

건설동향

BRIEF_{ing}

• 국제 표준(ISO) 기반 건설 로봇 안전 기준 현황 및 시사점

- 건설 로봇 및 자동화 기계·장비의 개발부터 현장 실증까지 안전·성능에 관한 국제 표준(ISO) 운영 中
- 비정형 건설 현장 안전성 확보를 위한 설계·전자파·사각지대·HW/SW 제어·협동 안전 등에 관한 국제 표준(ISO) 기술 기준 및 원칙 고도화 지속
- 건설 로봇 및 자동화 기계·장비의 산업 안착을 위한 국제 표준(ISO) 기반 한국산업표준(KS) 고도화 및 현장 통합형 안전 기준 수립 필요

• 싱가포르 건설산업 로봇&자동화 동향과 시사점

- 심각한 생산성 정체에 빠진 글로벌 건설산업
- 싱가포르의 로봇 활용&자동화 현황과 시사점
- 싱가포르 사례의 평가와 전망



국제 표준(ISO) 기반 건설 로봇 안전 기준 현황 및 시사점

- 건설 로봇 현장 안전 확보를 위한 ISO 기반 한국산업표준(KS) 고도화 및 현장 통합형 안전 기준 수립 -

이광표 (연구위원 · leekp@cerik.re.kr)

건설 로봇 및 자동화 기계·장비의 개발부터 현장 실증까지 안전·성능에 관한 국제 표준(ISO) 운영 中

- 정부(국토교통부)는 건설산업이 직면한 생산인구 감소와 고령화, 숙련인력 부족 및 신규 인력 감소 등의 한계에 대응하는 한편, 위험 공정의 무인화·자동화, 상시 안전 모니터링 강화 등을 통해 품질·안전을 확보하고 산업 생산성 향상과 공사기간 단축을 위한 대표적인 스마트 건설기술로 산업 현장 내 건설 로봇 도입을 추진하고 있음.¹⁾
 - 최근 빠르게 발전한 인공지능(AI)은 로봇, 건설기계·장비 등 물리적 하드웨어에 자율적인 인지·판단·제어 능력을 결합한 ‘피지컬 AI(Physical AI)’ 기술 발전을 주도하고 있으며, 비정형적이고 위험한 건설 현장의 무인화·지능화를 달성하기 위한 핵심 동력으로 급부상하고 있음.
 - 이에 따라 정부(국토교통부) 역시 지난 2025년과 2026년에 ‘건설 현장 다목적 고소작업을 위한 로봇 플랫폼 및 확장현실(eXtended Reality, XR) 기반 인간-로봇 협업 기술 개발’, ‘공동주택 건설생산성 확산을 위한 다용도-건설작업로봇 설계 및 통합관리 기술개발’ 연구개발(R&D) 사업을 발 빠르게 추진하였으며, 최근에는 산업 현장에서 로봇의 자율주행이나 원격 이동이 가능한 이동로봇의 원활한 운영을 위한 제도적 기반으로 「이동로봇의 안전한 이용 및 상용화 촉진을 위한 특별법안」을 추진하고 있음.²⁾
- 다만, 기술 개발 초창기 특성상 아직 우리 산업 내 로봇의 현장 도입 및 운용을 위한 체계적인 제도적 기반은 미흡한 상황이며, 빠른 건설 로봇 발전 속도를 고려할 때 향후 현장 도입 활성화 및 산업 확산 가속화를 위한 제도적 기반 및 지침·가이드라인 등의 마련이 선행되어야 할 것임.
 - 물론, 상술한 바와 같이 「이동로봇의 안전한 이용 및 상용화 촉진을 위한 특별법안」, 「산업안전보건법」

1) 국토교통부(2018), “스마트 건설기술 로드맵”; 국토교통부(2022), “스마트 건설 활성화 방안”; 국토교통부(2023), “제7차 건설기술 진흥 기본계획”.

2) 국토교통부(2026.8.12.), “국토부, 로봇 상용화의 이정표 마련”, 보도자료.

일부개정법률안³⁾ 등 건설 로봇의 확산을 위한 법제화 노력이 경주되고 있으나, 아직 산발적인 입법안 발의 및 의견 수렴 등 과정에 머무르고 있는 상황으로 구체적인 대안 마련 및 계속적 검토가 수행되어야 할 것임.

● 한편, 건설 로봇 도입을 가속화하기 위해서는 무엇보다 현장과 같이 비정형적 환경 내에서 인간과 로봇이 공존하여 작업을 수행함에 따른 ‘현장 안전성 확보’가 전제되어야 함.

- 건설 현장은 정형화된 공장 환경과 달리 지형, 기후 요인, 가설 자재 적치 등 작업 조건이 실시간으로 변하는 고위험·비정형 환경으로 이해할 수 있으며, 로봇 센서 오작동, 통신 음영 등으로 인한 예측 불가능한 안전 위험이 존재함.
- 또한, 다수의 근로자와 자율주행 건설 로봇 또는 이동형 중장비가 동일 공간 내 혼재하여 작업하는 특성상, 충돌·협착 등 위험 요인에 대한 철저한 방지 대책 없이는 현장 근로자의 안전 저해는 물론, 기술 수용성 저하로 이어질 수 있음.

