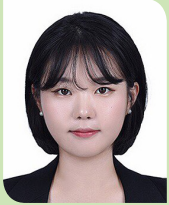


## 건설분야 탄소중립(Net-Zero) 정책 동향과 스마트건설기술의 역할



**전수진** 한국도로공사 스마트건설사업단 스마트인프라팀 연구원, jny5959@gmail.com  
**정종홍** 한국도로공사 스마트건설사업단 스마트인프라팀 팀장, jjhong@ex.co.kr

### 1. 들어가며

G7정상회담 이후 2050년까지 기후변화에 대처하고 탄소중립을 달성하는 것은 어느 때보다 중요한 이슈가 되고 있다. 1997년 ‘교토의정서’로 선진국을 대상으로 온실가스 저감의무를 채택한 이후, 기후 온난화로 인한 문제가 공론화되기 시작하였고, 2015년 UN이 SDGs (Sustainable Development Goals)를 발표하여 선진국과 개발도상국이 모두 참여하여 2030년까지 온실가스 저감을 목표로 하는 ‘파리협정’ 채택을 통해 지구온도 상승폭을 1.5°C 미만으로 제한하는 국제환경운동을 추진하게 되었다.

G7정상회담에서 2050년까지 온실가스 실질 배출량을 ‘0’으로 만드는 ‘Net-Zero’를 발표하여 기후변화문제에 대해 국제적인 아젠다로 삼고 정부 및 공공·민간기업 등이 참여하는 탄소 중립의 움직임이 가속화 되고 있다. 이러한 움직임에 건설분야에서는 어떠한 대응으로 탄소중립 문제를 해결해 나아가는지를 파악할 필요가 있음을 인식하게 된다.

국제에너지기구(IEA), 유엔환경계획(UNEP)에 따르면 건축물과 건설 산업은 전 세계 최종 에너지 소비의 35%를, 전 세계 에너지 관련 직·간접 탄소 배출량의 거의 40%를 차지하고 있다.

특히 건설부문의 이산화탄소 배출의 주된 요인을 화석연료 O&M으로 지목하며, 기존 건설방식에서 에너지 디지털화와 스마트건설기술을 접목한 심층적인 건설기술의 에너지 혁신이 필요하다.

본 고에서 인프라 건설에서 탄소중립 실현을 이끄는 주요국을 대상으로 관련 제도 및 지속 가능·에너지원 절감 추진 사례 등을 조사하고, 탄소중립을 위한 스마트건설기술의 역할

과 나아가야 할 방향에 대해 살펴보고자 한다.

### 2. 탄소중립과 스마트건설기술의 관계

국내 SOC 분야 탄소배출량 관련 연구 조사에 따르면, 도로 건설 사업에서 시공, 운영, 유지관리 등 전 과정의 탄소배출량 중 시공단계(건설자재 및 장비 포함)의 탄소배출량이 약 30%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다(곽인호 외 4, 2015). 시공단계에서 탄소저감 대책 마련이 시급한 것으로 파악되고 있고, 이를 위한 공법 및 도구적 대응방안을 찾을 필요가 있다.

현재 스마트건설기술 중에서 생산성 향상의 의미를 갖고 있는 범주는 공기 단축 및 비용 저감, 안전성 제고 등의 항목으로 디지털 전환을 통한 건설 전 주기의 효율성을 높이는 것으로 알려져 있지만, 이러한 생산성 범주의 확장은 환경적 측면의 탄소 저감에도 영향을 미칠 것으로 전망하고 있다.

일본건설업단체연합회(Nikkenren)에서 2014년 12월에 발표한 ‘저탄소 사회 온난화 대책’은 건설업계가 자체적으로 관리가능한 분야를 건설 시공단계로 거론한다. 여기서 시공 단계에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량 감축의 중요성을 강조하는 것을 알 수 있으며, 건설 시공단계의 저탄소화를 위한 대책으로 혁신기술개발(중장기 대응)분야의 ‘ICT를 활용한 시공의 효율화’를 도입하여 운용 중에 있다.

