

설문조사를 통한 스마트 건설안전기술의 실태분석 및 활성화 방안에 대한 연구

김용선* · 오태근** · 김춘상*** · 이나은**** · 홍창수***** · 이상영***** · 윤영근*****†

A Study on the Actual Condition Analysis and Activation Plan of Smart Construction Safety Technology by the Survey

Y. S. Kim* · T. K. Oh** · C. S. Kim*** · N. E. Lee**** · C. S. Hong***** · S. Y. Lee***** · Y. G. Yoon*****†

†Corresponding Author

Young Geun Yoon

Tel : +82-32-835-4792

E-mail : yyg900@inu.ac.kr

Received : December 16, 2021

Revised : January 7, 2022

Accepted : January 9, 2022

Abstract : The death rate in the construction industry, which is more than twice that of other industries, increases the need to solve chronic safety problems. In a situation in which the safety management measures that have been maintained thus far are unable to reduce construction accidents, the introduction of smart construction safety technology (SCST) that reflects the 4th industrial technology is required for the safety management of workers. Large corporations or public institutions have introduced SCST and are operating pilot sites, but SCST is still in its infancy and there have yet to exist field data regarding necessity and effectiveness. In this study, the concept of SCST, which has still to be established, is defined, and the actual condition of SCST was analyzed through a survey. Through the analysis of the necessity of SCST introduction, convenience, and effectiveness before and after its application, problems such as problems from the field point of view as well as other factors hindering the introduction of such technology are derived in detail. In addition, an effective combination of technologies for safety management at the current level is determined and an activation plan is presented.

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : smart construction safety technology(SCST), survey, construction accident, effective combination, activation plan

1. 서론

최근 국내 건설산업은 숙련인력 감소, 근로시간 단축 및 고령화 등의 시대적 흐름에 의해 건설산업의 변화를 요구받고 있다. 2020년 산업재해 통계에서¹⁾ 전체 업무상사고 사망재해 882명 중 건설업의 업무상사고 사망재해가 51.9%(458명)로 타 산업 대비 2배 이상 높은 사망 비율은 고질적인 안전문제 해결에 대한 필요성을 증대시킨다.

현재 국내에서는 4차산업시대를 맞이하여 BIM, 드론, ICT 및 IoT 기반의 현장관리 기술인 스마트 건설기술에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 스마트 건설기술은 국토교통부가 주관이 되어 제6차 건설기술진흥기본계획(2017)을 수립하고, 스마트 건설기술 로드맵(2018) 및 스마트 건설기술 개발사업(2019)을 통해 현재 활발히 연구개발 중이다^{2,3)}. 해외 주요국에서도 Construction 2025(영국), i-Construction(일본), Virtual Singapore and Construction 21(싱가포르) 등의 정책을 통해 스마트 건

*인천대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Incheon National University)

**인천대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Incheon National University)

*** (주)휴랜 대표 (HULAN)

****한국산업안전보건공단 미래전문기술원 과장 (Occupational Safety & Health Future Technology Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency)

*****한국산업안전보건공단 미래전문기술원 차장 (Occupational Safety & Health Future Technology Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency)

*****한국산업안전보건공단 미래전문기술원 부장 (Occupational Safety & Health Future Technology Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency)

*****인천대학교 안전공학과 연구원 (Department of Safety Engineering, Incheon National University)

설기술 개발을 중점적으로 추진하고 있다^{3,4)}. 그러나 “스마트 건설안전기술”에 대한 정책은 별도로 마련되어 있지 않으며, 국내외의 모두 민간기업의 주도하에 기술개발이 진행되고 있다. 스마트 건설안전기술은 스마트 건설기술을 통한 건설자동화 완성 전의 과도기적 단계에서 적용되는 기술일 수 있지만, 현재까지 유지되어온 안전관리 방안으로는 지속적으로 발생하고 있는 건설현장의 사망재해를 줄이지 못하고 있는 실정에서 사망재해를 줄이기 위해서 다양한 기술개발을 통해 발전된 스마트 건설안전기술의 도입은 필수 불가결한 상황이다.

2020년부터 1군 건설사 및 공공기관은 IoT, 센서, 웨어러블 등의 스마트 건설안전기술을 사용하여 일부 시범 현장을 운영하고 있지만⁵⁾, 중·소규모 건설현장은 비용 문제 및 정보 부재로 스마트 건설안전기술의 적용이 제한되며 안전관리에 있어 격차가 커지고 있다. 이처럼 대규모 현장은 건설현장 사망재해를 줄이기 위해 기술 도입을 촉진하고 있지만, 스마트 건설안전기술은 초기 단계이므로 개념, 적용기술의 종류, 도입 후 문제점, 효과성 등에 대한 자료가 부재한 실정이다. 정보의 부재로 인해 기술 도입이 저해되므로 스마트 건설안전기술이 효율적으로 사용되는 것이 아닌 홍보용으로 전략할 수 있다는 문제점이 있다.

본 연구에서는 아직 체계가 정립되지 않은 스마트 건설안전기술에 대한 개념을 구체화하고, 도입 현장에 대한 설문조사에 기반하여 스마트 건설안전기술 도입의 필요성, 적용 전·후의 편의성 및 효과성 등의 분석을 통해 현장 관점에서의 문제점, 현장 도입을 저해하는 요인 등의 문제점을 도출하고 현재 기술 수준에서의 조합(안) 및 활성화 방안을 제시하였다.

