

스마트 건설기술의 활성화를 위한 건설 분야의 연구동향

이재욱¹, 이종호^{2*}, 박초롱², 김소연³

¹한국건설기술연구원, ²한국건설기술연구원 및 연세대학교 건축공학과, ³연세대학교 건축공학과

Research Trends in the Construction Field for the Revitalization of Smart Construction Technology

Jae-Wook Lee¹, Jong-Ho Lee^{2*}, Cho-Rong Park², So-Yeon Kim³

¹Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology

²Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology, Division of Architecture Engineering, Yonsei Univ

³Division of Architecture Engineering, Yonsei Univ

요약 전 세계적으로 건설산업의 생산성 향상 및 인력 부족에 대응하기 위해 스마트 건설 체계로 전환이 진행 중이다. 이에 따라 건설산업의 자동화, 지능화, 지식화를 위한 스마트 건설에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 논문은 스마트 건설 관련 연구의 활성화를 위해서 국외의 동향을 알아보고 국내의 선행연구를 자세히 고찰하여 국내 스마트 건설 연구 및 기술개발에 관한 향후 연구 방향을 도출하고자 하였다. 특히 스마트 건설기술 관련 4차 산업혁명 관련 기술을 포함하여 세부적인 카테고리를 바탕으로 기존 연구에 대한 분류와 스마트 건설기술 관련 업계 종사자들을 대상으로 설문 조사를 진행하였다. 이를 바탕으로 새로운 다양한 기술들의 융합 및 플랫폼으로 발전이 필요하며, 이를 위해서는 정부의 정책적 지원 및 인력양성이 필수 요소로 확인되어 이에 대한 국내 실정에 적합한 스마트 건설 연구 방향을 제시하였다.

Abstract The transition to a smart construction system is underway to improve the productivity of the construction industry and cope with the shortage of workforce around the world. Therefore, studies on smart construction for automation, intelligence, and knowledge of the construction industry are being conducted. This study examined global research trends and domestic research to activate the research related to smart construction and identify future research directions. In particular, the classification of existing research was conducted based on the detailed categories, including technologies related to the fourth industrial revolution. In addition, surveys were conducted on professionals in industries related to smart construction technology. Based on this, the direction of smart construction research suitable for domestic situations is presented. Developing convergence and a platform for various new technologies is necessary, and government policy support and workforce training are essential.

Keywords : Smart Construction, Research Trend, Construction Automation, Digitization, AI

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

세계 건설산업은 4차 산업혁명 기술 융/복합을 통해

디지털화된 스마트 건설 체계로 전환되고 있으며 이와 관련된 시장주도를 위해 치열하게 경쟁 중이다[1]. 특히 건설산업은 타 산업군과 비교하여 생산성 증가율이 가장 낮은 산업군으로 고령화 대응 및 비대면 업무 전환에 따

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다.(과제번호 20220189-001, 미래 건설산업 견인 및 신시장 창출을 위한 스마트 건설기술 연구)

*Corresponding Author : Jongho Lee(KICT)

email: leejongho@kict.re.kr

Received August 11, 2022

Accepted December 7, 2022

Revised October 18, 2022

Published December 31, 2022

른 디지털 전환이 요구된다[2]. 이 중에서도 건설산업의 설계 및 시공과정은 반복적이고 수작업으로 진행되는 경우가 많아 이로 인한 문제점이 많이 발생하고 있다. 예를 들어 건설 역량 및 경쟁력의 저하, 건설 전문인력의 감소, 인허가 단계의 행정 지연 등의 문제점들은 건설 분야를 저부가가치 사업으로 전락시키고 있다. 따라서 건설산업의 생태계를 변화시키기 위해 자동화 및 지능화가 요구되며 관련 기술개발 및 연구가 진행되고 있다[3,4].

미국의 글로벌 시장조사기업인 Market Research Future는 세계 건설시장에서 스마트 건설 분야의 시장의 연평균 성장률을 약 35%로 전망하였다. 이에 따라 2023년에는 스마트 건설 시장의 규모를 약 20.11억 달러까지 성장할 것으로 예측하였고 특히 건설 분야에서 4차 산업 기술들이 발달하면서 스마트 건설관련 시장이 성장할 것으로 예측하였다. 주요 기술과 관련하여, Pan[5]는 건설 산업에서 스마트 건설관련 유망한 기술을 약 아홉 개로 분류하고 그 특징을 설명하였다. 세부적으로 그 여덟 개의 요소는 (1) Robotics, (2) VR/AR and Metaverse, (3) IoT and Sensor, (4) Digital twin, (5) 3D and 4D Printing, (6) Blockchain, (7) Modular and Prefab, (8) BIM, and (9) Machine learning and Deep learning으로 나타났다.

전 세계적으로 스마트 건설에 대한 관심이 증가하고 있으며 관련된 다수의 연구가 수행되고 있다. 또한 정부에서도 인구감소 및 고령화에 대비해 건설의 생산성과 안전성을 근본적으로 개선하고, 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해 건설기술 혁신 필요하다고 판단하여 인공지능 기반 스마트 건설을 활성화하기 위해 노력 중에 있다[6]. 이에 따라 스마트 건설관련 기술 및 건설 분야에 융합하고 연계하는 자동화 및 지능화 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구의 목적은 전 세계적으로 주목을 받고 있는 스마트 건설에 관하여 다양한 정보를 제공하는 것을 목표로 한다. 국외 부분에서는 시장, 기술 동향 및 연구 동향을 소개한다. 국내 부분에서는 세분화한 표를 바탕으로 4차 산업혁명 기술과 결합되는 스마트 건설의 연구 동향을 소개하고 건설분야 전문가들을 대상으로 스마트 건설의 도입, 발전 및 정책 방향을 설문조사를 진행하였다. 이를 통하여 스마트 건설 연구 및 기술개발 관련 시사점 및 향후 스마트 건설관련 연구 활성화를 위한 국내 연구의 미래 추진 방향을 도출할 수 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 스마트 건설관련 최신 연구 동향을 소

개하기 위하여 국외의 시장, 기술 및 연구 동향을 알아보고 국내의 선행연구를 자세히 고찰하였으며, 설문을 통하여 국내 스마트 건설 연구 및 기술개발에 관한 향후 연구 방향을 도출하고자 한다. 국외의 시장 및 기술 동향을 알아보기 위하여 스마트 건설 관련 시장 규모 조사 및 스타트업 기업 조사를 진행하였다. 국내외 연구동향을 분석하는 과정에서는 Web of Science와 DBpia를 주요 검색엔진으로 사용하였다. 국내 관련 전문가들을 대상으로 시행한 설문조사 주요 항목으로는 스마트 건설의 장점, 적용 가능성이 높은 스마트 건설 기술 및 활성화를 위한 정책을 선정하였다.

2. 스마트 건설 관련 국외 동향 조사

2.1 국외 시장 및 기술 동향

Fig. 1과 같이, 전 세계 건설 분야 스마트 건설 및 AI 시장은 2018년부터 연평균 약 17%씩 성장하고 있고 2026년에는 약 28,000억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다[7]. 스마트 건설은 타 사업분야에 비해 관련 기술의 적용이 상대적으로 늦은 편인데 이는 전자, 전기, 기계 분야는 다수의 공정이 표준화 또는 규격화되었지만, 건설 분야는 세부 공정이 매우 복잡할 뿐만 아니라 예측하기 어려운 점이 많기 때문으로 보인다. 그 중에서도 가장 먼저 스마트 건설기술을 적용하려는 움직임이 시작된 곳은 가까운 미래에 심각한 인력 부족과 생산성 향상 문제에 직면하게 될 건설현장의 시공관리 분야로, 이는 노동 집약적인 안전관리 및 건전성 평가에 스마트 건설기술을 적용한 자동화 시스템을 도입하였을 때의 효과가 직관적으로 나타나기 때문으로 보인다[8].