● 이에 본 고에서는 국제 표준화 기구(International Organization for Standardization, 이하 ISO)⁴⁾에서 선제적으로 정립하고 있는 건설 로봇 안전에 관한 규정 및 기준을 검토하여 건설 로봇 현장 확산을 위한 제도적 기반 및 방안 마련의 기초 자료로 활용하고자 함.

- ISO에서 정하고 있는 건설 로봇 및 자동화 기계·장비 등에 관한 규정은 대상 범위와 목적에 따라 크게 ‘Part I. 로봇 및 장비·시스템’과 ‘Part II. 산업 현장 도입·운용’으로 구분할 수 있으며, 본 고에서는 ‘Part I’에 해당하는 세부 규정과 기준을 우선적으로 살펴보고 시사점을 도출하고자 함.
- 참고로 ‘Part II. 산업 현장 도입·운용’에 대한 주요 규정 및 기준은 후속편을 통해 살펴볼 예정임.

〈표 1〉 건설 로봇 및 자동화 기계·장비에 관한 국제 표준(ISO)

단계	목적	ISO 규격 번호	ISO 규격명
Part I. 로봇 및 장비·시스템 개발	기본 안전 설계 및 기계·전자적 신뢰성	ISO 12100 (2010)	기계 안전 - 설계 일반원칙 - 위험성 평가와 위험성 감소 (Safety of machinery - General Principles for design - Risk assessment and risk reduction)
		ISO 13766 (시리즈, 2018)	토공 기계 및 건설기계 - 내부 전원 공급장치가 있는 장비의 전자기파 적합성(EMC) (Earth-moving and building construction machinery - Electromagnetic compatibility(EMC) of machines with internal electrical power supply)
		ISO 20500 (시리즈, 2026)	이동식 도로 건설기계 - 안전 (Mobile road construction machinery - Safety)

3) 고등진의원 외(2026.8.28.), 「산업안전보건법」 일부개정법률안, 의안번호 제20883호.

4) 국제 표준화 기구(ISO)란 국제 표준을 제정하는 역할을 담당하기 위해 1947년 발족된 비정부기관으로 상품 및 서비스의 국제적 교환을 촉진하고, 지적·과학적·경제적 활동 분야에서의 협력 증진을 위한 세계의 표준화 및 관련 활동을 수행함. 표준특허포털 홈페이지, <biz.kista.re.kr>, 검색일 : 2026.9.1.

〈표 1〉 건설 로봇 및 자동화 기계·장비에 관한 국제 표준(ISO) -(계속)

단계	목적	ISO 규격 번호	ISO 규격명
Part I. 로봇 및 장비·시스템 개발 (계속)	지능형 자동 제어 및 고장 시 안전 정지	ISO 19014 (시리즈, 2018~2022)	토공 기계 - 기능 안전 (Earth-moving machinery - Functional safety)
		ISO 15817 (2012)	토공 기계 - 원격 자동 제어에 대한 안전 요구 사항 (Earth-moving machinery - Safety requirements for remote operator control systems)
	시공 로봇 팔 및 착용형 슈트 안전	ISO 10218 (ISO/TS 15066 통합) (시리즈, 2025)	로봇 - 안전 요구 사항 (Robotics - Safety requirements)
		ISO 13482 (2014)	로봇 및 로봇 장치 - 개인 지원 로봇 안전 요구 사항 (Robots and robotic devices - Safety requirements for personal care robots)
Part II. 현장 도입·운영	장애물 감지 및 자동 충돌 방지	ISO 5006 (2017)	토공 기계 - 조종사의 시야 - 시험방법 및 성능 기준 (Earth-moving machinery - Operator's field of view - Test method and performance criteria)
		ISO 16001 (2017)	토공 기계 - 물체 감지 시스템과 시야 보조 장치 - 성능 요구 사항 및 시험 (Earth-moving machinery - Object detection systems and visibility aids - Performance requirements and tests)
		ISO 21815 (시리즈, 2021~2023)	토공 기계 - 충돌 경고 및 회피 (Earth-moving machinery - Collision warning and avoidance)
	무인 자율주행 및 현장 원격 관제	ISO 17757 (2019)	토공 기계 및 광산 기계 - 자율 및 반자율 장비 시스템의 안전 (Earth-moving machinery and mining - Autonomous and semi-autonomous machine system safety)
		ISO 15143 (시리즈, 2010, 2020, 2025)	토공 기계 및 이동식 도로 건설기계 - 작업장 데이터 교환 (Earth-moving machinery and mobile road construction machinery - Worksite data exchange)
		ISO 23725 (2024)	자율주행 시스템 및 군집 관제 시스템 간 상호운용성 (Autonomous system and fleet management system interoperability)
	자동화 시공 및 자재 운반 로봇	ISO 3691-4 (2023)	산업용 트럭 - 안전 요구사항 및 검증 (무인 산업용 트럭 및 시스템) (Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 4: Driverless industrial trucks and their systems)
		ISO/ASTM 52939 (2023)	건설용 적층 제조 - 인증 원칙 - 구조 및 인프라 부재 (Additive manufacturing for construction - Qualification principles - Structural and infrastructure elements)
	성능 시험 및 현장 실증	ISO 9283 (1998)	산업용 로봇 - 성능 항목 및 시험방법 (Manipulating industrial robots - Performance criteria and related test methods)
		ISO 18646 (시리즈, 2016~2026)	로봇 - 서비스 로봇의 성능 기준 및 관련 시험방법 (Robotics - Performance criteria and related test methods for service robots)

