSC 주택 로드맵

◎ LH형 OSC PC공동주택 생산시스템 구축

- LH의 OSC PC공법 R&D 및 국가연구개발과제 연계를 통하여 고품질을 담보하고 시공성 및 경제성 확보가 가능한 LH형 OSC ALL-PC공동주택 생산시스템 구축
- 2030 LH OSC 주택 로드맵을 근간으로 OSC PC공동주택 기술력 제고를 위한 R&D 수행
- OSC PC공법에 유리한 단지화 고층화 PC공동주택 실증 사업 수행



그림-7 LH형 ALL-PC공동주택 생산시스템

C O N T E N S

고품질 PC공동주택 공급을 위한 품질관리 시스템 고도화

김민준 수석연구원(연구책임)

이범식 연구위원, 전명훈 연구위원, 노준오 차장

 PC접합부 품질관리 기법 제안

 PC접합부 품질관리 기법 검증

 PC접합부 품질관리 지표 수립

#OSC #PC공동주택 #PC공법 #PC접합부

Summary

연구배경 및 필요성

- 국내·외 건설환경 변화에 대응하고 LH공동주택의 품질 확보를 위해서는 탈현장(OSC) 공법을 통한 건설 생산성의 고도화를 이루어야하나, 탈현장 공법의 구체적인 실행방안에 대한 연구 필요
- PC공법은 고층화·단지화 공동주택의 건설이 가능하여 세대 수 확보에 유리하나, 공장생산의 특성상 필연적으로 발생하는 PC접합부의 품질에 따라 구조 시스템 및 건설현장의 안전성 저하 우려가 있음
- PC건축물에 널리 사용되는 습식 PC접합부의 품질 검사는 현행 기준(국내: KCS, EXCS, 국외: PCI, JASS10)에 따라 육안 검사에 의존하고 있어 정량적인 품질 확보 기준이 모호함. 이에 PC접합부의 정량적인 품질관리에 필요한 비파괴 방식 등 새로운 검사 방법 필요
- 본 연구에서는 PC접합부 품질관리 지표 제안을 통하여, 고품질 LH PC공동주택 건설을 위한 실행 방안을 제안하고자 하였음. 이번 연구를 통해 제안된 PC접합부 품질관리 지표는 LH PC공동주택의 구조적 안전성 향상을 이룩함과 동시에 PC공동주택의 활성화에 기여할 것으로 판단됨

연구목적 및 범위

- **(연구목적)** PC접합부 품질관리 시스템 고도화 방안 제시를 위한 비파괴 및 정량적 데이터기반의 PC접합부 품질관리 지표 수립
- **(연구범위)** 수직 PC접합부의 이음철물(스플라이스 슬리브)을 대상으로 그라우트 충전율 및 강도에 따른 인발성능 평가, 비파괴 방식을 이용한 그라우트 충전 품질 검사 기법 제안 및 검증

고품질 PC공동주택 공급을 위한 품질관리 시스템 고도화

PC접합부 품질관리 기법 제안

◎ PC공동주택 접합부 시공 및 품질관리 관련 선행연구 검토

- 기존 국내·외 연구결과 및 PC공동주택 현장조사(벽식 및 보-기둥 구조)를 수행하여 PC접합부 그라우트 충전 품질 저하 시나리오 제안
 - 스플라이스 슬리브 주입 방식, 그라우트 강도와 재령, 철근의 직경 및 배근위치(편심)에 따라 PC 접합부 그라우트 충전 품질 저하 발생 가능
- 기존 연구문헌 및 실제 PC공동주택 건설현장의 검증을 통한 비파괴 검사기법 검토
 - 스플라이스 슬리브 내 그라우트 특성을 반영한 초음파 탐상법을 품질 검사기법으로 제시
- PC접합부 작용하중에 따른 구조적 영향 검토
 - PC접합부는 휨 및 전단 등 다양한 하중에 구조적인 안전성을 확보해야 하므로 본 연구에서는 현행 콘크리트구조 정착 및 이음 설계기준(KDS 14 20 52 : 2021)에 따라 일방향 인장시험, 고응력 반복시험, 기계적이음 시험의 3가지의 방법으로 PC접합부 작용하중에 대한 영향 검토