저탄소 대책 방안은 i-Construction 기술 적용 사례집 구성에도 반영하여 생산성 향상 보고란에 ‘CO<sub>2</sub> 절감’ 항목을 명시하고 있다.

국내에서 스마트건설기술 도입은 초기단계로 도입방안과 기술개발이 아직 진행 중에 있지만 시공 생산성 향상에

어 가장 효과적인 도구로 활용 될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

스마트건설기술을 지속적으로 확대 적용하고 있는 국의 사례를 살펴보고 여기에 탄소중립 관점에 입각한 기술 적용 사례를 중심으로 생산성과 탄소중립의 관계성을 연상하여 살펴보고자 한다.

### 3. 주요국의 건설부문 탄소중립 정책 방향

2020년 12월 유럽위원회(European Commission)는 유럽 그린뉴딜의 일환으로 '지속가능하고 스마트한 이동성 전략'을 발표하여 2050년까지 운송 관련 온실가스 배출량을 90%까지 줄이기 위한 단계별 목표를 설정했다.

건설장비에 의한 배기가스, 소음, 전자파 등 환경요인 부각되면서 친환경 장비와 기술은 선택이 아닌 필수가 되었다. 일본은 '성장전략회의'를 통해 2050년 탄소중립 목표 달성을 위한 녹색성장 전략을 제시했고, 중국 칭화대 역시 2060년까지 중국의 탄소중립 목표 달성을 위한 로드맵을 제시했다.

표 1. 주요국 탄소중립 분야 투자계획 : 건설부문

국가별	비전	주요내용	건설분야 투자계획
	탈탄소경제를 향한 심층 탄소 중립(Net Zero) 경제 추구	· 바이든 대통령 당선자 4년간 2조달러규모 인프라 투자 계획 공약	도로기반시설
	2050년까지 EU회원국들의 탄소 배출량 제로	· 21~27년 약 1조 8천억 유로 중기 예산안의 30%를 기후변화 대책에 사용 계획 · 순환경제 도입, 건물에너지 효율 강화, 성능 규제 강화	BIM플랫폼
	청정성장을 위한 도약	· 녹색투자기금활성화 · 에너지생산성 및 효율성 강화 · 자연자원가치 증대 · 공공부문주도적 참여	BIM표준화 및 플랫폼 / dFMA
	금세기 중반까지 탄소 중립 달성	· 2020년 6월 500유로 경기부양책 중 전기차 보조금 등 친환경 대책에 사용 계획	-
	2050년까지 야심찬 저탄소 사회 추구	· 전력화전환 및 연료제조 전 과정에서 탄소배출감축 전략 제시	ICT건설기술, 업무서류 DX

### 3.1. 영국

영국 고속도로청(National Highways)은 2020년 8월, 2020-2025년 도로투자 전략 'RIS2 (Road Investment Strategy)'를 통해 고속도로 전략 사업계획을 내놓았다. 그 중 탄소중립 대책과 관련된 사업계획을 2021년 8월 「Digital Roads」 수립을 통해 그 이행계획을 갱신했다.

영국 「Digital Roads」의 핵심 테마는 크게 3가지로 ①디지털 설계 및 시공, ②디지털 운영(자산운영 및 유지보수), ③고객을 위한 디지털화(이용자 중심 교통안전) 등 영국 고속도로 인프라 전반에 걸쳐 디지털 전환 도로투자 기간을 2025년까지 적용하며, 현재 RIS3('25-'30년)에 대한 비전 및 접근방식을 계획 중에 있다.

영국 정부는 자동화된 디지털 설계, 표준화된 제품 및 방법론을 기반시설 제공에 포함시키기 위해 노력하고 있으며 세부적인 계획을 살펴보면 다음과 같다.