비정형 건설 현장 안전성 확보를 위한 설계·전자파·사각지대·HW/SW 제어·협동 안전 등에 관한 국제 표준(ISO) 기술 기준 및 원칙 고도화 지속

- ‘Part 1. 로봇 및 장비·시스템 개발’에 관한 주요 ISO 규정은 환경 조건이 실시간으로 변화하는 건설 현장에 자율주행 건설기계, 원격 조종 장비, 산업용 로봇 및 서비스 로봇 등을 안전하게 도입하기 위한 기술 기준으로 크게 ‘기본 안전 설계 및 기계·전자적 신뢰성’, ‘지능형 자동 제어 및 고장 시 안전 정지’, ‘시공 로봇 팔 및 착용형 슈트 안전’으로 구분해 볼 수 있음.
- 예를 들어, 장비 설계에 관한 기본 규격인 ISO 12100에서 제시한 3단계 위험 감소 프로세스에 따라 설계 단계부터 위험 요인을 제거해야 하며, 컴퓨터 제어 장치 결함으로 인한 사고를 방지하기 위해 ISO 19014(Part 1~5) 기준에 부합하도록 하드웨어 안전 설계, 환경 내구성 시험, 프로그램 오류 검증 등을 수행함.
- 이와 함께 고압 송전선 및 현장 무전기 등 복합 전파 간섭이 상존하는 작업 환경을 고려하여 ISO 13766-2 기반의 강화된 전자기 내성을 확보함으로써, 전파 교란에 따른 급발진 및 조향 상실을 차단하고 통신 단절 시 장비 스스로 안전 상태로 전환하는 ‘고장 안전(Fail-Safe)’ 메커니즘을 필수적으로 갖추어야 함.
- 한편, 원격 제어 토공 장비는 ISO 15817에 따라 제어 신호 지연·단절 시 즉각 운행을 멈추는 통신 감시 체계를 수립해야 하며, 무인 롤러 및 아스팔트 포장기 등 도로 장비는 ISO 20500(Part 1~7)을 바탕으로 전방위 사각지대 디지털 센싱 인프라(카메라, 센서 등)를 구축하는 한편, 비상 상황 발생 시 고온부 및 고속 회전 장치를 즉시 멈추는 인터록(Interlock)을 완비해야 함.
- 건설 로봇의 경우는 ISO 10218(Part 1·2) 기준에 따라 로봇 팔 자체의 성능 검증은 물론, 로봇 끝단에 부착하는 작업 도구(엔드이펙터)와 비정형 현장 환경까지 모두 결합한 ‘통합 작업 시스템’ 단위로 안전성을 평가받아야 함.
- 또한, 근로자와의 거리에 따라 자동으로 감속·정지하는 속도 및 이격 거리 감시(Speed and Separation Monitoring, SSM)와 충돌 시 동력을 줄여 부상을 막는 충돌 하중 제한(Power and Force Limiting, PFL) 등 실시간 협동 안전 기술이 뒷받침되어야 함.
- 이 외에도 근로자가 직접 몸에 입는 외골격 로봇 슈트는 ISO 13482에 따라 무리하게 관절이 꺾이지 않게 막고 비상시 손쉽게 벗을 수 있는 퀵 릴리즈(Quick Release) 장치를 구비하여 작업 안전성과 현장 기술 수용성을 동시에 제고해야 함.

〈표 2〉 건설 로봇 및 자동화 기계·장비 개발 관련 국제 표준(ISO) 주요 내용

구분	주요 내용
ISO 12100 (2010) 기계 안전 - 설계 일반원칙 - 위험성 평가와 위험성 감소	- 모든 기계 안전 설계의 근간이 되는 기본 규격 - 장비 기획과 설계 단계의 필수 틀 - 기본 안전 규격 : 모든 기계류 안전 설계의 최상위 원칙 및 위험성 평가 방법론 제시 3단계 위험 감소 프로세스(3-Step Method) - 본질적 안전 설계(구조적 위험 요인 원천 제거) - 기술적 보호 대책(방호 가드, 안전 센서, 인터록 장치 적용) - 사용 정보 제공(경고 표지, 안전 신호, 작업 매뉴얼 제공) - 반복 검증 : 보호 조치 적용 후 잔여 위험성 평가 및 추가 위험 요인 지속 피드백
ISO 13766 (시리즈, 2018) 토공 기계 및 건설기계 - 내부 전원 공급장치가 있는 장비의 전자기파 적합성(EMC)	- 전자 제어 장비가 탑재된 무인·원격 건설기계의 필수 규격 - 제어 장치 고장 방지 안전 기준과 연계 - Part 1(일반 전자파 요구사항) : 기계 부품에서 나오는 전자파를 줄여 주변 기기를 방해하지 않게 막고, 기본적인 외부 전자파를 견디는 기준 규정 - Part 2(기능 안전 전자파 요구사항) : 조향, 제동, 원격 조종 등 핵심 제어 장치가 강한 전파 간섭이나 정전기 충격을 받아도 오작동하지 않도록 검증 - 고장 안전 (페일세이프) : 심한 전파 방해를 받더라도 장비가 멋대로 움직이지 않고 스스로 안전하게 멈추는 기능 확인
ISO 20500 (시리즈, 2026) 이동식 도로 건설기계 - 안전	- 도로 공사 장비 전용 국제 안전 규격 - 스마트 도로 시공 및 무인 다짐·포장 장비 등 도입의 기술 기준 - Part 1(공통 요구사항) : 운전자 시야 기준 만족, 카메라 모니터 장치를 통한 사각지대 해소, 미끄럼 방지 발판, 비상 정지 스위치 설치 규정 - Part 2~7(장비별 특화 요구사항) - Part 2(노면 파쇄기/밀링머신) : 회전 절삭 날 차단 덮개 설치 및 비산 분진 집진·배출 장착 - Part 3(다짐 롤러) : 장비 뒤집힘 방지 구조 장착, 앞뒤 바퀴 주변 작업자 감지 장치 설치 - Part 4(슬립폼 콘크리트 포장기) : 콘크리트 성형 틀 구동부 끼임 방지 및 궤도 주행 안전 제어 - Part 5(아스팔트 포장기) : 뜨거운 다림판 화상 방지, 재료 이송기 끼임 방지, 유해 가스 배출 장비 장착 - Part 6(슬러리 표면 처리기) : 아스팔트 유제·시멘트 혼합 장치 차단 및 고압 배관 분사 방지 - Part 7(골재 살포기) : 골재 살포 회전 롤러 끼임 방지 덮개 및 적재함 추락 방지망 설치 - 원격·자동화 연계 : 조종 신호가 끊기면 스스로 멈추고 사람이 다가가면 위험 부위가 자동으로 잠김

