

국토교통기술대전 2024

스마트 센싱 장비를 활용한 OSC 정밀 시공품질 관리

2024. 05. 16

현대엔지니어링

건축모듈팀 김양범 팀장



목 차

1. 연구 개요
 - 가. 연구 배경 및 목적
 - 나. 연구 범위 및 내용

2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준
 - 가. 개 요
 - 나. PC공사 시공관리 현황 조사
 - 다. 스마트 센싱 장비 분석
 - 라. 시공품질관리 절차 및 세부내용

3. 현장 검측
 - 가. 검측 개요
 - 나. 검측 수행 결과

4. 소 결

1. 연구 개요

가. 연구 배경 및 목적

연구명 스마트 센싱 기반 OSC 정밀 시공품질 관리 기술개발

OSC 공법 적용현장 확대 및 관리기준 부재

- PC공법 현장(물류센터, 공동주택) 확산에 따라 PC부재 정밀시공 품질관리 기준 마련 필요
- ※ PC공사 품질관리 현황
 - 재래식 방식(줄자/수평계, 트랜싯 등) 활용
 - 측정 시 휴먼에러 발생 가능, 정량화 곤란
 - 재작업에 따른 공기/원가/안전 Risk



스마트 건설기술 확산

- 건설생산성 향상을 위한 건설산업의 디지털化, 드론, 로봇, IoT, AI 등 기술 활용 확산
- 건설용 정밀 제어 및 자동화 기술 확산
 - 디지털 레이아웃 등



연구 배경

스마트 센싱 장비를 활용한 PC공사 정밀시공 품질관리기준 작성

정밀시공 품질관리 기준

스마트 센싱 장비 매뉴얼

현장 적용성 검증

연구 목적

- 스마트 장비를 통한 모니터링으로 시공정밀도 및 품질관리 생산성 향상
- 정확도 높은 3D DATA를 활용한 시공품질 향상으로 품질저하에 따른 공기/원가/안전 Risk 사전 저감
- 검측 DATA 축적 및 분석을 통한 디지털데이터 기반의 의사결정 지원

1. 연구 개요

나. 연구 범위 및 내용

연구 범위 PC공사 정밀시공 품질을 위한 **시공단계 조립치수 품질관리(Dimensional Accuracy Control)**
 ※ PC제품 제작단계의 제작치수 품질관리는 연구범위 제외

연구 내용



2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

가. 개요

PC 공사 시공관리 현황 조사

- PC공법 적용 현장 시공계획서 등 자료조사를 통한 시공관리 현황 조사
- PC공사 허용오차 관리기준 조사

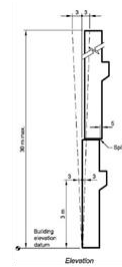
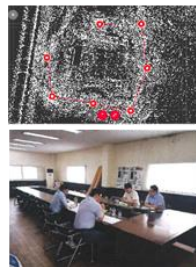
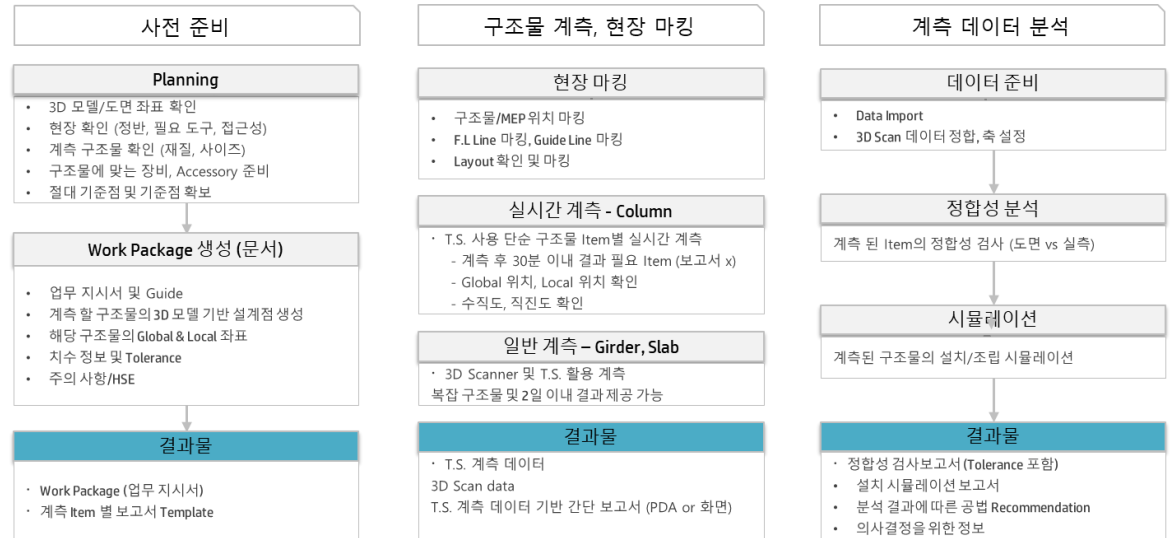
스마트 센싱 장비 수행 절차 분석