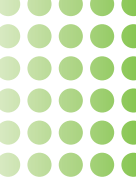
표 2. Digital Road 2025 : 설계 및 시공 분야 계획

연도별	전략 및 이행계획
2020	· 자동화 설계도구 및 반자동화 플랫폼 시연을 위한 테스트
2021	· 공사 현장 디지털시스템 및 데이터 활용을 위한 표준화 지침 및 교육 발행
2022	· 기계이용 증가 및 표준화된 라이브러리 디지털 설계가 가능한 설계 워크플로우로 통합
2023	· 신속한 엔지니어링 모델링(REM)의 이용 - (기대효과) 신규 사업의 초기 설계단계 기간 약 50% 이상 절감
2024	· 기계학습을 통한 원가예산 및 공기 추정 등 자동화된 건설관리 시스템
2025	· 자동화·모듈화된 OSC 사업 확대 추진

친환경적인 시공 및 유지관리를 위해 2025년까지 표준화를 통한 설계 라이브러리, 디지털 설계 및 모듈식 건설기술을 최대 50%까지 끌어올리고 2030년까지 공사일정 및 건설관리의 효율화를 위해 설계 및 공법, 기술 등 디지털화를 통해 예정공정을 최대 50% 줄이는 것으로 계획하고 있다.

2025년 목표에서는 모듈화 및 표준화된 라이브러리 설계방식을 통해 OSC 제작을 늘이는 방식으로 공기단축, 폐기물 감소 및 탄소배출을 최소화하는 방향을 모색했다.

영국 고속도로청은 설계도구 개선을 위해 영국 고속도로 SMP (Smart Motorways Program)의 설계프로세스를 자동화하는 디지털 워크플로우를 개발하였다. 이는 'REM (Rapid Engineering Model)'으로 영국 고속도로 설계 및 건설 관리 도구의 디지털 통합 플랫폼이며, 공사 항목의 세부사항의



차이에도 프로세스의 반복적인 특성을 최적화하여 공정 및 항목, 작업 계획의 자동산출이 가능하게 된다.

REM은 도로 및 교량에 대한 설계 매뉴얼을 기반으로 자동화된 매개변수 기반 설계를 지원하는 규칙 엔진으로 인코딩되는 방식으로 구동된다. 생성된 규칙은 분석, 평가 및 최적화된 레이아웃을 판별하는 마스터 데이터 셋(기준데이터 관리시스템)을 제공한다.

이는 디지털 트윈 기반 통합방식의 설계 요구사항 및 기준 데이터 입력으로 도로 설계의 품질을 높이는데 초점을 뒀다. 개발된 11개 항목의 워크플로우 활용하는 시범운영을 계획했고 실증을 통해 계획단계에서 운영체계를 생성하는데 기존 약 9개월에서 몇 주로 크게 단축되었다.

또한, 영국 고속도로청은 REM과 동시에 드론을 통해 네트 워크 3D지도를 구축했다. 최근 'M25' 고속도로 연장 193km를 대상으로 30일간 250억 개의 포인트 클라우드 데이터와 85,000개의 고해상도 이미지를 촬영하여 디지털 맵을 제작했다. 이러한 매핑을 거친 3D모델 플랫폼은 도로선형3D모델을 형성하고, 건설 현장에서 발생하는 데이터를 현장 참여자들이 실시간으로 공유할 수 있도록 했다.

영국은 이러한 방식의 데이터 공유가 탄소배출량을 줄이는데 도움이 될 것으로 관측하고 있다.

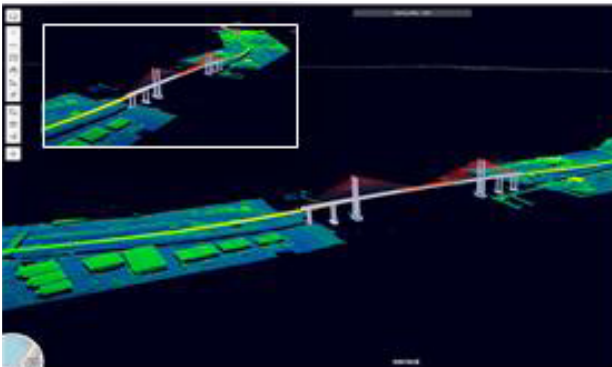


그림 1. 영국 'M25 고속도로'의 데이터 시각화 모델

### 3.2. 미국

미국의 연방도로청(FHWA)은 'EDC (Everyday Counts)' 프로그램을 통해 AASHTO 및 고속도로 혁신기술 가속화를 목표로 개발기술시스템을 도입했다. 이 프로그램은 2년 주기의 중단기 프로그램으로 운영되어 연방주별로 진행수준이 다르게 계획 되어진다.

