

건설자동화 역량분석 및 미래선도전략 수립

Analysis of Construction Automation Capability
and Establishment of Future Leading Strategy

2019.12.



KICT 한국건설기술연구원

요 약 문

I. 연구제목

(19주요-대1-전략) 건설자동화 역량분석 및 미래선도전략 수립

II. 연구목적

국내·외 스마트건설 관련 정책 및 연구동향, 건설 자동화 역량 분석 등을 기반으로 한국 건설기술연구원 건설자동화연구센터 발전전략 및 2030년까지의 건설자동화 미래선도전략을 수립하고, 건설 자동화와 관련한 핵심 신규 연구 과제 발굴

III. 연구의 필요성

- 건설 분야에 4차 산업혁명 기술접목을 통한 패러다임 전환 필요
- 건설 생산성 혁신을 위한 자동화 기술 개발 및 이를 위한 건설 자동화 중장기 로드맵 수립 필요

IV. 연구의 내용 및 범위

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 수행된 연구내용은 다음과 같음

- 건설 자동화 관련 국내·외 정책 및 연구 동향 분석
 - 국내·외 4차 산업혁명 및 건설자동화 관련 정책동향 분석
 - 국내·외 건설 자동화 연구·기술동향 분석
 - 건설연 내 자동화 연구과제 및 보유기술 분석
- 건설 자동화 연구 미래선도전략 수립
 - 건설자동화연구센터 발전전략 수립
 - 건설 자동화 현황 분석 및 자동화 가능성 우선순위 도출
 - 건설 자동화 연구 중장기 로드맵 수립
- 신규 스마트건설 연구과제 기획
 - 연구원 내 스마트건설 관련 장비 활용방안

- 건설 자동화 신규 연구과제 기획
- 건설 자동화 기술 개발 기반 조성 및 민간 협력 강화 (추가 수행)
 - 건설자동화 기술 실현을 위한 기술 개발 기반 조성
 - 건설자동화 연구개발 핵심 성과 달성 지원

V. 결론

- 건설 자동화 현황 파악 및 자동화 가능성 우선순위 도출을 통해 국내 건설산업의 선진화 정도를 파악하고 건설 생산성 향상의 토대 마련
- 발굴된 연구과제의 국가 R&D 및 주요과제 제안

Executive Summary

I. TITLE

(2019 Major-Strategy) Analysis of Construction Automation Capability and Establishment of Future Leading Strategy

II. OBJECTIVES

Based on domestic and overseas smart construction-related policies and research trends, construction automation capability analysis, etc., the Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology will establish a development strategy and future strategy for construction automation until 2030.

III. NECESSITY

- Need for paradigm shift through the 4th industrial revolution in

construction

- Development of automation technology to innovate construction productivity and establishment of long-term roadmap for construction automation

IV. OUTLINE AND SCOPE

The contents of the study, which was conducted to achieve the purpose of this research, are outlined below.

- Analysis of domestic and foreign policy and research trends related to construction automation
 - Analysis of Policy Trends Related to the 4th Industrial Revolution and Construction Automation
 - Domestic and Overseas Construction Automation Research and Technology Trend Analysis
 - Analysis of automation research project and technology
- Establishment of future forward strategy for construction automation research
 - Development Strategy for Construction Automation Research Center
 - Analysis of construction automation status and derivation of automation possibility priorities
 - Long-term roadmap for construction automation research
- New Smart Construction Research Project
 - Plan for utilizing smart construction-related equipment
 - New project for construction automation
- Establishment of construction automation technology development base and strengthen private cooperation (additional)
 - Foundation of technology development to realize construction automation technology
 - Support to achieve key achievements of construction automation R & D

V. CONCLUSION

- Understand the progress of the construction industry in Korea and establish the foundation for improving construction productivity by grasping the status of construction automation and deriving priority for automation.
- Proposal of national R & D and major projects of discovered research projects

목 차

제 1 장 서론	1
1. 필요성	1
2. 연구목표	2
제 2 장 건설 자동화 관련 국내·외 정책 및 연구 동향 분석	3
1. 국내·외 4차 산업혁명 및 건설자동화 관련 정책동향 분석	3
2. 국내·외 건설 자동화 연구·기술동향 분석	27
3. 건설연 내 자동화 연구과제 및 보유기술 분석	35
제 3 장 건설 자동화 연구 미래선도전략 수립	72
1. 건설자동화연구센터 발전전략 수립	72
2. 건설 자동화 현황 분석 및 자동화 가능성 우선순위 도출	73
3. 건설 자동화 연구 중장기 로드맵 수립	81
제 4 장 신규 스마트건설 연구과제 기획	83
1. 스마트건설 예타 관련 기획 참여 및 본 과제 제안 준비	83
2. 창의시드 및 노피어 과제 수행	91
제 5 장 건설 자동화 기술 개발 기반 조성 및 민간 협력 강화	94
1. 건설 자동화 기술 개발 기반 조성	94
2. 건설 자동화 기술 개발을 위한 민간 협력 강화	97
3. 스마트건설 실험실 운영 (BIM Room, FabLAB)	100
4. 건설자동화연구센터 주요 연구 성과 달성	102
참고문헌	105
서지자료	106

표 목 차

표 1.1 전략연구 목표별 내용	2
표 2.1 중국 제조 2025 4대 과제와 주요 지표(중국 제조 2025, KIET 2015)	9
표 2.2 중국 제조 2025 4대 과제와 주요 지표(중국 제조 2025, KIET 2015)	9
표 2.3 4차 산업혁명 시대 대응을 위한 국내 건설분야 정책	14
표 2.4 문재인 정부 100대 국정과제	15
표 2.5 제6차 건설기술진흥기본계획 추진전략 및 중점추진과제	16
표 2.6 제5차 건설산업진흥기본계획 중점과제 및 추진방안	18
표 2.7 주요 스마트 건설기술 R&D 사업(안)	18
표 2.8 4차 산업혁명 대응기반 강화를 위한 4개 추진 과제	19
표 2.9 설자동화에 대한 정의 현황	36
표 2.10 기존 문헌 분석 기반 건설자동화 기술분류 및 기술 도출	43
표 2.11 시공자동화 부문 기술분류 및 요소기술(안)	44
표 2.12 설계자동화 기술 목표 및 기술 영역	46
표 2.13 설계자동화 기술 영역별 핵심 연구 내용	47
표 2.14 건축 설계 단계별 설계자동화 기술 목표 및 기술 영역	48
표 2.15 설계자동화 기술 영역별 핵심 연구 내용	48
표 2.16 설계자동화 부문 기술분류 및 요소기술 키워드(안)	51
표 2.17 건설자동화 기술분류 및 요소기술(안)	52
표 2.18 건설자동화 기술분류 및 요소기술(안)	54
표 4.1 설문조사 대상 분류	74
표 4.2 도로건설공사 공종분류	74
표 4.3 도로건설공사의 현재 자동화율 점수(공종 대분류 별)	74
표 4.4 도로건설공사의 현재 자동화율 순위(공종 소분류 별)	75
표 4.5 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과 점수(공종 대분류 별)	76
표 4.6 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과 순위(공종 소분류 별)	76
표 4.7 도로건설공사의 현재 안정성 점수(공종 대분류 별)	77
표 4.8 도로건설공사의 현재 안정성 순위(공종 소분류 별)	77
표 4.9 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 안정성 개선효과 점수(공종 대분류 별)	78

표 4.10 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 안정성 개선효과 순위(공종 소분류 별) 78
 표 4.11 도로건설공사의 현황 및 자동화를 통한 기대효과(공종 대분류 별) 79

그림 목차

그림 2.1 미국 NNMI가 타겟으로 하는 TRL, MRL 단계 5
 그림 2. 2 독일 정부가 제시하는 인더스트리 4.0 진화표 (독일 인공지능연구센터 DFKI) 6
 그림 2.3 인더스트리 4.0 플랫폼의 주요주제(Topics) 7
 그림 2.4 Construction 2025 개요 11
 그림 2.5 i - Construction 개요 12
 그림 2.6 Construction 21 개요도 12
 그림 2.7 융합기술을 통한 건설지능화 실현을 위한 기술전략 트리 22
 그림 2.8 국토교통 분야별 정책방향에 따른 기술개발 대응 22
 그림 2.9 규제 샌드박스 개선방안 도식도 24
 그림 2.10 국내외 건설분야 자동화 연구 추이도 32
 그림 2.11 건설자동화 연구개발 기술구성도 40
 그림 2.12 기술영역별 자동화 요소기술 41
 그림 2.13 건설장비 자동화 요소분석 및 적용기술 에 대한 주요 키워드와 빈도율 42
 그림 2.14 시공자동화 기술분류 트리 44
 그림 2.15 설계자동화 구현을 위한 핵심 기술과 연관 관계 50
 그림 2.16 설계자동화 기술분류 트리 51
 그림 2.17 연도별 건설자동화 관련 과제 추이도 (2010~2019) 56
 그림 2.18 KICT 內 건설자동화 기술분류에 따른 상위키워드의 연관 개수 57
 그림 2.19 KICT 內 건설자동화 기술분류에 따른 스마트건설 기술 키워드의 연관 개수 57
 그림 2.20 KICT 內 건설자동화 기술분류에 따른 세부기술 키워드(스마트건설 기술 키워드

제외)의 연관 개수	59
그림 2.21 KICT 內 연구수행과제 사업성격별 현황	59
그림 2.22 KICT 內 연구수행과제 연구성격별 현황	60
그림 2.23 KICT 內 연구수행과제 기술분류별 현황	61
그림 2.24 KICT 內 연구수행과제 미래유망신기술별(중) 현황	61
그림 2.25 건설자동화센터內 연도별 건설자동화 관련 과제 추이도 (2010~2019)	62
그림 2.26 건설자동화연구센터內 건설자동화 기술분류에 따른 키워드의 연관 개수	63
그림 2.27 건설자동화연구센터內 연구수행과제 사업성격별 현황	64
그림 2.28 건설자동화연구센터內 연구수행과제 연구성격별 현황	65
그림 2.29 건설자동화연구센터內 연구수행과제 기술분류별 현황	65
그림 2.30 건설자동화연구센터內 연구수행과제 미래유망신기술별(소) 현황	66
그림 2.31 건설자동화 기술분류에 따른 키워드의 연관 개수 (2019년 이후 종료)	67
그림 2.32 건설자동화 관련 과제의 연구성격별 현황 (2019년 이후 종료)	68
그림 2.33 건설자동화 관련 과제의 기술분류별 현황 (2019년 이후 종료)	68
그림 2.34 건설자동화 관련 과제의 미래유망신기술별(대) 현황 (2019년 이후 종료)	69
그림 2.35 건설자동화 관련 과제의 미래유망신기술별(소) 현황 (2019년 이후 종료)	69
그림 3.1 자동화연구센터 수행과제 포트폴리오	73
그림 3.2 건설자동화연구센터 역량분석	81
그림 3.3 건설자동화 중장기 로드맵 수립	81
그림 4.1 지능형 건설장비 관제 기술 (AS-IS/TO-BE)	84
그림 4.2 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 (AS-IS/TO-BE)	85
그림 4.3 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 개념도	85
그림 4.4 도로구조물 스마트건설 기술 개념도	86
그림 4.5 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개념도	87
그림 4.6 기술의 기본 개념도	88
그림 4.7 세부 구성기술별 내용 및 기술간 연계도	90
그림 4.8 지능형 품질관리 및 안전관리 시스템 연구 개요	91
그림 4.9 제안 기술의 특징과 활용방안 개념도	92

제 1 장

서 론

1. 필요성

‘낡은 전통산업’으로 인식되고 산업이 침체기에 있는 건설산업에 자동화·고객맞춤·정보공유 등의 4차 산업혁명 기술을 접목하여, 산업 패러다임 전환을 통한 신성장동력 확보가 필요하다. 특히 BIM, VR/AR, 드론, IoT, 5G, AI, 로봇 등의 첨단기술을 건설에 접목하여 건설 생산성 향상 및 안전성 도모 등 건설 산업의 새로운 도약기회 마련 필요하다. 영국(Construction 2025), 일본(i-Construction), 싱가포르(Construction 21 운동) 등 국외 건설 선진국에서는 국가주도의 스마트건설 정책을 수립하고 건설 산업 선진화를 추진 중이며, 국내에서는 국토교통부에서 2023년까지 스마트 건설기술 등을 통해 생산성 50% 향상, 건설 안전성 향상(사망만인율 1.66 → 1.0), 고부가가치 스타트업 500개 창업하는 계획을 수립하여 발표하였다. 이에 건설자동화연구센터에서는 BIM기반 설계 자동화, 건설 시공 자동화, 디지털트윈 기반 실시간 유지관리 기술 등 건설 쏘 단계를 대상으로 스마트 건설기술 적용 가능성을 검토하고, 체계적인 진행을 위한 건설 자동화 연구 중장기 로드맵 수립이 필요하다고 판단하였다. 건설 자동화 로드맵 수립은 ‘새로운 건설 패러다임 선도를 통한 건설산업 혁신 성장 기여’라는 연구원 R&R과 부합하며, 건설 자동화 관련 기획연구과제 도출을 통해 ‘미래 건설산업 신성장 동력 창출형 건설기술 개발’에 기여할 수 있다.

본 과제를 통해 건설자동화연구센터에서는 국내·외 스마트건설 관련 정책 및 연구동향, 건설 자동화 현황 분석 등을 기반으로 한국건설기술연구원 건설자동화연구센터 발전 전략 및 2030년까지의 건설자동화 연구 중장기 로드맵을 수립하고, 건설 자동화와 관련한 핵심 신규 연구 과제를 발굴하고자 한다.

2. 연구 목표

건설자동화연구센터에서는 본 과제를 통해 다음과 같은 3가지 중점분야에 대한 분석 및 전략을 수립한다. 먼저 건설자동화 관련 국내외 정책 및 연구동향 분석이다. 국내외 4차 산업혁명 및 건설자동화 관련 정책 동향을 분석하고, 국내외 건설 자동화 연구 및 기술동향을 분석한다. 또한 한국건설기술연구원에서 그동안 수행해왔던 자동화와 관련된 연구과제 및 보유기술을 분석하여 연구원의 강점을 파악한다.

이를 바탕으로 건설 자동화 연구 미래선도전략을 수립한다. 특히 건설자동화 연구센터의 발전전략을 수립하고, 도로공사를 대상으로 하여 건설자동화 현황 분석 및 자동화 가능성 우선순위를 도출한다. 이와 연계하여 건설 자동화 연구 중장기 로드맵을 수립한다.

향후 건설자동화 분야 R&D 먹거리 확보를 위한 신규 스마트건설 연구과제를 기획한다. 연구원 내 스마트건설 관련 장비인 팹랩, 가상실증실험실 등을 활용하는 방안과 연구원내 기획과제 등을 통한 신규 연구과제를 기획하고자 한다.

표 1.1 전략연구 목표별 내용

세부연구목표	세부연구목표별 Activities
○ 건설 자동화 관련 국내·외 정책 및 연구 동향 분석	- 국내·외 4차 산업혁명 및 건설자동화 관련 정책동향 분석 - 국내·외 건설 자동화 연구·기술동향 분석 - 연구원 내 자동화 연구과제 및 보유기술 분석
○ 건설 자동화 연구 미래선도전략 수립	- 건설자동화연구센터 발전전략 수립 - 건설 자동화 현황 분석 및 자동화 가능성 우선순위 도출 - 건설 자동화 연구 중장기 로드맵 수립
○ 신규 스마트건설 연구과제 기획	- 연구원 내 스마트건설 관련 장비 활용방안 - 건설 자동화 신규 연구과제 기획

제 2 장

건설 자동화 관련 국내·외 정책 및 연구 동향 분석

1. 국내·외 4차 산업혁명 및 건설자동화 관련 정책동향 분석

1.1 국외 제 4차 산업혁명 정책 동향

선진국들은 4차 산업혁명에 따라 제조업 부활 정책 총공세 및 제조업의 중요성을 재조명하였다. 2008년 글로벌 금융위기 이후 선진국들은 첨단 제조업에 집중하였다. 글로벌 금융위기와 유럽 재정위기로 이러한 방정식에 대한 의문이 제기되었다. 따라서 2008년 금융위기 이후 제조업이 강한 나라의 경기회복이 빠른 속도로 진행됨에 따라, 제조업이 탄탄한 국가가 위기에 강하다는 인식이 확산되었다. 미국과 일본을 중심으로 세제혜택 강화, 제조 R&D 강화 및 제조업 효율화를 위한 에너지 정책 등 제조업 중심의 혁신체계를 구축하기 위한 노력이 가시화 되었다. 미국의 경우 오바마 행정부는 법인세 인하, 해외 진출기업 리쇼어링 장려, 제조업 혁신허브 증설, 첨단 제조 기술 전략, 제조업 혁신연구소 건립 등을 추진하였다. 일본의 경우도 아베정부에서 제조업 경쟁력을 강화하기 위해 6대 전략, 37과제로 구성된 산업 재흥플랜을 제시하고 5년간 긴급 구조 개혁 기간으로 지정하는 등의 정책을 펼치고 있다. 독일은 다가올 4차 산업혁명을 주도하고, 미래 제조업의 경쟁력을 선점하기 위해 인더스트리 4.0 프로젝트에 2억 유로를 투자하였으며, EU는 유럽 제조업의 부활을 위해 기업과 정부가 공통의 행동계획을 수립하고, 향후 15년에 걸쳐 연간 약 900억 유로를 투자할 계획이다.

주요 선진국의 4차 산업혁명 정책동향을 살펴보면 다음과 같다.

- 미국

(1) PCAST의 선진 제조기술 관련 보고서

① 오바마 정부는 미국 PCAST (President's Council of Advisors Science and Technology)가 지난 2011년 6월에 발표한 선진 제조기술 필요성에 대

한 보고서(REPORT TO THE PRESIDENT ON ENSURING AMERICAN LEADERSHIP IN ADVANCED MANUFACTURING)에 기반을 두고, AMP(Advanced Manufacturing Partnership) 프로그램을 추진

- ② AMP는 연구 투자, 인프라 확충, 제조산업 내 협력 등을 기반으로 제조산업 전반의 활성화 및 변화를 도모

(2) 제조혁신 네트워크 NNMI 구축

- ① 정부와 민간이 연계하여 제조산업과 관련된 다양한 이슈들을 해결하고, 효과적인 제조업 연구기반을 설립하기 위해 NNMI(the National Network for Manufacturing Innovation)을 구축
- ② NNMI는 각 연구기관의 네트워크를 구축, 제조업 혁신과 상업화 촉진을 위하여 효과적 협력체계 구축, 자원 활용, 공동투자 등의 전략을 최대한 활용
- ③ NNMI는 기술개발 수준과 제조공정 수준을 기술성숙도와 제조성숙도로 평가, 4~7단계에 위치한 분야 대상

(3) ICT 연구개발 기본계획 NITRD

- ① NITRD(The Networking and Information Technology Research and Development)는 CPS를 비롯하여 다양한 ICT 기술분야를 중점적으로 관리
- ② NITRD가 선정한 8대 분야 중 특히 「IT와 물리적 세계(Physical World)」는 물리적 정보기술과 인간 상호작용 연구, 물리적 정보기술, 센싱, 물리적 정보 기술 시스템 구축 등을 위한 SW/HW를 강조
- ③ CPS와 IoT의 접목에 대한 중요성은 NITRD에서 강조될 뿐만 아니라, 미국 대통령실이 추진하는 IoT 연구 프로젝트인 「Smart America Challenge」에서도 언급
- ④ Smart America Challenge 테스트베드의 개요를 살펴보면 CPS를 중심으로 에너지, 스마트공장, 기술, 재해대응시스템 등 8개 분야가 작동

Technology Readiness Levels and Manufacturing Readiness Levels				
TRL 1:	Basic principles observed and reported	MRL 1:	Manufacturing feasibility assessed	
TRL 2:	Technology concept and/or application formulated	MRL 2:	Manufacturing concepts defined	
TRL 3:	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept	MRL 3:	Manufacturing concepts developed	
NNMI Target	TRL 4:	Component and/or breadboard validation in a laboratory environment	MRL 4:	Capability to produce the technology in a laboratory environment
	TRL 5:	Component or breadboard validation in a relevant environment	MRL 5:	Capability to produce prototype components in a production relevant environment
	TRL 6:	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment	MRL 6:	Capability to produce prototype system or subsystem in a production relevant environment
	TRL 7:	System prototype demonstration in an operational environment	MRL 7:	Capability to produce systems, subsystems or components in a production relevant environment
TRL 8:	Actual system completed and qualified through test and demonstrated	MRL 8:	Pilot line capability demonstrated; Ready to begin Low Rate Initial Production	
TRL 9:	Actual system proven through successful mission operations	MRL 9:	Low rate production demonstrated; Capability in place to begin Full Rate Production	

그림 2.1 미국 NNMI가 타겟으로 하는 TRL, MRL 단계

- 독일

(1) 독일의 4차 산업혁명, Industry 4.0

- ① 독일 정부는 제4차 산업혁명을 「Industry 4.0(인더스트리 4.0)」으로 표현하고 있으며, 이는 자원 조달부터 기업이 소비자에게 제품을 공급하는 일련의 모든 과정을 포함
- ② 인더스트리 4.0은 CPS 기술을 기반으로 혁신이 이루어질 것으로 전망
- ③ 인더스트리 4.0을 위한 Working Group은 2012년 1월에 결성되며 보쉬, 지멘스, SAP 등의 기업 및 독일 연구기관, 공과 대학 그리고 관련 분야의 관계자로 구성

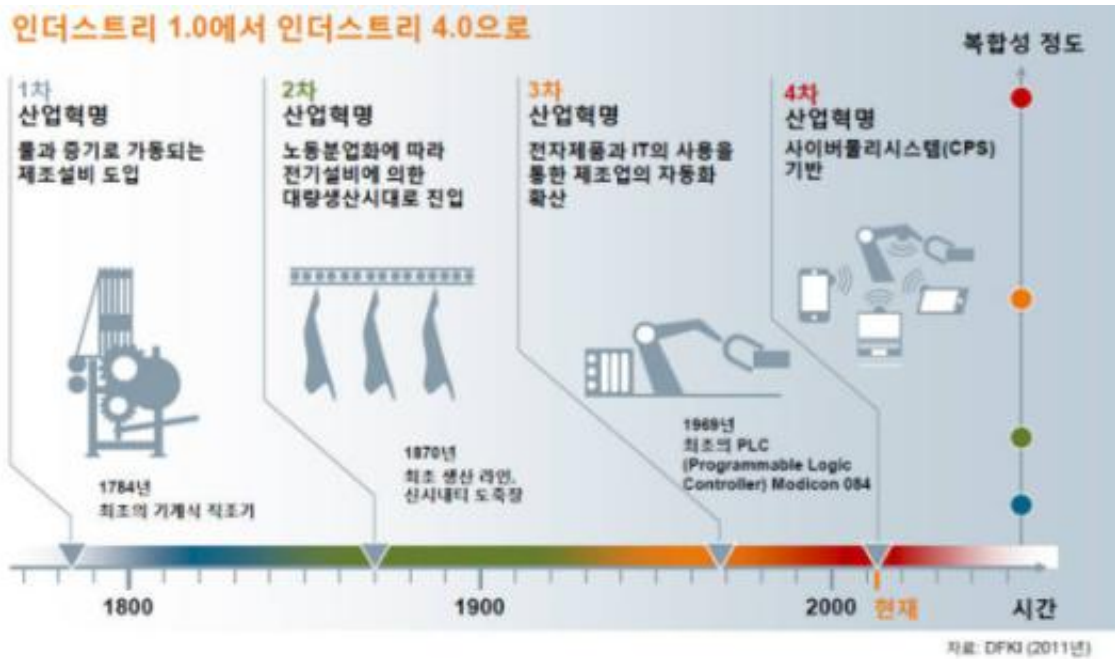


그림 2. 2 독일 정부가 제시하는 인더스트리 4.0 진화표 (독일 인공지능연구센터 DFKI)

- ④ 인더스트리 4.0 플랫폼은 AI, 빅데이터, CPS, IoT 등 앞서 언급된 제4차 산업혁명의 주요기술들을 포함해 핵심주제를 총 8개 기술분야로 구분
- ⑤ 제조 공정의 자동화, 제조라인 및 기계의 자동 제어, 위험 및 고장 예측 가능한 실현 등 목표로 수립
- ⑥ 인더스트리 4.0을 통해 ICT 기술이 활용 및 융합되어 스마트공장을 구축하는 것이 목표



그림 2.3 인더스트리 4.0 플랫폼의 주요주제(Topics), (인더스트리 4.0 플랫폼 홈페이지)

- 일본

(1) 과학기술 이노베이션 종합전략 2015

- ① 2015년 6월에 발표된 「과학기술 이노베이션 종합전략 2015」에 따르면, 일본 정부는 IoT, 빅데이터, AI로봇 등을 활용하여 새로운 제조 시스템을 구축·추진할 것을 언급

(2) 로봇 신전략

- ① 일본 경제산업성은 경제성장의 핵심 전략 중 하나로 「로봇 신전략」을 지난 2015년 1월에 발표했으며, 전략의 비전, 추진전략 그리고 구체적인 액션 플랜을 공개
- ② 일본 정부는 3개의 핵심전략 추진
 - (전략 1) “로봇 창출력의 근본적 강화”
 - (전략 2) “로봇 활용 및 보급”
 - (전략 3) “로봇혁명 전개·발전”
- ③ 로봇신전략은 로봇 기술이 제조분야뿐만 아니라 다양한 분야에서 활용되어 일본 사회 전체의 부가가치를 향상시키고 생산성을 강화시킬 수 있을 것으로 기대하며, 5개 주요 분야를 선정하여 목표를 설정
 - 5개 주요 분야 : 제조업, 서비스업, 개호·의료, 인프라·재해대응·건설, 노립수산업·식품산업

(3) IoT 추진 컨소시엄

- ① 2014년에는 100여개 이상의 제조 및 ICT 관련 민간사업자들이 「IoT 추진 컨소시엄」을 구성하였으며, 총무성과 경제 산업성 등 일본정부 역시도 해당 조직과 지속적으로 협력 관계를 유지
- ② IoT 추진 컨소시엄은 IoT 추진 외에도 새로운 비즈니스 모델을 창출
- ③ ①기술개발 WG, ②선진 모델사업 추진 WG, ③전문 WG

- 중국

(1) 중국 제조 2025

- ④ 중국 정부는 「중국 제조 2025」를 발표
- ⑤ 실제 중국은 향후 30년까지의 발전방향을 3단계로 구분하고 있으며, 2015년 발표된 중국 제조 2025 전략은 1단계에 해당하는 2015~2025년까지의 계획을 구체적으로 포함
- ⑥ 중국 제조 2025는 모든 제조산업 분야의 혁신역량 제고, 품질 제고, IT·제조업 융합, 녹색성장 등 총 4개의 공통된 과제를 언급
- ⑦ 중국 제조 2025를 더욱 상세하게 살펴보면 중국 정부는 제조업 경쟁력 향상을 위한 5대 중점 프로젝트와 10대 중점 육성산업을 설정
- ⑧ 중국 제조 2025의 5대 중점 프로젝트는 중국 제조업 분야의 기초기술 향상 실현과 해당 분야에서 2025년까지 지적재산권을 확보하고 세계적 기술수준 도달을 목표로 추진

표 2.1 중국 제조 2025 4대 과제와 주요 지표(중국 제조 2025, KIET 2015)

과제	지표
혁신역량 제고	- 일정규모 이상 제조업체 매출액 대비 R&D 지출 비중 - 일정규모 이상 제조업체 매출 1억 위안 당 발명 특허 수
품질 제고	- 제조업 품질경쟁력 지수 - 제조업 부가가치 증가율 제고 - 제조업 노동생산성 증가율
IT·제조업 융합	- 인터넷 보급률 - 디지털 R&D 설계 도구 보급률 - 핵심공정 CNC 비중
녹색성장	- 일정규모 이상 기업의 산업생산량 당 단위당 에너지 소모 감축 비율 - 산업생산량 단위당 이산화탄소 배출 감축 비율 - 산업생산량 단위당 수자원 사용 비율 - 공업용 고체폐기물 사용률

- ⑨ 중국 제조 2025를 더욱 상세하게 살펴보면 중국 정부는 제조업 경쟁력 향상을 위한 5대 중점 프로젝트와 10대 중점 육성산업을 설정
- ⑩ 중국 제조 2025의 5대 중점 프로젝트는 중국 제조업 분야의 기초기술 향상 실현과 해당 분야에서 2025년까지 지적재산권을 확보하고 세계적 기술수준 도달을 목표로 추진
- ⑪ 중국 제조 2025의 10대 중점 육성산업은 ICT, 로봇뿐만 아니라 교통, 농업 기계장비, 소재, 의료분야 등 향후 중국의 성장동력이 될 수 있는 다양한 산업분야 10개를 포함

표 2.2 중국 제조 2025 4대 과제와 주요 지표(중국 제조 2025, KIET 2015)

구분	미국	독일	일본	중국
주요 정부 정책	NNMI 네트워크 NITRD 브레인 이니셔티브	하이테크 전략 2020 인더스트리 4.0	일본재흥전략 2015 과학기술 이노베이션 종합 전략 2015 로봇신전략	중국 제조 2025 중국 인터넷 플러스
핵심기술	CPS, 빅데이터, IoT, 인공지능, 로봇공학, 클라우드 등			
주요 추진 조직	정부기관 글로벌 제	정부기관 글로벌 제	정부기관 글로벌 제	정부기관

	조, IT 기업	조, IT 기업	조기업	
대응 방향	제조 산업 중심으로 제 4차 산업혁명 정책 방향 설계 자국 내 글로벌 IT 기업의 적극적 참여 민간 중심 대응 전략을 적극적으로 지원	제조 산업 중심으로 제 4차 산업혁명 정책방향 설계 자동차, 기계설비 등 자국 글로벌 기업들을 중심으로 추진 국가 차원의 아젠다 제시와 함께 민관의 활발한 공동 대응	정부 아젠다 중심의 대응 전략 추진 기존에 강점을 가진 로봇 기술 중심의 전략 수립	정부 중심의 강력한 정책 추진 기존 제조 산업을 한 단계 발전시키는 주요 수단으로 ICT 기술 활용 자국 시장 규모를 적극 활용

1.2 국외 건설자동화 관련 정책 및 동향분석

1.2.1 건설 자동화 개념

건설 산업에서 건설자동화 시스템 및 로봇의 활용은 이미 오래전부터 안전성, 생산성, 품질, 작업환경의 향상과 고령화 시대에 따른 미래의 숙련공 부족에 대한 하나의 명백한 해답으로 거론되었다. 건설자동화의 개념을 정의함에 있어 컴퓨터 및 전산기술을 이용한 정보화, 통합관리시스템화 등 S/W적인 기술과 시공이 기계화를 위한 자동/반자동 형태의 로봇 개발 등 하드웨어적인 기술을 포함한다고 정의하였다. 자동화 기술이 수월히 진행된 제조업에 비해 건설 산업이 가지고 있는 특성으로 인해 자동화 기술은 타 산업에 비해 발전 속도가 더딘 상황이다. 맥킨지글로벌연구소(2017)에 따르면 건설산업의 잠재적인 자동화 비중은 47%로 절반에 미치지 못하고 건축설계자, 엔지니어, 기능공, 건설기계 운전자 등과 같은 기술-기능 인력 등은 여전히 필요로 하며, 2030년까지 8,000만~2억 명의 건설 일자리가 늘어날 것으로 전망하였다.