- 스마트 센싱 장비(3D스캐너 외) 수행절차 분석을 통한 PC공사 적용방안 검토

스마트 센싱 장비 PC 공사 부재별 적용성 검토

- 3D 스캐너 및 T/S의 PC공사 적용성 검토
- 기둥, 거더, 바닥판, 앵커볼트 등

PC공사 정밀시공 품질관리기준 작성

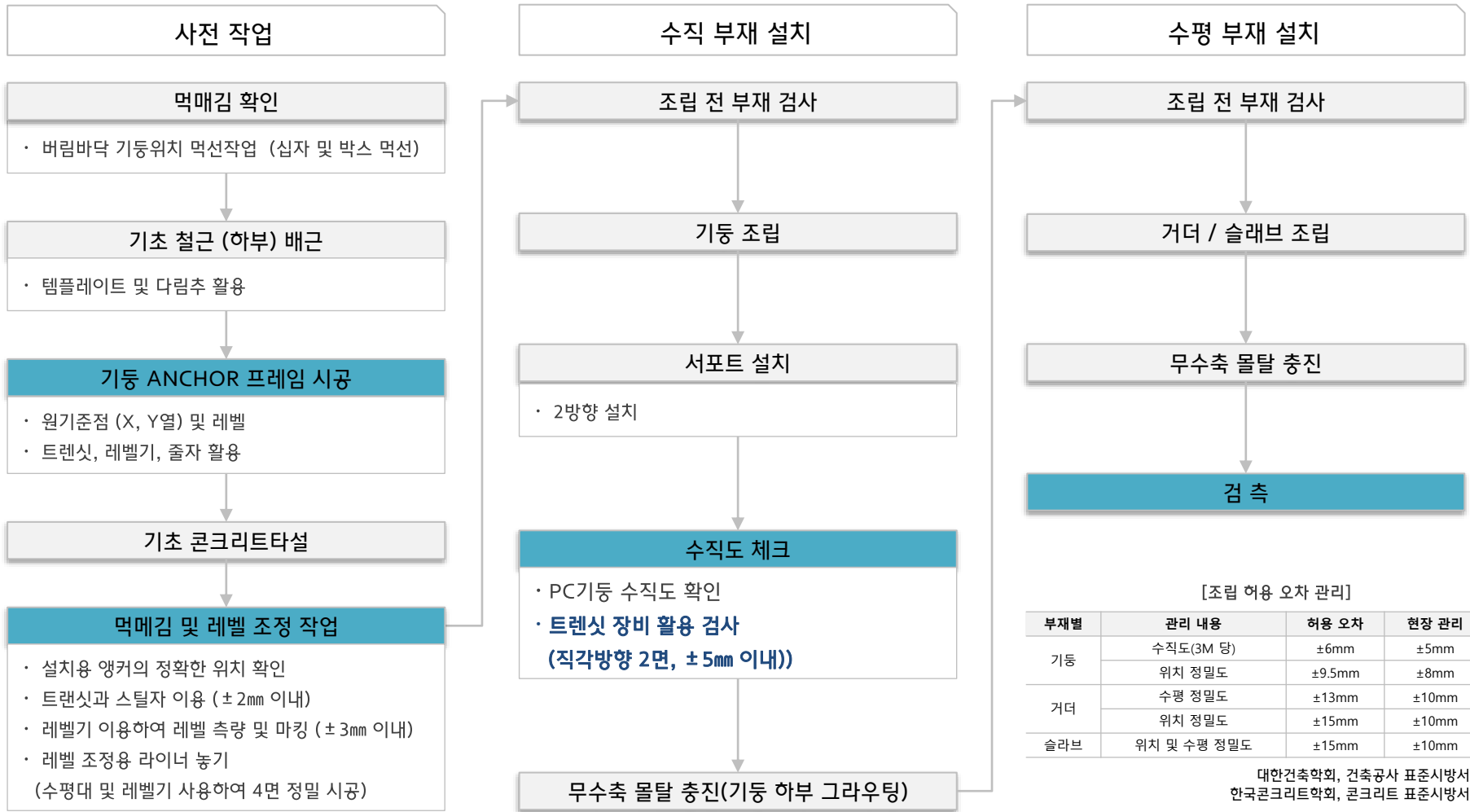


부재	계측	기준	차이	허용오차	비고
기둥	3D 스캐너	±10mm	±12mm	±10mm	OK
거더	3D 스캐너	±10mm	±15mm	±10mm	NG
바닥판	3D 스캐너	±10mm	±18mm	±10mm	NG
앵커볼트	T/S	±5mm	±8mm	±5mm	OK
기둥	T/S	±5mm	±10mm	±5mm	NG
거더	T/S	±5mm	±12mm	±5mm	NG
바닥판	T/S	±5mm	±15mm	±5mm	NG

2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

나. PC공사 시공관리 현황 조사

PC 조립 프로세스 분석 (PC 적용 현장 시공계획서 참고)



[조립 허용 오차 관리]

부재별	관리 내용	허용 오차	현장 관리
기둥	수직도(3M 당)	±6mm	±5mm
	위치 정밀도	±9.5mm	±8mm
거더	수평 정밀도	±13mm	±10mm
	위치 정밀도	±15mm	±10mm
슬래브	위치 및 수평 정밀도	±15mm	±10mm

