

건설산업 스마트 기술 활용수준 진단을 위한 기술 분류체계 수립 연구

2024. 3

박희대·손태홍

■ 연구 배경	4
■ 스마트 건설기술 관련 정책 동향	7
■ 건설분야 기술분류체계 사례	9
■ 기존 분류체계의 한계와 신규 분류체계의 필요성	16
■ 스마트 건설기술 분류체계 제안	19

 CERIK

Construction & Economy Research Institute of Korea
한국건설산업연구원

- 스마트 건설기술의 도입과 활성화 방안이 보다 효과적으로 작용하기 위해서는 우리 건설 산업에서 적용가능한 스마트 건설기술의 개념과 범위에 대한 정립, 그리고 이를 기반으로 하는 체계적인 활성화 수준 진단이 전제되어야 함.
 - 따라서 스마트 건설기술 활용과 산업 내 활성화 수준의 진단, 그리고 스마트 건설기술 활용을 위한 지원정책 수립의 기반 마련을 위해 스마트 건설기술의 개념과 기술분류체계를 정립할 필요가 있음.
- 본 연구는 스마트 건설기술 적용 확산을 위한 주체별 역할과 제도적 개선방안 도출 연구의 일부로, 건설기업들의 스마트 건설기술 활용실태 진단에 활용하기 위한 스마트 건설기술 분류체계를 수립하는 데에 목적이 있음.
 - 이를 위해 스마트 건설기술의 개념 및 분류를 다룬 선행연구를 고찰하고 국내 동향을 분석하였으며, 건설 및 타분야 기술분류체계에 대한 검토를 토대로 스마트 건설기술의 개념 및 분류체계를 제안함.
- 스마트 건설기술 분류체계 수립은 현재 건설산업의 스마트 건설기술 도입 및 적용이 초기 단계임을 감안하여, 추후 스마트 건설기술 활성화 및 경쟁력 강화를 위한 산업 내 활성화 수준의 진단 및 지원정책 수립에 활용할 수 있도록 구성되어야 함.
 - 따라서 건설사업의 생애주기 중 스마트 건설기술이 적용되는 단계와 적용분야 또는 특성을 고려한 기술분류체계가 수립될 필요가 있음.
- 또한, 많은 경우 동일한 스마트 건설기술이 생애주기 여러 단계에 걸쳐 적용이 가능하며, 건설 생산방식의 디지털화, 자동화, 탈현장화 촉진에 기여하는 점을 반영할 필요가 있음.
 - 건설사업 수행단계에 따른 구분 외에 스마트 건설기술이 건설생산시스템 혁신에 미치는 점을 고려할 수 있도록 디지털화, 자동화, 탈현장화로 그 영역을 구분하고, 많은 스마트 건설기술 및 장비가 현장의 안전성 및 품질 향상을 위해 개발·도입되는 점을 고려할 때 핵심 영역으로 포함이 필요함.
- 본 연구는 건설사업 수행단계와 생산시스템 혁신의 특성에 따라 2차원으로 구성되는 스마트 건설기술 분류체계를 제안하였으며, 각 영역에 해당되는 개별 기술은 단계 및 특성의 이니셜과 순번에 따라 코드를 부여하여 구분이 용이하도록 함.
 - 수행단계는 계획·설계단계, 시공단계, 운영 및 유지단계로 구분하고, 혁신영역은 디지털화, 자동화, 탈현장화, 안전·품질 향상으로 구분하고 각 부문에 해당하는 개별 기술이 포함되도록 구성함.
 - 분류체계에 해당되는 개별 기술은 식별코드에 숫자를 부여하여 기술의 식별 및 새로운 융합 및 신기술을 지속적으로 추가하여 관리할 수 있도록 구성함.
 - 여러 단계에 적용이 가능하거나 복수의 혁신영역에 해당하는 기술은 각 영역에 중복 등록이 가능하게 하여 같은 기술이더라도 기술의 적용단계 및 특성에 따른 구별이 가능하도록 함.
- 본 연구에서 제안한 분류체계는 지속적인 검토 및 수정, 영역별 해당 개별 기술의 추가를 통한 보완이 필요하며, 이를 토대로 추후 국내 건설기업들의 단계별·영역별 스마트 건설기술의 활용 현황, 도입계획 등의 체계적인 진단에 활용될 예정임.

I 연구 배경

1. 연구의 배경

■ 건설산업의 생산성 혁신과 고도화를 위해 세계 각국은 첨단기술 융합을 통한 스마트 건설기술의 개발 및 적용을 도모해오고 있으며, 선도기업들 또한 경쟁력 향상을 위해 다양한 스마트 건설기술의 도입을 추진 중임.

- 우리나라를 포함한 주요 선진국 건설산업은 생산성 저조, 생산인력의 고령화 및 신규인력 진입 감소에 따른 기술인력 부족 등 다양한 위협요인에 직면하고 있으며 안전성 제고, 기후변화 및 탄소배출 저감 대응 등 패러다임 전환을 요구받고 있음.
- 이와 같은 문제 해결과 환경변화 대응을 위해 ICT를 활용한 자동화·지능화, BIM 등 디지털 기술을 이용하여 기존 생산방식을 혁신하는 스마트 건설이 산업의 미래로 급부상하고 있음.

■ 우리나라도 2017년부터 산업별 스마트 기술의 적용 및 확산을 위한 대응방안을 마련하여 추진하고 있으며, 건설산업의 스마트 기술 활성화를 위한 대응은 국토교통부의 ‘제6차 건설기술진흥기본계획’ 수립 이후 본격화되었음.

- 대통령 직속 4차산업혁명위원회는 ‘4차 산업혁명 대응계획(2017)’, ‘4차 산업혁명 대정부 권고안(2019)’ 등을 통해 산업별 스마트 기술 확산의 기반을 마련하였음.
- 건설분야는 ‘제6차 건설기술진흥기본계획’에서 스마트 건설을 위한 기술개발 및 관련 제도 개선이 추진전략으로 설정된 이후 스마트 건설기술 로드맵(2018), 건설산업 혁신방안(2018), 스마트 건설 활성화 방안(2022) 등을 통해 디지털 기반의 건설산업 전환을 위한 다양한 정책을 추진 중임.

■ 그러나 정부의 스마트 건설기술 활성화 유도를 위한 노력에도 불구하고, 스마트 건설기술의 활용은 발주 및 입찰제도의 제약, 건설기업의 인식과 활용도 차이 등으로 인해 한계가 있는 것으로 평가되고 있음.

- 스마트 건설기술 활성화의 기반이 되는 법·제도의 실질적인 개선 미흡, 현장에서의 인식 전환을 위한 노력 부족 등이 문제점으로 제기되고 있음¹⁾.
- 또한, 건설업계의 스마트 건설기술 활용 필요성에 대한 인식 확산에도 불구하고, 실제 스마트 건설기술의 활용을 위한 건설기업들의 준비는 여전히 부족한 실정임²⁾.

1) 한국건설산업연구원, 한국건설기술연구원(2022), “스마트 건설산업 육성을 위한 제도화 방안 연구”, 국토교통부.

2) 한국CM협회(2021), “스마트 건설기술에 대한 건설업계 인식조사 결과(2021.12.29)”.

- ❖ 지난해 국토교통부 주도로 대·중소·벤처기업 간 스마트건설 생태계 조성을 위해 출범한 ‘스마트건설 얼라이언스’는 6대 핵심 스마트 건설기술의 실증, 기술 확산을 위한 추진과제 발굴, 그리고 이를 지원하기 위한 제도 개선사항 마련을 추진하고 있음.

 - 스마트건설 얼라이언스는 건설기업과 첨단기술 개발기업 간의 협력 플랫폼을 넘어 스마트 건설기술 확산에 기여할 수 있는 핵심 협의체가 될 것으로 기대됨.
 - 다만 대형 건설기업을 중심으로 기술위원회를 구성한 특성상 BIM, OSC, 건설자동화, 디지털 센싱, 스마트 안전, 빅데이터 및 플랫폼의 6개 분야로 그 범위가 한정되어 있음.

- ❖ 우리 건설산업 차원의 스마트 건설기술 도입을 촉진하고 활성화를 유도하기 위해서는 적용 가능한 스마트 건설기술의 개념과 범위에 대한 정립, 그리고 이를 기반으로 하는 체계적인 활성화 수준 진단이 이뤄질 필요가 있음.

 - 디지털 전환이 글로벌 시장의 대부분 산업에서 화두로 떠오른 이후 디지털 전환의 확산과 혁신전략 수립 활용을 위한 디지털 전환의 성숙도 및 디지털 역량 평가방법이 다수 제시된 바 있음.
 - OECD의 디지털 전환 측정(Measuring the Digital Transformation), IMD의 세계 디지털 경쟁력 순위(World Digital Competitiveness Ranking) 등 국가 단위의 평가체계, Boston Consulting Group의 디지털 가속지수(Digital Acceleration Index), Cisco의 아태지역 중소기업 디지털 성숙도 조사 등 기업 단위의 평가체계가 이와 같은 목적으로 활용되고 있음.