1.2.1 국외 건설 자동화 정책 분석

- 미국

- (1) 미국은 건설현장에서의 IoT 등 스마트기술 첨단화 및 설계·엔지니어링 역량 강화를 통한 시장 경쟁력을 확보하고 있음
- ① IoT 등 스마트기술을 통해 건설현장의 혁신을 유도하여 장비, 노동인력에 대한 모니터링, 웨어러블 디바이스, 드론 측량 및 현장 정보의 수집과 분석에서 빅데이터와 인공지능의 활용을 통해 기술 첨단화 시도
 - ② 고유가 시기에는 해외 설계 및 엔지니어링 비중이 감소하였으나 2014년 유가 급락기부터 증가하여 2015년부터 30% 이상을 점유
 - ③ National Construction Goals 수립 : 생산성 향상, 안전사고 저감 등을 목표로 건설자동화 분야에 11억6천만 달러 투자 계획

- 영국

- (1) 영국은 정부 주도로 Construction 2025를 통해 건설 산업 혁신방안으로 건설 산업의 스마트 화를 강조함 : ICT기술을 건설에 적용해 공기 50%단축을 목표
- ① 'Government Construction Strategy 2016-2020'에서 '디지털기술 활용 확대'를 제시 : BIM을 포함한 디지털 기술 확대, 전생애주기 탄소 저감, 협업 조달 기술 구현 제시

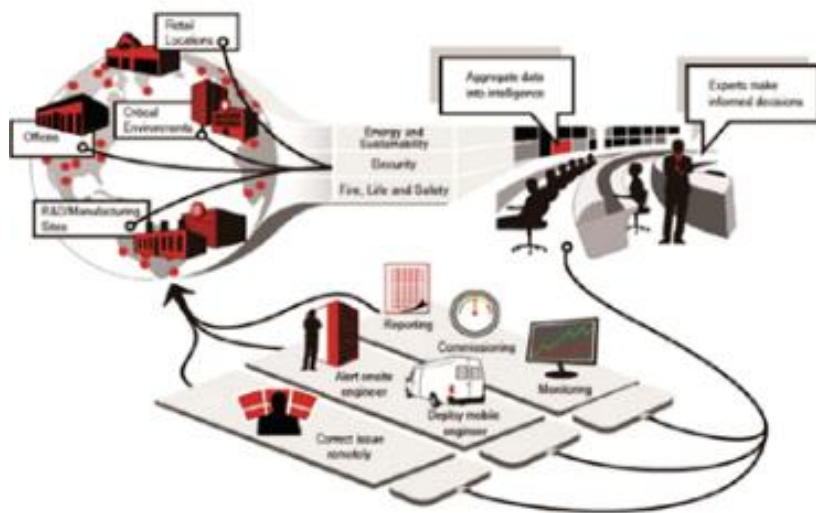


그림 2.4 Construction 2025 개요

- 일본

- (1) 일본 국토교통성은 건설 산업계의 노동력 부족에 대응하기 위해 건설 산업의 자동화·무인화 기술에 중점적으로 투자. 같은 맥락에서 2013년에는 정보화 시공 추진 전략, 2015년에는 로봇 신전략을 수립해 첨단 융·복합 건설기술 개발에 집중하고 있음.
- ① 숙련인력 감소[('14)340만명 → ('24)110만명]에 대비해 '25년까지 건설생산성 20% 향상을 목표로 'i-Construction 추진' : 건설과정에 3차원 데이터

- 도입, ICT 장비 등 신기술을 활용해 건설을 자동화·무인화
- ② 정보화 시공 추진 전략 수립 : 건설자동화를 위한 정보화 시공 중장기 로드맵 수립

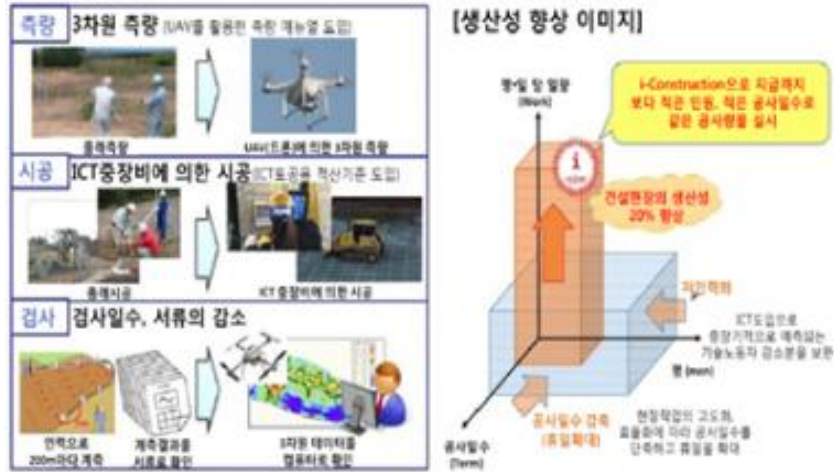


그림 2.5 i - Construction 개요

- 싱가포르

- (1) 싱가폴은 'Construction 21 운동'을 통해 생산성 향상 추진
- ① 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 핵심 기술 분야를 선정하고 기술개발 로드맵 발표('16)
- ② 국가사업에 BIM 의무화하고, 도시관리 차원에서 Virtual Singapore(도시전체 3D 모델링)로 확대



그림 2.6 Construction 21 개요도

1.3 국내 제 4차 산업혁명 및 건설자동화 관련 정책 동향

건설산업은 한국경제를 움직이는 중추적 역할을 수행하는 산업으로 인식되었으며 특히 취업유발 효과가 타 산업에 비해 상대적으로 높은 특징으로 정책수립에 있어서 중요한 역할을 수행하고 있다. 산업화 시기부터 2000년대 초반까지 한국경제의 성장을 견인해 왔던 건설산업은 최근 들어 건설투자 침체, 부동산 정책 강화, SOC예산안 축소 등으로 침체기를 맞기 시작하였다. 저성장경제체제로 인한 경기 위축 후 국내 건설 산업의 움직임은 기존과 다른 모습을 보이고 있으며 이와 더불어 건설 산업의 최대 발주자인 정부의 SOC 예산감소에 따른 영향과 더불어 고령화와 인구 절벽 등의 인구구조의 변화에도 직면하고 있다.

하지만 최근 4차산업혁명 및 ICT 산업의 발전으로 글로벌 건설 시장의 핵심 키워드로 스마트건설이 부상하고 있으며 위축되어가고 있는 국내 건설 산업에 스마트건설이 새로운 돌파구가 될 수 있을 것으로 보인다. 4차 산업혁명은 ICT 기술과 각종 산업분야가 융합되는 모습으로 빠른 속도로 우리에게 다가오고 있으며, 이러한 패러다임의 변화에 건설 산업이 뒤처지게 되면 국내 기업들의 성장과 글로벌 경쟁력이 약화 될 수 있다.

온실가스 및 에너지의 효율적 사용, 초고령화 사회로의 진입, 도시 및 주거환경 문제 등 사회 전반적인 경제적·환경적 문제를 해소하기 위해서는 4차 산업혁명과 관련된 핵심 첨단 기술들을 효율적으로 건설 산업에 접목하는 것이 필요하다.

정부는 다가오는 4차 산업혁명에 대응하기 위해 산업 간 융복합 등을 통한 건설산업의 체질 개선을 추진하기로 하였으며, 이를 위해 각종 제도와 법령을 개선하고 미래 건설시장을 선점할 수 있는 핵심기술 개발을 유도하기로 계획하였다. 본 장에서는 다가오는 4차 산업혁명에 대응하기 위한 국내 건설분야 정책동향을 분석하고자 한다.

표 2.3 4차 산업혁명 시대 대응을 위한 국내 건설분야 정책

상위(기본) 계획	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 문재인 정부 국정운영 5개년 계획(국정기획자문위원회, 2017) ◦ 제6차 건설기술진흥기본계획(국토교통부, 2017) ◦ 제5차 건설산업진흥기본계획(국토교통부, 2017) ◦ 제4차 국가과학기술기본계획(과학기술정보통신부, 2018)
실행계획 (액션플랜)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 스마트 건설기술 로드맵(국토교통부, 2018) ◦ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(국토교통부, 2018) ◦ 건설산업 혁신방안(관계부처합동, 2018)
관련 제도	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 국토교통부 고시 제2019-91호(2019. 02. 25.) : 대형공사 등의 입찰방법 심의기준

1.3.1 상위(기본) 계획

□ 문재인 정부 국정운영 5개년 계획(국정기획자문위원회, 2017)

문재인 정부는 ‘국민의 나라 정의로운 대한민국’이라는 비전달성을 위해 ‘더불어 잘 사는 경제’를 5대 국정목표 중 하나로 설정하고 ‘과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명’을 20대 전략으로 수립하였다.

또한, 국정비전 및 국정목표 달성을 위한 실천전략으로서 20대 국정전략을 설정하고, 국정전략별로 핵심정책을 100대 국정과제로 선정하였으며 이 중 스마트건설 관련 된 국정과제에 대해 요약하면 다음과 같다.

- <국정과제 33> 소프트웨어 강국, ICT 르네상스로 4차 산업혁명 선도기반 구축(미래부)
- <국정과제 34> 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴육성(산업부·미래부·국토부)

표 2.4 문재인 정부 100대 국정과제

<p>〈국정과제 33〉 소프트웨어 강국, ICT 르네상스로 4차 산업혁명 선도기반 구축(미래부)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○(4차 산업혁명 대응) 대통령 직속 4차 산업혁명위원회 신설('17년 8월) 및 범부처 4차 산업혁명 대응 추진계획 수립('17년 3분기) ○(생태계 조성) 지능정보 핵심기술 R&D, 인재양성 등에 집중투자하고, ICT 신기술·서비스 시장진입이 원활하도록 규제 개선 추진 ○(인프라 조성 및 융합 확산) 5G·IoT 네트워크 인프라 구축, 데이터 개방 및 유통 활성화, 스마트홈·정밀의료 등 ICT융합 서비스 발굴·확산 <ul style="list-style-type: none"> - '17년 IoT 전용망 구축 - '18년 10기가 인터넷서비스 상용화 - '19년 5G 조기 상용화
<p>〈국정과제 34〉 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴육성(산업부·미래부·국토부)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○(첨단기술 산업) 융복합 추진전략 마련, 반도체·디스플레이·탄소산업 등 4차 산업혁명 대응에 필요한 첨단 신소재·부품 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지능형 로봇, 3D프린팅, AR·VR, IoT가전, 스마트선박, 나노·바이오, 항공·우주 등 첨단기술 산업 육성을 위해 R&D 및 실증·인프라 구축 지원 ○(자율협력주행) 자율주행차 테스트베드·인프라, 자율협력주행 커넥티드 서비스, 스마트도로 등을 구축하고 '20년 준자율주행차 조기 상용화 ○(드론산업) 드론산업 활성화 지원 로드맵 마련('17년) 및 인프라 구축, 제도 개선, 기술개발, 융합생태계 조성 등 추진

□ 제6차 건설기술진흥기본계획(국토교통부, 2017)

국토교통부에서는 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)을 통해 2025년까지 BIM, AI 적용한 건설자동화 기술 개발을 목표로하는 “Smart Construction 2025”를 제시하였으며, 건설 노동생산성 40% 향상, 사망자 수 30% 감소, 건설 Eng. 근로시간 단축 20%, 건설Eng 해외수주 100% 확대를 이루고자 한다 .

특히, 2개 추진전략 및 10대 중점추진과제 선정하였으며, 2개의 추진전략은 다음과 같다. 10대 중점추진과제를 요약하면 표 4와 같다.

- 추진전략 1 : 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성
- 추진전략 2 : 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선

표 2.5 제6차 건설기술진흥기본계획 추진전략 및 중점추진과제

전략	분야	중점추진과제	세부내용
4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성	기술 개발	스마트 건설기술을 통한 생산성 향상	① 4차 산업혁명 대응 스마트 건설기술 개발 ② 새로운 기술의 현장적용 유도 ③ 건설신기술 적용 활성화 방안 마련·추진
		해외 수요 대응형 건설기술 개발	① 고부가가치 기술확보를 위한 메가스트럭처, 플랜트 R&D 추진 ② 민간 기술수요 반영 및 R&D 역량 강화 ③ 수요대응형 R&D 강화
	고부가 산업 육성	분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화	① 인프라 BIM 활성화 추진 ② Big Data 유통을 통한 산업역량 강화 ③ Big Data 연계·활용 기술 개발 ④ 융·복합 촉진을 위한 제도 유연화
		건설 Big Data 유통을 통한 신산업 육성	① 건설정보 개방을 통한 건설 신산업 육성 ② 건설 컨설팅 산업 육성
	건설 안전 강화	건설의 안전·환경 관리	① 스마트 건설 관리 체계 구축 ② 시설물 안전관리정보체계 일원화, ③ 인프라의 유지관리 재원확보 ④ 친환경 기술개발 및 환경관리비 개선
글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선	산업 개편·육성	Eng.의 역량 강화 및 해외진출 지원	① 해외진출역량 강화를 위한 공공 공동진출 및 통합발주 ② 설계자 주도형 발주사업 ③ 우수인력 확보를 위한 인센티브 강화 ④ 해외지원기구 설립 검토 및 정보시스템 확대 등을 통한 해외진출 지원 강화
		국제 기준에 부합하는 제도 구축	① 국내기준을 국제적 수준으로 개선 ② 국내기준의 해외 이전을 통한 기준 국제화 추진 ③ 공사비 단가 국제화를 통한 해외수주 역량 강화
	건설인력·교육	글로벌기준에 맞는 경력 관리체계 구축	① 우수기술자의 경력관리 강화 및 우대방안 마련 ② 역량 중심의 경력관리 실시 ③ 건설기술자 등급기준 개선 ④ 허위경력 검증·제재 강화 ⑤ 건설기술자 국내·외 취업 지원 실시
		국제경쟁력을 갖춘 기술인력 육성	① 수요자 중심의 교육 실시 유도 ② 교육체계 개선 및 교과개발을 통한 교육 혁신 ③ 해외건설Eng. 전문인력 양성
	기준·제도	기술력 중심의 발주심의 강화	① 글로벌 기준으로 발주제도 재정비 ② PQ의 변별력 확보 ③ 평가·발주를 합리적으로 개선 ④ 강소 Eng. 업체 육성 ⑤ Eng. 손해보험매상 개선

또한, 10대 중점 추진과제 중 스마트 건설 기술에 관련된 중점추진과제 1,3을 요약하면 다음과 같다.

○ 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상(중점추진과제 1)

- ① **(스마트 건설자동화)** 현장의존적 생산체계 한계를 극복하는 첨단공장형 건설기술을 스마트시티에 시범적용 후 2025년까지 개발
 - **(건설자동화)** 인프라 BIM을 활용한 가상 시공(pre-con)후, 3D 프린터를 활용하여 공장에서 건설 부재를 모듈화로 제작하고, AI를 탑재한 다기능 건설로봇에 의해 현장에서 조립하는 스마트 건설자동화 기술 개발
 - **(IoT 유지관리)** IoT 센서 등을 활용, 인프라의 이상을 신속하게 검지·대응하는 시스템 개발로 유지관리 비용 절감
- ② **(기술적용 활성화 지원)** 성능중심의 기술기준 확대 지속 추진, 시범사업 활성화를 위한 규제 샌드박스 활용 촉진
- ③ **(신기술 활성화)** 신기술 신청 과정에서의 개발자 부담을 완화하고, 발주청이 보다 적극적으로 신기술 활용토록 제도 개선

○ 분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화(중점추진과제 3)

- **(BIM 활용)** 도로·철도 등 인프라 분야에 대한 BIM 도입 전략 및 설계기준 등을 마련하여 인프라 BIM 활성화 추진
- **(기준 정비)** 인프라 BIM 적용 확대를 위해 BIM 설계기준* 제·개정 및 사용 주체 별·공사 단계별 가이드라인 등 마련 추진 * 공통 포맷 작성·검토·검증 시스템, 모델링 기준, 시방서, 설계요령 등
- **(활성화 방안 마련)** BIM 적용을 활성화하기 위한 로드맵 수립하고, '20년까지 500억 이상 도로사업에 대해 BIM 적용 의무화 추진



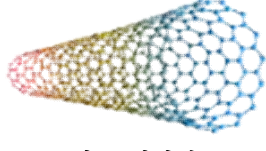
□ 제5차 건설산업진흥기본계획(국토교통부, 2017)

국토교통부의 「제5차 건설산업진흥기본계획('18~'22)」은 산업구조 개편과 불공정 해소를 통해 공정한 성장 기반을 조성하고, 글로벌 시장에 대한 전략적 진출과 기술혁신을 통한 성장동력 확보를 기본 방향으로 설정하였다. 또한, 3대 목표, 9대 중점과제, 20대 추진방안을 설정해 공정경제에 기초한 건설산업 혁신정장의 기틀을 마련하는 것을 목표로 설정하였다. 이를 요약하면 표 5, 6과 같다.

표 2.6 제5차 건설산업진흥기본계획 중점과제 및 추진방안

목표(3)	중점과제(9)	추진방안(20)
산업구조의 경쟁력 강화	1. 생산구조 규제 혁신	① 건설업 업역·업종·등록기준 개편
		② 원도급자 직접시공 활성화
		③ 다단계 하도급 구조 개선
	2. 건설기업 혁신 성장 지원	④ 기술력 중심 발주제도 개편
		⑤ 중소 건설기업 성장경로 지원
	3. 부실·불법 업체 퇴출	⑥ 페이퍼컴퍼니 등 부실업체 퇴출
		⑦ 불법행위 단속 및 처벌 강화
공정한 동반성장 기반 마련	4. 건설산업 일자리 개선	⑧ 건설근로자 임금보장 강화
		⑨ 건설 근로환경 개선
		⑩ 숙련 기술자 및 기능인력 육성
	5. 공정한 원-하도급 관계 조성	⑪ 하도급업체 보호 강화
		⑫ 우수 협력업체에 인센티브 부여
	6. 산업 전반의 갑질 관행 근절	⑬ 공공 발주자의 부당행위 개선
⑭ 대형 건설사의 불공정 행위 근절		
중장기 성장동력 확보	7. 해외시장 진출 역량 확보	⑮ 설계·엔지니어링 경쟁력 강화
		⑯ 지원체계 고도화로 진출시장 다변화
	8. 스마트 건설기술 개발·활용 촉진	⑰ 핵심 건설기술 개발을 통한 생산성 향상
		⑱ 민간 기술개발 및 품질 확보 촉진
	9. 안전 확보 및 신시장 창출	⑲ 스마트 인프라 발주 및 노후 인프라 개선
		⑳ 친환경 건설 활성화 및 건설안전 확보

표 2.7 주요 스마트 건설기술 R&D 사업(안)

구분	주요 기술	투자비용 및 기대효과
 【스마트 건설기술】	<ul style="list-style-type: none"> BIM 플랫폼 구축 건설자동화 로봇 적용 공장형 시공(모듈러, 가상시공) 스마트 건설기술 로드맵 수립('18.9) 	<ul style="list-style-type: none"> 약 2,000억원('20~'25) 건설 생산성의 획기적 제고 및 안전사고 예방
 【스마트 유지관리】	<ul style="list-style-type: none"> IoT, 빅데이터 기반 최적의 유지보수 기술 개발 시설물 내부손상 탐지 및 수명 자동 예측 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 약 1,400억원('21~'27) 선제적 시설물 관리로 인명피해·사회적 비용↓
 【스마트 건설재료】	<ul style="list-style-type: none"> 고분자 탄소재료를 활용한 철근 대체재 개발 나노소재를 이용한 고내구성 콘크리트 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 약 1,600억원('21~'27) 구조물 내진성능, 내구성·강도·유연성↑→비용절감, 화재·지진 피해 최소화

□ 제4차 국가과학기술기본계획(과학기술정보통신부, 2018)

과학기술정보통신부의 「제4차 국가과학기술기본계획('18~'22)」은 4차 산업혁명과 같은 환경변화에 대응하여 정부 R&D 시스템을 창의·선도형 R&D 시스템으로 전환하기 위한 과제를 발굴하는데 중점을 두고 있다.

특히, 【전략 3】 과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출, 【추진과제 11】 4차 산업혁명 대응기반 강화를 통해 인공지능 기반기술 확보, 초연결 네트워크 기반 구축, 데이터 공유·활용역량 강화 및 데이터 활용기반 구축, 신기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계 구축 등 4개 추진과제 선정하였다.

또한, 제4차 과학기술기본계획('18~'22)의 전략을 효과적으로 이행하고 경제·사회·과학기술적으로 기여도가 높은 기술을 중점과학기술(120개)로 선정하였으며, 인공지능, 스마트홈, 스마트시티, 3D프린팅, 대기오염대응(미세먼지) 등 12개 기술 신규 반영하여 추진 할 수 있도록 하였다.

표 2.8 4차 산업혁명 대응기반 강화를 위한 4개 추진 과제

① 인공지능 기반기술 확보	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 인공지능 분야 핵심기술의 전략적 확보 및 협업 생태계 조성 ◦ 4차산업혁명 및 인공지능 사회의 인프라로써 초고성능 컴퓨팅 하드웨어 및 소프트웨어 기술기반 조성
② 초연결 네트워크 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 사람·사물·정보가 실시간으로 연결·관리되고 지능화된 서비스 요구를 최적으로 충족시킬 수 있는 초연결 네트워크 구축 및 핵심기술 확보 ◦ 5G·IoT 기반의 개방형 플랫폼을 활용하여 누구나 新서비스를 개발·제공할 수 있는 개방형혁신 생태계 구축 ◦ 공공부문에서 중소기업장비가 합리적인 대가를 받도록 안전성을 확보하고 공정경쟁 환경을 조성하여 네트워크 장비산업의 성장기반 마련 ◦ 초연결 서비스 확산에 대비한 이용자 보호대책 및 사이버 보안 강화
③ 데이터 공유·활용역량 강화 및 데이터 활용기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 민간수요가 높은 교부가 가치 공공데이터 개방 확대 ◦ 양질의 데이터 구축 및 유통·활용 촉진 ◦ 데이터 역량을 갖춘 전문인력 양성 및 교육 강화 ◦ 데이터 공유 및 활용촉진의 주요 장애요인이 되고 있는 개인정보활용 등에 대한 법제도개선 ◦ 다양한 산업군에 적용가능한 블록체인 기술 집중 육성
④ 신기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계 구축	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 신산업·신기술 분야에 대해서는 사전허용-사후규제 방식의 '포괄적네거티브 규제'로 전환 ◦ 4차산업혁명 관련 신기술·신비즈니스의 연착륙 환경 조성 ◦ 4차산업혁명 대응 유망표준기술 발굴 및 선제적 표준화 추진

1.3.2 실행계획(액션플랜)

□ 스마트 건설기술 로드맵(국토교통부, 2018)

국토교통부는 공공과 민간이 함께 건설기술을 혁신해 나갈 수 있도록 ‘스마트 건설기술 로드맵’을 통해 발전목표를 명확히 하고 이를 달성하기 위한 이행과제를 제시하였으며, 세부 목표로 2025년까지 스마트 건설기술 활용기반을 구축하고, 2030년까지 건설자동화를 완성하도록 계획하고 있다. 이에 관한 각 기술별 내용은 다음과 같다.

○ 계획·설계 단계 핵심 기술

- ① 드론기반 지형·지반 모델링 자동화 기술: 융복합 드론*이 다양한 경로로 습득한 정보(사진촬영, 스캐닝 등)로부터 지형의 3차원 디지털 모델을 자동 도출, AI를 활용한 형상·속성정보 통합 BIM 모델링 * 카메라, 레이저스캔 장치, 비파괴조사 장치, 센서 등과 결합된 드론
- ② BIM 적용 표준 (데이터를 구성하는 형식·작성기준 등): 인프라 구조물(도로·하천·항만·철도 등)의 BIM 설계를 위해 시설물별 특성을 반영한 BIM 작성 표준(건축 분야는 표준 기구축)
- ③ BIM 설계 자동화 기술: 라이브러리를 활용해 속성정보 포함한 3D 모델을 구축 (BIM 설계), 축적된 사례의 인식·학습을 통한 AI 기반 BIM 설계 자동화

* 제약 조건 및 발주자 요구사항 등을 반영한 최적화된 설계안 자동 도출

○ 시공 단계 핵심 기술

- ① 건설기계 자동화 기술: 건설기계에 탑재한 각종 센서·제어기·GPS 등을 통해 기계의 위치·자세·작업범위 정보를 운전자에게 제공
- ② 건설기계 통합운영 및 관제 기술: 센서 및 IoT를 통해 현장의 실시간 공사정보를 관제에 반영, AI를 활용하여 최적 공사계획 수립 및 건설기계 통합 운영
- ③ 시공 정밀제어 및 자동화 기술: 조립 시공 시 부재 위치를 정밀 제어하고, 접합부를 자동 시공, 로봇 등을 활용하여 조립 시공(양중·제어·접합 등 일련 과정) 자동화
- ④ ICT 기반 현장 안전사고 예방 기술: 드론·3D 스캐너·가상현실 등 기술을 활용하여 현장 안전관리, 스마트 착용장비(Smart Wearable), 센서 등으로 취득한 정보를 통해 장비·작업자·자재 등의 상태·위치 등을 분석 판단하여 사고 예방
- ⑤ BIM 기반 공정 및 품질 관리: BIM 기반 공사관리를 통해 주요 공종의 시공간섭을 확인하고, 드론·로봇 등 취득 정보와 연계해 공정진행 상황을 정확히 체크, AI를 활용해 사업목적·제약조건에 따라 맞춤형 공사관리 방법 도출

○ 유지관리 단계 핵심 기술

- ① IoT 센서 기반 시설물 모니터링 기술: 특정 상황이 발생하였을 때에만 수집된 정보를 전송함으로써 무선 IoT 센서의 전력소모를 줄이는 상황감지형 정보수집, 대규모 구조물의 신속·정밀한 정보수집을 위한 대용량 통신 N/W
- ② 드론·로보틱스 기반 시설물 상태 진단 기술: 다종·다수 드론의 군집관제, 카메라와 물리적 실험 장비를 장착한 다기능 드론(접촉+비접촉 정보수집)을 통해 시설물을 진단, 드론-로봇 결합체가 시설물을 자율적으로 탐색하고 진단
- ③ 시설물 정보 빅데이터 통합 및 표준화 기술: 시설관리자 판단에 의한 비정형 데이터를 정형 데이터로 표준화, 산재되어 있는 건설관련 데이터를 통합 빅데이터 구축
- ④ AI 기반 유지관리 최적 의사결정 기술: 구축된 빅데이터를 바탕으로 AI가 유지관리 최적 의사결정 지원, 시설물의 3D 모델(디지털트윈)을 구축해 유지관리 활용

□ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(국토교통부, 2018)

국토교통부에서는 국토교통 과학기술에 관한 장기적이고 종합적인 정책방향을 설정하고 중장기 투자계획을 정하는 최상위 법정 종합계획으로 과학기술기본계획에 제시된 국가 R&D 정책방향을 반영하였다. 이에 관해 4개의 추진전략과 12대 실천과제를 선정 하여서 기술융합을 통한 새로운 가치창출, 융합기술을 통한 건설지능화 실현하고자 하였다. 각 항목별 내용을 정리하면 다음과 같다.

AI 기반 설계·관리 기술로 BIM 설계·시공 기술을 기반으로 설계 → 최적화 → 검증 등 건설 과정 전반을 가상현실화하고, 건축 모형·시제품 등의 제작을 디지털화하여 비용 및 시간을 획기적으로 단축하고 인공지능을 기반으로 각종 건축조건(법규, 예산, 용적율, 고도제한 등)을 고려한 설계(안) 제작·검증기술 개발 등으로 설계자동화 실현한다. 마지막으로 엔지니어링 요소 최적화 뿐 아니라 각 프로젝트별 경험 지식의 디지털화 기술 개발을 통해 예산 배분, 신규사업 기획, 조달관리 등에 사용할 수 있는 “건설 통합관리 플랫폼”으로 단계적 확장시킨다.

건설자동화의 시공분야에서 3D 프린팅을 위한 건물·구조물 설계, 재료 및 장비 개발을 통해 공기단축 등의 건설 효율성을 향상시키고 현장 맞춤형 자율계측·관리 시스템, 자율구동 건설 장비·로봇, BIM 기반 시공 검증·평가기술 개발 등으로 안전 및 효율 향상시킨다. 또한, 다중센서를 기반으로 시공 중 작업자 및 구조물 사전위험도 감지 기술 등을 개발하고, 위험지역에서 노면 굴착, 건물 철거 등을 자율 수행하는 건설장비·로봇 제어기술 등 개발한다.

유지 관리 분야의 건설자동화를 위해 센서 네트워크를 통한 빅데이터 기술로 선제적 유지 관리시스템을 구축하고, 자기치유 건설재료 등으로 시설물 장수명화하고 비파괴 방식 시설물 내부 손상 감지·진단과 인공지능을 이용한 시설물 빅데이터 분석 등으로 잔존수명 및 유지관리 최적시점 예측할 수 있도록 한다.



그림 2.7 융합기술을 통한 건설지능화 실현을 위한 기술전략 트리

※ 국토교통의 새로운 미래를 열어갈 차기 성장동력으로써 산업 전반에 근본적 변화를 가져올 8대 대표 브랜드 과제 선정(국토교통 8대 혁신성장동력)



그림 28국토교통 분야별 정책방향에 따른 기술개발 대응

□ 건설산업 혁신방안(관계부처 합동, 2018)

정부는 건설산업의 근본적인 체질 개선과 지속가능한 성장을 위해 관계부처 합동으로

‘건설산업 혁신방안’을 발표하였다. 또한, 정부는 부족한 건설 기술력, 경직적인 생산구조, 투명하지 못한 시장질서, 고령화되는 건설 일자리 문제를 해결하기 위해 물량 지원 위주의 단기 처방이 아니라 산업 체질의 근본적 개선이 필요하다는 판단을 하여 산업 혁신방안을 수립하였다. 스마트 건설기술 활성화 및 고부가가치 건설시장 확대를 통한 정부의 산업 혁신 방안을 요약하면 다음과 같다.