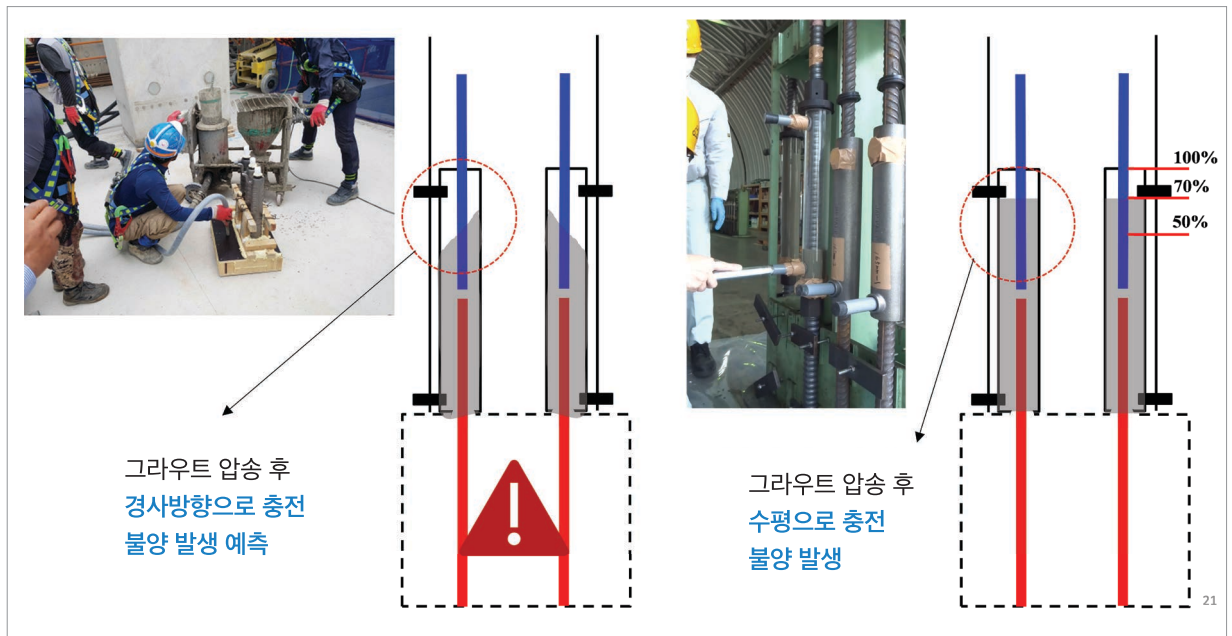


그림-1 PC접합부 그라우트 충전 품질 결함 예

PC접합부 품질관리 기법 검증

◎ PC접합부 그라우트 충전결합 분석을 위한 실대형 Mock-up 실험

- PC공동주택 건설현장과 동일한 조건에서의 실대형 Mock-up 실험체를 제작하여 그라우트 주입을 수행하였음(벽식 및 보-기둥 구조 대상)
 - 스플라이스 슬리브 내 그라우트 충전결합은 평균 약 8.5%로 나타났으며, 그라우트 주입 완료 후 주입기의 압력이 제거 되었을 때와 철근의 편심에 의하여 발생하였음
 - PC접합부 구조 품질을 확보하기 위해서는 평균 10%의 그라우트 충전결합을 고려하여 스플라이스 슬리브 내 그라우트 강도 및 정착길이에 대한 검토가 필요하다 판단됨