대한건축학회, 건축공사 표준시방서
한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서

2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

다. 스마트 센싱 장비 분석

PC 현장 장비 Pilot 운용 및 적합장비 선정

- 데이터 수집 시간, 방법, 결과 비교 검토
- 부재 유형별 적합한 센싱 장비 및 프로그램 선정

장비 운용 Pilot 현장



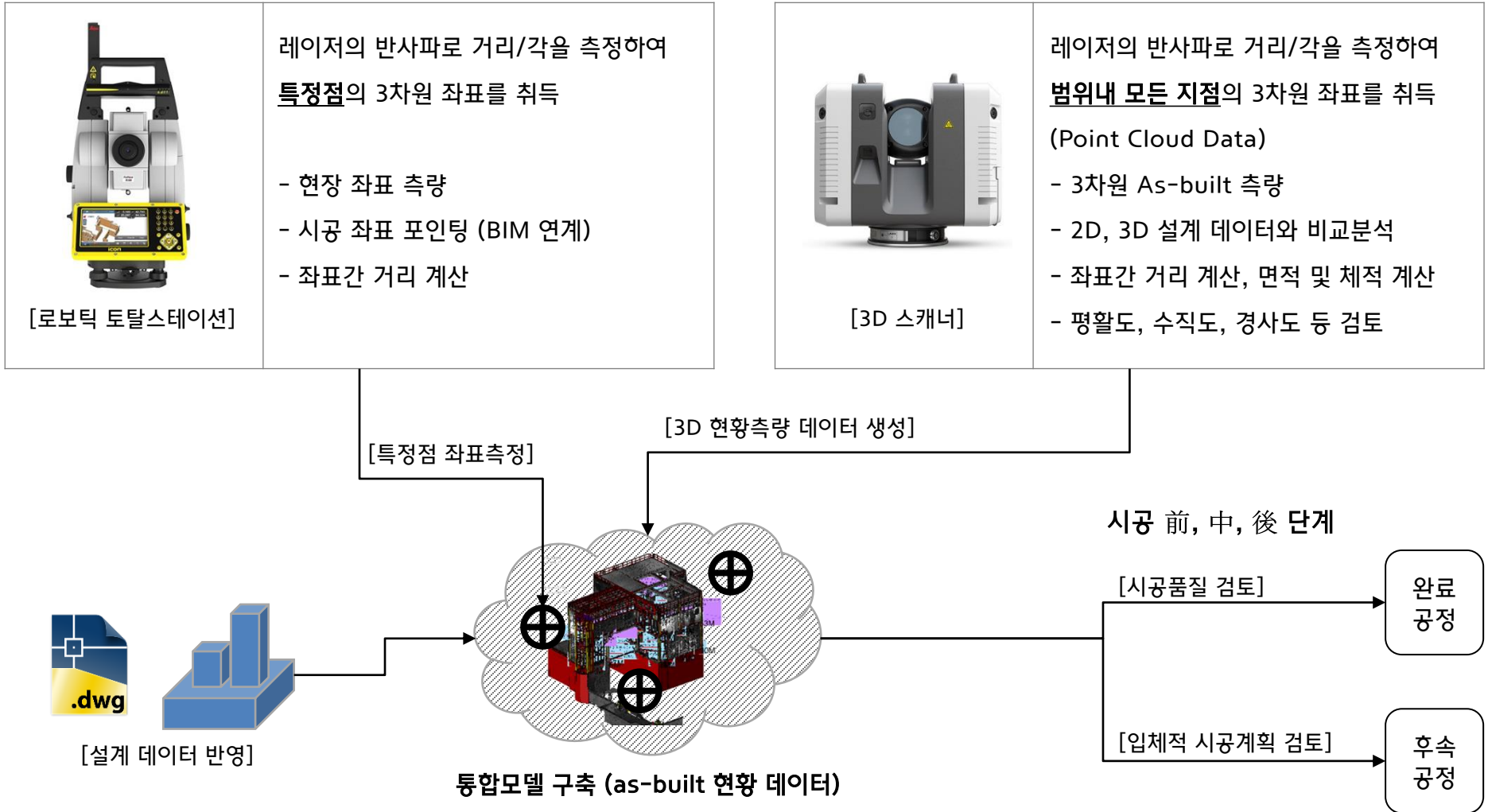
- 연면적 : 152,268㎡
- 용도 : 물류센터
- 규모 : 지하1층~지상10층
- 구조 : PC조
- 공사기간 : '20.4~'22.5

구분	광대역 3D 스캐너	로봇릭 토탈 스테이션	이동식(차량형) 3D 스캐너	핸디형 3D 스캐너
장비 이미지				
주요 특징	300m 범위광대역 정밀 스캔	대상부재들의 위치 측정 및 Layout	공간이동과 동시에 연속 스캔	소규모 부재들의 근거리 스캔
측정오차	2mm	0.5~2mm	50mm	30mm
스캔데이터 비교			
취득시간	5분	1분 내 /Point	5분	10분
장 점	건축현장 실내외 공간 영역에 적합	실시간의 위치 측정 및 선정 가능	공간 연속 스캔으로 빠른 촬영 가능	휴대성 용이하여 좁은 공간에 사용
단 점	데이터산출시 시간 소요	태양광에서의 레이저 인식 어려움	스캔결과에 대한 정밀성 미흡	스캔결과에 대한 정밀성 미흡
적용방안	PC부재의 조립 품질 검측에 적합	PC부재의 위치 선정에 적합	정밀한 검측결과 취득 어려움	PC부재들의 크기에 비해 유효거리 부족
적용성 검토의견	- 대형의 복합구조물에 적합 - 검측포인트가 많은 구조물 - 안전문제로 진입 불가능한 구조물	- 소형 ~ 중형의 복합구조물 - 검측 포인트가 적은 구조물 - 높은 정밀도가 필요한 구조물	- 캘리브레이션을 위해 3회의 차량 회전 필요 - 건축공사 적용 어려움	- 1회 촬영 20~30분 한계 - 재촬영시 20~30% 중첩 필요 - 서브프로그램 필요