〈표 2〉 건설 로봇 및 자동화 기계·장비 개발 관련 국제 표준(ISO) 주요 내용 -(계속)

구분	주요 내용
ISO 15817 (2012) 토공 기계 - 원격 자동 제어에 대한 안전 요구 사항	- 위험한 장소에 투입되는 무인 원격 굴착 장비 안전 규격 - 무선 조종 및 원격 관제 장비의 필수 기준 - 조종기 설계 안전 : 무선 조종기를 실수로 잘못 건드려도 기계가 갑자기 움직이지 않도록 스위치 보호대 설치 - 통신 점검과 감시 : 다른 무전기 전파와 섞이지 않게 고유 식별 번호를 부여하고, 조종 전파가 끊기거나 느려지면 기계가 즉시 작동을 멈추도록 강제 - 조종 권한 분리와 비상 정지 : 직접 탑승 운전과 원격 조종 권한이 서로 겹치지 않게 분리하고, 조종기와 본체 양쪽에 즉시 멈춤 버튼 연동
ISO 19014 (시리즈, 2018~2022) 토공 기계 - 기능 안전	- 굴착기, 로더 등 토공 기계 전용 제어 안전 규격 - 자율주행 건설기계 승인과 인증의 핵심 기준 - Part 1(방법론 및 요구 성능 산정) : 위험 발생 빈도와 사고 심각도를 따져 제어 장치가 갖추어야 할 안전 등급(기계 성능 수준)을 정하는 방법 제시 - Part 2(하드웨어 설계 및 구조) : 부품 하나가 고장 나도 멈추지 않도록 핵심 회로를 2중으로 만들고 스스로 고장을 감시하는 하드웨어 안전 설계 기준 - Part 3(환경 내구성 시험 요구사항) : 심한 진동, 충격, 눈·비, 고온·저온 등 열악한 작업 환경에서도 전자 부품이 버티는지 검증하는 시험 기준 - Part 4(소프트웨어 및 통신 설계) : 제어 프로그램 개발 과정을 철저히 검증하고, 제어 신호가 오고 가는 통신선에 오류나 왜곡이 생기지 않도록 방어하는 기준 - Part 5(장비 기능별 요구 수준 테이블) : 굴착기, 로더 등의 핸들, 브레이크, 작업 장치 등 주요 기능별로 갖추어야 할 최소 안전 등급 제시
ISO 10218 (시리즈, 2025) 로봇 - 안전 요구 사항	- 산업용 로봇과 협동로봇 안전 기준을 하나로 합친 최신 규격 - 미장, 페인트칠, 자재 나르기 등 건설 로봇 현장 도입의 핵심 기준 - Part 1(로봇 본체) - 로봇 팔 및 제어기 자체의 기계·전기적 안전 설계 및 비상 정지 회로 신뢰성 규정 - 협동 운용을 위한 본체 기능(모터 함토크 제한 제어, 안전 정격 정지 기능 등) 탑재 요건 규정 - Part 2(로봇 시스템 및 통합) - 현장 작업 도구(미장·도장 툴 등)·센서·안전 울타리가 결합된 ‘전체 작업 공간’ 설치·통합 안전 기준 - 사람과 함께 작업할 때의 거리 감시 감속/정지(SSM), 작업자와 충돌 시 인체 부위별 허용 힘 제한(PFL) 등 협동 작업장 안전성 검증 (구 ISO/TS 15066 통합)
ISO 13482 (2014) 로봇 및 로봇 장치 - 개인 지원 로봇 안전 요구 사항	- 허리·다리 힘을 돕는 착용형 로봇 슈트 및 현장 물류 로봇의 안전 평가 규격 - 적용 대상 : 이동형 안내·물류 로봇, 외골격 로봇 슈트, 사람이 타는 이동 로봇 - 몸에 닿는 부위 안전 : 로봇 옷을 입었을 때 사람 관절이無理하게 꺾이지 않게 움직임 범위를 제한하고, 모터 힘이 지나치게 커지지 않도록 통제하며 틈새 끼임 방지 - 비상 탈출 : 배터리가 다 닳거나 비상 상황이 생기면 근로자가 로봇 옷을 몇 초 만에 쉽게 벗어 던질 수 있는 빠른 분리 장치 장착