(a) 그라우트 주입



(b) Mock-up 실험



(c) 스플라이스 슬리브 내 충전 결합

그림-2 2실대형 Mock-up 실험

◎ PC접합부 그라우트 충전성 및 인발성능 평가

- 그라우트 충전 재령 28일에 맞춰 수행된 스플라이스 슬리브의 인발성능 평가
 - 그라우트 설계강도가 60MPa, 80MPa이고, 충전율이 100%인 시험체는 대부분 규정 인장강도를 만족하였으나 설계기준항복강도 125%(1.25 f_y), 변형량을 불만족하였음
 - 그라우트 설계강도가 60MPa, 80MPa이고, 충전율이 80%와 50%인 시험체는 현행 기준에서 제시하는 인발성능을 보유하지 못하였음
 - 그라우트 설계강도가 100MPa이고, 충전율이 100%인 시험체는 모든 시험체에서 규정인장 강도, 설계기준항복강도 125%(1.25 f_y), 변형량을 만족하였음
 - 이를 통하여 PC접합부 내 스플라이스 슬리브의 품질(인발성능)을 확보하기 위해서는 그라우트 강도가 중요한 인자임을 확인하였음
- 그라우트 충전 재령시간에 따른 스플라이스 슬리브의 인발성능 평가
 - 그라우트 충전 재령 1일 이후 그라우트 압축강도의 급격한 증가가 나타났으며, 이와 연계하여 스플라이스 슬리브의 인발강도도 증가하였음
 - PC접합부 스플라이스 슬리브 내 그라우트의 초기 압축강도가 확보되면 PC부재의 가설재 해체가 가능하여 PC공동주택의 시공성(공기단축) 향상 가능

(a) 일방향 인장시험 세팅



(b) 인발시험결과(재령 28일)

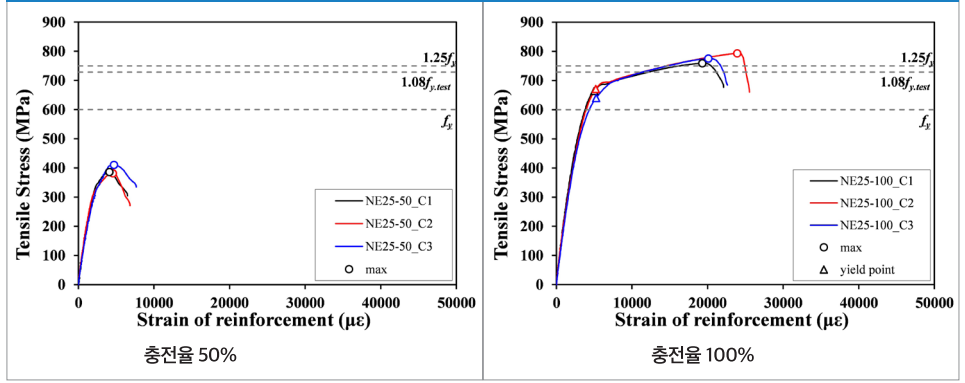
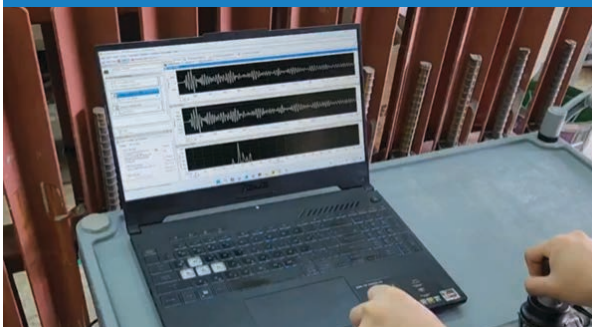