○ 스마트 건설기술 활성화

- (공공 R&D 강화) 건설자동화, 스마트 유지관리 등 첨단 건설기술 개발에 '27년까지 약 1조원을 투자(예타 추진)하여 핵심기술 보급
- (민간 신기술 촉진) 건설 신기술 지정제도(건설기술진흥법) 활성화를 위해 지정비용* 경감 및 우수 신기술 연계 발주도 확대('18.10)

* (현행) 신기술을 시험하는 시공장소는 개발자 확보→ (개선) 공공기관 제공

- (핵심기술 의무화) BIM*(3차원 설계) 등 4차 산업혁명 핵심기술은 공공에 적용을 의무화하고, 건설자동화 패키지형 시범사업 추진

* (현행) 건축 개념설계만 의무화→ ('20) 건축 중 분야, 대형 토목사업 의무화

○ 고부가가치 건설시장 확대

- (스마트 인프라 활성화) 건설과 ICT 기술이 융복합된 스마트 인프라 사업추진을 위해 규제 샌드박스 방식의 특례를 부여(가칭 스마트인프라 건설촉진법 제정, '19)
- (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

- (턴키발주 확대) 턴키발주 가능 공사를 확대¹⁾하면서 턴키·CM 융합을 촉진하고 턴키 PQ평가 항목을 추가²⁾하는 등 개선방안 마련('18.12)

1) (현행) 특수교량, 해저터널 등 14개→ (개선) BIM 등 첨단공법 적용시 허용

2) (현행) 시공능력, 지역업체 참여 등→ (개선) R&D 규모, Eng 인력 등 추가

1.3.3. 관련제도

□ 대형공사 등의 입찰방법 심의기준(국토교통부고시 제2019-91호)

국토교통부는 미래 4차 산업을 선도하는 ‘스마트건설기술 활성화’를 통한 건설 산업육성 및 미래시장 선점 등을 위해 스마트 건설기술 적용 시 기술경쟁 유도 및 고품격 설계를 위해 턴키로 발주할 수 있도록 「대형공사 등의 입찰방법 심의기준」 적용 범위에 스마

트건설공사를 신설하고자 하였다. 이에 따라 「대형공사 등의 입찰방법 심의기준」에 스마트 건설공사 적용범위, 집행기본계획서, 심의요청, 심의기준, 심의운영·관리, 선정기준과 검토항목을 신설하였으며, 이에 따른 항목을 정리하면 다음과 같다.

- (제2조제5호) 설계와 시공단계까지 적용 가능한 스마트 건설기술을 일괄적으로 적용하려는 공사로서 일괄입찰 또는 기본설계 기술제안입찰로 집행하는 것이 유리하다고 인정되는 공사
- (제3조제7항제4호) 설계와 시공단계까지 전 과정에 스마트 건설기술을 적용하려는 경우
- (제8조제3항) 발주청은 입찰방식을 제5조제1항제1호부터 제4호까지 중 어느 하나로 추진할 경우, 영 제86조에 따른 사후평가 시 입찰방식의 효과를 분석하기 위하여 다음 각 호의 발주청 제시 설계내용과 낙찰 설계내용을 비교한 정량적 추정치 산정 결과서(공사비 및 유지관리비 절감, 공기단축, 품질향상 효과, 스마트 건설기술 적용 효과)를 실시설계 완료 후 작성 보관하여야 한다.
- 스마트 건설공사의 선정기준과 검토항목 신설(별표 3의 2), 발주공사 유형별 대상공사 선정기준에 스마트 건설기술 관련 항목 신설(별표 4 제VI항)

□ 스마트인프라 건설촉진법(가칭)

고부가가치 건설시장 확대를 위해 건설과 ICT 기술이 융복합된 스마트 인프라 사업촉진을 위해 규제 샌드박스 방식의 특례를 부여하고 있으며, 스마트인프라에 대해서는 건설 + ICT + SW업체로 구성된 컨소시엄·SPC에 시공자격을 부여하는 등 건산법, 국가계약법 등의 기존 법령의 규제 배제하여 적용하고 있다.

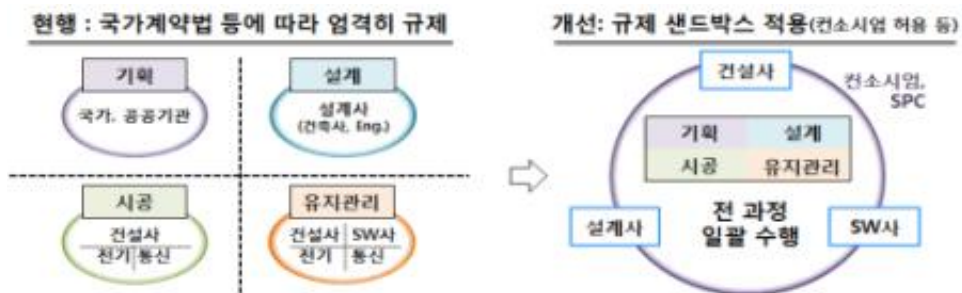


그림 2.9 규제 샌드박스 개선방안 도식도

1.3.4 요약 및 제언

정부는 다가오는 4차 산업혁명에 대응하기 첨단 ICT 기술과 산업 간 융복합을 통한 국가산업 체질의 개선 추진중이며, 이를 주도할 컨트롤 타워로서 대통령 직속 4차 산업혁명 위원회('17년 8월)를 신설하고, 범부처 4차 산업혁명 대응 추진계획 수립('17년 3분기)을 지시하였다.

국토부는 건설자동화 기술 개발을 목표로하는 “Smart Construction 2025”를 비전으로 제시하였으며, 주요 목표로 노동생산성, 사망자 수, 근로시간, 해외수주로 설정하였다. 세부 추진전략은 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발, 신산업 육성, 제도 개선으로 구분되며, 이중 중장기 성장동력 확보를 목적으로 스마트 건설기술, 스마트 유지관리 등 첨단기술 융합형 R&D 사업을 추진('27년까지 약 1조원 투자, 예타 추진) 중에 있다. 기술개발 분야에서는 ICBM(사물인터넷(IoT), 클라우드(Cloud), 빅데이터(Big Data), 모바일(Mobile)) 기반의 스마트 건설자동화를 최우선 과제로 제시하였다. 스마트 건설기술 로드맵을 통해 발전목표를 명확히 하고 이를 달성하기 위한 이행과제를 제시하고 있는 실정이다.

과기정통부는 초연결·지능화 인프라(DNA : Data, Network, AI)를 구축하는 정책을 추진중이며, 데이터(Data) 구축·활용 촉진, 초연결 네트워크(Network) 환경 구축, 지능화(AI) 기술경쟁력 확보를 통한 초연결·지능화 사회 구현을 비전으로 설정하였다.

정부 주도의 스마트건설 트렌드가 설계부터 시공, 유지관리까지 건설산업 전반에 걸쳐 퍼지고 있으며, 민간 부분에서도 이에 대응하기 위한 전략을 수립 중에 있다. 국내 대기업에서는 BIM, 드론, ICT기반 현장관리 기술 등이 일부 도입되어 활용되거나 시범적으로 적용된 사례가 있으나, 전면적인 도입·활용에 아직 소극적인 상황에 직면해 있다. BIM은 조달청의 적용의무화 등에 따라 건축분야를 중심으로 활용 중이고, 일부 대기업에서는 시공성 검토 등의 목적으로 활용되고 있다. 건설장비는 자동측량, 무인굴착기 기술 등이 개발되었거나 국가연구개발사업을 통해 개발중이나, 아직 연구단계이며, 자동화 통합관제 등을 위한 기술이 부족하여 전면 활용이 어려운 실정에 있다. 드론은 측량·토공량 산정 등에 일부 시범 도입되어 있는 상태이며, ICT 기술을 활용한 기업의 현장관리기술은 현장 안전관리 차원에서 이제 적용이 시작된 단계라고 판단된다.

우리나라는 통신&네트워크 분야에서는 세계적 수준의 ICT 기술과 인프라를 가지고 있으며 4차 혁명시대 시대를 맞이하여 통신&네트워크의 역할을 단순 데이터의 이동뿐 만 아니라 다양한 외부환경, 예를 들어 기술혁명, 고령화, 글로벌화 등에 따른 위기를 극복할

수 있는 기반으로 다양하게 규정해야 할 것이다. 4차 산업혁명은 '5G 초연결 네트워크의 지능화'로 정의할 수 있으며, 이에 따라 인프라와 서비스가 분리됨에 따라 새로운 디지털 서비스의 개발 및 고부가가치 건설산업을 위한 확대기술 개발 필요한 실정이다. 국토교통 분야는 다양한 빅 데이터가 축적되어 있고, 공공에서 직접 서비스하는 영역이 많기 때문에 민간 수요가 높은 고부가가치 공공데이터를 발굴하여 개방하고 확대할 수 있도록 추진 중에 있다.

2. 국내·외 건설 자동화 연구·기술동향 분석

2.1 국내외 건설분야 자동화 연구 및 기술 동향 분석 방안

국내외 건설자동화 기술 동향 파악을 위해 국내·외에서 진행 중인 건설분야 자동화 연구 및 기술 동향을 분석하여, 향후 자동화분야 인사이트 확보와 미래 선도를 위한 핵심기술 도출하고자 하였다. 국내외 건설자동화 기술 분석 방안은 다음과 같다.

- 국내외 건설자동화 기술 조사는 다양한 4IR 기술이 건설분야에 적용되고 있어 광범위하므로 한국과학기술정보연구원의 국가과학기술정보센터(NDSL.kr)에서 제공하는 국내외 논문 및 학술회의 자료를 대상으로 한정함 (검색 시점 : 2019.05.07.)
- 국토교통부에서 2018년 발표한 스마트건설기술의 주요 키워드 12개 중 9개 키워드에 대한 총 2,899개 자료 추출하여 키워드별 분류 분석하였음.
- 총 2,899개 추출자료는 빅데이터 94개, 인공지능 135개, 가상현실 162개, 3D 프린팅 149개, 드론 55개, 3D 스캔 222개, 사물인터넷 56개, 로봇틱스 187개, BIM 1,839개 있으며 각 분야별 기술 동향을 분석하였음.
- 스마트건설기술의 키워드 9개에 대한 연도별 빈도 분포 분석을 수행한 후 키워드별 조사된 논문 및 학술회의 자료의 제목 및 요약문 내에서 가장 많이 언급되는 키워드 분포 현황을 분석하였음.
- 또한 키워드 9개에 대한 Domain(토목, 건축, 환경, 도시, 건설 등)별 빈도 분포 분석을 수행하고 적용 단계별(기획, 발주, 조달, 조사, 설계, 시공, 유지관리, 해체, 자산관리 등) 빈도 분포 분석을 수행하였으며 그 결과는 다음 절과 같음.

2.2 국내외 건설분야 자동화 연구 및 기술 동향

○ Big Data

건설분야 빅데이터 연구는 2011년부터 최근까지 지속적으로 연구가 증가 경향이며, 건설분야에 빅데이터를 접목하는 주요 도메인은 에너지와 안전 등 분야에서 가장 많이 사용되고 있는 것으로 나타났다. 건설 분야 Big Data 연구의 주요 키워드는 Data, Building, Management, Energy, Analytics 등으로 나타났으며, 데이터의 수집 및 분석과 관련된 빅데이터 연구의 특성상 특정시간 동안 누적된 시계열 데이터가 필요하며, 유의미한 패턴을 도출하기 위해서는 대량 및 장시간 누적 데이터가 필요하다. 빅데이터

분석의 대상은 도시가 16건으로 가장 많았으며, 누적된 시계열 데이터로부터 유의미한 패턴을 도출하고, 이를 바탕으로 예측에 활용하는 경우가 가장 일반적인 것으로 나타났다.

○ AI (Artificial intelligence)

AI분야의 연도별 분석결과 1990년대 초반부터 주로 연구가 시작되어 2010년 이후부터 급격히 증가 추세이다. 건설분야 AI가 접목된 연구동향 분석결과, 비용예측에 대한 연구가 17건으로 가장 많이 나타났으며, 비용예측은 최근 많이 연구되고 있는 기계학습(machine learning) 기반의 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN) 알고리즘과 사례기반추론(Case-based Reasoning, CBR) 또는 유전자알고리즘(Genetic Algorithm, GA) 등이 주로 사용되고 있다. 특히, 교량과 건물, 터널 등이 주로 연구되고 있지만 건설분야 AI 연구들이 시설물을 특정하지 않고 진행된 연구들이 다수 진행되었다.

○ VR(Virtual Reality)·AR(Augmented Reality)·MR(Mixed Reality)

VR을 접목한 연구는 1997년도에 관련 논문이 처음 출현하였으며 2000년대 초부터 성장세를 나타내었다. 특히 아이폰이 국내에 활성화되었던 2007년~2008년을 기점으로 뚜렷한 성장세를 보였다. 도메인별 분석 결과 전체적으로 건축분야가 91건(전체대비 60%)으로 제일 많은 것으로 집계되었으며, 분야별로 보면 VR 분야가 39건, AR분야가 49건, MR분야가 3건으로 집계되었다. 토목분야에서는 철도, 교량분야에서 활용이 많이 되고 있으며 플랜트 분야에 적용하기 위한 노력도 최근 증가하고 있는 것으로 알 수 있다. VR기술 분야에서는 설계단계 적용 연구가 제일 많았으며, AR 기술은 시공분야에 적용하기 위한 연구가 많았고, MR 분야는 모든 단계에서 활용하기 위한 연구를 진행하고 있는 것으로 조사되었다.

○ 3D Printing

3D프린팅은 적용단계보다 연구 단계이므로, 기계와 재료에 대한 연구가 대부분임, 특히 재료에 대한 연구가 많았으며, 대상 시설물에 이용한 사례는 극히 적다. 토목 구조물로는 지하관개, 도로 유지보수, 교량 등이 있었으며, 특성상 3D프린팅 건축물(장비, 재료)에만 이용 할 수 있는 연구 논문이 81.2%이었으며, 그 외 빈도가 높은 시설물은 우주건설 관련 연구이다. 68%가 시공 단계로 분류되었으며, 유지 관리는 보수 부분을 3D프린팅으로 해결 하려는 연구가 대부분이다.

○ Drone

Drone 관련 연구는 2010년대 초반 쿼드콥터의 등장으로 2014년을 기점으로 급격하게 연구가 증가하는 추세이며, 향후 지속적으로 증가가 예상된다. 도메인별 분석 결과 토목 분야에서 약 63%의 연구가 진행되고 있으며, 건축, 환경, 도시 분야에서도 일부 연구가 진행되고 있는 상태이다. 적용단계의 경우 전체적으로 조사 단계가 전체 약 45%를 차지하고 있으며, 다음으로 시공과 유지관리에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 토목분야의 조사 단계에 연구가 진행되고 있는 주요 특징은 3D Scanning 장비를 활용하여 이동성이 확보되어 무인조사가 가능하여 기존의 측량 과정의 한계를 대폭 개선할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

○ 3D Scanning

3D Scanning에 대한 연구는 2000년대 초반부터 지속적으로 증가추세이며, 최근 Drone의 등장 이후부터 더 급격하게 증가하는 추세이며, Drone의 기술 개발과 유사한 패턴으로 연구가 증가할 것으로 전망된다. 도메인별 분석 결과 토목 분야에서 가장 연구가 많이 진행되고 있으나 건축 분야에서도 많은 연구가 진행되고 있는 추세이다. 적용단계의 경우 Drone과 유사한 특징을 나타내고 있으나 3D Scanning을 통한 설계 분야의 기술 개발이 독특한 경향을 나타낸다. 이러한 특징은 기존의 2D 설계 과정의 복잡성 및 가시성 문제점 등과 역설계의 어려움 등으로 인한 3D 설계의 장점으로 인하여 많은 연구가 진행되고 있는 것으로 판단된다.

○ IoT(Internet of things)

사물인터넷은 2000년대 후반 스마트폰의 등장 후 인터넷 기술과 MEMS 등의 하드웨어 디바이스의 가격이 저렴해지면서 시장이 급격하게 증가하는 추세이며, 건설분야에서도 2010년대 초반부터 연구가 점차 증가하여, 최근 5년동안 Big Data와 AI 등의 기술과 융합됨에 따라서 급격히 증가하는 추세이다. 도메인별 분석 결과 건설분야에서는 토목, 건축 환경 및 도시 등 어느 한 분야에 집중되지 않고 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있으며, 이러한 특징은 IoT를 위한 장치가 저렴해지고, 스마트폰과 연계된 다양한 서비스 기술의 개발이 가능하여 확장성이 뛰어나기 때문인 것으로 판단된다.

○ Robotics

Robotics 용어는 1920년 체코슬로바키아의 극작가 카렐 차페크의 희곡에서 처음 사용

되었으며, 사람의 노동을 대체하기 위한 지속적으로 연구가 진행되어 왔으며, 건설 분야에서도 지속적으로 연구가 진행되어 왔으나 IoT, Drone, Big Data, AI 등의 증가 추세와는 상이하게 아직까지 건설분야에서 집중적인 연구가 진행되고 있지 않은 상태이다. 도메인별 분석 결과 건축분야에서 상대적으로 많은 연구가 진행되었으며, 적용단계별로는 시공 및 유지관리에 집중 연구가 진행되고 있는 상태이다. 대표적으로 건축 공사과정의 청소 및 자재 이송 등과 특정 작업(외벽 유리창 설치, 천장 부재 설치 등)의 분야에서 연구가 진행되어 왔다.

로봇 관련 연구는 기계적인 기반 기술이 바탕이 되어야 하므로 주로 기업의 주도하여 기술 개발이 진행되고 있는 있으며, 건설분야에서는 장비회사가 주로 하드웨어 부분의 연구를 진행하고 학·연에서는 소프트웨어 중심의 연구가 진행되고 있으며, 향후 건설현장에서 사람 대신 작업이 가능한 자율형 로봇에 관한 연구가 증가할 전망이다.

○ BIM

국내 문헌에서는 전체 도메인을 검토한 결과 건축과 관련된 BIM 논문이 1120건으로 도출되었으며, 토목의 경우 주로 토목일반, 도로, 교량, 철도, 터널 순으로 나타남. 토목에서 가장 중요한 공종인 토공에 대한 관련 문헌 빈도가 낮다. 해외의 사례에서도 마찬가지로 건축분야 BIM관련 문헌수가 456건으로 가장 높음. 그다음으로 플랜트 일반 분야의 건수가 높으며, 토목분야 도메인별 관련 논문은 그 수가 적다. 일부 교량관련 논문이 발표된바 있으며, 상위 도메인을 검토한 결과, 토목은 15건, 그 다음으로 플랜트가 8건, 도시 및 건설은 각 4건씩 조사되었다.

건축분야에서 전체 도메인에 대해 단계별 논문 동향을 검토한 결과 설계와 관련된 BIM 연구(867건)가 가장 높은 빈도를 보였으며, 그 다음으로 시공, 유지관리 순으로 많은 문헌 들이 발표되었다. 해외에서의 단계별 BIM관련 문헌을 검토한 결과 국내와 마찬가지로 전반적으로 설계(239), 시공(122), 기획(67)의 순으로 조사되었음. 한국과는 달리 주로 기획단계에서의 BIM이 중요하게 다루어지고 있음을 확인할 수 있다. 국내의 경우 연도별 문헌 발표 추세를 보면 2008년부터 급격히 증가하여 2013년까지 꾸준히 증가하다가 2014년 이후 BIM 관련 논문 발표 건수가 감수 추세에 있다. 해외에서는 2011년부터 BIM관련 논문건수가 꾸준히 증가하다 2017년을 정점으로 2018년부터 감소 추세에 있다. 그러나 2019년 상반기까지 44건이 발표되어 추세를 볼 때 2019년에 관련 논문건수가 급격히 증가할 것으로 예상된다.

2.3 시사점

시사점으로는 4차 산업혁명 기술 기반 건설자동화 융합 기술 연구 증가가 예상된다. 2000년대 초반부터 건설분야에 스마트기술을 접목하기 위한 연구가 시작되었으며, 특히 최근 빅데이터, AI, 3D 프린팅 등 4차 산업혁명 주요기술과 접목한 연구가 증가하고 있는 추세이며, 향후 5G 기술 도입과 하드웨어 기술 고도화로 건설자동화에 대한 연구는 더욱 가속화될 것으로 전망된다. 건설현장의 환경과 니즈가 반영된 핵심 기반기술 개발 필요하다. 4차 산업혁명 기술을 기반으로 건설분야의 기술 개발이 활발해 지는 것은 고무적이지만, 건설분야 Domain의 특성이 반영된 핵심 기술에 대한 연구가 미흡한 것으로 나타났다. 건설자동화 기술은 사람이 수행하기 어려운 위험하거나 반복적인 비효율적인 작업을 개선하는데 큰 의의를 갖고 있으며, 이를 위해서는 건설 현장의 특성(재료, 지반, 환경 등)을 제대로 이해하는 것이 우선적으로 필요하다. 하지만 건설분야의 기초 연구와 융합된 건설자동화 기술은 아직까지 부족한 실정이며, 향후 건설자동화 분야의 기술을 선도하기 위해서는 건설현장의 환경과 니즈를 반영하여 센싱 및 로봇 등을 활용한 기술개발이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

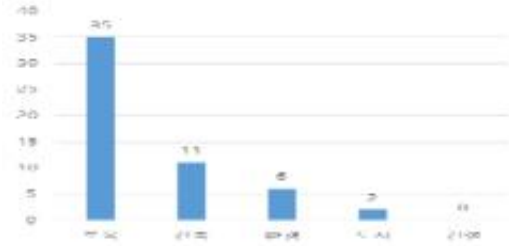
또한 건설자동화 분야 안전관련 기술 개발이 필요하다. 최신 IT 기술이 융합된 다양한 스마트 건설 기술은 대부분 장비 중심의 건설자동화 기술 개발에 집중되고 있으며, 사람의 안전과 관련된 기술 개발은 미흡한 상태이다. 향후 건설자동화 기술의 활성화를 위해서는 자동차의 브레이크와 같은 역할을 할 수 있는 안전관련 기술(추락사고 방지기술, 기계와 인간 협업 기술, 환경오염 방지 기술 등)도 동시에 개발이 진행되어야 건설자동화 시장이 성숙하게 성장할 수 있을 것으로 판단된다.

(5) Drone (55)

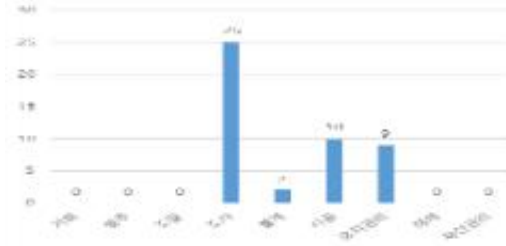
a. Key words 분포



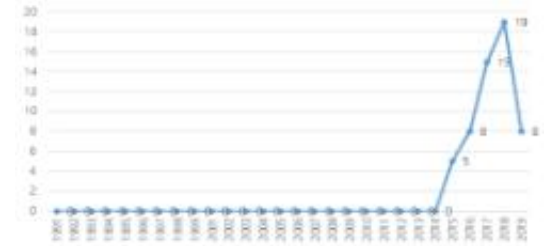
b. Domain 빈도 분포



c. 적용단계별 빈도분포



d. 연도별 빈도분포

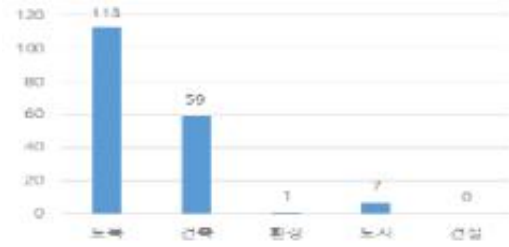


(6) 3D Scanning (222)

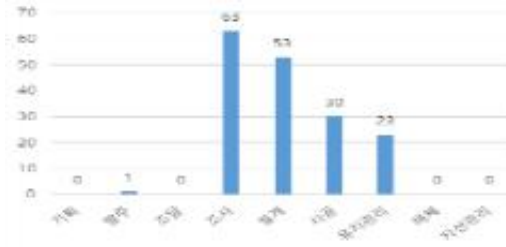
a. Key words 분포



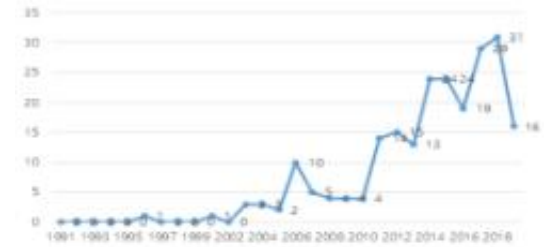
b. Domain 빈도 분포



c. 적용단계별 빈도분포



d. 연도별 빈도분포

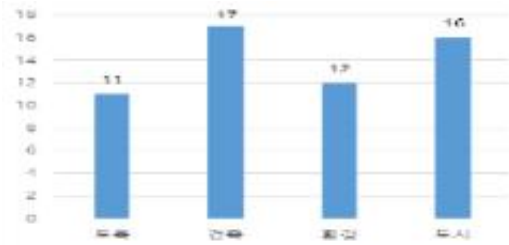


(7) IoT (56)

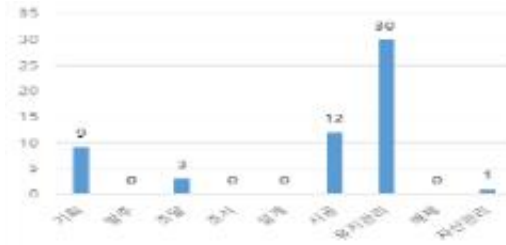
a. Key words 분포



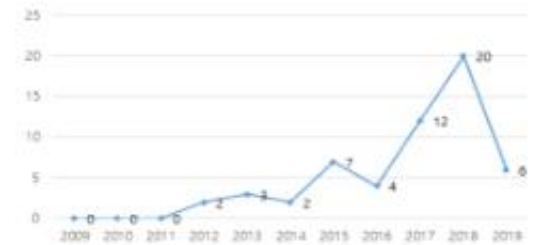
b. Domain 빈도 분포



c. 적용단계별 빈도분포



d. 연도별 빈도분포

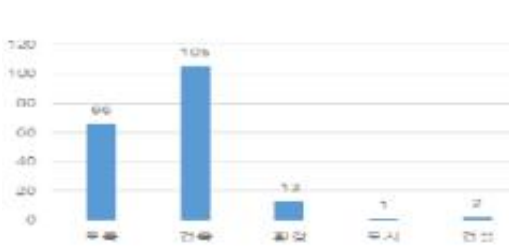


(8) Robotics (187)

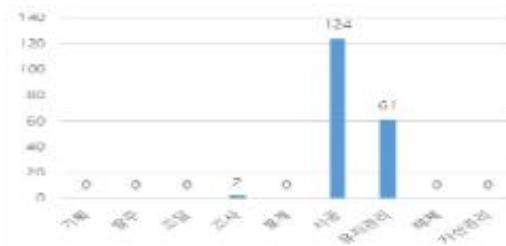
a. Key words 분포



b. Domain 빈도 분포



c. 적용단계별 빈도분포



d. 연도별 빈도분포

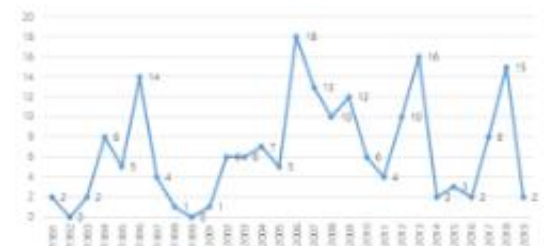


그림 2.1 국내외 건설분야 자동화 연구 추이도(계속)

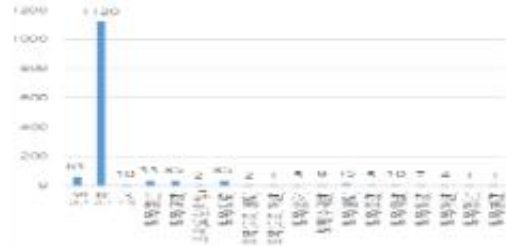
(9) BIM

- 국내 (1352)

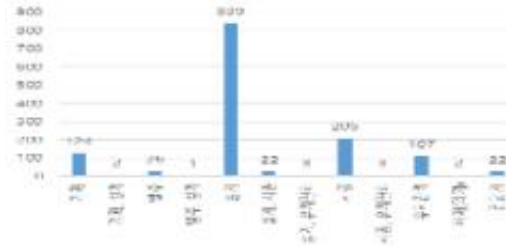
a. Key words 분포



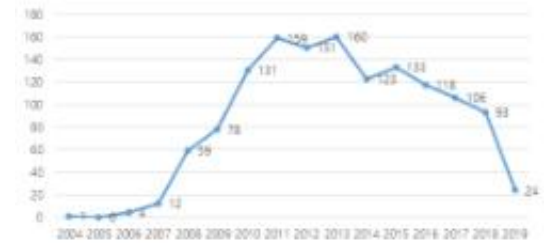
b. Domain 빈도 분포



c. 적용단계별 빈도분포



d. 연도별 빈도분포



- 국외(487)

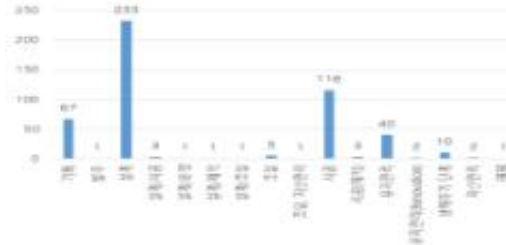
a. Key words 분포



b. Domain 빈도 분포



c. 적용단계별 빈도분포



d. 연도별 빈도분포

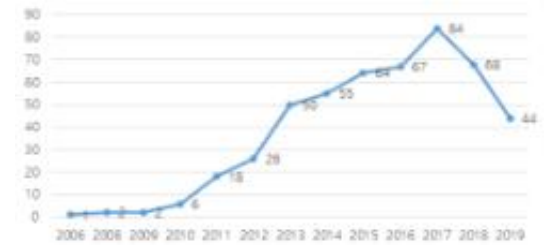


그림 2.1 국내외 건설분야 자동화 연구 추이도(계속)

3. 건설연 내 자동화 연구과제 및 보유기술 분석

3.1 연구과제 및 보유기술 분석을 위한 키워드 도출

본 2장 3절에서는 건설자동화연구센터의 발전전략과 2030년까지 건설자동화 미래선도전략을 수립하기 위한 과정의 일환으로 외부적으로는 국내외 정책, 기술, 연구 동향을 파악하고, 내부적으로는 연구원과 건설자동화연구센터의 보유 역량과 현황에 대한 진단을 수행하고자 한다. 이를 통한 결과는 향후 건설자동화연구센터에서 핵심적으로 추진할 연구 주제를 발굴하고 지속가능한 연구체계를 수립하기 위한 기반자료로 활용될 예정이다. 본 절에서는 원내에서 수행된 건설자동화 관련 연구과제와 보유기술의 선별기준 정립을 통해 건설자동화 기술에 대한 분류와 핵심기술 키워드를 도출하고자 한다.