- ❖ 따라서 스마트 건설기술의 개념과 기술분류체계를 새로이 정립함으로써 산업 차원의 스마트 건설기술 활용수준 진단, 그리고 스마트 건설기술 적용 확대를 위한 지원정책 수립의 기반을 구축할 필요가 있음.

 - 스마트 건설기술의 범위와 내용 등 정의를 명확히 함으로써 기술정책의 수립과 공공발주자 및 건설기업 등 사업참여자들의 기술개발과 활용의 방향 제시에 기여할 수 있음³⁾.

2. 연구의 목적

- ❖ 본고는 궁극적으로 스마트 건설기술 적용 확산을 위한 주체별 역할과 제도적 개선방안을 도출하기 위한 연구의 일부로서, 건설기업들의 스마트 건설기술 활용실태 진단에 활용하기 위한 스마트 건설기술 분류체계를 수립하는 데에 목적이 있음.

 - 기술 분류체계를 토대로 산업 차원의 스마트 건설기술 활용수준을 진단하고, 이후 스마트 건설기술의

3) 한국건설산업연구원, 한국건설기술연구원(2022) 전거서.

적용 효과, 그리고 도입의 장애요인에 대한 분석을 거쳐 우리 건설산업의 스마트 건설기술 적용 확산에 기여하고자 함.

■ 따라서 본 연구는 스마트 건설기술 분류체계 정립 필요성에 대한 검토를 토대로 스마트 건설기술의 개념과 범위를 정의하고, 건설사업 수행단계 및 특성에 따른 스마트 건설기술 분류체계를 수립하는 데에 목적이 있음.

- 이를 통해 건설산업의 스마트 건설기술 활용수준을 체계적으로 진단함으로써 추후 상술한 바와 같이 스마트 건설기술 적용 확산을 위한 기초자료로 활용하고자 함.

■ 이를 위해 스마트 건설기술의 개념 및 분류를 다룬 선행연구를 고찰하고 관련 국내 동향을 분석하였으며, 건설 및 타분야 기술분류체계에 대한 검토를 토대로 스마트 건설기술의 개념 및 분류체계를 제안하고자 함.

II 스마트 건설기술 관련 정책 동향

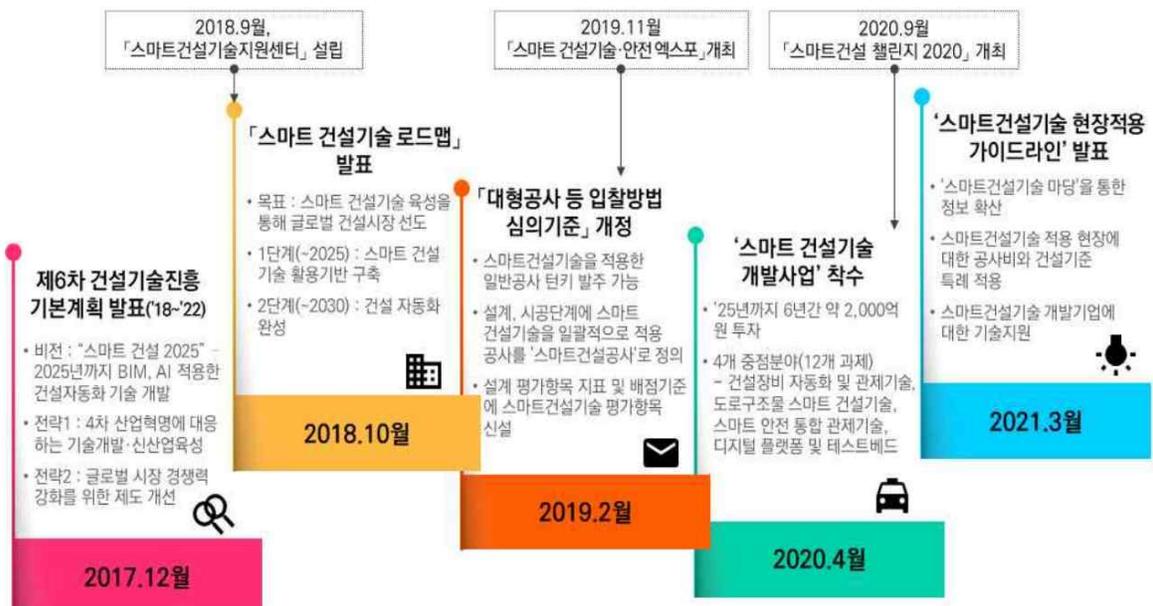
스마트 건설기술 활성화 정책은 제6차 건설기술진흥기본계획(2018-2022)의 비전을 ‘Smart Construction 2025: 2025년까지 BIM, AI를 적용한 건설자동화 기술 개발’로 수립하면서 본격화되었음.

- 해당 계획은 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발을 위해 ① 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상, ② 해외 수요 대응형 건설기술 개발, ③ 분야 간 융복합을 통한 경쟁력 강화, ④ 건설데이터 유통을 통한 신사업 육성, ⑤ 건설 안전·환경 관리 등 5대 분야의 16개 추진과제를 제시함.
- 핵심 기술개발 대상으로 건설자동화, IoT 유지관리, 센서 최적화, 스마트 안전관리 등이 제시됨.

상술한 기본계획에 따라 국토교통부는 스마트 건설기술 로드맵(2018)을 수립하였으며, 이는 ‘스마트 건설기술 육성을 통한 글로벌 건설시장 선도’를 비전으로 ‘25년 스마트 건설기술 활용기반 구축, ‘30년 건설 자동화 완성을 목표로 제시함.

- 동 로드맵은 스마트 건설기술의 개념을 ‘건설에 BIM, 드론, 로봇, IoT, 빅데이터, AI 등 첨단기술을 융합한 기술’로서 정의하고, 건설 전 단계에 스마트 건설기술의 적용이 가능할 것이라 분석함.

〈그림 1〉 주요 스마트 건설기술 관련 정책 추진 동향



출처: 한국건설산업연구원, 한국건설기술연구원(2022) 전거서.

- 이후 정부는 ‘대형공사 등 입찰방법 심의기준’ 개정(2019), ‘건설산업 BIM 기본지침’ 및 ‘2030 건축 BIM 활성화 로드맵’(2020), ‘스마트 건설기술 현장 적용 가이드라인(2021)’을 통해 스마트 건설기술의 적용 확대를 유도하고자 하였음.

 - 대형공사 등 입찰방법 심의기준 개정을 통해 스마트 건설기술을 적용한 일반공사의 턴키발주가 허용됨에 따라 BIM 설계를 기반으로 정보통신기술(ICT), 모듈러 시공, 토공 자동화 기술, 통합관제 등이 시공에 중점 반영되는 공사의 기술형 입찰 발주가 가능해짐.
 - BIM 기본지침은 BIM 활성화를 위해 기본원칙 및 공통 기준 등을 제시하였으며, 로드맵은 건축 분야의 설계 자동화, 지능형 유지관리 기술 등 국가 R&D의 추진뿐만 아니라 인허가 관련 기준·지침의 제·개정 추진, 인센티브 방안 마련, 교육체계 마련 등이 포함됨.
 - 스마트 건설기술 현장 적용 가이드라인은 ‘스마트 건설기술 마당’을 활용한 스마트 건설기술 정보 확산, 발주 및 설계·시공 적용, 발주청의 스마트 건설기술 활용 방안 등을 제시함.

- 2022년 발표한 ‘스마트 건설 활성화 방안’은 ‘2030 건설 전 과정 디지털화·자동화’를 목표로 건설산업의 디지털화, 생산시스템의 선진화, 그리고 스마트 건설산업 육성을 위한 10대 과제를 제시하였음.

 - BIM, OSC를 핵심 스마트 건설기술로 설정하고, 공공 주도의 BIM 전면도입을 위한 대책, 생산시스템 선진화를 위한 건설기계 자동화 및 OSC 활성화, 스마트 안전장비 확산 등의 계획이 포함됨.

- 또한 ‘건설현장 추락사고 방지 종합대책(2019)’, ‘건설안전 혁신방안(2020)’, ‘스마트 건설 활성화 방안(2022)’을 통해 건설현장 안전성 제고를 위해서도 스마트 건설기술의 활용을 촉진하고 있음.

 - 현장 작업자 안전사고 예방을 위한 스마트 안전장비 활용과 현장 모니터링을 위한 CCTV 의무화, 스마트 안전장비 확산 및 비용 계상 의무화 등의 내용이 포함됨.

- 지난해 국토교통부는 건설기업과 첨단기술 개발기업 간 상호 협력의 장을 마련하여 스마트건설 산업 육성 및 확산을 도모하기 위해 ‘스마트건설 얼라이언스’를 출범하고, 6개 핵심 기술을 선정하였음.

