과제
번호

스마트건설기술개발사업 기획 최종보고서

2019

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()

국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / ∘∘∘∘-∘∘∘∘

스마트 건설기술 개발사업 기획 최종보고서

2019 . 12 . .

주관연구기관 / ㈜ 과학기술전략연구소

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘스마트건설 기술개발사업 기획’(연구개발 기간 : 2018.07.31 ~ 2019.8.30) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019 . 12 . .

주관연구기관명 : ㈜ 과학기술전략연구소 (인)

주관연구기관책임자: 유 경 만 대 표

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>제24호</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2018.07.31
- 2019.08.30
(13개월)</td><td>단계구분</td><td>1단계/
1단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">스마트건설 기술개발사업 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">유 경 만</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 9명
내부: 9명
외부: 명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부:380,000천원
민간: 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계:380,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 9명
내부: 9명
외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부:380,000천원
민간: 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계:380,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="2">㈜과학기술전략연구소</td><td colspan="2">참여기업명</td><td></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td><td></td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명:한국건설기술연구원</td><td colspan="2">연구책임자:진경호</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
보안등급 및
사유</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록・기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) | 보고서 면수 1158

요약문

1. 사업개요

○ 사 업 명 : 스마트 건설기술 개발사업

○ 총사업비 : 1,969.76억 원 (정부 1,476.14억 원, 민간 493.62억 원)

○ 사업기간 : 2020년 ~ 2025년 (6년)

○ 사업목적 : 건설산업의 디지털화 및 자동화를 위한 “기술혁신 및 산업생태계 조성”

○ 추진주체

- 주관부처 : 국토교통부
- 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원

○ 사업목표 : 건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상

- (4대 목표) 건설 생산성 25% 이상 향상, 건설 공기 25% 이상 단축, 건설업 재해율 25% 이상 감소, 건설 생산과정의 디지털화 25% 이상 향상

○ 추진근거

- 문재인 정부 국정과제32. 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화
- 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진)
- 국토교통과학기술 육성법 제8조(연구개발사업의 추진)
- 제6차 건설기술진흥기본계획(2018~2022)
- 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027)
- 제3차 국가과학기술기본계획(2013~2022)
- 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획(21개 범부처, 2017.11)
- 건설산업 혁신방안(경제관계장관회의, 2018.6)
- 스마트 건설기술 로드맵(국토교통부, 2018.10)

○ 주요 사업내용

- (중점분야1) 건설장비 자동화 및 관제기술 개발

  · 드론 자율 계측에 의한 초정밀 3차원 Digital Map을 구축하고, 이를 도로 건설장비 자동화 기술(MG, MC)과 융합하거나, 다양한 타입의 국내외 건설장비의 실시간 관제에 활용하는 기술

- (중점분야2) 도로구조물 스마트 건설기술 개발

  · 도로구조물 설계-제작-시공의 혁신을 위한 디지털(BIM) 가상 건설, 고소(高所)·고위험 환경에서 VR·로봇·시뮬레이션·센싱 기술을 활용한 도로구조물 무인·자동화 시공 및 품질관리 기술

- (중점분야3) 스마트 안전 통합 관제기술 개발

  · 현장 근로자 안전용 웨어러블 디바이스 및 교육 플랫폼, 임시구조물 설치·해체 패턴 인식 기술 등을 개발하고, 이를 AI 기반 안전 통합 관제하는 시스템 개발

- (중점분야4) 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트 베드

  · 중점분야 1~3의 생성 정보를 교환 가능한 디지털 정보로 표준화하여 저장하고, 민·관 모두 공유 및 활용이 가능한 지식 플랫폼 개발과 실제 도로 건설 현장을 선정하여 중점분야 1~4 연구성과 종합 검증

참고 : 중점분야 간 연계 및 디지털 정보 흐름도

○ 건설 全단계(설계-시공-유지관리)에 걸쳐 생성되는 정보를 디지털화하고, 「스마트 건설 디지털 플랫폼」 네트워크로 연결하여 건설 생산성과 안전성을 혁신적으로 개선



2. 배경 및 필요성

□ **(산업) 4차 산업혁명은 디지털 기술로 촉발되는 지능화 혁명이며, 건설산업은 이제 시작 단계**

○ 4차 산업혁명 대응 국가 계획인 'I-KOREA 4.0('17.11, 4차 산업혁명 위원회)'에서도 스마트 건설 혁신을 지능화 혁신 프로젝트로 선정

- 3D 가상시공, 건설장비 지능화 등 건설 생산성 40% 향상을 목표로 제시

○ 인공지능, 자율주행, IoT, 스마트시티 등이 5G로 연결되면서 데이터로 모든 것을 공유하는 시대 도래 → 데이터 주도권이 미래 기업가치를 결정(CES 2019)

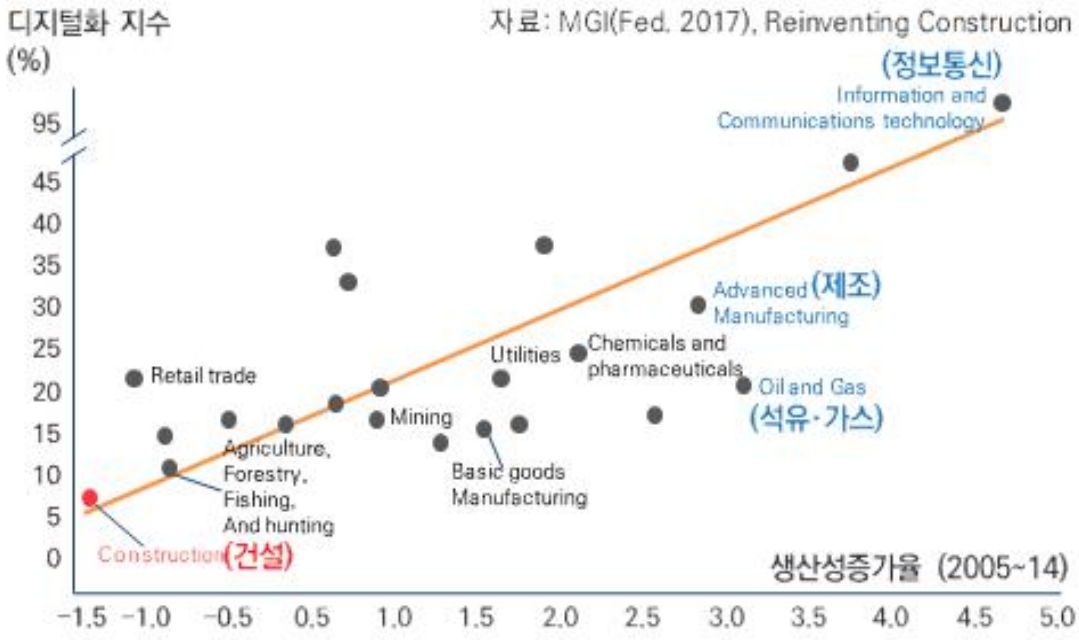
- 데이터는 '미래 경쟁력을 좌우하는 21세기의 원유' (글로벌 IT 리서치, 가트너)

□ **(경제) 국내 건설 노동 생산성 정체, 스마트 건설시장 급성장 중**

○ '15년 국내 인프라 건설 노동 생산성*은 선진국 평균의 절반 수준

* 생산성(달러/시간) : 한국 18.7, 스페인 42.9, 영국 30.4, 프랑스 37.1, 독일 32.1

○ 디지털화 수준이 높은 산업은 생산성 증가율도 높으며, 건설산업은 전체 산업 중에서 디지털화 및 생산성 증가율이 "꼴지" 수준



○ '16년 현재 세계 스마트 건설시장은 약 100억* 달러 규모를 가지며 연평균 12% 내외로 성장할 것으로 전망

* BIM 39.77억, IoT 30억, 건설로봇 1.8억, 건설드론 1.49억, 모듈화건설 1.33억

□ **(사회) 급격한 근로환경 변화(고령화, 주 52시간 근무 등) 적기 대응 및 건설현장의 안전성 제고 요구 증대**

○ 건설근로자의 장년층(55세 이상) 비율* 증가 속도가 타 산업에 비해 빠르며, 이는 숙련노동자의 감소로 이어져 생산성 저하 심화

* 비율('08→'15) : 건설(14.3→26.7%), 제조업(10.3→15.8%), 서비스업(15.4→22.8%)

○ 주 52시간 근무제로 총 공사비는 평균 4.3%(최대 14.5%) 증가 예상

※ 주 52시간 근무제 도입에 따른 건설정책과제 보고서(한국건설산업연구원, '18.7)

○ 고질적인 건설안전 문제* 해결을 위해서는 새로운 해법 필요

* 안전성 : (재해율) 건설업 0.84%, 전산업 0.48%, (사고사망만인율) 건설업 1.66, 전산업 0.52

□ **(기술) 영국·일본 등 선진국은 스마트 건설기술(BIM, 장비 자동화 등) 개발에 투자를 확대하면서 미래시장 선점 중**

○ 선진국의 BIM 사용 의무화와 함께 BIM 기술은 3차원 설계를 넘어 가상시공, 생애주기 정보관리 등으로 기능 확대

○ 프리팹 적용확대(건축→인프라), ICT 건설장비, 건설드론, AI 기반 현장 의사결정 등 스마트 건설기술 개발 가속화 및 신시장 창출

※ (코마츠社 사례) 정형화된 작업, 정밀절삭 및 안전작업을 필요로 하는 토공 공사현장에 무인 중장비를 개발하여 이를 드론과, 본 연동하여 시공

□ **(정책) 선진국은 건설 생산성 혁신과 신시장 선점을 위해 중장기계획을 수립하고, 스마트 건설기술 개발 및 확산 정책 추진 중**

※ 영국(Construction 2025, 건설산업 스마트화 추진), 일본(i-Construction, 건설 생산성 20% 향상), 싱가폴(Construction 21, 생산성 향상 등 건설산업 선진화) 등

○ 국내에서도 ICT 등 첨단기술과의 융합을 통해 건설산업을 낡은 전통산업에서 혁신친화적 산업으로 전환하기 위한 정책 추진 중

※ 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22, '17.12), 건설산업 혁신방안(경제관계장관회의, '18.6), 스마트 건설기술 로드맵(국토부, '18.10)

□ **(종합) 국내 건설산업의 낮은 생산성과 높은 재해율을 근본적으로 개선하고, 패러다임 변화를 통해 국가 경쟁력을 높이기 위해서는 「스마트 건설기술 개발사업」 추진을 통한 기술혁신 필요**

<스마트 건설 관련 주요 정책 및 보고서 분석내용>

분석기관 및 정책보고서	분석결과
보스턴 컨설팅 그룹 ('17.12)	4차 산업혁명과 함께 건설시장의 급속한 변화에 기술혁신을 이루지 못하면 스마트 인프라 경쟁력 축소로 중장기 성장 동력은 부족
한국건설산업연구원 ('17.6)	스마트 인프라 투자에 선진국과 시차를 가진 추종(following) 전략을 견지할 경우, 인프라 경쟁력 확보와 경제회복 동력에 대한 기회 상실
건설산업 혁신방안('18.6) 스마트 건설기술 로드맵('18.10)	정부는 근본적인 건설산업 체질 개선을 추진 중이며, '기술혁신'을 최우선 과제로 선정하여, 이를 정부가 견인할 필요성 강조

3. 본 사업의 주요 용어 정의

□ **스마트 건설기술**

○ 전통적 토목·건축기술에 BIM, IoT, Big Data, 드론, 로봇 등 스마트 기술이 융합되어 건설 全과정의 디지털화, 건설장비 자동화, 가상 건설, 현장 안전관리 등 건설 생산성 또는 안전성을 극대화하는 기술

- (데이터 중심 기술) 정부 소유의 각종 정보를 공유·유통해 빅데이터 분석을 활성화하는 등 디지털 기술로 변모
- (고부가가치 융복합 기술) ICT, 기계 등 타 분야의 기술을 도입·융합하고, 설계-시공-유지관리 단계별 분절을 해소
- (고객 지향 기술) 알기 쉬운 3D 시각화로 계획 초기인 설계 단계에서 시공자·운영자 등 미래 수요자의 참여 기회 제공

□ **스마트 건설(Smart Construction)**

○ 전통적인 건설에 스마트 건설기술을 접목·활용하여 건설 생산성 또는 안전성을 획기적으로 향상시키는 건설 방식

- 건설 全단계에서 스마트 건설기술 적용 가능

· (설계) 3D 가상공간에서 최적 설계, 설계단계에서 건설·운영 통합관리

· (시공) 날씨·민원 등에 영향을 받지 않고 부재를 공장 제작·생산, 비숙련 인력이 고도의 작업이 가능하도록 장비 지능화 및 자동화

· (유지관리) 시설물 정보를 실시간 수집 및 객관적·과학적으로 분석

□ **건설 생산성**

○ 본 사업에서는 국내외에서 일반적으로 활용되는 부가가치 노동 생산성을 건설 생산성으로 정의

- 한국생산성본부에서는 시간당 노동생산성과 취업자당 노동생산성을 생산성 측정 지표로 활용

- 2017년 2월에 발간된 맥킨지 보고서(MGI Reinventing construction - A route to higher productivity)에서도 동 사업과 동일하게 노동 시간 대비 부가가치 생산량을 노동 생산성으로 정의

□ **건설 안전성**

○ 본 사업에서 건설 안전성은 건설업 안전관리, 즉 건설 현장에서의 인적, 물적 위험을 예방적 차원에서 관리함으로써 근로자, 공중, 물적 피해를 최소화하는 것을 의미함

4. 본 사업 적용 범위

□ **적용 대상**

○ 스마트 건설기술의 종합적 테스트를 고려하여 ‘도로 및 도로의 부속물(교량/터널/포장/사면/옹벽)’을 주요 대상으로 하되, ‘토공 및 현장 안전관리’는 건설현장 전반(인프라+건축)을 대상으로 함

- 건축물 및 철도 관련 스마트 건설기술 개발은 기존 R&D사업이나 신규 기획과제로 진행하고 있어 본 사업의 적용 범위에서 배제

※ 도로 및 도로의 부속물에 대해 국가차원의 적용 모델을 개발·검증하고, 이를 바탕으로 인프라 전 분야(하천, 철도, 공항 등)로 확산 유도

5. 비전 및 목표

비전	**스마트 건설기술 육성을 통해 글로벌 건설시장 선도**
사업 목적	건설산업의 디지털화 및 자동화를 위한 **기술혁신 및 스마트 생태계 조성**

사업 목표	**건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상**			
	건설 생산성 25% 이상 향상	건설 공기 25% 이상 단축	건설업 재해율 25% 이상 감소	건설 생산과정의 디지털화 25% 이상 향상

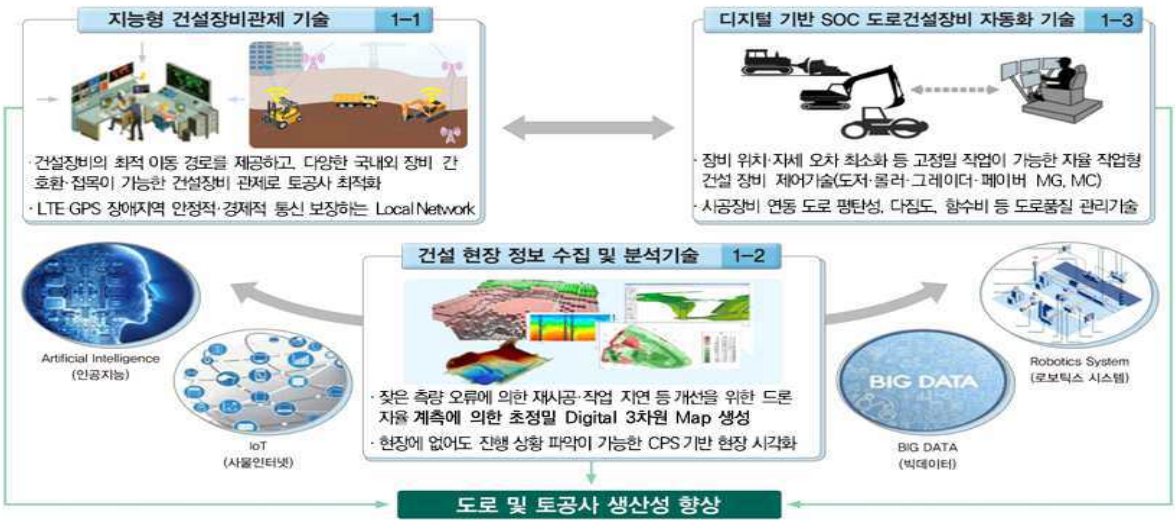
추진 단계	**1단계** ('20～'21)	**2단계** ('22～'23)	**3단계** ('24～'25)
	• 중점분야 내 핵심/구성기술 개발	• 중점분야 간 핵심/구성기술 연계	• 테스트베드 종합적용 및 검증

성과 목표	**스마트 건설을 위한 핵심기술 확보**	**스마트 건설기술 현장 적용 및 건설시장 정착**

중점 분야 및 핵심 기술	**중점분야**	**핵심기술**
	건설장비 자동화 및 관제기술	◆ 지능형 건설장비 관제 기술 개발 ◆ 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발 ◆ 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발
	도로구조물 스마트 건설기술	◆ 디지털 기반 도로구조물 설계·제작·시공 지원기술 개발 ◆ 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발 ◆ 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
	스마트 안전 통합 관제기술	◆ 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 ◆ 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발 ◆ 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발
	스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	◆ 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발 ◆ 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발 ◆ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영 기술 개발

6. 중점분야별 핵심기술 개발 계획

□ 중점분야1. 건설장비 자동화 및 관제기술



[건설장비 자동화 및 관제기술 개념도]

○ 개요 및 목표

개요	■ 드론 자율 계측에 의한 초정밀 3차원 Digital Map을 구축하고, 이를 도로건설장비 자동화 기술(MG, MC)과 융합하거나, 다양한 타입의 국내외 건설장비의 실시간 관제에 활용하는 기술 * 굴삭기, 트럭, 도저, 롤러 등 도로건설 장비 대상 Machine Guidance 및 Machine Control
목표	■ 토공 및 도로 포장 생산성 25% 이상 향상

○ 기술구성

핵심기술	구성기술
지능형 건설장비 관제 기술 개발	지능형 토공/포장 장비 관제 기술 개발
	스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발
건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발	자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발
	디지털 트윈 기반 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발
디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발	고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발
	시공장비 연동 도로품질관리 및 향상 기술 개발

□ 중점분야2. 도로구조물 스마트 건설기술



[도로구조물 스마트 건설기술 개발 개념도]

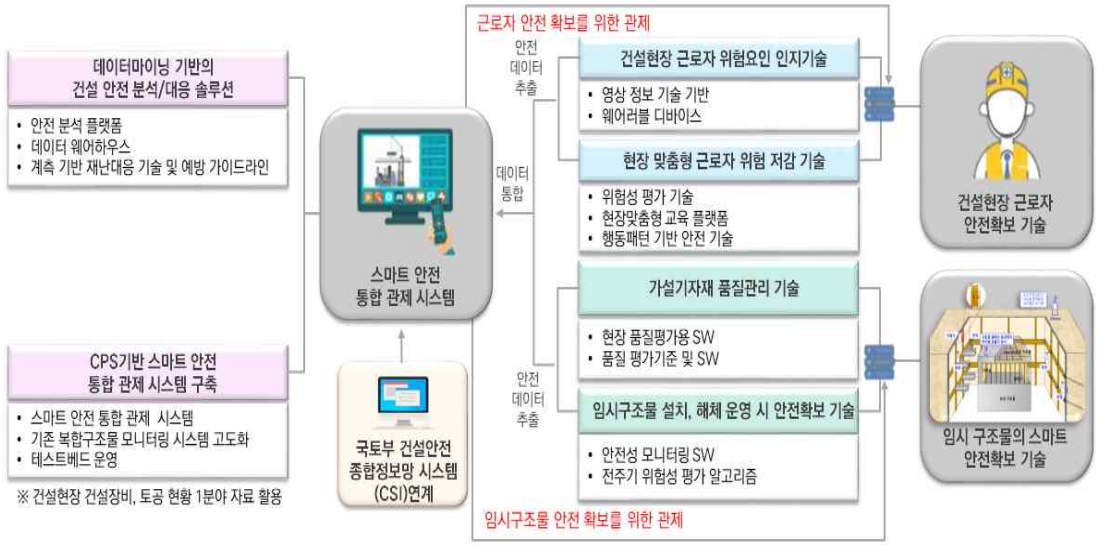
○ 개요 및 목표

개요	■ 도로구조물 설계-제작-시공의 혁신을 위한 디지털(BIM) 가상 건설, 고소(高所)·고위험 환경에서 VR·로봇·시뮬레이션·센싱 기술을 활용한 도로구조물 무인·자동화 시공 및 품질관리 기술
목표	■ 교량 및 터널 등 도로구조물 건설 공기 25% 이상 단축

○ 기술구성

핵심기술	구성기술
디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술 개발	도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발
	도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발
도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발
	머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발
지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발	형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발
	복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발

□ 중점분야3. 스마트 안전 통합 관제기술



[스마트 안전 통합 관제기술 개념도]

○ 개요 및 목표

개요	▪ 현장 근로자 안전용 웨어러블 디바이스 및 교육 플랫폼, 임시구조물 설치・해체 패턴 인식 기술 등을 개발하고, 이를 AI 기반 안전 통합 관제하는 시스템 개발
목표	▪ 도로 및 중소규모 현장 건설업 재해율 25% 이상 감소

○ 기술구성

핵심기술	구성기술
스마트 안전 통합 관제 시스템 개발	데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발
	디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영
건설현장 근로자 안전확보 기술 개발	건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발
	현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발
임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발	가설기자재 품질관리 기술 개발
	임시구조물 설치·해체, 운영시 스마트 안전확보 기술 개발

□ 중점분야4. 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드



[스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드 개념도]

○ 개요 및 목표

개요	■중점분야 1~3의 생성 정보를 교환 가능한 디지털 정보로 표준화하여 저장하고, 민·관 모두 공유 및 활용이 가능한 지식 플랫폼 개발과 실제 도로 건설 현장*을 선정하여 중점분야 1~4 연구성과 종합 검증 * 교량/터널/옹벽 등이 포함된 건설 예정 공구(후보 : 당진-아산, 안산-인천, 계양-김포 등)
목표	■건설 생산과정의 디지털화 25% 이상 향상

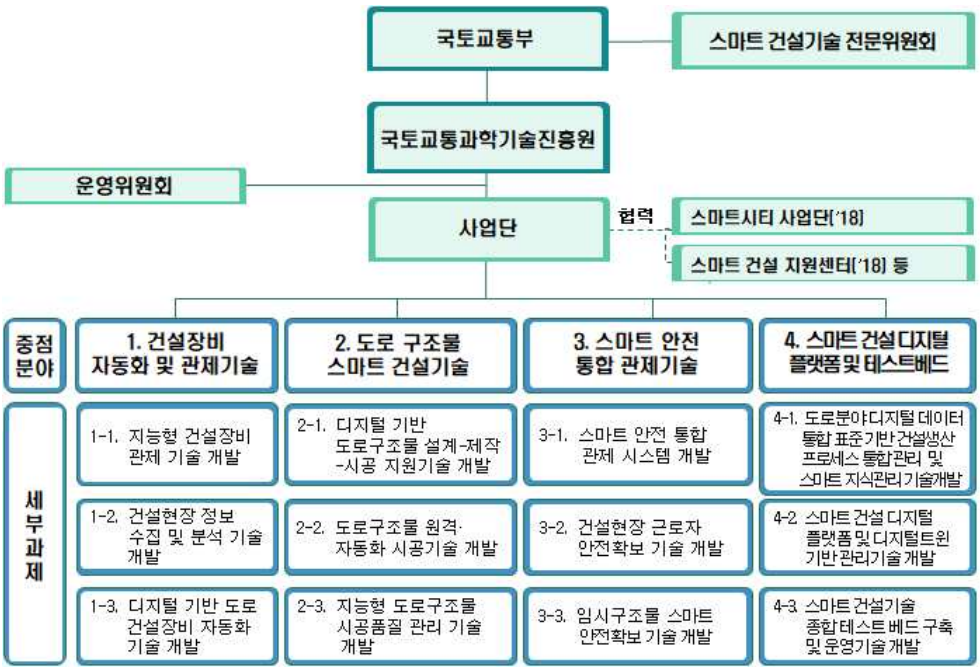
○ 기술구성

핵심 기술	구성 기술
도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발
	도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발
	도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발
스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발	실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발
	스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발
	디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발
	디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발
	스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발
스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발	도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구
	스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

7. 사업운영 및 소요예산

(1) 사업 추진체계

□ 전체적인 사업총괄 주관은 국토교통부가 담당하며, 사업관리는 국토교통과학기술진흥원, 기술개발은 사업단에서 수행



[사업 추진체계도]

○ 추진체계별 역할

추진주체		역할
국토교통부		• 사업총괄 주관부처로 정책적 주요 의사결정 등 수행
전문위원회		• 건설, ICT, 정책 등 다양한 전문가로 구성, 거버넌스 역할 수행
국토교통과학기술진흥원		• 전문기관으로 사업 기획·평가·운영위원회를 구성·운영하고, 사업단/세부과제 선정·평가, 진도관리 등 수행
운영위원회		• 국토부 및 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정 수행
사업단		• 사업수행을 총괄하는 주체로서 세부과제 기획·평가, 진도관리 및 과제 간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행
세부과제 수행기관		• 사업 내 중점분야별로 기술개발을 직접 수행(산학연 컨소시엄)
협력기관	스마트시티 사업단	• 도시 운영서비스 플랫폼 등 스마트 건설 유관 사업단과 연구성과 연계 협력
	스마트건설 지원센터	• 스마트 건설 창업자 지원 및 육성 등을 수행하는 한국건설기술연구원과 협력

⑵ 사업 추진전략

□ 시장 및 기술 변화 등을 고려하여 단계별로 추진하고, 실제 건설공사와 연계한 테스트베드를 통해 개발기술의 종합 적용 및 검증

○ 디지털 통합기술 개발로 해외 경쟁력을 높이고, 다양한 민간참여(건설사・장비・S/W 등)를 통해 비즈니스모델 창출 등 생태계 조성

<table>
<tr><th>추진전략</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>3단계 추진</td><td>◆ 사업기간(6년) 내 3단계(2+2+2)로 추진
- 요소기술, 통합(실용화)기술 등 단계별 성과 도출
<table>
<tr><td>단계</td><td>1단계 ('20～'21)</td><td>2단계 ('22～'23)</td><td>3단계 ('24～'25)</td></tr>
<tr><td>추진방향</td><td>•중점분야 내 핵심/구성 기술 개발</td><td>•중점분야 간 핵심/구성 기술 연계</td><td>•테스트베드 종합적용 및 검증</td></tr>
</table>
◆ 단계별 중간평가 시 연구성과, 스마트기술 변화 등 고려하여 연구내용 일부 조정</td></tr>
<tr><td>발주연계 R&D</td><td>◆ 도로공사, LH 등 발주처 참여를 통해 실제 발주 공사현장(도로·단지 등)과 연계하여 연구결과를 종합적용 및 검증
- 기술적용 뿐만 아니라 발주제도 개선 등 정책 개선과도 연계
※ 기술적 난이도가 높은 국내외 SOC 건설프로젝트와 연계하여 필요한 기술을 개발하는 ‘건설수주 연계 R&D사업’ 일환으로 추진(제6차 건설기술진흥기본계획, '17.12)</td></tr>
<tr><td>다양한 민간 참여・확산</td><td>◆ 건설사(설계시공), 장비(건설·드론), S/W(BIM·통신) 등 다양한 민간업체 참여
◆ 건설산업의 패러다임 전환기 새로운 비즈니스모델 창출 등 생태계 조성</td></tr>
<tr><td>디지털 통합기술로 경쟁력 확보</td><td>◆ 기술경쟁력이 높은 국내 ICT기술의 접목
◆ 건설 全단계(기획-설계-시공-유지관리) 디지털 통합기술을 확보
- 세계 스마트 건설시장에서 경쟁력을 확보
※ 디지털 기반 건설 전주기 통합기술은 국외에서도 미개발된 기술로, 건설시장 패러다임 전환기에 선진국과의 격차 해소 기회 활용 가능</td></tr>
<tr><td>기존 연구 연계활용</td><td>◆ 스마트건설 관련 기존 선행연구 결과를 본 사업에 연계・활용
◆ 테스트베드 적용・검증을 통해 실용화 추진
※ 모듈러 교량, BIM기반 도로 관리, 온라인 암판정(터널) 기술 등</td></tr>
<tr><td>스마트시티 사업단과의 연계</td><td>◆ 건설생산과정(설계-시공 등)의 디지털 정보 플랫폼(스마트건설)과 도시 운영 서비스 플랫폼(스마트시티)과 연계를 통해 연구성과 활용 극대화
- 스마트 건설 전체 라이프 사이클 상에서 디지털 관리 체계 구축</td></tr>
</table>

(3) 사업 소요예산

□ 사업 소요예산은 6년간 총 1,969.76억 원으로 이중 정부 출연은 1,476.1억 원, 민간부담은 493.6억 원으로 구성

○ 중점분야/핵심기술별 소요예산

(단위: 백만원)

중점분야	핵심기술	총사업비	정부	민자
1. 건설장비 자동화 및 관제기술	1-1. 지능형 건설장비 관제 기술 개발	16,595	12,207	4,388
	1-2. 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발	15,950	11,733	4,217
	1-3. 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발	20,970	15,425	5,545
	소 계	53,515	39,365	14,150
2. 도로 구조물 스마트 건설기술	2-1. 디지털 기반 도로 구조물 설계·제작·시공 지원기술 개발	18,684	13,589	5,095
	2-2. 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	16,657	12,115	4,542
	2-3. 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발	4,749	3,454	1,295
	소 계	40,090	29,158	10,932
3. 스마트 안전 통합 관제기술	3-1. 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발	21,724	16,002	5,722
	3-2. 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발	7,589	5,590	1,999
	3-3. 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발	12,126	8,933	3,193
	소 계	41,439	30,525	10,914
4. 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	4-1. 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설 생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	13,276	9,761	3,515
	4-2. 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발	22,823	16,780	6,043
	4-3. 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영 기술 개발	14,383	10,575	3,808
	소 계	50,482	37,116	13,366
사업단 운영비		5,609	5,609	-
전문기관 기획평가관리비		5,841	5,841	-
합 계		196,976	147,614	49,362

8. 기대효과

□ **과학기술적**

○ 건설 전주기 과정에서 생산되는 모든 정보의 디지털화를 통해 데이터 기반의 의사결정, 건설장비 자동화, 건설 단계별 단절 해소 등 국내 스마트 건설기술의 경쟁력 확보

- 건설현장 디지털화를 통한 설계-제작-시공 협업 지원 및 시공 무인화/자동화 등 해외 기술 경쟁력 확보
- 실시간 현장안전관리 기술 확보를 통한 안전성 제고로 국내의 안전기술의 대외 경쟁력 제고와 해외시장 진출 가능

□ **사회경제적**

○ 디지털 건설로의 패러다임 전환기에 스마트 건설기술 활용으로 새로운 비즈니스 모델 및 일자리 창출 효과 기대

- BIM 및 디지털 기반 건설장비 운영 컨설팅 등 새로운 비즈니스 모델에 의한 스타트 업 기업의 창업으로 신규 일자리 창출 가능
- 노동 집약적, 경험 의존적 산업에서 디지털 기반 고부가가치 산업으로의 전환에 따라 저출산 고령화 사회 노동 인력 감소에 대비
- 건설현장의 안전성 제고를 통해 건설 재해를 크게 저감시켜 인적 물적 손실에 따른 사회적 비용의 최소화 가능

○ 직접적 생산유발 등 총 3,742.5억 원의 경제적 효과 창출 예상(투자 대비 약 2배)

○ 고용 및 취업에 의한 일자리 창출효과는 약 2,777명으로 예상

목 차

1장 사업 개요 ····· 1

1절 개념 및 정의 ····· 3

1. 본 사업 주요 용어 정의 ····· 3

2. 본 사업 적용 범위 ····· 9

2절 배경 및 필요성 ····· 12

1. 사업의 배경 ····· 12

2. 사업의 필요성 ····· 16

3. 사업추진의 시급성 ····· 28

4. 국고지원의 적절성 ····· 33

3절 추진근거 ····· 39

1. 법적 근거 ····· 39

2. 국정과제 근거 ····· 41

3. 국가계획 근거 ····· 41

4. 부처계획 근거 ····· 42

2장 대내외 환경분석 ····· 43

1절 메가트렌드 분석 ····· 45

2절 정책적 환경분석 ····· 69

3절 경제적 환경분석 ····· 90

4절 사회적 환경분석 ····· 102

5절 기술적 환경분석 ····· 114

6절 종합분석(PEST) ····· 128

3장 사업 추진계획(안) ····· 131

1절 사업 비전 및 목표 ····· 132
1. 비전 체계도 ····· 132
2. 기본방향 ····· 133
3. 사업비전 ····· 134
4. 사업목표 ····· 135
5. 성과목표 및 지표 ····· 141
6. 추진전략 ····· 150
7. 연계체계 ····· 152
8. 총괄 로드맵 ····· 153

4장 핵심기술 개발계획 ····· 160

1절 건설장비 자동화 및 관제기술 ····· 162
1. 사업 대상 및 범위 ····· 162
2. (핵심기술 1-1) 지능형 건설장비 관제 기술 개발 ····· 163
3. (핵심기술 1-2) 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발 ····· 206
4. (핵심기술 1-3) 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발 ····· 253
5. 특허분석 ····· 309

2절 도로구조물 스마트 건설기술 ····· 331
1. 사업 대상 및 범위 ····· 331
2. (핵심기술 2-1) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술 개발 ····· 333
3. (핵심기술 2-2) 도로구조물 원격ㆍ자동화 시공 기술 개발 ····· 383
4. (핵심기술 2-3) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발 ····· 462
5. 특허분석 ····· 521

3절 스마트 안전 통합 관제기술 ····· 543
1. 사업 대상 및 범위 ····· 543
2. (핵심기술 3-1) 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 ····· 544

3. (핵심기술 3-2) 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발 ····· 622
4. (핵심기술 3-3) 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발 ····· 686
5. 특허분석 ····· 740

4절 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드 ····· 760
1. 사업 대상 및 범위 ····· 760
2. (핵심기술 4-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합 관리 및 스마트 지식관리 기술 개발 ····· 762
3. (핵심기술 4-2) 디지털 건설 디지털 플랫폼 및 디지털트윈 기반 관리 기술 개발 ····· 818
4. (핵심기술 4-3) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발 ····· 904
5. 특허분석 ····· 938

5장 사업운영계획 및 소요예산 ····· 960

1절 사업추진체계 ····· 962
1. 사업특성을 고려한 추진체계 설계 ····· 962
2. 사업추진체계 및 역할 ····· 962

2절 사업관리방안 ····· 965
1. 사업관리 체계 및 프로세스 ····· 965
2. 단계별 평가/관리 절차 및 기준 ····· 967

3절 성과관리계획 ····· 972

4절 성과 활용·확산 활성화 방안 ····· 974

5절 사업 소요예산 ····· 980
1. 전체사업비 ····· 980

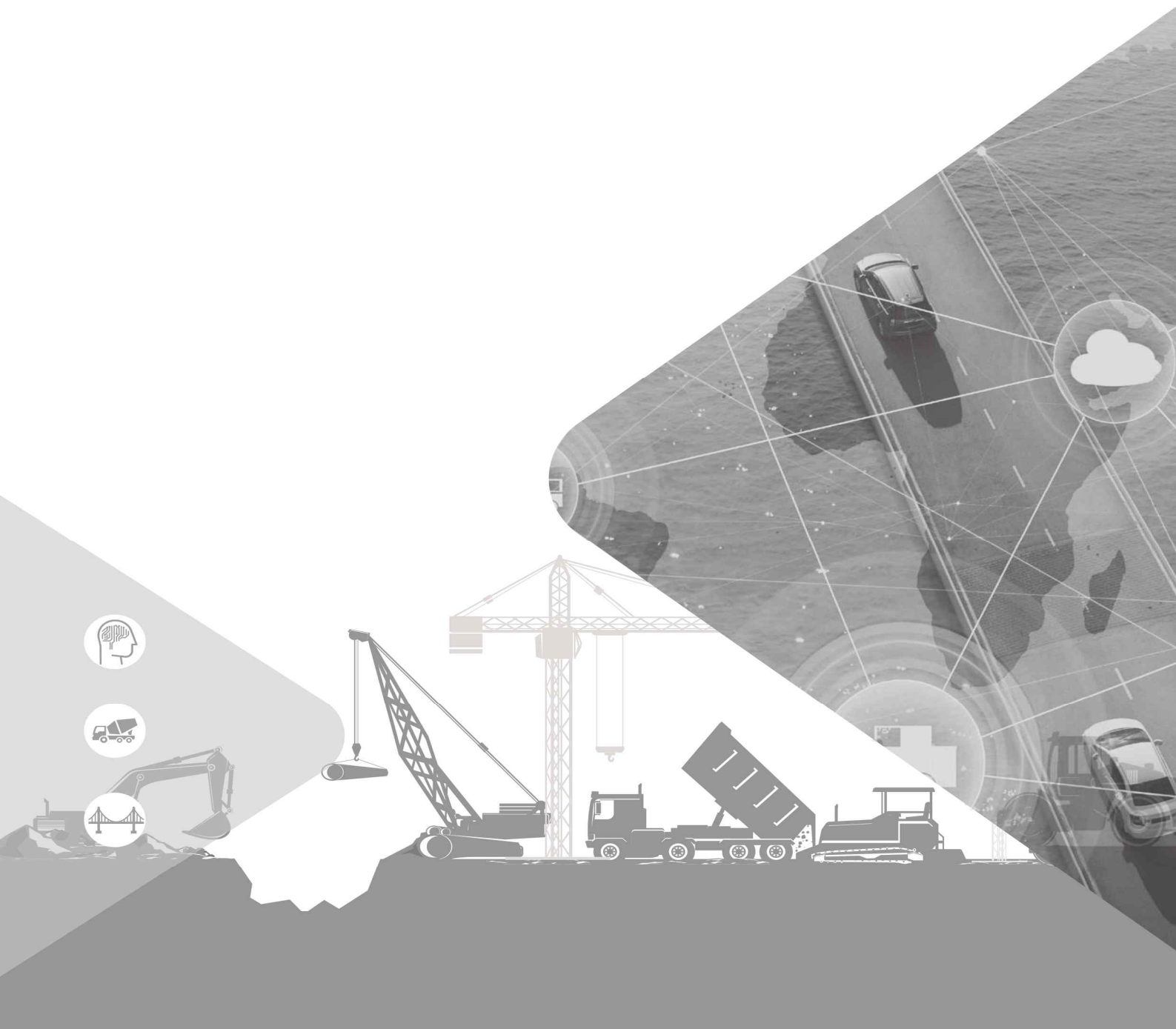
[부 록] ····· 983

장비구축 계획서 ····· 984

12개 세부과제 및 총괄기관(사업단장) 과제제안요구서(RFP)(안) ····· 1074

제 1장

사 업 개 요



1절 개념 및 정의

1. 본 사업 주요 용어 정의

□ 스마트 건설기술

○ 전통적 토목·건축기술에 BIM, IoT, Big Data, 드론, 로봇 등 스마트 기술이 융합되어 건설 全과정의 디지털화, 건설장비 자동화, 가상 건설, 현장 안전관리 등 건설 생산성 또는 안전성을 극대화하는 기술

- (데이터 중심 기술) 정부 소유의 각종 정보를 공유·유통시켜 빅데이터 분석을 활성화하는 등 디지털 기술로 변모

정보의 단절		정보의 공유·유통
경험에 의존한 불안정성	⇨	데이터 분석을 통한 최적화
시행착오의 반복		시뮬레이션을 통한 사전예측

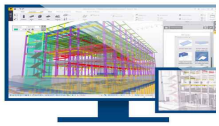
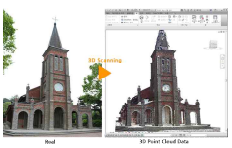
- (고부가가치 융복합 기술) ICT, 기계 등 타 분야의 기술을 도입·융합하고, 설계-시공-유지관리 단계별 분절을 해소

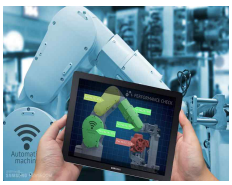
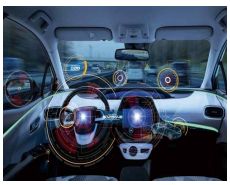
고유 영역의 기술 중심		기술 융합의 활성화
단계별 분절	⇨	건설 全단계 통합
광범위한 수동·반복 작업		고부가가치 집중

- (고객 지향 기술) 알기 쉬운 3D 시각화로 계획 초기인 설계 단계에서 시공자·운영자 등 미래 수요자의 참여 기회 제공

숙련인력 노동		비숙련 인력 자동화
2D	⇨	3D + α
공급자 중심		수요자 참여

<표 1-1> 대표적인 스마트 기술 및 건설분야 활용 예시

스마트 기술	일반적 의미	건설분야 활용	본 사업 기술(예시)
① BIM 	3차원 정보모델을 기반으로 시설물의 생애주기에 걸쳐 발생하는 모든 정보를 통합하여 활용이 가능하도록 시설물의 형상, 속성 등을 정보로 표현한 디지털 모델 *Building Information Modeling	BIM모델을 이용한 구조해석 수행 S/W, BIM 기반의 시공 시뮬레이션 및 공정/공사비 관리 S/W 등 다양한 방면으로 활용	(1-1-1)다양한 건설장비 타입 및 자동화 수준에 따른 지능형 건설장비 관제 시스템 (2-1-1)도로구조물의 디지털 설계 기반 설계-제작-시공 협업 시스템
② 드론 	지상에서 원격조정기나 사전 프로그램된 경로로 비행하거나, 인공지능이 탑재되어 자율비행하는 '무인비행장치' *Drone	드론에 카메라, 라이다 등 각종 장비를 탑재하여 건설현장의 지형 및 장비 위치 등을 빠르고 정확하게 수집하는 기술로 활용	(1-2-1)자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술
③ VR & AR 	가상현실(VR)은 컴퓨터로 만든 가상 공간을 사용자가 체험하게 하는 기술이고, 증강현실(AR)은 현실 세계에 가상의 콘텐츠를 겹쳐 디지털 체험을 가능케 하는 기술 *Virtual Reality & Augmented Reality	건설현장의 위험을 인지할 수 있도록 VR/AR을 통한 건설사고의 위험을 시각화한 안전교육프로그램에 활용 가능하며, 시공 전/후의 건설현장을 VR을 통해 현실감 있는 정보제공이 가능	(2-2-1)로보틱스 기반 도로 지상구조물 고소/고위험 시공 원격 무인화 (3-2-1)건설현장 근로자 위험요인 인지기술 (4-2-1)데이터 기반 시뮬레이션
④빅데이터 & 인공지능 	디지털 환경에서 생성되는 다양한 데이터 및 생성 주기가 짧은 대규모의 데이터를 의미 컴퓨터가 사고, 학습, 자기계발 등 인간 특유의 지능적인 행동을 모방할 수 있게 하는 컴퓨터 과학 *Big Data & Artificial Intelligence	건설현장에서 수집 가능한 다양한 정보를 축적하여 축적된 정보를 AI 분석을 통해 다른 건설현장의 위험도 및 시공기간 등을 예측할 수 있는 기술로 활용	(1-3-1) 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 (4-2-1)데이터 기반 시뮬레이션
⑤ 3D 스캐닝 	3차원 스캐너를 이용하여 대상물의 형상정보를 취득하거나 디지털 정보로 전환하는 모든 과정 *3D Scanning	레이저 스캐너를 이용하여 건설 현장을 보다 정확하게 측량하고 측량한 정보를 디지털화하여 Digital Map을 구축하거나, 구조물 형상을 3D로 계측 및 관리	(1-2-1)자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축기술 (2-3-1)형상계측 기반 시공 중 도로구조물 형상관리 기술
⑥ 사물인터넷 	사물에 센서가 부착되어 실시간으로 데이터를 인터넷 등으로 주고받는 기술이나 환경을 의미 *Internet of Things	건설장비, 의류, 드론 등에 센서를 삽입하여 건설현장에서 장비-근로자의 충돌 위험에 대한 정보제공 및 건설장비의 최적 이동경로를 제공하는데 활용	(1-1-2)광대역 Smart Local Network 기반 IoT 장비 운영 체계 (3-1-1)데이터 마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 솔루션

스마트 기술	일반적 의미	건설분야 활용	본 사업 기술(예시)
⑦ 디지털 트윈 	컴퓨터에 현실 속 사물의 쌍둥이를 가상으로 만들고, 현실에서 발생할 수 있는 상황을 컴퓨터로 시뮬레이션 함으로써 결과를 예측하는 기술 *Digital Twin	건설 현장을(On site) 직접 방문하지 않고 컴퓨터로 시공 현황을 3D로 시각화 하여(off site) 현실감 있는 정보를 제공하는데 활용 본 사업에서는 가상건설(Virtual construction)을 의미	(4-2-1)데이터 기반 시뮬레이션 (4-2-2)Digital Twin 모델 및 AR기반 건설정보 시각화 기술
⑧ 프리팹 	미리 공장에서 부품의 가공·조립을 해놓고 현장에서 설치만을 행하는 건축 공법 *Prefabrication	건설 부재를 프리팹을 통해 생산하여 현장 작업을 최소화하고 공사기간을 단축하는 기술로 활용	(2-1-1)도로구조물의 디지털 설계 기반 설계-제작-시공 협업 시스템 (2-1-2)디지털 기반 프리팹 도로구조물 제작/시공 혁신지원 기술
⑨ 모바일 기술 	빅데이터 분석으로 추출된 맞춤 정보를 다양한 모바일 기기(스마트 폰, 태블릿 PC 등)를 통해 서비스 제공 가능 *Mobile	건설현장의 다양한 정보를 수집·분석하여 위험요소에 관한 정보를 근로자에게 실시간으로 제공하여 현장의 안전성을 향상하는데 활용	(3-2-1)건설현장 근로자 위험요인 인지기술 (3-2-2)현장 맞춤형 근로자 위험 저감 기술
⑩ 로보틱스 	로봇+테크닉스의 합성어로, 로봇에 관한 설계, 구조, 제어, 지능, 운용 등에 대한 기술을 연구하는 공학의 한 분야 *Robotics	사고 위험이 높은 환경에서 로봇을 통한 원격시공으로 안전 확보 및 공사기간 단축이 가능한 기술로 활용	(2-2-1)로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소/고위험 도로구조물 시공 원격·무인화 기술 (2-2-2)머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 무인화/자동화 기술
⑪ 디지털 맵 	종이지도를 컴퓨터에서 이용할 수 있도록 디지털 정보로 표현한 것으로 지리정보 시스템 및 인터넷통신기술과 결합하여 위치정보 제공 *Digital Map	정밀한 전자지도 구축을 통해 측량오류를 최소화하여 재시공 및 작업지연을 방지할 수 있는 기술로 활용	(1-2-1)자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술
⑫ 자율주행 	승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차를 의미하며, 차세대 자동차 산업으로 기대	건설장비의 지능형 자율작업이 가능하게 함으로써 작업의 생산성 향상 및 작업 시간 절감이 가능한 기술로 활용	(1-3-1)고정밀 작업가능 자율 작업형 건설장비 제어 기술 개발 (2-2-2)머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 무인화/자동화 기술

□ 스마트 건설(Smart Construction)

○ 건설(Construction, 建設)의 개념

- 건축(architecture)과 토목(civil engineering)의 총칭. 구조물을 새로 만들어 설치하는 것으로, 도로, 교량, 댐, 철도 등의 공공시설(인프라)에 대한 토목 공사와 주택, 빌딩, 아파트, 경기장, 학교 등 건축물에 대한 건축 공사로 구분

○ 스마트 건설(Smart Construction)의 개념

- 전통적인 건설에 스마트 건설기술을 접목·활용하여 건설 생산성 또는 안전성을 획기적으로 향상시키는 건설 방식

- 건설 全단계에서 스마트 건설기술 적용 가능

  · (설계) 3D 가상공간에서 최적 설계, 설계단계에서 건설·운영 통합관리

  · (시공) 날씨·민원 등에 영향을 받지 않고 부재를 공장 제작·생산, 비숙련 인력이 고도의 작업이 가능하도록 장비 지능화 및 자동화

  · (유지관리) 시설물 정보를 실시간 수집 및 객관적·과학적으로 분석



출처 : 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵(국토부, '18.10)

[그림 1-1] 스마트 건설 개념

□ 건설 생산성

○ 건설 산업은 인력에 대한 의존성이 큰 노동 집약적 산업이기 때문에 다수의 사례에서 노동 생산성을 비교 지표로 활용

○ 노동 생산성은 물적 노동 생산성과 부가가치 노동 생산성 등 두 가지로 구분됨

- 물적 노동 생산성은 노동 투입에 대한 산출량의 상대적 비율로 정의되며, 생산 효율성을 파악하는데 유용한 지표로 활용
- 부가가치 노동 생산성은 노동 투입에 대한 산출을 화폐가치로 측정한 상대적 비율로 정의되고 임금 결정의 기준 및 국제 경쟁력 비교에 활용

※ 다른 국가, 다른 연도간의 부가가치 노동 생산성을 비교하기 위해서는 환율, 국가 간 물가 수준 등을 고려하여 비교 가능한 수치로의 환산 필요

※ 노동 투입량은 근로자 1인당 월(month), 일(day), 시(hour) 등의 단위로 측정하거나 근로자 수와 근로시간의 곱으로 산출

○ 본 사업에서는 국내외에서 일반적으로 활용되는 부가가치 노동 생산성을 건설 생산성으로 정의

- 한국생산성본부에서는 시간당 노동생산성*과 취업자당 노동생산성을 생산성 측정 지표로 활용

$$* \text{ 시간당 노동 생산성} = \frac{\text{부가가치}}{\text{노동시간(또는 취업자수)}}$$

출처: 한국생산성본부(2015), 노동생산성 국제비교

- 2017년 2월에 발간된 맥킨지 보고서(MGI Reinventing construction - A route to higher productivity)에서도 동 사업과 동일하게 노동 시간 대비 부가가치 생산량을 노동 생산성으로 정의

□ 건설 안전성

○ 안전은 수용할 수 없는 재해의 위험성으로부터 자유로운 상태(Freedom from unacceptable risk)를 의미함

○ 위험성(Risk)이란 재해 발생 정도를 추정하는 용어로서, 위험성은 재해를 일으킬 가능성(Probability)과 재해의 결과로 예상되는 피해 정도인 재해 중대성(Severity)의 두 가지 변수에 의해 결정

○ 광의적으로 안전관리란 위험성 최소화를 위해 수행되는 모든 관리적인 행위를 의미하지만, 일반적으로는 예방에 초점을 맞추어 정의함

- 산업재해와 같은 인적재해는 그 원인이 사람에게 있기 때문에 사람에 의해서 만들어지는 인적이나 물적 불안전요인인 위험을 제거하면 예방이 가능해지는 원리를 근거로 하여 예방을 중심으로 하는 관리가 진행되어 왔으며 예방 중심으로 인적재해의 관리를 담당하고 있는 분야를 통틀어 안전관리 분야라고 함

○ 건설업에서의 안전관리는 건설 현장에의 인적 물적 위험을 예방적 차원에서 관리함으로써 근로자, 공중, 물적 피해를 최소화하는 행위를 의미함

- 근로자의 보호는 산업안전보건법에서, 공중과 물적 보호는 건설기술진흥법에서 주로 다룸

- 하지만 근로자, 공중, 물적 피해는 서로 상호 연관성이 존재하여 독립적으로 관리할 수 없음

○ 건설업 안전 지표의 예시로는 종합심사낙찰제 사회적 책임 분야 건설안전에서 적용되는 사망만인율과 재해율이 있음

- 사망만인율은 10,000×사망자수/상시근로자수로 계산됨(사망자 수는 산정대상 연도의 1월 1일부터 12월 31일까지의 기간 동안 해당업체가 시공하는 국내의 건설현장에서 사고성 사망재해로 승인된 근로자수를 합산하여 산출)

- 상시 근로자 수는(연간 국내공사 실적액×노무비율)/(건설업 월평균임금×12)로 계산됨

- 고용노동부의 2016년 산업재해현황분석에 따라 재해율은 100×재해자수/상시근로자수로 계산

※ 재해자 수는 산정대상 연도의 1월 1일부터 12월 31일까지의 기간 동안 해당업체가 시공하는 국내의 건설현장에서 사고성 부상 재해로 요양 승인된 근로자수를 합산하여 산출
출처: 고용노동부(2016), 2016년 산업재해현황분석 보고서

○ 본 사업에서 건설 안전성은 건설법 안전관리, 즉 건설 현장에의 인적, 물적 위험을 예방적 차원에서 관리함으로써 근로자, 공중, 물적 피해를 최소화하는 것을 의미함

2. 본 사업 적용 범위

□ 적용 대상

○ 스마트 기술의 종합적 테스트를 고려하여 '도로 및 도로의 부속물(교량/터널/포장/사면/옹벽)'을 주요 대상으로 하되, '토공 및 현장 안전관리'는 건설현장 전반(인프라+건축)을 대상으로 함

※ 도로 및 도로의 부속물에 대해 국가 차원의 적용 모델을 개발·검증하고, 이를 바탕으로 인프라 전 분야(하천, 철도, 공항 등)로 확산 유도

□ 적용 대상 도출 과정

※ 1~3단계는 기존 기획 시 수행한 것이며(2017년), 4단계는 금번 보완기획 시(2018년) 수행

○ (1단계) 국토계획법에서 정의하고 있는 7종 52개 기반시설과 사회기반시설 민간투자법에서 정의하고 있는 53개 기반시설을 대상으로 평가하여 비배제성과 비경합성이 높은 인프라 후보 시설물 총 48개로 도출

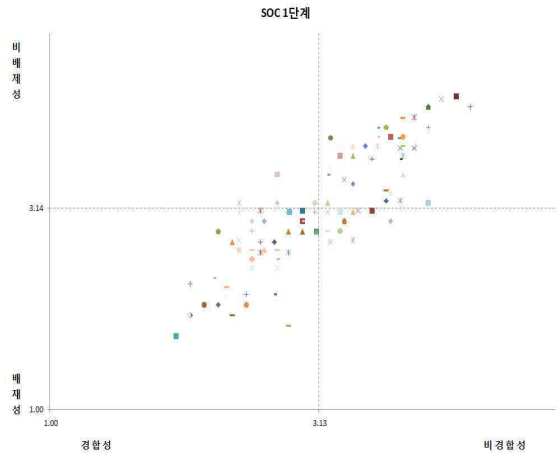
<표 1-2> 1단계 매트릭스 분석 결과

국토계획법 시설물 (27개)	항만	하천	하수도	철도	공동구	도로
	운하	공공청사	유수지	공항	저수지	궤도
	방조설비	폐기물 처리시설	우류저장 및 송유설비	수질오염방지 시설	수도공급설비	전기공급설비
	가스공급설비	열공급설비	학교	사방설비	국방·군사시설	공공 공지
	청사	광장	공원			
사회기반 시설 민간투자법 (21개)	공간정보체계	항만시설	다목적댐	하천시설	철도	철도시설
	수도 및 중수도	신항만건설 사업에 대상이 되는 시설	복합환승센터 및 지능형 교통체계	하수도, 공공 하수처리시설, 분뇨처리시설	유비쿼터스 도시기반시설	폐기물 처리시설
	공공폐수 처리시설	도로 및 도로의 부속물	공공처리시설	어항시설	전기통신설비	가스공급시설
	도시철도	공공임대주택	공항시설			

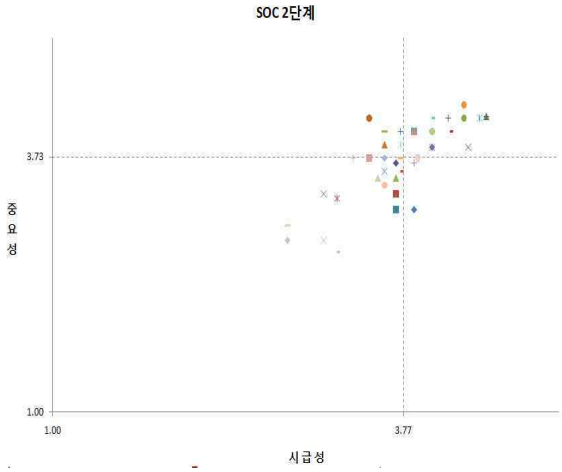
○ (2단계) 중요성과 시급성이 높은 인프라 시설물은 총 19개로 도출

<표 1-3> 2단계 매트릭스 분석 결과

국토계획법 시설물 (14개)	항만	하천	하수도	철도	공동구	도로
	공항	폐기물 처리시설	수질오염방지시설	수도공급설비	전기공급설비	가스공급설비
	열공급설비	학교				
사회기반 시설 민간투자법 (5개)	철도	유비쿼터스 도시기반시설	철도시설	도로 및 도로의 부속물	도시철도	



[그림 1-2] 1단계 매트릭스 분석 결과



[그림 1-3] 2단계 매트릭스 분석 결과

○ (3단계) 사업과의 연관성이 높은 최종 인프라 시설물은 '도로', '도로 및 도로의 부속물', '철도', '철도시설'로 선정되어 기획위원회의 검토를 통해 공통 기반시설인 '도로', '도로교량', '철도교량'으로 조정

○ (4단계) 분과위원회 회의('18.8.8)에서 국내 인프라 시설물 중 시장이 가장 크고, 기술의 스마트화를 통해 해외시장에서 경쟁력 및 점유율을 높일 수 있는 부문인 '도로 및 도로의 부속물(교량/터널/포장/사면·옹벽)'을 본 사업의 주요 대상으로 하되, 토공 및 현장 안전관리는 건설 현장 전반을 적용 대상으로 조정

<표 1-4> 2018년도 SOC 분야 재정투자 계획

(단위: 억 원, %)

구분	2017년(a)	2018년(b)	증감률((b-a)/a)
도로	74,089	59,382	△19.9
철도·도시철도	71,736	51,969	△27.3
해운·항만	17,607	17,644	0.2
항공·공항	1,436	1,435	△0.0
물류 등 기타	21,672	22,875	5.6
수자원	18,108	16,779	△7.3
지역 및 도시	12,028	16,621	38.2
산업단지	4,978	3,209	△35.5

출처: 기획재정부, 2018 나라살림 예산 개요

- 건축물 및 철도 관련 스마트 건설기술 개발은 다음 <표 1-5>와 같이 기존 R&D사업이나 신규 기획과제로 진행하고 있어 본 사업의 적용 범위에서 배제

<표 1-5> 건축 및 철도 관련 기존 R&D사업 또는 기획과제

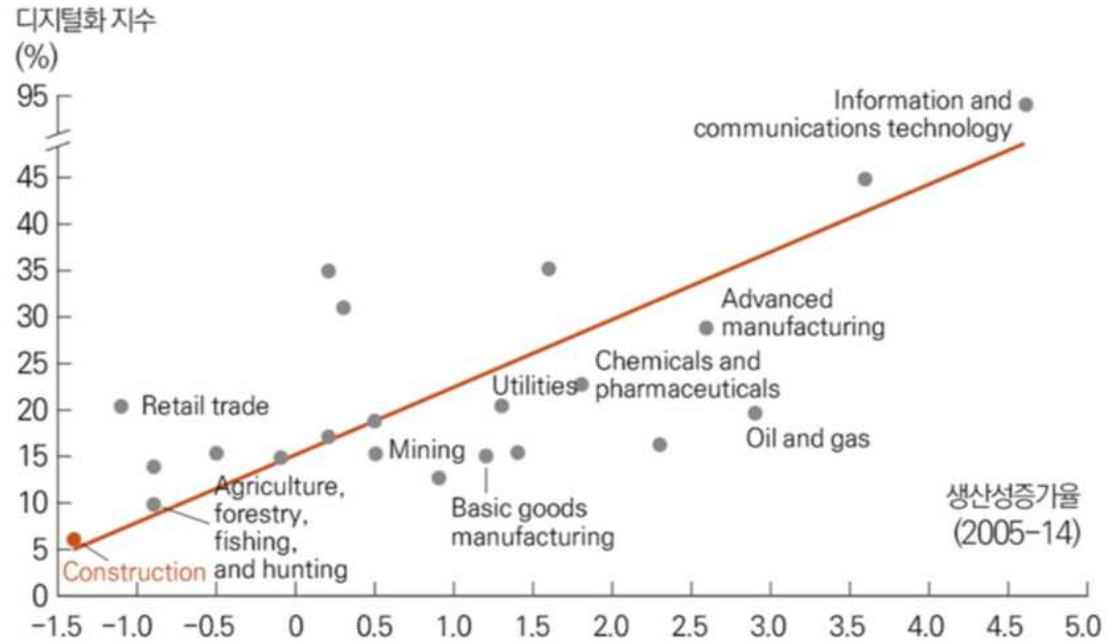
[단위: 백만 원]

사업명/과제명	최초/최종협약 (총 연구비)	[수행체계] 연구내용
< 도시건축연구사업 >		
BEMS KS기반의 설계 시공 운영 관리 기술개발 및 실증	'15.8 / '20.1 (13,800)	[연구단] 에너지 수요관리가 가능한 에너지 절약형 건물 도입 기반 구축을 위한 건축물 에너지 통합관리시스템(BEMS) 개발 및 실증
세계시장 선도를 위한 초고층빌딩 설계 및 시공 기술 개발	'15.12 / '20.1 (21,000)	[연구단] 초고층빌딩 핵심 설계·시공 엔지니어링 기술 고도화, 해외진출형/창의혁신형 초고층빌딩 핵심기술 발굴 및 기술개발
소형 건축물 및 비정형 건축부재 대상 3D 프린팅 설계, 재료 및 장비 개발	'16.11 / '21.1 (13,569)	[연구단] 공사기간 60% 단축 등 건설 생산성 향상을 위한 소형 건축물 및 비정형 건축부재 대상 3D 프린팅 설계, 시공 및 유지관리 기술 개발
개방형 BIM 기반의 건축설계 자동화 지원기술 및 첨단 유지관리 기반기술 개발	'17.3/ '21.1 (15,000)	[연구단] IT통합 건축설계 구현을 위한 개방형BIM 표준 플랫폼 구축 및 응용기술, 건축설계 적법성 평가기술 및 응용기술, 기존 건축물 유지관리 기반 기술 개발
< 주거환경연구사업 >		
AAL기반의 스마트 공동주택 헬스케어 기술 및 실증모델 개발	'14.12 / '21.1 (19,850)	[연구단] 고령화 시대를 대비한 전천후 생활보조(AAL) 기반의 스마트 공동주택 헬스케어 모델 개발 및 실증
모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상 기술개발	'14.9 / '21.1 (22,859)	[연구단] 6개월 이상 공기단축, RC대비 90%수준 공사비 절감 실현 등을 위한 중고층 규모 모듈러 건축기술, 공장제작 최적화 기술 및 모듈러 운송·현장시공 효율화 기술 개발
< 철도기술연구사업 >		
기존선 무도상 교량 장대레일화 기술 개발	'17.11 / '20.1 (9,500)	[연구단] 노후 무도상 교량에 장대레일을 부설하기 위한 주요 장치 및 성능평가기술 개발
철도노반 성능 및 건설비 최적화 기반 기술개발	'13.12 / '17.2 (18,924)	[연구단] 철도건설비 절감 및 인프라 성능개선을 위한 콘크리트궤도/철도 교량설계기술, 궤도교량상호작용 저감 기술 등 철도인프라 설계/시공기술 개발
< '18년 하반기 신규 기획과제('18.11 선정 예정) >		
인공지능 기반의 건축설계 자동화 기술개발 기획(150백만 원)		
Off-Site Construction 기반 공동주택 생산시스템 혁신기술 개발 기획(150백만 원)		

2절 배경 및 필요성

1. 사업의 배경

□ 건설산업은 전체 산업 중 디지털화 및 생산성 증가율이 꼴찌 수준



출처 : 이상호(2018), 4차 산업혁명 건설산업의 새로운 미래; Mckinsey Global Institute Report('2017)

[그림 1-4] 디지털화 수준과 생산성 증가의 상관관계

○ 정보통신, 제조 등 디지털화 수준이 높은 산업일수록 생산성 증가율도 높게 나타나고, 디지털화 수준이 낮을수록 산업 생산성도 낮아지는 상관관계 존재

- 건설산업은 낮은 디지털화로 인해 국가경제에서 큰 비중을 차지하는 것에 반해 생산성 증가율은 1%에 불과하며, 이는 전체 산업 중 꼴찌 수준

○ 정보통신, 제조, 석유·가스, 건설 등 전체 산업에 걸쳐 4차 산업혁명에 의한 디지털-자동화 혁신 진행 중

□ 4차산업혁명으로 인한 벨류체인*의 변화로 달라지는 건설산업

* 밸류체인(Value Chain)이란 기업(또는 산업)이 소비자에게 가치를 제공함에 있어서 부가가치 창출에 직간접적으로 관련된 일련의 활동·기능·프로세스의 연계를 의미

○ 건설 선진국은 이미 건설 방식의 패러다임을 변화시키고 있으며, 다음과 같이 10가지 변화상으로 요약 가능(이상호, 2018)

<표 1-6> 글로벌 건설산업의 변화상 10가지

글로벌 건설산업의 변화상 10가지
1. 혁신적인 **건설 스타트업**이 급증하고 있다.
2. 건설산업의 **디지털 전환**이 이루어지고 있다.
3. 스마트 **디지털 기술**이 건설프로세스를 바꾸고 있다.
4. **공통의 플랫폼(BIM)**이 널리 활용되고 있다.
5. 건설현장의 **자동화**가 급속하게 진전되고 있다.
6. **공장 제작** 및 조립방식이 확산되고 있다.
7. 건설상품이 **스마트 상품**으로 바뀌고 있다.
8. 계약제도 혁신으로 **협력 문화**가 확산되고 있다.
9. 새로운 사업과 **비즈니스 모델**이 확산되고 있다.
10. 건설투자와 **건설일자리**가 늘어나고 있다.

기존의 **분업과 전문화** 방식에서
각 프로세스 간의 **연결과 통합**

○ 건설산업은 디지털의 전환에 직면하고 있으며 특히, 설계, 조달 및 시공(EPC) 산업 및 규제환경이 매우 빠르게 변화 중

- EPC 업체에서 운영 및 유지관리(O&M)의 효율적인 작업을 위한 디지털 기술의 활용은 더욱 더 중요해질 것으로 예상



[그림 1-5] 4차 산업혁명에 따른 도로 건설산업의 변화

○ WEF, Boston Consulting Group, JBKnowledge는 2016년에 각각 14개, 10개, 10개의 인프라 건설 분야 미래유망기술을 발표하면서 이로 인해, 건설 밸류체인 등 건설 전반에 걸쳐 획기적인 변화 예상

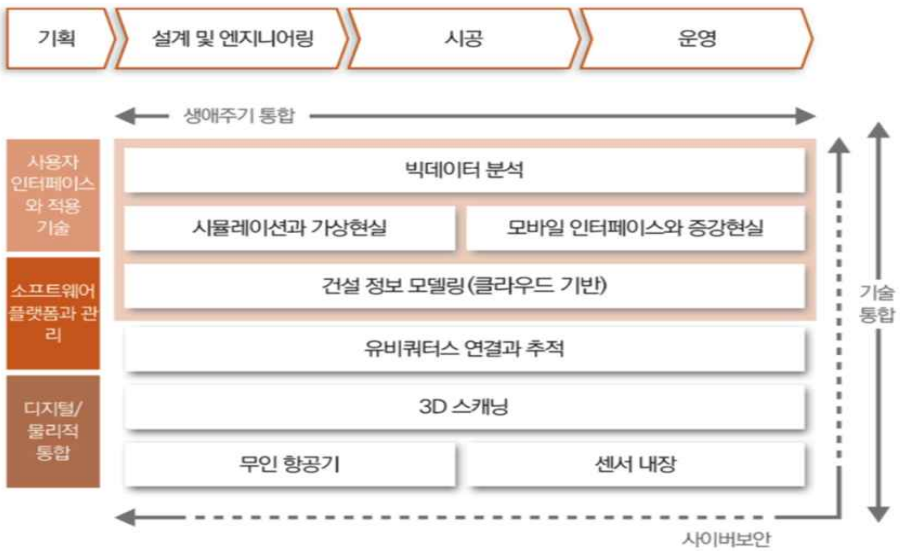
- 공통적인 기술은 BIM, 모듈러 공법, 드론, 3D 스캐닝, VR・AR, 빅데이터 등

<표 1-7> 인프라 건설 분야 미래유망기술

WEF(2016) 14개	Boston Consulting Group(2016) 10개	JBKnowledge(2016) 10개
Integrated BIM	Big data & analytics	Drone
Prefabricated building components	Simulation & virtual reality	3D scanner
Real-time mobile collaboration	Mobile interfaces and augmented reality	Pre-fabrication/modularization
Advanced project-planning tools	BIM(in the cloud)	Virtual reality
wireless monitoring(IoT)	Ubiquitous connectivity & tracking	360 Degree photo/video
Advanced building materials	Additive manufacturing	3D printer
New Active materials	3D scanning	Wearable device
Self healing materials	Smart construction equipment & robotics	Job site sensor
Augmented reality	Unmanned aerial vehicles	smart tool
3D printing of components	embedded sensors	
3D laser scanning		
Big data analytics		
Drones		
Contour crafting of buildings		

자료 : World Economic Forum(2016), Shaping the Future of Construction - A Breakthrough in Mindset and Technology
Boston Consulting Group(2016) What's the future of the construction industry?, World Economic Forum
JBKnowledge(2016), The 5th Annual Construction Technology Report

○ 건설산업의 밸류체인은 BIM, 모듈러 기술 등 첨단기술에 따른 건설프로세스의 연계가 강화・통합되는 경향을 보이며, 기획-설계-조달-시공 등 전 단계에 걸친 토탈 솔루션 기술의 중요성 부각



출처 : 이상호(2018), 4차 산업혁명 건설산업의 새로운 미래; Mckinsey Global Institute Report('17)

[그림 1-6] 건설산업의 Value Chain에 적용되는 디지털 기술

□ 선진국은 이미 건설 방식의 패러다임에 대한 변화 진행 중

○ 영국·일본·싱가포르·미국이 선도자라면, 중국은 빠른 추격자이고 한국은 뒤쳐진 추종자 수준

- Construction2025(영국, '13), i-Construction(일본, '17), Construction 21 운동(싱가포르, '16) 등 선진국에서는 공통적으로 건설산업 생산성 향상을 위한 정책 추진 중
- 3D 스캐닝 기술을 접목하여 코마츠社, 히타치社, 탑콘社 등은 건설장비 자동화 기술을 발전시켰으며, 3D 프린팅 기술을 통해 교량(미국) 및 콘크리트 주택(중국) 건설
- 미국과 호주에서는 통합 프로젝트 발주 방식(IPD: Integrated Project Delivery, 모든 사업참여자가 하나의 통합된 팀으로 초기 단계부터 참여하는 발주 방식) 확산

○ 국내 건설산업은 아직 전통산업에서 벗어나지 못한 상태로 글로벌 선도 수준과 상당한 격차가 존재



※ BIM Level: (Level0)2D도면 및 문자 등 서류중심, (Level1)2D도면과 3D 데이터 파일 중심, (Level2)다양한 분야별 BIM 모델중심, (Level3)통합 웹기반 BIM 중심

출처 : 3차 산업혁명 대비 건설산업 인프라 경쟁력 진단 및 미래발전 전략 수립 프로젝트(보스턴컨설팅그룹, '17.12) 및 건설산업 혁신방안(국토부, '18.6)

[그림 1-7] 글로벌 선도 수준과 국내수준 비교

2. 사업의 필요성

2.1 (정책적) 스마트 건설에 대한 선진국의 공격적 투자에 대응 필요

□ **선진국의 스마트 건설에 대한 집중적 육성 및 새로운 사업 영역으로의 확장**

○ (영국) 'Construction 2025'를 통해 건설산업 혁신방안으로 건설 산업의 스마트화 강조

- 영국은 모듈러 건축 분야의 시장 성숙도가 가장 높은 국가로 전체 건설 시장의 약 2.1%('13년 기준)를 모듈러 건축이 점유한 상황
- 'Government Construction Strategy 2016-2020'에서 '디지털기술 활용 확대' 제시

○ (미국) 경제 활성화 및 일자리 확충을 위해 향후 5년간 5,500억 달러 규모의 인프라 투자 및 에너지 분야 사업 확대 계획 발표('16)

- 노후화된 공공인프라 성능개선(도로, 공항, 교량 등)에 대규모 자금 투입, 송유관一정제시설 발주 확대 등 건설 활성화 예상

  출처: 건설산업 혁신방안('18.6)

- 민간을 중심으로 스마트 건설기술 스타트업의 활성화 및 다양한 프로젝트에 BIM 적용 등 디지털 기술을 적극적 활용할 수 있도록 지원
  - 빅데이터, loT 기술, 웨어러블 장비 등을 개발하여 현장관리에 활용함으로써 건설 현장의 안전성 향상 도모

○ (일본) '25년까지 건설현장의 생산성 20% 향상을 목표로 건설사업 생애주기 전반으로 ICT 기술을 활용하는 i-Construction 추진

- 건설 전 단계 3차원 데이터 도입, ICT 건설장비 등 신기술 활용, 노동력 문제를 대응하기 위한 자동화·무인화 추진
- 코마츠社는 정형화된 작업, 정밀절삭 및 안전작업을 필요로 하는 토공 공사 현장에 무인 중장비를 개발하여 이를 드론과 연동하여 시공

○ (싱가포르) 'Construction 21 운동'을 통해 생산성 향상과 환경 개선을 추구하는 건설산업 선진화 추진

- ’16년 기술개발 로드맵을 통해 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 핵심 기술분야 선정
- 대부분의 국가 건설프로젝트 설계 시 BIM 사용을 의무화(약 80%)

출처: 스마트 건설기술 로드맵(국토부, ’18.10)

□ **국내 건설산업도 4차 산업혁명에 대응하기 위한 국가 차원의 기반 마련 시급**

○ 문재인 정부는 「100대 국정과제」중 건설분야에서 4차 산업혁명 기술을 확산·촉진시킬 수 있도록 건설 기술개발 및 인프라 구축 등을 국정과제로 선정하는 등 정책적 방향 제시

○ 건설산업 혁신방안(경제관계장관회의, ’18.6)과 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵(국토부, ’18.10) 등을 통해 건설산업의 패러다임 변화에 맞춰 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 건설기술개발의 지원 방안 마련

○ 정책 부재로 인한 스마트 건설기술의 확산 여건 조성 미흡

- 정부는 그간 스마트 건설을 위해 뚜렷한 비전 및 목표를 제시하지 못하였으며, 발주제도·건설기준 등은 스마트 건설기술을 활성화하기에 미흡한 수준
- 발주청은 건설시장의 주요 수요자임에도 불구하고 스마트 건설기술에 대한 이해 부족으로 기술 활용에 소극적인 태도 유지

※ 안전성 검증의 곤란, 특혜 시비 우려 등의 이유로 새로운 기술의 적극적 수용에 한계

- 공공이 보유한 정보를 민간이 활용할 수 있는 플랫폼이 없으며, 변화를 유도할 수 있는 새로운 정보·자료의 수집·유통·공유도 부족한 실정

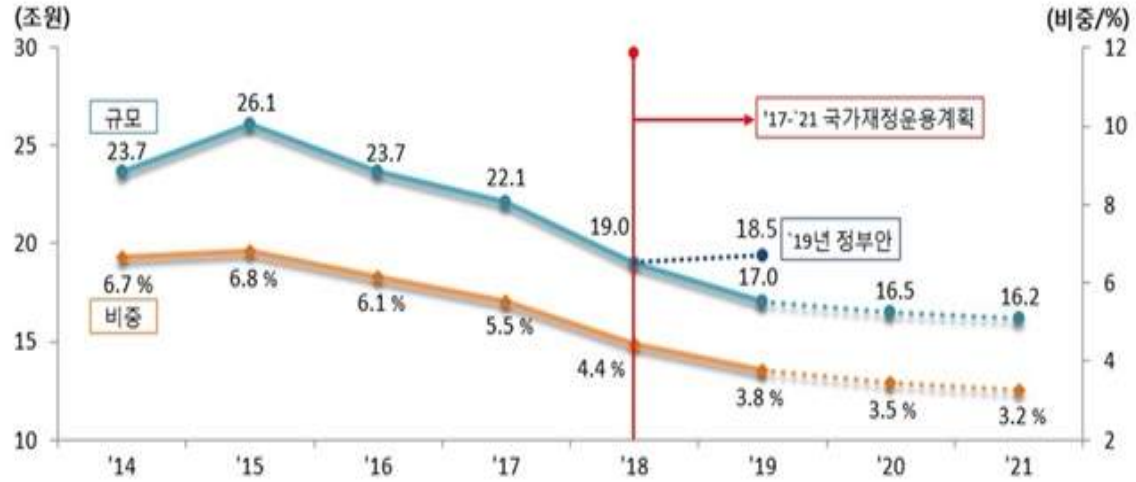
※ 건설사업정보시스템(CALS)은 지방국토관리청, 수주업체, 민원인만 주로 활용하는 상황

출처: 스마트 건설기술 로드맵(국토부, ’18.10)

□ **우리나라는 전년 대비 SOC 도로 건설 예산의 19.9%를 감소하여 건설산업의 경쟁력 약화 우려**

○ ’18년 정부 예산(안)에 따르면 SOC 예산은 ’17년 22.1조 원에서 ’18년 17.7조 원으로 감소

○ 지속적 지출 구조조정과 투자 효율화를 위해 신규 건설사업을 최소화하여 국토교통 인프라 예산은 ’17년 19.1조 원에서 ’18년 14.7조 원으로 23% 감소



출처: 뉴데일리경제(2018.08.28.), 국토부 예산 2조 9천 억 증액 불구 'SOC' 제자리; 국토교통부(2018)

[그림 1-8] '17~'21 국가재정운용 SOC 투자계획

○ 2018 나라살림 예산개요에 따르면 SOC 분야의 도로부문 투자재정은 철도(△27.3%)에 이어 두 번째로 크게 감소(△19.9%)한 59,382억 원

- 도로관리 항목을 제외한 고속도로(△16.8%), 국도(△24.2%), 민자도로(△44.2%), 광역도로(△11.6%), 국가지방도로(△21.95%)가 감소하여 기존의 도로를 유지·관리하되 새로운 도로 건설은 축소할 것으로 예상

<표 1-8> 2018년 SOC 재정투자 중 도로부문 주요 변동 내역

(단위: 억 원, %)

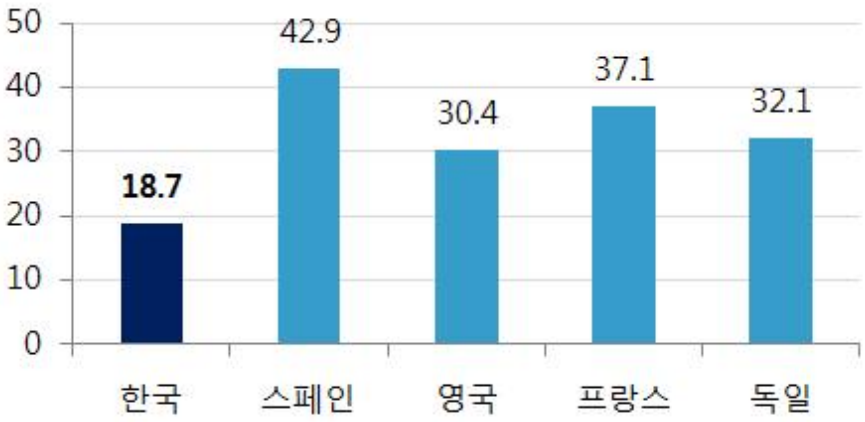
구분	2017년(a)	2018년(b)	증감률((b-a)/a)
고속도로	13,649	11.362	△16.8
국도	26,587	20,165	△24.2
민자도로	11,630	6,489	△44.2
광역도로	769	680	△11.6
국가지원지방도	4,697	3,667	△21.9
도로관리	16,202	16,536	2.1

출처: 기획재정부, 2018 나라살림 예산 개요

2.2 (경제적) 건설산업 생산성의 혁신적인 진보 필요

□ 국내 건설업의 노동 생산성은 선진국 대비 50% 수준

○ 한국 건설업의 노동 시간당 부가가치는 18.7달러로, 스페인(42.9달러), 프랑스(37.1달러), 영국(30.4달러), 독일(32.1달러) 등 독일·영국 등 유럽 선진국의 절반 가량에 미치는 수준으로 개도국과의 기술격차가 좁혀질 경우 국내기업의 급격한 입지 위축 우려



자료 : 건설산업 혁신방안('18.6)

[그림 1-9] 건설업 노동생산성(단위: $/시간, '15)

○ 타 산업의 노동시간 당 부가가치가 20년간 연평균 4% 늘어난 것에 비해 건설업은 정체되고 있는 실정(맥킨지글로벌연구소, '17)

□ 건설산업 생산성이 낮은 대표적인 원인

○ **(비양산성)** 현지에서 각각 다른 형상의 구조물을 주문생산 방식으로 제작함으로써 제조업처럼 공장에서 양산하지 못하는 특성(一所一品)을 지님

○ **(자연 의존성)** 비, 바람, 온도, 강설 등 기상 조건이나 지중, 수중 등 자연조건의 영향이 높기 때문에 사람의 경험, 노하우 필요

○ **(작업 일과성)** 작업환경이 수시로 변화함에 따라 위험 노출이 빈번함

※ 일과성(一過性)이란 어떤 현상의 일시적인 성질로서 작업환경 일과성은 작업환경이 수시로 변한다는 의미

○ **(사회환경 의존성)** 공사 기간이 길기 때문에 사회환경과 정부정책 변화에 의한 계획 변경, 중단 등 다수 발생

○ **(복합 전문성)** 프로젝트 규모, 공사기간, 건설장소 등에 따라 투입자원을 유연하게 조정하기 위한 방편으로 중층하청구조가 형성되어옴에 따른 관리부실

○ **(노동 집약성)** 현지에서 조금씩 성형하고 그때마다 모양을 확인하면서 구축해야 하기 때문에 수작업 다수



[그림 1-10] 건설산업의 낮은 생산성 원인

□ **국내 건설기업의 글로벌 종합 경쟁력은 7위이나 건설 인프라 부문은 11위로 저조**

○ 국내 건설기업의 글로벌 종합 경쟁력은 7위로 미국(1위), 중국(2위)에 비해 다소 뒤처지는 것으로 나타났으나, 국가별 건설 인프라 경쟁력 평가의 경우 11위로 미국(1위), 독일(2위), 일본(3위), 등에 비하여 건설 인프라 경쟁력이 크게 떨어지는 실정



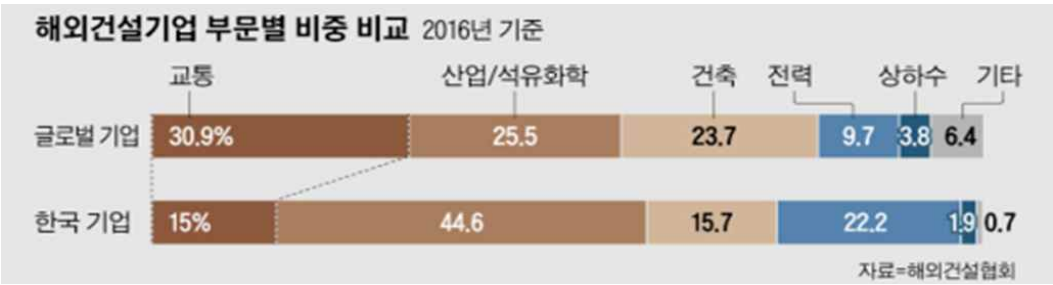
자료 : 박환표(2016), 국내 건설산업의 글로벌 경쟁력 7위, 중국은 2위로 도약

[그림 1-11] 2015 국가별 건설기업 경쟁력 종합평가

□ 해외시장에서 비중이 큰 도로·교통부문에서의 경쟁력 약세

○ 2016년 기준 해외건설기업부문에서 글로벌 기업은 도로·교통분야(30.9%), 건축(23.7%)로 도로건설 및 건축 분야에서 전체 시장의 50% 이상을 차지하고 있으나, 한국 기업의 경우 도로·교통분야(15%), 건축(15.7%)의 비중이 낮아 매출액이 크지 않은 실정

- 발주가 많아 수익성이 높은 도로·교통과 건축부문의 경우, 해외 진출한 국내기업의 30.7% 정도만 수주를 받는 상황이라 수익성이 높은 부문에서 약진



자료 : 조선일보(2018.02.05) 세계경기 호황에 1.5조 달러 트럼프 SOC도 시작된다는데...웃지 못하는 국내 건설사

[그림 1-12] 2016년 해외건설기업 부문별 비중 비교

□ 도시화 및 기존 인프라의 유지관리를 위한 건설투자는 증가될 전망

○ 맥킨지글로벌의 경우 연간 3.3조 달러 규모의 인프라 투자가 필요하다고 제시한 뒤 1년 만에 2017~2035년까지 해마다 필요한 인프라 투자는 3.7조 달러라며 상향 조정

- 신흥국의 경우 국가의 도시화 및 산업화로 인해 건설투자가 증가 될 전망

- 선진국의 경우 건설된 시설물의 노후화로 유지관리비가 신규 투자비용 보다 늘어나 새롭게 인프라를 건설하지 않더라도 건설투자는 증가할 전망

  · 유로컨스트럭트(Euroconstruct)에 가입한 유럽 19개국의 건설시장에서 유지관리시장의 비중은 51.5%(2016년 기준)로 신규시장보다 큰 규모 (이상호, 2018)

□ 대기업은 영업 집중, 중소기업은 역량 부족으로 기술개발 부진

○ 대기업은 전반적으로 기술투자보다는 단기적인 비용 절감에 관심을 가지며, 특히 하도급 중심 시공구조에서 원도급사는 생산성 향상을 위한 기술개발보다는 저가 공사가 가능한 전문업체를 선정하는 것을 선호

※ 매출액 대비 연구비('16년 기준, KISTEP): 기업 전체 3.16%, 서비스업 2.19%, 제조업 4.00%, 건설업 0.37% (계열사 비교: H 자동차 2.51% VS H 건설 0.52%)

○ 중소기업은 신기술 개발에 필요한 기간 및 비용에 대한 부담과 타 업체 견제 등으로 기술개발에 소극적

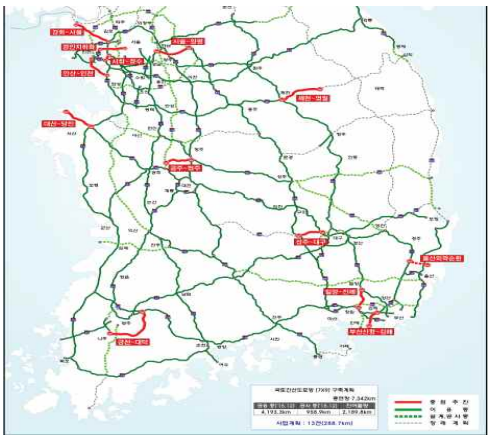
※ 신기술 개발에 필요한 기간은 평균 2.7년 및 비용은 6.2억 소요('10.4, 한국건설기술연구원)

출처: 스마트 건설기술 로드맵(국토부, '18.10)

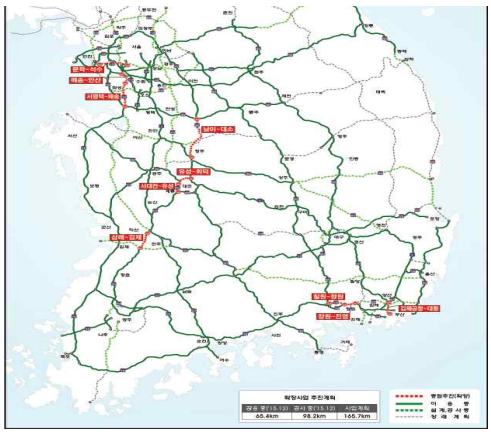
□ 본 사업의 기술개발을 통해 적용할 주요 국내 도로 시장

○ 2017년 국토교통부에서는 「고속도로 건설 5개년 계획('16~'20)」을 수립하여 경제성장, 도로 혼잡개선 등을 위해 2020년까지 고속도로 882㎞를 늘리고, 신규로 13개 노선 288.7㎞ 건설 추진 중

[신설구간]



[확장구간]



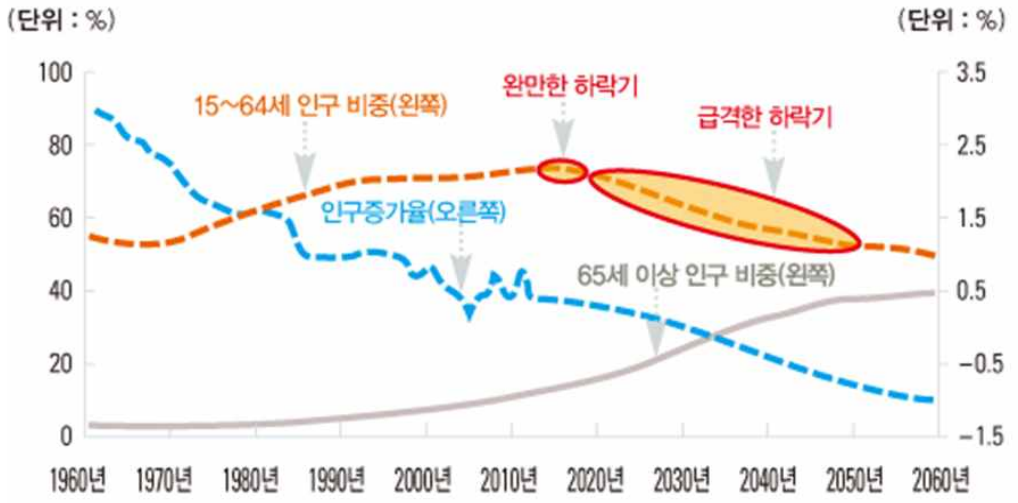
출처: 고속도로 건설 계획 5개년 계획('16~'20)

[그림 1-13] 고속도로 건설 계획('10~'20)

2.3 (사회적) 고령화 및 근무환경 변화로 인한 부족한 건설인력 수급 대응 필요

□ 고령화로 인한 노동력 및 숙련공 부족 현상 심화

○ 2018년부터 우리나라는 고령화 사회에 진입하였으며, 2020년부터는 성장 가능 인구가 급격하게 감소함으로써 국가 경제 성장을 둔화시키고 활력을 저하시키는 요인으로 작용



출처: 한국은행

[그림 1-14] 우리나라 인구구조 변화 추이

○ 건설산업 근로자 중 55세 이상 장년층의 비율이 2008년에서 2015년 간 12.4% 증가하여 제조업(5.5%), 서비스업(7.4%) 등 타 산업에 비해 빠르게 고령화



출처: 한국은행

[그림 1-15] 우리나라 산업별 고령화 변화 비율

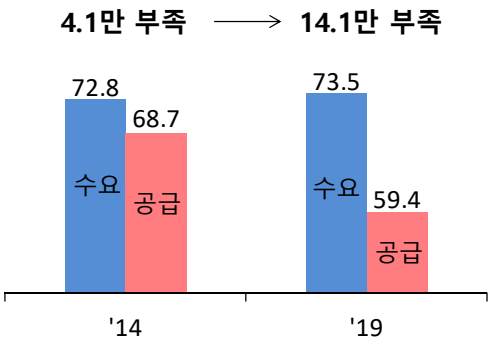
○ 열악한 근로여건과 빈번한 안전사고로 청년층이 취업을 기피하여 고령화가 빠르게 진행 중이며 이에 따른 숙련인력 부족을 불법체류 외국인력 고용으로 메우는 악순환으로 인해 산업기반 붕괴 우려

- 건설 숙련인력 수급전망은 '14에는 4만 명 부족하였고, '19년에는 14만 명 부족할 예정

출처: 제9차 경제관계장관회의 보고 안건「건설산업 혁신방안 –건설기술. 생산구조. 시장질서. 일자리 혁신」



출처: 연합뉴스(2015.10.27.) 건설현장 외국인 근로자 매년 증가...지난해 7.9%



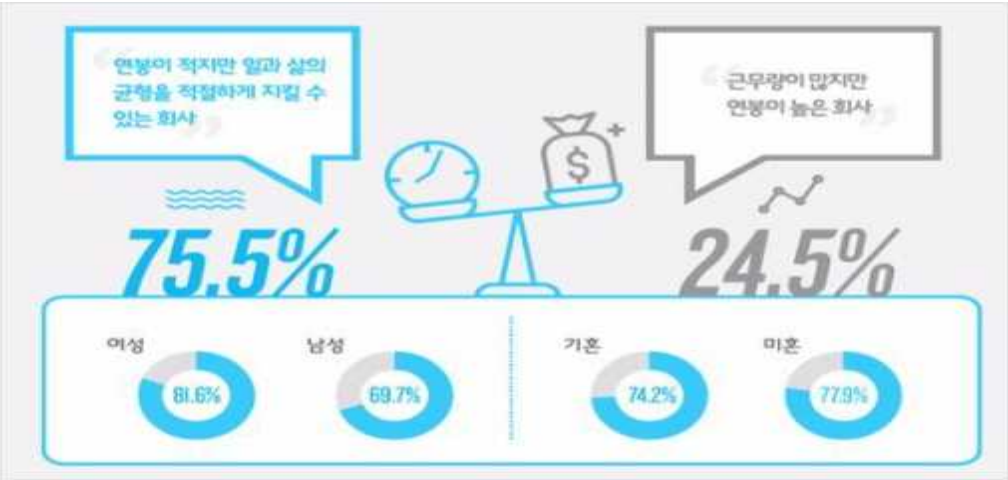
출처: 스마트 건설기술 로드맵(국토부, 18.10)

[그림 1-16] 건설업 외국인 노동자 증가 및 숙련공 부족 전망 추이

□ 노동 강도 저감에 대한 사회적 분위기 형성으로 근무환경의 변화 발생

○ 국내 중산층의 성장으로 인한 생활의 쾌적화, 여가 수요 증가 등 삶의 질 향상에 대한 관심과 수요 증가

- 소득증가로 경제적 여유가 생기면서 개인과 가족의 행복을 중시하는 경향이 강하고 웰빙, 건강, 안전 등에 높은 가치를 부여



출처: 중앙일보(2017.12.11.) 일과 삶 중 선택은? 10명 중 7명 "연봉보다 '워라밸'이 더 중요" (재인용)

[그림 1-17] 유연근무제 도입에 대한 설문조사 결과

□ '30년까지 건설산업으로 인한 8,000만 명~2억 명의 일자리 증가 전망

○ 세계경제포럼에서는 4차 산업혁명으로 인해 2015~2020년 동안 일자리가 200만 개 늘어나지만, 단순반복 작업 등은 인공지능 및 로봇으로 대체되어 일자리가 700만 개가 사라져 전체적으로 500만 개의 일자리가 줄어들 것이라고 전망

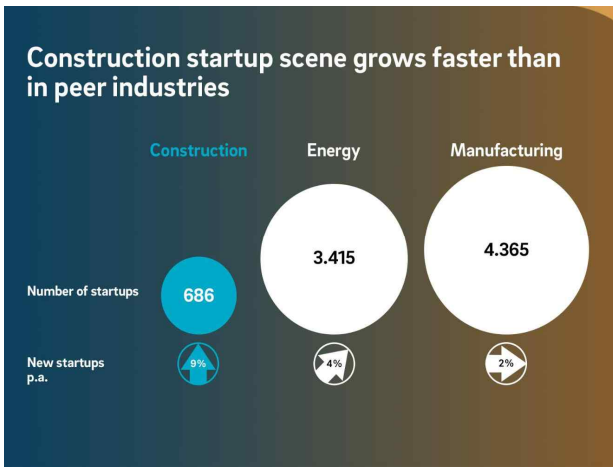
○ 맥킨지글로벌연구소(2017)에 의하면 건설산업의 잠재적 자동화 비중은 47% 수준으로 전망

- 건설산업은 건축설계자, 엔지니어와 같은 고급 기술자뿐만 아니라 목수, 기능공, 건설기계 운전사 등과 같은 기능인력을 모두 포함하고 있어 인공지능, 건설로봇에 의한 100% 자동화가 불가능한 산업이라 분석함

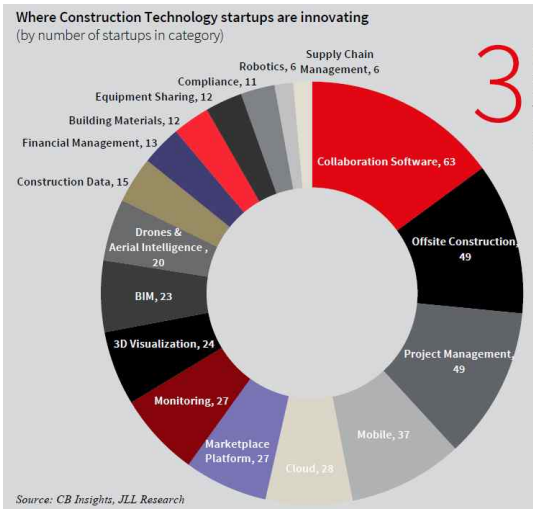
○ 세계적으로 건설산업 관련 스타트업은 증가하고 있으며 그 중 협업 지원 소프트웨어 및 디바이스, 건설 데이터 관련 기술, 설계 시뮬레이션 기술, 장비 관련 기술 등 다양한 분야 존재

- 세계적으로 건설 분야의 스타트업 증가비율은 9%로 높은 편이며, 소프트웨어(8%), 모바일 관련(5%), 기업 소프트웨어(4%) 등이 주된 영역

- 건설산업의 스타트업 기술은 협업 소프트웨어 관련 기업의 수가 63개로 가장 많으며, Offsite Construction 분야와 프로젝트 경영 관련 기업이 49개, 모바일 관련 기업이 37개 등 17개 이상의 다양한 건설산업 스타트업종이 존재



출처: Roland Berger



출처: CB Insights, JLL Research

[그림 1-18] (좌)건설산업 스타트업 기업의 빠른 성장속도와 (우)건설산업 스타트업의 혁신 기술

2.4 (기술적) 밸류체인의 변화에 대응한 건설 전생애주기 토탈솔루션 개발 필요

□ IoT 기술을 활용하여 수집된 정보에 기반한 건설사업관리 기술의 활용 증가

○ 건설산업에서의 빅데이터 활용 확산 및 건설 DB 기반의 신산업 창출 전망

- 시설물의 대형화, 복잡화로 기획, 설계, 시공, 운영, 유지관리를 모두 고려한 사업 발주관리의 중요성 증가

○ 효율적 정보교환, 의사결정 지원 등을 위해 BIM 활용 증가할 전망

- BIM은 설계부터 시공까지 건설 생산성을 높이고 프로젝트 참여 주체 간 정보교환, 의사결정 지원을 효율적으로 수행하도록 지원

- 도로·철도 등 인프라 분야에 대한 BIM 도입 전략 및 설계기준*, 사용 주체별·공사 단계별 가이드라인 등 마련하여 인프라 BIM 활성화 추진
  * 공통 포맷 작성·검토·검증 시스템, 모델링 기준, 시방서, 설계요령 등

- BIM 적용 활성화를 위한 로드맵을 수립하여 ’20년까지 500억 이상 도로사업에 대해 BIM 적용 의무화 추진(국토부. 제6차 건설기술진흥기본계획, ’17)

□ 정보의 디지털화로 인해 효율적인 관리가 가능하게 된 건설현장

○ 건설 분야에서도 IoT 기술을 접목하여 플랫폼 기술과 다양한 솔루션 제공을 위한 기술개발 추진

- (건설장비 관리) 건설장비 모니터링과 수리, 건설장비 경로와 작업량 등 건설작업 효율화

- (안전관리) 안전한 건설현장 환경 조성을 위하여 웨어러블 장치 및 IoT 원격운영 기술 활용

- (자재관리) RFID기반 자재관리, 재고관리, GPS기반 이력관리 및 유실관리 등 자재관리 솔루션 활용

□ 첨단화된 기술로 인해 건설현장에 등장하는 자동화·무인화 기계 및 건설로봇

○ 건설 분야의 고질적인 문제인 위험성, 건설 생산성, 예측 불가능한 상황 등의 문제 해결을 위한 지능화에 대한 수요 증가

- 인력 대체 로봇, 공정 기계화, BIM, 드론, Lidar 등을 이용한 자동화 기술을 개발·적용하였지만 여전히 사람이 개입하고 반복적 시간 소모 발생
- IoT 기술의 발전으로 현장의 많은 데이터를 실시간으로 수집하여 DB를 구축한다면 의미 있는 데이터 패턴을 얻어 건설 현장의 지능화 가능

○ 지능화된 건설에 대한 사례 증가

- (무인 자율주행 트럭) GPS 측위기술을 사용한 무인 자율주행 트럭으로 안전과 생산성 향상
- (데이터 기반 붕괴 예측) 구조체의 피로 균열로 인한 붕괴 예측 모델을 정의하고 관련된 데이터를 현장에서 IoT기술기반으로 데이터를 얻어 위험도 예측
- (건설장비) AI, 이미지 스캔, IoT기술을 바탕으로 스스로 판단해 시공하고 검사하는 건설장비로 연구개발 수행 중

□ 최고기술보유국 대비 69.0%로 뒤처지는 우리나라 기술수준

○ 2018년 본 사업에서 실시한 기술수준조사에 따르면, 최고기술보유국 대비 국내 스마트 건설기술 개발수준은 69.0%이고 기술격차는 약 3.9년 정도의 차이가 있으며, 국내의 기술성숙도(TRL)는 5~6단계인 것으로 조사

- 최고기술보유국과 가장 차이가 큰 분야는 스마트 안전 통합 관제시스템(69.4%)으로 기술격차는 약 4년 정도 차이 존재

<표 1-9> 분야별 기술수준과 기술격차

구분	기술수준 (%)	기술격차 (년)	기술성숙도 (단계)
스마트 건설기술 개발	69.0	3.9	5~6
1 건설장비 자동화 및 관제기술	69.0	3.8	5~6
2 도로구조물 스마트 건설 기술	69.2	3.8	5
3 스마트 안전 통합 관제시스템	69.4	4.0	5~6
4 스마트 건설 플랫폼 및 테스트베드	68.6	3.8	5

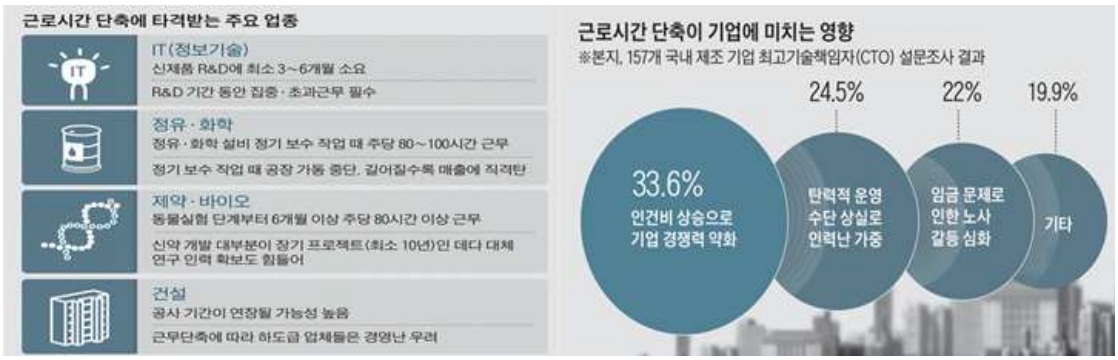
○ 주력시장인 시공분야의 경우에도 선진국 대비 노동 생산성이 50% 수준으로 개발도상국과의 기술격차가 좁혀질 경우 급격한 입지 위축 우려

* 출처: 제9차 경제관계장관회의 보고 안건「건설산업 혁신방안 –건설기술. 생산구조. 시장질서. 일자리 혁신」

3. 사업추진의 시급성

□ 주 52시간으로 인한 국내 건설기업의 경영난 및 국제시장에서의 경쟁력 약화 우려

○ 근무시간이 줄어듦에 따라 공사기간 및 고용해야 하는 근로자의 수도 늘어나게 되면서 공사비용도 증대되어 기업의 경영난 및 경쟁력 약화가 우려되는 상황



출처: 조선일보(2018.03.19.), 눈앞에 온 근로단축시간, 혼돈에 빠진 한국 기업들

[그림 1-19] 근로시간 단축에 타격받는 주요 업종 및 근로시간 단축이 기업에 미치는 영향

- 건설산업연구원('18.6)에 따르면, 법정근로시간 단축으로 공사기간을 준수하기 위하여 인력을 충원할 경우, 총 공사비는 평균 4.3% 증가, 일부 현장은 총 공사비가 최대 14.5% 증가하는 것으로 분석
- 총 공사비 증가를 최소화하기 위해 근로자의 임금을 삭감하게 될 경우 관리직에서 13%, 기능직에서 8%의 임금이 삭감될 전망이며 이로 인해 노사 갈등 심화 예상



출처: 건설산업연구원(18.6)

[그림 1-20] 법정 근무시간 단축에 따른 비용의 증가를 최소화하기 위해 임금 삭감 전망

○ 해외건설현장의 경우, 현지국의 근로관계 법령과 계약조건 및 근무환경 등 해외의 특수성에 대한 고려 없이 국내와 동일한 주 52시간 근무를 적용해야 하기 때문에 해외건설업 수주경쟁력 약화



출처: 파이낸셜뉴스(2018.04.18.), 주 52시간 근로 앞둔 건설사.. 비용, 공사기간 급증 해외건설 비상

[그림 1-21] 해외건설현장에서의 인력 및 비용 변화

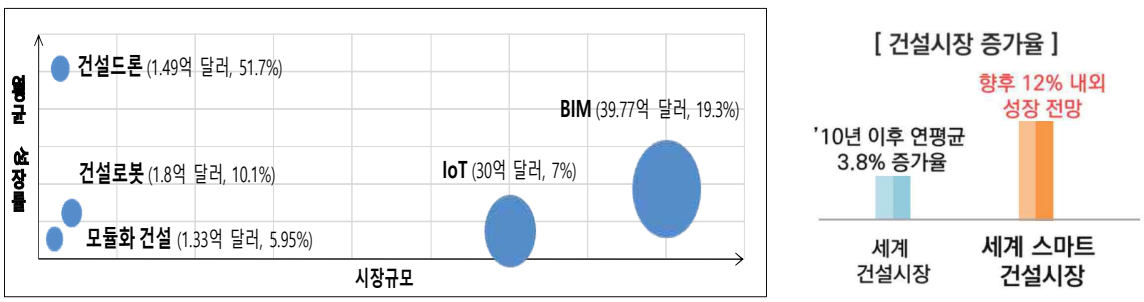
- 중동의 경우 높은 낮 기온으로 인해 밤부터 오전까지 대부분의 작업이 이루어지는 등 국내와 현장 환경이 다름에도 불구하고 해외 건설현장의 환경적 특수성에 대한 고려 없이 법정근로시간을 적용하여 인력 수급에 어려움 발생 가능성 존재
- 공기를 맞추기 위해서 인력 충원이 불가피한 상황으로 이로 인해 인건비·간접비가 2배 이상 증가할 가능성 및 공사 품질 하락 우려 존재
- 중국기업의 저가경쟁에서 견딜 수 있는 국내기업의 강점은 뛰어난 품질과 공사 기간에 대한 신뢰성이나, 법정근로시간이 줄어듦에 따라 가격증가 및 품질저하 가능성 존재

출처: 파이낸셜뉴스(2018.04.18.) '주 52시간 근로' 앞둔 건설사.. "비용·공사기간 급증" 해외건설 '비상'

□ 우리나라 해외 건설시장의 점유율은 7.3%('16)로 점점 낮아지고 있는 실정

○ 4차 산업혁명에 따른 기술발달로 BIM 설계, ICT 기반 건설 자동화 시장이 대폭 확대되는 등 글로벌 기업 간 각축이 심화될 것으로 예상

- '16년 세계 스마트 건설시장 규모는 약 100억 달러 수준으로 BIM 기술(19.3%)이 현재 시장규모는 가장 크며, 연평균 성장률은 건설드론(51.7%)이 가장 높게 성장하고 있으며 향후 연평균 12% 성장 전망

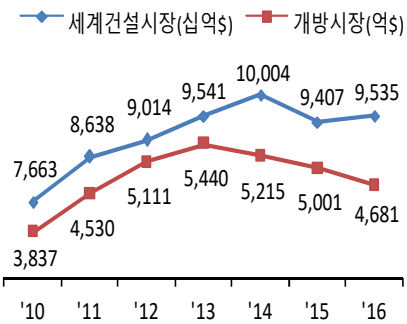


출처: 스마트 건설기술 로드(국토부, 18.10)

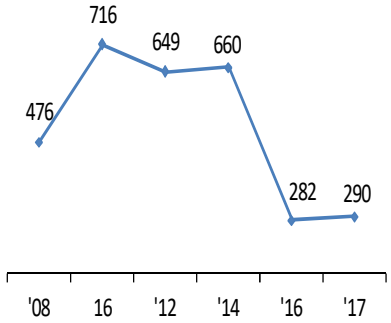
[그림 1-22] 스마트 건설기술 시장 규모 및 성장률

○ 세계건설시장은 ’16년 9.5조 달러로 ’10년 이후 연평균 3.8% 성장하였으나, 외국에 개방된 시장은 ’16년 4,681억 달러로 ’13년 이후로 감소 추세

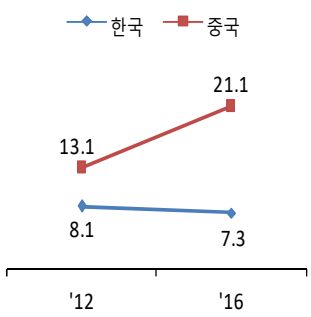
○ 우리기업의 해외건설 수주는 저유가 현장으로 인해 중동 물량의 감소, 중국 등 개도국의 가격우위로 수주급감 등 경쟁력 약화 추세



[그림 1-23] 세계건설시장 규모



[그림 1-24] 국내기업 해외수주액



[그림 1-25] 해외시장 점유율

출처: 스마트 건설기술 로드맵(국토부, 18.10)

○ 국가별 해외건설 매출액으로는 중국(987억 달러), 스페인(590억 달러), 미국(419억 달러), 프랑스(417억 달러), 한국(339억 달러) 순이며 중국의 경우 해외건설 매출액의 21.1%를 차지



출처: ENR(Engineering News-Record:매년 글로벌 TOP 250 기업발표, 2016년 기준)

[그림 1-26] 국가별 해외건설 매출순위

- 중국은 값싼 노동력을 활용하여 개발도상국의 사업을 수주해왔으며 최근 유럽 등 선진국 시장 진출 및 선진 기업 대상의 인수·합병을 추진하여 규모를 키우는 추세
- 미국의 경우 IoT 등 스마트 기술 첨단화 및 설계·엔지니어링 역량 강화를 통한 시장 경쟁력 확보

- IoT 등 스마트 기술을 통해 건설 현장의 혁신을 유도하여 장비, 노동인력에 대한 모니터링, 웨어러블 디바이스, 드론 측량 및 현장 정보의 수집과 분석에서 빅데이터와 인공지능의 활용을 통해 기술 첨단화 시도
- 고유가 시기에는 해외 설계 및 엔지니어링 비중이 감소하였으나 2014년 유가 급락 시기부터 증가하여 2015년부터 30% 이상을 점유

○ 건설산업 혁신 지체 시 도급시공 시장에서는 개도국에 Eng·PPP·ICT 기반 시장에서는 선진국에 밀리는 Nut-Cracker 고착화 우려

※ ('19) 글로벌 ITS시장:30억 불 / ('22) 건설·해체로봇시장: 12조 원

○ 건설기술연구원의 건설산업 경쟁력 평가 결과, 한국 건설 산업 경쟁력은 '17년 기준 9위로 '16년(6위)에 비해 오히려 저하

※ 미국 > 중국 > 스페인 > 네덜란드 > 독일 >프랑스 > 영국 > 일본 > 한국

□ 일자리 부족을 타개하기 위한 새로운 비즈니스 모델 발굴 및 일자리 창출이 시급한 시점

○ 건설기술의 융복합으로 인해 IoT, 디지털 트윈, AI, 빅데이터 등을 활용한 새로운 비즈니스 모델 및 일자리 창출로 새로운 건설산업 생태계 조성 가능

- CB인사이트에 따르면 미국 건설산업의 스타트업은 현장관리, 건설장비 및 건설재료시장과 같은 다양한 분야에 진입하고 있으며 특히 모바일, 클라우드 기술, 인공지능 및 로봇, 증강현실과 가상현실, CAD(Computer Aided Design) 기술과 관련된 창업기업이 급증

* 출처: 이상호(2018), 4차 산업혁명 건설산업의 새로운 미래

- 그중 가장 많은 스타트업이 탄생한 분야는 프로젝트 및 업무관리, 디지털 공정관리, 입찰관리 등과 같은 '협력 소프트웨어(Collaboration software)'영역

- 맥킨지글로벌연구소(2017)에 따르면 건설산업의 잠재적인 자동화 비중은 47%로 절반에 미치지 못하고 건축설계자, 엔지니어, 기능공, 건설기계 운전사 등과 같은 기술·기능 인력을 여전히 필요로 하며, 2030년까지 8,000만~2억 명의 건설 일자리가 늘어날 것으로 전망

* 출처: 이상호(2018), 4차 산업혁명 건설산업의 새로운 미래

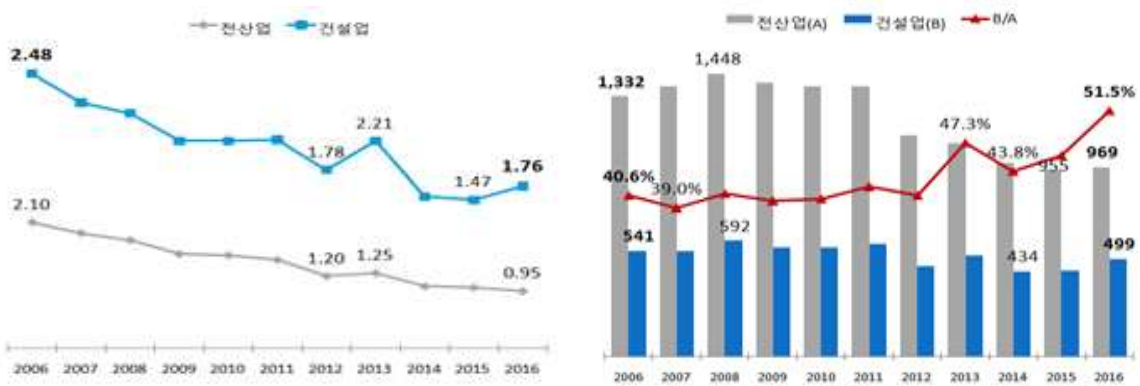
- 우리나라의 경우, 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)에서 건설 빅데이터 유통을 통한 신사업 육성을 중점추진과제로 추진하고 있으며 스마트 건설기술 로드맵(국토부, '18.10)*의 추진과제 중 하나인 '스마트 생태계 구축'을 통해 스마트 건설지원센터를 설치·운영하여 스마트 건설관련 스타트업 기업의 창업을 지원



[그림 1-27] 스마트 건설지원센터의 창업지원 전략

□ **국내 전체 산업 사고 대비 건설업에서의 사망자 비중은 51.5%로 오히려 증가 추세**

○ 국내 전 사업 사망만인율은 최근 10년 간 약 45% 감소한 반면, 건설업의 경우 13%에 그쳐 건설업 종사자의 사망자 비중은 증가 추세



출처: 고용노동부(2017), 연도별 산업재해 발생현황

[그림 1-28] 국내 건설업 사망만인율 및 국내 건설업 사고 사망자 추이('06~'17)

4. 국고지원의 적절성

□ 인프라(SOC)는 국민 삶의 질을 향상시키는 공공재이자 공공서비스

○ 공공건설 시장규모는 전체의 약 30%이며, 스마트 건설기술에 의한 공공시설 건설 생산성 향상 시 공사비 원가 절감으로 이어져 국가 재정 효율화에 직접적 혜택 발생

○ ’18년도 정부연구개발 9대 중점투자방향 중 ‘공공서비스의 스마트화·고도화 추진’의 이행을 위해 국가 차원의 지원 필요

- 3차원 스캐닝, 빌딩 정보 모델(BIM) 등 건설기술과 ICT 융합기술 등을 개발하여 주거환경 설계기술의 최적화 지원

○ 인프라 투자는 경제성장과 일자리 창출 및 국민 복리 증진에 기여하고 있으며, 인프라의 질은 국가 경쟁력을 좌우

- 인프라에 1달러 투자 시 GDP 0.2달러 성장에 기여(세계은행, 2015)하며, SOC 1조 원 투자 시 신규취업자 14,000명 창출(건설산업연구원, 2017)

□ 개발된 기술의 시장경쟁력 향상 및 상용화·활성화를 위한 국가차원의 시장 조성

○ 국내의 민간 연구개발 역량이 높으나 해외 의존도가 높아 국내에서의 시장 조성이 불확실한 경우, 민간이 주도하고 정부는 시장 창출 시기를 조정하는 등 시장 조성자 역할 필요

- 건설현장을 관리하는 기술인 Lidar의 경우 국내에서 관련 연구개발이 다수 이루어지고 있으나, 본격적으로 상용화를 시작한 해외제품에 비해 시장경쟁력은 저조

□ 국내 스마트 건설기술의 시장선도·확산을 위해 기술수준 향상은 불가피한 조건

○ 국가는 초기 시장이 형성될 수 있으나 민간의 연구 개발 역량이 낮은 경우, 시장 진입에 필요한 실용화 기술개발을 주도하는 등 기술공급자 역할 의무 존재

○ ’18년도 정부연구개발 9대 중점투자방향 중 ‘4차 산업혁명 선도를 위한 기술·시장 선점형 R&D 투자’를 이행하기 위해 정부 주도 하의 원천기술 개발에 지원 필요

- 스마트홈, 스마트제조 등 지능정보 기술과 타 산업·기술의 융합 R&D를 적극 발굴·지원하도록 제시되어 있어 본 사업의 목적에 부합

- 엔지니어링, ICT 분야 등의 서비스 기술을 제조업(건설자동화장비)에 접목하여 융합 신제품을 적극 개발하고, 제품 프로세스를 개선하는 등 적극적으로 제조업-서비스 융합 R&D에 대한 활성화 지원

- 기술성숙도, 국내 기술수준 등을 토대로 인공지능(AI), 데이터·네트워크기술(ICBM)에 대한 전략적 지원을 하도록 제시되어 있어 스마트 건설을 위한 기술에 부합

- 제조업 혁신을 통한 생산성 극대화를 위해 공정지능화 기술 개발은 동 사업의 목표인 건설 자동화기술 개발을 통한 생산성 극대화와 부합

○ 건설현장은 원도급사뿐만 아니라 다수의 하도급사, 일용직 근로자가 참여하는 만큼 기업 주도로 모든 참여자의 기술력을 높이는 데에 한계가 있어 국가차원의 체계적인 접근 필요

- 원도급사는 많은 공종을 하도급사에 일임하면서 저가 시공에 집중하고 현장 전반의 기술 향상에는 상대적으로 무관심

□ 건설산업의 디지털화를 위해서는 국가주도의 정보 표준화 및 실증 연구 필요

○ 정부는 산학연 공동연구 및 초기시장 선점을 위한 표준화, 인증, 시험·평가 등의 지원자로서 협력해야 하는 의무 존재

- 모듈화를 위한 설계 표준, 제작 및 품질관리 기준, 모듈 조립 현장의 표준시방서 등 국가 기준 및 제도 마련 필요

○ 민간은 각 분야의 분절화된 자동화·최적화 기술을 개발하고 있어 국가 차원에서 건설 전반에 적용할 수 있는 공통 플랫폼 구축 필요

- 민간에서 개별적으로 개발 중인 BIM 설계프로그램, 자동화 장비 등 유기적으로 연계하여 활용할 수 있는 시스템 필요

- 현장에서 수집한 데이터를 바탕으로 현장의 근무환경, 진행상황, 안전관리 등 여러 상황을 분석하여 예측하고 통합적으로 관제할 수 있는 공통 플랫폼 개발 필요

□ 장비개발 전문업체의 경우 중소기업으로 이루어져있어 자체개발이 어려운 상황

○ 대기업은 전반적으로 기술투자보다는 단기적인 비용절감에 관심이 많아 기술개발보다는 저가 공사가 가능한 전문업체를 선정하는 것을 선호

○ 주로 중소기업으로 이루어진 전문업체가 신기술을 개발하고 있으나, 초기비용 부담, 인센티브 부족, 타 업체의 견제 등으로 인해 기술 개발에 소극적인 실정

※ 신기술 개발에 필요한 기간은 평균 2.7년이고 개발비용은 6.2억원 가량 소요 ('10.4, 건설연)

- 장비 개발은 초기투자비용이 높아 안정적 시장여건이 확보되지 않으면 투자 회수 등의 문제로 개발을 기피

* 출처: 스마트 건설기술 로드맵(국토부, '18.10)

□ 선진국 이상의 국가 경쟁력 확보를 위해 인프라 투자가 필요한 시기

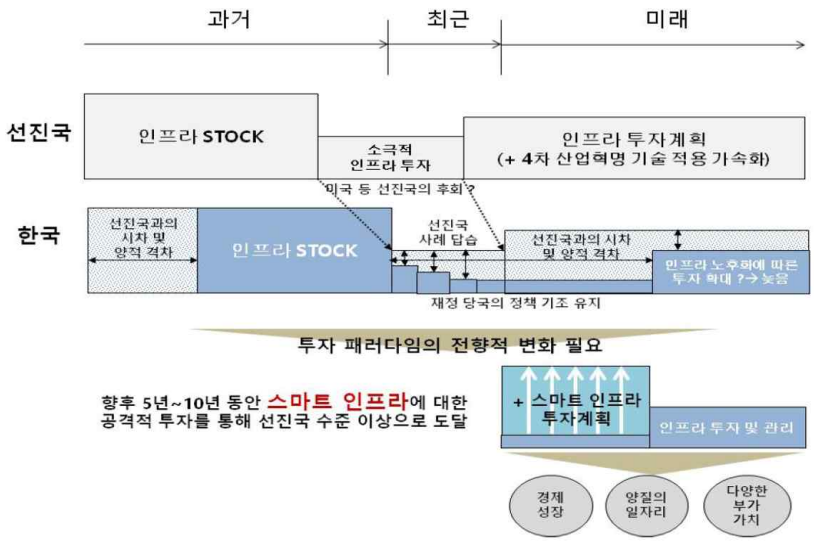
○ 건설업계는 타 분야에 비해 R&D 투자에 소극적이므로, 정부의 적절한 투자 필요

- '16년 기준(KISTEP), 기업 전체 매출액 대비 연구비는 기업 전체 3.15%, 서비스업 2.19%, 제조업 4%인데 반하여 건설업은 0.37%로 매출액 대비 매우 낮은 연구비를 투자받는 실정

○ 해외 주요국의 경우, 4차 산업혁신 기반의 국토교통 R&D에 적극적으로 투자 중

- 일본의 경우, ICT를 활용한 사회간접자본 고도화에 지속적으로 투자하여 '14년 529억 엔에서 '18년 1,825억 엔으로 3배 이상 상승

○ 선진국의 인프라 투자체계에 기반하여 추격형 투자를 실시할 경우, 세계 건설시장을 상실할 우려가 있으므로, 향후 5~10년 동안 스마트 건설에 대한 공격적 투자로 선진국 수준 이상의 국가 경쟁력 확보가 절실



출처: 한국건설산업연구원(2017), 4차 산업혁명 시대 인프라의 질적 제고 방향과 전략

[그림 1-29] 스마트 인프라의 투자 필요성과 기대 효과

□ **건설의 효율화를 위해 마련된 국가 정책적인 제도**

○ 문재인 정부는 「100대 국정과제」 중 건설분야에서 4차 산업혁명을 확산·촉진시킬 수 있도록 건설 기술개발 및 인프라 구축 등을 국정과제로 선정하는 등 정책적 방향 제시

- 문재인 정부의 "혁신성장"을 위한 건설산업 생산성 향상을 위해 R&D 투자 절실

○ 「제6차 건설기술진흥기본계획」과 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획」에서 기존의 로우테크 건설산업 이미지를 미래 인프라 패러다임 변화에 대응할 수 있도록 인공지능, 로봇 등 융복합을 통해 혁신성장동력 확충으로 강조

○ 4차 산업혁명 위원회에서 발표한 "I-KOREA 4.0"에서 세계적 수준의 인공지능 기술력 확보를 위한 22조 원 투자와 지속가능한 스마트시티 모델 구현이라는 정책 방향 제시

□ **건설산업의 생산성 침체를 극복하기 위한 국가 차원의 방안 필요**

○ 건설산업의 생산성 저하는 국내 업계 전반에 걸친 문제로 국가 차원의 지원으로 생산체계를 획기적으로 개선하여 생산성을 제고하고 산업 역량 강화 필요

- 국내 건설 생산성은 시간당 18.7달러로 선진국 평균(35.6달러)의 절반 수준
- '스마트 건설기술'은 디지털화 수준이 전체 산업 중 꼴찌로, 건설산업 혁신 및 생산성 향상을 위해 반드시 확보해야 할 기술

○ 정부의 거시적 재정정책 변화에 따라 SOC 투자는 지속적으로 감소할 예정이므로 국내 SOC 투자 감소에 대응하고 높은 생산성을 확보하기 위해 기술개발을 통한 인프라 구축 효율화 및 경쟁력 강화 필요

- 2018년 정부의 SOC 재정투자 규모는 19조 원으로 2017년의 22.1조 원 대비 14.2% 감소하였으며 향후 5년 간 7.5%씩 매년 감축 예정

□ **생산가능인구 감소·고령화 및 주 52시간 근무는 국가의 개입이 필요한 사회적 문제**

○ 생산인구 감소와 고령화는 국가경제의 활력을 저하시키며 건설산업 경쟁력에도 악영향을 미치므로, 노동력 및 일자리 문제를 근본적으로 대체할 수 있는 국가차원의 기술 개발 필요

○ 주 52시간 근무로 인해 절대적인 노동가능시간이 줄어듦에 따라 동 기간 동일한 생산성을 유지할 수 있도록 국가 차원의 기술 개발 및 일자리 창출 필요

□ 건설 산업계에서 스마트 건설기술 도입 및 활성화를 위한 국가의 역할 확대 건의

○ 스마트 건설기술을 도입·활용하고 있는 건설업계에서 스마트 건설기술의 적극적인 활용을 위해 정부의 역할을 확대할 것을 건의함으로써 국가차원의 제도개선 및 정책 방향 제시 필요

- 스마트 건설기술 관련 정부의 의지 표출 및 장기 정책 방향 제시
- 공공이용기술 등 기반기술 개발(R&D) 및 민간의 자체 기술개발 유도
- 스마트 건설기술 활용 의무화 등 발주제도 개선 및 각종 기준 정비
- 주요 공유자료 생산(BIM Library 등) 및 다양한 정보 공유 플랫폼 제공

* 출처: 스마트 건설기술 로드맵(국토부, '18.10)

□ 정부 R&D 역할모델과 부합되는 국가차원의 지원 추진

정부 R&D 역할모델	해당 기술	부합 내용
유형 2. 시장조성	1-2-1. 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술	- 자율계측기반의 초정밀 Digital Map을 구축하는 기술의 경우 국내에서 연구가 다수 진행되어 높은 기술수준을 갖추고 있으나 이미 시장이 조성되어 상용화된 해외제품에 비해 시장경쟁력이 매우 저조한 상황
유형 3. 기술공급	1-1-1. 다양한 건설장비 타입 및 자동화수준에 따른 지능형 건설장비 관제 시스템 1-1-2. 광대역 Smart LOcal Network 기반 IoT 장비 운영체계 1-2-2. CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑기술 2-1-1. 도로구조물의 디지털 설계 기반 설계-제작-시공 협업 시스템 2-2-1. 로보스틱 기반 도로 지상 구조물 고소/고위험 시공 원격·무인화 기술 3-1-1. 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 솔루션 3-1-2. CPS기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축 및 운영 3-2-1. 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 3-2-2. 현장 맞춤형 근로자 위험 저감 기술 3-3-2. 임시구조물 및 배면(지반)의 스마트 안전 확보 기술 4-2-1. 데이터 기반 시뮬레이션 4-2-2. Digital Twin 모델 및 AR 기반 건설 정보 시각화 기술 4-3-1. 실시간 건설현장(도로시공)데이터 수집/관리 기술	- 건설장비 및 근로자의 작업복 등에 센서를 부착하여 현장의 정보를 실시간 데이터를 수집할 수 있도록 도와주는 IoT, CPS 기술을 접목한 건설기술의 경우 수요가 점차적으로 늘어나고 있기 때문에 시장 형성은 이루어지고 있으나, 국내 기술은 아직 연구 시작단계이기 때문에 상용화 수준의 연구지원이 필요한 상황 - VR, AR 등 시뮬레이션 기술을 건설산업과 접목하여 설계 또는 시공단계에서 활용하는 등 관련 기술의 수요가 점차적으로 늘어나고 있으나 국내 기술 수준은 선진국의 기술에 비해 미흡한 상황이기 때문에 시장경쟁력이 낮아, 경쟁력을 높일 수 있도록 기술연구에 대한 국가차원의 지원이 필요
유형 4. 민-관 기술협력	4-1-1. 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 검증 기술 4-4-1. 스마트 건설 테스트베드 기준 및 실행방안 연구 4-4-2. 스마트 건설 테스트베드 및 통합관제 시스템 구축	- 디지털 정보의 통합 및 공유를 위해 통합 플랫폼 개발이 필요하며, 그를 위한 정보의 분류체계 표준화, 설계표준화, 제작 및 품질관리 기준마련, 시방서 표준화 등의 내용이 부합

< 참고 > 「2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」으로 본 정부 R&D 투자의 타당성

〈시장창출 가능시기와 민간 R&D 역량에 따른 정부 R&D 역할모델 〉

<table>
<tr><td rowspan="2">시장 창출 가능 시기</td><td>장기</td><td>⇨ 유형① 기술 공급자+ 시장 조성자
※ 바이오의약품, 항공부품 등</td><td>⇨ 유형② 시장 조성자
※ 풍력발전, 차세대 전지</td></tr>
<tr><td>단기</td><td>※ 가상·증강 현실, 사물인터넷 등
⇨ 유형③ 기술 공급자</td><td>※ 이차전지, 경량소재, 무인기 등
⇨ 유형④ 민-관 기술협력</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td>낮음</td><td>높음</td></tr>
<tr><td colspan="2">민간 R&D 역량</td></tr>
</table>

□ **정부 R&D 역할모델 유형으로 본 본 사업의 정부지원의 타당성**

② 유형 **2** : 시장조성

- (정부역할) 시장의 불확실성이 크지만 민간 연구개발 역량이 높아 기술확보 가능성이 높은 경우로 정부는 시장조성자 역할
- (지원전략) 기술개발은 민간이 주도하고 정부는 시장 창출시기를 앞당기기 위한 실증사업, 규제정비 등 지원 추진

③ 유형 **3** : 기술공급

- (정부역할) 가까운 시기에 초기 시장이 형성되나 민간의 연구개발 역량이 낮은 경우로 정부는 기술공급자 역할
- (지원전략) 정부가 시장 진입에 필요한 실용화기술 개발을 주도하고, 실용화 기술의 조기 확보를 위해 공공연구기관 중심의 연구활동 지원 및 산업체 기술이전 확대

④ 유형 **4** : 민-관 기술협력

- (정부역할) 민간의 연구개발 역량이 높고 가까운 미래에 실용화되므로 민간 주도로 기술을 개발하고 정부는 조력자로서 협력
- **(**지원전략**)** 정부는 차세대 미래기술 탐색을 위한 산학연 공동연구, 기업의 지속적 연구개발 투자유인을 위한 금융·조세 지원, 초기시장 선점을 위한 표준화, 인증, 시·평가 등 지원

출처: 2018년도 정부연구개발 투자 방향 및 기준

3절 추진근거

1. 법적 근거

□ **본 사업은 「과학기술기본법」, 「국토교통과학기술 육성법」, 「건설기술 진흥법」 등의 법적근거를 두고 추진**

<표 1-10> 스마트 건설기술 개발사업의 지원 근거

근거 법률	내용	소관부처
과학기술 기본법	○ 제1조(목적) - 이 법은 과학기술발전을 위한 기반을 조성하여 과학기술을 혁신하고 국가경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 나아가 국민의 삶의 질을 높이고 인류사회의 발전에 이바지함을 목적으로 한다. ○ 제5조 1항(과학기술정책의 중시와 개방화 촉진) - 정부는 과학기술정책의 수립과 추진을 통하여 과학기술이 국가의 경제적·사회적 문제를 해결하고 미래전략을 달성하는 중추적인 역할을 할 수 있도록 필요한 자원을 최대한 동원하여 창의적 연구개발과 개방형 과학기술혁신활동을 적극적으로 지원하여야 한다. ○ 제7조 3항(과학기술기본계획) - 기본계획에서는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 과학기술의 발전목표 및 정책의 기본방향 2. 과학기술혁신 관련 산업정책, 인력정책 및 지역기술혁신정책 등의 추진방향 <이하 중략> ○ 제11조 1항(국가연구개발사업의 추진) - 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. ○ 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성) - 정부는 과학기술에 기반을 둔 성장동력을 발굴·육성하기 위하여 필요한 시책을 세우고 추진하여야 한다.	과학기술 정보통신부
국토기본법	○ 제2조(국토관리의 기본 이념) - 국토는 모든 국민의 삶의 터전이며 후세에 물려줄 민족의 자산이므로, 국토에 관한 계획 및 정책은 개발과 환경의 조화를 바탕으로 국토를 균형있게 발전시키고 국가의 경쟁력을 높이며 국민의 삶의 질을 개선함으로써 국토의 지속가능한 발전을 도모할 수 있도록 수립·집행하여야 한다. ○ 제4조 1항(경쟁력 있는 국토 여건의 조성) - 국가와 지방자치단체는 도로, 철도, 항만, 공항, 용수(用水) 시설, 물류 시설, 정보통신 시설 등 국토의 기간시설(基幹施設)을 체계적으로 확충하여 국가경쟁력을 강화하고 국민생활의 질적 향상을 도모하여야 한다.	국토교통부

근거 법률	내용	소관부처
국토의 계획 및 이용에 관한 법률	○ 제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙) - 국토는 자연환경의 보전과 효율적 활용을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 이루기 위하여 다음 각 호의 목적을 이룰 수 있도록 이용되고 관리되어야 한다. <이하 중략>	국토교통부
건설산업 기본법	○ 제6조 1항(건설산업진흥 기본계획의 수립) - 국토교통부장관은 건설산업의 육성, 건설기술의 개발, 건설공사의 안전 및 품질 확보 등을 위하여 5년마다 건설산업진흥 기본계획을 수립·시행하여야 한다.	국토교통부
「건설기술 진흥법」 [2018.08.14., 타법개정]	○ 제8조(건설기술의 연구·개발 등의 권고) - 국토교통부장관은 새로운 건설기술의 도입·연구·개발을 위하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 부설연구소의 설치·운영이나 공동연구 및 정보 교환 등과 기술개발을 위한 투자를 권고할 수 있다. <이하 중략> ○ 제9조(공동연구·개발) - 국토교통부장관은 건설기술의 연구·개발과 관련된 공공기관·법인·단체·대학(이들의 부설연구소 등을 포함한다. 이하 "건설연구기관"이라 한다)의 인력·자금·시험시설 및 기술정보의 효율적 활용과 선진기술 획득을 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발을 지원할 수 있다.	국토교통부
「국토교통과학기술 육성법」 [2015.12.29., 제정]	○ 제7조(기술수요조사) - 국토교통부 장관은 국내외 기술동향조사 등을 통하여 정기적으로 기술수요조사를 하고, 그 결과를 반영하여 연구개발과제를 발굴하여야 한다. - 제1항에 따른 기술수요조사에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. ○ 제8조(연구개발사업의 추진) - 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술연구개발사업(이하 "연구개발사업"이라 한다)을 할 수 있다. - 국토교통부장관은 연구개발사업을 할 때 연도별·분야별 연구과제를 선정하여 다음 각호의 기관 또는 단체등과 협약을 맺어 연구를 하게 할 수 있다. <이하 중략>	국토교통부

2. 국정과제 근거

□ 본 사업은 문재인 정부의 5대 국정목표('17～'21) 중 '더불어 잘사는 경제'의 20대 국정전략 '서민과 중산층을 위한 민생경제'에서 '국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화', '과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명'에서 '소프트웨어 강국, ICT 르네상스로 4차 산업혁명 선도 기반 구축', '고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성'전략을 수립하고, 이를 위한 건설산업 경쟁력 강화, 인프라 조성 및 융합 확산, 첨단기술 산업, 드론산업과 연계

<표 1-11> 국정과제 전략과의 연계

세부이행체계	내용
건설산업 경쟁력 강화	간접비 지급방식 개선, 임금지급보증제 도입 등 불공정 해소 및 유망분야 육성, 해외진출 지원 통한 일자리 창출
인프라 조성 및 융합 확산	5G・IoT 네트워크 인프라 구축, 데이터 개방 및 유통 활성화, 스마트홈·정밀의료 등 ICT융합 서비스 발굴·확산
첨단기술 산업	융복합 추진전략 마련, 반도체・디스플레이・탄소산업 등 4차 산업혁명 대응에 필요한 첨단 신소재・부품 개발
드론산업	드론산업 활성화 지원 로드맵 마련('17년) 및 인프라 구축, 제도 개선, 기술개발, 융합생태계 조성 등 추진

3. 국가계획 근거

□ 「제4차 국가과학기술기본계획」 등의 계획에 지원근거를 두고 있으며, 각 계획의 제시된 로드맵에 따라 본 사업을 추진

<표 1-12> 국가계획 및 주요내용

계획명	주요내용	소관부처
제4차 국가과학기술 기본계획 ('18~'22)	○ 「과학기술기본법」에 따라 향후 5년 간('18~'22) 우리나라 과학기술 혁신정책의 비전, 목표, 방향 등을 포함하는 중장기 발전전략 제시 ○ '국민 맞춤형 재난·안전 교육 및 생활 체감 서비스 확대', '재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보', '신기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계 구축' 과제를 제시	과학기술 정보통신부

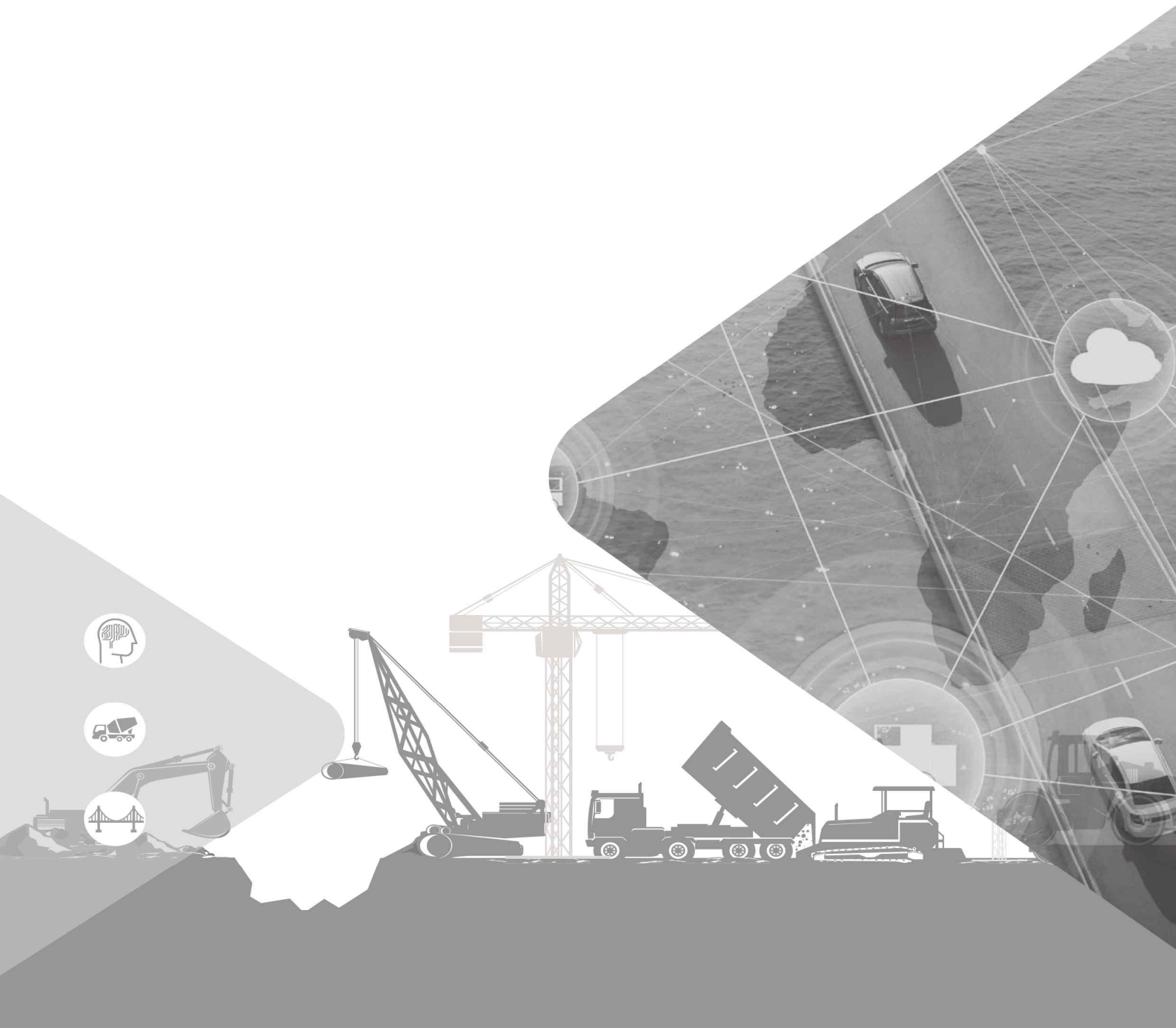
4. 부처계획 근거

<표 1-13> 부처계획 및 주요내용

계획명	주요내용	소관부처
제4차 국토종합계획 수정계획 ('11~'20)	○ 대한민국의 새로운 도약을 위한 글로벌 녹색 국토를 위해 '자연 친화적이고 안전한 국토 공간 조성', '국토정보 통합네트워크 구축' 등을 전략으로 제시 ○ ICT 활용 예방적 시설물 유지관리, BIM 활용 체계 구축 과제 지원	국토교통부
제6차 건설기술진흥 기본계획 ('18~'22)	○ 4대 추진전략 : 1 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상 2 해외 수요 대응형 건설기술 개발 3 분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 4 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성 ○ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성	국토교통부
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 ('18~'27)	○ 인공지능, 로봇 등 융복합을 통해 설계·관리·시공·유지보수 등 건설 프로세스를 혁신하는 "지능형 건설생산체계"를 전략목표로 설정 ○ 4대 전략 중 하나인 기술융합을 통한 새로운 가치창출 중 실천과제인 '융합기술을 통한 건설지능화 실현'과 국토교통 8대 혁신성장동력(건설자동화)에 기술 반영	국토교통부
건설산업 혁신 방안 (경제관계장관 회의, '18.6)	○ 기술혁신을 통해 '4차 산업혁명을 선도하는 글로벌 산업'을 육성하여 R&D 강화, 스마트 인프라 등 기술로 승부하는 건설시장의 확대를 통해 건설산업을 혁신친화적 산업으로 전환을 목표로 추진 ○ 4대 혁신방안인 '기술혁신'내 추진과제 중 '스마트 건설기술 활성화* 과제에 기술 반영 * 건설자동화, 유지관리/건설재료, 메가스트럭처 등	국토교통부
혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획 ('18~'22)	○ 삶의 질 개선 및 新성장 촉진을 위해 스마트시티를 통한 스마트 건설기술 접목 및 지능형 안전산업 선도를 목표로 추진 ○ 지능화 혁신 프로젝트 추진(전략과제) 중 하나인 '(시티) 스마트시티 확산으로 삶의 질 향상 및 성장 동력으로 육성'과 '(안전)범죄·사고 예방 스마트 안전사회 구현 및 지능형 안전산업 선도'에 기술 반영	21개 범부처
스마트 건설기술 로드맵 ('18.10)	○ 스마트 건설기술 육성을 통해 글로벌 건설시장 선도를 목표로 '25년까지 스마트 건설기술 정착, '30년까지 건설 자동화를 추진 ○ 로드맵 이행방안의 '민간 기술개발 유도'의 '건설기술·안전 제도 개선', '스마트 신기술 시장진입 여건 마련'과 '공공의 역할 강화'의 '스마트 건설 핵심기술 개발', 'BIM 확산 여건 조성'과 '스마트 생태계 구축'의 '지식플랫폼 구축·운영'에 반영	국토교통부

제 2장

대 내 외 환 경 분 석



1절 메가트렌드 분석

1. 메가트렌드 분석 개요

1.1 분석절차 및 방법론

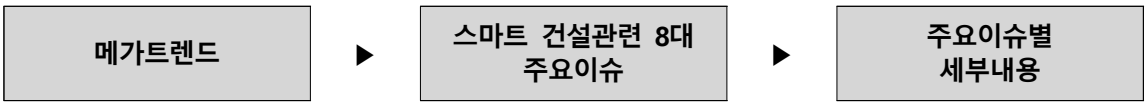
□ **스마트 건설 관련 거시적 환경변화를 파악하기 위해 메가트렌드 도출, 관련 10대 주요 이슈 도출, 주요이슈별 세부내용 조사의 프로세스에 따라 조사·분석을 실시**

○ **(메가트렌드 도출)** 메가트렌드 도출을 위해 STEEP 분석툴을 활용하여 사회(Social), 기술(Technological), 경제(Economic), 환경(Environmental), 정치/정책(Political) 관점의 이슈를 다양한 미래전망 보고서 리뷰 및 웹 서치 등을 통해 도출

○ **(스마트 건설 관련 8대 주요이슈 도출)** STEEP 분석을 통해 도출된 다양한 미래 사회 환경변화 내용을 구조화함으로써 스마트건설과 가장 관련성이 높다고 판단되는 8대 주요이슈를 도출

- 전문가 자문을 통해 트렌드별로 스마트 건설 관련 주요 기회, 위협, 영향, 해결해야 할 문제 등을 조사하여 공통내용을 도출하여 이슈 도출

○ **(주요이슈별 세부내용 조사)** 스마트 건설 관련 8대 주요이슈에 대한 세부적인 환경변화와 이슈들을 문헌조사 및 웹서치 등을 통해 조사



[그림 2-1] 메가트렌드 조사·분석 절차

○ 조사·분석 결과는 거시적 환경변화 측면에서 스마트 건설기술 개발의 필요성을 입증한다는 데에 의의가 있을 뿐만 아니라, 「스마트 건설기술 개발사업」의 신규 기술수요를 발굴하기 위한 기초자료로 활용

1.2 주요 메가트렌드

□ **미래사회 전망보고서와 기술예측 보고서 등 문헌분석을 통해 21개 메가트렌드, 84개 세부트렌드를 도출**

○ UN 미래포럼의 미래사회 2040, 한국과학기술기획평가원의 8대 미래유망기술, KAIA의 2040 국토교통 미래기술예측조사 등의 미래사회 전망 보고서와 세계경제포럼, 함부르크 트렌드 연구소 등의 웹 페이지를 조사를 통해 메가트렌드를 발굴

- 발굴된 메가트렌드 키워드들을 사회·기술·경제·환경·정치/정책적 관점에 따라 분류하고, 공통된 키워드들을 취합한 이후 각각에 대한 트렌드를 정리

<표 2-1> 메가트렌드 도출을 위한 STEEP 분석 결과(요약)

STEEP	메가트렌드(22개)	트렌드(84개)
사회 Social	인구구조의 변화 (저출산 고령화 심화)	사회적 취약계층에 대한 관심 증가
		건강/장수에 대한 욕구 증대
		생산가능인구 감소
		가족형태의 다양화
		생애주기별 맞춤형 복지에 대한 사회적 수요 증가
	삶의 질 향상	건강한 삶 및 맞춤형 서비스에 대한 사회적 요구 증가
		웰빙과 로하스 트렌드 확산
		여가활용/여행/레저에 대한 니즈 확대
		문화/예술생활의 확대
		안전·안심에 대한 사회적 요구 증가
	도시화 및 산업화	식생활 및 생활양식의 변화
		다문화 가정의 증가
		재난성 대규모 안전사고 발생 가능성 증대
		도시집중화 가중에 따른 생태적 도시로의 변화 추구 트렌드 확대

STEEP	메가트렌드(22개)	트렌드(84개)
	가치관과 라이프스타일의 변화	자의식 강화 및 개인주의 심화
		시설물의 편리성, 심미성, 안전성 등 새로운 요구 증대
		합리적 소비 및 소비윤리의식 증대
		반려동물에 대한 수요 확대에 따른 동물복지 향상 요구
		혁신기술에 대한 국민 수용성 증가
	사회적 위험요소의 증가 (테러, 재난사고 등)	안전과 안심에 대한 사회적 욕구 증가
		기존 시설물 노후화에 따른 안전문제 대두
기술 Technological	나노기술의 발전	기능의 집적화, 기기의 소형화
		나노기술을 적용한 제품의 진화
	ICT 기술의 가속화	글로벌 단위의 초고속 네트워크 확대
		시공간을 초월한 인간, 사물, 정보의 자유로운 이동
		웹3.0으로 글로벌 규모의 쌍방향 정보교환 극대화
	첨단(emerging) 기술의 등장	산업 영역을 넘나드는 3D 프린팅 적용
		전자기술의 패러다임 변화(유기, 광자, 양자 등 대두)
		과학기술적 탐구대상의 확장(우주 및 해양 탐사 개발 가속화)
		인공지능 기술의 발전
	지식과 기술발전속도의 가속화 (기술개발전략의 변화)	기술확보 중심에서 문제해결 중심으로 기술개발 전략 변화
		모방형 기술전략에서 신기술 창조형 전략으로 전환
		오픈이노베이션 전략의 증가
		정신적 스트레스 증가
경제 Economic	글로벌화	인간, 정보, 화물 등 국제간 이동량 증가
		글로벌 아웃소싱 등 국제분업의 심화
		글로벌 경제위기 대응을 위한 내수시장의 중요성 부각
		FTA 등 국제질서 편입 가속화
		글로벌 자본유입/해외투자 확대

STEEP	메가트렌드(22개)	트렌드(84개)
	다극화	다자 지배권력구조(ASEAN / EU / NAFTA 등)의 및 경쟁심화
		지역경제통합 심화
		개발도상국(BRICs) 시장 규모 확대
		아시아로 세계 부의 이동
	양극화	국가간 경제적 격차 심화
		가치에 대한 소비의 확대
		복지에 대한 사회적 합의 확대
		사회적 양극화 심화
	산업패러다임의 변화	신흥국 Player의 시장 진출에 따른 가격경쟁 심화
		지식서비스/SW 산업의 성장
		기업의 글로벌 분산과 네트워크화 등 기업구조 변화
		창조경제에 따른 기업의 일자리 창출 요구 증대
		협력업체 지원 강화 및 담합금지 등 기업의 사회적 역할 요구 증대(CSR)
		상호협력에서 상호융합으로 산업간 경계 붕괴
	비즈니스 모델의 진화	비즈니스 유형의 다양화(Start up 등)
		제조업의 서비스업화
		비즈니스 구현 공간의 변화(Work→Home→Mobile→ubiquitous)
		규제철폐 등 시장자율화에 따른 기업의 시장 접근성 증대
	예측불허 경제위기 발생가능 / 글로벌 경제위기	블랙 스완 등 Risk Management 중요성 부각
		합리적 소비 및 소비윤리의식 증대
		기업의 유동성 확보를 위한 보수적 경영 전략 강화
환경 Environmental	지구온난화, 이상기후 등 기후변화	새로운 유해물질의 등장
		온실가스 저감 요구
		지역별 특이적 환경변화 발생
		홍수, 태풍, 폭염 등 자연재해 빈도 및 불확정성 증가

STEEP	메가트렌드(22개)	트렌드(84개)
	환경오염 및 환경파괴 심화	환경오염 및 생태계 파괴 최소화
		신종 유해물질 및 오염물질 발생
		산업폐기물 증가
		후쿠시마 원자력발전소 사고로 방사능 유출
		기존 건설재료의 재활용 및 신소재 개발
	자원고갈	신재생에너지 등 대체에너지 개발
		물 및 식량부족 심화
		자원확보 경쟁 등 국가간 경쟁 심화
정책 Political	지속가능성장 전략 강화	환경파괴최소화
		환경국제협력 강화
	정부 세출사업의 책임성/투명성 확립요구 증대	국민의 알권리 충족을 위한 공공정보 개방 및 공유(정보 3.0) 강화
		정책효율성강화를 위한 범부처간 협업·소통 수요증가
		질적성과중심 예산투자의사결정 강화
		지역균형발전
		일반국민의 정책참여 강화
	성장동력산업발굴 정책 지속	차세대 성장동력 산업의 지속적인 발굴 및 지원
		과학기술을 통한 창조경제 기반 조성 전략 강화
		신제품 개발을 위한 국가연구개발사업 예상의 지속적 확대
	국민이 안심하는 안전·관리수요증가	안전관리에 대한 정부의 역할 확대
		국민의 정책만족도 모니터링 강화

1.3 스마트 건설 관련 8대 주요이슈

□ **STEEP 분석의 트렌드를 바탕으로 기획위원과 전문가를 대상으로 스마트 건설관련 이슈(기회/위협/영향/해결해야 할 문제)를 조사하고, 이를 연관성이 높은 공통의 키워드를 중심으로 재구조화하여 8대 주요이슈를 도출**

<표 2-2> 스마트 건설 관련 8대 주요 이슈

건설산업 관련 이슈	스마트 건설 분야 주요이슈
근로환경(고령화, 주 52시간 근무) 변화 및 기피업종 심화	① **고령화 심화, 신규 전문인력 감소 등으로 인프라 건설산업의 노동력 부족**
건설현장 안전 등 안전에 대한 사회적 수요 증가	
4차 산업혁명에 따른 기술의 융복합화 및 디지털화 가속	② **인프라 건설노동강도 저감 요구 증대**
AI, Big Data, IoT 등과 결합한 건설기술 개발	③ **안전한 인프라 건설현장 조성 수요 증가**
ICT 기술 가속화에 따라 네트워크 기반 건설관리 기술 대두	
국내 건설경기 침체 및 낮은 생산성으로 해외경쟁력 저하	④ **4차 산업혁명으로 인한 산업·공정·기술융복합 등 인프라 건설산업 밸류체인 변화**
스마트 건설시장의 급성장 및 선진국 중심 시장선점 경쟁	⑤ **시공간을 초월한 인간·사물·정보네트워크 확대**
스마트 건설기술 확대로 전통적인 건설산업 생태계변화 발생	
차세대 성장동력으로서 스마트인프라 투자 정책 확대	⑥ **인프라 건설현장과 공간의 정보화, 첨단화, 지능화**
건설 기술혁신 등 국가차원의 산업 패러다임 변화 추진	⑦ **스마트 건설시장의 확대 및 시장선점 경쟁 가속**
정부의 SOC 투자 효율화 정책 기조 지속	
선제적인 안전관리에 대한 정책적·사회적 수요 증가	⑧ **인프라 건설 생산성 향상 요구 증대**

2. 스마트 건설 관련 8대 주요 이슈

2.1 고령화 심화, 신규 전문인력 감소 등으로 인프라 건설산업의 노동력 부족

□ **전 세계적으로 출산율 감소와 평균수명 향상에 따른 급속한 고령화로 65세 이상 고령인구의 비중은 지속적으로 증가할 것으로 전망**

○ ’15년 전 세계 60세 이상 고령인구는 901백만 명으로 전 세계 인구의 12.3%이나, ’50년에 이르면 2,092백만 명으로 증가하여 약 21.5% 비중으로 증가할 전망

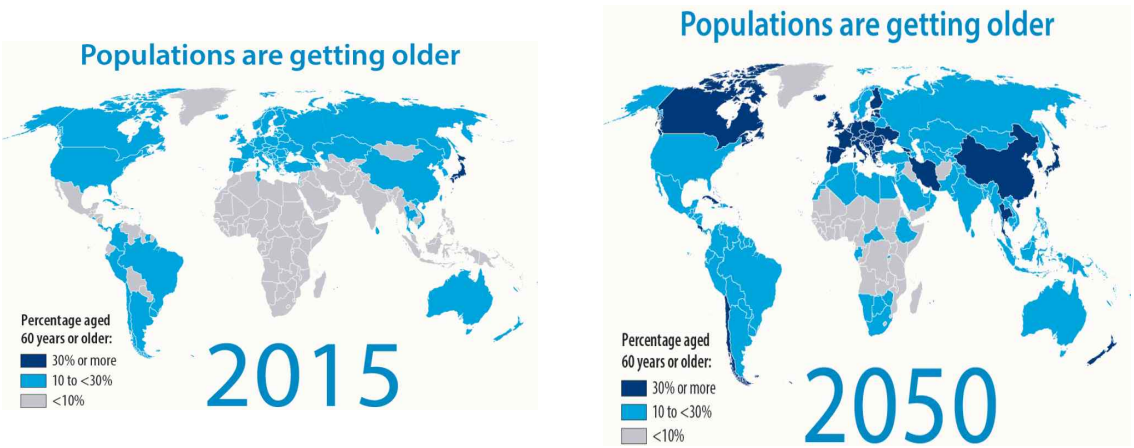
출처: UNDESA(2015), *World Population Predicts: The 2015 Revision*.; NIC(2012), *Global Trends 2030: Alternative Worlds*.

- 중위연령이 25세 이하인 국가는 ’10년 80개국에서 2030년에는 50개국 이하로 감소 전망
- OECD의 고소득 국가들의 중위연령은 2030년 평균 42.8세에 도달할 것으로 예측

○ 우리나라의 고령인구 구성비는 ’15년 13.1%에서 2050년 35.9%로 증가하여 세계에서 고령인구 비율 세계 2위 국가에 도달할 것으로 예측돼 급속한 고령화 전망

출처: U.S. Census Bureau(2016), *An Aging World: 2050;* 통계청(2017)

- ’10~’15년 우리나라 인구성장률은 0.5%로 세계인구성장률의 절반 이하 수준이며, ’30~’35년에는 0.1% 감소할 것으로 전망
- ’10~’14년 국내 합계출산율은 1.23명으로 세계에서 4번째로 낮은 수준
- 반면 국내 기대수명은 ’10~’15년 평균 81.3세로 지속적으로 증가하여 초고령 사회로의 진입을 촉진



출처: WHO(2015), *World Report on Ageing and Health*

[그림 2-2] 전 세계 인구구조의 변화

□ **산업 전반의 고령화가 확산되고 있으며, 특히 국내 건설산업 인력의 고령화가 빠르게 진행되는 추세**

○ 건설 분야 근로자 중 55세 이상 장년층의 비율은 ’08년 14.29%에서 ’15년 26.65%로 증가하였으며, 이는 국내 전체 산업의 장년층 평균비율을 상회

- 신규 생산가능인력으로 편입되는 청년층의 취업비중은 동 기간 동안 전 산업에서 감소추세를 보이고 있으며, 건설산업에서 상대적으로 하락세가 큼

※ 타 산업에 비해 청년층 취업자 비중의 감소, 장년층 취업자 비중의 증가 등 고령화 속도가 상대적으로 빠르게 나타남

<표 2-3> 산업별 근로자 추세(’08년~’15년)

(단위: %)

구분	청년(15~29세)				장년(55세 이상)			
년도	전체	제조	**건설**	서비스	전체	제조	**건설**	서비스
2008	17.32	17.27	**9.65**	19.86	18.26	10.29	**14.29**	15.39
2009	16.83	16.53	**9.13**	19.26	18.86	10.5	**14.39**	16.29
2010	16.43	16.51	**8.09**	18.66	19.40	10.99	**17.11**	17.01
2011	16.00	15.80	**7.55**	18.24	20.38	11.54	**19.28**	18.10
2012	15.57	15.14	**7.59**	17.67	21.60	12.58	**20.29**	19.42
2013	15.13	14.27	**6.81**	17.26	22.65	13.47	**22.31**	20.43
2014	15.12	14.52	**6.71**	17.12	23.69	14.75	**24.42**	21.64
2015	15.18	14.63	**5.91**	17.20	24.52	15.75	**26.65**	22.76

출처: 2015~2020 건설 산업 수요 전망(한국고용정보원, 2017)

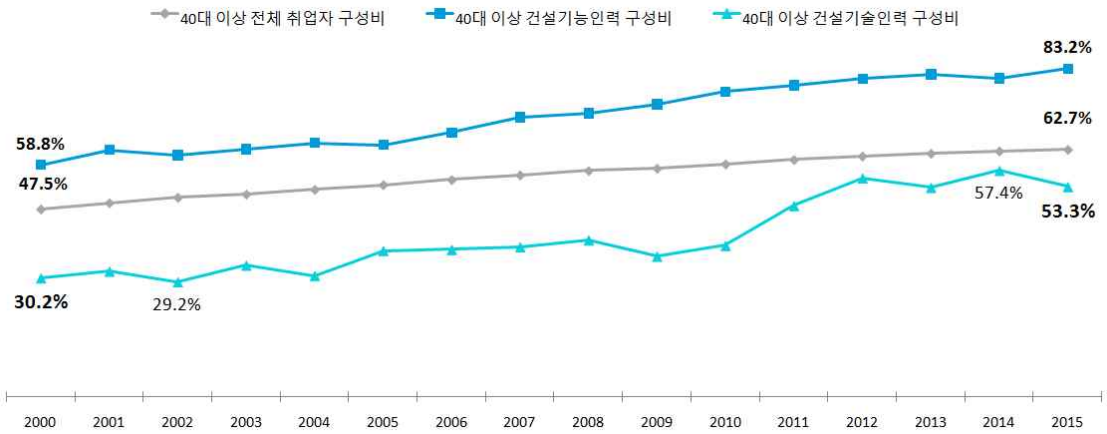
○ 특히 건설기술인력의 고령화가 빠르게 진행되고 있어 건설현장의 생산성 향상과 품질 유지·제고를 위한 시스템 혁신기술의 필요한 상황

- 전체 취업자 중 40대 이상의 비율은 ’00년 47.5%에서 ’15년 62.8%로 증가(CAGR 1.9%)

- 40대 이상 건설기능인력*의 비율은 전체 취업자와 비교하여 평균 약 1.27배를 상회하며 동 기간 동안 58.8%에서 83.2%로 증가(CAGR 2.3%)

* (건설기능인력) 기능원 및 관련 기능 종사자, 장치기계조작 및 조립종사자, 단순노무자 등

- 전문가 및 관련 종사자 등을 포함한 건설기술인력의 경우 ’15년 40대 이상 종사자의 비율이 53.3%로 이는 ’00년 이후 연평균 3.9% 증가한 수치임



출처: 각 연도별 경제활동인구조사(각 연도 12월 기준)(통계청)

[그림 2-3] 건설기능인력 및 건설기술인력의 고령화 추이

□ 주 52시간 근무제 도입으로 인한 근로 조건의 변화

○ 건설산업연구원의 '주 52시간 근무제' 도입에 따른 건설정책과제 보고서('18.7)에 따르면 법정근로시간 단축은 건설업계에 더 큰 부담을 줄 것으로 예상

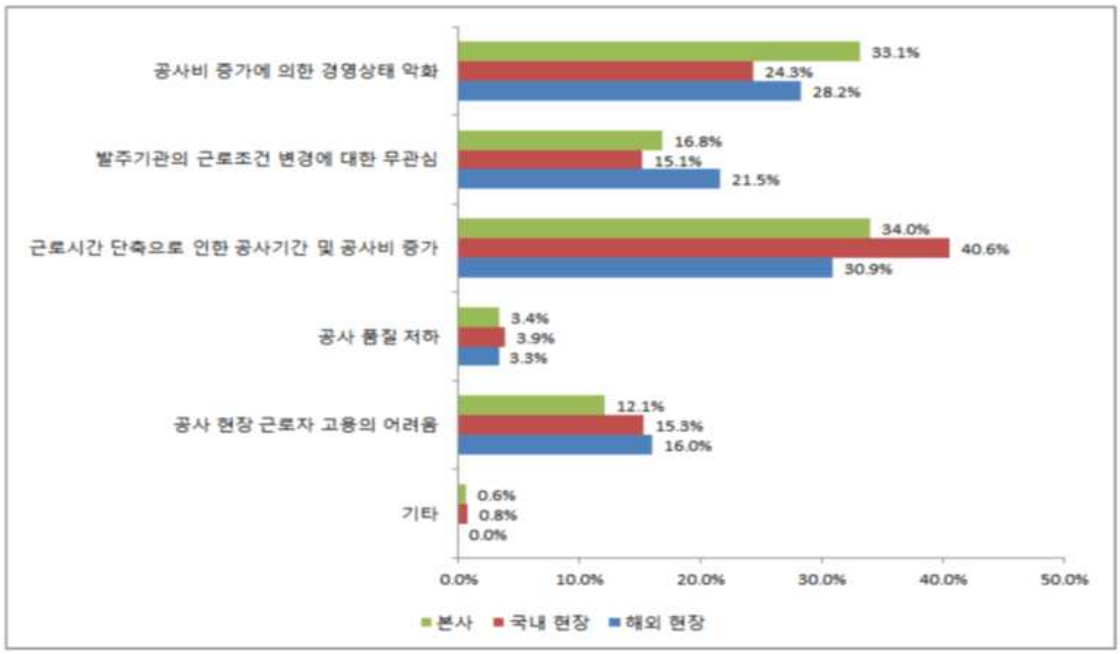
- 주 52시간 근무제 도입으로 공사기간을 준수하기 위해 기능인력 및 관리직을 충원할 경우 직·간접노무비는 증가하여 전체 공사비가 증가하는 것으로 분석
  - 법정근로시간 단축으로 공사 기간 준수를 위하여 인력을 충원할 경우, 총 공사비는 평균 4.3% 증가, 일부 현장은 총 공사비가 최대 14.5% 늘어나는 것으로 분석

<표 2-4> 공사 기간 준수를 위해 인력을 증가할 경우의 총공사비 비율

구분	전체공사	발주자별		공종별		사업 규모별	
		공공공사	민간공사	건축공사	토목공사	1,000억 원 미만	1,000억 원 이상
최댓값	14.5%	14.5%	3.7%	6.4%	14.5%	13.6%	14.5%
최솟값	0.3%	0.3%	0.4%	0.3%	0.4%	0.3%	0.5%
평균값	4.3%	5.0%	1.8%	2.3%	4.7%	4.4%	4.2%

- 법정근로시간 단축으로 인한 애로 사항으로는 본사 및 국·내외 현장 응답자 모두 1순위로 '근로시간 단축으로 인한 공사 기간 및 공사비 증가', 2순위로 '공사비 증가에 의한 경영상태 악화'를 꼽는 등 공사 기간 증가로 인한 비용 증가에 대한 부담이 큰 것으로 분석

· 현재 진행 중인 공사의 경우 법정근로시간 단축이 반영되기 전 계약된 공사이기 때문에 공사 기간 및 공사비 증가 문제가 더 심각할 것으로 예상



출처: 한국건설산업연구원(2018), 주 52시간 근무제 도입에 따른 건설정책 과제

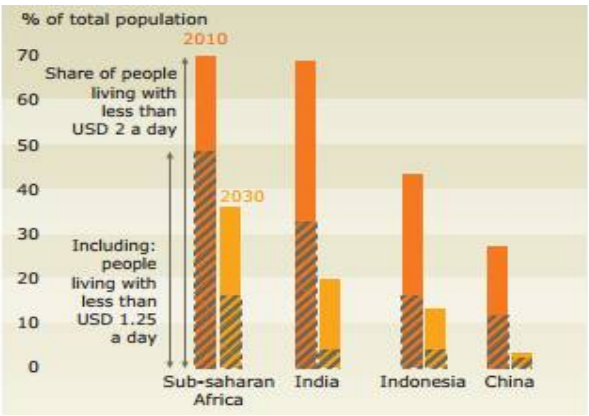
[그림 2-4] 근로시간 단축으로 인한 애로 사항

☞ 근로자의 고령화 및 법정근무시간 감소 등 인력을 대체하기 위하여 수작업에 의존하는 건설공정을 개선하고 ICT, 로봇 등의 첨단기술을 융복합한 신기술 개발 필요

- 건설인력 수급문제를 해결하기 위하여 공정의 효율성 개선하고 자동화하는 기술 필요
- 건설기능인력의 노하우를 공유하고 품질 유지를 위하여 건설시스템의 혁신 필요

2.2 인프라 건설 노동강도 저감요구 증대

□ 빈곤의 감소와 중산층의 성장에 의해 생활의 쾌적화, 여가 수요 증가 등 삶의 질 향상에 대한 관심과 수요가 증가



출처: *The European Environment State and Outlook 201 Assessment of Global Megatrends*,EEA(2017).

[그림 2-5] 극빈층의 변화('10년) vs '30년)

○ 빈곤의 감소와 중산층의 성장, 교육수준의 증가, 새로운 통신 및 제조기술의 폭넓은 이용, 의료서비스 발달에 의해 개인의 권한 확대 가속화

- 현재 전 세계적으로 하루 2억 달러 이하 소득의 극빈층은 1억 명 이상
- 현 추세로 소득이 증가한다면, '10년과 대비하여 '30년 빈곤층은 약 50% 이상 감소할 것으로 예상

○ 소득증가로 경제적 여유가 생기면서 개인과 가족의 행복을 중시하는 경향이 강하고 웰빙, 건강, 안전 등에 높은 가치를 부여

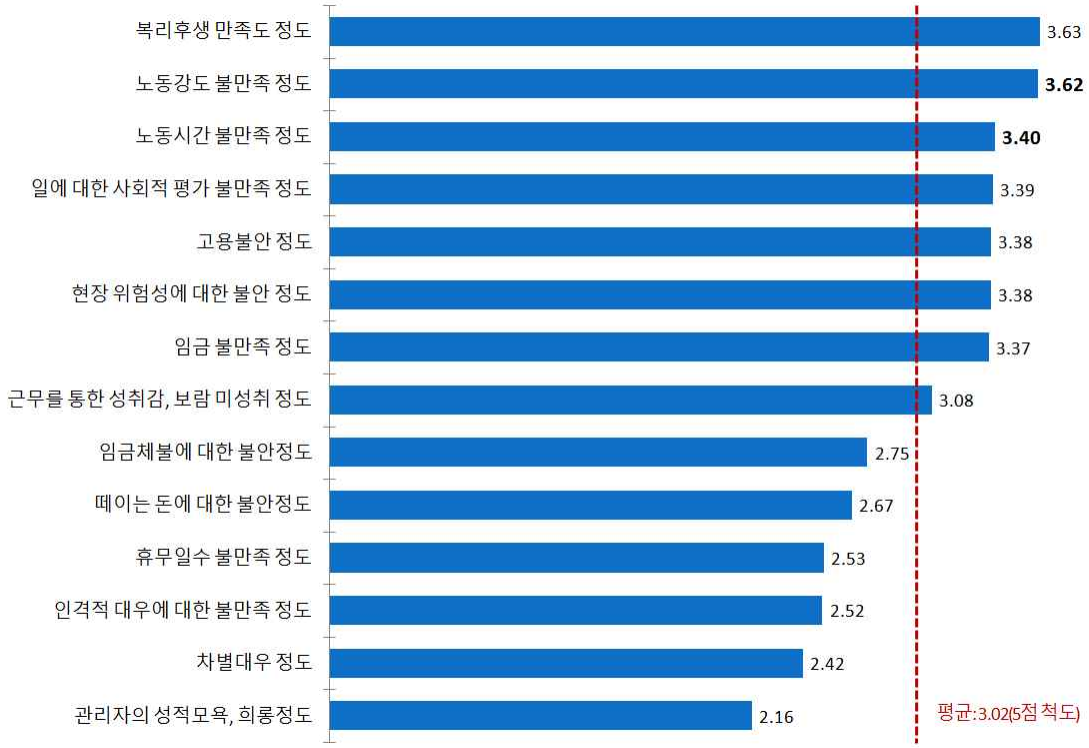
□ 국내 건설근로자의 노동강도와 노동시간에 대한 만족도가 낮은 수준

○ 건설근로자 종합 실태조사 결과, 노동강도와 노동시간에 대한 불만족 정도가 높아 이에 대한 개선이 필요[1)]

* 출처: (건설근로자공제회, 2017. 4. 4 보도자료), "건설근로자 종합생활 실태조사결과, 고용복지서비스 대폭 확충 필요"

- '16년 기준 국내 건설근로자의 근무관련 불만족 정도는 3.02점
- 노동강도와 노동시간에 대한 불만족도는 각각 3.62점, 3.40점으로 높게 나타난 반면, 일한 수준과 대비한 복리후생에 대한 불만족도 또한 3.63점으로 나타나 환경 개선이 필요
- 특히 전체 응답자의 44.1%가 노동시간이 길어 힘들다는 불만족을 표시

1) "건설근로자 종합생활 실태조사결과, 고용복지서비스 대폭 확충 필요"(건설근로자공제회, 2017. 4. 4 보도자료)



출처: "건설근로자 종합생활 실태조사결과, 고용복지서비스 대폭 확충 필요"(건설근로자공제회, 2017. 4. 4 보도자료)

[그림 2-6] 국내 건설근로자의 근무 불만족도

☞ 건설산업의 체질개선과 이미지 제고를 위한 건설근로자의 노동강도 감소 및 근무환경 개선 필요

- 건설자동화, BIM 설계·시공 등 건설산업의 스마트화를 통해 3D 직종으로 청년층의 기피하는 현상을 탈피하고, 건설의 경쟁력과 생산성 확보, 인명존중에 대한 건설산업 이미지 제고 필요
- 건설현장의 육체노동, 위험작업, 반복작업 등을 최소화하여 근로자의 노동강도를 감소하고 안전문제를 해소할 수 있는 기술 지원 필요

2.3 안전한 인프라 건설현장 조성 수요 증가

□ 인프라 건설산업의 특성상 타 산업 분야에 비해 종합적 안전관리가 어려운 구조

○ 주문생산과 옥외생산이라는 특수성으로 인해 건설산업 차원에서 포괄적인 안전관리 접근·개선이 어려움

- 공사 수주여부와 현장의 여건 등에 따라 생산중단 가능성이 상존하므로 비정규직 근로자를 선호하게 되어 현장 근로자의 동질성이 부족
- 개별현장의 특성에 따라 안전관리가 이루어짐

○ 다단계 하도급 생산방식으로 인한 고용구조의 특성상 단일 현장에 다수의 사업주가 동시에 참여하여 단일 사업주에 의한 안전관리가 효과를 거두기 어려움

○ 높은 노동강도와 열악한 작업 조건으로 인해 산재 발생의 위험성이 높음

- 생산에 활용되는 장비와 자재 및 도구가 무거우며 고소작업이 많으며 생산 시 발생하는 유해·위험 물질에 노출이 잦아 사고에 취약

※ ’15년 국내 건설산업사망자 중 발생형태별로는 추락에 의한 사망사고가 50% 이상을 차지하고 있으며, 기인물별로는 가설구조물로 인한 사고가 50% 이상, 건설기계로 인한 사고가 약 30%를 차지

- 젊은 층의 건설시장 진입 기피로 건설인력의 고령화가 빠르게 진행됨에 따라 산재 발생의 위험성이 높음

○ ‘계획-설계-시공-유지관리’ 생산프로세스에 따라 선행단계의 결함이 후행 단계의 사고 유발이 가능

□ 건설인력의 고령화로 인해 국내 전체 산업사고 중 건설업에서의 사망자 수와 차지하는 비중은 증가하는 추세

○ ’06년 이후로 국내 산업 사고로 인한 사망자는 감소하는 추세

○ 국내 전산업 사망만인율*은 최근 10년간 약 45% 감소한 반면 건설업은 13% 감소에 그쳤으며 건설업 종사자의 사망자 비중은 증가 추세

* (사망만인율) 연간 근로자 수 10,000명당 발생하는 업무상 사고사망자 수의 비율

- ’17년 국내 건설업 사고 사망자 수는 579명으로 전 산업의 29.6%
- 건설업 사고 사망자 수는 최근 4년 간 상승추세



출처: 연도별 산업재해 발생현황(고용노동부)

[그림 2-7] 국내 건설업 사망만인율('06~'17)



출처: 연도별 산업재해 발생현황 재가공(고용노동부)

[그림 2-8] 국내 건설업 사고 사망자 추이('06~'17)

○ ’15년 기준 건설산업 사고 사망자수의 68%가 50세 이상으로 고령 건설노동자의 비율이 증가할수록 건설업 사고사망자 수의 비중은 증가

☞ 예방적 안전관리를 위하여 건설사업의 기획-설계-시공 단계별로 안전 위해 요소를 사전에 식별하여 선제적인 대응책 마련 필요

- 건설현장에서 발생할 수 있는 위험요소에 대하여 사항별 관리가 아닌 시스템적인 관리로 실용적인 안전관리 기술 필요
- BIM과 같은 디지털 설계 기술을 활용하여 설계상의 안전 위해 요소에 대해 사전 검토하여 위험요소 제거

2.4 4차 산업혁명으로 인한 산업/공정/기술 융복합 등 인프라 건설산업 밸류체인의 변화

□ 모든 것이 연결되고 보다 지능화된 '초연결성'과 '초지능화'를 특성으로 갖는 4차 산업혁명 시대가 도래

○ '16년 1월 '세계경제포럼'에서 AI, 로봇, 자율주행차, 3D 프린팅, 나노기술, 퀀텀컴퓨팅 등 새로운 신생기술에 의한 '4차 산업혁명'이 화두로 등장

- 국내외 다수의 문헌들은 제4차 산업혁명을 조금씩 다르게 정의하고 있으나, 공통적으로 ICT에 기반을 둔 새로운 산업혁신 시대의 도래에 주목
  - 제조기술 뿐만 아니라 데이터, 현대 사회 전반의 자동화 등을 총칭하는 것으로서 Cyber-Physical System과 IoT, 인터넷 서비스 등의 모든 개념을 포괄(Wikipedia)
  - 디지털, 물리적, 생물학적 영역의 경계가 없어지면서 기술이 융합되는 인류가 한 번도 경험하지 못한 새로운 시대(다보스포럼)
  - 기업들이 제조업과 정보통신기술(ICT)을 융합해 작업 경쟁력을 높이는 차세대 산업혁명을 의미(매일경제)
- 4차 산업혁명은 이전 산업혁명과는 달리 ICBM(IoT, Cloud, Big-Data, Mobile) 기술을 활용하여 지능적으로 사물을 제어하는 특징을 지님
  - 1차 산업혁명: 증기기관과 기계화(Mechanization, Water Power, Steam Power)
  - 2차 산업혁명: 전기를 이용한 대량생산 본격화(Mass Production, Assembly Line, Electricity)
  - 3차 산업혁명: 컴퓨터 정보화와 자동생산시스템(Computer Automation)
  - 4차 산업혁명: 로봇, 인공지능, 빅데이터 등을 통해 실제와 가상이 통합되어 사물을 지능적으로 제어(Cyber Physical System)

○ 4차 산업혁명은 산업 간 경계를 허무는 기술적 융합을 특징으로, 산업간 융합, 새로운 시장의 등장, 고용구조의 변화를 야기

- 데이터중심의 서비스 및 새로운 형태의 산업간 협업이 가능하며 정보통신기술(ICT)과 초연결성에 기반한 새로운 스마트 비즈니스 모델의 등장 예상
- 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 및 자율주행자동차 등의 본격적인 상용화로 인한 새로운 시장이 등장

- 단순반복적인 업무는 기계가 대체하는 반면, 4차 산업혁명과 관련된 고숙련(High-skilled) 노동자에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상

□ **사용자 중심, 건설 프로세스의 지능화와 효율화를 특징으로 하는 가치사슬로의 변화**

○ 밸류체인의 변화로 품질, 안전, 편리성, 인간·환경 친화적인 건설 등과 같은 사용자의 니즈를 충족시키는 토탈 솔루션 제공

- 사용자의 니즈를 기획·설계 단계부터 고려하고 이를 위해서 프로세스를 통합하고 효율적으로 관리하는 지원적 활동(Secondary activity)의 역할이 중요
- 기획단계에서부터 사용자의 니즈에 맞추어 각각의 본원적 활동(Primary activity)을 지원하고 각 프로세스를 전략적·통합적으로 관리하는 솔루션 제공

※ '기획'부터 '운영' 단계까지 효율적으로 관리하기 위한 통합관리 시스템 및 의사결정 지원 시스템이 요구

○ 사용자 중심의 인프라를 효율적으로 공급하기 위하여 IoT, 로봇, 클라우드, 데이터 마이닝 등을 활용한 건설 프로세스의 지능화·효율화 요구

- IT와 건설이 융합되면서 스마트 건설시스템을 통한 건설산업 전체의 프로세스가 통합·효율화되면서 인프라 공급의 양적·질적 수요 충족

※ 데이터 기반 또는 인공지능에 의한 의사결정 지원, 최신 기술을 도입한 스마트 기술, 예측기술 등 소프트웨어 중심의 기술 진화

○ 건설기술 패러다임의 변화가 성공하기 위해서는 공공 건설부문의 제도 개혁, 법규제 완화 등 행정·정책·재정·법 분야의 혁신 동반

☞ 4차 산업혁명에 대응하기 위하여 건설 프로세스를 통합적으로 관리할 수 있는 솔루션과 각 단계별 건설 프로세스를 효율화할 수 있는 기술수요 증가

- 기획 단계부터 운영·관리단계까지 활용 및 공유할 수 있는 BIM기반 통합설계 기술 필요
- 4차 산업혁명 기술을 활용하여 건설 프로세스를 지능화·효율화할 수 있는 스마트기술 개발 필요

2.5 시공간을 초월한 인간, 사물, 정보 네트워크 확대

□ IoT 기술의 발전으로 모든 사물과 사람이 네트워크로 연결되는 초연결사회 도래

○ 모바일의 가속화, 인터넷 사용자 참여 확대 등 유무선통신 인프라에 대한 끊임없는 요구가 증가하면서 네트워크 연결 가속화

- 5G 통신기술은 웨어러블 컴퓨터, IoT 확산을 가속화하고 모바일 기기에 내장된 스마트 센서는 기기 간 연결성 확보를 통해 새로운 비즈니스 모델 창출
- 향후 네트워크 확대로 사람-사람, 사람-사물, 사물-사물 간의 연결 확대로 공간적·시간적 제약 없이 정보 접근이 가능한 첨단 네트워크 기반 스마트사회로 발전

○ IoT 기술은 타 산업에 접목하여 더 높은 가치를 창조하는 이용수단으로 사용자 중심으로 발전할 것으로 예상

- 현재까지는 재고관리, 주택의 에너지 관리, 건강관리 등 개인의 편리성을 위하여 광범위하게 적용·응용
- 향후 사회인프라의 최적화, 통합운용관리, 패키지화 등의 기능으로 사회적인 이익의 증대에 기여하는 목적으로 발전 가능

□ 건설분야에서도 IoT 기술을 접목하여 플랫폼 기술과 다양한 솔루션 제공을 위한 기술개발 추진

○ IoT 플랫폼이 개발되고 확산되면서 인터넷 기반에서 개방적이고 확장성 있는 방식으로 다양한 서비스를 제공

- (자재관리) RFID기반 자재관리, 재고관리, GPS기반 이력관리 및 유실관리 등 자재관리 솔루션 제공
- (안전관리) 안전한 건설현장 환경 조성을 위하여 웨어러블 장치 및 IoT 원격운영 기술
- (건설장비 관리) 건설장비 모니터링과 수리, 건설장비 경로와 작업량 등 건설작업 관리 등으로 건설작업 효율화
- (에너지 관리) 현장의 조명, 빌딩의 온도 등을 모니터링하여 에너지 비용절감

□ **IoT기술을 활용하여 수집된 정보에 기반한 건설사업관리 기술 활용이 증가할 전망**

○ 건설산업에서 빅데이터의 활용이 확산될 것이며 건설 DB 기반의 신산업 창출이 전망됨

- 시설물의 대형화, 복잡화로 기획, 설계, 시공, 운영, 유지관리를 모두 고려한 사업 발주관리의 중요성 증가

- 2017년 기준 빅데이터 및 분석시장은 전년대비 12.4%성장하여 1,508억 달러 규모에 달할 것으로 전망되며 2020년까지 연평균(CAGR) 11.9%의 성장하여 2100억 달러 규모에 이를 것으로 전망

  출처: CIOKOREA(2017.04.17.), "2017년 세계 빅데이터 및 분석 시장 1500억 달러 넘어설 것"IDC 전망

- 인공지능, 자율주행차, 사물인터넷, 스마트시티 등이 5G로 연결되면서 데이터로 모든 것을 공유하는 시대가 도래하였으며, 2019년은 데이터 시대로 넘어가는 기념비적인 해(미국소비자기술협회 부회장, CES 2019)

  ※ 데이터는 '미래 경쟁력을 좌우하는 21세기의 원유'이며, 데이터 주도권이 미래 기업가치를 결정(글로벌 IT 리서치 기업, 가트너)

  ※ 세계에서 가장 가치 있는 기업도 석유와 금융기업('08)에서 지금은 디지털 기업(아마존, MS, 애플, 알파벳(구글 모회사) 등)으로 변화하였으며, 이들의 핵심은 플랫폼을 통한 데이터의 독점임

  출처: 한국경제(2019.1.10), "[CES 2019] 21세기 원유 '데이터' 시대를 마주하는 자"

○ 효율적 정보호환, 의사결정 지원 등을 위해 BIM 활용이 증가할 전망

- BIM(Building Information Modelling)은 설계부터 시공까지 건설 생산성을 높이고 프로젝트 참여 주체 간 정보 호환, 의사결정 지원을 효율적으로 수행하도록 지원

  ※ 정보 기반의 건설 사업 효율성 향상으로 프로젝트 Life Cycle Cost 최소화 가능

- 조달청은 '14년부터 500억 원 이상 공공 공사에 BIM 도입을 유도했으며 '16년부터는 조달청 발주 모든 공사에 BIM 설계 적용을 의무화함

  ※ 국토부도 '20년까지 사회기반시설(SOC) 공사 20% 이상에 BIM 적용 방침 계획

☞ 데이터 기반의 의사결정과 사업관리 효율성 향상을 위하여 건설사업의 모든 정보를 DB화하고 데이터 분석·활용 기술 필요

- 인프라의 기획단계에서부터 시공, 운영단계까지 필요한 정보체계를 구축함으로써 데이터 기반의 의사결정을 지원하여 신뢰성 향상 가능

- 각 단계에서 필요한 정보를 공유하여 과학적 예측이 가능하여 효율성 및 생산성 향상 가능

2.6 인프라 건설현장과 공간의 정보화, 첨단화, 지능화

□ 건설분야의 고질적인 문제인 위험성, 건설생산성, 예측 불가능한 상황 등의 문제 해결을 위한 지능화에 대한 수요 증가

○ 자동화 기술의 한계를 극복하기 위하여 빅데이터 기술, 딥러닝, 인공지능 등 첨단기술을 이용해 문제점들을 효과적으로 해결할 방법을 모색

- 인력 대체 로봇, 공정 기계화, BIM, 드론, Lidar 등을 이용한 자동화 기술을 개발·적용하였지만 여전히 사람이 개입하고 반복적 시간 소모 발생

※ 로봇과 기계는 특정 공정에만 자동화되어 있으며 건설현장을 파악해 자율작업은 불가능
시뮬레이션 기술은 입력해야 하는 양이 많고 데이터의 무결성 체크 불가능
드론과 Lidar는 특정케이스에서만 유용하고 여전히 수작업이 많음

- IoT 기술의 발전으로 현장의 많은 데이터가 실시간으로 수집하여 DB를 구축한다면 의미 있는 데이터 패턴을 얻어 건설현장의 지능화 가능

○ 지능화된 건설에 대한 사례 증가

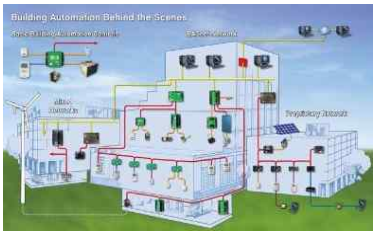
- (무인 자율주행 트럭) GPS 측위기술을 사용한 무인 자율주행 트럭으로 안전과 생산성 향상
- (빌딩 에너지 관리) 머신러닝 기술을 사용해 건축물의 냉난방 에너지 소비량을 예측해 효율성 향상
- (방재) 인공지능과 원격 센싱기술을 활용해 지진 발생 후 건물 붕괴를 감지
- (구조안전) 구조체의 피로 균열로 인한 붕괴 예측 모델을 정의하고 관련된 데이터를 현장에서 IoT기술기반으로 데이터를 얻어 위험도 예측
- (도시계획) 머신러닝을 통해 3차원 이미지로 시각화하여 도시계획 및 시설물 관리부서에서 향후 투자전략 및 프로그램 우선순위 결정에 지원
- (건설장비) 비전, 이미지 스캔, IoT기술을 바탕으로 스스로 판단해 시공하고 검사하는 건설장비로 연구개발 중

출처: AI and Robotics : The Future of Construction, Volvo construction equipment, KOMATSU-concept movie of smart construction

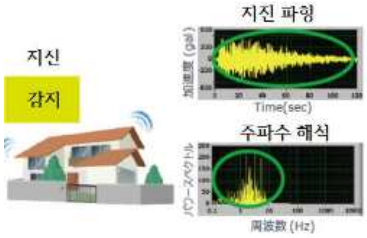
<표 2-5> 건설 지능화 연구동향



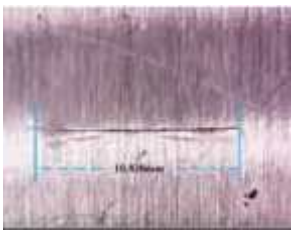
[볼보 무인 트럭]



[빌딩 에너지 관리]



[지진 방재]



[데이터 기반 붕괴 예측]



[Mapillary system]



[코마츠 스마트 건설]

☞ 기존의 건설자동화의 한계를 극복하고 인공지능, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅과 같은 첨단기술을 활용한 건설 지능화 기술 개발 필요

- 특정 공정을 넘어서 전 건설프로세스를 지능화하는 기술을 개발하여 건설 산업의 고질적인 문제 해결
- IoT 기술의 발전으로 축적된 데이터를 분석하여 현장인지와 자율작업이 가능한 건설장비 개발

2.7 스마트 건설시장의 확대 및 시장선점 경쟁 가속

□ **전 세계적으로 에너지 소비량이 급증하고 기존에 개발된 에너지 자원의 고갈이 심화되면서 자원확보를 위한 강대국간 경쟁이 치열**

○ 고유가와 탐사·시추기술 발달로 영구동토와 북극권에 석유와 가스의 상업적 개발이 활성화되고 있는 상황

- 미 발견 석유·가스 탐사 자원량의 22%가 영구동토를 포함한 극한지에 매장
- 북극권에는 석유 900억 배럴, 천연가스 1,670Tck, NGL 440억 배럴이 매장되어 있는 것으로 추정

※ 미 발견 자원량 중 석유 13%, 천연가스 30%에 해당

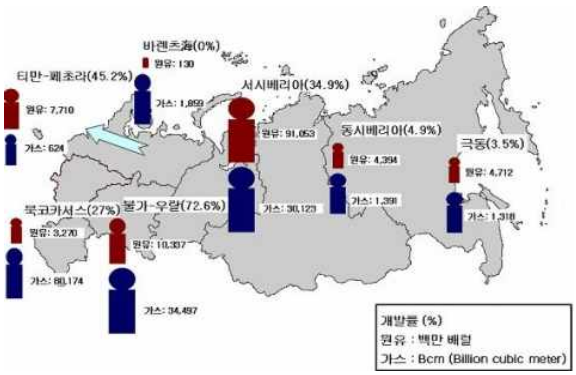
○ 캐나다, 러시아 등은 에너지 자원의 고갈에 대비하여 미개발 지역에 대한 자원 개발 프로젝트를 추진

- (캐나다) 원유가격 증가와 자원 고갈 추세에 따라 생산가격이 비싼 Oil sand 개발사업 추진
- (러시아) 동시베리아 및 극동지역의 자원 개발 수립 및 투자 확대

※ 러시아 극동지역의 원유 매장량 16%, 천연가스 22%를 차지
동시베리아 동토지역의 원유 매장량 17.4%, 가스 15.7%로 추산



[그림 2-9] 캐나다 오일샌드 매장지역



[그림 2-10] 러시아 에너지자원 개발률

□ **국가 차원의 에너지 수급 대책 마련이 시급해지면서 극한지 개발 관련 핵심기술 수요 증대**

○ 극한지에 매장되어 있는 자원은 최근 에너지원 고갈로 인하여 경제성이 확보됨에 따라 개발 및 계획되고 있는 상황

- 북극권과 동토지역의 매장된 천연가스와 석유자원은 ’80년대 발견되었지만 극한의 기후조건, 파도, 유빙 등의 주변 환경의 제약으로 개발대상에서 제외

○ 자원개발과 관련 미래시장은 동토를 포함한 극한지를 대상으로 급격한 성장이 예상됨에 따라 관련 기술 확보 필요

- 신규 매장지와 관련해서 프로젝트가 증가하고 있으며 시장규모가 커서 관련 기술을 통한 미래가치 창출이 기대

- 지금까지 경험하지 못한 극한지 건설기술에 대하여 국가적 차원에서 관련 기술의 확보가 시급

□ **정부 차원의 경쟁력 향상 및 세계 시장 개척을 위한 건설의 스마트화 당부**

○ 2018년 11월, 우리나라 기업이 건설하고 있는 싱가포르 지하철 공사현장을 찾은 문재인 대통령이 첨단 기술을 접목한 스마트 건설의 구현을 통해 세계 시장 개척에 대한 당부

- 중동건설 시장의 위축으로 인한 저가 수주 및 치열한 기술경쟁에 대응하여 국내 기업의 스마트 건설기술을 통해 해외건설 수주 향상 전략 방안이 필요한 시점



출처: "스마트건설 구현해 세계시장 개척해 달라"(KTV 국민방송), 2018

☞ 안정적인 에너지 확보와 대형 자원개발 프로젝트 참여를 위해서는 극한지 개발을 위한 기술 확보가 필요

- 미개척 건설시장에 진출한 경험과 노하우를 바탕으로 건설시장의 영역확대를 위한 기술개발 필요

- 경험이 없는 극한지 건설을 위해 극한건설환경에 적합한 재료 개발과 극한지 건설기술을 위한 국가적인 지원 필요

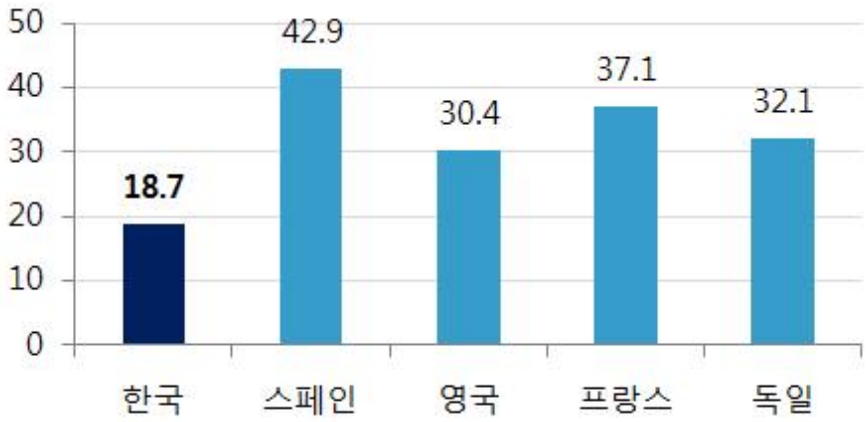
2.8 인프라 건설 생산성 향상 요구 증대

□ **국내 건설업의 생산성은 선진국의 절반 수준으로 20년간 정체된 상황**

○ 맥킨지글로벌연구소(2017)에 따르면 타 산업의 노동시간 당 부가가치가 20년간 연평균 4% 늘어난 것에 비해 건설업은 정체되고 있는 실정

- 미국, 중국, 일본 등 건설업 규모가 큰 세계 41개국의 생산성을 분석한 결과, 한국은 19위를 기록하여 선진국에 비해 노동생산성이 저조한 상황

○ 한국 건설업의 노동시간당 부가가치는 18.7달러로, 스페인(42.9달러), 프랑스(37.1달러), 영국(30.4달러), 독일(32.1달러) 등 독일·영국 등 유럽 선진국의 절반 가량에 미치는 수준으로 개도국과의 기술격차가 좁혀질 경우 국내기업의 급격한 입지위축 우려



자료 : 건설산업 혁신방안('18.6)

[그림 2-11] 건설업 노동생산성(단위: $/시간, '15)

□ **국내 건설산업의 노동생산성 및 노동생산성의 성장률이 낮은 대표적인 원인은 숙련 근로자 부족과 장비확충 미흡***

* 출처: 한국은행 건설생산성 분석 보고서(한국은행), 2016

○ 건설산업연구원에 따르면 건설업에 종사하는 숙련인력은 줄어드는 것으로 조사되고 있으나 저임금의 외국인 근로자 비중은 증가 추세

- 우리나라에서 건설업 종사자 중 임시일용직 비중은 29.6%로 도소매업(9.5%)이나 제조업(3.7%)보다 훨씬 크고 건설업에서 저임금 외국인 근로자 비중도 꾸준히 증가

○ 우리나라 건설산업 생산(부가가치 기준의 GDP대비 비중, 4.9%)은 OECD 평균과 비슷하지만 기계장비 등 투자 규모는 GDP 대비 0.1%로 OECD(0.25%) 평균에 비해 크게 미약

- 맥킨지 글로벌 또한 건설산업의 낮은 생산성의 10가지 원인 중에 현장 숙련 노동자, 디지털화와 혁신에 대한 투자 미흡을 대표적인 원인으로 지적

<표 2-6> OECD 국가들의 건설산업 생산 대비 설비투자 비교

GDP 대비 비중(%)	한국	미국	독일	프랑스	이탈리아	OECD 평균
건설산업 생산	4.49	3.72	4.02	5.29	4.63	4.80
설비투자 (건설업)	0.10	0.21	0.17	0.20	0.21	0.25

☞ 건설산업의 생산성 향상을 위하여 분절된 공정에서의 효율성을 향상하는 전통적인 건설방식에서 탈피한 혁신적인 건설시스템 도입이 필요

- 디지털기술과 건설 모듈화/자동화 기술의 도입으로 건설생산성의 혁신적인 향상이 가능
- 고령사회 진입하면서 발생하는 생산인력의 부족을 해결하기 위한 노동 집약적인 건설생산 구조 변경

2절 정책적 환경분석

○ 스마트 건설 기술에 대한 지원 및 역량이 높은 대표적인 국가로 미국, 영국, 일본 등이 꼽히며 특히 싱가포르의 경우, 국가 인프라 및 건축 정보를 디지털화하는 Vitrue Singapore를 추진하는 등 건설분야의 스마트화에 국가적인 투자 및 지원을 제공하는 점을 고려하여 미국, 영국, 일본, 싱가포르에 대한 정책적 환경분석을 실시

국가	정책동향
미국 	• '93년부터 기술력 향상을 통한 건설 시설물 원가절감과 내구성 향상을 목적으로 미국 건설산업의 생산성 및 국가 경쟁력 향상을 위한 'National Construction Goals' 운동 추진 • 건설산업연구원(CII)은 건설 프로젝트 수행의 효율성을 증진시키는 것을 목표로 공사비, 공기, 안전, 품질 등 프로젝트 수행과 관련된 지식을 개발·공표하여 전체 건설산업에 적용할 수 있도록 연구 추진
영국 	• 사업의 비효율성 개선과 산업, 구성원들 간의 협력을 기반으로 생산성을 제고하고자 하는 목표로 '94년부터 현재까지 건설산업 혁신운동 진행 • 공사비 증가, 공기지연, 안전사고 등 건설산업의 문제해결을 위한 전략의 일환으로 「Construction 2025」를 발표하였으며 사람, 스마트, 지속성, 성장, 리더십을 강조 • 「Government Construction Strategy 2016-2020」을 발표하여 정부역량강화, 디지털 기술의 활용확대, 협업기반의 조달기술 활용 확대, 공사비 절감과 탄소저감을 위한 사업 전주기 방식 확대 도입
일본 	• 4차 산업혁명에 대응을 위해 관계부처가 협력하여 경제산업성에서 「신산업 구조비전」을 발표 • '16년 1월 다보스포럼 이후 과거부터 진행해온 정보화시공, 로봇, CIM 기술이 완성단계에 이르렀다고 판단하고 '17년 건설산업의 다양한 문제 해결을 위한 「생산성 혁명 프로젝트」 발표 • '25년까지 건설현장의 생산성 20% 향상을 목표로 건설 프로세스 전주기에 ICT 기술 등 신기술 활용을 확대하는 I-Construction 추진
싱가포르 	• '99년부터 'Construction 21 운동'을 통해 건설산업의 비용효과성 향상과 개혁을 추구하는 건설산업 선진화 운동을 추진 • '20년까지 건설부문 생산성 2~3% 향상을 목표로 'Construction Productivity Roadmap'을 추진 중으로 현재 제2차 로드맵에서는 노동인력의 질 향상, on-site/off-site 첨단기술 도입을 위한 자금투자 강화, 건설분야 가치사슬 통합강화 등 3개 분야에 주력 • '16년 건설생산성과 자원효율성 향상을 위한 7대 핵심기술분야를 선정하였으며, 자동화장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공이 포함
대한민국 	• 문재인 정부는 과학기술발전이 선도하는 4차 산업혁명을 통해 더불어 잘사는 경제 구축을 국정목표로 설정하였으며, 건설분야 경쟁력 강화를 위한 신기술 융합을 통한 미래 선도기술 확보 필요 • 「제3차 국가과학기술기본계획」에서는 건물안전성 향상, 대체노동력 확보를 위한 시공자동화를 목표로 국가 중점과학기술로 서비스 로봇(건설) 선정 • 「제6차 건설기술진흥기본계획」과 「제4차 건설산업진흥기본계획」, 「국토교통 R&D 중장기 전략」에서는 기존의 로우테크 건설산업 이미지를 미래 인프라 패러다임 변화에 대응할 수 있도록 첨단기술과 결합한 성장동력 확충을 강조

【미국】

□ **저성장 경제상황과 최저가낙찰제의 폐해를 개선하기 위하여 건설산업의 품질과 생산성 향상을 위하여 '93년부터 '03년까지 'National Construction Goals' 운동 추진**

※ 미국은 연방정부보다 주 정부와 개별 발주기관 차원에서 건설 행위가 일어나기 때문에 단일화된 건설산업 정책이 없으며, NCG가 가장 최근의 건설산업 혁신전략

○ 기술력 향상을 통한 건설 시설물 원가절감 및 내구성 향상을 목적으로 미국 건설산업의 생산성 및 국가 경쟁력 향상을 추구하는 건설산업 선진화 운동

- 국가건설 7대 목표를 공기단축, 유지관리비 및 에너지비용 감소, 쓰레기 및 공해 감소, 수명과 유연성 향상, 직무/직업으로부터 지별 및 부상 감소 제시
- 기술혁신을 위한 숙련공 육성, 인적요소, 정보 시스템, 고성능 자재 및 시스템, 자동화 등 총 8개 분야를 확정하고 10년간 총 70억 달러 규모의 예산을 투입

□ **정부의 NCG 운동으로 민간기업들은 생산성 향상과 첨단기술 적용 등 혁신방안 제시하여 '00년대 초 CM/GC(Construction Manager/General Contractor) 방식의 입찰제도 마련**

※ CM/GC : 시공사가 개념설계 단계부터 발주자와 협의해 설계와 공법 등을 책임지고 시공하는 입찰제도

○ 미국 건설산업 혁신은 공공조달방식 등 정책과 제도의 혁신보다 공기와 공사비 등 생산성 향상과 첨단기술 적용 등에 초점

○ CM/GC 방안은 민간건설사의 기술 중심 영업활동과 발주자와 고객 요구에 맞춰 시설물의 원가를 절감하고 안전성을 높이는 설계와 시공을 결합한 전략으로 범위를 확대하는 추세

- 연방고속도로관리청과 도로교통협회는 '11년 'Every Day Counts Initiative'를 통해 민간분야에서 성장한 CM/GC 방안은 공공분야로 확대·적용

※ 공공부문에서 CM/GC가 허용된 주는 '09년 12개에서 '15년 32개 주로 확대

□ **민간기업이 부설연구소를 두는 경우는 많지 않고, 발주방식이나 생산성 향상 등 건설공사와 관련된 연구는 건설산업연구원(CII, Construction Industry Institute)이 주도**

○ 민간기업의 부설연구소는 특정부문을 상품화시키는 것을 목적으로 운영하고 실제 연구는 공동연구 또는 대학부설연구소에 의뢰하여 추진

- Bectel의 경우 BSI 등의 부설연구소를 두고 있으나 특정기술을 상품화하는데 주력하여 응용연구를 수행
- 시카고 근교의 Portland Cement Association은 대규모 자체연구기관을 가지고 건설산업에서 필요로 하는 연구를 수요자와 함께 공동연구 수행

○ 건설산업연구원은 건설 프로젝트 수행의 효율성을 증진시키는 것을 목표로 공사비, 공기, 안전, 품질 등 프로젝트 수행과 관련된 지식을 개발

- 미국 건설산업의 돌파구가 될 수 있는 연구주제를 체계적으로 발굴하기 위한 발전전략위원회(BTSC, Breakthrough Strategy Committee)를 운영

※ Breakthrough : 총 프로젝트 비용이 20% 또는 그 이상을 절감할 수 있는 유망한 방법

  · 정보, 기계, 전자, 로봇 등의 타 산업 분야에서 경제, 경영, 사회학 등에 이르기까지 건설산업에 돌파구가 될 수 있는 기술이나 학문분야를 융합

- CII 내부 또는 산업계 수요를 바탕으로 유망한 기술을 선정하여 차기년도 연구과제 선정 시 반영하여 미국 건설산업에 활용될 수 있도록 공표

  · 백서 형태로 요약하여 유망 기술/학문을 공표

  · 건설 로보틱스, 안전관리 등 건설자동화 관련 주제를 포함

<표 2-7> 최근의 BTSC 백서 현황

White Paper 번호	주 제
White Paper #121	Effortless productivity tracking
White Paper #122	Weld-less and quick connecting systems
White Paper #123	Prediction markets
White Paper #124	Impact of new translucent and transparent materials
White Paper #125	Construction robotics: the dream vs. reality
White Paper #126	Outlets for unfunded ideas
White Paper #128	Digital photogrammetry
White Paper #129	Data fusion: supporting project leadership with tools that turn multiple data sources into useful information for decision support
White Paper #130	Enhancing project team building through social networks
White Paper #131	Innovation for millennial generation
White Paper #132	Assembly drawings
White Paper #134	Automatic safety checking of construction models and schedules
White Paper #135	Behavioral economics
White Paper #136	Exploiting young and creative people for new, innovative ideas
White Paper #137	Cloud computing
White Paper #138	Smartcoats: intelligent and innovative material coatings
White Paper #139	Frugal engineering
White Paper #140	Targeted information delivery for end users
White Paper #141	Paving

【영국】

□ **영국은 사업의 비효율성 개선과 산업 구성원들 간의 협력을 기반으로 생산성을 제고하자는 목표로 '94년부터 현재까지 건설산업 혁신운동을 진행**

○ (Construction the Team) 성공적인 건설사업 수행을 위한 발주자 역량을 강화하고 산업 전반에 걸친 협력으로 생산성 30% 제고를 목표

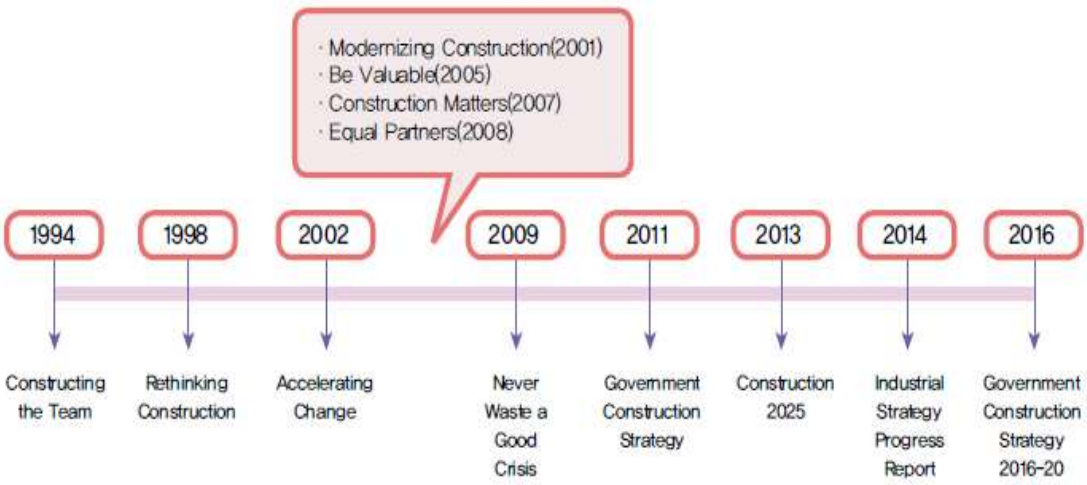
- 건설산업이 국가 경제에서 차지하는 중요성에도 불구하고 공사비 및 공기를 초과하는 사업의 비효율성을 개선하고자 추진
- 발주자로서의 정부 역량 제고, 책임 설계를 위한 체크리스트 구축, 프로젝트 정보 활용 의무화 등 15개의 세부방안 제시

○ (Rethinking Construction) 매년 건설비용 및 공기 10%절감, 작업오류 및 안전사고 20%절감, 생산성 및 이익 10% 개선을 목표

- 리더십, 고객 중시, 통합 프로세스, 품질 중시, 인간 중심의 5대 요인을 중심으로 건설산업의 혁신을 강조

○ (Accelerating Change) 산업 참여자 모두에게 최고 가치를 제공하기 위해서 건설산업의 가치 극대화를 강조

- '04년까지 전체 건설산업의 20%를 통합된 팀과 조달방식으로 수행하고 발주자 역량을 20% 개선, '06년까지 30만 명의 인력양성을 목표



[그림 2-12] 영국의 건설산업 혁신 전략 추진과정

□ **건설산업의 혁신 노력에도 불구하고 공사비 증가, 공기지연, 안전사고 등 건설산업의 문제해결을 위하여 산업전략의 한 분야로 「Construction 2025」 발표**

○ Construction 2025의 비전은 사람, 스마트, 지속성, 성장, 리더십 5개의 키워드로 요약

- (사람) 청년 인력의 유입을 위한 안전하고 건강한 작업환경 제공
- (스마트) 스마트 건설과 디지털 설계 구현을 위한 연구 분야의 인력과 기술 확보를 위한 정부투자 확대
- (지속성) 저탄소 및 녹색시대를 주도할 수 있는 건설산업으로 성장
- (성장) 글로벌 시장 진출 기회를 확보하고 경기 침체에 따른 중소기업의 영향 최소화를 위해 새로운 형태의 산업 환경 구축
- (리더십) 정부와 민간이 협력하는 단체로서 건설리더십위원회를 설립하고 이를 중심으로 목표 달성을 위한 포럼 등 다양한 사업 시행

○ 정부와 산업계가 공동으로 달성해야 할 목표를 원가 및 사업 전주기 비용 33% 절감, 탄소가스 50% 저감, 공기 50% 단축, 건설 분야 수출입 격차 50% 감소로 구분

- 목표달성을 위해 정부와 산업계의 책무를 10개로 도출하고 세부추진과제 및 일정 등이 포함된 실행계획을 수립

<표 2-8> Construction 2025 공동 책무

1	스마트 건설과 디지털 설계 부문에서의 경쟁 우위 창출
2	저탄소/기후변화 등과 같은 건설 환경 변화에서 파생되는 일자리와 성장기회 확보를 위한 시장과 기술기반의 계획 수립
3	컨설팅, 설계, 시공 및 관련 제조산업의 해외 수출 기회 확보와 'GREAT' 브랜드를 통한 영국 건설산업 활성화
4	영국 내 유지보수 시장에서의 성과 제고, 건강하고 안전한 건설환경 조성, 젊은 인력에 대한 동기부여를 통해 건설산업의 이미지 개선
5	전략적 접근 방식을 기반으로 건설산업의 다양한 이슈들이 해결될 수 있도록 관련 주체들의 협력 유도
6	미래사업 수요의 발굴 및 구체화 지속과 건설산업에서의 실제 사업화 가능성 제고
7	조달 효율성 극대화와 프로세스의 효율성 제고를 위한 다양한 대안 개발
8	금융 및 지불방법에 대한 다양한 논의와 접근을 통해 건설산업 가치사슬의 확대에 필요한 환경 조성
9	R&D 활성화, 혁신 방해 요인 제거, 기술의 활용도 제고를 위한 교육 및 연구기관과의 협력 강화
10	Construction Leadership Council을 중심으로 산업계 협력을 유도하고 산업 혁신 선도

□ **건설시장 주요 발주자로서 위치에 부합하는 역량 제고와 모범적인 발주자 역할 수행을 위한 「Government Construction Strategy 2016-2020」정부전략 발표**

※ 'GCS 2011-2015'의 시행 결과 5년 동안 약 30억 파운드에 달하는 공사비 절감을 거둔 것으로 평가하고 해당 전략의 지속성을 강조

○ 주요목표는 정부 역량 강화, 디지털 기술의 활용 확대, 협업 기반의 조달 기술 활용 확대, 공사비 절감과 탄소 저감을 위한 사업 전주기 방식 확대 돌입

- (정부 역량 강화) 사업발주 방식 개선, 협력 문화 조성, 리더십 구축 등 정부가 보유해야 할 역량을 강화
- (디지털 기술 확대) 1차 전략의 주요목표와 같이 생산성 제고 및 손실방지 등의 효과를 극대화하기 위해 BIM 활용 확대
- (협업 기반의 조달기술 확대) 사업 초기단계에서 다양한 관계자들의 참여를 확대하고 2만 명의 전문 인력 양성, 공정한 대가 지급 문화 확산 등을 추진
- (사업 전주기 방식 확대) 공공사업의 시공에서 운영 및 유지보수에 이르기까지 탄소 발생량 저감, 공사비 절감을 목표로 사업 전주기 방식 활용 확대

○ 전략의 주요목표를 달성하기 위해 6개의 주제별로 세부시행계획과 성과평가를 위한 지표를 제시

- 주제별 세부계획과 시행은 워킹그룹이 주도하고 전략수행그룹에서 모든 세부계획의 진행 상황을 관리하고 점검

※ 워킹그룹은 중앙정부 부처 및 공공기관, 업계 대표로 구성된 실무조직이며, 전략수행그룹은 정부건설위원회에서 수행

<표 2-9> GCS 2016-2020 주요목표와 내용

목표
발주자로서 중장정부의 역량 제고
BIM 등 디지털 기술의 활용 확대
협업기반의 조달기술 활용 확대
시공 및 유지보수의 비용 및 탄소 저감

⇨

주요내용		
협력과 리더십	발주자 역량	상호소통
데이터와 비용 벤치마킹	디지털 건설	협업기반 조달방식

【일본】

□ **일본 정부는 신산업구조부회를 설립하여 관계부처가 함께 정책방향을 검토하여 경제산업성에서 일본 정부의 4차 산업혁명에 대응 방안으로 「신산업 구조비전」 발표**

○ 4차 산업혁명에 대응하기 위하여 일본 정부의 7가지 대응 방침 정리

- 방대한 양의 데이터를 활용할 수 있는 환경과 시장, 보안 정책 정비
  - · 데이터 수집·분석을 통한 새로운 비즈니스 창출을 위하여 데이터 플랫폼 구축과 오픈 데이터 거래 시장을 구축하여 데이터 유통 활성화
- 4차 산업혁명에 대응할 수 있는 인재를 육성하고 고용할 수 있는 시스템 구축
  - · AI도입에 따른 업무변화에 대응하여 기존의 교육제도 진화와 기업의 국제 경쟁력 강화를 위한 노동시장과 고용제도 변화
- 기술개발 및 국제표준화를 위한 노력
  - · 기업·대학·벤처기업·연구기관 등의 연구개발 협력과 자금, 인력, 기술, 데이터의 공유 활성화를 위한 국가전략 수립
- 금융기능 강화
  - · 기업의 새로운 경쟁력의 원천이 되는 사업 분야에 투자공급을 위하여 사모펀드와 벤처 캐피탈 등 사업환경과 발전단계에 따라 필요한 자금 지원
- 4차 산업혁명에 신속하고 과감하게 대응할 수 있는 사회구조 전환
  - · 국내시장뿐만 아니라 글로벌 기업과 경쟁을 염두에 두고 성장목표를 설정하고 실현을 위한 전략·방법 등 기업 경영의 본연의 자세에 대해 검토
- 관련 규제 개혁
  - · 기존 규제만으로 대응할 수 없는 새로운 서비스 영역에 대해서 민관의 역할분담과 정책 방향성 검토
- 지역과 중소기업이 4차 산업혁명의 대응에서 소외되지 않도록 노력
  - · 시스템 구축을 위한 비용부담, IT를 활용할 인력 부족 등 준비가 부족한 중소기업 및 지역기업을 위하여 4차 산업혁명 기술 활용 지원

<표 2-10> 신산업 구조비전의 7가지 대응 방침

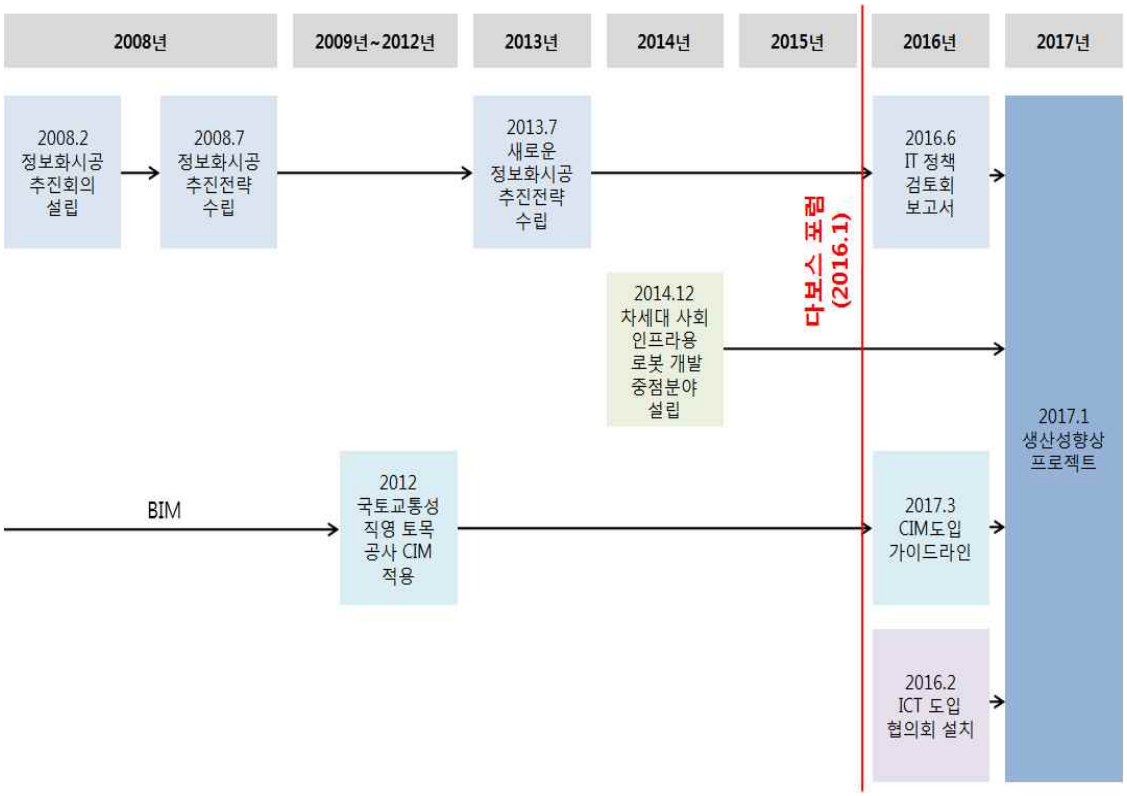
대응방침		세부내용
①	데이터 활용 촉진을 위한 환경 정비	데이터 플랫폼의 구축, 데이터 유통 시장의 창출
		개인 데이터 활용 촉진
		보안기술과 인재를 키워내는 환경의 구축
		제4차 산업혁명의 지적 재산 정책의 방향
		제4차 산업혁명에 대응하는 경쟁 정책의 방향
②	인재육성·획득, 고용시스템의 유연성 향상	새로운 요구에 대응한 교육 시스템의 구축
		글로벌 인재의 획득
		다양한 노동 참가의 촉진
		노동시장·고용제도의 유연성 향상
③	이노베이션·기술개발의 가속화	오픈 이노베이션 시스템의 구축
		세계를 리드하는 이노베이션 거점 정비·국가 프로젝트 구축·사회 실증의 가속
		지적재산권 매니지먼트와 국제표준화의 전략적 추진
④	파이낸스(금융) 기능의 강화	리스크 머니 공급을 위한 에퀴티 파이낸스 강화
		제 4차 산업혁명을 위한 무형자산투자의 활성화
		Fin Tech를 중심으로 금융·결재기능의 고도화
⑤	산업구조·취업구조 전환의 원활화	신속·과단성 있는 의사결정이 가능하게 하는 거버넌스 체제의 구축
		신속하고 유연한 사업재생·사업재편을 가능하게 하는 제도·환경 정비
		노무시장·고용제도의 유연성 향상
⑥	제4차 산업혁명의 중소기업, 지역경제에의 파급	중소기업, 지역에 IoT도입, 활용 기반의 구축
⑦	제4차 산업혁명을 위한 경제사회 시스템의 고도화	제4차 산업혁명에 대응한 규제개혁의 방향
		데이터를 활용한 행정 서비스의 향상
		전략적 제휴 등을 통한 글로벌 전개의 강화
		제4차 산업혁명의 사회 전개

□ **일본은 건설현장에서 가장 많이 이용하고 있는 토공과 현장타설 콘크리트 공의 생산성을 향상하기 위하여 정보화시공, CIM, 건설로봇 등의 개발 추진**

○ 토공사와 콘크리트 공사에 일하고 있는 기능노동자가 전체의 약 40%에 달하기 때문에 정보화시공의 효과가 클 것으로 기대

- '08년부터 시행하고 있는 정보화시공의 결과로부터 일일 시공량은 최대 1.5배 증가한 것으로 확인
  - · 경험이 부족한 젊은 오퍼레이터의 조기 건설현장 활약 가능
  - · 건설장비 주변의 계측작업, 보조작업 등을 감소시켜 안전성 향상 가능
- 시공단계만의 정보화로 건설 프로세스 전반에 걸친 근본적인 생산성 향상에는 한계가 존재

○ 인력감소, 휴일확대 등의 여건에서 공사량에 대응하기 위해 더 높은 생산성 향상 필요



[그림 2-13] 일본 정부의 건설정책 변화과정

□ **국토교통성에서 과거부터 진행해 온 정보화시공, 로봇, CIM 등의 기술이 완성단계에 이르렀다고 판단하고 다보스 포럼 이후 '17년 「생산성혁명 프로젝트」 발표**

○ 4차 산업혁명을 맞이하여 일본 건설산업의 다양한 문제를 해결하기 위한 방안으로 생산성 향상을 위한 20개의 생산성 향상 프로젝트 선정

- 국민경제나 국민생활의 기반이 되는 사회자본과 관광, 물류 등의 광범위한 분야를 '사회베이스', '산업별', '미래'로 분류하여 생산성 향상 도모
  - (사회베이스) 도시의 정체 해소를 통한 시간 단축, 사고나 재해 리스크의 감소 등 새로운 수요를 만들고 소비를 자극하는 광범위한 효과 기대
  - (산업별) 서비스 산업과 같이 각 산업에 관련 규제를 정비하고 가까운 미래에 적용 가능한 프로젝트
  - (미래) 급속도로 발전하고 있는 ICT, IoT, 로봇 기술을 활용하여 중장기적인 미래의 생산성을 높여가는 프로젝트

<표 2-11> 20대 생산성 향상 프로젝트

번호	프로젝트	분류
1	핀 포인트 정체 대책	사회베이스
2	고속도로를 현명하게 사용하기 위한 요금제	사회베이스
3	크루즈 새로운 시대의 실현 - 일본을 방문하는 크루즈 여행객 500만명을 위하여	사회베이스
4	컴팩트 플러스 네트워크 – 밀도의 경제에서 생산성을 향상	사회베이스
5	부동산 최적상황의 촉진 – 토지, 부동산에의 재생투자와 시장의 확대	사회베이스
6	인프라 유지보수 혁명 – 확실하고 효율적인 인프라 정비 추진	사회베이스
7	댐 재생 – 지역경제를 지지하는 치수 능력의 조기 향상	사회베이스
8	항공 인프라 혁명 – 공항과 관제의 베스트 조합	산업별
9	I-Construction의 추진	산업별
10	주생활산업의 새로운 전개 – 기존 주택 유통, 리모델링의 활성화	산업별
11	I-shipping과 J-ocean – 해상 생산성 혁명, 강한 산업, 고성장, 윤택한 지방	산업별
12	물류생산성 혁명 – 효율적이고 고부가가치 스마트 물류의 실현	산업별
13	도로의 물류 이노베이션 – 화물 운송 생산성 향상	산업별
14	관광산업의 혁신 – 관광 산업을 일본의 기간산업으로(숙박업 개혁)	산업별
15	하수도 이노베이션 – 일본산 자원창출 전략	산업별
16	철도 생산성 혁명 – 차세대 기술 전개에 의한 생산성 향상	산업별
17	빅데이터를 활용한 교통안전대책	미래
18	고품질 인프라의 해외 전개 – 거대시장을 일본의 기폭제로	미래
19	자동차의 ICT혁명 – 자율 운전 사회 실현	미래
20	기상 비즈니스 시장의 창출	미래

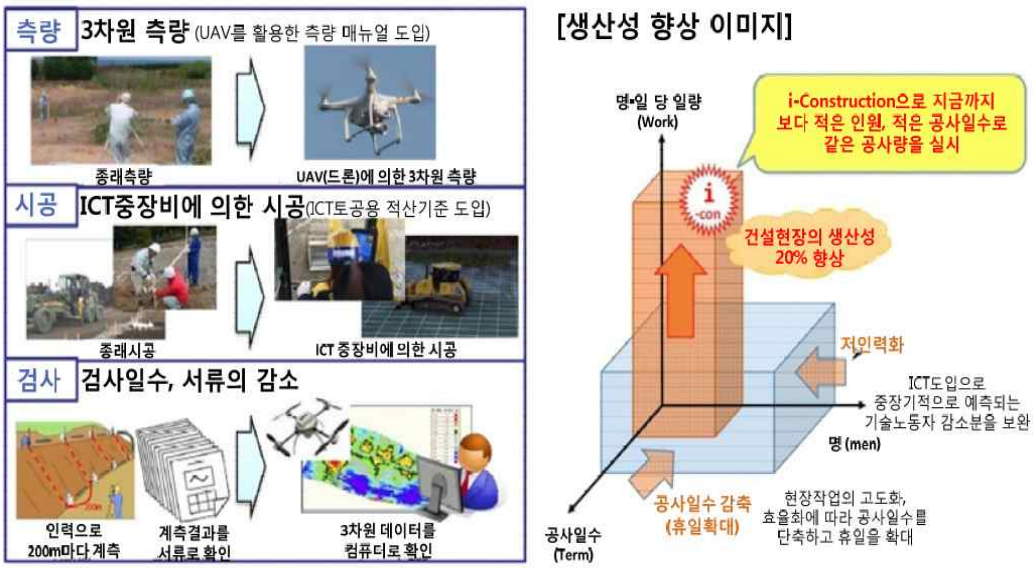
□ ’25년까지 건설현장의 생산성 20%향상을 목표로 건설프로세스 전주기에 ICT와 같은 신기술을 활용하는 I-Construction을 추진

○ ‘임금수준의 향상’, ‘안정적인 휴무 획득’, ‘안전한 현장’, ‘여성 및 고령자의 활약’ 등 건설현장의 새로운 변화를 목적으로 추진

- 목적 달성을 위하여 ICT 토공의 선두정책 추진, 토공이외의 공종에 ICT기술 도입, 컨소시엄을 통한 연구개발추진, 지방공공단체 발주공사에 보급 촉진 등을 꾀함
- 기능인력의 감소, 휴일확대에 대응하여 기존 공사대비 적은 인원, 공사일수로 같은 공사량을 소화

○ 조사·측량에서 설계, 시공, 검사, 유지관리 및 업데이트까지의 모든 건설과정에서 3차원 데이터를 도입하고 ICT 건설장비 등 신기술을 활용

- ’16년에는 ICT 토공을 적용하였으며, 시공 효율화에 관한 요소기술의 가이드라인을 책정하여 규격 표준화 실시
- ’17년에는 ICT 포장, ICT 준설공(항만분야), I-Gesuido(측량 및 유지관리 분야의 ICT 기술 활용), I-Bridge(교량 분야에서 3차원 데이터에 의한 설계) 적용 예정



[그림 2-14] I-Construction의 개념

○ ’16년 4월 ICT 토공의 전면실시에 맞추어 토공에서 조사, 측량, 설계, 시공, 검사의 프로세스에서 3차원 데이터를 활용하는 새로운 15개 기준을 발표

- ICT시공을 적용하여 공공공사를 수행하는 경우에 필요한 조사, 측량, 설계와 시공의 관리방법 및 기성청구 및 검사 방법에 대하여 규정

<표 2-12> ICT 기술도입을 위한 15개 기준 및 적산기준

분류	명칭	신규	개정
조사·측량·설계	UAV를 활용한 공공측량 매뉴얼	○	
	전자납품요강(공사 및 설계)		○
	3차원 설계 데이터 교환표준 운용 가이드라인	○	
시공	ICT 기술의 전면 활용 실시방침	○	
	토목공사 시공관리 기준		○
	토목공사 수량산출 요강	○	○
	토목공사 공통 시방서 시공관리 관계 서류	○	
	공중사진측량(무인항공기)을 활용한 시공내용 관리요강	○	
	레이저 스캐너를 활용한 시공내용 관리요강	○	
검사	지방정비국 토목공사 검사기술 기준		○
	기제부분 검사기술 기준 및 해설		○
	부분지불에 따른 기성 취급 방법		○
	공중사진측량(무인항공기)을 활용한 진행상황 관리 감독, 검사요강	○	
	레이저 스캐너를 활용한 시공내용 관리 감독, 검사요강	○	
	공사완성 평정요강의 운용에 대해		○
적산기준	ICT 활용공사 적산요강	○	

○ 새로운 기준에서는 ICT 시공을 활용한 모든 프로세스에서 필요한 적산 기준을 포함하여 실제 건설현장에서 운용이 가능

- 3차원 시공 측량, 3차원 설계 데이터 작성, ICT 건설기기에 의한 시공에 대해서는 ICT 경비적산 규정이 정해져 경비로 인정여부를 명확하게 정의
- 3차원 진행상황 관리 및 시공관리, 3차원 데이터 납품에 대해서는 별도의 규정이 아닌 간접비 형태로 계상

【싱가포르】

□ **싱가포르는 '99년부터 'Construction 21운동'을 통해 건설산업의 비용 효과성 향상과 개혁을 추구하는 건설산업의 선진화를 추구해옴**

○ 'Construction 21운동'은 국가개발부(Ministry of National Development) 산하 BCA(Building and Construction Authority)에서 싱가포르 건설산업의 선진화를 목표로 인식, 생산환경 및 생산체계의 혁신적 변화를 제안

- 비전: 지식시대의 일류 건설산업의 추구
- 6대 전략분야: 전문성 향상, 건설기능인력의 역량 강화, 건설사업 실무역량 강화, 건설생산의 통합화, 해외 건설시장 활성화, 파트너십 구축 및 공동노력
  ① 전문성 향상: 건설산업 기술인력 역량 향상을 위해 정보기술(IT)을 활용하여 효율성과 이미지를 제고하고, 일정 수준의 역량을 유지토록 독려
  ② 건설 기능인력의 역량 강화: 국내외 비숙련 기능인력 활용을 지양하고 교육훈련을 통해 기능인력 pool을 조성하여 활용
  ③ 건설사업 실무역량 강화: 시공성, 안전성, 유지·관리, 품질향상, R&D 투자, 건설관리, 외국 노무자 관리, 입찰·계약방식 등 8대 부문의 제도적 기반 개선
  ④ 건설생산의 통합화: 건설사업 효율성 향상을 위해 설계와 시공의 통합화를 추구하고 설계시공 일괄계약방식 활성화
  ⑤ 해외 건설시장 진출 활성화: 해외 건설시장 진출 활성화를 위한 민관의 공동 노력 이행
  ⑥ 파트너십 구축 및 공동노력: Construction 21의 효과적 이행을 위해 정부와 건설산업계의 파트너십을 강조

○ Construction 21운동은 전통적으로 '더럽고(dirty), 위험하며(dangerous), 어려운(demanding)' 건설산업에 대한 인식을 '전문적(professional)이고, 생산적(productive)이며 혁신적(progressive)'인 것으로 전환을 가져온 것으로 평가

* 출처: George Ofori, Evelyn Teo, Imelda Tjandra(2011), A decade of Change and Improvement in Singapore Construction Industry: Review of Construction 21.

- 동 운동의 긍정적 효과에 대해 건설사, 주요 발주기관 등을 대상으로 조사한 결과 6대 전략분야에 대해 효과적으로 인식하고 있음(평균 2.16, 5점 척도로 1에 가까워질수록 효과적)
- 그러나 설계, 시공, 운용 장비의 통합을 통한 불필요한 작업이나 예측 불가능한 위험의 감소와 건설현장에서의 안전요인 저감 등의 요인이 해결해야 할 과제로 남음

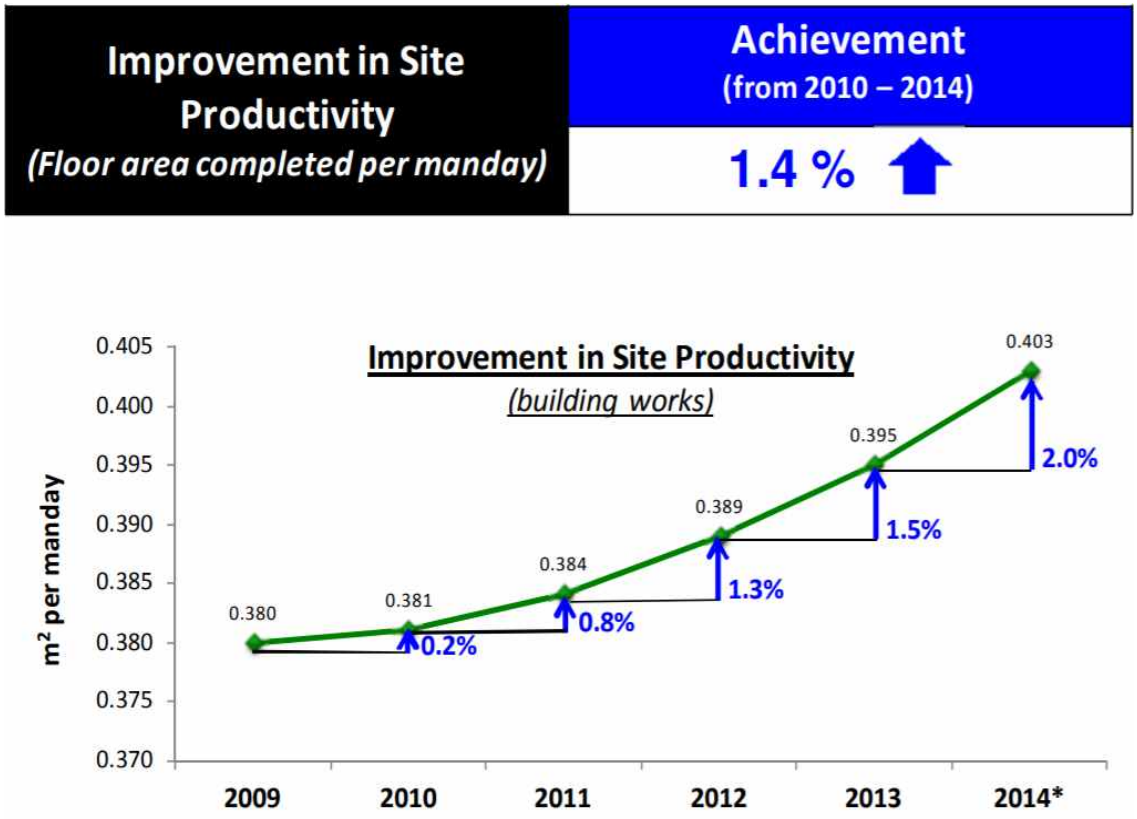
□ **싱가포르는 '20년까지 건설부문의 생산성 2~3% 향상을 목표로 'Construction Productivity Roadmap'을 수립하였으며, 현재 2차 로드맵 추진 중**

○ 'Construction Productivity Roadmap'은 혁신적인 건설기업과 숙련된 기술인력의 주도 하에 고도로 통합되며 기술적으로 진보한 건설산업을 구축하는 것을 비전으로 함

- 싱가포르 건설부문 생산성 향상을 위해 국가 생산성 및 지속가능 교육위원회(NPCEC, National Productivity and Continual Council)에서 '10년 11월 승인
- 저숙련·저비용 인력 수요 규제, 건설인력의 역량 향상, 노동력 절감형 기술보급을 위한 규제·기준 마련, 신기술 적용 확산과 역량개발을 위한 재정지원
  - MYE 비율통제, 외국인 노동자에 대한 추가분담금(levy), 건설거래등록제도(Construction Registration of Tradesmen Scheme), 건설기술인증제도 등 제도적 개선을 통해 저숙련 외국인 노동자 인력 유입을 규제하고 건설인력의 역량향상 도모
  - BIM 5개년 로드맵을 수립하여 건설 부문의 자동화 도입을 확산하였으며, '12년부터 모든 공공부문의 건설 프로젝트에 BIM 도입을 의무화
  - 건설생산성 및 역량기금(Construction Productivity & Capability Fund, CPCF)을 강화하여 자금 지원대상과 규모, 수준을 높여 건설업체가 노동을 신기술로 대체할 수 있도록 지원

○ 제1차 로드맵('10~'15년)에서는 을 통해 '10년 대비 1.4%의 건설생산성 향상

- '09년 현장생산성은 0.380㎡/manday에서 '14년에는 0.403㎡/manday로 향상
- 로드맵 착수 이후 매년 현장생산성의 증가폭이 상승하였으며, 동 기간 동안 약 1.4%의 현장생산성이 향상된 것을 확인



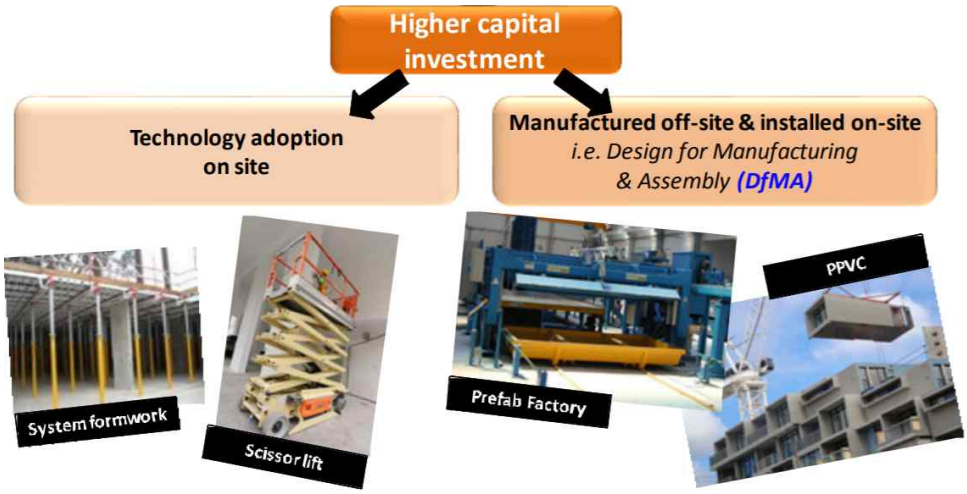
자료: BCA(2015), Briefing on Revised PQMV2 Framework and the 2nd Construction Productivity Roadmap

[그림 2-15] 싱가포르 제1차 Construction Productivity Roadmap 성과(건설 생산성 향상)

○ '15년 11월 발표된 제2차 Construction Roadmap은 '20년까지 평균 2~3% 건설생산성 향상을 목표로 노동인력의 질 향상, 자금투자 강화, 건설분야 가치사슬의 통합 강화의 3개 분야에 초점을 둠

- 노동인력의 향상을 위해 지속적으로 숙련된 건설인력을 확보하는 한편, 전문 기술학교, 대학, 산업체가 연계하여 교육프로그램을 확충하고 관련 인력 양성을 위한 장학금 제도 확대
- on-site 현장에서의 첨단기술도입과 off-site에서 제작하여 on-site에 적용 기술 확대를 위한 자금 투자를 강화

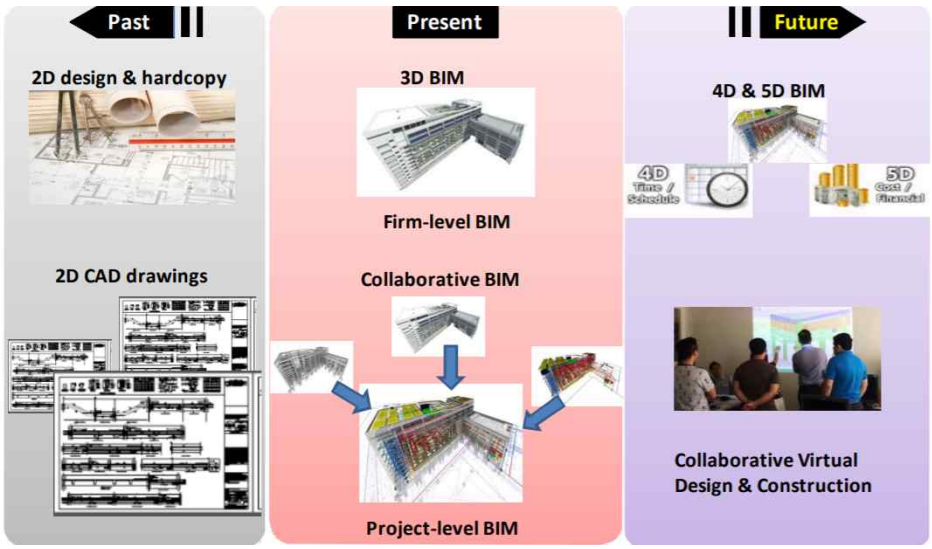
- 공공분야에서 첨단기술개발 로드맵, 생산성 향상 프레임워크, 건설업체의 첨단기술 도입에 대한 인센티브제도를 확대
- 민간업체에서는 정부의 자금 지원을 통한 기술도입으로 생산성 향상을 추구



자료: BCA(2015), Briefing on Revised PQMV2 Framework and the 2nd Construction Productivity Roadmap

[그림 2-16] 싱가포르 제2차 Construction Productivity Roadmap의 on-site/off-site 제작기술 지원

- 현재 개별 기업 혹은 프로젝트 단위에서 부분적으로 적용되는 BIM을 확대하여 설계단계에서부터 시공, 유지관리에 이르기까지 가상시뮬레이션이 가능하도록 하여 건설산업의 가치사슬 통합을 유도



자료: BCA(2015), Briefing on Revised PQMV2 Framework and the 2nd Construction Productivity Roadmap

[그림 2-17] 싱가포르 제2차 Construction Productivity Roadmap의 가치사슬의 통합

○ 제2차 Construction Roadmap에서는 향후 3년간 약 450백만 달러를 투자하여 약 7,000개 건설업체를 지원할 계획

* 출처: Lin Yanxing(2016), BCA's Strategic Priorities & Initiatives in FY16

□ BCA는 '16년 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 핵심기술분야를 선정하고 기술개발 로드맵을 발표

○ BCA는 건설생산성과 자원효율성 향상을 위한 혁신과 신기술개발을 위해 '16년 10월 기술개발로드맵을 발표

- 건설혁신을 위한 7대 기술분야로 DfMA(Design for Manufacturing and Assembly), 자동화 장비 및 로봇, 정보통신기술, BIM/가상 설계 및 시공(VDC), 3D 프린팅, 고성능 건설재료, 토목 분야를 선정

<표 2-13> BCA 선정 7대 건설핵심기술 분야

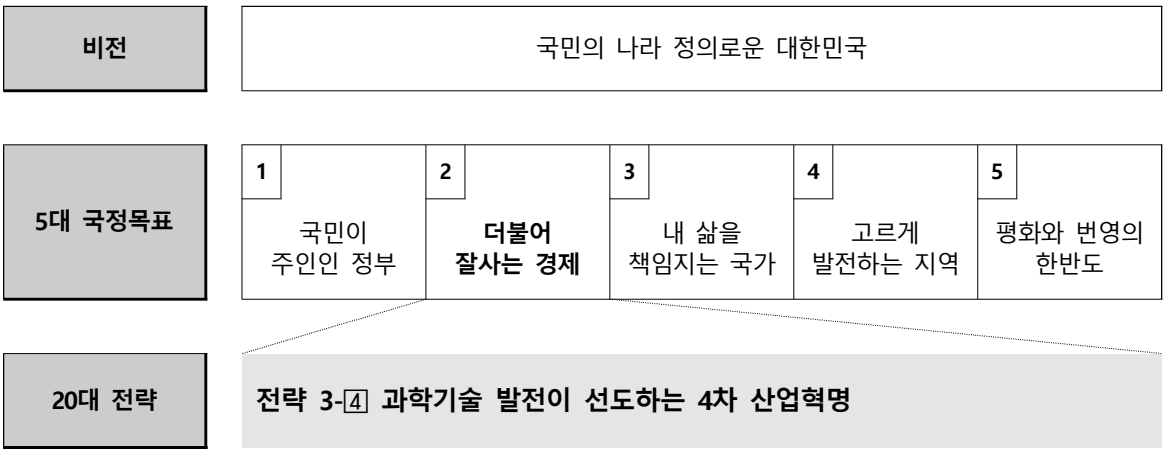
7대 분야	예시	혜택
DfMA	• 공장에서 사전제작시공 • 프리캐스트 콘크리트, 부재, 철골, 융복합 구조부재	• 측정가능 • 노동력·소음 절감 • 건설의 질 향상
자동화 장비 및 로봇	• 로봇을 이용한 거점중심 제작생산라인 • 자동화 장비	• 24/7 상시 작업 가능 • 작업의 속도, 정확성, 효율성 향상
정보통신기술	• 문제해결 및 예측을 위한 데이터분석 • 물류 프로세스의 지연과 문제 예측을 위한 시뮬레이션	• 커뮤니케이션과 데이터 공유의 신속성 • 작업오류 감소 • 정확하고 실시간 정보 접근성의 용이
BIM/가상 설계 및 시공(VDC)	• 디자인 최적화, 의사결정, 문제해결을 위한 AI를 활용한 스마트 BIM • 시공 및 유지관리를 위한 가상/증강현실 기술	• 통합적 디자인(holistic design)과 건설 프로세스 • 커뮤니케이션과 협력 강화 • 시각화 강화
3D 프린팅	• 다양한 재료를 이용한 맞춤형 구조의 제작·인쇄	• 24/7 상시 작업가능 • 거푸집공사 감소
고성능 건설재료	• 초고성능 콘크리트 • 대체구조재 • 내구성있는 부식방지 코팅	• 재료의 무게와 사용량 감소 • 유지관리 용이 • 장수명화
토목	• 초장대교량, 지하대공간용 프리캐스트 부재	• 주변 오염 최소화 • 건설 공기 단축

자료: BCA(2017)

【대한민국】

□ **문재인 정부는 「100대 국정과제」를 통해 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 통해 더불어 잘사는 경제 구축을 목표로 설정**

○ 문재인 정부는 '국민의 나라 정의로운 대한민국'이라는 비전달성을 위해 '더불어 잘사는 경제'를 5대 국정목표 중 하나로 설정하고 과학기술 발전이 선도하는 4차 선업혁명을 20대 전략으로 수립



[그림 2-18] 문재인 정부의 국정목표

○ 국정과제의 실현을 위해 건설분야에서 4차 산업혁명을 확산·촉진할 수 있는 기술개발이 필요

[국정과제 32 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력을 강화]

- 건설산업을 양질의 일자리로 전환하고 건설산업 경쟁력을 강화하기 위해 4차 산업혁명에 따른 기술을 확보하고 관련 유망분야를 육성

[국정과제 33 소프트웨어 강국, ICT 르네상스로 4차 산업혁명 선도기반 구축]

- ICT 기술혁신과 건설산업 간 융합으로 새로운 성장동력을 창출하여 경제성장을 견인
- ICT 기술과 결합한 신규 서비스를 창출
- 건설 산업분야에서 4차 산업혁명 촉진을 위한 인프라를 구축

[국정과제 ㉞ 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴 육성]

- 제조경쟁력과 ICT, 서비스 등의 융합을 통해 건설분야 미래 신산업 육성
- 4차 산업혁명에 필요한 R&D 지원하여 첨단기술과 융복합 추진전략 마련
- 지능형 로봇 등 신산업 분야의 핵심 원천기술을 확보하여 시장선점

□ **「제3차 국가과학기술기본계획('13~'17)」에서는 건물안전성 향상, 대체노동력 확보를 위한 시공자동화를 목표로 국가 중점과학기술로 서비스 로봇(건설) 선정**

○ 동 계획은 과학기술기본법에 따라 매 5년마다 수립하는 법정 중장기계획이자 과학기술분야 최상위계획으로 연구개발투자를 통한 경제성장과 성과의 활용·확산에 이르기까지 과학기술혁신의 전주기를 포괄

○ 국가 R&D 투자 확대 및 효율화하여 국가전략기술개발, 중장기창의역량 강화, 신산업 창출 지원, 일자리창출을 통해 R&D 경제성장기여도를 증대하고, 일자리 창출과 과학기술혁신역량 세계 TOP을 달성하여 '창조적 과학기술로 여는 희망의 새시대'를 비전으로 함

○ 과학기술 기반의 경제부흥과 국민 삶의 질 향상을 목표로 5대 분야의 국가전략기술 120개를 선정하였으며, 이중 서비스 로봇기술(건설)은 30대 중점기술에 해당

- 깨끗하고 편리한 환경분야의 생활공간 편의성 향상을 위한 전략기술로 '서비스 로봇기술(건설)'이 선정되었으며 기술적 실현시기는 '20년, 사회적 실현시기는 '27년으로 예측하여 해당 기술을 확보하기 위한 기술개발이 시급

□ **「제4차 국가과학기술기본계획('18~'22)」에서는 4차 산업혁명과 같은 환경변화에 대응하여 정부 R&D 시스템을 창의·선도형 R&D 시스템으로 전환하기 위한 과제를 발굴하는데 중점**

○ 파괴적 혁신을 일으키는 'R&D 다운 R&D'로 전환, 융합과 협력이 활발히 일어나는 혁신생태계를 조성, 혁신성장동력 육성으로 신산업과 일자리 창출을 가속화, 삶의 질 향상과 글로벌 이슈 해결에 기여를 확대하는데 중점

○ 기술, 산업 간 융합을 촉진하기 위한 범부처 융합 기본계획을 수립하고 R&D 과정에서 축적되는 연구데이터를 빅데이터화하여 공유·활용할 수 있는 체계를 구축

○ R&D 기획-수행-평가 과정에 지식재산정보 활용 및 IP 전문가 참여를 확대하고 스마트홈, 헬스케어 등 4차 산업혁명 유망분야에서 고품질의 특허와 국제표준을 확보

○ 미래유망기술들이 적기에 개발될 수 있도록 R&D 예비타당성조사 소요기간을 단축하고 혁신성장 분야를 중심으로 기술-인력양성-제도-정책을 종합적으로 지원하는 '패키지형 연구개발 투자플랫폼'을 도입

○ 인공지능, 초고성능 컴퓨팅 등의 핵심기술을 확보하고 10기가 인터넷 및 5G 서비스 조기상용화, IoT 서비스 확산, 공공데이터 개방 확대 등을 통해 4차 산업혁명을 가속화

○ SW 산업, 친환경·스마트카, 초실감 콘텐츠, 친환경 해양플랜트, 스마트 농업 등 미래유망산업의 성장동력화를 촉진하고 반도체, 디스플레이, 웨어러블 디바이스 등 미래 유망분야 기반강화에 필요한 신소재·부품산업을 고도화

○ 미세먼지 대응 중점기술 개발, 스마트 수질 제어기술 개발, 폐기물·토양·해양 환경 관리기술 고도화 등을 통해 청정한 환경을 구현하고 스마트시티 모델 개발, 차세대 지능형 교통체계 개발 등을 통해 편리한 환경을 조성

□ **「제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)」에서는 2025년까지 BIM, AI 적용한 건설자동화 기술 개발을 목표로하는 "Smart Construction 2025"를 제시**

○ 동 계획은 건설기술 정책·제도 선진화 및 연구개발 촉진 등을 통해 기술수준을 향상시키고 경쟁력을 제고하기 위해 수립하는 법정계획

- 경제구조와 인구구조변화에 따른 투자 감소, 생산인력 감소에 대응하기 위해 경험중심의 노동집약적 건설을 데이터 기반 자동화된 산업으로 진화시켜 고부가 일자리 창출, 국민 안전·삶의 질 향상을 강조

○ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발, 고부가 산업 육성, 건설 안전 강화를 통해 건설 노동생산성 40% 향상, 사망자 수 30% 감소, 건설 Eng. 근로시간 단축 20%

○ 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 산업 개편·육성, 건설인력 교육, 제도의 개선을 통해 건설엔지니어링 해외수주 100% 확대

□ **「제5차 건설기술진흥기본계획('13~'17)」에서는 기존의 로우테크 이미지를 벗고 첨단 기술과 융합을 통해 '건설기술의 韓流로 여는 5대 건설강국'으로의 도약을 추진**

○ 동 계획은 건설기술 정책·제도 선진화 및 연구개발 촉진 등을 통해 기술수준을 향상하고 경쟁력을 제고하기 위해 수립하는 법정계획

- 국가 기간산업인 건설산업을 급변하는 글로벌 시장에서 고부가가치 산업으로 육성하기 위해 기술혁신을 통한 생산성 혁신 수반을 강조

○ '건설 韓流로 여는 5대 건설강국 도약'을 비전으로 건설 ENG 해외수주비율 확대와 건설기업 설계경쟁력 강화를 목표로 설정

○ 목표 달성을 위해 글로벌 시장을 겨냥한 역량을 결집하고 건설단계별 소프트 역량강화, 건설기술경쟁력 기반 구축이라는 3대전략과 13대 과제를 추진

□ **「제4차 건설산업진흥기본계획('13~'17)」에서는 건설산업의 지속발전 기반 강화를 위해 건설산업의 효율성을 강화하고 성장동력을 확대를 목표로 설정**

○ 동 계획은 건설산업 발전을 위해 건설산업의 정책기조와 제도개선 방향을 제시하는 5년 단위의 법정계획

- 건설산업 저성장 시대에 대비하여 내실을 다지고 외연을 확대해 건설산업 참여자들의 동반성장 추진을 강조

○ 건설산업의 지속발전 기반강화를 비전으로 설정하고, 건설산업의 효율성 강화 및 산업구조 건실화, 건설산업의 성장동력 강화, 공생발전 및 선진 건설문화 장착이라는 3대 목표 7대 중점과제 20개 추진방안 수립

□ **「국토교통 R&D 중장기전략('14~'23)」은 '국토교통 기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치창조'를 비전으로 설정하고 미래 인프라 패러다임 전환에 대비한 세계 선도기술 확보를 지원**

○ 동 전략은 국토교통산업이 국가 경제에 기여하기 위해 노동·자본 중심의 산업적 한계를 극복하기 위해 국토교통 R&D 대표브랜드를 발굴하여 지원하고자 함

- 국토교통 산업이 성숙기에 진입함에 따라 기술혁신을 전제로 한 미래의 인프라 패러다임 전환은 필수적

○ ‘국토교통 기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치창조’를 비전으로 설정하고 ’23년까지 7만 5천 개 일자리 창출, 11개 세계 선도기술 및 8개 글로벌 기업 육성, 재해 및 사고 20% 저감을 목표로 설정

- ’23년까지 ‘건설 엔지니어링 효율성 제고를 위한 건설 시뮬레이터’, ‘ICT, 공정, 재료, 센서 등의 결합으로 원격 시공·운영기술’ 등 건설 분야에서 독자적 핵심기술 확보를 목표로 함

□ **’18년 발표한 「건설산업 혁신방안」은 기술혁신, 생산구조 혁신, 시장질서 혁신, 일자리 혁신을 바탕으로 2022년까지 건설산업의 근본적인 체질 개선 및 지속 가능한 성장을 이루어 세계 5대 건설강국으로 도약하는 것을 목표로 설정**

○ 1조원 규모의 R&D 투자(~’27)를 통해 4차 산업혁명에 대비하여 건설 자동화, 스마트 유지관리, 스마트 건설재료, 메가스트럭처 및 플랜트 등 첨단 건설기술을 개발하여 현장 보급 지원

○ 건설 신기술 지정제도 활성화를 위해 지정비용 경감 및 우수 신기술 연계 발주로 확대

○ BIM 등 4차 산업혁명 핵심기술을 건축 개념설계뿐만 아니라 대형 토목사업 등 건축 전 분야로 확대·적용하는 것을 의무화하고, 건설자동화 패키지형 시범사업 추진

□ **「스마트 건설기술 로드맵(’18.10)」은 건설 생산성 50% 향상, 건설 안전성 향상, 고부가가치 스타트업 500개 창업 등 바탕으로 2025년까지 시장에 스마트 건설기술을 정착하였고 ’30년에 건설 자동화를 실현하는 것을 목표로 설정**

○ 스마트 건설기술 도입의 진입장벽이 되는 규제를 완화하고 발주제도를 개선하여 민간에서 자율적으로 기술을 개발할 수 있도록 여건 조성

○ 주요 발주청(LH, 토공)의 BIM 의무화, 제도 정비 등을 바탕으로 스마트 기술 시범사업을 시행하고 성과를 공유하여 BIM 확산여건 마련

○ 건설기술연구원에서 ‘스마트건설 지원센터’를 설치하고 새로운 교육과정 신설 등을 통하여 스마트 건설인재 육성, 현행 건설사업정보시스템을 지식 플랫폼화하는 등 지속 가능한 건설산업 생태계 구축 추진

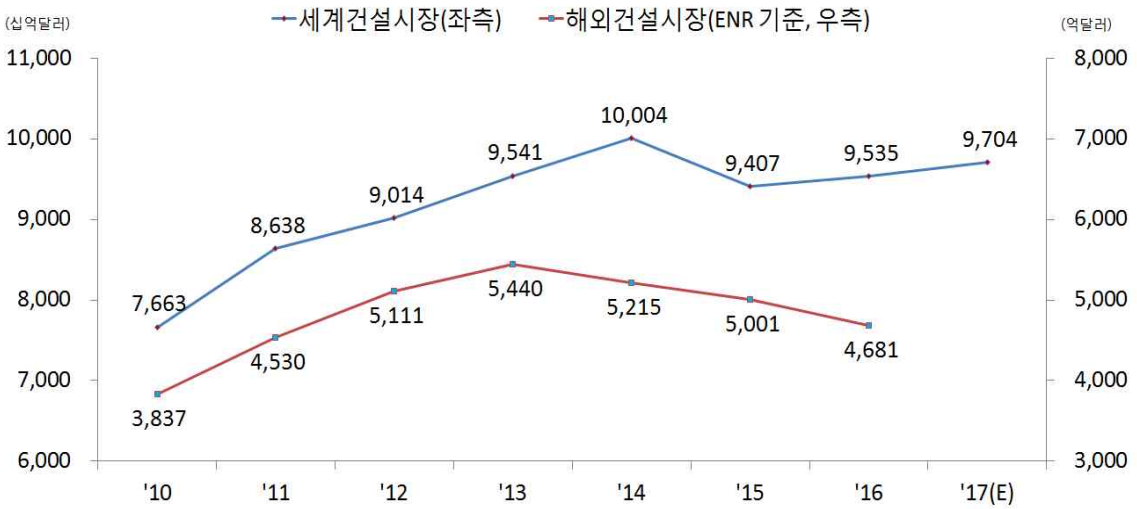
3절 경제적 환경분석

□ 세계 건설시장 규모는 '10년 이후 연평균 3.8% 증가율로 성장하여 '17년 9.7조 달러로 추정

○ 세계 건설시장의 규모는 2012년 9.0조 달러에서 2017년 9.7조 달러로 2015년을 제외하고 성장 추세

○ 해외건설시장 규모는 2016년 4,681억 달러로 2013년(5,440억 달러) 이후 하락 추세

- 유가하락 이후 중동지역의 발주규모가 감소하였을 뿐만 아니라 전 세계적으로 자국 업체를 선호하는 경향이 확대되면서 해외건설시장 규모 성장에 악영향



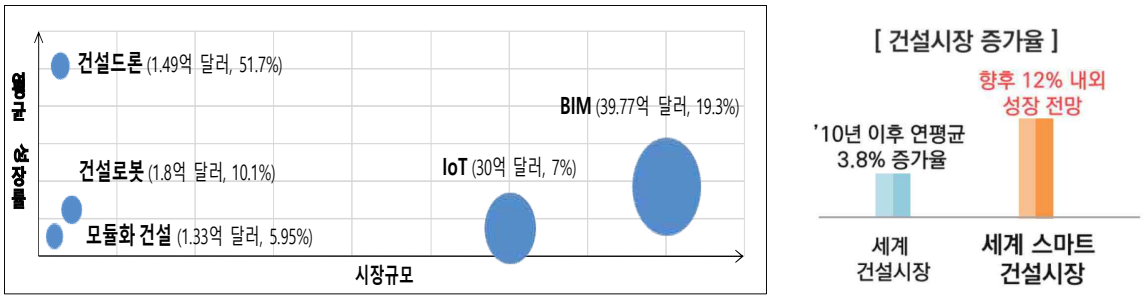
출처: 한국CM협회(2017), 2017년 하반기 국내·외 건설시장 전망 설명회; ENR(2017), The Top 250 International Contractors

[그림 2-19] 세계건설시장과 해외건설시장 추이

□ 4차 산업혁명으로 인해 성장하는 세계 스마트 건설시장

○ 4차 산업혁명에 따른 기술발달로 BIM 설계, ICT 기반 건설 자동화 시장이 대폭 확대되는 등 글로벌 기업 간 각축이 심화될 것으로 예상

- '16년 세계 스마트 건설시장 규모는 약 100억 달러 수준으로 BIM 기술(19.3%)이 현재 시장규모는 가장 크며, 연평균 성장률은 건설드론(51.7%)이 가장 높은 등 연평균 12% 성장 전망



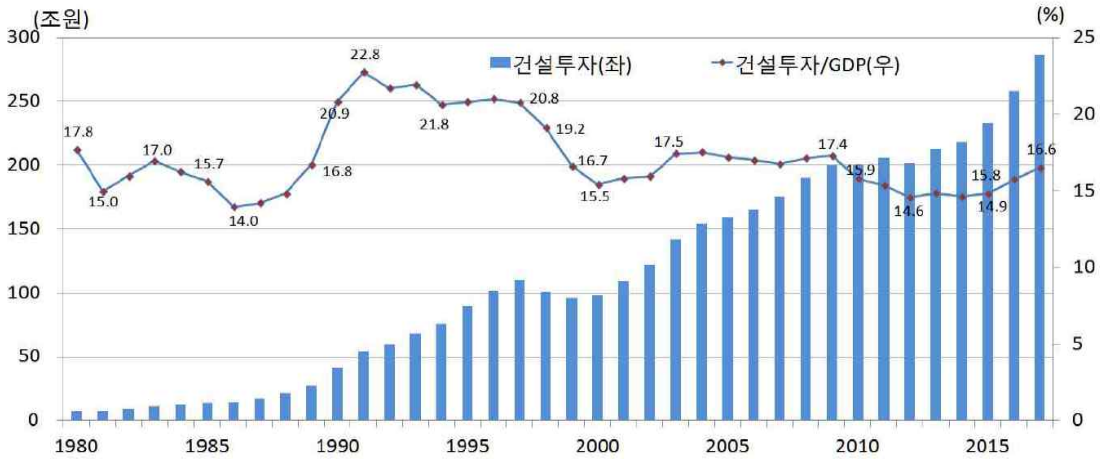
출처: 스마트 건설기술 로드맵(안)(18.10)

[그림 2-20] 스마트 건설기술 시장 규모 및 성장률

□ **국내 건설산업은 국내총생산액의 16.6%를 차지하며 취업자 수는 199만 명에 달하는 기간산업**

○ 국내총생산액 대비 건설투자 비중은 1990년대부터 20% 수준으로 점차 낮아지고 있으나, 국내총생산액의 증가로 인해 건설투자 총액 역시 꾸준히 증가 추세

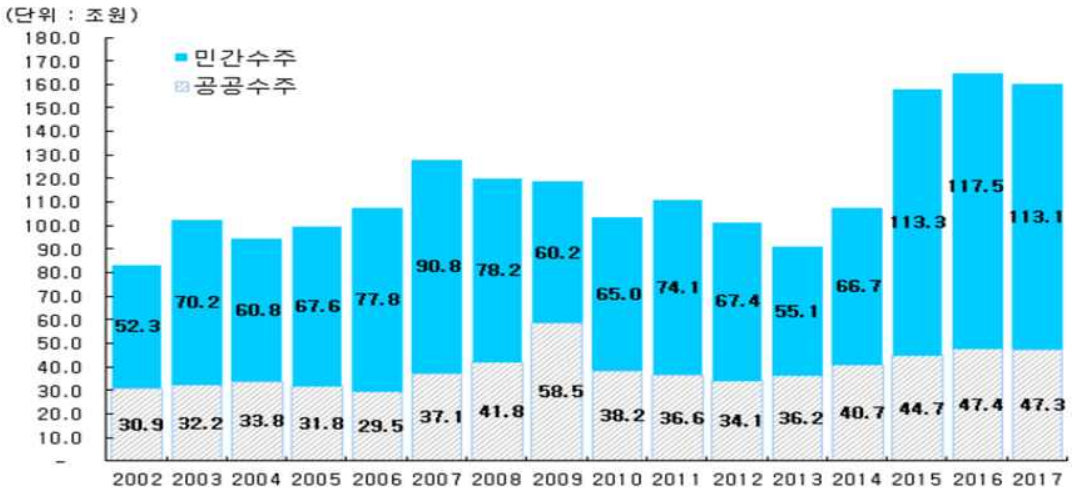
- 국내 건설업의 경우, 과도하게 주택시장에 의존하고 있어, 국내 주택시장의 불확실성 및 시장규모의 한계 등으로 인해 지속적인 성장 불투명



출처: 박형일, 정의준(2018), Korea Industry 2030: 건설산업; 한국은행

[그림 2-21] 연도별 GDP대비 건설투자 비중 추이

○ 2017년 공공수주는 건축수주가 감소한 영향으로 전년대비 0.3% 감소한 47.3조 원을 기록하였으며 그 중 토목 수주는 고속도로 수주로 인해 전년도보다 1.4% 증가하여, 역대 세 번째로 높은 27.6조 원을 기록



출처: 이홍일, 박철한(2018), 2018년 하반기 건설경기 전망; 대한건설협회(2018)

[그림 2-22] 발주 부문별 국내 건설수주 추이

□ 해외 건설시장에서 7.3%의 점유율로 국가별 순위에서 5위 기록

○ 해외 건설의 경우 1965년 태국의 파타니-나리티왓 고속도로 건설을 시작으로 2016년 730억 달러를 수주하는 등 짧은 기간 급속히 성장하였으며, 2016년 해외 건설 매출액이 339억 달러로 해외 건설 시장의 7.3%를 점유하여 국가별 순위에서 5위를 차지



출처: 박형일, 정의준(2018), Korea Industry 2030: 건설산업; 한국은행

[그림 2-23] 국가별 해외건설 매출순위

- 국가별 해외건설 매출액으로는 중국(987억 달러), 스페인(590억 달러), 미국(419억 달러), 프랑스(417억 달러), 한국(339억 달러) 순이며 중국의 경우 해외건설 매출액의 21.1%를 차지

- 중국은 저비용 경쟁력(저렴한 공사비, 공기 단축 등)을 활용하여 개발도상국의 사업을 수주해왔으며 최근 유럽 등 선진국 시장 진출 및 선진 기업 대상의 인수·합병을 추진하여 규모를 키우는 추세

- 미국의 경우 IoT 등 스마트기술 첨단화 및 설계·엔지니어링 역량 강화를 통한 시장 경쟁력 확보

  · IoT 등 스마트기술을 통해 건설현장의 혁신을 유도하여 장비, 노동인력에 대한 모니터링, 웨어러블 디바이스9, 드론 측량 및 현장 정보의 수집과 분석에서 빅데이터와 인공지능의 활용을 통해 기술 첨단화 시도

  · 고유가 시기에는 해외 설계 및 엔지니어링 비중이 감소하였으나 2014년 유가 급락기부터 증가하여 2015년부터 30% 이상을 점유

□ 건설 투자는 2017년에는 2018년부터 급격히 둔화되는 양상

○ 2017년 건설투자는 토목부문 투자는 부진하였으나, 주거용 및 비주거용 건축 투자로 인해 7.6% 증가

- 토목 투자는 2017년 3.5% 감소하여, 0.3% 소폭 증가한 2015년을 제외하고 2010년부터 꾸준히 감소하여, 1995년 이후 가장 낮은 66.2조 원 기록

○ 2018년 1/4분기 투자는 전년 동기 대비 1.8% 증가하여, 3년 간 연속 증가세를 지속하고 있으나, 증가추세는 3년 간 최저치를 기록하는 등 급격히 둔화된 양상

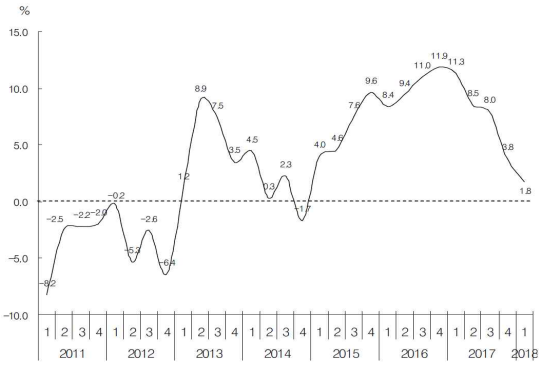
<표 2-14> 최근 건설투자 추이

(단위: 조 원, 전년 동기비 %)

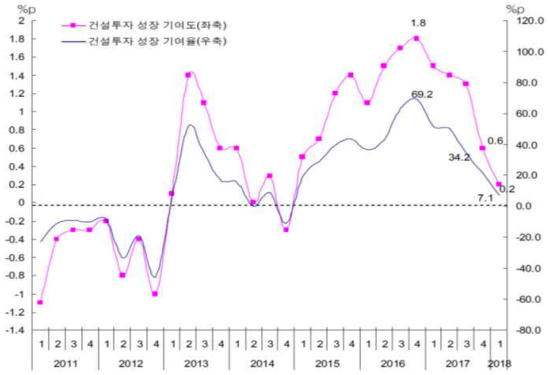
구분		금액(조 원, 2010년 실질가격)				증감률(%, 전년 대비)			
		건설투자	주거용 건물	비주거용 건물	토목 건설	건설투자	주거용 건물	비주거용 건물	토목 건설
2017	1/4	49.5	19.5	16.8	31.1	11.3	20.7	12.4	-1.5
	2/4	67.1	24.4	24.4	18.2	8.5	16.0	11.6	-3.6
	3/4	67.0	24.5	26.3	16.0	8.0	15.2	9.0	-3.3
	4/4	67.6	24.3	24.2	18.9	3.8	9.5	5.6	-4.8
2017년		251.1	92.7	91.7	66.2	7.6	14.9	9.4	-3.5
2018. 1/4		50.4	20.7	16.8	12.7	1.8	3.5	6.5	-3.1

출처 : 한국은행(2018)

○ 건설투자 증가세의 급격한 둔화로 경제(GDP) 성장 기여도는 1%대에서 0.2%대로 하락하였으며 상장 기여율은 2017년 상반기 50% 이상에서 2017년 하반기 20～30%로, 2018년 1/4분기에는 7.1%로 크게 하락



[그림 2-24] 건설투자 증감률 추이



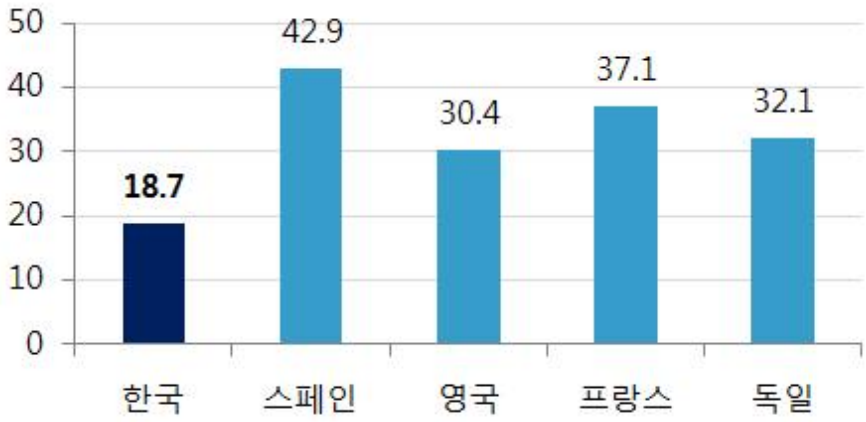
[그림 2-25] 경제성장 기여도 및 기여율 추이

□ 국내 건설업의 생산성은 선진국의 절반 수준으로 20년 간 정체된 상황

○ 맥킨지글로벌연구소(2017)에 따르면 타 산업의 노동시간 당 부가가치가 20년 간 연평균 4% 늘어난 것에 비해 건설업은 정체되고 있는 실정

- 미국, 중국, 일본 등 건설업 규모가 큰 세계 41개국의 생산성을 분석한 결과, 한국은 19위를 기록하여 선진국에 비해 노동생산성이 저조한 상황

○ 한국 건설업의 노동시간당 부가가치는 18.7달러로, 스페인(42.9달러), 프랑스(37.1달러), 영국(30.4달러), 독일(32.1달러) 등 독일·영국 등 유럽 선진국의 절반 가량에 미치는 수준으로 개도국과의 기술격차가 좁혀질 경우 국내기업의 급격한 입지위축 우려



자료 : 건설산업 혁신방안('18.6)

[그림 2-26] 건설업 노동생산성(단위: $/시간, '15)

□ 국내 건설업의 글로벌 종합 경쟁력은 7위로 건설기업 역량은 6위이나 건설 인프라는 11위로 저조한 수준

○ 2015년 발표된 ENR지에 따르면, 19개 국가를 대상으로 실시한 글로벌 건설 경쟁력 종합평가에 의하면 미국, 중국, 스페인 순이었으며 우리나라는 7위를 기록

- 국가별 건설 인프라 경쟁력의 경우 미국, 독일, 일본 순이었으며 우리나라는 2014년과 동일한 11위 수준
- 국가별 건설기업 역량 평가에서 우리나라는 2014년과 동일한 6위를 기록하였으며 미국(1위), 중국(2위), 스페인(3위) 순으로

<표 2-15> 국가별 건설산업 경쟁력 종합 평가 결과(2015년 기준)

순위	국가별 건설 인프라 경쟁력 평가		국가별 건설기업 역량 평가		글로벌 건설 경쟁력 종합 평가	
	2015년	2014년	2015년	2014년	2015년	2014년
1	U.S.A.	U.S.A.	U.S.A.	U.S.A.	U.S.A.	U.S.A.
2	Germany	Japan	China	China	China	Germany
3	Japan	Germany	Spain	Spain	Spain	China
4	U.K.	U.K.	Turkey	France	Germany	Spain
5	Netherlands	U.A.E.	France	Germany	France	France
6	U.A.E.	Sweden	S. Korea	S. Korea	U.K.	Netherlands
7	Denmark	Netherlands	Italy	Italy	S. Korea	U.K.
8	Sweden	Denmark	Germany	Turkey	Japan	S. Korea
9	Canada	France	U.K.	Netherlands	Netherlands	Japan
10	France	Canada	Netherlands	Sweden	Turkey	Sweden
	S. Koera(11위)	S. Koera(11위)				

출처: 박환표 (2016, 건설산업, 글로벌 경쟁력을 확보하라)

- 국가별 건설 인프라 경쟁력 평가에서 우리나라의 건설시장 안정성은 전년 대비 2단계 하락(9위→11위)하였으나 건설 제도(13위→12위)와 인프라(11위→10위) 등의 지표는 1단계씩 상승
- 건설 리스크(4위→10위)는 6단계 하락하여 인력·자재 조달 등에 어려움을 보여주고 있으며, 정책 결정의 투명성(18위), 부패인식지수(13위)는 여전히 하위권에 속하여 지속적인 개선 필요

<표 2-16> 국가별 건설 인프라 경쟁력의 세부 항목 순위

순위	국가별 건설 인프라 경쟁력 지표					
	건설시장 안전성		건설 제도		인프라	
	2015년	2014년	2015년	2014년	2015년	2014년
1	China	China	Denmark	Sweden	Japan	Japan
2	U.S.A.	U.S.A.	Sweden	Denmark	Germany	Germany
3	Japan	Japan	U.A.E.	U.A.E.	Netherlands	Netherlands
4	U.K.	U.K.	U.K	U.K.	U.K.	U.S.A
5	Germany	Germany	Germany	Germany	U.S.A.	U.K
	S. Koera(11)	S. Koera(9)	S. Koera(12)	S. Koera(13)	S. Koera(10)	S. Koera(11_

출처: 박환표 (2016, 건설산업, 글로벌 경쟁력을 확보하라)

- 국가별 건설기업 역량 평가에서 설계 경쟁력은 5단계 상승한 11위이나, 설계 생산성은 9위로 전체 매출액 대비 해외 매출액 비중이 114위로 평가되어 설계 생산성 제고 필요

<표 2-17> 국가별 건설기업의 역량 평가 세부 항목 순위

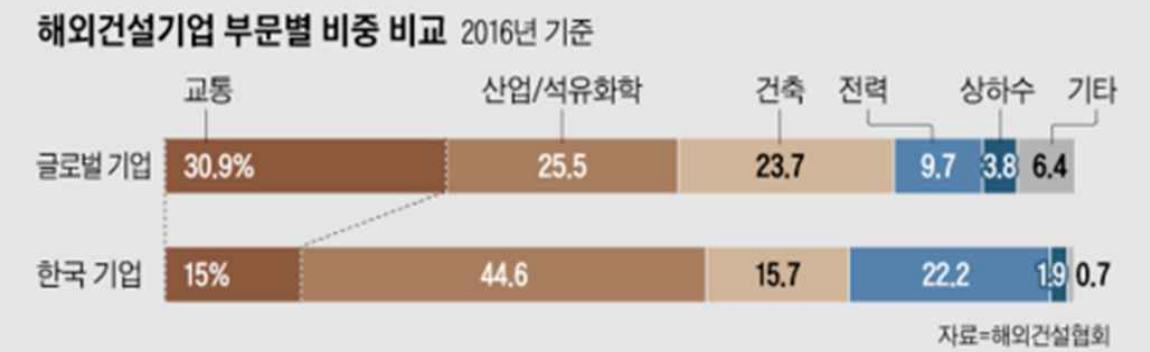
순위	국가별 건설기업의 역량 평가 세부 항목 순위					
	시공 경쟁력		설계 경쟁력		가격 경쟁력	
	2015년	2014년	2015년	2014년	2015년	2014년
1	China	China	U.S.A.	U.S.A.	India	India
2	Spain	Spain	Netherlands	Netherlands	Egypt	Egypt
3	U.S.A	U.S.A	Canada	U.K.	China	China
4	France	Germany	Turkey	Spain	Turkey	Turkey
5	S. Korea	France	U.K.	Egypt	S. Korea	S. Korea
		S. Koera(9)	S. Koera(12)	S. Koera(13)		

출처: 박환표 (2016, 건설산업, 글로벌 경쟁력을 확보하라)

□ 해외시장에서 경제성 및 비중이 큰 도로·교통부문에서의 비중 약세

○ 2016년 기준 해외건설기업부문에서 글로벌 기업은 도로·교통분야(30.9%), 건축(23.7%)로 도로건설 및 건축 분야에서 전체 시장의 50% 이상을 차지하고 있으나, 한국 기업의 경우 도로·교통분야(15%), 건축(15.7%)의 비중이 낮아 매출액이 크지 않은 실정

- 발주가 많아 수익성이 높은 도로·교통과 건축부문의 경우, 해외 진출한 국내기업의 30.7% 정도만 수주를 받는 상황이라 수익성이 높은 부문에서 약진



자료 : 조선일보(2018.02.05.) 세계경기 호황에 1.5조 달러 트럼프 SOC도 시작된다는데...웃지 못하는 국내 건설사

[그림 2-27] 2016년 해외건설기업 부문별 비중 비교

□ 주 52시간 근무로 인한 국내 건설기업의 경영악화 및 해외시장 경쟁력 약화 우려

○ 근무시간이 줄어듦에 따라 공사기간 및 고용해야 하는 근로자의 수도 늘어나게 되면서 공사비용도 증대되어 기업의 경영난 및 경쟁력 악화가 우려되는 상황



출처: 조선일보(2018.03.19.), 눈앞에 온 근로단축시간, 혼돈에 빠진 한국 기업들

[그림 2-28] 근로시간 단축에 타격받는 주요 업종 및 근로시간 단축이 기업에 미치는 영향

- 건설산업연구원('18.6)에 따르면, 법정근로시간 단축으로 공사기간을 준수하기 위하여 인력을 충원할 경우, 총 공사비는 평균 4.3% 증가, 일부 현장은 총 공사비가 최대 14.5% 증가하는 것으로 분석

- 총 공사비 증가를 최소화하기 위해 근로자의 임금을 삭감하게 될 경우 관리직에서 13%, 기능직에서 8%의 임금이 삭감될 전망이며 이로 인해 노사 갈등의 심화 예상



출처: 건설산업연구원(18.6)

[그림 2-29] 법정근무시간 단축에 따른 비용의 증가를 최소화하기 위해 임금 삭감 전망

○ 해외건설현장의 경우, 현지국의 근로관계 법령과 계약조건 및 근무환경 등 해외의 특수성에 대한 고려 없이 국내와 동일한 주 52시간 근무를 적용해야 하기 때문에 해외건설업 수주경쟁력 약화



출처: 파이낸셜뉴스(2018.04.18.), 주 52시간 근로 앞둔 건설사.. 비용, 공사기간 급증 해외건설 비상

[그림 2-30] 해외건설현장에서의 인력 및 비용 변화

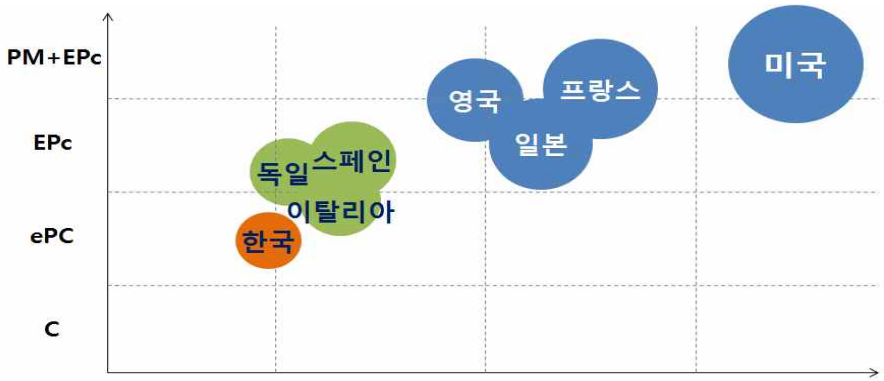
- 중동의 경우 높은 낮 기온으로 인해 밤부터 오전까지 대부분의 작업이 이루어지는 등 국내와 현장환경이 다름에도 불구하고 해외 건설현장의 환경적 특수성에 대한 고려 없이 법정근로시간을 적용하여 인력수급에 어려움 발생 가능성 존재
- 공기를 맞추기 위해서 인력충원이 불가피한 상황으로 이로 인해 인건비·간접비의 2배 이상 증가 가능성 및 공사 품질 하락 우려 존재
- 중국기업의 저가경쟁에서 견딜 수 있는 국내기업의 강점은 뛰어난 품질 및 공사기간에 대한 신뢰성이나, 법정근로기간이 줄어듦에 따라 가격증가 및 품질저하 발생 시 경쟁력 대폭 하락 가능성 존재

* 출처: 파이낸셜뉴스(2018.04.18.) '주 52시간 근로' 앞둔 건설사.. "비용·공사기간 급증" 해외건설 '비상'

□ **4차 산업혁명의 기초기술 개발은 글로벌 IT기업이 주도적으로 개발하고 있으며, 건설산업에 특화된 기술은 건설사가 아닌 건설장비기업 및 솔루션 기업이 주도**

○ 선진기업들은 4차 산업혁명 기술을 개발 및 도입하여 산업혁신을 주도

- 구글, 애플, 마이크로소프트 등은 인공지능, 빅데이터, 클라우드, AR, VR IoT 등 다양한 분야에 걸쳐 4차 산업혁명의 근간이 되는 기술개발을 선도
- 캐터필라, 코마츠, Trimble, Leica, Topcon 등 전통적인 건설관련 장비를 생산하던 방식에서 벗어나 건설산업 생산성 향상을 위해 첨단 기술을 도입
- Autodesk는 BIM 설계를 넘어 AR, VR, MR 기술을 바탕으로 가상의 3차원 계획도면 구현 및 정보공유 플랫폼의 형태로 기술개발
- Vinci, Hochtief, Bechtel 등의 건설사는 IoT 등을 건축 단계에 융합하기 위해 기획에서 설계, 시공, 운영까지 통합적 관리능력을 갖춘 EPC 기업으로 진화



[그림 2-31] 주요 국가들의 건설사업 운영모델 비교

○ 국내 건설사의 경우 국제 경쟁력은 높은 수준을 유지하고 있지만 단순시공이라는 한계에 봉착한 상태

- 시공능력에 비해 기획 및 설계능력은 여전히 낮은 수준에 머물고 있으며, 선진기업들의 첨단기술의 도입으로 시공경쟁력도 위협받는 실정
- 최근 대형 건설사를 중심으로 IT기업화 협업이 이루어지고 있으며, ICT기술의 도입을 통한 시공능력 향상을 추진

※ 드론 및 MMS를 이용한 건설현장 디지털화, 스마트 건설, 액션캠 현장관리 시스템 등을 도입

□ **건설산업의 발전방향은 지능화, 모듈화, 위치기반 등의 기술로 정의될 수 있으며 다양한 기술 간의 융합을 통해 건설산업의 혁신방안을 모색**

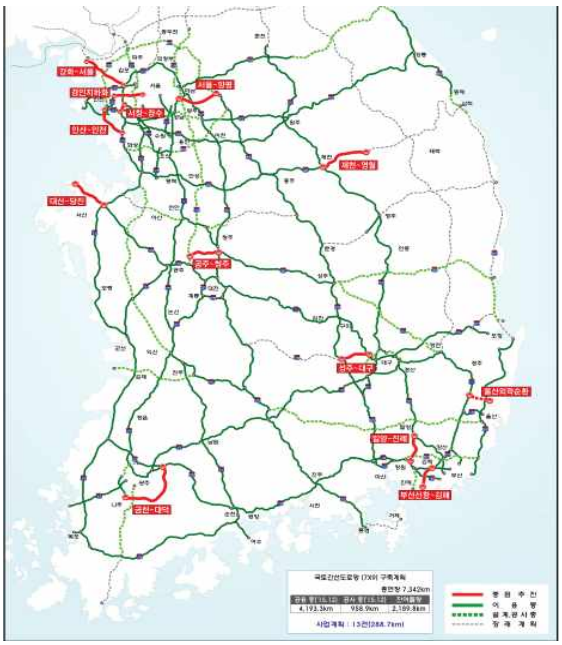
○ 4차 산업혁명 주요기술의 건설산업 도입을 위해서는 건설사만의 노력으로는 어려우며, 건설산업 내외의 협동연구가 주요 트렌드로 전망

- 건설사는 건설기반 지식을 제공하고 연구기관 및 기업은 ICBM 및 지능형 장비 제작기술 등을 제공하여 시너지 창출
- 전주기 정보관리를 위한 BIM, 지능형 건설장비, 드론 및 센서 기반 현장정보 수집기술, ICT 기술기반 정보활용 기술, 빅데이터 기반 건설사업 관리기술, 모듈화 기술 등의 주요 기술로 예상

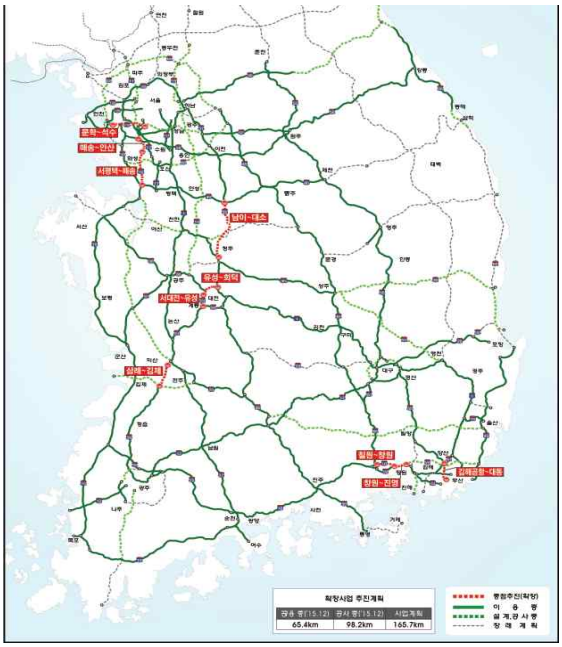
□ **본 사업의 기술개발을 통해 적용할 주요 국내 시장의 증가**

○ 2017년 국토교통부에서는 「고속도로 건설 5개년 계획('16~'20)」을 수립하여 경제성장, 도로 혼잡개선 등을 위해 2020년까지 고속도로 882㎞를 늘리고, 신규로 13개 노선 288.7㎞ 건설 추진 중

[신설구간]



[확장구간]



출처: 고속도로 건설 계획 5개년 계획('16~'20)

[그림 2-32] 2016년 해외건설기업 부문별 비중 비교

< 참고 > 본 사업의 기술개발을 통해 적용가능한 「고속도로 건설 계획('16~'20)」 반영 노선(중점추진)

합 계	신 설		확 장
	재정	민자	
23개(454.4km)	11개(261.8km)	2개(26.9km)	10개(165.7km)

구 분			노선명	연장(km)	총사업비 (억 원)	비고
합 계				454.4	167,541	
신설	재정	소계		261.8	108,841	
		동서7축 지선	서울-양평	26.8	12,848	신설(방사도로)
		동서2축 지선	울산외곽*	14.5	5,234	신설(순환도로)
		동서7축 지선	서창-장수	4.0	3,241	〃
		순환6축	금천-대덕	49.5	20,782	〃
		남북5축 지선	밀양-진례	18.6	7,910	신설(신공항·신항)
		남북5축 지선	부산신항-김해**	14.6	8,251	신설(신공항·신항)
		동서4축 지선	대산-당진	24.3	6,501	신설(산업단지)
		동서3축	성주-대구	25.0	8,698	신설(동서축보완)
		동서6축	제천-영월	30.8	11,649	〃
		동서4축	공주-청주	20.1	8,262	〃
		남북1축	강화-서울**	33.6	15,465	신설(혼잡개선)
	민자	소계		26.9	26,434	
		순환2축	안산-인천	15.2	16,921	신설(순환도로)
		동서7축 지선	경인지하화	11.7	9,513	신설(공약)
확장	재정	소계		165.7	32,266	
		중부선	남이-대소*	42.3	6,604	확장(혼잡개선)
		남해선	창원-진영	7.5	744	〃
		남해선	칠원-창원	12.4	2,635	〃
		서해안선	매송-안산	8.9	2,267	〃
		서해안선	서평택-매송	25.5	4,404	〃
		제2경인선	문학-석수	22.6	7,051	〃
		중앙선	김해공항-대동	8.7	1,921	〃
		호남선	삼례-김제	18.3	2,322	〃
		호남지선	서대전-유성	8.4	1,693	〃
		호남지선	유성-회덕	11.1	2,625	〃

* 울산외곽, 경부선(남이-천안), 중부선(남이-대소, 대소-호법), 중부내륙선(창녕-현풍)
⇒ 예비타당성조사(타당성재조사) 등을 통해 타당성이 확보될 경우 사업 추진

** 부산신항-김해('16.12월 민자제안), 강화-서울('16.12월 민자제안) 등
⇒ 민자적격성 조사결과 타당성이 확보될 경우 사업방식 전환(재정→민자) 추진

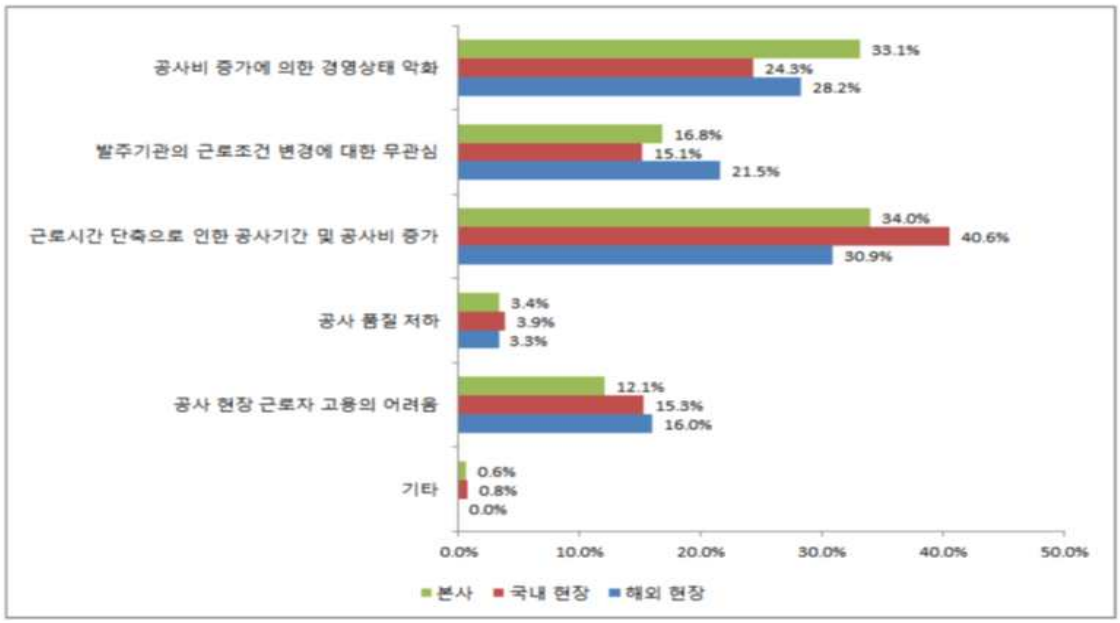
출처: 고속도로 건설 5개년 계획('16~'20)

4절 사회적 환경분석

□ 주 52시간 근무제 도입으로 인한 근로 조건의 변화

○ 건설산업연구원의 '주 52시간 근무제 도입에 따른 건설정책과제 보고서('18.7)'에 따르면 법정근로시간 단축은 건설업계에 더 큰 부담을 줄 것으로 예상

- 법정근로시간 단축으로 인한 애로 사항으로는 본사 및 국·내외 현장 응답자 모두 1순위로 '근로시간 단축으로 인한 공사 기간 및 공사비 증가', 2순위로 '공사비 증가에 의한 경영상태 악화'를 꼽는 등 공사 기간 증가로 인한 비용 증가에 대한 부담이 큰 것으로 분석
  - 현재 진행 중인 공사의 경우 법정근로시간 단축이 반영되기 전 계약된 공사이기 때문에 공사 기간 및 공사비 증가 문제가 더 심각할 것으로 예상



출처: 한국건설산업연구원(2018), 주 52시간 근무제 도입에 따른 건설정책 과제

[그림 2-33] 근로시간 단축으로 인한 애로 사항

- 주 52시간 근무제 도입으로 공사기간을 준수하기 위해 기능인력 및 관리직을 충원할 경우 직·간접 노무비가 증가하여 전체 공사비가 증가하는 것으로 분석
  - 공사 기간 준수를 위하여 기능인력 및 관리직을 충원할 경우의 직·간접노무비 변화를 분석한 결과, 평균 8.9%, 12.3%, 최대 25.7%, 35.0%까지 증가
  - 노무비 변화를 종합해보면, 법정근로시간의 단축으로 공사 기간 준수를 위해 인력을 충원할 경우 전체 노무비는 평균 9.1% 증가하는 것으로 나타남

<표 2-18> 공사 기간 준수를 위한 인력 증가시의 직접노무비 증가율

구분		전체공사	발주자별		공종별		사업 규모별	
			공공 공사	민간 공사	건축 공사	토목 공사	1,000억 원 미만	1,000억 원 이상
최댓값	직접	25.7%	25.7%	13.3%	13.3%	25.7%	21.8%	25.7%
	간접	35.0%	35.0%	13.3%	35.0%	25.7%	35.0%	25.7%
	전체	25.7%	25.7%	13.3%	12.4%	25.7%	21.1%	25.7%
최솟값	직접	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	간접	0.0%	0.0%	4.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	전체	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	1.1%
평균값	직접	8.9%	9.7%	6.1%	4.1%	9.8%	8.3%	9.3%
	간접	12.3%	13.5%	8.0%	14.8%	11.9%	12.4%	12.3%
	전체	9.1%	10.0%	6.2%	4.8%	10.0%	8.6%	9.6%

* 국내의 공공공사 간접노무비는 직접노무비의 일정 비율로 계산됨. 즉 공사 물량에 기반해 현장 관리직의 수를 결정하는 구조를 가지고 있음. 하지만 52시간 근로시간 단축의 영향은 물량의 변화가 없기 때문에 관리직의 실질적 소요가 늘어나더라도 반영하기 어려운 한계점이 존재

· 법정근로시간 단축으로 공사 기간 준수를 위하여 인력을 충원할 경우, 총 공사비는 평균 4.3% 증가, 일부 현장은 총 공사비가 최대 14.5% 늘어날 것으로 분석

<표 2-19> 공사 기간 준수를 위해 인력을 증가할 경우의 총공사비 비율

구분	전체공사	발주자별		공종별		사업 규모별	
		공공공사	민간공사	건축공사	토목공사	1,000억 원 미만	1,000억 원 이상
최댓값	14.5%	14.5%	3.7%	6.4%	14.5%	13.6%	14.5%
최솟값	0.3%	0.3%	0.4%	0.3%	0.4%	0.3%	0.5%
평균값	4.3%	5.0%	1.8%	2.3%	4.7%	4.4%	4.2%

- 법정근로시간 단축으로 인한 총공사비 상승분이 계약 변경을 통해 원활히 이루어지지 않을 경우 기업은 궁여지책으로 근로자 임금 삭감을 통하여 공사비 증액을 최소화할 가능성이 존재

· 공사비 증가 최소화 위해 임금 삭감에 나설 경우, 관리직 임금은 13%, 기능직 임금은 8.8% 감소할 것으로 분석

<표 2-20> 근로자 1인당 현재 대비 임금 감소 비율

구분	전체공사	발주자별		공종별		사업 규모별	
		공공공사	민간공사	건축공사	토목공사	1,000억 원 미만	1,000억 원 이상
관리직	-13.0%	-14.5%	-7.4%	-16.2%	-12.3%	-13.0%	-12.9%
원도급	-10.3%	-11.1%	-7.6%	-19.1%	-8.6%	-12.0%	-9.1%
하도급	-15.4%	-17.5%	-7.8%	-13.0%	-15.9%	-14.4%	-16.1%
기능인력	-8.8%	-9.8%	-5.2%	-3.2%	-9.9%	-8.0%	-9.4%

- 법정근로시간 단축에 따른 인건비 상승으로 인한 공사비 증가율만을 분석한 결과로서 인건비 이외 다른 생산요소들의 변화가 고려될 경우 실제 공사비 증가율은 더 높을 것으로 분석

□ **'30년까지 건설산업으로 인한 8,000만 명~2억 명의 일자리 증가 전망**

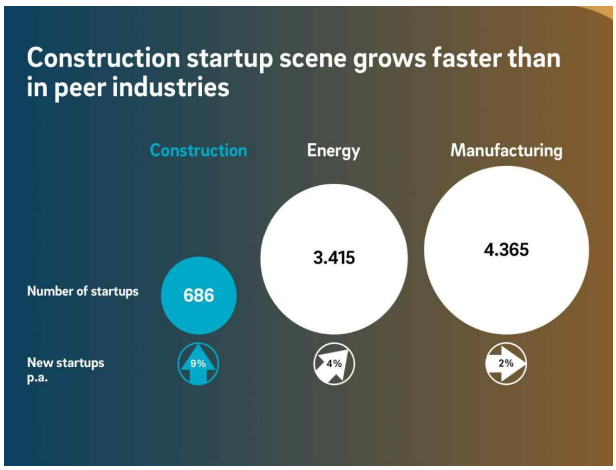
○ 맥킨지글로벌연구소(2017)에 의하면 건설산업의 잠재적 자동화 비중은 47%로, 현재 일자리의 절반도 되지 않는 수준이라고 평가

- 건설산업에서 창출되는 일자리는 건축설계자, 엔지니어와 같은 고급 기술자 뿐만 아니라 목수, 기능공, 건설기계 운전사 등과 같은 기능인력들을 모두 포함하고 있기 때문에 인공지능, 건설로봇에 의한 자동화를 100% 달성하기가 불가능한 산업임

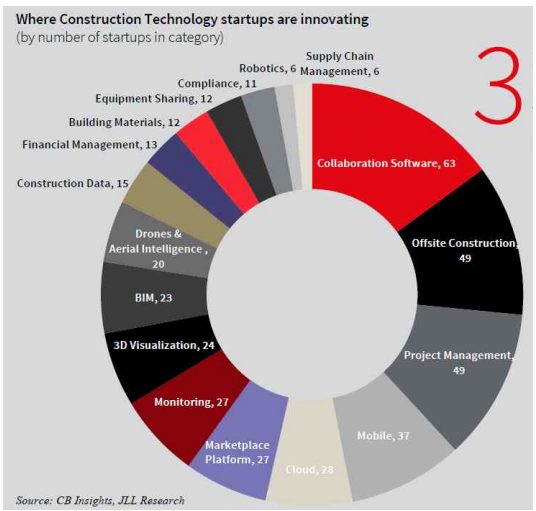
○ 세계적으로 건설산업 관련 스타트업은 증가하고 있으며 그 중 협업 지원 소프트웨어 및 디바이스, 건설 데이터 관련 기술, 설계 시뮬레이션 관련 기술, 장비관련 기술 등 다양한 분야 존재

- 세계적으로 건설분야의 스마트업 증가비율은 9%로 높은 편이며, 소프트웨어(8%), 모바일 관련(5%), 기업 소프트웨어(4%) 등이 주된 영역

- 건설산업의 스타트업 기술은 협업 소프트웨어 관련 기업의 수가 63개로 가장 많으며, Offsite Construction 분야와 프로젝트 경영 관련 기업이 49개, 모바일 관련 기업이 37개 등 17개 이상의 다양한 건설산업 스타트업종이 존재



출처: Roland Berger



출처: CB Insights, JLL Research

[그림 2-34] (좌)건설산업 스타트업 기업의 빠른 성장속도와
(우)건설산업 스타트업의 혁신 기술

□ 국내 사회간접자본(SOC)예산 감소로 인한 일자리 감소

○ 미국의 경우 2018년 1월 30일 첫 국정연설에서 1조 5000억 달러(약 1650조 원) 규모의 대대적인 인프라 투자에 나서겠다고 밝혔으나, 우리나라의 경우 사회간접자본(SOC)예산이 전년 대비 19% 감소한 19조 원 수준

- 한국은행(2017)에 따르면, 2014년 기준 건설업의 고용유발계수는 10.2명으로 전산업 평균 8.7명에 비해 월등히 높은 상황

- 그러나 한국건설산업연구원(2018)에 따르면, 2018년 SOC 예산 감소로 인해 일자리 수는 전국 약 4만 3,000여 개 감소할 것으로 분석되며 건설 기술자의 경우 경기 2,500여 명, 서울 2,300여 명이 일자리를 잃을 것으로 추정

<표 2-21> 일자리(취업) 수 감소 효과

(단위 : 명)

지역	일자리 감소	건설 기술자 일자리 감소	건설 일용직 일자리 감소	청년 일자리 감소
강원	-2,022	-604	-1,417	-103
경기	-8,513	-2,545	-5,968	-434
강남	-2,890	-864	-2,026	-147
경북	-3,292	-984	-2,307	-168
광주	-798	-239	-560	-41
대구	-1,436	-429	-1,006	-73
대전	-732	-219	-513	-37
부산	-3,067	-917	-2,150	-156
서울	-7,793	-2,330	-5,463	-397
울산	-1,034	-309	-725	-53
인천	-2,964	-886	-2,078	-151
전남	-2,765	-827	-1,938	-141
전북	-1,851	-554	-1,298	-94
제주	-579	-173	-406	-30
충남	-1,952	-584	-1,368	-100
충북	-1,404	-420	-984	-72
전국 합계	-43,090	-12,884	-30,206	-2,198

출처: 한국건설사업연구원(2018), 인프라 투자의 지역영제 파급효과 분석

- 또한 실업률의 경우 전국 평균 0.18%p 상승, 청년 실업률은 0.05%p 상승할 것으로 분석되며, 이러한 감소는 특별시/광역시를 제외한 광역자치단체에서 상대적으로 실업률이 높아지는 경향

<표 2-22> 실업률 증가 효과

(단위 : %p)

지역	실업률 증가	청년 실업률 증가
강원	0.277	0.101
경기	0.134	0.038
경남	0.174	0.062
경북	0.233	0.087
광주	0.108	0.035
대구	0.116	0.038
대전	0.094	0.025
부산	0.185	0.056
서울	0.152	0.041
울산	0.184	0.059
인천	0.199	0.055
전남	0.299	0.134
전북	0.207	0.081
제주	0.173	0.055
충남	0.164	0.048
충북	0.170	0.054
전국 평균	0.179	0.050

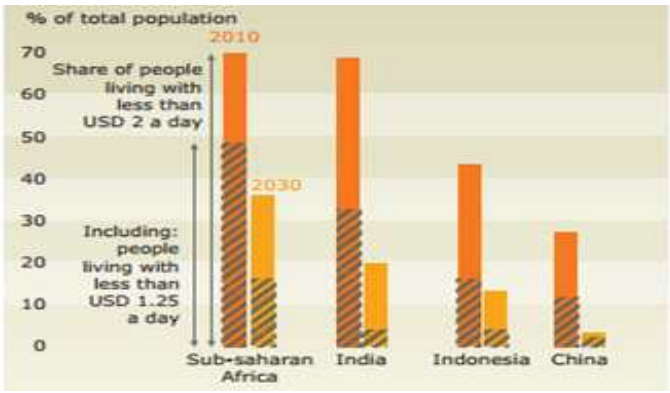
출처: 한국건설사업연구원(2018), 인프라 투자의 지역영제 파급효과 분석

□ 건설현장 노동강도 저감요구 증대

○ 국내 빈곤의 감소와 중산층의 성장으로 인한 생활의 쾌적화, 여가 수요 증가 등 삶의 질 향상에 대한 관심과 수요 증가

- 소득증가로 경제적 여유가 생기면서 개인과 가족의 행복을 중시하는 경향이 강하고 웰빙, 건강, 안전 등에 높은 가치를 부여

- 빈곤의 감소로 인한 교육수준의 증가, 새로운 제조기술의 폭넓은 이용, 의료서비스 발달에 의한 개인의 권한 확대가 가속화

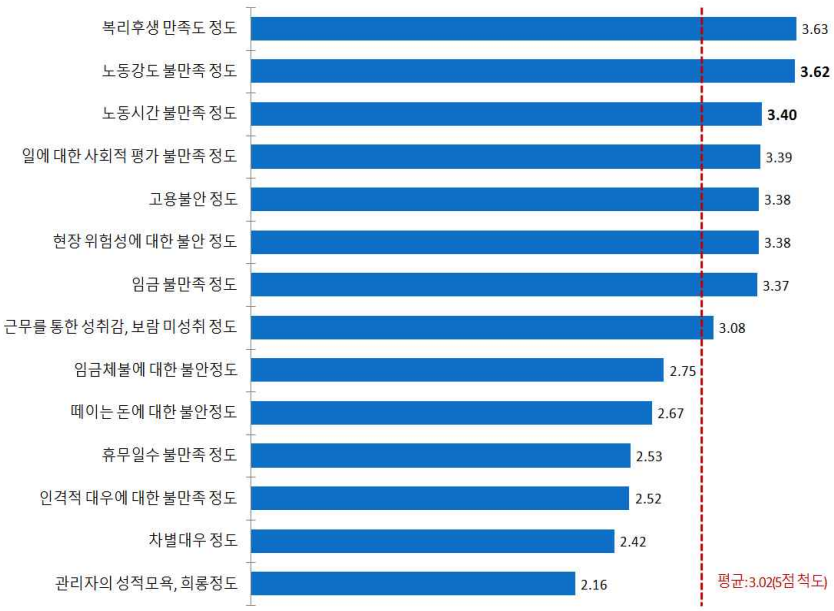


출처: The European Environment State and Outlook 2017: Assessment of Global Megatrends,EEA(2017).

[그림 2-35] 극빈층의 변화('10년) vs '30년)

○ 국내 건설 근로자들의 노동강도와 노동시간에 대한 낮은 만족도로 인한 근무환경 개선 요구 증대

- '16년 건설근로자 종합실태조사[2] 결과, 기준 국내 건설근로자의 노동강도와 노동시간에 대한 불만족도는 각각 3.62점, 3.40점으로 높은 수치 기록
- 반면 일한 수준 대비 복리후생에 대한 불만족도 역시 3.63점으로 높게 나타나 근무환경 개선의 필요성 증대



출처: "건설근로자 종합생활 실태조사결과, 고용복지서비스 대폭 확충 필요"(건설근로자공제회, 2017. 4. 4 보도자료)

[그림 2-36] 국내 건설근로자의 근무 불만족도

2) "건설근로자 종합생활 실대조사결과, 고용복지서비스 대폭 확충 필요"(건설근로자공제회, 2017.4.4. 보도자료)

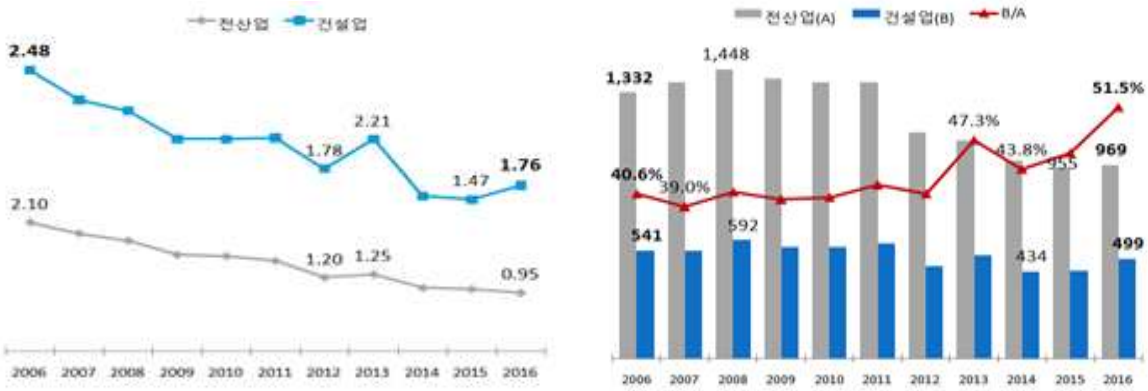
□ **안전한 건설현장에 대한 수요 증가**

○ 주문생산과 옥외 생산이라는 특성상 타 산업분야에 비해 종합적 안전관리 접근 및 개선이 어려운 실정

- 공사 수주여부 및 연장 여건 등에 따라 생산중단가능성이 항상 존재하기 때문에 비정규직 근로자의 비중이 높아 현장 근로자의 동질성 부족
- 다단계 하도급 생산방식으로 인해 고용구조의 특성상 단일 현장에서 다수의 사업주가 동시에 참여하여 단일 사업주에 의한 효과적인 안전관리가 어려운 상황
- 높은 노동강도와 열악한 작업조건으로 인해 산재 발생의 높은 위험성 존재
- '계획-설계-시공-유지관리' 생산프로세스에 따라 선행단계의 결함이 후행 단계에서 발생할 높은 가능성

○ 국내 전체 산업사고 중 건설업에서의 사망자 수 및 비중은 증가 추세

- 국내 전 사업 사망만인율은 최근 10년간 약 45% 감소한 반면, 건설업의 경우 13%에 그쳐 건설업 종사자의 사망자 비중은 증가 추세



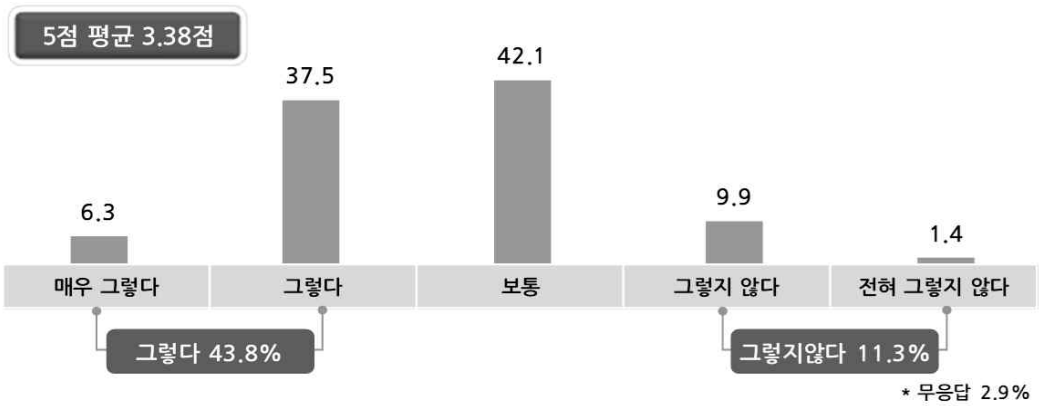
출처: 고용노동부(2017), 연도별 산업재해 발생현황

[그림 2-37] 국내 건설업 사망만인율 및 국내 건설업 사고 사망자 추이('06~'17)

- '15년 기준 건설산업 사고 사망자수의 68%가 50세 이상으로 나타났으며, 고령 건설노동자의 비율이 증가할수록 건설업 사고사망자 수의 비중 역시 증가

○ 2016년 건설근로자 종합생활 실태조사 결과, 현장 위험성에 대한 불안 정도는 평균 3.38점으로 나타났으며, 43.8%가 현장의 위험 불안을 크게 인식한다고 응답

- 근무경력이 30~40년 미만인 종사자가 평균 3.5점으로 가장 높게 불안을 인식하고 있으며, 작업능력별에서는 기능공이 3.5점으로 높은 불안을 인식



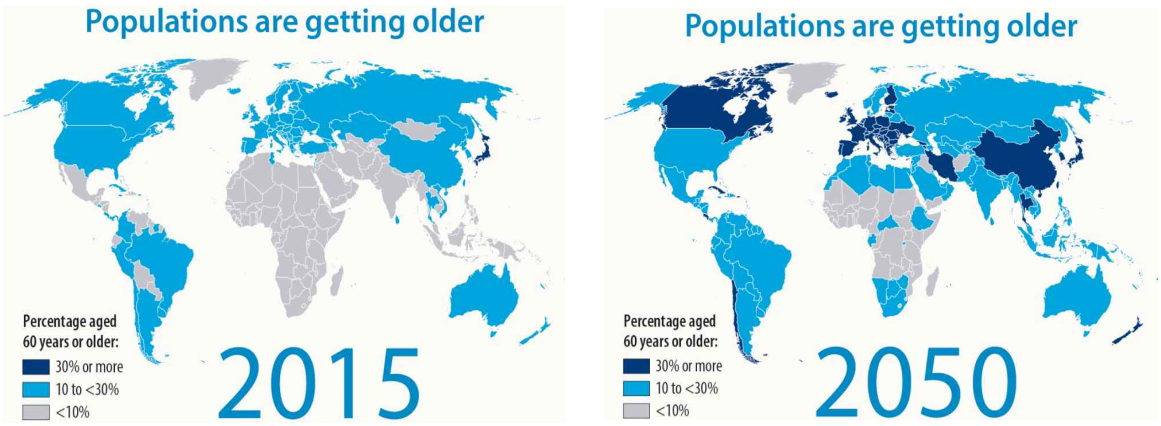
출처: "건설근로자 종합생활 실태조사결과, 고용복지서비스 대폭 확충 필요"(건설근로자공제회, 2017. 4. 4 보도자료)

[그림 2-38] 현장 위험성에 대한 불안 정도

□ 국내 고령화 현상으로 인한 노동력 감소

○ 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 출산율 감소 및 평균수명 향상에 따른 급속한 고령화로 인해 65세 이상의 고령인구의 비중이 지속적으로 증가되고 는 상황

- '15년 전세계 60세 이상 고령인구는 901백만 명으로 전세계 인구의 12.3%이나, '50년에 이르면 2,092백만 명으로 증가하여 약 21.5% 비중으로 증가할 전망
- 중위연령이 25세 이하 국가의 경우 '10년 80개국에서 2030년에는 50개국 이하로 감소할 것으로 전망되며, OECD의 고소득 국가의 중위연령은 2030년 평균 42.8세에 도달할 것으로 예측

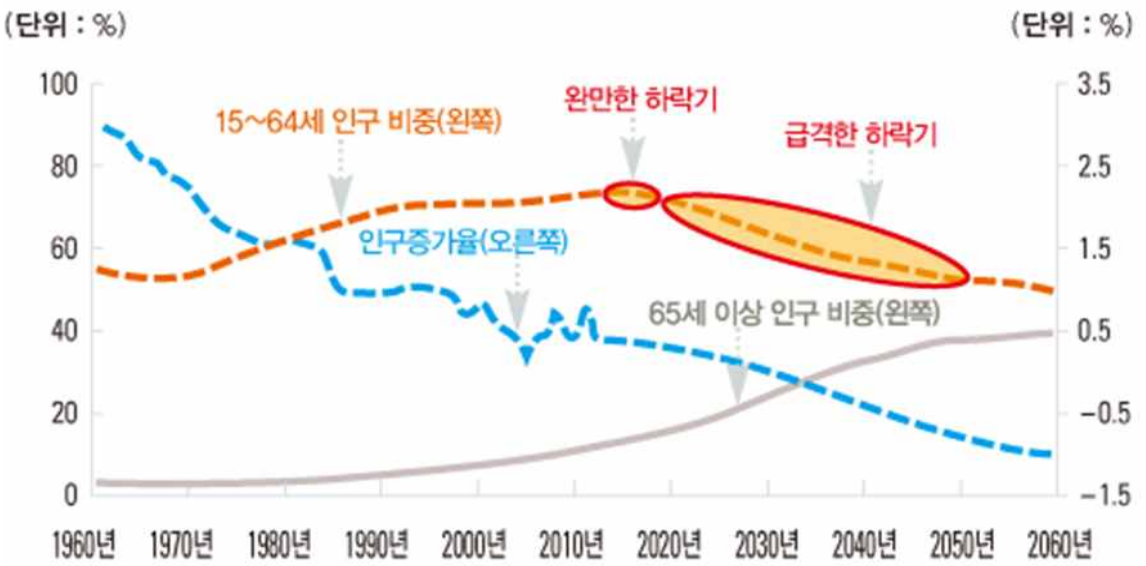


출처: WHO(2015), *World Report on Ageing and Health*

[그림 2-39] 전 세계 인구구조의 변화

○ 2017년부터 생산가능인구가 감소하는 인구 Onus현상이 나타나고 2018년부터 고령사회 진입

- 우리나라 생산가능인구(15~64세)는 2017년부터 완만하게 감소하다가 2020년부터 급격하게 감소함으로써 국가 경제성장을 둔화시키고 활력을 저하시키는 요인으로 작용
- '10~'15년 우리나라 인구성장률은 0.5%로 세계인구성장률의 절반 이하 수준이며, '10~'14년 국내 합계출산율은 1.23명으로 세계에서 4번째로 낮은 수준



출처: 한국은행

[그림 2-40] 우리나라 인구구조 변화 추이

- 2018년에는 고령 인구(65세 이상)의 비중이 14%를 넘어 고령사회에 진입하게 되며, 2026년에는 초고령사회(고령인구 20% 이상)에 진입할 것으로 예상
- 건설근로자 수급실태 및 훈련수요 조사(2017)에 따르면, 2018년 건설 기능 인력에 대한 인력수요는 1,606,129명이고 내국인력 공급은 1,502,335명으로 예상되어 내국인력 부족 인원은 103,974명으로 전망

○ 국내 타 산업에 비해 건설산업 근로자의 빠른 고령화 속도로 인한 노동력 감소

- 건설산업 근로자 중 55세 이상 장년층의 비율은 2008년 14.3%에서 2015년 26.7%로 12.4% 증가하여 제조업(5.5%), 서비스업(7.4%) 등 타 산업에 비해 고령화의 속도가 빠르게 진행 중



출처: 한국은행

[그림 2-41] 우리나라 산업별 고령화 변화 비율

- 신규 생산가능인력으로 편입되는 청년층의 취업비중은 동 기간 동안 전 사업에서 감소추세를 보이고 있으며, 특히 건설산업은 상대적으로 하락세가 큰 상황

<표 2-23> 산업별 근로자 추세('08년~'15년)

(단위: %)

구분	청년(15~29세)				장년(55세 이상)			
년도	전체	제조	**건설**	서비스	전체	제조	**건설**	서비스
2008	17.32	17.27	**9.65**	19.86	18.26	10.29	**14.29**	15.39
2009	16.83	16.53	**9.13**	19.26	18.86	10.5	**14.39**	16.29
2010	16.43	16.51	**8.09**	18.66	19.40	10.99	**17.11**	17.01
2011	16.00	15.80	**7.55**	18.24	20.38	11.54	**19.28**	18.10
2012	15.57	15.14	**7.59**	17.67	21.60	12.58	**20.29**	19.42
2013	15.13	14.27	**6.81**	17.26	22.65	13.47	**22.31**	20.43
2014	15.12	14.52	**6.71**	17.12	23.69	14.75	**24.42**	21.64
2015	15.18	14.63	**5.91**	17.20	24.52	15.75	**26.65**	22.76

출처: 2015~2020 건설 산업 수요 전망(한국고용정보원, 2017)

○ 산업 근로자의 고령화로 인한 숙련된 노동인력의 감소

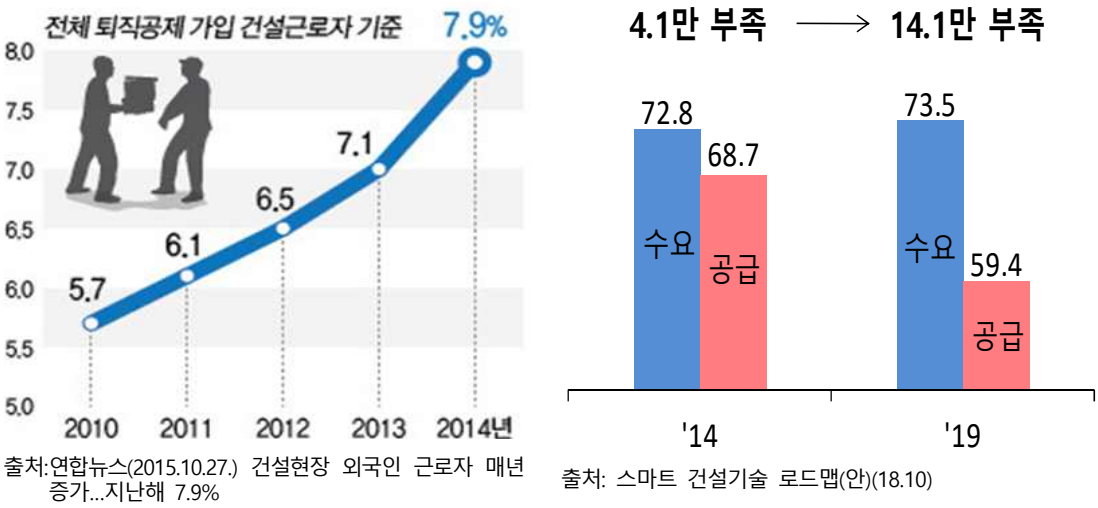
- 초저임금 노동시장에 노동력의 수요보다 공급이 높아지고, 고령화된 노동인력을 대체하기 위해 외국인 노동자의 유입이 늘어나면서 숙련 노동인력이 부족한 현상이 발생

  · 건설 숙련인력 수급전망은 '14에는 4만 명 부족하였고, '19년에는 14만 명 부족할 예정

* 출처: 제9차 경제관계장관회의 보고 안건「건설산업 혁신방안 –건설기술. 생산구조. 시장질서. 일자리 혁신」

- 건설산업 고령화의 경우 숙련노동자의 감소로 이어져 생산성을 저하시키고 고령자 및 외국인 근로자의 건설재해로 이어져 건설산업의 안전성도 악화시키는 상황

- 기능종사자, 장치기계 조작/조립 종사자, 단순 노무종사자 등에서 젊은 층의 유입이 줄어들고 있어 기술 숙련 단절의 예상



출처:연합뉴스(2015.10.27.) 건설현장 외국인 근로자 매년 증가...지난해 7.9%

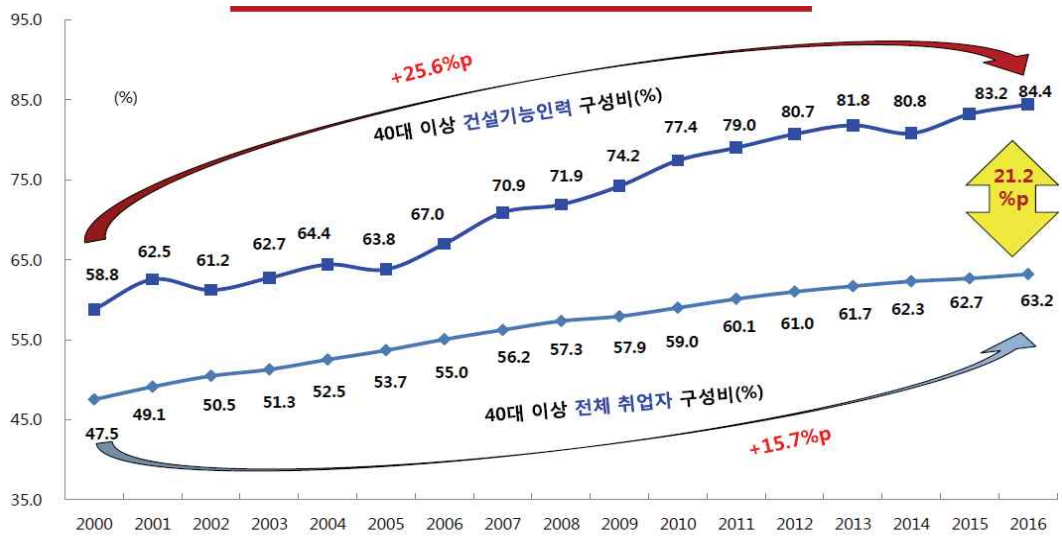
출처: 스마트 건설기술 로드맵(안)(18.10)

[그림 2-42] 건설업 외국인 노동자 증가 및 숙련공 부족 전망 추이

○ 건설기능인력의 청년층의 진입 감소와 장년층의 유입으로 건설업 내 종사자의 고령화는 심각한 상황

- 2015년 40대 이상 건설기능인력의 비중은 83.2%로 40대 이상 전체 취업자 비중 62.7%에 비해 20.5%p가 높은 수준

  · 40대 이상 전체 취업자의 비중이 2000년 47.5%에서 2015년 62.7%로 15.2%p 증가한 반면 40대 이상 건설기능인력 비중은 같은 기간 58.8%에서 83.2%로 24.4%p 증가

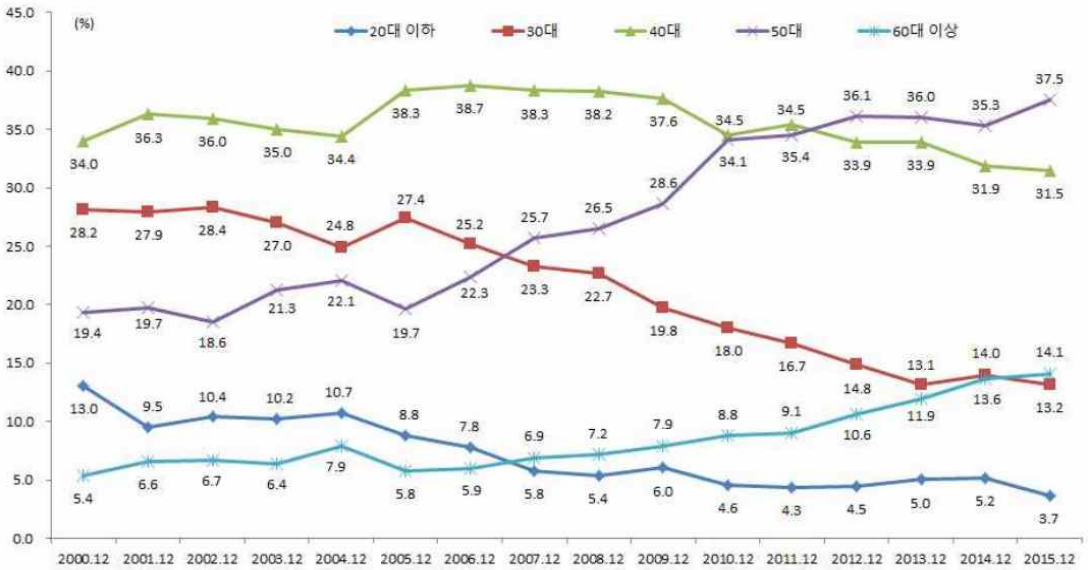


출처 : 심규범, 건설현장의 일자리 위기 진단 및 정책방향 토론회 발제문, 2017. 11. 27.

[그림 2-43] 건설기능인력의 고령화 추이: 40대 이상 구성비 기준 (단위: %)

○ 건설기능인력의 고령화는 50대 이상 장년층의 유입과 2,30대 청년층의 이탈이 가장 큰 요인으로 작용

- 2000년부터 2015년까지 40대 건설기능인력의 비중은 소폭 감소(2.5%p)한 반면, 50대 이상 건설기능인력 비중은 26.8%p 증가하였고, 2,30대 건설기능인력 비중은 24.3%p 감소



출처 : 심규범, 건설현장의 일자리 위기 진단 및 정책방향 토론회 발제문, 2017. 11. 27.