3.1.1 건설자동화 기술 분석 방안

(1) 기술분류 분석 방향

원내 수행된 다양한 과제 중 건설자동화 관련 연구과제와 보유기술을 선별하기 위해서는 건설자동화 기술분류에 대한 기준 설정이 필요하다. 국내 연구개발분야의 기술분류의 기준은 과학기술정보통신부의 국가과학기술표준분류체계를 활용하는 것이 일반적이다. 국가과학기술표준분류체계를 검토한 결과, 건설자동화 연구분야는 건설/교통분야(EI)의 세분류인 시공 자동화기술(EI0405)에 해당될 수 있으나 건설자동화 기술 전체 범주를 포함하기에는 부족하며, 세분류 하위에 상세한 기술분류를 제시하고 있지 않다. 또한, 타 분류(예. 로봇/자동화기계(EA05)와 정보/통신(EE)의 하위분류)의 세부기술과 융합되는 성격이 있어 참조용으로는 활용 가능하나 그대로 활용하기에 적절하지 않다. 따라서 건설자동화연구센터 관점에서 건설자동화 기술에 대한 개념을 새롭게 설정하고 이에 맞는 분류기준과 키워드를 도출하고자 한다. 본 연구에서는 스마트 건설과 4차 산업혁명 등 새로운 패러다임이 이슈가 되고 있는 현 시점에서 건설자동화 기술을 바라보는 관점 정의를 위해 건설자동화에 대한 기존 문헌 고찰을 통해 기존 정의를 검토하고 현 트렌드에 맞게 건설자동화의 개념과 기술분류를 설정하였다.

이를 위해서 건설자동화 기술분류 제시 또는 기술 로드맵 연구를 주제로 하는 기존 문헌 분석을 통해 건설자동화의 주요 개념과 기술분류 기본 틀을 잡고 스마트 건설 등 현재 ICT

기술의 트렌드 등을 반영하여 새로운 기술분류를 설정하였다. 기술분류 범주에 포함되는 요소기술 목록을 정의하였으며 이 목록 중 연구원의 기술 영역과 연관성이 높은 기술을 주요 키워드로 선별하여 원내 건설자동화 연구과제 선별 키워드로 활용하였다.

(2) 건설자동화 개념 정의

기술에 대한 개념은 고정된 사전적 의미로 정의되기도 하지만, 기술을 활용하는 주체의 상황과 관점에 따라 다양하게 해석되기도 한다. 스마트 시티의 경우, 국제전기통신연합 (ITU)에 따르면, 전 세계적으로 2014년 기준 120여개의 스마트 시티에 대한 개념이 존재하며 국가 및 지역별로 관점에 따라 다양하게 정의되고 있다. 건설자동화 기술에 대한 개념 정의 역시 이를 정의하는 국가, 조직 특성에 맞게 다양하게 제시될 수 있으며, 시대적 상황에 따라 변화될 수 있다.

우선 건설자동화에 대한 기존 정의와 기술 범주를 파악하기 위해 1990년 초반부터 최근까지의 자료 중 건설자동화에 대한 기술분류를 제시하거나 기술 로드맵 연구를 주제로 하는 기존 논문과 연구보고서 등 문헌을 다음과 같이 분석하였다.

표 2.9 설자동화에 대한 정의 현황

No.	출처	건설자동화 정의 및 범주
1	한국건설기술연구원, “건설공사 자동화 방안 연구”, 과학기술처, 1999.12	(미국) 건설자동화란, 컴퓨터를 이용한 원격조정 및 통신, 수치제어, 반자동 혹은 자동화기에 의해 건설공사현장 및 사무실에서 건설공사절차의 모든 단계에 걸쳐 수행되는 엔지니어링 업무와 작업을 의미 즉, CIC(Computer Integrated Construction) 개념 , 건설로봇화는 건설자동화의 하드웨어기술의 일부로서 현장 시공상의 인력대체방안으로 로봇에 의한 시공을 의미 (일본) 건설자동화와 로봇화라 함은 건설시공의 기계화에서 진전된 상태로서 로봇화 및 무인화에 의한 시공을 의미, 기존 건설기계에 자동제어장치·센싱장치 등을 부착하는 것을 자동화로 간주 하고, AI를 첨가한 것을 로봇화라고 하는 것이 일본에서의 통설이다.
2	김문환, 건설경영공학, 기문당, 2002	16.1.12 건설자동화의 정의 건설분야에서 자동화란, 인간의 지적 작업을 대체하는 활동으로서 고유한 의미의 자동화 혹은 로봇화를 의미하며, 건설업에서의 자동화는 통칭 로봇화로 그 의미

No.	출처	건설자동화 정의 및 범주
		가 대변된다. 또한, 자동화 시공은 컴퓨터를 이용한 원격조정 및 통신, 수치제어, 자동화 기기에 의해 건설공사현장 혹은 사무실에서 수행하는 엔지니어링 업무와 건설공사를 의미
3	이준복 외 1인(2003), “건설자동화 기술적 로드맵 작성을 위한 연구”, 대한건축공학회 논문집 19권 5호, 2003.5	건설자동화라 함은 컴퓨터 및 전산기술을 이용한 정보화, 통합관리시스템화 등 소프트웨어적인 기술 과 시공의 성력화, 기계화를 위한 자동·반자동 형태의 로봇 개발 등 하드웨어적인 기술을 포함
4	이승훈 외 3인(2011), “건설산업의 자동화 및 로봇화 기술 운영 현황 및 전망”, 유공압시스템학회지, 2011.6	건설자동화라 함은 정보화의 측면보다 극한 작업(고소, 해저, 지하, 터널 등)과 같은 열악한 작업환경이나 중량물 취급과 같은 인력의존도가 높은 건설공사의 근로자 안전문제.... (중략).. 문제를 해결하기 위한 방안으로 이루어지는 인력의 지원, 대체 최근 들어서는 로봇의 협업에 이르기까지 하드웨어적인 개발을 다루는 것으로 정의

기존 정의 현황을 분석한 결과, 건설자동화 기술에 대한 개념과 범주에 대한 정의는 기술을 활용하는 주체와 시기에 따라 변화함을 확인할 수 있다. 일본의 경우 장비 즉, 하드웨어를 중시하고 장비에 인공지능이 추가된 것을 로봇화와 동일한 개념으로 활용되기도 하며, 미국의 경우 자동화의 기술분류를 소프트웨어적인 설계 자동화와 하드웨어적인 시공 자동화로 구분하기도 한다. 국내 연구의 경우, 크게 소프트웨어적인 기술과 하드웨어적인 기술로 크게 분류하고 있다. 지금까지의 건설자동화 개념은 인력 대체를 위한 로봇, 소프트웨어 기술보다 로봇과 같은 하드웨어 기술을 강조하여 왔으며, 단일 공정을 대체하는 단위 로봇을 활용한 시공 자동화에 초점을 두어 왔다. 이에 따라 건설자동화 단계도 인력에 의한 시공, 기계화 시공, 반자동화 시공, 자동화 시공, 지능형 시공 순으로 제시되었다.

이준복(2009)는 “건설자동화 및 로봇화 기술의 현재와 미래”에서 건설자동화 및 로봇화 (construction automation and robotics)라 함은 컴퓨터 및 전산기술을 이용한 정보화, 통합관리시스템화 등 소프트웨어적인 기술과 시공의 성력화, 기계화를 위한 자동·반자동 형태의 로봇 개발 등 하드웨어적인 기술을 포함한다고 정의하였으며, 건설자동화 및 로봇화의 성과는 하드웨어와 소프트웨어의 인터페이스를 통한 지능형 로봇의 개발과 관련 정보의 자동화를 하나로 묶는 이른바 디지털 건설로봇화(digital construction robotization)라

표현한 바 있다.

본 문헌에서 건설자동화 및 로봇화의 방향을 크게 2가지로 제시한바 있다. 첫째, 기계화 시공을 위한 건설기계의 반자동화, 무인화/자동화, 지능형 로봇화이다. 기존의 건설기계의 몸체의 견고함과 스스로 이동 능력의 자동화가 주요한 이슈가 될 것으로 전망했다. 둘째, 자동화 시공시스템의 구축으로 건설기계의 로봇화와 사업관리정보가 연계된 혁신적 자동화시공시스템의 구축이 될 것으로 전망했다. 이는, 건설로봇과 RFID 기술, USN 기술, GIS/GPS 기술 등 첨단 위치정보기술 등 첨단 정보통신기술을 이용한 건설사업관리 정보와의 연계된 자동화시공 시스템의 구축을 의미한다. 건설자동화 및 로봇화를 실현하기 위해서는 시공 자동화 요소기술의 개발 못지않게 자동화를 위한 설계 및 엔지니어링 기술(design for automation)의 개발도 함께 강조하였다.

이와 같이 기존 건설자동화의 개념 분석을 통해 최근 스마트 건설기술 및 4차 산업혁명 관련 정책 등으로 인해 ICT 융합기술과 4차 산업혁명 관련 핵심기술에 대한 관심이 높아지면서 건설자동화의 개념의 트렌드가 무인화, 공장화, 스마트 팩토리, BIM을 활용한 프리캐스트, 모듈화로 나아가는 것을 확인할 수 있으며, 하드웨어적인 기술에서 하드웨어와 소프트웨어가 융합되어 지능화로 변화되고 있는 것이 확인되었다.

이러한 환경변화를 고려하여 건설자동화연구센터 관점에서는 건설인력의 대체를 자동화로 바라보는 관점이 작업자의 노동력 측면보다 확대되어 인간의 지능적인 측면을 포함하는 것이 필요하며, 설계와 기획 등 엔지니어링적인 부분의 자동화 등 지식 측면을 범주의 주요 요소로 포함하도록 구성하고자 한다. 또한, ICT 기술뿐 아니라 디지털 데이터를 중요한 기술 범주로 포함시키고자 한다. 또한, 하드웨어를 통한 특정 작업 대체 외 의사결정 지원, Pre-construction을 통한 노동시간 단축, 업무 효율성 증대 영역도 장기적으로 포함하는 것이 바람직하다고 생각한다.

건설자동화연구센터 관점에서 주요 기술영역을 고려하여 건설자동화 기술의 범주를 토목과 건축 중심의 건설공사 중심으로 우선 선정하였으며, 교통과 물류, 재난/재해 분야와 관련된 건설자동화의 영역은 제외하였다. 건설자동화연구센터 관점에서의 건설자동화란, 디지털 데이터 환경에서 로봇 또는 소프트웨어, ICT 기술을 활용하여 건설사업 관련 업무 및 의사결정을 대체하거나 도움을 받는 활동으로 설정하고 이에 대한 큰 기술의 활용대상을 시공자동화와 설계자동화로 크게 구분하여 기술분류안을 제시하였다. 향후 기술의 활용대상은 기술의 수요 및 우선순위 검토 등을 통해 유지관리자동화 등으로 점진적으로 넓혀갈 계획이다.

3.1.2 시공자동화 기술분류안 제시

본 연구에서는 건설자동화의 개념을 디지털 데이터 환경에서 로봇 또는 소프트웨어, ICT 기술을 활용하여 건설사업 관련 업무 및 의사결정을 대체하거나 도움을 받는 활동으로 설정하고 시공자동화 관점에서 기술분류와 키워드를 도출하고자 한다. 우선, 기존 문헌분석을 통해 시공자동화의 기술분류의 큰 틀을 설정하고 ICT 기술 트렌드와 스마트 건설기술 등 패러다임 변화를 반영해서 기술 프레임과 세부 요소기술 목록을 보강하는 방법으로 수행하였다. 이를 통해 제시되는 기술분류 프레임을 구성하는 분류와 분류 내 세부 요소기술 목록은 원내 건설자동화 연구과제와 보유기술을 추출하는 키워드의 후보 목록으로 활용하였다.

(1) 시공자동화 기술분류 및 키워드 도출 관련 연구 현황

1) 건설자동화 기술적 로드맵 작성을 위한 연구

이준복 외 1인(2003)은 “건설자동화 기술적 로드맵 작성을 위한 연구”에서 건설자동화 분야의 접근방법 및 성과를 살펴보고 국내에 있어 기술적 로드맵 구축의 필요성, 작성방법 및 사례를 중심으로 건설자동화 기술적 로드맵에 대한 모델을 제시함으로써 국내 건설산업에 있어 건설자동화 연구개발 분야의 활성화를 위한 제언을 하였다. 본 연구에서 자동화의 범위는 고소작업 및 중량물 취급 등 열악한 작업환경과 인력의존도가 높은 건설공사의 근로자 안전문제 및 작업환경 개선과 생산성 정체문제 등을 해결하기 위한 방안으로써 인력지원 또는 인력대체를 위한 하드웨어적인 건설자동화 분야로 한정하였다.

장비를 원격제어할 수 있는 정보통신 및 원격조정기술, 셋째, 건설장비에 인지, 추론, 학습 및 행동을 위한 능력을 부여하고 실시간 결정 및 작업이 수행 가능하도록 하는 인공지능 기술, 넷째, 건설장비 개발 전 과정에 대한 시뮬레이션 기술, 다섯째, 운전자가 원하는 작업을 건설장비가 수행할 수 있도록 건설장비의 움직임을 직접적으로 지시하는 교시기술이다. 이러한 기술영역에 포함되는 요소기술도 함께 제시된 것이 특징이며 이를 참고하고자 한다.

기술영역	요소기술
센싱 및 제어기술 [가]	<ul style="list-style-type: none"> · 센서 응용기술 · 극한 환경용 센서기술 · 센싱 알고리즘 · 센서 기반 지능제어 기술 · 시각기반 제어기술 · 소형, 경량 고출력 액츄에이터 · 규격 및 빌드재료 Handling 기술
정보통신 및 원격조정기술 [나]	<ul style="list-style-type: none"> · 유무선 통신 응용기술 · 멀티미디어 응용기술 · 통신 프로토콜 기술 · 정보 표준화 기술 · GIS 및 GPS 응용기술 · 인터넷 응용기술 · 유비쿼터스 응용기술 · RFID 응용기술 · Tele-operation 기술 · 건설로봇용 MMI 구축기술 · API(Application Programming Interface) 구축기술
인공지능 기술 [다]	<ul style="list-style-type: none"> · 작업 Knowledge 및 Skill DB 구축기술 · 공간인식 기술 · 영상처리 기술 · 위치추적 기술 · 장비 진로계획 및 충돌회피 기술 · 소프트웨어 기술 (신경망, 퍼지, 유전자 알고리즘 등) · 실시간 인지, 추론, 및 학습 기술 · 인간-기계 상호작용 지능화 기술
시뮬레이션 기술 [라]	<ul style="list-style-type: none"> · 3D 그래픽 시뮬레이션 기술 · 3D 입체 영상 응용기술 · 가상현실 기술 · Intelligent CAD 기술 · CAD/CAC 기술 · 가상 시스템과 물리적 시스템 연계기술
교시 기술 [마]	<ul style="list-style-type: none"> · 온라인 및 오프라인 교시기술 · 조건 교시기술 · 지능형 교시기술 · 자동 오차보정 기술

그림 2.12 기술영역별 자동화 요소기술

3) 텍스트마이닝 기법을 활용한 정보통신기술 기반 건설자동화 연구동향 분석

임시영 외 1인(2016)은 텍스트마이닝 기법을 활용하여 정보통신기술 기반 건설자동화에 관한 논문을 분석함으로써 정보통신 기반 건설자동화 연구를 핵심단어 기반으로 대표연구분야를 설정하고 이에 대한 연구동향 및 주요연구내용을 정리하였다. 텍스트마이닝 수행에 필

요한 검색어 및 대표단어 선정을 위해 건설자동화 분야의 연구를 수행한 경험이 있는 전문가를 대상으로 정보통신기반 건설자동화분야를 잘 반영할 수 있는 441개의 검색어를 선정하고 이를 국가과학기술전자도서관(NDSL)에서 1981년 이후 1,453편의 논문을 수집하였다. 논문에서 많이 사용되는 정보통신기반 건설자동화와 관련이 있는 25개의 대표단어를 도출하고 441개의 검색어를 재분류 하였다. 예를 들어 441개의 검색어 중 불도저, 굴삭기, 로우더, 적재기, 지게차, 기중기, 크레인, 쇄석기, 천공기, 향발기, 준설선, 드레저, 준설기 등은 장비로 변환하였고, 감지기, 측정기, 관측기, 검출기, 열센서, 광센서는 센서로 변환하였다고 설명하고 있다.

정의된 25개의 대표단어를 바탕으로 8개의 연구분야를 분류하였는데 ‘사업 진행 현황 수집 및 분석기술’ 관련 논문이 470건(26%), ‘건설장비 자동화 요소분석 및 적용기술’ 관련 논문이 457건(25%)으로 절반이상을 차지하였으며, ‘사고 발생 예측 및 방지기술’, ‘센서 기반 건설 장비 실시간 분석기술’, ‘건설물류 네트워크 구축기술’ 관련 논문이 각각 10%이상을 차지하였다.

Order	Keyword	Appearance rate	Order	Keyword	Appearance rate
1	Ubiquitous	0.444201	20	Wireless network	0.006565
2	USN	0.067527	21	Measurement system	0.006565
3	zigbee	0.070022	22	Site management	0.006565
4	Sensor Network	0.052516	23	Temperature sensor	0.006565
5	Wireless communication	0.04814	24	Mobile network	0.006565
6	Wireless sensor	0.035011	25	Construction logistics management	0.006565
7	Location information	0.030635	26	Internet of things	0.004376
8	wifi	0.026258	27	Big data	0.004376
9	Location based	0.026258	28	Geographic information system	0.004376
10	Smart phone	0.02407	29	Actuator	0.004376
11	WSN	0.021882	30	Measurement technology	0.004376
12	Wireless sensor network	0.019694	31	Sensor technology	0.004376
13	Location based services	0.015317	32	Information management system	0.004376
14	Location awareness	0.013129	33	Telematics	0.004376
15	Work history management	0.010941	34	Construction	0.004376
16	Logistics management	0.010941	35	Humidity sensor	0.004376
17	Information management	0.010941	36	Remote monitoring	0.004376
18	xml	0.008753	37	Communication of things	0.004376
19	Monitoring system	0.008753			

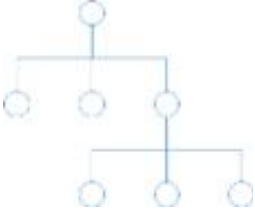

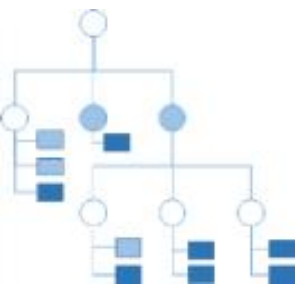
그림 2.13 건설장비 자동화 요소분석 및 적용기술 에 대한 주요 키워드와 빈도율

‘건설장비 자동화 요소분석 및 적용기술’을 중심으로 파악한 결과, 이 분야에서는 유비쿼터스 개념을 물류관리, 정보관리, 현장관리, 계측시스템 등의 다양한 분야에 적용하는 연구가 주로 이루어지고 있으며 기타 통신과 센서기술을 활용하여 감시시스템, 원격모니터링, 정보관리, 현장관리, 건설시공 등에 적용하는 연구가 이루어져 왔음을 유추할 수 있다. ‘건설장비 자동화 요소분석 및 적용기술 분야’에서 피인용 횟수가 높은 논문을 연도순으로 살펴보면 RFID, USN과 관련한 연구들이 인용이 많이 이루어졌음을 알 수 있다.

(2) 기존 건설자동화 기술분류 사례 검토를 통한 기술분류(안) 제시

건설자동화 기술분류 제시 또는 기술 로드맵 연구를 주제로 하는 기존 문헌 분석을 통해 건설자동화의 주요 개념과 기술분류를 기본 틀로 잡고 스마트 건설 등 현재 ICT 기술의 트렌드 등을 반영하여 새로운 기술분류와 키워드 목록을 도출하는 작업을 진행하였다. 여러 문헌 중 앞 절에서 대표적으로 분석한 3개 문헌을 참조 활용하였으며, 1번 문헌은 기술분류의 기본 프레임 설정에, 2번 문헌은 ICT 기술분류의 세분류와 요소기술 목록 보강에, 3번 문헌은 스마트 건설 트렌드를 반영한 요소기술 목록 보강에 활용하였다.

표 2.10 기존 문헌 분석 기반 건설자동화 기술분류 및 기술 도출

[1번 문헌] 건설자동화 기술적 로드맵 작성을 위한 연구	[2번 문헌] 건설자동화를 위한 요소기술과 기술혁신 전략에 관한 연구	[3번 문헌] 텍스트마이닝 기법을 활용한 정보통신기술 기반 건설자동화 연구동향 분석
<p>시공자동화기술 분류의 기본 프레임으로 활용</p> 	<p>소프트웨어 기술분류에 ICT 트렌드 반영하여 분류 보강에 활용</p> 	<p>스마트 건설 트렌드 반영하여 전체 요소기술의 목록 보강에 활용</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • 하드웨어 분류를 기계 부품 측면보다 건설로봇으로 재해석, 활용 • 소프트웨어 분류 활용 • 휴먼웨어 분류 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 소프트웨어 분류를 ICT 기술 분류 관점으로 재구성하고 요소기술 목록 보강 • 휴먼웨어 분류를 지능 분류 관점으로 재구성하고 인공지능, 시뮬레이션 분류 및 하위 요소기술 목록을 보강 	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 분류 하위에 스마트 건설 트렌드에 해당하는 요소기술 목록을 보강

시공자동화 기술분류의 기본 프레임을 설정하고 기술분류와 요소기술 목록을 세부적으로 보강작업을 거쳐 도출된 기술분류(안)은 다음 그림과 같다.

자동화 기술분류(안)

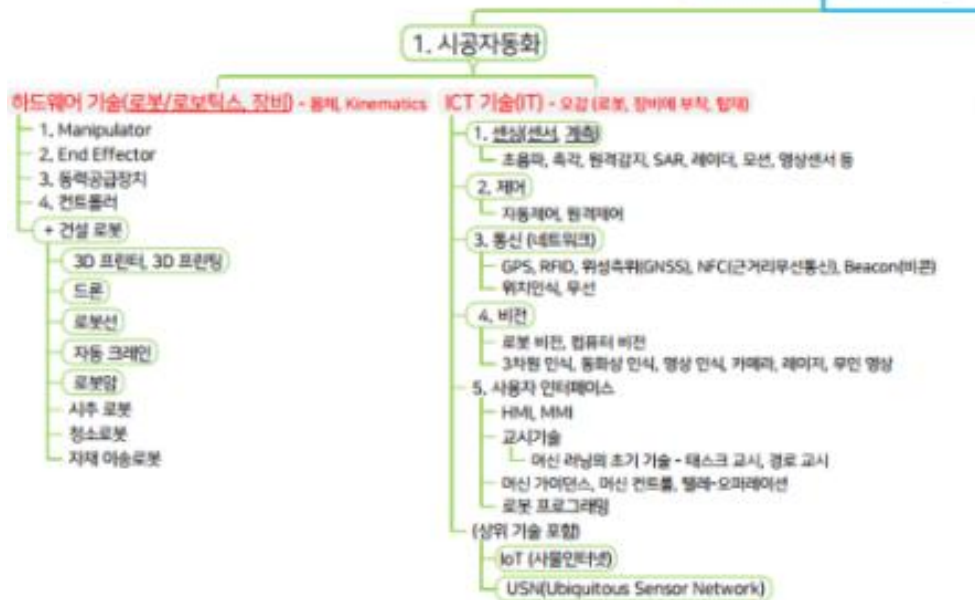


그림 2.14 시공자동화 기술분류 트리

건설자동화연구센터의 관점에서 바라본 시공자동화 기술분류는 기존의 하드웨어 분류와 소프트웨어 분류 외에 휴먼웨어나 데이터로 적은 비중을 차지하던 지능 기술분류를 중요한 비중으로 설정하였으며, 이는 시공자동화 영역뿐만 아니라 설계자동화 등 자동화 공통기술로 분류하도록 구성한 것이 특징이다. 자동화 공통기술인 지능 기술분류는 인간의 두뇌 역할을 하는 기술로서 데이터 측면과 데이터를 다루는 지식 측면, 의사결정을 지원하는 지능 측면을 포함하며 이의 세부적인 정리는 설계자동화 부분과 통합하여 마지막 절에서 최종 정리하였다.

표 2.11 시공자동화 부문 기술분류 및 요소기술(안)

대분류	기술분류		요소기술 목록
	중분류	소분류	
시공 자동화	하드웨어 기술 - 물체 역할	1. Manipulator	3D 프린터, 3D 프린팅, 드론, 로봇선, 자동 크레인, 로봇암, 시추 로봇, 청소로봇, 자재 이송로봇
		2. End Effector	
		3. 동력공급장치	
		4. 컨트롤러	
ICT기술 - 오감 역할	1. 센싱 (센서, 계측)		초음파, 촉각, 원격감지, SAR, 레이더, 모션, 영상센서 등
	2. 제어		자동제어, 원격제어
	3. 통신 (네트워크)		GPS, RFID, 위성측위(GNSS),

기술분류			요소기술 목록
대분류	중분류	소분류	
			NFC(근거리무선통신), Beacon(비콘), 위치인식, 무선, IoT, USN
		4. 비전	로봇 비전, 컴퓨터 비전 3차원 인식, 동화상 인식, 영상 인식, 카메라, 레이저, 무인 영상
		5. 사용자 인터페이스 (교시기술)	HMI, MMI, 태스크 교시, 경로 교시, 머신 가이드스, 머신 컨트롤, 텔레-오퍼레이션, 로봇 프로그래밍
자동화 공통 기술	지능 (Data/지식) - 두뇌 역할	1. Data/ Information	공간/ 시설
			데이터 표준화 · 규격화
		2. 지식/지능	플랫폼 빅데이터
			시물레 이션 인공지능 (AI)
			※ 3.1.4항에서 목록화 예정

3.1.3 설계자동화 기술분류안 제시

본 절에서는 건설자동화연구센터에서 정의하는 건설자동화 개념에 따라 설계자동화 관점에서 설계자동화 기술분류(안)과 키워드를 제시하고자 한다. 이는 앞서 도출된 시공자동화 기술분류(안)과 통합되어 건설자동화 측면에서 재구성된다. (3.1.4항)

설계자동화 기술분류(안)을 제시하기 위하여 국내외 건설(토목, 건축)분야의 설계자동화 기술을 주제로 한 연구사례를 분석하였다. 이를 통해 설계자동화의 개념 및 기술 범주를 정립한 후, 설계자동화 기술 프레임과 이를 구성하는 요소기술로 목록화하였다. 최종적으로 설계자동화 관련 원내 연구과제 및 보유기술을 추출하기 위한 기술 키워드로서, 설계자동화 프레임을 구성하는 요소기술단위에서 핵심 키워드를 도출하였다.

(1) 설계자동화 기술분류 관련 연구 현황

‘18년도 국토교통부에서는 “2025년 스마트 건설기술 활용기반 구축, 2030년 건설 자동화 완성”을 목표로 스마트 건설기술 로드맵을 발표하였다. 설계, 시공, 유지관리 단계별로 중점 분야와 핵심 기술을 제시하였으며, 이때 BIM 기술은 설계 자동화의 근간기술로 주목받고

있다. 건축분야에서는 BIM기반 설계기술은 이미 활성화 단계에 있으며, 토목분야에서는 '20년 500억원 이상 공공 도로사업에 BIM 설계 의무화를 대비하기 위한 도입단계에 있다고 판단된다.

최근 국내에서는 건축 설계자동화를 위한 BIM 활용 기술 및 인공지능 기술을 접목하는 국가 연구개발 과제가 수행되고 있다. 본 연구진은 국내 건설분야의 설계자동화 기술 개발 관련한 대표적 연구과제와 국외 설계자동화 기술분류 관련 연구논문을 분석대상으로 선정하여, 선행 연구에서 정의하는 설계자동화 기술 범주를 검토하였다. 기존 문헌 분석 결과를 참조하여 건설자동화연구센터에서의 건설자동화 관점에 따른 설계자동화 기술 범주를 설정하고, 설계 자동화 기술분류(안)의 틀을 마련하였다.

1) BIM 기반 설계 자동화 기술개발 관련 연구

국내 건축설계 단계의 BIM 도입 및 확산을 목적으로 '개방형 BIM기반의 건축물 설계표준 및 인프라 구축('13.11~'16.11, 국토교통과학기술진흥원 도시건축연구사업, 주관연구기관: 빌딩스마트협회)' 과제 및 '건축물 설계품질 혁신을 위한 개방형 BIM기술 환경 구축('13.11~'16.11, 국토교통과학기술진흥원 도시건축연구사업, 주관연구기관: 경희대학교)' 추진되었으며, BIM정보의 통합적 공유 및 교환을 위한 정보표준인 KBIMS 표준규격을 제시하였다. 이의 2단계 사업으로 현재 '개방형 BIM기반의 건축설계 자동화지원 기술 및 첨단 유지관리 기반기술 개발('17.03~'21.12, 국토교통과학기술진흥원 도시건축연구사업, 주관연구기관: 빌딩스마트협회)' 과제가 수행중이다. 본 과제에서는 건축설계 생산성 향상 및 품질혁신을 위한 개방형 BIM 활용기술 개발을 목적으로 크게 세 가지 세부기술(BIM 정보 표준 및 표준 기반 모델링 지원기술, 설계 적법성 평가기술, 기존건축물 유지관리 기반기술)로 구분하여 연구를 진행하고 있다. 유지관리 기술부문을 제외하고 설계자동화 지원기술 중심으로 검토해본 결과 본 과제에서 정의한 BIM기반 건축설계 자동화지원기술은 국가과학표준분류 기준에서 (대분류)건설 교통, (중분류)시설물 설계 해석기술, (소분류)설계 정보화기술/ 설계 표준화기술로 분류되어 있다. 또한, 설계자동화기술의 목표와 이에 필요한 기술 영역 및 핵심 연구내용은 다음과 같다.