2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

다. 스마트 센싱 장비 분석

시공 전/중/후 단계 3차원 현황데이터 획득 → 시공계획 및 시공품질 검토, As-built 현황 데이터 확보



2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

다. 스마트 센싱 장비 분석

기존 PC공사 프로세스 및 스마트 센싱장비 활용 방안 검토

3D 스캐너 : 기둥 앵커 철근 및 앵커 프레임 3D 스캔을 통한 설치리스크 사전 저감

기존 프로세스	사전 작업				수직부재 설치		수평부재 설치	
	먹매김 확인 	기초 철근 배근 	기둥 앵커 프레임 시공 	기초 콘크리트 타설 				
스마트 센싱장비 적용	1. MAT3-1 	2. MAT3-2 	3. MAT3-3 			6. MAT3-6 		
	<p>[기둥 앵커 철근 3D 스캔]</p> <ul style="list-style-type: none"> 기둥부재 Hole R=55mm, 앵커철근 R=32mm, 그라우팅 앵커철근 단면: 11.5mm Best Case: 앵커철근 11.5mm (O.K) 오차 안개내 PC 조립사공 가능: 앵커철근 ≦ 23mm (O.K) 한계 초과 부재 철근위치 수정필요: 앵커철근 ≧ 22mm (N.G) <p>■ 기둥 앵커 철근 및 앵커 프레임 3D 스캔 → 앵커 철근 내민길이 확인 및 철근 상단면 수평도 확인 → 3D 스캔 데이터와 설계도서 좌표기반 통합 * 기둥 Shop 도면 통합 : PC 기둥 조립성 사전 검토 * BIM 모델 통합 : 기둥 위치 및 상부 수평부재 조립성 사전검토</p>							

2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

다. 스마트 센싱 장비 분석

기존 PC공사 프로세스 및 스마트 센싱장비 활용 방안 검토

3D 스캐너 : 바닥 평활도 분석, 후시공 구간 시공성 사전 검토



시공
프로세스

스마트
센싱장비
적용

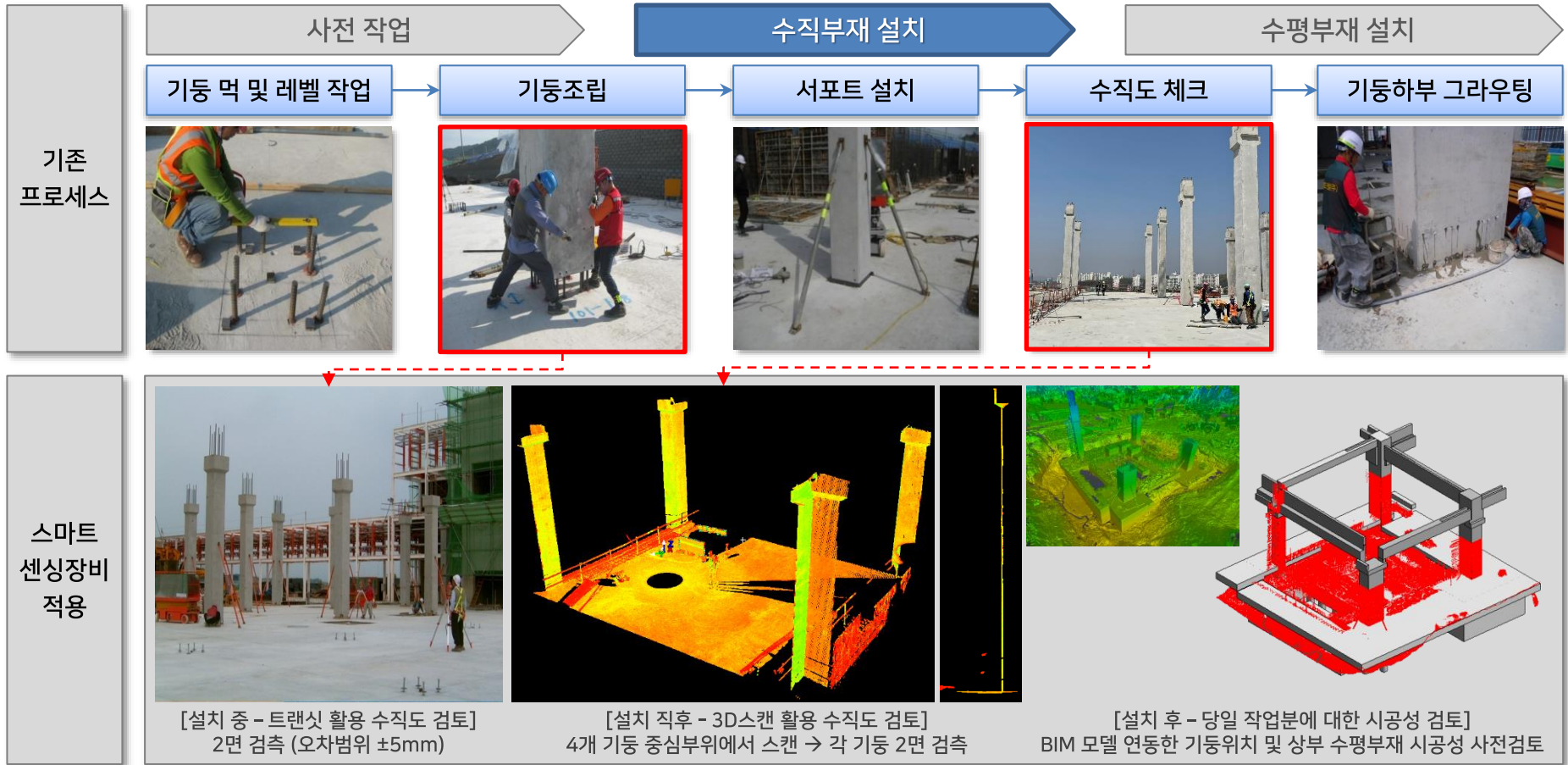
[바닥 타설후 평활도 검토]
토핑 콘크리트 타설후 바닥 평활도 검토, 램프 시공후 경사도 검토