[그림 2-44] 건설기능인력의 연령대별 추이 (단위: %)

5절 기술적 환경분석

【건설장비 자동화 및 관제기술】

□ **건설기계 작업 생산성을 높이기 위해 ICT, Big data 및 센서기술에 기반을 둔 지능화/자율작업 연구가 증가하는 추세**

○ (국외) 특수환경에서 사용할 수 있는 환경인지, 전기전자화, 지능화 및 통신 기술 개발을 통한 건설기계의 지능화/자율작업 구현

- 일본 코마츠社는 정형화된 작업, 정밀절삭 및 안전작업을 필요로 하는 소규모 공사현장에서 작업생산성을 향상시키는 목적으로 지능형 굴삭기 개발

- Leica, Trimble, Topcon 등의 업체는 작업환경정보를 제공하여 운전자로 하여금 가이던스를 받는 수동작업과 조합된 패턴을 활용한 자동작업을 복합적으로 활용



자료: KOMATSU report: PC210LCi-10

[그림 2-45] 코마츠 지능형 굴삭기



자료: Leica Geosystems

[그림 2-46] Leica의 가이던스

○ (국내) 국내 건설기계는 전기 및 ICT 기술의 융·복합을 통한 제품혁신과 특수목적 건설기계에 대한 독자설계능력 확보를 위한 기술개발

- 해외 선진기업과 같이 건설기계의 지능화/자율작업 관련한 머신 가이던스, 텔레매틱스 시스템, 어라운드뷰모니터기술 등 개발 추진

- 양팔작업기, 미래형 굴착기 등에 관한 연구개발은 진행 중이며, TBM과 같은 특수목적 건설기계의 국산화하기 위하여 핵심부품 및 독자설계능력 확보 연구 추진

□ **자율계측기반의 초정밀 Digital Map 구축을 위한 연구 증가 및 시장의 확대**

○ (국외) 최근 레이저스캐너의 성능향상뿐만 아니라 계측방법향상을 위해 백팩형, 자율이동형, 차량탑재형 등 다양한 형태로 연구가 이루어지고 있으며, 스캔 용이성을 강조한 제품이 시장에 등장

- Topcon, MicroGeo의 경우 넓은 공사 현장을 효과적으로 맵핑하기 위한 MMS(Mobiel Mapping System) 형태의 차량탑재형 Lidar 스캐너 개발

○ (국내) Digital Map 구축기술의 경우 원천기술개발이 아닌 국외기술의 도입하여 활용하는 연구 중심으로 수행

- 한국건설기술연구원 및 현대건설 등을 중심으로 MMS(Mobiel Mapping System)를 토공현장기술에 적용하기 위한 연구 수행 중



[그림 2-47] MMS를 활용한 계측기술 (Image Credit: 한국건설기술연구원)

<표 2-24> 국내 건설장비 기술개발 현황

업체명	적용내용
D 중장비업체	D-텔레매틱스 시스템 (굴삭기에 IT 기술을 접목하여 위치정보추적과 장비의 상태 및 가동정보 제공)
D 중장비업체	무인 굴삭기 (땅을 파야할 정확한 위치와 면적, 깊이를 수치로 입력해두면 자동으로 땅을 파는 굴삭기)
D 중장비업체	어라운드뷰모니터 (360도를 모니터로 확인할 수 있으며, 후방경고시스템은 위험반경 내 물체 감지)
H 중장비업체	하이메이트 2.0 (위성과 모바일 통신망을 활용해 건설장비의 가동상태와 위치 등을 실시간으로 확인하고 관련 정보를 수집·분석하는 시스템/스마트폰 어플리케이션으로 연료 잔량, 가동률, 부품 교환주기 파악)
E 건설	1000mm 소형 TBM 국산화 (일본의 타이코 테크츠사의 기술인수를 통해 국내 최초의 TBM 생산체제 구축)
건설기술연구원	중대단면 TBM 핵심 설계·부품기술 국산화 (전 세계적으로 6~7개국에서만 보유한 TBM 비공개 핵심기술 확보)

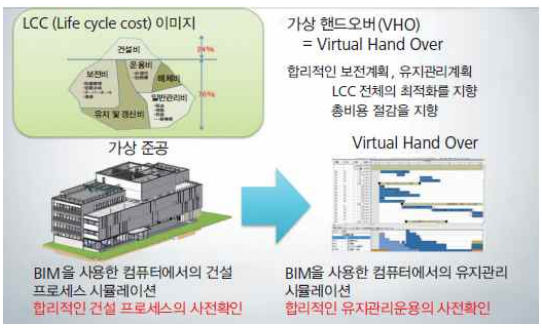
【도로구조물 스마트 건설 기술】

□ 최근 건설구조물의 다양한 분야에 대한 모든 정보를 통합하여 관리하는 BIM 기술의 수요 증대

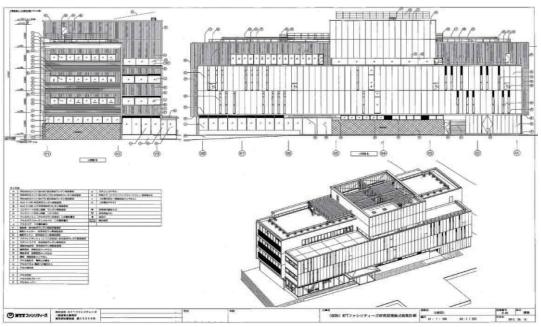
○ (국외) 계획설계분야 제품 중심으로 성장해왔던 기업들은 해당 분야를 중심으로 BIM 솔루션을 확대

- BIM에서의 도면화, 간섭체크, MEP, 물량산출에 대하여 BIM SW를 이용한 비교 검증의 도구로써 활용하는 수준
- 설계단계에서 유지관리단계까지 BIM을 의사소통의 수단으로 활용하여 간접비용 발생 최소화, 사업기간의 효율적 관리를 위한 통합적인 BIM 수행
  - 일본의 NTT FACILITIES(건축설계사무소)와 다케나카 고무텐(건설사)은 Autodesk Revit을 플랫폼으로 설계, 시공, 유지관리까지 모든 프로세스가 통합된 BIM-FM 연계 프로젝트 수행

※ 설계, BIM, 설비, 건설, 유지보수, FM시스템 전문가가 설계단계부터 참여하여 공동연구를 수행하여 시공현장에서 도면의 정확성, 정확한 스케줄 관리와 수명주기비용 20% 절감 등 BIM의 활용성 증대



[그림 2-48] BIM-FM 연계 활용



[그림 2-49] 3D투시뷰를 더한 하이브리드 도면

출처: Autodesk, 고객성공사례(2015)

○ (국내) 미국을 포함한 선진국에서는 다양한 프로젝트에 BIM을 적극적으로 활용하는 단계이나 국내의 경우 도입을 확대하는 초기단계

- 국내 인프라의 BIM은 그동안 프로젝트를 수행하는데 있어서 의무 적용사항이 아니었기 때문에 대형건설사 및 발주처를 중심으로 시범사업을 진행
  - 해외 인프라 프로젝트에 BIM 의무사항으로 도입되기 시작했으며, 최근 싱가포르, 홍콩, 카타르 등에서 급격히 증가하면서 BIM 도입을 확대

※ 싱가포르: 민간분야를 포함한 국가전체 건설의 약 80%를 BIM으로 발주

· 국내 설계사의 경우 설계완성도 및 설계생산성 향상에 관심이 높고, 시공사의 경우 공정관리 및 공사비 등에 관심

· 건설 프로세스 전반에 BIM 기술이 적용되기보다는 간섭체크, 물량산출, 시공성 검토 등 특정 분야를 중심으로 부분적으로 적용

· Autodesk사의 Navisworks 또는 Bentley사의 Navigator를 활용하여 3차원 모델에 공정(4D) 및 비용정보(5D)를 연계하여, 시공과정을 시각적으로 표현하여 시공 시 발생하는 문제에 대한 협의 및 사전 안전관리에 활용

※ 부재간의 간섭체크, 시공가능성 시뮬레이션, 시간에 따른 공정진행과정, 장비 및 자재투입, 기간별 공사비 산출 등이 가능

- 최근 국내에서도 토목 BIM 관련 전문기업들이 SW개발 및 솔루션 개발을 위하여 연구개발 추진

<표 2-25> 국내 BIM 응용도구 활용 및 기술개발 현황

적용도구	업체명	적용내용
ArchiCAD	D 건설	건축 수주 활용 (시공오류 체크로 공기 단축)
	D 중공업	시공방법 및 도면 수정 작업
	P 산업	시공상의 오류 체크에 활용
Revit	H 개발	아파트 단위세대 개발에 활용 (자동물량, 면적 비교)
Rebar HUB	D 대학교	배근 설계 및 시공업무 (배근시공도 작성, 골조물량 산출)
-	S 건설	5D BIM (시간에 따른 공정과 자재투입, 기간별 공사비 산출 가능)
Builder Hub	D 대학교 - C 소프트	Builder Hub 상용화 (건물골조의 상세설계와 정밀견적)
-	T 기업	BIM 기반 가상건설 시스템 솔루션 (가상현장에서 장비 조종, 배치, 공간 활용, 안전성 검토 등)
-	M 기업	선형기반 BIM 토목구조물 설계 (선형기반으로 토목구조물을 설계할 수 있는 BIM 기술)

□ **급속히 발전하고 있는 모듈화 기법 및 비정형 부재 제작, 3D 프린팅 기술에 대한 관심 증대**

○ (국외) 플랜트 건설사업의 경우 모듈공법의 적용사례가 늘어나는 추세이며, 건축부문에 있어서는 유럽, 일본, 미국 등 선진국은 성숙기에 접어듦

- 미국 뉴욕의 브루클린에서 모듈러 주택으로는 최고층인 32층짜리 조립식 아파트 '2B2 BKLYN'를 건설

- 영국은 선진국 중에서도 모듈러 건축의 시장 성숙도가 가장 높은 국가로 전체 건설 시장의 약 2.1%('13년 기준)를 모듈러 건축이 점유

※ 호텔, 기숙사, 임대주택, 분양주택 등 다양한 용도의 복합 건물들이 모듈러 건축을 이용해 건설

- 싱가포르 난양 기술대학의 신 기숙사 시공은 PCCV(Prefabricated Prefinished Volumetric Construction) 기술을 사용한 최초의 공공시설

※ 기존 건축 방식보다 18% 비용이 추가로 지출되었으나, 중장기적 관점으로 기술 도입 추진



[그림 2-50] Victorial Hall 기숙사



[그림 2-51] 미국 32층 모듈 아파트

○ (국외) 발주자의 다양한 요구에 대처하고 시장에서의 생존과 성장을 위하여 비정형 부재 제작, 3D프린팅 기술 활용 사례 증가

- 영국의 Loughborough 대학에서 개발된 콘크리트 프린팅 기술에서는 소량 다품종 입체 Shell 구조를 구현하였고, 압축강도 100MPa 이상의 성능 확보

- 샌프란시스코 Apis Cor社는 러시아에서 3D 콘크리트 프린터를 이용하여 24시간 만에 11평짜리 집을 짓는데 성공



[그림 2-52] Apris Cor 3D 프린터



[그림 2-53] 패널 모듈을 활용한 비정형 주택

출처: http://www.digitalto3d.com/3d-printed-house-created-site-apris-cor/, 3ders 홈페이지

- Janjaap Ruijssenaars 건축가는 비정형 주택을 6m x 9m 크기의 패널 모듈들을 프린팅하여 조립하기로 계획
- 스틸라이프社는 BIM의 3차원 외형 데이터로부터 알루미늄판을 성형하는 Multi-pin stretch forming machine을 개발하여 제작기간을 1/5로 단축

○ (국내) 대기업 중심으로 해외사업 대응 등을 위해 일부 기술을 활용 중이나, R&D와 전면적인 현장 활용은 저조한 상황

<표 2-26> 주요 건설업체 스마트 건설기술 활용 현황

활용 중인 기술(일부 현장)	연구 중인 기술	연구 희망 기술
· BIM 설계·시공(건축중심) · 드론/스캐닝 측량 · 가상현실기반 시각화 · IoT 자재관리·안전관리	· 모듈화(Pre-fabrication) · IoT 기반 공사관리 고도화 · VR/AR 활용기술	· 빅데이터/AI · 설계/시공 자동화 · 3D Printing · 건설 자동화 로봇

- BIM 기술은 주로 건축분야에서 활용 중으로, 건설 프로세스 전반에 적용되기보다 설계 과정에 국한되어 부분적으로 적용
- ICT 기술은 일부 기업이 현장관리 목적으로 제한적으로 사용 중

○ (국내) 모듈 공법은 주로 학교, 군 시설 등 공공부문에 적용, 최근에는 주택과 프리캐스트 콘크리트(PC) 공법, 수출용 등 적용 대상이 확대

- 수출하는 플랜트 건설사업의 경우 모듈화 기획 및 평가, 시공성 평가 및 시공 설계 기술, 협업 지원 라이브러리 기술 개발 등 모듈공법 적용 사례 증가
- 모듈러 공법 사용 및 내동해성·내염해성 콘크리트 배합 기술 개발, 목적물별 다양한 공법 개발 등 미래지향적 공법 연구 증가
- 교량의 부분교체, 곡선교 제작, 시공성 향상을 위한 교량 모듈공법 개발

<표 2-27> 국내 모듈화 설계·시공 기술개발 현황

업체명	적용내용
H 건설	플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발 (플랜트 동시 병행 협업 지원체계 및 모듈화 플랜트 수행프로세스 개발)
D PC산업	극한환경 모듈화 공법 (내동해성·내염해성 콘크리트 배합기술을 활용한 남극기지 모듈제작)
D 건설	프리캐스트 콘크리트 바닥판 설계 및 시공기술 (연결부, 충전재료를 고려한 설계기술을 활용한 프리캐스트 바닥판 개발)
B 건설	스마트 몰드 시스템을 이용한 PSC보 제작 (xyz 좌표가 상이한 비정형 거더 제작을 위한 거푸집 및 거더 제작)
S 물산	비정형 건축물의 설계 최적화 (외피 최적화 및 설계 최적화를 통해 조선 및 제조업에서 사용하는 Digital Fabrication 활용방법 연구)

【스마트 안전 통합 관제 시스템】

□ 건설현장의 근로자 위험요인 인지기술 분야(의류, 악세서리 등)의 연구가 증가하는 추세

○ (국외) 건설현장 안전점검 지원 웨어러블 스마트 디바이스 기술은 다양한 센서가 내장된 웨어러블 스마트 디바이스와 관리중점 위치에 부착된 센서, 점검자의 점검 업무지원을 위한 3D 컨텐츠, AR을 이용한 정보제공, 점검자와 관제 시스템을 연결하는 IoT 플랫폼으로 구성되어 개발 중

○ (국외) 미국, 호주, 일본 등 선진국에서는 건설 현장의 안전성 향상을 위하여 빅데이터 기술, IoT 기술, 웨어러블 장비 등을 개발

- '16년 AIG는 IoT 기술을 사용하여 작업자의 안전한 환경을 만드는데 도움을 주는 Human Condition Safety 스타트업 회사에 전략적으로 투자

※ HSC 센서를 착용한 작업자가 중장비 또는 위험지역으로 들어가면 경고 및 중장비 셧다운 시키는 시스템과 현장 환경 정보 분석 기술 제공



출처: HCS(Human Condition Safety) 홈페이지

[그림 2-54] HCS의 웨어러블 안전기술

- 호주의 시냅터社는 건설현장의 안전사고를 예방하는 빅데이터 시스템을 개발하여 건설현장에서 생산되는 데이터를 실시간으로 분석하여 작업자들에게 경고

○ (국내) NT-IT 융복합 기술을 적용한 기능성 섬유제품의 경우 착용형으로 변화하는 차세대 전자기기에 대한 수요대응 및 스마트 텍스타일 관련 세계 시장 선점이 가능한 잠재시장 성장률이 높은 분야이며 국내 웨어러블 디바이스는 해외의 기술을 따라가는 수준으로 시계, 안경, 반지, 모자, 밴드 등 다양한 형태로 개발 중

<표 2-28> 국내 웨어러블 스마트 디바이스 기술개발 현황(의류, 악세서리)

제품명	내용
ETRI 바이오 셔츠	심전도, 호흡, 운동량 등 생체신호를 모니터링 할 수 있는 바이오셔츠 개발 측정된 심전도 신호와 기속도 신호를 이용하여 심박 수, 호흡수, 속도, 운동량 등 건강 정보 추출이 가능하며, 이상 징후 발생 시 경보 기능 제공
KAIST	체온과 땀의 변화 등 생체신호를 측정하는 칩을 옷감 에 직접 장착하여 실시간 건강을 점검할 수 있는 직물
지에스아이엘 스마트 건설 안전 관리 시스템	터널 및 지하 구조물 공정에서 근로자가 웨어러블 장비(Bluetooth)를 착용함으로써 터널 내 설치된 스캐너 단말기를 통해 위치를 실시간으로 파악할 수 있는 시스템(국토교통부 건설 신기술 제828호 지정)

○ (국내) PC와 모바일을 통해 현장에서 실시간으로 다양한 정보를 제공·수집하고 안전, 품질 등을 현장 관리를 위한 통합관리시스템 개발

- 기존 수작업으로 인한 안전관리의 허점을 보완하기 위하여 IoT 기술을 활용한 안전/환경 모니터링
- 위험지역 출입 감시, 중장비 충돌 방지 등 위치기반 안전관리 기술

<표 2-29> 국내 현장관리 기술개발 현황

업체명	적용내용
D 건설	모바일 현장 관리시스템 'One Touch HSE-Q' (모바일 기기를 활용해 실시간으로 건설 현장의 안전과 품질, 환경 사항을 점검해 사전에 리스크를 관리)
S 텔레콤	SKT 스마트현장 관리서비스 (PC와 모바일을 활용한 작업지시, 도면공유, 공사사진, 문서보고, 공사일보 공유 등 현장관리 지원)
D 건설 - S 텔레콤	ICT 융합 스마트건설 (건설현장의 다양한 정보를 실시간으로 제공, 위험인자를 식별해 사고발생을 미연에 방지)
S 건설	액션캠 LTE 시스템 도입 (실시간 동영상 촬영을 통해 현장 관리)

【스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드】

□ 분류체계, 코드, BIM 등 정보의 표준화를 위한 시스템 구축에 관해 활발한 연구 진행

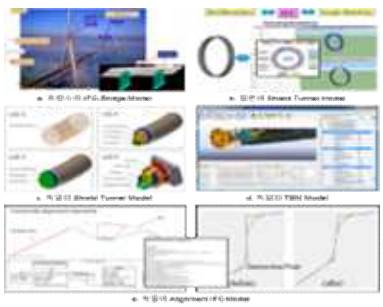
○ (국외) 건설정보의 표준화와 관련하여 미국, 유럽을 중심으로 분류체계, 코드, BIM, 정보 등의 자체 표준을 개발하여 활용 중에 있으며, 이를 시스템으로 구축하여 모든 정보의 교환, 운영 및 관리체계를 일원화하기 위한 노력이 활발히 진행 중

- 국외 분류체계는 북미 Master Format, Uniformat 등 유럽 CI/SfB 등의 정보 분류체계가 미국의 Omniclass와 영국의 Uniclss로 통합 발전

- 1994년 국제표준화 기술위원회(ISO/TC 59)의 기술보고서 TR-14177dl ISO 12006으로 발전하여 각 국가나 지역에서 자체 분류체계로 개발 및 사용하도록 지원

○ (국외) 건축분야의 BIM기술을 기반으로 인프라 분야의 BIM 표준인 형상표준, 라이브러리 등의 관련 연구가 활발하고 최근 buildingSMART International의 InfraRoom을 통해 2012년부터 IFC4(ISO16739)를 기반으로 선형, 도로, 교량, 항만 등의 BIM 표준을 2020년까지 국제표준으로 등재하도록 활발히 개발 중

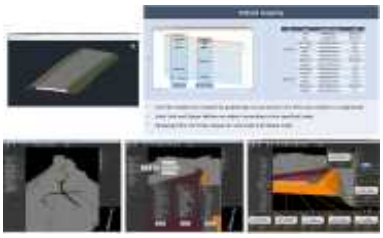
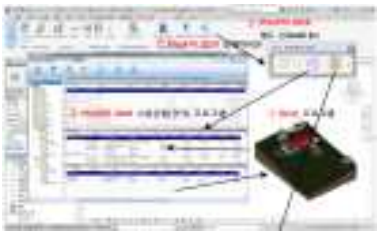
<표 2-30> 해외 BIM 표준화 기술

BIM 표준	BIM 검증	라이브러리
		
IFC, COBie 등 국제표준 정립	(싱가폴) 건축물 법규 검토에 Rule Check (미국) 도로의 기하구조의 BIM기반 검증	(미국, 영국) 건축분야 BIM 라이브러리 (일본) 인프라 BIM 라이브러리 개발

○ (국내) WBS 등 작업분류체계와 건설정보통합분류체계가 구축되어 있으나 건설산업 전체에 적용하는 데에는 일부 한계가 존재하며, 3차원 설계기법으로의 패러다임 전환에 대비하여 200년대 초반부터 교량 및 터널에 대한 IFC 확장 연구 수행

○ 한국건설기술연구원에서 도로분야의 IFC개발을 통한 국제표준화를 진행 중이며, 도로, 하천분야의 BIM 객체 관리에 대응하기 위해 기존 WBS를 수용 가능한 표준객체 분류체계를 개발 중

<표 2-31> 국내 BIM 표준화 기술

BIM 표준 및 성과품 검증	BIM 라이브러리	BIM 공정-공사비 통합관리
		
도로, 하천, 철도 분야 BIM 형상표준 개발과 도로, 하천분야 표준객체분류체계 구축	- 도로분야 국토부 표준도 기반의 BIM 라이브러리 개발 및 보급 - 건축분야 개방형 BIM표준기반 BIM라이브러리 개발 및 보급	건축분야 BIM기반 공정-공사비 통합관리 기술 실무적용

□ **전 세계적으로 Digital Twin 및 CPS 기술개발을 국가사업으로 선정하는 등 지원 증가**

○ (국외) 해외의 경우 미래 산업의 기반으로 디지털 트윈 및 CPS를 최우선 순위 과제로 선정하였으며 주로 제조 산업 분야에 대해 많은 연구 실시

- 2007년과 2010년에 보고된 미국 대통령과학기술자문위원회 보고서에 따르면 CPS가 국가 경쟁력 강화를 위한 최우선 연구 과제로 선정되었으며 실제 2009년부터 National Science Foundation을 통한 대규모 연구 지원 실시

- 독일 지멘스社의 경우 하루 5천만 건씩 축적되는 데이터를 기반으로 CPS를 구축하여 생산성 800% 증가, 설계주문변경 시 99.7%를 24시간 내 출시하는 시스템 구축

- 싱가폴의 경우 스마트 국가사업을 목적으로 Digital Twin 모델에 약 700억 원을 투자하여 국가 전체 모습을 3차원으로 표현하기 위한 기술을 개발하고 있으며 2018년에 구축 완료 예정

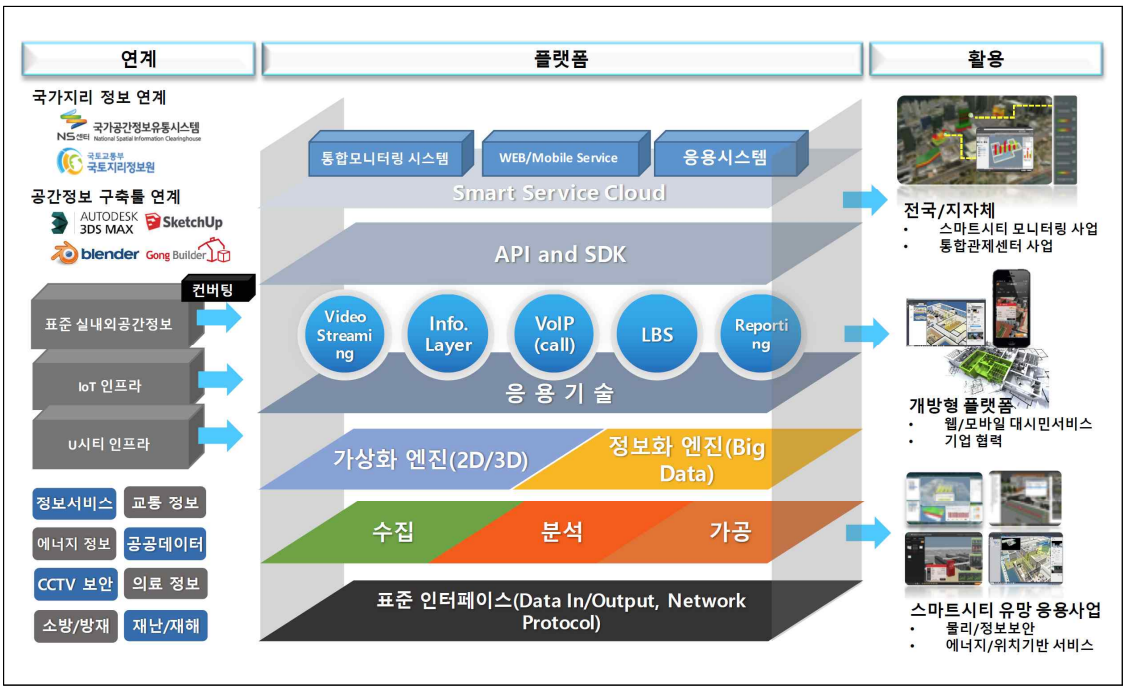
- 건설 분야에서의 디지털 트윈 플랫폼 개발은 아직 상용 수준의 가시적인 성과가 이루어지지 않은 상태이나, 건설정보시스템 분야에서 선도적인 기술개발을 이루고 있는 Bentley Systems는 Microsoft, Siemens 등과 협약을 통해 건설 분야의 디지털 트윈 플랫폼 개발 중

○ (국내) 디지털 트윈 및 CPS 관련 연구가 아직 걸음마 단계에 머무르고 있는 실정이며, 특히 조작화된 대규모 기초 연구 및 그에 걸맞은 지원이 부족한 상태

- DGIS에서 CPS 글로벌센터를 조직하여 지능형 교통시스템, 스마트 홈, 스마트 그리드, 의료 및 헬스케어 등에 관한 CPS 관련 연구 진행 중

- 토목분야 중 공간정보 분야에서 ICT 기술을 활용하여 KOPSS, UPIS, V-World 등 현실세계의 문제를 가상세계에서 분석하고자 노력하고 있으나, 이를 CPS기술이라고 명칭하기에는 어려운 부분 존재

- 디지털 트윈 모델의 경우 스마트 시티가 국가 주요사업으로 대두되면서, IoT 센싱 기술과 함께 이를 기반으로 한 도시 모니터링 목적의 기술을 개발하고 있으며, 한국국토정보공사가 국내 최초로 디지털 트윈 기반의 스마트시티를 건설하기 위해 세종과 부산에서 국가시범사업을 추진 중



[그림 2-55] 스마트 시티에서의 digital twin

□ 전 세계적으로 정부주도의 공공데이터 개방 플랫폼 구축 및 운영 확대 추세

○ (국외) 싱가포르의 경우 스마트 국가 사업으로 버추얼 싱가포르를 추진하고 있으며 다쏘 시스템을 활용하여 도시 전체를 3D화하고 시뮬레이션 할 수 있도록 2019년까지 도시의 디지털 트윈 구축을 목표로 추진

○ (국외) 전 세계적으로 공공데이터 개방 포털을 구축하기 위하여 가장 많이 활용된 기술은 CKAN(Comprehensive Knowledge Archive Network)으로서, 미국과 영국 정부의 Open Data 포털을 비롯하여 다수의 국가에서 활용되었으며 주요 기능으로는 데이터셋에 대한 CRUD API 제공과 메타데이터 관리, 데이터 하베스팅, 데이터 발행 및 관리가 있음

○ (국내) 국내에서도 공공데이터포털, 오픈데이터 유통플랫폼, 공공분야 클라우드 정책 및 G-Cloud 플랫폼 등을 통해 정부가 보유한 다양한 공공데이터를 개방하여 누구나 편리하고 손쉽게 활용할 수 있도록 교육, 국토관리, 공공행정, 재난안전, 환경기상 등 정보 제공



[그림 2-56] 공공데이터 포털

□ **스마트시티 구축을 위한 테스트베드 조성 추진 단계**

○ (국외) 유럽의 코펜하겐, 제노바, 비엔나 등에 있는 스마트 도시 랩(Smart Urban Labs, SULs)의 경우 일부 이미 계획·이행 완료 후 모니터링 단계에 돌입하였으며 나머지는 SULs와 연계하여 계획단계 착수

○ (국내) U-City 관련사업 및 IoT 기반 글로벌 스마트시티 실증단지 조성사업 등을 통해 스마트시티 구축을 위한 인력양성 지원 및 실증단지 조성사업을 추진 중임

○ 스마트 건설기술 로드맵('18.10)에서는 2030년까지 개발해야 하는 핵심기술로 BIM기반 스마트 설계, 건설기계 자동화 및 관제, 공정 및 현장관리 고도화를 제시

<표 2-32> 스마트 건설기술 단계별 발전 목표

단계	중점분야	핵심기술	추진 목표			
			현재	2020	2025	2030
설계	BIM기반 스마트 설계	■지형.지반 모델링 자동화	■**현장측량** 중심 지형정보 수집 ■지형·지반정보 **2D 도면** 관리	■**융복합 드론** 활용 형상정보 수집 및 모델링	■**형상** 모델 및 **지반속성** 정보 **연계**	■AI 기반 BIM연계 지반 **모델링 자동화**
		■BIM 적용 표준	■BIM S/W 자체표준이나 **2D도면** 표준 적용	■교량·터널·하천 등 **목적물** 중심 국제수준 **BIM 표준** 구축	■**데이터 교환·공유**를 위한 **BIM 표준** 구축	■축적된 BIM **빅데이터**의 **활용**을 위한 표준 구축
		■BIM 설계 자동화	■**기초** 수준 BIM **라이브러리** 활용	■BIM **라이브러리** 기반 설계 **부분 자동화**	■건설 **全단계**를 고려한 **BIM 설계 최적화**	■**AI** 기반 BIM 설계 **자동화**
시공	건설기계 자동화 및 관제	■건설기계 자동화	■굴삭기·도저·롤러 **머신 가이던스** 기술 **시범 적용**	■굴삭기·도저·롤러 **머신 가이던스** 기술 **확대 적용**	■**실시간** 머신 가이던스, 건설기계 **자율이동**(+크레인 포장·천공기계)	■**건설기계 자동화** (AI를 활용한 건설기계 통합 운영 및 관제)
		■건설기계 통합운영 및 관제	■굴삭기·도저·롤러 **통합운영** 및 **관제기술** 시범적용 (소규모 현장)	■굴삭기·도저·롤러 **통합운영** 및 **관제기술 상용화** (대규모 현장)	■센서·IoT 기반 **정보 실시간 수집**을 통한 건설기계 통합 운영	
	공정 및 현장관리 고도화	■시공 정밀제어 및 자동화	■**현장타설** 방식 중심(습식 공법), 모듈.Prefab. 방식(조립)도 활용	■조립시공을 위한 **위치 자동제어**	■조립시공 **정밀제어**, **부분 자동화**(정밀정합, 이음부 타설 등)	■로봇 등을 활용한 **조립시공 자동화**
		■ICT 기반 현장 안전사고 예방	■안전관리자의 작업자 관리, 육안점검 등 **인력 중심** 안전관리	■**ICT 기술**을 활용한 안전관리 (드론, 3D Scanner, VR 등)	■실시간 **센싱** 기반 안전관리 (Smart Wearable, 센서 등)	■예방적 **통합 안전관리** (위험 예측, 장비·인력 통합관제)
		■BIM기반 공사관리	■**경험**에 따른 공사관리	■주요 공종 **BIM** 기반 **공사관리** (드론·로봇 실시간 **공정체크** 등)	■**가상시공**을 통한 리스크분석·공사관리 효율화	■**AI** 기반 **공사관리 최적화** (조건에 맞는 최적 공법 검토)
유지관리	시설물 점검·진단 자동화	■IoT 센서 기반 시설물 모니터링	■단일 센서를 활용한 **단순 정보 수집**	■**지능형**(상황감지) IoT 정보수집	■**대규모·대용량** IoT 정보수집·분석	■**초연결형** IoT 정보수집·분석
		■드론·로봇 기반 시설물 진단	■**인력 기반**의 시설물 점검 (드론 일부 활용)	■**다종** 드론을 활용한 대형 시설물의 신속한 **점검**	■**다기능** 드론 및 로봇을 활용한 시설물 상태 **진단**	■**로보틱드론**을 활용한 시설물 자율 점검 및 진단
	디지털트윈 기반 유지관리	■시설물 정보 통합 및 표준화	■개별 정보시스템 및 DB 구축	■시설물 **정보 표준화** 및 **통합 관리** 시스템	■건설 全단계 **개방형 통합 DB** 및 **빅데이터** 구축	■**디지털트윈** 기반 스마트 시설물 유지관리
		■AI 기반 최적 유지관리	■육안점검 및 단순 계측 정보 기반 유지관리 의사결정	■데이터 기반 **의사결정 지원** 시스템	■빅데이터·AI 기반 **예측형** 유지관리	

출처: 스마트 건설기술 로드맵('18.10)

6절 종합분석(PEST)

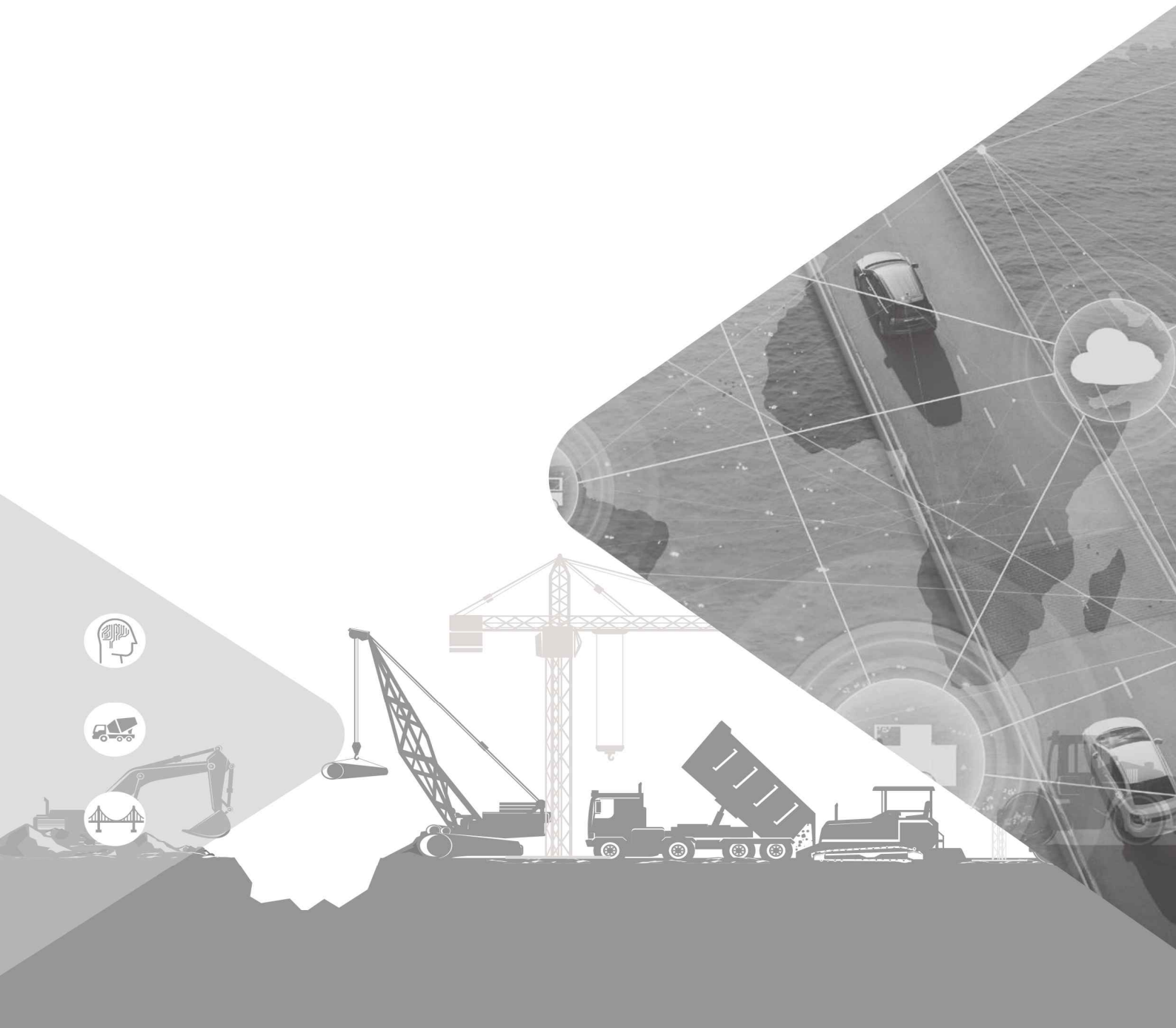
□ PEST분석을 통한 스마트 건설 기술개발 사업의 시사점 도출

환경분석		시사점
정책 동향	■ (국외) 주요 선진국은 4차산업 혁명에 대응하기 위해 건설산업의 스마트화 및 인프라 투자를 적극적으로 추진 - (미국) 경제활성화 및 일자리 확충을 위해 향후 5년간 5,500억 불 규모의 인프라 투자 및 에너지 분야 사업 확대 계획 발표('16) - (영국) 'Construction 2025'를 통해 건설산업의 혁신방안으로 건설산업의 스마트화 강조 - (일본) 'i-Construction'을 통해 '25년 까지 건설생산성 20% 향상을 목표로 추진 - (싱가포르) 'Construction 21 운동'으로 건설산업 생산성 향상 추진 및 국가사업으로 BIM 의무화 실시 ■ (국내) 국내에서도 4차산업 혁명에 대응하여 건설산업의 스마트화를 위한 적극적인 계획 수립 및 추진 - 제4차 국토종합계획 수정계획('11~'20) - 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22) - 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27) - 건설산업 혁신방안('18.6)	■ 정부의 정책적 방향 및 계획에서 필요로 하는 기술개발 및 제도개선 필요 - 숙련인력 감소 대응 및 안전성을 높이기 위해 건설장비의 자동화, 디지털 정보 플랫폼 구축을 통한 시공기술 및 안전기술 확보 등의 기술 개발 추진 필요 - 스마트 건설기술을 적용하는 공사를 위한 발주제도 개선 및 건설산업의 안전성 향상을 위한 첨단 안전관리 의무화 제도 도입 등 건설산업의 스마트 기술의 안착을 위한 제도 개선 필요
경제 동향	■ 건설산업 노동생상성은 20년간 정체된 상황이며, 국내 건설산업의 노동생산성은 선진국의 1/4수준 - 전체 산업의 노동생산성은 20년 간 평균 2.7% 늘었으며 제조업은 3.6%인데 반해 건설산업은 1% 성장 ■ 국내 건설업의 글로벌 종합 경쟁력은 7위이나, 건설 인프라 경쟁력은 11위로 저조 ■ 해외시장에서 경제성 및 비중이 높은 도로·교통분야에서의 비중 약세 - 해외건설기업은 30.9%의 비중을 차지하는 반면 국내 기업은 15%를 차지 ■ 해외건설 시장에서 점유율 저하 및 경쟁력 약화 추세 - 중국의 경우 13.1%('12)에서 21.1%('16)로 급상승 한 것에 반해, 국내기업은 8.1%('12)에서 7.3%('16)으로 감소	■ 국내 건설산업의 노동생산성 향상을 위한 기술개발 필요 - 건설산업의 공기 단축 및 생산성 증대를 위한 건설장비의 자동화 및 로봇기술 개발 필요 ■ 해외 시장에서의 경쟁력을 높이기 위해서는 건설 인프라 및 역량부문에서의 경쟁력 향상을 위한 투자 필요 ■ 해외 시장에서 도로·교통 및 건축분야는 발주가 많고 높은 수익성을 낼 수 있는 분야이므로 국내 기업의 경쟁력 향상 필요 ■ 세계 시장에서의 경쟁력 확보 및 점유율 상승을 위해 첨단기술 및 타 산업과의 융복합 기술개발 필요

	환경분석	시사점
사회 동향	■ 주 52시간 근무로 인한 건설기업의 경영난 및 국제시장에서의 경쟁력 약화 우려 - 공사기간을 준수하기 위해 인력을 보충할 경우 총 공사비의 평균 4.3%, 최대 14.5% 증가 예상 ■ 인구 고령화로 인한 숙련된 노동인력의 감소 - '16년 기준, 50대 이상의 건설근로자는 53.4% - 부족한 숙련인력은 '14년 4.1만 명에서 '19년 14.1만 명으로 10만 명 증가 예상 ■ 안전한 건설현장에 대한 수요 증가 - 국내 전체 사업의 사망만인율은 최근 10년 간 약 45% 감소한 반면 건설업은 13% 감소	■ 공사기간 단축 및 대체 인력 수급을 위한 건설장비 및 시공의 자동화·무인화 기술 개발 필요 - 숙련된 인력이 필요하던 작업을 자동화 기술개발을 통해 비숙련자가 장비를 작동하여 작업 가능하도록 건설장비 자동화 기술 및 건설로봇 개발 필요 ■ 건설산업의 안전성 확보를 위한 안전 통합 관제시스템 및 근로자의 안전 확보를 위한 장비 기술 개발 필요 - 근로자가 처한 상황 및 상태 파악을 위한 포터블 디바이스 등 제작 필요 - 건설현장에 대한 정보 및 근로자의 포터블 디바이스로부터 얻은 정보의 디지털화를 통한 관제시스템 개발 필요
기술 동향	■ 건설장비의 경우 전기 및 iCT기술의 융복합을 통한 독자적 설계능력 확보를 위한 연구 추진 중 - 건설 자동화 장비는 자동측량 및 굴착 기술 개발 중이나 연구단계 수준 - 초정밀 Digital Map구축기술의 경우 원천 기술개발 보다는 해외기술을 활용한 연구 중심으로 수행 ■ BIM 기술은 건설 분야에 도입되기 시작한 단계로 건설 설계과정에 국한하여 부분적으로 적용 ■ 근로자의 위험요인 인지기술 분야의 연구 및 기술 개발 증가 추세 - 선진국을 바짝 뒤따르는 국내 웨어러블 디바이스 기술 - 민간 기업체에서는 현장의 안전, 품질 등 현장 관리를 위한 통합 시스템을 개발한 상태 ■ 디지털 정보의 분류체계가 구축되어 있으나 건설산업 전체에 적용하는 데에는 일부 한계 존재	■ 건설자동화 장비에 관한 연구 및 해외기술에 의존하고 있는 Digital Map 기술 등에 관한 국가적 투자를 통해 건설현장에서 상용 가능한 자동화 장비 개발과 원천기술 개발을 통해 국내 기술의 경쟁력 향상 도모 필요 ■ BIM을 활용한 설계 자동화 및 공정관리 기술, 모듈 공법 등의 적용 및 활용 범위 확대를 위한 성과 창출 필요 ■ 민간 기업체 시스템의 경우 정보 교환 및 데이터 호환의 한계를 극복하기 위한 국가 차원의 표준화된 현장관리시스템 개발 필요 ■ 국가 차원의 디지털 정보 분류체계시스템을 구축하여 정보의 표준화 및 국가 건설정보 통합 플랫폼 구축 필요

제 3장

사업 추진계획(안)



1절 사업 비전 및 목표

1. 비전 체계도

<table>
<tr><td>비전</td><td colspan="4">스마트 건설기술 육성을 통해 글로벌 건설시장 선도</td></tr>
<tr><td>사업목적</td><td colspan="4">건설산업의 디지털화 및 자동화를 위한
기술혁신 및 스마트 생태계 조성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업목표</td><td colspan="4">건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상</td></tr>
<tr><td>건설 생산성
25% 이상 향상</td><td>건설 공기
25% 이상 단축</td><td>건설업 재해율
25% 이상 감소</td><td>건설생산 과정의
디지털화 25%
이상 향상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">추진단계</td><td>1단계 ('20~'21)</td><td>2단계 ('22~'23)</td><td colspan="2">3단계 ('24~'25)</td></tr>
<tr><td>• 중점분야 내 핵심/
구성기술 개발</td><td>• 중점분야 간 핵심/
구성기술 연계</td><td colspan="2">• 테스트베드 종합적용
및 검증</td></tr>
<tr><td>성과목표</td><td colspan="2">스마트 건설을 위한
핵심기술 확보</td><td colspan="2">스마트 건설기술 현장 적용 및
건설시장 정착</td></tr>
<tr><td rowspan="5">중점분야
및
핵심기술</td><td>중점분야</td><td colspan="3">핵심기술</td></tr>
<tr><td>건설장비 자동화
및 관제기술</td><td colspan="3">◆ 지능형 건설장비 관제 기술 개발
◆ 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발
◆ 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>도로구조물
스마트 건설기술</td><td colspan="3">◆ 디지털 기반 도로구조물 설계·제작·시공 지원기술 개발
◆ 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발
◆ 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발</td></tr>
<tr><td>스마트 안전 통합
관제기술</td><td colspan="3">◆ 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발
◆ 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발
◆ 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발</td></tr>
<tr><td>스마트 건설
디지털 플랫폼 및
테스트베드</td><td colspan="3">◆ 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발
◆ 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발
◆ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발</td></tr>
</table>

2. 기본방향

○ **(기술 융복합을 통한 스마트화 및 부가가치 향상)** 타 산업의 기술을 건설 기술과 융복합시켜 건설의 스마트화 및 건설 기술의 부가가치를 향상

- 건설기술 정보의 공유·유통 시스템의 개발을 통해 기획·설계 단계부터 시공까지의 건설기술 全단계에 대한 정보 통합을 위한 기술개발을 추진
- BIM, IoT, ICT, Big Data 등 4차 산업기술을 접목한 융복합 스마트 기술 개발의 활성화를 토대로 건설방식의 전환을 도모
- 건설기술의 융복합화로 인한 새로운 비즈니스모델의 발굴로 새로운 일자리 창출 및 스타트업 기업 육성으로 새로운 건설산업 생태계를 조성

○ **(데이터 중심 기술로의 도약)** 건설 과정이 통합되면서 건설정보의 중요성이 증가함에 따라 이에 부합하는 건설정보 플랫폼 구축 및 건설정보 활용성 강화체계를 구축

- 숙련자의 경험의존 혹은 시행착오의 반복으로 얻어진 정보가 아닌, 데이터 분석 및 시뮬레이션을 통한 사전 예측 정보마련으로 생산성 향상 및 공기단축을 도모
- 건설정보의 공유·유통관리차원을 넘어서 DB정보 분석을 통한 지식을 생성할 수 있는 체계를 구축

○ **(고객지향 기술로의 전환)** 인구 고령화로 인한 숙련인력의 부족문제 해결 및 젊은 인력의 유입을 증가시키기 위해 혁신적이고 고객지향적인 기술로 추진

- 인구고령화 및 건설산업의 근로자 평균 연령의 증가로 인해 부족한 숙련인력을 비숙련 인력으로 대체 가능하도록 건설 자동화 기술개발을 수행
- 건설 全단계에 걸쳐 3D스캐닝 및 VR, AR, BIM 등의 스마트 건설기술을 활용하여 다각화된 정보로 건설현장을 관리감독할 수 있도록 기반 조성 추진
- 서비스 제공 방향이 수요자 중심으로 변화하면서 공공재이자 공공서비스인 도로건설의 경우에도 국민참여형식을 도입할 필요성이 있으므로, 공공데이터 개방 및 민간 참여 방식의 스마트 건설 기반 통합플랫폼(CPS) 구축으로 추진

3. 사업비전

사업비전	스마트 건설기술 육성을 통해 글로벌 건설시장 선도

○ **(법적근거)**

- 「건설기술진흥법」에 따라 국토교통부장관은 건설기술의 공동연구 및 정보교환 등 기술개발을 위한 투자 권고 및 기술정보의 효율적 활용과 선진기술 획득을 위해 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발에 대해 지원 가능
- 그 외 「과학기술기본법」, 「국토기본법」, 「구토의 계획 및 이용에 관한 법률」, 「건설산업기본법」, 「국토교통과학기술 육성법」등으로 건설기술 연구 지원가능

○ **(상위계획)**

- 과학기술정보통신 분야 「제4차 국가과학기술 기본계획」('18～'22) : 스마트 재난안전관리 시스템 및 신기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계 구축을 통해 건설산업의 선진화 추진

○ **(부처계획)**

- 「제4차 국토종합계획 수정계획」('11～'20) : ICT 활용 예방 시설물 유지관리, BIM 활용 체계 등 국토정보 통합 네트워크 구축
- 「제6차 건설기술진흥 기본계획」('18～'22) : 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발 및 신사업 육성을 통해 건설업의 생산성 향상, 경쟁력 강화, 건설업 생태계 조성 등의 기반 조성
- 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획」('18～'27) : 인공지능, 로봇 등 융복합을 통한 건설 프로세스를 혁신하는 지능형 건설생산체계를 구축
- 「건설한업 혁신방안」('18.6) : 기술혁신을 통하여 4차 산업혁명을 선도하는 글로벌 산업을 육성하여 R&D 강화 및 스마트 인프라 등 기술로 승부하는 건설시장의 확대를 통해 건설산업을 혁신친화적 산업으로의 전환 추구
- 「혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획」('18～'22) : 삶의 질 개선 및 신 성장 촉신을 위해 스마트시티를 통한 스마트 건설기술 접목 및 지능형안전산업 선도

○ **(종합의견)**

- 이러한 책무와 배경하에 4차 산업혁명에 대응하는 스마트 건설 체계의 마련으로 국가 건설경쟁력을 강화하고 해외 건설시장의 점유율을 확대하고자 하는 비전을 설정함

4. 사업목표

사업목표	건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상

○ **(사업목표 설정 방법)**

- "스마트 건설기술 로드맵(국토부, 2018.10)" 정책목표에 기반하여, 본 사업의 기획위원회 및 관련 전문가의 심층검토를 통하여 사업 목표를 설정
- 본 사업의 중점분야별 목표의 설정근거는 다음의 표와 같음

구분	정책목표 (스마트 건설기술 로드맵, '18.10)	R&D사업 목표 (스마트 건설기술 개발사업)	비고
세부 내용	▪ 건설 생산성 50% 향상	▪ 건설 생산성 25% 이상 향상 ▪ 건설 공기 25% 이상 단축	정책목표 달성 기여율 50% 고려
	▪ 건설 안전성 향상 (사망만인율 1.76 → 1.0. 약 43%)	▪ 건설업 재해율 25% 이상 감소	정책목표 달성 기여율 50% 고려
	▪ 고부가가치 스타트업 500개 창업	-	스타트업 창업은 기대효과로 제시
	-	▪ 건설생산과정의 디지털화 25% 이상 향상	디지털 기반 스마트 건설기술 개발이라는 사업특성 고려 - 맥킨지 보고서('17)에 제시된 산업 디지털화 개념 도입

○ **(중점분야1) 건설장비 자동화 및 관제 기술 개발**

- (목표) 건설 생산성 25% 이상 향상
- (적용 대상) 도로, 단지, 간척지 등 포장 및 토공
- (설정 근거 및 방법) "스마트 건설기술 로드맵(국토부, 2018.10)"의 건설 생산성(노동 생산성) 50% 향상 목표와 관련하여, R&D 투자를 통해 그 절반 수준인 생산성 25% 이상 향상을 달성하는 것을 목표로 설정
- (산식) 본 사업에 의한 시간당 노동생산성 / 기존 방식에 의한 시간당 노동생산성 ≥ 1.25
  * 시간당 노동생산성 = 부가가치 / 노동시간

  출처: 한국생산성본부(2015), 노동생산성 국제비교
- 본 사업에서 적용하는 토공 및 포장 Test-Bed 현장에 대하여 기존 건설 방식 대비 본 사업의 중점분야1 기술 적용에 따른 노동시간 단축효과를 비교하여 건설 생산성 향상 달성 판단

○ **(중점분야2) 도로구조물 스마트 건설기술 개발**

- (목표) 건설 공기 25% 이상 단축
- (적용 대상) 터널, 교량, 옹벽 등 도로구조물
- (설정 근거 및 방법) “스마트 건설기술 로드맵(국토부, 2018.10)”의 건설 생산성 50% 향상 목표를 참고하여, R&D 투자를 통해 건설 공기 25% 이상 단축하는 것을 목표로 설정
- (산식) 단축된 공사기간(일) / 기존 공사기간(일) $\leq$ 0.75

○ **(중점분야3) 스마트 안전 통합 관제기술 개발**

- (목표) 건설업 재해율 25% 이상 감소
- (적용 대상) 도로, 단지, 건축물 등 현장
- (설정 근거 및 방법) 스마트 안전 통합 관제기술을 적용하는 시점의(’23년 예상) 평균 산업재해율 대비 적용 2년 후(’25년 예상) 산업재해율 25% 이상 감소시키는 것을 목표로 설정
  * 참고 및 예시 : 2016년 기준 건설업의 재해율 8.43% → 6.32%
- (산식) 감소된 재해율 / 기존 재해율 $\leq$0.75
  * 재해율 = 재해자 수 / 근로자 수 × 100

출처: 고용노동부(2016), 2016년 산업재해현황분석 보고서

○ **(중점분야4) 스마트 건설 디지털 플랫폼 개발 및 테스트 베드**

- (목표) 건설 생산 과정의 디지털화 25% 이상 향상
- (적용 대상) 도로, 단지, 건축물 등 현장
- (설정 근거 및 방법) 맥킨지 글로벌에서 제시한 industry digitalization index를 참고하여, 본 사업에서 건설 생산 과정의 디지털화 지수(index)를 자체 개발하고, 사업 착수 시점(’20)의 디지털화 지수에서 연구개발 이후(’26) 25% 이상 향상하는 것을 목표로 설정
- (산식) $\{(\text{디지털 자산 지수}) \times 10\%\} + \left\{\left(\frac{\text{업무의 디지털화} + \text{디지털 소비}}{2}\right) \times 50\%\right\} +$

$$\left\{\left(\frac{\text{상호작용 수준} + \text{디지털화의 처리수준} + \text{비즈니스 프로세스} + \text{시장형성 지수}}{4}\right) \times 40\%\right\} \geq 1.25$$

구분	항목	지수
Usage	시장형성	$= \frac{\text{신규국내기업의수} + \text{기존국내기업의수}}{\text{기존국내기업의수}}$
	비즈니스 프로세스	$= \frac{\text{현재업무프로세스별제공되는서비스(화면)의수}}{\text{기존업무프로세스별제공되는서비스(화면)의수}}$
	상호작용 수준	$= \frac{\text{현재세부서비스별제공(전송)되는데이터의비중} + \text{통합관리되는정보의비중}}{\text{기존세부서비스별제공(전송)되는데이터의비중} + \text{통합관리되는정보의비중}}$
	디지털화의 처리수준	$= \frac{\text{현재디지털정보의제공(처리)속도}}{\text{기존디지털정보의제공(처리)속도}}$
Asset	디지털 자산정도	$= \frac{\text{현재데이터의표준화적용정도}}{\text{기존데이터의표준화적용정도}}$
Labor	업무의 디지털화	$= \frac{\text{정보의디지털화비중(정보항목또는정보량)}}{\text{전체업무의산출정보(정보항목또는정보량)}}$
	디지털 소비	$= \frac{\text{현재정보의조회수(이용자수)}}{\text{기존정보의조회수(이용자수)}}$

※ Industry digitalization index를 참고하여 지표를 재산정

<표 3-1> 중점분야별 개발 가능한 신기술 및 목표 달성방안

중점분야	본 사업으로 개발 가능한 신기술	달성목표 및 달성방안
건설장비 자동화 및 관제기술	- (특허): 광대역 Smart Local Network 기반 IoT 기반, 원격형 현장 제어 기술, 자율운영 현장모델링 기술, After-market용 범용 머신컨트롤 시스템	**【달성목표: 생산성 25% 향상에 기여 공기 25%에 단축에 기여】** - 달성방안: 건설장비 지능화 및 초연결을 통한 설계, 시공, 유지관리의 통합관리를 통한 획기적인 건설 생산성 향상 - 기존의 측량대비 측량시간 및 후처리시간 감소효과를 통한 작업효율 향상 - 측량인력 및 후처리인력의 재배치를 통한 작업생산성 향상 - CPS기반 현장정보분석을 통한 현장작업 간섭최소화 및 최적운영 방향성 도출 가능
	- (SW): 지능형 건설장비 관제 시스템, CPS기반 토공 및 도로공 현장정보 분석시스템	
	- (지침): 건설장비 관제·자동화 기술 규칙 및 기준	
	- (특허): 실시간 품질을 반영한 자율 작업 시스템, 아스팔트 생산-운반-포설 통합 관리 시스템	-
	- (지침): 자율작업장비를 포함한 도로건설장비, 구조·규격 및 성능 안전기준 제정	
도로 구조물 스마트 건설기술	- (SW): 도로구조물 BIM 모델링 Add-in S/W, BIM모델-구조해석/설계검토 Add-in S/W, BIM 객체 기반 공정/수량/공사비 산출 Add-in S/W, 시공시뮬레이션 모델 변환기(Add-in S/W), VR/AR기반 가상시공 S/W	**【달성목표: 공기 25% 단축에 기여】** - 달성방안: 디지털 가상건설을 통하여 설계 변경을 최소화하고 수정 설계 발생 시 기간을 최소화하여 공기단축에 기여할 수 있음
	- (특허): 다형상 모듈 생산을 위한 장비, 장치 등에 관한 특허 부재 원격.자동 거치용 로봇, 원격시공 장비 및 Attachment, 원격 시공을 위한 자동 상·하강 교각 거푸집, VR 기반 실감형 원격 제어 장치	**【달성목표: 공기단축 25% 단축에 기여】** - 달성방안: 고품질의 프리팹 부재 생산을 통한 프리팹 구조물 활성화 가능 → 공사 기간 단축
	- (SW): 협업 기반 운반 경로 계획 SW, 이동식 크레인 기반 자동 운반 및 안전 제어 SW, VR 기반 실감형 원격 제어 SW	**【달성목표: 공기단축 25% 단축, 재해율 25% 감소에 기여】** - 달성방안(1): 로보틱 크레인과 원격 로봇의 적용을 통해 인력에 의한 시공이 어려운 작업 환경(폭염 환경 등)에서 중단 없이 시공을 가능하게 하고, 안전시설의 설치·해체 기간을 절감함으로써 공기 단축

중점분야	본 사업으로 개발 가능한 신기술	달성목표 및 달성방안
	- (특허): 센서융합형 형상 급속/정밀 스캔 기술, 드론 기반의 3차원 이미지 스캐닝 기술, 부재건전성 판단 목적의 초고감도 센서, 딥러닝 기반 안전성 평가 기술	- 프리팹 부재와 As-built 구조의 조립 시 3차원 형상 정보를 이용하여 시공 가능성을 사전에 판단하여 무인화/자동화를 가능하게 하며, 이를 통해 공기단축, 재해율 감소 - 프리팹 부재의 이동/시공 중 거동이력을 통한 구조적 건전성 판단 및 As-built 구조의 형상 이력 정보 기반의 딥러닝 활용 구조물 건전성 모니터링을 통해 시공 중 안전성을 확보하여 재해율 감소
	- (특허): 시공 전주기 운전정보 4D 가시화 시스템, 빅데이터/머신러닝을 통한 굴착대상 지반조건의 정밀 분석 기법	**【달성목표: 공기 25% 단축에 기여】** - 달성방안(1): 인력에 의한 TBM 시공데이터의 분석 및 대응방안의 제시 과정을 빅데이터 및 머신러닝을 통해 수행함으로써 보다 신뢰성 있고 빠른 의사결정이 가능하게 되어 전체 TBM 시공기간의 단축 가능 - 달성방안(2): TBM 시공 중 가장 빈번하게 발생하고, 문제가 발생했을 시 시공기간과 대응비용에 큰 영향을 미치는 지반조건의 변화를 사전에 예측하여 문제 발생 전에 대응함으로써 TBM 공기 단축 - 달성방안(3): TBM 시공 중 발생 가능한 리스크를 머신러닝 기반으로 통합 관리하여 리스크 발생 전에 사전 예측하고, 적절한 대응방안을 제시하여 TBM 공기 단축
	- (SW): 기계식 굴착장비(TBM)의 운전·제어 자동화 SW, TBM 시공 통합 리스크 관리 SW	
	- (특허): 굴착면의 형상에 대응하여 숏크리트 및 방수멤브레인의 정밀 타설이 가능한 자동시공 장비, 터널막장(굴진면) 이미지 분석 기법 스캐닝 시스템 연동 터널 지보재 자동타설 시스템, 터널막장(굴진면) 이미지 분석 기법	**【달성목표: 공기 25% 단축에 기여】** - 달성방안(1): 불규칙한 굴착면의 형상에 대응하여 숏크리트 및 방수멤브레인의 정밀 타설이 가능한 자동시공 기술을 통해 중단 없이 연속적인 타설을 가능하게 하고, 기존의 불균일한 지보재 타설 두께로 인한 안정성 문제 발생 등을 저감하여 NATM 지보재 및 방수재 시공시간을 단축 - 달성방안(2): 기존 수작업으로 수행되던 Face mapping 방법을 자동화하여 Face mapping에 소요되는 시간을 대축 감소
	- (SW): 불규칙한 굴착면 형상 mapping SW, 방수멤브레인의 정밀 타설이 가능한 자동시공 SW, 터널막장(굴진면) 이미지 분석을 통한 Face mapping 자동화 SW, 센서 기반 3D타설면 DB 및 분석 SW, 터널막장(굴진면) 이미지 분석을 통한 Face mapping 자동화 SW	

중점분야	본 사업으로 개발 가능한 신기술	달성목표 및 달성방안
스마트 안전 통합 관제 시스템	- (특허): 스마트 웨어러블, 스마트 펜스, 모듈형 보강재 - (SW): 스마트안전통합진단 솔루션 - 스마트 안전 통합관제 시스템	**【달성목표: 재해율 25% 감소에 기여】** - 달성방안: 본 연구를 통해 개발되는 다양한 세부기술을 기반으로 하는 스마트 안전 통합관제 시스템을 건설안전 취약현장인 중소형 현장에 적합하도록 최적화 개발 - 개발된 시스템을 국토부 건설안전과와의 협의를 통해 공공발주 현장(테스트 베드에 참여하는 국토부, LH, 도로공사 및 서울시)에 우선 적용 - 건진법상 안전관리비의 항목에 본 시스템을 권장하여 보급, 확산이 원활히 되도록 정책지원을 통한 유도 - 공공 현장에서 성과를 기반으로 민간발주 취약 현장에도 확산 가능
스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	- (지침): 스마트건설 테스트베드 운영 결과보고서 스마트건설 시방서 스마트건설 정책 스마트건설 표준화 스마트건설 기술성과 분석서 스마트건설 테스트베드 수집데이터 활용매뉴얼	**【달성목표: 생산성 25%향상, 공기 25% 단축, 건설업 재해율 25% 감소에 기여】** - 달성방안: · 통신망(특별망) 구축 - 전체 작업자와 장비를 모니터링 - 터널 전 구간 모니터링 · 환경감시(소음, 대기질, 수질) - 현재 육안확인 → 계측기를 통한 24시간 관리 · 진출입관리: 유동관리 30개소 → 디지털화 - Tag, Bio센서 등을 통한 관리 · 건설현장 내 차량관제 · 영상처리를 통한 건설현장 전구간 감시범위 확대 - 시공상태 확인 **【달성목표: 건설정보 디지털화 25%에 기여】** - 달성방안: 통신망 구축, 환경감시 시스템 개발, 진출입 감시시스템 개발, 차량관제 시스템 개발, 현장 헬스케어시스템 개발 등 건설 생산과정의 디지털화 25% 향상에 기여

5. 성과목표 및 지표

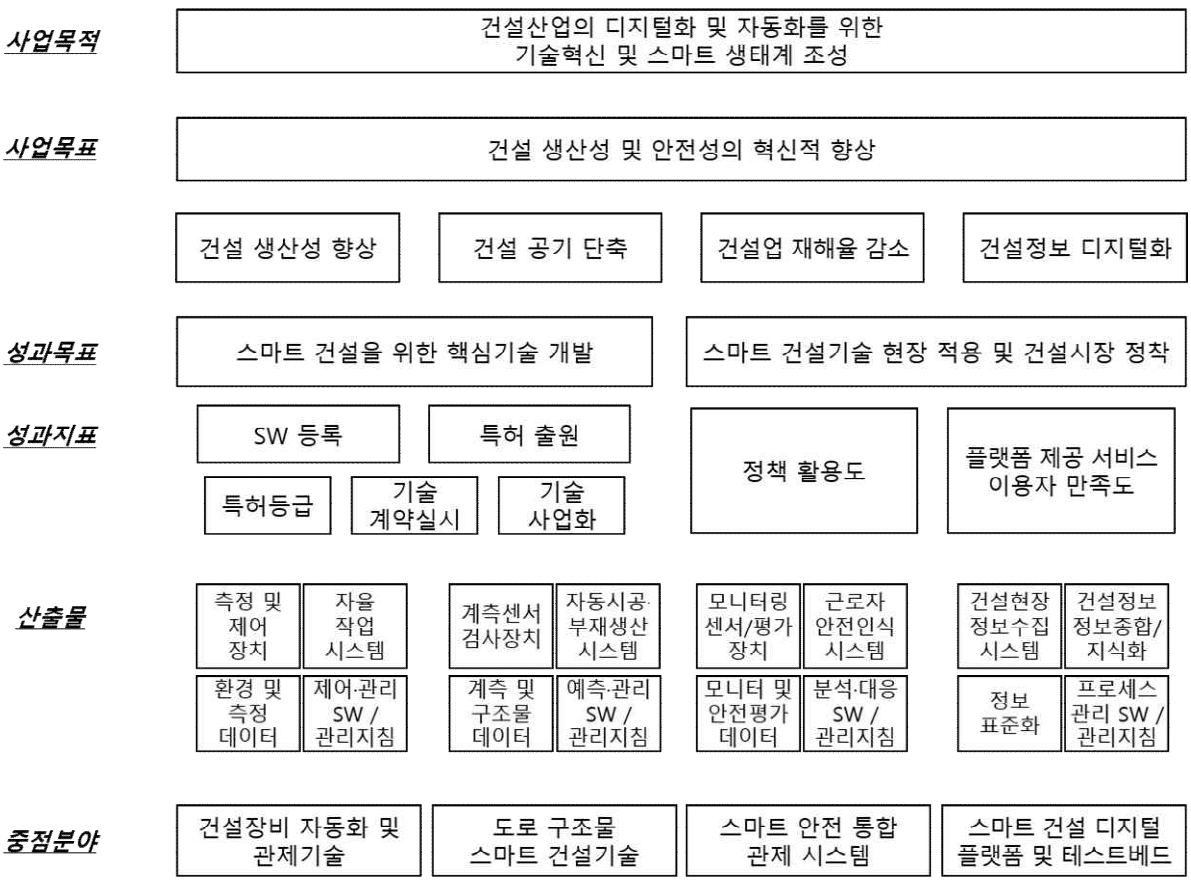
□ 핵심성과지표는 논리모형 단계의 결과지표 중에서 SMART 원칙에 따라 도출

○ 스마트건설 기술개발 활동을 통해 ① SW등록, ② 특허출원, ③ 특허등급지수, ④ 기술계약실시, ⑤ 기술사업화, ⑥ 정책활용도, ⑦ 플랫폼 제공 서비스 이용 만족도의 성과를 달성

- 구체적이고, 측정이 가능하고, 직접적으로 투자한 결과에 따라 도출되었고, 사업기간 안에 객관적 성과창출이 가능한 성과

※ SMART 원칙: Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound

- 결과성과인 특허등급지수, 기술계약실시, 기술사업화, 정책활용도, 플랫폼 제공 서비스 이용자 만족도는 실증과제를 바탕으로 검증을 통해 얻어지는 결과물로 모두 성과측정이 매우 구체적이고 6년의 사업기간 안에 모두 정량적 성과를 제시할 수 있는 특성을 지님



[그림 3-1] 스마트 건설기술 개발사업 성과지표 체계도

□ **핵심성과지표가 “핵심기술 확보”와 “기술 기반 마련”이라는 동사업의 목표를 달성하였는지를 판단할 수 있는지 부합성을 검토**

○ (핵심기술 확보) 핵심기술 확보를 위해서는 새로운 건설기술이 현장에서 도입되어야 하는데 ‘SW 등록’과 ‘특허 출원’은 기술개발의 대표적인 산출지표이며, 이러한 지표의 활용 정도를 확인하기 위해서는 ‘특허등급 지수’, ‘기술 실시계약’, ‘기술 사업화’는 필수적 요소

- (SW 등록) 건설현장에 도입할 수 있는 SW는 핵심기술 개발의 중요한 산출지표로 새로운 핵심기술 확보를 측정할 수 있는 인증지표
- (특허 출원) 건설현장에 도입할 수 있도록 핵심기술을 개발하여 특허로 출원하는 것은 새로운 핵심기술 확보를 측정할 수 있는 중요한 산출지표
- (특허등급지수) 특허출원된 기술이 건설현장에서 얼마만큼의 우수성 및 활용성 등의 가치를 가지는지 측정하기 위한 중요한 질적지표
- (기술 실시계약) 개발된 핵심기술을 민간 산업체 등으로 이전하여 기술의 확산을 검정하기 위한 중요한 결과지표
- (기술사업화) 개발된 핵심기술이 민간 산업체로 기술이 이전되고, 얼마만큼의 수익을 창출하는지를 검증하기 위한 결과지표

○ (기술 기반 마련) 데이터 기반의 의사결정 등 정보의 중요성은 증대하고 있으나 건설산업은 건설정보가 효율적으로 활용하지 못하고 있고 연구개발을 통해 개발된 기술들은 건설현장에 적용되지 못하고 있는 실정으로 이를 위한 ‘플랫폼 제공서비스 이용자 만족도’와 ‘정책활용도’는 필수적 요소

- (정책활용도) 건설현장에 적용하기 위해 제시한 지침과 기준은 건설산업에서 가장 중요한 요소이며, 단순산출이 아닌 정책의 활용여부는 성과의 질적 수준을 판단할 수 있는 요소
- (플랫폼 제공서비스 이용자 만족도) 개발된 플랫폼이 서비스 이용자들에게 효율적으로 활용되고 있는지를 측정하기 위한 질적지표

□ **성과목표는 성과지표의 대표성을 기준으로 Bottom-up으로 도출하였으며, 중점분야 간 성과연계를 통하여 도출**

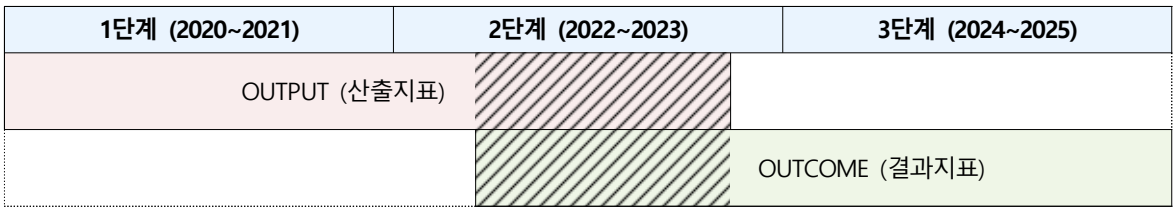
○ 중점분야1과 중점분야2는 건설장비 및 설계-시공기술의 개발을 통한 핵심기술 확보로 설계되었으며 중점분야3은 건설현장의 안전성을 위한 기술확보, 중점분야4는 건설정보 공유와 확산을 위한 기술 기반 마련으로 설정

- (공통항목) 건설생산성 향상, 건설공기 단축, 건설현장의 재해율 감소, 건설정보의 디지털화를 위해 SW 등록, 특허출원, 특허등록지수, 기술 실시계약, 기술 사업화, 정책활용도를 성과지표로 도출

- (중점분야4) 건설정보 공유, 지식생성 등을 통해 건설정보의 활용정도를 측정하기 위해 플랫폼 제공서비스 이용자 만족도를 성과지표로 도출

□ **성과목표는 각 중점분야의 단계별 성과목표를 구조화하는 방식으로 도출**

○ 각 중점분야는 단계별로 연구개발 계획을 수립하고 성과목표를 제시하였으며, 단계별로 각 중점분야를 관통하는 성과목표를 도출



[그림 3-2] 단계별 성과지표 구분

- (1단계) 스마트 건설 기술개발의 핵심기술 확보를 위한 SW 등록, 특허출원 건수를 성과목표로 선정

- (2단계) 1단계 연구성과들의 개발단계 진입을 본격화하고, 1단계에서 개발한 기술의 고도화 및 건설현장에서의 정책활용정도를 성과목표로 선정

- (3단계) 실증을 통한 개발된 성과들을 검증하고 이를 기반으로 국가 건설기준에 반영되는 성과가 창출되어, 건설기술의 현장적용이 활발해짐

□ 성과 지표별 설정 근거

<table>
<tr><th>지표 ①</th><th colspan="6">SW 등록 건수</th></tr>
<tr><td>측정산식</td><td colspan="6">= ∑(소프트웨어 등록 건수)</td></tr>
<tr><td>측정방법</td><td colspan="6">* 관련 사업의 최근 6년간 1억 원당 소프트웨어 등록 건수 평균값에 본 사업의 예산을 적용하여 목표치 설정
* 초기 사업임을 감안하여 관련사업의 절반 수준으로 초기목표를 설정하고, 2단계까지 관련 사업의 평균수준에 도달하는 것으로 목표치 설정
※국토교통R&D사업 관리시스템, NTIS에 소프트웨어 개발 성과로 등록된 건수로 측정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">1단계</td><td colspan="2">2단계</td><td colspan="2">3단계</td></tr>
<tr><td>'20</td><td>'21</td><td>'22</td><td>'23</td><td>'24</td><td>'25</td></tr>
<tr><td>목표치</td><td></td><td>13</td><td>20</td><td>27</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><th>지표 ②</th><th colspan="6">특허출원 건수</th></tr>
<tr><td>측정산식</td><td colspan="6">= ∑(특허 출원 건수)</td></tr>
<tr><td>측정방법</td><td colspan="6">* 관련사업의 최근 6년간 1억 원당 특허출원건수 평균값에 본 사업의 예산을 적용하여 목표치 설정
* 초기 사업임을 감안하여 관련 사업의 절반 수준으로 초기목표를 설정하고, 2단계까지 관련 사업의 평균수준에 도달하는 것으로 목표치 설정
※국토교통R&D사업 관리시스템, NTIS, 특허정보원 DB에 출원된 출원건수로 측정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">1단계</td><td colspan="2">2단계</td><td colspan="2">3단계</td></tr>
<tr><td>'20</td><td>'21</td><td>'22</td><td>'23</td><td>'24</td><td>'25</td></tr>
<tr><td>목표치</td><td>29</td><td>39</td><td>49</td><td>58</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><th>지표 ③</th><th colspan="6">특허등급지수</th></tr>
<tr><td>측정산식</td><td colspan="6">특허등급지수 = $\sum_i (A_i \times B_i)$ / $\sum_i (B_i)$
* A_i : 특허 등급별 가중치
<table><tr><td>등급</td><td>C</td><td>CC</td><td>CCC</td><td>B</td><td>BB</td><td>BBB</td><td>A</td><td>AA</td><td>AAA</td></tr><tr><td>가중치</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table>* B_i : 등급별 특허건수</td></tr>
<tr><td>측정방법</td><td colspan="6">* 관련사업의 최근 6년간 평균 특허등급지수 값에 매년 10% 증가한 값을 적용하여 목표치를 설정
※국토교통R&D사업 관리시스템, NTIS, 특허정보원 DB에 등록된 특허등록건수로 측정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">1단계</td><td colspan="2">2단계</td><td colspan="2">3단계</td></tr>
<tr><td>'20</td><td>'21</td><td>'22</td><td>'23</td><td>'24</td><td>'25</td></tr>
<tr><td>목표치</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>3.94</td><td>4.33</td><td>4.77</td></tr>
</table>

지표 ④	기술 실시 계약 및 이전 건수					
측정산식	= 당해연도 ∑(기술실시계약 건수)					
측정방법	* 관련 사업의 최근 6년간 1억 원당 기술이전 평균값에 본 사업의 예산을 적용하여 목표치 설정 * 초기 사업임을 감안하여 관련 사업의 2/3 수준으로 초기목표를 설정하고, 최종 목표는 관련 사업의 평균 수준에 도달하는 것으로 목표치 설정 ※국토교통R&D사업관리시스템 및 NTIS에 등록된 건수로 측정					
구분	1단계		2단계		3단계	
	'20	'21	'22	'23	'24	'25
목표치	-	-	-	-	7	10

지표 ⑤	기술사업화					
측정산식	= ∑(해당연도 사업화매출액) + ∑(해당연도 현장비용절감액) -(사업화매출액) 연구개발성과물 납품 및 판매 등에 따른 발생 매출액 -(현장비용절감액) 개발된 기술의 자체 실시에 따른 수입대체효과 등으로 절감된 비용					
측정방법	* 관련 사업의 최근 6년간 1억 원당 기술사업화 평균값에 본 사업의 예산을 적용하여 목표치 설정 * 초기 사업임을 감안하여 관련 사업의 2/3 수준으로 초기목표를 설정하고, 최종 목표는 관련 사업의 평균 수준에 도달하는 것으로 목표치 설정 ※추진연구과제 대상으로 하여 개발기술의 현장적용 매출액과 시제품 · 테스트베드 등으로 절감된 총비용의 총합계					
구분	1단계		2단계		3단계	
	'20	'21	'22	'23	'24	'25
목표치	-	-	-	-	53.4	80.1

지표 ⑥	정책활용도					
측정산식	= 해당연도 ∑((정부 정책반영 건수×1.0)+(설계기준·지침반영 건수×0.6)) / 직전년도 ∑((정부 정책제안 건수×1.0)+(설계기준·지침제안 건수×0.6))					
측정방법	* 연구책임자를 대상으로 해당연도 말 기준 연구성과 조사를 통해 정책 제안·채택 및 설계기준·지침·시방서 제안・반영 관련 자료를 확보 * 최근 3년간 급격히 증가하여, '17년에 달성한 0.75수준을 유지하는 수준으로 목표치를 설정 ※국토교통R&D사업관리시스템					
구분	1단계		2단계		3단계	
	'20	'21	'22	'23	'24	'25
목표치	-	-	0.5	0.6	0.7	0.7

지표 ⑦	플랫폼 제공서비스 이용자 만족도(%)					
측정산식	= ∑(항목별 100점 만점 환산값) / 항목 수					
측정방법	* 5점 척도로, 실제로 플랫폼 제공서비스를 이용한 수요자의 만족도를 조사한 후 100점 만점으로 환산 ※수요자 만족도 결과표					
구분	1단계		2단계		3단계	
	'20	'21	'22	'23	'24	'25
목표치	-	-	-	60	70	70

□ **단계별 성과 목표 및 지표**

<table>
<tr><td>구분</td><td colspan="8">내용</td></tr>
<tr><td>전략 목표</td><td colspan="8">스마트 건설 체계의 마련으로 국가 건설경쟁력 강화 및 해외 건설시장 점유 확대</td></tr>
<tr><td>성과 목표</td><td colspan="8">○ 스마트 건설을 위한 핵심기술 확보
○ 스마트 건설기술 현장 적용 및 건설시장 정착</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과 목표</td><td colspan="3">1단계(2020 ~ 2021)</td><td colspan="3">2단계(2022 ~ 2023)</td><td colspan="2">3단계(2024 ~ 2025)</td></tr>
<tr><td colspan="3">○ SW 13건 등록
○ 특허 68건 출원</td><td colspan="3">○ SW 47건 등록
○ 특허 107건 출원
○ 특허등급지수(3.94)
○ 정책활용도(0.6)
○ 플랫폼 제공서비스 이용자 만족도(60%)</td><td colspan="2">○ 특허등급지수(4.77)
○ 기술 16건 실시계약
○ 기술 사업화 133.5억 원
○ 정책활용도(0.7)
○ 플랫폼 제공서비스 이용자 만족도(70%)</td></tr>
<tr><td rowspan="8">성과 지표</td><td>지표명</td><td>지표 구분</td><td>가중치</td><td>지표명</td><td>지표 구분</td><td>가중치</td><td>지표명</td><td>지표 구분</td><td>가중치</td></tr>
<tr><td>SW 등록</td><td>양</td><td>0.3</td><td>SW 등록</td><td>양</td><td>0.1</td><td>특허등록지수</td><td>질</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td>특허출원</td><td>양</td><td>0.7</td><td>특허출원</td><td>질</td><td>0.1</td><td>기술 실시계약</td><td>질</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>특허등록지수</td><td>질</td><td>0.2</td><td>기술 사업화</td><td>질</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>정책활용도</td><td>질</td><td>0.3</td><td>정책활용도</td><td>질</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>플랫폼 제공 서비스 이용자 만족도</td><td>질</td><td>0.3</td><td>플랫폼 제공 서비스 이용자 만족도</td><td>질</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>-</td><td>1.0</td><td>합계</td><td>-</td><td>1.0</td><td></td><td>-</td><td>1.0</td></tr>
</table>

※ 단계별 목표에 대해서 12명의 분과장·간사위원을 대상으로 AHP 분석을 실시하여 목표별 가중치를 설정하였음

<표 3-2> 중점추진분야 단계별 목표

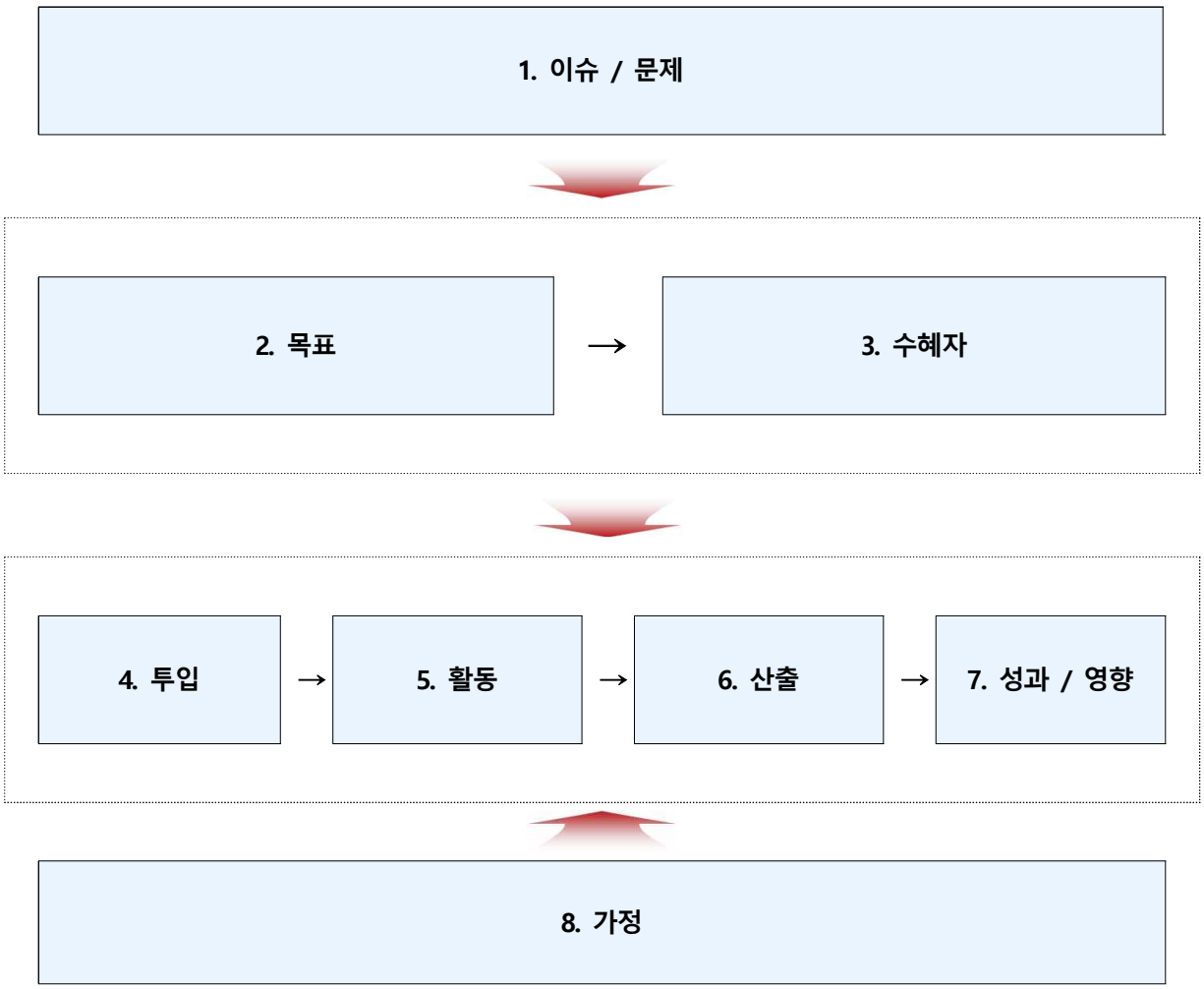
중점분야	1단계(2020~2021)	2단계(2022 ~ 2023)	3단계(2024 ~ 2025)
건설장비 자동화 및 관제기술	· SW 등록: 3건	· SW 등록: 12건	· 기술 실시계약: 4건
	· 특허출원: 18건	· 특허출원: 28건	· 기술 사업화: 35.1억 원
도로구조물 스마트 건설기술	· SW 등록: 3건	· SW 등록: 12건	· 기술 실시계약: 4건
	· 특허출원: 17건	· 특허출원: 27건	· 기술 사업화: 33.2억 원
스마트 안전 통합 관제 기술	· SW 등록: 3건	· SW 등록: 10건	· 기술 실시계약: 3건
	· 특허출원: 14건	· 특허출원: 22건	· 기술 사업화: 28.0억 원
스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	· SW 등록: 4건	· SW 등록: 13건	· 기술 실시계약: 5건
	· 특허출원: 19건	· 특허출원: 30건	· 기술 사업화: 37.2억 원
	-	· 플랫폼 제공서비스 이용자 만족도 : 60%	· 플랫폼 제공서비스 이용자 만족도 : 70%
공통	-	· 특허등급지수 : 3.94	· 특허등급지수 : 4.77
	-	· 정책활용도 : 0.6	· 정책활용도 : 0.7

□ **대내외 환경과 사업추진 여건 및 수요에 대한 조사분석 결과를 토대로 논리모형을 활용하여 사업 내용을 설계함**

※ 국가연구개발사업의 기획 및 사전평가에 유용한 논리모형, KISTEP, 2016

○ 논리모형에 따라 주요이슈와 해결하고자 하는 문제를 정의하고, 문제가 해결되었을 경우 달성할 수 있는 사업의 목표와 문제해결의 수혜자를 정의

- SWOT 분석을 통해 도출된 기본 전략방향에 따라 사업의 내용을 구성하고, 예산투입규모를 확정하고 구체적인 사업의 성과목표를 도출
- 국내 R&D 역량 분석과 토론회, 전문가 자문회의를 통해 사업과 직·간접적으로 연관된 산업계의 수요와 현황에 대해서 작성



[그림 3-3] 논리모형의 기본구조

1. 이슈 / 문제

- 4차 산업혁명에 의한 건설 벨류체인의 변화
- 국가 SOC예산 감소(예산 '19년 △19.9%)
- 시공간을 초월한 인간, 사물, 정보 네트워크 확대 추세
- 건설현장과 공간의 첨단화, 지능화 요구 증대
- 안전한 인프라 건설 현장조성 수요 증가
- 주 52시간 근무로 기업 경영난 및 경쟁력 약화 우려
- 건설인프라 부문 생산성은 매우 낮은 실정(선진국의 1/2 수준)
- 국내 SOC 인프라 부문의 경쟁력 지수는 약화('17년 21위)
- 저출산•고령화 심화로 건설산업의 노동력이 감소(44세 이상 건설산업 근로자 '15년 26.7%)
- 인프라 건설에 대한 노동강도 저감요구 증대
- 스마트 건설 관련 시장 규모 및 산업 확대 전망(BIM 등)

2. 목표

- **(사업목적) 건설산업의 디지털화 및 자동화를 위한 기술혁신 및 스마트 생태계 조성**
- **(사업목표) 건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상**

→

3. 수혜자

- **(발주처)** 인프라 공급비용 저감으로 투자효율화
- **(근로자)** 안전하고 효율적인 건설환경 제공으로 근무 질 향상
- **(건설기업)** 신기술에 대한 기준 및 지침 마련으로 첨단 건설기술 개발 활성화
- **(ICT기업)** SW 개발, 네트워크 및 디바이스 등 ICT 기업의 신시장 창출
- **(국민)** 건설투자의 양과 질이 향상되면서 국민의 삶의 질 향상 및 연관산업 일자리 창출
- **(정부)** 정책의사결정을 위한 객관적이고 과학적인 정보의 획득으로 정책의 신뢰도 제고

4. 투입

- 연구비 : 2,170.4억
- 사업기간 : 6년
- 참여연구인력
- 참여기관(기업)

→

5. 활동

- 건설장비 자동화 및 관제 기술의 개발
- 도로 구조물 스마트 건설기술의 개발
- 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축
- 도로인프라 디지털 정보 통합 플랫폼의 구축•운영

→

6. 산출

- SW 등록 건수
- 특허출원 건수
- 특허등급 지수
- 기술 실시 계약 건수
- 기술 사업화
- 정책활용도
- 플랫폼 제공서비스 이용자 만족도

→

7. 성과 / 영향

- 스마트 건설 핵심기술 확보 및 기반체계 마련을 통한 건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상
  - 건설 생산성 25% 이상 향상
  - 건설 공기 25% 이상 단축
  - 건설업 재해율 25% 이상 감소
  - 건설정보 디지털화 25% 이상 향상

8. 가정

- 연구자 연구수요 중심의 건설기술개발은 단절된 건설 공종/공정 중심으로 이루어져 성과가 없지 않음에도 건설생산성 향상 효과가 크지 않음
- 건설기술의 경우 공공성이 높은 인프라에 적용되는 기술로 건설신기술 적용을 위한 건설기준의 재정 및 수립 등 제도적 지원 수요가 높음
- 건설 프로젝트, 건설 생애주기 간의 정보 환류체계 미흡으로 데이터 기반의 의사결정이 이루어지지 못하고 있어 정보활용을 위한 DB 구축 필요성이 증가하고 있음

[그림 3-4] '스마트건설 기술개발사업'의 논리모형

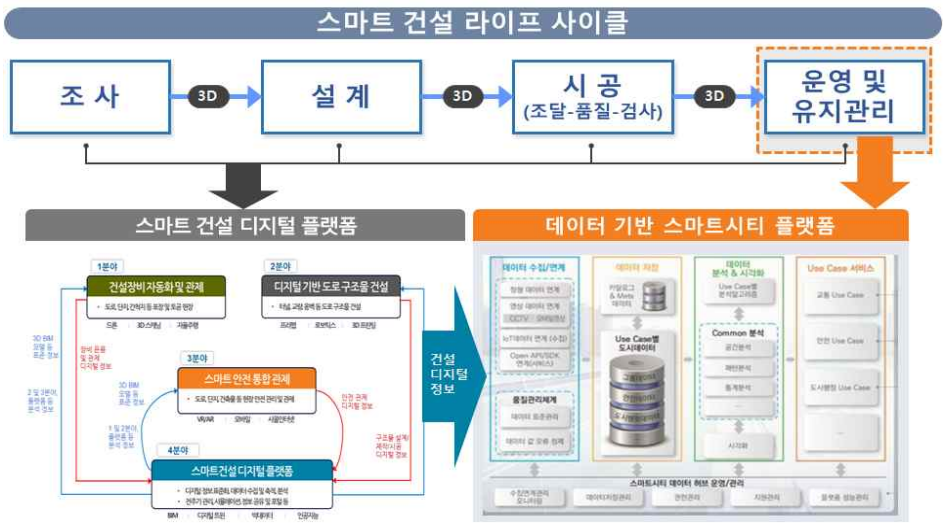
6. 추진전략

□ **시장 및 기술 변화 등을 고려하여 단계별로 추진하고, 실제 건설공사와 연계한 테스트베드를 통해 개발기술의 종합 적용·검증**

- 디지털 통합기술 개발로 해외 경쟁력을 높이고, 다양한 민간참여(건설사·장비·S/W 등)를 통해 비즈니스모델 창출 등 생태계 조성

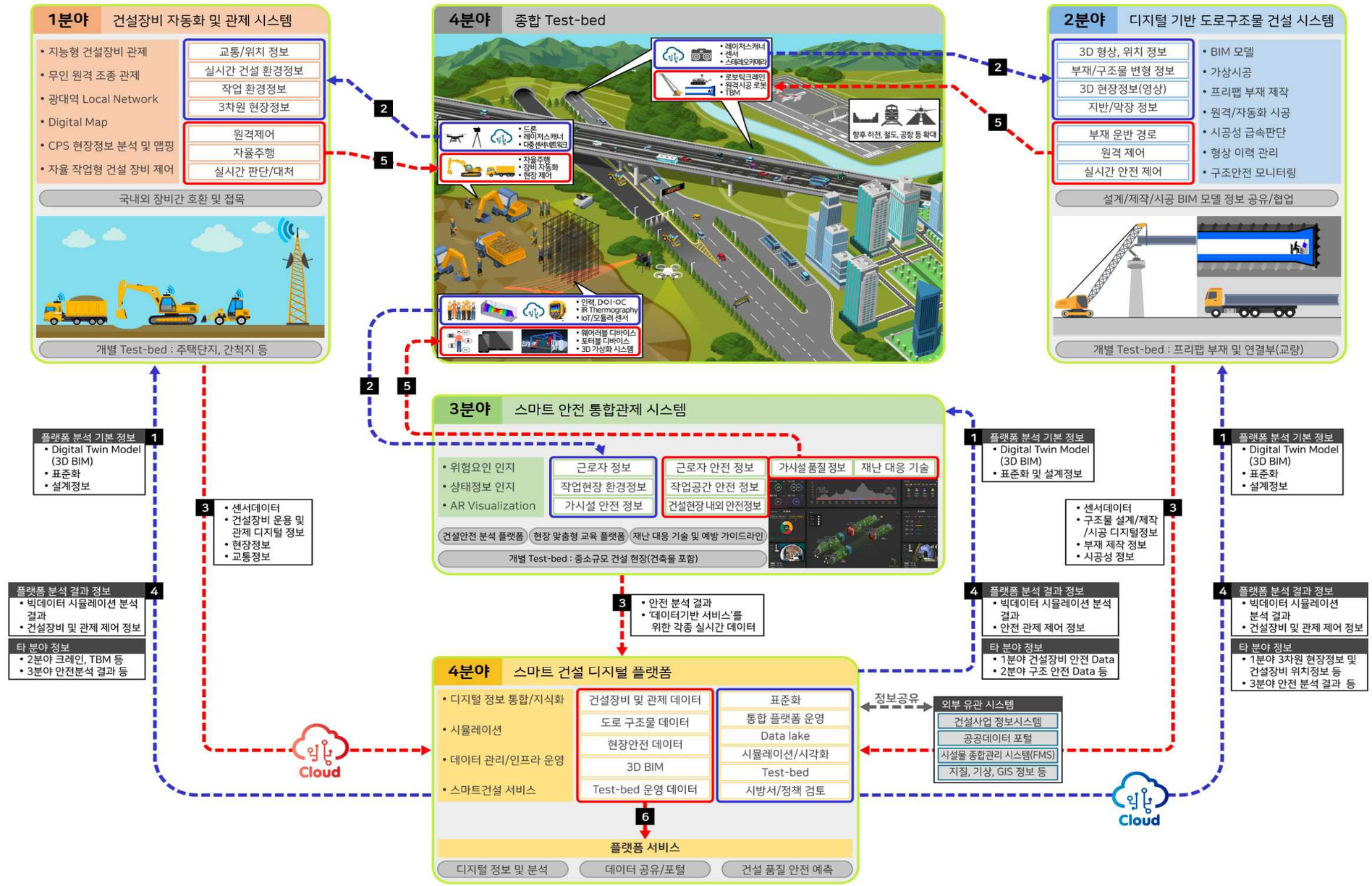
<표 3-3> 스마트 건설기술 개발사업 추진전략

<table>
<tr><th>추진전략</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>3단계 추진</td><td>
• 사업기간(6년)내 3단계(2+2+2)로 추진
- 요소기술, 통합(실용화)기술 등 단계별 성과 도출
<table>
<tr><th>단계</th><th>1단계 ('20~'21)</th><th>2단계 ('22~'23)</th><th>3단계 ('24~'25)</th></tr>
<tr><td>추진 방향</td><td>· 중점분야 내 핵심/구성기술 개발</td><td>· 중점분야 간 핵심/구성기술 연계</td><td>· 테스트베드 적용 및 검증</td></tr>
<tr><td>주요 내용</td><td>· 과제 추진 로드맵에 따라 중점분야별 기술개발
· 중점분야 내 핵심/구성기술 간 연계성이 확보되도록 개발</td><td>· 건설장비 운용 관제(1분야), 구조물 설계·제작·시공(2분야), 통합안전관제(3분야), 디지털 플랫폼(4분야) 등 중점분야 간 디지털 정보 연계</td><td>· 중점분야 1~4 연구성과물을 실제 건설현장에 적용
· 건설장비 관제, 안전관리 관제, 디지털 정보 플랫폼 등 종합 검증</td></tr>
</table>
• 단계별 중간평가 시 연구성과, 스마트기술 변화 등 고려하여 연구내용 일부 조정
</td></tr>
<tr><td>발주연계 R&D</td><td>
• 도로공사, LH 등 발주처 참여를 통해 실제 발주 공사현장(도로·단지 등)과 연계하여 연구결과를 종합적용 및 검증
- 기술적용 뿐만 아니라 발주제도 개선 등 정책 개선과도 연계
※ 기술적 난이도가 높은 국내외 SOC 건설프로젝트와 연계하여 필요한 기술을 개발하는 '건설수주 연계 R&D사업' 일환으로 추진(제6차 건설기술진흥기본계획, '17.12)
※ 한국도로공사의 제공가능 테스트베드 노선(참여의향서 발췌)
<table>
<tr><th>구분</th><th>2019년</th><th>2020년</th><th>고려사항</th></tr>
<tr><td>공구</td><td>3개 공구</td><td>13개 공구</td><td rowspan="2">교량, 터널, 비탈, 휴게소건물이 있는 공구 선정</td></tr>
<tr><td>노선</td><td>· 당진-아산(3개)</td><td>· 안산-인천(4개)
· 계양-김포(6개)
· 부산신항-김해(3개)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>추진전략</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>다양한 민간 참여·확산</td><td>
• 건설사(설계·시공), 장비(건설·드론), S/W(BIM·통신) 등 다양한 민간업체 참여
• 건설산업의 패러다임 전환기 새로운 비즈니스모델 창출 등 생태계 조성
※ 비즈니스 모델 창출 주요 아이템(예시)
• BIM 활용한 설계-시공 협업 솔루션
• CPS 기반 건설현장 안전관리 교육 컨설팅 및 운영
• 현장 작업자-로봇 협력형 시공장비 생산 및 운영
• 기존 구축 건설정보의 디지털화 컨설팅
• 건설장비 통합운영 교육프로그램 및 현장 컨설팅
• AR 및 가상시공을 활용한 사업계획 검토 및 시공품질 점검
</td></tr>
<tr><td>디지털 통합기술로 경쟁력 확보</td><td>
• 기술경쟁력이 높은 국내 ICT기술의 접목
• 건설 全단계(기획·설계-시공-유지관리) 디지털 통합기술을 확보
- 세계 스마트 건설시장에서 경쟁력을 확보
※ 디지털 기반 건설 전주기 통합기술은 국외에서도 미개발된 기술로, 건설시장 패러다임 전환기에 선진국과의 격차 해소 기회 활용 가능
</td></tr>
<tr><td>기존 연구 연계활용</td><td>
• 스마트건설 관련 기존 선행연구 결과를 본 사업에 연계·활용
• 테스트베드 적용·검증을 통해 실용화 추진
※ 모듈러 교량, BIM기반 도로 관리, 온라인 암판정(터널) 기술 등
</td></tr>
<tr><td>스마트시티 사업단과의 연계</td><td>
• 건설생산과정(설계-시공 등)의 디지털 정보 플랫폼(스마트시티)과 도시 운영 서비스 플랫폼(스마트시티)과 연계를 통해 연구성과 활용 극대화
- 스마트 건설 전체 라이프 사이클 상에서 유기적인 디지털 관리 체계 구축


</td></tr>
</table>

7. 연계체계



[그림 3-11] 스마트 건설 디지털 정보 흐름도

1 Digital Twin Model, 표준화, 설계정보 등 기초 데이터 제공
2 건설현장에서 측정장비 등을 통해 얻은 데이터 축적 및 시공/안전 분석
3 현장/분석정보를 플랫폼에 제공하여 정보통합 및 건설 전주기 관리정보를 생성
4 플랫폼의 통합/분석 정보를 각 시스템에 공유
5 각 시스템별 현장정보를 종합하여 시공/안전 관제를 실시
6 플랫폼의 통합정보를 기반으로 다양한 응용서비스의 제공 및 통합관제 수행

8. 총괄 로드맵

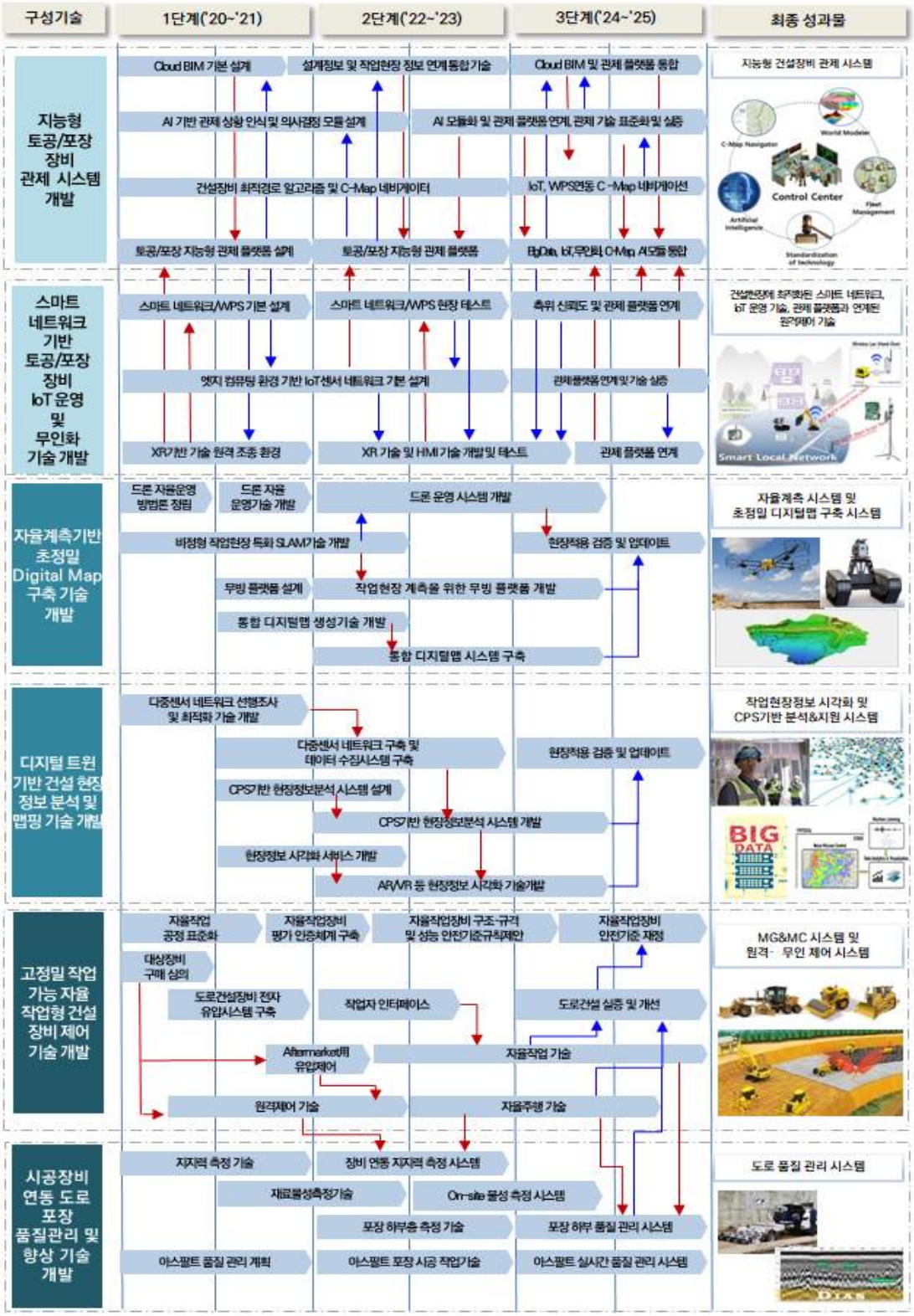
8.1. 과제추진 로드맵

핵심기술	구성기술	2020	2021	2022	2023	2024	2025	주요연구성과
1-1. 지능형 건설장비 관제 기술 개발	지능형 토공/포장 장비 관제 시스템 개발	토공/포장공 Cloud BIM 및 지능형 관제 플랫폼 연계 기술 개발						Cloud BIM·AI기반 지능형 토공/포장장비 관제 플랫폼
		지능형 관제 플랫폼 및 빅데이터 기반 최적 경로 네비게이션(C-Map) 기술 개발						
		AI 기반 관제 상황 인지/판단 기술 및 지능형 관제 기술 실증						
	스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발	건설 현장에 최적화 된 스마트 네트워크 및 WPS(Wi-Fi Positioning System) 기반 위치 측위 기술 개발						스마트 네트워크 기반 장비 IoT 운영 기술 및 관제 플랫폼과 연계된 원격제어 기술
		엣지 컴퓨팅 기반 건설장비 IoT 센서 네트워크 및 운영 기술 개발						
		무인화 시공을 위한 XR 기반 HML 조종 환경 및 지능형 관제 플랫폼 연계 기술 개발						
1-2. 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발	자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발	AI 기반 자율운영이 가능한 군집 드론 계측시스템 개발						자율계측 가능한 드론 시스템 및 무빙플랫폼
		실시간 지형정보 수집을 위한 지상 무빙플랫폼 개발						
			현장 지형정보를 통합한 초정밀 Digital Map 생성 기술 개발					
	디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발	이종 건설현장 빅데이터 통합 및 정보관리 플랫폼 개발						건설현장정보 수집 시스템 및 건설현장 분석·지원시스템
		CPS 시뮬레이션 기반 작업계획 수립 기술 개발						
		AR/VR/MR 기술을 활용한 정보 시각화 및 공유 기술 개발						
1-3. 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발	고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설장비 제어 기술 개발	도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 기술 개발						공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정 시스템
				AI기반 자율 주행 기술 개발				
	시공장비 연동 도로포장 품질관리 및 향상 기술 개발	포장 하부구조 품질 관리 데이터 측정 기술 개발						노상 및 아스팔트 포장 품질 관리 데이터 측정기술
		아스팔트 포장 품질 관리 데이터 측정 기술 개발						
2-1. 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발	도로구조물 프리팹 구조 디지털 설계 모델 개발						도로구조물(교량, 터널 및 프리팹 구조물) 가상건설 지원 기술
		디지털 모델 납품 성과물 정의 및 마스터 정보전달체계 개발, DfMA를 위한 데이터 인터페이스, 디지털 정보전달 체계 개발						
		도로구조물 프리팹 구조 디지털 제작 모델 개발						
				디지털 엔지니어링 모델 적용 및 실증				
	도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발	디지털 기반 프리팹 구조의 제작 공정 지원 기술 개발						다형상 프리팹 부재 자동 생산/품질검사 기술 및 프리팹 부재 혁신 지원 기술
				프리팹 부재 품질관리 기준 및 검사 자동화 기술개발				
		조립시공 자동화 능률 향상 신형식 프리팹 구조 및 연결부, 성능검증 기술 개발						
2-2. 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발	3D-형상/자세/위치 정보를 활용한 협업형 로보틱 크레인 기술 개발						구조물 원격·무인 시공 장비(로보틱 크레인, 원격시공 로봇) 및 조종·제어 시스템
		교각의 원격 제작/조립이 가능한 실감형 VR, 로봇 기반 원격시공 기술 개발						
	머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발	머신러닝 기반 TBM 스마트 운용 기술 개발						터널 시공장비(TBM) 원격·무인 제어 시스템 및 리스크 관리
		All-in-one 머신러닝 기반 TBM 리스크 관리 기술 개발						
2-3. 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발	형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발	프리팹 부재 및 As-built 구조의 시공 중 급속 형상계측 기술 개발						형상계측 장비·형상 이력 관리 S/W
		형상계측 정보 기반 시공성 급속 판단 기술						
	복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발	프리팹 부재의 운반/시공 중 구조건전성 모니터링 기술 개발						복합 센싱정보 기반 프리팹 부재 및 안전성 모니터링
		As-built 구조의 시공 중 형상 기반 시공품질 모니터링 기술 개발						

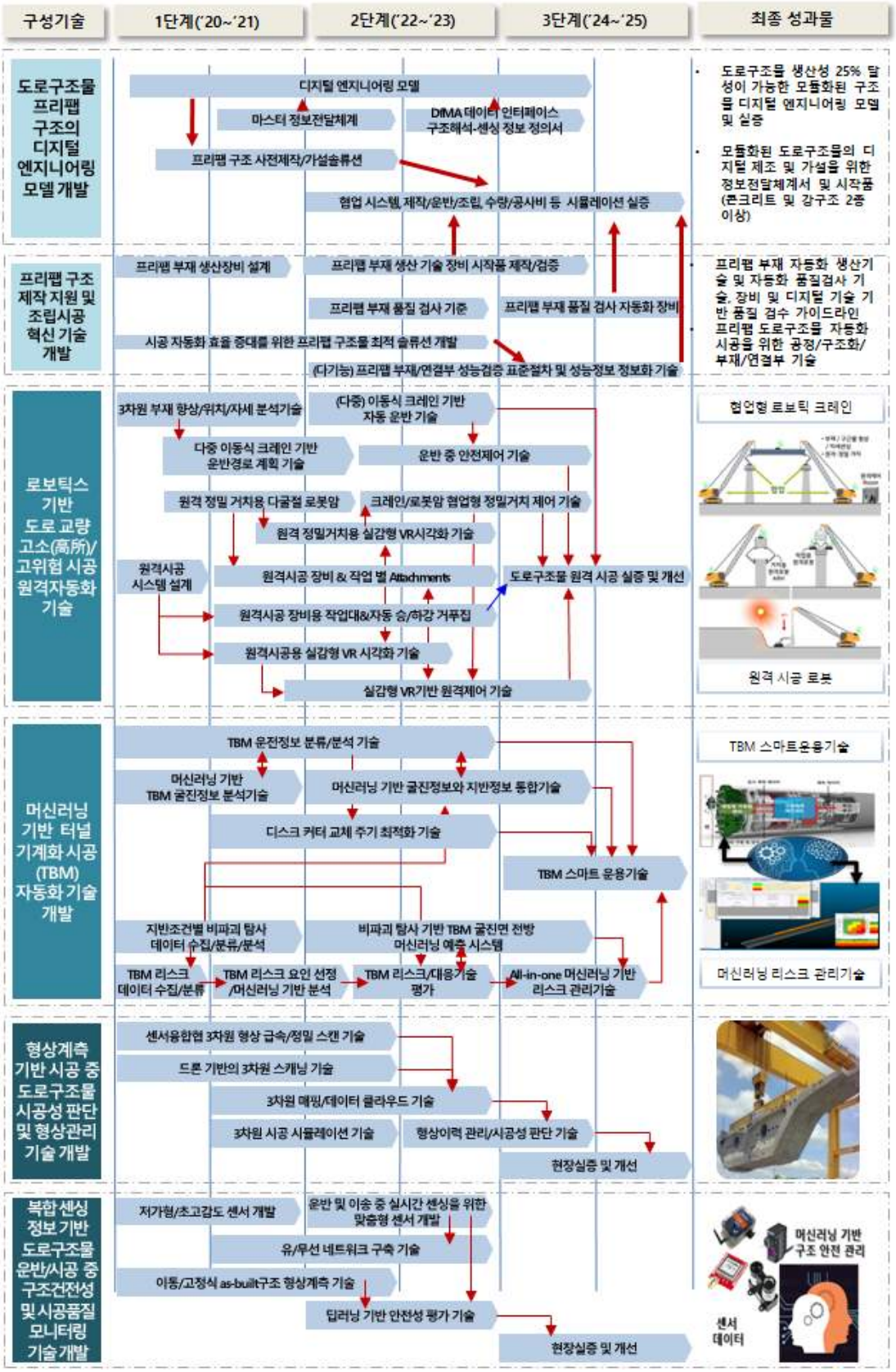
핵심기술	구성기술	2020	2021	2022	2023	2024	2025	주요연구성과
3-1. 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발	데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발	데이터마이닝 기반의 건설위험 인지 및 예측 알고리즘 개발						데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 솔루션
		데이터마이닝 기반의 비용 분석 모델 개발						
		건설현장 긴급재해 대응 기술 개발						
	디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영	빅데이터 분석을 통한 CPS 예측지원 스마트 안전 통합 관제시스템 구축						중소현장을 포함하는 건설현장 CPS기반 스마트안전 통합관제시스템
		CPS 기반 발주처별 안전관리가 가능하고, 국토부 타 시스템 연동이 가능한 스마트 현장 안전 통합관제시스템 구축						
		중소현장 운영을 위한 기존 계측기술 고도화, 추가 계측기술개발과 안전관리 BIM 기술개발			AI기반 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중소현장 및 도로공사 현장 테스트베드 운영			
3-2. 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발	건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발	현장 영상정보 기반 위험요인 인지기술						현장 영상정보 기반 위험요인 모니터링 및 근로자 상태 정보 인지 스마트 안전보호구
		근로자 생체정보 인지 및 위험정보 알람 기술 개발						
	현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발	안전사고의 정량적 분석을 통한 위험성 관리 기술 개발						현장 맞춤형 위험성 평가 및 교육 플랫폼
		현장 맞춤형 VR기반 교육 기술 개발						
		위험인지 및 대응 기술 통합						
3-3. 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술 개발	가설기자재 품질 관리 기술 개발	가설기자재 현장 품질평가용 포터블 디바이스 개발				포터블 디바이스 검증 및 고도화		가설기자재 현장 품질 평가용 포터블 디바이스 및 품질평가 기준
		가설기자재 품질 평가 알고리즘 개발				알고리즘 검증 및 고도화		
	임시구조물 설치·해체시 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발	임시구조물 설치·해체시 안전 확보 기술				TB 적용 및 고도화		임시구조물 전주기 스마트 안전관리 시스템
		임시구조물 운영 중 안전 확보 기술				TB 적용 및 고도화		
4-1. 도로분야 디지털 정보표준 기반 건설생산 프로세스 통합 관리 및 스마트 지식관리 기술	디지털 데이터 통합 표준화 및 품질 검증 기술 개발	도로 건설자원 및 구조물 센서 데이터의 정보통합을 위한 디지털 표준화 기술						데이터 수집·교환·연계·저장 인터페이스 모듈 및 디지털 데이터 통합 표준 및 가이드라인
			도로 정형, 비정형 데이터의 Linked Data 기반 지식화 및 지식 문서 표준화 기술					
			도로 디지털 데이터의 신뢰성 확보를 위한 지능형 품질검증 기술					
	스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발		도로의 스마트 건설지식 및 디지털 문서 자동생성 기술					건설 지식검색 알고리즘·AI-챗봇·스마트 지식관리 플랫폼
			도로 설계 및 시공 프로스 지원을 위한 챗봇(Chatbot) 기반 비정형 지식정보 구축 및 활용기술 개발					
			도로분야 스마트 지식관리 시스템 개발					
					디지털화 평가지수 기술 개발			
	프리팹 생애주기 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발	도로 디지털 데이터의 승인·저장·납품·관리를 위한 디지털 통합 정보환경 구축기술						실시간 자원최적 흐름관리 및 현장의 공정지원을 위한 통합 스마트 Delivery 시스템
			모듈러 공정의 건설지원 흐름관리 지능형 최적 알고리즘 및 공정 최적화 기술개발					
			교량 모듈러 통합 공정지원을 위한 스마트 딜리버리 시스템 개발					
4-2. 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털트윈 기반 관리 기술	실시간 건설현장 데이터 수집 및 관리 기술 개발	Edge Computing기반 건설현장 실시간 데이터 수집 및 연계						건설현장/도로인프라 데이터 수집 및 관리 시스템
			Realtime/Historic 외부 데이터 수집 및 연계					
		건설현장 방대한 원시데이터의 Data Lake 구축 및 운영						
	스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발	건설현장, 운영센터 환경을 고려한 클라우드 기반 플랫폼 구축 및 운영관리 기술						클라우드 기반의 스마트 도로 건설 플랫폼
			디지털 트윈 기반 실시간 이벤트, 시공상황 등 통합 관제기술					
			디지털인프라 운영상황 분석 결과에 따른 실시간 현장 대응기술					
	디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발	건설 프로젝트 비정형 데이터(영상 및 문서)의 정형화 기술						건설 프로젝트 확률분포 도출·예측 A 및 디지털 트윈 시공 시뮬레이터 소프트웨어
		건설 프로젝트의 확률분포 확립을 위한 현장 데이터 분석 기술						
			디지털 트윈 시공 시뮬레이션 기술					
			건설 프로젝트 예측 및 대응을 위한 인공지능 기술					
	디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발	Digital Twin모델 기반 현장공정 시각화(off-site)에서의 건설정보 시각화)						Digital twin·AR 기반 건설정보 시각화 소프트웨어 및 도로 시공관리용 AR 기기
		AR기반 현장 작업자 맞춤형 정보 시각화(on-site에서의 건설정보 시각화)						
	스마트 도로 건설 정보제공 기술 개발	디지털 정보 및 분석 데이터의 공유/활용을 위한 데이터포털 구축						대국민 정보 개방/공유를 위한 데이터 포털·마켓 플레이스·Open API 및 특화 서비스
			디지털인프라 정보 Open API개발					
			디지털인프라 정보 플랫폼 특화 서비스 개발					
4-3. 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발	도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구	스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 실용화 기반 조성						스마트 건설 시방서·설계서·정책·표준화
		스마트 건설기술 종합 테스트베드 설계 및 검증방안 개발						
	스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축		종합 테스트베드 구축 및 운영					테스트베드 종합 운영센터
			통합 관제를 위한 종합운영센터 구축					
			종합운영센터 운영					
		테스트베드 종합검증						

8.2. 기술성과 로드맵

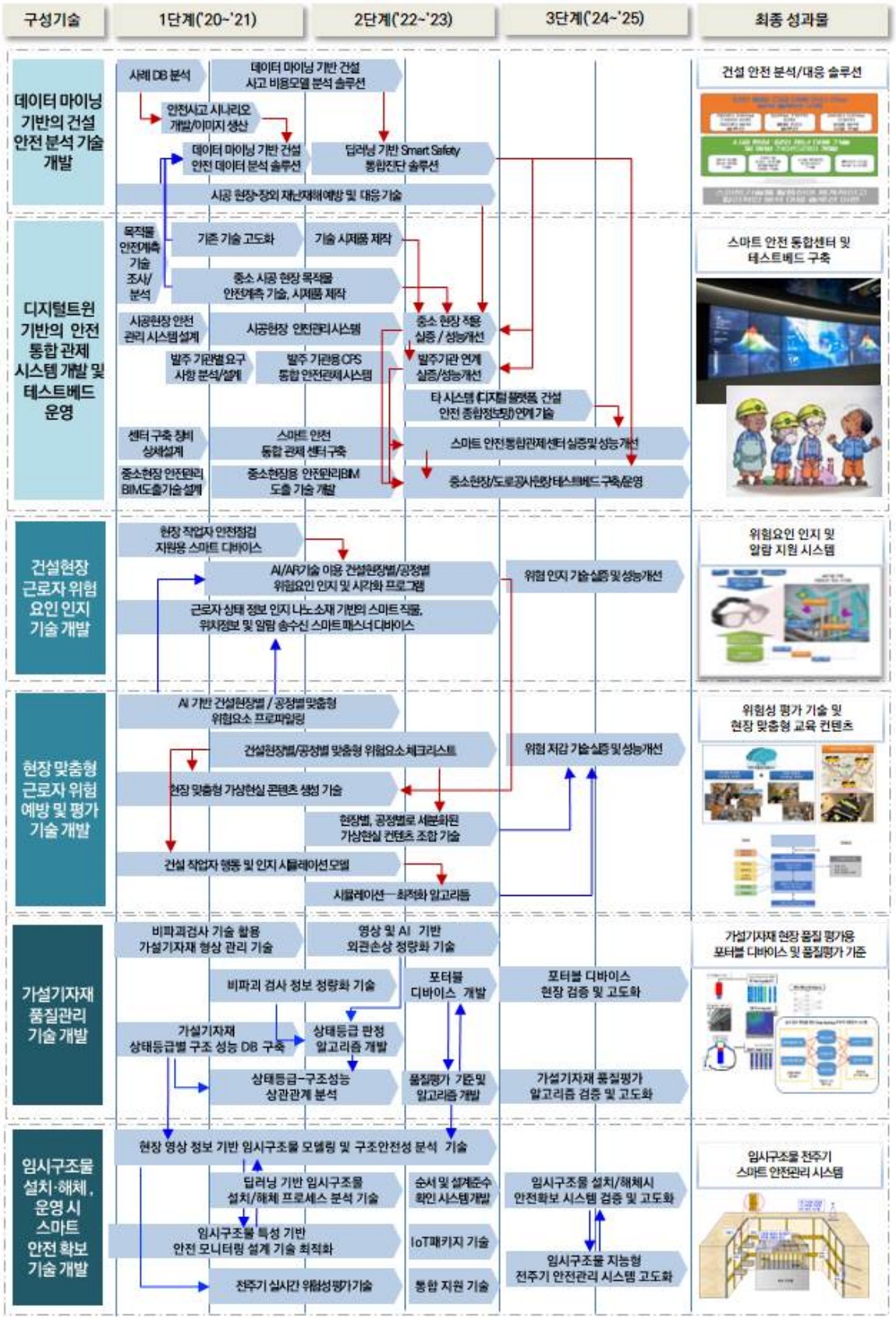
(1) 중점분야 1 : 건설장비 자동화 및 관제기술



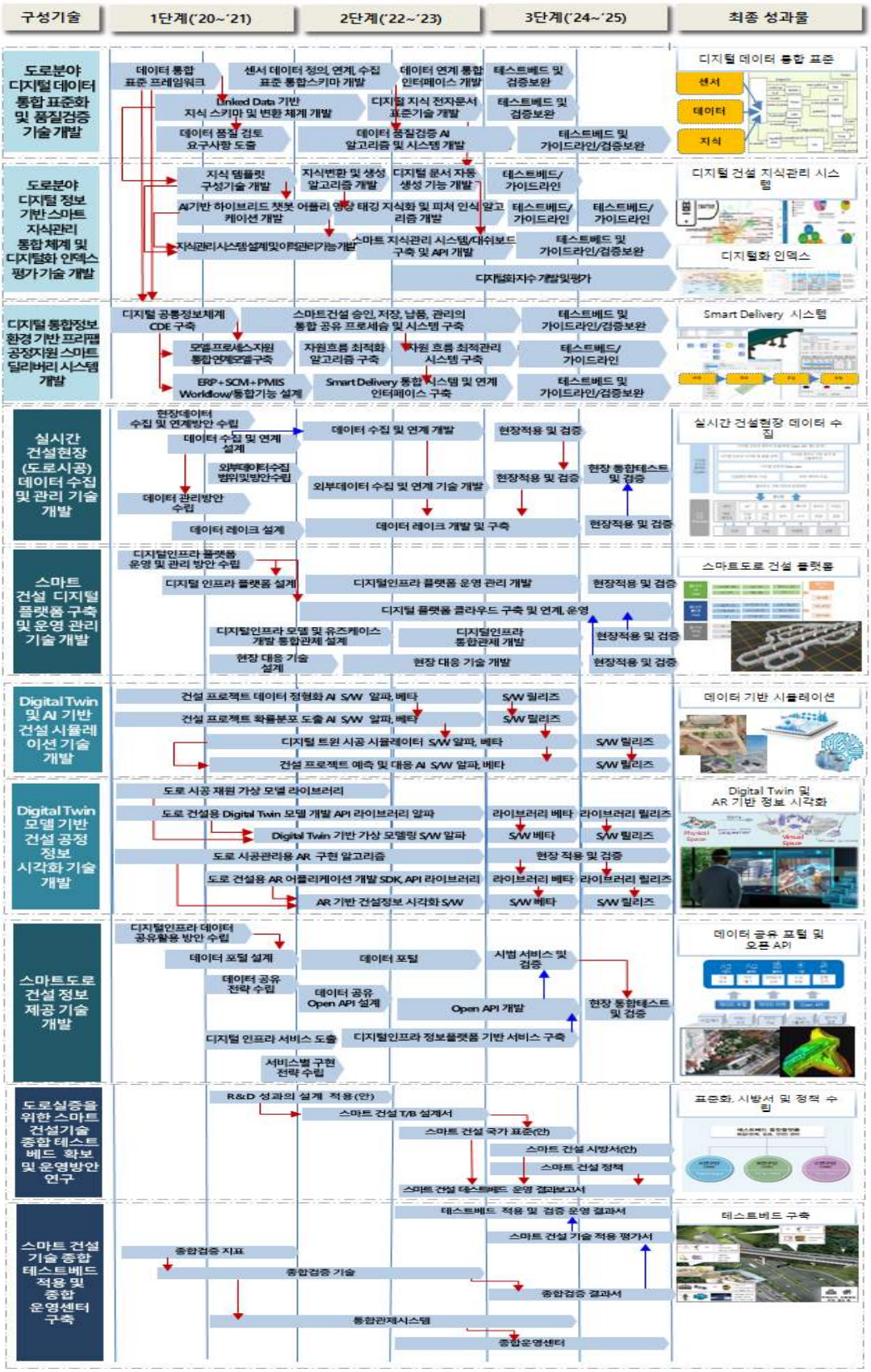
(2) 중점분야 2 : 도로구조물 스마트 건설기술



(3) 중점분야 3 : 스마트 안전 통합 관제기술

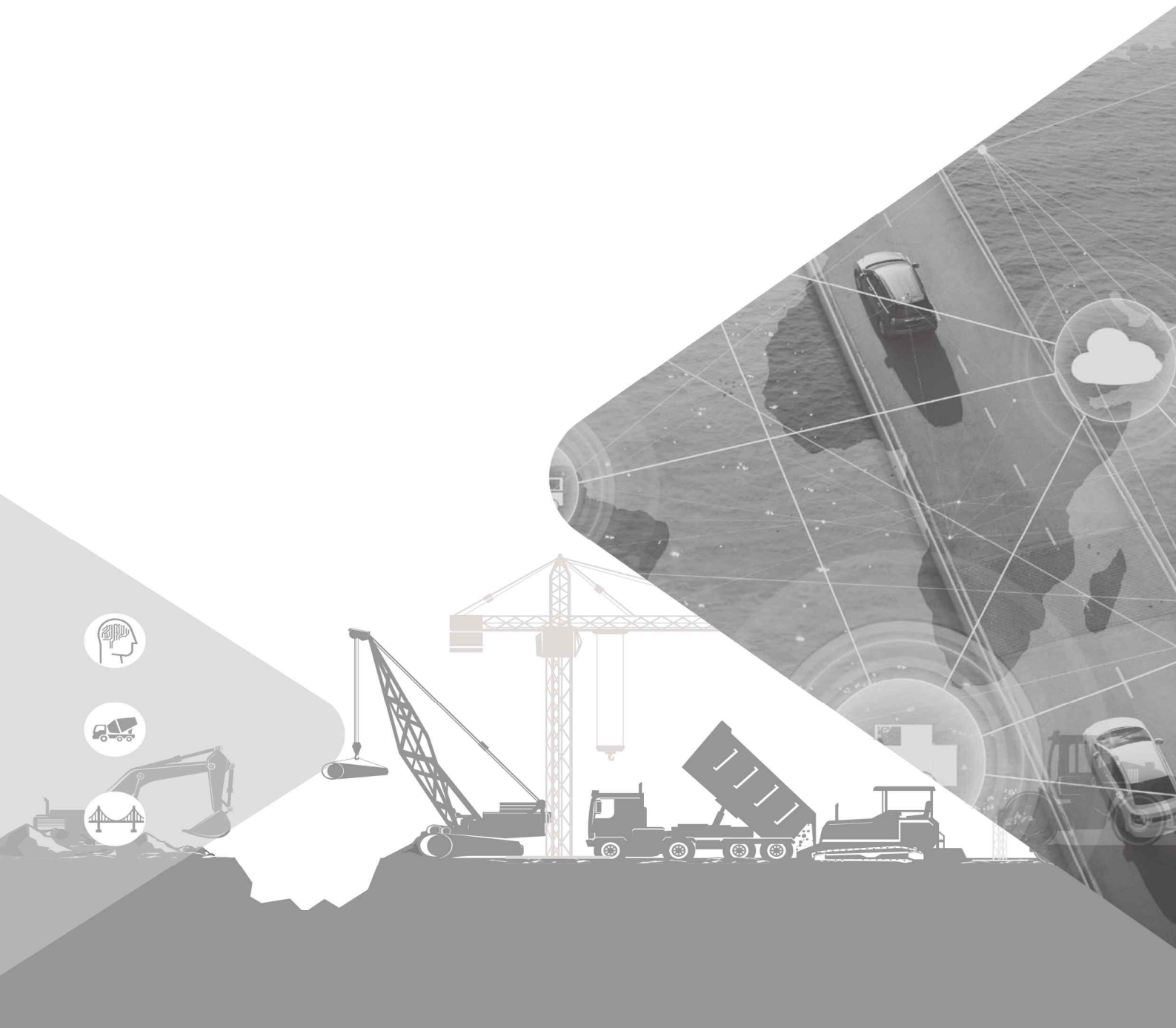


(4) 중점분야 4 : 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드



제 4장

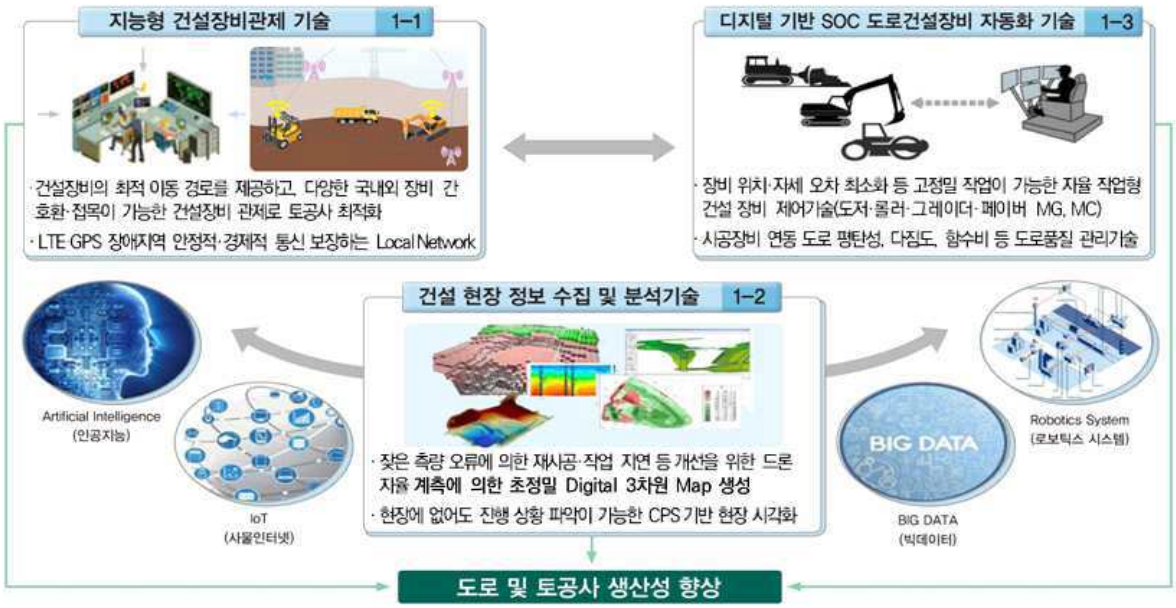
핵심기술 개발계획



1절 건설장비 자동화 및 관제기술

1. 사업 대상 및 범위

□ 드론 자율 계측에 의한 초정밀 3차원 Digital Map을 구축하고, 이를 도로건설장비 자동화 기술(MG, MC)과 융합하거나, 다양한 타입의 국내외 건설장비의 실시간 관제에 활용하는 기술



[그림 4-1] 건설장비 자동화 및 관제기술

<표 4-1> 건설장비 자동화 및 관제 분야 기술 구성

핵심기술	구성기술
지능형 건설장비 관제 기술 개발	지능형 토공/포장 장비 관제 시스템 개발
	스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발
건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발	자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발
	디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발
디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발	고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발
	시공장비 연동 도로품질관리 및 향상 기술 개발

2. (핵심기술 1-1) 지능형 건설장비 관제 기술 개발

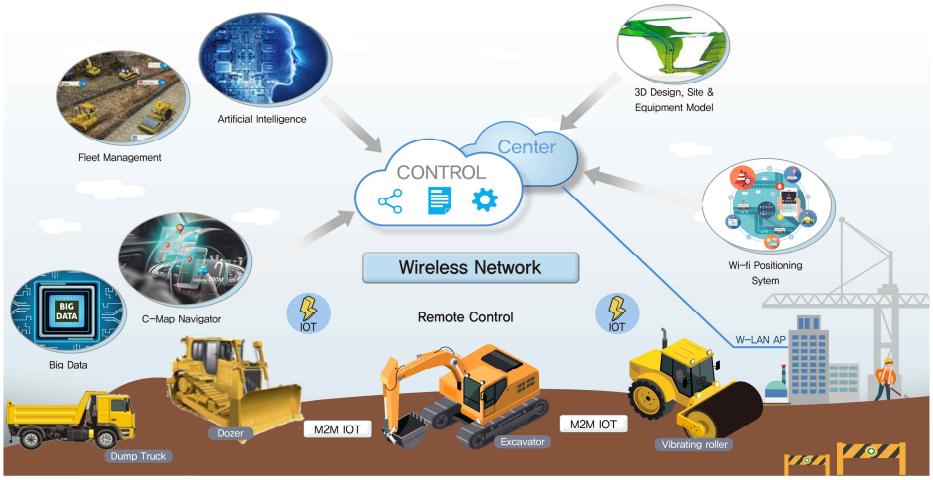
2.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

□ **클라우드 BIM, 빅데이터 네비게이션, 인공지능, IoT 센서 네트워크, 엣지 컴퓨팅, 건설현장에 최적화된 스마트 네트워크, 정밀 측위, 무인화 원격 환경 등의 스마트 기술을 접목하여 다양한 자동화 수준의 토공/포장장비(그레이더, 불도저, 롤러, 페이버 및 덤프트럭 등)를 효과적으로 관제하기 위한 지능형 건설장비 관제 기술**

○ (지능형 토공/포장 장비 관제 기술) 지능형 건설장비 관제 플랫폼 개발을 위해 클라우드 BIM, 빅데이터 기반 최적경로 네비게이션(Construction-Map, C-Map), 다양한 건설장비 자동화 수준(유인, 머신 가이던스, 머신 컨트롤, 무인 원격, 자율 등)을 고려한 AI 기반 상황 인지 및 판단 기술을 개발 및 통합하며, 이를 통해 공사 참여자(발주처, 시공, 감리 등) 모두가 토공/포장 공사 관련 설계/계획/작업/현장정보를 실시간으로 파악할 수 있도록 하는 기술

○ (스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술) 건설현장에 최적화된 스마트 네트워크를 기반으로 토공/포장장비와 모든 디바이스 및 관제 플랫폼과 통신하며, WPS기반 정밀 측위 기술, IoT 센서 네트워크와 엣지 컴퓨팅를 기반으로 하는 센서 무선화, eXtended Reality (XR) 등을 활용한 관제 플랫폼 연계형 HMI 조종 환경을 제공하는 기술



[그림 4-2] 지능형 건설장비 관제 기술

(2) 범위

□ **다양한 토공 및 포장 장비(그레이더, 롤러, 도저, 페이버, 덤프트럭 등)를 대상으로 함**

○ “언제든(Anytime)”, “어디서든(Anywhere)”, “어느 디바이스든(Anydevice)” 건설장비 관제가 가능하도록 클라우드 기반 디지털 현장정보, 3차원 설계 정보, 시공계획 및 현장 모니터링 기능을 구현하고, 이를 통해 토공 및 포장장비 관제정보를 능동적으로 생산함과 동시에 AI를 활용하여 관제를 자율적으로 판단/대처/예방할 수 있도록 함

□ **스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영체계 및 무인화 시공 기술 개발**

○ 도로공사와 같은 장대형 공사현장이나 음영 및 GPS 수신 장애 지역이 많은 지하공사에 최적화 된 스마트 네트워크 및 WPS(Wi-Fi Positioning System) 기반 위치 측위 기술을 활용 가능하도록 하고, 토공 및 포장 장비(그레이더, 불도저, 롤러, 페이버 및 덤프트럭 등)의 자동화 및 시공지원을 하는 엣지 컴퓨팅 기반 건설장비 IoT 센서 네트워크 및 관제와 연동된 HMI 조종 환경 구축

2.2 추진 배경 및 필요성

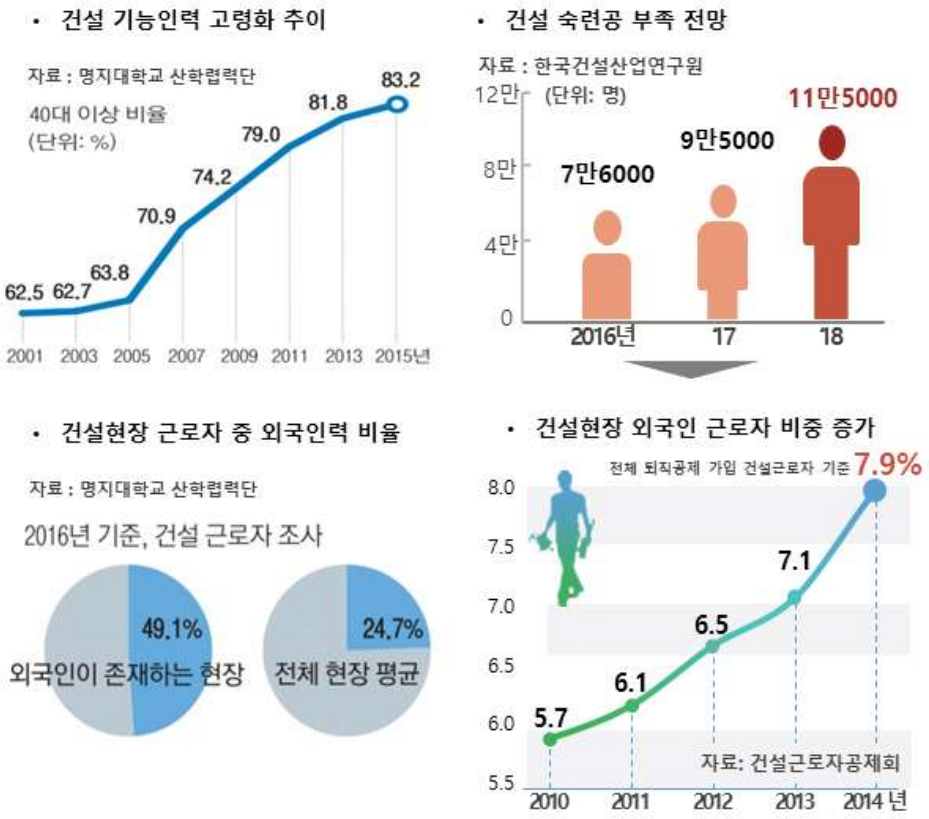
(1) 추진 배경

□ **국내 건설 산업은 타 산업에 비해 고령화 속도가 빠르며 초저임금 노동시장에 수요보다 공급이 줄어들게 되자 저임금의 외국인 노동자를 필요로 하게 되어 외국인 노동자의 유입이 급증하고 있음**

○ 건설분야 근로자 중 40대 이상 장년층의 비율이 ’05년 63.8%에서 ’15년 83.2%로 큰 폭으로 증가하였으며(명지대학교산학협력단, 2017), 이는 건설산업 특성상 대다수의 청년층에게 3D라는 인식이 강하여 신규 노동자의 유입이 타 산업에 비해서 적음

- 나쁜 작업환경 등으로 인해 안전사고 발생률이 높아 국내 청년층들의 건설산업 기피에 따른 추세임 (출처: 한국건설교통기술평가원, 2012)
- 젊은 노동인력을 대체하기 위해 외국 조종자가 유입되면서 숙련 노동인력 부족현상이 발생하고 기능종사자, 장치기계 조작/조립 종사자, 단순 노무종사자 등에서는 젊은 층의 유입이 끊기고 있어 숙련 단절이 예상됨

출처: 명지대학교산학협력단, 2017



[그림 4-3] 건설 산업 고령화에 따른 노동인력 변화

□ **건설 산업 고령화에 따른 국내 건설산업 경쟁력 악화로 숙련 노동인력이 부족하게 되어 굴삭기, 도저, 덤프트럭, 페이버 등 토공 및 도로공사에 적용되는 건설장비 작업 시 측량착오, 운전자 숙련도에 따른 시공 품질 편차 증대에 따른 재시공 증가**

○ 건설산업은 노무비가 전체 원가의 30~40%를 차지하며, 타 산업에 비해 숙련공에 대한 의존도가 높은 노동 집약적인 산업이기 때문에 숙련공 부족은 건설 산업의 경쟁력을 약화시키는 주된 요인임

- 도로건설 작업 시 수작업 측량을 통해 규준틀을 설치하고 토공작업을 하고 있으며, 육안에 의존한 시공으로 건설장비 조종자의 숙련도에 따라 작업의 품질 차이가 크게 발생함

- 품질확보를 위해 여러 번의 반복측량과 측량 착오와 기준 미달에 의한 재시공이 빈번히 발생하고 있기 때문에 측량지연으로 인한 건설장비의 불필요한 대기시간이 길어지고, 검측에 소요되는 시간 역시 공사 원가에 상당한 영향을 미치고 있음

□ **도로공사는 선형적이고 반복적인 공사인 특성상 건설장비에 대한 의존도가 높지만, 장비의 운영 지능화 부족에 의한 생산성 저하, 공종별 시공 정보의 미축적에 따른 정보 단절과 공정 준비 비용 지속적으로 발생**

○ 설계정보와 현장 실시간 시공정보를 관리하는 정보관리 시스템과 건설장비 간의 정보를 연계하여 건설장비 통합관제 기술 확보가 필요함

- 도로공사에 사용되는 건설장비는 토공사를 위한 범용 건설기계장비와 공정 및 기능에 따라 전문건설장비가 투입되고 있으며, 공사의 규모, 시공방법, 현장조건에 따라 적절한 장비 투입이 공사기간 및 공사비에 직접적인 영향을 미침

□ **글로벌 건설기계기업(Komatsu, Caterpillar)의 토탈시공서비스 시장 개척으로 인한 국내 건설기술력 열세**

○ Komatsu社 의 KomConnect나 Caterpillar社의 Cat Connet와 같이 글로벌 건설기계기업들은 건설장비간 초연결을 통하여 경험과 노하우 중심의 건설/시공 시장에 토탈시공서비스라는 새로운 비즈니스 모델을 개척하고 있음

- 그러나 국내의 경우 토탈시공서비스 부분에서 있어 해외 선진국에 비해 원천기술이 아직까지는 부족한 실정이며, 장비 군(群) 관제(Fleet Management) 기술이 도입단계에 있음. 또한 건설장비의 가이드 시스템과의 통합을 목표로 한 기술 개발도 초기 단계임

□ **4차 산업혁명에 의하여 모든 것이 다 연결되고 지능화된 '초연결성'과 '초지능화' 시대 도래**

○ '16년 '세계경제포럼'에서 AI, 3D 프린팅, 자율주행차 등 새로운 신기술에 의한 '4차 산업혁명'이 화두로 등장

- ICT에 기반을 둔 새로운 산업혁신 시대의 도래에 주목하고 있으며, 이전 산업혁명과는 달리 IoT, Cloud, Big-Data, Mobile 기술을 활용하여 지능적으로 사물을 제어하는 특징을 지님

- 4차 산업혁명은 산업 간의 경계를 허무는 기술적 융합을 특징으로 산업 간의 융합에 의한 새로운 시장, 고용구조의 변화를 야기

- 데이터 중심의 서비스 및 새로운 형태의 산업간 협업이 가능하며 ICT과 초연결성에 기반한 새로운 스마트 비즈니스 모델의 등장 예상

- 단순반복적인 업무는 ICT, 기계, 인공지능 등으로 대체하는 반면, 4차 산업혁명과 관련된 고숙련 노동자에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상

□ 지능형 건설장비 관제 기술 관련 국내외 정책 현황 및 정책 기조와의 부합성

<표 4-2> 국내외 건설자동화 기술 및 정책 동향

국가	기술 및 정책 동향
대한민국	■ 정부의 핵심정책기조로 "4차 산업혁명의 플랫폼 구축을 통한 고부가가치 창출 미래형 신산업을 발굴/육성(ICT기반 글로벌 경쟁력을 갖춘 소프트웨어 및 플랫폼 역량 강화 목표)" 강조. ■ 국토교통부는 4차 산업혁명 기술 활용 전략 및 정보의 호환성 부족, 청년기술인력 유입 저조, 미래 환경변화 대응 역량 부족 등으로 인해 기술 혁신과 글로벌 경쟁력 강화를 위해 아직 갈 길이 먼 상황이라고 평가함. - 이를 해결하기 위해 국토교통부는 4차 산업혁명 기술을 융합한 스마트 기술 개발을 통해 생산성·안전성을 향상하고, 건설 엔지니어링의 국제 경쟁력을 강화하기 위해 제6차 건설기술진흥기본계획(2018~2022)을 발표함. - 2025년까지 BIM, AI 등의 ICT기술을 바탕으로 한 건설자동화 기술 개발을 비전으로 하는 "Smart Construction 2025"를 제시하였으며, "4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신사업 육성"을 위한 건설기술정책 로드맵을 수립 중. ■ 현재 무인 굴삭기 등 일부 건설장비 자동화 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 다수의 자동화 건설 장비를 통합·연계 가능한 관제시스템을 개발하여 원격 제어 등을 통한 시공자동화 구현을 준비 중임.
일본	■ 2008년부터 정책적으로 건설장비 자동화 기술개발이 이루어지고 있으며, 2025년까지 건설현장의 생산성 20% 향상을 목표로 건설사업 전주기에 ICT 기술을 활용하는 I-Construction 추진 중임. ■ 건설과정에 3차원 데이터 도입, ICT 건설장비 등 신기술 활용, 노동력 문제에 대응하기 위해 자동화·무인화 추진하고 있음 - 코마츠社는 정형화된 작업, 정밀절삭 및 안전작업을 필요로 하는 토공 공사현장에 무인 중장비를 개발하여, 이를 드론과 연동하여 시공하고 있으며, KomConnect라는 클라우드 기반의 오픈 플랫폼에 현장정보를 업로드하여 필요한 데이터를 언제 어디서나 클라우드에서 활용할 수 있는 서비스를 제공 - Komatsu 社, NTT docomo 社, SAP 社, OPTiM 社가 IoT를 사용하여 건설 생산 공정을 가속하는 개방형 플랫폼인 「LANDLOG」합작회사를 설립함 - Komatsu 社를 비롯한 HITACHI 社, FUJITA社 같은 건설장비 회사뿐만 아니라, 드론 측량, 3차원 토공 소프트웨어 회사 등이 건설 생산성을 높이기 위한 플랫폼 기술 개발에 동참하고 있음

국가	기술 및 정책 동향
미국	■ 민간을 중심으로 스마트 건설기술 스타트업을 활성화하며, 다양한 프로젝트에 BIM 등 디지털 기술 적극적으로 활용 중임. - AutoDesk, Bentley 등 미국 업체는 계획, 설계 분야의 제품 중심에서 건설 전 프로세스의 모든 정보를 통합 관리하는 BIM 중심의 연구로 전환함. - Trimble社는 VisionLink 시스템을 통해 화면에 자산 정보가 표시되어 기계 브랜드와 상관없이 장비 관리하고 VisionLink 통합 서비스를 통해 운영 및 자산 수명 연장, 유지 보수 일정 관리 및 장비 상태 추적함 ■ 빅데이터, IoT 기술, 웨어러블 장비 등을 개발하여 현장관리에 활용함으로써 건설 현장의 안전성을 향상함. - Daqri社는 BIM Data를 스마트 헬멧에 탑재, 시공관련 정보를 실시간으로 확인

(2) 추진 필요성

□ **현재 사용되는 도로 및 토공사 공정관리 솔루션의 경우 일 단위의 작업 진척도가 수작업 입력에 의한 데이터를 기반으로 운영되고 있기 때문에, 입력된 데이터의 부정확 및 임의 가공 등의 문제로 인해 일정관리 및 재계획이 정확하게 현 상황과 미래상황을 대변하고 있지 못함**

○ 도로/토공사에 투입되는 모든 건설장비와 작업자에 대한 작업 경로, 작업시간, 시공량 계측 등의 정보를 실시간 및 자동으로 연결하고 관리하여야 함

□ **현재 해외 건설장비의 경우 MG 시스템과 MC 시스템의 정보를 연결하여 건설장비 관제와 건설 공정관리가 가능한 ICT기반 공정관리 솔루션을 출시하고 있음**

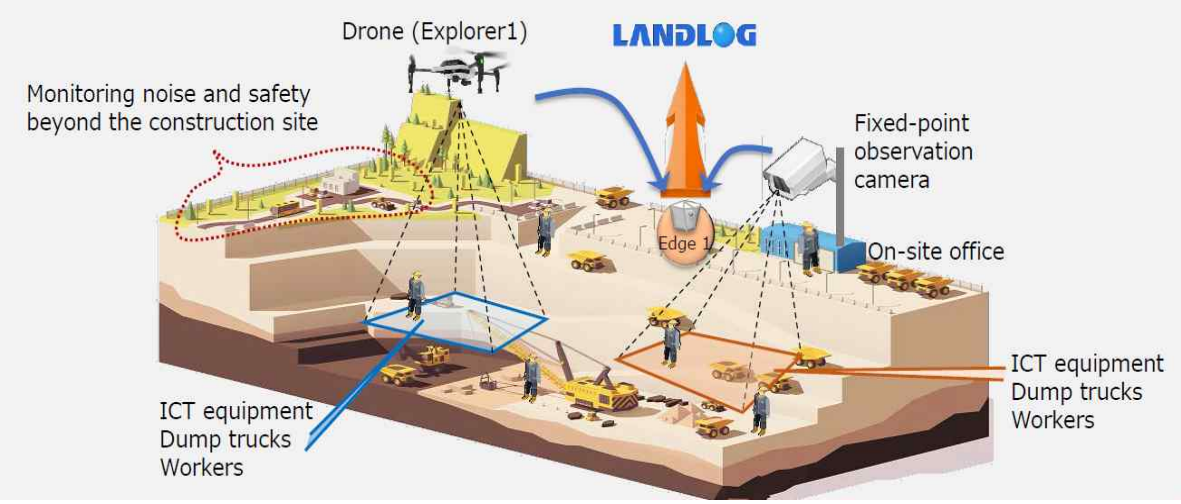
○ 특히 MG/MC 시스템을 적용한 장비뿐만 아니라 MG/MC적용이 불필요한 장비 및 작업자에 대한 실시간 위치 및 작업관리가 가능한 ICT 기반의 건설시공 관리자동화 통합관제 시스템이 필요함

- 아직까지는 MG, MC 적용 건설장비의 정보만을 관리하는 단순한 장비관리 수준이기 때문에 도로/토공사 전체 장비에 대한 운행, 위치, 작업, 계측, 시공정보를 실시간으로 연결하여 최적의 시공관리를 가능하게 하는 시스템이 필요함

□ **국제 시장을 선도하여 국내 건설산업의 경쟁력을 확보하기 위해서는 다양한 도로/토공사 현장, 장비 및 다양한 ICT툴과의 호환성(Interchangeability), 지능성(Intelligency), 적용성(Applicability), 휴대성(Portability), 편리성(Usability)이 고려된 "지능형 건설장비 관제 기술" 개발이 반드시 필요한 실정임**

○ 도로/토공사의 자동화를 위해서는 굴삭기, 트럭, 도저, 롤러, 그레이더, 페이버 등의 도로/토공사에 적용되는 장비의 개별적인 역할 및 기능에 최적화된 ICT 기반 작업효율화 기술 개발이 필요함

□ **최근 건설장비 운용 및 정보화 시공을 위한 오픈 플랫폼(LANDLOG)이 일본에서 출시되었음. 오픈 플랫폼의 특성상 기존 플랫폼의 점유 기간이 길어질수록 신제품의 시장 진입이 어려워짐. 그러므로 기존 ICT 관제기술을 활용하여 클라우드 컴퓨팅 기반 지능형 건설장비 관제 시스템 개발을 촉진해야 할 필요가 있음**



[그림 4-4] LANDLOG를 활용한 건설현장 개념도

○ LANDLOG는 토지 조사, 측정, 설계, 운영 및 유지 보수를 비롯하여 건설 프로세스에서 얻은 모든 Jobsite 데이터를 수집하고 처리하는 개방형 IoT 플랫폼임.

- 즉 현장 지형, 시공 장비, 재료 및 차량 등과 같은 시공 생산 데이터를 축적하여 현장 생산성을 높이기 위해 보다 유용한 형식을 클라우드형으로 운용·제공하는 시스템임

□ **건설 생산성 증진을 위한 신기술의 현장 적용을 위해서는 정부 차원의 지원이 반드시 필요함. 일본의 경우 '25년까지 건설현장의 생산성 20% 향상을 목표로 건설프로세스 전주기에 ICT와 같은 신기술을 활용하는 I-Construction을 추진 중**

출처: 조재용, 2017

○ 조사·측량에서 설계, 시공, 검사, 유지관리 및 업데이트까지의 모든 건설 과정에서 3차원 데이터를 도입하고 ICT 건설장비 등 신기술을 활용

- '16년에는 ICT토공을 적용하였으며, 시공 효율화에 관한 요소 기술의 가이드라인을 책정하여 규격 표준화 실시
- '17년부터 ICT 토공 실시에 있어 발주 시 종합평가 및 준공 시 공사성적에 가산점을 주어 ICT시공기술 확산을 촉진하고 있음
- '17년에는 ICT토공 외에도 ICT포장이나 ICT준설공(항만분야)을 도입(기준류의 정비), 교량 분야 등에서 3차원 데이터에 의한 설계 실시(i-Bridge의 시행), 측량 분야 및 유지관리 분야에 ICT기술 활용(i-Gesuido)할 예정임
- ICT 시공을 적용하여 공공 공사를 수행하는 경우에 필요한 조사, 측량, 설계와 시공의 관리방법 및 기성청구 및 검사 방법에 대하여 규정
- ICT 건설중장비 도입과 관련하여 적용 가능한 보조금은 혁신적 제조·상업·서비스개발 지원 보조금으로, 건설에 한정하고 있지는 않지만 중소기업을 대상으로 4차 산업혁명에 대응하기 위한 IoT, 빅 데이터, 로봇을 활용하는 기술을 도입하는 경우 지원함
- 하드웨어인 경우 최대 3,000만 엔까지, 소프트웨어는 최대 1,000만 엔까지 지원함

출처: 조재용, 2017

□ **이와 같이 우리나라도 신기술의 현장 투입을 위한 법적·제도적 지원 체계가 우선적으로 구축되어야 하며, 이를 통해 스마트 건설 자동화 현장 활용이 가능하게 됨**

2.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **현재 많은 건설현장에서, 투입 장비의 규모, 조합, 운영 등은 공사 관리자의 노하우에 의지하여 결정·실행되고 있음. 특히 도로공사에 가장 중요한 요소 중 하나인 토량배분은 관리자의 경험을 통해 주먹구구식으로 운영되는 경우가 많음**

○ 외국의 경우 장비·공정관리 및 토량배분을 위한 다양한 상용소프트웨어가 개발되었으나, 국내의 경우 최근 들어 관련 소프트웨어가 개발되고 있음

출처: ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 개발 연구단, 2017

- 머신가이던스 (Machine Guidance, MG), 머신컨트롤 (Machine Control, MC), 3D 설계, 드론 스캐닝, 스마트 CCTV 등의 기술은 개별 모듈로서 개발되어 왔기 때문에 다양한 기술이 융합되어 장비를 통합 관제하는 데 있어 기술의 접목과 사용에 어려움이 있음. 때문에 이러한 기술들을 통합할 수 있는 관제 솔루션이 필요함

- 건설장비 개발은 일반적으로 장비회사에서 개발되었기 때문에 장비의 기능 자체에 관해서 중점적으로 발전해 왔음. 이로 인하여 스마트건설과 CIM (Civil Information Modelling & Management)으로 나아가고자 하는데 현실적인 공사정보, 시공관리 프로세스 등을 반영하지 못하고 다양한 기술을 통합하는데 있어서 문제점이 있어 왔으나, 통합을 이루어 가고 있는 현실임

□ **안정적이고 신뢰적인 건설장비의 자동화 및 시공지원을 위한 무선 네트워크 고도화 기술개발이 요구되며, 건설공사의 통신음영지역(지하도로, 산악지형, 대심도 터파기)에서 작업 시 GPS 위치 추적 및 통신이 불가하여 건설장비 위치 추적 단절이 발생할 수 있으므로 광대역 Smart Local Network을 이용한 Positioning 기술개발이 요구됨**

○ LTE 공인 네트워크에만 의존하는 경우, 통신음영지역(지하도로, 산악지형, 대심도 터파기)에서는 운반 장비의 위치정보 전송이 불가능하고, 스마트 하이브리드 네트워크와 연동이 불가능하여 이를 극복하기 위한 Local Network 구축 기술이 구현되어야 함

- 또한 터널, 복공판 아래, 지하 공사 현장 등 GPS Signal Loss가 발생하는 구간에서는 신호의 요동 현상으로 인해 위치 오차가 커지고 부정확할 수 있음

- Smart Local Network의 무선 엑세스 포인트에서 수신된 Client의 신호강도를 측정하고 수신된 신호 잡음을 최소화하여 정확한 위치를 파악하는 기술로써 이를 극복할 수 있음

□ **무선 통신망에 근거한 장비 간(Machine to Machine), 장비-관제센터 간 IoT 체계 구축 및 무인화 시공을 위한 원격형 관제 기술 필요**

○ 건설장비의 자동화 및 시공지원을 위한 연결 데이터 및 IoT는 건설장비 관제센터에서 계획한 최적의 운반경로 및 명령정보를 실시간 운반 장비에게 정보를 제공하고, 운반 장비의 실시간 위치정보를 관제센터에 전송하여 작업 상태, 위치, 생산성 등을 분석이 가능한 무선 통신 체계가 필요함

- 무인화 원격 시공을 위해서는 시시각각으로 변하는 실시간 현장정보가 관제센터로 전송되어야 하며, 관제센터는 이를 근거로 무인 원격 장비에게 작업 명령을 생성하고 무선 통신을 이용하여 전달해 주어야 함

○ 현재의 원격 제어 관련 기술 수준은 다양한 자동화 수준(재래식, MG, MC, 원격, 자율 등)의 장비가 투입되었을 때 이를 전체적으로 아우를 수 없는 한계가 있으며, 정밀 작업을 수행할 수 있을 정도의 “실감형(Immersive)” 기술이 아닐 뿐만 아니라 관제 기술과 연계되어 있지 않는 실정임.

(2) 개선방안

□ **건설현장에 4차 산업혁명을 도입하기 위해 개발된 다양한 자동화 수준의 건설 장비(MG, MC, 원격, 자율 등), 3D 설계, IoT, 엣지 컴퓨팅, 클라우드 기술, AI, 빅데이터, 드론 스캐닝 등을 통합할 수 있는 관제 시스템을 개발해야함**

○ 인터넷이 되는 어느 공간에서든 활용할 수 있는 Web-Based 플랫폼(장비 기반 공사의 설계-시공-유지관리를 수행할 수 있는 솔루션) 개발을 통해 발주처, 시공사, 협력업체 등 다양한 계층의 공사참여자가 능동적으로 의사결정을 할 수 있음

○ 또한 AI기반으로 실시간 현장 정보를 반영하고 장비의 운영과 의사결정을 자율적으로 판단·대처할 수 있는 시스템은 현재 구축되어 있지 않고 개발 진행 중인 상태이며, 이것은 향후 원격 및 자율제어를 고려한 분산형 현장제어로 나아가는데 있어서 핵심적인 요소임

○ 현장 내 무선통신 장애지역에서도 신속·정확한 데이터 통신이 보장되도록 Fail-over, hand-over를 지원하는 스마트 네트워크 기술을 개발 하고 이를 기반으로 GPS 장애지역에서 장비의 위치를 추적할 수 있는 Wi-fi Positioning System을 개발해야 함

○ 무선 네트워크 고도화 기술 개발을 기반으로 장비 센서 및 관제센터와의 통신

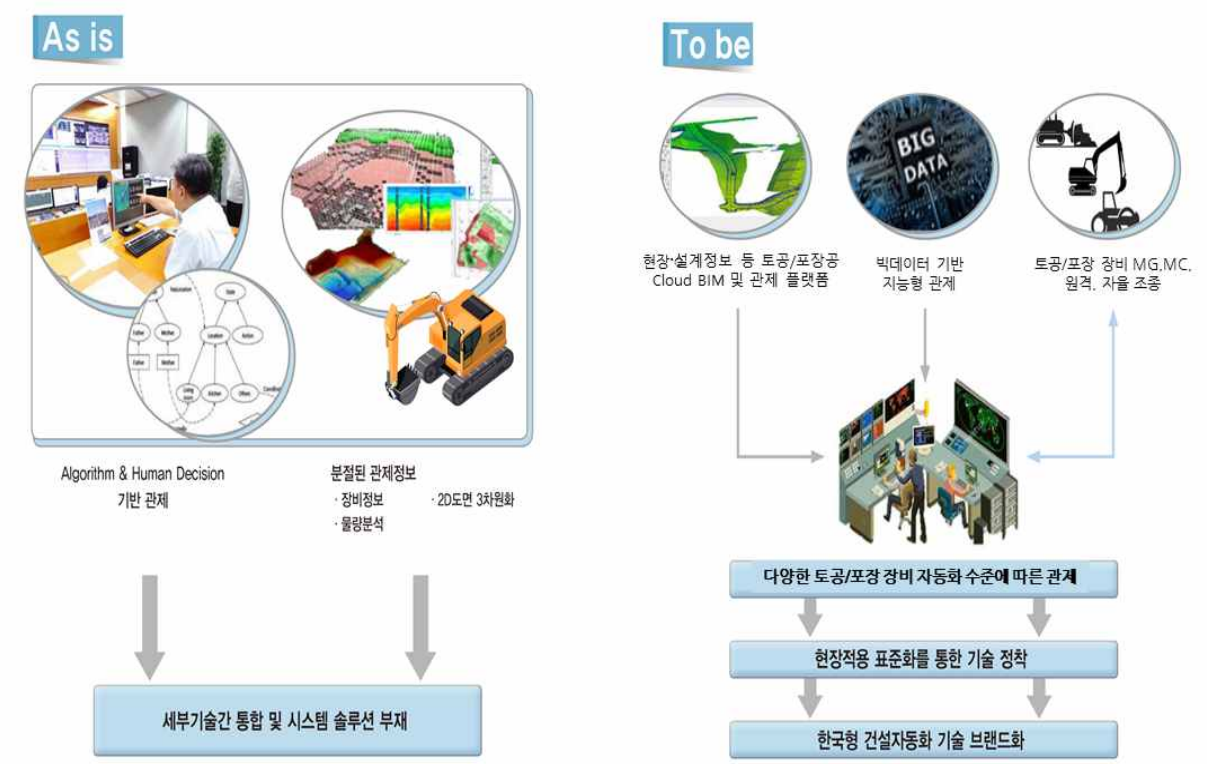
모듈을 통해 장비 간(Machine to Machine), 장비-관제센터 간 communication을 위한 IoT 체계를 구축하며, 실시간 현장 상황 정보 및 장비 정보를 관제센터로 전송함으로써 관제센터에서 보내주는 명령을 통해 원격형 현장 제어를 구현함

○ 현재의 단독형 원격 조종만으로는 시공현장내에서 활용성이 매우 떨어짐. 전문 토공사의 기술 요구사항은 1) “원격이 필요한 작업”을 판별하고, 2) “토공/포장 장비 관제 기술”과 연계하여 적재적소에 원격 장비를 투입함과 동시에, 3) 실감형(Immersive) 원격 스테이션을 기반으로 eXtended Reality(XR)을 활용하여 실제와 거의 동일한 작업 환경을 제공하는 것을 포함하였을 때 원격 조종 기술의 효용이 발생할 것으로 기대하고 있음.

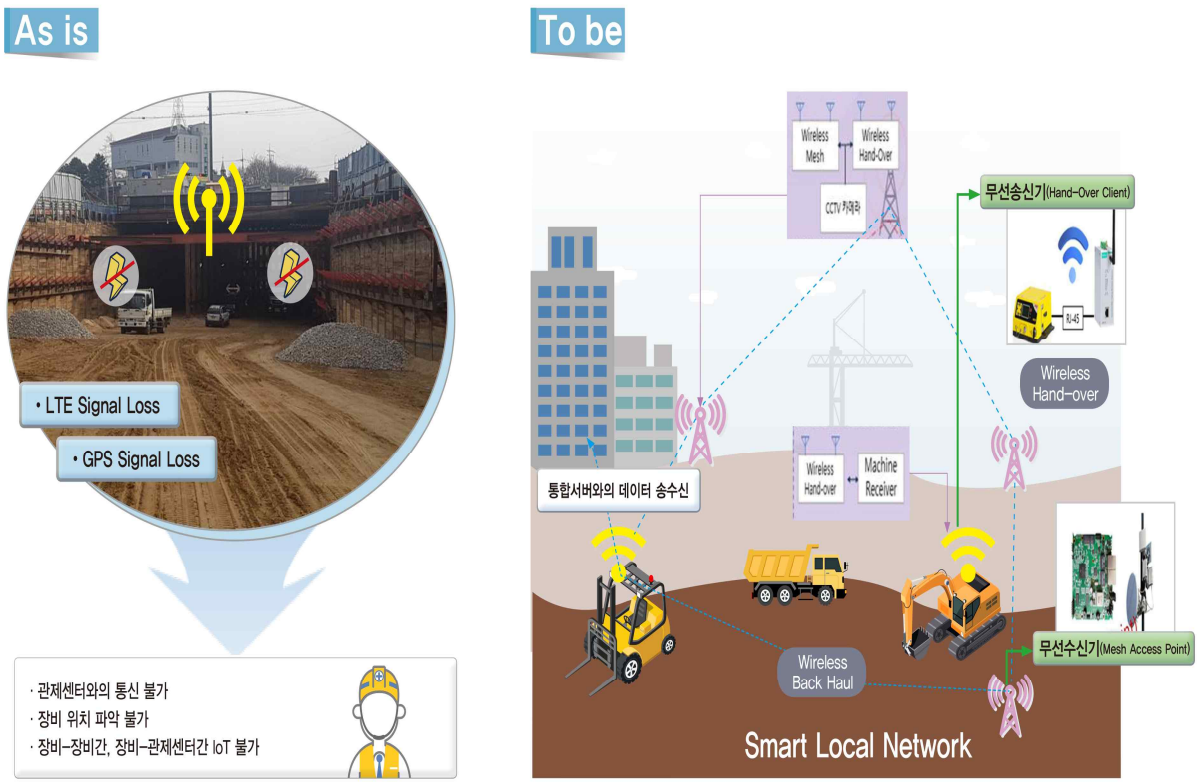
○ 토공/포장공 관제 기술은 다수 장비의 원격조종을 지원하기 위한 작업영역 구분(위험 구역, 접근 불가 구역 등)과 타장비와 연계한 생산성 관리, 안전관리, 조종 모드의 판단 등 개별 장비 상세 원격조종 대비 상위레벨의 작업 모니터링 및 지시를 하게 되고, 그레이더/도저 블레이드 자동제어와 같은 개별 장비의 상세 원격 조종은 하위레벨에서의 XR 기반 “실감형(Immersive) HMI(Human-Machine Interface) 조종 환경”에서 담당할 수 있도록 하는 관제-원격 종합 시스템의 개발이 필요함

<표 4-3> 지능형 건설장비 관제기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
■ 세부기술 간 통합 및 시스템 솔루션 부재 - Algorithm & Human Decision기반 관제 - 분절된 관제정보(건설장비 정보, 2D 도면의 3D화, 물량 분석 등) ■ 건설공사의 통신음영지역(지하도로, 산악지형, 대심도 터파기)에서의 LTE Signal 및 GPS Signal 손실 - 관제센터와의 통신 불가 - 장비 위치 파악 불가 - 장비-장비 간, 장비-관제센터 간 IoT불가	■ 다양한 토공/포장 장비의 자동화 수준에 따른 지능형 건설장비 관제 시스템 개발 - 토공/포장공 Cloud BIM 및 관제 플랫폼 연계 - 지능형 관제 플랫폼 및 빅 데이터 기반 최적 경로 네비게이션(C-Map) - AI 기반 관제 상황 인지/판단 및 지능형 관제 기술 실증을 통한 한국형 건설자동화 기술 브랜드화 ■ 건설현장에 최적화 된 스마트 네트워크를 통 현장 IoT 운영 및 무인화 기술 개발 - Wi-Fi/LTE/5G/UWB/IoT 등 다양한 네트워크 기술을 통해 건설현장내 어디에서든지 안정적이고 빠른 통신이 가능 - Fail-over 및 hand-over 등 통신 신뢰도 향상을 위한 기반 기술이 포함 - 안정적이고 초저지연 통신망을 기반으로 하는 (지능형 관제 플랫폼과 연계된) 무인화 HMI 조종 환경 기술



[그림 4-5] 지능형 토공/포장 장비 관제 기술의 As-is와 To-be



[그림 4-6] 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술의 As-is와 To-be

2.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

○ (지능형 토공/포장 장비 관제 기술) 클라우드 BIM, 빅데이터 기반 최적경로 네비게이션(Construction-Map, C-Map), 다양한 건설장비 자동화 수준을 고려한 AI 기반 상황 인지 및 판단 기술을 개발 및 통합하여 토공/포장공사 참여자(발주처, 시공, 감리 등) 모두가 공사 관련 설계/계획/작업/현장정보를 실시간으로 파악할 수 있도록 하는 기술 국내 자립기술을 확보

○ (스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술) 건설장비의 자동화 및 시공지원을 위해 건설현장 내 무선통신 장애지역에서도 신속·정확한 데이터 통신이 보장되는 무선 네트워크 기술과 이를 기반으로 한 실내/외 측위 기술, 그리고 IoT 센서 네트워크와 엣지 컴퓨팅 기술을 접목하여 지능형 관제 플랫폼과 연계된 건설장비 원격 제어기술

(2) 기술개발 목표

○ 클라우드 BIM, 빅데이터 네비게이션, 인공지능, IoT 센서 네트워크, 엣지 컴퓨팅, 건설현장에 최적화된 스마트 네트워크, 정밀 측위, 무인화 원격 환경 등의 스마트 기술을 접목하여 다양한 자동화 수준의 토공/포장장비를 효과적으로 관제하기 위한 지능형 건설장비 관제 기술 개발

○ 특히, 다양한 자동화 수준(재래식 유인, MG, MC, 원격, 자율 등)의 토공/포장장비의 최적 조합 산정 및 투입, 운영, 관제를 가능케 하는 기술이어야 하며, MG, MC와 같은 반자동화 기술 혹은 자율과 같은 자동화 기술과 그 운용 정보들은 본 연구의 지능형 관제 기술과 연동되어야 하며, 단 관제 기술은 MG, MC, 자율장비를 개발하기 위한 원천 기술 및 기반 기술의 개발을 포함하지 않음

○ 지능형 건설장비 관제 플랫폼 개발을 위해 클라우드 BIM, 빅데이터 기반 최적경로 네비게이션(Construction-Map, C-Map), 다양한 건설장비 자동화 수준을 고려한 AI 기반 상황 인지 및 판단 기술을 개발 및 통합하며, 이를 통해 공사 참여자(발주처, 시공, 감리 등) 모두가 토공/포장 공사 관련 설계/계획/작업/현장정보를 실시간으로 파악할 수 있도록 함

○ 건설현장에 최적화된 스마트 네트워크를 기반으로 토공/포장장비와 모든 디바이스 및 관제 플랫폼과 통신하며, WPS기반 정밀 측위 기술, IoT 센서 네트워크와 엣지 컴퓨팅를 기반으로 하는 센서 무선화, 관제 플랫폼 연계형 HMI 조종 환경 개발

○ 토공/포장 장비용 XR 기반 HMI 조종 기술은 Cloud BIM이 지닌 설계정보와 관제기술이 가지고 있는 시공계획 기능을 연계하여 원거리 조종이 필요한 작업(예: 위험 구역, 접근 불가 구역, 고난도 작업 등) 판별 및 HMI 조종 작업을 지원해야 함(예: 원격 통신, CCTV 영상 추가 제공, 현 공종 정보 제공) 또한, HMI 조종 환경은 기개발(MG, MC 등) 되었거나 3세부에서 개발될 Slave측 원격 제어 모듈 또는 원버튼 오퍼레이션 시스템(자율 작업)을 활용해야 하며, 이를 지능형 건설장비 관제 시스템과 연계하는 것을 목표로 함

2.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

□ **일본, 미국, 유럽 경우 드론을 이용하여 구현한 디지털맵 상에 장비의 위치를 보여주고, 계획도면 대비 작업량을 분석하고, 작업을 위한 장비의 이동 가능 경로를 나타내는 등 작업의 편의성 및 효율을 높이기 위한 다양한 기능을 제공하고 있음**

○ Sitelink3D(Topcon社): 지반 정보 확인을 통한 작업 프로세스 설정

- GeoManager(Trimble社): 실시간 위치정보 및 운송 관리, 운전자와 엔지니어의 직접 통신가능 하며, 차량의 지나친 과속 및 공회전 관리, 차량 유지보수 스케줄관리 구현

- Fleet Manager(Leica): 실시간 스트림을 통해 장비 위치 제공, 현장에 투입된 장비의 위치가 기록된 데이터를 제공 및 장비 운행 중 발생한 데이터를 보고서 형식으로 출력 가능

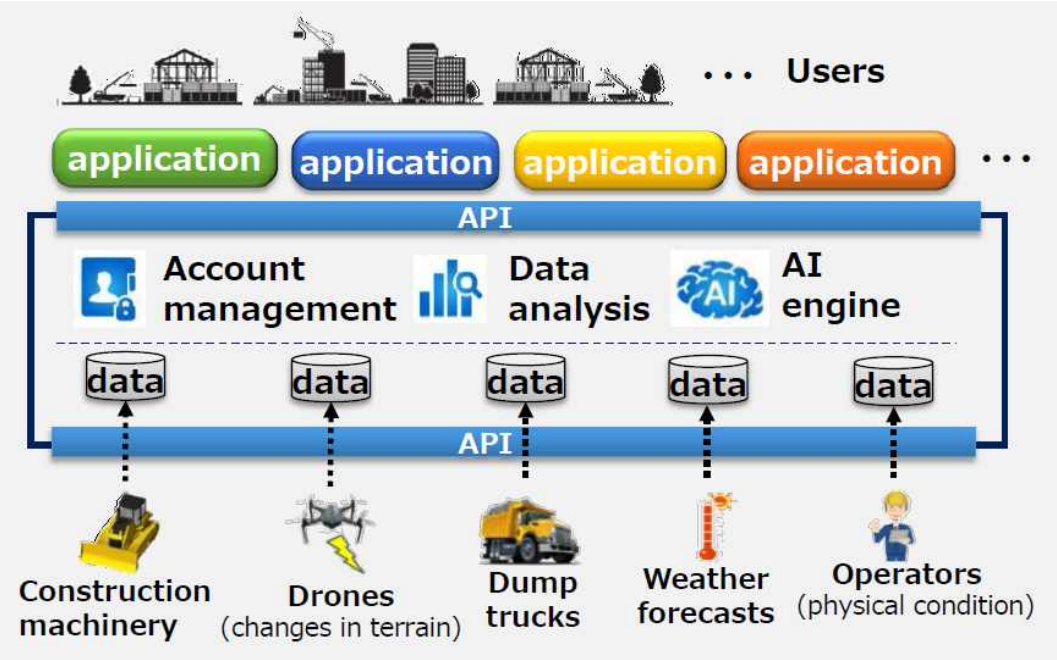
□ **일본과 미국 등 시공관리 자동화의 선진국에서는 장비의 글로벌 실시간 관제기능을 가진 시스템을 개발하여 공급하고 있으며, 통합관제시스템을 통해 건설현장의 하드웨어(건설장비)와 데이터를 관리하고 있음**

○ 특히 일본의 경우, 2017년 10월 Komatsu 社, NTT docomo 社, SAP 社, OPTiM 社가 IoT를 사용하여 건설 생산 공정을 가속화하는 개방형 플랫폼인 「LANDLOG」 합작회사를 설립함

- LANDLOG는 토지 조사, 측정, 설계, 운영 및 유지 보수를 비롯하여 건설 프로세스에서 얻은 모든 Jobsite 데이터를 수집하고 처리하는 개방형 IoT 플랫폼임

- 즉 현장 지형, 시공 장비, 재료 및 차량 등과 같은 시공 생산 데이터를 축적하여 현장 생산성을 높이기 위해 보다 유용한 형식을 클라우드형으로 운용·제공하는 시스템임

- Komatsu 社는 지형 변화에 대한 3D 측정기술 및 건설 공사에 관여하는 사람·기계 등의 움직임을 가시화하는 노하우를 제공함. docomo 社는 LTE, LPWA, 5G 등 무선 통신 관련 기술 및 서비스 제공하며, SAP 社는 플랫폼 운용, OPTiM 社 AI·IoT 및 Cloud IoT OS의 활용 등에 관한 노하우를 제공함



[그림 4-7] LANDLOG 기본개념

- 2018년 3월 1일 LANDLOG 社의 언론보도에 따르면, LANDLOG를 애플리케이션 개발 제공 업체에 공개하였음. 애플리케이션 제공자들은 LANDLOG에서 다양한 솔루션 애플리케이션을 개발하고 제공할 수 있음

- 이러한 API를 통해 얻은 정보와 플랫폼에서 공개된 기본 API를 사용할 수 있음. 향후 다음 솔루션 애플리케이션을 출시할 예정임

① Smart glass for construction job sites「G-eye」(Atos Co.,Ltd.)

② Construction management application「Building more」(Kageyama Construction Co., Ltd.

③ ICT solutions to construction job sites「SMART CONSTRUCTION」(Komatsu Ltd.)

④ Dump truck efficiency application「TRUCK VISION」(Komatsu Ltd.)

◦ LANDLOG라는 출자회사가 설립되기 전 Komatsu 社는 Smart Construction을 통해 건설현장 및 토목공사의 모든 정보를 ICT로 연결하여 시공 전체를 시각화하고 안전하고 생산적인 현장을 실현하는 솔루션을 제공함

- 미숙한 작업자도 쉽게 조작할 수 있는 반자동화된 ICT 건설기계 및 무인항공기에 의한 측량 등을 통해 수집한 3D 데이터를 KomConnect라는 클라우드 기반의 오픈 플랫폼에 업로드하여 필요한 데이터를 언제 어디서나 클라우드에서 활용할 수 있는 서비스를 제공

- 2015년부터 생산현장의 개혁에 착수하여, 공장의 공작기계나 로봇 등의 생산설비와 생산 라인의 가동 정보를 IoT에 의해 가시화하고, 공유 데이터베이스에 집약된 정보에 따라 생산공정의 개선 방안을 수립하여 생산성 향상, 인력절감, 생산 리드 타임 단축을 도모하고 있음

(2) 국내 동향

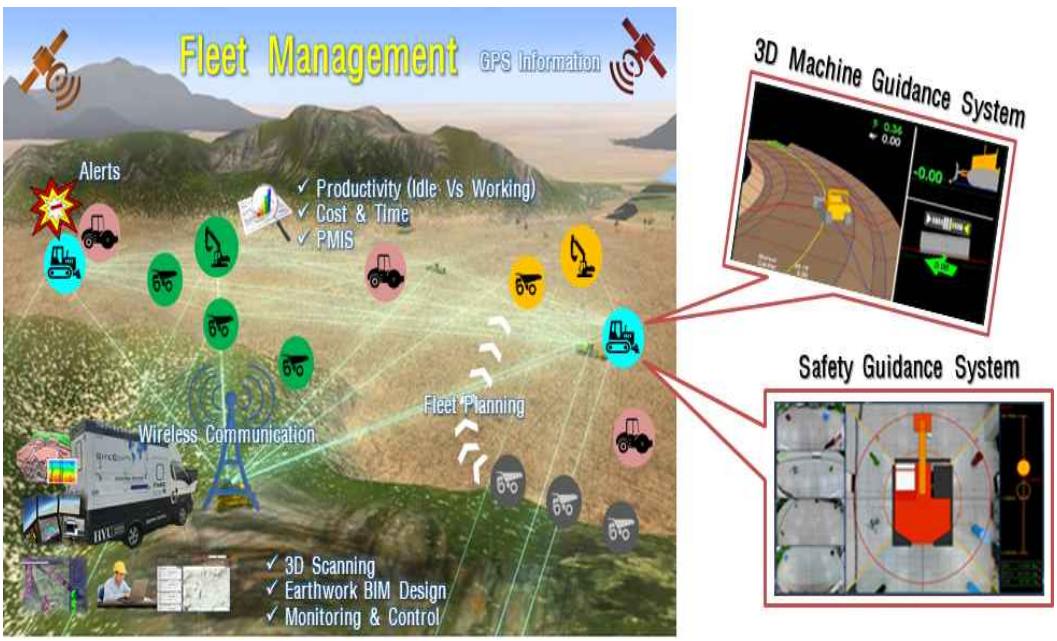
□ **㈜대우건설은 Daewoo Smart Construction(DSC)를 개발하고, 현장 안전관리 및 공사 관리 시스템을 건축/주택 및 토목 2개 현장에 시범적용 하였음**

○ 작업자 및 장비의 위치 관제를 통해 안전현황을 실시간으로 모니터링 하고, IoT센서를 활용한 화재 및 가스누출을 감시하는 서비스임



[그림 4-8] Daewoo Smart Construction(DSC) 구성도

○ 한양대학교에서는 토공현장의 건설장비를 관제하기 위해 이동형 관제센터 및 스마트 하이브리드 네트워크 구축 기술을 개발함. 이를 통해 장비 위치 파악, Fleet 계획, 3D BIM기반 현장관리가 가능함



[그림 4-9] 건설장비 통합관제 시스템

○ 국내 토목분야에서 시공관리자동화 통합관제시스템이 실제로 현장에 적용된 사례로는 한양대학교 연구가 존재

- ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 개발, 2017)을 통한 한양대 에리카 캠퍼스 내 소규모 토공사 현장이 있고, 통합관제를 위한 MG가 도로공사에 적용된 사례들은 다음과 같음

- 부산외곽고속도로3공구, 구포덕산간 국도대체우회도로2공구, 제2순환고속도로 화도~양평간 등

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

(구성기술 1-1-1) 지능형 토공/포장 장비 관제 기술 개발

□ **일본에서는 건설장비 통합 운영 및 관제용 플랫폼을 위해 관련 업체들이 합작회사를 설립하여 운영 중이며, 국내에서는 일부 건설 업체에서 관련 기술을 시범적으로 적용하고 있음**

<표 4-4> 건설장비 관제 시스템 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	토목공사 현장에서 얻은 데이터를 클라우드를 통해 공사 참여자들이 공사정보를 능동적으로 업데이트하여 사용할 수 있는 서비스가 이루어지고 있음	■ 건설 장비 운영 및 관제 시스템에 대한 연구는 진행 중임 ■ 일부 건설업체에서 시범적으로 건축/주택현장에 관련 기술을 적용한 사례는 있으나 아직 연구와 현장의 환경차이가 큼
TRL 단계	7~8단계	5~6단계
기술성숙도	실용화 단계	시작품 단계
주요성능	건설 장비의 사용 상황이나 진척 관리 등을 지원 공사참여자들에게 클라우드를 통해 제공	일부 국내 건설업체에서 건설장비 관제 시스템을 시범적으로 적용 혹은 개발할 예정이나 현장에 적극적으로 도입하기에는 무리

(구성기술 1-1-2) 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발

□ **한양대학교에서는 GPS수신 장애지역을 고려하여 공인망과 연계하여 통신음영 지역의 데이터 송·수신을 보장하는 로컬네트워크 시스템을 구축하였음**

○ 로컬네트워크가 지형의 형상 및 통신환경에 따라 신뢰적이고 충분한 커버리지를 확보할 수 있도록 최적의 AP(Access Point)의 설치지점을 설계할 수 있는 “AP Location Simulator”모듈을 개발함

- 현장에 구축되어 있는 로컬 네트워크망과 공인 네트워크망의 연결을 위한 AP브릿지를 설치하여 이동형 관제센터가 현장 내·외부를 연결해주는 브릿지 역할을 수행함으로써 현장상황을 모니터링할 수 있음

□ **최근 공개된 '볼보 토탈 케어 솔루션'을 구성하는 한 축인 케어트랙(CareTrack) 시스템은 장비운용 및 제어기능의 자동화뿐만 아니라 IoT 기술 혼합형 소프트웨어 솔루션으로 주기적인 정비 및 관리를 통해 최적의 장비 상태를 유지함으로써 고객의 수익성 향상에 이바지하고자 개발된 서비스로 최신 IoT 기술이 적용된 텔레매틱스 솔루션임**

○ 볼보건설기계의 휠로더에 기본으로 장착되는 볼보 케어트랙은 장비 내에 탑재된 자가진단장치와 연계되어 작동하는 텔레매틱스에 기반하고 있으며, 원격으로 장비의 위치를 파악할 수 있는 시스템

- 두산인프라코어와 현대건설기계는 IoT와 연계한 '두산커넥트(DoosanCONNECT)'와 '현대하이메이트(HIMATE)' 등의 ICT(정보통신기술) 융합형 스마트 중장비 제어 솔루션을 중심으로 점진적으로 IoT 기술융합을 위한 '건설기계 스마트화'를 목표로 본 구성기술에 대한 공격적 R&D 투자를 확대해나가고 있음

<표 4-5> Smart Local Network기반 IoT 건설장비 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	IoT 스마트 건설기계 솔루션 시장에서 한발 앞선 기술역량을 선보이고 있음	IoT 스마트 건설기계 관련하여 이제 건설업체-통신회사 간 업무제휴를 통해 연구개발 중임
TRL 단계	7~8단계	6~7단계
기술성숙도	실용화 단계	시작품 및 실용화 단계
주요성능	■ 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 ■ 부품 및 소재개발의 경우 수요업체에서 직접 파일롯 시작품을 현장 평가(성능 및 신뢰성 평가)	국내외 연구를 활용하여 핵심 성능평가

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

<표 4-6> 지능형 건설장비 관제기술 관련 국내 타 연구과제와의 차별성

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트시공 기술 개발	국토교통 과학기술 진흥원	■ 굴삭기 및 도저 위주의 MG/MC 기술이 개발되었기 때문에 다른 건설장비에 대한 MG/MC까지의 기술개발 필요 ■ 유선방식의 센서간 데이터 통신, 통신음영지역에서의 GPS정보의 수신 부재 및 에 따른 사물인터넷 기술 구현 불가	■ 스마트 네트워크를 이용한 건설현장의 IoT 무선 통신 체계를 기반으로 다양한 토공/포장 장비의 자동화 수준에 따른 건설장비 관제 및 현장 운영 지능화 구현

2.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-7> 지능형 건설장비 관제 기술의 세부 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	종래기술의 한계점	구성기술의 개발방향
지능형 토공/포장 장비 관제 기술	■ MG, MC, 3D 설계, 드론 스캐닝, 스마트 CCTV 등의 기술은 개별모듈로서 개발되어왔기 때문에 개발환경이 상이(각 모듈별 운영 후 데이터 포맷변경/교환 필요)함 ■ 특히 일부 기술의 해외의존으로 데이터 규격이 표준화되지 못함	■ 토공/포장공 Cloud BIM 및 토공/포장 장비의 MG, MC 등 다양한 기술이 접목된 장비를 통합 관제할 수 있는 관제 플랫폼 연계 기술 개방 ■ 지능형 관제 플랫폼 및 도로/교통 빅 데이터 기반 최적 경로 네비게이션(C-Map) 기술 ■ AI기반 실시간 현장 정보를 반영한 자율적 장비 운영 의사결정 시스템 개발 및 개발 실증
스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술	■ 위성통신을 하는 GPS의 기술 근본적 문제로 통신음영지역(지하차도, 터널, 산악지형, 대심도 토공 등)에서 정보의 수신 부재 ■ 모든 기술 간 상호작용이 가능한 사물인터넷기술 구현 불가 ■ 자동화된 건설장비에 활용되는 모든 센서 간의 데이터 통신방식이 유선방식	■ 스마트 네트워크를 이용한 무선통신 체계 구축 및 Wi-fi Positioning 기반 위치 측위 기술 개발 ■ 엣지 컴퓨팅 기반 건설장비 IoT 센서 네트워크 및 운영 기술 개발 ■ HMI 조종 환경 및 지능형 관제 플랫폼 연계 기술개발을 통한 무인화 시공

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

□ **기술개발 필요성**

(구성기술 1-1-1) 지능형 토공/포장장비 관제 기술 개발

○ 현재 개발되어 사용되고 있는 ICT 토공 건설관제 솔루션을 확장하여 다양한 건설자동화 수준(MG/MC 원격, 무인 자동화 건설기계)의 고려가 가능한 기술로 개발될 필요가 있음

○ 효율적인 스마트 정보화 시공을 위해 3차원 현장정보, 설계정보 및 작업계획 등의 정보들이 실시간으로 Cloud 기반 서버로 업데이트되어야 하고, 그로 인하여 관제-건설장비 군(群) 간의 원격·자율제어 및 현장제어가 가능하여야 함

○ Cloud BIM과 AI를 통해 다양한 건설장비 자동화 수준별 현장운영의 실시간 판단 및 대처를 하고, 건설장비 최적 이동경로 정보를 제공할 수 있는 시스템이 필요함

○ 향후 스마트 건설의 브랜드화 전략을 위해 개발기술의 Full-scale 현장 실증 테스트를 통한 건설장비 관제 및 자동화 기술의 표준 제정이 필요함

(구성기술 1-1-2) 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발

○ 통신음영지역(지하차도, 터널, 산악지형 등)에서도 제약조건 없이 건설 장비를 관제할 수 있는 스마트 네트워크 기반 무선통신체계 구축이 필요함

○ IoT기술을 사용하여 MG 센서 체계 및 관제센터와의 통신 모듈을 통한 장비 간(Machine to Machine), 장비-관제센터 간 IoT 기반 통신체계 및 무인화 시공을 이루기 위한 원격조종 패키지 개발이 필요함

○ 기존 관제 기술에서는 원격조종과 연계하는 기술을 활용하지 않았고, 원격 조종 모듈 개발은 되어 있으나 어떤 작업을 수행해야 하는지, 즉 관제 모듈과의 통합은 이루어지지 않았음. 따라서 관제와 연동된 HMI 조종 환경을 통해 숙련 조종자 활용을 극대화 하는 기술을 개발해야 함스마트 정보화 시공

□ 개발내용

(구성기술 1-1-1) 지능형 토공/포장장비 관제 시스템 개발

○ 토공/포장공 Cloud BIM 및 관제 플랫폼 연계 기술 개발
- 토공/포장 공정 모델링 및 클라우드 기반 BIM 설계
- Cloud BIM 상호운용성 테스트
- 토공/포장 정보 및 지능형 관제 플랫폼 연계 통합 기술 개발

○ 지능형 관제 플랫폼 및 빅 데이터 기반 최적 경로 네비게이션(C-Map) 기술 개발
- 토공 및 포장장비 지능형 건설장비 관제 플랫폼 설계
- 토공 및 포장장비 작업계획 생성 시스템 기본 및 상세 설계
- 토공 및 포장장비 관제 실시간 시뮬레이션 환경 개발
- C-Map 네비게이터 하드웨어 및 어플리케이션 개발
- 빅 데이터, IoT, WPS 연동가능한 C-Map 네비게이션 검증 및 자동화 수준별 관제 시스템 테스트 베드 적용

○ AI 기반 관제 상황 인지/판단 기술 및 지능형 관제 기술 실증
- 토공 및 포장장비 건설 관제 아이템 파악 및 AI기반 장비조합 의사결정 관제 기술 모듈화
- AI기반 토공 및 포장장비 스마트 Deployment 모듈 개발 및 시뮬레이션
- IoT 센서 및 토공 및 포장장비 연계형 AI 자율 의사결정모델 개발 및 검증
- 건설장비 관제 기술 표준화 가이드라인 개발

(구성기술 1-1-2) 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발

○ 건설 현장에 최적화 된 스마트 네트워크 및 WPS(Wi-Fi Positioning System) 기반 위치 측위 기술 개발
- 건설환경의 특성(지하, 음영지역, 장애지역 다수)를 고려한 스마트 네트워크 기반 기술 선정
- 건설 환경 맞춤형 토폴로지 기본설계 및 시스템 개발
- WPS(Wi-fi Positioning System) 측위 기술 선정 및 건설환경 맞춤형 토폴로지 상세 설계 및 시스템 개발
- 현장적용 테스트, 관제 플랫폼 연계 모듈 개발

○ 엣지 컴퓨팅 기반 건설장비 IoT 센서 네트워크 및 운영 기술 개발
- 토공/포장장비 엣지 컴퓨팅 환경 기본 설계
- IoT 센서 네트워크 설계 및 통신 기술 개발
- IoT 기반 토공 및 포장장비 캘리브레이션 시스템 및 자동 진도관리 어플리케이션 개발

○ 무인화 시공을 위한 XR(eXtended Reality) 기반 HMI 조종 환경 및 지능형 관제 플랫폼 연계 기술 개발
- XR 기반 조종 환경 구축을 위한 HMI 설계
- 스마트 네트워크 및 5G를 활용한 Master-Slave 통신 H/W, S/W 개발
- XR 기반 HMI와 지능형 건설장비 관제센터와의 연계 기술 개발

□ 개발목표

<표 4-8> 지능형 건설장비 관제 기술 개발목표

[1-1-1] 지능형 토공/포장 장비 관제 기술 개발	현재 TRL	목표 TRL
	5~6	7-8

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
	국내	해외				
클라우드 서버 운용	KS X 기준	ISO 17788	클라우드 적합성 기준 통과 (KS X 3242 기준)	●		
(C-Map 네비게이션) 건설 장비 경로 탐색 정확도[1]	80%	-	95% 이상	●		●
AI기반 관제 상황판단 정확도[2]	-	-	95%(Precision) 이상 & 80%(Recall) 이상	●		●
건설 장비 생산성 향상 기술[3]	30% 이상	30% 이상	50% 이상	●		●

1) 토공/포장장비 이동 경로 생성시 최단거리/최소시간 조건의 정확도를 분석, 정답(Ground Truth)이 없으므로 다양한 경로생성 조건(최소 회전, 경사/토질 상태 고려 등)을 기준으로 시뮬레이션을 통해 검증

2) 관제 개입(Intervention)의 Precision과 Recall을 분석, 2명 이상의 전문 관제사 대비 AI 기반 관제의 비교분석 수행, 다양한 현장 관제 개입 조건 필요(예 : 100건의 관제 개입이 필요한 상황에서, AI 관제 개입건 총 95건 중 정상 개입 판정 90건(나머지 5건은 AI의 잘못된 판단)인 경우, Precision은 94.7%(90/95), Recall은 90%(90/100))

3) 토공/포장 장비의 생산성을 기존 재래기술 대비 50% 이상 향상시키는 것을 의미

[1-1-2] 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발	현재 TRL	목표 TRL
	6~7	7~8

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
	국내	해외				
IoT 센서(장비 부착 센서) 정확도[4]	-	-	99% 이상	●		
원격 조종 생산성 비교[5]	-	-	90% 이상	●		
WPS(Wi-Fi Positioniing System) 정확도	2m	2m	0.1m 이내	●		
최대 전송 속도	Wifi 5	Wifi 5	867Mbps 이상	●		
Wi-Fi 커버리지	300m	400m	500m 이상	●		

4) IoT 센서(MG 무선 센서, 안전 관련 센서 등) 계측값의 정확도를 초정밀 센서값과 비교 반복 측정하여 분석

5) 일반적인 토공/포장공 작업 환경에서 유인(캐빈에 조종자 탑승) 조종 대비 원격 조종 작업 생산성 비교

□ **개발목표의 설정 근거**

○ (클라우드 서버 운용)

- 현재 건설장비 관제 및 진도관리를 위한 국내외의 기술은 웹이나 소프트웨어에서 정보를 암호화하여 저장하기 때문에 가용 데이터 유형에 제한이 있고, 자체 포맷을 사용하는 등 표준화가 부족하여 활용도가 매우 낮음
- 따라서 통합운영 및 건설장비 관제를 하려면 정보들이 암호화되어있거나 자체 포맷으로 이루어져 있는 것이 아니라 클라우드 형태의 서버 안에서 공사 참여자 누구나 제약 없이 접근할 수 있게 하여 모든 정보 공유 가능해야 함. 이는 KS 기준에 맞게 클라우드 기능이 설계되었는지 검증해야 함

○ (건설 장비 경로 탐색 정확도) 토공/포장장비 이동 경로 생성시 최단/최소시간 거리 조건의 정확도를 분석, 정답(Ground Truth)이 없으므로 다양한 경로생성 조건(최소 회전, 경사/토질 상태 고려 등)을 기준으로 시뮬레이션을 통해 검증해야 함.

○ (AI기반 관제 상황판단 정확도) 관제 개입(Intervention)의 Precision과 Recall을 분석. 2명 이상의 전문 관제사대비 AI 기반 관제의 비교분석 수행. 다양한 현장 관제 개입 조건 필요

○ (건설 장비 생산성 향상 기술) 토공/포장 장비 생산성 향상을 기존 재래기술 대비 50% 향상하는 것을 목표로 하며, 기존 과제 대비 20% 포인트 향상된 수치임

○ (IoT 센서(장비 부착 센서) 정확도) IoT 센서 혹은 무선 센서 네트워크가 얼마나 정확한 수치를 제공하는가, 특히 MG 무선 센서의 캘리브레이션 정확도가 중요하며, 센서 네트워크의 발생하는 센서 값의 정확도를 측정

○ (원격조종 생산성 비교) 유인(캐빈에 조종자 탑승) 조종 환경 대비, 원격 조종 환경의 작업 생산성 비교

○ (WPS 정확도) 다음 위치 추적 모듈 개요에서와 같이 Wi-Fi 망에서의 통신을 이용해 건설장비의 Client AP 위치를 추적할 수 있어야 함

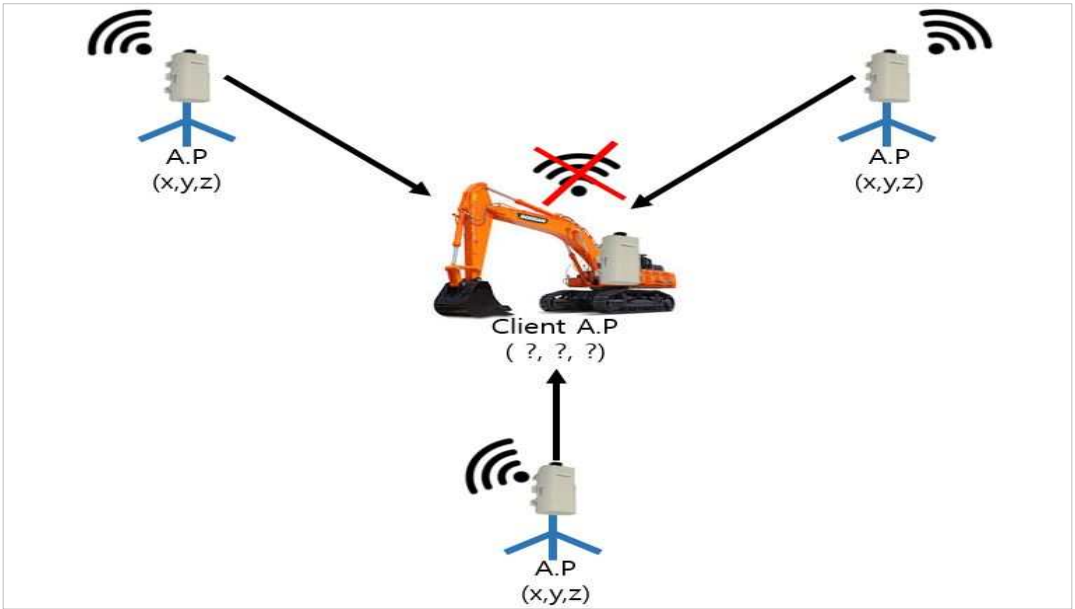
○ (최대 전송 속도) 수집되는 토공 및 포장 장비(도저, 그레이더, 롤러, 페이버, 덤프트럭 등) 데이터를 관제 시스템으로 전송하는 속도이며, 빅데이터 수집을 위한

기반기술의 성능지표로 활용가능함

- 통신 중 상태인 이동 단말(mobile station)이 해당 기지국 서비스 지역(중계기, AP)을 벗어나 인접 기지국 서비스 지역으로 이동할 때 단말기가 인접 기지국의 새로운 통화 채널에 자동 동조되어 지속적으로 통화 상태가 유지됨.
- 통화 채널이 자동으로 바뀌는 동안의 통화 단절 시간이 100m/sec 이하로서, 실질적으로 단절은 되지만 네트워크상에서는 딜레이 현상으로 나타남
- 이러한 지연을 없애기 위해 동시에 여러 대의 AP와 통신이 가능하도록 해야 하며 1대의 Station이 여러 AP와 통신이 가능한 Multi Link 구조가 되면 여러 대의 AP에 데이터를 동신에 보낼 수 있게 되어 데이터 손실이 발생하지 않게 됨

○ (Wi-Fi 커버리지) 1개의 Access point로부터의 반경, Wi-Fi의 성능 개선 및 안테나의 보완과 핸드오버 기술의 적용을 통한 통신 가능 반경(Network Coverage)으로, 향상된 네트워크 기술의 성능 지표로 활용가능함

- WiFi의 성능 개선 및 안테나의 보완과 핸드오버 기술의 적용으로 구축된 로컬망의 커버리지를 극대화 할 수 있는 기술 개발이 불가피함
- 단순히 무선 AP의 커버리지를 늘리는 기술을 넘어 신호세기에 따라 Client가 AP를 이동하여 접속하는 핸드오버 기술의 고도화가 필요



[그림 4-10] WPS기반 위치추적 모듈

2.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

○ 기존 국내연구는 효율적인 도로/토공사를 수행하기 위한 시스템 및 장비(굴삭기, 도저 MG/MC) 개발 위주로 연구가 진행되었거나 되고 있음. 선행 연구를 바탕으로 본 연구에서는 토공/포장장비 운영 및 관제 기술을 스마트 기술과 접목하여 기술 발전 및 사업화 육성을 목표로 함.

- 본 과제는 선행 연구에서 개발된 기술을 고도화하고 토공/포장장비에 적용하며 향후 기술을 표준화/제도화한다는 점에서 차별성을 가짐

- 본 연구과제는 건설사업정보관리 플랫폼 등 외부시스템과의 연계를 통한 건설장비 운영 및 관제 차원의 정보 연계 기술 개발을 목적으로 하고 있음

<표 4-9> 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

연구 과제명	사업지원 기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (2014.07~2017.12)	■ 현장관리자 설계/시공 정보와 건설장비간 정보교류를 이어주는 통합관제와 건설장비 조종자의 안전하고 효율적인 작업을 지원하는 가이드 기술의 시스템화 개발 ■ 건설현장의 통신음영지역에서 로컬네트워크 망을 구축해 현장 관제를 가능하게 하는 스마트 커넥트 패키지 개발	■ 본 과제는 현재 종료된 과제로, 구성기술 개발에 필요한 기반기술로서 기술 고도화에 활용될 수 있으나, 다음의 2가지 차원에서 구별됨. - (기술 개발 수준에 따른 차별화) "ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 개발"의 **핵심 기능을 고도화**하기 위해 첨단 스마트 기술(빅데이터, IoT, BIM, VR/AR)을 적용하여 다음과 같은 기술개발이 필요 ① AI를 활용한 관제 기술의 지능화 ② 클라우딩·엣징 컴퓨팅 기술을 활용한 정보 운영의 고도화 ③ 통합형 원격 기술 및 AI 기술의 고도화 ④ 통신 음영지역에서의 안정적인 데이터 통신을 위해 실내측위 Wi-Fi Positioning System(WPS) 개발을 통한 네트워크 고도화 - (건설장비에 따른 차별화) 굴삭기와 도저를 주대상으로 한 정보화 시공 기술이 개발되었고 이를 기반으로 일반 **토공/포장 장비**(그레이더, 페이버 등)에 대한 확장 필요

연구 과제명	사업지원 기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
지능형 건설 자동화 연구센터	한국 연구 재단 (2018.06~ 2025.02)	■ 건설 4.0핵심기술(인공지능, 로봇, ICT/IoT 기술 등)을 융합하여 건설생산의 지능화/무인화/자동화를 달성하는 지능형 건설자동화 시스템 개발 ■ 건설관리 프로세스의 지능화/무인화/자동화, 건설장비·기능공·보조공의 생력화 및 동기화, 생산성 지체요소(민원, 분쟁, 사고 등)를 방지하는 건설 지능화/자동화	■ 다음의 2가지 차원에서 차별화됨 - (적용 대상에 따른 차별화) "지능형 건설자동화 연구센터" 과제는 "**건축**공사"를 위주로, 건축공사 차원에서의 건설관리 프로세스의 지능화/무인화/자동화 연구이며, 본 제안과제의 적용 대상인 "대규모 **토목**공사 - 토공 및 포장공사"와는 규모면에서 차별화 됨 - (건설 장비에 따른 차별화) "지능형 건설자동화 연구센터"과제는 건축 토공사의 경우 **건축 구조물의 하부 굴착에 투입되는 "굴삭기" 자동화** 개발을 목표로 하는 반면, 본 제안과제는 **일반 토공 및 포장장비**(그레이더, 도저, 롤러, 페이버, 덤프트럭)에 국한되어 있음
토공사를 위한 디지털- 트윈 프레임 워크	한국 연구 재단 (2019.03~ 2023.02)	■ 디지털-트윈의 핵심기술인 BIM, 증강현실, 이미지 처리, 시뮬레이션 등과 같은 다양한 기술을 접목하여 토공사 프로세스를 개선	■ 토공사를 위한 디지털-트윈 프레임워크의 과제성격이 "기초"로 분류되는 비실용화 원천과제이며, 구성기술 1과 비교하여 다음의 차별성을 가짐 - 연구재단 과제는 BIM 모델 토공 3차원 정보 및 토질·함수비 등의 물리적 속성까지 고려하는 **상세수준**인 반면, 본 제안과제는 다수의 건설장비 관제를 위한 3차원 지형 및 토공 설계 모델 생성 및 현장실무에서의 공유를 위한 **Cloud화**가 주목적임 - 토공현장 모델링 제안 방법이 현장 이미지를 기반으로 특징점(Key point) 추출을 위한 **컴퓨터 비전 알고리즘을 이용하여 모델을 구축**하는 원천적 연구로서, 본 제안과제의 디지털 맵 생성 기술과 차별됨 - 자원(장비, 노무, 자재)의 시간적인 흐름을 **이산사건 시뮬레이션**을 이용하여 해석함으로써 토공 프로세스에 대한 상세도 조정을 사용자가 유연하게 취할 수 있는 **원천기술**임.

2.8 민간기술과의 차별성·연계성

□ 지능형 토공/포장장비 관제 시스템

○ 현재 ICT 관련 건설 중장비 관제 서비스는 건설장비 회사 자체에서 개발하여 운영하고 있기 때문에 정보 제공의 한계점이 있음

- 각 건설장비의 정보를 쉽게 얻어서 자체 회사 서버에만 실시간으로 정보를 올려주는 것이 아니라 클라우드 컴퓨팅 기반 지능형 건설장비 관제 시스템과 연계한다면 좋은 시너지를 낼 수 있을 것으로 사료됨
- 지능형 건설장비 관제 시스템은 건설장비 정보 이외의 다양한 정보들이 로컬 네트워크망 내에서도 사용 가능하고 클라우드 서버 상에서 공유 가능
- 관제 서버 상에서 정보를 활용하여 다양한 분석과 장비군 원격 제어가 가능하고 빅데이터를 활용하여 C-map등의 건설장비 및 덤프 네비게이터 기능도 수행할 수 있음

<표 4-10> 민간기술의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성(지능형 건설장비 관제 기술)

구성기술 관련 민간기관	민간기술명	주요 기술내용	구성기술과의 차별점·연계성
두산 인프라코어	두산 커넥트 (DOOSAN CONNECT)	■ 건설 중장비의 위치와 가동 상황 등의 정보를 실시간 무선통신으로 송수신하면서 작업자 관리와 장비 운용의 효율성을 높이는 서비스 ■ 소모품 교체정보, 장비 위치정보 및 가동 상황 확인가능	■ 소모품 교체 정보, 장비 위치정보 및 가동상황 이외의 통합공정관리 차원의 설계정보, 실시간 공정 진도정보, 유지보수정보와의 연계 필요 ■ 건설장비 운영 및 관제 기술을 클라우딩 컴퓨팅 기술과 접목 ■ 장소와 시간에 구애받지 않고 공사참여자들이 공사정보를 능동적으로 업데이트하여 공사 참여자들이 합리적으로 건설 장비를 통합운영 및 관제함
현대건설기계	현대 하이 메이트 (HIMATE)		

구성기술 관련 민간기관	민간기술명	주요 기술내용	구성기술과의 차별점·연계성
Trimble	VisionLink	■ 화면에 자산 정보가 표시되어 기계 브랜드와 상관없이 장비 관리 ■ VisionLink 통합 서비스를 통해 운영 및 자산 수명 연장, 유지보수 일정 관리 및 장비 상태 추적	■ 생산성 분석을 포함하여 Fleet 기술과 연계하여 통합공정관리 차원의 건설장비 관제 솔루션 개발 필요

<표 4-11> 민간기술의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성
(건설현장 정보 수집 및 분석기술)

구성기술 관련 민간기관	민간기술명	주요 기술내용	구성기술과의 차별점·연계성
두산 인프라코어	두산 커넥트 (DOOSAN CONNECT)	■ 건설 중장비의 위치와 가동 상황 등의 정보를 실시간 무선통신으로 송수신하면서 작업자 관리와 장비 운용의 효율성을 높이는 서비스 ■ 소모품 교체정보, 장비 위치정보 및 가동 상황 확인가능	■ 소모품 교체 정보, 장비 위치정보 및 가동상황 이외의 통합공정관리 차원의 설계정보, 실시간 공정 진도정보, 유지보수정보와의 연계 필요 ■ 건설장비 운영 및 관제 기술을 클라우딩 컴퓨팅 기술과 접목 ■ 장소와 시간에 구애받지 않고 공사참여자들이 공사정보를 능동적으로 업데이트하여 공사참여자들이 합리적으로 건설장비를 통합운영 및 관제함
현대건설기계	현대 하이메이트 (HIMATE)		
Trimble	VisionLink	■ 화면에 자산 정보가 표시되어 기계 브랜드와 상관없이 장비 관리 ■ VisionLink 통합 서비스를 통해 운영 및 자산 수명 연장, 유지보수 일정 관리 및 장비 상태 추적	■ 생산성 분석을 포함하여 Fleet 기술과 연계하여 통합공정관리 차원의 건설장비 관제 솔루션 개발 필요

□ 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화

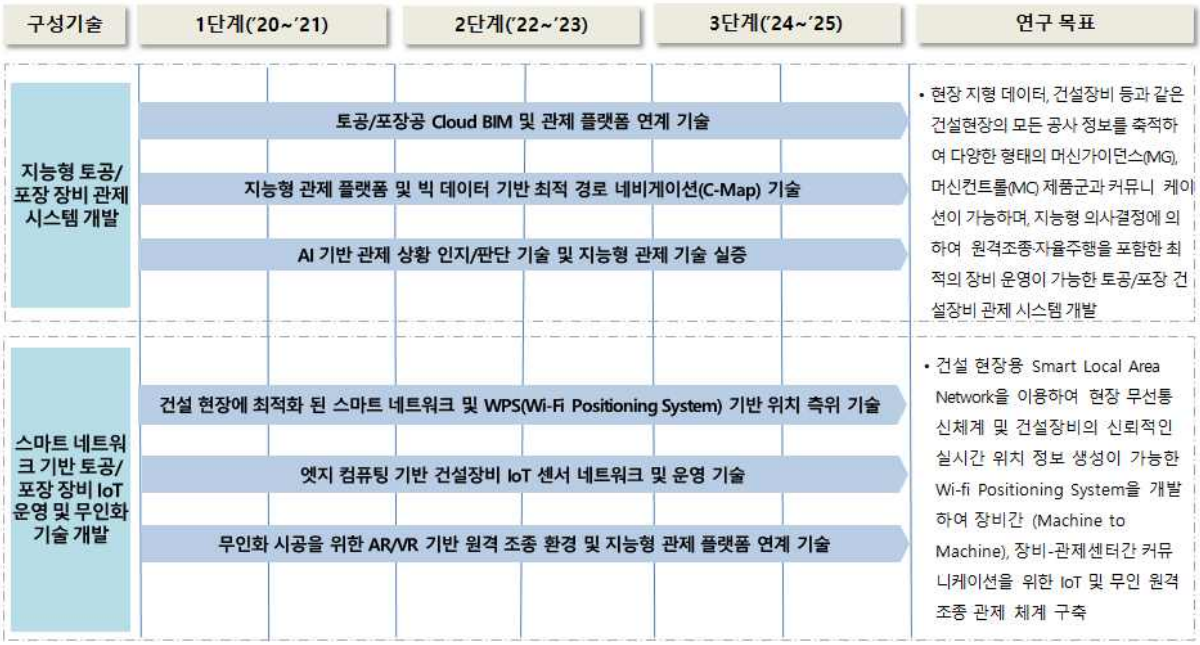
○ 현재 민간 기술은 일부 통신사와 협약하여 통신사 통신망을 연계하여 건설기계 무인화를 개발 중인 것으로 파악됨. 따라서 통신사 통신망외에 다른 통신망과의 유연성 확보가 불가능한 측면이 있을 수 있으며, 통신사 통신망만을 활용함으로써 통신망의 유동성 및 통신비용의 증가를 초래할 수 있음

- 또한 통신사의 무선망이 구축된 지역을 기반으로만 연결이 가능함으로 산간 벽지나 오지의 건설 현장에는 적용이 제한적임
- 광대역 Smart Local Network 기반 IoT장비 운영체계는 현장 상황에 맞게 다양한 통신 기술(LTE, Wi-fi)의 접목을 통해 제약 없는 통신환경 구축을 목표로 자체 로컬망 구축으로 통신비용의 절감은 물론 타 통신망과의 연동성을 확보하여 유동적으로 통신의 신뢰성을 확보할 수 있음
- 외부 공인망에 접속되지 않고 자체 내부망과의 통신을 하므로 보안성에서도 우위를 선점할 것임

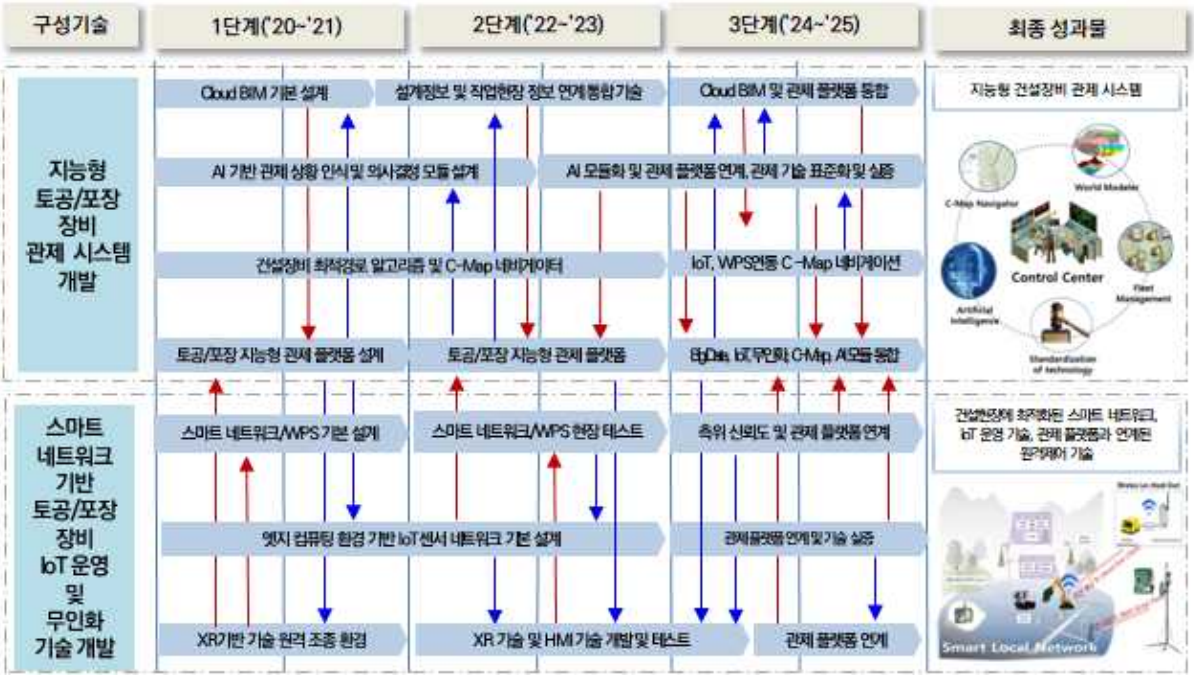
<표 4-12> 민간기술의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성
(디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 기술)

구성기술 관련 민간기관	민간기술명	주요 기술내용	구성기술과의 차별점·연계성
두산 인프라코어	'5G 무인 건설기계 개발'중	■ 통신망을 통해 드론이 촬영한 대용량의 3D 데이터를 실시간으로 서버에 전송하고 이를 3D 설계도와 비교해 자동으로 작업량 및 시공 계획을 산출함 ■ 산출 데이터는 현장의 건설기계로 전송되고 건설기계가 센서와 관제 플랫폼의 지시에 따라 스스로 작업 실행하는 기술	■ 드론이 촬영한 대용량의 3D 데이터를 실시간으로 서버에 저장하고 설계도와 비교하여 자동으로 작업량 및 시공 계획을 산출하는 로직은 동일하나 이를 위한 통신방식에서 차별성이 존재함 - 5G는 주파수 특성상 고주파인 관계로 음영지역이 다수 발생할 수 있으며 통신망의 유동성 확보가 힘들 수 있음 - LTE, Wi-fi망을 모두 사용하여 능동적으로 무선 음영지역을 해소하여, 장비 간 통신을 원활하게 할 수 있음

2.9 구성기술 로드맵



[그림 4-11] 지능형 건설장비 관제 기술 추진로드맵



[그림 4-12] 지능형 건설장비 관제 기술 성과로드맵

2.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 165.95억 원/6년(3단계)중 (국고) 122.07억 원, (민자) 43.88억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-1-1. 지능형 토공 및 포장 장비 관제 기술 개발	정부	1,215	1,206	1,547	1,547	1,547	684	7,746
	민간	437	433	556	556	556	246	2,784
	소계	1,652	1,639	2,103	2,103	2,103	930	10,530
1-1-2. 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발	정부	496	751	892	892	891	539	4,461
	민간	178	270	321	321	320	194	1,603
	소계	674	1,021	1,213	1,213	1,211	733	6,064
합계	정부	1,711	1,957	2,439	2,439	2,438	1,223	12,207
	민간	615	703	877	877	876	440	4,388
	소계	2,326	2,660	3,316	3,316	3,314	1,663	16,595

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-1-1. 지능형 토공 및 포장 장비 관제 기술 개발	533	552	684	684	684	304	3,442
1-1-2. 스마트 네트워크 기반 토공 및 포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발	208	342	399	399	399	247	1,995
합계	742	895	1,084	1,084	1,084	551	5,438

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-1-1. 지능형 토공 및 포장 장비 관제 기술 개발	책임급	1	1	2	2	2	1	9
	선임급	4	3	4	4	4	2	21
	원급	6	8	8	8	8	3	41
	합계	11	12	14	14	14	6	71
1-1-2. 스마트 네트워크 기반 토공 및 포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발	책임급	1	1	1	1	1	1	6
	선임급	1	2	3	3	3	1	13
	원급	2	4	4	4	4	3	21
	합계	4	7	8	8	8	5	40
소계		15	19	22	22	22	11	111

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만 원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	193	208	266	264	264	131	1,327
연구과제추진비	155	165	214	216	216	104	1,070
연구활동비	322	340	444	444	443	221	2,214
연구수당	111	134	163	163	163	83	816
소계	781	847	1,087	1,087	1,086	538	5,426

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	188	215	268	268	268	135	1,343

□ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 44.9%, 직접비(인건비 제외) 44.1%, 간접비 11.0%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 29%, 연구과제추진비 23%, 연구활동비 48%, 연구수당*으로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

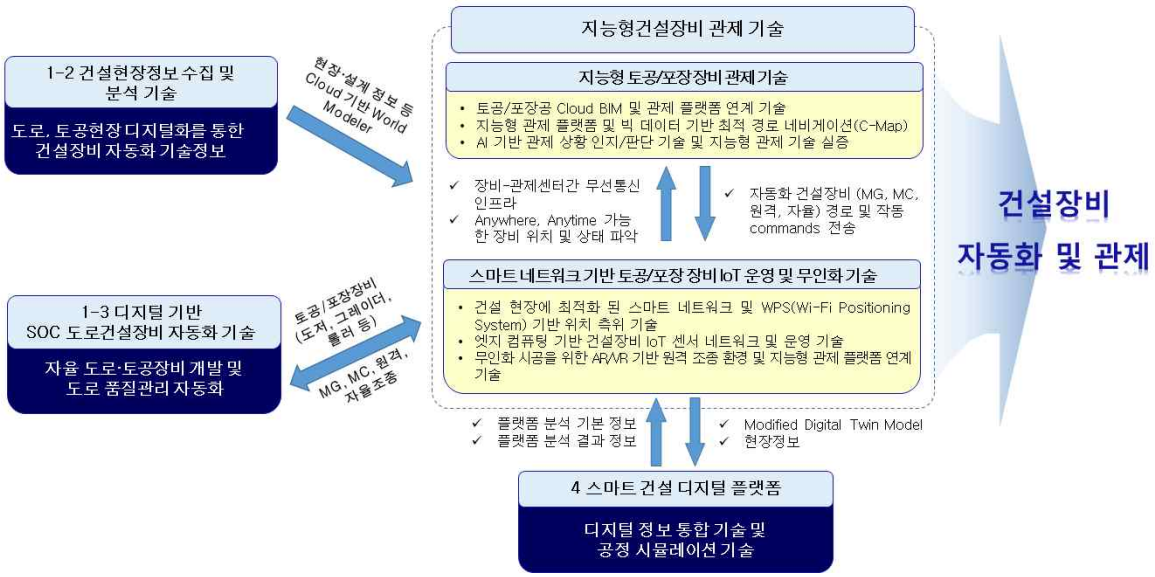
(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

2.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



[그림 4-13] 지능형 건설장비 관제 기술 추진체계

(2) 협력방안

○ 효과적인 건설장비 관제 및 현장 운영 자동화에 대한 활용도 평가를 위한 국내외 건설자동화 분야와 협업체계 구축

- (국외) 미국, 일본 등과 국제공동연구 및 학술심포지엄 개최
- (국내) 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 과학기술전략연구소, 대학 등

○ 다양한 건설현장 특징 및 환경에 따른 정보통신 허용 가능한 장비관제 및 현장 자동화를 위한 현장 Test-bed 수행

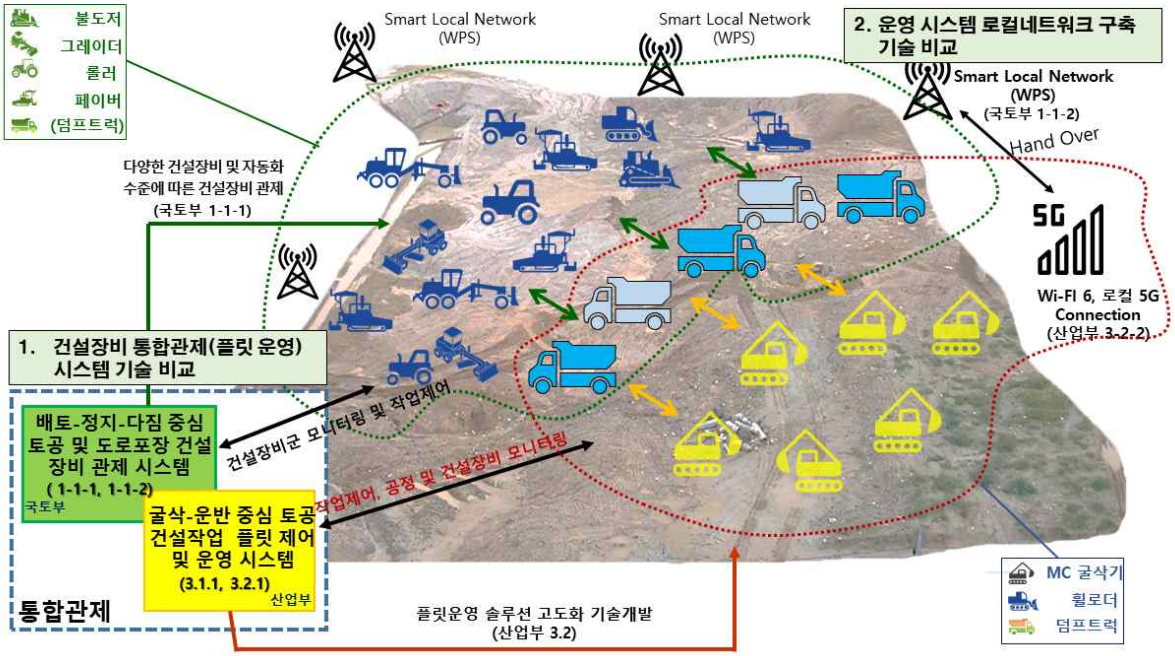
- 현장의 규모 증대 혹은 예측할 수 없는 환경 변수들에 상관없이 다수의 자동화된 건설장비를 통합·연계하여 관제하고, 자율적으로 판단하여 원격제어 등을 통해 시공자동화를 구현하는 목적으로 시범사업을 통한 현장 Test-bed는 필수적임

- 토공장비 외 도로구조물 스마트 건설기술 분야에서 다루는 크레인, TBM등과 같은 건설장비 정보, 스마트 안전 통합 관제시스템을 통한 현장 안전 분석 결과 등을 스마트 건설 디지털 플랫폼을 통해 서로 교환·공유함으로써 건설 현장 디지털 정보 표준화 정립
- (대상기관) 국토교통부, 건설회사, 연구기관 등

○ 산업통상자원부(스마트 건설기계)의 핵심기술(3-2)과 본 핵심기술(1-1)과의 유사성/차이점을 분석하여 연구내용 중복 및 연계 방안 검토

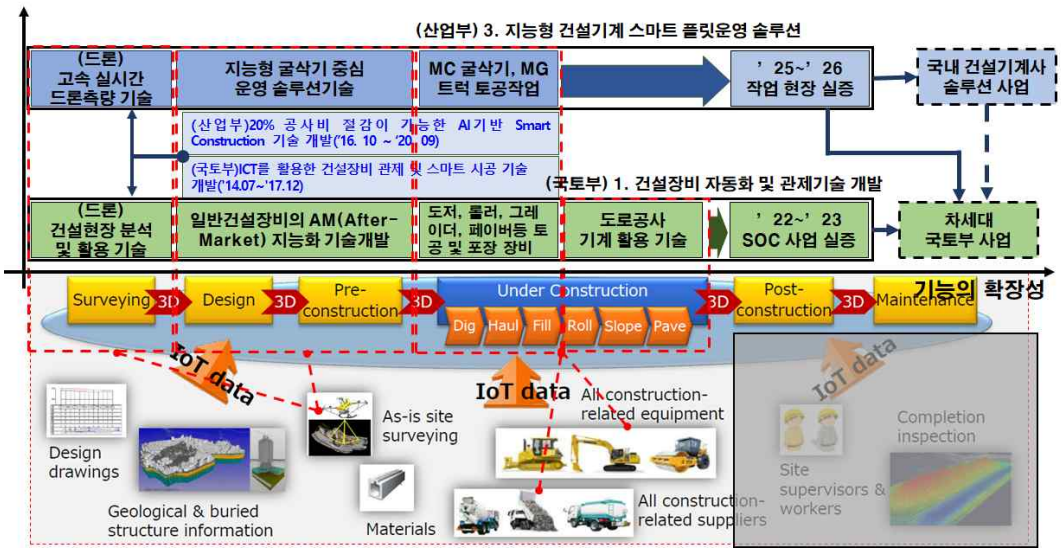
<표 4-13> 핵심기술 유사성 검토결과

유사 핵심기술	차이점
(산업부) 3.2.1 스마트 토공 건설기계용 3D 작업공정 설계기술	- 산업부는 자동화 굴삭기(MC)의 운영제어에 초점을 맞추고, 국토부는 일반 건설장비의 After-Market用 초연결 및 관제에 초점을 맞춘 것임 - 국토부는 디지털화한 토공 공정 분석에 의거한 건설 현장의 생산성 증진에 초점을 맞춘 다양한 형태 및 자동화 수준의 건설장비 군의 운영이 주목적이며, 산업부는 4년~5년 이후 보다 진보된 건설기계 장비의 기술을 바탕으로 자동화 건설장비 및 부품(컨트롤러, 센서)의 상세 제어 및 정밀도를 더 향상시키려는 기술개발이 목적임
(국토부) 1.1.1 지능형 건설장비 관제 기술	
(산업부) 3.2.2 고속 무선통신(5G 등)을 활용한 커넥티드 스마트 건설기계 플릿제어 기술	- 산업부는 작업 현장에서 실시간 대용량 데이터(건설기계 상태분석, 건설공정 실시간 분석 등)를 받아들이고, 실시간으로 건설기계의 작업제어를 지시하기 위한 차세대 고속 통신시스템 및 단말기 기술임 - 국토부는 건설 현장의 스마트 네트워크 기반으로 GPS를 보완/대체하여 건설장비의 실시간 위치 파악이 가능한 WiFi Positioning System(WPS) 기반 위치 측위 기술 및 현 MG/MC 유선 통신을 엣지 컴퓨팅 기반 건설장비 IoT 센서 네트워크화하는 통신 인프라 기술임
(국토부) 1-1-2 스마트 네트워크 기반 토공 및 포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술	



[그림 4-14] 산업부(플릿운영 솔루션)-국토부(건설장비 관제 시스템)에 대한 차별성과 연계성

- 양부처의 기술개발을 연계하기 위한 방안으로 산업부 건설기계 플릿제어 기술이 개발되고 Pilot 테스트가 완료되면, 이후 국토부 스마트 건설 3단계 연구와 연계하여 국토부의 실제 현장에서 검증할 수 있도록 협력



[그림 4-15] 산업부-국토부 스마트 건설기술에 대한 차별성과 연계성

2.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-14> 지능형 건설장비 관제 기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
지능형 건설장비 관제 기술	현재 핵심기술 관련 기술들이 부분적으로 공공사업에 국한되어 시범적용 중 (예: 세종 5-1 생활권, 부산에 코델타시티 등)	일본 I-construction 사례처럼 장기적으로 다수의 Test-bed를 통한 종합테스트를 거친 후, 전면적인 도입 추진
	스마트 건설기술 개발·환산 정책관련 체계적인 법·제도 부재	국토교통부, 건설업체 등 관계기관과의 지속적인 협의를 통한 국가 법·제도 정착화

2.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **일본 국토교통성은 건설산업 분야에 있어 4차 산업혁명을 통해 해결해야 할 최우선 목표를 '생산성 향상'에 두고 건설현장의 생산성 향상을 위해 측량·시공·검사 부분에서 ICT(정보통신기술)를 활용하는 'I-construction' 정책을 추진 중임**

○ 국토교통성은 건설자동화를 위해 1980년부터 약 68억 엔의 연구개발투자를 진행했고, 민간에서도 Komatsu사, Hitachi사를 중심으로 기업 경쟁력 확보를 위한 연구를 진행함

- 국토교통성은 2016년을 생산성 혁명 원년으로 설정하고, 2016년 3월 국토교통성 장관을 본부장으로 하는 생산성 혁명 본부를 국토교통성 내부에 조직함
- 그 결과 중장비 스스로 비숙련 작업자를 도와 조작을 가능케 하는 MG(머신 가이던스) 기술은 완성단계에 있으며, 일본 정부는 이 같은 기술이 탑재된 건설중장비를 지난 7년간 공공공사에 시범 운용했고, 2016 4월 전면적으로 도입함
- 1980년대부터 진행해 온 정보화 시공, 로봇, CIM의 연구과제들을 융합한 성과로서 건설현장에서 드론 및 ICT 기술을 활용하는 i-construction의 핵심이며, 선두 정책이 되고 있는 것은 ICT 토공임
- ICT 토공은 UAV(드론)을 활용한 측량, ICT 중장비를 활용한 시공, CIM 플랫폼을 활용한 검사의 3가지 항목으로 구성되어 있음

○ 국내의 경우 ’14.07~’17.12까지 ‘ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트시공 기술개발’ 연구(한양대학교)를 통해 토공사를 대상으로 드론 및 BIM 등을 활용한 측량 및 설계, 로컬 네트워크를 활용한 현장관제, 건설중장비 협업시스템 관리 등 건설장비 통합관제 기술 및 건설장비 가이드 기술을 개발하고 현장에 일부 적용하여 연구결과의 효용성을 입증하였음

(2) 성공 사례의 시사점

□ **국토교통성은 1980년대 중반부터 30년간 약 68억 엔을 지속적으로 투자하여, 연구 개발사업을 진행함**

○ 특히 국토교통성은 건설 산업 연구개발의 방향성을 수립하여, 이를 민간에 공개하고 이슈 및 정치 등과 같은 환경적 영향을 받지 않고 정책적 일관성을 유지하였음

- 민간 사업자도 정부의 연구 개발 사업에만 의존하는 것이 아니라 자사 규모와 관계없이 자신의 경쟁력 확보를 위해 자체 연구개발에 투자함으로써 정부와 민간 사업자는 각자에게 주어진 역할을 적극적으로 수행함
- 예를 들어 국토교통성이 건설 산업의 많은 업종 가운데 우선적으로 자동화가 진행되어야 할 분야로서 토공사를 선정하고 관련 중장비 업체들도 토공사와 관련된 장비를 집중적으로 투자함.
- 토공사 관련 장비가 실전 투입되기 시작하는 지금에는 국토교통성에서 다른 공종의 자동화로 연구개발의 방향성을 설정하고자 하고 있음

□ **또한 일본 정부의 지원 정책은 적극적으로 대응하기 어려운 중소기업을 주 대상으로 보조금 제도와 세제 혜택의 방법을 도입함**

○ 보조금 제도는 ICT 건설중장비가 자립적으로 경쟁력을 가지지 못하는 도입 초기에 활용하였고, 이후에는 지속적으로 중소기업의 체질 개선을 유도하기 위한 세제 혜택을 진행하고 있음

- 국토교통성에서는 ICT 건설중장비의 개발이 충분히 완료된 상황에서 ICT 건설 중장비의 전면 도입을 선언하고 그 준비기간 동안 공공공사에서 ICT 건설중장비 도입에 필요한 설계도서 작성방법부터 기성신청, 검사방법까지 각종 규정을 정비하였음

□ **국토교통부 지원 연구개발 사업인 'ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트시공 기술개발' 연구를 통해 소규모 토공사를 대상으로 하는 시범사업을 통해 관련 세부기술 및 통합시스템에 대한 기술 표준화 및 법적 제도화 추진을 위한 기반을 조성함**

○ 위와 같은 일본 및 국내의 실용화 사례는 바탕으로 우리나라 정부도 새로운 기술과 장비가 시장에서 적극적으로 도입될 수 있도록 지원정책을 작성하고 제도 환경을 정비해야 함

(3) 실용화 전략 수립

□ **본 기술 개발의 가장 큰 강점은 도로 등의 교통 시스템 건설뿐만 아니라 신도시 건설(단지공사) 등 모든 인프라 산업에 포괄적으로 적용 가능한 분야임. 따라서 시공 자동화 분야에서 경쟁력을 갖추기 위해 다음과 같은 실용화 전략을 수립해야 함**

○ 본 기술의 개발 후, Test-bed 적용을 거쳐 건설장비 자동화 및 관제 기술 실용화 및 현장투입에 대한 제도적 근거를 마련하고 이를 법제화로 이어질 수 있도록 핵심 기술들의 강점을 각 관련 공공기관 및 민간업체에 홍보할 필요가 있음

- 공공기관 및 민간 업체로의 기술이전을 통한 지식재산권 확보, 원천기술의 권리 확보에 역량을 기울여야 함
- 대외 영향력이 높은 건설 자동화 학회 혹은 건설 기계장비 박람회 등에서 본 기술을 홍보하여 향후 해외건설 수주시 강점과 기회로 활용할 필요가 있음

□ **일본은 4차 산업혁명 관련 정책의 구심점 역할을 하는 컨트롤타워를 신설하여 정책 추진의 일관성과 효율성을 도모하고 있음(사공목, 2017).**

○ 우리도 각 부처별로 분산되어 있는 인공지능(AI), 로봇, 빅데이터, IoT 등 4차 산업혁명에 관련한 핵심요소 기술개발, 산업구조 및 고용구조 변화 대응 등 다양한 분야의 정책을 총괄적으로 기획 조정하는 정책기구를 설치할 필요가 있음

- 국토교통성에서는 건설 산업 성장의 열쇠는 생산성 향상에 있다고 판단하고 국토교통성 내부에 국토교통성 장관을 본부장으로 하고 모든 국장이 참가하는 생산성 혁명 본부를 설치하고, 20개의 대표 생산성 혁명 프로젝트를 설정하였으며, 그중 하나가 'i-construction'임(조재용, 2017)

- 우리나라도 국토교통부를 중심으로 관계 부처 간 정책조정 기구 설립을 통해 스마트 건설 핵심기술 확보 및 기반 체계를 마련하고, 일본의 ‘i-construction’처럼 한국형 건설자동화 기술 브랜드화(‘KICA(Korean Intelligent Construction Automation’(가칭))를 선도

2.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ **건설장비는 매우 열악한 환경에서 운용되는 장비로서, 각종 진동/소음, 분진 등의 유해한 요소뿐만 아니라, 낙석, 전복, 추락 등의 잠재적 위험 요소를 많이 가지고 있는 시스템**

○ 센서 및 제어 부분의 IT기술을 적용한 지능형 건설장비 및 시공관리 자동화 시스템 개발은 상기의 문제를 해결할 수 있는 중요한 기술임.

- 건설 기계 산업으로의 기술 시장 이전 및 확보와 더불어 기술이 적용되는 건설 산업에서 다수의 자동화·무인화 장비를 통합·연계 가능한 관제시스템을 개발하여 원격제어 등을 통한 시공자동화의 구현을 이루어 낼 수 있음

- 장비-장비 간 혹은 장비-관제센터 간 상호작용을 이끌어 내어 도로/토공사의 생산성을 비약적으로 향상시킬 수 있음

○ 클라우드 컴퓨팅 기반 건설장비 관제 시스템 및 광대역 Smart Local Network 구축 기술을 증강현실(Augmented Reality), 웨어러블 디바이스(Wearable Device)와 같은 최신(State-of-the-art)의 ICT 기술과 연계함으로써 Mobile Application개발을 통한 건설공사의 소프트화를 확대함

- 이와 같은 첨단 기술은 ICT, 기계 등 유관 산업과의 시너지 효과를 통해서 새로운 고부가가치 신사업을 창출할 것임

(2) 사회경제적 측면

□ **성공적 지능형 건설장비관제 기술 개발은 건설자동화 장비개발 및 투자에 미흡한 국내 건설 산업에 있어 건설자동화 시스템 개발을 통한 경제적·사회적 긍정적 파급효과를 제고시킬 것임**

○ 이를 통해 민간기업의 기술개발 의욕을 고취시킴으로써 급변하는 해외건설 시장에 능동적으로 대처할 수 있는 기술적 능력을 배양하고자 하는 동기부여가 될 것임

- 건설 장비 운영 신기술·신공법의 개발은 건설 산업의 이미지 제고 및 건설 분야에 자동화 기술 연구개발의 활성화를 위한 기반환경을 조성할 수 있을 뿐만 아니라 건설시장 개방에 따른 대외 기술경쟁력을 확보하고, 국외 기술의 도입에 따른 기술 사용료의 절감 그리고 해외로의 기술이전 등이 가능하여 막대한 부가가치 창출이 가능할 것으로 기대

○ 4차 산업혁명에 대한 일본 정부의 체계적인 대응으로 i-construction(건설자동화) 제도가 정착된 점을 본받아 본 핵심기술의 개발을 통해 우리나라도 차세대 건설 전 과정에 걸쳐 관제, 자동화 기술을 통합하는 새로운 기반을 조성할 수 있도록 법·제도적인 장치를 마련할 수 있을 것으로 기대됨

3. (핵심기술 1-2) 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발

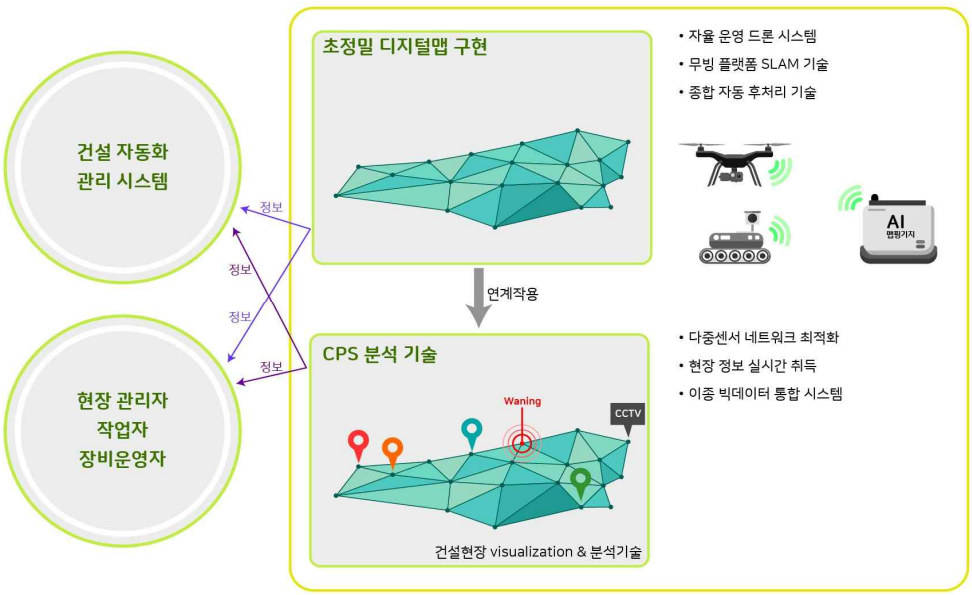
3.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

□ **건설현장(토공, 포장)을 디지털화하여 건설장비 자동화를 위한 기초정보를 제공하기 위한 연구**

○ 건설현장에 투입되는 건설장비의 자동화를 위해서는 지형정보, 작업영향정보 등의 기초정보 수집이 필요하며, 이런 정보를 바탕으로 작업계획에 필요한 정보를 생성하는 기술

- 다양한 계측장비를 통해 수집되는 정보를 바탕으로 건설현장 지형을 디지털화하여 건설장비를 투입하기 위한 기초정보를 생성함. 또한 건설현장에 설치된 센서를 통해 수집되는 정보를 분석하여 건설장비 자동화를 위한 데이터 제공기술
- 건설현장 정보를 분석하고 시각화하여 현재 작업상황에 대한 정보공유를 원활하게 하고 건설현장관리자가 건설장비 운영을 위한 의사결정을 지원하는 기술



[그림 4-15] 건설현장 정보 수집 및 분석기술 개념도

(2) 기술범위

□ **다양한 장비를 통해 수집한 정보를 활용한 초정밀 Digital Map 구축기술**

○ 현장의 변화상황을 AI를 탑재한 드론이 판단하고 계측하며, 계측된 정보는 무선네트워크를 통해 전달되고 자동 후처리하는 기술

- SLAM(Simultaneous localization and mapping) 및 AI 기술을 탑재한 계측 무빙 플랫폼(지상)을 개발하여 실시간으로 현장을 모델링하고 전송하는 기술
- 다양한 장비를 통해 수집한 Point Cloud정보를 통합하여 초정밀 Digital Map을 생성함
- AI기술을 활용하여 노이즈를 제거하거나 지형변화를 탐지하고 변화지형을 자동 업데이트하는 기술

□ **현장에서 수집한 환경정보를 CPS를 이용하여 분석하고 맵핑하는 기술**

○ 현장정보 수집을 위해 다양한 센서를 이용한 건설현장정보 수집 네트워크를 구축하고 현장에서 발생하는 상황을 자동으로 수집하는 기술

- 현장에서 발생하는 상황을 실시간으로 인지하고 관리자 및 작업자에게 실시간으로 효과적으로 시각화하기 위한 AR/VR/MR기술 및 정보확산 기술
- 현장에서 발생한 정보를 CPS에 반영하고 현장환경을 시뮬레이션하고 분석된 결과를 표출하고 피드백하는 기술
- Digital Map, 이종 센서데이터, CCTV 등 이종의 빅데이터를 통합하고 분석하는 통합 시스템 구축기술

3.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ **정부의 거시적인 재정정책 변화에 따라 향후 건설산업 투자는 계속적으로 감소할 것으로 예상되며 이에 대한 대응책 마련이 요구되고 있는 시점임**

○ ’15년까지 국가발전 기반구축을 위해 도로, 철도, 공항, 항만 등 사회자본 건설을 위한 일정 비중 이상의 예산을 투입해왔으나, ’15년 이후 첨단산업 육성 및 복지예산 확충을 위해 건설산업 예산이 매년 줄어들고 있음

- 중앙정부 인프라 예산추이를 보면 ‘16년~’20년 인프라 투자는 연평균 6% 감소할 것으로 예상됨

□ 굴삭기, 트럭, 도저, 롤러, 그레이더, 페이버 등 토공 및 도로공사에 적용되는 장비 작업 시 측량착오 및 잦은 측량으로 인한 재시공 및 작업지연 발생

○ 현재 토공 및 포장공이 제대로 수행되고 있는지 확인하기 위해 수시로 측량을 수행하게 됨. 잦은 측량은 작업을 방해하여 생산성을 저해하고 있음

□ 다양한 산업에 걸쳐 생산성 향상을 위해 4차 산업혁명 기술을 적극 도입하고 있음. 건설업 분야에서도 글로벌 건설장비 및 측량기기 기업을 중심으로 4차 산업혁명 기술을 도입하여 생산성을 끌어올리기 위해 기술개발이 활발히 이루어지고 있음

○ Caterpillar, Komatsu 등은 MG 및 MC 기술을 건설장비에 접목하여 건설생산성 향상을 꾀하고 있음 건설장비 자동화를 위해 드론 전문회사와 손잡고 건설현장의 디지털정보 취득기술을 선보이고 있음

- Leica, Trimble 등은 기존의 측량장비를 개선하여 현장을 효과적으로 디지털 맵핑하기 위한 기술을 개발하고 제품으로 출시하고 있음
- 국내 건설현장 디지털화 기술은 현장구현 및 활용을 위한 기초적인 수준에 머물러 있으며, 디지털 지형기반 작업분석 및 지원시스템이 전무한 실정임

(2) 추진 필요성

□ 토공 및 도로 공사현장에 대한 기존 품질관리는 구역별 시공품질관리가 주를 이루었으나 현장 전반을 모집단으로 하는 통합시공품질관리의 필요성이 점차 증대되고 있기 때문에 지구 좌표계 관점의 계측데이터 및 시공 데이터 관리를 통한 시공 품질관리의 혁신이 필요함

○ 2D 설계도면에 토공 및 도로공의 선형, 단면, 편경사 등의 건설정보가 불연속적인 단면에 대해 표현되며, 이로 인해 작업의 효율성을 저하되고 시공오차가 개선되기 어려운 상황임

- 재료의 품질정보 및 시공정보와 시공후의 품질정보가 공간 및 시간정보를 기반으로 통합 관리되지 않기 때문에 하자의 원인 규명 및 향후 시공계획 수립에 활용되기 어려움

□ **Caterpillar, Komatsu 등 글로벌 건설기계 기업을 중심으로 토공 및 도로현장의 환경을 디지털맵화하는 시스템을 구축하고 있으며, 이를 실제 사업에 활용하는 단계에 있음**

○ 국내 건설기계 기업에서는 토공현장 환경 디지털화를 위한 기술 확보를 위한 연구 초기단계에 있으며, 실제 사업에 활용하기 위해서는 상당시간이 소요될 것으로 예상됨

- 관련 기술 확보가 늦어질 경우, 기술 우위를 점한 선진기술에 대한 기술종속이 우려되며, 상대적인 시공생산성 저하로 인하여 시공 및 원가 경쟁력이 떨어져 해외건설시장 진출이 어려워질 것으로 예상됨

3.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **현재 토공 및 도로공사를 위한 장비 작업 시 잦은 측량 및 측량오류로 인한 재시공 및 작업 지연 발생**

○ 토공 및 도로공의 품질 확보를 위해서는 여러 차례의 반복 측량을 통한 품질관리 지원이 필수적으로 요구되지만 이로 인한 공사비 상승의 문제가 있음

- 아울러 측량 착오와 기준 미달에 의한 재시공이 빈번히 발생하고 있기 때문에 도로 시공이 불필요하게 보수적으로 작업이 이루어지고 있어 측량지연으로 인한 장비 대기시간이 길어지고, 검측에 소요되는 시간 역시 공사 원가에 상당한 영향을 미치고 있음

□ **현재 드론을 활용한 현장계측이 시범작업장을 중심으로 이루어지고 있으나, 단순 계측 수준에 머물고 있으며, 현장작업에 활용 가능한 다양한 정보를 생성하는 부분에는 한계가 있음**

○ 건설회사에서는 드론계측정보를 공정관리, 건설장비운영 등에 활용하기 보다는 입찰, 홍보, 신기술 탐색을 위한 3차원 모델링생성 수준에 대부분 머물러 있는 실정임

- 일부 건축 사업에서 설계데이터와 드론 계측데이터를 활용하여 공정에 활용하고 있으나, 자동화를 통한 공정관리가 아닌 관리자가 눈으로 확인하는 수준에 머물러 있음

□ **건설현장 상황을 파악하기 위해 현장관리자가 직접 현장을 둘러보며 현장을 파악하고 있으며, 작업현장 상황에 대한 공유가 2D 도면 및 설명을 통해 공유되고 있음**

○ 작업현장 상황을 빠르게 파악하고 공유되어야 하나, 현장정보를 공유하기 위한 시스템이 부재하며 이로 인해 작업자 간 작업현장 상황에 대한 이해가 상이하기도 함

- 작업에 영향을 미치는 요인에 대한 정보공유가 구두로 이루어지거나, 현장 게시판을 통해 전파되고 있음

(2) 개선방안

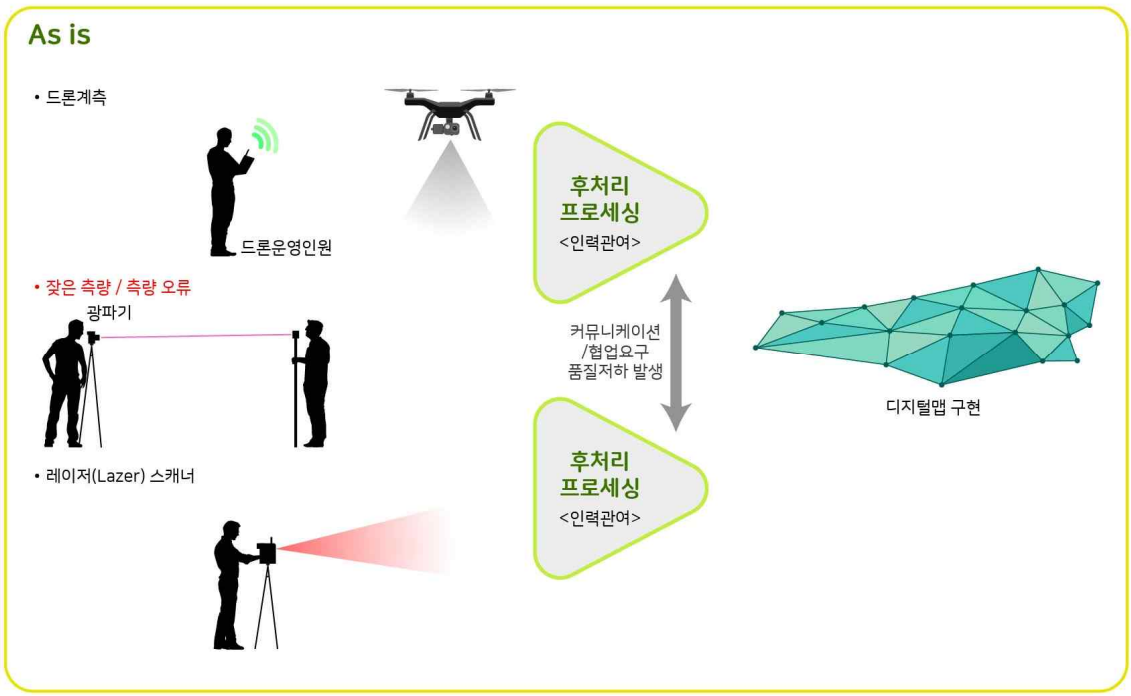
○ 현장작업을 방해하면서 진행되는 측량작업을 최소화하기 위해, AI기반 자율계측이 가능한 드론계측 시스템 및 무빙플랫폼을 활용하여 작업에 방해되지 않고 수시로 측량이 이루어지는 작업현장을 구현

- 측량된 정보를 기반으로 초정밀 Digital Map을 자동으로 생성하고, 변화지형 분석에 활용할 수 있는 기반을 마련

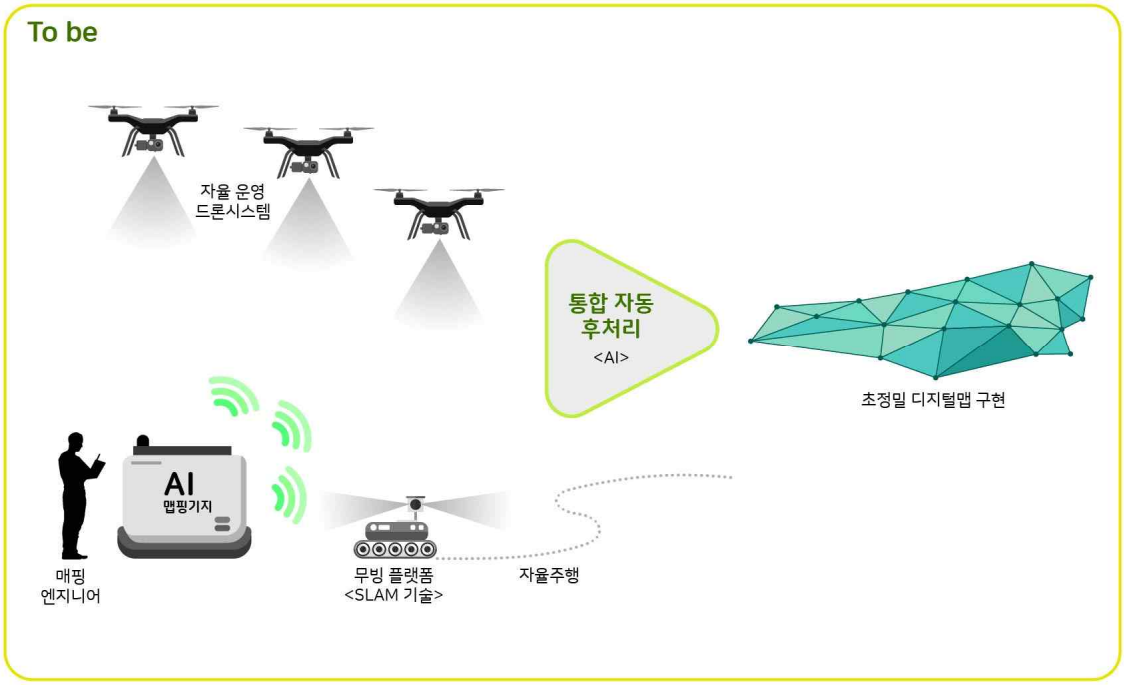
- 건설현장 내에 건설현장정보 취득 네트워크를 구축하고 실시간 현장정보를 취득할 수 있는 기반을 마련함. 수집된 정보를 CPS기술을 이용하여 분석하고 AR/VR/MR 기술 등을 활용하여 시각화 및 공유하는 시스템 개발

<표 4-15> 건설현장 정보수집 및 분석기술(As-is To-be)

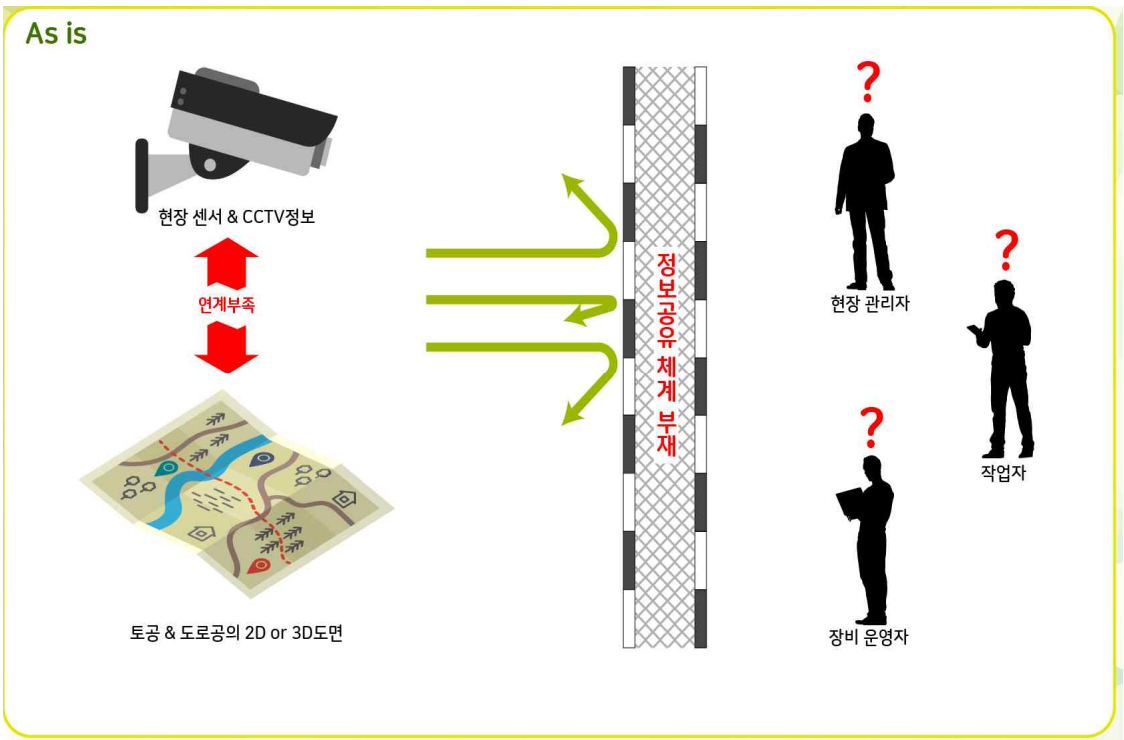
AS-IS	TO-BE
■ 측량착오 및 잦은 측량으로 인한 재시공 및 작업지연 발생 - 반복측량으로 인한 공사비 과다투입 - 측량지연으로 인한 장비대기시간 증가 - 드론 중심의 계측이 시범적으로 이루어지고 있음 ■ 작업현장에 대한 상황공유가 별다른 분석 없이 2D도면 및 구두를 통해 공유되고 있음 - 현장정보를 공유하기 위한 시스템이 부재하며, 이로 인한 작업자 간 상황인식 불일치 발생	■ 다양한 자율장비를 통한 초정밀 Digital Map 구축 - 드론 자율계측, 무빙플랫폼 기반 현장자율계측 - 자율계측된 정보를 자동 통합하고 활용하는 시스템 구축 - AI기반 변화지형 분석기술 ■ CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑기술 도입 - 다종센서 네트워크 구축을 통해 건설현장 정보 실시간 취득 - 취득정보의 AR/VR/MR기술 등을 활용한 시각화 및 공유화 - CPS기술을 활용하여 건설현장 시뮬레이션 기술 도입



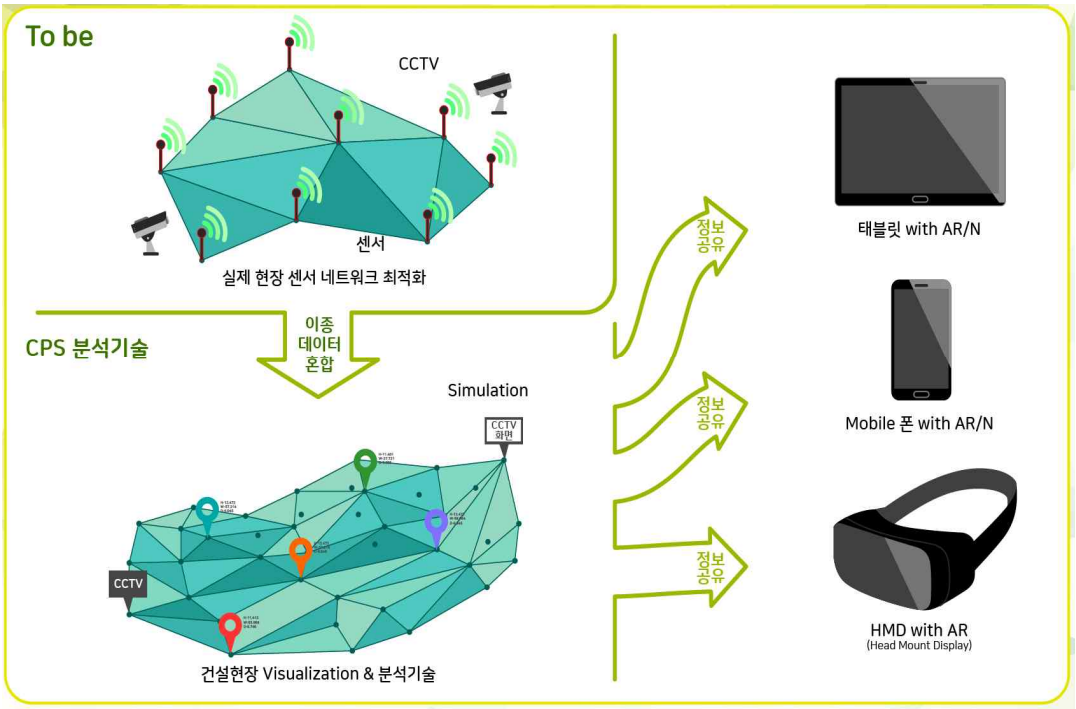
[그림 4-16] 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술(As-is)



[그림 4-17] 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술(To-be)



[그림 4-18] CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술(As-is)



[그림 4-19] CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술(To-be)

3.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

○ 토공 및 포장공이 이루어지는 건설현장의 생산성을 향상시키기 위하여 작업현장의 지형을 자율적으로 디지털화하고 현장에 투입된 장비들의 효율적인 운영을 위하여 현장분석 시스템을 개발하기 위한 연구

- 드론, 레이저스캐너, 무빙플랫폼 등 다양한 장비를 이용하여 취득한 현장지형정보를 자동 통합하여 초정밀 digital map을 생성하는 기술개발을 통해 반복측량 및 측량지연으로 인해 발생하는 현장의 비효율성을 개선
- 토공현장의 효율적인 운영을 위해서는 작업현장의 지형 및 환경변화를 감지하고 분석하여 이를 작업계획에 활용하기 위한 기본정보를 제공하여 건설현장 위해환경에 능동적으로 대처 가능
- 각종 장비 및 장치를 통해 수집되는 현장 환경인식정보를 활용하여 CPS(Cyber Physical System)을 이용하여 향후 현장에서 발생 가능한 상황을 예측분석하고 제공하는 기술

(2) 기술개발 목표

□ **AI 기반 자율운영이 가능한 드론 계측시스템 및 지상 무인 무빙플랫폼(UGV)을 통해 취득한 현장 지형정보를 통합하여, 토공사 및 포장공사에 필요한 초정밀 Digital Map을 생성하고, 시시각각 변화하는 지형을 자동으로 업데이트하는 기술 개발**

○ SLAM(Simultaneous localization and mapping) 및 AI 기술을 탑재한 계측 무빙 플랫폼(지상)을 개발하여 실시간으로 현장을 모델링하고 전송하는 기술

- Map 생성과정에서 AI를 활용한 노이즈제거, 변화지형 자동업데이트 기술을 포함
- AI기술을 활용하여 지형변화 정보를 감지하고 분석하는 기술

□ **다양한 센서를 이용하여 건설현장정보를 자동으로 CPS기술을 바탕으로 현장환경을 시뮬레이션하고 공유하는 기술**

○ 현장정보 수집을 위해 다양한 센서를 이용한 건설현장정보 수집 네트워크를 구축하고 현장에서 발생하는 상황을 자동으로 수집하는 기술

- 현장에서 발생하는 상황을 실시간으로 효과적으로 시각화하기 위한 AR/VR/MR기술 및 정보 확산 기술

3.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외 동향

(구성기술 1-2-1) 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발

<표 4-16> 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
드론 자율계측 기반 현장모델링 기술	미국	Airware	Airware Software	설계 계획과 실제 현장을 실시간으로 비교 가능
	미국	Skycatch	Phantom 4 Pro	적외선 감지 시스템을 활용하여

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
				자율비행 중 기체를 안정적으로 보호
레이저스캐너를 활용한 무빙플랫폼 SLAM 기술	영국	GeoSLAM	ZEB-REVO-RT	GPS 없이 정확한 3D 맵핑이 가능하여 탄광, 동굴 등 어디서든 활용 가능
	프랑스	Dibotics	Real-Time 3D SLAM	장거리 스캔이 가능하여 진입이 어려운 좁은 공간에서도 활용 가능
	이탈리아	MicroGeo	Kaarta STENCIL	빠른 속력으로 이동하더라도 정확한 데이터 습득이 가능하여 신속한 맵핑 가능
	독일	Leica	Leica BLK360	오토 데스크 소프트웨어와의 통합 개발을 통해 캡처 프로세스 간소화
	미국	Topcon	IP-S3	비행체, 차량 등에 손쉽게 부착이 가능하여 넓은 공간 맵핑에 유리
초정밀 통합 Digital Map 생성기술	미국	Bentley Systems	ConstructSim Planner	3D 모델링 데이터를 활용하여 현장의 제한조건을 파악하고 이를 통해 프로젝트 위험성 완화
	폴란드	emapa	MapSet Polska	GPS 모니터링 시스템을 활용하여 기존 데이터에 실시간 정보 추가 가능

○ Caterpillar, Komatsu 등 글로벌 건설기계기업들은 현장계측의 중요성을 인식하고 Airware, Skycatch 등 드론기반 현장계측 기업들과 협업을 하고 있음. 현장의 단순 사진측량뿐만 아니라, 다양한 분석을 통해 토공량, 작업동선, 안전분석, 발파계획 등 공사관리를 위해 필요한 정보를 제공함

- 하지만 근접 촬영이 제한적이라는 드론 기반 계측의 한계로 인해 시야를 확보하기 힘든 지역 및 접근이 힘든 지역에 대해서는 여전히 초정밀 계측 정보를 획득하기 어려움(초정밀 수직 정보 취득의 한계).





출처: Airware

[그림 4-20] 드론계측 및 현장분석

○ Leica 등 기존 스캐너 제작업체들은 현장계측을 위한 다양한 계측장비들을 선보이며, 현장계측 용도에 따른 최적화된 장비를 개발하고 있음



출처: Leica

[그림 4-21] Lidar 스캐너 형태변화

- 최근 레이저스캐너의 성능향상 뿐만 아니라 계측방법향상을 위해 백팩형, 자율이동형, 차량탑재형 등 다양한 형태로 연구가 이루어지고 있으며, 스캔 용이성을 강조한 제품이 시장에 등장하고 있음

- GeoSLAM은 탄광, 동굴 등 GPS 수신이 어려운 지역에서도 정확한 3D 맵핑이 가능한 제품을 개발하였고, Dibotics는 장거리에서도 정확한 스캔이 가능하여 진입이 어려운 좁은 공간에서 활용 가능한 제품을 개발하는 등 범용성이 높은 제품을 출시하고 있음

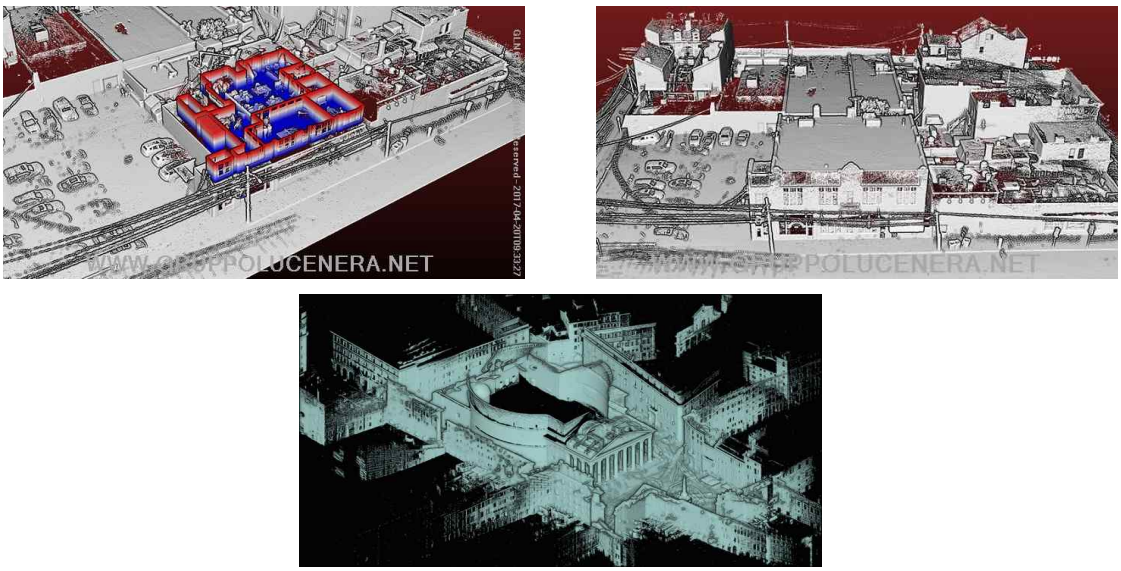
- 하지만 장애물에 의해 또는 물체 간 간섭이 일어나 레이저가 도달하지 못하는 지역에 대해서는 여전히 정확한 계측 정보를 획득하기 어려움(초정밀 수평 정보 취득의 한계).

- Topcon, MicroGeo는 넓은 공사 현장을 효과적으로 맵핑하기 위해 Mobile Mapping System (MMS) 형태의 차량 탑재형 Lidar 스캐너를 개발했으며, 비행체·차량 등에 손쉽게 부착이 가능하고 빠른 속도로 움직이는 동안에도 정확한 맵핑이 가능함



출처: Leica

[그림 4-22] MMS를 이용한 현장계측

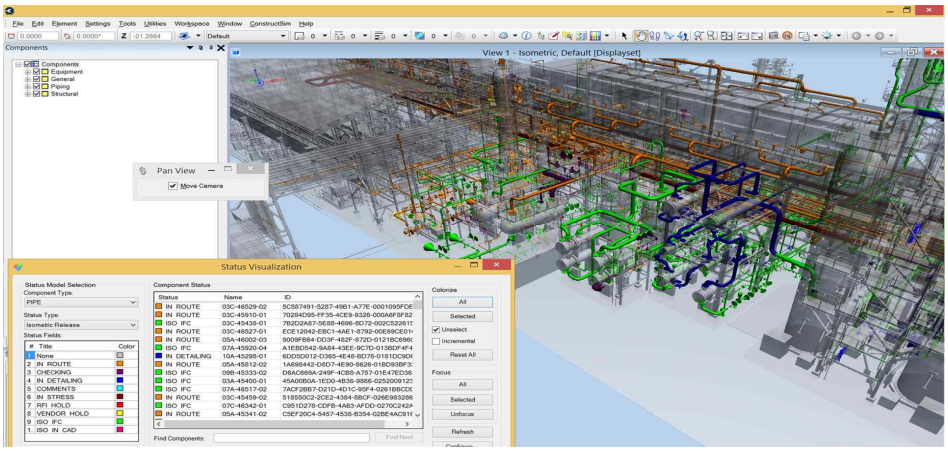


출처: MicroGeo

[그림 4-23] 차량탑재형 Lidar 스캐너를 활용한 맵핑 결과물

○ 최근 3D 모델링 데이터를 활용하여 디지털맵을 제작하고, 공사지역에 존재하는 여러 속성정보를 제작된 지도에 시각화하기 위한 기술개발이 활발하게 이루어지고 있음

- Bentley Systems는 기존의 3D 모델링 데이터와 상호작용하여 디지털맵을 형성하고, 이를 통해 현장의 제한조건을 파악하여 프로젝트 위험성을 완화시키는 기술을 개발하였음



출처: Bentley Systems

[그림 4-24] 3D 모델링을 활용한 디지털맵 형성

- Emapa는 기존의 3D 모델링 데이터에 실시간 GPS 모니터링 데이터를 결합시키는 초정밀 디지털맵 생성기술을 개발하였음

(구성기술 1-2-2) 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발

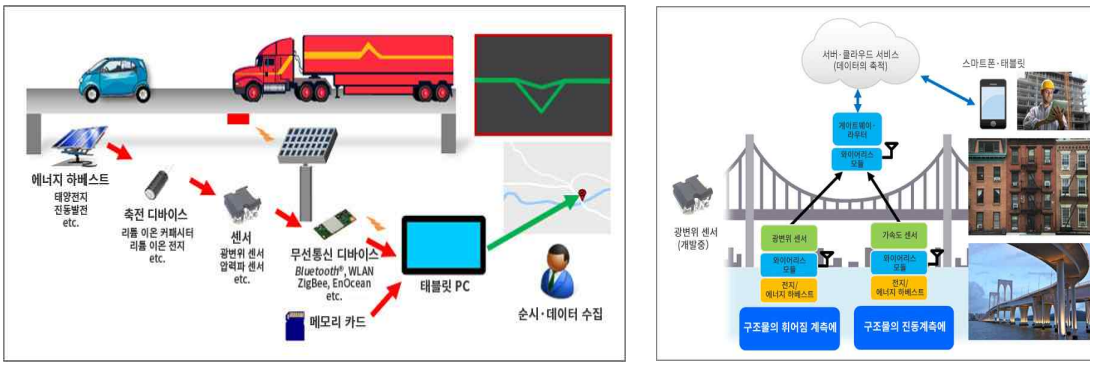
<표 4-17> CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
다종센서 네트워크 최적화 기술	일본	다이요유덴	와이어리스 센서 네트워크	도로와 교량 등의 시설물에 휘어짐·진동·가속도 등의 센서를 부착하여 데이터를 수집하고 분석함으로써 시설물의 열화상태를 파악 및 진단
	미국	Analog Devices	ADI WSN Platform	온도·소음·진동·압력·습도·동작·오염 등 다양한 물리적/환경적인 상태의 데이터를 수집하는 무선 센서 네트워크 시스템
건설현장정보 실시간 취득 및 Visualization	일본	HORIBA	APDA-370	대기 중 미세 먼지의 농도를 측정
	독일	UFZ	Wireless Sensor	대기·토양·수질 등 기후와 환경의

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
기술			Networks and Systems	상태를 모니터링하여 장기적인 변화를 분석
이종 빅데이터 통합 기술	미국	Microsoft	Microsoft Azure Cosmos DB	데이터 저장용량과 처리량을 전 세계에서 탄력적으로 적용하기 때문에, 양적 제한이 없음
	미국	Oracle	Aconex	클라우드 데이터베이스에 기반하여 프로젝트 전반에 걸친 통합 관리업무 지원
CCTV영상정보 분석 기술	영국	SafeSite Facilities	Construction Site CCTV Surveillance Cameras	가시광선과 적외선을 모두 사용할 수 있는 CCTV로 현장을 24시간 감시하고, 위급상황 발생 시 연동되어 있는 알람이 자동으로 경보

○ 미국, 일본, 독일 등 선진국들을 중심으로 현장의 환경정보를 분석하고 가상현실에 모델링하는 기술의 개발이 활발히 진행되고 있음. 하지만 대부분 요소기술의 개발에 그치고 있으며, 현장에서의 활용을 위해서는 해당 기술을 잘 이해하고 있는 전문 인력을 필요로 하고 있음

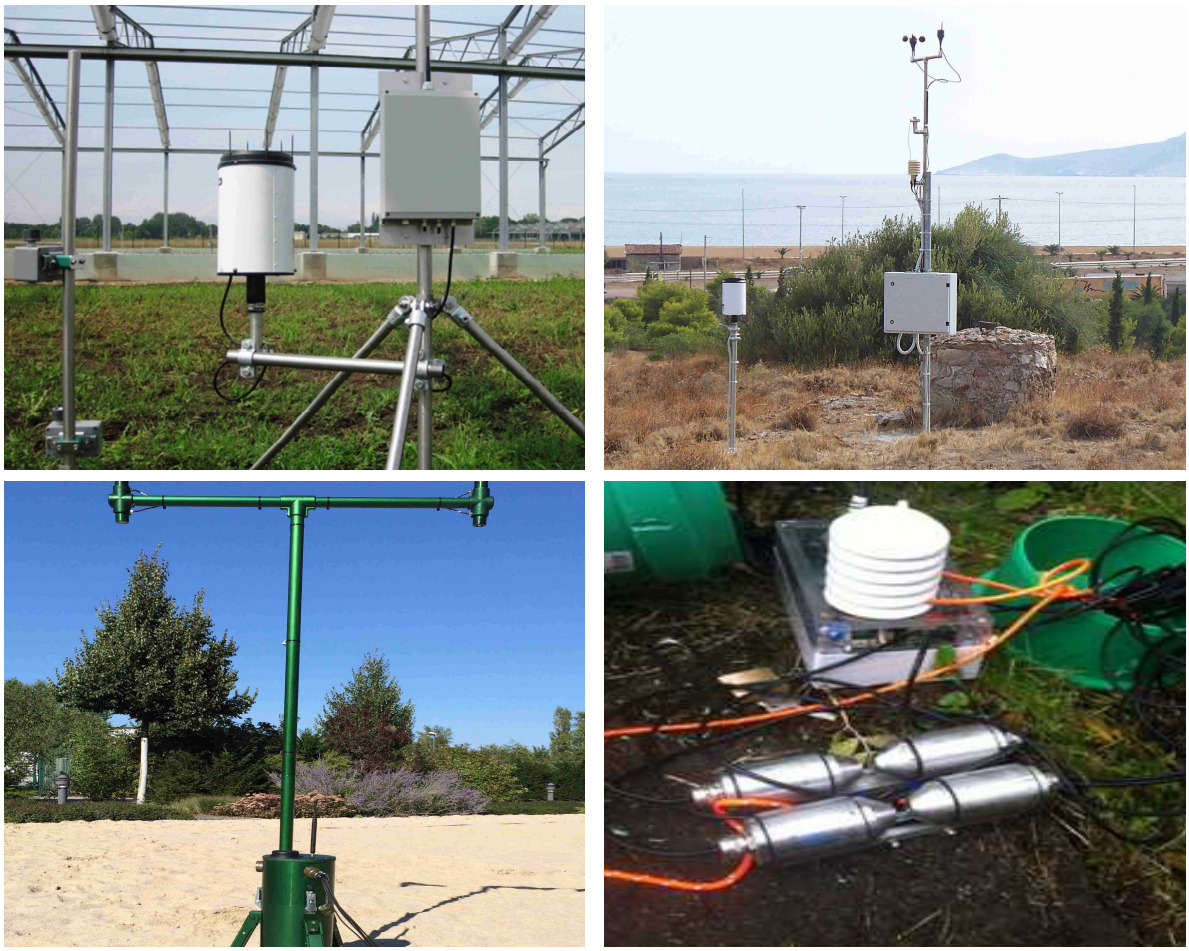
- 일본의 전력업체인 다이요 유덴은 와이어리스 센서 네트워크를 개발하여 기둥이나 철골의 휘어짐과 진동을 계측하고, 데이터를 분석함으로써 도로·터널·교량·빌딩의 열화상태를 파악하고 안전성 검사에 소요되는 비용을 절감함



출처: 다이요 유덴

[그림 4-25] 열화상태 파악 플랫폼

- Analog Devices는 우수한 반도체 기술을 바탕으로 여러 분야의 센싱 및 네트워크를 위한 제품과 솔루션을 제공하고 있음 ADI WSN Platform은 다양한 물리적·환경적 상태의 데이터를 수집하는 센서 네트워크 시스템으로, 도시 가로등 시스템, 시설물 모니터링, 스마트 빌딩, 재고 관리 등에 사용됨
- HORIBA는 자동차·환경·의료·반도체 등 다양한 분야에 걸쳐 사용될 수 있는 환경 분석 기기를 취급하며, 대기 중 미세입자 감지, 수질 분석, 토양 분석 등 건설 현장에서 사용되는 기술을 다수 보유하고 있음
- 독일의 UFZ에서는 생태 환경의 장기적인 변화를 분석하기 위해 무선 센서 네트워크 시스템을 구축하여 대기·토양·수질 전반에 걸친 기후와 환경 상태를 모니터링하고 있음



출처: UFZ

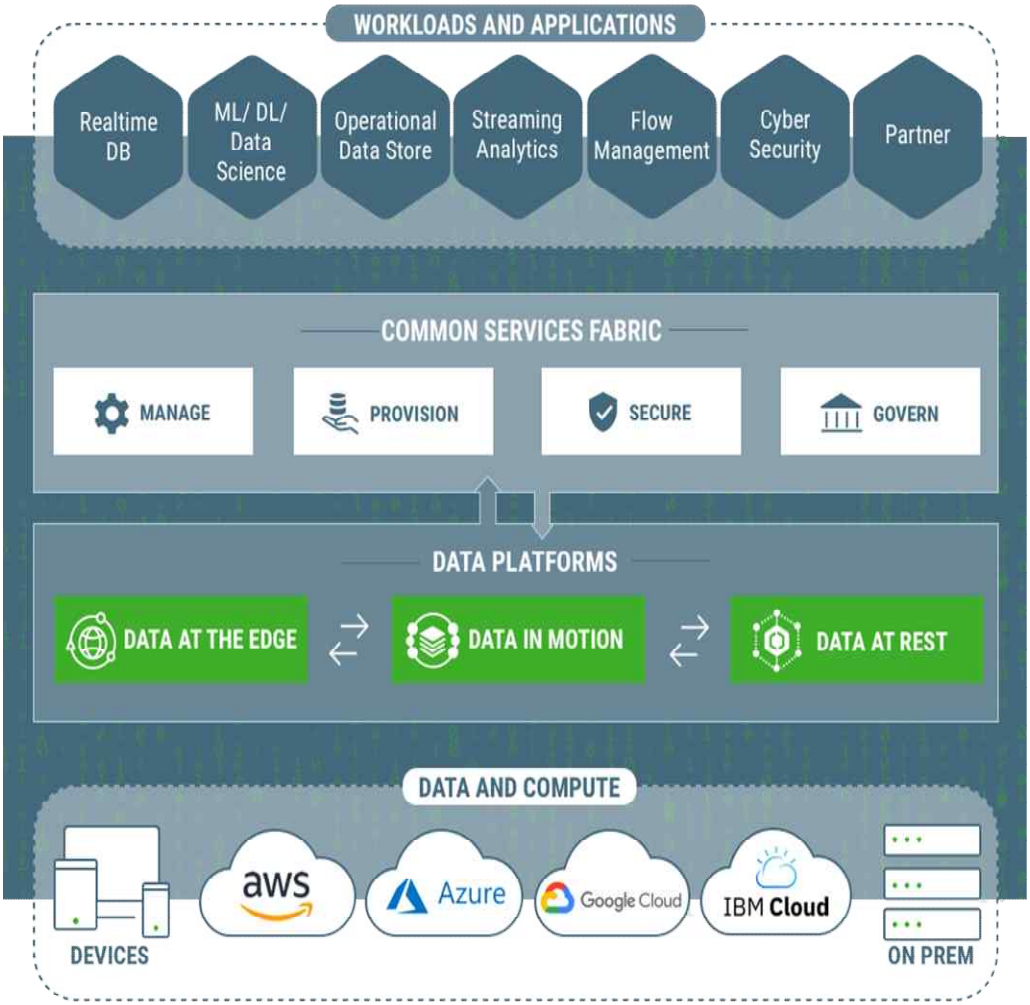
[그림 4-26] 기후 및 환경 상태 모니터링 예시

- 오스트리아의 TTTech에서는 시설물의 안전과 보안에 문제가 생길 수 있는 부분을 파악하기 위해 CPS기술을 활용하고, 이렇게 생성된 정보를 설계자와 공유하도록 하는 SAFURE 시스템을 구축함

○ 자료 조사 결과, 빅데이터의 구축·관리·분석 분야의 기술개발에 앞장서는 기업의 대부분은 미국 기업인 것으로 나타남. Microsoft, Oracle, NVIDEA 등 세계적인 IT기업들을 필두로 다양한 산업군의 빅데이터를 분석하고 있으며, 건설기업과의 협업을 통해 건설 분야에도 진출하고 있는 것으로 확인됨

- Microsoft는 클라우드 컴퓨팅 플랫폼인 애저(Azure)를 개발하여 전 세계의 서버를 유기적으로 활용하는 멀티-모델 데이터베이스를 구축함

- Hortonworks는 IoT 센서로부터 수집한 데이터를 저장 및 분석하는 서비스를 제공하고 있으며, 오픈소스로 개발되었기 때문에 다른 데이터 분석 플랫폼과의 호환성이 뛰어나다고 알려짐



출처: Hortonworks

[그림 4-27] IoT 센서 기반 데이터 저장 및 분석 서비스

- 영국의 SafeSite Facilities에서는 CCTV, 경보시스템 등 건설현장 관리에 사용될 수 있는 기기들을 취급하고 있지만, 결국 사람이 보고 위급상황이라는 것을 판별해야 한다는 한계점이 존재함



출처: SafeSite Facilities

[그림 4-28] 건설현장 관리 CCTV

- Matrix Security Solutions는 영상 데이터 분석 기술을 바탕으로 작업자가 위험 구역에 접근하는 경우 안전관리 스크린에 팝업을 띄워 안전관리자로 하여금 위험상황을 인지할 수 있도록 하는 서비스를 제공함
- 영상 분석 분야에서 우수한 기술력을 보유하고 있는 NVIDEA는 일본의 건설 중장비 제조업체인 고마쓰(Komatsu)와 협약을 맺고 건설현장의 사고 위험성을 줄이는데 인공지능을 도입함
- 고마쓰의 건설 중장비에 부착된 카메라로 주변 정보를 수집하고 NVIDEA의 영상 분석 기술로 근처의 작업자와 기계를 식별, 충돌 사고를 예방하는 시스템임



출처: NVIDEA

[그림 4-29] 영상 분석 기술을 통한 물체 식별

(2) 국내 동향

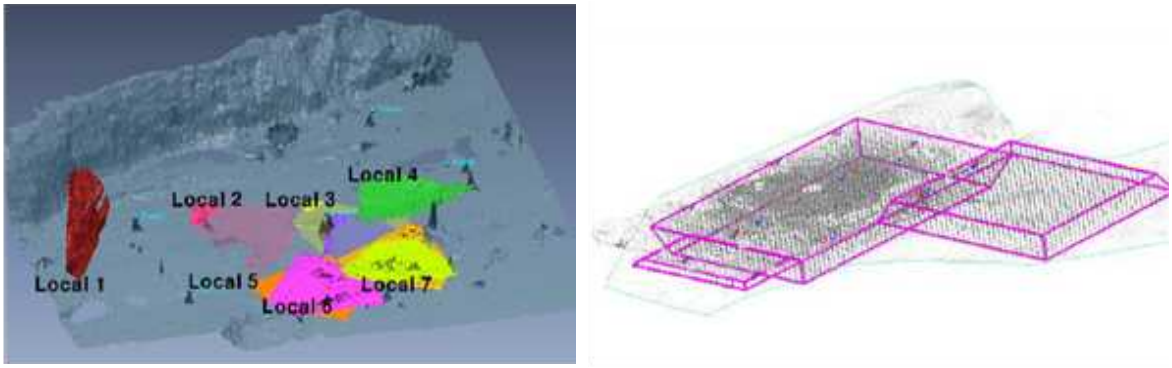
(구성기술 1-2-1) 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술

<표 4-18> 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술 사례

개발방향	기업명	제품명	특징
드론 자율계측 기반 현장모델링 기술	공간정보기술 주식회사	twinEye Drone	자체 영상처리 SW를 이용하여 타사 대비 빠른 3D Point Cloud 생성 및 정사영상 제작
	쌍용건설	드론 촬영 3차원 모델링	관리자가 육안으로 직접 확인하기 어려운 구간을 확인하여 위험 요소를 제거하는 안전 관리에 활용
레이저스캐너를 활용한 무빙플랫폼 SLAM 기술	한국건설 기술연구원	Lidar를 활용한 현장계측 기술	로컬맵 통합 기술, 현장토질정보 입력 기술을 통해 사용자에게 다양한 정보 제공
초정밀 통합 Digital Map 생성기술	LoDICS	Realtime Digital Map 생성 및 활용기술	공간자료 및 속성정보 통합 가시화
	SK텔레콤	T map	Digital map과 실시간 교통정보를 결합하여 최적 경로 탐색

○ 드론 자율계측 관련 연구는 활발하게 이루어지고 있으나 point-cloud 후처리 과정 및 3D 모델 자동 생성과 관련된 기술개발은 미진함

- 한국건설기술연구원은 토공현장의 디지털화를 위하여 Lidar를 이용한 현장계측 방법을 연구하고 시스템을 개발하고 있음 로컬맵 통합 기술, 현장토질정보 입력 기술, Task planning을 위한 분석셀 생성기술 등 다양한 기술을 개발함



출처: 한국건설기술연구원

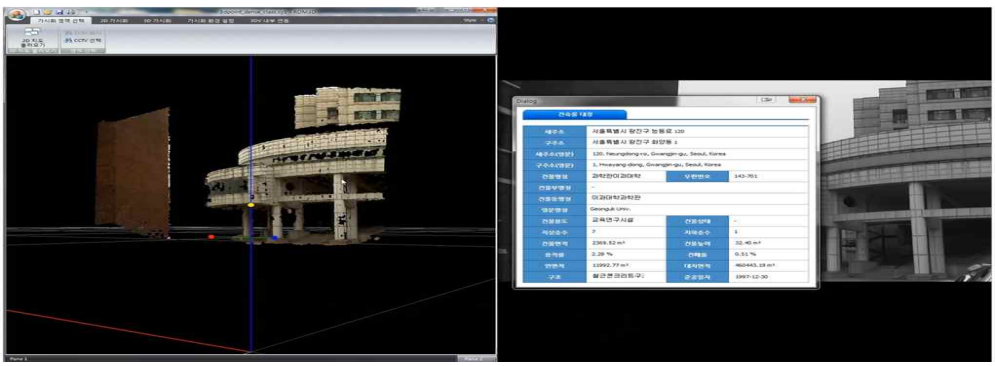
[그림 4-30] 토공현장 디지털화 기술

- 쌍용건설은 관리자가 육안으로 직접 확인하기 어려운 구간의 위험 요소를 확인하고 제거하는 드론 현장계측 기술을 개발했으나, 실시간으로 변화하는 현장을 반영하기에는 한계가 있음

○ 국내의 경우 레이저 스캐닝 기술을 100% 수입하고 있으며, 주로 해외 기술력을 이용해 안전검사기술을 개발하는 데 초점을 맞추고 있음 현재 연구소, 대학과 같은 연구기관에서 주로 실험실 규모의 성능평가를 통해 기술개발이 이루어지고 있음

- 반면 Lidar를 활용한 현장계측 기술은 레이저 스캐닝 기술에 비해 상대적으로 연구가 활발하게 진행되고 있음

- SK텔레콤 등 국내 기업에서 자율주행 차량을 위한 고정밀 지도 기술개발은 활발히 이루어지고 있으나, 현장 맞춤형 초정밀 디지털맵 생성 및 통합 기술 개발은 현저히 부족한 실정임

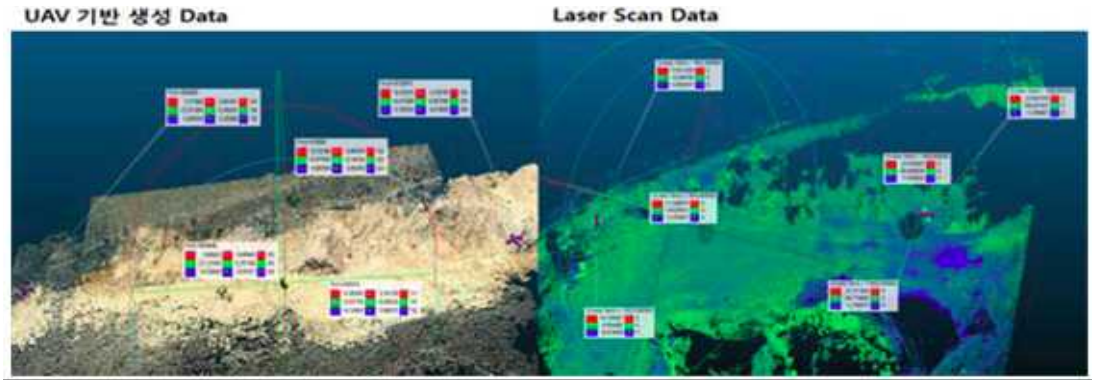


출처: LoDICS

[그림 4-31] 공간자료 및 속성정보 통합

○ 드론을 이용한 사진측량분석 알고리즘 연구는 성균관대학교 등 대학교를 중심으로 이루어지고 있음. 드론을 이용하여 촬영한 여러 장의 사진을 이용하여 포인트 클라우드를 생성하는 기술개발이 이루어짐

○ 글로벌 기업에서 개발한 Pix4D, Agisoft Photoscan 등의 이미지처리 소프트웨어에 비해 제공하는 기능이 부족함



출처: 성균관대학교

[그림 4-32] 드론을 이용한 Target 좌표 값 추출 및 좌표 변환

○ MMS(Mobile Mapping System)를 이용한 토공현장기술은 한국건설기술연구원 및 현대건설 등을 중심으로 적용을 위한 연구가 이루어지고 있음

○ 하지만, 원천기술개발이 아닌 국외기술의 도입을 위한 연구에 그치고 있어, 활용을 위한 국내연구가 필요한 실정임

○ 전반적으로, 국외대비 정확한 현장분석을 위한 다양한 기능이 여전히 부족하며, 현장적용성 확보를 위한 연구개발이 필요한 실정임



출처: 한국건설기술연구원

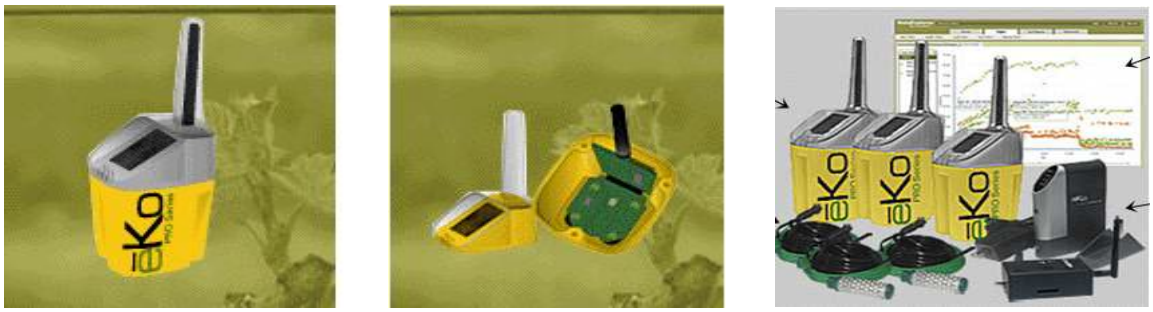
[그림 4-33] MMS를 활용한 계측기술

<표 4-19> 디지털트윈 기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 / 기술 사례

개발방향	기업명	제품명	특징
다종센서 네트워크 최적화 기술	아이앤테크	에코 프로 시스템 키트(EK2100)	토양의 습도, 주변의 온도와 습도, 태양열 세기 등 농작물 관리에 필요한 정보를 무선으로 송수신하는 실외용 무선 센서 네트워크 시스템
	대우E&C	Daewoo Smart Construction	드론·CCTV·센서로 구성된 현장 가설 통신 네트워크를 구축하고, 이를 바탕으로 안전관리·공정관리·환경/품질관리를 수행
건설현장정보 실시간 취득 및 Visualization 기술	포스코	무인전산실 모니터링 시스템	온도·습도·진동 측정 IoT센서를 활용해 무인전산실·전기실의 환경정보와 에어컨 가동상태를 수집
	삼성전기	Ubiquitous Sensor Network(USN) 솔루션	먼지·온도·습도·CO2 등의 환경용 센서를 실시간 모니터링 함으로써 공공장소 및 사업장의 대기환경을 관리
	플럭시티	PalladiON Security	관제 대상을 3D공간에 가상화하고, CCTV·보안센서·화재센서 등으로부터 수집한 정보를 시각화
	이수시스템	Watcher 솔루션	환경·공조·제어·관리분야의 센서로부터 데이터를 수집하고 스마트폰 등 모바일 기기를 통해 현장 상황 정보를 모니터링
작업위해환경 분석 CPS 기술	JNE SYSTECH	CPS(가상물리시스템) 솔루션 서비스	CPS기술을 활용한 가상현실 구축 및 시뮬레이션
이종 빅데이터 통합 기술	INNORIX	INNORIX QQO	파일용량에 제한 없이 사용자간 데이터를 공유할 수 있는 클라우드 시스템
CCTV 영상정보 분석 기술	삼성SDS	Samsung Nexplant Safety	건설공사장에서 발생하는 인간적·시설적·작업적·관리적 위험상황을 감지 및 시각화
	Virtual Builders	Palladion Solution	3차원의 가상 공간에 CCTV영상, 조명 센서, GIS 등을 통합하여 다양한 정보를 제공

○ 국내의 건설현장정보 분석 기술은 주로 자연환경을 모니터링하거나 범죄를 예방하는 분야에서 집중적으로 개발되고 있음

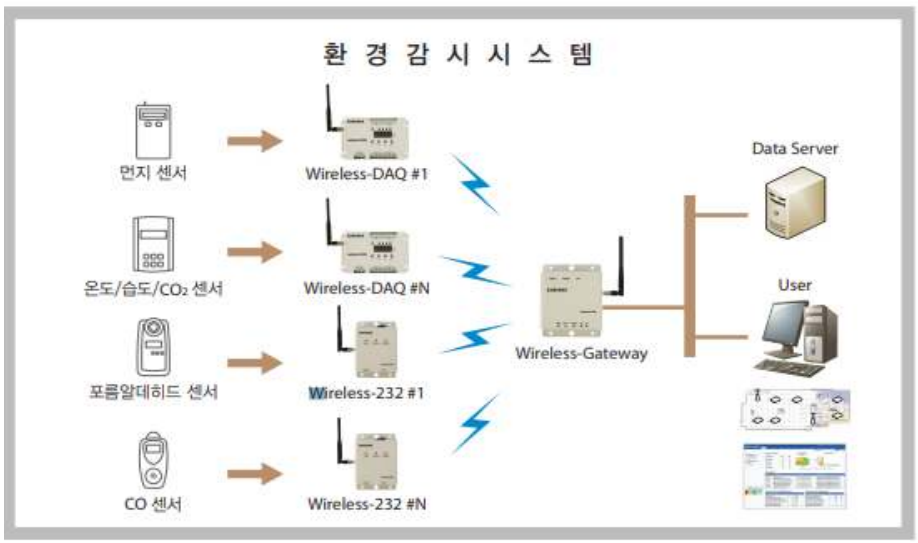
- 아이앤테크에서는 농작물의 품질 관리를 위해 토양·온도·습도·태양열 등의 정보를 무선으로 송수신하는 에코 프로 시스템 키트를 제공함



출처: 아이앤테크

[그림 4-34] 에코 프로 시스템 키트

- 대우건설은 최근 스마트 건설을 위해 빅데이터·머신러닝·인공지능 등의 IT 기술을 건설산업에 접목시키려는 시도를 계속하고 있으며, 이러한 시스템의 개발을 위해 드론·CCTV·센서로 구성된 현장 가설 통신 네트워크를 구축함
- 포스코에서는 무인전산실의 환경정보를 모니터링하기 위해 IoT센서로부터 온도·습도·진동 데이터를 실시간으로 수집하고 관제실에서 확인하고 있음
- 삼성전기는 공공장소 및 제조 사업장의 대기환경을 관리하기 위해 각종 환경용 센서를 통해 데이터를 수집하고 대기 상태를 모니터링하는 Ubiquitous Sensor Network 솔루션을 개발함



출처: 삼성전기

[그림 4-35] 환경감시시스템

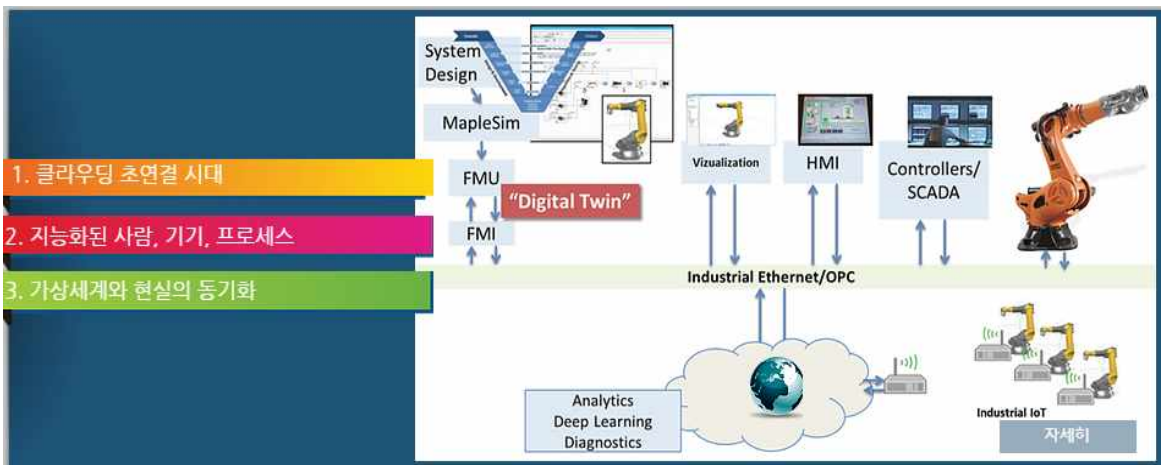
- 플럭시티는 관제 대상 건축물을 3D공간에 가상화하고, CCTV·보안센서·화재센서 등으로부터 수집한 정보를 시각화하는 PalladiON Security 보안 시스템을 개발함



출처: 플럭시티

[그림 4-36] PalladiON Security 보안 시스템

- 이수시스템은 다양한 센서로부터 수집한 데이터와 분석 결과를 모바일 기기에 송신하여 현장 상황 정보를 상시에 모니터링 할 수 있는 Watcher 솔루션을 제공함
- JNE SYSTECH에서는 다수의 센서·엑츄에이터·제어기기들을 네트워크로 연결하고, 물리세계 정보를 습득/가공/계산/분석하여 그 결과를 가상 물리세계에 적용하는 CPS 솔루션 서비스를 제공함



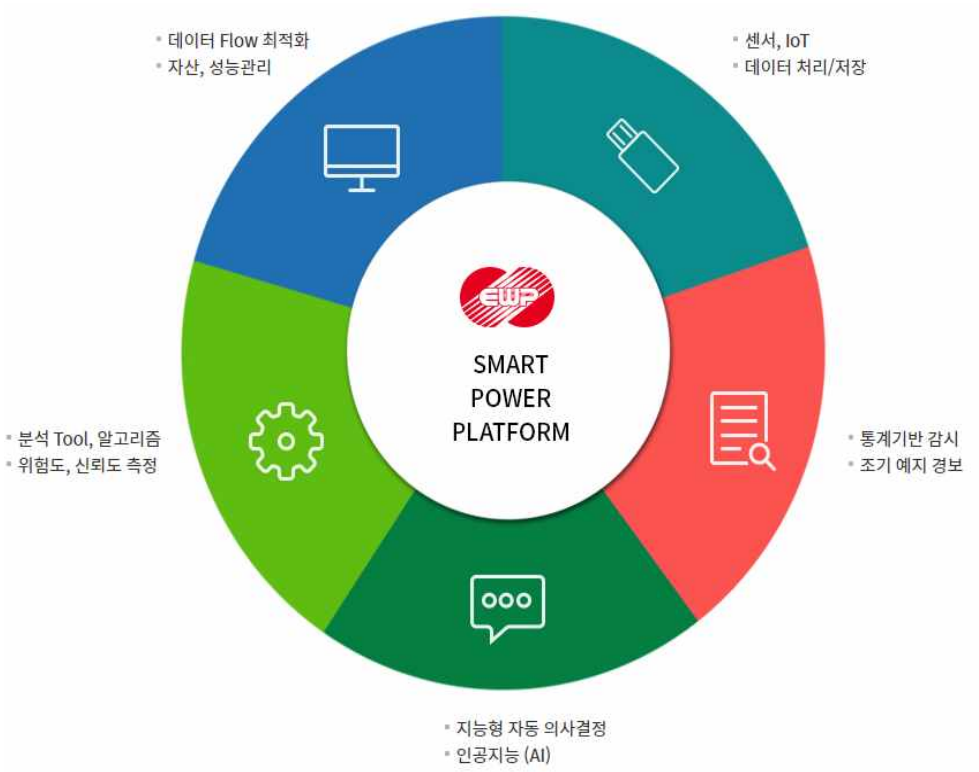
출처: JNE SYSTECH

[그림 4-37] CPS 솔루션 서비스

- INNORIX의 QQO는 스토리지 용량, 파일 용량, 사용자 수, 트래픽이 모두 무제한으로 제공되는 클라우드형 데이터베이스로, 파일의 종류 및 용량에 관계없이 데이터를 관리할 수 있다는 장점을 가짐

- 한국동서발전은 센서로부터

- 수집되는 운전정보와 발전사의 현장지식 및 경험을 ICT기술(IoT, 빅데이터, 머신러닝 등)을 활용하여 융복합하고, 설비의 감시·진단·예측·정비 업무를 최적화하는 동서발전 Industry 4.0 시스템을 구축함

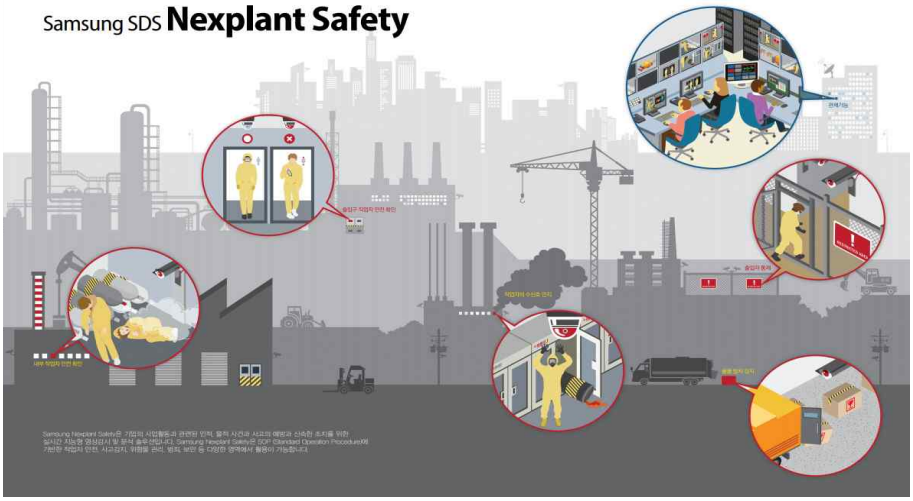


출처: 한국동서발전

[그림 4-38] 동서발전 Industry 4.0 시스템

- 삼성SDS에서 개발한 Samsung Nexplant Safety는 인적, 물적 사건과 사고의 사전 예방과 신속한 조치를 위한 실시간 지능형 영상분석 솔루션으로, 건설현장에서 발생하는 위험상황을 감지하고 시각화함으로써 안전관리의 효율성을 제고함

- Virtual Builders는 센서로부터 수집한 다양한 종류의 정보를 3차원 가상공간에 통합하여 시각화하는 Palladion Solution을 개발함



출처: 삼성SDS(Samsung Nexplant Safety)

[그림 4-39] 실시간 지능형 영상분석 솔루션

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

(구성기술 1-2-1) 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발

<표 4-20> 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	드론과 레이저스캐너 등으로부터 수집한 데이터를 활용하여 자동으로 디지털 맵을 구축하고 다양한 정보를 시각화함	드론과 레이저스캐너 등으로부터 수집한 데이터를 바탕으로 전문가가 건설현장을 모델링하고 다양한 정보를 시각화함
TRL 단계	7단계	5단계
기술성숙도	실용화 단계	시작품 단계
주요성능	현장 데이터 수집 및 3D 모델링의 대부분이 자동으로 이루어짐.	현장 데이터 수집 및 3D 모델링 과정에 전문가 인력 투입을 필요로 함.

○ 기술개발의 현황을 조사한 결과, 드론 자율 계측/3D 현장 모델링/레이저스캐너 등 디지털맵 구축을 위한 요소 기술이 개별적으로 개발되고 있으나, 이를 통합하여 초정밀 디지털맵을 생성하는 시스템은 상대적으로 미진한 것으로 확인됨

○ 해외의 경우 드론 및 센서를 활용한 현장계측 시스템을 구축하여 실제 산업 현장에 적용하고 있으며, 공사지역의 디지털맵 생성 및 속성정보 시각화에 관한 성능 검증을 진행하고 있음

○ 국내의 경우 일부 기업이 현장계측을 목적으로 드론을 활용하고 있으나, 완전한 자동화를 구현하지는 못해 인력이 투입되고 있고, 현장 모델링에 관한 기술도 단순히 정보를 시각화하는 수준에 머무르고 있음

(구성기술 1-2-2) 디지틀 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발

<표 4-21> 디지털트윈 기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	데이터 수집을 위한 센서 네트워크와 정보 시각화 기술은 사업화 완료 단계이며, CPS 기반 분석 기술은 연구단계임	데이터 수집을 위한 센서 네트워크와 정보 시각화 기술은 사업화 완료 단계이며, CPS 기반 분석 기술은 기초 연구단계임
TRL 단계	5단계	4단계
기술성숙도	시작품 단계	실험 단계
주요성능	자연환경 및 건축물 보안 모니터링 등 특정 분야에서는 활발하게 사용되고 있으나, 건설산업에 적용된 사례는 조사되지 않음	하이테크/제조업을 중심으로 실시간 데이터 수집 및 시각화 기술이 매우 발달했으나, 분석을 통한 정보 제공을 위해서는 추가적인 연구가 필요함

○ CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술의 경우, 대부분 자연환경 모니터링 또는 범죄/보안 분야에서 개발되고 있는 것을 확인함.

○ 특히 CPS기술을 적극적으로 활용하여 건설현장정보를 분석하는 기술은 상당히 미비했으며, 센서 데이터를 3D 공간에 시각화하여 관리자의 상황 인지를 보조하는 역할로 활용되고 있음

○ 해외에서는 주로 대기·토양·수질 등 자연환경의 변화를 모니터링하기 위해 환경정보를 취득하고 있었고, 센서들의 네트워크 구성보다는 센서 자체의 성능과 수집 정보의 종류에 중점을 두고 기술이 개발되고 있음

○ 국내의 경우 하이테크/제조업을 필두로 먼지·온도·습도 등 산업 환경을 제어하기 위한 기술들이 많이 개발되었으며 이러한 기술들은 야외의 건설 현장에도 적용될 수 있을 것으로 보이지만, 취득한 정보들을 건설 산업에 맞게 분석하고 해석하는 과정은 전무한 실정임

○ 해외의 경우 Microsoft, Oracle, NVIDEA 등 IT분야의 대기업들이 자체적으로 보유한 기술을 바탕으로 건설산업에 적합한 솔루션을 개발하고 있으며, 일부는 실제 현장에도 적용되어 성과를 보이는 것으로 확인됨

○ 국내에서도 클라우드 기반의 데이터 관리 기술을 보유한 IT업체와 건설산업의 대기업이 협업을 통해 스마트 건설을 추진하고 있지만, 아직 다수의 기술이 실험실 환경에서 시도되고 있을 뿐 현장에 적용하기까지는 더욱 많은 연구가 필요함

(구성기술 1-2-1) 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발

□ **(구성기술 1) AI기술을 탑재한 자율계측장비(드론, 무빙플랫폼)를 활용하여 현장을 계측하고, 수집한 Point Cloud 정보를 통합함. 계측된 정보는 무선 네트워크를 통해 전달되고 자동 후처리하는 기술**

○ 일본에서는 SLAM기술을 활용한 계측이 실제 작업현장에 적용되고 있으나, 자율계측 및 이종 데이터 통합에 대한 부분은 연구단계임. 그에 반해 국내에서는 SLAM을 적용한 드론의 적용이 논의단계임

<표 4-22> 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	드론 및 센서를 활용한 현장계측 시스템을 갖추고 실제 산업현장에 적용하고 있으나, 자율계측에 대한 개념은 초기단계임	드론을 활용하여 일부 현장계측을 하고 있으나, 현장측량을 완전히 대체하지 못하고 있으며, 자율계측에 대한 개념은 전무함.
TRL 단계	8단계	5단계
기술성숙도	표준화 단계	시작품 단계
주요성능	드론의 현장적용은 마친 상태이나 현장 정보 분석은 적용 초기단계이며, 자율계측은 연구초기단계임	드론은 현장적용 초기단계이며, 현장 정보 분석은 연구 초기단계이고, 자율계측은 연구가 필요한 단계임.

(구성기술 1-2-2) 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발

□ **(구성기술 2) 다양한 센서를 이용하여 건설현장정보를 자동으로 수집하고 CPS기술을 바탕으로 현장상황을 시뮬레이션 및 공유하는 기술**

○ Skanska사는 작업현장 모니터링 시스템을 통해 현장의 진동, 분진 등을 수집하는 기술을 개발함. 이를 CCTV와 연계하여 위험을 감지하고 확산하는 기술을 확보하고 있음. 하지만 CPS기술을 활용한 시뮬레이션 기능은 아직 미흡함

<표 4-23> 건설현장정보 분석 및 맵핑기술 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	환경인식 센서를 활용하여 건설현장의 정보를 취득하는 기술을 확보하고 있으나 CPS기술을 활용한 분석기술은 미흡	환경인식 센서에 대한 필요성은 인지하나 개발은 미흡함. CPS기반 분석 시스템 구축 전무
TRL 단계	8단계	4단계
기술성숙도	표준화 단계	실험 단계
주요성능	환경인식을 위한 센서박스 등을 제작하여 적용	분진/진동/소음/가스 등 개발 센서에 대한 개발은 이루어져 있으나, 건설현장 적용 및 분석기술 부족

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

(구성기술 1-2-1.) 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발

<표 4-24> 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술 관련 타 연구과제와의 차별성

연구과제명	연구단 (연구자)	지원기관	연구 기간	특징
딥러닝(Deep Learning) 기반 동시 위치인식 및 지도작성(SLAM) 시스템	대구대학교	한국 연구 재단	2016 - 2019	딥러닝 기반의 의미론적 정보를 기존 SLAM 알고리즘에 적용하여 새로운 구조의 SLAM 알고리즘 제안

연구과제명	연구단 (연구자)	지원기관	연구 기간	특징
ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 개발	한양대학교	국토교통 과학기술 진흥원	2014 - 2017	UAV, LIDAR, Vision Sensor 등 측량 및 측정 장비를 활용하여 공사 지역을 3D 모델링하고 변화를 실시간으로 모니터링
드론 3D 맵핑 기반 건설/광산 현장관리 실용화기술 개발	한국지질자원 연구원	국가과학 기술연구회	2018 - 2019	드론 사진측량을 통해 구축한 정밀지형모델과 웹지도 기반 데이터 플랫폼의 연동을 통한 지형 모니터링 프로세스 확립
UAV 항공사진을 이용한 건설현장 사업공정관리	목포대학교	중소기업 기술정보 진흥원	2015 - 2016	UAV 항공영상을 이용한 3차원 공간정보 생성 및 건설현장 모니터링, 공기관리, 물량산출, 각종 도면제작을 지원할 수 있는 시스템 개발

○ 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술 관련 연구과제 현황을 조사한 결과, 레이저스캐너, LIDAR 등 측정 장비를 UAV, MMS에 탑재하여 디지털맵을 생성하는 연구가 수행되고 있음. 하지만 3D 모델링 정확성 측면에서 한계를 보여 신속하고 정확한 디지털맵 생성기술 개발이 필요함

- 대구대학교에서는 딥러닝 기반의 의미론적 정보를 기존 지도작성(SLAM) 알고리즘에 적용하여 새로운 구조의 SLAM 알고리즘을 제안하였음. 하지만 지도 업데이트를 위한 프로세싱 시간이 소요되면서 실시간으로 변화하는 건설현장의 특성을 반영하기에는 어려움이 있음
- 한양대학교에서는 UAV, LIDAR 등 여러 측량 및 측정 장비를 활용하여 공사 지역을 3D 모델링하고 변화를 실시간으로 모니터링하는 기술을 제시하였으나, 여러 장비로부터 얻어진 특성이 다른 3D 모델링 결과물을 통합하지 못함
- 한국지질자원연구원과 목포대학교에서는 UAV를 활용한 현장 모니터링 시스템을 개발하였으나, 드론 자율계측에 대한 개념은 부족하며, 맵핑 결과물의 정확성이 떨어져 활용도가 제한적임

(구성기술 1-2-2.) 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발

<표 4-25> 디지털트윈 기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술 관련 연구과제 현황

연구과제명	연구단(연구자)	지원기관	연구 기간	특징
다양한 IoT 서비스를 위한 액세스 네트워크 제어 기술	연세대학교	정보통신 기술진흥센터	2013 - 2018	IoT를 활용하여 대규모 사물들이 생성하는 데이터를 효과적으로 처리하고 분석
스마트 건설기술 개발사업 기획	주식회사 과학기술 전략연구소	국토교통 과학기술 진흥원	2018 - 2019	스마트 건설기술개발의 정당성, 방향성 등 기술개발 전략에 초점을 둠
위치 정보를 활용한 건설안전리스크 관리기술 개발	서울대학교	한국건설 교통기술 평가원	2006 - 2009	과거 경험기반 데이터와 GPS 위치 정보를 활용하여 위험요인을 도출
IoT 기반 건설현장 실시간 위치추적 및 영상 안전관제 시스템	주식회사 영신	국토교통 과학기술 진흥원	2016 - 2018	위치정보와 영상정보를 활용하여 발생 가능한 안전사고를 분석하고 위험지역 표시기능 UI 개발

○ CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술 관련 연구과제 현황을 조사한 결과, GPS, CCTV 영상 등을 활용하여 위치정보와 영상정보를 수집한 후 수집된 결과를 현장의 특성에 따른 과거 사고사례를 바탕으로 분석하는 연구가 수행되고 있음

○ 현재 수준에서 더 나아가 위치 및 영상정보에 더해 실제 건설현장정보 실시간 취득을 통한 분석 및 맵핑 기술 개발이 필요함

- 연세대학교에서는 IoT를 활용하여 사물들이 생성하는 데이터를 효과적으로 처리하고 분석할 수 있는 서비스 플랫폼을 구축하였음. 그러나 데이터의 발생 위치를 맵핑하여 시각화하는 기술은 연구 범위가 아닌 것으로 확인됨
- 주식회사 과학기술전략연구소에서는 스마트 건설기술개발의 정당성, 방향성 등 기술개발 전략에 초점을 맞춘 기획보고서를 작성하고 있음. 이에 따라 구체적 기술개발은 본 연구의 연구 범위가 아닌 것으로 확인됨

- 서울대학교에서는 작업공간별 위험특성, 재해사례 등 과거 경험기반 데이터에 대한 분석과 GPS 위치정보를 결합하여 위험요인을 도출하는 건설현장 안전관리 지원시스템을 개발하였음. 그러나 실시간으로 변화하는 실제 건설현장의 물리/환경적 요소를 고려하지 않았다는 한계점이 존재함
- 주식회사 영신은 수집된 위치정보와 영상정보를 활용하여 발생 가능한 안전사고를 분석하여 사용자 중심의 위험지역 표시기능 UI를 개발하였으나, CCTV 등을 활용하여 수집된 영상정보만을 활용하고 있어 현장의 소음, 미세먼지 농도 등 다종센서를 활용하여 분석할 수 있는 안전사고에 취약하다는 한계점이 존재함

<표 4-26> CPS기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술의 선행과제와 한계점 및 기술개발방향

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
지능형 굴삭 시스템	국토교통과학기술진흥원	LiDAR형 지상레이저 스캐너를 이용한 초기계측 모델 제시	■ AI기술을 탑재한 자율계측장비(드론, 무빙플랫폼)를 활용하여 현장을 계측하고, 수집한 Point Cloud 정보를 통합하여 초정밀 Digital Map을 생성하는 기술 ■ 계측된 정보는 무선네트워크를 통해 전달되고 자동 후처리하는 기술개발 ■ 다양한 센서를 이용하여 건설현장정보를 자동으로 수집하고, CPS기술을 바탕으로 현장상황을 시뮬레이션 및 공유하는 기술 개발 ■ Digital Map, 이종 센서데이터, CCTV 등 이종의 빅데이터를 통합하고 분석하는 통합 플랫폼 구축기술 개발
ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 개발	국토교통과학기술진흥원	지상레이저스캐너, 드론을 사용하여 현장계측 기술 제시	
20% 공사비 절감이 가능한 AI기반 Smart Construction 기술 개발	산업자원부	지상레이저스캐너, 드론, MMS를 사용한 현장계측기술 제시 및 현장분석 초기기술 제시	

3.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-27> 건설현장 정보 수집 및 분석기술의 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발	기존 기술은 드론의 수동조작을 통해 현장을 계측하거나, 레이저 스캐너를 측량사가 옮기며 계측해야 하는 어려움이 있음	AI 기반 자율운영이 가능한 군집 드론 계측시스템 개발
		실시간 지형정보 수집을 위한 지상 무인 무빙플랫폼 개발
		현장 지형정보를 통합한 초정밀 Digital Map 생성기술 개발
디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발	현장의 발생하는 다양한 정보를 토공사 관제와 연계하여 제공하는 기술이 부재함.	이종 건설현장 빅데이터 통합 및 정보관리 플랫폼 개발
		CPS 시뮬레이션 기반 작업계획 수립 기술 개발
		AR/VR/MR 기술을 활용한 정보 시각화 및 공유 기술 개발

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

□ 기술개발 필요성

○ 토공 및 도로 공사현장에 대한 기존 품질관리는 구역별 시공품질관리가 주를 이루었으나 점차 현장 전반을 모집단으로 하는 통합시공품질관리의 필요성이 점차 증대되고 있기 때문에 지구 좌표계 관점의 계측데이터 및 시공 데이터 관리를 통한 시공 품질관리의 혁신이 필요함

- 2D 설계도면에 토공 및 도로공의 선형, 단면, 편경사 등의 건설정보가 불연속적인 단면에 대해 표현되며, 이로 인해 작업의 효율성을 저하되고 시공오차가 개선되기 어려운 상황임
- 토공 및 도로공사에서 수행되는 품질정보 및 시공정보가 공간 및 시간정보를 기반으로 통합 관리되지 않기 때문에 향후 장비자동화를 위한 시공계획 수립에 활용되기 어려움
- Caterpillar, Komatsu 등 글로벌 건설기계 기업을 중심으로 토공 및 도로현장의 환경을 디지털맵화하는 시스템을 구축하고 있으며, 이를 실제 사업에 활용하는 단계에 있음

- 국내 건설기계 기업에서는 토공현장 환경 디지털화를 위한 기술확보를 위한 연구초기단계에 있으며, 실제 사업에 활용하기 위해서는 상당시간이 소요될 것으로 예상됨
- 관련 기술 확보가 늦어질 경우, 기술 우위를 점한 선진기술에 대한 기술종속이 우려되며, 상대적인 시공생산성 저하로 인하여 시공 및 원가 경쟁력이 떨어져 해외건설시장 진출이 어려워질 것으로 예상됨

□ **개발내용**

(구성기술 1-2-1.) 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발

○ AI 기반 자율운영이 가능한 군집 드론 계측시스템 개발

- 영상 카메라, 열화상 카메라, GPS 등의 복합 센서가 장착된 드론 계측시스템 개발
- 센서와 취득영상 기반 현장작업과의 간섭 여부, 경로의 안전성 등을 자율 판단하는 현장 대응형 군집 자율 비행 알고리즘 개발
- 자동 충전설비 구축 및 충전/비행시간을 고려한 자율 비행 알고리즘 최적화
- 드론 취득 Point Cloud 정보를 활용한 Digital Map 초고속 생성 기술 개발
- RTK 및 5G 통신 기반의 고정밀 계측시스템 제어 및 데이터 수집 기술 개발
- 데이터 오류 최소화 및 사각지대 데이터 획득에 필요한 근접비행 기술 개발

○ 실시간 지형정보 수집을 위한 지상 무인 무빙플랫폼* 개발

* 장비, 근로자, 자재가 혼재한 비정형 작업현장의 지형정보를 실시간으로 수집하기 위한 이동성이 보장되는 무인플랫폼

- LiDAR, 레이저스캐너, 레이더 등을 장착한 건설현장 접근 및 비정형 지형에서의 이동이 용이한 무빙플랫폼 하드웨어 개발
- 건설 현장의 분진 등 외부 환경에 강하고, 다수 동적 물체 등에 대응이 가능한 이종 센서 운영 기술 개발
- 이종 센싱데이터 간의 데이터 동기화 및 센싱 최적화 알고리즘 개발
- 장비, 근로자, 자재가 혼재한 비정형 작업현장의 특성을 반영한 건설현장 맞춤형 Semantic 판단 및 실시간 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술 개발
- 공정계획을 고려한 최적의 Semantic Path Planning 알고리즘 개발

○ 현장 지형정보를 통합한 초정밀 Digital Map 생성기술 개발

- 드론 계측시스템과 무빙플랫폼이 생성한 지형정보 통합 및 상호보완한 초정밀 Digital Map 시스템 개발
- 3차원 지형공간정보기반 설계 및 시공정보 연계기술 개발
- AI 기반 3차원 지형변화 분석 알고리즘 개발
- Digital Map 경량화 및 실시간 모바일 공유 기술 개발
- Digital Map 자동생성 효율 및 정확도 분석 기술 개발
  - 드론 계측시스템의 Digital Map 구축 정확도: 70%
  - 무인플랫폼의 Digital Map 구축 정확도: 70%
  - 상호보완한 초정밀 Digital Map 시스템 구축 정확도: 90%

(구성기술 1-2-2.) 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발

○ 이종 건설현장 빅데이터 통합 및 정보관리 플랫폼 개발

- 영상, 지반환경 정보, 풍속 및 습도 등 다양한 작업환경 정보를 취득하기 위한 다중센서 네트워크 구축기술 개발
- 정보를 수집하고 분석하여 결과를 제공하는, 그리고 시시각각 변화하는 정보를 빠르게 업데이트하는 현장 정보관리 플랫폼 개발
- 다양한 센싱 데이터, CCTV 영상 등과 초정밀 Digital Map 간의 정형/비정형 이종 데이터 동기화 및 통합 기술 개발
- 수집된 정보를 분석하여 작업위험 지역, 장비 접근 금지구역 등 사용자가 원하는 정보를 생성하여 제공하는 플랫폼 분석 엔진 개발

○ CPS 시뮬레이션 기반 작업계획 수립 기술 개발

- 통합된 Digital Map을 활용한 Digital Twin 가상 건설현장 CPS 설계 및 구현
- CPS기반 생산성 저해요인 탐지 기술 개발
- CPS기반 안전성 저해요인 탐지 기술 개발
- 작업계획으로부터 생산성, 안전성 저해요인을 제거하고 공정/원가를 최적화하기 위한 시나리오 기반 CPS 통합 시뮬레이션 기술 개발

※ 사업단 내 중점분야 1과 중점분야 3에서 수립한 작업계획을 기본 활용

- CPS와 정보관리 플랫폼 간의 연계 기술 개발

○ AR/VR/MR 기술을 활용한 현장정보 시각화 및 공유 기술 개발

- 통합 Digital Map 기반 정보 Mapping 및 연동 기술 개발(속성정보, 현장정보, 모델정보, 작업정보 등)
- 작업계획 및 시나리오 기반 AR/VR/MR 기술 등을 활용한 현장정보 시각화 기술 개발
- 시각화 정보 경량화 및 정보 전달 기술 개발
- 다양한 시각화 및 정보 전달 기술 대안 분석을 통한 토공사 및 포장공사 현장관리 목적(안전, 품질, 진도관리 등)에 최적화된 기술 개발
- 정보 공유기술과 정보관리 플랫폼 간의 연계 기술 개발

□ **개발목표**

<표 4-28> 건설현장 정보수집 및 분석기술 개발목표

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발	Digital Map 자동생성율[1] (관리자 간섭비율)	10% (90%)	50% (50%)	70% 이상 (30% 미만)	●		
	현장계측 이후 Map 생성 소요시간 (700m×700m 토공현장 대상)	1일	0.5일	1시간 이내[2]	●		
	디지털맵 정확도[3]	70%	80%	90% 이상	●		
디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발	CPS 구현 및 분석 정확도[4]	-	-	80% 이상	●		
	VR/AR/MR 시각화 정확도[5]	-	80%	90% 이상	●		
	시각화 정보 전달 시간	-	-	실시간 (Digital Map 제외)	●		

1) 기존에 Digital Map을 관리자에 의해 계측, 데이터전송, 맵핑, 분석 등 분절적으로 생성하던 것을 관리자의 간섭 비율을 줄여 자동으로 생성할 수 있는 비율을 의미
2) 계측은 군집드론 및 무빙플랫폼을 통해 수시로 이루어지며, 계측이 완료되어 수집된 정보를 바탕으로 업데이트된 Digital Map을 1시간 이내 생성
3) 군집드론 및 무빙플랫폼을 통해 수집된 디지털맵 정보를 상호보완하여 만들어진 최종형태의 Digital Map에서 추출한 좌표와 실제 좌표 간의 비교시 정확도를 의미
4) CPS 시뮬레이션 예측 결과 값(작업량, 공정, 원가 등)과 현장에서 발생하는 실제 값과의 비교를 통한 정확도를 의미
5) 토공 및 포장공사를 대상으로 분석된 작업량, 공정, 원가 등 현장정보의 표출 지점이 실제 지점(센서, 자재적재, 가시설물 등의 위치)과 비교하여 어느 정도 정확하게 표출되는지를 나타내는 정도를 의미

□ **개발목표의 설정 근거**

○ 본 사업에서 개발하고자 하는 '건설현장 정보수집 및 분석기술'은 국내 기관이 일부 요소기능만 구현한 수준으로, 국외기술의 개발속도를 고려할 때 사업종료 시점 시 현재 해외 최고기술 수준을 능가하는 새로운 시스템으로 개발하고자 함

- 사람의 개입을 최소화하고 효과적으로 작업이 수행될 수 있도록 자율계측 기술개발이 필요함. 자율계측의 주된 인자는 작업자의 작업간섭 정도로, 본 사업에서는 작업자 간섭을 최소화하여 국외수준보다 낮은 30% 수준까지 간섭도를 낮추고자 함
- 사람의 간섭을 최소화하고 계측데이터 처리속도를 높여줌으로써 현장계측 주기를 국외 최고수준 이상인 1시간 이내로 단축함
- 실시간 수집되는 현장 환경정보를 실시간으로 시각화하는 기술을 개발함. 국외기술과는 달리 작업지형을 반영하여 시각화가 이루어질 수 있도록 기술개발이 필요함

3.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

□ **기존에 수행된 연구과제에서는 현장계측을 수동으로 수행했다는 점에서 큰 차이점이 있음. 본 연구에서는 자율계측이 가능하도록 드론활용 시스템 및 무빙플랫폼을 개발하고, 자동계측된 현장지형정보를 AI기반으로 통합하여 초정밀 Digital Map을 생성함**

○ 선행 연구에서는 건설현장 지형정보 생성에 초점을 맞추었다면, 본 연구에서는 초정밀 Digital Map과 연동하여 다양한 이종센서와 CCTV로부터 들어오는 빅데이터를 AI기반으로 분석하고 CPS기반으로 시뮬레이션하여 건설현장에서 운영되는 건설장비 자동화를 위해 활용함

- 선행연구를 통해 개발된 작업현장 디지털 모델링, 실시간 토공현장 상태인식 기술 등을 활용하여 기술수준을 높여나갈 필요가 있음

<표 4-29> 건설현장 정보수집 및 분석기술의 선행과제와 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
지능형 굴삭시스템 개발	국토교통과학기술진흥원 (2006.12~2011.12)	■ 굴삭기 작업에 대한 원격 운영에 중점을 두고 무인화 기반 기술 개발 ■ 굴삭기-트럭 상차 협업작업에 대한 기본 연구 수행	<차별점> ■ 기존의 현장계측은 수동으로 이루어졌다는 부분이 가장 큰 차이점임. ■ 기존의 수동 계측과 차별화하여 자율계측이 가능한 드론 시스템 및 계측장비 개발 ■ 현장 센서를 통해 수집된 정보를 종합하여 현장분석 정보 생성 ■ CPS기술을 활용하여 현장 정보 시뮬레이션 <연계방안> ■ 작업현장 디지털 모델링 활용 ■ Laser Scanner를 활용한 고정밀 원지반 모델획득 기술 활용 ■ 실시간 토공현장 상태인식 기술 활용
ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (2014.07~2017.12)	■ 현장관리자 설계/시공 정보와 건설장비간 정보교류를 이어주는 통합관제 개발 ■ 건설장비 조종자의 안전하고 효율적인 작업을 지원하는 가이드 기술의 시스템화 개발	
20% 공사비 절감이 가능한 AI기반 Smart Construction 기술개발	산업자원부 (2016.10~2020.09)	■ AI기술을 활용하여 장비 작업계획, 진척관리를 수행하는 시스템화 개발	

3.8 민간기술과의 차별성·연계성

□ **구성기술별로 관련된 기술을 보유한 기업이 존재하고 있으나, 각 기업의 기술은 요소기술로서 활용이 가능하지만 본 연구에서 개발하고자 하는 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축, CPS기반 건설현장정보 분석, 디지털맵 기반 건설현장 분석 등의 기능을 수행하기에는 다양한 추가기술의 개발이 요구됨**

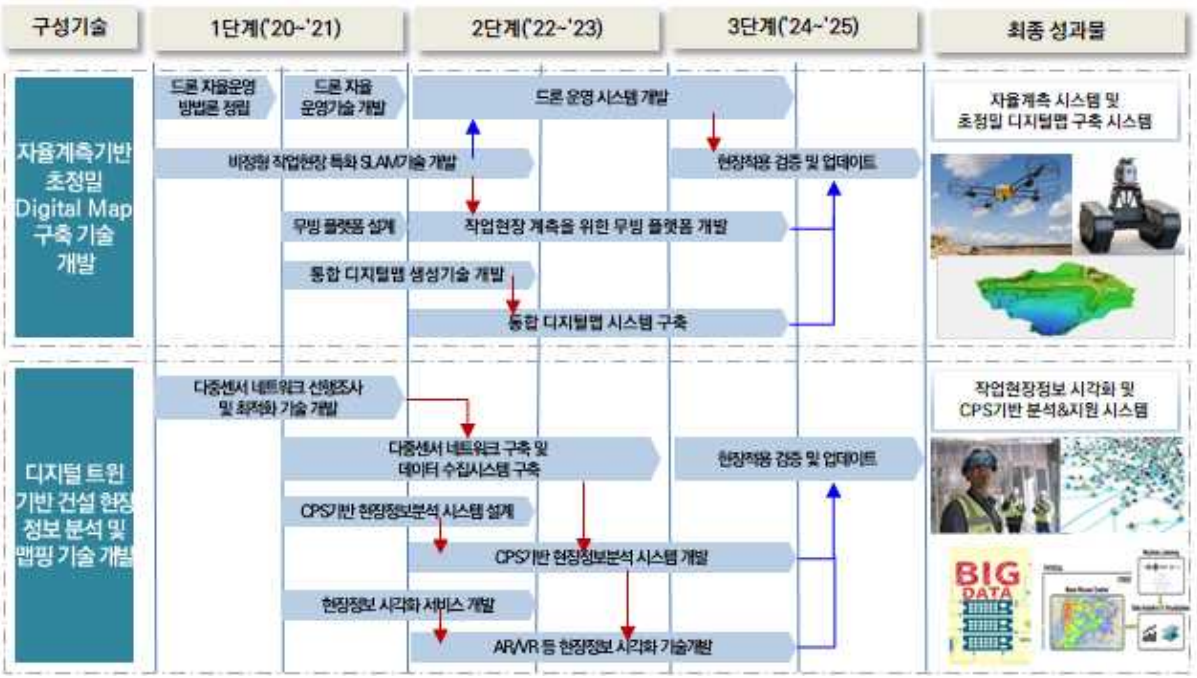
<표 4-30> 건설현장 정보수집 및 분석기술의 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축기술	자이언트 드론	■ 장기체공, 충돌회피, 측량, 드론방수, 비행제어 기술	■ 사진측량에 국한하지 않고, 다양한 측량장비가 측량 데이터를 통합하여 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구현 ■ 드론 이외에 무빙플랫폼 등을 이용한 계측 ■ AI기반 다수 측량데이터 통합 기능
				■ 충돌회피, 비행제어 등의 기술은 자율계측 가능 드론 시스템 개발에 활용 가능
2	디지털트윈 기반 건설현장정보 분석 및 맵핑 기술	대우건설	■ 가스센서, 온도센서, 비콘 등을 현장 적용하여 인력관리 및 안전관리 등에 활용	■ 각종 센서로부터 들어온 정보와 초정밀 Digital Map정보를 연동한 CPS 분석기술
				■ 각종 센서 활용기술 연계 활용

3.9 구성기술 로드맵



[그림 4-40] 건설현장 정보수집 및 분석 추진로드맵



[그림 4-41] 건설현장 정보수집 및 분석 성과로드맵

3.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 159.50억 원/6년(3단계)중 (국고) 117.33억 원, (민자) 42.17억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-2-1. 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발	정부	1,164	1,224	1,574	1,576	1,576	715	7,829
	민간	418	440	566	566	567	257	2,814
	소계	1,582	1,664	2,140	2,142	2,143	972	10,643
1-2-2. 디지털 트윈 기반 건설현장 정보 분석 및 맵핑 기술 개발	정부	494	641	771	772	772	454	3,904
	민간	177	230	277	278	278	163	1,403
	소계	671	871	1,048	1,050	1,050	617	5,307
합계	정부	1,658	1,865	2,345	2,348	2,348	1,169	11,733
	민간	596	670	843	844	844	420	4,217
	소계	2,254	2,535	3,188	3,192	3,192	1,589	15,950

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-2-1. 자율계측기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발	512	531	682	682	682	304	3,395
1-2-2. 디지털트윈 기반 건설현장 정보 분석 및 맵핑 기술 개발	208	285	342	342	342	191	1,711
합계	721	816	1,025	1,025	1,025	495	5,106

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-2-1. 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발	책임급	2	2	3	3	3	1	14
	선임급	3	4	4	4	4	2	21
	원급	5	4	6	6	6	3	30
	합계	10	10	13	13	13	6	65
1-2-2. 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발	책임급	1	1	1	1	1	0	5
	선임급	1	1	2	2	2	2	10
	원급	2	4	4	4	4	2	20
	합계	4	6	7	7	7	4	35
소계		14	16	20	20	20	10	100

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	184	202	255	254	254	126	1,274
연구과제추진비	155	172	218	223	219	118	1,106
연구활동비	308	347	436	434	438	227	2,190
연구수당	108	122	154	154	154	74	766
소계	755	844	1,062	1,065	1,065	546	5,337

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	182	205	258	258	258	129	1,291

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 44.9%, 직접비(인건비 제외) 44.1%, 간접비 11.0%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 29%, 연구과제추진비 23%, 연구활동비 48%, 연구수당*으로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

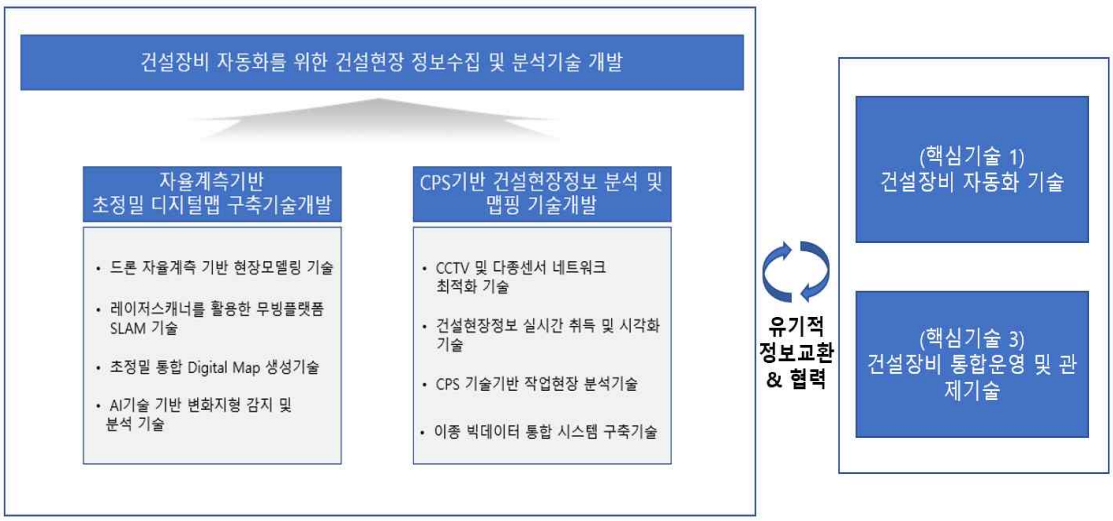
(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

3.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



[그림 4-42] 건설현장 정보 수집 및 분석기술 추진체계

(2) 협력방안

□ **초정밀 디지털맵 구축, AI & CPS기반 분석기술 등과 관련한 기술 개발을 위한 다양한 협업체계 구축**

○ (국외) 미국, 일본 등의 관련분야 선진대학 및 연구소와의 학술심포지엄 개최 등 선진기술 교류 및 연구협력기반 마련

○ (국내) 관련 기업, 대학, 연구기관 등으로 구성된 기술교류회 운영을 통한 관련 최신기술의 공유 및 연구자원 활용

- ‘건설장비 자동화 기술’ 분과 및 ‘건설장비 통합운영 및 관제기술’ 분과와의 유기적인 정보교환 및 협력을 통해 개발될 기술이 다른 관련 기술과도 연동할 수 있는 환경 구축

□ **산업통상자원부(스마트 건설기계)의 핵심기술(3-2)과 본 핵심기술(1-2)과의 유사성/차이점을 분석하여 연구내용 중복 및 연계 방안 검토**

<표 4-31> 핵심기술 유사성 검토결과

유사 핵심기술	차이점
(산업부) 3.2.3 스마트 토공건설용 실시간 고정밀 드론 3D 측량 기술	- 산업부는 드론을 활용하여 건설기계 작업 현장의 정밀도와 실시간 측량기술 개발에 초점 - 국토부는 상용화된 드론과 센서를 건설현장에 효과적으로 적용하기 위한 연구 및 획득한 지형 정보를 기반으로 디지털 맵을 생성하고, 건설현장을 분석하는 기술개발에 초점
(국토부) 1.2.1 건설현장 정보 수집 및 분석기술(초정밀 디지털 맵)	

- 양부처의 기술개발을 연계하기 위한 방안으로 산업부의 기술이 개발되고 Pilot 테스트가 완료되면, 이후 국토부 스마트 건설 3단계 연구와 연계하여 국토부의 실제 현장에서 검증할 수 있도록 협력

3.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-32> 건설현장 정보수집 및 분석기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
건설장비 자동화를 위한 건설현장 정보 수집 및 분석기술	개발될 기술의 현장적용을 위해서는 제도적 기반마련이 요구됨	연구를 수행하면서 관련 제도 개선을 위해 관계부처와 긴밀한 소통 필요

3.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **2016년 국토교통과학기술진흥원에서 지원한 'ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발' 연구과제에서 '3D 스캐너를 이용한 토공량 산정 시스템 및 방법(제10-1546708)'에 대한 기술이전이 이루어짐**

○ 기술이전을 통한 제품개발에 활용

- 지속적인 기술지도를 통한 기술 업그레이드 지원

(2) 성공 사례의 시사점

□ **기업의 니즈를 반영한 연구개발을 통해 기술의 활용성을 높여나갈 필요가 있음**

○ 기술개발 및 이전에 머물러서는 안 되며, 기술의 정착을 위해 지속적인 기술지도가 필요함

□ **지속적인 기술지도를 통한 기술 업그레이드 실현가능**

(3) 실용화 전략 수립

□ **연구개발 단계부터 기업 및 시장의 니즈를 조사·반영하는 노력이 필요하며, 해당 기업과 공동으로 연구를 수행할 필요가 있음**

○ 개발된 기술이 시장에서 활용되기 위해서는 법·제도적인 뒷받침이 요구되며, 이를 위하여 연구초기단계부터 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 등과 제도개선을 위한 협의가 필요함.