2. 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 스마트 건설안전기술 도입 현장에 대한 설문조사 및 전문가집단 설문을 통하여 현재 도입된 스마트 건설안전기술의 실태 및 문제점을 분석하고 활성화 방안을 도출하고자 한다. 보다 구체적으로는 다양한 용어로 사용되고 있는 스마트 건설안전기술의 개념을 구체화하고, 국내외에서 사용되는 다양한 스마트 건설안전기술에 대한 비교 및 구분을 통해 체계를 정립하고자 한다. 또한, 스마트 건설안전기술의 도입 필요성, 현장의 인식, 도입을 저해하는 요인, 장비별 효과성 등을 분석하고 문제점 도출을 통한 스마트 건설안전기술의 조합 및 활성화 방안을 제시하고자 하며, 이를 요약하면 다음과 같다.

- 스마트 건설안전기술의 개념 구체화
- 국내외 스마트 건설안전기술 동향 조사
- 스마트 건설안전기술 도입 현장 설문조사
- 전문가집단 AHP 분석
- 설문결과에 기반한 실태 및 문제점 분석
- 스마트 건설안전기술의 조합 및 활성화 방안

3. 국내외 스마트 건설안전기술 조사 및 구분

3.1 스마트 건설안전기술 개념

2018년 10월에 국토교통부에서 발표한 ‘건설생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵’에서는 스마트 건설기술을 ‘전통적인 건설기술에 4차 산업혁명 기술(BIM, 드론, 로봇, IoT, 빅데이터, AI 등)을 융합한 기술’로 정의하고 있다²⁾. 그러나 “스마트 건설안전기술”은 스마트 안전기술, 스마트 건설안전, 스마트 기술 등의 용어를 혼재해서 사용하고 있으며, 의미도 스마트 건설기술과 모호하므로 개념적 구체화가 필요하다. 본 연구에서는 현장에 도입된 기술에 기반하여 근로자의 안전관리에 활용할 수 있는 4차 산업혁명 기술이 “스마트 건설안전기술”이라고 구체화하였다. 이에 따라 스마트 건설안전기술에는 근로자의 교육, 사고예방, 실시간감시 등을 위한 기술이 포함된다.

3.2 국내 스마트 건설안전기술 동향

(1) 공공기관

한국토지주택공사(LH)는 스마트 건설안전기술 보급 업체와 협업하여 2022년 7월까지 LH 산하의 건설현장에 대해 스마트 안전 통합플랫폼을 공급할 계획이며, 1단계로 지정 시범현장 플랫폼 구축, 2단계로 1개 지역본부 내 전 현장, 3단계 전 현장 구축을 목표로 하고 있다. 경기주택도시공사(GH)는 스마트 건설안전기술 중 안전교육용 VR, 중장비접근센서, 이동형 CCTV, 스마트 위치를 한 개의 시범현장에서 운영하고 있다.

(2) 1군 건설사





현대건설, 포스코건설, DL E&C 등 1군 건설사는 기본적으로 위치관제센서, 위험접근센서, 중장비접근센서, 유해가스센서, 변위센서, 이동형 CCTV 등을 시범현장에 도입하고 있으며, 영상공유, 음성통신 등 실시간 소통을 위한 기술도 활용하는 것으로 조사되었다. 또한, 도입된 기술을 실시간으로 확인 및 관리하기 위한 자체적인 통합플랫폼을 구축하고 있다. 1군 건설사에 도입되는 기술이 유사한 것으로 보아 해당 장비들이 사고저감에 효과가 있을 것으로 예상되며, 스마트

건설안전기술의 도입 목적은 사고의 예방 및 관리자에 의한 근로자의 관리를 위한 것으로 사료된다.

3.3 해외 주요국의 스마트 건설안전기술 동향

해외의 경우 스마트 건설기술에 중점을 둔 정부의 정책에 따라 대부분의 연구개발이 건설자동화에 초점을 맞추고 있어 스마트 건설안전기술은 국내와 동일하게 민간에서 개발되고 있다^{3,4)}. 해외 주요국에서 개발되고 있는 스마트 건설안전기술은 Table 1과 같다. 해외의 경우 근로자의 안전관리를 위해 위치관제, 위험지역 경고, 유해가스측정, 차량근접경고, 음성통신 등의 기술을 활용하는 것으로 확인되었다. 해외의 기술도 국내에서 사용되는 스마트 건설안전기술과 유사하지만 대체로 다양한 요소기술을 융합하여 하나의 안전장비에 탑재하는 등 동시에 다양한 기능을 수행하는 것에 차이가 있으며, 작업에 불편함이 없는 장비 개발 쪽으로 상용화되고 있는 것으로 분석되었다.