지속가능한 환경을 조성하고 발굴한 콘텐츠를 DOT별로 둘러싸며 계획수립이 종료될 때까지 35개 주에서 디지털 기술 적용을 제도화하였다.

특히 다음 단계 목표가 달성되고 정착될 때 까지 지속적으로 평가 및 테스트 등의 모니터링을 실시하고 있다.

그 중 EDC-3단계('15-'16년)에서 e-Construction을 채택하여 '전자발권 시스템(e-Ticketing)'의 전면 도입을 실시하였다. 이는 전자발권을 통해 건설 계약서의 수집, 검토, 승인 및 배포 등 종이 없는(paperless) 문서환경을 조성하고 이를 위해 즉시 사용 가능한 디바이스를 모색하는데 주안을 뒀다. 전자발권 시스템은 화물 배송 데이터를 전자수집하고 문서화 할 뿐만 아니라 공사 점검 및 관제를 위한 프로세스를 포함하고 있다.

이는 GPS/GIS 융합 시스템을 기반으로 아스팔트 및 콘크리트 포장, 콘크리트 구조물, 토공, 성적서 집계 등 현장 공무 데이터와 자재 품질속성의 상세 데이터를 포함한 건설 디지털 납품 플랫폼이다.

이 플랫폼을 통해 제반 데이터의 통합 관리와 납품 프로세스를 자동화할 수 있다.

전자발권 시범사업으로 'Earth Wave Technologies'와 협력하여 포장 기계 및 운반선 등 대부분의 장비에 GPS 추적 장치를 설치했다. <그림2>와 같이 웹기반 시스템을 통해 모든 장비의 위치추적이 가능해진다.

검사관과 계약자 직원은 배포된 GIS 매핑 시스템을 통해 티켓 번호, 날짜·시간, 자재명, 누적 물량, 덤프트럭 위치 등 상세 속성정보를 모바일 뷰어로 실시간 관제하게 된다. 이러한 정보는 모바일 장치를 이용한 멀티태스킹 기능으로 입체적인 감독 검토 진행의 효율성을 높인다.

연방도로청은 2021년에 'National e-Ticketing Task Force' 출범을 통해 본격적으로 유지관리를 위한 노력에 힘을 실었다. 이 조직은 공공·민간 기관이 거버넌스 협력체계를 갖춰 디지털 개혁에 직접 기여하는 방식으로 운영하며, 이러한 운영체계는 미국 인프라 건설의 최초 사례로 꼽힌다.

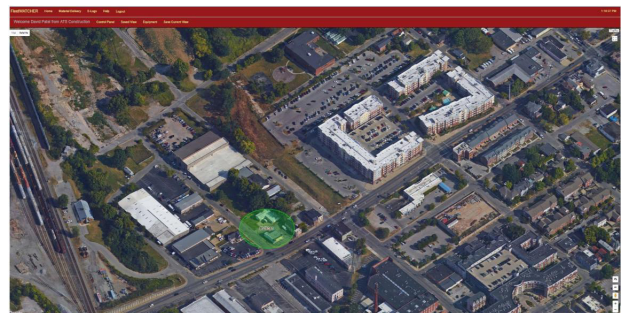


그림 2. 모바일 맵 영역 (FleetWatcher)

### 3.3. 일본

2020년 10월, 일본 정부는 '2050년 탄소중립, 탈탄소사회의 실현' 선언을 통해 예산 2조엔 규모의 그린 이노베이션 기금, 연구개발을 우대하는 세제 등의 시정대책을 마련하여 기업과 협력하기 위한 협의체를 추진하고 있다.

2021년 9월에는 '디지털청(廳)' 발족하여, 코로나 바이러스 확산으로 인한 문제점을 보완하고자 실질적인 데이터 활용 및 디지털 사회 이행을 위한 향후 5년간 필요한 인프라 정비 구축 사업을 목표로 하였다.