3.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ **건설현장 디지털화를 통한 건설산업 전반의 생산성 향상이 예상되며, 이를 통한 건설기술 경쟁력 강화 가능**

○ 건설현장 측량 등에 소비되는 시간단축

- 건설장비 운영 및 공정관리 자동화를 위한 기초자료 제공
- 건설현장 환경변화에 대한 대응능력 향상

□ **작업현장 센서네트워크 구축을 통해 시공단계에 생성되는 데이터를 추적하여 현장관리 빅데이터의 활용 확대**

○ 현장에서 발생하는 분산된 데이터를 통합하고 분석할 수 있는 기회를 제공함으로써 건설현장 관리를 위해 활용 가능

- 수집되고 저장된 건설현장정보를 활용하여 신규사업의 기획 및 시공단계에서 데이터 기반 의사결정시 활용 가능
- 건설현장정보의 데이터가 축적되면 건설산업 전반의 경쟁력 향상을 위한 기초자료로 활용 가능

(2) 사회경제적 측면

□ **작업현장의 자율계측으로 인하여, 기존의 작업현장에서 발생할 수 있는 계측 인력의 인명사고를 방지할 수 있음**

○ 현장계측 시 측량원의 현장 내 이동이 이루어지며, 작업 중인 건설장비와 충돌·협착 등 다양한 형태의 안전사고 발생가능성이 높음

□ **드론을 이용한 건설현장 계측시장은 꾸준하게 성장하고 있으며, 향후 성장 가능성이 크므로 초정밀 Digital map 생성, 자율계측 등의 기술개발을 통한 시장확대가 예상됨**

□ **일본의 드론을 이용한 서비스시장이 2015년 61억 엔에서 2018년 358억 엔으로 급팽창하고 있으며, 국내도 건설현장측량 등과 같은 서비스시장이 확대될 것으로 예상됨**

○ 국내 드론관련 등록업체수가 2015년 698개에서 2017년 1459개로 확대되고 있음

- 건설현장 자율계측 등 신기술확보를 통해 향후 건설현장측량 시장에 대한 국산화기술 우위상황을 유지 가능

4. (핵심기술 1-3) 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발

4.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

□ **토공 및 포장 장비 작업 자동화를 위한 고정밀 건설작업 자동화 기술 : 롤러, 도저, 그레이더의 블레이드 및 버킷 고정밀 자동 제어, 고위험 공정 작업 수행 및 건설현장 무인화 기반기술 개발**

○ 수십 년간 건설현장에서 유지되어 온 장비 운전자의 경험에 의한 장비 조작 및 측량 등 주변 작업인력 지원이 동반된 건설작업 작업 체계의 한계를 근본적으로 혁신할 수 있는 고정밀 자율작업이 가능한 After-Market用 건설장비 자동화 기술을 개발함

- 공기 단축, 공사비용 효율화를 비롯하여 건설 노동인구 감소 및 숙련자 부족 등의 변화하는 건설산업환경에 대응할 수 있도록 미숙련 작업자에 대한 작업 품질 및 작업속도 확보가 가능한 정밀 유압제어 기반의 작업 자동화 기술에 대한 연구와 함께 능동형 작업 안전 기능이 반영된 작업제어 기술을 개발함
- 국가 핵심 인프라인 도로 건설을 위해 소요되는 공사비용, 공사기간 중 교통 제한 등을 포함한 각종 사회경제적 비용 최소화를 위해 도로 건설 및 포장 장비에 대한 AI 기반 자율주행이 가능한 자율작업기술을 개발하고 도로 포장 공정 지능화를 위한 기반기술을 확보함
- 수작업 및 작업자 기량에 의지하던 도로공사에 대한 자율작업장비 개발을 위한 센서 시스템 구축, 데이터 융합을 기반으로 한 AI 기반의 작업 환경 및 공사 대상물 인식 기술 개발
- 공사관련 정보 수집을 자율적으로 수행하는 관제 오픈 플랫폼과의 AI 기반 인터페이스 기술 및 자체 센서를 통해 수집한 정보의 분석을 통해 최적 장비 제어기능을 수행하는 장비 운영 에이전트 개발
- 복합작업 수행을 위한 다짐 및 포장 장비의 장비 간 협업기능 개발

- 토공 작업 시 지반관련 붕괴, 전도를 비롯한 다양한 위험 환경에서 작업자의 안전을 담보하면서도 자동제어 불능 등의 이상상황 발생 시 즉각적인 대응이 가능한 원격 조종가능 건설장비 개발에 필요한 장비 정밀제어, 환경정보 제공 및 조정을 위한 인터페이스 개발, 원활한 조작을 위한 통신 및 작업자 원격 조종 기술을 확보함

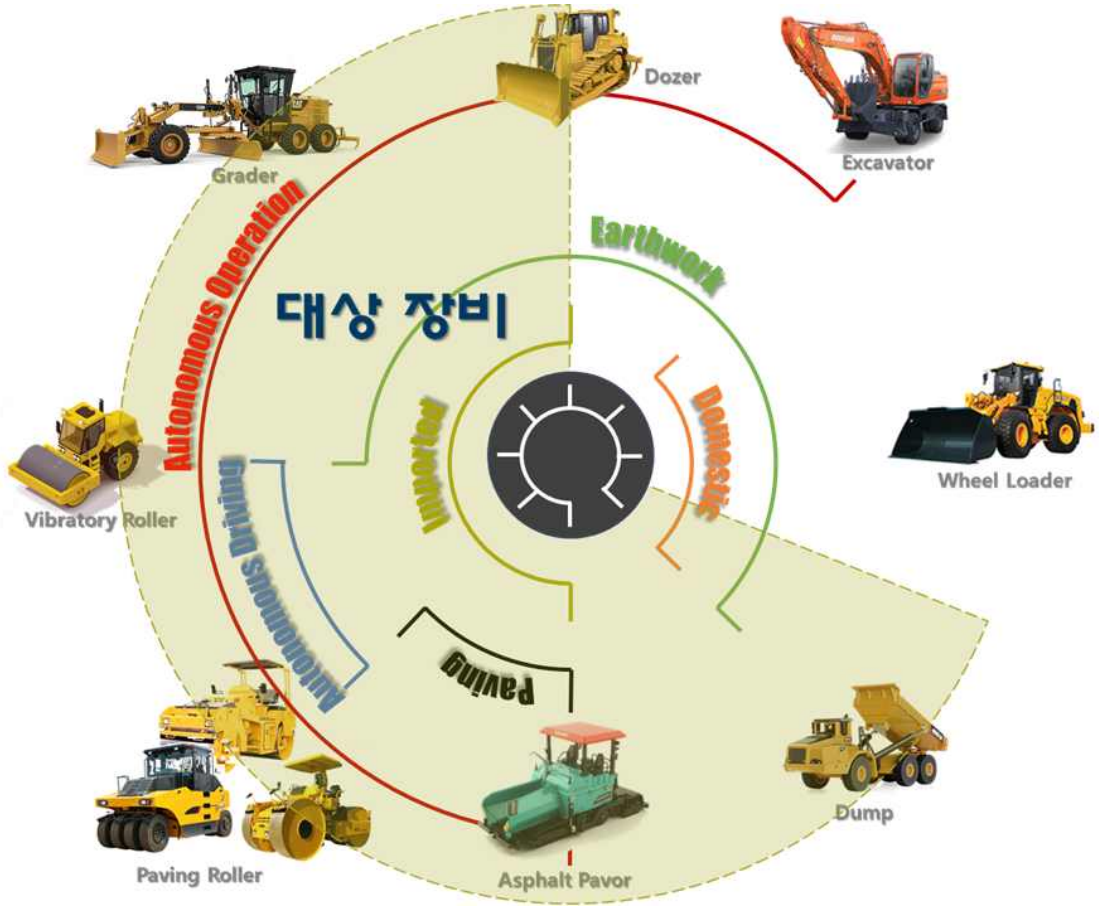
□ **시공 장비 연동 도로포장 품질관리 기술 : 도로포장과 관련된 품질관리 공정의 Digitalization 기술로서 국내 환경에 최적화된 센싱 기술을 통한 건설공간정보 구축과 이를 DB화함으로써 한국지형과 상황에 부합한 도로품질 평가 기술 개발**

○ 자동화된 장비의 생산성을 극대화하기 위하여 도로 하부층(노체, 노상, 보조기층)의 품질을 실시간으로 평가하기 위한 시공 장비 연동 품질 관리 데이터 측정 및 관리 기술 개발

- 도로 하부층(노체, 노상, 보조기층) 자동 다짐 건설장비 개발을 위하여, 국내 건설환경에 부합한(토질, 장비, 기상 등) 다짐도 측정 기술 개발
- 함수비는 도로 하부의 지지력에 영향을 미치는 가장 큰 요인이며, 이를 현장에서 실시간으로 관리할 수 있도록 함수비 측정 및 분석 기술 개발
- 도로포장 품질분석을 위한 위치 정보 제공을 위하여 도로공사 현장 내 고정밀 실시간 GPS 측위 기술 및 한국형 실시간 보정신호 활용기술 개발
- 실시간 토공 공정 업무(성·절토량 관리 및 계획) 업데이트 및 이상유무 확인을 위한 CPS 기반 실시간 성토-다짐 작업 최적화 기술 개발

○ 아스팔트 포장의 시공 품질 및 성능 유지를 위하여 현장 조건을 고려한 실시간 최적화 생산, 이송 및 다짐 방법 제시

- 아스팔트 혼합물에 대한 실시간 이송 품질 유지 및 관리 기술 개발
- 현장 조건을 고려한 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 패턴 실시간 최적화 기술 개발
- 시공 방법과 포장 성능의 상관성 분석을 통한 시공 품질 향상 기술 개발



[그림 4-43] 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 대상 장비

(2) 기술 범위

□ **건설장비의 작업 자동화를 위한 고정밀 유압 제어 기술**

○ 작업 자동화 기술은 장비 운전자의 조작에 따라 장비 조작 · 제어기능의 일부를 자동으로 수행하는 장치로서 장비의 전자제어를 위한 전자유압시스템, 센싱 기술, 고정밀 작업을 위한 작업제어 알고리즘 및 작업자 인터페이스로 구성됨

- 작동장치의 유·무로 머신 가이던스(Machine Guidance) 장비와는 구별됨.

<표 4-33> 머신 가이던스(MG) 및 작업자동화(MC) 기술 비교

분류	세부항목	머신 가이던스(MG)	작업 자동화(MC)
장비 구성	센서류	■ 장비 위치 및 작업모듈 상태정보 확인 (도저 삽날 각도, 굴삭기 링크 각도 등)	■ 장비 위치 및 작업모듈 상태정보 ■ 유압제어용 센서 (유압, 유량 등)
		■ 장비의 이동 및 작업장치 조작제어에 필요한 센서류 추가	
	작동장치 (액츄에이터)	■ 동작을 위한 주요 동력 및 유압장치는 동일 (운전자 수동조작 외 전자유압제어기능 포함여부)	
			■ 전자비례압력제어밸브 등을 비롯한 유압회로의 전자제어기능
기능	작업자 제공기능	■ 장비 조작 방법에 따른 구분 (수동 vs. 자동) ■ 작업 장치 상태 및 설계정보 표시기능은 동일	
		■ 정보를 확인한 뒤 실제 장비 조작은 작업자를 통해 이루어짐	■ 설계정보에 따라 작업자가 일부 기능을 조작하면 그에 따라 전자제어부 일부 장치를 자동으로 제어

○ 작업자동화 건설장비를 운용하기 위한 공정별 자동화 장비 작업공정의 선정, 작업 실적 평가를 포함하여 다수 장비의 동시 운용되는 건설현장을 위한 연동 장비별 통합관제 시스템과의 데이터 표준화, 장비 입력을 위한 시공 계획에 따른 작업 도면 생성 기술

- 고위험 작업에 대한 작업안정성 확보를 위하거나 자율장비의 문제점 발생 시 원격에서 장비를 조작하는 원격작업기술을 개발하며 작업자동화 기능을 갖춘 장비를 바탕으로 작업자 현장감 제공을 위한 Lidar, 카메라를 포함한 센서 시스템, 센서 및 제어정보의 원활한 통신을 위해 고속 통신 시스템, 제어 안정성 및 조작감 확보를 위한 원격 제어시스템 개발

- 조작자 임장감을 극대화하는 원격제어 운전자 플랫폼(마스터)은 작업관제 시스템과 연계하여 개발하며, 본 핵심 기술에서는 5G기반 차세대 통신시스템을 활용한 원격제어가 가능하도록 건설장비(슬레이브)에 대한 원격제어기술과 하드웨어를 개발

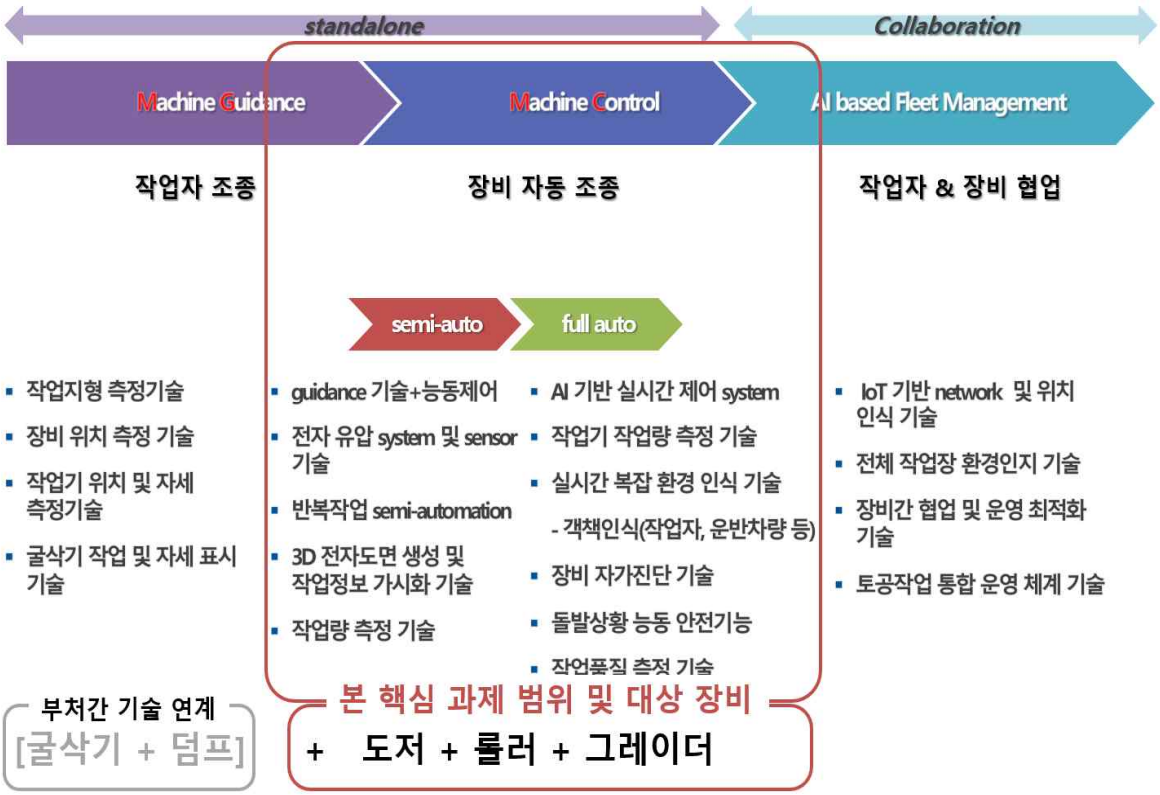
○ 도로 공사의 작업 자동화 기능 개발은 도로포장 주요장비인 도저, 롤러, 그레이더 장비에 대하여 AI 기반 자율주행 및 작업제어기술을 개발함.

- 굴삭기를 제외한 토공 및 도로포장 장비의 경우 대부분 외산 장비이기 때문에, 지능형 장비를 위한 부품 개발보다는 기존 상용 장비에 추가적인 엑츄에이터, 센서, 제어기 및 통신 모듈을 탑재하는 After-Market用 지능화 시스템으로 개발함

- 굴삭기에 대한 지능화는 산업통상자원부 주도로 진행되고 있기 때문에 본 사업에서는 굴삭기 지능화 기술 개발은 지양하고, 통합관제 시스템을 통한 연동제어가 가능하도록 인터페이스 개발에 초점을 맞추고자 함

○ 카메라 및 다중 센서 정보를 바탕으로 건설현장의 작업자, 주변환경 및 대상체 인식에 적합한 AI 물체인식기술을 개발하고 이를 통해 작업자율화 시스템 및 장비단위의 능동형 작업자 안전시스템 개발

- 관제시스템에서 확보한 작업 상태, 품질 데이터, 장비 센서에서 획득한 센서 정보의 빅데이터 확보 및 이를 활용한 AI 기반 작업제어기술 개발
- 장비 간 유기적인 협업작업을 위한 장비 간 데이터 교환 시스템 기술 개발 및 다양한 장비별 협업 시나리오에 따른 장비 제어 알고리즘 개발
- 추가 센서를 통하여 Down-time이 발생하지 않도록 주요 부품 모니터링 기술 개발 및 최적 유지보수 주기 산출 등 장비 가동률 유지를 위한 주요 부품의 수명예측 및 소모품 주기 관리 시스템 개발



[그림 4-44] 도로건설자동화 기술개발 대상 및 범위

□ **시공 장비 연동 도로포장 품질 관리 및 향상 기술**

○ 도로 포장 건설 장비의 자율 작업 및 경로 추종 주행이 가능하도록 도로 하부층 지능형 성토-다짐 관리 기술 개발

- 아스팔트 및 콘크리트 포장층에 대한 자동화 품질 데이터 측정기술은 타과제(IoT 기술을 활용한 도로포장 현장품질관리 시스템 개발, 2019. 04～2023. 12)에서 진행되고 있기 때문에 본 사업에서는 도로 하부층(노체, 노상, 보조기층)에 초점을 맞추고자 함
- 국내 건설환경에 부합한(토질, 장비, 기상 등) 다짐도 측정 기술 개발
- 다짐장비 연동 실시간 함수비 측정 기술 개발
- 도로포장 품질분석을 위한 고정밀 실시간 GPS 측위 기술 개발
- CPS 기반 성토-다짐 통합품질관리 시스템 개발

○ 아스팔트 포장의 시공 품질 및 성능 유지를 위한 실시간 최적화 생산, 이송 및 다짐 기술

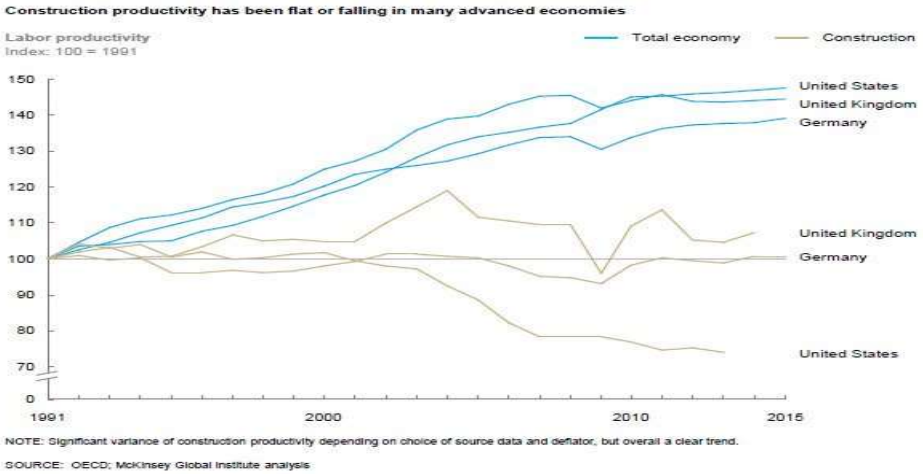
- 환경 조건을 고려하여 기준을 만족할 수 있는 혼합물 최종 온도 및 이송 조건 제시 기술 개발
- 환경 조건을 고려하여 다짐도 획득을 위한 최적 다짐 기법 제시
- 다양한 시공 요소에 대한 Big Data화를 통하여 포장 성능에 영향을 미치는 시공 요소 선정 및 초기 포장 품질과의 상관성 평가

4.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ **수십 년간 답보상태인 건설공사 생산성 및 작업 환경 개선을 통한 효율화에 대한 기대수준 증가와 사회 경제적 비용 감소에 대한 관심 증대**

○ 한국을 포함한 대부분의 국가에서 인프라 건설 부분은 타 산업분야에 비해 노동 생산성 증가율이 거의 없거나 일부 감소하는 상태가 지속되고 있음



출처 : OECD

[그림 4-45] 주요 국가의 타 분야 대비 노동생산성 추이

○ 건설작업의 주요 공사별로 다양한 건설장비가 개발되어 활용되고 있으나 장비 운전자를 통한 장비 조작 및 측량 등 주변 작업인력 지원을 통한 작업방식은 수십 년간 변화 없이 유지되어 왔으며 이에 따라 작업 생산성 또한 수십 년째 답보상태를 유지하고 있음

- 인구 노령화, 복지 수준에 대한 기대감 향상 등으로 인해 SOC에 투자되는 예산은 최근 들어 정부의 총 지출대비 비중이 지속적으로 낮아지고 있으며 향후 증가할 가능성 또한 낮은 상태

- 도로 등의 인프라에 대한 수요는 쉽게 줄일 수 없으므로 인프라 건설에 대한 비용 효율성 요구가 높아지고 있는 상황임

- 중장비가 많이 활용되는 인프라 건설의 특성상 생산 효율의 증대는 건설비용 감소라는 직접적인 효과와 더불어 공기 단축에 따른 교통혼잡감소, 공사 중 발생하는 미세먼지 저감 등의 사회경제적 비용 감소 효과를 가져올 수 있음

□ **고령화 및 신규 작업자 유입에 따른 건설환경 변화에 대응할 수 있는 기술적 토대 필요**

○ 2020년 이후 급격하게 감소하는 국내 생산가능인구와 고령화 추세에 따라 건설분야 근로자의 공급 감소 및 고령화 추세가 예상됨

- 타 산업분야 대비 열악한 작업환경 대비 상대적으로 높은 노동강도로 인해 신규 근로자의 유입은 차단되고 노령화로 인한 사고가 증가할 것이 예상되므로

이에 대한 대책요구가 높아지고 있음

- 국내 노동력 감소로 인한 외국인 노동자 유입이 확대되고 있으며 장기간의 근무경험을 필요로 하는 인프라 건설 분야의 건설장비 운용인력은 급속히 감소하고 있어 이에 대응할 수 있는 건설장비 및 건설공정 인프라에 대한 필요성이 높아지고 있음

□ **4차 산업혁명기술의 건설분야 적용에 대한 높은 의지대비 미흡한 상용화 실태**

○ 타 산업분야에 급속히 확산되고 있는 빅데이터, AI 등의 ICT 기술의 활용성을 인지하고 국토교통부에서는 건설 기술 개발 전략에 이를 반영한 제6차 건설기술진흥기본계획을 발표하는 등 건설부분 효율성 증대 및 작업환경 개선에 정책적 우선순위를 두고 있음

- 그러나 현재 국내에서 활용되는 4차 산업혁명 기술은 도입 초기 단계로서 구체적인 기술의 실현방안 및 추진전략은 상대적으로 부족한 상태로서 주요 기술에 대한 건설분야 활용도 또한 전체적으로 타 산업분야 대비 낮아 기술 도입과 활용을 촉진하기 위한 연구 및 정책 수립이 필요함

- 민간부분의 경우도 일부 자동화 장비 도입에 따른 비용에 대한 부담과 보수적인 건설업계 특성상 선진국 대비 도입이 뒤처져 있음

- 최근 적극적으로 자동화 건설 장비 및 ICT 관련 플랫폼을 도입하고 있는 영국, 일본, 미국 등의 경우에도 미국을 제외하고는 정부 정책과 관련 연구에 대한 지원이 선행됨

(2) 추진 필요성

○ 인프라 건설부분은 건설장비 활용비율이 높아 자동화를 포함한 건설현장의 첨단화, 지능화 기술의 도입이 용이하고 기대효과는 높아 스마트 건설기술의 도입을 통해 효과를 검증하고 타 분야 적용을 선도할 수 있는 분야임

- 건설 장비는 작업인력이 직접 수행하는 작업에 비해 Lidar를 포함한 각종 센서 활용이 용이하고 IoT 디바이스의 탑재를 통해 현장 데이터를 수집하는 디바이스의 역할도 수행할 수 있음

- 건설 장비는 4차 산업혁명을 이끌고 있는 자율주행차, 드론 등에 적용되는 고정도 GPS, 무인 자율주행을 위한 AI 기술 등의 확대적용이 용이함

○ 건설분야 인력 고령화 및 숙련자 확보가 어려워지는 상황에서 작업 인력을 확보하는 한편 작업 품질을 담보하기 위해 건설장비 조작 및 작업에 대한 가이드 정보를 제공하거나, 일부 작업을 자동으로 수행할 수 있는 건설장비에 대한 기술개발 필요

- 미숙련자의 작업능력 향상과 더불어 발생할 수 있는 다양한 안전사고 발생 가능성을 미연에 방지할 수 있는 건설머신 가이던스 및 자동화 기술 개발이 요구됨

- 건설분야 노동환경 개선을 위해 작업 정밀도를 확보할 수 있는 작업 자동화 기술은 장비 운전자의 노동 강도를 크게 낮출 수 있는 방법으로 필요성이 높음

- 데이터 수집기능을 갖춘 건설 자동화 장비를 활용한 숙련자 작업 패턴에 대한 빅데이터 구축 및 이를 활용한 AI 기반의 자율작업기술을 바탕으로 향후 도로 건설 및 포장분야 무인화를 이끌 수 있는 연구가 필요함

○ 기획, 설계, 조달, 시공에 이르는 건설부분 전 공정을 아우르는 스마트 건설 기술 및 체계를 수립하기 위해서는 현장에서 수집되는 데이터의 양 및 신뢰도가 중요함

- 현재 해외 건설장비의 경우 ICT 기반 공정관리솔루션을 위해 MG 시스템과 MC 시스템의 정보 연계 기술을 일부 갖추고 있으나 아직까지는 MG 및 MC적용 장비의 정보만을 관리하는 단순한 장비관리의 수준이므로 관제 시스템과의 연동을 위한 데이터 표준화에 대한 기술개발 필요

※ MG(Machine Guidance), MC(Machine Control)

- 작업 자동화 및 건설장비 자율 작업을 위한 작업 명령 생성을 위해 시공 계획과 연계된 작업도면 생성 및 인터페이스 기술 연구가 필요함

○ 도로건설 자동화를 위해서는 굴삭기, 트럭, 도저, 롤러, 그레이더, 페이버 등의 도로공사에 적용되는 장비의 개별적인 역할 및 기능에 최적화된 ICT기반 작업 효율화 기술이 개발되어야 함

- 건설현장의 작업자, 주변환경 및 대상체 인식을 위한 AI 물체인식기술과 함께 각종 센서 데이터를 융합할 수 있는 방안이 마련되어야 함

- 관제시스템에서 확보한 작업 상태, 품질 데이터, 장비 센서에서 획득한 센서 정보의 빅데이터 확보 및 이를 활용한 AI 기반 작업제어기술

- 장비 간 유기적인 협업작업을 위한 장비 간 데이터 교환 시스템 기술 개발 및 다양한 장비별 협업 시나리오에 따른 장비 제어 알고리즘 개발

○ 건설장비의 효율적인 운용 및 관제를 위해 작업 중 고장상황을 방지할 수 있는 주요 부품의 수명예측, 소모품 주기 관리를 기반으로 한 최적 유지보수 주기 산출시스템 개발이 필요함

- 건설장비 관련 안전사고의 경우 사고당 사망자 수가 가장 높으므로 이를 미연에 방지할 수 있는 능동형 작업자 안전 시스템 개발이 필요하며 장비 간 협업이 가능한 자율작업기술 개발을 통해 발생 가능성을 차단할 수 있음

○ 도로 건설의 자율 작업 및 자동화를 위해서는 도로 건설에 사용되는 재료 및 시공 품질 데이터의 계측을 통한 분석 데이터가 필요하며, 이를 위하여 도로 노상 및 포장층에 대한 재료 및 시공 데이터 측정/분석 및 전송 기술 개발이 필요함

- 현재 도로 공사는 인력 시공 및 관리로 품질관리가 제대로 수행되지 않고 있는 실정이며, 인력에 의한 품질관리는 정확한 데이터 수집이 어려워 건설장비 자동화에 필요한 데이터를 제공받기에는 현실적으로 불가능한 실정임
- 최근 기후변화로 인하여 도로 포장 파손이 급증하고 이에 따른 안정성 및 주행성이 악화되어 교통사고의 위험성이 증대되고 있는 실정으로, 자동 시공 및 품질관리를 통한 도로의 공용성을 향상할 필요가 있음
- 자율주행 기술을 활용한 자율 주행 플랫폼과의 결합을 통해 다량의 데이터를 확보하고 이를 관제 시스템 및 지원활동 플랫폼에 전달할 수 있는 시스템 개발이 필요함

4.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **도로공사는 선형적이고 반복적인 공사특성으로 인한 건설장비 의존도가 높아 타 건설공정에 비해 자동화 적용을 통한 공정개선이 상대적으로 양호한 분야이나 현실은 그렇지 않음**

○ 도로공사에 사용되는 건설장비는 토공사를 위한 범용 건설기계장비와 공정 및 기능에 따라 전문건설장비가 투입되고 있으며, 공사의 규모, 시공방법, 현장

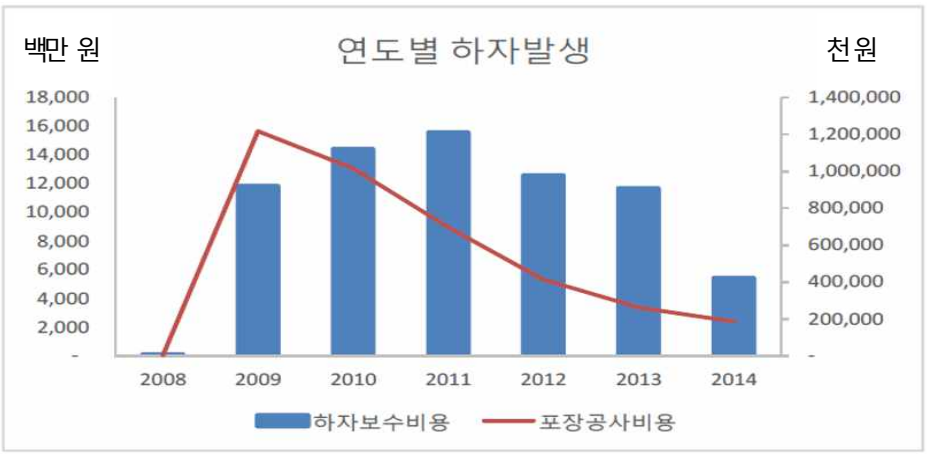
조건에 따라 적절한 장비의 투입이 공사기간 및 공사비에 직접적인 영향을 미치는 등 프로젝트 성패와 직결되는 핵심 사항임

- 도로공사 작업은 측량 등 품질 관련 정보의 분절 및 작업자에 의한 장비의 수동 조작으로 인해 타 분야와 유사한 낮은 생산성을 유지하고 있음
- 이는 측정과 시공 정보가 연결되지 않고 별개로 취급될 뿐만 아니라 공정별 시공 정보를 수집 및 축적하지 않고 있어 공정 준비 비용이 지속적으로 발생하며 장비 가동률 확보가 어려움
- 아울러 도로공사는 긴 공사구간에서 동시다발적으로 이루어지므로 도로 전 구간 관점의 시공 품질 관리가 어려움.
- 또한 오차 관리의 경우 개별구간의 시공오차만 관리되기 때문에 도로 전 구간 관점의 데이터 관리 및 품질 관리는 불가능하였음
- 해당 작업구간의 장비조합, 전압회수, 중복 작업정보, 편경사 정보 등이 작업자의 경험과 능력에 의한 장비 운영과 반복적인 재측량을 통해 단계적으로 작업이 이루어지기 때문에 시공의 효율성을 개선하기 어려움

□ **굴삭기, 트럭, 도저, 롤러, 그레이더, 페이버 등 도로공사에 적용되는 장비 작업 시 측량시수, 운전자 숙련도에 따른 시공 품질 편차 증대에 따른 재시공 증가**

○ 도로건설 작업 시 수작업 측량을 통해 유도말뚝과 유도선을 설치하고 토공작업을 하고 있으며, 육안에 의존한 시공으로 건설장비 운영자의 숙련도에 따라 작업품질의 차이가 크게 발생함

- 이에 품질 확보를 위해서는 여러 차례의 반복 측량을 통한 관리 지원이 필수적으로 요구되어 공사비가 과다투입되는 문제가 있음
- 아울러 측량 착오와 기준 미달에 의한 재시공이 빈번히 발생하고 있기 때문에 도로 시공이 불필요하게 보수적으로 작업이 이루어지고 있어 측량지연으로 인한 장비 대기시간이 길어지고, 검측에 소요되는 시간 역시 공사 원가에 상당한 영향을 미치고 있음
- 재시공에 대한 자료는 구체적으로 조사된 것이 없지만, 시공 후 하자비용을 확인하면 실제 재시공에 대한 빈도와 비용을 유추할 수 있음



출처 : 한국도로공사

[그림 4-46] 고속도로포장공사의 하자비용

□ **해외 선진사는 GPS 및 다양한 센서를 이용한 가이던스 시스템을 굴삭기, 도저, 그레이더, 아스팔트 페이버에 적용하여 측량에 소요되는 시수를 절감할 수 있는 솔루션을 제공**

○ 세계적인 측량시스템 공급업체인 Trimble, Topcon, Leica는 각종 건설장비(굴삭기, 도저, 그레이더, 아스팔트 페이버)에 부착하여 작업자에게 작업기(블레이드, 스크레퍼 등) 끝단 정보를 지구좌표계로 변환하여 보여주는 운전자 가이던스 시스템(Machine Guidance, MG)을 출시하였음

- 특히, Trimble은 기존 트랙터 조향장치에 부착하여 자율주행이 가능하도록 하는 Autopilot 시스템을 출시하여 측량시스템을 넘어 농업·토공 분야의 지능화 솔루션 업체로 사업을 확장하고 있음

- 글로벌 건설장비 제작사인 Komatsu와 Caterpillar는 굴삭기와 도저에 대한 자율작업이 가능한 장비를 상용화하였을 뿐만 아니라, 장비간 초연결을 통하여 경험과 노하우 중심의 건설/시공 시장에 토탈시공 서비스라는 새로운 비즈니스 모델을 개척하고 있음

- 자동화 장비의 효과적인 활용을 위해서는 개별적인 장비의 지능화뿐만 아니라, 도로하부 및 포장 공사 현장에서 실시간 품질 측정 및 평가가 수반되어야 현장 상황에 따른 장비 운영이 가능함

- 아직까지 작업품질을 반영한 자동화 장비 운영에 대한 기술 개발은 전 세계적으로 시작단계이기 때문에 국내 도로공사 현장에 적합한 도로 노상 평가 기술과 아스팔트 포장 품질 관리 솔루션 확보를 통한 토탈시공 서비스 확보가 필요함

□ **현재 건설장비 종합 솔루션을 바탕으로 사회 기반 시설에 적용하여 토탈시공 서비스를 확보하는 노력은 국가별로 진행 중이며, 건설장비 지능화 기술 확보가 늦은 국내의 건설기계산업과 종합건설사의 시공경쟁력 확보를 위하여 정부 주도 대규모 투자를 통하여 유관기술의 도약을 유도할 필요가 있음**

○ 향후 건설 및 시공 시장이 자동화 장비와 이를 통한 토탈시공 서비스 위주로 재편될 경우, 국내 건설기업이 해외 글로벌 건설기계기업의 시공 관리서비스를 제공하는 형태로 사업 참여 범위가 축소될 수 있어, 토탈시공 서비스개발을 통한 시공경쟁력 확보방안 마련이 시급함

(2) 개선방안

□ **장비 의존도가 높은 도로공사에 국내 기술축척도가 높은 ICT와 로봇 기술을 적용하여 공정별 작업 자동화 및 자율주행이 가능한 건설장비 기술을 개발하여 각종 센서의 원천기술 부족과 지능형 장비 개발 후발주자의 핸디캡을 극복**

○ 이미 머신 가이던스 기술은 선진국의 건설장비 제작사와 측량시스템 공급업체를 중심으로 많은 기술이 개발되었지만, 전문도로포장 장비에 대한 자율작업 및 경로 추종 주행 기술은 개발 진행 중인 상태

- 대외 경쟁력을 확보하고 있는 ICT 기술과 로봇 기술을 기반으로 기계식 도로포장 장비에 적용 가능한 GPS를 포함한 다양한 센서, 전기모터를 통한 조향 및 구동 제어, 유압시스템에 대한 정밀제어와 통합관제시스템 연계 기술 개발이 필요함
- 자율 주행 차량에 의해 선도되는 경로 추종 주행 기술을 복잡한 도로 주행 환경이 아닌 상대적으로 자율화 기술 적용이 용이한 도로 포장공정에 작용하므로 4차 산업혁명 시대의 스마트 시공 경쟁력 확보 필요
- 머신 가이던스와 자율 작업을 위해 선행되어야 하는 3D 작업면 변환 및 설정 작업을 통합 BIM 기반의 데이터 표준화 및 작업 도면 생성 시스템개발을 통하여 개별 장비별 데이터 변환에 따른 불편함을 해소해야 함

○ 범용 토공 장비인 굴삭기의 경우 국내 제조사와 연계한 지능화 연구가 다양하게 추진되고 있기 때문에 본 과제에서는 통합시스템과 통신을 통한 연계 기술만 구현할 필요가 있음

- 그 외 롤러, 도저, 그레이더 등의 전문도로포장 장비는 작업자의 개입 여지가 많지 않기 때문에 오차범위 최대 2cm 이내의 작업툴 제어와 최대 10cm 이내의 주행 오차를 갖는 고정밀 제어 기술 개발이 필요함

○ 고위험 작업에 대한 작업안정성 확보를 위하거나 자율장비의 문제점 발생 시 원격에서 장비를 조작하는 원격작업 기술을 개발하며 작업자동화 기능을 갖춘 장비를 바탕으로 작업자 현장감 제공을 위한 Lidar, 카메라를 포함한 센서 시스템, 센서 및 제어정보의 원활한 통신을 위해 고속 통신 시스템, 제어 안정성 및 조작감 확보를 위한 원격 제어시스템 개발이 필요

- 작업 자동화의 구현은 비단 작업의 정밀성 확보 측면뿐만 아니라 원격 제어 시 작업자가 감지하기 어려운 복합동작의 피드백을 제어기에서 처리하기 때문에 보다 효과적인 원격 제어 기술을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있음
- 작업 자동화 장비의 오동작 발생 시 원격제어를 통하여 빠르게 장비를 안정화시키고 공정 중 down-time이 발생하지 않도록 조치하는 기술이 필요함

○ 자율주행이 가능한 시공 장비의 작업 자동화를 위한 도로 품질 관리 데이터 측정 및 분석 기술을 확보하여, 불연속적인 공정 단절이 아닌 연속적인 시공을 통해 생산성 향상

○ 별도로 이루어지던 단계별 품질관리 데이터를 계측 및 분석하여 작업 자동화 및 자율주행이 가능한 자동화 장비에 전송하여 최적화된 공사 수행

- 인력으로 수행되는 품질관리를 자동화를 통한 도로 포장 품질 향상
- 현장 자동 품질 계측 및 분석기술 확보를 통한 품질 데이터의 신뢰도 확보
- 도로 공사의 주요 품질관리 항목에 대한 자동화 측정 기술 및 경로 추종 주행기반 측정 장비의 개발
- 포장 품질 확보를 위한 자동 계측 및 경로 추종 주행 시공을 통한 품질관리 정보와 도로 관리 시스템의 연동을 통하여 향후 발생되는 도로 파손의 예방 및 대책 기술 개발

<표 4-34> 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 기술개발(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
■ 작업자 경험 및 숙련도에 의지한 장비 운전 - 시공과정과 별개로 운영되는 측량 정보 - 숙련도에 따라 편차가 큰 작업품질 및 작업시간 - 미숙련 작업자의 효과적인 작업 지원 방안 부재 - 반복적인 장비 수동조작으로 인한 높은 노동강도	■ 센서 및 전자유압제어기술 기반의 작업 자동화 - 작업과 동기화된 실시간 측량정보 확보 - 숙련도에 따른 편차를 최소화할 수 있는 자동 작업기능 - 숙련도 조기 확보를 위한 교육 및 지원기능 - 반복작업 패턴 분석에 기반한 작업 지원 기능
■ 체계적인 장비 운영 및 작업정보 획득 불가 - 장비 고정도 위치, 궤적 등 가동정보 수집 방안 부재	■ 장비 가동 및 작업관련 데이터의 체계적인 수집 - 고정도 장비 위치 및 탑재 센서를 활용한 데이터 수집 - 실시간 장비 시공 품질 정보 확보를 통한 관제 - 주요 부품 수명예측 및 가동정보를 바탕으로 한 유지보수 체계 수립
■ 위험 공종 작업 시 작업자 위험 노출 - 원격제어, 능동 안전 관리 등 기술 부재	■ 위험 지역 및 공종 작업을 위한 원격 제어 시스템 - 작업 조작성 확보를 위한 5G 기반 통신시스템 - 편의성 및 현장감을 갖는 작업자 인터페이스 - 조작성 및 안정성을 갖춘 직감형 원격 제어 기술
■ 건설 장비 경로 추종 주행 및 작업 자동화체계 전무	■ 도로포장 장비에 대한 AI 기반 작업 자동화기술 확보 - AI 기반 장비별 경로 추종 주행 기능 확보 - 장비 간 통신 기반의 협업기능
■ 시공과정의 작업품질 측정 체계 및 시스템 - 샘플링 및 수작업에 의한 품질 측정 - 초기도입 단계인 레이저 스캐너 기반 형상 측정	■ 시공장비 연동 도로 품질관리 데이터 측정 기술 - 자동화된 품질 측정 기술 및 분석 시스템 - 자율주행 플랫폼 기반의 데이터 수집 장비



[그림 4-47] 지능형 건설장비 관제 기술 (AS-IS/TO-BE)



[그림 4-48] 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 (AS-IS/TO-BE)

4.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

○ 인프라 건설부분에서 고령화와 숙련자 확보의 어려움을 극복하고 작업측량 공정 제거를 통한 시수 절감과 생산성 향상을 위하여 ICT 기술과 로봇 기술을 적용함으로써 롤러, 도저, 그레이더에 대한 작업 자동화, 자율주행 및 원격제어 기술을 확보 - 고정밀 작업 가능 건설 장비 생산성 향상 기술 개발

○ 도로 시공의 작업 연속성을 확보하기 위하여 작업 자동화장비와 첨단센서를 활용하여 도로 하부층의 다짐도 및 함수비 관리, 아스팔트 혼합물 이송 품질 관리 및 다짐 품질 확보를 포함한 도로포장 자동화 품질 관리 및 확보 시스템 개발 - 시공 장비 연동 도로포장 품질 관리 및 향상 기술 개발

(2) 기술개발 목표

○ 도로 포장의 품질을 실시간으로 측정 및 분석하고 자동화된 시공 장비와의 연동을 통하여 시공 작업 연속성 확보

- 재료 품질정보, 시공정보 및 시공 품질정보의 지연은 공사의 효율적인 관제 및 자율작업 장비의 운용 효율성을 저하시키므로 도로 품질관리 데이터 수집 및 빅데이터 구축을 통한 표준화된 작업 공정 기술 확보
- 도로 하부층(노체, 노상, 보조기층) 자동 다짐 건설장비 개발을 위하여, 국내 건설환경에 부합한(토질, 장비, 기상 등) 다짐도 측정 기술 개발
- 함수비는 도로 하부의 지지력에 영향을 미치는 가장 큰 요인이며, 이를 현장에서 실시간으로 관리할 수 있도록 함수비 측정 및 분석 기술 개발
- 도로포장 품질분석을 위한 위치 정보 제공을 위하여 도로공사 현장 내 고정밀 실시간 GPS 측위 기술 및 한국형 실시간 보정신호 활용기술 개발
- 실시간 토공 공정 업무(성·절토량 관리 및 계획) 업데이트 및 이상유무 확인을 위한 CPS 기반 실시간 성토-다짐 작업 최적화 기술 개발
- 아스팔트 혼합물의 이송 품질 유지 및 관리 기술 개발

- 현장 조건을 고려한 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 패턴 실시간 최적화 기술 개발
- 시공 요소와 포장 성능의 상관성 분석을 통한 시공 품질 향상 기술 개발

<표 4-35> 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 기술개발 방향

개발내용(구성기술)	개발내용(세부기술)	기술개발방향
고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설장비 제어 기술 개발	도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 기술 개발	■ 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정 도출 ■ 통합관제시스템 연동 장비별 데이터 표준화, 시공 계획, 작업 도면 생성 시스템 개발 ■ GPS, 센서 융합을 통한 고정밀 위치 인식 기술 개발 ■ 전자유압시스템을 적용한 고정밀 유압제어 기술 개발 ■ 작업자 편의성 향상 인터페이스 개발(판넬, 조작기) ■ 고위험 공정 및 작업 자동화 예외처리를 위한 원격 제어 기술 개발
	AI 기반 경로 추종 주행 기술 개발	■ Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 시스템 개발 ■ 장비별 경로 추종 주행을 위한 조향 제어 및 구동부 전자제어시스템 개발 ■ 환경인식 기반 경로 생성 시스템 개발 ■ 수작업자 작업 이력 기반 자율 작업 기술 개발
시공장비 연동 도로포장 품질관리 및 향상 기술 개발	포장 하부층 지능형 성토-다짐 관리 기술 개발	■ 국내 건설환경에 부합한(토질, 장비, 기상 등) 다짐도 측정 기술 개발 ■ 다짐장비 연동 실시간 함수비 측정 기술 개발 ■ 도로포장 품질분석을 위한 고정밀 실시간 GPS 측위 기술 개발 ■ CPS 기반 성토-다짐 통합품질관리 시스템 개발
	아스팔트 포장 시공 실시간 최적화 기술 개발	■ 아스팔트 혼합물의 이송 품질 유지 및 관리 기술 개발 ■ 혼합물의 다짐 방법 및 패턴 실시간 최적화 기술 개발 ■ 시공 요소와 포장 성능의 상관성 분석을 통한 시공 품질 향상 기술 개발

4.5 국내외 기술개발 동향

○ 해외 주요 건설장비 제작사의 경우 범용장비인 굴삭기를 중심으로 다양한 장비에 대한 머신 가이던스와 더불어 자율작업이 가능한 장비 상용화를 진행하고 있는 반면 Trimble, Topcon, Leica와 같은 센서 솔루션 공급업체는 머신 가이던스(MG) 기술을 위주로 한 After-Market용 제품을 중심으로 상용화를 진행하고 있음

- Komatsu의 경우 5종의 지능형 굴삭기, 17종의 지능형 도저를 출시
- Caterpillar의 경우 Accugrade, Grade with 3D, Grade with Assist, Grade with Cross slope, Grade with depth & slope, Grade and slope, Grade with slope assist의 다양한 자동화 단계의 제품을 도저, 굴삭기, 트랙터, 그래이더, 아스팔트 페이버, 스키드로더에 적용하여 판매

(1) 해외동향

□ 도로포장 머신 가이던스(Machine Guidance, MG) 기술 동향

○ Topcon사는 내비게이션 시스템을 활용한 3D machine control 장치를 개발하여 정지 작업에서의 배토판 높이 제어로 고저차가 큰 현장 등 복잡한 현장에서 실시간으로 절토량 등의 작업 상황을 확인할 수 있도록 하고, 후진 시공 시 운전자의 후방확인 집중도를 향상시켜 작업 안전성을 향상시킴

- Caterpillar사는 CAT Grade라는 기술 상품명으로 도저 위치에 따라 배토판의 높이 및 방향을 자동으로 조절할 수 있는 기술을 상용화하여 제품에 적용하고 있음
- 최근에는 IMU(Intertial Measurement Unit)를 사용하여 기존 배토판 양쪽에 GPS 안테나 고정을 위한 폴을 설치하는 불편함을 해소하는 제품을 출시함
- Komatsu사의 경우 도저의 이동 시 발생하는 미끄러짐 및 배토판에 가해지는 압력정보를 추가로 활용하여 배토판의 방향 및 각도 조절을 가능하도록 하는 제어 기술을 개발하여 많은 양의 토사작업이 필요한 초기 작업공정에서의 MG/MC 활용률을 기존 10~20%에서 상당폭 향상시킨 제품을 출시함

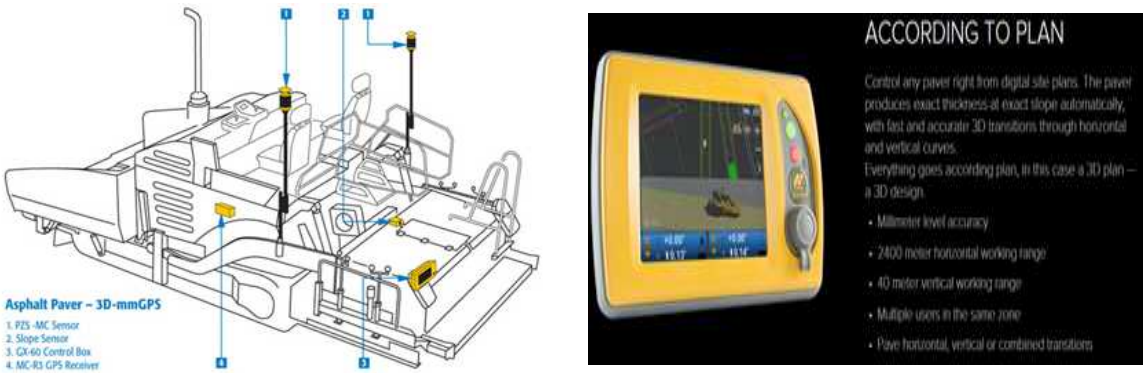


[그림 4-49] Komatsu Intelligent Dozer Series



[그림 4-50] CAT GRADE WITH 3D

○ 일본 Topcon 사는 도로 포장 및 품질관리에 필요한 센서모듈 시스템을 다수 보유하고 있음. 3D-MC Asphalt 장비를 통해 도로 포장 차량의 위치 및 도로의 경사 등의 정보를 제공하고, 이를 통해 운전자는 포장차량을 쉽게 제어할 수 있음



[그림 4-51] Topcon사의 3D-MC asphalt control box

□ 자율작업 및 자율주행기술 동향

○ 독일 MOBA 사의 MOBA-matic II는 아스팔트를 평탄하게 paving할 수 있는 장비로, Ultrasonic sensor를 통해 비접촉식으로 노면을 스캔하며, rotary sensor 및 slope sensor로 포장면의 height와 slope를 제어함

- 노면의 온도를 실시간으로 sensing하여 제공함으로써 아스팔트의 상태에 따른 적합한 공정 시간을 선정할 수 있게 하여 포장면의 quality를 확보함





[그림 4-52] MOBA사의 MOBA-maticⅡ

○ AI 기반 자율 주행 및 작업 기술의 경우 농업용 트랙터 위주의 연구가 진행 중임. 농촌진흥청은 그동안 국내에서 연구된 농기계의 자율주행 기술이 조기 실용화될 수 있도록 테스트베드를 구축하고 인공지능을 적용하는 등 자율주행기술 고도화를 추진하고 있음

- 농림축산식품부와 공동으로 상용화 연구사업단을 운영, 2019년까지 Level 2(자율주행), 2020년까지 Level 3(자율작업)을 실현할 수 있는 트랙터의 상용화 기술을 개발 중임

- 건설기계에 대한 자율 주행과 자율 작업 기술은 국내·외적으로 활발하게 연구진행 중이지만, 아직까지 상용화는 이루고 있지 못함



[그림 4-53] HAMM Autonomous Roller 개념도

- Volvo사는 2015년부터 대학과 공동연구를 통해 채석장에서 운용되는 모든 건설장비의 동력을 전기로 전환하는 시범연구를 수행하고 있으며 이의 일환으로 자율주행기능을 갖춘 배터리 타입의 운반차량을 개발하였으나 자율작업기능은 운반차량의 주행기능에 한정됨




[그림 4-54] Volvo사의 배출가스제로 채석장(개념도, 좌) 및 자율주행기능을 갖춘 운반차량(우)

○ 대형 광산에서 주로 사용되는 대형 트럭(Haulage truck)의 경우 KOMATSU, Caterpiller, Hitachi와 같은 주요 제조사는 Rio Tinto 등 대형 광산업체와 함께 트럭 운영의 원격 관제로부터 시작하여 자동화 시스템 기술개발을 지속해 옴

- KOMATSU사는 2016년 고정도 GPS, 장애물 탐지 기능과 더불어 무선통신 시스템을 탑재하여 자율주행을 가능하게 하는 AHS(Autonomous Haulage System)을 출시함
- 그러나 해당 기술은 작업자가 적고 이동공간은 큰 대형 사업장에 적합하며 제조사별로 독립적인 시스템을 갖추고 있어 일반적인 건설 환경과는 차이가 있음



[그림 4-55] KOMATSU에서 공개한 자율주행기능을 갖춘 광산용 대형 트럭

○ CNH Industrial사에서는 2016년 정밀농업 및 농업자동화를 위한 기술개발 일환으로 자율주행기능을 갖는 트랙터의 프로토타입을 개발하였으며 운전자가 필요 없는 형태 및 자동작업에 부적합한 작업을 수행하기 위해 작업자 탑승 공간을 구비한 서로 다른 트랙터를 개발함

- 자동 조향기능을 위해 위성으로부터 보정신호를 받는 고정밀 GPS, 정보 전송을 위한 텔리매틱스(Telematics) 기능을 활용하며 장애물 탐지를 위해 레이다, 라이다, 카메라 등의 센서를 활용함

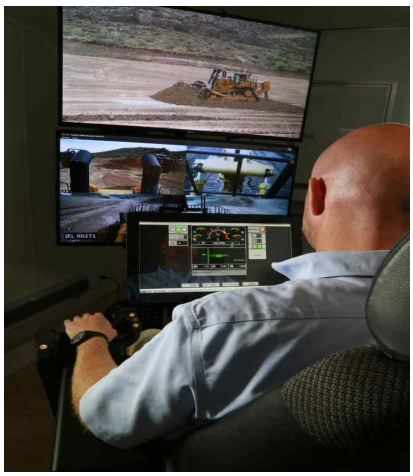


[그림 4-56] CNH Industrial사의 자율주행 개념의 트랙터 프로토타입

□ 원격제어 기술 동향

○ 원격제어 기술과 자동작업기술을 이용하여 굴삭기를 시작으로 도저까지 원격으로 조종할 수 있는 원격제어 굴삭기와 도저는 Komatsu와 Caterpillar에서 상용화하였으며, 운전자의 위험요소를 제거한 상황에서 무인시공을 가능하게 함





[그림 4-57] Komatsu D155AXi-8 Dozer(左), Caterpillar D11T 원격제어스테이션 (右)

□ 실시간 도로 품질 평가 기술 동향

○ 일본의 Topcon사는 도로포장 시 차량에 스캐너를 탑재하고 주행하며 도로포장면을 실시간 스캔하여 밀링구간을 파악함. GPS와 초음파 거리센서 등을 융합하여 자동으로 아스팔트 밀링머신을 제어함

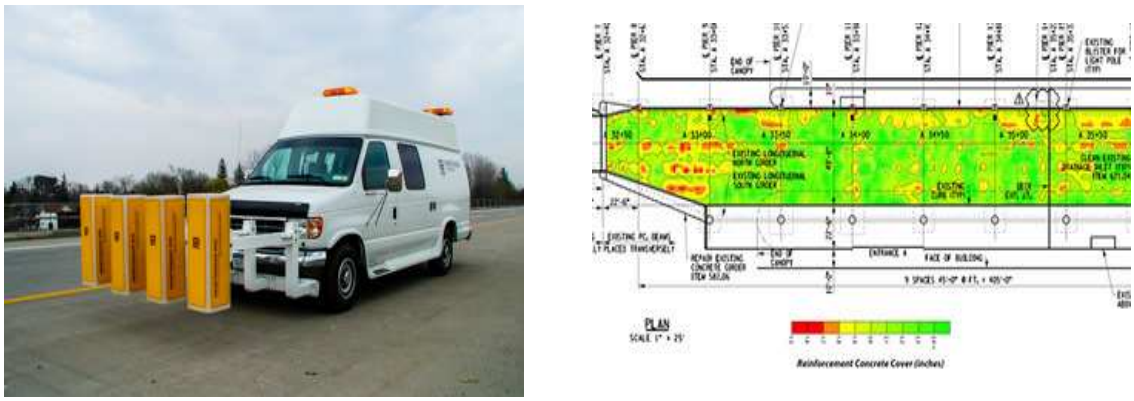


[그림 4-58] SmoothRide Solution 개념도

○ 미국의 도로 사업에서는 FHWA(Federal Highway Administration: 미국 연방 도로청)나 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials : 미국 도로교통 운수 행정관 협회)에서 정보화시공의 추진을 향한 계획이 책정되어 있고 머신 컨트롤 시스템이나 면(面)적인 시공 관리에 대한 관심이 높아지고 있음

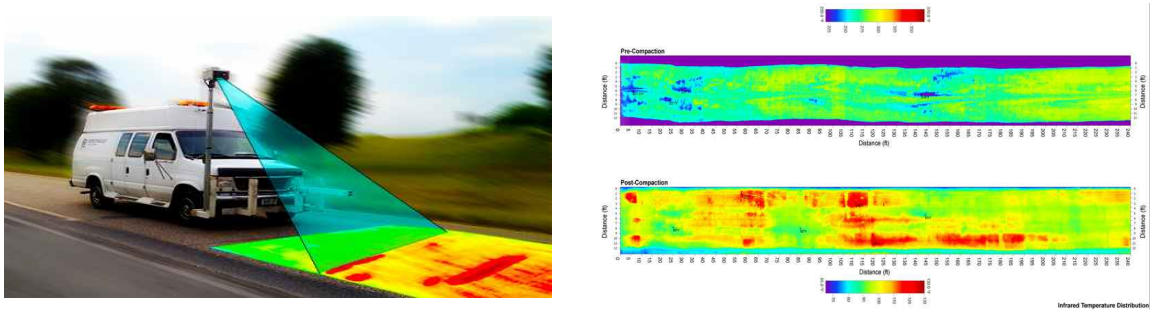
- 미국의 PenetLidar사는 도로포장 품질 평가를 위해 지표투과레이더(GPR; Ground Penetrating Lidar), 적외선 열화상(IRT; Infrared Thermography), 고해상도 이미지(HRI; High Resolution Imaging) 등의 다양한 방법을 이용

- GPR: 지표투과레이더를 이용한 검사장비로 포장층의 두께, 공극 및 수분 탐지가 가능하며, 고속 측정이 가능



[그림 4-59] Ground Penetrating Lidar(GPR) 장비 및 측정 데이터

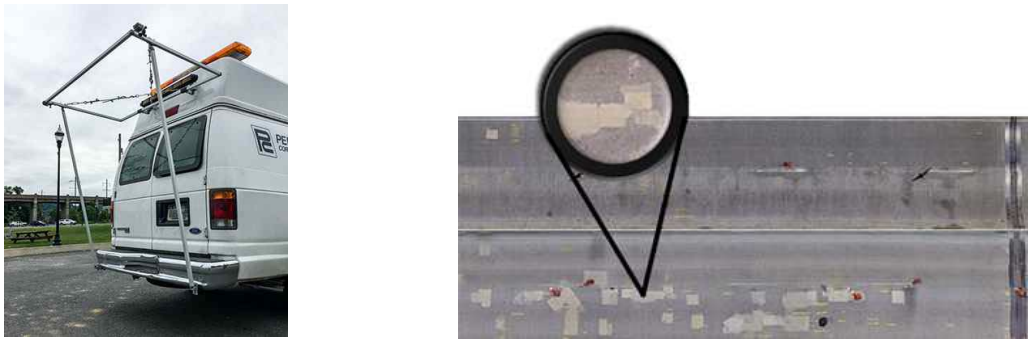
- IRT: 고해상도 적외선 열화상 이미지를 이용한 검사장비로 포장도로의 층간 박리, 콘크리트 열화, 공극 등 탐지 및 HMA 포장 작업 시 온도 모니터링이 가능



출처: www.penetLidar.com

[그림 4-60] Infrared Thermography(IRT) 장비 및 측정 데이터

- HRI: 4k 이상의 초고해상도 이미지를 60fps의 영상 레코딩을 통해 도로품질을 검사하는 장비로 포장면의 균열, 파손 등을 검사하며, GPR 또는 IRT 장비와 같이 사용



출처: www.penetLidar.com

[그림 4-61] High Resolution Imaging(HRI) 장비 및 측정 데이터

- Volvo 사는 세계 최초로 실시간으로 포장층의 밀도를 측정하는 지능형 압축(IC: Intelligent Compaction) 시스템을 발표하였으며, Density Direct라 불리는 포장층의 밀도, 경로, 온도 등을 컬러맵을 통해 디스플레이 가능한 안드로이드 기반의 터치 스크린 제공



출처: www.penetLidar.com

[그림 4-62] Volvo사의 Intelligent Gompaction(IC) 시스템

(2) 국내 동향

□ 머신 가이던스 기술 동향

○ 국내건설기계는 굴삭기와 지게차 위주로 생산되고 있기 때문에 굴삭기 중심의 머신 가이던스 및 작업 자동화 기술 개발이 이루어지고 있음. 하지만 해외 선진장비보다 머신 가이던스 및 머신 콘트롤 장비의 상용화가 늦어지고 있음

- 현대건설기계는 '18년말 머신 가이던스 굴삭기를 상용화하였으며 '20년까지 머신 가이던스와 관제 기술을 접목한 미래형 건설플랫폼 '스마트 컨스트럭션'을 구현할 예정임
- 두산인프라코어는 '18년 10월 머신 가이던스 굴삭기를 상용화할 예정임
- 영신디앤씨는 경사계 및 수평 레이저 조사장치를 활용한 2D 기반의 굴삭기용 머신 가이던스 시스템을 개발하였으며, 자사 공사 현장을 비롯한 건설사 공사 현장에서의 시범적용을 일부 추진하고 있음
- 2D 머신 가이던스 시스템은 수평 레이저 조사장치의 기준값을 바탕으로 굴삭기 버킷의 위치 정보를 운전자에게 보여주는 시스템이며 고정밀 GPS 장착을 통해 굴삭기의 3차원 위치정보를 추가로 활용할 경우 3D 머신 가이던스 시스템으로 불림

○ 국내의 경우 일부 굴삭기 운전자 또는 건설사가 보유한 일부 장비에 외산 2D 가이던스 장비를 장착하여 운용하고 있는 상태로서, 비교적 고가인 3D 가이던스 장비의 경우 활용비율이 극히 낮음



[그림 4-63] 머신 가이던스시스템을 탑재한 현대건설기계 굴삭기 내부

□ 작업 자동화 및 자율주행기술 동향

○ 건설기계부품연구원은 굴삭기 작업 자동화를 위하여 작동 압력 350bar급 전자유압시스템을 적용한 20톤급 굴삭기 작업 자동화 기술을 개발하고 있음. 이를 위해 풀 전자유압시스템의 구축, 작업환경 및 위치인식기술 개발, 작업 생산성 및 편의성 향상을 위한 작업자 UI 개발 등을 진행하고 있음

- 주요 굴삭기 제조사인 두산인프라코어 및 현대건설기계 또한 작업 자동화 기능 개발을 위한 관련 연구를 내부적으로 진행하고 있으나 해외 주요 선진사 제품에 채용된 일부 작업의 자동 보조기능을 위한 전자유압시스템 및 유압제어기술에 초점을 맞추고 있어 해외기술수준과는 어느 정도 격차를 보이고 있음



출처: 건설기계부품연구원

[그림 4-64] 굴삭기 작업 자율화

□ 원격제어 기술 동향

○ 두산인프라코어는 무인자율 기술 개발을 위해 5G 기반의 건설기계 원격제어 기술을 '18년 안에 개발할 계획으로 최근 통신사와 스마트 건설사업협력을 위한 MOU를 체결함

- 엣지 컴퓨팅(Edge computing)을 이용한 데이터 전송시간 단축을 활용한 초저지연 영상 송신을 통해 원거리 관제센터에서의 원격작업기술을 개발하기로 함

○ 현대건설기계는 ’19년 4월독일 뮌헨 ‘바우마(BAUMA) 2019’에서 엔진 원격진단 서비스 기술을 소개하였으며 향후 AR을 통하여 엔진 고장 부위 및 정비 절차를 공객들에게 제공할 예정임

□ **실시간 도로 품질 평가 기술 동향**

○ 한국건설기술연구원은 “텔레매틱스를 활용한 지능형 성토다짐관리시스템 개발” (2006~2009) 연구과제를 진행하였고, 에이케이티공간정보(주)는 2011년 U-Roller 성토다짐시스템 상용화제품을 개발함



출처: 한국건설기술연구원

[그림 4-65] 지능형 성토다짐관리시스템

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ **(구성기술 1-3-1) 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발**

○ 해외 건설장비의 자율작업에 대한 기술수준은 이미 상용화 단계까지 도달하였지만, 도로포장 전 공정에 대한 통합제어솔루션은 일부 기능위주로 상용화가 진행되고 있음. 하지만 자율주행이 가능한 도로포장장비는 아직 시작품단계임

- 국내 건설장비의 자율작업 기술과 자율주행 기능은 연구단계임

<표 4-36> 도로건설장비 자율작업 제어기술 관련 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	도저, 그레이더, 페이버의 머신 가이던스 장비 상용화	지능형 굴삭기에 대한 연구과제 진행 중
TRL단계	9단계	5단계
기술성숙도	상용화 단계	시작품 단계
주요 성능	■ 도저, 스크레퍼, 롤러, 페이버에 대한 Grade control 상용화 ■ 포장층의 밀도, 경로, 온도 등을 컬러맵을 통해 디스플레이	연구단계

□ (구성기술 1-3-2) 시공장비 연동 도로품질 관리 및 향상 기술 개발

○ 해외 도로포장 실시간 품질 관리 기술은 아스팔트/콘크리트 및 포장 하부층에 대한 상용화가 일부 진행되고 있음

○ 국내 도로포장 실시간 품질 관리 기술은 최근 체계적인 기술 개발 필요성을 공감하고 아스팔트 및 콘크리트 포장 품질 관리에 대한 연구가 진행되기 시작함. 국내 여건에 맞는 현장 친화적인 품질관리 기술개발에 대한 독자연구개발을 통하여 해외 스마트 시공 솔루션과 차별화 필요

<표 7-37> 도로포장 품질 관리 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	■ 아스팔트와 콘크리트 도로에 대한 상태탐지 기술 상용화 ■ 아스팔트 포장층 밀도측정 장치 상용화	지능형 굴삭기에 대한 연구과제 진행 중
TRL단계	9단계	5~6단계
기술성숙도	사업화 단계	시작품 단계
주요 성능	■ 도로포장 품질 평가를 위해 지표투과레이더, 적외선 열화상, 고해상도 이미지 등의 다양한 방법을 이용 ■ 고해상도 적외선 열화상 이미지를 이용한 검사 장비로 포장도로의 층간 박리, 콘크리트 열화, 공극 등이 탐지 ■ GPS와 소닉센서 등을 융합한 블레이드 제어	연구단계

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

<표 7-38> 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 기술 관련 국내 타 연구과제와의 차별성

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트시공 기술 개발	국토교통 과학기술 진흥원	굴삭기 위주의 머신 가이던스 기술 개발 굴삭기, 도저, 덤프에 대한 관제시스템 기반 기술 개발	굴삭기 외의 다양한 건설장비에 대한 자율 작업 기술 및 경로 추종 주행 기술 개발
전자유압시스템을 적용한 20톤급 굴삭기 작업 자동화 기술 개발	한국 산업기술평 가관리원	굴삭기에 대한 머신 컨트롤 기술 개발	다양한 건설장비에 대한 자율 작업 기술 및 경로 추종 주행 기술 개발
지능형 굴삭시스템 개발	국토교통 과학기술 진흥원	굴삭기 작업 자동화를 위한 요소 기술 및 시스템 개발 원격작업 기반 기술 개발	해당 요소 기술을 향상시킨 전자유압시스템 개발을 통한 고정밀 유압 제어기반 작업자동화 기능 개발
텔레매틱스를 활용한 지능형 성토다짐관리시스템 개발 (2006~2009)	국토교통 과학기술 진흥원	국내 최초로 프로토타입의 지능형다짐관리시스템을 개발하여 현장에 적용하고자 하였으나, 현장 근로자의 신기술에 대한 인식 부족과 프로토타입 지능형 다짐시스템의 현장 적용성 한계로 인해 지속적인 현장 적용에 어려움	기존 연구결과를 바탕으로 지난 10년간 눈부신 발전을 이룩한 첨단 IT와 센서 기술을 지능형 성토다짐기술 개발에 적용하여 현행화하고 실용화 추진(TRL 7 이상의 실용화 가능한 다짐도 평가장치 개발 및 최적의 다짐평가 알고리즘 개발)
IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발 (2019~2023)	국토교통 과학기술 진흥원	포장 상부층(기층, 중간층, 표층)만 고려하고 있으며, 목표 기준에 대한 pass/fail 형태의 자동화 기술	포장 하부층(보조기층, 노상, 노체)에 대한 내용을 포함하고 있으며, 단순 목표 기준을 벗어나 현장 환경을 고려한 실시간 최적화 이송 및 다짐에 필요한 정보 제시

4.6 세부개발 내용

<표 7-39> 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화기술의 한계점 및 기술개발 방향

개발내용(구성기술)	한계점	기술개발방향
고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설장비 제어 기술 개발	■ Off-Line 시공정보전달 및 수동제어 ■ 경험적 시공방법, 표준화 시공 부재 ■ 산재된 공사장에 대한 지속적 공정, 품질, 안전관리 어려움 ■ 노후 장비로 인한 down-time 발생 ■ 다종장비 토탈솔루션 부재	■ 롤러, 도저, 그레이더의 도로건설장비 작업 자동화 및 원격 제어 기술을 통한 생산성 향상 - 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정 도출 - 통합관제시스템을 통한 장비별 통신 데이터 표준 - BIM을 통한 시공 계획과 작업지시 - GPS, 센서 융합을 통한 고정밀 위치 인식 기술 적용 - 전자유압시스템을 적용한 고정밀 유압제어 기술 적용 - 작업자 편의성 향상 인터페이스 적용 - 고위험 공정 및 작업 자동화 예외처리를 위한 원격 제어 기술 적용 ■ 다중 롤러에 대한 AI 기반 경로 추종 주행 기술 적용 - 환경 인식 시스템 적용을 통한 능동형 안전관리 및 자율주행 기술 적용 - 환경인식 기반 경로 생성 시스템 개발 - 수작업자 작업 이력 기반 자율 작업 기술 개발 - 간척지 매립 작업 자동화 시범사업 ■ 도로 포장 품질 검사 장비와 연동 기술
시공장비 연동 도로 포장 품질 관리 및 향상 기술 개발	■ On-Site 품질 관리 방법의 부재 ■ 샘플링 포인트에 대한 품질 관리에 따른 불확실성 존재 ■ 재료 검사, 시공 품질 검사에 시간 소요에 따른 공정 지연 존재 ■ 아스콘 관리 시스템 부재	■ 노상 품질 관리 데이터 측정기술 개발을 통한 생산성 향상 - 국내 건설환경에 부합한(토질, 장비, 기상 등) 다짐도 측정 기술 개발 - 다짐장비 연동 실시간 함수비 측정 기술 개발 - 도로포장 품질분석을 위한 고정밀 실시간 GPS 측위 기술 개발 - CPS 기반 성토-다짐 통합품질관리 시스템 개발 ■ 아스팔트 포장 시공 실시간 최적화 기술 개발 - 이송 품질 실시간 유지 관리 기술 개발 - 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 패턴 실시간 최적화 기술 개발 - 시공 요소와 포장 성능 상관성 평가 기술 개발

(1) 구성기술별 기술개발 방향

□ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 기술을 통한 생산성 향상

○ 글로벌 건설장비 제작사인 Komatsu와 Caterpillar는 건설장비의 지능화를 통한 토공 토탈 솔루션 서비스라는 새로운 시업분야를 개척하고 있음

- 작금의 토목·건축 분야는 비효율적인 인력중심의 산업에서 IoT 및 ICT 기술을 바탕으로 한 첨단 장비 중심의 산업으로 변화되어, 생산성을 비약적으로 향상시킴과 동시에 열악한 근로환경을 개선하여 인명사고가 없는 안전하고 깨끗한 산업으로, 첨단 고부가가치 산업으로 변화되는 출발점에 있음
- 전통 건설장비에 머신 가이던스 기술을 접목한 수동 장비와 ICT 기술을 통한 작업관제시스템의 적용만으로도 생산성을 높일 수 있는 것으로 파악됨.
- 국내 유력토공사에서는 머신가이던스 장비적용만으로 20% 이상의 시수절감을 이루었다고 함

○ 이에 국내 굴삭기 제조사는 머신 가이던스 장비 출시를 서두르며 머신 컨트롤 장비의 상용화 연구에 노력하고 있음

- 국내 D사와 H사는 ’18년 하반기에 머신 가이던스 장비 출시를 목표로 함

□ 포장 하부층 지능형 성토-다짐 관리 기술 개발을 통한 생산성 향상

○ 도로의 공용 수명을 확보할 수 있는 자율 및 자동화 현장 시공 기술 개발에 필요한 품질관리 계측 및 분석 기술 개발

- 도로 하부층 시공 장비에서 발생되는 품질관리와 연계된 디지털 검측 자료 계측 및 분석 기술 개발
- 도로하부 공사 과정의 품질관리 연계 자료의 디지털화를 통하여 현장 대응 자료로 즉시 활용될 뿐만 아니라, 도로 품질에 대한 유효한 데이터의 축척으로 향후 도로 유지 보수에 활용

□ **실시간 최적화 이송 및 다짐 기술 및 성능 지배 시공요소 도출을 통한 차세대 스마트 건설 핵심 기술 확보**

○ 아스팔트 포장의 시공 품질 및 성능 유지를 위하여 현장 조건을 고려한 실시간 최적화 생산, 이송 및 다짐 방법 제시

- 아스팔트 혼합물에 대한 실시간 이송 품질 유지 및 관리 기술 개발
- 현장 조건을 고려한 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 패턴 실시간 최적화 기술 개발
- 시공 방법과 포장 성능의 상관성 분석을 통한 시공 품질 향상 기술 개발

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

○ 전통적으로 3D 업종으로 인식되어온 건설 산업은 최근 젊은 기능 인력의 건설현장 기피 현상이 심화되면서 숙련된 기능 인력의 확보가 더욱 힘들어지고 있는 현실임

- 정부와 산업계는 생산체계 혁신을 핵심이슈로 인식하면서도 국내 건설현장의 현안으로 기능인력 수급의 해결이 시급함에도 불구하고 이에 대해서는 별다른 대책을 내놓지 못하고 있음
- 일본의 건설업계는 기계화·자동화 기술적용을 통해 2015년부터 10년간 343만 명의 기능공을 2025년까지 127만 명(37%)으로 감축시키기로 함.

  * 닛케이 아키텍처(일경건축)(2017), 로봇이 건설현장을 구한다(2017년 9월호)

- 더욱이 최근 정부가 추진하고 있는 주당 근로시간의 52시간제한으로 인해 건설현장의 기능인력 수급 문제는 더욱 대두될 것임

○ 도로포장공사는 선형적이고 반복적인 공사로 공사의 특성상 건설장비에 대한 의존도가 높지만, 장비의 운영 지능화 부족에 따른 생산성 저하, 공정별 시공정보의 미축적에 따른 정보 단절과 공정 준비 비용이 지속적으로 발생하고 있음

- 도로공사의 시공은 각각의 공정마다 반복적인 측량을 통하여 유도말뚝(pack) 및 유도선(string)을 설치 후 이를 기준으로 작업자의 개별적인 경험과 능력에 따라 작업되기 때문에 재작업 및 품질관리가 어려움

- 유도말뚝을 육안으로 확인하며 시공 높이의 정도를 확보하기 위해 장비 운전자의 경험도 중요하지만 정확한 기준점 설정을 위해 많은 인력이 투여되는 비효율적인 측량과 표식 설치가 반복됨

- 유도선을 추종하는 접촉식 시공 방법은 온도변화에 따른 유도선의 신축 때문에 근본적으로 정밀한 높이 추종이 불가능함

○ 도로포장공사에 적용되는 장비 작업 시 측량착오, 운전자 숙련도에 따른 시공 품질 편차 증대에 따른 재시공 증가

- 도로건설 작업 시 수작업 측량을 통해 규준틀을 설치하고 토공작업을 하고 있으며, 육안에 의존한 시공으로 건설장비 운영자의 숙련도에 따라 작업 품질의 차이가 크게 발생함

- 품질 확보를 위해서는 여러 차례의 반복 측량을 통한 관리 지원이 필수적으로 요구되어 공사비가 과다 투입되는 문제가 있음

- 아울러 측량 착오와 기준 미달에 의한 재시공이 빈번히 발생하고 있기 때문에 도로 시공이 불필요하게 보수적으로 작업이 이루어지고 있어 측량지연으로 인한 장비 대기시간이 길어지고, 검측에 소요되는 시간 역시 공사 원가에 상당한 영향을 미치고 있음

○ 위험 혹은 유해한 작업 환경에서 운용되는 장비의 경우 장비 운전자가 직접적으로 위험에 노출되기 때문에 이런 환경에서 생산성과 작업 안전을 확보하기 위해서는 원격제어 기술이 적용된 자동화 장비 이용이 필요함.

- 간척지의 다짐 및 복토공사, 지뢰 및 폭탄 등에 의한 폭발의 위험이 있는 장소에 대한 토공작업이나 다양한 복구 작업장이 원적제어기술이 필요한 환경임

○ 유럽 및 미국 등은 아스팔트 포장의 시공에 활용되는 인텔리전트 페이버 및 컴팩션이 다수 개발되어 현장에 사용되고 있으며, 이를 통해 공사의 품질관리 일관성 확보와 수명 연장에 기여하고 있음

- 기술적인 측면에서 노후 및 신규 도로포장에 대한 포장정밀도를 향상시켜 종방향 평탄성을 확보할 수 있는 기술개발이 기대됨

○ 현재까지 최고 수준의 포장시공 시스템은 입력된 도면 정보를 바탕으로 GPS와 각종 센서 모듈을 통하여 시공 정확도를 높이고 생산성을 높이고 있음

- 하지만 시공면에 대한 지형정보만을 측정하고 이를 기준으로 시공하고 있기 때문에 공정별 품질 검사(다짐도, 함수율, 평탄도 등)를 별도로 수행해야 함
- 검사로 인한 공정의 단절을 제거하여 자동화 장비의 생산성을 극대화하기 위하여 시공과 동시에 품질을 평가하여 시공계획을 재수립하는 시공 품질 관리 기술이 필수임
- 도로 노상 다짐도, 도로 하부 지지력 평가, 하부 평탄성 측정 및 분석 기술 개발이 필요함

○ 또한 포장의 가장 중요한 재료에 대한 생산에서부터 포설까지 체계적인 관리 시스템을 구축하여 최상의 아스팔트 포장 품질을 유지해야 함

- 이러한 ICT 융합 기술과 AI 기반 자동화 기술 개발을 통하여 도로포장공정의 인력 수요를 획기적으로 줄이고, 단순기능인력 위주의 일자리를 공정 관리 등의 고부가가치 일자리로 전환함으로 3D 기피 업종이 아닌 첨단 업종으로 사회적 인식의 전환을 유도함

□ **개발내용**

(구성기술 1-3-1) 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발

○ ICT 기술과 로봇 기술을 적용함으로써 건설장비*에 대한 작업 자동화, 자율주행 및 원격제어 기술 개발

*적용대상 : 롤러(진동, 마카담, 타이어, 단뎀), 도저, 그레이더

기술 \ 대상	롤러	도저	그레이더
작업 자동화	○	○	○
경로추종 자율주행	○	○	○
포장품질	○	×	×

- 지능형 건설장비 관제 기술과 연계한 자동 작업 공정 도출 및 자동 작업 평가 기술 개발
  - 공정 분석을 통한 현 수준 분석 및 생산성에 따른 자동작업 우선순위 도출
  - 자동 작업 적용에 따른 자동 공정 정의 및 적정 대가 기준 마련
- 통합관제시스템 연동 장비별 작업지시 시스템
  - 통합관제시스템 연동을 위한 데이터 표준화
  - 2D 시공 도면에 대한 3D 시공 자동 변환 시스템 개발
  - 작업지시에 대한 개별 시스템의 작업 플랜, 경로 계획 생성
  - 예상 작업 시간 도출

- 도로건설장비 주행 제어를 위한 현장 위치 측위 센서 융합을 통한 작업기 위치 인식 기술 개발

  · GPS, LVDT(Linear Variable Differential Transformer), Accelerometer, IMU (Inertial Measurement Unit), Linear & Rotary Encoder, Inclinometer, Pressure sensor 등의 다중 센서 융합을 통한 작업기 및 장비 위치 인식 기술 개발

- 전자유압시스템을 이용한 부하변동을 고려한 고정밀 작업 제어 시스템 개발

  · 고정밀 작업기 제어가 가능한 블레이드 및 버킷 정밀 제어 시스템 개발 (롤러, 도저, 그레이더)

  · 가상유도선(Virtual String) 추종을 위한 작업기 길이 측정 및 추종제어 기술개발

- 작업자 편의성 향상 인터페이스 및 직감형 원격제어 기술 개발

  · 개별 장비 작업 특성 분석을 통한 사용자 UI 컨텐츠 설계 및 개발, 음성 안내 시스템 등 직관적 사용자 편의장치 개발

  · HUD(Head Up Display) 기반 작업자 정보 시각화 시스템 개발

  · 실시간 작업생산성(효율, 소요시간, 경로 등) 계산 및 장비 상태 진단/모니터링 기술 개발

- 경로 추종 주행 및 자율 작업을 위한 전자제어시스템 및 작업 경로생성시스템 개발

  ※ 핵심기술1-1, 1-2에서 도출된 작업계획을 기준으로, 현장 토질 및 작업 환경을 고려한 건설 장비 운영을 위한 실작업 경로 생성(예 : 작업 중 마주치는 장애물이나 암석 등으로 인한 회피 및 우회 경로 생성 등 장비 운영을 위한 실시간 작업 경로 생성 기술)

  · 전자펌프 및 MCV, 액추에이터 피드백 시스템을 갖춘 전자제어시스템 구축

  · 환경인식 및 위치인식 시스템 기반 최적 작업 경로 생성 시스템 개발

  · 작업기 부하변동 및 비선형성을 고려한 고정밀 제어 알고리즘 개발

  · 운전대, 변속기, 가·감속 페덜, 레버 액추에이터로 구성된 오토 롤링, 오토 그레이딩, 오토 페이빙 및 오토 그레이딩 개발

  · 롤러(진동, 마카담, 타이어, 단뎀), 그레이더에 대한 제어시스템 적용 및 성능 튜닝

- Lidar-Vision 융합 환경 인식 시스템 개발

  · Lidar & Stereo Vision 융합 환경인식 알고리즘 개발

  · 통합관제시스템 연계 작업 환경 및 작업자 검출 시스템 개발

· 작업자 안전성 향상을 위한 능동형 작업자 안전 시스템 개발

- 수작업자 작업 이력 수집 및 분석을 위한 플랫폼 및 자율 작업 시스템 개발
  · 건설데이터 관리용 스마트 모델링 작성 기술
  · 주요장비 및 관리용 정보 전달 규격 개발
  · 센서 및 모바일기기를 이용한 시공정보 수집 자동화 절차 수집
  · Event/Data-driven 분석, 딥러닝을 통한 최적 자율 작업 시퀀스 도출 시스템 개발(롤러, 도저, 그레이더)
- 포장 장비에 대한 토탈스테이션 연동 고정밀 작업기 제어가 가능한 정밀 제어 기술 개발



[그림 4-66] 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 적용에 따른 공정 변화

(구성기술 1-3-2) 시공장비 연동 도로포장 품질 관리 및 향상 기술 개발

○ 작업 자동화장비와 첨단센서를 활용한 도로 하부층(토사)의 다짐도 및 함수비 관리, 아스팔트 혼합물 이송 품질관리 및 다짐 품질 확보 등 도로 포장 자동화 품질관리 및 확보 시스템 개발

- 국내 건설환경에 부합한(토질, 장비, 기상 등) 다짐도 측정 기술 개발
  · 도로 하부층 다짐 장비의 핵심 운용 기술 및 작업 프로세스 분석
  · 도로 하부층 다짐도 평가 시스템 설계 및 제작
  · 가속도계를 이용한 도로 하부층 다짐도 측정 및 분석 기술 개발
- 다짐장비 연동 실시간 함수비 측정 기술 개발
  · 매질의 고유 특성 분석을 통한 최적 모니터링 기법 선정

· 실시간 함수비 측정 장비 설계 및 시스템 개발

· 현장 시험 시공을 통한 함수비 측정기술 정량화

- 도로포장 품질분석을 위한 고정밀 실시간 GPS 측위 기술 개발

· 건설현장 내 고정밀 위치 정보 제공을 위한 건설 측위기술 개발

· 한국형 실시간 보정신호 활용기술 개발

· 토공 층관리 및 시계열 공정관리 데이터 베이스 구축 기술 개발

- CPS 기반 성토-다짐 통합품질관리 시스템 개발

· 실시간 토공 공정 업무(성·절토량 관리 및 계획) 업데이트 및 이상유무 확인을 위한 Vision 연동 기술 개발

· 시공장비 연동 성토-다짐 시공 및 품질관리 통합 운영 시스템 개발

- 아스팔트 혼합물의 이송 품질 유지 및 관리 기술 개발

· 이송 아스팔트 혼합물의 온도 분포 측정 및 예측 기술

· 시공 위치를 고려한 아스팔트 혼합물의 상차 및 이송 조건 결정 기술

- 현장 조건을 고려한 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 패턴 실시간 최적화 기술 개발

· 고유 진동수와 다짐 속도에 따른 혼합물의 다짐도 변화 정량화 기술 개발

· 환경-장비-혼합물 상호작용을 고려한 실시간 최적 다짐 방법 및 패턴 평가 기술 개발

· 다짐 장비의 운용에 연계될 수 있는 데이터 활용 기술 개발

- 시공 요소와 포장 성능의 상관성 분석을 통한 시공 품질 향상 기술 개발

· 포장 성능에 영향을 미치는 시공 요소 도출을 위한 데이터 확보

· 초기 포장 품질 평가를 통한 시공 요소의 영향성 평가 기술 개발



[그림 4-67] 시공 장비 연동 도로 품질관리 데이터 측정 기술 적용에 따른 공정 변화

□ 개발목표

구성기술	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
		국내	해외	
고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발	작업생산성 향상	-	20%	30% 이상
	작업자 시수 감소	10%	20%	70% 이상
	토공장비 블레이드 각 축방향 자세 오차[3]	-	±0.4°	±0.4° 이내
	작업 자동화비율	10%	70%	80% 이상
	융합센서 기반 작업자, 장애물 등의 객체인지 정확도	70%	90%	90% 이상
	자율주행 경로 추종 오차	-	100mm	100mm 이내
	토공 장비 로드 적응 직진 주행 제어 오차[4]	-	±1.0°	±1.0° 이내
시공장비 연동 도로품질 관리 및 향상 기술 개발	시공장비 연동 포장 하부층(토사) 다짐도 평가 영역	전체 다짐영역 (토사)의 1% 이하	전체 다짐영역 (토사)의 99%	전체 다짐영역 (토사)의 99% 이상
	시공장비 연동 실시간 포장 하부층(토사) 함수비 측정 정확도	80%	90%	90% 이상
	포장 하부층(토사) 시공장비 수평 측위 정확도[5] 포장 하부층(토사) 시공장비 수직 측위 정확도[5]	3cm 5cm	3cm 5cm	3cm 이내 5cm 이내
	현장 다짐품질 오차 개선도[6]	-	-	20% 이상
	아스팔트 혼합물의 하차전 내·외부 온도 차이[7] 목표 포설 온도와 실제 포설 온도의 차이[7]	40℃ 이내 20℃ 이내	40℃ 이내 20℃ 이내	30℃ 이내 목표 포설 온도 ±10.0% 이내
	다짐 직후 아스팔트층의 실제 측정 공극률과 목표 공극률 사이의 오차	-	-	전체 다짐영역 ±0.3%[8] 이내
	초기 포장 품질 지배 시공 요소 도출 - 지배 요소 도출	-	-	지배 요소 5개 이상

3) 3,658mm 블레이드의 경우, 중앙 축을 기준으로 ±0.4° 는 끝단 위치 오차 ±15mm 임을 의미
4) 외부 장애물에 의한 주행 부하 발생시 작업기와 주행 경로 제어를 통한 직진 주행 제어 오차
5) 본 연구를 통해서 개발하고자 하는 측위 정확도의 목표는 1회성이 아닌 건설현장에서 24시간 지속적으로 제공할 수 있는 측위 정확도를 말함. 이는 GNSS 신호장애지역 등을 포함하여 안정적인 측위정확도를 제공함으로서 신뢰도를 유지하는 것을 목표로 함.
6) 다짐품질 오차 개선도 = (기존오차율-개선오차율) / 기존오차율 ×100
※ 오차율 : (다짐도 평균-다짐도 실측) / 평균
7) 아스팔트 혼합물에 대해 환경의 특성을 경험적으로 고려하는 현재의 방법에서 벗어나 측정과 예측을 통한 관리로 아스팔트 혼합물 하차전 내·외부 온도차와 아스팔트 혼합물의 목표 포설 온도를 보다 엄격하게 제어하는 것을 의미
8) 현재 규정에서는 아스팔트 혼합물의 종류와 무관하게 다짐 직후 공극률이 3~8% 사이일 것으로 일괄 규정하고 있음. 본 연구를 통해 아스팔트 혼합물의 종류, 특성 및 교통량 등에 따라 다짐 직후 목표 공극률을 정의할 수 있는 체계를 제시하고, 다짐 직후 공극률을 실측하여 전체 다짐영역에서 목표 공극률 대비 ±0.3% 이내로 공극률이 획득할 수 있도록 최적화된 다짐 패턴 및 방법을 제시해야 함을 의미

□ **개발목표의 설정 근거**

○ 도로포장 장비에 대한 단순 공정 자동 작업 및 고위험 작업에 대한 원격제어 기술은 국내에서 개발이 되지 않은 기술로서, 국외기술의 사업화 현황을 고려할 때 사업종료시점에서 현재 해외 최고기술 수준을 능가하는 기술수준 확보를 목표로 개발하고자 함

- 롤러 자율주행 정확도 및 블레이드 각도제어의 오차를 최소한 세계 최고스펙에 맞추어 개발하고자 함
  - · 토공 장비 블레이드 제어오차는 블레이드 끝단 위치 오차를 ±15mm 이내의 스펙에서 개발하고자 함
  - · 도저의 주행 제어는 노면 상태에 대응하며 추종 경로 오차를 <±1.0°이내의 스펙에서 개발하고자 함
- 지반의 연속 다짐도를 평가하기 위해 가속도 센서로부터의 측정값이 ±5g 이내의 스펙을 개발목표로 함
- 자동화 장비 작업오차, 센서 위치오차, 디스플레이 내진동시험 등 구체적인 해외 스펙 확인이 어려운 항목에 대해서는 사업화를 할 수 있을 정도의 신뢰도를 확보할 수 있는 기술수준으로 개발목표를 설정함
- 지반의 연속 다짐품질 평가를 위한 다짐도 및 함수비 측정값의 정확도를 기존 측정 방식과 비교하여 90% 이상으로 설정함
- 시방이나 기준에 대한 pass/fail을 평가하는 이송이나 다짐을 지속하는 기법에서 벗어나 환경 조건에 따라 능동적으로 이송과 다짐 방법을 제시하는 차세대 원천 기술을 개발 목표로 설정함

4.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

□ 건설장비의 자율작업을 위한 장비제어기술 기반의 건설작업 자동화 기술

○ 기존 국내연구는 효율적인 토공사를 수행하기 위한 시스템 및 장비 개발 위주로 연구가 진행되었거나 진행되고 있어 주요 대상이 국내에서 가장 보편적으로 사용되는 건설장비인 굴삭기의 작업 효율화 및 토사 이동의 효율화를 위한 덤프트럭 이동경로, 작업배차 등 관제부분의 기술개발에 집중되어 있음

- 본 연구과제는 도로건설을 위한 장비운영 기술 개발을 목표로 하고 있어 기존 연구들과는 지능화 대상 장비의 종류가 다르고, 공정 또한 상이함
- 산업통상자원부에서 추진 중인 작업 자동화 관련 연구과제의 경우 국내 건설장비 수출액, 수출대수의 절대다수를 차지하는 굴삭기의 관련 기능 개발을 통한 선진사 제품과의 기술격차 단축에 방점을 찍고 있어 기존 국내연구 방향과 유사함

○ 본 연구과제는 세부 개발기술 측면에서 도로건설에 투입되는 도저, 롤러, 그레이더 등의 장비 지능화를 목표로 하고 있으며, 오히려 기존에 수행되거나 추진 중인 과제에서 개발할 굴삭기 부분의 작업 자동화 기술을 연동하여 통합관제를 할 수 있음

- 또한 본 연구에서는 타 연구과제와 달리 도로건설 작업효율 향상을 위해 건설 사업정보관리 플랫폼 등 외부시스템과의 연계를 통한 통합공정관리 차원의 정보 연계 기술 개발을 포함하고 있어 스마트 건설기술의 구현 측면에서 기술단계가 서로 다름
- 머신 가이던스 및 일부 굴삭기 작업 보조기능을 위한 전자유압제어 기반의 유압제어기술에 머물던 기존 기술개발과는 달리 본 연구과제에서는 정밀제어 기술에 기반한 자율작업기능의 개발에 초점을 맞추고 있음

○ 본 연구과제와 차별화되며 기존에 수행되었던 관련 기술을 참고하여 연계함으로써 연구개발 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단됨

- 굴삭기의 작업에 요구되는 작업정밀도에 비해 도로 형태 구축, 다짐율, 포장면의 높이 등 공사품질의 요구 수준이 보다 높으므로 기존 건설장비의 유압제어 관련 연구 결과를 바탕으로 고정밀 장비제어기술에 대한 개발이 필요함



[그림 4-68] 스마트 건설의 부처 간 추진 범위

- 또한, 장비의 자율작업을 위해서 필수적으로 요구되는 품질 측정 및 이를 통한 품질 제어 기술을 적극적으로 도입하여 공정에 bottleneck이 되는 감리와 검사 공정을 제거하고자 함

<표 4-40> 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 기술의 선행과제명과 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
지능형 굴삭시스템 개발	국토교통과학기술진흥원 (2006.12~2011.12)	■ 작업지형 모델링 및 업데이트 기술 ■ 작업환경 인식기반 제어기술 ■ 원격제어 굴삭로봇 및 제어시스템	- 굴삭기만 대상으로 개발됨. - 원격작업기술에서 지능형 제어 기술로 확장 필요. - 운전자 작업 가이드 기술과 센서 융합 기반 각종 어태치먼트 자동 제어 기술 필요.
			- 환경인식에서 적용되었던 센서와 기술을 본 과제에서 더욱 확장하여 객체인식 및 능동형 안전관리 기술로 확대 적용
ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (2014.07~2017.12)	■ 건설장비 통합 관제 기술건설장비 가이드 기술 시스템화	- 굴삭기, 도저 및 트럭에 대한 MG 기술만 개발되었기 때문에 도저, 롤러, 그레이더에 대한 작업 자동화(MC) 및 경로 추종 주행 기술과 기술 차별 - 현장관리 정보이외의 통합공정관리 차원의 설계정보, 실시간 시공정보, 유지보수정보와의 연계 필요.
			- 선행과제에서 개발한 머신 가이던스 기술을 바탕으로 자율 작업 기술 개발로 확대
전자유압 시스템을 적용한 굴삭기 작업자동화 기술	한국산업기술평가관리원 ('2015.12~2019.11)	■ 단일 굴삭기 자동화작업환경 인식 및 위치 인식 기술	- 굴삭기만 대상으로 개발됨. - 원격 작업 기술에서 개발 대상 아님 - 통합관리시스템을 통한 운영 기술 개발 대상 아님
			- 다양한 반자동 기술을 본 과제에서 더욱 확장하여 작업 자동화 및 자율 주행 기술로 확대 적용
20% 공사비 절감이 가능한 AI 기반 Smart Construction 기술 개발	한국산업기술평가관리원 ('2016.10~2020.09)	■ 작업관제 기술을 적용하여 토공 생산성 향상을 목표로 함 ■ 적용 장비는 굴삭기와 덤프이며 기계식 장비와 지능화 장비의 혼재 상황에 대한 관제 기술 위주	- 굴삭기와 트럭에 대한 MG 기술만 개발되었기 때문에 도저, 롤러, 그레이더에 대한 작업 자동화 및 경로 추종 주행 기술 개발 대상 아님 - 현장관리 정보 이외의 통합공정관리 차원의 설계정보, 실시간 시공정보, 유지보수정보와의 연계 필요
			- 선행과제에서 개발한 머신 가이던스 기술을 바탕으로 작업 자동화 기술 개발 확대 - AI기반의 제어 기술에 대한 도입 및 자율 작업으로 확대 적용

□ 시공장비 연동 도로포장 품질 관리 및 향상 기술 개발

○ 텔레매틱스를 활용한 지능형 성토다짐관리시스템 개발(2006.12 ~ 2009.12)

- 건설기술혁신사업 “텔레매틱스를 활용한 지능형 성토다짐관리시스템 개발” 과제에서는 국내의 열악한 성토다짐품질평가시스템을 개선하고자 국내 최초로 프로토타입의 지능형다짐관리시스템을 개발하여 현장에 적용하고자 하였으나, 현장 근로자의 신기술에 대한 인식 부족과 프로토타입 지능형다짐시스템의 현장 적용성 한계로 인해 지속적인 현장 적용에 어려움이 있음

<표 7-41> 포장 하부층 지능형 성토-다짐 관리 기술의 선행과제명과 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
텔레매틱스를 활용한 지능형 성토다짐 관리시스템 개발	국토교통 과학기술 진흥원 (2006.12 ~2009.12)	■ 다양한 지반조건에 대해 LFWD, DCP, 지오게이지 및 가속도계 등을 활용하여 지반반발력을 평가하여 지반의 다짐정도를 평가하는 연속다짐평가방법에 대한 유효성 검증 ■ 기존연구에서는 상용제품인 Compactometer를 중심으로 연속다짐평가방법의 유효성 검증하고 프로토타입의 가속도계를 활용하여 다짐평가와 관련된 알고리즘 분석 ■ 여러가지 방식의 위치정보 시스템을 활용한 다짐장비의 위치 추적 및 정밀도 검증 ■ 가속도계를 활용한 연속다짐평가를 위해 프로토타입의 후처리 방식의 지능형성토다짐시스템을 구성하고 테스트베드 수행	■ 기존 연구결과를 바탕으로 지난 10년간 눈부신 발전을 이룩한 첨단 IT와 센서 기술을 지능형성토다짐기술 개발에 적용하여 현행화하고 실용화 추진 ■ 기존 연구결과를 기반으로 하여 TRL 7 이상의 실용화 가능한 다짐도 평가장치 개발 및 최적의 다짐평가 알고리즘 개발 제시 ■ 가속도계를 이용한 다짐도 평가기술과 국내 현실에 적합한 위치정보시스템을 결합하여 국내 공사 현장에 적합한 다짐관리시스템 개발 ■ 최신 무선통신 기술을 적용하여 다짐로울러의 운용현황을 실시간으로 관리자에게 전송할 수 있는 통신시스템 개발 ■ 최신 IT를 활용하여 국내 현장에 최적화하여 실용화할 수 있는 성토다짐관리시스템 개발

○ IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발(2019.04 ~ 2023.12)

- 교통물류연구(도로) 사업 “IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발” 과제에서는 4차 산업혁명 기술을 활용한 도로 포장 시공 품질관리의 스마트화를 위하여 IoT 기반 포장 품질관리 기술 및 시스템을 개발중임. 이 과제에서는 센서를 통하여 측정한 자료를 바탕으로 데이터베이스로 구축하고 품질 평가와 도로 유지관리에 활용하기 위한 관련 기술 개발에 집중하고 있음

- “IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발” 과제의 품질관리 대상 구간은 포장 상부층(기층, 중간층, 표층)이며, 본 사업은 포장 하부층(보조기층, 노상, 노체)을 대상으로 하고 있음

- 본 사업은 상기 “IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발”에서 포함하지 못한 아스팔트 혼합물의 이송, 실시간 다짐 방법 및 패턴 제시, 아스팔트 포장의 초기 성능과 시공 요소와의 상관성 분석을 위한 내용을 포함하고 있음.

- 아스팔트 혼합물의 이송, 다짐 패턴 및 상관성 분석 등을 포함하는 본 사업은 “IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발” 과제에서 포함하는 아스팔트 혼합물의 생산 플랜트 실측 자료 및 다짐 부분의 현장 실측 자료 공유를 통하여 상호 과제의 핵심 기술의 완성도와 원천성을 높일 수 있도록 연계됨. 또한 선행과제에 포함되지 않은 다짐 패턴 및 상관성 분석을 위하여 요구되는 자료를 측정하는 부분은 First Mover형 기술 개발에 속하는 것으로 선도적 기술 개발을 위해서 보완적인 연계가 상호간에 요구됨.

- 본 사업에서 포함하는 도로 포장에 관련된 3가지 핵심 기술은 장비의 무인 자율주행을 위하여 필요한 선도적인 핵심 기술이며, 이를 통하여 시공 과정을 최적화하는 것만으로도 아스팔트 포장의 성능과 수명을 증대할 수 있을 것으로 판단됨.

<표> 아스팔트 포장 시공 실시간 최적화 기술의 선행과제명과 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발	국토교통 과학기술 진흥원 (2019.04 ~2023.12)	■ 콘크리트 및 아스팔트 혼합물 전체에 대하여 센서를 활용한 생산, 시공, 다짐 관리 ■ 기준이나 시방 만족을 위한 정형화된 단순한 형태의 시공 및 다짐 기법 제시 ■ 실측을 통하여 현장 자료가 적극 반영된 연구 수행 체계 유지	■ 선행과제의 품질관리 대상 구간은 포장 상부층(기층, 중간층, 표층)이며, 본 사업은 포장 하부층(보조기층, 노상, 노체)을 대상으로 하고 있음 ■ 선행과제에서 목표하는 시방이나 기준에 대한 pass/fail 형태의 자동화를 벗어나 환경을 고려한 실시간 최적화 이송 및 다짐에 필요한 소프트웨어적 원천 기술을 제시 ■ 실시간 환경 조건을 고려할 수 있는 역학적 기법과 실측 자료 활용으로 선도적 연구 성과 도출 ■ 선행 기술에서 센서 등을 활용하여 측정하는 자료 활용을 통하여 중복 최소화 ■ 선행 기술에서 집중하는 DB구축과 유지관리 성과를 활용하여 연구 효율성 증대



[그림 7-69] "IoT 기술을 활용한 도로포장 현장 품질관리 시스템 개발(국토교통과학기술진흥원, 2019.04~2023.12)" 과제의 차별성 및 연계방안 요약

4.8 민간기술과의 차별성·연계성

○ 국내 기존 민간 기술은 주요 건설장비 제조사 및 관련업체에서 해외 제품과 동일한 기술을 자체 개발하는 수준에 머물고 있음

- 선진사의 지속적인 관련 기술적용과 제품출시로 관련 연구과제 수행에도 불구하고 기술격차가 줄어들지 않거나 오히려 늘어나고 있는 상황으로서 이를 극복할 수 있는 정부 차원의 기술개발에 대한 지원 필요성이 있음

○ 본 연구과제에서는 고정밀 장비제어기술 개발을 통해 민간부분의 관련 기술 개발을 촉진하고 자율작업 기술의 앞선 개발을 통해 기술격차 단축을 목표로 함

- 아울러, 국내건설장비 제조사는 굴삭기만을 생산하고 있기 때문에 민간기술의 방향 역시 굴삭기만을 대상으로 진행되어왔으며 진행되고 있음

- 본 과제에서는 개발된 굴삭기 지능화 기술을 수용하고 상용화된 작업자 인터페이스 기술을 공유하고 통합관제시스템과 연계할 수 있는 연계 기술을 제공함

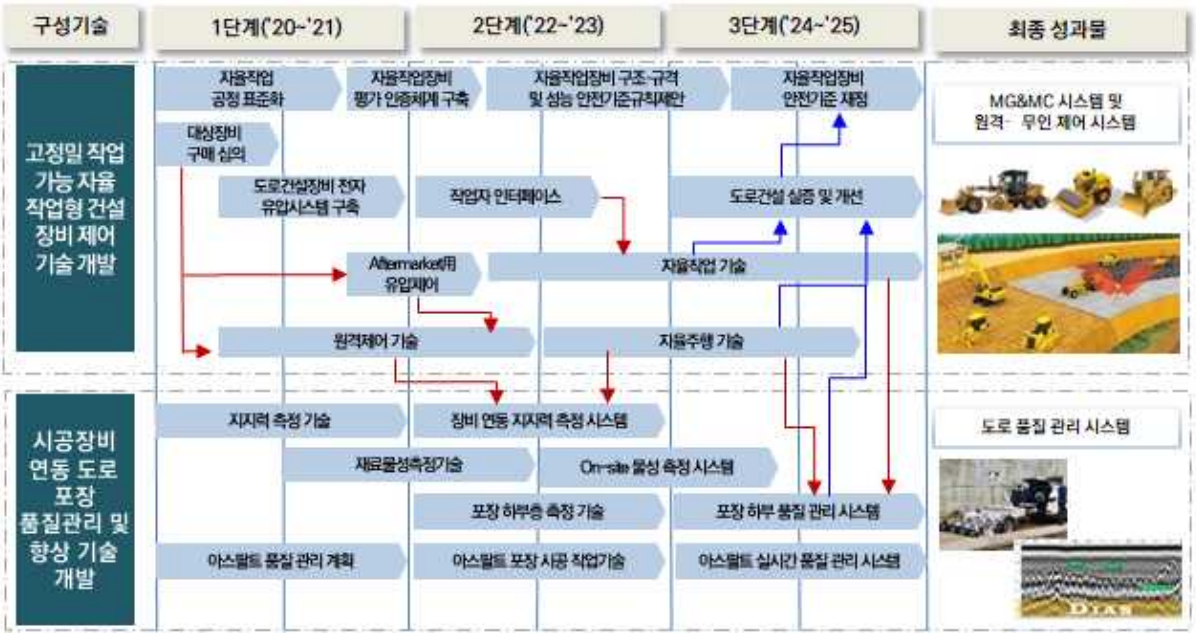
<표 4-42> 건설작업 자동화 관련 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성 기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발	■ 두산 인프라코어 ■ 현대건설기계	■ 굴삭기 작업자 가이드를 위한 머신 가이던스 장비 기술 ■ 텔레메틱스 기술	- 민간 기술은 굴삭기만 대상으로 개발됨 - 원격 작업 기술에서 지능형 제어 기술로 확장 필요 - 현장관리 정보이외의 통합공정관리 차원의 설계정보, 실시간 시공정보, 유지보수정보와의 연계 필요 - 운전자 작업 가이드 기술과 센서 융합 기반 각종 어태치먼트 자동 제어 기술 개발 진행 중
				- 건설 환경의 적합성이 고려된 머신 가이던스 장비의 센서 및 구성품을 타 공종용 건설장비 자동 작업 시스템 개발에 활용 - 작업자 인터페이스 기술 공유 - 다양한 반자동 기반 기술 공유
2	센서 융합기술을 통한 AI 기반 경로 추종 주행 기술	동양물산	■ 고정밀 GPS를 활용한 트랙터 주행제어기술	- 농업 트랙터와는 개발 목표인 자동화 작업기술 및 차량과 인적이 드문 농지에서의 운용을 가정하여 자율주행환경이 서로 다름
				- 농업분야 활용을 통해 성능이 검증된 고정밀 GPS 기술 활용

4.9 구성기술 로드맵



[그림 4-69] 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 추진 로드맵



[그림 4-70] 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 성과로드맵

4.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 209.70억 원/6년(3단계)중 (국고) 154.25억 원, (민자) 55.45억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-3-1. 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발	정부	2,413	1,384	1,675	1,675	1,675	837	9,659
	민간	868	497	602	602	602	301	3,472
	소계	3,281	1,881	2,277	2,277	2,277	1,138	13,131
1-3-2. 시공장비 연동 도로품질 관리 및 향상 기술 개발	정부	938	922	1,116	1,116	1,116	558	5,766
	민간	337	332	401	401	401	201	2,073
	소계	1,275	1,254	1,517	1,517	1,517	759	7,839
합계	정부	3,351	2,306	2,791	2,791	2,791	1,395	15,425
	민간	1,205	829	1,003	1,003	1,003	502	5,545
	소계	4,556	3,135	3,794	3,794	3,794	1,897	20,970

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-3-1. 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발	1,044	589	721	721	721	361	4,156
1-3-2. 시공장비 연동 도로품질 관리 및 향상 기술 개발	417	417	493	474	474	247	2,522
합계	1,461	1,006	1,214	1,195	1,195	608	6,678

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-3-1. 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발	책임급	4	2	3	3	3	1	16
	선임급	5	3	4	4	4	3	23
	원급	12	7	7	7	7	3	43
	합계	21	12	14	14	14	7	82
1-3-2. 시공장비 연동 도로품질 관리 및 향상 기술 개발	책임급	2	2	2	2	2	1	11
	선임급	2	2	2	3	3	1	13
	원급	4	4	6	4	4	3	25
	합계	8	8	10	9	9	5	49
소계		29	20	24	23	23	12	131

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	371	258	305	301	301	150	1,686
연구과제추진비	313	211	242	257	257	119	1,398
연구활동비	618	428	541	552	552	273	2,965
연구수당	219	151	182	179	179	91	1,002
소계	1,522	1,047	1,270	1,289	1,289	634	7,051

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	369	254	307	307	307	153	1,697

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 44.9%, 직접비(인건비 제외) 44.1%, 간접비 11.0%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 29%, 연구과제추진비 23%, 연구활동비 48%, 연구수당*으로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

□ 연구장비 및 시제품

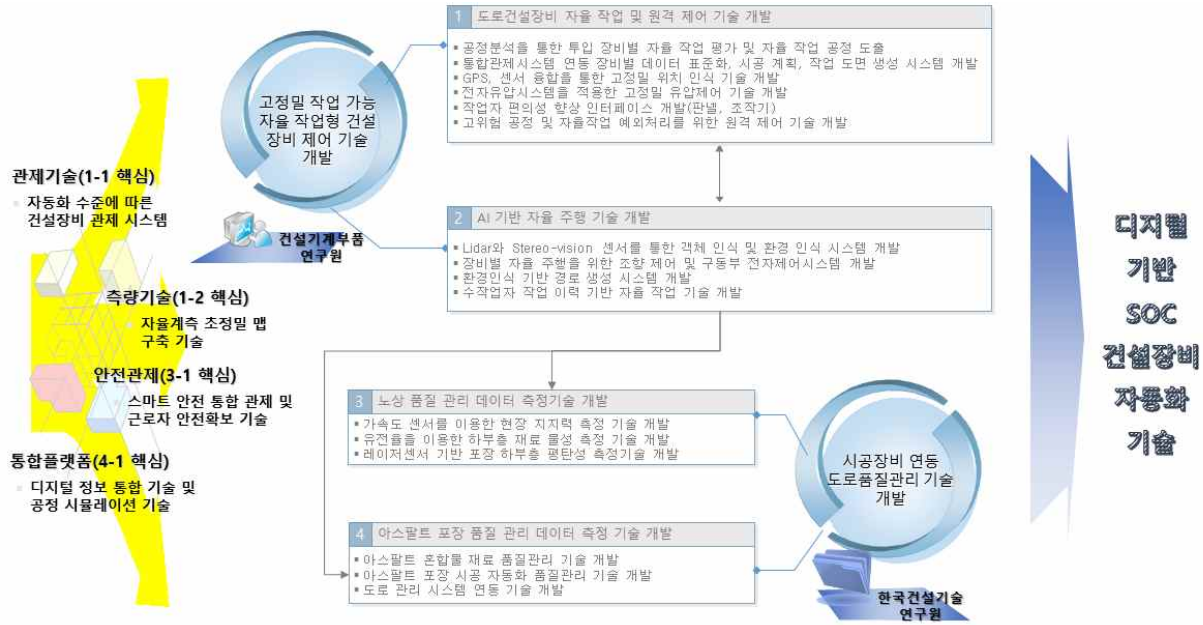
○ 연구장비 내역

<표 4-43> SOC 도로건설 자동화 기술 연구장비 내역

No	장비명	사양	주요용도	단가 (백만원)	개수	총 금액 (백만원)
1	CAT CS54B 진동롤러	* 작동중량 : 10.5 Ton * 최대출력 : 131HP * 드럼폭 : 2,134mm * CAB & A/C포함	자율주행/작업 자동화	120	1	120
2	CAT CW34 타이어롤러	* 기본중량 : 15 Ton (Steel 포함) * 최대중량 : 20Ton(Wet Sand주입시) * 최대출력 : 129HP * Compaction폭 : 2M * CAB & A/C포함	자율주행/작업 자동화	160	1	160
3	CAT CC34B 콤비롤러	* 기본중량 : 3.6 ton * 최대출력 : 46hp * CAB & A/C포함	자율주행/작업 자동화	60	1	60
4	CAT 12M3 모터 그레이더	* 작동중량 : 17.9 Ton * 정격출력 : 181~234HP * 블레이드폭 : 3,658mm * CAB & A/C포함	작업 자동화	400	1	400
5	Hitachi 마카담진동롤러	* 작동중량 : 14 Ton(Steel 포함) * 주행속도(저속/고속) : 7/15 km/h * 작업중량다짐압 : -전륜 639N/cm, 후륜 616N/cm * 다짐 폭 : 2,100mm	자율주행/작업 자동화	110	1	110
6	CAT D6T 불도저	* 작동중량 : 20 ton * 정격출력 : 207 HP * 블레이드 용량 : 5.55 ㎥ * ROPS CAB & A/C 포함	경로추종/작업 자동화	430	1	430
합계				1,280	6	1,280

4.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



[그림 4-71] 디지털 기반 SOC 건설장비 자동화 기술 추진 체계도

(2) 협력방안

○ 건설장비 자동화 기술에 대한 선진업체와 협업체계 구축

- (국외) 미국, 일본 등의 건설장비 업체와 After-Market용 머신 컨트롤 기술 협력 및 현장 품질 검사 장비 개발 협업
- (국내) 유압장비 자동제어에 대한 산·학·연 협업체계구축

○ 건설장비 자동화 실증을 위한 다부처 공동과제 수행

- 국토부, 산업부, 새만금개발청, 전라북도와 협력하여 새만금 간척지에 대한 매립시공 실증사업 추진 및 건설자동화에 따른 효과 검증 추진

4.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-44> SOC 도로건설 자동화 기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
SOC 도로건설자동화 기술 개발	자율작업에 대한 작업 인센티브 지원 제도 부재	기간단축 및 무재해 달성에 대한 인센티브 정책 도입
	자율작업에 따른 시공사 이윤 축소	자율작업에 대한 무감리 및 무검측 제도 도입으로 시공기간 단축
	현장 품질 평가 시스템에 대한 제도 부재	현장 품질 평가와 실험실 평가에 대한 인증 기준 및 제도 마련

4.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **Komatsu(日)는 토공생산성 향상을 위하여 ICT 기술을 기반으로 드론측량, 자율작업, 관제시스템 및 무감리 검사를 적용하는 'Smart Construction' 을 추진 중임**

○ Komatsu는 2001년 세계최초의 관제 솔류션인 콤트랙스(KOMTRAX) 서비스를 개시하였고, 캐터필러는 2005년 30톤급 굴삭기에 CAT Grade 기능을 장착한 ICT 건설기계를 출시하였음. 코마츠는 2015년에 세계 최초로 'Smart Construction'을 개시하였음

- Komatsu는 기존 건설장비에 추가의 전자제어밸브, 각종 센서, 엑츄에이터를 장착하여 지능형 장비의 수요가 전체 판매 제품에서 차지하는 비율이 크지 않던 최근까지 지능형 건설장비 시장을 선도할 수 있었음

□ **Trimble(美), Topcon(美), Leica(日)등의 측량장비 토탈 솔루션 회사들은 장비 자체의 개발보다는 기존 제품에 부가적으로 장착되는 센서 시스템과 통합관제 시스템을 통하여 시장 점유율을 높여가고 있음**

○ Trimble은 After-market용 머신가이던스 및 머신컨트롤 장비를 모든 건설기계 제조사에 제공하는 동시에 실시간 위치 및 상태 관제가 가능한 솔루션을 제공하여 지능형 건설기계 시장의 새로운 강자로 부상하고 있음

(2) 성공 사례의 시사점

□ **건설장비의 지능화를 위해서는 지능화에 대한 단계별 접근이 필요하며, 특히 기존 장비의 완벽한 대체까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 판단됨**

○ 선진 건설장비 제조사조차도 기존 모델의 주요부품을 활용하고 필요한 전자제어유압밸브, 센서류, 제어기를 추가하여 자율작업을 구현함

- After-market용 장비 개발이 선행되어 공정관점의 스마트화가 일정부분 이루어지고 난 이후에 지능화 건설장비 고도화가 이루어질 것임
- 측량장비 토탈 솔루션 회사의 경우와 마찬가지로 건설장비 제조사가 아니더라도 기존 장비의 지능화를 위한 시스템 시장 선점은 가능하며, 당분간 이러한 부분의 시장이 먼저 확대될 것임

(3) 실용화 전략 수립

□ **지능형 건설기계의 시장 점유율은 점차 증가할 것으로 판단되나* 지능화 레벨은 단계적으로 향상될 것임****

* 스마트 굴삭기 시장은 '15년 40억 불에서 '20년 139억 불, '24년 268억 불 예상(전체 굴삭기 시장 중 11.5%('15) → 31.5%('24)), 2018년 한국건설기계산업협회

* 건설장비 스마트 단계 :

머신가이던스(수동조종) → 머신컨트롤(자동조종) → 협업관제(작업자와 장비 협업)

○ 현재 국내에 사용 중인 건설기계는 30년 된 노후 장비부터 개별 지능화된 최신장비까지 다양하게 사용되고 있기 때문에, 지능화된 장비의 개발보다는 기존 장비에 부가적으로 부착하여 자율작업 및 자율주행이 가능한 장비의 개발이 현실 실용화 가능성이 높음

- 다종의 장비에 공통으로 적용될 수 있는 센서 모듈, 통신 모듈, 제어 모듈은 제품 공용화를 통하여 장비 단가를 낮추며 유지보수의 편리를 도모하여 시장 경쟁력을 확보할 예정임

□ **자율작업의 효율화를 위해서 실시간 품질 평가 기술과 연계 필요**

○ 자동화 공정의 효율을 높이기 위해서 실시간 작업 품질에 대한 피드백(feed-back) 정보를 활용해서 실시간 작업 공정 변경이 수반되어야 생산성을 향상시킬 수 있었음

○ 본 과제에서는 노면 다짐도, 아스팔트 두께 및 온도 등에 대한 실시간 계측 시스템을 개발하여 SOC 건설장비의 상용화를 더욱 가속시킬 예정임

4.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

○ 첨단 로봇기술과 ICT 기술을 활용한 작업지시, 자율작업 및 자율주행을 통한 토목 건설 산업의 스마트화

- 실시간 현장 지반 형상을 3D로 맵핑하고 진척도를 실시간 반영한 통합 공정 관리
- 토질속성을 고려한 실시간 시공 계획 갱신 및 시공 관리 업무 효율성 제고
- 스마트 기술의 현장 적용을 통한 기술 진보 선도
  - 센서 융합을 통한 객체인식 기술 및 AI 기반 자율주행 기술 실증
  - 작업지형 모델링 및 건설현장 모니터링, 작업자 안전기술 실증
  - 토공현장 특화 위치인시기술 및 GPS 실증
  - 장비를 통한 Big-data 구축 기술 및 이를 통한 부품 수명 예측, 공정계획 최적화 기술 실증
  - 능동형 안전시스템 및 사고 인지 및 예방 기술 실증
  - 정밀유압제어기술 및 토공현장에 강건한 제어시스템 제작 기술 확보

○ 미래시장의 선진기술인 무인화 건설기계의 기반기술 확보로 농기계를 비롯한 특수목적형 건설기계에 이와 같은 첨단기술을 접목하여 관련 산업 기술력 향상에 도움

(2) 사회경제적 측면

○ 미국/일본 등 선진 업체가 주도하고 있는 세계건설기계산업에서 선진사와의 기술 격차 해소로 수출 경쟁력 강화

- 차별화된 기술개발을 통해 내수시장을 기반으로 성장하고 있는 중국업체들의 추격 및 중국 FTA에 따른 대중국 무역 역조에 대한 현실적 대응력 강화
- 국내 중소/중견기업에 대한 ICT융합 부품 기술 (센서 및 소프트웨어 기술)의 상업화가 가능한 기반 구축 및 ICT 신기술 업체가 건설기계 산업으로 이동할 수 있는 기회 제공

5. 특허분석

5.1 분석 범위

□ **건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)의 특허동향분석을 위해 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)은 건설현장 정보 수집 및 분석기(AAA), 건설장비자동화 기술(AAB) 및 지능형 건설장비 관제 기술(AAC) 분야에 대하여 분석을 실시**

○ 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개/등록특허, 국제 공개특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술분야에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 2016년 12월31일까지 출원 공개된 유효특허 2,010건을 분석대상에 포함

- 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여 전략적인 연구개발 계획수립에 활용

<표 4-45> 건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA) 관련 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개.등록특허 (공개.등록일 기준)	한국	WINTELIPS	~ 현재 (2018.10)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국	WINTELIPS		
	일본	WINTELIPS		
	유럽	WINTELIPS		
	국제	WINTELIPS		

5.2 기술분류 체계

□ **본 분석에서는 과제의 기술요약서를 기초로 연구범위 내의 기술을 정량분석 대상으로 하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술분야와 심층분석의 기술 분야를 동일하게 적용함**

○ 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)은 건설현장 정보 수집 및 분석기(AAA), 건설장비자동화 기술(AAB) 및 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)로 분류할 수 있음

<표 4-46> 건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)의 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
스마트 건설 (A)	건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)	건설현장 정보 수집 및 분석기술(AAA)
		건설장비자동화 기술(AAB)
		지능형 건설장비 관제 기술(AAC)

5.3 기술분류 기준

□ **본 분석에서는 과제의 기술자료 및 기획위원이 제공한 자료를 바탕으로, 자문회의를 통해 하기 표와 같이 기술 분류를 확립하여 분석을 수행함**

<표 4-47> 건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)의 기술 분류기준

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
스마트 건설 (A)	건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)	건설현장 정보 수집 및 분석기술(AAA)	건설 현장에서 사용되고 있는 계측장비, CCTV, 센서, 건설장비, 인력, 자재 등으로부터 데이터를 수집 및 분석하는 기술
		건설장비자동화 기술(AAB)	건설 현장에서 사용되고 있는 장비의 자동화 관련 기술
		지능형 건설장비 관제 기술(AAC)	지능형 건설장비의 모니터링 및 제어 관련 기술

□ **자문위원들이 제공한 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야의 기술분류 및 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 연구원들과의 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출하였음**

○ 본 보고서에 사용된 검색식은 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술 분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 전문위원들의 검토를 반영하여 최종 검색식을 완성함

- 기술분류체계에 따른 최종 검색식은 하기 표와 같음

<표 4-48> 건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)의 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
스마트 건설(A)	건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)	건설현장 정보 수집 및 분석기술(AAA)	((((건설* 건축* construct* construction*).key.) and ((장비* 기계* equipment* machine*).key.)) and (정보* "디지털맵" "디지털 맵" "digital map" CPS* information*)) and ((E01* E02*).ipc.)
		건설장비 자동화 기술(AAB)	(((건설* 건축* construct* construction*).key.) and ((다짐도* Compact* 노상토* 노상* soil* "Subgrade Soil" 아스팔트* 아스콘* asphalt* ascon*).key.) and ((장비* 기계* equip* machine).key.) and (품질* 퀄리티* 관리* 관제* quality* property* manage* control*)) and ((자동* 오토* auto*).key.)
		지능형 건설장비 관제 기술(AAC)	(((건설* 건축* construct* construction*).key.) and ((장비* 기계* excavator* forkcrane equipment* machine*).key.) and (관제* 지능형* 인공지능* intelligent* IOT* 아이오티* 사물인터넷* "오픈 플랫폼" "오픈플랫폼" "open platform")) and ((H04* E02* G06Q* G08B* A61B*).IPC.)

□ 검색결과

<표 4-49> 건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)의 최종 검색식에 따른 검색결과

대분류	중분류	소분류	한국	미국	일본	유럽	국제	합계
스마트 건설 (A)	건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)	건설현장 정보 수집 및 분석기술(AAA)	293	207	1,005	143	117	1,765
		건설장비 자동화 기술(AAB)	7	42	35	30	11	125
		지능형 건설장비 관제 기술(AAC)	47	38	10	6	19	120
총합계			347	287	1,050	179	147	2,010

5.4 유효특허 선별기준 및 결과

□ **건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 Raw Data 하기 표에 대한 유효특허 선별기준을 마련하여 적용함**

<표 4-50> 건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)의 유효특허 선별기준

대분류	중분류	소분류	유효특허추출기준
스마트 건설 (A)	건설장비 자동화 및 관제기술 개발 (AA)	건설현장 정보 수집 및 분석기술(AAA)	건설 현장에서 사용되고 있는 계측장비, CCTV, 센서, 건설장비, 인력, 자재 등으로부터 데이터를 수집 및 분석하는 기술
		건설장비 자동화 기술(AAB)	건설 현장에서 사용되고 있는 장비의 자동화 관련 기술
		지능형 건설장비 관제 기술(AAC)	지능형 건설장비의 모니터링 및 제어 관련 기술

○ 위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과 아래의 표와 같이, 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)이 1,265건 도출됨

- 상세하게는 건설현장 정보 수집 및 분석기술(AAA)은 1,058건, 건설장비자동화 기술(AAB)은 106건 및 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)은 101건으로 나타남

<표 4-51> 건설장비 자동화 및 관제기술 개발(AA)의 유효특허 선별결과

검색식		검색건수 (필터링 후)					
		KR	US	JP	EP	WIPO	합계
AA	AAA	212	135	508	92	111	1,058
	AAB	5	38	35	20	8	106
	AAC	42	30	8	4	17	101
총계		259	203	551	116	136	1,265

- 본 분석에서는 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야의 특허기술 분석, 세부기술 분석 및 심층 분석으로 나누어 분석함

○ 특허기술 분석

- 특허기술 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 기술개발 활동현황, 세부기술의 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 특허 기술 성장 단계 파악 및 국가 간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 특허기술 동향을 분석함
- 또한, 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력 기술 분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

○ 세부기술 분석

- 세부기술 분석에서는 세부기술별 연도별 특허출원 동향, 세부기술별 IP 출원국 분석 등을 통해 세부기술별 특허기술 동향을 분석함
- 또한, 세부기술별로 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력 기술 분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

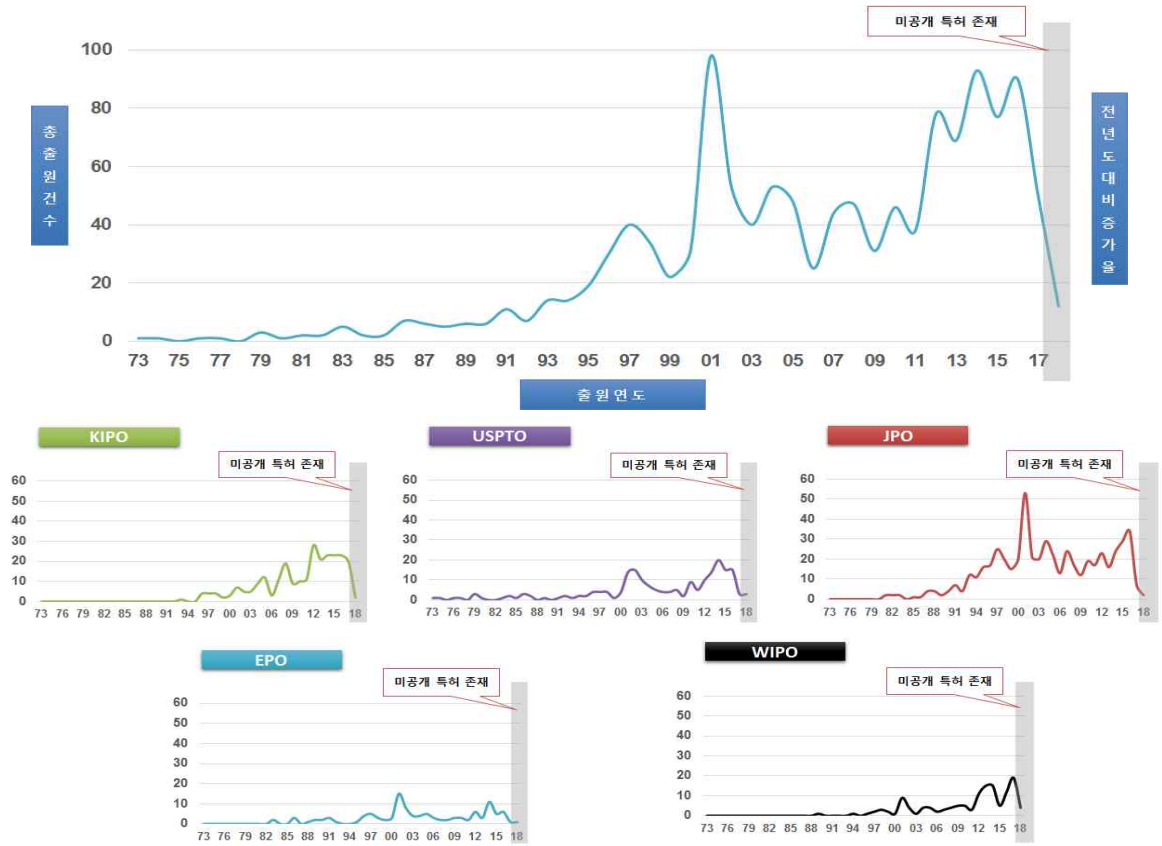
○ 심층분석

- IP 부상도 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 이전 구간 대비 출원 증가율, 출원 점유율을 분석하여 특허 관점에서의 해당 기술 분야 부상 정도를 판단함

- 세부기술별로 구간별 특허출원 동향, 주요시장국별 세부기술 동향, 다출원인의 특허 동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 특허와의 관계를 분석함

5.5 국가별 분석

□ 주요 출원국 연도별 특허동향



[그림 4-72] 전체 연도별 동향

○ 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1973년 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 2000년대에 들어서면서 본격적인 출원 활동이 이루어짐

- 1990년대 후반부터 증가세가 뚜렷하게 나타나 2001년에는 98건을 출원하여 최다 건을 기록함. 2001년 이후 다소 소강상태를 보이고 있으나, 2011년을 기점으로 다시 증가세를 보이고 있음

- 주요시장국 중 일본이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사되었으며, 2017년 이후 특허출원이 감소하는 것은 2017년 5월 이후 출원한 특허출원이 아직 공개되지 않아 이러한 특허기술들이 배제되어 감소하는 것으로 나타남

○ 주요시장국의 연도별 특허동향을 살펴보면, [한국]은 주요시장국들 중 가장 늦은 1993년부터 출원하기 시작하였으나 최근에 그 증가폭이 큰 것으로 나타남

- [미국]은 주요시장국 중 가장 빠른 1973년에 출원 활동을 시작하였고 1980년 중반 이후로 지속적으로 특허활동을 하고 있으며, 한국과 마찬가지로 최근 들어 그 증가폭이 큰 것으로 나타남. 2014년도에 20건을 출원하여 최다 건수를 나타냄

- [일본]은 1980년대 초반부터 연구를 시작하였고, 1990년대에 들어서면서 2001년까지 특허출원활동이 활발히 진행된 것으로 나타났으나, 최근 들어 특허출원활동이 다소 주춤한 것으로 나타남

- [유럽]은 1980년대부터 지속적으로 연구하고 있으며, 주요시장국들에 비해 특허출원건수가 많지 않으나, 현재까지 꾸준히 특허출원활동을 보이고 있는 것으로 나타남

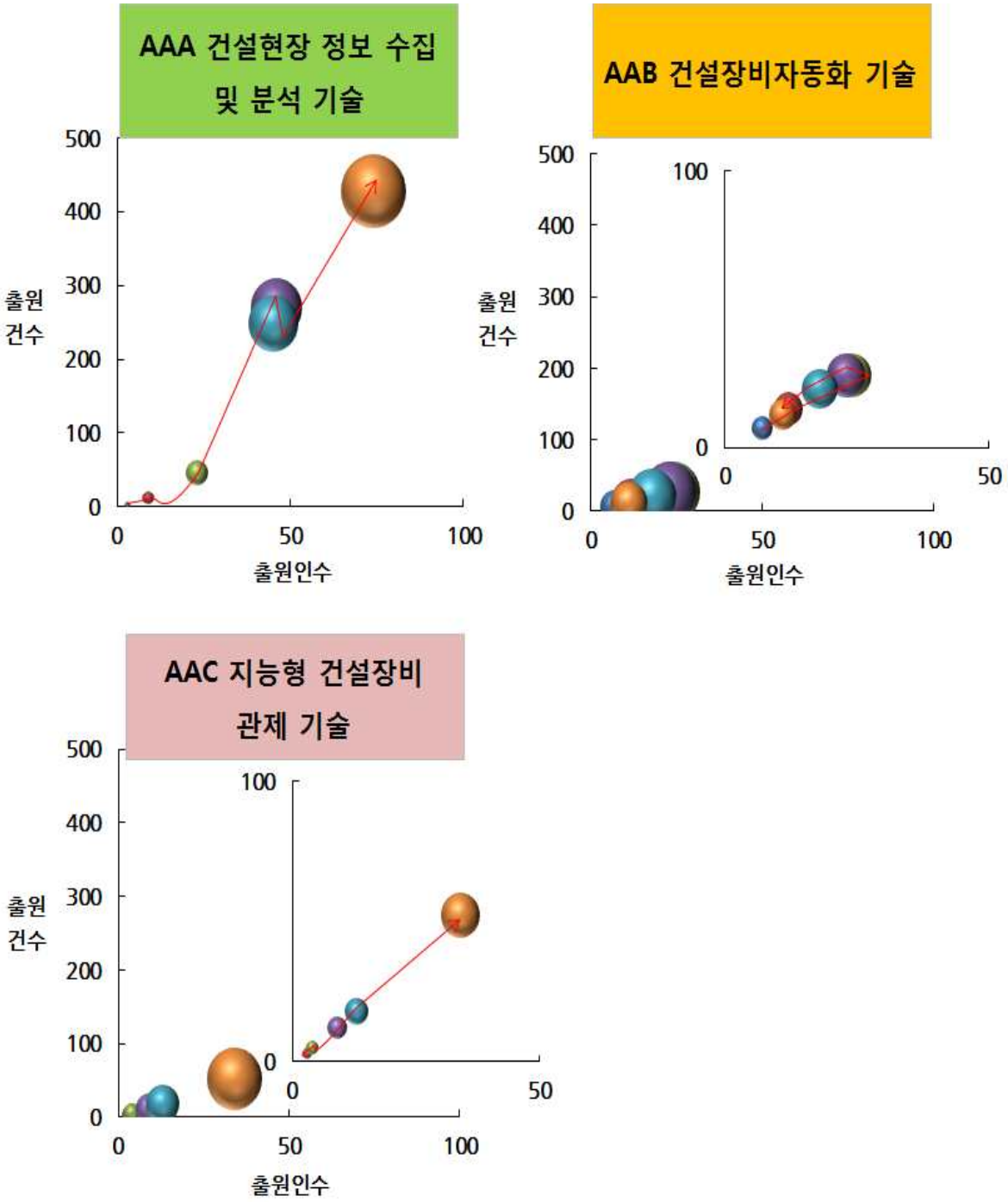
- [국제출원]은 1980년대 후반부터 증가와 감소를 반속하고 있으며, 2011년을 기점으로 특허출원활동이 활발히 진행되고 있는 것으로 나타남

□ 기술성장단계 파악



구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16

[그림 4-73] 기술성장단계 파악기준



[그림 4-74] 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 단위 기술 성장단계

○ 포트폴리오로 나타낸 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 단위기술들 중 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA)과 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)은 1구간에서부터 5구간까지 출원인수와 출원 건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

- 건설장비자동화 기술(AAB)은 1구간에서부터 3구간까지는 출원인수와 출원건수가 증가하는 것으로 나타났으나, 4구간에서부터는 출원인수와 출원건수가 감소하고 있으므로 쇠퇴기에 있는 것으로 파악됨

○ 의미 : 각 출원 구간으로 구분하여 출원 건수(특허건수)와 출원 인수(특허권자수)를 2차원 버블차트로 구현한 그래프임. 버블의 크기는 출원인수(특허권자수)임

- 출원 건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고, 출원인수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미하며, 이는 해당 기술 분야의 시장이 커지고 있다는 것을 의미함

- 태동기 단계에서는 출원인과 출원건수가 활발하게 진행되는 단계로써 연구활동이 활발한 것을 판단할 수 있으며, 성숙기 단계는 출원 건수 및 출원인의 증가율이 낮아지면서 시장 진입자들이 빠져나가는 단계임

- 쇠퇴기 단계는 출원인 뿐 아니라 출원건수도 감소하여 해당기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있음. 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 현 시장에 맞는 기술들이 다시 개발되어 새로운 아이디어와 함께 시장이 재형성되는 단계로 볼 수 있음

- 해석 및 활용 시 유의사항 : 모든 출원국은 속지주의 원칙, 즉 동일한 발명에 대하여 상이한 국가에서 획득한 특허는 각각 독립적으로 해당국가의 법률에 따라 존속·소멸한다는 원칙에 따라 독립적으로 권리의 효력이 발생하기 때문에, 해당 출원 국가에 특허출원한다는 것은 해당 시장에서 권리를 이행하려는 의지가 있다고 볼 수 있음

○ 이에 출원 국가별로 해당기술의 시장 및 개발현황을 비교해봄으로써, 어느 시장이 활발한지, 기술개발형성이 어디까지 진행되었는지 판단할 수 있음

- 주요 시장국과 우리나라의 상황을 비교해 보고, 우리나라보다 기술개발단계가 앞서있는 시장국을 파악하여, 현재 기술개발과 기술시장에 진입하기 위한 기술적인 강점은 무엇이며, 기회요인이 어떤 것들이 있는지 연구 기획 시 주도면밀하게 분석해야 할 것임

□ 시장별 세부기술 점유율 현황 버블그래프 분석

○ 시장별 세부기술 동향에서는 각국의 특허청에 출원된 출원 데이터를 기준으로 세부기술의 집중도 및 공백영역 등을 버블그래프로 나타내어 해당 시장의 관심도를 나타내고자 함

- 세부기술에 대한 전체적인 연도 구간별 흐름은 앞에서 제시하였으므로, 여기에서는 주요시장에서 어떠한 세부기술이 중점적으로 특허 출원되고 있는가를 파악하고자 하며, 해당 세부기술에 대하여 시장별(특허청별)로 비교 분석함



*원의 크기: 출원 건수를 나타냄

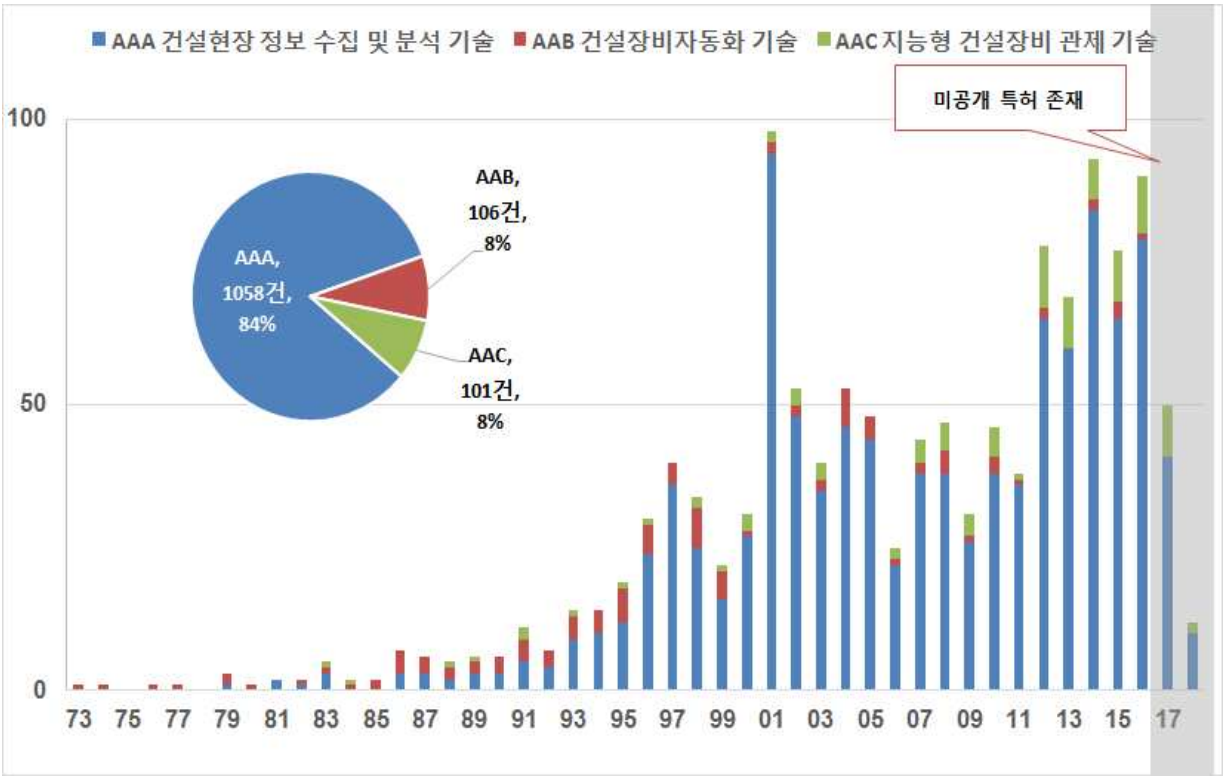
[그림 4-75] 세부기술별 국가별 특허집중도 현황

- 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA) 분야에 출원을 집중하고 있는 것으로 나타남

- 미국은 타시장국에 비해 건설장비자동화 기술(AAB)과 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)의 특허출원이 활발한 것으로 나타났으며, 한국은 주요시장국 중 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)과 관련된 출원을 많이 한 것으로 나타남

5.6 세부기술 분석

□ 세부기술별 연도별 특허출원 동향 및 점유율 분석



[그림 4-76] 분류별 점유율 및 연도별 출원

○ 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA) 관련 특허출원이 점유율이 84%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 건설장비자동화 기술(AAB)과 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)의 관련 특허출원 비중이 8%로 나타나 그 뒤를 이었음

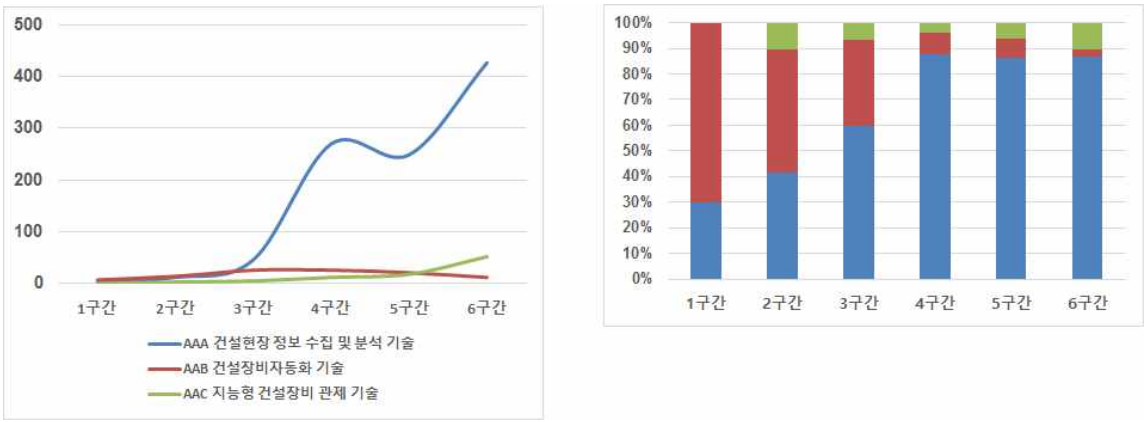
- 단위기술 모든 분야는 1983년부터 출원되기 시작하여 현재까지 특허출원 건수의 증가와 감소를 반복하다가, 2012년을 기점으로 다소 증가하는 추세를 보이고 있음

- 단위기술 분야 중 지능형 건설장비 관제 기술(AAC) 분야는 2012년을 기점으로 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야에서 차지하는 비중이 높아지는 것으로 나타남

□ **부상기술 분석**

○ 세부기술 추세를 통한 부상기술을 파악하기 위해서 아래의 그래프에서는 세부기술별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 살펴봄

- 왼쪽의 그래프는 출원 건수를 통한 절대치를 나타내며, 오른쪽 그래프는 세부기술에 대한 연도구간별 상대비교를 보여주고 있음



구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16

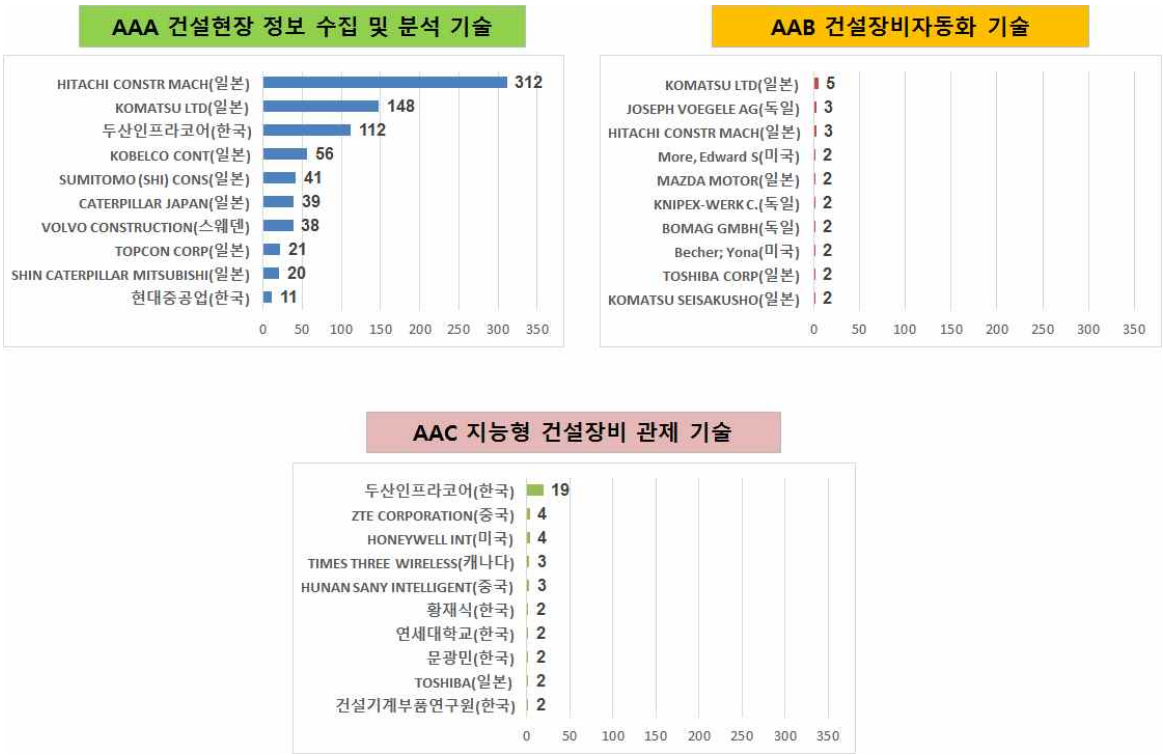
[그림 4-77] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

○ 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 단위기술 중 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA)과 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)이 부상하고 있는 기술로 나타남

- 초반에는 건설장비자동화 기술(AAB)에 대해서 출원하다가 점점 출원기술 대상이 다각화되었으며, 최근 들어서는 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA)과 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)의 비중이 높아지고 있는 것으로 나타남

- 건설장비자동화 기술(AAB)은 1구간에서부터 6구간까지 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)에서의 비중이 줄어들고 있는 것으로 나타남

□ 세부기술별 주요출원인 특허동향



[그림 4-78] 세부기술별 주요출원인

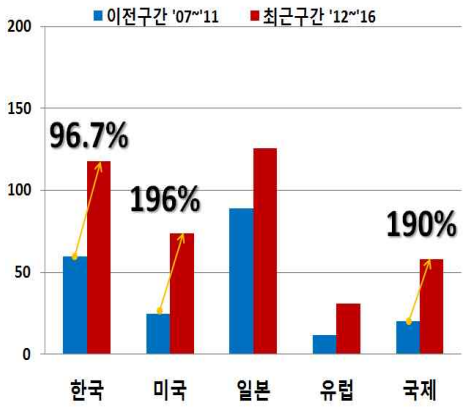
○ 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA)에서는 HITACHI CONSTR MACH 312건으로 최다출원인으로 조사되었으며, KOMATSU LTD가 148건으로 그 뒤를 잇고 있음

- 건설장비자동화 기술(AAB) 분야에서는 KOMATSU LTD 5건으로 최다출원인으로 조사되었으며, HITACHI CONSTR MACH 3건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 지능형 건설장비 관제 기술(AAC) 분야에서는 두산인프라코어가 19건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, HONEYWELL IN가 4건으로 그 뒤를 잇고 있음
- 건설장비자동화 기술(AAB) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술 개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사됨

5.7 IP부상도 분석

□ 출원증가율 분석

구분	이전구간	최근구간	증가율
	'07~'11	'12~'16	
한국	60	118	96.7%
미국	25	74	196.0%
일본	89	126	41.6%
유럽	12	31	158.3%
국제	20	58	190.0%
Total	206	407	97.6%



[그림 4-79] 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 출원 증가율 (전체)

○ 모든 주요시장국들은 전체 이전구간 대비 최근구간 출원 증가율인 97.6%보다 높은 값으로 최근에 매우 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석됨

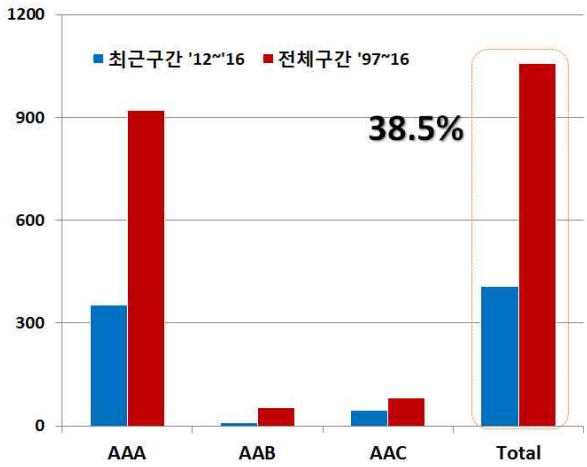
<표 4-52> 이전구간 대비 최근구간 출원 증가율

구분	이전구간 건수	최근구간 건수	출원 증가율 (%)
전체	206	407	97.6%

□ 최근 출원 점유율 분석

○ 전체구간대비 최근 구간에서의 출원 점유율을 살펴봄으로써 각 기술요소별 최근 가장 부상하는 기술에 대해 살펴볼 수 있음

구분	최근구간 '12~'16	전체구간 '97~'16	점유율
건설현장 정보 수집 및 분석 기술 (AAA)	353	922	38.3%
건설장비자동화 기술 (AAB)	8	54	14.8%
지능형 건설장비 관제 기술 (AAC)	46	81	56.8%
Total	407	1,057	38.5%



[그림 4-80] 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 구간별 점유율 분석

○ 전체구간 20년 대비 최근 구간 5년이 차지하는 비율 중 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)은 56.8%로 가장 높은 점유율을 차지하여 전체 중 대부분의 출원 건수가 최근에 출원한 것으로 나타남

- 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 세부기술별 전체출원 대비 최근 출원의 점유율은 평균 38.5%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가지므로, 최근 출원이 차지하는 비율이 높아 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야가 최근에 부상하고 있는 기술인 것으로 판단됨

<표 4-53> 건설장비 자동화 및 관제기술의 출원 점유율

구분	전체구간 건수	최근구간 건수	출원 점유율 (%)
전체	1,057	407	38.5%

5.8 시장별 세부기술 시장점유율 분석(CR4)

□ 한국

<표 4-54> 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 한국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
두산인프라코어	90	34.7		1
HITACHI CONSTR MACH CO LTD	39	15.1	49.8	2
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT AB	20	7.7	57.5	3
현대중공업	11	4.2	61.8	4
KOMATSU LTD	10	3.9	65.6	5
SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD	4	1.5	67.2	6
이우성	4	1.5	68.7	7
현대건설기계	4	1.5	70.3	8
맵인어스	3	1.2	71.4	9
볼보그룹코리아	3	1.2	72.6	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	259	100%	CR4=61.8	

○ 특허점유율은 두산인프라코어가 34.7%, HITACHI CONSTR MACH은 15.1%, VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT AB은 7.7%, 현대중공업은 4.2%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 61.8%로 CR4 값은 61.8이므로 한국에서의 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높아, 새로운 기술의 적용을 유발시키는 최적의 시장 경쟁 상태로 평가됨

- 의미 : CR(Concentration Ratio) 지표는 상위 몇 개 기업의 시장점유율을 합한 것으로, CR1, CR2, CR3, CR4 등으로 표시함. 즉 CR1은 시장점유율 1위 기업의 시장점유율을 말함. CR2는 1위와 2위의 시장점유율을 합한 것, CR3는 1~3위의 시장점유율을 합계한 것임

□ 미국

<표 4-55> 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 미국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
HITACHI CONSTR MACH CO LTD	39	19.2		1
KOMATSU LTD	34	16.7	36.0	2
두산인프라코어	11	5.4	41.4	3
KOBELCO CONTSTRUCTION MACHINERY LTD	7	3.4	44.8	4
TOPCON CORP	6	3.0	47.8	5
WIRTGEN GMBH	5	2.5	50.2	6
SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD	3	1.5	51.7	7
TIMES THREE WIRELESS INC.	3	1.5	53.2	8
Volvo Construction Equipment Holding Sweden AB	3	1.5	54.7	9
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT AB	2	1.0	55.7	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	203	100%	CR4=44.8	

○ 특허점유율은 HITACHI CONSTR MACH이 19.2%, KOMATSU LTD는 16.7%, 두산인프라코어는 5.4%, KOBELCO CONTSTRUCTION MACHINERY는 3.4%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 44.8%로 CR4 값은 44.8이므로 미국에서의 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높아, 새로운 기술의 적용을 유발시키는 최적의 시장 경쟁 상태로 평가됨

□ 일본

<표 4-56> 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 일본 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
HITACHI CONSTR MACH CO LTD	163	29.6		1
KOMATSU LTD	88	16.0	45.6	2
KOBELCO CONTSTRUCTION MACHINERY LTD	38	6.9	52.5	3
CATERPILLAR JAPAN LTD	38	6.9	**59.3**	4
SUMITOMO (SHI) CONSTRUCTION MACHINERY CO LTD	34	6.2	65.5	5
TOPCON CORP	11	2.0	67.5	6
KOBE STEEL LTD	10	1.8	69.3	7
SUMITOMO HEAVY IND LTD	7	1.3	70.6	8
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT AB	6	1.1	71.7	9
FUJITA CORP	6	1.1	72.8	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	551	100%	CR4=59.3	

○ 특허점유율은 HITACHI CONSTR MACH가 29.6%, KOMATSU LTD는 16.0%, KOBELCO CONTSTRUCTION MACHINERY는 6.9%, CATERPILLAR JAPAN은 6.9%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 59.3%로 CR4 값은 59.3이므로 일본에서의 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높아, 새로운 기술의 적용을 유발시키는 최적의 시장 경쟁 상태로 평가됨

□ 유럽

<표 4-57> 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 유럽 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
HITACHI CONSTR MACH CO LTD	39	33.6		1
두산인프라코어	10	8.6	42.2	2
KOBELCO CONTSTRUCTION MACHINERY LTD	8	6.9	49.1	3
KOMATSU LTD	5	4.3	**53.4**	4
SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD	5	4.3	57.8	5
TOPCON CORP	4	3.4	61.2	6
SUMITOMO (SHI) CONSTRUCTION MACHINERY CO LTD	2	1.7	62.9	7
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT AB	2	1.7	64.7	8
WIRTGEN GMBH	2	1.7	66.4	9
HAMM AG	2	1.7	68.1	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	116	100%	CR4=53.4	

○ 특허점유율은 HITACHI CONSTR MACH가 33.6%, 두산인프라코어는 8.6%, KOBELCO CONTSTRUCTION MACHINERY는 6.9%, KOMATSU LTD는 4.3%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 53.4%로 CR4 값은 53.4이므로 유럽에서의 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높아, 새로운 기술의 적용을 유발시키는 최적의 시장 경쟁 상태로 평가됨

□ 국제

<표 4-58> 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 국제 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
HITACHI CONSTR MACH CO LTD	35	25.7		1
두산인프라코어	19	14.0	39.7	2
KOMATSU LTD	16	11.8	51.5	3
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT AB	8	5.9	**57.4**	4
FUJIFILM CORP	5	3.7	61.0	5
SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI LTD	4	2.9	64.0	6
ZTE CORPORATION	3	2.2	66.2	7
KOBE STEEL, LTD	3	2.2	68.4	8
KOBELCO CONTSTRUCTION MACHINERY LTD	2	1.5	69.9	9
SUMITOMO (SHI) CONSTRUCTION MACHINERY CO LTD	2	1.5	71.3	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	136	100%	CR4=57.4	

○ 특허점유율은 HITACHI CONSTR MACH가 25.7%, 두산인프라코어가 14.0%, KOMATSU LTD는 11.8%, VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT AB는 5.9%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 57.4%로 CR4 값은 57.4이므로 국제에서의 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높아, 새로운 기술의 적용을 유발시키는 최적의 시장 경쟁 상태로 평가됨

<표 4-59> 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 국가별 출원인의 특허점유율

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	61.8	44.8	59.3	53.4	57.4

5.9 결론 및 시사점

○ 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1973년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 2000년대에 들어서면서 본격적인 출원 활동이 이루어졌음

- 1990년대 후반부터 증가세가 뚜렷하게 나타나 2001년에는 98건을 출원하여 최다 건을 기록하였음. 2001년 이후 다소 소강상태를 보이고 있으나, 2011년을 기점으로 다시 증가세를 보이고 있음
- 주요시장국 중 일본이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사됨
- 기술시장 성장단계를 살펴보면, 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 단위 기술들 중 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA)과 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)은 1구간에서부터 5구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

○ 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA) 분야에 출원을 집중하고 있는 것으로 나타남

- 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA) 관련 특허출원이 점유율이 84%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 건설장비자동화 기술(AAB)과 지능형 건설장비 관제 기술(AAC)의 관련 특허출원 비중이 8%로 나타나 그 뒤를 이었음
- 단위기술 분야 중 지능형 건설장비 관제 기술(AAC) 분야는 2012년을 기점으로 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야에서 차지하는 비중이 높아지는 것으로 나타남
- 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 건설현장 정보 수집 및 분석 기술(AAA)에서는 HITACHI CONSTR MACH 312건으로 최다출원인으로 조사되었으며, KOMATSU LTD가 148건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 건설장비자동화 기술(AAB) 분야에서는 KOMATSU LTD 5건으로 최다출원인으로 조사되었으며, HITACHI CONSTR MACH 3건으로 그 뒤를 잇고 있음

- 지능형 건설장비 관제 기술(AAC) 분야에서는 두산인프라코어가 19건을 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, HONEYWELL IN가 4건으로 그 뒤를 잇고 있음

- 건설장비자동화 기술(AAB) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사됨

○ IP 부상도 분석 중 출원증가율을 살펴보면, 모든 주요시장국들은 전체 이전 구간 대비 최근구간 출원증가율인 97.6%보다 높은 값으로 최근에 매우 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석됨

- IP 부상도 분석 중 최근 출원 점유율을 살펴보면, 건설장비 자동화 및 관제 기술(AA)의 세부기술별 전체출원 대비 최근 출원의 점유율은 평균 38.5%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가짐

- 최근 출원이 차지하는 비율이 높아 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야가 최근에 부상하고 있는 기술인 것으로 판단됨

○ 마지막으로, 시장별 세부기술 시장점유율 (CR4)를 살펴보면, 모든 주요시장국에서의 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높은 것으로 나타남

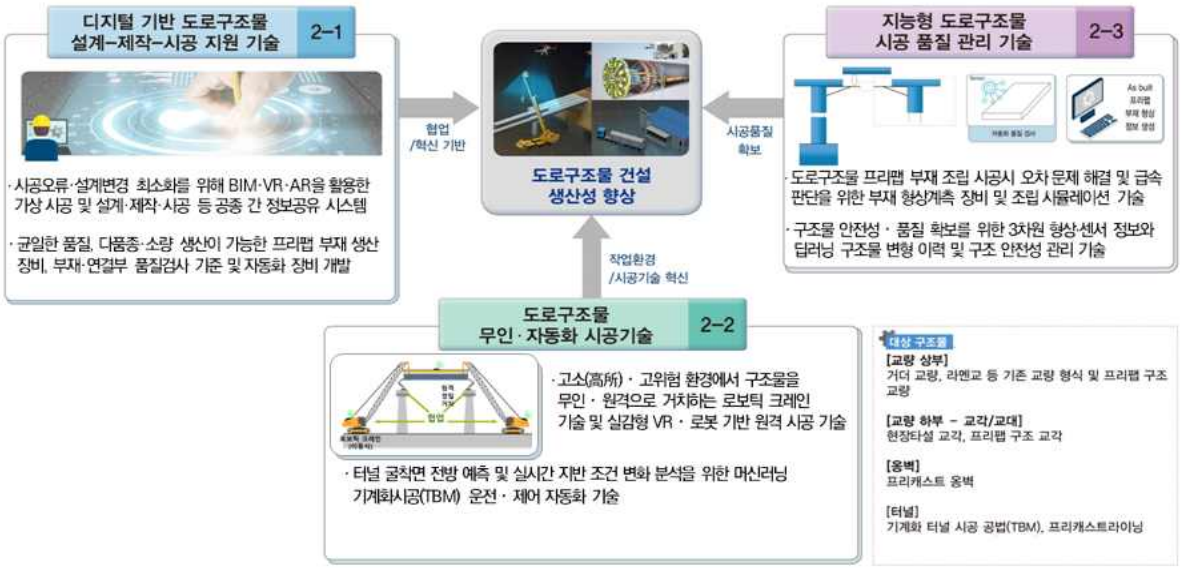
<표 4-60> 건설장비 자동화 및 관제기술(AA)의 시장별 세부기술 시장점유율

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	61.8	44.8	59.3	53.4	57.4

2절 도로구조물 스마트 건설 기술

1. 사업 대상 및 범위

□ 도로구조물(도로상에 존재하는 교량, 사면(옹벽), 터널)의 건설 과정에서 사업기간의 지연, 품질의 저하 등 생산성을 저해하는 요인을 해소하여 시공기간 단축 등의 생산성 향상을 위해 BIM, VR/AR, 인공지능, 3D 스캐닝, 프리팹, 로보틱스 등 스마트 기술을 활용하여 설계, 제작, 시공 과정을 개선하는 기술



[그림 4-81] 도로구조물 스마트 건설 기술 개념도

<표 4-61> 도로구조물 스마트 건설 기술 분야 구성 기술

핵심기술	구성기술
디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발
	도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발
도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발
	머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발
지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발	형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발
	복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발

○ (디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술) BIM, AR/VR, 3D 스캐닝/프린팅 등 디지털기술을 활용하여 시공오류, 설계변경으로 인한 사업 기간의 지연 등 생산성 저해 요인을 해소하고 프리팹 구조의 적용을 촉진함으로써 생산성을 향상하기 위해 프리팹 구조의 설계-제작-시공을 유기적으로 연동할 수 있는 디지털 엔지니어링 모델 개발, 프리팹 구조의 제작 지원 및 품질관리 기술과 조립시공 최소화를 위한 신형식 프리팹 구조 및 연결부 개발

○ (도로구조물 원격·자동화 시공 기술) VR/AR, 3D 스캐닝, 로보틱스, 빅데이터 등의 기술을 활용하여 위험하고 열악한 시공 작업환경, 인력 기반의 의사결정으로 인한 생산성 저해 요인을 해소하여 시공기간의 단축으로 생산성을 향상하기 위한 도로구조물 시공의 원격·무인화 및 자동화 기술

○ (도로구조물 지능형 시공품질 관리 기술) 3D 스캐닝, 센싱, 인공지능 등의 기술을 활용하여 부재 제작 오류, 품질 및 구조안전성 저하로 인한 생산성 저해 요인을 해소하기 위한 시공 중 형상 및 구조안전 관리 기술

○ '도로구조물 스마트 건설 기술'은 도로상에 존재하는 구조물인 교량과 터널, 그리고 사면 보호를 위해 적용되는 구조물인 옹벽을 대상으로 하며, 현장에서 제작·시공이 이루어지는 일반 구조/공법과 공장에서 제작된 부재를 활용한 프리팹 구조/공법을 포함

※ 교량의 경우, 특수교량(사장교, 현수교, 아치교 등)을 제외한 중경간(경간 60m) 이하로 한정

<표 4-62> 핵심기술별 필수 기술개발 대상 도로구조물

구분	(핵심기술 2-1) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	(핵심기술 2-2) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	(핵심기술 2-3) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
교량	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각)	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각
터널	-	ㅇTBM 운전 자동화	-
기타	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등	-	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등

2. (핵심기술 2-1) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술 개발

2.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

○ 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술

- 표준 BIM 체계를 바탕으로 도로구조물(교량 및 터널)의 설계-제작-시공 시뮬레이션을 VR, AR, AI 등 디지털 기술을 활용하여 수행하고 각 공정 간 협업을 지원하는 기술

○ 프립팹 인프라 구조물

- 공사기간의 단축, 공사비 절감, 리스크 감소 등 건설 효율성 향상을 목적으로 공장에서 생산한 프리팹(Pre-Fabrication) 부재를 현장에서 조립 시공하는 인프라 구조물

○ 대상 구조물

- 도로상에 존재하는 구조물인 교량과 터널, 그리고 사면 보호를 위해 적용되는 구조물인 옹벽을 대상으로 하며, 현장에서 제작·시공이 이루어지는 일반 구조/공법과 공장에서 제작된 부재를 활용한 프리팹 구조/공법을 포함
- 교량의 경우, 특수교량(사장교, 현수교, 아치교 등)을 제외한 중경간(경간 60m) 이하의 교량으로 한정

<표 4-63> 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술의 필수 대상 도로구조물

구분	(핵심기술 2-1) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	(핵심기술 2-2) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	(핵심기술 2-3) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
교량	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각)	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각
터널	-	ㅇTBM 운전 자동화	-
기타	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등	-	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등

(2) 범위

(구성기술 2-1-1.) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발

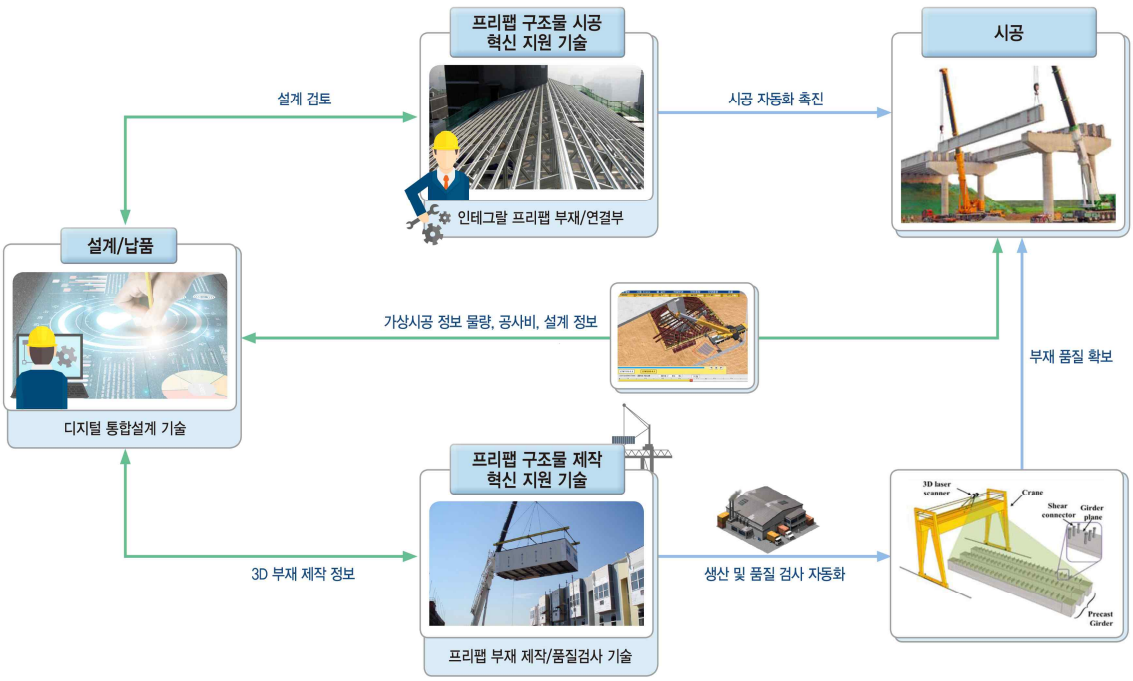
□ **도로구조물(교량 및 터널)의 디지털 건설을 위하여 필요한 BIM기반 구조해석, 설계검토, 조립 장비 운용 최적화 등 가상시공 지원기술을 개발하고 프리팹 인프라 구조물을 최적화할 수 있도록 의사결정 지원 시스템을 개발**

(구성기술 2-1-2.) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

□ **조립시공 및 제작성(DfMA)을 고려한 BIM 기반 다형상 프리팹 부재 생산장비 및 품질검사 자동화 기술/기준 개발**

○ 자동화 시공을 촉진하기 위한 프리팹 인테그랄(다기능) 부재/연결부 개발가이드 라인, 성능품질 검증 절차 개발

- 인테그랄(다기능) 부재/연결부 : 가설구조와 영구구조, 주부재와 부부재, 주부재와 연결부 등과 같이 두 가지 이상의 부재 혹은 연결부 역할을 수행하는 부재/연결부를 통칭



[그림 4-82] 디지털기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개념도

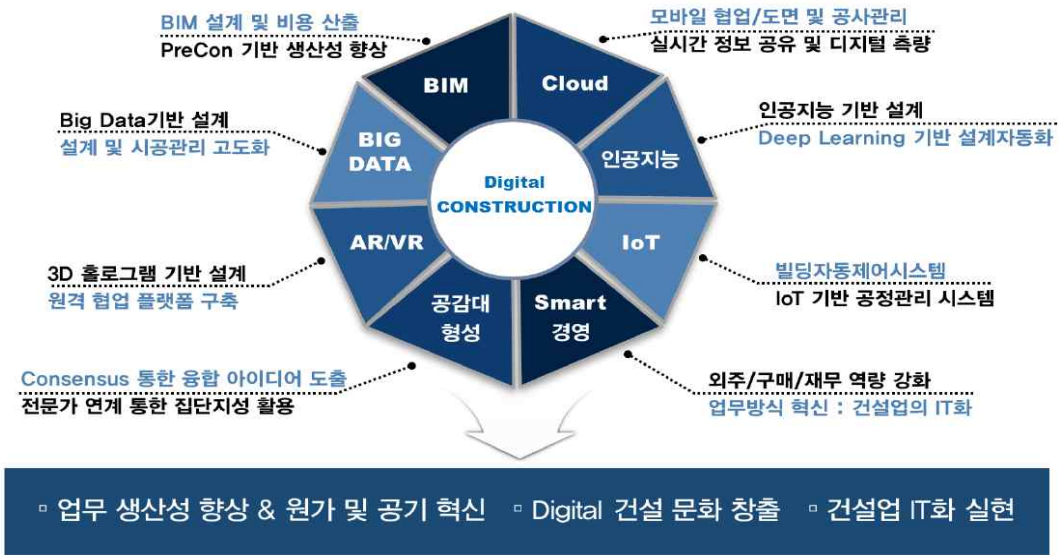
2.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ 디지털기술을 활용하여 인프라 구조물 건설 효율성 극대화 가능

○ 기존 2D 도면을 기반으로 한 부재의 설계/제작상의 오류와 현장 중심의 시공은 재설계, 재생산 및 재시공으로 이어지며 시공기간의 지연 및 사업비의 증가로 이어질 수 있음

- 이를 극복하기 위해서는 부재 설계부터 조립시공까지 BIM, VR 및 AR 등 디지털 기술을 활용한 가상건설 기술을 활용할 수 있음
- 이밖에 Deep learning 기반 설계 자동화를 통한 인프라 구조물 최적화, Cloud 기반 모바일 협업 등 디지털 기술을 활용하여 기존 인프라 구조물 건설 시 장애요인을 효과적으로 제거할 수 있음



출처: '4차 산업혁명 시대 건설산업혁신을 위한 산업 R&D정책 세미나 (2018.07.13., 한국건설기술연구원)' 발표 자료 중

[그림 4-83] 디지털 건설 개요

○ 디지털 기술의 건설산업 적용을 통한 생산성 향상이 필요하며 이는 세계적인 추세임

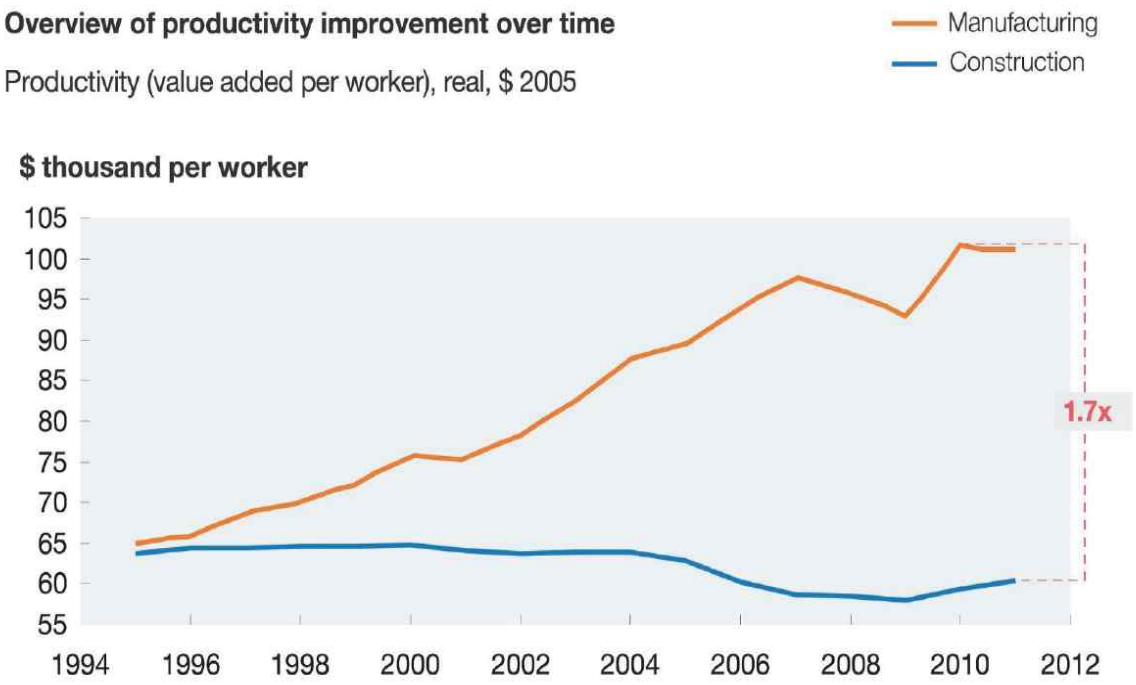
- 건설 산업의 지상과제는 기술우위 선점과 생산성 향상임. 새로운 기술을 개발하여 우위를 선점하고, 이를 바탕으로 생산성을 향상시켜 수익을 창출하고 지속가능성을 향상시켜야 함

  출처: 4차 산업혁명, 한국건설의 기회인가 위기인가?, KSCE issue paper No.16.

- IHS Global Insight에 따르면 건설 산업의 생산성은 1994년 이후 정체되어 있어 급속히 성장한 타 제조업에 비해 59% 수준에 머물러 있음

- World Economic Forum은 사전조립 및 모듈공법, 고성능 건설자재, 3D 프린팅 및 제작기술, 건설 자동화, VR 및 AR 적용 기술, 빅데이터 및 예측기술, 무선 통신장비, 클라우드 및 실시간 협업기술, 3D스캐닝 및 사진측량법, BIM기술 등이 미래 건설산업을 이끌 기술로 선정됨

- 또한, 해당 기술들은 점차적으로 건설 산업에 도입되어 인프라, 건축물 등의 설계, 건설, 운영 및 유지되는 방식을 변경할 것으로 전망하고 있음



[그림 4-84] 건설산업과 타 사업 간의 생산성 변화

출처: The construction productivity imperative, McKinsery & Company, 2015

□ **건설방식의 전향적인 변화가 필요한 시점에서 프리팹 기술(Pre-Fabrication Technology)은 건설 산업의 유력한 대안임**

○ 조만간 세계 건설 산업의 핵심 경쟁력은 모듈공법(사전제작 부재 활용)이 될 것이며, 관련한 설계 및 엔지니어링, PM 기술 등 역시 상당한 변화를 맞게 될 가능성이 높음
출처: 최석인 건설산업연구원 연구위원

- 52시간 근무제가 건설산업에 적용됨에 따라 건설기간의 단축을 위해서는 사전제작 부재의 활용이 높아질 것으로 예상됨
- 영국, 일본, 싱가폴에서는 프리팹 기술을 적극 활용하여 건설산업의 생태계를 변화시키기 위한 노력이 진행되고 있음
- 특히 싱가폴의 경우, PPVC(Prefabricated Pre-finished Volumetric Construction)를 통하여 건설 생산성을 높이기 위한 노력을 진행하고 있음
- 국내에서도 'Smart Construction 2025'를 통하여 노동생산성 40% 향상, 사망자 30% 감소, 근로시간 20% 단축을 목표로 하며, 이를 위해서는 프리팹 기술이 적합함

(2) 추진 필요성

□ **디지털 기술을 설계부터 시공까지 전 건설과정에 적용하여 인프라 구조물(교량 및 터널)의 생산성 저해요소를 극복하여야 함**

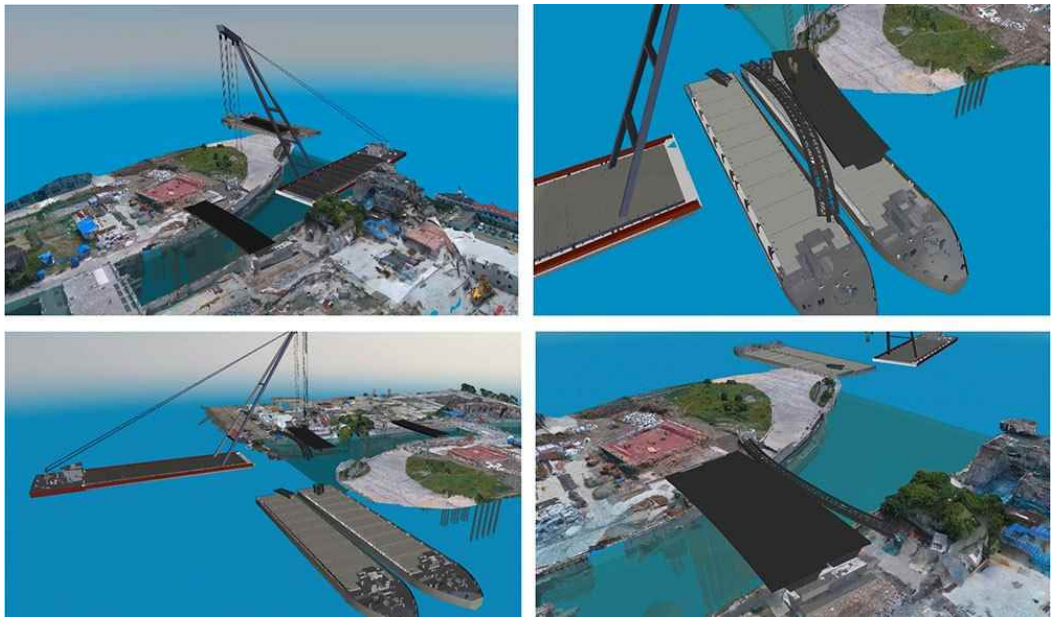
○ 부재의 제작 오류, 현장 시공 오류 발생 가능성과 이에 따른 설계 변경을 최소화하기 위해서는 인프라 구조물의 설계 및 제작·시공 상의 오류를 미리 검토할 수 있는 3D 기반의 BIM 설계 기술의 도입이 필요함

○ 생산성 저해요인 중 하나인 공정간 단절을 방지하고 공통된 디지털모델을 기반으로 설계-제작-시공 단계가 유기적으로 운영될 수 있도록 할 필요가 있음

○ 이러한 기술은 기존의 연속 구조물 및 프리팹 구조물에 모두 적용이 될 수 있으며, 프리팹 구조물의 경우는 조립 시공 검토 단계에서 보다 유용하게 적용될 수 있음

○ 건축구조의 경우, 국토교통부는 주거환경연구사업의 '모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상기술개발(2014-2020)'을 통해 공공건축물을 포함한 모듈러 건축물에 BIM 기술을 적용하기 위한 BIM 라이브러리 및 관련 표준 등을 마련 중에 있음

- 또한, 프리팹 인프라 구조물은 그 특성상 현장에서 대부분 조립시공을 통하여 완성되므로 조립장비의 운용을 VR, AR을 사용하여 가상건설하고 사전 간섭 및 설계, 시공 시 오류 등을 방지하여 건설 효율성을 증대시킬 필요가 있음



출처: '중국 건설 산업에서의 BIM', 건축사, 591(1807).

[그림 4-85] 양푸강변 황푸지구 프리캐스트 세그먼트 공법 가상 시공 시뮬레이션

- 인프라 구조물 분야는 국제적으로 BIM 기술의 도입이 시작되는 분야로서, 관련된 BIM 정보모델 표준을 개발하고 이를 지원하기 위한 기술 개발이 시작 되고 있는 상태임
- 인프라 구조물의 디지털 기반 설계-제작-시공을 위해서는 표준 BIM 기준을 기반으로 생성정보 활용주체에 따른 전반적인 지원 기술 개발이 필요함

○ 구축된 BIM 라이브러리를 이용하여 BIM 모델을 작성하고, 이를 바탕으로 구조적인 안전성 검토, 제작 단계를 고려한 공정(4D)/공사비(5D) 산출・관리 및 운반/시공 시뮬레이션을 수행하기 위한 지원 기술 개발이 필요함

○ 표준 BIM 기준을 바탕으로 프리팹 부재, 운반/시공 장비에 대한 BIM 라이브러리를 구축하기 위한 기준(형상/속성 표준, 가이드) 및 지원 기술 개발이 필요함

○ 관리주체(국토교통부, 발주처 등)에서 인프라 구조물에 대한 BIM 성과물을 납품・관리하기 위한 가이드 및 지원 기술 개발이 필요함

- 선제작 부재를 활용한 건설과 모듈화를 중심으로 한 건설방식의 변화는 건설 산업의 체질을 변화시킬 수 있는 파급력을 가지고 있으며 앞으로 건설산업은 건설 방식 변화에 따른 생산성 향상과 관련된 부문에 기술 역량 집중과 투자가 필요함

- 건축부문은 선제작 부재를 활용한 off-site건설이 활발히 이루어지고 있으며, 국내에서도 가양 모듈러 실증단지를 통하여 연구가 진행되고 있음
- 현재 건축부분에서는 이러한 off-site건설을 고층구조에도 적용하기 위하여 활발히 연구 진행 중에 있음
- 인프라 구조물은 건축구조와는 달리 넓은 건설부지에 종방향 선형을 가지는 구조물이 대다수이므로 건축과는 다른 프리팹 건설방식이 필요함

○ 선제작 부재를 활용한 건설은 세계적 추세이나 국내에서 선제작 부재를 활용한 인프라 구조물의 건설은 지하암거 구조물, 프리캐스트 교량 바닥판 등 일부 공법 등이 기술개발자 중심으로 소규모로 이루어지고 있는 실정임

- 인프라 구조물의 모듈화가 건축 분야에 비해 늦어지고 있는 것은 인프라 구조물이 가지는 원천적 한계에 기인한다고 볼 수 있음
- 인프라 구조물이 가지는 공익적 목적성과 국내에서 선제작 부재를 활용한 구조물의 설계, 제작 및 시공에 대한 개념이 아직 정립되지 않아 현장에 적용되기에는 기술적, 제도적 한계가 존재

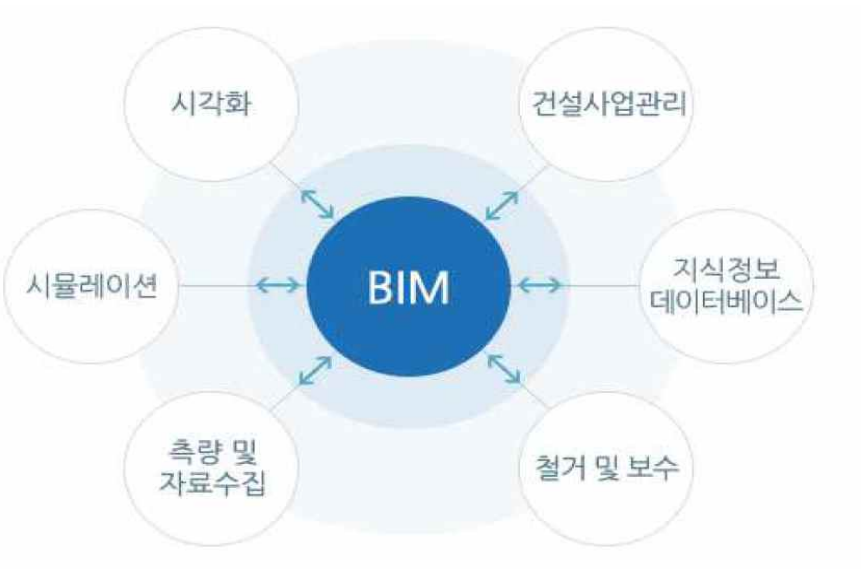


[그림 4-86] 국내 최초 모듈러 건축물, 가양 모듈러 실증단지, '라이폼'

2.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

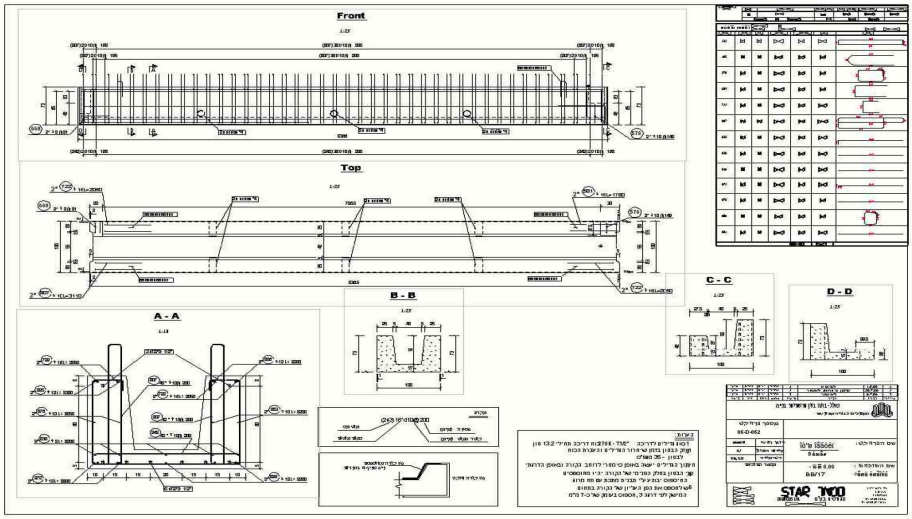
□ **도로 구조물 건설 생산성의 저해 요인으로는 시공오류 및 현장여건 변화에 따른 변경설계 등이 있음. 이를 최소화하기 위해서는 디지털 기반 각 공종 간 정보공유 시스템이 필요함**



[그림 4-87] BIM 기반 가상 건설 개요

○ 프리캐스트 콘크리트 부재와 같은 프리팹 부재 설계와 제작은 2D 도면을 기반으로 이루어지고 있고 그로 인한 설계 및 제작 상의 오류의 발생 가능성은 프리팹 구조물 적용 비율 확대를 제약하는 요인으로 남아 있음

- 2D 도면을 기반으로 한 선제작 부재의 설계 정보로는 3차원의 구조로 제작되고 설치되는 모듈 구조 및 형상을 이해하는 데 한계가 있음
- 따라서, 설계과정에서 오류가 발생할 가능성이 있으며 설계자와 제작자 사이에 설계 정보의 전달이 원활하게 이루어지지 않아 제작 오류의 발생 가능성이 상존함



출처: KANER, Israel, et al. Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms. Journal of Information Technology in Construction, 2008, 13.21: 303-323.

[그림 4-88] 2D 기반 선제작 프리케스트 부재 제작도면 예시

- 2D 도면을 기반으로 한 프리팹 부재의 설계/제작상의 오류는 재설계 및 재생산으로 이어지며, 그로 인해 시공기간의 지연 및 사업비의 증가로 이어짐
- 프리캐스트 부재의 활용이 활성화되어 있는 건축분야에서 실시한 사례조사 결과를 보면, 프리캐스트 부재를 2D 도면을 기반으로 설계할 경우 설계자와 제작자 간의 원활한 협업이 이루어지지 않아 재설계로 인한 비용이 추가로 발생하는 것으로 보고됨

○ 프리팹 활용 공공건축물에 BIM 기술을 적용하기 위한 연구는 진행되고 있으나, 아직까지 프리팹 인프라 구조물에 BIM 기술을 적용하기 위한 연구는 제한적임

- '모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상기술 개발(2014-2020)'을 통해 모듈러 건축 구조의 설계, 제작, 시공 단계에 BIM 기술을 적용하기 위한 라이브러리, 관련 표준 및 기준 등이 개발되고 있음

○ 최근, 연속형의 교통 인프라 구조물에 BIM 기술을 도입하기 위한 국내·외적인 연구개발이 이루어지고 있지만, 프리팹 모듈 구조를 갖는 교통 인프라 구조물(프리팹 교량)에 BIM 기술을 적용하기 위한 연구개발은 이루어지고 있지 않음

- BIM 표준관련 국제단체인 building smart에서는 교통 인프라에 대한 국제 표준인 IFC Alignment, IFC Bridge, IFC Road를 마련하기 위한 프로젝트를 수행 중에 있음

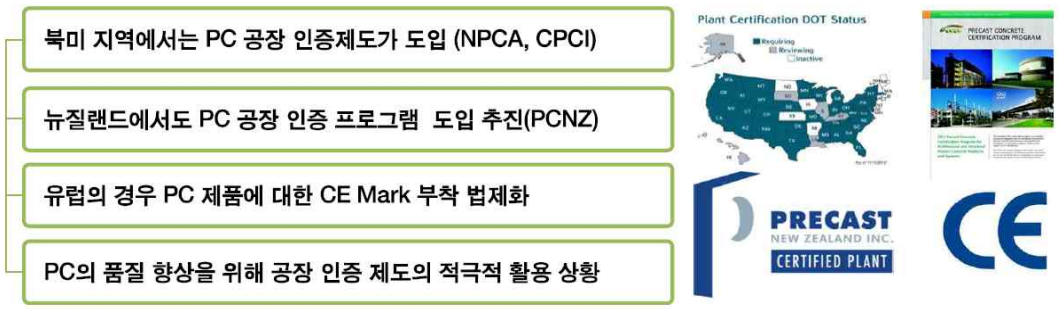
- 한국건설기술연구원은 ‘Infra BIM 정보모델 표준 및 검증기술 개발(2016)’을 통해 도로분야 BIM 공통포맷(표준)인 IfcRoad를 포함한 Infra IFC를 개발한 바 있음
- 국토교통부 건설기술연구사업의 ‘BIM 기반 도로·하천 시설물의 건설사업정보 통합관리기술 개발(2016-2021)’ 연구에서는, 하천 시설물을 포함한 인프라 시설물에 대한 실증 기반의 인프라 BIM 표준 및 납품검증기술 등을 개발 중에 있음

○ 하지만, 교통 인프라와 관련하여 개발 중인 BIM 관련 표준 및 기술들은 연속형 구조/시설물을 대상으로 하고 있는 것으로, 프리팹 모듈형 교통 인프라 구조물에 BIM 기술을 적용하기 위한 연구는 부재함

- 프리팹 모듈형식 인프라 구조물은 현장에서 조립 시공을 통하여 완성되는 구조물로 공기단축이 가능함.
- 하지만, 시공과정에서 접합부 및 부재의 결함으로 공기연장 및 재설계가 이루어질 수 있으므로 이를 방지하기 위한 프리팹 인프라구조물 건설 지원기술이 필요

○ 기존 프리팹 부재는 연속 인프라 구조물을 물리적으로 분할하는데 초점이 맞추어져 있으며 설계기준도 연속 인프라 구조물의 패러다임을 따르고 있는 실정이며 이는 프리팹 구조의 효율성 저해 요인임

- 프리팹 부재의 품질이 확보되지 않는 경우 조립시공에 직접적인 영향을 미칠 수 있음
- 따라서, 국외에서는 건축구조를 중심으로 프리팹 부재 생산에 대한 인증 시스템 구축으로 프리팹 부재에 대한 신뢰도 확보와 사용을 촉진하고 있음
- 미국의 경우, PCI(Precast/Prestressed Concrete Institute)와 NPCA(National Precast Concrete Association)가 PC 공장인증제도를 주도적으로 이끌어가고 있으며, 이는 부재의 신뢰성을 높여 프리팹 모듈화 건설의 활성화에 기여하고 있음

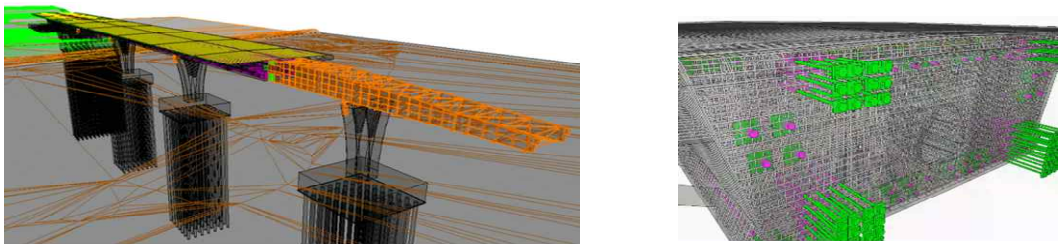


[그림 4-89] 국외의 PC 공장 인증제도 개요

(2) 개선방안

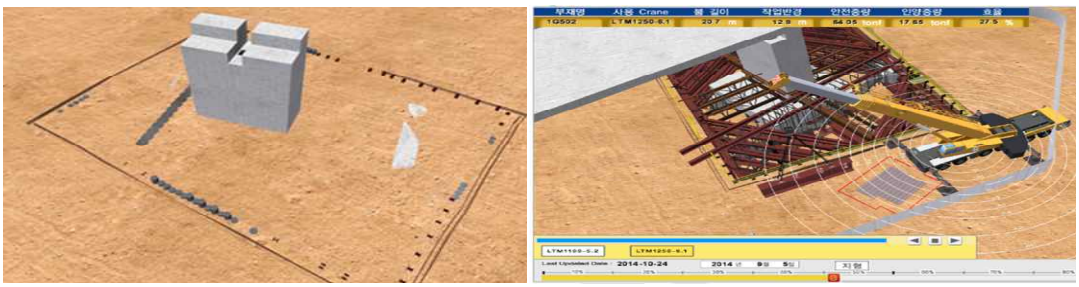
○ 디지털 가상건설 기술은 설계 단계에서 연속형 도로 구조물뿐만 아니라 프리팹 부재 설계/제작상의 오류와 그로 인한 시공상의 간섭을 미리 검토하고 보완할 수 있는 효과적인 도구임

○ 3D 형상을 기반으로 하는 BIM 모델은, 복잡한 구조물의 구조/형상의 파악이 어려운 2D 도면에 비해 도면에 대한 이해가 용이하기 때문에 설계상의 오류를 최소화 할 수 있으며, 설계자, 제작자 및 시공자 간의 설계정보 전달이 정확히 이루어질 수 있음



출처: '4차 산업혁명 시대 건설산업 혁신을 위한 산업 R&D정책 세미나 (2018.07.13., 한국건설기술연구원) 발표자료 중

[그림 4-90] BIM 연속형 교량 모델링 및 철근과 탠던 간섭 검토



출처: '4차 산업혁명 시대 건설산업 혁신을 위한 산업 R&D정책 세미나 (2018.07.13., 한국건설기술연구원)' 발표자료 중

[그림 4-91] 가상 건설을 통한 장비 운용 및 시공 검토

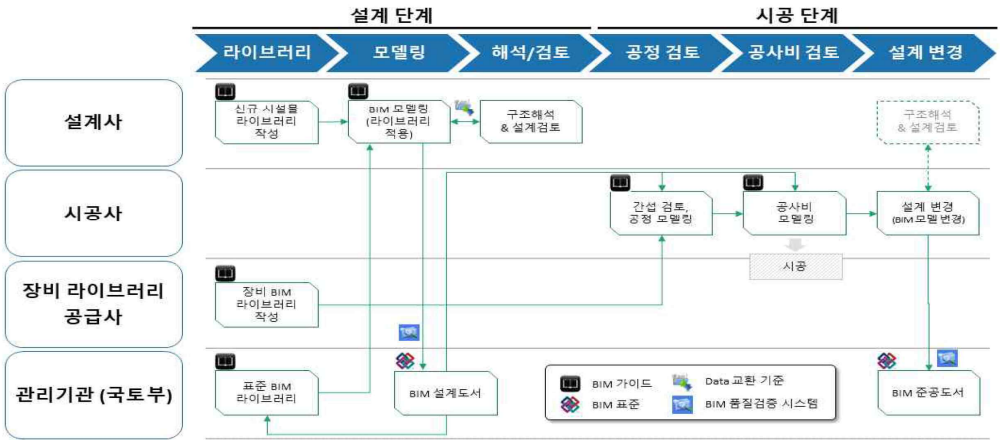
○ 도로 구조물 건설에 디지털 기술을 접목하기 위해서는 연속형 인프라와 프리팹 인프라의 건설 프로세스 특징을 고려하여 디지털 건설지원 시스템을 구축해야 함

- 연속형 인프라 구조물과 달리, 프리팹 모듈 건설에서는 제작/운반/시공 과정에 대한 시뮬레이션이 강화되어야 하는 특징이 있으며, 제품화된 모듈을 제작·공급하는 제작사의 활동이 추가되는 특징이 나타남

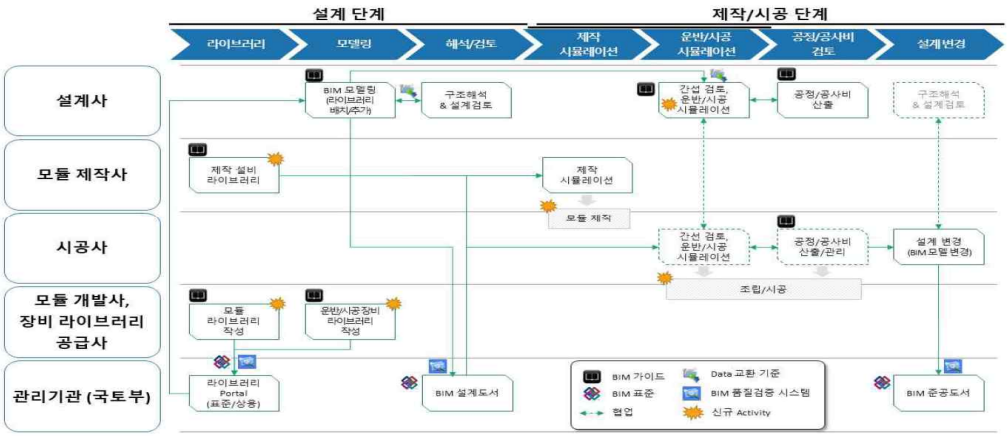
- 연속형 인프라 구조물의 시공은 공사기간이 길고 많은 인력이 소요되는 단점이

있는 반면 대체로 보강재의 수준에서 부재 간 간섭이 일어나므로 현장 대응이 용이한 측면이 있음

- 반면, 미리 생산된 모듈을 조립하여 시공하는 모듈러 인프라 구조물의 경우, 시공 중에 부재간의 간섭이 발생하거나 운반/시공 장비의 운용이 불가능해질 경우 제품의 폐기는 물론 공사의 중단으로 이어질 수 있으므로 이에 대한 엄밀한 사전 검토가 필요함



[그림 4-92] 연속형 도로 구조물의 업무 연계도



[그림 4-93] Pre-Fab. 도로 구조물의 업무 연계도

○ 프리팹 부재의 생산성을 증대시키고 고품질을 확보하기 위한 기술개발 필요

- 인프라 구조물 특성상 현장의 여건을 고려한 다양한 형태의 프리팹 부재 제작이 필요함

- 이는 몰드 제작비용의 상승으로 이어지고 생산성 저하의 요인이 될 수 있음. 따라서, 다형상 프리팹 부재 생산 장비 기술 필요

- 프리팹 부재의 품질은 조립시공과 전체 구조물 시스템의 성능과도 직접 연결됨. 따라서, 프라팹 부재의 품질검사 기준 및 검사 자동화 시스템 도입을 통한 프리팹 부재의 신뢰성을 확보해야 함

○ 프리팹 구조 효율성 증대 및 시공 자동화 촉진을 위하여 제작 및 시공성을 고려한 인테그랄(다기능) 부재/연결부의 개발이 필요

- 프리팹 도로 구조물의 효율성을 증대시키고 경쟁력을 확보하기 위해서는 운반 및 조립 시공이 단순/명확하면서 제작이 용이한 인테그랄 혁신 부재의 개발이 필요함

- 아래의 그림은 건축구조에서 활용되는 인테그랄 부재의 예를 보여줌. 프리팹 부재가 기둥과 브레이싱의 역할을 동시에 하면서 조립 시공을 단순하게 하여 현장에서의 조립을 최소화하고 부재의 효율을 증대시키고 있음

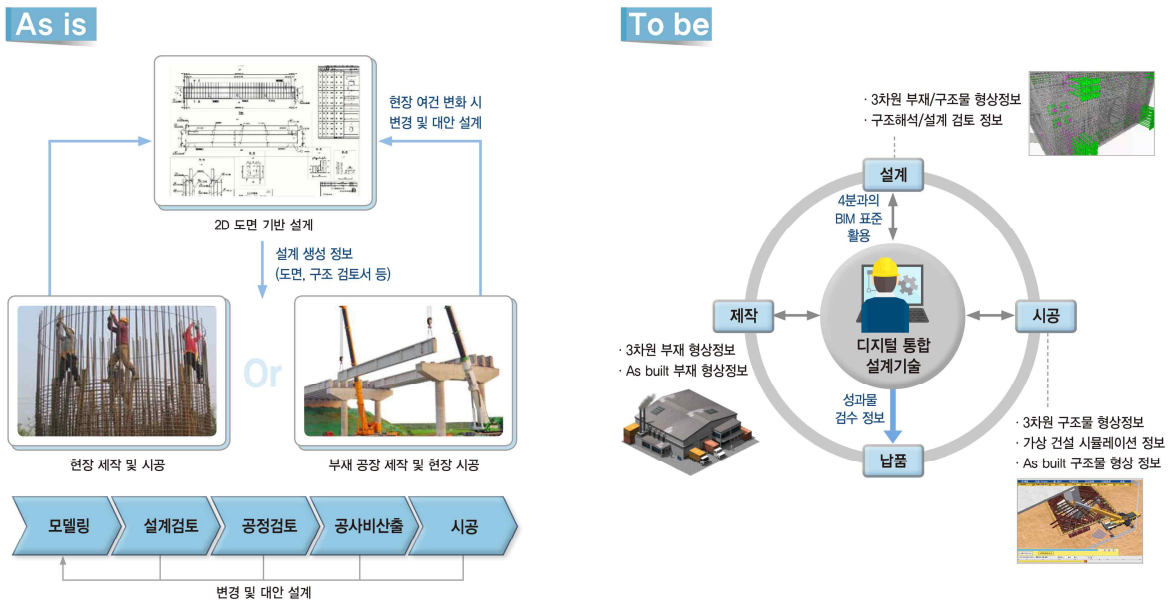


[그림 4-94] Example of column-bracing integral member for Pre-Fab. construction.

○ 이러한 인테그랄 부재/연결부 기술은 민간에서 필요에 따라 자연적으로 개발되는 것이 가장 바람직하며 개발 촉진을 위하여 개발에 필요한 가이드라인 및 성능 품질 평가 절차를 마련할 필요가 있음

<표 4-64> 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
■ 2D 도면 중심 설계/제작 및 현장 조정 - 2D 도면 중심의 설계로 인한 제작/시공 오류 포함 가능성 다수 존재 - 현장 조립 시공 오차 시 부재의 재제작 및 설계변경 필요. 이는 도로구조물 생산성 저하로 이어짐	■ 도로 구조물 3D 가상건설을 통한 생산성 향상 - 3D 기반 간섭 및 오류 검토 가능 - 3D 기반 가상 시공을 통한 시공 장비 운용 효율화 및 부재설계 - 3D BIM 모델 기반 구조해석 및 설계검토
■ 설계 → 제작 →시공순의 일방향 정보 흐름체계	■ 설계-제작-시공 협업 시스템을 통한 유기적 정보 공유 체계 마련
■ 프리팹 부재의 성능/품질의 객관적 확보가 미흡하며 소량 생산의 경우 가격 경쟁력 저하	■ 다형상 프리팹 부재 제작기술 확보로 프리팹 구조물 가격 경쟁력을 확보하고 자동 품질검사 기술 개발로 부재의 신뢰성 확보 가능
■ 프리팹 부재 간 연결부의 복잡성, 가시설의 활용 등으로 자동화 시공이 어려워 프리팹 구조물의 경쟁력 약화	■ 프리팹 구조에 적합한 제작/운반/조립을 고려한 인테그랄 부재/연결부 적용 확대로 프리팹 구조물의 효율 극대화



[그림 4-95] 도로구조물의 디지털 설계 기반 설계-제작-시공 협업 시스템

2.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

(구성기술 2-1-1.) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델* 개발

* 설계, 제작 및 시공 단계에서 연속적으로 적용할 수 있는 디지털화된 모델

□ **도로 구조물의 컨셉설계부터 제작, 시공까지 디지털 기술(BIM, VR, AR, AI, Deep learning 등)을 활용하여 검토하는 가상건설(Virtual Design and Construction, VDC) 기술**

○ 설계-제작-시공간 상호 발생하는 정보를 단절없이 공유 할 수 있는 도로구조물 가상건설 시스템 개발

(구성기술 2-1-2.) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

○ DfMA(Design for Manufacturing and Assembly)를 고려한 BIM 등 디지털 기술을 활용하여 다형상 프리팹 부재를 경제적으로 제작하고 품질검사를 자동화하여 프리팹 부재의 경쟁력 및 품질을 확보하는 기술

○ DfMA를 고려한 프리팹 인테그랄(다기능) 부재/연결부 개발을 위한 가이드라인 및 성능검증 절차 방안을 마련하는 기술

(2) 기술개발 목표

(구성기술 2-1-1.) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발

□ **BIM, AI, Deep learning 등 디지털 기술을 활용한 도로구조물(연속형 및 프리팹 도로구조물) 구조해석/설계검토 지원기술 개발**

○ BIM, VR, AR 등 디지털 기술을 활용한 도로구조물(연속형 및 프리팹 도로구조물) 가상시공 지원 기술 공종간 협업 시스템 개발

- BIM 기반 도로구조물(연속형 및 프리팹 도로구조물) 공종 간 협업시스템 개발

(구성기술 2-1-2.) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

□ 3차원 모델 기반 경제성 확보가 가능한 다형상 프리팹 부재 생산장비 개발

○ 프리팹 인프라 구조물 부재 품질검사 기준 및 검사 자동화 장비기술 개발

○ 프리팹 인테그랄 부재/연결부 개발을 위한 가이드라인 및 성능검증 절차 개발

2.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

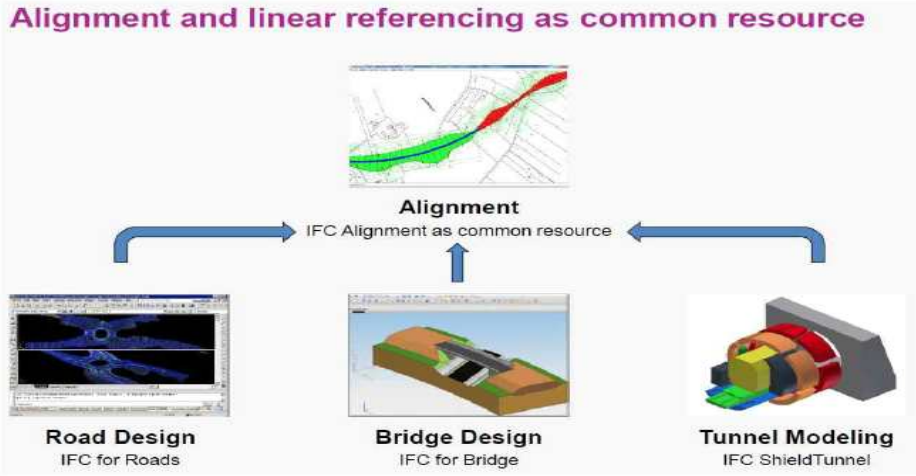
□ 인프라 구조물 디지털 건설기술

○ 영국에서는 설계, 제조, 시공하는 현재의 건설사업 수행방법을 혁신하고 디지털 기술과 첨단 제조 기술을 접목한 고성능 시설물을 만들기 위해 Construction Innovation Hub를 설립하고 이러한 혁신을 이끌기 위한 프로그램을 만들고 시범사업과 실행을 통해 산업계에 새로운 비즈니스 기회와 생산성을 높이는 도구들을 제공하고 있음

○ DfMA를 위한 건설사업 수행 체계를 혁신하는 공급체계 플랫폼을 재설계하여 정부조달 시설사업의 생산성과 원가절감 목표를 달성할 전략적 연구개발을 산업계, 학계를 연합하여 수행하고 있음

○ BuildingSMART를 중심으로 건축분야의 국제적인 BIM 모델표준이 개발되고 확장을 추진 중에 있으며, 최근 인프라 구조물에 대한 IFC 표준 개발이 이루어짐

- 다만, 아직까지 프리팹 인프라 구조물에 대한 BIM 표준을 개발하기 위한 시도는 없으며, BIM 모델 표준을 기반으로 4D(시공/공정 시뮬레이션), 5D (공사비 시뮬레이션)를 수행한 사례는 부족함
- 빌딩스마트국제연맹(buildingSMART International)은 초기 컨소시엄 구성 후 1994년 말 경에 IFC 표준의 초안을 개발한 이래 현재까지 지속적으로 데이터 모델의 확장 개발을 추진 중

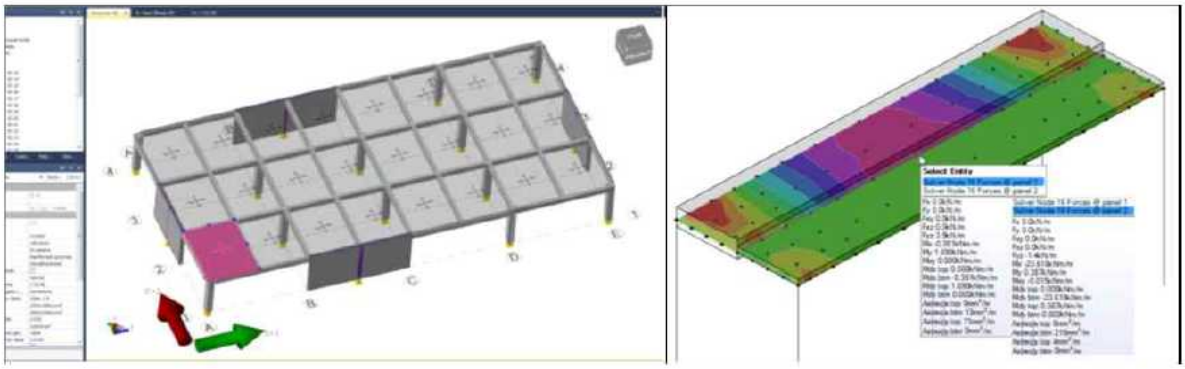


[그림 4-96] IIFC Alignment의 개요도

- 현재 전 세계적으로 한국, 미국, 일본, 독일, 영국, 프랑스, 싱가폴, 이탈리아, 스페인, 중국 등의 각 지역별로 빌딩스마트국제연맹에 참여하며 AEC/FM(Architecture, Engineering and Construction/Facilities Management) 관련 업체 및 조직들이 분야별로 활동하고 있음
- 빌딩스마트국제연맹에서는 교량을 포함한 교통 인프라 구조물에 대한 BIM 표준(예: FC Alignment, IFC for Road, IFC for Bridge 등)을 수립하기 위한 활발한 노력이 이루어지고 있음

○ 대표적인 인프라 구조물인 교량과 관련하여, 2005년 빌딩스마트국제연맹 프랑스 지부에서 IFC-BRIDGE V2를 2005년 발표하였으며, 이후 빌딩스마트국제연맹 일본 지부와의 협업을 통해 2007년 IFC-BRIDGE V2 R7 Data Model을 공식 발표

- 유럽, 미국을 중심으로 도로분야의 형상정보표준(IFC)을 개발하고 확장하기 위해 독일, 프랑스, 핀란드 및 미국 등이 도로시설의 형상표현 체계를 국제표준으로 제안하기 위한 노력들이 활발히 진행
- 인프라 분야의 BIM 정보모델 중에서 교량에 대한 정보모델 개발이 가장 활발함
- 활용 측면에서는 주로 3D 형상 중심의 모델 개발이 주를 이루며, 토목분야 BIM 정보모델 표준을 기반으로 4D(시공/공정 시뮬레이션), 5D(공사비 시뮬레이션)를 수행한 사례는 부족함



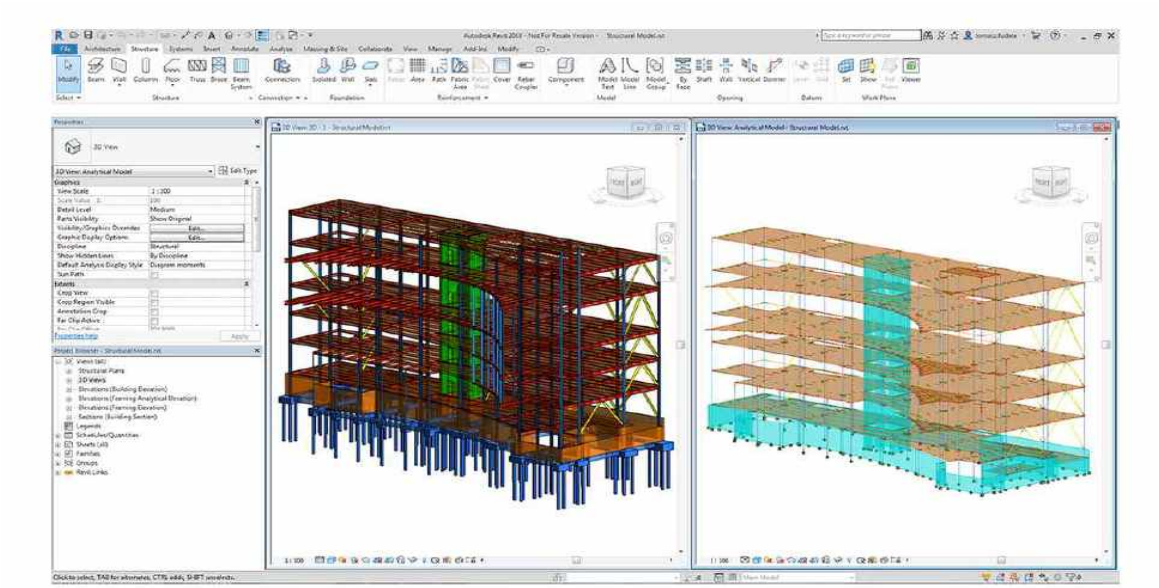
출처: Tekla Structural Designer 2016i User Guides

[그림 4-97] Tekla Structural Designer를 이용한 BIM 모델링 및 해석 예

○ 미국의 민간기업에서 BIM 모델을 이용하여 구조해석을 수행할 수 있는 S/W가 개발되어 있으나, 건축구조를 대상으로 하고 있으며 국제표준인 IFC 표준 포맷으로 작성된 BIM 모델의 적용이 어려움

- 미국의 트림블사는 건축구조물을 대상으로 하나의 프로그램 내에서 BIM 모델링과 구조해석을 동시에 실시할 수 있는 S/W인 Teckla Structural Designer를 개발함

- 미국의 Autodesk사는 Revit으로 작성된 BIM 모델을 변환하여 구조해석을 수행할 수 있는 S/W인 Robot Structural Analysis(RSA)를 개발함

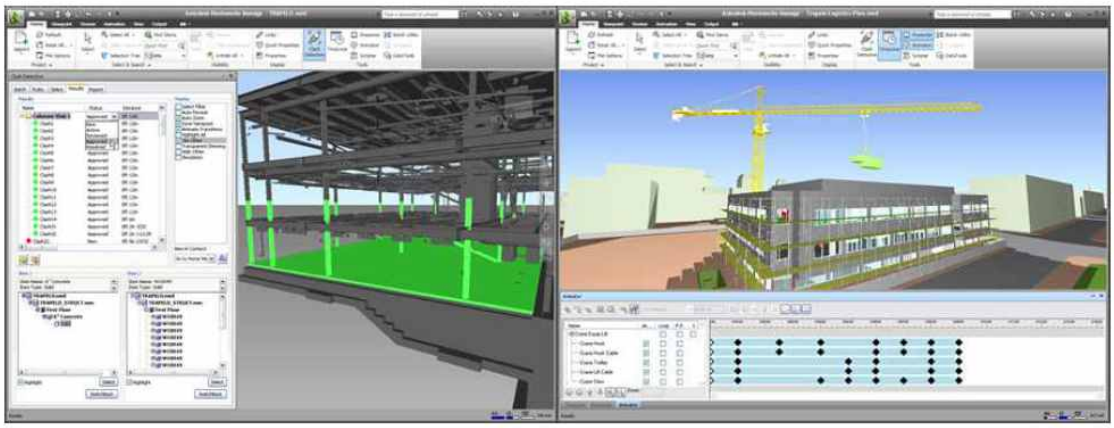


출처: Autodesk 홈페이지

[그림 4-98] Revit으로 작성된 BIM 모델의 변환 예

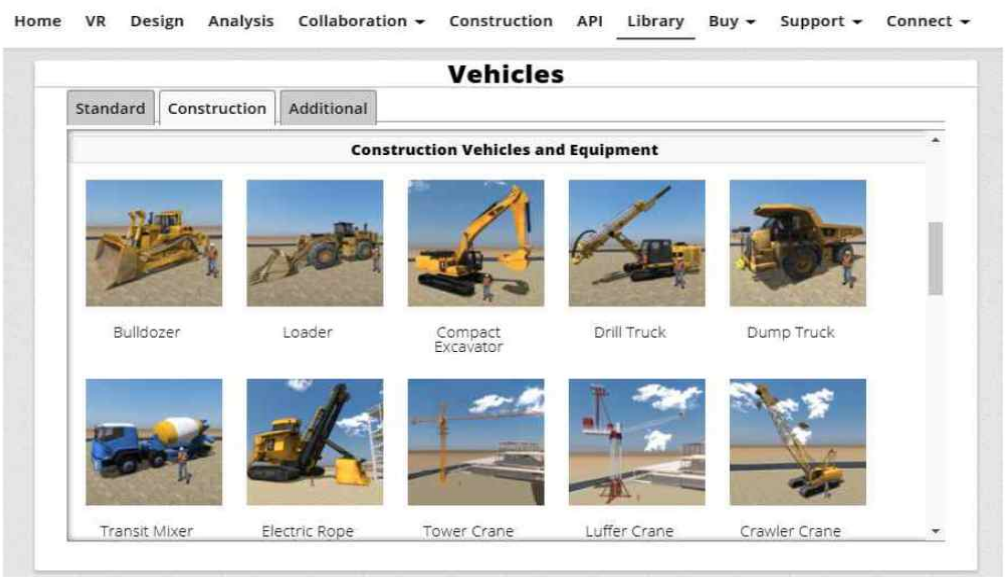
○ BIM 기반의 시공 시뮬레이션과 공정/공사비를 관리하기 위한 상용 S/W가 개발되어 있으나, 건축 구조물을 대상으로 하고 있기 때문에 인프라 구조물에 적용하기 위해서는 별도의 Add-in S/W가 필요함

- Autodesk는 시공 과정에 발생하는 간섭을 미리 검토하고 시공 장비의 애니메이션을 통해 운용성을 사전에 검토할 수 있는 Navisworks Manager를 개발하였으며, 다양한 BIM 모델링 S/W 파일 포맷은 물론 ArchiCAD와 Allplan에서 작성된 IFC 표준 포맷과의 연동 가능



출처: Autodesk 홈페이지

[그림 4-99] Navisworks를 이용한 시공(4D) 시뮬레이션의 예

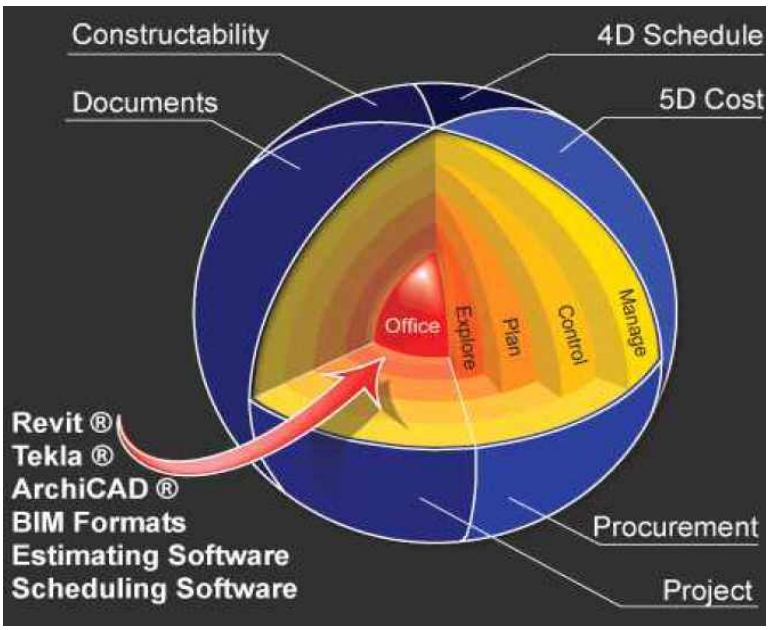


출처: Kalloc Studios 사 홈페이지

[그림 4-100] Kalloc Studios사의 시공 장비 BIM 라이브러리

- 미국 Kalloc Studios사는 Autodesk Revit과 ArchiCAD에서 애니메이션이 가능한 시공 장비에 대한 BIM 라이브러리를 제공(유상)하고 있으며, 자체개발 프로그램인 Fuzor Construction은 Customizing된 애니메이션 기반의 시공 시뮬레이션을 수행 가능

- 핀란드의 Vico Office는 Revit, AchiCAD, Tekla Structure 등에서 생성된 BIM 모델과 IFC 포맷의 BIM 모델을 기반으로 공정(4D)과 공사비(5D)를 산출·관리 할 수 있는 프로그램들(Vico Office Suite)을 제공하고 있음



[그림 4-101] Vico Office Suite의 개요

□ 디지털 기반 프리팹 부재 제작/품질검사 자동화 기술 및 프리팹 부재 혁신 기술

○ 독일의 EBAWE 사는 공장자동화 시설의 설계 및 운영 소프트웨어 등을 포함한 일체의 생산설비를 각각의 프로젝트에 맞게 개발하여 제공하고 있음

- 중국의 HAIYU 사는 중공형 슬래브모듈 생산을 위한 다기능 프리캐스트 콘크리트 생산 자동화 설비를 지원하고 있으며, 생산설비 구축에 필요한 다양한 형태의 단위장비 기술을 보유하고 있음

- 슬래브모듈, 선형모듈, 기둥모듈 등 Slip form을 이용하여 연속 압출하는 형태의 생산이 가능하도록 시스템을 구성하고 있음



[그림 4-102] 자동화 제작 설비(SCG Group)

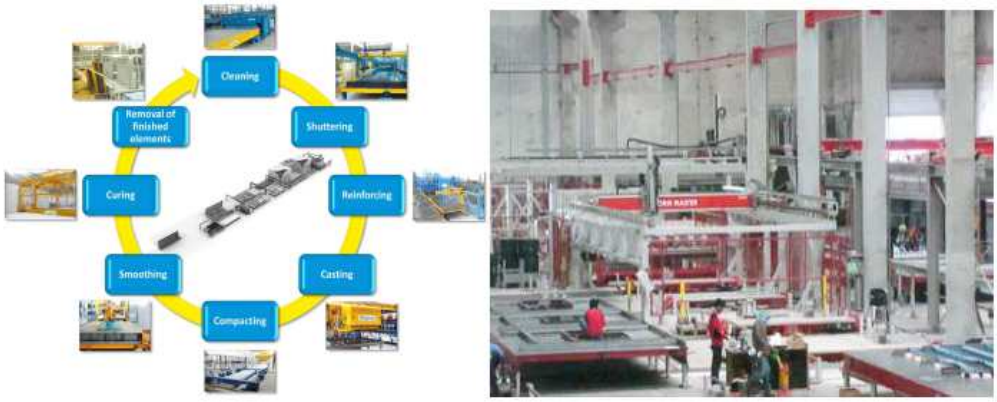


[그림 4-103] HAIYU 사의 중공형 모듈유닛 생산설비(www.htjdkj.com)

- 이러한 모듈의 생산에 있어서 가장 중요한 것은 현장에서 거푸집이라고 할 수 있는 대량 생산을 위한 금형임
- 아래의 그림과 같이 구조물을 구성하는 모듈유닛을 생산하기 위한 다양한 금형이 있어야 고품질의 모듈유닛을 대량으로 생산할 수 있음



[그림 4-104] Modular mold system(www.karimunjawaadventure.com)



[그림 4-105] 회전목마형 프리캐스트 자동생산설비(필리핀 MCC byEBAWE)

- EBAWE 사는 2013년 필리핀의 MCC(Megawide Construction Corporation)사의 프리캐스트 빌딩 패널 제작공장에 회전식 프리캐스트 생산설비를 최초로 설치하였으며, 인도, 러시아, 태국 SCG Group, 투르크메니스탄 등에 자체 개발한 회전목마형 프리캐스트 자동생산설비를 시공함

○ 대규모로 생산된 모듈유닛에 대한 각각 유닛의 특성을 반영한 품질검사 기준 수립 및 품질검사 기술개발과 관련하여 해외에서는 일부 건축구조물에 대한 검사기준과 기술에 대한 센싱기술들이 발달해 있음

- 특히 제조업과 같은 품질검사 기준수립 및 검사방법을 건설업에 접목시켜 기술개발을 해야 하나 아직 해외에서도 기술개발이 활발히 이루어지고 있지는 않음

○ 3D 프린팅 기술을 적용한 자동화 골조 또는 부재 프린팅 기술이 주목받고 있으며, 대표적인 기술로 Contour Crafting과 Concrete Printing이 있음

- University of Southern California의 건축 로봇 시스템인 Contour Crafting은 로봇기술로 콘크리트를 분사한 뒤, 구조체를 만들어 건축물을 완성해 나가는 3D 프린팅 기술

- 영국의 Lough Borough 대학과 Foster & Partners 건축사무소의 공동 연구로 진행된 Concrete Printing 또한, 대형 콘크리트 프린터를 이용하여 비정형 건축에 사용될 수 있는 곡면과 다양한 크기의 패널들을 프린팅하는 기술

○ 두 기술 모두 비정형 건축물을 지을 수 있는 새로운 방식으로 주목받고 있지만, 아직 초기 연구 단계이며, 프린팅 소재와 기술에 대한 신뢰성 및 안정성 검증이 부족하고 건축구조물에 제한적임



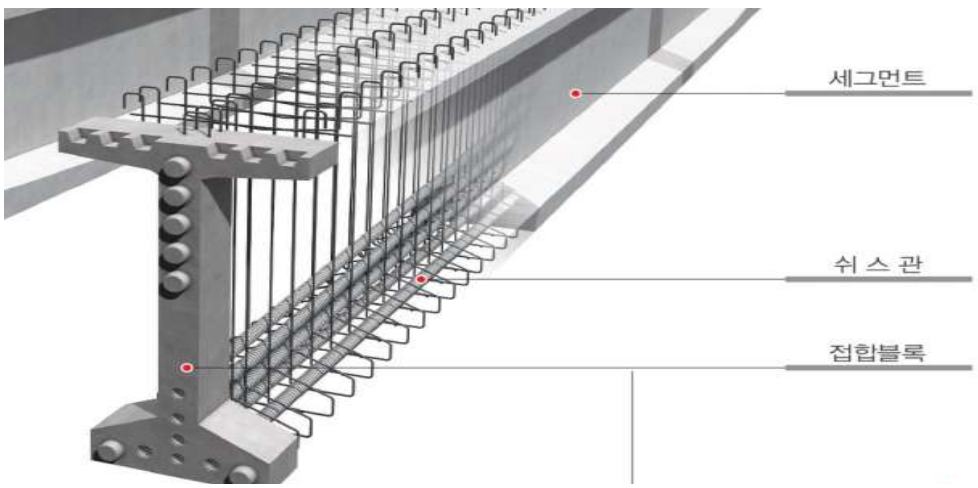
[그림 4-106] 일반 및 초고성능 콘크리트를 활용한 PC 연결부 상세 비교 (FHWA 2016)

○ 프리팹 인프라 구조물의 효율적인 현장 조립을 위해서는 부재 간 연결기술의 혁신이 필요함. 국외에서는 PC 부재 간 연결을 위하여 초고성능 콘크리트(UHPC)를 활용

- 미국 DOT 및 FHWA에서는 초고성능 콘크리트를 활용한 PC 부재 연결부 상세를 개발하였음 초고성능 콘크리트는 우수한 부착강도로 기존 콘크리트 대비 부재 연결 길이를 대폭 줄일 수 있는 장점이 있음. 다만, 부착강도 발현을 위하여 긴 양생 기간이 필요하므로 이를 줄일 수 있는 기술이 필요

- Iinterconstech사에서는 Seg beam을 활용하여 프리팹 부재를 효율적으로 제작하는 기술을 보유하고 있음

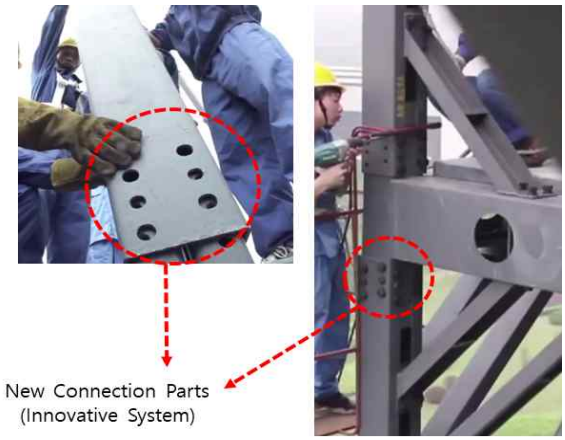
- Seg beam은 Segment 제작 시, 형상이 복잡하고 제작이 어려운 segment연결부를 별도로 제작하고 연결부 사이 콘크리트 타설로 전체 segment를 제작하는 방식임



[그림 4-107] Iinterconstech사의 Seg beam 개념도

○ 프리팹 구조를 활용한 건축의 경우, 구조시스템 혁신과 프리팹 구조의 효율을 극대화하기 위하여 인테그랄 부재/연결부를 개발하여 활용하고 있음

- 아래의 그림은 프리팹 건축에 작용되는 프리팹 인테그랄 부재의 예를 보여 줌. 프리팹 구조물의 효율을 증대시키기 위해서는 DfMA를 고려하여 제작, 운반 및 조립성을 동시에 고려하여 부재를 제작해야 하며 다기능 부재를 사용하여 성능 및 시공성을 증대시킬 필요가 있음



[그림 4-108] 건축구조에서의 프리팹 인테그랄 부재 예

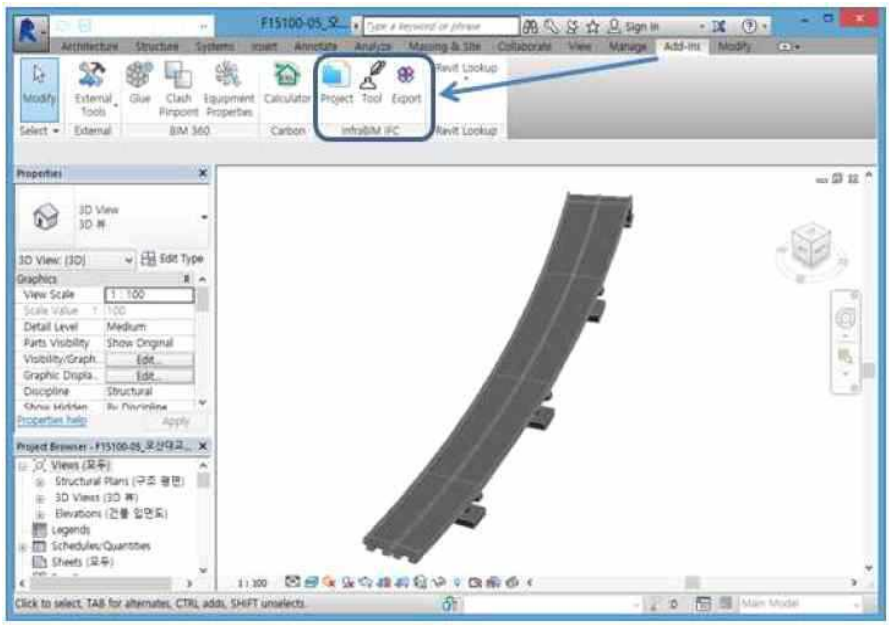
(2) 국내 동향

□ 인프라 구조물 디지털 건설기술

○ 인프라 구조물에 대한 BIM 정보모델 표준(Infra IFC)과 상용 BIM S/W에 적용하기 위한 변환 S/W를 개발한 바 있고, 최근 선형기반의 인프라 구조물에 대한 BIM 모델 작성이 가능한 S/W의 개발을 시작하였으나, 연속형 구조물에 국한되어 있음

- 한국건설기술연구원은 'Infra BIM 정보모델 표준 및 검증기술 개발(2016)'을 통해 도로분야 BIM 공통포맷(표준)인 IfcRoad를 포함한 Infra IFC를 개발함

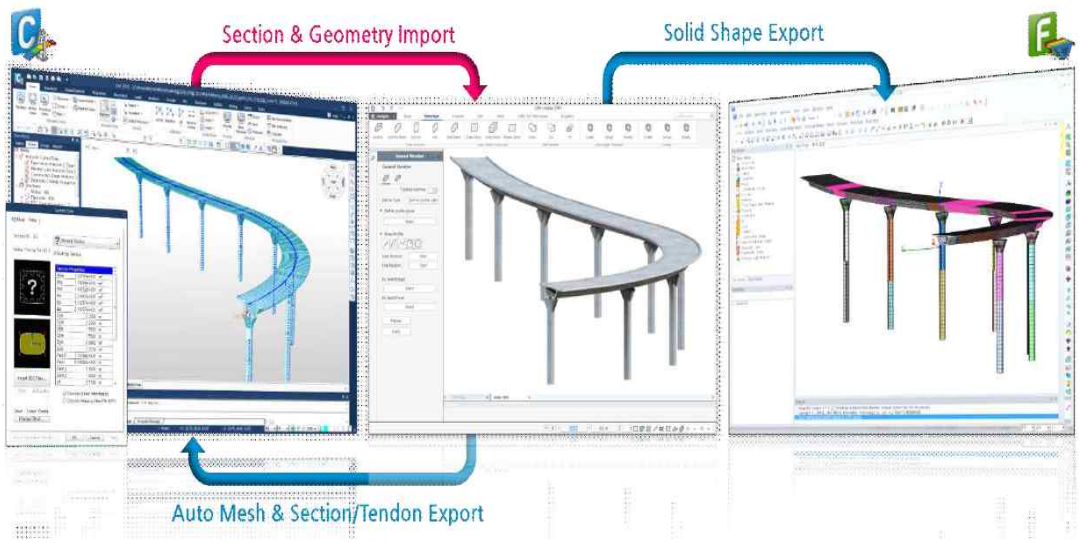
- 또한, 같은 연구에서 상용 프로그램인 Revit을 대상으로 BIM 표준을 검증하고 실무에서 활용할 수 있도록 변환 S/W(Add-in 프로그램)를 개발함



[그림 4-109] Infra BIM IFC Add-in 화면

○ 국내 마이다스아이티에서 개발 중인 교량/터널에 대한 BIM 모델링 S/W에서는 구조해석모델을 자동생성 및 연계하는 솔루션을 포함하고 있음

- 하지만, 아직까지 프리팹 구조물에 대한 BIM 정보모델 표준을 기반으로 BIM 모델-구조해석모델 간의 정보를 교환하기 위한 표준이 마련되지 않아, 특정 기술 외에 범용의 S/W에서는 활용하기 어려움



출처: 마이다스아이티 내부 자료

[그림 4-110] 교량/터널 BIM 모델링 및 구조해석 S/W 개요



출처: 대림산업 홈페이지

[그림 4-111] 웹기반 5D 시스템 개요 - 대림산업

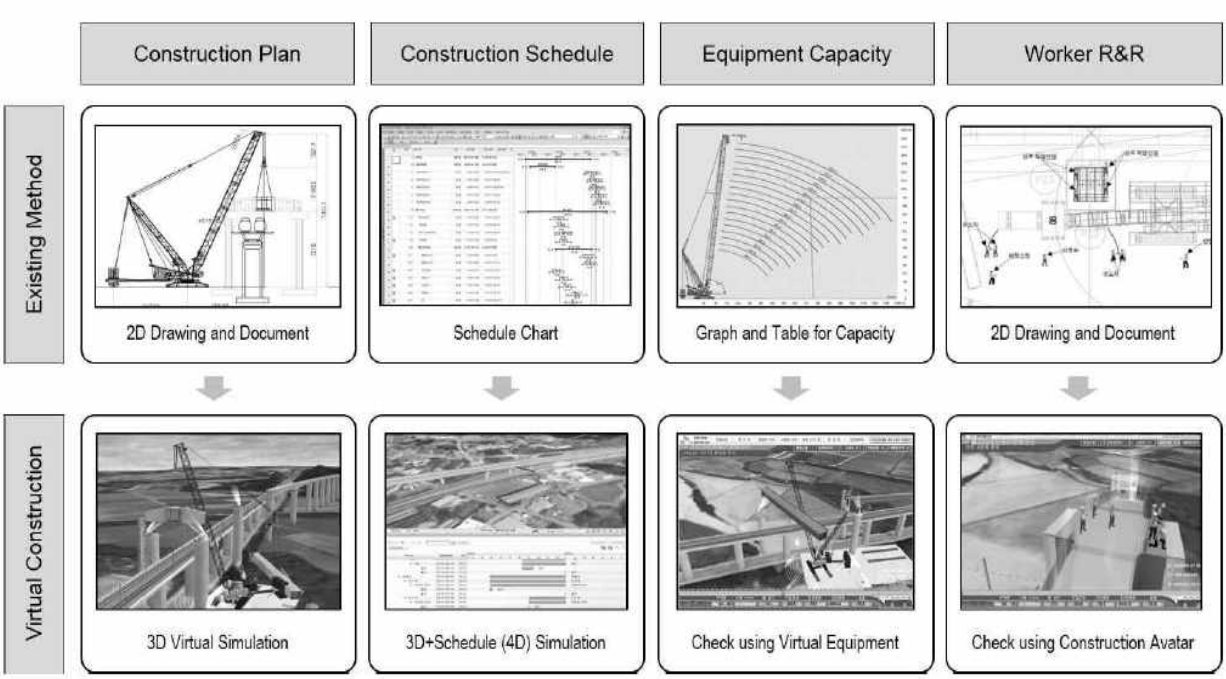
○ 국내 기업에서 공정과 공사비를 관리할 수 있는 S/W를 개발하여 제한적으로 적용되고 있음. 최근 국토부에서 연속형의 인프라 구조물을 대상으로 한 '인프라 BIM 정보분류체계' 바탕의 수량・공정(4D)・공사비(5D) 연계활용 기술을 개발 중

- 대림산업은 2013년에 BIM 기술을 토목분야에 적용하여 EVMS(공정·비용관리 시스템)에 연계하여 실시간 시각적으로 공정 및 비용을 확인할 수 있는 웹 기반의 공정 및 비용관리 시스템을 개발하고, 한두리교와 새천년대교 등 특수 교량에 제한적으로 적용함

- ㈜유미드시스템은 BIM 설계 정보를 활용하여 공정, 비용 산정이 가능한 S/W (Hi-Five)를 개발하였으나, 자체의 작업분류체계(WBS)에 따라 분석이 이루어지며 Revit에만 한정되어 적용되는 등 사용 환경이 제한적임

- 국토교통부는 체계적인 공정/공사비의 관리가 가능하도록 '인프라 BIM 정보분류체계'를 바탕으로 공정과 공사비를 통합적으로 관리하기 위한 인프라 BIM 수량・공정(4D)・공사비(5D) 연계활용기술을 개발 중임

- 개발 중인 기술은 공정과 원가에 대한 객체의 속성정보를 바탕으로 공정과 공사비를 관리할 수 있는 기술로서, 프리팹 인프라 구조물로 확대하여 적용할 경우 효과적인 공정/공사비의 관리가 가능할 것임



출처: 김성훈, et al. 토목시설물에 대한 BIM 기반 가상건설 장비 시뮬레이션 시스템 개발. 한국전산구조공학회 논문집, 2017, 30.3: 223-230.

[그림 4-112] 가상 건설의 개요

○ 최근(2016년), (주)태성에스엔아이에서 국가 R&D 과제를 통해 세계 최초의 토목 시설물에 대한 4D 가상건설 시뮬레이션 관련 솔루션을 개발하기 위한 연구가 시작된 바 있음

- 개발 중에 있는 가상건설 시뮬레이션 솔루션은 상용 S/W 제품으로서, 연구 개발 내용에 국가적인 BIM 정보관리를 위한 표준, 가이드, 데이터 교환 기준 등에 대한 내용은 제외되어 있음

□ 디지털 기반 프리팹 부재 제작/품질검사 자동화 기술 및 프리팹 부재 혁신 기술

○ 국내의 경우, 일부 인프라 구조물(대부분 암거 및 교량 바닥판)과 관련된 프리캐스트 생산 공장이 있음

- 구조물의 모듈화 시공을 위한 프리팹 부재 생산을 위하여 부재별 금형을 생산하고 철근 가공 후 금형 내 조립까지 공정 대부분이 인력으로 이루어져 균일한 구조성능 확보와 품질이 저하되며 경제성 확보도 어려운 실정임



[그림 4-113] 국내의 프리팹 부재 생산 금형(www.kccond.co.kr)

- 몰드해체, 탈형 및 야적장 운반 시 크레인, 지게차 등을 이용한 작업으로 생산모듈의 파손위험이 상존하며, 생산성 저하의 원인이 되는 실정임.
- 정형화되지 않은 대형모듈의 현장 운반은 제도상, 장비상 한계가 있으며, 대형 공사의 경우 운반비 절감을 위해 현장 인근 임시제작장을 설치하여 제작하고 있으나, 이동식 자동화 설비 미흡으로 품질 하자가 발생하는 상황임
- 제작된 모듈 부재에 대한 체계화된 야적 시스템이 없으며, 생산된 모듈 적재를 위하여 대규모의 부지를 필요로 하여 제작모듈의 입출고에 대한 생산성이 떨어지고 있음

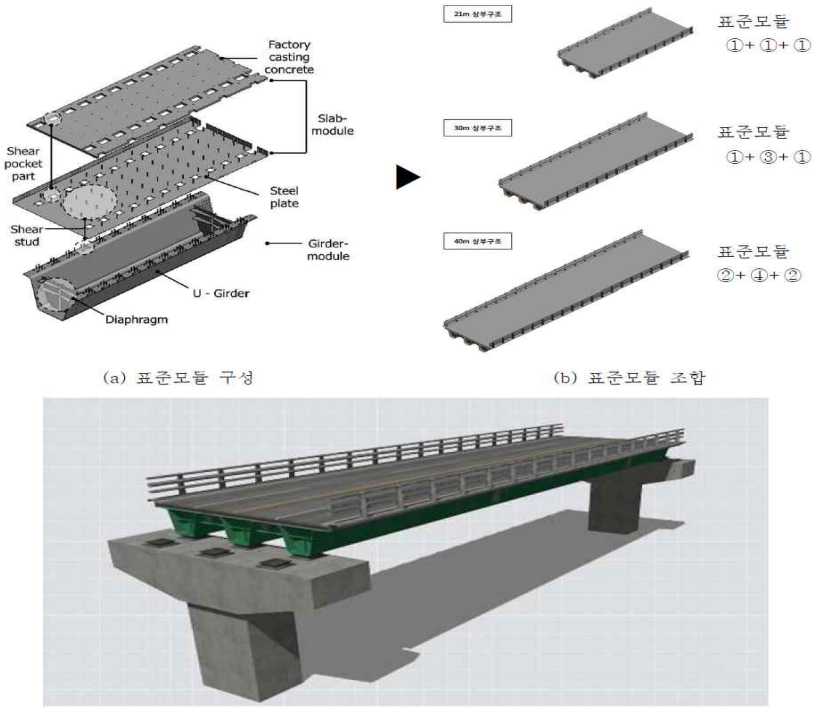
○ 전반적으로 조립식 프리팹 부재에 대한 생산기술보다는 시공방법에 대한 연구개발이 압도적으로 많이 이루어지고 있으며, 생산 및 조립의 균형이 각 공법별로 조화를 이루지 못해 스마트 건설화 기술의 발전에 저해 요소로 작용하고 있음

- 생산된 모듈유닛에 대한 품질검사 기준이 없으며 현장에서 발생된 표면결함 및 제작오차에 대한 판단이 어려워 불량품을 검사하기가 어려움. 또한, 검사방법에 대한 것도 육안에 의존하고 있는 실정임



[그림 4-114] 제작 모듈유닛 야적 현황

- 프리팹 부재/연결부 혁신과 관련해서는 국내에서 2015년 완료된 R&D를 통해 강재와 프리캐스트 모듈러 교량 기술을 개발한 사례가 있음
- 주로 최소한의 표준 모듈을 사용하여 지간 20~40m 폭 4차선 규모의 교량에 적용 가능한 기술을 개발하였으며, DB 모듈 조합설계 및 시뮬레이션 프로그램을 개발함



출처: 직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술개발 연구개발 활용 계획서

[그림 4-115] 강재 모듈러 교량 개념

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ 인프라 구조물 디지털 건설기술

<표 4-65> 인프라 구조물 디지털 건설기술 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	■ 국제표준 기반 건설정보 분류체계가 BIM 분야에 활용 ■ BIM 기반의 시공 시뮬레이션과 공정/공사비를 관리하기 위한 상용 S/W을 개발/활용 - 하지만 위의 내용은 건축구조를 중심으로 개발된 내용으로 연속형 혹은 프리팹 인프라 구조물에 대한 사례는 제한적임	■ 인프라 시설물을 대상으로 '인프라 BIM 표준분류체계' 개발 중 - 세계 최초로 인프라 시설물에 대한 BIM 라이브러리를 구축하여 제공 - 인프라 구조물에 대한 BIM 정보모델 표준(Infra IFC)과 상용 프로그램에 활용하기 위한 Add-in S/W를 개발 - 선형기반의 인프라 구조물에 대한 BIM 모델 작성과 구조해석/검토 가능한 S/W 개발 중 ■ 세계 최초의 토목 시설물에 대한 4D 가상건설 시뮬레이션 관련 솔루션을 개발 중 - 연속형 인프라 구조물에 대한 기술 수준은 해외와 비교하여 높은 수준으로 판단되나 프리팹 인프라 구조물에 대한 연구는 미흡한 편임
TRL 단계	6~7단계	5-6단계
기술성숙도	시작품 및 실용화 단계	시작품 단계
주요성능	건축 중심의 BIM통합 통합 가상건설 지원 기술	건축 및 연속형 인프라 구조물에 대한 BIM 통합 가상건설 지원 기술 개발 중

□ 디지털 기반 프리팹 부재 제작/품질검사 자동화 기술 및 프리팹 부재 혁신 기술

<표 4-66> 디지털 기반 프리팹 부재 제작/품질검사 및 프리팹 부재 혁신 기술 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	■ 3D 형상 구현이 가능한 콘크리트 블록 제작기술 확보 - 일부 유닛에 대한 자체 가이드는 있으나 모듈유닛에 대한 표준검사기준 및 방법에 대한 기준제시 없음 ■ 건축물 중심의 프리팹 인테그랄 부재/연결부 기술 발달 - 자동화 시공을 촉진하기 위한 부재 기능의 융합 및 연결부의 innovation 기술 등장	■ 단순한 현장타설 콘크리트 거푸집 개념의 폼 제작 기술 - 모듈유닛에 대한 표준검사기준 및 방법에 대한 기준제시 없음 ■ 건축부분에서 합성 및 비합성 프리팹 부재에 대한 연구 수행 중 - 표준모듈의 조합을 통하여 전체 구조계를 완성하는 모듈러 교량 시스템에 대한 연구가 진행됨
TRK 단계	8단계	5단계
기술성숙도	실용화 단계	시작품 단계
주요성능	■ 다형상 프리팹 부재 제작을 위한 자동화 기초 기술 확보 - 건축 분야에서 프리팹 인테그랄 부재/연결부에 대한 개발 및 적용 사례가 있음	■ 인력 중심의 프리팹 부재 생산 - 표준 모듈활용 인프라 구조물에 대한 연구가 진행되었으나 본격적인 실용화는 현재 이루어지고 있지 않음

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

<표 4-67> 인프라 구조물 디지털 건설기술 선행과제의 한계점과 기술개발방향

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
국제 표준 BIM 포맷 기반의 동적 4D 가상건설 시뮬레이션 시스템 개발	미래창조 과학부 (2016-2018)	■ 기존 연구는 직선형 단경간 도로교에 적용하기 위한 프리캐스트 교량에 대한 연구임 - 본 연구는 중소교량 모두 포함하며 직선 및 곡선교도 연구 범위임 - 또한 본 연구는 프리팹 인프라 구조의 가상건설에 대한 연구로 연속형 인프라 구조물과는 차별성이 있음	■ 연구 대상은 중·소형 도로 교량 및 터널로 하고 직선 및 곡선교를 포함 함 - 또한, 본 연구 대상은 프리팹 모듈화가 가능한 도로 구조물(교량, 터널, 동벽)을 포함함으로 차별성이 있음

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술개발	국토교통부 (2013-2018)	■ 기존 연구는 교량생애주기 증가를 위해 프리캐스트 부재를 이용한 급속시공에 관한 연구 ■ 본 연구는 프리팹 도로구조물(교량, 터널)을 포함함 ■ 도로구조물을 프리팹 부재를 활용하여 조립 시공함으로서 근본적인 건설 생산성 향상에 기여하는 점에서 차별성이 있음	■ 본 연구에서는 기존 교량의 급속 교체는 다루지 않으며 연속 및 프리팹 모듈화된 도로구조물(교량, 터널)에 대하여 연구를 수행
개방형 BIM 기반의 건축물 설계표준 및 인프라 구축	국토교통부 (2013-2016)	■ 기존 연구는 건축물을 대상으로 하고 있음 ■ 본 개발 기술은 도로구조물을 대상으로 한다는 점에서 차별성이 있음	■ 도로구조물은 건축구조와는 다르게 선형을 가지며 종방향 설계가 중요함. - 따라서, 건축 구조와는 근본적으로 다른 측면이 있으며 인프라 구조물 특성에 맞는 연구를 추진
모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상 기술개발	국토교통부 (2014-2021)	■ 기존 연구는 모듈러 건축 구조를 대상으로 한 BIM 설계기술을 개발임 ■ 본 개발 기술은 이질적인 BIM 스키마를 갖는 인프라 구조물을 대상으로 하는 점에서 차별점이 있음	■ 건축 구조와는 달리 도로구조물은 선형을 가지며 이는 건축구조와는 이질적인 스키마를 갖는 구조임 - 위 사항을 반영하여 연구 추진
모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상 기술개발	국토교통부 (2014-2021)	■ 기존 연구는 모듈러 건축 구조를 대상으로 한 BIM 설계기술을 개발임 ■ 본 개발 기술은 이질적인 BIM 스키마를 갖는 인프라 구조물을 대상으로 하는 점에서 차별점이 있음	■ 건축 구조와는 달리 도로구조물은 선형을 가지며 이는 건축구조와는 이질적인 스키마를 갖는 구조임. 이를 반영하여 연구를 추진
직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술개발	국토교통부 (2010-2015)	■ 기존 연구는 주로 표준모듈을 구성하여 중소교량을 구축하는 연구를 수행하였으며, 구조체 자체에 대한 연구를 수행 - 하지만, 모듈의 시공성을 고려한 시뮬레이션과 프리팹 부재의 제작에 대한 연구가 없다는 점에서 본 연구와는 차이를 가짐	■ 프리팹 인프라 구조물의 효율성 향상을 위해서는 자동화 시공이 필요하고 이를 지원할 수 있는 가상건설 시스템 및 프리팹 부재 생산성 증대를 위한 기술을 개발

2.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-68> 도로구조물 스마트 건설기술의 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
도로구조물의 디지털 설계 기반 설계-제작-시공 협업 시스템 (구성기술1)	- BIM 모델을 이용하여 구조해석 및 설계검토를 수행할 수 있는 상용 S/W를 개발 중에 있음 - 하지만, 관리주체에서 특정 상용 S/W에 종속되지 않는 지원 툴(S/W)의 마련 필요 - 현재까지 연구는 연속형 인프라 구조물에 제한되어 있어 프리팹 인프라 구조물의 특성 반영 필요	- 프리팹 인프라 구조물을 포함하여 BIM 표준 기반의 BIM 모델-구조해석 모델간의 정보교환 기준과 설계 검토 지원 S/W개발 - BIM 표준 기반 정보공유를 위한 설계-제작-시공 가상건설 시스템 구축 - 시공 중 형상정보와 설계 BIM 정보, 구조해석 결과와의 연동을 통한 의사결정이 가능하도록 S/W 개발 - 시공과정을 가상건설 시스템에 저장하여 디지털 컨텐츠로 활용
	- 국내에서 BIM 객체의 속성을 활용한 인프라 BIM 수량.공정.공사비 연계활용기술을 개발 중이나, 프리팹 구조의 적용으로 인한 공정 체계를 반영할 수 없는 한계가 있음	- 프리팹 구조의 적용에 따라 변화되는 공정 체계를 반영한 공정/공사비 산출·관리 S/W 개발 - 장비, 프리팹 부재, 공법에 대한 범용의 BIM 라이브러리와 형상/속성 기준 등을 개발하는데 초점을 둠
	- 시공 중 장비의 운용성을 검토할 수 있는 상용의 동적 시공시뮬레이션 S/W가 제한적으로 적용되고 있음 - 장비에 대한 BIM 라이브러리는 물론 시뮬레이션 정보를 관리하기 위한 가이드 등의 기반 부족	- 프리팹 구조의 조립시공 장비를 고려한 동적 조립 시뮬레이션 S/W 개발 및 장비에 대한 범용의 BIM 라이브러리와 형상/속성 기준 등을 개발하는데 초점을 둠
디지털 기반 프리팹 도로구조물 제작/시공 혁신 지원 기술 (구성기술2)	- 제한된 금형으로 인하여 다양한 형태의 프리팹 부재 제작 기술 부족 - 고가의 금형 제작비와 대규모 물량 확보가 어려워 금형 활용도가 낮아지며 경제성 감소	- 디지털 기반 다형상 프리팹 부재의 3D 형상을 구현 할 수 있는 자동식 제작 장치 개발
	- 모듈유닛에 대한 품질관리기준이 없어 제품생산의 품질확보 곤란	- 프리팹 부재에 대한 품질검사기준 수립 및 검사방법 표준화로 생산된 제품의 품질 확보방안 마련
	- 인프라 구조물 모듈유닛에 대한 품질검사가 육안에 의존하고 있고 자동화 기술 부족	- 프리팹 부재에 대한 자동화 품질검사 방법 개발
	- 프리팹 인프라 구조물의 자동 시공화를 위해서는 다량의 부부재 사용을 지양하고 최소한의 연결이 필요하며 연결방식의 단순화 필요	- 최소한의 부부재를 활용하고 부재의 융합을 통한 프리팹 인테그랄 부재 및 연결부 혁신 기술의 개발이 필요하며 이를 위한 지원 기술 위주로 연구를 진행함

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

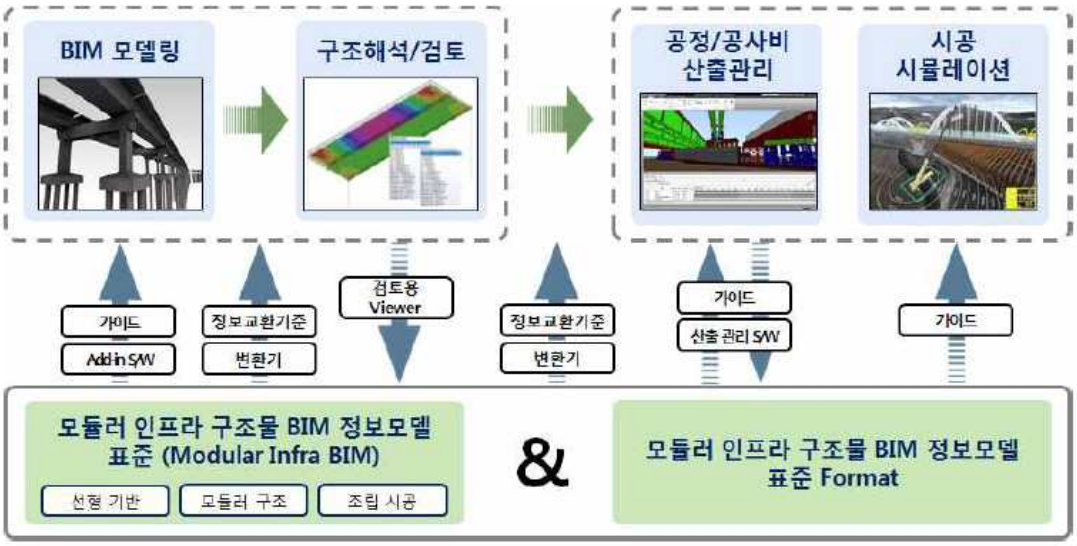
□ 기술개발 필요성

(구성기술 2-1-1.) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발

○ 도로구조물의 디지털 설계기반 설계-제작-시공 협업 시스템은 도로구조물(교량, 터널, 동벽)에 대하여 구축된 BIM 라이브러리(부재, 운반/시공 장비 등)를 이용하여 도로구조물의 BIM 모델을 작성

- BIM 모델을 활용하여 구조적인 안전성 검토, 설계 기준과의 적합성 검토, 공정/공사비 산출·관리, 조립시공 시뮬레이션을 수행하기 위한 BIM 표준 기반 모델링 지원

- S/W, BIM 모델-해석/시뮬레이션 모델 간 정보변환/검토용 지원 S/W, 공정/공사비 산출·관리 S/W, 가상 조립 S/W 및 각 공종간 정보공유 시스템(디지털 엔지니어링 모델)을 개발하는데 목적이 있음



[그림 4-116] 도로구조물 가상건설 기술 개요(프리팹 교량 예)

○ 도로구조물에 대한 BIM 모델을 작성하기 위해서는 선형기반 인프라 구조물의 특성과 모듈의 형상/속성 정보를 표현할 수 있는 BIM 정보모델 표준 및 이를 표현하기 위한 파일 포맷이 필요하며, 설계 실무에서 표준을 준수한 BIM 모델 작성을 지원할 수 있는 S/W(Add-in) 및 가이드의 개발이 필요함

- BIM 설계 성과물을 구조계산의 적정성을 검토에 활용하기 위해, 개발된 BIM 정보모델 표준 기반의 설계검토 결과 검수용 S/W(Viewer)와 BIM 모델과 구조해석 모델 간 양방향의 정보교환을 위한 기준이 필요함

- BIM 모델을 기반으로 구조계산에 활용된 입력 정보, 구조해석 및 안전성 검토 결과에 대한 정보를 확인할 수 있도록 할 경우, BIM 설계 성과물은 관리기관(국토부, 지자체 등)에서 구조계산의 적정성을 검토(설계심의)하기 위한 효과적인 도구로 활용될 수 있을 것임

○ 국내외의 일부 S/W 개발 기업에서 BIM 모델을 이용하여 구조해석을 수행하고 결과를 확인할 수 있는 S/W가 개발되고 있지만, 상용 S/W를 관리기관에서 정보 관리를 목적으로 사용할 수는 없으므로 정부(국토부)나 지자체에서 사용할 수 있는 범용의 Viewer의 개발이 필요함

- 프리팹 부재를 이용하여 조립/시공되는 프리팹 도로구조물의 경우, 공정과 공사비를 검토·관리

- 운반/시공 과정에서 발생하는 간섭과 장비의 운용성을 검토하기 위해서는, 프리팹 부재의 적용에 따라 변화되는 공정을 반영하여 운반/시공 과정을 시뮬레이션(동적 조립시공 시뮬레이션)하기 위한 기준 및 지원 기술이 필요함

- 또한, 제작공정과의 디지털 모델을 이용한 연계를 위하여는 데이터 인터페이스 및 정보전달 체계가 만들어져야 함. 특히 이러한 기술은 프리팹을 활용하는 경우 더욱 필요함

○ 시공 시뮬레이션은 기본적으로 공정(4D)에 다른 부재 및 공정 간의 간섭을 검토할 목적으로 이루어지며, 최근 장비의 운용성 등을 검토하기 위해 애니메이션 기능이 구현된 시뮬레이션이 수행되고 있음

- 조립시공 중 장비의 운용성을 검토할 수 있는 동적 시공 시뮬레이션을 위한 상용 S/W가 국외에 개발되어 있고 국내에서도 관련 기술이 개발 중에 있지만, 아직까지 제한적으로 적용되고 있는 기술이기 때문에 장비, 공법에 대한 범용의 BIM 라이브러리와 시뮬레이션 가이드 등의 기반이 부족함

- 프리팹 인프라 구조물의 경우, 조립시공 중에 발생하는 프리팹 부재의 간섭 및 운반/조립시공 장비의 운용에 문제가 발생하게 되면 공사의 지연·중단으로 이어지게 되므로, 관리주체는 운반/시공 장비 운용계획에 대한 검토·관리가 필요함

- 또한, 시공 정보를 바탕으로 설계 BIM 및 구조해석과 연계하여 취약부분 분석 등 의사결정을 지원하고 시공과정을 디지털 컨텐츠화하여 향후 유사 시공에 활용할 수 있음

(구성기술 2-1-2.) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

○ 프리팹 인프라 구조물을 구현하기 위해서는 DfMA를 고려한 다양한 3D 형상의 프리팹 부재가 필요함. 하지만, 이를 위해서는 부재 형상별 금형이 필요함.

- 또한, 제작 물량이 작은 경우에는 고가의 금형 제작비용으로 인하여 프리팹 인프라 구조의 경제성 약화의 원인이 됨. 이를 극복하기 위해서는 경제적이고 다양한 형상/기능을 구현할 수 있는 프리팹 부제 제작 기술이 필요함
- 생산된 프리팹 부재에 대하여 품질검사 방법 및 기준이 없어 생산된 프리팹 부재 제품보증에 대한 어려움이 있음. 각각의 프리팹 부재 특성에 맞는 품질검사 기준 및 품질검사를 자동화할 필요가 있음

○ 프리팹 부재 연결 시 PC의 경우 강선 혹은 연결부 현장타설로 부재를 연결하며 강부재의 경우, 다수의 볼트 혹은 용접을 통하여 프리팹 부재를 연결함. 이러한 부재 간 복잡한 연결은 프리팹 구조의 시공 자동화를 저해하는 요소로 작용됨. 프리팹 구조의 시공성 저하는 전체 프리팹 구조의 경쟁력과 직결됨

- 따라서, 프리팹 자동화 조립시공을 촉진하기 위한 연결부와 기존 단일기능 프리팹 부재의 성능을 확장한 프리팹 인테그랄(다기능) 부재 및 연결부 활용이 필요함
- 또한, 일반 콘크리트/강재 공통 프리팹 부재 및 연결부에 대한 성능검증 표준절차도 필요하며, 본 사업에서 개발될 자동화 시공장비를 활용한 프리팹 구조물의 자동화 장비 상호 호환성을 고려한 최적 설계기술도 필요함

□ **개발내용**

(구성기술 2-1-1.) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델* 개발

* 설계, 제작 및 시공 단계에서 연속적으로 적용할 수 있는 디지털화된 모델

○ 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 설계 모델 개발

- 도로선형에 맞춰 프리팹 구조의 자동 배치 및 형상 설계(철근 상세, 피복두께 등) 등이 가능한 디지털 설계 모델링 기술 개발

- 프리팹 구조의 미학적 형상 구현을 위한 알고리즘 개발

○ 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 제작 모델 개발

- 디지털 설계 모델과 제작장비(로봇, 프린팅, 가공장비 등) 간 데이터 연동 및 원격·자동화 시공 지원(프리팹 구조 제작 정보 제공)을 위한 디지털 제작 모델 개발
- 프리팹 구조 제작 지원을 위한 데이터(제작 절차, 소요시간, 물량 등) 분석 알고리즘 개발

○ 디지털 엔지니어링 모델의 정보전달 체계서 개발

- 도로구조물 프리팹 구조의 DfMA를 위한 디지털 설계 모델/제작 모델 간 정보전달 체계서 개발

○ 디지털 엔지니어링 모델 적용 및 실증

- 가상의 고속도로를 대상으로 디지털 설계 모델 적용
- 도로구조물 프리팹 부재의 디지털 설계 모델/제작 모델 실증*

  * 핵심기술 2-2의 구성기술 1과 연계 수행 필요

(구성기술 2-1-2.) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

○ 도로구조물 프리팹 구조의 제작 지원 및 품질관리 기술 개발

- 콘크리트 프리팹 구조의 제작 공정 지원 기술* 개발

  * 철근, 거푸집 등 제작요소 디지털 가공, 장비간 인터페이스, 제작 공정 자동화 기술 등

- 강재 프리팹 부재의 디지털 제작 공정 지원 기술* 개발

  * CNC, 용접 등 가공장비 인터페이스, 제작 공정 자동화 기술 등

- 제작 공장 내 프리팹 구조 품질검사 장비 및 품질관리 기준 개발
- 제작 형상정보, 제작공정 및 품질검사 기록 등 이력관리 기술 개발

○ 조립시공 최소화를 위한 도로구조물 프리팹 구조 혁신 기술 개발

- 현장공정 최소화를 위한 신형식 프리팹 구조 및 연결부 개발
- 신형식 프리팹 구조 및 연결부에 대한 성능검증 표준절차 및 지침 개발

※ 구성기술 2는 핵심기술 2-2, 2-3, 4-2와 연계 수행 필요

□ 개발목표

(구성기술 2-1-1.) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발	디지털 설계 모델과 제작장비 간 데이터 연동률	10%	30%	90% 이상	●		
	프리팹 구조(콘크리트)의 설계 대비 제작 오차률	-	-	0.2% 이하	●		
	프리팹 구조의 설계-제작-시공을 통한 공기 단축률	-	-	25% 이상	●		

(구성기술 2-1-2.) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발	기존 대비 프리팹 구조 제작시간 단축률	-	-	50% 이상	●		
	프리팹 구조 품질검사 자동화 수준	-	-	90% 이상	●		

□ 개발목표의 설정 근거

(구성기술 2-1-1.) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발

○ BIM 정보모델 표준 포맷을 기반으로 BIM 모델을 각 공정별 데이터 전환에 대한 적합도로서, 실무자의 수정 비율을 최소화하기 위한 데이터 연동률로 제시

- BIM 모델을 바탕으로 프리팹 구조를 자동 제작할 수 있는 성능으로서, 실무자의 수정 비율을 최소화하기 위해 설계 대비 제작 오차율로 제시
- BIM 객체의 속성 정보를 바탕으로 부재 운반 및 시공을 자동으로 계획하기 위한 성능으로서, 공정을 통해 달성해야 하는 공기 단축률을 제시

(구성기술 2-1-2.) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

○ 프리팹 인프라 구조물의 경제성을 확보하기 위해서는 프리팹 부재의 생산단가를 낮춰야 함. 하지만, PC 부재의 경우, 단가는 금형제작 및 생산 자동화 정도에 영향이 큼

- 따라서, 생산 과정을 디지털화화하고 다형상에 적용이 가능한 기술을 개발할 필요가 있으며, 개발목표는 제작 자동화 정도를 반영하기 위한 제작시간 단축률로 설정하였음. 이는 독일의 EBAWE사의 제작 공장 자동화 수준(70%)과 현재 국내 대부분의 프리팹 부재 생산기업이 자동화(디지털화)가 거의 이루어지지 않은 점 등을 참고함

○ 프리팹 부재 품질검사에 대한 개발 목표는 자동화 수준 90%로 설정하였음. 이는 품질검사에 대하여 인력에 의한 검사를 10% 미만으로 줄이는 것을 목표로 하는 것임

- 프리팹 및 프리팹 인테그랄 부재는 구조 형식에 따라 다양하게 개발될 수 있음. 이러한 개발(자동 시공화 장비 운영 포함)을 촉진하기 위하여 신규 개발되는 부재 및 구조체화 되었을 때 성능 및 품질을 확보할 수 있는 개발 절차가 필요함
- 또한, 이러한 개발 절차는 기존의 설계 혹은 시방 기준과 적합해야만 사용할 수 있으므로 이를 개발 목표로 설정함

□ 연구성과물 목록

<표 4-69> 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술의 연구 성과물(시제품) 목록

No	시제품명	관련 개발내용	시기
1	구조물 디지털 엔지니어링 모델 및 실증	도로구조물(프리팹 구조 포함) 설계-제작-시공 공종간 협업이 가능한 디지털 모델 기술개발	4차년도
2	모듈화된 도로구조물의 디지털 제조 및 가설을 위한 정보전달체계서 및 시작품	DfMA를 위한 정보전달체계 기술개발 및 시작품 작성	4차년도
3	프리팹 부재 자동화 생산기술/장비	(콘크리트 및 강구조) 도로구조물에 대한 프리팹 부재 자동화 생산을 위한 요소기술 개발	4차년도
4	디지털 기술 기반 품질 검수 가이드라인 및 자동화 품질검사 기술/장비	디지털 데이터 기반 프리팹 부재 품질 자동화 검사 기술	5차년도
5	프리팹 도로구조물 자동화 시공을 위한 공정/구조화/부재/연결부 상세(안) (콘크리트 및 강구조 2종 이상)	시공자동화 촉진을 위한 자동화 장비-구조물 연계성을 고려한 프리팹 도로구조물 공정/부재/연결부 상세(안) 제안 → 실증모델과 연동	4차년도
6	(다기능) 부재/연결부 표준 성능검증 절차서 및 정보화 기준	시공자동화 촉진 다기능 부재 설계 및 성능검증 표준 절차와 유지관리를 고려한 부재 성능정보 정보화 기술	5차년도

2.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

<표 4-70> 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 선행과제의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
국제 표준 BIM 포맷 기반의 동적 4D 가상건설 시뮬레이션 시스템 개발	과학기술 정보통신부 (2016-2018)	기존 연구는 직선형 단경간 도로교에 적용하기 위한 프리캐스트 교량에 대한 연구임	■ 본 연구는 중·소교량 모두 포함하며 직선 및 곡선교도 연구 범위임 - 또한 본 연구는 프리팹 인프라 구조의 가상건설에 대한 연구를 포함하므로 이러한 점에서 차이가 있음

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
			■ 개발된 표준 BIM 표준은 BIM 모델 작성 및 프리팹 부재 라이브러리 작성에 활용 가능
ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술개발	국토교통부 (2013-2018)	기존 연구는 교량생애주기 증가를 위해 프리캐스트 부재를 이용한 급속시공에 관한 연구임	■ 본 연구는 연속구조물 뿐만 아니라 프리팹 부재를 활용하여 조립 시공함으로써 근본적인 건설 생산성 향상에 기여하는 점에서 차별성이 있음 ■ 프리팹 부재 간 연결부 급속시공에 대하여 기존 연구 참조 가능
개방형 BIM 기반의 건축물 설계표준 및 인프라 구축	국토교통부 (2013-2016)	기존 연구는 건축물을 대상으로 하고 있음	■ 본 개발 기술은 도로구조물을 대상으로 한다는 점에서 차별성이 있음 ■ 개발된 개방형 BIM 설계표준은 도로구조물 라이브러리 작성 시 활용 가능
모듈러 건축 중고층화 및 생산성 향상 기술개발	국토교통부 (2014-2021)	기존 연구는 모듈러 건축 구조를 대상으로 한 BIM 설계기술을 개발임	■ 본 개발 기술은 이질적인 BIM 스키마를 갖는 도로구조물을 대상으로 하는 점에서 차별점이 있음 ■ 기 개발된 BIM 기반 건축 구조물의 설계기술은 도로구조물의 가상 건설 개발과 연계하여 활용할 수 있음
직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술개발	국토교통부 (2010-2015)	기존 연구는 주로 표준모듈을 구성하여 중소교량을 구축하는 연구를 수행하고 있으며 구조체 자체에 대한 연구를 수행	■ 기존 연구는 모듈의 시공성을 고려한 시뮬레이션과 프리팹 부재의 제작에 대한 연구가 없다는 점에서 본 연구와는 차이를 가짐 ■ 기존 연구에서 개발된 강 및 PC 표준 모듈 및 연결 방법은 프리팹 인테그랄 부재 개발에 활용될 수 있으며, BIM 프리팹 라이브러리로 활용하여 기존 모듈을 사용한 인프라 구조물의 가상 건설 시뮬레이션도 가능

2.8 민간기술과의 차별성·연계성

<표 4-71> 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술의 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

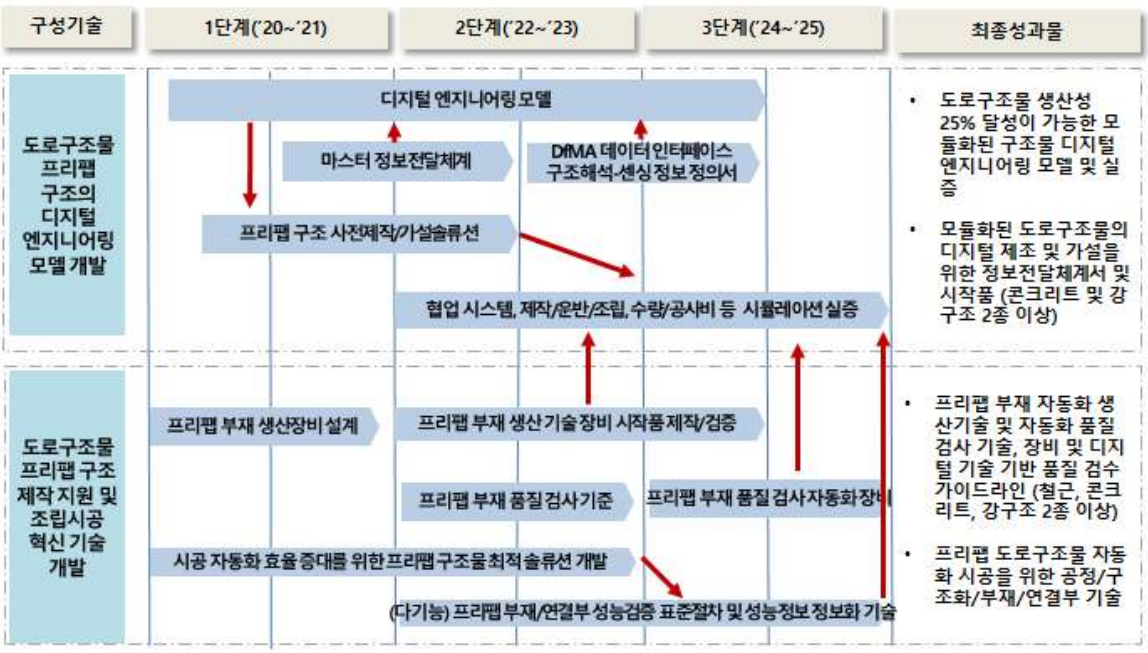
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	도로 구조물의 디지털 설계 기반 설계-제작-시공 협업 시스템	팀볼사 Autodesk Autodesk Kalloc Studios Vico Office KICT MIDAS IT ㈜유미드시스템 ㈜태성에스엔아이	BIM-구조해석 연동 S/W BIM-구조해석 연동 S/W 시공 시뮬레이션 및 공정/공사비 관리 S/W 시공장비 BIM 라이브러리 공정/공사비 산출·관리 S/W Infra IFC BIM-구조해석 연동 S/W BIM기반 공정/비용산출 S/W 토목 시설물 4D 가상 건설 시뮬레이션	기존 기술들은 대부분 건축구조에 한정되어 있음 토목 구조물의 경우에는 일부 연속형 인프라 구조에 한정되어 있음. 본 연구에서는 연속형 도로구조물 뿐만 아니라 프리팹 인프라 구조물까지 연구를 수행하는 점에서 차이가 있음
				기본 개념은 유사함으로 차이가 발생하는 부분을 집중적으로 개발함. 예: 프리팹 구조화 되면서 고려해야 하는 상황(조립시공의 역할 증대 및 부재의 오차를 엄격히 관리해야 하는 점 등)을 반영하여 연구 수행
2	디지털 기반 프리팹 도로구조물 제작/시공 혁신 지원 기술	EBAWE사 HAIYU사 Univ. of Southern California Lough Borough Univ. FHWA linterconstech 포스코 KICT	PC 공장자동화 설계 및 운용 S/W 중공형 프리팹 부재 생산 자동화 시스템 Contour Crafting 3D 프린팅 기술 Concrete Printing 기술 UHPC 활용 PC 연결 기술 Seg beam system 모듈러 강교 기술 PC 모듈러 교량 기술	국내에는 프리팹 부재에 대한 생산 자동화 기술은 사례를 찾기 힘듦. 또한, 부재 품질 검사 자동화 기술은 현재 국외에서도 연구 중임 기존의 프리팹 부재 기술은 현행 연속형 인프라구조물의 패러다임에 국한되어 개발된 성과임. 이에 비하여 프리팹 인테그랄 부재/연결부는 DfMA 관점에서 프리팹 구조물을 대상으로 개발되는 점에서 차별성이 있음
				기 개발된 해외의 기술은 국내 건설 개발의 방향성을 제시할 수 있으며 연구 개발 시 고려하여 연구 필요 개발된 프리팹 기술들은 BIM 라이브러리화 하여 개발될 가상건설 기술을 활용하여 활용성을 증대할 수 있음

2.9 구성기술 로드맵

□ 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공-지원 기술에 대한 구성기술 로드맵은 아래와 같음



[그림 4-117] 디지털 기반 도로물 설계-제작-시공 지원 기술 추진로드맵



[그림 4-118] 디지털 기반 도로물 설계-제작-시공 지원 기술 성과로드맵

2.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 186.84억 원/6년(3단계)중 (국고) 135.89억 원, (민자) 50.95억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-1-1. 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발	정부	838	833	1,245	1,238	842	843	5,839
	민간	314	313	467	464	315	316	2,189
	소계	1,152	1,146	1,712	1,702	1,157	1,159	8,028
2-1-2. 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발	정부	1,067	1,304	1,297	1,512	1,496	1,074	7,750
	민간	400	489	486	567	561	403	2,906
	소계	1,467	1,793	1,783	2,079	2,057	1,477	10,656
합계	정부	1,905	2,137	2,542	2,750	2,338	1,917	13,589
	민간	714	801	953	1,031	876	719	5,095
	소계	2,619	2,938	3,495	3,781	3,214	2,636	18,684

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-1-1. 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발	361	342	512	512	342	342	2,413
2-1-2. 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발	455	551	551	646	646	455	3,303
합계	817	893	1,063	1,158	988	797	5,716

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-1-1. 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발	책임급	1	1	2	2	1	1	8
	선임급	1	2	3	3	2	2	13
	원급	6	4	5	5	4	4	28
	합계	8	7	10	10	7	7	49
2-1-2. 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립 시공 혁신 기술 개발	책임급	2	2	2	2	2	2	12
	선임급	2	3	3	4	4	2	18
	원급	5	6	6	7	7	5	36
	합계	9	11	11	13	13	9	66
소계		17	18	21	23	20	16	115

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	291	339	404	431	365	306	2,135
연구과제추진비	182	205	244	264	224	184	1,303
연구활동비	331	385	456	490	414	347	2,423
연구수당	122	134	159	174	148	120	857
소계	927	1,063	1,263	1,358	1,151	957	6,718

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	162	182	216	234	199	163	1,155

□ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 43.5%, 직접비(인건비 제외) 48.0%, 간접비 8.5%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 36%, 연구과제추진비 23%, 연구활동비 41%, 연구수당*으로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

(단위: 원)

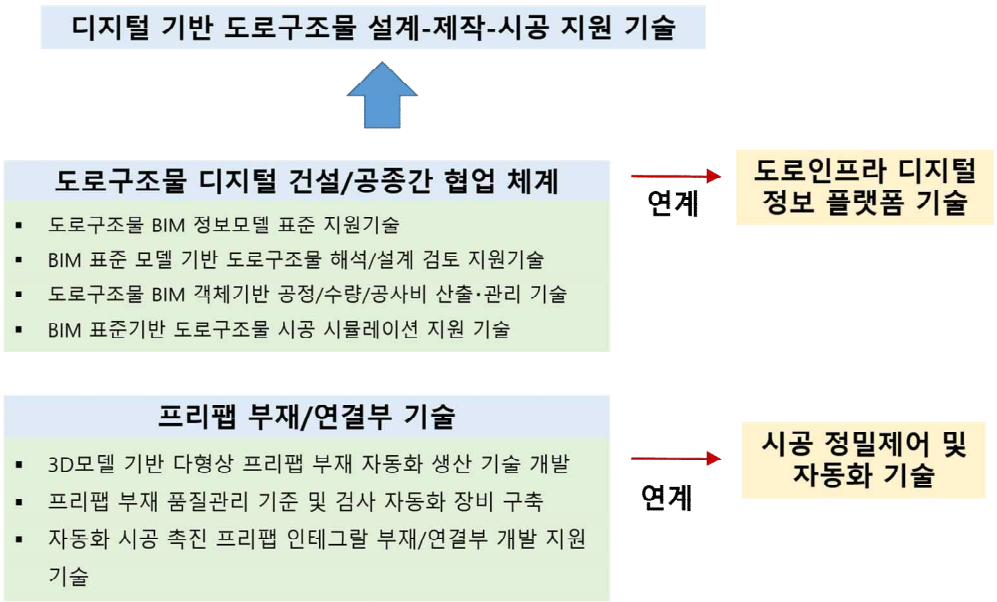
등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

2.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도

□ 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술의 추진체계 및 타 기술과의 연계는 다음과 같음



[그림 4-119] 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술 추진 체계도

(2) 협력방안

□ 도로구조물 디지털 건설 및 설계-제작-시공 협업 시스템 구축을 위한 다양한 형태의 협력체계 구축

○ 디지털 건설, 설계, 제작, 및 시공 관련 기업과의 협업/공동연구를 통한 사업화 체계 구축

- 다형상 프리팹 부재 생산 및 검사 자동화 장비 구축을 위한 협력체계 구축
- 관련 기업 및 연구기관과 협업/공동연구를 통한 사업화 협력

○ 프리팹 인테그랄 부재 개발 가이드라인 및 성능/품질 검증 절차 구축을 위한 협력체계 구축

- 다양한 관련 학회, 기업, 정부로 구성된 위원회를 구축하여 성능/품질 검증 프로세스 정립 및 기준화 협력

2.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-72> 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술	기존 모듈화 거더교 시장과의 경쟁	기존 모듈화된 거더교를 포함할 수 있도록 가상건설 시스템을 구축하여 기존 모듈화 거더 시장을 포함할 수 있도록 연구를 진행함
	기존 가상건설관련 S/W와의 경쟁	기존 가상건설 관련 S/W와 호환성을 가지도록 개발하여 효율성을 증대시킴
	프리팹 부재의 물량 확보 가능성	다형상 모듈 생산이 가능한 가변형/3D 프린팅 생산 장비 개발로 소량 생산에도 경제성을 확보함
	프리팹 구조물 설계 기준의 미비	신규 프리팹 인테그랄 부재의 성능 및 품질을 확보할 수 있는 기준을 포함하여 연구를 진행 함

2.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **가상건설과 관련된 기술은 주로 건축구조를 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 일부 실용화를 통하여 기술이 적용되고 있음**

○ 2015년 “직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술개발”을 통하여 프리팹 교량에 대한 연구가 진행되어 관련 다수의 특허, 2건의 단체표준 등록 및 4건의 기술이전과 4건의 시공이 이루어졌음

(2) 성공 사례의 시사점

□ **2015년 “직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술개발”에서는 표준화와 비표준화 모듈을 활용하여 다양한 직선교에 대하여 프리팹 교량을 건설할 수 있도록 하였음**

○ 기존 연구에서는 주로 하드웨어적인 공법/기법을 위주로 개발이 이루어짐

(3) 실용화 전략 수립

□ **개발기술의 실용화 및 성공을 위해서는 서로 다른 가상건설관련 상용 소프트웨어 간에 상호 호환성을 가질 수 있도록 개발을 진행할 필요가 있음**

○ 또한, 다양한 형태의 프리팹 구조물이 자생적으로 개발될 수 있는 환경을 만들기 위한 지원 기술을 개발할 필요가 있음

- 현재 국내에서는 프리팹 혹은 모듈 형태의 교량이 연구된 바는 있으나 이를 확장 및 효율성을 높이기 위한 프리팹 구조물 건설 지원 기술의 개발은 상대적으로 미미한 것으로 파악됨

2.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ **도로구조물의 디지털 설계 기반 설계-제작-시공 협업 시스템**

○ 시공 시뮬레이션, 구조해석 및 설계검토 자동화를 통한 도로구조물의 건설 생산성 향상

- 설계-제작-시공 간 정보 공유체계 구축을 통한 유기적인 건설산업관리 가능
- 디지털 기반 프리팹 도로구조물 제작/시공 혁신 지원 기술

○ 다차원 디지털 기술에 기반한 제조기술의 혁신을 건설분야에 도입함으로써 개별 기술자 중심의 기술 축적을 혁신하여 시스템과 정보 중심의 기술 영역으로 전환할 수 있음

○ 로보틱스, 영상 점검 기술, 사전제작 및 사전 가설 등의 기술이 건설분야에 접목되어 업역과 공종간 장벽이 있는 현재의 수직적 기술 소통 구조를 수평적 동시공학적 협업구조로 전환할 수 있음

○ 다양한 프리팹 부재의 생산성을 증대하여 프리팹 구조물의 경제성을 증가시키고 프리팹 부재의 균일한 품질을 확보함으로써 전체 구조물의 성능 신뢰성을 확보함

- 구조물의 특성으로 인하여 신규 개발될 수 있는 프리팹 인테그랄 부재의 활용을 촉진하기 위한 개발과정 및 개발품의 성능/품질을 검증하는 방안을 확보함으로써 엔지니어의 창의성 증대 가능

(2) 사회경제적 측면

□ **건설산업의 생산성 향상을 위한 디지털 기술의 활용 및 프리팹 부재의 활용은 세계적 추세이며 선제적 기술개발을 통하여 해외 건설 경쟁력을 확보할 필요가 있음**

○ 노동환경의 변화로 인하여 현장작업의 최소화가 필요한 시점으로 이를 위해서는 디지털 기술의 및 프리팹 구조물의 활용이 증대될 필요가 있음

- 전 세계적으로 건설 생태계가 디지털 기술 및 시공 자동화 기술에 의하여 빠르게 변화하고 있으며 이에 대한 대응이 필요함
- 이런 변화의 중심에는 구조물의 프리팹 기술이 있으며 디지털 기술, 시공 자동화기술 및 프리팹 기술을 서로 유기적으로 연결할 수 있는 기술이 필요함
- 국내의 전통적인 제조업분야의 숙련 기술과 건설분야의 수요 기술을 연계함으로써 일자리의 유연성과 국가 인력자원의 활용성을 높일 수 있음

○ 디지털 제조기술을 건설산업에 도입하여 생산성을 높이고 이로 인한 사업비 절감, 도로사업의 사업기간 단축, 건설단계의 폐기물 절감을 통해 탄소배출량 감소 등의 효과를 기대함 (영국과 글로벌 컨설팅 기업은 30% 절감을 예상하고 있음)

○ 건설산업의 하드웨어 측면의 플랫폼 전략으로 스마트 팩토리의 시장 규모 확대를 통해 신규 사업이 창출될 수 있고 이를 뒷받침하는 생산설비, 품질 검수 기술, 디지털 정보 전달 서비스 등의 일자리 창출이 가능함

○ 표준화된 모듈러 구조 적용 확대로 인해 도로 시설물의 성능이 균질화되고 향후 유지관리시 예산추계의 신뢰성이 높아질 뿐 아니라 교체나 보수 비용의 절감이 기대됨

3. (핵심기술 2-2) 도로구조물 원격 · 자동화 시공 기술 개발

3.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

□ **도로구조물 원격 · 자동화 시공 기술**

○ VR/AR, 3D 스캐닝, 로보틱스, 빅데이터 등의 기술을 활용하여 위험하고 열악한 시공 작업환경, 인력 기반의 의사결정으로 인한 생산성 저해 요인을 해소하여 시공기간의 단축으로 생산성을 향상시키기 위한 도로구조물 시공의 원격 · 자동화 기술

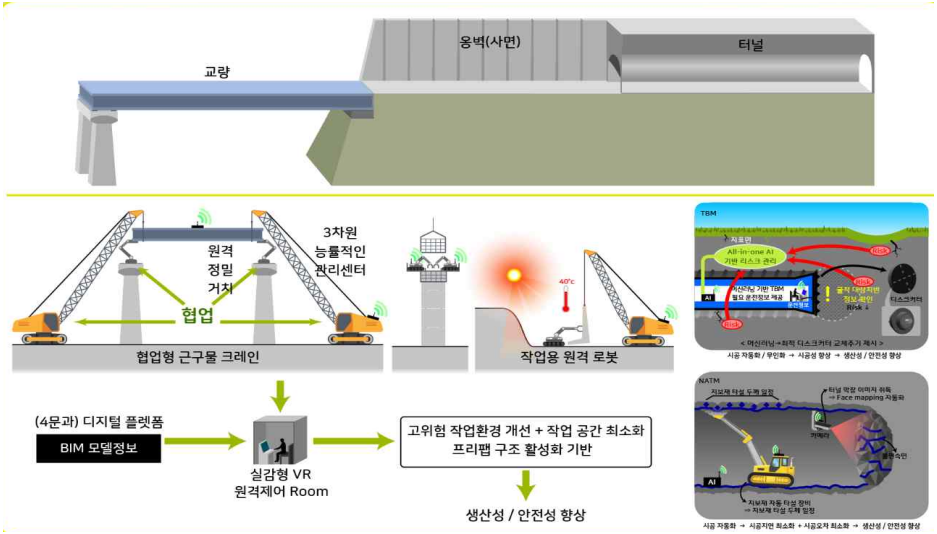
□ **대상 구조물**

○ 도로상에 존재하는 구조물인 교량과 터널을 대상으로 하며, 구체적으로는 중경간(경간 60m 이하) 이하의 거더교량과 TBM 공법으로 시공되는 터널을 대상으로 함.

- 교량의 경우, 중경간 거더교량을 대상으로 이동식 크레인을 이용한 거더의 거치와 교각의 현장 제작 · 시공 공정을 대상으로 함. 거더교량을 대상으로 개발된 기술은 옹벽으로 확장하여 적용이 가능함
- 터널의 경우 TBM 공법을 대상으로 함

<표 4-73> 도로구조물 원격·자동화 시공 기술의 필수 대상 도로구조물

구분	(핵심기술 2-1) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	(핵심기술 2-2) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	(핵심기술 2-3) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
교량	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각)	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각
터널	-	ㅇTBM 운전 자동화	-
기타	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등	-	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등



[그림 4-120] 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개념도

(2) 범위

(구성기술 2-2-1.) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격 · 무인화 기술 개발

□ **건설현장의 작업환경을 개선하고 재해의 원인을 근본적으로 차단하기 위해 인력 기반으로 이루어지는 고소작업 등의 고위험 공종을 로봇, VR 기술을 이용한 원격·자동화 시공 방식으로 전환하기 위한 기술**

○ 원격·자동화 시공 기술은 고위험 공종뿐만 아니라 인력으로 작업의 수행이 어려운 폭염 등의 열악한 환경에서의 시공에도 활용

(구성기술 2-2-2.) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

□ **기계화 터널시공(TBM) 중 발생하는 시공지연, 품질관리 한계 등 생산성 저해 요인을 해소하기 위해 데이터(TBM 굴진데이터)와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM장비 운전·제어를 자동화하고 전문가·시공자의 판단을 보조하기 위한 정보 생성·제공 기술**

○ 기계화 터널시공(TBM) 중 생산성 저해 요인: TBM을 이용한 터널 시공 중 장비운용(시공관리)에 대한 인력(전문가) 기반의 판단으로 인한 시공 지연, 전문가 수준에 따른 판단 오류 및 비균일한 시공품질 문제, 장기간 훈련이 요구되는 장비운용 인력(시공자) 확보의 한계

3.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ **인구구조의 변화(고령화)로 인한 생산가능인구의 감소와 건설업의 열악한 근로환경에 기인하여 건설현장에 청년층 유입과 숙련 노동자가 감소하고 있으며, 그에 따라 건설 품질 저하는 물론 사고위험이 증가하고 있음**

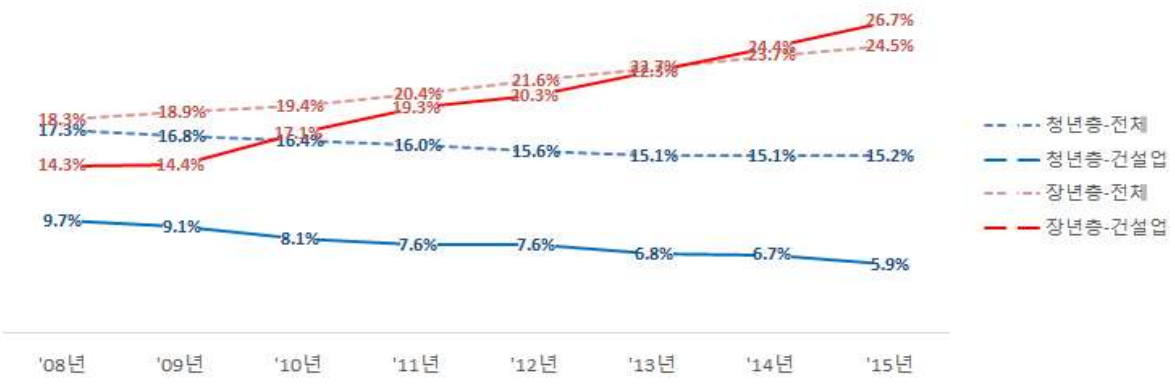
○ 인구구조의 변화로 인해 우리나라 생산가능인구(15~64세)의 비중은 2020년부터 급격하게 감소할 전망

출처: UN('15), World Population Prospects, 통계청('16), 장래인구추계)



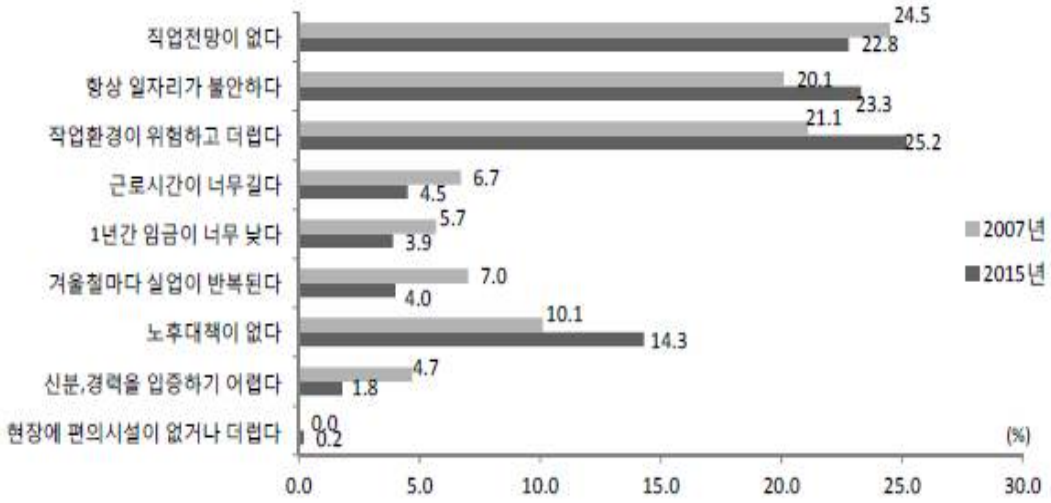
[그림 4-121] (좌)연령별 인구 구성비 변화(%), (우)장래 생산 가능 인구 추계(%)

- 건설 분야 근로자 중 청년층의 비율은 9.65%에서 5.91%로 청년층의 유입이 감소하고 있으며, 같은 기간 장년층(55세 이상)의 비율은 '08년 14.29%에서 '15년 26.65%로 증가하여 전 산업 평균에 비해 빠른 속도로 고령화가 진행



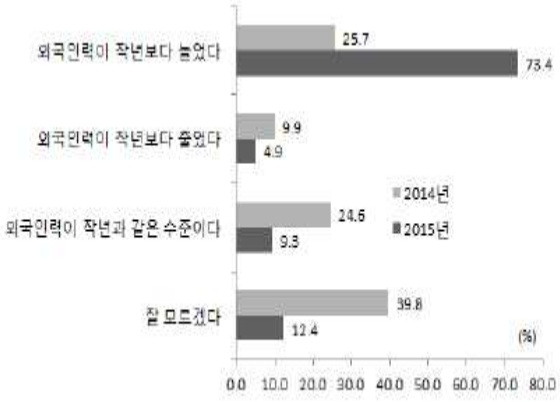
[그림 4-122] 전 산업(전체) 대비 건설업의 연령층별 근로자 비중 추세('08년~'15년)

○ 2015년 사업주를 대상으로 한 한국건설산업연구원의 설문조사에 따르면 '위험하고 더러운 작업환경'이 청년층이 건설현장을 기피하는 가장 큰 원인으로 조사되었으며, 조사 초기(2007년)에 비해 비율이 큰 폭으로 증가

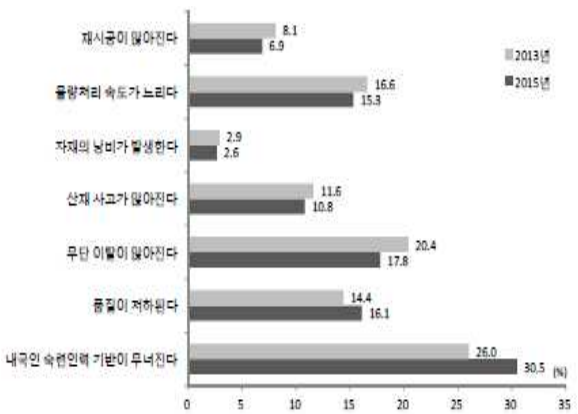


[그림 4-123] 청년층의 건설현장 기피 원인(사업주 응답)

- 건설업의 고령화는 외국인 노동자 유입의 증가와 숙련 노동자의 감소로 인한 건설 상품의 품질 및 생산성 저하는 물론, 재해율의 증가로 이어짐
- 건설업의 노령화와 청년층 유입의 감소로 미숙련 외국인 노동자가 증가하고 있으며, 그 결과로 건설 상품의 품질 저하와 생산성(재시공)의 저하가 우려되는 상황임



[그림 4-124] 2014년 대비 외국인력 규모 변화(근로자 응답)



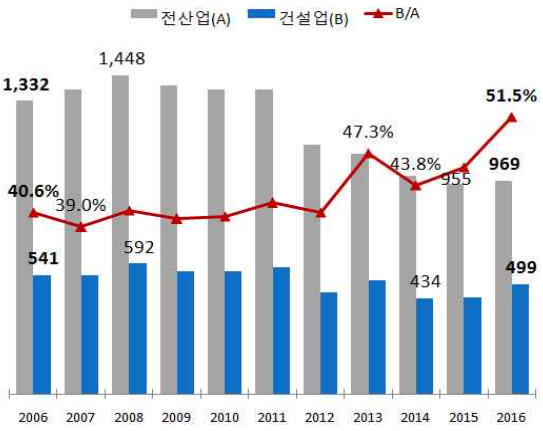
[그림 4-125] 외국인력 투입이 많아질 경우 우려되는 사항(건설업체 응답)

출처: 한국건설산업연구원, 건설인력 수급 실태 설문조사, 2013.9.
한국건설산업연구원, 건설현장 노동력 현황 설문조사, 2015.7.

- 한국산업안전보건공단의 통계자료에 따르면 건설 노동자 연령의 증가에 따라 건설산업의 재해율이 증가하는 것으로 나타났으며, 건설인력의 고령화로 인해 국내 전체 산업사고 중 건설업에서의 사망자 수와 비중이 증가하는 추세에 있음

Age \ Year		2007	2008	2009	2010
20~29	Workers	173000	174000	155000	140000
	Injured	629	571	587	477
	Accident rate	0.36	0.33	0.38	0.34
30~39	Workers	508000	485000	445000	418000
	Injured	2845	2824	2710	2446
	Accident rate	0.56	0.58	0.61	0.59
40~49	Workers	669000	639000	598000	599000
	Injured	6567	6874	6579	6849
	Accident rate	0.98	1.08	1.10	1.14
50~59	Workers	392000	408000	420000	473000
	Injured	6352	7095	7583	8771
	Accident rate	1.62	1.74	1.81	1.85
at least 60	Workers	105000	104000	100000	122000
	Injured	2657	3107	3539	3959
	Accident rate	2.53	2.99	3.54	3.25

[그림 4-126] 국내 건설업의 연령별 재해율 추이('07-'10)



[그림 4-127] 국내 건설업의 사고 사망자 추이

출처: 백신원; 배미선. 노령근로자의 안전의식 설문조사에 관한 연구. Journal of the Korean Society of Safety, 2014, 29.6: 99-103. 연도별 산업재해 발생현황(고용노동부)

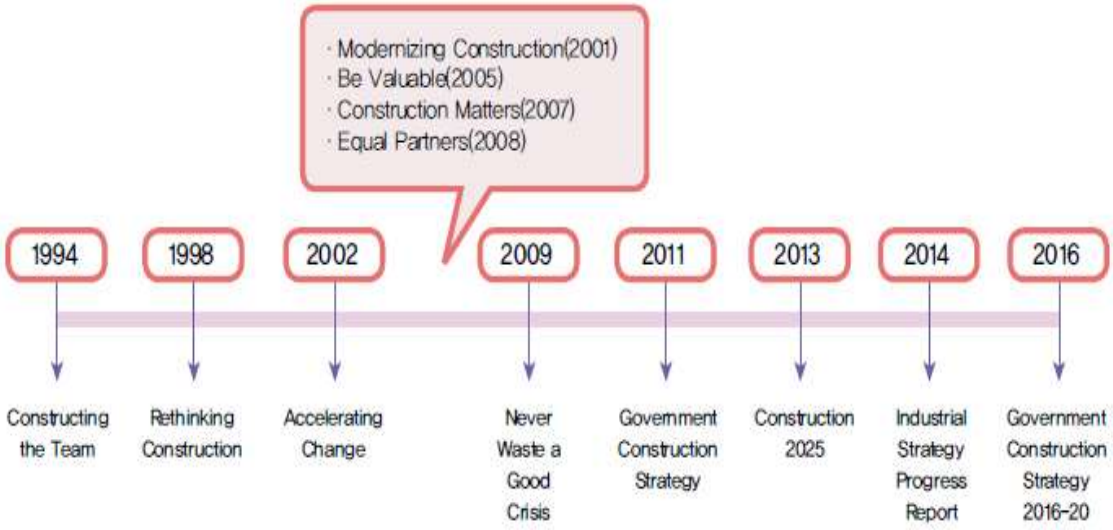
- 우리나라, 영국 등 주요국들은 건설 안전성 및 생산성의 향상을 위해 기술 개발 및 확산을 위한 다양한 정책을 추진 중

○ 국토교통부는 「제6차 건설기술진흥기본계획(2018~2022)」을 통해 '스마트 건설을 통한 생산성 향상'을 추진 중에 있으며, 「제4차 과학기술기본계획」의 건설·교통 분야의 중점과학기술에 '지속가능한 인프라 구조물 건설기술'을 포함

- 영국은 생산성을 제고하자는 목표로 '94년부터 현재까지 건설산업 혁신운동을 진행하고 있으며, 그 일환으로 추진되는 'Rethinking Construction'은 매년 건설 비용 및 공기 10%절감, 작업오류 및 안전사고 20%절감, 생산성 및 이익 10% 개선을 목표로 하고 있음

- 또한, 건설산업의 혁신 노력에도 불구하고 지속되는 공사비 증가, 공기지연, 안전사고 등 건설 산업의 문제해결을 위하여 산업전략의 한 분야로 「Construction 2025」을 추진

- 「Construction 2025」의 비전은 사람, 스마트, 지속성, 성장, 리더십 5개의 키워드로 요약되며, 청년인력의 유입을 위한 안전하고 건강한 작업환경 제공과 스마트 건설, 디지털 설계 구현을 위한 연구 분야의 인력과 기술 확보를 위한 정부투자 확대 추진



[그림 4-128] 영국의 건설산업 혁신 전략 추진과정

○ 일본은 ’16년 1월 다보스포럼 이후 과거부터 진행해온 정보화시공, 로봇, CIM 기술이 완성단계에 이르렀다고 판단하고 ’17년 건설산업의 다양한 문제 해결을 위한 「생산성 혁명 프로젝트」를 발표

- 그 일환으로 ’25년까지 건설현장의 생산성 20% 향상을 목표로 건설 프로세스 전 주기에 ICT 기술 등 신기술 활용을 확대하는 i-Construction 추진
- 싱가포르는 ’20년까지 건설부문 생산성 2~3% 향상을 목표로 ‘Construction Productivity Roadmap’을 수립하였으며, 현재 2차 로드맵 추진 중

○ 제2차 로드맵에서는 노동인력의 질 향상, on-site/off-site에 첨단기술을 도입하기 위한 자금투자 강화, 건설분야 가치사슬 통합강화 등 3개 분야에 주력

- BCA(Building & Construction Authority)는 ’16년 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 핵심기술 분야를 선정하고 기술개발 로드맵을 발표

※ 7대 핵심기술 분야: DfMA(Design for Manufacturing and Assembly), 자동화 장비 및 로봇, 정보통신기술, BIM/가상 설계 및 시공(VDC), 3D 프린팅, 고성능 건설재료, 토목 분야

○ ’16년 WEF, BCG(Boston Consulting Group), JBKnowledge에서는 BIM, 스마트 건설 장비·로봇, 빅데이터 분석 등 건설 분야의 미래유망기술을 발표하고 이들 기술로 인해 건설 전반에 걸쳐 획기적인 변화가 있을 것으로 예상

- 발표된 미래유망기술에는 스마트 건설 장비·로봇, BIM, AR/VR, 3D 스캔, 프리팹/모듈화 등 구조물 시공 과정에 직접 활용 가능한 기술들이 포함

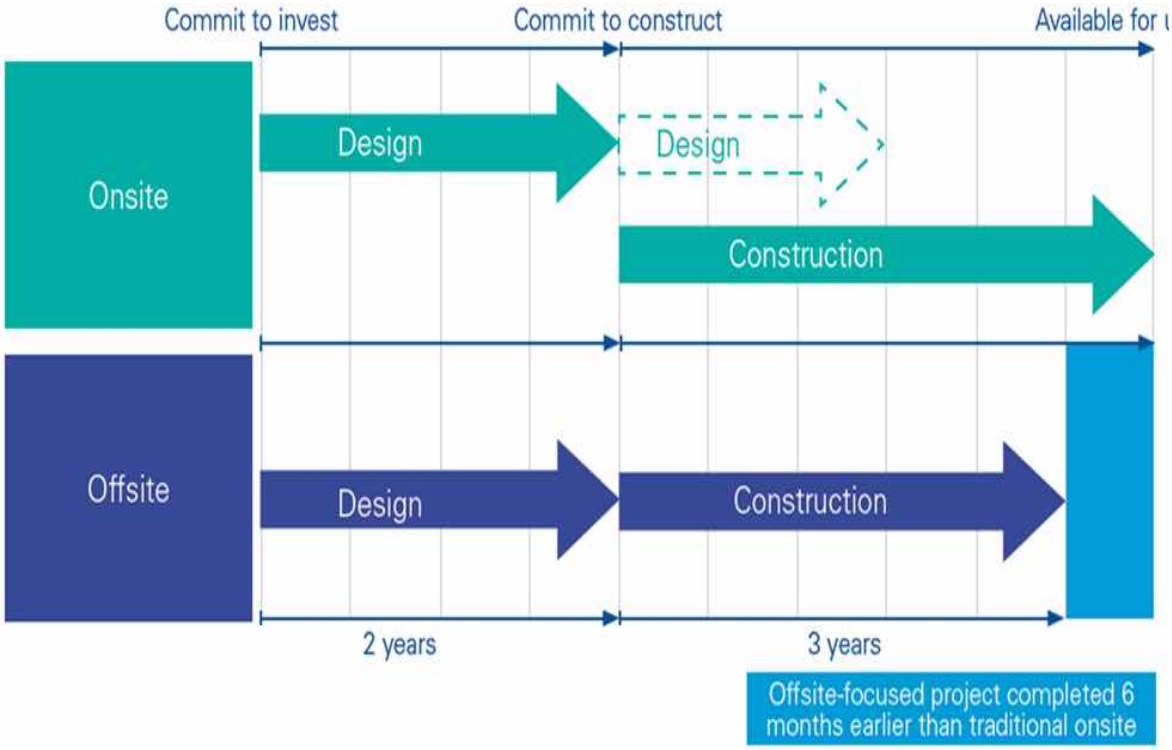
<표 4-74> 2016년 발표된 인프라 건설 분야 미래유망기술 – WEF, BCG, JBK

World Economic Forum, 14개	Boston Consulting Group, 10개	JBKnowledge, 10개
Integrated BIM	Big data & anallysis	Drone
Prefabricated building components	simulation & virtual reality	3D scanner
Real-time mobile collaboration	Mobile interfaces and augmented reality	Pre-fabrication/modularization
Advanced project-planning tools	Building information modeling(in the cloud)	Virtual reality
Wireless monitoring(IoT)	Ubiquitous connectivity & tracking	Augmented reality
Advanced building materials	Additive manufacturing	360 Degree photo/video
New active materials	3D scanning	3D printer
Self healing materials	Smart construction equipment & robotics	Wearable device
Augmented reality	Unmanned aerial vehicles	Job site sensor
3D printing of components	Embedded sensors	Smart tools
3D laser scanning		
Big data analytics		
Drones		
Contour crafting of buildings		

출처: World Economic Forum(2016), Shaping the Future of Construction - A Breakthrough in Mindset and Technology. Boston Consulting Group(2016), What's the future of the construction industry. JBKnowledge(2016), The 5th Annual Construction Technology Report

○ 국내·외적으로 건설분야의 낮은 생산성, 숙련 노동자의 감소, 건설 현장의 불확실성에 대응할 수 있는 프리팹 기반의 Off-site 건설의 적극적인 적용 필요성이 증가하고 있으며, 시장 규모 역시 지속적으로 성장 중

- KPMG는 Off-site 건설에 의해 현장 공기의 감소는 물론 그로 인한 건설 현장의 불확실성 감소, 노동자의 작업환경 개선, 프리팹 부재의 높은 품질을 바탕으로 생산성의 향상이 가능한 것으로 분석



출처: KPMG, Smart Construction – How offsite manufacturing can transform our industry, 2016

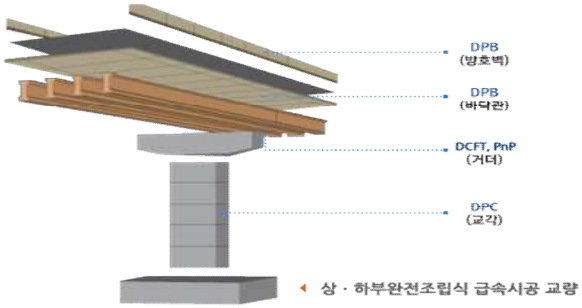
[그림 4-129] On-site 건설과 Off-site 건설의 총 건설 사업기간 비교

○ Research and Market가 발표한 'Global Modular Construction Market 2018-2023'에 따르면, 모듈러 건설 시장은 2018년 0.92조 달러에서 2023년 1.30조 달러로 증가(CAGR = 7.1%)할 것으로 전망

- 국내의 경우 건축 시장을 중심으로 모듈 공법의 적용이 활성화되고 있고, 플랜트 및 도로 인프라 분야로 기술 적용 범위가 넓혀지고 있음
- 대한건설정책연구원은 2003년 도입된 국내 모듈러 건축시장이 2010년 427억 원에서 2020년에 최소 9400억 원에서 최대3.4조 원의 시장으로 성장할 것으로 전망
- 국내 건설사에서는 2000년대 후반 프리캐스트 조립식 교각, 바닥판, 옹벽을 개발하고 일부 기술(바닥판, 옹벽)을 현장에 적용 중에 있으며, 교량 전체를 프리캐스트화 한 차세대 교량 형식을 개발하고 있음



[그림 4-130] 모듈러 건축 시장 예측 결과



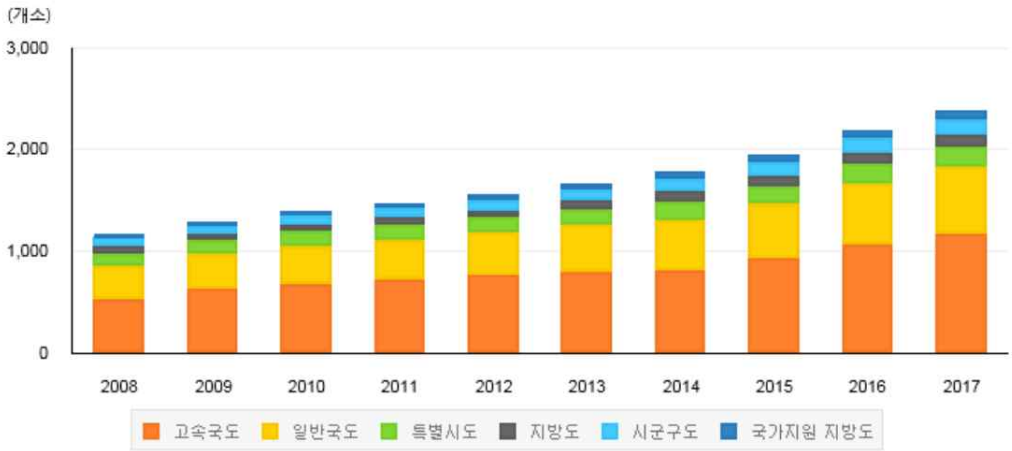
[그림 4-131] 국내 D사의 차세대 교량 형식

출처: 대한건설정책연구원(2011), 전문건설업 발전을 위한 공업화 건축 활성화 방안
대우건설 홈페이지(http://www.daewooenc.com)

○ 도시화의 급격한 진전과 가용 지상공간의 한계로 인해 도심지 지하도로 건설이 더욱 증가될 것으로 예상

- 국내에 시공된 도로터널은 2017년 12월말을 기준으로 2,382개소로, 2017년 1,064개소에 불과했던 것에 비교하여 1,318개소(124%)가 증가하였으며, 연장은 754km에서 1,057km(140%) 증가하였음

- 터널 증가 원인은 자연환경 파괴 최소화 등 환경 친화적인 도로건설과 도로 이용자의 안전을 고려한 선형개량 등에 기인하고 있음



[그림 4-132] 국내 도로별 터널 개소

<표 4-75> 연도별 국내 도로터널 현황

연도	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
터널개소	1,152	1,287	1,382	1,465	1,578	1,659	1,777	1,944	2,189	2,382
터널연장(km)	806	910	974	1,053	1,149	1,208	1,293	1,419	1,626	1,811

출처: 국토교통부 (각급 도로관리청 자료)

○ 2000년 이후 대부분의 인구증가는 도시에 집중되고 있으며, 현재 50% 정도인 도시화가 2030년에는 60%로, 그리고 2050년에는 75%가 될 것으로 전망되고 있음



출처: 한국터널지하공간학회(2012)

[그림 4-133] 전 세계적인 도시화 추이

- 이러한 도시화 추세 가운데 지속가능한 발전(sustainable development)의 대안으로서 터널과 지하공간 건설이 대두되고 있으며, 특히 지상공간을 쾌적한 녹지 또는 거주공간으로 유지하기 위한 주요 방안으로 고려되고 있음
- 유럽에서는 이러한 측면에서 도시에서 터널과 지하공간을 활용한 쾌적한 도시 공간 창출을 계획함



출처: TUNCONSTRUCT(2008)

[그림 4-134] 유럽의 지하공간 활용 개념

(2) 추진 필요성

□ **지속되고 있는 건설업 노동자의 고령화와 미숙련 노동자의 증가에 대응하여 건설업의 작업환경 개선과 산업재해의 저감을 위해, 스마트 건설 로봇, AR, VR 등을 바탕으로 고위험 작업에 투입되는 노동력을 대체할 수 있는 기술적 대안 마련 필요**

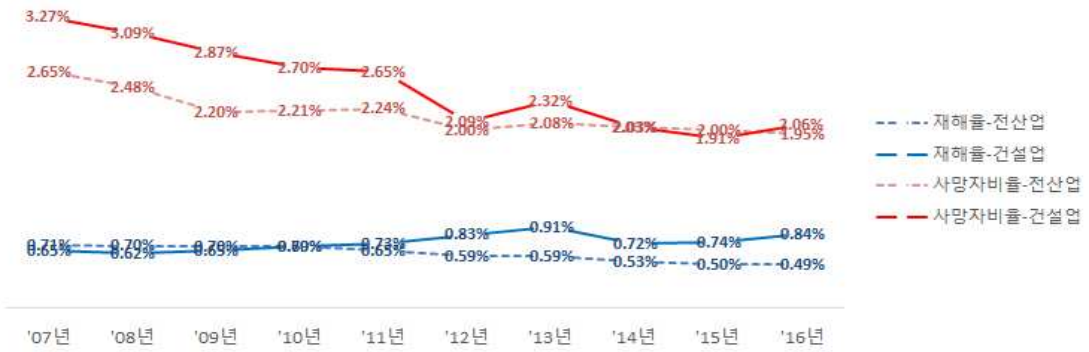
○ 건설현장에 대한 청년층 근로자 유입의 감소는 건설업 노동자의 고령화를 가속시킬 뿐만 아니라, 외국인 노동자의 유입으로 내국인 숙련인력 기반의 약화로 이어져 현재는 물론 향후에도 숙련인력의 확보가 어려워질 것임

- 2014년 건설산업연구원 설문조사 결과에 따르면, 근로자와 사업자 10명 중 8명 이상은 '숙련인력이 부족하다'고 응답했고, 근로자 83%와 사업자 78%가 숙련인력이 없어졌거나 앞으로 없어질 것으로 우려

출처: 한국건설산업연구원, 건설현장 외국인력 관련 설문조사, 2014.11

○ 건설업 노동자의 고령화에 대응하여 청년층 근로자 유입 감소의 원인을 해소하기 위한 방안으로 직업전망(임금, 훈련 등) 제시와 병행하여, 건설 노동자의 재해로 이어질 수 있는 '작업환경의 위험성'을 제거하기 위한 기술적인 대안 마련이 필요

- 건설업의 재해율(재해건수/근로자수)은 전산업 평균의 2배에 이르며, 재해 중 사망자비율은 전산업 평균과 유사하여 재해로 인한 사망자의 발생 빈도 역시 전 산업 평균의 2배에 이름



출처: 고용노동부, 연도별 산업재해현황분석 자료('07~'16)

[그림 4-135] 전산업 대비 건설업의 재해율 및 재해중 사망자비율 추이('07~'16)

○ 특히, 최근 기후변화로 인한 폭염의 강도 및 기간의 증가는 건설 노동자의 작업환경을 크게 악화시키고 작업 기간을 단축시키게 되어, 작업환경의 개선이 이루어지지 않을 경우 건설업의 재해율 상승과 추가적인 생산성 저하로 이어질 것으로 예상됨



출처: 기상청, 기후변화 시나리오를 알면 미래가 보인다, 2012

[그림 4-136] 우리나라 극한기후 변화 전망

- WEF 등에서 건설 분야 미래유망기술 발표된 스마트 건설 로봇, AR, VR 등은 건설현장의 작업환경의 개선 및 고령·미숙련 노동자로 인한 재난을 방지하기 위해 고위험 작업에 투입되는 건설 노동력을 대체할 수 있는 기술적인 대안이 될 것으로 예상

○ 4차 산업혁명 기술로 인한 기술·경제·사회의 변화는 건설을 포함한 각 분야의 산업구조의 변화로 이어지고 있음

- 미래 건설산업의 변화에 대응하고 국내 건설기술의 경쟁력 확보를 위해 4차 산업혁명 견인 기술을 활용한 적극적인 기술개발 필요

- 터널 시공은 동일 시공방법의 반복적인 작업에 의해 수행되므로 인공지능 기술과 터널 시공기술과의 접목을 통하여 터널 시공의 자동화 및 관련인력 저감을 도모할 수 있음

○ 종래의 건설장비는 숙련된 기술자에 의한 운용이 필요하였지만, IoT(Internet of Things)기술의 발달과 데이터 분석기술의 발달로 기술자의 노하우를 반영한 장비 자동화가 이루어지고 있음

- 광활한 지역에서의 토공작업을 위해 인공위성과의 통신을 기반으로 하는 자동 토공장비(불도저, 페이로더 등)는 해외에서 사용되고 있음
- 센서, IoT, 빅데이터를 활용하여 스마트한 제어가 가능한 건설장비가 늘어나고 있는 추세에 있으며, 터널 시공에도 스마트기술을 반영하여 장비자동화를 통한 시공기간의 단축 및 시공품질 향상을 위한 연구개발이 필요함



출처: KOCETI 홈페이지

[그림 4-137] 건설장비의 자동화

○ 터널 시공은 폐쇄된 작업환경의 특성상 시공 중 발생할 수 있는 문제의 예측 및 대응은 시공자의 안전과 직결되는 핵심사항이나, 터널 연장이 증가할수록 취득되는 시공 데이터가 방대해지므로 터널 시공 중 발생할 수 있는 문제의 예측을 위한 데이터 분석 및 판단에는 많은 인력과 시간이 소모됨

- 빅데이터 및 인공지능을 활용한 기술은 전문가의 판단이 필요한 다양한 조건에서 전문가 판단을 보조하고 선정근거 데이터를 제시하여 보다 신뢰성 있는 판단을 가능하게 하고 전문가 판단에 소요되는 시간을 대폭 감소시킬 수 있음

3.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **교량 구조물의 시공은 대부분 노동력 중심으로 이루어지고 있으며, 교량 상부구조의 주부재 거치와 연결 및 고교각의 시공은 고소(高所)에서 인력에 의한 작업으로 이루어지고 있어 추락 사고와 같은 재해의 발생 위험이 매우 높음**

○ 교량 구조물의 시공은 교각의 시공, 주부재의 거치 및 연결과 같이 고소에서 인력에 의해 이루어지는 작업을 포함하고 있으며, 충분한 작업공간 미확보 및 고령·미숙련 노동자의 작업 누락과 판단 오류 등으로 인해 추락 사고가 지속적으로 발생하고 있음

- 교량 주부재(거더)의 거치는 이동식 크레인으로 인양 및 이동시키고, 최종적인 위치를 조정하는 작업은 교각(또는 교대) 위에 위치한 작업자에 의해 이루어짐
- 교량 주부재의 연결과 교각 시공(프리캐스트 교각 제외)은 일반적으로 거푸집 설치, 철근 연결, 콘크리트 타설 및 탈형의 과정으로 이루어지며, 모든 작업은 고소에 설치된 작업대 또는 주부재 위에 위치한 작업자에 의해 이루어짐



교량용 거더 거치



교량용 거더 연결(가로보) 시공



교각 시공



프리캐스트 교각 시공

[그림 4-138] 교량 구조물 시공 중 고소 작업(위험 공종)의 예

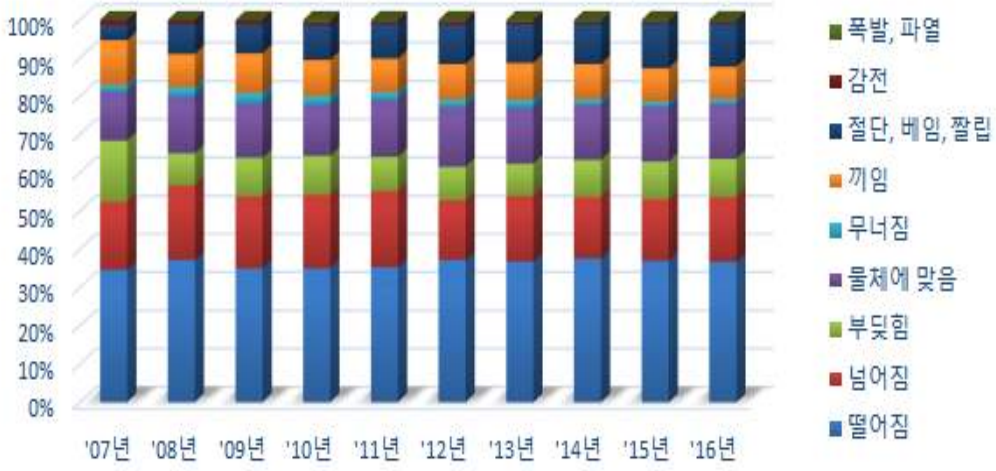
- 고소에 위치한 불안정한 작업공간으로 인해 고령·미숙련 노동자는 물론 숙련 노동자라 하더라도 추락의 위험에 상시적으로 노출되어 있음
- 또한, 고소에 작업 공간이 마련되어 있다고 하더라도 거푸집 및 작업공간을 설치·해체하는 과정에서 작업자의 부주의로 인해 작업대와 함께 추락하는 사고도 발생



출처: 국토교통부, 건설안전정보시스템(https://www.cosmis.or.kr) 사고사례 자료
안전보건공단 홈페이지(http://www.kosha.or.kr) 자료

[그림 4-139] 교량 시공 중 사고 사례

○ 정부에서 오래전부터 건설기술진흥법, 산업안전보건법 외 각종 처벌규정을 명시한 10여개 법률을 통해 매우 엄격하게 규제조치를 시행해 왔음에도 불구하고 고령·미숙련 노동자의 증가 등의 원인으로 인하여 재해율은 오히려 증가하고 있으며, 건설업의 재해 중에서 추락(떨어짐)사고가 가장 큰 비중(30% 이상)을 차지



출처: 고용노동부, 연도별 산업재해현황분석 자료('07~'16)

[그림 4-140] 발생형태별 건설업 산업재해 비중의 변화 ('07~'16)

- 안전시설물 설치를 의무화하고 제도적으로 강제하더라도 건설공사의 인력 기반으로 이루어지는 고소작업에 대한 비중을 낮추기 위한 근본적인 해결 방안이 마련되지 않을 경우 추락과 같은 재해를 획기적으로 감소시키는데 한계가 있음

○ 터널의 시공관리는 시공비 및 공기와 직결된 부분이나, 발생한 문제에 대한 대응은 대부분 전문가의 경험에 의한 주관적인 판단으로 이루어짐으로 인하여 전문가의 수준 및 관련 데이터의 분석정도에 따라 시공품질 및 시공 기간에 영향을 미침

- 현장에서 취득되는 정보의 방대함으로 인하여 모든 시공 데이터에의 접근 및 분석에 한계가 존재하며, 데이터 분석에 소요되는 인력에 따라 분석 데이터 품질에 편차가 발생함

- 취득되는 데이터의 실시간 분석이 불가능하여 전문가의 주관적인 판단하에 현장이 관리되고 있으며, 시공 시 발생할 수 있는 문제를 예측하거나 발생한 문제에 대한 대응을 실시간으로 수행하기 어려움

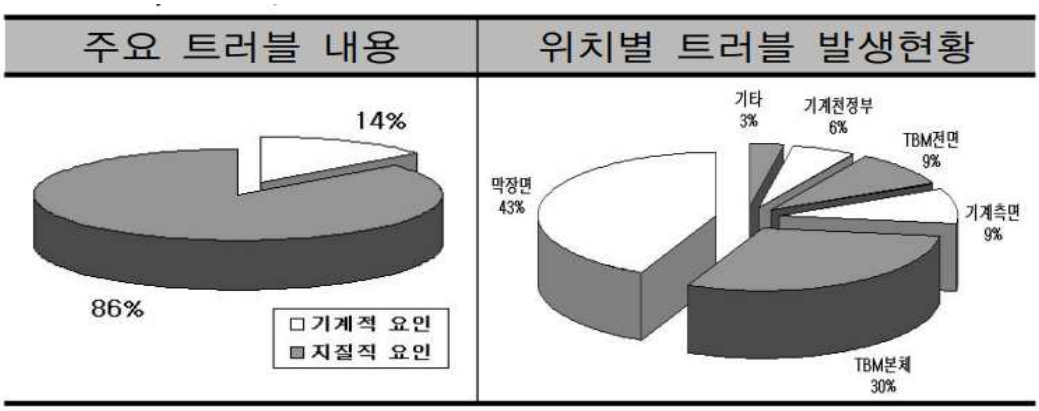
출처: 한국건설기술연구원, 터널 시공 위험도 관리 상용화 시스템 개발 및 제도화 연구(1), 2013

○ 터널 시공에 ANN과 같은 인공지능 분석기법을 적용하고 있으나, 현재 기술 개발 수준은 지표침하, 굴진율 예측 등에 한정되어 있으며 빅데이터/인공지능 기술의 광범위한 적용 가능성에도 불구하고 실제 활용범위가 미미함

- 우리나라는 TBM을 자체 제작하는 기술력을 확보하지 못한 상황으로 선진 제작국과의 기술격차를 줄일 수 있는 제작능력 확보와 선진국과는 차별화된 독자적 기술 개발을 통해 세계시장에 진출할 수 있는 능력을 확보해야 하는 상황
- 복잡한 TBM 장비 제어를 위해서는 운전자의 상당한 훈련기간과 경험이 요구되는 특징을 가지고 있으며 돌발상황이나 장비 문제가 발생할 경우 이에 대처할 수 있는 능력이 전적으로 운전자의 경험에 의해 좌우됨
- 따라서 TBM 터널시공의 신뢰도를 향상시키고 표준화할 수 있는 기술이 요구되는 상황임

○ 터널 시공의 관리 방식은 인력에 의한 현장 작업자 관리 방식으로, 터널 굴착 중 붕락징후 등에 대한 안정성 평가가 신속하게 결정되지 못하고 붕락 등의 문제가 발생한 이후에 인지되므로 반복적인 피해가 발생할 수 있음

- TBM 터널의 시공품질 또한 막장 전방의 지반조건의 확인 정도에 크게 영향을 받으나, 막장면이 노출되는 NATM 터널과는 달리 TBM 터널은 막장면의 육안 확인이 어렵기 때문에 현재 굴착지점의 지반조건을 실시간으로 확인하는 것에는 한계가 있음
- 일본전력건설사업협회에서 조사한 쉴드 TBM 굴진 시 주요 트러블 요인은 지질적 요인과 기계적 요인으로 구분할 수 있으며, 그중 86%가 지질적 요인에 근거하여 발생되고 있음을 알 수 있음
- 또한, TBM 위치별 트러블 발생현황에 따르면 막장면에서 발생하는 문제가 전체의 43%를 차지하여 가장 주요했으며, 이는 TBM 막장 전방의 상세한 지반조건 판별의 중요성을 시사함



출처: (사)일본전력건설사업협회 조사, 2001

[그림 4-141] 쉴드 TBM 트러블 현황

(2) 개선방안

□ **고소작업으로 인한 재해의 위험성이 높은 공종을 인력 기반의 시공 방식에서 로봇, VR 기술을 이용한 원격·자동화 시공 방식으로 전환하여, 건설현장의 작업환경을 개선하고 재해의 원인을 근본적으로 차단하고자 함**

○ 3D 형상 정보 및 작업 환경 스캐닝 정보를 기반으로 운용할 수 있는 이동식 크레인과 로보틱 작업 장치(attachment)를 이용하여 인력의 개입 없이 교량 주부재의 거치를 자동으로 정밀하게 수행하도록 함으로써 고소 작업공간에 위치한 작업자의 추락에 의한 재해를 방지하고자 함

- 실감형의 VR 환경에서 원격 조작이 가능한 스마트 건설 로봇을 고소 작업공간에서 이루어지는 고교각 및 주부재 연결부의 시공에 적용함으로써 고소 작업공간에 위치한 작업자의 노동력을 대체하여 추락에 의한 재해를 방지하고자 함
- 또한, 본 기술을 프리팹 모듈의 거치에 적용할 수 있도록 하여 프리팹 인프라 구조물의 적용을 활성화하기 위한 기반 마련에 기여하고자 함

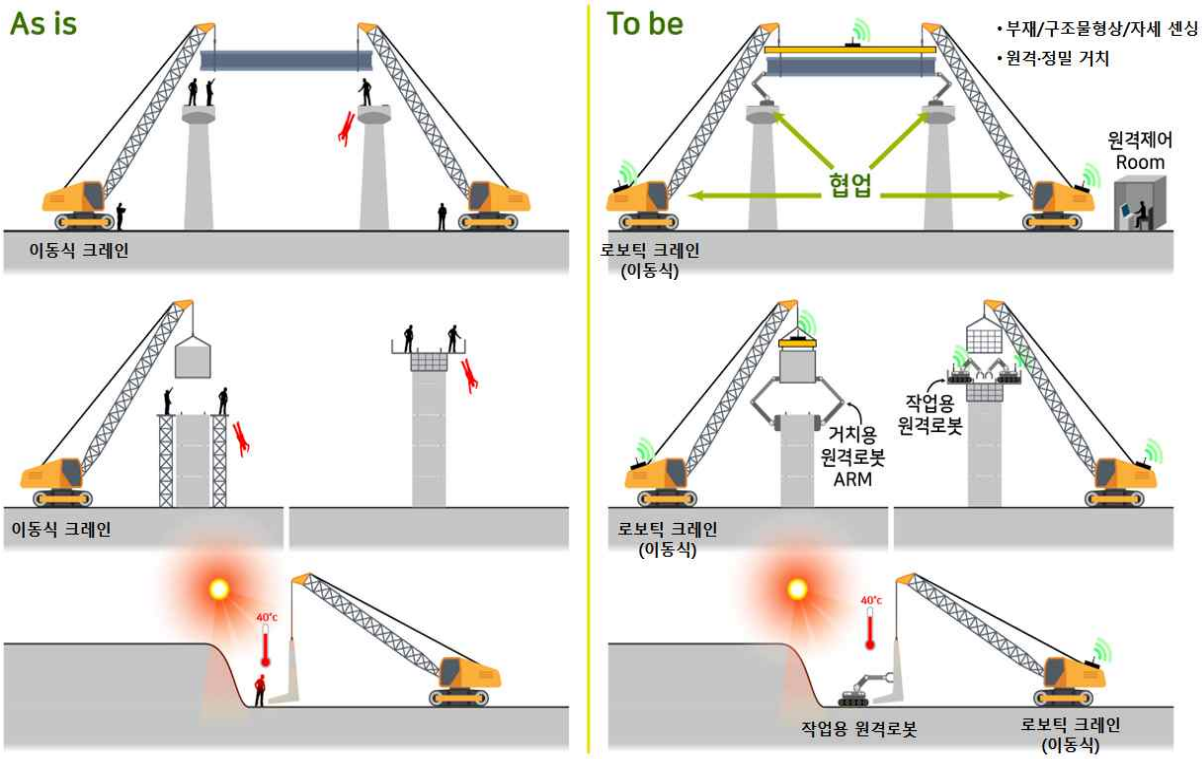
□ **데이터 및 머신러닝에 기반한 시공자 및 전문가의 판단을 보조할 수 있는 기술을 마련하여 전반적인 터널의 시공품질 향상에 기여**

○ TBM 건설현장에서 취득되는 데이터는 매우 방대하여 비전문가의 분석이 어려움. 전문가의 경우에도 시공 시 발생할 수 있는 문제를 예고하는 시공 데이터의 즉각적인 분석이 어려워, 발생 가능한 문제를 사전에 예측하는데 한계가 있음

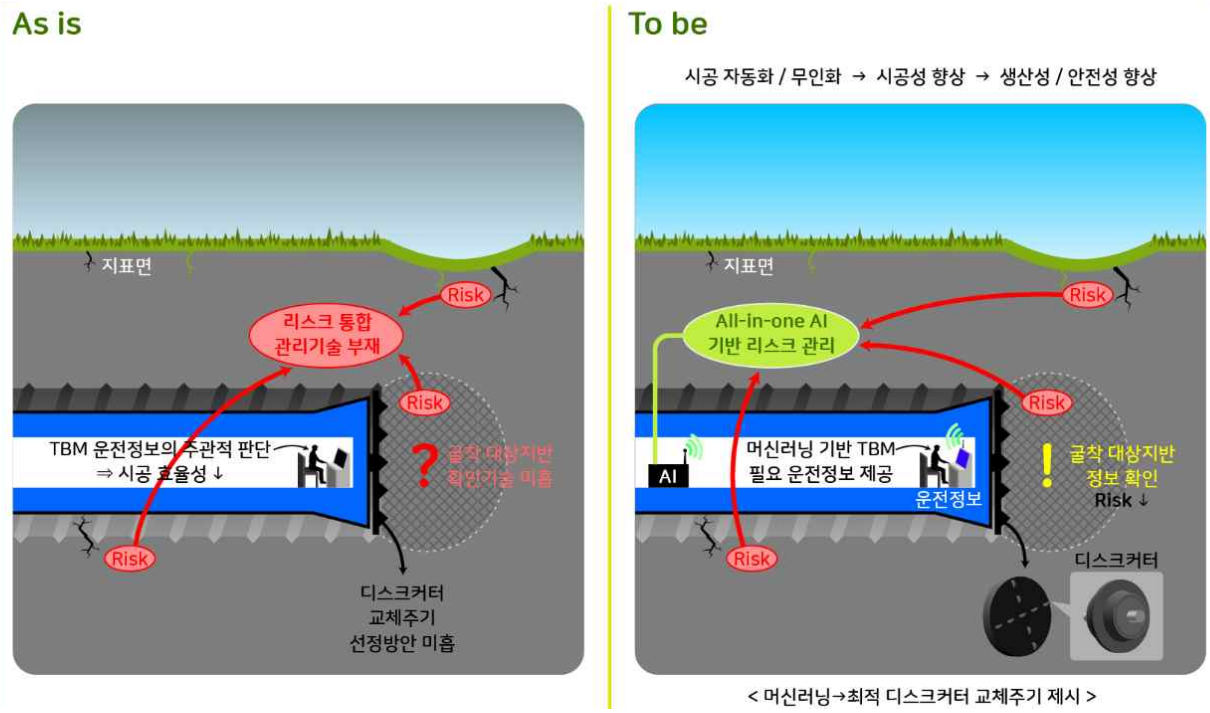
- 시공 데이터를 통합 관리하는 서버와 데이터를 기반으로 한 머신러닝 분석 시스템을 구축하여 시공 중 발생 가능한 문제를 사전에 예측하고 문제 발생 시 그에 대한 대응방안을 즉각적으로 제시하여 전문가의 판단을 크게 보조하고자 함
- 실시간 지반정보와 기존 굴진 데이터를 종합하여 TBM 운전자의 숙련도와 무관하게 안전한 굴착이 가능하고 굴착공정의 중단을 최소화 할 수 있도록 TBM 장비의 자동 운전제어 시스템을 구축하고자 함
- 비파괴 검사법을 통한 TBM 막장 전방 데이터를 인공지능 기법을 통해 즉각적으로 분석하고, 기존 지반조사 데이터와의 결부를 통해 보다 정확한 막장 전방의 지반조건을 제시하는 기술을 개발하여 전문가의 판단을 보조하고 TBM 터널의 발생가능 리스크를 최소화하고자 함

<표 4-76> 도로구조물 무인·자동화 시공기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
■ 노동력 기반의 고소작업으로 인해 작업자의 작업환경이 열악하고 추락으로 인한 재해 위험성 상존 - 교량 주부재(거더)의 거치는 이동식 크레인으로 인양 및 이동시키고, 최종적인 위치를 조정하는 작업은 교각(또는 교대) 위에 위치한 작업자에 의해 수행 - 교량 주부재의 연결과 교각 시공을 위한 거푸집 설치, 철근 연결, 콘크리트 타설 및 탈형의 전 과정이 고소에 설치된 작업대 또는 주부재 위에 위치한 작업자에 의해 수행	■ 원격.자동화 로봇으로 고소 작업자의 노동력을 대체하여 건설 현장의 작업환경의 개선 및 재해 방지 - 3D 형상 정보 및 작업 환경 스캐닝 정보를 기반으로 운용할 수 있는 이동식 크레인과 로보틱 작업 장치를 이용하여 인력의 개입 없이 교량 주부재의 거치를 자동으로 정밀하게 수행 - 실감형의 VR 환경에서 원격 조작이 가능한 스마트 건설 로봇에 의해 고소 작업공간에서 이루어지는 고교각 및 주부재 연결부의 시공
■ 터널의 시공관리는 주로 전문가의 경험에 의한 주관적인 판단으로 이루어짐 - 시공 데이터의 즉각적인 분석 방법 미흡 - 디스크 커터 교체주기의 불명확 - TBM 운전자의 경험에 의한 판단	■ 데이터 및 머신러닝 기반 시공기술 개발 - 머신러닝을 통한 시공 데이터의 실시간 분석 - 데이터/머신러닝을 통한 디스크 커터 교체주기 제시 - 데이터 기반 기계학습을 통한 TBM 자동운전
- TBM 터널의 경우 육안을 통한 막장확인이 어려움	- 데이터/머신러닝 기반 TBM 막장전방 확인 기술 개발



[그림 4-142] 로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소(高所)/고위험 시공 원격.무인화 기술



[그림 4-143] 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술

3.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

(구성기술 2-2-1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 기술 개발

○ 3D 형상 정보와 환경 스캐닝 정보를 기반으로 구조 부재의 거치를 원격·자동으로 거치할 수 있는 협업형 로보틱 크레인과 실감형 3차원 VR 환경에서 원격으로 구조물 및 부재(모듈) 연결부 시공을 수행하는 원격 시공 로봇 기술

(구성기술 2-2-2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

○ 데이터/머신러닝 기술을 기반으로 TBM 시공데이터의 실시간 분석 및 TBM 운영관리를 수행하며, 막장 전방 예측을 통해 TBM 시공 리스크를 통합 관리하여 기계화 터널 시공(TBM)의 자동화를 이루는 기술

(2) 기술개발 목표

(구성기술 2-2-1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 기술 개발

□ **고소(高所)/고위험 환경에서 무인으로 구조 부재의 정밀한 거치가 가능한 3D-형상/자세/위치 정보를 활용한 협업형 로보틱 크레인 기술 개발**

○ 고소(高所)/고위험 위치(교각/교대 상단 등)에 투입되는 인력의 도움 없이 큰 규모의 구조 부재(교량용 거더)를 지상에서 설치 위치까지 안전하고 정밀하게 운반/설치할 수 있는 다중 크레인 운용 및 원격 제어 기술 확보

- 부재 위치/형상/자세, 환경 인식을 통한 다중 이동식 크레인 협업 기반 운반 경로 계획 기술
- 다중 이동식 크레인 기반 부재 자동 운반 및 실시간 안전 제어 협업 기술
- 부재-타겟 위치/형상 및 원격 로봇 기반 부재 정밀 거치 자동화 기술

□ **고소(高所)/고위험 환경에서 무인으로 구조물의 원격 제작/조립이 가능한 실감형 VR, 로봇 기반 원격시공 기술 개발**

○ 고소(高所)/고위험 위치(시공 중인 현장타설 교각 상단 등)에서 이루어지는 철근 연결, 콘크리트 타설, 거푸집 설치 등의 구조물 제작·시공 작업을 인력을 대신하여 수행할 수 있는 원격시공 로봇(장비), 자동화 시스템 확보

- 고소(高所)/고위험 작업용 원격시공 장비·도구(attachment) 및 공법
- 고소(高所) 원격시공 장비용 다기능 작업대 및 자동 상승·하강 교각 거푸집 시스템
- 3차원 VR 영상 기반 실감형 원격 제어 장치 및 S/W

(구성기술 2-2-2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

□ **머신러닝 기반 기계식 굴착장비(TBM, Tunnel Boring Machine)의 스마트 운용 기술 개발**

○ TBM 운전 중 발생할 수 있는 지반 침하, 커터헤드 끼임, 디스크 커터 교체, 장비 오류 등의 리스크에 대응하면서 자동운전이 가능하도록 굴착정보, 운전정보, 디스크커터 교체주기 최적화 등을 통합 관리 할 수 있는 시스템 구축

○ TBM 막장 전방 예측을 통한 All-in-one AI 기반 리스크 관리 기술 개발

- 비파괴 탐사방법과 인공지능 분석기법을 활용하여 TBM 막장 전방의 지반 조건을 예측하고 이를 통하여 TBM 시공 중 발생 가능한 리스크를 통합 관리할 수 있는 기술의 개발

3.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

□ **로보틱 크레인**

○ 미국 NIST에서는 케이블 방식의 로보틱 크레인(RoboCrane)을 개발하였으나, 공장용 크레인에 국한된 연구임

출처: Kamel S. Saidi, et al. Developments toward an Autonomous Robotic Crane for Automated Steel Construction. Proceedings of the 11th Mediterranean Conference on Control and Automation, 2003.