Table 1. Overseas Smart Construction Safety Technology

Div.	Technology	Equipment and systems
UK	<ul style="list-style-type: none"> - Local hazard warning - Noise measurement - gas alarm - Vehicle proximity warning - Posture monitoring 	
Japan	<ul style="list-style-type: none"> - Video shooting - Real-time screen sharing - position control - Voice communication - brain wave detection 	
Singapore	<ul style="list-style-type: none"> - On-site VR safety education 	
USA	<ul style="list-style-type: none"> - position control - Collision avoidance - Around View Monitor - Temperature, heart rate - Hazardous gas measurement - Crisis situation notification 	

3.4 스마트 건설안전기술 구분 및 시사점

스마트 건설안전기술은 요소기술 측면에서는 동일한 기능을 수행하지만, 국내외에서 개발 및 보급하는 업체의 특성에 따라 작업공간에 설치형과 근로자 부착형으로 구분될 수 있다. 시범현장 등에 주로 도입된 스마트 건설안전장비를 설치형과 부착형으로 구분하여 Table 2에 제시하였으며, 주요 기술에 대한 장비별 의미는 Fig. 1과 같다.

Table 2. Classification by type of smart construction safety equipment

Div.	Equipment / Sensor		
Installation type	Position control sensor	Hazardous access Sensor	Movable CCTV
	Thermographic camera	Hazardous gas sensor	Opening open sensor
	Heavy equipment access sensor	Displacement/Gradient sensor	Integrated control system
	Smart radar	Gangform Fall Prevention System	-
Attachment type	Smart safety hook	Safety keeper mini	Smart chin strap
	Smart airbag	Smart watch	-



Fig. 1. Images of smart construction safety equipment.

스마트 건설안전기술의 개념 정의, 국내의 시장동향 조사를 통해 도출된 대부분의 기술은 건설현장에 적용이 가능하지만, 모든 기술을 도입하는 경우 오히려 활용도를 저하시킬 수 있으므로 적절한 기술 조합의 도출이 필요하다. 현재 스마트 건설안전기술은 도입 초기단계로 일부 시범현장에만 운영되고 있어 이에 대한 현장 인식, 편의성, 효과성 등에 대한 구체적인 자료는 없는 실정이다. 따라서, 스마트 건설안전기술의 도입 전·후의 다양한 의견수렴을 목적으로 현장 관계자 설문조사와 전문가집단 AHP 분석을 수행하였다.

4. 설문조사 및 AHP 분석

4.1 설문 개요

일반 설문은 대규모현장과 중소규모 현장으로 구분하여 진행되었다. 대규모 현장 설문은 대기업 9곳과 중견기업 1곳에서 근무하는 안전관리자 및 공사관리자를 대상으로 온라인 설문지를 배포 및 수집하였으며, 중소규모 현장 설문은 스마트 건설안전기술이 도입된 현장 4곳을 섭외하여 직접 작성하는 방식으로 수집하였다. 전문가 그룹 설문은 교수, 박사, 기술사, 지도사로 구성된 전문가집단의 의견수렴을 위해 온라인으로 설문조사를 실시하였다.

4.2 설문조사표 개발

설문조사의 주요 내용은 실무자 및 전문가들과의 의견을 통해 주요 스마트 건설안전기술 및 항목을 도출하여 이를 설문조사에 반영하여 작성하였으며, 설문조사표에 대한 요약은 Table 3과 같다.

Table 3. Summary of major items in the survey

General survey items	Expert survey items
Respondent information	Purpose of application
Awareness, necessity, purpose, etc.	Necessity by type
Convenience, effectiveness, etc. by equipment before and after application	Effectiveness by equipment
Development direction	Expected performance
Equipment you want to use in the future	Activation plan

일반설문의 주요 내용은 응답자 정보, 스마트 건설안전기술의 인지도 및 현장실태 조사, 적용 전·후의 센서/장비별 편의성, 만족도, 효과분석 및 발전 방향에 대한 항목으로 구성되었으며, 전문가 집단 설문문의 주요 내용은 스마트 건설안전기술의 도입 목적 및 종류별 우선순위, 도입 시 효과성 및 예상 성과 등을 도출하기 위한 항목으로 구성되었다.

스마트 건설안전기술에 대한 일반설문은 대규모현장의 관리자들에게서 회신된 112건, 중소규모현장(120억 미만)에서 수집된 40건에 대하여 관리자와 근로자를 구분하여 분석하였으며, 전문가 설문은 30건 이상의 응답 중 일관성 검증된 29건에 대해서 AHP(Analytic Hierarchy Process)^{6,7)}로 중요도를 분석하였다.

5. 설문결과 및 분석

5.1 설문조사 결과

(1) 전문가집단 AHP 결과 및 분석

- 스마트 건설안전기술의 도입 목적

스마트 건설안전기술 도입의 주요 목적은 위험구역 접근방지(0.306), 보호구 착용(0.219), 굴착, 가시설 관리(0.207) 순으로 나타났다(Fig. 2). 실현 가능성이 높고 주로 발생하는 재해의 예방 위주로 응답하였다.

사고는 고소작업, 장비작업 등에서의 떨어짐, 부딪힘 등이 주류를 이루고 있어 이에 대한 대책이 시급하다고 판단한 것으로서 도입 즉시 효과가 예상되는 것에 대해 응답한 것으로 판단된다.