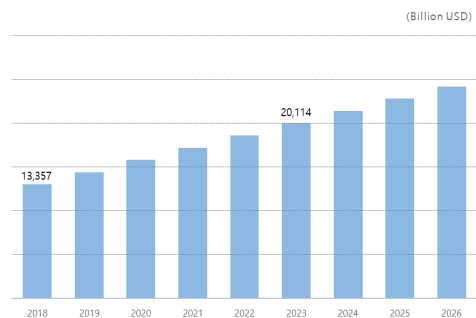


Fig. 1. Changes in the Market Size of Smart Construction and AI in Construction Sector by Year [7]

Table 1. 10 Startups based on AI-related technology

Company	Main features	AI-related technology
Open space	- Photo and video-based documentation tools - A camera is attached to the safety helmet to deliver various data.	(2) VR/AR and Metaverse (3) IoT and Sensor (4) Digital twin
Versatile Natures	- IoT and AI-based project status analysis platform - data-based decision support	(2) VR/AR and Metaverse (3) IoT and Sensor (6) Blockchain (8) BIM
Built Robotics	- Automated construction equipment system - AI-based software for autonomous construction equipment	(1) Robotics (3) IoT and Sensor (4) Digital twin
Indus.AI	- AI analysis platform measuring productivity of vehicle and equipment - AI-based software that can recognize objects using vision sensors	(2) VR/AR and Metaverse (3) IoT and Sensor (6) Blockchain (8) BIM
BuildStream	- Telematics data project management platform based on IoT and AI - Maintenance, schedule, procurement and manpower management	(2) VR/AR and Metaverse (3) IoT and Sensor (6) Blockchain
Dusty Robotics	- AI-based autonomous driving mobile robot that can acquire spatial information of construction sites	(1) Robotics (3) IoT and Sensor (5) 3D and 4D Printing (8) BIM
Airworks.io	- AI-based air mapping software - Automatic conversion of 2D and 3D aviation data into CAD models	(1) Robotics (2) VR/AR and Metaverse (3) IoT and Sensor (6) Blockchain
Astralink	- AI-based construction management platform - Comparison of site construction quality compared with BIM model using Augmented Reality(AR)	(3) IoT and Sensor (2) VR/AR and Metaverse (8) BIM
Nyfty.AI	- AI-based construction consulting robot - Construction management software through mobile applications	(1) Robotics (6) Blockchain
Caidio	- AI-based construction management hardware and software to improve concrete construction quality and productivity	(1) Robotics (3) IoT and Sensor (7) Modular and Prefab

Table 1은 AEC Business 웹사이트에서 스마트 건설 기술을 활용하여 관련 기술을 개발하는 10개의 스타트업 기업을 소개한 내용을 나타내고 있다[9]. 이 칼럼의 저자는 건설 분야에서 영향력이 있는 100대 인물로 선정이

된 Aarni Heiskanen으로, 각 스타트업의 소개된 기술력을 바탕으로 회사명, 주요특징, 그리고 스마트 건설관련 기술들을 나타내었다. 특히 스마트 건설 및 AI관련 기술은 서론에서 소개한 아홉 개의 기술로 분류하여 나타낸 것이 특징이다.

스마트 건설 및 AI 관련 기술 중에서 가장 많이 사용된 기술은 IoT와 센서 기술이며 그 다음으로는 BIM과 로보틱스가 많이 사용된 것을 알 수 있다. 또한 건설 프로세스에서 사용되는 현황을 살펴보았을 때 대부분의 기업은 유지관리 분야에 사용할 수 있는 기술 위주로 발달이 진행되고 있으며, 시공 및 설계분야에 일부 스마트 건설 및 AI 관련 기술이 개발되고 있는 것을 알 수 있다.

2.2 국외 연구 동향

국외 연구 동향은 스마트 건설 관련 기술 분류에 따라 주요 연구의 흐름을 살펴 볼 수 있게, 각 기술에 따른 연구사례를 소개하는 방식으로 진행하였다. 앞서 4차 산업혁명 기술들은 앞서 소개한 Pan[5]의 분류에 따라 아홉개로 나누어지며 2016년 이후 인용 횟수를 기반으로 분석한 데이터는 Table 2와 같다. 각 4차 산업혁명 기술 구분에 따른 키워드를 Web of Science를 통해 검색하였고 각 항목별로 가장 인용횟수가 많은 문헌들을 선택하여 분석하였다. 인용횟수 분야에 따른 각 분야의 상위 연구를 살펴보면 각 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다. 특히 세부 연구 분야의 동향을 소개하는 Literature review 논문들이 2016년 이후로 소개되면서 다양한 분야와 접목을 통하여 스마트 건설기술이 발전하는 것을 확인하였다.

1) 로보틱스

스마트 로보틱스는 반자동 및 자동 건설 로봇 적용과 관련하여 다양하게 발전하고 있다. 로보틱스는 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 이는 지상로봇(Ground robots)과 공중로봇(Aerial robots)으로 나누어진다. 지상로봇의 경우는 사람이 수행하는 상대적으로 반복되는 일들이나 힘든 일인 벽돌쌓기, 프리페브리케이션, 철근 배근, 시설물 철거 등에 사용되고 있으며[19], 공중로봇의 경우는 Urban Air Mobility(UAM)의 발달에 따라 다양한 장비들(카메라, 레이저스캐너, 고프로 등)을 활용하여 측량, 검사, 감시 및 운송수단 등으로 사용되고 있다 [20].

Table 2. Highly cited journal research papers

Subject	Citation	Author and Journal Information
Robotics	185	Delgado, Juan Manuel Davila, et al. "Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption." <i>Journal of Building Engineering</i> [10]
VR, AR, and Metaverse	558	Li, Xiao, et al. "A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety." <i>Automation in Construction</i> [11]
IoT and Sensor	193	Woodhead, Roy, Paul Stephenson, and Denise Morrey. "Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem." <i>Automation in Construction</i> [12]
Digital Twin	291	Boje, Calin, et al. "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research." <i>Automation in Construction</i> [13]
3D and 4D Printing	493	Tay, Yi Wei Daniel, et al. "3D printing trends in building and construction industry: a review." <i>Virtual and Physical Prototyping</i> [14]
Blockchain	343	Turk, Žiga, and Robert Klinc. "Potentials of blockchain technology for construction management." <i>Procedia engineering</i> [15]
Modular and Prefab	364	Lawson, R. Mark, Ray G. Ogden, and Rory Bergin. "Application of modular construction in high-rise buildings." <i>Journal of architectural engineering</i> [16]
Building Information Modeling (BIM)	141	Rahimian, Farzad Pour, et al. "On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning." <i>Automation in Construction</i> [17]
AI(Machine learning and Deep learning)	191	Tixier, Antoine J-P., et al. "Application of machine learning to construction injury prediction." <i>Automation in construction</i> [18]

2) VR, AR, and Metaverse

5G 및 6G 통신기술이 발달하면서 VR/AR 기술이 발달하고 있다. VR/AR은 정보 가시화 기술을 사용하여 기존의 실제 공간과 가상의 현실을 이어주는 역할을 한다. 특히 건설사업에서 VR/AR 기술의 효용성은 사업 참여자의 구분에 따라 다양하게 나타난다. 발주자는 프로젝트를 보다 쉽게 이해할 수 있으며, 수급자는 건설사업 과정에서 검사, 조종, 그리고 접근이 용이해지며 안전교육에도 효과적으로 사용할 수 있다[21].

3) IoT and Sensor

IoT와 Sensor는 스마트 건설 프로세스의 전 단계에

가장 활용도가 높은 기술 중 하나이다. 특히 실제 건설관련 장비들, Radio Frequency Identification Devices (RFID), 드론, 3D 스캐너, 웨어러블 및 모바일 디바이스 등 다양한 분야에서 (준)실시간으로 프로젝트의 정보를 수집할 수 있다. 설계 단계에서는 건설물 관련된 정보를 수집하고 분석할 수 있고, 시공 및 유지관리 단계에서는 건설현장의 위치 및 동작 등 현장 데이터를 확보할 수 있다[22].