- 케이블 방식의 로보틱 크레인을 이용하여 원격 작업을 통한 철제 구조물 이동 및 거치 기술, 레이저 기반의 주변 환경 측정 및 부재 추적 기술 등을 개발함

- 로보틱 크레인의 적용 범위를 확장하여 교량 건설을 위한 모듈 거치 연구도 수행하였으나, 크레인 규모가 6m로 축소 시제 수준이었으며 실제 교량 건설에 적용하지 못하였고 컨셉 제안에 머물렀음

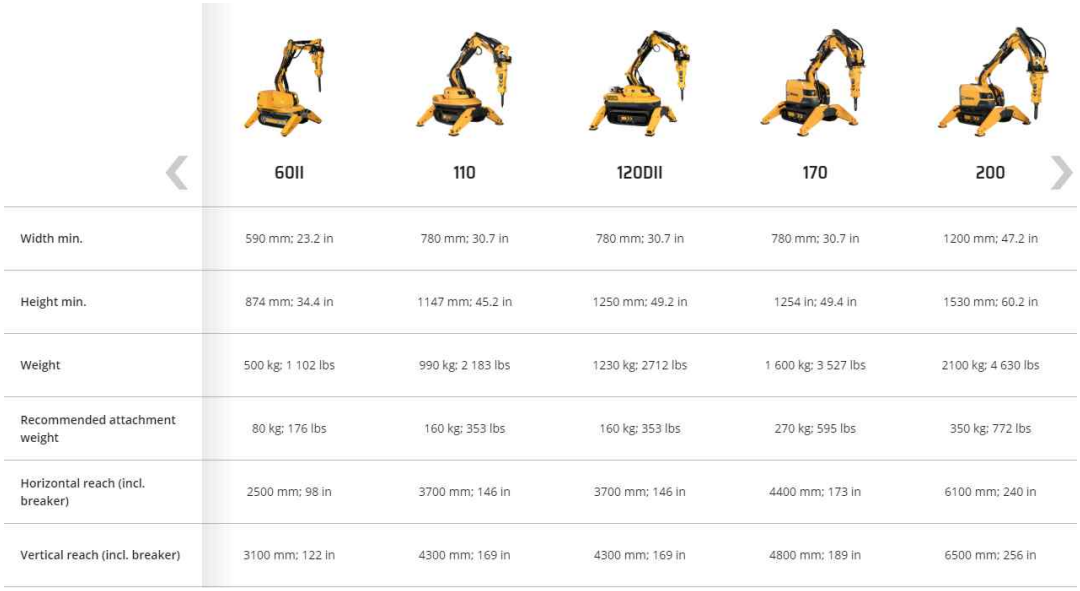


[그림 4-145] NIST의 RoboCrane

□ **원격 건설 로봇(Construction Tele-robot)**

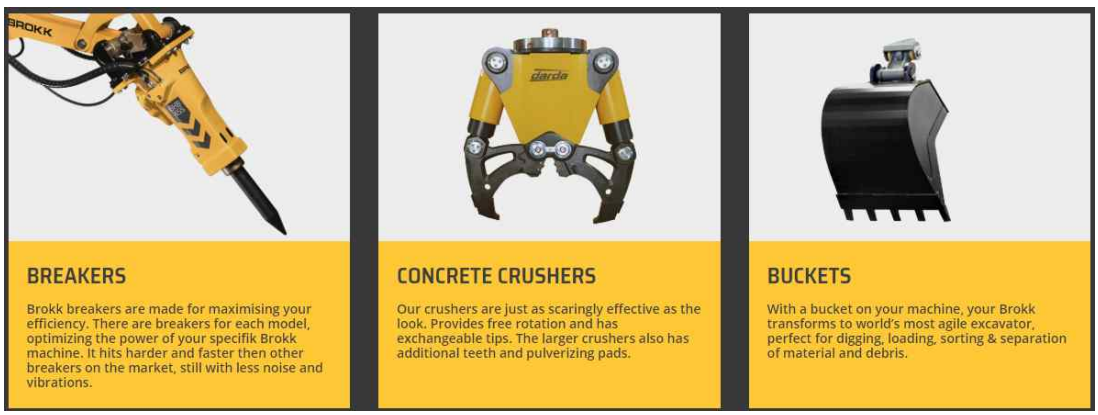
○ 유럽, 미국, 일본 등에서 구조물의 해체 및 재난 현장 복구를 목적으로 원격으로 조작이 가능한 장비가 개발되어 적용되고 있으나, 토목 구조물의 원격 시공을 위한 장비가 개발되거나 적용된 사례는 아직까지 없음

- 스웨덴 Brokk社는 구조물 해체 작업을 근거리에서 원격(Remote-Control)으로 수행할 수 있는 다양한 장비와 해체 작업의 종류 별로 선택하여 적용할 수 다양한 부품(Attachments)을 개발하여 공급하고 있음



	60II	110	120DII	170	200
Width min.	590 mm; 23.2 in	780 mm; 30.7 in	780 mm; 30.7 in	780 mm; 30.7 in	1200 mm; 47.2 in
Height min.	874 mm; 34.4 in	1147 mm; 45.2 in	1250 mm; 49.2 in	1254 in; 49.4 in	1530 mm; 60.2 in
Weight	500 kg; 1 102 lbs	990 kg; 2 183 lbs	1230 kg; 2712 lbs	1 600 kg; 3 527 lbs	2100 kg; 4 630 lbs
Recommended attachment weight	80 kg; 176 lbs	160 kg; 353 lbs	160 kg; 353 lbs	270 kg; 595 lbs	350 kg; 772 lbs
Horizontal reach (incl. breaker)	2500 mm; 98 in	3700 mm; 146 in	3700 mm; 146 in	4400 mm; 173 in	6100 mm; 240 in
Vertical reach (incl. breaker)	3100 mm; 122 in	4300 mm; 169 in	4300 mm; 169 in	4800 mm; 189 in	6500 mm; 256 in

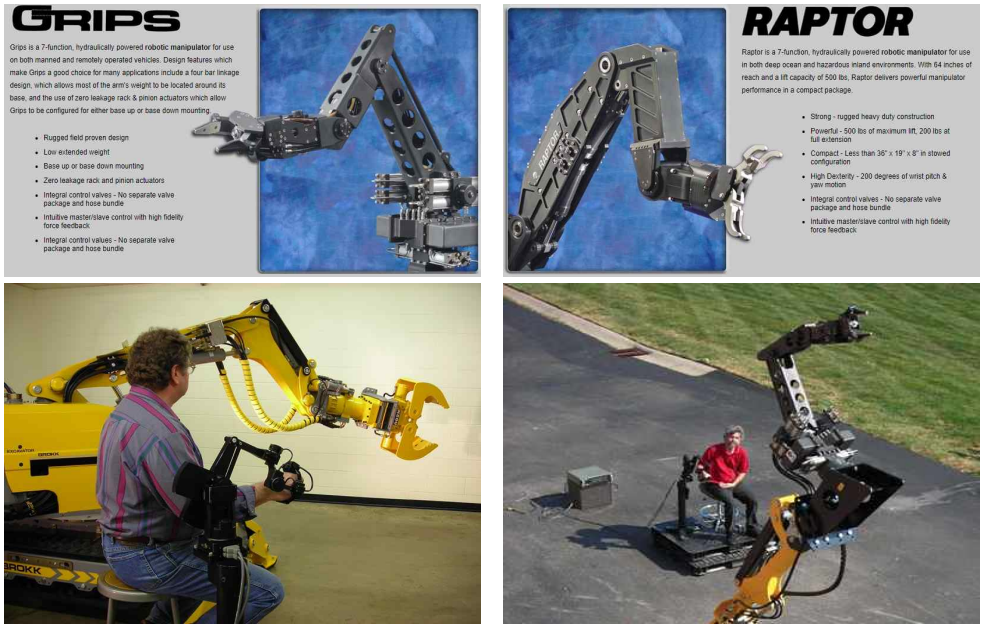
[그림 4-146] Brokk社의 원격 조종 장비



[그림 4-147] Brokk社의 원격 조종 장비용 부품(Attachment)의 예

- 미국의 Kraft TeleRobotics社는 스웨덴 Brokk社의 장비에 연결하여 해체와 관련된 작업을 근거리에서 원격 조작할 수 있는 다양한 장비를 개발·공급하고 있으며, 조작의 편의성을 높이기 위해 힘반영(force feedback) 조종 기술이 적용된 햅틱 디바이스가 적용되고 있음

출처: Brokk社 홈페이지(https://www.brokk.com)
Kraft TeleRobotics社 홈페이지(https://krafttelerobotics.com)



[그림 4-148] Kraft TeleRobotics社의 원격 해체 로봇

- 일본의 Fujita社는 굴착장비에 탑재시켜 원격 현장에서 촬영되는 영상을 이용하여 원거리에서도 원격 조작이 가능한 장치인 Robo Q를 1997년부터 개발하여 현재까지 약 20건의 재해 현장에 적용하였고, 500명 이상의 원격 조종자를 교육하고 있음

출처: CHAYAMA, Kazuhiro, et al. Technology of Unmanned Construction System in Japan. JRM, 2014, 26.4: 403-417.

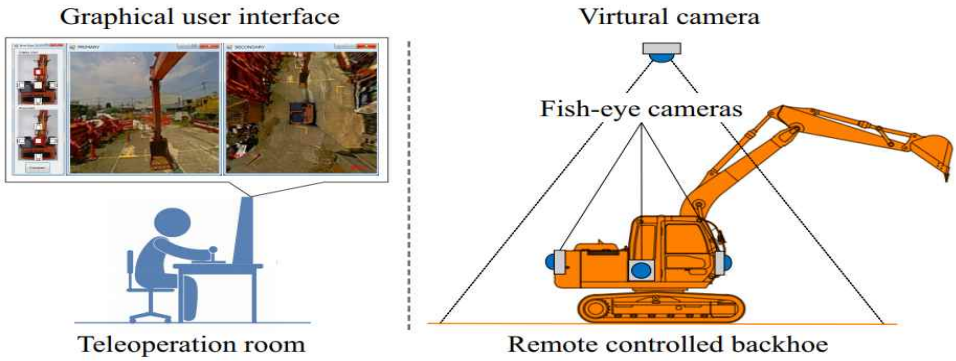


[그림 4-149] Fujita社의 Robo Q 및 원격 조정실

○ 원격 조종자의 현실감의 향상을 목적으로 영상 또는 VR 기술을 적용하기 위한 기술개발 및 연구가 이루어지고 있으나, 아직까지 실험실에서 건설 현장에 직접 적용된 경우는 없음

- 일본의 도쿄대학교는 2014년에 원격 작업자에게 미가시 영역(blind area)의 영상을 제공하여 현장 환경에 대한 이해도를 높이기 위해 여러 대의 Fish-eye camera를 이용하여 Bird's-eye View(BEV)를 제공하기 위한 기술을 개발한 바 있음

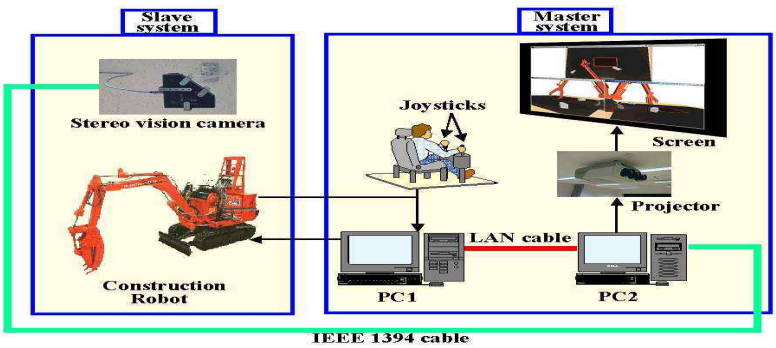
출처: SATO, Takaaki, et al. Development of bird's-eye view system in unmanned construction. Transactions of the JSME, 2015, 81.823.



[그림 4-150] 도쿄대학교의 Bird's-eye view 시스템의 개요

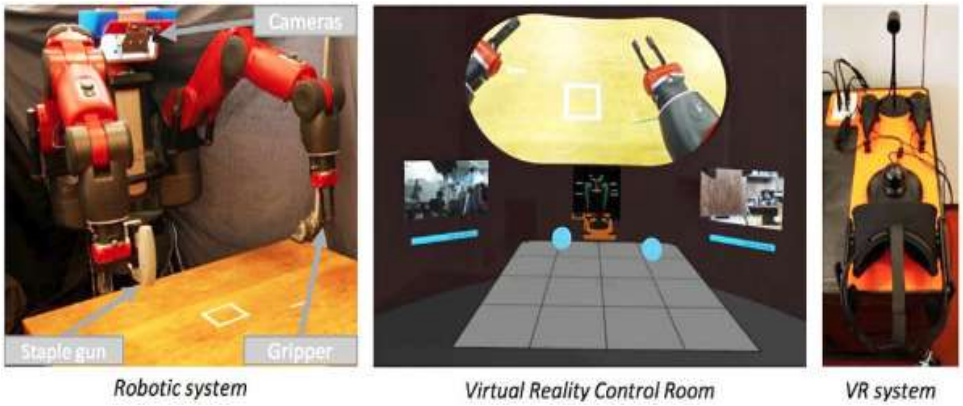
- 일본의 기후(Gifu)대학교는 2007년에 건설용 원격로봇의 효율에 큰 영향을 미치는 조작자(오퍼레이터)의 현실감을 향상시키기 위한 방법에 대한 연구를 통해 가상현실(VR)의 유용성(usefulness)을 확인함

출처: YAMADA, Hironao; MUTO, Takayoshi. Construction Tele-Robotic System with Virtual Reality (CG presentation of virtual robot and task object using stereo vision system). Control and Intelligent Systems, 2007, 35.3: 195-201.



[그림 4-151] 가상현실을 이용한 원격 조종 개요

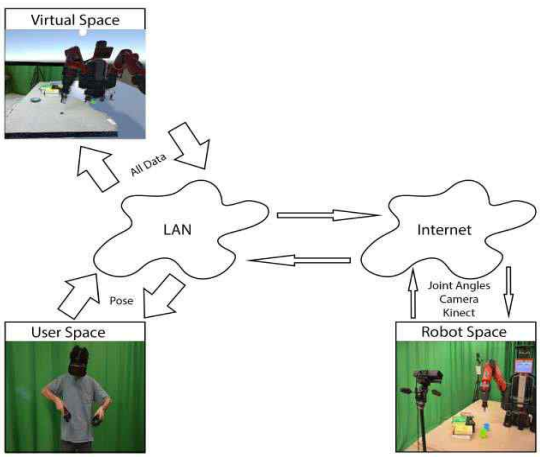
- 미국 MIT의 컴퓨터 과학 및 인공 지능 연구실(CSAIL)은 2017년에 VR헤드셋과 로봇에 설치된 camera의 영상에서 제공하는 현실감 높은 가상 환경에서 로봇(Baxter)을 이용한 원격 작업의 성공률을 높일 수 있는 기술을 개발함



[그림 4-152] MIT의 Baxter와 가상현실을 이용한 원격 조종

- 미국의 Brown 대학교에서는 2017년에 VR장비(HTC vive)를 착용하고 VR이 제공하는 몰입환경에서 로봇을 원격으로 조종하는 기술(ROS Reality; Robot Operating System Reality)을 개발하고, 66 km(41 miles)의 거리에 떨어져 있는 로봇(Baxter)을 이용하여 원격 작업(컵쌓기)를 성공적으로 수행하였음
- 작업자는 VR장비에서 로봇의 3D 모델, 로봇에 설치된 카메라 이미지, Point Cloud 이미지를 볼 수 있음

출처: WHITNEY, David, et al. Comparing Robot Grasping Teleoperation across Desktop and Virtual Reality with ROS Reality. In: Proceedings of the International Symposium on Robotics Research. 2017.



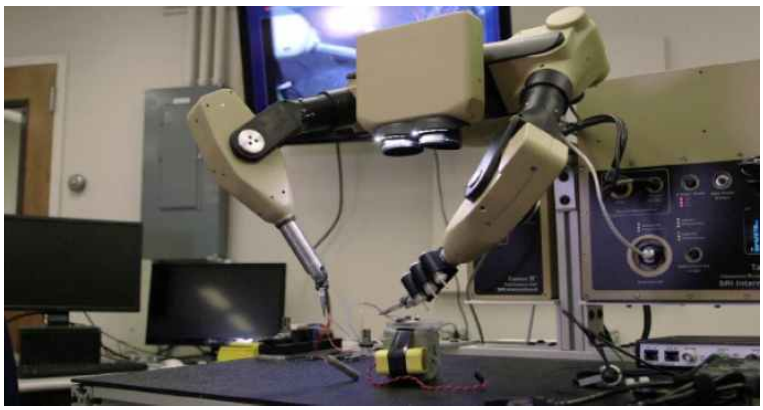
[그림 4-153] Brown 대학교의 ROS Reality의 개요



[그림 4-154] ROS Reality에서 제공되는 VR 이미지

- 실리콘밸리의 비영리 연구개발 그룹인 SRI International은 2018년에 로봇에 설치된 스테레오 카메라에서 제공되는 로봇과 동일한 관점의 몰입형 환경에서 미세한 원격 조종이 가능한 로봇(Taurus™)을 개발하였음

출처: Taurus™ Lightweight, Dexterous, Robotic Tool, SRI International 홈페이지(https://www.sri.com) 자료



[그림 4-155] SRI 인터네셔널에서 개발한 원격 조종 로봇(Taurus)

□ 고교각 시공 및 구조물 연결 장비

○ 해외에서 고교각 시공 및 구조물 연결에 활용될 수 있는 자동화 거푸집, 볼팅 로봇, 철근 연결 시스템 등이 개발되어 적용되고 있으나, 이들 장비를 원격 시공에 활용하기 위해서는 크기 및 기능의 개선이 필요함

- 세계적인 거푸집 제작·공급 기업인 오스트리아의 Doka社와 독일의 PERI社는 대형 교각을 포함한 다양한 형태의 구조물에 적용할 수 있는 자동상승거푸집(Doka - Automatic Climbing Formwork, PERI - ACS Self-Climbing System)을 개발하여 현장에 적용하고 있음
  출처: Doka사 홈페이지 (https://www.doka.com)
- 이들 시스템은 고교각의 원격시공을 위한 자동화 거푸집과 원격시공 로봇의 작업 발판으로 활용이 가능할 것으로 판단되나, 이를 위해서는 원격시공 로봇의 활용을 위해 구조 및 기능의 개선이 필요함



[그림 4-156] 자동상승거푸집(Doka - Formwork SKE100 plus)과 교각 적용 예

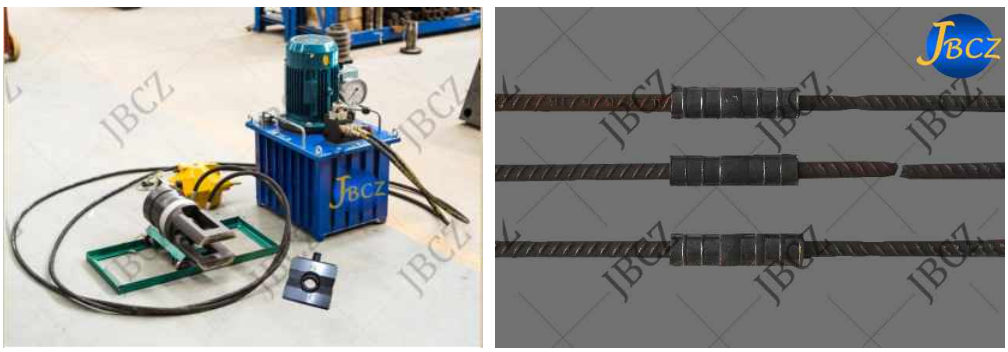
- 일본의 Shimizu社가 개발 중인 Robo-Buddy는 장착된 두 개의 Arm을 이용하여 건물 내 천정 마감 부재를 이동과 설치를 위한 볼팅의 자율적인 수행이 가능함
  출처: Shimizu사 홈페이지 (https://www.shimz.co.jp)
- 본 기술을 교량 구조물 연결 원격시공을 위해서는 장비의 경량화와 원격 조작에 적합하도록 기능의 수정・개선이 필요함



[그림 4-157] 일본 Shimizu社의 Robo-Buddy

○ 전통적인 철근의 겹이음 작업을 개선하기 위해 다양한 종류의 커플러가 국내·외적으로 활용되고 있으며, 중국의 ZBCZ社는 현장에서 철근을 압접하여 간단하게 연결할 수 있는 연결 장치와 전용 장비(Cold Extrusion Press Machine)를 생산 공급하고 있음
출처: 중국 JBCZ사 홈페이지 (https://www.jbcz.com)

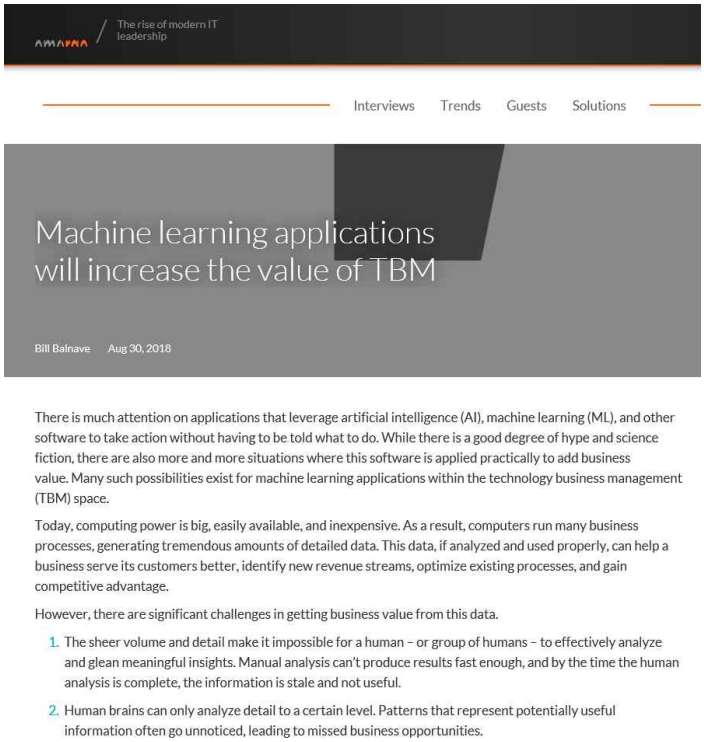
- 압접 연결 방식은 현장의 기계화된 시공을 가능하게 하는 방식이지만, 아직까지 자동화된 장비로 발전되지 않았음



[그림 4-158] 중국 JDCZ사의 철근 압접 연결 장비 및 압접 연결 예

□ TBM 장비 자동운전 기술

○ TBM 장비의 자동운전 기술은 현재까지 개발이 진행되고 있지 않으며 타 분야에서 사용 중인 AI나 머신러닝 기법을 현장에 적용하려는 시도가 진행되는 등 아직까지 초기 개념 정립의 단계로 볼 수 있음



출처: Apptio (Computer Software and IT Service company, www.apptio.com)

[그림 4-159] Machine Learning을 통한 TBM 운전의 가치를 언급한 해외 분석기사(2018.08.30.)

- TBM 자동화는 운전·제어 시스템을 통해 충분히 제어되고 있으나 최종적으로 실제 굴착과 관련한 운전·제어는 숙련자에 의해 제어반에서 통제되고 있음

○ TBM 제어 장비는 제작사 별로 각각의 제어 방식을 보유하고 있으며 TBM 제작사별로 적용되는 Programmable Controller 장비에 따라 그 방식에 차이만 있을 뿐 적용 수준은 유사함

- 일본 TBM 제작사 : 미쯔비시 Melsec, 오쿠무라 ISEKI,
- 독일 TBM 제작사 : SIEMENS SIMATIC
- 미국 TBM 제작사 : SIEMENS SIMATIC, PHOENIX CONTACT
- 중국 TBM 제작사 : SIMENS SIMATIC, 미쯔비시 Melsec, OMRON CJ series



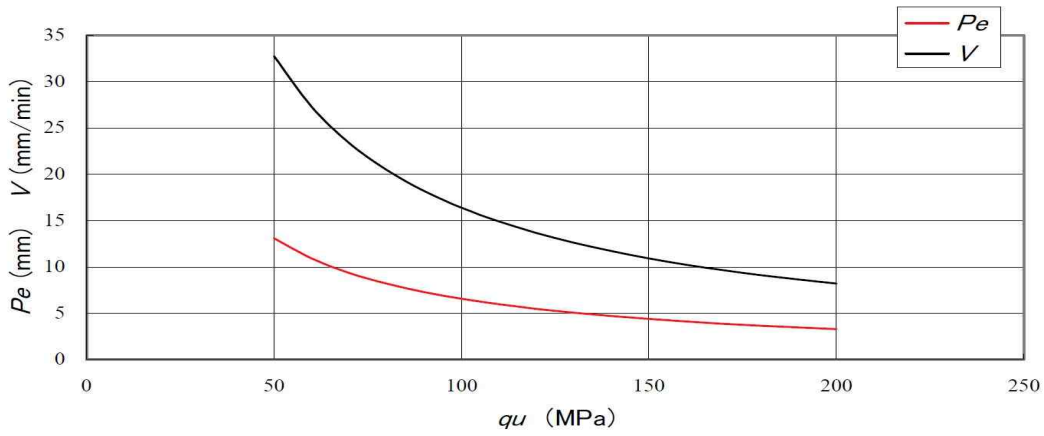
[그림 4-160] 제작사별 TBM Controller (좌상: Melsec, 우상: SIEMENS, 좌하: CJ series, 우하: PHOENOX CONTACT)

- TBM 운전은 TBM에 장착된 운전·제어 시스템에 의해 기본 운전방식이 통제되며 필요에 의해 굴진방향이나 커터헤드 회전과 같은 TBM 각각의 구성에 대한 자동화는 상당부분 이루어져 있어서 운전자가 제어반을 통해 각각의 구성 부분에 명령을 내려 운전을 진행하는 방식
- 현재까지 선진 제작사에서도 인력에 의한 TBM 운전·제어를 지향하고 있으며 제작사별로 돌발 상황에 대한 대책을 각자 비공개로 보유한 상황임

□ 디스크 커터 교체주기 산정기술

○ NTNU(Norweigan University of Science and Technology)는 NTNU 디스크 커터의 마모 정도를 예측하여 TBM 장비의 굴진율을 산정할 수 있는 모델을 제시하여 커터소모량을 설계자가 적절히 예측할 수 있도록 함

- 미국 CSM(Colorado School of Mines)은 20-30년간 축적된 TBM 현장자료와 실험실 시험결과에 근거하여 TBM 굴진율 예측 모델을 개발했으나 상세 내용은 비공개 자료임
- 일본도 제작사별 자체 모델을 개발하여 사용하고 있으나 상세내용 역시 비공개임. 이는 굴진율과 디스크 커터의 마모율은 공사비 산정과 밀접한 관계가 있기 때문에 시공사의 경우, 회사 이익과 관련된 사항으로 대부분 비공개로 보유하고 있는 상황임



[그림 4-161] 일본 Mitsubishi社의 TBM 굴진율 예측 모델

- 이러한 굴진율 마모율 예측 모델은 특정 조건에서 설계 전에 미리 예측할 수 있도록 개발한 모델로, 실제 굴착 공정 중 시시각각 변하는 지반조건(토압, 지반의 종류, 지반 구성 성분 등)에 쉽게 대응하지 못한다는 단점이 있음

□ TBM 막장 전방 예측 기술

○ 국외에서 TBM에 적용 가능한 막장전방 예측기술에 대한 연구가 기업을 중심으로 활발히 진행 중. 그러나 각 기업에서 개발된 막장전방 예측기술은 기업의 자체기술로 분류되어 공유되지 않는 실정이며, 국내 기업에서는 아직까지 TBM에 적용 가능한 막장전방 예측기술이 상용화된 사례가 없음

- 일반적인 TBM에 적용이 가능한 국외의 막장전방예측 기술로는 스위스 AMT(Amberg Measuring Technique)사가 TSP 탐사방법으로 TSP203을 개발하였으며, 독일의 Herrenknecht사, Philipp Holzmann사, Zublin사와 함께 반사 탄성파 탐사법 원리를 이용하여 쉴드 TBM 전면 커터 휠에 탑재 가능한 SSP(Sonic Soft Ground Probing) 시스템을 개발함

- 또한 독일 Herrenknecht사에서 판매하는 막장전방 예측 기술 중 GET(Geo Exploration Technologies)사에서 개발된 BEAM(Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring) 시스템이 있으나 센서를 주기적으로 교체해야 하며 가격이 고가라는 단점이 있음

- 막장전방 예측데이터를 사전 지반조사데이터와 비교 분석하여 지반조사 정보를 자동적으로 재구성해주는 기술은 연구된 사례가 없음

□ 터널 시공 리스크 관리 기술

○ 국외에서는 TBM 터널의 리스크 관리에 대한 연구가 많이 진행되고 있으나 TBM 시공 중 발생 가능한 리스크 요인에 대한 정립은 아직까지 이루어지지 않음

- 터널 공사에 대한 리스크 관리에 대한 국외의 연구를 보면, Einstein 교수(1992)에 의해 소개된 DAT(Decision aids in tunnelling)기법은 연구된 건설비용과 시간계획 그리고 터널 건설을 기존과는 다른 통계적인 방법을 이용하여 모델링함

- Alvarez Grima 등(2000)이 TBM 수행평가에 있어서 기계특성과 지질학적으로 기록된 640개의 터널 프로젝트 자료에 근거하여 신경 퍼지 모델을 통합하는 다른 접근도 시도

- Benardos(2004)는 터널에 가장 큰 영향을 미치는 8개의 위험 요소(Risk Factor)들을 선정하여 각 요소들을 등급화하고 해당 시공 현장의 조건을 모델링하여 위험도를 평가함

- 유럽(노르웨이, 영국), 일본, 미국 등은 많은 해저터널 조사-설계-시공-감리 경험을 통해 충분한 정보와 노하우가 축적되어 있고, 이러한 리스크 관리 분야가 하나의 시장 및 기술분야로 자리잡고 있음

- 프로젝트 초기 설계단계에서부터 리스크 관리를 통해 시행착오 및 그에 따른 경제적 손실을 최소화하고 있으며, 시공중 리스크 관리를 통해 안정성과 시공성을 확보하고 공기단축 및 공사비 절감을 실현하고 있음

○ TBM 시공데이터의 실시간 분석을 통해 시공 중 발생 가능한 리스크와 그에 대한 대응방안을 실시간으로 제시해주는 기술은 실용화된 바가 없음

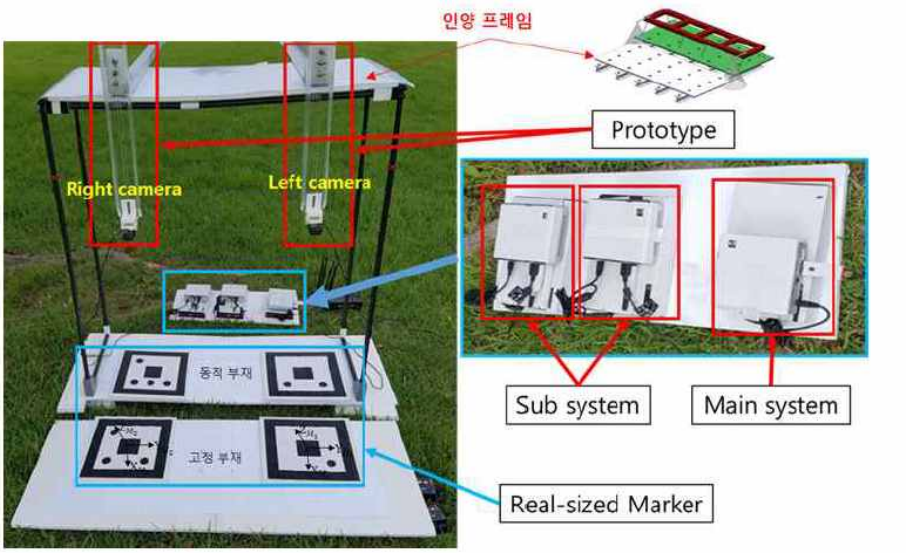
(2) 국내 동향

□ 로보틱 크레인

○ ICT 교량 연구단(2013~2019)에서 마커를 적용한 Visual Sensing 기술을 이용하여 조립부재의 상대위치를 측정하는 정밀시공 가이드 시스템을 개발하고 유사환경에서 검증하였으나, 마커 기반의 비전 인식에 국한된 연구임
출처: ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발 보고서 (2018, 국토해양부)

- 비전 센서를 이용한 형상 및 위치 추정 알고리즘을 개발하여 조립부재의 철근 위치를 오차 0.8mm 수준으로 계측하였고, 거더의 전단 스터드의 형상 및 위치를 1.5mm 수준으로 추정함

- 센싱 기반 정밀 시공의 현장 적용을 위하여 다중 마커 기반 부재 6자유도 계측 통합 시스템을 제작하였고, 선형 변위를 목표 오차 3mm 이내에서 검증하였음
- 마커 기반의 비전 인식에 국한된 연구이며, 계측된 형상 및 위치 정보를 이용하여 실제 부재의 거치를 자동화하고 충돌 등의 안전사고를 예방하는 기술에 관한 연구는 수행되지 않음

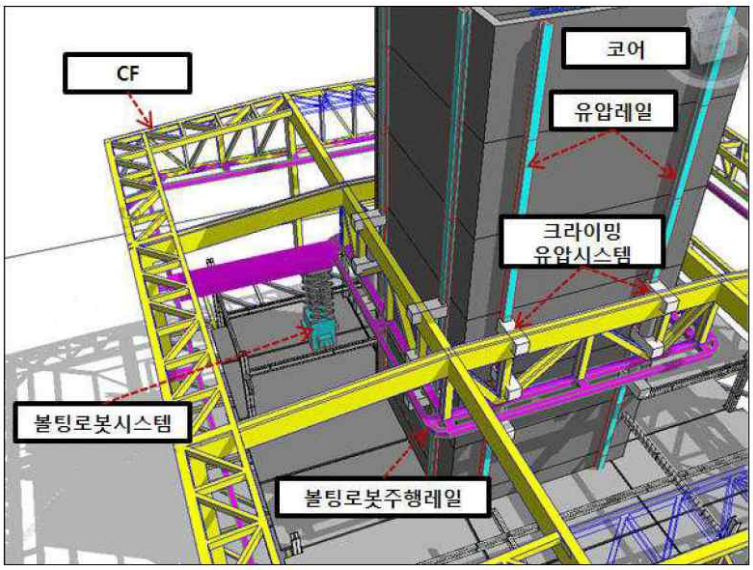


[그림 4-163] ICT 교량 연구단의 정밀시공 가이드 시스템

○ 고층건물 시공 자동화 연구단(2006~2011)에서 타워크레인 기반의 지능형 양중 관리 시스템을 개발하였으나, 타워크레인에 국한된 연구임

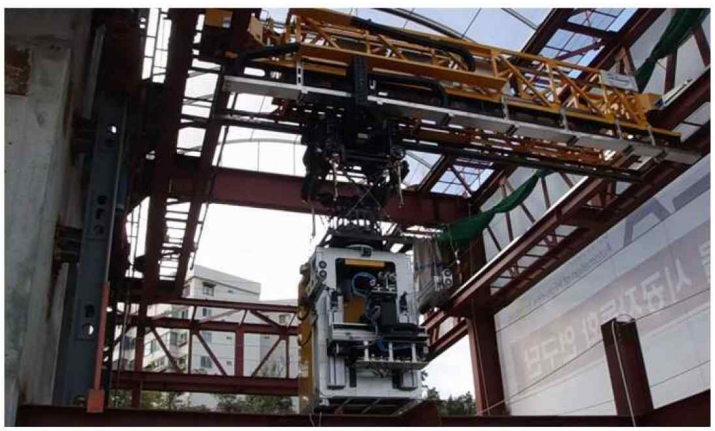
출처: 로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발 최종보고서 (2011, 국토해양부)

- 초고층 건축물의 구조체 시공을 자동화하기 위해서 유압식 승강 기능을 가진 건설공장(CF) 구조체를 개발하였으며, 이 구조체 위에서 레일을 따라 이동하고 부재 간의 볼트 체결 작업을 수행하는 이동형 메니퓰레이터를 개발함



[그림 4-164] 고층 건물 시공 자동화를 위한 구성요소

- 별도의 타워크레인에서 작업자의 조작을 통해 부재를 이동하고 위치를 잡으면, 이동형 메니퓰레이터 내의 작업자가 조작 장치를 이용하여 볼팅 작업을 수행하는 개념으로서 본 사업에서 추진하고자 하는 모듈의 자동 거치 기술과는 차이가 있음

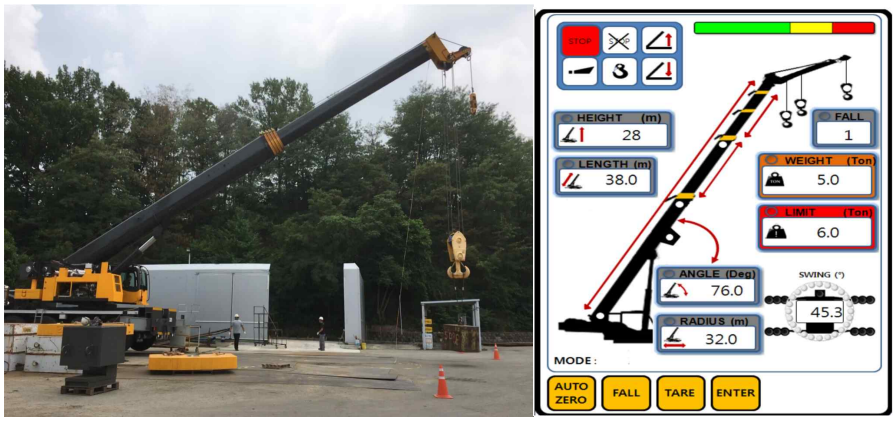


[그림 4-165] 직선 레일 주행 로봇 및 볼트 체결용 Mobile Manipulator

○ 전진CSM은 한국기계연구원, 한국생산기술연구원 등과 공동으로 “인공지능 기술이 적용된 120ton급 전지형 크레인 개발 과제”(2013~2017)를 통해 자동 안전 제어 및 작업 패턴 자동화 기능 개발을 수행함

- 자동 안전 제어 기능으로는 자동 과부하 방지 기능, 작업 반경 보정 기능, 지반 붕괴 감지 기능, 작업 영역 제한 기능들이 있음

- 작업 패턴 자동화 기능으로는 목표 지점을 입력하면 자동으로 인양 작업을 하는 기능(Target mode), 한 번의 시범 작동으로 자동 반복 작업을 수행하는 기능(Teaching back mode), 붐 끝이 수직 또는 수평을 유지하며 이동하는 기능 등이 있음



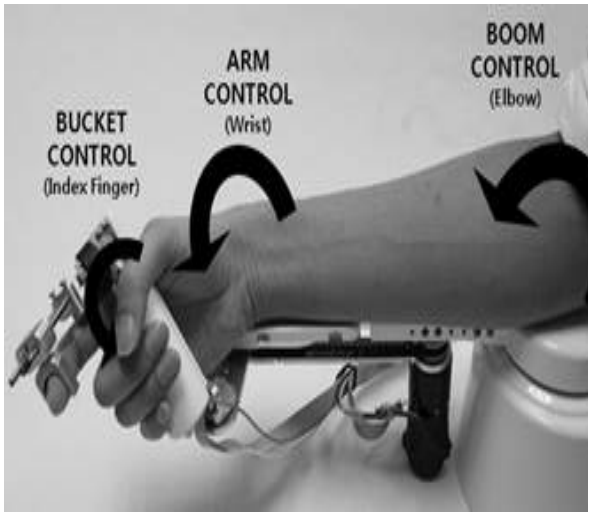
[그림 4-166] 120톤급 전지형 크레인(이동식) 및 안전제어 모니터 화면

□ 원격 건설 로봇(Construction Tele-robot)

○ 국내에서는 재난·재해 대응, 수중건설, 구조물 해체를 목적으로 이에 적합한 원격 로봇 및 제어 기술의 개발이 활발히 이루어지고 있으나, 해외의 사례와 같이 지상에 건설되는 토목 구조물을 원격으로 시공하기 위한 장비가 개발되거나 적용된 사례는 아직까지 없음

- 고려대학교는 2011년 건축물의 원격 해체를 목적으로 힘반영(Force feeback) 햅틱 디바이스와 이를 이용하여 굴삭기를 제어하기 위한 장치를 개발하고, 현장 적용을 수행함

출처: 친환경 도시재생을 위한 첨단해체기술 개발 최종보고서(2012, 국토해양부)



[그림 4-167] 굴삭기 원격 조종용 햅틱 장치 시스템



[그림 4-168] 굴삭기 원격 조종 현작 적용 실험

- 한국생산기술연구원은 2013년부터 재해·재난에 대응한 고난이도 작업을 위해 7자유도로 작동하는 모바일 유압 매니퓰레이터 시스템과 이를 원격으로 조종하기 위한 EUI(Enhanced User Interface) 연동 제어 기술을 개발 중에 있음
- 또한, 한국생산기술연구원에서 2015년부터 양팔과 다양한 어태치먼트를 이용하여 기능을 수행하는 재난·재해 대응 특수목적기계와 양팔과 어태치먼트를 조종하기 위한 힘반영(force feedback) 조종 장치를 개발 중에 있음

출처: 김진탁, et al. 고난도 작업을 위한 모바일 유압 매니퓰레이터 시스템 개발. 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, 2018, 232-233.



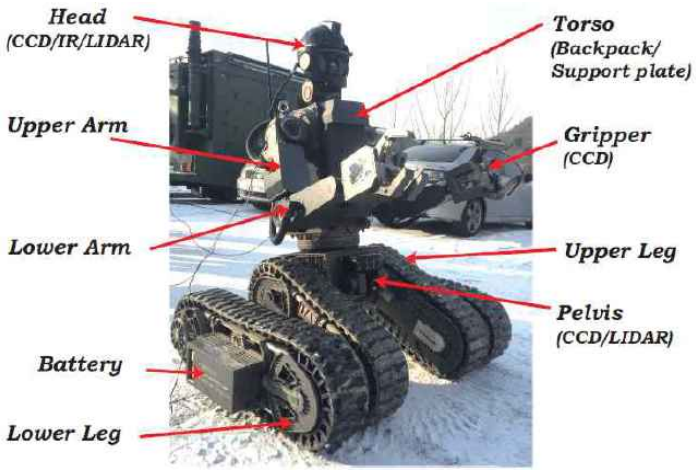
[그림 4-169] 모바일 유압 매니퓰레이터 시스템



[그림 4-170] 양팔 작업형 굴삭기 형태의 특수목적기계

- 국방과학연구소는 2013년부터 인명 구난로봇(HURCULES)과 햅틱장치 및 조이스틱을 이용한 원격 제어 기술을 개발 중에 있으며, 원격 조종자에게 구난로봇의 주변 환경에 대한 정확한 정보를 제공하기 위해 CCD, LiDAR 및 IR 카메라(야간용)를 적용함

출처: 장길수, '로봇실용화의 산실, 생기원 로봇그룹③', 로봇신문사, 2016.03.22.
홍성일, et al. 구조 임무 수행을 위한 휴머노이드 로봇 개발. 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, 2017, 346-347.

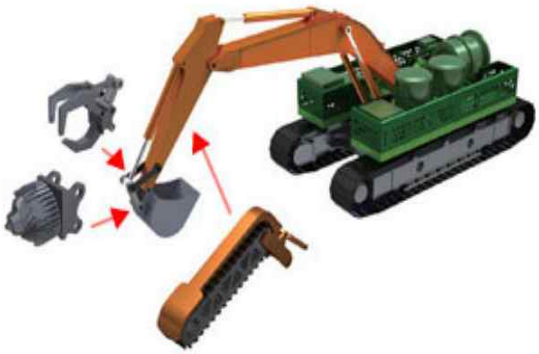


[그림 4-171] 구난로봇(HURCULES)의 형상

- 토목 구조물 건설 분야와 관련해서는 한국해양과학기술원이 2014년에 수심 20m까지 원격으로 사석 고르기 작업이 가능한 무인 기계화 장비를 개발한 바 있으며, 2013년부터 수심 500m의 해저에서 수중 건설 작업이 가능한 트랙 기반의 중작업용 로봇을 개발 중에 있음
- 이들 장비는 수중에서 지반 조성 등과 관련된 작업의 수행을 목적으로 개발된 것으로, 지상의 구조물의 시공에 직접적인 적용은 어려움



[그림 4-172] 수중 사석 고르기 장비



[그림 4-173] 트랙기반 해저 중작업용 로봇 개요

○ 국내의 경우, 원격 조종자의 현장 이해도를 높이기 위해 2차원 영상 및 센싱 기반의 3차원 형상 정보가 제공되는 사례는 있으나, 3차원 VR과 같이 원격 조종자의 현실감 및 몰입감 향상을 목적으로 기술이 개발·적용된 사례는 없음

- 국방과학연구소에서 개발 중인 구난로봇에는 영상정보를 제공하여 주변 환경에 대한 이해도를 높이기 위해 CCD, LiDAR 및 IR 카메라가 적용됨



[그림 4-174] 구난로봇(HURCULES)의 GUI의 예

- 한국해양과학기술원이 개발한 사석 고르기 장비의 수중 작업 모니터링 시스템은 자체 개발된 Altimeter(해저면과의 높이 측정), 초음파 탐지기(해저면 및 전후방 모니터링), LBL(Long Base Line, 위치 측정)을 이용하여 가시화된 3차원 모델이 제공됨. 위치에 대한 측정 오차는 0.5 m 수준으로 정밀도가 높지 않음



[그림 4-175] 수중 작업 모니터링 시스템

□ 고교각 시공 및 구조물 연결 장비

○ 한국건설기술연구원은 ㈜청진건설과 공동으로 2013년에 장대교량의 콘크리트 주탑 시공을 위한 한국형 변단면 슬립폼을 개발하였음. 개발된 슬립폼은 단면의 변화에 대응하면서 거푸집의 자동화 인상(Lifting)이 가능함

출처: 변단면 슬립폼 공법 공개시연회 개최, 세이프투데이, 2013.10.30

- 본 시스템의 세부기술은 고교각 원격 시공 장비를 위한 작업대 및 자동화된 거푸집의 개발에 활용이 가능할 것으로 판단됨

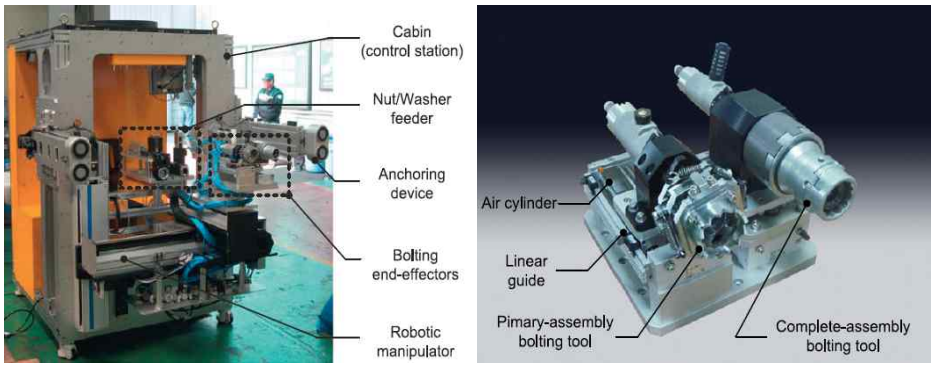


[그림 4-176] 고주탑 슬립폼의 개요 및 시험시공 사진

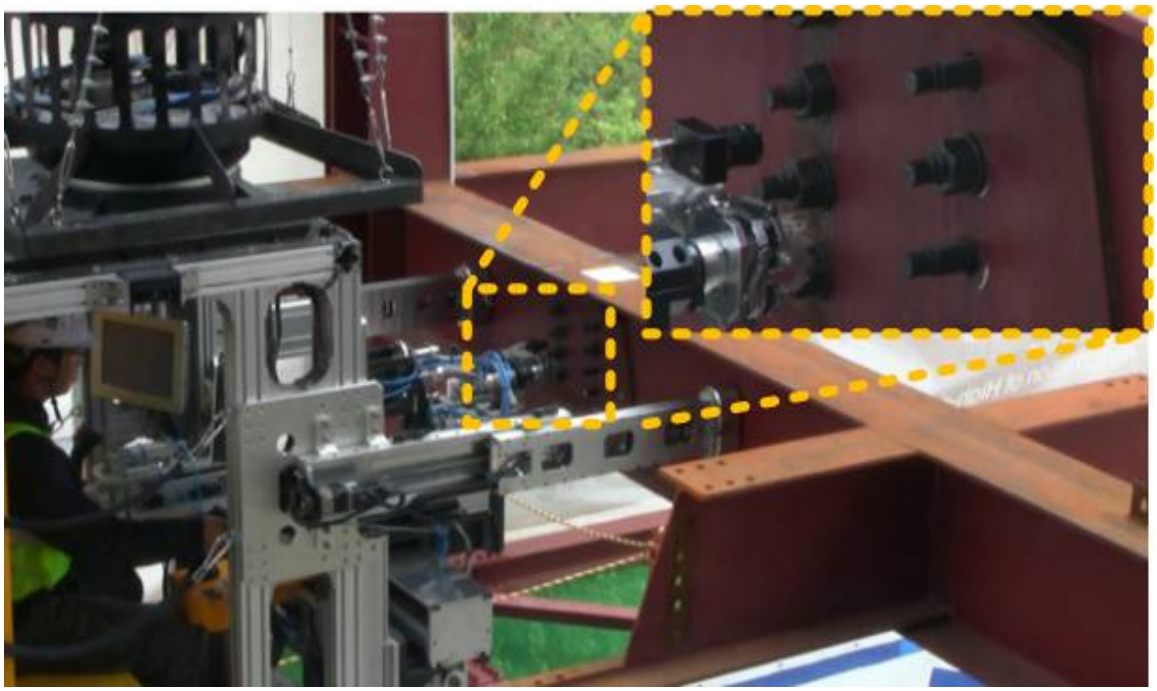
○ 고려대학교에서는 2011년에 고층건물 구조체 시공 자동화를 위해 철골빔의 볼팅 조립을 위한 볼트체결 로봇을 개발함

출처: CHU, Baeksuk, et al. Robot-based construction automation: An application to steel beam assembly (Part I). Automation in Construction, 2013, 32: 46-61.
JUNG, Kyoungmo; CHU, Baeksuk; HONG, Daehie. Robot-based construction automation: An application to steel beam assembly (Part II). Automation in construction, 2013, 32: 62-79.

- 철골 건축 구조물의 시공 환경에 최적화되어 개발된 볼트체결 로봇 시스템을 교량 구조물의 시공에 직접적으로 적용하는 것은 어려우나, 개발된 볼팅 디바이스를 구조적인 변경을 통해 교량 구조물의 원격 시공에 적용하는 것은 가능할 것으로 판단됨



[그림 4-177] 볼트체결 로봇(좌)와 볼팅 디바이스(우)



[그림 4-178] 볼트체결 로봇을 이용한 시험시공

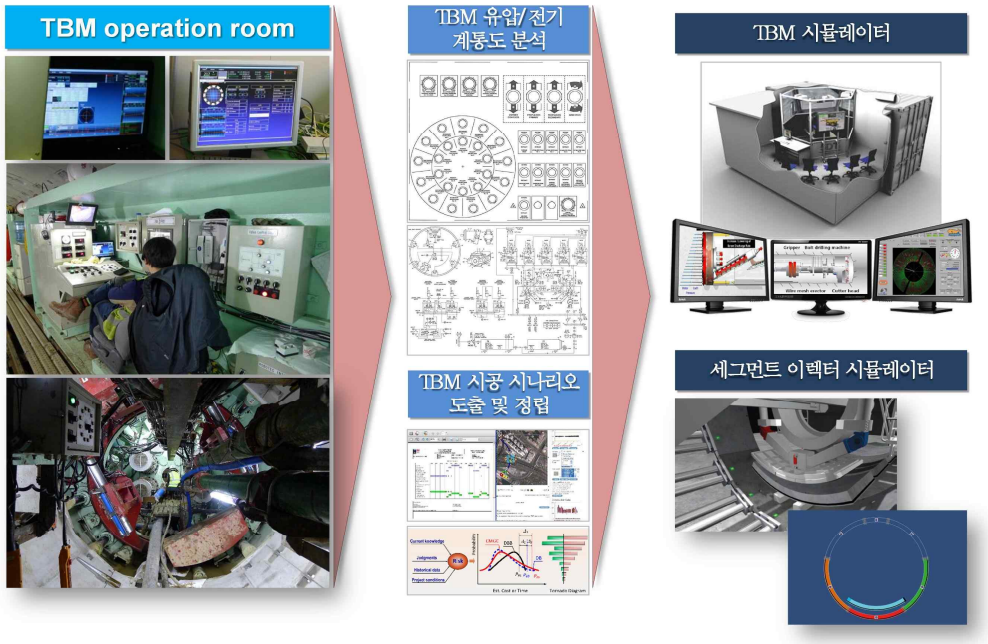
□ TBM 장비 자동운전 기술

○ 우리나라는 중대구경 TBM 장비를 제작할 수 있는 설계기술을 가지고 있지 않고 해외 제작사로부터 구입하여 시공사가 운영하는 방식을 사용하고 있음

- 이로 인하여 자동운전과 관련한 기술을 보유하고 있지 않으며 제작사가 납품한 제품에 따라 운전방식을 훈련하여 사용하는 방식을 사용하거나 기존 사용하던 제품을 재활용하는 방식을 사용하고 있어서 제작 기술에 있어서도 선진국에 비해 상당히 뒤쳐진 상황

○ 국토교통과학기술진흥원에서 진행 중인 국가 R&D(“TBM 설계·제작 국산화 기술 개발” 연구단, ~2021.12)를 통해 국산화를 진행하고 있으며 운전·제어 시스템을 분석하여 운전자 교육용 시뮬레이터를 개발하고 있음

- 국내 TBM 관련 기술은 선진국에 비해 뒤쳐져 있기 때문에 현재까지 국산화하기 위한 연구와 시제품 제작을 목표로 연구가 진행 중이며 자동운전 기술은 크게 고려되고 있지 않는 상황임



출처: “TBM 설계·제작 국산화 기술 개발” 연구단(주관기관: 이엠코리아(주))

[그림 4-179] TBM 시뮬레이터 개념도

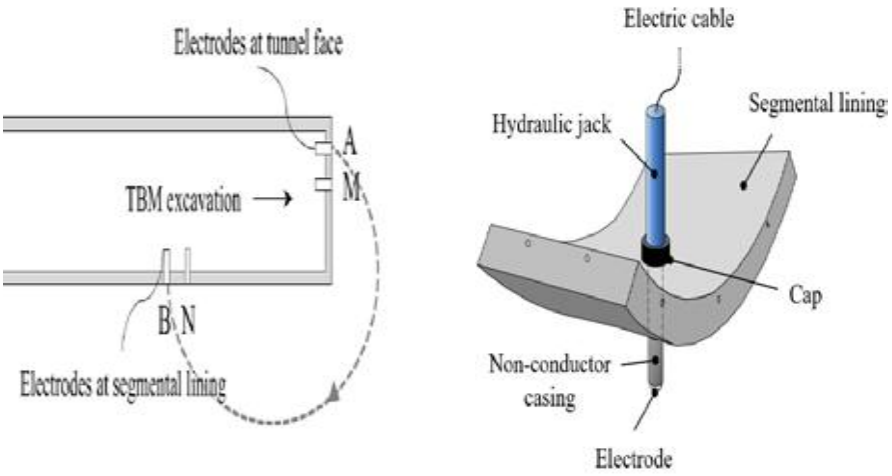
□ TBM 막장 전방 예측 기술

○ 한국건설기술연구원에서는 TBM 막장 전방예측기술에 대한 연구를 수행하였으며 최대 32개의 전극을 동시에 측정할 수 있는 매립형 자동화 센싱/무선송신모듈을 탑재한 시스템을 구축하여 특허를 출원한 바 있음

- 또한 터널 전방 예측을 위한 하모니서치(HS) 역해석 프로그램을 개발하여 소프트웨어를 등록함

○ 그러나 해당 기술은 설계단계에서 사전에 조사된 지반정보와 예측된 지반정보를 비교하여 막장 전방의 지반조건을 재구성하는 기술은 포함하고 있지 않아 예측된 막장 전방 지반조건의 신뢰성을 검증하기 어려움

- 또한, 한정된 실내시험 결과와 RMR-전기비저항의 관계만을 이용하여 이상대 정보를 획득하는 기술이므로 향후 보완연구를 통한 지속적인 시스템 개선이 필요함



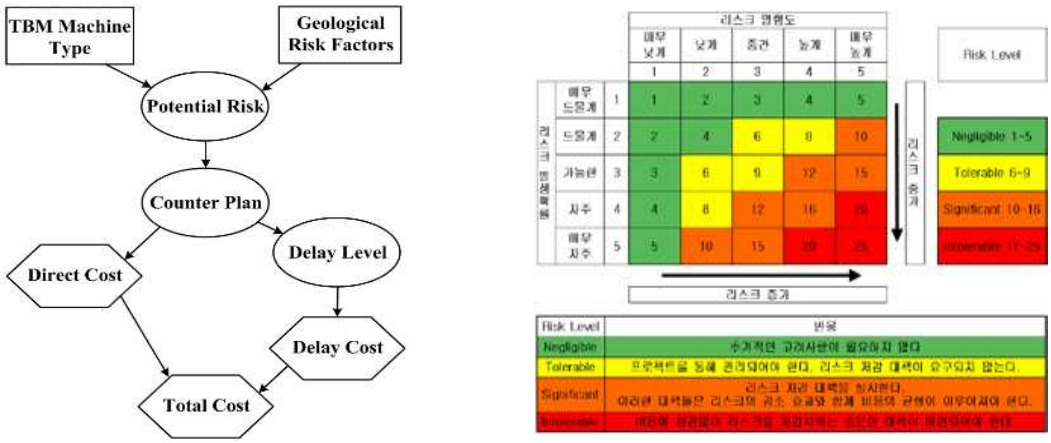
[그림 4-180] 굴착면 전방 예측 시스템

□ 터널 시공 리스크 관리 기술

○ 고려대학교에서는 리스크 평가에 적용 가능한 여러 이론에 대하여 해저터널에의 적용 가능성을 비교·분석하였으며 정량적으로 리스크 평가가 가능한 최적의 모델로 Shield TBM Risk Analysis Model(STRAM)을 개발함

- 리스크 사건별 리스크 저감 대책공법을 제시하고 해저터널 프로젝트 적용을 통하여 해저터널 리스크 관리시스템을 검증함

- TBM 시공데이터의 실시간 분석을 통해 시공 중 발생 가능한 리스크와 그에 대한 대응방안을 실시간으로 제시해주는 기술은 실용화된 바가 없음



[그림 4-181] 해저터널 리스크 관리시스템 가이드라인

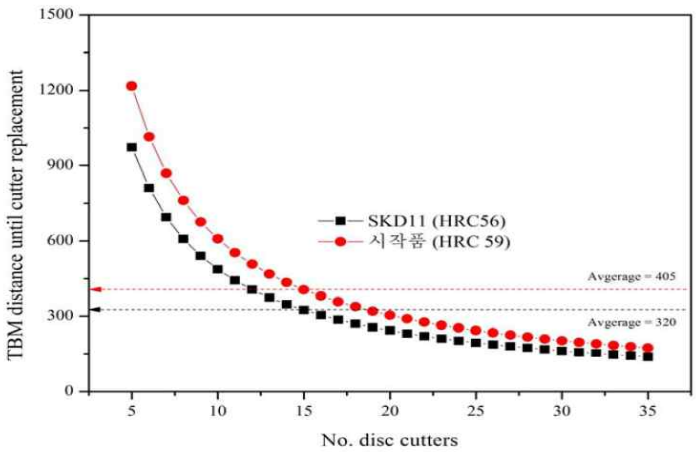
□ 디스크 커터 교체주기 산정기술

○ 국토교통부 R&D “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단(2015년 종료) 연구과제를 통해 한국건설기술연구원에서 KICT 예측 모델 개발을 수행한 바 있음

- 이를 통해 간편 시험법을 통한 굴진성능 평가 방법을 제시하고 직경 7m 급 TBM의 디스크 커터에 대한 수명을 예측함.

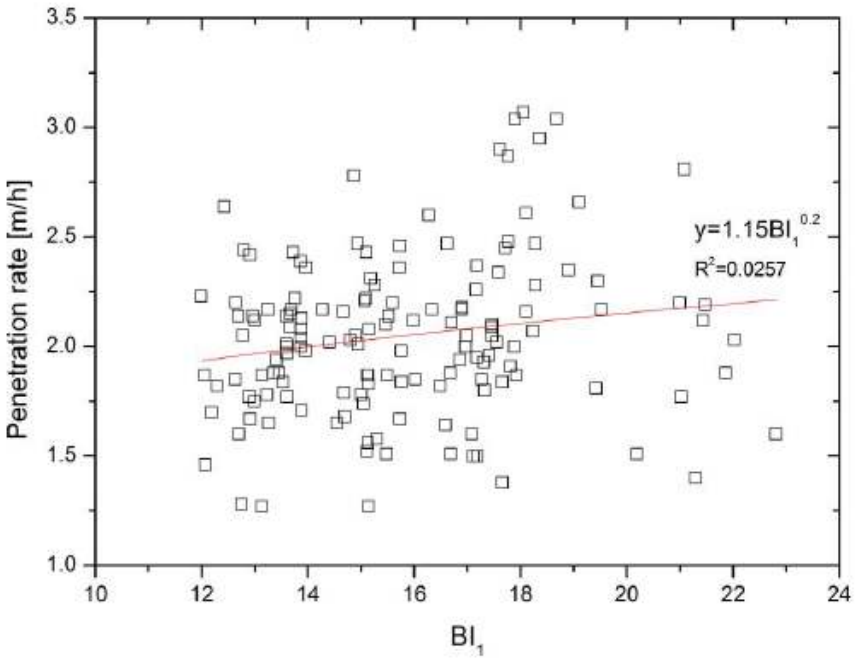
○ 현대건설은 자체 TBM 건설 현장 자료를 바탕으로 디스크 커터 마모율과 굴진율에 관련한 연구 결과를 발표한 바 있음

- 하지만 데이터/머신러닝을 기반으로 디스크 커터의 수명 예측 및 디스크 커터 교체 주기를 자동으로 제시해주는 기술은 연구된 바가 없음



출처: “TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술” 연구단(주관기관: 이엠코리아(주))

[그림 4-182] 커터헤드 위치별 디스크 커터의 수명 예측 결과(KICT 모델)



[그림 4-183] 굴진율 예측모델(현대건설)

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

(구성기술 2-2-1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 기술 개발

□ 부재 거치 자동화를 위한 3D 형상 정보 기반 협업형 로보틱 크레인 기술 개발

<표 4-77> 3D 형상 정보 기반 협업형 로보틱 크레인 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- 해외 사례 중 교량용 부재 거치 자동화를 위한 협업형 로보틱 크레인 기술은 없음 - 레이저 센서 기반 부재 위치 인식 기술 및 원격 조종을 통한 부재 이동 및 거치 기술 개발	- 비전 센서를 이용한 형상 및 위치 인식 알고리즘 개발 또는 작업자 조작이 필요한 볼트 체결 로봇 개발 수준에 머물러 있음
TRL 단계	5~6단계	4~5단계
기술성숙도	시작품 단계	실험 및 시작품 단계
주요성능	- 케이블 방식의 로보틱 크레인을 이용한 철제 구조물 이동 거치 자율화 기술 확보 - 고교각 시공용 승강 시스템 기술 상용화	- 마커 기반 부재 형상 및 위치 인식 알고리즘 기술 확보 - 고소 작업용 이동식 볼트 체결 메니퓰레이터 기술 확보

□ Telerobotics 기반 고소 작업 원격시공 기술 개발

<표 4-78> Telerobotics 기반 고소 작업 원격시공 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- (원격 로봇)구조물 해체, 재난 현장 복구를 목적으로 힘반영 햅틱 디바이스를 이용하여 원격으로 조작이 가능한 상용제품 생산, 공급 중(미국, 일본) - 교량 구조물의 시공 및 부재 연결에 적용을 위해서는 구조 및 기능 개선 필요 - (실감형 VR)스테레오 카메라를 이용한 실감형 환경을 제공하는 기술은 사용화(미국) 되었으나, 실감형 3차원 VR 환경 제공 기술은 연구실 내 Test 수준	- (원격 로봇)재난·재해 대응, 수중건설, 구조물 해체 목적의 원격 로봇 개발 중이나 상용화 이전 단계 - 교량 구조물의 시공 및 부재 연결에 적용을 위해서는 구조 및 기능 개선 필요 - (실감형 VR)3차원 CG 영상을 제공하는 수준에 그치며, 실감형 3차원 VR 환경 제공 기술은 개발된 사례가 없음
TRL 단계	5~6단계	4~5단계
기술성숙도	시작품 단계	실험 및 시작품 단계
주요성능	- 구조물 해체, 재난 복구용 원격로봇 상용화 기술 확보 - 실감형 3차원 VR 환경 제공 실험실 수준 기술 확보	- 재난, 재해 대응용 근거리 원격로봇 실험실 수준 기술 확보

(구성기술 2-2-2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

□ 머신러닝 기반 기계식 굴착장비(TBM)의 스마트 운용 기술 비교

<표 4-79> 머신러닝 기반 기계식 굴착장비(TBM)의 스마트 운용 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- Machine Learning 기법 등을 활용한 TBM 운전 자동화 개념 정립	- 제작 및 설계 기술은 시제품 단계가 있으며 TBM 시뮬레이터 연구가 진행되는 자동화 기초 단계
TRL 단계	6단계	5단계
기술성숙도	시작품 단계	시작품 단계
주요 강점	- TBM 제작 기술을 보유하고 있고 장비 운영 노하우가 축적되어 있어 AI, Machine Learning 등 최신 기법을 활용한 자동화 운전의 기초 정보 보유	- TBM 제작 기술력은 선진국에 비해 낮으나 장비 운영과 관련한 수준은 크게 낮지 않고 장비 자동화에 대한 기술은 동등한 상황으로 국내 IT 기술을 활용한 기술 선점이 필요한 시점

□ 데이터 기반 디스크 커터 교체주기 및 최적화 기술

<표 4-80> 데이터 기반 디스크 커터 교체주기 및 최적화 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- 암석 강도, 디스크 커터 마모율 등 실내시험과 현장데이터를 기반으로 교체 주기를 예측하는 수준	- 실내시험 등을 통해 디스크 커터 마모율을 국내 자체 모델을 개발하여 현장에 적용하고 있는 수준
TRL 단계	6단계	5단계
기술성숙도	시작품 단계	시작품 단계
주요 강점	- 다량의 시공 실적과 경험, 제작사 보유	- 실내실험 인프라, 분석 기술 등 해외와 동등한 분석 능력 보유하여 TBM 장비에 적용하는 기술을 선점할 수 있음

※ 해외나 국내 기술력은 모두 디스크 커터 마모율을 예측하여 TBM 굴진율을 설계 단계에서 예측하고자 하는 것으로 TBM 운전 중 지반 조건 등을 고려한 교체주기 산정 및 최적화 기술은 해외와 국내 상황이 크게 다르지 않음

□ 머신러닝 기반 TBM 막장 전방 예측 기술

<표 4-81> 머신러닝 기반 TBM 막장 전방 예측 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- 전기비저항 및 유도분극 비파괴 탐사를 활용한 TBM 전방예측 기술 보유 - AI기반으로 기술이 구축되지 않음	- 전기비저항, 유도분극을 통한 TBM 전방 지반상태 예측기술 개발
TRL 단계	6단계	5단계
기술성숙도	시작품 단계	시작품 단계
주요 강점	- TBM 제작사 중심으로 기존 전방예측 기술의 신뢰성 및 실용성 향상을 위한 지속 개발 중(독일, 일본)	- 해저터널의 특성을 고려한 정량적·체계적 리스크 관리 시스템 개발

※ 독일, 일본 등 국외의 유수 업체는 전기비저항 및 유도분극 비파괴 탐사를 활용한 TBM 전방예측 기술을 보유하고 있음

※ 국내의 경우 해저터널의 특성을 고려한 TBM 전방 지반상태 예측기술을 개발하고 있으나, 아직 상용화 단계에는 이르지 못하고 테스트베드를 통한 현장검증의 수준에 머물러 있음

※ 국외의 경우에도 TBM 전방예측 기술과 인공지능 기술의 접목에 대한 연구는 아직 실험 단계이며, 국내에서는 연구가 이루어지지 않음

□ All-in-one 머신러닝 기반 TBM 리스크 관리 기술

<표 4-82> All-in-one 머신러닝 기반 TBM 리스크 관리 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- 정량적인 리스크 관리기술 보유 - 머신러닝기반으로 기술이 구축되지 않음	- 정량적 리스크 관리 시스템에 대한 연구가 수행되었으나 아직 실무에 적용되지는 못하고 있음
TRL 단계	6단계	5단계
기술성숙도	시작품 단계	시작품 단계
주요성능	- 리스크 관리의 정량화가 가능하며 다량의 시공 데이터를 보유하고 있으나 머신러닝 기반의 통합관리 리스크 분석 및 대응기술에 대한 연구는 미흡	- 지형, TBM공법, 시공관리에 대한 리스크 원인을 반영한 리스크 관리 시스템 보유

※ 해외의 경우 리스크 분석에 대한 지속적인 연구와 다량의 TBM 터널 시공의 데이터를 보유하여 정량적인 리스크 분석이 가능한 수준이나, 아직 수많은 리스크 요인의 체계적인 분석, 정보의 통합관리, 인공지능을 통한 리스크 분석 및 대응기술의 개발은 이루어지지 않은 실정임

※ 국내의 경우에는 정량적인 리스크 분석기술을 개발하고 있는 단계이며 아직 실무 적용은 이루어지지 않음

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

<표 4-85> 굴진면 안정성 확보를 위한 딥러닝 기반 Face mapping 자동화 기술 관련 국내 타 연구과제와의 차별성

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발	국토교통부 (2006-2011)	타워크레인과 고층건물 시공, 강구조물 시공에 국한되었으며, 구조물 자율 이송 및 실시간 안전 제어 기술은 개발되지 않음	교량 시공을 위한 이동식 크레인을 대상으로 실시간 환경 센싱을 통한 자율 작업 및 안전 제어 기술을 개발함
		개발된 볼팅 로봇은 철골건축물을 대상으로 개발되어 토목구조물에 직접적인 적용은 어려움	교량 구조물의 연결부 시공을 위한 볼팅용 Attachment로 구조 및 기능 개선

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
공기단축형 고주탑 시공기술 개발	국토교통부 (2008-2015)	자동 상승이 가능한 고주탑용 변단면 슬립폼을 개발 교량용 일반 교각 원격 시공에 적용하기 위해서는 구조 개선이 필요하며, 시공 종료 후 인력에 의한 해체를 필요로 함	고주탑용 변단면 슬립폼의 자동 상승 원리와 구조를 기반으로 일반 교각에 적합한 형식으로 구조 개선 시공 종료 후, 인력 없이 자동으로 하강 할 수 있도록 기능 개선
인공지능 기술이 적용된 120ton급 전지형 크레인 개발	산업통상 자원부 (2013-2017)	안전 제어 및 작업 패턴 자동화의 기본적인 기능은 개발되었으나, 다수 크레인 간의 협업 기능이나 정밀 거치를 위한 실시간 제어 기능은 개발되지 못함	기존 크레인에 구축되어 있는 기본적인 안전 제어 또는 작업 패턴 자동화 기능을 바탕으로 주변 환경을 실시간 센싱하면서 정밀 제어하는 기능, 다수 크레인 간의 협업을 통한 부재 거치 기능을 추가 개발
항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발	해양수산부 (2009-2014)	굴삭기 형태의 수중 지반 공사용 원격 장비 개발	무선 방식의 구조물 원격 시공을 위한 소형 로봇으로 개발
고난이도 작업 수행을 위한 유압 구동 로봇 제어 기술 개발	산업통상 자원부 (2013-2018)	7자유도로 작동하는 모바일 유압 매니퓰레이터 개발 재난·재해로 용도와 기능이 제한적	매니퓰레이터의 구조와 작동 원리는 연계 일반 교각 및 연결부 시공 목적에 맞는 다양한 기능별 Attatchment 개발
해양개발용 수중건설로봇 개발	해양수산부 (2013-2019)	굴삭기 형태의 수중 지반 공사용 원격 장비 개발 개발된 장비는 수중에서 유선으로 운용되는 방식이고, 3차원 CG영상으로 제공하는 수준 몰입에 한계	원격 조종을 위한 실감형 3차원 VR 환경을 제공 기술 개발
기중력 120kgf급 구난로봇 기술 개발	산업통상 자원부 (2013-2019)	휴머노이드 형태의 로봇 개발 주변 환경에 대한 정확한 정보 제공을 위해 CCD, LiDAR, IR 카메라를 적용하였으나, 3차원 CG 제공 수준	무선 방식의 구조물 원격 시공에 적합한 형태의 소형 로봇으로 개발 원격 조종을 위한 실감형 3차원 VR 환경을 제공 기술 개발

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
재난 재해 대응 특수목적기계용 핵심요소부품 및 시스템개발	산업통상 자원부 (2015-2020)	재난·재해 대응 특수목적기계와 양팔과 어태치먼트를 조종하기 위한 힘반영 조종 장치를 개발 재난.재해로 용도와 기능이 제한적	매니퓰레이터의 구조와 작동 원리는 연계 일반 교각 및 연결부 시공 목적에 맞는 다양한 기능별 Attatchment 개발
ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발	국토교통부 (2013-2019)	마커 기반의 비전 인식을 통해 상대위치 정보를 제공하기 위한 연구에 국한되었으며, 마커의 설치/제거와 부재의 최종 거치를 위해서는 인력의 개입이 필요	부재-타겟의 위치와 형상을 기반으로 마커 없이 상대위치를 판단하는 기술로 개선 원격 로봇을 이용하여 인력의 개입 없이 정밀하게 거치를 완료 할 수 있는 기술 개발
TBM 운전.제어 시스템 및 커터헤드의 최적화 설계기술 개발	국토교통과학 기술진흥원 (2017~2021)	TBM 운전자 교육을 위한 TBM 시뮬레이터를 별도로 연구	시뮬레이터에 반영되거나 예정인 제어 기술을 TBM 장비 제어 시스템과 연계하여 운전·제어가 가능하도록 연구
TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술	국토교통과학 기술진흥원 (2010-2015)	디스크 커터 주기에 관한 국내 모델 제시	국내 제시된 모델을 개선하여 TBM 운전 중 지반 조건 등 운전 조건과 관련된 정보와 연계된 교체 주기 예측 모델 개발
해저시설물 차폐기술 개발	국토교통과학 기술진흥원 (2005-2010)	TBM 터널 시공에 관련된 장비의 운영 및 관리에 대한 연구는 수행하지 않음	머신러닝 기술을 이용하여 TBM 스마트 운전기술, 리스크 분석 및 대응기술, 디스크 커터 교체 주기 자동화 및 최적화 기술에 대한 연구를 수행하여 TBM 터널의 시공 효율을 향상시키는 기술 개발
고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소기술개발	국토교통과학 기술진흥원 (2013-2018)	고수압 조건을 반영할 수 있는 해저터널 설계, 시공을 위한 핵심요소기술 개발을 수행하였으며, 빅데이터 및 인공지능과 터널 시공기술과의 융합에 대한 연구는 수행되지 않음	데이터, 머신러닝을 기반으로 하여 TBM 터널시공의 무인화 및 통합 관리기술에 대한 연구를 수행

3.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-86> 도로구조물 스마트 건설 기술의 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소(高所) /고위험 시공 원격.무인화 기술 (구성기술 2-2-1)	- (현황 및 문제) 교량 부재의 거치, 연결 및 고교각의 시공은 고소(高所)에서 인력에 의한 작업을 동반하여 추락 사고와 같은 재해의 발생 위험이 매우 높음	- 고소(高所) 작업으로 인한 재해(추락)를 근본적으로 차단하기 위해, 고소에서 이루어지는 고위험 공종에서 인력을 배제시킬 수 있는 자동화 운반/거치용 로보틱 크레인, 고소 작업용 원격 시공 로봇 개발
	- (기존기술의 한계) 국내에서 개발된 로보틱 크레인 기술은 타워크레인과 고층건물 및 강구조물 시공에 국한되었으며, 구조물 자율 이송 및 실시간 안전 제어 기술은 개발되지 않음	- 교량 시공을 위한 이동식 크레인을 대상으로 교량 부재의 위치, 형상, 자세 및 실시간 환경 센싱을 통한 자율 작업 및 안전 제어 기술을 개발
	- (기존기술의 한계) 단일 크레인을 이용해 운반 경로를 계획하고 자동으로 운반을 수행하는 기술은 개발되었으나, 교량용 거더를 거치하는 경우와 같이 두 대의 이동식 크레인 간 협업을 기반으로 하는 운반 경로 계획 및 자동 운반 기술은 개발되지 않음	- 다중의 이동식 크레인의 협업을 고려한 부재 운반 경로 계획 및 자동 운반 기술을 개발
	- (기존기술의 한계) 부재 거치 관련 기술은 마커 기반의 비전 인식을 통해 상대위치 정보를 제공하기 위한 연구에 국한되었으며, 마커의 설치/제거와 부재의 최종 거치를 위해서는 인력의 개입이 필요	- 부재-타겟의 위치와 형상을 기반으로 마커 없이 상대위치를 판단하는 기술로 개선 - 원격 로봇을 이용하여 인력의 개입 없이 정밀하게 거치를 완료 할 수 있는 기술 개발
	- (기존기술의 한계) 수중건설, 재난·재해 대응용 원격 로봇이 개발되었으나, 토목 구조물 시공을 위한 세부적인 작업을 원격으로 수행하기 위한 장비가 개발되거나 적용된 사례는 없으며, 이를 위해서는 구조 및 기능이 개선이 필요 - (기존기술의 한계) 로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템에서 개발된 볼팅 로봇은 철골건축물을 대상으로 개발되어 토목구조물에 직접적인 적용은 어려움	- 개발된 원격 로봇 구동부와 매니퓰레이터(로봇 팔)의 구조와 작동 원리를 바탕으로 교량 구조물 시공에 적합한 형태의 소형 로봇으로 개조(Customizing) - 교량 구조물 시공(교각 및 연결부 시공) 작업 목적에 맞는 다양한 기능(볼팅, 철근 연결, 용접, 바이브레이팅 등)별 Attatchment 개발 - 기존 인력 기반의 구조물 시공법을 원격 로봇을 활용한 구조물의 시공에 적합한 형태로 개선

개발내용	한계점	기술개발방향
	- (기존기술의 한계) 원격 로봇 작업 공간 제공 및 교각용 자동화 거푸집과 관련해 자동 상승이 가능한 고주탑용 변단면 슬립폼이 개발되었으나, 교량용 일반 교각 원격 시공에 적용 구조 개선이 필요하며, 시공 종료 후 인력에 의한 해체를 필요로 함	- 고주탑용 변단면 슬립폼의 자동 상승 원리와 구조를 기반으로 일반 교각에 적합한 형식으로 구조 개선 - 시공 종료 후, 인력 없이 자동으로 하강할 수 있도록 기능 개선
	- (기존기술의 한계) 원격 조종자의 작업환경 제공을 위해 국내에 개발된 기술은 3차원 CG영상을 제공하는 수준으로, 원격 현장에 대한 현실감이 떨어져 작업 능률에 한계가 있음	- 원격 조종을 위한 실감형 3차원 VR 환경 제공 기술 개발 - 3차원 VR 기반 원격시공 장비 조종자 훈련 시스템 개발
머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술 (구성기술 2-2-2)	- (기존기술의 한계) 운전자 경험에 근거한 반복적 수작업으로 인해 업무 효율성 저하	- TBM 시공 정보를 활용한 데이터 기반 TBM 운전·제어 시스템의 자동화
	- (기존기술의 한계) TBM 운전 조건에 따른 실시간 지반 조건 등이 반영되지 못한 채 디스크 커터 마모율 예측	- 실내시험 및 재료 기반 마모율 예측에서 TBM 운전 중 조건을 고려한 실시간 교체 주기 예측 모델 개발
	- (기존기술의 한계) TBM 막장 전방 예측은 TBM 운영 방법에 크게 영향을 미치는 부분임에도 불구하고 대부분 TBM 기계 데이터 및 굴착토 종류에 의해서만 판단되는 실정 - (현황 및 문제) 탄성파 탐사방법과 같이 센서를 활용한 TBM 막장 전방예측 기술이 해외에 존재하나, 기업 자체기술로 분류되어 공유되지 않는 실정이며 국내 기업에서는 아직까지 TBM에 적용 가능한 막장전방 예측기술이 상용화된 사례가 없음	- 세그먼트 라이닝, 탐침, 디스크 커터 등을 이용하여 TBM 막장 전방예측의 비파괴 탐사방법을 개선 - 머신러닝을 통하여 비파괴 탐사방법으로 취득된 막장전방 데이터의 자동 분석기술 개발 - 설계단계에서 조사된 지반정보와 막장전방 예측기술로 예측된 지반정보의 비교·분석을 통해 막장 전방 지반조건의 재구성 기술 개발
	- (기존기술의 한계) 리스크 분석을 위한 데이터 분류방법 및 데이터 취득 범위가 정립되지 않음 - (기존기술의 한계) TBM시공데이터의 실시간 분석을 통한 실시간 리스크의 관리 시스템에 대한 연구는 미비함	- 머신러닝을 기반으로 하여 TBM 데이터를 실시간으로 취득하고 분석할 수 있는 머신러닝 기반 리스크 분석 및 대응기술 개발

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

□ 기술개발 필요성

(구성기술 2-2-1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 기술 개발

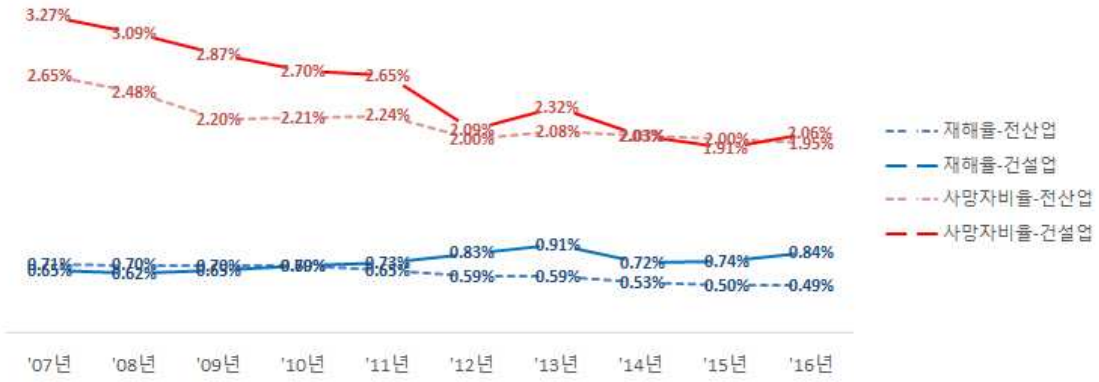
○ 인구구조의 변화(고령화)로 인한 생산가능인구의 감소와 건설업의 열악한 근로환경에 기인한 청년층 유입 감소 및 이로 인한 숙련 노동자의 감소와, 그에 따른 건설 품질 저하 및 사고위험 증가

- 교량 구조물의 시공은 대부분 노동력 중심으로 이루어지고 있으며, 교량 상부구조의 주부재 거치와 연결 및 고교각의 시공은 고소(高所)에서 인력에 의한 작업으로 이루어지고 있어 추락 사고와 같은 재해의 발생 위험이 매우 높음
- 고소에 위치한 불안정한 작업공간으로 인해 고령·미숙련 노동자는 물론 숙련 노동자라 하더라도 추락의 위험에 상시적으로 노출되어 있음
- 또한, 고소에 작업 공간이 마련되어 있다고 하더라도 거푸집 및 작업공간을 설치·해체하는 과정에서 작업자의 부주의로 인해 작업대와 같이 추락하는 사고도 발생

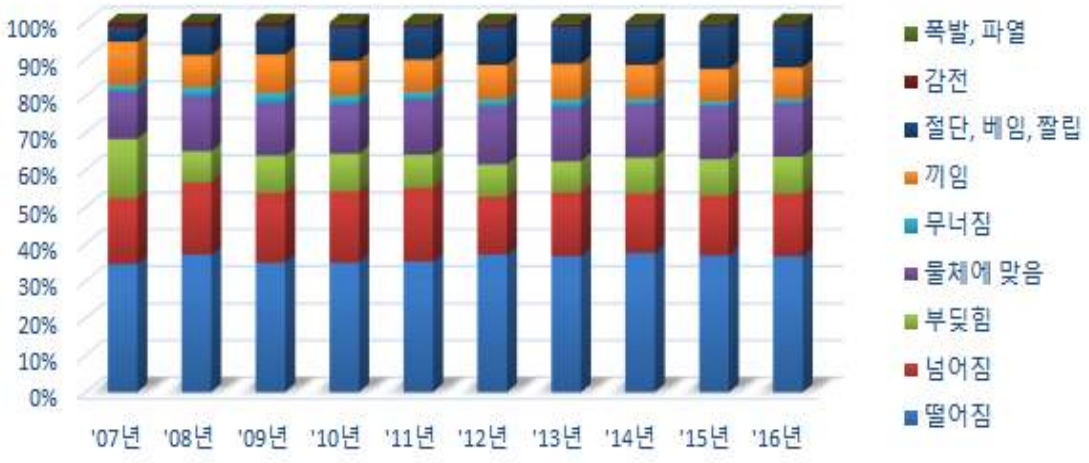


[그림 4-186] 교량 시공 중 사고 사례

○ 정부가 오래전부터 건설기술진흥법, 산업안전보건법 외 각종 처벌규정을 명시한 10여개 법률을 통해 매우 엄격하게 규제조치를 시행해 왔음에도 불구하고 고령·미숙련 노동자의 증가 등을 원인으로 최근('14년 이후) 재해율 및 재해 중 사망자 비율은 오히려 증가하고 있으며, 건설업의 재해 중에서 추락(떨어짐) 사고가 가장 큰 비중을 차지



[그림 4-187] 전산업 대비 건설업의 재해율 및 재해 중 사망자비율 추이('07~'16)



[그림 4-188] 발생형태별 건설업 산업재해 비중의 변화 ('07~'16)

○ 안전시설물 설치를 의무화하고 제도적으로 강제하더라도 건설공사의 인력 기반의 고소작업에 대한 비중을 낮추기 위한 근본적인 해결방안이 마련되지 않을 경우 추락과 같은 재해를 획기적으로 감소시키는 데 한계가 있음

- 지속되고 있는 건설업 노동자의 고령화와 미숙련 노동자의 증가에 대응하여 건설업의 작업환경 개선과 산업재해의 저감을 위해 스마트 건설 로봇, AR, VR 등을 바탕으로 고위험 작업에 투입되는 노동력을 대체할 수 있는 기술적 대안 마련 필요
- 또한, 폭염 기간의 증가로 인한 작업 중단, 시공 지연 등 건설 생산성 저하의 요인을 해소할 수 있도록 노동력을 대체할 수 있는 스마트 건설 로봇 등의 기술적 대안 마련 필요

(구성기술 2-2-2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

○ TBM 굴착 방식은 숙련된 운전자에 의해 TBM 장비를 제어하는 방식을 사용하고 있으며 이러한 운전자의 노하우는 도제방식으로 다른 기술자에게 전수되거나 제작사에서 자체 보유하는 형태로 운영되고 있기 때문에 돌발 상황 발생 시 이를 해결하기 위한 해결책이 정량화되거나 표준화되어 있지 않음

- TBM 굴착에서 수많은 양의 각종 운전 정보가 실시간으로 축적되나, 이를 제작사가 보안으로 관리하거나 시공사가 각각 보유하고 있어 시공 경험을 공유하기 어려운 상황임
- 결과적으로 TBM 운전자의 숙련도에 따라 TBM 터널의 시공 품질 및 시공 기간에 편차가 발생하며, 이를 해결하기 위해서는 정량화·표준화된 데이터를 기반으로 한 TBM 운전·제어 시스템의 자동화가 필요함

○ TBM 커터헤드에 장착된 디스크 커터는 기준치 이하 마모 시 굴착 성능이 떨어지기 때문에 필연적으로 교체 작업을 수행해야 하며 이를 효율적으로 예측하여 굴착공정에 반영함으로써 굴착공정의 효율을 향상시킬 수 있음

- 하지만, 디스크 커터의 교체주기는 주로 마모율을 기준으로 허용 마모까지 예측하여 교체주기를 산정하는 방식을 사용하는데, 터널 시공 전에 허용 마모도를 미리 예측하기 위해 실험실 규모나 기존 시공 정보, 지반 정보 등을 활용하는 것이 일반적임
- 디스크 커터를 교체할 경우, TBM 장비의 굴착공정을 정지해야 하며, 인력과 소규모 장비를 통해 마모된 커터를 신규 커터로 교체하는 작업을 수행해야 함
- 디스크 커터 1개 교체에 평균 3-4시간이 소요되어 굴착 공정에 큰 부분을 차지하며, 디스크 커터 교체에 소요되는 시간이 지연되면 TBM 굴착 공정의 중단시간이 연장됨. 따라서 현장에서는 디스크 커터의 합리적인 교체주기 산정이 중요함

- TBM 디스크 커터는 지반 조건, 운전 조건 등의 복잡한 상황에 따라 교체 주기가 달라질 수 있으므로 실시간 운전 정보 등을 반영한 최적화된 교체 주기 산정법은 디스크 커터 교체에 소요되는 시간을 절감할 수 있음



[그림 4-189] TBM 디스크 커터 교체 모습

출처: 일본 Hittachi社(Accessible cutterhead design with pre-cutting bits replacement device)

○ TBM 막장전방 지반조건은 TBM 운영방법에 크게 영향을 미치는 부분이지만 막장면의 육안확인이 어려워 정확한 지반조건의 확인에 제약이 발생함

- TBM 굴착공정을 저해하지 않으며 TBM 막장전방 지반조건의 확인이 가능한 막장 전방 예측기술의 개발이 필요하며 이를 통해 TBM 터널시공의 전반적인 리스크 관리를 수행해야 함

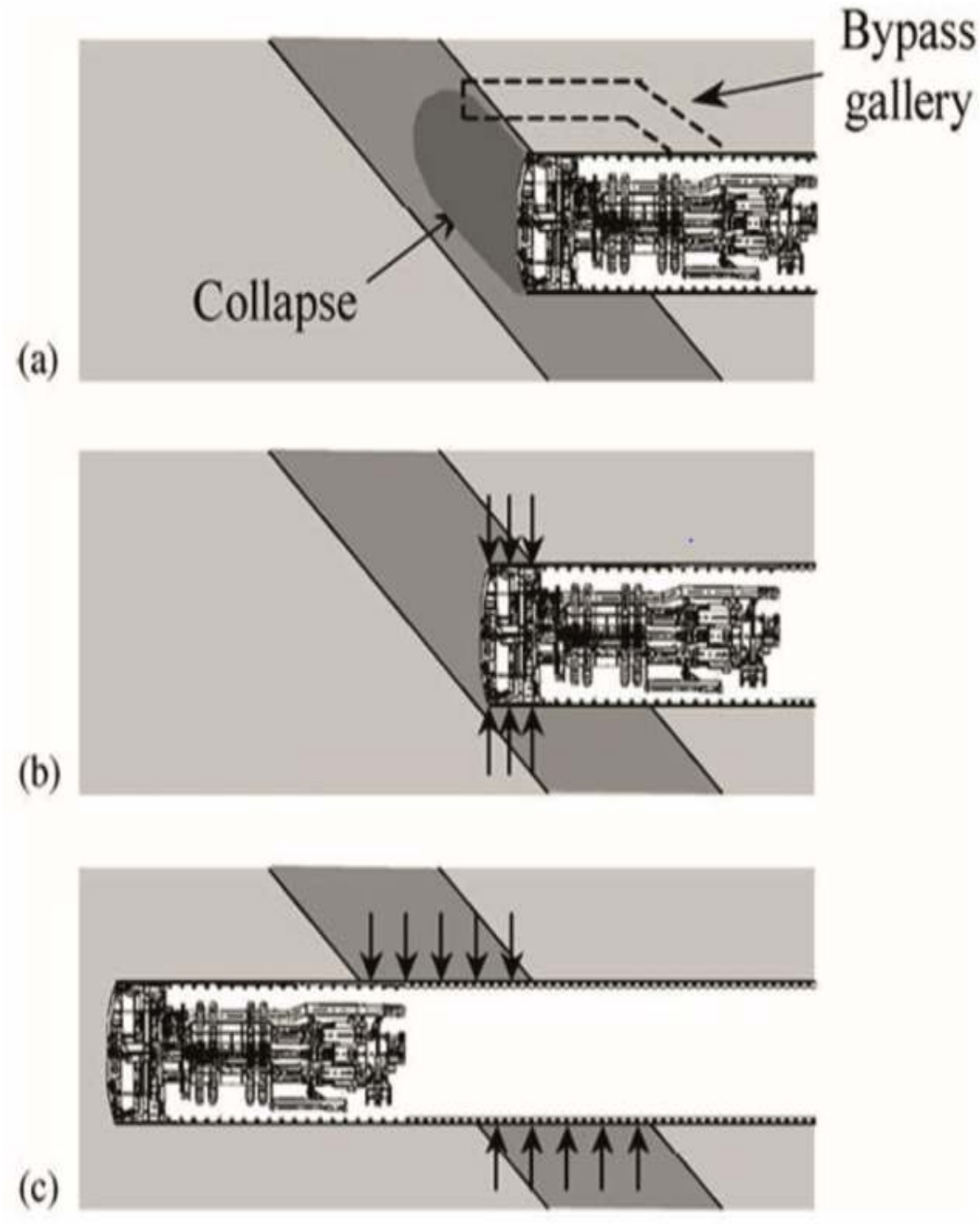
- 지표면에서 수행되는 지질학적, 지구물리학적 조사로부터 계획된 터널 전 구간에 걸쳐 충분한 지질·지반 정보를 얻는 것은 불가능하며 그 신뢰성 또한 충분하지 못함

- TBM 터널공사에서 단층대와 같은 예상치 못한 특수 지반을 만날 경우, TBM 장비 및 디스크 커터의 재밍, 막장면 안정성 저하 및 붕괴, 막장압 유지곤란, 과굴착, 지하수와 토사의 유입 등과 같은 여러 종류의 시공 리스크로 연결되는 경우가 많음

  출처: 호영, 장난, & 전석원. (2018). 특수지반에서 쉴드 TBM 의 시공을 위한 기술적 고찰. 터널과 지하공간, 28(1), 1-24.)

- TBM 막장전방 지반조건의 확인은 시공문제 발생 이전에 지반의 차수 및 보강, TBM 장비의 굴진방법 결정 등을 가능하게 하여 TBM 굴진 중단시간을 최소화할 수 있으며, TBM 터널시공 전체의 리스크 감소를 가능하게 함

- 정확한 막장전방 예측을 위해 데이터/인공지능 기법의 활용이 필요하며, 이를 기반으로 하여 TBM 터널의 시공 중 발생할 수 있는 리스크를 통합 관리할 수 있는 리스크 관리 시스템이 필요함



출처: Habimana, J., Labiouse, V., Descoeudres, F., 2002, Geomechanical characterisation of cataclastic rocks: experience from the Cleuson-Dixence project, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 39, 677-693

[그림 4-190] 파쇄대에서의 TBM 장비 굴진의 제약
((a) 굴착 불안정; (b) 감암 및 굴진 저하; (c) 크리프 현상)

□ 개발내용

(구성기술 2-2-1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격・무인화 기술 개발

○ 고소(高所)/고위험 환경에서 무인으로 거더*의 정밀한 거치가 가능한 3D-형상/자세/위치 정보를 활용한 협업형 로보틱 크레인 기술

* 구성기술 1의 거더에는 핵심기술 2-1에서 디지털 모델 기반 프리팹 부재로 설계-제작된 거더가 포함되어야 함

- 부재 위치/형상/자세, 환경 인식을 통한 다중 이동식 크레인 협업 기반 운반 경로 계획 기술 개발
  - ・ 이동식 크레인에 설치되는 레이저・이미지 기반의 3차원 형상 센서로부터 측정된 3차원 형상 정보와 스마트 건설플랫폼으로부터 제공되는 3차원 현장정보를 활용하여, 이동 대상 부재의 위치/형상/자세와 주변의 구조물, 장비 등 장애물의 위치/형상을 실시간으로 인식할 수 있는 분석 기술(S/W)과 이를 지원할 수 있도록 개선된 3차원 형상 센서 개발
  - ・ 분석된 부재의 위치/형상/자세, 장애물의 위치/형상을 바탕으로 As-built 구조물의 3차원 모델 정보(스마트 건설플랫폼에서 제공)로부터 취득되는 거치/조립 위치로 단수 또는 복수의 이동식 크레인을 이용하여 부재를 운반하기 위한 경로를 계획하는 기술(S/W)을 개발
- 다중 이동식 크레인 기반 부재 자동 운반 및 실시간 안전 제어 협업 기술 개발
  - ・ 계획된 이동 경로를 따라 부재를 거치/조립 위치 인근(0.5 m 내외)까지 단수 또는 복수의 이동식 크레인을 이용하여 자동으로 운반하기 위한 크레인 제어장치(H/W)와 제어용 S/W 개발
  - ・ 부재의 운반 중에 발생하는 급작스러운 강풍, 장애물 출현 등에 대응하여 단수 또는 복수의 이동식 크레인의 협업을 통해 운반 작업을 멈추거나 운반 경로를 변경하는 등의 안전 제어 기술(S/W) 개발
- 부재-타겟 위치/형상 및 원격 로봇 기반 부재 정밀 거치 자동화 기술 개발
  - ・ 부재의 단부에 설치되어 부재의 거치/조립 위치 인근(0.5 m 내외)에서부터 최종 거치/조립 위치까지 부재의 위치를 원격으로 이동시키기 위한 다굴절 로봇암(원격 로봇, H/W) 개발
  - ・ As-built 구조물의 3차원 모델 정보(스마트 건설플랫폼에서 제공)와 다굴절 로봇암에 설치된 3차원 형상 센서(스테레오 카메라)의 센싱 정보를 바탕으로

부재와 타겟(목적 위치) 간의 상대적인 위치/자세(6-자유도)를 산정하고 원격 조종자의 실감형 VR 환경에 시각화 하는 기술 개발

· 부재의 거치를 위한 원격 조종자의 이동 명령에 따라 복수의 이동식 크레인과 다굴절 로봇암이 협업하여 부재를 최종 위치까지 자동으로 거치하기 위한 정밀 거치 자동 제어 기술(S/W) 개발

○ 고소(高所)/고위험 환경에서 무인으로 교각의 원격 제작/조립이 가능한 실감형 VR, 로봇 기반 원격시공 기술

- 고소(高所)/고위험 작업용 원격시공 장비·도구(attachment) 및 공법 개발

※ 원격시공 장비(매니퓰레이터)와 원격시공 장비(매니퓰레이터)에 부착하여 사용되는 구조물의 제작·시공을 위한 5종(잡기, 철근 연결, 바이브레이팅, 용접, 볼팅)의 도구(attachment)를 활용하여 고소(高所)에서 이루어지는 제작·시공을 인력의 투입 없이 수행하는 기술 및 공법

· 고소/고위험 작업환경에서 인력을 대신하여 시공 작업을 수행하기 위한 원격시공 장비(로봇)과 원격시공 장비에 부착하여 그립(Grip), 볼팅, 용접, 철근 커플링, 다짐(바이브레이팅) 등의 작업을 수행하기 위한 도구(Attachment) 개발

· 고소/고위험 작업환경의 무인·원격시공을 원활히 수행하기 위한 기존 구조물 시공 공법의 개선

- 고소(高所) 원격시공 장비용 다기능 작업대 및 자동 상승·하강 교각 거푸집 시스템 개발

※ 중경간(경간 60m 이하) 거더교량에 적용되는 교각을 대상으로 원격시공을 위해 필요한 매니퓰레이터용 작업대를 제공하기 위한 기술을 개발하는 것으로, 자동으로 상승과 하강이 이루어지는 시스템으로 개발

※ 교각 구조형상(등단면, 변단면)과 매니퓰레이터의 성능(팔길이, 자유도, 하중용량 등) 등 범용성을 고려하여 작업대와 일체화된 거푸집(슬립폼) 또는 기존 거푸집(설치/해체식)의 적용이 가능하도록 개발

· 고소/고위험 작업 빈도가 높은 교량 가로보, 교각 시공을 대상으로 원격시공 장비의 운용을 위한 다기능(공간 제공, 재료 공급 등) 작업대 및 무인으로 상승·하강이 가능한 교각 거푸집 개발

- 3차원 VR 영상 기반 실감형 원격 제어 장치 및 S/W 개발

· 3차원으로 제공되는 스테레오카메라 영상, 구조물 모델 정보(스마트 건설 플랫폼에서 제공), 제어 장치 모델 정보를 조합하여 원격장비 조종자가 원격지에 있는 것과 같은 실감형 VR 환경을 구축하는 기술(S/W) 개발

· 실감형 VR 환경에서 원격장비를 안정적이고 효율적으로 조종하기 위한 힘반영(force-feedback) 원격 제어 장치 개발

(구성기술 2-2-2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술

○ 머신러닝 기반 기계식 굴착장비(TBM, Tunnel Boring Machine)의 스마트 운용기술

- 데이터 기반 기계식 굴착 장비(TBM, Tunnel Boring Machine)의 스마트 운전 기술 개발
- 데이터 기반 디스크 커터 교체 주기 자동화 및 최적화 기술 개발

○ TBM 막장 전방 예측을 통한 All-in-one 머신러닝 기반 리스크 관리 기술

- 비파괴 탐사법을 이용한 머신러닝 기반 TBM 막장 전방 예측 기술 개발
- 기존 지반정보와 머신러닝 분석정보를 토대로 한 지반정보의 통합 및 지반정보의 재구성기술 개발
- TBM 시공데이터의 분류 및 시공 중 발생 가능한 리스크-리스크요인 관계도 구축
- 데이터를 기반으로 한 머신러닝 리스크 분석기술 및 대응기술 개발

□ **개발목표**

(구성기술 2-2-1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 기술	부재 거치 위치 정밀도	-	-	±3mm 이내	●		
	원격시공 장비의 수행 가능 기능의 종류	-	-	5종 (그립, 볼팅, 용접, 철근 커플링, 바이브레이팅)	●		
	구조물 원격시공의 작업 속도	-	-	인력 기반의 작업 속도와 동등 이상	●		
	원격조종 명령-작동 시점 간 Time-delay	-	0.1 sec (카메라 이미지 전송상의 time-delay)	0.1 sec[1] 이내	●		

1) 3차원의 영상과 VR 환경으로 구성된 조종환경에서의 time-delay

(구성기술 2-2-2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술	자동화 TBM 가동률[1]	-	-	자동화 TBM 가동률 31.3% 이상	●		
	디스크 커터 마모율 예측 오차율[2]	-	-	실측치 대비 오차율 ±20% 이내	●		
	머신러닝 기반 TBM 굴진면 전방 예측 오차율[3]	-	-	실측치 대비 오차율 10% 이내	●		
	머신러닝 기반 리스크 관리를 위한 분석 요인 개수[4]	-	-	40가지 이상	●		

1) 국내 고급 숙련 운전자에 의한 TBM 가동률은 35%, 중급 숙련 운전자에 의한 TBM 가동률은 25% 수준으로(한국터널공학회, 2008), 자동화 TBM 가동률의 목표는 자동화 기술 적용시 중급 숙련 운전자에 의한 TBM 가동률 25%를 125% 향상시킨 수준까지(31.3%=25%×1.25) 달성할 것을 의미

2) 디스크 커터 마모율 예측치와 디스크커터 마모 실측 자료를 비교하였을 때 오차율을 의미

3) 머신러닝 모델 적용 TBM 굴진면 전방 예측과 TBM 굴진 실측 자료와의 비교를 통한 전방 지질 이상대(함수대, 단층파쇄대, 급변구간 등) 예측 오차율을 의미

4) TBM 시공 시 문제를 발생시키는 리스크 요인와 관련하여 머신러닝 기반으로 고려한 리스크 요인의 개수가 40가지 이상이어야 함을 의미

□ 개발목표의 설정 근거

(구성기술 2-2-1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 기술 개발

○ 본 구성기술은 건설현장의 노동력을 대체할 수 있는 원격·무인화된 크레인, 원격시공 로봇/장비를 개발하는 것

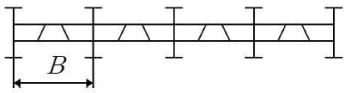
- 건설 현장에서 실질적인 효과를 얻기 위해서는 기존의 구조물 시공 과정에서 확보되어야 하는 정밀도와 건설인력으로 수행되는 기능, 시공 속도는 기본적으로 유지되어야 함

- 부재 거치 위치 정밀도: 협업형 로보틱 크레인과 원격시공 로봇에 대한 성능 지표로서 「도로교표준시방서(국토교통부, 2016)」의 강구조물의 조립 및 설치에 대한 정밀도(시공오차)를 기준으로 개발 목표를 설정

  · 협업형 로보틱 크레인과 원격시공 로봇은 강재와 콘크리트 구조물 모두를 대상으로 하며 두 가지 구조물에 대해 제시된 정밀도 기준 중에서 가장 엄격한 기준으로 제시

- 도로교표준시방서(국토교통부, 2016), 콘크리트표준시방서(국토교통부, 2016), 토목공사일반표준시방서(국토교통부, 2016) 등 도로구조물과 관련된 표준시방서에서는 미리 제작된 콘크리트 부재의 조립/거치에 대한 정밀도(허용오차)에 대한 기준은 제시되어 있지 않음
- 도로교표준시방서(국토교통부, 2016)에서는 강구조물 부재의 조립 및 설치에 대한 시공오차를 '표 2.3.10'에 따르는 것으로 제시하고 있음

<표 4-87> 제작치수 허용차 및 가조립 정밀도 (도로교표준시방서의 표 2.3.10)

항목	허용차(mm)	적용
주거더 또는 주트러스의 중심 간격	±{3 + (0.5B/1000) B : 주거더 또는 주트러스의 중심 간격(㎜)	

○ 원격시공 장비의 수행 가능 기능의 종류: 원격시공 장비(로봇)에 장착되는 기능별 도구(Attachment)의 종류로서, 강재와 콘크리트 구조물의 시공 과정에서 인력에 의해 수행되는 작업의 종류(그립, 볼팅, 용접, 철근 커플링, 바이브레이팅)를 포함할 수 있도록 목표를 설정

- 기본적인 기능으로서 각종 부재를 취급하기 위한 그립(Grip) 기능 필요
- 강구조물의 경우 부재의 연결을 위한 볼팅, 용접(현장) 기능 필요, 콘크리트 구조물의 경우 철근 커플링(연결), 콘크리트 타설시 바이브레이팅(다짐), 받침부에 대한 용접(현장) 기능 필요

○ 구조물 원격시공의 작업 속도: 원격시공 기술에 대한 성능지표로서, 인력을 대신하여 원격시공 로봇에 의해 이루어지는 시공 작업이 기본적으로 인력에 의해 이루어지던 기존의 작업 속도 이상을 구현할 수 있도록 목표를 설정

- 원격시공으로 인력을 대체하는 기술은 매우 도전적인 연구·개발로서, 세계에서 최초로 시도되는 도로구조물의 원격시공 기술은 인력에 의한 작업과 동등한 수준의 작업속도를 확보할 수 있도록 개발함
- 원격시공에 의한 건설 생산성의 향상은 폭염 환경과 같이 인력으로 수행하기 어려운 기간에 시공을 가능케 하고 안전시설 설치를 위해 소요되는 비용과 기간의 단축에 의해 얻어지는 공사기간의 단축과 같은 직접적인 효과와, 건설현장의 고위험 작업환경을 개선하여 건설업의 산업재해를 감소시킴으로써 얻어지는 시공 지연의 최소화, 사고 비용의 절감으로 간접적인 효과로부터 얻을 수 있음

○ 원격・무인화된 크레인, 원격시공 로봇/장비는 원격 조종에 의해 수행되는 특징을 갖는 기술로서, 원활한 원격 조종을 위해서는 원격 조종자에게 제공되는 실감형 VR 환경에서 원격 조종자가 장비를 현장에서 조종하는 것과 같이 조종과 장비의 반응이 동시에 가깝게 이루어져야 함

- 따라서, 원격조종 명령-작동 시점 간 Time-delay를 실감형 원격 조종 장치 개발의 주요한 지표로 설정함

- 원격조종 명령-작동 시점 간 Time-delay: 원격조종 장치・S/W의 지표로서 원격 조종자에게 현장에 투입된 장비의 관점

- 조종에 보다 유리한 관점의 3차원 이미지(스테레오카메라)와 CG로 구현되는 실감형 VR 환경에서 원격시공 로봇을 실시간으로 정밀하게 조종할 수 있도록 조종 명령과 장비의 작동(VR 환경에서 확인) 시점을 동시에 가깝게 구현할 수 있는 목표로 설정

  ・ Kazuhiro의 논문에 따르면, 상대적으로 작업의 난이도가 낮은 암석 파쇄 장비(crushing boulder)의 경우 time-delay가 1.5 sec 수준일 때는 원격 장비를 이용한 개략적인 작업이 가능, time-delay가 1.0 sec 수준일 경우에는 상대적으로 세밀한 작업이 가능. 작업의 난이도가 높은 경우 이보다 더 낮은 time-delay가 필요

  ・ 1.5 sec 이상의 time-delay가 있는 경우에는 일방향 명령만이 가능한 수준

  ・ 같은 논문에서, 2014년 5 GHz의 통신주파수를 이용한 경우 카메라 이미지 전송에 따른 time-delay가 0.1 sec 미만인 것으로 측정. 0.1 sec 미만의 time-delay는 원격 시스템의 제어에 문제가 없는 수준으로 판단

  출처: CHAYAMA, Kazuhiro, et al. Technology of Unmanned Construction System in Japan. JRM, 2014, 26.4: 403-417.

  ・ 5G 통신(최대 주파수: 60 GHz)을 이용할 경우, 0.1 sec 보다 낮은 time-delay가 가능할 것으로 판단되지만, 현장감을 높이기 위한 실감형 3차원 VR 이미지의 정밀도와 time-delay는 데이터 전송 용량의 문제로 인해 이율배반적(trade-off)인 관계이므로 원격조종을 위한 적정한 수준으로 판단되는 0.1 sec를 기본적인 목표로 설정

  출처: 심영일; 이순요. 극한 (위험) 작업 수행을 위한 원격조작 로봇 시스템의 개발 동향. ie 매거진, 2011, 18.1: 40-42.

(구성기술 2-2-2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

○ 본 과제의 개발 기술들은 TBM 굴진, 디스크커터 교환, 굴진면 전방 예측 데이터에 머신러닝 기법을 접목한 것으로서 세계적으로도 아직까지 연구사례가 없는 관계로 현재 최고기술을 제시하기 어려움. 위 표에 작성된 최고기술은 관련된 기술의 최고치로 작성함.

- TBM은 굴진면 전방 지반조건의 불확실성과 운전원의 전문성이 그 성패에 큰 영향을 줌. 본 과제는 TBM 운전 자동화와 디스크커터 마모율의 정확한 예측, 그리고 TBM 굴진면 전방 리스크 요인 예측 정확도 향상을 통해 지반조건에 따른 문제와 운전원의 전문성 부족 문제에 따른 TBM의 작업정지 일수를 줄임으로써 중점분야 2의 목표인 공기단축을 이루고자 함.

- 운전 인력부족 및 운전원의 전문성 부족문제를 해결하기 위한 TBM 자동화 기술에 대한 성능지표를 TBM 가동률로 선정. TBM 가동률은 TBM의 지반조건과 현장조건 등이 반영되는 종합적인 수치임.

- 일반적으로 TBM 가동률은 25~35% 범위에 있음(한국터널공학회, 2008). 고숙련 TBM 운전자에 의한 가동률을 최고기술수준(가동률 35%)으로 설정하고 국내최고기술을 해외최고기술의 90%로 가정함.

- 자동화기술에 의한 비교를 위해 중급숙련자(2~3개 프로젝트 수행하거나 3~5년 경험을 가진 TBM운전자)의 TBM가동률을 25%로 설정하고 125%향상시켜 개발목표스펙(31.3%)을 설정함.

- 디스크커터 마모에 따른 디스크커터 교체 작업은 TBM의 작업정지의 주된 요인 중 하나로서, 마모에 대한 예측 정확도를 높여 TBM의 굴진효율을 증가시키고 교체시간을 감소시키기 위해 성능지표로 설정하였고, 마모율 예측 오차율에 대한 목표스펙을 실측치 대비 오차율 ±20% 이내로 설정함.

- 굴진면 전방 지반조건의 불확실성을 줄이기 위한 굴진면 전방 예측기술과 이를 이용한 리스크 분석 및 대응 기술에 대한 성능지표를 '머신러닝 기반 TBM 굴진면 전방 예측 오차율'로 설정하고 목표스펙을 실측치 대비 오차율 10% 이내로 설정함.(굴진면 전방 지반조건의 불확실성의 예: 단층대, 연약대, 파쇄대, 지하수 유입 등)

- 실시간 TBM 굴착량 모니터링 및 관리기술의 성능을 측정하기 위하여 리스크 관리 분석 요인 개수를 제시하였으며, 목표스펙을 40가지 이상으로 제시함

□ 연구 성과물 목록

<표 4-88> 도로구조물 무인·자동화 시공기술의 연구 성과물(시제품) 목록

No	시제품명	관련 개발내용	시기
1	3차원 형상 센싱 및 운반 경로 계획 시스템(H/W, S/W)	부재 위치/형상/자세, 환경 인식을 통한 다중 이동식 크레인 협업 기반 운반 경로 계획 기술 개발	3차년도
2	크레인 제어 시스템 (제어장치 H/W 및 제어용 S/W)	다중 이동식 크레인 기반 부재 자동 운반 및 실시간 안전 제어 협업 기술 개발	5차년도
3	부재 원격.정밀 거치용 다굴절 로봇암	부재-타겟 위치/형상 및 원격 로봇 기반 부재 정밀 거치 자동화 기술 개발	3차년도
4	원격시공 장비(로봇)	고소(高所)/고위험 작업용 원격시공 장비.도구(attachment) 및 공법 개발	4차년도
5	원격시공 장비 용 도구(Attachment)	고소(高所)/고위험 작업용 원격시공 장비.도구(attachment) 및 공법 개발	4차년도
6	자동 승.하강 교각 거푸집 시스템	고소(高所) 원격시공 장비용 다기능 작업대 및 자동 상승.하강 교각 거푸집 시스템 개발	4차년도
7	원격조종용 실감형 VR 시스템(H/W, S/W)	3차원 VR 영상 기반 실감형 원격 제어 장치 및 S/W 개발	5차년도
8	원격시공 장비 제어장치 및 제어용 S/W	3차원 VR 영상 기반 실감형 원격 제어 장치 및 S/W 개발	5차년도
9	원격시공 장비 제어룸	3차원 VR 영상 기반 실감형 원격 제어 장치 및 S/W 개발	5차년도
10	원격시공 장비 조종사 훈련 시스템 및 컨텐츠(S/W)	3차원 VR 기반 원격 시공 장비 조종사 훈련 시스템 개발	5차년도
11	머신러닝기반 TBM 자동운전시스템	머신러닝기반 TBM 스마트 운용 기술 개발	5차년도
12	디스크커터 교체주기 최적화 소프트웨어	데이터 기반 디스크 커터 교체 주기 자동화 및 최적화 기술 개발	4차년도
13	머신러닝 기반 비파괴탐사 TBM 굴진면 전방 예측시스템	비파괴 탐사법을 이용한 머신러닝 기반 TBM 막장 전방 예측 기술 개발	5차년도
14	머신러닝 기반 비파괴탐사 TBM 굴진면 전방 예측시스템	비파괴 탐사법을 이용한 머신러닝 기반 TBM 막장 전방 예측 기술 개발	5차년도
15	TBM 통합 리스크관리 시스템 (S/W)	데이터를 기반으로 한 인공지능 리스크 분석기술 및 대응기술 개발	5차년도

3.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

<표 4-89> 도로구조물 무인·자동화 시공기술의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발	국토교통과학기술진흥원 (2006~2011)	타워크레인 기반의 지능형 양중관리 시스템 (로보틱 크레인) 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 타워크레인과 고층건물 시공, 강구조물 시공에 국한. 본 기술은 교량 시공을 위한 모바일 크레인을 대상으로 기존 연구에서 고려되지 않은 실시간 환경 센싱을 통한 자율 작업 및 안전 제어 기술을 개발
			- (연계성) 주변 환경 및 모듈 위치/자세 인식을 위한 비전 영상 처리 기술 개발을 위하여 기존 연구에서 개발된 비전 기반 볼트 구멍 인식 기술을 활용함
		강구조물 시공을 위한 볼팅 로봇 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 철골건축물에 최적화되어 토목구조물에 직접적인 적용은 어려움 본 기술은 토목 구조물의 연결부 시공을 위한 볼팅용 Attachment를 개발하는 것으로, 적용 방법과 기계적 구조의 근본적 차이가 있음
			- (연계성) 볼팅을 위한 기계적인 작동원리는 Attachment 개발에 응용
ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발	국토교통부 (2013~2018)	마커를 적용한 Visual Sensing 기술을 이용하여 조립부재의 상대위치를 측정하는 정밀시공 가이드 시스템 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 마커 기반의 비전 인식을 통해 상대위치 정보를 제공하기 위한 연구에 국한되었으나, 본 기술은 부재-타겟의 위치와 형상을 기반으로 마커 없이 상대위치를 판단하고, 원격 로봇을 이용하여 인력의 개입 없이 정밀하게 거치를 완료할 수 있는 기술
			- (연계성) 마커 기반의 비전 인식을 통한 상대위치 정보 제공 기술은 부재-타겟의 위치와 형상을 기반으로 마커 없이 상대위치를 판단하는 기술로 개선하는데 응용

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
공기단축형 고주탑 시공기술 개발	국토교통부 (2008-2015)	자동 상승이 가능한 고주탑용 변단면 슬립폼 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 케이블 교량의 고주탑을 대상으로 한 자동 상승이 가능한 변단면 슬립폼 본 기술은 고주탑에 비해 규모가 작은 중소형 교량용 교각을 대상으로 원격 로봇의 작업 공간 및 자동화 거푸집 기능을 제공하는 기술
			- (연계성) 고주탑용 변단면 슬립폼의 자동 상승 원리와 구조를 기반으로 일반 교각에 적합한 형식으로 구조 개선
항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발	해양수산부 (2009-2014)	굴삭기 형태의 수중 지반 공사용 원격 장비 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 굴삭기 형태의 수중 지반 공사용 원격 장비로 유선 조종 방식. 실감형 VR 환경 제공 없음 본 기술은 지상의 교량 구조물을 대상으로 실감형 VR 환경에서 원격으로 시공이 가능한 소형 로봇 형태의 원격시공 장비 개발
			- (연계성) 기술의 적용 환경, 작업 대상, 기술 구현 방법의 차이로 연계 어려움
해양개발용 수중건설로봇 개발	해양수산부 (2013-2019)	굴삭기 형태의 수중 지반 공사용 원격 장비 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 굴삭기 형태의 수중 지반 공사, 케이블 가설용 원격 장비로 유선 조종 방식. 실감형 VR 환경 제공 없음 본 기술은 지상의 교량 구조물을 대상으로 실감형 VR 환경에서 원격으로 시공이 가능한 소형 로봇 형태의 원격시공 장비 개발로 용도 및 기능에 차이가 있음
			- (연계성) 기술의 적용 환경, 작업 대상, 기술 구현 방법의 차이로 연계 어려움
고난이도 작업 수행을 위한 유압 구동 로봇 제어 기술 개발	산업통상 자원부 (2013-2018)	7자유도로 작동하는 모바일 유압 매니퓰레이터 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 재난·재해 현장 복구용 유압 매니퓰레이터 및 원격 조종 기술, 실감형 VR 환경 제공 없음 본 기술은 교량 구조물을 대상으로 실감형 VR 환경에서 원격으로 시공이 가능한 소형 로봇 형태의 원격시공 장비 개발로 용도 및 기능에 차이가 있음
			- (연계성) 매니퓰레이터의 구조와 작동 원리가 연계

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
기중력 120kgf급 구난로봇 기술 개발	산업통상 자원부 (2013-2019)	원격으로 조종이 가능한 휴머노이드 형태의 구난 로봇 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 휴머노이드 형태의 구난 로봇. 실감형 VR 환경 제공 없음 본 기술은 교량 구조물을 대상으로 실감형 VR 환경에서 원격으로 시공이 가능한 소형 로봇 형태의 원격시공 장비 개발로 용도 및 기능에 차이가 있음
			- (연계성) 기술의 적용 환경, 작업 대상, 기술 구현 방법의 차이로 연계 어려움
재난 재해 대응 특수목적기계용 핵심요소부품 및 시스템개발	산업통상 자원부 (2015-2020)	재난·재해 대응 특수목적기계와 양팔과 어태치먼트를 조종하기 위한 힘반영 조종 장치 개발	- 연관: 구성기술 2-2-1 - (차별성) 기존 연구는 재난·재해 현장 복구용 유압 매니퓰레이터 및 원격 조종 기술, 실감형 VR 환경 제공 없음 본 기술은 교량 구조물을 대상으로 실감형 VR 환경에서 원격으로 시공이 가능한 소형 로봇 형태의 원격시공 장비 개발로 용도 및 기능에 차이가 있음
			- (연계성) 매니퓰레이터의 구조와 작동 원리는 연계
TBM 운전.제어 시스템 및 커너헤드의 최적화 설계기술 개발	국토교통과학 기술진흥원 (2017-2021)	TBM 설계·제작 기술 확보를 위한 운전·제어, 커터헤드 설계 등의 핵심기술 국산화 연구	- 연관: 구성기술 2-2-2 - (차별성) 운전·제어 시스템을 활용한 TBM 운전 시뮬레이터로 TBM 운전 자동화와 목표가 상이
			- (연계성) TBM 시뮬레이터가 기반으로 하고 있는 TBM 운전·제어 시스템을 직접 제어할 수 있는 플랫폼을 적용하여 TBM 운전을 자동화할 수 있도록 연계
TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술	국토교통과학 기술진흥원 (2010-2015)	디스크 커터 주기에 관한 국내 모델 제시	- 연관: 구성기술 2-2-2 - (차별성) 데이터/머신러닝에 기반한 디스크 커터 교체주기 자동화 및 최적화에 대한 연구는 수행되지 않음
			- (연계성) 국내 제시된 모델을 개선하여 TBM 운전 중 지반 조건 등 운전 조건과 관련된 정보와 연계된 교체 주기 예측 모델 개발 기존 이론식 및 시험정보를 데이터/머신러닝 분석시스템에 반영

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
해저시설물 차폐기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (2005-2010)	해저지반 조사 및 계측기술 수준 향상 수리·역학적 설계기술 개발 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발 해저 에너지 저장시설 차폐 및 시공 시뮬레이션 기술 개발	- 연관: 구성기술 2-2-2 - (차별성) TBM 터널 시공에 관련된 장비의 운영 및 관리에 대한 연구는 수행되지 않음 - (연계성) 해당연구는 인공지능 기술을 이용한 TBM 스마트 운전기술, 리스크 분석 및 대응 기술, 디스크 커터 교체 주기 자동화 및 최적화 기술에 대한 연구와 범위가 상이하여 연계가 어려움
고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소기술개발	국토교통과학기술진흥원 (2013-2018)	고수압 조건을 반영할 수 있는 해저터널 설계, 시공을 위한 핵심요소기술 개발	- 연관: 구성기술 2-2-2 - (차별성) 데이터 및 인공지능과 터널 시공관리 기술과의 융합에 대한 연구는 수행되지 않음 - (연계성) TBM 막장전방 예측 기술, 리스크 관리 모델과 연계하여 기술 고도화 및 자동화

3.8 민간기술과의 차별성·연계성

<표 4-90> 도로구조물 무인·자동화 시공기술의 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

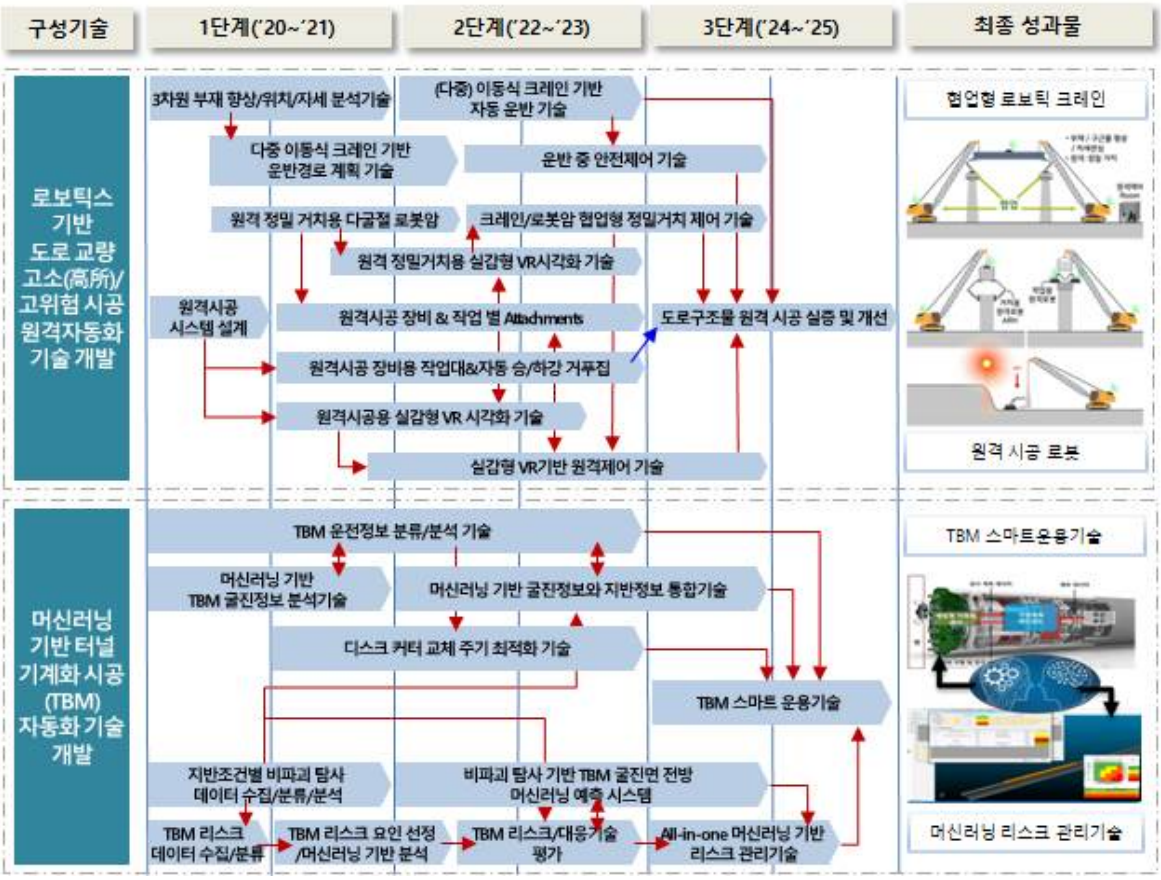
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소(高所)/고위험 시공 원격.무인화 기술	로보터스	볼트 체결용 Mobile Manipulator를 위한 직선 레일 주행 로봇 기술	- (보유기술) 타워크레인 기반의 레일 주행 로봇에 관한 기술 - (구성기술) 본 연구에서 대상으로 하는 모바일 크레인의 와이어를 이용한 모듈 이송 및 안전 제어 기술과는 적용 대상과 운용 방법에 근본적인 차이가 있음
				- (연계성) 적용 대상과 운용 방법의 근본적인 차이로 인해 기술에서 연계 가능한 기술 없음
2	로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소(高所)/고위험 시공 원격.무인화 기술	㈜청진건설	고주탑 변단면 슬립폼	- (보유기술) 케이블 교량의 고주탑을 대상으로 한 자동 상승이 가능한 변단면 슬립폼 - (구성기술) 고주탑에 비해 규모가 작은 중소형 교량용 교각을 대상으로 원격 로봇의 작업 공간 및 자동화 거푸집 기능을 제공하는 기술을 포함
				- (연계성) 고주탑용 변단면 슬립폼의 자동 상승 원리와 구조를 기반으로 일반 교각에 적합한 형식으로 구조 개선
3	로보틱스 기반 도로 지상 구조물 고소(高所)/고위험 시공 원격.무인화 기술	㈜엠플러스	고출력 볼트체결 자동화 핵심 구동부	- (보유기술) 볼트체결 자동화를 위한 구동부 기술 - (구성기술) 원격시공 장비의 볼팅용 Attachment를 개발, 적용 방법과 기계적 구조에 차이가 있음
				- (연계성) 볼트체결 자동화 핵심 구종부의 기계적인 작동원리는 Attachment 개발에 응용

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
4	머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술	SK건설 현대건설 동아지질 강릉건설 호반건설	TBM 운전정보 등의 시공관련 데이터와 운전 숙련자를 보유한 상황	- (보유기술) TBM 운전정보 등의 시공관련 데이터와 운전 숙련자 보유 - (구성기술) TBM 운전 자동화와 관련한 기술은 확보하고 있지 않음
				- (연계성) 장비 자동화를 위해서는 굴진 정보와 터널공사 관련 정보가 요구되므로 기존 국내 시공사의 공사 실적 활용
6	스마트 제어기반 굴착 및 발파 터널시공(NATM) 굴착면 정보 및 시공 자동화	대림코퍼레이션	터널시공정보화(용인-구리 고속도로 건설공사 중 남한산성 터널공사)-원격막장관측, 디지털페이스 맵핑 관리시스템	- (보유기술) 3D스캐닝을 통해 구축된 막장 정보 관측 및 막장면 트렌드 분석 및 예측 - (구성기술) TBM에서는 막장을 이미지로 확인 불가하므로 관련사항이 없으며, NATM 관련한 본 구성기술에서의 굴착면 정보화는 기계학습을 통해 이미지 데이터를 자동적으로 분석하는 기술로써 기존 시공정보화기술보다 진보된 기술임.
				- (연계성) 기존 디지털 맵핑시스템의 아날로그 입력방식을 기계학습에 기반한 자동 이미지 프로세싱으로 개선

3.9 구성기술 로드맵



[그림 4-193] 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 추진로드맵



[그림 4-193] 도로구조물 원격.자동화 시공 기술 성과로드맵

3.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 166.57억 원/6년(3단계)중 (국고) 121.15억 원, (민자) 45.42억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-2-1. 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발	정부	889	1,047	1,564	1,576	1,570	1,174	7,820
	민간	333	393	586	591	589	440	2,932
	소계	1,222	1,440	2,150	2,167	2,159	1,614	10,752
2-2-2. 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발	정부	592	449	639	1,051	845	719	4,295
	민간	222	168	239	394	317	270	1,610
	소계	814	617	878	1,445	1,162	989	5,905
합계	정부	1,481	1,496	2,203	2,627	2,415	1,893	12,115
	민간	555	561	826	985	906	710	4,542
	소계	2,036	2,057	3,029	3,612	3,321	2,603	16,657

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-2-1. 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발	380	455	682	682	682	512	3,395
2-2-2. 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발	247	191	266	436	361	304	1,804
합계	627	646	948	1,118	1,044	816	5,199

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-2-1. 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발	책임급	1	2	3	3	3	2	14
	선임급	2	2	4	4	4	3	19
	원급	5	5	6	6	6	5	33
	합계	8	9	13	13	13	10	66
2-2-2. 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발	책임급	1	0	1	2	1	1	6
	선임급	1	2	2	3	3	2	13
	원급	3	2	2	3	3	3	16
	합계	5	4	5	8	7	6	35
소계		13	13	18	21	20	16	101

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	229	226	335	404	363	287	1,845
연구과제추진비	144	143	209	254	231	179	1,160
연구활동비	261	257	381	460	416	327	2,101
연구수당	94	97	142	168	157	122	780
소계	728	723	1,068	1,285	1,166	916	5,886

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	126	127	187	223	205	161	1,030

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 43.5%, 직접비(인건비 제외) 48.0%, 간접비 8.5%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 36%, 연구과제추진비 23%, 연구활동비 41%, 연구수당으*로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

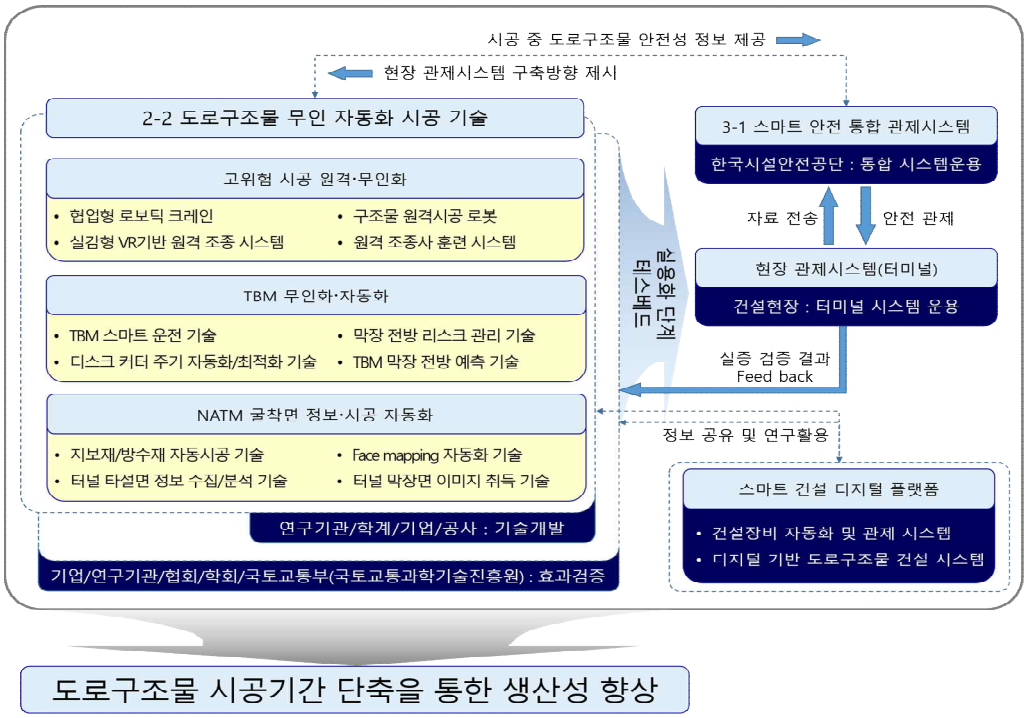
(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

3.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



[그림 4-195] 도로구조물 무인 자동화 시공기술 체계도

□ **타 중점분야에서 개발되는 기술과 정보 공유를 고려하여 기술 개발을 수행**

○ (중점분야 1) 자동화 시공 장비(로봇)의 운용 정보를 '건설장비 관제 시스템'에 제공/공유

○ (중점분야 3) '현장 지원 안전 관제 시스템'에서 제공되는 안전 관제 정보를 바탕으로 장비 제어에 활용

○ (중점분야 4) '스마트 건설 플랫폼'에서 제공되는 Digital Twin Model을 자동화 장비를 활용한 시공 계획 및 장비 운용에 활용

(2) 협력방안

□ **고소(高所)/고위험 시공 원격·무인화 시공 및 터널 시공 무인화·자동화 기술 개발을 위한 분야별 연구기관·대학·기업 간의 공동연구 수행**

○ 원격시공 장비(로봇)의 개발은 기계·ICT 분야 전문 연구기관·대학·기업의 공동연구, 원격시공 장비의 요구사항 및 공법 개선은 건설 분야 전문 연구기관·대학·기업의 공동연구 수행

- 터널 시공 장비(TBM 운전·제어, 지보재/방수재 시공 자동화) 및 막장예측/face mapping 자동화 기술은 기계, 센싱, 정보통신, 건설 분야 연구기관·대학·기업의 공동연구

□ **재해·리스크 저감 및 공사기간 감소 효과 산출을 위한 학회·대학·연구기관·전문기업의 협력 및 홍보/검증 체계 구축**

○ 대가 산정 기준 마련 및 이에 대한 검증이 필수적

○ 다양한 이해 관계자의 참여를 위한 관·산·학·연 공동 연구 및 협력 추진

○ 표준 품셈 마련을 위해 공동 세미나, 공청회를 통한 홍보 및 검증 추진

3.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-91> 도로구조물 무인·자동화 시공기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
도로구조물 원격.자동화 시공 기술	로보틱 크레인, 원격시공 장비(로봇)의 숙련 원격 조종사 및 원격 조종의 실효성 확보에 대한 불확실성 내재	특성화 고등학교 재학.졸업생, 청년층 건설 노동자를 대상으로 원격 조종사 훈련 프로그램 시범 운영 및 기술 개발 단계 참여를 통해 조종사의 경험.의견 반영
	원격 시공에 대한 공정.공사비 산정 기준 부재	현장실사를 통해 공사기간.공사비 산정에 대한 근거 확인 및 원격 시공에 대한 건설공사 표준품셈 마련 추진
	BIM과 연계하기 위한 데이터 양 조율 문제	BIM전문가와 기존 검인증 시 대응 방안 등을 활용
	실내시험 결과의 실제 적용 불가	파일럿 테스트 및 현장시험을 통한 검증
	자동화를 위해 필요한 현장 TBM 지반/운전정보의 수집	TBM시공업체의 연구참여를 통한 데이터 수집

3.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ 2013년 케이블 교량의 고주탑 시공용 거푸집 시스템의 국산화 및 세계 선도 기술 확보를 목적

○ ICT 기술을 활용하여 자동적으로 거푸집의 상승과 단면 변형이 가능한 한국형 변단면 슬립폼을 개발하여, 2014년에 복수의 국내 건설사에 10건 이상의 기술 이전 성공

출처: 한국건설기술연구원, 공기단축형 고주탑 시공기술 개발, 2012~2015, 국토교통부

(2) 성공 사례의 시사점

□ 한국형 변단면 슬립폼

○ 기업·연구기관의 공동연구를 통해 건설 현장의 수요에 기반한 기술 개발을 추진하였고, 시험시공을 통한 시공기간 단축에 대한 직접적인 효과를 입증

- 이미 국내에 국외 슬립폼 기술이 적용되고 있는 공종으로, 해당 공종에 대한 건설공사 표준품셈이 마련되어 있어 기술 적용을 위한 기반이 있었음

(3) 실용화 전략 수립

□ **국내 종합·전문 건설사의 참여를 통해 현장 수요에 기반 한 기술개발을 추진하고, 기술개발 단계에서 시험 시공을 통해 시공기간 단축 및 재해 저감에 대한 직접적인 효과를 입증할 예정**

○ 원격시공 장비(로봇)의 적용을 통한 고위험·열악한 작업환경에서의 시공 성능 및 시공기간 단축 효과 입증, 재해 원인 해소 및 현장 안전설비 설치 감축으로 인한 직·간접적인 공사비 절감 효과 입증 병행

□ **국내 TBM 전문 기업의 참여를 통해 현장 적용 가능성에 대한 지속적인 검토를 실시하고, 테스트베드를 활용한 시험시공을 바탕으로 현장 적용성을 입증할 예정**

⊖ 터널 기계화 시공장비 자동화의 적용 기반 마련을 위해 산학연이 현장에서 수집된 지반/운전/전방예측 정보를 수집 및 분석하고 머신러닝기법을 적용하여 자동화 성능을 검증함으로써 자동화 기술 도입의 효과 확인을 병행

3.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ **고위험, 극한 작업환경의 인력 대체와 고정밀 시공이 가능한 원격·무인시공 기술력 확보**

○ 고소(高所)·고위험 건설현장의 인력을 대체할 수 있는 원격시공 장비(로봇) 및 운용 기술에 대한 특허 기술 확보와 검증을 통해 원격시공에 대한 실효성·신뢰도 확보

- 검증된 원격시공 기술을 극한 환경(극한(寒)지, 극서(暑)지)의 건설을 위한 기술 기반으로 활용

□ **터널 시공 자동화 및 머신러닝 기반의 시공 중 의사결정 지원 기술의 개발을 통해 터널 시공 신뢰도 향상 및 데이터 기반의 설계·시공 기술의 진보 실현**

○ 데이터 및 인공지능을 활용한 시공 중 의사결정의 신뢰도 향상으로 신뢰성 있는 터널 시공 실현

- 데이터 기반의 터널시공 자동화 장비 기술의 확보는 물론, 시공 중 데이터의 축적을 통한 터널 설계 및 시공 기술의 지속적인 발전 기반 마련

(2) 사회경제적 측면

□ **건설업 재해율 감소 및 건설현장 일자리의 고품질화에 기여**

○ 고소(高所)·고위험 시공현장 인력을 원격시공 기술로 대체하여 추락 등으로 인한 인적 재해 감소

- 현장 노동 중심의 건설현장 일자리를 원격시공 장비(로봇) 조종사 등 고기능, 고품질 일자리로 전환

□ **건설현장의 작업환경 개선을 통해 청년 노동자 유입 촉진 및 고숙련 노동자 확보 기반 마련에 기여**

○ 고위험, 폭염 등 열악한 건설현장에서 노동자의 작업을 배제시킴으로써 작업환경 개선을 통한 청년층 노동자 유입 촉진 및 숙련 기반 마련

□ **도로구조물 시공기간의 단축과 시공 중 재해 감소를 통한 건설분야 생산성 향상에 기여**

○ 도로구조물 원격·자동화 시공 기술의 적용으로 재해, 환경적·인적 요인으로 인한 시공 중단·지연을 최소화함으로써 시공기간 25% 단축 및 건설 생산성 향상 실현

- 시공 중 발생할 수 있는 재해, 구조물 붕괴 등에 대한 리스크의 감소를 통해 생산성 향상에 기여

4. (핵심기술 2-3) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발

4.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

□ **지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술**

○ 3차원 스캐닝, 센싱, 인공지능 등의 기술을 활용하여 부재 제작 오류, 품질 및 구조안전성 저하로 인한 생산성 저해 요인을 해소하기 위한 시공 중 형상 및 구조안전 관리 기술을 개발하고자 함

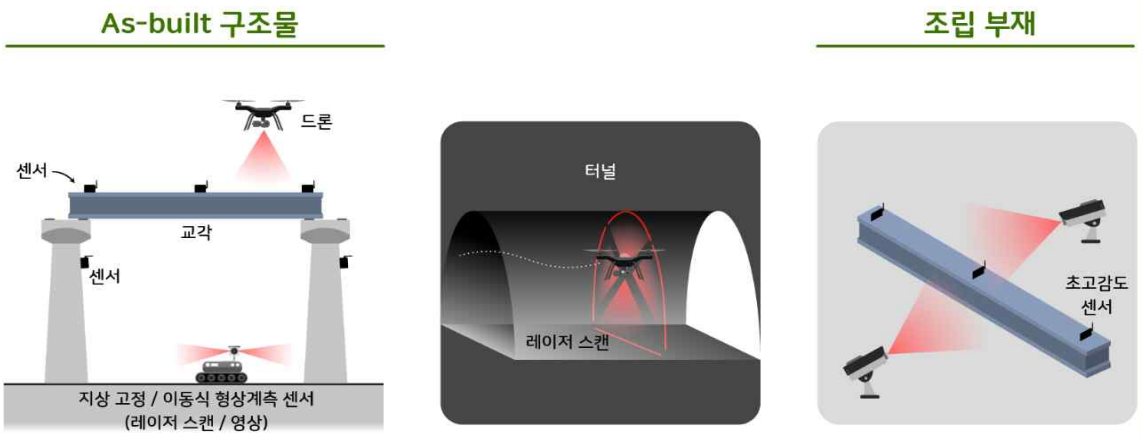
□ **대상 구조물**

○ 도로상에 존재하는 구조물인 교량과 터널, 그리고 사면 보호를 위해 적용되는 구조물인 옹벽을 대상으로 하며, 현장에서 제작·시공이 이루어지는 일반 구조/공법과 공장에서 제작된 부재를 활용한 프리팹 구조/공법을 포함함

- 교량의 경우, 특수교량(사장교, 현수교, 아치교 등)을 제외한 중경간(경간 60m) 이하의 교량으로 한정함

<표 4-92> 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술의 필수 대상 도로구조물

구분	(핵심기술 2-1) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	(핵심기술 2-2) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	(핵심기술 2-3) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
교량	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각)	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각	ㅇ강/콘크리트 교량 -경간 60m 이하 프리팹 거더 교량(바닥판, 거더, 교각) -현장타설 교각
터널	-	ㅇTBM 운전 자동화	-
기타	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등	-	ㅇ프리팹 옹벽, 교대 및 방음벽 등



[그림 4-196] 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개념도

(2) 범위

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술

□ **부재조립 이전에 시공가능성 및 문제발생 위치를 예측하기 위해 As-built 구조 및 프리팹 부재의 3차원 형상을 급속/정밀 스캔하고 이를 바탕으로 시공성을 판단하는 기술**

○ 부재 조립 시 시공가능성 및 문제발생 위치를 판단하기 위해 As-built 구조 및 프리팹 부재의 3차원 형상스캐닝 및 형상이력 관리기술을 개발

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발

□ **As-built 구조 및 프리팹 부재의 변형계측 및 이력관리를 통해, 시공 중 안전성과 조립시공의 품질을 확보하는 기술**

○ 도로구조물 시공 중 안전성 확보를 위해 As-built 구조의 형상 이력정보 및 프리팹 부재의 운반/시공 중 계측 기반으로 한 구조물 안전성 모니터링 및 품질관리 기술을 개발

4.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ **우리나라 건설산업은 인구구조의 변화로 인한 생산가능인구 감소, 숙련 노동자의 감소 및 고령화 등으로 인해 환경변화가 빠르게 일어나고 있음**

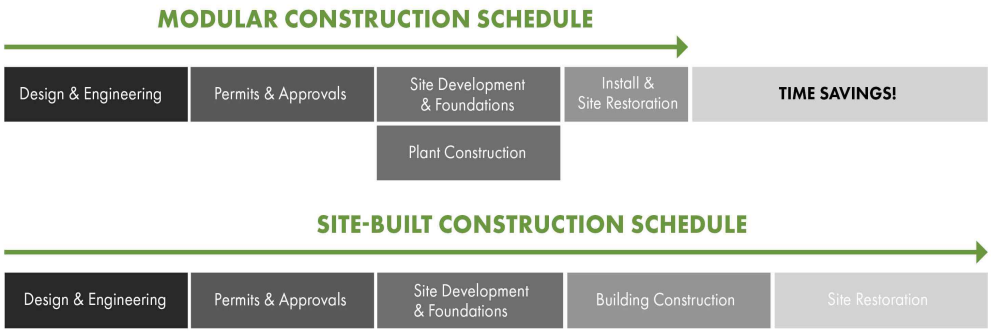
○ 생산가능인구는 2020년부터 급격하게 감소할 전망이며, 건설산업의 근로환경이 열악한 것으로 인식되어 청년층의 유입이 감소함에 따라 건설산업 전체가 노령화 되고 있음

○ 건설산업의 환경변화에 대처하기 위해 미래기술 개발 등의 정책을 추진 중

- 국토교통부 제6차 건설기술진흥기본계획(2018-2022)을 통한 '스마트 건설을 통한 생산성 향상', 제4차 과학기술기본계획에 '지속가능한 인프라 구조물 건설기술' 등을 통해 건설산업 환경변화에 대응하고자 함

□ **프리팹 기반의 Off-site 건설은 시공의 효율화를 통한 공기단축, 생산성 향상을 가져올 수 있으며, 건설 산업 전반의 변화에 대응할 수 있는 차세대 기술로 인식되어 시장 규모가 지속적으로 성장하고 있음**

○ 일반적인 공법과는 달리 프리팹(모듈) 기반의 Off-site 건설은 주요 구조 부재를 공장에서 생산하고, 현장에 운반된 제품을 조립한 후 전기 및 설비의 접합부만을 서로 연결하기 때문에 공기단축, 품질의 안전성, 경량화, 이동의 용이성, 건설공사의 안전성 향상을 기대할 수 있음



출처: Modular Building Institute

[그림 4-197] 모듈러 건설의 사업 시간 구성

○ 글로벌 프리팹 건설 시장은 2012년 901억 달러였으며, 그 중 아시아는 49.3%의 가장 큰 시장점유율을 보임

- 중국은 아시아 전체 시장의 61%, 일본, 호주, 인도네시아가 각각 22.3%, 6.8%, 5.1%를 차지함
- 우리나라는 국내 건설시장의 0.2%를 점유하며 크게 활성화되어 있지 않으나 프리캐스트 부재를 이용한 교량 건설 등에 사용되어 효용성을 입증하였고, 향후 시장이 성장할 것으로 전망됨

출처: The Global Prefabricated Buildings Market – Key Trends and Opportunities to 2017

□ **최근 센서기술의 발전으로 고성능, 저비용의 다양한 센서가 개발되고 있으며, 건설기술의 다양한 분야에 적용되고 있음**

○ 글로벌 센서기술 시장은 연평균 10.4%의 증가율을 보이며 2025년에는 2420억 달러에 이를 것으로 전망

출처: Global Sensor Technology Market Analysis & Trends - Industry Forecast to 2025

○ 건설분야에서는 변형률, 가속도, 변위 등의 구조물 응답을 계측하기 위해 전통적인 센서(변형률 게이지, 가속도계, LVDT)를 사용하였으며, 구조물의 하중에 대한 거동분석 및 유지관리 목적으로 사용됨

○ 최근 고성능, 저비용의 다양한 센서가 개발되어 시장에 나옴에 따라 건설분야의 신기술 개발을 가속화하고 있음

- 구조물의 유지관리 목적으로 광섬유 센서, MEMS (Micro-Eletro-Mechanical System) 기반의 스마트 IoT센서, 영상센서 등을 활용할 수 있음
- 국내 건설사는 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 토공작업의 계획 및 관리, 전반적인 시공관리의 효율화를 달성하였음

○ MEMS 센서는 통상 초소형, 저비용, 저전력의 특징을 가지며, IoT센서를 가능하게 하는 핵심부품으로 사용되어 건설분야에서의 적용도 크게 증가하고 있음

- MEMS 센서의 시장가치는 2016년 104억 달러, 2017년 125억 달러이며, 2024년 587억 달러로 증가할 것으로 전망됨

출처: TMicro-Electro-Mechanical Systems (MEMs) Sensors: Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide 2018 - 2024

- 자율주행, 로봇, 증강현실(AR), 드론 등에 필수적으로 사용되어 4차 산업혁명의 핵심으로 인식되고 있으며, 건설분야에서는 구조물의 응답 및 환경변수 계측을 위해 사용되고 있으나 전통적인 기존의 센서를 완전히 대체하고 있지 못함

○ 3차원 스캐닝 기술은 시공현장의 지형, 형상, 위치 정보를 제공해 줄 수 있어 최근 건설현장에 도입되어 사용되고 있으며, 특히 형상정보는 구조물의 하중 및 환경에 대한 거동특성, 시공오차 등의 구조적 건전성, 설계, 시공에 중요하므로 시공 및 유지관리에 유용함

- 3차원 스캐닝 마켓은 2017년 84억 달러에서 2025년 533억 달러로 급격하게 성장할 것으로 전망됨

출처: 3D Scanning Market Size & Forecast Report, 2014 - 2025

- 건설현장에서는 주로 레이저 기반의 3차원 스캐너를 적용하고 있으며, 2010년대 초반 3억 원 이상이었던 장비가격이 급격히 감소하는 추세로 건설현장에의 적용이 가속화될 것으로 전망됨

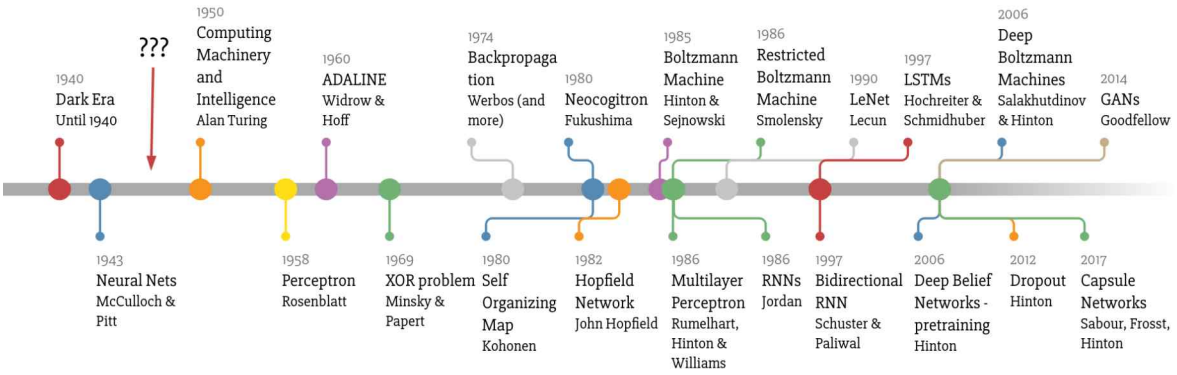


출처: 3D Scanning Market

[그림 4-198] 3차원 스캐닝 시장의 주요 영향인자

□ **딥러닝(deep learning)으로 대표되는 최근의 인공지능 기술은 4차 산업혁명을 야기하며 건설산업을 포함한 산업 전반에 변화를 불러올 것으로 기대하고 있음**

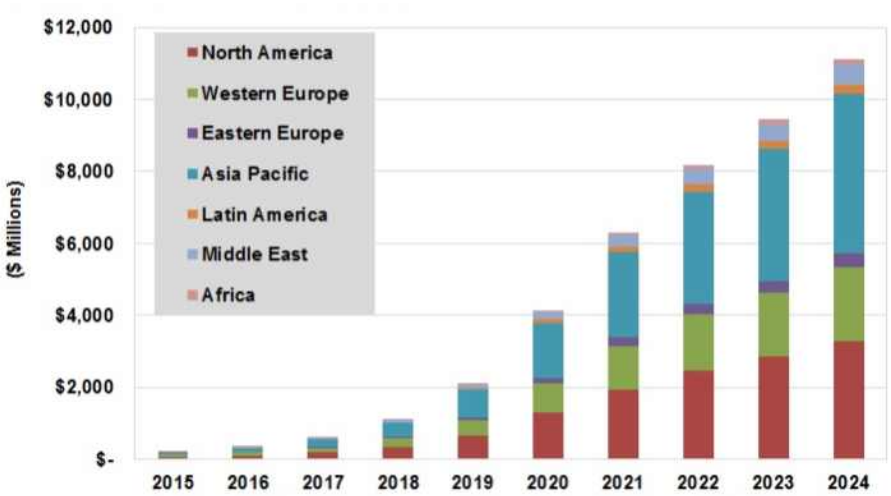
○ 기존의 인공신경망 기법은 계산시간과 과적합 문제로 인해 현실에 적용하기가 어렵다고 여겨졌으나, 이러한 과적합 문제의 해결, 계산 하드웨어의 발전, 빅데이터의 활용을 기반으로 딥러닝이 부활하게 됨



출처: A “weird” introduction to Deep Learning
https://towardsdatascience.com/a-weird-introduction-to-deep-learning-7828803693b0

[그림 4-199] 딥러닝 연대표

○ 딥러닝의 주요 응용분야는 음성 및 영상인식, 자연어처리, 자율주행 등이 있으며 인공지능 시장의 규모는 현재 전 세계적으로 급속도로 성장하고 있음



출처: Tractica

[그림 4-200] 인공지능 시장 규모

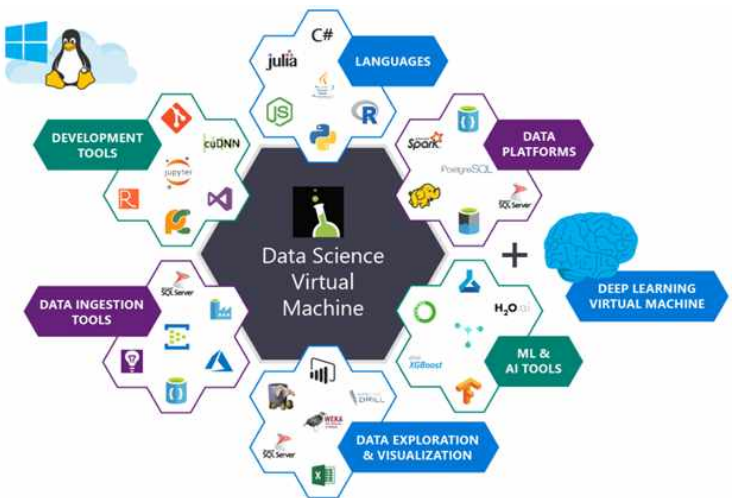
○ 최근 건설 분야에서는 딥러닝 기반의 영상인식을 통해 시설물의 육안검사를 대체하기 위한 연구개발이 활발하게 진행되고 있으며, 건설 현장에서 작업자의 행동파악, 건설장비의 효율적인 운용에도 적용하기 위한 연구가 수행되고 있음



출처: Drone Oversight Is Coming To Construction Industry
https://abovethefrayaerials.com/2015/08/27/drone-oversight-is-coming-to-construction-industry/

[그림 4-201] 건설 분야에서의 딥러닝 기반 작업자 인식 사례

○ 특히 딥러닝은 종래 기술의 한계라 여겨졌던 문제들을 효율적으로 해결하고 있으며, 미래 건설현장의 생산성 향상 및 안전관리에 혁신을 가져올 것으로 기대되고 있음



출처: Deep Learning & Computer Vision in the Microsoft Azure Cloud
https://blogs.technet.microsoft.com/machinelearning/2018/01/18/deep-learning-computer-vision-in-the-microsoft-azure-cloud/

[그림 4-202] 딥러닝의 다양한 기술 적용 사례

(2) 추진 필요성

□ **구조물의 시공 현장에서 안전 및 품질관리가 이루어지고 있음에도 불구하고 부재·구조물의 안전성 및 품질 관리 문제로 인한 사고가 끊이지 않고 있고, 이는 공사기간의 지연 및 비용 상승으로 인한 생산성 저하로 이어짐**

○ 국내·외에서 부재 제작의 오류 및 As-built (시공 중) 구조물의 부실한 안전성 관리로 인한 사고가 끊이지 않고 있음

- 2007년 베트남에서는 일본 건설업체가 건설 중이던 껀터대교가 공사도중 교각부분이 붕괴되어 52명이 사망하는 재해가 발생함
- 2017년 덴마크에서는 콘크리트 대교(그레이트 벨트 브리지)의 공사도중 주문 제작한 콘크리트 상판이 As-built 구조물의 형상을 반영하지 않은 오류(1m 짧게 제작)가 발생하여 공사기간이 지연되는 사건이 발생함
- 국내의 경우, 2013년 서울 방화대교 상판 붕괴사고, 2016년 영광-무안 칠산대교 전도사고, 2017년 평택 국제대교 붕괴사고 등 중·대형 건설 현장에서 시공 사고가 끊이지 않고 있음



[그림 4-203] 서울 방화대교 상판 붕괴 현장

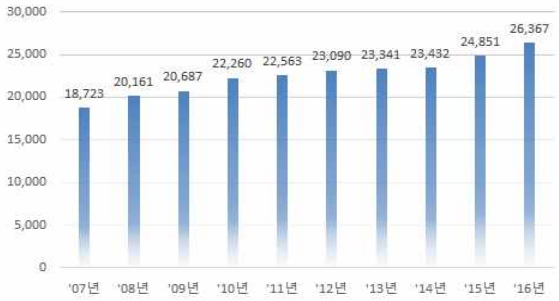


[그림 4-204] 영광 칠산대교 전도사고 현장

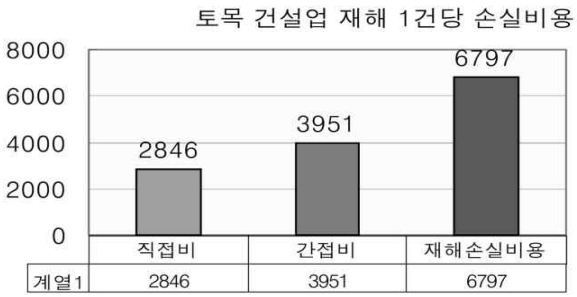
출처: 경향신문, 방화대교 남단 증축 공사 사고 현장, 2013.07.30.
SBS뉴스, '기울어진 칠산대교 들어올리나, 해체하나... 복구 6개월 이상 걸려', 2016.07.08.

○ 건설 사고는 모든 시공 공정의 진행을 중지시켜 건설공사의 생산성을 저하시키는 것은 물론 공기지연, 재시공 등으로 인한 사회·경제적 손실을 야기함

2005년에 발표된 논문에 따르면 토목 건설업에서 발생하는 재해 1건당 손실비용은 약 6,797만 원이며, 이를 단순히 2007년~2016년 기간에 발생한 건설 재해에 적용할 경우 경제적인 손실은 연간 1.3조 원에서 1.8조 원에 이름



[그림 4-205] 연도별 건설업 재해건수 ('07~'16)



[그림 4-206] 토목 건설업 재해 1건당 손실비용 (단위: 만 원)

출처: 고용노동부, 연도별 산업재해현황분석 자료('07~'16)
박종근. 건설공사의 사고예방비용에 대한 투자효과 분석. Journal of the KOSOS, 2005, 20.1: 114.

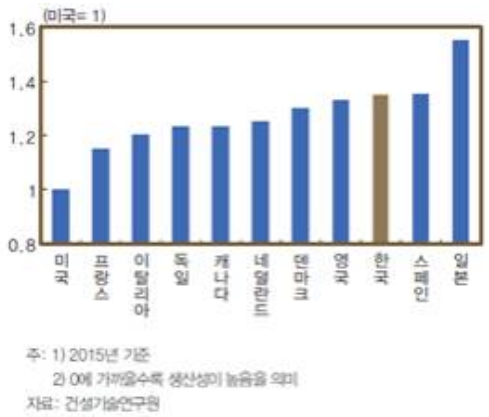
□ **최근 건설 산업 기피 인식과 이에 따른 전문 건설기술인력 부족으로 인한 건설 산업 생산성·품질 저하 문제가 야기되고 있음**

○ 생산인구 감소, 고령화, 주 52시간 근무로 인한 노동가능시간 감소, 건설현장 기능직종에 대한 기피 등의 요인에 의한 건설현장 생산성 저하 및 기능인력 수급 문제에 대한 해결책이 필요함

○ 건설업의 2015년 노동생산성은 2008년 대비 17.9% 하락하였으며, 이는 다른 업종의 노동생산성 상승과 대비되는 결과이며, 또한 미국, 프랑스, 이탈리아 등 주요국 대비 건설시공 생산성이 떨어짐



[그림 4-207] 건설산업 1인당 부가가치 기준

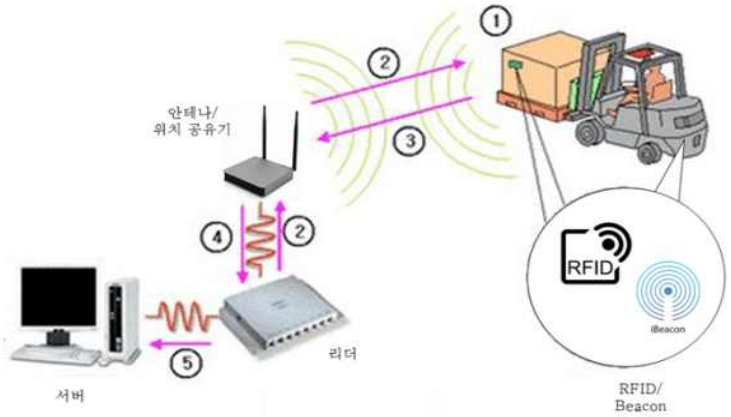


[그림 4-208] 건설산업 노동생산성

○ 4차 산업혁명 기술을 기반으로 한 건설산업의 자동화는 기존의 노동집약적 공정 개선 및 기능인력 절감을 통한 경제성 확보, 시공 정밀도 및 노동생산성 향상, 공기 단축 등의 효과를 통해 건설시공 생산성 향상이 예상됨

□ **현재까지 지속되고 있는 건설 현장에서의 품질 및 안전 관리와 전문 건설기술 인력 부족에 대응하기 위하여 디지털 센싱 기술, 인공지능, 컴퓨터 비전 등의 기술을 융합한 진보적인 대안이 필요함**

○ 건설현장 중장비에 의해 발생한 분진, 소음, 진동 등 열악한 환경에서 스마트 폰 기반 현장 근로자 및 위치정보기반 시설, 장비를 실시간으로 추적하여 재해 및 사고를 예방하고, 발생 시 신속한 양방향 정보 공유를 통해 지능적인 대처가 가능함



[그림 4-209] 건설산업의 디지털 기술 적용 예

출처: 스마트 건설현장 사고 및 재해 예방 시스템 구축 (2016 대한토목학회 정기학술대회) 조병완, 조준호, 김헌, 지세영, 우경수, 김정훈

○ 건설현장에서 숙련된 작업자 감소 및 고령화에 의한 생산성·품질저하 문제를 해결하기 위해, 시공 무인화/자동화 기술을 도입하여 기능 인력 수급 불균형 현상 해소, 재해율 저감, 재시공율 감소를 통한 비용 절감 및 작업성을 향상시키고자 함

○ 프리팹 부재를 활용한 As-built 구조물 시공 시 사전에 제작된 프리팹 제품의 3차원 형상정보 계측을 위한 디지털 센싱, 인공지능 및 컴퓨터 비전을 활용한 As-built 구조물과 조립부재의 시공적합도 평가를 통해 건설산업의 디지털·자동화하는 기술 개발이 필요함

○ 지금까지 인력 기반으로 이루어진 건설현장의 작업환경에 대한 디지털·자동화 혁신을 통해, 기획-설계-운반-시공 전 단계에 걸친 건설 프로세스에 대한 생산성 증가 및 비용 절감이 기대됨

□ **특히 자동화/무인화 시공에서의 생산성 향상을 위해서는 현장에서 부재·구조물의 안전성과 품질을 확보하기 위한 기술 개발·적용이 필요하며, 특히 공기 단축의 장점이 있는 프리팹 구조의 적용을 위해서는 신뢰성과 효율이 높은 시공품질 관리 기술의 확보가 필요함**

○ 프리팹 기반의 Off-site 건설의 생산성과 안전성을 높이기 위한 목적의 무인화 시공에서는 프리팹 부재 및 As-built 구조의 품질이 선행되어야 하며, 조립시공 가능성과 최종 구조물의 요구 성능을 확보하기 위한 연구개발이 필요함

○ 공장 생산되는 프리팹 부재는 운반단계에서는 충격, 우천과 같은 외부요인으로 인해 모듈의 변형을 겪을 수 있으며, 양중 단계에서도 구조체 비틀림, 양단부 처짐 현상 등이 발생할 수 있음

○ 자동화/무인화 시공에서는 품질이 저하된 부재의 사용 시 As-built 구조와 부재의 접합불량이 발생할 가능성이 항상 존재하며, 이는 구조물의 장·단기적 성능, 안전, 수명에 영향을 미칠 수 있음

○ 이송 및 양중단계에서의 변형으로 인한 품질저하를 평가하고 최종 구조물에 미치는 영향을 파악하는 연구가 필요함

4.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **구조물의 프리팹 부재 및 As-built 구조의 형상정보 결여로 시공 타당성에 대한 판단이 주관적으로 이루어지고, 프리팹 부재의 이송 중 변형 모니터링 기술 부재로 최종 구조물의 안전성 및 품질에 대한 검토가 이루어지지 못함**

○ 제작된 프리팹 부재와 설계도면 간 오차의 발생은 피할 수 없는 문제이며, 프리팹 부재의 적용 효과를 얻기 위해서는 오차를 포함하는 프리팹 부재 및 As-built 구조에 대한 신속하고 정확한 형상 검토 및 시공성 판단이 요구됨

○ 하지만, 구조물 시공 현장에서는 프리팹 부재, 특히 As-built 구조물 접합부의 형상(홈 너비/깊이, 홀 직경/간격 등)에 대한 검토와 시공성에 대한 판단은 2차원 도면을 참고하여 작업자의 육안을 통해 이루어짐

- As-built 구조물의 형상이 복잡할수록 작업자의 도면에 대한 정확한 이해도는 감소하며, 작업자의 육안에 의해 이루어지는 주관적인 시공성 판단에 대한 신뢰도 역시 감소함

- 시공 타당성에 대한 적절한 판단 없이 조립작업을 수행될 경우, 모듈과 접합부의 조립특성 불일치로 인해 무리한 조립작업 또는 조립/수정으로 인한 공기·공사비 증가가 초래됨



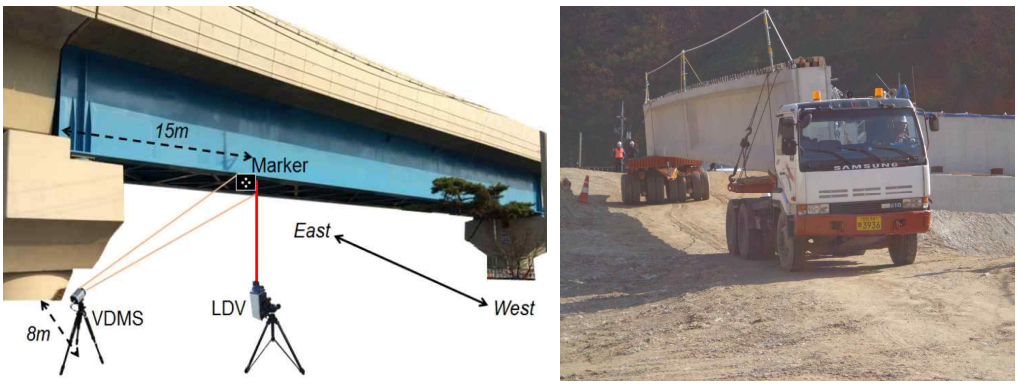
출처: 대우건설기술연구원 홈페이지(http://www.dwconst.re.kr)
한국경제, '대우건설, 자체 공법으로 중동IC 화재복구공사 공기 단축', 2011.03.11

[그림 4-210] 프리팹 부재(프리캐스트 바닥판) 및 이를 이용한 시공 예

○ 프리팹 부재의 운반 및 이를 이용한 As-built 구조물의 시공 중 부재와 구조물의 안전성을 검토하고 시공 품질을 확보하기 위해서는 부재·구조물에 대한 실시간 모니터링이 이루어져야 하지만, 이를 지원할 수 있는 기술이 부재로 안전성 검토가 이루어지지 못함

- 복잡한 센서의 설치과정 없이 부재 및 구조물의 변위·변형을 모니터링 하기 위한 방법으로 레이저 변위계 등 광학기반의 센싱 기술이 적용되고 있으나, 높은 비용은 물론 설치공간 확보 및 작업환경의 제약으로 운반 중 모니터링에 적용하는 데에 한계가 있음

- 이송-시공 중에 발생하는 연속적인 변형을 정밀하게 계측할 수 있는 센서와 이를 기반으로 실시간 안전성 모니터링 기술이 요구됨



출처: 조수진; 심성한; 김은성. 영상 기반 변위 계측장치의 현장 적용 성능 평가. 한국산학기술학회 논문지, 2014, 15.9: 5854-5860.

[그림 4-211] 레이저를 이용한 변위 측정 개요 및 부재(거더) 운반 예

○ 또한, 유지관리 단계까지 계측의 연속성을 확보하여 시공 중 설치된 센서의 활용도 및 효율을 향상시키기 위한 고려가 미흡함

- 재난·재해 예방을 위한 센서는 구조물 시공 이후에 별도로 설치하여 활용되고 있음

(2) 개선방향

□ **구조물의 프리팹 및 As-built 구조물의 3차원 형상정보 계측을 바탕으로 시공 타당성 판단을 객관화하고, 구조물 이송 중 형상변형 계측에 특화된 맞춤형 고감도 센서 개발 및 머신러닝 기반 실시간 구조 안전성 평가를 바탕으로 As-built 구조물의 안전성 및 품질 확보**

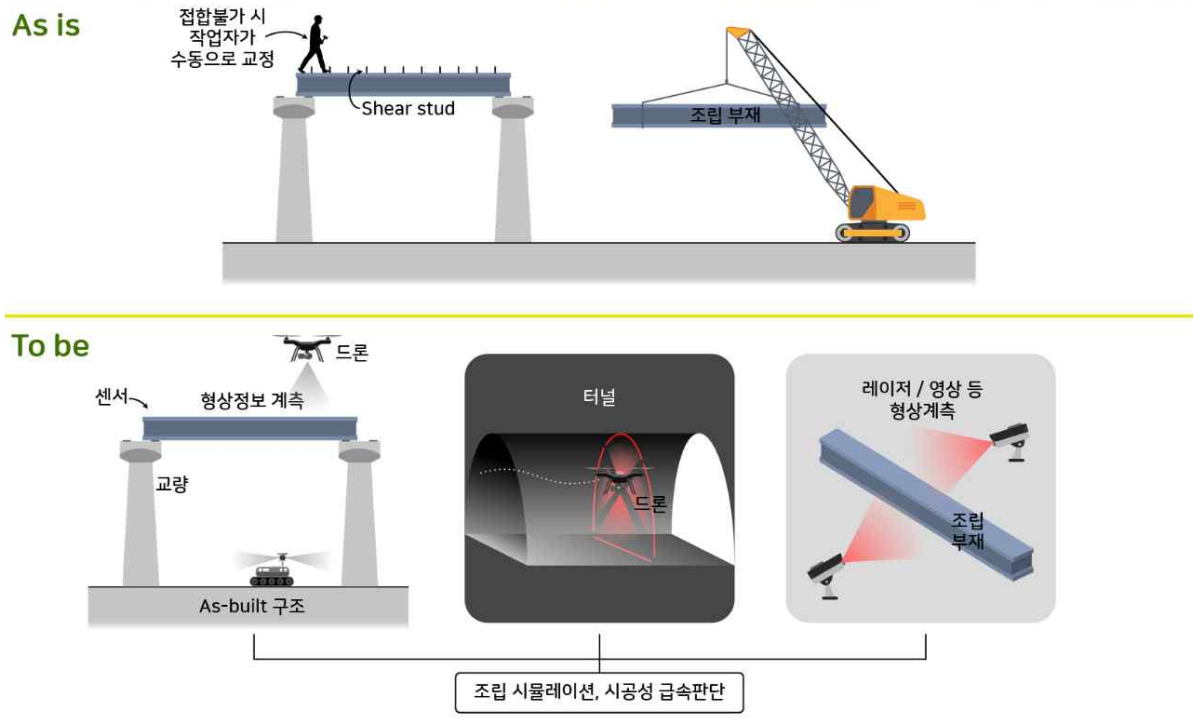
○ 건설현장에서 조립식 프리팹 부재와 As-built 구조물의 접합부의 3차원 형상을 계측하고 3차원 형상 정보로 구축하여, 이를 바탕으로 부재의 식별, 그에 맞는 접합부의 위치, 접합 방법, 조립정보 등을 자동적으로 파악하고 시뮬레이션 함으로써 시공 타당성을 객관적이고 신속하게 판단하고자 함

- 운반 및 시공 중 발생하는 진동 및 환경요소(대기온도, 습도 등)에 의한 변형 정밀계측에 특화된 맞춤형 고감도 센서(부착형, 매립형)를 개발하고, 센싱 정보와 해석 결과를 기반으로 한 머신러닝을 이용한 실시간 구조물 안전성 평가 기술을 개발하여 운반-시공 중 부재 및 구조물의 안전성을 확보하고자 함

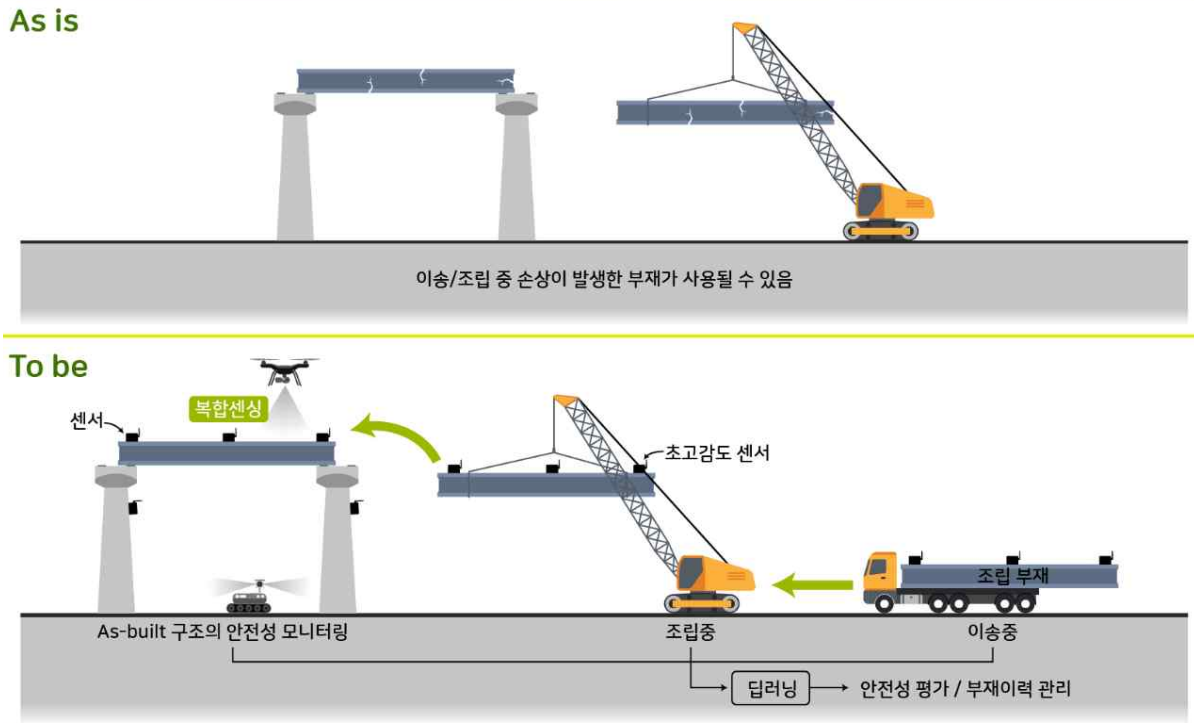
- 유지관리 단계에서 지속적인 활용이 필요한 기능은 매립형 센서로 개발하여 센서의 활용도 및 효율을 향상시키고자 함

<표 4-93> 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
■ 구조물의 프리팹 부재 및 As-built 구조물 접합부의 형상정보 결여 - 프리팹 부재와 As-built 구조물 접합부는 설계도면과 차이를 보이지만 3차원 형상정보가 결여됨 - 프리팹 부재와 As-built 구조물 접합부들의 조립정보(홈 넓이, 홀 직경, 볼트 사이즈 등)는 현장 작업자들이 수동적으로 계측하며, 길이와 같은 1차원적인 정보에 근간함	■ 구조물의 모듈 및 접합부의 3차원 형상정보 계측 - 건설현장에서 프리팹 부재와 As-built 구조물의 접합부의 3차원 형상을 계측하는 기술을 개발하여 조립 직전 형상정보를 파악할 수 있도록 함 - 3차원 형상 정보를 바탕으로 구성된 입체적인 조립정보(면 특성, 3차원 홈 모양 등)를 구축함
■ 주관적인 시공 타당성 판단 방법 - 프리팹 부재 조립시 접합되는 부위의 위치, 접합 방법 등을 현장 작업자가 설계도면 및 육안을 통해 수동적으로 파악함 - 시공 타당성 판단 없이 조립작업을 수행하며, 프리팹 부재와 As-built 구조물의 접합부의 조립특성 불일치로 인해 무리한 조립작업을 수행하거나 조립/수정 과정을 반복함	■ 시공 타당성 판단의 객관화 - 3차원 계측형상을 바탕으로 프리팹 부재를 식별하고, 그에 맞는 As-built 구조물에서의 접합부의 위치, 접합 방법, 조립정보 등을 자동적으로 파악함 - 프리팹 부재와 As-built 구조물의 접합부 사이의 시공 타당성 시뮬레이션을 통해 객관적이고 자동적으로 판단함
■ 구조물 및 프리팹 부재의 이송 및 시공 중 형상변형 모니터링 기술 부재 - 이송 중 발생하는 진동 및 잡음과 같은 노이즈 최소화 및 형상변화 정밀계측이 가능한 센서가 요구됨 - 이송 중 구조물의 형상변형에 따른 실시간 구조 안전성 평가 기술 필요함 - 유지관리 단계까지 계측의 연속성을 확보하여 시공 중 설치된 센서의 활용도 및 효율을 향상시키기 위한 고려가 미흡함	■ 이송 및 시공 중 형상변형 정밀계측용 고감도 센서 개발 및 머신러닝 기반 실시간 구조 안전성 평가 기술 개발 - 구조물 이송 중 발생하는 진동 및 환경요소(대기온도, 습도 등)에 의한 변형 정밀계측에 특화된 맞춤형 고감도 센서를 개발하고자 함 - 구조물의 변형량 및 온도 데이터 정밀 계측과 해석결과를 기반으로 한 머신러닝을 이용한 실시간 구조물 안전성 평가하고자 함 - 유지관리 단계에서 지속적인 활용이 가능토록 하여 센서의 활용도 및 효율을 향상시키고자 함



[그림 4-212] 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 형상관리 기술



[그림 4-213] 복합 센싱정보 기반 도로구조물 시공 중 구조안전 관리 기술

4.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

□ **레이저, 영상 등의 다양한 센서를 활용하여 프리팹 부재의 3차원 형상을 급속/정밀 스캔하는 센서융합형 형상계측 기술**

○ 실측된 프리팹 부재의 3차원 형상을 바탕으로 공장 출하 전 시공성을 즉각 판단하기 위한 시공 시뮬레이션 기술을 개발하고자 함

- 현장에서 As-built 구조의 형상을 자율적으로 스캐닝하는 드론과 형상 계측 센서를 융합한 As-built 구조용 3차원 형상 계측 장비를 개발하고자 함
- 부재 조립 시 시공가능성 및 문제발생 위치를 판단하기 위해 As-built 구조의 3차원 형상 정보를 바탕으로 한 형상이력 관리 기술을 개발하고자 함

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발

□ **프리팹 부재의 지속적인 건전성 판단 및 품질저하 방지를 위해 부재의 운반·시공 중에 발생하는 변형을 센싱하는 초감도 센서 기술**

○ 부재 운반 과정에서 초감도 센서 데이터를 실시간 모니터링하고 안전성을 파악하는 프리팹 부재 안전성 모니터링 기술을 개발하고자 함

- 시공 중 구조적 변화가 계속되는 As-built 구조의 형상을 지속적으로 모니터링하여 시공 안전성을 실시간 판단하는 딥러닝 기반 구조물 안전성 모니터링 기술을 개발하고자 함

(2) 기술개발 목표

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

□ 센서융합형 형상계측 기반 프리팹 부재의 시공성 급속판단 기술 개발

○ 레이저와 영상을 기반으로 구성된 센서융합형 형상계측 장비를 개발하여, 프리팹 구조의 3차원 형상을 급속/정밀하게 계측하는 기술을 개발하고자 함

○ 시공가능성 및 문제발생 위치를 예측하는 3차원 프리팹 형상 기반 조립 시뮬레이션 기술을 개발하고자 함

□ As-built 구조의 형상 맵핑 및 형상 이력 관리 기술 개발

○ 드론을 활용하여 시공 중인 As-built 구조의 형상 맵핑 장비를 개발하고자 함

○ 3차원 프리팹 형상과 As-built 구조 형상 기반 형상 이력 관리기술을 개발하고자 함

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발

□ 초고감도 센서, 딥러닝 기반 프리팹의 건전성 모니터링 기술 개발

○ 초고감도 센서를 이용하여 운반-시공 중 부재·구조물 변형을 지속적으로 모니터링하는 기술을 개발하고자 함

○ 운반 중에 있는 프리팹 부재에 대해 센싱 데이터와 딥러닝을 활용한 실시간 건전성 평가 기술을 개발하고자 함

□ 시공 중 안전성 확보를 위한 구조물 안전성 모니터링 기술 개발

○ 구조물의 형상 이력 정보 기반 시공 중인 구조물의 안전성 모니터링 기술을 개발하고자 함

○ 구조물의 형상 변화와 딥러닝을 활용하여 건설 현장에서 시공 안전성을 판단하는 기술을 개발하고자 함

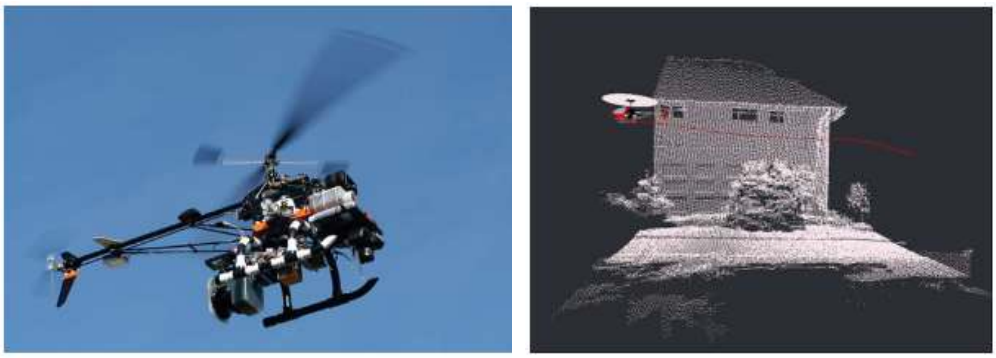
4.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

□ **국외에서는 미국, 일본 및 유럽을 중심으로 레이저, 깊이 측정 카메라(depth camera) 등을 이용하여 사물의 3차원 모델을 구성하는 기초기술을 개발함**

○ 미국 및 독일의 연구진은 레이저를 기반으로 한 헬리콥터 플랫폼을 이용하여 지형 및 주변 구조물의 3차원 모델을 실시간으로 획득할 수 있는 알고리즘을 개발함

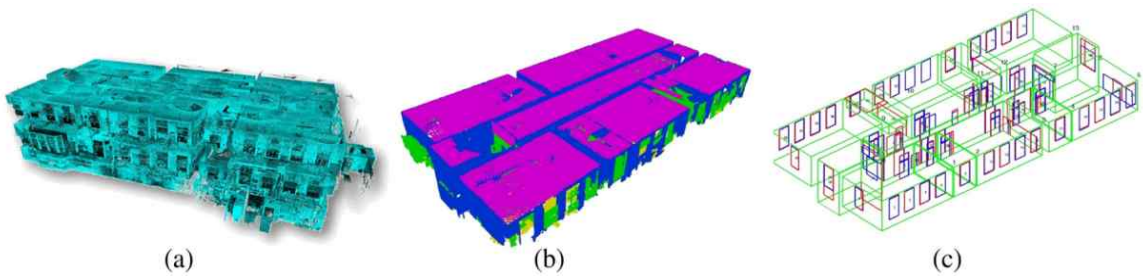
출처: Thrun, S., Diel, M., & Hähnel, D. (2003, July). Scan alignment and 3-D surface modeling with a helicopter platform. In Field and Service Robotics (pp. 287-297). Springer, Berlin, Heidelberg.



[그림 4-214] 헬리콥터 플랫폼(왼쪽) 및 실시간 3D 모델(오른쪽)

○ 스페인 및 미국의 연구진은 다양한 위치에서의 레이저 스캐너로부터 계측된 3차원 데이터(포인트 클라우드 데이터)를 이용하여 구조물의 평면을 추출하고, 머신러닝 알고리즘을 통해 벽, 천장, 바닥 등의 각 요소를 인식하는 알고리즘을 개발함

출처: Xiong, X., Adan, A., Akinci, B., & Huber, D. (2013). Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. Automation in Construction, 31, 325-337.Xiong, X., Adan, A., Akinci, B., & Huber, D. (2013). Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. Automation in Construction, 31, 325-337.



[그림 4-215] 포인트 클라우드 데이터(a)로부터 평면(b) 및 각 구성 요소(c)를 인식하는 알고리즘

○ 독일의 연구진은 입체 배열 이미지를 통해 실시간으로 여러 가지 사물의 3차원 모델링을 할 수 있는 알고리즘을 개발함

출처: Geiger, A., Ziegler, J., & Stiller, C. (2011, June). Stereoscan: Dense 3d reconstruction in real-time. In Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE (pp. 963-968). Ieee.



[그림 4-216] 실시간 3차원 모델링 예시

○ 영국 및 캐나다의 연구진은 대표적인 깊이 측정용 카메라인 Kinect를 사용하여 사물의 3차원 모델링이 가능한 알고리즘을 개발함

출처: Izadi, S., Kim, D., Hilliges, O., Molyneaux, D., Newcombe, R., Kohli, P., ... & Fitzgibbon, A. (2011, October). KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera. In Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology (pp. 559-568). ACM.

○ 포르투갈의 연구진은 레이저 스캐너를 이용해 3차원 모델을 측정할 수 있는 알고리즘을 개발함

출처: Dias, P., Matos, M., & Santos, V. (2006). 3D reconstruction of real world scenes using a low?cost 3D range

○ 벨기에 및 스위스의 연구진은 포인트 클라우드를 기반으로 구조물의 3차원 모델링을 위한 방법론을 제안함

출처: Mathias, M., Martinovic, A., Weissenberg, J., & Van Gool, L. (2011, May). Procedural 3D building reconstruction using shape grammars and detectors. In 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission (3DIMPVT), 2011 International Conference on (pp. 304-311). IEEE.



[그림 4-217] 3차원 모델링 예시

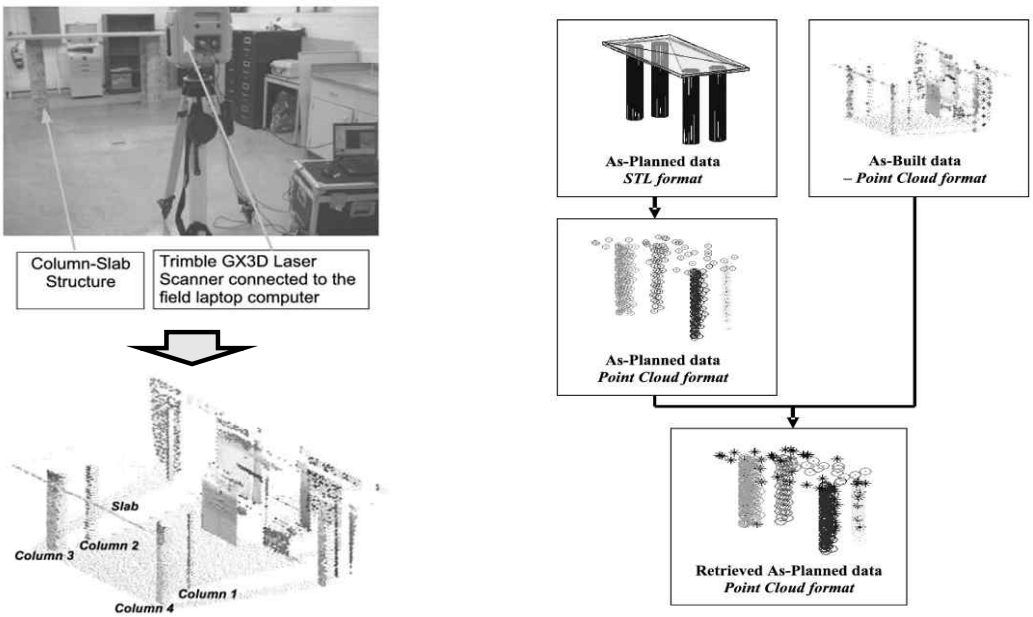
○ 일본의 코마츠사의 경우, 불도저에 ICT 기술을 융합하여 굴착에서 땅고르기까지 조작을 자동화하였음. UAV, 3차원 레이저 스캐너와 중장비에 장착된 카메라를 활용하여 현장을 정밀하게 측량하고, 컨트롤 박스를 이용해 조작의 편리성을 향상시킴



[그림 4-218] ICT기술이 융합된 불도저

○ 캐나다 연구진은 레인지 이미지(range images)로 3차원 CAD 상에서 해당되는 부분을 추출하는 알고리즘을 개발함

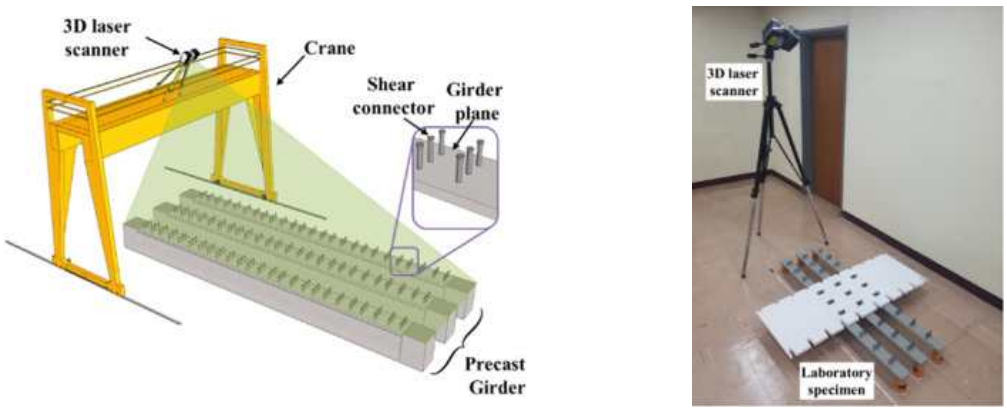
출처: Bosche, F., & Haas, C. T. (2008). Automated retrieval of 3D CAD model objects in construction range images. Automation in Construction, 17(4), 499-512.



[그림 4-219] 실내 모형 교량 스캔 실험(좌) 및 3D CAD상에서의 추출된 객체(우)

○ 국내외 연구진의 국제 공동연구를 통해 레이저 스캐너를 활용한 조립부재 품질 및 시공성 판단 관련 기초 연구가 다수 수행되었음. 국내 및 싱가포르 연구진은 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 프리캐스트 거더 상에 존재하는 전단 접합부(shear connector)의 위치와 크기를 추출하는 알고리즘을 개발함

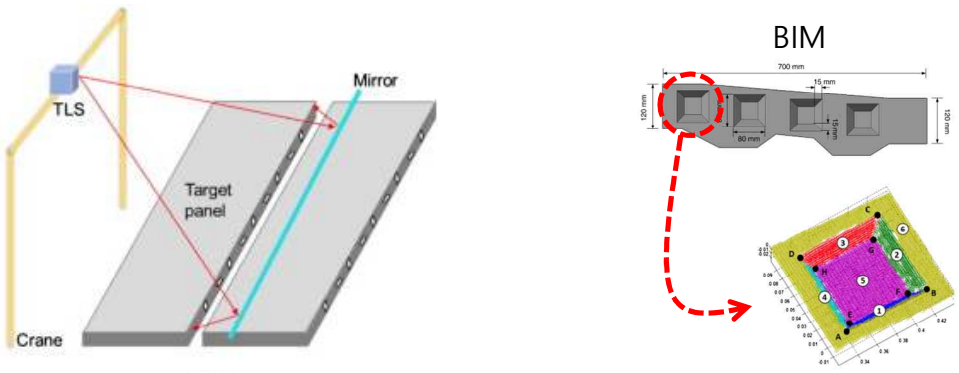
출처: Yoon, S., Wang, Q., & Sohn, H. (2018). Optimal placement of precast bridge deck slabs with respect to precast girders using 3D laser scanning. Automation in Construction, 86, 81-98.



[그림 4-220] 3차원 형상 계측기(좌) 및 실내 검증 실험 모습(우)

○ 홍콩, 영국 및 국내 연구진은 TLS 장비를 활용하여 계측된 조립 모듈을 BIM 모델 정보와 결합하여 형상 정보를 보다 정확하게 모델링하는 기법을 개발함

출처: Wang, Q., Kim, M. K., Cheng, J. C., & Sohn, H. (2016). Automated quality assessment of precast concrete elements with geometry irregularities using terrestrial laser scanning. Automation in Construction, 68, 170-182.



[그림 4-221] TLS 기반 스캐닝 상상도(좌) 및 BIM기반 형상정보 정밀화(우)

○ 일반적인 토목/건축 구조물의 경우 센서를 통한 전반적인 구조건전성 모니터링을 수행하는 연구가 다수 진행되었으나, 조립 시 부재의 품질관리를 위한 계측은 현재까지 집중적으로 연구되지 않은 것으로 판단됨

- 이는 모듈러 시공이 현재 현장에 적용되기 시작한 초기단계이므로 기존 연구가 시공 자동화 등에 주로 초점이 맞추어져 있었기 때문으로 판단됨

- 핀란드와 스페인 연구진은 부재 조립 시 품질관리를 위해 부재의 표면 및 형상정보를 레이저와 카메라로 계측하여 사용하였으나, 이 계측정보는 주로 조립 시 부재의 위치파악을 위해 우선적으로 사용됨

  출처: Vaha, P., Heikkila, T., Kilpelainen, P., Jarviluoma, M., and Gambao, E. (2013), "Extending automation of building construction – survey on potential sensor technologies and robotic applications," Automation in Construction, Vol. 2013, pp. 168-178.

○ 일반적인 콘크리트 부재의 건전성을 평가하기 위해 다양한 센싱 기술들이 개발되었으며, 이 기술들은 조립부재의 운반 및 설치 시의 부재 품질평가에 사용될 수 있을 것으로 판단됨

○ MEMS 기반 온도, 습도, 변형률, 가속도 계측 센서, 변형률 및 부식 계측을 위한 광섬유 센서, 압전 세라믹(piezoceramic) 센서 등이 개발되어 활용되고 있음

출처: Jang, S.A., Jo, H., Cho, S., Mechitov, K.A., Rice, J.A., Sim, S.-H., Jung, H.J., Yun, C.B., Spencer, Jr., B.F., and Agha, G. (2010), "Structural health monitoring of a cable-stayed bridge using smart sensor technology: deployment and evaluation," Smart Structures and Systems, 6(5-6), pp. 439-459.
Rodrigues, C., Felix, C., Lage, A., and Figueiras, J. (2010), "Development of a long-term monitoring system based on FBG sensors applied to concrete bridges," Engineering Structures, Vol. 32, No. 8, pp. 1993-2002.
Song, G., Gu, H., Mo, Y.L., Hsu, T.T.C., and Dhonde, H. (2007), "Concrete structural health monitoring using embedded piezoceramic transducers," Smart Materials and Structures, Vol. 16, No. 4.

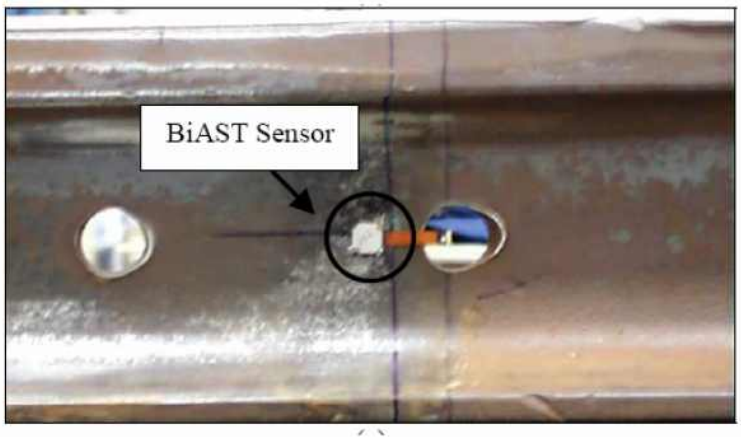
- 스위스에서는 리마트(Limmat)강에 교량을 건설하기 위해 변형률, 경사, 온도를 계측하였으며, 측정 결과로 얻은 변형량과 온도 변화로 인한 변형량이 일치함을 확인하였음

  출처: Inaudi, D., Ruefenacht, A., Von Arx, B., Noher, H. P., Vurpillot, S., & Glisic, B. (2002, June). Monitoring of a concrete arch bridge during construction. In Smart Structures and Materials 2002: Smart Systems for Bridges, Structures, and Highways (Vol. 4696, pp. 146-154). International Society for Optics and Photonics.

- 일본의 아카시 해협대교(Akashi Kaikyo Bridge)의 경우 실시간 모니터링 시스템을 이용하여 풍하중과 지진하중 등 동적응답을 계측하며 교량의 상태를 실시간으로 평가하고 있음

  출처: Sumitro, S., Matsui, Y., Kono, M., Okamoto, T., and Fuji, K. (2001), "Long Span Bridge Health Monitoring System in Japan," Health Monitoring and Management of Civil Infrastructure Systems, Proceedings of SPIE, vol 4337, pp. 517-524.

- 미국 아이오와 대학에서는 MEMS 기술을 응용하여 레일의 2방향 변형율을 계측하기 위해 Biast (Biaxial strain transducer) 센서를 개발함. Biast 센서를 레일의 중요 관리 부위에 설치하여 변형율 시간이력 데이터를 구축한 후, 레일의 피로도를 고려한 유지관리를 수행함. 개발된 센서는 MEMS 센서 기술을 활용하였으나 설치 정밀도가 낮고 신뢰도가 낮은 문제가 발생함



[그림 4-222] 철도 레일에 설치된 MEMS 기반의 Biast 센서

- 미국의 Microstrain사에 개발된 무선 계측센서(Smart structure solution)는 주로 건설 구조물의 유지관리에 활용되고 있음

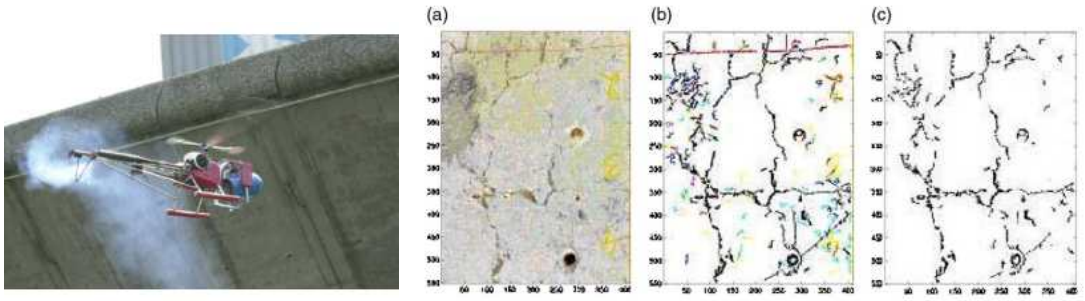


[그림 4-223] Microstrain 사의 교량 모니터링 시스템

○ 국외에서는 드론 (drones)과 같은 무인체의 경로계획, 영상처리, 협동제어, 충돌회피 등의 제어 및 조작에 관한 기술 개발이 활발히 진행되고 있으며, 이를 구조물 상태 모니터링에 활용하려는 연구가 진행되고 있음

- 프랑스에서는 교량의 모니터링 및 유지/관리를 위한 목적으로 무인체의 제어 및 조작에 대한 연구가 진행되었으며, 실제 교량에 적용해 균열을 조사함

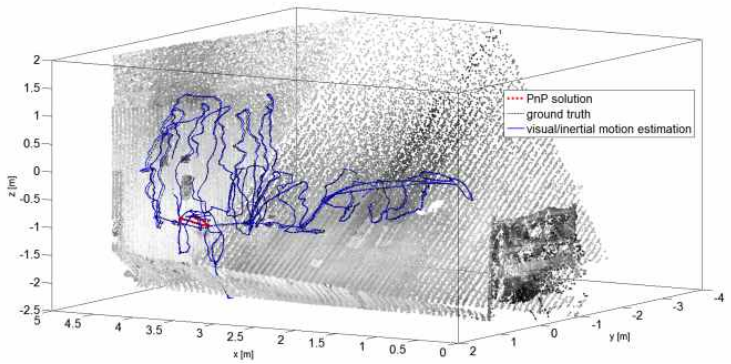
출처: Metni, N., & Hamel, T. (2007). A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits. Automation in construction, 17(1), 3-10.



[그림 4-224] 무인체를 이용한 교량의 균열 감지

- 스위스에서는 인간의 접근이 어려운 밀폐된 산업 시설의 조사를 위해 무인체를 활용하는 연구가 수행되었으며, 외부의 항행 원조(navigation aid) 없이 발전소 보일러 구조물의 내부 형상을 계측하는데 성공하였음

출처: Nikolic, J., Burri, M., Rehder, J., Leutenegger, S., Huerzeler, C., & Siegwart, R. (2013). A UAV system for inspection of industrial facilities. In IEEE Aerospace Conference (AERO 2013). IEEE.



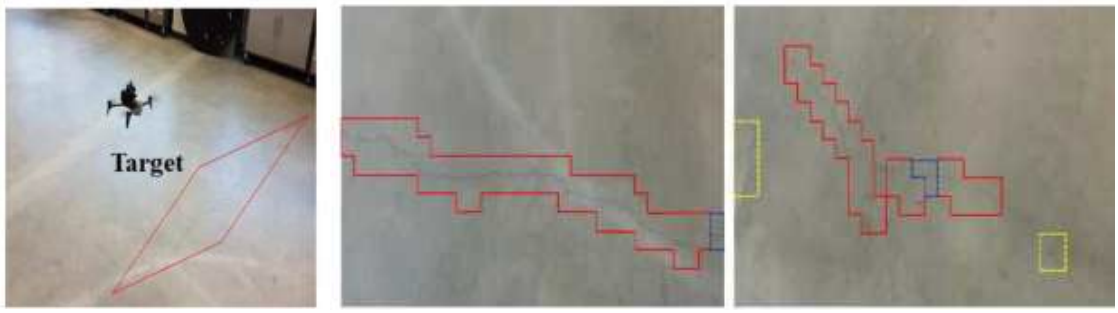
[그림 4-225] 무인체를 이용한 보일러 내부 형상 계측

- 독일에서는 무인체를 이용한 교량의 모니터링 및 손상 감지 기법에 대한 연구가 진행되었으며, 특히 무인체를 통해 획득한 이미지의 처리를 통해 자동으로 교량의 손상을 감지할 수 있는 기술을 개발함

출처: Hallermann, N., & Morgenthal, G. (2014, July). Visual inspection strategies for large bridges using Unmanned Aerial Vehicles (UAV). In Proc. of 7th IABMAS, International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (pp. 661-667).

- 캐나다에서는 초음파 비콘(ultrasonic beacon)을 이용한 무인체를 이용하여 GPS가 사용될 수 없는 환경에서의 콘크리트 구조물의 균열 및 손상을 탐지하는 기술을 개발함. 특히, 무인체를 통해 획득한 이미지에서 구조물의 균열을 탐지하기 위해 딥러닝 기법을 적용함

출처: Kang, D., & Cha, Y. J. (2018). Autonomous UAVs for Structural Health Monitoring Using Deep Learning and an Ultrasonic Beacon System with Geo-Tagging. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 33(10), 885-902.



[그림 4-226] 무인체를 이용한 콘크리트의 균열 감지

□ **최근 딥러닝(deep learning)과 컴퓨터 비전(computer vision)을 융합한 기술들이 중점적으로 개발되고 있으며, 건설현장에 실질적으로 적용되어 우수한 성능을 보여주고 있음**

○ 볼보건설기계(Volvo Construction Equipment)와 카네기 멜런 대학교(Carnegie Mellon University)는 LiDAR 및 카메라를 컴퓨터 비전과 접목하여 중장비 운전자에게 360도 주변 시야를 제공해주는 SiteAware 라는 시스템을 개발함



출처: Equipment World

[그림 4-227] SiteAware 시스템의 중장비 적용 예시

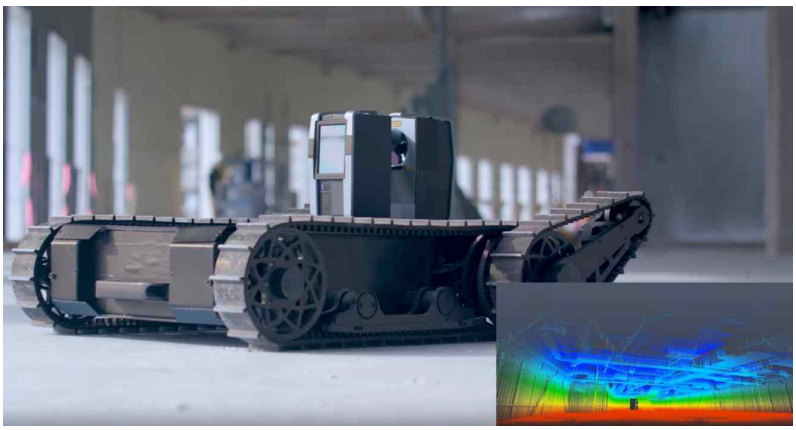
○ 볼보건설기계(Volvo Construction Equipment)는 LiDAR, GPS, 관성측정장비를 컴퓨터 비전과 접목하여 건설현장에서 장비를 운전하는 작업자들의 안전을 위하여 무인 자율주행 트럭(Autonomous Truck)을 개발하고 있음



출처: B_I MEDIEN (https://www.bi-medien.de/)

[그림 4-228] 무인 자율주행 트럭 적용 예시

○ 독일의 로봇 스타트업 '독셀(Doxel)'은 딥러닝 기술과 LiDAR를 이동 로봇에 결합하여 건설 프로젝트 관리용 인공지능 로봇을 개발하였음. 개발한 로봇을 미국 샌디에고에 있는 한 빌딩 건설 현장에 투입해 건설 프로젝트의 진행 상황을 모니터링, 점검한 결과 노동 생산성이 38% 상승한 것으로 나타남



출처: IEEE Spectrum

[그림 4-229] 건설 프로젝트 관리용 인공지능 로봇 '독셀(Doxel)'

○ 세계 2위 글로벌 건설기계 제조사인 일본 고마쓰제작소는 2017년부터 그래픽 처리 장치 및 멀티미디어 장치 제조업체인 엔비디아와 협력하여 영상처리, 시각화 및 인공지능을 활용한 인력, 기계 및 사물의 실시간 상호작용을 나타내는 건설 현장의 3D 시각화 기술을 개발하고 있음

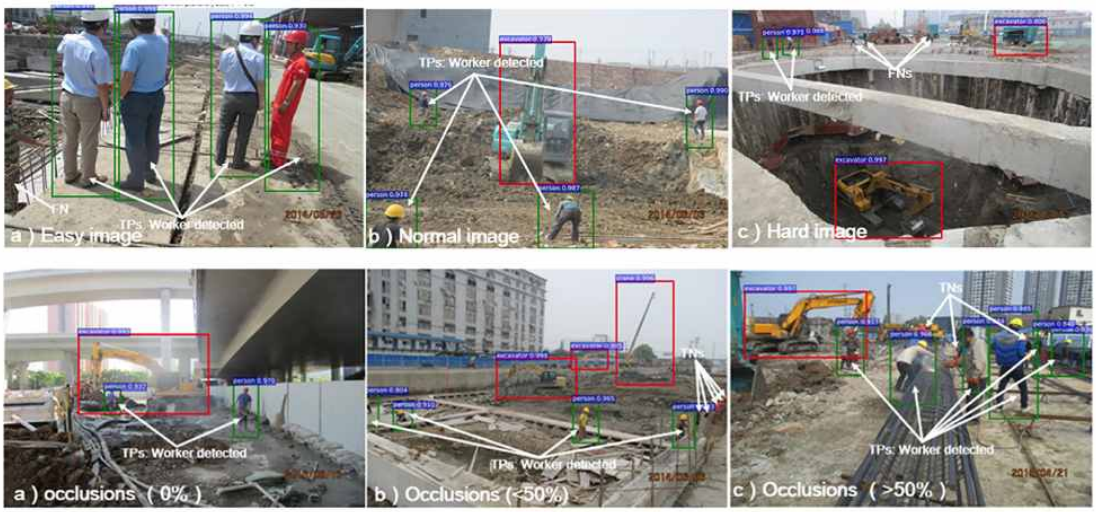


출처: NVIDIA KOREA (https://blogs.nvidia.co.kr/2017/12/13/partnership-with-komatsu/)

[그림 4-230] 건설현장 내 인공지능 도입을 통한 3D 시각화 기술

○ 딥러닝 기술은 식별 능력 및 처리 속도의 급격한 향상으로 실용성이 극대화 되고 있음

- 최근 중국과 호주 연구진은 Improved Faster Regions with Convolutional Neural Network (IFaster R-CNN) 기술을 활용하여 건설 현장에서 근로자, 시공 중인 건설물, 건설 중장비 등을 실시간으로 식별할 수 있는 기술을 개발하여, 딥러닝을 활용한 영상처리 기술은 건설안전 분야를 혁신할 수 있는 잠재력을 가진 것으로 판단됨



[그림 4-231] 건설 현장에서 실시간으로 사물을 식별하는 기술 (Weili Fang et.al., 2018)

○ 건설 산업으로 확대되는 딥러닝 및 컴퓨터 비전 기술은 건설 효율성 증대 뿐 만 아니라 작업자의 안전성 확보 기술까지 포함할 정도로 활용성이 높음



[그림 4-232] 건설 현장에서 안전모를 확인하는 기술 (Mneymneh B.E. et. al., 2018)

(2) 국내 동향

□ **국내에는 레이저 스캐너, LiDAR, 카메라 및 UAV 등의 센서 및 장비를 이용하여 구조물의 3차원 모델링뿐만 아니라 획득한 모델링의 정확도를 높이기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있음**

○ 중앙대학교에서는 스테레오 카메라를 통해 계측된 RGB 정보 및 3차원 데이터를 이용하여 구조물의 3차원 모델링 기법을 개발함

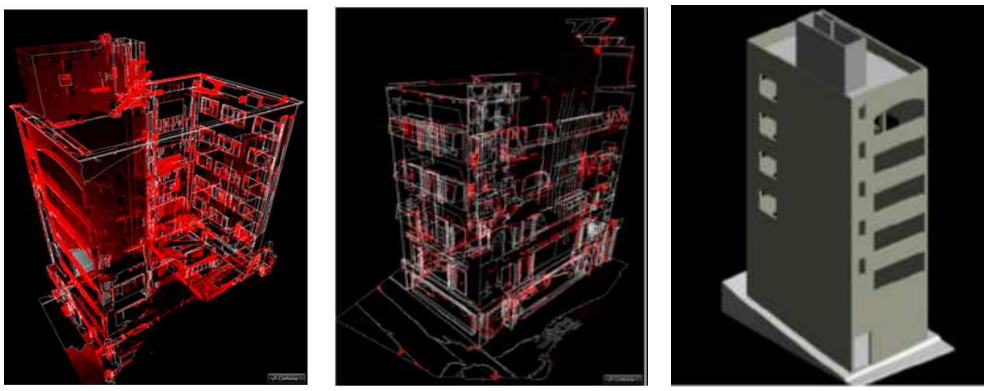
출처: Son, H., & Kim, C. (2010). 3D structural component recognition and modeling method using color and 3D data for construction progress monitoring. Automation in Construction, 19(7), 844-854.



[그림 4-233] 실제 구조물 (좌) 및 구조물의 3D CAD 모델 (우)

- 연세대학교와 경일대학교에서는 RANSAC 알고리즘을 지상 LiDAR로부터 계측된 건물의 포인트 클라우드의 세그먼테이션 과정에 적용하여 보다 정확한 3차원 모델을 획득하는 기법을 개발함

출처: Heo, J., Jeong, S., Park, H. K., Jung, J., Han, S., Hong, S., & Sohn, H. G. (2013). Productive high-complexity 3D city modeling with point clouds collected from terrestrial LiDAR. Computers, Environment and Urban Systems, 41, 26-38.



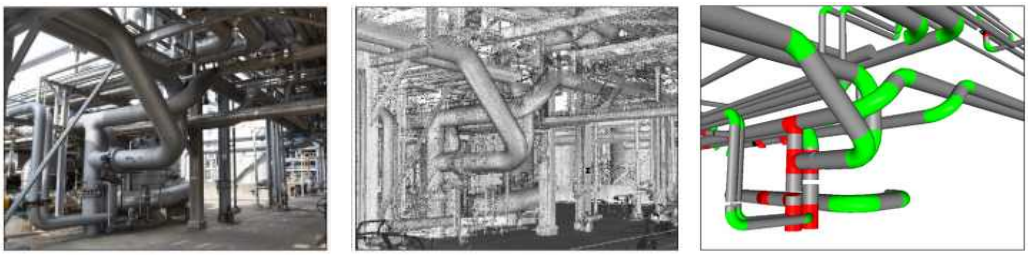
[그림 4-234] RANSAC 알고리즘을 통해 도출된 건물의 3차원 모델

- 연세대학교에서는 AMCW (Amplitude Modulated Continuous Waves) 및 direct TOF 방식의 지상 레이저 스캐너로부터 계측된 3차원 데이터로부터 평면을 추출하고, 작업시간 및 추출된 3차원 모델링의 정확도를 비교/분석하여 지상 레이저 스캐너의 효율성을 제시함

출처: Hong, Seung Hwan, Cho, Hyoung Sig, Kim, Nam Hoo, Sohn, Hong Gyoo. (2015). 3D Indoor Modeling Based on Terrestrial Laser Scanning. JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 35(2), 525-531.

- 중앙대학교에서는 레이저 스캐너를 이용하여 도출된 데이터를 바탕으로 파이프라인을 3차원 모델링하고, straight 파이프, elbow, reducer 및 tee 등의 파이프 구성요소를 분류하는 기술을 개발함

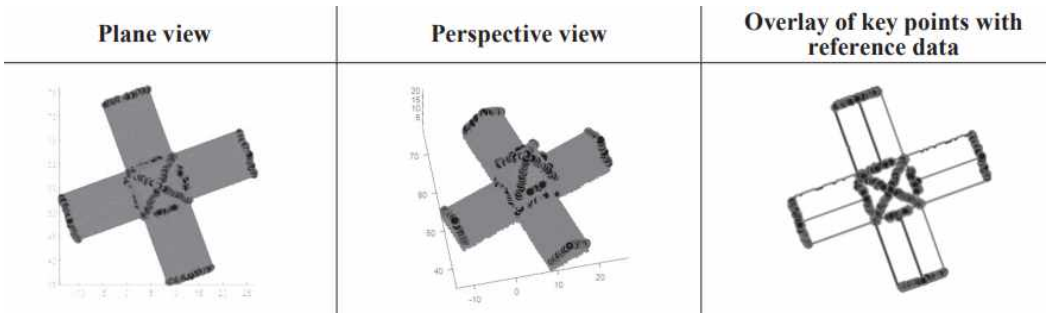
출처: Son, H., & Kim, C. (2016). Automatic segmentation and 3D modeling of pipelines into constituent parts from laser-scan data of the built environment. Automation in Construction, 68, 203-211.



[그림 4-235] 레이저 스캐너를 이용한 파이프라인 3차원 모델링 및 구성요소 분류

□ **보다 신속한 포인트 클라우드의 처리를 위한 연구도 진행 중에 있으며, 세종대학교에서는 LiDAR의 데이터를 분할하는 추가 과정(노이즈 제거, 객체의 종류 및 특성에 따른 데이터 분류, 기하학적 특성 및 동질성에 기반한 데이터 분할 등) 없이 객체를 구성하는 대표적인 특징점을 추출하여 건물의 3차원 모델을 획득하는 방법을 개발함**

출처: Lee, Dae Geon, Lee, Dong-Cheon. (2016). Key Point Extraction from LiDAR Data for 3D Modeling. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 34(5), 479-493.

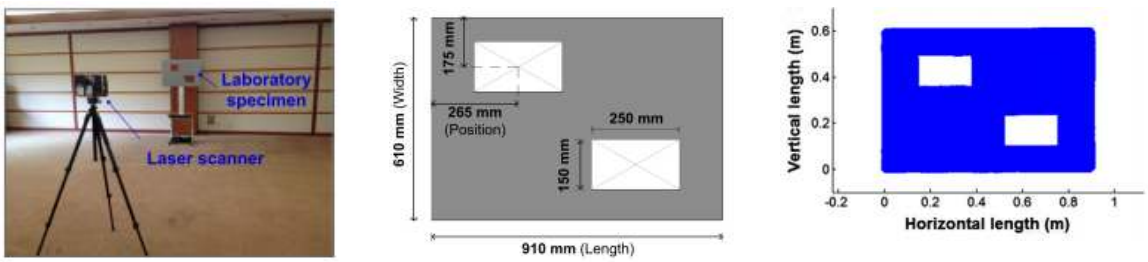


[그림 4-236] 라이다 데이터로부터의 특징점 추출

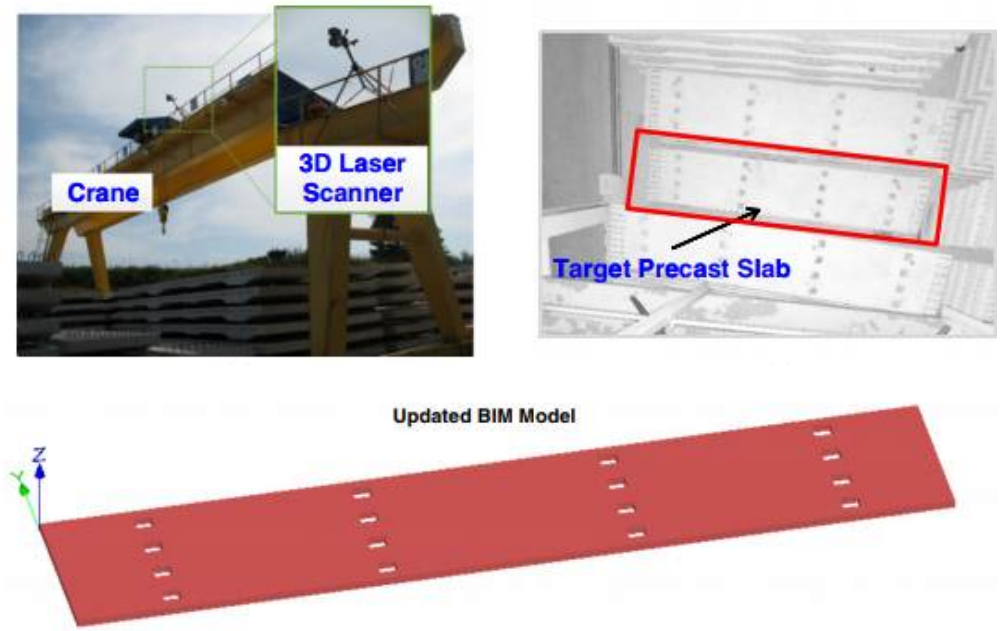
□ **이외에도 획득한 구조물의 3차원 모델링을 바탕으로 구조물의 품질 및 시공성 등을 평가하는 등 다양한 분야에 적용하기 위한 연구가 진행 중임**

○ 한국과학기술원과 홍콩과학기술대학교에서는 레이저 스캐너를 사용하여 프리캐스트 콘크리트 패널의 치수를 측정하는 기술을 개발하였으며, 실제 구조물에 적용하여 성능을 평가함

출처: Kim, M. K., Sohn, H., & Chang, C. C. (2014). Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning. Automation in Construction, 45, 163-177.
Kim, M. K., Wang, Q., Park, J. W., Cheng, J. C., Sohn, H., & Chang, C. C. (2016). Automated dimensional

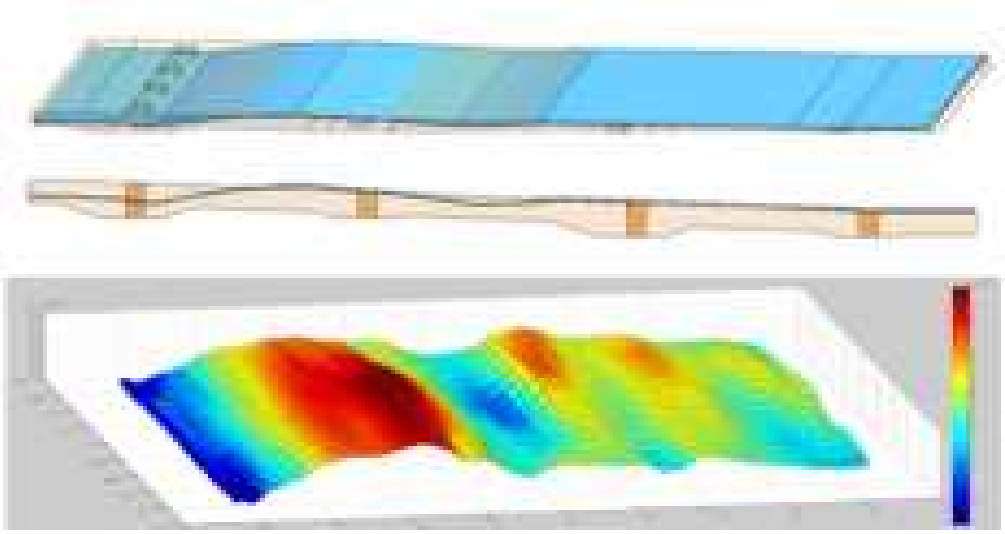


[그림 4-237] 레이저 스캐너를 이용한 콘크리트 패널 및 shear pocket의 3D 모델과 치수 측정



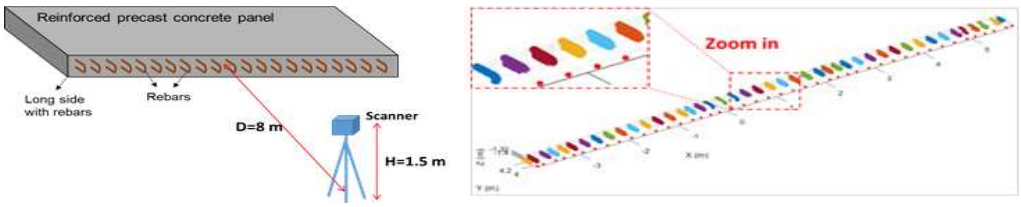
[그림 4-238] 실제 프리캐스트 콘크리트 슬라브의 3차원 모델링

- 레이저 스캐너를 사용하여 조립부재 요소의 뒤틀림과 표면 평탄도를 조사하는 기술을 개발함



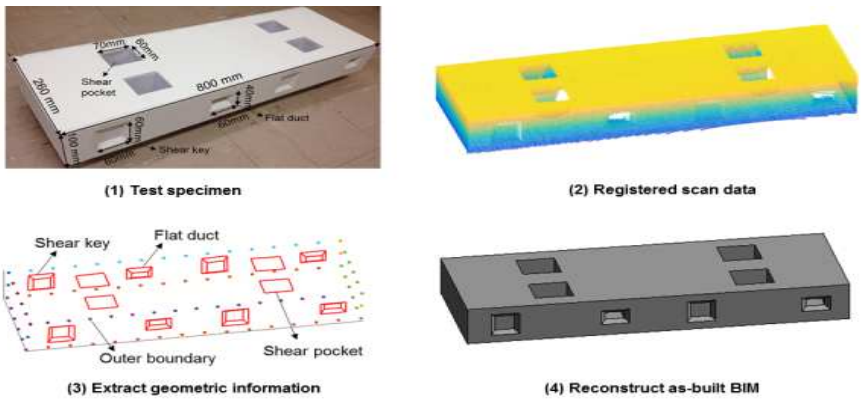
[그림 4-239] 레이저 스캐닝을 이용한 조립부재 뒤틀림과 표면 평탄도 조사

- 레이저 스캐닝을 통해 계측된 좌표와 RGB를 이용하여 조립부재 측면 이음부의 철근 위치 추정 장치 및 알고리즘을 개발함



[그림 4-240] 조립부재 측면 이음부 철근 위치 추정

- 3차원 조립부재의 As-built BIM 생성을 위하여 조립부재의 3차원 계측을 위한 최적 스캐닝 위치 추정 알고리즘을 개발하였으며 다양한 각도에서 계측된 스캐닝 데이터를 정합하여 3차원 As-built BIM을 생성하는 기술을 개발함



[그림 4-241] 레이저 스캐닝을 이용한 3차원 조립부재의 As-Built BIM 생성

○ 국내에서 다양한 모니터링 기술을 이용해 시공 후 구조물에 대한 정보의 계측을 통한 구조물 모니터링에 연구가 많이 집중되고 있으며, 구조물의 이송 및 설치를 모니터링하는 기술 및 빅데이터를 통한 위험성 판단 기술에 대한 연구는 미흡한 실정임

- 현대건설에서 시공했던 낙동강교에서는 안정적인 시공을 위해 시공 중 변형, 기상상태, 경사, 온도에 대한 계측을 하였음

  출처: 김형태, 조남소, 정지만, & 양성만. (2007). 낙동강교 ILM 가설에 따른 시공 중 계측. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 571-576.

- 한국건설기술연구원은 영종대교의 현수교 구간에 무선센서를 부착하여 근거리 및 장거리 통신망 실험을 진행함

  출처: 채명진, 김정렬, 유현석, 박재우, 조문영. (2006). 무선 네트워크를 이용한 실시간 교량 상태 계측. 대한토목학회 학술대회, 3593-3596.

- 대우건설 개발팀은 서해선 4공구의 시공 구조물에 무선 AP, PoE 스위치, CCTV를 설치해 데이터를 수집하고 유선 네트워크로 전송하여 시공자의 안전을 모니터링함

- 충남대학교 토목공학과 연구팀은 PSC 거더의 제작 단계에서부터 긴장력 검증 및 모니터링에 활용 가능한 여러 종류의 로드셀 및 EM 센서를 부착하여 긴장력 측정 정확성을 비교하는 실험을 진행함

○ 도로 및 구조물의 유지관리를 위한 모니터링 기술에 드론을 기반으로 한 무인 검사 방법을 적용하여 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 관련 연구가 진행 중임

- 한국과학기술연구원에서는 도로절토사면 유지관리시스템에 드론을 활용해 붕괴 및 표층유실과 같이 관찰 가능한 위험요소들을 촬영하여 인력의 접근이 어렵고 육안조사의 한계로 파악하기 힘든 위험요소들에 대한 분석기술을 개발함

- 충남대학교에서는 영상·열화상 카메라를 드론에 부착하여 구조물의 외관 균열·파손 모니터링을 통해 구조물의 수명 연장 및 효율적인 유지관리를 위한 상태평가 기술 개발을 위한 연구가 진행 중임

- 한국과학기술원에서는 무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 연구를 수행하여 교량을 대상으로 한 드론 및 IoT 센서 기반의 교량 상태 신속 진단 기술 개발을 목표로 연구가 진행됨. 교량의 외관 상태 진단을 위해 드론 기술을 활용, 검사 인력이 접근하기 어려운 위치를 비접촉식으로 검사하고 구조물의 손상을 정량화하는 연구가 진행 중임



[그림 4-242] 드론을 활용한 비접촉식 구조물 검사

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

□ 센서융합형 형상계측 기반 조립부재 시공성 급속판단 기술 개발

<표 4-94> 모듈/구조물 3차원 정밀 형상 급속 모니터링 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- 3차원 센싱이 가능한 다양한 센서를 이용하여 모델링 하는 연구는 많이 진행되었으나, 3차원 형상정보 계측에 소요되는 시간이 길어 현장 적용성이 낮으며 시공성을 판단하는 기술은 연구되지 않았음	- 레이저 스캐닝을 이용한 조립부재의 형상계측 연구가 진행되었으나, 3차원 형상정보 취득에 소요되는 시간이 길어 레이저 스캐닝 단독으로 현장 적용이 어려운 것으로 판단됨
TRL 단계	4 단계	3 단계
기술성숙도	연구실 규모의 부품/시스템 성능평가 단계	연구실 규모의 기본 성능 평가 단계
주요성능	- 일부 자재에만 사용되지 않고 다양한 부재와 범위에서 상용화를 마친 상태	- 일부의 자재에 사용되지 않고 다양한 부재와 범위에서 상용화를 마친 상태

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공 품질 모니터링 기술 개발

□ 초고감도 센서, 딥러닝 기반 부재・구조물 안전성 모니터링 기술 개발

<표 4-95> 초고감도 센서, 딥러닝 기반 부재.구조물 안전성 모니터링 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	- 현재 교량용 부재 및 구조물을 모니터링할 수 있는 초고감도 센서 기술은 개발 초기 단계이며, 딥러닝을 이용해 시공 중 부재 및 구조물을 모니터링 기술은 연구되지 않았음	- 현재 완공 후 부재 및 구조물의 상태를 모니터링 하는 기술은 존재 하나, 시공 중 평가 기술은 연구된 바 없으며 딥러닝을 이용한 방식 역시 시도되지 않았음
TRL 단계	4단계	3단계
기술성숙도	연구실 규모의 부품/시스템 성능평가 단계	연구실 규모의 기본 성능 평가 단계
주요성능	- 개별적 센서가 개발되어 적용 가능성을 확인하는 상태	- 현재 관련 센서 및 알고리즘에 대한 기본적인 개념만 개발되어 평가하고 있는 상태

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

<표 4-96> 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 형상관리 기술 관련 국내 타 연구과제와의 차별성

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발	국토교통부 (2013-2019)	- LIDAR를 이용해 3차원 형상 정보를 정밀 스캐닝 할 경우, 과도한 시간이 소요되어 실질적인 급속시공을 진행하는데 어려움이 있음	- 레이저 스캐닝과 다양한 영상 정보를 접목시켜(Depth camera, RGB camera) 급속/정밀 모니터링 및 시공성을 효율적으로 판단하고자 함
레이저스캐너를 이용한 구조물의 정밀 삼차원 공간정보취득기술	한국산학연 협회 (2009-2010)	- 레이저 스캐너를 이용, 구조물에 대한 3차원 공간 정보 취득기술을 개발하였으나, 구체적인 활용방안에 대한 토의가 부족함	- 선행과제를 바탕으로 프리캐스트 모듈의 3차원 형상 정보에 대한 정확성을 높이고, 더 나아가 접합부와 시공성을 신속히 판단할 수 있음
USN 기반의 시공안전모니터링시스템 개발 및 적용성 연구	한국연구재단 (2012-2015)	- 가설구조물에 한정되어 시공 전·후 안전성에 대한 시공 안전성을 모니터링함 - 교량 터널 등에 활용되는 대형 구조물의 이송, 설치에 대한 연구는 미진함 - 빅데이터를 활용한 위험성 예측 모델 등에 대한 연구가 전무함	- 다양한 센서를 활용하여 프리캐스트 모듈에 대한 3차원 계측형상 모델을 바탕으로 모델과 접합부 사이의 시공 타당성을 즉각적으로 판단하는 알고리즘을 개발하고자 함 - 선행과제를 참고하여 고감도 모니터링 알고리즘을 개발하고자 함
첨단센서 기반의 대형 건설현장 실시간 시공관리기술 개발	국토교통부 (2009-2012)	- 다양한 첨단센서를 활용하여 각각의 분야에 응용하여 활용하였지만, 정밀 작업에 대한 활용도가 낮음 - 딥러닝을 비롯한 다양한 데이터 처리 기술이 적용되지 않았고 센서 개발에 집중됨	- 신호 처리와 고감도 기술개발을 중점적으로 진행하고자 함
무인 검사장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획	국토교통부 (2015-2016)	- 드론을 기반으로 한 무인검사장비를 활용하여 대형 구조물의 유지관리 시스템에 대한 기초적인 연구를 수행함	- As-built 구조물의 시공타당성을 평가하기 위해서 드론을 활용하여 외관상태를 신속하게 진단하고자 함
무인검사장비 기반 교량구조물 신속진단 및 평가기술 개발	국토교통 과학기술 진흥원 (2018)	- 드론을 활용한 교량 구조물 신속진단 및 평가기술 개발을 위한 연구를 진행하였으나, 교량의 외관진단에 국한됨	- 드론에 레이저 스캐닝 기술을 접목시켜 As-built 구조물의 형상정보를 분석하여 프리팹 부재와 시공적합도를 사전에 평가할 수 있음
영상 시스템 및 무선헬기를 이용한 구조물 상태 평가기술 개발	한국연구재단 (2017-2018)	- 구조물의 효율적인 유지관리를 위해 영상·열화상 카메라와 드론을 활용하였지만, 표면균열 영상정보를 이용한 구조물 손상검출에 국한됨	- 드론에 영상 및 레이저 스캐닝 기술을 적용하여 As-built 구조물의 정확한 형상정보를 분석할 수 있음

4.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-97> 지능형 도로구조물 시공품질 관리기술의 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발 (구성기술 2-3-1)	- (현황 및 문제) 구조물의 부재 및 접합부의 형상정보 결여로 시공 타당성에 대한 판단이 주관적으로 이루어지고, 부재 이송 및 구조물 시공 중 변형 모니터링 기술 부족으로 구조물의 안전성 및 품질에 대한 검토가 이루어지지 못함	- 구조물의 안전성 및 품질 확보를 위해, 부재 및 접합부의 3차원 형상정보를 바탕으로 객관적으로 시공 타당성을 판단하는 기술과, 부재 운반 중 변형 계측에 특화된 맞춤형 고감도 센서 개발 및 머신러닝 기반 실시간 구조 안전성 평가 기술을 개발하고자함
	- (현황 및 문제점) 국내 건설현장의 고유 특성을 고려한 모듈/접합부의 형상 모니터링 기술은 개발되지 않음	- 카메라, 레이저 스캐너, LiDAR 등 다양한 센서가 탑재된 국내 건설현장의 특성에 최적화된 급속/정밀 스캔 플랫폼 개발이 필요함
	- (기존기술의 한계) 기존의 LiDAR를 이용하여 정확도 높은 모듈/접합부의 형상 모니터링을 위해서는 정밀한 수작업이 필요하여 3차원 모델링에 많은 시간이 소요됨	- 급속/정밀 스캔 플랫폼으로 계측된 포인트 클라우드를 활용한 모듈 및 접합부의 3차원 모델 생성 알고리즘 개발이 필요함
	- (현황 및 문제점) 국내 건설현장 조건에 최적화된 체계적인 부재/접합부 시공 관리방법에 대한 검토가 이루어지지 못함	- 3차원 도면 업데이트 및 모듈의 3차원 형상계측을 통해 해당 접합부 위치 정보를 설계도면 상에서 자동으로 도출하는 기술을 개발하고자 함
	- (현황 및 문제점) 3차원 모델 기반의 시공 검토와 관련된 국내 자체 기술이 부족함	- 부재/접합부의 3차원 모델을 기반으로 설계정보 (설계도면, 시방서) 간의 비교/분석을 통해 시공성을 즉각적으로 판단하는 알고리즘을 개발하고자 함
복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 관리 기술 개발 (구성기술 2-3-2)	- (현황 및 문제점) 구조물 이송 중 계측에 특화된 맞춤형 센서는 개발되지 않음	- 맞춤형 특화 센서 개발을 통해 구조물 이송 중에 발생하는 노이즈와 외부 기상조건에 대한 영향을 최소화할 수 있는 센서 개발이 필요함
	- (기존기술의 한계) 기존의 구조물 변형 계측용 센서는 값비싼 가격으로 인하여, 계측에 많은 비용이 소모되어 실용화하기에는 어려움이 있음	- 가격 부담 없이 건설 현장에서 사용이 가능한 저가형 센서 개발이 필요함
	- (기존기술의 한계) 스트레인 센서는 구조물 표면에 부착하기 힘들고 주변 환경의 영향을 많이 받으므로, 정확하지 않은 계측 결과를 얻을 수 있음	- 스트레인 센서를 이용한 변형량 계측뿐만 아니라, 구조물의 국부적인 온도를 계측한 후 변형량을 해석하는 방법도 동시에 실시하여 정밀한 계측 데이터 확보하고자 함

개발내용	한계점	기술개발방향
	- (현황 및 문제점) 이송 중 파손되는 구조물이 어떠한 원인으로 파손되는지에 대한 기반 연구가 부족함	- 구조물 변형 원인 분석을 통해 구조물 이송시의 가이드라인을 제시하고자 함
	- (현황 및 문제점) 구조물 이송 중에 다량의 센서를 이용한 구조물 변형에 대한 정밀 계측 실시가 불가능함	- 최소한의 센서 만을 이용한 머신 러닝 기반의 정밀 계측을 실시하여서, 이송 중 구조물의 안전성을 실시간으로 평가하는 모니터링 기술을 개발하고자 함
	- (현황 및 문제점) 실질적으로 현장 적용을 위해서는 사용자가 편리하게 사용가능한 어플리케이션이 필요함	- 현장에서 실질적으로 이용이 가능한 머신 러닝 기반 실시간 구조물 안전성 평가 어플리케이션을 개발하고자 함
	- (현황 및 문제점) 구조물에 부착하는 형태가 아닌 구조물 시공 시 해당 센서를 영구적으로 매립하여 활용할 수 있는 시공 및 설계기술 개발이 필요함	- 구조물에 부착하는 형태가 아닌 구조물 시공 시 해당 센서를 영구적으로 매립하여 활용할 수 있는 시공 및 설계기술을 개발하고자 함

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

□ 기술개발 필요성

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

○ 프리팹 부재형상의 정밀/급속 스캔 기술 개발이 필요함



[그림 4-243] 제작/운반/시공 시 요구되는 프리팹 부재의 정밀한 3차원 형상이력

- 공장에서 생산되는 프리팹 부재는 다양한 요인으로 인해 제작 오차가 존재함
- 3차원 형상을 공장에서 즉각적으로 스캐닝할 수 있다면 품질 검증 및 부재 거치 시 발생하는 조립 문제를 사전에 예방할 수 있기 때문에, 공장에서 제작된 부재의 3차원 형상을 계측하는 기술이 요구됨

- 부재 운반 시 차량 진동, 비균등 고정 등에 의해 부재의 건전성이 실시간으로 변함
- 최종 건설물의 건전성 확보를 위해서는 부재 운반 전후의 건전성 모니터링이 필요하며, 이를 위해 3차원 형상이력이 요구됨
- 프리팹 부재의 무인화/자동화 조립 프로세스가 효과적으로 이루어지기 위해 조립 이전 부재의 시공가능성 평가가 반드시 필요함
- 자동화 조립 시공이 불가능한 부재를 무인화 시스템이 이를 인지하지 못한 상태에서 조립을 시도할 경우, 공기가 지연되거나 현장작업자의 수작업이 필요하게 되며 안전사고 및 기 건설된 As-built 구조의 손상을 초래할 수 있음
- 자동화 조립 시공에 문제가 있는 부재의 정보를 사전에 취득하여 부재의 수리/교체 등의 조치를 취함으로써 무인화/자동화를 실질적으로 가능하게 함
- 프리팹 부재의 3차원 형상을 바탕으로 부재 제작 시, 부재 운반 시, 부재 거치 시 시공성을 즉각 판단하는 기술을 통해 저품질 부재의 빠른 교체를 도모하고, 시공 시 수작업을 최소화하여 시공 기간을 단축시킬 수 있음
- 따라서 3차원 형상을 바탕으로 부재의 시공 가능성을 즉각 판단하는 기술이 필요함

○ As-built 구조 스캐닝을 통한 시공관리 무인화 기술 개발이 필요함



[그림 4-244] 모듈 조립 시 요구되는 As-built 구조의 3차원 형상이력

- 앞서 기술한 바와 같이 도로구조물의 무인화/자동화 시공을 위해서는 조립 이전 시공성을 판단하는 것이 반드시 필요하며, 이는 프리팹 부재뿐만 아니라 기 건설된 As-built 구조의 형상정보 및 이력관리가 요구된다는 것을 의미함

- 현재의 도로구조물 조립 시공은 상당 부분 현장작업자의 인력에 의존하므로 사전 시공성 판단 프로세스가 없어 실제 모듈 조립 시 문제가 드러남
- 인력에 의한 주관적인 현장 판단에 의해 모듈 거치가 이루어져 최종 구조체의 품질이 불확실해짐
- 또한 거치 실패 시, 현장작업자의 육안검사 등을 통해 문제를 파악하고 부재 또는 As-built 구조의 수정/교체 작업을 수행해야 하므로, 상당한 공기 연장을 초래할 수 있으며 시공무인화 기술의 의미를 퇴색하게 함
- As-built 구조의 형상정보 부재로 인한 부정확한 시공은 작업 중 안전성 문제뿐만 아니라 완공 후 구조물의 내구성 저하를 유발할 수 있으므로, 정확한 형상정보를 계측하고 이를 바탕으로 하는 사전 시공성 판단을 수행함으로써 무인화 시스템의 신뢰성을 보장할 수 있음
- 도로구조물 특성상 As-built 구조의 크기가 상당하므로 지상에서 As-built 구조를 면밀히 측정하는데 한계가 있음. 광범위한 As-built 구조의 3차원 형상을 드론 등의 비행체를 활용하여 스캐닝하는 기술이 필요함

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공 품질 모니터링 기술 개발

○ 이송 중에 있는 부재의 안전성 모니터링 기술 필요



[그림 4-245] 이송중인 프리팹 부재의 건전성 모니터링 필요성

- 프리팹 부재는 제작 이후 구조물로 조립되기까지 이송과정을 거치게 되며, 이 과정에서 차량 진동, 단차 등 지형에 의한 변형, 충격 등의 하중에 노출되어 상당한 변형을 겪을 수 있기 때문에 부재의 품질관리를 위해 건전성을 모니터링하는 기술이 필요함

- 부재 이송 중에 발생하는 과도한 변형에 의한 손상은 최종 구조물의 안전성에 문제를 야기할 수 있기 때문에, 이송 중 부재의 건전성 모니터링과 변형 이력을 관리하는 기술이 필요함
- 기존의 구조물 건전성 모니터링을 위한 센서/알고리즘은 사용 중 시설물을 대상으로 개발되었으나, 이송 중 부재의 경우 경계조건, 하중조건, 실적용을 위한 요구사항 등이 상이하므로 이에 적합한 센서의 개발과 이를 바탕으로 하는 부재의 건전성/품질을 평가할 수 있는 기술 및 기준의 개발이 필요함

○ 시공 중인 As-built 구조의 안전성 모니터링 기술 필요



[그림 4-246] 시공 중인 As-built 구조의 안전성 모니터링 필요성

- 시공 중인 As-built 구조의 안전성 및 품질을 평가하는 기술이 필요함. 구조 붕괴 시 발생하는 인명 사고, 크레인 전도 사고는 심각한 인재로 사전에 예방이 필수적임
- 또한 붕괴된 구조물을 수거하는 비용, 구조물 재생산 비용, 구조물 재설치 비용, 재설치로 인한 공기 연기 등 경제적 손실도 발생함
- 따라서 구조 붕괴 사고를 사전에 예방할 수 있도록 시공 중인 As-built 구조의 실시간 안전성 모니터링 기술 개발이 필요함
- 구조물 안전성을 실시간 정밀하게 분석하는 기술이 필요함. 구조물 안전성 검사는 실시간으로 수행되어 건설인력에게 사고 대피 시간을 마련할 수 있도록 해야 함
- 또한 미소한 사고 유발 인자도 감지할 수 있도록 정밀한 안전성 검사 기술이 요구됨
- 따라서 실시간 구조물의 안전성 정밀 검사 기술이 필요함

- 센서 손상 감지 기술이 필요함. 시공 현장의 특성상 기상악화에 의해 센서의 감도, 성능 등이 시시각각 변하며, 최악의 경우 센서 손상을 유발함
- 또한 종합적인 관리가 불가능한 건설 현장 특성상 건설 인력, 건설 장비에 의해 센서가 손상됨. 구조물 안전성은 매우 중요한 사안으로 센서 손상으로 인한 붕괴 조짐 미탐지는 심각한 재해를 유발함. 따라서 안전한 구조물 안전성 모니터링을 위해 센서 손상을 스스로 감지하는 기술이 요구됨
- 부재 구조물의 안전성 이력을 관리하는 기술이 필요함. 부재마다 생산, 이송, 거치, 조립 과정이 달라 서로 다른 안전성 이력을 보임
- 건설 관리자가 손쉽게 안전성을 관리할 수 있도록 부재 생산부터 조립 후까지의 부재 구조물의 안전성 이력을 관리하는 기술이 요구됨

□ **개발내용**

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

○ 공장에서 도로구조물 프리팹 부재 및 As-built 구조의 시공 중 급속 형상계측 기술을 개발하고자 함

- 공장에서 생산되는 프리팹 부재의 3차원 형상을 계측하는 플랫폼을 개발
- 레이저/영상 등 다양한 센서들을 핵심적인 위치에 설치하여 구성된 플랫폼으로 단시간에 도로구조물용 모듈들의 3차원 형상을 계측하는 기술을 개발
- 3차원 형상계측 플랫폼으로 계측된 다양한 데이터로 정밀한 3차원 형상 정보를 추출하는 알고리즘 개발 및 플랫폼에 설치된 센서들의 위치, 성능, 정밀도 등을 포괄하여 최적의 3차원 형상 정보를 배출하는 알고리즘을 개발
- 프리팹 부재의 3차원 형상정보와 시공서 상의 도면을 통해 제작 품질을 스스로 수치화하는 기술을 개발
- As-built 구조의 형상을 계측하는 드론 스캐너 개발, 광범위한 건설 현장을 최적의 루트로 비행하여 As-built 구조의 3차원 형상을 급속 계측하는 기술을 개발

○ 형상계측 정보 기반의 도로구조물 시공가능성 급속판단 기술을 개발

- 프리팹 부재의 3차원 형상정보에서 조립 부위의 위치와 종류를 스스로

탐색/관리하는 기술 개발 및 이를 활용하여 부재조립 전 시공성을 판단할 수 있는 조립 시뮬레이션 기술을 개발

- 부재 조립 전후 프리팹 부재와 As-built 구조의 3차원 형상정보를 토대로 시공가능성 및 조립정확도를 수치적으로 계산하는 기술을 개발
- As-built 구조의 형상 정보를 축적하여 설계 형상과 As-built 구조 형상의 비교를 통한 시공이력을 관리하는 기술을 개발
- 시공 단계별로 스캐너를 통해 As-built 구조의 형상을 스캔하며, 이를 축적하여 형상 변화 이력을 관리할 수 있는 기술을 개발

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공 품질 모니터링 기술 개발

○ 프리팹 부재의 운반/시공 중 이력관리 및 구조 건전성 판단을 위한 초고감도·저가형 센서 활용 및 딥러닝 기반 모니터링 기술

○ 프리팹 부재의 운반/시공 과정에서 생기는 구조건전성 판단 기술

- 본 기술은 부재에 발생하는 미소한 품질 저하를 모니터링하는 기술로 차량 진동/바람과 같은 큰 진동 속에서도 품질 저하에 의한 미소한 데이터 변화를 감지할 수 있는 초고감도 센서 활용 기술을 개발

○ 효율적인 센서 토폴로지를 판단하는 기술

- 프리팹 부재의 3차원 형상정보 및 구조적 특성을 바탕으로 소수의 센서로 대표적으로 일어나는 손상들을 정밀하게 감지할 수 있는 센서 토폴로지 기술을 개발

○ 실시간으로 센싱 데이터를 처리할 수 있는 실시간 구조건전성 판단 알고리즘 개발

- 다양한 센싱 데이터로 실시간 데이터 처리를 위해서는 효율적인 데이터 처리 알고리즘이 필요하며, 단시간 건전성을 판단하는 알고리즘이 필요함
- 본 기술은 다양한 센싱 데이터 및 딥러닝을 활용하여 프리팹 부재의 구조적 건전성을 실시간으로 판단하는 기술을 개발

○ 도로구조물 시공 중 안전성 확보를 위한 As-built 구조의 시공 중 형상 기반 시공품질 모니터링 기술 개발

- 시공 중 As-built 구조의 형상계측 데이터와 딥러닝을 활용한 변형 예측, 이상 상태 판정 등 시공품질 모니터링 기술 개발

○ As-built 구조의 형상 이력정보를 바탕으로 시공 중인 구조물의 안전성을 모니터링하는 기술 개발

- 시공 시에는 부재 생산 오차와 조립 오차가 존재하며, 이러한 오차는 최종 구조물의 안전성 저하 및 시공 중인 구조물의 안전성을 저하시킴. 따라서 형상 이력정보를 바탕으로 시공의 정확도를 분석하고, 시공 이력에 따른 구조물 안전성을 모니터링하는 기술을 개발

○ 구조물 안전성 모니터링 기술로 활용되는 센서들의 손상 감지 기술 개발

- 센서는 기상 및 건설 현장의 상황에 따라 감도와 성능이 시시각각 변함
- 최악의 경우 센서 손상으로 이어지며, 센서 손상은 곧이어 구조물 안전성 모니터링의 신뢰도를 떨어뜨림
- 따라서 다양한 센서와 센서 토폴로지를 바탕으로 센서들의 손상을 감지하여 구조물 안전성 모니터링의 신뢰도를 향상시키는 기술을 개발

□ 개발목표

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발	프리팹 부재의 형상 계측 시간[1] (교량 바닥판 표면적 50㎡ 기준)	30분/부재	30분/부재	15분 이내/부재	●		
	프리팹 부재의 형상 계측 오차[2]	± 3mm	± 3mm	± 2mm 이내	●		
	조립 전 시공성 판정시 문제발생 위치 예측 정확도[3]	-	-	95% 이상	●		

1) 조립 전 프리팹 부재의 3차원 형상을 계측할 때 소요되는 시간을 의미
2) 조립 전 프리팹 부재의 실제 형상과 계측된 형상의 차이를 의미
3) 조립 전 As-built 구조 및 프리팹 부재의 형상기반 시공성 판정 시, 시공/제작 오차 등으로 인해 조립을 불가능하게 만드는 부분의 위치 예측 정확도를 의미

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발	초고감도·저가형 센서의 변형 측정 감도 (Gauge factor[4])	5	10	30 이상	●		
	딥러닝 기반 As-built 구조물 변형 예측 오차[5]	-	-	± 2mm 이내	●		

4) 변형 센서의 민감도를 나타내는 지표로서 저항변화률/변형률로 산출(수치가 커질수록 변형에 민감)
5) As-built 구조의 변형 예측값과 실제 변형값을 비교

□ 개발목표의 설정 근거

(구성기술 2-3-1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

○ 3차원 형상 계측 속도의 최고 기술수준은 정밀 스캔 시 부재 당 30분이며, 계측 속도를 2배 향상을 목표로 하고 있음

- 개발되는 프리팹 부재의 3차원 형상 계측 기술은 다중 센서 사용을 통해 계측 속도를 2배 증가시킬 수 있음

○ 본 기술의 목적은 중소형 도로구조물의 건설 자동화임

- 레이저 스캐너 사용 시 부재 계측 정밀도는 3mm 수준으로 보고되고 있으며, 레이저 스캔과 영상정보를 융합하여 정밀도를 2mm 수준으로 개선하는 것을 목표로 함1

○ 레이저 스캐너, 영상장비 등을 통해 프리팹 부재의 형상을 계측하는 연구는 진행되고 있으나, As-built 구조의 정밀 형상계측 정보를 바탕으로 조립시공성을 시뮬레이션하고 문제발생위치를 예측하는 수준의 연구개발은 수행되지 않았음. 본 기술은 95% 정밀도를 목표로 함

(구성기술 2-3-2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발

○ 프리팹 부재 및 As-built 구조의 1mm 이내의 형상 정밀도를 유지하기 위해서는 Gauge factor 30 이상의 변형 측정 감도가 필요함

○ 딥러닝 기반 As-built 구조물 변형 예측 오차를 2mm 이내 수준으로 함

□ 연구 성과물 목록

<표 4-98> 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 관련 연구 성과물(시제품) 목록

No	시제품명	관련 개발내용	시기
1	프리팹부재 급속 형상계측 시스템(H/W, S/W)	형상관리 및 시공성 급속판단 기술 개발	3차년도
2	As-built 구조 형상맵핑 및 형상관리 시스템(S/W)	형상관리 및 시공성 급속판단 기술 개발	4차년도
3	시공성 판단을 위한 형상기반 조립 시뮬레이션 시스템(S/W)	형상관리 및 시공성 급속판단 기술 개발	5차년도
4	프리팹 부재 계측용 저가형/초고감도 센서(H/W)	복합 센싱정보를 이용한 도로구조물의 시공 중 구조안전 관리 기술 개발	4차년도
5	프리팹 부재 이송 중 변형이력/건전성 관리 S/W	복합 센싱정보를 이용한 도로구조물의 시공 중 구조안전 관리 기술 개발	4차년도
6	도로구조물 시공 중 안전성 모니터링 시스템(S/W)	복합 센싱정보를 이용한 도로구조물의 시공 중 구조안전 관리 기술 개발	4차년도

4.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

<표 4-99> 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 선행연구 과제의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
레이저스캐너를 이용한 구조물의 정밀 삼차원 공간정보취득기술	한국산학연협회 (2009~2010)	다방향 삼차원 공간정보 취득을 위한 360도 매칭/처리기술 개발 및 정보 취득의 정확도 향상을 위한 알고리즘 개발	- (기존 연구) 레이저 스캐너를 이용한 구조물의 3차원 공간정보 취득기술 개발에 국한됨 - (구성 기술 2-3-1) 프리팹 부재의 3차원 형상정보 계측기술 개발에 국한된 기존 연구와 달리 본 기술은 모듈의 시공성 여부까지 판단할 수 있다는 점에서 차별성이 있음
			- (연계성) 모듈/구조물 3차원 정밀 형상 급속 모니터링 기술과 연계할 수 있음
영상장비와 레이저를 이용한 교량의 장기 모니터링 기술 개발	한국건설교통 기술평가원 (2017~2018)	영상장비와 레이저 포인터를 이용한 교량 변위 장기 모니터링 시스템 개발	- (기존 연구) 영상장비와 레이저를 이용한 장기변위 계측시스템 개발로 국한됨 - (구성 기술 2-3-1) 장기변위 계측 시스템 개발로 구조물의 3차원 형상계측 기술과 기술 개발 목적에 차이가 있음
			- (연계성) 모듈/구조물 3차원 정밀 형상 급속 모니터링 기술과 연계할 수 있음
긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 기술 개발	세종대학교 산학협력단 (2018~2019)	PS 강재 긴장력 모니터링용 스마트 콘크리트 정착구 기술 개발	- (기존 연구) PSC 교량에서 손상을 자가 감지하는 정착구 기술 개발에 국한됨 - (구성 기술 2-3-1) 콘크리트를 이용한 스마트 정착구 개발로 기술 개발 방식에 차이가 있음
			- (연계성) 정착구 개발 기술로 3차원 형상기반 안전성 평가기술과 연계 어려움
무인 검사장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획	국토교통부 (2015-2016)	무인검사장비를 활용한 대형 사회기반시설물(교량) 안전성 진단 및 원격 유지관리 시스템 개발에 대한 연구	- (기존 연구) 구조물의 유지관리를 위한 기술로 드론을 이용해 구조물 표면 영상정보 처리에 집중함 - (구성 기술 2-3-1) As-built 구조물의 형상정보를 바탕으로 시공성을 평가하기 위한 기술 개발로 드론을 이용해 얻는 정보에 차이가 있음
			- (연계성) 드론을 활용하여 얻은 As-built 구조물의 형상 정보를 얻을 수 있음

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
무인검사장비 기반 교량구조물 신속진단 및 평가기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (2018)	드론을 활용한 교량 구조물 신속진단 및 평가기술 개발을 위한 연구를 진행하였음	- (기존 연구) 교량의 외부검사를 위해 드론이 활용되었으며 표면의 균열을 진단하는데 국한됨 - (구성 기술 2-3-1) As-built 구조물의 형상정보 분석에 초점을 둠
			- (연계성) 레이저 스캐닝 기술을 드론에 접목시켜 As-built 구조물의 형상정보를 취득하여 프리팹 부재와 시공적합도를 평가하는 기술에 연계할 수 있음
첨단센서 기반의 대형 건설현장 실시간 시공관리기술 개발	한국건설교통기술평가원 (2009~2012)	첨단센서를 활용한 건설자원 관리기술 및 실시간 건설공사 통합관리 시스템 개발	- (기존 연구) 첨단센서를 활용하여 건설현장 전체의 통합관리시스템을 개발하는 데 초점을 맞춤 - (구성 기술 2-3-2) 본 기술은 부재/구조물의 안전성 모니터링 기술을 개발한다는 점에서 모니터링 대상에 차이가 있음
			- (연계성) 부재/구조물 안전성 모니터링 시스템 개발과 연계할 수 있음
PSC 교량의 스마트 긴장력 관리 및 고품질 그라우트 기술 개발	한국건설기술연구원 (2013~2015)	PSC 교량의 스마트 긴장력 관리기술, 기존 PSC 교량의 텐던 상태평가기술, PSC 교량의 공극제로 그라우팅기술 개발	- (기존 연구) FBG 광섬유 센서를 기반으로 한 텐던 상태평가 기술로 국한됨 - (구성 기술 2-3-2) 비접촉식으로 건설 부재의 상태평가를 수행해야 하므로 기존 연구와 개발기술 성능에 차이가 있음
			- (연계성) 3차원 형상을 이용하지 않으므로 연계가 어려움
SOC 시설물 재해 ·재난 방지를 위한 자가센싱 섬유보강 시멘트 복합재료 기반의 스마트 모니터링 시스템	세종대학교 산학협력단 (2016~2018)	자가센싱 섬유보강 시멘트 복합재료를 이용한 구조물 건전도 모니터링 시스템 개발	- (기존 연구) 자가센싱 섬유보강 시멘트 복합재료 개발을 목적으로 함 - (구성 기술 2-3-2) 복합재료 개발이 아닌 3차원 모듈 형상 계측기술 개발이므로 기술개발 대상에서 기존 연구와 차이가 있음
			- (연계성) 3차원 형상기반 안전성 평가기술과 연계가 어려움

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
USN 기반의 시공안전모니터링시스템 개발 및 적용성 연구	한국연구재단 (2012~2015)	시공 안전성 확보를 위한 시공 전·후 가설 구조물의 거동에 대한 모니터링 기술 개발	- (기존 연구) 다양한 센서와 USN 기술을 적용하여 시공안전성 모니터링 기술을 개발하였으나 그 대상이 가설 구조물로 국한됨 - (구성 기술 2-3-2) 모든 모듈/구조물을 대상으로 시공안전성 모니터링을 한다는 점에서 기존 연구와 차이가 있음
			- (연계성) 시공 타당성 분석 시 구조물의 안전성 파악 기술과 연계할 수 있음
영상 시스템 및 무선헬기를 이용한 구조물 상태 평가 기술 개발	한국연구재단 (2017-2018)	구조물의 효율적인 유지관리를 위해 영상·열화상 카메라와 드론을 활용해 표면 영상 정보를 취득하고 영상처리기법을 이용해 손상 검출 및 구조물 상태평가 기법에 관한 연구를 진행함	- (기존 연구) 구조물 표면 영상정보 습득 기술 개발에 국한됨 - (구성 기술 2-3-2) 프리팹 부재, As-built 구조물에 대한 상태평가 기술로 연구 목적에 차이가 있음
			- (연계성) 드론을 활용한 As-built 구조물의 안전성 모니터링 기술과 연계할 수 있음

4.8 민간기술과의 차별성·연계성

<표 4-100> 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 관련 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	3차원 스캐너를 사용한 건설 구조물 모니터링 장치 및 방법	인하대학교 산학협력단	3차원 스캐너를 사용한 건설 구조물 모니터링 장치 및 방법	- (보유기술) 3차원 스캔 데이터에 기초하여 건설 구조물을 모니터링하는 장치 및 기술을 보유함 - (구성 기술 2-3-1) 3차원 스캔뿐만 아니라 스캔된 접합부 및 구조체의 정보를 기반으로 건설 현장의 시공 정확도와 일정 지연 여부를 판단하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 모듈과 접합부의 3차원 형상계측 기술에 연계할 수 있음

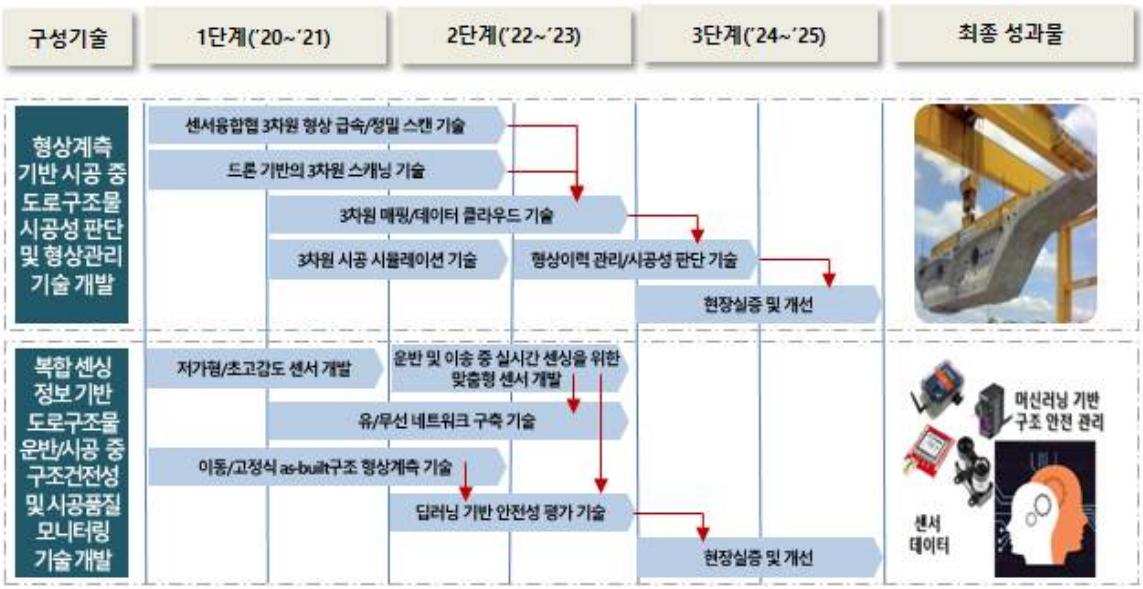
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
2	처짐 측정기술 및 다양한 적용	한국건설기술연구원	광섬유 변형률 센서를 이용한 교량 처짐 추정	- (보유기술) 광섬유 변형률 센서 기반 교량 처짐 추정하는 기술을 보유함 - (구성 기술 2-3-1) 시공 중 접합부 및 구조체의 변형률을 고가의 광섬유 센서가 아닌 자체적으로 개발한 저가형 센서를 통해 실시간으로 측정하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 구조물 주요 위치에서의 변형률 및 처짐 정보에 활용에 연계할 수 있음
3	무선센서플랫폼 제작 기술	위드로봇(주)	RF 통신을 이용한 교량 모니터링 기술	- (보유기술) RF 통신 기반의 무선 교량 모니터링 기술을 보유함 - (구성 기술 2-3-1) 실시간 모니터링뿐만 아니라 현재 시공 가능성을 자체적으로 판단하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 시공 중 접합부 및 구조체에서 측정된 다중물리량을 실시간으로 취득하기 위한 RF 통신 기법에 응용 가능함
4	3차원 레이저 스캐닝을 이용한 프리캐스트 콘크리트 형상 관리 장치 및 방법	한국과학기술원	3차원 레이저 스캐닝을 이용한 프리캐스트 콘크리트 형상 관리 장치 및 방법	- (보유기술) 프리캐스트 콘크리트 부재의 형상 관리 기술을 보유함 - (구성 기술 2-3-1) 3차원 레이저 스캐닝을 이용한 프리캐스트 콘크리트의 형상 정보를 추출하고 설계 형상과 비교하여 시공성을 평가하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 3차원 형상정보 관리기술과 연계할 수 있음
5	소형무선센서 묘듈 제작	스마트제어계측	소형 무선 센서 제작 기술	- (보유기술) 소형 무선 센서 제작 기술임 - (구성 기술 2-3-1) 작은 크기의 고효율 무선 센서를 통해 시공 중 접합부 및 구조체의 물리량을 취득하는데 유사성이 있으나, 후에 이를 바탕으로 시공 가능성을 판단하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 소형센서 무선통신시스템과 연계할 수 있음
6	무선 전송 모듈 제작	㈜한국유지관리	무선 데이터 전송 모듈	- (보유기술) 기존의 부착형 스트레인 센서에서 측정한 데이터를 무선으로 전송하기 위한 모듈 기술을 보유함 - (구성기술 2-3-1) 자체적으로 개발한 저가형 센서를 이용하여 시공 중 접합부 및 구조체의 변형률을 실시간으로 측정하고 이를 시공성 판단에 이용하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 무선 데이터 전송 모듈 기반으로 통신 기술 개선에 연계할 수 있음

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
7	다목적 특수 자율비행드론	㈜엘에스웨어	다목적의 자율비행 산업용 드론	- (보유기술) 특수목적용/산업용 드론으로 수동 비행, 자율 비행이 가능하며 실시간 제어가 가능한 시스템을 보유함 - (구성 기술 2-3-1) 드론으로 촬영된 영상정보를 활용하여 As-built 구조물을 스캔하고 3차원 정보를 습득하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 영상정보를 취득하기 위한 자율비행 기술에 연계할 수 있음
8	영상 인식 기반의 소형 무인 항공기	아이디어 주식회사	영상 인식 기반의 자율 비행이 가능한 소형 무인 항공기	- (보유기술) 조정기가 따로 필요 없이 사용자를 지정하면 자율 비행을 통해 사진이나 비디오를 녹화하는 기술을 보유함 - (구성 기술 2-3-1) 무인 항공기로 취득한 정보를 통해 3차원 정보를 구축하고 이를 통해 시공성을 판단하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 자율비행기술 및 통신시스템에 연계할 수 있음
9	강체링크를 고려한 구조물 안전성 평가방법 및 그 평가 시스템	연세대학교 산학협력단	강체링크를 고려한 구조물 안전성 평가방법 및 그 평가 시스템	- (보유기술) 구조물 건전도 모니터링 기술을 이용해 구조물 안전성을 평가하는 기술을 보유함 - (구성 기술 2-3-2) 영상기반 모니터링 시스템을 통해 구조물의 변형 전후 좌표 정보 습득 후 계측된 변형률을 바탕으로 변형 형상을 추정하고 구조물의 안전성을 평가하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 영상기반 접합부 및 구조체의 좌표 정보 측정기술과 연계할 수 있음
10	레이저 스캐너를 이용한 플랜트 구조물의 품질 및 시공성 검사방법	플랜트에셋 주식회사	레이저 스캐너를 이용한 플랜트 구조물의 품질 및 시공성 검사방법	- (보유기술) 3차원 캐드 모델과 형상 정보를 비교하여 플랜트 부재의 품질을 평가하는 기술을 보유함 - (구성 기술 2-3-2) 3차원 캐드 데이터와 레이저 스캐너를 이용한 3차원 형상 데이터를 비교하여 플랜트 구조물의 품질검사 및 3차원 현장 데이터를 비교한 구조물의 시공성을 평가하는 데 차이가 있음
				- (연계성) 3차원 모델 및 레이저 스캐닝 정보 비교 기술과 연계할 수 있음

4.9 구성기술 로드맵



[그림 4-247] 지능형 도로구조물 시공품질 관리기술 추진로드맵



[그림 4-248] 지능형 도로구조물 시공품질 관리기술 성과로드맵

4.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 47.49억 원/6년(3단계) 중 (국고) 34.54억 원, (민자) 12.95억 원으로 구성

(단위: 백만원, 개)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-3-1. 형상계측 기반 시공 중 도로 구조물 시공성 판단 및 형상 관리 기술 개발	정부	265	356	311	312	348	348	1,940
	민간	99	134	117	117	130	130	727
	소계	386	520	454	455	507	507	2,829
2-3-2. 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발	정부	217	209	265	255	284	284	1,514
	민간	81	79	99	96	107	107	568
	소계	316	306	386	373	415	415	2,210
합계	정부	482	565	576	567	632	632	3,454
	민간	181	212	216	213	237	237	1,295
	소계	663	777	792	780	869	869	4,749

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만 원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-3-1. 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발	115	151	134	134	153	153	839
2-3-2. 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발	95	95	115	115	115	115	650
합계	210	247	249	249	268	268	1,489

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
2-3-1. 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발	책임급	-	1	-	-	-	-	1
	선임급	-	-	1	1	2	2	6
	원급	3	2	2	2	1	1	11
	합계	3	3	3	3	3	3	18
2-3-2. 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발	책임급	-	-	-	-	-	-	-
	선임급	1	1	-	-	-	-	2
	원급	1	1	3	3	3	3	14
	합계	2	2	3	3	3	3	16
소계		5	5	6	6	6	6	34

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	72	85	88	84	99	99	527
연구과제추진비	46	53	55	53	60	60	327
연구활동비	81	96	98	96	112	112	595
연구수당	32	37	37	37	40	40	223
소계	231	270	278	270	311	311	1,671

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	41	48	49	48	54	54	294

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 43.5%, 직접비(인건비 제외) 48.0%, 간접비 8.5%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 36%, 연구과제추진비 23%, 연구활동비 41%, 연구수당으*로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

□ 연구장비 및 시제품

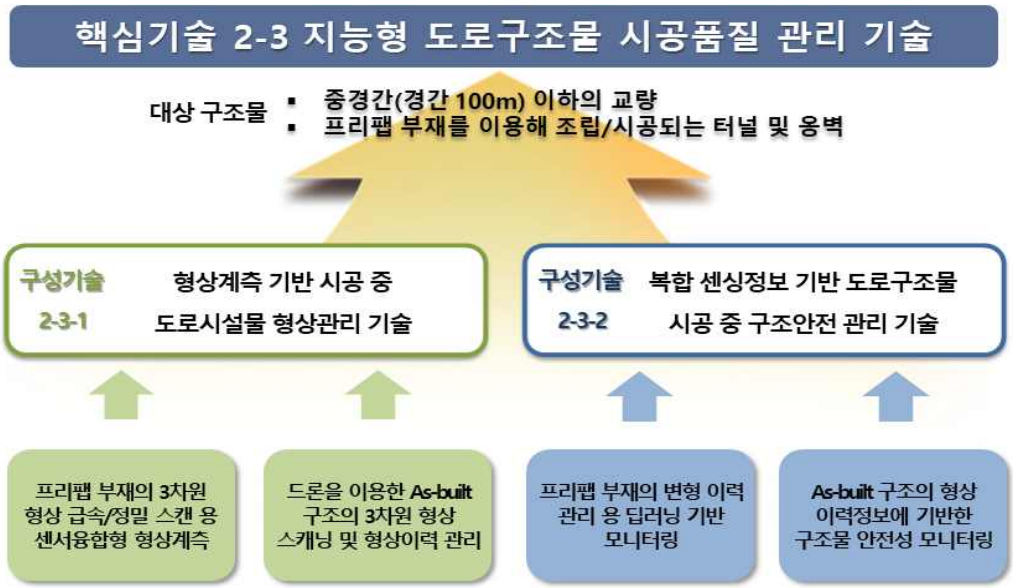
○ 연구장비 내역

<표 4-101> SOC 도로건설 자동화 기술 연구장비 내역

No	장비명	사양	주요용도	단가 (백만원)	개수	총 금액 (백만원)
1	3D 레이저 스캐너	* FARO Focus3D X 330 * 측정 범위: 최대 976,000 points/초 * 오차 범위 : ±2 mm * 무게 : 5.2 kg * 크기 : 240×200×100 mm * 범위: 0.6 – 330 m * 파장: 1,550 nm * 직사광선 환경에서도 스캔 가능 * 통합 GPS 수신기 장착 * WLAN 원경 조정 가능	3차원 형상 스캐닝, 급속/정밀 스캔 목적의 센서 융합형 형상 계측	100	1	100
합계				100	1	100

4.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



[그림 4-249] 지능형 도로구조물 시공품질 관리기술 추진체계도

(2) 협력방안

□ **지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발을 위한 협업체계 구축**

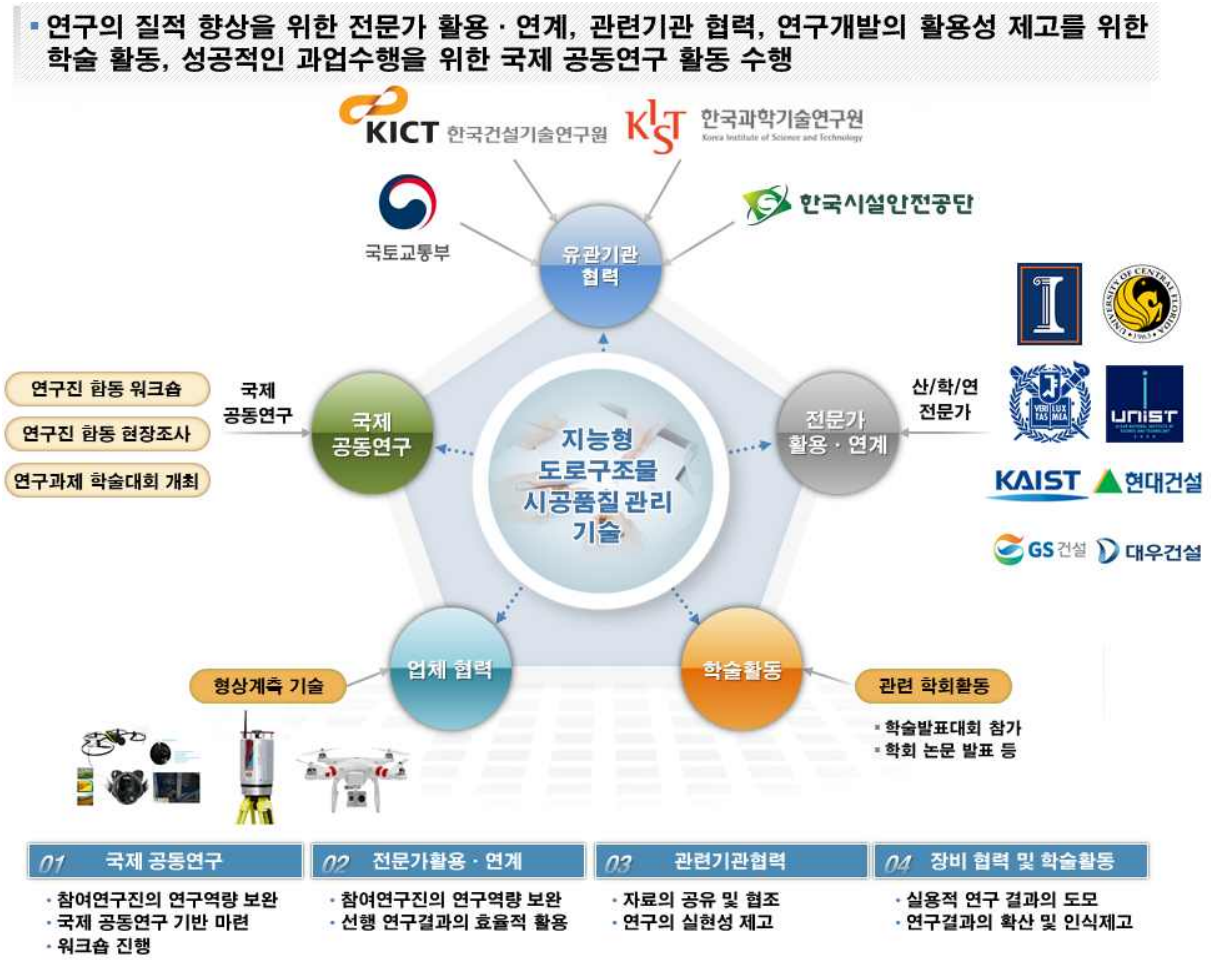
○ (유관기관 협력) 국토교통부, 한국건설기술연구원, 한국시설안전공단, 한국과학기술연구원 등 국내 도로구조물 관련 유관기관과의 협력체계 구축

○ (전문가 활용·연계) 국내 도로구조물의 안전 및 형상계측과 관련된 산·학·연 전문가와의 협력체계 구축

○ (국제 공동연구) 미국, 일본 등과 국제공동연구 및 학술심포지엄 개최

○ (업체 협력) 드론 및 형상계측 기술을 가진 업체와의 협력체계 구축

○ (학회활동) 활발한 학술대회 참여를 통한 연구결과의 공유 및 학술대회를 통한 다양한 분야의 전문가와의 협력체계 구축



[그림 4-250] 지능형 도로구조물 시공품질관리 협력 체계

4.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-102> 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발	실제 도로구조물에 적용 시 발생 가능한 사고	실제 도로구조물에 적용하기에 앞서 다양한 실내/실외 실험 수행
	기존 기술의 지적재산권 문제로 인한 활용 가능 여부	특허청 및 기술 소유 기관과의 지속적인 협의를 통한 기존 기술의 활용

4.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **다양한 센서를 활용하여 구조물 부재의 3차원 형상정보를 계측하고 설계 도면과 비교를 통해 건설구조물의 시공 정확도를 평가하는 데 활용**

○ 2013년 인하대학교 산학협력단에서는 3차원 스캐너를 사용한 건설 구조물 모니터링 장치 및 방법 기술에 관한 특허등록을 완료함

○ 2015년 한국과학기술원에서는 3차원 레이저 스캐닝을 이용한 프리캐스트 콘크리트 형상 관리 장치 및 방법에 관한 특허등록을 완료함

□ **대형구조물의 형상정보의 현장계측에 용이한 급속/정밀 분석을 위해 드론을 활용한 무선검사장비를 개발**

○ 위드로봇㈜, 스마트제어계측, ㈜한국유지관리에서는 무선센서 플랫폼 제작 기술, 소형무센선서 모듈 제작기술 등을 활용하여 현장계측에 용이한 급속/정밀 분석 시스템을 개발함

□ **첨단센서를 탑재한 무인검사장비를 활용하여 대형 사회기반시설물의 안전성을 신속진단 및 유지관리 시스템을 구축**

○ 영상장비와 레이저 포인터를 이용한 교량 변위 장기 모니터링 시스템을 개발함

○ 무인검사장비를 이용해 교량의 표면영상정보를 습득하고, 이를 바탕으로 안전성 진단 및 원격 유지관리 시스템을 개발함

(2) 성공 사례의 시사점

□ **첨단계측장비 기술의 다양한 연구분야로의 확대**

○ 영상, 레이저 센서, 3차원 스캐너 등과 같은 첨단계측장비를 적극적으로 활용하여 구조물 부재의 형상정보에 대한 신속/정밀 분석이 가능하도록 하였으며, 소형화 및 무선기술 개발을 적용하여 다양한 연구 분야에 활용할 수 있도록 함

○ 대형구조물의 안전성검사 시 검사 인력의 접근이 어려운 위치에 대한 정밀한 안전성 분석을 위해 무인검사장비를 활용하였으며, 다양한 종류의 첨단센서를 부착하여 손상 정량화 및 안전성 평가기술을 개발해 구조물의 상태를 효과적으로 평가 및 유지 관리할 수 있도록 함

(3) 실용화 전략 수립

□ 실 도로구조물 시공에 활용 가능한 실용화 기술 개발

○ 건설현장에서 프리팹 부재와 As-built 구조물의 접합부의 3차원 형상을 신속/정밀 계측하는 형상정보 분석 기술을 개발하여 조립 직전 형상정보를 사전에 파악하여 시공 타당성을 시뮬레이션을 통해 객관적이고 자동적으로 판단함

○ 프리팹 부재의 이송 및 시공 중 발생할 수 있는 형상변형에 대한 정밀계측용 고감도 센서 개발 및 머신러닝 기반 실시간 안전성 평가기술을 개발함

4.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ 시공 단계에서 구조물의 안전성 및 품질 향상

○ 프리팹 부재 및 As-built 구조의 3차원 형상정보를 이용하여 접합부의 시공 타당성을 사전에 평가할 수 있음

○ 첨단센서를 부착한 무인검사방법을 활용하여 검사인력 접근이 어려운 위치에 대한 정밀한 안전성 분석이 가능함

○ 구조물의 이송 및 시공 중 발생할 수 있는 형상변형 계측을 통해 시공성을 객관적이고 신속하게 판단할 수 있음

□ **신속/정밀 3차원 형상정보 계측기술 보유**

○ 현재 프리팹 부재의 3차원 형상정보 계측 시 약 2시간/1회인 반면 제안하는 연구에서는 30분 이내의 스캐닝 및 10분 이내 시공 가능성 판단을 통해 기존의 기술 대비 약 4배가량 신속한 형상정보 계측기술 개발이 가능함

□ **딥러닝의 성공적인 활용 모델**

○ 구조물의 형상정보를 바탕으로 프리팹 부재에 대한 안전성을 객관적으로 평가할 수 있는 기술을 딥러닝을 통해 자동화하는 기술로 딥러닝의 성공적인 활용 모델로 평가됨

(2) 사회경제적 측면

□ **건설경제 활성화 및 안전사고 예방 가능**

○ 기존의 건설기술과 제안하는 구조물 시공, 품질 관리 기술과의 연계를 통해 구조물의 시공효율성 향상을 통한 건설인프라 관련 시장 확대 및 건설경제 활성화가 기대됨

○ 3차원 형상정보 분석 기술을 바탕으로 시공 전에 프리팹 부재와 As-built 구조물의 시공타당성을 판단하여 공기단축, 불필요한 재료 낭비 방지를 통한 비용절감을 기대할 수 있음

○ 육안검사의 상당부분을 자동화를 통해 고소작업으로 인한 재해 위험성이 높은 인력 기반의 시공 및 안전성 검사 방식에서 로봇, 무선센서를 이용한 원격 자동화 시공 방식으로 전환하여 건설현장의 작업환경 개선 및 안전사고를 예방할 수 있음

5. 특허분석

5.1 분석 범위

□ **도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 특허동향분석을 위해 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA), 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB) 및 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC) 분야에 대하여 분석을 실시**

○ 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개/등록특허, 국제 공개특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술분야에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 2016년 12월31일까지 출원 공개된 유효특허 1,677건을 분석대상에 포함

- 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여 전략적인 연구개발 계획수립에 활용

<표 4-103> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개.등록특허 (공개.등록일 기준)	한국	WINTELIPS	~ 현재 (2018.10)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국	WINTELIPS		
	일본	WINTELIPS		
	유럽	WINTELIPS		
	국제	WINTELIPS		

5.2 기술분류 체계

□ **본 분석에서는 과제의 기술요약서를 기초로 연구범위 내의 기술을 정량분석 대상으로 하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술 분야와 심층분석의 기술 분야를 동일하게 적용함**

○ 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)은 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA), 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB) 및 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)로 분류할 수 있음

<표 4-104> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 기술분류 체계

대분류	중분류	소분류
스마트 건설 (A)	도로구조물 스마트 건설 기술(AB)	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)
		도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)
		지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)

5.3 기술분류 기준

□ **본 분석에서는 과제의 기술자료 및 기획위원이 제공한 자료를 바탕으로, 자문회의를 통해 하기 표와 같이 기술분류를 확립하여 분석을 수행함**

<표 4-105> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 분류기준

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
스마트 건설 (A)	도로구조물 스마트 건설 기술(AB)	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 관련 기술
		도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)	도로구조물 무인·자동화 시공 관련 기술
		지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)	지능형 도로구조물 시공품질 관리 관련 기술

□ **자문위원들이 제공한 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야의 기술분류 및 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 연구원들과의 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출함**

○ 본 보고서에 사용된 검색식은 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 전문위원들의 검토를 반영하여 최종 검색식을 완성함

- 기술분류체계에 따른 최종 검색식은 하기 표와 같음

<표 4-106> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
스마트 건설(A)	도로구조물 스마트 건설 기술(AB)	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)	((도로*교량*터널*지반*road*driveway*bridge*tunnel*geotech*).key.)and((구조물*construct*프리팹*프리페브릭션*"Pre-Fabrication""Pre-Fab""preFabric").key.)and((설계*시공*사전조립*model*manufact*BIM*"pre-assembly"assembly*).key.)and((디지털*디지탈*데이터*데이타*digital*data*).key.)
		도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)	(((도로* 교량* 터널*지반*옹벽*road*driveway*bridge*tunnel*geotech*"retainingwall").key.)and((구조물*construct*modeling*프리팹*프리페브릭션*"Pre-Fabrication""Pre-Fab""preFabric*"preFabric*).key.)and((자동화*자동제어*인공지능*오토매틱*모듈*원격*로봇*auto*automatic*unman*manless*module*telerobot*"tele-robot""tele-operat").key.))and((E01*).ipc.)
		지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)	(((도로* 교량* 터널*지반*옹벽*road*driveway*bridge*tunnel*geotech*"retainingwall").key.)and((구조물*construct*modeling*프리팹*프리페브릭션*"Pre-Fabrication""Pre-Fab""preFabric*"preFabric*).key.)and((계측*센서*모듈*증강현실*검측*measur*sensor*sens*modul*"augmentedreality"detect*).key.))and((안전성*모니터링*safe*secur*minitor*monitoring*).key.)

□ 검색결과

<표 4-107> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 최종 검색식에 따른 검색결과

대분류	중분류	소분류	한국	미국	일본	유럽	국제	합계
스마트 건설 (A)	도로 구조물 스마트 건설 기술 (AB)	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)	151	108	81	34	34	408
		도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)	206	143	124	90	47	610
		지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)	283	358	179	132	85	1,037
합계			640	609	384	256	166	2,055

5.4 유효특허 선별기준 및 결과

□ 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 Raw Data 하기 표에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용함

<표 4-108> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 유효특허 선별기준

대분류	중분류	소분류	유효특허추출기준
스마트 건설 (A)	도로구조물 스마트 건설 기술(AB)	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 관련 기술
		도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)	도로구조물 무인·자동화 시공 관련 기술
		지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)	지능형 도로구조물 시공품질 관리 관련 기술

□ **위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과 아래의 표와 같이, 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)이 1,677건 도출됨**

○ 상세하게는 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)은 321건, 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)은 490건 및 지능형 도로구조물 시공 품질 관리 기술(ABC)은 866건으로 나타남

<표 4-109> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 유효특허 선별결과

검색식		검색건수 (필터링 후)					
		KR	US	JP	EP	WIPO	합계
AB	ABA	118	86	65	24	28	321
	ABB	159	111	117	57	46	490
	ABC	220	302	167	100	77	866
총계		497	499	349	181	151	1,677

○ 본 분석에서는 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야의 특허기술 분석, 세부기술 분석 및 심층 분석으로 나누어 분석함

□ **특허기술 분석**

○ 특허기술 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 기술개발 활동현황, 세부기술의 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 특허기술 성장단계 파악 및 국가간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 특허기술 동향을 분석함

- 또한, 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

□ **세부기술 분석**

○ 세부기술 분석에서는 세부기술별 연도별 특허출원 동향, 세부기술별 IP 출원국 분석 등을 통해 세부기술별 특허기술 동향을 분석함

- 또한, 세부기술별로 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

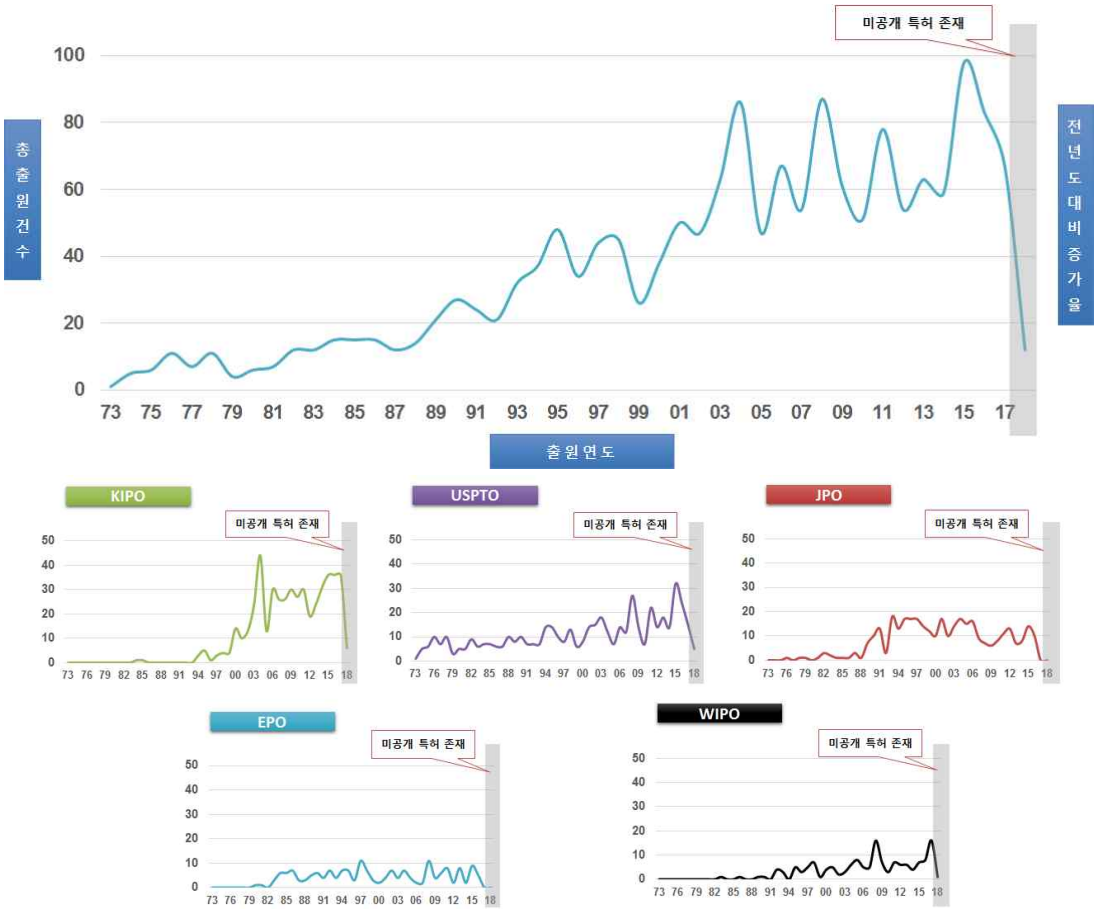
□ 심층 분석

○ IP 부상도 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 이전 구간 대비 출원 증가율, 출원 점유율을 분석하여 특허 관점에서의 해당 기술 분야 부상 정도를 판단함

- 세부기술별로 구간별 특허출원 동향, 주요시장국별 세부기술 동향, 다출원인의 특허동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 특허와의 관계를 분석함

5.5 국가별 분석

□ 주요 출원국 연도별 특허동향



[그림 4-251] 전체 연도별 동향

○ 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1973년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 1990년대 부터 본격적인 출원 활동이 이루어짐

- 1990년대 초부터 현재까지 증가와 감소를 반복하고 있으나, 전체적으로 증가 추세를 보이고 있음. 특히 2015년에는 98건을 출원하여 최다 건을 기록함

○ 주요시장국 중 한국, 미국 및 일본이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사되었으며, 2017년 이후 특허출원이 감소하는 것은 2017년 5월 이후 출원한 특허출원이 아직 공개되지 않아 이러한 특허기술들이 배제되어 감소하는 것으로 나타남

- 주요시장국의 연도별 특허동향을 살펴보면, [한국]은 주요시장국들 중 가장 늦은 1984년부터 출원하기 시작하였으나 최근에 특허출원활동이 활발히 진행되고 있는 것으로 나타남

- [미국]은 주요시장국 중 가장 빠른 1973년에 출원활동을 시작하였고 1970년 중반 이후로 지속적으로 특허활동을 하고 있으며, 특히 2000년대에 들어 특허출원활동이 다시 활발해지고 있는 것으로 나타남

- [일본]은 1970년대 중반부터 연구를 시작하였고, 1990년대부터 2006년까지 특허출원활동이 활발히 진행된 것으로 나타났으나, 최근 들어 특허출원활동이 다소 감소하는 추세를 보이고 있음

- [유럽]은 1980년대부터 지속적으로 연구하고 있으나, 주요시장국들에 비해 특허출원건수가 많지 않고, 증가와 감소를 반복하고 있는 것으로 나타남

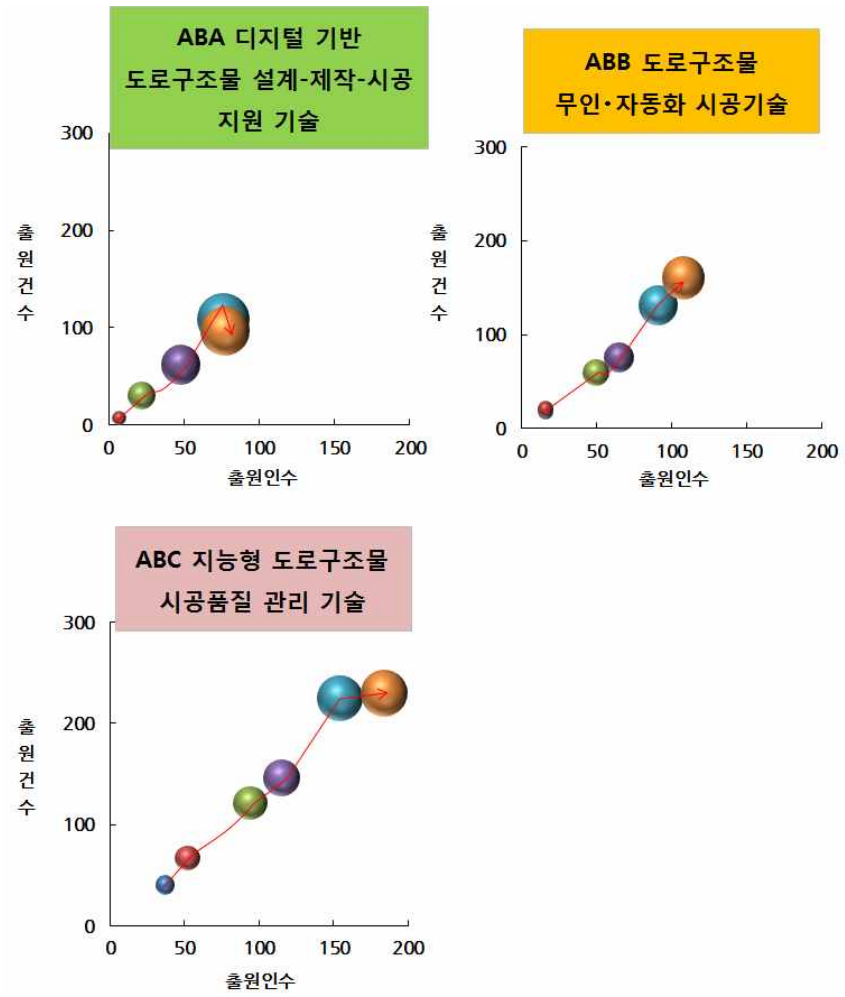
- [국제출원]은 1990년대 중반부터 지속적으로 증가하고 있으며, 최근 들어 다시 증가와 감소를 반복하고 있는 것으로 나타남

- 기술성장단계 파악



I. 태동	- 신기술의 출현 - 특허와 특허출원인의 적은 증가
II. 성장	- R&D의 급격한 증가, 경쟁의 격화 - 특허와 특허출원인의 빠른 증가
III. 성숙	- 지속적인 연구개발 활동, 일부 업체의 도태 - 특허 수의 정체, 특허출원인의 정체 또는 감소
IV. 쇠퇴	- 대체기술의 출현, 기술발전의 불연속점 발생 - 특허 수의 감소, 특허출원인의 정체 도는 감소
V. 회복	- 기술의 유용성 재발견, 대체기술의 쇠퇴 - 특허와 출원인 수가 증가추세로 전환

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16



[그림 4-252] 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 단위 기술 성장단계

○ 포트폴리오로 나타낸 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 단위기술들은 1구간에서부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

- 의미: 각 출원구간으로 구분하여 출원건수(특허건수)와 출원인수(특허권자수)를 2차원 버블차트로 구현한 그래프임. 버블의 크기는 출원인수(특허권자수)임
- 출원건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고, 출원인수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미하며, 이는 해당기술분야의 시장이 커지고 있다는 것을 의미함
- 태동기 단계에서는 출원인과 출원건수가 활발하게 진행되는 단계로써 연구 활동이 활발한 것을 판단할 수 있으며, 성숙기 단계는 출원건수 및 출원인의 증가율이 낮아지면서 시장진입자들이 빠져나가는 단계임
- 쇠퇴기 단계는 출원인뿐 아니라 출원건수도 감소하여 해당기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있음
- 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 현 시장에 맞는 기술들이 다시 개발되어 새로운 아이디어와 함께 시장이 재형성되는 단계로 볼 수 있음
- 해석 및 활용 시 유의사항: 모든 출원국은 속지주의 원칙, 즉 동일한 발명에 대하여 상이한 국가에서 획득한 특허는 각각 독립적으로 해당국가의 법률에 따라 존속·소멸한다는 원칙에 따라 독립적으로 권리의 효력이 발생
- 해당 출원국가에 특허출원한다는 것은 해당 시장에서 권리를 이행하려는 의지가 있다고 볼 수 있음
- 이에 출원국가별로 해당기술의 시장 및 개발현황을 비교해봄으로써, 어느 시장이 활발한지, 기술개발형성이 어디까지 진행되었는지 판단할 수 있음. 주요 시장국과 우리나라의 상황을 비교해 보고, 우리나라보다 기술개발 단계가 앞서있는 시장국을 파악함
- 현재 기술개발과 기술시장에 진입하기 위한 기술적인 강점은 무엇이며, 기회요인에는 어떤 것들이 있는지 연구기획 시 주도면밀하게 분석해야 함

□ **시장별 세부기술 점유율 현황 버블그래프 분석**

○ 시장별 세부기술 동향에서는 각국의 특허청에 출원된 출원 데이터를 기준으로 세부기술의 집중도 및 공백영역 등을 버블그래프로 나타내어 해당 시장의 관심도를 나타내고자 함

○ 세부기술에 대한 전체적인 연도 구간별 흐름은 앞에서 제시하였으므로, 여기에서는 주요시장에서 어떠한 세부기술이 중점적으로 특허 출원되고 있는가를 파악하고자 하며, 해당 세부기술에 대하여 시장별(특허청별)로 비교 분석함



[그림 4-253] 세부기술별 국가별 특허집중도 현황

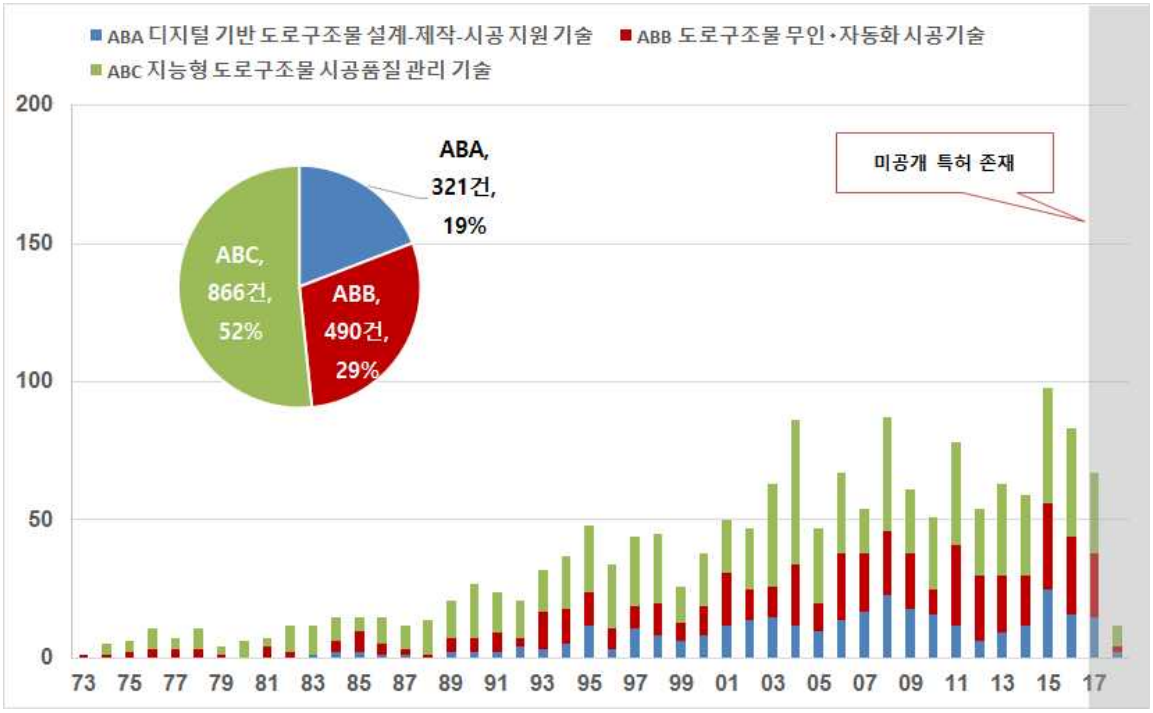
*원의 크기: 출원건수를 나타냄

○ 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 단위기술 모든 분야에 골고루 출원하고 있는 것으로 나타남

○ 한국은 타시장국에 비해 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)과 관련된 출원을 많이 한 것으로 나타남

5.6 세부기술 분석

□ 세부기술별 연도별 특허출원 동향 및 점유율 분석



[그림 4-254] 분류별및 연도별 출원동향

○ 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC) 관련 특허출원이 점유율이 52%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB) 관련 특허출원 비중이 29%로 나타나 그 뒤를 이었음

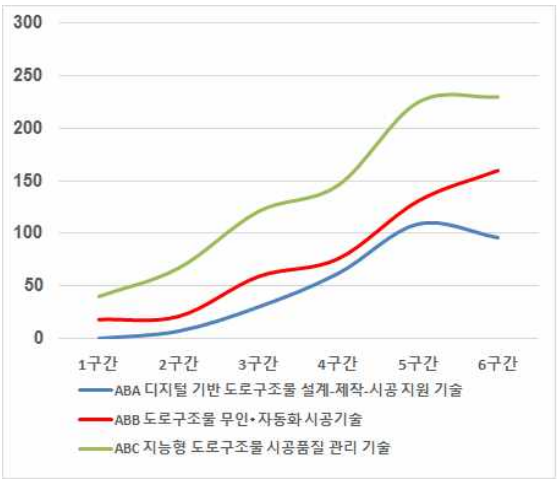
○ 단위기술 모든 분야는 70년대부터 출원되기 시작하여 현재까지 특허출원 건수가 증가와 감소를 반복하다가, 2015년을 기점으로 다소 감소하는 추세를 보이고 있음

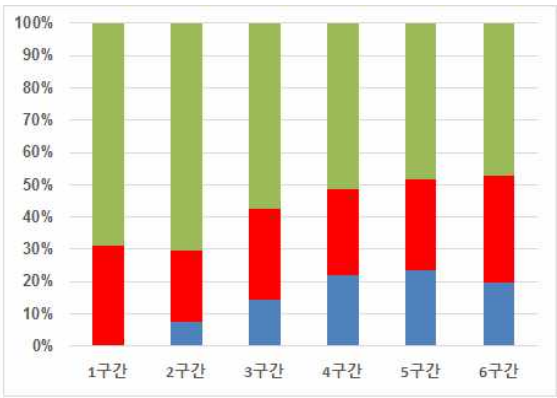
○ 단위기술 분야 중 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB) 분야는 2000년대 초부터 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야에서 차지하는 비중이 높아지는 것으로 나타남

□ 부상기술 분석

○ 세부기술 추세를 통한 부상기술을 파악하기 위해서 아래의 그래프에서는 세부기술별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 살펴봄. 왼쪽의 그래프는 출원건수를 통한 절대치를 나타내며, 오른쪽 그래프는 세부기술에 대한 연도구간별 상대비교를 보여주고 있음

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16

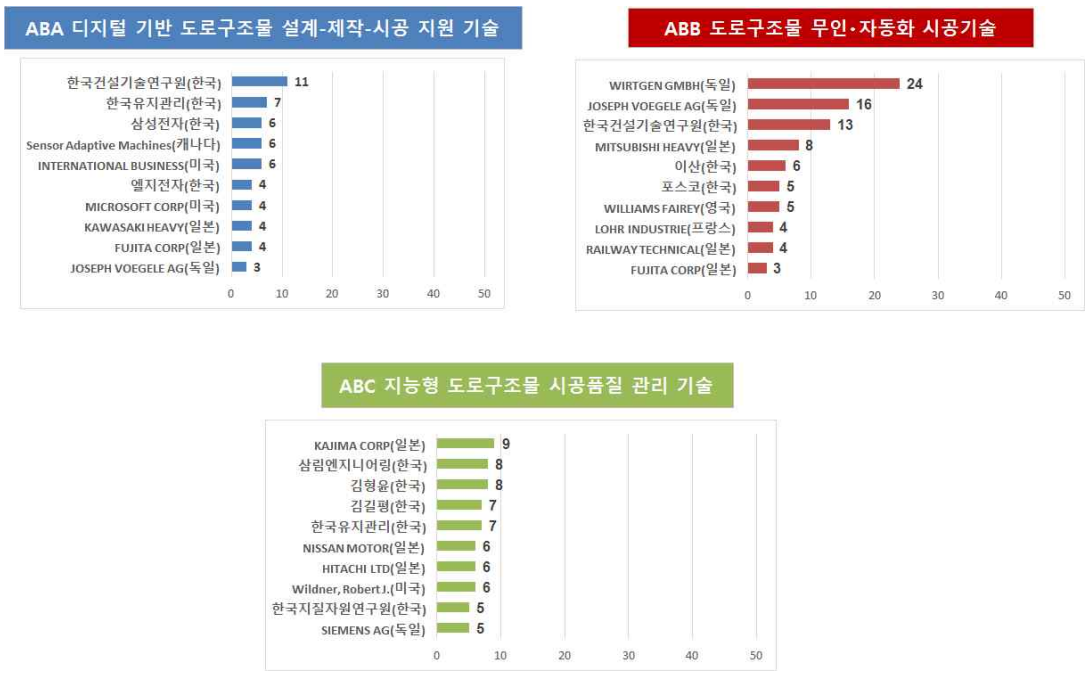




[그림 4-255] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

- 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 단위기술 중 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)과 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)이 부상하고 있는 기술로 나타남
- 초반에는 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)에 대해서 출원하다가 점점 출원기술 대상이 다각화되었으며, 최근 들어서는 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)과 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)의 비중이 높아지고 있는 것으로 나타남
- 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC)은 1구간에서부터 6구간까지 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)에서의 비중이 줄어들고 있는 것으로 나타남

□ 세부기술별 주요출원인 특허동향



[그림 4-256] 세부기술별 주요출원인

○ 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)에서는 한국건설기술연구원 11건으로 최다출원인으로 조사되었으며, 한국유지관리가 7건으로 그 뒤를 잇고 있음

- 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB) 분야에서는 WIRTGEN GMBH 24건으로 최다출원인으로 조사되었으며, JOSEPH VOEGELE AG가 16건으로 그 뒤를 잇고 있음

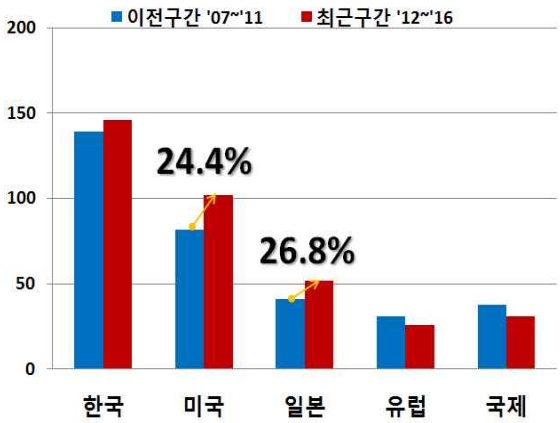
- 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC) 분야에서는 KAJIMA CORP이 9건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, 김형윤이 8건으로 그 뒤를 잇고 있음

- 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)와 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사됨

5.7 IP부상도 분석

□ 출원증가율 분석

구분	이전 구간	최근 구간	증가율
	'07~'11	'12~'16	
한국	139	146	5.0%
미국	82	102	24.4%
일본	41	52	26.8%
유럽	31	26	-16.1%
국제	38	31	-18.4%
Total	331	357	7.9%



[그림 4-257] 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 출원 증가율 (전체)

○ 최근과 이전구간 대비 출원증가율을 살펴보면, 한국, 미국 및 일본에서 특허 출원이 증가하는 추세이며, 특히 일본에서의 특허출원 증가율이 26.8%로 다소 높게 증가한 것으로 나타남

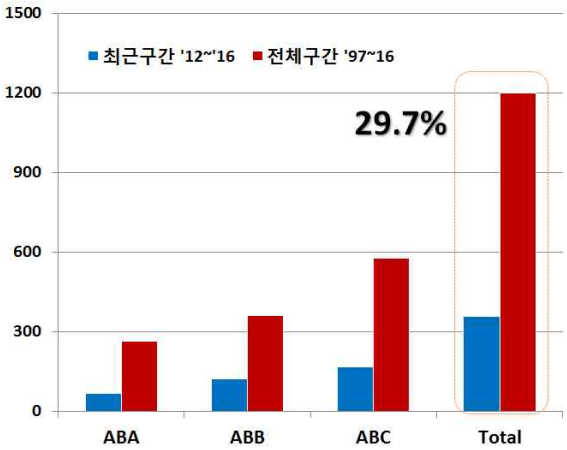
- 이는 전체 이전구간 대비 최근구간 출원증가율인 7.9%보다 높은 값으로 일본에서는 이전보다 최근에 다소 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석됨

구분	이전구간 건수	최근구간 건수	출원 증가율 (%)
전체	331	357	7.9%

□ 최근 출원 점유율 분석

○ 전체구간대비 최근 구간에서의 출원 점유율을 살펴봄으로써 각 기술요소별 최근 가장 부상하는 기술에 대해 살펴볼 수 있음

구분	최근구간 '12~'16	전체구간 '97~'16	점유율
디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 (ABA)	68	264	25.8%
도로구조물 무인·자동화 시공기술 (ABB)	122	359	34.0%
지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 (ABC)	167	578	28.9%
Total	357	1,201	29.7%



[그림 4-258] 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 구간별 점유율 분석

○ 전체구간 20년 대비 최근 구간 5년이 차지하는 비율 중 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB)은 34.0%로 가장 높은 점유율을 차지하여 전체 중 많은 출원 건수가 최근에 출원한 것으로 나타났음

- 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 세부기술별 전체출원 대비 최근 출원의 점유율은 평균 29.7%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가지므로, 최근 출원이 차지하는 비율이 다소 높아 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야가 최근에 관심받고 있는 기술인 것으로 판단됨

구분	전체구간 건수	최근구간 건수	출원 점유율 (%)
전체	1,201	357	29.7%

5.8 시장별 세부기술 시장점유율 분석(CR4)

□ 한국

<표 4-110> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 한국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
한국건설기술연구원	28	5.6		1
한국유지관리	16	3.2	8.9	2
김형윤	9	1.8	10.7	3
삼림엔지니어링	8	1.6	12.3	4
김길평	7	1.4	13.7	5
이산	7	1.4	15.1	6
(주)대우건설	5	1.0	16.1	7
(주)씨에스티개발	5	1.0	17.1	8
삼성전자	5	1.0	18.1	9
포스코	5	1.0	19.1	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	497	100%	CR4=12.3	

○ 특허점유율은 한국건설기술연구원이 5.6%, 한국유지관리가 3.2%, 김형윤이 1.8%, 삼림엔지니어링이 1.6%로 나타났음

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 12.3%로 CR4 값은 12.3이므로 한국에서의 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

- 의미 : CR(Concentration Ratio) 지표는 상위 몇 개 기업의 시장점유율을 합한 것으로, CR1, CR2, CR3, CR4 등으로 표시함. 즉 CR1은 시장점유율 1위 기업의 시장점유율을 말함. CR2는 1위와 2위의 시장점유율을 합한 것, CR3은 1~3위의 시장점유율을 합계한 것임

□ 미국

<표 4-111> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 미국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
WIRTGEN GMBH	14	2.8		1
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION	8	1.6	4.4	2
JOSEPH VOEGELE AG	8	1.6	6.0	3
GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC	6	1.2	7.2	4
Sensor Adaptive Machines Inc.	6	1.2	8.4	5
Valerian Goroshevskiy	5	1.0	9.4	6
Wildner, Robert J.	4	0.8	10.2	7
Charles Adams Bakewell	4	0.8	11.0	8
DAIMLER BENZ AG	4	0.8	11.8	9
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT	4	0.8	12.6	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	499	100%	CR4=7.2	

○ 특허점유율은 WIRTGEN GMBH가 2.8%, INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES가 1.6%, JOSEPH VOEGELE AG가 1.6%, GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATION이 1.2%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 7.2%로 CR4 값은 7.2이므로 미국에서의 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ 일본

<표 4-112> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 일본 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
KAJIMA CORP	13	3.7		1
MITSUBISHI HEAVY IND LTD	10	2.9	6.6	2
FUJITA CORP	9	2.6	9.2	3
RAILWAY TECHNICAL RES INST	8	2.3	11.5	4
JOSEPH VOEGELE AG	6	1.7	13.2	5
SHIMIZU CORP	6	1.7	14.9	6
TOSHIBA CORP	6	1.7	16.6	7
EAST JAPAN RAILWAY CO	5	1.4	18.1	8
KAWASAKI HEAVY IND LTD	5	1.4	19.5	9
HITACHI LTD	4	1.1	20.6	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	349	100%	CR4=11.5	

○ 특허점유율은 KAJIMA CORP가 3.7%, MITSUBISHI HEAVY가 2.9%, FUJITA CORP가 2.6%, RAILWAY TECHNICAL RES INST이 2.3%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 11.5%로 CR4 값은 11.5이므로 일본에서의 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ 유럽

<표 4-113> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 유럽 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
JOSEPH VOEGELE AG	8	4.4		1
WIRTGEN GMBH	8	4.4	8.8	2
WILLIAMS FAIREY ENGINEERING LTD	4	2.2	11.0	3
Wildner, Robert J.	3	1.7	12.7	4
Pacheco, Pedro Alvares Ribeiro do Carmo	2	1.1	13.8	5
DIEHL GMBH & CO.	2	1.1	14.9	6
Goroshevskiy, Valerian	2	1.1	16.0	7
Högl, Peter	2	1.1	17.1	8
LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE PHILIPS S.A.S.	2	1.1	18.2	9
Nobel Biocare AB (reg. no. 556002-0231)	2	ㄹ	19.3	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	181	100%	CR4=12.7	

○ 특허점유율은 JOSEPH VOEGELE AG가 4.4%, WIRTGEN GMBH는 4.4%, WILLIAMS FAIREY ENGINEERING은 2.2%, Wildner, Robert J.는 1.7%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 12.7%로 CR4 값은 12.7이므로 유럽에서의 기후변화 완화 및 저탄소 농업기술 개발(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ 국제

<표 4-114> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 국제 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
Pacheco, Pedro Alvares Ribeiro do Carmo	2	1.3		1
RADEMACHER, Hugo	2	1.3	2.6	2
NOBEL BIOCARE AB (publ)	2	1.3	4.0	3
NOBELPHARMA AB	2	1.3	5.3	4
STEN, Oded	2	1.3	6.6	5
The Secretary of State for Defence in Her Britannic Majesty's Government of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	2	1.3	7.9	6
CHANGJIANG SURVEY PLANNING DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.	2	1.3	9.3	7
DONG, Guoliang	2	1.3	10.6	8
NIPPON CARBIDE KOGYO KABUSHIKI KAISHA	2	1.3	11.9	9
SHENZHEN ACADEMY OF ROBOTICS	2	1.3	13.2	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	151	100%	CR4=5.3	

○ 특허점유율은 Pacheco, Pedro Alvares Ribeiro do Carmo가 1.3%, RADEMACHER, Hugo는 1.3%, NOBEL BIOCARE AB (publ)은 1.3%, NOBELPHARMA AB는 1.3%로 나타남

- 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 5.3%로 CR4 값은 5.3이므로 유럽에서의 기후변화 완화 및 저탄소 농업기술 개발(AA) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

<표 4-115> 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 국가별 출원인의 특허점유율

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	12.3	7.2	11.5	12.7	5.3

5.9 결론 및 시사점

○ 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1973년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 1990년대부터 본격적인 출원활동이 이루어졌으며, 1990년대 초부터 현재까지 증가와 감소를 반복하고 있으나, 전체적으로 증가 추세를 보이고 있음. 특히 2015년에는 98건을 출원하여 최다 건을 기록함

- 주요시장국 중 한국, 미국 및 일본이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사됨
- 기술시장 성장단계를 살펴보면, 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 단위 기술들은 1구간에서부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

○ 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 단위기술 모든 분야에 골고루 출원을 하고 있는 것으로 나타남

- 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC) 관련 특허출원이 점유율이 52%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB) 관련 특허출원 비중이 29%로 나타나 그 뒤를 잇고 있음
- 단위기술 모든 분야는 70년대부터 출원되기 시작하여 현재까지 특허출원 건수가 증가와 감소를 반복하다가, 2015년을 기점으로 다소 감소하는 추세를 보임
- 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)에서는 한국건설기술연구원 11건으로 최다출원인으로 조사되었으며, 한국유지관리가 7건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 도로구조물 무인·자동화 시공기술(ABB) 분야에서는 WIRTGEN GMBH 24건으로 최다출원인으로 조사되었으며, JOSEPH VOEGELE AG가 16건으로 그 뒤를 잇고 있음

- 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC) 분야에서는 KAJIMA CORP이 9건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, 김형윤이 8건으로 그 뒤를 잇고 있음

- 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술(ABA)와 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술(ABC) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사됨

○ IP 부상도 분석 중 출원증가율을 살펴보면, 전체 이전구간 대비 최근구간 출원증가율인 7.9%보다 높은 값으로 일본에서는 이전보다 최근에 매우 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석됨

- IP 부상도 분석 중 최근 출원 점유율을 살펴보면, 도로구조물 스마트 건설 기술(AB)의 세부기술별 전체출원 대비 최근 출원의 점유율은 평균 29.7%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가짐

- 최근 출원이 차지하는 비율이 다소 높아 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야는 최근에 관심받고 있는 기술인 것으로 판단됨

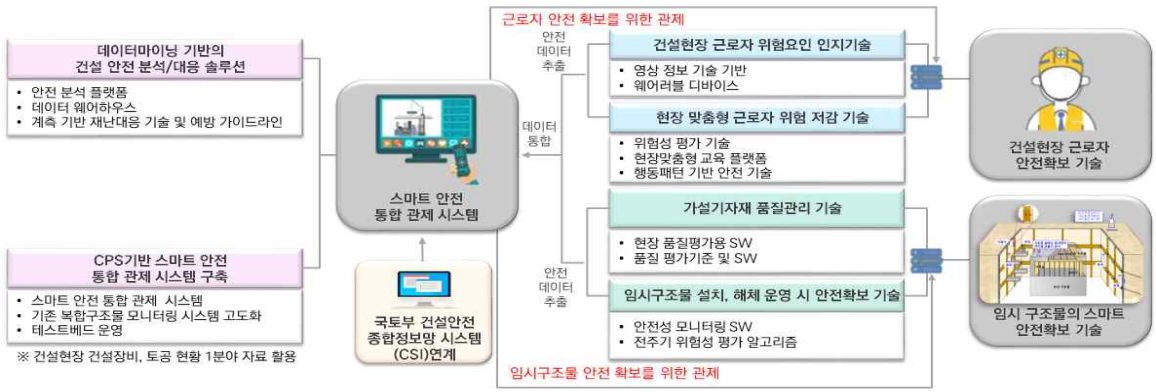
○ 마지막으로, 시장별 세부기술 시장점유율 (CR4)를 살펴보면, 모든 주요 시장국에서의 도로구조물 스마트 건설 기술(AB) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높지 않은 것으로 나타남

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	12.3	7.2	11.5	12.7	5.3

3절 스마트 안전 통합 관제 기술

1. 사업 대상 및 범위

□ **높은 재해율을 나타내는 열악한 건설현장의 인력-장비-가시설-구조물에 대한 맞춤형 센싱 및 모션 분석 기술과 현장-발주기관-통합관제 센터의 각 주체별 권한 및 책임을 고려한 통합 안전관제 및 지원 시스템을 개발**



[그림 4-259] 스마트 안전 통합 관제 시스템

○ (스마트 안전 통합 관제시스템)건설현장에서 수집된 데이터기반 딥러닝 기술을 활용한 안전 통합 분석·진단 솔루션/건설사고 비용 분석 모델 개발 및 시공 현장외 재난대응 기술 개발하고, 취약한 건설현장의 사고 예방 및 대응을 위해 공사 객체(인력-장비-가시설-구조물)의 통합정보 기반으로 현장-발주기관-통합센터의 CPS 안전관제 시스템 구축 및 테스트 베드 운영

○ (건설현장 근로자 안전확보 기술)현장 별 상이한 위험요인 인지를 지원하기 위해 관리자용 smart eye 및 근로자용 유해환경 및 생체정보 인지 active 개인보호구를 개발하고, 인지된 위험요인으로부터 불안전안 행동 최소화를 위해 dynamic 위험성평가 프로그램, 근로자 의사 결정 분석 및 최적화 프로그램, 현장 맞춤형 교육 콘텐츠 개발

○ (임시구조물의 스마트 안전확보 기술) 임시구조물의 부재불량 및 설치·해체 시 관리 미흡으로 발생하는 사고를 절감하기 위한 가설기자재 현장 품질평가 시스템 및 자동 품질 평가 알고리즘을 개발하고, 임시구조물 운용시 임시구조물의 불안정 상태로 기인되는 안전사고 경감을 위한 실시간 모니터링 기술 및 위험 수준 추론 기술을 개발하여, 임시구조물의 지능형 전주기 안전관리 시스템 개발

<표 4-116> 스마트 안전 통합 관제기술 분야 구성 기술

핵심기술	구성기술
스마트 안전 통합 관제시스템 개발	데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발*
	디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영
건설현장 근로자 안전확보 기술 개발	건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발
	현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발
임시구조물의 스마트 안전확보 기술 개발	가설기자재 품질관리 기술 개발
	임시구조물 설치·해체, 운영시 스마트 안전확보 기술 개발

* 해당 구성기술은 과제제안요구서(RFP)(안)에서는 '데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석 기술 개발'과 '건설현장 긴급재해 대응 기술 개발'로 분리되어 있음

2. (핵심기술 3-1) 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발

2.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념



[그림 4-260] 스마트 안전 통합 관제 시스템 개념도

□ **데이터 구축을 기반으로 딥러닝 및 사고 분석 모델, 위험수준 예측 모델을 개발하여 건설 안전 분야의 체계적이고 합리적인 분석/대응 솔루션 지원/사고 비용분석 모델 개발 및 건설 안전 통합관제시스템(센터) 구축을 통한 현장 안전 확보**

○ 건설 현장에서 수집된 데이터 기반의 딥러닝 기술을 활용한 스마트 안전 통합 진단 솔루션/건설사고 비용 분석 모델개발 및 IoT 센서, 다중영상 자료 등 현장 데이터 취득을 통한 건설 공사 시공 현장·장외 재난 대응 기술 및 예방 가이드라인 개발

○ 공사 객체(인력-장비-가시설-구조물)의 통합 정보를 기반으로 빅데이터 분석을 통한 현장-발주기관-통합센터의 CPS 예측지원 스마트 안전 통합 관제시스템 구축, AI기반 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중·소현장 및 도로공사 현장 테스트 베드 운영과 이를 통한 적용기술 및 시스템의 보완 연구

(2) 범위

(구성기술 3-1-1.) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

□ 건설 현장에서 수집된 데이터 기반의 안전 융합 긴급 대응 머신러닝 분석 솔루션 구축

○ 건설 현장의 안전사고를 선제적으로 예방하기 위해 현장의 건설사고를 분석하여 위험수준을 예측하는 기술 개발

- 안전사고 분류모델을 바탕으로 사고원인과 그에 따른 인과관계를 분석하여 안전사고 분석기법 및 플랫폼 탑재를 위한 알고리즘 개발
- 실제 사고 사례 및 통계 데이터를 바탕으로 사고 위험 요인을 판단하고 예측할 수 있는 건설현장 안전대응 시뮬레이션 기법 개발
- 사고가 빈번하게 발생되는 작업에 대해 사전 시뮬레이션 반복을 통해 구체적인 위험 요인과 사고 발생 가능성을 예측할 수 있는 모델 개발

○ 건설사고 발생에 따른 손실 비용 분석 모델 제공 및 위험 요소 사전 관리를 위한 데이터 기반의 의사 결정 솔루션 개발

- 건설공사 규모에 따라 재해자에게 지급하는 직접비와 작업대기, 근로손실일수, 사고 예방 대책 마련 등의 간접손비를 분석할 수 있는 비용 분석 모델 개발
- 재해 예방 비용, 재해 손실 비용의 비교 분석을 통해 건설 현장의 규모에 맞는 적정 재해 예방 투자비 정보 산출모델 개발
- 기존 건설현장에서 발생한 건설재해 분류 및 사고형태 인과관계 정보 DB 구축

□ **IoT 센서, 다중영상 및 현장 데이터 취득을 통한 건설 공사 시공 현장·장외 재난 대응 기술 및 예방 가이드라인 개발**

○ 시공중 구조물의 침수에 대비하기 위한 스마트 ICT 기술을 활용한 호우, 침수 및 토사유출 재해 저감 기술을 개발

- BIM을 활용할 수 있는 (지하)구조물 침수피해 예측 시스템 개발
- 현장 대응형 가배수로 / 차수판 설계 및 위치 최적화 기술 개발
- 표면수 유입 피해 저감을 위한 최적 펌핑 시스템 개발

○ 건설현장의 공정별 화재 및 폭발 예방을 위한 실시간 맞춤형 대처방안을 전달하고, 사고 발생 시 지원할 수 있는 건설화재 대응시스템 개발

- 건설현장 화재·폭발의 전주기적 관리를 위한 건축물 공정 단계 관련 DB구축 및 빅데이터 분석
- 작업 공정별 일정 공지를 통한 화재·폭발 위험성 차단, 작업 공정별 화재 유형에 따른 소화기 유형, 배치장소 및 용량, 인화성 물질에 따른 화재 위험성 및 작업 후 화재감시 대기 시간 등과 같은 정보 제공을 위한 콘텐츠 개발
- 실시간 화재·폭발 위험 대응을 위한 어플리케이션 개발 등의 화재안전관리 시스템 개발

○ 도심지 소규모 공사 중의 안전관리시스템으로서 기존 방식보다 효율적으로 사고 예방을 할 수 있도록 하기 위한 스마트 펜스 시스템 개발

- 무선 레이더(ex.UWB) 모듈, 보행자 시/청각 Alert 시스템, Safe zone 설정/감지 알고리즘을 포함한 스마트 펜스 개발
- WPAN 통신모듈을 포함한 중장비 운전자용 포터블 모니터링 플랫폼 개발

○ 복합 구조물별 공법들에 대한 안전관리를 할 수 있도록 기존 기술을 고도화하고, 추가적인 구조물 계측 기반의 시공 중 안전관리 기술 개발

- 기존 연구사례와의 연계 기술 고도화
- 공구 단위의 복합 구조물 시공현장을 대상으로 공구 전체에 대한 실시간 자재/인력/장비 위치 측정 장비 개발
- 자재/인력/장비의 실시간 위치기반 안전관리 시스템 개발

○ 굴착공사의 안전점검을 통해 흙막이의 붕괴를 사전에 감지하고 긴급대응이 요구되는 경우, 현장 적용성이 우수한 스마트 긴급대응 기술을 개발

- 스마트 워터백 방식 긴급대응 기술 개발
- IoT센서 기반 긴급대응효과 모니터링 및 성능확인 기술 개발

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

□ **빅데이터 분석을 통한 CPS 예측지원 스마트 안전 통합 관제시스템 구축**

○ ICT 및 4차 산업기술을 활용하여 현장 안전사고 선제적 예방을 위한 스마트 안전기술 개발

○ 타설 중 거푸집 붕괴 예방을 위한 실시간 모니터링 시스템, 거푸집 탈형 후 붕괴방지를 위한 온도 센서 기반 콘크리트 강도예측 기법 등 다양한 기존 기술을 고도화 하여 테스트베드 적용

○ 인공지능(AI), 딥러닝(Deep learning), 사물인터넷(IoT) 등을 활용하여 다양한 사고의 유형을 사전에 정의 및 저장하고, 분석 및 학습을 통해 알고리즘을 구성하여 현장의 건설사고의 위험수준 예측

□ **AI기반 스마트 안정 통합 관제 시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중소현장 및 도로공사 현장 테스트베드 운영**

○ 테스트베드 운영을 통한 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능 검증, 유효성 확인 및 기술 고도화를 구현. 안전에 취약한 도심지 중소규모 현장*을 위주로 테스트베드 현장을 구축하고, 테스트베드 H/W 구축 및 S/W 시스템 운영과 건설안전 위험상황 시나리오 개발

* 도심지 중소규모 건설현장(10개소 이상) : 공사비 기준 100억~500억 3개소 이상, 10억~100억 7개소 이상

공사종류 기준

① 지하굴착 및 상부 가시설이 동반되는 건축물 공사, 3개소 이상
② 지하시설물 시공을 위한 굴착공사(터널, 공동구, 상하수도 등), 3개소 이상
③ 도심 재개발 등의 단지(택지) 조성공사 1개소 이상
④ 해체 및 철거 공사 1개소 이상

○ 핵심기술 3-2 및 3-3을 통해 개발된 현장 맞춤형 근로자 위험 저감 기술, 임시 구조물의 품질 및 설치·해체 시 안전 확보 기술, 임시구조물의 스마트 안전 확보 기술을 활용한 통합 관제 시스템 구축

2.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ **건설 분야의 ICT 기술 적용에 대한 높은 의지의 대비 미흡한 상용화 실태**

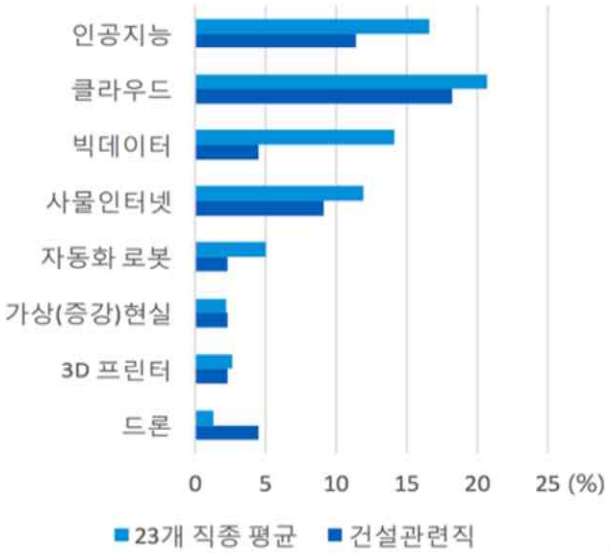
○ 국토교통부는 건설 기술 개발 전략 및 제도 개선 방안의 필요성을 인지하고, BIM(빌딩정보모델), AI(인공지능) 등 2025년까지 건설 분야에 ICT 기술을 적용하고자 하는 제6차 건설기술진흥기본계획을 발표하여, 4차 산업혁명 기술을 활용해 건설 생산성과 안정성을 혁신하고자 하는 등 관심과 기술 활용 의지가 높음

- 4차 산업혁명에 대한 관심과 기술 활용 의지는 높으나, 구체적인 기술 활용방안, 효과 분석에 기반한 추진 전략은 미흡한 편이며 현재 우리나라의 스마트 건설 기술 수준은 초기 단계로 평가됨

- 건설 산업에서의 4차 산업혁명 핵심 기술 활용도도 타 산업대비 현저히 떨어지는 것으로 나타남. 인공지능 기술은 23개 직종 산업 평균이 16.6%인 것에 비해 건설 관련직은 11.4%에 머물렀으며, 빅데이터 기술 활용 또한 평균 20.7%의 5분의 1 수준인 4.5%를 기록함. 사물인터넷 기술의 경우 9.1%를 기록하면서 평균 11.9%에 밑도는 결과를 보여 줌. 또한 자동화 로봇은 평균 5.0%의 절반에도 못 미치는 2.3%를 기록함. 반면 가상(증강)현실 기술 활용도는 2.3%로 전 산업 평균 2.2%를 소폭 상회했고, 드론 기술은 평균 1.3%의 3배 수준인 4.5%를 보임

- 세계 인공지능 시장 규모는 2015년 약 1,270억 달러에서 2017년 약 1,650억 달러로 연평균 14.0%의 고성장을 지속할 것으로 전망되며, 인공지능 관련 스타트업 투자 규모는 2010년 4,500만 달러에서 2015년 3억1,000만 달러, 투자 건수는 6건에서 54건으로 급증함. 이에 반해, 국내는 2017년 6.4조 원으로 성장할 것으로 전망되지만, 아직까지 인터넷 및 게임 등 특정 사업에 한정되어 있는 실정임

- 또한 국내에서 추진하고 있는 인공지능 기술응용 분야는 주로 로봇을 활용한 제조업, 의료 및 바이오 기술, 국방 기술, 교육 서비스, 자동차 기술, 광고 마케팅, 금융, 법무, 회계 분야 등이며, 건축분야에서는 아직 인공지능 관련 연구 및 적용이 해외에 비해 매우 뒤처진 상황임



출처 : 한국고용정보원

[그림 4-261] 건설업계의 4차 산업혁명 핵심기술 활용도

- 기술 혁신이 부족한 원인으로는 민간의 기술 개발 노력 미흡, 전문가 부족, 정부 정책 방향 부재, 관련 제도 미흡 등으로, 건설 산업이 4차 산업혁명에 대응하기 위해서는 정부가 적극 나서서 건설 산업에 첨단 기술을 적용하도록 장려하는 환경을 조성해야 한다는 주장 제기

- 최근의 건설안전관리에 대한 건설기술진흥법은 시공자 중심의 안전관리 제도가 모든 건설공사 관계자들이 참여하는 형태로 변화하고 있으며 선제적 대응의 예방형으로 변화하고 있는 추세로, 시스템 중심의 안전관리체계 도입을 위한 중장기 플랜을 실시하고자 함

- 정부는 본 계획을 통해 4차 산업혁명 기술을 활용하여 건설 생산성, 안전성을 혁신하기 위한 건설기술개발 전략 및 제도개선방안을 마련하고자 하며, 각 단계에서 발생하는 정보를 축적, 활용할 수 있는 기반을 조성하여 사업관리, 기술컨설팅 등 고부가가치 산업을 육성하고자 함

○ 주요 선진국은 스마트건설을 적극적으로 운영 중으로, 현재 건설업계에서 스마트건설 관련 최고 기술을 보유한 국가로 꼽히는 미국의 트럼프 정부는 스마트건설 관련 인프라 투자계획을 올해 하반기에 공개할 예정이며, 영국도 건설 영역에서 BIM(빌딩 정보모델) 및 ICT 기술 도입을 확대해나가고 있고, 일본도 공공사업 전 과정에서 건설과 ICT를 통합하기 위한 연구를 활발히 진행 중

□ **안전에 적용할 수 있는 ICT 기술의 높은 성숙도**

○ 사고가 많이 발생하는 중소규모 현장에서는 전문 안전관리자 부재로 사고 취약성이 높은 문제점이 존재하므로 안전 계획 및 자원 조합을 최적의 시스템으로 수행할 수 있는 공통적 방법론 및 지원도구를 도출하여 제공하는 것이 중요한 정부의 책무이며, 4차 산업의 근간 기술인 사이버물리시스템, 인공지능 기반 딥러닝, 사물인터넷 등의 기술은 건설 현장 안전관리에 활용될 수 있는 수준에 도달함

○ 기계학습(Machine Learning)이란 컴퓨터가 스스로 훈련하면서 패턴을 찾아내 분류하는 기술적 방식이며 데이터를 어떻게 분류할 것인가를 놓고 이미 많은 기계학습 알고리즘들이 현재도 활용되고 있음. 대표적으로 의사결정나무, 베이지안망, 서포트벡터머신(SVM), 인공신경망 알고리즘이 있으며, 각 알고리즘마다 장단점이 분명해 데이터의 속성, 형태에 따라 서로 다른 알고리즘이 동원됨

○ 딥러닝은 심화신경망(Deep Neural Network)를 활용한 기계학습의 일종이며, 딥러닝의 핵심은 분류를 통한 예측으로 수많은 데이터 속에서 패턴을 찾아내 인간이 사물을 구분하듯 컴퓨터가 객체를 분별할 수 있다는 것임. 고성능 GPU가 등장하고 영상, 이미지, 텍스트 등의 다양한 데이터를 분석하기 위한 컴퓨터의 파워 문제가 해결되면서 다양한 분석의 문제를 연산으로 해결할 수 있게 됨

○ 딥러닝 기반의 강화학습이란 여러 번의 시뮬레이션 혹은 현실에서 의사결정을 수행한 데이터를 바탕으로, 특정 문제를 가장 효과적으로 해결할 수 있는 의사결정을 학습하는 것을 의미함. 건설분야에서의 머신러닝 활용은 약 20여 년 전부터 고려되었으며, 처음에는 건설 엔지니어링 관리에서 경쟁업체 수 또는 계약자의 예상비용과 같은 입찰 상황을 판단하거나, 의사결정 트리와 신경망을

건설 관리 데이터베이스에 적용하여 건설 지연 원인을 파악하는 데 사용함. 최근에는 입력변수를 통해 공사비용과 손실위험 파악, 근로자 위치 추적 등 다양한 분야에 사용되고 있으나, 학습 알고리즘을 사용하여 데이터로부터 건설 안전 관련 결과를 예측하는 연구는 거의 이루어지지 않고 있음

○ 도심지의 지하굴착은 대부분 근접시공이며, 주변 지반의 변위, 변형, 응력상태의 변화 등을 초래하여 인접구조물의 안정에 영향을 미치고 있으며, 문제가 심각한 경우 붕괴사고가 발생하여 사회적으로 큰 피해를 유발하고 있음

○ 소규모 작업현장에도 쉽게 배포하여 사용할 수 있는 올인원 시스템 및 모바일 환경에서도 편리하게 사용할 수 있는 안전 관리 모니터링 필요

○ 개발 기술의 신뢰성 및 현장 적용성을 확보하기 위해서는 연구과제 핵심성과물인 스마트 안전 통합 관제시스템과 건설현장 취약 공종 및 근로자 안전 확보 기술에 대한 연구 성과의 검증이 요구됨

□ **건설현장의 침수 피해 사례 급증**

○ 최근 급증하고 있는 집중호우에 의한 시공 중 (지하)구조물의 침수피해 발생이 증가하고 있으나 이에 대한 적절한 대비가 부족한 실정임

○ 특히, 강우에 따른 구조물 침수 정도의 예측이나 인접 지역의 강우-유출에 의한 유출수와 토사류 유입은 작업자나 주민의 안전에 미치는 영향이 큼

○ 따라서, 공사중인 건설현장의 침수에 대비한 건설안전관리가 필요한 시점

□ **건설현장의 지반 및 지반구조물 붕괴 사례 급증**

○ 최근의 건설현장주변 보도블럭 침하, 토사유실로 인한 싱크홀 발생등이 급증하고 있으나 이에 대한 예측 및 대응 기술이 부족한 실정임

○ 특히, 지반의 변형은 시공 초기에 안정화되기까지 가장 많이 발생하며, 이때 모니터링이 매우 중요함. 시공 초기에 안정화되기 이전에 집중 호우 등으로 인해 토사유실 및 세굴 등으로 인해 지반내 응력이 이완되고 변형이 가속화 될 경우 붕괴사고로 이어짐

○ 현재는 임의의 지점에 대한 일 단위 혹은 주 단위의 계측을 통해 모니터링을 하고 있으나, 계측지점이 아닌 예상외의 지점에서 붕괴나 변형이 일어나는 경우가 빈번함.