- 스마트 건설안전기술의 종류별 필요성

Fig. 3은 다양한 스마트 건설안전기술 중 도입 필요성이 높은 기술에 대한 결과이며, 스마트 안전고리

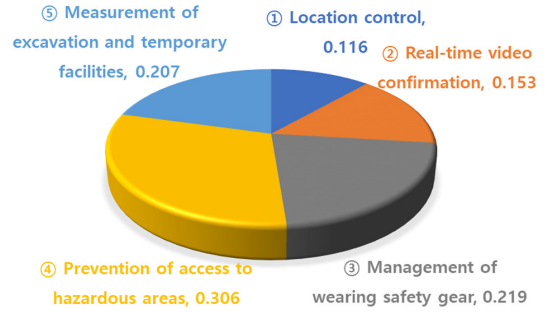


Fig. 2. Purpose of introducing smart construction safety technology.

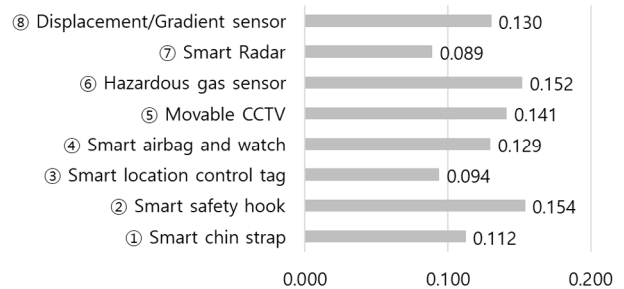


Fig. 3. Necessity by type of smart construction safety technology.

(0.154), 유해가스 센서(0.152), 이동형 CCTV(0.141) 등의 순으로 분석되었다. 보호구 중 스마트 안전벨트의 중요도가 가장 높은 이유는 건설현장의 추락사고 비율이 가장 높으므로 예방을 위한 기술 도입이 시급하다고 생각하는 것으로 사료된다. 유해가스 센서, 구조물 변위/기울기 센서의 경우 근로자의 협조 없이 정확하게 실시간 모니터링이 가능하다는 장점이 있으므로 도입 필요성이 높은 것으로 판단된다.

- 스마트 건설안전기술 종류별 효과성

위치관제, 이동형 CCTV, 통합관제시스템 및 추락예방기술 도입의 효과성에 대한 응답을 Table 4에 제시하고, 문항별로 분석하였다.

위치관제의 효과에 대한 전문가의 의견은 접근금지구역 관리(0.376), 작업위치 파악(0.209), 안전통로 이동여부(0.201) 등의 순으로 현재 효과가 있거나 활용도가 높다고 응답하였다. 현장에서는 통합관제시스템을 관리하는 별도의 관리자가 없으므로 비주기적 근로자의 위치확인 정도로 활용되고 있지만, 향후 기술 개발을 통해 자동으로 허용된 구역에서의 근로자의 근무, 이동동선 확인 등이 가능할 것으로 예상되며, 이를 통해 재해예방에 직·간접적인 효과가 높을 것으로 예상된다.

이동형 CCTV의 효과성에 대한 응답 결과는 접근금지구역 접근(0.305), 안전수칙준수(0.237), 안전보호구 착용 증대(0.199) 등의 순으로 중요도가 높게 분석되었

다. 이동형 CCTV를 활용하여 현장의 실시간 모니터링을 통해 추락, 장비 충돌/협착 등에 대한 경고를 할 수 있으며 보호구 착용여부를 확인할 수 있어 현재 기술 수준에 있어 활용도가 가장 높은 장비로 판단된다.

현장에 설치된 다양한 스마트 건설안전장비/센서 등을 관제실에서 실시간 모니터링을 하였을 때 가장 중요하다고 생각하는 것에 대한 답변은 근로자 통제(0.317), 현장 증거확보(0.258), 장비 통제(0.155) 등의 순으로 분석되었다. 건설사고는 근로자의 보호구 미착용, 수칙 미준수, 부주의한 행동 등으로 발생하므로 근로자 통제가 가장 중요하며 이동형 CCTV로 실시간 확인을 통해 관리가 가능할 것으로 예상된다.

건설현장에서는 떨어짐으로 인한 사망사고가 주로 발생하며, 이를 관리할 수 있는 효과적인 기술은 스마트 안전벨트(0.371), 추락위험지역 알림(0.227) 등의 순으로 분석되었다. 스마트 안전벨트, 추락위험구역 알림 등은 근로자의 자발적 노력보다는 강제적 제어 수단에 가깝다고 판단되며, 자율적인 안전문화가 정착되기 전에는 강제적 수단이 효과가 있을 것으로 판단된다.

Table 4. Effectiveness of Smart Construction Safety Technology by Type

Category / Detail		Weight	Priority
Effect of position control	Commuting time management	0.077	5
	Check work position	0.209	2
	Check the use of the safe passage	0.201	3
	No-access area management	0.376	1
	Check work outside of working hours	0.137	4
Effect of movable CCTV	Increase in safety gear wear rate	0.199	3
	Check access to no-access area	0.305	1
	Check work position	0.154	4
	Check work outside of working hours	0.106	5
	Check compliance with safety rules	0.237	2
Effect of integrated control system	Check construction and quality	0.115	5
	Equipment control	0.155	3
	Worker control	0.317	1
	Worker history management	0.155	4
	Secure on-site evidence	0.258	2
Effective technology for fall prevention	Notification of approach to fall risk area	0.227	2
	Smart safety hook	0.371	1
	Smart position control	0.205	3
	Movable CCTV	0.197	4

• 스마트 건설안전기술의 예상 성과

Fig. 4에서 스마트 건설안전기술의 도입 성과는 안전수칙 준수율 증가(0.186), 안전분위기 조성(0.182), 보호구 착용 준수(0.171) 순으로 분석되었다. 이는 현재의 기술 수준이 높지 않으므로 즉각적인 사고 예방보다는 현장의 안전 분위기 조성 및 안전문화 정착에 도움이 될 것이라고 답변한 것으로 판단된다.