4) Digital Twin

디지털트윈은 가상과 실제 현실의 시스템을 시각화, 모델링, 시뮬레이션, 분석, 예측, 그리고 최적화를 통해서 현실화하는 것을 말한다. 기본적으로 디지털 트윈의 기본적인 형태는 현실 세계의 실물 객체를 가상 세계의 객체로 만들고, 실물 객체의 동작과 행동을 쌍둥이 가상 객체의 수행 역할 모델로 만들어 현실을 가상 상황에서 모사 및 모의할 수 있도록 구축하는 것이다[23,24]. 또한 각 응용 분야에서 쌍둥이처럼 만들어져 있는 디지털 트윈 시스템을 통해 계획 수립부터 운영, 관리, 유지 보수 및 조기 대응 등에 대해 사전에 시뮬레이션 검증, 시스템 운영 동안에 최적화 수행, 미래 상황 예측, 사후 문제분석 등이 가능해지게 되어 널리 도입되기 시작하고 있다 [25].

5) 3D and 4D Printing

3D Printing은 3차원 설계를 기반으로 구조물의 일부 혹은 전체 건물을 자동화 장비를 활용하여 제작하는 기술을 의미한다. 건설사업에서 3D Printing 기술의 적용은 복잡한 형상의 구조물이나 맞춤형 부재 등을 빠르고 정확하게 시공할 수 있다. 또한, 경제적 측면에서 불필요한 재료의 낭비를 방지하고 인건비도 낮출 수 있다 [26]. 대규모 건설 프로젝트를 위한 3D 프린팅은 아직 초기 단계이지만 앞으로 건설산업에 막대한 영향을 미칠 가능성이 높은 기술이다[27].

4D Printing은 3D Printing을 기반으로 외부 자극에 반응하는 프로그래밍이 가능한 스마트한 소재를 활용하여 출력 이후에 특정 외부 자극을 가함으로써 원하는 형태로 변화시킬 수 있는 기술이다[28]. 이는 건설사업에서 교량이나 도로, 건축물 등을 스스로 복구되는 소재를 적용하여 만들 수 있고 유지관리 및 보수의 경제성, 편의성을 제공할 수 있다[29].

6) Blockchain

블록체인은 P2P 네트워크, 암호화, 분산 장부, 분산 합의와 같이 크게 4가지의 기반 기술로 구성되어 있다. 각각의 기술들은 탈중앙화, 데이터의 무결성 유지 등을 위해 상호 보완적인 관계를 취하고 있어서 이 기술은 결과에 대한 무결성, 신뢰성을 제공한다[30]. 블록체인은 건설 프로젝트의 효율성을 높일 수 있는 기술로서, 건설 프로젝트 관리를 위해 필요한 방대한 정보를 기록하는데 사용할 수 있다. 향후 스마트 건설 계약 및 자산관리부터 비용지불 및 자재 조달에 이르기까지 건설 프로젝트 관리의 많은 측면에 영향을 끼칠 것으로 예상된다[31].

7) Modular and Prefab

Modular와 Prefab 기술은 건설에서 현장 준비와 동시에 이루어지기 때문에 기존의 건설방식보다 최대 50%까지 공기를 단축할 수 있다. 즉, 전체 운송 시간과 현장에서 제작 시간을 단축함으로써 탄소배출을 저감시킬 수 있다. 또한, 이 기술은 공장에서 건축물이 제작되므로 프로젝트의 초과 자재를 다른 프로젝트에 용이하게 사용할 수 있어 건설 폐기물을 감소시킬 수 있다[32].

8) Building Information Modeling (BIM)

BIM은 건물을 시공하기 전에 구조(모델)물의 디지털 표현을 창조하는 프로세스이다. 건물에 대한 정확한 표현은 건설 프로젝트의 시공성 향상, 리스크 제거, 자재 수급 및 활용 등 효율성 및 생산성 증대로 이어질 수 있다. 예를 들면, 프로젝트 계획단계에서 BIM은 시공 전 발생 가능한 문제를 예상할 수 있고, 진행단계에서 최신 정보의 업데이트와 정확한 데이터 공유를 통해 건설에 관련된 모든 종사자 간의 커뮤니케이션을 향상시켜 효율성이 증가할 수 있으며, 완료 단계에서 건물의 모든 세부 사항에 대한 정보를 제공함으로써 효과적인 유지관리를 가능하게 한다. 따라서 BIM은 현재 건설 분야에서 가장 중요한 기술 중 하나이다[33].

9) Machine learning and Deep learning

Machine learning은 과거의 경험과 빅 데이터를 분석하여 모델, 패턴, 규칙성 등을 발견하고 학습하는 기술이다. 최근, 건물의 에너지효율 및 관리 분야에서 공동주택 세대별 에너지 사용 패턴 분류, 시스템 에너지 사용량 예측 등에 활용되고 있다. 또한, 건설 분야에서도 안전성 향상, 비용 절감, 설계 개선 등에 활용하고 있다[34].

Deep learning은 많은 수의 신경층을 가지도록 모델을 구성하는 신경망 기반 Machine learning 기술들을 의미한다. 현재 건설 관련 장비의 인공 지능화에 적용되고 있으며, 해외에서는 무인 건설장비 개발을 시도하고 있다. 특히 건설장비의 자동화 설계, 실적 데이터를 기반으로 최적의 공정계획 작성 및 업데이트, 정확한 물량과 최신 단가를 반영한 견적, 건축 구조 등에 대한 엔지니어링 계산, 설계오류의 종합적 영향 분석, 계측장비와 연동된 시설 안전진단, 실시간 건설 리스크 관리 등에 인공지능 기술을 적용할 수 있다[35].

3. 스마트 건설 관련 국내 동향 분석

3장에서는 국내의 스마트 건설기술 관련 연구 사례를 분석하고 설문조사를 통하여 국내 스마트 건설 활성화를 위한 방안을 모색하고자 하였다. 먼저, 국내 연구의 조사 및 분석을 위해서 DBpia를 사용하여 서지정보를 검색하였다. 주요 키워드들은 ‘Civil’, ‘Construction’, ‘Architecture’, ‘Building’과 AI 및 스마트 건설 관련 기술인 ‘AI’, ‘Smart Construction’, ‘Machine Learning’으로 구분하여 검색에 활용하였다. 키워드 검색을 바탕으로 2000년부터 2022년까지의 선행연구사례 60건을 체계화하였으며, 이에 대한 분석은 크게 두 가지 분야로 나누어 Table 3과 같이 나타내었다. 첫 번째는 건설 프로세스에 대한 분석이다. 건설의 프로세스를 계획 및 설계, 시공, 유지관리로 구분하고 각 프로세스에 주로 활용되는 스마트 건설기술들을 정리하였다. 두 번째는 스마트 건설 관련 아홉 가지 기술에 따른 분석을 진행하였다.

3.1 건설 프로세스에 따른 스마트 건설 연구 동향

1) 계획 및 설계

계획 및 설계 단계에서는 우선 프로젝트의 사전타당성 검토 및 평가하는 것에 스마트 건설 및 관련 기술이 활용되며 건설과정에서 주요하게 평가되는 요소인 구조성능 및 환경영향을 고려한 최적의 개념 및 기본설계를 도출하는데 관련 기술이 사용된다. 그리고 BIM 기반 Machine learning을 활용하여 Generative Design 기법을 적용할 때, 수많은 설계 대안을 짧은 시간 안에 도출할 수 있다[36,37].

2) 시공

시공 단계에서는 건설 현장의 데이터를 확보하는데 스마트 건설 관련 기술이 주로 활용된다. IoT기기 및 Robotics 등 기기를 활용하여 현장의 이미지, 장비 위치, 데이터 등을 확보할 수 있으며 3D 및 4D Printing 기술을 사용하여 건설 시간을 줄이거나 품질을 확보할 수 있다. Modular and Prefab 기술은 BIM 설계방식과 연계하여 사전 제작된 제품을 바탕으로 시공성을 향상시킬 수 있다. 또한 VR과 AR을 이용하여 현장을 원격 관리할 수 있으며 프로젝트 진척률, 품질 및 안전 정보를 모니터링 할 수 있다[38,39].

3) 유지관리

유지관리 단계에서는 로보틱스, 디지털트윈 및 VR, AR 기반 Metaverse 기술을 적용하여 플랫폼을 구축하고 건물 및 기반 시설물의 안전성 평가 및 전주기적 관리 시스템을 구축할 수 있다[40,41]. 또한 Blockchain 기술을 활용하여 각종 정보의 보안을 강화하고 연계성을 높일 수 있다[42,43].