건설 로봇 및 자동화 기계·장비의 산업 안착을 위한 국제 표준(ISO) 기반 한국산업표준(KS) 고도화 및 현장 통합형 안전 기준 수립 필요

- 지금까지 살펴본 바와 같이 국제 표준화 기구(ISO)는 기계 설계의 기본 원칙부터 전자파 내성, 무인·자율 제어 시의 기능 안전, 도로 장비의 사각지대 해소, 로봇 팔 협동 안전에 이르기까지 건설 로봇 및 자동화 기계·장비의 안전성을 확보하기 위한 다각적인 국제 표준 규정을 운영하고 있음.
- 한편, 우리 정부 역시 국제 표준(ISO) 체계를 바탕으로 한국산업표준(KS)을 제정·도입하고 있으며, 「산업안전보건법」 및 「위험기계·기구 안전인증 고시», 「안전검사 고시」 등에 반영·연계하고 있음.
 - 예를 들어, 「안전검사 고시」 [별표 12] 「산업용 로봇 검사기준」에서는 협동 운전 로봇의 안전 조건으로 한국산업표준(KS B ISO 10218-1, KS B ISO 10218-2 및 KS B ISO TS 15066) 또는 이에 상응하는 국제 표준(ISO 10218-1, ISO 10218-2 및 ISO TS 15066)의 기술 기준을 준수하도록 정하고 있음.
- 다만, 국내 현행 기준의 경우 아직까지 공장 등 고정된 정형 환경 내 설비나 전통적인 수동 조작 기계·장비를 전제하여 비정형적 건설 현장에 투입되는 자율주행 장비, 건설 로봇 등의 특성을 충분히 반영하기에는 「물리적 격리 중심의 안전 규정 적용에 따른 현장 혼재 작업 제한」, 「전자 제어 및 소프트웨어 오류를 검증할 기능 안전 평가 체계 미비」 등의 한계가 존재함.
 - 일례로, 현행 「산업안전보건기준에 관한 규칙」은 장비 작업 반경 내 「근로자 출입 금지」와 같은 물리적 통제를 원칙으로 하고 있으며, 속도 및 이격 거리 감시(SSM)나 충돌 하중 제한(PFL) 등 능동형 안전 기술을 갖춘 협동 로봇 또는 자율 장비가 근로자와 동일 공간에서 작업하는 상황에 대한 규정은 제한적임.
- 이를 고려할 때, 향후 국내 건설 로봇 및 자동화 기계·장비의 신속하고 안전한 산업 안착을 위해 ISO 등 글로벌 표준 기반의 지속적인 한국산업표준(KS B ISO) 고도화와 함께 관련 법령 정비 및 현장 맞춤형 가이드라인을 통해 제도적·기술적 기반을 갖춰나가야 할 것임.
 - 이러한 측면에서 「이동로봇의 안전한 이용 및 상용화 촉진에 관한 특별법안」, 「산업안전보건법」 일부개정법률안 등 건설 로봇 확산을 위한 법적 근거 마련 노력은 긍정적으로 이해할 수 있으며, 해당 과정에서 비정형적인 현장 환경과 건설기계·장비가 지니는 특성이 충분히 반영되어야 할 것임.
 - 이와 함께 기존 로봇 단품 중심의 평가에서 엔드이펙터(작업 툴), 통신 인프라, 가설 환경이 결합된 「현장 통합 작업 시스템」 단위의 안전성 평가 및 운용 가이드라인을 수립·고도화함으로써 현장 근로자의 안전 확보와 함께 기술 수용성을 제고할 수 있을 것으로 기대함.

싱가포르 건설산업 로봇&자동화 동향과 시사점

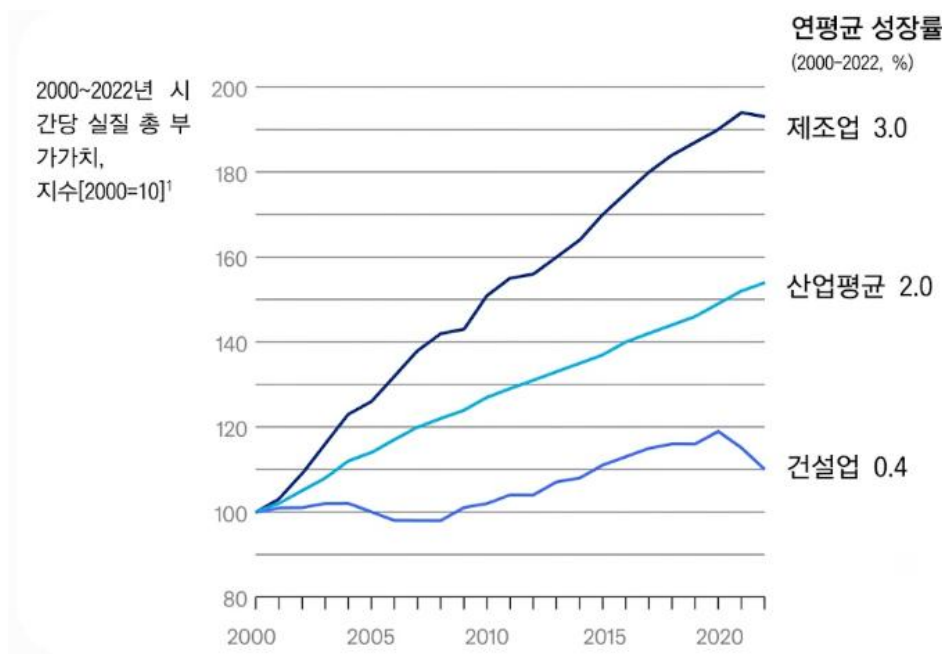
- 건설 생산성 혁신을 위한 정부 주도 R&A 확산 전략 -

이종한(부장 · ljh@cerik.re.kr)