디지털청의 창설 배경에는 디지털 트윈에 융합시켜 경제발전과 사회적 과제 해결을 양립하는 'Society5.0'이라는 비전이 전제되어 있다.

이를 위해 건설업, 제조업 등 ICT기술 활용 산업 분야의 데이터 통합 및 상호교환이 가능한 연계방안을 마련하였다. 또, 업무의 디지털 전환 및 데이터 취급 및 사이버 보안 등 안전성과 중앙집권적 단일화된 데이터 저장소로 효율성 향상 및 탈탄소화 사회 실현을 위한 여러 가지 방안을 추진하고 있다.

국토교통성에서도 건설 분야의 도로, 철도, 댐 등의 인프라 중심의 탄소중립 실현을 위한 ICT 시공 및 혁신 건설기계 도입 확대 방안이 논의되었다.

현재 국토교통성이 주도하는 '건설업 생산성 혁신 정책(i-Construction, 2016)'에도 탄소저감에 기여할 수 있도록 목표치를 설정하고, 탄소배출량 효율성 부문을 포함하고 있다. 이는 혁신기술개발 분야의 IoT 디지털 기술을 도입하는 방식으로 생산성 제고에 에너지 절약화를 일부 반영한 것이다.

최근 국토교통성에서 ICT 개발기술을 적용한 시공 사례를 소개하고, 생산성 향상 검증을 위한 실효성 검증 지표를 나타낸 기술사례집을 배포했다. 사례집에는 생산성 향상 효과 지표 항목 중 'CO<sub>2</sub> 감소량'에 대한 부분이 포함되어 개발기

표 3. MC장비 적용 전/후 연료 소비량 비교(CO<sub>2</sub> 배출량)

항목	(MC) 모터 그레이더	(MG) 백호
적용 전	5.3L/100m <sup>3</sup> × 18,600m <sup>3</sup> = 986L	27.5L/100m <sup>3</sup> × 69,500m <sup>3</sup> = 19,113L
적용 후	3.2L/100m <sup>3</sup> × 18,600m <sup>3</sup> = 595L	23.9L/100m <sup>3</sup> × 69,500m <sup>3</sup> = 16,611L
CO <sub>2</sub> 감소량	(986-595)L × 2.62kg-CO <sub>2</sub> /L = ▲1,024kg-CO <sub>2</sub>	(19,113-16,611)L × 2.62kg-CO <sub>2</sub> /L = ▲6,555kg-CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 배출 계수	(경유) 2.62kg-CO <sub>2</sub> /L	

※ 출처: 국토교통성

술의 CO<sub>2</sub> 삭감량의 산식과 결과를 제시하였다. 특히 MC장비, 전자태블릿 적용사례를 일부 소개하고 있다.

머신 컨트롤러(MC) 모터 그레이더를 이용한 노반공을 통해 시공 효율 향상 및 시간 단축에 의한 탄소 절감 효과는 다음과 같다(표 3).

또 <표 4>는 공사현장에 '태블릿PC 단말기 배포에 의한 페이퍼리스화'에 대한 비교 데이터로 이산화탄소 배출 감소 효과를 나타내고 있다.

태블릿PC 단말기 적용 시 기술개요에서 도면 및 현장 모니터링, 작업자 교육 등 건설현장 데이터를 활용한 업무 항목이 기술되어 있다. 그 중, 인쇄 비용으로 인한 탄소배출 저감 효과를 제시하였다. 게다가 현장 사무실과 도로본부 사무소와의 원활한 정보 공유가 가능하여 운반의 수고 경감의 효과도 창출할 수 있었다.