3.2 스마트 건설 활용 분야에 따른 연구 동향

1) 로보틱스

국내에서는 로보틱스 기법을 활용한 자동화 관련 연구들이 많이 진행되고 있다. 특히 구조물의 거동을 예측하는 과정이나 성능기반 최적 설계와 관련하여 자동화 기술을 사용하는 것을 볼 수 있다[44,45]. 또한 BIM을 활용한 디자인 및 문서 자동화 관련 기술 분야에서는 온톨로지 및 RPA(Robotic Process Automation) 기법이 활용되는 것을 알 수 있다[46,47]. 마지막으로 드론, 인공위성, 3D 프린팅 및 영상촬영 로보틱스를 활용한 스마트 건설에 적용하는 연구들이 수행되고 있다[38,41,48].

2) VR, AR, and Metaverse

가상현실과 디지털화를 통한 스마트 건설을 실현하는 과정에서도 다양한 세부 분야에 따른 연구가 진행되고 있다. 우선 컴퓨터 비전 및 영상기반 건설 현장을 디지털화하고 가상공간을 구축하는 연구들이 진행되고 있다[41,49,50]. 또한 BIM 기능을 활용하여 가상공간을 생성하고 이에 따른 라이브러리 및 인터페이스를 개발하는 연구가 진행 중이다[51-53].

3) IoT and Sensor

IoT와 센서를 이용하는 기술은 다양한 센서 네트워크를 활용하는 과정에서 건물에서 사용되는 복합적인 정보를 획득하고 분석하는 것이 가능하다. 특히 건물 에너지 소비를 예측하기 위하여 다양한 센서 네트워크를 구성하며 분석을 진행할 수 있고[54-57], 건설 시공 및 유지관리 측면에서 센서 네트워크를 활용하여 구조물의 성능 검토 및 건설 현장의 인식 또한 진행할 수 있다[48-50].

4) Digital Twin

가상과 현실의 공간을 쌍둥이로 만드는 디지털 트윈 기술은 건설 분야에서 다양하게 연구되고 있다. 지하의 공동구 내 시설물의 안전 및 관리를 위해서 지하 공동구를 모델링하고 이를 가상의 시스템을 통하여 시각화하는 연구가 진행되고 있다[58]. 또한 BIM을 통하여 모델링한 데이터를 바탕으로 디지털 트윈을 구현하여 유지관리를 하는 과정에서 평가 및 자동화 관련 연구들이 수행되고 있다. 이러한 연구들을 바탕으로 법규, 녹색건축인증, 에너지 성능 및 전산유체역학 평가 등 다양한 분야에서 디지털트윈 기술이 사용되는 것을 알 수 있다[59].

5) 3D and 4D Printing

건축물의 3D 프린팅 기술 및 설계 지원도구 개발을 위하여 관련 장비, 재료 그리고 기능을 정의하는 연구가 진행되었다. 특히 기존 제조업에서 3D 모델링 기법을 활용하여 건축 분야에서 활용 가능한 프린팅의 주요 7가지 기능을 정의하였다[60]. 4D 모델과 관련하여서는 3D와 AR을 접목한 공정 시뮬레이션 구현을 진행한 연구를 확인하였는데, 이는 3D 프린팅과 AR을 이용한 4D 모델 기반 공정관리 업무수행 방법론과 시스템 개발을 통해 직관적인 BIM 기반 시공성 검증을 목적으로 진행되었다[38].

6) Blockchain

블록체인은 건설 프로젝트의 보안 및 안전 등 데이터 관리 측면에서 효율성을 높일 수 있는 기술이다. 이에 대하여 보안이 중요한 국방시설물을 관리하는 과정에서 블록체인을 도입하고 적용하는 방안에 대한 연구가 진행 중이다[42]. 특히 블록체인의 여러 가지 특성을 바탕으로 국방시설 분야에 적용시킬 수 있는 정보체계관리 방안들을 제시하였다. 또한 철도 프로젝트 관리를 위해 필요한 방대한 정보를 기록하는 데 블록체인을 활용하는 연구가 진행되었다. 철도 서비스 또는 건설 및 차량 제작 등에 사용될 수 있는 블록체인 기능을 AHP를 이용하여 주요 우선순위를 선정하였다[43].

Table 3. Research Analysis

Reference	Phase			Smart Construction related Technology								
	Design	Construct-ion	Maintenan-ce	Robotics	VR/AR and Metaverse	IoT and Sensor	Digital Twin	3D and 4D Printing	Block chain	Modular and Prefab	BIM	Machine learning and Deep learning
[36]	●				●	△	△	△			●	
[37]			●			△		△	△	△	●	●
[38]	△	●		●				●		△		
[39]		●	●				△			△		●
[40]	△	●	△	△	△		△			△		△
[41]		●	●	●	△	△	△					●
[42]			●						●		△	
[43]			●						●		△	
[44]	●	●		△		△	△					●
[45]	●		△	△		△						●
[46]		●		●		●	△		△		●	
[47]	●	△		△		△		△		△	●	●
[48]		●	●	●		●		△				●
[49]		●		△	●	●	●			△		●
[50]		●		●	●	●	●					●
[51]			●		●	●			△		●	●
[52]	●				●	△			△		●	●
[53]	△		●		●	△		△	△	●	●	●
[54]	△		●			●					△	●
[55]	●	△				●	△			△	△	●
[56]	△		●			●	△		△		△	●
[57]			●			●	△		△			●
[58]			●			●	●				△	
[59]			●			△	●				●	
[60]	●	△		△	△			●		△		
[61]	●	△								●	△	
[62]		●	△							●	△	
[63]	●		△								●	
[64]	●	●				△	△	△	△		●	
[65]		●	△			△	△				△	●
[66]	△		△	△		●	△				△	●
[67]	●					△				△	△	●
[68]		△	●	△		△					△	●
[69]	△		△	△		△				△		●
[70]		●		△		△			△		●	●
[71]	△	●		●		△		△	△	△	●	●
[72]			●	△		△					●	●
[73]	●				△	△		△	△	△	●	
[74]		●	△			△			△		●	
[75]	●	●								△	△	●
[76]	●									△	●	△
[77]	●			△	●	△	△	△	△	△	●	
[78]	△		△			●	△				△	●
[79]	△		△			●	△				△	●
[80]	●	●				△	△	△			●	●
[81]	△	●	△	△		△	△			△		●
[82]		△	△			●	△		△			●
[83]	△		●			△			△	△	●	●
[84]			●			●						●
[85]	△		●			●						●
[86]	●				●	△	△	△	△	△	●	●
[87]	●										●	●
[88]	△	●				●	△		△			●
[89]			●	△		●	△		△			●
[90]	●	△				●	△	△	△	△	△	●
[91]	△	●				△				△	△	●
[92]			●			△		△				●
[93]	△		●			△		△	△		●	●
[94]	△		●		△	△		△		△		●
[95]	△	●	△	△	△		△					△

●: High Association, △: Associated

7) Modular and Prefab

COVID-19 이후 관련 보건 시설의 건축을 최소화하기 위한 노력들이 진행되고 있다. 그 중에서 선별진료소의 기능에 따라 다양한 방식으로 모듈 조합에 대한 기준을 정하고 이에 따른 평면, 입면, 단면도를 제시하였다[61]. 모듈러 교량은 신속성이 확보되고 환경 친화적이며 시공 기간이 급속도로 단축되기에 이에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 표준 모델을 선정하고 이런 모듈들을 조합하면서 구조적인 안정성을 확보하는 연구들이 진행되고 있다[62].

8) BIM

BIM을 활용하여 설계하는 과정에서 효율성을 높여려는 연구들이 진행되고 있다. 특히 건물의 설계 및 디자인 자동화 및 법규와 품질검토를 자동화하는 연구들이 수행되었다[36,53,63]. 시공 측면에서는 BIM을 활용하여 접합부의 구조적 성능을 해석하고 자동화하는 시스템을 개발하는 연구가 진행되고 있다[39,44]. 유지관리 측면에서는 BIM 기반 온톨로지 구축을 통한 자재명 또는 내역 항목을 추출하는 기능에 대한 연구가 진행 중이다[46,64].