[장비 동선에 따른 후시공 구간 시공성 검토]
후시공 구간 기둥 및 슬래브 간격 사전검토 → 후속공정 시공오차 발생여부 사전 검토

2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

다. 스마트 센싱 장비 분석

기존 PC공사 프로세스 및 스마트 센싱장비 활용 방안 검토
3D 스캐너 : 기둥 부위 수직도 및 수평부재 시공성 사전 검토



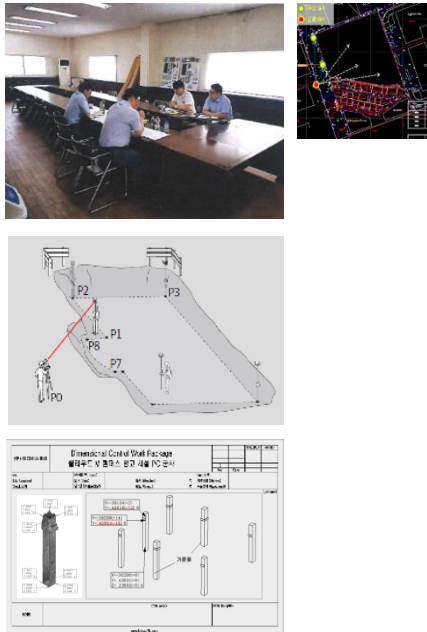
2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

라. 시공품질관리 절차 및 세부내용

시공품질관리 Process 및 세부 Activity 수립



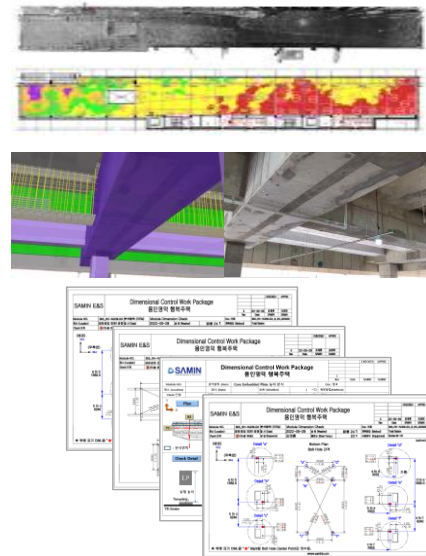
- 현장 적용범위 협의
 - 3D 모델 및 도면 검토
 - 검측 장비 선정
- 현장 공사현황 확인 및 기준점 설정
- 검측대상별 검측 Template 준비



- 부재별 특성 고려한 현장검측
- 최적화된 측정위치 설정 방안
 - 3D 스캔 포지셔닝 기술* 적용
- 검측작업 효율화
 - 측정 상황별 타겟 활용

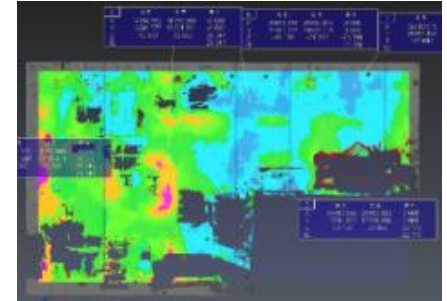


- 데이터 정합
 - 스캔 데이터 3D 형상화
 - 요소별 치수 포인팅
- BIM 연계 시공현황 분석
 - As-Built vs 3D모델 검토를 통한 설계 대비 현황 검측
- 검측결과 시트 작성



의사 결정 및 데이터 축적

- 정밀 검측 Digital Data 기반 협업 (PC업체 - 현장)
- 선행 부재의 시공오차에 대해 후속공정에서 능동적으로 대응
- BIM 데이터 연계
 - 검측데이터의 축적 및 활용 (Cloud 및 BIM 데이터 기반)



2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

라. 시공품질관리 절차 및 세부내용



3D 기반 현장 적용 범위 협의

- 검측될 부재들의 3D 모델 확인
- 부재명, 설치 구간, 연계 부재등
- 검측 부위의 Clash 부분 확인

현장 확인

- 정반, 필요 도구, 접근성 확인
- 알루미늄 및 반사율 높은 부재는 3D Scan 불가
- 물기 및 슬러지 등 오염 부위 확인
- 3D 모델과 안맞는 부분 (누락, 추가) 확인

검측시트 준비

- 업무 지시서 / 정도 계획서
- 검측 할 구조물의 3D 모델 기반 설계점 생성
- 해당 구조물의 Global & Local 좌표
- 치수 정보 및 Tolerance

Working Condition		Dimension	
프로젝트명	스마트 정밀 평가를 통한 OSC 현장 정밀 시공을 위한	부재 No.	13-201-0111 / 13-212-0100
검측대상	현장실시자료	부재명	콘크리트(철) 받대
공사번호	81	날짜	2022.12.08
공사내용	PC기둥	작성시간	약 5시간
		작성일자	2022.12.08
		담당자	김민준, 송계은