○ 지반 및 지반구조물의 변형 및 변위는 매우 미세하여, 수 mm 급의 해상도가 필수적이므로 수 mm의 초기 변형을 감지함으로써 경보 및 대응을 할 수 있는 시간을 확보할 수 있음

○ 변위/변형 시계열 데이터를 바탕으로 지반의 종류, 지반구조물의 종류, 공정 종류에 따라 대응 가이드라인을 제시하고 이를 반영하여 대응하는 것이 필요함

□ **건설현장의 화재 피해 사례 급증**

○ 한국전기안전공사는 2017년 '빅데이터 기반의 전기화재 위험예측 서비스'를 구축하여 전기화재를 예방하고자 하였으며, 국민안전처는 '빅데이터를 활용한 화재위험도 분석모델링' 결과를 발표하는 등 화재예방을 위한 빅데이터, 인공지능 등의 활용이 본격화되고 있음

○ 최근 세종시 건설현장에서 화재가 발생하여 45억 원 이상의 재산 피해 및 인명피해가 발생하는 등 건설공사 현장에서의 화재발생은 소방시설 구축 이전 단계에 발생하여 피해규모가 커질 수 있음

○ 건설현장의 경우 다수의 근로자가 동일 장소에서 동시에 다양한 공정을 진행하고, 자체 소방설비 미설치, 용접 및 도장 등 위험한 작업의 수행 및 작업과정이 증가함에 따라 화재폭발 재해발생 우려가 높아 사전에 대응이 필요함

□ **시공 중 보행자 및 차량통제의 안전성 재고 필요**

○ 도심지의 중소규모의 공사들 중에서 굴착공사 및 도로 공사의 경우에는 중장비들이 대다수 공정을 소화하고 있으나 이에 따른 주변 보행자 및 차량 통제에 대한 내용은 다음의 그림들과 같은 것을 설치하는 것으로 안전관리가 이루어지고 있으며 보다 높은 안전성을 확보할 수 있는 시스템은 존재하지 않음



[그림 4-262] 다양한 산업 안전관리용품

□ 복합 구조물 시공현장의 안전관리 기술 고도화

○ 대형 토목현장(도로, 철도 등)에 있어 하나의 시공사가 하나의 공구를 수행하는 경우가 대부분임. 이 하나의 공구에는 터널, 교량, 도로, 사면, 옹벽 등의 다수의 구조물들이 존재할 수 있음

○ 현재까지 이들 복합 구조물을 포괄하는 안전관리 기술은 연구되지 않았으며, 각 구조물별 또는 구조물 중 특수 공법에 대한 단편적인 안전관리 기술만이 연구·개발됨

○ 하나의 공구 단위에는 투여되는 인력/장비/자재에 대한 공통적인 부분이 존재하며, 구조물 간의 이동 구간에도 안전관리가 필요함

□ 안전문제 발생 시 스마트 긴급대응 기술 부재

○ 도심지의 지하굴착은 대부분 근접시공이며, 주변 지반의 변위, 변형, 응력상태의 변화 등을 초래하여 인접구조물의 안정에 영향을 미침. 문제가 심각한 경우 붕괴사고가 발생하여 사회적으로 큰 피해를 유발하고 있음



[그림 4-263] 흙막이 가시설 구조체 붕괴에 따른 인접 Nicoll Highway 붕괴(싱가포르, 2004)

○ 이러한 중·대심도의 지반굴착은 지반조사의 불충분, 가시설 구조체 불안정, Boiling 또는 Heaving에 대한 굴착바닥면의 불안정, 차수·배수 등의 지하수처리 미흡에 따른 불안정 등의 다양한 원인에 의해 흙막이벽이 붕괴되고 있으며, 따라서 이와 같은 흙막이벽의 붕괴를 사전에 감지하고 필요시 긴급대응이 가능한 기술을 확보하는 것이 중요함

○ 소규모 저심도의 지반굴착은 안전점검에 따른 긴급대응이 필요시 재료 및 장비 수급 등의 현장상황을 고려하여 신속히 대응하는 것이 중요함

○ 일반적으로 흙막이 가시설 구조체 형식 선정 시 흙막이 벽체는 구조적 안정성, 인접건물의 노후화 및 중요도, 굴착깊이, 공기, 공사비 등을 검토하여 선정하며, 흙막이 벽체의 지지구조는 벽체의 안정성, 시공성, 인접건물의 이격거리, 지하층 깊이 및 민원 등을 종합적으로 고려하여 가장 유리한 형식으로 선정하고 있으나, 다양한 원인에 기인하여 붕괴사고가 빈번하게 발생

(2) 추진 필요성

□ **다양한 분석 데이터를 수집하여 데이터마이닝을 통해 경보 및 대응을 할 수 있도록 체계적 안전 분석 대응 기반 마련**

○ 건설현장에서 발생될 수 있는 다양한 문제점들을 체계적인 데이터 축적 및 관리를 통해 데이터마이닝 기반으로 예측 및 관리 시스템을 구축해야 함

○ 대형 사고를 사전에 차단하기 위해서는 다양한 기존 사고에 대한 학습과 주변 환경 요인의 다양한 변수를 통해 알고리즘을 마련, 이를 기반으로 대응체계를 마련하고, 다양한 사고 점검 항목에 따른 체계적 안전 분석 대응을 구축함으로써 사고 발생 시 초기 대응이 가능할 수 있음

□ **데이터를 기반으로 안전 문제를 차단할 수 있는 기틀 마련**

○ 건설 공사 현장 안전관리를 위한 모니터링 체계는 대부분 미흡하며, 특히 중소 건설 현장에서 시스템화를 통한 안전 관리 모니터링은 전무한 상황으로 관련 기술 개발을 통한 현장 안전관리가 필요

○ 건설 현장의 데이터를 수집하여 각 관제 단위별로 운영할 수 있는 빅데이터 기반의 통합 모니터링을 구성하여 향후 건설 종합 정보망과 연계하여 공공 안전 데이터로 활용할 수 있는 기반 마련이 필요

○ 현장에서 수집된 데이터를 기반으로 사고 모델 분석을 통해 사고 분류 및 위험 수준 예측 모델, 건설 사고 비용 분석 모델로 확대하여 안전과 관련된 분석 플랫폼의 기반을 마련하여 사전에 안전 문제를 차단할 수 있는 기틀을 마련하고자 함

□ **갑작스런 집중호우로 인한 현장의 인력/장비 손괴 및 지반/지반 구조물 붕괴 사례 급증**

○ 증대하고 있는 집중호우 발생 가능성과 이에 따른 건설현장의 침수는 차후 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

○ 특히, 최근의 도심지 구조물이 경사면에 설치되는 경우가 잦고 지하 공간 활용을 위해서 깊은 굴착을 시행하고 있기 때문에 구조물 침수에 의한 현장 인력 및 장비의 손괴 가능성이 큼

○ 지반의 변형은 시공 초기에 안정화되기까지 동안에 가장 많이 발생하며, 이때 모니터링이 매우 중요함. 시공 초기에 안정화되기 이전에 집중 호우 등으로 인한 토사유실 및 세굴 등으로 인해 지반 내 응력이 이완되고 변형이 가속화될 경우, 붕괴사고로 이어질 수 있음

○ 현재는 임의의 지점에 대한 일 단위 혹은 주 단위의 계측을 통해 모니터링을 하고 있으나, 계측지점이 아닌 예상외의 지점에서 붕괴나 변형이 일어나는 경우가 빈번함.

○ 지반 및 지반구조물의 변형 및 변위는 매우 미세하여, 수 mm 급의 해상도가 필수적이므로, 이를 통하여 수 mm의 초기 변형을 감지함으로써 경보 및 대응을 할 수 있는 시간을 확보할 수 있음

○ 변위/변형 시계열 데이터를 바탕으로 지반의 종류, 지반구조물의 종류, 공정 종류에 따라 대응 가이드라인을 제시하고 이를 반영하여 대응하는 것이 필요함

□ **화재 예방을 위한 전 공정의 체계적인 데이터 구축 필요**

○ 건설현장에서의 화재예방을 위한 체계적인 데이터 축적 및 관리가 거의 부재한 실정으로 화재요인과 발화 패턴 분석 등을 통한 예측 및 관리 시스템을 구축해야 함

○ 건설 현장의 화재 및 폭발 등으로 이어지는 대형 재난을 예방하기 위하여 화재 역학 기반의 ‘초기 화재성장률’에 따른 대응체계를 마련하고, ‘화재성장률 및 최대열 발생률’을 고려하여 빅데이터 기반 화재폭발 관리시스템을 개발할 예정임

○ 건설현장 건축물의 용도별, 규모별, 공정별 초기 화재진화를 위한 장비 비치 및 소방안전 점검 항목에 따른 재난 예방 시스템을 구축함으로써 소방시설이 갖추어지지 않은 건설현장의 화재 및 폭발에 관한 초동 대응이 가능할 수 있음

□ **공사 현장 주변의 안전 관리 철저**

○ 본 연구에서는 건설 공사 중 특히 도심지 공사에 있어 스마트 펜스를 개발하여 공사현장 주변 보행자, 차량, 중장비 운전자 등에게 경고 및 안내를 통해 건설 안전사고를 예방할 수 있는 시스템을 개발하고자 함

□ **복합 구조물의 안전관리 기술 고도화**

○ 스마트건설에서는 기존에 연구된 단편적인 구조물별/특수공법별 안전관리 기술을 고도화하여 복합 구조물 전체에 대한 포괄 안전관리(구조물 간의 이동 구간에 대한 안전관리, 구조물별 중첩되는 인력/자재/장비에 대한 안전관리 포함)를 수행할 수 있는 기술 개발이 필요한 실정임

□ **스마트 긴급대응 기술을 활용한 신속 대응을 통해 피해 절감**

○ 인구증가와 산업화로 인하여 도시화가 급속히 진행됨에 따라 도심지에서 다양한 지반굴착 공사가 시행되고 있으며, 지반굴착 시 공사현장 또는 인접 구조물과 시설물에 직·간접적인 피해를 유발하는 붕괴사고가 빈번하게 발생하고 있음

○ 그러나 빈번하게 발생하는 지반굴착 사고를 방지하기 위한 연구는 미흡한 실정이며, 특히 지반굴착 가시설 구조체의 안전점검에 따른 긴급대응 방법은 초보적인 수준임

○ 따라서 최근 발생한 지반굴착공사로 인한 다수의 붕괴사고에 대한 원인 분석을 바탕으로, 붕괴사고를 미연에 방지할 수 있는 실용적인 지반굴착공사 긴급대응 방안을 확보함으로써 경제적인 손실뿐만 아니라, 인명의 피해를 최소화하는 방안을 마련할 필요가 있음

○ 특히 소규모 굴착공사의 경우 위험징후가 사전에 노출되지 않고 대부분 현장이 협소하여 흙막이 긴급대응을 위한 대형장비의 반입이 불가하며, 긴급 대응을 위한 재료 수급이 용이하지 않으므로 이에 대한 적절한 대응이 필요함

○ 소규모 작업 현장에도 쉽게 배포하여 사용할 수 있는 올인원 시스템 및 모바일 환경에서도 편리하게 사용할 수 있는 안전 관리 모니터링 필요

□ **각 핵심기술을 통합한 스마트 안전 통합 관제시스템 개발 및 테스트베드 운영이 필요**

○ 건설 현장의 안전관리에 직접적으로 적용될 스마트 안전 통합 관제시스템의 현장 성능을 확보하고, 개선방안 도출을 통하여 시스템 고도화를 추진하기 위해 다양한 현장의 테스트 베드 구축·운영이 필요함

○ 구축된 테스트베드에 건설현장 근로자 안전 확보 기술, 임시 구조물의 스마트 안전 확보 기술을 적용하여 전체 건설 안전 개발 기술이 각 시스템에 일괄적으로 적용되도록 함으로써, 각 개발 기술의 성능 검증과 시스템과의 연계성을 동시에 확보할 수 있음

○ 안전에 취약한 중·소규모 현장을 대상으로 성능 검증을 실시하고 대규모 현장으로의 확대적용이 필요함

○ 지속가능한 시스템의 운영을 통한 실질적인 건설재해 저감에 기여가 필요함

2.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **건설 현장에서 수집된 데이터 기반의 안전 융합 긴급 대응 머신러닝 분석 솔루션 구축**

○ 현재 안전사고 예방 체계는 위험요소를 감지하여 미리 알려주거나, 사고 발생 시 빠른 대처를 위한 시스템 등 사후 대책을 위한 시스템이 대부분이기 때문에 미리 위험요소를 제거하는 관리에는 한계가 있음

- 건설 현장에서 재해를 감소시키기 위해서는 일반적으로 1) 위험요인 제거/감소, 2) 근로자의 위험요인에 대한 노출 제거/감소 3) 위험요인 노출에 대한 취약성 제거/감소 순서로 관리가 이루어지는데, 위험 요인 관리를 위해서는 기존

건설 현장에서 발생한 사고 원인에 대한 정보가 매우 중요하지만, 사고 원인 정보 DB를 구축하기 위해서는 사고 분석이 이루어져야 하며 이를 위해서는 사고분석모델이 필요함

○ 건설 안전사고 발생 시 재해자에게 보상으로 지급되는 직접비와 벌금 등의 막대한 간접비가 발생하지만, 정확한 금액 산정 분석이 이루어지지 않아서 안전사고 예방에 투자하기보다는 사고 발생 시 보상비와 벌금으로 처리하고자 하는 세태가 만연함

- 공사 중단, 사고 재발 대책 마련 등 간접비용 분석이 이루어지지 않기 때문에 정확한 ROI 계산이 불가능하여 재해손실비를 정확하게 알지 못함
- 건설 공사의 안전관리에 필요한 비용을 공사금액에 계상하여 안전관리비를 사용할 수 있지만, 대다수는 비용 절감 등의 이유로 제대로 집행하고 있지 않음

○ 소규모 현장일수록 건설공사 안전관리 시스템이 제대로 이루어지지 않고 정부의 규제와 의무에서 상대적으로 자유롭기 때문에 현장 안전관리자 및 작업자들의 내부 분위기에 따라 안전관리준수 이행이 좌우되는 상황임

- 120억 원 이하(토목공사 150억 원 이하)의 중소규모 건설 현장의 경우 안전관리자 선임 의무가 없기 때문에 실제 한국시설안전공단이 조사한 건설사고 31건 중 84%가 안전 계획을 수립하지 않거나 소규모 발주자가 직접 계획서를 검토하는 등 개개별의 자율적인 판단에 따라 안전관리가 이루어지고 있음
- 고용부가 환산재해율이 높은 곳을 대상으로 정기 감독을 실시하고, 공공 건설공사 입찰 평가 시 불이익을 주는 등 품질과 안전 관리 제도를 시행 중임에도 불구하고, 소규모 현장일수록 정부의 규제가 현실적으로 어렵기 때문에 제도 이행 부족과 작업자의 낮은 안전 의식으로 과도한 사고가 발생함
- 소규모 현장일수록 높은 사망만인률을 보이기 때문에 소규모 현장의 안전 문제를 해결하지 않으면 사망만인률을 감소시키는 것이 불가능함

○ 소규모 현장일수록 작업자가 현장의 위험요소에 대한 정보를 얻지 못하고 경험에 의한 위험요소만 알게 되기 때문에, 신규 작업자의 경우 현장의 사고 위험 요소에 무방비한 상태로 작업을 하게 되어 재해율이 높은 경향을 나타내고 있음

□ **IoT 센서, 다중영상 및 현장 데이터 취득을 통한 건설 공사 시공 현장·장외 재난 대응 기술 및 예방 가이드라인 개발**

○ 지방자치단체의 안전관리 대책 혹은 공공기업의 안전관리 세부집행계획에서는 기상예보에 따른 현장 대기 및 현장 점검 사항 등을 기술하고 있을 뿐 건설현장의 구체적인 침수피해 대비 안전기술에 대해서는 언급되어 있지 않음

- 안전보건공단에서 수립한 '건설현장 하기철 안전대책'에서는 강우와 폭풍으로 인한 외곽 유입수/현장 표면수 처리와 배수로 정비등을 언급하고 있으나 현장에서 구체적인 강우-유출 모의에 따른 체계적 대책 등을 수립하고 있지는 않음

- 따라서 단순한 선언적 의미의 건설현장 침수대책이 아닌 구체적인 자료와 그에 따른 대비책(차수벽 설치 설계, 최적 펌핑 설계)을 수립하는 것이 중요함

○ 안전보건공단 자료에 따르면, 최근 7년간 건설현장에서 화재폭발로 인한 사망자는 총 47명, 부상자는 총 528명으로 집계되고 있음

- 화재 또는 폭발 발생 원인이 되는 가연물 관리 및 점화원 관리는 작업현장에서 수기로 진행되고 있으며 하청을 받은 작업자의 경우 관리 내용에 관한 숙지가 이루어지지 않고 있는 실정임



복선전철 교량 하부보강 중 LPG 폭발
('16.06.01 사망 4명, 부상 10명)



근린생활시설 신축공사 화재
('16.09.10 사망 4명, 부상2명)



상가매장 복구공사 중 화재
('17.02.04 사망 4명, 부상 47명)

[그림 4-264] 건설현장에서 발생하는 화재 및 폭발 사례

- 현재, 화재 관련 예방 시스템은 ICT기술을 건설현장에 단순 접목시키는 단계에서 구축되고 있어 건설현장에서 발생할 수 있는 화재를 예방하기 위한 건설 공정별 관리 메커니즘 분석을 통한 지원 시스템이 필요함

○ 현재는 별도의 안전인원도 없이 안전관리용품만을 전시해 놓은 소(小)현장들이 다수 존재함

- 안전관리용품의 경우 작업 반경 전체를 커버하지 못해서 안전사각지대가 발생함

- 중장비 운전자의 육안 확인에 기반한 안전사고 예방이 이루어지고 있으며 주변 통행자의 안전관리용품 시각 확인으로 인한 회피만이 존재함



[그림 4-265] 안전사고 Risk를 안고 있는 도심지 시공현장

○ 현재는 공구단위를 수주한 도급사(시공사)의 안전관리 기술에 의존적이며, 안전관리 담당자에 의한 육안 확인, 구조물별 일부 상시 자체 계측/외주용역계측에 의한 구조물별 안전관리를 수행하고 있음

- 구조물 시공현장별로 안전관리를 수행하고 있으나, 구조물별 시공 현장 간의 이동구간, 이동 자원(인력/장비/자재)에 대한 포괄적인 안전관리는 수행되고 있지 않음

○ 지반굴착 가시설 구조체는 지반조사의 불충분, 가시설 구조체 불안정, Boiling 또는 Heaving에 대한 굴착바닥면의 불안정, 차수·배수 등의 지하수 처리 미흡에 따른 불안정, 시공상의 오류, 과다굴착, 사면활동, 관리 소홀 등의 다양한 원인에 의해 붕괴되고 있음

- 이와 같은 가시설 구조체는 붕괴시 인적 물적 손실에 따른 사회적인 비용이 급속히 증가하고 있으나, 굴착공사 현장의 특성, 가시설 구조체 형식, 흙막이 손상 원인 등을 고려한 긴급대응 대책은 미흡한 수준이며, 따라서 지반굴착 심도, 위치, 주변여건 등의 현장 여건과 붕괴원인을 고려함과 동시에 긴급한 대응이 가능한 대책 수립이 요구됨

- 재래적인 소규모 굴착공사 흙막이 긴급대응 대책의 경우 대응 적용기준이 일정하지 않으며, 긴급대응시 이용한 재료의 해체가 어려워 현장적용이 용이하지 않음

- 또한, 흙막이 굴착공사 현장이 협소한 경우, 안전점검에 따른 긴급대응시 대형의 재료를 활용하는 것에 원천적으로 제약이 있는 실정임

○ 최근 건설현장주변 보도블럭 침하, 토사유실로 인한 싱크홀 발생등이 급증하고 있지만, 이에 대한 예측 및 대응 기술이 부족한 실정임

○ 특히, 지반의 변형은 시공 초기에 안정화되기까지 가장 많이 발생하며, 이때 모니터링이 매우 중요함. 시공 초기에 안정화되기 이전에 집중 호우 등으로 인해 토사유실 및 세굴 등으로 인해 지반내 응력이 이완되고 변형이 가속화 될 경우 붕괴사고로 이어짐

○ 현재는 임의의 지점에 대한 일 단위 혹은 주 단위의 계측을 통해 모니터링을 하고 있으나, 계측지점이 아닌 예상외의 지점에서 붕괴나 변형이 일어나는 경우가 빈번함. 따라서 IoT센서, 영상 등을 이용한 고해상도의 광역 계측이 필요함

□ **건설사고 피해예방을 위한 스마트 통합관제시스템 구축**

○ 2014년 이후 COIMIS(http://www.cosmis.or.kr)에 등록된 건설사고 발생 건수 상위 6개 공종에 대한 사고분석 내용은 표 *와 같으며, 사고발생 원인을 분석한 결과 골조공사, 토공사, 전기 및 기계설비공사, 마감공사 등 건설사고 공정별 피해예방을 위한 통합관제시스템 구축이 요구됨

○ 전기 및 기계설비공 및 마감공 사고의 70% 이상은 근로자의 안전사고로 핵심기술 3-2(건설현장 근로자 안전 확보 기술)를 통합관제시스템 포함 및 테스트베드 적용이 필요함

○ 골조공사 사고발생은 콘크리트 타설 중 거푸집 붕괴, 탈형 후 구조체 붕괴, 가설공사(임시구조물 설치 및 해체)사고와 밀접한 관련이 있으며, 핵심기술 3-3(임시 구조물의 스마트 안전 확보 기술)을 활용한 통합관제시스템 구축이 필요하며, 골조공사 모니터링 관련 기존기술의 고도화를 통한 적용이 요구됨

<표 4-117> 사고발생공종별 피해분석 결과

사고발생공종	관련공정	발생건수 (건)	사망자 (인)	부상자 (인)	피해금액 (백만원)	사고당 사망자수 (인)	사고당 부상자수 (인)	사고당 피해금액 (백만원)
철근콘크리트공	골조공사	47	17	97	460	0.36	2.06	9.79
가설공	골조공사 토공사	27	13	27	320	0.48	1.00	11.85
해체 및 철거공	해체 및 철거 골조공사[2]	26	15	25	180	0.58	0.96	6.92
굴착공	토공사	23	12	18	310	0.52	0.78	13.48
전기 및 기계설비공	전기 및 기계 설비공사	16	2	22	120	0.13	1.38	7.50
마감공[1]	마감공사	15	4	14	80	0.27	0.93	5.33

[1] '18.6.26. 발생한 세종시 사고의 경우(사망3, 부상37) 화재사건으로 본 통계에서 제외함.
[2] 임시구조물(거푸집, 동바리, 비계 등)의 해체 시 발생사고는 골조공사와 연계

(2) 개선방안

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

□ **건설 현장에서 수집된 데이터 기반의 안전 융합 긴급 대응 머신러닝 분석 솔루션 구축**

○ 건설현장에 많이 발생하는 안전사고 유형에 대한 데이터 기반의 의사결정, 딥러닝 기반의 사고 원인 분류 및 분석 플랫폼을 바탕으로 사고를 예방할 수 있는 위험 수준예측 모델 개발

- 기존 건설현장에서 발생한 건설재해 분류 및 사고형태 인과관계 정보 DB 구축
- 실제 사고 사례 및 안전사고 분류모델을 바탕으로 사고원인과 그에 따른 인과관계 분석을 통해 안전사고 분석기법을 개발하여 플랫폼에 탑재하도록 알고리즘 개발
- 사고가 빈번하게 발생되는 작업에 대한 사전 시뮬레이션 반복을 통해 구체적인 위험요인, 위험 수준 및 사고 발생 가능성을 예측하도록 지원
- Deep Learning을 통해 안전사고 발생 패턴 발견 및 학습을 통해 안전 규정과 기준이 반영된 임계치 제시
- 사고원인 분석 모델링을 바탕으로 한 사전 시뮬레이션을 통해 안전 점검

○ 위험수준과 사고 발생 예측을 통해 위험요소 사전관리를 위한 건설사고 발생에 따른 손실 비용 분석 모델

- 건설 현장에 따른 여러 상황에 맞는 간접비용 분석이 이뤄질 수 있도록 다양한 케이스의 분석을 통해 ROI 계산을 위한 예측 모델 개발
- 안전관리비의 정확한 집행을 위한 건설 공사의 공사 금액의 분석을 통해 안전사고 예방에 투자할 수 있도록 다양한 시뮬레이션 모델 제시

□ **IoT 센서, 다중영상 및 현장 데이터 취득을 통한 건설 공사 시공 현장·장외 재난 대응 기술 및 예방 가이드라인 개발**

○ 건설 공사 중 구조물의 침수에 따른 재난에 대비하기 위해 BIM, 고해상도 DEM 등 스마트 ICT 기술을 활용의 호우, 침수 및 토사유출 관련 재해 저감 기술을 개발

- BIM / 고해상도 DEM을 바탕으로 한 주변 유입수 / 현장 표면수 강우-유출-흐름해석 시스템
- 정확한 강우-유출-흐름 해석 시스템을 바탕으로 한 차수판 / 가배수로 적정 설계
- 강우사상별 구조물 침수분석을 통한 구조물 침수피해 예측 시스템
- 굴착단면 내 우수유입 피해 저감을 위한 최적 펌핑 시스템

○ 작업시작 전 가연물 관리, 가스·분진 누출 여부 측정, 내용물 제거 시 안전대책, 인화성물질 처리, 안전점검 및 화기작업 허가 등 온라인 데이터 처리 및 실시간 대응·조치를 위한 시스템 구축

- 건축물의 용모 및 규모, 건설공정별 화재 및 폭발 위험도 분석을 위한 DB 구축
- 지능형 피해예측 기반 건설현장 화재관리 및 서비스 플랫폼 개발
- 건설공정 단계별 화재 및 폭발 예방 지원 실시간 앱 서비스 지원

○ 시공 중 보행자 및 자동차의 안전관리를 위한 맞춤형 기술

- 무선 환경으로 작업 반경 전체를 커버할 수 있는 시스템
- 단계별 경보를 통한 장비 운전자의 안전사고 예방 가능
- 시각, 청각적인 효과를 통한 주변 통행자(보행자, 차량)의 안전 확보 가능

○ 복합구조물의 안전성 향상을 위하여 구조물 중심의 기존 기술 고도화 및 실시간 위치기반 안전관리 시스템 개발

- 기존의 단편적인 구조물별, 특수 공법별 안전관리 기술 고도화

- 복합 구조물 건설 현장 환경 전체를 포괄할 수 있는 실시간 자재/인력/장비 위치 측정 장비 개발 및 실시간 위치기반 안전관리 시스템 개발

○ **굴착공사 중 흙막이 붕괴에 대한 긴급대응이 요구되는 경우, 현장 적용성이 우수한 스마트 워터백 방식의 긴급대응 기술을 개발함**

- 긴급대응 스마트 워터백 개발을 위한 기초자료조사 및 분석
- 흙막이 굴착공사 스마트 워터백 현장적용기준 수립
- 현장에서 자력으로 적용 가능한 스마트 워터백를 활용한 긴급대응 기술 개발
- IoT센서 기반 긴급대응효과 모니터링 및 성능확인 기술 개발

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

□ **빅데이터 분석을 통한 CPS 예측지원 스마트 안전 통합 관제시스템 구축**

○ 건설 공사 관리 체계를 고려한 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축하고, 전문 인력이 많지 않은 소규모 현장에서도 쉽게 사용할 수 있는 안전 현장 대응 시스템 개발

○ 지역청 단위까지 통합 관제할 수 있는 발주기관 전용 CPS 통합안전관제 시스템 구축, 국토부 전 건설현장을 안전 관리할 수 있는 스마트 안전 통합관제 센터 구축

○ 현장 안전 데이터를 통합 관리할 수 있도록 건설 종합 정보망과 연계 및 공공 데이터 활용을 위한 디지털 플랫폼과의 연계

□ **AI기반 스마트 안정 통합 관제 시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중소현장 및 도로공사 현장 테스트베드 운영**

○ 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능을 극대화시키기 위하여, 각 관제 단위별로 실제 건설 현장에서 직접 운영하며 도출된 문제점을 보완하고 시스템을 고도화함으로써 연구개발 종료 직후 실제 현장에서의 활용을 도모

○ 안전이 취약한 중소건설 시공현장, 사업단 전체 연동 도로건설현장으로 테스트베드 구축 및 운영

○ 테스트베드 운영을 통한 시스템 보안 성능 강화, 단계별 관제 시스템 간 서버 및 네트워크 등 통신라인 점검을 통해 안정적인 운영환경 도모

○ 테스트베드에 적용한 기술들의 유효성 평가를 통해 보완점 도출 및 피드백 실시

<표 4-118> 스마트 안전 통합 관제 시스템(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 시공 중 구조물 침수 대비 기술 부재 - 호우로 인한 비탈지나 평기의 유출 발생 - 지하구조물의 침수로 인한 안전문재 발생	○ ICT 기술을 통한 침수 저감기술 개발 - BIM을 활용한 구조물 침수모델 개발 - 침수재해 방지를 위한 차수판 적정 설치위치 및 설계안 - 가배수로/임시측구 선형 및 단면 설계안 - 굴착단면 침수피해 저감을 위한 최적 펌핑시스템 설계
○ 건설현장의 화재위험성 노출 - 밀폐공간에서의 작업 등은 폭발사고를 동반 - 위험물(가연물)과 점화원의 체계적 관리 필요 - 이에 관한 추가적인 위험 예방 및 대응조치 필요	○ 온라인 데이터 처리 및 실시간 대응·조치를 위한 시스템 구축 - 건축물의 용모 및 규모, 건설공정별 화재 및 폭발 위험도 분석을 위한 DB 구축 - 지능형 피해예측 기반 건설현장 화재관리 및 서비스 플랫폼 개발 - 건설공정 단계별 화재 및 폭발 예방 지원 실시간 앱 서비스 지원
○ 시공현장 주변의 안전사고 빈번히 발생 - 콘, 펜스 등의 시각적 효과만을 주는 안전관리 - 위험요소가 내재된 상태에서 작업 진행	○ 시공 중 보행자 및 자동차의 안전관리 - 무선 환경으로 작업 반경 전체를 커버할 수 있는 시스템 - 단계별 경보를 통한 장비 운전자의 안전사고 예방 가능 - 시각, 청각적인 효과를 통한 주변 통행자(보행자, 차량)의 안전 확보 가능
○ 시공현장의 안전관리 체계 미흡 - 공구단위를 수주한 도급사(시공사)의 안전관리 기술에 의존 - 구조물별 일부 상시 자체 계측/외주용역계측에 의한 구조물별 안전관리를 수행	○ 시공현장의 체계적인 안전관리 수행 - 기존의 단편적인 구조물별, 특수 공법별 안전관리 기술 고도화 - 구조물별/공법별 안전관리 측면의 구조물 계측 기술 - 복합 구조물 건설 현장 환경 전체를 포괄할 수 있는 안전관리 기술
○ 붕괴발생시 긴급대응 기술 부재 - 지반굴착 공사 현장의 특성, 가시설 구조체 형식, 흙막이 손상 원인 등을 고려한 긴급대응 대책은 미흡 - 현장 여건과 붕괴원인을 고려함과 동시에 긴급한 대응이 가능한 대책 필요	○ 임시구조물 배면(지반)의 안전 확보 - 흙막이 긴급대응 최적화를 위한 스마트 워터백 방식의 긴급대응 기술 개발
○ 안전을 위한 시스템이나 플랫폼 부재 - 건설현장 단순 모니터링만 존재 - 중소현장의 경우 모니터링도 없음 - 건설자원(인력,자재,장비)-가시설-목적물과의 연계 통합 안전 분석기술 부재 - 안전취약 중소현장 통합관제센터 및 시스템 부재	○ 발주기관 CPS 통합안전관제시스템 및 스마트 안전통합센터 구축 - 빅데이터 딥러닝 기반의 건설사고 및 비용 추계 모델 개발 - 즉각적인 사고 예방 및 대응 가능 위험수준 예측 모델 개발 - ICT 기반의 현장 대응 시스템 및 발주기관 전용 스마트 안전관리 시스템 구축 - 건설자원 상태-작업반경-작업환경-건설현장 내/외를 잇는 포괄적인 안전 확보 - 빅데이터, AI 기반의 전문가 그룹이 스마트 안전통합 관제센터 구축 및 운영

2.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

□ 건설 현장에서 수집된 데이터 기반의 안전 융합 긴급 대응 머신러닝 분석 솔루션 구축

○ 안전사고 데이터 분류모델 플랫폼 탑재 및 알고리즘 개발

- 공사종류, 지역, 공종, 사고유형별 원인에 대해 텍스트마이닝, 이미지마이닝 기술을 활용하여 사고보고서에 대한 분석을 통해 안전사고 온톨로지 프로세스 정립
- 온톨로지를 통해 사고유형분류모델을 개발하여 적용하도록 지원
- 안전사고 분류모델을 바탕으로 사고원인과 그에 따른 인과관계 분석을 통해 안전사고 분석기법을 개발하여 플랫폼에 탑재하도록 알고리즘 개발
- 실제 사고 사례 및 통계 데이터를 통한 사고 위험 요인 및 예측을 판단할 수 있는 작업 시뮬레이션 기법 개발
- 사고가 빈번하게 발생되는 작업에 대한 사전 시뮬레이션 반복을 통해 구체적인 위험 요인 및 사고 발생 가능성을 예측하도록 지원

○ 사고 예방 건설 현장의 규모에 맞는 재해 예방 투자비 산출 모델 개발

- 건설 규모에 따라 재해자에게 지급하는 직접비와 작업대기, 근로손실일수, 사고예방대책 마련 등의 간접손비를 분석할 수 있는 모델 개발
- 재해 예방 비용, 재해 손실 비용의 비교 분석을 통해 건설 현장의 규모에 맞는 적정 재해 예방 투자비 정보를 제공

□ IoT 센서, 다중영상 및 현장 데이터 취득을 통한 건설 공사 시공 현장·장외 재난 대응 기술 및 예방 가이드라인 개발

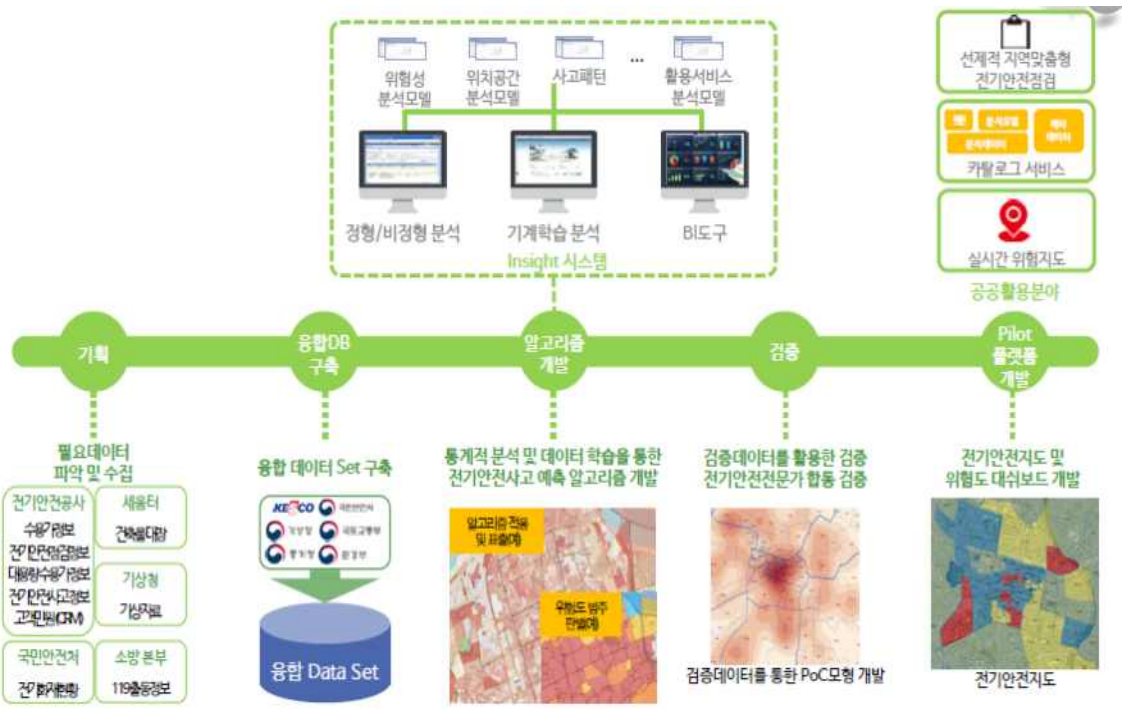
○ 집중호우로 인한 도심지 시공현장의 침수재해를 저감 시스템의 요소기술로써 스마트 ICT 기술을 활용한 고해상도 강우-유출-표면흐름 해석 기술, 이를 바탕으로

침수재해방지 차수판 설계 및 설치 위치, 가배수로 선형 및 단면 설계, 강우 시나리오별 (지하)구조물 침수피해 예측 시스템, 최적 펌핑 시스템으로 구성됨

○ 건설현장 건축물의 용도별, 규모별, 공정별 화재폭발 진압을 위한 장비 및 소방 안전 점검 항목에 따른 DB구축, 맞춤형 화재진압 콘텐츠 및 대응 시나리오 개발

- 화재역학 기반 최대열 발생률, 현장 건축물의 용도별, 규모별, 공정별 위험물에 따른 빅데이터 분석 및 서비스 개발

- 실시간 대응·조치 및 빅데이터 분석 결과 지원 어플리케이션 개발



[그림 4-266] 빅데이터 분석결과 지원 어플리케이션 개발 절차

○ 도심지 시공현장의 안전사고 예방을 위한 스마트 펜스 개발로서 요소기술로는 차량/보행자의 접근을 확인할 수 있는 무선 레이더 모듈과 이를 토대로 작업반경 진출입 여부를 판단할 수 있는 알고리즘, 보행자 및 작업자에게 위험경고를 줄 수 있는 시스템으로 구분됨



[그림 4-267] 스마트펜스 서비스 개념도 예시

○ 기존의 구조물별 또는 특수 공법별로 연구 개발되어진 안전관리기술들에 대해 고도화를 추진, 이를 병합 및 추가적인 안전관리 측면의 구조물 계측 기술 개발을 추진하여 복합 구조물이 존재하는 대형 토목현장에 대한 포괄적인 안전관리가 가능한 기술 개발임

○ 굴착공사 중 안전성 저하에 대응하기 위한 스마트 워터백을 활용한 긴급대응 기술

- 굴착공사의 안전점검에 결과 긴급대응 필요시 재료 및 장비 수급 등의 현장 상황을 고려한 신속한 대응을 위해 스마트 워터백을 활용한 긴급대응 기술 개발
- 긴급대응효과 및 실용성을 확보하기 위한 현장적용기준 수립, 흙막이 긴급대응용 스마트 워터백 및 IoT센서 기반 긴급대응효과 모니터링 및 성능확인 기술 개발

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

□ 빅데이터 분석을 통한 디지털트윈 기반의 예측지원 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축

○ 건설안전 관리 체계를 고려한 정보의 통합 관제 시스템 구축하여 효율적인

통제와 모니터링을 구현

○ 안전이 취약한 중소 시공현장에서도 적용 가능하도록 현장 안전 대응 시스템 개발

○ 발주청 단위에서 관제가 가능하도록 빅데이터 기반의 CPS 통합안전관제 시스템 구축

○ 통합 대시보드를 제공하여 실시간으로 각 시공 현장 안전 관리 현황 모니터링 제공

○ 국토부 전 건설현장을 안전관리 할 수 있도록 안전 통합관제센터 구축

○ 건설종합 정보망 연계 및 공공데이터 활용 확산을 위한 디지털플랫폼과의 연계

□ **AI기반 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중소현장 및 도로공사현장 테스트베드 운영**

○ 안전취약의 중소현장과 사업단 전체 연동 도로공사 현장을 테스트베드로 구축하여 운영

○ 고도화한 기존기술, 건설현장 근로자 안전 확보 기술, 임시 구조물의 스마트 안전 확보 기술을 테스트베드에 적용하고 도출된 문제점을 보완하여 신뢰성 확보

○ 스마트 안전 통합관제 시스템 지속적인 운영 및 활용방안

(2) 기술개발 목표

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

□ **건설 현장에서 수집된 데이터 기반의 안전 융합 긴급 대응 머신러닝 분석 솔루션 구축**

○ IoT 센서, CCTV/드론 이미지, GPS, 장비 센서 등 건설 현장 내의 계측/측정 데이터 등 건설 공정 진행 사항 관련 다양한 통합 데이터의 정형화 및 위험 인지 분석 알고리즘을 개발하여 솔루션으로 개발

- 자주 발생하는 사고 형태를 그룹화 하여 영상, 이미지, 텍스트 등의 다양한 유형의 데이터를 건설 재해 별 발생 유형 및 경향 분석

- 딥러닝 기반의 안전사고 유형/원인 분류 및 분석 모델을 바탕으로 사고를 예방할 수 있는 위험 수준 예측 모델
- 실제 사고사례 조사를 통해 건설 현장의 시공 과정에서 발생되는 사고 형태를 분석하여 대용량 데이터베이스로 구축하여 사전 예측 및 작업 시뮬레이션 기법 개발

○ 건설 규모에 따라 재해자에게 지급하는 직접비와 작업대기, 근로손실일수, 사고예방대책 마련 등의 간접손비를 분석할 수 있는 비용 분석 모델 개발

- 간접비용 분석을 통한 ROI 계산을 통해 정확한 재해 손실비를 분석하고, 이를 공사 금액에 계상하여 안전 관리비를 사용하여 비용절감과 집행할 수 있도록 개발

□ **IoT 센서, 다중영상 및 현장 데이터 취득을 통한 건설 공사 시공 현장·장외 재난 대응 기술 및 예방 가이드라인 개발**

○ 시공중 구조물의 침수에 대비하기 위한 스마트 ICT 기술을 활용한 호우, 침수 및 토사유출 재해 저감 기술

- BIM을 활용할 수 있는 (지하)구조물 침수피해 예측 시스템 개발
- 현장 대응형 가배수로 / 차수판 설계 및 위치 최적화 기술 개발
- 표면수 유입 피해 저감을 위한 최적 펌핑 시스템 개발

○ 영상 등 고해상도 3D데이터 활용한 지반 및 지반구조물 변형/붕괴 예방 가이드라인 개발

- 실시간 변형/변위 정보를 바탕으로한 재난 대응 가이드라인 개발

○ 빅데이터와 AI를 활용한 건설공정별 스마트 화재예방 시스템 개발

- 지능형 피해예측 기반 건설현장 화재관리 및 서비스 플랫폼 개발
- 건설공정별 화재폭발 대응방안 지원 GUI 개발 및 실시간 서비스 개발

○ 보행자 및 주행 자동차의 안전을 위한 시공현장의 맞춤형 스마트 펜스 개발

- 무선 레이더(ex.UWB) 모듈
- 보행자 시/청각 Alert 시스템
- Safe zone 설정/감지 알고리즘을 포함한 스마트 펜스 개발
- WPAN 통신모듈을 포함한 중장비 운전자용 포터블 모니터링 플랫폼 개발

○ 복합 구조물 시공현장 안전관리 기술 고도화 기술 개발

- 단편적인 구조물별, 공법별 안전관리 기술 고도화
- 공구 단위의 복합 구조물 시공현장 전체에 대한 건설자원(인력/자재/장비)의 실시간 위치 측정 장비 개발
- 실시간 위치기반 안전관리 시스템 개발
- 복합 구조물 건설현장의 포괄적인 안전관리 기술 개발

○ 스마트 워터백을 활용한 긴급대응 기술 개발

- 흙막이 긴급대응기술 적용을 위한 굴착공사 현장적용기준 개발
- 긴급대응기술의 현장적용성 증진을 위한 스마트 워터백 개발
- IoT센서 기반 긴급대응효과 모니터링 및 성능확인 기술 개발

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

□ **빅데이터 분석을 통한 디지털트윈 기반의 예측지원 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축**

○ 안전이 취약한 중소현장에서도 사용이 가능한 즉각적인 현장 안전 대응 시스템 개발

○ 중소현장 목적물 안전 계측을 위한 계측 기술 개발

○ 지역청 단위까지 통합 관제 할 수 있는 발주기관전용 CPS통합안전관제 시스템 구축

○ 국토부 전 건설현장을 안전관리할 수 있는 스마트 안전 통합관제 센터 구축 (건설안전 종합정보망 연계, 디지털플랫폼 연계 기능 포함)

□ **AI기반 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중소현장 및 도로공사현장 테스트 베드 운영**

○ 중소건설현장 10개소 이상, 도로건설현장 1개소 이상의 테스트베드 구축 및 운영

- 기존기술 고도화 및 건설현장 근로자 안전 확보 기술, 임시 구조물의 스마트 안전 확보 기술의 신뢰성 확보

○ 스마트 안전 통합관제 시스템 지속적인 운영 및 활용방안

2.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

□ **해외 건설 사고 분석 솔루션의 경우 1990년부터 가설 구조물의 붕괴 및 사고 원인에 대한 연구와 실시간 안전 관리 기법이 지속적으로 발전하고 있으나, 건설 사고 분석 예측 솔루션에 관한 연구 및 현장 활용 사례는 많지 않음**

○ 미국의 Smartvid.io사는 AI 기반의 산업용 사진 및 비디오 분석 솔루션을 개발하여 모든 작업 현장 사진 및 비디오를 자동으로 분석하여 안전 장비가 없는 작업자를 자동으로 감지하여 안전관리를 준수하도록 하고, 부상의 위험이 있는 현장 상황을 탐지하여 최종사용자에게 상세한 보고서 등을 제공하고 있으며, 지속적인 AI 지원을 통해 균열감지, 추락방지, 누수 등을 미리 감지하여 ICT를 통해 안전 엔지니어의 역할을 대체할 수 있도록 함





[그림 4-268] AI 및 머신러닝을 이용하여 작업현장 동영상 및 사진을 통해 안전성 검토

○ 미국의 Application of machine learning to construction injury prediction의 논문에 의하면, 기계학습 알고리즘인 Rain Forest(RF) 및 Stochastic Gradient Tree Boosting(SGTB)을 적용하여 보편적이고 구조화 된 안전 정보를 구축하고 안전사고 위험 예측 연구 수행

Attributes	Caught in or compressed	Exposure to harmful sub.	Fall on same level	Overexertion	Struck by or against	Truth
Hose, object on the floor	0.026	0.002	0.702	0.187	0.083	Fall
Ladder	0.212	0.006	0.049	0.274	0.459	**Caught**
Grinding, small particle	0.010	0.001	0.004	0.015	0.969	Struck
Concrete, formwork, heavy mat. tool, rebar, exiting/transitioning	0.109	0.009	0.224	0.447	0.210	Overexertion
Insect	0.017	0.926	0.003	0.02	0.033	Exposure
Small particle	0.0194	0.001	0.005	0.0186	0.956	Struck
Rebar, wire, lifting pulling manual handling	0.107	0.003	0.027	0.200	0.663	Struck
Heat source, piping	0.055	0.863	0.005	0.031	0.047	Exposure

[그림 4-269] 미국의 Application of machine learning to construction injury prediction의 논문

○ 2016년 4월 국토교통성은 ICT토공의 전면실시에 맞추어, ICT기술을 뒷받침할 수 있는 15개의 새로운 기준을 발표함. 이 기준에 기초하여 조사, 측량, 설계, 시공, 검사의 모든 건설생산 프로세스에서 ICT기술을 실전 배치하고 있음

○ 대표적인 건설중장비 업체 Komatsu 사는 ICT건설 중장비의 개발 뿐 아니라 이들과 관련된 도면 3차원 서비스 및 시공계획 시뮬레이션 서비스 등 다양한 솔루션을 제공하고 있음. Hitachi 사는 ICT건설 중장비를 활용한 시공 관리에 집중하고 있음

○ 정보화 시공은 국토교통성 직할 토공공사의 약13%(2014년도)에 시행되어 최대 약1.5배의 일당 시공량이 증가하는 것으로 확인됨. 또한 건설 중장비 주변의 계측작업 등을 감소시키기 때문에 안전성이 향상되며, ICT를 통해 정밀하게 시공할 수 있기 때문에 경험이 부족한 젊은 오퍼레이터도 조기에 건설현장에서 활약할 수 있음



[그림 4-270] 일본의 ICT 중장비에 의한 시공 과정

○ 국내와 마찬가지로 중앙 혹은 지방자치단체에서는 건설 부문에 대해 침수피해 대비 안전기술에 대한 언급은 없음. 기상 혹은 침수 부분에 대해서는 전반전으로 검토항목에도 존재하지 않았으며, 간혹 원론적인 점검사항에 대한 검토 목록은 존재(ex. 미국 캘리포니아주 교통부 건설안전점검 체크리스트의 수상 및 수변작업, 일본 누마다시 건설공사 안전점검 체크리스트의 이상기상시의 대책)

○ 베트남 호치민시의 스마트 침수방지호 건설 사업을 일본의 Sekiisui와 VMC 그룹의 기술지원으로 2017년 사업을 시행하여 도심지 침수방지를 위한 요소사업을 실시하였음

○ 침수 분석과 관련된 기존의 국외연구는 대부분 노면을 따른 침수 현상이나, 하수관망 해석에 치중되어 있으므로 건설현장에서 시공 중 발생하는 호우, 침수 및 토사유출을 정밀하게 분석하고, 대비책을 마련하기 위한 연구는 매우 부족한 실정임

○ 도심지에 내린 강우는 중력에 의해 저지대로 이동하며 급류를 형성하여 낮은 수심에서도 고유속이 발생하고, 이에 따라 수압과 운동량이 증가하여 건설시공현장에서 인부들의 인명피해나 자재 및 시설물 등의 재산손실을 야기할 수 있으나 이에 대한 고려는 아직 미흡한 실정임

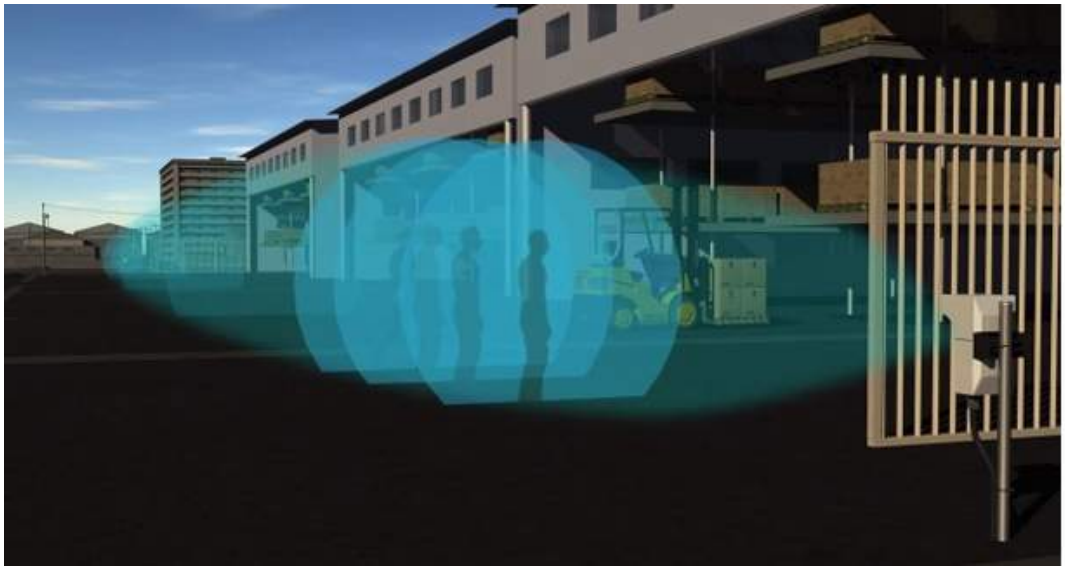
○ 미국은 건설프로젝트의 안전사고의 유형 및 특성을 분석하여 안전사고 최소화를 위한 모범사례와 실무지침에 관한 내용으로 무사고 기법(Zero Acccident Technique)을 발표하고 건설현장의 안전관리를 도모하고 있음

○ 뉴욕시의 경우 빅데이터 분석을 통하여 화재 가능성 및 위험도가 높은 건축물을 찾아 예방하고 있으며, 빈곤층에서 화재가 빈번하게 발생하는 것을 막기 위해 사전조사를 시행하고, 이를 DB로 구축하고 관리하여 건축물 화재 예방률을 감소시키고 있음

○ 화재 대응과 관련하여 미국은 NFPA(National Fire Protection Association)의 'Smart Fire Fighting Project'를 통해 2012년부터 혁신적인 재난·안전 대응력 향상을 위한 기술 개발에 착수하여 안전 장비에 새로운 센서 및 컴퓨팅 기술을 융합하여 센서를 통한 데이터 수집, 수집된 데이터의 분석 및 가공을 통한 정보획득에 필요한 요소 기술들을 개발하고 있음

○ 또한 CPS 기반 글로벌 정보 수집을 통해 재난·안전 대응의 효율성을 증가시키기 위해 상황 인식 및 상황 맞춤형 화재 진압 기술을 개발하고 있으며, 화재현장의 온도를 발화지점에서 실시간 측정하여 온도가 플래쉬 오버(Flashover)에 이르기 전에 소방대원을 탈출시킬 수 있도록 하는 센서 시스템 개발 중에 있음

○ 이스라엘의 과학화 경계시스템 전문업체인 Magal Senstar는 MicroWave 기반의 Virtual Smart Fence를 개발 공급하고 있으며, 국방 및 항공의 보안 분야에 활용하고 있음



[그림 4-271] Magal Senstar의 Virtual Smart Fence

○ 흙막이 가시설 구조체에 대한 설계 및 기준에 대한 연구는 상당한 수준에 도달하였으나, 손상된 흙막이 가시설 구조체의 긴급대응에 대한 연구는 미흡한 실정임

○ 영국에서는 건물의 손상위험 및 평가를 위한 논리적이면서 실제적인 체계를 수립하여 BRE(1981, 1990), Structural Engineers 학회(1978, 1989, 1994), Civil Engineers 학회(I994) 등에 채택되어 적용되고 있으며, 손상 분류체계는 구조물의 가시적 손상(visible damage)에 대해 보수가 가능하거나 용이한 상태를 기준으로 분류함

○ 인접구조물의 손상등급과 지반굴착에 따른 인접구조물의 허용변형과 관계된 손상한계 기준, 인접구조물의 극한변형과 관련된 손상한계 기준에 대하여 해외 각국은 지반굴착과 관련된 가이드라인 및 지침서를 제정함

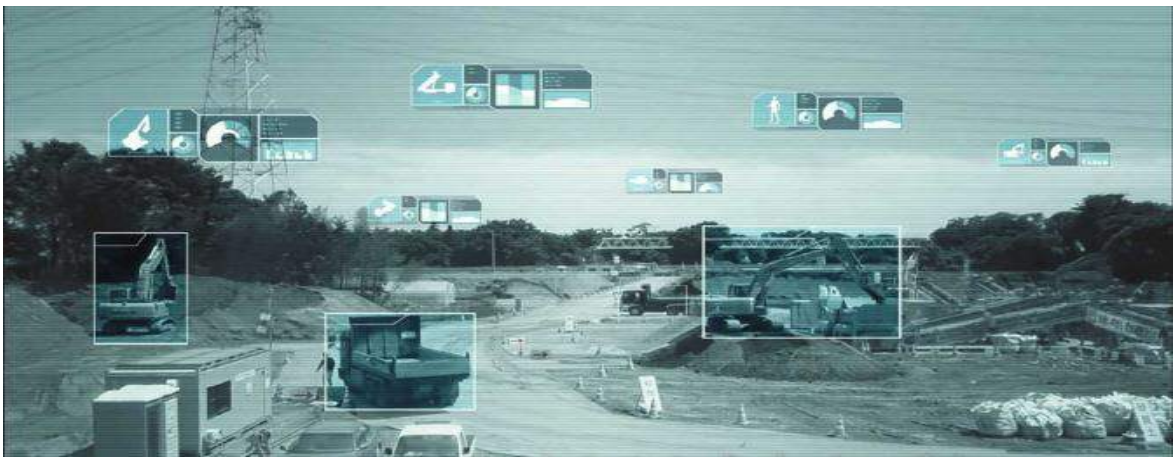
- International Building Code (IBQ 2009 (미국)
  - 2009년에 발간된 IBC의 Chap.18의 Section 1804에 Excavation, Grading and Fill 부분에 굴착에 관한 기준 언급
- British Standard Institution (BSI), Earthworks (영국)
  - 영국, 유럽의 CEN code, 홍콩, 동남아 등 과거 영국의 영향력하에 있던 나라들이 대부분 사용하고 있는 설계기준으로 BSI code의 Earthworks 부분에 지반분야에 대한 기준이 상세하게 나타남

- Deutsches Institut fiir Normung (DIN) (독일)
  - 독일공업규격(DIN)의 4123편에는 Earthwork에 대한 내용이 정리되어 있으며, DIN 규정에서 흙막이별과 토류벽 구조물에 대한 내용이 수록되어 있음
  - DIN 1054 : Verification of the safety of earthworks and foundations
  - DIN 4084 : Calculation of embankment failure and overall stability of retaining structures
  - DIN 4085 : Calculation of earth-pressure
  - DIN 4126 : Stability analysis of diaphragm walls

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

○ 미국 엔비디아(NVIDIA)는 일본 고마쓰(Komatsu)와 협약(파트너십)을 맺고 건설현장의 사고 위험성을 줄이는데 인공지능(AI)을 도입

○ 고마쓰의 건설용 장비에 부착된 카메라에 탑재되어 360도 촬영을 통해 근처의 사람 및 기계를 곧바로 식별함으로써 충돌 또는 기타 사고를 예방하여 안전성을 향상하도록 지원



[그림 4-272] 엔비디아 GPU 기반 인공지능(AI) 기술을 이용해 건설현장의 위험 요소를 파악하는 사례

○ 미국 산업안전보건청(OSHA)의 자율안전보건프로그램은 문서화된 안전보건 프로그램, 작업장 유해위험요인에 관한 분석과 평가시스템, 위험 예방 및 통제 시스템, 안전보건교육훈련 기록 등이 구체적으로 수립되어 운영하는 등 안전 시스템을 제공하고 성과를 측정하고 있음

(2) 국내 동향

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

○ 국내의 토목 분야에서 건설 사고 유형과 비용 분석 및 위험 수준 예측 모델 플랫폼이 현장에 적용된 사례는 없지만, 대기업을 중심으로 자체적으로 IoT 센서 등 ICT 기술을 적용한 스마트 안전 기술을 개발하여 도입중이며, 안전 관리시스템을 개발, 적용한 사례가 있음

○ ㈜지에스아이엘(GSIL)의 스마트 건설 안전관리 시스템은 NFC(무선 데이터 통신 기술) 위치 태그를 통해 간단히 입력하고, 입력된 정보를 통해 자동으로 생성된 현장위험등급, 위험요인, 대책을 현장담당자와 본부 안전 담당자 간 공유 모니터링이 가능한 등 실시간 축적된 빅데이터 정보를 이용해 사고예측 및 예방을 할 수 있음



[그림 4-273] Safety Management System (GSIL)

○ 한국시설안전공단에서는 건설공사 안전관리 선진화를 위해 스마트 안전 평가 기술 개발을 통한 안전 점검 현실화, 실시간 모니터링을 통한 구조적 안전 확보, BBS(Behavior Based Safety) 기반 스마트 안전관리 통합 솔루션 제공을 위한 건설안전중장기 계획 수립과 로드맵을 수립

○ 흙막이 가시설 구조체에 대한 설계 및 기준에 대한 연구는 해외에 비교하여 부족한 수준이며, 특히 손상된 흙막이 가시설 구조체의 긴급대응에 대한 연구는 전무한 실정임

○ 지반 굴착공사에 대한 사고발생 원인에 대해 고찰하고, 지반굴착공사 안전관리 방안 제시를 목적으로 2010년 지반 굴착에 따른 인접시설물 안전관리 기준 정립 연구가 한국시설안전공단에 의해 수행됨

○ 이외에 지하굴착공사에 대한 규정으로 1996년 건설교통부에서 발간한 「지하굴착공사 안전관리 편람」과 1995년 한국건설기술연구원에서 발간한 「건설공사 가시설물 안전점검 편람(III) - 제III편 : 토공사」등이 있음

○ 두산인프라코어는 한양대학교와 스마트건설 통합관제 시스템 개발 및 사업협력 양해각서를 체결하여 중앙 관제센터에서 무인 건설기계 운용 및 작업 전반 모니터링 등 건설 작업계획부터 수립까지 작업현장의 3차원 디지털 정보를 활용하는 것까지 포함하는 통합관제시스템 기술을 개발해 내년까지 검증을 끝낼 예정임

○ 한국기술연구원에서는 무인 드론 장비 및 센서를 활용한 건설 재해 통합 대응을 위한 드론 기반 현장 안전관리 시스템을 개발하였으며, 본 연구 결과로 드론 및 영상 기기를 활용한 건설 현장 모니터링 기술, 드론 및 센서를 활용한 건설 재해 모니터링 기술, 건설 재해 위험도 산정을 위한 리스크맵 구축 기술, 빅데이터 기술 활용한 건설 재해 예측 및 방지 프로그램을 개발함

○ 안전관리공단에서 “건설현장 하기철 안전대책” 지침을 수립하면서 강우시 대비책으로 외곽유입수 및 현장내 표면수 처리, 배수로 정비, 법면안전 관리 등을 제시하였으나 구체적인 강우-유출-표면수 간의 모델링을 실시할 수 있는 방법론은 제시하고 있지 않음

○ 건설현장 침수방지 안전대책의 국내 기술은 중소기업에서 개발한 차수판과 같은 소형 혹은 임시 구조물들의 아이디어 상품이 주를 이루고 있음

○ 고밀화된 도심지 내에서의 각종 시공 시 호우, 침수 및 토사유출 재해를 예측하고 예방하기 위해서는 임시시설물 및 가설건축물에 대한 정보(구조, 배치, 크기 등), 적용 공법, 지형정보, 지반상태, 굴착규모, 지하공간 등 고려해야 할 사항이 매우 다양하나 기존의 국내외 건설시공 현장에서는 과학적, 공학적인 분석을 통한 방재시설물 설계 및 계획이 이루어지지 않고 있음

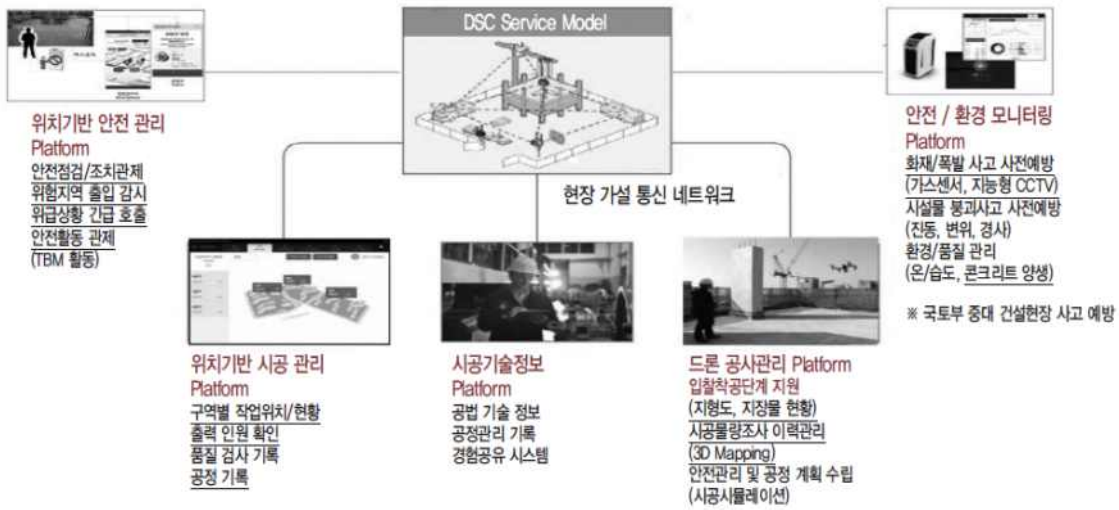
○ 기존의 침수 예측 기술은 하천의 수위상승에 의하여 제방 내의 농경지 및 인구밀집지역에 발생하는 범람홍수를 예측하는 기술을 중심으로 개발되었으며, 도심지의 경우 과도한 강우량이 우수관거를 통하여 배제되지 못하여 노면에 잔류하는 유량에 의한 침수를 예측하는 기술 개발이 주를 이루고 있음

○ 기존 일부 방법론이 존재하나 인명 및 재산피해가 속출하는 시공 단계에 국한하여 정밀한 지형자료와 시설정보를 이용하여 호우 및 침수 피해를 예측하고 예방시설의 적정 규모와 설치 위치를 제안하는 연구는 찾아보기 어려운 실정임

- 현재까지의 침수해석 관련 연구는 대상유역의 지형고도 자료를 작성하고, 월류체적을 산정하여 침수위에 대응하는 전체 유역의 침수 체적곡선을 도출하는 방법
- 하상경사와 마찰경사항만을 포함한 간략화된 운동량방정식을 바탕으로 한 확산파 모형을 DEM 기반 침수 시스템에 적용하는 방법
- Link-Node로 구성된 요소가 각 격자의 경계면, 혹은 중심간의 길이에 대응하도록 하여 유량을 전송하는 통로 역할을 하도록 모형을 구축하고 각 격자에서의 수위와 격자간에 이동되는 유량은 연속방정식과 운동방정식에 의해 구하는 방법

○ 2017년 12월 과기부와 전기안전공사는 ‘빅데이터 기반 전기화재예측 시스템 구축’을 통해 전기화재 위험도 표시 지도 제공, 전국 지역별 전기화재 위험 지역에 관한 직·간접 요인을 분석 등 전기안전점검 방안을 발표함

○ 2017년 1월 대우건설은 사물인터넷을 바탕으로 ICT기술을 활용, 건설현장의 안전·품질·공정 전반에 대한 관리를 위한 플랫폼 구축을 발표하였으며, 10월 ‘안전태그’, ‘긴급호출’, ‘위험지역 관제’, ‘가스누출’, ‘진동모니터링’, ‘화재감시’에 대한 내용을 현장에서 구현, 안전관리 플랫폼을 시범 적용하여 테스트를 수행한 바 있음



[그림 4-274] DSC(Daewoo Smart Construction) 구성

○ 국내의 경우 중소건설현장에서 사용하는 펜스는 안전용품에서또는 물리적인 안전라인을 설치하여 진행하고 있음

○ 스마트 펜스의 핵심 기술인 RF, UWB, Microwave 등의 기술들은 산-학-연 모두 기술개발을 진행해오고 있음

○ 국내의 경우 시공현장에서의 안전관리는 구조물별로 진행하고 있으며, 전체 공정을 모니터링할 수 있는 수준의 통합관제 시스템을 도급사(시공사)별로 보유하고 있음

○ 단편적인 안전관리 시스템들은 지속적으로 건설현장에 적용하고 있음. 현대엔지니어링의 경우 국내 전체 현장에서 RFID 전자태그를 활용한 '장비접근경보시스템'을 운영하고 있으며, 'IoT 안전모', '타워크레인 혼합형 블랙박스' 등의 기술들도 운영하고 있음

○ 국내 지하굴착공사 관련규정은 다음과 같음

- 지하굴착공사 안전관리편람 (건설교통부, 1996)
- 건설공사 가시설물 안전점검 편람Ⅲ) - 제Ⅲ편 : 토공사 (한국건설기술연구원 1995)

- 도로법, 시행령, 규칙(도로점용관련 발췌)
- 도시가스사업법
- 도시가스사업법 개정령
- 보호판 및 검지공의 설치 기준
- 가스시설의 설계도면 작성에 관한 기준
- 보호포 및 라인마크 등의 설치기준
- 가스도매사업 가스공급시설의 시설기준 및 기술기준
- 일반도시가스사업의 가스공급시설의 시설기준 및 기술기준

○ 산업안전기준에 관한 규칙

- 굴착공사 표준안전작업지침(노동부고시)

○ 각종 시방서(굴착공사관련 발췌)

- 토목공사 일반표준 시방서
- 도로공사 표준시방서

○ 가스배관 관련 타공사 관리

○ 굴착공사 관련 안전관리 지침

- 지하매설물 보호줄파기 안전작업지침(서울지하철본부)
- 도시가스관 안전관리 지침(서울지하철본부)

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

○ 국내의 건설시공 현장에 적용되는 디지털트윈 기반의 안전관제의 경우 구축된 사례는 없으며, 시공현장에서의 안전관리는 구조물별로 진행하고 있으며, 전체 공정을 모니터링할 수 있는 수준의 통합관제 시스템을 도급사(시공사)별로 기술 보유하고 있음

○ 스마트센서 전문업체인 노바테크는 석유화학 등 대형 사업장 내 소각로의 무인 안전점검 시스템을 상용화했다고 발표(2018.10.24.)하였으며, 여기에는 스캔로봇과 CPS 기반 산업안전관리시스템 기술이 활용되었음

○ 현대엔지니어링은 ICT 기반 건설현장 안전관리 시스템으로 장비접근 감지 IoT 기술, 단순 영상관제, 타워크레인에는 IoT안전모 시스템/혼합형 블랙박스 기술 등을 적용하여 2018년 9월 현재 울산의 '힐스테이트 수암' 신축현장에 시범 운영 중이며, 실효성 검토 후 전 현장으로 확대할 예정임

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

○ 지형자료 수집 및 제작을 위한 ICT 관련 기술은 국외 기술 대비 상대적 우위를 점하고 있으나, 침수해석을 위한 수치모형 개발 및 적용 기술은 글로벌 선도 그룹에 비해 아직 10여 년 이상 뒤처지고 있으므로 집중적인 지원이 필요함

○ 건설현장 화재 예방에 관련된 국내기술은 안전·환경 모니터링 측면에서 화재·폭발 사고 사전예방을 위하여 가스센서, 지능형 CCTV등을 활용하여 화재를 감지하며, 시설물 붕괴사고 사전예방을 위하여 진동, 변위, 경사 등을 측정하고 모니터링 하고 있음. 전기화재 예방을 위하여 전기적 요인 및 환경적 요인의 예측 모델 개발을 위하여 빅데이터 분석 모델을 적용하기 위한 알고리즘을 개발하고 있으며, 모니터링 단계, 알고리즘 분석 및 예측 시스템 개발 단계 수준으로 파악됨

○ 건설현장 화재 예방에 관련된 해외기술은 건설현장 적용을 위한 세부수준으로 기술개발이 이루어지고 있지 않으나, 재난·재해 예방을 위한 빅데이터 분석을 통하여 서비스를 제공하고 있음. 또한 화재를 포함한 재난예방 및 범죄 예방 등 다양한 분야에서 데이터 수집, 시스템 구축, 지능형 시스템 개발을 통하여 어플리케이션 서비스 제공 단계 수준으로 파악됨

○ 스마트펜스에 대한 기술은 해외 기술 대비 국내 기술이 전무하다고 해도 무방하지만 핵심기술인 MicroWave, UWB, RF 등의 핵심 기술은 80% 이상의 수준을 보유 하고 있음

○ 해외 및 국내 모두 구조물별, 특수 공법별 안전관리 기술들은 존재하지만 복합 구조물이 존재하는 대형 건설현장에 대해서는 도급사(시공사)의 기술에 의존하고 있음

○ 따라서 국내외 기술 수준은 국내 건설 시공사의 역량에 비례되며, 한국의 경우 해외건설시장의 국가별 순위 5위를 차지하고 있음.(출처: 미국 건설전문지 ENR. 2016년 주요 국가별 해외건설시장 매출 현황)

○ 스마트 워터백을 활용한 스마트 흙막이 긴급보강 기술의 경우, 해외에서는 쏘일백(Soil Bag)을 활용한 흙막이 가시설 구조체 시공방법이 상용화되어 있으나, 손상된 가시설 구조체에 대한 긴급대응 적용 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이며, 국내에서는 쏘일백을 활용한 흙막이 가시설 구조체 시공방법 및 손상된 가시설 구조체에 대하여 워터백을 활용한 흙막이 긴급대응에 대한 연구가 전무한 실정임

<표 4-120> 스마트 워터백을 활용한 흙막이 긴급대응 기술 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	쏘일백을 활용한 가시설 구조체 시스템 상용화가 이루어져 있으나, 스마트 워터백을 활용한 흙막이 긴급대응 연구는 초기 수준임	스마트 워터백을 활용한 흙막이 긴급대응 연구는 초기 수준임
TRK 단계	4단계	4단계
기술성숙도	연구실 규모의 시스템 성능평가	연구실 규모의 시스템 성능평가
주요성능	지반분야 워터백 적용성 평가	해외 연구를 활용하여 적용성 평가

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

○ ICT 기반의 공공 안전/예방 융합 서비스 기술의 경우 최고 기술 보유국은 미국으로 한국은 최고 기술국 대비 22.7p 기술 수준 격차가 있으며, 세부 항목으로는 기초연구(20%), 응용개발(20%), 사업화(22%)의 기술 수준 차이 발생

- 미국의 안전 예방 ICT 융합 기술의 경우 정부 차원에서 이를 대응하기 위한 정책, 제도, 국민정서 등을 기반으로 기술의 규격 표준화를 선도하고 있으며, 제도에 걸쳐 로드맵을 갖고 이끌어 가고 있기 때문에 향후에도 앞서나갈 것으로 예상

- 한국의 경우 축적된 데이터의 부족으로 모델링에 있어 미국이나 유럽에 뒤처진 상황이며, 관련 데이터의 수집 및 축적에 대한 지원이 필요하며, 국가적 기술 발전을 위해서는 사업화를 위한 R&D와 서비스의 상호운용성 검증 및 확산이 필요

<표 4-121>스마트 건설 안전 통합 관제시스템 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	4차 산업혁명 기술을 적용한 건설 현장 위험요소 센싱/모니터링 시스템	4차 산업혁명 기술을 적용한 건설 현장의 안전을 위한 개별 시스템은 연구 개발 중
TRL 단계	7단계	6단계
기술성숙도	시제품 신뢰성 평가	시작품 성능평가
주요성능	건설현장 모니터링, 시스템 상태를 평가하는 RFID, 작업관리자 체계 분석을 위한 센싱기술	센서를 통한 작업자 위치 추적, 영상을 통한 모니터링, 알람 제공 등의 기능 적용

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
차세대 홍수방어기술 개발 내외수 연계 도시 침수저감 능력향상 기술 연구	KAIA	■ 도시침수피해를 예방하기 위한 배수시스템 운영 기술 개발로 침수면적 및 홍수피해액 절감을 목표로 하며, 내수와 외수의 연계에 의한 구조적 비구조적 홍수방어 방안에 대한 연구를 진행하여 시공 단계에서 발생하는 호우나 침수 및 토사유출 예측 및 예방 관련 연구는 수행되지 않았음	■ 침수 및 토사유출 등을 분석하기 위해 위해 입력자료로 활용되는 데이터는 건축학, 지형학, 측량학, GIS 등 여러 분야의 연구가 긴밀하게 연계되어 있고, 센서 및 모니터링 관련 ICT 분야와 융합할 수 있으므로 학제간 연구의 기반을 제공 ■ 침수 및 토사 재해가 발생하였을 경우 피해 범위를 예측하고 2차 피해를 사전에 인지하며 수재해로 인한 시설물 관리와 재해에 대한 계획수립을 위한 구조적 및 비구조적 대책 수립 시 필요한 근거자료 제공 ■ 시공 단계에서 임시시설물 정보, 적용 공법, 지형정보, 지반상태, 굴착규모, 지하공간 등 다양한 인자와 재해위험요인을 고려한 과학적, 공학적인 재해예방대책 제시
빅데이터 기반 전기화재예측 시스템	과기부 전기안전공사 (2017)	■ 전기적 요인분석을 통한 화재폭발 재해 예방을 위한 ICT기술 접목 ■ 건설현장에서 발생가능한 소방설비 부재시의 화재폭발 예방 어려움	■ 건설현장 적용을 위한 용도별·공정별·규모별·화재폭발 재해 대응 DB구축 ■ 초기화재진압을 위한 화재성장속별, 화재역학 기반 관리 시스템 개발
900MHz RFID 태그와 마이컴과의 인터페이스 구현을 통한 산업현장안전관리	중소벤처기업부	■ RFID 태그를 부착한 안전모를 장착한 사람들만 리더기에서 인식	■ 건설주변환경의 불특정 다수의 보행자, 차량들을 인지할 수 있는 기술 개발
IoT센서네트워크 기반 건설현장의 상황인지형 안전관리 디바이스 개발	중소벤처기업부	■ 안전관리 측면의 구조물 계측 센서가 없으며, 구조물별/공법별 적용 시나리오 부재, 복합 구조물간의 공백구간에 대한 안전관리 없음.	■ 시공 중의 건설현장에 존재하는 다수의 구조물들에 대한 안전관리 측면의 센싱, 구조물간 이동 구역에 대한 안전관리를 포괄할 수 있는 기술 개발
IoT 센서기술과 데이터사이언스 기반의 건설 작업자 안전관리 시스템 개발	과학기술정보통신부	■ 안전관리 측면의 구조물 계측 센서가 없으며, 구조물별/공법별 적용 시나리오 부재, 복합 구조물간의 공백구간에 대한 안전관리 없음.	■ 시공 중의 건설현장에 존재하는 다수의 구조물들에 대한 안전관리 측면의 센싱, 구조물간 이동 구역에 대한 안전관리를 포괄할 수 있는 기술 개발
지반 굴착에 따른 인접시설물 안전관리 기준정립 연구	한국시설안전공단	■ 지반굴착시 붕괴사고 원인 규명에 따른 구체적 대책 수립 필요	■ 다양한 지반굴착 환경을 고려하여 손상된 가시설 구조체에 적용 가능한 긴급대응 기술 개발

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
건설 재해 통합 대응을 위한 드론 기반 현장 안전관리 시스템	교육부	드론을 기반으로 하기 때문에 주로 시설물, 플랜트 상태 모니터링에 이용	데이터 마이닝 기술을 활용한 건설 현장 작업 효율 모니터링, 재해가능성 추출 알고리즘 등 연구자료로 활용 가능
화력발전소 건설에서 발주처 주도 안전관리시스템 구축에 관한 연구	서울과학기술 대학교	ICT 기반의 기술이 포함되어 있지 않음	시공사 뿐만 아니라 발주처 주도의 안전관리시스템 구성체계도 및 매뉴얼 등 시공현장 안전관리 시스템 구축에 참고
IoT 기반 건설현장 실시간 위치추적 및 영상 안전 관제 시스템	국토교통과학 기술진흥원	현장에서 사용하는 시스템으로 상위 기관 및 시스템과 연계되고 있지 않음	건설 현장 위험 요소 분석, 안전관리 시나리오, 건설현장 안전업무 프로세스 분석등을 참고하여 시공현장 안전관리 시스템 및 모니터링 개발과 연계
지반 굴착에 따른 인접시설물 안전관리 기준정립 연구	한국시설안전 공단	지반굴착시 붕괴사고 원인 규명에 따른 구체적 대책 수립 필요	다양한 지반굴착 환경을 고려하여 손상된 가시설 구조체에 적용 가능한 긴급보강 기술 개발

2.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-122> 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발	■ 근로자와 임시시설물 각각에 대한 위험인지 데이터는 안전 사고 후 책임소재를 규명하기 위한 데이터로 확대 불가	■ 근로자 기반의 인지 데이터와 임시시설물 기반의 위험인지 데이터의 통합 분석 알고리즘 개발을 통해 효과적인 위험 분석 기술 개발
	■ 건설규모에 따른 간접손비 분석의 비용 분석 불가	■ 간접 비용 분석을 통한 ROI 계산을 통해 재해 손실비 분석이 가능한 재해 예방 투자비 산출 모델 제공
	■ 3D 건물정보 구축 및 인근지역 GIS data 정확도	■ BIM을 활용한 구조물 침수모델 개발
	■ 차수판의 안정성 확보	■ 침수재해 방지를 위한 차수판 적정 설치 위치 및 설계안
	■ 차량 및 보행자의 안전 확보 및 우회대피 계획 수립 필요	■ 가배수로/임시측구 선형 및 단면 설계안
	■ 펌핑시스템의 설치비용	■ 굴착단면 침수피해 저감을 위한 최적 펌핑시스템 설계

개발내용	한계점	기술개발방향
	■ 공사현장에서 초기화재진압을 위한 위험물 대비 화재진압 대응 방안이 부재함	■ '화재성장속도'에 따른 맞춤형 화재진압 모듈 제시 ■ 화재역학 기반 '최대열 발생률'에 따르는 건설현장 화재폭발 대비 지원 시스템 개발
	■ 공사현장 주변 무선 환경 기반의 펜스는 개발된 적이 없음	■ 시공현장 주변의 통행자(보행자, 차량)들에 대한 안전 확보 및 작업자에 대한 3초 이내의 감지(안전유/무) 및 Alert.
	■ 안전관리 측면의 구조물 계측기술 부재, 복합 구조물 건설현장에 구조물간의 공간에 대한 안전관리 부재	■ 단편적인 기술 고도화 및 복합화 추진, 복합 구조물 시공현장에 적용할 수 있는 포괄적인 안전관리 기술 개발
	■ 소규모 저심도 지반굴착 가시설 구조체에 적용 가능한 긴급대응 기술 부재	■ 긴급대응 필요시 재료 및 장비 수급 등의 현장 여건을 고려하여 신속한 적용성 확보
	■ 소규모 시공현장에 쉽게 배포 및 사용이 가능한 시스템 부재	■ 모니터링 및 시스템이 탑재된 내구성 좋은 올인원 어플라이언스 배포
디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영	■ 현장의 안전 관리 체계를 통합적으로 관리하지 않고 있음	■ 발주청 단위로 관리할 수 있는 빅데이터 기반의 통합관제 시스템 개발
	■ 건설 현장 안전 데이터의 수집이 부재하여 상위기관에서 활용 되지 않고 있음	■ 전국 단위 클라우드 기반 통합 센터 구축 및 분석 플랫폼 탑재로 건설 안전 데이터 활용 가능
	■ 상위 건설 시스템과 연계되어 있지 않음	■ 건설종합정보망과 연계할 수 있는 시스템 개발
	■ 통합 관제 시스템은 건설안전 관련 개발된 기술들이 집약됨으로써 방대한 데이터를 관리하는 시스템의 안정적인 운영에 문제점 발생 소지가 많으며, 1개소 테스트베드 적용시 다양한 현장조건을 구현하지 못하게 됨	■ 안전에 취약한 중소규모 건설현장에 다수 적용하고 사고발생 가상 시나리오를 반영하여 시스템을 운영 및 평가함으로써 시스템의 안전화, 고도화 및 다양한 현장에의 적용성을 높임

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

□ 기술개발 필요성

○ 지난 ’17년도 건설 현장에서 발생한 사고로 숨진 근로자 수가 전년 대비 20.3%, 사망자를 제외한 재해자 수는 10.6%로 증가하는 등 최근 5년간 평균 환산 재해율은 매년 증가 추세이며, ‘16년도 건설 사망만인율은 1.76으로 제조업의 1.8배, 영국 건설의 11배로 나타남. 따라서 건설 현장 안전사고와 관련된 다양한 속성을 분석하고 시뮬레이션을 통해 사고 위험 요인 및 위험 수준을 예측하여 재해율을 감소시킬 수 있는 데이터 마이닝 기반의 건설 안정 분석 대응 솔루션 개발이 필요함

- 지금까지 건설교통안전에 관련된 연구는 주로 시설물 안전 유지관리 기술에 집중되었으며, 시공 중 건설안전에 관련된 연구는 전무한 상황
- 현재 민간 개발에 의해 적용되고 있는 건설 안전 시스템의 경우 작업자가 위험 요소에 노출되지 못하도록 하여 재해를 예방하거나 또는 사고 발생 시 빠르게 대처할 수 있는 실시간적인 시스템이며 위험요소를 사전에 제거할 수 있는 예측 분석의 기능은 존재하지 않는 상황
- 작업자의 위험요소 노출 관리를 위해서는 기존 건설 현장에서 발생한 사고 원인에 대한 정보가 매우 중요한 역할을 하는데, 사고 원인 정보 DB를 구축하여 건설사고 분류부터 분석을 진행하고, 이를 바탕으로 위험에 노출될 수준 예측을 통해 위험 요인을 제거하여 안전성을 높일 수 있는 방안 연구의 필요성이 높아짐
- 건설사고 발생 시 사고 대상자에게 지급해야 하는 직접비와 건설 중단 및 사고 재발 대책 등을 위한 간접비가 발생하는데, 간접비의 경우 정확한 금액이 산출되지 않아 정확하게 손실정도를 파악하지 못하고 있음

○ 전담 안전 관리자 부재로 작업에 대한 위험성을 인지하지 못하는 중소규모 작업자가 현장의 영상정보를 분석하여, 현장에서 발생할 수 있는 위험요소와 유사 건설사고에 대한 정보를 쉽게 전달받아 작업자 스스로 불안전한 행동을 하는 것을 방지하는 솔루션을 개발하는 연구가 필요함

- 중소규모 현장의 작업자들은 높은 사고율에 비해 안전관리의 취약지대에 놓여 있으며, 특히 작업의 위험성에 대한 정보를 쉽게 제공받지 못함

- 작업자가 전송한 영상과 건설사고 분석 플랫폼을 결합하여 작업자에게 위험 정보를 제공하여 작업자 스스로 불안전한 행동을 하지 못하도록 유도하여 안전관리 사각지대를 해소하고 작업자 안전의식을 향상시킬 수 있음

○ 소규모 현장일수록 작업자가 현장의 위험요소에 대한 정보를 얻지 못하고 경험에 의한 위험요소만 알게 되기 때문에, 신규 작업자의 경우 현장의 사고 위험 요소에 무방비한 상태로 작업을 하게 되어 재해율이 높은 경향을 나타내고 있음

- 고용부가 환산 재해율이 높은 곳을 대상으로 정기 감독을 실시하고, 공공 건설공사 입찰 평가 시 불이익을 주는 등 품질과 안전 관리 제도를 시행 중임에도 불구하고, 소규모 현장일수록 정부의 규제가 현실적으로 어렵기 때문에 제도 이행 부족과 작업자의 낮은 안전 의식으로 과도한 사고가 발생함

- 소규모 현장일수록 높은 사망만인률을 보이기 때문에 소규모 현장의 안전 문제를 해결하지 않으면 사망만인률을 감소시키는 것이 불가능함

○ 건설공사 공정별 화재폭발 예방 시스템 DB구축

- 건설현장의 화재폭발 발생 메커니즘은 가연물관리와 점화원관리로 분류함

- 가연물 관리의 경우, 작업시작 전 가연물의 제거·차단 등 확인, 가스·분진 누출 여부 측정, 내용물 제거시 안전대책으로 나누어 관리하고 있음

- 점화원 관리의 경우, 가연성 문질, 인화성 물질 근처 화기작업 금지, 안전점검 및 화기 작업 허가 철저, 중점관리 철저 등 안전점검 항목 위주의 안전관리가 수기로 이루어지고 있음

- 건설현장의 공정에 따른 화재유입물 또는 위험물 등 다양한 화재폭발의 원인에 대한 대처가 부재하여, 화재 발생 시 대처가 큰 재해로 연결되고 있음

○ 지능형 피해예측 기반 건설현장 화재관리 및 서비스 플랫폼 개발

- 건설현장에서 발생할 수 있는 화재는 건설중인 건축물의 용도나 규모, 위험물 등 피해예측 원인에 따라 달라질 수 있음

- 또한 화재폭발은 초기대응이 중요한 만큼 화재성장속도에 따라 작업공간별 피해규모를 예측하여 대비해야 함

- 따라서 화재역학 기반 최대열발생률, 현장 건축물의 용도별, 규모별, 공정별 위험물 에 따른 빅데이터 분석을 통한 서비스 플랫폼을 구축해야 함

○ 건설공정별 화재폭발 대응방안 지원 GUI 개발 및 서비스 개발

- 실시간 대응·조치 및 빅데이터 분석 결과를 통해 건설현장 화재폭발 예방 및 대비 지원 어플리케이션을 제공하고자 함

○ 도심지 시공 현장의 경우 특수한 환경의 소형 현장들이 다수 발생하고, 이때의 주변 통행자 및 차량 등에 대한 작업반경 내의 진입을 판단하여 작업자가 안전사고 예방을 할 수 있도록 하기 위한 스마트펜스가 필요시 됨

○ 단편적인 구조물(터널, 교량, 사면, 옹벽, 도로, etc.)별/특수공법별 안전관리 기술들은 존재하지만 복합 구조물 건설현장 전체를 커버할 수 있는 안전관리 기술은 부재함

- 또한 구조물 계측 기술들은 구조물의 안정성을 측정하는데 초점이 맞추어져 있었으며, 안전관리 측면에서의 구조물 계측은 인력의 육안판단/자체판단 등으로 이루어져 과학화/정형화가 필요시 됨

○ 스마트 워터백을 활용한 긴급대응 기술 개발

- 가시설 구조체 붕괴로 인적 물적 손실에 따른 사회적인 비용이 급속히 증가하고 있으나, 지반굴착 공사 현장의 특성 및 가시설 구조체의 손상 원인을 고려한 긴급대응 대책은 미흡한 수준이며, 따라서 지반굴착 심도, 위치, 주변여건 등의 현장 여건과 붕괴원인을 고려한 긴급 대응이 가능한 대책 수립이 요구됨

- 도심지역 지반굴착시 한정된 토지의 이용을 극대화하기 위해 기존시설에 인접하여 연직 굴착공사가 시행되고 있으나, 다양한 문제점으로 인해 붕괴사고를 유발시켜 인접구조물이나 시설물에 손상을 입히는 사례가 빈번히 발생하여 이에 대한 대처가 요구됨

- 특히, 도심지의 지하굴착은 대부분 근접시공이며, 주변 지반의 변위, 변형, 응력상태의 변화 등을 초래하여 인접구조물의 안정에 영향을 미치고 있으며, 적절한 대응을 못할 경우 붕괴사고가 발생하여 사회적으로 큰 피해를 유발하고 있음

- 따라서 흙막이 가시설 구조체의 붕괴를 사전에 감지하고 필요시 긴급대응이 가능한 기술을 확보하는 것이 필요함
- 또한, 일시적으로 신속히 적용 가능한 스마트 워터백 방식의 흙막이 긴급대응 시스템 구축 및 IoT센서 기반 긴급대응효과 모니터링 및 성능확인 기술 개발이 요구됨
- 긴급대응 시스템 개발시 재료수급성, 장비운용성 등의 현장상황을 고려하여야함
- 특히, 소규모 지반굴착 공사의 경우 안전점검에 따른 긴급대응시 현장에서 복구재료 취득이 용이하고 소형 복구장비를 활용한 일시적인 흙막이 긴급대응 시스템 구축이 요구됨

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

□ **기술개발 필요성**

○ 현장에서 수집된 다양한 이미지 및 텍스트 등의 데이터를 기반으로 데이터 마이닝 기반의 통합 분석 플랫폼 개발

- 현재 건설사고 안전 예방 시스템의 경우 현장 및 장비점검 또는 모니터링과 같이 위험요소를 감지하여 미리 알려주거나, 사고 발생 시 빠른 대처를 위한 시스템 등 사고 발생 후 대책을 위한 시스템이 대부분이기 때문에 재해율을 감소시키기 위해서는 건설 사고 원인 분석과 예측을 통해 데이터에 기반한 예방책 마련이 필요
- 산업안전보건법 개정(2012년)이후, 근로자 채용 시 마다 이루어지던 안전교육이 평생 1회로 줄어들었고, 이에 따라 현장교육에서 이론교육 중심으로 전환됨
- 또한, 한글로 진행되는 근로자 안전교육의 특성상, 전체 건설근로자의 10%에 해당하는 외국인 건설 근로자 (2017년 기준)에 대한 안전교육의 효용성이 낮음. 이에, 2018년 현대엔지니어링은 8개국 언어를 지원하는 외국인 근로자 안전교육용 컨텐츠를 개발 및 적용하여, 외국인 근로자의 안전사고 예방을 하고 있으나, 교육의 몰입도와 메시지 전단력을 높이기 위해서는 체험형 교육이 여전히 필요한 실정임
- 체험형, 감성형 교육 서비스 필요성이 증가함에 따라, 고용노동부와 안전보건공단은 2017년 6월부터 전국 5개 지역에 위치한 안전체험교육장에서 가상

현실(VR)을 활용한 안전보건교육을 실시중에 있으나, 중앙집중형 교육방법 채택으로 인하여, 작업현장 및 해당 공정시기에 필요한 안전교육보다는 일반적인 체험형 안전교육방법이 시행중에 있음

- 따라서, 해당 작업현장 및 공정시기에 적절한 세분화된 가상현실 기반 체험형, 감성형 안전교육 컨텐츠의 개발이 요구됨
- 또한, 안전교육 전문인력으로 구성된 교육팀이 안전사고 고위험 공정기간에 직접 현장을 방문하여, 해당기간에 맞는 교육시스템을 운용하는 프레임워크의 개발이 요구됨

○ 인지된 위험정보와 근로자 정보를 실시간으로 공유/제공하고 이를 기반으로 근로자의 행동 변화를 야기하기 위해서 근로자 의사결정을 예측할 수 있는 분석 기술이 요구됨

- 건설 작업자는 작업 도중 직접적으로 혹은 간접적으로 여러 가지 의사결정을 내리게 되는데, 이를 수리적인 방법으로 표현하기에는 복잡하고 다이나믹한 과정을 걸치므로 에이전트 기반 모델(Agent-Based Model)을 사용하여 작업자의 행동 및 인지모델을 개발하는 것이 적합
- 건설 안전 사고는 작업자의 실수가 물리적인 작업 환경과 부정적인 상호작용을 함으로써 발생하므로 이러한 상호작용을 모델링하고 시뮬레이션할 수 있는 방법 개발이 필요
- 시뮬레이션 모델이 작업자의 실제 행동이 일치하는지를 평가하고 새로이 수집된 데이터를 반영하여 시뮬레이션 모델을 동적으로 교정할 수 있는 빅데이터 기반 기계학습 방법론 개발이 필요
- 건설 작업자의 행동 및 인지 오류를 고려하여 건설 일정 및 안전 관리 방침 수립하기 위한 수리적, 정량적 방법론 개발이 필요

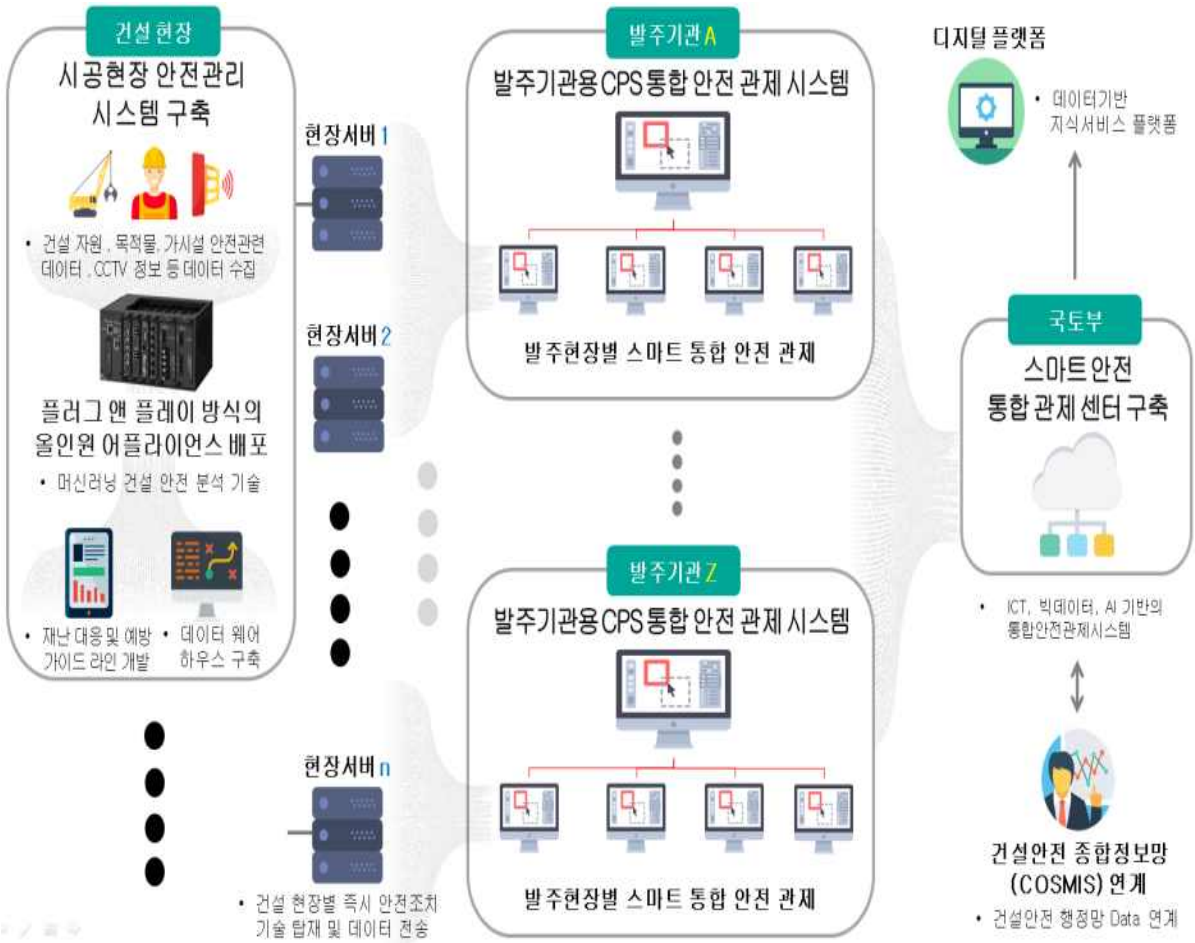
○ 빅데이터 분석을 통한 예측 지원 안전 통합 관제 시스템 구축

- 현재 건설사고 안전 예방 시스템의 경우 현장 및 장비점검 또는 모니터링과 같이 위험요소를 감지하여 미리 알려주거나, 사고 발생 시 빠른 대처를 위한 시스템 등 사고 발생 후 대책을 위한 시스템이 대부분이기 때문에 재해율을 감소시키기 위해서는 건설 사고 원인 분석과 예측을 통해 데이터에 기반한 예방책 마련이 필요
- 현재 정부연구 현황을 분석해보면 주로 시설물 안전 유지관리 기술에만 집중되어 있으며, 시공 중 건설안전에 관련된 과제는 전무한 상황

- 현장에서 작업이 시작되기 전에 안전과 관련된 정보를 시뮬레이션을 통하여 제공하여 사전 안전을 습득하고 이를 활용하고자 하며, 이를 위해서는 기존 사고에 대한 정보 및 현재 작업자, 작업장과 관련된 정보를 대용량 데이터로 저장, 처리하여 플랫폼으로 구성, 이를 학습하여 학습모델 생성, 알고리즘을 통해 사고 분류 및 위험 수준 예측 모델로 제공
- 대규모 현장보다 안전관리에 대한 법적 의무 사항 적용이 상대적으로 약하며, 기술 투자가 이루어지지 않는 중소규모 작업자의 안전의식 향상과 불안전 행동을 방지하기 위해 작업자에게 해당 작업의 영상정보를 기반으로 위험요소와 중대 건설사고 예를 알려주는 시스템을 제공할 필요가 있음
- 스마트 건설장비를 중심으로 한 데이터 수집채널 확대
- 건설장비에 탑재된 센서 및 안전관련 디바이스로부터 얻어진 정보에 대한 데이터 수집채널을 확보함으로서 빅데이터 완성도 확보 및 딥러닝 예측 품질 향상
- 건설장비에 탑재된 안전 시스템으로 인한 안전사고 예방 데이터 확보를 통해 사고예방효과의 비용적 측면에서의 정량화 및 민간부분의 도입 촉진
- 모니터링 시스템 플랫폼에서 운용되는 건설장비 객체별 위험인자 분석모듈 개발을 통한 스마트 건설장비·작업자 혼재상황에 대한 안전 모니터링

○ 건설공사 관리 체계를 고려한 스마트 안전 통합 관제 시스템

- 현재 건설 시공 현장에서는 사람에 의존하여 모니터링을 하여 상시 상황을 모니터링하여 위험 요소를 대처하는 현장을 위한 시공 현장 안전 관리 시스템이 부재한 상황임
- 현장에서는 안전 관리 및 안전 관리 시스템의 관리를 위한 인력이 부재한 상황으로 배포가 단위 현장에 플러그 앤 플레이 방식으로 통신, 위치 관련 기술 등이 탑재되어 즉각적인 현장 적용이 가능하도록 적용 효율성이 높은 시스템을 배포하여 제공되어야 함
- 현장에서 발생된 다양한 안전 관리 현황 및 의사 판단 정보를 발주청과 연계하여 전달, 이를 통해 발주청 내에서도 의사 판단이 가능하도록 통합 관제를 통해 제공하도록 지원하여 건설 안전 관련 정보의 통합 관리에 따른 효율적인 통제와 모니터링 지원하여 관리가 필요



[그림 4-275] 스마트안전 통합 관제 시스템 개요도

○ 스마트 안전 통합 관제시스템 테스트베드 운영

- 안전에 취약한 중·소규모 건설 현장 안전관리를 위해 각 개발기술이 통합된 모니터링 시스템 구축이 필요하며, 시스템의 안정적인 구동성 확보를 위해 테스트베드 시스템 운영을 통한 성능검증, 개선방안 도출, 개선안 적용 과정이 필요

○ 스마트 안전 통합관제 시스템 지속적인 운영 및 활용방안

- 유관 부처 협의를 통한 지속 가능 운영/활용 계획서 마련(관계 법령*개정 및 정책 반영)

  * 관계 법령 : 본 시스템 활용 제고를 위한 건설기술진흥법, 시설물 안전법, 지하 안전법 등

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

□ **개발내용**

○ 데이터마이닝 기반의 건설위험 인지 및 예측 알고리즘 개발

- Smart eye, Bio data 등 근로자 기반의 인지 Data(핵심기술 3-2)에 대한 정형화 및 근로자 위험 인지 분석 알고리즘 개발
- DIC(Digital Image Correlation) 및 IR thermogrphy 등 임시시설물 기반의 측정 Data(핵심기술 3-3)에 대한 정형화 및 임시시설물 위험 인지 분석 알고리즘 개발
- IOT센서, CCTV/Drone Image 등 영상 Data, GPS/장비센서 등 건설 현장내의 계측/측정 Data, 지반 및 자연재해(강수, 폭풍, 지진 등) Data, 구조물의 변위/변형 Data, 건설공정 진행사항 관련 Data 등에 대한 통합 데이터 정형화 및 위험 인지 분석 알고리즘 개발
- 사고모델분석을 통한 사고분류 및 위험 수준 예측 모델 개발
- 근로자의 작업반경내의 위험 감지/예측 알고리즘 개발
- 건설현장 내/외부의 위험 감지/예측 알고리즘 개발

○ 데이터마이닝 기반의 사고 비용 분석 모델 개발

- 사고사례 분석을 통한 사고분류 및 확률론적 위험 수준 예측 모델 개발
- 건설 규모에 따른 직접비와 간접손비 비용 분석을 통한 재해 손실비 산정 SW 개발
- 공사 종류별/규모별 현장 안전관리비 계상·집행 가이드라인 제시

○ 스마트 ICT 기술을 활용한 굴착공사 현장 침수피해 예측 기술 개발

- 일반분석 대상지에 대해 지면경사와 저지대 유입을 고려한 침수범위 산정모델 개발
- 침수피해 우려 대상지에 대해 고정밀도/고해상도/다차원 동수역학 모형을 이용한 침수모델 개발
- BIM을 활용한 구조물 침수모델 개발

○ 빅데이터와 AI를 활용한 건설공정별 스마트 화재예방 시스템 개발

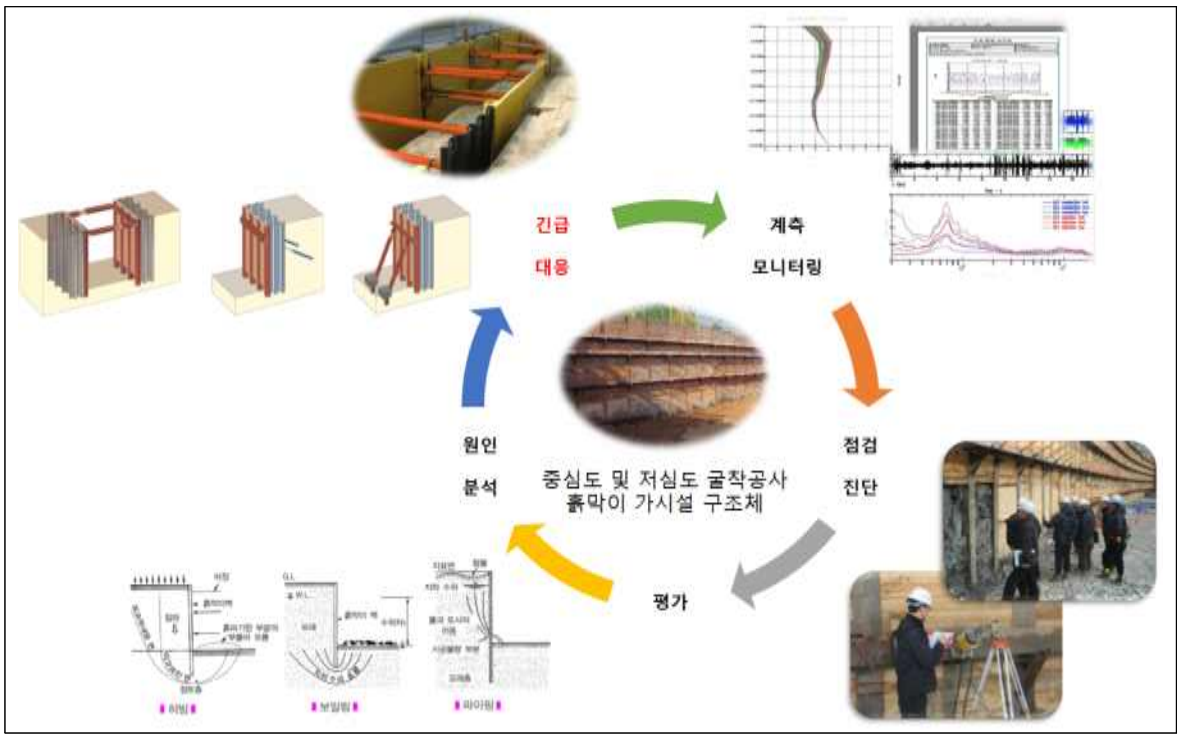
- 건설공사 공정별 화재 유발/확산 인자 DB구축
- 건설공사 공정별/주요 위험물별 화재 성장률 기반 현장대응 시나리오 개발

○ 스마트 워터백을 활용한 흙막이 붕괴 긴급대응 기술 개발

- 흙막이 붕괴 긴급대응용 스마트 워터백 개발
- IoT센서 기반 긴급대응효과 모니터링 및 성능확인 기술 개발
- 흙막이 붕괴 긴급대응 기술의 굴착공사 현장적용 기준 개발

○ 도심지 중소 시공현장 맞춤형 스마트 펜스 개발

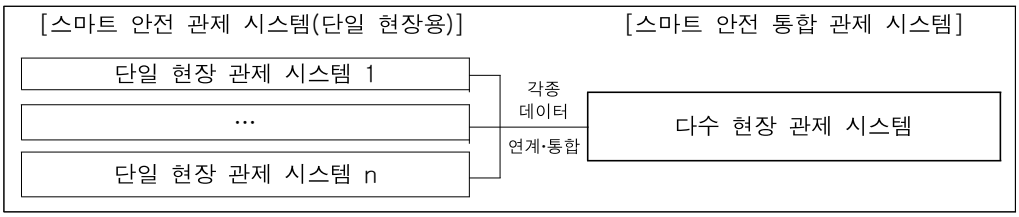
- 스마트 펜스용 무선 객체 감지 시스템 개발
- Safe zone 설정/감지 알고리즘 개발
- 보행자 시인성 제고를 위한 시각/청각 Alert 시스템 개발
- WPAN 통신 모듈을 포함한 장비 운전자용 포터블 모니터링 플랫폼 개발



[그림 4-276] 긴급대응 기술 적용 체계

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

□ 개발내용



○ 디지털 트윈 기반의 스마트 안전 관제 시스템(단일 현장용) 개발

- 현장에서 즉각적인 안전 대응이 가능한 엣지컴퓨팅 시스템(핵심기술 3-2, 3-3과 연동되는 건설 안전분석 알고리즘* 탑재) 개발

* 현장용 시나리오에 맞는 구성기술 1의 결과물

  - 공정별 사고원인 분석에 기반한 안전취약 도심지 중소현장의 안전 통합 관제 시스템 구축
  - 타설 중 거푸집 모니터링 시스템 및 콘크리트 양생 온도 계측 기술 등 기존기술의 고도화를 통한 골조공사 안전관리
  - 골조공사 시 가시설물에 의한 사고를 예방하기 위해 핵심기술 3-3 활용 및 적용
  - 전기 및 기계설비공사, 마감공사에서 근로자의 추락 및 상해 예방을 위해 핵심기술 3-2 활용 및 적용
  - 다수의 영상센서와 계측 센서들, 모바일기기와의 통신 수행 및 데이터 수집역할을 수행하는 물리적인 시스템 개발
  - 수집된 대용량 데이터들을 실시간 처리할 수 있는 미들웨어 개발
  - 현장에서 즉각적인 안전 대응이 가능하도록 건설 안전분석/대응 솔루션(현장용 시나리오에 맞는, 구성기술 3-1-1의 결과물)이 탑재된 시스템

- 수신된 설계정보(WBS, CBS)에서 안전 분석을 위한 데이터* 추출 프로그램 및 스마트 안전 관제용 BIM 도출 기술 개발

* 건설자원(인력/자재/장비)에 대한 공정 기반 투입 인자

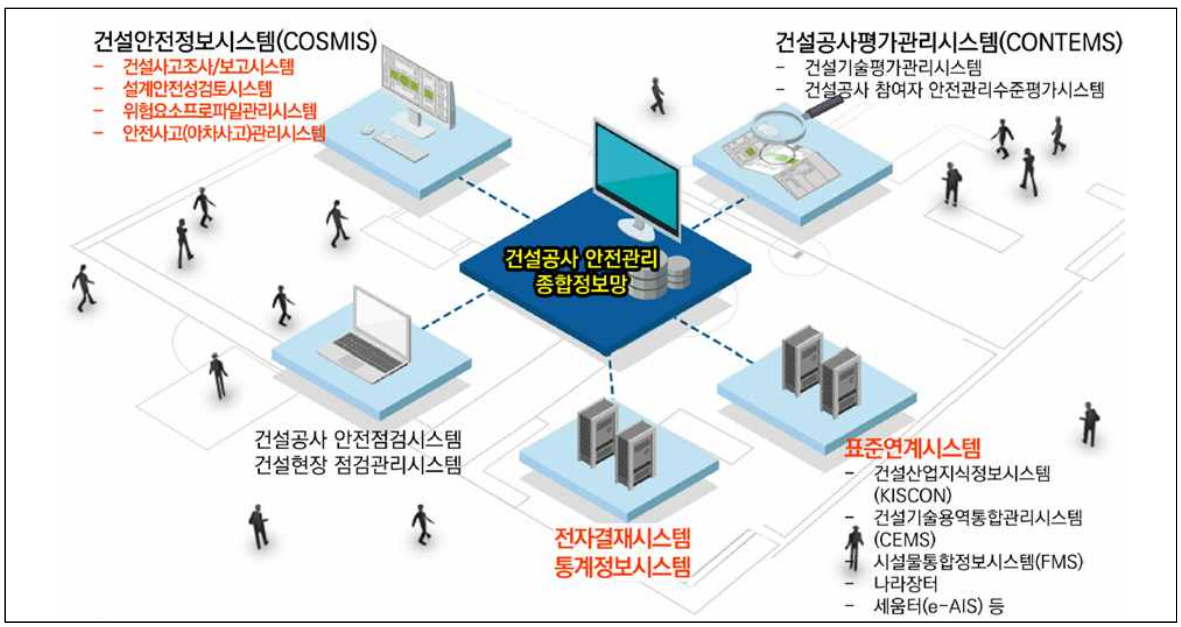
- 스마트 건설 디지털 플랫폼(핵심기술 4-2)과의 통신을 위한 API 설계 및 개발
  - · 다양한 통신 방식에서 발생되는 스마트 건설 디지털 플랫폼과의 데이터 연동을 위한 API 설계 및 개발과 구현

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

- 다수 현장 관제를 위한 발주기관 및 국가 단위의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 구축
- 건설공사 안전관리 종합정보망(CSI) 연계를 위한 API 정의서(데이터 In/Out 정의 포함) 및 Interface 모듈 개발
- 통합 관제시스템 및 각 기술별 테스트베드 요구사항 분석
- 테스트베드 현장 11개소 구축·운영, 성능 검증 및 고도화
- 테스트베드 운영을 통한 사용자 관점의 운영 매뉴얼 개발

○ 스마트 안전 통합관제 시스템 운영 및 활용방안 마련

- 유관 기관과의 협의 등을 통해 지속 가능한 운영 및 활용 계획서 제시
- 건설기술진흥법, 시설물 안전법, 지하 안전법 등 관계 법령 개정 및 정책 반영



[그림 4-277] 건설공사 안전관리 종합정보망 연계

□ 개발목표

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발	데이터마이닝 기반 건설위험 인지 및 예측 정확도	-	-	80% 이상	●		
	재해 손실비 산정을 위한 사고사례 분석 수	-	-	1,000건 이상	●		
	침수 예측모델 정확도[1]	-	-	85% 이상	●		
	건설공사 공정별/주요 위험물별 화재 성장률 기반 현장대응 시나리오	-	-	30건 이상	●		
	스마트 워터백 적용 후 흙막이 추가 각변위[2]	-	-	0.5% 이내	●		
	스마트 펜스 내 객체 (최소 20cm×20cm×20cm) 진입 감지 정확도	-	-	95% 이상	●		
디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영	단일 현장용 스마트 안전 관제 시스템 가시화 수준	-	-	LOD(Level of Details) 300 이상	●		
	스마트 안전 통합 관제 시스템 영상 모니터링 수용량	-	-	2,000 채널[3] 이상	●		
	스마트 안전 통합 관제시스템 테스트베드 운영	-	-	중소규모 현장 테스트베드 10개소[4] 이상, 종합 테스트베드 1개소[5]	●		
	건설업 재해율 감소율	-	-	25% 이상[6] 감소	●		
참고	1) 테스트베드 운영 중 침수가 최소 50cm 이상 발생한 현장에 대하여 침수 예측모델의 예측치와 실측치 비교((예측 침수깊이 /실측 침수깊이) X 100%) 2) 긴급 보강 후 그 보강효과로 인하여 추가 각변위가 0.5% 이내이어야 함 3) 건설현장의 경우 투입되는 인력 10명, 고정형 영상 6대, 장비 및 모바일 4대를 기준으로 한 현장당 20개 채널을 산정하여, 건설현장 최소 100개소를 동시에 처리할 수 있도록 설계(20채널 × 100개소 = 2,000채널) 4) 가시설, 굴착공사, 해체/철거 등의 도심지 개발 현장을 포함 5) 종합 테스트베드는 세부과제 12에서의 종합 테스트베드를 의미 6) 총 테스트베드에 대한 재해율(재해자 수 / 근로자 수 × 100) 평균 / '20~'23년 건설업 평균 재해율 ≤ 0.75						

* 도심지 중소규모 건설현장(10개소 이상) :

- 공사비 기준
  ① 100억~500억 3개소 이상 ② 10억~100억 7개소 이상
- 공사종류 기준
  ① 지하굴착 및 상부 가시설이 동반되는 건축물 공사, 3개소 이상
  ② 지하시설물 시공을 위한 굴착공사(터널, 공동구, 상하수도 등), 3개소 이상
  ③ 도심 재개발 등의 단지(택지) 조성공사 1개소 이상
  ④ 해체 및 철거 공사 1개소 이상

□ **개발목표의 설정 근거**

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

○ 본 사업에서 개발하고자 하는 건설 안전 분석 플랫폼의 기반 기술의 세부 기술은 빅데이터, 데이터마이닝, 머신러닝 등을 기반으로 하는 기술로써 세부 기술은 국내와 해외에 기술을 보유하고 있으나, 건설 안전 분야와 관련해서는 국내와 해외에서 기술 보유 및 적용 사례가 없는 것으로 세부 기술을 바탕으로 타 산업과 비교하여 데이터를 기반으로 개발목표를 설정하였음

○ 많은 연구자의 학술자료 등에서 수치해석 알고리즘의 평가방법으로 해석해 비교한 결과, 간단한 형상의 실험 모델을 이용한 검증 복잡한 시제품을 이용한 검증을 사용함. 따라서 수치 해석 알고리즘의 평가는 해당분야의 상당한 전문지식과 경험이 필요하므로 적절한 평가 방법 및 충분한 근거자료를 제시해서 평가의 객관성을 유지하고자 함

○ 작업자에게 제공하는 안전정보는 위험 요소와 유사 중대 건설사고 사례이므로 개발되는 시스템은 영상으로 제공받은 현장의 위험성 높은 위험요소와 유사 건설사고 사례가 객관적으로 제시되어야 하며, 다수의 경험 많은 안전관리 전문가의 객관적인 판단과 비교되어 객관성을 제시할 예정임

○ 건설현장의 주요 공정별 분류에 따른 주요 가연물의 초기 화재성장률 확보와 이를 기반으로 한 현장대응 시나리오는 초기 화재대응을 위한 가장 핵심적인 물리량으로서, 화재역학 및 빅데이터 분석 결과를 활용한 공정별/주요 위험물별 현장 대응 시나리오 30건 이상 선정은 본 과제의 목적을 달성하기에 충분할 것으로 판단됨

○ 스마트 펜스 기술은 국내는 기술보유 및 적용사례가 없는 것으로 조사되었고, 해외의 경우에는 기술보유만 존재하며 건설현장이 아닌 보안 산업분야에 적용사례가 있었으며, 현재 개발 목표는 도심지 시공현장에 맞추어 개발 목표를 설정하였음

- 도심지 시공 현장의 경우 주변 통행자(차량, 사람, 동물 등)들에 대한 실시간 인지 및 작업자에게 전파가 가능하게 하여 안전사고 예방을 할 수 있도록 목표치를 설정하였음

○ 복합 구조물 시공현장에 대한 안전관리가 가능하도록 구조물(터널, 교량, 도로, 사면, 옹벽 등)들 중 가장 많은 시공이 이루어지는 구조물과 공법에 대해서 적용할 수 있고, 공구 단위의 안전관리가 가능하도록 목표치를 설정하였음

○ 스마트 워터백을 활용하여 긴급대응 후 흙막이 벽체의 허용각변위(최대수평변위/굴착깊이) 0.5%를 기준지표로 설정하였으며, 관리기준 F(기준값/계측값)>1.2 조건의 검증 필요

- 스마트 워터백 긴급대응에 따른 가시설 구조체에 일시적인 안전을 확보 후 정상적인 대응 작업 수행
- 긴급대응 완료후 가시설 구조체의 변위를 현장관리자 및 작업자에게 제공

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

○ 다양한 기능을 보유한 관제시스템으로 고도화를 추진하여 발주청 중심의 중앙집중적 관리를 통한 사용자 편의성과 업무 효율성 제공

○ 정밀한 관제가 가능해짐으로써 시공현장 안전 관리를 사전에 예방하기 위한 모니터링 및 타 기관과의 연동으로 안정적인 시스템 운영

○ 빠른 장애 인지 및 조치가 가능하며 또한 솔루션 간 시너지 효과를 높여주어 시스템 운영업무의 효율성 향상

○ 분산되어 있는 다양한 관제 시스템의 통합으로 관제 효율성 증대 및 관제 환경 개선

○ 과거 데이터 패턴을 통한 사전 장애 징후 감지로 안전 관련 문제 발생을 줄임으로써 시스템 안정성 확보 및 운영비용 절감

○ 관제 시스템 모니터링 화면의 직관적인 UI 지원으로 장애 발생 감지 시 빠른 인지를 통한 관제 업무 효율성 향상 및 신속한 문제점 처리로 시스템의 안정성 확보

○ 통합 관제시스템의 현장 검증, 고도화 및 실용성 확보를 위한 테스트베드 운영에는 관제시스템을 비롯해 개발된 건설안전 관련 기술이 집약되어야 함

- 따라서 방대한 데이터와 현장 기술을 통합 관리하는 관제시스템의 안정성과 현장 적용성이 연구 성과의 실용화에 매우 중요한 요소가 되기 때문에, 건설

안전에 상대적으로 취약한 다양한 중·소규모 현장을 대상으로 테스트베드로 운영하고 대형 건설현장에 확대 적용하여 성능 검증, 개선방안 도출 및 피드백 하는 것을 목표로 설정함

○ 스마트 안전 통합관제 시스템 지속적인 운영 및 활용방안

- 시스템의 지속 운영을 통한 실질적인 재해율 저감을 달성하기 위해 필요

2.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

<표 4-123> 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발 선행연구과제의 주요 내용 및 차별성·연계성(기관)

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
기후변화 적응을 위한 연안도시지역별 복합원인의 홍수취약성 평가 기술 개발 및 대응방안 연구	행정안전부 (2015 ~ 2018)	• 연안도심지역의 침수피해예상도 작성 • 연안도심지역의 취약성 분석	• 도심지 전체의 표면을 대상으로, 건설현장의 표면수 유입 등의 지하구조물 침수예측 기술은 개발하고 있지 않음 • BIM을 활용한 도심지역 침수모델 적용
빅데이터 기반 전기화재예측 시스템	과기부 전기안전공사 (2017)	• 한국전기공사, 기상청 등 각 기관에서 수집한 데이터 통합 분석 • 빅데이터 분석 및 기계학습기반 전기화재 예측 알고리즘 개발 • 분석 결과 전기안전지도 기반 파일럿 프로그램 개발	• 화재예측을 위하여 기 선행과제 또한 기반기술로 빅데이터 분석기술을 사용함 • 건설현장의 화재·폭발 감지 및 대비를 위한 시스템으로 사용하기 어려움
900MHz RFID 태그와 마이컴과의 인터페이스 구현을 통한 산업현장 안전관리	중소기업청 (2014)	• 공사 현장에서 안전모에 RFID태그를 장착하고 포크레인에 RFID 리더기를 장착하여 태그가 장착된 안전모를 착용한 현장 인력이 접근시 Alert	• 현장 작업자의 접근만을 판단 • 시공현장 주변의 보행자/차량등에 대한 인지 기능 없으며, 보행자/차량 등에게 Alert 기능 없음. • 지반 함몰의 원인인 지하매설물 상태를 파악하는 기준으로 활용 가능
IoT센서네트워크 기반 건설현장의 상황인지형 안전관리	중소벤처기업부 (2017)	• IoT 센서(자이로센서, 압력센서 등), LoWPAN 네트워크 장비를 벤더에 의존적이지 않은	• 안전관리 측면의 구조물 계측 센서가 없음 • 구조물별/공법별 적용

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
디바이스 개발		다중 표준화 및 최적화 개발 • 안전관리 및 이동궤적 모니터링	개발내용 부재 • 복합 구조물간의 공백구간에 대한 안전관리 부재
IoT 센서기술과 데이터사이언스 기반의 건설 작업자 안전관리 시스템 개발	과학기술정보통신부 (2017)	• 활선 경보기 장치와 같은 단편적인 안전위험을 감지할 수 있는 IoT 센서를 개발하고, 빅데이터, AI 기술을 이용하여 안전관리를 할 수 있도록 시스템 개발	• 안전관리 측면의 구조물 계측 센서가 없음 • 구조물별/공법별 적용 개발내용 부재 • 복합 구조물간의 공백구간에 대한 안전관리 부재
위험요소 접근 센싱 및 실시간 작업위치 모니터링을 이용한 안전관리 시스템 개발	중소기업청 (2010)	• RFID 기반 터널 내부 실시간 작업자 위치파악을 위한 시스템 개발	• 분석 후 필요시 실시간 위치 파악 기술 연계 고도화
화상 전송이 가능한 RTLS 위치 추적 및 안전 모니터링 시스템 개발	중소기업청 (2011)	• 영상 기반의 작업자 위치정보/상태정보를 수집하여 출입관리, 터널 안전관리, 사업장 관리 등을 수행	• 분석 후 필요시 실시간 영상 획득/전송 기술 연계 고도화
IoT 기반의 개인화된 안전 디바이스와 연동되는 통합 안전관리 솔루션	미래창조과학부 (2016)	• 터널 공사 현장에 특화된 IoT 기반 개인 안전헬멧을 개발, 통합안전관리 솔루션 개발	• 분석 후 필요시 안전헬멧 도입
지반 굴착에 따른 0인접시설물 안전관리 기준정립 연구	한국시설안전공단	• 지반 굴착에 따른 인접시설물 안전관리 기준정립	• 굴착 10m미만 중심도 굴착 흙막이 긴급대응 시스템 필요 • 굴착 4m미만 소규모 저심도 굴착 흙막이 긴급대응 시스템 필요
			• 굴착 10m미만 중심도 지반굴착시 붕괴사고 원인 규명에 따른 구체적 긴급대응 시스템 개발로 취약공종 스마트 안전점검 기술과 연계 • 굴착 4m미만 소규모 저심도 지반굴착시 붕괴사고 원인 규명에 따른 구체적 긴급대응 시스템 개발로 취약공종 스마트 안전점검 기술과 연계

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

○ 기존 국내연구는 주로 시설물안전 유지관리에 기술이 집중되었으며 시공 중 건설안전에 관련된 과제는 전무한 상태임

○ 본 연구과제는 산업 재해률이 높은 건설 분야의 재해률을 감소시킬 수 있도록 건설 시공 과정에서 발생되는 사고 데이터를 기반으로 학습 알고리즘을 사용하여 분석 및 예측 모델을 개발하는 것을 목표로 하고 있음

○ 본 연구는 타 연구과제와 달리 정부에서 적극 추진하고 있는 제 4차 산업혁명에 대비한 인공지능(AI) 기반의 딥러닝, 사물인터넷(IoT) 등 건설안전분야에 IT 기술을 융합하여 플랫폼을 개발하고자 함

○ 안전정보를 제공함에 있어, 기존의 방식은 시설안전공단과 안전보건공단 홈페이지로부터 공종별 위험요소와 사례를 작업자가 직접 찾아야 하기 때문에 중소규모 작업자들이 거의 활용하지 않고 있지 않고 있음. 본 연구는 작업자가 스마트폰 영상을 전송하면 쉽게 안전정보를 얻을 수 있는 시스템을 개발하는 것으로 차별화 됨

○ 현재 건설 안전 분야의 ICT 기반 통합 관제 시스템을 구축하기 위한 국내 연구과제는 전무한 상황

○ 본 연구과제는 시공 현장의 안전 상황을 발주청에서 통합 관제 시스템 및 모니터링을 통해 관리할 수 있으며, 더 나아가 클라우드 기반의 통합 센터를 구축하여 타 건설종합정보망과 연계하고 안전 데이터 수집 및 분석으로 공공 데이터 개방으로 확산할 수 있는 플랫폼을 개발하고자 함

○ 건설장비에서의 안전관련 연구는 장비별로 스마트 기능 또는 ICT 기능 탑재와 더불어 장비 자체에 탑재한 센서정보에 기반한 장비 모니터링을 바탕으로 한 알람기능에 한정되어 있으며 본 연구과제는 안전관련 정보의 통합 수집 및 모니터링에 관련된 연구로서 차별화되어 있음

<표 4-124> 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축 및 운영 기술 선행연구과제의 주요 내용 및 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
BIM을 이용한 교량 구조물의 안전진단 및 유지관리 시스템 구축	국토교통과학기술진흥원 (2016.06~2019.04)	• BMI 기반 안전진단 및 유지관리 기술 구축 및 수명예측, 상태평가 등의 기법 개발을 통해 교량 안전 진단 및 유지보수의 효율성을 높이고자 하는 시스템 개발	• 이미 구축된 교량구조물 시설관리를 위해 개발됨 • 안전 진단 및 유지관리에 BIM를 접목시켜 이력관리 • 교량 설계 단계, 시공 단계 및 유지관리 단계를 통합하여 건설 과정의 전 범위의 위험수준을 예측할 수 있는 통합 플랫폼으로 연계
도로망 유지관리 정보 생성을 위한 일반 차량 탑재 모바일 기기 기반 도로 균열 검출 및 도로 미래 수명 예측 기술	국토교통과학기술진흥원 (2017.06~2019.03)	• 도로망의 유지관리 비용 절감 및 운행 안전성 제고를 위해 운행중인 차량에 장착된 모바일 기기로 취득한 영상 기반 포장도로의 균열 분석 및 도로 구간별 열화 상태 모델링 기술 연구 개발	• 시설물 안전(도로망 유지보수)을 위한 기술개발 • 영상 데이터 기반의 딥러닝 기술 적용 • 도로망 유지보수 시공 중 일어날 수 있는 사고 분석 및 위험수준 예측 모델로 적용
인공신경망 알고리즘과 디블러링 기법을 이용하여 40km/h 주행속도로 터널의 균열을 검출할 수 있는 촬영 장비 및 균열 분석, 작도 자동화 패키지 프로그램 개발	국토교통과학기술진흥원 (2016.04~2019.02)	• 고성능의 사진 촬영 장비 및 사진 데이터 자동화 분석 프로그램으로 터널의 균열을 검출할 수 있는 촬영 장비, 균열 분석, 작도 자동화 패키지 프로그램 개발	• 시설물 안전(터널 균열)을 위한 기술 개발 • 사진데이터 기반의 자동화 분석 프로그램 적용으로 안전사고를 예방하고자 하지만 터널 대상이라 다양한 시공현장과는 환경이 상이함 • 현장 자동화 촬영 및 사진 데이터 자동화 분석 프로그램을 빅데이터 기반의 분석 플랫폼으로 확대
건설 재해 통합 대응을 위한 드론 기반 현장 안전관리 시스템	국토교통과학기술진흥원 (2016.06~2019.04)	• 무인 드론 장비 및 센서를 통한 건설재해현장 모니터링, 건설 재해 발생 위험도 산정을 위한 리스크 맵 구축 기술, 빅데이터 분석 기술을 활용한 건설 재해 예측 방지 프로그램 개발	• 드론을 사용하여 현장 파악하기 때문에 대형 시공현장을 효율적으로 모니터링 가능 • 데이터 마이닝 기술을 활용한 건설 현장 작업 효율 모니터링, 재해가능성 추출 알고리즘 등 참고 가능
IoT 기반 건설현장 실시간 위치추적 및 영상 안전 관제 시스템	국토교통과학기술진흥원 (2016.05~2018.91)	• 위치정보와 영상정보를 활용하여 위험요소를 분석하고 다양한 서비스 모델 개발을 통해 작업자	• 시공현장에서만 적용하는 안전관리 시스템으로 본 과제는 통합 관제 시스템을 구축하고자 함

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
		및 관리자에게 위험경고 및 메시지 전송	• 실시간 위치추적 및 영상 관제 시스템
			• 건설 현장 위험 요소 분석 및 안전관리 시나리오를 시공현장 안전 관리 시스템 및 모니터링 개발에 참고
무선센서네트워크(USN)에 의한 콘크리트의 품질관리시스템 구축: 콘크리트 양생온도 모니터링 및 강도예측을 중심으로	한국토지 주택공사 (2012)	• 무선센서네트워크에 의한 콘크리트 온도이력 및 강도추정을 위한 실험을 실시하고, 관리시스템의 현장 적용성을 평가	• 아파트 현장을 중심으로 기술이 개발됨 • 콘크리트의 온도이력에 근거한 강도발현 여부를 관리
			• 기술의 고도화를 통해 안전취약 도심지 중소현장 적용 • 강도발현 모니터링을 통해 거푸집 탈형 후 붕괴사고 예방기술 개발에 참고
UBN 기반의 시공안전모니터링시스템 개발 및 적용성연구	한국연구재단 (2009.05 .~2012.04.)	• USN을 기반으로 시공단계에서 발생되는 구조물의 실시간 변형 및 변화 데이터를 무선을 통해 획득하고, 데이터베이스에 저장 및 활용하여 시공관리 및 안전관리에 대한 효과를 검증	• 거푸집의 변형측정을 통해 타설 중 발생할 수 있는 거푸집 붕괴사고 예방
			• 현장타설 중 발생할 수 있는 건설사고 예방을 위한 모니터링 기술 개발에 참고 • 가시설물 모니터링 기술과 연계하여 통합 관리시스템 개발에 참고가능

2.8 민간기술과의 차별성·연계성

(구성기술 3-1-1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발

○ 기존 민간 기술의 경우 주로 실시간으로 건설 사고 위험요인 제거보다는 노출 및 취약성 관리를 위한 시스템으로, 센서와 웨어러블 디바이스 등을 통해 근로자 위치확인, 위험지역 알림 등으로 재해를 예방하고 재해 발생 시 신속하게 대처할 수 있도록 하는 것이 주요 기술임

- 기존 국내연구는 주로 시설물안전 유지관리에 기술이 집중되었으며 시공 중 건설안전에 관련된 과제는 전무한 상태임

- 본 연구과제는 산업 재해율이 높은 건설 분야의 재해율을 감소시킬 수 있도록 건설 시공 과정에서 발생되는 사고 데이터를 기반으로 학습 알고리즘을 사용하여 분석 및 예측 모델을 개발하는 것을 목표로 하고 있음

○ 본 연구는 타 연구과제와 달리 정부에서 적극 추진하고 있는 제 4차 산업혁명에 대비한 인공지능(AI) 기반의 딥러닝, 사물인터넷(IoT) 등 건설안전 분야에 IT 기술을 융합하여 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 솔루션을 개발하고자 함

- 본 연구는 재해 예방의 전 단계인 사고의 발생을 예측 및 관리하기 위한 분석 모델을 개발하고자 함

- 본 연구를 위해서는 기존 건설현장에서 발생한 사고 원인과 정보, 데이터 등의 수집이 필요하므로, 민간 기술에서 실시간으로 수집 및 모니터링을 해온 정보들을 기반으로 예측 분석 모델 시범 적용 및 발전 가능

○ 국내의 건설안전 침수대책 기술은 차수판과 같은 소형 혹은 임시 구조물들의 아이디어 상품으로 사고 발생 후의 피해저감이 목적. 본 연구는 각 현장의 지형 및 기상상황에 따른 모델링을 통한 침수피해 예측 혹은 설계를 활용한 사전 대비의 개념임

  - 본 연구의 결과물(차수판 최적 설치위치 혹은 최적 펌핑 운영 방안)과 민간 기업들의 기술상품의 접목을 통한 효율성 향상을 기대할 수 있음

○ 기존 굴착공사 흙막이 관련 민간 기술의 경우 주로 일반적인 공사계획에 따른 시공기술로서 시공성, 경제성, 안전성 확보에 최적화된 기술임

<표 4-125> 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 솔루션 기술 선행연구과제의 주요 내용 및 차별성·연계성(기업)

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
DSC(Daewoo Smart Construction)	대우건설 (2017)	• 모니터링 단계의 화재폭발 예방 시스템으로 CCTV를 활용하여 화재를 감지함 • 진동센서를 활용하여 건물 붕괴사고를 사전 예방함	• 단순 화재발생 정보를 제공하는 기능으로서, 화재역학 및 빅데이터 기반의 예방 전략이 포함되어 있지 않음 • 단순 가스센서 및 지능형 CCTV를 통하여 모니터링 수준의 기술을 지원함
슬라이드 레일 시스템 기술	PRO-TEC (미국)	• 모듈식의 설계로 시스템은 다양한 모양과 크기로 작업 가능 • 굴착 심도, 토양, 복원 시간을 고려한 Slide Rail Shoring System	• 긴급대응 조치시 현장 적용성을 고려한 장비 투입 및 시공 계획 필요 • 흙막이 모듈화 설계 기법 참조
트렌치 박스 기술	EURO VERBAU (독일)	• 심도 1.25m에서 6.0m 사이에서 최적의 트렌치 및 파이프 기계화 설치	• 현장 긴급대응을 위한 별도의 적용기법 필요 • 흙막이 기계화 설치 기법 참조

(구성기술 3-1-2) 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

○ 기존 민간 기술의 경우 주로 실시간으로 건설 사고 위험요인 제거보다는 노출 및 취약성 관리를 위한 시스템으로, 센서와 웨어러블 디바이스 등을 통해 근로자 위치확인, 위험지역 알림 등으로 재해를 예방하고 재해 발생 시 신속하게 대처할 수 있도록 하는 것이 주요 기술임

○ 본 연구는 재해 예방의 전 단계인 사고의 발생을 예측 및 관리하기 위한 분석 모델을 개발하고자 함

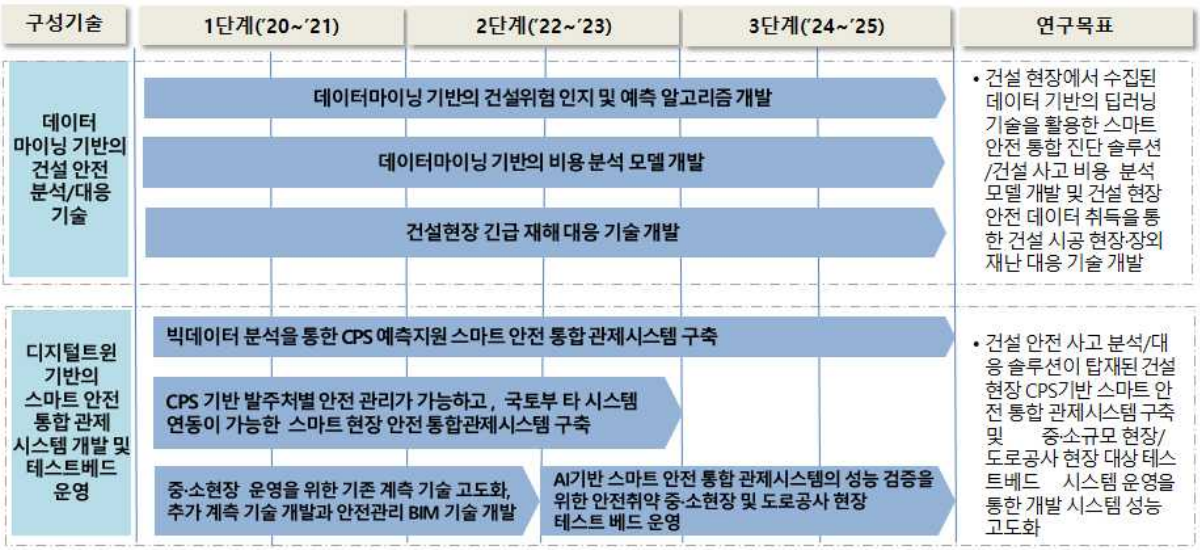
○ 본 연구를 위해서는 기존 건설현장에서 발생한 사고 원인과 정보, 데이터 등의 수집이 필요하므로, 민간 기술에서 실시간으로 수집 및 모니터링을 해온 정보들을 기반으로 예측 분석 모델 시범 적용 및 발전 가능

○ 위험요소와 사고사례에 대한 안전정보를 제공하는 것은 대기업 건설회사에서는 자체 시스템을 통해 제공하고 있으나, 직원과 협력회사 관리자만 접근하여 직접 해당 공종을 찾아 안전정보를 찾는 시스템이며 작업자가 접근할 수 없는 시스템임. 본 연구에서는 불특정 작업자가 영상정보를 통해 쉽게 안전정보를 접근할 수 있는 시스템을 개발하는 것임

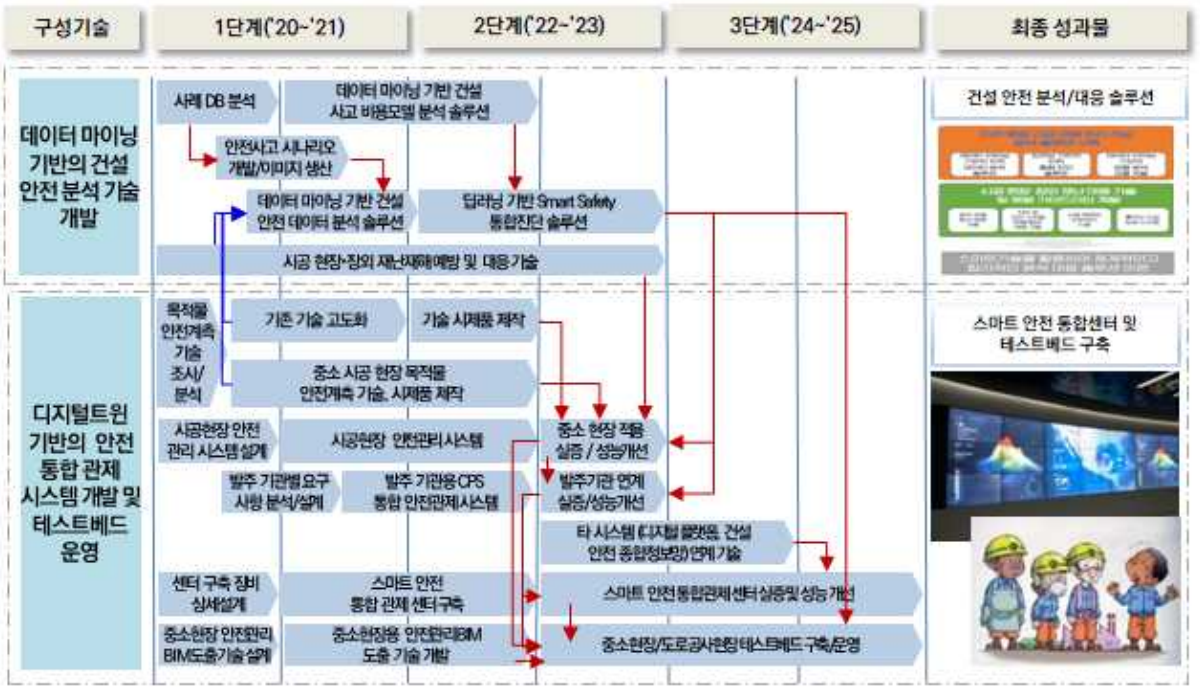
<표 4-126> 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	대우스마트건설(DSC) 시스템	대우건설	• 실시간 위험 작업 위치 관제, 안전 환경 모니터링 시스템 등 공정관리, 공사협업, 품질관리 분야까지 시스템 적용 가능	• 센서와 웨어러블 디바이스를 기반으로 실시간으로 현장을 확인하면서 안전 관리하며 타 분야까지 시스템 확대 • 센서를 기반으로 모은 실시간 데이터를 분석하여 건설 사고 및 위험수준 예측
2	머신 가이던스 시스템	현대건설기계	• 굴삭기에 각종 센서와 제어기, 위성항법시스템 등을 탑재해 굴삭기의 자세한 위치, 작업범위 등을 실시간으로 운전자에게 알려줌	• 건설기계에 탑재 및 운영하여 기계 조작으로 인한 안전사고 예방 • 건설 사고 분류 및 위험예측모델을 일반적인 건설 사고 뿐만 아니라 기계로 인한 건설 사고로 확대 적용
3	스마트 건설 안전 관리 시스템	㈜지에스아이엘	• 위치 태그를 통해 간단히 입력하고, 입력된 정보를 통해 자동으로 생성된 현장위험등급, 위험요인, 대책을 현장담당자와 본부 안전담당자 간 공유 모니터링	• 센서와 웨어러블 디바이스를 기반으로 실시간으로 현장을 확인하면서 안전 관리 • 실시간 축적된 빅데이터 정보를 이용해 사고예측 모델 적용으로 인한 안전 사고 예방 가능
4	스마트 건설기계	Caterpillar Komatsu등	• 비전 및 OEM 업체의 RF, 비콘 기반 검출기술을 활용한 사고 방지 및 운전자 알람기능 • 장비 위치 및 작업상태등 정보 수집을 위한 ICT 장비 탑재 및 데이터 수집 플랫폼	• 안전데이터 수집보다는 장비 고장, 작업관제를 목적으로 한 빅데이터 플랫폼 • 스마트 장비에 이미 탑재된 ICT 기반 connectivity를 활용한 정보 수집 및 제공의 쌍방향 통로 확보

2.9 구성기술 로드맵



[그림 4-278] 스마트 안전 통합 관제시스템 추진로드맵



[그림 4-279 스마트 안전 통합 관제시스템 성과로드맵

2.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

○ 총 217.24억 원/6년(3단계)중 (국고) 160.02억 원, (민자) 57.22억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-1-1. 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발	정부	815	820	955	972	1,024	807	5,393
	민간	291	294	341	348	366	289	1,928
	소계	1,106	1,114	1,296	1,320	1,390	1,096	7,321
3-1-2. 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영	정부	956	3,498	2,865	1,141	1,202	947	10,609
	민간	342	1,251	1,024	408	430	339	3,794
	소계	1,298	4,749	3,889	1,549	1,632	1,286	14,403
합계	정부	1,771	4,318	3,820	2,113	2,226	1,754	16,002
	민간	633	1,544	1,366	756	796	627	5,722
	소계	2,404	5,862	5,186	2,869	3,022	2,381	21,724

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-1-1. 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발	323	323	380	380	380	304	2,092
3-1-2. 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영	379	1,346	1,097	419	457	342	4,039
합계	702	1,669	1,478	799	837	646	6,131

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-1-1. 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석/대응 기술 개발	책임급	1	1	1	1	1	1	6
	선임급	1	1	2	2	2	2	10
	원급	5	5	5	5	5	3	28
	합계	7	7	8	8	8	6	44
3-1-2. 디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영	책임급	2	6	6	1	1	1	17
	선임급	2	9	6	2	2	2	23
	원급	3	10	8	6	7	4	38
	합계	7	25	20	9	10	7	78
소계		14	32	28	17	18	13	122

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	400	997	884	498	528	423	3,730
연구과제추진비	120	293	263	146	156	123	1,100
연구활동비	279	708	618	353	373	302	2,633
연구수당	105	250	222	120	126	97	920
소계	905	2,248	1,987	1,117	1,182	945	8,383

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	165	402	355	197	207	163	1,488

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 38.4%, 직접비(인건비 제외) 52.3%, 간접비 9.3%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 50%, 연구과제추진비 15%, 연구활동비 35%, 연구수당*으로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

□ 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

<표 4-127> 스마트 안전 통합 관제 시스템 연구장비내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)
1	DLP 모니터	CCTV 영상 표출/모니터링용	38.5	8	308
2	ESM라이센스	서버, 스토리지, 네트워크 장애감지 등록을 위한 시스템 라이센서	0.242	50	12.1
3	ESM 서버	시스템 모니터링 및 장애감지	30	1	30

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)
4	KVM 콘솔	키보드, 마우스, 모니터 관리조작 단일화	8.277	7	57.939
5	로즈 HA	매니지먼트 서버를 이중화하여 유사시 모든 시스템이 중단되는 것을 방지	16.335	2	32.67
6	샌스위치	N:N으로 연결되는 스트리밍서버와 스토리지를 이중화하여 연결접속용	64	2	128
7	디스플레이서버	DID 모니터에 직접 연결되어서 월을 구성하는 DID 표출용 서버	9.432	4	37.728
8	매니지먼트서버	CCTV의 데이터베이스 값을 저장하고 총괄하는 서버	13.22	3	39.66
9	백본스위치	서버와 카메라의 서버 데이터를 모아서 총괄 관리하는 네트웍장치	64	2	128
10	뷰어서버	카메라 관리 및 등록을 전부 뷰어서버에서 해야 함. 관리자 전용서버	9.432	4	37.728
11	서버스위치	서버와 백본 사이에서 데이터 연결을 관장하는 스위치	6.93	20	138.6
12	스토리지 어레이	디스크 관리와 레이드 구성, 서버와의 연결에 직접적인 컨트롤 역할	72.18	2	144.36
13	스토리지 인클로져	물리적인 디스크를 실제로 장착하여 데이터를 보관하는 역할	83.7	16	1339.2
14	스트리밍서버	CCTV의 녹화된 영상을 저장하고 스트리밍을 주관하는 서버	10.11	28	283.08
15	시간동기화 서버	장기 시스템 사용시 시간의 틀어짐을 방지하여 이벤트 발생시 시간 체크 오류를 방지	13.19	1	13.19
16	월매니저서버	비디오월에 나오는 카메라 수량이나 크기 등 전반적인 화면조작용 서버	9.432	1	9.432
17	월서버	디스플레이 화면 배치 및 알람, 상황구성 등에 대한 데이터를 저장	11.725	1	11.725
18	카메라스위치	PoE기능이 가능한(UTP전원공급) 카메라에 직접 연결되는 스위치	2.55	32	81.6
19	트랜스코더 서버	CCTV 화면을 모바일기기나, 태블릿 등에서 볼 수 있도록 함	11.725	1	11.725
20	페일오버서버	스트리밍서버가 장애시 무중단으로 계속 스트리밍 될 수 있도록 하는 서버	10.11	3	30.33
합계			485.1	188	2875.1

2.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



(2) 협력방안

□ **현장 안전 데이터 취득 및 적용을 위한 협업체계 구축**

○ 알고리즘 개발을 위해서는 현장 데이터 수집과 적용이 필수이기 때문에, 기업 및 지자체 등의 공공기관과 협업체계 구축이 필요함

□ **알고리즘 학습모델 확산을 위한 협력체계 구축**

○ 분석 및 예측의 정확도를 높이기 위한 다양한 학습모델 발굴을 위해 대학 및 연구소 전문가들과 협력체계 구축 필요

□ **스마트 안전 통합 관제 시스템 테스트베드 운영을 위한 협업 체계 구축**

○ 중소현장 10개소 및 도로공사현장 1개소 테스트베드 시스템 운영을 위해 지자체 및 도로공사 등 공공기관 협업체계 구축이 필요함

2.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-128> 스마트 안전 통합 관제 시스템 기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
건설 안전 분석/대응 솔루션	안전 분석 가능한 데이터 수집 인프라의 한계	건설현장에 필수적인 안전분석 인프라 구축 표준모델 제시
	기존 안전 조치에 대한 정형화 데이터의 부족	안전 예측, 분석, 대응, 사후관리에 대한 체계적이고 구체적인 DB 구축
	학습모델 부족으로 인한 분석/예측의 정확도율 낮음	전문가를 통한 다양한 학습모델 발굴
스마트 안전 통합 관제시스템	계수 개발 후 검·인증 및 등록 여부	기존 검인증 시 대응 방안 등을 활용
	국가 고유 계수 적용을 위한 활동자료 부재	통계청과의 지속적인 협의를 통한 국가 통계 구축

2.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **건설현장의 중대재해를 감소시키기 위해 국토교통부 주도로 문제점을 분석하고 주요 수립대책을 이행**

○ 안전의 외주화 봉쇄

○ 제도 이행 여부 확인을 위한 거버넌스의 구축

○ 시스템 중심의 안전관리 체계 도입

□ **2017년 이후 첨단 기술을 장려하는 제도적 기반을 구축하여 국가 중심으로 중장기 정책 방향을 마련하고 제 4차 산업혁명의 혁신적인 기술을 수용하기 위한 전략 수립**

(2) 성공 사례의 시사점

□ **건설안전관리에 대한 건설기술진흥법이 시공자 중심의 안전관리 제도에서 모든 건설공사 관계자들이 참여하는 형태로 변하고 있으며, 선제적 대응의 예방형으로 변화되고 있음**

- 발주청을 현장 안전점검 주체로 참여시킴(건설기술진흥법 제54조1항)

○ 건설공사 참여자의 안전관리 수준을 평가하고 공개: 건설공사 참여자들(발주자, 시공자, 건설사업관리기술자)의 안전관리 수준을 평가하고 평가 결과를 공개함(건설기술진흥법 제62조10항)

○ 설계안전성검토(DFS, Design For Safety) 제도 도입: 안전관리계획을 수립해야 하는 건설공사의 실시설계 시 시공과정의 안전성 확보를 검토하여야 함(건설기술진흥법 시행령 제75조의 2)

□ **다양한 국토교통 R&D 성과 확대 적용을 위한 규제 샌드박스 제도 도입 및 운영**

(3) 실용화 전략 수립

□ **발주청에 의해 안전 진단 솔루션 적용을 이행하는 절차를 강화하고, 후속 대응 이행 여부를 확인 할 수 있는 거버넌스를 구축하는 등 법적인 제도 도입을 통해 본 솔루션 실사용 확대**

○ 안전 진단 및 위험요소 예측 대응에 관한 법 제정을 통해 의무적으로 이행할 수 있는 정책 및 소규모 건설현장에도 이를 지원할 수 있는 제도 마련

□ **본 R&D 성과를 적용하고자 하는 기업의 제안서를 제출받아, 정부-지자체-기업이 공동으로 최적의 샌드박스를 설계하고 시범사업을 실시하여 자발적으로 안전 확보를 위한 솔루션 사용을 확대할 수 있는 지원 마련**

□ **공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 본 시스템의 확산을 위한 재원 마련이 용이**

2.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ **건설현장 안전 데이터 구축 및 예측 시스템 개발**

○ 건설현장에서 생산되는 다양한 비정형 데이터에 대해 빅데이터 기반의 데이터 정형화 시스템 구축 기술 향상

○ 건설현장의 다양한 안전사고에 대한 체계적인 분류를 통한 라이브러리화 가능

○ 데이터마이닝 기술을 기반으로 정형화된 라이브러리를 통해 안전사고에 대한 딥러닝 기술 접목화 가능

○ 안전사고 분석 플랫폼 기술 개발도 향상 및 시뮬레이션을 통한 사고 예방 가능한 위험 수준 예측 모델 개발 가능

□ **물리 건설 현장과 사이버 건설 현장의 융합을 추구하여 스마트 기술 활용을 위한 파생 연구 분야 생성 및 고부가가치 산업 확대**

○ 본 사업을 바탕으로 그동안 연구개발이 전무하였던 건설 안전을 위해 제 4차 산업혁명 기술을 활용한 분석 알고리즘, 플랫폼 등 스마트 안전에 관련된 체계적인 고부가가치 안전 R&D 산업 확대

○ 건설 안전 관련 데이터를 확보를 통해 향후 공공 데이터로 개방하여 범정부 통합 데이터 분석 및 빅데이터 센터 허브에 제공하여 다양한 분야로 활용될 수 있도록 API로 지원하여 고부가 정보의 생산 및 활용 기반 제공

□ **건설현장 종합 안전관리를 위한 기술력 향상**

○ 건설현장 안전 컨트롤타워 역할을 수행할 수 있는 스마트 안전관리 시스템 도입을 통해 실시간 현장 안전 제어 및 유사 사고 발생 대응 체계 구축

○ 건설현장 시공 과정 중 발생되는 건설사고 데이터에 대해 4차 산업기술과의 접목으로 데이터분석 기반의 안전사고 분석, 대응, 예측 정확도 향상

(2) 사회경제적 측면

□ **건설업 재해율 감소**

○ 중소 공사현장에 성능 검증 후 향후 민간발주공사에 확대 적용함으로써 국내 건설산업의 재해율이 기술 적용 2년 후 기술 적용시점 기준 산업재해율 25% 감소에 기여

○ 건설 현장 안전 사고 DB 확보 및 체계적인 관리에 의해 비슷한 유형의 사건/사고 발생률 저감

□ **건설 안전 사고 관리에 따른 건설업계의 활성화**

○ 산업안전보건 공단의 산업재해 통계에 따르면 건설업이 타업종이 비해 재해 발생시 사망사고의 비율이 31.18%로 가장 높은 수준을 보였지만, 스마트 기술을 도입한 안전 사고 관리로 건설업의 작업환경을 개선하여 위상 제고

○ 그동안 건설업은 위험한 작업환경으로 인해 근로자들이 기피하는 업종 중 하나로 여겨졌지만, 근로자의 작업환경 및 건설현장의 위험 요소들을 신속하게 예측하고 대응하여 젊은 우수 인력 유입 유도

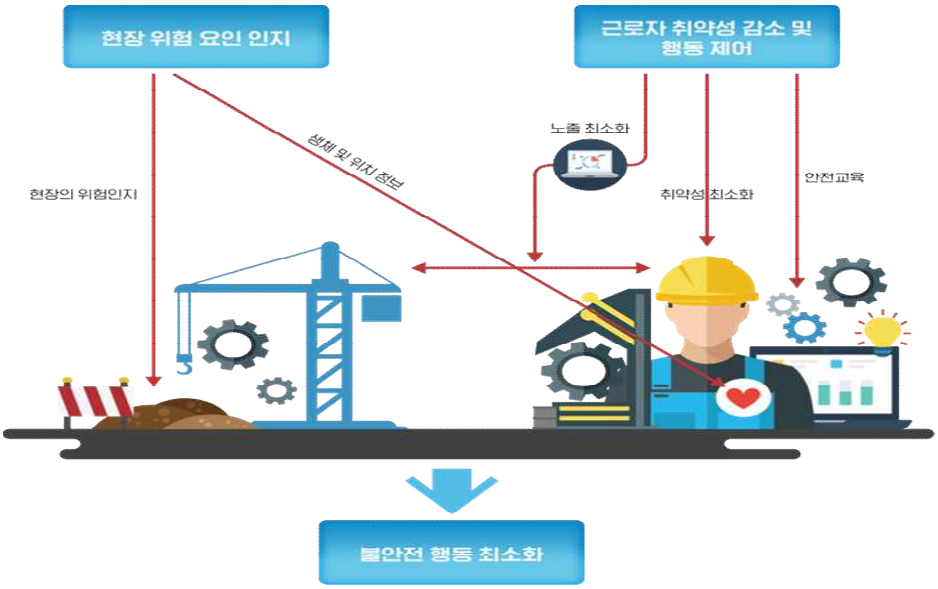
□ **건설 안전사고 처리 비용에 따른 사회비용 절감 효과**

○ 건설 안전사고에 따른 연간 손실액은 약 21조원에 달하지만, 발주사와 건설사의 비용 ROI를 계산 및 예측을 통해 안전사고예방에 주력하여 30% 사회비용 절감에 기여

3. (핵심기술 3-2) 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발

3.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념



[그림 4-280] 건설현장 근로자 안전확보 기술 개념도

□ **현장마다 상이한 위험요인 인지를 지원하는 시스템을 개발하고, 이를 바탕으로 불안전 행동을 최소화하는 기술적 대응책을 개발함**

○ 현장 내 위험요인 인지는 관리자 및 근로자의 안전 지식 수준에 크게 영향을 받고 전문인력 또한 부족하므로, 이를 개선하기 위해 현장 작업자의 위험 인지 업무를 지원할 수 있는 영상 기반 위험요인 인지 기술과 작업성에 손실을 야기하지 않고 근로자의 작업환경, 취약성, 위치 정보 등을 인지할 수 있는 PPE를 개발

○ 건설현장의 유형, 작업 내용, 환경 조건 등에 따른 위험요인을 프로파일링함으로서 미래 발생 가능한 리스크를 선제적으로 대비 하고, 현장에 존재하는 위험요인 별 즉시적인 교육 콘텐트 생성 기술을 통해 교육의 현실화, 근로자 의사결정행위를 시뮬레이션 할 수 있는 모델을 통한 최적화된 불안전 행동 감소 방안 도출을 수행함

(2) 범위

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

○ Wearable 3D camera를 이용하여 건설현장의 위험요인을 자동 인지하고 근로자의 작업환경을 모니터링하는 기술임. 인공지능 기반 건설현장별 위험요인인지 기술, AR(증강현실)기술을 이용한 위험요인 시각화 기술, 안전점검 결과의 기록 및 보고를 자동화하는 작업환경 모니터링 기술이 포함됨

○ 작업복, 안전모, 안전 작업화처럼 법적으로 요구되는 일반 개인보호구에 적용하기 위해, 탈부착 가능한 패스닝 시스템(Fastening System : 단추, 지퍼슬라이더, 스냅, 버클 등을 활용한 인터페이스)을 활용하여 위치, 스마트 직물을 활용한 생체 신호의 위험요인 및 위치정보를 실시간으로 근로자와 관리자에게 제공하고, 특정 기준 이상의 위험인 경우 알람(LED, 진동, 사운드)으로 지원해주는 시스템 개발.

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ (인공지능)기술을 이용하여 건설현장별, 공정별, 작업환경별 발생 가능한 위험요인 DB를 분석하고, 현장 맞춤형 위험요인을 프로파일링하여. 현장 맞춤형 체크리스트를 자동 추출하는 기술 개발

○ VR(가상현실) 기반 체험형, 감성형 근로자 안전교육 컨텐츠 구축 및 이를 이용한 방문형 교육 서비스 비즈니스 모델 개발하고 시범 서비스를 실시함. 교육서비스의 효율성 제고를 위해 현장상황에 맞는 교육 컨텐츠를 자동 생성, 추출할 수 있는 모듈러 VR 교육 플랫폼 개발

○ 에이전트 기반 모델(Agent-Based Model) 및 셀룰러 오토마타(Cellular Automata) 기법을 이용하여 건설 작업자의 행동 및 인지 모델을 개발. (현장 영상 정보 기술 기반 위험 요인 인지 기술)과 (근로자 상태 정보 인지 스마트 안전보호구) 정보을 활용하여 수집된 데이터와 시뮬레이션을 통한 최적화 기법을 활용하여 불안전 행동 감소 방안을 도출하기 위한 수리적 최적화 알고리즘 개발

3.2 추진 배경 및 필요성

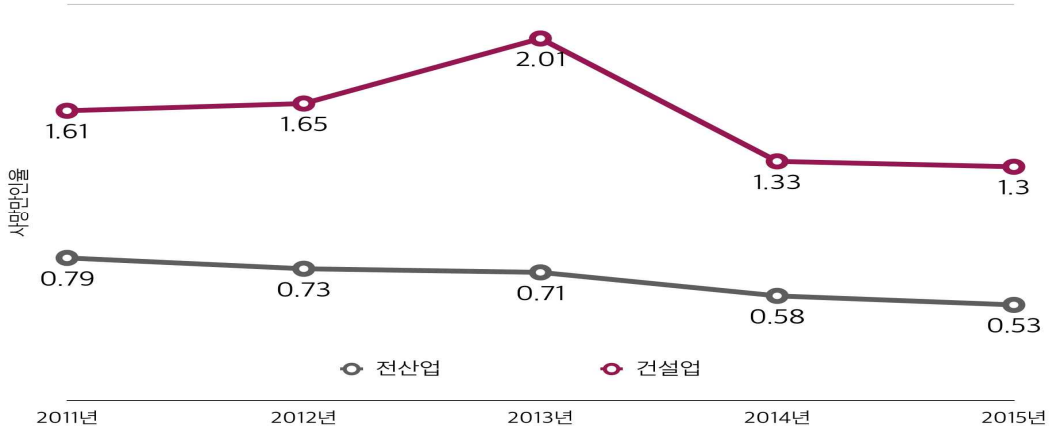
(1) 추진 배경

□ **건설업의 다양한 공종과 높은 재해률**

○ 2015년 국내 사망만인율은 전산업(0.53)대비 건설업(1.3)로 약 2.4배이며, 영국 대비 약 8배로, 근로자가 30년간 건설업에 종사하는 경우 사고로 인해 100명 중 3.8명이 사망하는 Intolerable 리스크에 해당하여 관리가 시급함

○ 산업안전보건 공단의 2016년도 산업재해 통계에 따르면 기타의 사업을 제외하고, 건설업이 29.31%(26,570명)로 가장 높은 재해자수를 나타내고 있음. 또한 산업별 사망 재해 분포도 통계는 건설업이 타업종에 비해 재해 발생 시 사망사고의 비율이 31.1%의 높은 값을 나타냄

○ 최근 5년간 전 산업과 건설업의 업무상 사고로 인한 사망만인율을 살펴보면 건설업은 전 산업 대비 꾸준히 높은 사망만인율을 나타냄. 2015년을 기준으로 국내 건설업 사망만인율 1.3‰은 전 산업 0.53‰ 대비 2.4배 높은 수치임. 사망만인율 1.3‰은 근로자가 30년간 건설업에 종사하는 경우 사고로 인해 1,000명 중 3.8명이 사망할 수 있다는 것을 의미함(사망만인율 0.53‰의 경우 1,000명 중 1.6명이 사고로 사망)

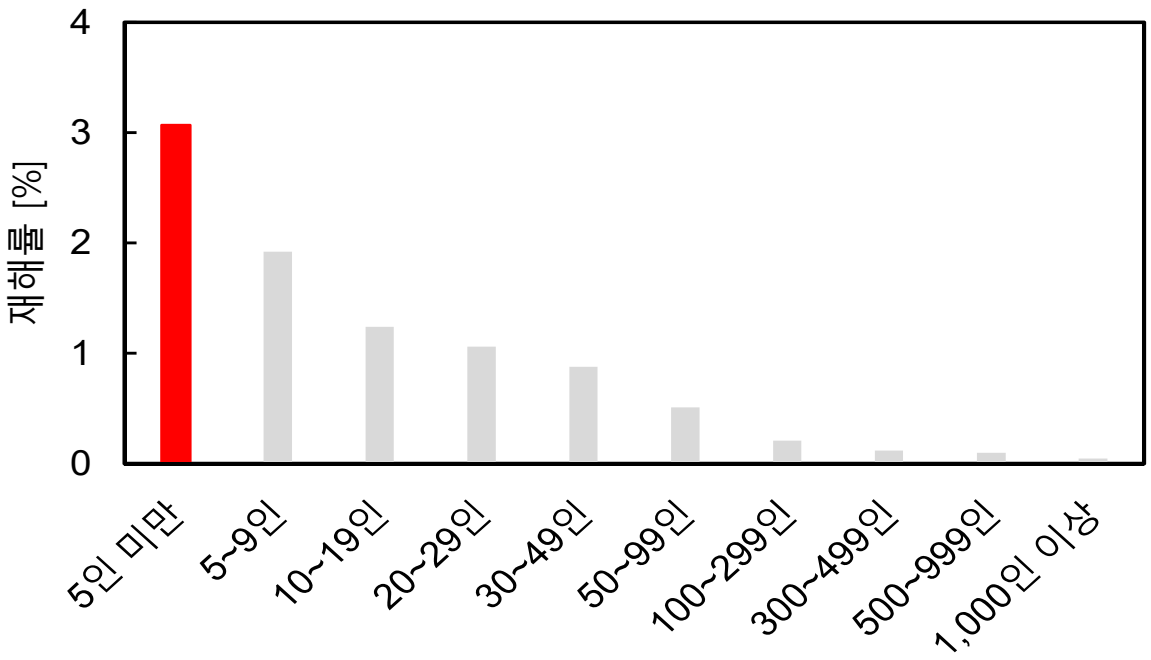


[그림 4-281] 전 산업 및 건설업 업무상사고 사망만인율

□ **안전관리자가 선임되지 않는 소규모 사업장의 기술적/관리적 사각지대로 인한 높은 사망만인율**

○ 현장의 규모별 사망만인율을 살펴보면 소규모 현장일수록 높은 사망만인율을 보임. 특히 5인 미만(4.36‰)의 경우 1,000인 이상(0.25‰) 현장 대비 8배 이상을 차이를 보임. 즉 소규모 현장 문제를 해결하지 않으면 수치적으로 사망만인율을 감소시키는 것은 불가능함

○ 소규모 건설현장은 규모가 영세한 경우가 많아 안전시설과 개인보호구가 부족함. 또한 안전관리자가 따로 선임되지 않아 자체적 관리가 이루어지기 어려움. 2015년을 기준으로 전체 건설현장의 92%가 50억 미만 현장이며(총 38만개 중 35만개), 종사하는 근로자도 전체 대비 42%를 차지함(33만 명 중 15만 명)



[그림 4-282] 건설업의 사업규모별 산업재해 현황

○ 중소규모 현장은 안전사고 취약 지대이나 전담 안전관리자를 배치하지 않아도 되도록 법에서 허용하고 있으므로 중소규모 현장에 대한 안전관리 지원은 공공성 확보 차원에서 정부의 책무이며, 국민의 알권리 측면에서 중소규모 작업자에게 해당 현장의 안전 위험요소에 대한 정보를 제공할 필요가 있음

□ **건설업 사고사망률 감소를 위한 효율적인 안전교육 시스템 개발 필요성 대두**

○ 고용노동부에서 집계한 업종별 재해 현황에 따르면, 최근 산업재해는 사고사망 만인율, 재해율 등이 전반적으로 감소 추세이나 건설업 사망자수는 전 산업 사망자의 절반 정도 차지하고 있으며, 특히 중소규모 건설업(3억원~120억원)의 재해자수는 건설업 전체 약 48%, 사망자수는 약 40%를 차지하고 있어서, 중소규모 건설현장을 위한 기술지도 및 재정지원의 현장 작동성 및 실효성있는 개선방안의 마련이 시급함

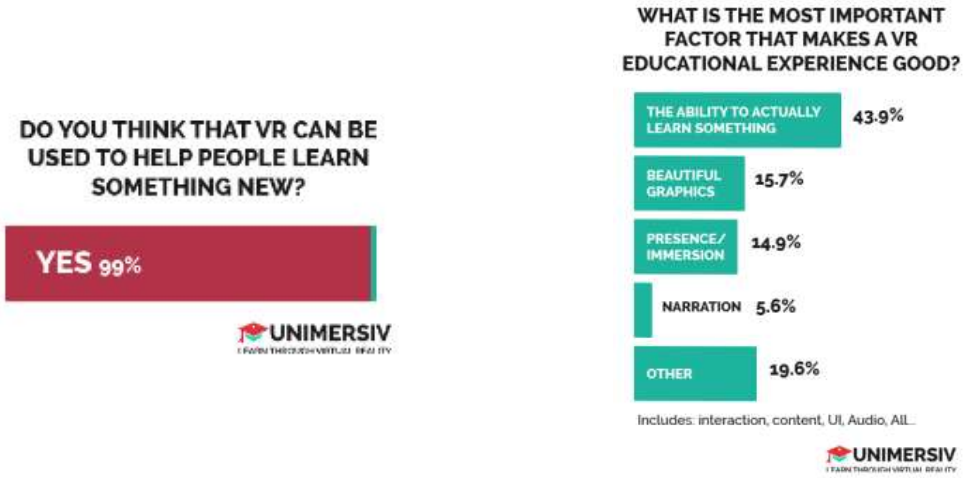
○ 특히, 작업 절차 미준수, 보호구 관련, 방호장치 미사용 등 최소한의 행동 기준을 지키지 않은 경우의 사망사고 발생이 전체의 50%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 나머지 50%는 위험정보인지 및 전달이 이루어지지 않아 발생함

- 산재의 경우 근로자 자의로 발생하는 의도적 사고는 미미함으로, 본 연구를 통해 개발되는 통합관제 시스템, 교육, 위험정보인지 및 전달체계를 제공하는 경우 재해를 최소 25% 이상 감소시킬 수 있음
- '16년 기준 제조업*의 재해천인율(1000*재해자수/근로자수)은 6.17%, 건설업*은 8.43%로 건설업의 재해가 25% 감소되면 제조업 수준인 6.32%의 재해천인율로 개선됨

  * 2016년 산업재해현황분석(고용노동부) 보고서(p.11)

○ 이에, 건설 근로자를 채용하는 기업에서 행해지던 안전교육을, 2012년 산업안전보건법 개정을 통하여 교육전문업체로 이전하여 전문교육을 수행중임

○ 최근 가상/증강 현실 기술이 급속도로 발전하고 있으며, 교육분야에서의 효율성이 다수의 연구자들을 통하여 검증되고 있음. 또한, 가상/증강현실을 이용한 교육은 전통적인 교육보다 2.7배의 효과를 보이며, 집중력이 기존보다 100% 향상된다는 조사결과를 보임. 이에, 고용노동부와 안전보건공단은 2017년 6월부터 전국 5개 지역에 위치한 안전체험교육장에서 가상현실(VR)을 활용한 안전보건교육을 실시 중에 있음



[그림 4-283] 가상현실 기반 교육 효과에 대한 설문 결과

□ 건설 근로자의 취약성 증가

○ 건설 현장의 고령화도 갈수록 심각해져, 한국고용정보원 '2015~2020 건설산업 수요 전망' 연구보고서에 따르면, 2008년 14.3%였던 건설 근로자의 55세 이상 장년층 비중이 2015년 26.7%로 증가하였고, 이로 인하여, 많은 외국인 근로자가 국내로 유입됨. 건설근로자공제회 DB를 기반으로 추정한 결과, 2017년 기준으로 외국인 근로자는 전체 건설 근로자의 10.1% 규모임

○ 국내 건설 현장에서는 원활한 의사소통이 다수의 어려운 고령 또는 외국인 근로자가 일하고 있고, 이 같은 상황과 맞물려 매해 고령·외국인 근로자의 재해 발생은 증가하고 있음. 근로복지공단의 2017년 2월 기준 전국 건설공사장 고령 및 외국인 근로자 재해현황을 보면, 전체 건설 현장 재해 발생 건수(1만 8,404건)의 30%는 고령 근로자 재해가 차지하고 있고, 외국인 재해 발생도 8%에 이름

○ 이에, 서울시는 2016년 '고령·외국인 근로자 이력 관리제' 시범 운영에 이어 2017년 3월부터 건설 현장에서 본격적으로 시행중이며, 안전분야 전문강사를 초빙해 고령·외국인 근로자가 근무하는 현장에 직접 찾아가 안전교육도 수행 중에 있음

□ **기술적 건설 안전 대책 부재**

○ 건설업 사고는 '구조적 원인에 의한 사고'와 '비구조적 원인에 의한 사고'로 구분할 수 있음. 구조적 원인에 의한 사고는 사고당 사망자 수가 구조적 원인(2.56명), 비구조적 원인(1.2명)으로 2배 이상인 것으로 분석됨. 이는 비구조적 원인에 의해 발생하는 사고의 경우 근로자 개인만 관여되는 경우가 많은 반면 구조적 원인의 경우 위험요인(구조물)이 동시에 다수의 근로자에 노출 될 수 있어서 사고의 강도가 큼

○ 구조적 문제에 의한 사고는 사고당 사망자가 많고 재산 피해 또한 크기 때문에 언론 및 국민에 대한 관심이 큰 것으로 나타남. 하지만 표 4-1과 같이 비구조적인 문제로 인한 사망자수가 전체적으로 높은 수치를 나타냄으로 구조적 안전과 비구조적 안전을 동시에 확보하기 위한 지원 대책을 수립하여야 함

<표 4-129> 사고 강도 및 직접원인 분석 결과

대분류	중분류	사망자수	부상자수	총사고건수	사상자가 없는 사고	사상자 사고	사상자	사고당 사상자수	사고당 사망자수	사고당 부상자수
구조적	목적물	12	53	18	3	15	65	4.33	0.80	3.53
	가시설물	16	40	39	3	36	56	1.56	0.44	1.11
	건설기계	14	28	15	5	10	42	4.20	1.40	2.80
	지반	5	16	13	2	11	21	1.91	0.45	1.45
	합계	47	137	85	13	72	184	2.56	0.65	1.90
비구조적	비구조적	28	73	90	6	84	101	1.20	0.33	0.87
	합계	28	73	90	6	84	101	1.20	0.33	0.87

○ 건설현장의 중대재해를 감소시키기 위해 2015년과 2016년 국토교통부에서 분석한 문제점과 주요 수립대책에서는 안전 취약분야(가설구조물, 소규모공사 등)의 집중관리를 대책으로 제시하고 있으며, 국토교통부의 2018년 주요정책 추진계획 6대 정책목표가 안전으로 건설현장 사고성 사망만인율을 '22년까지 60% 감축하는(1.76 ‰('16) ⇒ 0.7 ‰('22))것을 목표로 함

○ 하지만 구조적, 비구조적 원인 모두 관리적 대책만 수립되어 왔으며 기술적 접근 방법은 미흡함. 특히 비구조적 원인 즉 불안전한 행동에 대한 기술적 대책은 전무함

□ **건설업에 적용 가능한 wearable device**

○ 환경과 재난방지, 헬스케어 등과 같은 분야에 널리 활용되고 있는 고도화된 IOT 기술은 최근 빌딩, 도시 관제 시스템 뿐 만 아니라 산업 현장의 설비와 인력관리 등 IOT 기술의 활용이 활발해지는 추세임

○ IOT를 활용한 기술개발을 통해 다양한 분야의 산업현장에 산재하고 있는 각종 환경 위험 인자와 작업자의 근로 환경 정보 영상 및 생체 센싱 데이터 분석을 통해 작업자와 관리자에게 현장 위해 요인을 알림으로써 작업자의 안전을 보장할 필요성이 대두됨

○ 이와 더불어 업무지원 정보를 실시간으로 제공하여 인명피해의 감소, 작업능률과 생산성 향상을 위한 스마트 안전제어 및 원격 업무 지원을 위한 스마트 산업안전 관리 시스템 개발이 필요함

○ 정부의 웨어러블 디바이스 산업에 대한 정책적 육성 등을 고려하여 볼 때 각 산업분야에서도 웨어러블 디바이스 도입을 위한 여건조성이 지속되고 있음

○ 웨어러블 디바이스의 기반이 되는 IT 기술, 스마트 소재 및 요소기술 또한 지속적으로 개발되고 있어 산업분야 도입을 위한 웨어러블의 기술적 기반은 갖추어진 것으로 판단됨

○ 그러나 불특정 다수의 근로자를 위한 웨어러블 기술의 호환성, 경제성, 세탁성, 내구성, 소형화, 경량화, 스마트 직물화 등의 건설 현장 작업자의 특성 및 작업 환경을 고려한 웨어러블 기술개발은 추진되고 있지 않음

○ 현재 산업현장에서 부분적으로 적용되고 있는 액세서리 밴드 타입의 전자기기가 아닌 현장 작업환경에 적합한 의류형 전자 소재 기반의 스마트 직물을 활용한 현장 작업자를 위한 스마트 개인 안전관리 플랫폼화가 시급함

□ **복합 구조물 시공현장의 안전관리 기술 고도화**

○ 대형 토목현장(도로, 철도 등)에 있어 하나의 시공사가 하나의 공구를 수행하는 경우가 대부분임. 이 하나의 공구에는 터널, 교량, 도로, 사면, 옹벽 등의 다수의 구조물들이 존재할 수 있음

○ 현재까지 이들 복합 구조물을 포괄하는 안전관리 기술은 연구되지 않았으며, 각 구조물별 또는 구조물 중 특수 공법에 대한 단편적인 안전관리 기술만이 연구개발됨

○ 하나의 공구 단위에는 투여되는 인력/장비/자재에 대한 공통적인 부분이 존재하며, 구조물 간의 이동 구간에도 안전관리가 필요함

(2) 추진 필요성

□ **불안전한 행동을 방지하기 위해서는 교육과 관리적인 측면에서 이루이지나, 중소규모 현장에서는 교육과 관리가 제대로 이루어지지 않고 있음**

○ 따라서 작업자의 스스로 자각을 통한 안전의식이 향상되어야 하며, 안전의식 향상을 위해 작업자에게 현장의 정확한 위험요인와 중대 사고사례와 같은 안전정보를 공공성의 측면에서 실시간으로 제공할 필요가 있음

○ 이를 해결하기 위한 안전관리 업무 지원이 가능한 위험인지 장비 및 중소규모 건설 현장용 위험요인 모니터링 시스템 개발이 필요함

○ 실제 작업장에서는 안전관리자 외에 작업자 본인이 스스로의 안전을 직접 확인할 수 있도록 비전공자도 즉각적인 안전 상태를 확인하고 대응할 수 있는 간단하고 편리한 시스템 필요

○ 중소규모 건설 현장의 형식적인 안전점검 및 점검 전문인력 부족 문제를 해결하기 위한 안전관리 업무 지원이 가능한 웨어러블 스마트 디바이스 및 중소규모 건설 현장용 위험요소 모니터링 시스템 개발이 필요

○ 불안전한 행동을 방지하기 위해서는 교육과 관리적인 측면에서 이루어지나, 중소규모 현장에서는 교육과 관리가 제대로 이루어지지 않고 있음. 따라서 작업자 스스로의 자각을 통한 안전의식이 향상되어야 하며, 안전의식 향상을 위해 작업자에게 현장의 정확한 위험요소와 중대 사고사례와 같은 안전정보를 공공성의 측면에서 실시간으로 제공할 필요가 있음

- 이를 해결하기 위한 안전관리 업무 지원이 가능한 위험인지 장비 및 중소규모 건설 현장용 위험요소 모니터링 시스템 개발이 필요

□ **근로자 안전교육 효과를 높이기 위해서는 피교육자가 속해있는(또는 속하게 될) 작업현장 및 해당 공정시기에 발생가능성이 높은 사고 유형에 대하여 체험형, 감성형 교육을 받는 것이 필요**

○ 가상/증강현실 기반의 교육은 사용자 맞춤형 교육을 가능하게 만드는 기술로써, 사용자의 선호도와 필요성, 호감도나 수준에 맞는 교육과 훈련이 가능하며 지능을 가지고 대응하는 상황인지형 콘텐츠의 구성이 가능

○ 이에, 많은 공·사 기관에서 가상현실을 이용한 건설안전교육 콘텐츠를 개발하고 있으며, 중복 개발 방지로 인한 예산 절감을 위하여 한국도로공사, 한국철도시설공단, ㈜대우건설, GS건설㈜은 2018년 5월 건설안전교육 콘텐츠공유 협약을 체결하였음. 하지만, 목적물의 건설 공정마다 위험요인이 다르므로 목적물 및 공정에 맞는 세분화된 콘텐츠 개발이 필요

○ 또한, 현장 지원용(교육자료 선택용) 영상기반 위험성 평가 시스템을 개발하여, 피교육자의 현장에 적합한 가상현실 콘텐츠를 자동으로 생성 및 선택할 수 있는 기반 기술의 개발이 필요

□ **건설 근로자의 업무공백 최소화를 위한 방문형 교육 지원 시스템 필요**

○ 한국도로공사의 경우, 2008년 이후 고속도로 건설현장의 모든 건설 근로자를 대상으로 건설안전체험교육을 진행하였는데, 대부분의 건설현장이 격오지에 있다 보니 교육장까지의 이동시간이 많이 소요되어, 이동시간 대비 교육효과는 저조한 실정이었고, 건설안전체험교육장이 모든 건설 근로자를 수용하기에는 그 수가 역부족하였음

- 이에, 체험교육장의 증설, 현장 내에서 자체 교육시행 및 업무공백 최소화 등의 개선안을 도출하였고, 최종적으로 가상현실(VR)기반 가상체험 교육을 도입

○ 이와 같이, 한국도로공사의 경우, 체험교육장의 증설, 업무공백 최소화 필요 등의 문제점을 해소하기 위하여 가상현실기반 가상체험 교육을 도입하였으나, 고용노동부와 안전보건공단에서 2017년 6월부터 실시중인 가상현실을 활용한 안전보건교육은 또다시 중앙집중형 교육을 채택하여 가상현실 기술의 장점을 충분히 활용하고있지 못하는 실정임

- 따라서, 이를 해결하기 위한 방문형 교육 시스템의 비즈니스 모델 수립이 필요

□ **교육을 통한 근로자의 태도/지식 향상 뿐 아니라 근로자의 취약성을 파악하고 위험 요인을 인지하여 불안전 행동 유발을 최소화하고 제어할 수 있는 기술이 필요함**

○ 특히 건설현장의 노동력이 점차 고령화 되어 가면서 50세 이상 장년근로자의 안전보건 문제에 대하여 관심과 대책이 시급하므로, 1차적으로 현장 작업자 스마트 위험 인지 시스템을 적용함으로써 장년이 아닌 근로자에게도 공통적으로 적용 가능한 플랫폼 개발이 가능함

○ 작업복에 적용 가능한 편직물 형태의 나노 소재 기반 웨어러블 소자 및 소재를 개발함으로써 근로자의 심박, 호흡량, 체온, 움직임 등의 인체신호를 감지할 수 있는 복합 기능성 섬유의 개발이 필요함

○ 이러한 정보가 실시간 지휘 팀에 전송됨으로써 현장의 안전을 책임지고 있는 현장지휘관 및 안전점검관은 근로자들이 위치한 환경의 외부적 상황과 근로자들의 신체변화를 모니터링할 수 있어 좀 더 안전하고 효율적인 현장지휘가 가능할 것임

○ 알람 시스템의 플랫폼은 불특정 다수의 근로자를 대상으로 시행해야 하므로 다른 스마트 개인 보호구와의 호환성, 경제성, 세탁성 등을 고려하여 탈·부착 모듈 형태의 Flexible Wearable Device 개발로 추진해야 함

○ 기존의 개인 보호구에 주로 쓰이는 부자재를 패스닝 인터페이스 시스템으로 활용함으로써 근로자가 웨어러블 디바이스를 착용하였다는 거부감을 감소시킬 수 있는 중요한 심리적 요인으로 작용할 수 있음

□ **대형 건설 현장에서는 빌딩정보모델링(Building Information Modeling, BIM)을 건설 생산성 향상에 활용하고 있지만, 작업자의 안전 관리를 위한 용도로는 한계가 있으며, 중소 현장에서는 BIM을 적용하는 사례마저 드물어 중소 현장의 안전 평가 및 사고 예방에 활용할 수 있는 도구가 필요함**

3.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **소규모 현장일수록 건설공사 안전관리 시스템이 제대로 이루어지지 않고 정부의 규제와 의무에서 상대적으로 자유롭기 때문에 현장 안전관리자 및 작업자들의 내부 분위기에 따라 안전관리준수 이행이 좌우되는 상황**

○ 120억원 이하(토목공사 150억원 이하)의 중소규모 건설 현장의 경우 안전 관리자 선임 의무가 없기 때문에 실제 한국시설안전공단이 조사한 건설사고 31건 중 84%가 안전 계획을 수립하지 않거나 소규모 발주자가 직접 계획서를 검토하는 등 개개별의 자율적인 판단에 따라 안전관리가 이뤄지고 있음

○ 고용부는 환산재해율이 높은 곳을 대상으로 정기 감독을 실시하고, 공공 건설공사 입찰 평가 시 불이익을 주는 등 품질과 안전 관리 제도를 시행중임에도 불구하고, 소규모 현장일수록 정부의 규제가 현실적으로 어렵기 때문에 제도 이행 부족과 작업자의 낮은 안전 의식으로 과도한 사고가 발생함

○ 소규모 현장일수록 높은 사망만인률을 보이기 때문에 소규모 현장의 안전 문제를 해결하지 않으면 사망만인률을 감소시키는 것이 불가능함

□ **중소규모 건설현장의 경우, 인·허가 관계나 정부의 각종 안전규제 대상에서 제외가 되는 경우가 많음**

○ 예를 들면, 산업안전보건법 제15조(안전관리자 등) 제2항 및 동법 시행령 제12조(안전관리자의 선임 등) 제1항[별표 3]에 의한 건설업 안전관리자 선임은 공사금액 120억 원 이상(또는상시근로자 300인 이상)에만 적용되어, 공사금액 120억 원 미만 중소 건설현장은 안전관리자 선임 의무가 없는 안전의 사각지대임

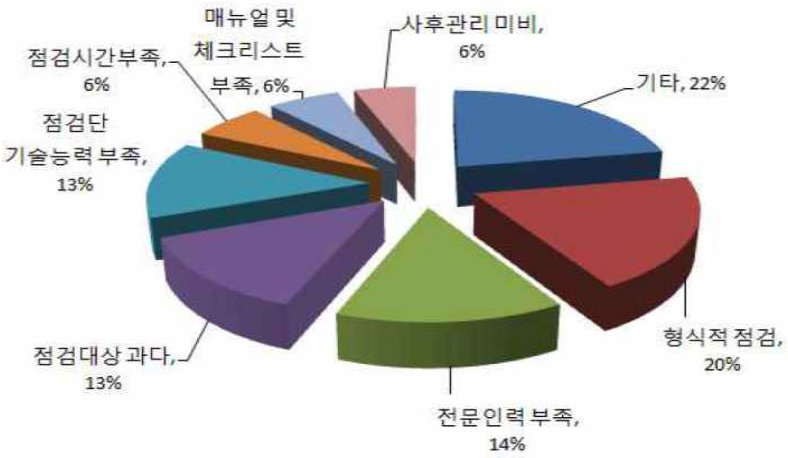
□ **중소규모 건설현장은 짧은 공사기간, 현장 관계자의 안전보건에 대한 인식과 안전투자 여력이 부족하여 사고발생 위험이 높기 때문에 이에 부합한 대책 방안 모색이 중요함**

<표 4-130> 최근 3년간(2014~2016) 120억원 미만 건설현장 사고사망자 현황

구분	계	'14년	'15년	'16년
전체 건설현장	1,370명	434명	437명	499명
120억원 미만 건설현장(점유율)	1,024명 (74.7%)	321명 (74.0%)	324명 (74.1%)	379명 (76.0%)

출처: 고용노동부, 안전보건공단 보도자료('18.03.22)

□ **건설공사 현장점검 활동이 효과적이지 않은 이유에 대하여 설문조사를 수행한 결과, 가장 큰 이유로는 각 발주청의 자체점검에 비해 점검이 형식적이기 때문(22명, 19.5%), 전문인력이 부족하기 때문(16명, 14.2%), 점검대상 현장 수가 너무 많기 때문(15명, 13.3%), 점검단이 기술적인 검토를 하기에는 능력이 부족하기 때문(15명, 13.3%) 등으로 조사됨**



[그림 4-284] 안전점검이 효율적이지 않은 이유

□ **국내 산업안전보건법(2016년 개정) 시행규칙 제 33조에 명시된 건설업 기초안전·보건 교육 안내에 따르면, 건설 일용 근로자의 경우 안전의식 제고, 재해사례 및 예방대책교육을 포함하여 총 4시간의 교육을 이수하게 되어있음**

○ 하지만, 중앙집중형 교육방식으로 인하여 피교육자(건설 근로자)가 속해있는 작업현장 및 해당 공정시기에 발생 가능성이 높은 사고 유형에 대한 맞춤형 교육을 받기 어려움

□ **한국도로공사의 경우, 2008년 이후 고속도로 건설현장의 모든 건설 근로자를 대상으로 건설안전체험교육을 진행하였는데, 대부분의 건설현장이 격오지에 있다 보니 교육장까지의 이동시간이 많이 소요되어 이동시간 대비 교육효과는 저조한 실정이었고, 건설안전체험교육장이 모든 건설 근로자를 수용하기에는 그 수가 역부족하였음**

○ 이에, 체험교육장의 증설, 현장 내에서 자체 교육시행 및 업무공백 최소화 등의 개선안을 도출하였고, 최종적으로 가상현실(VR)기반 가상체험 교육을 도입함

○ 하지만, 고용노동부와 안전보건공단에서 2017년 6월부터 실시중인 가상현실을 활용한 안전보건교육은 또다시 중앙집중형 교육을 채택하여 가상현실 기술의 장점을 충분히 활용하고 있지 못하는 실정임

□ **현재 스마트 직물과 관련한 제품은 직물에 집적회로를 올리기 위하여 연성 PCB나 플라스틱 패키지 위에 집적회로를 올리고 그것을 직물위에 다시 올리는 방법을 사용하고 있음**

○ 이러한 플라스틱 보드는 직물보다 무겁고 작업복에 부착하였을 때 착용성 및 내구성이 현저하게 떨어져 경제성 및 세탁성이 요구되는 건설현장 작업복에는 적합하지 않음

□ **기존 금속섬유 또는 금속코팅섬유를 이용한 섬유 제품은 해외 선진국에서 특허 선점과 함께 일부 시장에 출시되고 있으나, 굽힘 내구성, 무게, 내화학성, 세탁성, 인체적합성 등의 기술적 한계가 있고, 국내의 경우 해외 선진기술 기업과의 기술격차 해소는 물론 대안 기술개발이 필요함**

<표 4-131> 기존 전도성섬유 소재별 특징 및 문제점

분야	개 요
CNT	• 전기전도도가 구리와 비슷하고, 열전도율은 다이아몬드와 유사하며 강도는 철강보다 100배 뛰어남 • 마스터뱃치 제조공정시 고분산 및 점도제어의 어려움으로 인하여 원사 개발의 상용화가 어려운 문제점이 있음. 국내에서도 제품 출시를 목표로 대기업과 중소기업 등 총 20여개 기업들이 경쟁하고 있으나, 상용화까지 극복해야할 난관이 아직도 많은 실정임
카본블랙	• 미세한 탄소 분말로, 입자는 보통 구형이며 흑연보다 규칙성이 작은결정성 물질로 주로 타이어, 다른 고무 제품의 강화제, 인쇄용 잉크, 페인트, 먹지 등에 사용함 • 현재 국내에서 카본블랙을 이용한 도전성 섬유의 개발이 지지부진하여 수요량의 전량을 일본에서 수입하고 있음. 카본블랙의 경우 섬유에 10%이상 투입하여야 섬유에 도전성을 나타내나, 10%이상 투입시 원사로의 물성을 확보하기 어려기 때문임
그래핀	• 그래핀이란 탄소 원자가 육각형으로 결합돼 평면처럼 연결된 2차원 구조를 말함. 3차원 입체가 되면 흑연임. 강도는 강철보다 200배 이상 강하며, 다이아몬드보다 2배 이상 열전도성이 높음. 구리보다 100배 이상 전기가 잘 통하고, 반도체 실리

분야	개 요
	콘보다 100 배 이상 빠르게 전자를 이동시키는 장점을 지닌 물질이며 초고속 반도체, 휘는 디스플레이 높은 전도도를 이용한 고효율 태양전지 분야와 특히 구부릴 수 있는 디스플레이, 손목에 차는 컴퓨터나 전자 종이를 만들 수 있으나, 거대한 평면구조를 섬유 적용시 입자화 할 경우 전기적 특성이 매우 저하되어 섬유 적용에 한계가 있는 물질임
Metal Powder	• 은(Ag)은 열·전기의 전도성은 금속 중 가장 크다. 물과 대기 중에서는 안정하여 녹이 잘 슬지 않음. 또한, 은(Ag)은 우수한 항균력으로 은나노 입자를 이용한 여러 제품에 사용되고 있으나, 은이 나노 크기가 되면 독성을 유발하며 가격이 매우 고가여서 사용 범위가 제한적임 • 구리(Cu)는 값이 싸고, 금속 중에서 은(Ag) 다음으로 전기전도성이 높아 가장 흔하게 사용되는 금속재료임. 또한, 우수한 항균력과 소취력을 가짐다. 하지만, 공기 중에서 쉽게 산화되고, 산화구리는 독성을 내뿜으며 전도성을 떨어뜨리기 때문에 사용함에 있어 제한이 있음

<표 4-132> 기존 전도성 섬유의 문제점

분야	개 요
낮은 염색성	• 카본나노소재를 이용해 만들어진 전도성 섬유는 카본 고유의 색인 검정색을 가지고 있기 때문에 그 사용처가 매우 제한적이다. 특히, 심미성을 요구하는 의류분야에서는 원하는 칼라를 구현하는데 문제가 있음
산화발생	• 금속 파우더를 이용하여 전도성 섬유를 제작 할 경우, 금속 파우더는 공기나, 산성 혹은 염기성 조건에서 쉽게 산화되는 문제를 가지고 있다. 산화된 금속 파우더는 전도성이 떨어짐과 함께 독성을 유발하여 사용에 제한이 있음
低내구성	• 일반적으로 섬유 표면에 코팅방식으로 전도성 물질을 입혀서 전도성 섬유를 만들고 있으나, 코팅 방식으로 전도성 섬유를 제작하면 전도성 물질이 외부 환경에 쉽게 노출되므로, 마찰이나 세탁에 의한 손상이 문제점이 있음
낮은 강신도	• 얇은 금속선을 코어로 놓고 전도성 섬유를 제작하거나, 사가공시 얇은 금속선과 합사로 전도성 섬유를 제작하면, 금속선이 섬유의 신도를 따라오지 못하고 유연성이 떨어져서 굴곡에 매우 취약한 문제가 있음

□ **BIM의 3D 모델링을 활용하여 설계 및 계획 단계에서 작업 안전도를 평가하고 잠재적인 위험요인을 찾아내는 등의 활용은 가능하지만, 작업자의 행동 및 인지 요인이 사고의 큰 요인이 되는 건설 사고의 특징을 반영하기는 어려움**

○ 특히 중소 규모 건설 현장에서는 무리한 일정과 과도한 작업량 등의 이유로 작업자의 행동 및 인지 요인이 더욱 큰 변수가 되므로 이를 적절히 평가할 수 있는 기술 개발이 필요함

○ BIM을 비롯한 여러 건설 현장 정보화 시스템은 건축물 중심의 모델링 기법을 활용함으로 작업자의 고유 특성을 반영하는데는 한계가 있고 이마저도 중소 현장에서는 BIM을 사용하는 예가 적음

(2) 개선방안

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

□ **현장 안전 담당자의 전문성 부족 및 인력 부족 문제 해결을 위하여 건설현장의 위험요인을 정밀하게 관측하고 위험요인을 자동 감지하는 기술**

○ Wearable 3D camera를 이용한 현장 영상 정보 수집을 통해 안전 관리 활동의 이력관리 가능

○ 인공지능 기술을 이용하여 현장 영상 정보로부터 위험요인을 자동으로 인지하기 때문에 작업자의 숙련도, 전문성을 보완

○ AR기술을 이용하여 위험요인 관련 정보를 시각화하여 제시하면 적절한 안전관리 대응 수립에 즉시 활용 가능

□ **현장 작업자 스마트 개인 보호구를 통한 취약성 및 작업환경 인지, 위험 알람 기술 개발**

○ 건설현장 환경의 특성상 웨어러블 디바이스는 기기라는 거부감이 크게 부각되므로 섬유의 착용성과 재단성을 지니고 생체안전성, 내구성 및 활동성이 우수한 건설현장에 적합한 제품 적용 기술 개발을 위해 나노 소재 기반의 인체신호 감지용 편·직물 및 스마트 패스너 제품 적용 기술 개발

○ 또한 모니터링 기술을 통해 근로자가 현장에 진입하는 시점에서부터 철수하는 시간까지 건설현장 위험 환경과 신체징후 그리고 근로자 위치까지 실시간 추적과 모니터링이 가능한 기술 개발

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ 안전관리자의 역량과 관계없이 일정 수준 이상의 안전관리가 이루어 질 수

있도록 건설현장의 공정별, 작업환경별 위험요인을 프로파일링하여 안전점검 체크리스트를 자동 추출하는 기술 개발

○ 기존의 실효성이 낮은 중앙집중형/비체험형 안전교육을 개선하기 위하여 현장 맞춤형 교육 플랫폼을 개발

○ 가상현실 기반 체험형, 감성형 근로자 안전교육 컨텐츠 구축 및 현장 맞춤형 교육 컨텐츠 인벤토리 구성 기술 개발

○ 개발된 교육 컨텐츠 및 현장 맞춤형 기술을 활용한 방문형 교육 서비스 비즈니스 모델 개발

○ 건설 현장 작업자 중심의 모델링 기법을 개발하고 작업자의 행동 및 인지 요인이 건설 현장과의 상호작용으로 어떻게 나타날 수 있는지 시뮬레이션하고 평가할 수 있는 방안 연구 및 시스템 개발

- 현장 작업자가 착용한 웨어러블 디바이스를 통해 취득할 수 있는 생체정보를 비롯한 다양한 정보를 바탕으로 현장 작업자의 행동 및 인지 요인을 평가하고 위험요인을 예측할 수 있는 시뮬레이션 시스템 개발

<표 4-133> 건설현장 근로자 안전확보 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 - 관계자의 지식 및 인력 부족으로 인한 현장 내 위험요인 인지 부족 - 근로자의 취약성 및 작업환경 인지 부족 ○ 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가기술 - 형식적이고 획일적인 위험성 평가 - 중앙집중형/비체험형 안전교육 - 근로자 행동에 대한 체계적인 대응 부족 - 현장 작업자의 행동 및 인지 요인 평가 기술 부족	○ 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 - 관리자의 위험요인 파악 업무 지원 - 근로자 작업환경 위험요인 모니터링 ○ 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가기술 - 현장 맞춤형 위험요소 프로파일링 - 현장 맞춤형 위험요소 체크리스트 자동 추출 - 방문형/가상체험형 안전교육 - 작업자의 행동 및 인지 요인을 평가하고 위험요인을 예측할 수 있는 시스템 개발 - 증거기반 불안전행동 대책 마연

3.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

□ 현장 영상 정보 기술 기반 위험요인 인지 기술

○ 안전담당자의 위험요인 인지 및 작업환경 모니터링 업무를 지원하기 위한 인공지능 기술로서 건설현장 맞춤형 위험요인을 인식하고, AR기술로 위험요인 관련 정보를 가시화하는 기술, 위험요인의 정밀 관측이 가능한 3D camera가 탑재된 안전모 등 웨어러블 스마트 디바이스

○ 제안하는 기술의 특징은 1) AI를 이용한 즉각적인 건설현장 위험요인 인지, 2) AR기술을 이용한 위험요인 관련정보 시각화 3) 점검 결과의 실시간 업데이트를 통한 작업환경 모니터링임

○ 현장 작업자 안전점검 지원을 위하여 위험요인의 정밀 관측 및 분석 가능한 Wearable 3D camera 시스템 개발

○ AI기술과 AR기술을 이용하여 건설현장별/공정별 위험요인을 인식하고 안전점검자의 보안경에 관련 정보를 시각화하는 기술 개발

○ 안전점검 결과 기록 및 업데이트 자동화를 통한 건설현장 작업환경 모니터링 기술 개발

□ 근로자 상태 정보 인지 스마트 안전보호구

○ 신체 부위별로 측정 가능한 인체 생체 신호 모니터링용 나노소재 복합섬유 기반의 Smart Textile Sensor를 개발(심장박동, 호흡, 혈압, 체온, 운동량, pH 농도, 땀 농도 등)하여 작업복의 베이스레이어(Base Layer : 내피)에 탈·부착 가능하도록 설계함

○ 탈·부착 모듈형 & 패스닝 시스템을 활용한 작업환경 및 위험요인 모니터링용 Flexible Wearable Device를 개발하여 현장의 작업환경, 생체 신호의 위험요인 및 위치정보를 실시간으로 근로자와 관리자에게 알람(LED, 진동, 사운드)으로 경고해주는 active low-vulnerability PPE(Personal Protective Equipment) 플랫폼 기술 개발

○ 사용성 및 착용성 평가를 통한 근로자 스마트 개인보호구 개발(근로복, 안전모, 안전 작업화 등)

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

□ **현장 맞춤형 위험성 평가 기술**

○ 건설현장 근로자 위험 저감을 위하여 건설현장별/공정별 위험요인을 자동 프로파일링하고, 현장별/공정별 맞춤형 위험요소 체크리스트를 자동 생성하는 기술

○ 현장 맞춤형 위험성 평가 기술은 (1) 건설현장별/공정별 맞춤형 위험요소 프로파일링 기술과 건설현장별/공정별 맞춤형 위험요소 체크리스트 자동 생성 기술로 구성됨

○ 건설현장 위험요인 DB로부터 건설현장별/공정별 위험요인을 자동 프로파일링하는 기술 개발

○ 자동 프로파일링하여 도출된 건설현장별/공정별 위험요인을 이용하여 맞춤형 위험요소 체크리스트를 자동 생성하는 기술 개발

□ **현장 맞춤형 교육 플랫폼**

○ 가상현실 기반 교육 시스템 도입을 통하여 건설 근로자 안전교육 효과를 극대화 하고, 방문형 현장 교육을 통하여 현장 상황에 적합하고 건설 근로자 업무공백을 최소화 할 수 있는 현장 맞춤형 교육 플랫폼

○ 현장 맞춤형 교육 플랫폼은 (1) 현장별, 공정별로 세분화된 가상현실 콘텐츠 및 콘텐츠 조합 기술, (2) 현장 교육지원용 영상 기반 위험 평가 기술 (3) 방문형 현장 교육 서비스 비즈니스 모델로 구성됨

□ **근로자 행동 패턴 기반 안전 지원 기술**

○ BIM이 제공되지 않는 현장 등에서 근로자의 행동을 시뮬레이션 할 수 있는 분석 기술 개발

○ 작업자 행동 및 인지 시뮬레이션 시스템을 바탕으로 작업 일정, 안전 관리 방침 등의 효과를 최대화 하는 방안을 도출할 수 있는 최적화 알고리즘 개발

(2) 기술개발 목표

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

□ **현장 영상 정보 기술 기반 위험요인 인지 기술**

○ 현장 작업자 안전점검 지원용 영상기반 위험요인 인지 기술 개발

○ AI/AR기술 이용 건설현장별/공정별 위험요인 인지 및 시각화 기술 개발

□ **근로자 상태 정보 인지 스마트 안전보호구**

○ 근로자 상태 정보 인지 나노 소재 기반의 스마트 직물 개발

○ 위험 환경 및 알람 송수신 스마트 패스너 디바이스 개발

○ 위치 정보 제공 모듈형 디바이스 개발

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

□ **현장 맞춤형 위험성 평가 기술**

○ AI 기반 건설현장별/공정별 맞춤형 위험요소 프로파일링 기술 개발

○ AI 기반 건설현장별/공정별 맞춤형 위험요소 체크리스트 자동 생성 기술 개발

□ **현장 맞춤형 교육 플랫폼**

○ 현장별, 공정별로 세분화된 가상현실 콘텐츠 및 콘텐츠 조합 기술 개발

○ 방문형 현장 교육 서비스 비즈니스 모델 개발

○ 방문형 현장 교육 시범서비스 실시

□ **근로자 행동 패턴 기반 안전 지원 기술**

○ 건설 작업자 행동 및 인지를 시뮬레이션할 수 있는 모델 및 시스템 개발

○ 웨어러블 디바이스 등으로 수집한 데이터로 시뮬레이션 모델 교정

○ 작업자의 행동 및 인지 오류를 고려하여 건설 안전을 위한 최적의 건설 일정 및 산재 예방 방침을 도출하기 위한 알고리즘 개발

○ 시뮬레이션－최적화(Simulation Optimization) 알고리즘 개발

3.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

○ 최근 건설현장 안전점검 지원 웨어러블 스마트 디바이스 기술은 다양한 센서가 내장된 웨어러블 스마트 디바이스와 관리중점 위치에 부착된 센서, 점검자의 점검 업무 지원을 위한 3D 컨텐츠, AR을 이용한 정보 제공, 그리고 점검자와 관제 시스템을 연결하는 IoT플랫폼으로 구성되어 개발되고 있음

- 주로 가스, 석유 공장을 대상으로 적용되었으며, 점차 다른 산업현장으로 확산중임

○ AUTODESK에서는 설계도면 및 세부정보를 포함하는 3D BIM을 웹상에서 시각화하고 AR/VR 장비로 관찰 가능한 AUTODESK FORGE AR/VR Toolkit을 출시함

- 클라우드에 저장된 3D BIM 모델과 점검현장을 AR/VR 장비로 특수 타겟을 통하여 매칭시킨 후, 안전점검 시 위험요인에 대한 정보를 시각화하고 추가적으로 발견되는 위험요인을 기록하고 저장 가능함



[그림 4-285] AUTODESK의 AR/VR 기술을 활용한 안전점검 정보 제공 및 기록 기능

○ Epson에서는 작업자의 위치인식 및 행동감지를 위한 GPS센서 및 IMU 센서, 점검대상에 대한 3D 컨텐츠와 AR기능을 제공하는 보안경, 관리자 또는 관제 프로그램과 연결 가능한 Wifi 및 Bluetooth 통신모듈로 구성된 Epson's Moverio smart glasses를 출시함

○ RealWear에서는 안전모에 설치 가능한 Tablet PC인 hmt-1을 개발함. htm-1은 안전모에 설치된 Tablet PC는 관제 시스템과 연결되어 있어 주요점검 위치를 주시하는 경우 필요한 정보를 Smart Glass를 통하여 시각화하며, 관제 시스템과 영상통화 기능을 활용하여 experienced technicians("mentors")가 공유된 영상과 음성을 확인하고 안전점검을 지원 가능함



[그림 4-286] RearWear의 AR 기술을 활용한 안전점검 정보 제공 기능, (좌)점검자의 가스 게이지 주시, (우)Smart Glass를 통한 안전점검 정보 시각화

○ 가상/증강현실기반 교육 관련 기술은, 구글(Google)에서 해외 유적지, 박물관, 우주 등을 체험할 수 있는 가상 현실 장비 익스페디션(Expedition)시스템이 2015년에 개발되었고, 알케이 러닝(Alchemy Learning), 엑소 유(Exo U) 등이 함께 개발되어, 유치원 및 초중등 교육시작에 활용 중임

- 이에따라, 딜로이트 컨설팅의 2016 Digital Education Survey에 따르면, 미국 학교에서 수업에 가상·증강현실 장비 등 시뮬레이션 기반 학습을 도입한 비율이 13%에 이름

- 영국의 경우에도, 임머스(Immerse)는 모든 산업과 교육기관을 대상으로 항공기 수리부터 과학 수업까지 맞춤형 학습 환경 구현 플랫폼을 개발하였고, 2017년에는 멀티유저 학습 플랫폼을 출시함

○ 스마트 직물 국외 개발동향을 살펴보면 미국과 일본은 듀퐁, 도레이, 데이진, 도요보 등 주요 기업을 중심으로 원천기술력을 보유하여 세계시장을 선도하고 있으며, 유럽은 ICT 분야와 융복합을 위한 첨단 전자섬유와 메디칼 섬유 등의 원천기술 확보에 주력하고 있고, 스마트 섬유 및 스마트 의류 등 기술을 확보하고 있음

○ 해외 기술개발 현황을 살펴보면 유럽의 경우는 유럽연합(EU)에서 공동출자하여 SFIT (Smart Fabrics Interactive Textile) Cluster를 만들고 그 안에 myHeart, Biotex, Proetex, Stella, Ofseth, Context, Mermoth, Systex 등의 단위 프로젝트 중심으로 스마트 섬유 기술개발을 진행하였음

○ Biotex(Bio-Sensing Textiles, 2006~2008) 프로젝트를 통해서는 생체 신호 모니터링 직물 센서를 이용한 의복을 개발

- myHeart 프로젝트(2003~2007)를 통해서 운동선수나 환자들의 심박을 모니터링 할 수 있는 생체 신호 모니터링 의복을 개발한 바 있음

- Stella(Stretchable Electronics for Large Area, 2006~2010) 프로젝트를 통해서 신축성 있는 전자 디바이스 개발을 위한 플렉시블 기판과 전도성 회로를 개발하였음

- Proetex(Protection e-Textiles, 2006~2010) 프로젝트를 통해서는 위험 환경에 노출되어 있는 작업자를 위한 안전 보호복을 개발하였음

○ 스위스 취리히 공대(ETHZ)의 Wearable Computing Lab에서는 90년대부터 전도성 섬유에 대한 연구를 진행

- 전도성 섬유를 이용한 직물형 안테나, 트랜지스터, 압력센서 등을 개발, Health assistant 응용으로 사용자의 자세를 감지하여 이를 교정해주는 Motion aware clothing, Back manager를 개발, 전도성 섬유와 칩의 연결을 더욱 간편하고 저렴하게 구현하기 위한 연구를 진행

○ 독일의 스포츠 웨어 전문회사인 Adidas는 2008년 Dupont과 Invista로부터 Spin-out한 Tectronics를 인수하여 Adidas werable sports electronics를 설립하였는데 특히 착용현 생체 모니터링 시스템에 중점을 두고 wearable sprots electronics 기술을 개발

- 최근 Adidas의 뉴메트릭스라는 제품은 심장 박동을 점검하는 개념의 제품으로 이러한 기술의 시장은 군사용에서부터 노인 보호용 그리고 스포츠까지 매우 다양할 것으로 전망됨

○ 미국은 산업용 소재에 중점을 두고 있기 때문에 전자섬유 개발도 의복뿐만 아니라 헬스케어, 스포츠 및 아웃도어, 방위산업분야 등 다양한 적용분야를 찾고 있음

○ 해외의 생체 모니터링 의류 개발 사례에 대한 현황은 다음 표와 같음

<표 4-134> 의류 유형 웨어러블 디바이스 개발 국외 사례

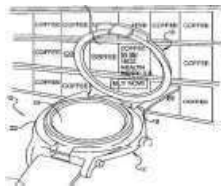
제품명	내용	이미지
Vivometrics사의 라이프셔츠 (미국 IT벤처기 업)	• 광섬유 및 전기전도성 섬유를 이용하여 심전도, 체온 등을 측정하여 외부 전송 (건강정보 모니터링) • 가볍고 착용성이 우수하며 VivoSense SW내장 • 셔츠 무게는 260g, 부속장치 포함 730g	
엑센추어 테크놀로지 랩(ATL)사 의 라이프셔츠	• 라이프셔츠를 일반 의류와 같이 착용하여 생체신호 데이터를 자동으로 수집하고 이를 원격지 콜센터에 전송 • 위급상황 발생 시 라이프셔츠의 센서를 통해 감지하여 의료기관과 연계된 콜센터로 경고신호 전송 • 의료진은 수집 데이터를 통해 환자 후속조치 수행	
조지아공대와 센사텍스 (Sensatex)사의 스마트셔츠	• 광섬유와 전기전도성 섬유를 이용하여 심전도, 체온 등을 측정하고 이를 외부에 전송 • 스마트셔츠에 칩 형태의 센서를 내장하여 병사들의 총탄 상처 감지나 생체징후 관찰 가능	

제품명	내용	이미지
맥심(Maxim)사의 Fit 셔츠	• 심전도, 체온, 운동량을 점검할 수 있는 감지센서를 부착하여 환자의 몸 상태 정보를 신속하게 획득	
헥소신(Hexoshin)사의 바이오메트릭 셔츠	• 착용감이 우수하며, 3개의 심장센서를 부착하여 심박수를 측정	
AiQ사의 Bioman-Fabric (대만기업)	• 운동복에 Activity Tracking 기능을 탑재하여 운동량을 제공하며, 착용성이 우수함 • 20마이크로미터 이하의 스테인리스 섬유를 이용하여 심박 수, 체온, 호흡 등을 측정 • 기존의 옷과 같이 지퍼를 열어도 측정 기능이 작동함	
Wealthy 프로젝트 라이프셔츠 (이탈리아)	• 스마트 섬유를 이용하여 생체신호 정보를 기록하는 의복형 측정시스템 개발(2006년) • 스마트 섬유는 작은 스텐레스 와이어를 장착하여 호흡 활동, 체온 등을 기록	
필립스 MyHeart 프로젝트	• 필립스를 주축으로 EU내 10개 국가의 33개 기업, 연구 소, 대학 등이 공동 참여하여 의복형 생체신호 측정시스템 개발(2008년, 총예산 3,500만 유로) • 질병 치료보다는 예방에 중점(심장병 예방을 위한 센서 및 전자장치를 신체에 부착하여 생체신호 모니터링)	
STMicroeletronics Sensor Cloth	• 의류에 모션 센서가 내장되어 운동선수가 부상을 신속히 회복하고 성과를 높이는데 사용(2012년)	
Smart Wearable Shirt(Intel)	• 의류에 센서를 탑재하여 신체 반응을 측정하여 스마트 폰에 표출(2014년 3월 공개) • 대만 스마트의류 제조업체 AiQ와 함께 2014년에 스마 트 셔츠를 판매할 예정	
아디다스 심박측정 브라	• 아디다스는 꾸준히 심박을 측정할 수 있는 스포츠 브라를 출시 • 가슴 부분에 전기전도성 섬유로 구성된 심전도 전극이 있음 • ECG 및 모션, 체온, 호흡 등을 인식할 수 있는 miCoach 모듈은 심전도 전극과 연결된 스냅단추를 이 • 용하여 브라에 고정	

제품명	내용	이미지
영국 FIST 프로젝트 생체 모니터링 센서, BF 상황인식 디스플레이	• 영국 FIST(Future Integrated Soldier Technology) 프로젝트는 전투복에 생체 모니터링을 원격으로 조정하는 통합 센서, 피아식별 인공지능을 갖춘 BF(Battle Field) 상황인식 디스플레이 등 개발	
EU PROETEX 프로젝트 소방관 보호복	• Textile-Based Micro-Nano Technologies를 이용하여 착용자의 바이탈 사인(생명 징후)을 확인하는 기능, 화재로 인해 고온이 될 경우 착용자에게 경고하는 기능, 착용자의 위치를 GPS를 통해 제공하는 기능, 착용자의 이동을 사령실(Command Center)에 통보하는 기능 등 을 제공하는 소방관 보호복을 개발	

○ 웨어러블 디바이스는 휴대폰 기능, 운동측정 기능, 헬스 케어 등을 지원하며 시계, 안경, 반지, 모자, 밴드 등 다양한 제품이 출시되고 있지만, 피트니스 밴드(팔찌 형)는 이미 레드 오션화 됨에 따라 최첨단 기술접목 등을 통한 차별화를 추진하고 있으며, 주요 액세서리 형태의 웨어러블 디바이스 개발 사례 현황은 다음과 표와 같음

<표 4-135> 액세서리 디바이스 유형 웨어러블 디바이스 국외 개발사례

제품명	내용	이미지
모토롤라 사 moto360	• 구글의 웨어러블 디바이스 안드로이드 플랫폼을 탑재 한 스마트 시계 • 날씨 예보, 일정, 메일 수신 등 정보를 사용자가 필요한 시기에 알려주며, 이메일에 답장, 검색, 메모 등을 음성 조작으로 실행 가능 • 심장 박동계가 탑재되어 있어 생체 상태를 기록	
구글 스마트워치	• 2012년 10월, Google 개발 • 터치 스크린을 탑재한 디스플레이를 통한 이메일 도착 고지 등 기능 제공 • GPS를 내장하여 내비게이션으로 활용하거나 현재 위치를 기반으로 한 정보검색 지원	
소니 스마트워치	• 스마트워치3에는 위성위치확인시스템(GPS)과 근거리 무선통신(NFC), 블루투스, 나침반 기능이 있음 • 내장된 센서로 이용자의 행동을 분석하여 피트니스 기록을 수집하며, 해당 기록들은 라이프로그에서 관리	

제품명	내용	이미지
Accenture, Philips IntelliView	• 구글 글래스를 이용한 의료 소프트웨어 시제품을 개발 • 구글 글래스에 환자의 바이탈 사인(체온, 맥박, 호흡,혈압 등)을 보여주는 기술의 검증 • 구글 글래스에 Philips의 환자 모니터링 솔루션인 • 'IntelliView'를 연결하여 의사 눈앞에 바로 정보를 제공하여 치료율 제고 및 불필요한 작업 방지	
리퀴드 이미지 (Liquid Image) OPS고글	• 고글 옆면에 3메가 픽셀의 카메라가 탑재되어 풀HD급 영상촬영이 가능하며, 32GB 용량의 메모리카드를 장착하면 1.5~ 2시간 분량의 기록이 가능함 • 격렬한 운동 중에도 선명한 영상을 지원하여 스포츠 분야에 적용가능	
Motorola HC1	• 휴대전화 기반의 헤드셋 단말로, 15인치 가상 패널 구현을 통해 이용자가 15인치 LCD 화면을 보는 것과 유사한 경험을 제공함 • WiFi, 블루투스를 지원하고, WiFi가 불가능할 경우 스마트폰, 태블릿PC 등 블루투스 접속을 지원하는 전자 기기를 통해 데이터 송수신 가능 • 주요 활용대상은 군대, 통신설비 업체, 항공.우주산업, 전기 및 가스 등과 같은 시설물 관리 업체 등이 있음	
구글 슈즈	• 스피커, 압력센서, 가속도계, GPS, 블루투스를 장착하여 스마트폰과 연결해 각종 메시지와 텍스트를 음성으로 전달하는 구글 슈즈를 개발(구글 플러스 계정과 연동하여 정보를 주고받을 수 있음)	
미국 RHL 비전 테크놀로지 스핀(FIn)	• 스마트 반지를 엄지손가락에 착용하고 미리 손동작을 입력하며, 반지는 사용자의 제스처에 따라 스마트 기기에 신호를 보내고 스마트기기는 이를 통해 명령을 내리는 방식	
나이키 퓨얼밴드	• 칼로리 소모량, 걸음 수(만보기), 시계, 거리 측정 등을 제공하는 운동량 측정기 • LED 창을 통해 개인 활동에 대한 정보를 제공하며, 하루 종일 착용하는데 무리가 없도록 인체공학적으로 설계됨	
미국 Sotera Wire ViSi Mobile	• 원거리에서 환자모니터링이 가능한 ViSi Mobile System은 환자에 심전도, 혈압 등을 측정할 수 있는 장치를 부착하여 실시간으로 환자의 상태를 모니터링 • WiFi를 통해 측정된 생체정보를 병원 백본시스템으로 전달하여 모바일디바이스 또는 PC를 통해 환자상태 확인 가능	

제품명	내용	이미지
Corventis Piix	• 무선센서가 내장된 1회용 밴드 형태의 기기를 심장부 위에 부착하면 실시간으로 심박수, 체온, 호흡 속도 등을 파악할 수 있음. • 환자에게 이상이 있을 경우 해당 정보를 자동으로 의사에게 전달함	
미국 록히드마틴 헐크(HULC : Human Universal Load Carrier)	• 병사들이 장비를 착용하고 90Kg의 군장을 메고 시속 16Km 속도로 걸을 수 있는 성능을 지원 • 독자적인 동력원(Hybrid Electrohydraulic Power)을 사용하여 약 17 시간의 운용시간을 제공 • 미군의 빠른 기동력을 위해 개발되었으며 현재 다양한 용도(하이킹, 환자보조 등)로 변형, 개발되고 있음	
UC Berkeley BLEEX	• 로봇 자체 무게 50kg에 배낭에 실은 32kg의 짐까지 모두 82kg을 짊어져도 로봇 다리 덕분에 실제로 느끼는 중량은 2kg에 불과	
미국 SOCOM TALOS	• 미국 통합특수전사령부(SOCOM)는 "아이언맨 갑옷"이라 불리는 '전략공격 경량작전복(TALOS : Tactical Assault Light Operator Suit)' 시제품 개발착수 (2013.10.18.)	
웨어러블 헬멧 C-Thru	• C스루는 통합형 헬멧(스마트안경, 마스크) 형태임 • HUD(헤드업 디스플레이)를 통해 다른 소방관의 위치 등 관련 정보 파악 • 연기 속 투시 및 화재 현장의 전체 데이터를 현장 외부 휴대용 기기로 실시간 전송 가능 • 전송한 정보는 클라우드를 통해 모든 팀원과 공유 가능	
유해물질 감지센서	• 최소 1mL 이상만 누출되면 감지 가능 • 탈·부착(웨어러블)이 가능한 유해가스 감지용 센서를 소방헬멧이나 방화복, 안전화에 부착 가능	
아이리버 IriverOn	• 음악을 들으면서 정확한 운동량을 체크하고 운동의 목적에 따라서 효과적인 피드백을 제공 • 심박 수, 거리, 시간, 칼로리 소비를 실시간으로 확인 할 수 있고, 운동 후 스마트폰 화면을 통해 페이스, 속도, 고도, 리듬에 대한 결과 값을 그래프로 확인 • 무게가 45g으로 목에 무리를 주지 않으며, 블루투스 방식으로 스마트폰과 페어링 되어 전화가 걸려오면 이어폰을 통해 전화가 왔음을 알려줌	

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ 건설 작업자의 의사 결정 방식, 행동 및 인지 방식을 에이전트 기반 모델링(Agent-Based Modeling) 기법으로 시뮬레이션한 사례는 보고된 사례가 없음

- 건설 작업의 여러 인자들을 고려하여 건설 안전의 주요 요인들을 파악하고 인자들 사이의 인과관계를 알아내기 위한 방법으로 에이전트 기반 모델링이 사용되어 왔으나, 작업자 중심의 접근 방법은 현재까지 연구되고 기술로 보고된 사례가 없음

○ 빌딩정보모델링(Building Information Modeling, BIM) 도구는 해외의 여러 건설 설계 소프트웨어 제작사(Autodesk, Graphisoft 등)에서 자사의 CAD 소프트웨어와 결합하여 제공하고 있으나, 건축물 중심의 접근 방식을 택하고 있어서 건설 작업자 중심의 시뮬레이션 구현에는 한계가 있음

○ 셀룰라 오토마타(Cellular Automata)와 에이전트 기반 모델링 기법을 결합하여 각 개인을 모델링하고 주변 환경과의 상호작용을 시뮬레이션 하는 방법은 제조시스템, 교통시스템 등에 활발히 사용되고 있음

출처 : Krauß, S., "Microscopic Modeling of TrafficFlow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics", PhD thesis, Universityof Cologne, Germany, 1997.

출처 : Brilon, W. and N. Wu,"Evaluation of Cellular Automata for Traffic Flow Simulation on Freeway andUrban Streets", In W. Brilon, F. Huber, M. Schreckenberg, and H. Wallentowitz,editors, Traffic and Mobility: Simulation – Economics – Environment, pp.163–180, Springer, Berlin, 1998.

○ 도심지 폭발 사고 발생 시 보행자의 대피 행동 시뮬레이션 모델은 애리조나 대학교(University of Arizona) 산업공학과 연구팀이 Extended‐BDI (Belief ‐ Desire - Intention) 개념을 바탕으로 AnyLogic 및 C++를 이용하여 연구, 개발하고 있음

출처 : Lee, S., Son, Y.J. and Jin, J., 2010. An integrated humandecision making model for evacuation scenarios under a BDI framework. ACM Transactions on Modelingand Computer Simulation (TOMACS), 20(4), p.23.

○ 시뮬레이션－최적화(Simulation Optimization)기법은 최근 20여년간 학계에서 활발히 연구되어온 기반기술이며, 이에 효율적인 계산 방법이 개발되어 있음

출처 : Fu, M.C., 1994. Optimization via simulation: A review. Annals of operations research, 53(1), pp.199-247.

출처 : Hong, L.J. and Nelson, B.L., 2006. Discrete optimization via simulation using COMPASS. Operations Research, 54(1), pp.115-129.

(2) 국내 동향

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

○ GSIL은 현장 전체에 IoT Zone을 형성하여, 근로자의 위치를 파악 할수 있는 스캐너로 근로자의 실시간 위치를, 현장에 특성에 맞는 환경측정 H/W를 이용하여 안전사고 예방, 안전 점검, 현장 실시간 모니터링 서비스를 제공하는 스마트 건설안전관리시스템을 개발함.

- 근로자 착용 웨어러블 장비로 BLE 기술을 이용하여 현장 근로자의 실시간 위치 파악 모니터링이 가능함

○ 건설업계 퇴직자(만 56세 이상 건설 관련분야 실무경력자)로 구성된 안전보건지킴이를 중소 건설현장에 투입하는 '안전보건지킴이 사업'은 사망재해 감소에 기여하고 있음

- 최근 3년간('14~'16) 3억원 이상 120억원 미만 중소규모 건설현장의 사고사망 만인율(노동자 1만명당 사고사망자 수)에서 지킴이가 순회점검한 현장(1.26‰)은 전체 현장(1.60‰) 대비 21.3% 낮은 수준인 것으로 나타남

○ 국내·외 섬유산업에 NT-IT 융복합 기술을 적용한 기능성 섬유제품은 착용형으로 변화하는 차세대 전자기기에 대한 수요대응 및 스마트 텍스타일 관련 세계시장 선점이 가능한 잠재시장 성장률이 높은 분야임

○ 국내의 경우 최근 출연연구소, 대학, 산업체를 중심으로 크게 전도성 원천소재에 대한 개발과 융합 및 커넥팅을 위한 기술 개발, 융합형 스마트 의류제품 개발 등을 진행하고 있음

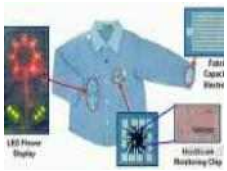
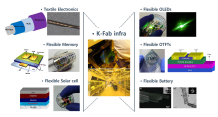
○ 제일모직은 보안용 카펫, 낙상방지용 침대, 자동 온열 시트 등의 압력센서로 활용이 가능한 정전용량 변화 센서를 전도사로 이용하여 제작하였으며 유연한 Textile Circuit도 구현하고 있음

○ 코오롱 인더스트리의 경우, LED System을 의복에 탑재하여 야간산행과 위급상황 시 위치 파악이 용이한 섬유 제품을 개발하였고 IT 기기의 Pocketing 기술을 개발하여 i-POD 내장포켓과 I-POD Controller를 갖는 스마트 시리즈를

판매하고 있으며, 사람의 체온에 따라 자동으로 온도조절이 가능한 발열 스마트 섬유 Heatex를 개발하여 등산복, 골프복, 스키복 등 아웃도어 기능성 의류에 적용하고 있음

○ 그 외 국내 기술 동향 및 수준을 표로 정리하면 다음 표와 같음

<표 4-136> 의류 유형 웨어러블 디바이스 개발 국내 사례

제품명	내용	이미지
ETRI 바이오 셔츠	• 심전도, 호흡, 운동량 등 생체신호를 모니터링 할 수 있는 바이오셔츠 개발 • 바이오셔츠는 천소재 센서가 내장된 의복과 생체정보를 처리하여 무선 전송을 하는 생체신호처리 모듈로 구성 • 측정된 심전도 신호와 기속도 신호를 이용하여 심박 수, 호흡수, 속도, 운동량 등 건강 정보가 추출 가능하며, 이상 징후 발생 시 경보 기능 제공	
KAIST	• 체온과 땀의 변화 등 생체신호를 측정하는 칩을 옷감에 직접 장착하여 실시간 건강을 점검할 수 있는 직물 • 장착용 건강 모니터링 시스템 발표(2008년) • 의류를 만드는 직물 자체에 전자회로를 구성하고 그 속에 아주 적은 전력으로 작동하는 건강 모니터링 칩을 장착	
블랙야크 스마트웨어 야크온P	• 의류 내 심박측정 시스템을 장착하여 심박 근간의 운동량 칼로리 소모량이나 운동거리를 측정하며, 모바일 앱과 연동하여 운동 효과의 시각화 기능 제공	
코오롱 글로텍 HEATEX	• 섬유기재(Textile Substrate) 상에 Printed Electronics 기술을 구현한 자체발열 스마트 섬유 • 방한복, KOLON Sports LIFETECH 자켓, KIA MOTERS K5 바이오케어 온열시트 출시	
국민대학교 모듈형 스마트 패션 플랫폼 연구 센터	• K-Fab Hardware를 이용한 유연기능소자 제작 기술 보유 (Top-down approach + Bottom-up approach) • Flexible OLED, OTFT, Solar cell, Memory, Battery, Sensor 등 여러 종류의 유연기능소자 개발 • 나노소재 복합섬유 기반의 Smart Textile 및 Textile sensor 개발	

○ 국내의 웨어러블 디바이스 개발 방향은 해외의 기술을 따라가는 수준으로 휴대폰 기능, 운동측정 기능, 헬스 케어 등을 지원하며 시계, 안경, 반지, 모자, 밴드 등 다양한 제품이 개발되고 있음

○ 주요 액세서리 형태의 웨어러블 디바이스 개발 사례 현황은 다음 표와 같음

<표 4-137> 액세서리 디바이스 유형 웨어러블 디바이스 개발 국내 사례

제품명	내용	이미지
전자부품연구원 EGD	• 휴대폰 및 웨어러블 컴퓨터(Wearable PC) 등의 이동형 소형 단말기와 연결하여 실내 및 야외에서 언제 어디서나 60인치 급 고화질(SVGA) 가상화면을 제공할 수 있는 EGD(Eye Glass Display) 모듈 개발(2008년) : 무게 110g	
ETRI Finger Motion	• 손가락의 움직임을 인식하기 위해 손목 부근의 손가락 힘줄(Finger Flexor Tendons) 변화를 광센서로 센싱 하여 Finger Motion을 인식하는 손목 밴드 개발	
대우조선해양 착용로봇	• 옷처럼 몸에 착용하고 동작의도에 따라 근력을 증폭하여 30kg 이상의 물체를 들어 올릴 수 있는 전기식/유압식 하반신형 착용로봇 개발(2013년)	
한국 국방부 신형 전투복	• 국내 국방부에서는 정밀 관측 장비 회피와 개인의 은폐 효과를 증대시키고, 고신축성, 흡한속건, 항구김성, 항균성, 견뢰도 등 기능을 향상시킨 차세대 신형 전투복 개발(2011년)	
지에스아이엘의 스마트 건설 안전 관리 시스템	• 터널 및 지하 구조물 공정에서 근로자가 웨어러블 장비(Bluetooth)를 착용함으로써 터널 내 설치된 스캐너 단말기를 통해 위치를 실시간으로 파악할 수 있는 시스템(국토교통부 건설신기술 제828호 지정)	
삼성 갤럭시-기어핏	• 문자 확인 및 답장, 전화알람, 멀티미디어 조작 • 만보계, 심박수 측정, 수면패턴 체크 • 화면을 통해 바로 확인 가능	

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ 건설 작업자의 의사 결정 방식, 행동 및 인지 방식을 에이전트 기반 모델링 (Agent-Based Modeling) 기법으로 시뮬레이션한 사례는 국내에 보고된 사례가 없음

○ 한국씨아이엠(주)에서는 Autodesk의 BIM 도구를 이용하고 Virtual Reality (VR)을 사용하여 건설 현장의 모습을 3D로 재현하여 건설 안전 예방 및 교육 도구로 사용하고 있으나, 작업자 중심의 행동 및 인지 시뮬레이션은 불가능함

○ 서울대학교 건축학과 연구팀에서는 위치추적기술을 Graphisoftt사의 ArchiCAD BIM 도구와 결합하여 작업자의 위치를 실시간으로 추적하고 관리할 수 있는 시스템을 개발하여 작업자 중심의 접근을 시도하였으나, 작업자의 행동 및 인지 시뮬레이션은 고려하지 않았고, 모니터링 및 경고 시스템 구축 개발에 그침

출처: 이현수, 이광표, 박문서, 김현수 and 이사범, 2009. 위치추적기술을 이용한 BIM 기반 건설현장 안전관리 시스템. 한국건설관리학회 논문집 제10권 제6호 2009년 11월, 135—145.

○ 중앙대학교 심리학과 연구팀에서는 행동주의 기반 안전관리(Behavior-Based Safety, BBS) 프로그램을 근로자 중심 프로그램과 관리자 중심 프로그램으로 나누어 개발하여 실제 현장에 적용하여 시험하고 안전 행동에 미치는 주요 변인들을 파악한 바 있음

출처: 오세진, 이재희, 이계훈 and 문광수, 2012. 행동주의 기반 안전관리 (BBS) 프로그램이 안전분위기와 안전행동에 미치는 효과. 한국심리학회지: 산업 및 조직, 25(2), pp.349-372.

○ 재난 상황 발생시 군중의 대피 행동 시뮬레이션 모델은 인제대학교 산업경영공학과 연구팀이 에이전트 모델을 바탕으로 기본 모델을 정립한 바 있음

출처: 김남훈, 주재구, 2013. 어포던스 기반 에이전트 모델을 이용한 인간 행동패턴 인식방법, 특허출원 1020110127098

○ 시뮬레이션－최적화(Optimization via Simulation, OvS)기법은 한양대학교 산업공학과 연구팀에서 활발히 연구하고 있으며 하천 관리 시스템의 수질 모니터링 기술 개발에 활용하여 알고리듬을 개발한 바 있음

출처: Lee Y.J., C. Park*, M.L. Lee, Identification of a contaminant source location in a river system using random forest models, Water. 2018. 10(4): 391.

Park, C., I.T. Telci, M.M. Aral, and S.-H. Kim*. Designing optimal water quality monitoring network for river systems using constrained discrete optimization via simulation, Engineering Optimization. 2014. 46:107-129.

Park, C., S.-H. Kim*. Penalty function with memory for discrete optimization via simulation with stochastic constraints, Operations Research. 2015. 63(5): 1195-1212.

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

□ 웨어러블 디바이스 기술

○ 웨어러블 디바이스 분야의 기술 경쟁력은 2017년 1월 기준, 미국(100%), 일본(87.1%), 유럽(86.3%), 한국(80.2%), 중국(75.5%) 순으로, 선진국대비 한국은 1.3년의 기술격차를 보이며, 전년대비(84.4%) 4.2% 하락한 것으로 조사됨

- 한국은 최고 기술국 미국 대비 19.8%p의 기술수준 격차가 있으며, 세부적으로는 기초연구 19.7%p, 응용·개발 18.9%p, 사업화 20.5%p의 기술수준 격차가 있는 것으로 나타남
- 국가별 기술수준 격차는 일본 12.9%p, 유럽 13.7%p, 중국 24.5%p로 중국이 가장 큰 기술수준 격차를 보이고 있음

<표 4-138> 웨어러블 디바이스 기술수준 및 격차

분류	요소 기술	기술수준	
		격차(년)	상대수준(%)
웨어러블 HW 플랫폼	인체착용형 단말	1.6	79.5
	외류형 스마트 단말	2.9	82.5
	피부부착형 단말	1.3	91.8
	인체삽입형 단말	3.2	81.3
웨어러블 SW 플랫폼	웨어러블 단말 SW 플랫폼	1.5	84.5
	웨어러블 데이터 취득/저장/전송 기술	1	89
	웨어러블 기기간 상호 연동기술	1	88
	웨어러블 센서 기반 사용자 의도 및 상황인지 기술	2	81
	웨어러블 보안기술(정보/물리보안)	2	80.5
	개인 맞춤형 서비스/추천 기술	1.5	85
기타 웨어러블 디바이스	스마트 웨어러블 UI/UX 기술	1.4	81.9
	실감형 웨어러블 디스플레이 모듈	0.5	92.0
	웨어러블 실감 인터랙션 I/O 기술	1.4	86
	웨어러블 ICT 핵심부품	1.8	78.8

<자료> IITP, ICT 기술수준조사 보고서, 2016.

<표 4-139> 건설현장 안전점검 지원 웨어러블 스마트 디바이스 기술

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	다양한 센서 및 AR기술을 이용한 점검자의 안전점검 지원, IoT 기술을 이용한 점검자-관제시스템의 정보 교환 및 수집이 가능한 통합 솔루션을 제공하며, 다양한 산업현장에 적용되고 있음	센싱 기술 및 IoT/ICT 기술을 융합한 현장 모니터링 기술을 보유하였으나, 점검자의 업무 지원하는 기술과의 융합이 필요함
TRL 단계	9단계	7단계
기술성숙도	사업화 단계	시제품 신뢰성평가
주요성능	관련 기술 및 콘텐츠의 발전으로 다양한 분야에서 상용화를 이루어가는 중임	일부 기업에서 안전점검 지원 솔루션을 개발하여 사용 중에 있으나, 다양한 건설현장 적용 및 신뢰성에 대한 평가가 이루어져야함

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

□ 가상/증강현실 기반 교육기술 비교

○ 가상현실(VR)과 증강·혼합현실(AR/MR) 응용기술 관련 국내 기술 수준은 최고 수준 기술 보유국인 미국 대비 약 1.5년의 기술격차를 보임

- 국내 기술은, 가상·증강현실 시장 확산에서 가장 중요한 역할을 하는 단말기·서비스 분야에서 글로벌 경쟁력을 보유하였으나, SW·콘텐츠 경쟁력은 해외 대비 취약함

<표 4-140> 가상/증강현실 기술을 활용한 교육분야 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	가상/증강현실 기반 교육콘텐츠를 다유 개발/보유하여, 실제 학교 및 각종 현장 교육에 투입되고 있음	가상/증강현실을 위한 단말기/서비스 분야에서는 글로벌 경쟁력을 보유하였으나, 콘텐츠 경쟁력이 취약함
TRL 단계	9단계	6단계
기술성숙도	사업화 단계	시작품 성능평가
주요성능	관련 기술 및 콘텐츠의 발전으로 다양한 분야에서 상용화를 이루어가는 중임	일부 기업에서 건설 안전 관련 콘텐츠를 개발하여 사용중에 있으나, 그 효율성을 검증하기에는 무리가 있음

□ 행동 시뮬레이션 기술 비교

<표 4-141> 행동 시뮬레이션 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	인간의 행동 및 인지를 시뮬레이션할 수 있는 모델을 개발하고 활용할 수 있는 기초 기술의 개발 및 실제 사례에 적용하여 성능 평가	인간의 행동 및 인지를 시뮬레이션할 수 있는 기본 기술의 개념 설정 및 기본 모델 개발
TRL 단계	5단계	3단계
기술성숙도	시스템 시작품 제작 및 현장 적용 후 평가	연구실 규모의 기본성능 검증
주요성능	확장 BDI(Extended Belief-Desire-Intention) 모델 기반으로 인간 행동 시뮬레이션 모델 개발	BDI 모델 기반으로 인간 행동 시뮬레이션 모델 방법 정립

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
웨어러블 스마트디바이스 부품소재사업	정보통신기술진흥센터	■ 위험관리 시스템 기술, 실시간 안전 네트워크 기술, 특수임무 지원 플랫폼 기술 등 특수업무 플랫폼 개발을 지원하지만 각 기술간 연계를 통한 통합 시스템 개발이 필요함	■ 다양한 웨어러블 스마트 디바이스용 핵심부품 및 요소기술 개발 및 상용화 지원 프로그램으로 조기 시장 선점
건설현장 안전관리를 위한 위험요소 감지 및 작업자 무선측위시스템 개발	국토교통과학기술진흥원	■ 대규모 건설현장을 대상으로 개발된 기술로써 고가의 센서(라이다) 및 어플리케이션을 활용하므로 중소규모 건설현장에 적용하기 위해서는 비용적 부담이 있음	■ 건설현장의 안전관리를 자동화할 수 있도록 (1) 작업자의 위치를 50cm 수준의 위치정확도로 실시간 측정할 수 있는 무선측위시스템의 개발과 (2) 작업장의 위험요소를 자동으로 감지하고 분류하여 등록 관리할 수 있는 화상처리/객체처리가 가능한 현장 모니터링 시스템 개발

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
햅틱기반 플랜트 안전훈련 체감화 기술 개발	국토교통과학기술진흥원	■ 기존 시각과 청각만을 기반으로한 플랜트 안전훈련 시뮬레이터는 그 교육 효율성에 한계가 있음	■ 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술, 플랜트 안전 훈련 인터랙티브 시뮬레이션 기술, 플랜트 안전 훈련 햅틱 기반 체감형 기술을 포함한, 플랜트 안전 훈련 플랫폼 구축 및 통합 기술 개발
안전작업 환경 디자인과 3차원 시뮬레이션 안전교육을 이용한 소규모 건설공사 현장의 안전사고 예방에 관한 연구	한국연구재단	■ 소규모 건설현장에서 일어나는 건설안전사고 재해율이 전체 건설업 재해 중 70%에 달하는 것에 기인하여, 기존 소규모 건설 안전 관리 및 위험성 평가의 취약점을 개선하고 소규모 건설 현장 특성에 맞는 다차원적 안전 예방 방안 제시가 필요함	■ 3D 시각화 기술을 이용한 안전 교육을 기술을 개발함으로써 작업자의 안전사고 예방과 안전 의식에 대한 능동적 자세를 고취하여 보다 근본적인 안전사고 예방의 접근을 모색
건설공사 현장의 안전사고 예방을 위한 BIM 적용방안	미래창조과학부	■ 예방교육 프로그램은 새로운 건설 일정이나 안전 사고 예방 수칙 등이 미치는 영향을 판단할 수 없음	■ 본 과제에서 개발된 시뮬레이션 모델을 이용하여 잠재적인 위험요소를 파악할 수 있는 연구가 필요
건설현장에 적합한 행동주의 기반 안전관리(BBS) 프로그램 개발 및 효과검증	교육과학기술부	■ 행동주의 기반 안전관리 프로그램의 효과는 실제 현장에서 검증되었으나, 각 작업자의 행동을 시뮬레이션 할 수 있는 것은 아님	■ 작업자 중심의 행동 모델을 개발하여 새로운 현장에 미리 시험할 수 있는 시뮬레이션 모델 개발 및 확장 필요
건설공정과 연계된 위험구역 및 중점 점검사항 관리를 위한 BIM기반 건설 안전관리 체계 개발	과학기술정보통신부	■ BIM의 저장된 건축물 정보를 이용하여 잠재적인 위험구역을 파악하는 건축물 중심의 접근방법을 택하여 작업자의 행동 및 인지 오류가 안전에 미치는 영향을 파악할 수 없음	■ 본 과제에서는 작업자 중심의 행동 및 인지 모델 개발
재난상황 군중피난 시뮬레이션을 위한 인지와 BDI추론 기반의 인간행동통합모델 개발 및 적용	교육과학기술부	■ BDI(Belief-Desire-Intention) 모델을 이용하여 인간 행동 모델을 개발하고 일반적인 재난사항 하에서 군중의 행동과 움직임을 시뮬레이션 ■ 재난사항 하의 군중 피난 시뮬레이션 모델을 건설 작업자 행동 시뮬레이션 모델 개발에 그대로 적용할 수 없음	■ 작업자 행동 및 인지 시뮬레이션 모델링 기법을 건설 현장에 적용하기 위해서는 인간의 인지와 추론 과정의 모델링을 건설 작업자의 인지 및 의사 결정과정에 적합하게 확장하고 수정하여야 함

3.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-142> 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발	기존 중소규모 건설현장 안전관리는 형식적인 안전점검 및 점검 전문인력 부족으로 대규모 건설현장에 비해 안전사고가 다발함	전문성 부족을 보완하고 실질적인 현장 맞춤형 안전점검을 지원가능한 웨어러블 스마트 디바이스 개발
	현장 작업자의 불안전한 신체징후 위험요인으로 지속적이며 다양한 사고 발생	작업자의 근로 환경 정보를 영상 및 센싱 데이터를 이용하여 인지 작업자에게 현장 건강 위험요인 파악(심장박동, 호흡, 혈압, 체온, 운동량, pH 농도, 땀 농도 등)
	금속섬유 또는 금속코팅섬유의 한계	나노소재 복합섬유 기반의 신체 부위별 인체 생체 신호 모니터링용 Smart Textile sensor 개발
	착용성 및 생체안전성, 내구성 및 활동성이 우수한 건설현장에 적합한 제품 기술 한계	
	웨어러블 디바이스 착용이라는 거부감	탈·부착 모듈형 & 패스닝(Fastening: 단추, 지퍼, 스냅, 버클, 벨크로 등) 시스템을 활용한 작업환경 및 위험요인 알람 시스템 플랫폼 구축
	불특정 다수의 환경을 고려할 때 웨어러블 기기의 호환성, 경제성, 세탁성의 한계	
현장 맞춤형 근로자 위험예방 및 평가 기술 개발	기존 건설현장 안전점검 체크리스트는 획일적이며 대형 건설현장 중심으로 작성되어 건설현장별/공정별 위험성 평가에 적합하지 않음	건설현장별/공정별 위험요소 체크리스트를 자동 생성하여 제공하는 맞춤형 위험성 평가 기술 개발
	가상현실기반 건설 안전교육이 이루어지고 있으나, 중앙집중형 교육방법 채택으로 인하여, 업무공백이 발생하는 등, 가상현실 기술의 장점을 충분히 활용하지 못함	가상현실(VR)기술 기반 방문 교육 서비스 프레임 워크 구축 및 세부 컨텐츠 개발
	안전교육 효율성 제고를 위하여 피교육자가 속해있는 현장 특징 및 공정 시기가 유사한 환경의 가상현실 콘텐츠를 활용한 안전교육이 이루어져야 하나, 현재까지는 현장상황이 반영되지 않은 일반적인 상황에 대한 콘텐츠가 대부분임	해당 건설현장에 발생가능한 위험요소 판별 기술 및 관련 VR 콘텐츠 자동 생성 기술/인벤토리 개발
	작업자 중심의 건설 안전 시뮬레이션 모델 부재	작업자 행동 및 인지 시뮬레이션을 위한 에이전트 기반 모델 및 셀룰라 오토마타 모델 개발
	건설 작업자의 행동 및 인지 오류를 고려하여 건설 일정 및 안전 관리 방침 수립을 할 수 있는 정량적 방법론 부재	시뮬레이션-최적화(Optimization via Simulation, OvS) 알고리듬 개발

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

□ **기술개발 필요성**

○ 중소규모 건설현장은 형식적인 안전점검 및 점검 전문인력 부족으로 과다·부실점검의 문제가 제기되고 있으므로 건설현장 환경에 따라 실질적인 점검 기준을 점검자에게 제공하고, 현장 점검자의 부족한 전문성을 보완할 수 있는 시스템 개발이 필요

- Wearable 3D camera를 이용한 현장 영상 정보 수집을 통해 안전 관리 활동의 이력관리 가능
- 인공지능 기술을 이용하여 현장 영상 정보로부터 위험요인을 자동으로 인지하기 때문에 작업자의 숙련도, 전문성을 보완
- AR기술을 이용하여 위험요인 관련 정보를 시각화하여 제시하면 적절한 안전 관리 대응 수립에 즉시 활용 가능

○ 근로자 거부감을 최소화하면서 근로자 정보 획득, 위험인지 및 알람제공을 위한 wearable device의 적용이 요구됨

- 웨어러블 디바이스의 착용이라는 거부감을 감소시키기 위해 의복의 친숙한 부자재에 탈·부착 모듈형 & 패스닝(단추, 지퍼, 스냅, 버클, 벨크로 등) 시스템을 적용하여 작업환경 및 위험요인 모니터링용 Flexible Wearable Device를 개발
- 나노 소재 기반의 복합 기능성 섬유인 스마트 직물형 센서를 활용하여 건설현장 활동 근로자의 생체정보(심장박동, 호흡, 혈압, 체온, 운동량, pH 농도, 땀 농도 등)를 측정하고 현장안전점검관이 실시간으로 확인 및 분석하여 작업자의 불안전 생체 징후 및 안전 관리 시스템 구축
- 건설현장의 근로자에게 적합한 사용성 및 착용성, 생체안전성, 내구성 등이 우수하도록 UI/UX 요소 기술을 기반으로 하는 작업자 스마트 개인 보호구 플랫폼 구축이 필요함

- 스마트 건설 작업환경에 적합한 현장 작업자 스마트 개인 보호구 플랫폼 개발(작업복, 안전모, 안전 작업화 등)을 통해 현장 근로자들의 실시간 위치를 모니터링할 수 있으며, 각 상황에 위치한 근로자들의 외부적 환경에 대한 정보 또한 함께 파악이 가능하므로 위험한 상황에 처한 근로자들을 사전에 파악하여 안전한 곳으로 대피할 수 있도록 유도할 수 있음

□ **기술개발 필요성**

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ 근로자 안전사고는 건설현장별/공정별로 다양하게 발생하지만 기존의 근로자 안전확보 대책은 획일적이므로 근로자의 안전사고 저감을 위해서는 현장별/공정별 맞춤형 위험성 평가 기술 개발이 필요

- 기존 건설현장 안전관리는 '건설공사 안전관리 업무수행 지침'에 따라 건설공사 참여자의 안전관리 업무, 건설사고 신고 절차, 건설공사 참여자 안전관리 수준평가 등을 수행하지만 건설현장별/공정별로 세분화 필요
- 한국시설안전공단에서 운영 중인 건설안전정보시스템(COSMIS)의 사고사례 DB, 안전보건공단의 각종 건설분야 산업재해 데이터 등이 기존 건설공사 위험요소에 대한 자료가 축적되어 있으며, 한국시설안전공단에서는 '건설공사 위험요소 프로파일 개발'이라는 연구를 통하여 세부공정별 위험요소를 프로파일 분석을 수행하였지만 건설현장에서 실질적으로 활용되지 못함
- 실질적인 건설현장 위험 저감을 위하여 기존 사고사례 데이터로 학습된 AI를 기반으로 건설현장별/공정별 위험요인을 프로파일링하고 현장 맞춤형 안전점검 체크리스트를 안전관리 참여자에게 제공하는 기술 개발이 필요함

○ 근로자 안전교육 효과를 높이기 위해서는 피교육자가 속해있는(또는 속하게 될) 작업현장 및 해당 공정시기에 발생가능성이 높은 사고 유형에 대하여 체험형, 감성형 교육을 받는 것이 필요

- 산업안전보건법 개정(2012년)이후, 근로자 채용 시마다 이루어지던 안전교육이 평생 1회로 줄어들었고, 이에 따라 현장교육에서 이론교육 중심으로 전환됨
- 또한, 한글로 진행되는 근로자 안전교육의 특성상, 전체 건설근로자의 10%에 해당하는 외국인 건설 근로자 (2017년 기준)에 대한 안전교육의 효용성이 낮음

· 이에, 2018년 현대엔지니어링은 8개국 언어를 지원하는 외국인 근로자 안전교육용 컨텐츠를 개발 및 적용하여, 외국인 근로자의 안전사고 예방을 하고 있으나, 교육의 몰입도와 메시지 전단력을 높이기 위해서는 체험형 교육이 여전히 필요한 실정임

- 체험형, 감성형 교육 서비스 필요성이 증가함에 따라, 고용노동부와 안전보건공단은 2017년 6월부터 전국 5개 지역에 위치한 안전체험교육장에서 가상현실(VR)을 활용한 안전보건교육을 실시중에 있으나, 중앙집중형 교육방법 채택으로 인하여, 작업현장 및 해당 공정시기에 필요한 안전교육보다는 일반적인 체험형 안전교육방법이 시행중에 있음

- 따라서, 해당 작업현장 및 공정시기에 적절한 세분화된 가상현실 기반 체험형, 감성형 안전교육 컨텐츠의 개발이 요구됨. 또한, 안전교육 전문인력으로 구성된 교육팀이 안전사고 고위험 공정기간에 직접 현장을 방문하여, 해당기간에 맞는 교육시스템을 운용하는 프레임워크의 개발이 요구됨

○ 인지된 위험정보와 근로자 정보를 실시간으로 공유/제공하고 이를 기반으로 근로자의 행동 변화를 야기하기 위해서 근로자 의사결정을 예측할 수 있는 분석 기술이 요구됨

- 건설 작업자는 작업 도중 직접적으로 혹은 간접적으로 여러 가지 의사 결정을 내리게 되는데, 이를 수리적인 방법으로 표현하기에는 복잡하고 다이나믹한 과정을 걸치므로 에이전트 기반 모델(Agent-Based Model)을 사용하여 작업자의 행동 및 인지모델을 개발하는 것이 적합

- 건설 안전 사고는 작업자의 실수가 물리적인 작업 환경과 부정적인 상호작용을 함으로써 발생하므로 이러한 상호작용을 모델링하고 시뮬레이션할 수 있는 방법 개발이 필요

- 시뮬레이션 모델이 작업자의 실제 행동이 일치하는지를 평가하고 새로이 수집된 데이터를 반영하여 시뮬레이션 모델을 동적으로 교정할 수 있는 빅데이터 기반 기계학습 방법론 개발이 필요

- 건설 작업자의 행동 및 인지 오류를 고려하여 건설 일정 및 안전 관리 방침 수립하기 위한 수리적, 정량적 방법론 개발이 필요

□ 개발내용

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

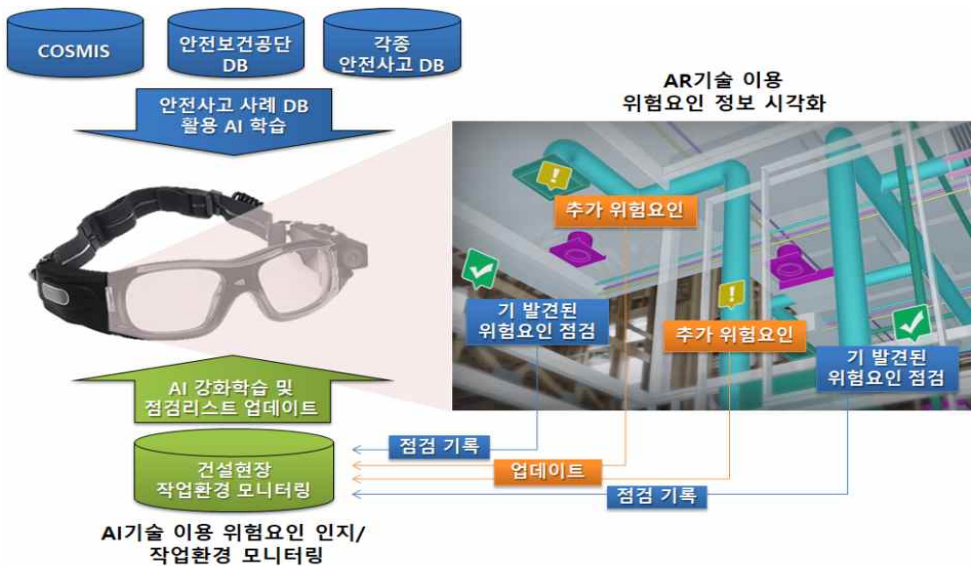
○ 건설현장 위험요인 자동 인지 및 모델링 기술 개발

- 현장 안전 담당자의 인력 및 전문성 부족 문제를 해결하기 위하여 건설현장의 위험요인을 정밀하게 관측하고 자동 인지하는 기술

  · 3D/360° camera를 이용하여 현장 재해유형 5종(떨어짐, 넘어짐, 물체에 맞음, 절단, 부딪힘)과 관련된 현장 영상 정보 기반 작업환경 및 위험요인 인지 AI 알고리즘 개발

  · VR 기술을 이용한 위험요인 관련정보 시각화 및 점검 결과의 실시간 업데이트 등 인지된 작업환경 및 위험요인 모델링 알고리즘 개발

  · 작업환경 변화에 따른 위험요인 추적 관리 알고리즘 개발



[그림 4-287] 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개념

○ 현장 근로자 스마트 개인보호구를 통한 근로자 생태정보 인지 및 위험정보 알람 기술 개발

- 현장 근로자 스마트 개인 보호구를 통한 취약성 및 위험 알람 기술

  · 생체안전성, 내구성, 착용성이 우수한 생체정보 감지용 직물 센서 개발

  · 근로자 위치 모니터링을 위한 모듈형 위치 파악 기술

    ※ 시공 중인 건축물 내에서도 위치 정보 인식이 가능하도록 설계

· 근로자 생체·위치 정보 송신 및 위험정보 알람 수신을 위한 모듈형 패스닝 디바이스 개발

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ 효율적 안전관리를 위한 인적사고의 정량적 분석을 통한 위험성 관리 기술 개발

- 건설현장의 공정별, 작업환경별 위험요인을 프로파일링하여 안전점검 체크리스트를 자동 추출하는 기술

· 확률기반 건설현장 인적사고 원인분석 모델 및 알고리즘을 개발

※ 위험요인 변화를 고려하여 위험성이 추적 관리될 수 있도록 설계

· 과거 재해 정보 기반의 단위 작업별 위험성 DB*를 구축

* 인적사고 원인분석 모델을 활용한 단위 작업별 위험성(작업 시간 당 사고 확률)

· 건설현장 정보와 위험요소 프로파일링 정보로부터 맞춤형 위험요소 저감 체크리스트를 자동 생성 기술



[그림 4-288] 현장 맞춤형 위험성 평가 기술 개념

○ 현장 맞춤형 VR 기반 교육 기술 개발

- 가상현실 기반 교육 시스템 도입을 통하여 건설 근로자 안전교육 효과를 극대화 하고, 방문형 현장 교육을 통하여 현장 상황에 적합하고 건설 근로자 업무공백을 최소화 할 수 있는 현장 맞춤형 교육 시스템 기술

  · 위험요인별 작업안전 VR(가상현실) 콘텐츠 개발(근로자의 불안전 행동, 사용자재, 사용기계/기구, 작업방법을 포함) 및 원격 교육 서비스를 활용한 피드백 모델 구축

  · 축적된 Big-Data 자료를 통해, VR을 활용한 On/Off-Line 교육 등 다양한 콘텐츠 개발로 안전사고 재해예방이 근원적으로 가능한 교육과정 개발

  · 구성기술 3-2-1에서 개발된 작업환경 모델과 작업안전 VR 콘텐츠 자동 조합 알고리즘 개발

※ 건설현장의 고령근로자와 외국인근로자의 눈높이에 맞게 현장별, 공정별로 세분화된 가상현실 콘텐츠 및 콘텐츠 조합 기술, 현장 교육지원용 영상 기반 위험 평가 기술, 방문형 현장 교육 서비스 비즈니스 모델로 구성



[그림 4-289] 현장 맞춤형 교육 플랫폼 기술 개념

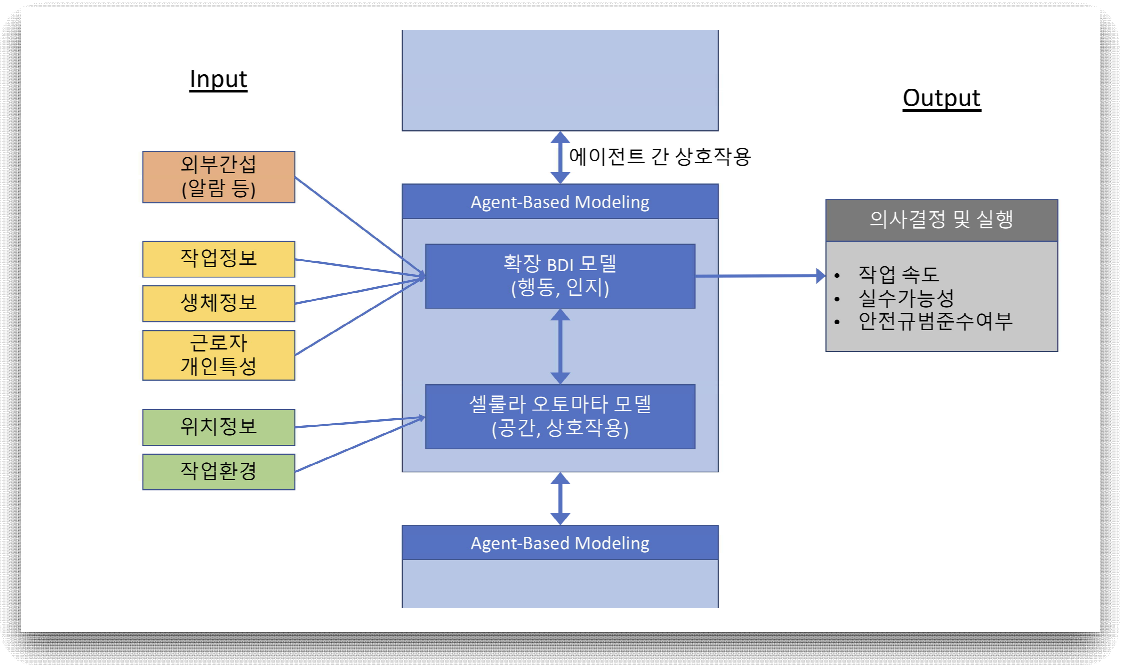
○ 근로자 위험인지 및 대응 기술 통합

- 작업환경 및 위험요인, 근로자 정보, 위험성, 교육 등의 통합 관리 기술 개발

  · 건설 현장 근로자 중심의 모델링 기법을 개발하고 근로자의 행동 및 인지 요인이 건설 현장과의 상호작용으로 어떻게 나타날 수 있는지 시뮬레이션하고 평가할 수 있는 방안 연구 및 시스템 개발

- 현장 근로자가 착용한 웨어러블 디바이스를 통해 취득할 수 있는 생체정보를 비롯한 다양한 정보를 바탕으로 현장 작업자의 행동 및 인지 요인을 평가하고 위험요인을 예측할 수 있는 시뮬레이션 시스템
- 재해를 줄일 수 있는 최적의 위험관리 정책결정 및 스케쥴링 시스템 개발 및 수집된 정보 및 행동 방식에 내재된 불확실성을 고려할 수 있는 최적화 기술

- 핵심기술 3-1과의 연동을 위한 SW 설계 및 개발



[그림 4-290] 근로자 행동 패턴 기반 안전 지원 기술

□ 개발목표

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발	작업환경 최초 모델 생성 시간 및 정합성	-	-	모델생성 10분 이내[1] 정합성 90% 이상	●	●	
	건설현장 위험요인 인식 정확도 및 인지 시간	-	-	정확도 90% 이상 1초 이내[1]	●	●	
	작업환경 변화에 따른 모델 갱신 시간	-	-	10초 이내[1]	●		
	스마트 개인보호구 센서 정확도	-	-	90% 이상[2]	●		
	스마트 생체센서 사용성	20 2 100	30 4(미국) 30(독일)	전극 신축성 40% 이상 세탁신뢰도 4급 이상 원사 선저항(Ohm/m) 20 이하	●		
	위험정보 알람 전송 시간	-	-	1초 이내	●		
현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발	단위 작업별 정량적 위험성 DB 구축	-	-	업무상 사망 사고 1,500건 이상 분석	●		
	안전점검 체크리스트 현장 부합성	없음	없음	안전관리 전문가 평가 대비 95%[3] 이상	●		
	VR 콘텐츠 종류	-	-	재해유형 5종 이상	●		
	현장 맞춤형 교육 콘텐츠 자동 생성 시간	-	-	20분 이내[4]	●		
	VR 콘텐츠 자동생성 구성	없음	없음	공정별, 위험요인별 VR 콘텐츠 생성 유사도 95%[5]	●	●	
	행동 시뮬레이션 모델 예측 정확도	없음	90%	실제 작업자의 의사 결정 행동 데이터 대비 90%[6]	●		●
	행동 시뮬레이션 모델 기반 최적화 알고리듬 성능	없음	1만 회 시뮬레이션 기준 92% 정확도	1만 회 시뮬레이션 기준 90% 정확도[7]	●		●

1) 100m^2 현장 기준
2) 생체정보(심전도, 맥박, 체온 등 3종 이상)과 위치 정보에 대한 정확도
3) 공종 별 위험요인 프로파일링 정확도(건축, 도로, 교량 등을 포함)
4) 100m^2 현장 기준, 구성기술 1의 작업환경 모델과 VR 콘텐츠의 자동 조합 시간
5) 콘텐츠 생성 시간 20분 이내 생성된 콘텐츠와 현장 환경의 위험요인 정합도 95%
6) 불안전 행동관련 의사결정에 대해 실제 작업자의 의사 결정 대비 시뮬레이션 모델의 정확도
7) 5만회 simulation 대비 90%정도의 퍼포먼스를 1만회 simulation으로 확보

□ **개발목표의 설정 근거**

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

○ (위험요인 자동인지 및 모델링 기술) 안전점검자 전문인력이 부족하며 형식적으로 안전점검이 행해지고 있어 안전사고 발생이 다발함

○ 따라서 건설현장 안전점검 업무 지원을 위한 작업환경 모델 생성 및 갱신, 위험요인 인식, 안전점검 정보 제공을 개발 목표로 설정함

○ 인공지능을 이용한 인지 기술의 개발이 목표이므로 위험요인 인지 정확성, 작업환경 모델 생성 및 갱신 시간에 대한 목표 수준을 설정함

○ (스마트 개인보호구 및 위험정보 알람 기술) 작업자 상태를 거부감 없이 모니터링하기 위해 스마트 직물 및 패스너 형태의 웨어러블 디바이스 개발 및 위치정보 알람을 목표로 함

- 모니터링 기술의 신뢰도를 평가하기 위하여 작업자 모니터링 요인을 시간 단위로 측정함으로써 그 성능을 평가하고자 하며, 실제 작업환경 및 위험요인 대비 90%의 정확도를 목표로 설정
- 생체센서 전극 신축성은 (%) 편·직물형 센서 기반 다양한 의류와 옷감형으로 구현이 가능한 기능성 나노 소재 기반 복합 섬유소재의 개발 목표
- 나노 복합 전도성 섬유 활용 직조형 소자 및 센서 구조 개발 (저항 변화 스위칭 (endurance) 2,000 cycle 이상 / ON/OFF ratio 1,000 이상) 목표
- 특수 원사 활용 직조형 소자 array 및 특성 평가 (신장률 150% (ASTM D 4964-96 / 10 x 10 array 구현)
- 기능성 섬유 기반 전자옷감 특성 및 내구성 평가 (세탁성 : 세제 세탁 전후 특성 유지 90% / 건조속도 12% (60분) (JIS L 1096 기준 / 뒤틀림 및 구부림 1,000 회 이상 특성 유지 90%)
- 뛰어난 전도성을 갖는 나노 복합섬유 개발 (면 저항 <20 ohm/m)
- 생체센서 인장성 평가 (구부림 테스트 2,000회 이상 성능 유지 90% / 최대 인장도 40%이상 성능 유지 50%)
- 신속한 알람을 통한 안전확보를 위해 위험정보 알람 전송시간 목표 설정

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ (위험성 관리 기술) 기존의 안전점검의 경우 획일적이며 대형 건설현장 중심으로 이루어져 건설현장별/공정별 적합한 안전점검이 이루어지고 있지 않음

- 따라서 건설현장별/공정별 위험요인을 프로파일링하고 안전점검 체크리스트를 자동 생성하는 현장 맞춤형 위험성 평가 및 관리 기술 개발을 목표로 함
- 건설현장 단위 작업별 정량적 위험성 DB 구축과 이로부터 건설현장별/공정별 위험요인을 자동 도출하는 프로파일링 기술 개발. 안전관리 전문가의 평가 결과 대비 95% 이상의 정확성 확보를 목표로 함
- 건설현장별/공정별 위험요인 자동 프로파일링을 통하여 도출된 위험요인을 활용한 현장맞춤형 안전점검 체크리스트 자동 생성 결과를 안전관리 전문가가 평가하여 95%이상 현장 부합성을 만족하도록 목표 수준 설정

○ (현장 맞춤형 VR 기반 교육 기술) 안전교육 효율성 제고를 위하여 피교육자가 속해있는 현장 특징 및 공정 시기가 유사한 환경의 가상현실 콘텐츠를 활용한 안전교육이 이루어져야하나, 현재까지는 피작업자의 현장 상황이 반영되지 않은 일반적인 상황에 대한 가상현실 콘텐츠가 대부분임. 현장 맞춤형 교육 플랫폼 개발을 목표로 함

- 공정별/위험요인별 자동생성된 VR 콘텐츠와 전문 안전교육자가 현장에서 직접 해당 현장의 위험요소를 판별하여 95%이상의 현장 유사도를 갖는 콘텐츠를 구성하는 것을 목표로 설정

○ (근로자 위험인지 및 대응 기술 통합) 본 사업에서 개발하고자 하는 건설 작업자의 행동 시뮬레이션 모델은 국내와 해외에서 기술 보유 및 적용 사례가 없는 것으로 조사되었음

- 다른 분야에 시뮬레이션 모델을 적용한 사례에 따르면, 90% 정도의 행동 예측 결과를 얻은 것으로 조사되었음
- 따라서 실제 수집한 행동 데이터를 90% 수준의 정확도로 시뮬레이션 할 수 있는 시스템을 개발하는 것을 목표로 함
- 시뮬레이션－최적화(Simulation-Optimization)는 계산 연산 요구량이 많은 작업이어서 최적의 솔루션을 찾는 것은 일반적으로 불가능한일이므로, 계산용

워크스테이션 컴퓨터에서 1만회 시뮬레이션 기준 90% 이상의 정확도를 가진 솔루션을 찾을 수 있는 성능의 알고리즘 개발을 목표로 함

3.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

○ 건설 현장의 위험요인을 영상기반으로 즉시적으로 판별하고 제공하는 형태의 연구과제는 국내에서 수행된 바 없음

○ 건설현장에서 생체정보, 위험요인, 위치정보를 동시에 모니터링하고 알람을 제공할 수 있는 패스너 혹은 직물형태의 웨어러블 디바이스에 대한 연구과제는 수행된 바 없음

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ 기존 국내연구는 단순 3차원 시각화 기술을 이용한 안전교육 방법 개발이거나, 타시설물에 대한 안전교육기술 개발이 대부분임

- 본 연구과제는 타 연구과제와 달리 시공중 안전사고 예방에 그 목적이 있으며, 가상현실을 기반으로한 안전교육 프레임 워크를 개발을 주요 연구목적으로 설정함

○ 건설 안전을 위한 작업자 중심의 행동 및 인지 시뮬레이션 모델은 아직 타 연구과제에서 다루어진 적이 없고 건설 안전을 위하여 BIM을 활용한 교육 프로그램 또는 안전 관리 체계 개발은 다루어진 적이 있으나 작업자 중심이 아닌 건축물 중심의 접근 방법을 채택함

○ 행동주의 기반의 안전 관리 프로그램을 개발하여 시험한 과제에서는 안전의무 수행의지와 안전개선 의지에 영향을 미치는 주요 변인들을 파악한 바 있으므로 이를 본 과제의 작업자 행동 및 인지 시뮬레이션 모델 개발에 활용할 수 있음

○ 건설 현장이 아닌, 일반 재난 상황에서 군중의 대피 방향 및 움직임 등의 행동과 인지를 시뮬레이션 할 수 있는 방법론은 연구된 바 있음

- 건설 안전과 관련하여 작업자의 행동과 인지를 모델링하기 위해서 방법론을

참고할 수 있음

- 건설 작업자의 상황에 맞게 확장하고 수정하여 활용할 수 있음
- 본 과제에서는 시뮬레이션 모델 개발 이후, 건설 안전 관리 방침을 최적화 할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것을 목표로 함

<표 4-143> 현장 맞춤형 근로자 위험 저감 기술 선행과제의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원 기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
건설공사 현장의 안전사고 예방을 위한 BIM 적용방안	미래창조 과학부 (2012.05~ 2015.04)	■ BIM을 통한 안전사고 예방교육 프로그램 개발	■ 예방교육 프로그램은 새로운 건설 일정이나 안전 사고 예방 수칙 등이 미치는 영향을 판단할 수 없음 ■ 본 과제에서 개발된 시뮬레이션 모델을 이용하여 잠재적인 위험 요소를 파악할 수 있는 연구가 필요
			■ 본 과제에서 개발된 시뮬레이션 모델을 작업자의 행동 및 인지 오류가 미치는 영향에 중점을 두어 안전사고 예방 교육에 활용할 수 있음
건설현장에 적합한 행동주의 기반 안전관리(BBS) 프로그램 개발 및 효과검증	교육과학 기술부 (2012.05~ 2013.04)	■ 행동주의 기반 안전관리 (Behavioral based safety, BBS) 프로그램을 근로자 기반 안전관리와 관리자 기반 안전관리로 나누어 두 곳의 토목공사 현장에 적용하여 비교평가 연구	■ 행동 모델을 개발하여 새로운 현장에 미리 시험할 수 있는 시뮬레이션 모델 개발 및 확장 필요
			■ 안전의무 수행의지와 안전개선 의지에 영향을 미치는 주요 변인들을 파악하였으므로, 이를 본 과제의 시뮬레이션 모델링에 반영할 수 있음
건설공정과 연계된 위험구역 및 중점 점검사항 관리를 위한 BIM기반 건설 안전관리 체계 개발	과학기술 정보통신 부 (2017.03~ 2020.02)	■ 안전사고 위험구역을 BIM을 통해 근로자들에게 시각적인 정보로 전달하고 계획 및 평가할 수 있는 체계적인 절차 수립	■ BIM의 저장된 건축물 정보를 이용하여 잠재적인 위험구역을 파악하는 건축물 중심의 접근방법에서 작업자 중심의 위험 요소 판단 방법으로 확장 할 필요 ■ 본 과제에서는 작업자 중심의 행동 및 인지 모델 개발
			■ 본 과제에서 개발된 시뮬레이션 모델에서 행동 및 인지 오류가 자주 나타나는 구역을 파악하여 BIM을 통해 시각적인 정보로 전달할 수 있는 방안 마련 가능

선행과제명	사업지원 기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
재난상황 군중피난 시뮬레이션을 위한 인지와 BDI추론 기반의 인간행동통합모델 개발 및 적용	교육과학 기술부 (2010.09.01.~2015.08.31.)	■ BDI(Belief-Desire-Intention)모델을 이용하여 인간 행동 모델을 개발하고 일반적인 재난사항 하에서 군중의 행동과 움직임을 시뮬레이션	■ 재난사항 하의 군중 피난 시뮬레이션 모델을 건설 작업자 행동 시뮬레이션 모델 개발에 그대로 적용할 수 없음 ■ 본 과제에서는 건설 현장에 특화된 작업자 행동 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 바탕으로 여러 안전 관리 방침을 최적화 할 수 있는 알고리듬 개발
			■ BDI모델을 건설 작업 안전과 관련지어 건설 작업자의 행동 및 인지 모델에 적용할 수 있도록 확장하고 수정할 필요

3.8 민간기술과의 차별성·연계성

(구성기술 3-2-1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

○ 기존 건설현장 근로자 위험요인 인지 관련 민간 기술의 경우 주로 대형 건설현장을 대상으로 위험요인 관리를 위한 시스템으로, 개별적인 센서 개발을 통해 근로자 위치확인, 위험지역 알림 등으로 재해를 예방하고 재해 발생 시 신속하게 대처할 수 있도록 하는 것이 주요 기술임

○ 제안기술은 기 개발된 건설현장 위험요인 관리 시스템을 최적화하고, AI/AR기술을 도입하여 위험요인 인지 및 시각화하는 기술을 개발하고자 함

<표 4-144> 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술의 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	스마트 건설 안전관리 시스템	GSIL	■ 현장 모니터링 및 작업자 위치 인식 기술	■ 현장 맞춤형 안전점검 작업자의 AI/AR 기술 활용 위험요인 인식/정보 제공 기능을 개발하여 안전점검 업무를 지원함
				■ 기 개발된 SW 및 HW 플랫폼을 활용하여 안전점검 지원 기술 개발시간 절감
2	나이키 퓨얼밴드	나이키	■ 칼로리 소모량, 걸음수(만보기), 시계, 거리 측정 등을 제공하는 운동량 측정기 ■ 개인 활동에 대한 정보 제공	■ 손목 형태 디바이스의 한계점 패스닝을 활용하여 웨어러블 디바이스라라는 거부감 없는 디자인으로 추진 ■ 건설 환경과 적합하지 않음 ■ 특허 회피 전략을 통한 보유 특허 기술 활용 (패스닝 인터페이스 플랫폼의 차별화 추진)
				■ 초소형 센서 칩의 선행 연구 연계 ■ 직관적 인터페이스 접근과 입·출력 조작이 용이한 인터페이스로 연계 검토
3	심박측정 브라	아디다스	■ 심박 측정 스포츠 브라 가슴 부분에 전기전도성 섬유로 구성된 심전도 전극이 있음 ■ ECG 및 모션, 체온, 호흡 등을 인식할 수 있는 miCoach 모듈은 심전도 전극과 연결된 스냅단추를 이용하여 브라에 고정	■ 다양한 생체 신호 감지 불가 ■ 소형화된 센서 칩이 내장되어 착용성이 떨어짐 ■ 인체의 움직임시 분리되는 문제점 ■ 센서 특정을 위해 다량의 물 복용과 습도가 필요함 ■ 특허 회피 전략을 통한 보유 특허 기술 활용 (패스닝 인터페이스 플랫폼의 차별화 추진)
				■ 직관적 인터페이스로 접근과 입·출력 조작이 용이한 인터페이스 검토

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
4	MyHeart 프로젝트	필립스	■ 필립스를 주축으로 EU 내 10개 국가의 33개 기업, 연구소, 대학 등이 공동 참여하여 의복형 생체신호 측정시스템 개발 ■ 질병 치료보다는 예방에 중점(심장병 예방을 위한 센서 및 전자장치를 신체에 부착하여 생체신호 모니터링)	■ 다양한 생체 신호 감지 불가 ■ 소형화된 센서 칩이 내장되어 착용성이 떨어짐 ■ 인체의 움직임시 분리되는 문제점 ■ 센서 특정을 위해 다량의 물 복용과 습도가 필요함 ■ 특허 회피 전략을 통한 보유 특허 기술 활용 (패스닝 인터페이스 플랫폼의 차별화 추진)
				■ 직관적 인터페이스로 접근과 입·출력 조작이 용이한 인터페이스 검토

(구성기술 3-2-2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

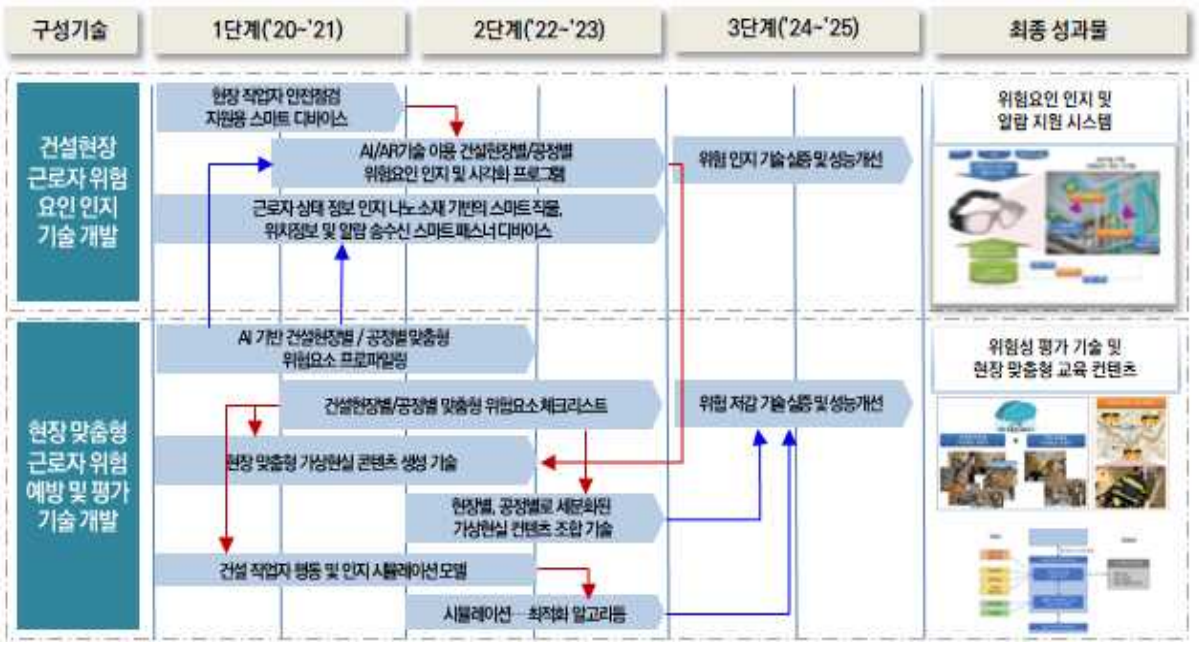
<표 4-145> 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가기술의 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	가상현실 콘텐츠 개발 기술	페리굿 (peligood)	■ 재난/안전교육 VR 콘텐츠 개발 기술	■ 본 연구에서는 세부 VR 콘텐츠를 개발함과 동시에, VR 콘텐츠를 자동으로 생성할 수 있는 기술 및 인벤토리를 개발하여, VR 콘텐츠에 현장 상황을 반영할 수 있도록 함.
				■ 일반적인 위험요인에 대한 VR 콘텐츠 공유를 통하여, 세부 콘텐츠 개발시간 절감
2	현장 맞춤형 근로자 위험 저감 기술	한국씨아이엠(주)	■ Autodesk의 BIM 도구를 이용하고 Virtual Reality (VR)을 사용하여 건설현장의 모습을 3D로 재현하여 건설안전 예방 및 교육 도구로 사용	■ 본 연구에서는 건축물 중심이 아닌 작업자 중심의 행동 및 인지 시뮬레이션 모델을 개발하고자함
				■ 본 연구에서 개발한 행동-인지 모델 및 알고리듬을 민간이 보유하고 있는 기술과 접목하여 기존의 BIM과 연동할 수 있는 가능성을 모색

3.9 구성기술 로드맵



[그림 4-291] 건설현장 근로자 안전확보 기술 추진로드맵



[그림 4-292] 건설현장 근로자 안전확보 기술 성과로드맵

3.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 75.89억 원/6년(3단계)중 (국고) 55.90억 원, (민자) 19.99억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-2-1. 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발	정부	461	445	364	364	195	195	2,024
	민간	165	159	130	130	70	70	724
	소계	626	604	494	494	265	265	2,748
3-2-2. 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발	정부	785	791	810	810	185	185	3,566
	민간	281	283	290	290	66	66	1,275
	소계	1,066	1,074	1,100	1,100	251	251	4,841
합계	정부	1,246	1,236	1,174	1,174	380	380	5,590
	민간	446	442	420	420	136	136	1,999
	소계	1,692	1,678	1,594	1,594	516	516	7,589

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-2-1. 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발	170	170	134	134	77	77	761
3-2-2. 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발	304	304	304	304	77	77	1,369
합계	474	474	438	438	153	153	2,130

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-2-1. 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발	책임급	1	1	-	-	-	-	2
	선임급	1	1	1	1	-	-	4
	원급	1	1	2	2	2	2	10
	합계	3	3	3	3	2	2	16
3-2-2. 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발	책임급	1	1	1	1	-	-	4
	선임급	2	2	2	2	-	-	8
	원급	3	3	3	3	2	2	16
	합계	6	6	6	6	2	2	28
소계		9	9	9	9	4	4	44

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	291	288	280	283	85	85	1,312
연구과제추진비	85	85	82	82	25	25	384
연구활동비	209	204	199	196	59	59	925
연구수당	71	71	66	66	23	23	319
소계	656	647	627	627	192	192	2,941

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	116	115	109	109	35	35	520

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 38.4%, 직접비(인건비 제외) 52.3%, 간접비 9.3%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 50%, 연구과제추진비 15%, 연구활동비 35%, 연구수당*으로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

3.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



(2) 협력방안

□ **유해환경 및 근로자 상태 정보 인지를 위한 스마트 개인장비 기술 협업 및 평가를 위한 사용자 인체적합성 성능 테스트**

○ (국외) 미국, 일본, 영국 등과 국제공동연구 및 학술심포지엄 개최

○ (국내) 모듈형 스마트 패션 플랫폼 연구 센터와 워크숍 및 협업 체계 구축

- 사용자의 목적에 따라 모듈을 탈·부착하고 재구성할 수 있는 유연전자소자기반의 모듈형 스마트 패션 플랫폼 개발 연구 센터이며, 과학기술정보통신부 선도연구센터지원사업(2017.03-2022.02)으로 9개 학과의 19명의 학제간융합교수진과 연구원들로 구성된 국내 최대 규모의 인프라가 구축된 웨어러블 컴퓨터 연구 센터임

- 다양한 유연기능소자를 제작할 수 있는 K-Fab이라는 Hardware와 많은 기능소자 제작 노하우를 보유한 국내·외 연구소 등의 Humanware를 동시에 가지고 있음

□ **기존 사고사례 분석 결과를 활용 위험성평가 초기 프로파일링 수행**

○ 건설현장별/공정별 위험요인 자동 프로파일링 기술 개발을 위해 방대한 양의 사고사례 DB가 필요하므로 건설안전정보시스템(COSMIS)을 관리중인 한국시설안전공단과 다양한 사고사례 DB를 보유하고 있는 안전보건공단과의 협력체계 구축 필요

□ **실제 건설 작업자의 행동 관련 데이터 수집이 시뮬레이션 모델 성능 향상에 가장 중요**

○ 웨어러블 디바이스 등을 활용한 데이터 수집에 대한 거부감을 낮추어, 현장 관계자들과 충분한 협의 후 실제 현장에서 기술 검증을 실시할 수 있도록 실제 데이터 수집 및 시뮬레이션 모델 검증 작업을 할 수 있도록 관련 시공업체 및 기관과 긴밀한 협력이 필요함

2.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-146> 건설현장 근로자 안전확보 기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
건설현장 근로자 안전확보 기술	AI기반 현장 맞춤형 위험요인 평가 자동화를 위한 학습 데이터의 부족	건설현장 사고사례 DB 보유 기관 DB 활용
	단기간에 시스템 개발 및 현장적용 등 연구성과의 실용화 어려움	연구 성과물의 실용화를 위하여 기 개발된 딥러닝 알고리즘 차용 및 기존 연구성과 활용 등 효율적인 실용화 방안 수립
	수집된 개인정보를 활용으로 인해 사생활침해 논란 대두	수집된 개인정보를 활용해 의료, 건강관리, 엔터테인먼트 등 근로자 개인 활동과 연계시켜 생활 밀착형 서비스를 제공함으로써 거부감을 감소시키고, 근로자 스스로 능동적으로 참여할 수 있는 온라인 커뮤니티를 구축
	산업현장 관련 웨어러블 제품은 인체에 착용 또는 부착이라는 특수성 고려	기존의 스마트폰이나 일반 디바이스 보다는 훨씬 강화된 기준을 적용해야함. 이에 따른 시험인증 절차가 필요하며, 지금까지는 없었던 '인체적합성 시험인증센터'의 건립도 고려해야 함
	생성된 개인의 건강관리 기록 보안성 문제	개인정보 보호법과 정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률 강화
	근로자 생체정보 및 개인정보 취급시 개인 사생활 법 침해우려	정보의 비개인화 작업 수행 및 비개인화된 정보를 바탕으로 동작할 수 있는 인공지능 알고리즘 검토

3.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **지에스아이엘(GSIL)과 두산건설, 한라가 공동으로 개발한 '스마트 건설 안전 관리 시스템'은 IT기술을 이용한 건설현장 통합 안전관리 시스템으로 안전사고 예방, 안전점검, 완공현장 모니터링 서비스를 이해 관계자들에게 실시간 제공**

○ 다양한 건설현장에 도입되며 개발 기술의 실용화를 성공적으로 이룸

- 당진-평택 3.4km 해저터널 구역, 강원본부 관내 철도건설현장, 삼성엔지니어링 반도체 그린동 현장, 대림산업 현장 등에 도입
- 2017년 9월 건설 신기술 인증 완료

□ **독일의 스포츠 웨어 전문회사인 Adidas는 2008년 Dupont과 Invista로부터 Spin-out한 Tectronics를 인수하여 Adidas werable sports electronics를 설립하였는데 특히 착용형 생체 모니터링 시스템에 중점을 두고 wearable sprots electronics 기술을 개발 중**

○ 최근 Adidas의 뉴메트릭스라는 제품은 심장 박동을 점검하는 개념의 제품으로 이러한 기술의 시장은 군사용에서부터 노인 보호용 그리고 스포츠까지 매우 다양할 것으로 전망되고 있음

□ **Gartner(2014.10)에서는 스마트 텍스타일을 활용한 의복이 다른 기기에 비해 연평균성장률이 매우 높게 나타났으며, 2020년 출하량은 7200백만 대에 이를 것으로 전망함**

○ 스마트 의복 제품은 잠재적 성장 가능성이 가장 큰 분야이고 최근 실험단계를 넘어 프로 운동 팀의 선수, 코치들에게 생체 신호 측정이 가능한 스마트 셔츠의 형태로 제공되고 있음

○ 성장률은 2014년에는 35억 8200백만 달러이며, 2020년에는 83억 5800백만 달러이상으로 전망함

○ 스마트 직물 관련 국외 개발 성공 동향을 살펴보면 미국과 일본은 듀퐁, 도레이, 데이진, 도요보 등 주요 기업을 중심으로 원천기술력을 보유하여 세계시장을 선도

○ 유럽은 ICT 분야와 융복합을 위한 첨단 전자섬유와 메디칼 섬유 등의 원천기술 확보에 주력하고 있고, 스마트 섬유 및 스마트 의류 등 기술을 확보하고 있음

□ **골조 상세설계 및 시공관리를 위한 3차원 BIM 설계도구 '빌더허브'의 예**

○ 단국대학교 건축학과 김치경 교수팀은 건물골조에 특화된 BIM 원천기술을 개발

○ 과제에 참여한 연구원을 중심으로 ㈜창소프트아이앤아이가 창업됨

○ 2016년 빌더허브의 사업화가 시작되어 해외 30만 달러 및 14억원 이상의 매출이 발생

○ 골조 상세 설계 정보의 디지털화 및 다양한 후속 기능을 제공

(2) 성공 사례의 시사점

□ **IT 기술을 보유한 스타트업 기업인 지에스아이엘과 건설현장을 관리하는 두산건설의 기술개발에 대한 협업을 통해 건설현장 모니터링 기술을 개발하고 상용화를 이룸**

○ IT의 언어와 건설의 언어 또는 대화방식의 차이에서 오는 IT기술의 건설현장 적용의 어려움을 협업을 통해 극복하고 현장 적용성을 높임

□ **스마트 밴드의 경우에는 헬스 케어 플랫폼이 현 시장의 70%이상을 차지하고 있고 주요 제품으로 성장 중이며, 웨어러블 기기 중 가장 사람들에게 많은 선택을 받은 제품이 스마트 밴드임을 감안할 때 인체의 생체 정보를 활용한 스마트 헬스 플랫폼의 주요 제품으로 성장 중에 있음**

□ **빌더허브는 건물골조의 상세설계 및 정밀견적, 시공 관리에 특화된 BIM 소프트웨어**

○ 해외에 100% 의존하던 BIM 소프트웨어의 핵심부분에 특화하여 사업화에 성공

○ 대림산업, GS건설, 대우건설 등이 현장별로 빌더허브를 적용하여 기술 검증을 실시하여 공사비 절감 및 기술의 유효성을 확인한 것이 사업화의 성공 핵심 요인으로 추정됨

(3) 실용화 전략 수립

□ **산업체와의 협업을 통한 실용화**

○ 건설현장 안전관리 기술의 수요처인 공공기관 및 산업체와의 협업을 통해 안전관리 개선/요구사항을 수렴하고 연구개발에 반영, 건설현장 테스트베드 운용 등 지속적인 피드백 및 현장적용으로 개발기술의 실용화 가능성을 높임

□ **스마트 텍스타일의 제직 양산화 기술 확보**

○ 확보된 기술을 바탕으로 한 Loss 최소화 양산화 확립 가능

○ 개발된 원천기술을 활용하여 생산라인을 구축된다면 안정적인 생산 및 공급으로 수요업체와 원활한 관계를 유지하여 적극적 마케팅으로 수요 확보 및 판매 확대 방안을 수립하여 인체 생체 데이터를 활용한 국내·외 스마트 스포츠웨어 시장 독점력 강화 가능

○ R&D 성과물의 공유 확산을 도모하고 기술의 사업화 가능성을 높여 궁극적으로 기업의 성장을 촉진하여 사업화의 확대로 인한 고용인력 창출이 가능

□ **국내외 스마트 텍스타일 관련 전시회 참가**

○ ISPO (독일/뮌헨), European Out-Door Show (독일, 프리드리히샤펜) Out-Door Retailer Show (미국/솔트레이크) 등

□ **모듈형 스마트 패션 플랫폼 연구 센터와의 협업을 통해 유해환경 및 근로자 상태 정보 인지를 위한 스마트 개인장비 기술 협업 및 평가를 위한 사용자 인체적합성 성능 테스트 추진**

□ **작업자 중심의 IT 기술을 건설 현장 안전 관리에 적용하는 선도 사례**

○ 웨어러블 디바이스 등을 활용한 데이터 수집에 대한 거부감을 낮추어, 현장 관계자들과 충분한 협의 후 실제 현장에서 기술 검증을 실시

○ 행동 및 인지 시뮬레이션 기술이 현장의 실제 작업자들의 의사 결정 과정을 잘 반영하는지 기술 검증을 실시하는 것이 중요

○ 거부감을 낮추고 기술의 유효성을 확인할 수 있으면 관련 기술의 실용화 및 시장의 형성에 기폭제 역할을 할 수 있음

3.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ **근로자 스마트 PPE 국제 경쟁력 확보**

○ 지금까지 외국 기술에 의존하던 플랫폼 H/W, S/W(운영체제 및 미들웨어 포함)를 자체개발하여 다양한 차세대 웨어러블 플랫폼에 공급함으로써, 값비싼 로얄티 지불을 피할 수 있고 또한 각 제품군들의 수출 경쟁력을 제고시킬 수 있음

○ 표준화/특허를 통해 국내·외 웨어러블 원천기술에 맞서 국제 경쟁력을 확보하고 국제 시장을 선점함

□ **건축물을 중심으로 건설 현장을 관리하는 기존의 IT 시스템에서 작업자 중심의 시뮬레이션 시스템을 통합하여 관리할 수 있도록 하는 기술력 확보**

○ 건설 현장 작업자 중심의 모델링 기법을 개발하고 작업자의 행동 및 인지 요인이 건설 현장과의 상호작용으로 어떻게 나타날 수 있는지 시뮬레이션하고 평가할 수 있는 방안 마련

○ 현장 작업자가 착용한 웨어러블 디바이스를 통해 취득할 수 있는 생체정보를 비롯한 다양한 정보를 바탕으로 현장 작업자의 행동 및 인지 요인을 평가하고 위험요인을 예측할 수 있는 기술 확보

(2) 사회경제적 측면

□ **신규 기술 분야 개발을 통한 고용 창출**

○ 단순히 제품 종류의 다양성에만 영향을 미치는 것이 아니라 생산방법, 마케팅 방법 등 산업내 전 밸류 체인에도 영향을 미치며, 순발력이 있는 1인 창업자, 스타트업 기업, 중소중견 기업 등에 더욱 유리한 산업으로의 새로운 생태계 변화 추구

○ 핵심기술을 활용하여 섬유·패션, 헬스와 건강, 의료, 스포츠, 레저, 제조·생산, 교육, 보험, 방송, 홈가전, 국방, 게임과 엔터테인먼트, 공공안전 등 그 적용 가능한 시장규모의 확대 및 산업분야가 다양함

○ 핵심기술의 신규 고용분야 창출을 통한 고용 확대 및 대학원 졸업자 취업률을 상승시키며, 이에 따라 신산업 분야 맞춤형 인력 공급이 기대됨

□ **건설 현장 안전 관리 규정 및 정책 마련에 적극 활용**

○ 안전 관리 정책 입안시 건설 작업자 및 건설 현장 안전에 미치는 영향을 미리 시뮬레이션하여 예측하여 발생할 수 있는 부작용을 미리 최소화

○ 최적화 기술을 바탕으로 안전 관리 규정의 효율을 극대화

□ **작업자 중심의 건설 현장 정보 관리 시스템 마련으로 시장 선도**

○ 해외 및 국내에서 작업자 중심의 건설 현장 정보 및 안전 관리 IT 시스템은 제품의 예가 알려지지 않았음

○ 행동 및 인지 시뮬레이션 관련 기술 확보로 국내에 기반을 마련하고 해외 시장 선도

4. (핵심기술 3-3) 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발

4.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념



[그림 4-293] 임시구조물의 스마트 안전확보 기술 개념

□ **임시구조물의 전주기(설치·해체 및 운용시)적 안전 확보를 위하여 기자재의 품질을 평가하고, 임시구조물 실시간 모니터링을 수행하며, 자동 구조 안전성 검토 및 위험도 평가를 수행하는 기술**

○ 임시구조물의 부재불량 및 설치·해체시 관리 미흡으로 발생하는 사고를 절감하기 위한 가설기자재 현장 품질평가 시스템과 임시구조물의 자동 안정성 분석 및 현장 작업자 지원 기술

○ 임시구조물 운영시 임시구조물의 불안정 상태로 기인되는 안전사고를 경감시키기 위한 실시간 상태 평가 모니터링과 위험 수준 추론 기술을 포함하는 임시구조물의 지능형 전주기적 실시간 안전관리 기술

(2) 범위

□ **가설기자재* 현장 품질평가용 포터블 디바이스 개발**

○ 현장에서 가설기자재의 형상을 관리할 수 있는 기술과 품질을 관리할 수 있는 포터블 점검·비파괴 기술 개발 포함

* 가설기자재 : 「건설공사 품질관리 업무지침」에 지정된 9종
강재 파이프서포트, 강관 비계용 부재, 조립형 비계 및 동바리 부재, 일반 구조용 압연 강재 (흙막이용), 용접 구조용 압연강재(흙막이용), 일반구조용 용접 경량 H형강(흙막이용), 일반구조용 각형강관, 열간압연강 널말뚝, 복공판

□ **가설기자재 품질 평가 알고리즘 개발**

○ 가설기자재 상태 등급별 구조 성능 DB 구축 및 현장 데이터로부터 가설기자재의 품질을 현장에서 평가할 수 있는 알고리즘 개발 포함

□ **임시구조물 설치·해체시 안전 확보 기술 개발**

○ 임시구조물의 설치·해체 프로세스 정보수집, 임시구조물 모델링, 구조 안전성 분석 및 현장 작업자 지원을 포함하는 임시구조물 설치·해체 단계에서의 안전 확보 기술 개발 포함

□ **임시구조물 운영 중 안전 확보 기술 개발**

○ 임시 구조물 특성이 반영된 안전 모니터링 기술 최적화, 모니터링 센서 모듈화를 포함하는 전주기적 실시간 지능형 안전 관리 시스템, 평가기술 및 알람 시스템 개발 포함

4.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ 임시구조물 및 가시설물 안전점검기술 부족

○ 건설안전인증제도는 2009년부터 시행되어 왔으나 건설 산업에서 발생하는 임시구조물 및 가설기자재 관련 재해 사고는 계속 증가하여 건설공사 중 임시구조물 붕괴 및 인명피해는 증가하고 있는 상황

- 가설기자재 안전인증 및 자율 안전 확인 대상품목의 제조 후 자율안전성 확인 관련 제도의 부재로 인해 적정 품질과 안전성의 확보가 어려운 것을 이유로 들 수 있음

○ 공사현장에서 임시시설물은 점검자 및 근로자의 안전과 기능을 유지하기 위하여 안전점검을 실시하여야 하나 공사기간의 단축을 위해 육안점검으로 간략히 진행하고 공사작업을 실시하여 위험요소는 전혀 줄어들지 않고 있음

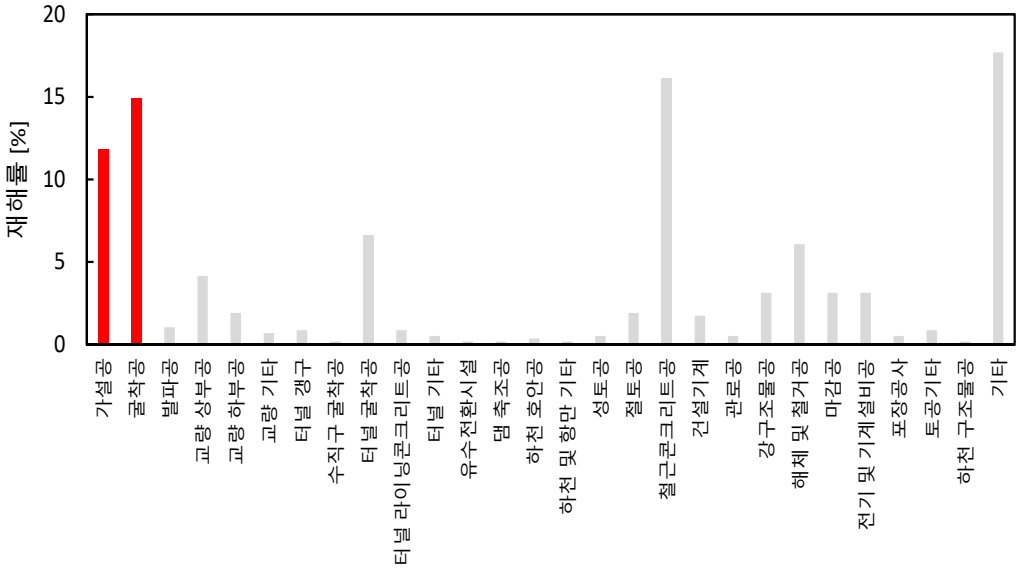
○ 공사현장은 반복되는 사고들이 많으며 공사장 가시설물이 지상으로 추락하여 근로자가 사망하는 사고(부산 해운대 엘시티, 2018), 건물 외벽에 부착한 임시구조물을 지지하는 고정장치가 빠지면서 근로자가 다친 사고 및 외벽작업발판이 떨어지며 근로자가 사망한 사고 등 2016년에만 건설현장에서 366명이 사망하였음

○ 안전점검을 수행한 후 건설현장에 근로자들이 투입되었지만, 시시각각 변화되는 현장에서 사고를 예방하기에는 큰 어려움이 따르며, 사고를 미연에 방지하고자 가시설물 품질검사를 통해 근로자의 안전을 보장하고, 임시구조물 설치·해체시 올바른 순서로 작업이 진행되고 있는지에 대한 확인이 필요함

□ 가설구조물에 의해 유발되는 건설 재해 빈발

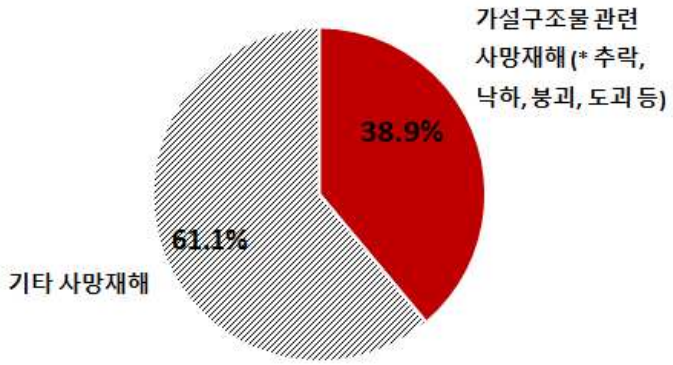
○ 한국시설안전공단 건설안전정보시스템의 통계자료에 따르면 건설업 사고 발생 공종별 재해율은 가설공, 굴착공, 콘크리트공에서 각각 11.8%와 14.9%, 16.1%의 높은 비율을 보이며(건수로 68, 86, 93건 이며, 총 516건 중 기타 102건을 제외하면 사실상 전체 안전사고의 52%를 차지함)

- 설치 중 이거나 설치가 완료된 임시구조물의 안정성과 깊은 연관이 있음



[그림 4-294] 2001~2018년도 한국시설안전공단의 건설안전정보시스템 통계자료(발생공종별)

○ 건설업 재해요인은 고소작업 중 근로자의 떨어짐(추락), 낙하물에 의한 타격, 끼임(협착), 건설장비와의 부딪힘(충돌), 깔림 및 타격, 건설 중 구조물 또는 가설구조물의 무너짐(붕괴), 사면 무너짐(붕괴) 등 매우 다양한데, 이중에서 가설구조물의 붕괴가 직간접적 요인으로 작용하는 건설재해비율은 40%에 육박함 (2014년 건설재해 통계자료)



[그림 4-295] 2014년 건설재해통계자료-가설구조물 관련 사망재해비율

○ 임시구조물의 모니터링은 장비의 가격이 비싸 현장당 수 개소 설치에 그치고

있으며, 매설 센서는 계측기기의 성능 불량, 설치 시 오류 및 보호불량, 작업자나 시공장비의 부주의에 의한 계측기기 및 연결 케이블의 손상으로 15%의 센서 손망실율을 나타내므로(우종태, 2013) 제대로 된 모니터링이 어려움

- 계측기기 비용 및 설치비용으로 인해 굴착 현장에 설치된 계측기기의 수량 및 장소는 한정되어 있으므로 현장에 대한 국부적인 계측만 가능하여 전체 임시구조물의 안전상태를 파악하기 곤란함

○ 콘크리트공의 재해는 대부분 콘크리트 타설 중 거푸집의 붕괴로 특히 중소규모 현장에서 콘크리트 슬래브타설 시 동바리의 지지력계산 오류, 작업자의 설치 미숙으로 인해 슬래브 붕괴사고가 빈번한 실정이나 콘크리트공 가시설물에 대한 모니터링은 슬래브타설 후 콘크리트가 강도를 발현할 시기까지 타 공정에 비해 비교적 단기간 수행

- 시공성과 공사비 문제 등으로 제대로 된 모니터링은 거의 이루어지지 않고 있음



[그림 4-296] 교량 시공중 슬래브 붕괴

□ **정부는 임시구조물 공사를 3대 취약요인으로 규정하고 관리 중**

○ 국토교통부는 국토부·고용부 합동 건설취약요인별 맞춤형 안전대책 마련(2016)을 통하여 건설업 평균에 비해 재해율이 1.9배 이상 높은 공사비 50억 미만의 소규모 건설공사와, 사고 시 대형 참사로 이어지는 가시설물 공사, 사고빈도가 증가하는 건설기계 공사를 3대 취약요인으로 선정하였음

○ 특히 가시설물 공사에 대하여 반복 사용되는 가설자재의 특성을 고려하여 적정 성능기준을 마련하는 등 가설자재의 품질관리체계를 새로 정비하고,

위험성이 높은 대규모 가시설물 공사에 대해서는 시설물의 변형 여부 확인을 위한 현장 측정비용도 공사비에 추가 계상하는 것을 추진하였음

○ 안전한 생활환경 조성은 ’18 6대 정책목표 중 하나로 특히 건설현장 안전을 위하여 시방서 및 설계기준의 안전 사항을 강화하고 IoT 등 첨단기술을 현장 안전관리에 활용하는 안전확보 방안을 검토 중임

분 야	'17	'18	'22
(도로) 교통사고 사망자수	4,191명(잠정)	3,800명 이하	2,000명 이하
(철도) 운행거리 1억㎞당 사고건수 ('22년까지 철도사고 50% 감축)	7.3건 ('13~'17 平)	5.8건	3.7건
(항공) 100만 비행횟수 당 사고건수 ('22년까지 '16년 대비(3.0건) 50% 감축)	2.3건 ('13~'17 平) ⇨	1.76건 ⇨	1.54건
(건설) 현장 사고성 사망만인율 ('22년까지 사망만인율 60% 감축)	1.76‰('16)	1.50‰	0.70‰
(지진) SOC 시설물 내진성능 확보	96%	99.4%	100%('19)

출처: 국토교통부, 2018, 2018년 주요정책 추진계획

[그림 4-297] 안전한 생활환경 조성 목표

□ 건설현장 임시구조물 안전 확보의 어려움

○ 임시구조물의 건설공사 중 사고 및 인명피해는 꾸준히 증가하고 있는 추세이며, 가설기자재 안전인증 및 자율 안전 확인 대상품목의 제조 후 자율안전성 확인 관련 제도의 부재로 인해 적정 품질과 안전성의 확보가 어려움

○ 가설 기자재 및 임시구조물 관리주체는 시설물의 안전과 기능을 유지하기 위하여 안전점검을 실시하여야 하지만 점검이력관리, 시설물 규모, 구조형식의 정보관리를 위한 데이터베이스 구축이 어려움

○ 또한 가설기자재 품질평가 혹은 임시구조물 위험성 평가는 다양하게 제시되어 있으나 실제로 활용되는 기술은 미흡하고 건설업과 같이 광범위한 원인이 복잡하게 얽혀있는 경우도 고려해야 하므로 근로자의 안전확보가 어려움

○ 지금까지 임시구조물의 안전점검은 주로 육안점검으로 진행되고 있어 점검자에

따라 점검결과가 달라지는 문제가 있으며, 건설현장은 사고에 대한 위험이 존재하고 육안검사는 많은 노동력과 작업시간을 필요로 하여 효과적인 안전점검이 이루어지지 않는 경우가 많음

○ 소규모 건설공사와 가시설물 공사(동바리, 흙막이)와 같은 취약공종('15 보도자료, 국토부·고용부 합동 건설취약요인별 맞춤형 안전대책 마련)에서는 계측관리가 잘 이루어지지 않는 경우가 많고, 측정 자료의 분석도 시간이 소요되는 경우가 많아 사고 위험시에도 현장에서 즉각 대응이 어려운 문제가 있음

□ **4차 산업혁명에 대비한 스마트 건설기술 연구개발(R&D) 투자**

○ 세계는 4차 산업혁명으로 다가가고 있으며, 정부는 4차 산업혁명에 대비한 스마트 건설기술 연구개발(R&D)을 위하여 2027년까지 1조원 투자와 통신·소프트웨어(SW) 융복합이 원활하게 일어날 수 있도록 스마트시티 등을 추진 중임

○ 건설분야에서의 머신러닝 활용은 약 20여년 전 부터 고려되었으며, 처음에는 건설 엔지니어링 관리에서 경쟁업체 수 또는 계약자의 예상비용과 같은 입찰상황을 판단하거나, 의사결정 트리와 신경망을 건설 관리 데이터베이스에 적용하여 건설 지연 원인을 파악하는데 사용

○ 최근에는 입력변수를 통해 공사비용과 손실위험 파악, 근로자 위치 추적 등 다양한 분야에 사용되고 있으나, 학습 알고리즘을 사용하여 데이터로부터 건설안전 관련 결과를 예측하는 연구는 거의 이루어지지 않고 있음

□ **건설현장의 침수 피해 사례 급증**

○ 최근의 급증하고 있는 집중호우에 의한 시공 중 (지하)구조물의 침수피해 발생이 증가하고 있으나 이에 대한 적절한 대비가 부족한 실정임

○ 특히, 강우에 따른 구조물 침수 정도의 예측이나 인접 지역의 강우-유출에 의한 유출수와 토사류 유입은 작업자나 주민의 안전에 미치는 영향이 큼

○ 따라서, 공사중인 건설현장의 침수에 대비한 건설안전관리가 필요한 시점

(2) 추진 필요성

○ 불안전한 임시구조물 및 가설기자재의 위험요소를 방지하기 위해서는 교육과 관리적인 측면에서 이루이지나,

- 중소규모 현장에서는 교육과 관리가 제대로 이루어지지 않으므로 작업자가 가설기자재 품질을 평가할 수 있는 디바이스를 제공할 필요가 있어 품질평가를 통해 위험요인을 조기발견할 수 있는 점검기술과 디바이스 개발이 필요함

○ 설치중인 임시 구조체, 설치가 완료된 임시구조물의 안전은 가설자재의 품질이 먼저 확보되어야 가능하며, 반복 사용되는 가설자재의 경우 재사용 가설 기자재 자율등록 제도를 통하여 품질을 보증해 주던 제도가 2017.06.01.일부터 폐지됨에 따라 자율적으로 가설기자재 품질을 보증해 줄 수 있는 시스템이 필요해짐

○ 국토교통부의 국토부·고용부 합동 건설취약요인별 맞춤형 안전대책 마련(2016)을 통하여 가시설물 공사를 건설기계 공사를 3대 취약요인으로 선정하여 관리중이며, 안전한 생활환경 조성은 '18 정책목표 중 하나로 IoT 등 첨단기술을 현장 안전관리에 활용하는 방안을 검토 중임

○ 취약공종에서의 안전사고를 줄이려면 작업장에서는 안전관리자 외 작업자 본인이 스스로의 안전을 직접 확인할 수 있도록 임시 구조체·구조물을 객관적으로 평가할 수 있는 데이터에 기반 한 정량적인 점검방법이 필요함

- 위험이 상존하는 건설현장 특성을 고려하여 다수의 임시 구조체·구조물을 안전하고 효율적으로 점검하기 위한 지능화된 점검기술이 필요하며, DIC(Digital Image Correlation) 및 IR thermogrphy, AI 기술 등 첨단 기술과 결합하는 스마트 안전확보 기술의 개발이 필요함

○ 작업자나 시공 장비의 부주의에 의한 계측점(센서노드)의 손실을 막고, 시공단계에 따라 국지적으로 하중과 변형특성이 달라져 몇 개의 센서로는 전체 구조물의 안전 상태를 파악하기 불가능한 임시구조물의 특성을 고려하여 비접촉의 다종·다측점의 자료획득과 현장의 안전 상태를 실시간으로 분석하며,

- 현장마다 달라지는 임시구조물의 3차원 특성을 반영하여 가시적으로 위험요인 또는 안전 상태를 나타낼 수 있도록 IoT 센서 및 모듈러 센서, 안전상태

3D 가상화 시스템, 딥러닝을 통한 위험수준 분석, 분석결과의 AR 시각화 기술의 개발이 필요함

○ 상시 모니터링을 통하여 자료를 분석하고 평시의 경우 그 결과를 스마트 안전관리 지원시스템에 통합 관리하며, 비상시에는 모바일로 현장의 작업자와 관리자에게 사고 위험을 전달할 수 있는 스마트 안전감시 체계의 개발이 필요하며,

- 최종적으로 세계적으로 이슈화 되고 있는 4차산업 첨단 기술을 토목 안전기술 분야에 접목하여 국내의 안전기술을 향상시키고 신기술을 개발하여 대외 경쟁력 제고와 해외시장 진출을 위한 임시구조물의 스마트 안전확보 기술개발이 필요함

○ 공사현장에서는 작업자 본인이 스스로 품질평가를 수행하고, 비전문가도 안전상태를 확인하고 대응할 수 있는 간단한 검사방법, 임시구조물 설치·해체시 순서를 준수하여 진행하고 있는지 확인할 수 있는 시스템이 필요하며,

- 실제 작업장에서는 안전 관리자 외에 작업자 본인이 스스로의 안전을 직접 확인할 수 있도록 비전공자도 즉각적인 안전 상태를 확인하고 대응할 수 있는 간단하고 편리한 시스템이 필요함

○ 낮은 건설 노동 생산성(해외 주요국의 절반)과 세계 건설시장의 규모 증가(연평균 3.8%)를 고려할 때 첨단 스마트 기술과 접목하여 비접촉식, 자동화 측정, 3D 가상화를 토대로 하는 임시구조물의 스마트 안전확보 기술개발이 필요함

○ 국내 건설사업은 건설 현장의 고령화, 숙련공의 감소, 주 52시간 근무에 따른 근로조건의 변화 등에 의한 영향으로 사고발생 위험이 높아지고 있으므로,

- 그에 따라 건설현장의 불안전 요소를 사전에 감지하고 제거하며, 긴급 상황 발생 시 모바일 등의 직접적인 수단을 통하여 근로자의 안전을 확보할 수 있는 기술의 개발이 필요함

4.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ 임시구조물의 스마트 안전확보 기술

○ 국내의 경우 조립식 임시구조물에 대한 인식도가 철근콘크리트 구조물 등과 비교하여 상대적으로 낮고 설계 및 공법 등의 검토를 위한 설계 지침, 체크리스트 등 관련 사례 및 기술 자료의 부족 등으로 가설자재 유지관리를 위한 검사가 이루어지지 않아 품질의 저하를 가져옴

- 공장제작 단계에서 자재 및 부품의 규격의 미비와 조립방법의 효율성 결여, 자재 및 부품의 가공, 이동 및 운반단계의 자재 오염 등의 문제가 발생함
- 양중 단계에서는 구조체의 비틀림, 양단부 처짐 현상 등 구조체 변형 등의 문제가 발생함
- 현장시공 단계에서는 기초 공사의 경우 기초 콘크리트공사의 시공 오차에 의한 일반 공사 부분과 가설 자재 접합 부분의 단차 발생 등의 문제가 발생함
- 재사용 자재의 경우 현장에서 육안에 의한 정성적인 가설자재 성능평가가 이루어져 빠른 평가가 어렵고, 불량 자재가 사용될 수 있음

○ 임시구조물의 설치·해체시 스마트 안전확보 기술 개발은 다음과 같은 문제를 해결하여야 함

- 임시구조물 설치 시 조립 부위의 안전 상태를 육안에 의한 개인적인 판단으로 점검하여 부정확하며, 현황이 복잡하며 접근이 어려운 가설물에 대하여 수많은 조립 부위를 인력으로 상세히 점검하는 것을 무리가 있어 정확하며 신속한 휴대형 장비를 사용하는 점검기술을 개발 하여야 하나 이에 대한 유사 사례가 드문 실정임
- 임시구조물 설치·해체 시 임시구조물 설치·해체 순서를 준수하여야 하나 개인적인 성향에 따라 달라져 부주의에 의한 안전사고가 발생하므로 객관적으로 확인하여 평가를 해 줄 수 있는 비접촉식 장비가 개발 되어야 함

○ 가시설물 비접촉 안전점검기술의 중요한 자료는 처짐이나 변형 등과 같이 전체적인 거동을 나타내는 인자의 이력이며, 처짐/균열 변화의 확보는 가시설물의

성능 저하 및 노후도를 판단할 수 있는 근거를 제공하기 때문에 형상변형 측정이 중요함에도 불구하고 적절한 측정 수단과 방법의 부재로 현장에서 임시구조물의 형상변화를 측정하는 방법이 매우 어려운 실정임

- 접촉식 변위계(dial gauge, accelerometer)를 사용하여 손쉽고 정확하게 변위를 측정할 수 있지만 현장실험에서는 이러한 변위계를 설치하기가 매우 어려우며, 또한 광학식 변위계는 주로 근거리 측정에 적합한 용도이고, 측량을 이용할 경우는 시간이 소요되며 절차가 복잡하고 측정의 일관성을 유지하기가 어려워 현재 시스템으로는 임시구조물 변위측정이 힘든 상황임
- 인프라 사업의 정보화를 위한 노력에도 불구하고 많은 건설현장에서 현장 작업자, 관리자, 감리자 등은 현장에서 설계 정보를 확인하기 위하여 여전히 도면과 같은 관련 설계 도서를 직접 지참하고 현장을 방문함에 따라 현장에서의 정보 접근성이 제한적이며, 현장상황을 파악하기에는 한계가 있음

○ 현장의 안전관리를 위한 모니터링은 고가의 센서를 구매하고 추가적으로 설치해야 하는 부수적인 업무로 인하여 실무에서는 선호도가 떨어지며, 이를 개선하기 위하여 저가의 센서가 필요함

- 무선, 다측점 모니터링을 위한 MEMS 기반 저가의 소형 센서는 개발되어 이 연구에서 활용이 가능하나 기존 무선 모니터링 센서 기술은 센서 데이터 처리 및 이를 무선 전송하는 PCB 보드 등의 장비 위주임
- 실질적인 계측은 상용화된 계측기기를 사용하게 되므로 계측장비의 비용절감에 한계가 있고, 특히 취득된 데이터를 중앙관리 시스템을 통해 시각화하고 저장하는 프로그램은 다수 개발 되었으나, 계측된 데이터를 이용해 지반 안정성을 직접 분석 할 수 있는 시스템은 거의 없음
- 대량의 계측점을 유지하며 계측점의 손실을 줄이려면 무선계측을 사용하여야 하나 현재 무선계측은 일반적이지 않고, 일회성의 저가의 센서와 가시설물의 유지기간을 고려한 저전력 센서개발이 필요함
- 다량의 센서와 다종의 센서를 활용하여 임시구조물 안전을 계측하려면 하나의 장비에 데이터를 수집하고 분석하여야 하며, 동일한 규격을 유지하는 모듈을 설치하여 임시구조물의 규모나 형상변화를 반영하여 측점의 위치와 측정값의 변화를 적절하게 3D로 가시화 하는 기술을 개발하여야 함

○ 콘크리트 타설 중 슬래브 붕괴를 방지하기 위한 계측은 일반적이지 않고,

기존의 개발된 기술은 국지적인 측점 위치의 변형이나 하중분포만 파악이 가능하여 모든 개소의 안전성 확인이 불리하며, 측정 데이터를 현장에서 파악할 수 있는 별도의 기술자가 필요하여 현장관리자가 실시간으로 파악하기 곤란함

○ 2015년 환경부에서 제시한「하수관로 정밀 조사 매뉴얼」에서는 공동 및 지반 침하의 우려가 있는 구간을 대상으로 지표에서 실시하는 GPR탐사와 관로 내시경 조사 등의 방법들을 제시하고 있으나,

- GPR탐사의 경우 전도성이 큰 충적층에서는 땅속으로 보내는 전자기파가 감쇄되기 때문에 구조물을 탐지하고 누수를 판단하는 것에 한계가 있으므로 소규모 건설현장에서 지반함몰을 예측하는 데에 어려움이 예상됨
  출처: 이영철 등, 2017

○ 현장 적용성 확인 절차가 이루어지지 않은 국가 R&D 사업이 다수를 차지하여 개발 기술의 사업화 비율이 저조한 실정임

- 따라서 실제 현장 조건에서 개발 기술을 적용하여 그 결과를 분석, 피드백하여 실용화 가능성을 높여야 함.