표 2. 12설계자동화 기술 목표 및 기술 영역

설계자동화 목표(활용목적)	기술 영역
BIM 설계 모델 작성 과정의 효율 증대	개방형BIM 표준 플랫폼 구축 및 응용기술
BIM기반 인허가 프로세스에서 업무 효율과 설계품질 향상	개방형BIM 기반의 건축설계 적법성 평가 자동화 기술 및 응용기술

표 2.13 설계자동화 기술 영역별 핵심 연구 내용

기술 영역	주요 연구내용
<p>개방형BIM 표준 플랫폼 구축 및 응용기술개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> - BIM 정보표준 규격 및 기준 개발(고도화) - 건축 표준 라이브러리 기술콘텐츠 개발(확장) 및 유통 플랫폼 구축 - 분야별 건축설계 공유 컴포넌트 라이브러리 기술콘텐츠 기반 구축 - 개방형BIM 플랫폼 기술 개발 - BIM기반의 실시설계도서 기술 개발
<p>개방형BIM 기반의 건축설계 적법성 평가 자동화 기술 및 응용기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 제법규 논리규칙 DB 및 분야/용도/단계별 규칙검토 자동화 모듈 (확장) 개발 - 건축물 품질 평가 자동화 기술 (확장) 개발 - 건축물 설계품질 평가 및 성능검토 기술 개발 - BIM기반 건축 인허가 통합 활용을 지원하는 설계 스마트워크(smart work) 시스템 (확장) 개발 - BIM 기반의 설계 의사결정 지원체계 기반 연구

앞서 제시된 건축 설계자동화 기술영역을 바탕으로 BIM 기술 관점에서의 요소기술은 1) BIM기반 설계 정보 체계를 제공하는 BIM 정보표준 규격 및 기준, 2) BIM 정보표준을 기반으로 설계 및 모델링 지원을 위한 라이브러리 개발 기술, 3) BIM 정보표준 규격 및 라이브러리 콘텐츠 보급을 위한 공유 플랫폼 기술, 4) 건축물 설계 모델의 품질 평가 및 설계 품질 및 성능 평가 기술, 5) BIM기반 설계 프로세스 통합 업무 지원을 위한 시스템 구현기술로 요약될 수 있다.

2) 인공지능기반 설계자동화 기술개발 관련 연구

최근 국토교통과학기술진흥원의 국토교통연구기획사업으로 ‘인공지능 기반 건축설계 자동화 기술개발 (‘18.12 ~ ‘19.12, 주관연구기관: 경북대학교)’ 과제가 수행되고 있으며, 해당 과제 연구진은 인공지능을 비롯한 ICT 기술과 전통 건축설계업무를 융합하여 건축설계 생태계 혁신을 위한 건축설계자동화 기술 개발을 기획 중이다.

본 과제에서 정의한 인공지능 기반 건축설계자동화기술은 국가과학표준분류 기준에서 (대분류)건설 교통, (중분류) 시설물 설계 해석기술, (소분류) 설계 정보화기술 / 건축/ 설계 표준화기술로 분류되어 있다. 인공지능 기반 건축설계자동화기술을 구현하기 위한 세부 기

술을 분류하기 위해서 본 과제에서는 건축 설계 단계별 자동화 기술 목표를 설정하여, 핵심 역량을 실현할 수 있는 기술 영역을 5가지로 분류하였다.

표 2.14 건축 설계 단계별 설계자동화 기술 목표 및 기술 영역

건축 설계 단계	설계자동화 목표	기술 영역
기획/계획/기본설계	창의적 설계 (창의성)	인공지능기반 설계초기 자동화 기술
실시설계	효율적 설계 (생산성)	파라메트릭/ 인공지능기반 설계구현 자동화 기술
설계분석 및 평가(시공/운영 연계)	고부가가치 설계 (경제성)	인공지능기반 설계평가 기술
설계정보 구축	지속가능 설계 (운용성)	인공지능기반 설계지식 인프라 구축 및 서비스 플랫폼 구현 기술

표 2.15 설계자동화 기술 영역별 핵심 연구 내용

기술 영역	주요 연구내용
인공지능기반 설계초기 자동화 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 인공지능기반 인간중심 및 공간중심 설계접근 기술 개발 - 건축계획 및 설계초기 자동화 기술 개발 - 설계지식 빅데이터 구축 및 활용 기술 개발
파라메트릭/ 인공지능기반 설계구현 자동화 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 이미지기반 딥러닝 학습을 통한 설계 모델링 자동화 및 건축/구조/MEP 실시설계 최적화 기술 개발 - 강화학습 및 파라메트릭/인공지능기반 현장 시뮬레이션을 통한 실시설계 합리화 솔루션 개발 - PC/프리패브 건식공법 최적화를 위한 생산 자동화 및 가상시공 솔루션
인공지능기반 설계평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 설계 요구사항 및 경제성 평가 자동화 기술 개발 - 건축물 성능평가 자동화 기술 개발 - 설계 적합성 및 시공성 평가 자동화 기술 개발 - 설계평가 활용 인공지능 인터페이스 기술 개발
인공지능기반 설계지식 인프라 구축 및 서비스 플랫폼 구현 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 설계자동화 기술서비스 플랫폼 개발 - 미래 건축설계 지식서비스 지능모델 개발 - 인공지능기반 설계지식 및 기술 정보표준 프레임워크 개발

설계 업무 특성에 따라 제시된 건축 설계자동화 기술영역을 바탕으로 지능화 기술 관점에서
 서의 요소기술은 1) 다양한 요구사항을 고려한 설계 대안 생성 및 설계/시공 최적화 기술,
 2) 설계 및 모델링 자동화 기술, 3) 설계 정합성 분석 및 평가 시스템 개발기술, 4) 일련의
 설계 과정에서 생성 및 참조될 수 있는 설계지식 및 설계 정보표준화 기술, 5) 지식 빅데이
 터 구축 및 활용 서비스 플랫폼 개발기술로 해석될 수 있다.

3) 건설분야 설계자동화의 기술 연계 로드맵에 관한 연구

“Design automation in construction - an overview” (2016, Marcus Sandberg
 외) 연구에서는 설계 자동화 영역의 컴퓨팅 기술을 소개하고 이들간 관계를 상위 개념에서
 전체론적으로 제시하였다. 본 연구에서 주목하는 설계자동화 기술은 BIM, 마스터 모델, 지
 식 기반 엔지니어링(KBE), Configuration, 모듈/모듈러, 플랫폼, 시뮬레이션 기술이다.
 설계자동화를 구현하는데 각 기술 영역의 역할은 다음과 같이 정의하였다.

- BIM 기술: 시설물 모델을 생성, 교환 및 분석하는 일련의 프로세스와 모델링 기술
- 마스터모델 기술: 다양한 도메인에서 수행되는 모델링 작업들을 서로 연결 및 연동
 하는 설계 통합 모델 (activity의 연동)
- 지식 기반 엔지니어링 기술: CAD시스템과 외부 시뮬레이션 모델을 연결하여 통합
 적 분석기반의 설계 모델 및 프로세스를 자동 도출하는 기술
- Configuration 기술: 프로덕트 플랫폼을 통해 설계 요구사항을 반영하여 설계 프로
 세스를 최적화하는 기술
- 모듈/모듈러: 프로덕트(시설물)을 구성하는 변경 가능한 모듈. 프로덕트의 모듈화하
 는 절차는 1) 프로덕트를 기능적, 구조적 파트로 세분화, 2) 프로덕트 플랫폼에 파
 트 및 모듈을 통합, 3) 모듈 특성의 결과를 평가로 요약되며, 다양한 방법론(MFD
 등) 존재
- 플랫폼: 모듈 및 스케일 기반으로 파생되는 상품을 효율적으로 개발할 수 있는 공통
 구성요소, 모듈, 부품의 세트인 프로덕트 플랫폼과 프로덕트 최적화 설계를 가능하게
 하는 표준적 경로인 프로세스 플랫폼으로 구성
- 시뮬레이션: 건설 프로세스 시뮬레이션을 위해서는 모델링 자동화 측면에서 데이터
 베이스 기반 시뮬레이션이 효과적이며, 이때 시뮬레이션 모델은 입력되는 데이터 기
 반으로 파라메트릭하게 정의됨

이러한 핵심 기술 중 BIM, KBE, configuration 및 시뮬레이션은 직접적으로 연결되는
 기술영역으로 보았으며, 플랫폼, 모듈/모듈러, 마스터모델은 이들과 연계되어 설계자동화 구

현에 도움을 주는 역할을 하는 기술영역으로 바라보았다.

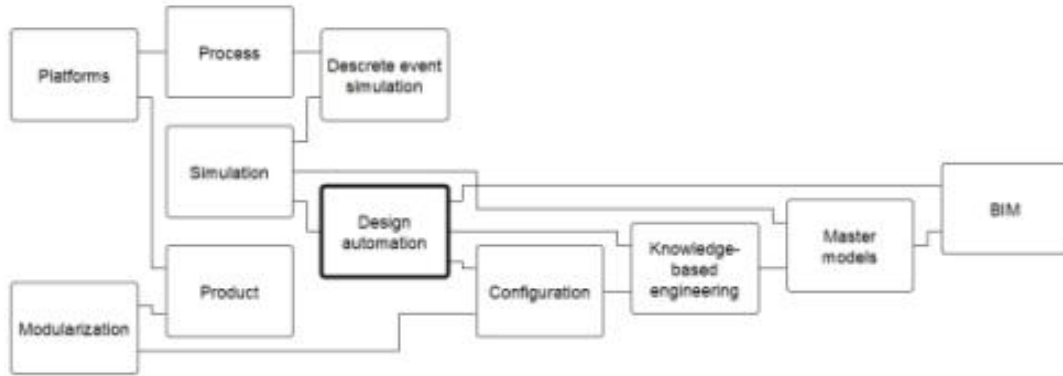


그림 2.15 설계자동화 구현을 위한 핵심 기술과 연관 관계

(2) 설계자동화 기술분류 관련 연구 현황

건설자동화연구센터에서는 설계자동화 기술분류 기준을 설정하기 위해 설계자동화 기술 관련 기존 문헌 분석을 통해 정리한 설계자동화기술 범주와 요소기술 분류를 바탕으로 센터에서 바라보는 건설자동화 관점에서 설계자동화기술 범주를 크게 3가지로 정의하였다. 이를 바탕으로 설계자동화 기술 범주 및 범주에 포함되는 핵심기술 및 요소기술을 도출하였다.

1) 설계자동화 기술 범주

- 설계(시설, 구조 등) 및 모델링 업무 지원 및 자동화 기술
- 설계 과정에서 의사결정을 지원하는 해석 및 기술판단의 영역까지 포함한 설계 최적화 기술
- 설계 정보와 지식을 창출하고 공유하기 위한 설계 정보화 및 지식화 기술

상기 범주의 기술 영역은 공통적으로 1) 설계 반자동화, 2) BIM 기술 및 정보화 기술 등을 활용한 설계 자동화, 3) 빅데이터, 인공지능기술 등 4차 산업혁명 관련 기술을 활용한 설계 지능화의 흐름으로 성숙도 단계에 따라 기술의 완성도를 높일 수 있다.

2) 설계자동화 기술분류(안)

앞서 설정한 기술 범주를 바탕으로 다음의 3가지 기술을 상위레벨 기술로 분류하였으며,

- Computer Aided Engineering 기술
- 의사결정 지원 기술
- 정보화/지식화 기술

이들 중 정보화/지식화 기술은 시공 자동화 기술 부문과 공통기술영역으로 정의하여 공통 기술로 통합하였다. 상위레벨 기술 범주를 구성하는 하위레벨 기술은 Bottom-up 방식을 통해 기존 문헌의 설계자동화 기술 분류를 기반으로 핵심기술을 도출하고 이에 포함되는 세부 요소기술 키워드를 목록화하였다. 설계자동화 기술분류의 기본 프레임을 설정하고 기술분류과 요소기술 키워드 목록을 세부적으로 보강작업을 거쳐 도출된 기술분류(안)은 다음과 같다.

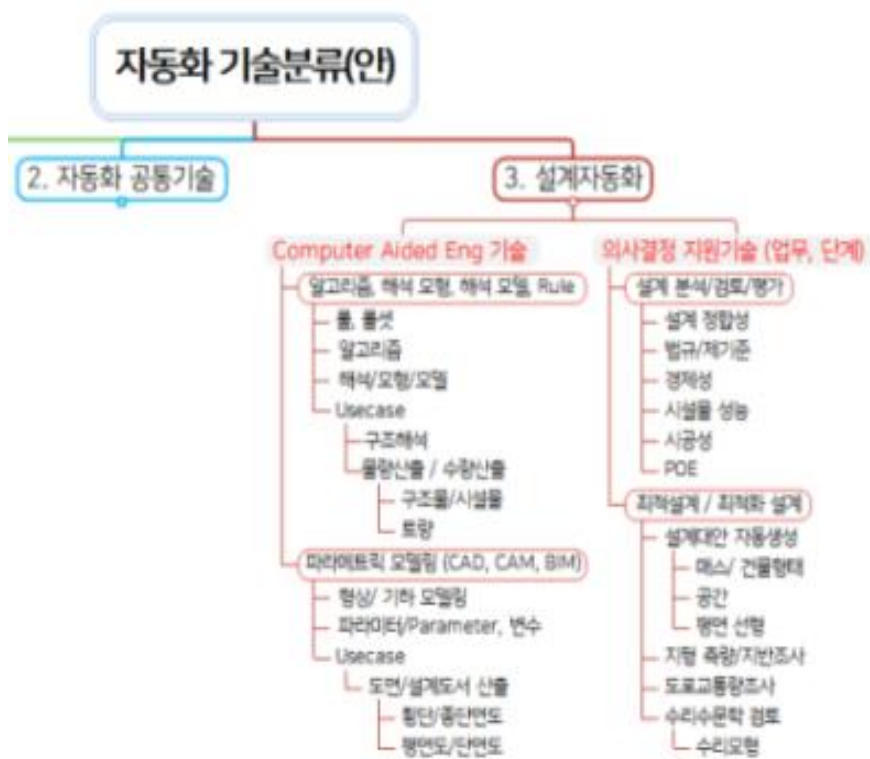


그림 2.16 설계자동화 기술분류 트리

표 2.16 설계자동화 부문 기술분류 및 요소기술 키워드(안)

대분류	기술분류		요소기술 키워드 목록
	중분류	소분류	
설계 자동화	Computer-Aided Eng. 기술 (모델링 및 분석기술)	1. 알고리즘, 해석 모형, 해석 모델, Rule	룰/룰셋, 알고리즘, 해석/모형/모델, 구조해석, 물량산출/수량산출 (구조물, 시설물, 토량)
		2. 파라메트릭 모델링 (CAD, CAM, BIM)	형상/ 기하 모델링, 파라미터(Parameter)/변수, 도면/설계도서

기술분류				요소기술 키워드 목록
대분류	중분류	소분류		
	의사결정 지원 기술	1. 설계 분석/검토/평가		설계 정합성, 법규/제기준, 경제성, 시설물 성능, 시공성, POE
		2. 최적설계 / 최적화 설계		설계 대안 자동생성 (매스/ 건물/ 공간/ 평면 선형)
				지형 측량/지반조사
				도로교통량조사
				수리수문학 검토 (수리모형)
자동화 공통 기술	지능 (Data/지식) - 두뇌 역할	1. Data/ Information	공간/시설	※ 1.4절에서 목록화 예정
			데이터 표준화, 규격화	
		2. 지식/지능	플랫폼	
			빅데이터	
			시뮬레이션	
인공지능 (AI)				

3.1.4 건설자동화 기술분류 및 키워드 도출

(1) 건설자동화 기술분류 및 요소기술 목록 제시

본 연구에서는 기술분류를 구성하는 분류와 분류 내 요소기술 목록을 원내 건설자동화 연구과제와 보유기술을 추출하는 키워드 대상으로 활용하였다. 앞에서 정리한 시공자동화 및 설계자동화 부문의 기술분류 및 요소기술(안)을 통합하고, 두 부문의 공통 기술 영역으로 데이터 측면과 데이터를 다루는 지식 측면, 의사결정을 지원하는 지능 측면으로 구분하여 자동화 공통기술로 정의하였다. 통합된 기술분류 및 요소기술 목록(표 4.5)에서 우리 연구원의 기술영역과 연관성이 높은 부분을 주요 키워드로 선별하였으며, 최종 정리된 키워드 목록은 표 3.8과 같다.

표 2.17 건설자동화 기술분류 및 요소기술(안)

기술분류				요소기술 목록
대분류	중분류	소분류		
시공 자동화	하드웨어 기술 - 몸체 역할	1. Manipulator	건설 로봇	3D 프린터, 3D 프린팅, 드론, 로봇선, 자동 크레인, 로봇암, 시추 로봇, 청소로봇, 자재 이송로봇
		2. End Effector		
		3. 동력공급장치		
		4. 컨트롤러		

		기술분류		요소기술 목록
대분류	중분류	소분류		
	ICT기술 - 오감 역할	1. 센싱 (센서, 계측)		초음파, 촉각, 원격감지, SAR, 레이더, 모션, 영상센서 등
		2. 제어		자동제어, 원격제어
		3. 통신 (네트워크)		GPS, RFID, 위성측위(GNSS), NFC(근거리무선통신), Beacon(비콘), 위치인식, 무선, IoT, USN
		4. 비전		로봇 비전, 컴퓨터 비전 3차원 인식, 동화상 인식, 영상 인식, 카메라, 레이저, 무인 영상
		5. 사용자 인터페이스 (교시기술)		HMI, MMI, 태스크 교시, 경로 교시, 머신 가이드스, 머신 컨트롤, 텔레-오퍼레이션, 로봇 프로그래밍
설계 자동화	Computer-Aided Eng. 기술 (모델링 및 분석기술)	1. 알고리즘, 해석 모형, 해석 모델, Rule		플/플셋, 알고리즘, 해석/모형/모델, 구조해석, 물량산출/수량산출 (구조물, 시설물, 토량)
		2. 파라메트릭 모델링 (CAD, CAM, BIM)		형상/ 기하 모델링, 파라미터(Parameter)/변수, 도면/설계도서
	의사결정 지원 기술	1. 설계 분석/검토/평가		설계 정합성, 법규/제기준, 경제성, 시설물 성능, 시공성, POE
		2. 최적설계 / 최적화 설계		설계 대안 자동생성 (매스/ 건물/ 공간/ 평면 선형)
				지형 측량/지반조사 도로교통량조사
수리수문학 검토 (수리모형)				
자동화 공통 기술	지능 (Data/지식) - 두뇌 역할	1. Data/ Information	공간/시설	정보 프레임워크, LOD, 건설정보분류체계
			데이터 표준화, 규격화	모듈, 모듈화, 모듈러, 모듈배치, 프리캐스트(PC), 프리팹(Prefab), BIM 라이브러리, 제품/부재/접합부, 웹 데이터, 융합 데이터 온톨로지(Ontology), 시멘틱 웹(Semantic Web), 링크드 데이터(linked Data)
		2. 지식/지능	플랫폼	플랫폼
			빅데이터	알고리즘, 해석/예측 모형, 분석 모델, Rule, 데이터 분석, 데이터마이닝, KNN,

기술분류			요소기술 목록
대분류	중분류	소분류	
			ANN(인공신경망), SVM, 유전자 알고리즘, 의사결정 트리 머신러닝, 강화학습, 딥러닝 데이터 시각화, 블록체인
		시뮬레이션	VR, AR, 가상현실, 증강현실, 가상건설, 가상시공, VDC 4D, 5D, 공기, 원가, 모니터링
		인공지능 (AI)	딥러닝, 오픈 소스 플랫폼 (R 등) GPU (Graphics Process Units)

(2) 건설자동화 기술 키워드 도출

건설자동화기술의 부문의 세부기술 키워드는 총 49개(유의어 제외)가 도출되었으며, 이중 9가지 기술(BIM, 가상·증강현실, 드론, 로봇, 3D 프린팅, 사물인터넷, 센서, 빅데이터, AI)은 스마트 건설기술 로드맵에서 주요 첨단기술(BIM, 가상·증강현실, 드론, 로봇·자동장비, 영상인식, 3D 프린팅, 자율주행, 사물인터넷, 센서, 빅데이터, AI, 디지털트윈)에 포함된다. 또한, 건설자동화기술의 영역보다는 상위 개념 및 패러다임을 나타내지만 우리 연구원의 보유기술의 영역을 검토하기 위한 키워드로 '자동화, 무인, 모듈, 지능, 공장/팩토리, 최적, 예측, 의사결정'을 포함하였다. 도출된 세부기술 키워드는 원내 건설자동화 관련 연구과제를 선별하기 위한 검색 키워드로 활용되며, 구체적인 내용은 1.5절을 참고하길 바란다.

표 2.18 건설자동화 기술분류 및 요소기술(안)

건설자동화 기술 키워드 목록		
상위 개념 및 패러다임 키워드	스마트건설기술 키워드	세부 기술 키워드
자동화, 무인, 모듈, 지능, 공장/팩토리, 최적, 예측, 의사결정	로봇/로보틱스, 3D 프린터/3D 프린팅, 드론, 센싱/센서/계측, IoT(사물인터넷), BIM, 빅데이터, 가상현실(VR)·증강현실(AR), 인공지능(AI)	크레인, 제어, 통신(네트워크), GPS, RFID, 위성측위(GNSS), NFC(근거리무선통신), Beacon(비콘), 비전, 인식/영상 인식, 레이저, HMI/MMI, 머신 러닝, 머신 가이드스, USN, GIS, 스캔, 역설계, 프리캐스트(PC), 프리랩(Prefab), 라이브러리, 온톨로지(Ontology), 시멘틱 웹(Semantic Web), 링크드 데이터(Linked Data), 데이터 마이닝,

건설자동화 기술 키워드 목록		
		딥러닝, 알고리즘, 해석/모형/모델, 물량산출/수량산출, 모델링, 파라미터(Parameter)/변수, 설계시스템

3.2 연구과제 및 보유기술 분석결과

3.2.1 KICT 內 자동화 연구과제 분석

원내 MIS 시스템 정보를 기반으로 2010년부터 2019년(현재)까지 약 6200여개 Raw 데이터를 수집하였다. 우선, 1차 필터링으로 자동화 연구와 관계없는 연구과제(경상운영비, 시설사업, 인건비 등)를 제외하였다. 1차 필터링 결과, 약 3600여개의 데이터를 확보하였다.

해당 1차 필터링 데이터를 기반으로 앞서 제시된 건설자동화 기술분류 키워드 기반의 과제에 대한 2차 필터링을 진행하였다. 특히, 과제명과 과제 개요(연구 목표 및 내용)상에 제시된 정보를 기초로 2차 필터링 작업을 통해 총 610개의 건설자동화 관련 데이터를 확보하였다.

이후, 3차 필터링 작업에서는 연구과제 특성상 연차별 과제를 제외하였고 이를 통해 438개의 데이터를 확인하였다. 마지막으로, 4차 필터링에서는 해당 키워드를 통해 제시된 기술별 중복 과제에 대한 통합데이터로 332개의 데이터를 도출하였다.

총괄 현황으로 2010년부터 현재(2019년)도까지 연도별 건설자동화 관련 과제에 대한 추이도를 확인하였다. 2010년 이후 건설자동화 관련 과제는 지속적으로 증가하고 있는 가운데 2015년에는 과제 17개로 과제 급감이 되었지만, 이후 꾸준히 증가하는 추세이다. 2019년 3월 기준으로 당해연도 23개의 과제를 진행하는 것으로 확인하였고 건설자동화 관련 과제는 향후 꾸준히 증가할 것으로 예상되고 있다.

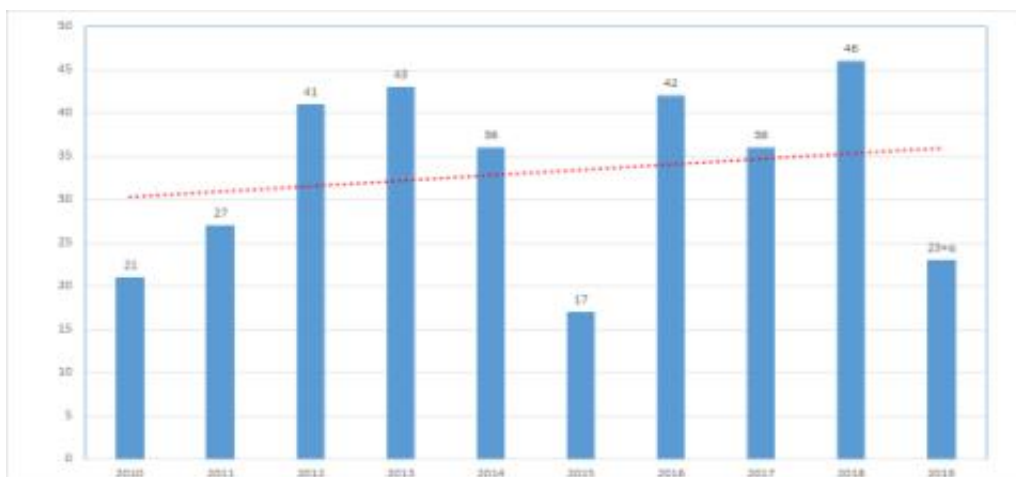


그림 2.17 연도별 건설자동화 관련 과제 추이도 (2010~2019)

(1) 건설자동화 기술 분류 기반 현황 분석

1) 상위키워드

4차 필터링 데이터(332개)를 중심으로 건설 자동화 기술분류 첫 번째 단계인, 상위 키워드(자동화, 무인, 모듈, 지능, 공장/팩토리, 최적, 예측, 의사결정) 8개를 적용하여 현황 분석을 진행하였다.

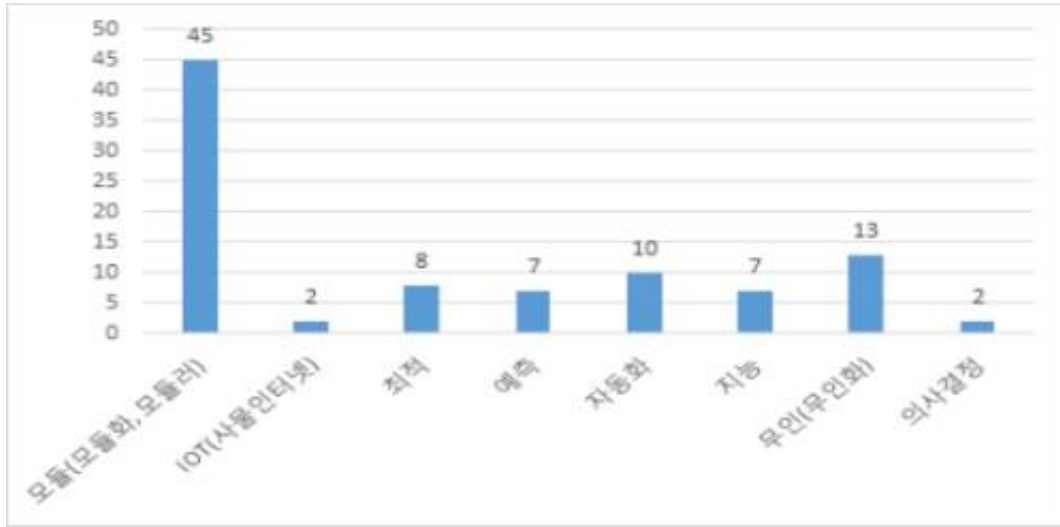


그림 2.18 KICT 내 건설자동화 기술분류에 따른 상위키워드의 연관 개수

8개 상위 키워드 중 모듈(모듈화, 모듈러) 키워드와 연관된 과제가 총 45개로 가장 높은 것을 확인하였다. 그 다음 순으로는 무인(무인화)가 13개, 자동화 10개, 최적 8개, 예측 7개 등으로 나타났다.

2) 세부 기술 키워드 내 스마트건설 기술 키워드

4차 필터링 데이터를 중심으로 건설 자동화 기술분류 두 번째 단계인, 스마트건설 기술 키워드 (로봇/로보틱스, 3D 프린터/3D 프린팅, 드론, 센싱/센서/계측, IoT(사물인터넷), BIM, 빅데이터, 가상현실(VR)·증강현실(AR), 인공지능(AI)) 9개를 적용하여 현황 분석을 진행하였다.

9개 스마트건설 기술 키워드 중 BIM 키워드와 연관된 과제가 총 45개로 가장 높은 것을 확인하였다. 그 다음 순으로는 IOT(사물인터넷)가 12개, 빅데이터 10개, 드론 7개, 인공지능(AI) 7개 등으로 나타났다.

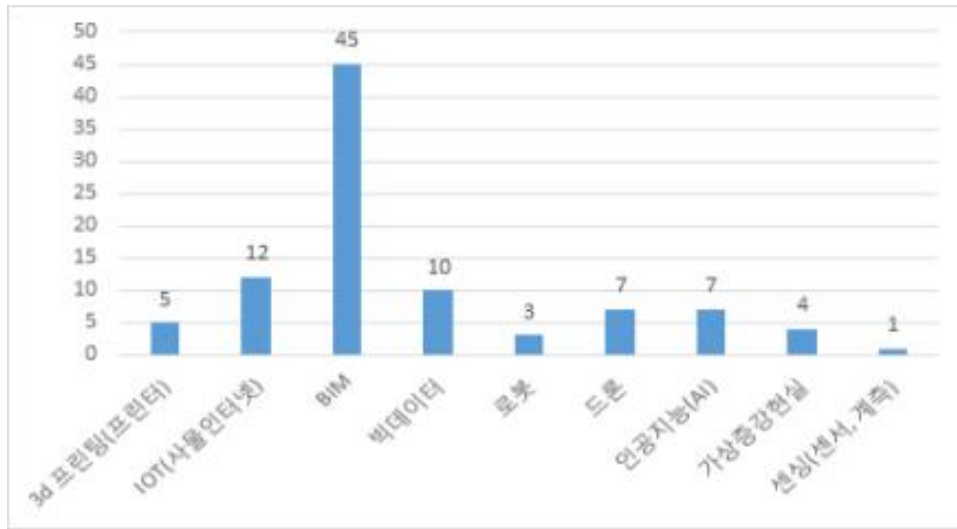


그림 2.19 KICT 內 건설자동화 기술분류에 따른 스마트건설 기술 키워드의 연관 개수

3) 세부 기술 키워드 (스마트건설 기술 키워드 제외)

4차 필터링 데이터를 중심으로 건설 자동화 기술분류 세 번째 단계인, 세부 기술 키워드 (크레인, 제어, 통신(네트워크), GPS, RFID, 위성측위(GNSS), NFC(근거리무선통신), Beacon(비콘), 비전, 인식/영상 인식, 레이저, HMI/MMI, 머신 러닝, 머신 가이

그림 4- KICT 內 건설자동화 기술분류에 따른 세부기술 키워드(스마트건설 기술 키워드 제외)의 연관 개수

던스, USN, GIS, 스캔, 역설계, 프리캐스트(PC), 프리팹(Prefab), 라이브러리, 온톨로지(Ontology), 시멘틱 웹(Semantic Web), 링크드 데이터(Linked Data), 데이터 마이닝, 머신러닝, 딥러닝, 알고리즘, 해석/모형/모델, 물량산출/수량산출, 모델링, 파라미터(Parameter)/변수) 32개를 적용하여 현황 분석을 진행하였다.