 - 대·중소기업과 학계·연구기관, 정부·공공기관이 협력하는 ‘스마트건설 얼라이언스’에는 BIM, OSC, 건설자동화, 디지털 센싱, 스마트 안전, 빅데이터 및 플랫폼 등 6개 기술별 위원회가 조직되었음.
 - 스마트건설 얼라이언스는 건설기업과 첨단기술 개발기업 간 협력의 플랫폼으로써 기술 실증 및 적용, 스마트 건설기술 확산을 위한 아젠다와 추진과제 발굴을 수행할 것으로 기대됨.

Ⅲ 건설분야 기술분류체계 사례

1. 한국표준산업분류

- 표준산업분류체계는 산업을 분류하는 방법의 하나로 기업·기관 등 산업 주체들의 모든 산업활동을 그 성질에 따라 유형화하여 산업활동과 관련한 각종 통계자료의 작성과 비교에 통일적으로 적용되는 기준임.

 - 표준산업분류체계는 국가마다 다를 수 있으며, 미국에서 사용되는 NAICS(North American Industry Classification System)와 유럽 연합에서 사용되는 NACE(Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne)이 널리 알려져 있음.
- 한국표준산업분류는 산업 관련 통계자료의 정확성, 비교성 등을 확보하기 위하여 생산 단위(기업 단위, 산업체 단위)가 수행하는 산업활동을 유사성에 따라 체계적으로 유형화한 체계임.

 - 산업은 유사한 성질을 갖는 산업활동에 주로 종사하는 생산단위의 집합을 의미하며, 산업활동은 각 생산단위가 노동, 자본, 연료 등을 투입해 재화 또는 서비스를 제공하는 일련의 과정으로 정의됨. 산업활동의 범위는 영리적, 비영리적 활동을 포함함.
- 한국표준산업분류는 국내 산업구조 변화를 반영해 현재까지 총 10차에 걸쳐 개정되었으며, 제10차 개정분류는 지난 2017년 1월 고시되었음.

 - 제10차 개정에서는 국가의 미래 성장산업, 기간산업, 동력산업 등 지원과 육성정책 수립에 활용되는 통계작성을 위해 관련된 분류를 신설 및 세분화하고 동시에 사양산업 등 관련 분류는 통합함.
- 한국표준산업분류에서 건설업은 “계약 또는 자기계정에 의하여 지반조성을 위한 발파·시굴·굴착·정지 등의 지반공사, 건설용지에 각종 건물 및 구축물을 신축 및 설치, 증축·재축·개축·수리 및 보수·해체 등을 수행하는 산업활동”으로 정의하고 있음.

 - 건설산업 활동은 도급자영 건설업자, 종합 또는 전문 건설업자에 의하여 수행되는 것으로 정의됨.
 - 하지만, 직접적인 건설활동을 수행하지 않더라도 건설공사에 대한 총괄적인 책임과 전체 건설공사를 관리하는 경우(인력, 자재, 장비, 시공, 품질, 안전관리 등)에도 건설활동으로 분류함.
- 최근 각광받는 모듈러 건축공법과 관련성이 높은 조립식 건물 구성 부분품, 구조물 및

건물 장치용 기계장비 등의 제조 또는 판매를 주로 하는 업체에서 직접 조립·설치하는 경우에는 주된 활동에 따라 제조 또는 판매업으로 분류함.

- 그러나 설치만을 전문적으로 수행하는 특정 부서를 독립된 사업체로 분리·파악할 수 있을 경우에는 이를 건설업으로 분류함.

■ 또한, 건축 설계, 감리, 기획, 조사, 측량 및 기타 건축공학 관련 서비스의 제공은 “M. 전문, 과학 및 기술서비스업” 하위에 해당하는 “72. 건축 기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업”으로 분류함.

- 하지만, 건축 활동을 직접 수행하는 사업체가 건설할 건축물을 직접 설계하는 경우에는 그 주된 활동에 따라 건설업에 분류함.

〈표 1〉 제10차 개정 한국표준산업분류의 구성

대분류	중분류		소분류		세분류		세세분류	
	9차	10차	9차	10차	9차	10차	9차	10차
A 농업, 임업 및 어업	3	3	8	8	21	21	34	34
B 광업	4	4	7	7	12	10	17	11
C 제조업	24	25	83	85	180	183	461	477
D 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업	2	1	4	6	6	5	9	9
E 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업	3	4	5	6	11	14	15	19
F 건설업	2	2	7	8	14	15	42	45
G 도매 및 소매업	3	3	20	20	58	61	164	184
H 운수 및 창고업	4	4	11	11	20	19	46	48
I 숙박 및 음식점업	2	2	4	4	8	9	24	29
J 정보통신업	6	6	11	11	25	24	42	42
K 금융 및 보험업	3	3	8	8	15	15	33	32
L 부동산업	2	1	6	2	13	4	21	11
M 전문, 과학 및 기술서비스업	4	4	13	14	19	20	50	51
N 사업시설 관리, 사업 지원 및 임대 서비스업	2	3	7	11	13	22	21	32
O 공공행정, 국방 및 사회보장 행정	1	1	5	5	8	8	25	25
P 교육서비스	1	1	7	7	16	17	29	33
Q 보건업 및 사회복지 서비스업	2	2	6	6	9	9	21	25
R 예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업	2	2	4	4	17	17	43	43
S 협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업	3	3	8	8	18	18	43	41
T 가구 내 고용활동, 자가소비 생산활동	2	2	3	3	3	3	3	3
U 국제 및 외국기관	1	1	1	1	1	1	2	2
총 21개 분류	76	77	228	232	487	495	1,145	1,196

자료: 통계분류포털.

2. 국가과학기술 표준분류체계

- 국가과학기술 표준분류체계는 과학기술을 분류하는 기준으로 과학기술과 관련한 여러 영역에서 분류 표준으로 활용되며, 「과학기술기본법」에 따라 2002년에 최초로 수립된 이후 5년마다 수정 및 보완이 이뤄져 2023년 현재까지 7번의 개정이 이뤄짐.

- 2023년 개정된 국가과학기술분류체계는 기존의 분류체계(2018년 개정)에 대해 학계 등 관련 기관들로부터 개정소요와 신기술 경향 등을 반영하여 5개 연구분야, 22개 대분류, 277개 중분류, 2,799개의 세부영역으로 구성되어 있음⁴⁾.
 - 기술영역 간의 융합과 신기술 등장 등을 반영할 수 있도록 기존 소분류 분류체계를 핵심어(키워드) 형식의 세부영역으로 체계화하고, 상위 분류체계에 종속되지 않는 새로운 분류방안을 제시함.

- 건설분야는 ‘과학기술-인공물’ 분야 내 ‘EI. 건설/교통’에 포함되며, 시설물 설계/해석 기술, 건설시공/재료 등을 포함한 12개 중분류, 93개의 세부영역으로 구성됨.
 - 전술한 바와 같이 국가과학기술분류체계의 세부영역은 상위영역(대분류 및 중분류)에 종속되지 않으나, 식별 편리성을 고려하여 중분류를 기준으로 나열된 것임.
 - 교통분야를 제외한 건설분야와 관련이 있는 중분류는 국토공간 개발기술, 시설물 설계 및 해석기술, 건설시공 및 재료, 건설환경 설비기술 등임.

〈그림 2〉 국가과학기술 표준분류체계 개정 전후 비교(6차 개정 체계 vs 7차 개정 체계)

	연구분야			대분류	중분류	소분류	연구분야			대분류	중분류	세부영역
	자연	생명	인공물				자연	생명	인공물			
과학기술	자연			4	47	339	자연			4	47	2,799
	생명			3	49	448	생명			3	47	
	인공물			9	112	858	인공물			9	109	
인문 사회 과학	인간			5	61	546	인문사회학			3	60	
	사회			9	88	634						
	인간과학과 기술			3	14	73		인간과학과 기술				
합계	연구분야 6개			33	371	2,898	연구분야 5개			22	277	2,799

자료: 과학기술정보통신부.

4) 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원(2023), “국가과학기술 표준분류체계: 2023년 개정”.