9) Machine learning and Deep learning

딥러닝 기술이 발달하면서 이미지를 활용한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 특히 건설현장 사진을 분류하거나, 건물 내 다양한 수요를 예측하는 방법, 실내 이미지 디자인을 자동으로 분류하는 연구들이 수행되었다[65-67]. 최적화(Optimization) 측면에서는 기계학습을 이용해서 건물 내부 기계 설비분야의 운전을 최적화하는 기술, 거주자의 실내공간에서 행동을 예측하는 연구 등이 진행되었다[68,69]. 또한 복합적인 방식으로 인공위성과 딥러닝을 연계하고, 컴퓨터 비전과 건설현장을 비교하면서 디지털 현장을 구축하는 등 다양한 스마트 건설기술과 머신러닝 기법이 함께 적용되는 연구가 진행되고 있다[41,49].

3.3 설문조사를 통한 스마트 건설 활성화 방안

스마트 건설기술의 적용현황을 파악하고 활성화를 위한 주요 방안을 도출하기 위하여 설문조사를 시행하였다. 전체 응답자는 82명으로 소속 기관은 ‘공사 및 공단’(32.9%, 27명), ‘설계사’(25.6%, 21명), ‘S/W개발사’(12.2%, 10명), ‘건설IT’(8.5%, 7명), ‘시공사’와 ‘국

토부’(각 7.3%, 6명), ‘민간발주기관’(6.1%, 5명)으로 나누어진다. 주요 설문조사 항목으로는 스마트 건설기술 적용을 통한 건설 산업의 변화 및 효과, 향후 전망 및 정책 방향으로 나누어진다.

Fig. 2는 스마트 건설기술을 활용하였을 때 얻을 수 있는 장점에 대해 조사한 내용이다. 스마트 건설의 가장 큰 장점으로는 고령화 및 인구감소에 따른 인력 부족에 대하여 효과적으로 대응이 가능하다는 것으로 조사되었다.

이어 건설 기간의 단축 및 비용의 절감이 높게 나타났다. 그 다음으로 나머지 안전사고 예방, 구조물의 성능 및 수명 증가, 그리고 건설 프로세스의 효율화는 그 비율이 유사하게 나타나는 경향을 보였다. 따라서 스마트 건설기술의 도입 효과는 건설 생산성 향상과 인력 대체에 가장 큰 영향을 미칠 수 있으며 이에 따른 기술개발이 필요한 것으로 보인다.

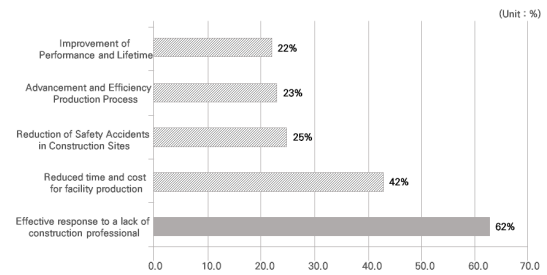


Fig. 2. The Major Effect of Smart Construction

Fig. 3은 스마트 건설기술의 도입을 통하여 건설 프로세스 및 사업관리 측면에서 어떤 효과를 거둘 수 있는지 조사하였다.

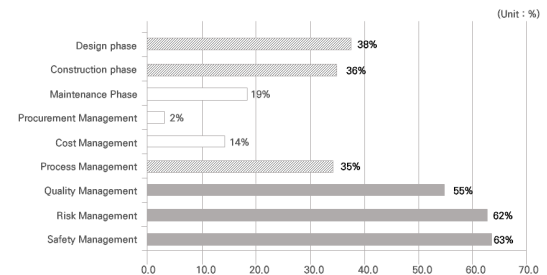


Fig. 3. The Effect of Construction Process Management in Smart Construction Technology

건설 프로세스 측면에서는 설계관리 측면에서 가장 효과가 높을 것으로 조사되었고 시공과 유지관리 측면은 그 다음으로 높게 나타났다. 사업관리 측면에서는 스마

트 건설기술을 통하여 안전관리와 리스크관리가 가장 효율적으로 수행될 것으로 조사되었다. 그 다음으로는 품질관리 및 공정관리 부분이 효과적일 것으로 조사되었다.

Fig. 4는 미래 건설산업에 가장 적용이 빠를 것으로 예상되는 스마트 건설 관련 기술을 조사해보았다. 가장 적용이 빠를 것으로 예상되는 기술은 BIM(62%)으로 나타났다. 그리고 모듈러 기술(54%)과 AI 기술(50%)은 그 다음으로 적용 가능성이 빠를 것으로 예측되는 스마트 건설기술이다. 다음으로는 IoT, Robotics, 3D 프린팅 기술의 순서로 빨리 적용이 이루어질 것으로 조사되었다. 마지막으로 디지털트윈과 머신러닝 기법이 적용이 이루어질 것으로 분석되었다. BIM의 경우는 정부의 국정과제의 항목 중 하나로 지목되면서 스마트 건설의 핵심 기술이 될 것으로 관계자들은 판단하고 있는 것으로 보인다.

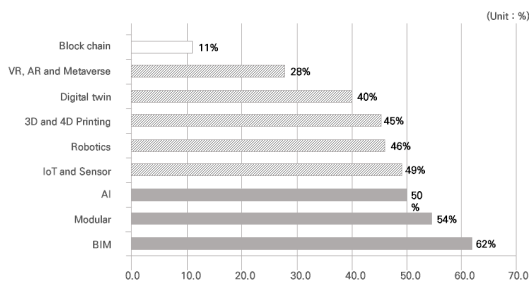


Fig. 4. The most preferred smart construction technology (double choices)

2022년 정부에서는 ‘스마트 건설 활성화 방안 S-Construction 2030’을 추진하면서 관련 로드맵을 발표하였다. 이 과정에서 스마트 건설기술의 확산을 위해 필요한 정책의 종류를 구분하였고 이에 따른 선호도를 Fig. 5와 같이 조사하였다. 가장 필요하다고 조사된 정책은 스마트 건설기술 적용을 위한 초기비용의 지원이다. 그 다음으로는 인력 양성 및 스타트업 기업에 대한 지원 확대를 중요한 항목으로 선택하였다. 정부에서도 BIM 및 스마트 건설 관련 인력에 대한 교육 및 스마트 건설 지원센터를 통한 기업에 대한 지원 확대를 강조하였는데 이런 점은 정부의 정책과 관련자들의 요구사항이 잘 부합하는 경우로 판단된다. 마지막으로 스마트 건설에 대한 성과평가 및 스마트 건설 적용 관련한 시범사업 및 시범서비스 확대가 필요하다고 응답하였다.

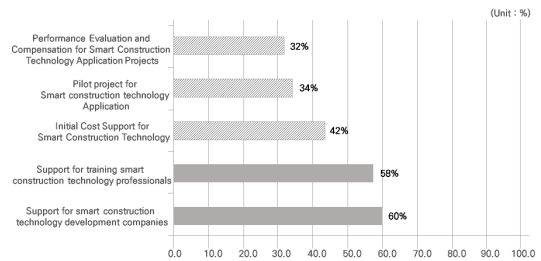


Fig. 5. Government Policy for Smart Construction Technology

4. 결론

본 연구에서는 스마트 건설 기술개발 및 연구 활성화를 위해서 문헌 조사를 진행하고 이를 바탕으로 추후 연구 방향을 제시하는 것을 목표로 하였다. 연구의 내용은 크게 두 가지로 첫 번째는 국외의 시장, 기술 및 연구의 동향을 분석하였다. 두 번째로는 국내의 연구 동향 및 설문문을 통한 스마트 건설 활성화 방안에 대하여 조사하였다.

앞으로 미래 건설산업의 생산성 향상을 위해서 스마트 건설의 도입은 필수적이며 이 과정에서 4차산업혁명 기술들과 적극적인 연계를 통해 건설 프로세스에 혁신이 필요할 것으로 보인다. 특히 설계 단계에서는 BIM 기술 기반 Generative Design 기법 및머신러닝을 활용한 사전타당성 검토 및 설계지능화, 시공 단계에서는 Robotics 및 IoT and Sensor를 활용한 시공자동화와 3D and 4D Printing과 Modular and Prefab를 활용한 시공 방식의 혁신, 그리고 유지 및 관리단계에서는 Metaverse, Digital Twin, Blockchain을 활용한 건설 지식화가 필요하며 이 과정에서 다양한 스마트 건설관련 기술들이 적용될 수 있다.