심각한 생산성 정체에 빠진 글로벌 건설산업

- 노동력 감소와 생산성 정체가 동시에 진행되면서 건설산업의 로봇·자동화 도입 필요성이 확대되고 있음.
- 건설 인력의 고령화와 이로 인한 낮은 생산성은 급격한 고령화를 겪고 있는 우리나라뿐만 아니라 글로벌 건설산업 전체가 직면한 공통된 구조적 문제로 평가됨.

〈그림 1〉 지난 22년간 글로벌 생산성 비교



자료 : 맥킨지앤컴퍼니(McKinsey & Company)⁵⁾ 저자 재작성.

5) McKinsey & Company(2025.10.), "Humanoid robots in the construction industry: A future vision".

- 기능인력 고령화에 따른 인력 부족과 낮은 생산성 문제 해결의 방법으로 건설 현장 로봇 활용과 자동화(Robotics&Automation, 이하 R&A)가 많은 관심을 받고 있고 투자도 증가하는 것으로 보임.⁶⁾

● **건설산업의 비반복적 생산구조로 로봇·자동화 확산에 한계가 있음.**

- 건설산업의 다양한 특성 특히, 다양한 생산품, 다양한 공정과 공법, 비반복적 생산형태 등 건설산업의 생산구조는 로봇의 활용과 자동화를 매우 더디고 어렵게 만드는 원인이 되고 있음.
- 나아가 이러한 어려움에 더해 잦은 설계변경을 요구받거나, 기후변화로 인한 작업환경 악화까지 고려하면 로봇&자동화의 어려움이 커질 것으로 판단됨.
- 따라서 휴머노이드 로봇이 다양한 건설 현장의 복잡한 작업을 익히고 현장인력을 대신하는 것은 오랜 기간이 소요될 수밖에 없으며, 건설 현장의 R&A 활용은 사람을 돕는 협동 로봇에서 출발하여 점진적으로 증가하게 될 것으로 판단됨.
- 여기서 다루는 로봇도 일부 자동화 또는 AI 기능이 탑재된 기계(비휴머노이드 로봇)를 의미하며, 다른 나라와 달리 정부의 주도로 로봇 활용 및 자동화를 진행하고 있는 싱가포르 사례를 살펴보고 시사점을 도출함.

 싱가포르의 로봇 활용 & 자동화 현황과 시사점

● **30여 년간 추진해 온 생산성 향상 노력의 일환으로 로봇·자동화 정책을 본격 추진함.**

- 싱가포르의 로봇 활용 및 자동화 정책은 30여 년간 쉼 없이 진행되고 있는 건설혁신 운동과 연결됨. 2000년 전후 시작된 싱가포르 건설산업 혁신 운동은 미숙련 외국인력에 대한 의존으로 인해 매우 낮았을 뿐만 아니라 거의 성장하지 않고 있던 생산성을 높이려는 목적에서 시작함.
- 2010~2020년간 모듈러 등 사전제작을 크게 확대하고 현장시공을 최소화하는 정책을 통해 건설산업의 생산성을 매년 2~3% 성장시킴. 이를 통해 일부 프로젝트는 생산성을 최대 40%까지 높이고 건축 설계 작업을 포함한 총당 총시공 시간을 최대 30%까지 줄일 수 있었음.⁷⁾
- 그리고 2021년 9월 싱가포르 건설청(BCA, Building and Construction Authority)은 생산성 향상을 위한 산업 전환의 핵심 요인으로 디지털화, 로봇, 자동화(Digitalisation, Robotics and Automation as Key Enablers for Transformation)를 선정하고 본격 도입을 밝힘.⁸⁾
- BCA는 30년 전과 다름없이 노동력 의존도 감소와 생산성 향상이 주요 목적임을 밝히고, 건설 현장 로봇 활용으로 생산성을 높이는 기업에게 최대 80%의 비용지원을 약속함.

6) 로봇신문(2025.11.12.), [Cover Story].