〈표 2〉 국가과학기술 표준분류체계 중 건설/교통분야 기술분류체계 (2023년)

중분류	세부영역	중분류	세부영역
EI01 국토정책 /계획	EI0101. 국토정책 EI0102. 국토계획 EI0103. 교통계획 EI0104. 도시계획 EI0199. 달리 분류되지 않는 국토정책/계획	EI07 항공교통 기술	EI0701. 항공안전기술 EI0702. 항공기 운영기술 EI0703. 공항시스템 기술 EI0704. 항행시스템 기술 EI0799. 달리 분류되지 않는 항공교통기술
EI02 국토공간 개발기술	EI0201. 국토지능화/공간정보 EI0202. 지능형 생태도시 EI0203. 대공간 지상건축물 EI0204. 지하대공간 EI0205. 해저공간 EI0206. 인공섬/준설 매립기술 EI0207. 경관관리 EI0299. 달리 분류되지 않는 국토공간개발기술	EI08 해양교통 기술	EI0801. 선박운항 안전기술 EI0802. 해상교통 관제기술 EI0803. 인적안전기술 EI0804. 항만/항로 설계기술 EI0805. 해양안전 방재기술 EI0899. 달리 분류되지 않는 해양교통기술
EI03 시설물 설계/ 해석기술	EI0301. 설계 표준화기술 EI0302. 설계 정보화기술 EI0303. 도로 EI0304. 교량 EI0305. 플랜트 EI0306. 지반구조/터널 EI0307. 건축 EI0308. 철도 EI0309. 항만 EI0399. 달리 분류되지 않는 시설물 설계/해석기술	EI09 수공 시스템 기술	EI0901. 수리/수문 조사/해석기술 EI0902. 수자원계획기술 EI0903. 수자원 통합관리기술 EI0904. 해안/항만/해양개발기술 EI0905. 수리구조물설계기술 EI0906. 하천설계기술 EI0907. 생태수리/수문기술 EI0999. 달리 분류되지 않는 수공시스템기술
EI04 건설시공/ 재료	EI0401. 토목시공기술 EI0402. 건축시공기술 EI0403. 플랜트시공기술 EI0404. 건설시공관리기술 EI0405. 시공 자동화기술 EI0406. 건설구조재료 EI0407. 건설마감재료 EI0408. 친환경/재생건설재료 EI0409. 생애주기가치평가 EI0410. 극한 시공기술 EI0411. 건설안전 관리기술 EI0499. 달리 분류되지 않는 건설시공/재료	EI10 물류기술	EI1001. 물류운송기술 EI1002. 보관기술 EI1003. 하역기술 EI1004. 물류정보화기술 EI1005. 물류시스템 운용기술 EI1006. 교통수단별 물류운용기술 EI1007. 물류 표준화기술 EI1099. 달리 분류되지 않는 물류기술
		EI11 시설물 안전/ 유지관리 기술	EI1101. 시설물 점검/진단기술 EI1102. 구조물 보수/보강기술 EI1103. 시설물 해체/복구기술 EI1104. 시설물 소방안전관리기술 EI1105. 자연재해 저감기술 EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물 안전/ 유지관리 기술
EI05 도로교통 기술	EI0501. 교통환경 조사/분석기술 EI0502. 자동차기반기술 EI0503. 교통시설기반기술 EI0504. 교통운영관리기술 EI0505. 교통안전기술 EI0506. 교통환경 개선기술 EI0599. 달리 분류되지 않는 도로교통기술	EI12 건설 환경설비 기술	EI1201. 상/하수도 시스템 설계/시공/ 관리기술 EI1202. 건축/도시환경 시스템 정보화기술 EI1203. 건축환경/설비기술 EI1204. 친환경건축물 설계/시공/관리기술 EI1205. 친환경 토목시설물 설계/시공/ 관리기술 EI1206. 건물일체형 신재생에너지설비 설계/
EI06 철도교통 기술	EI0601. 철도시스템 엔지니어링 EI0602. 궤도토목기술 EI0603. 전철/전력기술		

중분류	세부영역	중분류	세부영역
	EI0604. 철도신호통신기술 EI0605. 철도시스템 안전방재 EI0606. 철도시스템 유지관리기술 EI0607. 철도역사 시설물/역무 자동화기술 EI0608. 철도차량기술 EI0699. 달리 분류되지 않는 철도교통기술		시공/관리기술 EI1207. 시설물 소음진동 제어/관리기술 EI1299. 달리 분류되지 않는 건설환경 설비기술
		EI99 기타 건설/교통	EI9999. 달리 분류되지 않는 건설/교통

자료: 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원(2023) 전거서.

■ 국가과학기술 표준분류체계에서 건설시공/재료 기술은 ‘시공성 향상 및 자원의 효율적 활용을 위한 요소기술 및 건설사업 수행에 합리적인 조직과 원활한 진행을 위한 종합적 관리기술’로 정의하고 있음.

- 세부영역에는 토목시공기술을 포함해 12개의 세부 기술이 분류되어 있으며, 각각의 기술 정의는 아래의 표와 같음.

〈표 3〉 국가과학기술표준분류체계 중 건설시공/재료 분야 세부영역 정의

기술	정의
EI0401. 토목시공기술 (Civil construction technology)	토목공사의 효율성, 안정성, 생산성 등의 향상을 위한 제반 활용기술
EI0402. 건축시공기술 (Building construction technology)	건축공사의 효율성, 안정성, 생산성 등의 향상을 위한 제반 활용기술
EI0403. 플랜트시공기술 (Plant construction technology)	플랜트공사의 효율성, 안정성, 생산성 등의 향상을 위한 제반 활용기술
EI0404. 건설시공관리기술 (Construction management technology)	건설사업 수행을 위한 합리적인 조직과 원활한 진행을 위한 종합적 관리기술
EI0405. 시공 자동화기술 (Construction automation technology)	시공 현장이나 사업관리에 응용되는 첨단 시공, 자동화 및 로봇 관련 기술
EI0406. 건설구조재료 (Construction structural materials)	건설용 강재, 콘크리트재료, 신소재 등을 이용하여 주요 인프라시설의 핵심이 되는 구조물을 설계 및 시공하는 기술
EI0407. 건설마감재료 (Construction finishing materials)	방수, 방음 및 수장 등의 건설 시설물의 마감을 위한 재료 및 공법
EI0408. 친환경/재생건설재료 (Environmental materials/material reuse)	건설용으로 사용할 수 있는 금속·무기·유기 원료 및 이들을 조합한 원료를 활용해 친환경 및 새로운 성능·용도로 이용하는 기술
EI0409. 생애주기가치평가 (Life-cycle value evaluating)	건축물의 생산에서 소멸에 이르기까지 소요되는 모든 가치요소를 분석 및 평가하는 기술
EI0410. 극한 시공기술 (Construction for severe weather region)	극한공간의 구조거동의 해석 및 내진 내풍의 설계·시공기술
EI0411. 건설안전 관리기술 (Construction safety management)	과학적 원리를 응용하여 건설과정 또는 그 생산물에 있어 안정성을 유지·향상시키는 관리적 측면의 기술
EI0499. 달리 분류되지 않는 건설시공 및 재료 (Other construction engineering /materials/ management)	

자료: 한국연구재단, 국가과학기술표준분류.

- 분류체계에서는 토목, 건축, 플랜트 시공기술 외에 시공관리 기술과 시공 자동화기술을 별도의 기술로 구분하여 각각 건설사업 수행을 위한 합리적인 조직과 원활한 진행을 위한 종합적 관리기술과 시공 현장이나 사업관리에 응용되는 첨단 시공, 자동화 및 로봇 관련 기술로 정의하고 있음.

3. 국토교통 기술분류체계

- 국토교통 기술분류체계는 국토교통 분야 R&D 동향 및 기술수준 조사의 분석틀로써 국내 기술수준의 국제비교, 기술정책 성과 점검을 토대로 단·중장기 기술전략 및 계획 수립, 투자 우선순위 설정, 신규사업 기획 등 기술정책 수립에 활용되고 있음.
- 2013년 수립 후 중복성, 포괄성, 전개의 일관성을 등을 검토하여 9개 대분류, 32개 중분류, 113개 소분류로 구성된 개정안이 2015년 발표됨. 국토교통 분야의 R&D 사업 추진체계 및 산업 구분을 고려하여 목적물 위주로 9대 대분류를 구성함⁵⁾.

〈그림 3〉 국토교통 기술분류체계의 건설/교통분야 기술분류

대분류	중분류	소분류
<div style="border: 1px dashed red; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> 7 건축 2 도시 3 시설물 4 플랜트 5 수자원 6 철도교통 7 도로교통 8 항공교통 9 물류 </div>	요소기술	<div style="border: 1px dashed red; padding: 5px;"> 목적물(첨단건축, 초대형 건축), 요소기술(건축물 성능향상) </div>
	요소기술	요소기술
	목적물	목적물
	목적물	목적물
	요소기술	요소기술
	요소기술	<div style="border: 1px dashed red; padding: 5px;"> 목적물(철도차량), 요소기술(철도시설, 철도운영 및 환경) </div>
	요소기술	요소기술
	요소기술	요소기술
	요소기술	요소기술

출처: (주)테크노베이션파트너스, 인천대학교 산학협력단(2019).

5) (주)테크노베이션파트너스, 인천대학교 산학협력단(2019) `18~`19년도 국토교통분야 표준분류체계 수립 및 동향·기술수준 조사 최종보고서, 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원.