2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

라. 시공품질관리 절차 및 세부내용

		Planning	현장검측	데이터 분석	의사결정 및 데이터축적	
기 초 앵 커	현 장 검 측	장비	Total Station 활용			
		세 부 내 용	<ul style="list-style-type: none"> · PC 기둥 부재의 치수를 측정하기 위해 기준점 세팅 후 부재 단부에 부착된 타겟을 통해 치수 측정 · 기둥 시공 전 관리 항목인 먹매김 위치를 검측하기 위해 먹매김 확인 방법에 따라 위치 검측 · PC기둥 수직도를 검토하기 위해 기준점 세팅 후 부재 상하부에 부착된 타겟을 통해 수직도 측정 		기둥 치수 정합성 분석	부재별 허용오차 기준과 측정항목을 설정하고 3D 모델 치수와 부재 치수의 정합성 검토
		유 의 사 항	<ul style="list-style-type: none"> · 기둥면에 부착된 타겟 부착 위치가 정밀해야 치수검측 정밀도 향상 가능하므로 부착된 타겟의 이동이나 탈락이 없도록 주의 		먹매김 위치 분석	검측한 먹매김 위치를 검측하여 설치 부재와 연계 관리
		검 측 사 례	 <p><기둥 수직도 검측 사례></p>		데이터 분석	<ul style="list-style-type: none"> · 기둥 시공 시 실시간으로 검측하여 설치 · 시공자와 조율하여 기둥의 수직도 검측 · Con'c 타설 후 3D스캔 활용하여 기둥 밀림현상 확인 · 수직도 분석 후 후속 공종 담당자에게 정보 공유
S L A B				수직도 분석	 <p><기둥 수직도 검측 사례></p>	
벽 · 계 단						

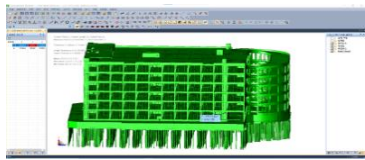
2. 스마트 센싱 기반 정밀 시공관리기준

라. 시공품질관리 절차 및 세부내용



검측데이터 분석을 통한 설치시뮬레이션

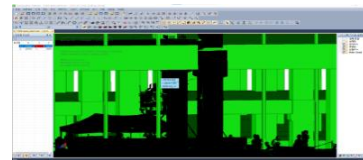
- 분석은 기본적으로 3D 설계모델과 검측 데이터와의 정합성 분석과 검측데이터와 검측데이터 간의 설치 시뮬레이션으로 구성됨



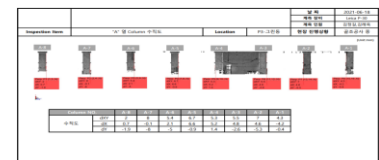
3D 설계모델



3D Scan 데이터



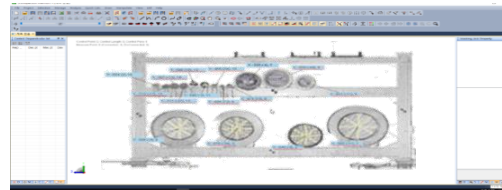
설계 모델 스캔데이터 정합성 검사



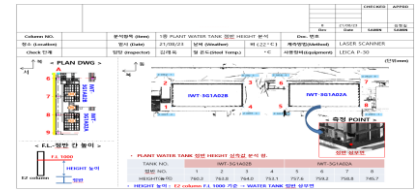
보고서 작성



현물과 현물의 설치 시뮬레이션



Joint 구간의 Gap, Overlap, Mis-alignment 분석



보고서 작성

- 검측 된 구조물의 정합성 검사 : 도면 대비 구조물이 얼마나 정확하게 만들어 졌는지에 대한 분석 진행
- 검측 된 구조물과 설치될 장소간의 설치 시뮬레이션 분석
- 차 후 진행 될 공사에 예상되는 문제점들을 반영하는 참고 자료 역할

3. 현장검측

가. 검측 개요

1. 검측 목적

구분	내 용
검측 목적	<ul style="list-style-type: none"> • 시공관리기준 현장 적용성 검토 • Process의 적합성, 검측작업의 생산성 검토

2. 검측 부위 (검측 PC 부재)

측정대상	규격	개소
매립앵커볼트	앵커볼트	15EA
단위부재 (공장)	벽체, 계단, 계단참	11EA
단위부재(현장)		11EA

3. 측정 기준

* 계단참, 계단은 바닥판 기준 준용

구 분	측정 항목	적용 기준	비고
벽판/계단	평면상의 오차	± 5	표준시방서 (2013)
	지정입면으로부터의 오차	± 5	
벽판	입면상 연직선에 대한 최대오차	25 / 6 @3m	ACI2017
계단	접합부 폭	± 13 (12m 이하)	ACI2017

현장 개요

A 현장

구조	PC조
규모	지상2층
검측범위	기초앵커, 벽체, 계단
PC 설치기간	2일 ('23.03)