7) https://www1.bca.gov.sg/growth-and-transformation/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/prefabricated-prefinished-volumetric-construction-ppv/?utm_source=chatgpt.com

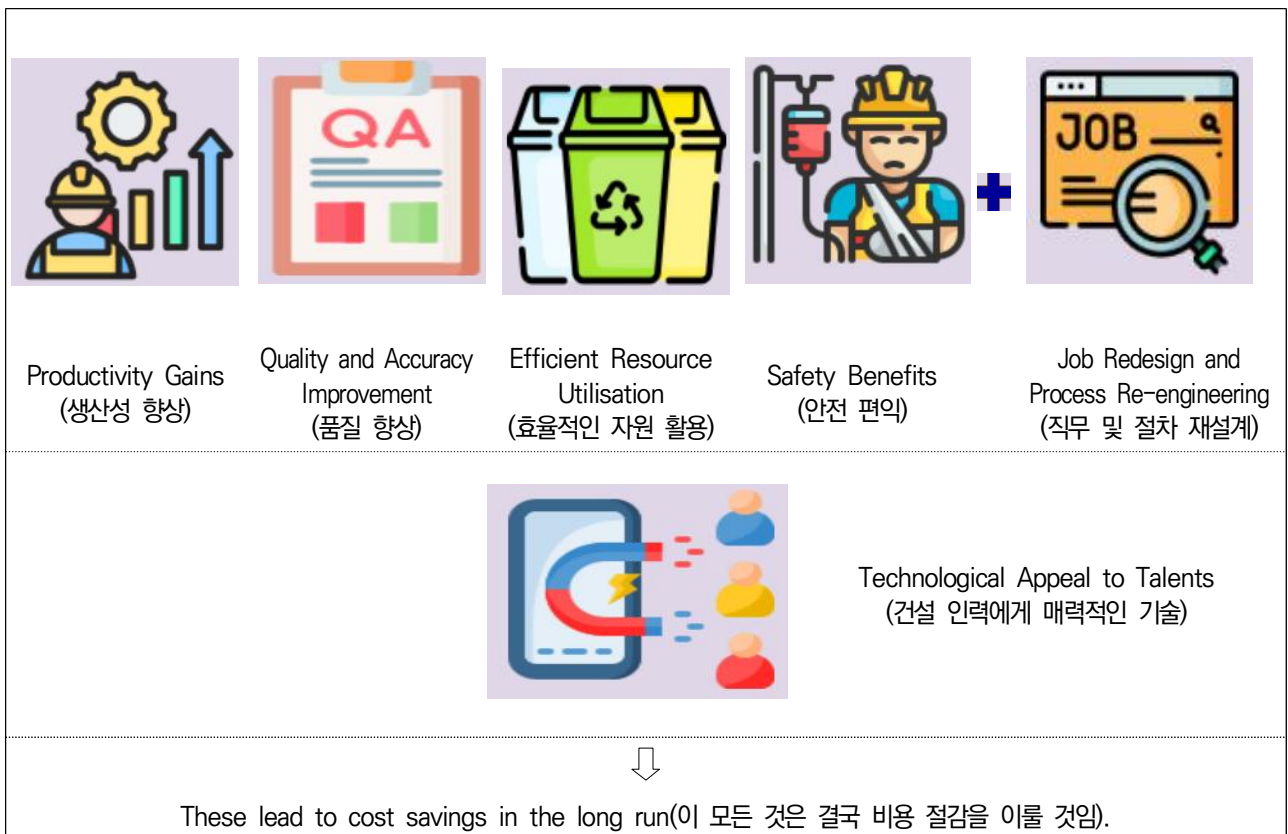
8) 'BCA AND IMDA LAUNCHED NEW INITIATIVE TO ENCOURAGE THE ADOPTION OF ROBOTICS & AUTOMATION TO IMPROVE PRODUCTIVITY AND REDUCE LABOUR DEPENDENCY IN THE BUILT ENVIRONMENT SECTOR'. 2021년 9월 9일.

- 2022년부터 본격적으로 추진된 로봇 활용 및 자동화 정책은 2024년 40개 프로젝트에서 18가지의 로봇을 사용하여 1,000개 이상의 중소기업이 혜택을 받은 것으로 보고됨.⁹⁾

● 생산성·품질·안전 향상 등을 기준으로 로봇 활용을 지원함.

- 로봇 활용과 자동화 기술 활용을 위해 정부의 재정 지원을 받기 위한 요건은 크게 다섯 가지로, 생산성 향상, 품질 및 작업 정확도 향상, 효율적인 자원 활용, 안전 편익을 중심으로 하며, 투입인력 감축이나 비용 절감의 효과가 있는 직무 및 작업절차 재설계를 추가하였음.
- 싱가포르 건설청은 로봇의 활용과 자동화를 통해 건설산업이 젊은 인력에게 매력적인 직업으로 인지되고, 이 모든 것이 결국에는 비용 절감을 만들 것으로 판단함.

〈그림 2〉 로봇 지원 요건



자료 : 싱가포르 건설청(BCA), “Robotics & Automation and Digital Solutions, and Funding Schemes” 재작성

- 건설기업은 위 여러 요건을 충족하는 경우 다양한 유형의 기계와 자동화 기술을 정부 지원을 받아 활용할 수 있는데, 싱가포르 건설청은 현장 검증이 완료되어 즉시 투입이 가능하고 보조금 혜택이 연계된 당장 활용 가능한(Ready-to-deploy) 대안을 소개함.

9) “ANNUAL REPORT FY24/25 Championing a Better Annual Report 2025 Built Environment”가 가장 최근 보고서임.

- 로봇의 경우 구조물 작업(용접, 철근결속, 콘크리트 마감), 건축 작업(벽 스키밍, 페인팅, 바닥 타일, 타일 그라우팅, 바닥 그라인딩, 바닥 코팅, 바닥 마킹, 패널 설치), 기계·전기·배관(드릴링, 앵커링), 자재 운반(로봇과 외골격 수트) 등이 제시되어 있음.
- 나아가 싱가포르 건설청은 로봇의 현장 사용을 지원하기 위한 전담인력을 배치하고 건설 현장 로봇 활용에 관심이 있는 기업을 발굴·지원하고 사후관리로 로봇사용 현장에서 발생하는 문제 해결에도 도움을 주고 있음.