표 4. 태블릿 보급 적용 전/후 연료 소비량 비교(CO<sub>2</sub> 배출량)

항목	태블릿 보급으로 인한 페이퍼리스화
적용 전	5,000장 × 4g ÷ 106 × 1,270.47kg-CO <sub>2</sub> /t = 25kg-CO <sub>2</sub>
적용 후	0
CO <sub>2</sub> 감소량	▲ 25kg-CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 배출 계수	(양지) 1,270.47 kg-CO <sub>2</sub> /t

※ 출처: 국토교통성

여기에 건설산업 분야의 CO<sub>2</sub> 배출량의 1.4%를 차지하는 건설기계 분야의 중소건설업체 대상으로 ICT 시공을 지원하는 계획을 수립하였다.

이러한 지원이 이루어지면 향후 전기, 수소, 바이오 등 친환경 혁신 건설기계의 사용원칙을 확립하여 순차적으로 지원 확대가 이루어질 예정이다.



그림 3. ICT시공 현황 (3차원 데이터를 중장비로 출력)

국토교통성은 2022년 1월 '과학기술기본계획', '사회자본중점대비계획', '교통정책기본계획' 등 관련 계획을 근거로 기술정책의 기본방향을 제시하고 기술 연구개발 추진 항목에 관한 세부계획을 공표하였다.

그 중 새로운 트렌드로서 '디지털 혁명의 가속·DX추진',





‘2050 탄소중립 실현을 향한 움직임’ 등 항목을 계획방침에 추가하였다.

표 5. 차기 기술 기본 계획의 목차 구성(안)

기본방침	연구개발 방향
디지털 전환	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 디지털화·스마트화에 의한 업무방식 개혁, 생산성 향상을 위한 기술 연구 개발</li> <li>· AI 등 신기술적용에 의한 신가치 창출로 이어지는 기술연구개발</li> <li>· 사회자본의 정비 유지 관리 등 디지털화 스마트화를 향한 기술연구 개발</li> </ul>
탈탄소화·인프라 공간의 다중적인 활용에 의한 생활의 질 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 그린 사회의 실현을 향한 기술연구개발</li> <li>· 지속가능한 도시 및 지역을 위한 사회기반 실현</li> </ul>

## 4. 스마트건설기술 기반의 탄소중립 추진사례

### 4.1. 발주기관

한국도로공사(이하 도공)은 ‘2050 탄소중립 정책’을 뒷받침하는 저탄소 고속도로 설계 실행계획을 수립하고, 향후 스마트건설기술을 고속도로 설계에도 일부 도입할 예정이다. 여기에는 BIM, 프리랩 도입, 설계단계 저탄소 총량 관리방안, 저탄소 기술개발 및 설계 반영 방안 등 세부 계획이 포함되어 있다.

종이도면 절감, 탄소 저감에도 기여할 것으로 판단되는 BIM은 도공이 전면 BIM을 도입하였고 토지, 철도, 댐 등 공공사업에서도 BIM 설계가 확대되고 있다. ‘BIM S/W 간 데이터 교환과 협업을 위한 플랫폼 개발’ 사업도 예정되어 있어 BIM 환경 구축에 기여할 것으로 판단된다.

또한 대표적인 스마트건설기술인 프리랩 기술은 공사현장에서 공기를 단축시키고, 탄소배출을 크게 줄일 수 있어 기후변화 대응 솔루션으로 주목받고 있다. 교량 바닥판, 가로보 등으로 적용 범위 확대, 대가 기준 등 제도보완, 상부구조 일괄가설 등 연구개발 등을 통해 프리랩 도입 확대할 예정이다. 향후에도 스마트건설기술은 탄소중립 트렌드를 이끄는 주요 키워드가 될 것이다.

### 4.2. 기업

‘저탄소 녹색성장 기본법’에 의거한 ‘온실가스·에너지 목표관리제’의 일환으로 온실가스·에너지 감축을 위해 현대, GS, 대우건설 등 3개사는 올해 온실가스·에너지 15,005t CO<sub>2</sub>eq를 감축하기로 하였으며, 그 외 다수 기업이 자발적으로 감

축에 동참하여 건설 분야의 저탄소 사회 구조를 구축하는데 참여하고 있다.

건설기계는 친환경 정책의 핵심 대상으로 전체 차량의 약 2% 수준으로 차지하지만 관련 CO<sub>2</sub> 배출량은 전체 운송 배출량의 약 22%가량 차지하고 있다.