- 구체적으로 시설물은 교량, 터널 및 지하공간 등, 플랜트는 발전·자원개발·신재생에너지 플랜트 등 목적물을 기준으로 구분하는 반면, 건축, 도시, 수자원, 철도교통, 도로교통, 항공교통, 물류분야는 중분류 및 이하 소분류를 요소기술을 기준으로 구분함.

〈표 4〉 국토교통 기술분류체계의 건설/교통분야 기술분류(대분류 및 중분류)

대분류	중분류	대분류	중분류
A. 건축	A1. 주거 및 단지 건축 A2. 첨단/융복합 건축 A3. 초대형/특수건축 A4. 건축물 성능향상	F. 도로교통	F1. 자동차 F2. 도로 및 교통시설 F3. 교통계획 및 운영 F4. 교통안전 및 환경
B. 도시	B1. 도시 인프라 구축·관리 및 운영 B2. 도시재생 B3. 공간정보	G. 철도교통	G1. 철도차량 G2. 철도시설 G3. 철도운영 및 환경
C. 시설물	C1. 교량 C2. 터널 및 지하공간 C3. 사면/지반조사/기초 C4. 항만 및 해양구조물 C5. 특수구조물	H. 항공교통	H1. 항공기 H2. 항행(CNS/ATM) H3. 항공안전 H4. 공항
D. 플랜트	D1. 발전플랜트 D2. 자원개발플랜트 D3. 신재생에너지 플랜트 D4. 담수처리 및 환경플랜트	I. 물류	I1. 운송 I2. 운송지원시스템
E. 수자원	E1. 용수이용 E2. 하천 E3. 수재해		

출처: ㈜테크노베이션파트너스, 인천대학교 산학협력단(2019).

- 2019년 최신 건설 및 교통분야 기술동향을 반영하고, 표준분류체계를 기반으로 연구개발 데이터와 국토교통 분야의 연계 강화를 위한 개선안이 연구용역을 통해 제안되었으나 국토교통 표준분류체계 개정안 발표로 이어지지는 않음.

- 개선안은 친환경·스마트·초고층 건축, 스마트 도시 등 신기술 분야의 반영, 국토공간 정보, 국토교통 기반 등 대분류 신설 등의 내용을 담고 있으며, 특이한 점은 국토교통 기술분류체계 개선안과 동향 및 기술수준 분석용 분류체계 개선안을 구분하여 제안되었음.

IV 기존 분류체계의 한계와 신규 분류체계의 필요성

1. 기존 기술분류체계의 특성과 한계

- 한국표준산업분류는 생산단위(사업체, 기업체)가 주로 수행하는 산업활동의 유사성을 기반으로 체계적으로 유형화한 것으로, 통계분석 및 경제활동 추적에 필요한 각 부문에 대한 자료수집과 분석이 쉽도록 구성되었다는 특징이 있음.

 - 한국표준산업분류는 일반 행정 및 산업 정책 관련 법령에서 산업의 범위를 결정하는 데 있어서 기준으로 활용되고 있음.
- 한국표준산업분류에서 정의한 건설산업의 활동 내용과 범위에 따라 건축, 설계, 감리 및 기타 건축공학 관련 서비스는 건설업이 아닌 “전문, 과학 및 기술서비스업”으로 구분되어 이와 관련한 스마트 건설기술의 분류 역시 영향을 받을 수 있음.

 - 건축, 설계, 감리 및 기타 건축공학 관련 서비스는 건설업이 아닌 “M. 전문, 과학 및 기술서비스업” 하위에 해당하는 “건축 기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업”으로 분류됨.
- 또한 현재의 한국표준산업분류는 조립식 건물의 구성품, 구조물 및 건물 장치용 기계·장비 등의 제조 또는 판매를 주로 하는 업체가 직접 조립·설치를 수행하는 경우 이를 제조 또는 판매업으로 분류하고 있어 모듈러 등 사전제작 방식 역시 이에 해당됨.

 - 전문적인 설치 부서가 독립된 사업체로 파악되는 경우에만 건설업으로 분류하는데, 모듈러 또는 프리캐스트 콘크리트(PC)등과 같은 사전제작 방식의 기술은 제작업체가 공장에서 제작된 구성물을 현장에서 조립하지 않을 경우 제조업 또는 판매업으로 구분됨.
- 국가과학기술 표준분류체계는 일차적으로 과학기술 연구 및 개발 활동을 분류하고 체계화하는 역할을 하고 있음. 이외에도 정부 및 기관이 어떤 분야와 주제에 자원을 집중하고 성과를 얻을 수 있는지를 포함하는 지원 정책 수립에도 활용됨.
- 7차 개정 국가과학기술 표준분류체계는 기술영역 간의 융합과 신기술 등의 반영을 위해 세부영역에 해당하는 개별 기술분야가 상위(대분류 및 중분류)에 종속되지 않도록 설계하였는데, 이로 인해 세부영역 상에 목적물과 요소기술이 혼재되어 있음.

- 건설분야와 관련성이 높은 중분류인 국토공간 개발기술, 시설물 설계 및 해석기술, 건설시공 및 재료, 건설환경 설비기술, 시설물 안전/유지관리 기술, 건설 환경설비 기술 등임.
- 상기 중분류의 세부영역을 살펴보면, 목적물 또는 공종(도로, 교량, 플랜트, 지반구조/터널 등), 목적물별 기술(토목시공기술, 건축시공기술, 플랜트시공기술 등), 목적물에 국한되지 않는 요소기술(시공 자동화기술, 시설물 점검/진단기술 등)이 혼재된 양상을 보임.

❖ 국토교통 기술분류체계는 국토교통 분야의 R&D 동향 및 기술수준 조사, 기술전략 수립 등을 위해 마련되었으며, 대분류는 건축, 도시, 시설물, 플랜트, 수자원, 도로, 철도, 항공, 물류 등 목적물에 따라 구분됨.

- 국토교통 기술분류체계는 기술수준 등 연구개발 관련 데이터와의 연계성에 핵심적인 역할을 하는 수단이기도 하며, 단·중장기 기술전략 및 계획 수립, 투자 우선순위 설정, 신규 사업의 기획 등 기술정책 수립에 활용됨.

❖ 국토교통 기술분류체계의 대분류가 목적물에 따라 구분되는 반면, 중분류와 소분류는 목적물 특성에 따라 목적물-목적물로 구성되거나, 목적물-요소기술, 요소기술-목적물로 구성되기도 하는 등 다양한 양상을 보임.

- 이에 따라 특정 목적물이나 공종에 국한되지 않는 기술의 분류, 여러 건설상품에 걸쳐 공통적으로 적용 가능한 생애주기 관점의 기술 분류에는 제약이 존재함.

2. 신규 스마트 건설기술 분류체계의 필요성

❖ 기존 건설 관련 분류체계의 특성에 대한 검토 결과, 기존 분류체계는 스마트 건설기술의 분류를 위해 적용하기에 한계가 있으며, 신규 분류체계를 마련할 필요가 있음.

❖ 첨단기술과의 융복합을 특성으로 하는 스마트 건설기술은 타분야와의 연계성을 갖는 기술분야가 많으나, 한국표준산업분류는 산업 통계자료의 작성 및 비교를 위해 산업활동을 성질에 따라 유형화하고 있어 스마트 건설기술의 분류기준에 적합하지 않음.

- 일례로 모듈러 건축, 프리캐스트 등 조립식 건물의 부품, 건물 장치용 기계장비 등의 제조·판매를 수행하는 기업은 건설업이 아닌 제조 및 판매업으로 분류될 수 있음.
- 또한 건축, 설계, 감리 등 건축공학 관련 서비스의 일부는 '전문, 과학 및 기술서비스업'으로 분류됨.

- 건설안전에 대한 관심 증가에 따라 안전관리 향상을 위한 스마트 건설기술의 활용이 증가하고 있으나, 한국표준산업분류는 건설 안전관리와 관련한 분류항목이 부재함.
- 국가과학기술 표준분류체계는 최근 개정을 통해 기술영역 간의 융합과 신기술의 반영을 위해 세부영역에 해당하는 개별 기술분야가 상위(대분류 및 중분류)에 종속되지 않도록 설계하였으나, 이는 요소기술 분류의 한계로 작용함.
 - 세부영역에 목적물 또는 공중, 목적물별 기술, 목적물에 국한되지 않는 요소기술 등이 혼재되어 스마트 건설기술의 분류에 적합하지 않음.
- 국토교통 기술분류체계는 대분류를 건축, 도시, 플랜트 등 목적물로 구분하여 분류체계를 수립함으로써 특정 목적물이나 공중에 국한되지 않는 공통적인 생애주기 관점의 접근이나 스마트 건설기술의 분류에는 적합하지 않음.