- 또한, 현장마다 조건이 다르기 때문에 다양한 현장 조건에 개발 기술의 적용성을 확인해볼 필요가 있음

(2) 개선방안

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

□ 가설기자재 현장 품질평가용 포터블 디바이스 개발

○ 영상기반 가설기자재 형상 관리기술 개발

○ 가설기자재 비파괴 검사를 위한 포터블 디바이스 개발

□ 가설기자재 품질 평가 알고리즘 개발

○ 가설기자재 상태 등급별 구조 성능 DB 구축

○ 현장 데이터 기반 가설기가재 품질 평가 알고리즘 개발

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

□ **임시구조물 설치·해체시 안전 확보 기술 개발**

○ 영상 및 딥러닝을 이용한 가시설물 설치·해체 프로세스 정보 수립

○ 현장 영상 정보 기반 임시구조물 모델링 및 구조안전성 분석

○ 현장 작업자 설치·해체 작업지원 시스템 개발

□ **임시구조물 운영 중 안전 확보 기술 개발**

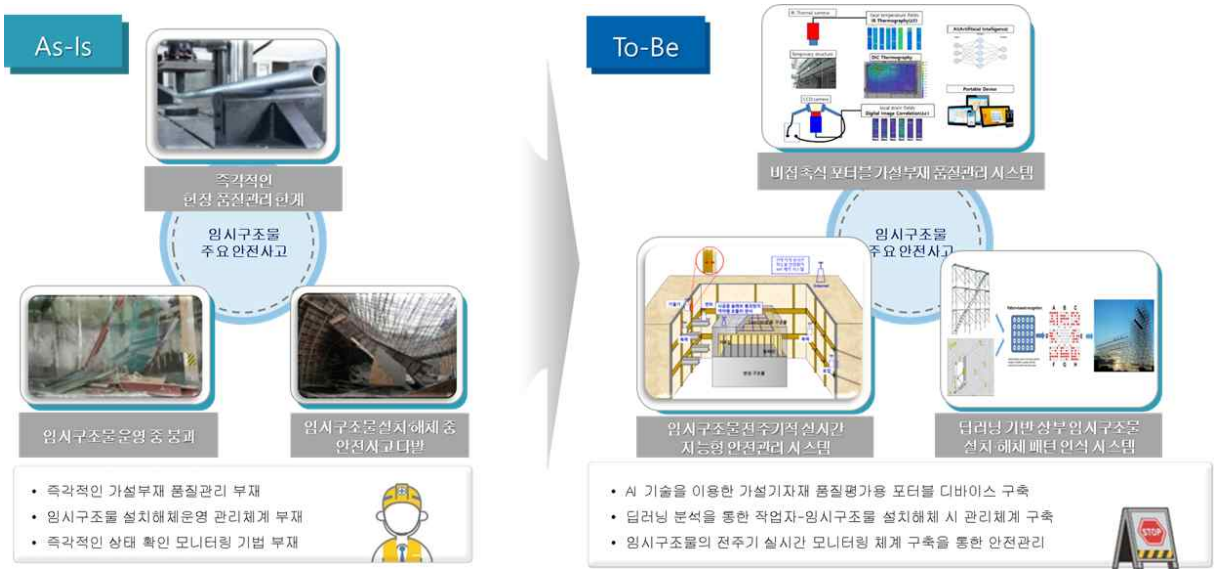
○ 임시구조물 특성 기반 안전 모니터링 설계 기술의 최적화

○ 무선 네트워크 기반 임시구조물 안전 모니터링 센서의 모듈화

○ 임시구조물 전주기 지능형 안전 관리 시스템 개발

<표 4-147> 임시 구조물의 스마트 안전 확보기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 상부구조물의 가설부재 품질관리 부재 - 재사용 가시설물에 대한 품질관리 체계 부재 - 가설자재 품질불량으로 사고 발생	○ 상부구조물의 가설부재 품질확보 - 비접촉식 포터블 디바이스 가설기자재 품질평가로 품질관리 체계 구축 - 가설자재 불량으로 인한 사고 방지
○ 가설기자재 품질 평가 자동화 기술 부재 - 가설 기자재 상태 등급과 구조 성능과의 관계 규명 사례 부재 - 현장데이터 기반 가설기자재 품질 평가 기술 부재	○ 가설기자재 품질 평가 자동화 - 가설기자재 상태 등급별 구조 성능 DB 구축 - 자동 품질 평가 알고리즘 개발을 통한 즉각적인 상태 등급 확인
○ 임시구조물 설치해체 관리체계 부재 - 설치해체 순서 미준수에 의한 안전사고 발생 - 육안점검으로 부정확, 복잡한 현황으로 접근 불리	○ 임시 구조체 설치해체 관리체계 구축 - 이미지의 딥러닝 분석을 통한 작업자와 임시구조물 설치해체 시 관리체계 구축 - 즉각적인 경고를 통한 안전사고 방지
○ 모니터링이 불리하여 즉각적 안전확인 어려움 - 계측점 최소화, 국지적 계측으로 안전확인 어려움 - 계측점 손실, 측선 절단 등으로 운용이 매우 불리 - Con'c 타설중 슬래브 처짐의 즉시확인이 어려워 대처 미비로 인한 사고 발생	○ 실시간 전체 구조물 안전을 직관적으로 확인 - 저가 IoT 다측점 계측, 전면적 계측으로 모든 개소의 안전을 실시간 확인 - 무선센서 적용을 통한 운용 효율성 향상 - 모듈화, 규격화로 다종 다량의 센서를 구조물의 현황 변화에 쉽게 대응 - 딥러닝을 통한 실시간 안전 분석과 시각화를 통한 직관적인 안전상태 확인


As-Is
즉각적인
현장 품질관리 한계
임시구조물
주요 안전사고
임시구조물 운영 중 붕괴
임시구조물 설치·해체 중
안전사고 다발
• 즉각적인 가설부재 품질관리 부재
• 임시구조물 설치·해체·운영 관리체계 부재
• 즉각적인 상태 확인 모니터링 기법 부재
To-Be
비접촉식 포터블 가설부재 품질관리 시스템
임시구조물
주요 안전사고
임시구조물 정주기적 실시간
지능형 안전관리 시스템
딥러닝 기반 상부 임시구조물
설치·해체 패턴 인식 시스템
• AI 기술을 이용한 가설기자재 품질평가용 포터블 디바이스 구축
• 딥러닝 분석을 통한 작업자-임시구조물 설치·해체 시 관리체계 구축
• 임시구조물의 전주기 실시간 모니터링 체계 구축을 통한 안전관리

4.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

□ 가설기자재 현장 품질평가용 포터블 디바이스 개발

○ 영상기반 가설기자재 형상 관리기술 개발

- 국토교통부 지정 가설기자재 9개 품목*에 대한 형상관리 절차 수립
- 영상처리 및 AI기술을 이용한 외관손상 정량화 알고리즘 개발 (변형, 파손, 마모 등의 외관 손상)
- 포터블 디바이스(핸드폰, 테블릿 PC) 활용 가능한 클라우드 컴퓨팅 기술

○ 가설기자재 비파괴 검사를 위한 포터블 디바이스 개발

- DIC, IR thermography, 초음파 등을 이용한 미세균열, 부식 탐지 기법 개발
- 비파괴 검사 정보 정량화 알고리즘 개발

* 가설기자재 9개 품목 : 「건설공사 품질관리 업무지침」에 지정된 9종-강재 파이프서포트, 강관 비계용 부재, 조립형 비계 및 동바리 부재, 일반 구조용 압연 강재(흙막이용), 용접 구조용 압연강재(흙막이용), 일반구조용 경량 H형강(흙막이용), 일반구조용 각형강관, 열간압연강 널말뚝, 복공판

□ 가설기자재 품질 평가 알고리즘 개발

○ 가설기자재 상태 등급별 구조 성능 DB 구축

- 손상 및 재사용 특성을 고려한 부재 및 연결부재별 구조 성능 DB 구축
- 부재별 구조 성능과 조립된 가설 시스템의 구조 성능 상관성 분석 기술
- 가설기자재의 신뢰성 기반 구조 성능 평가 기술
- 머신러닝을 이용한 조립된 가설 시스템의 구조 성능 예측 알고리즘

○ 현장 데이터 기반 가설기자재 품질 평가 알고리즘 개발

- 점검, 검사 기록을 이용한 가설기자재 상태등급 판정 알고리즘 개발
- 현장 시공 상태에 대한 상태등급 판정 알고리즘 개발
- 상태등급 및 구조물 여유도를 고려한 품질평가 알고리즘 개발

□ 임시구조물** 설치·해체시 안전확보 기술 개발

○ 영상 및 딥러닝을 이용한 가시설물 설치·해체 프로세스 정보 수립

- 임시구조물 설치·해체시 영상 이미지 등록 및 관리
- 딥러닝을 이용한 가설기자재, 작업자 객체 인지
- 설치·해체시 취약부 (배면, 지지부, 연결부) 정보 수집

○ 현장 영상 정보 기반 임시구조물 모델링 및 구조안전성 분석

- 가설기자재 부재, 부품 DB 구축
- 설치·해체 단계별 실시간 임시구조물 모델링 및 안전성 분석
- 설계안전성 검토보고서, 설계도면 및 구조계산서 준수여부 확인

○ 현장 작업자 설치·해체 작업지원 시스템 개발

- 현장상황에 따른 작업순서 안내
- 설치·해체 작업시 위험 및 이상상황 경고

** 임시구조물 : 「가설공사 표준시방서」, 「건설공사 품질관리 업무지침」 및 「건설공사 안전관리 업무매뉴얼」에 기술된 건설공사 임시 취약시설(공종)인 거푸집 및 동바리, 비계, 흙막이, 임시사면을 대상

□ 임시구조물 운영 중 안전 확보 기술 개발

○ 임시구조물 안전 모니터링 설계 기술의 최적화

- 공사 단계별 위험인자 도출 및 예방 시나리오 발굴
- 임시구조물 특성에 따른 IoT 센서 배치 최적화 기술 개발
- 임시구조물 특성에 따른 위험 임계 기준 설정

○ 무선 네트워크 기반 임시구조물 안전 모니터링 센서의 모듈화

- 임시 구조물 안전 모니터링용 저전력·저비용 IoT 기반 계측 솔루션 구축
- 다종(변형률, 변위, 하중, 경사 등) 센서 호환성 향상 기술 개발
- Event-Driven 구조 기반의 데이터 전송 기술 개발

○ 임시구조물 전주기 지능형 안전 관리 시스템 개발

- 임시구조물 데이터 관리, 운영 및 통합 지원 기술(7세부 연계)
- 임시구조물 전주기 실시간 위험성 평가기술 개발
- 센서 데이터 기반 임시구조물 안전성 가시화 기술 개발

(2) 기술개발 목표

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

□ **가설기자재 현장 품질평가용 포터블 디바이스 H/W 및 S/W**

○ 가설기자재 9종에 대한 현장 점검 및 비파괴 기술 포함 (파손, 변형, 균열, 부식 등)

○ 영상처리 및 AI기술을 이용한 외관손상 정량화 알고리즘

○ 비파괴 검사 정보 정량화 알고리즘 개발

□ **가설기자재 품질 평가 기준 및 소프트웨어**

○ 가설기자재 상태등급별 구조 성능 DB 구축

○ 상태등급 판정 알고리즘 및 머신러닝 기반 구조 성능예측 알고리즘 탑재

○ 상태등급 및 구조물 여유도를 고려한 품질평가 알고리즘

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

□ **임시구조물 설치·해체시 안전성 모니터링 소프트웨어**

○ 딥러닝기반 객체 인식 알고리즘 탑재

○ 설치·해체 단계별 가시설물 모델링 및 실시간 구조안전성 분석 모듈

○ 작업순서 안내 및 위험상황 경보를 포함하는 현장 작업자 지원 모듈

□ **임시구조물 안전 모니터링 및 지능형 전주기 안전관리 시스템 개발**

○ 무선 네트워크 기반 임시구조물 안전 모니터링 센서 모듈

○ 전주기 실시간 위험성 평가 알고리즘

○ 센서 데이터 기반의 임시구조물 안전성 가시화 시스템

4.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

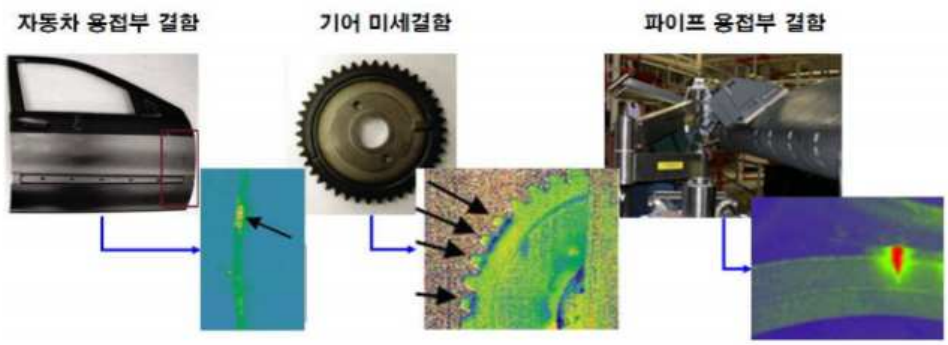
(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

□ **비파괴 검사 기반 임시구조물 안전성 평가 기술**

○ 열화상기법을 활용한 구조물 결함 측정 기술

- 1970년대 중반부터 초음파 가진 에너지가 균열에서 열을 발생시킨다는 사실이 알려진 후 균열에 대한 측정법에 대하여 많은 연구가 진행되어 건설분야에서도 초음파 가진 열화상기법에 대한 연구가 수행
- 시설물의 결함 측정 시 초음파 가진 열화상 측정법을 활용하려는 연구가 진행 중으로, 현재 ISO에서는 열영상 비파괴 측정 및 시험의 규격을 제정하고 있는 중임
- 2000년대 초반부터 미국 Iowa State University의 Center for NDE를 중심으로 GE Aviation, Pratt and Whitney 등 미국의 주요 제트엔진 제조사들과 함께 초음파 가진 열화상에 대한 연구를 수행
- 최근 검출 능력을 정량화 하려는 시도를 하고 있으며, 2000년대 중반부터 영국의 Imperial College 주도의 Research Center for NDE (RCNDE) 와 Rolls-Royce, Alstom power 등 유럽의 터빈 엔진 제작 회사들도 함께 초음파 가진 열화상기법을 활발히 연구하고 있음
- 피로, 열피로, 석출, 미세 균열, 응력부식균열 등의 재료 내부 조직의 변화 뿐만 아니라 접합, 접촉 상태 등의 진단에 적용되고 있고 더불어 적용 대상이 금속재료에서 콘크리트, 복합재 등으로 확장되고 있음

- 현재 연구되고 있는 적외선 열화상 비파괴검사로는 많은 수의 열화상 이미지를 수집하여 타 비파괴 검사 결과와 비교하여 부재의 구조물 내부 열화를 확인하는 연구를 진행 중임
- 일본에서는 현재 노후화된 구조물의 열화를 검출하기 위해 적외선 열화상 장치와 슈미트 해머를 이용한 사운딩 기법의 결과를 비교하여 성능과 정확성을 향상시키는 연구를 진행함
- 미국에서는 구조물 유지관리의 의사 결정을 위한 3차원 측정기와 적외선 열화상 카메라의 정보를 결합하여 실시간 진단 시스템 개발에 대한 연구를 진행하였음
- 또한 콘크리트 교량의 현장 실험과 유한 요소 모델 시뮬레이션을 통해 적외선 열화상 비파괴검사 측정의 유리한 시간대를 검사하는 연구를 진행함
- 스페인에서는 GPR(Ground Penetrating Radar), IRT(Internal Thermology), TLS(Terrestrial Laser Scanning) 기술을 융합하여 구조물의 유지관리 및 결함 탐지 기술을 개발하였음



[그림 4-298] 용접부 및 미세결함의 적외선 열화상 진단

○ DIC(Digital Image Correlation)를 활용한 구조물 결함 측정 기술

- 영국 Manchester 대학의 Scenini 연구팀은 냉간 스테인레스 스틸에 대해 표면에 스페클 패턴을 적용하지 않고, 측정 결과가 산화에 의한 영향을 받지 않으며, sub-surface의 결함 측정 연구를 수행하였음
- 이탈리아 Perugia 대학의 Speranzini 연구팀은 내구력시험에 활용되는 유리 구조물에 대하여 결함의 크기와 위치 및 결함 주변의 변형의 크기까지 측정하였음

- 일본 Nagasaki 대학의 Demizu 연구팀은 철구조물의 결함 측정을 위해 유도가열과 디지털 이미지 상관법을 활용한 연구를 수행하였음
- 프랑스 Paris Saclay 대학의 Hild 연구팀은 디지털 이미지 상관법을 이용하여 물리적 손상에서 기계적 손상까지를 포함하는 전반적인 결함 측정을 위한 기술 개발에 대한 연구를 수행하였음
- 국외 연구는 실제로 산업현장 등에서 활용할 수 있는 산업체 중심의 연구와 결함 측정 및 측정 정밀도 향상을 위한 연구가 병행하여 수행되고 있음

□ **딥러닝(Deep learning) 기반 객체 인식 기법에 관한 연구**

○ 2000년 초중반 SIFT(Scale Invariant Feature Transform), HOG (Histogram of Gradients)와 같은 직관적 특징들이 고안 및 발전되었고, 2000년대 후반부터 현재까지는 물체의 다양한 변형 정도를 더욱 정교하게 모델링 하도록 낮은 레벨의 특징점들을 모은 형태인 BOW(Bag of Word)와 Spatial Pyramid Descriptor와 같은 높은 레벨의 특징 표현식들을 고안 발전됨

○ 최근 들어 인터넷과 디지털 기기 관련 기술의 발달로, 일반 유저들도 영상과 동영상의 작성과 공유가 간편해지면서 영상 데이터 수가 기하급수적으로 증가

- 이러한 현상에 맞춰 영상 데이터 분석 처리 기술의 정교함과 효율에 관한 필요성이 대두되어 (빅데이터 시대 도래), 2010년에 이미지넷이라는 대규모 용량의 데이터 셋이 공개되었고, 지속해서 이미지넷 참가팀의 수가 급증함

○ 최근 구글, 페이스북, 아마존닷컴, 바이두 등 글로벌 리딩 그룹들을 중심으로 딥러닝을 빅데이터 처리에 바탕을 둔 미래 산업의 기반기술로서 많은 관심과 투자를 하는 추세이며, 그 중에서도 특히, 구글은 딥러닝의 선구자인 Hinton (토론토 대학 교수, 2012 이미지넷 1위)이 설립한 DNNResearch를 5백만불에 인수한 후 Hinton과 그의 제자들을 연구원으로 채용하는 등 딥러닝연구에 지대한 관심을 보임

○ 구글은 음성 인식, 영상 검색(영상태깅) 등 수많은 구글의 온라인 데이터 처리 기술에 딥러닝을 사용할 계획이며, 2014년 이미지넷 대회에서 구글의 GoogLeNet 및 Oxford의 VGG Net 등이 높은 인식률을 보이고 있음. 특히, GoogLeNet은 1위를 달성하였고, Top-5 error rate는 6.67%임

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

□ 임시구조물 안전성 확보 기술

○ 임시구조물 설치·해체, 운영시 안전성 확보

- 실물 다층 건물에 대한 실험을 통해 콘크리트 타설순서와 파이프 써포트 제거 순서에 따른 시스템 측면의 하중의 분배와 안전성을 분석하고, 이를 상세 해석 결과와 비교한 연구 수행한 바 있음
- 또한, 강관 틀과 강관 파이프 시스템을 실물 모형으로 제작하여 실험적인 방법과 해석적인 방법으로 거동을 분석한 연구 사례 있음
- 시스템 동바리에 대해서도 시스템 전체에 대한 실물 실험에 근거한 모델링 방법에 대한 연구와 동바리 붕괴의 원인을 구체적으로 콘크리트 타설시 발생하는 충격력과 가설 구조물 설계에서부터 부정확한 행동거동 분석에 의한 것이라고 연구한 결과도 존재함
- 최근 일부 해외 연구자들은 시스템 동바리의 비선형 구조 해석이 시스템 동바리에 전달되는 하중과 변형을 보다 정확히 예측 가능하다고 제안하여, 비탄성 재료의 특성을 실제 구조물의 형상 변화에 포함시키는 모델링 연구를 진행중임
- 해외의 연구 경향에서 주목할 점은 단순한 실험을 통한 개별 부재 성능 검증에서 벗어나 시스템 동바리의 재료, 시공오차, 적용하중을 확정론적 방법이 아닌 확률론적 방법(probabilistic approach)으로 분석하는 연구와 전체 시스템의 강도를 확률특성으로 분석하여 전체 시스템의 신뢰성을 평가하려는 연구가 진행되기 시작되었다는 점임
- 위와 같은, 실험적/해석적 안전성 확보 연구 이외에도, 임시구조물에 대한 변형률 측정을 통한 실시간 모니터링과 관련된 연구가 진행되었으나, 유한요소 모델을 필요로 하거나, 모델 튜닝(모델 업데이팅)을 필요로하기 때문에, 임시구조물이 복잡해 질 경우 실시간 모니터링에 제약이 있음

○ IoT 기반 임시 구조물 모니터링 기술

- 현재 해외 건설 현장의 47%에서는 인력 의존적인 데이터 계측이 이루어지며 이로 인한 데이터 질이 떨어지며 데이터 정리가 쉽게 이루어지지 못하는 상황

출처: TrackVia,https://tunnelingonline.com/tunnel-construction-monitoring-iot-wireless-systems-diminish-risks-construction-projects/

- IoT 무선 센서 네트워크를 이용한 시공중 현장 계측에 대한 연구는 현재 진행 중
  출처: Heo et al., 2016; Cheung et al., 2018; Singh et al., 2018)
- 대부분의 선행 연구는 상용화된 센서를 사용하여 얻은 데이터를 무선으로 전송하는 네트워크 관련 연구에 치중되어 있어 새로운 센서 및 계측방식을 개발하여 무선 모니터링을 하는 기술에 관한 연구는 상대적으로 다소 부족함
- 북미 지하철 현장(Purple Line Rail Link(Washington D.C.), Purple Line 2 Extension (Los Angeles), Toronto Subway Project 등)에서는 IoT 기술을 이용해 경사계나 신축계 등의 지반 매설 센서 데이터를 무선으로 받아 터널 위험도 평가를 수행
- 구조물 건설현장을 위한 무선 센서 기술을 선도하는 대표적인 업체는 World Sensing(스페인), Sage(호주) 등이 있으며 개발된 센서 기술을 다수의 건설현장에 적용한 경험이 있음
- 캐나다의 GIATEC 社는 콘크리트 슬래브 타설시 콘크리트 내부에 센서를 설치하여 콘크리트의 강도를 28일 동안 30시간 단위로 실시간으로 모니터링 하는 센서를 개발한 바 있음
- 뉴질랜드의 CANZAC 社도 시공 중 콘크리트의 온도와 강도를 무선으로 측정하여 탈형 시기 등을 결정하는 장비를 상용화
- 영국의 smartfiber 社는 광섬유센서로 콘크리트 지중연속벽의 시공중 변형율 측정 하는 장비를 상용화하였으나 슬래브의 변형을 입체적이며 실시간으로 모니터링 하는 기술은 국외에서 상용화되지 않음

[그림 4-300] World Sensing사의 Loadsensing 무선 계측 시스템 개요



[그림 4-301] CANZAC 社의 콘크리트 무선 온도 측정 센서

(2) 국내 동향

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

□ **비파괴 검사 기반 임시구조물 안전성 평가 기술**

○ 열화상기법을 활용한 구조물 결함 측정 기술

- 한국표준과학연구원, 기초과학지원연구원등 연구원과 전남대학, 한국기술교육대등 대학에서, 전자기 회로 결함, 재료 응력 변화 측정 등 다양한 분야에서 연구가 진행 중
- 특히 열영상비파괴 ISO 규격의 제정에 우리나라 연구소와 대학이 열영상 비파괴 분과의 chairman과 secretary를 맡으면서 주도적인 역할을 수행
- 여러 가지 열화상 기법 중, 초음파를 이용한 열화상 기법은 한국표준과학연구원에서 3-4년 전부터 시도하여 이종금속 용접부 결함검출 등에 가능성을 보여주고 있음
- 비선형 초음파 분야는 한양대에서 10년 이상의 연구 경험을 보유하여 가장 활발하게 활동하고 있으며, 서울산업대, 한국기술교육대, 원자력연구원 등에서 일부 연구 결과가 발표된 바 있으나, 측정의 신뢰성 및 기술적 진보성 등의 측면에서 세계적인 수준에는 다소 미흡함
- 영월소방서는 드론에 열화상 카메라를 탑재하여 조난자의 정밀한 위치를 찾아 상황실에 보내는 실험을 실시함. 주택 안전진단에서 적외선 열화상 카메라를 사용하여 누수, 외풍, 단열재 손상에 관한 안전진단을 진행하였음
- 조선대학교는 적외선 열화상 카메라를 이용하여 용접부의 온도를 측정하는 방법에 대한 연구를 진행함
- 공주대학교에서는 위상잠금 적외선 열화상 기법을 이용하여 SM45C 플레이트의 이면에 대한 결함 검출 불확도에 관한 연구를 진행하였고, 유한요소해석 모델 개발 및 불확도 연구를 진행하여 시험편의 이면 결함 크기 검출 연구를 수행함

<표 4-148> 적외선열화상기반 시설물 안전관리 기술 연구

연구자	연구내용	시험대상 (시험위치)	통신방식
조선대학교 (2008)	적외선 열화상 기법을 적용한 금속 소재의 표면 부식 및 내부 결함의 비파괴 평가	실험실	무선
공주대학교 (2017)	위상잠금 적외선 열화상 기법을 이용한 SM45C 플레이트 이면 결함 검출 불확도에 관한 연구	실험실	무선
조선대학교 (2016)	위상잠금 적외선 열화상 기술을 이용한 반사판에 따른 비가시 영역의 결함 측정 조건 평가	실험실	무선
고려대학교 (2017)	적외선 열화상 기법을 활용한 구조물 손상 평가	실험실	무선
최정영 (2018)	적외선 열화상 이미지 컨트라스트 파라미터를 이용한 결함 크기의 비파괴 평가	실험실	무선

○ DIC(Digital Image Correlation)를 활용한 구조물 결함 측정 기술

- 광학 이미지 기반 안전관리기술을 건설현장에 적용할 수 있도록 실험 중에 있으며, 가시설물에 대한 안전관리기술은 진행 중인 것이 없어 유사한 시설물의 연구 사례 및 동향을 확인하여 가시설물에 적용할 수 있는 방법 필요
- 고려대학교는 2011년 레이저스캐닝을 활용한 터널 시공관리 소프트웨어를 개발하고 현장 적용성 시험을 위해 굴착공정이 진행 중인 충주-제천터널을 대상으로 현장 시험을 진행하였으며, 그 결과 현장 적용에는 다소 미흡하지만 라이닝 표면 균열, 백태, 누수 등을 파악하기 위한 기초자료로써의 활용은 가능함을 확인함
- 동아대학교는 2007년 레이저스캐닝과 토탈스테이션을 이용한 터널의 천단 및 내공 변위 관측 연구를 진행하여 터널 구조물 시공시 위험요소 확인을 위해 터널 중심과 양쪽에 검측점을 설치하고 7일 간격으로 3회 현장계측을 실시하였고 3~4cm내 내공 변위를 관측할 수 있음을 확인함
- 박효선은 2008년 지상레이저스캐닝을 이용한 보 구조물 변위 계측을 위한 변위계측모델 연구를 진행하였고, H형강 보를 대상으로 진행하였으며 임의의 다항함수를 도입하여 TLS로부터 획득한 3차원 좌표정보와 통계분석을 통해 변위계측모델 구축을 위한 가장 적합한 다항함수를 결정함
- 연세대학교 2013년 구조물에 설치된 마커를 카메라로 촬영하여 마커좌표 대표지점을 비교하여 구조물의 변형률을 측정하는 연구를 진행함

- 성균관대학교는 2016년 지상레이저스캐닝을 이용한 대형구조물 형상정보를 관리할 수 있는 정보모델과 OSP(Octree Space Partitioning)기법을 이용한 대용량 스캔데이터 경량화 및 형상정보모델을 구축함

<표 4-149> 광학이미지기반 시설물 안전관리 기술 연구

연구자	연구내용	시험대상 (시험위치)	통신방식
고려대학교 산학협력단(2011)	레이저스캐닝을 활용한 터널 시공관리	현장	무선
동아대학교(2007)	레이저스캐닝과 토탈스테이션을 이용한 터널의 천단 및 내공 변위 관측 연구	현장	무선
박효선 외(2008)	지상 레이저 스캐닝을 이용한 보 구조물의 변위 및 변형 형상 계측을 위한 개선된 모델	실험실	무선
연세대학교 산학협력단(2013)	모션캡처를 이용한 구조물 모니터링 장치 및 방법	실험실	무선
성균관대학교 산학협력단(2016)	3D레이저스캐닝을 이용한 옥트리기반 구조물 형상정보 가시화	교량구조물 (현장)	무선

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

□ 임시구조물 안전성 확보 기술

○ 임시구조물 설치·해체, 운영시 안전성 확보

- 임시구조물 구조적 거동 분석의 접근법에 대해 구조해석을 기반으로 하는 수치적 시뮬레이션과 실물실험으로 구분할 수 있음
- 수치적 시뮬레이션 기반의 연구에서는 시스템 동바리 및 비계의 합리적인 구조해석을 위한 해석기법의 연구, 부재 간 연결부의 모사방법론, 압축력을 받는 수직재의 주요 좌굴거동 특성 분석 연구 등이 주도적으로 수행됨
- 실물실험은 Full-scale로 실험모델을 제작, 조립하여 이상화된 설계 하중을 재하하여 구조물의 극한거동을 분석한 연구들이 주를 이룸
- 특히 시스템 동바리 및 비계의 경우 부재 간 연결부의 거동이 구조물의 국부 및 전체적 거동에 직접적인 영향을 미치므로 부재 간 연결부를 최대한 실제조건에 부합하게 구현한 실험이 다수 수행됨

- 임시구조물 중, 압축력을 주로 받는 수직재의 구조 강도를 결정하는 것은 좌굴강도이고, 수직재의 좌굴강도를 지배하는 주요 인자인 유효좌굴길이는 수직재 자체의 길이와 수직재의 수평 및 회전변위에 영향을 주는 연결부재의 상대 휨강성과 연결부 회전강성 등임
- 이러한 구조거동을 명확히 분석하기 위하여 수직재 좌굴강도의 영향인자에 대한 해석적 연구가 수행되어짐
- 위와 같은, 실험적/해석적 안전성 확보 연구 이외에도, 국내에서도 최근 영상을 기반으로 구조물의 붕괴를 실시간으로 예측하는 모니터링 기술 관련 연구가 수행되었으나, 타겟을 이용한 방법으로 그 적용범위가 제한적임

<표 4-150> 임시구조물 안전성 평가 기술 연구

연구자	연구내용	시험방법
충북대학교 산학협력단 외(2003)	시공중 거푸집-동바리 시스템의 안전성확보를 위한 건설기술 개발	구조해석 및 실내시험
삼성물산(2005)	슬래브 시스템 동바리 안전성 검토에 관한 소고	구조해석 및 실내시험
경북대학교 산학협력단(2009)	강관비계의 좌굴거동에 관한 실험적 연구	실내시험
인천대학교 산학협력단(2015)	파이프 서포트의 좌굴특성에 대한지지 조건의 영향	구조해석 및 실내시험
인천대학교 산학협력단(2015)	단관 파이프의 좌굴특성에 대한 수평연결재 및 기울기의 영향	실내시험
한국생명공학연구원 외(2017)	시스템 동바리의 수직재와 수평재 연결부 경계조건에 따른 거동 분석	구조해석 및 실내시험
경북대학교 산학협력단 외(2019)	시공 및 철거 중 구조물 붕괴예측을 위한 영상분석 기반 실시간 모니터링 기술 개발	구조해석 및 실내시험

○ IoT 기반 구조물 모니터링 기술

- IoT 기반 구조물 모니터링 시스템, 콘크리트 타설 중 거푸집의 처짐 계측과 관련된 유사 연구는 많이 수행 되었으나 대부분 기존의 계측센서를 활용하는 연구가 진행됨

- IoT 기반 구조물 모니터링 시스템과 관련된 국내 연구는 UGS 융합연구단(2014~2017)에서 수행된바 있으나 개발된 연구내용은 건설된 구조물의 장기 손상 및 이상거동을 측정하는데 중점을 두었으며 시공 중 계측에 대한 스코프는 포함되지 않음

- 한국전자통신연구원에서 IoT 기반 구조물 모니터링 관련 연구가 많이 수행되었으나 네트워크, 안테나, 미들웨어 등의 데이터 관리 위주의 연구가 수행되었고, 임시구조물에 적합한 개별적인 센서 노드 설계 및 데이터 해석과 관련 연구가 상대적으로 미흡함

- 무선 센서를 이용한 구조물 시공 중 계측 기술 개발은 부산대학교에서 진행되었고 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 이용하여 레이저 센서, 초음파 센서, 스트레인게이지, 지반계측센서를 포함하는 계측모듈을 개발하였음

- 그러나 개발된 모듈의 전원공급이 유선으로 진행되어 설치·해체, 설치·해체, 운영시의 모든 단계에 적용하기에는 다소 어려움이 있음

- 한국과학재단(2003)에서는 시공중 거푸집-동바리 시스템의 안전성 확보를 위한 건설기술 개발 연구를 통하여 동바리의 부재시험과 함께 구조해석을 통한 거동 규명과 이에 맞는 S/W를 개발하는 연구를 진행하였음

- 한국과학기술원(2006)은 거푸집의 연결부에 설치하는 거푸집 안전경보기를 개발하였으며, 성균관대학교산학협력단과 (주)희림종합건축사무소(2013)는 집게형태의 거푸집 붕괴징후 검출장치 및 그 방법을 개발함

- 강민수 등(2006) 거푸집 구조물을 지지하는 동바리에 부착되는 구조물 안전 계측 장치 및 이를 이용한 구조물 안전 계측 시스템을 개발하였으나 대부분의 기술개발은 동바리의 안전 확인에 중점을 두고 있음

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

□ **비파괴 검사 기반 임시구조물 안전성 평가 기술**

○ 열화상기법을 활용한 구조물 결함 측정 기술

- 적외선 열화상 기술은 유망한 비접촉 비파괴기술의 하나로 선진국에서는 지난 수십 년에 걸쳐 발전설비, 안전진단, 건축물 열관리, 콘크리트 교량 상관 결함탐지, 지하가스배관의 누설 등 산업전반에 걸쳐 활용되고 있음
- 우리나라에서는 최근 의료 진단, 전자냉각, 전기설비, 콘크리트 구조물의 결함탐지 등의 필요성으로 이에 대한 연구가 활발히 진행되는 단계임
- 해외의 경우 도시 구조물의 안전성 유지, 자동차의 용접부, 터빈블레이드의 결함 검출에 일부 이용되는 등 거시적인 결함을 검출하는 것뿐만 아니라 미시적인 결함을 검출하는데 일부 이용되고 있으나 국내의 경우에는 아직 연구 단계에 머물러있음

<표 4-150> 적외선 열화상 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	적외선 열화상 이미지를 이용한 연구는 다수 진행 되었으며 카메라의 소형화 및 경량화 연구 진행 중	적외선 열화상 이미지와 이미지 영상 처리 기법을 결합시켜 구조물의 안전 진단에 적용시키는 연구 진행 중
TRL 단계	9단계	7단계
기술성숙도	사업화	시제품 신뢰성 평가
주요성능	각종 구조물이나 기계, 전기 등 정밀 분야의 결함 탐지에 활발히 활용되고 있음	각종 구조물의 결함 탐지에는 활발히 사용되고 있으나 미시적인 부분은 기술이 미치지 못함

○ DIC(Digital Image Correlation)를 활용한 구조물 결함 측정 기술

- 지금까지 국내에서 연구되고 있는 디지털 이미지 상관법 기술은 대부분 관심부에 대한 면내변위 측정과 그에 따른 정확도 향상과 관련된 기술

- 해외(영국, 이탈리아, 일본, 프랑스 등) 연구자들은 기계구조물 용접부, 원자력 발전설비, 유리 구조물 등 다양한 분야에서 발생되는 결함을 검사하기 위한 관련 기술들이 활용되었음

- 수 년 전부터 실험역학과 관련된 Society for Experimental Mechanics(SEM)에서 발행하는 Experimental Mechanics(EM)에 매호에 게재되는 논문에서 디지털 이미지 상관법 관련 논문이 큰 비중을 차지하고 있음

<표 4-151> DIC(Digital Image Correlation) 및 IR 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	물리적 손상에서 기계적 손상까지 포함하는 전반적인 구조물의 결함 측정을 위한 기술 개발 중	기계구조물 부품의 결함을 검사하는 연구를 수행 중
TRL 단계	7단계	4단계
기술성숙도	시제품 신뢰성 평가	부품/시스템 성능검증
적용범위	각종 구조물	기계구조물의 부품

□ **딥러닝(Deep learning) 기반 객체 인식 기법에 관한 연구**

○ Deep learning 및 AI(Artificial Intelligence)기술은 사물인식 부분에서는 이미 인간의 수준을 넘어서는 인공지능이 구현되고 있으며 사물 인식 정확도를 경쟁하며 매년 열리고 있는 ImageNet 경진대회에서 이미 2015년 마이크로소프트가 96.43%의 정확도를 달성하여 인간의 인식률(94.90%)을 추월하였고, 2017년에는 정확도가 97.85%에 이르고 있음

○ 영상 인식을 위해 제안된 알고리즘인 CNN(Convolutional Neural Network)은 행동 인식에서도 대표적으로 활용되고 있으며, 이외 CNN의 약점(과거의 정보를 기반으로 현재의 상태를 판단하는데 적합하지 않음)을 보완하기 위해 RNN(Recurrent Neural Network), LSTM(Long Short Term Memory)등의 새로운 알고리즘들이 제안되는 등 행동 인식 지능을 개선하고 있음

○ 국내의 경우 해외의 연구에 비해 많이 뒤쳐져 있는 상황으로 인공지능 국가 전략 프로젝트 '딥뷰'를 2014년에 시작하여 전체 3단계로 진행되고 있음

- 1단계에서 다중객체 및 행동을 동시에 분석하는 시각지능 SW를 개발함
- 2단계에서는 영상 내용을 이해하는 기술을 통해 도시 규모의 영상을 이해하는 시각지능 SW 개발을 목표로 함
- 마지막 3단계에서는 복합상황 이해 및 예측 기술을 갖춘 시각지능 SW를 개발하여 글로벌 시장에 진출하는 것을 목표로 하고 있음

<표 4-152> AI(Artificial Intelligence) 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	인공지능 서비스를 군사, 의료 및 과학 연구 분야에서 일반 상업 서비스 분야 및 건축 분야로 그 영역을 확대 중	기술 개발 단계
TRL 단계	6단계	2단계
기술성숙도	시제품 성능평가	개념정립
주요성능	AI를 적용한 건설 자동화 기술 시험 적용 중	건설 분야 적용 사례 없음

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

□ 임시구조물 안전성 확보 기술

○ 임시구조물 설치·해체, 운영시 안전성 확보

- 계측 데이터를 이용한 임시구조물 운영시의 안전성 모니터링 관련연구는, 국내외에서 유사한 수준의 기술을 보유하고 있는 것으로 추정됨
- 다만, 국외에서는 센싱 데이터에 AI기술을 접목하여 모니터링을 수행한 초기 연구결과가 일부 있으나, 국내에서는 아직 AI기술을 접목하지는 못한 상태임
- 또한, 지금까지 국외의 임시구조물 모니터링 기술은, 임시구조물 운영 시의 거동에 초점이 맞춰져 있음. 즉, 임시구조물 설치·해체 시에 대한 거동 분석에 관한 연구는 진행된 것이 없는 것으로 파악됨
- 국내에서는 일부 임시구조물 설치·해체 시에 대한 연구를 수행한 바 있으나, 타겟을 이용한 변위 측정 기술로써, 그 적용범위가 제한적임

<표 4-153> 임시구조물 설치·해체 운영시 안전성 확보 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	변형률 데이터 및 AI를 기반으로 비계 안전성을 검토하는 연구가 진행되고 있으나, 임시구조물 설치해체 과정에서의 거동에 관한 연구는 진행되지 않음	국외의 경우와 기술적으로는 큰 차이가 없으나, 임시구조물 설치해체 시를 고려한 연구가 일부 수행됨
TRL 단계	5단계	4단계
기술성숙도	유사환경 시험 단계	실험실 성능평가 단계
주요성능	AI 기반으로 비계의 안전성 검토 수행	영상 및 타겟을 기반으로 임시구조물의 변위를 모니터링

○ IoT 기반 임시 구조물 모니터링 기술

- 해외의 경우 무선 계측 기술을 활용하는 계측 시스템을 터널 등의 시공현장에 널리 사용하나 대부분 기존 상용화 센서를 사용하므로 계측비용(계측 기기값 및 설치비용 등)의 한계에서 자유롭지 못함
- 국내의 경우 다양한 계측기를 이용한 무선 계측, 광역 저전력 무선통신 기술 및 가시화 기술 등이 활발히 연구되고 있으나, 개별적인 연구이며 하나의 세트로 만들어져 현장에 도입 단계까지 이르지는 못했음
- 시공중 콘크리트 강도를 모바일을 통하여 파악할 수 있는 기술과 무선 통신을 이용한 실시간 모니터링 할 수 있는 기술은 국내외 존재하나 국내외를 포함하여 격자형 모듈러 무선 센서를 통하여 전체 슬래브 처짐을 실시간 모니터링하고 결과를 분석하여 알람하는 시스템은 존재하지 않음
- 또한 국내외를 포함하여 다량의 정보를 획득하고 분석하여 임시구조물의 안전 상태를 3D 가상화 하여 나타내는 사례는 찾아보기 어려움

<표 4-154> 저비용·저전력 IoT 센서 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	무선 센서의 상용화가 이루어져 다양한 시공 현장에 적용된 바 있으나, 격자형 모듈러 센서 기술은 보유하고 있지 않음	USN을 통한 실시간 모니터링 기술은 보유하고 있으나 현장과의 환경차이가 크며, 격자형 모듈러 센서 기술은 보유하고 있지 않음
TRL 단계	8단계	6단계
기술성숙도	시제품 인증	시제품 성능평가
주요성능	기존 센서를 활용한 데이터 무선 전송 및 가시화를 마치고 현장에 적용되는 상태	데이터 무선 전송 및 가시화를 마친 상태이나 실제 현장에 적용되지 못함

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
디지털 이미지 상관법을 이용한 미소 구조물의 결함 측정 기술 개발	과학기술정보통신부	결함에 대한 측정 가능성을 보았으나, 변형률에 대한 실험은 진행하지 않았기 때문에 변형의 유무에 대한 파악에 어려움이 있음	변형 전과 변형 후의 이미지를 획득한 후, 다양한 조건에 따른 해석을 진행하고 CCD 카메라로 획득한 실험 이미지를 이용하여 해석이 가능하도록 하는 연구를 진행함
디지털영상 상관기법을 기반으로 한 메조 스케일 구조의 변형/진동 측정 기법 연구	한국연구재단	대량의 이미지 데이터를 DIC 기법으로 변형률을 계산하여 많은 계산 시간이 소요됨	이미지 데이터의 경량화 개발을 통해 변형률 계산시 계산 시간을 단축시킴
열화상 기술을 이용한 용접 조건에 따른 결함 평가	과학기술정보통신부	적외선 열화상을 이용하여 열적 변형 부분에서의 결함을 평가했지만, 용접부분 이외의 부분의 결함에 대한 연구가 이루어지지 않음	용접부분 이외의 외부의 결함 측정에 대한 프로세스를 구성하고, 결함에서의 온도 측정을 위한 적외선 열화상 시스템 개발
적외선 열화상 기술을 이용한 원전 배관 결함 검사기술 개발	한국에너지기술평가원	적외선 열화상 결함 탐상을 위해 배관을 가열 또는 냉각시켜야 함	가설기자재의 가열 및 냉각은 한계가 있으므로, 상온에서의 결함 탐상 프로세스 개발을 진행함
첨단 지능형 구조물 손상 모니터링 기술	한국연구재단	센서를 이용한 신호 데이터에 AI기술을 적용한 것으로써, 이미지 데이터에 AI기술을 적용하기에 한계가 있음	이미지 데이터를 이용한 AI기술 적용 모델링 기법 개발
동영상의 시공간 패턴 분석을 통한 효율적인 선형 및 비선형 주기 동작 인식에 관한 연구	과학기술정보통신부	주기 동작 인식을 위해, 영상 전체에서 움직임 벡터를 계산하거나 객체를 추출하여 움직임 벡터를 계산 하여야하는데, 이는 많은 계산량을 필요료 함	시공간 영역에서 패턴 분석 및 인식을 통해. 잡음 및 유실된 이미지로 인한 문제점을 극복 할 수 있는 기술 개발
딥러닝을 활용한 결함 영상 분류 알고리즘 개발	과학기술정보통신부	개발자가 영상처리를 이용한 결함 검출/분류 방법에 머무르고 있음	딥러닝 기술을 활용한 결함 분류 기술을 검사 장비에 탑재하여 결함 검출/분류 시간 단축
딥러닝 기술을 활용한 환경 및 산업 연구에의 적용	한국연구재단	다양한 분야에 적용할 수 있는 딥 러닝 알고리즘으로써, 임시구조물에 최적화된 알고리즘이 아님	임시구조물에 최적화된 이미지 패턴인식과 딥러닝 알고리즘을 개발하여 결과 값에 신뢰도를 높임

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
센서 모니터링 기반의 시설물 위험거동 실측 분석	국립재난안전 연구원	변위계, 경사계, 가속도계 등 다양한 센서를 이용하여 시설물 모니터링을 수행하나 상시전원 SMPS를 사용하고 다양한 센서 측정을 위한 장비 크기가 상대적으로 큼 (200mm× 150mm× 50mm)	배터리를 전원으로 1년 이상 구동이 가능한 저전력 소형 센서 노드 개발이 필요
터널계측용 매설형 무선화계측기 및 시스템의 개발	한국산학연 협회	Zigbee 무선방식을 이용하여 지반 변위 및 응력을 파악할 수 있지만 센서는 상용화된 지중변위계, 숏크리트 응력계 등을 사용하여 현장에 대량 적용은 비경제적	상용화된 센서의 역할을 할 수 있고 현장에 대량으로 설치 가능한 새로운 저비용 무선 센서 노드 개발이 필요
사물인터넷 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발	국가과학기술 연구회	도심지내 지하매설물을 탐사하여 이로 인한 도로함몰을 예방하고자 하는 연구로 추진 중인 연구의 방향과 내용이 다름	개발된 사물인터넷 기반 모니터링 및 관리시스템 등을 연구 자료로 활용 가능
건설장비 가이드 기술 시스템화	국토교통과학 기술진흥원	기존의 센서를 통하여 무선통신망을 이용한 실시간 모니터링 기술로 격자형 모듈러센서를 이용한 입체적 구조물 상태파악에 한계가 있으며 기존의 센서를 사용하므로 비용측면에서 한계가 있음	지하구조물 시공중 슬래브의 하중, 변형 상태를 모듈러 센서를 현장에서 손쉽게 설치 및 모니터링 하여 시공중 안전성을 향상 필요
시공 및 철거 중 구조물 붕괴예측을 위한 영상분석 기반 실시간 모니터링 기술 개발	국토교통과학 기술진흥원	타겟을 기반으로한 구조물의 변위 측정기술을 사용하므로 그 적용 범위가 제한적임	가설기자재 부재 및 부품에 대한 DB를 구축하고, 실치·해체 단계별 실시간 임시구조물 모델링 및 안전성 분석을 하므로 타겟 없이도 구조물 모니터링이 가능

4.6 세부개발 내용

1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-155> 임시 구조물의 스마트 안전 확보 기술의 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
가설기자재 품질관리 기술 개발	기존 건설현장의 임시구조물 안전관리는 기본적인 육안점검 및 전문인력 부족으로 대규모 건설현장에 비해 안전사고가 다발함	육안점검을 보완하고 실질적인 현장 맞춤형 안전점검을 지원가능한 품질평가용 포터블 디바이스 개발
	임시시설물의 품질 및 설치·해체시 잘못된 순서작업으로 다양한 사고 발생	임시구조물 정보 및 상태를 이미지 및 센싱 데이터를 이용하여 작업순서 확인 및 인지하여 위험요인 파악(임시시설물 파손, 절단, 붕괴)
	가설기자재 품질평가용 디바이스 한계	AI 기반의 가설기자재 품질평가용 포터블 디바이스 개발
	가설기자재안전성 및 품질평가, 임시구조물 내구성 측정에 적합한 제품 기술 한계	
	정해진 매뉴얼 방식의 설치·해체 작업의 미숙한 숙지 및 학습 확인여부 거부감	임시구조물 설치·해체 작업시 이미지 인식 및 순서판단 알고리즘 개발 및 작업환경 및 위험요인 패턴인식 시스템 구축
	불특정 다수의 환경을 고려할 때 임시구조물 붕괴 및 안전성 확보의 한계	
임시구조물 설치·해체, 운영시 스마트 안전 확보 기술 개발	임시 구조물 모니터링을 위하여 타겟설치가 요구되는 변위 측정 기술이 다수	타겟설치가 비요구되는 기술 개발
	딥러닝을 활용한 작접자 객체 인지 관련 연구는 일부 진행 되었으나 ,가설기자재 객체 인지 기술에 대한 연구 사례 없음	딥러닝을 이용한 가설기가재 및 작업자 개체 인지를 통한, 임시구조물 설치/해체시 안전 확보 기술 개발
	시공 현장에 다수의 센서 노드를 적용하는데 전력수급의 문제가 있음	배터리를 전원으로 1년 이상 구동이 가능한 저전력 센서 노드 개발
	현장 전체에 광범위하게 적용하기 위해 개별적인 센서 노드의 단가가 저렴해야함	상용화된 센서의 역할을 수행하고 현장에 대량으로 설치 가능한 저비용 센서 노드 개발
	센서와 모바일 앱을 통한 슬래브의 하중, 변형 상태를 파악하는 기술은 종래 개발된 바 없음	격자형 모듈러센서와 모바일 앱을 연동하여 현장에서 상태파악 및 위험시 알람이 되도록 개발

2) 개발내용별 목표 및 상세내용

□ **기술개발 필요성**

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

○ 건설안전인증제도는 2009년부터 시행되어 왔으나 건설 산업에서 발생하는 임시구조물 및 가설기자재 관련 재해 사고는 계속 증가하며 건설공사 중 임시구조물 붕괴 및 인명피해는 증가하고 있으며, 가설기자재 안전인증 및 자율안전 확인 대상품목의 제조 후 자율안전성 확인 관련 제도의 부재로 인해 적정 품질과 안전성의 확보가 어려운 것을 이유로 들 수 있음

○ 공사현장에서 임시시설물은 점검자 및 근로자의 안전과 기능을 유지하기 위하여, 안전점검을 실시하여야 하지만 공사기간의 단축을 위해 육안점검으로 간략히 진행하고 공사작업을 실시함으로 인해 위험요소는 전혀 줄어들지 않고 있음

○ 안전점검을 수행한 후 건설현장에 근로자들이 투입되었지만, 시시각각 변화되는 현장에서 사고를 예방하기에는 큰 어려움이 따르므로 사고를 미연에 방지하고자 가시설물 품질검사를 통해 근로자의 안전을 보장하고, 임시구조물 설치·해체시 올바른 순서로 작업이 진행되고 있는지에 대한 확인이 필요함

- 근로자의 임시구조물 접근 거부감을 최소화하면서, 설치·해체시 위험인지 및 판단을 위해서는 품질평가용 포터블 디바이스 개발
- 임시구조물 정보 및 상태 이미지를 확인할 수 있는 패턴인식기술 및 센싱 데이터를 이용하여 작업순서 확인 및 위험요인 인지 기술개발

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

○ 과학기술의 발전으로 모니터링용 계측 장비들의 하드웨어 크기가 줄어들고 컴퓨팅 파워가 늘어나 유비쿼터스 컴퓨팅 및 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 기술을 적용하여 방대한 양의 계측 데이터를 이용해 지하 구조물의 시공 중 모니터링을 수행하는 연구가 많이 진행되고 있으므로 기존의 계측방법에서 탈피하여 IoT 센싱, AI 기술을 활용한 스마트 안전점검 기술을 개발할 필요가 있음

○ 현장의 모니터링에 의한 안전평가 결과는 안전관리자, 감리 등 제한된 수의 사람만이 인지하고 있으며 특히 공사비 3 ~ 120억원의 중소규모 현장에서는 소수의 현장인원(안전관리 0.3인)으로 안전관리를 하는 실정으로 긴급한 상황이 발생하는 경우 대처가 어려운 경우가 많을 것으로 예상
출처: 한국시설안전공단, 2018

- 안전관리를 강화하는 측면에서 현장의 근로자들에게도 안전 상태를 인지시켜 건설안전에 대한 관심을 높이고, 자연스럽게 안전관리자의 역할 일부를 수행하게 하며, 나아가 안전감시자로 활용할 필요가 있음
출처: 한국시설안전공단, 2018, 건설공사 안전관리 선진화 및 스마트체계 연구

○ 나아가 현장의 안전관리자나 일반 근로자가 안전 상태를 직관적으로(빠르고 쉽게) 파악할 수 있도록 하려면 임시구조물의 안전에 대한 모니터링이나 조사 결과를 시각적으로 표현하여 정보를 전달하는 것이 중요하며,

- 비상시의 경우 모바일 기능을 이용한 알람 시스템을 적용하여 전체 인원에게 안전 상태를 확인시키고 위험에 대처할 수 있도록 하는 것이 필요함

○ 이를 위하여 저비용·저전력 IoT 센서 및 격자형 모듈러 센서를 통한 실시간 임시구조물 안정상태 평가용 3D 가상화 시스템이 개발되어야 함

○ 다량·다종의 IoT 센서 센싱 결과를 현장에 설치된 관제시스템 터미널에 무선으로 송신하여 안전 상태를 1차 분석하고, 측정 데이터를 통합 관제시스템으로 전송하여 자료 저장과 정밀 분석을 수행하여 장기적인 안전의 예측(피드백)과 타 현장에서 유사 사례 발생 시 선제적인 대응이 이루어지도록 하며, 긴급 상황 발생시 1차 분석 결과로 안전 상태를 긴급 알람 할 수 있는 체계를 구축 하여야 함

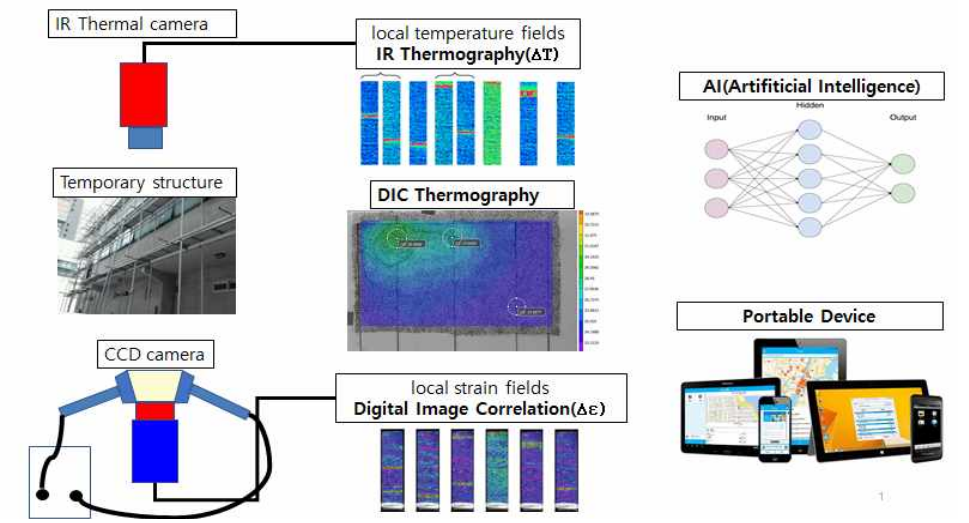
□ 개발내용

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

○ 가설기자재 현장 품질평가를 위한 손상 정량화 기술 개발

* 가설기자재 : 「건설공사 품질관리 업무지침」에 지정된 9종
강재 파이프서포트, 강관 비계용 부재, 조립형 비계 및 동바리 부재, 일반 구조용 압연 강재 (흙막이용), 용접 구조용 압연강재(흙막이용), 일반구조용 용접 경량 H형강(흙막이용), 일반구조용 각형강관, 열간압연강 널말뚝, 복공판

- 영상기반 가설기자재 형상 관리 기술
  - 국토교통부 지정 품질관리 항목 가설기자재에 대한 형상관리 절차 수립
  - 영상처리 및 AI 기술을 활용하여 변형, 파손, 마모 등의 외관손상 정량화 알고리즘 개발
- 가설기자재 비파괴 검사(NDT)를 위한 포터블 디바이스 개발
  - 현장에서 가설기자재의 품질 평가를 위한 포터블 점검·비파괴 기술 개발



[그림 4-303] 비파괴 검사 및 AI 기술을 이용한 가설기자재 품질평가용 포터블 디바이스

  - DIC, IR thermography, 초음파 등을 활용한 미세균열, 부식 탐지용 NDT 기법 개발
  - 비파괴 검사 정보 정량화 알고리즘 개발

○ 가설기자재 구조 성능평가 및 품질평가 기술 개발

- 가설기자재 상태 등급별 구조 성능평가 기술 개발

- 손상 및 재사용 특성을 고려하여 가설기자재 상태등급별로 부재 및 연결부재별 구조 성능 DB 구축
- 가설기자재의 신뢰성 기반 구조 성능평가 기술 개발
- 부재별 구조 성능과 조립된 가설기자재의 구조성능 상관성 분석 기술 개발
- 딥러닝을 이용한 조립된 가설기자재의 구조 성능예측 알고리즘 개발

- 가설기자재 품질평가 및 관리기준 개발
  - 점검, 검사 기록을 이용한 가설기자재 상태등급 기준 개발
  - 상태등급, 구조물 여유도, 구조성능 간의 상관관계 분석 등을 고려한 조립된 가설기자재 품질평가 알고리즘 개발
  - 재사용 가설기자재 관리기준* 개발

    * 재사용 가부 판정, 정비, 수리, 성능실험, 폐기 등에 대한 기준

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

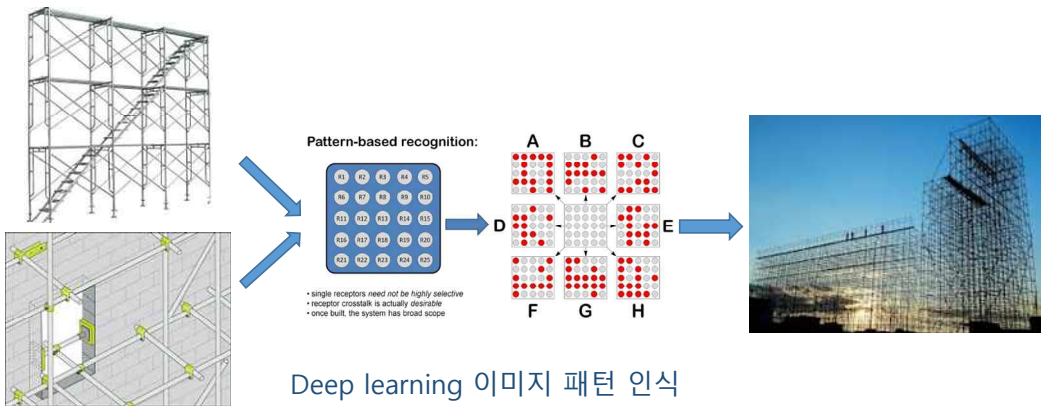
○ 임시구조물* 설치·해체시 스마트 안전확보 기술 개발

※ 임시구조물 : 「가설공사 표준시방서」, 「건설공사 품질관리 업무지침」 및 「건설공사 안전관리 업무매뉴얼」에 기술된 건설공사 임시 취약시설(공종)인 거푸집 및 동바리, 비계, 흙막이, 임시사면

- 임시구조물 설치·해체 프로세스 정보 수집 기술 개발
  - 임시구조물 설치·해체시 영상 이미지 등록 및 관리 기법 개발
  - 딥러닝을 이용한 가설기자재, 작업자 객체 인지 알고리즘 개발
  - 설치·해체시 취약부(배면, 지지부, 연결부) 정보 수집 방안 연구
- 현장 영상정보 기반 임시구조물 모델링 및 구조안전성 분석 기술 개발
  - 가설기자재 부재, 부품 DB 구축
  - 설치·해체 단계별 임시구조물 모델링 및 구조안전성 분석 SW 개발
  - 설계안전성 검토보고서, 설계도면 및 구조계산서 준수여부 확인 알고리즘 개발
- 임시구조물 설치・해체 단계에서의 현장 작업자 작업지원 시스템 개발
  - 현장상황에 따른 작업순서 안내 모듈 개발
  - 설치·해체 작업시 위험 및 이상상황 경보 모듈 개발

○ 임시구조물 운영 시 스마트 안전확보 기술 개발

- 임시구조물 안전 모니터링 설계 최적화 기술 개발
  - · 공사 단계별 위험인자 도출 및 예방 시나리오 발굴
  - · 임시구조물 특성에 따른 IoT 센서 배치 최적화 기술 개발
  - · 임시구조물 특성에 따른 위험 임계 기준 설정
- 무선 네트워크 기반 임시구조물 안전 모니터링 기술 개발
  - · 임시 구조물 안전 모니터링용 저전력·저비용 IoT 기반 계측 솔루션 구축
  - · 다종(변형율, 변위, 하중, 경사 등) 센서 호환성 향상 기술 개발
  - · Event-Driven 구조 기반의 데이터 전송 기술 개발
- 임시구조물 전주기 지능형 안전관리 시스템 개발
  - · 임시구조물 데이터 관리, 운영 및 통합 지원 기술 개발(핵심기술 3-1과 연계)
  - · 임시구조물 전주기 실시간 위험성 평가기술 개발
  - · 센서 데이터 기반 임시구조물 안전성 가시화 기술 개발



[그림 4-304] 딥러닝 기반 임시구조물 설치·해체 패턴 인식 시스템

□ 개발목표

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
가설기자재 품질관리 기술 개발	형상 정보 관리 처리속도 및 정확도	-	-	검사속도 : 1분/개 이내, 정확도 : 95% 이상	●	●	
	포터블 NDT 디바이스 운영시간 및 무게	-	-	8시간 이상 5kg 이하	●		
	포터블 NDT 디바이스 탐지 가능한 강재 최소 균열폭	-	-	50μm	●		
	조립된 가설기자재 구조성능 예측 알고리즘 신뢰도	-	-	실내실험 대비 90%[1] 이상	●	●	
임시구조물 설치·해체, 운영시 스마트 안전 확보 기술	임시구조물 설치·해체시 객체 오인식율	-	-	5% 이내	●	●	
	임시구조물 모델링 부합성	-	-	설계도면 대비 정합성 95% 이상	●		
	설치·해체시 위험요인 예측 정확성	-	-	안전관리 전문가 평가 대비 95% 이상	●	●	
	통신 데이터 전송 손실률	-	-	5% 미만	●	●	
	임시구조물 위험성 평가 정확도	-	-	90%[2] 이상	●	●	

1) 구조성능(압축/인장/휨강도)을 실내실험을 통해서 직접 구한 값을 기준으로 함.

2) 임시구조물 이상상태 예측 정확도 (Precision and Recall)

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술

□ **개발목표의 설정 근거**

○ (가설기자재 현장 품질평가용 포터블 디바이스 및 품질평가 알고리즘 개발) 중소규모 건설현장의 경우, 안전점검자 전문 인력이 부족하며 형식적으로 안전점검이 행해지고 있어 안전사고 발생이 다발함. 이에, 공사현장 안전점검 업무 지원을 위한 중소 건설현장 맞춤형 위험요인 인식, 안전점검 정보 제공, 모니터링 가능한 스마트 포터블 디바이스 개발을 목표로 함

- 대표 가설재 및 대표 손상에 대하여 품질평가 프로세스를 개발하고, 이를 모든 가설재(전체 30여종) 및 손상종류에 대한 현장 품질평가로 확장하기 위하여, 「건설공사 품질관리 업무지침」에 지정된 취약 가설재 9종에 대한 형상관리 절차를 수립하고, 외관손상 정량화 알고리즘을 우선적으로 개발하는 것을 목표로 선정함

- 포터블 디바이스의 사용성 및 실용성 확보를 위한 디바이스 운영시간 및 무게, 탐지 가능한 최소 균열폭 등은 가설기자재 현장 품질평가를 위하여 매우 중요함

- 모든 가설기자재에 대한 구조성능 평가시험을 수행할 수 없는 현장 특성상, 가설기자재의 상태등급으로부터 해당 구조성능을 예측하는 것은 가설기자재 현장 품질평가를 위하여 매우 중요하므로, 가설기자재의 상태등급과 구조성능 간의 상관관계를 분석을 통해 구조성능을 예측하는 알고리즘 개발을 목표로 선정함

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영시 스마트 안전 확보 기술

□ **개발목표의 설정 근거**

○ (임시구조물 설치·해체시 안전확보 기술) 건설현장의 경우, 안전점검자 전문인력이 부족하며 임시 구조물 안전점검이 미비하여 안전사고 발생이 다발하므로 따라서 공사현장 안전점검 업무 지원을 위한 임시구조물 이미지객체 인식 알고리즘 및 분석정보기술 개발을 목표로 함

- 영상 및 딥러닝을 이용한 객체 탐지 및 분류에 대한 연구는 다양한 분야에 적용되었으나 가설기자재에 대한 분류로 적용된 사례는 적음. 단일 가설재에 대한 분류 연구는 일부 진행되었으나, 이를 설치·해체시 다양한 가설재

분류로 확장시킨 사례는 전무함. 따라서, 임시 구조물 설치·해체시 객체 분류를 연구 개발 목표로 선정함

- 임시구조물의 설치·해체 단계별 실시간 구조안전성 분석을 위해서는 실시간 현장 모델링 구축이 요구됨. 따라서, 실시간 현장 모델링 구축을 연구 개발 목표로 선정함
- 임시구조물의 설치·해체시의 위험요인 예측 및 이상상황 경보는 작업자의 안전을 위하여 필수적이지만, 대부분의 과정이 수동으로 이루어지고 있음. 따라서, 공사현장에서 작업자의 안전 도모를 위하여 설치·해체시 위험요인 예측을 연구 개발 목표로 선정함

○ (임시구조물 운영 중 안전확보 기술) 저비용·저전력 현장 모니터링용 IoT 계측 시스템 기술은 국내와 해외에서 유사기술이 있는 것으로 조사됨

- 격자형 모듈러 센서를 활용한 실시간 임시구조물 안정성 평가 및 시각화 시스템은 국내와 해외에서 기술 보유 및 적용 사례가 모두 없는 것으로 조사되어 이를 고려하여 개발목표를 설정함
- 건설현장 특성 기반 IoT 계측 시스템의 운영을 위하여 통신 데이터 전송 손실률 5% 미만을 목표로 설정함
- IoT 계측 시스템에서 수집된 데이터 활용 실시간 위험성 평가기술의 정확도를 해석 모듈대비 90%를 목표로 함

4.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

○ 현재 관련 연구는, 단순 안전교육 방법 개발이거나, 시설물에 대한 안전 기술 개발이 대부분임. 본 연구과제는 타 연구과제와 달리 작업자가 사용할 수 있는 디바이스 개발에 그 목적이 있으며, 작업자가 실시간으로 위험을 감지할 수 있는 스마트 안전확보 기술 개발을 주요 연구목적으로 설정함

○ 가설 구조물 전체의 상태 감시 및 유지보수를 위한 핵심 기술인 가설 구조물의 스마트화는 가설 구조물 사업이 가진 보수성으로 인하여 현재까지 원천기술 개발 단계에 머무르고 있고 기기의 스마트화를 위한 센서의 안정성 기반 설계 기술 등이 특히 취약함

○ 건설 현장에서 임시 구조물은 점검자 및 근로자의 안전과 기능을 유지하기 위하여, 안전점검을 실시하여야 하지만 시간 단축을 위해 육안점검으로 간략히 진행하고 공사작업을 실시함으로 인해 위험요소는 전혀 줄어들지 않고 있어 육안점검 이외에 실시간 모니터링을 할 수 있는 연구 개발이 필요함

○ 본 과제는 가설 구조물의 안정성뿐만 아니라 이미지 기반의 자동화 시스템 개발이 주요 목적이므로, 간접성이 있는 육안점검에 의존하지 않고 IR Thermography 와 DIC 이미지를 이용한 자동 의사결정 알고리즘 개발을 통해서 직관적인 판단을 실시간으로 모니터링 시스템 개발이 기대됨

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

○ 국내연구는 임시구조물의 품질 및 설치·해체시 스마트 안전확보 기술(연구과제 사례가 없으며, 건물, 터널, 교량에서의 안전점검 기술 개발이 대부분

- 본 연구과제는 타 연구과제와 달리 임시구조물 설치·해체시 작업순서 준수를 통한 안전사고 예방이 그 목적이며, 이미지 패턴분석 시스템을 기반으로한 건설현장 안전확보기술 개발을 주요 연구목적으로 설정함

○ 플랜트의 유지 및 보수를 위한 상태감시 시스템의 경우 주요 설비에 대한 상시 감시체계가 갖추어져 있으나 오작동에 의한 상태신호의 판단오류 등의 운영문제가 종종 발생하며, 기술적 측면에서 현 기술은 데이터의 유무선 통신 기술을 기반으로 이동형 단말기 개발 등의 IT 기술로 확장되고 있으나 위험을 감지하여 안전사고를 예측할 수 있는 기술 개발은 미흡한 실정임

○ 현장 모니터링 센서에 관한 국내연구는 센서 데이터 처리 및 데이터 전송장비 위주로 진행되었고 계측은 일반적으로 상용화된 계측기기를 사용하는 연구가 진행되었으나,

- 본 연구과제는 저가의 센서를 현장에 광범위하게 대량으로 설치하고 현장 지반 전체의 상태를 모니터링 하는 저비용·저전력 무선 센서 노드 개발을 목적으로 하므로 이전 기술과 차별화되며, 이전 연구에서는 모니터링 수행 방법, 센서의 설계방법, 데이터의 수집과 전송방식 등에 대한 기술을 이 연구에 활용이 가능함

<표 4-156> 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 선행연구의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
터널 가설공사 전용 가변식 이동형 입체트러스 시스템 개발	국토교통과학기술진흥원 (2012.05~2015.04)	• 건설 가설시스템 제작·구조설계 기술 개발 • 건설 가설시스템 구조성능 평가기술 개발	• 본 과제에서 개발된 시스템을 이용하여 잠재적인 위험요소를 파악할 수 있는 연구가 필요
			• 본 과제에서 개발된 시스템을 이용하여 가설 구조물 구성 방안에 참조 할 수 있음
적외선 열화상 기술의 반사판을 이용한 비가시 영역의 결함 평가	기초연구사업 (2014..11~2017.04)	• Infrared thermography System을 구성하고 열화상기법과 Lock-in기법을 이용하여 반사판의 방사율 및 온도변화에 따른 결함검출	• 본 과제에서는 가설 구조물 중심의 적외선 열화상 결함 평가임. • 자동화 알고리즘을 이용하여 잠재적인 위험요소를 파악할 수 있는 연구가 필요
			• 자동화 알고리즘 개발 시 DB 구성 참조 가능
디지털 이미지 상관법을 이용한 미소 구조물의 결함 측정 기술 개발	기초연구사업 (2013..11~2016.04)	• 카메라 이미지의 상관 계수 계산을 통한 상관도 평가 • 소형 구조물에 대한 결함 검사 인공 감육 결함을 가공한 소구경 배관에 대한 결함 측정	• DIC와 적외선 열화상 이미지 연계 개발에 그대로 적용할 수 없음 • 본 과제에서는 가설 구조물을 대상으로 안전확보 시스템 개발에 초점을 둠
			• CCD 센서 구성방안, 모듈 구성 방안등 참조 가능
사물인터넷(IoT)기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발	미래창조과학부 (2014.12~2017.12)	• 건설된 지하구조물의 장기 손상 및 이상거동을 측정하는데 중점을 두고 IoT기반 모니터링 및 관리기술 개발, 현장 지반 실시간 계측 및 평가 기술 개발	• 무선 네트워크, 안테나, 미들웨어 등의 데이터 관리 위주의 연구가 수행되었고 개별적인 센서 노드 설계 및 데이터 해석까지 확장 필요. • 연구대상물이 지하 매설물임. 즉, 본 연구와 주요 대상물이 다름
			• 모니터링 수행방법, 데이터의 수집과 전송방식 등에 대한 기술 참조 필요
USN 기반의 시공안전모니터링시스템 개발 및 적용성 연구	한국연구재단 (2009.57~2012.04)	• USN(Ubiquitous Sensor Network)을 이용하여 레이저 센서, 초음파 센서, 스트레인 게이지 등을 포함하는 구조물 계측모듈 개발	• 모듈 전력공급이 유선으로 진행되어 실제 현장에 대량으로 적용하기 제한적임 • 계측인자가 지상 가설 구조물에 집중되어 지하구조물 및 지반계측 까지 확장 필요.
			• 모쥴 구성방안, 센서 구성방안 등 참조 가능
건설장비 가이드 기술 시스템화	국토교통과학기술진흥원 (2014~2017)	• 작업환경 인식 및 운전자 행태 기반 안전 가이던스 시스템 개발 건설장비 작업에 의한 재해 요인(작업장 및 작업 환경, 운전자)을 분석하고, 이로 인한 안전사고 가능성을 차단함과 동시에 안전사고 위험 요인을 예방하는 연구	• 격자형 모듈러 센서에 대한 연구는 없음
			• 무선통신 시스템은 연계가능

4.8 민간기술과의 차별성·연계성

(구성기술 3-3-1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

○ 가설 구조물 안전 관련 민간 기술의 경우 주로 대형 건설현장을 대상으로 위험요인 관리를 위한 시스템으로, 가설 구조물은 현재에도 육안점검에 의존하고 있는 실정임

○ 센서와 웨어러블 디바이스 등을 통해 근로자 위치확인, 위험지역 알림 등으로 재해를 예방하고 재해 발생 시 신속하게 대처할 수 있도록 하는 것이 주요 기술이며, 제안기술은 기 개발된 가설 구조물을 중소규모 건설현장에 최적화된 이미지 기반의 시스템을 개발하고자 함

○ 또한, 이미지에 대한 의사결정을 육안점검에 의존하지 않고 AI 알고리즘을 도입하여 객관적인 의사결정 시스템을 개발하고자 함

<표 4-157> 가설기자재 품질관리 기술의 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	적외선 열영상 카메라 모듈 사업	LG이노텍	• 열영상 카메라 모듈	• 본 연구는 적외선 열화상 및 DIC 이미지를 이용한 가설 구조물 시스템 개발에 있음.
				• 열화상 카메라 모듈의 활용 방안 참조 가능
2	스마트 건설 안전관리 시스템	GSIL	현장 모니터링 및 작업자 위치 인식 기술	• AI 기술 활용을 통해 위험요인 인식/정보 제공 기능을 개발하여 안전점검 업무를 지원함
				• 기 개발된 SW 및 HW 플랫폼을 활용하여 안전점검 지원 기술 개발시간 절감

(구성기술 3-3-2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

○ 민간의 상용화 된 기술들은 대부분 모니터링 위주이며 분석 모듈을 탑재하거나 3D 가상화 또는 가상현실을 이용한 가시화, 모바일 긴급알람 기능과는 접목하지 않은 사례가 많으므로 제안하고자 하는 기술이 차별화 됨

○ 전체적으로 이 연구에서 추구하는 다량·다종의 IoT 센서 센싱 결과를 현장에 설치된 관제시스템 터미널에서 안전 상태를 1차 분석하고, 통합 관제시스템에서 자료 저장과 정밀 분석과 피드백을 수행하도록 하는 개념의 시스템은 구축된 바 없음

○ 그러나 개별적인 IoT 기술과 모니터링 개념은 유사하므로 적극 수용하여 합리적인 기술 개발 방향을 설정 하도록 할 필요가 있음

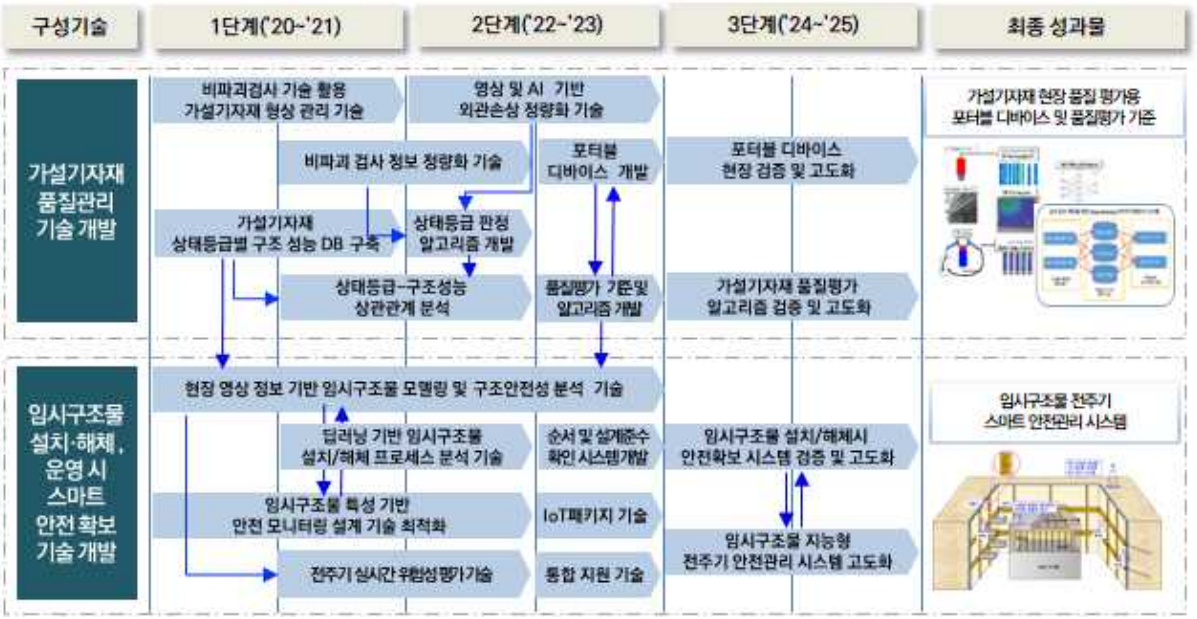
<표 4-158> 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술의 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	BeanDevice Wilow 시스템	BeanAir GmbH (독일)	• 무선통신 안테나 및 게이트웨이를 통한 무선 네트워크(Wifi, 4G) 구축 • 구조물 부착형 센서 모듈 (가속도계, 속도계, 경사계, 충격 센서 등) • 무선연결 끊길 시 데이터를 센서 내부 저장	• 개별적인 센서 모듈의 계측 가능한 인자에 대해 확장성이 없음 • 데이터 분석모듈과 이를 시각적으로 표현하는 기능이 없음
				• 무선 네트워크 구축, 센서구성 등 참조
2	스마트 콘크리트 테스트	GIATEC	• 콘크리트 강도를 모바일 앱으로 모니터링 가능	• 콘크리트 내부에 설치하여 강도만을 모니터링 하므로 가능하며 본 기술과 차별됨 • 데이터 분석 결과를 시각적으로 표현하는 기능이 없음
				• 모바일을 통한 모니터링 기술을 참조 가능함
3	통합 관제 시스템	한국전력기술	• 수학적 역해석식을 이용한 지하매설물 탐사	• 지반 함몰에 대한 연구가 아니며, AI 기술을 도입한 역해석 알고리듬이 아닌 수식적 분석결과임
				• 지반 함몰의 원인인 지하매설물 상태를 파악하는 기준으로 활용 가능

4.9 구성기술 로드맵



[그림 4-307] 임시 구조물의 스마트 안전 확보기술 추진로드맵



[그림 4-308] 임시 구조물의 스마트 안전 확보기술 성과로드맵

4.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 121.26억 원/6년(3단계)중 (국고) 89.33억 원, (민자) 31.93억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-3-1. 가설기자재 품질관리 기술 개발	정부	713	708	822	823	138	138	3,342
	민간	255	253	295	295	49	49	1,196
	소계	968	961	1,117	1,118	187	187	4,538
3-3-2. 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전확보 기술	정부	1,191	1,187	1,240	1,240	412	321	5,591
	민간	426	424	444	444	146	114	1,997
	소계	1,617	1,611	1,684	1,684	558	435	7,588
합계	정부	1,904	1,895	2,062	2,063	550	459	8,933
	민간	681	677	738	739	195	163	3,193
	소계	2,585	2,572	2,800	2,802	745	622	12,126

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-3-1. 가설기자재 품질관리 기술 개발	266	266	304	323	57	57	1,273
3-3-2. 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전확보 기술 개발	438	438	474	476	115	115	2,055
합계	703	704	778	799	172	172	3,328

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
3-3-1. 가설기자재 품질관리 기술 개발	책임급	1	1	1	1	-	-	4
	선임급	2	-	2	1	1	1	7
	원급	2	5	3	5	-	-	15
	합계	5	6	6	7	1	1	26
3-3-2. 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발	책임급	1	1	2	1	-	-	5
	선임급	3	3	3	3	-	-	12
	원급	5	5	4	6	3	3	26
	합계	9	9	9	10	3	3	43
소계		14	15	15	17	4	4	69

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	463	459	487	478	149	109	2,145
연구과제추진비	134	133	144	142	39	31	623
연구활동비	321	318	344	332	113	78	1,507
연구수당	105	106	117	120	26	26	499
소계	1,024	1,015	1,092	1,072	327	244	4,774

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	177	176	192	192	51	43	831

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 38.4%, 직접비(인건비 제외) 52.3%, 간접비 9.3%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 50%, 연구과제추진비 15%, 연구활동비 35%, 연구수당으*로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

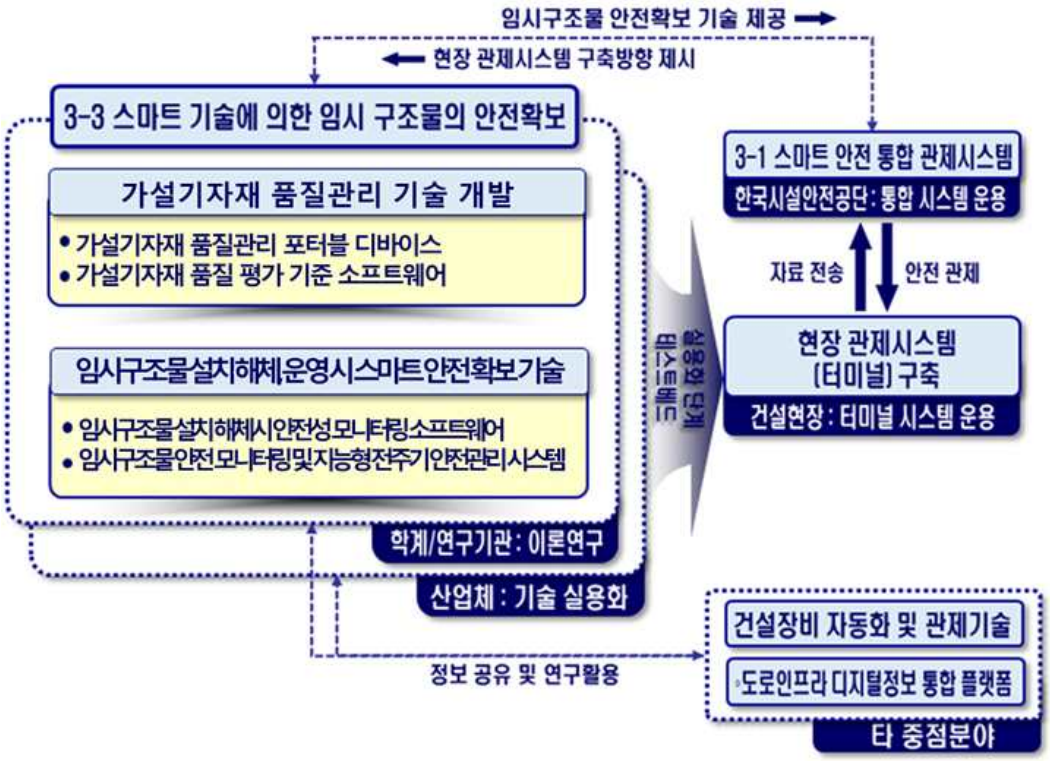
주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

4.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도

○ 전체 기술은 두 개의 구성기술로 구성되며, 그 하나인 가설기자재 품질관리 기술은 영상, AI 및 비파괴 검사를 이용한 가설기자재 현장 품질용 포터블 디바이스 개발 및 가설기자재 품질 평가 알고리즘 개발로 구성되며,

- 다른 하나인 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술은 영상 및 딥러닝을 이용한 임시구조물 설치·해체 안전 확보 기술과 무선 네트워크 기술을 이용한 임시구조물 운영 중 안전 확보 기술 개발로 구성됨



○ 두 구성 기술의 개발 기관은 기본적인 이론 연구(알고리듬 개발 등)은 학계와 연구기관이 장비 또는 소프트웨어 개발은 연구기관 또는 산업체에서 개발하는 것이 가장 합리적임

○ 개발되는 기술은 연구단계에서 현장의 관제 시스템 터미널 구축시 측정

데이터를 스마트 통합관제 시스템에 연동이 되도록 하여야 하며, 연구종료 후 테스트베드와 실용화 단계에서 한국시설안전공단의 원활한 현장관제가 이루어지도록 고려하여야 함

(2) 협력방안

□ **중점분야 건설장비 자동화 및 관제기술 중 광대역 Smart Local Network 기반 IoT 장비 운영 체계, 중점분야 도로인프라 디지털정보 통합 플랫폼 중 디지털 도로 연결형센싱 네트워크, 실시간 건설현장(도로시공)데이터 수집/관리 기술에 대한 기초조사 정보 및 기술개발 정보 공유 및 연구개발 활용**

○ 타 연구의 발표회 참석, 연구자료 교환 등으로 디지털 정보 기반 시각화 기술 개발에 대한 정보 공유 후 연구개발에 활용

□ **한국시설안전공단 및 참여기업을 활용하여 기술개발 방향 중소규모 건설현장 테스트베드 기획/운용 협력**

○ 개발된 기술의 실용화를 위하여 현장 테스트베드가 필수적이며, 이를 위하여 참여기업의 공사현장을 적극 활용하며 추후 개발 기술을 운용하게 될 시설안전공단과 연구내용을 공유하여 현장기반 실용화 추진

4.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-159> 임시구조물의 스마트 안전확보 기술의 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
임시 구조물의 스마트 안전확보 기술	신개념 센서 개발에 대한 국내외 참고사례 부족	국내외 저널, 전시회, 전문 잡지 등을 적극 활용하여 기술개발 성공확률 향상
	개발기술의 현장 적용을 위한 기준/규정 부재	국토부, 한국시설안전공단 등을 활용하여 현장 적용 추진

4.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **이제이텍은 2012년 정부가 지원하는 '터널 계측용 광섬유 센서 및 모니터링 시스템' 연구로 기술을 개발하여 이를 사업화하였음**

○ 광섬유는 부식에 대한 내구성이 뛰어나고, 전자기장에 의한 노이즈의 영향을 받지 않는 장점이 있으나 충격에 약하여 문제가 있었음

○ 외부 충격에 강한 광섬유 기반 FBG간극수압계, FBG토압계, FBG숏크리트 응력계, FBG지중변위계를 개발하여 2012 대한민국 기술혁신경영대상 수상

(2) 성공 사례의 시사점

□ **개발기업의 사업분야와 직접적으로 연관된 기술을 개발하여 즉각적인 현장 적용 전략이 사업화 성공에 기여함**

○ 현장중심의 문제제기 - 내구성 문제

○ 원활한 현장 시험 및 기술보완으로 뛰어난 새로운 센서 기술개발에 성공

○ 현장에 쉽게 적용이 용이한 환경으로 조기 사업화가 가능

(3) 실용화 전략 수립

□ **개발된 기술을 성공적으로 현장에 적용하기 위하여 연구와 유관한 참여기업을 연구 또는 참여기업에 참여 시켜 현장중심의 문제점을 확인 보완하고, 현장적용에 기업의 공사현장을 적극 활용할 필요가 있음**

□ **특히 추후 개발 기술을 운용하게 될 시설안전공단과의 협업을 통하여 연구 결과의 성공적인 실용화 추진 필요**

4.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

○ 건설분야 안전관리 기술의 획기적인 향상

- 기존의 육안관찰에 의한 가설기자재의 품질 검사 수준을 합리적인 수단을 제시
- 위험요인의 상시파악, 실시간 위험분석, 직관적인 위험전달 체계는 향후 건설현장의 모니터링과 관련하여 새로운 표준체계의 역할을 가능하게 함
- 인공지능 등을 활용하므로 모니터링 자료 분석기술을 업그레이드함과 동시에 관련 종사자의 기술수준 향상

○ 스마트 기술의 토목분야 활용에 따른 세계적으로 이슈화 되고 있는 4차산업 첨단 기술을 토목 안전기술 분야에 접목하여 국내의 안전기술을 향상에 따른 대외 경쟁력 제고와 해외시장 진출

○ 개발되는 신개념 센서와 딥러닝 분석방법 및 시각화 기술은 이후 건설분야 또는 타 분야의 추가 기술발전에 긍정적인 영향 제공

(2) 사회경제적 측면

○ 3대 취약공종에서의 건설재해를 크게 저감시켜 국민의 안전한 생활환경을 조성하고 삶의 질을 향상시킴과 동시에 사회안정과 인적 물적 손실에 따른 사회적 비용의 최소화 가능

○ 국내 건설 현장의 고령화, 숙련공의 감소, 주 52시간 근무에 따른 근로조건의 변화 등에 의한 건설현장의 불안전 요소를 사전에 감지·제거하여 사회안정에 기여

○ 가시설 붕괴로 인한 인명 사고를 미연에 방지하여 사회불안 해소에 기여

○ 건설현장의 모니터링 센서 비용을 저감시켜 모니터링 수량 증가와 함께 관련 산업의 발전을 촉진시킴

○ 현재 시행중인 지하안전관리에 관한 특별법에 대응하여 관련 시장의 확장에 기여 가능

5. 특허분석

5.1 분석 범위

□ **스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 특허동향분석을 위해 건설현장 근로자 안전 확보 기술(ACA), 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB) 및 스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)분야에 대하여 분석을 실시**

○ 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개/등록특허, 국제 공개특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술분야에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 2016년 12월31일까지 출원 공개된 유효특허 4,118건을 분석대상에 포함

- 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여 전략적인 연구개발 계획수립에 활용

<표 4-160> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개.등록특허 (공개.등록일 기준)	한국	WINTELIPS	~ 현재 (2018.10)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서
	일본	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서
	유럽	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서
	국제	WINTELIPS		특허공개 및 등록 전체문서

5.2 기술분류 체계

□ **본 분석에서는 과제의 기술요약서를 기초로 연구범위내의 기술을 정량분석 대상으로 하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술 분야와 심층 분석의 기술 분야를 동일하게 적용함**

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)은 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA), 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB) 및 스마트 안전 통합 관제시스템(ACC)로 분류할 수 있음

<표 4-161> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
스마트 건설 (A)	스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)	건설현장 근로자 안전확보 기술 (ACA)
		임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB)
		스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)

5.3 기술분류 기준

□ **본 분석에서는 과제의 기술자료 및 기획위원이 제공한 자료를 바탕으로, 자문회의를 통해 하기 표와 같이 기술분류를 확립하여 분석을 수행함**

<표 4-162> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 기술분류기준

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
스마트 건설 (A)	스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)	건설현장 근로자 안전확보 기술 (ACA)	건설현장 근로자의 안전확보 관련 기술
		임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB)	임시 구조물의 스마트 안전확보 관련 기술
		스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)	스마트 안전 통합 모니터링 및 제어 시스템

○ 자문위원들이 제공한 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야의 기술분류 및 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 연구원들과의 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출하였음

○ 본 보고서에 사용된 검색식은 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 전문위원들의 검토를 반영하여 최종 검색식을 완성함

○ 기술분류체계에 따른 최종 검색식은 하기 표와 같음

<표 4-163> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
스마트 건설 (A)	스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)	건설현장 근로자 안전확보 기술 (ACA)	((((건설* 건축* construct* construction*).key.) and ((근로자* 노동자* 작업자* 근무자* 직원* employee* worker* staff* crew* labor* people* human*).key.) and ((((위험* 사고* 유해환경* 생체환경* 안전*) near4 (인지* 저감* 관리*)) or ("가상건설""가상건설""가상설계""가변형콘크리트몰드""modularconstruction""virtualconstruction*""virtualdesign""Free-formconcretemold")((danger*emergency*environment*circumst*safe*)near4(detect*sensor*reduce*manage*))"smarteye*""smarteye").key.)))and((H04W*G06Q*G08B*A61B*).ipc.)
		임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB)	(((임시* 간이* 일시*) near5 (구조물* 시설물* 설치물*)) or (가구조물* "가 구조물" "가시설물" "가시설물") ((temporary*) adj5 (structure* architecture* construction*)).key.) and ((설치* 해체* 배면* 지반* 지면* 안전* "안전확보" 굴착*비탈면*붕괴*install*datach*ground*safe*seculity*excavation*"surfaceofslope"collapse*).key.)and((스마트*사물인터넷*인공지능*3D*가상화*증강현실*"포터블디바이스"smart*IoT*"artificialintelligence"AR*"3Dvirtualization""augmentedreality"센서*스마트헬멧*sensorembedded*smarthelmet*"portabledevice").key.)
		스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)	((((스마트* 인공지능* 자동제어* smart* mobile* humanoid auto*).key.) and ((안전* 통합* 가이드라인* safe* seculity* united* "guide line" guide*).key.)) and ((시스템* 플랫폼* system* platform*).key.) and ((건설* 건축* construct* construction*).key.)) and (((H04* G06Q* G08B* A61B*).ipc.))

<표 4-164> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 최종 검색식에 따른 검색결과

대분류	중분류	소분류	한국	미국	일본	유럽	국제	합계
스마트 건설 (A)	스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)	건설현장 근로자 안전확보 기술 (ACA)	109	450	220	124	76	979
		임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB)	44	112	456	34	41	687
		스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)	92	177	54	39	31	393
총합계			245	739	730	197	148	4,118

5.4 유효특허 선별기준 및 결과

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 Raw Data 하기 표에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용함

<표 4-165> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 유효특허 선별기준

대분류	중분류	소분류	유효특허추출기준
스마트 건설 (A)	스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)	건설현장 근로자 안전확보 기술 (ACA)	건설현장 근로자의 안전확보 관련 기술
		임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB)	임시 구조물의 스마트 안전확보 관련 기술
		스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)	스마트 안전 통합 모니터링 및 제어 시스템

○ 위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과 아래의 표과 같이, 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)이 1,789건 도출되었음

◦ 상세하게는 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA)이 836건, 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB)이 631건 및 스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)이 322건으로 나타났음

<표 4-166> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 유효특허 선별결과

검색식		검색건수 (필터링 후)					
		KR	US	JP	EP	WIPO	합계
AC	ACA	85	373	214	95	69	836
	ACB	32	85	453	24	37	631
	ACC	73	137	53	30	29	322
총계		190	595	720	149	135	1,789

○ 본 분석에서는 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야의 특허기술 분석, 세부기술 분석 및 심층 분석으로 나누어 분석함

□ **특허기술 분석**

○ 특허기술 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 기술개발 활동현황, 세부기술의 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 특허기술성장단계 파악 및 국가간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 특허기술 동향을 분석함

○ 또한, 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

□ **세부기술 분석**

○ 세부기술 분석에서는 세부기술별 연도별 특허출원 동향, 세부기술별 IP 출원국 분석 등을 통해 세부기술별 특허기술 동향을 분석함

○ 또한, 세부기술별로 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

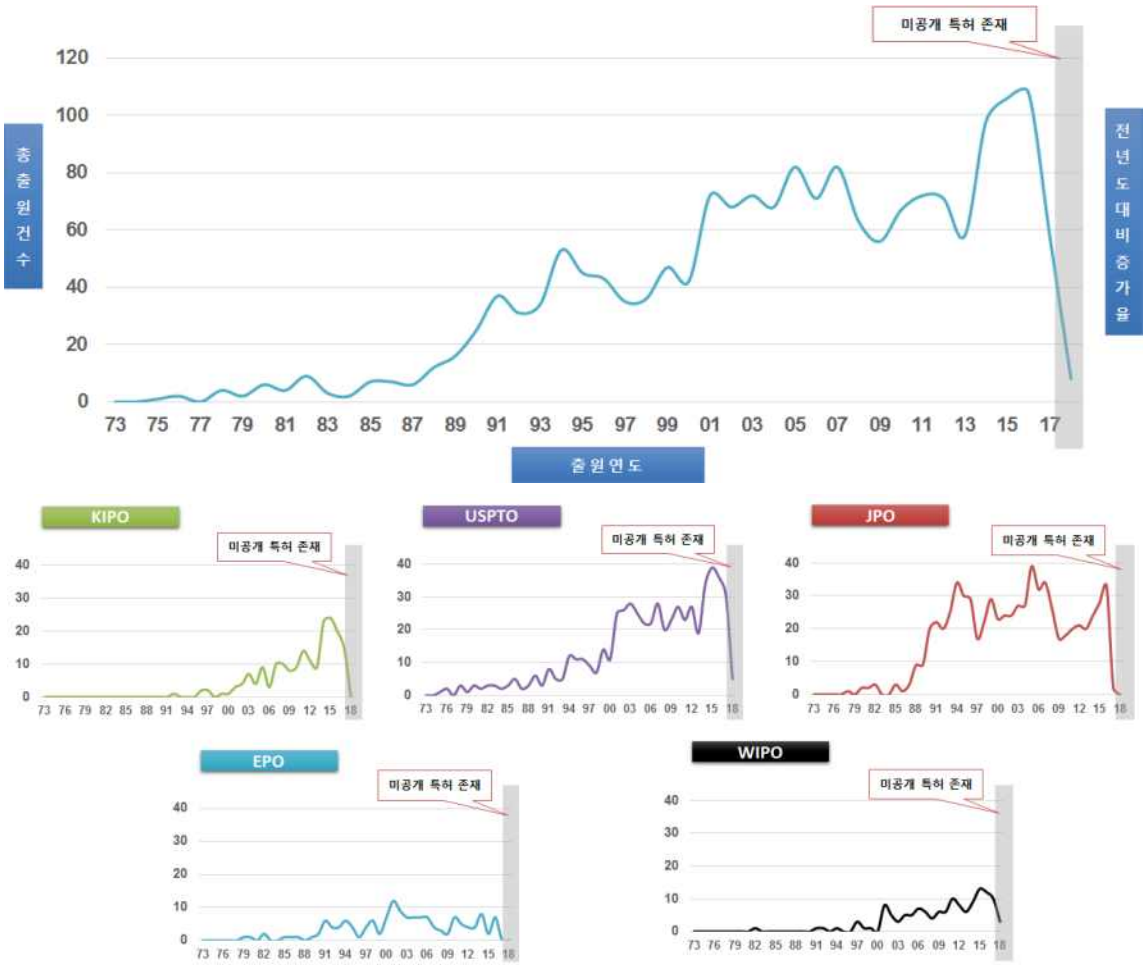
□ **심층분석**

○ IP 부상도 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 이전 구간 대비 출원증가율, 출원 점유율을 분석하여 특허 관점에서의 해당 기술 분야 부상 정도를 판단함

○ 세부기술별로 구간별 특허출원 동향, 주요시장국별 세부기술 동향, 다출원인의 특허 동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 특허와의 관계를 분석함

5.5 국가별 분석

□ 주요출원국 연도별 특허동향



[그림 4-309] 전체 연도별 동향

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1975년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 1990년대 초부터 본격적인 출원활동이 이루어졌으며, 현재까지 증가와 감소를 반복하다가 가장 최근인 2016년에는 108건을 출원하여 최다 건을 기록하였음 이와 같은 양상으로 볼 때 해당 분야의 특허출원 건수는 꾸준히 증가할 것으로 전망됨

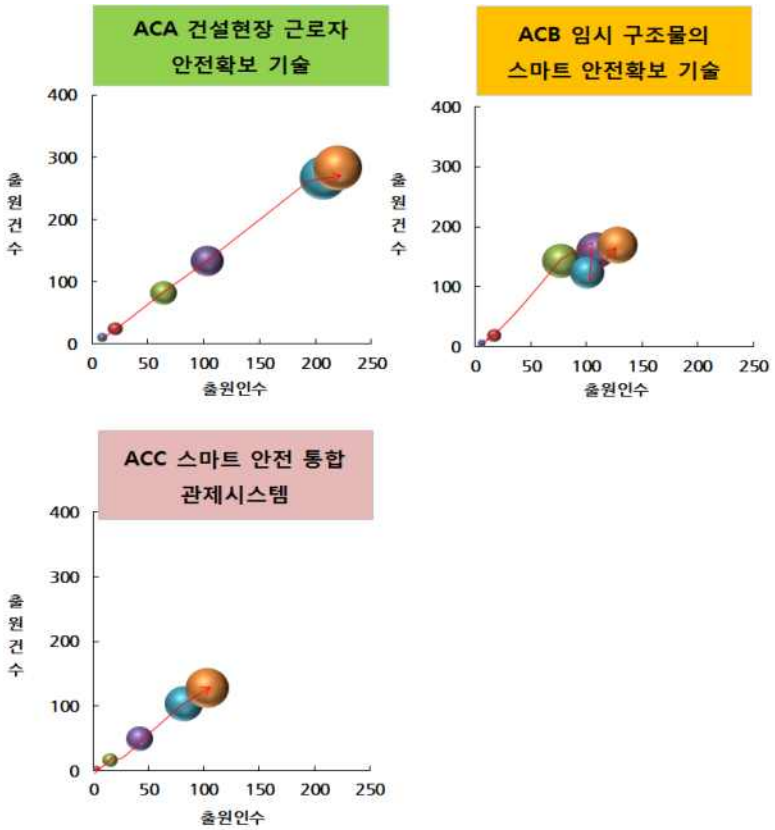
○ 주요시장국 중 미국과 일본이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사되었으며, 2017년 이후 특허출원이 감소하는 것은 2017년 5월 이후 출원한 특허출원이 아직 공개되지 않아 이러한 특허기술들이 배제되어 감소하는 것으로 나타남

- 주요시장국의 연도별 특허동향을 살펴보면, [한국]은 주요시장국들 중 가장 늦은 1992년부터 출원하기 시작하였으나 최근에 그 증가폭이 큰 것으로 나타남
- [미국]은 주요시장국 중 가장 빠른 1975년에 출원활동을 시작하였고 1970년 중반 이후로 지속적으로 특허활동을 하고 있으며, 2000년대에 들어 그 증가폭이 큰 것으로 나타남. 2015년도에 39건을 출원하여 최다 건수를 나타냄
- [일본]은 1978년부터 연구를 시작하였고, 1990년대부터 현재까지 주요 시장국들 중 특허출원활동이 가장 활발히 진행된 것으로 나타났음
- [유럽]은 1979년부터 연구를 시작한 것으로 조사되었으나, 본격적으로 출원이 진행된 것은 1990년대부터임
- [국제출원]은 2000년대 초부터 지속적으로 증가하고 있으며, 최근에 까지 특허출원활동이 활발히 진행되고 있는 것으로 나타남

□ 기술성장단계 파악



구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16



[그림 4-310] 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 단위 기술 성장단계

○ 포트폴리오로 나타낸 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 단위기술들은 1구간에서부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

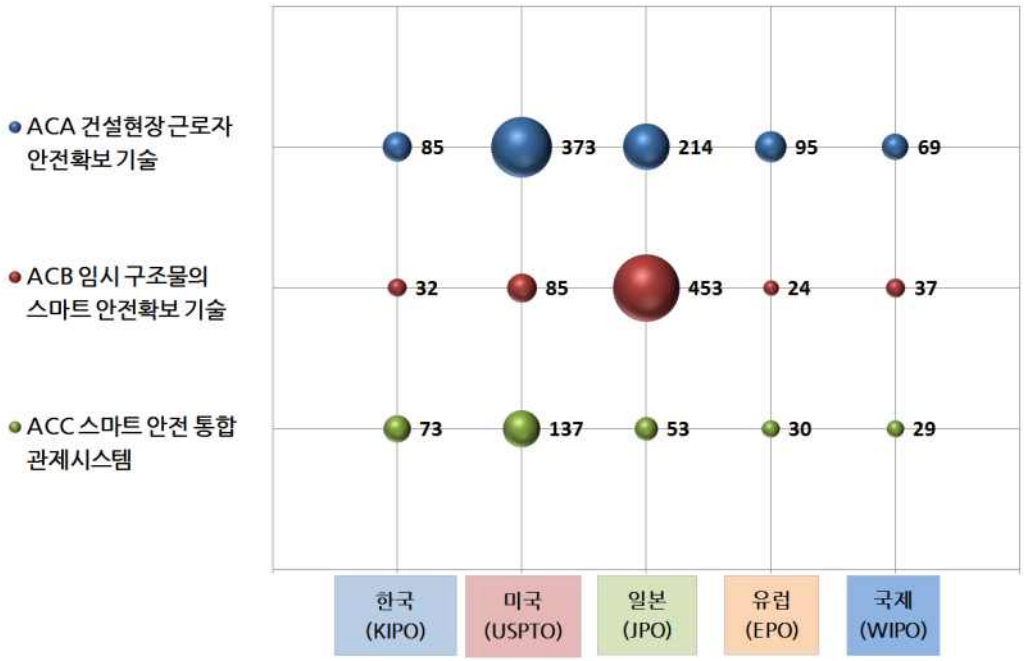
- 의미 : 각 출원구간으로 구분하여 출원건수(특허건수)와 출원인수(특허권자수)를 2차원 버블차트로 구현한 그래프임. 버블의 크기는 출원인수(특허권자수)임
- 출원건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고, 출원인수의 증가는 시장의 신규진입자가 증가하는 것을 의미하며, 이는 해당기술분야의 시장이 커지고 있다는 것을 의미함
- 태동기 단계에서는 출원인과 출원건수가 활발하게 진행되는 단계로써 연구활동이 활발한 것을 판단할 수 있으며, 성숙기 단계는 출원건수 및 출원인의 증가율이 낮아지면서 시장진입자들이 빠져나가는 단계임. 쇠퇴기 단계는 출원인 뿐 아니라 출원건수도 감소하여 해당기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있음 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 현 시장에 맞는 기술들이 다시 개발되어 새로운 아이디어와 함께 시장이 재형성되는 단계로 볼 수 있음

- 해석 및 활용 시 유의사항: 모든 출원국은 속지주의 원칙, 즉 동일한 발명에 대하여 상이한 국가에서 획득한 특허는 각각 독립적으로 해당국가의 법률에 따라 존속·소멸한다는 원칙에 따라 독립적으로 권리의 효력이 발생하기 때문에, 해당 출원국가에 특허출원한다는 것은 해당 시장에서 권리를 이행하려는 의지가 있다고 볼 수 있음

- 이에 출원국가별로 해당기술의 시장 및 개발현황을 비교해봄으로써, 어느 시장이 활발한지, 기술개발형성이 어디까지 진행되었는지 판단할 수 있음 주요 시장국과 우리나라의 상황을 비교해 보고, 우리나라보다 기술개발단계가 앞서있는 시장국을 파악하여, 현재 기술개발과 기술시장에 진입하기 위한 기술적인 강점은 무엇이며, 기회요인이 어떤 것들이 있는지 연구기획시 주도면밀하게 분석해야 할 것임

□ 시장별 세부기술 점유율 현황 버블그래프 분석

○ 시장별 세부기술 동향에서는 각국의 특허청에 출원된 출원 데이터를 기준으로 세부기술의 집중도 및 공백영역 등을 버블그래프로 나타내어 해당 시장의 관심도를 나타내고자 함



*원의 크기: 출원 건수를 나타냄

[그림 4-311] 세부기술별 국가별 특허집중도 현황

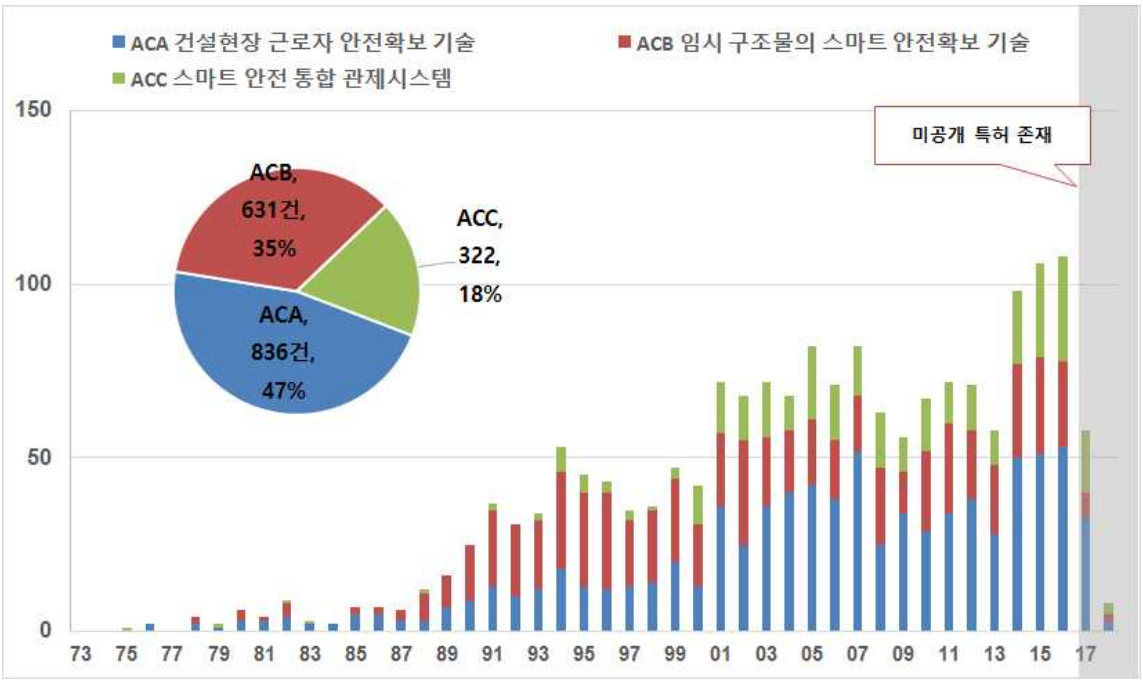
- 세부기술에 대한 전체적인 연도 구간별 흐름은 앞에서 제시하였으므로, 여기에서는 주요시장에서 어떠한 세부기술이 중점적으로 특허 출원되고 있는가를 파악하고자 하며, 해당 세부기술에 대하여 시장별(특허청별)로 비교 분석함

○ 시장별 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요 시장국 모두 단위기술 모든 분야에 골고루 출원을 하고 있는 것으로 나타남

○ 미국은 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA)에, 일본은 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB)과 관련된 출원을 많이 한 것으로 나타났음

5.6 세부기술 분석

□ 세부기술별 연도별 특허출원 동향 및 점유율 분석



[그림 4-312] 분류별 점유율 및 연도별 출원동향

○ 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA) 관련 특허출원이 점유율이 47%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB) 관련 특허출원 비중이 35%로 나타나 그 뒤를 이었음

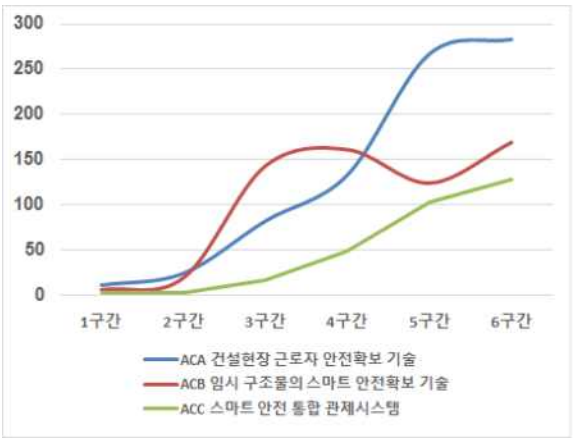
○ 단위기술 모든 분야는 80년대 초부터 출원되기 시작하여 현재까지 특허출원 건수가 증가하는 추세를 보이고 있으며, 가장 최근인 2016년에 특허출원활동이 가장 활발히 진행된 것으로 나타남

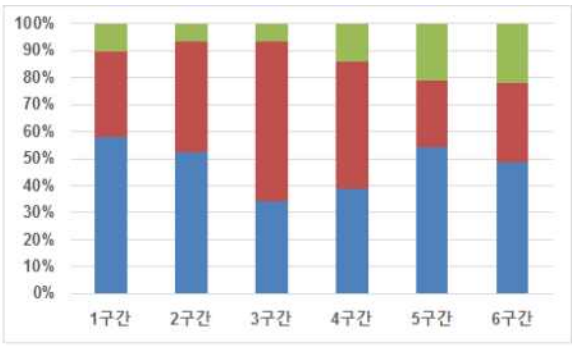
○ 모든 단위기술 분야들은 최근들어 특허출원활동이 활발해지고 있는 것으로 나타남

□ 부상기술 분석

○ 세부기술 추세를 통한 부상기술을 파악하기 위해서 아래의 그래프에서는 세부기술별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 살펴봄. 왼쪽의 그래프는 출원건수를 통한 절대치를 나타내며, 오른쪽 그래프는 세부기술에 대한 연도 구간별 상대비교를 보여주고 있음

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16





[그림 4-313] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

○ 시장별 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 단위기술 모두 부상하고 있는 기술로 나타남

○ 초반에는 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA) 기술에 대해서 출원하다가 점점 출원기술 대상이 다각화되었으며, 최근 들어서는 스마트 안전 통합 관제시스템(ACC)의 비중이 높아지고 있는 것으로 나타남

□ 세부기술별 주요출원인 특허동향



[그림 4-314] 세부기술별 주요출원인

○ 시장별 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA)에서는 MATSUSHITA ELECTRIC 17건으로 최다출원인으로 조사되었으며, HITACHI LTD가 11건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB) 분야에서는 SHIMIZU CORP가 26건으로 최다출원인으로 조사되었으며, OHBAYASHI COR이 25건으로 최다 출원인으로 나타났음

○ 스마트 안전 통합 관제시스템(ACC) 분야에서는 BESPOKE INC가 13건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, ZTE CORPORATION이 8건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 스마트 안전 통합 관제시스템(ACC) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사됨

5.7 IP부상도 분석

□ 출원증가율 분석

구분	이전구간	최근구간	증가율
	'07~'11	'12~'16	
한국	51	87	70.6%
미국	121	155	28.1%
일본	115	126	9.6%
유럽	21	25	19.0%
국제	32	48	50.0%
Total	340	441	29.7%

[그림 4-315] 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 출원 증가율 (전체)

○ 최근과 이전구간 대비 출원증가율을 살펴보면, 모든 주요 시장국에서 특허 출원이 증가하는 추세이며, 특히 한국에서의 특허출원 증가율이 70.6%로 크게 증가한 것으로 나타났음

○ 이는 전체 이전구간 대비 최근구간 출원증가율인 29.7%보다 높은 값으로 한국에서는 이전보다 최근에 매우 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석되었음

구분	이전구간 건수	최근구간 건수	출원 증가율 (%)
전체	340	441	29.7%

□ 최근 출원 점유율 분석

구분	최근구간	전체구간	점유율
	'12~'16	'97~'16	
건설현장 근로자 안전확보 기술 (ACA)	220	671	32.8%
임시 구조물의 스마트 안전확보 기술 (ACB)	120	426	28.2%
스마트 안전 통합 관제시스템 (ACC)	101	277	36.5%
Total	441	1,374	32.1%

[그림 4-316] 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 구간별 점유율 분석

○ 전체구간대비 최근 구간에서의 출원 점유율을 살펴봄으로써 각 기술요소별 최근 가장 부상하는 기술에 대해 살펴 볼 수 있음

○ 전체구간 20년 대비 최근 구간 5년이 차지하는 비율 중 스마트 안전 통합 관제 시스템(ACC)은 36.5%로 가장 높은 점유율을 차지하여 전체 중 대부분의 출원 건수가 최근에 출원한 것으로 나타났음

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 세부기술별 전체출원 대비 최근출원의 점유율은 평균 32.1%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가지므로, 최근 출원이 차지하는 비율이 높아 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야가 최근에 부상하고 있는 기술인 것으로 판단됨

구분	전체구간 건수	최근구간 건수	출원 점유율 (%)
전체	1,374	441	32.1%

5.8 시장별 세부기술 시장점유율 분석(CR4)

□ 한국

<표 4-167> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 한국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
한국건설기술연구원	6	3.2		1
현대건설	5	2.6	5.8	2
디에이치산업안전(주)	4	2.1	7.9	3
아이리얼	4	2.1	**10.0**	4
홍익대학교세종캠퍼스	4	2.1	12.1	5
금병엽	3	1.6	13.7	6
손창범	3	1.6	15.3	7
아시아나아이디티	3	1.6	16.8	8
이원찬	3	1.6	18.4	9
인하대학교	3	1.6	20.0	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	190	100%	CR4=10.0	

○ 특허점유율은 한국건설기술연구원이 3.2%, 현대건설은 2.6%, 디에이치산업안전(주)는 2.1%, 아이리얼은 2.1%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 10.0%로 CR4 값은 10.0이므로 한국에서의 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

○ 의미 : CR(Concentration Ratio) 지표는 상위 몇개 기업의 시장점유율을 합한 것으로, CR1, CR2, CR3, CR4 등으로 표시함. 즉 CR1은 시장점유율 1위 기업의 시장점유율을 말함. CR2는 1위와 2위의 시장점유율을 합한 것, CR3는 1~3위의 시장점유율을 합계한 것임

□ 미국

<표 4-168> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 미국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION	11	1.8		1
BESPOKE INC	10	1.7	3.5	2
Z-TECH (CANADA) INC	5	0.8	4.4	3
DKL INTERNATIONAL, INC.	4	0.7	**5.0**	4
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	4	0.7	5.7	5
NON-INVASIVE TECHNOLOGY, INC.	4	0.7	6.4	6
Uber Technologies, Inc.	4	0.7	7.1	7
ALFORD SAFETY SERVICES, INC.	3	0.5	7.6	8
ATSER, Inc.	3	0.5	8.1	9
BARBARA ANN KARMANOS CANCER INSTITUTE	3	0.5	8.6	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	595	100%	CR4=5.0	

○ 특허점유율은 INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES이 1.8%, BESPOKE INC는 1.7%, Z-TECH (CANADA) INC는 0.8%, DKL INTERNATIONAL, INC.는 0.7%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 5.0%로 CR4 값은 5.0이므로 미국에서의 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ **일본**

<표 4-169> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 일본 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
SHIMIZU CORP	29	4.0		1
OHBAYASHI CORP	28	3.9	7.9	2
KAJIMA CORP	22	3.1	11.0	3
MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD	20	2.8	**13.8**	4
TAISEI CORP	17	2.4	16.1	5
TAKENAKA KOMUTEN CO LTD	17	2.4	18.5	6
HITACHI LTD	14	1.9	20.4	7
SUMITOMO MITSUI CONSTRUCTION CO LTD	11	1.5	21.9	8
CHUGOKU ELECTRIC POWER CO INC:THE	10	1.4	23.3	9
PENTA OCEAN CONSTR CO LTD	10	1.4	24.7	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	720	100%	CR4=13.8	

○ 특허점유율은 SHIMIZU CORP가 4.0%, OHBAYASHI CORP는 3.9%, KAJIMA CORP는 3.1%, MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD는 2.8%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 13.8%로 CR4 값은 13.8이므로 일본에서의 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ 유럽

<표 4-170> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 유럽 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
ACCENTURE GLOBAL SERVICES GMBH	3	2.0		1
MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD	2	1.3	3.4	2
Z-TECH (CANADA) INC	2	1.3	4.7	3
HONEYWELL INT INC	2	1.3	**6.0**	4
HEXAGON TECHNOLOGY CENTER GMBH	2	1.3	7.4	5
ZTE CORPORATION	2	1.3	8.7	6
DeutscheInstitutefürTextil-und FaserforschungDenkendorf	2	1.3	10.1	7
Siemens Building Technologies AG	2	1.3	11.4	8
UnitedStatesGreenBuildingCouncil (USGBC)	2	1.3	12.8	9
MITSUBISHI HEAVY IND LTD	1	0.7	13.4	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	149	100%	CR4=6.0	

○ 특허점유율은 ACCENTURE GLOBAL SERVICES GMBH는 2.0%, MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD는 1.3%, Z-TECH (CANADA) INC은 1.3%, HONEYWELL INT INC는 1.3%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 6.0%로 CR4 값은 6.0이므로 유럽에서의 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ 국제

<표 4-171> 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 국제 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
ZTE CORPORATION	6	4.4		1
BARBARA ANN KARMANOS CANCER INSTITUTE	2	1.5	5.9	2
대성산업	2	1.5	7.4	3
JGC CORPORATION	2	1.5	**8.9**	4
㈜써포텍	2	1.5	10.4	5
㈜피에스테크	2	1.5	11.9	6
피플리안	2	1.5	13.3	7
홀인원	2	1.5	14.8	8
ACCENTURE GLOBAL SERVICES GMBH	1	0.7	15.6	9
Z-TECH (CANADA) INC	1	0.7	16.3	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	135	100%	CR4=8.9	

○ 특허점유율은 ZTE CORPORATION이 4.4%, BARBARA ANN KARMANOS CANCER INSTITUTE는 1.5%, 대성산업은 1.5%, JGC CORPORATION는 1.5%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 8.9%로 CR4 값은 8.9이므로 국제에서의 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	10.0	5.0	13.8	6.0	8.9

5.9 결론 및 시사점

○ 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1975년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 1990년대 초부터 본격적인 출원활동이 이루어졌으며, 현재까지 증가와 감소를 반복하다가 가장 최근인 2016년에는 108건을 출원하여 최다 건을 기록하였음. 이와 같은 양상으로 볼 때 해당 분야의 특허출원 건수는 꾸준히 증가할 것으로 전망됨

○ 주요시장국 중 미국과 일본이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사되었음

○ 기술시장 성장단계를 살펴보면, 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 단위기술들은 1구간에서부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

○ 시장별 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요 시장국 모두 단위기술 모든 분야에 골고루 출원을 하고 있는 것으로 나타남

○ 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA) 관련 특허출원이 점유율이 47%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB) 관련 특허출원 비중이 35%로 나타나 그 뒤를 이었음

○ 초반에는 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA) 기술에 대해서 출원하다가 점점 출원기술 대상이 다각화되었으며, 최근 들어서는 스마트 안전 통합 관제 시스템(ACC)의 비중이 높아지고 있는 것으로 나타남

○ 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 건설현장 근로자 안전확보 기술(ACA)에서는 MATSUSHITA ELECTRIC 17건으로 최다출원인으로 조사되었으며, HITACHI LTD가 11건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 임시 구조물의 스마트 안전확보 기술(ACB) 분야에서는 SHIMIZU CORP가 26건으로 최다출원인으로 조사되었으며, OHBAYASHI COR이 25건으로 최다출원인으로 나타났음

○ 스마트 안전 통합 관제시스템(ACC) 분야에서는 BESPOKE INC가 13건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, ZTE CORPORATION이 8건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 스마트 안전 통합 관제시스템(ACC) 분야는 특정 출원인이 기술을 선도하기보다는 여러 출원인들이 고루 기술개발을 진행하고, 기술격차가 크지 않은 것으로 조사됨

○ IP 부상도 분석 중 출원증가율을 살펴보면, 전체 이전구간 대비 최근구간 출원증가율인 29.7%보다 높은 값으로 한국에서는 이전보다 최근에 매우 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석되었음

○ IP 부상도 분석 중 최근 출원 점유율을 살펴보면, 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC)의 세부기술별 전체출원 대비 최근출원의 점유율은 평균 32.1%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가지므로, 최근 출원이 차지하는 비율이 높아 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야가 최근에 부상하고 있는 기술인 것으로 판단됨

○ 마지막으로, 시장별 세부기술 시장점유율 (CR4)를 살펴보면, 모든 주요시장국에서의 스마트 안전 통합 관제 시스템(AC) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높지 않은 것으로 나타남

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	10.0	5.0	13.8	6.0	8.9

4절 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드

1. 사업 대상 및 범위

□ **스마트 건설화를 위해 도로 인프라 사업에서 발생하는 정보와 경험을 융합하는 Digital Transformation 과정을 통해 디지털화하고 각 단계별, 참여주체별 정보 교환의 인터페이스를 정의함**

○ 도로 인프라 자산의 디지털 정보 활용 가치 증대를 가능하게 할 디지털 모델 기반의 표준화 및 플랫폼, 지능형 시뮬레이션 및 새로운 서비스 창출 인터페이스 기술



[그림 4-317] 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드 개념도

○ 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술(4-1)은 도로 인프라의 객체, 공정, 인력과 장비, 참여주체에 부여되는 정보를 교환 가능한 형태의 디지털 정보로 정의하고 지능기술 기반의 지식화를 통해 건설 생산 프로세스 지원 및 디지털화 지수 평가 기술

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털트윈 기반 관리 기술(4-2)은 건설현장에서 수집되는 데이터에 기반하여 건설 프로젝트의 최적화를 위한 시뮬레이션 및 Digital Twin 모델 및 AR기반 건설정보 시각화 기술과 건설현장의 데이터를 수집, 축적, 관리, 분석, 시뮬레이션하고, 디지털 인프라의 운영 및 통합 관제를 위한 클라우드기반 스마트 건설 플랫폼 구현하기 위한 기술

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술(4-3)는 스마트건설의 구성 기술(건설장비자동화 및 관제 기술, 도로구조물 스마트 건설기술, 건설현장 안전 및 관리기술)들에 대한 종합적인 성능검증을 수행

<표 4-172> 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드 분야 기술 구성

핵심 기술	구성 기술
도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발
	도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발
	도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발
스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털트윈 기반 관리 기술 개발	실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발
	스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발
	디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발
	디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발
	스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발
스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발	도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구
	스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

2. (핵심기술 4-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발

2.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

□ **(디지털 정보 통합기술) 도로 인프라의 객체, 공정, 인력과 장비, 참여주체에 부여되는 정보를 교환 가능한 형태의 표준화된 디지털 정보로 정의하고 이를 저장, 관리, 분석, 활용, 갱신하며, 스마트 건설 생산과정을 협업적으로 지원하는 프로세스 통합 관리 기술 및 건설 지식화 체계 개발**

○ 수집 가공된 정보의 교환 (자동화장비, 모듈화 시스템, 서비스 등) 인터페이스를 연계하는 데이터 기반의 협업, 정보공유 및 전달, 활용 플랫폼 기술

○ 농업 분야를 제외하고 가장 정보의 디지털화가 이루어지지 않은 건설산업에서 운영 및 서비스를 위해 필요한 필수 정보를 기반으로 각 단계별 절차와 생성 정보의 교환 및 전달을 위한 정보의 인터페이스를 정의하고 이를 표준화하는 기술

○ 건설분야의 디지털 정보 표준화 기술에 기반한 설계-제작-조달-시공-운영 단계가 상호 단절없이(Seamless) 일관되게 연결되어 통합된 생애주기 건설 프로세스를 관리하기 위해 필요한 건설 디지털 정보의 승인, 납품 관리, 이를 축적한 이후 최적 지식정보를 제공할 수 있는 정보 통합 관리 기술

- 성과품 중심 데이터 수집 및 관리 관점의 CALS 체계를 생애주기 단계를 단일의 워크플로우에 기반한, 사용자 중심의 정보생성, 가공, 분석 및 의사결정 등 활용 및 분석 관점의 지식화 체계를 구성하는 기술

○ 현장으로부터 실시간 또는 비실시간으로 축적된 도로 분야의 정형 및 비정형 디지털 정보를 라벨링하여 능동적으로 검색, 변환, 분석을 위한 디지털 데이터 처리 및 활용 기술

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술

□ **현장에서 발생되는 장비·자재·인력 및 구조물에 부착된 모든 센서와 상황 정보를 수집·관리·공유하기 위한 정형/비정형 데이터 및 디지털 데이터 통합 표준*체계 개발**

※ **디지털 데이터 통합 표준이란?** 도로, 교량, 터널 등의 인프라 시설에 대한 표준화된 BIM 데이터와 함께 센서 데이터, 도로 디지털 데이터(Digital Twin 및 지형 데이터 등), 장비·인력·자재 등 자원 데이터, 외부 시스템 등의 정형·비정형의 디지털 데이터를 단일 표준 프레임워크로 통합하여 공통 환경에서 사용자 요구의 양방향 디지털 정보교환을 가능하게 하는 표준체계

○ 도로건설 현장 및 타시스템으로부터 연계·축적된 데이터 및 정보를 기반으로 현장요구 및 성과품 납품/관리 문서 자동 생성과 지식 표준화를 통해 공통의 데이터공유 환경내에서 정보의 교환, 저장, 관리 및 갱신이 가능하도록 사용자 간, 시스템 간, 사용자와 시스템 간 상호 운영성을 확보하는 기술 개발

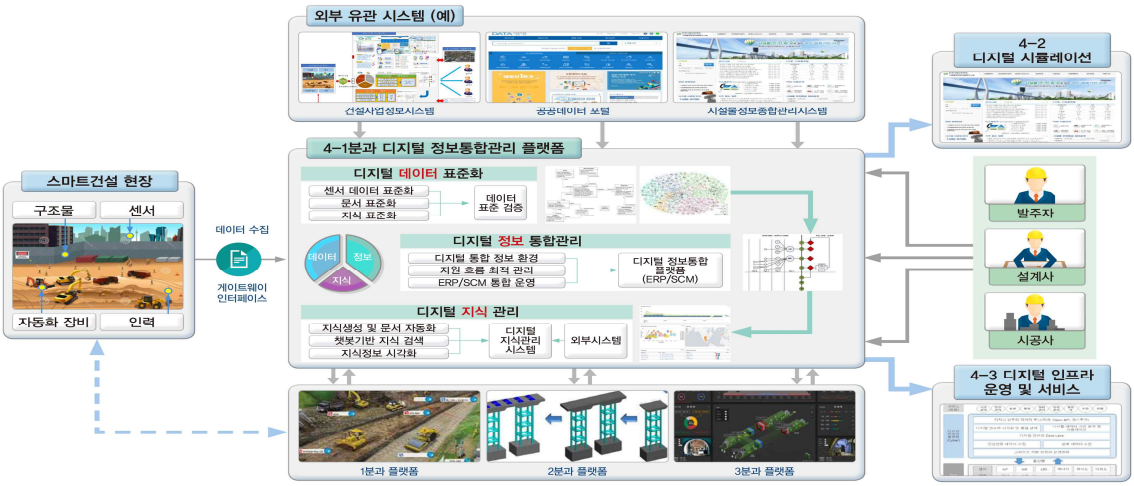
○ 도로현장으로부터 센서, 정형/비정형 및 외부 시스템의 데이터 전송 인터페이스를 통해 정제된 데이터의 라벨링, 필터링, 정보를 가공하고 이를 통해 지식 생성이 가능하도록 신뢰성 있는 데이터를 제공하는 무결성 등 품질검증 기술 개발

- 도로현장에서 수집된 센서 데이터는 Raw데이터를 한번 필터링하여 정제된 형태이므로 분과별 자체 플랫폼에서 보유한 데이터를 통합 플랫폼에 공유 전송하는 경우, 정보나 지식으로 구성하기 위해서는 데이터 자체의 무결성, 보안성, 유효성, 신뢰성 등 품질검증을 할 수 있는 기술 개발
- 플랫폼으로 전송 및 납품되는 디지털 데이터 성과품이 설계, 시공기준 등에 적합한지 확인하기 위해 기존 기준을 규칙 Set으로 구성하고 입력된 성과품을 상호 비교함으로써 성과품 자체의 기준코드의 적합성을 확인하는 품질 검증 기술 개발

(구성기술 4-1-2) 도로분야 디지털 정보 기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

□ **디지털 건설정보통합 플랫폼에 축적된 데이터, 정보를 기반으로 외부 유관 시스템 연계를 통해 장비 자동화 현장 및 프로패브리케이션 과정에 필요한 작업 운영, 품질검토, 분석, 프로젝트 관리 및 안전관리 등의 현장 요구사항에 능동적으로 대응할 수 있는 지능형 챗봇 검색 및 디지털 지식 문서화 기술과 디지털화 인덱스 지수 개발을 통한 디지털화 수준 성숙도 평가**

○ 도로건설 환경에서 생성되는 정보의 음성, 이미지, 객체 인식 기술을 활용하여 이들 특징정보(Feature Extraction)를 추출하고 정보들 사이의 의미(Semantic Information)를 구성하여 현장의 복합적 지식정보를 디지털 문서, 음성, 정보 템플릿 등으로 제공하고 지식제공이력을 관리하고 디지털화 수준을 평가하는 기술



[그림 4-318] 도로인프라 디지털 정보 플랫폼 기술 개념도

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

□ **도로건설 현장의 모든 정보(센서, 정형, 비정형, 단위 플랫폼, 외부 시스템 등)를 단일의 공통데이터 공유 및 운영 환경 구축으로 모든 스마트 건설 생산 과정에 대한 생애주기 프로세스를 통해 데이터 및 정보의 상호 단절 없이 Seamless하게 일관된 형태로 제공하는 프로세스 협업관리 통합 플랫폼 구축 및 정보운영 기술 개발**

○ 스마트 건설현장의 장비 자동화(1분과)와 프리패브리케이션(2분과) 프로세스의 구매, 조달, 제작, 조립, 검사, 건설현장 안전관리(3분과) 등에 요구되는 정보의 제공 및 통합 프로젝트 관리를 지원하고 자원의 흐름 최적화를 통해 현장의 최적 운영관리체계 구축을 위한 Smart Delivery 지원 기술 개발

- (4분과) → (1분과) : 토공 작업 및 경로 계획 수립, 장비 배치 및 운영 최적화, 진도관리, 공정계획 수립 등에 관한 분석 정보 및 지식 제공, (2분과), (3분과)를 복합적으로 고려한 (1분과) 작업 운영 계획 지원

- (4분과) → (2분과) : 모듈러 공정의 전과정(설계→자재발주→공장제작→현장조달→시공→검증)을 통합적으로 지원하고 자원(자재, 인력, 장비)의 흐름체계를 종합적으로 관리, 모듈러 시공계획 수립 지원, (1분과), (3분과)를 복합적으로 고려한 (2분과) 작업 운영계획 지원

- (4분과) → (3분과) : (1분과)의 토공 현장, 장비 운영 등에 관한 안전관리 및 (2분과) 모듈러 시공의 안전관리 요소를 복합적으로 고려한 안전관리 계획 지원

(2) 범위

○ 도로 인프라의 물리적 환경(현장, 구조물, 자재, 장비, 인력 등)의 센서(실시간, 비실시간), 외부 유관 시스템(CALS, Data포털 등) DB로부터 발생되는 모든 정형, 비정형 데이터를 표준화된 형태로 구조화하여 개발

- 수집, 저장, 교환하고 이러한 정보를 생애주기 Supply Chain 프로세스 관점에서 통합적으로 분석, 관리, 협업, 공유, 갱신하며, 축적된 정보를 지식정보로 구성하여 사용자(현장, 관리자, 장비 등)에게 다양한 방식(음성, 이미지, 그래프, 테이블, 모델, 문서 등)으로 지식서비스를 제공하는 오픈 지식관리 시스템 구축 기술
- 물리현장의 센서 데이터를 포함한 다양한 정형, 비정형의 데이터를 컴퓨터가 이해할 수 있도록 상호운영성을 확보하는 표준화 기술
- 이를 위해 수집되는 데이터(센서, 이미지, 문서, 수치 등)를 특정 표준화된 구조체계로 구축하여 단일의 표준 프레임워크를 기반으로 공통된 정보교환 환경을 구현하는 기술
- **디지털 데이터 통합표준 개발범위** : 도로 디지털 데이터는 도로의 설계·시공에 관한 모든 데이터를 다루며, 자원(자재, 장비, 인력) 및 구조물의 센서 데이터, BIM 데이터(지형 및 Digital Twin모델), 현장 상황 데이터, 현장 Edge Cloud 제공 정형 디지털 데이터, 외부 건설관련 운영시스템 연계, 현장상황 및 프로세스 요구 별 필수 도로 디지털 데이터의 수집·저장·관리·공유하는 통합 표준 개발을 범위로 함

○ 수집되는 데이터를 가공(필터링 등)하여 지식정보로 생성하기 위해 연결데이터(Linked Data) 구조화 및 이를 디지털 문서정보로 구현할 수 있는 지식 표준화 기술을 개발

- 이와 함께 수집되는 모든 데이터 품질을 검증할 수 있는 AI기반의 스마트 데이터 품질검증 기술 개발

○ 모듈러, 자동화 시공 및 안전관리를 위해 통합된 발주, 설계, 제작, 조달, 시공 등의 워크플로우를 기반으로 모든 자동화 공정에 따른 정보흐름 관점에서의 승인, 저장, 납품, 관리를 위한 디지털 통합 정보 환경을 제공하는 기술 개발

- 각 모듈러, 자동화 시공 공정의 건설자원 흐름관리를 최적화하여 장비, 인력 등 자원 운영의 효율성을 제공할 수 있도록 하는 AI기반 자원 흐름 최적화 기술(알고리즘 및 단위 모듈)* 및 Smart Delivery** 시스템 개발

* 프로젝트별로 수집된 장비, 인력, 자원의 운영을 워크플로우 관점에서 학습하고 현장의 실시간으로 변화되는 리스크 환경에 대응할 수 있도록 최적의 자원 Delivery 조합 결과를 제공할 수 있도록 하는 인공지능 기술 개발

** Smart Delivery 시스템이란? 도로 프리팹 구조물의 전 생산과정(발주→구매→제작→조달→조립(시공)→검사)을 단일의 프로세스 통합 환경에서 One-Stop으로 지원하는 시스템임. 이는 프리팹 구조물의 최적 자원흐름 관리를 위한 ERP(Enterprise Resource Planning)+BIM 기반의 공통 데이터 환경에서 자원 및 공정 최적화를 위한 PMIS(Project Management Information System)+발주 및 조달을 지원하는 SCM(Supply Chain Management)을 BIM과 하나로 통합하며, 현장 상황에 따라 일관된 프리팹 생산과정의 능동적 수행을 가능하게 하는 시스템임 (유사 예: 미국 Katerra 생산시스템-목조건축물 대상)

  - 이는 2-1에서 구성하는 설계-제작-시공의 각 단계별 요구 디지털 엔지니어링 모델 및 제작과 시공 정보 제공을 지원할 수 있도록 하고 모든 프로세스 처리는 Smart Delivery 시스템을 통해 이루어지도록 함

○ 디지털 통합정보 환경과 최적 알고리즘에 따른 모듈러, 장비 자동화 공정을 통합적으로 협업 지원할 수 있는 Supply Chain 운영 플랫폼 기술

- 축적된 디지털 정보(지식플랫폼, 건설사업정보화 및 MS시스템 등)를 활용하여 자동화 장비의 최적운영, 관련된 운영 및 안전 지식정보를 자동 생성하고, 이를 기반으로 디지털 문서를 자동 생성하는 기술

- 도로의 설계, 시공과 관련된(예: 장비 자동화, 모듈러 및 안전관리 등) 정보를 제공하기 위한 AI-챗봇 기반 지식 검색 기술

○ 다양한 안전관리 지식정보를 통합 관리할 수 있는 스마트 지식관리 시스템과 사용자 친화의 지식 시각화 도구 및 지식의 사용현황을 관리하고 모니터링하는 대쉬보드 구현 기술

○ 디지털 정보통합 플랫폼 개발을 통하여 스마트 건설 프로세스에 적용하였을 경우 도입 이전과의 디지털화 수준 비교분석을 위한 디지털화 인덱스 개발 및 비교 평가 기술

2.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ **2012년부터 국제표준화기구(buildingSMART International)를 통해 건설정보 데이터의 상호운영성 확보를 위해 인프라 시설(도로, 교량, 터널, 하천, 항만 등)에 대한 데이터 교환 표준 개발 추진 중임**

○ BuildingSMART International(bSI)은 BIM의 인프라 분야 적용 확대에 따라 2012년부터 도로를 중심으로 교량, 항만 등에 대한 IFC(Industry Foundation Classes) 표준 개발을 진행 중이며 2022년 이후 ISO 국제표준 등록을 목표로 하여 건설데이터의 상호운용성 생태계 구축 추진

- 교량은 프랑스 주도로 bSI에서 표준개발 중이며, 2019년 상반기 IFC4의 개정 버전으로 추가될 예정
- 도로분야는 대한민국(KICT) 주도로 2019년 말 표준 개발을 목표로 기술문서 작성 등을 추진 중임
- 이러한 표준 개발결과를 2022년 IFC5의 국제표준(ISO)으로 통합 등록 예정

○ IFC표준 외에도 인프라 자산관리, 건설 데이터의 지식을 구성하는 핵심 기술인 Linked Data에 관한 표준 개발을 추진 중임

- 향후 BIM 데이터를 기반으로 지식을 생성하고 활용할 수 있는 핵심 표준의 개발과 BIM의 궁극적 활용 목표인 유지관리 이후 자산관리를 위한 핵심 표준으로 적용할 것으로 논의됨

□ **우리나라는 2020년부터 500억 이상 신규 도로공사에 대하여 BIM 의무화**

○ 국내에서는 2012년부터 추진되어온 제4차 건설사업정보화기본계획('13~'17)과 제5차 건설사업정보화기본계획('18~'22)을 통해 도로분야 BIM 도입 기반 확보를 통한 표준, 라이브러리, 검증도구 개발로 기술체계와 발주자 BIM 가이드라인 발간으로 BIM 발주 확대 기반 구축함

- 최근 지방청 BIM 시범사업의 확대로 2019년부터 턴키 사업에 본격적인 BIM 설계 추진하여 2020년 500억 이상 신규 도로공사 BIM의무화에 따른 성과품 납품, 검증 관리를 위한 통합 플랫폼 개발 중

- 한국도로공사는 2015년 Ex-BIM 가이드라인을 발간하여 BIM을 신규 고속도로 설계에 적용하기 위한 사업을 추진하였으며, 최근 시공 BIM단계까지 확장하여 시범사업을 진행중임

○ 이미 자체 로드맵을 구축하여 2019년부터 BIM 설계 의무화 예정이며, 성과품을 통합 관리할 수 있는 자체 플랫폼 구축 연구 돌입

○ 국토부에서는 Smart Construction 2025 전략을 통해 BIM을 기반으로 한 건설 프로세스의 제조업화 달성을 위한 세부 전략 Roadmap 마련 중이며, '19.5월부터는 BIM 및 건설 자동화 기술 등 스마트 건설관련 R&D성과를 공사공단 발주 사업에 시범적용 추진

□ **해외에서는 디지털 인프라의 개념으로 데이터를 기반으로 건설 생애주기를 통합 관리, 운영하기 위한 개념이 도입되고 있고 건설의 제조업화라는 새로운 패러다임 전환을 위해 국가별 전략을 수립 중임**

○ '16년 세계경제포럼(WEF)은 건설분야 4차 산업혁명을 구현하기 위한 핵심기술로 BIM을 언급하였으며, BIM이 건설 생애주기를 다루는 요소기술로 정의하고 있음

- 이와 관련하여 다양한 국가별 전략(영국, 독일 등)이 수립 중임

- 영국에서는 BIM이 디지털 정보를 기반으로 한 순환경제 개념을 도입하여 BIM에 의한 구조물의 조립, 제작, 설치 등이 가능하며 이러한 과정에 발생되는 디지털 건설정보들은 생애주기를 통해 재사용 되어 새로운 건설정보의 경제적 가치를 갖도록 함

- 또한 건설분야 디지털 인프라의 핵심기술로 정형, 비정형의 정보, 정제된 데이터를 기반으로 빅데이터를 분석하고 인공지능 기술을 통한 설계자동화, 데이터 지식화 등을 구현할 수 있도록 혁신적인 기술 개발이 이루어지고 있음

(2) 추진 필요성

□ **[연구 필요성] 최근 건설의 4차 산업혁명의 패러다임 전환으로 건설의 생산방식이 디지털화, 지능화, 지식화의 체계로의 변화를 요구하고 있고 이에 따라 기존의 건설정보를 단순히 수집, 저장, 관리하던 방식에서 이를 분석, 활용, 갱신하는 새로운 차원의 정보 활용 방식의 도입을 요구하고 있음**

○ 이에 따라 기존의 독립된 건설정보 시스템에서 자체 DB를 통해서만 이루어지는 Silo형태의 관리방식을 상호 데이터간의 연계체계 구축을 통해 지식화하여 사용자에게 제공할 수 있도록 하는 디지털 데이터 통합 표준에 의한 스마트 지식 표준체계의 구축이 필요

○ 또한 기존의 도로 구조물 생산방식은 대부분 현장 제작 및 시공 방식으로 생산성이 매우 저하되고 생산단계별 프로세스 지원 시스템 구축 미흡으로 생산 프로세스의 단절로 인한 정량적 손실 발생. 이를 해결하기 위해 기존 도로 구조물 생산방식을 공장제작 방식인 모듈러(프리팹) 방식으로 전환하고 이의 생산 전 공정을 통합적으로 지원할 수 있도록 하는 시스템 구축이 매우 필요

○ 기존의 건설정보 시스템은 단편적인 데이터 가공을 통한 통계정보의 제공, 제한적인 검색 기능으로 건설 프로세스에 필요한 적재적소의 지식정보 제공에 매우 한계. 이를 위해 기 구축된 건설정보 시스템의 데이터와 현장 수집 데이터의 상호 연계에 따른 지식화를 통해 특정 업무 도메인(안전, 리스크, 모듈러 생산 등)에 대한 축적된 데이터의 AI-학습으로 원하는 형태의 지식정보를 제공받을 수 있도록 하는 챗봇 및 지식관리 시스템 구축 필요

□ **[정부지원 필요성-1] 인프라 시설은 정부가 발주 및 관리하는 공공적 성격의 시설이므로 건설 현장으로부터 수집되는 모든 데이터 및 정보는 정부(발주처)가 수집, 저장, 관리에 대한 책임이 있으며, 이를 통해 제공되는 정보 및 지식은 정부가 신뢰성 있는 유형으로 가공하여 민간에게 제공할 수 있도록 기술 기반을 구축하여 서비스할 필요가 있음**

○ 현장으로부터 수집되는 정보는 국가가 요구하는 형태로 수집, 공유, 관리할 수 있도록 표준화되어야 하며, 이를 기반으로 모든 성과품을 납품할 수 있도록 관련 제도 및 시스템 환경을 제공할 필요가 있음

○ 도로건설은 정부(발주처)가 발주하는 시설이므로 이에 대한 설계, 시공에 필요한 관련 정보뿐만 아니라 높은 신뢰성을 갖는 도메인별 지식정보를 최적화된 형태로 제공할 수 있어야 함

○ 도로 구조물의 모듈화(프리팹) 생산 과정을 통해 발생되는 모든 정보는 발주처에 의해 관리되며, 이를 통해 발주처는 공정 모니터링, 자원의 투입에 따른 기

성예측 등으로 프로젝트의 현황을 파악할 수 있음. 또한 도로 구조물의 모듈화 생산 프로세스를 단일의 표준에 근거하여 통합된 환경에서 지원할 수 있도록 하는 시스템을 제공할 필요가 있음

□ **[정부지원 필요성-2]국토부는 2020년 500억 이상 신규 도로공사에 BIM을 적용하고 2025년까지 스마트 건설구현을 위한 필수 기술개발에 대한 요구와 기존 축적된 건설정보의 재활용을 통한 정보의 부가가치 창출 및 자동화 연계를 통한 건설 생산성과 안전성을 혁신 요구-건설산업 혁신을 위한 4대 부문 핵심전략 중 기술혁신으로 스마트 건설기술 활성화 할 것이라고 공언함**

○ 2025년 이후 건설자동화 구현을 위해 스마트 건설전략 및 기술 로드맵을 우선 수립하고 이에 따른 세부 수행전략으로서 건설정보의 지식화, 지능화와 설계 자동화를 통한 시공 자동화와 연계할 예정

- 수집되는 모든 정보를 통합관리, 분석, 예측, 운영 등 재활용이 가능하도록 통합 플랫폼 구축 필요

○ 모든 자원 및 시스템간의 데이터 연계를 위해 표준 개발이 선행되어야 하나 여전히 정보가 단편적으로 저장·관리되고 있음

- 향후 온라인과 오프라인의 건설을 연계하기 위해서는 상호 운용성을 확보하여 신뢰도를 높일 수 있는 표준화 및 정보 통합을 통한 시스템 개발 연구가 필요함

○ 기존의 건설 정보는 단편화된 수치(문자, 숫자 등) 정보를 기반으로 하고 있으며, DB를 통해 저장, 관리되는 수준으로 이들 정보를 외부로 연계하거나 의미있는 정보로 추출하여 공유하기 위한 표준정보체계를 갖고 있지 못함

- 기존 CALS 시스템은 2D성과품을 납품받아 저장 관리하는 차원에서 이루어지며, 이를 통해 사용자가 원하는 정보로 가공하여 제공하는 활용체계의 정보제공 서비스 구축은 매우 미흡함. 또한 DB관점의 수치 데이터를 기반으로 하고 있으며, 이들 정보의 신뢰성을 확보할 수 없어 사용자 제공 수준이 매우 낮음
- 현장의 자원 정보를 표준체계로 수집, 저장하고 분석된 결과를 다시 현장의 자원에 제공할 수 있도록 하는 공통의 표준체계 구축이 필요
- 건설 생애주기 프로세스를 다루는 매우 다양한 S/W와 시스템 및 플랫폼과 현장(On-Site)간의 상호 정보 연계 및 공유가 이루어지지 않아 정보의 활용수준이 낮음
- 수집되는 과정에 손실되어 후속되는 건설 프로세스의 활용에 단절됨

○ 이미 제조업에서는 제조 자동화를 통해 발생되는 모든 정보를 수집, 저장, 관리하여 지속적인 제조 프로세스 개선 및 품질 향상 등을 도모하고 있음

- 반면, 건설업은 현장에서의 시공 프로세스를 통해 수집되는 정보가 문서나 DB로 존재하여 건설 생산성을 개선하는데 활용하고 있지 못함

○ 모듈러 공법의 효율성 개선을 위해서는 모듈 제작, 조달, 현장 조립까지의 공정 및 자원흐름 프로세스를 최적화 시켜야 하며, 이러한 최적화는 현장에서 시공하는 교량의 규모에 적합하게 최적화 모형 제시가 필요. 이를 위해 모듈 제작과정에도 모듈의 사이즈와 제작 공장의 규모, 일회 생산양 등을 고려하여 최적 야적장 구성 및 자원투입 프로세스를 구성하여야 하고, 제작된 모듈의 야적을 위해 제작장 야적장과 시공 현장 야적장의 규모를 고려하여 최적의 재고관리가 되도록 생산 일정을 조정할 필요가 있음

○ 국내는 스마트건설의 전환에 따른 디지털화 수준을 측정할 수 있는 별도의 지수가 마련되어 있지 않고, 맥킨지에서 발간한 산업군별 디지털화 인덱스를 참조하는 수준에 그침. 향후 스마트건설 R&D를 통해 변화되는 디지털화 수준을 각 업무의 영역에 따라 수준을 측정하고 ROI를 평가할 수 있도록 하는 스마트건설 디지털화 인덱스를 개발하고 실제 사업의 수행을 통한 비교 평가체계의 구축이 필요함

2.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **건설현장에서는 다양한 형태의 정보를 발생시키고 이를 기록, 관리하고 있으나 저장된 정보의 관리에만 그칠 뿐 현장에서 필요한 정보로 재가공하여 의미있는 정보로 제공하는데 한계가 있음**

○ 현재 운영되는 건설사업정보시스템은 지난 20년 이상 사업관리 및 성과품 정보를 저장·관리하고 있으나 데이터의 신뢰도가 낮고 데이터 공개 수준이 낮음

- 공공 및 민간의 영역에서 정보를 분석하거나 활용하는데 제약이 있으므로 현재의 기술수준에서는 현장의 장비, 센서 등의 정보를 수집, 관리 및 관제하기 위해 표준연계 및 자원기반 워크플로우 통합관리 기술 기반 미흡

- 이미 해외에서는 BIM정보를 활용한 현장 시공 및 품질 관리를 수행하나 아직 국내에서는 이러한 경우가 많지 않음

○ 특히 현장의 다양한 센서 및 시공장비로부터의 운영 데이터를 실시간으로 수집할 수 있는 표준이나 인터페이스 및 플랫폼이 없어 일관되고 신뢰성 있는 데이터의 수집 및 저장과 이를 생애주기 단계에 통합 적용하는데 한계가 있음

- 축적된 건설정보를 현장에서 건설 프로세스 수행 및 장비 운영 과정에서 의미 있는 분석 및 예측 정보로 활용하기 위한 정보간 교환, 공유, 협업 및 관리를 위한 표준 체계가 부재인 상태
- 해당 표준을 기반으로 건설 워크플로우를 다룰 수 있는 통합 환경 구축이 미흡함

(2) 개선방안

○ 표준: 건설정보를 경량화된 디지털 정보로 변환하고 실시간 수집, 연계, 저장, 관리, 협업, 공유 및 재활용 등이 가능하도록 하는 정보통합 표준체계 및 검증기술 개발

- 디지털 정보의 상호 교환 및 공유를 위한 표준 코드, 템플릿, 스키마를 포함한 통합 프레임워크 및 데이터 모델링 기술
- 건설자원 수집정보의 실시간 전송 및 저장을 위한 데이터 경량화 기술
- 플랫폼에 수집, 저장, 정제된 건설정보를 활용한 지식정보 생성을 위한 지식 그래프 기반의 디지털 문서, 검색결과, 현장 질의 정보 등의 지식에 대한 Semantic 기반 지식표준화 기술
- 장비 등 자원의 센서정보에 대한 무결성 및 신뢰성 검증 기술
- 시공 장비 운영 적정성 검토를 위한 실시간 운영 시나리오 자동 검증 기술
- 자동화 설계, 시공 기준의 부합성을 검토하는 스마트 품질검증(Code Compliance Checking) 기술

○ 통합관리: 교량 모듈화 및 시공 자동화 프로세스의 제작, 조립, 시공 등 공정 워크플로우 상에서 발생되는 정보의 전달에 따른 승인, 저장, 납품 및 관리를 위한 프로세스 통합 관리 기술 개발

- 시공 자동화 공정의 디지털 통합정보 관리를 위한 CDE 체계 구축
- 시공 자동화 공정의 승인 · 저장 · 납품 · 관리 · 갱신을 위한 디지털 통합정보 환경 및 프로세스 체계 구축

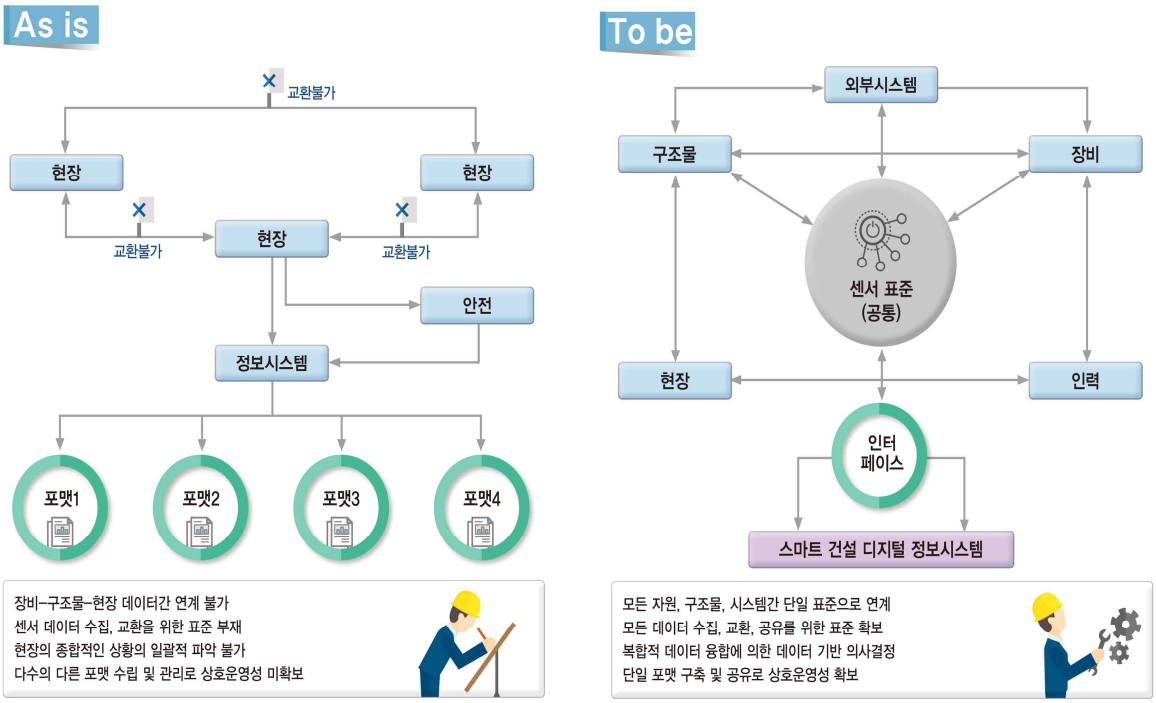
- 토공 자동화 및 모듈러 공정상에 투입되는 건설자원의 최적 흐름관리 및 투입 효율화를 위한 지능형 알고리즘과 의사결정 기술 개발
- 모듈러 시공 전(Total) 공정의 워크플로우 및 자원흐름의 통합관리를 위한 프로세스-자원-정보 통합 플랫폼 기술 개발

○ 지식화: 수집된 센서, 모델, 정형/비정형 등의 현장 정보를 수집, 축적하여 이를 기반으로 데이터간의 의미론적 연계 체계를 자동화하고 이를 활용하여 지식정보로 생성함으로써 다양한 현장의 운영환경을 지원할 수 있는 지식화 및 시각화 대쉬보드 기술 개발

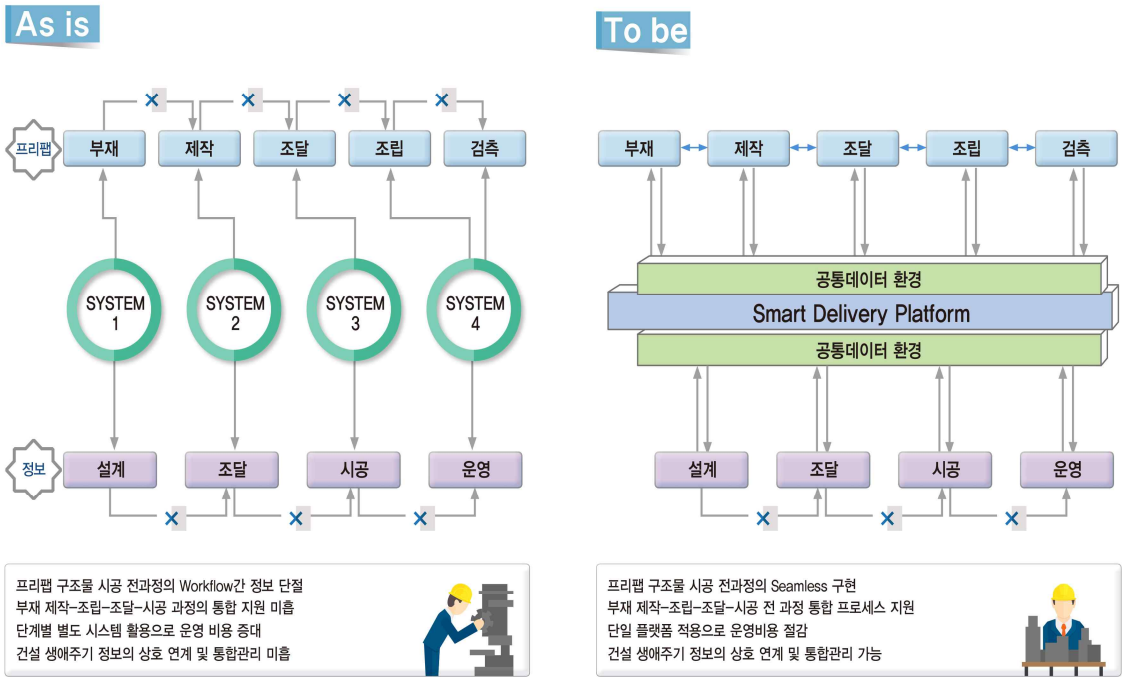
- 지식화 표준체계를 활용한 자동화 사용자 요구에 따른 현장 대응형 건설지식정보 자동 구성 기술 개발
- 센서 및 정형/비정형 데이터를 포함한 3차원 객체의 지식정보 추출 및 지식그래프 자동 생성을 위한 변환 기술 개발
- 플랫폼에 저장된 방대한 정보를 기반으로 지식 그래프를 생성하고 Semantic 구성체계에 따라 현장에서 요구하는 지식의 형태로 구성하여 템플릿으로 제공하고 이를 디지털 문서 표준체계에 따라 디지털 문서를 자동 생성할 수 있는 기술 개발
- 센서 및 지식정보의 시각화 알고리즘 개발을 통한 스마트 지식관리 시스템 및 시각화 도구와 사용자 반응형 지식현황 대쉬보드 기술 개발

<표 4-173> 도로분야 디지털 정보표준 기반 건설 생산 프로세스 통합 관리 기술(As-is To-be)

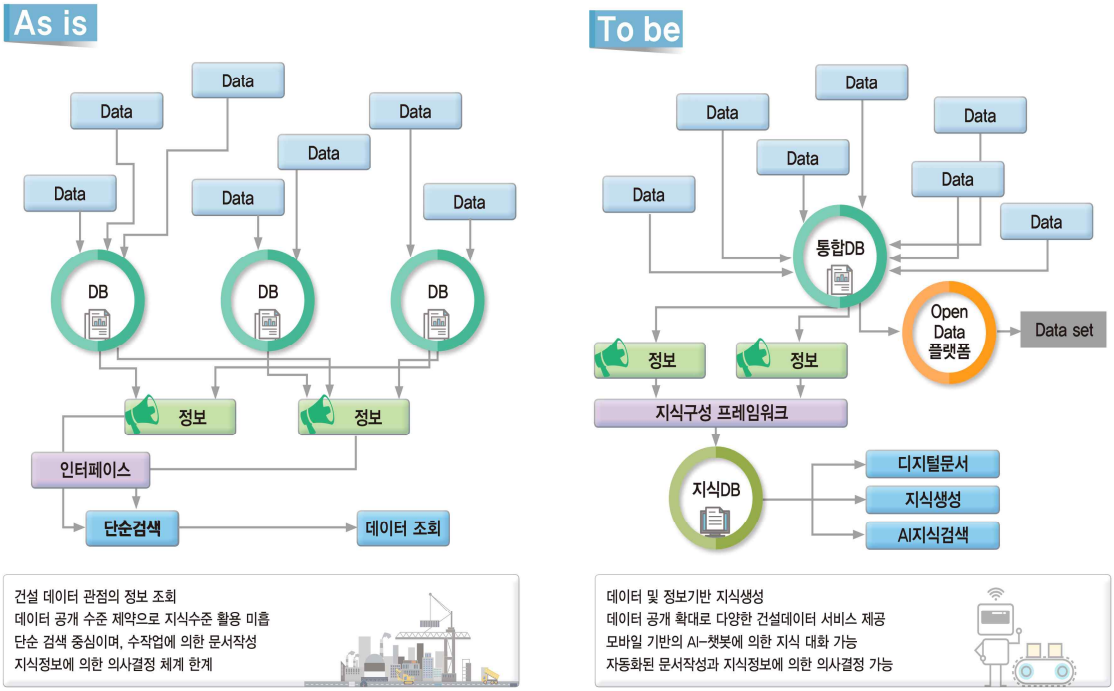
AS-IS	TO-BE
■ 건설 프로세스 정보 및 센서 연계의 비표준화 - 목적물(도로, 교량, 터널 등) 중심의 BIM 표준화 - 도로, 교량 등 BIM 표준화(일반 IFC) 개발 중 ■ 건설정보의 수집 및 DB 저장관리 중심으로 지식부재 - 장비 정보 수집불가 및 건설정보의 사용자 입력 - CD제출, 수동입력, 장비모니터링 불가; 지식 미활용 ■ 프로세스-자원-정보 상호 연계 미흡 - 경험적인 프로세스 및 자원관리 - 현장의 실시간 변동 반영 미흡, 사용자 업데이트 ■ 건설정보의 시스템별 분산, 통계적 의사결정 미흡 - 시스템간, 장비-시스템간, 장비간 상호 연계 미흡 - 분산된 시스템정보에 의한 낮은 정보 신뢰성	■ 건설 프로세스 및 자원객체 통합 연계 표준화 - 활용(연계, 관리, 협업)기반 디지털 정보/센서 표준 - IFC기반의 ifcOWL과 같은 지식표준 활용 ■ 자동정보 수집 및 디지털 정보의 스마트 지식 활용 - 표준기반의 자동화된 수집정보 저장 및 관리 - 자동입력 및 검증, 장비 모니터링 가능, 지식 활용 ■ 프로세스-자원-정보 통합 및 작업기반 자원 최적화 - 현장 상황의 실시간 대응한 최적 프로세스 관리 - 자동화된 현장정보 갱신 및 최적 자원흐름 관리 ■ 건설 생애주기 정보통합 및 지능형 의사결정 - 이력 및 지식을 기반으로 한 지능화된 의사결정 - 빅데이터를 활용한 높은 정보 신뢰성



[그림 4-319] 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술



[그림 4-320] 도로분야 디지털 통합정보 환경기반 모듈러 생애주기 공정지원 최적 프로세스 및 스마트 딜리버리 시스템 개발



[그림 4-321] 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

2.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

□ **정의: 도로 인프라 사업에서 발생하는 정보와 경험을 융합하는 Digital Transformation 과정을 통해 데이터, 정보와 프로세스를 디지털화하고 각 단계별, 참여주체별 정보 교환의 인터페이스를 정의하여 도로 디지털 데이터의 지식화 체계를 구축함**

○ 고품질, 인프라 자산의 디지털 활용 가치 증대를 가능하게 할 디지털 모델 기반의 정보화 및 플랫폼, 지능형 시뮬레이션 및 안전/공정 관리 기술, 디지털 인프라의 새로운 서비스 창출 인터페이스 및 지식화 기술 개발

○ 디지털 정보통합 기술: 인프라의 객체, 공정, 인력과 장비, 참여주체에 부여되는 정보를 교환 가능한 형태의 디지털 정보로 정의하고 이를 지식화 함

- 정제된 정보의 교환 (자동화장비, 시스템, 사용자 등) 인터페이스를 연계하는 데이터 기반의 협업, 정보공유 및 전달, 활용 플랫폼

- 자동화 시공 현장으로부터 수집되는 센서 및 건설정보의 표준화로 디지털화하고 현장의 자원(인력, 자재, 장비) 센서 정보를 통합적으로 상호 연계하여 실시간으로 수집되는 정보를 능동적으로 연계, 저장, 관리, 분석, 협업, 공유가 가능하도록 지식정보를 제공하는 디지털 정보통합 및 스마트 지식관리 시스템 개발

○ 건설 디지털 정보를 통합적으로 관리하고 현장의 자원과 연계를 통한 생애주기 활용을 위해 필요한 요소기술로는 (1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술, (2) 도로분야 디지털 통합정보 환경기반 모듈러 생애주기 공정지원 최적 프로세스 및 시스템 개발, (3) 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술의 3가지 핵심 기술로 구성됨

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발

○ 본 기술은 1, 2, 3중점분야의 토공 장비·교량 모듈화·터널 시공 자동화 장비 및 스마트 안전관리 기술에 요구되는 센서 및 정형/비정형의 건설 데이터의 모델-시스템 간 상호 운용성을 확보하기 위한 공통의 프레임워크를 기반으로 하는 디지털 정보 통합 표준체계 개발

(구성기술 4-1-2) 도로분야 디지털 정보 기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

○ 실시간으로 수집되는 센서 및 성과품의 데이터를 축적하고 이를 의미있는 데이터의 연계관계를 구성함으로써 지식을 생성하며, 디지털화된 지식문서를 자동적으로 생성하여 시공 자동화 운영에 직·간접적으로 지원할 수 있는 기술 개발

- 자동화 시공에서의 경험 및 안전관리 정보를 능동적으로 제공하기 위해 모바일 기반의 챗봇과 현장의 다양한 요구정보를 피드백 받을 수 있는 지식 검색 기술
- 이를 기반으로 지식정보관리 시스템과 지식 시각화 대쉬보드를 통한 스마트 현황정보 제공 기술 개발

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

○ 토공, 교량, 터널 등의 자동화 및 모듈러 공정 워크플로우를 지원하는 공통데이터 환경을 개발하고 건설 자동화 통합 공정 프로세스 및 자원 Delivery의 최적 의사결정 대안을 제공할 수 있는 Supply Chain 운영 기술과 Smart Delivery 체계 구축을 통한 디지털 정보기반 생애주기 프로세스 통합 시스템 구축

(2) 기술개발 목표

○ 디지털 정보통합 기술은 세부기술 키워드로 표준, 알고리즘, 인터페이스, 플랫폼 및 제도화 등으로 구분하며, 각 키워드 기술간 연계를 통해 목표 시스템을 완성할 수 있도록 개발 목표를 설정함

<표 4-174> 대상기술별 구현 범위

대상기술	표준	알고리즘	인터페이스	플랫폼	제도
건설 디지털 정보	○				○
자원 센서 연계	○		○		
장비 정보수집	○		○	○	
데이터 품질검증	○	○		○	○
정보통합 환경	○		○	○	○
자원흐름 최적관리		○	○		
지식정보 생성	○	○		○	
대화형 지식검색		○	○	○	
지식정보 시각화	○		○	○	
디지털화 인덱스	○				○

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발

□ **건설자원 센서 데이터의 정보통합(수집, 연계, 관리, 협업, 공유)을 위한 디지털 표준화 및 AI기반 품질검증 기술**

○ 도로 자동화시공의 지식정보 생성을 위한 Linked Data기반 지식 및 문서표준화 기술

○ 도로 디지털 데이터의 AI기반 스마트 품질검증 기술

(구성기술 4-1-2) 도로분야 디지털 정보 기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

□ **도로 자동화시공 지원을 위한 스마트 건설지식화 및 인덱스 평가 기술**

○ 건설안전 지식정보 제공을 위한 모바일 AI-챗봇(Chatbot) 및 지식 검색 기술

○ 건설안전 스마트 지식관리 시각화 도구 및 대쉬보드 기술

○ 스마트건설 도입에 의한 디지털화 인덱스 평가 기술

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

□ **모듈러 공정의 승인·저장·납품·관리를 위한 디지털 통합 정보환경 구축 및 Smart Delivery 기술**

○ 모듈러 공정의 건설자원 흐름관리/공정의 지능형 최적 알고리즘 및 의사결정 기술

○ 모듈러 공정지원을 위한 통합 Supply Chain 운영 지원을 위한 스마트 딜리버리 시스템 구축 기술

2.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

○ 건설정보의 표준화와 관련하여 미국, 유럽을 중심으로 분류체계, 코드, BIM, 정보 등의 자체 표준을 개발하여 활용 중에 있음

- 이를 시스템으로 구축함으로써 모든 정보의 교환, 운영 및 관리체계를 일원화하기 위한 노력들이 활발히 이루어지고 있음
- 국외 분류체계는 북미 Master Format, Uniformat 등, 유럽 CI/SfB 등의 정보 분류체계가 미국의 Omniclass와 영국의 Uniclass로 통합 발전
- Omniclass는 Masterformat의 공종, UniFormat의 요소, EPIC의 제품 등 다양한 분류체계를 기반으로 조합되었음
- 1998년부터 미국건설시방서협회(CSI)에 의해 OCCS개발 위원회를 구성. Omniclass v1.0 스팩으로 발간(2006년)

- ISO 12006/12911/16739 등 BIM정보체계 반영 국제표준 제정하고 선진국을 중심으로 BIM 정보체계를 의무화 도입 건설정책을 추진
- 1994년 국제표준화 기술위원회(ISO/TC 59)의 기술보고서 TR-14177이 ISO 12006으로 발전. 각 국가나 지역에서 자체 분류체계로 개발 사용토록 지원
- 국내 건설정보분류체계의 개발에 참조된 국제표준은 다음 그림과 같음

구분	Uniclass	MasterFormat	Omniclass	ISO 분류체계	건설정보분류체계
최근 개정	1997	2004	2006	ISO 12006-2: 2001 ISO 12006-3: 2007	2009
적용 분야	건축, 토목	건축	건축, 토목	건축, 토목	건축, 토목
분류 관점	정보 주제 관리 시설물 단위시설공간 부위요소 공종 자재 장비 특성 원자재	공종 자재 장비	시공(기능, 형태) 공간(기능, 형태) 부위요소 공종 제품(기능) 단계 서비스 분야 조직(역할) 도구(Tools) 정보 자재 특성	관리 시설물 공간 부위요소 공종 자재 장비 특성	시설물 공간 부위 공종 자재 장비 인력
업무지원기능	설계/견적/원가/ 자재/문헌관리	설계/견적/원가/ 자재/문헌관리	설계/견적/원가/ 자재/문헌관리	설계/견적/원가/ 자재/문헌관리	설계/견적/원가/ 자재/문헌관리

출처: 고려소프트웨어

[그림 4-322] 해외표준 분류관점의 개발현황

- ISO 12006-2 정보분류체계에 대한 프레임워크로 총17개의 Class로 분류하여 제시 (2001년)
- ISO 12006-3 객체지향적 정보교환기본모델. 객체(Object), 집합(Collection), 상호관계(Relationship) 정의 (2007년)
- Uniclass(Unified Classification for the Construction Industry)는 ISO 분류기준을 따름
- CI/SfB와 같은 파셋 분류방식을 채택 총15개의 파셋으로 구성. CI/SfB를 대체할 목적으로 영국 민간협회 NBS(National Building Service)에서 제정(1997년)
- Uniclass는 토목, 건축분야의 다양한 분류체계를 수용하는 구조로 Omniclass 분류체계에서 채택됨

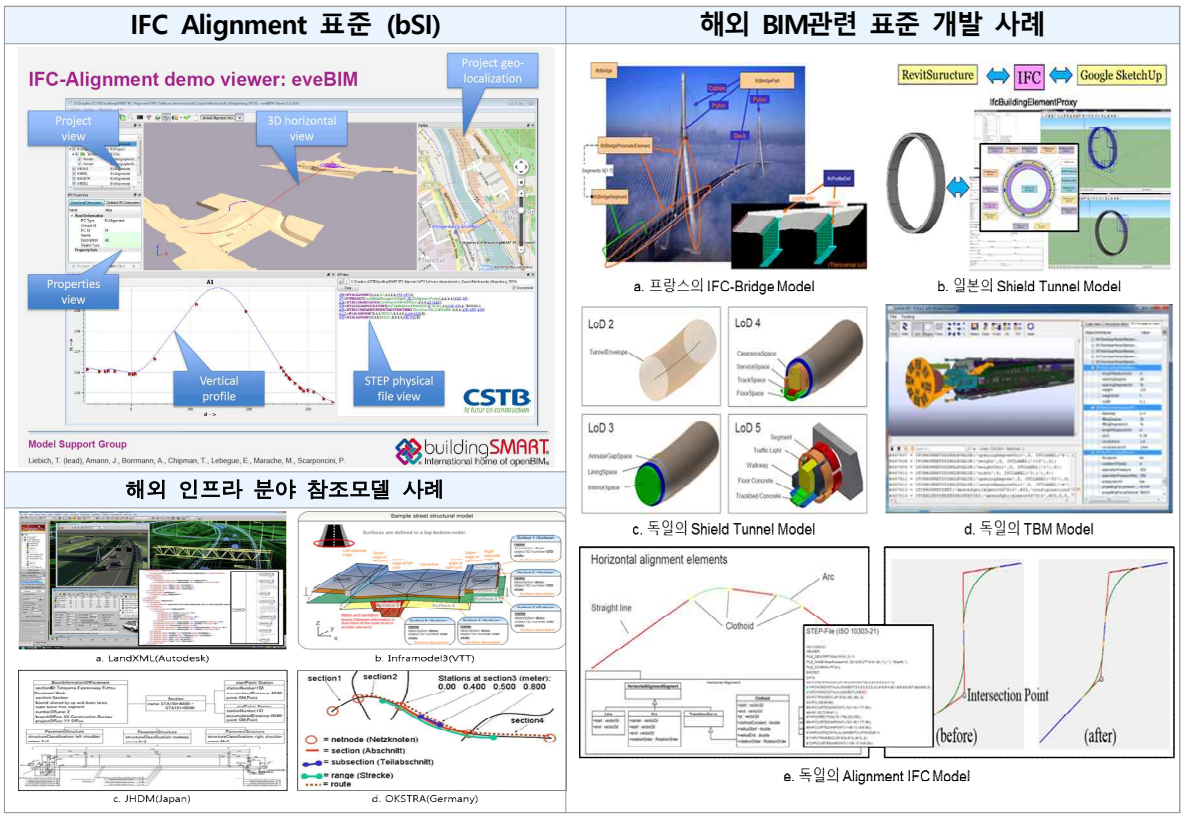
○ 건축분야의 BIM기술을 기반으로 인프라 분야의 BIM 표준인 형상표준, 라이브러리 등의 관련 연구들이 활발하고 최근 buildingSMART International의 InfraRoom을 통해 2012년부터 IFC4(ISO16739)를 기반으로 선형, 도로, 교량, 항만 등의 BIM 표준을 2020년까지 국제표준으로 등재하도록 활발히 개발 중

- 미국의 WiSDoT는 도로분야 BIM 설계 납품을 위한 기준을 제공. 납품 시 설계 성과품의 형상, 기하, 데이터 등을 설계 기준에 맞게 자동적으로 검증할 수 있는 시스템을 개발 활용 중임
- BIM 설계 데이터의 활용기술은 국제적으로도 초기단계. BIM데이터를 작성하는 것은 설계기준에 맞도록 작성하는 것이 중요하므로 국제적으로 BIM에 의한 설계품질의 검증기술이 중요

○ 해외의 경우 IPD 등 통합발주방식에 BIM기술이 접목(예: Apple 본사)되어 새로운 프로젝트 수행기법이 적극적으로 모색 중임

- 국외에서는 건설 전 생애주기를 고려한 정보의 교환·활용에 발생되는 문제를 해결하기 위해 BIM 기술을 적극적으로 도입하여 실무에 적용 중
- 특히, 시설 생애주기 동안 발생되는 다양한 정보의 호환에 문제를 사전에 해소하기 위해 BIM 데이터 교환표준인 IFC를 개발
- 해외의 경우 IPD(Integrated Project Delivery) 등 통합발주방식에 BIM기술이 접목되어 새로운 프로젝트 수행기법이 적극적으로 모색되고 있음
- 유지관리의 BIM정보 활용이 국내에 비해 좀 더 구체적이고 실질적인 활용이 이루어지고 있음

○ 최근 유럽, 미국을 중심으로 도로분야의 형상정보표준(IFC)을 개발하고 확장하기 위해 독일, 프랑스, 핀란드 및 미국 등이 도로시설의 형상표현 체계를 국제표준으로 제안하기 위한 노력들이 활발히 진행되고 있는 실정임



[그림 4-323] 해외 BIM IFC 표준개발 현황

○ BuildingSMART International(이하 bSI)의 InfraRoom에서는 전통적인 2D와 새로운 3D 방법을 조합하여 Alignment 표준화 IfcAlignment V1.0 발간하여 평면선형, 종단선형, 횡단 프로파일을 통해 3D Geometry를 갖는 선형을 작성함

- 이를 통해 Design의 복잡성을 최소화. 향후 철도와 타 선형 Geometry를 확장한 IfcAlignment 1.1 개발 계획을 발표하였음

- bSI France Chapter에 의해 프랑스의 Milau Bridge (Cable-Stayed Bridge)를 대상으로 IFC 2x Edition 4 모델의 교량 정보를 위한 확장 모델로서 IFC-Bridge Version 2 Data Model R8(2009)를 구축함

- 프랑스에서 추진되고 있는 IfcBridge의 경우 MinND 프로젝트를 통해 특정 Use Case를 대상으로 개발 중이며, 본 프로젝트에는 5개의 Workshops (State of the art, Data dictionary and semantic based on AIPCR dictionary, Processes and IDM, extension of IFC and MVD, Implementation)을 포함

○ 2015년 초 이에 대한 국제 전문가 패널 Meeting을 요청. 2015년 말(10월 경), MVD에 대한 IDM과 명세를 구성하고 Ifc 확장개발과 MVD를 위해 bSI와 함께 MOU 제안

- 일본에서는 2007년 철근 콘크리트 및 프리스트레스 슬라브 교량을 대상으로 IFC 2x를 기반으로 IFC-BRIDGE가 개발되었으며, 해당 교량의 특성적 형상 Entity를 추가적으로 구성

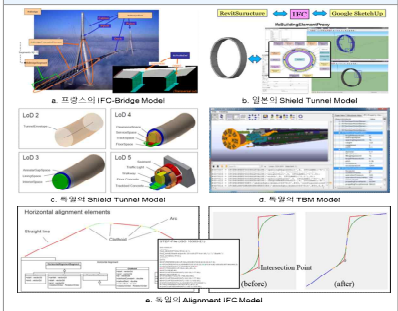
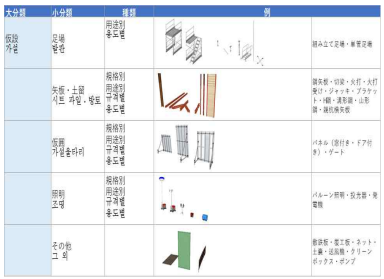
○ 터널의 경우 일본(2007)과 독일(2013)에서는 TBM Shield 터널을 대상으로 IFC를 기반으로 형상정보모델을 확장

- 또한 독일에서는Shield Tunnel의 시공에 필요한 굴착장비인 TBM(Tunnel Boring Machine)에 대한 IFC기반의 Product Model을 개발
- 도로 및 지형 모델의 상호 교환체계를 확보하기 위해 LandXML과 같은 상업 표준 등이 개발되어Autodesk Civil 3D와Bentley Inroad 등에 탑재하여 정보 교환에 널리 활용

○ 최근 LandXML 1.2를 기반으로 핀란드VTT에서 확장한 새로운 Inframodel3 버전을 발표하여 핀란드의 프로젝트에서 활용되고 있음

- 일본에서는 JHDM(Japan Highway Data Model), 독일은 OKSTRA(Objektkatalog für Straβen- und Verkerswesen), 네덜란드의 Building and Construction Research group는 STEP을 기반으로 한 Road Shape Model Kernel(RSMK)을 개발한 바 있음
- 2008년 슬로베니아는 도로의 설계관점에서 도로객체의 단면(Cross Section) 정보를 기반으로3D형상을 구현하기 위해 LandXML Consortium을 통해 XML기반의 Road Product Model을 개발
- 또한 US National Cooperative Highway Research Program의 일환으로 2006년 TransXML개발을 통해 측량 및 기하학적 도로설계 스키마를 제공함
- EuroSTEP은 스웨덴 국립도로국을 위한 도로 Product model을 개발한 바 있음
- 유사 표준연구로서 핀란드 VTT의 Juha Hyvarinen 팀은 LandXML 1.2 MVD를 위한 가이드라인 개발하고 이에 대한 MVD의 변경과 추가 항목으로는 Faces, Ground layer model, Horizontal geometry, Vertical geometry임

○ 최근 bSI에서 개발 중인 bsDD (buildingSMART Data Dictionary) 프로젝트는 국제 BIM 데이터 정의를 위해 현재 15개국이 참여하여 파일럿 테스트가 진행 중이며, Data Dictionary의 네 가지 목표인 Open, Neutral, Not-for-profit, International를 달성하기 위해 세부적인 조정과 역할분담이 이루어지고 있음

BIM 표준	BIM 검증	라이브러리
		
IFC, COBie 등 국제표준 정립	(싱가폴) 건축물 법규 검토에 Rule Check (미국) 도로의 기하구조의 BIM기반 검증	(미국, 영국)건축분야 BIM 라이브러리 (일본)인프라 BIM 라이브러리 개발

[그림 4-324] 해외 BIM 표준화 기술

○ BIM 표준: 주로 buildingSMART International을 통해 진행되고 있으며, 이미 인프라 선형을 표현하는 Alignment에 대해서는 2016년 IfcAlignment1.1을 개발하여 발표함

- 최근에는 한국 건설연이 주도하는 도로분야 IFC 표준인 IfcRoad가 활발히 국제표준화를 진행중
- 중국은 IfcRail, 독일은 IfcTunnel, 프랑스는 IfcBridge 개발을 주도하고 있음
- 이외에도 IDM, bSDD 등의 표준화가 이루어지고 있으며, 향후 각 인프라 시설의 표준은 통합된 형태로 IFC5로 ISO16739개정버전으로 등록 계획임

○ BIM 검증: 건축은 주로 건축법규 검토 과정에 BIM데이터를 활용하고 있으며, 각 법규별 Rule Set을 만들어 BIM데이터의 형상정보와 비교하여 설계정보의 무결정을 검증하고 있음

- 대표적인 사례로는 싱가포르의 e-Submission 시스템이 있으며, 최근 한국에서도 관련 기술이 개발되어 세움터의 인허가 시스템에 통합 진행 중임
- 도로의 경우에는 미국 WisDOT에서 도로 성과품을 BIM모델로 납품받을 경우 기하구조의 검증을 수행하고 그에 대한 리포트를 제출하도록 한 바 있음
- 향후 도로뿐만 아니라 항만을 포함한 모든 BIM 설계데이터를 엔지니어링 데이터와 연계하여 설계검증과 인허가 과정에 적용할 수 있도록 추가 기술 개발이 필요

○ BIM 라이브러리: BIM 라이브러리는 주로 건축에서 개발되어 왔으며, 대표적인 BIM라이브러리는 영국 NBS의 BIM Library, Autodesk SEEK, ARCAT 등이 있음

- 토목분야의 BIM 라이브러리는 한국에서 개발한 도로분야 BIM라이브러리가 현재 구축된 것으로는 최초 시스템이나 최근 일본에서 JACIC산하 부품소위원회에서 토목분야 BIM 라이브러리 개발을 추진 중임
- 여기에는 건설장비, 기타부대시설 등도 포함하고 있으며, LOD 및 LOI 관점에서 라이브러리를 구성함
- 이외의 해외 토목분야 BIM 라이브러리 구축사례는 없으며, 일부 해외 기업들이 자체 라이브러리를 보유하는 사례는 있으나 공개하지 않고 있는 실정임

○ BIM 플랫폼: 해외에서는 민간차원에서의 Cloud-based 기반의 BIM 플랫폼인 ONUMA, YouBIM, SmartBIM, Infrakit 등을 개발하여 서비스 하고 있음

- 최근에는 IFC표준을 지원하는 개방형 BIM 서버의 오픈소스를 지원하고 있음 대표적인 Open Source로는 TNO에서 개발한 BIMserver가 있음
- 이는 BIM 데이터 연결을 위한 API 제공, 기능별 Plug-in기능 지원, IFC기반의 데이터베이스와 협업 표준인 BCF(BIM Collaboration Format)를 지원함
- 이를 활용한 사례로는 FED iFM이 있으며, bimsync라는 툴 개발에도 활용됨

○ ONUMA 플랫폼: 해외의 대표적인 BIM기반 플랫폼으로는 ONUMA 플랫폼이 있음

- 이는 클라우드 환경을 베이스로 Model서버를 구축하고 있으며, 본 플랫폼에서 활용 가능한 BIM XML 파일 포맷과, GIS데이터 교호나 포맷을 운용하고 있음
- 또한 모델 쿼리엔진을 탑재하여 모델 정보를 추출 및 활용하고 있음
- 또한 일반 데이터를 구조화하여 BIM기반으로 활용 가능하도록 기능을 지원하고 있으며, 특히 유지관리 분야의 활용성이 높음 COBie 및 IFC를 지원함

○ BIM360: Autodesk에서는 클라우드 환경에서 모바일-BIM기반의 현장관리 기능을 제공하는 BIM360을 구축하여 서비스하고 있음

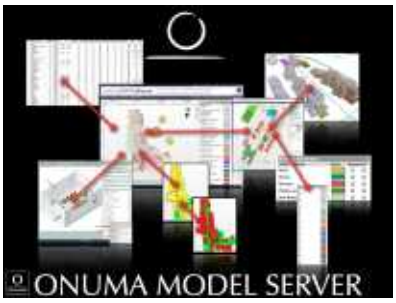
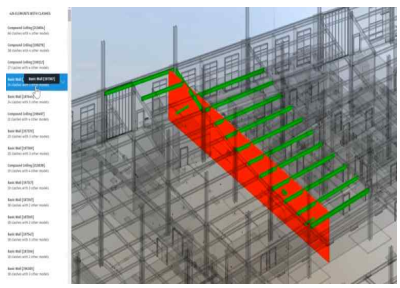
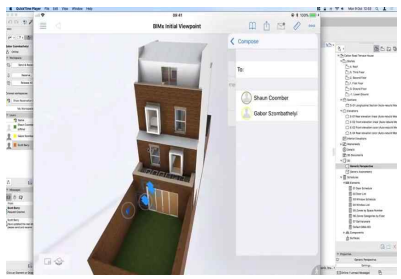
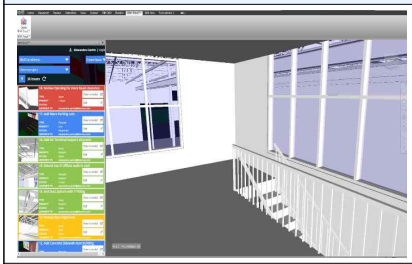
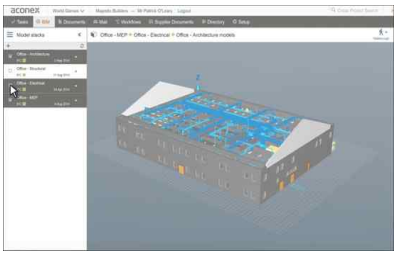
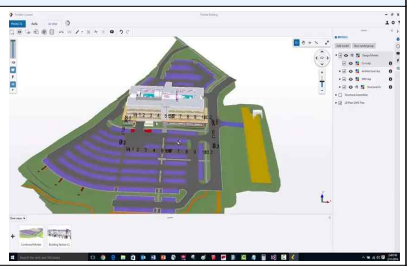
- 모바일 환경을 통한 실시간 접근을 가능하게 하고 2D 및 3D 모델 뷰에서의 협업관리(마크업 수정 등)와 도면의 오류 등을 검토할 수 있는 기능을 제공함
- BIM360 TEAM에서는 클라우드기반 설계 협업 도구이며, BIM360 Field는 현장관리, 협업 기능을 제공하고 있음
- 또한 BIM360 OPS는 시설관리 및 건물유지관리를 위한 기능을 제공하고 있음

○ BIM Cloud: BIM Cloud는 건축용 BIM 설계 S/W를 개발한 Graphisoft에서 개발한 것으로 클라우드 환경에서 BIM 설계 및 협업지원을 가능하게 하는 도구임

- 모바일에 의한 접근과 활용이 가능하면 Graphisoft의 ArchiCAD와 연동되어 활용
- 또한 클라우드 기반의 BIM뷰어인 BIMx 툴을 제공하고 있음

○ BIM Track: BIM Track은 클라우드 환경에서 운영되는 웹 기반 협업 플랫폼으로 팀의 Coordination 및 Workflow 개선을 지원하는 기능을 구현하고 있음

- 이는 설계에서 시공까지의 모든 정보를 중앙 집중식으로 제공
- 모바일 기기를 통해 데이터에 접근할 수 있으며, IFC (Industry Foundation Classes) 및 BCF (BIM Collaboration Format)를 지원함

ONUMA Platform	BIM360(Autodesk)	BIMCloud/ BIMx (Graphisoft)
		
클라우드 BIM/GIS 플랫폼 기반. 미국 GSA적용	클라우드 환경의 BIM기반 설계, 협업, 현장관리 및 유지관리 Tool 지원	클라우드 기반 BIM 설계 및 협업지원 및 모바일 기반 BIM Viewer
BIM TRACK	**ACONEX**	**Trimble**
		
BIM기반의 협업 플랫폼	AEC분야 협업지원을 위한 클라우드 BIM 플랫폼	클라우드 기반 설계 협업 및 Workflow 지원 플랫폼

[그림 4-325] 해외 BIM관련 플랫폼 개발 현황

○ ACONEX: 특정 건설업무가 아닌 AEC산업 생애주기 전반의 프로세스와 정보 관리를 지원하는 클라우드 기반 통합 플랫폼임

- 문서관리, 요구정보 생성 및 승인 프로세스 구현, 현장의 결함, 안전 및 불일치 등의 점검 기능, CAD-BIM-GIS 기능을 지원하고 전체 Workflow뿐만 아니라 유지관리 매뉴얼 연계 등에 활용중임

○ Trimble Connect: Trimble Connect는 건축분야의 건설협업을 지원하는 클라우드 기반 BIM 플랫폼임

- 스케치업, 테클라, Vico Office 등을 지원하고, Bentley ProjectWise 등 타 시스템과 연동 가능함

- 본 도구는 모델변경 및 협업 설계를 가능하게 하며, IFC와 연동을 통해 모델의 일관성을 유지함

○ 클라우드 기반의 공동 작업 플랫폼: (기능) 클라우드 기반으로 2차원 도면, 문서 3D Building informations model 기능 제공

○ (사례) Del-Mar Door Service사에서 자동, 수동문, 슬라이딩 도어 제작함에 있어 작업흐름을 합리화하고 직원의 위치를 확인하여 적시에 해당 장소로 배치할 수 있어 생산성과 효율성을 향상시키고 비용 절감

(2) 국내 동향

□ **국내에서는 이미 WBS 등의 작업분류체계와 건설정보통합분류체계 등이 이미 구축되어 있으며, 건설산업으로의 전면 적용에는 일부 한계가 있으며 3차원 설계 기법의 패러다임 전환을 대비하여 국내에서는 2000년대 초반부터 교량과 터널에 대한 IFC확장 연구가 이루어져 왔음**

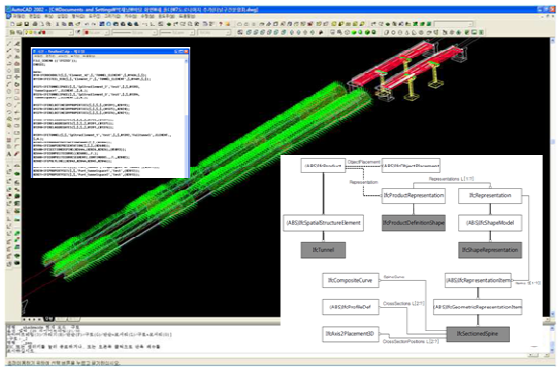
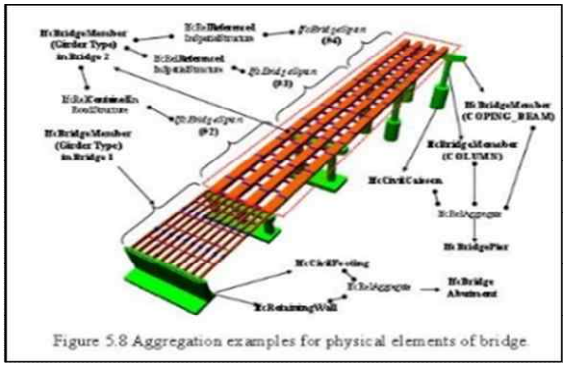
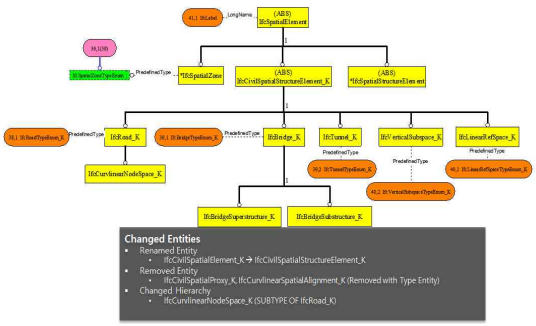
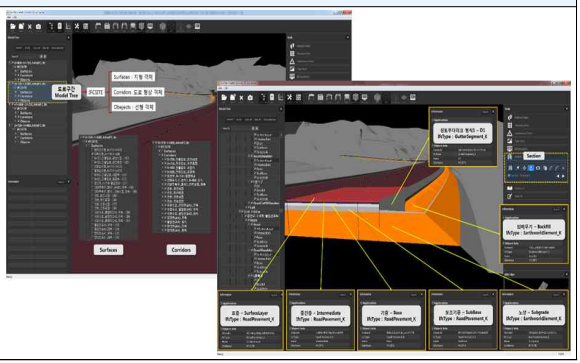
○ 국내에서는 연세대학교에서 Steel Box교량을 대상으로 IFC 2*4 Beta1을 기반으로 형상정보 확장체계를 제안한 바 있음

- 또한 NATM터널을 대상으로 IFC 2*3기반의 구조물 형상정보모델의 개발 사례가 있음 최근에는 철도분야 IFC표준도 개발하여 시범적용 예정

- 한국건설기술연구원에서는 2012년부터 자체 연구 프로젝트를 통해 국가 차원의 납품포맷으로 활용하기 위해 도로시설을 포함한 교량 및 터널에 대한 공통 IFC 개발하고 국제표준화기구를 통해 도로분야 IfcRoad WG의 국제표준화 리더(Leader)로 참여

- 최근 한국건설기술연구원은 기존 도로 IFC를 기반으로 하천시설에 대한 BIM 표준을 확장하기 위한 연구를 착수하였고 현재 개발중임

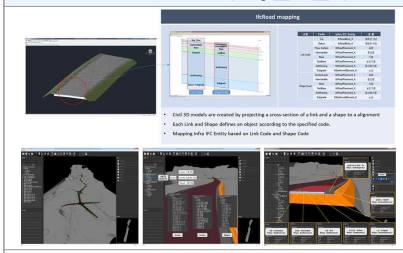
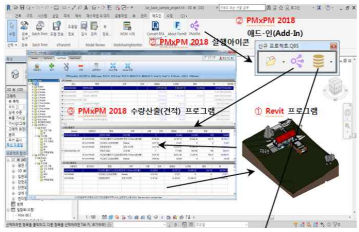
○ 본 하천분야 IFC도 bSI측에 Initiative를 확보하였으며, 추후 국제표준화 추진 예정

국내 터널분야 IFC 확장 사례 (연세대)	국내 교량분야 IFC 확장 사례
	
국내 도로분야 Infra IFC 표준 개발 사례(KICT)	**국내 도로분야 Infra IFC 표준 변환 및 검증 도구 개발(KICT)**
	

[그림 4-326] 국내 BIM IFC 표준 기술

○ BIM표준: 국내에서는 주로 R&D를 통해 도로, 철도, 교량 등의 인프라 IFC 개발을 추진하여 왔으나 단순히 연구차원에서 머물러 있음

- 실제 납품성과품 포맷으로 채택되지는 않음 국내는 한국건설기술연구원에서 도로분야의 IFC개발을 통해 현재 국제표준화를 추진하고 있으며, 2019년 완성예정임
- 타 R&D를 통해 하천분야 IFC 표준 개발 중이며, 도로분야 BIM 표준과 통합예정임
- 또한 도로, 하천분야의 BIM객체 관리에 대응하기 위해 기존 WBS를 수용가능한 표준객체분류체계 개발 중임

BIM 표준 및 성과품 검증	BIM 라이브러리	BIM 공정-공사비 통합관리
		
도로, 하천, 철도 분야 BIM 형상표준 개발과 도로, 하천분야 표준객체분류체계 구축	- 도로분야 국토부 표준도 기반의 BIM 라이브러리 개발 및 보급 - 건축분야 개방형 BIM표준기반 BIM라이브러리 개발 및 보급	건축분야 BIM기반 공정-공사비 통합관리 기술 실무적용

[그림 4-327] 국내 BIM 표준화

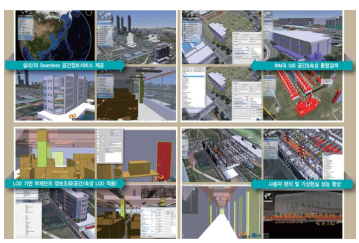
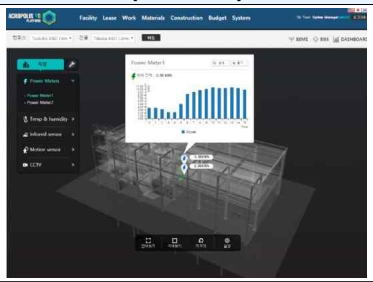
○ BIM성과품검증: 2012년 한국건설기술연구원에서는 도로분야 BIM 표준인 IFC기반의 성과품 검증을 위해 사용 BIM 설계 S/W에 탑재 가능한 변환기를 개발하였고 이렇게 변환된 IFC파일을 확인하기 위한 시각화 뷰어를 개발한 바 있음

- 이들은 데스크탑에서만 운영가능하며, S/W 버전업시 추가개발이 필요한 단점이 있으므로 이들 기능을 클라우드 환경의 BIM 표준 변환 및 시각화 검증 체계로 구축 필요

- 최근 한국도로공사와 BIM표준기반의 성과품 납품검증 시스템의 공통화 작성 착수로 요구사항 분석 중

- 한국건설기술연구원에서는 2016년 미래부 예산지원을 통해 BIM데이터를 GIS와 통합하기 위해 World in the Java라는 NASA의 Open Source를 활용하여 BIM/GIS 플랫폼을 개발하여 남극세종기지 등에 실증 적용한 바 있음

○ 여기에는 실내외 공간정보연계 기술, 공간 및 속성 통합검색 기능, LOD기반 부재단위 정보 조회 기능이 구현되어 있음

BIM on GIS 플랫폼 (한국건설기술연구원)	아크로폴리스 SG 플랫폼 (솔리데오)	도면 클라우드 뷰어 (한길IT)
		
오픈소스 GIS를 활용한 BIM/GIS 통합 플랫폼	IoT 및 BIM을 연계한 빌딩관리 시스템 (BEMS, FMS연계)	하이브리드 웹기반의 도면 뷰어/관리 시스템

[그림 4-328] 국내 BIM관련 플랫폼 개발 현황

- 한길IT(www.aroad.co.kr)는 클라우드 환경에서 운영 가능한 하이브리드웹 기반의 도면 및 뷰어 관리시스템을 개발하여 보급 중임
- PDF도면 등의 업로드, 검색, 도면 마크업, 협력사관리 등의 기능을 포함하고 있음
- 솔리데오는 빌딩의 스마트한 관리를 위해 IoT기반 센싱과 빌딩에너지관리 시스템(BEMS) 기술을 적용하여 실제 건물과 동일하게 연계한 3차원 기반 통합관리를 가능하게 하는 아크로폴리스 SG 플랫폼을 개발하여 보급하고 있음
- 여기에는 자재관리, 작업관리, 공사관리, 임대관리, 예산관리 등의 FMS기능과 에너지 통계 및 분석도 가능함

○ 특히 건물 내 객체간 충돌 검증과, IoT 계측정보를 활용하여 현장과 연계한 실시간 모니터링을 가능하게 함

출처: http://ciobiz.etnews.com/20170602120005

- 국토교통부 R&D를 통해 BIM기반의 수량산출 자동화 및 공정연계로 수량-공정-공사비를 통합하여 건설 CALS시스템의 사업관리 기능 중 공정-공사비 통합관리 부분을 BIM으로 전환하기 위한 연구가 수행 중임
- 2021년 이후 도로 및 하천분야의 3차원 형상표준을 기반으로 설계 성과품 납품체계 개발을 통해 공정-공사비를 통합적으로 관리할 수 있는 사업관리 플랫폼을 2021년까지 개발 중임

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ BIM 표준 및 정보통합 플랫폼 기술수준 비교

<표 4-175> 국내외 인프라 BIM 관련 기술수준 비교

국가	핵심기술 키워드	기술내용	기술수준 (미국100기준)
미국	BIM 표준 프레임워크	Marterformat, COBie, IFC 등 표준기반 구축	
	BIM 플랫폼	ONUMA 등 BIM 생애주기 플랫폼	
한국	BIM 표준 프레임워크	건축분야 표준프레임워크, 도로하천분야 개발 표준 개발, 객체분류체계 등	(70%)
	BIM 플랫폼	도로하천분야 BIM기반 공정-공사비 통합 플랫폼 구축 중, 건설 CALS	(65%)

국가	핵심기술 키워드	기술내용	기술수준 (미국100기준)
일본	BIM 표준 프레임워크	자체 표준 프레임워크 없음	
	BIM 플랫폼	관련 플랫폼 개발 사항 없음	
중국	BIM 표준 프레임워크	자체 표준 프레임워크 없음	
	BIM 플랫폼	국가차원의 BIM 플랫폼 없음	
유럽	BIM 표준 프레임워크	OmniClass, Uniclass 및 CDE등 자체 표준 프레임워크 구축	
	BIM 플랫폼	다양한 업무분야지원을 위한 BIM 플랫폼 구축하여 실무적용	
싱가폴	BIM 표준 프레임워크	자체 표준 프레임워크 없음	
	BIM 플랫폼	Virtual Singapore의 Digitial City Platform 운영	
중동	BIM 표준 프레임워크	프로젝트별 CDE구축, 표준 프레임워크 부재	
	BIM 플랫폼	BIM 플랫폼 부재	

○ 표준화: 표준화 기술은 주로 도로, 하천, 철도, 항만 등의 BIM 형상 표준인 IFC 개발을 중점으로 이루어지고 있음

- 디지털 정보 등의 표준은 ISO 등에서 유사한 형태의 표준 등이 제공되고 있으나 스마트 건설 을 위한 디지털 정보통합 표준체계에 대한 표준화 연구는 개발 초기 단계임
- BIM 표준개발에서의 선도국가는 도로분야에서는 대한민국, 터널 및 교량에서는 프랑스, 독일, 일본, 철도 및 항만 분야에서는 중국이 있음
- 현재 국제표준화 기구인 buildingSMART International에서 인프라 시설에 대한 BIM 표준인 IFC 개발에 박차를 가하고 있음

<표 4-176> BIM 표준화 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	건축분야 IFC4(ISO16739) 개발	도로(교량, 터널 등) 및 하천 시설에 대한 BIM 표준 개발하여 bSI를 통한 국제표준화 추진
TRL 단계	7단계	5단계
기술성숙도	시제품 단계	확정된 시스템 시작품의 제작 및 성능 평가 단계
주요 성능	상용 BIM S/W에 IFC4 표준 다수 탑재 활용	프로토타입 시스템을 통한 표준의 활용성 검증

○ 통합관리: 정보의 통합환경은 과거 DB를 기반으로 정보관리 체계를 구축하고 있으나 자동화 등과 연계한 자원흐름 및 프로세스 관리 등은 이루어지고 있지 않음

- 국내외에서는 데이터 공통 환경인 Life cycle Management 개념의 정보통합 관리 체계를 구축하고 있음 국내에서는 건설CALS시스템 및 유지관리 시스템 등이 존재함
- 해외(미국 등)에서는 BIM 데이터를 기반으로 하는 협업 및 공유 중심의 공통 데이터 환경에 의한 프로젝트 관리 시스템 등을 구축하고 있음
- 대표적 시스템으로 ONUMA시스템, FM:Systems, Bentley ProjectWise, Autodesk Vault 등이 있음
- 특히 핀란드는 시공단계에서의 현장과 BIM데이터를 연결하여 장비의 운용 및 시공 상태를 2D Map을 기반으로 관리할 수 있는 Infrakit이라는 시스템이 개발되어 활용중임

<표 4-177> 디지털 정보 통합관리 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	BIM정보를 기반으로 GIS와 통합하고 생애주기 프로세스를 지원하는 플랫폼 개발	DB정보를 기반으로 한 정보통합관리 체계로 시공 장비 및 자원흐름 최적관리 미흡
TRL 단계	9단계	4단계
기술성숙도	사업화 단계	실험실 규모의 핵심성능 평가 단계
주요 성능	온라인 협업과 생애주기 데이터 교환 및 시공현장-시스템간 장비운영 모니터링 기술 활용	특정 프로젝트 및 업무를 중심으로 정보통합관리하고 전사 시스템에서 ERP/SCM/PMIS 구축

○ 지식화 : 지식화를 위해서는 기존 수집데이터의 인스턴스 간에서 상호 의미론적으로 연결하여 지식정보로 제공할 수 있어야 함

- 이러한 연구를 위해 BIM 정보로부터 지식요소를 추출하여 새로운 형태의 지식화 프레임워크를 구축할 수 있는 표준화 개발 연구가 bSI를 통해 추진되고 있음
- 이미, IFC정보를 활용하여 데이터를 추출하고 데이터간 의미망 연결을 생성할 수 있는 ifcOWL 표준 및 변환 시스템이 개발된 바 있음
- 이러한 기술의 선도기관으로는 핀란드, 벨기에, 네덜란드가 주축이 되어 개발 중이며, 최근 인프라 분야에서도 ifcOWL을 활용한 지식정보 생성을 위해 표준화 연구가 최근 착수됨
- 국내에서의 대표적인 지식관리 시스템으로는 국세청, KOTRA 및 국민은행 등에서 구축 사례가 있으나 사내 지식을 관리할 목적으로 구축함
- 해외는 주로 그룹웨어, 인트라넷, 데이터 웨어하우스, 의사결정, 컨텐츠/ 문서관리 등 전사 지식 및 정보 관리를 목적으로 개발됨

<표 4-178> 디지털 정보의 건설 지식화 최고 기술 보유국 대비 국내 수준

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준
기술수준	건축분야 IFC를 기반으로 ifcOWL을 구축하여 지식정보 생성하고 아마존, 구글을 중심으로 음성인식 기술을 활용한 챗봇 상용화	지식관리 표준은 부재하고 국내 IT기업(네이버, 다음)의 지식검색(지식인) 및 음성인식 기술
TRL 단계	8단계	4단계
기술성숙도	연구실 규모의 기본성능 검증	실험실 규모의 핵심성능 평가 단계
주요 성능	ifcOWL기반의 데이터 연계정보 지식검색 기술 및 챗봇에 의한 대화 시스템	DB기반의 정보관리하고 AI를 활용한 지식검색 기술 및 챗봇 대화 시스템

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

<표 4-179> 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드 관련 국내 유사연구들과의 차별성

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
개방형 BIM 기반의 건축물 설계표준 및	국토교통부	기존 BIM 표준을 기반으로 건축물 중심의 성과품 작성 및 세움터	건설자동화 운영 및 성과물의 디지털 표준 기반의 스마트

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
인프라 구축 (2013.11~2016.11)		납품을 위한 검증체계 개발로 지식정보 활용에 제약	검증체계 구축하고 이때 디지털 정보의 지식을 활용
건축물 설계품질 혁신을 위한 개방형BIM 기술환경 구축 (2013.11~2016.11)	국토 교통부	건축물 중심의 에너지 성능 분석, 표준 설계도서 연동 및 엔지니어링 협업 지원 체계 제공	토공 및 모듈러 시공관련 문서의 디지털 정보 표준 기반 생성하고 엔지니어링 데이터 협업 연계 지원 체계 구축
개방형 BIM기반의 기존건축물 유지관리 기반기술 개발 (2017.03~2021.12)	국토 교통부	건축물 중심의 유지관리 대상 시설에 대한 역설계 기반 3차원 도면 재작성으로 정보 연계 미흡	현장의 실시간 시공현황 정보 파악을 위한 드론 및 이미지 기반의 3차원 토공현장 정보 재구축 활용하고 이미지의 지식정보 재활용
IT 통합 건축설계 구현을 위한 개방형BIM 표준 플랫폼 구축 및 응용기술개발 (2017.03~2021.12)	국토 교통부	건축물 중심의 정보 프레임워크 확장, 라이브러리 컨텐츠 구축과 BIM데이터 및 시방서간 상호연계 기술 기반으로 지식화 활용 제한적임	토공 및 모듈화 시공 장비와 디지털 데이터 간 교환 표준 프레임워크를 구축하고 BIM 데이터와 문서간 연계를 통한 정보/문서의 지식화 구축
전기설비 BIM설계를 위한 라이브러리 표준 개발 및 유지관리 사업 (2017.08~2020.07)	산업 통상 자원부	건축물의 전기설비 중심의 표준객체 라이브러리 중심으로 토공, 디지털 생산을 위한 표준 및 정보통합 구축 미흡	건설 자동화 장비의 라이브러리화를 통해 디지털 정보 표준과 연계하고 장비와 가상의 연결을 통한 센서데이터 교환 체계 구축
Infra BIM 정보모델 표준 및 검증기술개발 (2012.01~2016.12)	과학기술 정보통신 부	도로(교량, 터널 포함) 등 목적물 중심의 BIM 표준으로 현장 센서 데이터의 활용 중심 표준 개발 미흡	목적물 중심의 IFC표준을 기반으로 활용중심의 수집, 연계, 협업, 공유 등을 위한 공통 표준 프레임워크 개발하고 센서와 연계한 인터페이스 개발
철도인프라 3차원 라이브러리개발	국토 교통부	철도분야 BIM 라이브러리 구축하여 제한적 수준의 IFC표준 수용하며, 국제표준 미흡	철도분야의 교량, 터널 등 공통 라이브러리에 대한 재활용을 통해 가상 시공현장 구축하고 데이터 통합관리 기반 활용
차세대 설계환경대응 건축설계도구 개발	국토교통 과학기술 진흥원	건축 중심의 BIM표준을 적용하고 있어 토공 및 자동화 장비를 연계한 센서표준 활용 제약	자동화 장비 및 모듈러 구조물의 3차원 객체를 기반으로 정보를 연계할 수 있도록 표준체계 개발
클라우드 컴퓨팅을 활용한 모바일 BIM 공사관리시스템의 구축	과학기술 정보통신 부	건축 중심의 현장 공사 관리를 위한 협업관점의 클라우드 시스템으로 정보 중심으로 현장연계 한계	가상시공 현장과 실제현장 사이의 센서 데이터 실시간 교환과 현장시공의 온라인 기반 협업을 위한 통합정보체계 구축

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
BIM을 이용한 교량 구조물의 안전진단 및 유지관리 시스템 구축	국토교통 과학기술 진흥원	교량의 BIM라이브러리 구축하여 구조물 상태평가 기법을 적용한 이력 및 안전관리 시스템 개발로 표준을 적용하고 있지 않음	모듈러 교량 구조물의 3차원 객체모델을 기반으로 시공이력 및 품질관리가 가능하도록 표준 및 시스템 구축
건설업의 라이프싸이클 단계별 BIM 적용 모델 개발에 관한 연구	한국 연구재단	건축물 중심의 생애주기 및 BIM 유지관리 적용 연구로서 건축 표준 적용하고 지식체계 미흡	교량 및 터널 등 구조물과 토공의 시공자동화 생애주기를 위한 표준적용하고 정보의 공통활용 환경 구축

2.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

<표 4-180> 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발의 개발 내용별 한계점 및 기술개발 방향

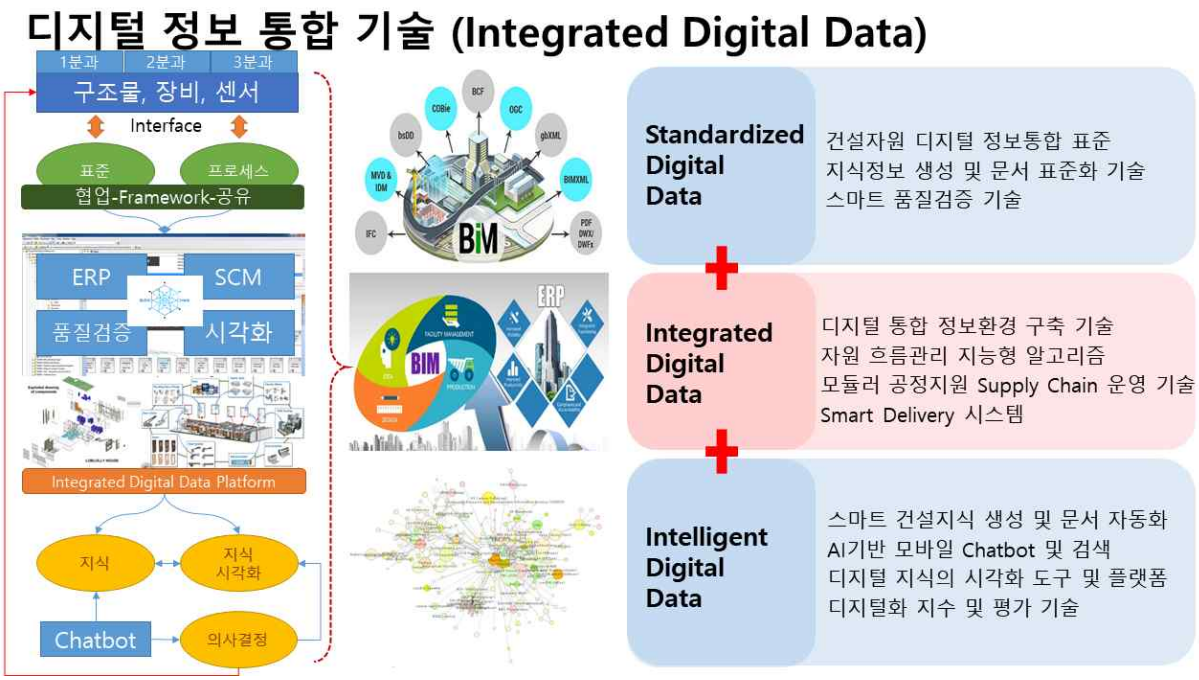
개발내용	한계점	기술개발방향
도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	■ 목적물 중심의 BIM 표준화 체계로 시공 자동화 장비 및 모듈러 구조물의 센서 정보 수집 및 연계를 위한 표준화 체계 구축 미흡	■ 목적물 중심의 IFC표준을 기반으로 장비, 구조물, 자원 등 센서정보를 실시간으로 수집, 연계, 관리, 협업을 위한 표준 프레임워크 ■ 스키마 표준체계 구축으로 지식표준으로 확장 개발할 수 있도록 기술기반 확보
	■ 현재 장비 등에서 발생되는 센서 정보의 실시간 수집이 불가하고 생성되는 정보는 사용자가 직접 입력하는 방식 활용 ■ 여전히 성과품 CD로 제출하고 DB로의 정보 저장 및 관리에만 중점을 두고 있어 지식정보로 활용 제약	■ 현장에서 실시간으로 발생되는 장비, 구조물 등의 센서 정보를 실시간으로 수집, 저장 및 관리하고 위한 표준과 연계 인터페이스를 개발 ■ 수집정보가 의미있는 정보로 재가공 되어 지식정보로 제공될 수 있도록 지식변환 및 문서자동 생성 기술 개발
	■ 현장의 자원정보의 운용을 프로세스와 연계하고 있지 않음 ■ 경험적인 현장관리 수행으로 현장의 실시간 변동에 따른 자원 흐름 등 공급망 관리 제약	■ 프로세스-자원-정보를 통합하여 작업 기반 실시간 자원흐름 및 운용의 실시간 관리를 위한 최적 알고리즘과 현장의 현황정보를 실시간 갱신 가능한 통합 프로세스 통합관리 기술 개발
	■ 건설정보는 시스템별 분산되어 있어 상호 공유가 어려워 연관정보를 활용한 의사결정에 제약됨	■ 현장-정보-시스템 간의 정보연계를 통해 일원화된 정보통합 관리가 가능하도록 함 ■ 설계 및 시공정보와 협업 가능하도록 하는 정보통합관리 플랫폼 및 의사결정 기술 개발
	■ 사용자가 입력해야할 정보가 방대하여 기존 시스템 활용도가 저하됨 ■ 낮은 정보 신뢰성으로 활용도 제약	■ 자동화된 코드체킹을 통한 높은 정보 신뢰성 확보로 검증된 지식을 생성 ■ 생애주기 워크플로우의 일관된 관리와 물리 및 가상객체의 상호 연계로 사용자 중심의 입력체계 단순화 및 활용성 개선 기술 개발

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

□ **국토부는 '18.03 발표한 Smart Construction 2025 전략을 달성하기 위한 스마트 건설로드맵을 수립 중에서 있으며, BIM 설계를 위한 BIM 표준화 및 설계 자동화의 범위로 단계별 추진 전략을 수립하였음**

○ BIM 표준화의 경우 건설자동화 달성을 위해 목적물 중심의 BIM 표준에서 활용 중심(센서연계, 협업, 공유, 유지관리 등)의 BIM 표준 개발 항목을 포함하여, 이를 달성하기 위한 국가차원의 R&D 개발 필요

- 세계경제포럼(WEF)는 '16년 건설분야 4차 산업혁명의 미래 변화 대비를 위해, 기술, 재료, 도구 및 프로세스, 운영 관점의 개발전략을 수립하고 BIM기술을 핵심 플랫폼으로 활용해야 함을 선언하고 있음
- WEF는 기술, 재료, 도구 관점에서 정보의 표준화 및 모듈화 구조물 구축이 필요하고 (반)자동 건설 시공장비, 3D 프린팅, 지능형/생애주기 최적관리 체계 및 디지털 빅데이터 기술을 BIM과 연계하는 핵심기술 범위로 포함
- 이와 함께 프로젝트 관리 공통 프레임워크 및 모니터링/ 운영기술이 포함되어야 하는 것으로 언급됨



[그림 4-329] 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발 개발 내용

□ 기술개발 필요성

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발

○ 단순히 외부 정보를 표준을 기반으로 정보의 수집뿐만 아니라 시스템에 표준화된 구조로 저장된 정보를 가공하여 정제된 데이터를 다시 외부 환경에 제공할 수 있도록 공통된 디지털 정보표준 체계가 요구됨

- 현장과 시스템 사이의 데이터 상호교환을 위한 인터페이스 체계가 구축되어야 함
- 또한 이러한 정보는 데이터 스키마 체계를 통해 구조화된 형태로 DB에 저장되며, 이를 활용하기 위해서는 현장에서 사용가능한 형태로 필터링하거나 가공하여 신뢰성 있는 표준 데이터 템플릿 형태로 제공되어야 함

○ 모든 건설정보가 디지털화 되어 가고 있으므로 이들 디지털 정보의 신뢰성과 무결성을 확보하기 위해서는 데이터 검증기술 개발이 필요함

- 또한 모듈화 설계, 시공 등의 프로세스 상에서 발생하는 성과품들에 대한 설계기준, 시방서 등의 만족할 수 있도록 하는 데이터 품질검증 시스템 구축이 요구됨.
- 이를 위해 수집되는 디지털 데이터의 신뢰성 무결성 일관성을 통합적으로 검증할 수 있도록 하는 시맨틱 차원의 AI기반 디지털 데이터 품질 검증 기술 개발 필요

(구성기술 4-1-2) 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

○ 저장된 정보의 사용성을 높이기 위해서는 단편적인 수치적 정보제공 보다는 지식화된 형태로 제공해야 함

- 지속적으로 축적된 지식정보는 빅데이터 분석을 통해 더 나은 지식정보로 제공될 수 있으므로 지식정보 생성 표준 및 이를 기반으로 디지털 전자문서 자동생성 기술 개발이 요구됨
- 기존의 엔지니어링 데이터 및 시공문서 등은 사용자가 직접 작성해야 하므로 성과품을 구축하는데 상당한 시간과 비용이 발생될 뿐만 아니라 Human Error가 발생됨
- 이를 해결하기 위해 수집 및 연계되는 센서 및 BIM 정보로부터 사용자 요구의 설계 및 시공문서 자동 작성 기술 개발이 필요

○ 디지털 정보통합 플랫폼 구축으로 기존 도로건설의 디지털화 대비 개선된 디지털화 지수를 개발하고 평가할 수 있는 기술을 제공해야 함

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

○ 특히 건설 생애주기를 다루기 위해 개념화→설계→분석→스케줄링→조립→시공→조달→운영관리→개축과정에 BIM활용을 활용해야 하는 것으로 기술

- 즉 데이터 수집, 저장, 분석, 모델링, 장비운영, 교환, 플랫폼 관점으로 스마트 건설기술이 상호 연계되어야 함
- 건설현장과 가상모델 사이의 상호 연계를 위해서는 시스템에서 외부 정보를 받아들일 수 있도록 표준 정보의 구조와 저장체계가 필요함
- 자동화 장비 및 센서로부터 발생되는 실시간 정보가 1차적으로 장비를 통해 미들웨어에 기록될 때 정형화된 정보구조를 가져야 함
- 이렇게 생성된 정보구조는 표준화 데이터 모델로 작성되어 온라인을 통해 시스템에 동일한 환경으로 전송되도록 해야 함

○ 모듈러 제작 및 시공은 일관된 정보에 의한 워크플로우 관리가 이루어지며, 현장에 투입되는 자동화 장비, 자원, 구조물 등의 유기적인 조합을 통한 흐름관리가 최적화 될 필요가 있음

○ 교량 및 터널의 시공자동화를 통해 생성되는 정보의 승인, 저장, 납품, 관리가 하나의 시스템 내에서 일관된 워크플로우 상에서 이루어짐

○ 이를 통합적으로 운영 및 관리 할 수 있도록 공통데이터 환경을 기반으로 디지털 정보의 통합관리 플랫폼을 구축하는 것이 필요

□ **개발내용**

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발

○ 도로건설 자원(장비, 자재, 인력) 및 구조물 센서 데이터의 정보 통합(수집, 연계, 관리, 협업, 공유)를 디지털 정보통합 표준화* 기술

* (개발범위) 도로건설 사업의 설계 및 시공단계 전체를 대상으로 모든 도로 디지털 정보(센서, 자원, 정형, 비정형 등)의 통합, 교환 및 공유를 위한 표준체계 개발

- 도로 디지털 데이터(중점분야1~4, 12개 핵심기술) 수집·통합관리·교환·공유를 위한 공통 표준 프레임워크 개발

- 도로 현장 자원 및 센서정보 통합 연계 표준 스키마(데이터모델) 개발
- 타 핵심기술별(12개 핵심기술) 수집데이터의 상호연계 및 교환체계 구축을 위한 표준 연계 기술 개발
- 도로 엔지니어링 객체모델을 활용한 디지털 데이터 교환(MVD) 검증 기술 개발

○ 도로의 정형 및 비정형 디지털 데이터의 Linked Data(연결데이터, LD)기반 지식화 및 전자문서 표준화 기술 개발

- 도로의 정형 및 비정형 디지털 데이터의 LD기반 트리플*(Triple) 설계 기술 개발

* (트리플, Triple) 도로 디지털 데이터의 LD(Linked Data)를 표현하기 위한 가장 기본적인 구문표현 방식으로서 데이터들 사이의 관계를 주어(Subject)-술어(Predicate)-목적어(Object)의 형태로 표현하는 구조임. 도로분야 디지털 데이터를 의미 있는 문장 구조로 바꿔주는 일종의 약속으로 구성되므로 데이터를 LD기반의 지식체계로 구축하기 위한 필수적인 규약임

- Linked Data기반의 지식 그래프 구성 기술 개발
- 도로 디지털 데이터 통합표준의 Linked Data 변환 알고리즘 개발
- Linked Data의 지식 그래프 기반 지식 전자문서 표준화 기술 개발
- Linked Data에 의한 지식화 서비스 모델 및 시나리오 개발

○ 도로 디지털 데이터의 신뢰성 확보를 위한 지능형 품질검증 기술 개발

- 도로 디지털 데이터 품질검증 요소 및 논리규칙 체계 개발
- 규칙기반 도로 디지털 데이터의 신뢰성 확보 기술 개발
- 지능 정보기술 기반 도로 디지털 데이터 품질검토 및 갱신 기술 개발
- 도로 디지털 데이터 품질검증 시스템 개발

(구성기술 4-1-2) 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

○ 도로의 스마트 건설지식 및 디지털 문서 자동생성 기술

- LD기반 지식화 표준을 활용한 건설지식 그래프 자동 생성 기술 개발
- LD기반의 건설지식 템플릿 구성 기술 개발
- 건설 지식그래프 기반의 디지털 지식문서 자동 생성 기술
- 생성된 건설 지식의 분류화를 통한 지식베이스 갱신 및 검증 기술 개발

○ 도로 설계 및 시공 프로세스 지원을 위한 챗봇 기반 비정형 지식정보 구축 및 활용기술 개발

- 도로 설계 및 시공 지원을 위한 자연어 처리(NLP, Natural Language Processing) 기반 하이브리드 챗봇* 플랫폼 및 어플리케이션 개발

* 하이브리드 챗봇은 질의응답 대화방식을 단순한 키워드입력이나 음성인식 방식에서 메뉴기반, 시나리오기반, 이미지 기반의 다수의 복합적 대화방식을 채택함. 건설현장의 다양한 상황과 입력 데이터에 대한 최적의 지식정보를 제공받기 위해서는 음성, 이미지, 메뉴, 시나리오 등을 복합한 입력 인터페이스에 의한 하이브리드 챗봇 방식으로 제공

- 프리팹 생산 프로세스 지원을 위한 지능형 챗봇 기반 스마트 딜리버리 모바일 시스템* 개발

* 스마트 딜리버리 모바일 시스템은 현장의 프리팹 공정과 관련된 세부 업무(현황관리, 공정관리, 발주 및 조달관리 등)에 대한 신속한 프리팹 생산 프로세스 지원과 안전・품질・진도(공정) 관련 지식정보 구축 및 제공을 위해 하이브리드 챗봇을 기반으로 개발・운용

- 챗봇과 지능기술 기반 현장 이미지 분석을 통한 객체 태깅 자동화 및 도로건설 지식베이스 자동 구성 기술 개발

- 챗봇과 지능기술 기반 현장 이미지 및 영상 내 장비, 자재, 구조물 정보 자동 연동 및 객체 검색 기술 개발

○ 도로분야 스마트 지식관리 시스템 및 디지털화 평가 지수 기술 개발

- 스마트 지식의 저장, 검색, 승인을 위한 프로세스 개발
- 스마트 지식 생성을 위한 지식 베이스 구축 기술 개발
- 지식정보 생성에 따른 지식학습을 위한 지식 이력관리 기술 개발
- 지식의 등록·승인·통합 관리·활용을 위한 스마트 지식관리 시스템 개발
- 지식베이스의 오픈데이터 제공을 위한 API 개발
- 지식베이스로부터 도출되는 통계 지식의 시계열 기반 시각화 기술 개발
- 지식 시각화를 위한 사용자 정의 시각화 도구 및 대쉬보드 개발
- 디지털화 평가 지수(index)* 개발 및 평가

* 디지털 정보통합 플랫폼 체계의 도입에 따른 건설업무의 디지털화 성숙도 수준을 평가하기 위한 인자 도출과 한국형 평가 지수 및 방법론을 개발하는 것으로 기존의 도로 건설 업무에서의 디지털화 수준과 디지털 정보통합 플랫폼 도입 이후의 도로 건설 업무에 대한 디지털 수준을 평가하고 상호 비교하여 디지털화 수준의 변화(성숙도)를 평가

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템* 개발

* 핵심기술 4-1의 구성기술 2는 발주자 입장의 프리팹 건설에 대한 프로젝트 관리 및 현장 운용 관점에서 개발되며, 핵심기술 2-1에서 개발하는 프리팹 엔지니어링 모델은 시공사 및 프리팹 제작을 담당하는 민간 기업의 관점에서 개발됨

○ 도로 디지털 데이터의 승인·저장·관리를 위한 디지털 통합 정보환경 구축 기술 개발

- 도로 건설단계의 프로세스 기반 데이터 공통 활용을 위한 디지털 협업 환경(D-CDE)* 구축

※ CDE는 핵심기술 4-2의 시각화 및 데이터 기반 시뮬레이션의 최종 데이터 Archive 위한 공통 환경으로 활용하고 또한 핵심기술 4-2에서 개발하는 통합 플랫폼(Data Lake)의 데이터의 수집, 생성에서부터 최종 승인된 데이터를 축적할 수 있도록 하는 기본 데이터 처리 모듈로서 공통 활용하며. 특히 핵심기술 4-3 테스트베드 단계에서 이루어지는 모든 도로 디지털 데이터는 CDE환경을 기반으로 운용되는 디지털 플랫폼을 통해 처리되도록 연계함

- 도로 디지털 정보의 생애주기 관리를 위한 주체별 승인, 저장, 납품, 관리의 통합 프로세스(PM) 구축

○ 프리팹 공정의 건설자원(자재, 장비, 인력) 흐름관리 지능형 최적 알고리즘 및 공정 최적화 기술 개발

- 프리팹 공정의 현장상황 및 변동성을 고려한 건설자원(자재, 장비, 인력) 흐름 최적화 알고리즘 개발

- 프리팹 생산 프로세스의 선후 공정을 고려한 프리팹 공정 프로세스 최적화 알고리즘 및 시각화 검증 기술 개발

- 디지털 데이터 통합 표준과 연계한 프리팹 공정 및 Delivery 지식 분석 제공 기술 개발

○ 프리팹 도로구조물 통합 공정지원을 위한 스마트 딜리버리 시스템* 개발

* 핵심기술 4-2의 스마트 건설 통합 디지털 플랫폼을 통해 통합·연계되어 사용자에게 서비스 될 수 있도록 개발

- 프리팹 공정의 자원·조달·프로젝트 관리 지원을 위한 ERP(Enterprise Resource Planning)+SCM(Supply Chain Management)+PMIS(Project Management Information System) 통합 워크플로우 및 운영 시나리오 개발

- 프리팹 공정의 주체별·활용단계별 통합 표준 프로세스(발주→구매→제작→조달→조립(시공)→검사) 개발

- 프리팹 부재별 객체모델*의 표준기반 정보교환 인터페이스 및 업무처리 협업 기능 개발

* 객체모델은 핵심기술 2-1에서 개발하는 도로 구조물 프리팹 설계·제작·시공을 위한 디지털 엔지니어링 모델 활용하고 이는 핵심기술 4-1의 디지털 협업 환경을 기반으로 스마트 딜리버리 시스템을 통해 제공됨

- 프리팹 통합 공정지원을 위한 스마트 딜리버리 시스템 개발

- 프리팹 도로구조물 공정 프로세스에 대한 시스템 검증

□ 개발목표

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발	센서 및 디지털 건설 정보관련 국제 표준의 수용 수준	70% 수용	100% 수용	ISO16739/bSI IFC4*X 기반 디지털 정보표준체계 100% 수용	●		
	Linked Data 기반 건설정보 지식스키마 생성 및 변환 오류율	20%내외	5%내외	5% 이내[1)]	●		●
	도로 디지털 데이터의 품질검증 오류율	20%내외	10%내외	5% 이내 확보	●		

1) 도로현장으로부터 수집되는 비정형 데이터를 Linked Data기반의 지식DB로 생성하는 경우 변환 오류율 측정

(구성기술 4-1-2) 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발	AI 기반의 지식학습을 통한 지식생성 신뢰도	20%	40%	50% 이상	●		
	지식정보 검색 모바일 챗봇의 음성인식률	60%	70%	70% 이상		●	
	이미지 내 객체정보의 태깅을 통한 지식화 신뢰성 수준 향상	30%	50%	50% 이상	●		
	도로건설 스마트 지식관리 시스템 인증 확보	-	-	소프트웨어 GS 품질 인증 1등급[2)]	●		
	기존 도로사업 대비 디지털화 수준	25%	40%	기존 대비 디지털화 수준을 25%이상 개선[3)]	●		

2) 국내 TTA(한국정보통신통신협회) 소프트웨어 GS 품질 인증 1등급 확보(ISO 기반)

3) 디지털화 수준을 측정하는 index를 개발하여 기존 도로 설계, 시공단계의 디지털화 수준 대비 통합 플랫폼을 통한 디지털화 수준 변화를 측정하여 비교

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발	프리팹 도로구조물 최적 자원흐름 변동 오차율	10% 이내	5% 이내	5% 이내[4)]	●		
	프리팹 도로구조물 최적 공정계획 변동 오차율	15% 이내	10% 이내	10% 이내[4)]	●		
	기존 프리팹 생산 공정 대비 스마트 딜리버리 시스템의 생산처리 시간 및 비용 개선율	-	-	30% 이상 ROI(시간, 비용) 개선	●		

4) 프리팹 도로구조물 자원(자재, 장비, 인력)의 투입에 따른 최적 자원흐름 및 공정계획 예측값과 테스트베드 실증에 따른 결과값과의 변동 오차율

□ 개발목표의 설정 근거

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발

○ 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 검증 기술: 현재 BIM 표준은 bSI에서 등록한 ISO16739가 있으며, 센서 표준과 관련하여서는 ISO/IEC JTC 1/SC41에서 정의

- 이러한 국제표준 Specification을 기반으로 표준구조 및 방법론에 대한 부합성과 자원정보의 요구 속성 수요 수준을 평가하기 위해 해외 표준전문가 검증을 통한 부합성 및 수용 수준을 확보함
- 또한 bSI에 표준으로 등록된 ifcOWL Specification을 기반으로 BIM데이터로부터 건설정보 지식스키마 변환율 및 생성 오류율을 판정할 것임
- 디지털 데이터의 품질 검증에 대한 오류율을 5% 이내로 확보하고, 이를 위해 오류율을 검증할 수 있는 도구의 탑재를 통해 신뢰성을 확보할 것임

(구성기술 4-1-2) 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

○ 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 기술: 디지털 데이터기반의 건설 지식의 생성결과 신뢰도는 이를 검증할 수 있는 표준화된 검증 프로세스를 개발하고 신뢰도 검증 도구를 구축하여 기준이 되는 신뢰성을 평가할 수 있도록 함

- 지식정보 검색을 위한 챗봇의 음성 인식률, 이미지 인식률 등을 높이기 위해 해외 및 국내의 유명 대화형 음성인식 및 이미지 인식 시스템을 기준으로 동일한 문장, 대화, 이미지에 대한 인식률을 상호 비교하여 70%이상의 인식률을 확보하도록 할 것임

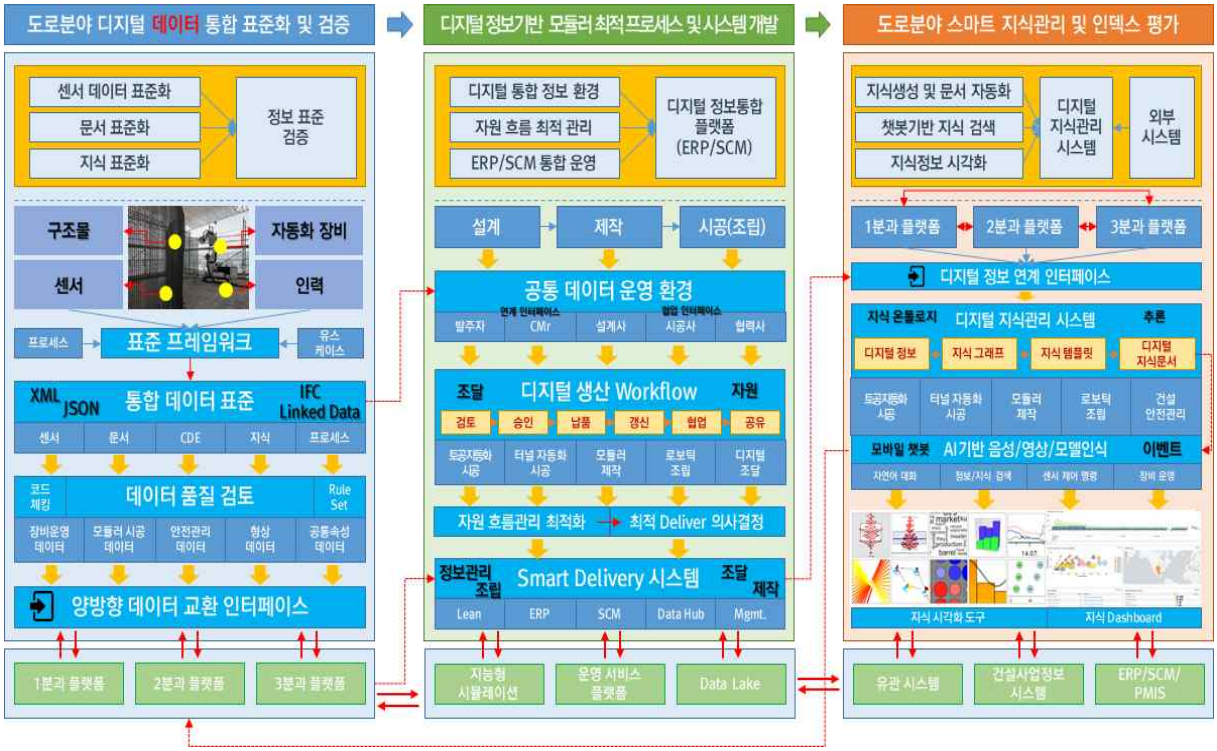
- 또한 건설 지식을 통합 관리 할 수 있는 스마트 지식관리 시스템을 개발하며, 이를 국내 소프트웨어 인증 획득을 통해 품질 인증 확보

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

○ 도로분야 디지털 정보기반 건설 생산 프로세스 통합 관리 및 협업지원기술: 디지털 통합정보 플랫폼의 서비스 수준 즉 가용성을 체크하기 위해 최적 공정계획 변동 오차율을 10% 이내 수준으로 확보하도록 함

- 건설자원 흐름관리 지능형 최적 알고리즘 성능은 신뢰성 확보를 위해 해외 사례와 유사한 수준인 5%이내에서 오차율을 갖도록 검증된 신뢰성 테스트를 수행하며, 전문가의 객관적 평가를 받을 것임

- 또한 프리팹 공정지원을 위한 통합 Smart Delivery 지원 시스템의 성능목표는 국내 수준을 가늠하기 어려워 해외의 유명 시스템인 Katerra시스템의 기능 수준에 따라 평가하고 Smart Delivery 시스템의 생산처리 시간 및 비용을 기존 공정 대비 30% 이상 개선을 기준으로 평가



[그림 4-330] 디지털 정보통합 기술의 세부 구성기술별 내용 및 연계

2.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

<표 4-181> 도로분야 디지털 정보표준기반 건설생산 프로세스 통합 관리 기술 선행연구과제의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
BIM 실무구현을 위한 구조화된 지식기반 통합객체분류 자동화	교육과학 기술부 (2011.09~ 2014.08)	■ 지식기반 공정/원가 자동생성시스템을 위해 객체분류구조를 생성하고 축적지식 연계 알고리즘과 프로토타입 개발	■ 본 연구는 자동화 장비 및 센서 정보의 상호교환 및 공유체계 구축을 위한 표준 프레임워크 개발연구로 공정/원가정보의 객체분류연계 연구와는 차별화됨
			■ 센서정보 연계표준 개발시 객체분류체계 개발에 활용하고 자료구조 특성화에 따른 지식을 축적하여 객체코드와 연계 가능
BIM기반의 통합 설계정보관리 시스템 개발	한국산업 기술평가원 (2007.07~ 2008.07)	■ BIM도구를 건축/토목 프로젝트에 활용 가능한 설계정보 관리시스템을 개발	■ 본 구성기술은 시공현장의 센서 정보 및 설계 BIM 정보를 융합하여 표준을 기반으로 지식을 생성하는 요소기술 개발 연구로서 설계를 중심으로 지식정보관리 연구와는 차별화됨
			■ 설계협업 및 설계정보 지식관리 시스템의 구축 방법과 기술의 일부 연계 가능
BIM 기반의 철도 인프라 관리체계 구축	국토교통과학 기술진흥원 (2015.10~ 2019.03)	■ 철도 인프라(선로, 노반, 궤도 등)의 BIM 정보 표준 및 라이브러리와 시공공정 시각화 및 통합 운영체계 개발	■ 본 구성기술은 토공 및 모듈화 구조를 대상으로 하는 디지털 표준 및 모듈러 공정지원을 위한 ERP /SCM 체계를 개발하는 것으로 철도 인프라를 대상으로 관리체계를 구성하는 연구와는 차별화됨
			■ 철도 IFC표준 개발결과에 포함된 철도교량 및 터널에 대한 표준 스키마의 활용과 통합 운영체계에 구축된 CDE환경의 벤치마킹 가능

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
인프라 BIM 건설정보표준 및 검증 기술 개발	미래창조 과학부 (2012.01~ 2016.12)	■ 도로(교량, 터널 등) 분야의 BIM 형상표준 및 변환, 시각화 프로토타입 개발	■ 본 구성기술은 토공 및 모듈러 시공현장의 교량, 터널 등의 구조물을 대상으로 BIM표준 및 지식화 표준을 개발하므로 단순 IFC엔티티 구조만을 개발하는 연구와는 차별화됨 ■ 도로분야 BIM 표준 스키마의 개발결과의 디지털 정보표준 개발시 연계 활용하고 BIM모델로부터 표준 포맷으로 작성하기 위한 표준검증 기술 활용 가능

2.8 민간기술과의 차별성·연계성

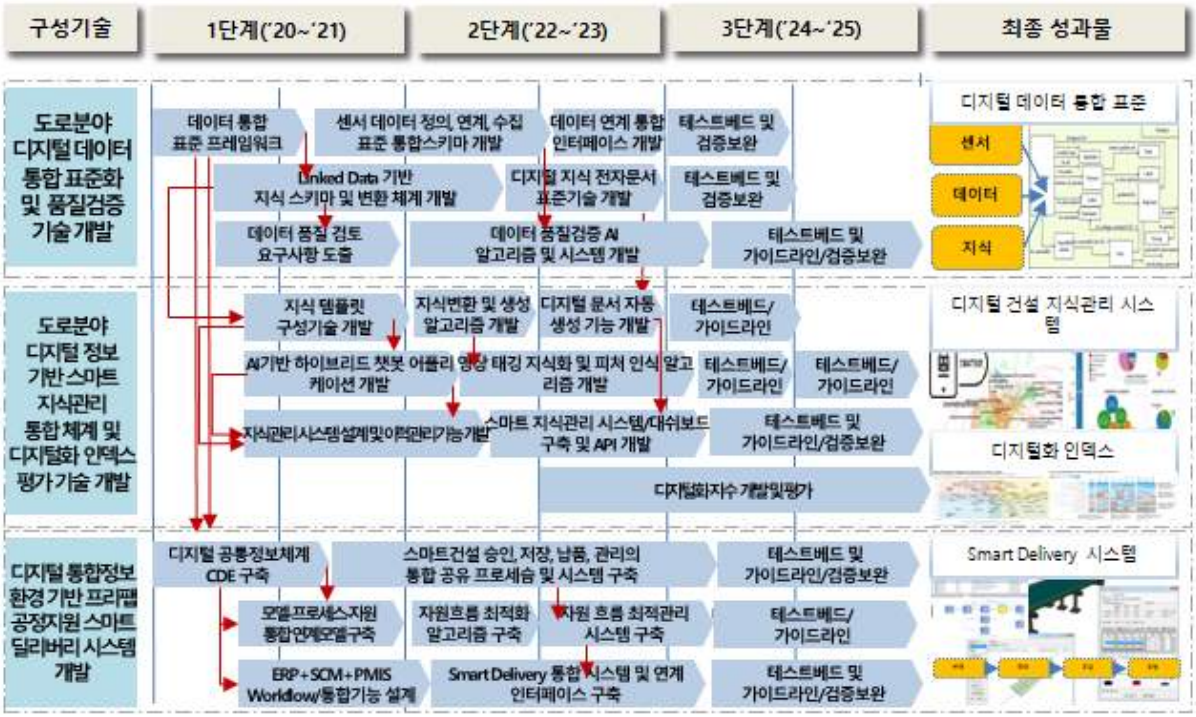
<표 4-182> 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

순번	구성 기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	BIM 표준 변환기	㈜태성에스엔아이	■ 인프라 BIM 표준 스키마를 기반으로 3차원 설계모델을 표준 포맷으로 작성할 수 있도록 하는 변환기 프로토타입 개발 기술 보유	■ 본 구성기술은 디지털 정보 표준 변환기를 온라인 기반으로 개발하고 품질검증을 위한 자동코드체킹 기술을 구축하므로 단순 변환엔진 개발 연구와는 차별화됨 ■ 인프라 IFC 표준의 형상정보 변환 메카니즘의 기술 공유 가능
2	BIM 표준포맷의 시각화 검증 뷰어	㈜두컴스	■ 자체 시각화 엔진을 기반으로 변환된 인프라 BIM 포맷의 시각화를 위한 뷰어 개발기술 보유	■ 본 구성기술은 단일의 VR엔진을 온라인 기반으로 제공하고 대용량 가상 및 센서 정보를 처리하므로 플랫폼 환경에서 운영가능한 통합 뷰어 시스템을 개발하므로 단순 독립 시스템환경에서 작동되는 뷰어 개발과는 차별화됨 ■ 디지털 정보 표준 포맷의 시각화를 위해 기존 시각화 엔진을 통한 뷰잉처리 메카니즘 기술 공유 가능

2.9 구성기술 로드맵



[그림 4-331] 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 추진로드맵



[그림 4-332] 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 성과로드맵

2.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 132.76억 원/6년(3단계)중 (국고) 97.61억 원, (민자) 35.15억 원으로 구성

(단위:백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-1-1. 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발	정부	404	516	513	509	509	398	2,849
	민간	145	186	185	183	183	143	1,026
	소계	549	702	698	692	692	541	3,875
4-1-2. 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발	정부	463	590	587	583	583	455	3,261
	민간	166	213	212	210	210	164	1,174
	소계	629	803	799	793	793	619	4,435
4-1-3. 도로분야 디지털 통합 정보 환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발	정부	518	661	658	652	652	510	3,651
	민간	187	238	237	235	235	184	1,315
	소계	705	899	895	887	887	694	4,966
합계	정부	1,385	1,767	1,758	1,744	1,744	1,363	9,761
	민간	499	636	633	628	628	491	3,515
	소계	1,884	2,403	2,391	2,372	2,372	1,854	13,276

○ 직접비(인건비)

(단위:백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-1-1. 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발	191	247	247	227	226	172	1,310
4-1-2. 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발	208	266	266	266	266	208	1,479
4-1-3. 도로분야 디지털 통합 정보 환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발	247	304	304	304	304	227	1,690
합계	646	816	816	797	795	608	4,479

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-1-1. 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발	책임급	-	1	1	1	2	-	5
	선임급	2	1	1	2	-	1	7
	원급	2	3	3	1	2	3	14
	합계	4	5	5	4	4	4	26
4-1-2. 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발	책임급	1	1	1	1	1	1	6
	선임급	1	2	2	2	2	1	10
	원급	2	2	2	2	2	2	12
	합계	4	5	5	5	5	4	28
4-1-3. 도로분야 디지털 통합 정보 환경기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발	책임급	1	1	1	1	1	1	6
	선임급	1	2	2	2	2	2	11
	원급	3	3	3	3	3	1	16
	합계	5	6	6	6	6	4	33
소계		13	16	16	15	15	12	87

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	261	340	337	338	339	272	1,886
연구과제추진비	133	170	170	170	170	134	947
연구활동비	149	191	185	194	195	161	1,075
연구수당	97	122	122	120	119	91	672
소계	639	824	815	822	823	657	4,580

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	100	127	127	126	126	98	703

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 46.9%, 직접비(인건비 제외) 45.9%, 간접비 7.2%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 48%, 연구과제추진비 25%, 연구활동비 27%, 연구수당으*로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

2.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도

□ **디지털 정보통합 체계 구축의 추진체계는 크게, 전문가 그룹+실무자 TF+Test Bed 검증 협의회로 구성됨. 전문가 그룹은 각 세부기술별 영역에서의 산, 학, 연, 관의 기술 자문 그룹으로 구성함**

○ 실무자 TF는 4-1의 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 검증 기술 구축을 위한 실무 연구팀과 1, 2, 3분간 데이터 연계 및 요구사항 분석을 위한 연계 TF로 구성됨

□ **Test Bed 검증을 위해서는 4-3 Test Bed팀과 협력하고 시범적용을 위한 방법론과 검증을 위한 실무검증 위원회 운영 필요**



[그림 4-333] 디지털 정보통합 기술 추진 체계도

□ **(타 중점분야 데이터 연계 전략)** 중점분야 1, 2, 3에서 발생되는 센서 및 모든 자원의 디지털 데이터를 정형화하여 자체 DB시스템(시스템간 연계를 위해 공통 DB 활용)에 저장해야 하며, 이를 위해 표준화된 공통 DB체계를 정의해야 함. 이러한 디지털 데이터를 중점분야 4의 디지털 통합 플랫폼으로 전송·저장하기 위해서는 디지털 데이터 통합 표준 구조(예: IFC, XML 등) 에 근거하여 시스템별, 주체별, 업무별 수준에 따른 정보체계 정의에 따라 변환·저장될 수 있도록 표준 매핑 및 변환 인터페이스를 통해 연계하도록 해야 함

(2) 협력방안

- (연구팀) 디지터 데이터 표준화, 생애주기 프로세스 통합관리 체계 및 지식화 체계 구축을 위한 실무 연구팀 구성하고 각 연구팀마다 연구관리 조직 구성

- (전문가 그룹) 국내의 경우 본 기술을 도입하는 현장, 발주자, 시공사 및 설계사 등 관산학연으로 이루어진 각 분야별 기술 전문가 및 제도 전문가 그룹 구성을 통한 상시 자문체계 구축

- (해외연구그룹 참여) 해외에서 BIM 표준, Linked Data, 센서 등의 표준을 개발하고 응용하고 있는 전문가 그룹 구성을 통한 연구 자문체계 구축하고 필요시 공동연구체계 구축

- (국제표준화연계) 디지털 데이터 및 지식 표준체계 구축을 위해 buildingSMART International, ISO, W3C, OGC 등고 같은 국제 및 민간 표준화 그룹과의 협력을 통해 국제표준화 추진

- (국내표준화 위원회) 개발되는 디지털 데이터 및 지식 표준을 국내표준으로 채택할 수 있도록 국토부 CALS표준화 위원회 및 기술 표준원과의 협력을 통한 단체표준 등 추진

- (유관시스템연계) 디지털 데이터의 정보통합환경 구축과 지식체계 구축을 위해 기존 시스템 운영정보의 상호 연계체계 구축을 위해 협력 지속

- (기존 시스템 활용) CALS에서 현재 구축중인 통합 DB를 본 플랫폼과 연계 활용하여 디지털 정보로 재가공하고 지식화 정보로 사용할 수 있도록 API 개발을 통한 연계 협력

- (테스트베드) 4-4 Test Bed팀과의 협력을 기반으로 디지털 정보의 생애주기 프로세스 통합 플랫폼 구축을 위해 전문가 실무 검증 위원회 운영

- (중점분야별 협력) 각 중점분야에서 수집되는 데이터 요구사항 및 기능적 요구사항을 도출하고 통합 플랫폼에서 운영 가능한 공통 프레임워크 구축을 위해 중점분야별 실무팀과의 지속적 협력 전문가 자문

2.12 위험요인 및 해결방안

<표 4-183> 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술의 유험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
4-1 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	디지털 데이터 표준화 구축 환경 미비	현재 국제표준화기구에서 진행중인 표준개발의 진행사항을 추적하고 국내환경에 적절한 표준으로 적용될 수 있도록 지속적 검증과 활용체계 확대를 통한 표준화 구축 인식 확대
	해외의 선진 유사시스템과의 경쟁	건설자동화와 프리팹을 통합적으로 지원하고 단일의 플랫폼 환경에서 특화된 기능의 그룹으로 지원할 수 있는 공통 프레임 워크 구축하고 이를 표준화하여 해외 유사시스템과의 차별화
	정보활용에 따른 생산성 개선 추적 미비	개발되는 생애주기 프로세스 통합 플랫폼을 통해 각 단계별 정보전달과 프로세스 운영으로 발생되는 비용 및 시스템 운영 측면에서의 생산성 추적 기술 포함
	개발완료 후 해외 시장의 진출 불확실성	기존 성숙된 해외 시장으로 본 기술의 해외진출을 위해 개발완료 전 별도의 컨설팅 팀을 구성하고 타겟 핵심 기술의 설정과 활용성 확대 방안 마련

2.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

□ **2018년 한국건설기술연구원은 도로분야 BIM 표준을 활용하여 수량산출 정보를 자동으로 맵핑하여 IFC표준으로 변환할 수 있는 기술에 대해 관련 특허를 등록하여 ㈜글로텍이라는 기업에 기술 이전하였음**

○ 현재 자체 수량산출 시스템에 해당 기술을 탑재하여 향후 BIM표준을 기반으로 한 수량 산출서를 요구할 경우를 대비하여 실용화 기술을 현재 개발 완료하였음

- 이를 통해 도로공사, LH공사 등에 관련 기술을 도입할 수 있도록 다수의 컨설팅을 진행한 바 있음

(2) 성공 사례의 시사점

○ 기존 사례는 도로분야의 BIM 표준인 IFC를 개발하고 이를 기반으로 다양한 사례에서 요구하는 속성체계 구축을 통해 별도의 DB가 아닌 단일의 포맷으로 통합되어 변환되고, 타 시스템을 통해 교환 및 공유를 위한 상호운영성 기술임

○ 이를 기반으로 모든 요구정보에 유연하게 대응할 수 있으며, 최종 성과품을 IFC로 제출 받을 경우 여기에 포함된 방대한 데이터, 정보, 문서, 도면 등을 활용하여 빅데이터 분석이나 지식체계로 전환할 수 있는 공통 데이터 체계로서 활용 가능함

(3) 실용화 전략 수립

□ **개발되는 센서 데이터 표준 및 Linked Data기반 지식화 표준를 종합적으로 연계한 디지털 데이터 통합 표준의 실용화를 위해 buildingSMART International을 통해 국제 표준을 추진하고 관련된 스마트 건설 시스템에 해당 표준이 탑재되어 활용될 수 있도록 다수의 S/W 개발사와 협력을 강화**

○ 연구개발 종료 전 개발되는 생애주기 프로세스 통합 플랫폼과 지식관리 시스템의 실용화를 위해 별도의 실용화 추진 TF를 구축하고 국내 및 해외 진출을 위한 컨설팅 추진

- 상용화를 위해 개별 기술이 아닌 솔루션의 형태로 패키지화하여 기술을 제공하고 통합 플랫폼을 기반으로 정보를 활용하여 다양한 기능 개발이나 정보 교환을 가능하게 하는 통합 프레임워크 구축하여 배포

- Github를 통해 개발 API를 제공하고 개발된 기술의 활용 및 확산 생태계 구축

- 국토부, 진흥원 등과 협력하여 내부적으로 별도의 스마트 건설핵심기술에 대한 기술이전기구를 구성하고 주체 간 네트워크 구축 및 확산을 통해 기술 보급

- 표준 변환엔진을 기반으로 다양한 변환기 및 뷰어 시스템 개발과 이를 지원하는 건설관련 표준지원 시스템 개발과 컨설팅을 위한 스타트업 설립하여 관련 표준화 기술을 확산하며, 해외 공유 가능한 오픈 표준활용 플랫폼 제공하여 보급

2.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ **스마트 건설 지원을 위한 디지털 데이터의 통합 표준 개발을 통해 국제표준을 선도하고 표준개발 자립을 통해 스마트 건설생태계 조기 확보 가능**

○ 생애주기 프로세스 통합 플랫폼 구축으로 프로세스 단축 및 Seamless한 정보와 프로세스 운영으로 과학적 프로젝트 관리를 가능하게 하며, 국토교통부의 공공 스마트 건설을 위한 데이터, 정보, 지식 서비스 기술 기반 확보

- 분산된 생애주기 건설정보를 스마트 건설통합표준을 기반으로 한 단일의 BIM Data-Hub 플랫폼 내에서 관리하므로 API구축을 통해 유관시스템의 DB 연계가 용이하고, 스마트 건설지원을 위한 부가 응용서비스 기술개발이 가능

(2) 사회경제적 측면

□ **단일의 생애주기 프로세스 및 정보통합 플랫폼 내에서 스마트 건설프로세스와 정보를 관리하므로 데이터 손실에 따른 비용 절감**

○ 개발되는 스마트 건설데이터 통합 표준, 생애주기 프로세스 통합 플랫폼, 지식 관리 기술 및 스마트 건설 지원 응용서비스를 통합한 패키지형 스마트 건설 기술을 개발할 수 있으며, 해외의 기술수출과 기술이전을 통해 부가가치 창출

- 스마트 건설 데이터의 손쉬운 접근, 공유, 활용으로 전문인력 활용비용 절감 등 시간적, 비용적 측면의 업무효율성 향상과 통합 프로세스에 의한 Smart Delivery 제공으로 프로세스 생산성 획기적 개선
- 최신 ICT 및 BIM기술을 융합하여 건설산업의 4차 산업혁명 구현에 따른 스마트 건설로드맵의 기조에 부합한 스마트 건설정부 구현
- 타 산업에 비해 낙후된 건설업의 건설정보서비스 활용 수준 증대 및 공공적 스마트 정보 공유기반 확보

(3) 연구종료 후 활용방안

□ **연구종료 후 성과는 타 건설관련 시스템 및 기타 토목 도메인(항만, 공항 등) 외에도 건축분야로 확대적용하고 모든 시스템이 단일의 지식표준체계로 연계되어 스마트한 건설 지식서비스로 제공 될 수 있도록 통합된 기반 환경을 제공하도록 함**

○ 디지털 정보통합 표준은 본 과제의 통합 플랫폼 적용 확대 외에도 유사 건설정보시스템(건설 CALS, MS시스템, 지하공간통합정보시스템 및 유지관리시스템 등)에 적용하여 기존 축적된 데이터를 건설분야의 통합 지식화 체계로 확대 개발하는데 활용

○ Smart Delivery 시스템은 발주청(도로공사, 지방청 또는 정부 위탁운영기관 등)에서 자체적으로 운영하되 스마트건설 관련 발주(턴키 등)시 모듈러(프리팹) 구조물 시공을 위한 주체별(발주청용, 시공사용, 모듈러 제작사 등) 활용 시스템으로 적용하도록 확대 적용함

○ 지식관리시스템은 다양한 업무 도메인(설계, 시공 및 유지관리)에 대한 지식을 확대 구축하고 지속적인 AI기반 지식학습 체계 구축을 통해 도로뿐만 아니라 건설 전체에 대한 지식관리 체계로 구축할 수 있도록 기술 확산 기반을 마련하는데 활용함

○ 특히 챗봇은 다양한 건설정보관련 시스템의 운영 도구로서 확대개발하도록 개발도구를 지원하도록 하고 실용화를 통한 건설분야 지식화 공통 플랫폼으로 활용하도록 기술 공개 추진

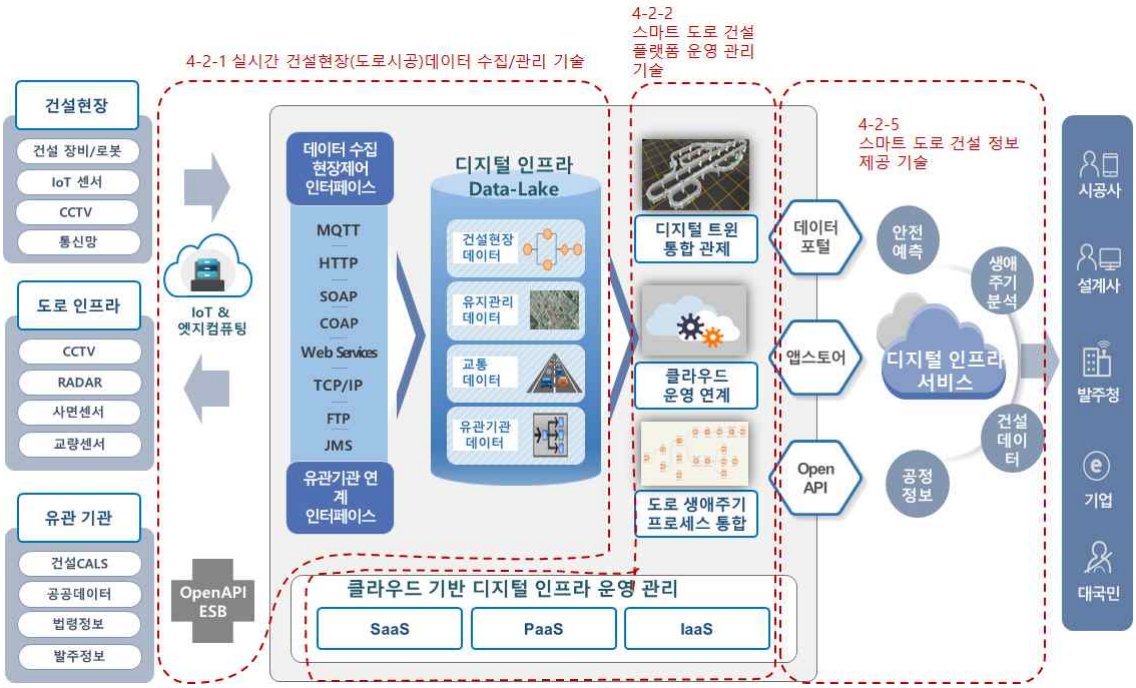
○ 향후 스마트시티 플랫폼과 연계하여 본 스마트건설 데이터를 스마트시티 데이터까지 지식화 체계를 확대하고 상호 연계하여 국가 디지털 데이터 기반의 지식화 전략으로 확대 추진

3. (핵심기술 4-2) 디지털인프라 플랫폼 및 디지털트윈 기반 관리 기술

4.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념

□ **첨단 ICBAM 기술을 건설현장에 융합시켜 건설 및 유지관리 단계에서 발생하는 방대한 양의 데이터를 수집, 축적, 관리하고, 디지털 인프라의 운영 및 통합 관제를 통해 스마트 건설 플랫폼을 구현 축적된 디지털 데이터를 개방 공유하여 건설 생태계를 비롯하여 일반 기업, 스타트업, 국민들에게 건설 데이터를 기반으로 다양한 서비스가 창출되도록 지원함**



[그림 4-334] 디지털인프라 운영 및 서비스 기술 개념

○ 실시간으로 도로 현장에서 센서 및 엣지컴퓨터를 통해 IoT를 기반으로 데이터를 수집하여 건설 전반적인 단계에서 활용할 수 있도록 제공하고, 다양한 유무선 통신망을 이용해 현장의 장비와 시설물들(액추에이터) 제어

○ 도로 설계, 건설 등 건설단계에서 발생하는 장비, 인력, 자재, 안전, 환경과 관련되는 방대한 원시 데이터를 Data Lake로 구축하고, 데이터 저장관리와 분석을 분리시켜 운영하여 다양한 분석과 활용 지원

○ 건설현장의 관리적, 물리적 구분(예: 공구1, 공구2, ...)과 조직, 시공사, 발주처, 관리 주체 등에 따라 유연하고 효율적으로 디지털 인프라를 운영할 수 있는 클라우드 기반 운영관리

○ 실제 도로인프라를 모델링한 가상인프라를 통해 시공 상황, 이벤트, 대기질, 기상환경, 안전상태 등을 통합적으로 관제

○ 디지털인프라 플랫폼에서 축적 및 생산되는 다양한 데이터와 디지털 정보들을 건설 생태계(발주처, 설계사, 시공사, 하도급사, 현장작업자 등) 및 일반 국민, 데이터 과학자, 기업과 스타트업 등에게 개방 및 공유하여 다양한 서비스가 창출되고 활용될 수 있는 데이터 포털 및 서비스 제공

○ 스마트시티 플랫폼 등 타플랫폼에는 인프라의 잔존수명(일개수명-공용수명)과 대보수 시점 등 지속가능한 운영을 위한 건설데이터를 제공



[그림 4-335] Digital Twin 기반의 스마트 건설관리 기술의 개념도

□ Digital Twin 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술

○ 현장에서 수집되는 다양한 형태의 센싱 데이터들과 문서 데이터들을 기반으로 한 빅데이터 및 인공지능 기반의 시뮬레이션 기술 연구

○ 기존의 설계 정보 및 유사 프로젝트 정보 등을 수집하여 건설 프로젝트의 물리적 물체나 프로세스에 관한 확률분포를 도출하고, 이를 기반으로 한 Digital Twin 시공 시뮬레이션을 개발

○ Digital Twin 시공 시뮬레이션을 통하여 생성된 빅데이터를 분석하고, IoT 센싱 네트워크를 통해 수집된 현장 정보를 이용하여 비용/공기/리스크 등 다양한 측면에서의 건설 프로젝트 예측 및 솔루션을 제공하는 인공지능기술 개발

□ **Digital Twin 모델 및 AR 기반 건설 정보 시각화**

○ Off-site에서도 현장의 작업현황들을 그대로 모니터링하고 더불어 시뮬레이션 결과들을 시각화할 수 있는 Digital Twin 모델 구현 기술과 on-site에서의 효과적인 정보 시각화를 위한 AR 기술 연구

○ 현장에서 수집되는 다양한 센싱 데이터들을 이용하여 건설 인력, 자재, 장비 등의 위치 및 상태 현황들을 그대로 가상의 모델로 복원하고, 이를 기반으로 분석한 시뮬레이션 결과들을 시각화하여 보일 수 있는 Digital Twin 모델을 구현

○ 설계 및 시공과 관련된 제반 정보들을 현장 작업자가 손쉽게 활용할 수 있도록 작업자 맞춤형 정보를 자동으로 제공하는 AR 기반의 정보 시각화 기술

□ **Digital Twin for Smart Construction 정의**

○ Digital Twin 플랫폼 기능

- 현장 인력, 자재, 장비의 위치, 움직임, 상태 데이터를 기반으로 현장에서 진행되고 있는 작업현황들을 그대로 모사하고 시각화하여 off-site 관리자에게 보여줄 수 있는 플랫폼을 의미함

- 가상으로 복제된 디지털 데이터를 빅데이터 및 인공지능 기술로 가공하여 시공관리 시뮬레이션 정보를 생성하고 이를 함께 시각화하는 내용을 포함함

○ Digital Twin 구현을 위한 구성 모듈

1) On-site Data Collection: 건설현장의 물리적 물체(인력, 자재, 장비)나 프로세스에 대한 현장 데이터 수집

2) Digital Model: 1)에서 수집된 데이터 및 기존에 축적된 건설 정보 등을 기반으로 행동정보를 포함한 장비와 작업자의 Digital Model과 기하학 정보가 중심이 된 구조물의 Digital Model 생성

3) Construction Process Simulation: 2)의 Digital Model를 이용하여 실제 현장과 동일한 가상현장을 구성하고, 비용·공기·리스크 관리와 관련된 시공 시뮬레이션 수행

4) Visualization: 1), 2), 3)로부터의 데이터 및 정보들을 시각화하여 보여주는 모듈이며, 이 연구에서는 off-site 관리자를 위한 VR 기반의 시각화와 on-site 작업자를 위한 AR 기반의 시각화에 초점을 둠

(2) 범위

□ **(구성기술 4-2-1) 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발**

○ 시공 및 유지관리 단계에서 유무선 통신망과 클라우드를 기반으로 도로현장의 센서, 장비, 자재, 인력 등의 실시간 데이터를 수집하고, 현장의 장비 및 시설물 등 제어

○ 시공 및 유지관리 단계에서 발생하는 방대한 양의 데이터를 Data Lake로 구축 운영하여 각 건설 생애주기 별로 단절 없는 데이터 공유 환경을 구현하고, 이를 다양한 분석기법과 시뮬레이션, AI 알고리즘 등을 통해 실제로 활용될 수 있는 환경 제공

□ **(구성기술 4-2-2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발**

○ 건설현장 또는 공구, 조직, 관리 주체에 따라 유연하고 효율적으로 플랫폼을 운영할 수 있는 클라우드 기반 디지털 인프라 운영 기술 개발

○ 또한, 실제 도로 인프라와 디지털화된 가상인프라를 연동시켜 건설현장 및 고속도로를 운영 및 관제할 수 있는 디지털 하이웨이 구현하고, 도로는 물론 도시, 철도, 교량 등 다른 건설현장에서도 활용가능한 스마트 건설 플랫폼 구현

○ 현재 한국도로공사에서 ICT기술과의 융합을 통해 건설이 진행중인 구간(서울-세종 구간 등) 및 지사의 관리를 위한 지사 가상화 플랫폼 등과 스마트 도로 건설 플랫폼을 적용하여 구현

○ 디지털 인프라를 통한 건설현장 또는 도로의 운영상황 분석 결과에 따라 실시간으로 현장의 시설물을 제어하기 위한 대응 기술

□ **(구성기술 4-2-3) 디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발**

○ Digital Twin 시공 시뮬레이션 기술을 개발하고 이를 위한 데이터 처리 기술을 개발하고자 함

- Digital Twin 시공 시뮬레이션은 도로건설 프로젝트에서 도출된 물리적 물체나 프로세스에 대한 확률분포를 이용함

- 비정형 데이터의 정형화 기술을 개발하여 건설 프로젝트의 각종 문서와 영상자료의 비정형 데이터를 정형화하고, 정형화 데이터로부터 건설 공정의 각종 확률분포를 자동 도출하는 기술을 개발하고자 함

○ 건설 프로젝트 예측 및 대응을 위한 인공지능 기술을 개발하고자 함

- 수많은 시뮬레이션을 통하여 프로젝트 관리에 대한 빅데이터를 생성함

- 시뮬레이션의 빅데이터를 이용하여 초기단계에서의 프로젝트에 대한 각종 예측의 정확성 향상과, 시공단계에서 이벤트 발생 시 신속한 대응책을 제시할 수 있는 딥러닝 기반 인공지능 시스템을 개발하고자 함

□ **(구성기술 4-2-4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발**

○ 각 프로젝트의 특성 및 현황에 맞게 Digital Twin 모델을 구성할 수 있도록 기반이 되는 요소 기술들을 개발하고자 함

- Digital Twin 모델은 4D를 기반으로 하며, 건설 현장작업의 시각화를 위해서는 주요 재원, 장비, 인력들의 4D 모델이 기본적으로 마련되어야 하므로, 이 연구에서는 도로 건설 현장에서 활용되는 주요 구성요소들의 4D 모델 라이브러리 개발

- 4D 모델 라이브러리의 각 요소 모델들에 현장 센싱 데이터를 접목하고, 요소 모델들 간의 상호관계나 간단한 상태 정보들을 모델링 하는 등 Digital Twin 건설현장 모델 구현을 위해 필요한 기본 API 라이브러리 개발

- 테스트 베드 프로젝트에서의 Digital Twin 모델 구현

○ 도로건설 현장 작업자의 정보 활용도 제고를 위한 AR 플랫폼 개발

- 도로건설 현장 작업자의 편이성을 고려한 소프트웨어 UI 및 하드웨어 제어 기술 개발

- 작업자(사용자)별 맞춤형 정보 제공을 위한 작업자 상황 인식 기술 개발

- 위의 2가지 기술들이 집약된 AR 소프트웨어 어플리케이션 및 API 라이브러리 개발

□ **(구성기술 4-2-5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발**

○ 디지털인프라 정보 플랫폼을 통해 축적되는 방대한 양의 디지털 데이터와 정보를 건설 생태계 및 일반 기업과 국민들에게 개방하여 다양한 데이터 분석과 서비스가 창출되도록 지원하고, 차세대 자율협력주행 등 다양한 4차산업 서비스와 가치 창출 지원

○ 데이터 포털과 마켓, 앱스토어를 통해 원하는 데이터와 정보, 서비스를 이용자가 자유롭게 활용 지원

○ 디지털인프라 정보 플랫폼을 기반으로 혁신 서비스 개발 및 서비스 제공

○ 스마트시티 플랫폼 등 타 플랫폼에는 인프라의 잔존수명(설계수명*-공용수명)과 대보수주기(7~10년)의 교량상판 등 보수대상과 인프라의 지속가능한 운영에 건설시공 데이터를 제공

* 예: 도로 20년, 교량 100년

4.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ **최근 들어 Industry 4.0 패러다임에 따라서 제조업은 물론 스마트시티, 건설분야에서도 ICBAM 기반 버추얼팩토리, 가상도시 연구가 진행**

○ 디지털 트윈 또는 버추얼 트윈이라는 개념으로 방대한 양의 데이터를 수집하여 관리하고, 교통/안전/재난 등 다양한 분야에서 시뮬레이션 기반 분석을 통해 현실 문제 해결을 추진하고 있는 추세임

○ 싱가포르에서는 스마트 국가를 구현하는 ‘버추얼 싱가포르’ 프로젝트를 추진중에 있으며, 전 국토를 3D 형상을 구축하고, 에너지, 교통, 소음 등 3D 기반 시뮬레이션 파일럿 프로젝트를 수행

- 점차적으로 시민들에게 데이터를 개방하여 다양하게 활용되어지게 하며, 시뮬레이션 결과 분석을 통해 지속적으로 도시운영의 최적 솔루션을 찾아가고 있음

□ **해외 건설분야에서 디지털 트윈을 구축하여 건설비용과 시간을 절감하기 위한 프로젝트들이 시작되고 있으나, 도로 건설 단계는 물론 유지관리 단계까지 가상 인프라와 현실 인프라를 연동시켜 운영 및 관리하는 단계에는 미치지 못하고 있음**

○ 국내 민간건설사들도 스마트 건설현장관리를 위해 다양한 센서들을 활용하여 자재 및 장비관리, 시설관리, 인력관리 등을 구축하고 있으나, 개별 시스템의 자동화 및 경비절감 등을 위한 것일 뿐 건설단계 전반적인 통합관리에는 미치지 못하고 있는 실정임

- 또한, 발주처와 건설사, 시공사, 감리사 등 건설생태계 전반에 걸친 정보의 공유와 활용이 미흡

- 보고서 위주의 정보 공유로 인하여 유지관리 단계에서의 건설 정보 활용이 되지 않고 있어 전반적인 비용이 상승되는 원인이 되고 있음

□ **해외 건설분야는 토목 건설 기술 중심에서 점차적으로 IT와 융합된 스마트 건설기술 중심으로 변화하고 있음**

○ 최근의 4차 산업혁명과 디지털 트랜스포메이션 등의 패러다임에 따라 IoT, 디지털트윈, 클라우드 등의 첨단 기술이 접목된 건설 기술로 발전이 시급함

□ **한국도로공사에서 ICT를 융합한 기술을 개발하고 있으나 CPS기반 가상화 단계로의 발전과 통합플랫폼의 형태로 데이터를 수집하는 기술 개발이 시급함**

○ 한국도로공사의 스마트하이웨이 사업은 도로와 ICT기술의 융합을 통해 지능형 고속도로 구현을 목표로 추진 중

○ 고속주행 환경에서도 정차하지 않고 자동 요금정산이 가능한 ‘스마트 톨링 시스템’, 낙하물, 결빙 등의 돌발상황 발생 시 이를 검지해 운전자에게 알려주는 ‘도로정보검지 레이더 시스템’등을 개발 중

- 하지만 CPS를 통한 가상화 기반 3D관제 및 시뮬레이션 기술을 통한 최적화 등 CPS기반 고속도로 가상화 단계로 발전이 시급함

○ 한국도로공사의 초장대교량사업은 Level-3 디지털모델 개발, 3차원 디지털 모델에 대한 유한요소 모델 생성 기술, 디지털모델 기반 사전시공 및 형상관리 기술, 케이블교량 공유데이터 환경 구축기술 등 교량유지관리를 위한 기술과 ICT가 융합된 기술을 개발하고 있음

- 하지만, 건설 및 유지관리를 위한 데이터를 통합플랫폼의 형태로 수집하고 있지 않으며 이에대한 기술 개발이 시급함

○ 가트너의 '10대 전략 기술 2017'의 키워드 중 하나로 선정된 Digital Twin 기술은 스마트 건설관련 10대 이슈 중 하나로 선정된 시공간을 초월한 인간, 사물, 정보 네트워크 확대와 맞물려 건설 산업의 디지털 변혁을 이끌 핵심기술로 기대

○ Digital Twin은 현실세계를 디지털 가상공간으로 구현하는 수단, 현실세계와 가상세계를 연결하는 인터페이스, 각종 데이터를 통합·분석하는 플랫폼의 역할을 담당할 것으로 전망

○ Digital Twin의 개념은 현실 세계의 물리적 사물이나 시스템을 다양한 센서를 통해 현실에 필요한 예측, 시뮬레이션, 개발, 가동 등을 할 수 있는 가상의 모델을 의미하는 것으로서, 실제 제품을 이용해서 테스트를 해보지 않고 디지털화 된 가상의 모델로 분석하여 같은 결과를 얻을 수 있는 기술

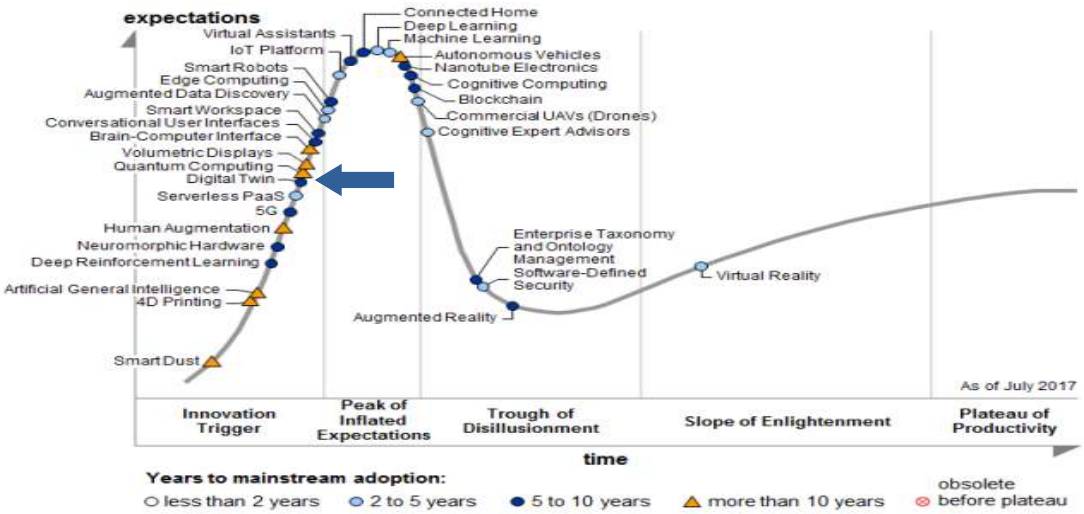
○ 건설에서의 Digital Twin은 구조체와 같은 물리적 물체나 공정과 같은 프로세스의 과거와 현재활동, 그리고 가상 시뮬레이션을 통한 인사이트가 기록된 진화하는 Digital Profile로 정의할 수 있음

○ 센서 및 계측 기술의 발달로 다양한 자원을 활용할 수 있는 환경으로 발전하여 건설분야에서의 ICT 기술이 융합·가속화되고 있으며, 건설 현장작업의 시간 요소를 포함한 동적인 상황정보를 얻을 수 있는 방향으로 발전하고 있음

○ '16년, 뉴욕전력청(NYPA)은 GE와 16개 발전소와 1,400마일 전송로를 클라우드에 연결하는 프로젝트 계약을 체결하였으며, 가스터빈, 수력발전터빈, 발전기 등에 수천 개의 IoT기반의 센서를 부착하여 베어링 가속도, 진동, 마모, 열, 습도 등의 실시간 데이터를 수집하여 생산설비 및 송전장비를 관리하는데 활용함으로써 약 22억 5천만 달러의 비용 절감이 기대되며, 이러한 디지털화가 미국 전역에 확대된다면 향후 10년간 1조 달러 이상의 사회 경제적 가치를 창출할 것으로 전망

○ 2017년 사물인터넷 기기는 전년대비 31% 증가한 84억 대, 2020년에는 204억 대, 2030년에는 약 2조 대에 이를 것으로 예측되고 있으며(가트너 2017), 사물인터넷(IoT) 기술은 Digital Twin과 같은 신기술과의 융합을 통해 4차 산업혁명의 키워드인 디지털 트랜스포메이션을 실현할 핵심기술

○ Digital Twin은 제조업을 비롯해 헬스케어, 국방 등 다양한 분야에 확산되고 있지만, 생산·설비 현장에 다수의 관리자가 상주하기 어렵거나 그 효용이 크지 않을 경우 가치가 더욱 클 것으로 전망하고 있으며, 따라서 넓은 면적을 차지하는 고속도로의 시공 및 유지·관리 적용 시 그 효과가 막대할 것으로 기대됨



[그림 4-336] 첨단기술의 시간에 따른 기대 주기

(2) 추진 필요성

□ **지금까지의 건설분야는 토목 기술을 위한 정보화가 진행되어져 왔으나, 최근 4차 산업혁명과 디지털 트랜스포메이션 패러다임으로 전 산업분야가 발전하고 있어 IT 기술이 융합되는 스마트 건설로의 변화와 발전이 시급함**

○ 이러한 패러다임 변화에 따라서 건설단계에서 발생하는 다양한 데이터들이 디지털화를 통하여 실시간으로 수집, 공유되는 체계가 필요

○ 이를 통해 건설현장의 장비, 인력, 자재의 운영 효율성을 확보하고, 각 건설 생애주기 간 데이터의 흐름이 단절 없이 공유 및 활용되어 최종적으로 건설 생태계는 물론 일반 기업과 국민들에게까지 제공됨으로써 새로운 형태의 비즈니스와 서비스 창출 필요

□ **현재 도로 건설 시공 단계에서 발생하는 데이터와 정보가 운영관리 및 유지보수 단계에 이관되지 못함으로써 도로 운영 및 유지관리 시 중복 투자가 빈번하게 발생하고, 도로의 구조물과 시설물, 포장 등에 대한 정확한 상태 파악이 되지 못함으로써 유지관리의 한계 발생**

○ 건설현장의 각 객체들이 디지털화 되어 플랫폼에서 관리되고, 지속적으로 유지 및 갱신되며 가상 인프라를 통해 현실의 도로 인프라가 운영 및 관리되어지는 디지털인프라 기반의 하이웨이 구현 필요

- 또한 지속적으로 축적되는 디지털 데이터와 정보들이 건설 생태계 구성원들에 의해 활용 및 재생산되어 지고, 나아가 일반기업과 스타트업, 국민과 데이터 과학자들에 의해 다양한 서비스로 창출되어지는 지속적인 순환구조의 스마트 건설 생태계로의 발전 필요

□ **현장 작업에 대한 정확한 데이터 수집 및 분석에 대한 노력이 미비하고 형식적인 수준에 그치면서 데이터의 활용 수준이 낮은 것은 41개국 중 40위로 평가되는 우리나라의 건설생산성 증가율(MGI 2016)과 무관하지 않으며 현장관리를 위한 데이터 기술, 정보 기술 정착을 통한 대대적 혁신이 필요함을 보여줌**

○ 대부분의 산업에서 데이터 기술, 정보 기술이 큰 패러다임 변화를 가져올 주요 기술로 주목받고 있고, 이는 건설 산업에서도 유효하지만 실제 국내 건설현장에서의 작업 프로세스는 여전히 데이터보다는 경험에 대한 의존도가 높으며, 데이터 수집 및 기록은 형식적인 수준에 머무르고 있고 축적되고 있는 데이터도 제대로 활용되지 못하고 있음

○ 기존의 현장관리는 작업자의 보고, 관리자의 관찰과 직관을 기반으로 계획, 실행, 평가되어 이를 위해 많은 시간을 소요함에도 불구하고 파악한 현황이 실제와 상이한 경우가 많고, 관리자의 주관적인 판단으로 인한 작업량 예측 실패, 작업 지연 등이 빈번함

○ 건설업계에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 PMIS 활용하여 공정 관련 정보의 관리가 보다 체계적으로 진화되고 있으나, 기존 서류에서 다루는 정형화 된 데이터를 중점으로 개발이 되어 데이터의 분석 및 활용성에 한계가 있음

○ 사물인터넷, 드론, 빅데이터/인공지능, AR 등 데이터의 수집, 분석 및 활용을 위한 센싱 및 분석 기술은 건설 산업의 신 성장 동력으로서 그 필요성이 충분히 인식되고 있음에도 불구하고 특정 공정에 집중되어 있는 등 실제 활용 실적이 미비

□ **건설업의 경쟁력 강화를 위해서는 산업계 최저 수준인 디지털화(3차 산업혁명)를 향상시켜야 함은 물론, 4차 산업혁명의 핵심인 인공지능 기술의 도입이 절대적으로 필요함**

○ 3차 산업혁명의 핵심인 디지털화에서 건설업은 산업계 최저 수준으로 농업 및 수렵분야와 비슷하고, 10년간 산업계 전체의 노동 생산성이 30% 상승한 반면 건설업의 노동 생산성은 7% 증가에 그침(McKinsey 2016)

○ 4차 산업혁명의 핵심인 인공지능에서는 이러한 건설업의 낙후가 더욱 심각할 것으로 판단되며, 인공지능 기술의 도입이 지체되면 건설업의 경쟁력 저하는 물론 건설업 자체가 4차 산업혁명에 선두적으로 진화된 타 산업계에 잠식당할 가능성도 있음

○ 현재 존재하는 작업 중 45%는 현존 기술로도 당장 자동화가 가능하며, 직업의 60%는 구성요소 중 30% 이상이 자동화가 가능하다는 McKinsey(2015)의 보고와 Amazon, Google 등으로 대표되는 유통업 및 IT업계의 인공지능으로 인한 비약적인 발전은 건설업의 경쟁력 강화를 위해서 디지털화뿐만 아니라 인공지능 기술을 적극적으로 도입할 필요가 있음을 보여주고 있음

□ **Digital Twin은 현장 작업 모니터링의 효율을 높일 수 있으며, 여러 유망 기술과의 접목을 통한 확장성은 다양한 어플리케이션 개발로 이어져 "디지털 건설" 구현의 기반이 될 것으로 기대됨**

○ Digital Twin을 통해 현장 작업을 off-site에서도 효과적으로 모니터링할 수 있고, 다양한 대응 방안에 대한 시뮬레이션을 통해 즉각적인 의사결정이 가능해질 것으로 기대됨

○ 이해관계자들 간 협업이 가능하며, 각종 문제를 공간적 사고와 접근방식으로 해결하는 데 기여함

○ IoT, 인공지능, VR 등과 같은 다양한 기술이 융합·활용되는 플랫폼이기 때문에 새로운 융합산업 생태계 조성이 가능함

4.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **건설현장의 장비와 자재, 인력, 시공현황 등을 관리하기 위한 정보 시스템들의 개발 및 활용이 증가 추세**

○ 건설현장에서 건설비용 절감, 안전성 향상, 공정 자동화를 위해 다양한 센서와 IT 기술의 접목이 증가하고 있으며, 정보화 시스템의 활용도 점차적으로 확대 중

○ 개별 또는 통합 관리를 목적으로 한 시스템 활용이 증가하고 있으나, 여전히 건설 공사 관리와 보고 위주의 시스템 수준임

○ 실시간으로 건설현장의 데이터를 수집하여 축적 및 관리하여 다양한 알고리즘을 통해 분석함으로써 안전을 예측하고, 생산성 향상을 위해 시뮬레이션을 수행하는 환경으로의 발전은 이뤄지지 못하고 있음

○ 따라서, 대부분 건설사, 감리사, 발주처 담당자들이 관리 목적으로 활용되는 폐쇄적인 시스템에 머물러 있는 실정임

□ **설계 및 시공단계 데이터와 정보들이 유지관리 단계로 이관되지 않아 유지관리의 효율성 저하**

○ 현재 설계 및 시공 단계 데이터와 정보들이 유지관리 단계로 이관되지 않음으로서 유지관리 단계에서 참조할 수 있는 정보가 부족하고, 이를 위한 현장 조사 및 계측 시스템 운영 등 중복 투자로 이어질 개연성이 높음

○ 건설 데이터가 운영관리 데이터로 활용되기 위한 프로세스가 미흡하고, 데이터로 관리 및 활용하기 위한 시스템 구축 미흡

□ **건설CALS, BIM 등 건설 분야의 정보시스템들이 활용되고 있으나, 건설생애 주기 전반에 걸친 정보화, 지식화 미흡하고 스마트시티 플랫폼 등 타 플랫폼과 인프라 건설 데이터 공유되고 있지 않음**

○ 건설생애주기별 데이터의 단절로 인하여 최근의 인공지능, 디지털 트윈, 가상물리 시스템(Cyber-Physical System) 등의 최신 기술의 적용에 한계가 있고, 과거의 데이터를 기반으로 미래의 변화를 예측하는 다양한 건설 혁신 서비스들의 창출이 어려움

□ **비용, 리스크 등의 예측과 이벤트 발생 시 신속한 대응에 자주 실패함으로서 국내 건설산업 경쟁력이 저하되고 있음**

○ 근래에 국내의 많은 건설업체들이 초기단계에서 공기, 비용, 위험요소, 리스크 등의 정확한 예측에 실패함

○ 또한 잦은 설계변경이나 인적재해나 자연재해로 인한 현장피해 등 예상치 못한 이벤트 발생 시 신속히 대응하지 못하여 특히 해외 건설 프로젝트에서 큰 손실을 입고 경쟁력 하락을 경험함

□ **건설 프로젝트에 대한 정확한 예측과 솔루션을 제공하는 인공지능 시스템의 개발을 위해서는 수많은 시공 사례에서 나온 빅데이터가 필요하나, 실사례에서 이를 확보하기는 불가능함**

○ 프로젝트 초기단계의 각종 예측의 정확성을 높이고, 시공단계에 예상치 못한 이벤트가 발생 시 이에 대응한 신속한 솔루션을 제공하기 위해서는 수많은 시공 사례에서 나온 빅데이터를 분석한 인공지능 시스템이 필요함

○ 이러한 인공지능 시스템을 위해서는 현장조건이나 공법, 지역, 규모와 같은 변수의 수많은 경우가 조합된 수만개의 빅데이터가 필요하나, 실사례에서 이렇게 다양하고 방대한 빅데이터를 확보하기는 불가능함

□ **Off-site에서 현장 작업들의 현황에 대한 정확한 파악이 불가능하며 이를 위해서는 현장 방문이 불가피함**

○ 시공 현황의 정확한 파악을 위해서는 현장을 직접 방문하여 파악해야 하며, 이러한 방식은 현장 규모 및 복잡성이 높을수록 포괄적이고 정확한 모니터링을 하기에 한계가 있으며 진도에 따른 다양한 정보의 즉각적인 자료갱신 및 접근이 어려움

○ Off-site에서의 현장 모니터링이 어렵기 때문에 off-site 전문가들의 원격 지원 및 활용에 제약이 따름

○ 4D 기반의 시공 시뮬레이션이 가능한 수준의 기술 개발이 이뤄졌지만, 특정한 목적(안전, 간섭 등의 검토)에 한정적으로 활용되고 있고, 사용자가 쉽게 접근할 수 있는 요소 기술들이 마련되지 않음

□ **PMIS, BIM 등 데이터의 플랫폼 위주의 건설정보화가 이루어지고 있으나, 실제 건설현장에서는 여전히 2D 도면 및 문서들이 정보의 주요 매체이며 다양한 시공정보의 즉각적 접근성에는 한계가 있음**

○ SOC 사업의 정보화를 위한 노력에도 불구하고, 정보의 최종 사용자인 시공 현장에서 정보에 접근하고 활용하는 데는 한계가 있음

○ 많은 건설현장에서 현장 작업자, 관리자, 감리자 등은 현장에서 설계 정보를 확인하기 위하여 여전히 도면과 같은 관련 설계 도서를 직접 지참하고 현장을 방문함에 따라 현장에서의 정보의 접근성은 제한적임

○ 모바일 기기 활용이 증가하고 있지만, 정보검색 과정은 아직 수동 입력을 필요로 하고 있으며, 도면을 사용할 때와 마찬가지로 양손을 자유롭게 사용하기 힘든 환경에서는 모바일 기기 활용이 어려움

(2) 개선방안

□ **기존의 건설 관련 정보시스템들과 건설현장의 장비, 인력, 자재, 센서 들로부터 데이터를 수집 및 연계 할 수 있는 기술 적용**

○ 최근 들어 다양한 분야에서 활용되고 있는 IoT 코어 기술을 활용하여 건설현장의 다양한 시스템, 센서, 장비, 자재 등과 연계한 데이터 수집 기술 개발

○ 또한, 건설현장의 각 시스템 및 센서 등을 통해 실시간으로 데이터를 수집하고, 이를 분석하여 특정한 상황 발생시 현장의 장비와 시설물을 제어할 수 있는 기술 개발 및 적용

□ **건설 생애주기 전반에 걸친 데이터 관리 체계 구축**

○ 설계 및 시공단계부터 데이터의 수집, 축적, 관리, 분석할 수 있는 체계를 활용하여 데이터의 흐름이 단절되지 않는 환경 구축

○ 건설 단계 데이터가 운영 및 유지보수 단계의 데이터로 활용되기 위한 프로세스 정립 및 관리 시스템 구축

□ **건설 생태계 뿐만 아니라, 일반기업과 스타트업, 국민들에게 데이터와 정보가 공유되고 혁신적인 서비스가 창출되는 생태계 구축**

○ 건설생애주기별 데이터의 공유 및 개방, 활용으로 다양한 분석 알고리즘과 인공지능 기술이 활용되는 스마트 건설 플랫폼 구현

○ 건설 정보를 기반으로 미래의 변화를 예측하는 다양한 건설 혁신 서비스들의 창출 지원

□ **스마트시티 플랫폼과 서드파티 플랫폼에게 인프라 운영에 필요한 건설시공 데이터 제공**

○ 인프라의 잔존수명(설계수명-공용수명)을 제공하여 유지보수 시기를 예측하게 함

○ 대보수주기(7~10년)의 교량상판 등 보수대상 시설명과 인프라의 지속가능한 운영에 필요한 건설시공 데이터를 제공

○ 현재 한국도로공사의 경우 도로생애주기(계획-설계-시공-유지관리)까지의 이력관리를 위한 도로정보통합플랫폼이 운영되고 있으나 도로의 운영에까지 활용되어지고 있지 않는 상황이며 서드파티를 위한 데이터 제공을 통해 창의적인 서비스 창출이 필요

□ **디지털 데이터 기반의 시공관리 위하여 수집된 현장 데이터의 정확한 분석 및 시뮬레이션 기술을 개발**

○ 건설 프로젝트의 초기 예측의 정확성을 높이고 시공단계에서의 이벤트 발생 시 신속한 대응책을 제공할 수 있는 인공지능 솔루션을 건설 프로젝트 빅데이터 분석을 통하여 개발할 필요가 있음

○ 수많은 경우가 조합된 수만개의 방대한 빅데이터를 전부 실제 현장에서 확보하기는 어려우나, 이러한 한계를 해결할 수 있는 방안으로 실제 현장 데이터로부터는 물리적 물체나 프로세스에 대한 각종 확률분포를 도출하여 Digital Model을 생성하고, 이를 이용한 Digital Twin 시공 시뮬레이션을 수행하여 건설 프로젝트에 관한 각종 빅데이터를 생성함

○ Digital Model를 이용하여 실제 현장과 동일한 가상현장을 구성하고, 비용·공기·리스크 관리와 관련된 시공 시뮬레이션 수행

□ **도로건설 시공 현황 모니터링을 위한 Digital Twin 모델을 개발하여 시공 과정의 디지털화를 이루고, 수집/분석된 데이터 및 정보의 효과적인 시각화에 대한 기술 기반을 마련**

○ Off-site에서 현장에 대한 파악이 정확하게 이뤄질 수 있도록 건설 현장에서 이뤄지는 모든 작업들을 가상의 모델로 복원하는 Digital Twin 플랫폼을 개발

○ IoT 기반으로 수집된 데이터와 후처리를 통해 분석된 정보, 그리고 시뮬레이션 결과 등은 현장 관리자의 정확하고 빠른 판단을 위해 효과적으로 시각화할 필요가 있으며, 이를 위해 Digital Twin 플랫폼에 실제 현장과 유사한 가상의 모델로 시각화하는 기술 개발이 필요함

□ 현장 작업자의 정보 접근성 및 활용도를 높이기 위해 AR 기반의 정보 시각화 기술을 개발

○ Off-site에서의 관리자를 위한 시각화 기술이 Digital Twin 플랫폼을 통해 이룬다면, 반대로 on-site에서의 작업자들을 위한 정보 시각화를 위해서는 AR 기반의 기술이 적합할 것으로 판단되며, 작업자가 처한 현황에 알맞은 맞춤형 정보를 실시간으로 제공할 수 있는 AR 정보 시각화 기술 개발이 필요함

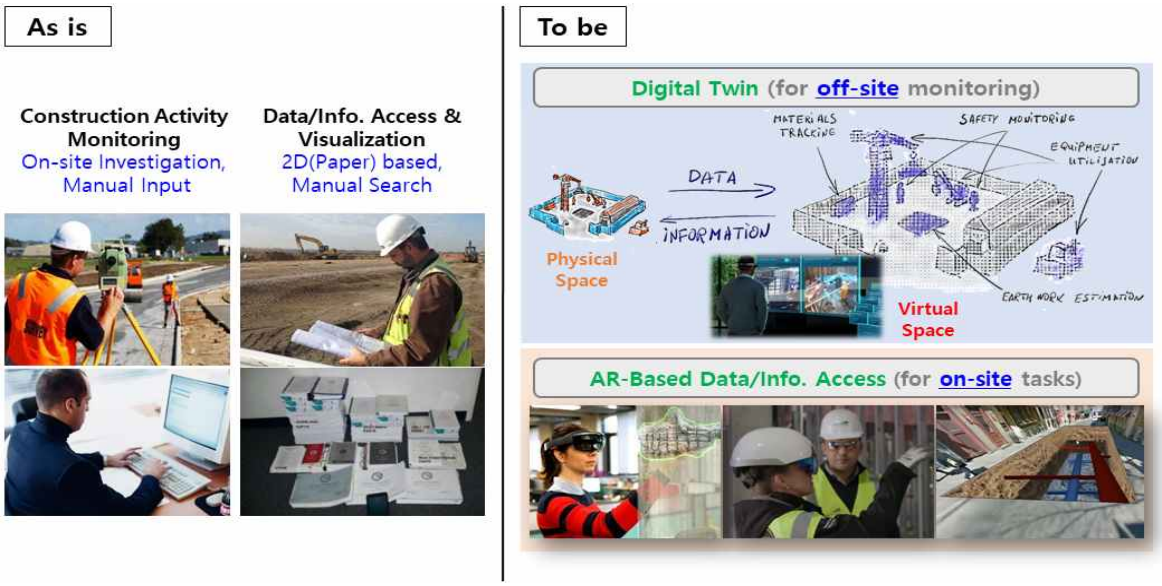
<표 4-184> Digital Twin 기반의 스마트 건설관리 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
◯ 프로젝트 비용·공기·리스크 예측의 잦은 실패, 돌발 상황에 대한 신속한 대응의 어려움 - 프로젝트의 비용, 공기, 리스크 등에 대한 예측에 활용되는 데이터 및 기법의 한계 • 품셈기반의 비용 예측 • 경험 및 CPM에 기반한 공정계획 • 제한된 사례의 한정된 데이터 활용	◯ 프로젝트 비용·공기·리스크 예측의 정확도 향상, 돌발 상황에 대한 신속한 대응책 마련 - 빅데이터 및 인공지능 기반의 프로젝트 비용, 공기, 리스크 예측 및 대응 기술 • Digital Twin의 Realistic 시공 시뮬레이션 • 시뮬레이션을 통한 건설 빅데이터 생성 • 빅데이터에 기반한 예측, 인공지능에 기반한 대응책 마련
◯ 인공지능 기술 적용에 필요한 다량의 고품질 데이터 확보 어려움 - 현장조건이나 공법, 지역, 규모와 같은 변수의 수많은 경우가 조합된 수만 개의 빅데이터가 필요하나, 실제로 확보하기는 불가능함	◯ 확률분포를 기반의 시뮬레이션을 통해 빅데이터 생성 및 확보 - 실제 현장 데이터로부터 건설 프로젝트에 관한 각종 확률분포를 도출 - Digital Twin 시공 시뮬레이션에 확률분포 적용하여 건설 프로젝트에 관한 다양한 데이터를 생성
◯ Off-site에서 현장 작업들의 현황에 대한 정확한 파악이 어려움 - 시공 현황의 정확한 파악을 위해서는 현장 방문 불가피 - 진도에 따른 다양한 정보의 즉각적인 자료갱신 및 접근이 어려움 - Off-site 전문가들의 원격 지원 및 활용에 제약	◯ Digital Twin 모델을 통한 off-site에서의 실시간 시공 현황 모니터링 - 시공 과정의 가상 디지털화 - 수집/분석된 데이터 및 정보의 효과적인 시각화 - Off-site 전문가들의 프로젝트 참여도 제고 및 의사소통 효율화

AS-IS	TO-BE
○ 건설현장에서는 여전히 2D 도면 및 문서들이 정보의 주요 매체로 활용됨 - 다양한 시공정보의 즉각적 접근성에 한계 - 모바일 기기를 활용이 증가하고 있지만, 정보 검색 과정은 아직 수동 입력 필요 - 모바일 기기 사용 불편함으로 인해 실제 활용 미비	○ AR 기반의 정보 시각화 기술로 작업자의 정보 접근성 및 활용도 향상 - AR 정보 시각화 기술을 통해 현장에서 작업자가 처한 현황에 알맞은 맞춤형 정보를 실시간으로 제공받음



[그림 4-337] Digital Twin 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술: As-Is, To-be



[그림 4-338] Digital Twin 모델 및 AR 기반 건설 정보 시각화 기술의: As-Is, To-be

4.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

□ **디지털인프라 운영 및 서비스 기술은 첨단 ICBAM 기술을 기반으로 건설현장의 센서, 장비, 인력 등의 실시간 데이터를 수집 및 축적, 관리하고, 클라우드를 기반으로 디지털인프라 정보 플랫폼을 운영 및 관제하며, 플랫폼을 통해 생산되는 데이터와 정보를 건설 생태계의 구성원들과 일반기업, 국민에게 제공하는 기술**

○ IoT/엣지컴퓨팅을 기반으로 건설현장의 다양한 데이터를 수집하고, 시공 및 유지관리 단계에서 발생하는 방대한 양의 원시 데이터를 Data Lake로 구축·운영하여 각 건설 단계별로 단절 없는 데이터 공유 및 활용 환경을 구현

○ 건설현장별, 조직별, 관리주체별로 유연하게 플랫폼을 운영 및 관리하는 등 디지털인프라를 통해 실제 도로 인프라를 운영 및 관리함

- 또한 디지털인프라 정보 플랫폼을 통해 축적되는 방대한 양의 데이터를 다양한 이용주체(건설사, 하도급사, 스타트업, 일반국민, 데이터 과학자 등)에게 제공하여 데이터가 다양한 형태로 분석되고, 다양한 인공지능 알고리즘의 적용을 통해 건설분야 데이터가 혁신적으로 활용될 수 있는 서비스 기반을 제공함

□ **(구성기술 4-2-1) 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발**

○ 엣지컴퓨팅과 IoT 기술을 기반으로 건설현장의 다양한 시설물과 장비, 자재, 인력 등의 위치, 상태, 현황 등의 데이터를 실시간으로 수집하고, 현장의 시설물과 장비 등을 제어하며, 수집된 원시데이터를 Data Lake로 구축 및 운영·관리하는 기술

- IoT 기반 다양한 센서, 장비, 시설물 데이터 수집 및 제어
- 이종/다종 건설현장 디바이스 관리
- 엣지컴퓨팅 기반 건설현장 플랫폼 운영 및 관리
- Data Lake 기반 원시데이터 축적 및 관리
- 데이터 수집 및 연계 시 최적의 보안 기술 적용

□ **(구성기술 4-2-2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발**

○ 클라우드를 기반으로 공사별, 공구별, 조직별, 관리주체별 스마트 도로 건설 플랫폼을 운영 및 관리하고, 디지털인프라의 실시간 데이터를 활용하여 디지털 트윈 기반 통합관제 및 운영관리하기 위한 기술

- 클라우드 기반 디지털인프라 운영 관리
- 디지털 트윈 기반 통합관제
- 클라우드 플랫폼 보안 서비스 제공

□ **(구성기술 4-2-3) 디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발**

○ 건설 프로젝트 빅데이터 생성을 위한 Digital Twin 시뮬레이션 기술

- (1) 건설 프로젝트 비정형 데이터의 정형화 기술: 건설 프로젝트의 비정형 데이터를 인공지능 기반으로 자동 정형화하는 기술
- (2) 건설 프로젝트의 확률분포 생성을 위한 현장 데이터 분석 기술: 정형화된 현장 데이터들로부터 건설 프로젝트에 관한 각종 확률분포를 자동으로 도출하고 업데이트하는 기술 개발
- (3) Digital Twin 기반 도로건설 시뮬레이션 기술: 확률분포를 이용하는 Digital Twin 시공(Construction operation) 시뮬레이션 기술을 개발

○ 건설 프로젝트 예측 및 대응을 위한 인공지능 기술

- 수많은 시뮬레이션을 통하여 프로젝트 관리에 대한 빅데이터를 생성하고, 이를 이용하여 초기단계에서의 프로젝트에 대한 각종 예측의 정확성 향상과, 시공단계에서 이벤트 발생 시 신속한 대응책을 제시할 수 있는 인공지능 시스템을 개발

□ **(구성기술 4-2-4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발**

○ 현장에서 설치·운영되는 다양한 센서들을 디지털 도로 상의 가상 객체로 표준화 및 모델링하고, 그러한 센서 객체를 현장의 실제 센서와 연결함으로써 디지털 도로 플랫폼 상에서 센서 네트워크를 통합하여 시각화, 접근, 제어 및 관리할 수 있는 플랫폼 기술 개발

○ 현장 상황 복원 및 시뮬레이션 결과 시각화를 위한 Digital Twin 모델 기반의 VR 시각화 기술:

- 효율적인 건설 시공관리를 위해서는 현장 작업 현황에 대한 파악이 중요하며, 현장에 나가지 않고도 사무실에서 이러한 정보를 정확하고 빠르게 모니터링 할 수 있는 가상의 Digital Twin 플랫폼이 개발되면 리스크를 미리 예측하고 빠르고 정확하게 대처할 수 있는 등 시공관리 효율성을 높일 수 있음

○ 건설현장 작업자 맞춤용 정보 제공을 위한 AR 시각화 기술:

- 현장에서의 시공 현황 검수 시 관련 정보를 실시간으로 접할 수 있도록 사용자의 위치와 시선 정보를 자동으로 감지하고, 감지된 정보에 해당하는 정보를 모바일 기기의 화면에 중첩하여 시각화하며, 사용자가 음성 및 손동작 등을 통해 조작할 수 있는 AR 시스템 개발

□ (구성기술 4-3-5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발

○ 디지털인프라를 통해 생성된 데이터와 정보를 건설생태계와 일반기업, 스타트업, 국민들이 자유롭게 분석 및 활용하여 다양한 건설 혁신 서비스의 창출을 지원하는 기술

- 디지털인프라 데이터 포털, 마켓, 앱스토어 구축
- 디지털인프라 기반 혁신 서비스 구축 및 제공

(2) 기술개발 목표

□ (구성기술 4-2-1) 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발

○ 첨단 ICBAM 기술을 건설현장에 융합하여 건설 및 유지관리 단계 간 데이터의 단절 없이 실시간 데이터 수집, 저장, 관리가 가능한 원천기술 확보

- 유무선 통신망을 기반으로 건설현장의 센서, 장비, 시설물 등을 IoT 기술을 활용하여 실시간으로 연동하여 데이터를 수집하는 기술 개발
- 엣지컴퓨팅을 활용하여 각 건설현장(또는 공구) 단위로 데이터의 수집 및 연동을 담당하고, 이종/다종의 장비, 디바이스들을 관리 및 제어 기술 개발
- 도로 건설현장에서 발생하는 다양하고 방대한 양의 원시데이터를 Data Lake로 축적 및 관리하여 그 데이터를 건설 생태계를 비롯한 다양한 주체에 의해서 활용 될 수 있도록 제공

□ **(구성기술 4-2-2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발**

○ 도로 건설현장별, 공구별, 조직별, 관리주체별 최적화된 클라우드 기반 디지털 인프라 정보 플랫폼 운영 및 관리 원천기술 확보

- 도로 건설현장별, 공구별, 조직별, 관리주체별 최적화된 클라우드 기반 디지털인프라 정보 플랫폼 운영 및 관리를 위한 원천기술 확보
- 건설현장(공구), 조직, 관리주체, 환경 등에 따라 유연하고, 효율적으로 디지털 인프라 플랫폼을 운영할 수 있는 클라우드 기반 플랫폼 운영관리 기술 개발
- 디지털화된 가상 인프라를 통해 실제 도로현장을 모니터링하고, 이벤트 및 긴급상황, 민원 등의 발생시 건설현장과 연계하여 CPS를 기반으로 실시간 대응 기술 개발

□ **(구성기술 4-2-3) 디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발**

○ 건설 프로젝트 비정형 데이터의 정형화 기술

- 현장에서 수집되는 비정형 데이터를 추출/가공하여 정렬하는 데이터 정형화 기술 개발
- 영상, 문서 데이터로부터 각각 건설 객체 및 작업 현황 등을 인식할 수 있는 영상 처리 기술 및 텍스트 마이닝 기술 개발

○ 건설 프로젝트의 확률분포 생성을 위한 현장 데이터 분석 기술

- 정형화된 현장 데이터에서 건설 프로젝트의 비용, 공정, 생산성 등에 대한 각종 확률분포를 자동으로 도출하고 업데이트하는 기술 개발

○ 생성된 확률분포가 반영된 Digital Twin 도로건설 시뮬레이션 기술

- 도로건설 공정별로 정형화된 현장 데이터들의 다양한 조합에 따른 비용, 공정, 생산성의 결과에 대한 빅데이터를 생성할 수 있는 Digital Twin 시공 시뮬레이션 기술 개발

○ 건설 프로젝트 예측 및 대응을 위한 인공지능 기술

- 시뮬레이션을 통해 생성된 빅데이터를 기반으로 비용, 공정, 생산성 등을 예측하고 리스크 수준을 검토하는 딥러닝 기반의 프로젝트 예측 기술 확립
- 유사시에 최적의 비용, 공정, 생산성을 확보할 수 있도록 현장 작업의 대응 방안을 제시하는 인공지능 알고리즘 개발

□ (구성기술 4-2-4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발

○ 도로건설 현장의 실시간 Digital Twin 구현: 도로건설 현장 상황을 가상으로 복원한 모델링 및 시각화 기술 개발

- 도로 시공에 활용되는 재원(인력, 자재, 장비)들에 대한 가상 모델 Library 개발
- 도로 건설용 Digital Twin 개발자를 위한 프로그래밍 API Library 개발
- 건설 작업의 가상 구현에 특화된 Digital Twin 개발자용 프로그래밍 API 라이브러리 개발

○ 도로건설 현장 작업자용 AR 시스템 구현

- 현장 작업별, 공정/안전/품질 등의 관리 목적별 AR 시각화에 적합한 정보 체계, 맞춤형 정보 제공을 위하여 필요한 사용자 위치 및 현황 등의 정확한 정보 수집 기술 개발
- 사용자가 현장에서 정보를 직관적으로 파악할 수 있는 정보 시각화 기술 개발
- 사용자가 필요한 정보를 검색하고 송수신 할 수 있는 UI 기술 개발
- 사용자가 현장에서 하드웨어를 편리하게 조작할 수 있는 디바이스 콘트롤 정의 및 제어 기술 개발

□ (구성기술 4-2-5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발

○ 디지털 인프라 플랫폼을 통해 생산되는 디지털 데이터 및 정보를 건설 생태계 및 일반기업과 스타트업, 국민, 데이터 과학자 등에 개방 및 공유 환경 구축

- 플랫폼에서 축적 및 생산되는 다양한 데이터와 디지털 정보들을 발주처, 설계사, 시공사, 하도급사, 현장작업자는 물론 일반 국민, 데이터 과학자 등에게 개방 및 공유하여 다양한 서비스가 창출되고 활용될 수 있는 데이터 공유 체계 개발
- 플랫폼을 통해 생성된 데이터 및 정보는 건설 생태계는 물론 일반국민, 스타트업 등에게 공유되어 건설 프로세스를 개선하고, 혁신적인 서비스가 개발되어 지는 컨텐츠로 활용

○ 디지털 인프라 플랫폼을 기반으로 제공될 수 있는 시범 혁신서비스 구축 및 제공

- 플랫폼에서 제공되는 데이터와 정보, 서비스들을 활용하여 시범 서비스를 도출하여 구축하여 플랫폼의 기능과 성능을 검증하고, 서비스 활용성을 평가

<표 4-195> 디지털인프라 운영 및 서비스 기술 개발 방향

개발 내용 (구성기술)	기술 개발 방향
실시간 건설현장 데이터 수집/관리 기술	■ IoT 기반 다양한 센서, 장비, 시설물 데이터 수집 및 제어 ■ 이종/다종 건설현장 디바이스 관리 ■ 엣지컴퓨팅 기반 건설현장 플랫폼 운영 및 관리 ■ Data Lake 기반 원시데이터 축적 및 관리 ■ 데이터 수집 및 연계 시 최적의 보안 기술 적용
스마트 도로 건설 플랫폼 운영 관리 기술	■ 클라우드 기반 디지털인프라 운영 관리 ■ 클라우드 플랫폼 보안 서비스 제공 ■ 디지털 트윈 기반 통합관제
스마트 도로 건설 정보 제공 기술	■ 디지털인프라 데이터 포털, 마켓, 앱스토어 구축 ■ 디지털인프라 기반 혁신 서비스 구축 및 제공

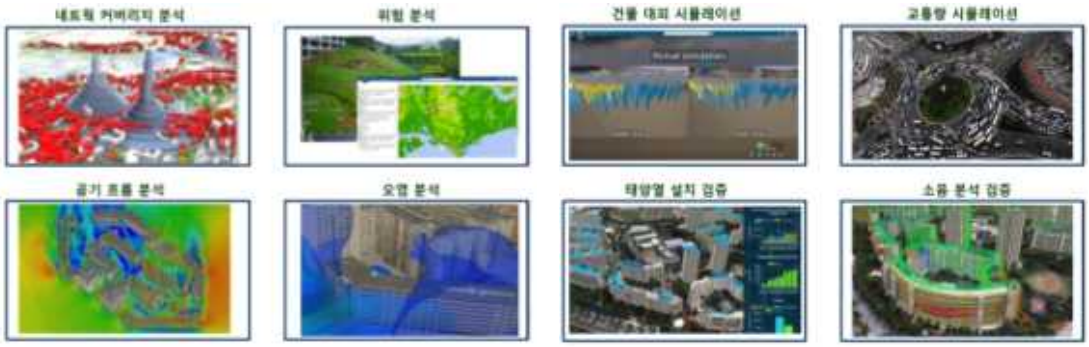
4.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

□ 스마트시티 분야 디지털(버추얼) 시티 구현

○ (도시 가상화) 버추얼 싱가포르는 스마트 국가 사업으로 추진되고 있으며, 다쏘 시스템(Dassault Systemes)의 3D Experience Platform을 활용하여 도시전체 모습을 3D화하고 시뮬레이션 할 수 있는 도시의 디지털 트윈 구축(2015년~2019년까지 약 800억원 사업비 투입)

- 3D 플랫폼에 전 국토를 가상현실로 구현하여 건축, 도로, 상하수도, 교통 등 도시 관리 요소에 가상현실을 적용하여 결과 예측·재해재난예방 시뮬레이션 실시



출처: 다쏘시스템

[그림 4-339] 도시 데이터 분석

출처: 다쏘시스템

[그림 4-340] 도시 시뮬레이션

- 싱가포르의 3D모델 및 교통량 정보, 일조량, 소음, 바람 등 시뮬레이션 데이터를 융합하여 도시계획에 활용



[그림 4-341] 도시 계획 활용

□ 스마트시티 프로젝트

○ 최신의 ICBAM 기술을 기존산업에 가장 활발하게 융합시키는 분야로 스마트 시티를 꼽을 수 있고, 해외에서 다양한 프로젝트들이 추진중



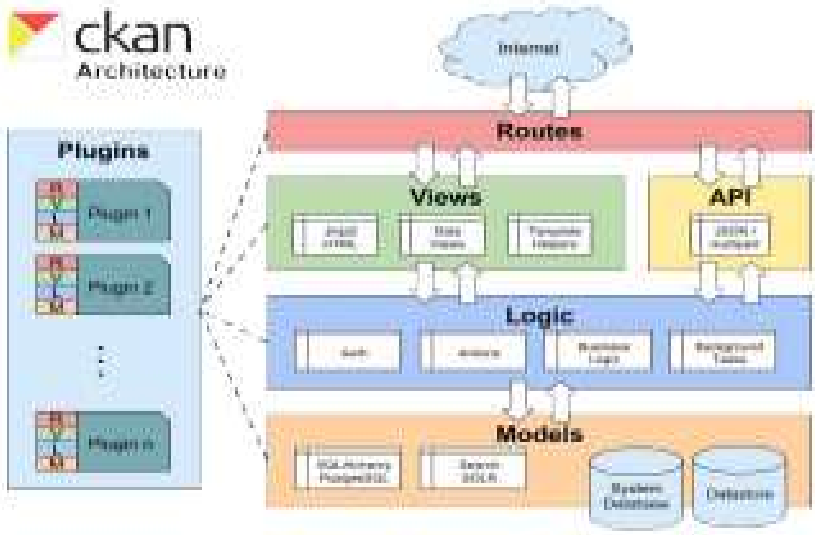
[그림 4-342] 데이터 허브를 이용한 데이터 활용

○ 밀턴킨스 프로젝트에서는 도시 데이터를 기반으로 한 수요 반응형, 맞춤형 시민 생활 지원 서비스를 제공하는 것으로 추진

- 도시의 방대한 데이터를 수집하고 관리하는 빅데이터 인프라를 기반으로 오픈 데이터, 인프라/센서/소셜데이터 등이 데이터 허브를 매개로 사회의 각 기능에 활용 되고 있음

○ 네덜란드 암스테르담 및 스페인 바르셀로나의 스마트시티 프로젝트에서도 개방형 빅데이터와 통신 네트워크, 도시 인프라를 기반으로 스마트모빌리티와 스마트 리빙서비스를 제공하고, 환경 및 시설 데이터를 모니터링 및 분석하여 시민들에게 제공하는 플랫폼 모델을 제시하고 있음

○ (데이터허브) 전 세계적으로 공공데이터 개방 포털을 구축하기 위하여 가장 많이 활용된 기술은 CKAN(Comprehensive Knowledge Archive Network)으로서, 미국과 영국 정부의 Open Data 포털을 비롯하여 다수의 국가에서 활용되었고, 주요 기능으로는 데이터셋에 대한 CRUD API 제공과 메타데이터 관리, 데이터 하베스팅, 데이터 발행 및 관리가 있음



[그림 4-343] CKAN 구성도

○ Socrata Open Data Portal은 Socrata에서 개발한 클라우드 기반의 상용 공공데이터 플랫폼으로 뉴욕 공공데이터 포털, 시카고 공공데이터 포털 등에서 활용되었고, 데이터셋에 대한 발행, 검색, 비교 및 시각화 기능을 포함하며, 설치, 운영이 용이함

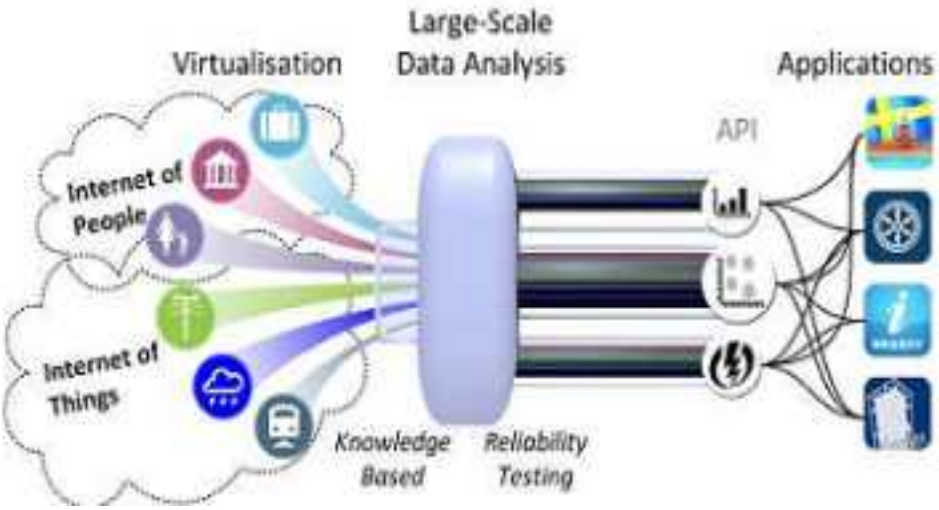


[그림 4-344] Socrata Open Data Portal 개념도

○ CityPulse 프로젝트는 스마트 도시를 위한 대규모 데이터 분석 프레임워크를 제공하는 것으로 목표로 추진됨

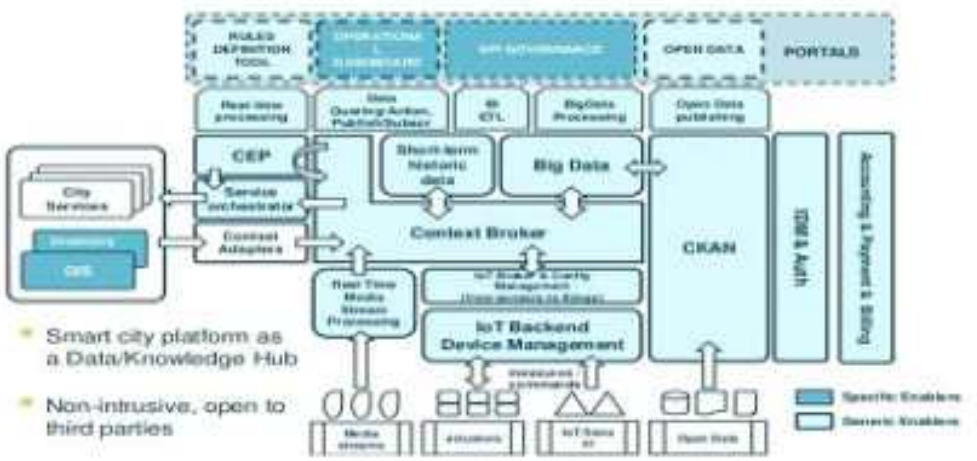
- 수많은 데이터 소스의 이질성을 숨기기 위한 가상화와 여러 데이터 스트림에서 효율적인 이벤트 검색을 위한 대규모 데이터 분석, 재사용 가능한 지능형 API를 제공하여 실시간 스마트도시 응용 프로그램을 쉽게 개발 가능

- 지식기반 접근방식을 사용하여 플랫폼 구성요소의 유지관리, 확장성 및 사용 용이성을 제공
- 통합된 스마트도시 응용 프로그램에 대한 데이터를 통합하고 멀티 모달 및 다이내믹 한 실제 데이터를 처리하기 위한 분석 도구와 메커니즘 제공



[그림 4-345] CityPulse 프로젝트 개념

○ Fiware는 유럽연합(EU) FI-PPP(Public-Private Partnership: 민관 파트너십)에서 개발 및 배포하고 있는 오픈소스 기반 스마트시티 서비스 플랫폼으로, 클라우드 환경에서 다기능의 오픈 API를 제공, IoT를 손쉽게 연결, 빅데이터 분석, 실시간 미디어 처리, 사용자 상호 작용을 위한 고급 기능을 지원함

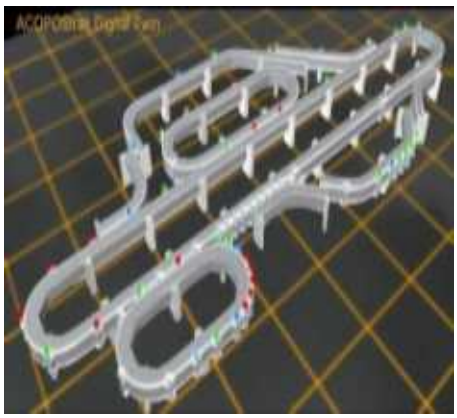


[그림 4-346] Fiware Platform 구성도

□ 건설분야 디지털 트윈 구축

○ 해외에서는 최근 드론을 이용한 3D 영상 기반 공사현장 모니터링 기술과 디지털트윈 기술을 활용한 철도와 도로 분야 시뮬레이션, 건설분야에도 디지털 트윈 기술을 적용이 시작되는 추세임







[그림 4-347] 건설분야 디지털 트윈 기술 활용 사례

□ 일본의 고마쓰社는 건설 시공 현장에서 중장비 및 드론에 설치된 여러 영상 장비로부터 데이터를 얻어내는 기술을 실제로 운용하고 있음

○ 영상*에서는 한 기술자가 태블릿에서의 터치 한번으로 드론을 통해 정확한 지형분석을 진행한 후 이를 바탕으로 설계도를 작성함

* https://www.youtube.com/watch?v=lFRtZpFaF_I, 동영상(concept movie of smart construction)
http://www.sisaon.co.kr/news/articleView.html?idxno=42513, 떠오르는 '스마트 건설'…국내 현실은?

○ 건설 계획에 대한 사전 시뮬레이션도 가능함. 회사가 도입한 프로그램은 건설장비별 작업 가능치를 계산해 공기와 가격이 다른 여러 안을 마련해 사용자에게 제시하기도 함

○ 실제 공사가 진행되고 있는 현장의 정보가 설계도와 연동돼 장비에 입력되고, 장비는 기술자의 정확한 시공을 유도함

○ 예상치 못한 문제가 발생했을 경우에는 현장과 관리실이 실시간 소통해 변경된 설계를 장비에 동기화하며 이에 따라 숙련되지 않은 기술자도 장비운용이 가능함

○ 관리자 입장에서는 매일 진행되는 공사현황을 정확하게 점검할 수 있으며, 공사기간 모든 데이터는 클라우드에 저장되고, 준공 보고서와 향후 유지·관리 계획으로 요약돼 사용자에게 제공됨

○ 두바이 SK 솔루션은 현장의 장비 중량, 위치, 이동, 무게중심, 온도 등의 데이터를 추출하여 안전과 관련된 시스템을 구축하였으며, 현재는 대쉬 보드 및 모바일 장치에 제공하고 있음

□ **건설현장에서는 주로 작업자의 안전확보를 위한 시스템이 이용되고 있으며 IoT 기술을 기반하여 작업자 및 중장비를 통해 얻을 수 있는 센서자료, 영상자료 등을 수집·분석하고 있음**

○ 호주 MOQDigital社는 마이크로소프트社의 IoT 기술을 이용하여 '스마트 헬멧'을 개발하였고, '스마트 헬멧'은 착용자의 정보(심장박동, 체온 등)와 외부 환경정보(온도, 습도 등)를 각종 센서를 통해 파악한 뒤 이를 분석해 위험이 있을 경우 착용자에게 진동과 소리로 위험정보를 전달하는 시스템임

○ 호주 Synaptor社는 건설 현장에서 만들어지는 데이터(기존의 사고 기록 및 작업일보, CCTV, 위험요소의 위치 등)를 실시간으로 분석하여 작업자들에게 위험에 대한 사항을 조기 경고하는 빅데이터 시스템을 개발하고 현장에 적용하고 있음

○ 미국 Caterpillar社는 장비의 상태를 빅데이터를 이용하여 실시간으로 모니터링 하여 각 장비 별 부속장치의 이상 유무를 관리자에게 알려줌으로써 장비 유지관리에 관련된 위험을 사전에 감지할 수 있도록 함

○ 미국 IBM社의 지능형 영상분석 솔루션인 'IVA'는 건설안전관리를 주요 대상으로 삼고 있으며 CCTV를 통해 사물의 움직임, 움직임의 방향, 경계선 침입, 지역 경보, 방치된 물체 및 사라진 물체를 인식할 수 있음

□ **해외의 경우 미래 산업의 기반으로 Digital Twin 및 CPS를 최우선 순위 과제로 선정하였으며, 주로 제조 산업 분야에 대해 많은 연구를 실시하고 있음**

○ 2007년과 2010년에 보고된 미국의 대통령과학기술자문위원회의 보고서에 따르면, CPS가 국가 경쟁력 강화를 위한 최우선 연구 과제로 선정되었으며 실제로 2009년부터 National Science Foundation을 통한 대규모 연구 지원을 시작함
출처: NIST Report, "http://www.nist.gov/el/isd/cps020613.cfm"

○ 또한 미국 플로리다 소재의 가스터빈 연구소 CATER에서 Digital Twin 혁신 클러스터(DTIC, Digital Twin Innovation Cluster)를 구축하고 기술 개발에 매진하고 있음

○ 유럽의 경우 Framework Programme 7 ARTEMIS를 통하여 연구 투자가 활발히 진행되고 있음

○ 독일 지멘스社의 암베르크 공장은 하루 5천만 건씩 축적되는 데이터를 기반으로 CPS를 구축하여 생산성 800% 증가, 100만개당 불량 11개, 설계/주문 변경 시 99.7%를 24시간 내에 출시하는 시스템을 구축

○ GE는 소프트웨어에 10억 달러가 넘는 투자와 1만 4천여 명의 SW엔지니어를 고용하여 산업용 기계 50만 대의 '디지털트윈(가상세계 복제품)'을 제작

○ 일본은 연간 약 250만 달러 규모의 재난대응 및 헬스케어 분야 CPS 연구 지원을 하고 있는 실정임

□ **반면 건설 산업에 Digital Twin 또는 CPS가 적용된 사례는 해외 사례에도 많지 않으나 몇몇 사례가 존재하고 있음**

출처: 국토정책 Brief 참고

○ 유럽 철도교통 시스템의 열차제어 시스템

- 철도 인프라 시설, 시스템 관리를 통합하여 지능형 교통관리를 도모하고 철도교통 서비스의 물류, 열차, 철로 등에 대한관리 효율을 높이기 위해 CPS 기술을 적용함으로써 자동제어체계를 구축함

○ 스마트 빌딩

- 온도, 소음, 빛 등의 환경 요소에 대한 센싱으로 가정의 에너지를 제어하는 기술을 적용하여 스마트 거주공간 구축에 활용
- 재생에너지와 제어시스템을 활용하여 스마트빌딩 마이크로그리드 시스템에서 에너지 생산량과 에너지 수요, 에너지 부하에 대한 실시간 제어 및 운영을 가능하게 하는 시스템 구축
- 미국 기업인 허니웰社, 지멘스社, 존스콘트롤즈社, 슈나이더일렉트릭社 등 업체들이 시장을 주도하고 있으며 최근 허니웰社은 중국의 화웨이社와 협력해 중국 심천 스마트시티 프로젝트에 참여해 전통적인 솔루션 외 커넥티드 빌딩 솔루션을 제공할 정도로 적극적인 자세를 보이고 있음
- 존스콘트롤즈社는 냉난반과 환기 등 장비와 컨트롤을 통합한 플러그 앤 플레이 컨트롤 시스템인 솔루션 베라시스를 출시해 PC, 스마트폰, 태블릿을 통해 원격 엑세스를 제공함

출처: http://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=20906 - 갈수록 똑똑해지는 스마트 빌딩, 어떤 기술 적용됐나?