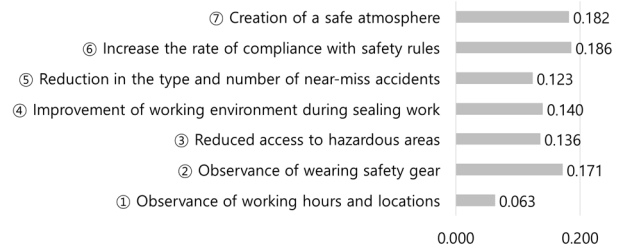


Fig. 4. Expected performance of using smart construction safety technology.

• 스마트 건설안전기술의 활성화 방안

Fig. 5에서 스마트 건설안전기술의 현장 활성화를 위해서는 스마트 안전관리 의무화(0.295), 금융지원(0.236), 인센티브(0.236) 순으로 효과가 있을 것이라고 응답하였다. 아직 도입 초기 단계인 스마트 건설안전기술이 현장에서 정착되기 위해서는 법적/제도적 의무화 및 금융지원 등이 필요하며, 세부적으로는 입찰 시 가산점, 점검 축소, 근로자 리워드 등의 인센티브 및 기술개발 등이 필요한 것으로 분석되었다.

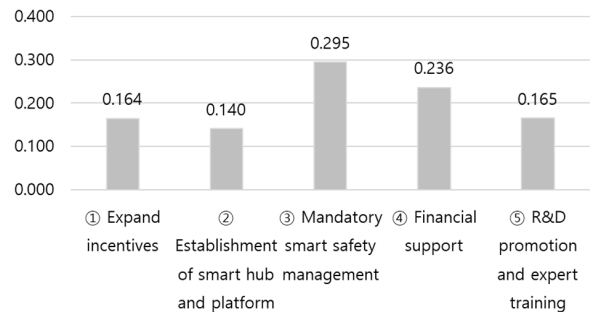


Fig. 5. Activation plan for smart construction safety technology.

(2) 일반 설문조사 결과 및 분석

일반 설문조사 결과는 대규모현장과 중소규모현장의 응답을 비교하였으며, 현장 실태, 도입 시 문제점 및 개선방안 위주로 결과를 작성하였다.

• 응답자 정보

대규모 현장의 설문 응답은 총 112건 중 안전관리자가 75%, 공사관리자가 21%의 비율을 보이며, 10년 이

상 경력자가 전체의 67%, 건축 종사자가 90% 이상으로 분석되었다. 중소기업 현장의 설문 응답은 총 40건 중 관리자가 30%, 근로자가 70%의 비율을 보이며, 10년 미만 경력자가 전체의 92%이고, 건축 종사자가 90%의 비율로 분석되었다.

• 스마트 건설안전기술의 인지도 및 현장실태

Fig. 6 및 Fig. 7은 대규모 및 중소기업 현장에서 활용하고 있는 스마트 건설안전기술과 인지도에 대한 응답 결과를 나타낸다. 대규모 현장은 설치형인 이동형 CCTV, 위험접근 센서(추락, 중장비), 유해가스 감지기 등을 주로 사용하고 있으며, 스마트 건설안전기술들에 대한 인지도는 현장에 도입된 기술과 유사한 것으로 나타났다. 중소기업 현장의 경우 스마트 건설안전기술이 도입된 현장이 많지 않아 효과성 확인이 어려우므로 대규모 현장에 도입된 기술들과 유사한 기술을 일부 시범현장에 도입하여 활용하는 것으로 분석되었다. 인지도의 경우 사용한 적은 없더라도 부착형 중 스마트 턱끈에 대한 인지도가 가장 높았으며, 설치형 중 이

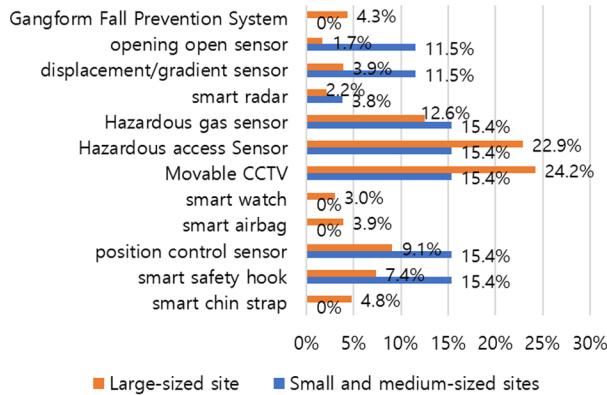


Fig. 6. Smart construction safety technology in use at construction sites.