〈표 5〉 기존 건설 관련 기술분류체계의 특성 및 한계

기술분류체계	한국표준산업분류	국가과학기술 표준분류체계	국토교통 기술분류체계
분류체계 도입 목적	산업활동의 유사성을 토대로 산업별 통계분석 및 경제활동 추적	과학기술 분류기준 수립, 과학기술 정책 수립	국토교통 R&D 기술수준 조사, 기술전략 및 기술정책 수립
건설분야 기술분류 특성	건축, 설계 등 건축공학 관련 서비스, 사전제작 생산방식을 비건설업으로 분류	중분류 하위 세부영역 상 목적물 또는 공중, 목적물에 국한되지 않는 요소기술 혼재	대분류는 목적물에 따라 구분, 중분류와 소분류는 특성에 따라 목적물과 요소기술 혼재
스마트 건설기술 분류 적합성	산업활동 유사성 기준 분류로 첨단기술과의 융복합에 따른 타분야 연계에 있어 부적합	세부기술이 대분류 및 중분류에 종속되지 않아 목적물 및 요소기술 혼재, 부적합	특정 목적물이나 공중에 국한되지 않는 스마트 건설기술의 분류에 부적합

- 따라서 기존의 건설 관련 기술분류체계는 첨단기술과의 융합을 토대로 하는 스마트 건설기술의 분류기준으로 활용하기에 적합하지 않으며, 특히 기술 활용수준 진단을 목적으로 하는 본 연구의 취지를 고려하면 새로운 분류체계를 마련할 필요가 있음.
 - 기존 분류체계의 한계는 각 분류체계가 산업별 통계분석, 과학기술 분류기준 수립, 기술수준의 조사 및 전략수립을 목적으로 수립되었기 때문이며, 산업차원의 스마트 건설기술의 활용수준 진단에 활용하기 위한 스마트 건설기술 분류체계는 목적에 맞게 새롭게 설계하는 것이 적합함.

V 스마트 건설기술 분류체계 제안

1. 스마트 건설기술의 개념

- + 스마트 건설 및 스마트 건설기술의 개념은 국가, 정부, 민간 등 주체마다 다르게 정의하고 있으나, 대체로 ICT 등 첨단 기술의 융합을 통해 건설사업의 생산성 향상, 안전 및 품질 제고를 달성할 수 있는 기술 또는 기술의 적용으로 정의되고 있음.
- + 용어 사용에 있어서도 국가별로 상이한 양상을 보이는데, 해외 주요 국가 중 영국은 Smart Construction, 일본은 i-Construction, 미국은 Smart Building, Intelligent Transportation 등의 용어를 사용하고 있음.
 - 영국 건설리더십위원회는 ‘Construction 2025’를 통해 스마트 건설을 ‘건물의 설계, 건축, 운용에 있어 디지털 기술과 산업생산기술을 최대한 활용하여 생산성을 높이고, 건물의 수명 연한에 따른 비용의 지출을 최소화하고, 사용자의 이익을 최대한으로 하는 일체의 협업시스템’으로 정의함.
 - 일본 i-Construction은 토공사를 대상으로 ‘건설 생산시스템 전반의 생산성 향상을 위해 측량에서 설계, 시공, 검사, 유지관리에 이르는 모든 사업 과정에 ICT를 도입하는 방식’으로 정의함.
 - 미국 중앙조달기관(General Services Administration)은 Smart Building을 ‘기존 빌딩의 에너지 비용과 환경 영향을 줄이고, 운영비 효율성을 제고하기 위한 방안을 적용한 빌딩’으로 정의함.
- + 국토교통부·국토교통과학기술진흥원은 스마트 건설을 ‘전통적인 건설에 스마트 건설기술을 접목·활용하여 건설 생산성 또는 안전성을 획기적으로 향상시키는 건설 방식’으로 정의함⁶⁾.
 - 동 보고서는 스마트 건설기술을 ‘전통적 토목·건축기술에 BIM, IoT, Big Data, 드론, 로봇 등 스마트 기술이 융합되어 건설 순과정의 디지털화, 건설장비 자동화, 가상 건설, 현장 안전관리 등 건설 생산성 또는 안전성을 극대화하는 기술’로 정의함.
- + 국토교통부의 ‘스마트 건설기술 로드맵(2018)’은 스마트 건설기술을 ‘건설에 첨단기술(BIM, 드론, 로봇, IoT, 빅데이터, AI 등)을 융합한 기술’로 정의한 바 있으며, 이후 ‘스마트 건설기술 현장적용 가이드라인’을 통해 공법, 장비, 시스템 등으로 확대함.

6) 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(2019), “스마트 건설기술 개발사업 기획 최종보고서”.

- 국토교통부의 ‘스마트 건설기술 현장적용 가이드라인(2021)’은 스마트 건설기술을 ‘공사기간 단축, 인력투입 절감, 현장 안전 제고 등을 목적으로 전통적인 건설기술에 ICT 등 첨단 스마트 기술을 적용함으로써 건설공사의 생산성, 안전성, 품질 등을 향상시키고, 건설공사 전 단계의 디지털화, 자동화, 공장제작 등을 통한 건설산업의 발전을 목적으로 개발된 공법, 장비, 시스템 등’으로 정의함⁷⁾.

■ **국내외 스마트 건설기술에 대한 정의를 종합하면 4차 산업혁명 이후 대두된 다양한 디지털 기술을 포함한 첨단기술을 활용하여 건설 생산시스템 전반의 향상에 기여할 수 있는 기술, 공법, 장비, 시스템 등을 아우르는 것으로 정리할 수 있음.**

- 스마트 건설기술 적용에 따른 효과는 설계 및 시공 단계의 생산성 향상, 안전성 제고에만 국한되지 않으며, 운영 및 유지단계를 포함한 전 단계의 효율성 향상에 기여 가능한 것으로 평가해야 함.

■ **그러나 스마트 건설기술 적용은 4차 산업혁명 기술과 건설산업의 융복합으로 분절적인 건설 프로세스의 생산성 향상으로만 그치는 것이 아니라, 나아가 건설 생산시스템의 디지털화, 자동화, 탈현장화 등 생산체계 전반의 패러다임의 전환의 핵심적 역할을 담당하고 있음을 비중있게 고려해야 함.**

- 디지털화(Digital Transformation) : 4차 산업혁명 기술 발전에 따른 ICT 기반의 정보화, 시스템화를 의미하며 빅데이터, 첨단 센서 및 통신 기술 기반의 지능화에 기여함.
- 자동화(Automation) : 건설로봇, 빅데이터 및 통신기술, 인공지능 등 IT기술을 활용하여 설계, 제작, 시공 등 프로세스 및 의사결정 과정 자동화에 기여함.
- 탈현장화(Off-Site Construction) : 공장 등 현장 외부에서 구성요소를 계획, 설계, 제작, 조립해 생산시스템의 통제가능성을 제고하고 건설현장의 안전성을 향상시킴.

■ **이에 본 연구는 스마트 건설기술을 ‘건설사업 전 단계에 걸쳐 첨단 기술을 적용하여 건설 생산시스템의 디지털화, 자동화, 탈현장화를 유도하고 공사기간, 공사비, 품질 및 안전 등 성과 향상에 기여할 수 있는 기술, 공법, 장비, 시스템 등’으로 정의하고자 함.**

- 개별 기업 차원에서 스마트 건설기술은 건설사업의 핵심 성과지표인 공사기간, 공사비, 품질, 안전 향상 등이 중요한 고려 대상일 것이나, 거시적으로는 스마트 건설기술 확산이 건설 생산시스템의 패러다임 변화와 혁신을 가속화하는 요인으로 작용할 것이므로 이를 반영하고자 하였음.
- 물론 스마트 건설기술 적용을 통한 일부 또는 복수의 핵심 성과지표의 개선 여부 또한 중요하게 살펴볼 필요가 있으며, 기술적용 및 확산에 따른 결과물로서 고려하는 것이 적합함.

7) 국토교통부(2021), “스마트 건설기술 현장 적용 가이드라인”.

2. 스마트 건설기술의 분류

(1) 스마트 건설기술 분류 사례

국토교통부 ‘스마트 건설기술 로드맵(2018)’은 2025년 스마트 건설기술의 활용기반의 구축, 2030년 건설 자동화 완성을 목표로 건설공사 수행단계별 중점 스마트 건설기술 분야 및 이에 해당하는 핵심 개발기술을 정의하였음.

- 설계(BIM 기반 스마트 설계), 시공(건설기계 자동화 및 관제, 공정 및 현장관리 고도화), 유지관리(시설물 점검·진단 자동화, 디지털트윈 기반 유지관리) 단계별 중점분야를 제시하고, 이를 달성하기 위한 핵심 개발 기술을 제시하였음.
- 단계별 핵심 개발기술은 BIM, IoT, 드론 등 개별 세부기술이 아닌 ‘BIM 설계 자동화 기술’, ‘ICT 기반 현장 안전사고 예방 기술’과 같은 구체화된 응용기술 형태로 제시하였음.

또한 상술한 핵심 개발기술을 구성하는 11개 세부 첨단기술을 선정하고 적용 가능한 건설단계별 주요 업무를 제시하였으나 11개 기술을 별도로 분류하지는 않았음.