32개 세부 기술 키워드 중 모형과 연관된 과제가 총 43개로 가장 높은 것을 확인하였다. 그 다음 순으로는 제어가 41개, 해석 36개, GIS 23개, 통신(네트워크) 11개 등으로 나타났다.

(2) 부문별 건설자동화 과제 현황

1) 연구수행과제 사업성격별 현황

KICT 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 사업성격별 현황을 분석하

2) 연구수행과제 연구성격별 현황

KICT 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 연구성격별 현황을 분석하였다. 과제 연구성격별로 개발 연구가 142개 (43%)로 가장 높은 비율을 차지하였고, 응용 연구가 73개 (22%), 실용화 연구가 59개(18%), 기초 연구가 51개 (15%) 순으로 나타났다.

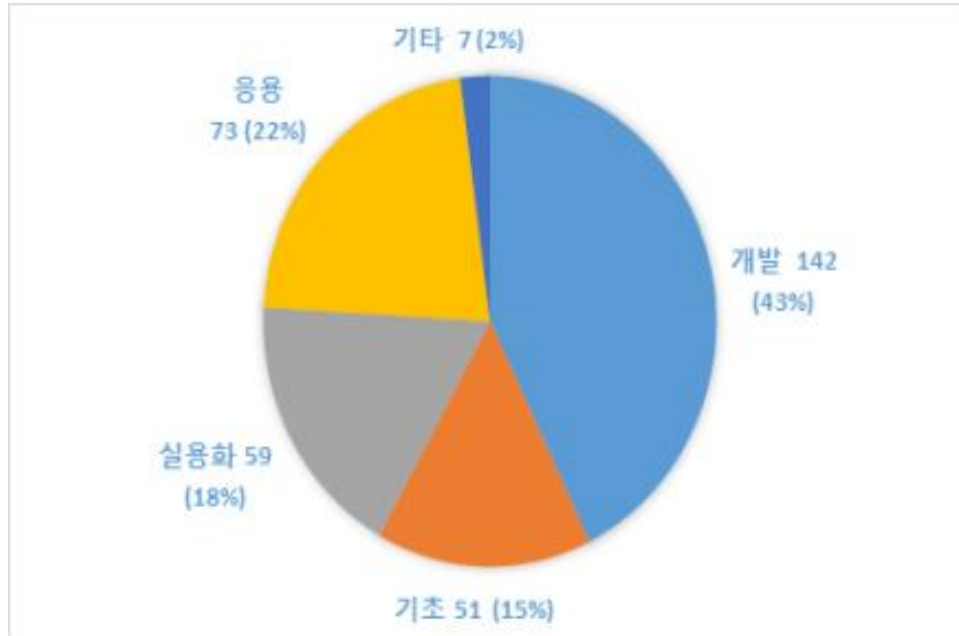


그림 2.22 KICT 內 연구수행과제 연구성격별 현황

3) 연구수행과제 기술분류별 현황

KICT 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 기술분류별 현황을 분석하였다. 과제 기술분류별로 국토재해대응기술개발 연구가 49개 (15%), 글로벌건설시스템기술개발 연구가 48개 (14.5%), 국가기반 시설성능 고도화기술개발과 신시장 창출을 위한 융-복합 기반 미래형 인프라기술 확보가 각 47개 (14.2%) 등으로 나타났다.

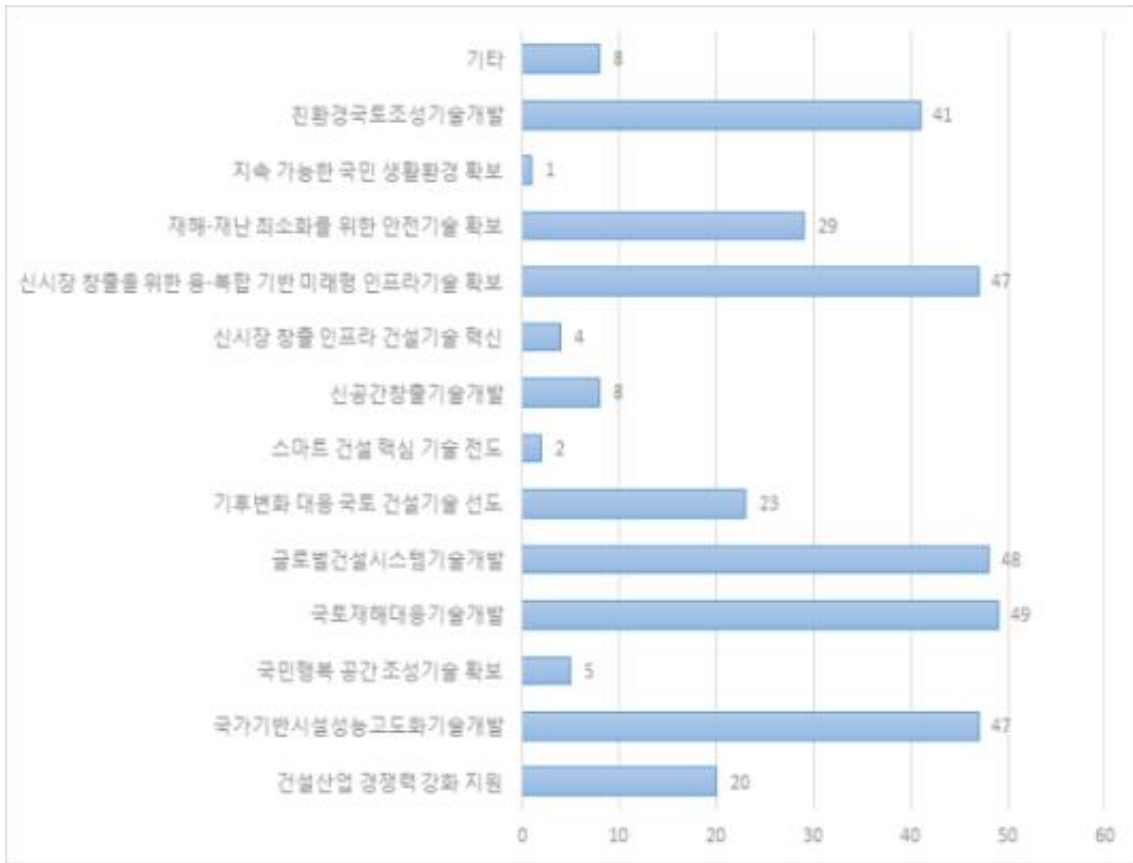


그림 2.23 KICT 內 연구수행과제 기술분류별 현황

4) 연구수행과제 미래유망신기술별(중) 현황

KICT 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 미래유망신기술별(중)을 중심으로 현황을 분석하였다. 분석에 앞서, 미래유망신기술별(대) 분류의 경우, IT분야는 94개(28%), ET분야는 72개(22%), CT분야는 4개(1%)이며, 기타분야로 162개(49%)로 확인되었다. 해당 대분류로는 자세한 현황파악을 할 수 없으므로, 하위단계인 미래유망신기술별(중) 분석을 진행하였다.

미래유망신기술별(중) 분석 결과, 기타를 제외한 환경기반 기술과 기타 정보기술 각 49개 (15%)이며, 정보처리 시스템 및 S/W 기술이 39개(11.7%), 에너지가 22개 (6.6%) 등으로 나타났다.

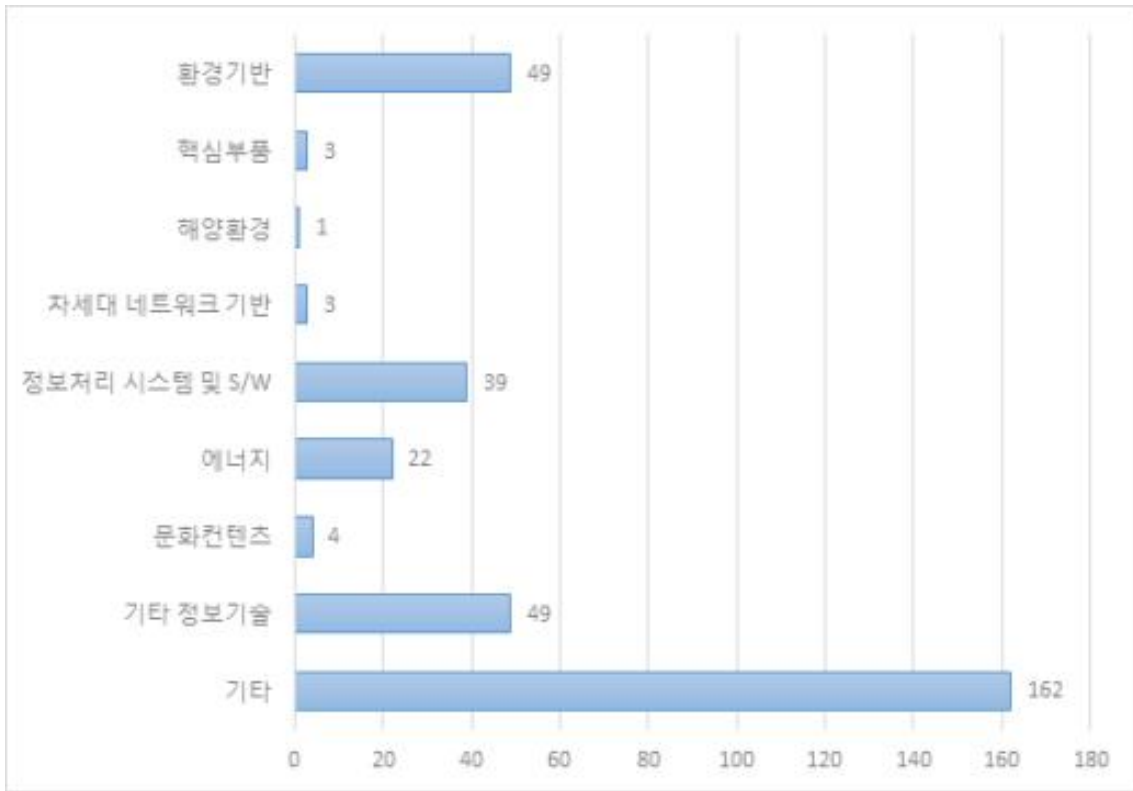


그림 2.24 KICT 內 연구수행과제 미래유망신기술별(중) 현황

3.2.2 건설자동화연구센터內 자동화 연구과제 분석

앞서 제시된 4차 필터링 데이터를 기반으로 2010년부터 현재(2019년)도까지 원내 건설자동화연구센터內 연도별 건설자동화 관련 과제에 대한 추이도를 확인하였다.

원내 각 부서별 구분 및 분석 적용을 위해서 건설자동화센터의 연구책임자를 중심으로 분석하였다. 분석결과, 2011년부터 2019년도까지 꾸준히 과제를 수행하였고 2019년 3월 기준으로 당해연도 2개의 과제를 진행하는 것으로 확인하였다. 뿐만 아니라, 2019년 이후 건설자동화연구센터에서 진행 예정인 연구과제수는 3개가 추가될 예정이며, 이를 기반으로 향후 원내 건설자동화연구센터內의 스마트건설의 자동화 역할에 중추 역할을 담당할 것으로 예상된다.

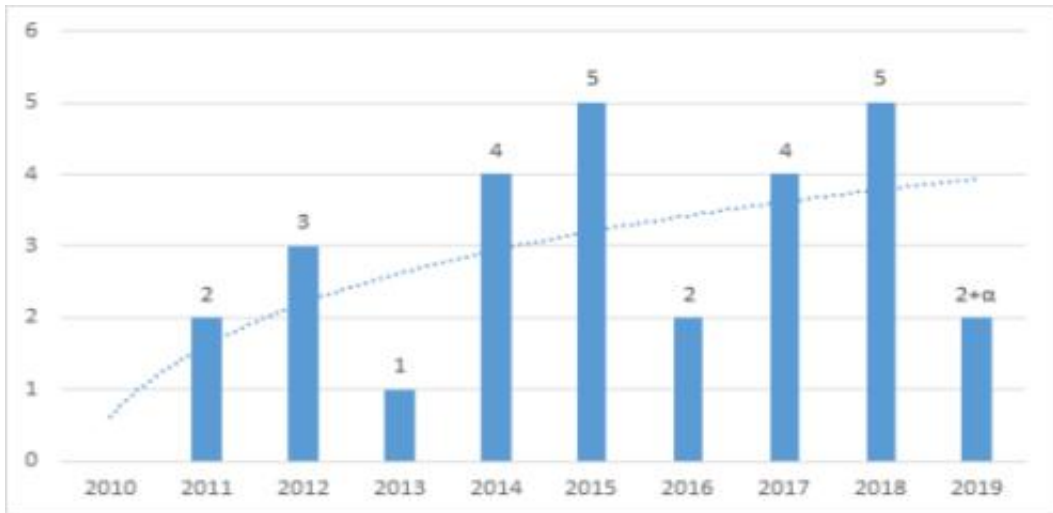


그림 2.25 건설자동화센터內 연도별 건설자동화 관련 과제 추이도 (2010~2019)

(1) 건설자동화 기술 분류 기반 현황 분석

건설 자동화 기술분류 상위와 스마트건설 기술 키워드를 포함한 세부 기술을 토대로 현황 분석을 진행하였다.

건설자동화센터內 연구과제 총 28개 중 건설자동화 기술분류에 따른 주요 키워드와 매칭 하였다. 매칭결과, 건설자동화 관련 기술 중 BIM 키워드와 연관된 과제가 18개로 가장 높은 것을 확인하였다. 그 다음 순으로는 모델링이 4개, GIS가 3개, 자동화 기술이 3개, 가상증강현실, 3D 프린팅, 지능 기술이 각 2개 등으로 나타났다.

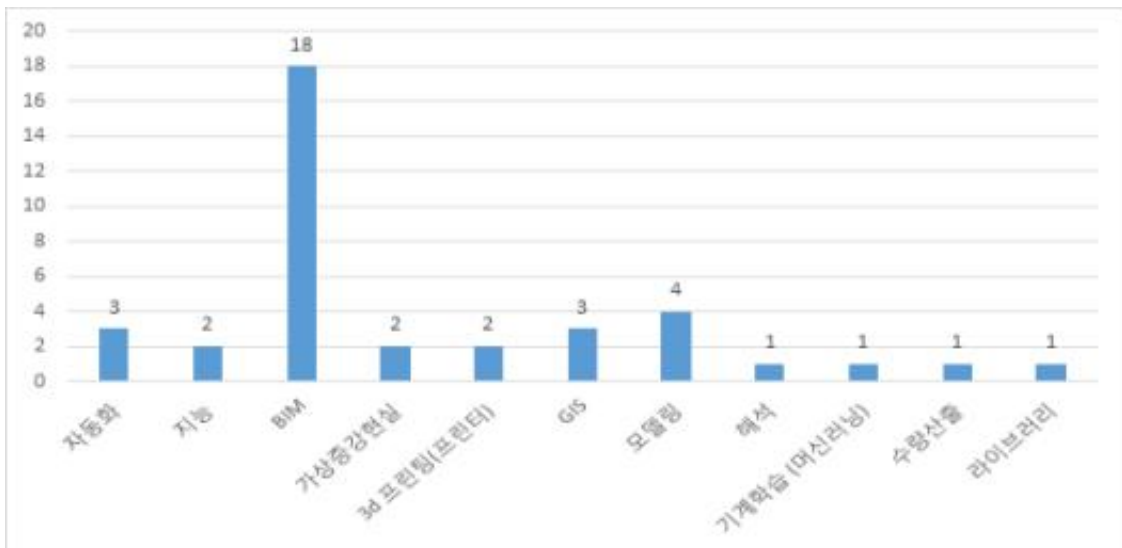


그림 2.26 건설자동화연구센터內 건설자동화 기술분류에 따른 키워드의 연관 개수

(2) 부문별 건설자동화 과제 현황

1) 연구수행과제 사업성격별 현황

건설자동화센터내 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 사업성격별 현황을 분석하였다. 사업성격별로 주요사업 15개 (43%)로 가장 높은 비율을 차지하였고, 국가연구개발사업 10개 (36%), 나머지 민간수탁사업, 연구개발적립금지원사업, 정부수탁 사업은 각 1개 (4%)로 나타났다.

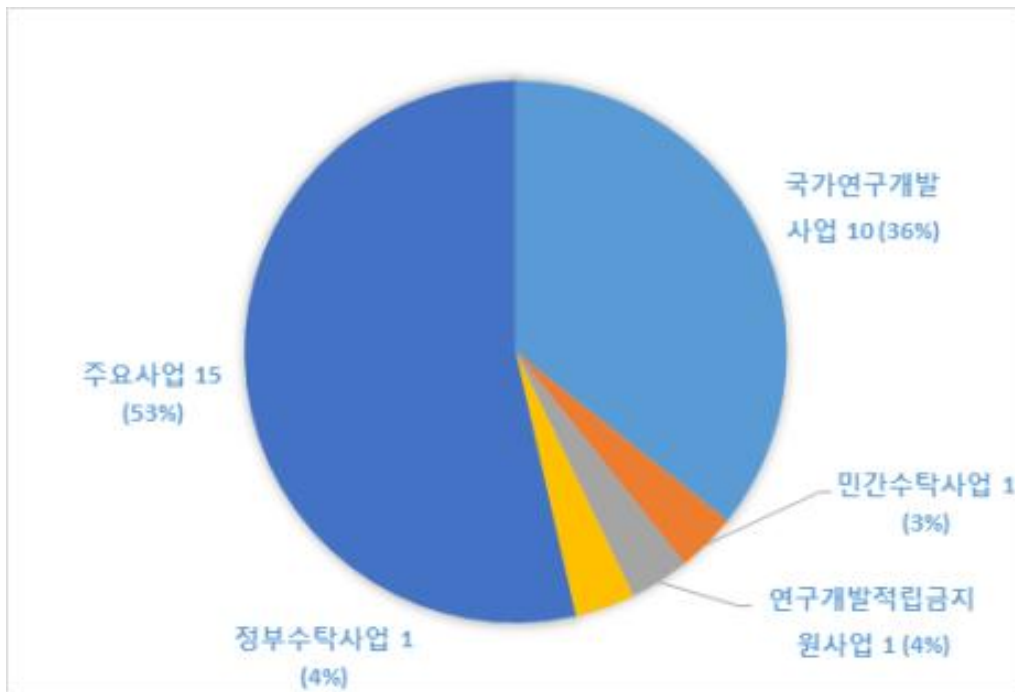


그림 2.27 건설자동화연구센터내 연구수행과제 사업성격별 현황

2) 연구수행과제 연구성격별 현황

건설자동화센터내 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 연구성격별 현황을 분석하였다. 연구성격별로 개발 연구가 13개 (47%)로 가장 높은 비율을 차지하였고, 기초 연구가 6개 (21%), 실용화 연구가 4개(14%), 응용 연구가 3개 (11%) 순으로 나타났다.



그림 2.28 건설자동화연구센터內 연구수행과제 연구성격별 현황

3) 연구수행과제 기술분류별 현황

건설자동화센터內 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 기술분류별 현황을 분석하였다. 기술분류별로 글로벌건설시스템기술개발 연구가 10개 (36%)로 가장 높았고, 다음 순으로는 신시장 창출을 위한 융-복합 기반 미래형 인프라기술 확보 연구가 7개 (25%), 건설산업 경쟁력 강화 지원 5개 (18%) 등으로 나타났다.

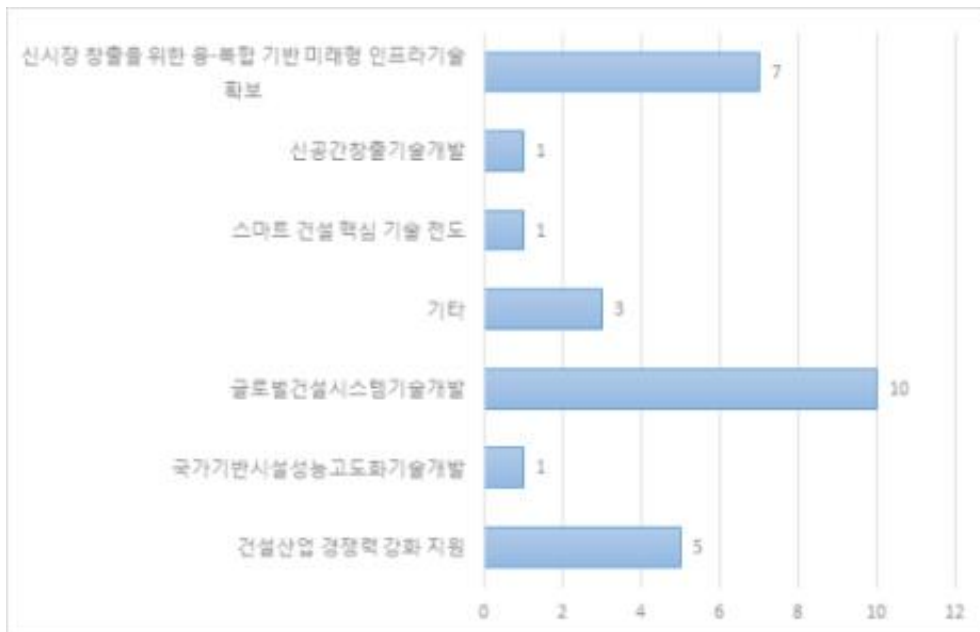


그림 2.29 건설자동화연구센터內 연구수행과제 기술분류별 현황

4) 연구수행과제 미래유망신기술별(소) 현황

건설자동화센터내 건설자동화와 관련한 연구과제를 기반으로 연구수행과제 미래유망신기술별(소)을 중심으로 현황을 분석하였다. 분석에 앞서, 미래유망신기술별(대) 분류의 경우 IT분야(71%)와 기타 분야(29%)로 구성되어 있었다. 따라서 보다 세부 분석 결과 도출을 위해 하위 단계인 미래유망신기술별(소) 분류를 진행하였다.

미래유망신기술별(소) 분석 결과, 기타 정보기술이 12개 (43%)로 가장 높게 나타났고 기타 정보처리시스템 및 S/W 기술이 10개(36%), 6T에 속하지 않는 기타 연구 5개 (18%), 정보검색 및 DB기술 1개(3%)로 나타났다.

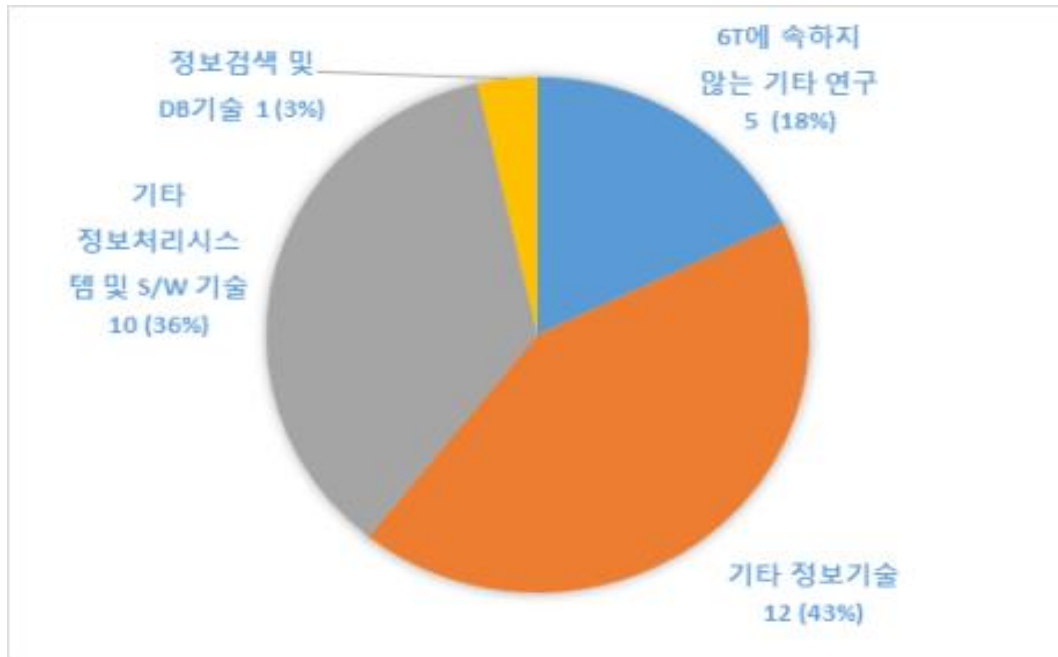


그림 2.30 건설자동화연구센터내 연구수행과제 미래유망신기술별(소) 현황

3.2.3 미래 건설자동화 연구과제 분석 (2019년 이후)

(1) 건설자동화 기술 분류 기반 현황 분석

건설 자동화 기술분류 상위와 스마트건설 기술 키워드를 포함한 세부 기술을 토대로 2019년 이후 종료 과제에 대한 연관 분석을 진행하였다.

2019년 이후 종료 과제 총 20개 중 건설자동화 기술분류에 따른 주요 키워드와 매칭결과, 건설자동화 관련 기술 중 BIM 키워드와 연관된 과제가 4개로 가장 높은 것을 확인하였다. 그 다음 순으로는 센싱(센서, 계측), 모듈(모듈화, 모듈러), 인공지능(AI), 3D 프린팅(프린터)이 각 2개, 나머지 (제어, HMI, IOT(사물인터넷), 빅데이터, 무인(무인화), 딥러닝, 통신(네트워크), 해석, 모델링, 드론, 기계학습(머신러닝)이 각 1개로 나타났다.

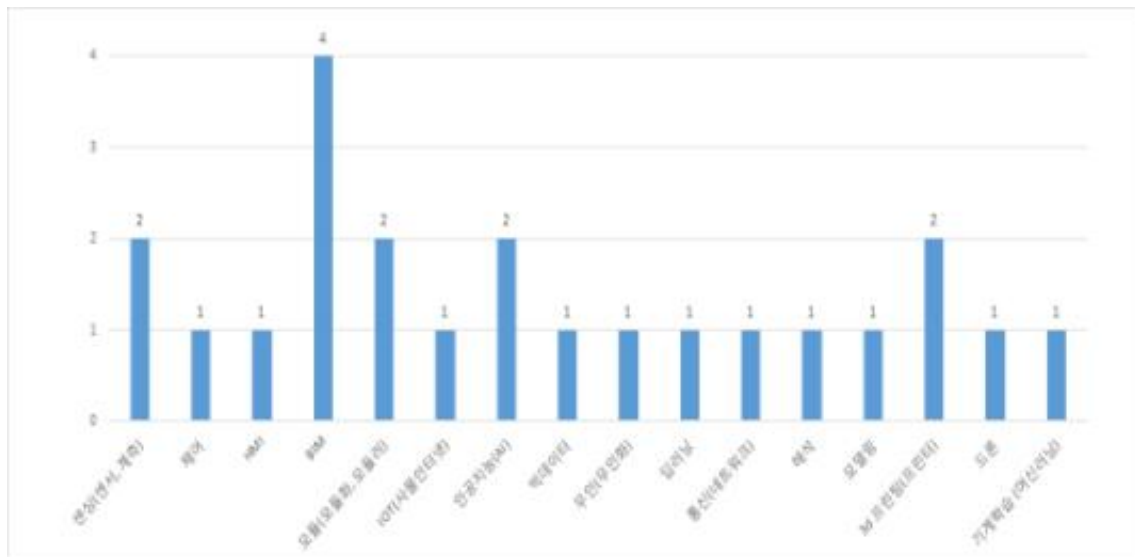


그림 2.31 건설자동화 기술분류에 따른 키워드의 연관 개수 (2019년 이후 종료)

(2) 부문별 건설자동화 과제 현황

1) 연구수행과제 기술분류별 현황

2019년 이후 종료 과제를 기반으로 연구수행과제 사업성격별 현황을 분석하였다. 분석결과, 해당 20개 과제 모두 국가연구개발사업(100%) 과제인 것으로 확인하였다.

2) 연구수행과제 연구성격별 현황

2019년 이후 종료 과제를 기반으로 연구수행과제 연구성격별 현황을 분석하였다. 연구성격별로 개발 연구가 7개 (35%)로 가장 높은 비율을 차지하였고, 실용화 연구가 6개

(30%), 기초 연구가 5개(25%), 응용 연구가 2개 (10%) 순으로 나타났다.

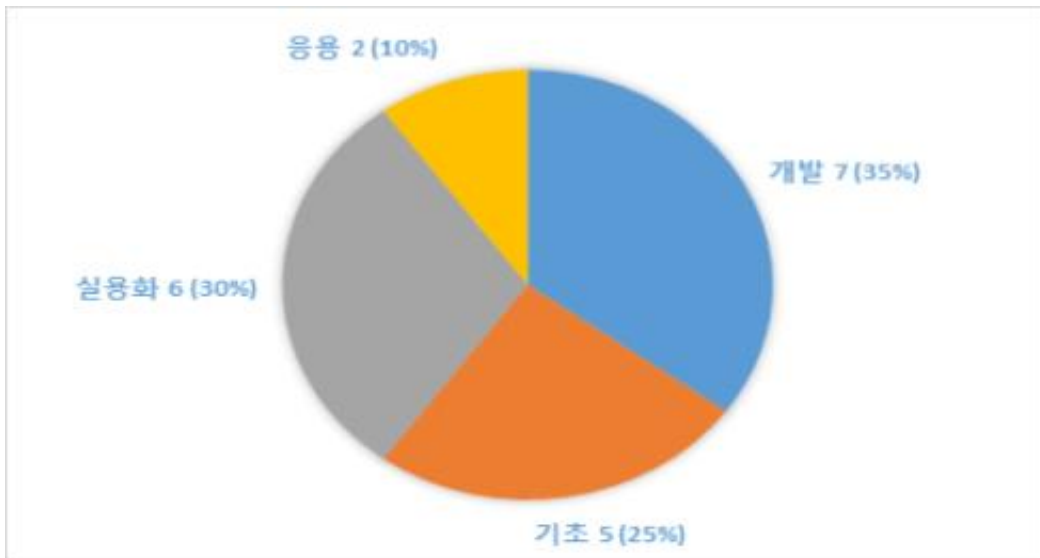


그림 2.32 건설자동화 관련 과제의 연구성격별 현황 (2019년 이후 종료)

3) 연구수행과제 기술분류별 현황

2019년 이후 종료 과제를 기반으로 연구수행과제 기술분류별 현황을 분석하였다. 연구기술분류별로 신시장 창출을 위한 융-복합 기반 미래형 인프라기술 확보 기술이 6개 (30%)로 가장 높은 비율을 차지하였고, 재해-재난 최소화를 위한 안전기술 확보와 국민생활 공간 조성기술 확보 기술이 각 4개 (20%), 건설산업 경쟁력 강화 지원 기술이 3개(15%) 등으로 나타났다.