그림-3 스플라이스 슬리브 인발시험

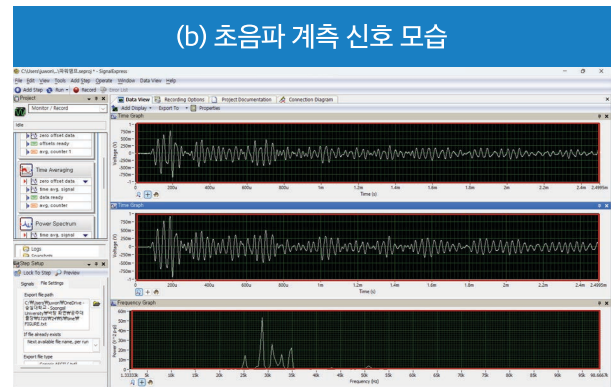
◎ 비파괴 검사를 통한 그라우트 충전 품질 평가

- 초음파 탐상을 이용한 PC접합부 그라우트 충전율 계측 방법을 제안하였으며, PC공동주택의 건설현장에서 실제 사용할 수 있는 이동형 현장 맞춤형 장비를 제작하여 특허 출원하였음(출원번호: 제2024-0182155호)
- 초음파 탐상은 P파와 S파를 이용하여 실험실에서 제작된 스플라이스 슬리브를 대상으로 1,254개를 수행하였으며, 수행된 초음파 탐상법은 correlation 값이 0.98로 나타나 시험자의 숙련도와 관계없이 신뢰성있는 결과를 도출하였음
 - S파 신호의 주파수 스펙트럼 해석 결과, Clustering 알고리즘을 통해 주관적 해석 없이 그라우트 충전율 100%와 미충전 상태(50%, 80%)를 구분할 수 있었음
 - 초음파 종합지표에서는 충전율 50% 데이터를 제외하고 음의 상관관계를 확인하였음 또한, 초음파 P파 신호 지표 분석 결과, 그라우트 재령에 따라 초음파 신호가 달라짐을 확인하였음

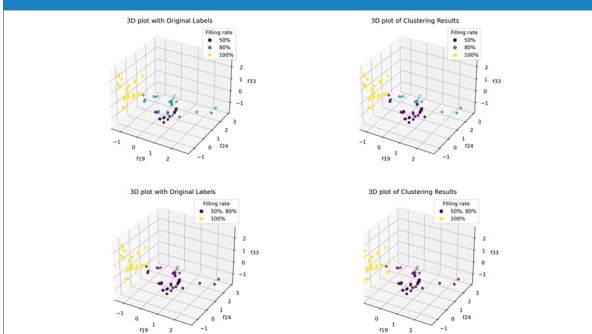
(a) 제작 시험체 초음파 측정 모습



(b) 초음파 계측 신호 모습



(c) 3D 클러스터링



(d) K-medoids

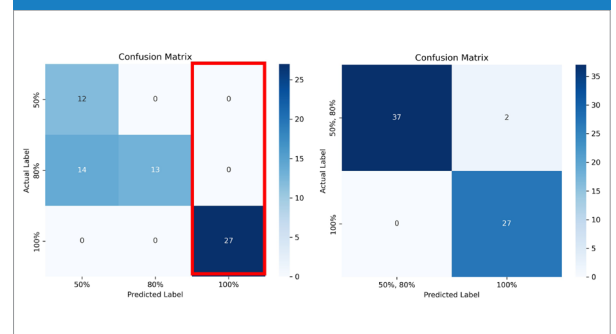


그림-4 초음파를 활용한 스플라이스 슬리브 탐상

PC접합부 품질관리 지표 수립

◎ 그라우트 강도에 따른 PC접합부 품질관리 지표 수립

- 스플라이스 슬리브 내 철근과 그라우트의 부착응력에 기반하여 “그라우트 설계 압축강도 지표”를 제안하였음
 - Mock-up 실험결과를 바탕으로 그라우트 충전결합 10%을 고려 할 때, 필요한 그라우트 압축강도는 PC부재 철근의 직경에 따라 55.3MPa~87.1 MPa로 산출되었음(재령 28일)
 - 현행 LHCS 및 PC공동주택 현장에서 사용되는 그라우트 설계 압축강도(60MPa~80MPa)와 유사한 값으로 확인됨

표-1 부착강도를 활용한 그라우트 설계 압축강도 지표

| 직경 | 충전율 | Ave.K | Min.K | $f_{ck.required}$ (Ave.) | $f_{ck.required}$ (Min.) |
|-----|--------------------------|-------|-------|-----------------------------|-----------------------------|
| D19 | 100% | 3.97 | 3.37 | 56.4 MPa | 78.4 MPa |
| | 80% | 4.04 | 3.58 | 96.7 MPa | 123.5 MPa |
| | 50% | 4.05 | 3.33 | 216.9 MPa | 321.2 MPa |
| | 90% (Mock-up 실험결과 반영) | - | - | <u>62.7 MPa</u> | <u>87.1 MPa</u> |
| D25 | 100% | 4.09 | 3.4 | 49.8 MPa | 72.1 MPa |
| | 80% | 4.13 | 3.2 | 73.1 MPa | 121.5 MPa |
| | 50% | 4.47 | 3.35 | 166.6 MPa | 288.2 MPa |
| | 90% (Mock-up 실험결과 반영) | - | - | <u>55.3 MPa</u> | <u>80.1 MPa</u> |