- 주요 첨단기술로 BIM, 가상·증강현실, 드론, 로봇·자동장비, 영상인식, 3D 프린팅, 자율주행, 사물인터넷, 센서, 빅데이터·AI, 디지털트윈 등 11개 스마트 기술을 제시하였음.
- 상술한 스마트 기술이 설계, 시공, 유지관리 단계별 세부 업무(계획 및 각종 평가, 측량, 기본·실시설계, 토공사, 구조·골조공사, 부대·마감공사, 자재관리, 공정·기성관리, 현장 안전관리, 시설물 점검·안전진단, 시설물 유지관리 계획)에 적용 가능함을 제시하였음.

〈표 6〉 ‘스마트 건설기술 로드맵’의 건설공사 단계별 핵심 개발기술

단계	중점분야	핵심 개발기술
설계	BIM 기반 스마트 설계	드론기반 지형·지반 모델링 자동화 기술 BIM 적용 표준 BIM 설계 자동화 기술
시공	건설기계 자동화 및 관제	건설기계 자동화 기술 건설기계 통합운영 및 관제기술
	공정 및 현장관리 고도화	시공 정밀제어 및 자동화 기술 ICT 기반 현장 안전사고 예방 기술 BIM 기반 공정 및 품질관리
유지관리	시설물 점검·진단 자동화	IoT 센서기반 시설물 모니터링 기술 드론·로봇릭스 기반 시설물 상태 진단 기술
	디지털트윈 기반 유지관리	시설물 정보 빅데이터 통합 및 표준화 기술 AI 기반 유지관리 최적 의사결정 기술

자료: 국토교통부(2018), “스마트 건설기술 로드맵”.

■ 한국건설기술연구원은 전술한 스마트 건설기술 로드맵 분류기준 등을 참고하여 인프라 (Level 1), 건설단계(Level 2), 기술형태(Level 3)에 따라 3단계로 분류한 스마트 건설 기술 분류(안)을 제안하였음⁸⁾.

- Level 3은 Cyber-based Technology, Physical-based Technology, Platform Technology 등 3가지 기술형태에 따라 분류되며, 18개 단위기술이 포함되었음.
- Level 3에 속한 단위기술은 상위분류인 Level 1(인프라), Level 2(건설단계)에는 종속되지 않는 것으로 판단할 수 있으며, 식별 편리성을 고려하여 제시한 것으로 판단됨.

〈표 7〉 한국건설기술연구원의 스마트 건설기술 분류체계

Level 1	Level 2	Level 3		
공통	조사/설계	Cyber Based Technology	IoT(사물인터넷)	
			AI	
			빅데이터	
			BIM	
			영상인식	
건축		시공	Physical Based Technology	자율주행
				모듈러
				Cyber Security(Block Chain)
				Smart Sensor(센서)
				Robotics(로봇/자동장비)
교량	유지관리	Platform Technology	3D Printing	
			AR/VR/MR	
			드론	
기반	유지관리	Platform Technology	5G	
			Cloud Computing	
			CPS	
도로	유지관리	Platform Technology	HMI UI/UX	
			디지털 트윈	
터널	유지관리	Platform Technology		
토공	유지관리	Platform Technology		
포장	유지관리	Platform Technology		
하천	유지관리	Platform Technology		
항만	유지관리	Platform Technology		

자료: 한국건설기술연구원(2020).

■ 참고로 스마트 건설기술의 정보 확산 및 현장적용 유인을 위해 구축된 ‘스마트 건설기술 마당’에는 ‘23년까지 17건의 스마트 건설기술이 등록되었으며(‘22년 8건, ‘23년 9건) 추후 요소기술에 따른 분야 및 공정 분류가 도입될 것으로 예상되나, 현재는 기술 영역에 대한 분류는 제공되지 않음.

8) 한국건설기술연구원(2020), “스마트 건설기술 개발 역량 강화 및 전략 수립 연구”.

- ‘스마트 건설기술 로드맵’은 정부차원의 핵심기술 육성을 위한 기술전략 및 투자계획 수립을 목적으로 하므로 본 연구의 기술 활용수준 진단을 위한 기술분류와는 분류의 목적과 접근방법이 상이할 수밖에 없으며, 새로운 분류기준 마련이 적합함.

 - 건설사업 생애주기 단계별 중점 분야를 설정하고, 이를 토대로 기술개발 대상을 설정, 분류하였기에 <표 6>의 단계별 핵심 개발기술을 실질적으로 기술분류체계로 보기에 는 무리가 있음.
 - 또한 ‘스마트 건설기술 로드맵’은 다양한 스마트 건설기술의 영역 중 중점분야를 설정하고, 응용기술 형태의 핵심 육성기술을 제시하였으므로 산업 차원의 스마트 건설기술 활용수준 진단을 위한 틀로서 활용하는 데에는 적합하지 않음.

- 한국건설기술연구원이 제안한 기술분류체계의 경우 세부 스마트 건설기술은 Level 1 (인프라), Level 2(건설단계) 분류에 종속되지 않는 구조로, 실질적으로 Cyber 및 Physical 기반, 그리고 플랫폼 기술의 3개 분야로 스마트 건설기술이 분류됨.

 - 스마트 건설기술의 적용 가능성을 특정 건설상품이나 생애주기 일부 영역으로 한정하지 않는 동시에 동일한 기술이라도 시설물 및 건설단계에 따라 다르게 적용될 수 있음을 시사함. Level 3의 분류는 개별 스마트 건설기술의 기술유형(속성)에 따라 분류한 것으로 볼 수 있음.

- 건설기업들의 스마트 건설기술 활용수준 진단을 목적으로 하는 기술 분류체계는 개별 기술의 유형보다는 기술 도입의 목적 및 기대효과(디지털화, 자동화, 탈현장화 등)를 기준으로 하여 스마트 건설기술 도입 목적 및 효과를 파악하는 것이 바람직함.

 - 대부분의 스마트 건설기술이 기존 건설기술과 첨단기술과의 융합을 통해 개발된 만큼, 기술 적용이 특정 건설상품이나 공종에 국한될 필요성은 낮으며, 반면 건설사업 생애주기에 대한 고려를 통해 스마트 건설기술 적용이 활발한 생애주기를 판단하는 데에 활용할 필요가 있음.

(2) 스마트 건설기술 분류체계(안)

- 스마트 건설기술 분류체계는 기술의 다양한 활용 범위에 따른 특성을 반영해야 할 뿐만 아니라 기술분류체계가 갖는 본래의 기능을 포함해 구축될 필요가 있음.

 - 기술 파악 및 추적 : 첨단기술의 지속적인 발전이 곧 곧 스마트 건설기술의 변화로도 이어진다는 점을 고려하면, 최신 동향과 기술을 파악하고 추적하는 것이 필요함.
 - 기술 공유 및 협력 : 스마트 건설기술 분류체계를 통해 건설기업, 연구기관, 정부 기관 등 산업의 이해관계자들의 기술정보 취득 및 경험 공유에 활용될 수 있음. 이는 스마트 건설 분야에서의 협력과 네트워킹 촉진과 중복된 연구나 개발을 방지하고 효율적인 자원 활용을 도모할 수 있음.

- 정부 정책 지원 : 스마트 건설 분야 발전의 촉진을 위해서는 다양한 지원정책의 수립과 시행이 필요함. 스마트 건설기술 분류체계 활용을 통해 정부의 관련 정책 수립과 실행에 활용될 수 있음.

■ 건설 생산방식 및 정부의 스마트 건설기술 정책과의 연계성을 고려하여 분류체계에 건설사업 수행단계에 따른 구분이 필요함.

- 계획·설계단계, 시공단계, 운영 및 유지단계로 구분하여 기술의 적용단계를 명확히 할 필요가 있음.

■ 다양한 스마트 건설기술은 건설사업의 계획 및 설계, 시공, 운영 단계에 걸쳐 활용되고 있음. 이처럼 생애주기 여러 단계에 걸쳐 적용되는 한편, 건설 생산방식의 디지털화, 자동화, 탈현장화를 촉진하는 기술로도 활용되는 점을 반영할 필요가 있음.

- 건설정보모델링(Building Information Modeling, BIM)의 경우 계획 및 설계단계에서부터 유지운영 단계에 활용되고 있으며 탈현장화, 자동화, 디지털화를 위한 기술이기도 함.

■ 따라서 건설사업의 수행단계에 따른 구분 외에도 스마트 건설기술이 건설생산시스템 혁신에 미치는 특성의 고려가 가능하도록 디지털화, 자동화, 탈현장화로 그 영역을 구분하는 방안을 제안하고자 하며, 목적물에 따른 구분은 설정하지 않음.