본 연구에서 확인한 국외 및 국내의 시장, 기술 및 연구 동향에 대한 분석은 전반적인 스마트 건설 분야의 동향을 파악할 수 있는 주요한 자료로 활용될 수 있다. 또한 스마트 건설과 연계가 되는 4차 산업혁명 관련 기술 연구를 위한 연구 방향을 제시하였고 이를 통하여 관련 연구를 효과적으로 진행하는 데 사용될 수 있다는 점에서 시사하는 바가 명확하다. IoT and Sensor 및 Machine learning and Deep learning 분야는 스마트 건설을 위한 핵심적인 기술로 가장 많은 분야에서 기술이 연구되고 있으며 기술 수준 또한 높게 나타났다. 또한 Robotics, VR/AR and Metaverse. BIM의 경우에도 기술 수준이 발전하면서 연구의 양과 질이 높아지는 것

을 확인하였다. 앞으로 다양한 새로운 기술들이 스마트 건설기술과 결합하여 건설 분야의 문제점을 해결하고 건설 산업의 생산성을 향상시키는데 기여할 것이다. 나아가 각 기술들이 결합하여 만들어지는 플랫폼에 대한 연구, 또한 개별적인 분야의 기술이 아니라 건설 분야를 통합하는 융합 기술에 대한 연구 분석이 추가적으로 필요하다. 마지막으로 스마트 건설의 활성화를 위해서는 정부의 적극적인 정책적 지원이 필요하며 이 과정에서 인력 양성, 시범서비스 시행 및 성과평가가 필요한 것으로 보인다.

Reference

- [1] S.W. Lee, J.H. Lee, J.W. Hwang, "Introduction to Smart Construction Technologies in Global Construction Projects", *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, Vol.68, No.9, pp.100-105, 2020.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE09417504>
- [2] Y.S. Oh, Y.S. Kwon, J.K. Lee, S.D. Lee, "An Empirical Study to Analyze the Productivity Improvement Effect by Surveying in smart construction (Focused on Road Earthwork)", *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol.28, No.4, pp.137-144, 2021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2020.28.4.137>
- [3] C. H. Choi, J. W. Jo, N. G. Kim, J. Y. Kim, S. H. Baek, "Development of Automation Technology for Road Construction Equipment for Smart Construction", *Korean Geo-Environmental Society*, Vol.22, No.3 pp.5-10, 2021.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE10600590>
- [4] B.J. Kim, K.H. Lee, Y.J. Lee, K.H. Lee, "Analysis of Research Trends in Domestic Architecture Based on Artificial Intelligence", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.41, No.1, pp.753-753, 2021.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE10563921>
- [5] Yue Pan, Limao Zhang, "Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends", *Automation in Construction*, Vol.122 pp.103517-, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517>
- [6] Roadmap for Smart Construction Technology to Innovate Construction Productivity and Strengthen Safety, *Ministry of Land, Infrastructure and Transport's Technology Policy Division*, pp.1-26, 2018.
<http://m.molit.go.kr/viewer/skin/doc.html?fn=e5f0415af2b42753ffd7aa028e88c997&rs=/viewer/result/20181031>
- [7] Market Research Future. Artificial Intelligence AI in Construction Market[Internet]. Market Research Future. Icted 2022 July 10]. Available From: <https://www.worldwidemarketreports.com/sample/253149> (accessed Oct. 27, 2022)
- [8] Matej Stefanic, Vlado Stankovski, "A review of technologies and applications for smart construction", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, Vol.172, No.2, pp.83-87, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1680/jci.en.17.00050>
- [9] Aarni Heiskanen, 10 Tech Startups Powering the Construction Site with AI, *AEC Business*, 2019.08, <https://aec-business.com/10-tech-startups-powering-the-construction-site-with-ai/>
- [10] Delgado, Juan Manuel Davila, et al., "Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption" *Journal of Building Engineering*, Vol.26, pp.100868-, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100868>
- [11] Li, Xiao, et al., "A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety" *Automation in Construction*, Vol.86, pp.150-162, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- [12] Woodhead. Roy, Stephenson. Paul, and Morrey. Denise, "Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem", *Automation in Construction*, Vol.93, pp.35-46, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.004>
- [13] Boje. Calin et al., "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research", *Automation in Construction*, Vol.114, pp.103179-, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
- [14] Tay. Yi Wei Daniel, et al., "3D printing trends in building and construction industry: a review", *Virtual and Physical Prototyping*, Vol.12, No.3, pp.261-276, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>
- [15] Turk. Žiga, Robert. Klinc, "Potentials of blockchain technology for construction management", *Procedia engineering*, Vol.196, pp.638-645, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.052>
- [16] Lawson R.M, Ogden. Ray G, Bergin. Rory, "Application of modular construction in high-rise buildings", *Journal of architectural engineering*, Vol.18, No.2, pp.148-154, 2012.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057)
- [17] Pour Rahimian. Farzad, et al., "On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning", *Automation in Construction*, Vol.110, pp.103012-, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103012>
- [18] Tixier. Antoine J-P, et al., "Application of machine learning to construction injury prediction", *Automation in construction*, Vol.69, pp.102-114, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.016>

- [19] Zavadskas. E.K, "Automation and robotics in construction: International research and achievements", *Automation in Construction*, Vol.19, No.3, pp.286-290, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.011>
- [20] Straubinger. Anna, et al., "An overview of current research and developments in urban air mobility - Setting the scene for UAM introduction", *Journal of Air Transport Management*, Vol.87, pp.101852-, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852>
- [21] Li. Xiao, et al., "A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety", *Automation in Construction*, Vol.86, pp.150-162, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- [22] Zhang. Mingyuan, Cao. Tianzhuo, Zhao. Xuefeng, "Applying Sensor-Based Technology to Improve Construction Safety Management", *Sensors*, Vol.8, pp.1841-, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081841>
- [23] Y.W. Kim, "Digital Twin Concepts and Technology and Industrial Use Cases", *Journal of New Technology Trends*, pp.31-47, 2021.
<https://wafe.dubudisk.com/ictplatformstaff.dubuplus.com/anonymou/O18BCUH/DubuDisk/public/31-47.c hap2.pdf>
- [24] David Jones, et al., "Characterising the Digital Twin: A systematic literature review", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol.29, No.A, pp.36-52, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpi.2020.02.002>
- [25] Tao. Fei, Zhang. He, Liu. Ang, A.Y.C. Nee, "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art", *IEEE transactions on industrial informatics*, Vol.15, No.4, pp.2405-2415, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- [26] Y.W.D Tay, et al., "3D printing trends in building and construction industry: a review", *Virtual and Physical Prototyping*, Vol.12, No.3, pp.261-276, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>
- [27] El-Sayegh. S, Romdhane. L, Manjikian. S, "A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol.20, No.2, pp.34-, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00038-w>
- [28] Skylar Tibbits, "4D Printing: Multi-Material Shape Change", *Architectural Design*, Vol.84, No.1, pp.116-121, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ad.1710>
- [29] K.S. Bharani, et al., "Evaluation in 4D printing - A review", *materialstoday: PROCEEDINGS*, Vol.45, No.P2, pp.1433-1437, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.335>
- [30] P. Srinath, et al., "Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry?", *Journal of Industrial Information Integration*, Vol.17, pp.100125-, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100125>
- [31] Ziga Turk, R. Klinc, "Potentials of Blockchain Technology for Construction Management", *Procedia Engineering*, Vol.196, pp.638-645, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.052>
- [32] Lawson R.M, Ray G. Ogden, Rory Bergin, "Application of Modular Construction in High-Rise Buildings", *Journal of Architectural Engineering*, Vol.18, No.2, pp.148-154, 2012.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057)
- [33] Brad Hardin, Dave McCool, BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows, Wiley Publishers, 2015, p.416.
<http://iibimsolutions.ir/files/BIM/Ebook/BIM%20and%20Construction%20Management-2nd%20edition.pdf>
- [34] Xu.Yayin, et al., "Machine learning in construction: From shallow to deep learning", *Developments in the Built Environment*, Vol.6, pp.100045-, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100045>
- [35] Taofeek D. Akinosho, et al., "Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations", *Journal of Building Engineering*, Vol.32, pp.101827-, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101827>
- [36] I.H. Kim, J.I. Yang, G.H. Cho, J.S. Choi, "A Study on the BIM-based Automation of Envelope Form Generation at the Schematic Design Phase of Super-tall Buildings", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.28, No.11, pp.11-18, 2012.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2012.28.11.11
- [37] H.J. Kim, E.Y. Kim, H.J. Jun, "Automation of BIM Design Work in Open BIM Platform", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.40, No.2, pp.175-178, 2020.
DOI: <https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE10518694>
- [38] S.M. Park, H.S. Kim, H.S. Moon, L.S. Kang, "Development of 4D System Linking AR and 3D Printing Objects for Construction Project", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.41, No.2, pp.181-189, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2021.41.2.0181>
- [39] M.G. Cho, D.H. Lee, J.Y. Park, S.H. Park, "Development of Machine Learning-based Construction Accident Prediction Model Using Structured and Unstructured Data of Construction Sites", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.42, No.1, pp.127-134, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2022.42.1.0127>
- [40] J.W. Park, S. Kim, "Case Study Research in Earthwork Site Digitization for Smart Construction", *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, Vol.22, No.5, pp.529-536, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.21289/KSIC.2019.22.5.529>
- [41] S.G. Kim, S.H. Park, "Heatwave Vulnerability Analysis of Construction Sites Using Satellite Imagery Data and Deep Learning", *Journal of the Korean Society of Civil*