- 국가건설기준(KDS)의 건축물 시공하중에 대한 지표와 본 연구의 인발시험 결과를 계산하여 “시공성 확보를 위한 PC접합부 그라우트 압축강도 지표”를 제안하였음
 - PC부재에 항복강도 600MPa 등급 이상의 철근을 사용할 경우, 현장 그라우트 압축시험 결과가 최소 20MPa 이상일 때, 가설재 해체가 가능함
 - 제시된 지표(그라우트 설계 압축강도, 시공성 확보를 위한 최소 그라우트 압축강도)는 모두 인발시험 결과를 통하여 산정된 값으로, 향후 PC접합부를 모사한 구조성능평가를 통한 검증을 거쳐 실무에 적용함이 타당할 것으로 판단됨

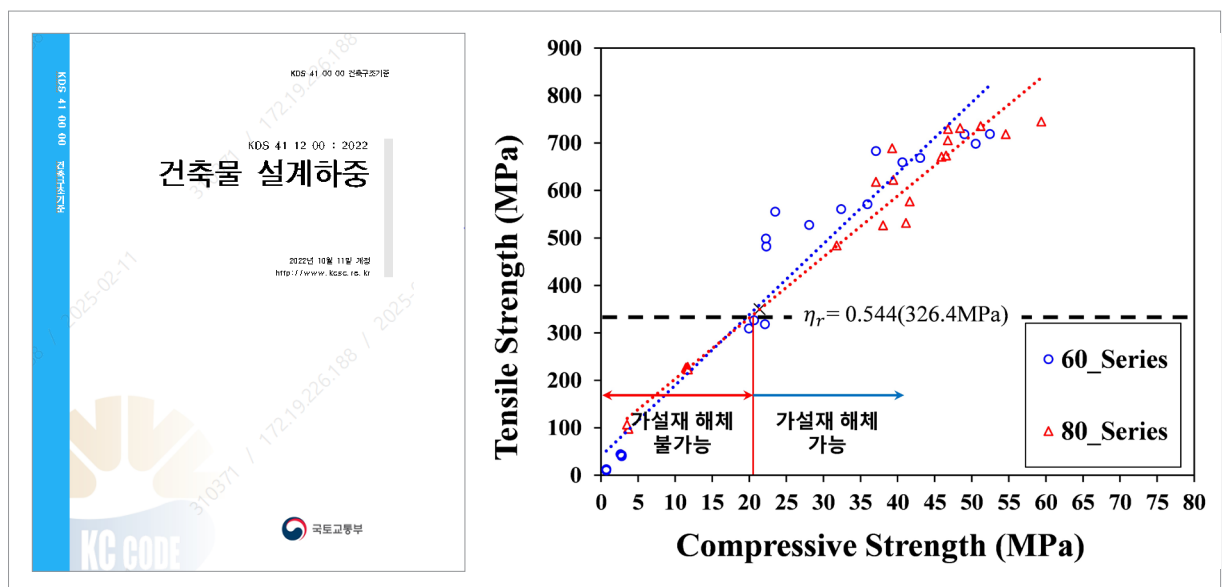


그림-5 시공성 확보를 위한 PC접합부 그라우트 압축강도 지표

본 자료는 토지주택연구원에서 2024년 정기과제로 수행하였던 “고품질 PC공동주택 공급을 위한 품질관리 시스템 고도화” 과제의 성과를 바탕으로 작성되었으며, 공사의 업무상 필요에 의하여 연구검토한 자료로써 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계가 없습니다. 우리공사의 승인없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