○ 버추얼싱가포르

- 싱가포르는 Smart Nation 기조하에 전 국토의 스마트화를 위해 virtual singapore라는 가상공간 운영
- 3차원 공간정보 도시모델을 구축하고 이를 협업적 플랫폼으로 활용
- 물류, 스마트홈, 환경, 생산성 향상, 스마트헬스, 공공서비스 분야에서 프로젝트 수행

○ Smart America Challenge

- 미국은 CPS의 중요성을 인지하고, 2013년 'Smart America Challenge'를 통해 대규모 CPS 융합프로그램 추진
- Smart Manufacturing, Smart Transportation, Smart Energy 등의 세부분야 프로젝트를 수행하고, 각 도메인의 CPS 연구개발 결과는 CPS 테스트베드를 통해 통합방안 모색
- NIST(미국표준기술연구소), NSF(미국국립과학재단)뿐 아니라 정부부처들을 포함한 100여 개의 단체가 참여하고 있음

□ **현재 컴퓨터 공학 분야 인공지능 기술이 폭발적으로 혁신을 거듭하고 있으며, 여러 Global 기업에서는 인공지능 platform을 제공하고 있음**

○ IBM社 'Watson', Google社 'Tensorflow', MS社 'Azure' 등

□ **건설 산업에서는 주로 구조물의 상태평가 및 손상 추정과 같은 유지관리 단계에 인공지능을 활용하고자 하는 사례와 시공 중 안전을 위해 인공지능을 활용하는 사례가 존재함**

○ 일본의 후지쯔社*는 자사에서 개발한 인공지능 'Zinrai'를 이용하여 구조물의 상태를 평가하고 손상을 추정하는 알고리즘을 개발하였음

* Fujitsu Deep Learning Technology Successfully Estimates Degree of Internal Damage to Bridge Infrastructure

○ 미국 NVIDIA社는 세계적인 건설 기계 및 중장비 제조업체인 일본 고마쓰(Komatsu)와 함께 건설현장의 사고 위험성을 줄이는데 인공지능(AI)을 일본 각지의 4천 여 개 작업장에 도입, 영상을 분석하고 중장비를 자동화해 효율적이면서도 안전한 환경을 만들기 위해 노력하고 있음

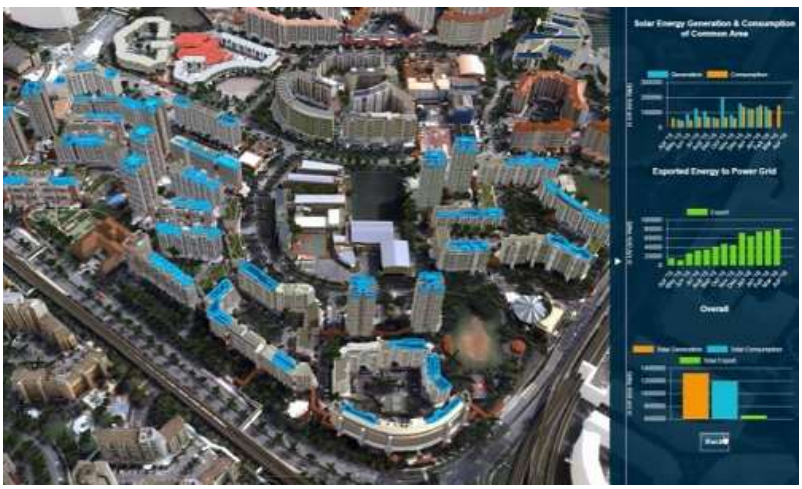
출처: http://isafety.co.kr/news/964 - 건설현장 안전에도 인공지능(AI) 활용, 엔비디아-고마쓰 협업

※ 이 과정에 엔비디아 젯슨(NVIDIA Jetson : 엔비디아의 슈퍼컴퓨터 분야 기술) 플랫폼이 고마쓰의 건설용 장비에 부착된 카메라에 탑재되어 360도 촬영을 통해 근처의 사람 및 기계를 곧바로 식별함으로써 충돌 또는 기타 사고를 예방하여 안전성 및 생산성을 향상시킬 예정임

□ **Digital Twin 모델**

○ 현재 Digital Twin 기술은 주로 제조업에서 대규모 설비와 완전히 동일한 환경을 소프트웨어로 복제하여 생산 시설 또는 제품의 변화를 시뮬레이션하여 결과를 예측하기 위해 개발되고 있음

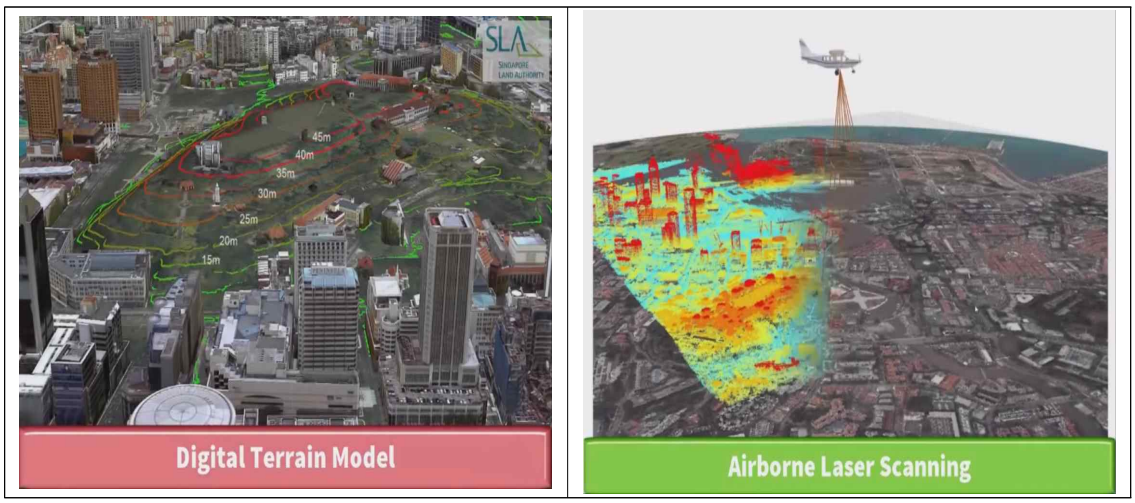
○ 싱가폴의 경우, 스마트 국가사업을 목적으로 약 700억 원을 투자하여 국가 전체 모습을 3차원으로 표현하기 위해 관련 기술을 개발하는 중이고 2018년에 구축을 완료할 예정임



[그림 4-348] 싱가포르 스마트 시티 Digital Twin 플랫폼의 도시 정보 시각화

○ 싱가포르뿐 아니라 우리나라를 포함한 세계적으로 도시의 디지털화를 위한 노력이 지속적으로 이뤄지고 있고, 그 결과로 도시 개발 및 유지관리 목적의 Digital Twin 플랫폼은 상당한 수준에 이름

- 도시의 디지털 형상 모델링을 위한 3D 스캐닝 기술과 도시/교통/환경 등의 정보 수집을 위한 IoT 센싱 기술, 그리고 정보 시각화 플랫폼까지 상용 수준의 개발이 이뤄진 상태라 할 수 있음



[그림 4-349] invicara사의 도시 Digital Twin

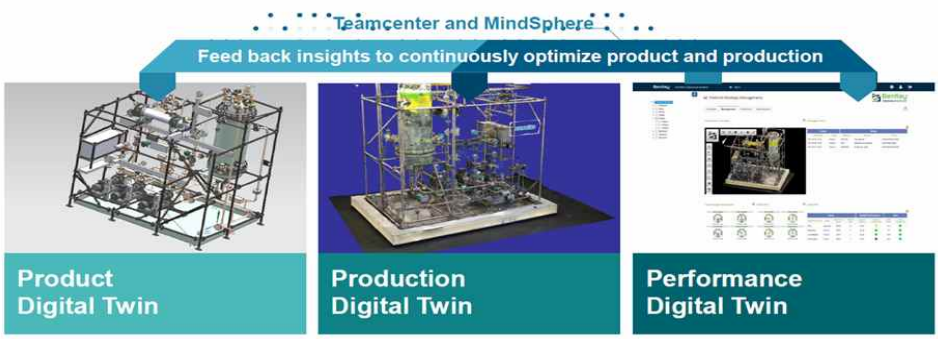
○ 항공기, 자동차 엔진을 제작하는 롤스로이스에서는 Digital Twin을 활용, 엔진이 비행 인증을 받기 전 필요한 테스트를 효율적으로 수행하여 실제 엔진을 활용한 테스트 1회 비용이 수천만 파운드에 달하는 것에 비해 반복되는 시뮬레이션에도 추가 비용 없이 수초 만에 엔진에서 발견되는 장애 중 97%를 자동 예측함

○ 지멘스 PG의 제조 개발부서에 따르면 IOT기반 공장 자동화 플랫폼 마인드스피어에 Digital Twin 개념을 접목하여 가스 터빈 생산 단계의 처리 시간을 8주에서 5주로 단축하고, 설비 가용률을 10%개선함

○ 건설 분야의 Digital Twin 플랫폼 개발은 현재 진행형이라 할 수 있으며, 아직 상용 수준의 가시적인 성과가 이뤄지진 않은 상태임

- 건설 정보 시스템 분야에서 선도적인 기술개발을 이루고 있는 Bentley Systems는 Microsoft, Siemens 등과의 협약을 통해 건설 분야의 Digital Twin 플랫폼 개발을 진행 중임

□ AR 기반 건설 정보 시각화 기술



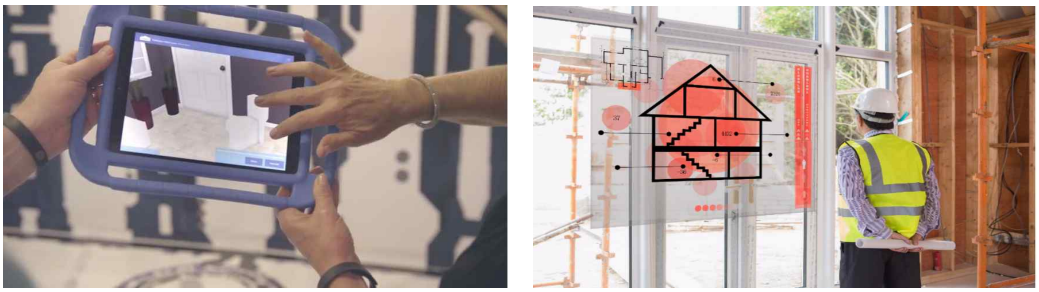
[그림 4-350] Bentley System의 건설 Digital Twin 플랫폼 활용 목적

○ 미국 Lowe's 사의 Holoroom 서비스는 VR 베이스의 건축물 가상화를 통해 자사의 수백 개의 제품을 활용해서 주방과 욕실을 디자인하거나 리모델링한 결과를 가상현실로 체험할 수 있음



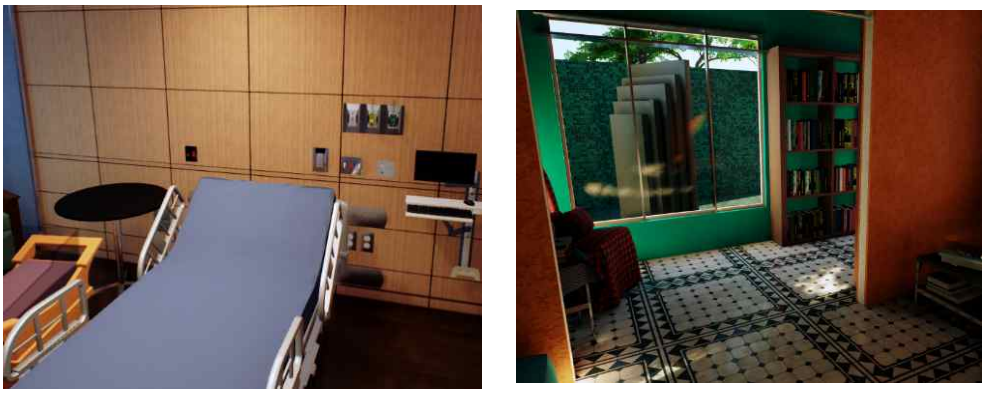
[그림 4-351] Lowe's 사의 Holoroom, 가상화 경험 서비스

○ Lowe`s는 몰입형 MR을 사용하여 고객이 주택 개선을 할 때 성공적으로 수행하도록 필요한 기술들을 학습하는데 도움을 주는 기능을 제공함



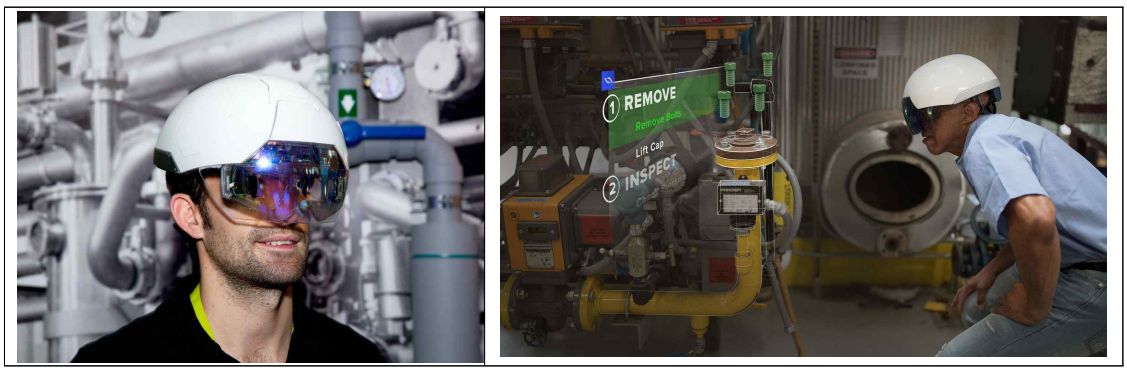
[그림 4-352] Holoroom : 가상화 디바이스 & 3D 설계 확인

○ 미국 VIA Technik 사는 BIM의 고정 3D 모델을 가상화하고 가상화 게임엔진 내에서 의사결정, 효용성 평가, 그리고 비용산정을 지원함



[그림 4-353] VIA Technik 사의 가상화 목업 서비스 & 고해상 가상화

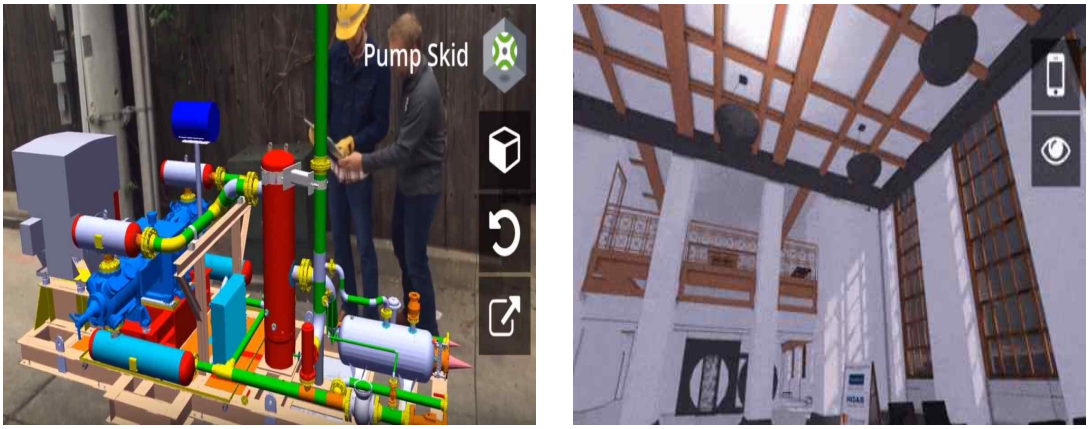
○ 미국 DAQRI 사의 DAQRI SMART HELMET®은 고속광각카메라, 열화상 카메라와 증강현실(AR) 기술이 융합된 스마트 헬맷으로, 작업자에게 업무 절차 및 검측 위치 등을 시각화된 정보로 제공하는 기술 탑재



[그림 4-354] DAQRI 사의 DAQRI SMART HELMET

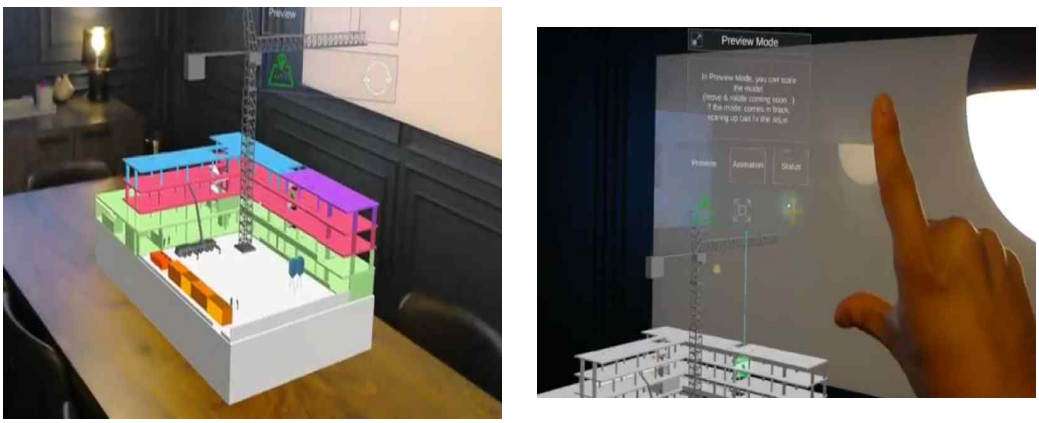
○ 헬멧 일체형으로써 AR구현을 위해 별도의 모바일 기기 등이 필요하지 않으며 헬멧 내 CPU가 탑재되어 빠른 데이터처리 속도를 제공함

○ 미국 JBKNOWLEDGE 사의 SMARTREALITY는 AEC산업용 증강현실(AR) 및 혼합현실(MR) 기반의 모바일 어플리케이션을 제공함



[그림 4-355] JBKNOWLEDGE 사의 SMARTREALITY

○ Synchro Pro는 Microsoft사의 Hololenz 기기에서 사용 가능한 증강현실 플랫폼을 출시하였으며 이를 통해 4D 이상의 건설 정보들을 자유롭게 탐색해볼 수 있으나, 현장에서 활용하기에는 손가락 동작 인식을 기반으로 한 메뉴 실행 등의 UI나 Hololenz 기기의 무게 및 착용감 등이 불편하다는 평가가 많음



[그림 4-356] Synchro Pro의 증강현실 기술

○ 건설 현장에서의 증강현실 구현을 위해 필요한 핵심 기술은 사용자가 원하는 정보를 자동 선별하여 정확한 위치에 표현해 줄 수 있는 기술이며, 이러한 측면에서 봤을 때 사용자의 위치 및 주변 상황에 대하여 정확하게 인지할 수 있는 기술이 아직 미비함

○ 현장 작업 상황에 따라 양손을 사용하기 힘든 상황에서도 사용자가 증강현실 플랫폼을 자유롭게 다룰 수 있도록 현장 작업자에 알맞는 AR 기기 컨트롤 및 UI 기술이 필요함

(2) 국내 동향

□ 공공데이터 포털(data.go.kr)

○ 공공데이터포털(Data Portal)은 행정안전부에서 운영하는 공공데이터 통합제공 시스템으로, 대한민국 정부가 보유한 다양한 공공데이터를 개방하여 누구나 편리하고 손쉽게 활용할 수 있게 하는 것을 목적으로 2015년 8월 기준, 14,416개의 공공데이터가 공개

○ 교육, 국토관리, 공공행정, 재난안전, 환경기상 등 다양한 데이터 카테고리의 데이터를 파일 다운로드 또는 Open API를 통해 이용 가능

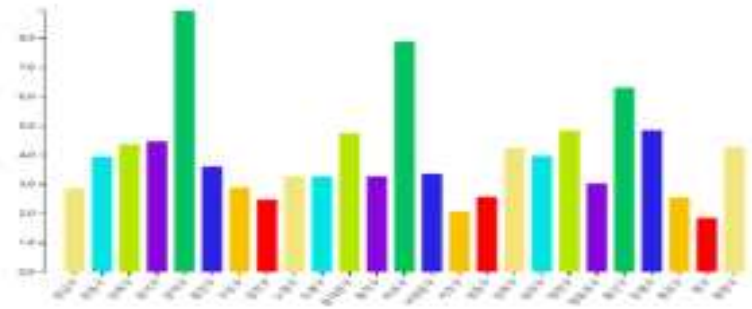


[그림 4-357] 공공데이터 포털

○ 현재 정부 각 부처는 다양한 보유데이터를 공공데이터포털과 연계하여 서비스하고 있으며, 일반 국민들은 이 데이터를 활용하여 다양한 시각화와 서비스에 이용이 활성화 되어 가고 있는 추세임



[그림 4-358] 농림축산식품 공공데이터 포털



[그림 4-359] 공공데이터 기반 시각화

□ 고속도로 공공데이터 포털(data.ex.co.kr)

○ 한국도로공사에서 보유한 다양한 고속도로 공공데이터 정보(교통, 건설, 유지관리, 일반행정, 통행료, 휴게소 등)를 고속도로 공공데이터 포털(http://data.ex.co.kr/)을 통해 OpenAPI로 제공

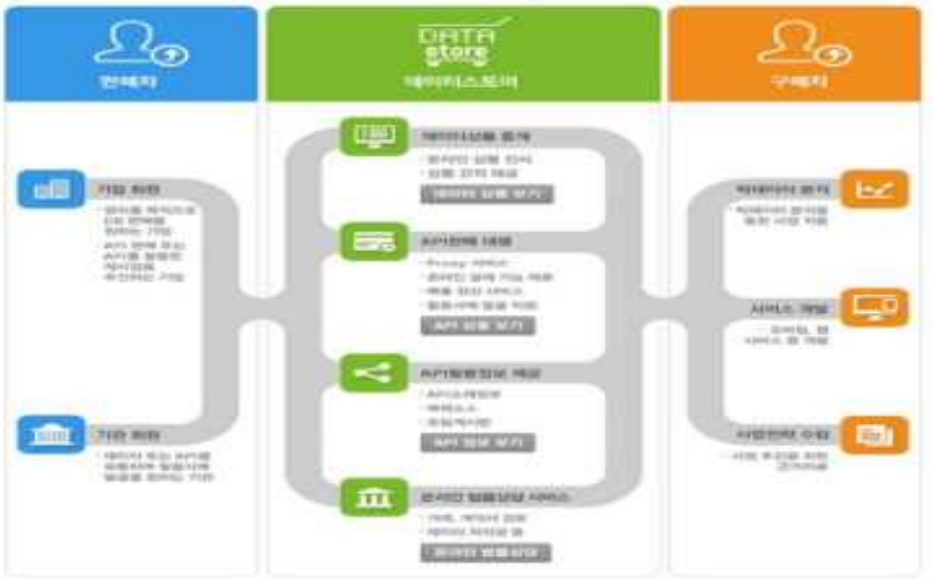


[그림 4-360] 고속도로 공공데이터 포털

□ **오픈데이터 유통플랫폼(datastore.or.kr)**

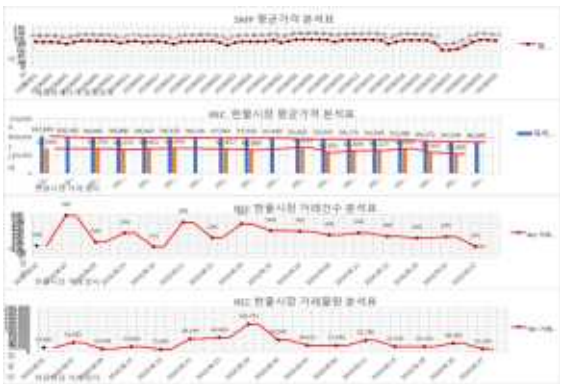
○ 한국데이터베이스진흥원은 공공·문화 데이터 유통 활성화를 위해 데이터스토어(www.datastore.or.kr)를 구축 및 운영중

○ 2013년 민간 분야 DB 유통으로 확대되었고, 2014년에는 응용 프로그래밍 인터페이스(API) 판매 대행까지 확대하여 현재 약 50억건 이상의 데이터와 5500여개 이상의 API 정보 데이터가 제공되고 있음

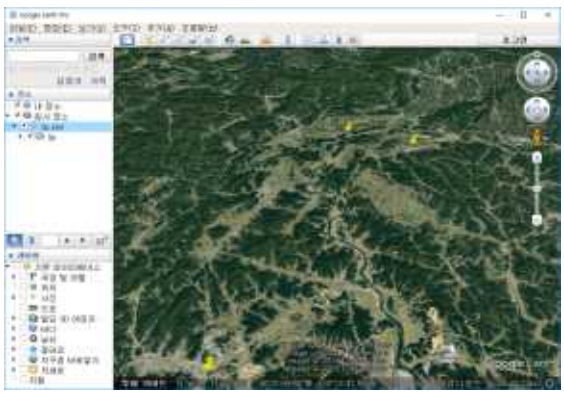


[그림 4-361] 한국데이터베이스진흥원 데이터스토어 운영개념

○ 데이터스토어를 통해 데이터 판매자들은 환경/에너지, 통계, 지리, 교통 등 다수의 분야의 데이터들이 무료 또는 유료로 판매하고 있고, 구매자들은 데이터를 이용하여 다양한 분석과 서비스를 제공하고 있음



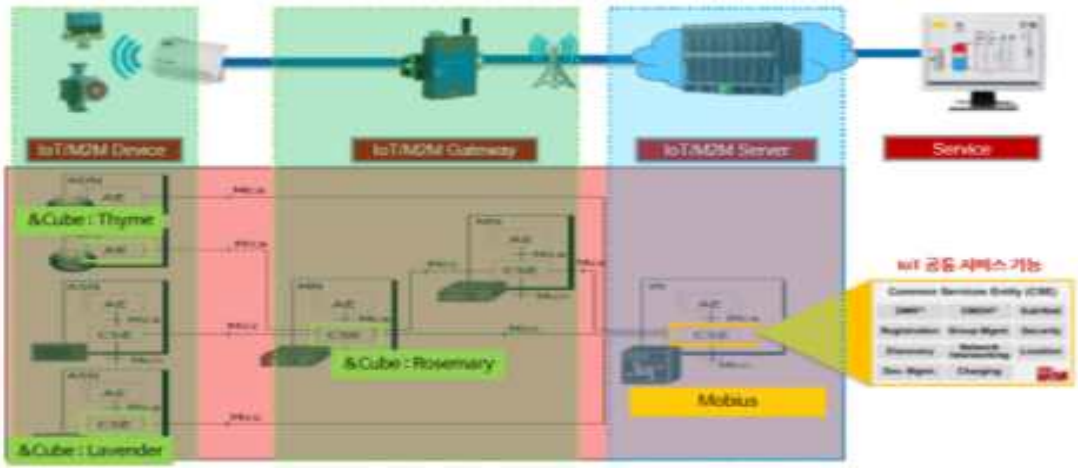
[그림 4-362] 신재생에너지 거래현황



[그림 4-363] 수위관측소 위치데이터

□ M2M/IoT 플랫폼

○ 한국전자부품연구원에서는 M2M/IoT 표준을 지원하는 오픈소스 IoT 서비스 플랫폼을 개발하여 상용화하였고, 부산시, 고양시 등 IoT 실증단지 구축, 스마트팜, 통신사 IoT 플랫폼 등으로 적용되고 있음



[그림 4-364] 전자부품연구원 IoT 플랫폼 구성도

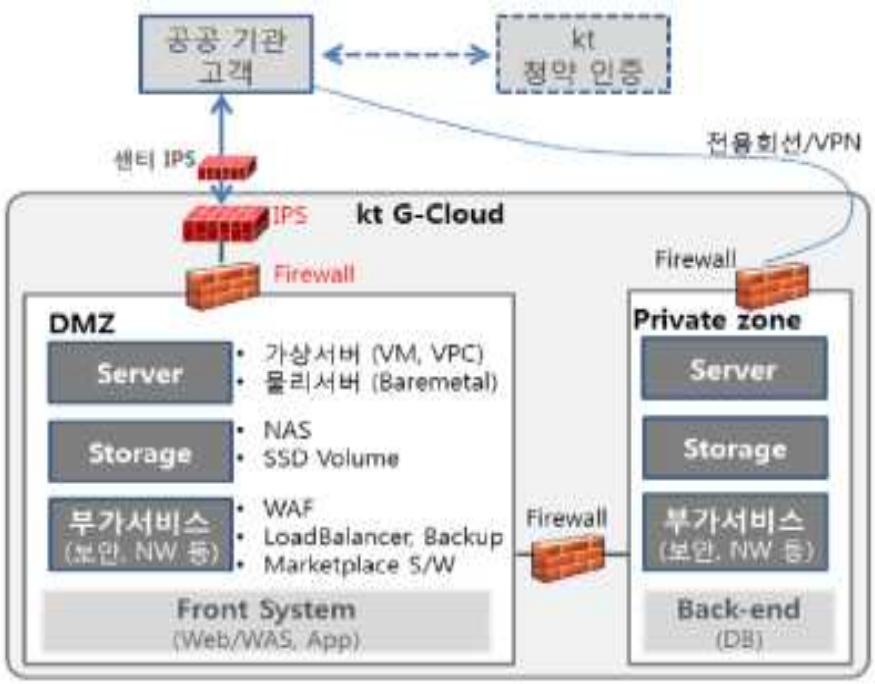
□ 공공분야 클라우드 정책 및 G-Cloud 플랫폼

○ 우리 정부는 '15년 클라우드 발전법 시행령 제23조에 의거 품질·성능·정보보호 고시를 제정하였고, 관리적·물리적·기술적 보호조치 및 공공기관 보호조치 등 14개 부문 118개 통제항목을 정함

<표 4-196> 클라우드컴퓨팅법 관련 고시 제정 내용

구분	주요 내용	비고
관리적 조치	■ 정보보호 정책 및 조직, 인적보안, 자산관리, 서비스 공급망관리, 침해사고 관리, 서비스 연속성 관리, 준거성	■ 국정원 보안 지침
물리적 조치	■ 물리적 보호구역 지정 및 보호, 정보처리 시설 및 장비보호	■ 국내 IDC로 한정 ■ 국정원 보안 지침
기술적 조치	■ 가상화 보안, 접근통제, 네트워크 보안, 데이터 보호·암호화, 시스템 개발 및 도입보완	■ 국정원 CC 인증 ■ 국정원 보안 지침
공공기관 추가 조치사항	■ 보안서비스 수준협약, 도입전산장비 안전성, 물리적 분리, 이중화 및 백업체계 구축, 암호화 기술 제공, 보안관제 제반환경 지원	■ G-Cloud ■ 국내 IDC로 한정 ■ 국정원 보안 지침 ■ 물리적 영역 분리

○ KT는 공공기관 전용의 G-Cloud를 구축하여 공공기관의 시스템, 네트워크, 보안 등 물리적으로 분리시켜 서비스를 구축할 수 있는 기반을 제공하고 있음

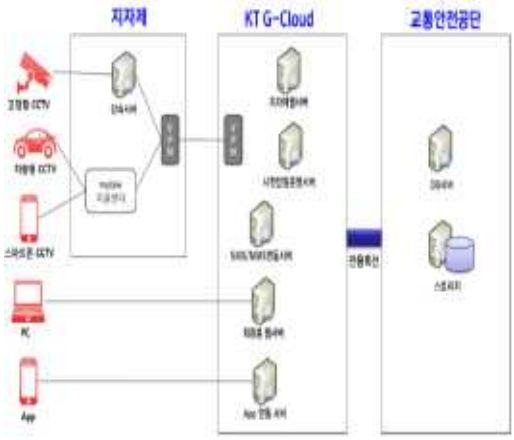


[그림 4-365] 공공기관 전용의 KT G-Cloud

○ 국회도서관 학술정보통합시스템, 평창동계올림픽 게임관리시스템, 서울시 공공자전거사업, 교통안전공단 주차알림서비스 등 다수의 공공기관 서비스를 클라우드로 구축하여 제공하고 있음



[그림 4-366] 국회도서관 클라우드 구축사례



[그림 4-367] 교통안전공단 클라우드 구축사례

□ **국내의 경우 스마트 빌딩 분야에서 IoT를 통해 건물 내 많은 정보를 추출해 내고 분석한 사례가 존재함**

○ 포스코ICT의 스마트 빌딩에서는 IoT를 통해 설비 운영정보와 에너지 사용량, 운영인력 위치 등 건물 내 모든 정보가 수집돼 통합관제센터로 보내지고, 여기서 빅데이터 분석을 통해 빌딩 인프라를 최적의 상태로 유지

○ 현대건설은 빅데이터를 활용한 건축물 설계 방법을 개발하여 최적의 설계안 및 건물 생애주기 운영비용 분석 결과를 제시함

□ **국내 건설현장에서는 주로 영상자료 및 스마트 태그 등과 같은 센서 데이터를 수집하고 있으며, 수집된 데이터는 주로 작업자의 안전 확보를 위해 사용되고 있음**

○ 현대중공업과 PLK테크놀로지는 전방향 카메라 촬영 합성을 통한 2D, 3D모드를 이용하여 중장비의 큰 차체로 인해 시야 확보가 어려운 점을 조감도 형식으로 표현하여 보완하며, 안전성과 편의성을 높이고 차량주변의 움직이는 사람을 인식해 위험범위 내에 있을 때 운전자에게 경보를 주는 기술을 개발함

○ ㈜영신디엔씨와 ㈜이에스피는 중장비 주변으로 인체나 물체 등이 접근하는 것을 감지하고 그에 따라 중장비 작동을 자동으로 정지 제어하여 사고를 예방하는 중장비 접근감시 및 작동정지 제어시스템을 개발함

○ 경우시스테크는 초광대역 통신기술을 기반의 스마트태그를 이용해 일정 범위 내에서 중장비와 작업자 상호간 존재 유무를 자동으로 판단하고 거리를 측정하여 위험반경 내로 접근한 경우 작업자와 중장비운전자에게 각각 경보를 발생시켜 추돌사고를 미리 예방하는 기술이 사용됨

○ SK 텔레콤의 '스마트 건설' 솔루션은 작업자와 중장비의 위치를 관제센터에서 파악하여 충돌 위험시 이를 경고하는 기능을 갖추고 실제 현장에서 투입된 사례가 있음

○ 대림산업은 시공현장에서 드론에 다중센서를 탑재하여 고속의 물체가 움직이는 것을 감지, 움직임의 궤적과 구간별 속도 판별, 작업자와 건설장비의 위치 파악을 통한 위험요소 판별 기술이 사용됨

○ 대우건설은 현장에서의 데이터를 분석하여 위치기반 안전관리, 안전/환경 모니터링, 위치기반 시공관리, 시공기술 정보 등에 활용하는 기술을 개발하였으나, 아직까지는 안전에 관련하여 일부 현장에 적용 중임

□ **국내의 경우 Digital Twin 및 CPS 관련 연구가 아직 걸음마 단계에 머무르고 있으며 특히 조직화된 대규모 기초 연구 및 그에 걸맞은 지원이 매우 부족한 상태**

○ 국내에서는 설비 운영비 절감을 위해 한국서부발전에서 가스터빈 Digital Twin 시스템 개발을 계획하고 있음

○ DGIST 에서는 CPS글로벌센터를 조직하여 지능형 교통 시스템, 스마트 홈, 스마트 그리드, 의료 및 헬스케어 등에 관한 CPS 관련 연구를 진행하고 있음

출처: https://cps.dgist.ac.kr/wp-content/uploads/2015/09/2013_J_5.pdf - 사이버물리시스템의 현재와 미래: 응용 어플리케이션 관점에서의 접근

○ 토목분야 중 공간정보 분야에서도 ICT 기술을 활용하여(KOPSS, UPIS, V-World 등) 현실세계의 문제를 가상세계에서 분석하고자 하나, 이를 4차 산업혁명에서 부르는 CPS 기술이라고 명칭하기에는 어려운 부분들이 있음

○ 스마트 빌딩 분야에서는 2010년대 초반부터 포스코ICT, LG CNS, 한화S&C 등 IT업체, 캐리어에어컨 같은 공조업체를 비롯하여 현대건설 등 건설사, SK 텔레콤, KT같은 통신사가 진입 중에 있음

출처: https://www.digieco.co.kr/KTFront/board/board_view.action?board_id=issue_trend&sort_order=&kind=&list_page=&list_gubun=&list_gubun2=&searchtext=&board_seq=11820&etc1=385&etc2=# - 갈수록 똑똑해지는 스마트빌딩

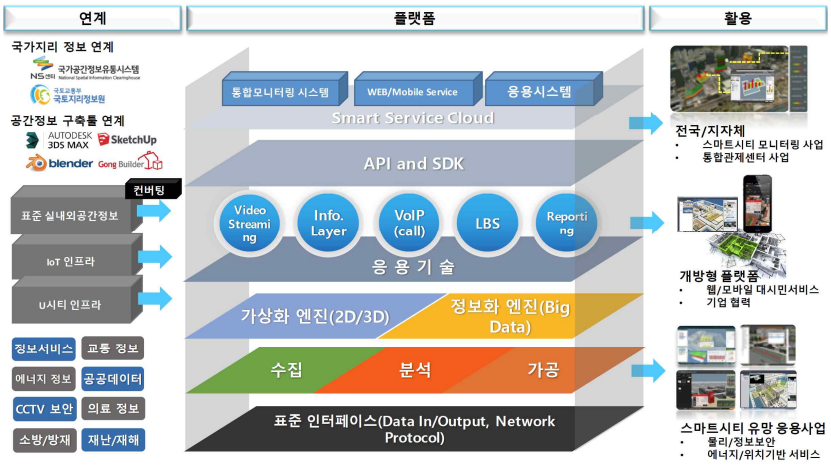
- 국내 대표 주자인 포스코ICT는 ’16년도에 1300억 원 이상의 스마트빌딩을 수주하는 등 사업 본격화 중
- 포스코 ICT는 ’17년 4월 쿠웨이트 압둘라 신도시 건설 설계 등 국내 최초로 해외 스마트시티 시장 진출
- 국내 스마트 빌딩 사례로는 여의도 서울국제금융센터(IFC)몰, 송도 트리플 스트리트 쇼핑몰이 있음

□ **공종, 공법 및 현장조건 등에 따른 공기, 비용, 안전의 개략 예측을 위한 인공지능 알고리즘 개발**

○ 삼성 SDS社는 ‘Nexplant’를 이용하여 제조 공장에서 발생하는 전방위 활동을 디지털 데이터화하고 이를 머신러닝 기반으로 분석하여 제조 설비 상태를 실시간 진단하고 문제점을 신속히 파악하는 스마트 팩토리 솔루션들이 개발

□ Digital Twin 모델

○ 스마트 시티가 국가 주요사업으로 대두되면서, IoT 센싱 기술과 함께 이를 기반으로 한 도시 모니터링 목적의 Digital Twin 기술 개발이 이뤄짐



[그림 4-368] 스마트 시티에서의 Digital Twin

○ 주요 발전설비를 대상으로 모의운전화면에 조작된 기기 운전상황을 360° 가상현실기술과 접목해 Digital Twin 기반 발전운영플랫폼을 구축하는 것을 목표로 Digital Twin 기반 발전운영 플랫폼 개발이 이뤄지고 있음



[그림 4-369] 가스터빈 Digital Twin 시스템 개념도

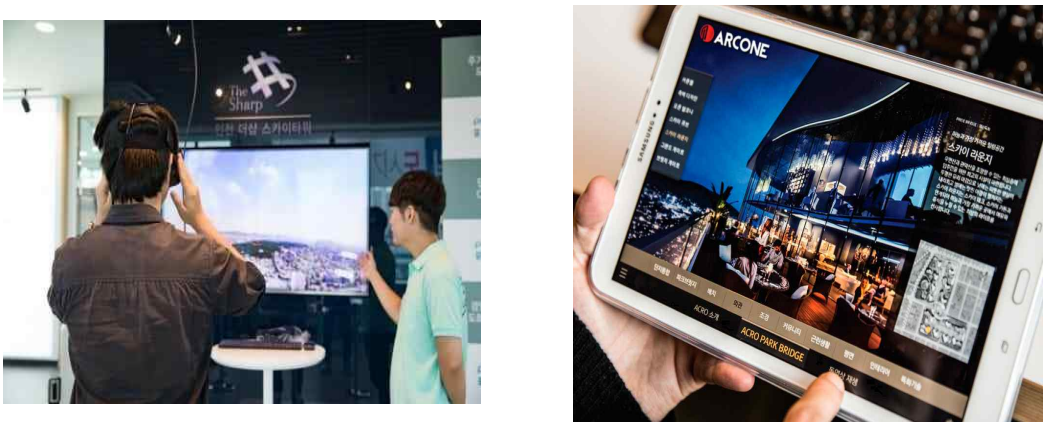
○ 현장 정보 수집을 위한 위치추적, 3D 스캐닝 등의 현장 센싱 기술들은 다방면으로 꾸준하게 이뤄지고 있으나, 이를 기반으로 한 건설분야 Digital Twin 기술은 가시적으로 드러난 연구개발 성과가 없음

○ 한국국토정보공사가 국내 최초로 Digital Twin 기반의 스마트시티를 건설하기 위해 세종과 부산에서 국가시범사업이 추진되고 있음

○ 최근 건설산업연구원에서는 4차 산업혁명의 핵심 기술 Digital Twin이라는 보고서를 통해 그동안 BIM기술이 사용자의 이해를 돕고 시공성 향상에 기여했다면, Digital Twin 기술은 가상 환경에서 내·외부 환경을 설정하고 인공지능 기술을 활용하여 건설생애주기 전 단계에서 자유로운 시뮬레이션을 통해 최적화 방안을 도출해낼 것이라고 강조하였음

□ AR 기반 정보 시각화

○ 한국 삼성전자의 Gear VR(2016)은 스마트폰 탑재형의 HMD VR기기로서 Micro USB, USB type-C 홀더로 삼성 갤럭시 S6시리즈부터 S7시리즈와 호환되어 렌즈직경 42mm(38mm), 시야각 101°로 전작(96°)에 비해 넓은 화면을 볼 수 있음



[그림 4-370] 올림플래닛 사의 ARCONE

○ 방문객에게 현실감 있는 체험을 가능하게 하여 해당 건축물에 대해 쉽게 이해할 수 있음

○ 또한 건축문화재 유지관리를 위한 증강현실 기술 개발에 대한 연구를 주축으로 기 건축물에 대한 주 개발 방향성을 보이고 있음

○ 건설기술연구원은 GIS(지리정보시스템)에 BIM 모델을 연결한 B2GM(BIM to GIS conceptual Mapping)을 개발하고 연계된 정보를 AR과 연결할 수 있는 시스템을 개발

<표 4-185> 국내 AR/MR 모델 구성 및 현장 가시화 관련 기술

주체	관련기술	특징
올림플래닛	VR 기반 모델하우스	360도 VR 뷰 기반 원격 VR 실체험 개발
건설기술연구원	GIS, BIM, AR, VR	BIM 정보를 GIS 정보와 연계하고 AR/VR로 가시화 지원

○ 한국 GS건설 사는 미국 건설회사인 Turner, DRP와 기술 제휴를 맺어 2015년 국내 건설사 최초로 프리콘(Pre-Con)방식을 도입하였음. 프리콘 방식이란 시공 전 증강현실(AR)로 시공 시뮬레이션을 하는 방식을 뜻하며 Apple(애플)신사옥에 적용되었던 방식임. 설계 변경 리스크 감소, 시공 상의 불확실성 감소, 공사비 절감, 공기단축 등의 장점이 있음



[그림 4-371] GS건설사의 AR기반 시공시뮬레이션

○ AR/MR 기술을 건설 산업에 적용하기 위하여, 지리정보 기술과 정보 시각화가 혼합된 시스템 개발, 콘텐츠 제작, 플랫폼 개발 등 여러 연구들이 프로젝트 중심으로 진행되고 있음. 설계 단계에 생성된 3D 정보 모델의 재사용 측면에서의 한계가 있으며, 콘텐츠 컨트롤 기술 부족과 적용 대상 및 분야가 한정적임

(3) 해외 및 국내 기술 수준 비교

구분	해외	국내	기술 수준차
데이터 수집	IoT/M2M 기술을 건설, 스마트 시티, 자율주행차, 교통, 환경 분야 등 다양하게 활용중	IoT 기술을 건설현장, 스마트 시티 등에 활용 시작	2년
빅데이터 구축	영국, 미국 등 건설분야 빅데이터 구축 활용중	건설분야 구축 및 활용 사례 부족	3년
데이터 분석	건설분야 데이터 분석 사례 초기단계	건설분야 데이터 분석 사례 초기단계	1년
디지털 트윈/CPS	단일 건설 구조물 디지털 트윈 구축 사례	R&D 수준의 연구단계	3년
데이터공유 서비스	스마트시티, 정부에서 데이터 공유 정책 추진중	정부 공공데이터 공유서비스중	2년

○ (추세) 최근 들어 해외와 국내 건설분야에 ICBAM 기술을 활용하여 생산성을 향상시키는 연구들이 늘어나고 있는 추세임

○ (실시간 관제) 해외에서 시공단계에서 드론을 활용한 3D 측량, 영상확보, 실시간 시공현황 모니터링 등을 구현한 사례들이 늘어나고 있고, BIM과 실제 영상을 융합시켜 실시간 관제를 수행하고 있는 수준임

○ 건설 생애주기 전반에 걸쳐 ICBAM 기술을 적용하고, 데이터를 관리하며, 데이터를 기반으로 다양한 시뮬레이션 기반 분석, 디지털 트윈 구축 등의 연구는 아직 시작단계로 파악됨

○ 특히, 도로 분야에서는 자율주행 또는 차세대지능형교통시스템(Cooperative ITS) 등의 교통운영과 관련된 첨단 기술들이 급격히 발전하고 있으나, 도로 건설단계에서 IoT 기술 적용과 빅데이터 구축, 다양한 데이터 분석 및 활용 기술은 초기 단계이므로, 디지털 하이웨이 구현을 목표로 하는 본 과제의 추진 필요

□ Digital Twin 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술

○ 제안 기술 자체를 비교할 수 있는 비슷한 사례를 찾을 수 없으므로 제안된 기술의 선행 기술들 수준을 비교하여 기술수준을 추정하였음

○ 해외의 경우 MicroCYCLONE이나 Stroboscope와 같은 시공 시뮬레이션 툴이 개발되었으나, 이러한 기술들은 작업환경이나 시설물의 물리적 공간, 위험지역 등 현장의 다양한 조건과 충분히 상호작용하지 못하였기 때문에 실제에 가까운 모사에는 한계가 있었음

○ BIM 기반 시뮬레이션은 해외에는 4D, 5D시뮬레이션에 초점을 둔 Navisworks와 같은 상용화된 제품들이 출시되어 있으며, 국내의 경우에도 가상 건설 시스템 개발 연구단이 4D 시뮬레이션이 가능한 프로토타입을 개발한 바 있음

○ 하지만 BIM 기반 시뮬레이션은 물리적 공간과의 상호작용은 가능하나, 작업간섭 확인이나 공정관리에 주로 초점을 두고 있으며, 건설 프로젝트에 관한 각종 확률분포를 적용한 실제에 가까운 시공 시뮬레이션에는 여전히 한계를 가지고 있음

○ 해외와 국내 모두 실제에 가까운 Realistic 시뮬레이션을 가능케 하는 Digital Twin 시공 시뮬레이션은 본격적으로 수행된 바 없음. 다만 싱가폴의 경우 도시 운영계획을 위하여 싱가폴 전체의 Digital Twin을 만들고 이를 이용한 재난/교통 등의 시뮬레이션을 수행하는 'Virtual Singapore Project'를 진행 중임

<표 4-186> 해외 및 국내 기술 수준 비교 (데이터 기반 시뮬레이션)

구분	최고 기술 보유국 수준	현 국내 수준
기술수준	시공 시뮬레이션 BIM 기반 4D, 5D 시뮬레이션	BIM 기반 4D 시뮬레이션
TRL단계	6~7단계	5단계
기술성숙도	• 확률분포 기반 시공 시뮬레이션이 개발되었으나, 현장의 다양한 조건과 충분히 상호작용하지 못함 • BIM과 연계된 4D, 5D 시뮬레이션 툴이 상용화되어 출시되어 있음 • Digital Twin 시공 시뮬레이션은 본격적으로 수행된 바 없음	• BIM과 연계된 4D 시뮬레이션 툴의 프로토타입이 개발되었음 • Digital Twin 시공 시뮬레이션은 본격적으로 수행된 바 없음
주요 성능	• (시공 시뮬레이션) 공정 상 자원배분에 따른 공기 시뮬레이션 • (BIM 기반 시뮬레이션) 시간에 따른 시공상태 및 물류 시뮬레이션	• (BIM 기반 시뮬레이션) 시간에 따른 시공상태 시뮬레이션

□ Digital Twin 모델

<표 4-187> 해외 및 국내 기술 수준 비교 (건설분야 Digital Twin 기술)

구분	최고 기술 보유국 수준	현 국내 수준
기술수준	BIM 기반의 VR 및 시뮬레이션	BIM 기반의 VR 및 시뮬레이션
TRL단계	6단계	5단계
기술성숙도	• 시공검토를 위한 BIM 기반의 가상 시뮬레이션 기술은 높은 수준으로 정착되었으나 건설분야 Digital Twin의 시도는 가시적으로 드러난바 없음 • 선행되어야 할 IoT 센싱 기술의 성숙이 우선적으로 이뤄져야 함	• 시공검토를 위한 BIM 기반의 가상 시뮬레이션 기술은 높은 수준으로 정착되었으나 건설분야 Digital Twin의 시도는 가시적으로 드러난바 없음 • 선행되어야 할 IoT 센싱 기술의 성숙이 우선적으로 이뤄져야 함
주요 성능	• 시공과정 가상 시뮬레이션	• 시공과정 가상 시뮬레이션

□ AR 기반 건설 정보 시각화 기술

○ 해외의 경우 현재 AR 및 MR을 활용한 제작 및 시공 가이드를 제공하고 있고, 건물 및 시설 인프라에 대한 검측 방법 및 주요 체크사항을 실내 GPS 기반 AR 서비스 상업화에 근접한 상황이며, DAQRI사와 같이 스마트 헬멧 형식의 AR 기기 개발도 이뤄짐

○ 국내의 경우 국가 및 대학 연구기관을 중심으로 기술 도입 및 응용 어플리케이션 개발이 주를 이루나, 마커 기반의 어플리케이션 등 피상적인 시도에 그치고 있고 핵심 세부기술인 사용자 상황인식이나 AR 기기 등 건설현장에서의 활용도가 고려된 연구들은 미비함

<표 4-188> 해외 및 국내 기술 수준 비교 (건설분야 AR 기술)

구분	최고 기술 보유국 수준	현 국내 수준
기술수준	BIM 정보를 VR로 변환하고 선택적 3차원 이미지 제공 / Markless AR	BIM에서 끌어온 정보는 아니나 VR 기반의 실내 가상화 환경 제공
TRL단계	6단계	5단계
기술성숙도	유사 환경에서의 프로토타입 개발	연구실 환경에서의 Working Model 개발
주요 성능	• 마커를 활용한 증강현실 기술은 성숙한 수준으로 자리 잡음 • 사용자의 상황인식을 위하여 GPS, 자이로스콥 등의 센서와 컴퓨터 비전 기술들을 접목한 연구들이 진행되고 있으나, 현장에서 활용될 수준에는 미치지 못함	• 마커 기반 방식을 크게 탈피하지 못함

(4) 국내 타 연구과제와의 차별성

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
BIM 기반 도로·하천 시설물의 건설사업정보 통합관리기술 개발	국토교통부 (2016-2021)	도로 및 하천시설의 BIM 표준 기반 납품 검증체계 및 공정-공사비 통합관리 체계 구축에 국한됨	실제 도로환경 또는 건설현장의 데이터를 기반으로 디지털 인프라 정보 플랫폼을 개발하여 건설 생태계는 물론 기업과 일반국민이 활용할 수 있는 데이터 공유 플랫폼 구현
Digital Twin 기반 Automotive Intelligence 지식베이스 구축 및 서비스 개발	산업통상 자원부 (2017~2019)	건설기계 및 중장비에 대한 디지털 트윈 기술을 개발	건설현장의 인력, 장비, 시설물, 센서, 자재 등 모든 객체에 대한 통합 관제 기술 개발
IoT 기반 건설현장 실시간 위치추적 및 영상 안전관제 시스템	국토교통부 (2016~2018)	건설현장의 안전성 향상을 위해 IoT 기술을 접목하여 위치와 영상기반 실시간 관제 기술 개발	건설현장의 장비, 시설물, 센서, 자재 등 건설 및 유지관리 전반에 걸친 다양한 데이터를 수집하고, 제어하며, Data Lake를 통해 데이터의 축적 및 관리, 공유, 디지털트윈 기반 통합관제가 가능한 환경 구현

선행과제명	지원기관	한계점	기술개발방향
하이브리드 증강현실 기술을 이용한 실내 위치찾기 서비스 플랫폼 개발	중소기업청 (2012. 6. 1 ~ 2014. 5. 31)	1) 지리정보 및 콘텐츠 등록 기술, 2) AR 저작 도구, 3) 데이터 업데이트 연동 기술, 4) 시제품 웹 개발 및 모바일 연동 개발	• 데이터의 형상정보 가시화에 치중되어 있으며, 디바이스 및 콘텐츠 컨트롤 기술이 부족
BIM 활용을 위한 다차원 건설정보의 시각적 객체화 알고리즘 및 시스템 개발	과학기술 정보통신부 (2011. 5. 1 ~ 2016. 4. 30)	Fuzzy기반의 증강현실(AR)과 Telepresence 기법을 이용하여 실제 공사상황과 가상건설기반 공사현황의 실시간 비교에 의한 대안공법 선정이 가능한 BIM시스템 및 관련 기기를 개발함	• 고정된 시점에서의 증강현실 구현으로 한정되어 있고, 현장 작업자의 위치/시각에 따른 능동적 증강현실 구현 수준에는 이르지 못함
간섭이 심한 제조환경에서 실내측위를 통한 가상공장과 현실공장간 디지털트윈 구현을 위한 선행연구	과학기술정보 통신부	실내 현장만을 대상으로 하고 위치정보 수집에 국한되어있음	• 본 연구에서는 건설현장의 Digital Twin을 구축하기 위해서 현장 특성상 실외에서의 정확한 위치정보 및 다양한 센서들의 정보 수집과 실시간 동기화가 가능하게 함
Digital Twin 기반 Automotive Intelligence 지식베이스 구축 및 서비스 개발	산업통상자원부	Digital Twin 실현을 위한 기본 플랫폼 구축과 기반 기술에 국한되어 있음	• 본 연구에서는 수집한 시공 정보를 확률분포에 기반하여 시뮬레이션, 프로젝트 예측을 실행하고 시각화를 통한 구체적인 활용 방안을 제시함
광대역 IoT 기술 기반의 태양광 분석 알고리즘을 탑재한 소형 원격제어 태양광 시스템 개발	중소기업청	소형 태양광 시스템의 개별 원격제어 및 모니터링에 국한되어 있음	• 본 연구에서는 대형 현장단위에서의 3D Mock-up model을 생성하고 다양한 객체를 시각화하여 통제·제어할 수 있는 시스템 플랫폼을 제시함
BIM(Building Information Model)데이터와 시공 현장간의 오차 파악 및 개선을 위한 모바일 플랫폼(AR-M²)개발	한국연구재단	AR/VR 기술을 활용하여 건축물의 3차원 공간 및 자재 정보를 가시화함	• 본 연구 과제에서는 시공대상체, 자재 정보뿐만 아니라 장비와 현장 작업자와 관련된 정보 폭넓은 정보를 컨트롤함으로써 현장의 완전한 Digital Twin 생성을 목표로 함

4.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
실시간 건설현장 (도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술	도로 건설단계 발생하는 데이터가 운영관리 단계로 이관되지 않고, 보고서 위주의 관리체계로 데이터 축적이 어려움	시공단계부터 발생하는 데이터를 실시간으로 수집하여 데이터 레이크로 구축하여 유지관리 단계에서 활용
	고속도로 건설현장에는 이동통신망 등이 구축되지 않아 안정적인 통신환경이 마련되지 않아 건설현장 안전관리 및 장비 자동화에 한계	통신환경이 열악한 건설현장에 백본망 임시가설을 통한 통신망 확보, 접속망은 다양한 부하망으로 구축 검토(LORA, WiFi, Bluetooth 3.0 등)
	건설현장의 통신망 한계, 다양한 IoT 센서 활용 미흡, 인력 및 장비 운영현황 파악이 어려워 안전사고, 자재사고 등에 대한 대비책 미흡	3D 영상데이터, 인력데이터(위치 및 생채데이터), 장비데이터(위치 및 상태, 가용성 등), 자재데이터(위치, 반출입상태), 환경(대기질, 온습도, 소음, 오수 등)의 데이터를 실시간 수집
스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영관리 기술	건설현장을 체계적으로 관리하고, 데이터 및 정보를 공유하기 위한 시스템 부족	건설현장의 장비, 인력, 자재 등을 체계적으로 관리하기 위해 데이터 및 정보를 디지털화하여 축적하고, 관리하며 모니터링 하기 위한 체계 마련
	현장 모니터링 및 관리체계의 미흡으로 인하여 시공상황 파악 및 안전사고 예방 등에 한계	건설현장 공구별, 조직별 등 관리체계에 적합한 현장 모니터링 및 클라우드 기반 디지털 인프라 운영 기술 개발
	오프라인을 기반으로 현장에서 수집되는 데이터에 대한 확인과 분석에 소요되는 시간과 노력으로 인하여 현장의 환경변화에 대한 즉각적인 대응이 어려운 실정임	현장에서 수집되는 모든 정보를 실시간 수집/분석하여, 가상화된 3D정보모델 위에 분석결과와 제어현황을 그래픽으로 표현하고 관리하는 기술 개발

개발내용	한계점	기술개발방향
디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술	텍스트와 영상 분석을 위한 딥러닝 기술이 상용화되어 있으나 건설 프로젝트에 적합한 문맥으로 분석하는데는 한계가 있음	• 건설 프로젝트의 문서와 영상자료에 적합한 문맥으로 텍스트와 영상 분석을 수행할 수 있는 딥러닝 기술을 개발하여 비정형 데이터를 정형화 함
	영상 분석 시 배경이 유사한 작업현장영상 내 유사한 대상체들의 명확한 분류가 난해함	• 저품질의 영상 속 대상체를 명확하게 식별하기 위해 딥러닝 기반의 기술 적용
	건설 프로젝트에 대한 정확한 예측과 솔루션을 제공하는 인공지능 시스템을 위해서는 방대한 빅데이터가 필요하나, 실사례에서 확보하기는 불가능함	• 현장 데이터에서 건설 프로젝트에 관한 각종 확률분포를 도출하고, 이를 반영한 Digital Twin 시공 시뮬레이션을 통하여 건설 프로젝트의 빅데이터를 생성함
	기존의 시공 시뮬레이션 기술들은 실제에 가까운 모사에는 한계가 있었음	• 건설 프로젝트의 각종 확률분포를 반영한 Digital Twin 시공 시뮬레이션 기술로 Realistic 시뮬레이션을 구현하고, 이를 통하여 보다 현실적인 건설 프로젝트 관련 빅데이터를 생성함
	초기단계에서의 건설 프로젝트 예측이 어렵고, 시공단계에서 이벤트 발생시 신속한 솔루션 마련이 어려움	• 건설 프로젝트 빅데이터 분석을 통한 인공지능은 건설 프로젝트의 초기 예측의 정확성을 높이고, 시공단계에서의 이벤트 발생 시 신속한 솔루션을 제공할 수 있을 것임
디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술	현재 현장 작업현황을 그대로 복원하는 Digital Twin은 가용한 기술이 없음	• 현장 관리에 적합한 off-site 정보 시각화 기술로서 Digital Twin을 구현 • 산/학/연 모두가 유용하게 활용할 수 있는 도로 건설 용도의 Digital Twin 모델 라이브러리 및 API 라이브러리를 개발 • BIM과의 호환성을 확보하고, IoT 센싱 네트워크와의 연계성을 확보할 수 있는 Digital Twin 플랫폼 개발
	현장에서의 정보 활용도는 현재 종이 기반의 프로세스가 주를 이루고 있으며, 이로 인해 on-site과 off-site 간에 정보 단절, 낮은 정보 활용도 등의 비효율 발생	• on-site에서의 정보 접근성 및 활용도를 높일 수 있는 AR 기반의 작업자 맞춤형 정보 시각화 기술 개발
	연구 수준으로 시도되고 있는 AR 기술들은 주로 마커 기반의 어플리케이션에 초점을 두고 있으며, 이는 건설현장에서 활용하기에 한계가 있음	• 작업자 맞춤형 정보를 제공하기 위하여 작업자의 위치, 시점, 작업공종 등의 현황을 자동으로 파악하고, 현황에 알맞은 정보들을 선별하여 실시간으로 시각화 하는 기술 개발
	현장에서의 효율적 정보 활용을 위해 시범적으로 시도되고 있는 정보관리 시스템들도 모바일 기기의 불편함으로 인해 실제 작업자의 활용도가 떨어짐	• 현장 작업자가 직관적으로 인지할 수 있는 정보 시각화 방안을 확립하고, AR 기기를 편리하게 조작할 수 있는 컨트롤 및 UI 개발
스마트 도로 건설 정보 제공 기술	건설단계에서 발생하는 다양하고 방대한 양의 데이터들이 실제 도로 운영단계에 이관되지 않아 정보 단절 발생하고, 국민들이 알 수 있는 정보가 매우 미흡	• 건설단계에서 발생하는 다양하고 방대한 양의 데이터들을 수집하여 데이터 레이크로 구축하고 이를 건설 생태계 구성원(발주처, 시공사, 하도급사, 현장인력 등)들과 국민, 데이터 과학자들이 셀프 서비스를 창출할 수 있도록 개방 및 공유체계 개발

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

□ 기술개발 필요성

(구성기술 4-2-1) 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발

○ 건설현장의 다양한 센서, 장비, 구조물, 인력, 자재 등을 체계적으로 관리하기 위하여 필수적으로 요구되는 통신망, 데이터 수집 및 현장제어 및 관리 체계가 미흡

- 안전사고, 자재누락, 인력운용 효율성 저하가 빈번하게 발생하고 있으므로 이를 관리하기 위한 IoT 센서, 영상, 계측데이터 등 다종/이종의 데이터 실시간 수집 기술과 통신망 구축 기술 개발이 필요함

○ 건설현장에서 수집되는 데이터와 관련 유관기관으로부터 수집하는 데이터, 각종 디지털 정보 등을 포함하는 방대한 데이터를 효율적으로 저장 관리하고, 다양한 데이터 분석 환경을 제공하기 위한 기술 개발 필요

○ 건설단계 현장에서 발생하는 데이터와 정보가 축적 및 이관되지 않고, 도로 건설과 운영단계간 정보 단절이 발생하여 체계적인 데이터 저장 및 관리체계 필요

(구성기술 4-2-2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발

○ 통신 및 IT 장비 구축 환경이 열악한 건설현장에서 안정적이고, 효율적으로 다양한 센서와 장비, 인력 등을 운영하고, 건설현장별(공구별), 조직별, 관리주체별 효율적인 관리 및 운영이 가능한 클라우드 플랫폼 필요

○ 가상의 고속도로 인프라와 실제 도로 인프라 간의 연동을 통한 디지털 인프라를 구현하기 위해 가상물리시스템(CPS) 기반의 정보 수집, 분석, 제어 기술 필요

(구성기술 4-2-3) 디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발

○ 건설현장에서 네트워크 카메라, 드론 등의 활용이 점차적으로 증가함에 따라 방대한 양의 영상 데이터로부터 다양한 정보를 추출할 수 있는 이미지 프로세싱 기술의 필요성 증대

○ 프로젝트 초기단계의 각종 예측의 정확성을 높이고, 시공단계에 예상치 못한 이벤트가 발생 시 이에 대응한 신속한 솔루션을 제공하기 위해서는 수많은 시공 사례에서 나온 빅데이터를 분석한 인공지능 시스템이 필요함

- 건설 프로젝트에 대한 정확한 예측과 솔루션을 제공하는 인공지능 시스템을 위해서는 현장조건이나 공법, 지역, 규모와 같은 변수의 수많은 경우가 조합된 수만개의 빅데이터가 필요하나, 실사례에서 이렇게 다양하고 방대한 빅데이터를 확보하기는 불가능함

- 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안으로 실제 현장 데이터로부터는 현장조건, 생산성, 원가, 작업자 행동, 장비작업, 사고 등과 같은 건설 프로젝트에 관한 각종 확률분포를 도출하고, 다양한 상황과 조건의 변화를 모사하는 시공 시뮬레이션에 이러한 확률분포를 적용하여 비용, 공기, 최적 자원, 작업간섭, 위험요소, 공정변경, 피해, 리스크 등 건설 프로젝트에 관한 각종 빅데이터를 생성함

- MicroCYCLONE 등 전통적인 시공 시뮬레이션 기술들은 작업 환경이나 시설물의 물리적 공간, 위험지역 등 현장의 다양한 조건과 충분히 상호작용하지 못하였기 때문에 실제에 가까운 모사에는 한계가 있었음

- 최근의 BIM 기반 시뮬레이션의 경우 물리적 공간과의 상호작용은 가능하나, 작업간섭 확인이나 공정관리에 주로 초점을 두고 있으며, 건설 프로젝트에 관한 각종 확률분포를 적용한 실제에 가까운 시공 시뮬레이션에는 여전히 한계가 있음

- 최근에 각광 받고 있는 Digital Twin은 현실 속 사물이나 프로세스의 디지털 쌍둥이를 만들고, 현실에서 발생할 수 있는 상황을 가상으로 시뮬레이션 함으로써 결과를 미리 예측하는 기술임

- 실제 현장 데이터에서 도출된 건설 프로젝트의 각종 확률분포를 반영한 Digital Twin 시공 시뮬레이션 기술을 개발한다면, 실제에 가까운 Realistic 시뮬레이션이 가능할 것이고, 이를 통하여 보다 현실적인 건설 프로젝트 관련 빅데이터가 생성될 수 있을 것임

- 수많은 시뮬레이션을 수행하기 위한 다양한 조건과 상황의 변화를 수동으로 입력하기는 사실상 불가능하므로, 이러한 변화가 자동으로 생성되고 시뮬레이션에 반영될 수 있는 자동 시뮬레이션 기능이 필요함

- 근래에 국내의 많은 건설업체들이 초기단계에서 공기, 비용, 위험요소, 리스크 등의 정확한 예측에 실패하고, 설계변경 등 예상치 못한 이벤트 발생 시 신속히 대응하지 못하여 특히 해외 건설 프로젝트에서 큰 손실을 입고 경쟁력 하락을 경험함

- 건설 프로젝트 빅데이터 분석을 통한 인공지능은 건설 프로젝트의 초기 예측의 정확성을 높이고, 시공단계에서의 이벤트 발생 시 신속한 대응책을 제공할 수 있을 것임

○ 스마트 시공에 필요한 장비자동화, 모듈화, IT 기반 안전관리의 효과적인 솔루션 개발을 위해서는 이러한 새로운 기술의 적용에 따른 공기, 비용, 최적 자원뿐만 아니라 작업간섭, 사고, 리스크에 대한 예측이 필요함

- 새로운 자동장비, 모듈화 공법, 안전관리 기법을 시공 프로세스에 적용하여 Digital Twin 시공 시뮬레이션을 수행하면 이러한 예측이 가능함
- Digital Twin 시공 시뮬레이션에서 도출된 각종 예측을 통하여 스마트 시공을 위한 신기술의 효용과 사용성을 검증하고 개선할 수 있음

(구성기술 4-2-4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발

○ 현장 작업현황 파악 및 시뮬레이션 결과 시각화를 위한 Digital Twin 소프트웨어 플랫폼

- Digital Twin은 실제 현장의 세세한 사항들을 가상의 공간에 고스란히 복제하여 시각화하는 것을 의미하며, 이는 IoT 센싱 네트워크를 통해 수집된 현장 데이터들을 관리자가 빠르고 정확하게 파악할 수 있도록 시각화하여 전달하는 데에 활용할 수 있음
- 이러한 정보 시각화를 통해 현장 관리자는 현장 방문 없이도 진척도 관리, 자재 관리, 품질 관리 등과 관련된 시공현황들을 종합적으로 파악할 수 있으며, 정확하고 빠른 의사결정을 내릴 수 있게 됨
- Digital Twin은 현황 파악 외에도 효율적인 작업흐름을 평가하기 위한 시뮬레이션의 시각화에도 활용할 수 있음

○ 현장 작업자를 위한 AR 기반 정보 시각화 기술

- 현재, 설계도면을 소지한 채 작업자가 현장을 답사하는 것이 일반적이며, 현장에서 추가적인 정보가 필요할 경우 현장사무실과 통화를 하거나 직접 왕래하면서 확보하게 되는데, 이 과정에서 오류가 발생하거나 현장 사고가 발생할 가능성 높음
- BIM, IoT 센싱 네트워크 등의 건설 디지털화를 위한 지속적인 노력이 이루어짐에 따라 가용한 데이터와 시뮬레이션 정보들이 방대해지는 만큼, 현장 작업자가 필요한 정보들을 즉각적으로 찾아볼 수 있는 기술 필요
- AR 기술 구현을 위해서는 사용자의 위치, 시각 등을 기반으로 사용자가 처한 환경에서 필요한 정보들을 자동으로 추출하고 시각에 맞게 정확한 위치에 중첩하여 보여줄 수 있는 기술 개발이 필요하며, 도로 건설현장 공종별로 특화된 객체 인식 및 상황 인식 기술 개발이 필요함

- 동일한 정보도 AR 기기의 사용자 시점의 화면에 어떠한 형태와 디자인으로 시각화하느냐에 따라 전달력이 달라질 수 있으므로, 복잡한 작업 현장에서도 사용자가 직관적으로 정보를 인지할 수 있는 시각화 방안과 UI에 대한 연구가 필요함
- AR 기기는 스마트 디바이스 제조사 및 운영체제에 따른 각기 다른 방식의 컨트롤러가 존재하며, 제공된 컨트롤 기능 외의 확장된 컨트롤 방식을 적용하기 어려움
- 현장 관리자의 업무에 맞는 작업자 친화형 컨트롤 방식에 대한 연구는 존재하지 않으며, 시공업무에 초점을 맞춘 작업자 친화, 특화형 디바이스 컨트롤이 필요함

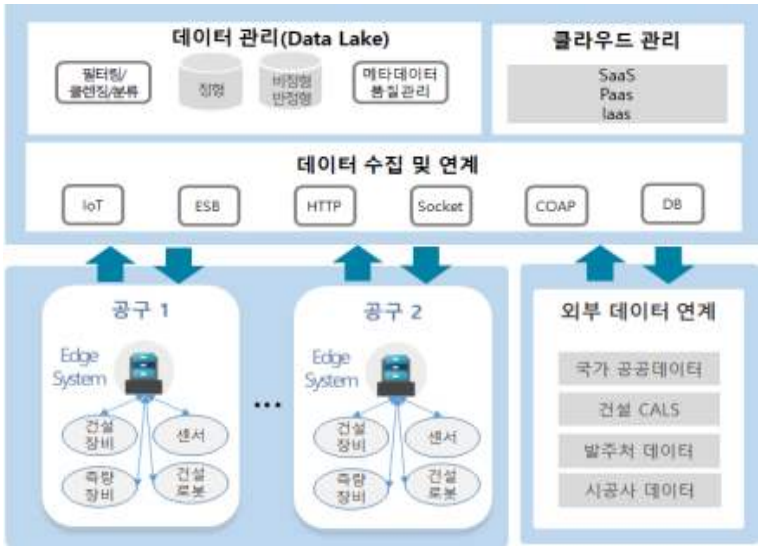
(구성기술 4-2-5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발

○ 그 동안 건설분야의 데이터는 건설사, 발주처, 감리사 등에 한정되어 활용되었으므로, 타 산업에 비해 정보활용이 폐쇄적이고, 부가적인 가치를 창출하기 어려운 실정임

○ 따라서, 디지털 인프라를 통해 축적되는 다양한 건설 데이터와 정보들이 건설 생태계는 물론 일반기업, 스타트업, 국민에게 개방되어 이를 활용한 다양한 스마트 건설 서비스 창출되고, 비즈니스 생태계의 활성화 필요

□ **개발내용**

(구성기술 4-2-1) 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발



[그림 4-372] 실시간 건설현장(도로시공)데이터 수집 및 관리 기술

○ 엣지컴퓨팅 기반 건설현장 IoT센서, CCTV, 계측데이터 등 이종/다종의 데이터 실시간 수집 및 현장장비, 시설물 등 제어 기술(IoT 네트워크 지원 통신망 구축기술 포함) 개발

- 건설현장에서 IoT 네트워크를 지원하는 통신망을 통해 실시간으로 데이터를 수집하고, 실시간 영상데이터와 같은 고용량/대용량 스트림 데이터 수집 기술 개발

  ※ 타 핵심기술과 연계하여 전체 건설 프로젝트 관리 목적의 데이터 수집

- 건설현장의 장비, 디바이스, 시설물 등과의 원격 연동 기술 개발

- 센서, 디바이스, 시설물 등 IoT 프로토콜 또는 기존 통신 프로토콜을 통해 연결되는 각종 센서와 디바이스, 시설물 등을 연결하기 위한 확장성 있는 프로토콜(어댑터) 호환성 확보 기술 개발

- 건설현장의 센서 및 디바이스 관리, 펌웨어 관리, 등록/탐색, 그룹관리 기술 등 개발

○ 유관기관, 기존 시스템 등 Real-time/Historic 외부데이터 수집 및 연계 기술 개발

- 공공기관(기상청, 한국도로공사, 한국환경공단 등)에서 제공하는 오픈API 및 정부 공공데이터 포털의 오픈API 등을 활용한 데이터 연계 기술 개발

- 기존 유지되고 있는 건설CALS, 도로공사 기존시스템 등과 연계하기 위한 ESB(Enterprise Service Bus) 기반의 실시간/배치 연계 기술 개발

- 스마트 건설 디지털 플랫폼과 스마트시티 플랫폼 간 정보 연계 기술 개발

- 기타 유관기관의 개방 데이터 실시간/배치 연계 기술 개발

○ 건설현장 및 유지관리 단계에서 발생하는 방대한 원시데이터(정형/비정형)의 Data Lake 구축 및 운영 기술 개발

- 수집된 데이터에 대한 품질관리 정책에 따른 클린징, 의미 있는 또는 관심 있는 데이터를 추출하기 위한 필터링 및 데이터 관리·활용 정책에 따른 분류 기술 개발

- 방대한 원시데이터의 다양한 활용과 분석환경 제공을 위해 Data Lake 구축

- 이용자별, 이용 목적별, 관점별 독립된 원시데이터 분석환경 제공 및 검색, 질의 등을 위한 활용기술 개발

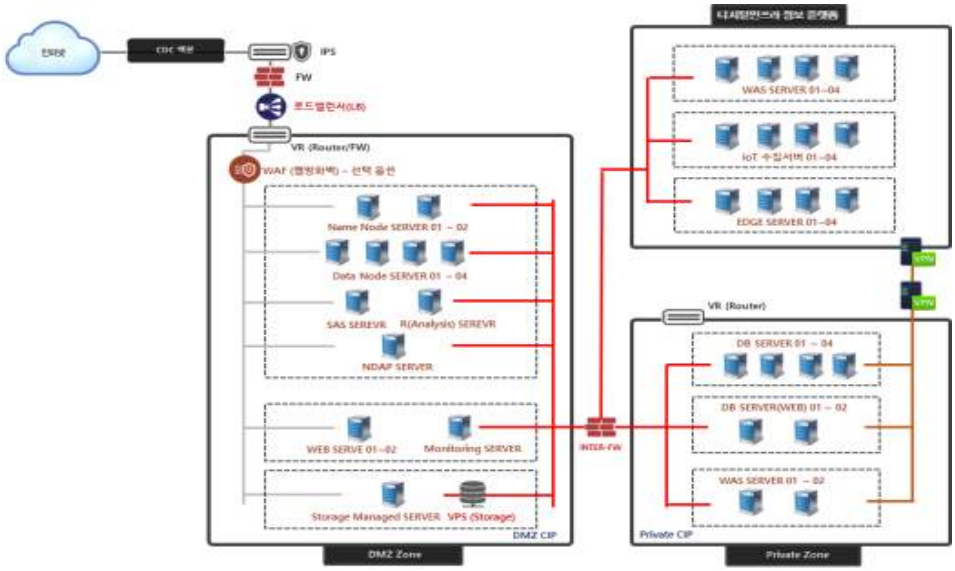
(구성기술 4-2-2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발



[그림 4-373] 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술

○ 건설현장과 운영센터 환경을 고려한 클라우드 기반 플랫폼 구축 및 운영관리 기술 개발

- 건설현장, 운영센터의 환경을 고려해 스마트 건설 디지털 플랫폼을 Public/Private 또는 Hybrid 형태의 클라우드로 구축
- 스마트 건설 디지털 플랫폼 운영 및 관리 기술 개발
- 사용자별, 조직별, 서비스별로 자원할당 및 제어하는 기술 개발
- SLA 기반 디지털 플랫폼 운영 및 서비스 관리 기술 개발
- 가용자원 및 서비스에 따른 효율적인 자원 스케줄링 기술 개발
- 가상화된 자원 또는 호스트, 게이트웨이 등 모니터링 기술 개발
- 중앙 집중 또는 분산형, 현장 엣지 클라우드 방식의 디지털 플랫폼 운영 및 연계 기술 개발
- 스마트 건설 디지털 플랫폼 서비스(음성인식, 영상전송 등) 지원 기술 개발



[그림 4-374] 디지털인프라 정보 플랫폼 클라우드 구축 예시

○ 도로 건설현장 실시간 통합 관제 기술 개발

- 실제 도로 건설현장을 모델링한 디지털 모델을 활용하여 도로 건설현장의 시공상황, 이벤트 발생, 인력 및 장비 위치 등 실시간 통합 관제 기술 개발
- 도로 건설현장 디지털인프라 모델 유스케이스(예: 시공상황, 작업자/장비 위치 모니터링 등) 개발
- 디지털 트윈 기술을 활용하여 실제와 가상이 연동되는 디지털 관제 구현

○ 디지털 모델 기반 운영 상황 분석 결과에 따른 실시간 현장 대응 기술 개발

- 현장 운영상황, 돌발상황 발생 등에 따라 현장 장비 및 인력 등의 운영을 지원하기 위한 정보 제공기술 개발
- 디지털 모델을 통해 분석된 결과에 따라 인공지능 기반 현장 지원 기술 개발

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 운영 및 활용방안 마련

- 유관기관과의 협의 등을 통해 지속 가능한 운영 및 활용 계획서 제시

(구성기술 4-2-3) 디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발

○ 텍스트 마이닝 기반의 건설 프로젝트 리스크 발생 확률 분포 자동 생성 기술 개발

- 건설 프로젝트 문서(작업일보, 사고 내역서 등) 텍스트 마이닝을 통한 리스크 발생 확률 분포의 기초자료(Key-value) 생성 기술 개발

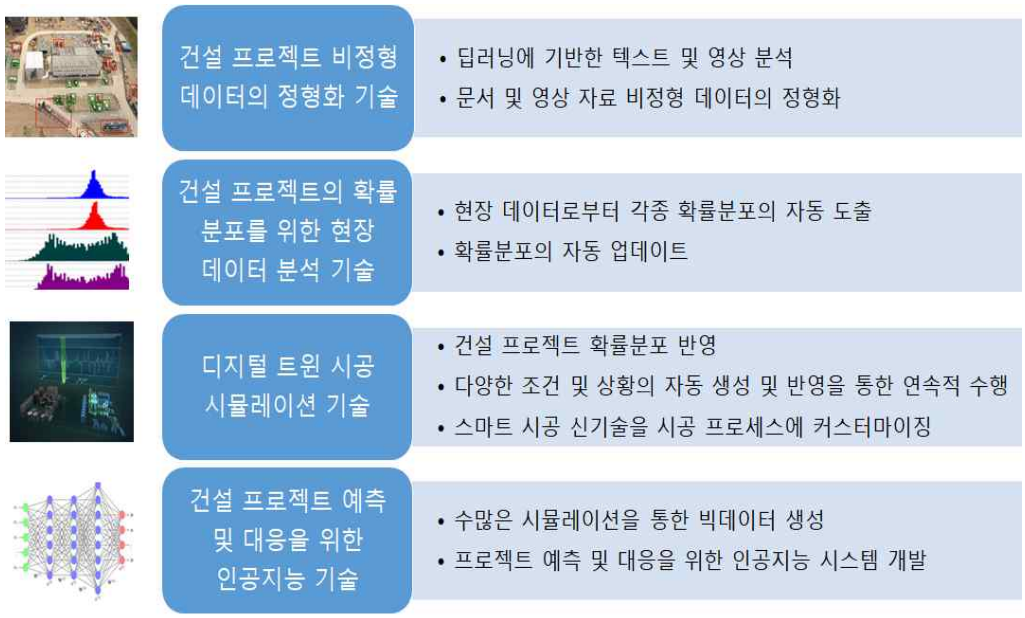
- 기초자료(Key-value)의 분석을 통한 건설 프로젝트의 공종별 리스크 발생 확률 분포 자동 도출 기술 개발

○ 건설 프로젝트 공정계획/관리 최적화를 위한 시뮬레이션 기술 개발

- 작업(액티비티 레벨)의 공기 및 비용을 생산성 및 지연요소를 반영하여 실제와 유사하게 예측할 수 있는 Discrete Event 기반의 디지털 트윈 작업 시뮬레이션* 기술 개발 및 시뮬레이션 데이터 생성

* 타 핵심기술의 시뮬레이션 결과를 디지털 트윈 작업 시뮬레이션 전제조건으로 활용

- 작업 시뮬레이션 데이터와 공종별 리스크 발생 확률 분포를 반영하여 실제와 유사한 조건에서의 전체 공정(네트워크 레벨) 시뮬레이션 수행을 통한 AI 기반의 공정계획/관리(공기 및 비용) 최적화 기술 개발



[그림 4-375] Digital Twin 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발 내용

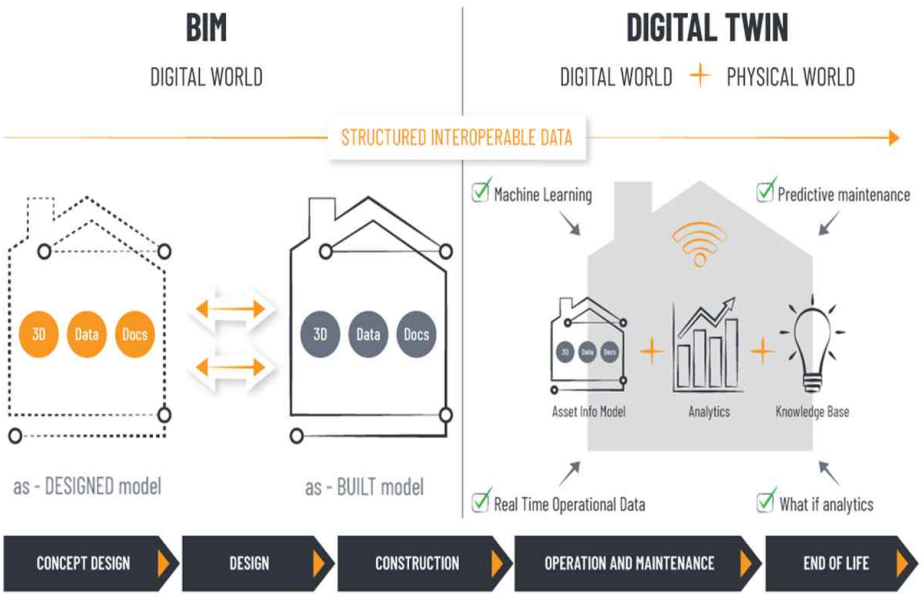
(구성기술 4-2-4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발

○ 디지털 트윈 모델 기반의 시공 모니터링 및 시각화를 위한 4D 가상모델 구현 기술 개발

- 도로 건설현장에서 활용되는 주요 구성요소들의 3D 가상모델 라이브러리 구축 및 4D 시뮬레이션 구현(형상/위치/상태 및 공정에 따른 자원 간 상호관계 모델링)을 위한 동작 기반 모델링 기술 개발
- 시공에 투입되는 물리적 자원들의 4D 시뮬레이션 구현을 위한 기본 API 라이브러리 개발

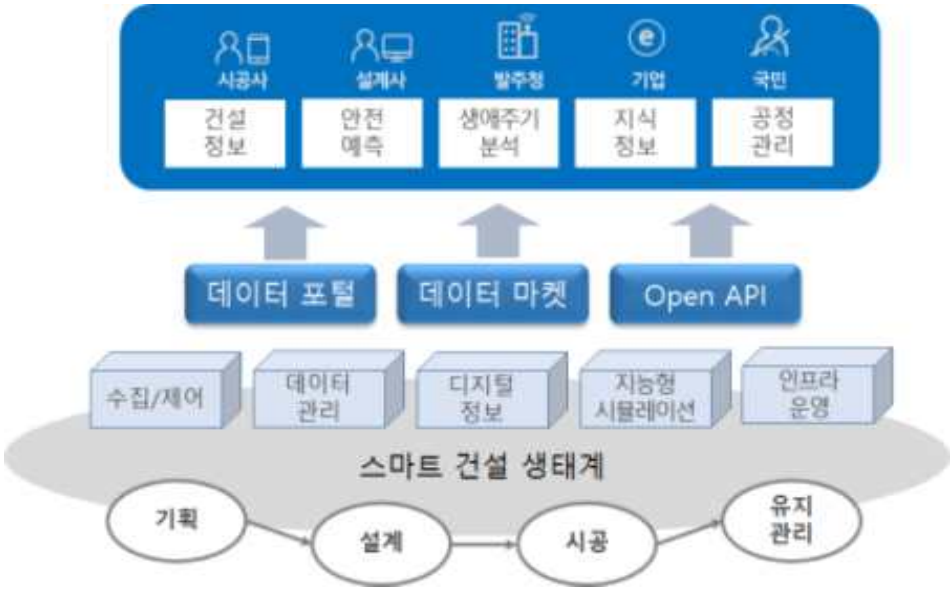
○ 현장의 공정 정보 활용도 제고를 위한 디지털 트윈 모델 기반의 AR 시각화 모듈 개발

- 현장 맞춤형 정보 제공을 위한 사용자 위치, 참여 공정, 공정 상태 등을 AR 기기로 수집된 데이터로부터 추정/추출하는 기술
- 시공정보 시각화 디자인, 디바이스 컨트롤 등 AR 인터랙션 및 사용자 인터페이스 기술 개발



[그림 4-376] BIM vs. Digital Twin

(구성기술 4-2-5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발



[그림 4-377] 스마트 도로 건설 정보 제공 기술

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼에서 제공하는 디지털 데이터 및 정보의 공유를 위한 데이터 포털 구축

- 디지털 인프라 플랫폼에서 제공하는 다양한 디지털 데이터와 각종 통계정보, 분석 정보들을 공유 및 유통하기 위한 스마트 건설 데이터 포털 구축
- 스마트시티 플랫폼 등 타 플랫폼에서 스마트 건설 디지털 플랫폼을 활용하여 인프라의 잔존수명(설계수명-공용수명)과 대보수주기 예측 등을 할 수 있도록 지원해 주는 데이터 연계 기술 개발
- 디지털 플랫폼에서 제공하는 공개 데이터(데이터셋)에 대한 검색, 다운로드, 시각화 등을 지원하는 서비스 개발

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 활용성 제고를 위한 Open API 개발

- 스마트 건설 디지털 플랫폼을 통해 제공되는 데이터와 서비스들을 기업, 스타트업 또는 일반인이 자유롭게 활용할 수 있는 생태계 환경을 지원하기 위한 개방형 API 기술 개발

□ 개발목표

(구성기술 4-2-1) 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
실시간 건설현장 데이터 수집 및 관리 기술 개발	현장 엣지시스템의 데이터 전처리 성능	1000건/초	1500건/초	5000건/초 이상	●		
	현장 엣지시스템과 클라우드간 데이터 연계 성공률	80%	90%	95% 이상	●		
	현장 디바이스 연동 규모 (건설현장 장비, 센서, 시설물 등 동시 연동 규모)	-	-	500대 이상 / 엣지	●		
	현장 엣지시스템과 클라우드간 DB 또는 File 형태 데이터 전송처리 속도	-	-	DB : 20만건/초 이상, File : 100MBytes/초 이상 (1Gbps Network)	●		

(구성기술 4-2-2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발	멀티태넌트 스케줄링 성능 (여러 태넌트(노드) 간 자원사용 편차)	-	-	10% 이하	●	●	
	건설현장 디지털 모델 실시간 유스케이스 데이터 업데이트 시간	-	-	3초 이내	●	●	
	가상화된 자원, 호스트, 게이트웨이 등 모니터링 업데이트 시간	-	-	1초 이내	●	●	

(구성기술 4-2-3) 디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발	건설 프로젝트 문서 텍스트 마이닝(리스크 확률 분포)의 정확도	-	-	95% 이상	●		
	AI 기반 공정계획/관리 시스템 정확도 (공기, 비용)	-	-	80% 이상[1)]	●		

1) AI 기반 시스템을 통해 추정된 공기 및 비용과 테스트베드 적용을 통한 실제 값을 비교

(구성기술 4-2-4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발	스마트 건설 디지털 플랫폼 연동 위치기반 디바이스 대비 건설자원(장비 등)의 시각화 구현 규모	-	-	100%	●		
	점군 모델 기준 3D 모델의 AR 정합 오차	-	-	10 cm 이내	●		

(구성기술 4-2-5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발	데이터 카탈로그 규격 적용			1건 이상[2)]	●		
	스마트시티 플랫폼 등 건설 데이터 연계 프로토콜 지원 건수	-	-	3개 이상[3)]	●		
	Open API 지원 개수	-	-	5개 이상	●		

2) 오픈데이터 유통 관련 규격 준수
3) Rest API, HTTP, JMS 등

□ **개발목표의 설정 근거**

(구성기술 4-2-1) 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발

○ 건설현장 IoT센서, CCTV, 계측데이터 등 이종/다종의 데이터를 실시간으로 수집하고, 현장장비와 시설물 등을 제어하기 위하여 처리시간 지연* 현장의 열악한 통신 네트워크 환경으로 인한 서비스 품질 저하 등을 예방하기 위하여 엣지 컴퓨팅 기반 데이터 처리성능이 중요함

* 현장장비 또는 센서들과 클라우드 시스템 사이에서 발생

- 건설 현장에서 다수의 센서와 시설물들을 연동하기 위해 5000건/초 이상, 데이터 연계 95% 이상의 성능 확보 필요

○ 다수의 건설현장으로부터 수집되는 데이터를 다수의 저장 노드에 분산시켜 관리하고, 이 데이터의 위치에 상관없이 데이터 서비스를 제공하기 위하여 멀티태넌트 스토어 기술의 개발이 필요함

○ 건설 현장의 다양한 디바이스(센서 및 시설물 등)들을 실시간으로 연동하기 위해 최소 500대 이상의 디바이스 동시 접속 및 처리와 DB(File) 데이터의 신속한 처리 성능이 필요함

(구성기술 4-2-2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발

○ 건설 현장의 다양한 디바이스(센서 및 시설물 등)들을 실시간으로 연동하기 위해 실시간 유스케이스 데이터 및 모니터링(가상화된 자원 등)에 대한 신속한 업데이트 성능이 필요함

○ 클라우드 서비스를 제공하는 멀티태넌트 아키텍처 기반의 각 노드들 간 자원의 균등한 배치 및 균등한 자원 사용률을 보장하기 위한 스케줄링 기술 필요

(구성기술 4-2-3) 디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발

○ 건설 프로젝트 문서 분석의 텍스트 마이닝 정확도

- 건설 프로젝트의 각종 문서에서 적합한 문맥을 바탕으로 중요 항목을 분류하고 이에 해당하는 대응값들을 매칭하여 정렬하는 정확도로 성능을 평가하고자 하며, 최근의 텍스트 마이닝 기술을 감안하여 목표 정확도를 95% 이상으로 설정함

○ AI 기반 공정계획/관리 시스템 정확도

- 일반적으로 사업기획이나 예비조사 단계의 견적은 50~70%정도의 정확도를 가정하며, 견적의 경우 설계와 공정이 정해진 시공단계에서는 85~95%의 정확도를 가정함
- 인공지능 시스템에서 프로젝트 초기단계의 공기/비용 예측은 시뮬레이터에서 생성된 빅데이터를 통하여 패턴을 분석하여 수행되므로 기존의 견적 정확도보다는 높은 수준의 정확도를 목표로 설정함

(구성기술 4-2-4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발

○ 국내외 모두 공법 검토나 장비 운용 검토 등 특수한 목적의 시뮬레이션을 위하여 3D 또는 4D 기반의 가상 모델을 시도해보는 정도의 수준이며, 실시간으로 현장을 가상의 공간으로 복원하는 수준에는 많이 미치지 못함

○ 건설분야에서의 가상 모델은 BIM과 별도로 논하기 어려우며, 기존의 BIM 프로세스 효과를 백분 활용하기 위해서는 호환성을 갖출 필요가 있음

○ AR 기술 성능은 결국 AR기기를 통해 전달/표시된 정보의 정확도로 평가할 수 있음

- 정보가 작업자 기준으로 맞춤형 정보에 해당하는지를 평가하며 AR 정합 오차를 10cm 이내로 설정함

○ AR을 통해 전달하고자 하는 정보가 3D 모델일 경우, 모델을 사용자 시점에서 정확한 위치에 1:1 scale로 중첩할 수 있어야 의미있는 정보 전달이 됨

- Overlaying 과정의 자동화 수준과 overlaying된 모델의 위치 정확도를 기술성능으로 설정하였으며, 자동화 수준을 90%로 설정한 것은 대부분의 경우 100% 자동화로 overlaying이 가능하되 특수한 경우 사용자의 조정을 통해 보정이 가능한 플랫폼을 고려한 것임

(구성기술 4-2-5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발

○ 스마트 건설 플랫폼을 통해 건설 생태계는 물론 다수의 국민과 기업들이 제공되는 서비스와 정보를 활용함에 있어서 활용도, 만족도가 매우 중요하고, 이를 측정하기 위해 설문조사를 통해 5단계 만족도 중에서 최소 4단계 이상을 목표로 정함

4.7 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

<표 4-197> 선행연구 과제의 한계점 및 구성기술과의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원 기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
BIM 기반 도로·하천 시설물의 건설사업정보 통합관리기술 개발	국토교통부 (2016-2021)	■ 도로 및 하천시설의 BIM 표준 기반 납품 검증체계 및 공정-공사비 통합관리 체계 구축 ■ 코드, 형상, 정보의 BIM 표준 개발 ■ BIM 작성, 변환 및 검토를 위해 통합 플랫폼에서 운영 가능한 납품 검사 도구 개발 ■ 수집 및 작성된 BIM 데이터를 활용한 공정-공사비 통합관리	■ 본 연구는 실제 도로환경 또는 건설현장의 데이터를 기반으로 디지털 인프라 정보 플랫폼을 개발하여 건설생태계는 물론 기업과 일반국민이 활용할 수 있는 데이터 공유 플랫폼을 구현하는 것으로 기존 연구와 차별화됨 ■ 개발된 표준 BIM 표준은 디지털 인프라 객체 모델에 활용 가능
Digital Twin 기반 Automotive Intelligence 지식베이스 구축 및 서비스 개발	산업통상 자원부 (2017~2019)	■ 다양한 데이터 통합 수집도구 개발 ■ 실시간 건설기계 중장비 빅데이터 분산 메세징 정제 도구 개발 ■ 분석모델 개발을 위한 모델 설계 - 딥러닝 기반 분석모델 개발 및 검증 ■ Rule-Based Complex Event Processing엔진 설계 및 프로토타입	■ 본 연구는 건설단계에서 유지관리단계에 이르기까지 방대한 양의 원시데이터를 수집, 축적, 관리, 분석, 공유하는 플랫폼 전반에 걸친 기술개발을 추진함 ■ 기존 연구는 건설기계 중장비 분야의 디지털 트윈 및 서비스 개발을 추진하고 있어 본 연구와 차별화 됨 ■ 또한, 비교적 단순한 딥러닝 기법과 룰기반 CEP 기술로 구현되어 본 연구와 같은 다양한 원시데이터와 분석기법을 필요로 하는 연구와는 범위와 기술수준이 상이함 ■ 분석 모델 및 분석기번의 참조 가능
IoT 기반 건설현장 실시간 위치추적 및 영상 안전관제 시스템	국토교통부 (2016~2018)	■ 건설현장에서 발생하는 다양한 안전사고들에 대한 위험요소 분석을 통해 선제적 예방적 안전관리를 위해 IoT 기반 실시간 위치추적 및 영상 관제시스템을 현장에 적용하여 건설현장 안전사고 예방 및 예산절감	■ 기존 연구는 건설현장의 장비, 시설물을 IoT 기반으로 데이터를 수집하여 안전사고를 예방하는 서비스 및 사용자 UI, 디바이스를 개발하는 것을 범위로 함 ■ 본 연구에서는 장비, 시설물, 센서, 자재 등 건설현장 전반에 걸친 다양한 데이터를 수집하고, 제어하며, Data Lake를 통해 데이터의 축적 및 관리, 공유가 가능한 환경을 구현하므로 차별화 됨 ■ 위치기반 데이터 수집 기술 참조 가능

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
하이브리드 증강현실 기술을 이용한 실내 위치찾기 서비스 플랫폼 개발	중소기업청 (2012. 6. 1 ~ 2014. 5. 31)	• 1) 지리정보 및 콘텐츠 등록 기술, 2) AR 저작 도구, 3) 데이터 업데이트 연동 기술, 4) 시제품 웹 개발 및 모바일 연동 개발	• 데이터의 형상정보 가시화에 치중되어 있으며, 디바이스 및 콘텐츠 컨트롤 기술이 부족
BIM 활용을 위한 다차원 건설정보의 시각적 객체화 알고리즘 및 시스템 개발	과학기술정보 통신부 (2011. 5. 1 ~ 2016. 4. 30)	• Fuzzy기반 증강현실과 Telepresence 기법을 이용하여 실제 공사 현황과 가상의 공사 상황을 실시간 비교하여 대안공법 선정이 가능한 BIM 시스템 및 관련 기기를 개발함	• 고정된 시점에서의 증강현실 구현으로 한정되어 있고, 현장 작업자의 위치/시각에 따른 능동적 증강현실 구현 수준에는 이르지 못함
간섭이 심한 제조환경에서 실내측위를 통한 가상공장과 현실공장간 디지털트윈 구현을 위한 선행연구	과학기술정보 통신부 (2017.3.1 ~ 2017.12.31)	• 제조과정 내 객체이동을 4개 이상 묘사하는 실내측위용 테스트베드 구축 • 수집된 위치데이터로부터 98%이상의 정확도로 공정모델을 도출한 후, 공정생산성, 공정개선점 도출 기술 개발	• 선행 과제는 실내 현장을 대상으로 하고 위치정보 수집에 국한되어있음 • 본 연구에서는 건설현장의 Digital Twin을 구축하기 위해서 현장 특성상 실외에서의 정확한 위치정보 및 다양한 센서들의 정보 수집과 실시간 동기화가 가능하게 함
Digital Twin 기반 Automotive Intelligence 지식베이스 구축 및 서비스 개발	산업통상자원부 (2017.12.1. ~ 2019.12.31)	• Digital Twin Data Interface 개발 • Digital Twin Thinking Analyzer 및 Real-Time Processor 개발 • 건설기계 Business Inteligence 서비스 개발	• 선행 과제는 Digital Twin 실현을 위한 기본 플랫폼 구축과 기반 기술에 국한되어 있음. • 본 연구에서는 수집한 시공 정보를 확률분포에 기반하여 시뮬레이션, 프로젝트 예측을 실행하고 시각화를 통한 구체적인 활용 방안을 제시함

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	구성기술과의 차별점·연계성
광대역 IoT 기술 기반의 태양광 분석 알고리즘을 탑재한 소형 원격제어 태양광 시스템 개발	중소기업청 (2012. 6. 1 ~ 2014. 5. 31)	• 자동 구동 방식의 이동용 소형 태양광 시스템 개발 • 태양광 시스템 동작 상태를 시각화하여 원거리에서 태양광 장치 시스템 상태 확인 및 고장 진단 모니터링이 가능한 Digital Twin 기술 개발	• 선행 과제는 소형 태양광 시스템의 개별 원격제어 및 모니터링에 국한되어 있음 • 본 연구에서는 대형 현장단위에서의 3D Mock-up model을 생성하고 다양한 객체를 시각화하여 통제·제어할 수 있는 시스템 플랫폼을 제시함
BIM(Building Information Model)데이터와 시공 현장간의 오차 파악 및 개선을 위한 모바일 플랫폼(AR-M²)개발	한국연구재단 (2014. 11. 01 ~ 2017. 4. 30)	• 비정형건축물의 시공에 대한 3D모델과 좌표측량 정보를 통합하여 현장에서 시각적으로 확인할 수 있는 기술 개발	• 선행 과제는 AR/VR 기술을 활용하여 건축물의 3차원 공간 및 자재 정보를 가시화 했음 • 본 연구 과제에서는 시공대상체, 자재 정보 뿐만 아니라 장비와 현장 작업자와 관련된 정보 폭넓은 정보를 컨트롤함으로써 현장의 완전한 Digital Twin 생성을 목표로 함

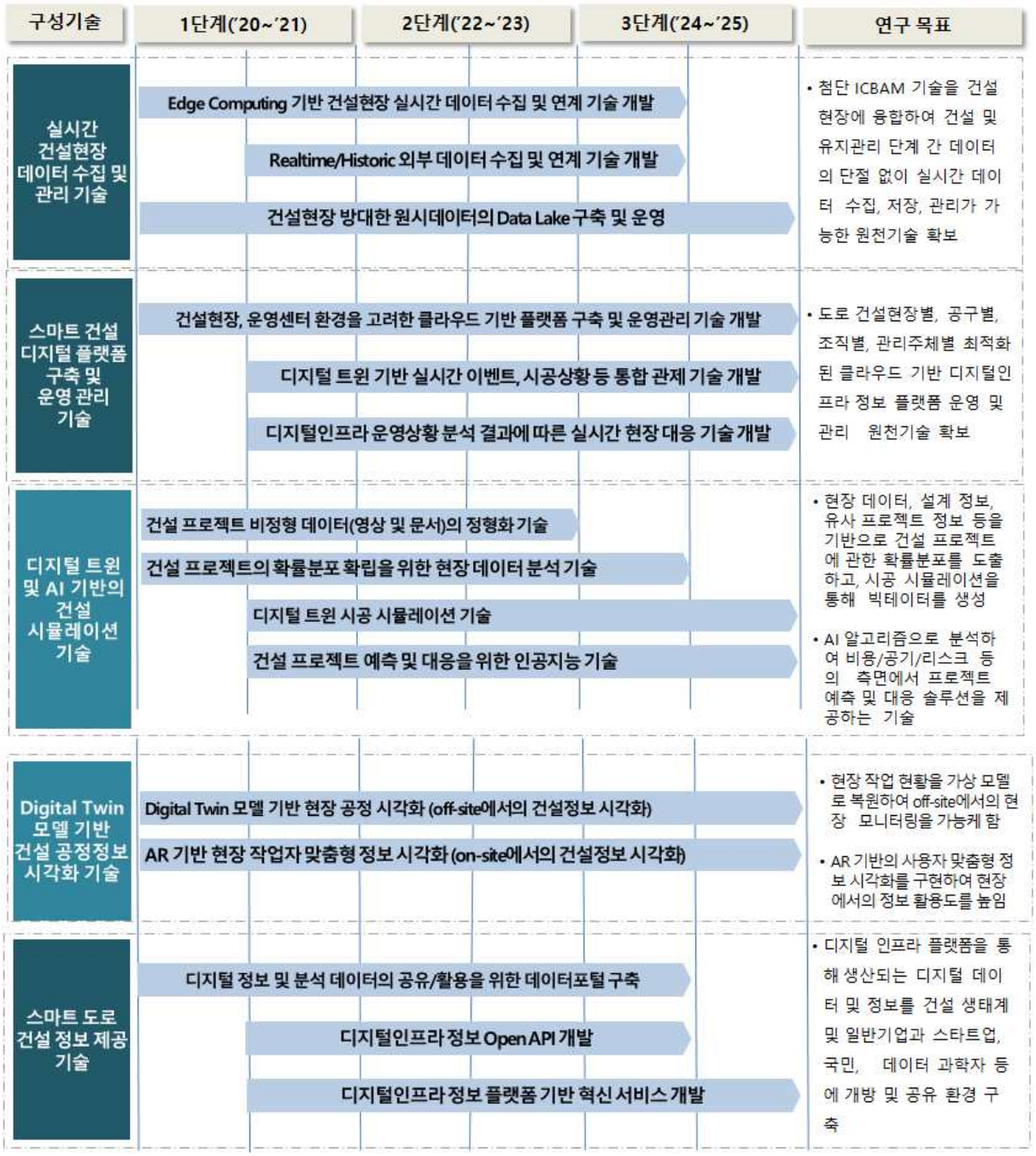
4.8 민간기술과의 차별성·연계성

<표 4-198> 민간 보유기술 및 구성기술과의 차별성·연계성

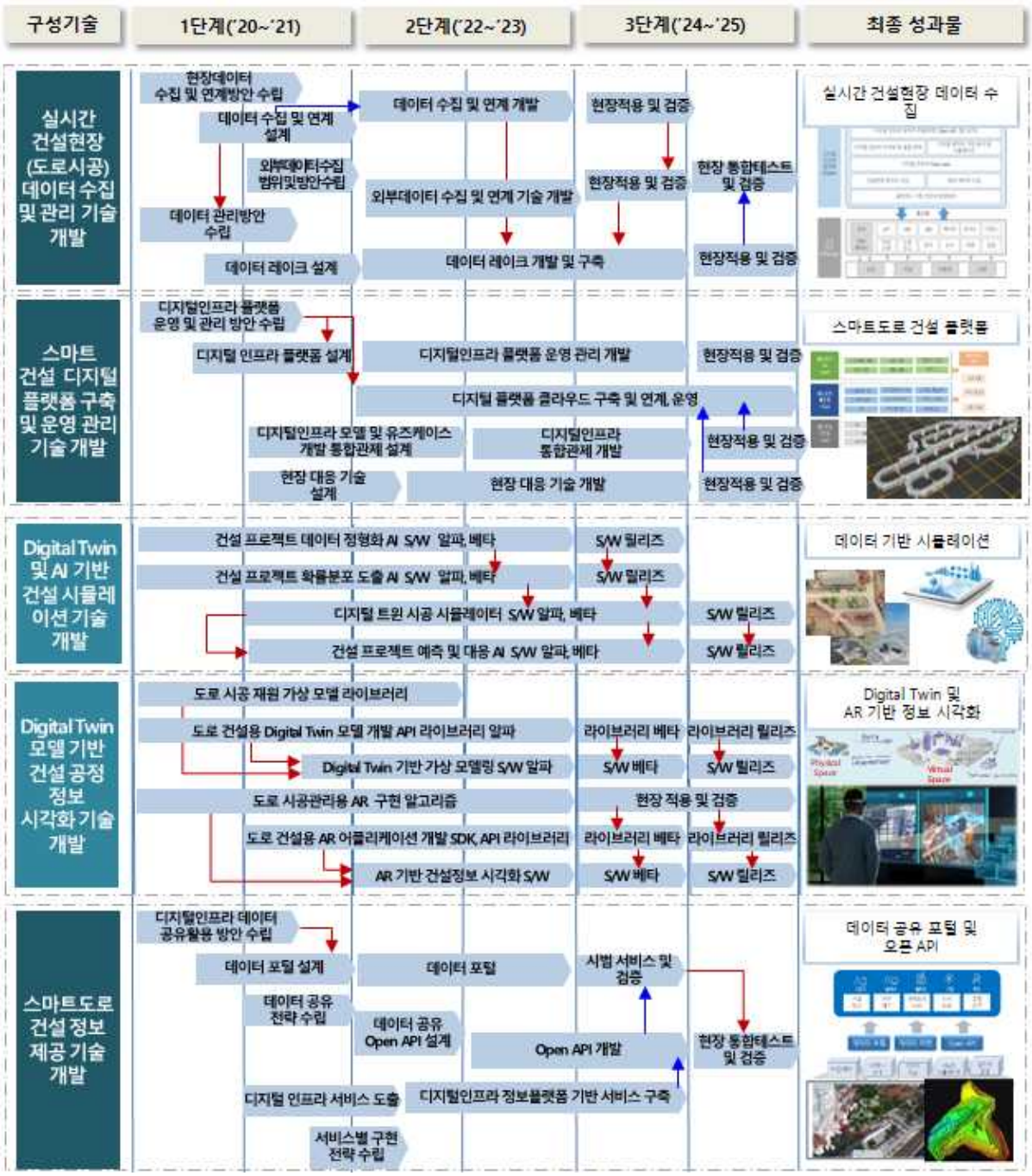
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
1	실시간 도로현장 데이터 수집/관리 기술	전자부품 연구원	IoT 플랫폼 기술	■ 본 구성기술은 통신환경이 열악한 도로 건설 현장에서 사용되고 있는 계측장비, CCTV, 센서, 건설장비, 인력, 자재 등으로부터 데이터를 수집하고, 시설물과 장비를 실시간으로 제어하는 기술을 개발하므로 기존 기술과 차별됨 ■ 또한 기존 IoT 플랫폼이 주로 데이터 수집을 위한 기술로 활용되었다면, 본 구성기술은 데이터 수집은 물론 시설물을 실시간으로 제어하는 인터페이스 구현이 필요함
				■ 기본적인 센서와의 연동기술은 활용 가능
2	실시간 도로현장 데이터 수집/관리 기술	메타빌드	빅데이터 구축 기술	■ 본 구성기술은 건설현장 및 유지관리 단계에서 발생하는 다양한 특성의 원시데이터를 축적하고, 분석할 수 있는 환경을 지원함 ■ 디지털 데이터 품질관리체계에 따른 축적 및 관리되는 데이터의 클린징, 필터링 등의 기술과 분류체계 등의 적용 필요 ■ 건설분야의 정형, 비정형, 반정형 등 다양한 형태로 존재하는 데이터 및 정보의 저장, 관리, 분석 환경 제공
				■ 기존 하둡 에코시스템 등 요소기술을 활용한 기술개발 및 구축
3	스마트 건설 플랫폼 운영관리 기술	KT, 네이버 등	클라우드 플랫폼	■ 건설현장에서 데이터를 수집 및 관리, 처리하기 위한 엣지 컴퓨팅 클라우드 기술 필요 ■ 스마트 건설 플랫폼에서 필요한 디지털 정보 공유/지식화, 분석/시뮬레이션 등의 플랫폼 구성 기술은 기존 클라우드 시스템에서 제공하지 않아서 신규 개발 필요
				■ 클라우드 아키텍처에 따른 수만명 이상의 동시 사용자를 처리하기 위한 성능 보유 ■ 일반적인 클라우드 플랫폼은 Paas-TA 또는 퍼블릭 클라우드를 활용하여 구축
4	스마트 건설 플랫폼 운영관리 기술	MS, 지멘스 등	디지털 트윈 기술	■ 실제 건설현장 또는 도로환경을 모델링한 디지털인프라의 데이터를 기반으로 시공상황, 이벤트 등을 실시간으로 통합관제 기술 개발 ■ 기존 디지털 트윈 기술은 한 개의 시설물(객체)을 대상으로 하거나, 도시계획 관점에서 시뮬레이션 성격이 강함
				■ 기존 건설분야 디지털 트윈의 모델링 기법, 시뮬레이션 등 참조 필요
5	스마트도로 건설 정보 제공 기술	HERE	데이터 포털 기술	■ 교통정보의 수집, 분석, 제공 서비스를 제공하는 디지털맵 전문기업으로 다양한 데이터를 사용자들에게 제공하고, 데이터 거래 마켓을 통해 수요자들에게 서비스 중 ■ 건설CALS 등 건설분야 데이터 제공 서비스는 주로 계약, 도면 서비스를 제공할 뿐 건설생애주기 전반에 걸친 데이터와 정보를 제공하지 않음 ■ 건설분야 데이터의 공유 및 활용을 위한 개방형 포털과 마켓, 오픈API의 개발 필요
				■ 기존 공공데이터 포털(data.go.kr) 등의 분류체계, Open API 등 참조 필요

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별점·연계성
6	데이터 기반 시뮬레이션	Amazon	고객구매 패턴 자동 분석	• 정형 데이터에서 각종 확률분포를 도출하는 기술은 유통업 등에서 개발되어 사용되고 있으나, 건설현장의 데이터에서 확률분포를 도출하는 민간 기술 없음 • Digital Twin 시공 시뮬레이션 기술과 유사한 민간 기술 없음 • 건설 프로젝트 예측 및 솔루션을 위한 인공지능 기술과 유사한 가시적인 민간 기술 없음
7	가상현실 기반 사물인터넷 Digital Twin 구축 및 운용 시뮬레이터 시작품	플레이브이알	가상현실에서 실내공간을 구현하고 에어컨 등 가전기기를 조작하면 현실의 가전기기가 작동하는 방식	• 소규모 공간과 가전기기 중심으로 디지털트윈을 구현하는 것에 국한되어 있음 • 본 연구과제는 대형 도로건설현장의 다양한 건설장비, 건설인력, 자재, 구조물 등의 현실에 가까운 정도로 시각화하고 통신,제어 하는 것을 목표로함
8	Digital Twin 기반 항구 컨테이터 터미널 모니터링	녹원정보기술	현장 주요정보를 Digital Twin 내에서 3D로 실시간 관제하는 기술	• 항구 컨테이너 터미널 내의 각종 장비의 위치 및 상태, 컨테이너 정보 등을 가상화 모델을 통해 분석 및 제공하고 있음 • 본 연구에서는 교량, 도로 등의 다양한 시공 현장에 활용되는 모든 재원에 대한 가상 모델 라이브러리 구축 • 현장 장비, 자재와 인력 정보를 통합 및 체계화 하고 자동으로 3D 시각화하는 기술 개발
9	HW-MMS(Hyundai Wia-Machine Monitoring System)	현대 위아	사물인터넷을 이용한 공작기계 원격 모니터링 시스템	• 태블릿PC나 스마트폰이 있으면 공장 관리자는 언제 어디에서나 공장의 가동 현황과 장비의 이상 등을 한 눈에 살펴볼 수 있는 모니터링 수준에 국한되어 있음 • 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 유지/보수 뿐만아니라 시공생산성 향상을 위한 공정 솔루션을 제시함

4.9 구성기술 로드맵



[그림 4-378] 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 추진로드맵



[그림 4-379] 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 성과로드맵

4.10 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 228.23억 원/6년(3단계)중 (국고) 167.80억 원, (민자) 60.43억 원으로 구성

(단위:백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-2-1. 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발	정부	693	873	872	870	870	688	4,866
	민간	250	315	314	313	313	248	1,753
	소계	943	1,188	1,186	1,183	1,183	936	6,619
4-2-2. 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발	정부	669	813	812	810	810	664	4,578
	민간	241	293	292	292	292	239	1,649
	소계	910	1,106	1,104	1,102	1,102	903	6,227
4-2-3. 디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발	정부	454	572	571	570	570	451	3,188
	민간	163	206	206	205	205	162	1,148
	소계	617	778	777	775	775	613	4,336
4-2-4. 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발	정부	239	301	301	300	300	237	1,678
	민간	86	108	108	108	108	85	604
	소계	325	409	409	408	408	322	2,282
4-2-5. 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발	정부	335	452	451	450	450	332	2,470
	민간	121	163	162	162	162	120	890
	소계	456	615	613	612	612	452	3,360
합계	정부	2,390	3,011	3,007	3,000	3,000	2,372	16,780
	민간	861	1,084	1,083	1,080	1,080	854	6,043
	소계	3,251	4,095	4,090	4,080	4,080	3,226	22,823

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-2-1. 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발	323	417	417	399	417	304	2,277
4-2-2. 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발	304	380	361	361	379	304	2,089
4-2-3. 디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발	208	266	266	266	266	208	1,479
4-2-4. 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발	114	134	134	134	134	113	762
4-2-5. 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발	153	208	208	208	208	151	1,138
합계	1,103	1,405	1,386	1,368	1,403	1,080	7,745

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-2-1. 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발	책임급	1	2	2	1	2	1	9
	선임급	3	2	2	3	2	2	14
	원급	2	4	4	4	4	3	21
	합계	6	8	8	8	8	6	44
4-2-2. 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발	책임급	1	1	1	1	2	1	7
	선임급	2	2	3	3	2	2	14
	원급	3	5	3	3	3	3	20
	합계	6	8	7	7	7	6	41
4-2-3. 디지털 트윈 및 AI 기반 건설 시뮬레이션 기술 개발	책임급	1	1	1	1	1	1	6
	선임급	1	2	2	2	2	1	10
	원급	2	2	2	2	2	2	12
	합계	4	5	5	5	5	4	28
4-2-4. 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발	책임급	-	-	-	-	-	1	1
	선임급	2	1	1	1	1	-	6
	원급	-	2	2	2	2	1	9
	합계	2	3	3	3	3	2	16
4-2-5. 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발 기술	책임급	-	1	1	1	1	1	5
	선임급	-	1	1	1	1	-	4
	원급	4	2	2	2	2	2	14
	합계	4	4	4	4	4	3	23
소계		22	28	27	27	27	21	152

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	465	570	588	601	569	467	3,259
연구과제추진비	232	292	291	293	287	231	1,627
연구활동비	253	317	318	316	314	261	1,779
연구수당	165	211	208	205	210	162	1,162
소계	1,115	1,389	1,405	1,416	1,381	1,121	7,827

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	172	217	217	216	216	171	1,208

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 46.9%, 직접비(인건비 제외) 45.9%, 간접비 7.2%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 48%, 연구과제추진비 25%, 연구활동비 27%, 연구수당으*로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

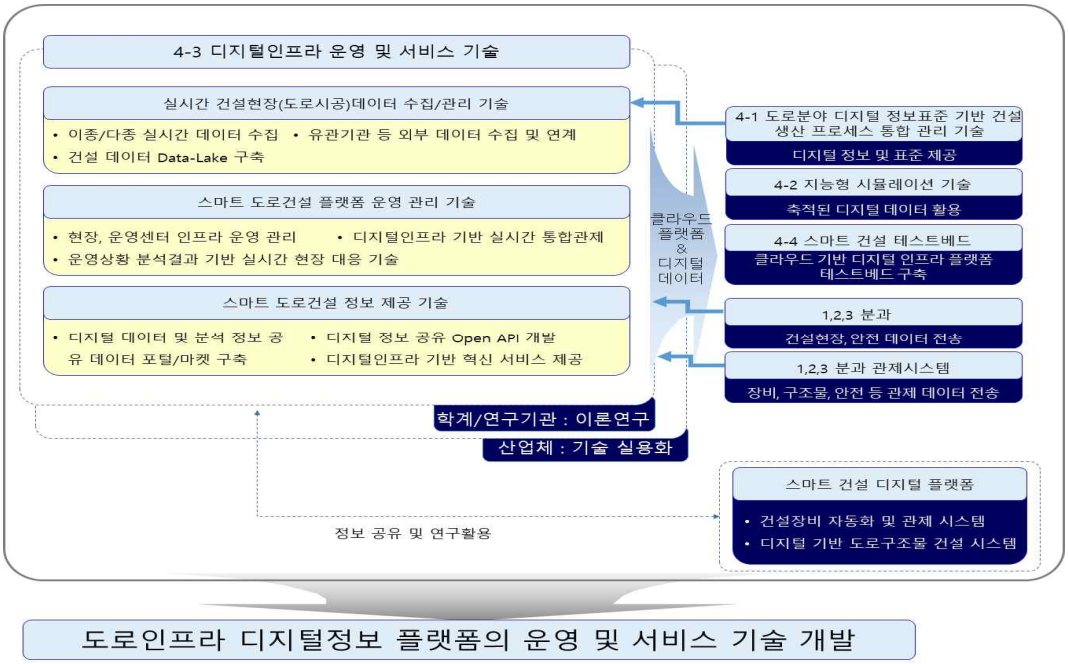
(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

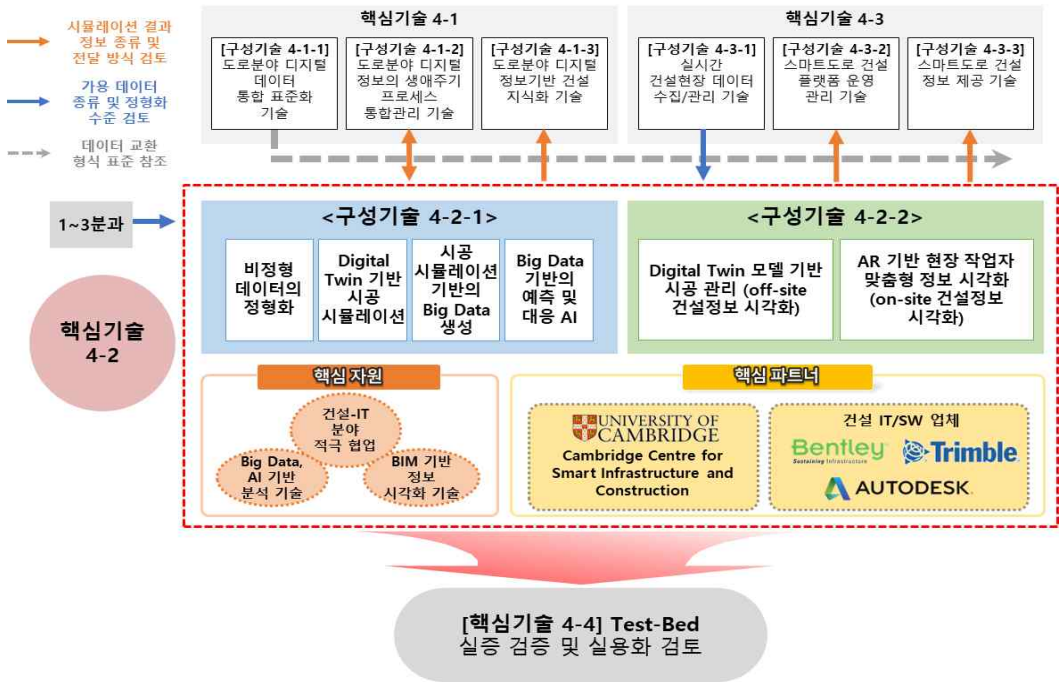
4.11 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



[그림 4-380] 도로인프라 디지털 정보 플랫폼 운영 및 서비스 기술 추진체계도

○ Digital Twin 기반의 스마트 건설관리 기술의 추진 체계는 다음 그림과 같음



[그림 4-381] Digital Twin 기반의 스마트 건설관리 기술 추진 체계도

(2) 협력방안

○ 건설현장 데이터 수집 및 연계를 위한 산학연 협의체 구축

- (국내) 건설사, 발주처, IoT 관련기관(기업, 연구소, 대학 등) 등으로 구성되는 산학연 협의체 구축 및 운영을 통해 건설현장 데이터 종류, 유형, 특성 등을 파악하여 표준화 및 연계방안 협의
- (국외) 국제 공동연구개발 및 학술심포지엄 개최 등 추진하고, 유럽, 미국 등 해외 유사 연구사례 보유 기관과의 향후 협조 체제 구축

○ 국내외 오픈데이터 관련 공공 및 민간기업과의 협의체 구성을 통한 서비스 활성화 방안 마련

- 정보화진흥원, 데이터진흥원 등 국내 공공데이터 유통, 거래와 관련되는 공공기관과 민간기업, 스타트업들과의 데이터 이용 활성화 방안 협의 및 서비스 창출 지원방안 마련
- 한국도로공사의 도로정보통합플랫폼과의 연계를 통해 도로건설정보 데이터의 데이터 이용활성화 방안 마련

○ 핵심기술 4-2 “Digital Twin 기반의 스마트 건설관리” 기술 개발은 현장에서 발생/수집되는 데이터를 기반으로 하기 때문에, 구성기술 4-2-1과의 연계가 가장 중요한 협력 요소임

- 4-2-1의 기술을 통해 가용한 현장 수집 데이터의 종류 및 형태와 관련하여 협력이 필요함
- 연구 초기 계획을 공유하고 필요한 부분을 조율하며, 연구가 진행되는 중에 변경이 요구될 때마다 지속적으로 상호협력을 통해 결정을 하도록 함

○ 핵심기술 4-2 “Digital Twin 기반의 스마트 건설관리” 기술 개발을 통해 발생하는 정형화 데이터 및 새로운 상위 정보들은 생애주기 프로세스 통합관리(4-1-2), 건설 지식화(4-1-3), 플랫폼 운영관리(4-2-2), 건설정보 제공(4-2-5) 등의 기술 개발에 한 요소로 연계되어야 할 필요가 있음

- 시뮬레이션 결과를 통해 생성된 주요 정보 중 연계가 필요한 정보의 종류와 전달 방식에 대하여 4-1 및 4-2 파트와 함께 결정
- 모든 데이터 교환 및 형식 결정과 관련된 사항은 4-1-1의 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 기술의 내용을 기반으로 협업이 진행되도록 함

○ 1~3 분과에서도 인력 및 장비와 연관된 데이터 수집과 분석을 다루고 있으므로, Digital Twin 모델 개발 시에 각 분과의 연구를 통해 가용해질 데이터 및 정보의 종류 및 체계에 대한 연계를 반드시 고려해야 함

○ 최근 설립된 영국 Cambridge 대학의 스마트 인프라 건설 센터와 공동 연구를 추진할 수 있는 협약을 맺어서, 디지털 정보 기반의 건설 선진화를 선도하고 있는 영국과의 협동 기술개발의 기회를 도모함

○ BIM 연관 소프트웨어 개발 및 센싱 기술 개발 등 건설분야의 디지털화를 위해 지속적인 노력을 기울이고 있고, 건설 선진화의 가능성을 보여주고 있는 건설 IT 기업들과의 협업 또한 반드시 필요한 요소임

- 이 사업이 정부 지원 사업이고 대표적인 건설 IT 기업들이 대부분 해외기업임을 고려할 때, 이러한 기업들과 협업에 대해서는 적정한 수준 안에서 이뤄져야 할 것으로 사료됨
- 주로 현재의 기술 수준을 확인하고, 추후 연구결과와의 호환성과 관련된 협의를 진행할 수 있으며, 필요에 따라 부분적으로 공동 연구 또한 추진할 수 있음

4.12 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
디지털 인프라 운영 및 서비스 기술	건설현장의 구조물, 장비, 인력에 대한 데이터 수집 기술 적용시 경제성 미흡과 신뢰도 저하	건설정보 수집을 위한 법제도적 지원 방안 마련(계약법 및 가점제도 등 검토), 기술 신뢰성 향상 방안 마련
	건설현장 통신망 품질 열악	열악한 통신 환경 개선 또는 향상을 위한 기술 개발 및 적용
	건설CALS 등 기존 시스템 자료 품질 및 관리체계 미흡	기존 시스템 관리 주체와의 협력을 통한 품질 검토 및 연계 범위 확정, 관리체계 보완 등
	디지털 정보 및 서비스의 품질 및 만족도 저하	디지털 정보의 품질을 위해 메타데이터 관리, 자료분류 등을 통한 지속적인 품질 관리 기술 적용, 플랫폼에서 제공하는 다양한 건설 정보에 대한 이용자 만족도 조사를 통한 개선방안 마련
Digital Twin 기반의 스마트 건설관리 기술	[일반] 실제 프로젝트 데이터 공유에 대한 설계 및 시공 업체들의 반감	• 국토교통부의 주도적인 공청회 등을 통하여, 이 연구에서 진행하고자 하는 기술 개발의 필요성에 대한 공감대를 산학연에 걸쳐서 충분하게 형성 • 기술 개발이 국내 기업들의 해외 프로젝트 수주로 이어질 수 있도록 국토교통부의 지원 방안 마련
	[인공지능 기반 예측 및 대응 기술] 인공지능 기술의 잠재적 가능성을 충분히 발휘하기에 필요한 다량의 데이터 확보 어려움	• 확률분포에 근거한 데이터 생성 • Generative adversarial networks와 같은 unsupervised learning을 통하여 실제와 유사한 데이터 생성
	[Digital Twin 모델] 해외 건설 IT 기업과의 경쟁	• 해당 기업들과 협력 체계 구성하여 BIM 등의 소프트웨어와의 호환성을 확보 • 국내 도로건설 프로젝트 환경 및 데이터 표준체계에 맞게 특성화하여 개발
	[AR 기반 정보 시각화] 현장 작업자의 모바일 기기 사용 거부감	• 산학연 협력을 통해, 하드웨어 및 소프트웨어 개발 과정에 지속적인 현장 작업자 피드백 의견 수렴 • 디지털(모바일 기기)과 아날로그(종이 노트) 조합의 새로운 아이디어 창출

4.13 실용화 전략

(1) 기존 실용화 사례

○ 해외 주요국은 공공데이터를 개방·활용하여 경제발전을 도모하고자 '오픈데이터' 정책을 추진(한국정보화진흥원 개방형 데이터 플랫폼 진화 방향에 대한 제언 참조)

- 정부가 보유하고 있는 데이터를 효율적으로 개방하고 사용자들이 편리하게 데이터를 활용하기 위한 데이터 서비스 제공중
- 미국은 '09년 12월부터 data.gov를 통해 공공데이터 개방 정책 추진을 추진하였고, 영국은 '10년부터 data.gov.uk를 통해 공공데이터를 개방하고 있으며, 독일은 '13년부터 govdata.de를 통해 '열린정부' 정책을 추진중
- 주요국가들은 개방 데이터 플랫폼(CKAN)을 기반으로 국가차원에서 데이터 개방 시스템 간의 연계 및 데이터 실시간 수집·개방 체계를 구축·운영('17년 3월을 기준으로 4차 산업분야 관련 데이터는 미국 약 19만개, 영국 약 4만개, 국내 약 2만개 수준))

○ 해외의 경우 Digital Twin 기술은 제조업 분야를 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있으며, 건설 분야에서는 최근 Digital Twin을 도시 단위로 적용시키는 '버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)' 프로젝트가 추진 중임

- '버추얼 싱가포르' 프로젝트는 싱가포르 전 국토를 단순히 3차원 모델로 모사하는 것을 넘어, 전기·가스·교통 등 사회 필수 인프라를 비롯하여 건물 등 시설물의 디지털화 및 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI) 기술과의 융합을 통해 현실세계와 가상세계를 실시간으로 연결·연동하는 인터페이스를 구축함
- '디지털 쌍둥이'라는 이름처럼 '버추얼 싱가포르'를 통해 도시에서 일어나는 모든 일을 실시간 추적할 수 있을 뿐만 아니라 재난, 사건, 행사 등 다양한 시나리오의 시뮬레이션을 통한 분석 및 예측을 가능하게 함
- 싱가포르의 스마트 국가 정책의 일환으로 추진된 '버추얼 싱가포르' 프로젝트는 도시의 여러 문제를 해결하는 지능형 정보 플랫폼으로 활용될 계획이며, 2014년 12월에 시작해 2018년 완성을 목표로 진행 중임

(2) 성공 사례의 시사점

○ 미국의 데이터 전문기업인 Enigma(www.enigma.com)는 정부 및 민간 기업에서 오픈라이선스로 개방 중인 데이터를 수집하여 연계·분석할 수 있는 플랫폼인 '공공데이터 탐색기(public data explorer)'를 구축·운영

○ 네이버는 지난 10여년간 축적한 데이터(검색어추이 , 인기검색어 등) 및 정부의 공공데이터를 활용할 수 있는 플랫폼인 "데이터랩(datalab.naver.com)"을 구축·운영 중

- 오픈데이터들은 향후 지능형 로봇, 스마트공장, 스마트도시, 자율주행자동차, 유전체 분석 등 신산업·기술과 융복합되어 4차산업 서비스로 발전될 것으로 예상

○ 오픈 데이터는 사용자의 적극적 참여를 통해 데이터 활용성을 극대화 시킬 수 있을 것으로 기대하며, 민·관 데이터 개방을 효율적으로 추진하기 위해 데이터 실시간 자동 수집 및 개방 체계 구축 필요하고, 다형·대용량 데이터를 저장·관리하기 위한 인프라 확충과 데이터 이용 활성화를 위한 맞춤형 데이터 서비스 제공 필요

○ 싱가포르는 가상 플랫폼의 구축 및 민간 활용을 위해 국가 차원의 강력한 지원을 바탕으로 약 700억원을 투자하여 도시, 도로 등의 국가 인프라에 대한 가상 플랫폼 구축 사업을 진행하였음

- 싱가포르의 '버추어 싱가포르'는 정부의 강력한 의지와 글로벌 기업들과의 협업을 기반으로 하고 있으며, 현재 디지털 플랫폼 중심의 스마트시티를 대표하는 사례로 부상하게 됨

- Digital Twin 모델의 정착 및 생태계 조성을 위한 정부의 노력이 있었으며, 또한 디지털 플랫폼을 통한 데이터 공유 시 발생할 수 있는 문제를 해결하기 위해 오픈 데이터 정책을 도입하여 기업, 연구기관 등 모든 국민이 활용할 수 있도록 함으로써 개방형 혁신을 유도함

(3) 실용화 전략 수립

○ 건설분야의 오픈데이터는 건설생태계는 물론 건설사업으로 인한 국가, 도시, 행정, 환경, 교통 등 다양한 산업분야로의 파급효과가 매우 클 것으로 예상

되므로, 다른 공공데이터 개방 전략과 마찬가지로 정부차원의 플랫폼 보급, 법제도 검토, 입찰제도 개선을 통한 과감한 기술도입과 가점제도 등을 통해 활성화 필요

- 디지털 정보 플랫폼의 실용화를 위해 개발되는 플랫폼을 참조표준화하고, 개발되는 SW는 오픈소스 라이선스로 보급하여 다양한 발주처 건설사업에 활용
- 디지털 정보 플랫폼을 구성하는 요소기술(제품)들은 발주처 또는 건설사에서 경쟁력있는 상용제품과 오픈소스들을 자유롭게 활용할 수 있도록 가이드라인을 제시하여 이미 상용 SW제품들로 시장이 형성된 BIM, DBMS, ESB 연계솔루션, 보안솔루션 등의 시장도 활성화 촉진시켜 전체적인 산업생태계 발전 도모

○ 공공 및 민간분야에서 발주되는 건설사업에 신기술 적용을 활성화시킬 수 있는 법제도 마련 및 가점제도를 운영하여 국가적 건설분야 활성화 촉진 및 다양한 신규 서비스 창출

○ 세계적으로도 건설 분야의 Digital Twin 플랫폼 개발은 현재 진행 중인 상황으로 디지털 모델의 정착 및 민간 차원의 생태계 조성을 위해서는 정부 차원의 데이터 표준화 및 공공데이터의 개방 및 활용에 관한 정책적 지원이 필요하며, 이를 통해 현재 상용화 수준의 다양한 기술을 플랫폼 상에서 활용할 수 있는 토대를 마련할 필요가 있음

- Digital Twin 구현의 원천 기술이라 할 수 있는 디지털 형상 스캐닝 및 모델링, VR/AR을 활용한 시각화, 정보수집을 위한 IoT 등의 개별기술은 국내에서 상용수준의 개발이 이뤄진 상황으로 데이터 및 플랫폼의 표준화, 성공적인 테스트베드를 통한 민간 참여 유도로 Digital Twin 시장을 선도
- Digital Twin과 같은 공공 플랫폼의 활용 시 민간의 참여를 촉진시키기 위해 공공데이터의 개방과 활용에 관한 정책 및 전략 수립이 필요

4.14 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

○ 건설분야 실시간 현장 데이터 수집 및 연계 기술을 통한 생산성과 안전성 향상

- 열악한 건설현장에서 이종/다종의 센서와 액추에이터, 통신망이 유기적으로 연동되어 실시간으로 데이터의 수집, 분석, 제어, 관제가 가능한 환경으로 발전 예상

- 건설현장의 다양한 객체(사람, 시설물, 장비, 자재 등)의 실시간 위치 기반 통합 관제로 안전성 향상

○ 건설분야의 방대한 정형, 비정형 데이터의 축적, 관리, 분석, 활용 기술 확보

- 기존 건설 데이터 관리체계, 활용체계를 획기적으로 개선하여 기록으로서의 데이터에서 활용·재생산·진화하는 데이터로의 발전
- 디지털화된 방대한 양의 건설 데이터에서 다양한 요구에 따른 정보 발견, 분석, 가공, 재가공 등이 지속적으로 순환되는 정보 활용 체계 구현

○ 폐쇄적인 건설분야 정보 활용 수준에서 일반 기업과 국민들에게 건설정보의 개방 및 공유를 통해 혁신적인 서비스 창출

- 건설단계에서 생성된 데이터가 유지관리 단계로 이관되지 않거나, 건설생태계에서만 공유되던 폐쇄적인 정보 활용 수준을 넘어 다양한 정보와 데이터가 민간분야에 개방되어 다양한 혁신 서비스가 창출되는 환경 구현 가능

○ 이 연구는 Digital Twin을 건설 시공단계에 적용하는 세계적 첫 시도가 될 것이며, 전체 프레임웍을 구성하고 있는 요소 단계마다 원천기술을 확보할 수 있는 성과를 기대해볼 수 있음

○ BIM이 도입된 후 이를 활용하는 파생기술 개발이 활발하게 이뤄진 것과 같이, 이 연구를 통해 도로건설의 시공 현황을 그대로 모사하는 Digital Twin 모델이 개발·도입됨으로써 이와 연관된 파생기술들이 개발되고 궁극적으로 건설 자동화 원천기술 확보 및 건설산업 경쟁력 성장을 기대해볼 수 있음

○ 이 사업 내의 다른 분과 및 핵심기술들과의 연계를 통해 다량의 데이터를 확보할 것이며 이를 기반으로 생성·축적하게 될 정형화된 고품질의 빅데이터 및 정보들은, 건설산업에서 그동안 시도하지 못하였던 데이터 기반의 체계적 건설 효율화에 필요한 중요한 자산으로서의 가치를 기대해볼 수 있음

○ 건설 산업에서의 Digital Twin 기술은 현재 활발히 진행 중인 연구 분야로 지능형 정보 플랫폼으로서의 잠재력은 무궁무진한 것으로 기대됨

- Digital Twin 구현은 센서 제어 및 접근, 3차원 모델의 실시간 동기화, 데이터 기반의 지능형 시뮬레이션 등의 기술 융합을 필요로 하는 새로운 연구 분야로서, 여러 분야의 다학제간 연구 방법을 제시할 것으로 기대됨

- 가상 플랫폼을 통한 데이터의 축적은 데이터 기반의 인공지능 기술 개발을 위한 밑바탕이 되며, 이러한 빅데이터를 바탕으로 3차원 시뮬레이션 및 기계학습을 통해 지능적 현장 관리 구현을 가능하게 함

(2) 사회경제적 측면

○ 건설 오픈 데이터 적극 개방하여 이를 이용하는 다양한 기업, 특히 스타트업들의 출현을 촉진하고, 다양한 4차산업 서비스의 창출을 통한 경제발전 촉진

- 건설 오픈 데이터를 원자재로 다양한 제품과 서비스 들이 탄생하여 안전하고, 편리하며 지혜로운 사회 구현
- 다수의 스타트업들이 자유롭게 건설 오픈 데이터를 활용하여 신산업·신기술을 창출하여 경제발전을 도모하고 새로운 일자리 창출
- 사회 전반적으로 데이터를 활용하여 누구나 데이터 과학자가 되고, 지식화, 지능화되는 사회로 발전

○ 타 산업분야보다 낙후된 건설분야의 IT/정보화 수준을 한 단계 끌어올려 최신의 정보통신 기술과 서비스가 구현되므로서 건설분야 시장 활성화 예상

- 기존 토목 기술 위주의 시장에서 IT 기술이 융합된 스마트 건설로의 발전을 통해 새로운 시장이 창출 예상

○ 해외 시장에서 스마트 건설 기술 분야 선도

- 타 국가 대비 빠른 기술 개발로 해외 건설 시장에서 경쟁력 확보를 통한 시장 선도가 가능하고, 해외 대형 건설 프로젝트 수주 가능성 향상 예상

○ Digital Twin 기술은 건설 공정의 실시간 모니터링 및 데이터 축적을 가능하게 함으로써 건설 생산성 향상 및 시장성 확대 효과가 기대됨

- Digital Twin 모델을 통해 운영비용 및 생산시간을 획기적으로 감소시킨 제조업의 사례처럼 공정 및 구조물의 실시간 모니터링 및 이상 징후에 대한 즉각적인 대응을 통해 생산성 향상이 기대됨
- Digital Twin 기술은 지능형 정보 플랫폼으로서 도로 인프라와 관련된 다양한 정보를 담을 수 있는 열린 환경을 제공하며, 또한 공공 시설물에 대한 민간의 접근성을 높여줌으로써 도로 서비스 분야의 새로운 시장 개척 및 부가가치 창출이 기대됨

4. (핵심기술 4-3) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 테스트베드 구축 및 운영기술 개발

4.1 기본 개념 및 범위

(1) 기본 개념



[그림 4-382] 스마트 건설기술 종합 테스트베드

□ **스마트 건설 종합 테스트베드를 구축하여 스마트 건설의 표준화, 정책 및 실행/검증 방안을 수립**

○ 스마트 건설 종합 테스트베드는 스마트건설의 구성기술(건설장비자동화 및 관제기술, 도로구조물 스마트 건설기술, 건설현장 안전 및 관리기술) 들에 대한 종합적인 성능검증을 수행

○ ICT기술을 통해 차세대 스마트 건설의 요구 성능에 맞는 설계 및 관련 시방서, 표준 등을 정립하고, 실행방안과 기술개발 성과의 적용을 위해 테스트베드 설계 방안 도출

○ 다양한 스마트 기술 적용시의 테스트베드 통합 관리 방안과 수행기간동안의 모니터링 및 성과평가를 통해 스마트 건설 기술의 적용 확산 방안 도출

○ 스마트건설의 개별과제를 포괄적으로 조율할 수 있는 스마트건설의 검증방법 및 체계적인 절차 마련

(테스트베드)는 상용화 직전 수준의 완성된 기술을 설계에 반영하여 시공 과정에서 해당 기술을 검증할 수 있도록 하는 공사현장, 도로시설, 통신망 등을 포함한 제반시설을 의미

□ **테스트베드의 통합된 관리 및 모니터링을 위한 시스템 구현 연구**

○ 스마트 건설 구성기술들의 종합적인 검증을 위한 지표 및 기술을 개발하고 종합검증을 수행할 수 있도록 센서, 통신망 등의 기반을 조성

○ 모듈화 기술, 건설장비 자동화 및 관제기술, 건설현장 안전 및 관리 기술, 이를 통합한 정보 통합 및 서비스 기술을 가상으로 혹은 실제로 구현하고 연구 성과를 관제하기 위한 통합관제시스템 구축

○ 스마트 건설의 테스트베드 운영은 도로의 한 공구를 대상으로 테스트베드를 구축하며, 통합관제 시스템 구축을 위한 종합 운영센터 구축

(통합관제시스템)은 종합검증을 위한 테스트베드 현장 모니터링 및 제어 시스템을 의미
(종합운영센터)는 테스트베드 현장을 관리하며 개발기술의 종합검증 작업을 지원하기 위한 시설 및 조직을 의미

(2) 범위

□ **(구성기술 4-3-1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구**

○ Test-bed 종합 운영센터의 최적 기능 정립을 위하여 국내·외 유사 테스트 베드의 운영센터에 대한 사례조사 수행

○ 통합테스트베드 운영을 통해 스마트 건설표준화, 정책을 수립하여 향후 스마트 건설에 활용

- 데이터 연계·오픈·활용 등 데이터관련 법제도 모델 수립
- 새로운 기술 적용에 따른 변화된 절차와 성과물을 기반으로 기존의 시방서 및 기준을 개정한 스마트 건설국가표준 및 시방(안) 수립

- 스마트건설을 위한 기존 걸림돌 규제 발굴 및 해결방안 연구를 통한 규제 샌드박스 등의 전략 Solution 연구

○ 스마트 건설 테스트베드 설계 및 운영을 통해 스마트건설기술 적용할 수 있는 스마트 건설기술 검증용 테스트베드 운영계획서 작성

○ 스마트건설사업 시행 절차를 체계적으로 정립한 스마트건설 절차서 수립 필요

○ 각 중점분야의 단위 테스트된 결과를 적용하여 Test-Bed 종합 검증을 수행하며 이를 통해 스마트 건설 기술성과에 대한 분석 및 보완방안을 수립

□ **(구성기술 4-4-2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축**

○ 스마트 건설의 테스트베드는 도로의 공구를 대상으로 구축하여 운영하며, 종합운영센터 구축을 통해 테스트베드 현장을 관리함

○ 스마트 건설의 테스트베드는 건설사업단, 연구사업단, 시공사 및 하도급업체로 구성되며, Web/App기반으로 접속하여 실시간 현황을 확인하고 인터페이스 할 수 있는 테스트베드 통합관제시스템을 구축함

○ 테스트베드 통합관제시스템은 기능적으로 통합관제, 전주기 시뮬레이션, 특정상황의 건설현장 인프라 및 장비에 대한 제어를 수행

○ 연구 대상현장의 모든 데이터가 수집된 스마트 건설 디지털 플랫폼에서 저장, 가공, 처리된 정보는 통합관제시스템에서 3차원 모델로 시각화되도록 구현되고, 필요시 통합관제시스템에서 현장을 직접제어 또는 조치 처리할 수 있도록 스마트 건설 디지털 플랫폼과 연계하는 기술 개발

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼에서 수집된 현장 데이터를 확인하고 현장의 디바이스 원격제어 및 조치처리 상황을 모니터링하기 위한 기술 구현

○ 종합 운영센터는 테스트베드의 종합적 검증을 수행하기 위해 건설현장을 대상으로 종합검증용 센서를 구축한 후 데이터를 수집하여 연구 결과에 적용하거나 피드백을 수행

4.2 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

○ 최근 스마트시티, 건설분야에서도 ICBAM 기반 버추얼팩토리, 가상도시 연구가 진행되고 있고, 교통/안전/재난 등 다양한 분야에서 적용되고 있으나 연구사업별 테스트베드를 각각 선정하여 실제 운영을 위한 시스템 통합에 어려움이 있음

○ 싱가포르에서는 국민이 의미 있고 성취감을 느끼는 삶을 살고, 기술에 의해 도움을 받고 모든 이에게 신나는 기회를 제공하는 스마트 국가를 구현하는 '버추얼 싱가포르' 프로젝트를 추진 중에 있음

○ 또한 건설분야에서도 디지털 트윈을 구축하여 건설비용과 시간을 절감하기 위한 프로젝트들이 시작되고 있으나, 도로 건설 단계는 물론 유지관리 단계까지 가상 인프라와 현실 인프라를 연동시켜 운영 및 관리하는 단계에는 미치지 못하고 있음

○ 세계적으로 통용되고 있는 규제 샌드박스는 비즈니스 환경으로 '미래기술의 사회실증의 장'을 만들고 그 안에 새로운 아이디어나 비즈니스 모델의 가시성을 실험하기 위한 대응책임

○ 최근 전 세계적으로 4차 산업혁명의 협력적·수평적 관계에 기반을 두고 상호간의 통합 및 연계가 가능하도록 혁신하기 위하여 거버넌스 체계 및 법제도 개선에 대한 중요성이 부각

- 프로젝트 경험과 지식을 서로 공유하고 상호 연계하여 발생되는 시너지 창출을 목표로 싱가폴 스마트네이션 등 행정조직의 일원화, 바르셀로나 시티 프로토콜 소사이어티, 미국 GCTC 등 관련 기관이 공동으로 접근해 문제를 해결하는 소사이어티 프로그램을 구축할 예정
- 영국, 싱가포르 등은 4차 산업혁명의 사회실증 수단으로 건설, 핀테크, 스마트시티, AI, IoT 기술 등에 대해 규제 샌드박스를 도입하는 등 표준화, 법제도 개선의 중요성을 강조
- 일본은 Society 5.0(4차 산업혁명)의 사회실증 수단(구체적인 대상은 핀테크, 스마트시티, AI, IoT 기술 등)으로 규제 샌드박스 제도를 도입하고 있고 싱가포르, 아부다비, 홍콩, 호주, 말레이시아, 대만 등도 자국의 특성에 맞게 추진

(2) 추진 필요성

○ 스마트건설의 구성기술을 관리/통합하고 종합적인 검증을 위한 종합 테스트베드의 구축과 통합관리의 기준 마련 및 실행방안 연구가 필요함

○ 국제 시장을 선도하여 국내 건설산업의 경쟁력을 확보하기 위해서는 다양한 도로/토공사 현장, 자동화 건설장비, 건설현장 안전 및 다양한 ICT툴과의 호환성(Interchangeability), 지능성(Intelligency), 적용성(Applicability), 휴대성(Portability), 편리성(Usability)이 고려된 “스마트 건설 통합관제기술” 개발이 반드시 필요한 실정임

○ 건설 생산성 증진을 위한 신기술의 현장 적용이 연구되고 있으나 개별적으로 테스트베드 적용과 신기술개발이 이루어져 정보의 파편화가 발생함

- 따라서 건설현장의 종합테스트베드 운영을 통한 통합적인 정보관리 체계구축을 위해서는 정부 차원의 지원이 반드시 필요함
- 일본의 경우 ’25년까지 건설현장의 생산성 20% 향상을 목표로 건설프로세스 전주기에 ICT와 같은 신기술을 활용하는 I-Construction을 추진 중

○ 정부, 기업 등 다양한 주체에 의해 다양한 규모·목적으로 시행되는 스마트 건설 관련 기술개발의 효율을 높이고 산업을 촉진하기 위해서는 스마트 건설기술의 일반화가 필수적임

○ 현재 전 세계적으로 시행되고 있는 스마트 건설 사업은 기업, 정부 등 다양한 주체에 의해 다양한 목적·규모로 시행되고 있음

○ 따라서 스마트 건설관련 기술개발의 효율을 높이고, 국내 스마트 건설관련 산업의 해외 진출을 위해서는 국제적으로 통용 가능한 일반적인 스마트 건설기술이 필요함

○ 스마트 건설적용대상(도로, 항만, 간척지 등)에 규제 샌드박스 제도를 도입하여 제4차 산업혁명을 견인하는 近미래기술의 자유로운 실증실험이 가능토록 해야 하지만 건설분야에 ICT를 적용하는 데는 어려움이 있음

- (기업) 최첨단 실증실험의 신속한 수행을 통해 시행착오 데이터를 축적하고 오류를 최소화하여 기술 경쟁우위 확보 및 글로벌 시장 선점 도모

- (정부) 미래기술 신규사업이 사회에 어떠한 문제를 야기 시킬 수 있는지 파악할 수 있어 규제개혁 추진 시 사전적 조치 및 대응가능

○ 대규모의 R&D사업은 컨소시엄 내 개발된 산출물간의 호환성 및 표준 준수가 미비할 수 있는 점을 고려하여, 각 핵심과제와 실증테스트 운용도를 모니터링한 후 체계를 개선하는 장치가 필요

○ 스마트 건설국가 R&D사업의 각 핵심과제 내 개발된 기술 및 서비스 성과물이 국제표준에 부합하도록 정밀히 표준화된 평가 체계 및 지표 개발이 필요

○ 국내외 스마트건설의 현 수준(성숙도)을 평가하는 평가체계는 중앙 정부 및 발주사, 시공사 등에 효율적이고 일관성 있는 스마트 건설정책 수립을 위한 기반사항으로서 개발되어야 함

4.3 현황 및 개선방안

(1) 현황 및 문제점

□ **[Issue 1] 스마트건설에 대한 표준화 및 표준시방서 부재로 동일목적의 개별 시스템 산재**

○ 스마트 건설에 대한 개별연구들이 연구소, 기업 등에서 개별적으로 연구되어지고 건설현장에 부분적으로 적용되고 있어 동일목적을 가진 개별시스템들이 산재되어 있음

○ 새로운 기술 적용에 따른 변화된 절차와 성과물을 기반으로 기존의 시방서 및 내부 방침 변경 필요

□ **[Issue 2] 규제로 인한 건설분야대상 4차산업혁명 기술 적용의 어려움**

○ 스마트 건설관련 국토교통부(건설), 미래창조과학기술부(ICT), 행정자치부, 기획 등 다양한 부처간 법령 및 기준의 혼재와 간섭 등 제도적 문제점 발생

○ 기존 절차를 대체하는 Digital Transformation을 위해 스마트 건설 기술 적용 실효성에 대한 테스트 수행 후 참여주체들의 동의하에 절차 혁신이 필요함

□ **[Issue 3] 종합 테스트베드 검증을 통한 기술들의 종합적인 검증 필요**

○ 스마트 건설에 대한 개별연구들이 각 연구개발 결과를 검증하기 위하여 단위 테스트를 수행하거나 개별 테스트베드에서 자체 검증이 이루어지고 있으나 종합 테스트베드에서 기술 간의 종합적인 테스트가 이루어지지 않음

○ 개별 공정이나 시설물 단위를 넘어 사업 단위에서의 효과를 볼 수 있도록 하는 기술 검증 (예: 미국에서의 Project Delivery Time 단축 목표 설정) 필요

□ **[Issue 4] 스마트 건설구성기술들의 통합된 관제시스템이 부재**

○ 현재까지의 건설현장에서 스마트건설의 단위기술들에 대한 개별 관제시스템의 구축으로 건설현장의 통합된 전주기 관제가 이루어지고 있지 않아 연구기술들을 통합된 결과를 시각화하기 어려움 존재

□ **[Issue 5] 스마트건설 토목 BIM의 활성화 필요**

○ 토목BIM 전용 프로그램 부재

○ 기존 BIM 프로그램(Revit/AutoDesk, All Plan/Nemetschek, ArchiCAD/Nemetschek, Microstation/Bentley)은 건축 기반으로 기획된 프로그램으로 토목 BIM에 적용하기에는 한계가 있음(건축은 수직구조물, 토목은 선형을 기반으로 구조물들이 구성)

○ 기존 BIM 프로그램(Revit, All Plan, ArchiCAD, Microstation)들은 배우기 어렵고 사용하기 쉽지 않음

- 토목 실무자들이 적용할 실무 교재(tutorial)가 부족하다 보니 배우기 어려움
- 기존 BIM 프로그램 적용시 기술지원이 원할하지 못하여 실무자들이 개별 상황에 대한 적용이 쉽지 않음(외국 제품이라 궁금한 사항에 대해 질문을 하여도 답변이 제한적임)
- 다양한 토목 라이브러리가 부족하여 실무에 적용할 때마다 제작하여야 함

○ 공공발주 제도 개선 필요

- 준공 납품시 종평면도, 일반도, 상세 배근도에 대한 2D 도면납품 변화 필요
- BIM 도입시의 기존 절차와 성과물에 대한 혁신적 변화가 없어서 추가 비용 발생에 대한 기대 효과가 현실화되지 못하는 한계를 보이고 있음

(2) 개선방안

□ **종합 테스트베드 구축을 통한 스마트 건설구성기술의 종합적인 현장적용**

○ 스마트 건설의 연구기술들을 종합적인 현장적용을 위해 종합 테스트베드를 구축하여 단위기술들을 하나의 테스트베드에 적용하여 기술간 연계성 및 통합적으로 적용

□ **종합 테스트베드 운영 및 검증으로 스마트 건설국가 표준 및 시방서 정립**

○ 종합 테스트베드 운영 및 검증을 통해 스마트 건설 통합플랫폼에서 기존 시스템, 외부 기관과의 인터페이스 등에 대한 방안을 검토하고 이를 체계적으로 정립한 스마트 건설국가표준 및 시방(안) 수립

○ 스마트 건설 기술 활용을 통한 검증으로 의사소통의 혁신 기술, 검수 및 검측의 ICT 기술, 인력 대체 기술 등이 반영될 수 있는 내부 방침 및 절차 수립

□ **건설분야에 규제 샌드박스를 도입하여 스마트건설기술의 자유로운 실증실험 수행**

○ 건설기술에 ICT기술을 적용한 스마트건설기술을 건설현장에 자유롭게 실증하기 위하여 일정기간 동안 기존 규제를 면제 및 유예하기 위한 건설분야 규제 샌드박스 운영

□ **개별 스마트 건설기술들을 종합 테스트베드를 통해 종합적인 검증을 수행**

○ 스마트 건설을 구성하기 위한 개별연구에서 각 연구개발 결과를 확인하기 위해 단위기술 테스트 및 세부과제별 테스트에서 1차 검증을 수행하고, 특정 건설현장을 종합 테스트베드로 지정한 후 각 기술들간의 인터페이스 및 통합을 위한 종합적인 검증을 수행

□ **건설 전분야에서 발생하는 안전/시공관리/장비자동화 등을 종합 운영센터를 구축하여 통해 관제**

○ 안전/시공관리/장비자동화 등 단위기술들의 정보를 통합플랫폼으로 수집하여 이를 통해 건설현장의 통합된 전주기 관제를 수행하는 종합 운영센터을 구축

□ **스마트건설 토목 BIM 활성화를 위한 방안도출**

○ 토목 실무자들이 쉽게 적용할 수 있도록 다양한 BIM 컨텐츠 개발

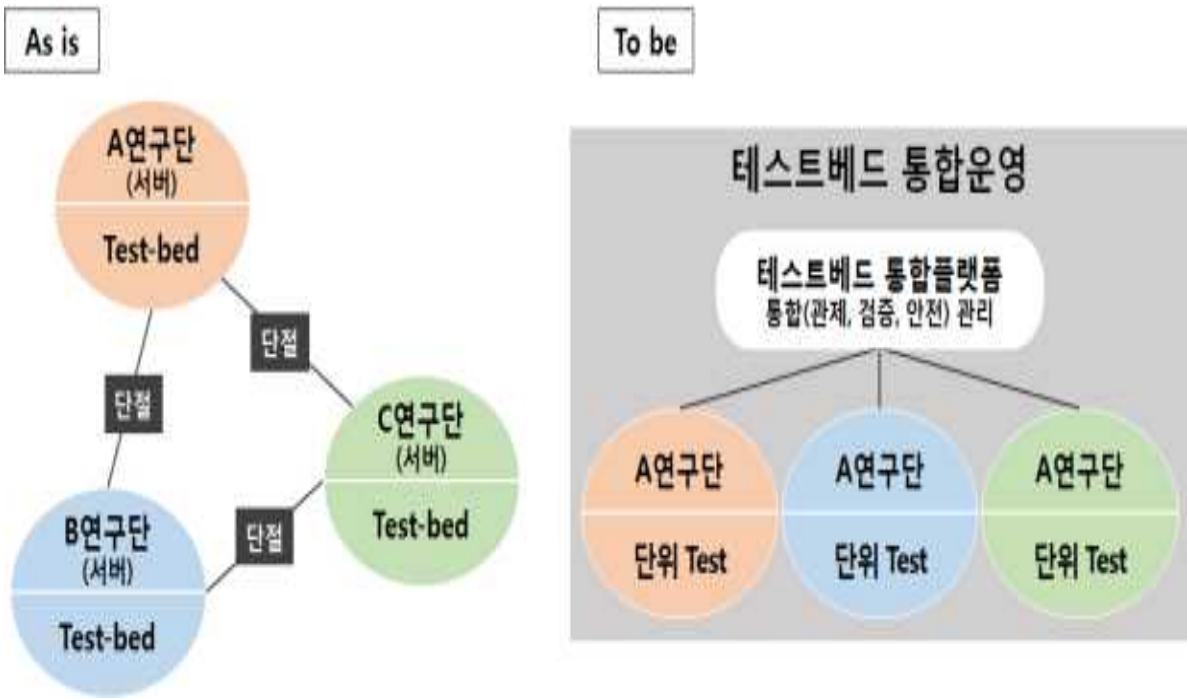
- 실무자들이 공동 Platform에서 라이브러리 구축 후 재활용 필요

○ 공공발주 제도 개선

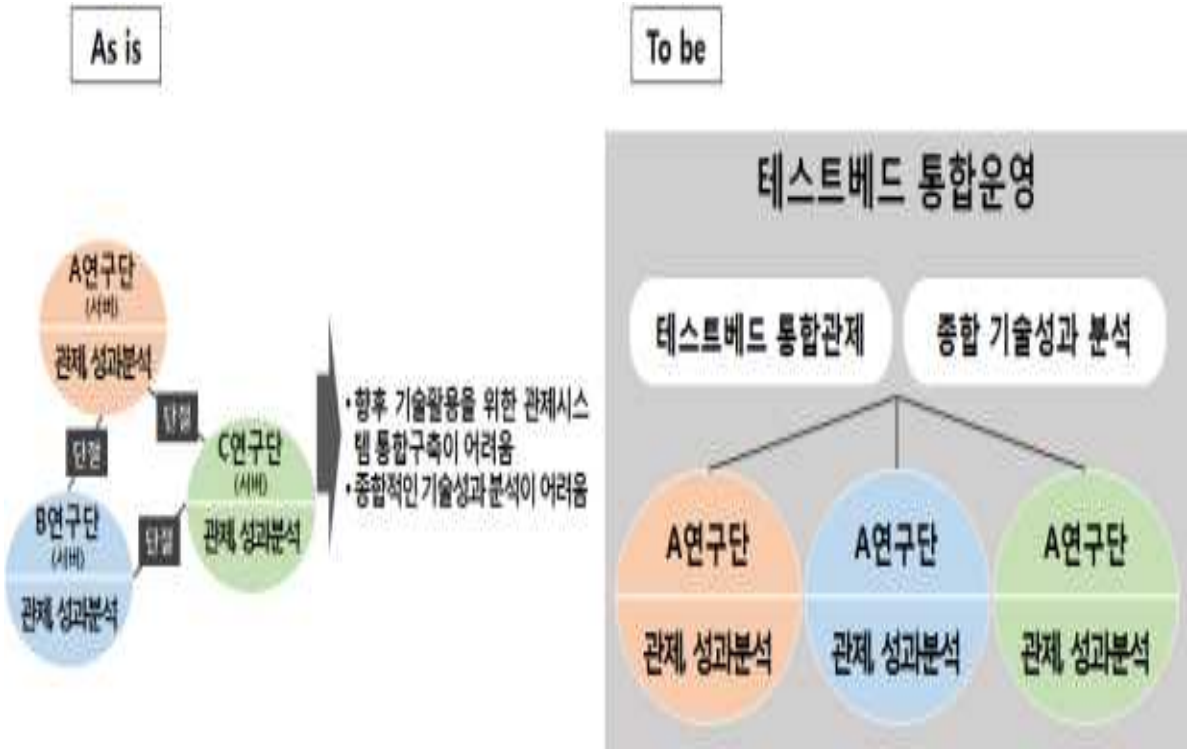
- 프로그램 적용에 대한 응용상황 발생 시 즉각적인 기술지원을 위해 토목전용 BIM 디지털 모델 발주 및 활용 플랫폼 제공
- 준공 납품 시 2D도면은 종평면도 및 일반도로 제한하고 상세 철근배근도는 BIM 납품 의무화
- 납품된 BIM 모델이 설계단계에서 그치는 것이 아닌 시공 및 유지관리까지 이어질 수 있도록 의무화 필요

<표 4-199> 테스트베드(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 스마트건설 중점기술별 개별적인 테스트베드 구축 - 개별 운영으로 향후 운영을 위한 중점기술 통합의 어려움 발생 - 스마트 건설구성기술들의 통합된 관제시스템이 부재	○ 스마트건설 통합테스트베드 구축 및 운영 - 스마트건설 중점기술들을 종합적으로 검증하기 위한 테스트베드 구축 - 스마트건설 통합관제시스템 구축으로 건설현장의 통합된 효율성, 안전성 모니터링
○ 스마트건설에 대한 기술활용방안 및 표준화, 시방서 부재 - 종합적인 기술성과 분석방법 부재 ○ 규제로 인한 건설분야대상 4차산업혁명 기술 적용의 어려움 ○ 종합 테스트베드 검증을 통한 기술들의 종합적인 검증 필요	○ 스마트건설 통합관제시스템 구축 및 운영 - 통합테스트베드 운영을 통한 표준화 및 정책수립으로 향후 지속성·활용성 향상 - 종합 기술성과 분석을 통한 연구성과 운영 효율화 ○ 규제샌드박스 도입을 통한 건설분야대상 4차산업혁명 기술적용 활성화 ○ 종합 테스트베드운영을 통한 스마트건설 중점기술 종합적인 검증



[그림 4-383] 스마트 건설 테스트베드 및 통합관제 시스템 구축 As-Is, To-Be



[그림 4-384] 스마트 건설 테스트베드 기준 및 실행방안 연구 As-Is, To-Be

4.4 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

□ (구성기술 4-3-1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구

○ 스마트 건설현장의 데이터의 수집, 관리, 분석체계 및 통합관제, 종합검증 등 건설현장의 전주기에 대한 표준화, 시방서 및 정책을 수립함

○ 연구 대상현장의 데이터를 수집하며 저장, 가공, 처리하여 통합관제시스템에서 3차원모델로 시각화하고, 필요시 현장에 직접제어 또는 조치처리하기 위한 테스트베드 설계 및 운영

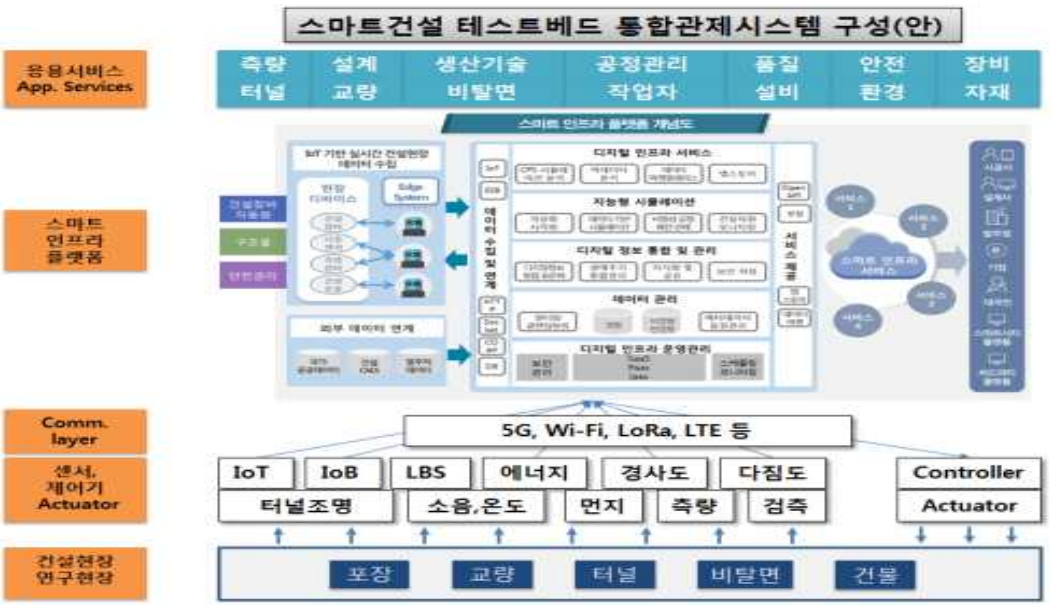
- 테스트베드 설계라고 하는 것은 旣개발된 스마트 도로건설 플랫폼 가상현장을 실제 공사현장에 적용할 수 있도록 하는 개념으로 물리적 환경, 가상 환경으로 나눈 후 가상의 환경에서 구현되는 시공기술을 각 시공단계별로 나누어 실제 적용가능한 단위기술들을 종합적으로 구현하도록 하는 설계를 말함

> ☞ 예를 들어 초기 현장에서는 드론 및 라이다를 이용한 3D 측량, 3D 모델 제작을 통한 종횡단도 작성 및 토공물량 산출이 가능하므로 이를 어떻게 적용할 수 있을지 어느 정도 물량으로 제작해야 되는지, 시공이 활발히 되고 있는 단계에서는 종합관제시스템을 통해 공정관리가 어떻게 이루어져야 되는지 등을 설계하는 것을 말함
>
> ☞ 또한 1 및 2 중점분야 외에도 3 중점분야에서 개발되는 '작업자 안전을 고려한 시공' 등 안전제어기술은 모든 공정에서 적용될 수 있는 것이 아니므로 적절한 공정에서 중점적으로 관리해야 되는 공정을 선정하고 그에 맞게 설계하는 것을 의미함
>
> ☞ 이를 위해 테스트베드의 엔지니어링관점 설계를 통해 각 단위기술들의 적용시점, 기간 및 범위를 결정하고, 시공현장의 공정의 저해요인을 최소화하면서 이를 효과적으로 분배하여 설계하는 것이 중요함

○ 중점분야의 단위기술들의 개별검증 후 Test-Bed 종합 검증을 수행하며 이를 통해 스마트 건설 기술성과에 대한 분석 및 보완방안을 수립

□ **(구성기술 4-4-2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축**

○ 건설사업단, 연구사업단, 시공사, 하도급업체 등의 관련종사자가 테스트베드 현장의 상황을 언제 어디서나 실시간으로 확인하고 소통할 수 있는 Web/App기반의 SW 개발



[그림 4-385] 스마트건설 테스트베드 통합관제시스템 구성(안)

○ 테스트베드 현장에서 수행되는 스마트 건설 구성기술에 대한 통합관제 및 제어를 위해 스마트 건설 디지털 플랫폼과의 연계를 통한 통합관제시스템 구축

○ 테스트베드에 구축되는 센서 및 액추에어터 등으로부터 유무선 통신망을 통하여 통합관제시스템으로 수집된 데이터를 활용하여 스마트 건설 개발기술을 종합적으로 검증

- 수집된 데이터는 정형·비정형 데이터 분석, 처리 등을 통해 세부기술들에 대한 종합검증을 시행

(2) 기술개발 목표

□ **(구성기술 4-3-1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구**

○ 스마트 건설 통합테스트베드는 스마트건설의 구성기술(건설장비자동화 및 관제기술, 도로구조물 스마트 건설기술, 건설현장 안전 및 관리기술) 들에 대한 종합적인 성능검증 수행 및 운영방안 연구

○ ICT기술을 통해 개발된 차세대 스마트 건설의 요구성능에 맞는 설계, 관련 시방서, 표준화 및 정책 등을 수립하고, 실행방안과 기술개발 성과를 적용하기 위한 테스트베드 실행방안 도출

○ 다양한 스마트 기술 적용시의 테스트베드 통합 관리 방안과 수행기간동안의 모니터링 및 성과평가를 통한 스마트 건설 기술 확산방안 도출

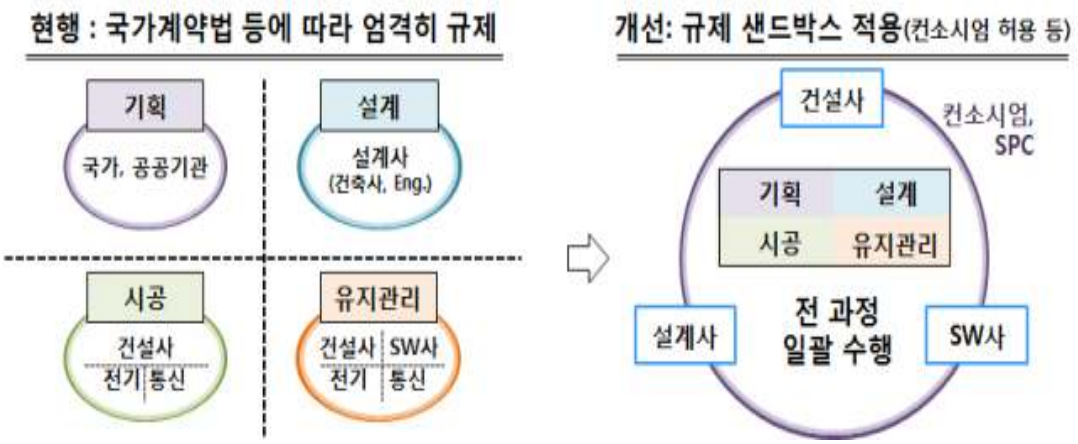
○ 스마트건설의 개별과제를 포괄적으로 조율할 수 있는 스마트건설의 검증방법 체계 마련

○ 스마트 건설 구성기술들에 대해 정량적, 정성적인 R&D성과를 도출하기 위한 R&D성과 설계 및 시공 적용방안 수립

○ (스마트 인프라 활성화) 건설과 ICT 기술이 융복합된 스마트 인프라 사업촉진을 위해 규제 샌드박스 방식의 특례*를 부여

*출처: 가칭 스마트인프라 건설촉진법 제정, '19

* 스마트인프라에 대해서는 건설 + ICT + SW업체로 구성된 컨소시엄·SPC에 시공자격을 부여하는 등 건산법, 국가계약법 등의 기존 법령의 규제배제



[그림 4-386] 국가계약법과 개선시의 규제 샌드박스 방식

○ (CM역량 강화) 시공사가 설계단계부터 참여하여 시공 노하우를 설계에 반영하는 시공책임형 CM*을 제도화(현재 건축분야에 4개 시범사업 추진)

* 설계초기 시공사 선정→ 시공 시 설계변경 최소화, 설계·시공 품질 향상

- 시범사업 확대(토목분야 시행, '18.10)→ 계약법령 반영(기재부 협의, '19)

○ (턴키발주 확대) 턴키발주 가능 공사를 확대1)하면서 턴키·CM 융합을 촉진하고 턴키 PQ평가 항목을 추가2)하는 등 개선방안 마련('18.12)

- (현행) 특수교량, 해저터널 등 14개→ (개선) BIM 등 첨단공법 적용시 허용
- (현행) 시공능력, 지역업체 참여 등→ (개선) R&D 규모, Eng 인력 등 추가

□ (구성기술 4-4-2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

○ 스마트 건설의 연구기술들의 하나의 테스트베드에 통합적으로 적용할 수 있는 테스트베드의 구축 및 운영

○ 연구 대상현장의 모든 데이터를 수집 및 분석하고 3차원 모델 그래픽 위에 분석결과를 시각적으로 표출하여, 종합운영센터에서 현장 전체의 데이터 현황을 직관적으로 확인하고 필요시 현장의 디바이스를 원격제어하거나 조치처리하기 위해 스마트 건설 디지털 플랫폼과의 연계기술, 콘텐츠 시각화 및 표출기술, 제어신호처리 기술을 개발하여 통합관제시스템을 구축

○ 테스트베드 현장에 센서 및 통신망을 구축하여 테스트베드에서 운영될 스마트 건설기술을 종합적으로 검증하기 위한 요소 기술들의 개발

○ 현장과 연관된 건설사업단, 연구사업단, 시공사 및 하도급업체가 실시간으로 테스트베드의 현황을 확인하고 소통할 수 있는 협업용 Web/App 통합관제시스템 개발

<표 4-200> 기술 개발 방향

개발내용(구성기술)	기술개발방향
도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구	• 스마트 건설 시방서 수립 • 스마트 건설 테스트베드 실행방안 수립 • R&D 성과의 설계 및 시공 적용방안 도출 • 스마트 건설 테스트베드 설계 및 시공 • 스마트 건설 정책 및 표준화 방안 수립 • 스마트 건설 기술성과 분석 및 보완
스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축	• 테스트베드 구축 및 운영 • 테스트베드 통합관제시스템 및 종합운영센터 구축 • 종합검증을 위한 센서 및 통신망 구축 • 스마트 건설 구성기술 종합검증

4.5 국내외 기술개발 동향

(1) 해외동향

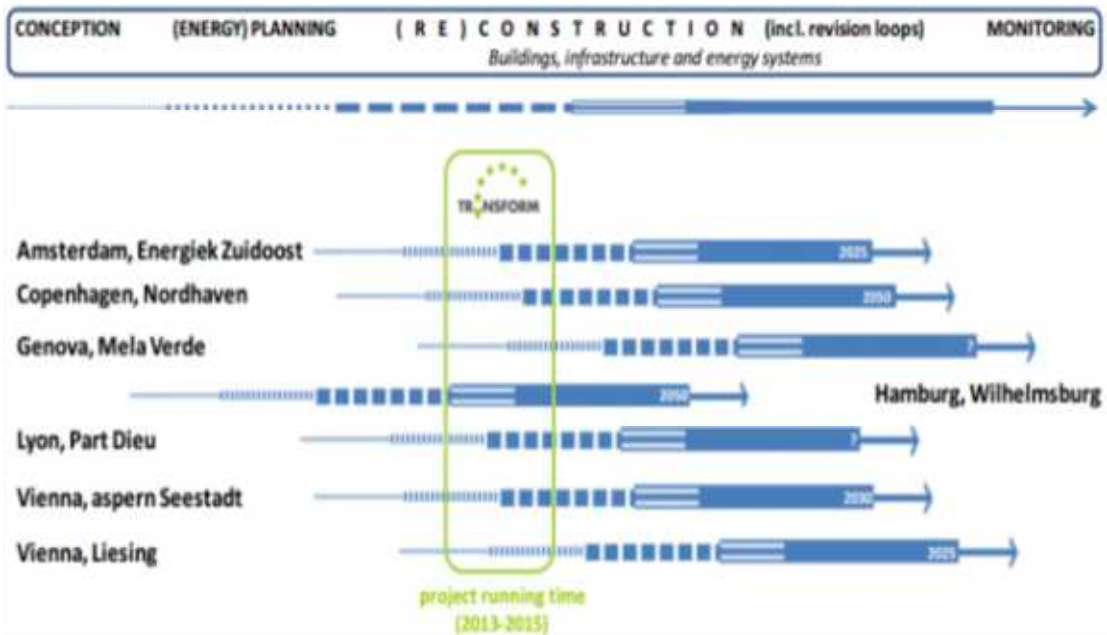
□ **유럽의 Smart Urban Lab(SUL)**

○ 유럽의 코펜하겐, 제노바, 비엔나 등에 있는 스마트 도시 랩(Smart Urban Labs, SULs)은 기존도시 또는 신도시에서 기술 및 스마트 인프라를 통합하여 주요한 혁신을 창출하는 도시발전 구역을 일컬음

- 암스테르담, 리옹 대도시권, 함부르크, 비엔나 등에 위치한 스마트 도시 랩은 기존의 인프라 및 기술에 도시 구역의 기능 추가 등을 통하여 도시의 변화를 꾀하고 있음

○ 스마트 도시 랩(SUL)의 현황을 살펴보면, 일부는 이미 계획·이행 완료 후 모니터링 단계에 있으며 나머지는 전체 SUL와 연계하여 계획단계에 착수 중

- SUL의 실제 개발 절차는 다음의 그림과 같이 일반론적 개념부터 통합 설계, 이행, 수정단계로 구분되며, 기간은 SUL별로 상당한 차이를 보임(약 10-25년)



[그림 4-387] Smart Urban Lab의 구현 현황

□ 유럽의 리빙랩(Living Lab)

○ 리빙랩은 생활현장에서 생산자와 함께 사용자가 적극적으로 혁신활동에 참여 가능한 사용자 주도 개방형 혁신 생태계를 의미*하며, 현실 지향적 요소를 포함시킴으로써 연구 활동의 문제해결력과 사회적 가치 증대하는 효과

* Public-Private-People Partnership, PPPP

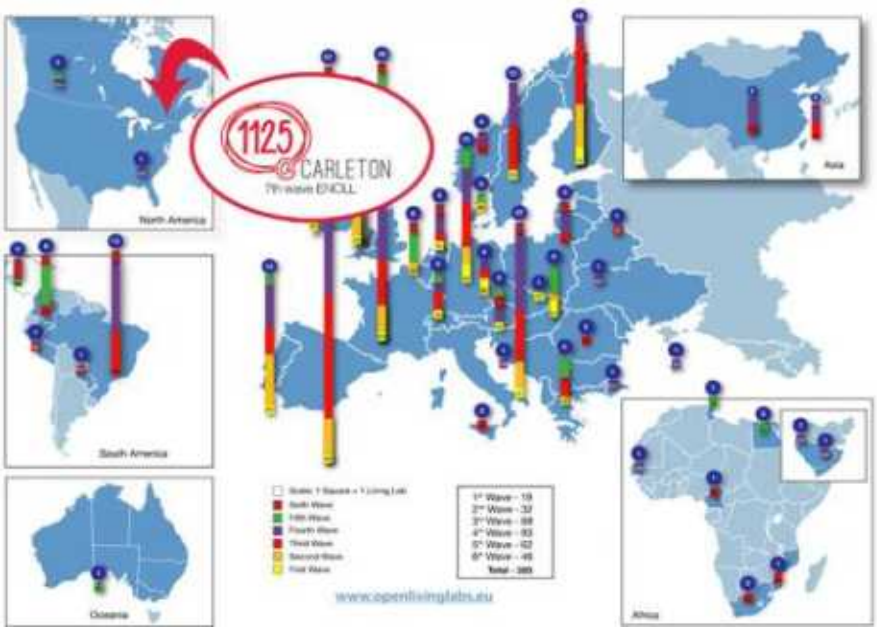
○ 초기에는 새로운 ICT 기술을 검증하기 위한 목적으로 도입되었으며, 지금은 에너지, 헬스케어 등 그 적용 범위가 계속 확대되고 있음

○ 스마트시티의 리빙랩의 형태는 실천기반혁신과 과학기술기반 혁신이 통합될 수 있는 형태로 구성 되어야 하고, 사회적경제가 참여하는 형태로 운영되어야 함

- 리빙랩(Living Lab)은 사용자들이 실제 생활하는 공간에서 사용자의 니즈를 반영하여 기술혁신을 수행하는 공간으로서 생활공간을 실험실로 설정

  ㆍ 사용자와 연구개발자, 전문가가 공동으로 의사결정을 하는 틀을 갖게 되는 Public-Private-People-Partnership (PPPP) 방식의 혁신모델이 선호됨

* 유럽에서는 스마트시티 프로젝트를 위해서 ENoLL(European Network of Living Labs)를 결성하여 현재 약 350개 이상의 랩이 활동중임



[그림 4-388] 전세계 스마트시티 리빙랩 분포

(2) 국내 동향

□ U-City 관련 사업 ('07~'17, 국토부)

○ 국토부에서는 유비쿼터스도시의 효율적인 건설과 관리를 위해 '유비쿼터스도시의 건설 등에 관한 법률(U-City법, 2008)'제정한 이후, U-City 시범사업, U-Eco R&D, U-City 인력양성 등의 지원 사업을 추진하였음

- (U-City 시범도시사업) 전국 15개 지자체에 총 460억 원의 국가예산을 투입한 사업으로 U-City의 성공모델이 될 시범도시를 지정하고 사업에 필요한 행정·재정·기술 등을 지원함

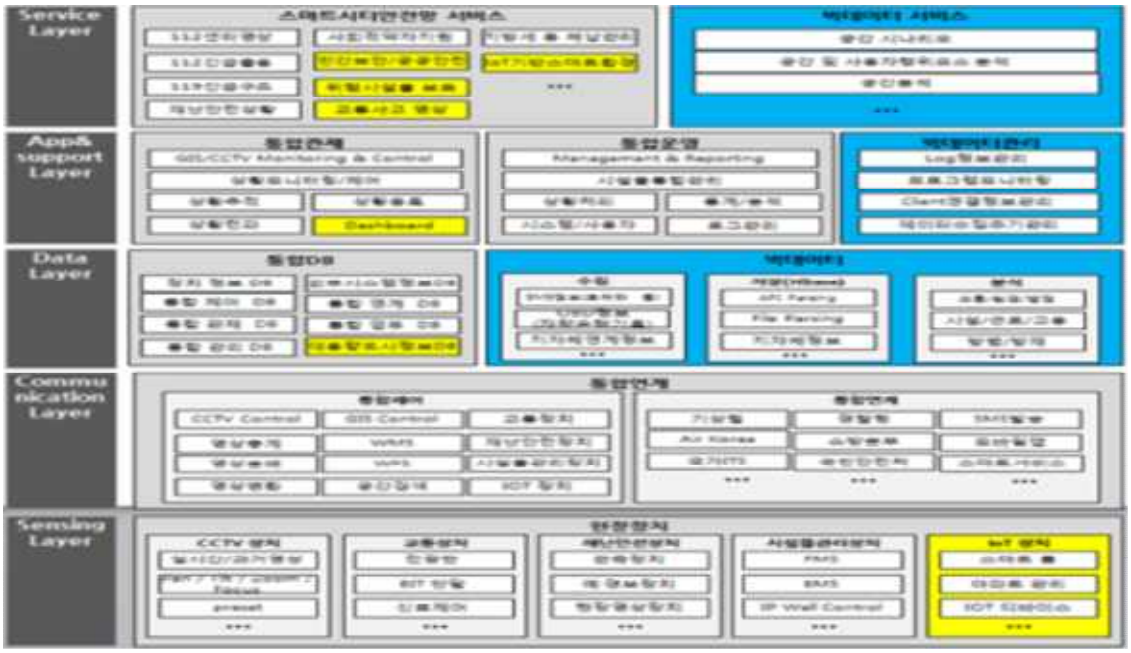
- (U-City R&D) 1차 U-Eco City 핵심기술 및 서비스개발을 추진하고, 이어 U-City 고도화를 목표로 핵심기반기술을 추진함

  ㆍ (1차: U-Eco City) 핵심기술 및 서비스 개발 등의 관련 연구를 추진

  * '07.8~'13.4(5년 8개월), 총 1,099억 원(정부출연금 807억 원)

  ㆍ (2차: U-City 고도화를 위한 핵심 기반기술 개발) U-City 확산 및 고도화를 위한 도시운영관리기술 및 공간 계획·조성 기술 개발을 목표로 함

  * '13.12~'19.6(5년 6개월), 총 240억 원(정부출연금 189억 원)



[그림 4-389] U-Eco City 플랫폼

□ **IoT 기반 글로벌 스마트시티 실증단지 조성사업('15 ~ '18, 미래부)**

○ 미래부에서는 스마트시티 내에서의 IoT 기술을 중심으로 개방형 플랫폼 구축 및 유망서비스 실증을 목적으로 글로벌 스마트시티 실증단지 조성사업을 추진 중

- 현재 대구, 부산, 고양시 등 3개 도시가 실증 대상 지자체로 선정되어 추진 중이며, 특징은 지자체를 중심으로 다양한 민간기업과의 협력을 통해 사물인터넷 실증단지를 구축함으로써 대규모 수요시장을 창출을 목표로 추진 중

○ 사물인터넷 기반의 개방형 플랫폼을 구축하고, 수익 창출 가능한 도시형 新서비스 모델을 발굴하고 실증함으로써 민간 자생적 생태계 활성화 및 글로벌 진출 지원까지 포함하여 추진함

- (개방형 스마트시티 플랫폼 구축) S-P-N-D-Se 간 상호호환성을 보장하고 글로벌 City-to-City 연계·수출을 대비, 국제표준을 준용하여 구축

  * 통합관제센터(지자체)와 정보 연계가 가능하도록 구축하고, 민간이 서비스를 손쉽게 개발할 수 있도록 API, SDK 제공 및 오픈소스化 추진

- (유망서비스 실증) 도시의 "공공+공간+민간정보"를 융합하여 도시문제 해결 및 민간 참여형 실증을 통해 지속·수익성 있는 서비스 발굴

  * 공공·민간 정보 연계형, 수익 창출형 및 창의 아이디어 중심으로 실증 추진

- (중소기업 사업화 지원) 스타트업·벤처·중소기업의 창의 제품·서비스가 사업화 될 수 있도록 개발환경(오픈랩, 기술지원 등) 제공 및 실증지원

  * 실증단지 내에 별도의 '스마트시티 실증 지원센터(가칭)' 구축·운영

- (서비스 활성화 지원) 민관 협력을 통한, 유망 서비스 발굴·기획, 성과 홍보·확산

4.6 세부개발 내용

(1) 구성기술별 기술개발 방향

개발내용	한계점	기술개발방향
도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구 (구성기술 4-3-1)	건설분야에 ICT기술적용을 위한 연구개발 시스템의 기준 및 실행방안, 정책, 표준화 등이 미흡	테스트베드 통합관리기술을 위한 시스템의 기준 마련 및 실행방안, 정책, 표준화 등 스마트 건설기준 및 실행방안 연구

개발내용	한계점	기술개발방향
스마트 건설기술 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축 (구성기술 4-4-2)	스마트 건설구성기술들의 검증을 위한 개별 테스트베드 구축으로 관리/통합이 어려움	스마트건설의 구성기술을 관리/통합하고 종합적인 검증을 위한 통합 테스트베드 구축
	건설현장을 실시간·종합적으로 시각화하여 관리는 스마트 건설 통합관제 시스템 부재	현장의 환경변화에 대한 즉각적인 대응방안 마련과 안전(장비, 작업자), 환경 등 건설현장 관리기술의 고도화를 위한 스마트 건설 통합관제 시스템 구축

(2) 개발내용별 목표 및 상세내용

(구성기술 4-3-1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영 방안 연구

□ **기술개발 필요성**

○ 스마트 건설의 구성기술 전분야 기술을 종합적으로 검증이 가능한 테스트베드 설계 및 테스트베드 통합관리방안 연구가 필요

○ 연구 대상현장에서 수집되는 데이터를 기반으로 현장의 환경변화에 대한 즉각적인 대응방안마련과 시방서, 표준화, 정책을 수립하기 위한 연구가 필요

○ 스마트 건설R&D의 정량적, 정성적인 R&D성과를 도출하기 위한 R&D성과 설계 및 시공 적용방안의 수립이 필요

(구성기술 4-4-2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

○ 현장에서 수집되는 데이터에 대한 분석과 검증을 통해 즉각적인 대응방안마련과 관리기술의 고도화를 위한 통합테스트베드 구축이 필요

○ 다양한 도로/토공사 현장, 자동화 건설장비, 건설현장 안전 및 다양한 ICT기술이 고려된 스마트 건설통합관제기술 개발이 필요

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 기반의 콘텐츠 시각화 및 표출기술 구현을 위해 공간적 개념의 종합운영센터 구축이 필요

□ **개발 내용**

(구성기술 4-4-1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영 방안 연구

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 실용화 기반 조성

- 종합 테스트베드 조사 및 확보, 발주방식 확정 등 테스트베드 조성 여건 마련
- 검증된 스마트 건설기술을 테스트베드 현장(공구) 대상 설계 반영
- 연구 성과 관리 및 지원시스템 구축
- 스마트 건설기술 국가 표준 및 시방서(안) 수립
- 스마트 건설기술 적용을 위한 정책 및 제도 개선(안) 작성
- 스마트 건설 사업 시행 방침 및 절차 마련

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 설계 및 검증방안 개발

- 스마트 건설기술의 예비조사 및 기본설계
- 종합 테스트베드 현장(공구) 대상 스마트 건설기술 상세 설계
- 스마트 건설기술 검증 절차 및 지표 개발

※ 예비조사 : 각 세부과제에서 개발되는 스마트 건설기술 중 기술완성도, 현장여건 및 공사여건 등을 감안한 종합 테스트베드 적용기술 조사
※ 기본설계 : 대상공종, 위치 및 적용시기 등을 고려한 개략적인 설계
※ 상세설계 : 종합 테스트베드 현장에 대한 공사비 산출, 도면 및 시공계획 등 작성

(구성기술 4-4-2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 검증

- 종합 테스트베드 부지 조성 등 시공 적용을 위한 방안 수립
- 종합 테스트베드 시공 및 개발기술 적용
- 스마트 건설기술의 현장 적용성 평가서 작성 및 평가

○ 스마트 건설기술 종합 운영센터 구축 및 관리

※ 종합 운영센터 : 종합 테스트베드 현장을 관리하며 개발기술의 통합검증 작업을 지원, 현장 모니터링 및 통합관제를 수행하는 시설과 조직을 의미

- 종합 테스트베드 통합관제를 위한 시나리오 개발
- 스마트 건설 디지털 플랫폼과의 연계기술 개발
- 스마트 건설 디지털 플랫폼 기반의 통합관제 콘텐츠 표출 및 시각화 기술 구현
- 통합관제를 위한 스마트 건설 디지털 플랫폼 기반의 제어 처리 기술 개발
- 종합 테스트베드 운영을 위한 유·무선 통신망 구축

○ 테스트베드 내 스마트 건설기술의 종합적 검증을 위한 기술 개발

- 스마트 건설기술의 종합검증을 위한 지표 개발
- 종합검증을 위한 센서 설치 방안 수립 및 기술 개발
- 통합검증을 위한 정형·비정형 데이터 분석 기술 개발
- 스마트 건설기술의 종합검증 기술 개발



[그림 4-390] 테스트베드의 종합운영센터 구축도

□ **개발목표**

○ **(구성기술 4-3-1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구**

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구	테스트베드 구축 계획서	-	-	1건	●		
	테스트베드 운영 계획서	-	-	1건	●		
	스마트 도로 건설 절차서	-	-	1건	●		

○ **(구성기술 4-4-2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축**

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	자체 개발	기술 도입	글로벌 협력
		국내	해외				
스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축	종합 테스트베드 구축	-	-	1건	●		
	종합 운영센터 구축	-	-	1건	●		
	테스트베드 적용 스마트 건설기술 종합검증	-	-	90% 이상	●		

□ **개발목표의 설정 근거**

(구성기술 4-3-1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구

○ 종합 테스트베드 도로현장(공구) 선정, 발주방식 확정 등 종합 테스트베드 구축 계획을 위해 검증된 스마트 건설기술을 테스트베드 현장(공구) 대상으로 설계에 반영하고 연구 성과 관리 및 지원을 하는 것이 필요함

○ 스마트 건설 테스트베드 설계 및 운영을 통해 스마트 건설기술 시범적용 컨셉 설계(안) 작성하고 이를 테스트베드 현장(공구) 대상으로 스마트건설기술 적용할 수 있는 스마트 건설기술 검증용 테스트베드 운영계획서 작성

○ 스마트 건설 국가 표준 및 시방서(안)을 수립하고 스마트 건설기술 적용을 위한 정책 및 제도 개선(안) 작성하여, 스마트 건설사업 시행 절차를 체계적으로 정립한 스마트 건설 절차서 수립 필요

(구성기술 4-4-2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

○ 종합 운영센터 구축을 기반으로 스마트 건설의 종합 테스트베드를 구축하여 스마트 건설의 구성기술들을 실증할 수 있는 실증형 과제를 수행하는데 기반을 마련하는데 목표를 정함

○ 또한 종합 테스트베드 구축 방안으로 테스트베드 시공 및 기 개발된 단위기술들을 종합적으로 적용하여 스마트 건설기술 적용 평가서를 작성하며, 공간적 편의를 위해 스마트 건설기술 종합 운영센터 구축 및 관리하는 것이 필요함

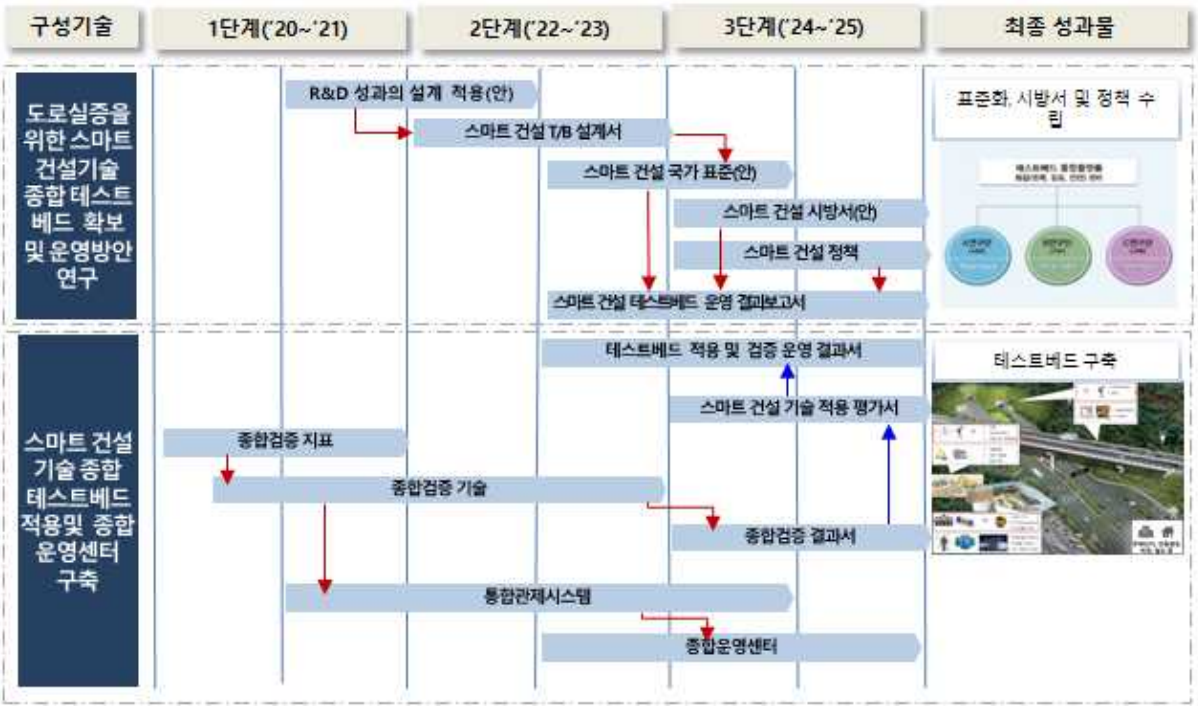
○ 종합 테스트베드 내에서 수행되는 스마트 건설 구성기술에 대한 통합관제를 위한 건설현장 종합 운영센터를 구축하고 스마트 건설구성기술의 종합검증을 수행하는데 목표를 정함

○ 스마트 건설기술 운영을 위한 유·무선 통신망 구축방안을 수립하고 테스트베드 內 스마트 건설기술의 종합검증, 관제시스템을 지원해주는 시설이 필요함

4.7 구성기술 로드맵



[그림 4-391] 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 추진로드맵



[그림 4-392] 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 성과로드맵

4.8 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

□ 연도별 소요예산

○ 총 143.83억 원/6년(3단계)중 (국고) 105.75억 원, (민자) 38.08억 원으로 구성

(단위: 백만원)

구성기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-3-1. 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구	정부	460	591	591	589	589	443	3,263
	민간	166	213	213	212	212	159	1,175
	소계	626	804	804	801	801	602	4,438
4-3-2. 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축	정부	1,024	1,316	1,316	1,312	1,311	1,033	7,312
	민간	369	474	474	472	472	372	2,633
	소계	1,393	1,790	1,790	1,784	1,783	1,405	9,945
합계	정부	1,484	1,907	1,907	1,901	1,900	1,476	10,575
	민간	534	687	687	685	684	531	3,808
	소계	2,018	2,594	2,594	2,586	2,584	2,007	14,383

○ 직접비(인건비)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-3-1. 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구	208	266	266	266	266	208	1,480
4-3-2. 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축	476	610	608	608	608	455	3,364
합계	684	876	873	873	873	663	4,844

○ 소요 인력

(단위: 명)

구분		1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
4-3-1. 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구	책임급	1	1	1	1	1	1	6
	선임급	1	-	2	2	2	1	8
	원급	2	5	2	2	2	2	15
	합계	4	6	5	5	5	4	29
4-3-2. 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축	책임급	1	1	2	2	2	2	10
	선임급	3	4	4	4	4	2	21
	원급	6	8	6	6	6	5	37
	합계	10	13	12	12	12	9	68
소계		14	19	17	17	17	13	97

○ 직접비(인건비 제외)

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
연구장비·재료비	289	366	374	365	365	293	2,052
연구과제추진비	145	186	186	185	185	144	1,031
연구활동비	156	211	205	209	208	170	1,160
연구수당	103	131	131	131	131	100	727
소계	693	894	896	891	890	706	4,970

○ 간접비

(단위: 백만원)

구분	1단계		2단계		3단계		계
	'20	'21	'22	'23	'24	'25	
간접비	107	137	137	137	137	106	761

○ 설정근거

<산정 기준>

o 국토부 기존 유사사업 해당분야의 소요예산을 분석하여 평균 소요 예산인 인건비 46.9%, 직접비(인건비 제외) 45.9%, 간접비 7.2%로 산정

- 직접비는 국토부 기존 유사사업 해당분야의 평균으로 연구장비·재료비 48%, 연구과제추진비 25%, 연구활동비 27%, 연구수당으*로 산정
  * 연구수당 : 인건비의 15%(국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 20% 이내)
- 인건비는 '17년 학술연구용역 인건비를 기준으로 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정
  * 참여인력당 인건비는 십만원 이하 절삭

【학술연구용역인건비 기준단가】

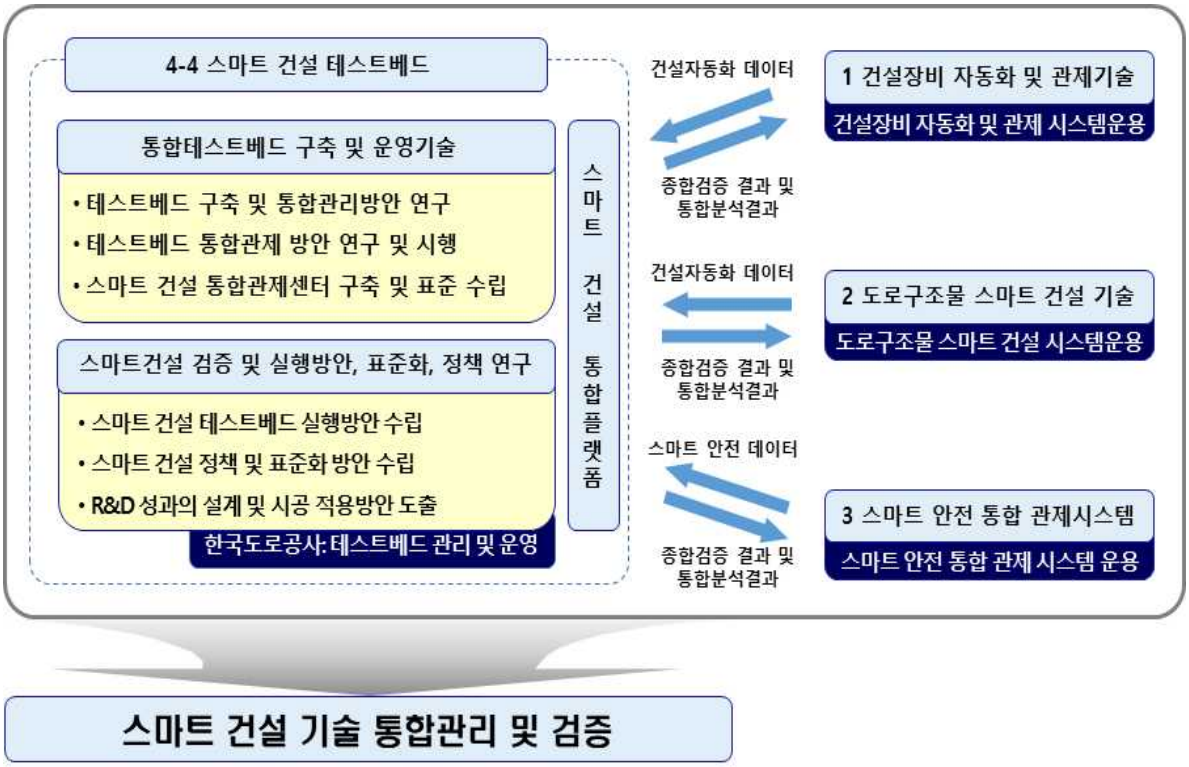
(단위: 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,220,458원
선임연구원	4,769,762원
연 구 원	3,188,426원

주: 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2017년 기준)

4.9 추진체계 및 대내외 협력방안

(1) 추진체계도



[그림 4-393] 테스트베드 추진 체계도

(2) 협력방안

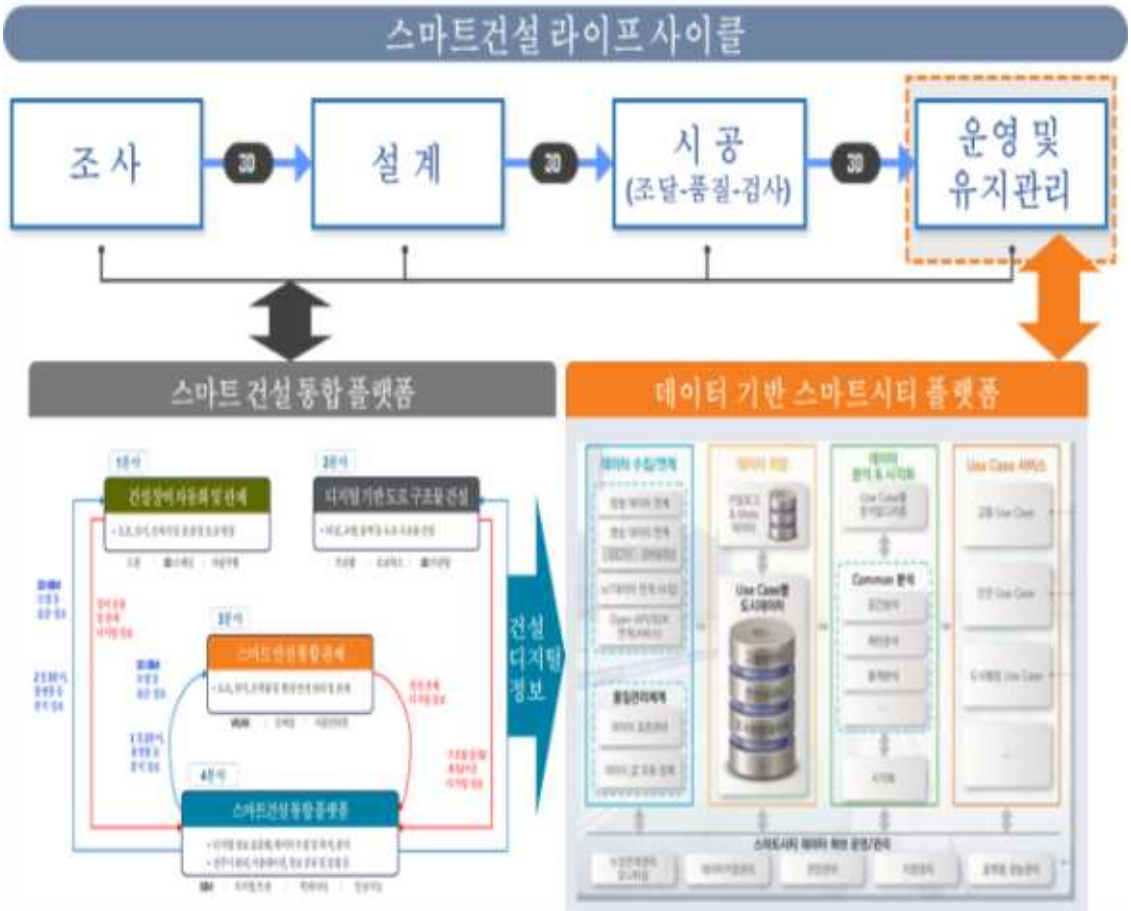
○ 건설현장 테스트베드 설계/구축과 스마트 건설테스트베드 표준화, 시방서 수립을 위한 산학연 협의체 구축

- (국내) 건설사, 발주처, IoT 관련기관(기업, 연구소, 대학 등) 등으로 구성되는 산학연 협의체 구축 및 운영을 통해 건설현장 통합테스트베드의 설계 및 표준화 및 연계방안 협의
- (국외) 국제 공동연구개발 및 학술심포지엄 개최 등 추진하고, 유럽, 미국 등 해외 유사 연구사례 보유 기관과의 향후 협조 체제 구축

(3) 스마트시티와의 연계방안

○ 스마트건설 라이프사이클의 전주기(조사-설계-시공-운영 및 유지관리) 데이터는 스마트건설 통합플랫폼을 통해 활용되어 스마트 건설을 구현하며 스마트건설 라이프사이클의 운영 및 유지관리 단계 데이터는 데이터기반 스마트시티 플랫폼을 통해 활용되어 스마트시티를 구현함

○ 건설 디지털 정보(3D BIM 표준정보 및 3D스캐닝 정보, 드론정보, 스마트건설 각 분야의 IoT데이터)는 스마트건설 통합플랫폼의 기능인 표준화, 시뮬레이션 분석, 전주기 빅데이터분석을 통해 건설 전주기의 데이터를 디지털 트윈모델로 가공(수집·축적·분석)하여 제공됨



[그림 4-394] 스마트건설과 스마트시티의 연계방안

(4) 스마트 건설 관련 주요 선행과제 현황 및 통합테스트베드 연계

○ 스마트건설 관련 선행과제의 연구결과 및 연구성과물을 스마트건설 통합테스트베드에 적용 및 연계함

구분	연번	과제명	총연구기간 (총연구비)	[수행체계] 연구내용	연계가능 (해당분야)
BIM	1	BIM 기반 도로.하천 시설물의 건설사업정보 통합관리기술 개발	'16.09~ '21.12 (5,534)	[일반] 건설사업 생애주기 정보 통합관리 및 공유기반 마련을 위한 도로.하천 시설물의 BIM 기반 표준체계 및 프로젝트 관리체계 구축	○ (4중점 분야)
드론	2	무인검사장비 기반 교량구조물 신속진단 및 평가기술 개발	'16.08~ '19.08 (6,024)	[일반] 무인검사장비(드론)를 활용한 교량 외관조사 검사기술 개발, 수집데이터 기반 교량상태 진단 및 평가기술 개발	-
건설장비	3	ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 개발	'14.7~ '17.12 (8,709)	[연구단] 다수·다종의 건설장비가 투입되는 대규모 토공사업에서 건설장비 통합 관제 및 가이드 기술 시스템화를 통해 건설장비의 운영 효율화, 안전, 시공품질, 생산성 및 경제성 향상	○ (1중점 분야)
교량	4	ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발	'13.06~ '18.05 (21,920)	[연구단] 교량의 부분조립 및 교체가 가능한 급속시공 기술, 저탄소 소재 활용 친환경 교량 기술 및 ICT 기반 통합 유지관리 기술 개발	○ (2중점 분야)
	5	케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발	'16.9 ~ '21.9 (245,00)	[연구단] 케이블교량의 전주기 엔지니어링(계획, 설계, 시공, 운용/성능평가 연계) 기술, 재난위험도 평가, 레질리언스 확보 및 해상 교량기초 대형 원형강관 가설공법 개발	○ (2중점 분야)
	6	직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술 개발	'10.8 ~ '15.6 (10,230)	[연구단] 재해, 사고 등으로 인한 교량 손실에 빠른 복구가 가능하여 사회적, 경제적 손실의 최소화를 위해 타 산업에서 검증된 모듈러 기술을 교량산업에 융합한 모듈러 영구교량 건설기술 확보를 통해 공사기간 단축 및 탄소배출량 저감	○ (2중점 분야)
터널	7	고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소기술 개발	'13.06~ '18.12 (28,148)	[연구단] 초장대(연장 50km 이상) 해저터널(최대 20bar) 적용을 위한 지질/지반조사 기술, 자립형 해저터널 설계·시공기술, 화재 및 유지관리 기술 개발	○ (2중점 분야)

구분	연번	과제명	총연구기간 (총연구비)	[수행체계] 연구내용	연계가능 (해당분야)
	8	도심지 소단면(∅3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발	'15.11~ '20.05 (20,000)	[연구단] 도심지 소단면(Φ3.5m급) 터널식 공동구 급곡구간(R=30m이하)/특수지반(시공 downtime 40% 이하), 수직구 급속(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발	○ (2중점분야)
	9	TBM(Tunnel Boring Machine) 설계·제작 국산화 기술 개발	'17.04~ '21.12 (17,500)	[연구단] 중대단면 터널굴착장비(Tunnel Boring Machine) 완성차 본체부의 설계·제작 국산화 및 운전·제어기술 개발	○ (2중점분야)
	10	TBM 핵심 설계.부품기술 및 TBM터널의 최적 건설기술	'10.12~ '15.6 (11,864)	[연구단] 국산 커터헤드 장착 TBM 제작 및 현장 적용, 쉴드TBM터널 직접공사비 10% 이상 절감 (TBM 커터헤드: 4.5% 절감, 고성능 세그먼트: 4.6% 절감, 고성능 디스크커터 1% 절감 외)	○ (2중점분야)
	11	터널 시공중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암판정 기술 및 운영모델 개발	'13.12~ '17.04 (4,400)	[일반] 안전하고 경제적인 터널 시공을 위해 온라인 상에서 원격으로 전문가 의견수렴을 통한 암판정 및 의사결정이 가능하도록 터널 시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암판정 기술 및 운영모델을 개발	○ (2중점분야)
로봇	12	고층 구조물 외벽유지관리용 지능형 로봇시스템 개발	'10.8~ '15.6 (7,255)	[연구단] 고층 구조물의 외벽청소, 도장 및 모니터링과 같은 유지관리를 목적으로 하는 Built-in Guide 및 곤돌라 타입의 지능형 로봇과 다목적 Tool을 포함하는 통합유지관리 시스템 개발	-

4.10 위험요인 및 해결방안

핵심기술	위험요인	해결방안
테스트베드	스마트 건설기술 적용을 제한하는 규제	현재 건설분야 ICT의 적용을 제한하는 국내 법, 제도 등을 조사하고 스마트건설기술을 적용하기 위한 규제 샌드박스 도입 및 법, 제도 수정
	개발완료 후 건설시장의 활성화 불확실	기존 해외 건설시장 적용사례 분석을 기반으로 국내환경에 적절한 활성화 방안 마련

4.11 실용화 전략

(1) 연구대상현장 적용방안

○ 기본설계단계 적용

- 3차원 형상을 기반으로 재료/공종/비용의 정보를 포괄하는 BIM기술을 도로 기본설계부터 적용하여, 토공 및 구조물공의 공사비용을 실시간 수준으로 파악하여 최적의 설계안을 도출 가능
- 실제 시공이 완료될 현황을 가상화된 그래픽으로 표현하여 시공 중 위험발생 요소 및 민원에 대한 대응을 사전에 고려할 수 있음
  - 특히, 도심지 내에 고가교량을 신설하거나 철거할 경우, 기존 교량 및 지장물과의 간섭을 직관적으로 확인하여, 기본설계안에 대한 의사결정에 효과적으로 활용할 수 있음
- BIM기술을 활용할 경우, 기존 도면기반의 설계와는 다르게 토공단면 및 구조형식 정보를 기반으로 기준 선형에 배치하여 설계안이 작성될 수 있으므로, 최대한 다양한 설계안을 수립하는 데 필요한 시간과 노력이 최소화 될 수 있음

○ 실시설계단계 적용

- 기본설계에서 수립된 BIM설계안을 바탕으로 사면 또는 구조단면의 최적 설계를 진행하여 설계안을 완성할 수 있음
  - BIM객체에는 안전성 검토를 위한 각종 강성 및 부재내력정보가 포함되어 있으므로, 안전성과 경제성을 고려한 최종설계안 결정에 활용될 수 있음
- 실시설계의 안전성 검토결과를 포함한 BIM을 적용할 경우, 추후 시공 중 안전검토 및 유지관리 단계에서의 내하력 평가에 연계하여 활용될 수 있음
- 시공비용 산정을 위한 자재집계는 BIM설계안에 공종정보를 고려하여, 재료별/공종유형별/시공기간별 수량을 산출할 수 있음

○ 시공단계 적용

- 개략적인 시공단계정보가 포함된 BIM설계안을 실제 타설 및 가설을 고려한 공정계획을 고려하여 가공할 수 있음

· 이에 따른 시공일자별 공사계획을 착공 전에 수립하여 실제 시공에서 발생될 간섭이나 물량 투입관리를 사전에 검토할 수 있음

- 시공일자별 토공 및 자재투입에 대한 정보를 바탕으로 인력 및 장비 투입에 대한 비용을 연계하여 산출할 수 있으며, BIM객체정보를 바탕으로 기성비용 지급에 필요한 산출근거를 실시간으로 집계할 수 있음
- 가상의 시공정보가 포함된 BIM을 바탕으로, Drone촬영 또는 3차원 스캐닝으로 파악할 수 있는 실제 시공진행 현황과 비교하여, 3차원 형상 및 좌표를 기반으로 직관적이고 명확한 시공관리를 수행할 수 있음
- 기존의 감리검토의 방법 또한 2D도면을 바탕으로 현장에서 유관으로 측정하여 휴먼팩터에 의존한 기법에서, BIM객체를 활용한 3차원 검측 및 감리승인 및 코멘트 등에 연계하여 시공이 진행된 전체의 과정에 대한 정보를 담을 수 있음
- 도로건설의 설계~시공단계에 BIM을 통합·적용하여, 시공과정과 안전성 검토 및 비용근거까지 포함된 Full As-Built Model을 확보할 수 있으며, 이를 통한 체계적인 유지관리를 수행할 수 있을 것으로 기대함

(2) 실용화 전략 수립

○ 기술 보급 및 확산을 위한 스마트 건설 통합플랫폼 운영

- 민간건설사, 스타트업 등 풍부한 창업 인프라를 중심으로 구성된 스마트 건설 통합플랫폼 (IoT 리빙랩)을 운영하여 데이터 및 기술을 보급하고, 보급된 기술을 활용하여 보다 혁신적인 건설분야 문제해결 솔루션을 개발할 수 있는 환경 구축

4.12 기대 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

○ 건설현장의 문제 해결을 위한 새로운 기술을 적용한 문제해결 방식을 통해 건설현장 운영 및 관리를 위한 기술 개발의 방향성을 제시

○ 연구개발사업에서 개발되는 첨단기술의 국내 보급을 위한 제도적 기반을 마련하여 기술개발속도에 발맞출 수 있는 관련 기준 및 규정의 적기 제안 및 제정

○ 건설현장안전관리를 제조업 수준으로 향상(사망률 45%감소)

○ 스마트 건설통합플랫폼을 통한 데이터 공유

- 안전, 교통, 행정의 스마트 건설영역에서 오픈데이터를 수집 및 제공 할 수 있는 기술적 환경 제공
- 각 영역별 개별 구축이 아닌 수평적 통합을 통해 중복투자 방지 및 데이터 간 융합, 시너지 제고

○ 데이터 기반 스마트 도시 운영을 통한 도시문제 해결 신산업 창출

- 분야별로 단절되어 있는 건설 데이터를 상호 연계하여 빅데이터로 통합·관리를 위한 데이터 허브 모델 구현
- 지능형 건설 유지관리·운영을 위한 다양한 데이터 수집체계를 마련하고, 각종 상황에 대한 실시간 감지, 분석, 대응 활성화 기술 구현

(2) 사회경제적 측면

○ 본 연구를 통해 건설의 다양한 분야(건설장비, 구조물, 건설현장안전 등)가 유기적으로 연계된 통합 스마트건설의 구현과 향후 진행될 ICT기술 기반의 스마트 건설구축 사업에 기여할 수 있을 것으로 기대

○ 본 연구를 통해 국내에서 성공적인 스마트 건설모델이 완성되면, 스마트 건설 통합테스트베드의 표준화 모델로 성장 가능

○ 일자리 창출효과: 1,983명(10억당 10.4명)

○ 생산성 향상효과: 10% 이상 기대(426일 기간 단축, 1,856억 절감)

○ 저비용 고효율 건설전주기(설계·시공·유지관리·운영) 체계 구현

○ 도로/토공사 현장, 자동화 건설장비, 건설현장 안전 분야 등의 건설의 문제해결을 위해 데이터의 통합·연계·활용을 통한 저비용 도시관리 기술을 실현함으로써 건설 전주기의 재정적·인적 손실 감소

5. 특허분석

5.1 분석 범위

□ **도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 특허동향분석을 위해 디지털 정보통합 기술(ADA), 지능형 시뮬레이션 기술(ADB), 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC) 및 테스트베드(ADD) 분야에 대하여 분석을 실시**

○ 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개/등록특허, 국제 공개특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술분야에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 2016년 12월31일까지 출원 공개된 유효특허 5,693건을 분석대상에 포함

- 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여 전략적인 연구개발 계획수립에 활용

<표 4-201> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개.등록특허 (공개.등록일 기준)	한국	WINTELIPS	~ 현재 (2018.10)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국			
	일본			
	유럽			
	국제			

5.2 기술분류 체계

□ **본 분석에서는 과제의 기술요약서를 기초로 연구범위내의 기술을 정량분석 대상으로 하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술 분야와 심층 분석의 기술 분야를 동일하게 적용함**

○ 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)은 디지털 정보통합 기술(ADA), 지능형 시뮬레이션 기술(ADB), 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC) 및 테스트베드(ADD)로 분류할 수 있음

<표 4-202> 분석대상 기술의 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
스마트 건설 (A)	도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)	디지털 정보통합 기술 (ADA)
		지능형 시뮬레이션 기술 (ADB)
		디지털인프라 운영 및 서비스 기술 (ADC)
		테스트베드(ADD)

5.3 기술분류 기준

□ **본 분석에서는 과제의 기술자료 및 기획위원이 제공한 자료를 바탕으로, 자문회의를 통해 하기 표와 같이 기술분류를 확립하여 분석을 수행함**

<표 4-203> 분석대상 기술분류기준

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
스마트 건설 (A)	도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)	디지털 정보통합 기술 (ADA)	도로 인프라 관련 디지털 정보통합 기술
		지능형 시뮬레이션 기술 (ADB)	도로 인프라 관련 지능형 시뮬레이션 기술
		디지털인프라 운영 및 서비스 기술 (ADC)	도로 인프라 관련 디지털인프라 운영 및 서비스 기술
		테스트베드(ADD)	도로 인프라 관련 테스트 베드 기술

□ 자문위원들이 제공한 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야의 기술분류 및 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 연구원들과의 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출하였음

□ 본 보고서에 사용된 검색식은 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 전문위원들의 검토를 반영하여 최종 검색식을 완성함

□ 기술분류체계에 따른 최종 검색식은 하기 표와 같음

<표 4-204> 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식
			WINTELIPS
스마트 건설 (A)	도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)	디지털 정보통합 기술 (ADA)	(((도로* 교량* road* driveway* bridge*).key.) and ((디지털* 디지탈* 정보* 데이터* 데이타* digital* inform* data*).key.) and ((표준화* 프로세스* 통합관리* 생애주기* process* standardizat* normalizat* "life tiime" 연결*인터페이스*connected*interface*).key.))and((G06Q*).ipc.)
		지능형 시뮬레이션 기술 (ADB)	(((도로* 교량* road* driveway* bridge*).key.) and ((디지털* 디지탈* 정보* 데이터 데이타 digital* inform* data* "디지털트윈"인터페이스*"digitaltwin"interface*).key.)and((실시간*3차원*시각화*원격*시물레이션* 가상시물레이션*live*realtime*"real-time""realtime "3D*삼D*remote*"remote-control"simulat*simulation*"realisticsimulation").key.))and((G06Q*).ipc.)
		디지털인프라 운영 및 서비스 기술 (ADC)	((도로* 교량* road* driveway* bridge*).key.) and (((디지털* 디지탈* 정보* 데이터* 데이타* digital* inform* data*).key.) near5 ((수집* 관리* 제공* 운영* 예측* 예상* 분석* 평가* 인프라* mining* collect* manage* administ* offer* operat* estimat* predict* foresee* anali* analY* anticipat* predict* infra*).key.)) and ((H04W* G06Q*).ipc.)
		테스트베드(ADD)	((G08G-001*).ipc.) and (((도로* 교량* road* driveway* bridge*).key.)) and ((테스트* 테스트베드* 모의* 시뮬* test* "test bed" monitoring* simulat*).key.)

<표 4-205> 최종 검색식에 따른 검색결과

대분류	중분류	소분류	한국	미국	일본	유럽	국제	합계
스마트 건설 (A)	도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼 (AD)	디지털 정보통합 기술 (ADA)	705	699	395	151	91	2,041
		지능형 시뮬레이션 기술 (ADB)	742	260	140	43	39	1,224
		디지털인프라 운영 및 서비스 기술 (ADC)	48	812	124	87	43	1,114
		테스트베드(ADD)	172	787	1,081	395	237	2,672
총합계			1,667	2,558	1,740	676	410	7,051

5.4 유효특허 선별기준 및 결과

□ **도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 Raw Data 하기 표에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용함**

<표 4-206> 유효특허 선별기준

대분류	중분류	소분류	유효특허추출기준
스마트 건설 (A)	도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)	디지털 정보통합 기술 (ADA)	도로 인프라 관련 디지털 정보통합 기술
		지능형 시뮬레이션 기술 (ADB)	도로 인프라 관련 지능형 시뮬레이션 기술
		디지털인프라 운영 및 서비스 기술 (ADC)	도로 인프라 관려 디지털인프라 운영 및 서비스 기술
		테스트베드(ADD)	도로 인프라 관련 테스트 베드 기술

○ 위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과 아래의 표과 같이, 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)이 5,693건 도출되었음

○ 상세하게는 디지털 정보통합 기술(ADA)은 1,668건, 지능형 시뮬레이션 기술(ADB)은 985건, 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC)은 1,027 및 테스트베드(ADD)는 2,013건으로 나타났음

<표 4-207> 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 유효특허 선별결과

검색식		검색건수 (필터링 후)					
		KR	US	JP	EP	WIPO	합계
AD	ADA	598	552	314	117	87	1,668
	ADB	607	204	105	33	36	985
	ADC	48	782	86	69	42	1,027
	ADD	130	569	832	259	223	2,013
총계		1,383	2,107	1,337	478	388	5,693

○ 본 분석에서는 건설장비 자동화 및 관제기술(AA) 분야의 특허기술 분석, 세부기술 분석 및 심층 분석으로 나누어 분석함

□ **특허기술 분석**

○ 특허기술 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 기술개발 활동현황, 세부기술의 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 특허기술성장단계 파악 및 국가간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 특허기술 동향을 분석함

○ 또한, 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

□ **세부기술 분석**

○ 세부기술 분석에서는 세부기술별 연도별 특허출원 동향, 세부기술별 IP 출원국 분석 등을 통해 세부기술별 특허기술 동향을 분석함

○ 또한, 세부기술별로 상위 다출원인 도출을 통하여 주요 연구자 현황 및 IP로 본 기술 거점국을 분석하고, 주요 연구주체의 기술확보력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 연구주체별 Landscape를 분석함

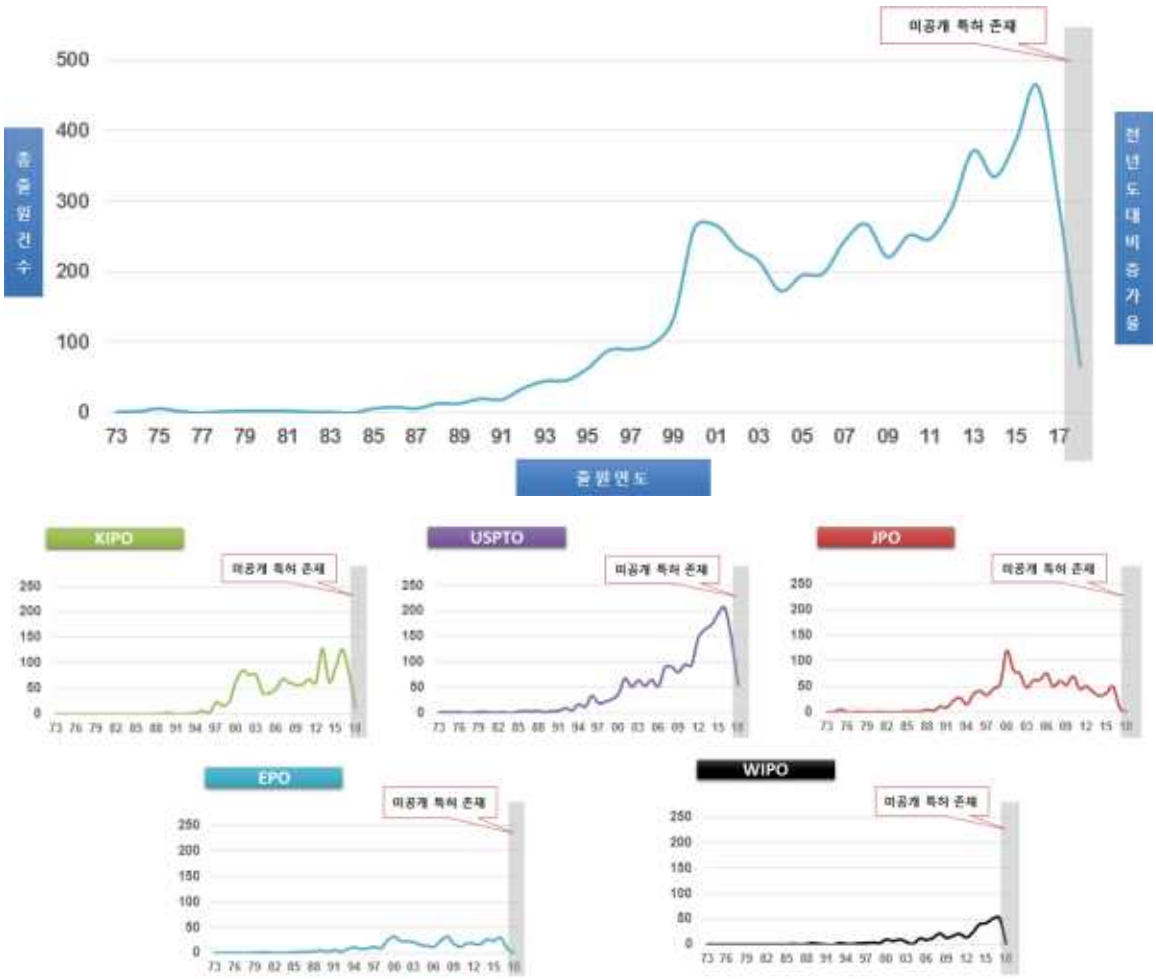
□ **심층분석**

○ IP 부상도 분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 이전 구간 대비 출원증가율, 출원 점유율을 분석하여 특허 관점에서의 해당 기술 분야 부상 정도를 판단함

○ 세부기술별로 구간별 특허출원 동향, 주요시장국별 세부기술 동향, 다출원인의 특허동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 특허와의 관계를 분석함

5.5 국가별 분석

□ 주요출원국 연도별 특허동향



[그림 4-395] 전체 연도별 동향

○ 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1973년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 1990년대 중반부터 본격적인 출원 활동이 이루어졌으며, 2000년대 초 잠시 주춤하였으나, 이후 현재까지 증가하는 추세를 보이고 있음

- 특히 가장 최근인 2016년에는 464건을 출원하여 최다 건을 기록하였음 이와 같은 양상으로 볼 때 해당 분야의 특허출원 건수는 꾸준히 증가할 것으로 전망됨

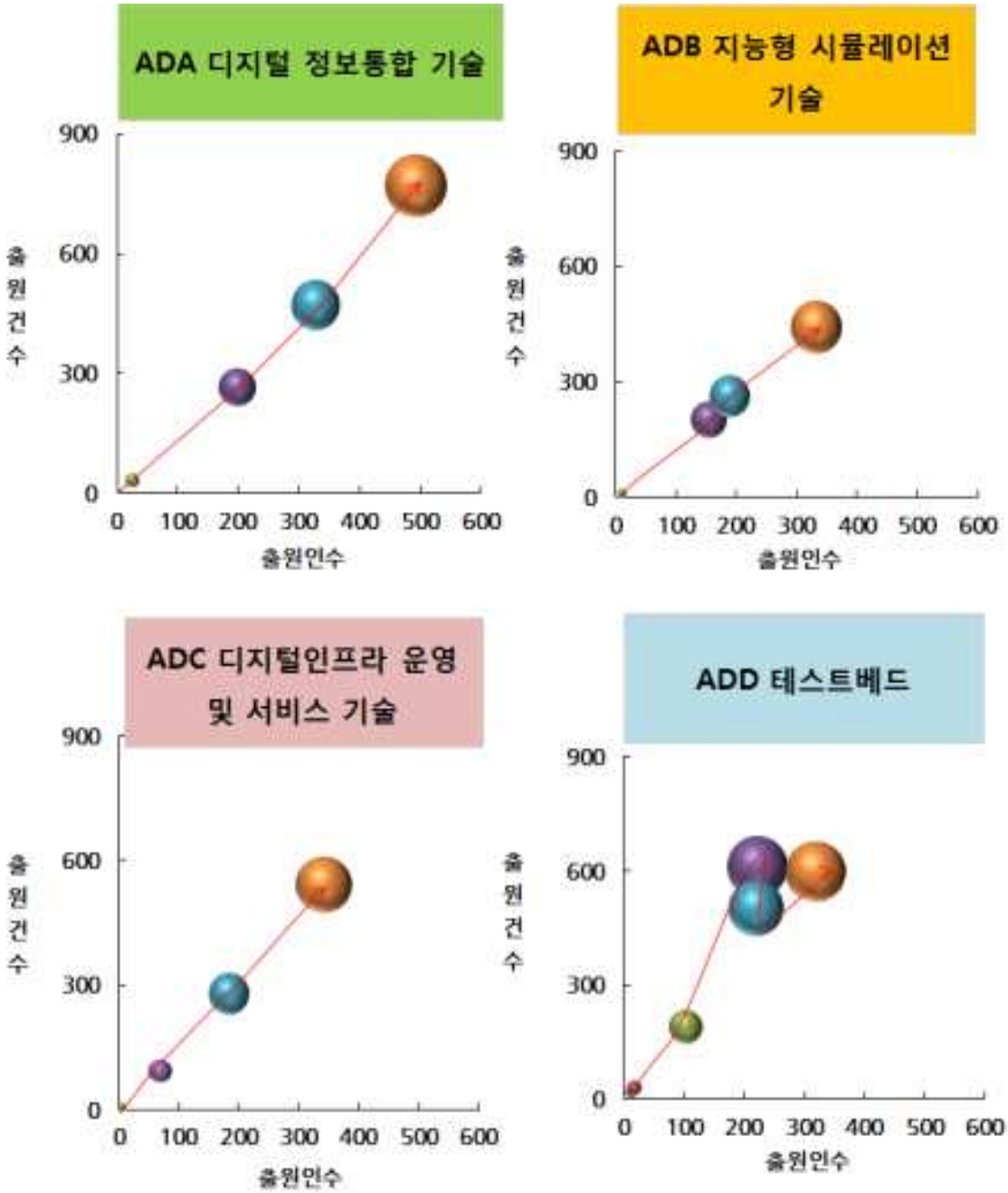
○ 주요시장국 중 미국과 한국이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사되었으며, 2017년 이후 특허출원이 감소하는 것은 2017년 5월 이후 출원한 특허출원이 아직 공개되지 않아 이러한 특허기술들이 배제되어 감소하는 것으로 나타남

- 주요시장국의 연도별 특허동향을 살펴보면, [한국]은 주요시장국들 중 가장 늦은 1989년부터 출원하기 시작하였으나 최근에 그 증가폭이 큰 것으로 나타남
- [미국]은 주요시장국 중 가장 빠른 1973년에 출원활동을 시작하였고 1970년 중반 이후로 지속적으로 특허활동을 하고 있으며, 한국과 마찬가지로 최근들어 그 증가폭이 큰 것으로 나타남. 2016년도에 206건을 출원하여 최다건수를 나타냄
- [일본]은 1970년대 중반부터 연구를 시작하였고, 1990년대부터 2010년까지 특허출원활동이 활발히 진행된 것으로 나타났으나, 최근들어 특허출원활동이 다소 주춤한 것으로 나타남
- [유럽] 1979년부터 지속적으로 연구하고 있으며, 주요시장국들에 비해 특허출원건수가 많지 않지만, 현재까지 꾸준히 특허출원활동을 보이고 있는 것으로 나타남
- [국제출원] 1980년대 중반부터 지속적으로 증가하고 있으며, 최근에 까지 특허출원활동이 활발히 진행되고 있는 것으로 나타남

□ 기술성장단계 파악



구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16



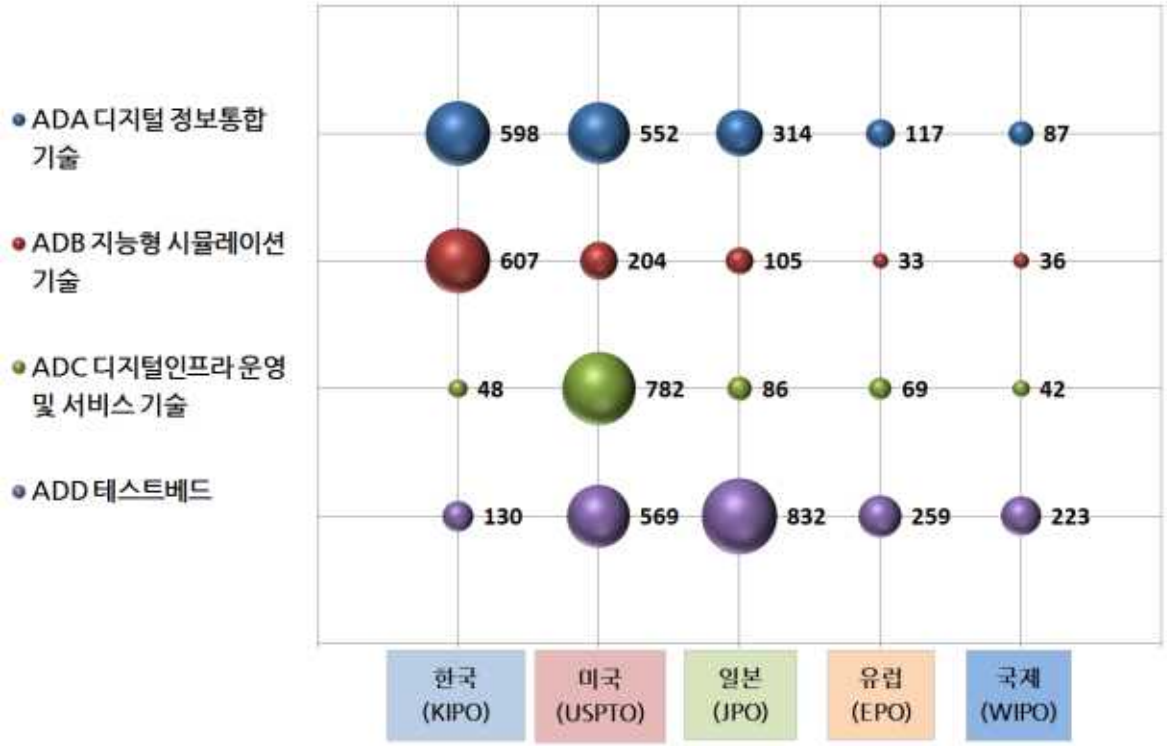
[그림 4-396] 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 단위 기술 성장단계

○ 포트폴리오로 나타낸 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 단위기술들은 1구간에서부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

□ **시장별 세부기술 점유율 현황 버블그래프 분석**

○ 시장별 세부기술 동향에서는 각국의 특허청에 출원된 출원 데이터를 기준으로 세부기술의 집중도 및 공백영역 등을 버블그래프로 나타내어 해당 시장의 관심도를 나타내고자 함

○ 세부기술에 대한 전체적인 연도 구간별 흐름은 앞에서 제시하였으므로, 여기에서는 주요시장에서 어떠한 세부기술이 중점적으로 특허 출원되고 있는가를 파악하고자 하며, 해당 세부기술에 대하여 시장별(특허청별)로 비교 분석함



*원의 크기: 출원 건수를 나타냄

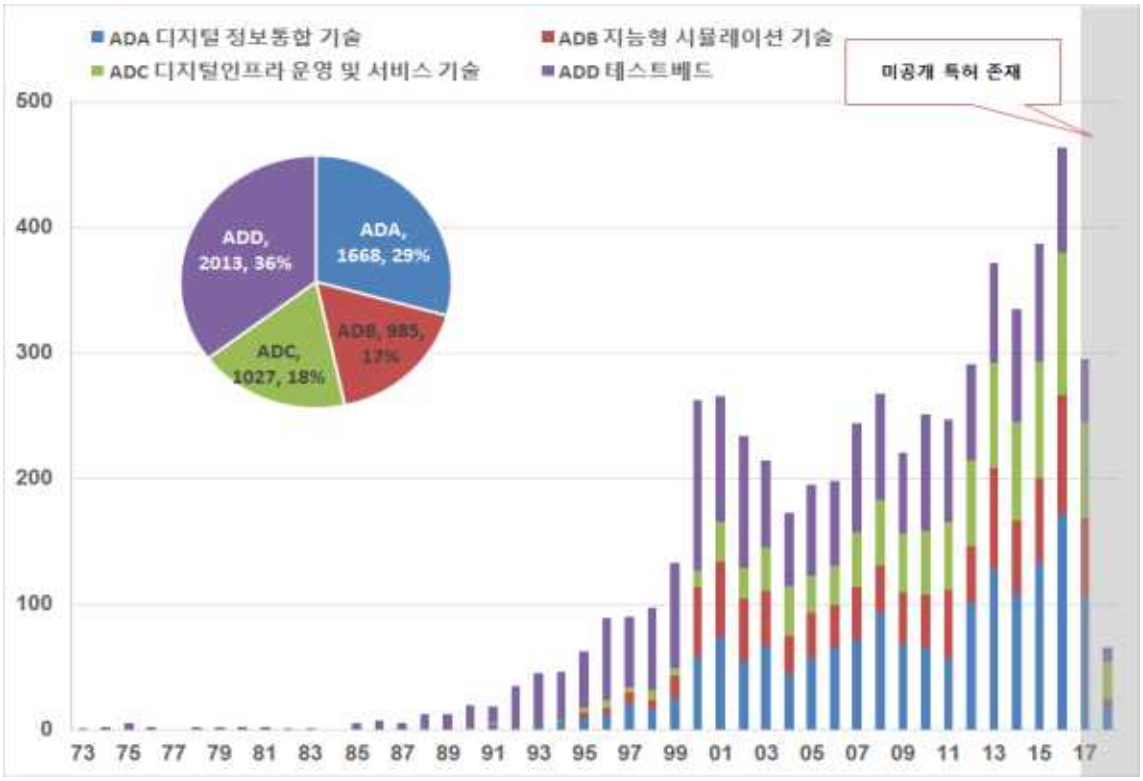
[그림 4-397] 세부기술별 국가별 특허집중도 현황

○ 시장별 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 테스트베드(ADD)분야에 출원을 집중하고 있는 것으로 나타남

○ 미국은 타시장국에 비해 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC)과 관련된 출원을 많이 한 것으로 나타났음

5.6 세부기술 분석

□ 세부기술별 연도별 특허출원 동향 및 점유율 분석



[그림 4-398] 분류별 점유율 및 연도별 출원동향

○ 테스트베드(ADD) 관련 특허출원이 점유율이 36%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 디지털 정보통합 기술(ADA) 관련 특허출원 비중이 29%로 나타나 그 뒤를 이었음

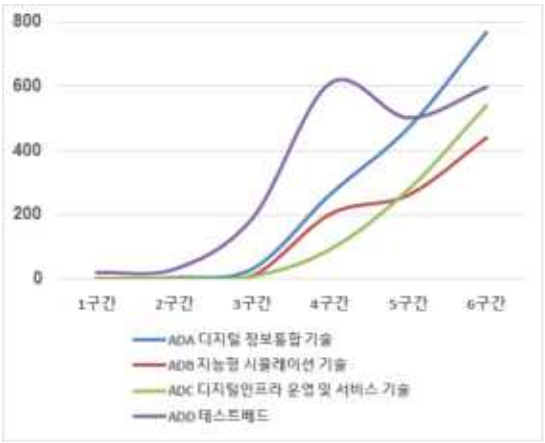
○ 단위기술 모든 분야는 90년대부터 출원되기 시작하여 현재까지 특허출원건수가 계속해서 증가하는 추세에 있으며, 가장 최근인 2016년에 특허출원활동이 가장 활발했던 것으로 나타남

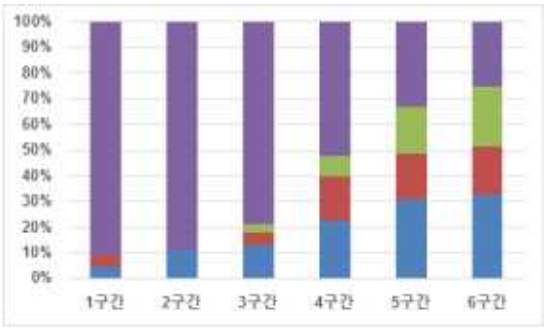
○ 단위기술 분야 중 디지털 정보통합 기술(ADA)과 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC) 분야는 2000년대에 들어서 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야에서 차지하는 비중이 높아지는 것으로 나타남

□ **부상기술 분석**

○ 세부기술 추세를 통한 부상기술을 파악하기 위해서 아래의 그래프에서는 세부기술별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 살펴봄. 왼쪽의 그래프는 출원건수를 통한 절대치를 나타내며, 오른쪽 그래프는 세부기술에 대한 연도구간별 상대비교를 보여주고 있음

구간	1구간	2구간	3구간	4구간	5구간	6구간
년도	'73~'81	'82~'88	'89~'95	'96~'02	'03~'09	'10~'16





[그림 4-399] 세부기술별 구간별 점유증가율 현황

○ 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 단위기술 모두 부상하고 있는 기술로 나타남

○ 초반에는 테스트베드(ADD) 기술에 대해서 출원하다가 점점 출원기술 대상이 다각화되었으며, 최근 들어서는 디지털 정보통합 기술(ADA)과 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC) 분야의 비중이 높아지고 있는 것으로 나타남

○ 테스트베드(ADD)는 1구간에서부터 6구간까지 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)에서의 비중이 줄어들고 있는 것으로 나타남

□ 세부기술별 주요출원인 특허동향



[그림 4-400] 세부기술별 주요출원인

○ 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 디지털 정보통합 기술(ADA)에서는 ALLSTATE INSURANCE(미국)가 38건으로 최다출원인으로 조사되었으며, INTERNATIONAL BUSINESS(미국)가 35건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 지능형 시뮬레이션 기술(ADB) 분야에서는 ALLSTATE INSURANCE(미국)가 18건으로 최다출원인으로 조사되었으며, 한국건설기술연구원(한국)이 15건으로 그 뒤를 잇고 있음

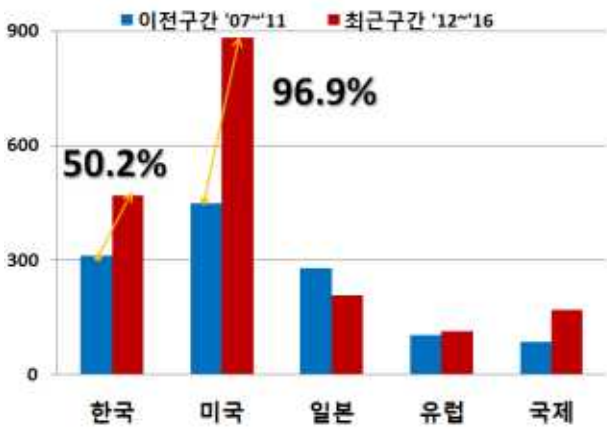
○ 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC) 분야에서는 INTERNATIONAL BUSINESS (미국)가 41건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, DENSO CORP가 18건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 테스트베드(ADD) 분야에서는 TOSHIBA CORP(일본)이 79건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, MITSUBISHI ELECTRIC(일본)이 69건으로 그 뒤를 잇고 있음

5.7 IP부상도 분석

□ 출원증가율 분석

구분	이전구간	최근구간	증가율
	'07~'11	'12~'16	
한국	313	470	50.2%
미국	449	884	96.9%
일본	279	209	-25.1%
유럽	105	115	9.5%
국제	86	171	98.9%
Total	1,232	1,849	50.1%



[그림 4-401] 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 출원 증가율 (전체)

○ 최근과 이전구간 대비 출원증가율을 살펴보면, 모든 주요 시장국에서 특허출원이 증가하는 추세이며, 특히 미국에서의 특허출원 증가율이 96.9%로 크게 증가한 것으로 나타났음

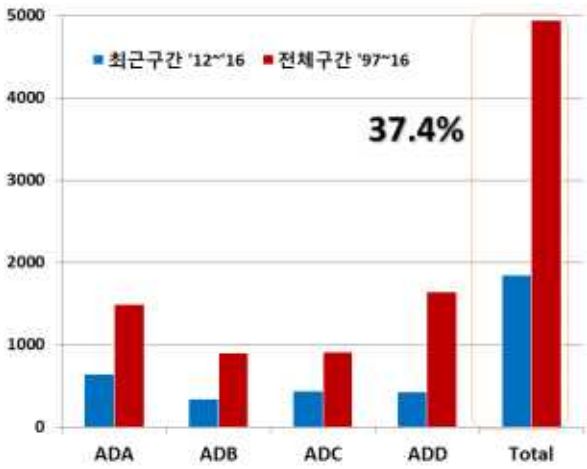
○ 이는 전체 이전구간 대비 최근구간 출원증가율인 50.1%보다 높은 값으로 미국에서는 이전보다 최근에 매우 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석되었음

구분	이전구간 건수	최근구간 건수	출원 증가율 (%)
전체	1,232	1,849	50.1%

□ 최근 출원 점유율 분석

○ 전체구간대비 최근 구간에서의 출원 점유율을 살펴봄으로써 각 기술요소별 최근 가장 부상하는 기술에 대해 살펴 볼 수 있음

구분	최근구간 '12~'16	전체구간 '97~'16	점유율
디지털 정보통합 기술 (ADA)	645	1492	43.2%
지능형 시뮬레이션 기술 (ADB)	344	900	38.2%
디지털인프라 운영 및 서비스 기술 (ADC)	436	907	48.1%
테스트베드 (ADD)	424	1,646	25.8%
Total	1,849	4,945	37.4%



[그림 4-402] 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 구간별 점유율 분석

○ 전체구간 20년 대비 최근 구간 5년이 차지하는 비율 중 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC)은 48.1%로 가장 높은 점유율을 차지하여 전체 중 대부분의 출원 건수가 최근에 출원한 것으로 나타났음

○ 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 세부기술별 전체출원 대비 최근 출원의 점유율은 평균 37.4%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가지므로, 최근 출원이 차지하는 비율이 높아 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야가 최근에 부상하고 있는 기술인 것으로 판단됨

구분	전체구간 건수	최근구간 건수	출원 점유율 (%)
전체	4,945	1,849	37.4%

5.8 시장별 세부기술 시장점유율 분석(CR4)

□ 한국

<표 4-208> 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 한국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
권순태	39	2.8		1
한국건설기술연구원	28	2.0	4.8	2
현대자동차	26	1.9	6.7	3
에스케이텔레콤	25	1.8	**8.5**	4
신윤성	15	1.1	9.6	5
엘지전자	15	1.1	10.7	6
한국도로공사	15	1.1	11.8	7
한국전자통신연구원	15	1.1	12.9	8
한양대학교	13	0.9	13.8	9
케이티	12	0.9	14.7	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	1,383	100%	CR4=8.5	

○ 특허점유율은 권순태가 2.8%, 한국건설기술연구원은 2.0%, 현대자동차는 1.9%, 에스케이텔레콤은 1.8%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 8.5%로 CR4 값은 8.5이므로 한국에서의 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

※ 의미 : CR(Concentration Ratio) 지표는 상위 몇개 기업의 시장점유율을 합한 것으로, CR1, CR2, CR3, CR4 등으로 표시함 즉 CR1은 시장점유율 1위 기업의 시장점유율을 말함 CR2는 1위와 2위의 시장점유율을 합한 것, CR3는 1~3위의 시장점유율을 합계한 것임

□ 미국

<표 4-209> 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 미국 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION	110	5.2		1
ALLSTATE INSURANCE COMPANY	64	3.0	8.3	2
GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC	17	0.8	9.1	3
TELOGIS, INC.	17	0.8	**9.9**	4
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	14	0.7	10.5	5
NISSAN MOTOR CO LTD	14	0.7	11.2	6
INVOCA, INC.	14	0.7	11.9	7
TOYOTA MOTOR CORP	14	0.7	12.5	8
KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA	13	0.6	13.1	9
STATE FARM MUTUAL AUTOMOBILE INSURANCE COMPANY	13	0.6	13.8	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	2,107	100%	CR4=9.9	

○ 특허점유율은 INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES가 5.2%, ALLSTATE INSURANCE COMPANY가 3.0%, GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC는 0.8%, TELOGIS, INC.는 0.8%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 9.9%로 CR4 값은 9.9이므로 미국에서의 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ **일본**

<표 4-210> 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 일본 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
TOSHIBA CORP	114	8.5		1
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	65	4.9	13.4	2
HITACHI LTD	61	4.6	18.0	3
SUMITOMO ELECTRIC IND LTD	54	4.0	**22.0**	4
DENSO CORP	42	3.1	25.1	5
NATL INST FOR LAND & INFRASTRUCTURE MANAGEMENT MLIT	36	2.7	27.8	6
TOYOTA MOTOR CORP	32	2.4	30.2	7
NISSAN MOTOR CO LTD	28	2.1	32.3	8
FUJITSU LIMITED	27	2.0	34.3	9
MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD	27	2.0	36.4	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	1,337	100%	CR4=22.0	

○ 특허점유율은 TOSHIBA CORP 8.5%, MITSUBISHI ELECTRIC CORP은 4.9%, HITACHI LTD는 4.6%, SUMITOMO ELECTRIC IND LTD는 4.0%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 22.0%로 CR4 값은 22.0이므로 일본에서의 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 다소 높은 것으로 나타남

□ 유럽

<표 4-211> 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 유럽 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT	19	4.0		1
TOYOTA MOTOR CORP	10	2.1	6.1	2
ROBERT BOSCH GMBH	9	1.9	7.9	3
Integrated Transport Information Services Limited	9	1.9	**9.8**	4
FUJI HEAVY IND LTD	7	1.5	11.3	5
TELEFONAKTIEBOLAGET L M ERICSSON (PUBL)	7	1.5	12.8	6
KENWOOD CORP	6	1.3	14.0	7
DAIMLERCHRYSLER AG	6	1.3	15.3	8
Citicorp Development Center, Inc	6	1.3	16.5	9
NISSAN MOTOR CO LTD	5	1.0	17.6	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	478	100%	CR4=9.8	

○ 특허점유율은 SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT이 4.0%, TOYOTA MOTOR CORP는 2.1%, ROBERT BOSCH GMBH은 1.9%, Integrated Transport Information Services Limited는 1.9%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 9.8%로 CR4 값은 9.8이므로 유럽에서의 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

□ 국제

<표 4-212> 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 국제 출원인의 특허점유율

출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT	5	1.3		1
NEC CORP	5	1.3	2.6	2
ALLSTATE INSURANCE COMPANY	5	1.3	3.9	3
ITERIS, INC	5	1.3	**5.2**	4
TOYOTA MOTOR CORP	4	1.0	6.2	5
DAIMLERCHRYSLER AG	4	1.0	7.2	6
KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA	4	1.0	8.2	7
MITSUBISHI HEAVY IND LTD	4	1.0	9.3	8
FUJITSU LIMITED	4	1.0	10.3	9
WAVETRONIX LLC	4	1.0	11.3	10
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
합계	388	100%	CR4=5.2	

○ 특허점유율은 SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT이 1.3%, NEC CORP가 1.3%, ALLSTATE INSURANCE COMPANY는 1.3%, ITERIS, INC는 1.3%로 나타났음

○ 따라서, 상위 4개 출원인의 점유율의 합은 5.2%로 CR4 값은 5.2이므로 국제에서의 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 나타남

<표 4-213> 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 국가별 출원인의 특허점유율

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	8.5	9.9	22.0	9.8	5.2

5.9 결론 및 시사점

○ 전체 연도별 특허동향을 살펴보면, 1973년에 출원을 시작으로 완만한 증가세를 보이다가 1990년대 중반부터 본격적인 출원활동이 이루어졌으며,2000년대 초 잠시 주춤하였으나, 이후 현재까지 증가하는 추세를 보이고 있음 특히 가장 최근인 2016년에는 464건을 출원하여 최다 건을 기록하였음 이와 같은 양상으로 볼 때 해당 분야의 특허출원 건수는 꾸준히 증가할 것으로 전망됨

○ 주요시장국 중 미국과 한국이 시장을 주도하고 있는 것으로 조사되었음

○ 기술시장 성장단계를 살펴보면, 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 단위기술들은 1구간에서부터 6구간까지 출원인수와 출원건수가 계속 증가하고 있는 성장기에 있는 것으로 파악됨

○ 시장별 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야 점유율 현황을 살펴보면, 주요시장국 모두 테스트베드(ADD)분야에 출원을 집중하고 있는 것으로 나타남

○ 테스트베드(ADD) 관련 특허출원이 점유율이 36%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 디지털 정보통합 기술(ADA) 관련 특허출원 비중이 29%로 나타나 그 뒤를 이었음

○ 단위기술 모든 분야는 90년대부터 출원되기 시작하여 현재까지 특허출원건수가 계속해서 증가하는 추세에 있으며, 가장 최근인 2016년에 특허출원활동이 가장 활발했던 것으로 나타남

○ 세부기술별 주요출원인을 살펴보면, 기술(ADA)에서는 ALLSTATE INSURANCE 38건으로 최다출원인으로 조사되었으며, INTERNATIONAL BUSINESS가 35건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 지능형 시뮬레이션 기술(ADB) 분야에서는 ALLSTATE INSURANCE가 18건으로 최다출원인으로 조사되었으며, 한국건설기술연구원이 15건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 디지털인프라 운영 및 서비스 기술(ADC) 분야에서는 INTERNATIONAL BUSINESS 41건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, DENSO CORP가 18건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ 테스트베드(ADD) 분야에서는 TOSHIBA CORP이 79건 출원하여 최상위 출원인으로 나타났으며, MITSUBISHI ELECTRIC이 69건으로 그 뒤를 잇고 있음

○ IP 부상도 분석 중 출원증가율을 살펴보면, 전체 이전구간 대비 최근구간 출원증가율인 50.1% 보다 높은 값으로 미국에서는 이전보다 최근에 매우 많은 출원을 하고 있는 것으로 분석되었음

○ IP 부상도 분석 중 최근 출원 점유율을 살펴보면, 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD)의 세부기술별 전체출원 대비 최근출원의 점유율은 평균 37.4%로 4구간으로 나눈 평균값인 25%보다 상회하는 값을 가지므로, 최근 출원이 차지하는 비율이 높아 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야가 최근에 부상하고 있는 기술인 것으로 판단됨

○ 마지막으로, 시장별 세부기술 시장점유율 (CR4)를 살펴보면, 모든 주요 시장국에서의 도로 인프라 디지털 정보 통합 플랫폼(AD) 분야는 특정 출원인들에 의한 시장의 독과점 수준이 높지 않은 것으로 나타남

국가	한국	미국	일본	유럽	국제
CR4 값	8.5	9.9	22.0	9.8	5.2

제5장

사업운영계획 및 소요예산



1절 사업추진체계

1. 사업특성을 고려한 추진체계 설계

□ **첨단기술을 접목하여 건설 全주기(설계-시공-유지관리)의 정보를 디지털화하고, 이를 기반한 통합관리기술 개발이라는 사업특성 고려**

○ 중점분야 및 핵심기술(세부과제) 간의 연계와 이를 종합한 테스트베드 추진 등 전체적인 사업수행을 총괄하기 위한 사업단을 선정하여 추진

○ 사업단과 중점분야내 세부과제 간 협약을 통해 사업단을 중심으로 과제 간 유기적 협력체계 구축

○ 스마트 기술의 급속한 변화와 스마트 건설시장의 급속한 성장 등을 고려하여 사업추진 중에도 대내외 환경변화 대응을 위한 체계와 역할 필요

○ 건설사업의 종합적인 추진과 정책 방향에 맞추어 제도개선 및 스마트시티 등 타 사업과의 효율적 연계추진이 가능하도록 국토교통부 내 스마트 건설기술 전문위원회를 활용

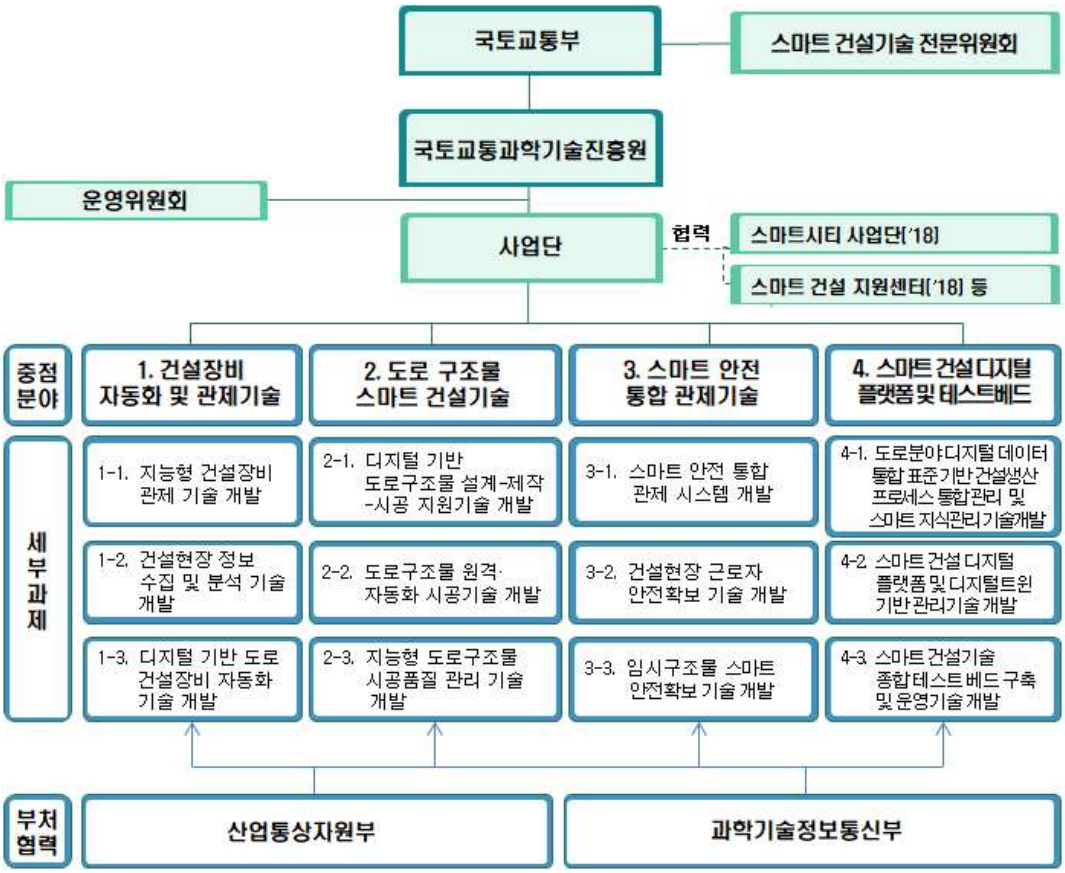
○ 디지털화 및 통합기술의 특성을 고려하여 전통적인 건설기술 이외에도 타 부처의 첨단기술 등을 종합적으로 접목하기 위한 부처간 협력체계도 필요

○ 사업 특성에 부합하는 사업관리 체계를 적용하여 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업관리 체계를 운영

○ 성과활용·확산이 효율적으로 이루어질 수 있도록 기획단계에서부터 평가단계까지의 성과계획·관리를 수행하고, 인프라 지원, 사업화 컨설팅, 시장지출 지원 등의 성과활용과 사업화, 후속지원, 홍보 등 성과확산체계를 마련하여 추진

2. 사업추진체계 및 역할

□ **전체적인 사업총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업관리는 사업단에서 수행**



[그림 5-1] 사업 추진 체계도

○ **(국토교통부)** 사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업 기본 시행계획 수립, 관련 부처간 협의 등 수행

- 필요시 스마트 건설기술의 현장 도입·적용을 위한 제도개선 및 정책 수립

○ **(전문위원회)** 건설, ICT, 정책 등 다양한 전문가 및 스마트 건설기술의 사용자 및 수혜자 등으로 구성하여 사업추진 및 정책 개선 등을 지속적으로 혁신할 거버넌스 역할 수행

○ **(국토교통과학기술진흥원)** 사업추진 전담 관리기관으로 사업 기획·평가·운영위원회를 구성·운영하고, 사업단/세부과제 선정·평가(단계), 사업단 진도점검 및 성과확산 지원 등을 수행

○ **(운영위원회)** 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 국토부 및 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정 수행

○ **(사업단)** 사업수행을 총괄하는 주체로서 세부과제 기획·연차평가, 진도관리 및 과제간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행

- 필요시, 진흥원과 협의하여 시장 및 기술 환경변화에 대응하여 스마트 건설 기술개발 사업을 조정하는 재기획 추진

○ **(세부과제 수행기관)** 사업내 중점분야별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발을 수행하고, 해외 기술 협력이 필요한 경우에는 해외 연구기관과 공동연구를 수행

○ **(스마트시티 사업단)** 도시 운영서비스 플랫폼 등 스마트 건설 유관 사업단과 연구성과 연계 협력

○ **(스마트 건설지원센터)** 스마트 건설 창업자 지원 및 육성 등을 수행하는 한국건설기술연구원과 협력

□ 관련 부처와의 협력

○ **(부처 협력체계 및 분야별 협력)** 본 사업 추진에 있어 건설장비 자동화, 디지털 통합플랫폼 및 통합관제 등의 기술에 대해서는 산업통상자원부 및 과학기술정보통신부와 중복방지 및 기술활용 등 협력체계를 구축하여 운영

※ 중복방지 및 성과연계(산업통상자원부), 기존 상용화 기술 활용(과학기술정보통신부)

- **(부처협력 운영방안)** 부처간 연구성과의 연계 활용이 필요한 기술에 대해서는 그 특성을 반영하여 과제선정시 고려 또는 컨소시엄 구성시 해당분야 기술 보유기관 참여 등의 방식으로 협력방안 운영

구분	산업통상자원부	과학기술정보통신부
협력 체계	· **(협력부처)** 국토부, 산자부, 과기정통부 등 스마트 건설 유관 부처간 협의 추진 · **(협력내용)** 지능형 건설장비(굴삭기), 5G, 클라우드 등 부처간 연계활용 및 역할 협의 - 산자부의 경우 지능형 건설장비 관련 연구개발사업에 대해서 중복성 및 역할분담 협의('18.11)	
분야별 협력	· **(건설장비 자동화)** 굴삭기 지능화, 드론장비, 상용차 자율주행 등의 기술을 건설장비 자동화 및 통합운영 기술개발에 활용	· **(통합플랫폼 및 통합관제)** 5G, IoT, 클라우드 컴퓨팅 등의 기술을 스마트 건설 디지털 통합플랫폼, 장비 및 안전관리 통합관제 기술개발에 활용

협력 운영 방안	타부처 성과 연계활용 방안 평가	세부과제 컨소시엄 구성시 참여
	· 세부과제 선정평가시 지능형 굴삭기 등 타부처 연구성과를 연계활용 방안을 연구개발계획에 제시토록 하고 이를 평가시 고려	· 5G, IoT 등 ICT 기술 접목이 필요한 세부과제는 과제 공모시 해당 기술 보유 기관을 컨소시엄 구성에 포함

2절 사업관리방안

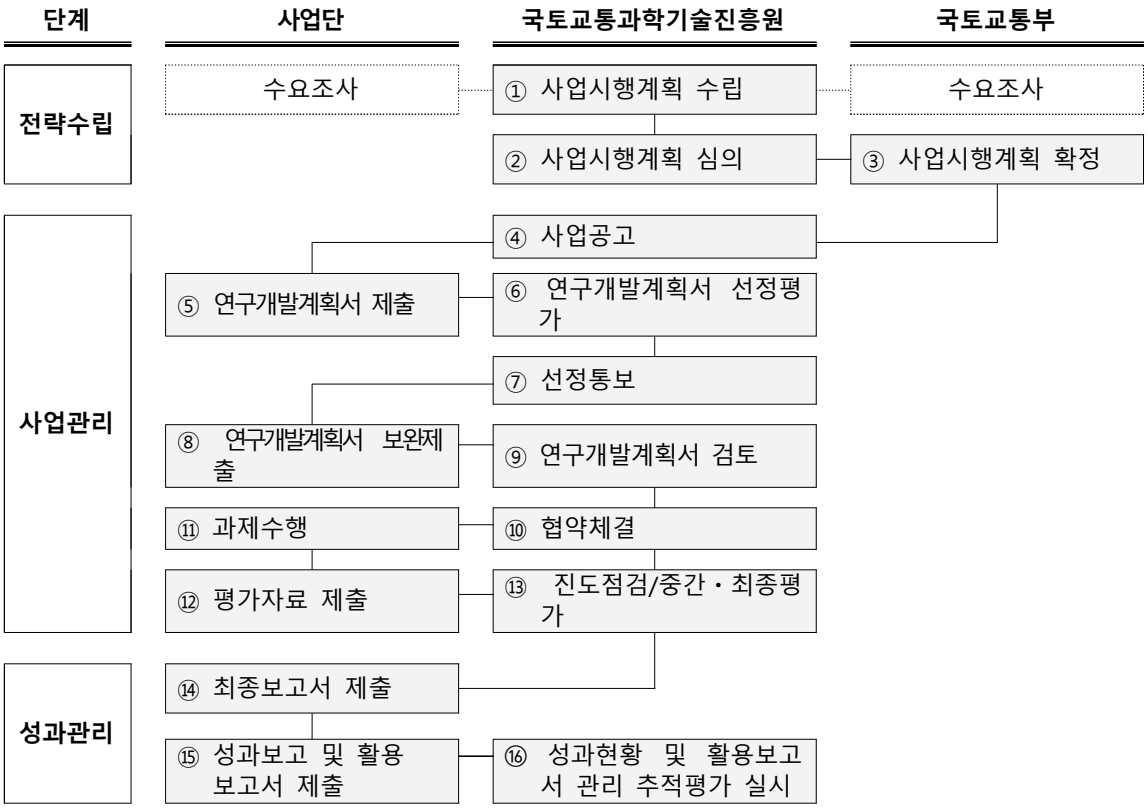
1. 사업관리 체계 및 프로세스

□ **동 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 사업단을 중심으로 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업관리 체계를 구축하여 운영**

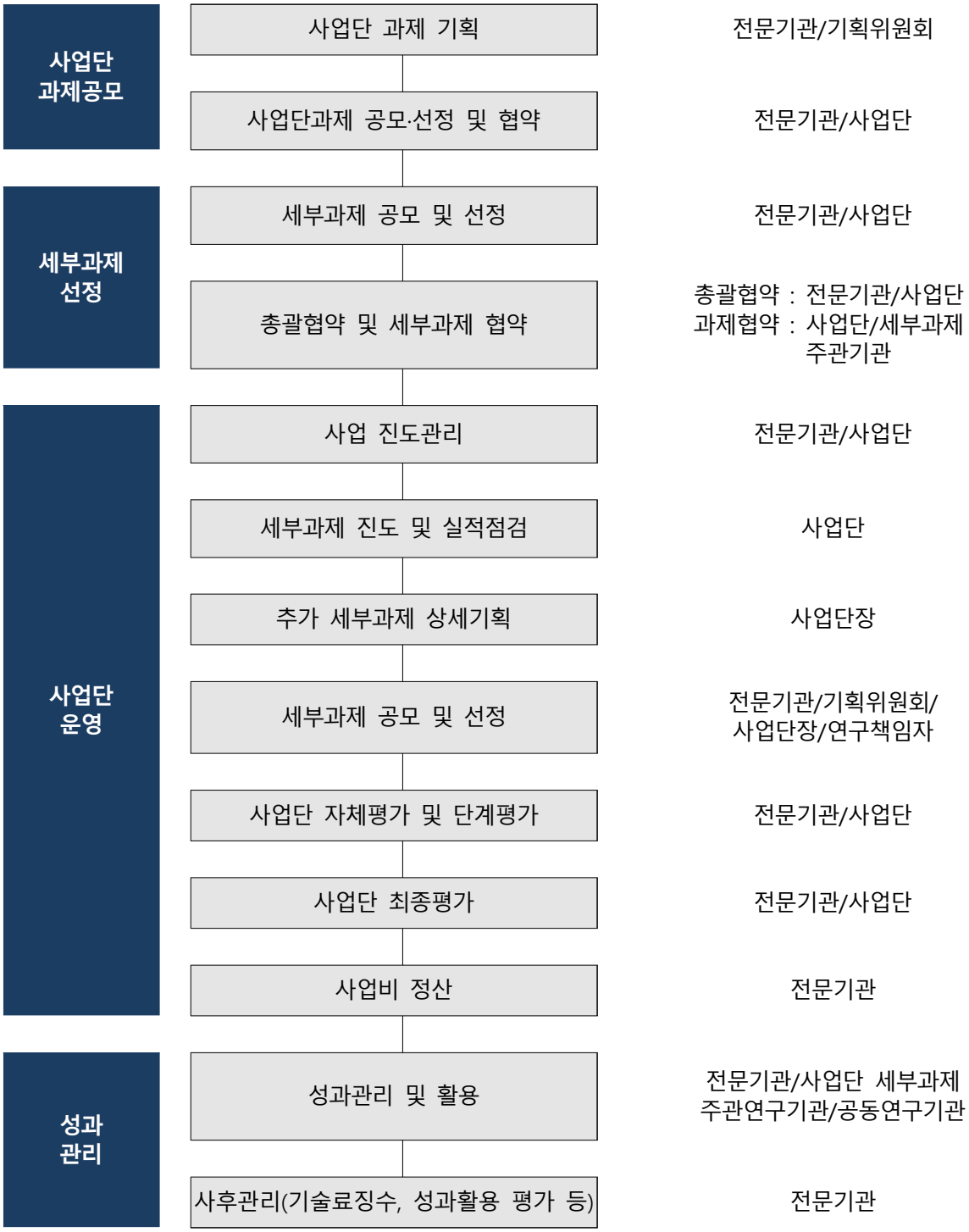
○ (전략수립) 선행과제와의 중복성 및 차별성 검토를 강화하고 유사과제와의 구체적인 연계·활용방안을 계획함으로써 과제 추진의 목적 지향성을 확보

○ (사업관리) 성과창출 및 활용을 장려하기 위해 주기적인 성과 조사·관리 및 평가와 연동한 과제 진도수행 점검으로 연구성과의 효과성을 강화

○ (성과관리) 연구수행 과정을 평가결과에 반영하고, 단계(연차) 및 최종평가위원회를 구성·운영하여 평가의 내실화와 평가결과 환류체계 등 평가의 실효성 강화



□ 사업기획부터 공고, 선정 및 연구수행, 사후관리까지 세부 프로세스 및 수행 주체별 명확한 역할분담을 통한 R&D 전주기적 관리 프로세스 확립



2. 단계별 평가/관리 절차 및 기준

□ 선정평가

○ 전문기관인 국토교통과학기술진흥원이 사업단과제 공고에서 최종선정 및 협약까지 전반적인 사업단 선정업무를 수행

- 세부과제 선정 시에는 사업단장과 협의하여 공모하고, 세부과제 공모내용 중에는 사업단의 운영에 필요한 사항이 포함되도록 공고

주요 절차	내 용
신청서류 접수 (전문기관)	연구개발계획서 등 신청서류 접수
⇩	
선정평가 계획수립 (전문기관)	선정평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	과제담당자 사전검토 - 신청서류 적합성, RFP 부합여부, 중복성 조사내용 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
선정평가 실시 (연구과제 평가단)	서면평가, 온라인평가, 발표평가, 현장평가 중 하나 이상의 방법 고가(3천만원 이상) 연구장비 심의
⇩	
평가결과 보고 및 통보 (전문기관)	선정평가 결과 국토부 보고 평가결과 신청기관 통보 및 협약체결 안내
⇩	
협약체결 (전문기관↔사업단)	선정기관은 평가위원 의견을 반영 조치 협약체결

- **(사전검토)** 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능

- **(평가방법)** 서면평가, 온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
- **(평가항목 및 배점)** 개별 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음
- **(평가결과의 산정)** 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정
- **(평가결과의 조치)** 선정평가 결과를 국토교통부장관에게 보고하고, 평가위원의 명단 및 종합의견 등 평가결과를 신청기관에 통보 후 연구과제 평가단 의견 등을 반영 및 보완하여 협약 추진

○ 사업단 총괄기관 및 사업단장의 선정은 서류평가(50%)와 발표평가(50%)로 진행하고, 「국토교통연구개발사업 사업단과제 관리지침」 제9조(별표2)에 따른 선정평가항목을 적용

구분	서류평가	발표평가
주요 항목	■ 연구수행계획	■ 사업단장 역량
	■ 사업단 추진전략	■ 사업단 운영 및 관리방안
	■ 사업단장 수행역량	■ 성과활용 방안
	■ 사업단 총괄기관 역량	■ 사업단 총괄기관 역량

□ 상시 모니터링 및 마일스톤 점검

○ 본 사업은 국토교통과학기술진흥원의 사업실, 사업단 등을 통해 사업수행과정을 정기적으로 모니터링함으로써 사업 실패 확률을 최소화하여 운영

○ 세부과제별 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 연구 진척도 및 목표 달성도에 대한 진도관리와 연구성과를 모니터링하고 이를 평가와 연계

- 과제 진척도와 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과 정보 모니터링 시스템(R&D 사업관리시스템, https://rnd.kaia.re.kr)을 운영

□ 중간평가

○ 중간(연차, 단계)평가는 연구목표 달성도와 차년도(다음단계) 연구계획 적절성을 중심으로 평가

- 사업단 및 세부과제 수행기관은 연차(단계)실적·계획서를 해당연도(단계) 연구개발 종료 1개월 전까지 전문기관에 제출토록 하고, 전문기관은 이를 평가하여 차년도(다음단계) 연구지원 여부 및 지원연구비를 확정
- 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고, 과제 진척도 및 성과추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템 구축, 운영

주요 절차	내 용
연차(단계)평가 계획수립 (전문기관)	연차(단계)평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
연차(단계)평가 자료 제출	연차(단계)실적계획서, 성과점검기준표 증빙서류 등 평가자료 제출
⇩	
사전검토	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 연구계획 변경내용 - 실용화 점검결과 반영내용 - 연구비 집행실적 및 이월신청 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
연차(단계)평가 실시 (전문기관)	해당 연도(단계) 실적평가 및 다음 연차(단계) 계획 검토 * 대면(발표)평가, 현장평가 등 적합한 평가방법 선택
⇩	
연차(단계)평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	연차(단계)평가결과 국토부 보고 연차(단계)평가결과 주관기관 통보 및 협약체결 안내
⇩	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	연차(단계)평가결과를 반영하여 차년도 협약체결

○ **(사전검토)** 주관연구기관이 제출한 연차(단계)실적·계획서, 성과점검 기준표 등을 전담기관 담당자가 사전검토하고, 검토 내역을 평가단에 제공 가능

○ **(평가방법)** 세부과제 단위로 평가하고 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시

○ **(평가항목 및 배점)** 연차(단계) 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음

- (기본방향) 원칙적으로 정성평가를 실시하되 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가 실시 가능
- (실적) 당해연차(단계)의 핵심성과 중심의 질적 달성수준을 중심으로 점수평가 실시
- (계획) 최종목표 달성을 위해 수립된 다음 연차(단계) 연구계획의 적정성에 대한 연구과제 평가단의 검토를 통해 “일부보완” 또는 “전면수정” 판정

○ **(평가결과의 산정)** 종합평가점수 산정시 연구과제 평가단 평가점수(90%) 및 진도관리 평가결과(10%)를 기준으로 종합평가점수를 정하되, 진도관리평가 생략시 평가단 결과만으로 종합평가점수를 정함

○ **(평가결과의 조치)** 실적 종합평가점수에 따라 과제의 ‘계속지원’(60점 이상) 또는 ‘지원중단’(60점 미만)으로 판정하고, 실적 종합평가점수에 따라 평가단위 과제의 연구수당 지급기준을 차등적용함

- ‘계속지원’ 대상과제는 평가결과 및 종합의견을 통보하고, 보완대비표 및 연차(단계)실적·계획서 등을 수정·보완 요청

□ **최종평가**

○ 최종평가는 연구목표 달성도와 연구결과의 우수성을 중심으로 평가하며, 평가지표를 산출/결과지표 위주로 설계하여 평가를 진행

- (연구목표 달성도) 사업 특성을 평가하는 지표와 각 세부과제별 연구목표 달성도를 평가하는 지표를 설계
- (연구결과 우수성) 과학적 성과와 사회경제적 성과를 중심으로 파악하여, 스마트 건설기술 개발사업의 목적 달성을 통한 사회경제적 기여도를 평가

<표 5-1> 최종평가 중점항목 및 평가지표(예시)

평가항목	세부평가항목		가중치
연구목표 달성도	공통	연구목표 달성도	40
		국가 건설기준 반영	
		기술별 가이드라인	
		신기술 인증	
		건설정보 표준	
	개별지표	개별지표 1	10
		개별지표 2	
		개별지표 3	
연구결과의 우수성	과학적 성과	논문	25
		특허	
		기술수준	
		기술 파급효과	
	사회경제적 성과	건설 비용절감 효과	25
		기술이전	
		매출액 유발효과	

주요 절차	내 용
최종평가 자료 제출 (주관연구기관)	최종보고서, 성과점검기준표, 자체평가보고서, 연구개발결과 활용계획서(SMK 포함) 등 평가자료 제출
⇩	
최종평가 계획수립 (전문기관)	최종평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 당초 연구개발계획 대비 수행여부 - 연구성과 활용계획의 적정성 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
최종평가 실시 (연구과제 평가단)	연구개발 목표 달성여부, 연구성과 우수성 등에 대한 평가
⇩	
최종평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	최종평가결과 국토부 보고 최종평가결과 주관기관 통보 및 보완요청
⇩	
최종보고서 발간·배포 (주관연구기관)	최종보고서 보완본 필수배포처 배포

○ 최종평가결과 종합평가점수에 따라 과제의 ‘성공’(60점 이상) 또는 ‘실패’(60점 미만) 판정

- ‘실패’로 판정받은 과제는 연구개발과제 수행실태 등 점검을 통해 성실수행 여부를 확인하고, 그 결과에 따라 참여제한 등 조치

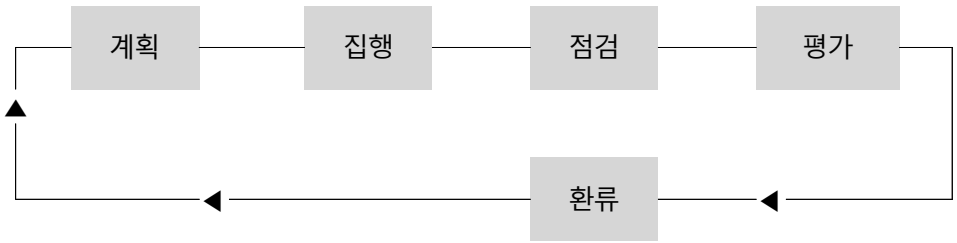
○ 최종평가 후 연구개발결과의 활용 촉진을 위해 연구종료 3년 이내에 연구개발결과의 활용을 위한 추적평가를 실시할 수 있음

3절 성과관리계획

□ 사업 성과관리 기본구조

○ 정부업무평가 기본법은 성과관리를 “정부업무를 추진함에 있어 기관의 임무, 중장기 목표, 연도별 목표 및 성과지표를 수립하고 그 집행과정 및 결과를 경제성, 능률성, 효과성의 관점에서 관리하는 일련의 활동을 의미한다”고 정의

- 정부사업의 성과관리 기본구조에 따라 스마트 건설기술 개발사업의 성과관리도 계획 → 집행 → 점검 → 평가 → 환류의 기본구조로 이루어짐



[그림 5-2] 성과관리의 기본구조

□ 성과관리 계획 수립 및 연구성과활용 보고

○ 스마트 건설기술 개발사업은 건설기술의 특성상 2단계 이후와 테스트베드 적용 단계에서 성과가 도출되기 때문에 ‘정부업무평가 기본법’의 기본철학에 기반하여 성과관리 계획을 도출함

- 국토교통부는 매년 자체적으로 성과계획을 수립하고, 매년 당해 연도 협약종료 1개월 전에 중간(연차)보고서, 주관기관 자체평가 의견서, 세부과제별 연구개발결과 활용계획서(최종연차시)를 제출 받음
- 세부과제별로 연구성과 활용유형 및 성과지표를 설정하여 체계적으로 관리

○ 세부과제 수행기관은 연구개발성과 활용보고서를 연구종료 후 다음 연도부터 최장 5년간 매년 전문기관에 제출

□ 성과분석

○ 성과관리의 주체는 전문기관인 국토교통과학기술진흥원으로 하되, 성과분석 기관은 별도로 선정하여 운영

- 성과분석기관은 사업단 및 세부과제 수행기관으로부터 성과자료를 제출받아 확인, 취합하여 성과자료 DB를 구축하고, 이를 활용하여 성과검증 및 분석 수행

- 국토교통과학기술진흥원은 성과분석 결과를 확정하고, 중간 및 최종평가에 이를 활용함으로써 지원유지 여부 결정이나 예산조정 반영 등 사업운영에 피드백

□ **추적평가**

○ 성과의 활용 및 확산을 위하여 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행

- (체계 및 담당기관) R&D 전문기관의 성과활용조사·평가 전문가가 추적(성과)평가 실무를 담당하고, 사업단 및 세부과제 수행기관과 유기적으로 협력하여 평가 실시

4절 성과 활용·확산 활성화 방안

□ 연구성과 활용체계

○ 동 사업의 연구성과 활용은 정부의 **「연구성과 관리·활용 기본계획」의 정책 기조에 부합토록 활용체계를 운영**

- 연구성과의 기술성과 시장성·사업성 간의 간극을 간소화하고, 성과활용 중심의 연구개발 혁신과 유기적 협력체제 구축을 통해 일자리 창출 및 경제활성화 견인

○ 성과계획-성과관리-성과평가-활용지원-성과활용 등 기획부터 연구성과 활용까지 연구 **전주기적으로 연구성과 활용체계를 구축·운영**

- **(성과계획)** 사업기획시부터 기술개발과제의 최종성과물을 제시하고, 연구책임자는 구체적인 성과지표·목표, 성과도출 마일스톤, 성과활용방안 등을 연구개발계획에 제시하여 연구수행 및 성과를 도출하며, 중간(단계)평가 결과를 반영하여 필요한 경우 성과계획을 수정 보완 실시

- **(성과관리)** 전문기관 및 사업단은 사업기획시 제시한 사업관리방안에 따라 세부과제별 연구성과 도출 및 진척도 등을 모니터링하고, 진도점검을 실시

- **(성과평가)** 전문기관은 사업단과 협의하여 중간(연차, 단계) 평가를 통해 성과목표 달성 등 연구목표 달성도와 차년도(다음단계) 연구계획을 평가하고, 연구종료시에는 최종 성과목표 달성 여부를 평가

- **(성과활용 지원)** 전문기관은 연구성과의 활용촉진 및 확산을 위해 인프라 지원(기술가치평가, 금융연계 지원), 기술사업화 및 기술이전 컨설팅, 시장지출 지원(기술설명회, 공공구매협의체 등) 등 성과활용 지원체계를 운영

- **(성과활용)** 대학, 연구소, 기업 등 연구에 참여한 기관들은 연구성과를 활용하여 현장적용, 기술사업화 달성, 정책·제도 반영, 지식재산권 확보 등 실시

○ 국토교통부와 전문기관은 매년 연구성과 조사·분석·평가를 통해 연구성과 활용체계 운영을 점검하고, 성과관리 및 평가 개선, 활용지원 체계 확대 등 연구성과 활용체계를 개선하여 성과활용을 촉진

구분	기획	연구수행	성과평가
성과계획	· (전문기관) 사업기획시 연구과제별 최종성과물(안) 제시	· (연구책임자) 성과지표/목표, 성과물, 활용방안 등을 연구개발계획에 제시	· (연구책임자) 중간(단계)평가 결과를 반영하여 성과계획 수정
성과관리	· (전문기관) 사업기획시 성과관리 방안을 제시	· (연구책임자) 마일스톤 등에 따라 성과도출 및 연구개발 관리 · (전문기관/사업단) 사업성과 모니터링 및 진도점검	· (전문기관) 중간(단계), 최종평가를 통해 성과달성 여부 판단

성과활용지원	인프라 지원	사업화 컨설팅 지원	시장진출 지원
지원내용	· 기술가치 평가 지원 · 기술금융 연계 지원(협력 금융기관 7개) · 산업 분석 및 시장정보 제공	· 중소/중견기업 기술사업화 컨설팅 지원 · 연구개발 특허 컨설팅 지원 · 기술수요기업 매칭/기술이전 컨설팅 지원	· 공공구매 협의체 운영 · 발주처 대상 기술설명회 · 기술소개자료 제작 및 홍보 · 해외기술로드쇼 개최

성과활용	Ⅰ 현장적용 및 사업화	Ⅱ 정책.제도 활용	Ⅲ 권리확보
수요처	발주청(처), 기업, 연구기관	국토부, 발주청(처)	연구기관, 기업
활용내용	· 공사현장에 개발기술 적용 및 비용절감 · 기술실시계약, 기술이전	· 개발기술 도입·적용을 위한 법령, 규칙, 기준 등 개선 · 발주기관의 발주제도 개선	· 특허권, S/W, 국제특허 등 국내 및 국외 지식재산권 확보

□ 스마트 건설기술 개발사업 이해관계자

○ 본 사업의 범위에 포함된 도로 및 도로부속물의 인프라 시설, 건설현장(토목+건축) 등에 대한 스마트 건설 구현을 위한 핵심기술, 디지털 플랫폼 및 활용 등을 고려할 때 다음과 같은 이해관계자를 설정할 수 있음

- (정부·지자체) 스마트 건설기술의 건설시장 적용 및 정착을 위한 법령·정책 및 제도 활용 주체인 국토교통부, 조달청, 지자체 등
- (발주기관) 건설생산과정(설계-시공 등)의 건설정보 디지털화 및 자동화 기술, 안전관리 기술 등의 건설공사 발주시 활용과 관리 주체인 한국도로공사, 한국토지주택공사, 한국시설안전공단 등
- (민간기업) 설계·시공 등에 대한 스마트 건설기술 개발과 직접적인 수요처인 설계·감리사, 시공사, 전문건설사, IT/SW/통신사, 건설장비사, 스타트업 등

설계·감리사	시공사	전문건설사	IT/SW/통신사	건설장비사	스타트업
· 엔지니어링 · 건축설계 · 감리 등	· 종합시공 (건설사 등)	· 토공, 포장 · 보링그라우팅 등	· 설계/해석 SW · 공간정보 · 통신 등	· 건설기계 · 무인이동체 · GIS 등	· 빅데이터 분석 · AR/VR · 웨어러블 등

- (연구기관) 스마트 건설기술의 개발과 인력양성, 창업지원 등의 역할을 수행하는 대학, 출연연, 학회 등
- (최종수혜자) 스마트 건설기술의 적용을 통해 건설생산과정에서 발생되는 국민 불편 감소, 안전성 제고 등 다양한 혜택의 최종 수혜자로서 일반 국민

□ 성과활용 계획

○ 스마트 건설기술 개발사업의 연구성과는 스마트 건설 정책 및 제도, 표준화, 스마트 건설 생태계 조성(비즈니스모델 창출 등), 사업화 및 해외시장 진출 등에 널리 활용

- 특히, 기존의 분업화 및 전문화된 건설생산과정이 정보가 디지털화되고 이를 기반으로 통합관리됨에 따라 대기업 중심이 아닌 중견/중소/스타트업 기업의 참여 및 역할이 증대되고, 새로운 비즈니스모델 등 건설 생태계 재편이 가능

<table>
<tr><th>활용분야</th><th>세부 활용계획</th><th>활용처</th></tr>
<tr><td>스마트 건설
정책 및 제도</td><td>· 생산성 향상을 위한 스마트 건설기술의 현장적용 제도화에 활용
- BIM 표준화, 디지털 통합플랫폼, 건설장비 관제 등 실제 공사현장 적용(발주연계 테스트베드) 결과를 제도개선에 활용

· 중소 현장의 통합 안전관리 관제시스템 적용 의무화를 위한 제도에 활용
- BIM 표준화, 디지털 통합플랫폼, 건설장비 관제 등

· 민간의 스마트 건설기술 활용 촉진을 위한 인센티브 제도화에 활용

· 정책 및 제도개선 활용 주요 대상목록
<table><tr><th>구분</th><th>제도개선 사항</th></tr><tr><td>제정</td><td>• (가칭) 스마트 인프라건설 촉진법</td></tr><tr><td>개정</td><td>• 건설기술진흥법 / 건설산업기본법
• 국토의 계획 및 이용에 관한 법률
• 하도급법
• 대형공사입찰방법심의기준</td></tr></table></td><td>국토교통부,
발주기관
(도로공사, LH 등)</td></tr>
<tr><td>표준화</td><td>· BIM 기반 건설 전주기 디지털 데이터 통합 표준화 기술
- 건설자원의 실시간 센서 데이터 통합 관리를 위한 디지털 표준화 기술
- 도로 자동화시공의 지식정보 생성을 위한 지식 및 디지털 문서표준화 기술

· 건설장비 통합운영을 위한 기술 표준화
(ICT툴과의 호환 등)</td><td>국토교통부,
발주기관,
민간기업</td></tr>
</table>

활용분야	세부 활용계획	활용처
스마트 건설 생태계 조성	・비즈니스 모델 창출을 통한 창업 생태계 조성 - 핵심기술/구성기술별 기술개발 결과를 제공·공유 함으로써 스마트기술 창업 지원에 활용 (스마트 건설 지원센터(건설기술연구원)와 협력 및 연계) ※ 비즈니스 모델 창출 주요 아이템(예시) • BIM을 활용한 설계-시공 협업 솔루션 • 기존 구축된 건설정보의 디지털화 컨설팅 • 건설장비 통합운영 교육프로그램 및 현장 컨설팅 • AR 및 가상시공을 활용한 사업계획 검토 및 시공품질 점검 • CPS 기반 건설현장 안전관리 교육 컨설팅 및 운영 • 현장 작업자-로봇 협력형 시공장비 생산 및 운영 ・발주청(기관) 역량강화에 활용 - 지자체, 공공기관 등의 사업관리 직원 대상으로 스마트 기술 관련 교육과정을 신설하여 워크숍, 자료공유 등을 통해 발주청(기관)의 역량 강화에 활용 ・중견/중소/스타트업 기업의 참여 및 역할 증대에 활용 - BIM 설계 및 협업, 가상시공, 디지털 기반 건설장비 운용, 안전 통합관리, 디지털 플랫폼 등 관련 중견/중소기업의 역할 및 건설참여 확대에 활용 ・스마트 건설 전문인력 양성 활용 - 프리팹(모듈러공법), BIM 설계 등 스마트 건설분야를 건설기술 자격체계 확장에 활용 - 건설기술교육원의 전문인력 양성 프로그램에 기술 개발 및 검증, 현장적용 사례 등을 공유하여 '스마트 건설기술 전문인력 양성과정' 확대에 활용	국토교통부, 연구기관, (대학, 출연연 등) 민간기업
사업화 및 해외시장 진출	・표준 BIM 기반 도로구조물의 공종간 협업 시스템 ・디지털 기반의 건설 全주기 통합관리 플랫폼 ・다양한 건설장비에 대한 클라우드 기반 지능형 건설장비 관제 시스템 ・현장 자율계측 및 데이터 기반 현장관리 의사결정 기술 ・프리팹 구조물의 3차원 형상기반 정밀시공 기술 ・머신러닝 기반 기계화 터널시공 자동화 기술 ・스마트제어 기반 발파터널 굴착면 시동자동화 기술 ・디지털트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제시스템 ・디지털 트윈 모델 및 AR 기반 건설정보 시각회 기술	발주기관, 민간기업

□ **연구성과 확산 방안**

○ **(확산체계)** ‘제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획’에 따라 스마트 건설 연구개발성과와 건설산업간 연결고리가 강화될 수 있도록 **사업화-후속지원-연계홍보의 연구성과 확산체계를 구축하여 운영**

사업화	후속지원	연계.홍보
■ 연구성과가 시장에 진입하여 새로운 산업으로 연결될 수 있도록 사업화 지원	■ 신기술 인증을 위한 개발 기술의 검증을 지원하고, 금융 등 후속지원 프로그램과 연계	■ 기술이전, 홍보기회 제공 등 기술 보유자와 수요처와의 미스매칭 해소를 지원

○ **(사업화・후속지원 사업 연계)** 기존의 기술사업화지원사업 및 연구성과활용 지원사업과의 연계 등을 통해 연구성과 확산을 극대화

국토교통기술사업화지원사업	국토교통연구성과활용지원사업
· 공공기관 보유기술의 중소기업 이전 및 기술사업화 촉진 · 재난안전 등 안전분야 요소기술에 대한 사업화를 위한 후속 연구 지원 · ICT 기술 접목 등 기술융합을 통한 사업화 지원	· 국토교통 분야 기술 신뢰성 검증을 위한 기술시험 및 기술가치평가 지원 · 국토교통 분야 연구성과의 시장진출을 위한 홍보 마케팅, 공공기술 이전, 중소기업 투자유치 지원 등

스마트 건설 연계활용	■ 단위(요소)기술, 통합 실용화기술 등에 대한 사업화 지원 확산 연계 ■ BIM 통합플랫폼, 시공자동화 기술 등에 대한 신기술인증 및 기술가치평가 지원 연계 ■ 가상시공기술, CPS기반 안전관리 기술 등 융합기술 사업화 지원 연계

○ **(유관 사업・지원센터 연계)** 기 추진 중인 ‘스마트시티 사업단’ 유관 사업과의 연계를 통해 연구성과 확산 시너지 효과를 창출

- 스마트 건설기술 지원센터(건설기술연구원)와도 연계하여 스마트 건설 창업 등 산업생태계 조성이 될 수 있도록 성과 확산 도모

스마트시티 사업단('18~'22)
· 설계-시공-유지관리 등 건설생산 全주기 정보를 서비스 운영 플랫폼(스마트시티)에 연계·활용 ☞ **(시너지효과)** 도시 및 인프라 운영에 대한 서비스 제공 확대 및 품질 제고

✚

스마트 건설 지원센터 연계	▪ 드론 및 IoT 활용, 빅데이터 분석 등 본 사업을 통해 개발된 스마트 건설기술을 스마트 건설 스타트업 발굴·지원에 활용토록 연계 ▪ 창업자(팀)과 본 사업 연구진과의 1:1 연계 등 창업자 육성 및 지원 연계

○ **(기술마케팅・홍보 강화)** 연구성과 확산을 위해 기술 수요처를 대상으로 기술 마케팅을 적극 실시하고, 다양한 홍보채널을 통해 대국민 R&D 홍보를 강화

구분		내용
기술 마케팅	사업화 연계실적 조사·검증	· 성과 집중조사기간 운영, 연구자 대상 성과관리 교육 · NTIS 연계한 성과검증 및 사업평가 연계 등 추진
	연구기관 컨설팅 지원	· 기술료 설명회, 중소기업 기술료 상담 등 실시 · 실시계약 미체결 기업 집중 조사 및 실시계약 컨설팅 지원 · 기술료 확대를 위한 부처 훈련 및 매뉴얼 운영
	국내외 시장진출 지원	· 기술소개자료 제작·발주처 배포, 공공구매협의체 기술설명회 개최 · 발주기관 대상 기술설명회 개최 · 해외 기업 대상 연구성과·신기술 홍보활동 추진(해외기술로드쇼 등)
홍보	국토교통 기술대전 개최	· 매년 국토교통 기술대전 개최 - "도슨트 프로그램" 운영 → 청소년 대상 스마트 건설기술 홍보 - 중소기업특별관, 신산업관 등 중소기업 참여
	기관홍보 채널	· 소식지 'KAIA 인사이트' 콘텐츠 강화 · 정부정책 등 반영한 브로슈어 및 동영상 신규 제작·배포
	기사·언론 홍보	· 기관장 활동, 기획기사 등 전략적 기획보도 추진(연중) · 기자간담회·TV방송 등 언론사 홍보

○ **(연구성과 공유)** 사업성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영

- (성과・사업화 정보시스템 운영) 과제별 연구성과, 기술소개 홍보자료(SMK) 등 사업화 정보 및 성과정보 등을 총체적으로 수집하여 제시
- 스마트 건설기술 개발사업을 포함한 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위하여 종합관리시스템(http://www.kaia.re.kr) 운영

5절 과제 소요예산 및 재원조달 방안

1. 전체사업비

□ **6년('20년~'25년) 간 1,969.76억 원(정부 1,476.14억 원, 민자 493.62억 원), 연평균 약 328.29억 원 규모로 4대 중점분야, 12개 핵심기술에 지원**

<표 5-2> 4대 중점분야별, 12개 핵심기술별 사업 추진규모

(단위: 백만 원)

중점분야	핵심기술	총사업비	정부	민자
1. 건설장비 자동화 및 관제기술	1-1. 지능형 건설장비 관제 기술 개발	16,595	12,207	4,388
	1-2. 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발	15,950	11,733	4,217
	1-3. 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발	20,970	15,425	5,545
	소 계	53,515	39,365	14,150
2. 도로 구조물 스마트 건설기술	2-1. 디지털 기반 도로 구조물 설계·제작·시공 지원기술 개발	18,684	13,589	5,095
	2-2. 도로 구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	16,657	12,115	4,542
	2-3. 지능형 도로 구조물 시공품질 관리 기술 개발	4,749	3,454	1,295
	소 계	40,090	29,158	10,932
3. 스마트 안전 통합 관제기술	3-1. 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발	21,724	16,002	5,722
	3-2. 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발	7,589	5,590	1,999
	3-3. 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발	12,126	8,933	3,193
	소 계	41,439	30,525	10,914
4. 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	4-1. 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	13,276	9,761	3,515
	4-2. 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발	22,823	16,780	6,043
	4-3. 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영 기술 개발	14,383	10,575	3,808
	소 계	50,482	37,116	13,366
사업단 운영비		5,609	5,609	-
전문기관 기획평가관리비		5,841	5,841	-
합 계		196,976	147,614	49,362

□ 핵심기술별 연간 사업 규모

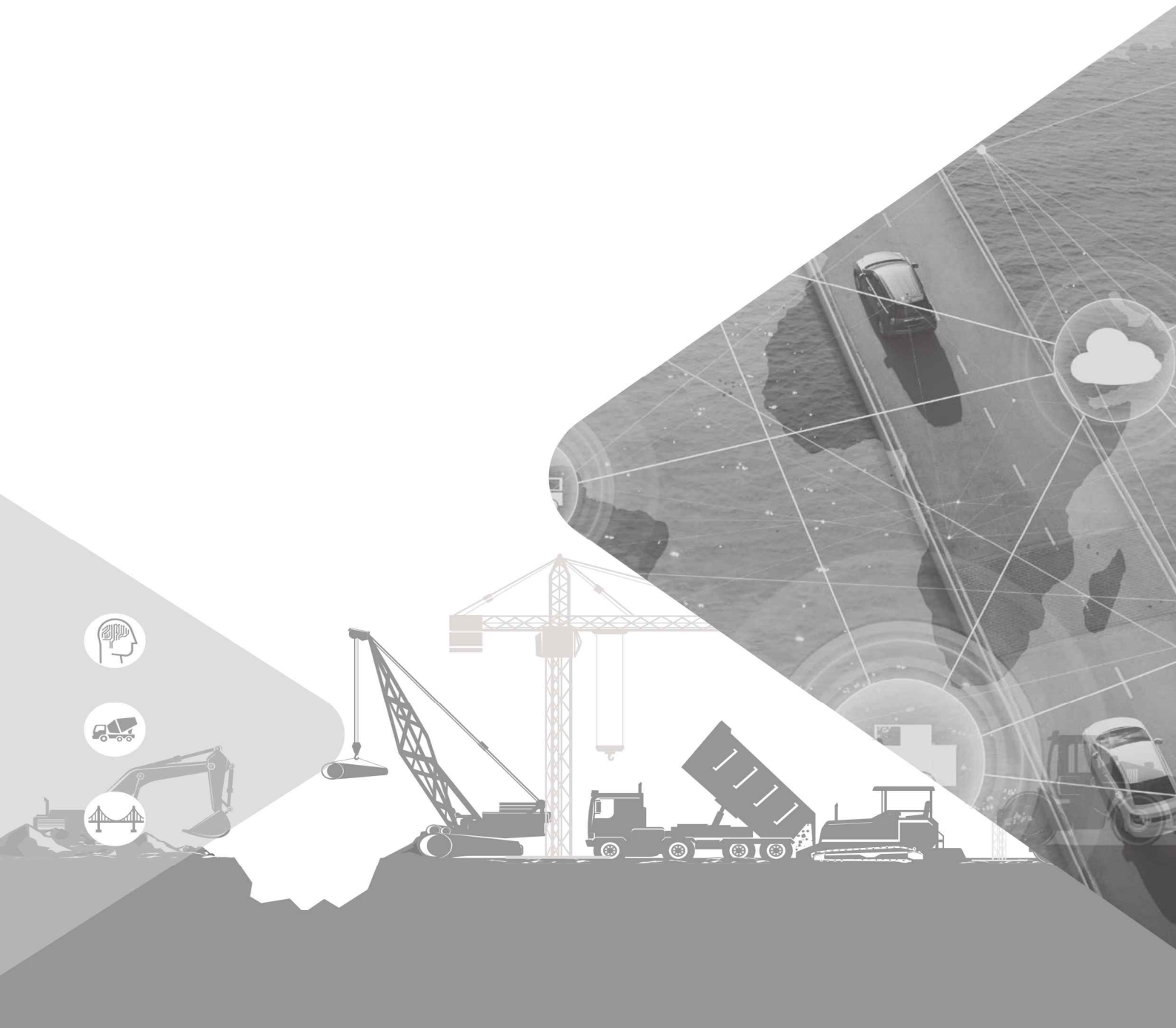
<표 5-3> 12개 핵심기술별 연간 사업 추진규모

(단위: 백만 원)

핵심기술	구분	1단계		2단계		3단계		계
		'20	'21	'22	'23	'24	'25	
1-1. 지능형 건설장비 관제 기술 개발	정부	1,711	1,957	2,439	2,439	2,438	1,223	12,207
	민간	615	703	877	877	876	440	4,388
	소계	2,326	2,660	3,316	3,316	3,314	1,663	16,595
1-2. 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발	정부	1,658	1,865	2,345	2,348	2,348	1,169	11,733
	민간	596	670	843	844	844	420	4,217
	소계	2,254	2,535	3,188	3,192	3,192	1,589	15,950
1-3. 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발	정부	3,351	2,306	2,791	2,791	2,791	1,395	15,425
	민간	1,205	829	1,003	1,003	1,003	502	5,545
	소계	4,556	3,135	3,794	3,794	3,794	1,897	20,970
2-1. 디지털 기반 도로 구조물 설계-제작-시공 지원기술 개발	정부	1,905	2,137	2,542	2,750	2,338	1,917	13,589
	민간	714	801	953	1,031	876	719	5,095
	소계	2,619	2,938	3,495	3,781	3,214	2,636	18,684
2-2. 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	정부	1,481	1,496	2,203	2,627	2,415	1,893	12,115
	민간	555	561	826	985	906	710	4,542
	소계	2,036	2,057	3,029	3,612	3,321	2,603	16,657
2-3. 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발	정부	482	565	576	567	632	632	3,454
	민간	181	212	216	213	237	237	1,295
	소계	663	777	792	780	869	869	4,749

3-1. 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발	정부	1,771	4,318	3,820	2,113	2,226	1,754	16,002
	민간	633	1,544	1,366	756	796	627	5,722
	소계	2,404	5,862	5,186	2,869	3,022	2,381	21,724
3-2. 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발	정부	1,246	1,236	1,174	1,174	380	380	5,590
	민간	446	442	420	420	136	136	1,999
	소계	1,692	1,678	1,594	1,594	516	516	7,589
3-3. 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발	정부	1,904	1,895	2,062	2,063	550	459	8,933
	민간	681	677	738	739	195	163	3,193
	소계	2,585	2,572	2,800	2,802	745	622	12,126
4-1. 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	정부	1,385	1,767	1,758	1,744	1,744	1,363	9,761
	민간	499	636	633	628	628	491	3,515
	소계	1,884	2,403	2,391	2,372	2,372	1,854	13,276
4-2. 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발	정부	2,390	3,011	3,007	3,000	3,000	2,372	16,780
	민간	861	1,084	1,083	1,080	1,080	854	6,043
	소계	3,251	4,095	4,090	4,080	4,080	3,226	22,823
4-3. 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영 기술 개발	정부	1,484	1,907	1,907	1,901	1,900	1,476	10,575
	민간	534	687	687	685	684	531	3,808
	소계	2,018	2,594	2,594	2,586	2,584	2,007	14,383
핵심기술 개발 연구비 합계	정부	20,768	24,460	26,624	25,517	22,762	16,033	136,164
	민간	7,520	8,846	9,645	9,261	8,261	5,830	49,362
	소계	28,288	33,306	36,269	34,778	31,023	21,863	185,526
사업단 운영비		855	1,008	1,097	1,051	938	661	5,609
전문기관 기획평가관리비		891	1,049	1,142	1,095	976	688	5,841
사업비 총계		30,034	35,363	38,508	36,924	32,937	23,212	196,976

부 록



【장비 구축 】

□ 연구장비 구축계획서의 세부사업별 구축예정장비 목록

<표 5 > 연구장비 구축 예정 목록

순번	장비 번호*	구축 장비명	제작사	모델명	주요사양	주요용도	구축예정연차	설치 예정 지역	단가 (단위 : 백만원)	수량	총금액 (단위 : 백만원)
1	1-3-1-001	진동롤러	Caterpillar	CS54B	-작동중량 : 10.5 Ton -최대출력 : 131 HP -드럼 폭 : 2,134 mm -CAB & A/C 포함	○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발 ○ 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정 ○ GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상 ○ 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감 ○ Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상 - 장비 기반 시공 정보 수집	1차년도(각1대)	미정	120.00	1	120.00
2	1-3-1-002	타이어롤러	Caterpillar	CW34	-기본중량 : 15 Ton (Steel 포함) -최대중량 : 20 Ton (Wet Sand 주입시) -최대출력 : 129 HP -Compaction 폭 : 2 M -CAB & A/C 포함				160.00	1	160.00

순번	장비 번호*	구축 장비명	제작사	모델명	주요사양	주요용도	구축예정연차	설치 예정 지역	단가 (단위 : 백만원)	수량	총금액 (단위 : 백만원)
3	1-3-1-003	콤비롤러	Caterpillar	CC34B	-기본중량 : 3.6 ton -최대출력 : 46 hp -CAB & A/C 포함	○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발 ○ 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정 ○ GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상 ○ 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감 ○ Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상 - 장비 기반 시공 정보 수집	1차년도(각1대)	미정	60.00	1	60.00
4	1-3-1-004	모터그레이더	Caterpillar	12M3	-작동중량 : 17.9 Ton -정격출력 : 181~234 HP -블레이드 폭 : 3,658 mm -CAB & A/C 포함				400.00	1	400.00
5	1-3-1-005	마카담롤러	Hitachi	ZC125M-5	-기본중량 : 10.6 Ton (Steel 포함) -최대중량 : 14 Ton (Wet Sand 주입 시) -최대출력 : 74 HP / Compaction 폭 : 2 M -후방 감지 센서 포함				110.00	1	110.00
6	1-3-1-006	불도저	Caterpillar	D6T	-작동중량 : 20 ton -정격출력 : 207 HP -블레이드 용량 : 5.55 m3 -ROPS CAB & A/C 포함				430.00		430.00

순번	장비 번호*	구축 장비명	제작사	모델명	주요사양	주요용도	구축예정연차	설치 예정 지역	단가 (단위 : 백만원)	수량	총금액 (단위 : 백만원)
7	2-3-1-001	3D 레이저 스캐너	PROTOTECH	FARO Focus3D X 330	-FARO Focus3D X 330 -측정 범위 : 최대 976,000 points/초 -오차 범위 : ±2 mm -무게 : 5.2 kg -크기: 240 × 200 × 100 mm -범위: 0.6 – 330 m -파장: 1,550 nm -직사광선 환경에서도 스캔 가능 -통합 GPS 수신기 장착 -WLAN 원경 조정 가능	○ 3차원 형상 스캐닝, 급속/정밀 스캔 목적의 센서 융합형 형상 계측	2차년도(1대)	울산	100.00	1	100.00
8	3-1-2-001	DLP 모니터 DLP Monitor	BARCO	70" LASER CUBE ODL-721	-0.1mm이하 스크린갭	○ CCTV 영상 표출/모니터링용	2차년도(8대)	진주	38.50	8	308.00
9	3-1-2-002	ESM라이센스 Easy System Monitoring Licence	GSDLab	ESM 라이센스	-서버,스토리지,네트워크 장애감지	○ 서버, 스토리지, 네트워크 장애감지 등록을 위한 시스템 라이센서	2차년도(30대) 3차년도(20대)	진주	0.24	50	12.00
10	3-1-2-003	ESM 서버 Easy System Monitoring Server	Dell EMC + GSDLab	R740 + ESM	-Xeon Silver 4110	○ 시스템 모니터링 및 장애감지	2차년도(1대)	진주	30.00	1	30.00

순번	장비 번호*	구축 장비명	제작사	모델명	주요사양	주요용도	구축예정연차	설치 예정 지역	단가 (단위 : 백만원)	수량	총금액 (단위 : 백만원)
11	3-1-2-004	KVM 콘솔 KVM Console	ATEN	KN2116VA	-2U Rack -RJ45_16port	○ 키보드, 마우스, 모니터 관리조작 단일화	2차년도(5대) 3차년도(2대)	진주	8.28	7	57.96
12	3-1-2-005	로즈 HA Rose Mirror HA	ESK솔루션	Rose Mirror HA	-x86/x64 환경의 윈도우, 리눅스 로컬디스크 환경에 적용	○ 매니지먼트 서버를 이중화하여 유사시 모든 시스템이 중단되는 것을 방지	2차년도(1대) 3차년도(1대)	진주	16.34	2	32.68
13	3-1-2-006	샌스위치 SAN Switch	Brocade	BR6520	-2U Rack mount	○ N:N으로 연결되는 스트리밍서버와 스토리지를 이중화하여 연결접속용	2차년도(1대) 3차년도(1대)	진주	64.00	2	128.00
14	3-1-2-007	디스플레이서버 Display Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-DS	-Xeon Gold 5122 x 2ea	○ DID 모니터에 직접 연결되어서 월을 구성하는 DID 표출용 서버	2차년도(4대)	진주	9.43	4	37.72
15	3-1-2-008	매니지먼트서버 Management Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-MNGT	-Xeon Silver 4110	○ CCTV의 데이터베이스 값을 저장하고 총괄하는 서버	2차년도(1대) 3차년도(1대) 4차년도(1대)	진주	13.22	3	39.66
16	3-1-2-009	백본스위치 Backborn Switch	Dell EMC	C9010	-8U Rack mount	○ 서버와 카메라의 서버 데이터를 모아서 총괄 관리하는 네트웍장치	2차년도(1대) 3차년도(1대)	진주	64.00	2	128.00
17	3-1-2-010	뷰어서버 Viewer Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-VS	-Xeon Gold 5122 x 2ea	○ 카메라 관리 및 등록을 전부 뷰어서버에서 해야 함. 관리자 전용서버	2차년도(1대) 3차년도(3대)	진주	9.43	4	37.72

순번	장비 번호*	구축 장비명	제작사	모델명	주요사양	주요용도	구축예정연차	설치 예정 지역	단가 (단위 : 백만원)	수량	총금액 (단위 : 백만원)
18	3-1-2-011	서버스위치 Server Switch	Dell EMC	N1524	-1U Rack mount	○ 서버와 백본 사이에서 데이터 연결을 관장하는 스위치	2차년도(10대) 3차년도(10대)	진주	6.93	20	138.60
19	3-1-2-012	스토리지 어레이 Storage Array	Dell EMC	SC9000	-3.2GHz 8core x 2ea	○ 디스크 관리와 레이드 구성, 서버와의 연결에 직접적인 컨트롤 역할	2차년도(1대) 3차년도(1대)	진주	72.18	2	144.36
20	3-1-2-013	스토리지 인클로져 Storage Enclosure	Dell EMC	SC280	-5U Rack Mount	○ 물리적인 디스크를 실제로 장착하여 데이터를 보관하는 역할	2차년도(10대) 3차년도(6대)	진주	83.70	16	1,339.20
21	3-1-2-014	스트리밍서버 Streaming Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-SS	-Xeon Silver 4112 x 2ea	○ CCTV의 녹화된 영상을 저장하고 스트리밍을 주관하는 서버	2차년도(20대) 3차년도(8대)	진주	10.11	28	283.08
22	3-1-2-015	시간동기화 서버 Security Network Time Server	Microsemi	SyncServer S600	-100/1000Base-T x 4 ports지원	○ 장기 시스템 사용시 시간의 틀어짐을 방지하여 이벤트 발생시 시간 체크 오류를 방지	2차년도(1대)	진주	13.19	1	13.19
23	3-1-2-016	월매니저서버 Wall Manager Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-WM	-Xeon Gold 5122 x 2ea	○ 비디오월에 나오는 카메라 수량이나 크기 등 전반적인 화면조작용 서버	2차년도(1대)	진주	9.43	1	9.43

순번	장비번호*	구축장비명	제작사	모델명	주요사양	주요용도	구축예정연차	설치예정지역	단가(단위 : 백만원)	수량	총금액(단위 : 백만원)
24	3-1-2-017	월서버 Wall Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-WS	-Xeon Gold 6128 x 2ea	○ 디스플레이 화면 배치 및 알람, 상황구성 등에 대한 데이터를 저장	2차년도(1대)	진주	11.73	1	11.73
25	3-1-2-019	카메라 스위치 CCTV Switch	Dell EMC	N1548	-1U Rack mount	○ PoE기능이 가능한(UTP전원공급) 카메라에 직접 연결되는 스위치	2차년도(32대)	진주	2.55	32	81.60
26	3-1-2-020	트랜스코더 서버 Transcoder Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-TS	-Xeon Gold 6128 x 2ea	○ CCTV 화면을 모바일기기나, 태블릿 등에서 볼 수 있도록 함	3차년도(1대)	진주	11.73	1	11.73
27	3-1-2-021	페일오버서버 Fail Over Server	Dell EMC + S1	R640 + SVMS-FO	-Xeon Silver 4112 x 2ea	○ 스트리밍서버가 장애시 무중단으로 계속 스트리밍 될 수 있도록 하는 서버	2차년도(53대)	진주	10.11	3	30.33
28	4-3-2-001	클라우드 기반 스마트건설 통합플랫폼 서버	KT 클라우드서비스	KT 클라우드서비스	-Sever(DMZ): CPU 4~16 vcore, MEM 4~124GB 등 -Sever(Private): CPU 8~16 vcore, MEM 8~32GB 등 -부가서비스: 공인IP 26개, HDD 10,300GB -기타, 라이선스, 로드밸런서, 백업 등 포함	○ 스마트건설현장에서 발생되는 방대한 현장센서 정보, 외부 시스템 연계정보, 데이터 분석 정보 등을 통합플랫폼을 통해 수집·가공·분석·3D기반 시각화 등을 수행하는데 활용	1차~6차년도	해당 없음	3,000.00	1	3,000.00

*장비번호의 부여 체계: 중점분야-핵심기술-구성기술-순번

□ 연구장비 구축계획서 기구축장비와의 중복·유사도 자체검토

○ 중복성 검토결과

- 구축계획 예정인 29종의 장비중 13종의 장비에 대해 기구축 유사장비가 존재하는 것으로 확인*

  * 연구장비를 대상으로 시설장비심의평가서비스(http://red.zeus.go.kr)를 통해 중복성 분석을 수행

- 기구축 유사장비가 존재하는 장비는 대부분 서버, 스위치등 전산장비로, 특정 구역에 위치하여 상시 모니터링 역할을 수행해야 하는 장비로 기구축장비를 활용하기 어려운 특성을 가짐

- 이는 '연구장비도입 심사평가단 구성·운영 세부지침'의 p.22에 제시된 연구장비의 중복성 판단 기준*에 따른 공동활용 불가능 사유에 부적합함

  * 단독활용장비를 제외하고, 1억원 이상 장비 중에 동일지역이 아닌 경우 공동활용이 불가능

- 세부적으로 공동활용이 가능한 장비는 존재하나 지역적으로 공동활용이 불가능한 것으로 판단됨

<표 6> 기구축 장비와의 중복·유사도 자체검토 결과

구축예정장비 (장비번호)	기구축 장비				지역 중복 여부	공동 활용 여부	장비 등록번호	검토의견
	기구축 장비명	제작사	모델명	설치 기관명				
3D 레이저 스캐너 (2-3-1-001)	3D 레이저 스캐너	Faro	Focus3D X330	국립문화재 연구소	X	O	NFEC-2018-01-241847	본 구축예정 장비의 기구축장비는 지역 중복여부, 접근성 등을 고려할 때 중복성은 매우 낮다고 판단됨
	3D 레이저 스캐너	Faro	focus x330	서울과기대	X	O	NFEC-2016-11-213031	
	광대역 3차원 스캐너	Faro	focus x330	㈜무림 지앤아이	X	O	NFEC-2017-02-235986	
ESM서버 (3-1-2-003)	리눅스서버 클러스터	Dell	DellPowerEdge R740	이화여대	X	X	NFEC-2018-08-245573	본 구축예정 장비는 대부분 서버구축을 위한 전산장비로, 특정 구역에 위치하여 상시 모니터링 역할을 수행해야 하는 장비로 기구축장비를 활용하기 어려운 특성을 가짐
샌스위치 (3-1-2-006) 백본 스위치 (3-1-2-009)	대용량 데이터 네트워크 스위치	Dell	Force10 Z9000	KISTI	X	O	NFEC-2014-06-189501	
서버스위치 (3-1-2-011)	네트워크 스위치	Dell	N4032	KISTI	X	X	NFEC-2017-05-237902	
디스플레이 서버 (3-1-2-007) 매니지먼트서버 (3-1-2-008) 뷰어서버	모니터링 서버	Dell	poweredge R640	KISTI	X	O	NFEC-2018-10-246646	

구축예정장비 (장비번호)	기구축 장비				지역 중복 여부	공동 활용 여부	장비 등록번호	검토의견
	기구축 장비명	제작사	모델명	설치 기관명				
(3-1-2-010) 월매니저 서버 (3-1-2-016) 월서버(3-1-2-017) 트랜스코더 서버 (3-1-2-020) 페일오일 서버 (3-1-2-021)								
스토리지 어레이 (3-1-2-012)	하드디스크 어레이	Dell	sc280	국립농업 과학원	X	X	NFEC-2017-11-240652	
스트리밍 서버 (3-1-2-014)	스트림 발생 및 저장기	Dell	PowerEdge R200	㈜알티캐스트	X	X	NFEC-2009-11-076047	

○ 구축장비 가격적정성 검토결과

- 구축예정 장비와 유사한 기구축 장비을 비교한 결과* 4종의 장비**의 가격의 기구축 장비의 가격보다 높아 하향조정함

*조사방법: 1억원 이상 구축예정 연구장비를 대상으로 시설장비심의평가서비스(http://red.zeus.go.kr) 및 웹사이트를 통해 적정가격 분석을 수행

**4종의 장비: 3D레이저 스캐너, ESM 서버, 샌스위치, 백본스위치,

<표 7> 구축장비 가격적정성 검토결과

※구분 : 중복존재(○), ×(×), 가격적정(-), 가격 부적정(▲)

구축예정장비		기구축장비		적정 가격 여부	검토의견 수용여부	가격적정성 검토결과	비고
장비명 (장비번호)	금액 (백만원)	등록 번호	금액 (백만원)				
진동롤러 (1-3-1-001)	120.00	-	-	-	-	- 유사 기구축 장비의 가격 정보 부재	- ZEUS내 유사 장비 정보 미존재 - 타 웹사이트의 검색결과 장비 정보 미존재
타이어롤러 (1-3-1-002)	160.00	-	-	-	-		
콤비롤러 (1-3-1-003)	60.00	-	-	-	-		
모터 그레이더 (1-3-1-004)	400.00	-	-	-	-		

구축예정장비		기구축장비		적정가격여부	검토의견수용여부	가격적정성 검토결과	비고
장비명 (장비번호)	금액 (백만원)	등록번호	금액 (백만원)				
마카담롤러 (1-3-1-005)	110.00	-	-	-	-		
불도저 (1-3-1-006)	430.00	-	-	-	-		
3D 레이저 스캐너 (2-3-1-001)	130.00	NFEC-2018-01-241847 NFEC-2016-11-213031 NFEC-2017-02-235986	93.00 75.00 98.00	▲	◯	- 가격적정성은 평균 구축금액이 7,580만원~9,800만원로 분포됨에 따라 가격적정성은 부적합하며, 1억원으로 금액조정	- ZEUS내 유사장비 정보 존재
DLP 모니터 (3-1-2-001)	38.50	NFEC-2011-02-144058	50.00	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	- ZEUS내 유사장비 정보 존재
ESM 라이센스 (3-1-2-002)	0.24	-	0.24	-	-	- 가격의 적정성은 판단할 수 없으나, 라이센스의 구매수량이 과다하여 탑재가능 서버의 수량에 맞게 재조정함(→)	- ZEUS내 유사장비 정보 미존재
ESM 서버 (3-1-2-003)	36.39	NFEC-2018-08-245573	29.00	▲	◯	- 동일 장비의 평균 구축금액이 2,800만원부터 시작됨에 따라 3,000원으로 금액조정	- ZEUS내 유사장비 정보 존재
KVM 콘솔 (3-1-2-004)	8.28	-	-	-	-	- 유사 기구축 장비의 가격정보 부재	- ZEUS내 유사장비 정보 미존재
로즈 HA (3-1-2-005)	16.34	-	-	-	-		
샌스위치 (3-1-2-006)	91.00	NFEC-2014-06-189501	63.00	▲	◯	- 유사장비의 평균 구축금액에 따라 6,400만원으로 금액조정	- ZEUS내 유사장비 정보 존재
디스플레이 서버 (3-1-2-007)	9.43	NFEC-2018-10-246646	9.68	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	- ZEUS내 유사장비 정보 존재
매니지먼트 서버 (3-1-2-008)	13.22	NFEC-2018-10-246646	9.68	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	
백본스위치 (3-1-2-009)	78.80	NFEC-2014-06-189501	63.00	▲	◯	- 유사장비의 평균 구축금액에 따라 6,400만원으로 금액조정	- IT장비로 대부분 서버와 네트웍장비에 해당됨.