- Engineers*, Vol.42, No.2, pp.263-272, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2022.42.2.0263>
- [42] S.J. Kim, K.H. Choi, "A Study on the Application of Blockchain Technology in the Defense Facility Field", *Korean Journal of Military Art and Science*, Vol.77, No.3, pp.557-575, 2021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31066/kjmas.2021.77.3.022>
- [43] S.M. Han, J.W. Won, T.W. Chang, Seok. Lee, "Study on the Priority of Blockchain Adoption to Railway System through AHP Method", *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol.25, No.4, pp.111-124, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7838/isebs.2020.25.4.111>
- [44] E.A. Sim, S.H. Lee, J.H. Lee, "Prediction of Static and Dynamic Behavior of Truss Structures Using Deep Learning", *Journal of The Korean Association for and Spatial Structures*, Vol.18, No.4, pp.69-80, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.9712/KASS.2018.18.4.69>
- [45] B.R. Joung, S.U. Kim, C.K. Kim, "Study on Application of Dampers and Optimal Design for Retractable Large Spatial Structures", *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol.33, No.6, pp.351-358, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2020.33.6.351>
- [46] K.R. Kim, G.W. Kim, D.H. Yoo, J.H. Yu, "Development of Construction Material Naming Ontology for Automated Building Energy Analysis", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.12, No.5, pp.137-145, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2011.12.5.137>
- [47] M.Y. Uhm, Y.H. Park, J.S. Wom, G. Lee, "A Study on the Development Direction and Priority of the BIM-Based Hospital Design Validation Technology", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol.29, No.06, pp.147-155, 2013.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2013.29.6.147
- [48] J.H. Cheon, Y.W. Jung, J.W. Kim, "Performance Evaluation of Concrete Crack Detection Using Damage Image Detection Technique Based on Industrial Drones and Deep Learning", *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.22, No.1, pp.364-365, 2018.
DOI: <http://db.koreascholar.com/article.aspx?code=346610>
- [49] I.S. Jeong, J.W. Kim, S.H. Chi, M.L. Roh, Biggs, Herbert, "Solitary Work Detection of Heavy Equipment Using Computer Vision", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.41, No.4, pp.441-447, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2021.41.4.0441>
- [50] J.W. Kim, S.H. Chi, J.O. Seo, "Automated Vision-based Construction Object Detection Using Active Learning", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.39, No.5, pp.631-636, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2019.39.5.0631>
- [51] H.J. Kim, H.J. Jun, "A Research on Utilization of Speech Recognition Artificial Intelligence for Efficient BIM works", *Design Convergence Study*, Vol.17, No.1, pp.1-16, 2018
DOI: <https://doi.org/10.31678/SDC.68.1>
- [52] K.S. Shin, "Library development for supporting automation of architectural design based on open BIM", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.39, No.2, p.612, 2019.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO-DE09290082>
- [53] D.G. Cho, J.K. Lee, "Training Floorplan Sketches and Applying to the Spatial Design - Focused on the Development of Automated BIM Modeling module from Floor Plan Sketches in the Early Stage of Design", *Journal of Korea Intitute of Spatial Design*, Vol.16, No.3, pp.365-374, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.35216/kiscd.2021.16.3.365>
- [54] H.J. Moon, S.K. Jung, S.H. Ryu, "Building Cooling and Heating Energy Consumption Pattern Analysis Based on Building Energy Management System(BEMS) Data Using Machine Learning Techniques", *The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol.2015, No.11, pp.69-70, 2015.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO-DE06573674>
- [55] S.J. Ra, H.S. Shin, W.J. Suh, H.G. Chu, C.S. Park, "Development and cross-comparison of five machine learning models for HVAC systems in an existing office building", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.36, No.2, pp.625-626, 2016.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO-DE07156071>
- [56] J.H. Jeong, Y.T. Chae, "Assessment of Input Variable Importance and Machine Learning Model Selection for Improving Short Term Load Forecasting on Different Building Types", *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol.11, No.6, pp.586-598, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.12972/ikiaebs.20170027>
- [57] E.J. Sohn, J.H. Jang, J.S. Lee, K.Y. Park, D.W. Sohn, "A Study on the Development of Periodic Machine Learning Model for Prediction of Thermal Energy Demand in Buildings", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.38, No.2, pp.286-287, 2018.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO-DE07579537>
- [58] J.S. Kim, S.M. Park, C.H. Hong, S.H. Park, J.W. Lee, "Development of AI Detection Model based on CCTV Image for Underground Utility Tunnel", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.18, No.2, pp.364-373, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2022.6.30.364>
- [59] C.H. Choi, M.H. Lee, Y.H. Lee, "BIM Technology for Digital Twin Realization", *Korean Society of Architectural and Environmental Facilities*, Vol.14, No.4, pp.27-37, 2020.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO-DE10524529>