그림 2.33 건설자동화 관련 과제의 기술분류별 현황 (2019년 이후 종료)

4) 연구수행과제 미래유망신기술별 현황

2019년 이후 종료 과제를 기반으로 연구수행과제 미래유망신기술별(대)와 (소) 중심으로 현황을 분석하였다. 먼저, 미래유망신기술별(대) 분류의 경우 IT 분야 5개 (25%), ET 분야 4개 (20%), CT 분야 1개 (5%), 기타 분야 10개 (50%)로 되어 있었다.

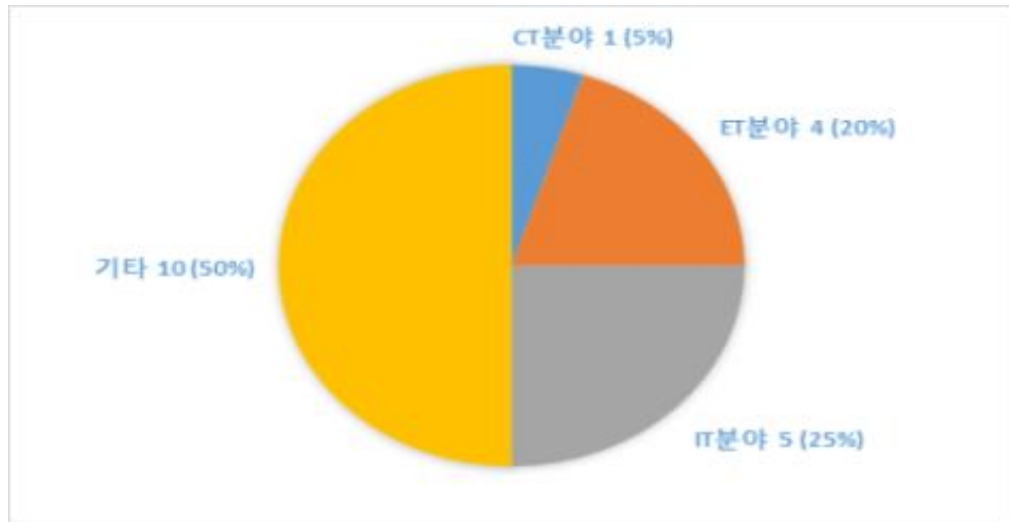


그림 2.34 건설자동화 관련 과제의 미래유망신기술별(대) 현황 (2019년 이후 종료)

보다 세부 분석 결과 도출을 위해 하위 단계인 미래유망신기술별(소) 분류를 진행하였다. 미래유망신기술별(소) 분석 결과, 6T에 속하지 않은 기타 연구가 10개 (50%)로 가장 높게 나타났고 기타 정보처리시스템 및 S/W 기술이 4개(20%), 기타 에너지 기술이 2개(10%) 등으로 나타났다.



그림 2.35 건설자동화 관련 과제의 미래유망신기술별(소) 현황 (2019년 이후 종료)

3.2.4 시사점

이전에는 볼 수 없었던 산업장벽의 구분없는 4차 산업혁명 환경 속에서 건설산업은 새로운 융합 기술을 기반으로 '자동화'라는 새로운 모멘텀이 필요한 상황이다. 특히, 2018년 국토부의 '스마트 건설기술 로드맵' 수립을 기반으로 2025년부터 자동화 기반의 스마트 건설 기술을 활용 단계와 함께 2030년에는 건설 모든 단계(설계, 시공, 유지관리)에서 자동화를 달성이라는 목표로 계획을 수립하고 있다.

따라서, 이러한 급격한 상황은 과거, 현재, 그리고 미래의 KICT 연구과제와도 매우 밀접한 관련이 있을 수 밖에 없기에 본 보고서에서는 건설 자동화와 관련한 다양한 키워드 기반의 연구 과제를 기반으로 현황 분석과 함께 시사점을 도출하고자 한다.

(1) 건설자동화 기술별 연구 집중화 현상

- 상위키워드 중 모듈화와 관련한 연구과제 비중의 약 50%에 집중되어 있기에 무인(무인화), 예측, 지능 등과 관련한 연구과제를 기반으로 향후 스마트 건설로드맵에 맞는 전략적 연구과제 대응 마련 필요

- 건설자동화 기술분류 중 제어, 모형, 해석과 관련한 연구과제 비중의 52%로 집중되어 있음, 이에 반해 영상 인식, 딥러닝, 스캔 등의 기술은 3개 미만으로 다양한 건설자동화 연구 기반이 조성될 수 있는 기술을 통해 향후 스마트 건설로드맵에 맞는 전략적 연구과제 대응 마련 필요

(2) 건설자동화 기술별 연구 부족 현상

- 스마트건설 주요 기술 키워드와 관련하여 센싱이나 로봇에 관련한 연구 과제가 매우 미흡한 것으로 나타남, 즉, 해당 전문가 또는 타기관 공동 연구를 통해 관련 과제 지속적 확보 필요

(3) 건설자동화의 기초 연구 부족 현상

- KICT 과제내 연구성격별로 기초 연구가 전체 332개 중 51(15%)로 낮은 단계로 구성되어 있음, 기초 연구에 대한 주요 기술로는 해석 8개, BIM 6개, 3D 프린팅(프린터) 4개, 모형 4개 등으로 나타났음. 특히 모듈(모듈화, 모듈러)의 경우, 과제내 연관 개수가 가장 높은 45개임에도 불구하고 기초 연구에 대해서는 단 3개에 그침

(4) 건설자동화의 국민생활 환경 및 안전 관련 기술 연구 부족 현상

- KICT 과제內 지속 가능한 국민생활 환경 확보 및 국민행복 공간 조성 기술과 같은 국민 생활환경의 질에 연관이 된 연구기술에는 미흡함. 예를 들어, 국민생활과 가장 밀접한 미세먼지와 관련한 연구의 경우, 지금까지(2019년 6월 기준) 전체 10개 미만으로 확인됨에 따라 건설자동화와 관련한 지속가능한 국민생활 환경 연구가 필요

- 건설자동화센터 과제內 기술분류별의 경우, 원내 기술분류별에 비해 국민생활환경 및 기후변화, 국토재해대응기술, 재해재난 안전기술에 대한 기술이 매우 미흡함. 따라서, 향후 건설자동화와 관련한 과제 기획시 앞서 제시된 관련 기술을 고려하여 제시 필요

4차 산업혁명과 정부의 중장기적 스마트건설 로드맵 정책에 발맞추어 KICT의 중장기적 건설자동화 역량을 확보하기 위해서는 보다 포괄적인 건설자동화 기술에 따른 연구과제를 발굴해야 할 것이며, 건설자동화 연구 역량 강화를 위한 프로그램 및 타 연구기관과의 연구 공동 참여, 건설자동화 전문가 과제 협의가 필요하다. 더불어, 건설자동화 기초 기술 확보와 함께 국민 생활과 연계된 환경 개선 및 재난 안전 관련 기술에 대한 연구 영역 확대를 통해 다양한 건설 자동화 연구 발굴에 초석을 다져야 할 것이다.

제 3 장

건설 자동화 연구 미래선도전략 수립

1. 건설자동화연구센터 발전전략 수립

건설자동화연구센터에서 핵심 연구중인 분야는 3D 프린팅, 토목 BIM, VR/AR, 스마트 토공 등이다. 3D 프린팅은 현재 국토교통기술진흥원 과제인 '소형 건축물 및 비정형 부재 대상 3D 프린팅 설계, 재료 및 장비 기술 개발'을 2016년부터 연구중에 있으며, 2021년 종료 이후 2단계 3D 프린팅 기획 연구를 통한 후속 연구 예정이다. BIM은 '철도인프라 3차원 라이브러리 개발', 'SOC 시설물 3차원 BIM 설계정보 호환성 확보를 위한 소프트웨어 및 속성변환기술 개발', '항만 BIM 라이브러리 개발 및 테스트베드 적용' 등의 연구과제를 수행중이며, 도로, 철도, 항만 등의 토목시설물 분야에 대해 지속적 연구 수행 중이다. 또한 '도로분야 디지털 정보 표준 기반 건설생산 프로세스 통합관리 기술' 과제를 기획 및 제안 준비중이다. VR/AR은 본 연구원의 가상실증실험실 장비와 연계하여, 정보통신진흥원 과제인 '국제표준 BIM 포맷 기반의 동적 4D 가상건설 시뮬레이션 시스템 개발' 과제를 성공적으로 수행완료 하였으며, 연구원 주요사업으로 '가상증강현실 기반 스마트 건설 가상화 시뮬레이션 기술 개발' 과제를 진행중에 있다. 또한 '3차원 VR 영상 기반 실감형 원격 제어 장치 및 SW 개발' 과제를 기획 및 제안 준비 중에 있다. 스마트 토공분야는 연구원 내 주요사업으로 '지능형 가상 지반데이터 및 다짐 관리 기술을 적용한 스마트 토공 플랫폼 개발' 과제를 수행중에 있으며, '디지털 기반 SOC 도로건설 장비 자동화 기술'을 수행중에 있다.

건설자동화연구센터에서는 2016년부터 국가 R&D 및 연구원 내 임무형 사업을 통한 자동화와 관련한 핵심기술 개발 및 실용화 기반을 구축하였다. 향후 2020년 이후 스마트건설사업(예타) 세부과제 추진을 통한 현장 기술 적용 및 기술 실용화를 추진할 예정이다.



그림 3.1 자동화연구센터 수행과제 포트폴리오

2. 건설 자동화 현황 분석 및 자동화 가능성 우선순위 도출

2.1 도로건설공사 자동화 현황 및 가능성 설문조사

도로건설공사를 대상으로 주요 공종별 건설 자동화 현황을 분석하고, 이를 바탕으로 자동화 필요성 및 가능성이 높은 분야 우선순위를 도출하였다. 국내 도로건설공사 시공 및 설계 경험이 있는 실무자 90명(15개社)을 대상으로 도로공사 공종별 현재 자동화율, 자동화를 통한 생산성 개선, 현재 안전한 정도, 자동화를 통한 안전성 개선 등 4개 항목을 5점 척도로 설문조사 수행 및 분석하였다. 설문 개요는 다음과 같다.

- 시공 및 설계 경험이 풍부한 실무자(경력 10년 이상 80.9%)를 대상으로 설문조사
- 국토건설공사 설계실무요령(국토교통부, 2016)에서 제시하는 도로건설공사 219개 공종 대상
- 각 항목별로 매우 높음(5), 높음(4), 보통(3), 낮음(2), 매우 낮음(1)으로 점수 부여

표 4.1 설문조사 대상 분류

분야	비율(%)
설계	37.5
시공	62.5

경력	비율(%)
3년 미만	3.4
3년 이상 5년 미만	2.2
5년 이상 10년 미만	13.5
10년 이상	80.9

표 4.2 도로건설공사 공종분류

대분류	소분류(공종 개수)
토공	18
비탈면 안정공	2
배수공	18
구조물공	58
지하차도공	33
터널공	16
포장공	28
교통안전시설공	14
부대공	33

2.2 도로건설공사 자동화 현황

도로건설공사 공종전체의 현재 자동화율은 평균 2.64점으로 보통에서 낮음 수준을 보였다. 공종 대분류 별 현재 자동화율은 포장공(평균 2.96점)이 가장 높고, 지하차도공 및 부대공(평균 2.45점)이 가장 낮은 것으로 나타났다. 점수가 비교적 높은 포장공종도 보통(3점)에 미치지 못하는 것으로 나타나, 도로건설공사의 현재 자동화율이 공종에 관계없이 전반적으로 낮았다.

표 4.3 도로건설공사의 현재 자동화율 점수(공종 대분류 별)

대분류	평균 점수(순위)	최고점 공종(소분류)	최저점 공종(소분류)
토공	2.90(2)	흙쌓기	토공 기준틀 설치
비탈면 안정공	2.51(6)	식생 보호공	구조물 보호공
배수공	2.51(6)	P.C. Box 설치	도로공/가배수관
구조물공	2.62(4)	P.C.S. Box(I.L.M)	스페이서
지하차도공	2.45(8)	천공	벽돌쌓기
터널공	2.86(3)	숏크리트공	갯문 및 옹벽
포장공	2.96(1)	콘트리트 배치플랜트	비닐깔기
교통안전시설공	2.57(5)	중앙분리대	낙석 방지시설
부대공	2.45(8)	중기운반	접도구역경계표주

표 4.4 도로건설공사의 현재 자동화율 순위(공종 소분류 별)

순위	소분류	점수	순위	소분류	점수
1	P.S.C Box(I.L.M)	3.58	215	비닐깔기	2.11
2	P.S.C Box교(M.S.S)	3.51	216	동바리	2.11
3	콘크리트 배치플랜트	3.47	217	스페이서	2.08
4	아스팔트 표층	3.42	218	벽돌쌓기	2.04
5	아스팔트 중간기층	3.40	219	토공 기준틀 설치	2.00

공종 소분류 별 현재 자동화율은 P.S.C Box(I.L.M), P.S.C Box교(M.S.S), 콘크리트 배치플랜트, 아스팔트 표층, 아스팔트 중간기층의 순으로 높은 것으로 분석되었다. 상기 공종은 주로 공장에서 생산되어 시공현장에 적용되는 과정을 거치므로 자동화율이 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다(높음~보통). 반면, 비닐깔기, 동바리, 스페이서, 벽돌쌓기, 토공 기준틀 설치 등은 현재 자동화율이 낮은 것으로 분석되었다. 대부분 본격적인 시공에 앞서 이뤄지는 공종들로, 세밀한 조정이 필요하거나 장비가 접근하기 어려운 환경에 놓여있어 자동화율이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다.

2.3 도로건설공사 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과

도로건설공사 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과는 공종전체에서 평균 3.14점으로 보통(3점)을 상회하는 수준을 보였다. 공종 대분류 별 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과는 터널공(평균 3.49점)이 가장 높고, 부대공(평균 2.98점)이 가장 낮은 것으로 나타난다. 부대공을 제외한 모든 공종에서 보통(3점) 이상으로 나타나, 도로건설공사의 자동화를 통해 상당한 수준의 생산성 향상이 가능할 것으로 예측되었다.

공종 소분류 별 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과는 굴착, 록볼트공, 슛크리트공, 라이닝콘크리트, 콘크리트 배치플랜트 순으로 높은 것으로 분석되었다. 상기 공종은 대부분 터널공으로 분류되는 것으로, 터널 시공의 자동화를 통해 상대적으로 큰 생산성 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단되었다.

반면, 접도구역 경계표주, 준공표지석, 토지임대료, 측량 기준점 설치, 교명판 및 설명판 등은 자동화를 통해 기대되는 생산성 향상효과가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 대부분 본격적인 시공 전 혹은 시공완료 후 이뤄지는 소규모 공종들로 자동화 여부가 생산성 향상에 큰 영향을 주지 않기 때문으로 판단된다.

표 4.5 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과 점수(공종 대분류 별)

대분류	평균 점수(순위)	최고점 공종(소분류)	최저점 공종(소분류)
토공	3.24(5)	연약지반처리공	토공 기준틀 설치
비탈면 안정공	3.35(3)	식생 보호공	구조물 보호공
배수공	3.19(7)	P.C. Box 설치	차재대
구조물공	3.22(6)	콘크리트 생산	교명판 및 설명판
지하차도공	3.26(4)	천공	벽돌쌓기
터널공	3.49(1)	굴착	차재대
포장공	3.43(2)	콘크리트 배치플랜트	차재대
교통안전시설공	3.13(8)	중앙분리대	시선유도표지
부대공	2.98(9)	방음벽	토지임대료

표 4.6 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과 순위(공종 소분류 별)

순위	소분류	점수	순위	소분류	점수
1	굴착	3.96	215	접도구역경계표주	2.74
2	록볼트공	3.89	216	준공표지석	2.74
3	숏크리트공	3.83	217	토지임대료	2.71
4	라이닝콘트리트	3.81	218	측량 기준점 설치	2.70
5	콘크리트 배치플랜트	3.76	219	교명판 및 설명판	2.60

2.4 도로건설공사의 안전성 현황

도로건설공사 공종전체의 현재 안전성은 평균 3.14점으로 보통(3점)을 상회하는 수준을 보였다. 공종 대분류 별 현재 안전성은 포장공(평균 3.34점) 및 부대공(평균 3.31점)이 가장 높고, 지하차도공(평균 2.81점)이 가장 낮은 것으로 나타났다. 부대공은 실내에서 수행되는 작업(도면작성, 비용정산, 자료 전산화 등)이 포함되어 안전성이 비교적 높지만, 비탈면 안정공, 터널공, 지하차도공과 같이 주로 시공현장에서 이뤄지는 공종의 안전성은 낮았다.

표 4.7 도로건설공사의 현재 안정성 점수(공종 대분류 별)

대분류	평균 점수(순위)	최고점 공종(소분류)	최저점 공종(소분류)
토공	3.26(4)	표토제거	기존구조물 깨기
비탈면 안정공	2.92(8)	식생 보호공	구조물 보호공
배수공	3.09(6)	자재대	가시설공
구조물공	3.13(5)	측량 기준점 설치	교명판 및 설명판
지하차도공	2.81(9)	몰탈	토류판 설치, 제거
터널공	2.95(7)	계측	굴착
포장공	3.34(1)	택코팅	크라샤
교통안전시설공	3.30(3)	자재운반비	낙석방지시설
부대공	3.31(2)	도로대장작성	공사중 교통관리

표 4.8 도로건설공사의 현재 안정성 순위(공종 소분류 별)

순위	소분류	점수	순위	소분류	점수
1	도로대장작성	3.99	215	토류판 설치, 철거	2.49
2	시공상세도면작성	3.74	216	가시설공	2.39
3	준공도면전산화	3.73	217	굴착	2.39
4	토지임대료	3.63	218	동바리	2.38
5	측량 기준점 설치	3.62	219	비계	2.38

공종 소분류 별 현재 안정성은 도로대장작성, 시공상세도면작성, 준공도면전산화, 토지임대료, 측량 기준점 설치의 순으로 높은 것으로 분석된다. 상기 공종은 주로 실내에서 수행되는 작업이므로 안정성이 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 반면, 토류판 설치, 철거, 가시설공, 굴착, 동바리 비계 등은 현재 안정성이 낮은 것으로 분석된다. 이들 공종은 대부분 터널 굴착 혹은 가시설 지반구조물(시트파일 등) 시공 시 수반되는 것으로, 현장의 열악한 작업환경 및 지반정보의 불확실성 등의 원인으로 안정성이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다.

2.5 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 안전성 개선효과

도로건설공사 자동화를 통해 기대되는 안전성 개선효과는 공종전체에서 평균 3.30점으로 보통(3점)을 상회하는 수준을 보였다. 공종 대분류 별 자동화를 통해 기대되는 안전성 개선효과는 터널공(평균 3.60점)이 가장 높고, 부대공(평균 2.99점)이 가장 낮은 것으로 나타

났다. 부대공을 제외한 모든 공종에서 보통(3점) 이상으로 나타나, 도로건설공사의 자동화를 통해 상당한 수준의 안정성 향상이 가능할 것으로 예측되었다. 특히 현재 안정성이 낮게 평가되었던 비탈면 안정공, 터널공, 지하차도공의 개선효과가 클 것으로 보인다.

표 4.9 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 안정성 개선효과 점수(공종 대분류 별)

대분류	평균 점수(순위)	최고점 공종(소분류)	최저점 공종(소분류)
토공	3.27(7)	기존구조물 깨기	자재대
비탈면 안정공	3.61(1)	식생 보호공	구조물 보호공
배수공	3.32(5)	P.C. Box 설치	자재대
구조물공	3.33(4)	P.S.C Box교(M.S.S)	교명판 및 설명판
지하차도공	3.45(3)	띠장	팽창성 지수재 설치
터널공	3.60(2)	굴착	자재대
포장공	3.31(6)	그라샤	자재대
교통안전시설공	3.17(8)	낙석방지시설	자재대
부대공	2.99(9)	방음벽	토지임대료

표 4.10 도로건설공사의 자동화를 통해 기대되는 안정성 개선효과 순위(공종 소분류 별)

순위	소분류	점수	순위	소분류	점수
1	굴착	4.00	215	교명판 및 설명판	2.82
2	록볼트공	3.95	216	준공도면전산화	2.81
3	숏크리트공	3.93	217	자재대	2.81
4	강지보공	3.83	218	도로대장작성	2.78
5	버력처리	3.80	219	토지임대료	2.71

공종 소분류 별 자동화를 통해 기대되는 안정성 개선효과는 굴착, 록볼트공, 숏크리트공, 강지보공, 버력처리 순으로 높은 것으로 분석된다. 상기 공종은 대부분 터널공으로 분류되는 것으로, 터널 시공의 자동화를 통해 상대적으로 큰 안정성 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 현재 안정성이 낮게 평가된 토류판 설치, 철거(3.54), 가시설공(3.72), 동바리(3.61), 비계(3.69) 등도 큰 안정성 개선을 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

반면, 교명판 및 설명판, 준공도면전산화, 자재대, 도로대장작성, 토지임대료 등은 자동화를 통해 기대되는 안정성 향상효과가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 이들 공종이 주로 실내에서 수행되는 작업으로 이미 높은 수준의 안정성을 나타내고 있기 때문이다.

2.6 요약

도로건설공사의 공종별 현재 자동화 및 안정성 현황, 자동화를 통해 기대되는 생산성 및 안전성 개선에 관련한 설문조사 및 분석을 수행하였다. 도로건설공사 공종전체의 현재 자동화율은 평균 2.64점으로 보통~낮음 수준을 보이며, 안전성은 평균 3.14점으로 보통(3점)을 상회하는 수준을 보인다. 설문조사 항목에 실내에서 수행되는 작업(도면작성, 비용정산, 자료 전산화 등)이 다수 포함되어 있는데, 이를 제외할 경우 현재 자동화율 및 안정성은 더 낮게 평가될 것으로 예상된다.

표 4.11 도로건설공사의 현황 및 자동화를 통한 기대효과(공종 대분류 별)

대분류	현황점수(순위)		기대효과 점수(순위)		
	자동화율	안정성	생산성 개선	안정성 개선	계
토공	2.90(2)	3.26(4)	3.24(5)	3.27(7)	6.51(6)
비탈면 안정공	2.51(6)	2.92(8)	3.35(3)	3.61(1)	6.96(2)
배수공	2.51(6)	3.09(6)	3.19(7)	3.32(5)	6.51(6)
구조물공	2.62(4)	3.13(5)	3.22(6)	3.33(4)	6.55(5)
지하차도공	2.45(8)	2.81(9)	3.26(4)	3.45(3)	6.71(4)
터널공	2.86(3)	2.95(7)	3.49(1)	3.60(2)	7.09(1)
포장공	2.96(1)	3.34(2)	3.43(2)	3.31(6)	6.74(3)
교통안전시설공	2.57(5)	3.30(3)	3.13(8)	3.17(8)	6.30(8)
부대공	2.45(8)	3.31(1)	2.98(9)	2.99(9)	5.97(9)
평균	2.64	3.14	3.14	3.30	6.59

도로건설공사 자동화를 통해 기대되는 생산성 개선효과는 공종전체에서 평균 3.14점, 안정성 개선효과는 평균 3.30점으로 보통(3점)을 상회하는 수준을 보인다. 즉, 자동화를 통해 상당한 수준의 생산성 및 안정성 개선효과가 있을 것으로 기대된다. 도로건설공사의 자동화에 따른 공종별 기대효과를 종합적으로 나타내기 위해 생산성 및 안정성 개선효과 점수를 더해 기대효과 점수(및 순위)를 산정하였다. 기대효과 점수는 터널공, 비탈면 안정공, 포장공, 지하차도공, 구조물공 등의 순으로 나타났다.

도로건설공사의 자동화 현황 및 기대효과를 종합적으로 고려하면, 현재 자동화율이 상대적으로 높고 자동화에 따른 기대효과가 큰 터널공, 포장공의 자동화에 집중하는 것이 단기적으로 효과적일 것으로 예상된다. 장기적인 관점에서는 자동화에 따른 기대효과가 크지만 현재 자동화율이 매우 낮은 비탈면 안정공 및 지하차도공의 자동화를 위해 노력해야 한다.

특히 비탈면 안정공 및 지하차도공은 현재 안정성도 낮은 편이므로, 자동화 기술 도입을 통해 이를 개선하기 위한 노력이 필수적인 것으로 보인다. 이외 공종 또한 현재 자동화율은 낮은 편이지만 자동화를 통해 상당한 생산성 및 안정성 개선효과가 기대되는 만큼, 도로건설공사의 전 공종에 걸쳐 자동화 비율을 점차 늘려가는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

3. 건설 자동화 연구 중장기 로드맵 수립

다양한 스마트건설 기술관련 지식을 보유하고 있는 건설자동화 연구센터 역량을 분석하였다. 건설자동화 연구센터는 드론, 3D 프린팅, AR/VR, 로봇틱스, IoT, BigData, Cloud, Sensor, Vision 등의 4차 산업혁명 관련 기술에 대한 경험과 지식을 보유하고 있다. 적용분야로는 철도, 도로, 항만, 건축 등 토목전반에 대해 다루고 있었다.



그림 3.2 건설자동화연구센터 역량분석

이를 바탕으로 설계, 시공, 유지관리 단계에서 적용 가능한 스마트 건설 기술 및 관련 연구과제 로드맵 수립하였다. 국내외 스마트건설 관련 정책 및 국토교통부 스마트건설기술로드맵, 스마트건설기술 개발사업, 미래융합연구본부 로드맵 등과의 연계를 감안하여 수립하였다. 계획, 설계단계에서는 3D 프린팅 설계지원도구, VR/AR기반 평가/인증 지원기술 개발, 건설 전주기 관리현장 디지털 플랫폼 개발, 빅데이터 기반 지반속성정보 예측, 건설 현장 실시간 라이브맵 제작 기술 개발 등이 포함되었다. 시공분야에는 3D 프린팅 배합설계기술 개발, 겐트리 기반 3D 프린팅 자입 개발, VR/AR 기반 장비제어 기술, 토목구조물 BIM 라이브러리 구축, AI 기반 BIM 자동 설계, 고정밀 위치정보 기반 공사현장 GeoFencing, 무인거설장비 MC, MG 기술 개발 등이 포함되었다. 유지관리 단계에서는 이동형 3D 프린팅 장비 개발, AR기반 국가 시설물 유지관리 기술, 디지털 데이터 통합 표준기반 지식화, 모바일 AR 기반 디지털트윈 활용 유지관리 기술, 지능형 다짐 관리 기술 등이 포함되었다.



그림 3.3 건설자동화 중장기 로드맵 수립

제 4 장

신규 스마트건설 연구과제 기획

1. 스마트건설 예타 관련 기획 참여 및 본과제 제안

1.1 디지털 기반 SOC 도로건설 장비 자동화 기술

수십 년간 답보상태인 건설공사 생산성 및 작업 환경 개선을 통한 건설공사 효율화에 대한 기대수준이 증대되고 있으나, 이에 대응할 수 있는 기술적 토대 및 상용화 실태는 미흡한 상태이다. 도로공사는 선형적이고 반복적인 공사특성으로 인한 건설장비 의존도가 높아 타 건설공정에 비해 자동화 적용을 통한 공정개선이 상대적으로 양호한 분야로서 건설현장의 첨단화, 지능화 기술의 도입이 용이하고 기대효과는 높아 스마트 건설기술의 도입을 통해 효과를 검증하고 타 분야 적용을 선도할 수 있는 분야이다. 주요 연구 목표 및 내용은 다음과 같다.

○ 연구 목표 및 내용

- **(연구 목표)** 도로 포장의 품질을 실시간으로 측정 및 분석하고 자동화된 시공 장비와의 연동을 통하여 시공 작업 연속성 확보
- **(중점분야 1)** 고정밀 작업 가능 건설 장비 생산성 향상 기술 개발 : 인프라 건설부분에서 고령화와 숙련자 확보의 어려움을 극복하고 작업측량 공정 제거를 통한 시수 절감과 생산성 향상을 위하여 ICT 기술과 로봇 기술을 적용함으로써 물러, 도저, 그 레이더에 대한 작업 자동화, 자율주행 및 원격제어 기술 개발
- **(중점분야 2)** 시공 장비 연동 도로포장 품질 관리 및 향상 기술 개발 : 도로 시공의 작업 연속성을 확보하기 위하여 작업 자동화장비와 첨단센서를 활용하여 도로 하부층의 다짐도 및 함수비 관리, 아스팔트 혼합물 이송 품질관리 및 다짐 품질 확보

를 포함한 도로포장 자동화 품질 관리 및 확보 시스템 개발

[디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 기술 개발 방향]

개발내용 (구성기술)	개발내용 (세부기술)	기술개발방향
고정밀 작업 가능 건설 장비 생산성 향상 기술 개발	도로건설장비 자율 작업 및 원격 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 주행기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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



그림 4.1 지능형 건설장비 관제 기술 (AS-IS/TO-BE)



그림 4.2 건설현장 정보 수집 및 분석 기술 (AS-IS/TO-BE)



그림 4.3 디지털 기반 SOC 도로 건설장비 자동화 개념도

1.2 도로구조물 무인·자동화 시공 기술

도로구조물 무인·자동화 시공 기술은 VR/AR, 3D 스캐닝, 로봇틱스, 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 기술이다.



그림 4.4 도로구조물 스마트건설 기술 개념도

도로상에 존재하는 구조물인 교량과 터널을 대상으로 하며, 구체적으로는 중경간(경간 100 m 이하) 이하의 거더교량과 TBM 공법으로 시공되는 터널을 대상으로 한다. 교량의 경우, 중경간 거더교량을 대상으로 이동식 크레인을 이용한 거더의 거치와 교각의 현장 제작·시공 공정을 대상으로 한다. 거더교량을 대상으로 개발된 기술은 옹벽으로 확장하여 적용이 가능하다. 터널의 경우 TBM 공법을 대상으로 한다. 주요 연구 내용으로는 다음과 같다.

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 한다. 따라서, 원격조종 명령-작동 시점 간 Time-delay를 실감형 원격 조종 장치 개발의 주요한 지표로 설정 하였다. 원격조종 명령-작동 시점 간 Time-delay: 원격조종 장치·S/W의 지표로서 원격 조종자에게 현장에 투입된 장비의 관점이다. 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 설정하였다.