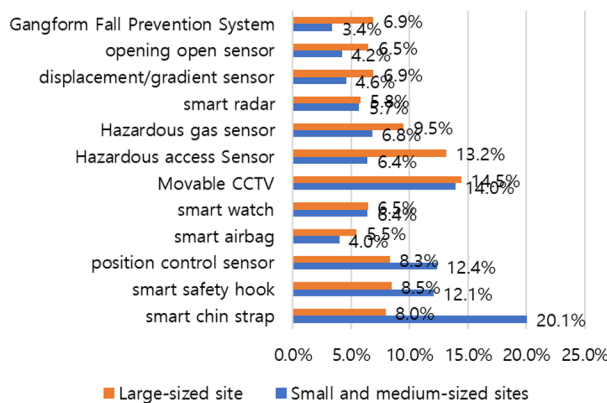


Fig. 7. Awareness ranking for smart construction safety technology.

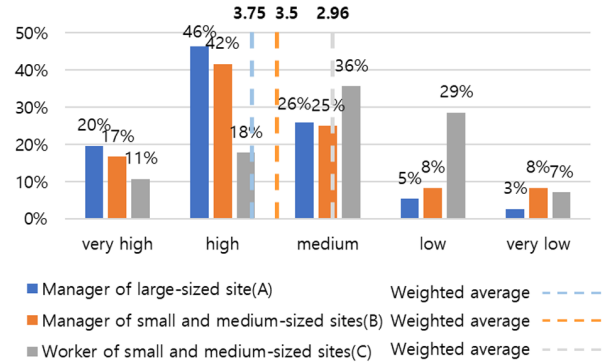


Fig. 8. The necessity of introducing smart construction safety technology.

동형 CCTV에 대한 인지도가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 8에서 스마트 건설안전기술 도입의 필요성에 대한 가중평균이 분석되었다. 대규모현장 관리자(3.75), 중소기업현장 관리자(3.50), 중소기업현장 근로자(2.96) 순으로 도입 필요성에 대한 가중평균이 낮아졌다. 대규모 및 중소기업 현장의 관리자는 기술의 도입이 근로자의 안전관리에 도움이 될 것이라고 응답했지만, 근로자는 기술 도입에 다소 부정적 응답을 보였으며, 장비의 착용 등이 불편하고 작업을 방해하는 요인으로 인식하는 것으로 예상된다.

Fig. 9에서 스마트 건설안전기술의 용도에 따른 필요성을 묻는 질문에서 관리자들은 위험구역 접근방지 > 실시간 영상확인 > 굴착, 가시설 계측 순으로 필요성이 높다고 응답하였다. 건설현장은 추락 사고의 빈도가 높으므로 위험구역 접근방지 기술과 이동형 CCTV의 연계를 통해 위험상황을 조기에 탐지하여 사고 예방에 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 스마트 보호구 및 위치관제의 경우 다소 낮은 응답을 보였는데, 스마트 보호구의 경우 부착형 장비로 근로자의 참여가 요구되며, 위치관제의 경우 현장에서 출퇴근 기록 및 실시간 위치파악 정도로 활용되므로 필요성이 다소 낮게 나타난 것으로 분석된다. 근로자의 경우 가시설 등에 대한 실시간 계측 외에는 다소 부정적인 응답을 보였다. 다른 스마트 건설안전기술은 근로자의 행동을 일부 제약하지만, 굴착, 가시설 실시간 계측은 근로자가 판단하기에 작업에 방해되지 않으므로 필요하다고 판단한 것으로 분석된다.

관리자들은 정부의 정책, 발주처의 요구보다는 스마트 건설안전기술이 현장 안전관리 및 근로자의 사고 예방에 도움이 된다고 생각하고 있으며(Fig. 10), 사용 목적에 대한 응답과 도입 필요성에 대한 응답과 비교할 때 현재의 안전관리 방안보다 발전적인 방향인 스마트 건설안전기술의 도입이 현장의 안전관리에 기여

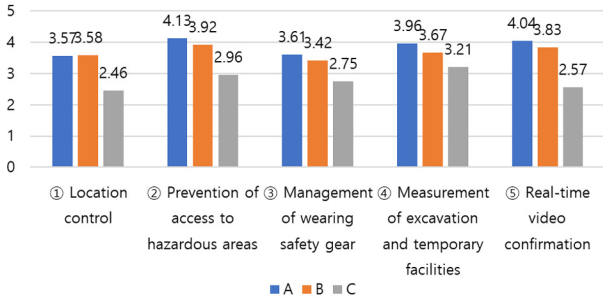


Fig. 9. Necessity according to the use of smart construction safety technology.

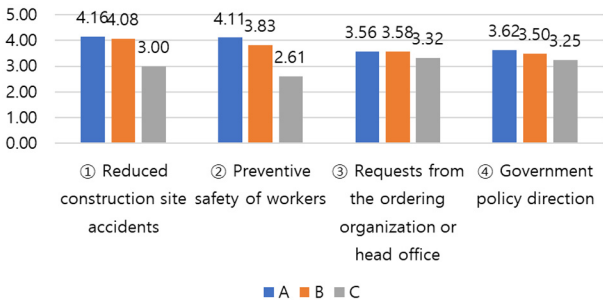


Fig. 10. Purpose of use of smart construction safety technology.

할 수 있는 것으로 분석되었다. 근로자는 안전관리 및 사고예방 보다는 발주처 및 본사에서 지시에 의해 도입하는 것으로 생각하므로 향후 도입 활성화를 위해서는 스마트 건설안전기술의 효과성 홍보 및 근로자 인식개선을 위한 교육 등이 필요할 것으로 사료된다.