구축예정장비		기구축장비		적정가격여부	검토의견 수용여부	가격적정성 검토결과	비고
장비명 (장비번호)	금액 (백만원)	등록 번호	금액 (백만원)				
뷰어서버 (3-1-2-010)	9.43	NFEC-2018-10-246646	9.68	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	- 일반적으로 IT장비는 개별 서버 단위로 ZEUS등록되지 않기 때문에 동일한 세부 장치를 검색하기에 한계가 있음
서버스위치 (3-1-2-011)	6.93	NFEC-2017-05-237902	6.93	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	
스토리지 어레이 (3-1-2-012)	72.18	-	72.18	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	
스토리지 인클로져 (3-1-2-013)	83.70	-	83.70	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	
스트리밍서버 (3-1-2-014)	10.11	-	10.11	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	
시간동기화 서버 (3-1-2-015)	13.19	NFEC-2008-09-062694	32.58	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	- ZEUS내 유사 장비 정보 존재
웰매니저 서버 (3-1-2-016)	9.43	NFEC-2018-10-246646	9.68	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	- ZEUS내 유사 장비 정보 존재
웰서버 (3-1-2-017)	11.73	NFEC-2018-10-246646	9.68	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	
카메라스위치 (3-1-2-019)	2.55	-	-	-	-	- 유사 기구축 장비의 가격정보 부재	- ZEUS내 유사 장비 정보 미존재
트랜스코더 서버 (3-1-2-020)	11.73	NFEC-2018-10-246646	9.68	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	- ZEUS내 유사 장비 정보 존재
페일오버서버 (3-1-2-021)	10.11	NFEC-2018-10-246646	9.68	-	-	- 적정수준의 가격책정으로 가격적정성이 적당하다고 판단됨	
클라우드 기반 스마트건설 통합플랫폼 서버 (4-3-2-001)	3,000.00	-	-	-	-	- 적정가격을 판단하기 어려움	- ZEUS상에 유사 통합플랫폼장비는 존재하나, 제공된 수용규모와 사양정보의 제약으로 적정가격을 판단하기 어려움

【연구장비구축계획서 장비개요 항목, 장비구축 타당성 자체검토 항목, 견적서】

1. 장비번호: 1-3-1-001

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="6">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="6">진동롤러</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="6">Vibratory Soil Compactor</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="6">CAT/CS54B</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="6">CAT CS54B 진동롤러 (120x 1식 = 120)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="6">미정
(테스트베드)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="6">○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발
- 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정
- GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상
- 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감
- Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상
- 장비 기반 시공 정보 수집</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td colspan="2">기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="6">○ CAT CS54B 진동 롤러
* 작동중량 : 10.5 Ton / 최대출력 : 131 HP / 드럼 폭 : 2,134 mm
* CAB & A/C 포함</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 스마트 건설기술 활성화에 따라 건설자동화 연구 본 장비 필요
사업(연구)과의 부합성	○ 디지털 기반 SOC 도로건설장비 자동화 기술 개발에 있어 실제 도로건설 장비를 통한 도로건설 공정을 수행이 필수적임. 본 사업을 통해 After-Market用 건설장비 자동화 기술 개발 등의 기반기술을 확보하기 위해 실제 공사에서 사용하는 도로건설장비(롤러류, 모터 그레이더, 아스팔트 페이버, 불도저 등)의 도입은 본 사업과 매우 부합 ○ 본 장비를 통한 기술 개발을 위해 공정 별 작업 및 성능평가 시험 등을 수행해야 함으로 별도의 장비 구축이 필요
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 도로건설 시 필수장비로 건설기계부품 관련 연구 수행기관 특성을 고려할 때 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 도로건설 공정의 자동 작업을 위해 공정에 관계되는 장비의 확보가 필수적이며, 이에 대상 장비는 도저, 롤러, 그레이더, 아스팔트 페이버를 선정함. ○ 해당 사업 종류 후 도로건설 산업에서 구축기관의 전문가의 도움을 통해 시범사업이 가능하며, 타 사업에서도 본 과제에서 개발한 대상 자동화 장비와 기술 연계를 할 수 있음.
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 도로건설 공정에 해당되는 장비를 선정하였으며 기본적인 도로건설이 가능함. ○ 작동 중량 131HP급 진동롤러 1식, 129HP급 타이어롤러 1식, 46HP급 콤비롤러 1식, 200HP급 모터 그레이더 1식, 165HP급 아스팔트 페이버 1식, 200HP급 불도저 1식을 통해 도로건설을 통해 공정 및 자동화 기술 개발 및 성능 평가를 수행하는데 적합함.
연구장비 구축비용의 적정성	○ 유사 기구축 장비의 가격정보가 부재하여 가격 적정성을 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 본 연구에서 개발한 모든 연구장비는 연구수행기관에서 통합 관리함. 연구장비는 연구 책임자의 관리하에서 장비 관련 인력을 배치하여 월/주 단위 장비 관리가 이루어짐 ○ 과제 진행 기간 동안 해당 장비의 운영에 있어서 실제 공사 경험이 있는 인력을 전담 배치함 ○ 해당 과제 연구기간 중에는 효과적인 기술 개발을 위해 독점 사용할 예정

2. 장비번호: 1-3-1-002

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">타이어롤러</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Pneumatic Roller</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">CAT/CW34</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">CAT CW34 타이어롤러 (160 x 1식 = 160)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">미정
(테스트베드)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발
- 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정
- GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상
- 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감
- Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상
- 장비 기반 시공 정보 수집</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CAT CW34 타이어롤러
* 기본중량 : 15 Ton (Steel 포함)
* 최대중량 : 20 Ton (Wet Sand 주입 시)
* 최대출력 : 129 HP / Compaction 폭 : 2 M
* CAB & A/C 포함</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 스마트 건설기술 활성화에 따라 건설자동화 연구 본 장비 필요
사업(연구)과의 부합성	○ 디지털 기반 SOC 도로건설장비 자동화 기술 개발에 있어 실제 도로건설 장비를 통한 도로건설 공정을 수행이 필수적임. 본 사업을 통해 After-Market用 건설장비 자동화 기술 개발 등의 기반기술을 확보하기 위해 실제 공사에서 사용하는 도로건설장비(롤러류, 모터 그레이더, 아스팔트 페이버, 불도저 등)의 도입은 본 사업과 매우 부합 ○ 본 장비를 통한 기술 개발을 위해 공정 별 작업 및 성능평가 시험 등을 수행해야 함으로 별도의 장비 구축이 필요
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 도로건설 시 필수장비로 건설기계부품 관련 연구 수행기관 특성을 고려할 때 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 도로건설 공정의 자동 작업을 위해 공정에 관계되는 장비의 확보가 필수적이며, 이에 대상 장비는 도저, 롤러, 그레이더, 아스팔트 페이버를 선정함. ○ 해당 사업 종류 후 도로건설 산업에서 구축기관의 전문가의 도움을 통해 시범사업이 가능하며, 타 사업에서도 본 과제에서 개발한 대상 자동화 장비와 기술 연계를 할 수 있음.
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 도로건설 공정에 해당되는 장비를 선정하였으며 기본적인 도로건설이 가능함. ○ 작동 중량 131HP급 진동롤러 1식, 129HP급 타이어롤러 1식, 46HP급 콤비롤러 1식, 200HP급 모터 그레이더 1식, 165HP급 아스팔트 페이버 1식, 200HP급 불도저 1식을 통해 도로건설을 통해 공정 및 자동화 기술 개발 및 성능 평가를 수행하는데 적합함.
연구장비 구축비용의 적정성	○ 유사 기구축 장비의 가격정보가 부재하여 가격 적정성을 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 본 연구에서 개발한 모든 연구장비는 연구수행기관에서 통합 관리함. 연구장비는 연구 책임자의 관리하에서 장비 관련 인력을 배치하여 월/주 단위 장비 관리가 이루어짐 ○ 과제 진행 기간 동안 해당 장비의 운영에 있어서 실제 공사 경험이 있는 인력을 전담 배치함 ○ 해당 과제 연구기간 중에는 효과적인 기술 개발을 위해 독점 사용할 예정

3. 장비번호: 1-3-1-003

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">콤비롤러</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Utility Compactor</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">CAT/CC34B</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">CAT CC34B 콤비롤러 (60 x 1식 = 60,)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">미정
(테스트베드)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발
- 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정
- GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상
- 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감
- Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상
- 장비 기반 시공 정보 수집</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CAT CC34B 콤비롤러
* 기본중량 : 3.6 ton / 최대출력 : 46 hp / CAB & A/C 포함</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 스마트 건설기술 활성화에 따라 건설자동화 연구 본 장비 필요
사업(연구)과의 부합성	○ 디지털 기반 SOC 도로건설장비 자동화 기술 개발에 있어 실제 도로건설장비를 통한 도로건설 공정을 수행이 필수적임. 본 사업을 통해 After-Market用 건설장비 자동화 기술 개발 등의 기반기술을 확보하기 위해 실제 공사에서 사용하는 도로건설장비(롤러류, 모터 그레이더, 아스팔트 페이버, 불도저 등)의 도입은 본 사업과 매우 부합 ○ 본 장비를 통한 기술 개발을 위해 공정 별 작업 및 성능평가 시험 등을 수행해야 함으로 별도의 장비 구축이 필요
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 도로건설 시 필수장비로 건설기계부품 관련 연구 수행기관 특성을 고려할 때 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 도로건설 공정의 자동 작업을 위해 공정에 관계되는 장비의 확보가 필수적이며, 이에 대상 장비는 도저, 롤러, 그레이더, 아스팔트 페이버를 선정함. ○ 해당 사업 종류 후 도로건설 산업에서 구축기관의 전문가의 도움을 통해 시범사업이 가능하며, 타 사업에서도 본 과제에서 개발한 대상 자동화 장비와 기술 연계를 할 수 있음.
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 도로건설 공정에 해당되는 장비를 선정하였으며 기본적인 도로건설이 가능함. ○ 작동 중량 131HP급 진동롤러 1식, 129HP급 타이어롤러 1식, 46HP급 콤비롤러 1식, 200HP급 모터 그레이더 1식, 165HP급 아스팔트 페이버 1식, 200HP급 불도저 1식을 통해 도로건설을 통해 공정 및 자동화 기술 개발 및 성능 평가를 수행하는데 적합함.
연구장비 구축비용의 적정성	○ 유사 기구축 장비의 가격정보가 부재하여 가격 적정성을 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 본 연구에서 개발한 모든 연구장비는 연구수행기관에서 통합 관리함. 연구 장비는 연구 책임자의 관리하에서 장비 관련 인력을 배치하여 월/주 단위 장비 관리가 이루어짐 ○ 과제 진행 기간 동안 해당 장비의 운영에 있어서 실제 공사 경험이 있는 인력을 전담 배치함 ○ 해당 과제 연구기간 중에는 효과적인 기술 개발을 위해 독점 사용할 예정

4. 장비번호: 1-3-1-004

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">모터 그레이더</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Motor Grader</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">CAT/12M3 모터 그레이더</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">CAT 12M3 모터그레이더 (400 x 1식 = 400)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">미정
(테스트베드)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발
- 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정
- GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상
- 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감
- Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상
- 장비 기반 시공 정보 수집</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CAT 12M3 모터 그레이더
* 작동중량 : 17.9 Ton / 정격출력 : 181~234 HP
* 블레이드 폭 : 3,658 mm / CAB & A/C 포함</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 스마트 건설기술 활성화에 따라 건설자동화 연구 본 장비 필요
사업(연구)과의 부합성	○ 디지털 기반 SOC 도로건설장비 자동화 기술 개발에 있어 실제 도로건설장비를 통한 도로건설 공정을 수행이 필수적임. 본 사업을 통해 After-Market用 건설장비 자동화 기술 개발 등의 기반기술을 확보화기 위해 실제 공사에서 사용하는 도로건설장비(롤러류, 모터 그레이더, 아스팔트 페이버, 불도저 등)의 도입은 본 사업과 매우 부합 ○ 본 장비를 통한 기술 개발을 위해 공정 별 작업 및 성능평가 시험 등을 수행해야 함으로 별도의 장비 구축이 필요
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 도로건설 시 필수장비로 건설기계부품 관련 연구 수행기관 특성을 고려할 때 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 도로건설 공정의 자동 작업을 위해 공정에 관계되는 장비의 확보가 필수적이며, 이에 대상 장비는 도저, 롤러, 그레이더, 아스팔트 페이버를 선정함. ○ 해당 사업 종류 후 도로건설 산업에서 구축기관의 전문가의 도움을 통해 시범사업이 가능하며, 타 사업에서도 본 과제에서 개발한 대상 자동화 장비와 기술 연계를 할 수 있음.
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 도로건설 공정에 해당되는 장비를 선정하였으며 기본적인 도로건설이 가능함. ○ 작동 중량 131HP급 진동롤러 1식, 129HP급 타이어롤러 1식, 46HP급 콤비롤러 1식, 200HP급 모터 그레이더 1식, 165HP급 아스팔트 페이버 1식, 200HP급 불도저 1식을 통해 도로건설을 통해 공정 및 자동화 기술 개발 및 성능 평가를 수행하는데 적합함.
연구장비 구축비용의 적정성	○ 유사 기구축 장비의 가격정보가 부재하여 가격 적정성을 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 본 연구에서 개발한 모든 연구장비는 연구수행기관에서 통합 관리함. 연구 장비는 연구 책임자의 관리하에서 장비 관련 인력을 배치하여 월/주 단위 장비 관리가 이루어짐 ○ 과제 진행 기간 동안 해당 장비의 운영에 있어서 실제 공사 경험이 있는 인력을 전담 배치함 ○ 해당 과제 연구기간 중에는 효과적인 기술 개발을 위해 독점 사용할 예정

5. 장비번호: 1-3-1-005

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">마카담롤러</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Macadam roller</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Hitachi ZC125M-5 마카담롤러</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">Hitachi 마카담롤러 (110 x 1식 = 110)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">미정
(테스트베드)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발
- 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정
- GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상
- 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감
- Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상
- 장비 기반 시공 정보 수집</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ Hitachi ZC125M-5 마카담롤러
* 기본중량 : 10.6 Ton (Steel 포함)
* 최대중량 : 14 Ton (Wet Sand 주입 시)
* 최대출력 : 74 HP / Compaction 폭 : 2 M
* 후방 감지 센서 포함</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 스마트 건설기술 활성화에 따라 건설자동화 연구 본 장비 필요
사업(연구)과의 부합성	○ 디지털 기반 SOC 도로건설장비 자동화 기술 개발에 있어 실제 도로건설장비를 통한 도로건설 공정을 수행이 필수적임. 본 사업을 통해 After-Market用 건설장비 자동화 기술 개발 등의 기반기술을 확보화기 위해 실제 공사에서 사용하는 도로건설장비(롤러류, 모터 그레이더, 불도저 등)의 도입은 본 사업과 매우 부합 ○ 본 장비를 통한 기술 개발을 위해 공정 별 작업 및 성능평가 시험 등을 수행해야 함으로 별도의 장비 구축이 필요
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 도로건설 시 필수장비로 건설기계부품 관련 연구 수행기관 특성을 고려할 때 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 도로건설 공정의 자동 작업을 위해 공정에 관계되는 장비의 확보가 필수적이며, 이에 대상 장비는 도저, 롤러, 그레이더를 선정함. ○ 해당 사업 종류 후 도로건설 산업에서 구축기관의 전문가의 도움을 통해 시범사업이 가능하며, 타 사업에서도 본 과제에서 개발한 대상 자동화 장비와 기술 연계를 할 수 있음.
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 도로건설 공정에 해당되는 장비를 선정하였으며 기본적인 도로건설이 가능함. ○ 작동 중량 131HP급 진동롤러 1식, 129HP급 타이어롤러 1식, 46HP급 콤비롤러 1식, 200HP급 모터 그레이더 1식, 74HP급 마카담 롤러 1식, 200HP급 불도저 1식을 통해 도로건설을 통해 공정 및 자동화 기술 개발 및 성능 평가를 수행하는데 적합함.
연구장비 구축비용의 적정성	○ 유사 기구축 장비의 가격정보가 부재하여 가격 적정성을 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 본 연구에서 개발한 모든 연구장비는 연구수행기관에서 통합 관리함. 연구 장비는 연구 책임자의 관리하에서 장비 관련 인력을 배치하여 월/주 단위 장비 관리가 이루어짐 ○ 과제 진행 기간 동안 해당 장비의 운영에 있어서 실제 공사 경험이 있는 인력을 전담 배치함 ○ 해당 과제 연구기간 중에는 효과적인 기술 개발을 위해 독점 사용할 예정

6. 장비번호: 1-3-1-006

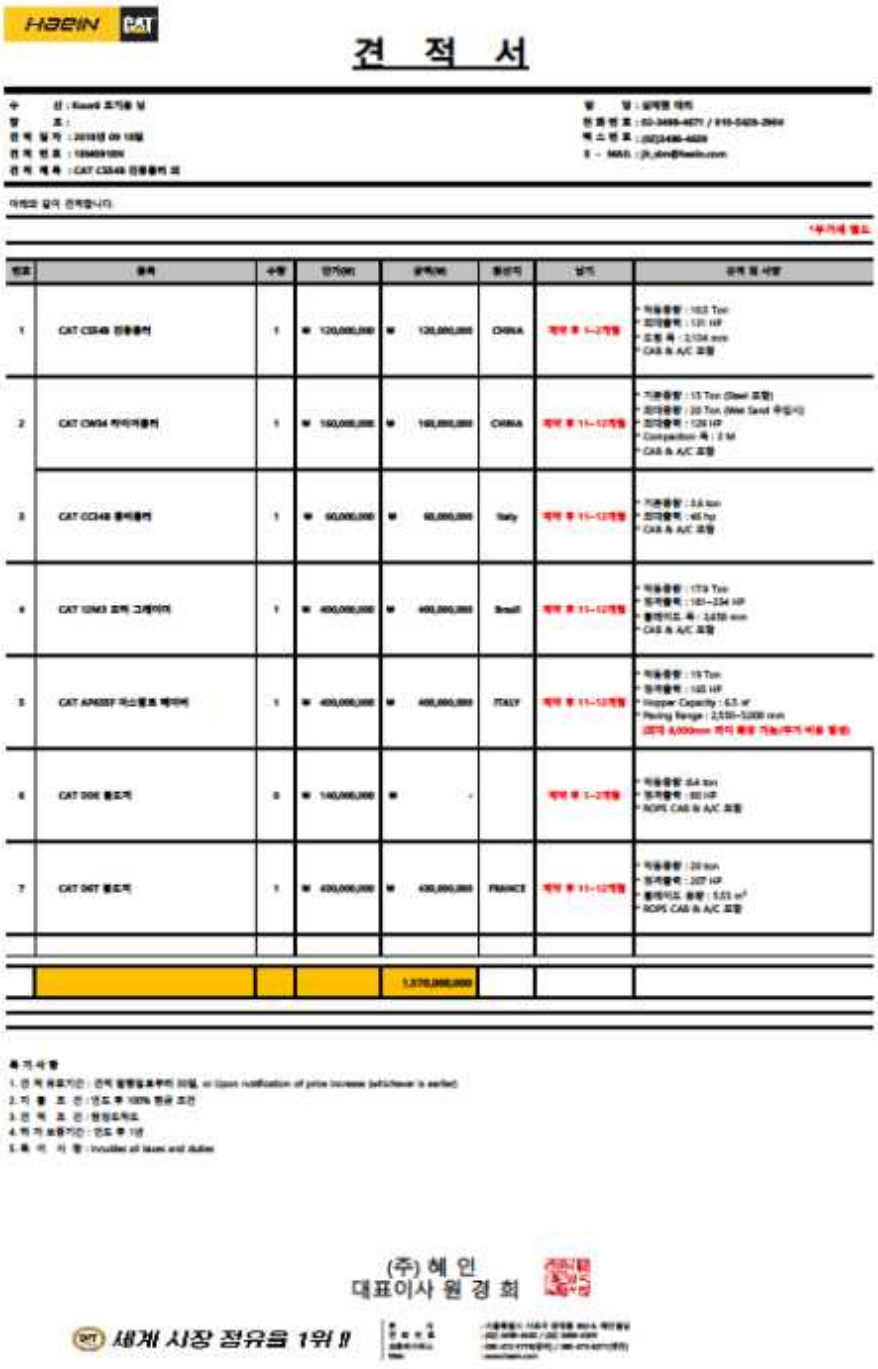
(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">불도저</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Track-Type Tractor</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">CAT/D6T</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">CAT D6T 불도저 (430 x 1식 = 430)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">미정
(테스트베드)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 및 AI 기반 자율 주행 기술 개발
- 공정분석을 통한 투입 장비별 자율 작업 평가 및 자율 작업 공정
- GPS, 센서 융합, 고정밀 유압제어 기술을 통한 작업생산성 향상
- 고위험 공정 원격제어 및 자율작업을 통한 작업자 안전 향상 및 작업 시수 절감
- Lidar와 Stereo-vision 센서를 통한 객체 인식 및 환경 인식 기술을 통한 공사장 안전 향상
- 장비 기반 시공 정보 수집</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CAT D6T 불도저
* 작동중량 : 20 ton / 정격출력 : 207 HP / 블레이드 용량 : 5.55 m3
* ROPS CAB & A/C 포함</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 스마트 건설기술 활성화에 따라 건설자동화 연구 본 장비 필요
사업(연구)과의 부합성	○ 디지털 기반 SOC 도로건설장비 자동화 기술 개발에 있어 실제 도로건설장비를 통한 도로건설 공정을 수행이 필수적임. 본 사업을 통해 After-Market用 건설장비 자동화 기술 개발 등의 기반기술을 확보화기 위해 실제 공사에서 사용하는 도로건설장비(롤러류, 모터 그레이더, 아스팔트 페이버, 불도저 등)의 도입은 본 사업과 매우 부합 ○ 본 장비를 통한 기술 개발을 위해 공정 별 작업 및 성능평가 시험 등을 수행해야 함으로 별도의 장비 구축이 필요
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 도로건설 시 필수장비로 건설기계부품 관련 연구 수행기관 특성을 고려할 때 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 도로건설 공정의 자동 작업을 위해 공정에 관계되는 장비의 확보가 필수적이며, 이에 대상 장비는 도저, 롤러, 그레이더, 아스팔트 페이버를 선정함. ○ 해당 사업 종류 후 도로건설 산업에서 구축기관의 전문가의 도움을 통해 시범사업이 가능하며, 타 사업에서도 본 과제에서 개발한 대상 자동화 장비와 기술 연계를 할 수 있음.
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 도로건설 공정에 해당되는 장비를 선정하였으며 기본적인 도로건설이 가능함. ○ 작동 중량 131HP급 진동롤러 1식, 129HP급 타이어롤러 1식, 46HP급 콤비롤러 1식, 200HP급 모터 그레이더 1식, 165HP급 아스팔트 페이버 1식, 200HP급 불도저 1식을 통해 도로건설을 통해 공정 및 자동화 기술 개발 및 성능 평가를 수행하는데 적합함.
연구장비 구축비용의 적정성	○ 유사 기구축 장비의 가격정보가 부재하여 가격 적정성을 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 본 연구에서 개발한 모든 연구장비는 연구수행기관에서 통합 관리함. 연구 장비는 연구 책임자의 관리하에서 장비 관련 인력을 배치하여 월/주 단위 장비 관리가 이루어짐 ○ 과제 진행 기간 동안 해당 장비의 운영에 있어서 실제 공사 경험이 있는 인력을 전담 배치함 ○ 해당 과제 연구기간 중에는 효과적인 기술 개발을 위해 독점 사용할 예정

(3) 견적서



견 적 서

번호	품목	수량	단가(₩)	금액(₩)	원산지	납기	규격 및 사양
1	CAT CS54B 진동롤러	1	₩ 120,000,000	₩ 120,000,000	CHINA	계약 후 1~2개월	• 작동중량 : 10.5 Ton • 최대출력 : 131 HP • 드럼 폭 : 2,134 mm • CAB & A/C 포함
2	CAT CW34 머캐덤롤러	1	₩ 160,000,000	₩ 160,000,000	CHINA	계약 후 11~12개월	• 기본중량 : 13 Ton (Steel 포함) • 최대중량 : 20 Ton (Wet Sand 주입시) • 최대출력 : 128 HP • Compaction 폭 : 2 M • CAB & A/C 포함
3	CAT CC34B 콤팩롤러	1	₩ 80,000,000	₩ 80,000,000	Italy	계약 후 11~12개월	• 기본중량 : 3.6 ton • 최대출력 : 45 hp • CAB & A/C 포함
4	CAT 12M3 모터 그레이더	1	₩ 400,000,000	₩ 400,000,000	Brazil	계약 후 11~12개월	• 작동중량 : 17.9 Ton • 정격출력 : 181~234 HP • 블레이드 폭 : 3,658 mm • CAB & A/C 포함
5	CAT AP655F 아스팔트 페이버	1	₩ 400,000,000	₩ 400,000,000	ITALY	계약 후 11~12개월	• 작동중량 : 19 Ton • 정격출력 : 102 HP • Hopper Capacity : 6.5 ㎥ • Paving Range : 2,550~5,000 mm (표준 4,000mm 까지 확장 가능/추가 비용 발생)
6	CAT 306 굴삭기	0	₩ 140,000,000	₩ -		계약 후 1~2개월	• 작동중량 :5.4 ton • 정격출력 : 83 HP • ROPS CAB & A/C 포함
7	CAT 06T 휠로더	1	₩ 430,000,000	₩ 430,000,000	FRANCE	계약 후 11~12개월	• 작동중량 : 20 ton • 정격출력 : 207 HP • 블레이드 용량 : 5.51 ㎥ • ROPS CAB & A/C 포함
				1,270,000,000			

특기사항

1. 견적 유효기간 : 견적 일행일로부터 30일, or Upon notification of price increase (whichever is earlier)
2. 지 불 조 건 : 인도 후 100% 현금 조건
3. 견 적 조 건 : 현장도착도
4. 하자보증기간 : 인도 후 1년
5. 특 이 사 항 : Includes all taxes and duties

(주) 혜 인
대표이사 원 경 희

세계 시장 점유율 1위 !!

* 아스팔트 페이버는 마카덤롤러로 대체되었으며, 마카덤롤러에 대한 견적서는 후면에 제시

見　積　書

건설기계부품연구원

하기와같이 견적합니다.

견적일자 : 2019. 11. 27

배송방법 : 화물 탁송도

결재방식 :

유효기간 : 10 일

납　기 : 발주후16일

大電機械工業株式會社

경기도 평택시 서탄면 수월암리 220-5
電話 : (031) 668-7700
FAX : (031) 668-6677

代表理事　金 才 一

합　계 :　일억천만원정　(vat포함)

단위:원

순	품 명 및 형 식	규 격	수량	금액	비　고
1	마카덤롤러	10.6톤~14톤	1	100,000,000	

◆ 보증기간 :1년2,000시간 선도래조건

◆ 옵션사항

- 운전자안전가이드설치(측면):작업중 운전자 보호
- 후방 감지센서 장착 및 경광등 장착
- 직진인디게이커장착: 포장 작업시 직진성 확보
- 백부저 온.오프 기능부착:야간작업시 부저음 소음 방지
- 주행과 연동되는 살수 간헐 타이머 장착
- 흑한기 동결방지 시스템 장착
- 임펠러식 살수펌프 장착:동결 위험성 줄이고 내구성 향상

합　　계 (vat포함)	₩110,000,000

大電機械工業株式會社

7. 장비번호: 2-3-1-001

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">3D 레이저 스캐너</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">3D Laser Scanner</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">PROTOTECH/FARO Focus3D X 330</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">130 (1억3천만원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">울산과학기술원(UNIST)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 3차원 형상 스캐닝
- 시공 중 프리팹 부재의 3차원 형상 스캐닝
- 시공 중 As-built 구조의 3차원 형상 스캐닝
○ 급속/정밀 스캔 목적의 센서 융합형 형상 계측
- 레이저, 영상, 스트레인 등의 다중 데이터 융합을 통한 급속/정밀 스캐닝</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ FARO Focus3D X 330
- 측정 범위 : 최대 976,000 points/초
- 오차 범위 : ±2 mm
- 무게 : 5.2 kg
- 크기: 240 × 200 × 100 mm
- 범위: 0.6 – 330 m
- 파장: 1,550 nm
- 직사광선 환경에서도 스캔 가능
- 통합 GPS 수신기 장착
- WLAN 원경 조정 가능</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 3D 스캐너는 물체의 3차원 형상 정보를 획득하여 디지털화하는 장치로, 3D 영상 콘텐츠 제작, 역설계와 품질 관리, 의료, 패션, 문화재 복원 등 다양한 분야에서 사용 중임 ○ '2019년 3D 프린팅 글로벌 선도국가 도약'이라는 비전을 구현하기 위해 2017년부터 2019년까지 추진할 4대 추진전략과 12대 정책과제로 구성 ○ 3D 스캐너 기반의 스마트 건설을 통해 ICT 융합 기술력 확보, 국산화 및 상용화를 촉진하고 관련 산업의 선도가 필요함
사업(연구)과의 부합성	○ 본 연구과제의 주목적은 시공 중 프리팹 부재 및 As-built 구조물의 3차원 스캐닝을 수행하는 것이며, 후에 시공 안전성을 평가 및 판단하고 스마트 안전 시스템을 효과적으로 진행하는데 있음 ○ 3차원 레이저 스캐너는 구조물의 3차원 형상을 계측하는데 널리 사용되고 있으며, 시공 중 정밀/급속 스캐닝 및 시공성 안전성을 판단하는 본 연구과제의 특성상 필수적인 장비로 판단됨
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비의 동일장비는 서울,대전,광주, 경북(구미) 등 권역별로 1점씩 구축되어 있으나, 대부분 공동활용허용 장비에 해당되어 그 활용범위가 제한되며, 지역적 접근성 등을 고려할 때 중복성은 매우 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 3D 스캐너는 볼트와 너트와 같은 소형 대상물부터 비행기, 선박, 빌딩 등 대형 구조물의 형상 정보를 얻는데 널리 사용되고 있으며, 다양한 산업군에 필요한 역설계와 품질관리 분야에 적극 활용되어오고 있음 ○ 따라서 본 연구과제의 주목적인 프리팹 부재 및 As-built 구조물의 3차원 스캐닝의 용도로 사용된 이후에도 타 사업에서도 활용이 가능한 다목적 장비임
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 본 연구 장비 FARO Focus3D X 330는 최대 330m 거리에 있는 물체를 3차원 스캐닝 가능하며, 특히 대형 구조물, 굴착 또는 접근이 어려운 지형의 물체 등을 몇 번의 스캔만으로 측정이 가능한 효율적인 장비임 ○ 본 연구의 주목적인 프리팹 부재 및 As-built 구조물의 급속/정밀 스캐닝에 적합하다고 판단됨
연구장비 구축비용의 적정성	○ 가격적정성은 동일 장비의 평균 구축금액이 7,580만원~9,800만원로 분포됨에 따라 가격적정성은 부적합하여, 1억원으로 가격 조정함
장비 운영의 계획성	○ 본 연구 장비는 울산과학기술원의 특수 실험실에 설치될 예정이며, 전담 인력을 통해 전문성을 확보할 예정임 ○ 연구과제(사업)이 종료된 이후에는 타 사업에 활용이 가능하도록 구체적인 계획 방안을 제시할 예정임

(3) 견적서

㈜프로토텍
서울 금천구 가산디지털1로 19
대륭테크노타운 18차 303호

TEL : +82-2-6959-4113
FAX : +82-2-6959-4103
www.prototech.co.kr

견 적 서

울산과학기술원 도시환경공학부 귀하

2018년 10월 17일
Quote No. : PTI-QT-MCD-181017T1

하기 내용으로 견적서를 송부하오니 검토 후 회신 바랍니다.

영업담당자 : 김영환 주임 (010-4841-4287)
납 품 장 소 : 귀사지정 장소
납 기 : 발주 후 60일 이내
대금지불 : 검수 후 7일 이내 100% 현금 입금
제 조 국 : 캐나다
유효기간 : 2018년 11월 17일

서울특별시 금천구 가산디지털1로 19
303호(가산동, 대륭테크노타운18차)
(주) 프 로 토 텍
대표이사 신 영 문

금액: 일억삼천오백팔만 원 整
(VAT 포함)

PART NO.	품 목	수량		단 가		합 계
FARO Design ScanArm Ver 2.5 (non-color)	1. FARO DesignArm, 2.5m, 7 Axis. 2. 부대장치 A. PRIZM LLP (Green Laser Scanner) B. Standard probe kit, C. Base plate, D. Custom cover heavy-duty case E. 1 year warranty F. Tripod for FARO Design Arm	1	₩	74,000,000	₩	74,000,000
Color LLP Upgrade 2.5C (컬러 옵션)	1. Color PRIZM 스캐너 2. Texture on/off 기능 (컬러 모드 선택 가능) 3. HDR 기능 지원	1	₩	6,300,000	₩	6,300,000
Geomagic DesignX (스캔 메이터 기반 역설계 S/W)	1. 메쉬 내 실시간 3차원 스케닝 2. 점, 메쉬 데이터 임포트 3. 다양한 Mesh Optimization 기능 4. 자동/수동 NURBS Surface 생성 5. CAD like한 Feature Modeling 기능 6. 서피스/솔리드/스케치 자동 추출 7. 메쉬모델과 솔리드 모델의 편차 분석 8. SolidWorks, NX, Inventor, Creo와 같은 CAD로의 파일 이전 9. 히스토리 기반 파라메트릭 모델링 10. License Type : Activation Code	1	₩	22,500,000	₩	22,500,000
Geomagic ControlX (스캔 데이터 기반 품질관리 S/W)	1. 대용량 데이터의 효과적인 표시를 위한 혁신적인 점군 렌더링 기능 2. 다양한 기하 형상 생성 기능 3. 다양한 transformation 기능 4. 2D&3D GD&T 지원 6. 결과 레포트 자동 생성 기능 7. 라이선스 타입 : Activation Code	1	₩	20,000,000	₩	20,000,000

Total	:		₩ 122,800,000
부가세	:		₩ 12,280,000
합 계	:	(VAT 포함)	₩ 135,080,000

특이 사항

8. 장비번호: 3-1-2-001

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">DLP 모니터</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">DLP Monitor</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">BARCO / 70" LASER CUBE ODL-721</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">38.5 * 8 = 308 (수량 8대)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ CCTV영상 표출 및 모니터링 용도</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ LASER 광원을 사용하여 LFD 대비 색상 표현력 증가

○ 0.1mm 이하의 스크린갭으로 Real 대 화면 관제가능
○ LASER광원 의 수명이 80,000~100,000 시간으로 약 11년 이상 사용이 가능하며 향후 업그레이드 가능.
○ 광원의 이중화, 체계적이고 정확한 화면 조정기능, 24시간 상태감시가 가능한 장비

○ 최대 수명 사용 후 업그레이드 시 부분 장비 교체가 가능하므로 업그레이드 비용 감소(100,000시간)

○ 내진/충격 국제공인 제품으로 안정성제공

○ 커맨드 터미널 기능, 시스템 원격접속 기능</td></tr>
</table>

나. 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - SS서버10대당 FO서버 1대 구성 . 총 50대=5대
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2011-02-144058) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공 급 자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 이억팔천만 원정			280,000,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
DLP 모니터	70인치		8		35,000,000	280,000,000
Gross - TOTAL				0		280,000,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						308,000,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

9. 장비번호: 3-1-2-002

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">ESM Lic</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Easy System Monitoring Licence</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">GSDLab / ESM Lic</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">46.948 (수량 : 194)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 시스템 모니터링 및 장애감지 수량등록
- 서버, 스토리지, 네트워크 장애감지 등록을 위한 시스템 라이센스</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 서버, 스토리지, 네트워크 장애감지
○ 시스템 자동 서치 및 등록 기능
○ 10초단위 정보값 저장 및 1년 이상 로그 저장
○ 서버 CPU, RAM, Network 부하율 확인, IP 체크, 서비스, 프로세스 확인
○ 스토리지 레이드컨트롤러, HDD, FAN, LUN, CPU 확인
○ 네트웍 포트별 부하유르 속도, 업/다운 확인
○ 커맨드 터미널 기능, 시스템 원격접속 기능
○ 선택 기간별 로그데이터 추출 및 통계를 그래프 형태로 제공
○ 드래그 앤 드랍으로 시스템 그룹화 및 관리 기능
○ 휴대폰 앱과 연동하여 동일한 기능 사용 가능
○ 이기종 시스템, 브랜드 상관없이 모두 관리가 가능해야 함.
○ 시스템 실제 이미지 표출하여 알아보기 쉽게 관리 해야 함.
○ 소리 및 팝업 통한 알람 및 원클릭 음소거, 보류체크기능
○ 알람팝업에 그날의 긴급연락처 및 담당자를 표출할 수 있는 시스템</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 같은 네트웍 망 내에 서버, 네트웍, 스토리지 수량 고려
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS 내 유사상비 정보가 미존재하여 가격의 적정성은 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

다. 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 사천이백육십팔만 원정			42,680,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
ESM 라이센스 ESM-Lic	서버, 스토리지, 네트웍 관제 클라이언트 라이센스 1년 (서버,스토리지, 네트웍 : 200 cal)		194	서버,네트웍,스토리지	220,000	42,680,000
Gross - TOTAL				0		42,680,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						46,948,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

10. 장비번호: 3-1-2-003

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">ESM Server</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Easy System Monitoring Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + GSDLab / R740 + ESM</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">36.3 (수량 : 1 대)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 시스템 모니터링 및 장애감지
- 서버, 스토리지, 네트워크 장애 발생시 원인분석 및 로그기록, 알람제공</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Silver 4110

○ RAM
- 32GB

○ DISK (OS)
- 400GB SSD x 2ea

○ DISK (Data)
- 4TB HDD x 10ea

○ SW (OS)
- ESM OS Engine 2.0

○ HW Formpactor
- 2U Rack Mount Server</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 같은 네트웍 망 내에 서버, 네트웍, 스토리지 수량 고려
연구장비 구축비용의 적정성	○ 동일 장비(NFEC-2018-08-245573)의 평균 구축 금액이 2,800만원부터 시작함에 따라 3,000만원으로 금액 조정 필요
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공 급 자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 삼천삼백만 원정			33,000,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
ESM Server ESM-1000-412	서버, 스토리지 네트웍 통합 관제 솔루션 ESM(Easy Server Moniter) (Monitering appliance, 256ch H/W ESM v2.0 (Xeon 2620, 32GB, 400GB x 2, 4TB x 12ea)		1		33,000,000	33,000,000
Gross - TOTAL				0		33,000,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						36,300,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

11. 장비번호: 3-1-2-004

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">KVM 콘솔</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">KVM Console</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">ATEN / KN2116VA</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">57.939 (수량 : 7개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 키보드, 마우스, 모니터 관리조작 단일화
- 여러대 설치, 유지보수 시에 키보드, 마우스, 모니터를 통합사용, 비용절약</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ Form
- 2U Rack mount

○ interface
- RJ45 16port

○ Monitor Size
- 19" slideway LCD ,

○ 지원화질
1920 x 1200 FHD지원</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 서버랙 수량에 맞추어서 1대씩 배치 서버랙7대=7대
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보가 존재하지 않아 가격적정성을 판단하기 어려움
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공 급 자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 오천이백육십육만팔천 원정			52,668,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
KVM LCD Console Dell-KN2116VA-SDV-KVM	1U 16Port IP KVM Switch, 19" Slideway LCD Console with Cable (1920 x 1200)		7		7,524,000	52,668,000
Gross - TOTAL				0		52,668,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						57,934,800

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

12. 장비번호: 3-1-2-005

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">로즈 HA</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Rose Mirror HA</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">ESK솔루션 / Rose Mirror HA</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">32.67 (수량 : 2개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ DB이중화 솔루션
- 매니지먼트 서버를 이중화하여 유사시 모든 시스템이 중단되는 것을 방지</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ x86/x64 환경의 윈도우, 리눅스 로컬디스크 환경에 적용
○ 가상 IP 및 MAC 어드레스 페일오버 제공
○ TCP/IP 및 RS-232 시리얼 Heartbeat 제공
○ 시스템 성능 모니터 제공
○ 애플리케이션 DB Deep모니터를 통한 사전 Hang 감지 제공
○ Byte 레벨의 TCP/IP 실시간 복제제공
○ 시점 백업 및 복구 기능을 통한 Data Rewind 제공
○ 물리서버 대 물리서버, 가상서버 대 가상서버, 물리서버 대 가상서버 지원</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 매니지먼트서버 2대당 1개copy 필요함 4대=2copy
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보가 존재하지 않아 가격적정성을 판단하기 어려움
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공 급 자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 이천구백칠십만 원정			29,700,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
ROSE HA SW	Rose mirror HA 매니지먼트 이중화 SW(3년)		2		14,850,000	29,700,000
Gross - TOTAL				0		29,700,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						32,670,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

13. 장비번호: 3-1-2-006

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">샌스위치</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">SAN Switch</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Brocade / BR6520</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">182.772 (수량 2개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 스토리지와 스트리밍서버의 연결
- N:N으로 연결되는 스트리밍서버와 스토리지를 이중화하여 연결접속용</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타(직접기재)</th></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ Form
- 2U Rack mount

○ interface
- FC 16Gb x 96 Port

○ PSU Type
- Dual power Supply</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 스토리지 및 서버의 수량의 합만큼의 포트 필요
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2014-06-189501) 존재하여 유사장비의 평균 구축금액에 따라 6,400만원으로 금액조정
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공 급 자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김제현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	jj-hyun.kim@samsung.com
	결제조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일억육천육백일십오만오천 원정			166,155,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
SAN 스위치	Dell OEM 6520, 96 포트, 16GB FC 스위치, IO에서 PSU로의 공기 흐름, 96x 16Gb SFPs 포함		2		83,077,500	166,155,000
Gross - TOTAL				0		166,155,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						182,770,500

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 **납품 일자** **납품 장소** **결제일**

14. 장비번호: 3-1-2-007

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">디스플레이서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Display Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-DS</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">37.728 (수량 4개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 모니터에 연결하는 화면표출서버
- DID 모니터에 직접 연결되어서 월을 구성하는 DID 표출용 서버</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Gold 5122 x 2ea

○ RAM
- 16GB

○ DISK (OS)
- 256GB SSD x 2ea

○ DISK (Data)
- 1TB HDD

○ VGA
- NVIDIA GTX1080

○ SW (OS)
- Windows 10 Pro

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- Workstation Tower</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - DID 모니터 2대당 서버 1대가 필요 8모니터=4대
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2018-10-246646) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	jj-hyun.kim@samsung.com
	결제조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 삼천사백이십구만팔천 원정			34,298,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
디스플레이(DS)	워크스테이션 'Xeon Gold 5122*2ea, 16GB ECC DDR4, 256GB SSD*2ea, 1TB*1ea, GTX1080, Windows 10 Pro		4	모니터 2대당 1대	8,574,500	34,298,000
Gross - TOTAL				0		34,298,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						37,727,800

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 **납품 일자** **납품 장소** **결제일**

15. 장비번호: 3-1-2-008

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">매니지먼트서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Management Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-MNGT</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">39.66 (수량 3개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 데이터베이스관리서버
- CCTV의 데이터베이스 값을 저장하고 총괄하는 서버</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Silver 4110

○ RAM
- 32GB

○ DISK (OS)
- 400GB SSD x 2ea

○ DISK (DB)
- 400GB SSD x 2ea

○ DISK (Log)
- 2TB HDD x 2ea

○ NIC
- 4port 1GbE x 2ea

○ SW (OS)
- Windows Svr 2012 R2 STD

○ SW (DB)
- MS SQL 2014 STD

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- 1U Rack mount type, Dual Power Supply</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 1000ch당 서버2대를 이중화 구성 함. 총 2000ch=4대
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2018-10-246646) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 삼천육백오만이천오백 원정			36,052,500 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
매니지먼트(MNGT)	'Xeon Silver4110, 32GB, 400GB SSD *2ea(OS), 400GB *2ea(DB), 2TB*2ea(Log), 4Port 1GbE*2ea, Win 2012 R2 STD, MS-SQL 2014		3	1000ch당 2대(이중화)	12,017,500	36,052,500
Gross - TOTAL				0		36,052,500
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						39,657,750

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

16. 장비번호: 3-1-2-009

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">백본스위치</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Backborn Switch</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC / C9010</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">157.3 (수량 2개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 모든 네트웍이 모이는 중앙 장치
- 서버와 카메라의 서버 데이터를 모아서 총괄 관리하는 네트웍장치</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타(직접기재)</th></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ Form factor
-8U Rack mount

○ Interface1
- 10GbE SFP+ x 96 Port

○ Interface2
- 10GbE RJ45 x 48 Port

○ Uplink interface
- 40GbE QSFP x 12 Port</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 백본 이중화필요, 다운링크 장비 수량에 맞게 인터페이스 수량 산정 필요
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2014-06-189501) 존재하여 평균 구축 금액에 따라 6,400만원으로 금액조정
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	jj-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일억사천삼백만 원정			143,000,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
백본 스위치	48x10GbE SFP+*2ea, 6x40GbE QSFP*2ea, 24x10GbE RJ-45*2ea		2	이중화(액티브-액티브)	71,500,000	143,000,000
Gross - TOTAL				0		143,000,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						157,300,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

17. 장비번호: 3-1-2-010

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">뷰어서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Viewer Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-VS</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">37.728 (수량 4개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 카메라를 등록, 삭제, 변경 등 관리하거나 간단한 화면을 표출하는 서버
- 카메라 관리 및 등록을 전부 뷰어서버에서 해야 함. 관리자 전용서버</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Gold 5122 x 2ea

○ RAM
- 16GB

○ DISK (OS)
- 256GB SSD x 2ea

○ DISK (Data)
- 1TB HDD

○ VGA
- NVIDIA GTX1080

○ SW (OS)
- Windows 10 Pro

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- Workstation Tower</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 관리자 인원수와 관리 프로그램 수량에 맞게 산정
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2018-10-246646) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자		
	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 삼천사백이십구만팔천 원정			34,298,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
뷰어(VS)	워크스테이션 'Xeon Gold 5122*2ea, 16GB ECC DDR4, 256GB SSD*2ea, 1TB*1ea, GTX1080, Windows 10 Pro		4	상황실 관리 1 임원실 관리 1 전체 시스템 관리 1 유지보수용 1	8,574,500	34,298,000
Gross - TOTAL				0		34,298,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						37,727,800

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

18. 장비번호: 3-1-2-011

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">서버스위치</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Server Switch</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC / N1524</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">138.6 (수량 20개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 서버에 직접 연결
- 서버와 백본 사이에서 데이터 연결을 관장하는 스위치</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ Form factor
-1U Rack mount

○ Interface
- PoE RJ45 GbE x 24 Port

○ Uplink interface
- 10GbE SFP+ x 4 Port</td></tr>
</table>

나. 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 서버랙 1대당 스위치2대(이중화) 랙 11대= 22대 스토리지용 전체에 스위치 2대 랙5대 = 2대 합 : 22대+2대 = 24대
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2017-05-237902) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	jj-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일억이천오백구십구만사천 원정			125,994,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
서버 스위치	24x 1GbE, 4x SFP+ 10GbE ports, Stacking, IO to PSU air, 1x AC PSU,		20	서버랙 1대당 2대 (이중화) 스토리지랙 5대당 2대	6,299,700	125,994,000
Gross - TOTAL				0		125,994,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						138,593,400

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

19. 장비번호: 3-1-2-012

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">스토리지 어레이</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Storage Array</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC / SC9000</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">144.36 (수량 2개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 스토리지의 컨트롤러역할
- 디스크 관리와 레이드 구성, 서버와의 연결에 직접적인 컨트롤 역할</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
- 3.2GHz 8core x 2ea

○ Form
- 4U Rack Mount

○ Cache
- 256GB Cache Memory x 2ea

○ Contorller type
- Dual Controller

○ SW (OS)
- Dell Storage Center OS(SCOS)6.7

○ RAID 지원
- RAID 0,1,5,6,10,10MD(이중미러링) 모든 레이드 레벨 조합이 단일어레이에 존재할 수 있음

○ RAID 계층화
- 동일한 계층에 여러 RAID 레벨을 자동 프로비저닝하고 동적 재스트라이핑, RAID 그룹에 사전 할당할 필요 없음

○ 씬프로비저닝
- 기본적으로 모든 볼륨에서 활성화 상태로 모든기능을 전체성능으로 작동

○ HDD 최적화
-패스트트랙을 통해 자주 액세스되는 데이터를 트랙 바깥족으로 이동시켜 응답시간 단축

○ PSU type
- Dual Power Supply</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 인클로져수량을 고려하여 어레이당 최대 5대 인클로져
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2017-11-240652) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일억삼천일백이십이만 원정			131,220,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
스토리지 어레이	Dell SC9000 Storage Array, 256GB Cache, Dual Controller 4U, Storage Center Core SW Bundle License		2		65,610,000	131,220,000
Gross - TOTAL				0		131,220,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						144,342,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

20. 장비번호: 3-1-2-013

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">스토리지 인클로져</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Storage Enclosure</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC / SC280</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">1339.2 (수량 16개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 스토리지의 디스크로 저장공간 구성
- 물리적인 디스크를 실제로 장착하여 데이터를 보관하는 역할</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ Form
- 5U Rack Mount

○ Disk Bay
- 3.5" 6TB SAS DISK x 84ea

○ interface
- 12Gb Mini-SAS

○ PSU type
- Dual power Supply

○ DISK Tray
- 특수 제작된 원터치 이중안전 트레이 + 이중잠금장치</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 인클로져수량을 고려하여 어레이당 최대 5대 인클로져
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2017-11-240652) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공 급 자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일십이억일천육백구십육만 원정			1,216,960,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
스토리지 인클로저	Dell SC280 Stroage Enclosure 84bay, 6TB 12Gb 7.2K 3.5" x 84ea, Raid6, 12Gb mini-SAS		16	어레이 1대당 8대(345TB)	76,060,000	1,216,960,000
Gross - TOTAL				0		1,216,960,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						1,338,656,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

21. 장비번호: 3-1-2-014

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">스트리밍서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Streaming Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-SS</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">283.08 (수량 28개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 영상저장 및 스트리밍 용도
- CCTV의 녹화된 영상을 저장하고 스트리밍을 주관하는 서버</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Silver 4112 x 2ea

○ RAM
- 64GB

○ DISK (OS)
- 400GB SSD x 2ea

○ Interface card (Storage)
- FC 16GbE Dual Port HBA

○ NIC
- 4port 1GbE x 2ea

○ SW (OS)
- Windows Svr 2012 R2 STD

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- 1U Rack mount type, Dual Power Supply</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 40ch당 SS 서버1대 구성
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2009-11-076047) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	il-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 이억오천칠백일십일만 원정			257,110,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
스트리밍(SS)	1U랙서버 'Xeon Silver 4112*2ea, 64GB, 400GB SSD*2ea, FC 16Gbp DP HBA*1ea, 4Port 1GbE*2ea, win 2012 R2 STD		28	40ch당 서버1대(100TB)	9,182,500	257,110,000
Gross - TOTAL				0		257,110,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						282,821,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

22. 장비번호: 3-1-2-015

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

구분		내용				
구축장비명	한글	시간동기화 서버				
	영문	Security Network Time Server				
제작사/모델명		Microsemi / SyncServer S600				
구축예상가격 (단위 : 백만원)		13.19 (수량 1개)				
구축예정기관명 (설치예정지역)		한국시설안전공단 (진주)				
장비의 주요용도 (동 사업에서의 활용 용도)		○ 전체 서버 및 PC 시간 동기화 - 장기 시스템 사용시 시간의 틀어짐을 방지하여 이벤트 발생시 시간 체크 오류를 방지				
취득방법 (해당란에 '√'표시)		구매	임대	제작의뢰	자체제작	기타(직접기재)
		√				
주요사양		○ 서버, 스토리지, 네트워크 시간 동기화 ○ 독립된 4개의 포트 ○ NTP 성능: 10,000 NTP request/초 ○ 400 ms per day의 시간 정확도 제공 ○ 100/1000Base-T x 4 ports지원				

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - 국가 주요시설 주요 적용 제품으로 선정 ○ 사양의 적합성2 -향 후 물리적 망분리시 포트 확장성을 고려 (4포트 제공) ○ 수량의 적합성1 - 전체 시스템을 커버가능한 최소수량 제안(1대)
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2008-09-062694) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일천일백구십만 원정			11,990,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
시간동기화 서버	S600		1		11,990,000	11,990,000
Gross - TOTAL				0		11,990,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						13,189,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

23. 장비번호: 3-1-2-016

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">월매니저서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Wall Manager Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-WM</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">9.432 (수량 1개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 디스플레이화면을 조작하고 관리하는 서버
- 비디오월에 나오는 카메라 수량이나 크기 등 전반적인 화면조작용 서버</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Gold 5122 x 2ea

○ RAM
- 16GB

○ DISK (OS)
- 256GB SSD x 2ea

○ DISK (Data)
- 1TB HDD

○ VGA
- NVIDIA GTX1080

○ SW (OS)
- Windows 10 Pro

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- Workstation Tower</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 관리자 전용서버로서 1대 필요
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2018-10-246646) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	jj-hyun.kim@samsung.com
	결제조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 팔백오십칠만사천오백 원정			8,574,500 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
월매니저(WM)	워크스테이션 'Xeon Gold 5122*2ea, 16GB ECC DDR4, 256GB SSD*2ea, 1TB*1ea GTX1080, Windows 10 Pro		1		8,574,500	8,574,500
Gross - TOTAL				0		8,574,500
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						9,431,950

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결제일

24. 장비번호: 3-1-2-017

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">월서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Wall Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-WS</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">11.725 (수량 1개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 디스플레이월시스템에 대한 DB를 저장 관리하는서버
- 디스플레이 화면 배치 및 알람, 상황구성 등에 대한 데이터를 저장한다.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Gold 6128 x 2ea

○ RAM
- 16GB

○ DISK (OS)
- 400GB SSD x 2ea

○ NIC
- 4port 1GbE x 2ea

○ SW (OS)
- Windows Svr 2012 R2 STD

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- 1U Rack mount type, Dual Power Supply</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 디스플레이 구성에 따른 DB관리는 1대로 함
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2018-10-246646) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	jj-hyun.kim@samsung.com
	결제조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일천육십오만구천 원정			10,659,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
월서버(WS)	1U랙서버 'Xeon Gold 6128*2ea, 16GB, 400GB SSD*2ea, 4Port 1GbE*2ea, Win 2012 R2 STD		1	30ch당 서버1대	10,659,000	10,659,000
Gross - TOTAL				0		10,659,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						11,724,900

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 **납품 일자** **납품 장소** **결제일**

25. 장비번호: 3-1-2-019

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="6">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="6">카메라스위치</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="6">CCTV Switch</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="6">Dell EMC / N1548</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="6">81.6 (수량 32개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="6">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="6">○ CCTV 직접 연결
- PoE기능이 가능한(UTP전원공급) 카메라에 직접 연결되는 스위치</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th colspan="2">기타(직접기재)</th></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="6">○ Form factor
-1U Rack mount

○ Interface
- PoE RJ45 GbE x 48 Port

○ Uplink interface
- 10GbE SFP+ x 4 Port</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - CCTV 40ch당 1대씩 산정
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보가 미존재하여 가격의 적정수준을 판단할 수 없음
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결제조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 칠천삼백구십이만 원정			73,920,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
카메라 스위치	48x 1GbE, 4x SFP+ 10GbE ports, Stacking, IO to PSU air, 1x AC PSU,		32		2,310,000	73,920,000
Gross - TOTAL				0		73,920,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						81,312,000

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결제일

26. 장비번호: 3-1-2-020

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">트랜스코더 서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Transcoder Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-TS</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">11.725 (수량 1개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 화면사이즈를 모바일화면에 맞도록 리사이징해주는 서버
- CCTV 화면을 모바일기기나, 태블릿 등에서 볼 수 있도록 한다.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Gold 6128 x 2ea

○ RAM
- 16GB

○ DISK (OS)
- 400GB SSD x 2ea

○ NIC
- 4port 1GbE x 2ea

○ SW (OS)
- Windows Svr 2012 R2 STD

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- 1U Rack mount type, Dual Power Supply</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주 공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - 모바일은 관리자에 한하여 확인하므로 1대로 구성
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2018-10-246646) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 17일 수요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공급자		
	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	jj-hyun.kim@samsung.com
	결제조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 일천육십오만구천 원정			10,659,000 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
트랜스코더서버(TS)	1U랙서버 'Xeon Gold 6128*2ea, 16GB, 400GB SSD*2ea, 4Port 1GbE*2ea, Win 2012 R2 STD		1		10,659,000	10,659,000
Gross - TOTAL				0		10,659,000
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						11,724,900

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 **납품 일자** **납품 장소** **결제일**

27. 장비번호: 3-1-2-0201

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">페일오버서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Fail Over Server</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Dell EMC + S1 / R640 + SVMS-FO</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">30.33 (수량 3개)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">한국시설안전공단 (진주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 스트리밍의 페일오버 용도
- 스트리밍서버가 장애시 무중단으로 계속 스트리밍 될 수 있도록 하는서버</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법
(해당란에 '√'표시)</td><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타(직접기재)</th></tr>
<tr><td>√</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ CPU
-Xeon Silver 4112 x 2ea

○ RAM
- 64GB

○ DISK (OS)
- 400GB SSD x 2ea

○ Interface card (Storage)
- FC 16GbE Dual Port HBA

○ NIC
- 4port 1GbE x 2ea

○ SW (OS)
- Windows Svr 2012 R2 STD

○ SW (VMS)
- SAMSUNG S1 - SVMS Gen2

○ HW Formpactor
- 1U Rack mount type, Dual Power Supply</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 건설안전분야의 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 국토교통부 스마트 건설기술로드맵(2018.09)의 반영된 사항으로 취약한 건설현장의 안전성 확보를 위하여 반드시 필요 ○ 스마트기술을 활용한 건설현장의 안전 확보 R&D는 현 정부의 건설사고 50% 저감 목표를 달성하기 위한 필수적 전략 사업임
사업(연구)과의 부합성	○ 스마트 건설기술 사업은 건설현장의 생산성과 안전성 향상을 목표로 하는 사업으로 본 스마트 안전 통합 관제시스템의 구축은 안전성 향상에 필수적인 사업임 ○ 본 장비는 관제 시스템 구축의 중요 장비로서 본 사업의 안전성 향상이라는 목표를 달성하기 위한 중요 구성 요소로 사업과의 연계 및 부합성이 매우 높음
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 상시모니터링 역할을 수행해야 하는 특수성을 고려하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 국토부 건설안전 종합정보망 시스템(COSMIS) 연계 - 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획하고 있으며, 이는 국가 정책을 기반으로 함으로 지속적인 활용이 가능함 ○ 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 안전관리비 활용 - 공공발주공사는 현행 건설기술 진흥법 제 63조 1항의 건설 공사 시 안전관리에 필요한 비용을 공사비에 산정하여 사용하도록 함에 따라 공공발주공사현장에 본 시스템의 도입되어 활용될 가능성이 큼
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 사양의 적합성1 - SVMS 에 최적화된 사양의 하드웨어 사양을 산정 ○ 사양의 적합성2 - CCTV 화질, 프레임, 녹화일수 계산하여 필요용량 산정 ○ 수량의 적합성1 - 용량, 채널, 전원, 발열, 저장일, 안정성 등 모든 경우의 수 고려 ○ 수량의 적합성2 - SS서버10대당 FO서버 1대 구성 . 총 50대=5대
연구장비 구축비용의 적정성	○ ZEUS내 유사 장비 정보(NFEC-2018-10-246646) 존재하여 적정수준의 가격책정으로 가격적정성도 적당하다고 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 국토교통부 산하 한국시설안전공단은 건설안전 및 시설안전을 주관하는 공공기관으로 전문인력과 기술력을 확보하고 있음 ○ 한국시설안전공단에서는 건설안전 분야 전담부서인 평가본부를 운영하고 있으므로 부서내 독립적으로 연구장비를 구축할 공간을 마련할 수 있음. 또한 한국시설안전공단은 준정부 기관으로 국가에서 지원받는 예산 및 평가본부 수익사업을 통해 인력 운영이 가능 ○ 스마트 안전 통합 관제시스템 구축 후 국토부에서 위탁운영(한국시설안전공단)중인 건설안전 종합정보망(COSMIS)과의 연계를 계획

(3) 견적서

견 적 서

작 성 일 자	2018년 10월 29일 월요일
수 신	한국시설안전공단
담 당 자	최병일 박사님
견적유효기간	15일
연 락 처	
메 일 주 소	
보증기한	3년

공 급 자	등 록 번 호	㈜에스원(218-81-13302)
	주 소	서울시 중구 순화동 에스원 빌딩
	담 당 자	김재현 대리
	연 락 처	010-7141-0770
	회사 연락처	TEL : 02-2131-7294
	메일주소	ji-hyun.kim@samsung.com
	결재조건	회사 내규에 따름

공급총액	일금 이천칠백오십사만칠천오백 원정			27,547,500 원 (VAT 별도)		
구 분	800만화소 2000ch 30FPS, H.265 1달녹화		수량	기타	공급단가	공급가액
	Total					-
페일오버서버(FO)	1U랙서버 'Xeon Silver 4112*2ea, 64GB, 400GB SSD*2ea, FC 16Gbp DP HBA*1ea, 4Port 1GbE*2ea, win 2012 R2 STD		3	SS10대당 서버1대(30TB)	9,182,500	27,547,500
Gross - TOTAL				0		27,547,500
공 급 금 액 합 계 (부가세포함)						30,302,250

* Remarks ;	* 위 견적서는 발주서 대용으로 활용가능합니다. 회사 명판 납품 일자 납품 장소 결재일

28. 장비번호: 4-3-2-001

(1) 연구장비 구축계획서 장비개요 항목

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">클라우드 기반 스마트건설 통합플랫폼 서버</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Cloud-based Integration Platform Server for Smart Construction</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격
(단위 : 백만원)</td><td colspan="5">(단가)3,000 × (수량) 1 = 3,000</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">미정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">◌ 스마트건설현장에서 발생되는 방대한 현장센서 정보, 외부 시스템 연계정보, 데이터 분석 정보 등을 통합플랫폼을 통해 수집·가공·분석·3D기반 시각화 등을 수행하는데 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취등방법
(해당란에 '√'표시)</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타(직접기재)</td></tr>
<tr><td></td><td>√</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">-Sever(DMZ): CPU 4~16 vcore, MEM 4~124GB 등
-Sever(Private): CPU 8~16 vcore, MEM 8~32GB 등
-부가서비스: 공인IP 26개,
HDD 10,300GB
Virtual Private Storage: 단독형 스토리지 연결 1TB
네트워크 전송량(종량제) 10Gbps 기반
-기타, 라이선스 OS, DB
로드밸런서(종량제), 백업 (백업서버, 저장용량)
G-Cloud Zone, 웹 방화벽, VPN, DB암호화/접근제어,
매니지먼트 등 포함</td></tr>
</table>

(2) 연구장비 구축계획서 장비구축 타당성 자체검토 항목

구분	내용
국가 전략적 필요성	○ 국토교통부의 제6차 건설사업정보화 기본계획에 "BIM 통합 플랫폼" 구축과 직접 관련되어 있으며, 현재 CALS시스템의 분산된 DB를 단일의 통합 DB로 구축하는 사업과 연계되어 진행 중임. 이러한 방대한 DB를 연계하고 실시간의 현장의 데이터를 처리할 수 있는 서버와 함께 이를 지식으로 변환하여 저장, 생성 및 관리할 수 있는 국가차원의 클라우드 서버 구축 필요 ○ 또한 제5차 건설기술진흥기본계획에 BIM을 기반으로 스마트건설을 구축하기 위한 전략이 제시되었으며, 향후 BIM 데이터를 통해 3D프린팅, 프리패브리케이션, 드론, 자동화 장비 등과 연계되어 현장을 통합관리하므로 여기에서 발생되는 데이터를 처리하여 지식으로 구성함으로써 현장에 제공할 수 있도록 하기 위한 대용량 지식서버 구축이 필요함
사업(연구)과의 부합성	○ 개별 시스템 구축 및 운영의 부담을 극복하고 컴퓨팅 파워 확보, 대용량 데이터의 저장, 처리, 분석 등이 유리한 민간 클라우드 기반 서비스 연계로 효율적인 스마트건설 플랫폼 필요 ○ 본 사업은 비구조물인 토공, 구조물인 교량, 터널과 현장 안전관리 등의 스마트건설 현장에서 수집되는 모든 데이터를 수집하고 이를 정보를 재구성하며 지식화를 통해 DB로 구축하여 현장의 자동화된 장비운영, 스마트 Delivery 및 PMIS 처리 및 실시간 안전관리 대응 등 다양한 분석 사례(유즈케이스)에 대한 지식정보 서비스를 양방향으로 제공하기 위해 클라우드 환경을 구축해야 하므로 본 사업과 부합함
연구장비의 중복성	○ 본 구축장비는 특정구역에 위치되어 클라우드 역할을 수행해야 하는 특수성을 인정하여 중복성은 낮다고 판단됨
연구장비의 활용성	○ 기존 자가 구축 및 운영방식 대비 민간 클라우드 방식의 비용 및 운영 측면에서의 효율성 사전검증으로 향후 스마트건설 플랫폼 확대에 클라우드 방식 선택 및 확산 기여 ○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 테스트 베드 구축 및 시나리오 개발용으로 활용 예정 ○ 본 장비는 클라우드 통합 플랫폼의 일부 지식플랫폼을 위한 클라우드 서버로 할당 제공되며, 지식정보의 저장, 생성, 분석 및 실시간 처리를 위해 대용량 및 고속의 클라우드 H/W, S/W 환경을 필수적으로 제공하므로 활용성이 매우 높음
연구장비 사양·수량의 적합성	○ 클라우드 기반 지식화 서버는 데이터 처리를 위한 DB, H/W 등이 동일한 통합 클라우드 서버 환경에서 운영되어야 하며, 이를 구현하기 위해 단일의 플랫폼에 가상화를 통한 서버 할당에 따라 요구되는 Spec.을 가지므로 동일한 클라우드 통합 플랫폼 사양을 따르며, 지식화 플랫폼용 서버로만 할당되어 사용되므로 수량은 적합함
연구장비 구축비용의 적정성	○ 민간 클라우드의 유연한 네트워크 및 서버 인프라를 활용하여 막대한 비용 투자 없이 대규모 테스트 가능 ○ 수용규모 별 가상 테스트를 통하여 상세 인프라 물량 및 스펙 결정필요 ○ 보안장비(IPS, F/W, VPN 등) 및 관제 서비스 통합 제공함으로써 보안비용 절감 ○ 민·관 모두 공유 및 활용이 가능한 지식 플랫폼을 위하여, 손쉬운 연계 및 유연한 확장이 가능하여 인프라 비용절감 ○ 단일의 클라우드 통합 플랫폼 내에서 지식화 플랫폼을 위한 서버로 할당되므로 기존 동일 환경을 사용하기 때문에 새로운 Spec.의 클라우드가 아닌 동일한 클라우드 환경을 구축하므로 신규 구축 대비 비용을 절감하여 구축하는 것으로 판단됨
장비 운영의 계획성	○ 민간 클라우드 사업자의 전문 운용인력 및 조직체계 활용 ○ 클라우드 콘솔을 이용한 서버, 스토리지 등 인프라 생성 및 설정 ○ 콘솔 및 모니터링 서버를 활용한 인프라 원격 관제 ○ 조직 및 역할에 따른 서버 접근권한 차등 부여 ○ 통합 클라우드 플랫폼의 장비 운영 계획과 동일함

(3) 견적서

olleh

KT G-Cloud Service 견적서

olleh ucloud biz

■ 고 객 명 : 한국도로공사
■ 수 신 :
■ 전화번호 :

■ 공 급 자 :
■ 담 당 자 :
■ 전화번호 :
■ 이 메 일 :

■ 견적일자 : 2018-10-26
■ 유효기간 : 견적 제공 후 4주
■ 견적내역 : KT ucloudbiz G-cloud Service

서비스종류	구분	내 역				수량	VM당 추가 HDD (GB)	단가	할인율(%)	합계
		항목	CPU(vcore)	MEM(GB)	OS DISK(GB)	기본				
ucloud biz	server (DMZ)	Name Node SERVER	16	62	20 (OS)	2	100	1,011,700		2,023,400
		Data node SERVER	16	32	20 (OS)	4	100	796,900		3,187,600
		SAS VA SERVER	16	124	20 (OS)	2	100	1,387,700		2,775,400
		R(Analysis) SERVER	16	124	20 (OS)	1	100	1,387,700		1,387,700
		NDAP SERVER	16	124	20 (OS)	2	100	1,387,700		2,775,400
		Storage Managed SERVER	4	4	20 (OS)	1	300	122,500		122,500
		Monitoring SERVER	4	4	20 (OS)	1	300	122,500		122,500
		WEB SERVER (웹서비스용)	4	8	20 (OS)	2	300	230,000		460,000
	server (Private)	WAS SERVER (웹서비스용)	8	8	20 (OS)	2	1000	249,700		499,400
		DB SERVER (웹서비스용)	16	32	20 (OS)	2	1000	696,900		1,393,800
		DB SERVER	16	32	20 (OS)	4	1000	696,900		2,787,600
	server 부가서비스	공인 IP	공인 IP 기본 26개 제공, > 추가 시 27개당 160,000원/월			1	-	160,000		160,000
		추가 HDD 합계	STD VM 100GB 단위로 추가(서버당 최대 3.6TB) 추가 HDD 총 55,000GB 할당 기준			10,300	총 10,300GB 할당 기준	70		721,000
		Virtual Private Storage (ZADARA Dedicated)	단독형 스토리지 연결 1TB > ISCSI, NFS, CIFS 프로토콜 제공			100	총 100TB 단독 사용 기준	100,000		10,000,000
		네트워크 전송량(종량제)	10Gbps기반 종량 Shared Network, outbound 과금 (VM당 전송량 1TB 무료, 16GB VM 이상 2TB 무료) * 초과 GB당 사용량 구간별 90원 ~ 70원 요금 부과			In 73 무료		-		
	server 소계									**28,416,300**
	라이선스	OS	Linux Centos(Ubuntu) family : 무료			23	Centos			-
		DB	MS-SQL Standard vCore 차등 과금 (4core 기준)					200,000		
	로드밸런서	종량제	웹사용료 = 기본료 + 추가 데이타전송량			4	Port 80, 443 기준	14,400		57,600
			> 기본료 월 14,400원, 데이터처리량 6원/GB당 추가			30000	초과 내 요금 (1TB당 월 6만원)	6		180,000
	백업	백업서버	HP DataProtector, 기본 2개 무료, 추가서버당 5,000원			11		75,000		75,000
		저장용량	기본 100GB 3만원 / ~1TB 3만원/100GB / 초과 별도			4400		1,150,000		1,150,000
	G-cloud Zone	기본료 (보안 매니지드)	원스테크넷 : IPS/FW (24시간 보안 매니지드 제공)			1		300,000		300,000
	웹방화벽	WAF	Premium(700Mbps) : 80만원/월			2		500,000		1,000,000
	VPN	VPN	단독 SSL VPN : 100Mbps (HA 구성)			2	HA 구성 기준	250,000		500,000
	DB암호화/접근제어	PETRA	PETRA 접근통제 + 암호화 (16vCore 기준 35만원)			6		300,000		1,800,000
	Management	매니지드 및 모니터링	고급형(클라우드 서버 관리, 모니터링, 기술지원 등)			22	모니터링 서버 제외	200,000		4,400,000
			> 서버 성능, 장애 모니터링 및 보고서 제출							
	부가서비스 소계									**9,462,600**
월 요금 합계 (VAT 별도)										**37,878,900**
년 요금 합계 (VAT 포함)										**500,001,480**
3년 요금 합계 (VAT 포함)										**1,500,004,440**

■ Remarks
- 초기 구축 기준 예상 견적이며, 실 사용량에 따라 가격은 변동될 수 있습니다.
- 네트워크트래픽(LB) 요금의 경우, 종량 요금으로 견적 제외하였습니다. (기본료/단위요금으로 표기)
- 네트워크 요금은 고객 계정(ID) 별로 적용됩니다.
- 기타 사항은 KT ucloud biz 서비스 이용 약관을 준수합니다.(https://gov.ucloudbiz.olleh.com)

이외 유출을 금해주시기 바랍니다.

【12개 세부과제 및 사업단장 과제제안요구서(RFP)(안)】

중점분야	세부과제(핵심기술)
1. 건설장비 자동화 및 관제기술	(세부과제 1) 지능형 건설장비 관제 기술 개발
	(세부과제 2) 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발
	(세부과제 3) 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발
2. 도로 구조물 스마트 건설기술	(세부과제 4) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발
	(세부과제 5) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발
	(세부과제 6) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
3. 스마트 안전 통합 관제기술	(세부과제 7) 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발
	(세부과제 8) 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발
	(세부과제 9) 임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발
4. 스마트건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	(세부과제 10) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합 관리 및 스마트 지식관리 기술 개발
	(세부과제 11) 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발
	(세부과제 12) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발
총괄기관 및 사업단장	

□ 세부과제1

세부과제명	지능형 건설장비 관제 기술 개발

1. 연구목표

○ 클라우드 BIM, 빅데이터 네비게이션, 인공지능, IoT 센서 네트워크, 엣지 컴퓨팅, 건설현장에 최적화된 스마트 네트워크, 정밀 측위, 무인화 원격 환경 등의 스마트 기술을 접목하여 토공/포장장비(그레이더, 도저, 롤러, 페이버 및 덤프트럭 등)를 효과적으로 관제하기 위한 지능형 건설장비 관제 기술 개발

○ 지능형 건설장비 관제 플랫폼 개발을 위해 클라우드 BIM, 빅데이터 기반 최적경로 네비게이션(Construction-Map, C-Map), 다양한 건설장비 자동화 수준(유인, MG/MC, 무인 원격, 자율 등)을 고려한 AI 기반 상황 인지 및 판단 기술을 개발하며, 이를 통해 공사 참여자(발주처, 시공, 감리 등) 모두가 토공/포장 공사 관련 설계/계획/작업/현장정보를 실시간으로 파악할 수 있도록 함

○ 건설현장에 최적화된 스마트 네트워크를 기반으로 토공/포장장비와 모든 디바이스 및 관제 플랫폼이 통신하며, WPS기반 정밀 측위 기술, IoT 센서 네트워크와 엣지 컴퓨팅을 기반으로 하는 센서 무선화, AR/VR 등을 활용한 관제 플랫폼 연계형 원격 조종 환경 개발

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 지능형 토공/포장 장비 관제 시스템 개발			
클라우드 서버 운용	KS X 기준	ISO 17788	클라우드 적합성 기준 통과 (KS X 3242 기준)
(C-Map 네비게이션) 건설장비 경로 생성 정확도[1]	80%	n/a	95% 이상
AI기반 관제 상황판단 정확도[2]	-	-	95%(Precision) 이상 & 80%(Recall) 이상
건설 장비 생산성 향상 기술[3]	30% 이상	30% 이상	50% 이상
구성기술 2 : 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발			
IoT 센서(장비 부착 센서) 정확도[4]	-	-	99% 이상
원격 조종 생산성 비교[5]	-	-	90% 이상
WPS(Wi-Fi Positioning System) 정확도	2m	2m	0.1m 이내

1) 토공/포장장비 이동 경로 생성시 최단거리/최소시간 조건의 정확도를 분석, 정답(Ground Truth)이 없으므로 다양한 경로생성 조건(최소 회전, 경사/토질 상태 고려 등)을 기준으로 시뮬레이션을 통해 검증

2) 관제 개입(Intervention)의 Precision과 Recall을 분석, 2명 이상의 전문 관제사 대비 AI 기반 관제의 비교분석 수행, 다양한 현장 관제 개입 조건 필요(예 : 100건의 관제 개입이 필요한 상황에서, AI

관제 개입건 총 95건 중 정상 개입 판정 90건(나머지 5건은 AI의 잘못된 판단)인 경우, Precision은 94.7%(90/95), Recall은 90%(90/100))

3) 토공/포장 장비의 생산성을 기존 재래기술 대비 50% 이상 향상시키는 것을 의미

4) IoT 센서(MG 무선 센서, 안전 관련 센서 등) 계측값의 정확도를 초정밀 센서값과 비교 반복 측정하여 분석

5) 일반적인 토공/포장공 작업 환경에서 유인(캐빈에 조종자 탑승) 조종 대비 원격 조종 작업 생산성 비교

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 현재 개발되어 사용되고 있는 ICT 토공 건설관제 솔루션을 확장하여 다양한 건설자동화 수준(MG/MC 원격, 무인 자동화 건설기계)을 고려한 기술 개발 필요

- 효율적인 스마트 정보화 시공을 위해 3차원 현장정보, 설계정보 및 작업계획 등의 정보들이 실시간으로 Cloud 기반 서버로 업데이트되어야 하고, 그로 인하여 관제-건설장비 군(群) 간의 원격·자율제어 및 현장제어가 가능하여야 함
- Cloud BIM과 AI를 통해 다양한 건설장비 자동화 수준별로 현장운영을 실시간으로 판단하거나 대처하며, 건설장비 최적 이동경로 정보를 제공할 수 있는 시스템 필요
- 향후 스마트 건설의 브랜드화 전략을 위해 개발기술의 Full-scale 현장 실증 테스트를 통한 건설장비 관제 및 자동화 기술의 표준 제정이 필요
- 통신음영지역(지하차도, 터널, 산악지형 등)에서도 제약조건 없이 건설장비를 관제할 수 있는 스마트 네트워크 기반 무선통신체계 구축이 필요
- IoT 기술을 사용하여 MG 센서 체계 및 관제센터와의 통신 모듈을 통한 장비 간(Machine to Machine), 장비-관제센터 간 IoT 기반 통신체계 및 무인화 시공 실현을 위해 원격조종 패키지 개발 필요
- 기존 관제 기술에서는 원격조종과 연계하는 기술을 활용하지 않았고, 원격 조종 모듈은 개발되어 있으나 관제 모듈과의 통합(어떤 작업을 수행해야 하는지)은 이루어지지 않았음. 따라서 관제와 연동된 XR기반 토공/포장 장비 HMI(Human-Machine Interface) 조종 및 제어 환경구축을 통해 숙련 조종자 활용을 극대화하는 기술 개발 필요

□ 기술동향

<국내기술동향>

○ 건설장비 위치 관제 및 IoT 센서를 통한 건설현장 안전 현황을 실시간으로 모니터링하는 시스템을 일부 건설회사에서 시범적용 중

- 그러나 아직까지 건설장비 관제는 개별 건설장비의 운영 및 유지관리 측면의 모니터링 성격이 강하며, 센서 기반 실시간 모니터링 또한 화재 감시, 가스 누출 등과 같은 건설현장 안전에 초점이 맞춰져 있음
- 다양한 건설장비 군(群) 및 장비 자동화 수준을 고려하고 IoT센서로부터 데이터를 실시간으로 받아 이를 통합적으로 분석할 플랫폼 부재

○ 기존 국가 연구 과제를 통해 토공현장의 건설 장비군(群)을 관제하기 위해 이동형 관제센터 및 스마트 하이브리드 네트워크 구축 기술을 개발하여 시공관리자동화 통합관제시스템을 만들어 일부 실제 건설현장에 적용
- 그러나 굴삭기 및 도저 위주의 머신가이던스/머신컨트롤의 관제시스템이며, 유선방식의 센서 간 데이터 통신, 통신음영지역에서의 GPS 정보의 수신 부재와 이에 따른 IoT 구현 불가라는 한계점이 있었음

<국외기술동향>

○ 일본과 미국 등 시공관리 자동화 선진국에서는 장비의 글로벌 실시간 관제기능을 가진 시스템을 개발하여 공급하고 있으며, 통합관제시스템을 통해 건설현장의 하드웨어(건설장비)와 데이터를 관리
- 해외 건설장비 회사들은 장비운용 및 제어기능의 자동화 뿐만 아니라 IoT 기술 혼합형 소프트웨어 솔루션으로 주기적인 정비 및 관리를 통해 최적의 장비상태를 유지함으로써 고객의 수익성 향상에 이바지
- 특히, 일본의 경우 Komatsu 社(장비회사), NTT docomo 社(통신회사), SAP 社(플랫폼), OPTiM 社(AI·IoT/Cloud IoT OS)가 IoT를 사용하여 건설 생산 공정을 가속화하는 개방형 플랫폼인 「LANDLOG」 합작회사를 설립하여 시공 전체를 시각화하고 안전하고 생산적인 현장을 실현하는 솔루션을 제공하고 있음

3. 연구내용

(구성기술 1) 지능형 토공/포장 장비 관제 시스템 개발

○ 토공/포장공 Cloud BIM 및 관제 플랫폼 연계 기술 개발
- 토공/포장 공정 모델링 및 클라우드 기반 BIM 설계
- Cloud BIM 상호운용성 테스트
- 토공/포장 정보 및 지능형 관제 플랫폼 연계 통합 기술 개발

○ 지능형 관제 플랫폼 및 빅데이터 기반 최적 경로 네비게이션(C-Map) 기술 개발
- 토공 및 포장장비 지능형 건설장비 관제 플랫폼 설계
- 토공 및 포장장비 작업계획 생성 시스템 기본 및 상세 설계
- 토공 및 포장장비 관제 실시간 시뮬레이션 환경 개발
- C-Map 네비게이터 하드웨어 및 어플리케이션 개발
- 빅데이터, IoT, WPS 연동 가능한 C-Map 네비게이션 검증 및 자동화 수준별 관제 시스템 테스트베드 적용

○ AI 기반 관제 상황 인지/판단 기술 및 지능형 관제 기술 실증
- 토공 및 포장장비 건설 관제 아이템 파악 및 AI 기반 장비조합 의사결정 관제 기술 모듈화
- AI 기반 토공 및 포장장비 스마트 Deployment 모듈 개발 및 시뮬레이션
- IoT 센서, 토공 및 포장장비 연계형 AI 자율 의사결정모델 개발 및 검증
- 건설장비 관제 기술 표준화 가이드라인 개발

※ 본 연구의 건설장비는 그레이더, 도저, 롤러, 페이버, 덤프트럭 등 토공 및 포장장비에 국한함

※ 구성기술 1의 지능형 건설장비 관제 플랫폼의 연구 계획시 세부과제 2의 디지털 맵(드론 및 무빙 플랫폼 등으로부터 취득된 지형정보)과의 연계 계획을 포함해야 함

(구성기술 2) 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발

○ 건설현장에 최적화된 스마트 네트워크 및 WPS(Wi-Fi Positioning System) 기반 위치 측위 기술 개발
- 건설환경의 특성(지하, 음영지역, 장애지역 다수)을 고려한 스마트 네트워크 기반기술 선정
- 건설 환경 맞춤형 토폴로지 기본설계 및 시스템 개발
- WPS(Wi-fi Positioning System) 측위 기술 선정 및 건설환경 맞춤형 토폴로지 상세설계 및 시스템 개발
- 현장적용 테스트, 관제 플랫폼 연계 모듈 개발

○ 엣지 컴퓨팅 기반 건설장비 IoT 센서 네트워크 및 운영 기술 개발
- 토공/포장장비 엣지 컴퓨팅 환경 기본 설계
- IoT 센서 네트워크 설계 및 통신 기술 개발
- IoT 기반 토공 및 포장장비 캘리브레이션 시스템 및 자동 진도관리 어플리케이션 개발

○ 무인화 시공을 위한 XR 기반 HMI 조종 환경 및 지능형 관제 플랫폼 연계 기술* 개발

* 토공/포장 장비용 XR 기반 HMI 조종 기술은 Cloud BIM이 지닌 설계정보와 관제기술이 가지고 있는 시공계획 기능을 연계하여 HMI 조종이 필요한 작업(예 : 위험 구역, 접근 불가 구역, 고난도 작업 등) 판별 및 HMI 조종 작업을 지원해야 함 (예 : 원격 통신, CCTV 영상 추가 제공, 현 공종 정보 제공)
또한, HMI 조종 환경은 기개발(MG, MC 등) 되었거나 세부과제 3에서 개발될 Slave측 원격 제어 모듈 또는 원버튼 오퍼레이션 시스템(자율 작업)을 활용해야 하며, 이를 지능형 건설장비 관제 시스템과 연계하는 것을 목표로 함

- XR 기반 조종 환경 구축을 위한 HMI 설계
- 스마트 네트워크 및 5G를 활용한 Master-Slave 통신 H/W, S/W 개발
- XR 기반 HMI와 지능형 건설장비 관제센터와의 연계 기술 개발

※ 구성기술 2의 무인화 시공을 위한 XR 기반 HMI 환경 구축에 관한 연구 계획시 세부과제 3의 원격제어 기술과 연계 방안을 포함하여야 함

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 1의 전체적인 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위하여 본 세부과제(세부과제 1)는 중점분야 1 내의 세부과제 및 사업단 총괄기관과의 업무협력 등을 총괄하여야 함

※ 단, 중점분야 1 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 1 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 1 “건설장비 자동화 및 관제기술”의 목표인 “생산성 25% 이상 향상”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야 4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (테스트베드 대상) 도로, 단지, 간척지 등 포장 및 토공
- (산식) 본 사업에 의한 시간당 노동생산성 / 기존 방식에 의한 시간당 노동생산성 ≥1.25 (*시간당 노동생산성 = 부가가치/노동시간)

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시

- 1단계(’20~’21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계(’22~’23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계(’24~’25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시

- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

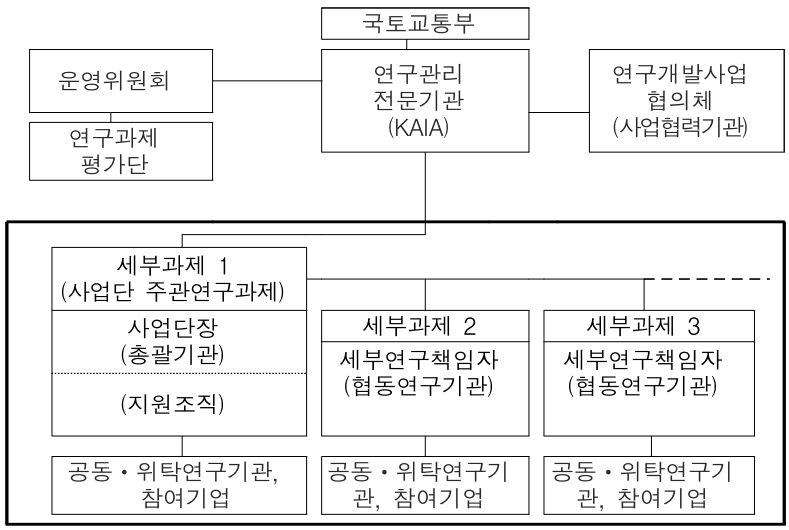
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 토목, 건축, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망

- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성
- 다양한 전문분야 전문가 중 특히 본 연구에 참여가 요망되는 전문가는 아래와 같음

※ 클라우드 BIM 개발과 엣지 클라우드 운용 전문가, 건설장비 관제기술 관련 전문가, 건설장비 머신 가이던스 및 머신 컨트롤 관련 전문가, 건설장비 생산 및 관련 전장 부품 생산 관련 전문가, 토공 및 포장 장비 보유사 및 관련 시공 실적 다수 보유 전문건설사 전문가, 센서 네트워크 기술 관련 전문가, IoT 플랫폼 구축관련 소프트웨어 개발 전문가, IoT GW, 네트워크 관련 미들웨어 전문가, LPWAN(LORA, NB-IoT 등), 이동통신 등 IoT 관련 통신네트워크 전문가, 실시간 IoT 빅데이터 수집 및 활용 등 데이터처리 전문가 등

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 3차원 토공 및 포장공 현장정보, 설계정보, 작업현장 및 계획 업데이트가 가능한 클라우드 BIM 기술

○ 건설운용 빅데이터를 활용한 지능형 토공 및 포장장비 관제기술과 토공 및 포장 장비 최적이동경로 정보 제공을 위한 C-Map (Construction Map) 네비게이션

○ AI 기반 자율적 실시간 판단·대처가 가능한 지능형 토공 및 포장 장비 관제모듈(MG, MC, 원격 및 자율제어를 고려한 분산형 현장제어) 및 기술 표준화 체계

(구성기술 2)

○ 현장내 무선통신 장애지역에서 신속·정확한 데이터 통신이 보장되는 무선 네트워크 고도화 기술(장비관제용 광대역 Wi-Fi기술) 및 GPS 수신 장애지역에서의 토공 및 포장(배토-정지-상차-다짐) 장비 위치 정보 산출을 위한 WPS 기술

○ 장비간, 장비-관제센터간 통신을 위한 IoT 운영 체계 및 관제센터와의 통신 모듈

○ 무인화 시공을 위한 XR 기반 HMI 조종 환경 및 관제센터 연동형 HMI 조종 스테이션 및 H/W, S/W 패키지

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안 ○ 센서 및 제어 부분의 IT 기술을 적용한 지능형 건설장비 관제 기술의 지능화 및 고도화는 건설 기계 산업으로의 기술 시장 이전 및 확보와 더불어 건설 산업에서 다수의 자동화·무인화 장비를 통합·연계 가능한

관제 플랫폼을 개발하여 원격제어 등을 통한 시공자동화의 구현을 이루어 낼 수 있음

○ 클라우드·엣지 컴퓨팅 기반 지능형 건설장비 관제 시스템 및 스마트 네트워크 기술은 증강현실(Augmented Reality), 웨어러블 디바이스(Wearable Device)와 같은 최신 ICT 기술과 연계함으로써 Mobile Application 개발을 통한 건설공사의 소프트화를 확대할 수 있으며, 이와 같은 첨단 기술은 ICT, 기계 등 유관 산업과의 시너지 효과를 통해서 새로운 고부가가치 신사업을 창출할 것임

□ 기대효과

○ 경제적 효과

- 건설 장비 운영 신기술 개발은 건설 산업의 이미지 제고 및 건설 자동화 기술 연구개발의 활성화를 위한 기반환경 조성 뿐만 아니라 건설시장 개방에 따른 대외 기술경쟁력을 확보하고, 국외 기술의 도입에 따른 기술 사용료의 절감 그리고 해외로의 기술이전 등이 가능하여 막대한 부가가치 창출 가능

○ 기술적 효과

- 지능형 건설장비 관제기술은 장비-장비 간 혹은 장비-관제센터 간 상호작용을 이끌어 내어 토공/포장 작업의 생산성을 비약적으로 향상시킬 수 있으며, 건설현장정보 수집·분석 기술 및 도로건설 장비 자동화 기술과 연계하여 시공 및 관리 부분에서 획기적인 성과를 거두게 될 것임

○ 정책적 효과

- 본 연구의 핵심기술 개발을 통해 차세대 건설 전 과정에 걸쳐 관제, 자동화 기술을 통합하는 새로운 기반을 조성할 수 있도록 법·제도적인 장치를 마련할 수 있을 것으로 기대됨

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)

- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 12,207백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 1,711백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,

- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제2

세부과제명	건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발

1. 연구목표

○ AI 기반 자율운영이 가능한 드론 계측시스템 및 지상 무빙플랫폼(UGV, Unmanned ground vehicle)을 통해 취득한 현장 지형정보를 통합하여, 토공사 및 포장공사에 필요한 초정밀 Digital Map을 생성하고, 시시각각 변화하는 지형을 자동으로 업데이트하는 기술 개발

○ 다양한 종류의 환경 인식 센서데이터, CCTV 영상 등 이종의 건설현장 빅데이터를 초정밀 Digital Map과 통합하고, 지반환경 정보, 위험작업 구역, 습도 등 작업계획 수립에 필요한 정보를 CPS(Cyber-Physical System)로 구현 및 분석한 뒤, AR/VR/MR 기술 등을 통해 시각화하여 현장관리자와 공유하는 플랫폼 기술 개발

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표
	국내	해외	
구성기술 1 : 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발			
Digital Map 자동생성율[1] (관리자 간섭 비율)	10% (90%)	50% (50%)	70% 이상 (30% 미만)
현장계측 이후 Map 생성 소요시간 (700m×700m 토공현장 대상)	1일	0.5일	1시간 이내[2]
Digital Map 정확도[3]	70%	80%	90% 이상
구성기술 2 : 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발			
CPS 구현 및 분석 정확도[4]	-	-	80% 이상
VR/AR/MR 시각화 정확도[5]	-	80%	90% 이상

1) 기존에 Digital Map을 관리자에 의해 계측, 데이터전송, 맵핑, 분석 등 분절적으로 생성하던 것을 관리자의 간섭 비율을 줄여 자동으로 생성할 수 있는 비율을 의미

2) 계측은 군집드론 및 무빙플랫폼을 통해 수시로 이루어지며, 계측이 완료되어 수집된 정보를 바탕으로 업데이트된 Digital Map을 1시간 이내 생성

3) 군집드론 및 무빙플랫폼을 통해 수집된 디지털맵 정보를 상호보완하여 만들어진 최종형태의 Digital Map에서 추출한 좌표와 실제 좌표 간 비교시 정확도를 의미

4) CPS 시뮬레이션 예측 결과 값(작업량, 공정, 원가 등)과 현장에서 발생하는 실제 값과의 비교를 통한 정확도를 의미

5) 토공 및 포장공사를 대상으로 분석된 작업량, 공정, 원가 등 현장정보의 표출 지점이 실제 지점(센서, 자재적재, 가시설물 등의 위치)과 비교하여 어느 정도 정확하게 표출되는지를 나타내는 정도를 의미

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 토공 및 포장공사 현장에 대한 기존 품질관리는 구역별 시공품질관리가 주를 이루었으나, 최근 현장 전반을 모집단으로 하는 통합 시공품질관리의 필요성이 점차 증대되고 있어, 지구 좌표계 관점의 계측 및 현장 시공 데이터에 대한 실시간 관리를 통한 시공 품질관리 혁신이 필요함

- 2D 설계도면에 토공 및 포장공의 선형, 단면, 편경사 등의 건설정보가 불연속적인 단면으로 표현되며, 이로 인해 작업의 효율성이 저하되고 시공 오차가 개선되기 어려운 상황임
- 설계정보와 시공 후의 품질정보가 3차원 정보를 기반으로 통합관리되지 않기 때문에 하자의 원인을 규명하기 어렵고 경험지식을 향후 시공계획 수립에 반영하기 어려움

○ Caterpillar, Komatsu 등 글로벌 건설기계 기업을 중심으로 토공 및 포장공사 현장을 Digital Map으로 구현하는 시스템을 구축하고 있으며, 이를 실제 사업에 활용하는 단계에 있음

- 국내 건설기계 기업은 토공현장 작업환경 디지털화를 위한 기술 확보 연구가 초기 단계에 있으며, 실제 사업에 활용하기 위해서는 상당 기간 노력이 필요할 것으로 예상됨

○ 관련 기술 확보가 늦어질 경우 기술 우위를 점한 선진국에 기술종속이 우려되며, 상대적인 생산성 저하로 인하여 시공 및 원가 경쟁력이 떨어져 해외건설시장 진출 또한 어려워질 것으로 예상됨

□ 기술동향

<국내기술동향>

○ 드론 자율계측 관련 연구는 활발하게 이루어지고 있으나 Point Cloud 후처리 및 3D 모델 자동생성과 관련된 기술 개발은 미진함. 오히려 LiDAR를 활용한 현장계측 기술은 상대적으로 연구가 활발하게 진행되고 있음

- 한국건설기술연구원은 로컬맵 통합 기술, 현장 토질정보 입력 기술, 작업계획 수립을 위한 분석셀 생성기술 등 LiDAR를 이용한 토공현장 계측 기술을 개발하고 있음

○ 국내의 경우 레이저 스캐닝 기술을 100% 수입하고 있으며, 주로 해외 기술력을 이용해 현장 3D 도면을 생성하거나 충돌 등의 위험 요소를 탐지하는 기술 개발에 초점을 맞추고 있음

- 레이저 스캐닝을 활용한 토공현장 MMS(Mobile Mapping System) 기술이 한국건설기술연구원, 현대건설 등을 중심으로 개발되고는 있지만, 원천기술 개발이 아닌 국외기술을 도입하는 수준에 그치고 있음

○ 국내의 건설현장 정보분석 기술은 중장비, 근로자 등에 센서를 부착하여 작업 위치 및 동선을 실시간으로 확인하는 시도가 최근에 이루어졌으나 정보 수집을 넘어 분석 및 활용을 하는 데에는 여전히 미흡함

- 대우건설의 DSC(Daewoo Smart Construction) 팀은 최근 건설현장에 드론, CCTV, 위치 센서로 구성된 현장 모니터링 네트워크를 구축하여 인력, 장비, 자재 현황 등을 실시간으로 관리하는 시도를 하고 있음

<국외기술동향>

○ Caterpillar, Komatsu 등 글로벌 건설기계 기업은 현장계측의 중요성을 인식하고 Airware, Skycatch 등 드론 기반 현장계측 기업과 협업을 하고 있으며, 이를 통해 현장의 단순 사진측량뿐만 아니라 토공량, 작업동선, 안전성, 발파계획 등 공사관리를 위해 필요한 정보를 분석함

- 하지만 근접 촬영이 제한적인 드론 기반 계측의 한계로 인해 시야를 확보하기 힘든 지역 및 접근이 힘든 지역에 대해서는 여전히 초정밀 계측 정보를 획득하기 어려움(초정밀 수직 정보 취득의 한계)

○ Leica 등 기존의 레이저스캐너 제작업체는 다양한 현장계측 용도에 최적화된 장비를 개발하고 있음

- 레이저스캐너 자체의 성능향상 뿐만 아니라 계측 목적에 따라 최적의 성능을 구현할 수 있는 백팩형, 자율이동형, 차량탑재형 등 다양한 제품을 개발하고 있음
- GeoSLAM은 탄광, 동굴 등 GPS 수신이 어려운 지역에서도 정확한 3D 맵핑이 가능한 제품을 개발하였고, Dibotics는 장거리에서도 정확한 스캔이 가능하여 진입이 어려운 좁은 공간에서도 활용 가능한 제품을 개발함
- 단, 장애물 또는 물체 간 간섭으로 레이저가 도달하지 못하는 지역에 대해서는 여전히 정확한 계측 정보를 획득하기 어려움(초정밀 수평 정보 취득의 한계)

○ 최근 Point Cloud를 활용하여 Digital Map을 제작하고, 현장에 존재하는 여러 속성정보를 제작된 지도에 시각화하는 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있음

- Bentley Systems는 현장의 제한조건을 파악하여 Digital Map에 표현함으로써 현장 위험성을 저감하는 기술을 개발함

○ 현장의 환경정보를 분석하여 가상현실에 표현하는 기술 개발이 진행되고는 있으나 대부분 요소기술 개발에 그치고 있으며, 현장 활용을 위해서는 해당 기술을 잘 다룰 줄 아는 전문가가 필요함

- Horiba는 대기질, 수질 및 토양 분석 등 건설현장에 활용될 수 있는 다수의 환경 분석 기술을 보유하고는 있으나 실제 활용된 적은 없음

○ 빅데이터 분석의 세계적인 선두주자인 Microsoft, Oracle, Nvidia 등은 다양한 산업으로 분석 대상을 넓혀가고 있으며, 최근 건설기업과의 협업을 확대하고 있음
- Nvidia는 일본의 중장비 제조업체인 Komatsu와 협업하여 건설현장의 사고 위험성을 줄이기 위해 영상분석 인공지능을 도입함

3. 연구내용

(구성기술 1) 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발

○ AI 기반 자율운영이 가능한 군집 드론 계측시스템 개발
- 영상 카메라, 열화상 카메라, GPS 등의 복합 센서가 장착된 드론 계측시스템 개발
- 센서와 취득영상 기반 현장작업과의 간섭 여부, 경로의 안전성 등을 자율 판단하는 현장 대응형 군집 자율 비행 알고리즘 개발
- 자동 충전설비 구축 및 충전/비행시간을 고려한 자율 비행 알고리즘 최적화
- 드론 취득 Point Cloud 정보를 활용한 Digital Map 초고속 생성 기술 개발
- RTK 및 5G 통신 기반의 고정밀 계측시스템 제어 및 데이터 수집 기술 개발
- 데이터 오류 최소화 및 사각지대 데이터 획득에 필요한 근접비행 기술 개발

○ 실시간 지형정보 수집을 위한 지상 무빙플랫폼* 개발
* 장비, 근로자, 자재가 혼재한 비정형 작업현장의 지형정보를 실시간으로 수집하기 위한 이동성이 보장되는 무인플랫폼
- LiDAR, 레이저스캐너, 레이더 등을 장착한 건설현장 접근 및 비정형 지형에서의 이동이 용이한 무빙플랫폼 하드웨어 개발
- 건설현장의 분진 등 외부 환경에 강하고, 다수 동적 물체 등에 대응이 가능한 이종 센서 운영 기술 개발
- 이종 센싱 데이터 간의 데이터 동기화 및 센싱 최적화 알고리즘 개발
- 건설현장 맞춤형 Semantic 판단 및 실시간 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술 개발
- 공정계획을 고려한 최적의 Semantic Path Planning 알고리즘 개발

○ 현장 지형정보를 통합한 초정밀 Digital Map 생성 기술 개발
- 드론 계측시스템과 무빙플랫폼이 생성한 지형정보 통합 및 상호보완한 초정밀 Digital Map 시스템 개발
- 3차원 지형공간정보 기반 설계 및 시공정보 연계 기술 개발
- AI 기반 3차원 지형변화 분석 알고리즘 개발
- Digital Map 경량화 및 실시간 모바일 공유 기술 개발
- Digital Map 자동생성 효율 및 정확도 분석 기술 개발

(구성기술 2) 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발

○ 이종 건설현장 빅데이터 통합 및 정보관리 플랫폼 개발
- 영상, 지반환경 정보, 풍속 및 습도 등 다양한 작업환경 정보를 취득하기 위한 다중센서 네트워크 구축 기술 개발
- 정보를 수집하고 분석하여 결과를 제공하고, 시시각각 변화하는 정보를 빠르게 업데이트하는 현장 정보관리 플랫폼 개발
- 다양한 센싱 데이터, CCTV 영상 등과 초정밀 Digital Map 간의 정형/비정형 이종 데이터 동기화 및 통합 기술 개발
- 수집된 정보를 분석하여 작업위험 지역, 장비 접근 금지구역 등 사용자가 원하는 정보를 생성하여 제공하는 플랫폼 분석 엔진 개발

○ CPS 시뮬레이션 기반 작업계획 수립 기술 개발
- 통합된 Digital Map을 활용한 디지털 트윈 가상 건설현장 CPS 설계 및 구현
- CPS기반 생산성 저해요인 탐지 기술 개발
- CPS기반 안전성 저해요인 탐지 기술 개발
- 작업계획으로부터 생산성, 안전성 저해요인을 제거하고 공정/원가를 최적화하기 위한 시나리오 기반 CPS 통합 시뮬레이션 기술 개발
  ※ 사업단 내 중점분야 1(세부과제 1, 2, 3)과 중점분야 3(세부과제 7, 8, 9)에서 수립한 작업계획을 기본 활용
- CPS와 정보관리 플랫폼 간의 연계 기술 개발

○ AR/VR/MR 기술을 활용한 현장정보 시각화 및 공유 기술 개발
- 통합 Digital Map 기반 정보 Mapping 및 연동 기술 개발(속성정보, 현장정보, 모델정보, 작업정보 등)
- 작업계획 및 시나리오 기반 AR/VR/MR 기술 등을 활용한 현장정보 시각화 기술 개발
- 시각화 정보 경량화 및 정보 전달 기술 개발
- 다양한 시각화 및 정보 전달 기술 대안 분석을 통한 토공사 및 포장공사 현장관리 목적(안전, 품질, 진도관리 등)에 최적화된 기술 개발
- 정보 공유기술과 정보관리 플랫폼 간의 연계 기술 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시
  ※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 1의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 1 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 1과의 협력 필요

※ 단, 중점분야 1 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 1 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 1 “건설장비 자동화 및 관제기술”의 목표인 “생산성 25% 이상 향상”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야 4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (테스트베드 대상) 도로, 단지, 간척지 등 포장 및 토공
- (산식) 본 사업에 의한 시간당 노동생산성 / 기존 방식에 의한 시간당 노동생산성 ≥1.25 (*시간당 노동생산성 = 부가가치/노동시간)

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시

- 1단계(’20~’21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계(’22~’23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계(’24~’25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시

- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진 시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

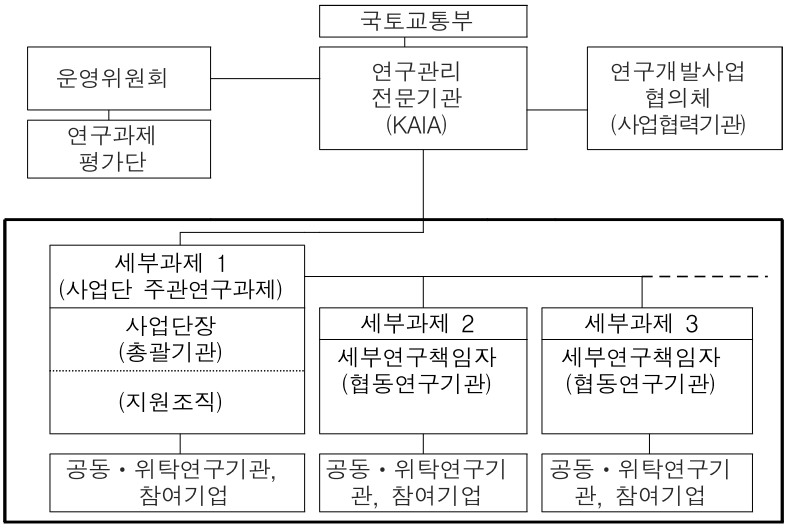
※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계

○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 토목, 건축, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·기업 등으로 컨소시엄 구성 요망. 특히 다양한 전문분야 중 참여가 요구되는 분야는 아래와 같음

- 군집 자율계측 드론 개발 및 운용 전문기업
- 기계공학 및 건설 융합 Digital Mapping, SLAM 전문가
- 무빙플랫폼 개발 및 운용 전문기업
- 건설관리 및 센싱/빅데이터 융합 전문가

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ AI 기반 자율운영이 가능한 군집 드론 계측시스템

○ 실시간 지형정보 수집을 위한 지상 무빙플랫폼

○ 현장 지형정보를 통합한 초정밀 Digital Map 생성 기술

(구성기술 2)

○ 이종 건설현장 빅데이터 통합 및 정보관리 플랫폼

○ CPS 시뮬레이션 기반 작업계획 수립 기술

○ AR/VR/MR 기술을 활용한 현장정보 시각화 및 공유 기술

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 건설장비 운용 및 공정관리 자동화를 위한 기초자료 제공

○ 현장에서 발생하는 분산된 데이터를 통합하고 분석할 수 있는 기회 제공이 가능하므로 건설현장 관리를 위해 활용

○ 건설현장정보가 축적되면 건설산업 전반의 경쟁력 향상을 위한 기초자료로 활용

□ 기대효과

○ 건설현장 디지털화를 통한 건설산업 전반의 생산성 향상이 기대되며, 이를 통해 건설기술 경쟁력 강화 기대

○ 작업현장 센서네트워크 구축을 통해 시공단계에서 생성되는 데이터를 추적하여 현장관리 빅데이터 활용 확대 기대

○ 작업현장의 자율계측으로 인하여, 기존의 작업현장에서 발생할 수 있는 계측인력의 인명사고를 방지

○ 드론을 이용한 건설현장 계측시장은 꾸준하게 성장하고 있으며, 향후 성장 가능성이 크므로 초정밀 Digital Map 생성, 자율계측 등의 기술 개발을 통한 시장 확대 예상

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)
- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 11,733백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,658백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제3

세부과제명	디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발

1. 연구목표

○ ICT 기술을 통해 지능형 건설장비 관제 기술과 연계한 도로포장 장비(롤러, 도저, 그레이더 등)의 지능화된 작업 기술 개발

- ICT 기술과 로봇 기술을 적용한 도로포장 장비의 작업 자동화, 자율주행 및 원격제어 등의 기술 개발
- 도로 하부층(토사)의 다짐도 및 함수비 관리, 아스팔트 혼합물 이송·다짐 품질 관리 및 향상 기술 개발

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발			
작업 생산성 향상	-	20%	30% 이상
토공장비 블레이드 각 축방향 자세 오차	-	±0.4°	±0.4°[1] 이내
작업 자동화 비율	10%	70%	80% 이상
융합센서 기반 작업자, 장애물 등의 객체 인지 정확도	70%	90%	90% 이상
자율주행 경로 추종 오차	-	100mm	100mm 이내
구성기술 2 : 시공장비 연동 도로포장 품질관리 및 향상 기술 개발			
시공장비 연동 포장 하부층(토사) 다짐도 평가 영역	전체 다짐영역(토사)의 1% 이하	전체 다짐영역(토사)의 99%	전체 다짐영역(토사)의 99% 이상
시공장비 연동 실시간 포장 하부층(토사) 함수비 측정 정확도	80%	90%	90% 이상
포장 하부층(토사) 시공장비 수평 측위 정확도[2] 포장 하부층(토사) 시공장비 수직 측위 정확도[2]	3cm 5cm	3cm 5cm	3cm 이내 5cm 이내
아스팔트 혼합물의 하차전 내·외부 온도 차이[3] 목표 포설 온도와 실제 포설 온도의 차이[3]	40℃ 이내 20℃ 이내	40℃ 이내 20℃ 이내	30℃ 이내 목표 포설 온도 ±10.0% 이내
다짐 직후 아스팔트층의 실제 측정 공극률과 목표 공극률 사이의 오차	-	-	전체 다짐영역 ±0.3%[4] 이내

1) 3,658mm 블레이드의 경우, 중앙 축을 기준으로 ±0.4°는 끝단 위치 오차가 ±15mm임을 의미

2) 측위 정확도는 1회성이 아닌 건설현장에서 24시간 지속적으로 제공할 수 있는 측위 정확도를 말하며, 이는 GNSS 신호장애지역 등을 포함하여 안정적인 측위 정확도를 제공함으로써 신뢰도를 유지하는 것을 목표로 함

3) 아스팔트 혼합물에 대해 환경의 특성을 경험적으로 고려하는 현재의 방법에서 벗어나 측정과 예측을 통한 관리로 아스팔트 혼합물 하차전 내·외부 온도차와 아스팔트 혼합물의 목표 포설 온도를 보다 엄격하게 제어하는 것을 의미

4) 현재 규정에서는 아스팔트 혼합물의 종류와 무관하게 다짐 직후 공극률이 3~8% 사이일 것으로 일괄 규정하고 있음. 본 연구를 통해 아스팔트 혼합물의 종류, 특성 및 교통량 등에 따라 다짐 직후 목표

공극률을 정의할 수 있는 체계를 제시하고, 다짐 직후 공극률을 실측하여 전체 다짐영역에서 목표 공극률 대비 ±0.3% 이내로 공극률이 획득할 수 있도록 최적화된 다짐 패턴 및 방법을 제시해야 함을 의미

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 수십 년간 답보상태인 건설공사 생산성 및 작업 환경 개선을 통한 효율화에 대한 기대수준 증가와 사회 경제적 비용 감소에 대한 관심 증대

- 한국을 포함한 대부분의 국가에서 인프라 건설 부분은 타 산업분야에 비해 노동 생산성 증가율이 거의 없거나 일부 감소하는 상태가 지속되고 있음
- 건설작업의 주요 공사별로 다양한 건설장비가 개발되어 활용되고 있으나 장비 운전자를 통한 장비 조작 및 측량 등 주변 작업인력 지원을 통한 작업방식은 수십 년간 변화 없이 유지되어 왔으며 이에 따라 작업 생산성 또한 수십 년째 답보상태를 유지하고 있음

○ 4차 산업혁명기술의 건설분야 적용에 대한 높은 의지 대비 미흡한 상용화는 미흡한 실정임

- 타 산업분야에 급속히 확산되고 있는 빅데이터, AI 등의 ICT 기술의 활용성을 인지하고 국토교통부에서는 건설 기술 개발 전략에 이를 반영한 제6차 건설기술진흥기본계획을 발표하는 등 건설부분 효율성 증대 및 작업환경 개선에 정책적 우선순위를 두고 있음
- 인프라 건설부분은 건설장비 활용비율이 높아 자동화를 포함한 건설현장의 첨단화, 지능화 기술의 도입이 용이하고 기대효과는 높으므로 스마트 건설기술의 도입을 통해 효과를 검증하고 타 분야 적용을 선도할 수 있는 분야임

○ 건설분야 인력 고령화 및 숙련자 확보가 어려워지는 상황에서 작업 인력을 확보하는 한편 작업 품질을 담보하기 위해 건설장비 조작 및 작업에 대한 가이드 정보를 제공하거나, 일부 작업을 자동으로 수행할 수 있는 건설장비에 대한 기술개발 필요

- 미숙련자의 작업능력 향상과 더불어 발생할 수 있는 다양한 안전사고 발생가능성을 미연에 방지할 수 있는 건설머신 가이던스 및 자동화 기술 개발이 요구됨
- 건설분야 노동환경 개선을 위해 작업 정밀도를 확보할 수 있는 작업 자동화 기술은 장비 운전자의 노동 강도를 크게 낮출 수 있는 방법이므로 개발 필요성이 높음
- 데이터 수집기능을 갖춘 건설 자동화 장비를 활용한 숙련자 작업 패턴에 대한 빅데이터 구축 및 이를 활용한 AI 기반의 작업 자동화 기술을 바탕으로 향후 도로 건설 및 포장분야 무인화를 이끌 수 있는 연구가 필요함

○ 기획, 설계, 조달, 시공에 이르는 건설부분 전 공정을 아우르는 스마트

건설 기술 및 체계를 수립하기 위해서는 현장에서 수집되는 데이터의 양 및 신뢰도가 중요

- 현재 해외 건설장비의 경우 ICT 기반 공정관리솔루션을 위해 MG 시스템과 MC 시스템의 정보 연계 기술을 일부 갖추고 있으나 아직까지는 MG 및 MC적용 장비의 정보만을 관리하는 단순한 장비관리 수준이므로 관제 시스템과의 연동을 통한 데이터 표준화에 대한 기술개발 필요

※ MG(Machine Guidance), MC(Machine Control)

- 작업 자동화 및 건설장비 자율 작업을 위한 작업 명령 생성을 위해 시공 계획과 연계된 작업도면 생성 및 인터페이스 기술 연구가 필요함

○ 도로건설 자동화를 위해서는 굴삭기, 덤프트럭, 도저, 롤러, 그레이더 등의 도로공사에 적용되는 장비의 개별적인 역할 및 기능에 최적화된 ICT 기반 작업효율화 기술 개발 필요

- 장비 간 유기적인 협업작업을 위한 장비 간 데이터 교환 시스템 기술 개발 및 다양한 장비별 협업 시나리오에 따른 장비 제어 알고리즘 개발

○ 도로 건설의 자율 작업 및 자동화를 위해서는 도로 건설에 사용되는 재료 및 시공 품질 데이터의 계측을 통한 분석 데이터가 필요하며, 이를 위하여 도로 노상 및 포장층에 대한 재료 및 시공 데이터 측정/분석 및 전송 기술 개발이 필요함

- 자율주행 기술을 활용한 경로 추종 주행 플랫폼과의 결합을 통해 다량의 데이터를 확보하고, 이를 관제 시스템 및 지원활동 플랫폼에 전달할 수 있는 시스템 개발이 필요함

□ 기술동향

<국내기술동향>

○ 머신 가이던스 기술 동향

- 국내건설기계는 굴삭기와 지게차 위주로 생산되고 있기 때문에 굴삭기 중심의 머신 가이던스 및 작업 자동화 기술 개발이 이루어지고 있음. 하지만 해외 선진장비보다 머신 가이던스 및 머신 콘트롤 장비의 상용화가 늦어지고 있음

・현대건설기계는 '18년말 머신 가이던스 굴삭기를 상용화하였으며 '20년까지 머신 가이던스와 관제 기술을 접목한 미래형 건설플랫폼 '스마트 컨스트럭션'을 구현할 예정임

・영신디앤씨는 경사계 및 수평 레이저 조사장치를 활용한 2D 기반의 굴삭기용 머신 가이던스 시스템을 개발하였으며, 자사 공사 현장을 비롯한 건설사 공사현장에서의 시범적용을 일부 추진하고 있음

・2D 머신 가이던스 시스템은 수평 레이저 조사장치의 기준값을 바탕으로 굴삭기 버킷의 위치 정보를 운전자에게 보여주는 시스템이며 고정밀

GPS 장착을 통해 굴삭기의 3차원 위치정보를 추가로 활용할 경우 3D 머신 가이던스 시스템으로 불림

- 국내의 경우 일부 굴삭기 운전자 또는 건설사가 보유한 일부 장비에 외산 2D 가이던스 장비를 장착하여 운용하고 있는 상태로서, 비교적 고가인 3D 가이던스 장비의 경우 활용비율이 극히 낮음

○ 작업 자동화 및 자율주행기술 동향

- 건설기계부품연구원은 굴삭기 작업 자동화를 위하여 작동 압력 350bar급 전자유압시스템을 적용한 20톤급 굴삭기 작업 자동화 기술을 개발하고 있음. 이를 위해 풀 전자유압시스템의 구축, 작업환경 및 위치 인식기술 개발, 작업 생산성 및 편의성 향상을 위한 작업자 UI 개발 등을 진행하고 있음
- 주요 굴삭기 제조사인 두산인프라코어 및 현대건설기계 또한 작업 자동화 기능 개발을 위한 관련 연구를 내부적으로 진행하고 있으나 해외 주요 선진사 제품에 채용된 일부 작업의 자동 보조기능을 위한 전자유압시스템 및 유압제어기술에 초점을 맞추고 있어 해외기술수준과는 어느 정도 격차를 보이고 있음

○ 원격제어 기술 동향

- 두산인프라코어는 무인자율 기술 개발을 위해 5G 기반의 건설기계 원격제어 기술을 개발할 계획으로 최근 통신사와 스마트 건설사업협력을 위한 MOU를 체결함
  - 엣지 컴퓨팅(Edge computing)을 이용한 데이터 전송시간 단축을 활용한 초저지연 영상 송신을 통해 원거리 관제센터에서의 원격작업기술을 개발하기로 함
- 현대건설기계는 '19년 4월 독일 뮌헨 '바우마(BAUMA) 2019'에서 엔진 원격진단 서비스 기술을 소개하였으며, 향후 AR을 통하여 엔진 고장 부위 및 정비 절차를 고객들에게 제공할 예정임

○ 실시간 도로 품질 평가 기술 동향

- 한국건설기술연구원은 "텔레매틱스를 활용한 지능형 성토다짐관리시스템 개발"('06~'09) 연구과제를 진행하였고, 에이케이티공간정보(주)는 '11년 U-Roller 성토다짐시스템 상용화 제품을 개발함

<국외기술동향>

○ 머신 가이던스 기술 동향

- Topcon 사는 내비게이션 시스템을 활용한 3D machine control 장치를 개발하여 정지 작업에서의 배토판 높이 제어로 고저차가 큰 현장 등 복잡한 현장에서 실시간으로 절토량 등의 작업 상황을 확인할 수 있도록

하고, 후진 시공 시 운전자의 후방확인 집중도를 향상시켜 작업 안전성을 향상 시킴

- Caterpillar사는 CAT Grade라는 기술 상품명으로 도저 위치에 따라 배토판의 높이 및 방향을 자동으로 조절할 수 있는 기술을 상용화하여 제품에 적용하고 있음
- 최근에는 IMU(Intertial Measurement Unit)를 사용하여 기존 배토판 양쪽에 GPS 안테나 고정을 위한 폴을 설치하는 불편함을 해소하는 제품을 출시함
- Komatsu 사의 경우 도저의 이동 시 발생하는 미끄러짐 및 배토판에 가해지는 압력정보를 추가로 활용하여 배토판의 방향 및 각도 조절을 가능하도록 하는 제어 기술을 개발하여 많은 양의 토사작업이 필요한 초기 작업공정에서의 MG/MC 활용률을 기존 10~20%에서 상당폭 향상시킨 제품을 출시함

- 일본 Topcon 사는 도로 포장 및 품질관리에 필요한 센서모듈 시스템을 다수 보유하고 있음. 3D-MC Asphalt 장비를 통해 도로 포장 차량의 위치 및 도로의 경사 등의 정보를 제공하고, 이를 통해 운전자는 포장 차량을 쉽게 제어할 수 있음

○ 작업 자동화 및 자율주행기술 동향

- 독일 MOBA 사의 MOBA-matic II는 아스팔트를 평탄하게 paving할 수 있는 장비로 Ultrasonic sensor를 통해 비접촉식으로 노면을 스캔하며, rotary sensor 및 slope sensor로 포장면의 height와 slope를 제어함
  - 노면의 온도를 실시간으로 sensing하여 제공함으로써 아스팔트의 상태에 따른 적합한 공정 시간을 선정할 수 있게 하여 포장면의 quality를 확보함
- AI 기반 경로 추종 주행 및 작업 기술의 경우 농업용 트랙터 위주의 연구가 진행 중임. 농촌진흥청은 그동안 국내에서 연구된 농기계의 자율주행 기술이 조기 실용화될 수 있도록 테스트베드를 구축하고 인공지능을 적용하는 등 자율주행기술 고도화를 추진하고 있음
  - 농림축산식품부와 공동으로 상용화 연구사업단을 운영, 2019년까지 Level 2 (자율주행), 2020년까지 Level 3(작업 자동화)를 실현할 수 있는 트랙터의 상용화 기술을 개발 중임
  - 건설기계에 대한 자율 주행과 자율 작업 기술은 국내·외적으로 활발하게 연구진행 중이지만, 아직까지 상용화는 이루고 있지 못함
  - Volvo 사는 2015년부터 대학과 공동연구를 통해 채석장에서 운용되는 모든 건설장비의 동력을 전기로 전환하는 시범연구를 수행하고 있으며 이의 일환으로 자율주행기능을 갖춘 배터리 타입의 운반차량을 개발하였으나 자율 작업기능은 운반차량의 주행기능에 한정됨

- 대형 광산에서 주로 사용되는 대형 트럭(Haulage truck)의 경우 KOMATSU, Caterpiller, Hitachi와 같은 주요 제조사는 Rio Tinto 등 대형 광산업체와 함께 트럭 운영의 원격 관제로부터 시작하여 자동화 시스템 기술개발을 지속해 옴
  - KOMATSU 사는 2016년 고정도 GPS, 장애물 탐지 기능과 더불어 무선통신 시스템을 탑재하여 자율주행을 가능하게 하는 AHS(Autonomous Haulage System)을 출시함
  - 그러나 해당 기술은 작업자가 적고 이동공간은 큰 대형 사업장에 적합하며 제조사별로 독립적인 시스템을 갖추고 있어 일반적인 건설환경과는 차이가 있음
- CNH Industrial 사에서는 2016년 정밀농업 및 농업자동화를 위한 기술개발 일환으로 자율주행기능을 갖는 트랙터의 프로토타입을 개발하였으며 운전자가 필요 없는 형태 및 자동작업에 부적합한 작업을 수행하기 위해 작업자 탑승공간을 구비한 서로 다른 트랙터를 개발함
  - 자동 조향기능을 위해 위성으로부터 보정신호를 받는 고정밀 GPS, 정보전송을 위한 텔리매틱스(Telematics) 기능을 활용하며 장애물 탐지를 위해 레이다, 라이다, 카메라 등의 센서를 활용함

○ 원격제어 기술 동향
- 원격제어 기술과 자동작업기술을 이용하여 굴삭기를 시작으로 도저까지 원격으로 조종할 수 있는 원격제어 굴삭기와 도저는 Komatsu와 Caterpillar에서 상용화하였으며, 운전자의 위험요소를 제거한 상황에서 무인시공을 가능하게 함

○ 실시간 도로 품질 평가 기술 동향
- 일본의 Topcon 사는 도로포장 시 차량에 스캐너를 탑재하고 주행하며 도로 포장면을 실시간 스캔하여 밀링구간을 파악함. GPS와 초음파 거리센서 등을 융합하여 자동으로 아스팔트 밀링머신을 제어함
- 미국의 도로 사업에서는 FHWA(Federal Highway Administration: 미국 연방 도로청)나 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials : 미국 도로교통 운수 행정관 협회)에서 정보화 시공의 추진을 향한 계획이 책정되어 있고 머신 컨트롤 시스템이나 면(面)적인 시공 관리에 대한 관심이 높아지고 있음
- 미국의 PenetLidar 사는 도로포장 품질 평가를 위해 지표투과레이더(GPR : Ground Penetrating Lidar), 적외선 열화상(IRT : Infrared Thermography), 고해상도 이미지(HRI : High Resolution Imaging) 등의 다양한 방법을 이용
- GPR : 지표투과레이더를 이용한 검사장비로 포장층의 두께, 공극 및 수분 탐지가 가능하며, 고속 측정이 가능
- IRT : 고해상도 적외선 열화상 이미지를 이용한 검사장비로 포장도로의

층간 박리, 콘크리트 열화, 공극 등 탐지 및 HMA 포장 작업 시 온도 모니터링이 가능

- HRI : 4k 이상의 초고해상도 이미지를 60fps의 영상 레코딩을 통해 도로 품질을 검사하는 장비로 포장면의 균열, 파손 등을 검사하며, GPR 또는 IRT 장비와 같이 사용
- Volvo 사는 세계 최초로 실시간으로 포장층의 밀도를 측정하는 지능형 압축(IC : Intelligent Compaction) 시스템을 발표하였으며, Density Direct라 불리는 포장층의 밀도, 경로, 온도 등을 컬러맵을 통해 디스플레이 가능한 안드로이드 기반의 터치 스크린 제공

3. 연구내용

(구성기술 1) 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발

○ ICT 기술과 로봇 기술을 적용함으로써 건설장비*에 대한 작업 자동화, 자율주행 및 원격제어 기술 개발

* 적용대상 : 롤러(진동, 마카담, 타이어, 단뎀), 도저, 그레이더

기술 \ 대상	롤러	도저	그레이더
작업 자동화	○	○	○
경로추종 자율주행	○	○	○
포장품질	○	×	×

- 지능형 건설장비 관제 기술과 연계한 자동 작업 공정 도출 및 자동 작업 평가 기술 개발
- 도로건설장비 주행 제어를 위한 현장 위치 측위 센서 융합을 통한 작업기 위치 인식 기술 개발
- 전자유압시스템을 이용한 부하변동을 고려한 고정밀 작업 제어 기술 시스템 개발
- 작업자 편의성 향상 인터페이스 및 직감형 원격제어 기술 개발
- 경로 추종 주행 및 자율 작업을 위한 전자제어시스템 및 실작업 경로 생성시스템 개발

※ 세부과제 1, 2에서 도출된 작업계획을 기준으로, 현장 토질 및 작업 환경을 고려한 건설 장비 운영을 위한 실작업 경로 생성(예 : 작업 중 마주치는 장애물이나 암석 등으로 인한 회피 및 우회 경로 생성 등 장비 운영을 위한 실시간 작업 경로 생성 기술)

- Lidar-Vision 융합 환경 인식 시스템 개발
- 수작업자 작업 이력 수집 및 분석을 위한 플랫폼 및 자율 작업 시스템 개발
- 포장 장비에 대한 토탈스테이션 연동 고정밀 작업기 제어가 가능한 정밀 제어 기술 개발

(구성기술 2) 시공장비 연동 도로포장 품질관리 및 향상 기술 개발

○ 작업 자동화장비와 첨단센서를 활용한 도로 하부층(토사)의 다짐도 및 함수비 관리, 아스팔트 혼합물 이송 품질관리 및 다짐 품질 확보 등 도

로포장 자동화 품질관리 및 확보 시스템 개발
- 국내 건설환경에 부합한(토질, 장비, 기상 등) 다짐도 측정 기술 개발
- 다짐장비 연동 실시간 함수비 측정 기술 개발
- 도로포장 품질분석을 위한 고정밀 실시간 GPS 측위 기술 개발
- CPS 기반 성토-다짐 통합품질관리 시스템 개발
- 아스팔트 혼합물의 이송 품질 유지 및 관리 기술 개발
- 현장 조건을 고려한 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 패턴 실시간 최적화 기술 개발
- 시공 요소와 포장 성능의 상관성 분석을 통한 시공 품질 향상 기술 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 1의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 1 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 1과의 협력 필요

※ 단, 중점분야 1 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 1 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 1 “건설장비 자동화 및 관제기술”의 목표인 “생산성 25% 이상 향상”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (테스트베드 대상) 도로, 단지, 간척지 등 포장 및 토공
- (산식) 본 사업에 의한 시간당 노동생산성 / 기존 방식에 의한 시간당 노동생산성 ≥1.25 (*시간당 노동생산성 = 부가가치/노동시간)

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시

- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시
- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

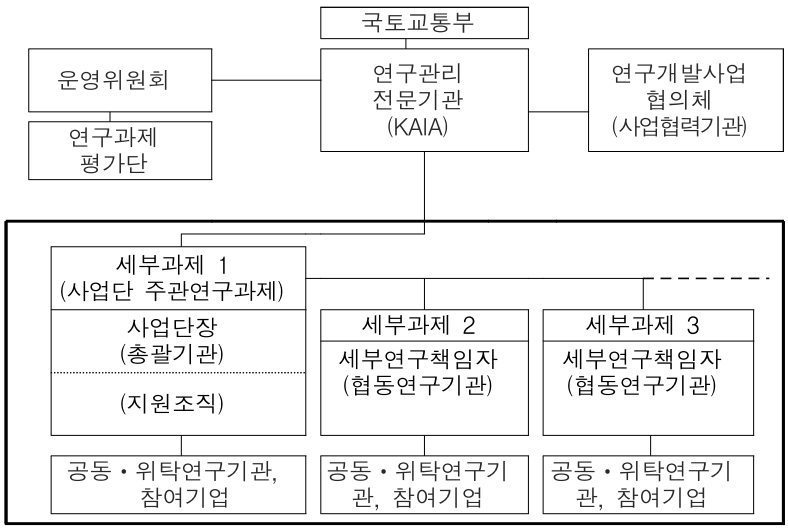
○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

○ 연구개발계획서에 상용 장비 구매 계획을 1차년도 계획에 포함하고, 1차년도 연구수행시 NFEC(국가연구시설장비진흥센터)의 심의를 통과하여야 함

※ 장비 구매는 NFEC의 심의가 필요하며, 장비 구축 등 관련 내용은 기획보고서 참조

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 토목, 건축, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망
- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 롤러, 도저, 그레이더 After Market용 MC 장비(S/W & H/W Package)

○ 롤러, 도저, 그레이더에 대한 After Market용 도로건설장비 경로추종 자율주행 시스템(S/W & H/W Package)

○ After Market용 도로건설장비 양방향 통신 시스템(H/W)

(구성기술 2)

○ 장비 연동 실시간 포장 하부층 다짐품질 관리 시스템

○ 목표 포설 온도 유지를 위한 이송 조건 고려 아스팔트 혼합물의 온도 측정 및 데이터 전송 시스템(HW Package) 및 최적 이송 조건 제안 시스템(SW)

○ 현장 아스팔트 혼합물의 다짐 밀도 측정 및 데이터 전송 시스템(HW Package) 및 이를 활용한 다짐 방법 및 패턴 제안 SW

○ 시공 조건과 포장 초기 성능의 상관성 분석을 위한 DB 시스템

○ 국내 건설환경을 고려한 도로 하부층 연속다짐도 평가 알고리즘(S/W)

○ 국내 건설환경을 고려한 도로 하부층 현장 함수비 평가 시스템(S/W & H/W)

○ 도로 하부층 다짐 품질분석을 위한 고정밀 실시간 GNSS 측위보정신호 시스템(S/W)

○ 시공장비 연동 성토-다짐 시공 및 품질관리 시스템(S/W&H/W)

○ 이송 조건을 고려한 목표 포설 온도 유지를 위한 아스팔트 혼합물의 온도 측정 및 데이터 전송 시스템(H/W) 및 최적 이송 조건 제안 시스템(S/W)

○ 현장 아스팔트 혼합물의 다짐 밀도 측정 및 데이터 전송 시스템(H/W) 및 이를 활용한 다짐 방법 및 패턴 제안 시스템(S/W)

○ 시공 조건과 포장 초기 성능의 상관성 분석을 위한 데이터베이스 시스템 프레임워크

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 건설장비 고정밀 제어기술 개발

- 선진사의 지속적인 관련 기술적용과 제품출시로 관련 연구과제 수행에도 불구하고 기술격차가 줄어들지 않거나 오히려 늘어나고 있는 상황으로서 이를 극복할 수 있는 민간부분의 관련 기술 개발을 촉진
- 국내 건설장비 제조사는 굴삭기만을 생산하고 있기 때문에 민간기술의 방향 역시 굴삭기만을 대상으로 진행되고 있지만, 본 과제를 통하여 토공 및 포장 장비 전체에 대한 자동화 방안과 통합관제시스템과 연계할 수 있는 연계 기술 제공

○ 건설장비 연동 도로포장 품질 관리 및 향상 기술 개발

- 도로 포장층의 품질 관리 데이터를 실시간으로 평가하여 건설장비의 고정밀 제어 및 자율주행에 필요한 정보 제공
- 도로포장 품질관리 시 최소 조건 만족이 아닌 성능 중심 시방 또는 지불요소 결정에 활용될 수 있는 데이터베이스 플랫폼 개발을 통한 민간 주도의 기술 개발 유도

□ 기대효과

○ 첨단 로봇기술과 ICT 기술을 활용한 작업지시, 작업 자동화 및 자율주행을 통한 토목 건설 산업의 스마트화

- 실시간 현장 지반 형상을 3D로 맵핑하고 진척도를 실시간 반영한 통합 공정 관리
- 토질속성을 고려한 실시간 시공 계획 갱신 및 시공 관리 업무 효율성 제고
- 스마트 기술의 현장 적용을 통한 기술 진보 선도
  - 센서 융합을 통한 객체인식 기술 및 AI 기반 자율주행 기술 실증
  - 작업지형 모델링 및 건설현장 모니터링, 작업자 안전기술 실증
  - 토공현장 특화 위치인시기술 및 GPS 실증
  - 장비를 통한 Big-data 구축 기술 및 이를 통한 부품 수명 예측, 공정 계획 최적화 기술 실증
  - 능동형 안전시스템 및 사고 인지 및 예방 기술 실증
  - 정밀유압제어기술 및 토공현장에 강건한 제어시스템 제작 기술 확보

○ 미래시장의 선진기술인 무인화 건설기계의 기반기술 확보로 농기계를 비롯한 특수목적형 건설기계에 이와 같은 첨단기술을 접목하여 관련 산업 기술력 향상에 도움

○ 미국/일본 등 선진 업체가 주도하고 있는 세계건설기계산업에서 선진사와의 기술 격차 해소로 수출 경쟁력 강화
- 차별화된 기술개발을 통해 내수시장을 기반으로 성장하고 있는 중국업체들의 추격 및 중국 FTA에 따른 대중국 무역 역조에 대한 현실적 대응력 강화
- 국내 중소/중견기업에 대한 ICT융합 부품 기술 (센서 및 소프트웨어 기술)의 상업화가 가능한 기반 구축 및 ICT 신기술 업체가 건설기계 산업으로 이동 할 수 있는 기회 제공

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)
- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 15,425백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 3,351백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
※ 연구수행을 위한 상용 장비 구매는 1차년도에 NFEC의 장비 구매 심의 필요

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는

경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제4

세부과제명	디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발

1. 연구목표

○ 제조업 분야의 디지털 기반 생산성 향상 기술을 응용하여, 도로구조물 프리팹 구조의 설계-제작-시공 단계를 유기적으로 연동할 수 있는 디지털 엔지니어링 모델 개발

○ 도로구조물 프리팹 구조의 제작 지원 및 품질관리 기술과 조립시공 최소화를 위한 신형식 프리팹 구조 및 연결부 개발

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발			
디지털 설계 모델과 제작장비 간 데이터 연동률	10%	30%	90% 이상
프리팹 구조(콘크리트)의 설계 대비 제작 오차률	-	-	0.2% 이하
프리팹 구조의 설계-제작-시공을 통한 공기 단축률	-	-	25% 이상
구성기술 2 : 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발			
기존 대비 프리팹 구조 제작시간 단축률	-	-	50% 이상
프리팹 구조 품질검사 자동화 수준	-	-	90% 이상

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 기존 2D 도면을 기반으로 한 부재의 설계/제작상의 오류와 현장 중심의 시공은 재설계, 재생산 및 재시공으로 이어지며 시공기간의 지연 및 사업비의 증가로 이어질 수 있음
- 이를 극복하기 위해서는 부재 설계부터 조립 시공까지 BIM, VR 및 AR 등 디지털 기술을 활용한 가상 건설 기술 활용이 필요함
- 디지털 고속도로 설계 및 시공을 위해 제조업에서의 자동화 제작을 위한 장비간의 정보교환, 독창적인 디자인을 뒷받침할 수 있는 제작 및 시공 디지털 기술이 요구됨

○ 건설 방식의 전향적인 변화가 필요한 시점에서 프리팹 기술(Pre-Fabrication Technology)은 제조업에서와 같이 생산성을 높이고 비용을 절감하는 방식을 채택하여 향후 건설 산업이 추구해야 하는 방향성으로

제시되고 있음
- 점차적으로 세계 건설 산업의 핵심 경쟁력은 모듈공법(사전제작 부재 활용)이 될 것이며, 관련한 설계 및 엔지니어링, PM 기술 등 역시 상당한 변화를 맞게 될 가능성이 높음
- 건설산업에도 주 52시간 근무제가 적용됨에 따라 인력투입의 효율성을 높이기 위한 사전 제작 부재의 활용이 높아질 것으로 예상됨
- 영국, 일본, 싱가폴 등 선진국에서는 프리팹 기술을 적극 활용하여 건설산업의 생태계를 변화시키기 위한 노력이 진행되고 있음, 특히 영국의 경우 제조업 분야의 로보틱스, 스마트 팩토리 개념과 정보통신분야의 이미지프로세싱, 센싱 기술을 적극 도입하여 건설산업의 혁신을 주도하고 향후 예상되는 건설산업의 자원부족(인력 및 예산)에 사전 대응하고 있음
- 싱가폴의 경우, PPVC(Prefabricated Pre-finished Volumetric Construction)를 통하여 건설 생산성을 높이기 위한 노력을 진행하고 있음
- 국내에서도 'Smart Construction 2025'를 통하여 노동생산성 40% 향상, 사망자 30% 감소, 근로시간 20% 단축을 목표로 하고 있으며 이를 위해서는 프리팹 기술이 적합함

○ 선제작 부재를 활용하고 모듈화를 중심으로 한 건설방식의 변화는 건설산업의 체질을 변화시킬 수 있는 파급력을 가지고 있으며 충분한 기술역량이 필요하므로, 건설방식 변화에 따른 생산성 향상과 관련된 부문에 집중적인 기술 개발 투자가 필요함
- 설계부터 시공까지 전 건설과정에 디지털 기술을 적용하여 인프라 구조물(교량, 터널 및 도로구조물)의 생산성 저해요소를 극복하여야 함
- 프리팹 인프라 구조물은 그 특성상 대부분 현장에서 조립 시공을 실시하여 완성되므로 VR, AR을 사용하여 가상에서 조립 장비의 운용을 시험하고 사전 간섭 및 설계, 시공 시 오류 등을 검토하여 건설 효율성을 증대시킬 필요가 있음
- 인프라 구조물은 건축 구조와는 달리 넓은 건설부지에 종방향 선형을 가지는 구조물이 대다수이므로 기존 건축과는 다른 프리팹 건설방식이 필요함
- 건설사업의 구조를 모듈화를 이용한 기계화 시공에 적합한 방식으로 전환하여 향후 예상되는 건설 인력 부족 등에 대응하고 고품질 구조물 생산 기술을 채택하도록 사업구조 변화를 선도해야 함

□ 기술동향

<국내기술동향>

○ 인프라 구조물에 대한 BIM 정보모델 표준(Infra IFC)과 상용 BIM S/W에 적용하기 위한 변환 S/W를 개발한 바 있고, 최근 선형기반의 인프라 구조물에 대한 BIM 모델 작성이 가능한 S/W의 개발을 시작하였으나, 연속형 구조물에 국한되어 있음

○ 국내 기업에서 공정과 공사비를 관리할 수 있는 S/W를 개발하여 제한적으로 적용하고 있음. 최근 국토부에서 연속형의 인프라 구조물을 대상으로 한 '인프라 BIM 정보분류체계' 기반의 수량·공정(4D)·공사비(5D) 연계 활용 기술을 개발 중

○ 구조물의 모듈화 시공을 위한 프리팹 부재 생산을 위해서는 균일한 성능 확보와 품질 유지가 중요하나, 현재 금형을 생산하고 철근 가공 후 금형 내 조립까지의 공정 대부분이 인력으로 이루어져 균일한 구조성능 확보가 어렵고 품질이 저하되며 경제성 확보도 어려운 실정임

○ 생산된 모듈유닛에 대한 품질검사 기준이 없으며 현장에서 발생된 표면결함 및 제작오차에 대한 판단이 어려워 불량품을 검사하기가 어려움. 또한, 검사방법도 육안에 의존하고 있는 실정임

○ 모듈러 교량 연구단, ICT 교량 연구단 등을 통해서 교량 모듈화에 대한 하드웨어적인 기술개발이 활발하게 진행되었음. 이를 건설산업에 정착시키기 위해서는 정보 전달 체계와 디지털 제작 기술의 접목이 요구되고 있음

<국외기술동향>

○ 영국에서는 설계 및 제조와 시공으로 이어지는 현재의 건설사업 수행방법을 혁신하고 디지털 기술과 첨단 제조 기술을 접목한 고성능 시설물을 만들기 위해 Construction Innovation Hub를 설립하고, 혁신을 이끌기 위한 프로그램을 만들어 시범사업과 실행을 통해 산업계에 새로운 비즈니스 기회와 생산성을 높이는 도구들을 제공하고 있음

○ DfMA를 위한 건설사업 수행 체계를 혁신하는 공급체계 플랫폼 재설계를 포함하여, 정부 조달 시설사업의 생산성과 원가절감 목표를 달성하기 위한 전략적 연구개발을 산업계, 학계가 연합하여 수행하고 있음

○ BuildingSMART를 중심으로 건축분야의 국제적인 BIM 모델표준이 개발·확장 중에 있으며, 최근 인프라 구조물에 대한 IFC 표준 개발이 이루어짐. 다만, 아직까지 프리팹 인프라 구조물에 대한 BIM 표준을 개발하기 위한 시도는 없으며, BIM 모델 표준을 기반으로 4D(시공/공정 시뮬레이션), 5D(공사비 시뮬레이션)를 수행한 사례는 부족함

○ 핀란드의 Vico Office 사는 Revit, AchiCAD, Tekla Structure 등에서 생성된 BIM 모델과 IFC 포맷의 BIM 모델을 기반으로 공정(4D)과 공사비(5D)를 산출·관리 할 수 있는 프로그램들(Vico Office Suite)을 제공하고 있음

○ 독일의 EBAWE 사는 공장 자동화 시설의 설계 및 운영 소프트웨어 등을 포함한 일체의 생산 설비를 각각의 프로젝트에 맞게 개발하여 제공하고 있음. 중국의 HAIYU 사는 중공형 슬래브 모듈 생산을 위한

다기능 프리캐스트 콘크리트 생산 자동화 설비를 지원하고 있으며, 생산 설비 구축에 필요한 다양한 형태의 단위장비 기술을 보유하고 있음

○ 영국의 MTC(Manufacturing Technology Centre)에서는 제조업에서의 3차원 프린팅, 로봇 기술 등을 건설 산업의 제조시스템에 도입하여 혁신적인 기술개발을 선도하는 다양한 노력을 진행하고 있음

3. 연구내용

○ 세부과제 4 “디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발”의 적용 대상은 아래와 같음

< 세부과제 별 필수 기술개발 대상 도로구조물 >

구분	(세부과제 4) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	(세부과제 5) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	(세부과제 6) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
교량	ㅇ강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더, 바닥판 및 교각 등	ㅇ강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더 -현장타설 교각	ㅇ강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더, 바닥판 및 교각 등 -프리팹·현장타설 As-built 구조
터널	-	ㅇTBM 운전 자동화	-
기타	ㅇ프리팹 교대, 옹벽 및 방음벽 등	-	ㅇ프리팹 교대, 옹벽 및 방음벽 등

(구성기술 1) 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델* 개발

* 설계, 제작 및 시공 단계에서 연속적으로 적용할 수 있는 디지털화된 모델

○ 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 설계 모델 개발
- 도로선형에 맞춰 프리팹 구조의 자동 배치 및 형상 설계(철근 상세, 피복 두께 등) 등이 가능한 디지털 설계 모델링 기술 개발
- 프리팹 구조의 미학적 형상 구현을 위한 알고리즘 개발

○ 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 제작 모델 개발
- 디지털 설계 모델과 제작장비(로봇, 프린팅, 가공장비 등) 간 데이터 연동 및 원격·자동화 시공 지원(프리팹 구조 제작 정보 제공)을 위한 디지털 제작 모델 개발
- 프리팹 구조 제작 지원을 위한 데이터(제작 절차, 소요시간, 물량 등) 분석 알고리즘 개발

○ 디지털 엔지니어링 모델의 정보전달 체계서 개발
- 도로구조물 프리팹 구조의 DfMA를 위한 디지털 설계 모델 / 제작 모델 간 정보전달 체계서 개발

○ 디지털 엔지니어링 모델 적용 및 실증
- 가상의 고속도로를 대상으로 디지털 설계 모델 적용

- 도로구조물 프리팹 부재의 디지털 설계 모델 / 제작 모델 실증*

  * 세부과제 5의 구성기술 1과 연계 수행 필요

(구성기술 2) 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발

○ 도로구조물 프리팹 구조의 제작 지원 및 품질관리 기술 개발

- 콘크리트 프리팹 구조의 제작 공정 지원 기술* 개발

  * 철근, 거푸집 등 제작요소 디지털 가공, 장비간 인터페이스, 제작 공정 자동화 기술 등

- 강재 프리팹 구조의 디지털 제작 공정 지원 기술* 개발

  * CNC, 용접 등 가공장비 인터페이스, 제작 공정 자동화 기술 등

- 제작 공장 내 프리팹 구조 품질검사 장비 및 품질관리 기준 개발
- 제작 형상정보, 제작공정 및 품질검사 기록 등 이력관리 기술 개발

○ 조립시공 최소화를 위한 도로구조물 프리팹 구조 혁신 기술 개발

- 현장공정 최소화를 위한 신형식 프리팹 구조 및 연결부 개발
- 신형식 프리팹 구조 및 연결부에 대한 성능검증 표준절차 및 지침 개발

※ 구성기술 2는 세부과제 5, 6, 11과 연계 수행 필요

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 2의 전체적인 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위하여 본 세부과제(세부과제 4)는 중점분야 2 내의 세부과제 및 사업단 총괄기관과의 업무협력 등을 총괄하여야 함

※ 단, 중점분야 2 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 2 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 2 “도로구조물 스마트 건설기술”의 목표(공기단축 25%) 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야 4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (대상) 교량, 옹벽 등 도로구조물
- (산식) 본 사업에 의한 단축된 공사기간(일) / 기존 공사기간(일) ≤ 0.75

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시
- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시
- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ ICT 교량 연구단, 모듈러 교량 연구단 등 기존 선행 과제와의 중복 검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제 목록 등 참고

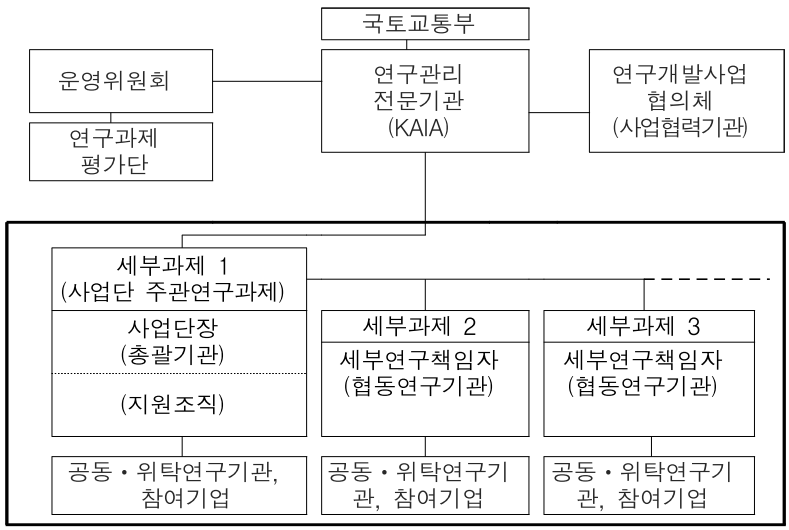
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토 · 심의 · 조정 실시

○ 토목, 기계, 로봇, IT 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구 기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망

- 필요시 해외 선도기관과의 국제 공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성
- 다양한 전문분야 전문가 중 특히 본 연구에 참여가 요망되는 전문가

※ BIM 개발 및 제조장비 생산 관련 전문가, 토공 및 프리팹 부재 생산 장비 보유사 및 관련 시공 실적 보유 전문건설사 전문가 등

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료・기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델(설계 모델 / 제작 모델)

○ 디지털 엔지니어링 모델의 정보전달 체계서

○ 디지털 엔지니어링 모델 적용 및 실증 결과 보고서

(구성기술 2)

○ 콘크리트 프리팹 구조의 제작 공정 지원 기술

○ 강재 프리팹 구조의 디지털 제작 공정 지원 기술

○ 제작 공장 내 프리팹 구조 품질검사 장비 및 품질관리 기준

○ 제작 형상정보, 제작공정 및 품질검사 기록 등 이력관리 기술

○ 현장공정 최소화를 위한 신형식 프리팹 구조 및 연결부

○ 신형식 프리팹 구조 및 연결부에 대한 성능검증 표준절차 및 지침

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 연속형 및 프리팹 도로구조물 건설(설계-제작-시공) 단계에서 디지털 협업 모델로 설계/제작/시공/감리기업 및 발주처에서 활용 가능

○ 프리팹 부재 제작기업의 생산 자동화에 개발기술 활용 가능

○ 프리팹 부재 개발 관련 학계, 연구소 및 기업에서 표준 성능검증 및 정보화 기술로 활용 가능

□ 기대효과

○ 경제적 효과

- 디지털 제조기술을 건설산업에 도입하여 생산성을 높이고 이로 인한 사업비 절감, 도로사업의 사업기간 단축, 건설단계의 폐기물 절감을 통해 탄소배출량 감소 등의 효과를 기대함 (영국 및 글로벌 컨설팅 기업은 30% 절감을 예상하고 있음)
- 건설산업의 하드웨어 측면의 플랫폼 전략으로 스마트 팩토리의 시장 규모 확대를 통해 신규 사업이 창출될 수 있고 이를 뒷받침하는 생산 설비, 품질 검수 기술, 디지털 정보 전달 서비스 등의 일자리 창출이 가능함
- 표준화된 모듈러 구조 적용 확대로 인해 도로 시설물의 성능이 균질화 되고 향후 유지관리시 예산 추계의 신뢰성이 높아질 뿐 아니라 교체나 보수 비용의 절감이 기대됨

○ 기술적 효과

- 다차원 디지털 기술에 기반한 제조기술의 혁신을 건설분야에 도입함으로써 개별 기술자 중심의 기술 축적을 혁신하여 시스템과 정보 중심의 기술 영역으로 전환할 수 있음
- 로보틱스, 영상 점검 기술, 사전제작 및 사전 가설 등의 기술이 건설분야에 접목되어 업역과 공종간 장벽이 있는 현재의 수직적 기술 소통 구조를 수평적 동시공학적 협업구조로 전환할 수 있음

○ 정책적 효과

- 인구고령화 및 52시간 등 현재 방식으로 해결하기 힘든 건설사업의 사업 관리를 혁신적으로 개선하여 미래 인력수요에 대응하고 건설분야의 일자리를 양질의 일자리로 변화시킬 수 있음
- 국내의 전통적인 제조업분야의 숙련 기술과 건설분야의 수요 기술을 연계함으로써 일자리의 유연성과 국가 인력자원의 활용성을 높일 수 있음

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)

- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 13,589백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 1,905백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제5

세부과제명	도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발

1. 연구목표

○ 시공 기간의 단축으로 도로구조물(교량, 터널 등)의 건설 생산성을 향상시키기 위해 로보틱스, 3D 스캐닝, 기계학습 등의 기술을 활용하여 위험하고 열악한 시공 작업환경과 인력 기반의 의사결정으로 인한 생산성 저해 요인을 해소하기 위한 도로구조물 시공 원격·자동화 기술 개발

- 고소(高所)/고위험의 도로교량 건설에 투입되는 노동력을 대체하기 위한 기술 개발
  - 3차원 센싱, BIM 모델 정보를 기반으로 부재의 위치/형상/자세, 환경을 인식하여 다중의 이동식 크레인이 협업으로 부재를 운반하기 위한 경로 계획 및 운반 중 안전 제어 기술과 원격 로봇을 이용하여 부재를 최종 위치에 반자율적으로 정밀하게 거치시키기 위한 기술 개발
  - 고소(高所)/고위험 시공을 무인으로 수행하기 위한 원격시공 장비(로봇) 및 개선된 공법, 자동화 거푸집, 3차원 영상 및 BIM 모델 정보를 활용하여 3차원의 VR 환경에서 원격으로 제어하는 기술 개발

○ 노동자 고령화와 터널인력 감소에 따른 미숙련 노동자 증가에 대응하기 위한 터널 기계화 시공(TBM)장비의 자동화 기술 개발

- TBM 시공에서 얻어지는 지반정보와 굴진정보를 기반으로 지반에 따른 TBM 운전 경험 데이터를 사전 처리하여 머신러닝 기법으로 학습시키고 최종적으로 최적의 운전 방법을 도출해 내기 위한 기술 개발
- 장비 특성 상 확인이 어려운 TBM 전방 지반정보를 비파괴 기법에 의한 데이터를 학습시켜 전방을 예측하는 기술과 TBM 시공 중 발생하는 리스크를 수집 및 분류하고 그 데이터를 머신러닝으로 학습시켜 시공 리스크를 제시하는 기술 개발

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발			
부재 거치 위치 정밀도	-	-	±3mm 이내
원격시공 장비의 수행 가능 기능의 종류	-	-	5종 (그립, 볼팅, 용접, 철근 커플링, 바이브레이팅)
원격조종 명령-작동 시점 간 Time-delay	-	0.1 sec[1)]	0.1 sec[2)] 이내
구조물 원격시공의 작업 속도[3)]	-	-	인력 기반의 작업 속도와 동등 이상
구성기술 2 : 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술 개발			

자동화 TBM 가동률[4]	-	-	자동화 TBM 가동률 31.3% 이상
디스크 커터 마모율 예측 오차율[5]	-	-	실측치 대비 오차율 ±20% 이내
머신러닝 기반 TBM 굴진면 전방 예측 오차율[6]	-	-	실측치 대비 오차율 10% 이내
머신러닝 기반 리스크 관리를 위한 분석 요인 개수[7]	-	-	40가지 이상

1) 카메라 이미지 전송상의 time-delay,

2) 3차원의 영상과 VR 환경으로 구성된 조종환경에서의 time-delay

3) 국내 표준품셈 또는 그에 준하는 방법에 의해 산정된 작업 속도로 평가

4) 국내 고급 숙련 운전자에 의한 TBM 가동률은 35%, 중급 숙련 운전자에 의한 TBM 가동률은 25% 수준으로(한국터널공학회, 2008), 자동화 TBM 가동률의 목표는 자동화 기술 적용시 중급 숙련 운전자에 의한 TBM 가동률 25%를 125% 향상시킨 수준까지(31.3%=25%×1.25) 달성할 것을 의미

5) 디스크 커터 마모율 예측치와 디스크커터 마모 실측 자료를 비교하였을 때 오차율을 의미

6) 머신러닝 모델 적용 TBM 굴진면 전방 예측과 TBM 굴진 실측 자료와의 비교를 통한 전방 지질 이상대(함수대, 단층파쇄대, 급변구간 등) 예측 오차율을 의미

7) TBM 시공 시 문제를 발생시키는 리스크 요인와 관련하여 머신러닝 기반으로 고려한 리스크 요인의 개수가 40가지 이상이어야 함을 의미

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 생산가능인구의 감소와 건설업의 열악한 근로환경에 기인하여 건설현장에 청년층 유입과 숙련 노동자가 감소하고 있고, 그 결과로 건설품질 저하는 물론 사고위험이 증가

- 우리나라 생산가능인구(15~64세)의 비중은 2020년부터 급격하게 감소 전망
- 건설인력의 고령화로 인해 국내 전체 산업사고 중 건설업에서의 사망자 수와 비중이 증가하는 추세

○ 지속되고 있는 건설업 노동자의 고령화와 미숙련 노동자의 증가에 대응하여 건설업의 작업환경 개선과 산업재해의 저감을 위한 기술적 대안 마련 필요

- 정부에서 건설기술진흥법, 산업안전보건법 외 각종 처벌규정을 명시한 10여개 법률을 통해 매우 엄격하게 규제조치를 시행해 왔음에도 불구, 고령·미숙련 노동자의 증가 등의 원인으로 인하여 재해율은 오히려 증가
- 도로구조물 중 교량 상부 구조의 주부재 거치와 고교각의 시공은 고소(高所)에서 인력에 의한 작업으로 이루어지고 있어 추락 사고와 같은 재해의 발생 위험이 매우 높음

○ TBM 굴착은 숙련된 운전자에 의해 TBM 장비를 제어하는 방식으로 이루어지며, 운전자의 노하우는 도제방식으로 다른 기술자에게 전수되거나 제작사에서 자체 보유하는 형태로 운영되고 있기 때문에 시공 시 이를 해결하기 위한 해결책이 정량화되어 있지 않음

- 기존 TBM 굴착공사에서 수많은 양의 각종 운전 정보가 생성되었으나,

이를 제작사가 보안으로 관리하거나 시공사가 각각 보유하고 있어 시공 경험을 공유하기 어려운 상황임

- 결과적으로 TBM 운전자의 숙련도에 따라 TBM 터널의 시공 품질 및 시공기간에 편차가 발생하며, 이를 해결하기 위해서는 정량화·표준화된 데이터를 기반으로 한 TBM 운전·제어 시스템의 자동화가 필요함
- 장기적으로 지반정보와 굴진 데이터를 종합하여 TBM 운전자의 숙련도와 무관하게 안전한 굴착이 가능하고 굴착공정의 중단을 최소화 할 수 있도록 TBM 장비의 자동 운전제어 시스템의 구축 및 활용이 필요함. 그러나 현재 일반적이고 기본적인 자동 운전제어조차 적용되지 못하고 있는 상황임
- TBM 커터헤드에 장착된 디스크 커터는 기준치 이하 마모 시 굴착 성능이 떨어지기 때문에 필연적으로 교체 작업을 수행해야 하며, 이를 효율적으로 예측하여 굴착공정에 반영함으로써 굴착공정의 효율을 향상시킬 수 있음

○ TBM 굴진면 전방의 지반조건은 TBM 운영방법에 크게 영향을 미치는 부분이지만 TBM의 특성 상 굴진면의 육안확인이 어려워 정확한 지반조건의 확인에 제약이 발생함

- 지표면에서 수행되는 지질학적, 지구물리학적 조사로부터 계획된 터널 전 구간에 걸쳐 충분한 지질·지반 정보를 얻는 것은 불가능하며 그 신뢰성 또한 충분하지 못함
- TBM 터널공사에서 단층대와 같은 예상치 못한 특수 지반을 만날 경우, TBM 장비 및 디스크 커터의 재밍, 굴진면 안정성 저하 및 붕괴, 막장압 유지 곤란, 과굴착, 지하수와 토사의 유입 등과 같은 여러 종류의 시공 리스크로 연결되는 경우가 많음

○ 현재 터널 시공 관리 방식은 인력에 의한 현장 작업자 관리 방식으로서 전문가에 의해 터널 굴착 중 발생할 수 있는 리스크의 예고와 대응 방안이 신속하게 결정될 필요가 있으나, 전문가의 상주 어려움 및 방대한 현장 데이터량으로 인해 전문가의 즉각적인 데이터 분석이 어려우므로 전문가를 보조할 기술이 필요함. 이를 위해 TBM 터널의 시공 중 발생할 수 있는 리스크를 통합 관리 및 대응할 수 있는 머신러닝 기반의 시스템을 구축할 필요가 있음

□ 기술동향 <국내기술동향>

○ 영상센싱 기술을 이용하여 조립부재의 상대위치를 측정하는 정밀시공 가이드 시스템이 개발

- 다중 크레인을 기반으로 한 운전 최적화 운전 중 안전성 확보 등은 연구

범위에 포함되지 않음
- 개발된 기술은 위치정보를 제공받은 크레인 조종사가 직접 크레인을 조정하여 부재를 위치시키는 기술로서, 다중(2대 이상)의 크레인을 사용할 경우 최적화되지 않은 작업으로 공정 시간 단축에 한계

○ 고층건물 시공용 로보틱 크레인, 단일 이동식 크레인의 작업을 자동화하기 위한 기술개발이 이루어진 바 있으나, 다중의 이동식 크레인을 이용하여 부재 운반/거치를 자동화하는 연구는 수행되지 않음
- 초고층 건축물의 구조체 시공을 자동화하기 위해 유압식 승강 기능을 가진 건설공장(CF) 구조체를 개발
- 단일 이동식 크레인에 대하여 자동 안전 제어 및 작업 패턴 자동화 기능을 수행하는 120ton급 전지형 크레인이 개발 중
- 교량용 부재의 정밀 시공을 위해 영상센싱 기술을 이용하여 조립부재의 상대위치를 측정하고 크레인 조종사에게 정보를 제공하는 정밀시공 가이드 시스템이 개발됨

○ 우리나라는 현재 중대구경 TBM 장비를 제작할 수 있는 기술을 가지고 있지 않고 해외 제작사로부터 구입하여 시공사가 운영하는 방식을 사용하고 있음. 이로 인하여 자동운전과 관련한 기술을 보유하고 있지 않음
- 국내 TBM 관련 연구는 TBM 국산화 제작기술, 커터헤드 설계기술, 세그먼트 고성능화 연구, 운전자 교육용 시뮬레이터 등에 대한 연구가 진행되었거나 진행 중이며, 자동운전 기술은 아직 고려되고 있지 않는 상황임
- 굴진율과 디스크커터 마모에 대한 연구결과가 발표된 바 있지만, 디스크커터의 교체주기 선정 및 최적화에 대한 부분은 아직 국내에서 연구된 바 없음

○ TBM 막장 전방예측기술로서 매립형 자동화 센싱/무선송신모듈을 탑재한 시스템이 특허 출원된 바 있으며, 터널 전방 예측을 위한 하모니서치(HS) 역해석 프로그램이 개발된 바 있음

○ 해저터널의 특성을 고려한 리스크 저감 및 대책공법을 제시하는 Shield TBM Analysis Model (STRAM)이 해저터널연구단에서 연구되었으며, 이 모델은 가상 해저터널 프로젝트에 적용되어 리스크 관리 시스템의 성능을 검증하였음. 하지만, 본 모델은 리스크 요소의 판단 등에 전문기술자의 주관적인 판단 및 분석이 필요한 실정임. 또한, 해저터널 뿐만 아니라 일반 터널시공에도 적용이 가능한 리스크 평가 및 대책 모델의 개발이 필요

<국외기술동향>

○ 국외의 경우, 크레인을 이용한 부재 운반 자동화와 관련된 기술 개발은 공장용 크레인에 국한되어 수행됨
- 미국에서 케이블 방식의 로보틱 크레인을 이용하여 원격 작업을 통한 철제 구조물 이동 및 거치 기술, 레이저 기반의 주변 환경 측정 및 부재 추적 기술 등을 개발

○ 유럽, 미국, 일본 등에서 구조물의 해체 및 재난 현장 복구를 목적으로 원격으로 조작이 가능한 장비(로봇)가 개발되어 적용되고 있으나, 토목 구조물의 원격 시공을 위한 장비가 개발되거나 적용된 사례는 없음
- 스웨덴의 기업은 구조물 해체 작업을 근거리에서 원격으로 수행할 수 있는 장비와 해체 작업의 종류 별로 선택하여 적용할 수 있는 부품을 개발하여 공급
- 일본의 기업은 굴착장비에 탑재시켜 원격 현장에서 촬영되는 영상을 이용하여 원거리에서도 원격 조작이 가능한 장치를 개발하여 재해 현장에 적용

○ TBM 장비의 자동운전 기술은 현재 시작 단계로써, 타 분야에서 사용중인 AI나 머신러닝 기법을 현장에 적용하려는 시도가 진행되는 등 아직까지 초기 개념 정립의 단계로 볼 수 있음

○ NTNU에서는 커터소모량을 예측하는 방법을 제시한 바 있지만, 디스크 커터의 마모율은 공사비 산정과 밀접한 관계가 있기 때문에 시공사의 경우, 회사 이익과 관련된 사항으로 대부분 비공개로 보유하고 있는 상황임

○ 국외에서 TBM에 적용 가능한 굴진면 전방 예측기술에 대한 연구가 기업을 중심으로 활발히 진행 중임, 그러나 각 기업에서 개발된 굴진면 전방 예측기술은 기업의 자체기술로 분류되어 공유되지 않는 실정

○ TBM 터널의 리스크 관리에 대한 해외 연구결과가 발표된 바 있으나, 본 연구 과제에서 목표로 하는 리스크 분석 및 대응 자동화 기술은 아직 연구된 바 없음

3. 연구내용

○ 세부과제 5 “도로구조물 원격・자동화 시공 기술 개발”의 적용 대상은 아래와 같음

< 세부과제 별 필수 기술개발 대상 도로구조물 >

구분	(세부과제 4) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	(세부과제 5) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	(세부과제 6) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
교량	○강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더, 바닥판 및 교각 등	○강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더 -현장타설 교각	○강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더, 바닥판 및 교각 등 -프리팹·현장타설 As-built 구조
터널	-	○TBM 운전 자동화	-
기타	○프리팹 교대, 옹벽 및 방음벽 등	-	○프리팹 교대, 옹벽 및 방음벽 등

(구성기술 1) 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격·자동화 기술 개발

○ 고소(高所)/고위험 환경에서 무인으로 거더*의 정밀한 거치가 가능한 3D-형상/자세/위치 정보를 활용한 협업형 로보틱 크레인 기술

- 부재 위치/형상/자세, 환경 인식을 통한 다중 이동식 크레인 기반 운반 경로 계획, 자동 운반 및 실시간 안전 제어 협업 기술 개발
- 부재-타겟 위치/형상 및 원격 로봇 기반 부재 정밀 거치 자동화 기술 개발

※ 구성기술 1의 거더에는 세부과제 4에서 디지털 모델 기반 프리팹 부재로 설계-제작된 거더가 포함되어야 함

○ 고소(高所)/고위험 환경에서 무인으로 교각의 원격 제작/조립이 가능한 실감형 VR, 로봇 기반 원격시공 기술

- 고소(高所)/고위험 작업용 원격시공 장비·도구(attachment) 및 공법 개발

※ 원격시공 장비(매니퓰레이터)와 원격시공 장비(매니퓰레이터)에 부착하여 사용되는 구조물의 제작·시공을 위한 5종(잡기, 철근 연결, 바이브레이팅, 용접, 볼팅)의 도구(attachment)를 활용하여 고소(高所)에서 이루어지는 제작·시공을 인력의 투입 없이 수행하는 기술 및 공법

- 교각의 고소(高所) 원격시공을 위한 자동 상승·하강이 가능한 원격시공 장비용 다기능 작업대 개발

※ 중경간(경간 60m 이하) 거더교량에 적용되는 교각을 대상으로 원격시공을 위해 필요한 매니퓰레이터용 작업대를 제공하기 위한 기술을 개발하는 것으로, 자동으로 상승과 하강이 이루어지는 시스템으로 개발

※ 교각 구조형상(등단면, 변단면)과 매니퓰레이터의 성능(팔길이, 자유도, 하중용량 등) 등 범용성을 고려하여 작업대와 일체화된 거푸집(슬립폼) 또는 기존 거푸집(설치/해체식)의 적용이 가능하도록 개발

- 3차원 VR 영상 기반 실감형 원격 제어 장치 및 S/W 개발

※ 구조물의 제작·시공의 작업 환경에 특화된 VR 환경 구축, 정보 전달 방법과 원격시공 장비(매니퓰레이터) 및 도구(attachment)를 원격으로 조종하는 기술

(구성기술 2) 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

○ 머신러닝 기반 TBM 스마트 운용 기술 개발
- TBM 지반정보와 굴진정보 분류/분석 기술 개발
- TBM 지반정보와 운전정보 통합 관리 기술 개발
- 머신러닝 기반 TBM 스마트 운용 기술 개발
- 데이터 기반 디스크커터 교체주기 최적화 기술 개발

○ All-in-one 머신러닝 기반 TBM 리스크 관리 기술 개발
- 머신러닝 기반 비파괴탐사 TBM 굴진면 전방 예측 기술 개발
- TBM 리스크 데이터 수집/분석 기술 개발
- 머신러닝 기반 리스크 분석 및 관리 기술 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 2의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 2 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 4와의 협력 필요

※ 단, 중점분야 2 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 2 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 2 “도로구조물 스마트 건설기술”의 목표인 “건설 공기 25% 이상 단축”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야 4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (대상) 터널, 교량 등 도로구조물
- (산식) 본 사업에 의한 단축된 공사기간(일) / 기존 공사기간(일) ≤ 0.75

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시
- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발

- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

※ 단, 구성기술 2 TBM 관련 기술은 종합 테스트베드 적용이 어려울 경우 추가 검증 방안(유틸리티 터널 등) 제시 필요

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시

- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

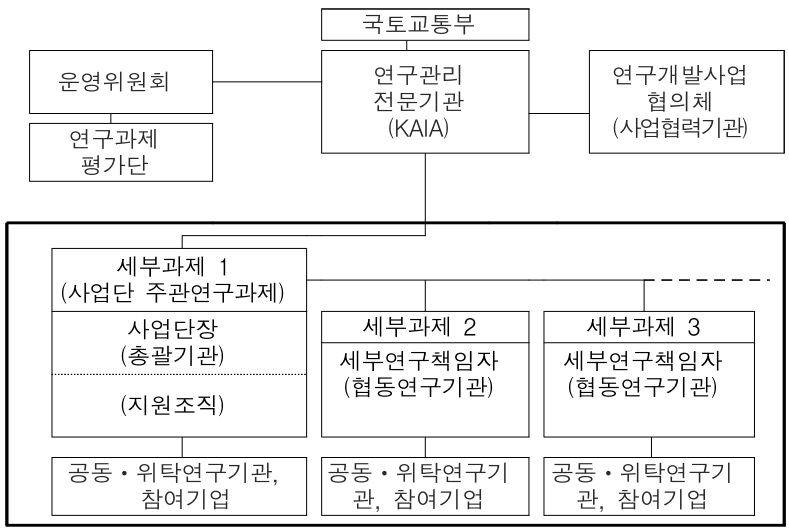
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 토목, 건축, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망

- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 다중 이동식 크레인 기반 부재 자동 운반 및 실시간 안전 제어 장치 및 소프트웨어

○ 원격 로봇 기반 부재 정밀 거치 자동화 장비 및 제어용 소프트웨어

○ 고소(高所)/고위험 작업용 원격시공 장비 및 제어용 소프트웨어

○ 고소(高所) 원격시공 장비용 다기능 작업대 및 자동 상승·하강 교각 거푸집 시스템(장비)

(구성기술 2)

○ TBM 지반정보와 굴진정보 데이터베이스

○ TBM 지반정보와 굴진정보 통합 관리 시스템

○ 머신러닝 기반 TBM(Tunnel Boring Machine)의 자동 운전 시스템

○ 디스크커터(disc cutter) 교체주기 최적화 소프트웨어

○ 머신러닝 기반 비파괴탐사 TBM 굴진면 전방 예측 시스템

○ TBM 리스크 데이터베이스

○ 머신러닝 기반 TBM 리스크 분석 및 관리 시스템

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 고위험, 극한 작업환경의 인력 대체와 고정밀 시공이 가능한 원격·무인 시공 기술로 활용

○ 검증된 원격시공 기술을 극한 환경(극한(寒)지, 극서(暑)지)의 건설을 위한 기술 기반으로 활용

○ 데이터 및 인공지능을 활용한 시공 중 의사결정의 신뢰도 향상으로 신뢰성 있는 터널 시공 실현

○ 시공 중 발생할 수 있는 재해, 구조물 붕괴 등에 대한 리스크의 감소를 위한 생산성 향상 기술로 활용

□ 기대효과

○ 고소(高所)·고위험 건설현장의 인력을 대체할 수 있는 원격시공 장비(로봇) 및 운용 기술에 대한 특허 기술 확보와 검증을 통해 원격시공에 대한 실효성·신뢰도 확보

○ 터널 시공 자동화 및 머신러닝 기반의 시공 중 의사결정 지원 기술의 개발을 통해 터널 시공 신뢰도 향상 및 데이터 기반의 설계·시공 기술의 진보 실현

- 데이터 기반의 터널시공 자동화 장비 기술의 확보는 물론, 시공 중 데이터의 축적을 통한 터널 설계 및 시공 기술의 지속적인 발전 기반 마련

○ 건설업 재해율 감소 및 건설현장 일자리의 고품질화에 기여

- 고소(高所)·고위험 시공현장 인력을 원격시공 기술로 대체하여 추락 등으로 인한 인적 재해 감소
- 현장 노동 중심의 건설현장 일자리를 원격시공 장비(로봇) 조종사 등 고기능, 고품질 일자리로 전환

○ 건설현장의 작업환경 개선을 통해 청년 노동자 유입 촉진 및 고숙련 노동자 확보 기반 마련에 기여

○ 고위험, 폭염 등 열악한 건설현장에서 노동자의 작업을 배제시킴으로써 작업환경 개선을 통한 청년층 노동자 유입 촉진 및 숙련 기반 마련

○ 도로구조물 시공기간의 단축과 시공 중 재해 감소를 통한 건설분야 생산성 향상에 기여

○ 도로구조물 원격·자동화 시공 기술의 적용으로 재해, 환경적·인적 요인으로 인한 시공 중단·지연을 최소화함으로써 시공기간 단축 및 건설 생산성 향상 실현

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)

- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 12,115백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 1,481백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제6

세부과제명	지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발

1. 연구목표

○ 레이저와 영상정보를 기반으로 프리팹 구조의 3차원 형상을 급속/정밀 계측하고, 시공 가능성 및 문제 발생 위치를 예측하는 형상정보 기반 조립 시뮬레이션 기술 개발

○ 초고감도·저비용 변형계측 센서를 활용하여 운반·시공 중 프리팹 부재의 변형을 모니터링하고, 계측데이터와 딥러닝을 이용한 부재의 구조건전성 모니터링 기술 개발

○ 시공 중 As-built 구조의 형상계측 데이터와 딥러닝을 활용한 변형예측, 이상상태 판정 등 시공품질 모니터링 기술 개발

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발			
프리팹 부재의 형상 계측 시간[1] (교량 바닥판 표면적 50㎡ 기준)	30분/부재	30분/부재	15분 이내/부재
프리팹 부재의 형상 계측 오차[2]	±3mm	±3mm	±2mm 이내
조립 전 시공성 판정 시 문제 발생 위치 예측 정확도[3]	-	-	95% 이상
구성기술 2 : 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발			
초고감도·저가형 센서의 변형 측정 감도 (Gauge factor[4])	5	10	30 이상
딥러닝 기반 As-built 구조물 변형 예측 오차[5]	-	-	±2mm 이내

1) 조립 전 프리팹 부재의 3차원 형상을 계측할 때 소요되는 시간을 의미

2) 조립 전 프리팹 부재의 실제 형상과 계측된 형상의 차이를 의미

3) 조립 전 As-built 구조 및 프리팹 부재의 형상기반 시공성 판정 시, 시공/제작 오차 등으로 인해 조립을 불가능하게 만드는 부분의 위치 예측 정확도를 의미

4) 변형 센서의 민감도를 나타내는 지표로서 저항변화률/변형률로 산출(수치가 커질수록 변형에 민감)

5) As-built 구조의 변형 예측값과 실제 변형값을 비교

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 구조물의 시공 현장에서 안전 및 품질관리가 이루어지고 있음에도 불구하고 부재의 제작오류 및 As-built 구조물의 시공오차 등으로 인한 전체

구조물의 품질저하 및 안전사고 위험성이 있으며, 이는 생산성 저하, 공기지연, 재시공 등으로 인한 사회·경제적 손실을 야기하나, 여전히 기존의 수동적 안전 및 품질관리 기술에 의존하고 있어, 보다 신뢰성이 높은 시공품질 관리 기술의 확보가 필요함

○ 특히 공기단축의 장점이 있는 프리팹 구조의 적용을 위해 부재의 제작 오류 및 품질을 관리할 수 있는 고도화된 기술의 개발이 필요함
- 기존에는 프리팹 부재 및 As-built 구조물에 대한 검토와 시공성에 대한 판단은 주로 2차원 도면을 참조한 작업자의 주관적인 판단에 의존하여 신뢰도가 떨어짐
- 프리팹 부재는 운반 및 양중 단계에서 외부요인으로 인해 비틀림, 양단부 처짐과 같은 변형을 겪을 수 있으며, 이는 구조물의 품질과 직결되므로 프리팹 부재의 품질을 실시간으로 판단할 수 있는 기술의 개발이 필요함
- 신뢰도 높은 품질판단을 위해 기존의 육안점검에서 운반-시공 중에 발생하는 변형을 연속적으로 모니터링 할 수 있는 기술로 대체해야 함
- 더불어, 프리팹 부재 조립 원격시공의 효과를 극대화하기 위해서는 프리팹 부재 및 As-built 구조물의 접합부 오차와 같은 품질에 따른 조립시공 가능성을 신속하게 판단할 수 있는 기술의 개발이 필요함
- 최종적으로는 요구 성능을 만족하는 구조물을 확보하기 위한 객관적이고 정확한 시공성 및 구조건전성 판단기술의 개발이 필요함

□ 기술동향 <국내기술동향>

○ 레이저 스캐너, 라이다, 카메라 등의 센서 및 무인체 등을 이용하여 구조물의 3차원 모델링뿐만 아니라 모델링의 정확도를 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있음
- 다양한 모니터링 기술이 개발되고 있으며 구조물에 대한 형상정보를 계측할 수 있으나 시공 후 모니터링에 집중되고 있으며, 구조물의 이송 및 설치 중 변형에 대한 모니터링 기술에 대한 연구는 매우 부족한 상황임
- 또한 3차원 형상정보 계측에 소요되는 시간이 길어 현장 적용성이 낮으며, 빅데이터를 이용해 실시간으로 위험성을 판단하여 안전성에 대한 문제점을 피드백하는 학습 모델이 전무한 상태임

○ 도로 및 구조물의 유지관리를 위한 모니터링 기술에 무인체를 기반으로 한 무인검사 방법을 적용하여 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 관련 연구가 진행 중임
- 영상·열화상 카메라를 드론에 부착하여 검사인력의 접근이 어려운 위치에 대한 외관 균열·파손 모니터링을 바탕으로 상태평가 기술 개발을 위한 연구가 진행 중임

- 무인체를 통해 획득한 이미지와 형상정보를 바탕으로 딥러닝을 이용한 부재 및 구조물에 대한 실시간 건전성 평가 기술 개발에 사용할 수 있을 것으로 판단됨

<국외기술동향>

○ 미국, 일본 및 유럽을 중심으로 레이저, 깊이 측정 카메라 등을 이용하여 구조물의 3D 모델을 실시간으로 획득할 수 있는 기초기술을 개발하였으며, 계측정보를 바탕으로 구조물의 모니터링에 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있음
- 콘크리트 부재의 건전성을 평가하기 위한 다양한 첨단 센싱 기술들이 개발되고 있으며, 이 기술들은 조립부재의 운반 및 설치 시의 부재 품질평가에 사용할 수 있음
- 독일에서는 무인체를 이용한 교량의 모니터링 및 손상 감지 기법에 대한 연구를 진행하였으며, 특히 무인체를 통해 획득한 이미지의 처리를 통해 자동으로 교량의 손상을 감지할 수 있는 기술을 개발함

3. 연구내용

○ 세부과제 6 “지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발”의 적용 대상은 아래와 같음

< 세부과제 별 필수 기술개발 대상 도로구조물 >

구분	(세부과제 4) 디지털 기반 도로구조물 설계·제작·시공 지원 기술 개발	(세부과제 5) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	(세부과제 6) 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발
교량	ㅇ강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더, 바닥판 및 교각 등	ㅇ강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더 -현장타설 교각	ㅇ강/콘크리트 교량(경간 60m 이하) -프리팹 거더, 바닥판 및 교각 등 -프리팹·현장타설 As-built 구조
터널	-	ㅇTBM 운전 자동화	-
기타	ㅇ프리팹 교대, 옹벽 및 방음벽 등	-	ㅇ프리팹 교대, 옹벽 및 방음벽 등

(구성기술 1) 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발

○ 프리팹 부재 및 As-built 구조의 시공 중 급속 형상계측 기술 개발
- 레이저/영상정보 등을 이용한 프리팹 부재의 급속 형상계측 기술 개발
- 레이저/영상정보 등을 이용한 As-built 구조의 급속 형상계측 기술 개발

○ 형상계측 정보 기반 시공성 급속 판단 기술
- 시공 가능성 및 문제 발생 위치 예측을 위한 3차원 프리팹 부재의 형상 기반 조립 시뮬레이션 기술 개발

- 설계 형상과 As-built 구조 형상의 비교를 통한 형상 이력 관리기술 개발

(구성기술 2) 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공 품질 모니터링 기술 개발

○ 프리팹 부재의 운반/시공 중 구조건전성 모니터링 기술 개발
- 운반/시공 중 프리팹 부재 변형 모니터링을 위한 초고감도·저가형 센서 활용 기술 개발
- 운반/시공 중 프리팹 부재 센싱 데이터 및 딥러닝을 활용한 부재 구조건전성 모니터링 기술 개발

○ As-built 구조의 시공 중 형상 기반 시공품질 모니터링 기술 개발
- 시공 중 As-built 구조의 형상계측 데이터와 딥러닝을 활용한 변형예측, 이상상태 판정 등 시공품질 모니터링 기술 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 2의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 2 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 4와의 협력 필요

※ 단, 중점분야 2 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 2 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 2 “도로구조물 스마트 건설기술”의 목표인 “건설 공기 25% 이상 단축”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야 4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (대상) 교량, 옹벽 등 도로구조물
- (산식) 본 사업에 의한 단축된 공사기간(일) / 기존 공사기간(일) ≤ 0.75

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시
- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시
- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ ICT 교량 연구단, 모듈러 교량 연구단 등 기존 선행 과제와의 중복 검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제 목록 등 참고

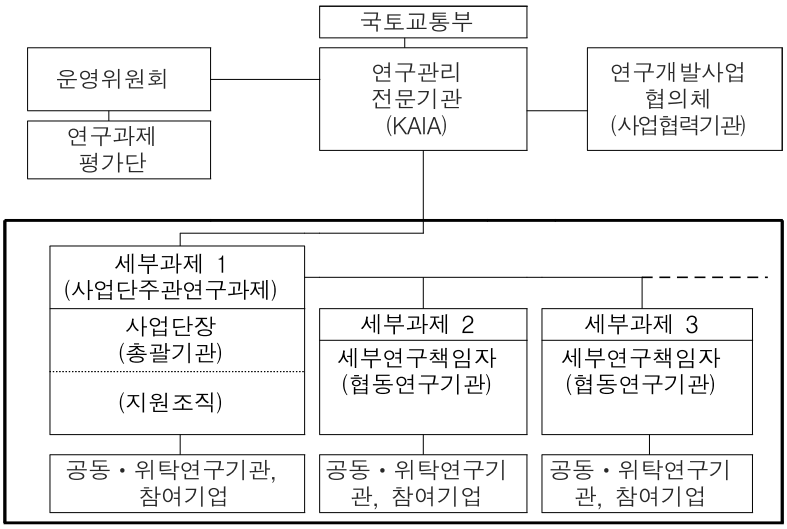
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 지능형 도로구조물 시공품질 관리 기술 개발을 위한 협업체계 구축
- 연구의 질적 향상을 위한 전문가 활용·연계, 관련기관 협력, 연구 개발의 활용성 제고를 위한 학술 활동, 성공적인 과업수행을 위한 국제 공동연구 활동 수행
- 다양한 전문분야 전문가 중 특히 본 연구에 참여가 요망되는 전문가

※ 콘크리트 부재에 대한 형상계측 관련 전문가, 다목적 자율비행 산업용 드론 관련 전문가, 무선센서 모듈 제작 관련 전문가, 무선 데이터 송·수신 플랫폼 구축 관련 전문가, 프리팹 부재 변형 이력 관리를 위한 딥러닝 관련 전문가, 구조물 품질 및 시공성 평가 관련 전문가

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료・기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

○ 유관기관과의 협력, 전문가 활용 및 연계, 국제 공동연구, 관련 업체와의 협력 및 학회활동을 통해 토목, 건축, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진과의 협력체계 구축

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 데이터 융합형 3차원 형상 급속/정밀 스캔 소프트웨어

○ 프리팹 부재 및 As-built 구조물의 형상정보 기반 시공성 판단 소프트웨어

(구성기술 2)

○ 센싱 데이터를 활용한 운반/시공 중 프리팹 부재의 구조건전성 모니터링 소프트웨어

○ 3차원 형상계측 데이터를 활용한 시공 중 As-built 구조의 시공품질 모니터링 소프트웨어

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 프리팹 부재 조립단계에서 As-designed 구조물과 As-built 구조물 형상정보 비교를 통한 As-built 구조물의 형상 오차 관리

○ 건설현장에서 프리팹 부재와 As-built 구조물의 접합부의 3차원 형상을 신속/정밀 계측하여 형상정보를 분석하는 데에 활용

○ 조립 직전 형상정보를 계측/분석한 뒤, 시공 타당성을 객관적이고 자동적으로 판단하는 데에 활용

○ 프리팹 부재의 이송 및 시공 중 발생할 수 있는 변형을 정밀 계측하는 데에 활용

○ 변형이력을 통해 운반/시공 중 프리팹 부재의 구조건전성 모니터링에 활용

□ 기대효과

○ 경제적 효과

- 기존의 건설기술과 제안하는 구조물 시공 품질관리 기술과의 연계를 통해 구조물의 시공효율성 향상을 통한 건설인프라 관련 시장 확대 및 건설경제 활성화 기대
- 3차원 형상정보 분석 기술을 바탕으로 시공 전 프리팹 부재와 As-built 구조물의 시공타당성을 판단하여 공기단축, 불필요한 재료낭비 방지를 통한 비용 절감 기대
- 육안검사의 상당부분을 자동화를 통해 고소작업으로 인한 재해 위험성이 높은 인력 기반의 시공 및 안전성 검사 방식에서 로봇, 무선센서를 이용한 원격 자동화 시공 방식으로 전환하여 건설현장의 작업환경 개선 및 안전사고 예방 기대

○ 기술적 효과

- 프리팹 부재 및 As-built 구조의 3차원 형상정보, 첨단센서를 활용한 무인검사방법, 형상이력 계측기술을 통해 시공 단계에서 구조물의 안전성 및 품질향상 기대
- 프리팹 부재의 3차원 형상정보 계측시간을 15분 이내로 단축하여 10분 이내로 시공 가능성을 판단하는 기술을 통해 시공 효율성 극대화 기대
- 시공 중 계측되는 데이터를 딥러닝을 통해 학습시킨 뒤 구조물 시공을 자동화하는 기술로 딥러닝의 성공적인 활용 모델로 평가될 것으로 기대

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04～2025.12(5년 9개월)

- 1차년도 연구기간 : 2020.04～2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 3,454백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 482백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,

- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제7

세부과제명	스마트 안전 통합 관제 시스템 개발

1. 연구목표

○ 건설현장의 안전 확보를 위한 각종 센서 및 영상 데이터를 기반으로 위험을 인지 및 예측하는 기술과 합리적인 건설안전 예산의 확보 및 집행을 위한 비용 분석 모델 개발

○ 침수, 화재, 흙막이 붕괴 등 건설현장의 대표적 긴급재해에 대한 효과적 대응 기술 개발

○ 클라우드, 빅데이터, AI, IoT 센서 네트워크, 엣지컴퓨팅 등 스마트 기술을 활용하여 디지털 트윈 기반으로 스마트 안전 통합 관제 시스템을 개발하고 다수의 건설현장 테스트베드 운영

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석 기술 개발			
데이터마이닝 기반 건설위험 인지 및 예측 정확도	-	-	80% 이상
재해 손실비 산정을 위한 사고사례 분석 수	-	-	1,000건 이상
구성기술 2 : 건설현장 긴급재해 대응 기술 개발			
침수 예측모델 정확도[1]	-	-	85% 이상
건설공사 공정별/주요 위험물별 화재 성장률 기반 현장대응 시나리오	-	-	30건 이상
스마트 워터백 적용 후 흙막이 추가 각변위[2]	-	-	0.5% 이내
스마트 펜스 내 객체 (최소 20cm×20cm×20cm) 진입 감지 정확도	-	-	95% 이상
구성기술 3 : 디지털 트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영			
단일 현장용 스마트 안전 관제 시스템 가시화 수준	-	-	LOD(Level of Details) 300 이상
스마트 안전 통합 관제 시스템 영상 모니터링 수용량	-	-	2,000 채널[3] 이상
스마트 안전 통합 관제 시스템 테스트베드 운영	-	-	중·소규모 현장 테스트베드 10개소[4] 이상, 종합 테스트베드 1개소[5]
건설업 재해율	-	-	25% 이상[6] 감소

1) 테스트베드 운영 중 침수가 최소 50cm 이상 발생한 현장에 대하여 침수 예측모델의 예측치와 실측치 비교((예측 침수깊이 /실측 침수깊이) X 100%)
2) 긴급 보강 후 그 보강효과로 인하여 추가 각변위가 0.5% 이내이어야 함
3) 건설현장의 경우 투입되는 인력 10명, 고정형 영상 6대, 장비 및 모바일 4대를 기준으로 한 현장당 20개 채널을 산정하여, 건설현장 최소 100개소를 동시에 처리할 수 있도록 설계(20채널 × 100개소 = 2,000채널)
4) 가시설, 굴착공사, 해체/철거 등의 도심지 개발 현장을 포함
5) 종합 테스트베드는 세부과제 12에서의 종합 테스트베드를 의미
6) 총 테스트베드에 대한 재해율(재해자 수 / 근로자 수 × 100) 평균 / '20~'23년 건설업 평균 재해율 ≤ 0.75

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 건설현장에서 발생하는 다양한 문제 및 사고에 대하여 체계적인 데이터 수집 및 공유가 미흡하여 데이터마이닝 기반의 분석, 예측이 불가하여 동일한 형태의 사고가 반복적으로 발생하고 있음

○ 빅데이터 기반의 실효성 있는 사고예방을 위하여 표준화된 건설안전 데이터의 분석모델 제시 및 알고리즘 개발 필요

○ 건설공사의 안전과 관련된 비용 분석 모델의 부재로 합리적인 예산 확보 및 집행이 어려워 이에 대한 개선 필요

○ 건설현장에서 빈번하게 발생하는 다양한 재해상황(침수, 화재)에 대하여 공사별, 규모별, 공정별 대응을 위한 체계, 장비 및 점검 항목 등 대응 가이드라인 개발 필요

○ 도심지 공사에서 시행하는 굴착공사로 인한 다수의 붕괴사고를 효과적으로 대응, 피해를 최소화할 수 있는 실용적인 긴급대응 방안을 확보함으로써 경제적인 손실 뿐만 아니라, 인명의 피해를 최소화하는 방안을 마련할 필요

○ 도심지 공사에 있어 공사현장 주변 보행자, 차량, 중장비 운전자 등에게 경고 및 안내를 통해 건설 안전사고를 예방할 수 있는 스마트 펜스 시스템 필요

○ 높은 재해율을 나타내는 국내 건설현장에 대하여 참여주체별(발주자-시공자-감리자) 및 객체별(인력-장비-가시설-구조물) 특성을 고려한 맞춤형 안전관리를 위해 스마트 기술을 활용한 통합안전관리 기술 개발 필요

○ 특히, 안전에 취약한 중소 건설 현장의 안전관리에 직접적으로 활용 될 수 있는 스마트 안전 통합 관제시스템의 현장 성능을 확보하고, 개선방안 도출을 통하여 시스템 고도화를 추진하기 위해서 다양한 현장의 테스트 베드 구축·운영이 필요

□ 기술동향 <국내기술동향>

○ 국내의 토목 분야에서 건설 사고 유형과 비용 분석 및 위험 수준 예측 모델 플랫폼이 현장에 적용된 사례는 없지만, 대기업을 중심으로 자체적으로 IoT 센서 등 ICT 기술을 적용한 스마트 안전 기술을 개발하여 도입중이며, 안전관리시스템을 개발, 적용한 사례가 있음

○ ㈜지에스아이엘(GSIL)의 스마트 건설 안전관리 시스템은 NFC(무선 데이터 통신 기술) 위치 태그를 통해 간단히 입력하고, 입력된 정보를 통해 자동으로 생성된 현장위험등급, 위험요인, 대책을 현장담당자와 본부 안전 담당자 간 공유 모니터링이 가능한 등 실시간 축적된 빅데이터 정보를 이용해 사고예측 및 예방을 할 수 있음

○ 한국시설안전공단에서는 건설공사 안전관리 선진화를 위해 스마트 안전 평가 기술 개발을 통한 안전 점검 현실화, 실시간 모니터링을 통한 구조적 안전 확보, BBS(Behavior Based Safety) 기반 스마트 안전관리 통합 솔루션 제공을 위한 건설안전중장기 계획 수립과 로드맵을 수립

○ 최근 무인 드론 장비 및 센서를 활용한 건설 재해 통합 대응을 위한 드론 기반 현장 안전관리 시스템을 개발하였으며, 본 연구결과로 드론 및 영상 기기를 활용한 건설 현장 모니터링 기술, 드론 및 센서를 활용한 건설 재해 모니터링 기술, 건설 재해 위험도 산정을 위한 리스크맵 구축 기술, 빅데이터 기술 활용한 건설 재해 예측 및 방지 프로그램을 개발함

○ 고밀화된 도심지 내에서의 각종 시공 시 호우, 침수, 토사유출 및 화재 등 재해를 예측하고 예방하기 위해서는 임시시설물 및 가설건축물에 대한 정보(구조, 배치, 크기 등), 적용 공법, 지형정보, 지반상태, 굴착규모, 지하공간 등 고려해야 할 사항이 매우 다양하나 기존의 국내외 건설시공 현장에서는 과학적, 공학적인 분석을 통한 방재시설물 설계 및 계획이 이루어지지 않고 있음

○ 국내의 건설시공 현장에 적용되는 CPS 및 빅데이터 기반의 안전관제의 경우 구축된 사례는 없으며, 일반적으로 시공현장에서의 안전관리는 구조물별로 진행하고 있음

○ 일부 대형시공사에서는 ICT 기반 건설현장 안전관리 시스템으로 장비 접근 감지 IoT 기술, 단순 영상관제, 타워크레인에는 IoT 안전모 시스템/혼합형 블랙박스 기술 등을 시범적용하여 운영 중에 있음

<국외기술동향>

○ 국외의 건설사고 분석 솔루션은 1990년부터 가설 구조물의 붕괴 및 사고 원인에 대한 연구와 실시간 안전 관리 기법이 지속적으로 발전하고 있으나, 건설 사고 분석 예측 솔루션에 관한 연구 및 현장 활용 사례는 많지 않음

○ 미국의 Smartvid.io사는 AI 기반의 산업용 사진 및 비디오 분석 솔루션을 개발하여 모든 작업 현장 사진 및 비디오를 자동으로 분석하여 안전 장비가 없는 작업자를 자동으로 감지하여 안전관리를 준수하도록 하고, 부상의 위험이 있는 현장 상황을 탐지하여 최종사용자에게 상세한 보고서 등을 제공하고 있으며, 지속적인 AI 지원을 통해 균열감지, 추락방지, 누수 등을 미리 감지하여 ICT를 통해 안전 엔지니어의 역할을 대체할 수 있도록 함

○ 미국의 Application of machine learning to construction injury prediction의 논문에 의하면, 기계학습 알고리즘인 Rain Forest(RF) 및 Stochastic Gradient Tree Boosting(SGTB)을 적용하여 보편적이고 구조화 된 안전 정보를 구축하고 안전사고 위험 예측 연구 수행

○ 일본 국토교통성은 ICT토공의 전면실시에 맞추어, ICT기술을 뒷받침 할 수 있는 15개의 새로운 기준을 발표함. 이 기준에 기초하여 조사, 측량, 설계, 시공, 검사의 모든 건설생산 프로세스에서 ICT기술을 실전 배치하고 있음

○ 국내와 마찬가지로 국외의 시공중 재해 대비 안전기술에 대한 자료는 많지 않음. 기상 혹은 침수 부분에 대해서는 전반전으로 검토항목에도 존재하지 않았으며, 간혹 원론적인 점검사항에 대한 검토 목록은 존재 (예 : 미국 캘리포니아주 교통부 건설안전점검 체크리스트의 수상 및 수변 작업, 일본 누마다시 건설공사 안전점검 체크리스트의 이상기상시의 대책)

○ 미국 엔비디아(NVIDIA)는 일본 고마쓰(Komatsu)와 협약(파트너십)을 맺고 건설현장의 사고 위험성을 줄이는데 인공지능(AI)을 도입

○ 미국 산업안전보건청(OSHA)의 자율안전보건프로그램은 문서화된 안전보건 프로그램, 작업장 유해위험요인에 관한 분석과 평가시스템, 위험예방 및 통제 시스템, 안전보건교육훈련 기록 등이 구체적으로 수립되어 운영하는 등 안전 시스템을 제공하고 성과를 측정하고 있음

3. 연구내용

(구성기술 1) 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석 기술 개발

○ 데이터마이닝 기반의 건설위험 인지 및 예측 알고리즘 개발
- 각종 현장 종합 데이터*에 대한 정형화, 위험 인지 및 위험 예측 알고리즘 개발

* 근로자 기반 인지 데이터(세부과제 8), 임시구조물 기반 측정 데이터(세부과제 9), IoT 센서, CCTV 등 영상, GPS 등의 건설현장 내 계측 데이터, 지반/재해 데이터, 구조물의 변위/변형 데이터, 건설장비 데이터, 건설공정 진행사항 관련 데이터 등

○ 데이터마이닝 기반의 비용 분석 모델 개발
- 사고사례 분석을 통한 사고분류 및 확률론적 위험 수준 예측 모델 개발
- 건설 규모에 따른 직접비와 간접손비 비용 분석을 통한 재해 손실비 산정 SW 개발
- 공사 종류별/규모별 현장 안전관리비 계상·집행 가이드라인 제시

(구성기술 2) 건설현장 긴급재해 대응 기술 개발

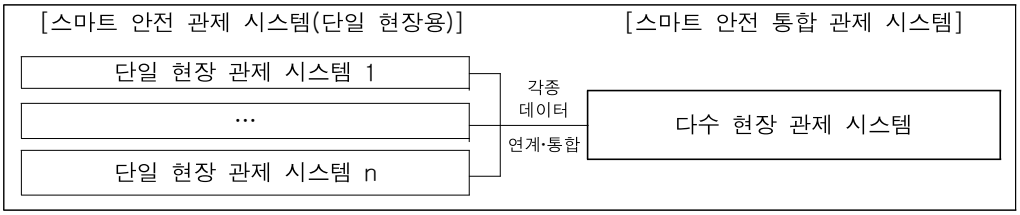
○ 굴착공사 현장 침수피해 예측 기술 개발
- 공사장의 우수 유입을 고려한 침수범위 산정모델 개발
- 고정밀도/고해상도/다차원 동수역학 모형 및 BIM을 이용한 침수 예측 모델 개발

○ 건설 공정별 스마트 화재 예방기법 개발
- 건설공사 공정별 화재 유발/확산 인자 DB 구축
- 건설공사 공정별/주요 위험물별 화재 성장률 기반 현장대응 시나리오 개발

○ 스마트 워터백을 활용한 흙막이 붕괴 긴급대응 기술 개발
- 흙막이 붕괴 긴급대응용 스마트 워터백 개발
- IoT 센서 기반 긴급대응 효과 모니터링 및 성능확인 기술 개발
- 흙막이 붕괴 긴급대응 기술의 굴착공사 현장적용 기준 개발

○ 도심지 중소 시공현장 맞춤형 스마트 펜스 개발
- 스마트 펜스용 무선 객체 감지 시스템 개발
- Safe Zone 설정/감지 알고리즘 개발
- 보행자 시인성 제고를 위한 시각/청각 Alert 시스템 개발
- WPAN 통신 모듈을 포함한 장비 운전자용 포터블 모니터링 플랫폼 개발

(구성기술 3) 디지털 트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영



○ 디지털 트윈 기반의 스마트 안전 관제 시스템(단일 현장용) 개발

- 현장에서 즉각적인 안전 대응이 가능한 엣지컴퓨팅 시스템(세부과제 8, 9와 연동되는 건설 안전분석 알고리즘* 탑재) 개발

  * 현장용 시나리오에 맞는 구성기술 1의 결과물

- 수신된 설계정보(WBS, CBS 등)에서 안전분석을 위한 데이터* 추출 프로그램 및 스마트 안전 관제용 BIM 도출 기술 개발

  * 건설자원(인력/자재/장비)에 대한 공정 기반 투입 인자

- 스마트 건설 디지털 플랫폼(세부과제 11)과의 통신을 위한 API 설계 및 개발

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영

- 다수 현장 관제를 위한 발주기관 및 국가 단위의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 구축
- 건설공사 안전관리 종합정보망(CSI) 연계를 위한 API 정의서(데이터 In/Out 정의 포함) 및 Interface 모듈 개발
- 통합 관제 시스템 및 각 기술별 테스트베드 요구사항 분석
- 테스트베드 현장 11개소 구축·운영, 성능 검증 및 고도화
- 테스트베드 운영을 통한 사용자 관점의 운영 매뉴얼 개발

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템 운영 및 활용방안 마련

- 유관기관과의 협의 등을 통해 지속 가능한 운영 및 활용 계획서 제시
- 건설기술진흥법, 시설물 안전법, 지하 안전법 등 관계 법령 개정 및 정책 반영

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

  ※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

- 구성기술 1에서는 세부과제 8~9와의 데이터 연계 방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 3의 전체적인 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위하여 본 세부과제(세부과제 7)는 중점분야 3 내의 세부과제 및 사업단 총괄기관과의 업무협력 등을 총괄하여야 함

※ 단, 중점분야 3 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 3 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 3 “스마트 안전 통합 관제기술”의 목표인 “건설업 재해율 25% 이상 감소”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야 4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (테스트베드 대상) 도로인프라, 도심지 등 건설현장 11개소 이상

※ 세부과제 12와 연계한 도로인프라 기반의 종합 테스트베드 1개소(계획서에 세부과제 12와의 데이터 연계 방안 제시 필요), 가시설·굴착공사·도심지 개발·해체/철거 등의 현장이 포함되어야 함

- (산식) 본 사업 적용현장 감소된 재해율 / 기존 재해율 ≤ 0.75

(* 재해율 = 재해자 수 / 근로자 수 × 100)

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시

- 1단계(’20~’21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계(’22~’23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계(’24~’25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시

- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 시공 안전 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

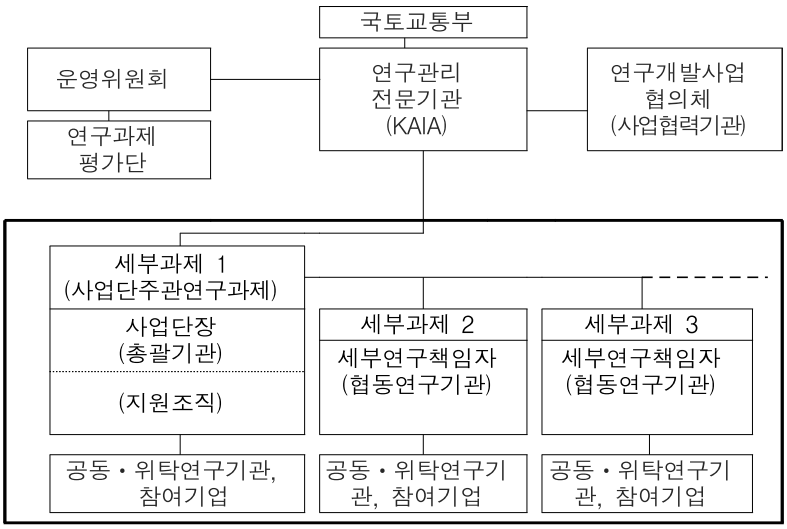
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적・정책적・경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토・심의・조정 실시

○ 토목, 건축, 안전, AI, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망

- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성
- 다양한 전문분야 전문가 중 특히 본 연구에 참여가 요망되는 전문가는 아래와 같음

※ 안전공학, 클라우드 BIM 개발과 엣지 클라우드 운용 전문가, 건설장비 관제기술 관련 전문가, 건설장비 머신 가이던스 및 머신 컨트롤 관련 전문가, 건설장비 생산 및 관련 전장 부품 생산 관련 전문가, 토공 및 포장 장비 보유사 및 관련 시공 실적 다수 보유 전문건설사 전문가, 센서 네트워크 기술 관련 전문가, IoT 플랫폼 구축 관련 소프트웨어 개발 전문가, IoT GW, 네트워크 관련 미들웨어 전문가, LPWAN(LORA, NB-IoT 등), 이동통신 등 IoT 관련 통신네트워크 전문가, 실시간 IoT 빅데이터 수집 및 활용 등 데이터처리 전문가 등

○ 세부과제 7 주관기관은 세부과제 8~9 개발기술을 포함하여 스마트 안전 통합관제센터를 구축하고 건설현장에 대한 테스트베드 실증을 실시하며, 과제 종료 이후에도 관제센터의 지속적인 운영 및 활용방안에 대한 명확한 계획을 제시

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료・기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 데이터마이닝 기반 건설위험 인지 및 예측 알고리즘

○ 재해 손실비 산정 소프트웨어

○ 안전관리비 계상·집행 가이드라인

(구성기술 2)

○ 굴착공사 현장 침수피해 예측 모델

○ 건설현장 화재 성장률 기반 현장대응 시나리오

○ 스마트 워터백

○ 스마트 펜스

(구성기술 3)

○ 디지털 트윈 기반 스마트 안전 관제 시스템(단일 현장용)

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템(발주기관/국가 단위)

○ 종합 테스트베드 포함 11개소 이상 테스트베드 운용 보고서

○ 스마트 안전 통합 관제 시스템 운영/활용 계획서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 도로인프라현장 및 도심지 중소현장 등에 안전관리시스템으로의 활용

○ 건설현장의 긴급재난 대응 시스템으로의 활용

○ 영상분석 및 AI를 활용한 사업분야 전체에 대한 요소기술로 활용

○ 단일 현장, 발주기관, 전국단위 등 다양한 사용자 환경에 따라 건설현장 안전 관리 시스템으로의 활용

○ 국토부 건설안전종합정보망(CSI)과의 연계를 통한 건설안전 통합정보 분석결과 제공

□ 기대효과

○ 건설현장 안전 DB 및 위험 예측 시스템 구축 기반 마련

○ 건설현장 종합 안전관리를 위한 기술력 향상

○ 건설안전 사고 저감에 따른 건설업계의 부담 감소 및 활성화 기여

○ 건설안전 사고처리 비용의 합리적인 산정으로 인한 공제보험료 및 사회 비용 절감 효과

○ 실제 건설현장과 사이버 건설현장의 융합을 추구하여 스마트 기술 활용을 위한 파생 연구 분야 생성 및 고부가가치 산업 확대

○ 건설업 재해율 감소 기여

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)
- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 16,002백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,771백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 본 과제의 연구성과(단일 시공현장용 안전관리 시스템, CPS 기반 안전 통합시스템, 스마트 안전 통합관제센터 등)는 국가 소유를 원칙으로 하되, 추후 유관기관 간 협의를 통해 조정 가능

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제8

세부과제명	건설현장 근로자 안전확보 기술 개발

1. 연구목표

○ 건설현장 위험요인* 인지를 지원하기 위한 3D/360° camera 취득 자료 기반 위험요인 자동 인지 기술 개발 및 근로자의 상태(생체 및 위치) 정보 인지와 알람 제공을 위한 스마트 직물 활용 개인보호구 개발

* 인적피해, 물적 손실을 일으킬 수도 있는 요인(구조적 안전성에 의한 위험요인은 제외)이며, 재해유형 5종(떨어짐, 넘어짐, 물체에 맞음, 절단, 부딪힘) 이상을 유발할 수 있는 물리적 상태로 한정

○ 위험성 관리를 위한 사고원인분석모델, 정량적 위험성 DB, 현장 상황별 안전관리 체크리스트 추출 기술 개발, 현장 상황을 고려한 교육 콘텐츠 자동 생성 및 조합 기술

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발			
작업환경 최초 모델 생성 시간 및 정합성	-	-	모델생성 10분 이내[1] 정합성 90% 이상
건설현장 위험요인 인식 정확도 및 인지 시간	-	-	정확도 90% 이상 1초 이내[1]
작업환경 변화에 따른 모델 갱신 시간	-	-	10초 이내[1]
스마트 개인보호구 센서 정확도	-	-	90% 이상[2]
스마트 생체센서 사용성	20 2 100	30 4 30(독일)	전극 신축성 40 % 이상 세탁신뢰도 4급 이상 원사 선저항 (Ohm/m) 20 이하
위험정보 알람 전송 시간	-	-	1초 이내
구성기술 2 : 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발			
단위 작업별 정량적 위험성 DB 구축	-	-	업무상 사망 사고 1,500건 이상 분석
안전관리 체크리스트 현장 부합성	없음	없음	안전관리 전문가 평가 대비 95%[3] 이상
VR 콘텐츠 종류	-	-	재해유형 5종 이상
현장 맞춤형 교육 콘텐츠 자동 생성 시간	-	-	20분 이내[4]

1) 100m^2 현장 기준

2) 생체정보(심전도, 맥박, 체온 등 3종 이상)과 위치 정보에 대한 정확도

3) 공종 별 세부 체크리스트 정확도(건축, 도로, 교량 등을 포함)

4) 100m^2 현장 기준, 구성기술 1의 작업환경 모델과 VR 콘텐츠의 자동 조합 시간

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 건설공사 안전관리는 현장 안전관리자 및 근로자들의 내부 분위기에 따라 안전관리준수 이행이 좌우되는 상황임. 규모에 상관없이 일정수준 이상의 안전관리가 이루어질 수 있도록 하여야 하며 이는 시스템 기반 위험요인 인지 및 대책 제공을 통해 이루어 질 수 있음

○ 현장 내 위험요인 인지능력은 관리자의 태도 및 지식 수준, 근로자의 작업 집중도에 따라 달라지므로, 이를 개선하기 위해 위험 인지능력을 지원할 수 있는 wearable 3D camera 자료 기반의 작업환경 모니터링을 통한 위험요인 시각화 기술 개발이 필요한 실정임

○ 건설현장의 노동력이 점차 고령화 추세로 근로자의 취약성 파악 및 능동적 관리 대책이 시급함으로 건설현장 환경의 특성을 고려한 생체안전성, 내구성 및 착용성이 우수한 생체신호 감지용 편·직물 센서 및 모듈화 적용 기술을 적용한 안전보호구가 요구됨

○ 건설현장의 위험성평가 도구는 제공되고 있으나 일반적인 사항으로만 구성되어 있어 숙련도가 없는 현장 관리자가 현장에 적용하기에 어려움이 있으므로, 현장 특성 및 상황에 최적화된 위험성 평가가 이루어질 수 있는 맞춤형 위험성 평가 도구 제공이 요구됨

○ 건설공사는 대부분 대기업 수주에서 다수의 협력사를 통해 시행되는 공사와 소규모 단위의 공사가 진행되므로 일률적인 교육으로는 한계가 있으며, 건설근로자의 고령화와 외국인의 작업여건에 맞는 교육과정을 기축적된 Big-Data 자료를 통해, VR을 활용한 On/Off-Line 교육 등 다양한 콘텐츠 개발로 안전사고를 미연에 방지할 수 있는 근원적 재해예방이 가능한 교육과정 개발이 필요함

○ 건설 근로자는 작업 도중 직접적으로 혹은 간접적으로 여러가지 의사결정을 내리게 되는데, 건설 안전 사고는 근로자의 실수가 물리적인 작업 환경과 부정적인 상호작용을 통해 발생하므로 위험정보와 근로자 정보를 실시간으로 공유함으로써 근로자의 의사결정과 행동을 예측할 수 있는 분석 기술이 요구됨

□ 기술동향

<국내기술동향>

○ 국내의 경우 스마트 직물의 수출 의존도가 높아 환율 및 글로벌 경기 변동에 밀접한 영향을 받고 있고, 최근에는 해외시장점유율 상위 업체의 전략 프리미엄 제품 출시 시점 및 주기에 따른 국내 수요 변동의 급변화 현상도 나타나고 있음

○ 건설업의 위험성평가를 활성화 하기위하여 한국시설안전공단, 한국산업안전보건공단 등에서 위험성평가 도구와 DB를 제공하고 있으나 일반적인 사항만을 다루고 있어 현장 적용성이 어려움

○ 산업안전의 특성상 체험형 교육을 실시하는 것이 효과적이나 건설안전 체험교육장은 전국의 모든 건설근로자를 수용하기엔 그 수가 부족하며, VR을 활용한 오감체험식(CG기반), 정보전달식(사진기반) 교육을 한국산업안전보건공단 등에서 실시하고 있으나 콘텐츠의 다양성 및 실효성이 부족하여 현장에서 활용도가 떨어짐

<국외기술동향>

○ 미국과 캐나다 등 선진국에서는 건설현장 위험요인 인지기술은 RFID 기반의 장치(안전모, 조끼 등)를 개인이 소지하고 있으며, 이와 같은 장치가 현장 내 건설기계와의 접촉을 근로자에게 사전에 알려주는 기술을 현장에서 적용하고 있음. 그러나 국외 또한 3D camera를 활용한 건설현장 위험요인 자동 인지기술을 근로자에게 적용한 기술은 전무함

○ 미국과 일본은 듀퐁, 도레이, 데이진, 도요보 등 주요 기업을 중심으로 원천기술력을 보유하여 세계시장을 선도하고 있으며, 유럽은 ICT 분야와 융복합을 위한 첨단 전자섬유와 메디칼 섬유 등의 원천기술 확보에 주력하고 있음. 독일의 스포츠 웨어 전문회사인 Adidas는 Adidas wearable sports electronics를 설립하여, 착용형 생체 모니터링 시스템에 중점을 두고 wearable sports electronics 기술을 개발 중에 있음

○ 사고 DB기반 정량적 위험성 평가 방법과 사고 분석 도구가 개발되어 있으나 아직 현장 적용이 완벽하지 않고 특히 현장에서 쉽게 사용하기에는 복잡한 형태로 구성되어 있음

○ VR을 활용한 도시설계, 자동차 수리, 가상건축설계 등 산업 전반에서 활용중이며, 재활 체험 및 휠체어 체험, 공연 등에서도 사용 중임

3. 연구내용

(구성기술 1) 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발

○ 건설현장 위험요인 자동 인지 및 모델링 기술 개발
- 3D/360° camera를 이용하여 재해유형 5종(떨어짐, 넘어짐, 물체에 맞음, 절단, 부딪힘)과 관련된 현장 영상 정보 기반 작업환경 및 위험요인 인지 AI 알고리즘 개발
- 인지된 작업환경 및 위험요인 모델링 알고리즘 개발
- 작업환경 변화에 따른 위험요인 추적 관리 알고리즘 개발

○ 현장 근로자 스마트 개인보호구를 통한 근로자 생체정보 인지 및 위험정보 알람 기술 개발

- 생체안전성, 내구성, 착용성이 우수한 생체정보 감지용 직물 센서 개발
- 근로자 위치 모니터링을 위한 모듈형 위치 파악 기술*

* 시공 중인 건축물 내에서도 위치 정보 인식이 가능하도록 설계

- 근로자 생체·위치 정보 송신 및 위험정보 알람 수신을 위한 모듈형 패스닝 디바이스 개발

(구성기술 2) 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발

○ 효율적 안전관리를 위한 인적사고의 정량적 분석을 통한 위험성 관리 기술 개발

- 확률기반 건설현장 인적사고 원인분석 모델 및 알고리즘 개발*

* 위험요인 변화를 고려하여 위험성이 추적 관리 될 수 있도록 설계

- 과거 재해 정보 기반 단위 작업별 위험성 DB* 구축

* 인적사고 원인분석 모델을 활용한 단위 작업 별 위험성(작업 시간 당 사고 확률)

- 현장별 안전점검 체크리스트 및 저감 대책 자동 추출 기술 개발

○ 현장 맞춤형 VR 기반 교육 기술 개발

- 위험요인 별 작업안전 VR 콘텐츠 개발(근로자의 불안전 행동, 사용자재, 사용기계/기구, 작업방법을 포함)
- 구성기술 1에서 개발된 작업환경 모델과 작업안전 VR 콘텐츠 자동 조합 알고리즘 개발

○ 위험인지 및 대응 기술 통합

- 작업환경 및 위험요인, 근로자 정보, 위험성, 교육의 통합 관리 기술 개발
- 세부과제 7과의 연동을 위한 SW 설계 및 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 3의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 3 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 7과의 협력 필요

※ 단, 중점분야 3 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 3 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 3 “스마트 안전 통합 관제기술”의 목표인 “건설업 재해율 25% 이상 감소”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야 4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (테스트베드 대상) 도로인프라, 도심지 등 건설현장
- (산식) 본 사업 적용현장 감소된 재해율 / 기존 재해율 ≤ 0.75
  (* 재해율 = 재해자 수 / 근로자 수 × 100)

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시
- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시
- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 시공 안전 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

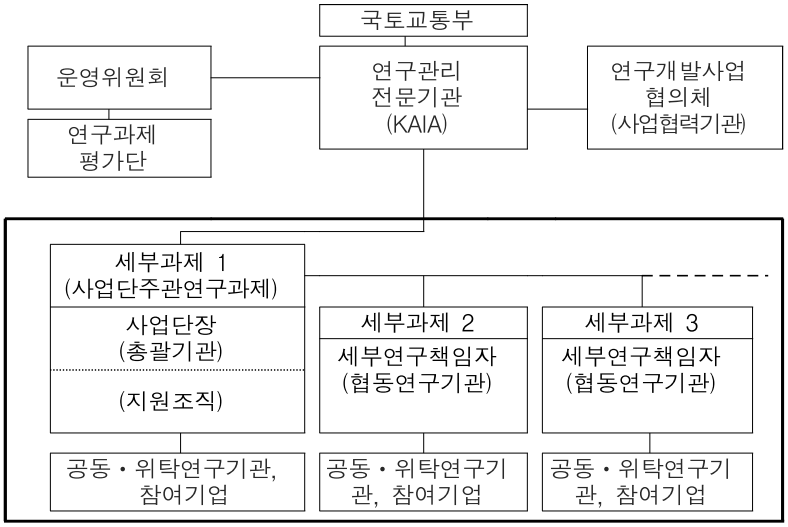
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토・심의・조정 실시

○ 안전, 영상처리, 교육, 의상, 최적화 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술보유 연구기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망

- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성
- 다양한 전문분야 전문가 중 특히 본 연구에 참여가 요망되는 전문가

※ 건설안전 전문가, VR 교육프로그램 개발 경험자, 안전교육 교육과정개발전문가, 에이전트 기반 모델링 전문가, 최적화 전문가, 행동방식 수리모델 개발 전문가, 웨어러블 디바이스 배터리 전문가, 웨어러블 패스닝 시스템 플랫폼 관련 전문가, 웨어러블 관련 사용성 및 착용성 평가 전문가, 웨어러블 Fabric Electronics 소자 및 소재 개발 전문가 등

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료・기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 3D/360° camera 취득 자료 기반 건설현장별/공종별 위험요인 자동 인지 및 모델링 SW

- 작업환경 인식 및 모델링 알고리즘
- 인공지능 기반 위험요인 자동 추출 알고리즘

○ 근로자 상태 인지 및 알람 스마트 안전보호구 시제품

- 근로자 생체정보 감지용 나노소재 복합섬유 기반 편·직물 센서
- 근로자 위치 인지 디바이스

- 근로자 생체·위치 정보 송신 및 위험정보 알람 수신을 위한 모듈형 패스닝 디바이스

(구성기술 2)

○ 건설현장 위험성 평가 SW
- 확률기반 인적사고 원인분석 모델 및 알고리즘
- 정량적 위험성 DB
- 안전점검 체크리스트 및 저감 대책 자동 추출 알고리즘

○ 현장 맞춤형 교육 콘텐츠 생성 SW
- 작업안전 VR 콘텐츠
- 작업 환경과 작업안전 VR 콘텐츠 조합 알고리즘

○ 위험인지 및 대응 통합 SW*
- 각 구성기술에서 개발된 SW와 HW 통합

* 세부과제 7에서 개발될 스마트 안전 통합 관제 시스템과 연동하는 구체적 방법을 제시

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 건설현장 안전관리 기술 수요처와의 협업을 통해 건설현장 근로자의 위험요인 인지기술 테스트베드 운용 등 현장 적용함으로써 근로자의 안전성을 높임. 단순 건설현장 뿐만 아니라 화재현장, 원자력 관련 작업현장, 경찰 또는 군인의 임무 수행 현장에서의 근로자의 위험요인을 자동으로 감지할 수 있도록 확장 적용 가능

○ 편·직물 형태의 스마트 센서는 심장박동, 호흡, 운동량, 근육량 체온 등의 인체생체 신호를 감지할 수 있는 스포츠 헬스 및 메디컬 섬유 제품에도 활용 가능함

○ 현장별 자동 생성 위험성평가를 통해 현장의 안전관리 수준에 관리자의 안전관리 지식 수준 영향 최소화

○ 현장별, 공정별로 세분화된 VR(가상현실)콘텐츠, Off-Line 콘텐츠, ON-Line 콘텐츠 조합 기술을 통해 현장 교육 서비스 비즈니스 모델, 현장 교육 시범서비스 실시를 통한 현장 맞춤형 교육 시스템 운영을 통해 인적 요인 최소화

○ 시공 업체 및 기관과 긴밀한 협력을 통해 실제 데이터 수집 및 시뮬레이션 모델 검증 작업 수행 및 실제 현장에 활용

□ 기대효과 ○ 경제적 효과

- 2018년 국내 사망만인율은 제조업(0.52) 대비 건설업(1.65)로 약 3.2배 이며, 영국 대비 약 8배로, 산재로 인한 경제적 손실을 최소화
- 근로자 중심의 건설현장 안전관리 시스템 마련으로 신(新) 시장 선도
- 지금까지 해외 기술에 의존하던 나노 소재 복합 섬유를 자체 개발하여 다양한 차세대 스마트 의류 플랫폼에 공급함으로써, 값비싼 로얄티 지불을 피할 수 있고 또한 각 제품군들의 수출 경쟁력을 제고시킬 수 있음
- 행동 및 인지 시뮬레이션 관련 기술 확보로 국내에 근로자 중심의 건설현장 정보 및 안전 관리 IT 시스템 제품 기반을 마련하고 해외 시장 선도

○ 기술적 효과

- 건축물을 중심으로 건설 현장을 관리하는 기존의 IT 시스템에서 근로자 중심의 시뮬레이션 시스템을 통합하여 관리할 수 있도록 하는 기술력 확보
- 근로자 중심의 현장 위험 요인분석, 위험 감지 알림 및 위험요인 예측
- 표준화/특허를 통해 국내·외 스마트 안전보호구 원천기술에 맞서 국제 경쟁력을 확보하고 세계 시장을 선점 가능함
- 지금까지는 집체교육 등에 의존한 형식적인 교육에 지나지 않았지만 VR(가상현실) 콘텐츠, Off-Line 콘텐츠, ON-Line 콘텐츠 조합 기술을 통해 현장별, 공정별로 차별화된 교육 수행이 가능
- 건설현장 외국인 근로자에게는 자막처리 등을 통한 효과적인 교육 서비스 비즈니스 모델, 현장 교육 시범서비스 실시를 통한 현장 맞춤형 교육 시스템 수행 가능

○ 정책적 효과

- 안전 관리 정책 입안시 건설 근로자 및 건설 현장 안전에 미치는 영향을 미리 시뮬레이션하여 예측하여 발생할 수 있는 부작용을 미리 최소화 하고 최적화 기술을 바탕으로 안전 관리 규정의 효율을 극대화

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04～2025.12(5년 9개월)

- 1차년도 연구기간 : 2020.04～2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 5,590백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 1,246백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제9

세부과제명	임시구조물 스마트 안전확보 기술 개발

1. 연구목표

○ 임시구조물의 설치, 해체, 운용 중에 발생할 수 있는 위험 요인을 인지, 평가, 예측할 수 있는 전주기 임시구조물 스마트 안전관리 시스템 개발

- 현장에서 가설기자재의 품질을 관리할 수 있는 포터블 점검·비파괴 기술과 외관점검 및 비파괴검사 데이터로부터 가설기자재의 품질을 현장에서 평가할 수 있는 알고리즘 개발
- 임시구조물의 설치·해체 프로세스 정보수집, 임시구조물 모델링, 구조 안전성 분석 및 현장 작업자 지원을 포함하는 임시구조물 설치·해체 단계에서의 안전 확보 기술 개발
- 임시구조물의 특성이 반영된 안전 모니터링 기술 최적화, 모니터링 센서 모듈화를 포함하는 전주기적 실시간 지능형 안전관리 시스템 및 평가 기술 개발

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 가설기자재 품질관리 기술 개발			
형상 정보 관리 처리 속도 및 정확도	-	-	검사속도 : 1분/개 이내 정확도 : 95% 이상
포터블 NDT 디바이스 운영시간 및 무게	-	-	8시간 이상 5kg 이하
포터블 NDT 디바이스 탐지 가능한 강재 최소 균열폭	-	-	50μm
조립된 가설기자재 구조성능 예측 알고리즘 신뢰도	-	-	실내실험 대비 90%[1] 이상
구성기술 2 : 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발			
임시구조물 설치·해체시 객체 오인식율	-	-	5% 이내
임시구조물 모델링 부합성	-	-	설계도면대비 정합성 95% 이상
설치·해체시 위험요인 예측 정확도	-	-	안전관리 전문가 평가 대비 95% 이상
통신 데이터 전송 손실률	-	-	5% 미만
임시구조물 위험성 평가 정확도	-	-	90%[2] 이상

1) 실내실험을 통한 구조성능(압축/인장/휨강도) 측정값 기준

2) 임시구조물 이상상태 예측 정확도

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 임시구조물 및 가설기자재의 위험요소 방지는 안전교육 및 관리를 통해 이루어 지지만, 중소규모 현장에서는 교육과 관리가 제대로 이루어 지지 않고 있음

○ 위험이 상존하는 건설현장 특성을 고려하여 다수의 임시구조물을 안전하고 효율적으로 관리하기 위해 지능화된 점검기술과 첨단 기술이 융합된 스마트 안전확보 기술 개발이 필요

○ 가설기자재를 재사용함으로써 설계시 가정한 강도 등 재료 물성과 단면 제원의 불확실성이 커지고, 마모, 휨 등과 같은 부재 손상이 발생 함. 공사현장에서 작업자가 현장에 반입되는 가설기자재의 품질평가를 수행하고, 비전문가도 안전 상태를 확인할 수 있도록 하는 기술적 지원이 필요함

○ 임시구조물은 작업자의 수작업에 의해 설치·해체되는 경우가 많아 시공오차, 오작업 등의 문제가 건설사고를 유발함. 따라서 임시구조물 설치·해체 시 순서 및 절차 준수 여부를 실시간으로 확인하고, 임시구조물의 안전성을 평가할 수 있는 기술 개발이 필요함

○ 시공단계에 따라 국지적으로 하중과 변형특성이 달라져 한정된 센서로 전체 구조물의 안전 상태를 파악하기 불가능한 임시구조물의 특성을 고려하여 비접촉의 다종·다측점의 자료 획득과 현장의 안전 상태를 실시간으로 분석하는 기술 개발 필요

○ 가설기자재의 품질 확보에서부터 임시구조물의 설치, 운용, 해체 전단계를 고려한 실시간 위험성 관리가 가능한 전주기 지능형 안전 관리 시스템 개발 필요

□ 기술동향

<국내기술동향>

○ 가설기자재 품질 관리 기술

- 열화상 측정법을 이용한 연구는 한국표준과학연구원, 기초과학지원연구원 등 연구원과 전남대학, 한국기술교육대 등 대학에서, 전자기 회로 결함, 재료 응력 변화 측정 등 다양한 분야에서 연구가 진행 중임
- 여러 가지 열화상 기법 중, 초음파를 이용한 열화상 기법은 한국표준과학연구원에서 3~4년 전부터 시도하여 이종금속 용접부 결함검출 등에 가능성을 보여주고 있음
- 카메라 레이저스캐닝 등 광학 이미지 기반 안전관리기술 연구들이 진행 중이며, 가설 기자재에 대한 안전관리기술은 진행 중인 것이 없음

- 재사용 가설재 안전율을 감소하는 규정에 관한 실험적 및 해석적 근거자료는 없으며 재사용 가설재의 현장 적용으로 인한 영향을 반영한 연구는 구체적으로 없음
- 재사용 가설재 사용으로 인한 구조 안전성 변화에 대한 연구는 거의 없는 실정이며, 재사용 가설재의 사용기준은 단일 부재에 대한 일본의 예전 연구 결과를 준용하고 있음. 국내의 경우 다양한 부재들의 연결조건에 관련된 연구가 부족한 상황임

○ 임시구조물 안전 확보 기술
- 영상 및 딥러닝을 이용한 구조부재 인식에 대한 연구가 일부 수행되고 있으나, 건축물 및 교량의 일부 부재 인식 수준에 머물러 있음
- 상용 구조해석프로그램을 이용하여 임시구조물의 구조안전성 해석을 수행하고 있으며, 다양한 연결조건 및 지지부 등을 고려할 수 있는 전용소프트웨어는 없는 상황
- 실시간 영상 및 이동체 수집정보를 활용한 도심지 흙막이 굴착 시공 중 문제패턴 조기 인식을 위한 연구가 진행 중에 있음. 이상상태 모니터링에 대한 연구로써 계측장비 개발, 신호처리 및 이상상태 감지 알고리즘 개발에 중점을 두고 있음
- 터파기 시 토류벽의 안정성 확보, 과굴착, 지반조건 변화 등을 평가할 수 있는 기술들이 개발되었으나 대부분 기존의 방식대로 소수의 계측점을 통하여 측정하고 그 결과를 분석하는 연구임
- IoT 기반 지하 구조물 모니터링 시스템, 콘크리트 타설 중 거푸집의 처짐 계측과 관련된 유사 연구는 많이 수행되었으나 대부분 기존의 계측센서를 활용하는 연구가 진행됨
- 무선 센서를 이용한 구조물 시공 중 계측 기술 개발은 부산대학교에서 진행되었고 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 이용하여 레이저 센서, 초음파 센서, 스트레인게이지, 지반계측센서를 포함하는 계측모듈을 개발하였음

<국외기술동향>

○ 가설기자재 품질 관리 기술
- 2000년대 초반부터 미국 Iowa State University의 Center for NDE를 중심으로 GE Aviation, Pratt and Whitney 등 미국의 주요 제트엔진 제조사들과 함께 초음파 가진 열화상에 대한 연구를 수행함
- 2000년대 중반부터 영국의 Imperial College 주도의 Research Center for NDE(RCNDE) 와 Rolls-Royce, Alstom power 등 유럽의 터빈 엔진 제작 회사들도 함께 초음파 가진 열화상기법을 활발히 연구하고 있으며 건설분야에서도 초음파 가진 열화상기법에 대한 연구가 수행됨

- 디지털 이미지 상관법(Digital Image Correlation, DIC)을 이용한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며, 최근 딥러닝(Deep learning) 기반 이미지넷 객체 인식 기법에 관한 연구가 진행됨
- 프랑스 Paris Saclay 대학의 Hild 연구팀은 디지털 이미지 상관법을 이용하여 물리적 손상에서 기계적 손상까지를 포함하는 전반적인 결함 측정을 위한 기술 개발에 대한 연구를 수행하였으며, 산업현장 등에서 활용할 수 있는 산업체 중심의 연구와 결함 측정 및 측정 정밀도 향상을 위한 연구가 병행하여 수행되고 있음
- 단순한 실험을 통한 개별 부재 성능 검증에서 벗어나 시스템 동바리의 재료, 시공오차, 적용하중을 확정론적 방법이 아닌 확률론적 방법(probabilistic approach)으로 분석하는 연구와 전체 시스템의 강도를 확률특성으로 분석하여 전체 시스템의 신뢰성을 평가하려는 연구가 진행되기 시작함

○ 임시구조물 안전 확보 기술
- 딥러닝(Deep learning)기반 객체 인식 기법에 관한 연구가 구글, 페이스북, 아마존닷컴, 바이두 등 글로벌 리딩 그룹들을 중심으로 많이 개발되고 있으며, 소프트웨어 개발 플랫폼인 Github을 통하여 다양한 오픈소스 프로그램들이 공유되고 있음
- 건설안전을 위한 연구는 주로 작업자의 상황정보 인식에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 임시구조물의 안전성을 전주기에 걸쳐 실시간으로 파악하기 위한 연구는 없음
- 특정 구조물에 계측기를 설치하여 모니터링하는 기술은 주로 본 구조체를 대상으로 하고 있으며 임시구조물에 대한 연구는 거의 없음
- 영국의 smartfiber 社는 광섬유센서로 콘크리트 지중연속벽의 시공중 변형을 측정하는 장비를 상용화하였으나 슬래브의 변형을 입체적이며 실시간으로 모니터링하는 기술은 국외에서 상용화되지 않음
- 북미 지하철 현장(Purple Line Rail Link(Washington D.C.), Purple Line 2 Extension(Los Angeles), Toronto Subway Project 등)에서는 IoT 기술을 이용해 경사계나 신축계 등의 지반 매설 센서 데이터를 무선으로 받아 터널 위험도 평가를 수행
- 캐나다의 GIATEC 社는 콘크리트 슬래브 타설시 콘크리트 내부에 센서를 설치하여 콘크리트의 강도를 28일 동안 30시간 단위로 실시간으로 모니터링하는 센서를 개발한 바 있음

3. 연구내용

(구성기술 1) 가설기자재 품질관리 기술 개발

○ 가설기자재 현장 품질평가를 위한 손상 정량화 기술 개발
- 영상기반 가설기자재 형상관리 기술 개발

· 국토교통부 지정 품질관리 항목 가설기자재에 대한 형상관리 절차 수립
· 영상처리 및 AI기술을 이용한 외관 손상 정량화 알고리즘 개발(변형, 파손, 마모 등의 외관 손상)

- 가설기자재 비파괴 검사(NDT)를 위한 포터블 디바이스 개발
· 미세균열 및 부식 탐지를 위한 포터블 NDT 기법 개발
· 비파괴 검사 정보 정량화 알고리즘 개발

○ 가설기자재 구조 성능평가 및 품질평가 기술 개발

- 가설기자재 상태 등급별 구조 성능평가 기술 개발
· 손상 및 재사용 특성을 고려한 가설기자재 상태등급별 부재 및 연결부재별 구조 성능 DB 구축
· 가설기자재의 신뢰성 기반 구조 성능평가 기술 개발
· 부재별 구조 성능과 조립된 가설기자재의 구조 성능 상관성 분석 기술 및 딥러닝을 이용한 조립된 가설기자재의 구조 성능예측 알고리즘 개발

- 가설기자재 품질평가 및 관리기준 개발
· 점검, 검사 기록을 이용한 가설기자재 상태등급 기준 개발
· 가설기자재 상태등급 및 구조물 여유도를 고려한 조립된 가설기자재 품질평가 알고리즘 개발
· 재사용 가설기자재 관리기준* 개발

* 재사용 가부 판정, 정비, 수리, 성능실험, 폐기 등에 대한 기준

※ 가설기자재 :「건설공사 품질관리 업무지침」에 지정된 9종
강재 파이프서포트, 강관 비계용 부재, 조립형 비계 및 동바리 부재, 일반 구조용 압연강재(흙막이용), 용접 구조용 압연강재(흙막이용), 일반구조용 용접 경량 H형강(흙막이용), 일반구조용 각형강관, 열간압연강 널말뚝, 복공판

(구성기술 2) 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발

○ 임시구조물 설치·해체시 스마트 안전 확보 기술 개발

- 임시구조물 설치/해체 프로세스 정보 수집 기술 개발
· 임시구조물 설치·해체시 영상 이미지 등록 및 관리 기법 개발
· 딥러닝을 이용한 가설기자재, 작업자 객체 인지 알고리즘 개발
· 설치/해체시 취약부(배면, 지지부, 연결부) 정보 수집 방안 연구

- 현장 영상 정보 기반 임시구조물 모델링 및 구조안전성 분석 기술 개발
· 가설기자재 부재, 부품 DB 구축
· 설치·해체 단계별 임시구조물 모델링 및 구조안전성 분석 소프트웨어 개발
· 설계안전성 검토보고서, 설계도면 및 구조계산서 준수 여부 확인 알고리즘 개발

- 현장 작업자 설치·해체 작업지원 시스템 개발
· 현장 상황에 따른 작업순서 안내 모듈 개발
· 설치·해체 작업시 위험 및 이상 상황 경보 모듈 개발

○ 임시구조물 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발
- 임시구조물 안전 모니터링 설계 최적화 기술 개발
  · 공사 단계별 위험인자 도출 및 예방 시나리오 발굴
  · 임시구조물 특성에 따른 IoT 센서 배치 최적화 기술 개발
  · 임시구조물 특성에 따른 위험 임계 기준 설정
- 무선 네트워크 기반 임시구조물 안전 모니터링 기술 개발
  · 임시구조물 안전 모니터링용 저전력·저비용 IoT 기반 계측 솔루션 구축
  · 다종(변형률, 변위, 하중, 경사 등) 센서 호환성 향상 기술 개발
  · Event-Driven 구조 기반의 데이터 전송 기술 개발
- 임시구조물 전주기 지능형 안전관리 시스템 개발
  · 임시구조물 데이터 관리, 운영 및 통합 지원 기술 개발(세부과제 7과 연계)
  · 임시구조물 전주기 실시간 위험성 평가 기술 개발
  · 센서 데이터 기반 임시구조물 안전성 가시화 기술 개발

※ 임시구조물 :「가설공사 표준시방서」,「건설공사 품질관리 업무지침」및「건설공사 안전관리 업무매뉴얼」에 기술된 건설공사 임시 취약시설(공종)인 거푸집 및 동바리, 비계, 흙막이, 임시사면

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 중점분야 4 및 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 스마트 건설 디지털 플랫폼, 종합 테스트베드 등 중점분야 4 및 연계성이 높은 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 3의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 3 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 7과의 협력 필요

※ 단, 중점분야 3 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 3 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 3 “스마트 안전 통합 관제기술”의 목표인 “건설업 재해율 25% 이상 감소”을 위한 구체적인 달성 방안을 동 세부과제에서 제안하는 개별 테스트베드 및 중점분야4의 종합 테스트베드를 대상으로 다음 산식을 참고하여 제시

- (테스트베드 대상) 도로인프라, 도심지 등 건설현장
- (산식) 본 사업 적용현장 감소된 재해율 / 기존 재해율 ≤ 0.75
  (* 재해율 = 재해자 수 / 근로자 수 × 100)

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시
- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

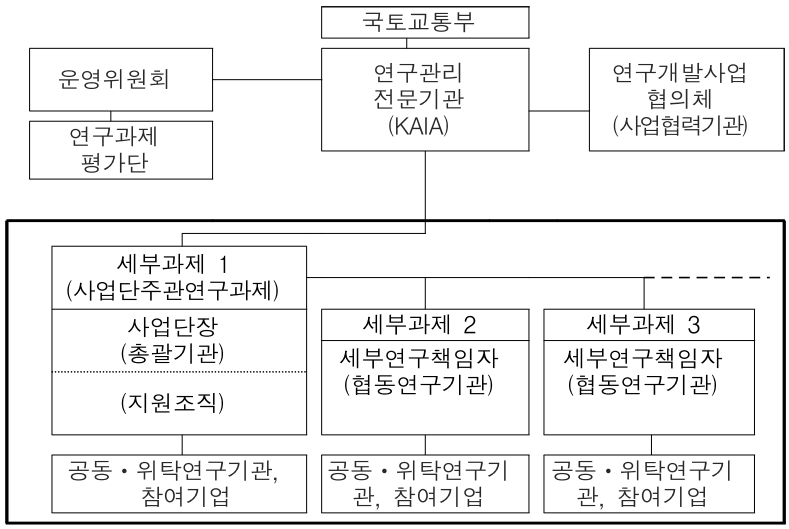
○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시
- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시
  ※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고
  ※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망
  ※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
  ※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토・심의・조정 실시

○ 토목, 건축, 안전, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망
- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료・기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 가설기자재 현장 품질평가용 포터블 디바이스 HW 및 SW
- 가설기자재 9종에 대한 현장 점검 및 포터블 NDT 디바이스
- 영상처리 및 AI기술을 이용한 외관손상 정량화 알고리즘
- 비파괴 검사 정보 정량화 알고리즘

○ 가설기자재 품질평가 기준 및 소프트웨어
- 가설기자재 상태등급 기준
- 가설기자재 상태등급별 구조성능 DB
- 상태등급 판정 알고리즘 및 딥러닝 기반 구조성능 예측 알고리즘
- 상태등급 및 구조물 여유도를 고려한 품질평가 알고리즘
- 재사용 가설기자재 관리기준 및 정책 반영

(구성기술 2)

○ 임시구조물 설치·해체시 안전성 모니터링 소프트웨어
- 딥러닝 기반 객체 인식 알고리즘
- 설치·해체 단계별 임시구조물 모델링 및 구조안전성 분석 모듈
- 작업순서 안내 및 위험상황 경보를 포함하는 현장 작업자 지원 모듈

○ 임시구조물 안전 모니터링 및 지능형 안전관리 시스템
- 무선 네트워크 기반 임시구조물 안전 모니터링 모듈
- 임시구조물 전주기 실시간 위험성 평가 알고리즘
- 센서 데이터 기반의 임시구조물 안전성 가시화 모듈

* 세부과제 7에서 개발될 스마트 안전 통합 관제 시스템과 연동

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 세계적으로 이슈화 되고 있는 4차산업 첨단 기술을 건설 안전기술 분야에 접목하여 국내 안전기술을 향상에 따른 대외 경쟁력 제고와 해외시장 진출 가능성 확대

○ 위험요인의 상시파악, 실시간 위험분석, 직관적인 위험전달 체계는 향후 건설현장의 새로운 표준체계의 역할을 가능하게 함

○ 스마트 기술로 모니터링 자료 분석기술을 업그레이드함과 동시에 관련 종사자의 기술수준 향상

□ 기대효과

○ 3대 취약공종에서 건설재해를 크게 저감시켜 국민의 안전한 생활환경을 조성하고 삶의 질을 향상시킴과 동시에 인적 물적 손실에 따른 사회적 비용의 최소화 가능

○ 국내 건설 현장의 고령화, 숙련공의 감소, 주 52시간 근무에 따른 근로조건의 변화 등에 의한 건설현장의 불안전 요소 제거에 기여

○ 건설현장의 모니터링 센서 비용을 저감시켜 모니터링 수량 증가와 함께 관련 산업 발전 촉진

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)

- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 8,933백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 1,904백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구

과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제10

세부과제명	도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 및 스마트 지식관리 기술 개발

1. 연구목표

○ 도로 인프라에 부여되는 모든 정보(센서, 자원, 정형, 비정형 등)의 수집・교환・공유・지식화를 위한 디지털 데이터 통합 및 지식화 표준 개발을 통해 공통 데이터 환경을 구축하고 프리팹 도로구조물의 통합 공정 지원을 위한 스마트 딜리버리 시스템을 구축하며, 축적된 데이터를 지식화하여 사용자 요구의 스마트 건설 지식정보 서비스 제공 기술과 디지털화 지수(index)를 개발

- 도로구조물 및 자원 센서와 디지털 도로 정보를 수집・관리・교환・공유하기 위한 디지털 데이터 통합 표준*과 이의 지식활용을 위한 지식표준화 및 데이터 신뢰성을 갖는 AI 기반의 데이터 품질검증 기술 개발

  * 디지털 데이터 통합 표준 : 도로, 교량, 터널 등의 인프라 시설에 대한 표준화된 BIM 데이터와 함께 센서 데이터, 도로 디지털 데이터(디지털 트윈 및 지형 데이터 등), 장비・인력・자재 등 자원 데이터, 외부 시스템 등의 정형・비정형의 디지털 데이터를 단일 표준 프레임워크로 통합하여 공통 환경에서 사용자 요구의 양방향 디지털 정보교환을 가능하게 하는 표준체계

- 도로 설계 및 시공단계의 지식정보 제공을 위한 지능기술기반의 하이브리드-챗봇을 구축하고 현장에서 발생하는 디지털 지식을 생성・통합・관리・활용하기 위한 스마트 지식관리 시스템과 디지털화 수준 측정을 위한 디지털화 지수(index) 개발로 테스트베드 대상 디지털화 수준평가 기술 개발

- 도로의 디지털 데이터 통합 표준체계를 기반으로 일관된 생애주기 프로세스 환경을 지원하는 정보통합 플랫폼을 구축하며, 이를 기반으로 모듈화 교량 등 프리팹 전 공정 프로세스(발주→구매→제작→조달→조립(시공)→검사)를 통합적으로 지원하는 스마트 딜리버리* 시스템 구축 및 활용 기술 개발

  * 스마트 딜리버리 시스템 : 도로 프리팹 구조물의 전 생산과정(발주→구매→제작→조달→조립(시공)→검사)을 단일의 프로세스 통합 환경에서 One-Stop으로 지원하는 시스템으로 프리팹 구조물의 최적 자원 흐름 관리를 위한 ERP(Enterprise Resource Planning)+BIM 기반의 공통 데이터 환경에서 자원 및 공정 최적화를 위한 PMIS(Project Management Information System)+발주 및 조달을 지원하는 SCM(Supply Chain Management)을 BIM 기반으로 하나로 통합하며, 현장 상황에 따라 일관된 프리팹 생산과정의 능동적 수행을 가능하게 하는 시스템임(유사 예 : 미국 Katerra 생산시스템-목조건축물 대상)

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발			
센서 및 디지털 건설 정보관련 국제 표준의 수용 수준	70% 수용	100% 수용	ISO16739/bSI IFC4*X 기반 디지털 정보표준체계 100% 수용
Linked Data 기반 건설정보 지식스키마 생성 및 변환 오류율	20% 내외	5% 내외	5% 이내[1]
도로 디지털 데이터의 품질검증 오류율	20% 내외	10% 내외	5% 이내
구성기술 2 : 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발			
AI 기반의 지식학습을 통한 지식생성 신뢰도	20%	40%	50% 이상
지식정보 검색 모바일 챗봇의 음성 인식률	60%	70%	70% 이상
이미지 내 객체정보의 태깅을 통한 지식화 신뢰성 수준 향상	30%	50%	50% 이상
도로건설 스마트 지식관리 시스템 인증 확보	-	-	소프트웨어 GS 품질 인증 1등급[2]
기존 도로사업 대비 디지털화 수준 향상	-	-	25% 이상[3]
구성기술 3 : 도로분야 디지털 통합정보 환경기반 모듈러 생애주기 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발			
프리팹 도로구조물 최적 자원흐름 변동 오차율	10% 이내	5% 이내	5% 이내[4]
프리팹 도로구조물 최적 공정계획 변동 오차율	15% 이내	10% 이내	10% 이내[4]
기존 프리팹 생산 공정 대비 스마트 딜리버리 시스템의 생산처리 시간 및 비용 개선율	-	-	30% 이상 ROI(시간, 비용) 개선

1) 도로현장으로부터 수집되는 비정형 데이터를 Linked Data 기반의 지식DB로 생성하는 경우 변환 오류율 측정

2) 국내 TTA(한국정보통신통신협회) 소프트웨어 GS 품질 인증 1등급 확보(ISO 기반)

3) 디지털화 수준을 측정하는 index를 개발하여 기존 도로 설계, 시공단계의 디지털화 수준 대비 통합 플랫폼을 통한 디지털화 수준 변화를 측정하여 비교

4) 프리팹 도로구조물 자원(자재, 장비, 인력)의 투입에 따른 최적 자원흐름 및 공정계획 예측값과 테스트베드 실증에 따른 결과값과의 변동 오차율

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 국토교통부는 2020년 500억 이상 신규 도로공사에 BIM을 적용하고 2025년까지 스마트 건설구현을 위한 필수 기술 개발을 요구하고 있고 기존 축적된 건설정보의 재활용, 센서를 통한 자원의 초연결에 따른 정보의 부가가치 창출과 자동화 연계를 통한 건설 생산성 및 안전성 혁신 요구 뿐만 아니라 디지털화의 패러다임 전환 요구가 증대되고 있음

○ 최근 건설의 4차 산업혁명의 패러다임 전환으로 건설의 생산방식이 디지털화, 모듈화, 지능화, 지식화 체계로 변화를 요구하며, 이에 따라 기존의 건설정보를 단순히 수집, 저장, 관리하던 방식에서 이를 분석, 활용, 갱

신하는 새로운 차원의 정보 활용 방식의 도입을 요구하고 있음

- 이에 따라 기존의 독립된 건설정보 시스템에서 자체 DB를 통해서만 이루어지는 Silo형태의 관리방식을, 상호 데이터간의 연계체계 구축을 통해 지식화하여 사용자에게 제공할 수 있도록 하는 디지털 데이터 통합 표준에 의한 스마트 지식 표준체계의 구축이 필요
- 또한 기존의 도로 구조물 생산방식은 대부분 현장 제작 및 시공 방식으로 생산성이 매우 저하되고 생산단계별 프로세스 지원 시스템 구축 미흡으로 생산 프로세스의 단절로 인한 정량적 손실 발생. 이를 해결하기 위해 기존 도로 구조물 생산방식을 공장제작 방식인 모듈러(프리팹) 방식으로 전환하고 이의 생산 전 공정을 통합적으로 지원할 수 있도록 하는 시스템 구축이 필요
- 기존의 건설정보 시스템은 단편적인 데이터 가공을 통한 통계정보의 제공, 제한적인 검색 기능으로 건설 프로세스에 필요한 적재적소의 지식정보 제공에 한계. 이를 위해 기 구축된 건설정보 시스템의 데이터와 현장 수집 데이터의 상호 연계에 따른 지식화를 통해 특정 업무 도메인(안전, 리스크, 모듈러 생산 등)에 대한 축적된 데이터의 AI-학습으로 원하는 형태의 지식정보를 제공받을 수 있도록 하는 챗봇 및 지식관리 시스템 구축 필요
- 도로 구조물의 모듈화(프리팹) 생산 과정을 통해 발생되는 모든 정보는 발주처에 의해 관리되며, 이를 통해 발주처는 공정 모니터링, 자원의 투입에 따른 기성예측 등으로 프로젝트의 현황을 파악할 수 있음. 또한 도로 구조물의 모듈화 생산 프로세스를 단일의 표준에 근거하여 통합된 환경에서 지원할 수 있도록 하는 시스템을 제공할 필요가 있음

○ 최근 도로, 교량, 터널 등의 인프라 시설에 대한 BIM 표준 등이 개발 중이나 모든 센서, 자원 및 시스템간의 데이터를 통합적으로 연계하는 표준은 부재한 실정이며, 향후 건설현장을 온라인 및 오프라인으로 상호 연계하기 위해서는 데이터의 상호 운용성을 확보하고 높은 신뢰성을 갖는 도로의 디지털 데이터 통합 표준체계를 구축하는 것이 필요

○ 건설관련 시스템은 DB시스템을 통해 단순한 데이터 단위로만 관리되고 있어 다양한 건설관련 DB에 존재하는 데이터 간의 연계관계를 구축하여 의미론적으로 데이터를 연계관리하거나 이를 지식정보로 활용하고 있지 못함

○ 현장의 다양한 센서 및 시공 장비로부터의 운영 데이터를 실시간으로 수집할 수 있는 표준이나 인터페이스 및 플랫폼이 없어 일관되고 신뢰성 있는 데이터의 수집 및 저장과 이를 생애주기 단계에 통합 적용하는데 한계가 있으므로 지능화된 데이터 품질검증 기술 개발이 필요함

○ 기존의 건설 생산관련 시스템은 발주→구매→제작→조달→조립→검사 등의 모든 공정을 일괄적으로 처리하는 시스템이 부재하고 시스템간 데이터 공유가 이루어지지 않아 모듈러 교량 등과 같이 프리팹 프로세스를 일관된 방식으로 처리하고 있지 않음. 따라서 교량 프리팹 및 시공 자동화 프로세스의 제작→조립→검사 등 워크플로우 상에서 발생되는 정보 전달에 따른 전 공정 프로세스의 승인·저장·납품·관리를 위한 프로세스 통합 관리 기술과 자원·공정 등의 최적화 기술 개발 필요

○ 국내는 스마트건설의 전환에 따른 디지털화 수준을 측정할 수 있는 별도의 지수가 마련되어 있지 않고, 맥킨지에서 발간한 산업군별 디지털화 인덱스를 참조하는 수준에 그침. 향후 스마트건설 R&D를 통해 변화되는 디지털화 수준을 각 업무의 영역에 따라 수준을 측정하고 ROI를 평가할 수 있도록 하는 스마트 건설 디지털화 인덱스를 개발하고 실제 사업의 수행을 통한 비교 평가체계의 구축이 필요함

□ 기술동향

<국내기술동향>

○ 국내에서는 이미 WBS 등의 작업 분류 체계와 건설정보 통합 분류체계 등이 구축되어 있으며, WBS의 경우 도로 및 하천분야에 의무적용 중임. 특히 도로·하천에 대한 BIM 객체 및 속성분류 체계가 개발 중이며, buildingSMART International을 통해 도로분야 BIM 표준이 개발 중임

○ 최근 국가 공공데이터사업을 통해 링크드 오픈 데이터(Linked Open Data, 이하 LOD)적용 사례가 증가하고 있으며, 한국시설안전공단에서는 공공시설물(교량, 터널, 건축물 등)에 대한 유지관리 이력정보를 LOD형태로 제공하고 있음

○ 성과품 품질검토와 관련하여서는 건축법규를 Rule Set화하여 BIM 모델과 비교함으로써 법규검증을 자동화하는 기술이 개발된 바 있음. 그러나 도로 BIM 성과품의 설계기준 검증이나 도로의 디지털 데이터 자체의 품질검토를 수행하는 연구는 아직 수행되지 않음

○ 프리팹과 관련하여서는 주로 모듈러 건축에 집중되어 있음. 토목의 경우 슬라브 형식 프리캐스트 모듈에 대한 모듈러 상부구조를 구축한 사례가 있으며, 포스코가 직선교량의 표준모듈 활용 조립식 교량 기술, 중앙대는 프리캐스트 조립식 교각에 대한 모듈러 기술과 BIM기반 데이터 교환 및 스캐닝을 통한 3D 진단시스템 연구를 수행한 바 있음

○ 챗봇시스템 유형의 경우, 초기에는 가벼운 대화나 상담 수준의 목적에 맞도록 '접근성'의 혜택이 큰 대중화 된 메신저 앱 기반의 챗봇시스템이 대

부분이며, 점차 챗봇시스템에게 구체적인 전문분야의 업무 지원을 기대하게 됨에 따라 분야별로 기존에 활용하던 전문 시스템과의 연결을 위한 챗봇시스템 방식으로 구현하는 사례가 증가하고 있음

○ 건설분야의 챗봇 구축 예로는 연세대학교에서 카카오톡을 기반으로 개발한 공사일보 및 작업관리를 지원하는 ProjectHUB-CL(Construction Listener)이 있으나, 챗봇의 방식이 키워드 매칭에 의한 정해진 대화 방식을 차용하였다는 한계점이 있어 특정 질의에 따라 맥락을 인식하는 지식화 질의에 대한 챗봇 구축에 제약

<국외기술동향>

○ 건설정보의 표준화와 관련하여 미국, 유럽을 중심으로 분류체계, 코드, BIM 표준 등 자체 표준을 개발하여 활용하고 있으며, 관련 건설정보 시스템을 구축함으로써 모든 정보의 교환, 운영 및 관리체계를 일원화하기 위한 노력들이 활발히 이루어지고 있음. 그러나 BIM, 센서, 비정형 및 정형, 외부 시스템을 복합적으로 상호 교환하여 공유, 협업이 가능한 디지털 데이터 통합 표준 개발은 부재함

○ 데이터 품질검증과 관련하여서는 주로 건축물 대상으로 Lexical Check (충돌감지, 부재유무 검토 등), Syntactic Check(법규검토 등 정성적 규칙 검토), Semantic Check(데이터의 AI추론 검토 등) 3단계로 이루어지고 있으며, 현재 2-3단계 수준으로 발전하고 있어 건설분야의 디지털 데이터 통합 및 표준화 기술의 중요성과 연구개발 방향 및 활용성을 시사하고 있음

○ 미국의 WiSDoT은 도로의 가상입체 설계 납품을 위한 기준을 제공하고, 납품 시 설계 성과품의 형상, 기하, 데이터 등을 설계 기준에 맞게 자동적으로 검증할 수 있는 시스템을 개발 활용 중이나 BIM 표준 적용이 미흡하고 시거, 구배 등 제한적인 설계기준 등 논리적 품질 검증이 이루어지고 있음

○ IFC 데이터와 BIM 어플리케이션간 정보 교환시 발생하는 모델의 무결성 등 문제를 해결하고 상호운용성을 증대하기 위해 IFC의 데이터의 변환시 활용분야에 필요한 정보를 정의하는 MVD(Model View Definition)를 충족하도록 변환됐는지 검토하는 데이터의 검증을 수행한 바 있음

○ IFC(ISO16739)가 도로, 교량 등의 인프라 시설로 확장됨에 따라 다양한 시설물 데이터 표준화 및 통합 연구의 중요성이 증대되고 있으며, 이들 시설 및 외부 데이터 통합을 위해 Linked Data의 활용 방안이 주목을 받고 있음. 이에 buildingSMART, W3C 등에서 Linked Building Data를 건설분야에 접목하는 연구 및 표준화가 활발히 추진 중임

○ 미국의 Katerra라는 스타트업은 건축물의 공장생산 방식이 도입을 통해 북미(미국, 캐나다)의 공장 제작 및 현장 조립이 가능한 목조 주택에 대하여 자재 발주, 조달, 공장제작, 조립, 포장 및 조달 및 시공의 모든 프로세스를 단일의 시스템으로 통합하는 환경을 구축하고 있음

3. 연구내용

(구성기술 1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술 개발

○ 도로건설 자원(장비, 자재, 인력) 및 구조물 센서 데이터의 정보 통합(수집, 연계, 관리, 협업, 공유)을 위한 디지털 정보통합 표준화* 기술

* (개발범위) 도로건설 사업의 설계 및 시공단계 전체를 대상으로 모든 도로 디지털 정보(센서, 자원, 정형, 비정형 등)의 통합, 교환 및 공유를 위한 표준체계 개발

- 도로 디지털 데이터(세부과제 1~12) 수집·통합관리·교환·공유를 위한 공통 표준 프레임워크 개발
- 도로 현장 자원 및 센서정보 통합 연계 표준 스키마(데이터모델) 개발
- 타 세부과제별 수집데이터의 상호연계 및 교환체계 구축을 위한 표준 연계 기술 개발
- 도로 엔지니어링 객체모델을 활용한 디지털 데이터 통합 표준의 교환 검증 기술 개발

○ 도로의 정형 및 비정형 디지털 데이터의 Linked Data(연결데이터, LD) 기반 지식화 및 전자문서 표준화 기술 개발

- 도로의 정형 및 비정형 디지털 데이터의 LD 기반 트리플(Triple)* 설계 기술 개발

* (트리플, Triple) 도로 디지털 데이터의 LD(Linked Data)를 표현하기 위한 가장 기본적인 구문표현 방식으로서 데이터들 사이의 관계를 주어(Subject)-술어(Predicate)-목적어(Object)의 형태로 표현하는 구조임. 도로분야 디지털 데이터를 의미 있는 문장 구조로 바꿔주는 일종의 약속으로 구성되므로 데이터를 LD기반의 지식체계로 구축하기 위한 필수적인 규약임

- Linked Data 기반의 지식 그래프 구성 기술 개발
- 도로 디지털 데이터 통합 표준의 Linked Data 변환 알고리즘 개발
- Linked Data의 지식 그래프 기반 지식 전자문서 표준화 기술 개발
- Linked Data에 의한 지식화 서비스 모델 및 시나리오 개발

○ 도로 디지털 데이터의 신뢰성 확보를 위한 지능형 품질검증 기술 개발

- 도로 디지털 데이터 품질검증 요소 및 논리규칙 체계 개발
- 규칙 기반 도로 디지털 데이터의 신뢰성 확보 기술 개발
- 지능 정보기술 기반 도로 디지털 데이터 품질검토 및 갱신 기술 개발
- 도로 디지털 데이터 품질검증 시스템 개발

(구성기술 2) 도로분야 디지털 정보 기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발

○ 도로의 스마트 건설지식 및 디지털 문서 자동생성 기술
- LD기반 지식화 표준을 활용한 건설지식 그래프 자동 생성 기술 개발
- LD기반의 건설지식 템플릿 구성 기술 개발
- 건설 지식그래프 기반의 디지털 지식문서 자동 생성 기술
- 생성된 건설 지식의 분류화를 통한 지식베이스 갱신 및 검증 기술 개발

○ 도로 설계 및 시공 프로세스 지원을 위한 챗봇 기반 비정형 지식정보 구축 및 활용 기술 개발
- 도로 설계 및 시공 지원을 위한 자연어 처리(NLP; Natural Language Processing)기반 하이브리드 챗봇* 플랫폼 및 어플리케이션 개발
  * 하이브리드 챗봇은 질의응답 대화방식을 단순한 키워드입력이나 음성인식 방식에서 메뉴기반, 시나리오기반, 이미지 기반의 다수의 복합적 대화방식을 채택함. 건설현장의 다양한 상황과 입력 데이터에 대한 최적의 지식정보를 제공받기 위해서는 음성, 이미지, 메뉴, 시나리오 등을 복합한 입력 인터페이스에 의한 하이브리드 챗봇 방식으로 제공
- 프리팹 생산 프로세스 지원을 위한 지능형 챗봇 기반 스마트 딜리버리 모바일 시스템* 개발
  * 스마트 딜리버리 모바일 시스템은 현장의 프리팹 공정과 관련된 세부 업무(현황관리, 공정관리, 발주 및 조달관리 등)에 대한 신속한 프리팹 생산 프로세스 지원과 안전・품질・진도(공정) 관련 지식정보 구축 및 제공을 위해 하이브리드 챗봇을 기반으로 개발・운용
- 챗봇과 지능기술 기반 현장 이미지 분석을 통한 객체 태깅 자동화 및 도로 건설 지식베이스 자동 구성 기술 개발
- 챗봇과 지능기술 기반 현장 이미지 및 영상 내 장비, 자재, 구조물 정보 자동 연동 및 객체 검색 기술 개발

○ 도로분야 스마트 지식관리 시스템 및 디지털화 평가 지수 기술 개발
- 스마트 지식의 저장, 검색, 승인을 위한 프로세스 개발
- 스마트 지식 생성을 위한 지식 베이스 구축 기술 개발
- 지식정보 생성에 따른 지식학습을 위한 지식 이력관리 기술 개발
- 지식의 등록·승인·통합 관리·활용을 위한 스마트 지식관리 시스템 개발
- 지식베이스의 오픈데이터 제공을 위한 API 개발
- 지식베이스로부터 도출되는 통계 지식의 시계열 기반 시각화 기술 개발
- 지식 시각화를 위한 사용자 정의 시각화 도구 및 대쉬보드 개발
- 디지털화 평가 지수(index)* 개발 및 평가
  * 디지털 정보통합 플랫폼 체계의 도입에 따른 건설업무의 디지털화 성숙도 수준을 평가하기 위한 인자 도출과 한국형 평가 지수 및 방법론을 개발하는 것으로 기존의 도로 건설 업무에서의 디지털화 수준과 디지털 정보통합 플랫폼 도입 이후의 도로 건설 업무에 대한 디지털 수준을 평가하고 상호 비교하여 디지털화 수준의 변화(성숙도)를 평가

(구성기술 3) 도로분야 디지털 통합 정보환경 기반 프리팹 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

※ 세부과제 10의 구성기술 2는 발주자 입장의 프리팹 건설에 대한 프로젝트 관리 및 현장 운용 관점에서 개발되며, 세부과제 4에서 개발하는 프리팹 엔지니어링 모델은 시공사 및 프리팹 제작을 담당하는 민간 기업의 관점에서 개발됨

○ 도로 디지털 데이터의 승인·저장·관리를 위한 디지털 통합 정보환경 구축 기술 개발

- 도로 건설단계의 프로세스 기반 데이터 공통 활용을 위한 디지털 협업 환경 구축
- 도로 디지털 정보의 관리를 위한 주체별 승인, 저장, 납품, 관리의 통합 프로세스(PM) 구축

○ 프리팹 공정의 건설자원(자재, 장비, 인력) 흐름관리 지능형 최적 알고리즘 및 공정 최적화 기술 개발

- 프리팹 공정의 현장상황 및 변동성을 고려한 건설자원(자재, 장비, 인력) 흐름 최적화 알고리즘 개발
- 프리팹 생산 프로세스의 선후 공정을 고려한 프리팹 공정 프로세스 최적화 알고리즘 및 시각화 검증 기술 개발
- 디지털 데이터 통합 표준과 연계한 프리팹 공정 및 딜리버리 지식 분석 제공 기술 개발

○ 프리팹 도로구조물 통합 공정지원을 위한 스마트 딜리버리 시스템* 개발

* 세부과제 11의 스마트 건설 통합 디지털 플랫폼을 통해 통합·연계되어 사용자에게 서비스될 수 있도록 개발

- 프리팹 공정의 자원·조달·프로젝트 관리 지원을 위한 ERP(Enterprise Resource Planning)+SCM(Supply Chain Management)+PMIS(Project Management Information System) 통합 워크플로우 및 운영 시나리오 개발
- 프리팹 공정의 주체별·활용 단계별 통합 표준 프로세스(발주→구매→제작→조달→조립(시공)→검사) 개발
- 프리팹 부재별 객체모델*의 표준기반 정보교환 인터페이스 및 업무처리 협업 기능 개발

* 객체모델은 세부과제 4에서 개발하는 도로 구조물 프리팹 설계·제작·시공을 위한 디지털 엔지니어링 모델 활용하고 이는 세부과제 10의 디지털 협업 환경을 기반으로 스마트 딜리버리 시스템을 통해 제공됨

- 프리팹 통합 공정지원을 위한 스마트 딜리버리 시스템 개발
- 프리팹 도로구조물 공정 프로세스에 대한 시스템 검증

4. 연구 추진방법

□ 추진전략 ○ 사업 내 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

- 중점분야 1, 2, 3에서 발생되는 센서 및 모든 자원의 디지털 데이터를 정형화하여 자체 DB시스템(시스템간 연계를 위해 공통 DB 활용)에 저장해야 하며, 이를 위해 표준화된 공통 DB체계를 정의해야 함. 이러한 디지털 데이터를 중점분야 4의 스마트 건설 디지털 플랫폼으로 전송·저장하기 위해서는 디지털 데이터 통합 표준 구조(예: IFC, XML 등)에 근거하여 시스템별, 주체별, 업무별 수준에 따른 정보체계 정의에 따라 변환·저장될 수 있도록 표준 매핑 및 변환 인터페이스를 통해 연계하도록 해야 함

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 4의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 4 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 12와의 협력 필요

※ 단, 중점분야 4 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 4 내의 업무협력을 총괄

○ 중점분야 4 “스마트 건설 디지털 플랫폼 개발 및 테스트 베드”의 목표인 “건설 생산 과정의 디지털화 25% 이상 향상”을 위한 구체적인 달성 방안을 도출하기 위한 디지털화 평가 인덱스(지수)를 개발하여 스마트 건설에 따른 디지털화 전과 후의 성숙도 수준 비교 평가 수행(맥킨지 글로벌 산업군별 디지털화 인덱스 참고)

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시
- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발
- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시
- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망

※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

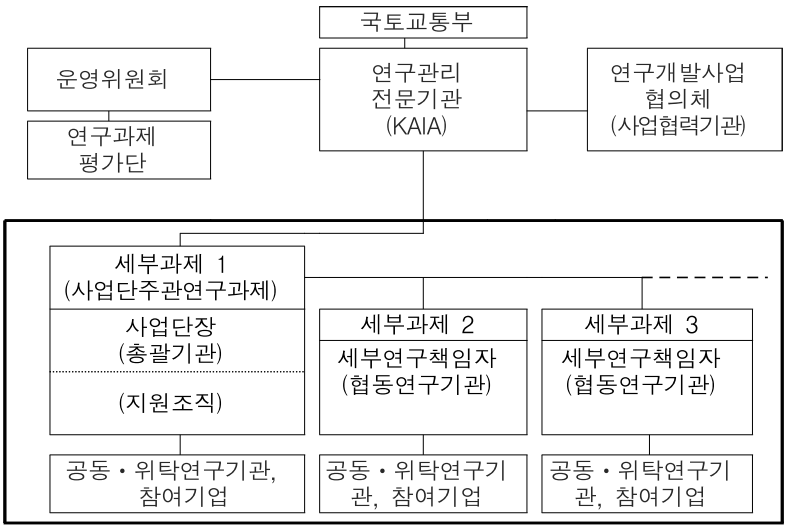
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 토목, 건축, BIM, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등 다학제 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·업체 등으로 컨소시엄 구성 요망

- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 도로 디지털 데이터 통합 표준 스키마(데이터 모델)

○ 도로 디지털 데이터 통합 표준 기술 문서(Specification)

○ 도로 디지털 데이터 통합 표준의 검증 기술 문서

○ LD 기반 지식화 표준 스키마(데이터 모델)

○ LD 기반 지식화 표준 기술 문서(Specification)

○ LD 기반 지식 전자문서 표준 스키마(데이터 모델)

○ LD 기반 지식 전자문서 표준 기술문서(Specification)

○ 디지털 데이터의 지식 표준 변환 S/W

○ 도로 디지털 데이터 품질검증 알고리즘

○ 도로 디지털 데이터 품질검증 시스템

(구성기술 2)

○ 스마트 건설지식 문서 자동 생성 및 저장 S/W

○ 자연어 처리 기반 하이브리드 챗봇 플랫폼 및 어플리케이션

○ 챗봇 기반 모바일 스마트 딜리버리 시스템

○ 이미지 객체 태깅 자동화를 통한 지식베이스 구성 자동화 시스템

○ 이미지 및 영상 내 장비, 자재, 구조물 정보 자동 연동과 객체 검색 알고리즘

○ 스마트 지식관리 시스템

○ 시계열 기반 지식데이터 시각화 알고리즘

○ 지식 시각화 대쉬보드 웹 프로그램

○ 디지털화 평가 지수(Index) 및 가이드라인

○ 디지털화 평가 지수 검증 보고서

(구성기술 3)

○ 프리팹 건설자원 흐름 최적화 알고리즘

○ 프리팹 공정 프로세스 최적화 알고리즘

○ 프리팹 통합 프로세스 지원 스마트 딜리버리 시스템

○ 프리팹 실증을 통한 스마트 딜리버리 시스템 검증 기술 보고서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 도로건설 현장으로부터 발생되는 모든 정보를 통합하여 공통된 표준으로 구축하여 활용

○ Linked Data에 의한 지식베이스 구성을 통해 다양한 외부 정보를 지식의 형태로 저장하여 빅데이터로서 활용 가능하고 데이터간 연계 체계를 통해 지식의 확장에 활용하며, 높은 품질의 지식을 제공받는데 활용

○ Smart Delivery 시스템 구축을 통해 구조물의 프리팹과 같은 모듈러 공정을 통합적으로 지원하는 시스템으로 활용 가능함

○ AI챗봇 구축을 통해 음성, 문장 및 이미지(영상) 정보를 처리하여 외부로부터 입력되는 정보를 인식하여 도출되는 결과를 지식체계로 학습함으로써 다양한 설계 및 시공지식을 제공받는데 활용

○ 연구종료 후 성과는 타 건설관련 시스템 및 기타 토목 도메인(항만, 공항 등) 외에도 건축분야로 확대적용하고 모든 시스템이 단일의 지식표준체계로 연계되어 스마트한 건설 지식서비스로 제공 될 수 있도록 통합된 기반 환경을 제공하도록 함

- 디지털 정보통합 표준은 본 과제의 통합 플랫폼 적용 확대 외에도 유사 건설정보시스템(건설 CALS, MS시스템, 지하공간통합정보시스템 및 유지관리시스템 등)에 적용하여 기존 축적된 데이터를 건설분야의 통합 지식화 체계로 확대 개발하는데 활용
- Smart Delivery 시스템은 발주청(도로공사, 지방청 또는 정부 위탁운영기관 등)에서 자체적으로 운영하되 스마트건설 관련 발주(턴키 등)시 모듈러(프리팹) 구조물 시공을 위한 주체별(발주청용, 시공사용, 모듈러 제작사 등) 활용 시스템으로 적용하도록 확대 적용함
- 지식관리시스템은 다양한 업무 도메인(설계, 시공 및 유지관리)에 대한 지식을 확대 구축하고 지속적인 AI기반 지식학습 체계 구축을 통해 도로뿐만 아니라 건설 전체에 대한 지식관리 체계로 구축할 수 있도록 기술확산 기반을 마련하는데 활용함
- 특히 챗봇은 다양한 건설정보관련 시스템의 운영 도구로서 확대 개발하도록 개발도구를 지원하도록 하고 실용화를 통한 건설분야 지식화 공통 플랫폼으로 활용하도록 기술 공개 추진
- 향후 스마트시티 플랫폼과 연계하여 본 스마트건설 데이터를 스마트시티 데이터까지 지식화 체계를 확대하고 상호 연계하여 국가 디지털 데이터 기반의 지식화 전략으로 확대 추진

□ 기대효과

○ 스마트 건설 지원을 위한 디지털 데이터의 통합 표준 개발을 통해 국제 표준을 선도하고 표준개발 자립을 통해 스마트 건설생태계 조기 확보 가능

○ 생애주기 프로세스 통합 플랫폼 구축으로 프로세스 단축 및 Seamless한 정보와 프로세스 운영으로 과학적 프로젝트 관리를 가능하게 하며, 국토교통부의 공공 스마트 건설을 위한 데이터, 정보, 지식 서비스 기술 기반 확보

○ 분산된 생애주기 건설정보를 스마트 건설통합표준을 기반으로 한 단일의 BIM Data-Hub 플랫폼 내에서 관리하므로 API구축을 통해 유관시스템의 DB 연계가 용이하고, 스마트 건설지원을 위한 부가 응용서비스 기술 개발이 가능

○ 단일의 생애주기 프로세스 및 정보통합 플랫폼 내에서 스마트 건설프로세스와 정보를 관리하므로 데이터 손실에 따른 비용 절감

○ 개발되는 스마트 건설데이터 통합 표준, 생애주기 프로세스 통합 플랫폼, 지식관리 기술 및 스마트 건설 지원 응용서비스를 통합한 패키지형 스마트 건설 기술을 개발할 수 있으며, 해외의 기술수출과 기술이전을 통해 부가가치 창출

○ 스마트 건설 데이터의 손쉬운 접근, 공유, 활용으로 전문인력 활용비용 절감 등 시간적, 비용적 측면의 업무효율성 향상과 통합 프로세스에 의한 Smart Delivery 제공으로 프로세스 생산성 획기적 개선

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)
- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 9,761백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,385백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,

- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 세부과제11

세부과제명	스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발

1. 연구목표

○ 첨단 ICBAM 기술을 도로 건설현장에 융합하여 건설단계에서 발생하는 실시간 원천데이터 수집, 저장, 관리 기술 개발

※ 타 세부과제와 연계하여 전체 건설 프로젝트 관리 관점의 데이터 수집

○ 도로 건설현장별, 공구별, 조직별, 관리주체별 최적화된 클라우드 기반 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축, 운영 및 관리 기술 개발

○ 건설 프로젝트 문서 텍스트 마이닝 기반 공종별 리스크 발생 확률 분포 자동 생성 기술 개발

○ 작업(액티비티 레벨) 및 전체 공정(네트워크 레벨) 시뮬레이션을 통한 AI 기반의 건설 프로젝트 공정계획/관리 최적화 기술 개발

○ 도로 건설 현장에 부착한 각종 센서를 통해 수집된 정보와 시공 시뮬레이션 결과를 현장 관리자에게 효과적으로 전달하기 위하여, 디지털 트윈 플랫폼에 주요 제원, 장비, 인력 등 가상의 4D 모델을 자동으로 시각화하는 기술 개발

○ 현장 작업자에게 상황에 맞는 시공 정보를 직관적으로 제공하기 위한 AR 시각화 기술 개발과 사용자가 현장에서 시공 정보에 쉽게 접근할 수 있는 디바이스 컨트롤 정의 및 제어 기술 개발

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼을 통해 생산되는 디지털 데이터 및 정보를 건설 생태계 및 일반기업과 스타트업, 국민, 데이터 과학자 등에 개방 및 공유 환경 개발

※ 사업기간 이후 스마트 건설 디지털 플랫폼의 지속적 활용을 포함

○ 구성기술별 연구개발 성능지표 및 목표

구성기술별 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
구성기술 1 : 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발			
현장 엣지시스템의 데이터 전처리 성능	1,000건/초	15,00건/초	5,000건/초 이상
현장 엣지시스템과 클라우드간 데이터 연계 성공률	80%	90%	95% 이상
현장 디바이스 연동 규모 (건설현장 장비, 센서, 시설물 등 동시 연동 규모)	-	-	500대 이상 / 엣지
현장 엣지시스템과 클라우드간 DB 또는 File 형태 데이터 전송처리 속도	-	-	DB : 20만건/초 이상, File : 100MBytes/초 이상 (1Gbps Network)

구성기술 2 : 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발			
멀티태넌트 스케줄링 성능 (여러 태넌트(노드) 간 자원사용 편차)	-	-	10% 이하
건설현장 디지털 모델 실시간 유스케이스 데이터 업데이트 시간	-	-	3초 이내
가상화된 자원, 호스트, 게이트웨이 등 모니터링 업데이트 시간	-	-	1초 이내
구성기술 3 : 디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발			
건설 프로젝트 문서 텍스트 마이닝(리스크 확률 분포)의 정확도	-	-	95% 이상
AI 기반 공정계획/관리 시스템 정확도 (공기, 비용)	-	-	80% 이상[1]
구성기술 4 : 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발			
스마트 건설 디지털 플랫폼 연동 위치기반 디바이스 대비 건설자원(장비 등)의 시각화 구현 규모	-	-	100%
점군 모델 기준 3D 모델의 AR 정합 오차	-	-	10 cm 이내
구성기술 5 : 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발			
데이터 카탈로그 규격 적용			1건 이상[2]
스마트시티 플랫폼 등 건설 데이터 연계 프로토콜 지원 건수	-	-	3개 이상[3]
Open API 지원 개수	-	-	5개 이상

1) AI 기반 시스템을 통해 추정된 공기 및 비용과 테스트베드 적용을 통한 실제 값을 비교

2) 오픈데이터 유통 관련 규격 준수

3) Rest API, HTTP, JMS 등

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 지금까지의 건설 분야는 토목기술을 위한 정보화가 진행되어져 왔으나, 최근 4차 산업혁명과 디지털 트랜스포메이션 패러다임으로 전 산업분야가 발전하고 있어 IT 기술이 융합되는 스마트 건설로의 변화와 발전이 시급함

- 건설단계에서 발생하는 다양한 데이터들이 디지털화를 통하여 실시간으로 수집 및 공유되는 체계 필요
- 건설현장의 장비, 인력, 자재 등의 운영 효율성을 확보하고, 건설 생애주기 간 데이터 흐름의 단절 없이 공유 및 활용되어 건설생태계는 물론 일반 기업과 국민들에게 제공되어 새로운 형태의 비즈니스와 서비스 창출 필요

○ 현재 도로 건설 시공 단계에서 발생하는 데이터와 정보가 운영관리 및 유지보수 단계에 이관되지 못함으로써 도로 운영 및 유지관리 시 중복 투자가 빈번하게 발생하고, 도로의 구조물과 시설물, 포장 등에 대한 정확한 상태 파악이 되지 못함으로써 유지관리의 한계 발생

○ 건설현장의 각 객체들이 디지털화되어 플랫폼에서 관리되고, 지속적으로 유지 및 갱신되며, 가상의 인프라를 통해 현실의 도로인프라가 운영 및 관리되어지는 스마트 건설 디지털 플랫폼 구현 필요

○ 기존의 현장관리는 작업자의 보고, 관리자의 관찰과 직관을 기반으로 계획, 실행, 평가되기 때문에 많은 시간이 소요되고, 파악한 현황이 실제와 상이한 경우가 많아 작업량 예측 실패, 작업지연 등이 빈번이 발생함. 따라서 프로젝트 초기단계의 각종 예측의 정확성을 높이고 시공단계에서 발생하는 돌발 상황을 신속하게 파악하기 위하여, 다양한 시공사례에 대한 빅데이터를 기반으로 한 인공지능 시스템 개발이 필요함

○ 현장 관리자는 시공 현황을 파악하기 위해 작업장에 직접 방문하기 때문에, 현장 정보의 즉각적인 자료 갱신 및 접근이 어려울 뿐만 아니라, 현장 규모 및 복잡성이 높을수록 포괄적이고 정확한 판단을 하는데 어려움이 있음. 따라서, 현장 작업 모니터링의 효율성과 정확성을 높일 수 있는 디지털 트윈 기술의 도입이 필요함

- 디지털 트윈은 실제 현장을 가상의 공간에 고스란히 복제하여 시각화하는 것을 의미하며, IoT 센싱 네트워크를 통해 수집된 현장 데이터(현장 인력, 자재, 장비의 위치 및 상태)를 기반으로 현장에서 진행되고 있는 작업현황들을 그대로 모사하고 시각화하여 off-site 관리자에게 보여줄 수 있는 플랫폼으로 고속도로의 시공 현장에 적용 시 통합적인 현장 모니터링과 가상 시뮬레이션을 통한 정확하고 신속한 의사결정을 할 수 있을 것으로 기대됨

○ PMIS, BIM 등 데이터 플랫폼 위주의 건설정보화가 이루어지고 있으나, 실제 건설현장에서는 여전히 2D 도면 및 문서들이 정보의 주요 매체이며 다양한 시공정보의 즉각적 접근성에는 한계가 있음. 따라서 건설현장에서의 정보 접근성 및 활용도를 높이기 위해 AR 정보 시각화 기술 개발이 필요함

□ 기술동향 <국내기술동향>

○ 국내 건설현장에서 영상자료 및 스마트 태그 등과 같은 센서를 통해 현장정보를 추출해 내고 분석한 사례가 존재하지만, 그 활용 범위가 중장비

의 위치 정보를 기반으로 한 주변 작업자의 안전 확보에 국한되어 있음

○ 제조업 분야에서 공법 및 현장조건 등에 따른 공기, 비용, 안전의 개략 예측을 위한 빅데이터 기반의 알고리즘이 개발되고 있음

○ 디지털 트윈 및 CPS 관련 연구가 아직 걸음마 단계에 머무르고 있으며 특히 조직화된 대규모 연구 및 그에 걸맞은 지원이 매우 부족함

○ AR/MR 기술을 건설 산업에 적용하기 위하여, 지리정보 기술과 정보 처리가 혼합된 시스템 개발, 콘텐츠 제작, 플랫폼 개발 등 여러 연구들이 진행되고 있음. 그러나 설계 단계에 생성된 3D 정보 모델의 재사용 측면에서의 한계가 있으며, 콘텐츠 컨트롤 기술 부족과 적용 대상 및 분야가 한정적임

○ 공공데이터 포털(data.go.kr)
- 공공데이터포털(data.go.kr)은 정부가 보유한 다양한 공공데이터를 개방하여 누구나 편리하고 손쉽게 활용할 수 있게 하는 것이 목적임
- 현재 정부 각 부처는 다양한 보유데이터를 공공데이터포털과 연계하여 서비스하고 있으며, 일반 국민들은 이 데이터를 활용하여 다양한 시각화와 서비스에 이용이 활성화 되어 가고 있는 추세임

○ 고속도로 공공데이터 포털(data.ex.co.kr)
- 한국도로공사에서 보유한 다양한 고속도로 공공데이터 정보(교통, 건설, 유지관리, 일반 행정, 통행료, 휴게소 등)를 고속도로 공공데이터 포털(data.ex.co.kr)을 통해 OpenAPI로 제공

○ 오픈데이터 유통플랫폼(datastore.or.kr)
- 한국데이터베이스진흥원은 공공문화 데이터 유통 활성화를 위해 데이터 스토어(www.datastore.or.kr)를 구축 및 운영 중
- 데이터 스토어를 통해 데이터 판매자들은 환경/에너지, 통계, 지리, 교통 등 다수 분야의 데이터들이 무료 또는 유료로 판매하고 있고, 구매자들은 데이터를 이용하여 다양한 분석과 서비스를 제공하고 있음

○ M2M/IoT 플랫폼
- 한국전자부품연구원에서는 M2M/IoT 표준을 지원하는 오픈소스 IoT 서비스 플랫폼을 개발하여 상용화하였고, 부산시, 고양시 등 IoT 실증단지 구축, 스마트팜, 통신사 IoT 플랫폼 등으로 적용되고 있음

○ 공공분야 클라우드 정책 및 G-Cloud 플랫폼
- 정부는 '15년 클라우드 발전법 시행령 제 23조에 의거 품질·성능·정보보호 고시를 제정하였고, 관리적·물리적·기술적 보호조치 및 공공기관 보호조치 등 14개 부문 118개 통제항목을 정함

- KT는 공공기관 전용의 G-Cloud를 구축하여 국회도서관 학술정보통합시스템, 평창 동계올림픽 게임관리 시스템 등 다수의 공공기관 서비스를 클라우드로 구축하여 제공하고 있음

<국외기술동향>

○ IoT 기술을 기반으로 하여 작업자 및 중장비를 통해 얻을 수 있는 데이터, 영상 자료 등을 수집·분석하고 있으며, 이를 이용한 빅데이터 시스템을 개발 및 적용하였음

○ 건설산업에서 인공지능은 유지관리 단계에서 구조물의 상태평가 및 손상 추정을 위해 사용되거나, 시공 단계에서 안전사고를 줄이기 위해 활용되고 있음

○ 디지털 트윈 기술은 주로 제조업에서 생산 시설 또는 제품의 변화를 시뮬레이션하기 위한 용도로 개발되고 있음. 건설산업에서는 도시의 디지털화를 통한 도시 개발 및 유지관리의 목적으로 기술이 개발이 시작되고 있으나, 아직 상용 수준의 가시적인 성과가 이뤄지진 않은 상태임

○ 다양한 모바일 기기 및 플랫폼을 통해 현장에서 건설정보들을 탐색할 수 있는 기술들이 개발되었으나, 사용자가 원하는 정보를 자동 선별하여 정확한 위치에 표현하는 기술은 아직 미비함. 또한 현장에서 쉽게 활용할 수 있는 모바일 기기 및 UI 기술 개발이 필요함

○ 스마트시티 분야 디지털(버추얼) 시티 구현
- (도시 가상화) 버추얼 싱가포르는 스마트 국가사업으로 추진되고 있고, 도시 전체 모습을 3D화하고 시뮬레이션 할 수 있는 도시의 디지털 트윈 구축('15~'19년까지 약 800억원 사업비 투입)
- 전 국토의 건축, 도로 등 도시 관리 요소에 가상현실을 적용하여 결과 예측·재해재난예방 시뮬레이션 실시하고 도시계획에 활용

○ 스마트시티 프로젝트
- 최신의 ICBAM 기술을 기존산업에 가장 활발하게 융합시키는 분야로 해외에서 다양한 프로젝트들이 추진 중
- 밀턴킨스 프로젝트에서는 도시 데이터를 기반으로 한 수요 반응형, 맞춤형 시민 생활 지원 서비스를 제공하는 것으로 추진
- 네덜란드 암스테르담 및 스페인 바르셀로나의 스마트시티 프로젝트는 개방형 빅데이터와 통신 네트워크, 도시 인프라를 기반으로 스마트 모빌리티와 스마트 리빙서비스를 제공하고, 환경 및 시설 데이터를 모니터링 및 분석하여 시민들에게 제공하는 플랫폼을 제시
- 전 세계적으로 공공데이터 개방 포털을 구축하기 위하여 가장 많이 활용

된 기술은 CKAN(Comprehensive Knowledge Archive Network)으로서, 미국과 영국 정부의 Open Data 포털을 비롯하여 다수의 국가에서 활용되었고, 주요 기능으로는 데이터셋에 대한 CRUD API 제공과 메타데이터 관리, 데이터 하베스팅, 데이터 발행 및 관리가 있음

- Socrata Open Data Portal은 Socrata에서 개발한 클라우드 기반의 상용 공공데이터 플랫폼으로 뉴욕 공공데이터 포털, 시카고 공공데이터 포털 등에서 활용되었고, 데이터셋에 대한 발행, 검색, 비교 및 시각화 기능을 포함하며, 설치, 운영이 용이함
- CityPulse 프로젝트는 스마트 도시를 위한 대규모 데이터 분석 프레임워크를 제공하는 것으로 목표로 추진됨
- Fiware는 유럽연합(EU) FI-PPP(Public-Private Partnership : 민관 파트너십)에서 개발 및 배포하고 있는 오픈소스 기반 스마트시티 서비스 플랫폼으로, 클라우드 환경에서 다기능의 오픈 API를 제공, IoT를 손쉽게 연결, 빅데이터 분석, 실시간 미디어 처리, 사용자 상호 작용을 위한 고급 기능을 지원함

3. 연구내용

(구성기술 1) 실시간 건설현장(도로시공)데이터 수집 및 관리 기술 개발

○ 엣지컴퓨팅 기반 건설현장 IoT센서, CCTV, 계측데이터 등 이종 또는 다종의 데이터 실시간 수집 및 현장장비, 시설물 등 연계기술 개발

- 건설현장에서 IoT 네트워크를 지원하는 통신망을 통해 실시간으로 데이터를 수집하고, 실시간 영상데이터와 같은 고용량/대용량 스트림 데이터 수집 기술 개발

  ※ 타 세부과제와 연계하여 전체 건설 프로젝트 관리 목적의 데이터 수집

- 건설현장의 장비, 디바이스, 시설물 등과의 원격 연동 기술 개발
- 센서, 디바이스, 시설물 등 IoT 프로토콜 또는 기존 통신 프로토콜을 통해 연결되는 각종 센서와 디바이스, 시설물 등을 연결하기 위한 확장성 있는 프로토콜(어댑터) 호환성 확보 기술 개발
- 건설현장의 센서 및 디바이스 관리, 펌웨어 관리, 등록/탐색, 그룹관리 기술 등 개발

○ 유관기관, 기존 시스템 등 Real-time/Historic 외부데이터 수집 및 연계 기술 개발

- 공공기관(기상청, 한국도로공사, 한국환경공단 등)에서 제공하는 오픈API 및 정부 공공데이터 포털의 오픈API 등을 활용한 데이터 연계 기술 개발
- 기존 유지되고 있는 건설CALS, 도로공사 기존 시스템 등과 연계하기 위한 ESB(Enterprise Service Bus) 기반의 실시간/배치 연계 기술 개발
- 스마트 건설 디지털 플랫폼과 스마트시티 플랫폼 간 정보 연계 기술 개발

○ 건설현장 및 유지관리 단계에서 발생하는 방대한 원시데이터(정형/비정형)의 Data Lake 구축 및 운영 기술 개발

- 수집된 데이터에 대한 품질관리 정책에 따른 클린징, 의미 있는 또는 관심 있는 데이터를 추출하기 위한 필터링 및 데이터 관리·활용 정책에 따른 분류 기술 개발
- 방대한 원시데이터의 다양한 활용과 분석환경 제공을 위한 Data Lake 구축
- 이용자별, 이용 목적별, 관점별 독립된 원시데이터 분석환경 제공 및 검색, 질의 등을 위한 활용기술 개발

(구성기술 2) 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발

○ 건설현장과 운영센터 환경을 고려한 클라우드 기반 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발

- 건설현장, 운영센터의 환경을 고려해 스마트 건설 디지털 플랫폼을 Public/Private 또는 Hybrid 형태의 클라우드로 구축
- 스마트 건설 디지털 플랫폼 운영 및 관리 기술 개발
- 사용자별, 조직별, 서비스별로 자원할당 및 제어 기술 개발
- SLA 기반 디지털 플랫폼 운영 및 서비스 관리 기술 개발
- 가용자원 및 서비스에 따른 효율적인 자원 스케줄링 기술 개발
- 가상화된 자원 또는 호스트, 게이트웨이 등 모니터링 기술 개발
- 중앙 집중 또는 분산형, 현장 엣지 클라우드 방식의 디지털 플랫폼 운영 및 연계 기술 개발
- 스마트 건설 디지털 플랫폼 서비스(음성인식, 영상전송 등) 지원 기술 개발

○ 도로 건설현장 실시간 통합 관제 기술 개발

- 실제 도로 건설현장을 모델링한 디지털 모델을 활용하여 도로 건설현장의 시공 상황, 이벤트 발생, 인력 및 장비 위치 등 실시간 통합 관제 기술 개발
- 도로 건설현장 디지털 모델 유스케이스(시공 상황, 작업자/장비 위치모니터링 등) 개발
- 디지털 트윈 기술을 활용하여 실제와 가상이 연동되는 디지털 관제 구현

○ 디지털 모델 기반 운영 상황 분석 결과에 따른 실시간 현장 대응 기술 개발

- 현장 운영상황, 돌발상황 발생 등에 따라 현장 장비 및 인력 등의 운영을 지원하기 위한 정보 제공기술 개발
- 디지털 모델을 통해 분석된 결과에 따라 인공지능 기반 현장 지원 기술 개발

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 운영 및 활용 방안 마련

- 유관기관과의 협의 등을 통해 지속 가능한 운영 및 활용 계획서 제시

(구성기술 3) 디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발

○ 텍스트 마이닝 기반의 건설 프로젝트 리스크 발생 확률 분포 자동 생성 기술 개발
- 건설 프로젝트 문서(작업일보, 사고 내역서 등) 텍스트 마이닝을 통한 리스크 발생 확률 분포의 기초자료(Key-value) 생성 기술 개발
- 기초자료(Key-value)의 분석을 통한 건설 프로젝트의 공종별 리스크 발생 확률 분포 자동 도출 기술 개발

○ 건설 프로젝트 공정계획/관리 최적화를 위한 시뮬레이션 기술 개발
- 작업(액티비티 레벨)의 공기 및 비용을 생산성 및 지연요소를 반영하여 실제와 유사하게 예측할 수 있는 Discrete Event 기반의 디지털 트윈 작업 시뮬레이션* 기술 개발 및 시뮬레이션 데이터 생성

  * 타 세부과제의 시뮬레이션 결과를 디지털 트윈 작업 시뮬레이션 전제조건으로 활용
- 작업 시뮬레이션 데이터와 공종별 리스크 발생 확률 분포를 반영하여 실제와 유사한 조건에서의 전체 공정(네트워크 레벨) 시뮬레이션 수행을 통한 AI 기반의 공정계획/관리(공기 및 비용) 최적화 기술 개발

(구성기술 4) 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발

○ 디지털 트윈 모델 기반의 시공 모니터링 및 시각화를 위한 4D 가상모델 구현 기술 개발
- 도로 건설현장에서 활용되는 주요 구성요소들의 3D 가상모델 라이브러리 구축 및 4D 시뮬레이션 구현(형상/위치/상태 및 공정에 따른 자원 간 상호관계 모델링)을 위한 동작 기반 모델링 기술 개발
- 시공에 투입되는 물리적 자원들의 4D 시뮬레이션 구현을 위한 기본 API 라이브러리 개발

○ 현장의 공정 정보 활용도 제고를 위한 디지털 트윈 모델 기반의 AR 시각화 모듈 개발
- 현장 맞춤형 정보 제공을 위한 사용자 위치, 참여 공정, 공정 상태 등을 AR 기기로 수집된 데이터로부터 추정/추출하는 기술
- 시공정보 시각화 디자인, 디바이스 컨트롤 등 AR 인터랙션 및 사용자 인터페이스 기술 개발

(구성기술 5) 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼에서 제공하는 디지털 데이터 및 정보의 공유를 위한 데이터 포털 구축
- 디지털 플랫폼에서 제공하는 다양한 디지털 데이터와 각종 통계정보, 분석 정보들을 공유 및 유통하기 위한 스마트 건설 데이터 포털 구축
- 스마트시티 플랫폼 등 타 플랫폼에서 스마트 건설 디지털 플랫폼을 활용

하여 인프라 잔존수명(설계수명-공용수명), 대보수주기 예측 등을 할 수 있도록 지원해주는 데이터 연계 기술 개발
- 디지털 플랫폼에서 제공하는 공개 데이터(데이터셋)에 대한 검색, 다운로드, 시각화 등을 지원하는 서비스 개발

○ 스마트 건설 디지털 플랫폼 활용성 제고를 위한 Open API 개발
- 스마트 건설 디지털 플랫폼을 통해 제공되는 데이터와 서비스들을 기업, 스타트업 또는 일반인이 자유롭게 활용할 수 있는 생태계 환경을 지원하기 위한 개방형 API 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 타 중점분야 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

- 타 중점분야 과제들에서 제공되는 데이터의 수집 및 연계, 상호간 인터페이스 개발 등 연동방안을 구체적으로 제시하고, 특히 스마트 건설사업에서 발생하는 데이터의 클라우드 기반 Data Lake 구축을 통한 공유 및 활용체계 제시

※ 타 중점분야 과제와의 연계 예시 : 세부과제 10의 디지털 데이터 통합 표준화 성과물을 반영한 Data Lake 구축 계획을 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 4의 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위해 중점분야 4 내 업무협력을 총괄 수행하는 세부과제 12와의 협력 필요

※ 단, 중점분야 4 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 4 내의 업무협력을 총괄

○ 개발되는 클라우드 기반 스마트 건설 디지털 플랫폼을 연구기간 내 타 세부과제들에서 활용할 수 있도록 제공해야 하고, 테스트베드 대상 도로에 플랫폼 구축 및 운영방안을 제시하여야 함

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시
- 1단계('20~'21) : 중점분야 내 핵심/구성기술 개발

- 2단계('22~'23) : 중점분야 간 핵심/구성기술 연계
- 3단계('24~'25) : 종합 테스트베드 적용 및 검증

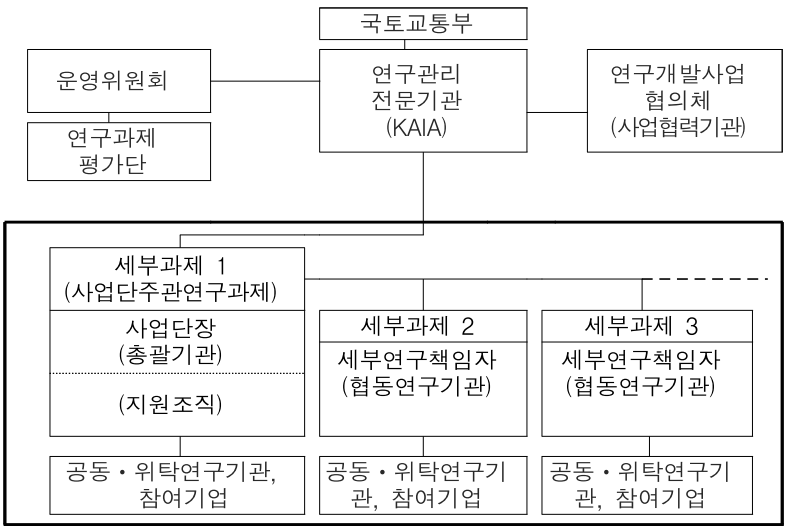
○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시
- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시
※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고
※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 스마트시티 사업단, ICT 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공 기술 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 연계·활용 방안 등 제시 요망
※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 전문가 자문단을 구성하여 기술적·정책적·경제적 사항에 대한 자문 필요

○ 연구 착수시점 기술현황과 연구개발 종료 후의 기술예측에 대한 대비가 가능하도록 개발기술별로 AS-IS와 TO-BE를 구체화하여 제시

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 스마트시티, 스마트건설, 클라우드, 빅데이터 등 연구 및 사업 경험을 보유한 기업·연구기관 등으로 컨소시엄 구성 요망

- 향후 플랫폼의 테스트베드 적용 및 운영을 위해 사업단 및 테스트베드 운영주체와의 협업체계 구축
- 필요시 해외 선도기관과의 국제공동연구 및 해외 전문가 활용 계획 등을 포함하여 구성

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료・기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 건설현장 실시간 데이터 수집 및 현장장비 등 연계 SW(플랫폼 모듈)

○ 건설현장 원시데이터(정형/비정형)의 Data Lake

(구성기술 2)

○ 클라우드 기반 스마트 건설 디지털 플랫폼

○ 디지털 모델을 통한 시공 상황, 이벤트 등 실시간 통합 관제 SW(플랫폼 모듈)

(구성기술 3)

○ 텍스트 마이닝 기반 건설 프로젝트 리스크 발생 확률 분포 자동 도출 SW(플랫폼 모듈)

○ 디지털 트윈 작업 시뮬레이션 빅데이터 및 건설 프로젝트 공정계획/관리 최적화 AI SW(플랫폼 모듈)

(구성기술 4)

○ 도로 건설현장에서 활용되는 주요 구성요소들의 4D 가상모델 라이브러리 및 모델링 SW(플랫폼 모듈)

○ 디지털 트윈 모델 기반의 현장 맞춤형 정보 제공을 위한 AR 구현 SW

○ 도로 건설현장 사용자의 편의성을 고려한 인터랙션 및 사용자 인터페이스 등 AR 콘텐츠 디스플레이/제어 SW 및 API 라이브러리

(구성기술 5)

○ 스마트 건설 디지털 데이터 및 정보의 공유를 위한 데이터 포털

○ 스마트 건설 디지털 데이터 카탈로그

○ 스마트 건설 데이터 활용을 위한 Open API

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 건설분야의 오픈데이터는 건설생태계는 물론 건설 사업으로 인한 국가, 도시, 행정, 환경, 교통 등 다양한 산업분야로의 파급효과가 매우 클 것으로 예상되므로, 다른 공공데이터 개방 전략과 마찬가지로 정부차원의 플랫폼 보급, 법제도 검토, 입찰제도 개선을 통한 과감한 기술도입과 가점제도 등을 통해 활성화 필요

- 디지털 플랫폼의 실용화를 위해 개발되는 플랫폼을 참조표준화하고, 개발되는 SW는 오픈소스 라이선스로 보급하여 다양한 발주처 건설 사업에 활용
- 디지털 플랫폼을 구성하는 요소기술(제품)들은 발주처 또는 건설사에서 경쟁력 있는 상용제품과 오픈소스들을 자유롭게 활용할 수 있도록 가이드라인을 제시하여 이미 상용 SW제품들로 시장이 형성된 BIM, DBMS, 데이터연계 솔루션, 보안솔루션 등의 시장도 활성화 촉진시켜 전체적인 산업생태계 발전 도모

○ 공공 및 민간분야에서 발주되는 건설 사업에 신기술 적용을 활성화 시킬 수 있는 법제도 마련 및 가점제도를 운영하여 국가적 건설 분야 활성화 촉진 및 다양한 신규 서비스 창출

○ 본 연구를 통해 구축된 디지털 트윈은 공사의 제일 하위 단계인 단위작업의 생산성 및 리스크를 분석하여 적용되므로 Bottom-Up 방식으로 설계가 가능하여 설계단계에서도 신뢰도가 높은 비용관리, 공정관리, 자원관리 계획 수립에 활용이 가능함

○ 시공 시 발생하는 이벤트로 인한 리스크의 발생 확률과 시점을 인공지능을 통해 사전에 제공하며 이와 더불어 시각화 시뮬레이션 결과를 제공하므로 작업자 수준의 예방적인 안전관리 방안 수립에 활용이 가능함

○ 비정형 데이터의 정형화 알고리즘의 개발 및 디지털 트윈 기반 시뮬레이션 기법은 건설 산업 뿐 아니라 타 산업에서도 널리 활용될 수 있는 기술로써 4차 산업혁명의 기반기술로 활용될 가능성이 다분함

○ 특히 설계 및 시공단계에서 제작 및 활용된 디지털 트윈은 유지관리에도 폭넓게 활용 가능하며, 인공지능 기반의 기술을 통해 구조물에 미칠 다양한 리스크의 분석은 구조물의 예방적 유지관리에도 효과적으로 활용될 수 있음

□ 기대효과

○ 과학기술적 측면

- 건설 분야 실시간 현장 데이터 수집 및 연계 기술을 통한 생산성과 안전성 향상

- 건설분야의 방대한 정형, 비정형 데이터의 축적, 관리, 분석, 활용 기술 확보
- 폐쇄적인 건설 분야 정보 활용 수준에서 일반 기업과 국민들에게 건설정보의 개방 및 공유를 통해 혁신적인 서비스 창출
- 센서 제어 및 접근, 3차원 모델의 실시간 동기화, 데이터 기반의 지능형 시뮬레이션 등의 기술 융합을 필요로 하는 새로운 연구 분야로서, 여러 분야의 다학제간 연구방법을 제시
- 가상 플랫폼을 통한 데이터의 축적은 데이터 기반의 인공지능 기술 개발을 위한 밑바탕이 되며, 이러한 빅데이터를 바탕으로 3차원 시뮬레이션 및 기계학습을 통해 지능적 현장 관리 구현 가능
- 디지털 트윈을 건설 시공단계에 적용하는 세계적 첫 시도가 될 것이며, 전체 프레임웍을 구성하고 있는 요소 단계마다 원천기술을 확보

○ 사회경제적 측면
- 건설 오픈 데이터 적극 개방하여 이를 이용하는 다양한 기업, 특히 스타트업들의 출현을 촉진하고, 다양한 4차 산업 서비스의 창출을 통한 경제발전 촉진
- 타 산업분야보다 낙후된 건설 분야의 IT/정보화 수준을 한 단계 끌어올려 최신의 정보통신 기술과 서비스가 구현됨으로써 건설 분야 시장 활성화 예상
- 건설 공정의 실시간 모니터링 및 데이터 축적을 가능하게 함으로써 건설 생산성 향상 및 시장성 확대 효과
- 운영비용 및 생산시간을 획기적으로 감소시킨 제조업의 사례처럼 공정 및 구조물의 실시간 모니터링 및 이상 징후에 대한 즉각적인 대응을 통해 생산성 향상
- 지능형 정보 플랫폼으로서 도로 인프라와 관련된 다양한 정보를 담을 수 있는 열린 환경을 제공하며, 또한 공공 시설물에 대한 민간의 접근성을 높여줌으로써 도로 서비스 분야의 새로운 시장 개척 및 부가가치 창출
- 해외 시장에서 스마트 건설 기술 분야 선도

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04~2025.12(5년 9개월)
- 1차년도 연구기간 : 2020.04~2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 16,780백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 2,390백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 본 과제의 연구성과인 ‘스마트 건설 디지털 플랫폼’은 국가 소유를 원칙으로 하되, 추후 유관기관 간 협의를 통해 조정 가능

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 디지털 플랫폼 관련 중점분야간 정보가 다음과 같이 연계되도록 하며, 일부 정보를 가감할 경우, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

중점 분야	계획·설계		시공	
	받는 데이터	생성/제공 데이터	받는 데이터	생성/제공 데이터
1	- 중점분야 4: 리스크 확률분포 및 지연 영향도	- 초기 지형정보	- 중점분야 2: BIM 설계 (변경 시 Update) - 중점분야 4: 작업 시뮬레이션 데이터	- As-built 지형정보, - 장비투입 계획, - 토취장/사토장위치, - CPS 시각화 분석 (충돌체크 등),

중점 분야	계획·설계		시공	
	받는 데이터	생성/제공 데이터	받는 데이터	생성/제공 데이터
				- 유토 곡선 (변경 시 Update), - (토공)장비위치 - 장비 이상행동 감지, - 현장센서(분진, 진동 등) - 상세공정 작성 및 update(투입장비 배치계획 등 포함)
2	- 중점분야 1: 초기 지형정보 - 중점분야 4: BIM표준구조 - 중점분야 4: Prefab 부재조달(Delivery) 정보 - 중점분야 4: 리스크 확률분포 및 지연 영향도	- BIM 설계(물량, 개략공정, 부재정보 포함) - 가시설물 BIM 설계 - Prefab 제작 계획 - Prefab 부재 정보(형상, 품질 등)	- 중점분야 1: As-built 지형정보 - 중점분야 4: 작업 시뮬레이션 데이터	- BIM 설계 update - As-built 구조물형상정보(부재 위치 포함) - (구조물 시공)장비 위치 - 상세공정 작성 및 update(투입장비/인력/자재 배치계획 등 포함)
3	- 중점분야 4: BIM 표준구조(가시설물) - 중점분야 2: 가시설물 BIM 설계 - 중점분야 4: 리스크 확률분포 및 지연 영향도		- 중점분야 2: BIM 설계(updated) - 중점분야 1, 2: 상세공정(updated) - 중점분야 1, 2: 장비위치 - 중점분야 2: As-built 구조물형상정보(부재 위치 포함) - 중점분야 4: 작업 시뮬레이션 데이터	- 기존 현장 영상 데이터 - 해당 현장 영상 데이터 - 계측(지반, 임시구조물, 인력-바이오, 위치 등) - 안전 분석 결과 (위험도-개인별, 가시설물별, 목적물별, 작업자의 이상행동 감지) - 가시설물 BIM 설계 Update
4	- 중점분야 1: 초기 지형정보 - 중점분야 2: BIM설계(물량, 개략공정, 부재 정보 포함) - 중점분야 2: 가시설물 BIM 설계	- BIM 표준구조 - 리스크 확률분포 및 지연 영향도	- 중점분야 1: As-built 지형정보 - 중점분야 2: BIM 설계(updated) - 중점분야 1, 2: updated 상세공정(투입장비/인력/자재 배치계획 등 포함) - 중점분야 1, 2: 장비위치 - 중점분야 3: 가시설물 BIM 설계(updated), 현장 영상데이터, 계측(인력, 위치 등)	-Prefab조달정보 (Delivery), - 작업 시뮬레이션 데이터

※ 받는 데이터에 표시된 중점분야는 해당 데이터를 생성하는 중점분야를 지칭함. 모든 데이터는 중점분야 4의 스마트 건설 디지털 플랫폼에 취합되어 타 중점분야에 제공됨

□ 세부과제12

세부과제명	스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발

1. 연구목표

○ 스마트 건설기술이 도로사업의 생산성, 공기단축, 재해율 감소, 디지털화율 증가에 기여할 수 있도록 실제 사업과 종합 테스트베드가 연계되도록 여건을 수립하고 이를 통해 현재의 사업관리에서 수정해야 하는 절차, 제도, 설계 및 시방규정을 도출

○ 각 세부과제가 수행한 연구결과를 도로사업에 적용할 수 있도록 여건을 마련하고 기술의 적용성을 평가하고 종합 테스트베드를 협업을 통해 수행할 수 있도록 스마트 건설기술 종합 운영센터를 구축

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구
- 스마트 건설의 구성기술 전 분야의 기술을 종합적인 검증이 가능한 종합 테스트베드에 대한 계획 및 통합관리방안 연구가 필요
- 스마트 건설기술이 참조기술이 아닌 현재 사업 관리 규정 및 절차를 대체할 수 있는 방안 마련이 필요
- 연구 대상 현장에서 수집되는 데이터를 기반으로 현장의 환경변화에 대한 즉각적인 대응방안 마련과 시방서, 표준화, 정책을 수립하기 위한 연구가 필요
- 스마트 건설 R&D의 정량적, 정성적인 성과를 도출하기 위한 기술 적용성 평가 및 시공 적용방안의 수립이 필요

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축
- 현장에서 수집되는 데이터에 대한 분석과 검증을 통해 즉각적인 대응방안 마련과 관리기술의 고도화를 위한 종합 테스트베드가 현재의 도로 사업관리의 혁신을 위해 구축되어야 함
- 다양한 도로/토공사 현장, 자동화 건설장비, 건설현장 안전 및 다양한 ICT기술이 고려된 스마트 건설통합관제기술 개발이 필요
- 종합 테스트베드 내에서 발생하는 데이터를 수집하기 위한 공간적 환경과 도로사업에서의 사업 참여자의 능동적 참여가 가능한 시설적 환경을 위해 스마트 건설기술 종합 운영센터 필요

□ 기술동향

○ 최근 스마트시티, 건설분야에서도 ICBAM 기반 버추얼팩토리, 가상도시 연구가 진행되고 있고 교통/안전/재난 등 다양한 분야에서 적용되고 있으나, 연구사업별 테스트베드를 선정하여 실제 운영을 위해 시스템 통합에 어려움이 있음

○ 영국에서는 디지털 기술 기반으로 “Digital Built Britain” 전략하에 Level 3 BIM 기술 기반의 스마트 인프라 전략을 추진하고 이를 위해 필요한 계약, 표준을 개발하고 이를 세계 시장 기술 우위의 수단으로 설정함

○ 영국의 Highways England는 innovation hub를 통해 사업 참여자들의 공유 체계를 구축하고 이를 통해 설계 생산성, 설계 요구사항의 고도화, 도로 구성품의 표준화를 통한 사업비 절감을 추진하고 있음

○ 또한 건설분야에서도 디지털 트윈을 구축하여 건설비용과 시간을 절감하기 위한 프로젝트들이 시작되고 있으나, 도로 건설 단계는 물론 유지관리 단계까지 가상 인프라와 현실 인프라를 연동시켜 운영 및 관리하는 단계에는 미치지 못하고 있음

○ 미국의 e-construction에서는 paper-free를 목표로 설정하고 건설 프로젝트에서의 사업기간 단축을 목표로 관련 기술과 절차를 개발하고 그 효과를 정량적으로 평가하고 공유하는 노력을 진행 중임

○ 세계적으로 통용되고 있는 규제 샌드박스는 비즈니스 환경으로 ‘미래 기술의 사회실증의 장’을 만들고 그 안에 새로운 아이디어나 비즈니스 모델의 가시성을 실험하기 위한 대응책임

○ 최근 전 세계적으로 4차 산업혁명의 협력적·수평적 관계에 기반을 두고 상호간의 통합 및 연계가 가능하도록 혁신하기 위하여 거버넌스 체계 및 법제도 개선에 대한 중요성이 부각

○ 프로젝트 경험과 지식을 서로 공유하고 상호 연계하여 발생되는 시너지 창출을 목표로 싱가폴 스마트네이션 등 행정조직의 일원화, 바르셀로나 시티 프로토콜 소사이어티, 미국 GCTC 등 관련 기관이 공동으로 접근해 문제를 해결하는 소사이어티 프로그램을 구축할 예정

○ 영국, 싱가포르 등은 4차 산업혁명의 사회실증 수단으로 건설, 핀테크, 스마트시티, AI, IoT 기술 등에 대해 규제 샌드박스를 도입하는 등 표준화, 법제도 개선의 중요성을 강조

○ 일본은 Society 5.0(4차 산업혁명)의 사회실증 수단(구체적인 대상은 핀테크, 스마트시티, AI, IoT 기술 등)으로 규제 샌드박스 제도를 도입하고 있고 싱가포르, 아부다비, 홍콩, 호주, 말레이시아, 대만 등도 자국의 특성에 맞게 추진

3. 연구내용

(구성기술 1) 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 실용화 기반 조성
- 종합 테스트베드 조사, 확보 및 발주관리 지원
- 연구성과 관리 및 지원시스템 구축
- 스마트 건설기술 국가 표준 및 시방서(안) 수립
- 스마트 건설기술 정책 개발 및 제도 개선

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 설계 및 검증방안 개발
- 스마트 건설기술의 예비조사 및 기본설계
- 종합 테스트베드 현장(공구) 대상 스마트건설기술 상세설계
- 스마트 건설기술 검증 절차 및 지표 개발

※ 예비조사 : 각 세부과제에서 개발되는 스마트 건설기술 중 기술완성도, 현장여건 및 공사여건 등을 감안한 종합 테스트베드 적용기술 조사

※ 기본설계 : 대상공종, 위치 및 적용시기 등을 고려한 개략적인 설계

※ 상세설계 : 종합 테스트베드 현장에 대한 공사비 산출, 도면 및 시공계획 등 작성

(구성기술 2) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

○ 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 검증
- 종합 테스트베드 부지 조성 및 개발기술 적용
- 스마트 건설기술의 현장 적용성 평가

○ 스마트 건설기술 종합 운영센터 구축 및 관리
- 스마트 건설 디지털 플랫폼과의 연계기술 개발
- 통합관제 콘텐츠 표출 및 시각화 기술 구현
- 통합관제를 위한 제어신호 처리 기술 개발
- 종합 테스트베드 운영을 위한 유·무선 통신망 구축

※ 종합 운영센터 : 종합 테스트베드 현장을 관리하며 개발기술의 통합검증 작업을 지원, 현장 모니터링 및 통합관제를 수행하는 시설과 조직을 의미

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 사업 내 타 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 중점분야 4(스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드)는 중점분야 1~3 기술을 종합 검증함으로써 사업 성공 여부에 가장 큰 영향을 미치는 분야이므로 타 분야 기술과의 연계가 중요

○ 해당 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안 제시

- 중점분야 내 목표 달성, 연구성과 연계 및 검증 등 중점분야 내 세부과제와의 연계 및 협력방안을 구체적으로 제시

※ 본 사업의 목표는 4개 중점분야별 목표로 이루어져 있으며, 중점분야별 목표 달성을 위해서는 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 검증이 중요

○ 중점분야 4의 전체적인 연구성과 연계 및 현장적용 등을 위하여 본 세부과제(세부과제 12)는 중점분야 4 내의 세부과제 및 사업단 총괄기관과의 업무협력 등을 총괄하여야 함

※ 단, 중점분야 4 내의 타 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 해당 세부과제가 중점분야 4 내의 업무협력을 총괄

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술과 연차별 목표를 수립, 이에 따른 연차별 세부 연구내용과 추진전략 및 일정계획, 핵심성과 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)을 구체적으로 제시하고 정량적 핵심 성과목표를 제시

○ 6년 사업기간을 3단계(2+2+2)로 구분하고, 단계별 추진전략 제시

- 1단계('20~'21) : 종합 테스트베드 기본 계획안 및 제도개선안
- 2단계('22~'23) : 스마트 건설기술 부분적 적용 테스트베드
- 3단계('24~'25) : 전체 스마트 건설기술 적용 종합 테스트베드

○ 본 세부과제 최종 연구목표에 따른 연차별 목표를 구체적으로 제시하고, 성과물 및 TRL을 포함한 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 제시

- 구성기술 자체 개발 또는 도입 등 기술 확보 전략을 명확히 제시
- 구성기술의 개발 수준을 TRL로 표기하고 이에 합당한 근거를 제시

※ 기획보고서 상의 TRL, 기술개발로드맵, 성과지표 및 목표치 등 참고

※ 동 자료는 향후 본 과제 추진시 진도점검 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 성과물의 실용화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급 효과 및 산출근거 제시

- 수요자가 활용 가능한 성과물 형태 제시

○ 스마트시티 사업단 등 기존 선행 과제와의 중복검토, 선행 연구결과와의 구체적인 연계 및 통합 활용방안 등 제시

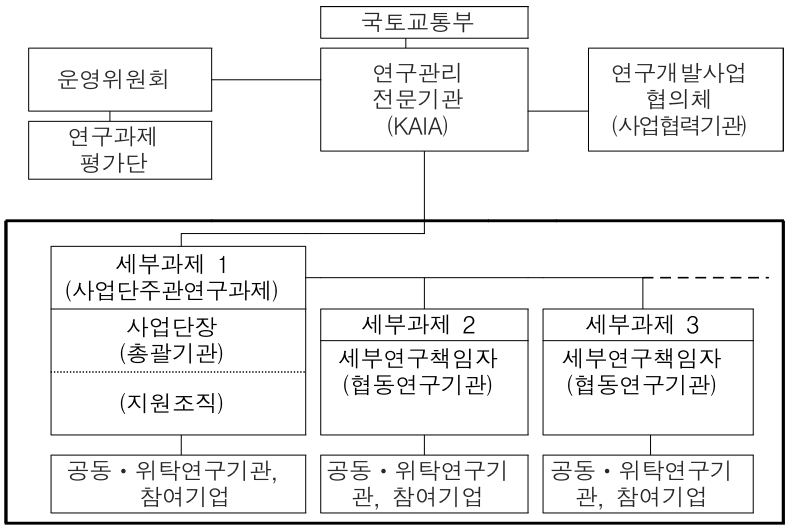
※ 기획보고서, www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제목록 등 참고

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 경우 협약 해약 가능

○ 각 세부과제에서 개발되는 스마트 건설기술을 포괄적으로 조율할 수 있는 스마트 건설의 검증방법 및 체계 마련

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토・심의・조정 실시

○ 사업단 내 중점분야 1~4와의 연계성 확보 및 협조체계 구축 필요

○ 신청자는 선정 이후 사업단에 편입되어 통합 추진됨을 고려하여 연계 전략을 면밀히 수립하여 제시 필요

○ 참여기업은 참여하고자하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료・기술조사 또는 시험 현장 제공 등)이 명확하여야 함

5. 최종 성과물

(구성기술 1)

○ 스마트 건설기술 국가 표준(안) 및 시방서(안)

○ 스마트 건설기술 정책 및 제도 개선(안)
- 스마트 건설기술을 종합 테스트베드에 적용하기 위하여 일정기간 동안 기존 규제를 면제 및 유예하기 위한 규제 샌드박스(안) 등

○ 스마트 건설기술 검증 절차 및 지표

(구성기술 2)

○ 스마트 건설기술의 종합 테스트베드 적용 및 검증 평가서

○ 스마트 건설기술 종합 운영센터 구축 및 운영 보고서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안 ○ 기술 보급 및 확산을 위한 스마트 건설 통합플랫폼 운영
- 민간건설사, 스타트업 등 풍부한 창업 인프라를 중심으로 구성된 스마트 건설통합플랫폼(IoT 리빙랩)을 운영하여 데이터 및 기술을 보급하고,

보급된 기술을 활용하여 보다 혁신적인 건설분야 문제해결 솔루션을 개발할 수 있는 환경 구축

○ 실제 시공이 완료될 현황을 가상화된 그래픽으로 표현하여 시공 중 위험발생 요소 및 민원에 대한 대응을 사전에 고려할 수 있음
- 특히, 도심지 내에 고가교량을 신설하거나 철거할 경우, 기존 교량 및 지장물과의 간섭을 직관적으로 확인하여, 기본설계안에 대한 의사결정에 효과적으로 활용

○ 3차원 형상을 기반으로 재료/공종/비용의 정보를 포괄하는 스마트 기술을 도로 기본설계부터 적용하여, 토공 및 구조물공의 공사비용을 실시간 수준으로 파악하여 최적의 설계안 도출

○ 도로건설의 설계~시공단계에 스마트 기술을 통합·적용하여, 시공과정과 안전성 검토 및 비용근거까지 포함된 Full As-Built Model을 확보할 수 있으며, 이를 통한 체계적인 유지관리를 수행할 수 있을 것으로 기대함

○ 스마트 건설을 통해 수립된 디지털 도로는 향후 유지관리의 운영 및 서비스 플랫폼의 근간으로 활용될 수 있음

□ 기대효과

○ 기술적 효과
- 건설현장의 문제 해결을 위한 스마트 건설 기술을 적용한 문제해결 방식을 통해 건설현장 운영 및 관리를 위한 기술 개발의 방향성 제시
- 연구개발사업에서 개발되는 스마트 건설기술의 국내 보급을 위한 제도적 기반을 마련하여 기술개발속도에 발맞출 수 있는 관련 기준 및 규정의 적기 제안 및 제정
- 건설현장 안전관리를 제조업 수준으로 향상
- 안전, 교통, 행정의 스마트 건설영역에서 오픈데이터를 수집 및 제공할 수 있는 기술적 환경 제공
- 각 영역별 개별 구축이 아닌 수평적 통합을 통해 중복투자 방지 및 데이터 간 융합, 시너지 제고
- 데이터 기반 스마트 도시 운영을 통한 도시문제 해결 신산업 창출
- 지능형 건설 유지관리·운영을 위한 다양한 데이터 수집체계를 마련하고, 각종 상황에 대한 실시간 감지, 분석, 대응 활성화 기술 구현

○ 사회적 효과
- 본 연구를 통해 건설의 다양한 분야(건설장비, 구조물, 건설현장안전 등)가 유기적으로 연계된 통합 스마트건설의 구현과 향후 진행될 ICT 기술 기반의 스마트 건설구축 사업에 기여할 수 있을 것으로 기대
- 스마트 건설 종합 테스트베드의 표준화 모델로 성장 가능

○ 경제적 효과
- 저비용 고효율 건설 全주기(설계·시공·유지관리·운영) 체계 구현
- 도로/토공사 현장, 자동화 건설장비, 건설현장 안전 분야 등의 건설의 문제해결을 위해 데이터의 통합·연계·활용을 통한 저비용 도시관리 기술을 실현함으로써 건설 전주기의 재정적·인적 손실 감소

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04～2025.12(5년 9개월)
- 1차년도 연구기간 : 2020.04～2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 10,575백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,484백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 과제제안요구서(RFP) ‘4.연구 추진방법’ 내 추진전략에서 제시한 중점분야 간, 중점분야내 세부과제 간 연계 및 협력방안을 연구개발계획서에 구체적으로 제시하여야 함

○ 본 세부과제가 사업단 주관연구과제로 선정될 경우, 사업단 기획·관리 계획 및 사업단 운영 관련 예산이 본 세부과제(사업단 주관연구과제) 연구개발계획에 추가될 예정이며,
- 이 경우 본 세부과제(사업단 주관연구과제)의 민간부담금은 사업단 운영 관련 예산까지 고려하여 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준에 부합하여야 함

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 최종 연구목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 세부과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 세부과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정・보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화・명확화)할 수 있음
- 연구 추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

□ 총괄기관 및 사업단장

과제명	도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발

1. 사업추진 최종목표

○ 건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상

- 건설 생산성 25% 이상 향상, 건설 공기 25% 이상 단축, 건설업 재해율 25% 이상 감소, 건설 생산과정의 디지털화 25% 이상 향상

2. 사업추진 필요성

○ 디지털 기술로 촉발되는 4차 산업혁명 흐름 속에서 건설산업은 이제 시작 단계임

- 4차 산업혁명 대응 국가 계획인 'I-KOREA 4.0('17.11, 4차 산업혁명 위원회)'에서도 스마트 건설 혁신을 지능화 혁신 프로젝트*로 선정

  * 3D 가상시공, 건설장비 지능화 등 건설 생산성 40% 향상을 목표로 제시

- AI, 자율주행, IoT, 스마트시티 등이 5G로 연결되면서 데이터로 모든 것을 공유하는 시대 도래 → 데이터 주도권이 미래 기업가치를 결정 (CES 2019), 데이터는 '미래 경쟁력을 좌우하는 21세기의 원유' (Gartner, Inc)

○ 국내 건설 노동생산성은 정체된 반면 스마트 건설시장은 급성장 중임

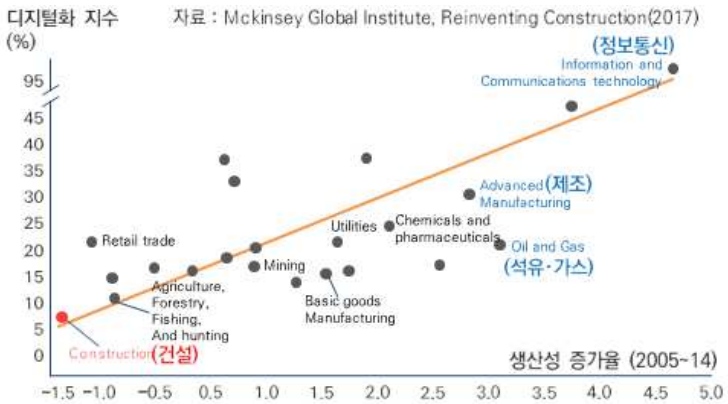
- '15년 국내 인프라 건설 노동 생산성*은 선진국 평균의 절반 수준

  * 생산성(달러/시간) : 한국 18.7, 스페인 42.9, 영국 30.4, 프랑스 37.1, 독일 32.1

- '16년 현재 세계 스마트 건설시장은 약 100억* 달러 규모를 가지며 연평균 12% 내외로 성장할 것으로 전망

  * BIM 39.77억, IoT 30억, 건설로봇 1.8억, 건설드론 1.49억, 모듈화건설 1.33억

- 디지털화 수준이 높은 산업은 생산성 증가율도 높으며, 건설산업은 전체 산업 중에서 디지털화 및 생산성 증가율이 "꼴지" 수준



[디지털화 수준과 생산성 증가의 상관관계(맥킨지, 2017)]

○ 국내 급격한 근로환경 변화에 적기 대응하고 건설현장 안전성 제고에 대한 요구는 증대되고 있음

- 건설근로자의 고령화, 즉 장년층 비율* 증가 속도가 타 산업에 비해 빠르게 진행되고 있어, 숙련노동자의 감소에 따른 생산성 저하 심화 우려

  * 55세 이상 비율('08→'15) : 건설(14.3→26.7%), 제조업(10.3→15.8%), 서비스업(15.4→22.8%)

- 주 52시간 근무제로 총 공사비는 평균 4.3%(최대 14.5%) 증가* 예상

  * 주 52시간 근무제 도입에 따른 건설정책과제 보고서(한국건설산업연구원, '18.7)

- 고질적인 건설안전 문제* 해결을 위해서는 새로운 해법 필요

  * 제조업 재해천인율(1000×재해자수/근로자수)은 6.17‰, 건설업은 8.43‰('16년)

○ 영국·일본 등은 스마트 건설기술을 활용하여 미래시장을 선점 중임

- 선진국의 BIM 사용 의무화와 함께 BIM 기술*은 3차원 설계를 넘어 가상시공, 생애주기 정보관리 등으로 기능 확대

  * (Level 0) 2D도면 및 문자 등 서류 중심, (Level 1) 2D도면과 3D 데이터 파일 중심, (Level 2) 다양한 분야별 BIM 모델 중심, (Level 3) 통합 웹기반 BIM 중심

  ☞ BIM 글로벌 선도 국가인 영국 및 싱가포르 Level 3인 반면, 국내는 Level 1~2 수준에 불과(전반적으로 Level 1 수준이며, 한국도로공사 중심 Level 2 시범적용 중)

- 프리팹 적용 확대(건축→인프라), ICT 건설장비, 건설드론, AI 기반 현장 의사결정 등 스마트 건설기술 개발 가속화 및 신시장 창출

  * (코마츠社 사례) 정형화된 작업, 정밀절삭 및 안전작업을 필요로 하는 토공 공사현장에 무인 중장비를 개발하여 이를 드론과 연동하여 시공

○ 건설 선진국은 스마트 건설기술 개발 및 확산 정책 추진 중이며, 정부에서도 국내 건설산업의 낮은 생산성과 높은 재해율을 근본적으로 개선하고, 국가 경쟁력 향상 위해 「스마트건설기술개발사업」을 통한 기술혁신 정책 추진 중임

- 영국(Construction 2025, 건설산업 스마트화 추진), 일본(i-Construction, 건설 생산성 20% 향상), 싱가폴(Construction 21, 생산성 향상 등 건설산업 선진화) 등
- 국내에서도 ICT 등 첨단기술과의 융합을 통해 건설산업을 낡은 전통산업에서 혁신친화적 산업으로 전환하기 위한 정책 추진 중

  * 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22, '17.12), 건설산업 혁신방안(경제관계장관회의, '18.6), 스마트 건설기술 로드맵(국토부, '18.10) 등

3. 사업 추진전략 및 추진체계

□ 추진전략

○ 시장 및 기술 변화 등을 고려하여 단계별(2+2+2년, 3단계)로 추진하고, 실제 발주되는 건설공사와 연계한 종합 테스트베드를 통해 개발기술의 종합 적용 및 검증

* 단계별 중간평가 시 연구성과, 스마트기술 변화 등 고려하여 연구내용 일부 조정

발주공사 연계형 종합 테스트베드

□ 발주처 참여를 통해 실제 발주 공사현장(도로 건설현장)과 연계하여 연구결과를 종합 적용 및 검증하고, 이를 통해 스마트 건설기술에 대한 실검증 사례(Track Record)를 확보

* 종합 테스트베드와는 별도로 중점분야별 기술특성에 부합하는 건설현장(토공, 단지, 목적물별 현장 등)을 대상으로 개별 테스트베드 별도 추진

□ 기술적용 뿐만 아니라 발주제도 등 정책 개선과도 연계

※ (추진근거) 기술적 난이도가 높은 국내외 SOC 건설프로젝트와 연계하여 필요한 기술을 개발하는 '건설수주 연계 R&D사업' 추진(제6차 건설기술진흥기본계획, '17.12)

- (1단계, '20~'21) 중점분야 내 구성기술 및 핵심기술 개발
  · 4개 중점분야 총 12개 세부과제별로 구성기술 및 핵심기술에 대한 집중적인 투자를 통해 성과물 도출
  ※ 기술개발시에는 중점분야 내 핵심기술(세부과제) 간 연계 및 중점분야 간 연계(발주공사 연계형 종합 테스트베드 포함)를 고려
- (2단계, '22~'23) 핵심기술 검증 및 핵심기술 간 연계
  · 세부과제별 개발된 핵심기술에 대한 검증
  · 세부과제 간 핵심기술 연계 적용
  ※ 중점분야 내 세부과제 간 연계 및 중점분야 간 연계
- (3단계, '24~'25) 종합 테스트베드 적용 및 검증
  · 발주와 계약제도 개선 및 보완을 통한 종합 테스트베드 추진
  · 해외시장 진출을 위한 지원시스템 도입 및 제도 개선

○ 다양한 민간참여 및 디지털 통합기술 개발
- 건설사(설계・시공), 장비(건설·드론), S/W(BIM·통신) 등 다양한 민간 참여를 통해 비즈니스모델 창출 등 스마트건설 생태계 조성
- BIM, IoT, 빅데이터, 드론, 로봇 등 스마트 기술을 융합 접목하여 건설 全단계(기획-설계-시공-유지관리) 디지털 통합기술을 개발

○ 다학제 및 산·학·연 연계 연구
- 다학제* 간 연구진 및 국내외 기술 보유 연구기관·업체 등 컨소시엄 구성을 통해 연구 시너지 창출

* 토목, 건축, 안전, AI, GIS, 기계, 로봇, IT, 통신, 제어계측, 전기전자 등

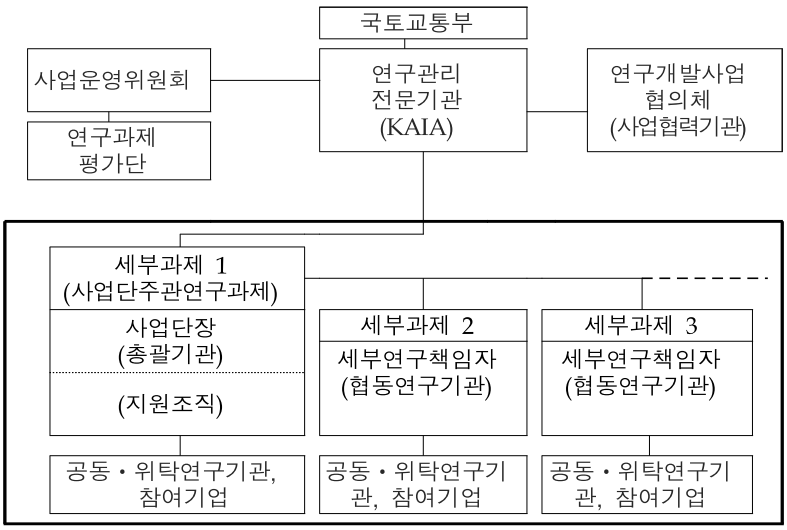
○ 국제공동연구 추진
- 국내기반이 극히 취약한 분야는 국외 전문기관과 연계하여 국제 공동연구 추진

※ 필요시 기술분야별 세계 최고 수준의 전문가와 기술협력 네트워크 조성

□ 추진체계 ○「도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발」은 사업단과제로 추진되며, 사업단장 및 총괄기관은 동 사업내 12개 세부과제 중 1개 세부과제를 '사업단 주관연구과제*'로 수행

- 사업단 주관연구과제는 동 사업내 12개 세부과제 중 별도로 지정되지 않았으며, 금번 공모 신청시 제안자가 지정하여 신청

* 사업단장이 주관하여 수행하는 연구개발과제로 사업단 기획·관리 내용을 포함하는 세부과제를 말함(「국토교통연구개발사업 사업단과제 관리지침」 제2조)



○ 사업단과제의 운영 및 관리 등과 관련한 중요한 사항에 대하여는 운영위원회에서 검토·심의·조정 실시

○ 스마트 건설에 대한 비전과 전문지식을 갖춘 사업단장이 과제를 전체적으로 관리하는 책임운영체계 도입

- 사업단은 연구개발·시험평가·성과확산 등 연구사업의 전주기적 관리 업무를 총괄하는 역할 수행
- 사업단장에게 사업단 구성 연구비 배정 등에 관한 권한 및 책임 부여
- 기술개발에서 테스트베드 적용 및 검증까지 일련의 과정이 유기적으로 연결될 수 있도록 참여 기관 및 연구진의 체계적인 협력방안 마련

※ 세부사항은 「국토교통연구개발사업 사업단과제 관리지침」에 따름

4. 세부과제 구성내용

○ 사업단 세부과제 구성 및 추진체계



○ 세부과제별 주요 연구내용

중점분야별 세부과제(핵심기술)	주요 연구내용(구성기술)
□ 중점분야 1 : 건설장비 자동화 및 관제기술	
- (1세부) 지능형 건설장비 관제 기술 개발	• 지능형 토공/포장 장비 관제 시스템 개발 • 스마트 네트워크 기반 토공/포장 장비 IoT 운영 및 무인화 기술 개발
- (2세부) 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 개발	• 자율계측 기반 초정밀 Digital Map 구축 기술 개발 • 디지털 트윈 기반 건설 현장정보 분석 및 맵핑 기술 개발
- (3세부) 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 개발	• 고정밀 작업 가능 자율 작업형 건설 장비 제어 기술 개발 • 시공장비 연동 도로포장 품질관리 및 향상 기술 개발
□ 중점분야 2 : 도로구조물 스마트 건설기술	
- (4세부) 디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원 기술 개발	• 도로구조물 프리팹 구조의 디지털 엔지니어링 모델 개발 • 도로구조물 프리팹 구조 제작 지원 및 조립시공 혁신 기술 개발
- (5세부) 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	• 로보틱스 기반 도로 교량 고소(高所)/고위험 시공 원격 · 자동화 기술 개발 • 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술 개발
- (6세부) 지능형 도로구조물 시공 품질 관리 기술 개발	• 형상계측 기반 시공 중 도로구조물 시공성 판단 및 형상관리 기술 개발 • 복합 센싱정보 기반 도로구조물 운반/시공 중 구조건전성 및 시공품질 모니터링 기술 개발
□ 중점분야 3 : 스마트 안전 통합 관제기술	
- (7세부) 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발	• 데이터마이닝 기반의 건설 안전 분석 기술 개발 • 건설현장 긴급재해 대응 기술 개발 • 디지털 트윈 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 개발 및 테스트베드 운영
- (8세부) 건설현장 근로자 안전확보 기술 개발	• 건설현장 근로자 위험요인 인지 기술 개발 • 현장 맞춤형 근로자 위험 예방 및 평가 기술 개발
- (9세부) 임시구조물 스마트 안전 확보 기술 개발	• 가설기자재 품질관리 기술 개발 • 임시구조물 설치·해체, 운영 시 스마트 안전 확보 기술 개발
□ 중점분야 4 : 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드	
- (10세부) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 통합 관리 및 스마트 지식관리 기술 개발	• 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질 검증 기술 개발 • 도로분야 디지털 정보기반 스마트 지식관리 통합 체계 및 디지털화 인덱스 평가 기술 개발 • 도로분야 디지털 통합정보 환경기반 모듈러 생애주기 공정지원 스마트 딜리버리 시스템 개발

중점분야별 세부과제(핵심기술)	주요 연구내용(구성기술)
- (11세부) 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리 기술 개발	• 실시간 건설현장(도로시공) 데이터 수집 및 관리 기술 개발 • 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 운영 관리 기술 개발 • 디지털 트윈 및 AI 기반의 건설 시뮬레이션 기술 개발 • 디지털 트윈 모델 기반 건설 공정 정보 시각화 기술 개발 • 스마트 도로 건설 정보 제공 기술 개발
- (12세부) 스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발	• 도로실증을 위한 스마트 건설기술 종합 테스트베드 확보 및 운영방안 연구 • 스마트 건설기술 종합 테스트베드 적용 및 종합 운영센터 구축

※ 중점분야, 세부과제(핵심기술) 및 연구내용(구성기술) 등에 대한 상세 내용은 기획보고서 (첨부) 참조

5. 사업의 최종성과물

○ (중점분야 1) 건설장비 자동화 및 관제기술
- 지능형 건설장비 관제기술, 건설현장 정보 수집 및 분석기술, 디지털 기반 도로 건설장비 자동화 기술 등 토공 및 도로포장 생산성 25% 이상 향상을 위한 핵심기술 확보
- 핵심기술에 대한 현장적용 및 검증

○ (중점분야 2) 도로구조물 스마트 건설기술
- 디지털 기반 도로구조물 설계・제작・시공 지원기술, 도로구조물 원격・자동화 시공기술, 도로구조물 시공품질관리 기술 등 도로구조물 건설공기 25% 이상 단축을 위한 핵심기술 확보
- 핵심기술에 대한 현장적용 및 검증

○ (중점분야 3) 스마트 안전 통합 관제기술
- 건설현장 근로자 및 임시구조물 안전확보 기술, 건설현장 스마트 안전 통합관제 시스템 등 건설업 재해율 25% 이상 감소를 위한 핵심기술 확보
- 핵심기술에 대한 현장적용 및 검증

○ (중점분야 4) 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트베드
- 도로분야 디지털 데이터 통합 및 건설생산 프로세스 통합관리 기술, 스마트 건설 디지털 플랫폼 등 건설 생산과정의 디지털화 25% 이상 향상을 위한 핵심기술 확보
- 중점분야별 핵심기술에 대한 실제 건설공사 적용 검증(종합 테스트베드 적용 검증)

6. 총괄기관 및 사업단장의 자격

□ 총괄기관

○「국토교통과학기술 육성법」 제8조,「국토교통과학기술 육성법 시행령」 제7조 및「국토교통과학기술 육성법 시행규칙」 제3조에 의한 기관

※ 관리지침 별표1의2(국토교통연구개발사업 지원제외조건) 해당 기관은 제외

□ 사업단장

○ 건설분야의 전문성과 경영능력이 뛰어난 전문가로서, 다음의 자격 중 어느 하나를 갖춘 자

- 박사 또는 기술사 취득 후 건설 분야 10년 이상 경력자
- 학사 취득 후 건설분야 기술개발 또는 실무 경력이 17년 이상인 자

○ 사업단장 신청시 소속기관으로부터 사업단 최종평가 종료시점('26.03.31 예정)까지 고용을 기보장 받은 자

※ 사업단장 선정을 조건으로 한 신청기관 차원의 고용 보장 예정 및 확약은 불인정

※ 본 사업단 총괄기획위원장 및 분과기획위원장은 제외

7. 총괄기관 및 사업단장의 역할 및 임무

□ 총괄기관

○ 사업단장 후보 추천

○ 사업단 운영을 위한 지원조직(인력), 시설・장비, 공간 등을 제공

○ 총괄기관은 사업단 주관연구과제를 수행하며, 필요시 세부과제를 추가로 수행 가능

□ 사업단장

○ 사업단을 구성하여 사업단 과제의 세부과제 공모・선정, 진도・성과관리 및 성과의 활용 등을 위한 업무를 총괄적으로 수행

○ 사업단/지원조직 구성・운영 및 사업단 운영기준 제정・시행

※ 사업단 운영기준은 전문기관 장의 승인을 얻어 시행

○ 세부과제의 기획, 선정평가, 진도관리・정산・자체평가・예산조정 및 컨소시엄간의 역할배분 등에 관한 사항

○ 연구개발성과 사업화, 지적재산권・정보관리 등 지원, 사업성과 관리 및 국가연구개발사업 조사・분석・평가 관련업무 협조

○ 본 사업 연구개발성과 보급・확산 및 홍보와 대외 실무 총괄

○ 국토교통부에서 실시하는 산업육성・발전 정책의 기술자문 및 업무협조

○ 인력양성, 국제협력 등 인프라 조성 업무협조

○ 자체 홈페이지 구축

○ 시스템엔지니어링 및 시스템통합을 위한 기술개발

○ 테스트베드에 시스템 적용 및 관리

○ 국내외 연구개발동향, 기술수준 등의 조사 및 분석

○ 국내외 시장동향, 관련 규제 등의 조사 및 분석

○ 개발기술의 사업화 촉진을 위한 국내외 시장 확보정책 개발, 현장지원 및 적용과 홍보전략 개발 및 추진

○ 사회 경제적인 파급효과 등 개발기술의 가치 분석 및 성과활용 계획

○ 연구개발성과의 권리강화 및 기술이전 사업화

○ 12개 세부과제에 대한 성과목표 및 성과지표(KPI), 주요 성과별 달성일정(Milestone), 테스트베드 구축 시나리오 등을 포함한 종합적인 성과관리계획과 통합진도관리계획을 세워 사업단과제 협약 후 4개월 이내에 전문기관에 제출하여야 함

※ 관련근거 :「국토교통연구개발사업 사업단과제 관리지침」제20조(성과 및 진도관리)

※ 계획수립, 제출방식 등은 추후 전문기관과 협의하여 진행

○ 기타 당해 사업단 과제의 효율적 추진을 위하여 필요한 사항

※ 사업단은 상기 내용을 포함한 사업단 주관연구과제 수행 등 해당 사업단과제를 효율적으로 추진하기 위하여 사업단장을 보조하는 지원조직을 둘 수 있음

8. 사업단 운영형태

○ 사업단 : 법인 또는 독립된 조직형태의 연구조직으로 구성

- 산・학・연・관의 연계를 활용한 역할분담과 효율적인 운영체계를 확립
- 사업단과제를 효율적으로 추진하기 위하여 사업단장을 보조하는 지원조직을 둘 수 있으며, 총괄기관으로부터 지원받은 인력을 포함하여 구성 가능

○ 사업단장은 사업단 주관연구과제 이외의 연구과제는 수행할 수 없으며, 기 수행중인 연구개발과제에는 연구책임자를 포함한 참여연구원에서 제외되어야 함

○ 사업단장은 총괄기관으로부터 업무와 책임에서 독립하여 사업단 운영 및 관리에 전념하여야 하고, 총괄기관의 장은 전문기관의 장과 협약을 통해 이를 보장하여야 함

※ 세부사항은「국토교통연구개발사업 사업단과제 관리지침」에 따름

9. 사업기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2020.04～2025.12(5년 9개월)

- 1차년도 연구기간 : 2020.04～2020.12(9개월)

○ 총 정부출연금 : 5,609백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 855백만원 이내
※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 민간부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

10. 기타

□ 제안서 작성요령
○ 제시된 총괄기관 및 사업단장 공모 제안요구서와 부합되고, 제시된 서류양식에 따라 작성하는 것을 원칙으로 함. 다만, 사업단장 신청자의 창의적인 제안내용에 따라 내용의 추가 또는 변경이 가능하나, 내용의 추가 또는 변경시에는 명확한 사유 필요

□ 유의사항
○ 총괄기관은 1개 기관으로만 구성하여 신청 가능(컨소시엄 구성 불가)

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 사업단 신청서를 작성하여야 함

○ 사업단장 선정 후 사업단 운영·관리 계획에 따라 사업단 주관연구과제 및 11개 세부과제의 내용 및 예산은 일부 변경될 수 있음

○ 사업단 추진체계는「국토교통연구개발사업 사업단과제 관리지침」참조

○ 본 과제제안요구서(RFP)에 따른 사업단 기획·관리 계획 및 예산은 총괄기관으로 선정되는 세부과제 주관연구기관의 연구개발계획에 추가될 예정(해당 세부과제를 사업단 주관연구과제로 지정)
- 사업단 주관연구과제에 기업참여시 민간부담금은 연차별로「국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급, 사용 및 관리에 관한 규정」에 따라야 함

□ 참고자료
○「국토교통 연구개발사업 관리지침」, 「국토교통연구개발사업 사업단 과제 관리지침」, ‘스마트 건설기술 개발사업’ 기획보고서(2019, 국토교통과학기술진흥원)’ 등
※ 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조(http://www.kaia.re.kr)