올해 개최된 ‘CES 2022’에서도 전기 굴착기와 수소연료전지 건설장비 부문이 트렌드 이슈로 떠올랐다. 현대건설기계 등은 지능형 로봇틱스와 관련 플랫폼 서비스를 ‘25년도까지 상용화할 예정이다.

‘두산밥캣’은 건설 중장비에서 기존 내연기관과 유압 시스템을 모두 없애고, 완전 전동식의 콤팩트 트랙로더 ‘T7X’를 시연하는 등 친환경 건설 산업 솔루션을 선보였다.

특히, 리튬이온 배터리가 주요 대체 에너지원으로 활용될 것을 전망하면서 안전성 및 비용적 측면에서의 강점을 알린 바 있다. 배터리 교체가 필요 없고 충전 중 수소가스가 방출되지 않아 폭발 및 화재의 위험 노출이 낮아 현장사고를 예방할 수 있는 이점이 있다고 보고 있다.

또한, 기존 디젤엔진에 비해 훨씬 친환경적이고, 주기적인 배터리액 점검 및 오일 교환 등이 불필요하여 사후관리에 용이한 것으로 나타나며, 에너지 시장에서도 급성장할 것을 전망했다. 이러한 흐름은 미래 에너지 시장의 반도체, 전기 배터리의 발전과 전기차 보급화에 힘입어 건설 중장비에도 영향을 미치게 되었으며, 지속 가능한 친환경 제품시장에 발맞춰 차세대 에너지 건설장비로 글로벌 스탠다드의 장벽을 진입할 수 있는 요소로 거듭날 수 있을 것이다.

## 5. 맺음말

그 동안 스마트건설기술은 건설 생산성 향상, 공기단축, 안정성 등 효율성 관점에서 이해되어 왔다. 최근 주요국의 탄소중립 정책을 살펴보면 건설분야 탄소중립 비전과 투자계획은 상당 부분이 BIM, DfMA, ICT건설 등 스마트건설기술에 대한 투자라는 점을 알 수 있다.

이를 통해 스마트건설기술이 건설분야에서 에너지 절감 및 탄소배출량 저감 등 친환경 관점에서도 중요한 역할을 하고 있는 것을 파악하였다. 스마트건설기술의 보급과 확대는 건설산업의 생산성 향상과 이 분야에서 탄소중립에 기여하는 일석이조의 효과를 기대할 수 있다는 단초를 확인하였다.

스마트건설기술은 첨단기술을 이용한 생산성 향상이라는 기존의 관점에서 나아가 탄소배출 및 에너지 저감 등과 같

은 친환경 이슈를 접목한 관점에서 이해한다면 친환경 기술이라는 새로운 가치를 부여할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. BMVI(2015), 「Road Map for Digital Design and Construction」
2. KTC(2019), 「e-Tickets and Advanced Technologies for Efficient Construction Inspections」
3. Osborne 보도자료(2020), 「Digital Twin -Digitisation of the M25」
4. IEA(2021), 「World Energy Investment 2021」
5. National highways(2021), 「Digital Roads - Safer construction and operations - Faster delivery - Better customer experience」
6. FleetWatcher(2022)보도자료, <https://www.earthwavetech.com/e-ticketing-with-fleetwatcher>
7. 국토교통부(2020), 「i-Construction의取組事例」
8. 日建連(2022), 「建設施工段階のCO<sub>2</sub>排出量について」
9. 한국도로공사(2021), 건설본부 「2022년 업무계획」
10. 현대건설(2021), HCE Issue 「Prepare for a New Era! 2021 Construction Equipment Industry Outlook」

### 감사의 글

본고는 2022년도 정부(국토교통부)의 재원으로 한국도로공사 스마트 건설사업단의 지원을 받아 수행되었음. 12세부 '스마트 건설기술 종합 테스트베드 구축 및 운영기술 개발 핵심기술요소(CTE) 중 '스마트 건설 기술 제도 개선 및 실용화 기반 조성'을 위한 기초연구임 (No.20SMIP-A157407-01).