B 현장

구조	PC조
규모	지하3층~지상35층
검측범위	기초앵커, 기둥, 보, Slab
PC공사기간	'22.02 ~ '22.07

3. 현장검측

나. 검측 수행 결과

A 현장

B 현장

기초
앵커



Prism Target 세팅, 앵커 상부 중심점 측정

벽체



PC벽체 치수 및 수직도 확인

계단



PC계단참 설치위치 및 양단 레벨 확인

기초
앵커



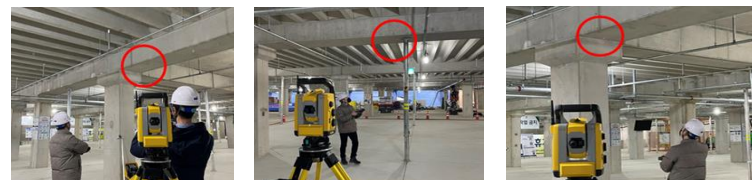
Prism Target 세팅하여 앵커 상부 및 하부 측정

기둥



기둥 치수 및 수직도 확인

보



보 설치위치 및 양단 레벨 확인

슬래브



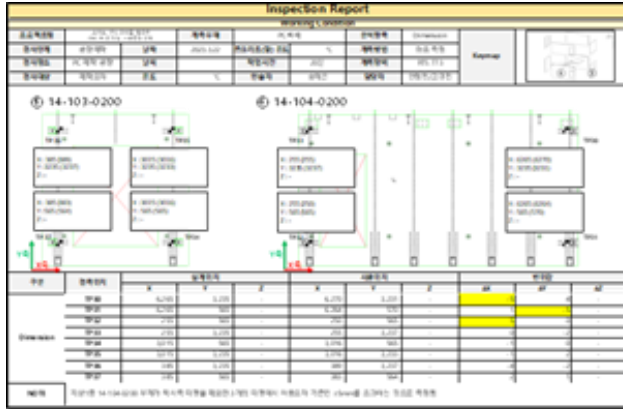
슬래브 설치위치 및 레벨 확인

3. 현장검측

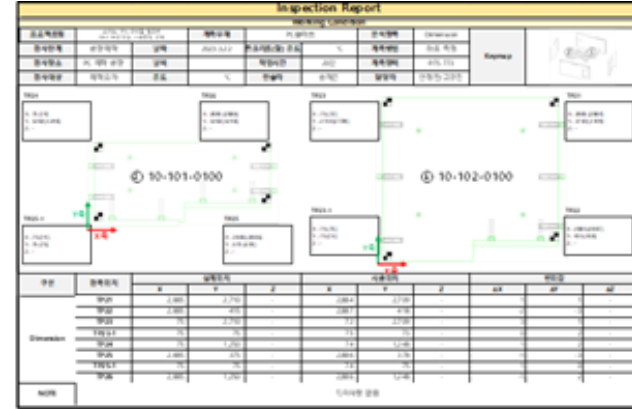
나. 검측 수행 결과

부재별 결과 보고서

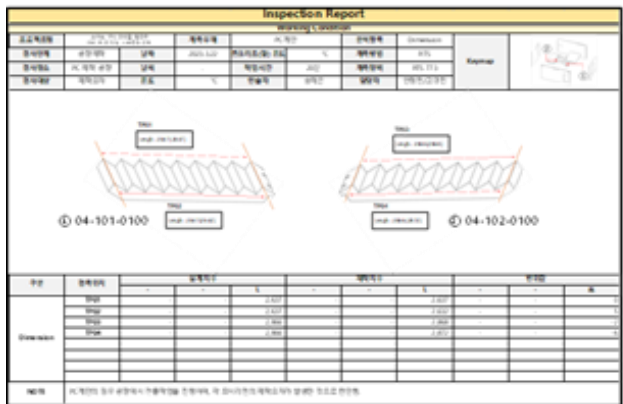
벽체



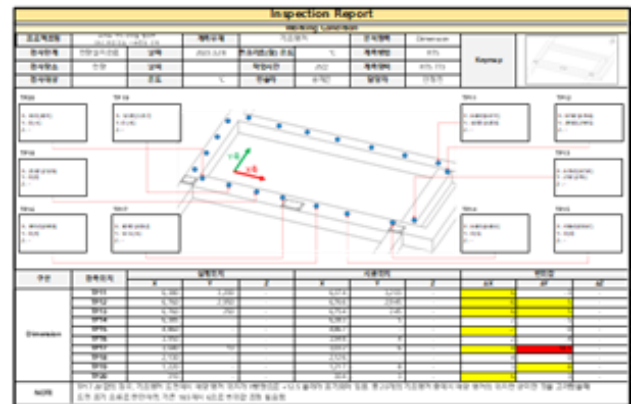
계단참



계단

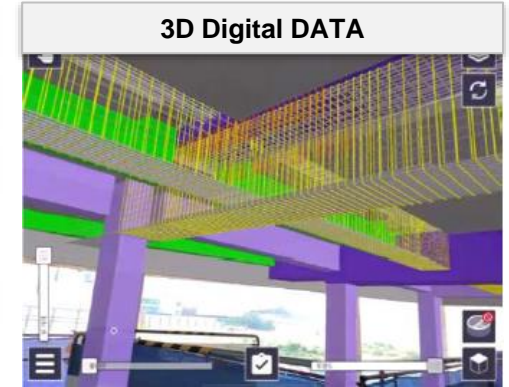
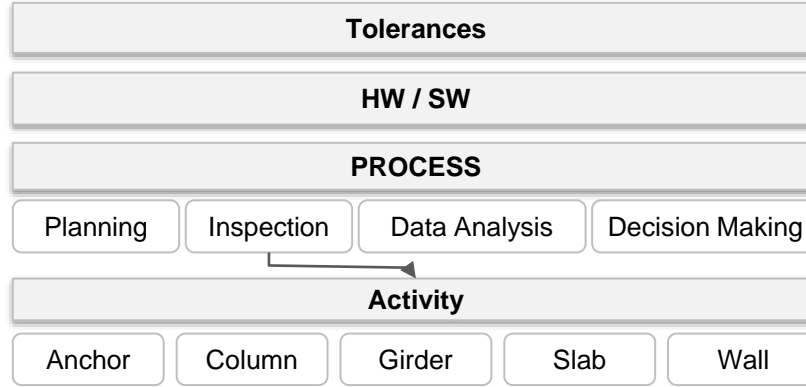