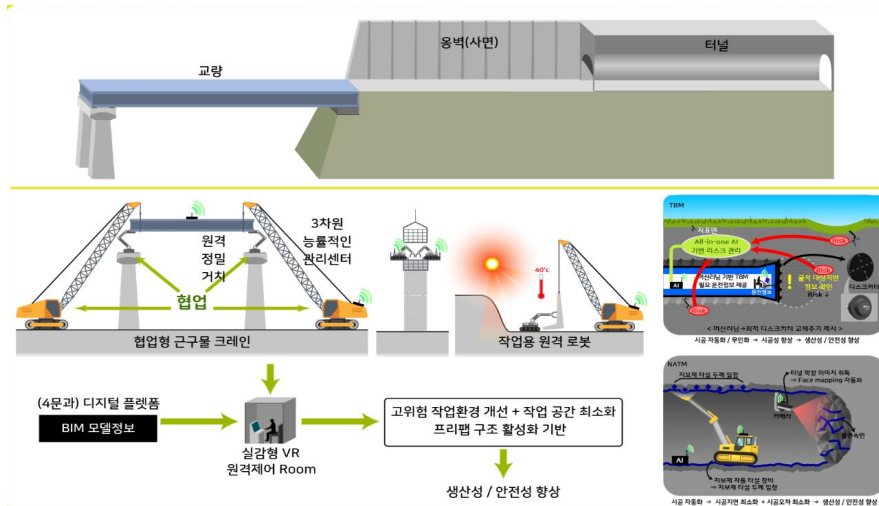


그림 4.5 도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개념도

- 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

1.3 도로분야 디지털 정보표준 기반 건설생산 프로세스 통합 관리 기술

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 개발이다. 주요 구성 기술은 다음과 같다.

- (구성기술 1) 현장에서 발생하는 장비·자재·인력 및 구조물에 부착된 모든 센서와 상황 정보를 수집·관리·공유하기 위한 정형/비정형 데이터 및 디지털 데이터 통합 표준체계 개발
- (구성기술 2) 도로건설 현장의 모든 정보(센서, 정형, 비정형, 단위 플랫폼, 외부 시스템 등)를 단일의 공동데이터 공유 및 운영 환경 구축으로 모든 스마트 건설 생산 과정에 대한 생애주기 프로세스를 통해 데이터 및 정보의 상호 단절 없이 Seamless 하게 일관된 형태로 제공하는 프로세스 협업관리 통합 플랫폼 구축 및 정보운영 기술 개발
- (구성기술 3) 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



그림 4.6 기술의 기본 개념도

해외에서는 디지털 인프라의 개념으로 데이터를 기반으로 건설 생애주기를 통합 관리, 운영하기 위한 개념이 도입되고 있고 건설의 제조업화라는 새로운 패러다임 전환을 위해 국가별 전략을 수립 중이다. 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 중이다. 우리나라는 2020년부터 500억 이상 신규 도로공사에 대하여 BIM 의무화 및 2030년 까지 스마트건설 로드맵에 따라 설계 자동화 달성 추진 중이다.

(구성기술 4-1-1) 도로분야 디지털 데이터 통합 표준화 및 품질검증 기술

- 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 통합정보 환경기반 모듈러 생애주기 공정지원 최적 프로세스 및 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

(구성기술 4-1-3) 도로분야 디지털 정보기반 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



그림 4.7 세부 구성기술별 내용 및 기술간 연계도

2. 창의시드 및 노피어 과제 수행

2.1 스마트 슈즈를 활용한 작업자의 안전 감시 및 간이 품질 관리 기술 개발

○ 연구 개요

- 건설현장에서 필수 착용 안전장비인 안전화에 첨단 센서를 설치하여 ① 도로 건설 현장에서 침하량에 따른 지반 다짐(강도)정도를 측정하고, ② 건설 노무자의 전도/추락 등 위험성을 파악 할 수 있는 스마트 슈즈 개발

○ 연구배경 및 필요성

- 도로 건설 현장에서 하부구조의 품질은 지반의 강성, 다짐도로 평가하는 것이 일반적이며, 시험 비용과 기간의 문제로 인해 품질을 제한적으로 확인하고 있는 실정임.
- 건설현장의 안전사고 중 추락 사고가 가장 큰 비율을 차지하고 있으므로, 필수 안전장비를 활용 추락 시 노무자의 안전을 확인 할 수 있는 기술을 개발할 필요가 있음

○ 최종 연구개발 목표

- 스마트 슈즈를 활용한 간이 지반강도 측정 및 작업자 안전관리 시스템 개발 기초 연구
 - 지반강도 측정용 스마트 슈즈 시제품 제작 및 분석 시스템 개발
 - 작업자 안전관리를 스마트 슈즈 시제품 제작 및 원격 관리 시스템 개발



그림 4.8 지능형 품질관리 및 안전관리 시스템 연구 개요

2.2 AR기반 원격 시공검토 지원 기술 개발

○ 연구 개요

- 상용화된 5G 스마트폰을 활용하여 원격지의 공사현장을 지연 없이 고해상도로 실시간 모니터링하고, 해당 현장의 실시간 영상과 BIM 도면을 동일한 카메라 시점으로 제공함으로써 건설사의 원격 의사결정을 효율적으로 지원하고자 함

○ 연구배경 및 필요성

- 건설 및 토목업의 특성 상 공사현장이 다양한 지역에 산재하여 본사에서 직접적인 관리가 어려운 관계로 현장 근무자에 의해 독립적인 관리가 주로 이루어지며, 본사에서 통상적으로 사진과 문서 등으로 공사 진도를 파악하고 있음
- 최근에는, 보다 효율적인 원격 공사현장의 공사 진도 파악 및 설계도면과의 시공오차 검토를 위해 증첩사진 및 레이저 스캐너를 통한 현장 3D 모델 구축 후 BIM 도면과 비교/검토하는 시도가 증가하고 있음
- 원격 시공검토 기술은 공사현장 관리자들의 편의성을 향상시키기 위해 최소한의 하드웨어 및 소프트웨어로 구성된 시스템을 통해 효율적인 본사의 공정파악 및 시공검토가 가능한 방향으로의 접근이 필요함

○ 최종 연구개발 목표

- 공정정보가 연계된 BIM 도면을 바탕으로, 원격지 공사현장의 시공오차 및 공정현황을 파악하고, 노무자들의 기술도입에 대한 부담(고가의 전문장비, SW 및 이에 대한 활용 교육 등)을 최소화 할 수 있는 방안으로 5G 스마트폰을 활용한 원격 시공검토 방안



그림 4.9 제안 기술의 특징과 활용방안 개념도

2.3 극한지 현지 자원 활용 시공자동화 시스템 핵심기술 개발

○ 연구 배경 및 필요성

- 인간의 접근과 물자 보급이 제한적인 극한지역에서 기존 건설공법(인력중심, 콘크리트 사용, 대량의 물 수요 등) 기반의 건설활동으로 시공 효율성과 구조물의 성능 저하 초래
- 극한지는 건설활동을 제한되는 외기온도와 건설지가 격오지에 위치한 지정학적 제약조건으로 인력 중심과 콘크리트를 활용한 기존 건설공법 적용에 상당한 애로 발생
- 이러한 현장 여건에 따른 건설공사 3대 핵심목표인 공기달성, 공사비절감, 품질유지를 달성하기 어려운 문제 해결 방안 제시 필요
- 인력수급, 물자공급, 건설활동 시간의 제한 등이 따르는 극한환경에서 건설 효율성 향상이 가능한 극한지 맞춤형 도전적인 기술 개발 필요
- 인력 중심의 기존 건설공법에서 벗어나 극한환경에 노출되는 인력 및 시간을 최소화하여 공기단축 및 품질유지가 가능한 자동화 건설 공법 적용이 필요
- 극한지는 풍부한 수자원과 시멘트, 골재 등이 요구되는 콘크리트를 생산 및 운반하기에 많은 어려움이 있어 물과 시멘트 대체가 가능한 현지에서 건설재료를 생산 및 활용을 통한 공사비 절감 방안 필요

○ 연구 목표

- 기술·산업·시장 동향과 역량분석을 통해 극한지 현지자원활용 시공자동화 핵심기술 우선순위를 도출하고 기술로드맵을 작성하여 단계별 성과목표 및 최종목표 제시
- 극한지 현지자원활용 시공자동화 시스템 핵심기술 도출
- 핵심기술별 기술로드맵 작성
- 연차별 연구내용 및 인력예산 투입 계획 수립

제 5 장

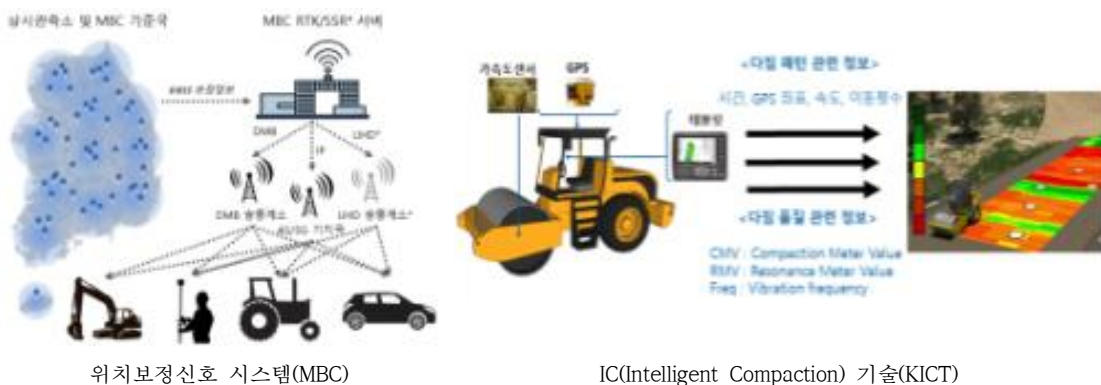
건설 자동화 기술 개발 기반 조성 및 민간 협력 강화

1. 건설 자동화 기술 개발 기반 조성

1.1 스마트건설 핵심 기술 개발을 위한 외부 기관 MOU 체결

○ KICT-MBC MOU(2019.10.04)

- 스마트 건설 관련 연구사업의 상호간 협업을 통해 한국형 위치보정 시스템 및 건설 자동화 관련 고정밀 위치정보 기술 개발 목적
- 주요 내용: 위치보정신호 시스템 구축(MBC), 건설장비 측위 기술개발 및 컨설팅(KICT), 전시회 등 홍보에 관한 협력(KICT & MBC)
- 한국도로공사 「안성~용인 고속도로 건설사업」의 현장다짐 품질관리를 위한 IC(Intelligent Compaction)의 다짐 물리 측위기술로써 활용



○ KICT-해군본부 공병실 MOU(2019.07.30)

- KICT가 보유한 건설 자동화 기술과 해군 공병실의 군사첨단시설 건설 및 유지관리 노하우의 접목을 통한, 건설 신기술의 군사 분야 적용 및 도입 목적
- 주요 내용: 건설 신기술의 군사분야 적용, 도입을 위한 상호 협력, 워크숍 및 세미나

등 학술행사의 공동개최, 상호 교육지원, 자문, 정보 교류, 보유 장비 및 시설의 상호 지원 등

- '3D프린팅 기술'을 이용해 군 막사 건설 등에 기여할 수 있고, '건설분야 AR/VR 시뮬레이션 기술'을 모의전투 시뮬레이션, 무인 원격장비 제어, 전장상황 공유, 교육 등에 활용할 수 있음



[해군본부 공병실 MOU]

○ KICT-한국도로공사 MOU(2019.04.25)

- '고속국도 제29호선 세종~포천(안성~용인) 건설공사'의 일부 구간에 효율적인 현장 다짐 품질관리를 위한 'KICT Intelligent Compaction System(지능형 성토-다짐 관리 기술)' 적용 목적
- 주요 내용: UAV를 활용한 시공현장의 지형 및 지반 BIM 구축, 고정밀 GPS 좌표를 기반으로 다짐 장비 이동 패턴분석을 통한 적정 다짐횟수 품질관리(2019년), 고정밀 GPS 좌표와 가속도 센서를 활용한 시공 중 다짐도 품질검사(2020년)
- 건설자동화연구센터에서 개발중인 지능형 성토-다짐관리기술의 현장실증(국내 최초)



[적용현장(안성-용인 고속도로 2공구)]

[지능형 성토-다짐 관리기술 적용 계획]

1.2 건설자동화연구센터 원내 오픈포럼 개최

○원내 오픈포럼 “건설에 스마트를 입히다” 개최(2019.10.08)

- 원내 임직원(한승헌 원장, 정문경·권수안 부원장, 신휴성 본부장 등)을 대상으로 건설자동화연구센터에서 수행중인 대표연구를 소개하고 토론하는 시간을 마련
- 전통적인 ‘노가다’ 산업에서 ‘스마트 건설’로 진화하기 위한 3D 프린팅 기술, 인프라 BIM, VR/AR, 스마트 건설기계 기술을 소개
- “건설 생산품의 기획 단계에서부터 유지관리까지 전주기에 걸쳐 확보해야 하는 데이터의 종류와 표준을 설정하고, 데이터의 흐름을 건설 전주기적으로 저장, 관리, 분석, 활용할 수 있는 기준 및 제도 개발”을 건설자동화를 선도하기 위한 우리의 과제(KICT 및 건설자동화연구센터)로 제안



[건설자동화센터 內 연구주제]



[건설자동화센터 원내 오픈포럼]

[건설자동화센터 원내 오픈포럼 발표내용]

주제	발표자
국내 1호 3D 프린팅 주택 건설을 위한 도전	
건설현장 디지털화를 위한 인프라 BIM의 진화	
가상과 현실의 경계를 허무는 스마트 건설	
스마트한 건설 현장을 위한 건설기계의 진화	
건설자동화를 선도하기 위한 우리의 과제	

2. 건설 자동화 기술 개발을 위한 민간 협력 강화

2.1 KICT-두산인프라코어 기술교류회 개최

○ KICT-두산인프라코어 기술교류회(2019.10.04)

- 국내외 토공 및 건설기계에 대한 무인화/자동화/솔루션 기술을 선도하고 있는 두산인프라코어 기술원과 국내 건설 기술분야 풍부한 Domain Knowledge를 바탕으로 다양한 첨단 ICT 응용 기술 경험을 가지고 있는 KICT의 기술교류회를 통해 상호 기술력이 발전할 수 있고 협업할 수 있는 계기를 도모하는 것을 목적으로 함.
- KICT(신휴성 본부장, 최창호 센터장 외)와 두산인프라코어 기술원(이동욱 부사장, 공준호 전무 외)에 소속되어 건설자동화 연구를 수행하고 있는 연구진 간의 기술교류(총 6가지 주제를 선정하고 이와 관련해 각 기관이 보유하고 있는 기술 소개)

[KICT-두산인프라코어 기술교류회 발표내용]

주제	기관	발표자
건설기계 자동화/무인화/로보틱스 기술	KICT	
	두산인프라	
ICT 건설관리 솔루션/플랫폼 기술	KICT	
	두산인프라	
VR/AR 기반 고객서비스 기술	두산인프라	
VR/AR 기반 스마트 건설 가상화 시뮬레이션 기술	KICT	
건설기계장비 MG/MC	두산인프라	
건설분야 3D 프린팅 현황	KICT	



[KICT-두산인프라코어 기술교류회]

○ KICT-두산인프라코어 기술교류회 후속조치

- KICT-두산인프라코어 협력관계 지속을 위한 신규과제 추진 회의(2019.10.25)
- 두산인프라코어의 연구비 지원을 통해 수행할 건설자동화연구센터 신규과제 도출 및 수행 협의(가제: AI 기반 Soil Classification 정보를 활용한 굴삭 제어기술 고도화, 2020년 예정)



[“AI 기반 Soil Classification 정보를 활용한 굴삭 제어기술 고도화” 과제 개요도(안)]

2.2 스마트 건설·안전 EXPO 포럼 주관 및 전시회 참여

- 스마트 건설·안전 EXPO 內 스마트 건설정책 포럼 주관(2019.11.29)
 - 스마트 건설의 잠재력 및 성장 가능성을 체험하고 관련 기술동향을 공유하기 위해, 스마트 건설기술을 보유한 민간(KT, 두산인프라코어, 현대건설) 및 연구기관(ETRI)의 핵심인력을 초청해 스마트 건설정책 포럼 진행

[건설자동화연구센터 주관 스마트 건설기술 포럼 발표내용]

주제	발표자
초연결 세상에서의 SOC	
두산인프라코어의 첨단 건설기계 무인자동화 및 관제기술	
혁신기술을 활용한 건설 패러다임 변화	
IoT 기반 도심지 건설현장 상시안전 관리 기술	

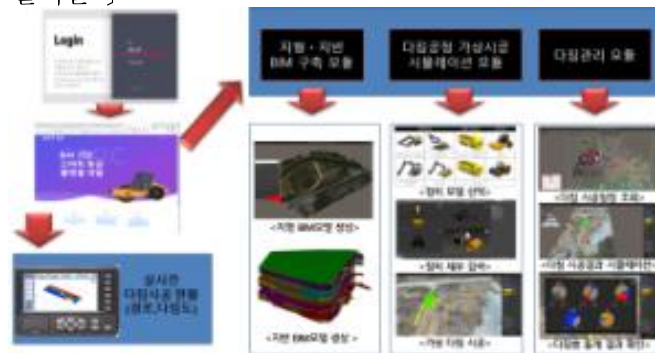
○ 스마트 건설·안전 EXPO 전시회 참여(2019.11.27~2019.11.29)

- 3D 프린터 소형 갠트리 장비 및 3D 프린팅 출력물 3건 전시(건축 3D 프린팅 연구단 기술)
- 혼합현실(MR) 환경에서 화재가 발생하였을 때 소화기로 불을 진압하는 과정의 시물레이션 장치 전시(MR 기반 화재대피 시물레이션)
- 지능형 가상 지반데이터 및 다짐관리 기술을 적용한 스마트 토공 플랫폼 전시(스마트 토공 플랫폼)



[3D 프린터 소형 갠트리 장비 및 3D 프린팅 출력물]

[MR 기반 화재대피 시물레이션]



[건설자동화연구센터에서 개발 중인 스마트 토공 플랫폼]

3. 스마트건설 실험실 운영 (BIM Room, FabLAB)

3.1 가상실증실험실 운영

- 가상실증실험실 국내외 기관 방문 14개기관 124명 방문
 - 원자력 발전소 해체 시뮬레이션, 지하철 화재대피 시뮬레이션, 교량 시공 시뮬레이션



[가상실증실험실 시연]

3.2 Robotics Fablab

- 로봇암(Robot arm) 및 Fablab 구축 완료
 - (ABB) 로봇암(IRB 6700-155 155kg) 및 로봇 스튜디오
 - (BAT) 엔드이펙터 3종(스핀들, 열선커터, 그리퍼 및 킥체인저)
 - 기타(PC 2대, 안전 펜스, 대형 모니터, 캐비닛, 책상 등)



[KICT Robotics Fablab]

- 협동작업을 위한 추가 로봇암(Robot arm) 및 3D Vision 구축 예정(2019.12)
 - (ABB) 로봇암(IRB 4600 40kg)
 - (Ruben) 3D Vision

○로봇암을 통한 건설자동화 기술(조적시공 대상) 개발 계획 수립

- (목표) 상용 하드웨어 플랫폼인 로봇암 및 3D Vision 등을 활용해 조적시공에 대한 건설자동화 핵심기술* 개발

※ 핵심기술: 1) 로봇암을 이용한 벽돌 적재(Pick & Place)기술

2) 접착재료(예; 모르타르) 분사노즐 시스템 기반 시공 자동화 기술

3) Vision 및 BIM 기반 조적 시공 자동화 기술

- 조적시공 자동화를 위한 3단계 개발목표 설정 및 상세 개발내용(필요기술, 활용기술, 개발세부 specification, 기대효과 등) 정리

		1단계	2단계	3단계
개발 목표		로봇암을 이용한 벽돌 적재 (Pick & Place) 기술	접착재료(예; 모르타르) 분사노즐 시스템 기반 벽돌시공 자동화 기술	Vision 및 BIM 기반 조적 시공 자동화 기술
개발 내용		1. 다양한 크기의 벽돌 취급(중급 파지) 잡지 제작 기술(㉠,㉡,㉢) 2. 벽돌의 항상 감지 및 좌표화 기술 테스트(㉠,㉢) 3. 벽돌적재 Pick & Place 기술 구현(㉠,㉢)	1. 접착재료 노즐제작 기술(㉠,㉡) 2. 접착재료가 부착된 벽돌의 정위치 적재 테스트(㉠,㉡,㉢) 3. 항상안착기반 벽돌 Pick & Place 기술 구현(㉠,㉢)	1. BIM 도면기반 로봇암 시공용 툴패스 자동설정 기술(㉠,㉡) 2. 벽돌 적재시 시공위치와 BIM 좌표와의 오차 보정 기술(㉠,㉡,㉢)
		활용기술 : ㉠ Robot Programing, ㉡ End-Effector, ㉢ Supply equipement, ㉣ Vision, ㉤ Sensor, ㉥ BIM		
개발 세부 Spec.	잡기 제어	모델화기반 제어	비전 좌표기반 제어	BIM 비전기반 제어
	벽돌 Pick	고정형 물체 대상	비정형 물체 대상 1단계	비정형 물체 대상 2단계
	벽돌 Place	단순 적재	정착재료 두께 고려 정(준)위치 적재	정밀위치 적재 및 검증
	무착 방식	접착재료 사용 안함	모르타르/세죽시 등 사용	
	Test Bed	시험실 (직선형, 곡선형 배치)	Pilot-Test (유사환경 모사)	실제현장-전속현장 (이동형)
기대 효과	- 다양한 형태의 벽돌 적재 기술 확보 가능 - 건설자동화를 위한 자재공급 기술 확보 가능	- 자동 조적시공 시의 접착재료 특성 파악으로 향후 자동화시공의 품질관리 기술 확보 가능	- BIM 정보와 조적시공 현장과의 오차 보정 기술 확보로 건설자동화 원천 기술 확보 가능	

[로봇암을 활용한 건설자동화 기술개발 단계 및 내용]

○Robotics Fablab 활용계획이 포함된 신규과제 기획

- (중대형 탐다운 기획과제) 인간의 접근과 물자 보급이 제한적인 극한지역에서 건설이 가능한 무인 시공 자동화 시스템 개발
- (두산인프라코어 지원과제) AI 기반 Soil Classification 정보를 활용한 굴삭 제어 기술 고도화

4. 건설자동화연구센터 주요 연구성과 달성

4.1 도로분야 BIM 국제표준화

- 건설자동화연구센터의 BIM팀은 도로분야 BIM 표준인 IfcRoad에 대해 국제표준 개발 추진(IfcRoad WG Project Leader : 문현석 수석) 중임. 전체 Phase 1(2018) 및 Phase 2(2019)단계에서 현재 Phase 2단계를 추진 중이며, 2019년 말 최종 Candidate 표준안을 buildingSMART International에 Review를 위해 제출 예정
- (표준개념화 기술보고서 발간) 2단계에서는 1단계에서 개발된 표준개발 요구 명세서를 기반으로 IfcRoad표준의 공간, 시설 등의 형상의 구조 및 연계체계를 사전 정의하는 Conceptual Modeling Report를 발간
- (IfcRoad 표준명세 발간) 개념화 기술보고서를 기반으로 IfcRoad의 표준 스키마 (Schema)의 온라인 표준명세 발간검토하고 표준(안)에 대한 사례검증 수행
 - IfcRoad 표준과 연계되는 속성에 대한 표준 체계 개발 및 검토 수행
 - IfcRoad 표준에 대한 기술 명세 문서화, 모델 뷰 정의(MVD) 기준서 개발
- (Common Schema 지원) 인프라분야의 공통시설에 대한 형상요소의 정의를 위해 토 공, Geotechnics, 공간 등에 대한 IfcRoad 관점의 기술 지원



[IfcRoad 개념보고서]



[IfcRoad 기술명세]



[Pset 속성표준]

4.2 3D 프린팅 테스트 부지 및 장비 구축

- '소형건축물 및 비정형 부재 대상 3D 프린팅 설계, 재료 및 장비 기술 개발' 과제의 4

차년도 목표인 수직골조 10M×10M×3M 규모의 테스트베드 구축

- 다양한 3D 프린팅 적층 시공 테스트 및 시공법 적용



[3D 프린팅 테스트베드 구축]

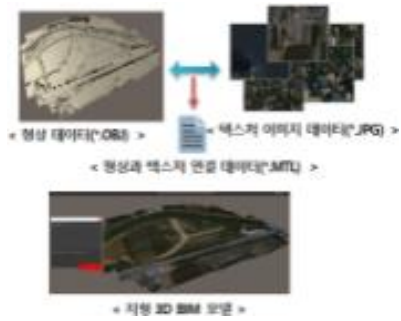
4.3 스마트 토공 플랫폼 도로공사 현장적용

- 지능형 가상 지반데이터 및 다짐관리기술을 적용한 스마트 토공 플랫폼 개발(건설자동화연구센터 수행 고유임무형 주요사업)
- 한국도로공사와 MOU 체결을 통한 스마트 토공 플랫폼 현장적용(국내 최초)
 - 용인-안성 고속도로 2공구 토공사 현장(시공사: SK건설)
 - 현장맞춤형 기술개발로 수요자의 니즈를 적극 반영해 기술고도화 달성



[적용현장(안성-용인 고속도로 2공구)]

- 스마트 토공 플랫폼 도로공사 현장적용 결과
 - 스마트 토공 플랫폼(관리자용 Web 시스템, 작업자용 현장 가시화 시스템)
 - 3D 지형·지반 BIM 모델 생성(UAV 영상 활용) → 실시간 지능형 다짐관리 시스템이 적용된 장비를 통한 시공 → 플랫폼을 통한 시공정보 확인(다짐경로 및 품질 등) → 개발된 스마트 토공 플랫폼의 현장적용 가능성 확인 및 보완점 도출



[3D 지형·지반 BIM 모델 생성]



[실시간 지능형 다짐관리 시스템 부착 장비]



[플랫폼-작업자용 현장 가시화 시스템]



[플랫폼-관리자용 Web 시스템]

참고문헌

- 국정기획자문위원회(2017), 문재인 정부 「100대 국정과제」
- 국토교통부(2018), 제6차 건설기술진흥기본계획
- 국토교통부(2018), 제5차 건설산업진흥기본계획
- 과학기술정보통신부(2108), 제4차 국가과학기술기본계획
- 국토교통부(2018), 제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획(2018~2027)(안)
- 국토교통부(2018), 스마트 건설기술 로드맵
- 관계부처 합동(2018), 건설산업 혁신방안
- 국토교통부(2019)국토교통부 고시 제2019-91호
- 정보통신기술진흥센터 (2016), 주요 선진국의 4차 산업혁명 정책동향
- 국가건축정책위원회(2016), 건축산업의 미래이슈와 대응전략 연구
- 국토교통부(2018), 스마트 건설기술 개발 사업
- 김영진, 정철현, 김철영(1997) 현장타설 철근콘크리트 바닥판의 손상과 대책. 콘크리트학회지, 제9권, 제4호, pp. 57-65.
- 류형근, 박기남, 정철현, 정운용, 장승필 (2001) 프리스트레스를 도입한 프리캐스트 바닥판의 편칭전단강도. 대한토목학회 학술발표회, pp. 101~106.
- Edinger, J.E., Brady, D.K., and Geyer, J.C. (1974) Heat exchange and transport in the environment. Report 14, EPRI Publication No.74-049-00-3, Electric Power Res. Inst., Palo Alto, California.

서지자료

1. 출판물 고유번호 KICT-2019-175	2. 사업분류 19주요-대1-전략	3. 발행일 2019. 12. 31	
4. 제목/부제 가상/증강현실 기반의 스마트 건설 가상화 시 물레이션 기술 개발		5. 연구수행기간 2019. 1. 1 ~ 2019. 12. 31	
6. 연구수행기관 한국건설기술연구원		7. 연구 수행자 최창호, 주기범, 조진우, 서명배, 원지선, 문현석, 박형진, 박상혁, 이상규, 김진영, 신재영, 정수매	
8. 수행기관 주소 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283		9. 연구의뢰기관 및 주소 해당없음	
10. 공동 수행기관 해당없음		11. 계약 또는 인가번호 해당없음	
12. 초 록 본 연구는 건설자동화연구센터 전략과제로서 국내·외 스마트건설 관련 정책 및 연구동향, 건설 자동화 역량 분석 등을 기반으로 한국건설기술연구원 건설자동화연구센터 발전전략 및 2030년까지의 건설자동화 미래선도전략을 수립하고, 건설 자동화와 관련한 핵심 신규 연구 과제 발굴 하였다.			
13. 키워드 건설자동화, 스마트건설, 4차산업혁명, 기술로드맵, 디지털화			
14. 기타사항 해당없음			
15. 비밀구분 Unclassified	16. 총면수	17. 발행부수	18. 가격

Bibliographic Data

1. Report ID KICT-2019-175	2. Project Classification Internal Research Project	3. Report Date December 31, 2019	
4. Title Analysis of Construction Automation Capability and Establishment of Future Leading Strategy		5. Research Period Jan. 1, 2019~Dec. 31, 2019	
6. Performing Organization Korea Institute of Civil Engineering and Construction Technology(KICT)		7. Authors Chang-Ho Choi, Ki-Beom Ju, Jin-Woo Cho, Myoung-Bae Seo, Ji-Sun Won, Hyoun-Seok Moon, Hyung-Jin Park, Soo-mae Jung, Jae-Young Shin, Sang-Kyu Lee, Sang-Hyuck Park, Jin-Young Kim	
8. Performing Organization Address 283, GoyangDaero, Ilsan-SeoGu, Goyang, Gyonggi-Di, 411-712, Republic of Korea		9. Sponsoring Agency None	
10. Co-performing Organization None		11. Contact No. None	
12. Abstracts This study is a strategic task of the Construction Automation Research Center. Based on domestic and overseas smart construction-related policies, research trends, and analysis of construction automation capabilities, the Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology and Construction Development Strategy and the future leading strategy of construction automation until 2030 In addition, key new research projects related to construction automation were identified.			
13. Keywords Construction Automation, Smart Construction, 4th Industrial Revolution, Technical Roadmap, Digitalization			
14. Supplementary Notes None			
15. Security Class Unclassified	16. No. of Pages	17. Circulation	18. Price

주의사항

1. 본 보고서는 우리 연구원이 기본연구사업으로 수행한 자체 연구성과로서 정부의 정책이나 견해와는 다를 수도 있습니다.
2. 본 보고서를 인용할 경우 반드시 출처를 밝혀 주시기 바랍니다.
3. 무단복제는 절대 금하며, 저작권 관련법에 의해 처벌을 받을 수 있습니다.

구입안내

본 보고서의 구입을 원하시는 분은 아래 연락처로 문의하시기 바랍니다.

- 문의처 : 한국건설기술연구원
TEL : 031-9100-785, 286

KICT-2019-175

건설자동화 역량분석 및 미래선도전략 수립

- 출판사등록번호/ 제98-10호
 - 발행일/ 2019. 12. 31
 - 발행처/한국건설기술연구원
경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
TEL : (031) 9100-114
www.kict.re.kr
-