스마트 건설안전기술의 도입 필요성, 용도별 필요성, 목적 등의 분석을 통해 관리자는 스마트 건설안전기술에 대해 긍정적이며, 근로자의 경우 부정적 인식을 가지는 것이 확인되었다. Fig. 11에서 기술도입을 저해하는 요인을 분석하였다. 도입이 거부되는 이유는 착용의 불편함, 작업에 방해됨이 주된 요인으로 도출되었다. 관리자와 근로자의 응답이 유사했지만, 직접 장비를 휴대 및 착용하는 근로자의 부착형 제품에 대한 부정적인 인식이 반영된 것으로 판단된다.

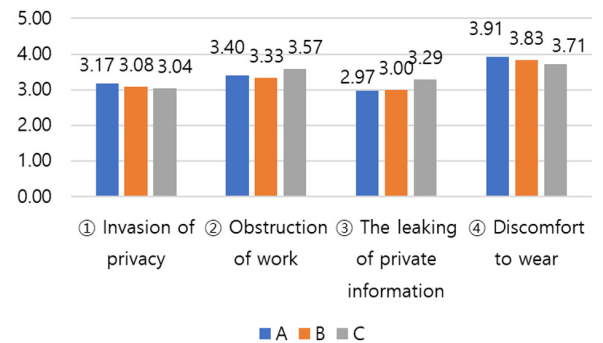


Fig. 11. Reasons for rejecting smart construction safety technology.

Table 5. Measures for dissemination of smart construction safety technology

Category	Weighted average		
	A	B	C
Reinforcement of legal system and financial support	4.38	4.33	3.39
Reinforcement of corporate incentives	4.00	3.50	2.86
Reinforcement of worker incentives	3.85	3.33	4.04
Reinforcement of education and promotion of related technologies	3.79	3.25	2.68
Increased convenience in installation, wearing, and operation	4.36	4.08	3.54
Demonstrate the effectiveness of disaster reduction	4.13	3.67	3.21

A : Manager of large-sized site
 B : Manager of small and medium-sized site
 C : Worker of small and medium-sized site

이처럼 스마트 건설안전기술의 도입이 필요하고, 안전관리 향상에 기여할 수 있지만, 현재 기술수준의 문제점, 인식의 문제점 등 다양한 문제점이 존재한다. 따라서, 스마트 건설안전기술의 보급을 위한 방안에 대한 응답을 조사하여, Table 5에 제시하였다. 보급을 위한 방안은 법적 제도 및 금융지원 강화 > 설치, 착용, 운영 등의 편의성 증대 > 재해 저감 효과성 입증 순으로 나타났다. 현장의 응답과 전문가 집단의 응답이 동일한 것으로 보아 보급 활성화되기 위해서는 법적으로 의무화하는 방법이 가장 효과적인 것으로 판단된다. 또한, 효과성에 대한 정량적 검증 자료가 없으므로 현장에서 기술 도입이 주저될 수 있다. 따라서, 도입 비용을 지원하여 기술 도입을 활성화해야 하며, Fig. 11에서 문제점으로 도출된 편의성 증대 및 작업방해 해소를 위한 정부 차원의 연구개발 지원도 필요하다.

• 스마트 건설안전기술 적용 전·후의 의견

Table 6은 스마트 건설안전기술의 적용 전·후의 편의성에 대한 가중평균을 보여준다. 관리자와 근로자 모두 적용 전 스마트 건설안전기술별 설치·착용·운영 등에 대한 편의성은 설치형 > 부착형으로 응답하였다. 이는 Fig. 11에서 분석된 것과 같이 부착형 장비의 불편함 등에 따른 것으로 보인다.

적용 후 관리자의 응답은 부착형 장비의 경우 적용 전과 가중평균이 유사했으며, 설치형의 경우 대체로 가중평균이 증가하였다. 근로자의 경우 스마트 안전고리에 대해서는 적용 전·후 불편하다는 응답을 보였으며, 위치관제 태그의 경우 가중평균이 크게 증가하였는데, 이는 보급업체에 따라 스마트폰을 활용하여 위치관제를 하는 경우가 있어 추가적인 부속품이 없기 때문으로 판단된다. 또한, 설치형의 경우 적용 후

Table 6. Convenience of the before and after application for smart construction safety technology

Category			Weighted average		
			A	B	C
Convenience before application	Attachment type	smart safety hook	3.15	3.08	2.46
		position control tag	3.21	3.00	2.79
	Installation type	movable CCTV	3.48	3.25	3.21
		hazardous access Sensor	3.65	3.42	3.00
		hazardous gas sensor	3.50	3.33	3.21
		smart radar	3.25	3.25	3.00
		displacement/gradient sensor	3.40	3.25	3.00
		opening open sensor	3.35	3.08	3.36
Convenience after application	Attachment type	smart safety hook	3.20	3.17	2.46
		position control tag	3.26	3.08	3.21
	Installation type	movable CCTV	3.68	3.42	3.46
		hazardous access Sensor	3.83	3.75	3.29
		hazardous gas sensor	3.70	3.50	3.79
		smart radar	3.36	3.33	3.36
		displacement/gradient sensor	3.54	3.33	3.61
		opening open sensor	3.47	3.25	3.57

가중평균이 증가하였는데, 이는 설치형 장비가 근로자의 작업을 방해하지 않고 작동되기 때문에 판단된다.