기초앵커



4. 소 결

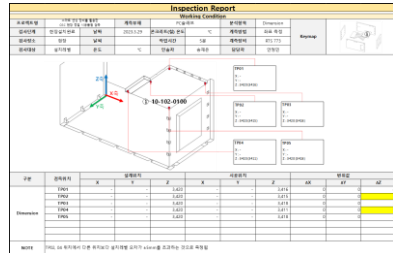
가. 시공관리기준 개발



나. 기대 효과

정밀검측을 통한 시공품질 향상

- 재래식 방식 대비 검측 정밀도/정확도 향상
- 3D 기반 데이터 관리로 의사결정 지원 등 활용성 확장
- 검측범위 제약 극복으로 품질관리 개선



구분	재래식 방식	스마트 센싱 방식	비고
H/W	줄자, 수평계, 트렌식	Total Station, 3D Scanner	
기초 DATA	2D Drawing DATA	3D Digital DATA	
검측 정확도(Accuracy)	낮 음	높 음	
검측 정밀도(Precision)	휴먼에러 발생 가능	휴먼에러 저감 가능	
소요 시간	3분 이내/point 장시간/points	3분 이내/point (T/S) 단시간/points (3D스캐너)	T/S, 타겟 선 부착
검측가능 범위	검측 가능한 범위 제한적	공간적 제약 극복 가능	
데이터 축적	정량적 데이터 축적 곤란	데이터 축적 및 활용 가능	

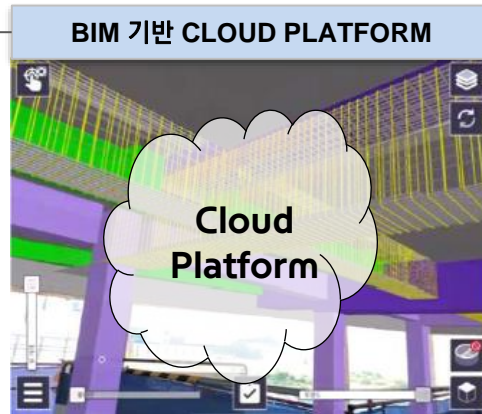
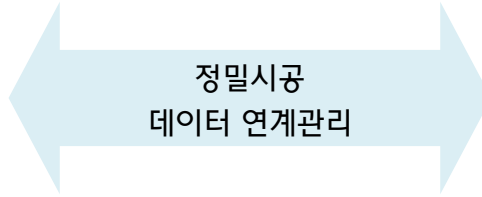
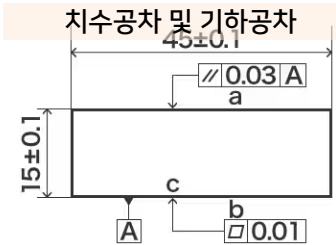
4. 소 결

다. 향후 방향

PC 생산공장 및 설치 현장 간 연계 관리 필요 : PC부재 제작정밀도 데이터와 연계한 설치정밀도 관리 및 데이터 축적
 Cloud 플랫폼 연계를 통한 데이터 활용성 극대화
 검측 프로세스 자동화와 더불어 H/W 발전에 따른 생산성 향상

생산 공장

- PC부재 제작정밀도 측정



- 3차원 기반의 정량적 데이터 확보 및 분석을 통한 검측 업무의 고기능화
- BIM 및 ERP 연계를 통한 검측데이터의 활용성 확장
- 측정 H/W 및 데이터 분석 S/W, Robotic 장비 발전에 따른 활용도 개선
- 치수공차 및 기하공차 개념을 고려한 데이터 관리

설치 현장

- PC부재 설치정밀도 측정



AR 활용 공사현황 모니터링

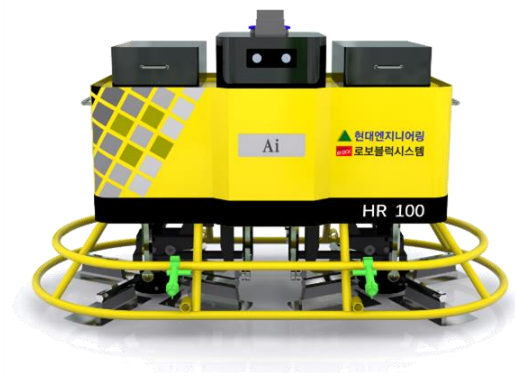


- H/W 정밀/정확도 개선
→ 검측 생산성 향상

4. 소 결

다. 향후 방향

스마트 건설기술(로보틱스) 연계를 통한 품질관리 스마트 化



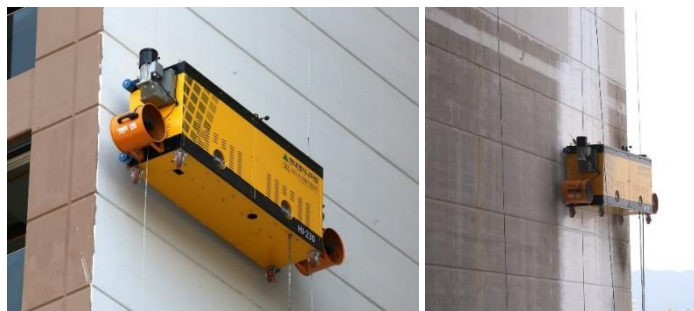
바닥미장로봇



외벽도장로봇



바닥미장로봇 적용



외벽도장로봇 적용



현장 모니터링 로봇