- [60] H.J. Park, M.B. Seo, K.B. Ju, "A Study on Development of Design Support Tool for Building 3D Printing", *The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.12, pp.182-189, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.12.182>
- [61] E.Y. Kim, C.H. Baek, K.S. Park, S.S. Lee, M.K. Kwak, K.Y. Oh, Y.S. Boo, "Basic Design and Layout Plan of Essential Units for a Modular Screening Clinic", *Journal of the architectural institute of korea*, Vol.38, No.5, pp.25-32, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.5659/JAIK.2022.38.5.25>
- [62] D.W. Kim, C.S. Shim, "Evaluation of Structural Performance of Precast Modular Pier Cap", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.27, No.1, pp.55-63, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.4334/KCI.2015.27.1.055>
- [63] J.Y. Shin, J.K. Lee, "Application of Classification of Object-property Represented in Korea Building Act Sentences for BIM-enabled Automated Code Compliance Checking", *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, Vol.21, No.3, pp.325-333, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7315/CDE.2016.325>
- [64] J.R. Lee, "BIM-based Quantity Calculating System of Surface Finishing by Room for Efficient Space Design", *Journal of Integrated Design Research*, Vol.15, No.4, pp.97-106, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.21195/jidr.2016.15.4.008>
- [65] D.Y. Gil, K.H. Jeon, G. Lee, "Classification of Images from Construction Sites Using a Deep-learning Algorithm - Preliminary Study", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.37, No.2, pp.785-786, 2017.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07273937>
- [66] B.K. Jeon, E.J. Kim, K.H. Lee, M.S. Kong, Y.G. Shin, "Short-Term Electricity Consumption Prediction based on Occupancy Information Using Deep-Learning Network Models", *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.31, No.1, pp.22-31, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2019.31.1.022>
- [67] J.S. Kim, H.Y. Kim, J.K. Lee, "Deep-learning based Auto-classifying Design Style of Interior Image", *Korean Institute Of Interior Design Journal*, Vol.19, No.2, pp.95-98, 2017.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07255047>
- [68] J.H. Jeong, K.C. Kim, H.M. Nam, D.H. Park, Y.T. Chae, "Strategy for Optimization of Building Micro Energy Grid with Machine Learning", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.37, No.2, pp.521-522, 2017.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07273809>
- [69] B.C. Jeong, H.W. Choi, J.H. Jeong, Y.T. Chae, J.S. Park, "Predicting the Occupant Window Control Behavior Using Machine Learning Models", *roceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.38, No.1, pp.458-459, 2018.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07462934>
- [70] S.K. Lee, K.R. Kim, J.H. Yu, "Automatic Inference of Standard BOQ(Bill of Quantities) Items using BIM and Ontology", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.13, No.3, pp.99-108, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.3.099>
- [71] A.R. Ko, S.I. Lee, Y.S. Cho, "Development of Automatic Design System for Steel Connection based on S-BIM", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.29, No.02, pp.21-28, 2013.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2013.29.2.21
- [72] J.H. Jung, S.A. Kim, "A Study on the Lightweighting & Automation of Data Exchange by Semantic-Filtering Method in the BIM-based Collaborative Design Process", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.30, No.10, pp.71-78, 2014.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2014.30.10.71
- [73] Y.G. Song, D.K. Choi, J.J. Kim, "Interface Development of Transforming MCAD property Information for Open BIM Library Construction", *Proceedings of the Society of Computational Design and Engineering Conference*, Vol.2014, No.2, pp.18-21, 2014.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE02495911>
- [74] S.K. Kim, "A Multi-agent based Cooperation System for an Intelligent Earthwork", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.34, No.5, pp.1609-1623, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.5.1609>
- [75] S.Y. Yun, C.H. Kim, L.S. Kang, "Development of Model for Selecting Superstructure Type of Small Size Bridge Using Dual Classification Method", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.35, No.6, pp.1413-1420, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.6.1413>
- [76] H.S. Lee, S.K. Park, I.H. Kim, J.K. Lee, "A Logical Rule-based Approach to the Korea Architecture Code Sentences for BIM-enabled Design Assessment Systems", *Journal of Korea Design Knowledge*, Vol., No.34, pp.101-110, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.17246/jkdk.2015..34.009>
- [77] S.M. Park, J.H. Seo, S.Y. Choo, "A study on BIM-based development of architectural drawing sample-set and automation technology of drawings", *Proceedings of the Society of CAD.CAM Conference*, Vol.2016, No.동계, pp.528-529, 2016.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE06648476>
- [78] H.J. Yoon, H.K. Shin, K.H. Ji, J.H. Jo, "Thermal Environment Prediction Method using Artificial Neural Network for a Large Space", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.36, No.2,

- pp.1685-1686, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.21195/jidr.2016.15.4.008>
- [79] H.S. Shin, W.J. Suh, H.G. Chu, S.J. Ra, C.S. Park, "Machine Learning Model for Optimal Control of an Ice Thermal Storage System in an Existing Building", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.36, No.2, pp.629-630, 2016.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07156073>
- [80] B.J. Shin, B.S. Koo, "A Study of Anomaly Detection for IFC Misclassification using Machine Learning Techniques", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.2017, No.10, pp.752-753, 2017.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07297423>
- [81] I.S. Kang, J.W. Moon, J.C. Park, "Recent Research Trends of Artificial Intelligent Machine Learning in Architectural Field - Review of Domestic and International Journal Papers -", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.33, No.4, pp.63-83, 2017
DOI: http://dx.doi.org/10.5659/JAIK_SC.2017.33.4.63
- [82] K.G. Cha, S.J. Chang, "A Clustered Automation Network System for Distributed Monitoring/Control of Building Systems", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.37, No.2, pp. 616-617, 2017.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07273852>
- [83] H.J. Kim, M.H. Choi, J.J. Kim, "A Study on the Automation Process of BIM Library Creation of Air Handling Unit", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.34, No.4, pp.75-82, 2018.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2018.34.4.75
- [84] J.K. Bae, J.M. Han, S.B. Leigh, "Development of Energy Consumption Prediction Model using Economizer Method in the Office Building with Machine Learning", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.38, No.2, pp.312-313, 2018.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07579550>
- [85] S.W. Chang, W.H. Dong, H.J. Jun, "An EEG-based Deep Neural Network Classification Model for Recognizing Emotion of Users in Early Phase of Design", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol.34, No.12, pp.85-94, 2018.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2018.34.12.85
- [86] H.M. Gu, J.H. Seo, S.Y. Choo, "A Study on Automation for 2D Drawings to 3D Modeling using Deep Learning", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.38, No.2, pp.201, 2018.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07579502>
- [87] H.Y. Kim, J.K. Lee, "Development of the Logic-Rule based Approach to the Computer-readable Building Permit-Related Code Sentences for the Automated Code-Compliance Checking", *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, Vol.23, No.2, pp.127-136, 2018
DOI: <https://doi.org/10.7315/CDE.2018.127>
- [88] K.U. Ahn, C.S. Park, M.S. Yeo, "Optimal Control of Building Systems based on Reinforcement Learning", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.38, No.1, pp.420-421, 2018.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07462915>
- [89] J.Y. Shin, Y.T. Chae, "Real-Time Occupants Detection and Diagnosis based on Machine Learning", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.38, No.2, pp.292, 2018.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE07579540>
- [90] H.M. Gu, J.H. Seo, S.Y. Choo, "A Development of Façade Dataset Construction Technology Using Deep Learning-based Automatic Image Labeling", *Journal of the architectural institute of Korea planning & design*, Vol.35, No.12, pp.43-53, 2019.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2019.35.12.43
- [91] H.J. An, S.M. Park, J.H. Lee, L.S. Kang, "Study on the Application of Deep Learning Model for Estimation of Activity Duration in Railway Construction Project", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol.23, No.7, pp.615-624, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2020.23.7.615>
- [92] M.S. Han, S.B. Shin, H.J. An, "CNN deep learning based estimation of damage locations of a PSC bridge using static strain data", *KIBIM Magazine*, Vol.10, No.2, pp.21-28, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.13161/kibim.2020.10.2.021>
- [93] H.J. Kim, J.J. Park, E.Y. Kim, "A Study on BIM-based Design Automation for Open BIM Platform", *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol.40, No.1, pp.1-4, 2020.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE09355621>
- [94] C.S. Choi, J.M. Lee, S.H. Kim, J.W. Park, J.W. Lee, "Deep learning-based automatic recognition of components of 2D design drawings", *Institute of Ecological Architecture and Environment*, Vol.21, No.2, pp.238-239, 2021.
<https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NO DE10674073>
- [95] Seok. Kim, "Development of Automation Technology for Construction Innovation", *construction engineering and management*, Vol.20, No.4, pp.27-29, 2019.
<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201933751284297.pdf>

이 재 욱(Jae-Wook Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한국건설기술원
건설 및 환경공학과 (공학석사)
- 2020년 8월 : 일리노이대학교
건축학과 (건축학박사)
- 2020년 12월 ~ 현재 : 한국건설기
술연구원 수석연구원

〈관심분야〉

BIM, 설계자동화, 건축환경

김 소 연(So-Yeon Kim)

[정회원]



- 2021년 3월 ~ 현재 : 연세대학교
일반대학원 건축공학과 (석사과정)

〈관심분야〉

BIM, 건축계획, 도시계획

이 중 호(Jong-Ho Lee)

[정회원]



- 2015년 8월 : 연세대학교 일반대
학원 건축공학과 (공학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 연세대학교
일반대학원 건축공학과 박사과정
- 2015년 8월 ~ 현재 : 한국건설기
술연구원 전임연구원

〈관심분야〉

BIM, 건축제도

박 초 룡(Cho-Rong Park)

[정회원]



- 2020년 3월 ~ 현재 : 연세대학교
일반대학원 건축공학과 (석박통합
과정)
- 2022년 5월 ~ 현재 : 한국건설기
술연구원 학생연구원

〈관심분야〉

BIM, UAM, 건축계획, 도시계획