- 또한 많은 스마트 건설기술 및 장비가 현장의 안전성 및 품질 향상을 위해 개발·도입되고 있는 점을 고려하여 ‘안전·품질 향상’을 네 번째 영역으로 설정하고자 함.
- 기존 건설분야 기술분류체계 중 일부는 목적물(건축, 토목, 플랜트 등)에 따른 기술분류를 택하고 있으며, 한국건설기술연구원의 스마트 건설기술 분류체계의 Level 1은 인프라 종류로 설정되어 있음. 또한 일부 스마트 건설기술의 경우 목적물 유형에 따라 적용되는 방식 등에 차이가 있을 수 있음.
- 그러나 목적물에 따라 적용되는 스마트 건설기술 본질이 크게 달라지는 것은 아니며, 목적물에 따른 동일한 스마트 건설기술의 확산 정도의 비교 등을 위해서도 분류기준에 목적물이 포함될 필요는 낮은 것으로 판단됨. 향후 스마트 건설기술의 확산으로 산업내 스마트 건설기술 성숙도가 높아질 경우 목적물에 따른 스마트 건설기술 분류를 반영할 수 있도록 분류체계를 확장하는 것이 적합함.

■ 이에 따라 스마트 건설기술 분류체계는 <표 8>과 같이 건설사업 수행단계 및 혁신 특성에 따라 2차원으로 구성되며, 각 영역에 해당되는 개별 기술은 단계 및 특성의 이니셜과 순번에 따라 코드를 부여하여 구분이 용이하도록 함.

- 수행단계의 구분은 계획·설계단계(Design), 시공단계(Construction), 운영 및 유지단계(Operation & Maintenance)의 이니셜인 D, C, O를 기술분류의 첫 번째 식별코드로 활용함.
- 혁신영역의 구분은 디지털화(Digitalization), 자동화(Automation), 탈현장화(Off-site Construction),

그리고 안전·품질향상(Safety and Quality Improvement)의 이니셜인 D, A, O, S를 기술분류의 두 번째 식별코드로 활용함.

❑ 분류체계에서 개별 스마트 건설기술은 상술한 식별코드에 숫자를 부여함으로써 기술의 식별 및 새로운 융합·신기술을 지속적으로 추가하여 관리할 수 있도록 구성하였으며, 다음과 같은 스마트 건설기술을 분류체계에 포함하였음.

- BIM : 자재·자원 정보 등 공사정보를 포함한 3차원 입체 모델로, 건설 전 단계에 걸쳐 디지털화된 정보를 통합 관리하는 기술
- 빅데이터 : 건설현장에서 수집 가능한 다양한 정보를 축적하여 현장의 위험도 예측, 다양한 종류의 대규모 데이터로부터 새로운 통찰이나 가치를 추출해내는 기술
- 드론 : 카메라, 레이저스캔 장치, 비파괴조사 장치, 센서 등과 결합하여 원격조종 또는 프로그램된 경로로 비행하는 무인비행장치
- 디지털 트윈 : 실제 현실공간 및 환경을 컴퓨터 가상공간 내에 동일하게 구축, 운영하는 기술
- 로보틱스 : 로봇에 관한 설계, 구조, 제어, 지능, 운용 등을 연구하는 공학분야
- 사물인터넷 : 사물에 센서가 부착되어 사물 간 실시간으로 데이터를 인터넷 등으로 주고받는 기술
- 스마트 센서 : 단순 감지에서 확장하여 인공지능, IoT 등과 결합하여 사전 예측, 상황 분석, 자체 학습 등이 가능한 센싱 기술
- 영상인식 : 영상데이터의 행동 및 상황 패턴을 기반으로 딥러닝 분석을 통해 현장 내 작업자 등 목표물을 찾거나 위험 상황의 조기감지 등과 같이 자체적으로 상황을 분석하는 기술
- 인공지능(AI) : 인간의 학습, 추론, 지각, 이해능력 등을 기계학습, 딥러닝과 같은 기술을 사용하여 알고리즘을 바탕으로 모방하는 기술
- 자율주행 : 사람의 조작 없이 건설장비가 스스로 운행하고 자율적으로 작업할 수 있도록 하는 기술
- 지능형(AI) CCTV : CCTV를 통해 수집된 영상데이터를 실시간으로 분석하여 작업자, 건설장비 및 기타 요인의 위험요소를 판별하여 사고 발생을 사전에 예방하는 기술
- 통합관제시스템 : 현장의 각종 스마트 장비에서 수집된 정보를 현장, 본부, 본사 단위에서 모니터링 하고, 수집된 정보와 AI·빅데이터 등 ICT와의 결합을 통해 건설현장의 사고위험 인지, 예측, 안전관리 정보의 DB화에 활용하는 기술
- 프리팹·모듈러 : 단위 부재 또는 여러 부재가 합쳐진 모듈 등 유닛을 공장에서 사전제작한 이후, 현장에서 조립하는 시공 방법
- VR·AR·MR : 현실 세계에 가상의 콘텐츠를 겹치거나 가상공간을 사용자가 체험하는 기술
- 3D 스캐닝 : 3차원 스캐너를 활용, 대상물의 형상정보를 취득하거나 디지털 정보로 전환하는 기술
- 3D 프린팅 : 사람의 개입 없이 3D 프린터가 알고리즘을 통해 기계방식으로 목적물을 만드는 기술

〈표 8〉 스마트 건설기술 활용수준 진단을 위한 스마트 건설기술 분류체계(안)

혁신 영역	계획·설계단계(D)	시공단계(C)	운영 및 유지단계(O)
디지털화(D)	DD001 BIM DD002 디지털 트윈 DD003 VR·AR·MR	CD001 BIM CD002 디지털 트윈 CD003 VR·AR·MR CD004 스마트 센서 CD005 사물인터넷	OD001 BIM OD002 디지털 트윈 OD003 스마트 센서 OD004 사물인터넷
자동화(A)	DA001 빅데이터·인공지능 DA002 드론 DA003 3D 스캐닝	CA001 빅데이터·인공지능 CA002 드론 CA003 3D 스캐닝 CA004 로봇틱스 CA005 영상인식 CA006 자율주행	OA001 빅데이터·인공지능 OA002 스마트 센서 OA003 로봇틱스
탈현장화(O)	DO000	CO001 프리팹·모듈러 CO002 3D 프린팅	OO000
안전·품질 향상(S)	DS000	CS001 지능형(AI) CCTV CS002 통합관제시스템 CS003 스마트 센서	OS000

■ BIM, 디지털 트윈, 빅데이터·인공지능 등 여러 단계에 적용이 가능한 기술이나, 스마트 센서와 같이 디지털화, 안전 향상 등 여러 혁신영역에 해당하는 기술은 각 영역에 중복 등록이 가능하도록 하여 기술의 적용단계 및 특성을 구별할 수 있도록 하였음.

- 동일한 기술이라도 이를 활용하는 기업 및 현장 여건에 따라 적용되는 양상은 상이할 수 있음. 일례로 BIM은 건설사업의 모든 단계에 적용이 가능하지만 설계 또는 시공 단계에서만 BIM을 활용하는 경우와 운영 및 유지단계까지 BIM을 활용하는 경우는 구분하여 볼 필요가 있음.
- 마찬가지로 스마트 센서 기술은 시공관리의 디지털화, 안전 향상, 운영 및 유지단계의 디지털화 등 다양한 영역에 활용될 수 있으므로 이를 구분하는 것이 기술 적용의 분야, 단계별 활성화 정도 등을 정확히 파악하는 데에 효과적일 것으로 판단됨.

3. 스마트 건설기술 분류체계의 한계와 향후 추진계획

■ 본고는 스마트 건설기술 적용 확산 방안을 위한 기초연구로, 건설산업의 스마트 건설기술 활용실태 진단을 목적으로 스마트 건설기술 분류체계를 제안하였음.

- 기존 건설분야 기술분류체계와 최근 스마트 건설기술 기술분류 사례 고찰을 토대로 건설기술 활용수준 진단에 적합한 기술분류체계를 도출하였음.

- 본 연구에서 제안한 분류체계는 스마트 건설기술의 적용을 사업수행 단계(계획·설계단계, 시공단계, 운영 및 유지단계)와 혁신영역(스마트 건설기술 적용의 목적 및 기대효과)을 기준으로 수립하였음.

■ 제안한 분류체계를 기반으로 건설기업 대상 심층인터뷰 및 설문조사 등을 통해 기술 활용수준 진단을 수행할 예정이며, 이 과정에서 영역별 기술의 추가를 포함한 분류체계의 보완이 이뤄질 것임.

- 본고에서 제안한 스마트 건설기술 분류체계는 국내 건설기업들의 단계별·영역별 스마트 건설기술의 활용 현황, 도입계획 등의 체계적 진단을 위한 틀로써 활용될 것이며, 이를 토대로 산업 차원의 경쟁력 진단 및 지원정책 수립의 기초자료 구축에 활용이 가능할 것임.

박희대(부연구위원·hpark@cerik.re.kr)

손태홍(건설기술·관리연구실장·thsohn@cerik.re.kr)