● 재정·세제 지원을 통해 로봇·자동화 도입을 촉진함.

- 싱가포르의 “The Built Environment (BE) sector”는 빌딩의 생애주기를 포함하는 산업군으로 계획과 설계, 시공, 유지관리 등 크게 세 가지 단계와 관련된 광범위한 산업 영역을 아우르고 있음.
- 2021년 싱가포르는 건설청 주도로 BE 산업군의 산업 전환 의지를 담은 산업전환지도(BE ITM, Built Environment Industry Transformation Map)를 만들고 효율적인 추진을 위해 다양한 종류의 펀드를 만들고 세제 등 지원을 위한 제도를 혁신함
- 로봇&자동화 분야는 아래 <표 1>에서 보듯 주로 BE 산업군 기술 역량 기금의 지원을 받을 수 있으며, 투자공제제도를 통해 세제 혜택도 받을 수 있음.
- 나아가 로봇&자동화 활용이 생산성 향상에 직접 연관된 경우, 생산성 향상 기금(PSG, Built Environment Productivity Solutions Grant)도 활용 가능함.

<표 1> 로봇 및 자동화(Robotics & Automation) 자원 및 지원 대상

재원	Built Environment Technology and Capability Grant (BE 산업 섹터 기술 역량 강화 기금)	Investment Allowance Scheme (투자공제 제도)
지원대상	모든 기업 지원 가능 중소기업 70%, 대기업 50%	모든 기업 지원 가능 발생 비용의 50%를 과세 소득에서 공제

- 로봇&자동화 기금은 모든 기업이 지원할 수 있지만, 지원은 중소기업 70%, 대기업 50%로 차등화되어 있음.

싱가포르 사례의 평가와 국내 건설산업을 위한 시사점

● 정부의 성능 검증으로 중소 건설기업의 로봇 도입 부담을 완화함.

- 상대적으로 현장 규모가 작고, 현장 수도 많지 않은 중소기업의 경우 높은 비용 부담에 검증조차

되지 않은 로봇을 현장에서 활용하기란 쉽지 않을 것임.

- 싱가포르의 경우 정부가 로봇의 성능을 테스트하여 생산성에 미치는 영향을 확인하고 다수의 중소기업이 활용할 수 있도록 유도함으로써 로봇 공급자에게는 활용 횟수를 늘려 투자비용 회수를 도와주고, 로봇 수요자에게는 사용 비용을 낮추는 효과를 만들고 있음.
- 싱가포르 건설청 홈페이지에 제시된 로봇은 생산성 향상의 수준, 인력 대체 효과, 작업 정확도 향상 등 정부가 등 로봇의 활용으로 얻을 수 있는 편익을 수치로 제시하고 있는데 로봇&자동화 확산을 위한 정부의 노력을 보여주는 것으로 판단됨.

● 정부 주도로 피지컬 AI 기반이 되는 건설 현장 작업 데이터를 확보함.

- 비반복적인 건설산업의 특성으로 작업 로봇이 다양한 유형의 현장을 경험하면서 확보하게 되는 작업 데이터는 향후 휴머노이드로 대표되는 피지컬 AI 활용에 가장 중요한 재료가 될 것임.
- 싱가포르는 정부 주도의 적극적인 로봇 활용 지원을 통해 다양한 공종, 다양한 유형의 작업 현장에 대한 작업 데이터를 확보하여 향후 휴머노이드 로봇이 다양한 현장 업무를 수행할 수 있는 실질적인 준비를 할 수 있을 것으로 평가됨.

● 제조·현장 설치의 투트랙 전략으로 산업 혁신을 가속화함.

- 싱가포르는 2017년부터 건설산업 전환(Industry Transformation)을 위한 노력을 기울여왔는데 핵심은 건설산업의 제조업화임.
- 시공 최소화 설계와 모듈러 등 사전제작을 확대하여 현장시공을 최소화하는 산업 전환 전략을 추진해왔음. 따라서 싱가포르 로봇 활용 및 자동화의 메인 트랙은 제조 절차라 할 수 있음.
- 로봇사용 및 자동화 확대는 건설 현장보다 제조 현장이 훨씬 수월하고 빠르게 추진 가능함. 제조 현장에서 추진 중인 로봇&자동화를 고려하면 싱가포르는 제조 및 현장 설치 모두를 대상으로 자동화를 추진하는 투트랙 전략을 추진하고 있음.
- 이러한 전략은 산업 전체의 혁신을 가속화하여 생산성, 품질, 공기, 안전 등 프로젝트 수행 역량은 물론 장기적으로 산업의 이미지 제고에 크게 기여할 수 있을 것으로 전망됨.

● 시사점

- 우리도 중소 건설사의 R&A 진입장벽 완화를 위한 정부 주도의 성능 검증 및 지원 체계 구축이 필요할 것으로 판단되며, 나아가 미래 피지컬 AI 주도권 확보를 위한 '건설 현장 작업 데이터' 수집 체계를 마련 등 산업 전반의 R&A 확산을 위한 전략과 정책이 마련되어야 할 것으로 판단됨.