위험구역 접근 센서와 이동형 CCTV의 경우에는 필요성과 편의성을 모두 갖추고 있으므로 현장 도입 시 효과가 있을 것으로 예상되며, 대규모 현장의 경우 관리자가 있다고 하더라도 관리 구역이 넓고, 중소규모 현장의 경우 관리자가 부재함으로 스마트 건설안전기술 도입을 통해 이를 극복할 수 있을 것으로 보인다.

Table 7은 기술 적용 전·후의 효과성에 대한 가중평균이 요약되었다. 관리자들의 응답이 적용 전 3점대 초중반이었으나, 적용 후 3점대 중후반으로 증가한 것으로 보아 정성적으로 현장의 안전성이 향상되었다고 볼 수 있다. 이러한 이유로 관리자는 기술의 도입을 통해 현장 내 근로자 위치확인, 안전고리 체결유무(부착형) 확인 등 안전관리가 용이해짐에 따라 긍정적 인식이 증가한 것으로 분석되며, 설치형 장비의 경우 위험상황에 대한 자동경보 기능과 통합관제시스템에서 실시간으로 확인·제도가 가능함에 따라 효과성에 대한 상승 폭이 더 큰 것으로 분석되었다.

근로자의 경우 적용 전 효과성에 대한 응답이 전반적으로 낮았으며, 설치형 중 이동형 CCTV의 경우

Table 7. Effectiveness of the before and after application for smart construction safety technology

Category			Weighted average		
			A	B	C
Effectiveness before application	Attachment type	smart safety hook	3.13	3.25	2.43
		position control tag	3.04	3.17	2.68
	Installation type	movable CCTV	3.33	3.25	2.39
		hazardous access Sensor	3.46	3.25	2.86
		hazardous gas sensor	3.40	3.33	3.36
		smart radar	3.19	3.17	2.93
		displacement/gradient sensor	3.32	3.25	3.07
		opening open sensor	3.27	3.17	3.29
Effectiveness after application	Attachment type	smart safety hook	3.40	3.25	2.36
		position control tag	3.45	3.17	2.57
	Installation type	movable CCTV	3.78	3.58	2.32
		hazardous access Sensor	3.86	3.67	3.21
		hazardous gas sensor	3.75	3.50	3.46
		smart radar	3.43	3.42	3.11
		displacement/gradient sensor	3.57	3.33	3.39
		opening open sensor	3.54	3.33	3.57

가장 낮은 점수로 나타났다. 적용 후에 효과성에 대한 응답은 부착형의 경우 더 낮아졌으며, 설치형의 경우 이동형 CCTV를 제외하고 증가하였다. 근로자들은 스마트 건설안전기술의 도입을 통한 안전성 향상보다는 본인의 작업에 방해가 되는지에 가장 우선순위를 둬에 따라 설치형에는 긍정적인 인식을 가지는 것으로 분석된다. 그러나, 이동형 CCTV는 현장 내에서 근로자의 행동이 감시된다는 인식을 가지는 것으로 사료된다.

Table 8은 스마트 건설안전기술 도입 후 근로자의 행동 변화가 있었는지에 대한 성과를 파악하는 항목으로 구성되었다. 관리자와 근로자는 기술 도입 후 위험구역 접근 감소, 보호구 착용률 증가에 성과가 있다고 응답하였다. 위험구역 접근, 보호구 미착용 시 자동경보

Table 8. Performance on change in workers' behavior with smart construction safety technology

Category	Weighted average		
	A	B	C
Observance of working hours	3.13	3.08	2.54
Observance to assigned tasks	3.25	3.17	2.46
Reduced access to hazardous areas	3.74	3.58	3.25
Increased the wear rate of safety gear	3.54	3.33	3.21
Increased the use of safe passages	3.41	3.33	2.71

Table 9. On-site problem-solving performance with smart construction safety technology

Category	Weighted average	
	A	B
Lack of on-site operating costs -smartphone based	3.51	3.33
narrow work space -position control sensor of installation type	3.40	3.33
Workers not wearing the safety gear -movable CCTV	3.70	3.75
Lack of safety manager -smartphone based, position control sensor	3.56	3.50

및 관리자 제도 등에 의한 현장 분위기 개선 및 근로자의 행동 변화에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

Table 9는 현장 특성별 스마트 건설안전기술의 도입을 통한 문제 해결 효과에 대한 응답으로 모든 현장 근로자에 스마트 보호구를 지급하기 어려우므로 미착용 문제 해결을 위해 이동형 CCTV를 사용하는 것이 가장 효과적이라고 응답하였으며, 이동형 CCTV는 대규모 현장의 넓은 구역 관리와 중소규모 현장의 감독 인력 부족 문제 해결에 기여가 가능할 것으로 예상된다.

재해유형 별 스마트 건설안전기술 도입을 통한 해결 효과에 대한 응답을 Table 10에 제시하였다. 관리자들의 응답 결과에 따라 기술 도입이 추락, 질식/중독, 협착 등 건설현장의 주된 사고에 효과가 있다고 분석되었다. 근로자는 질식/중독 예방에 가장 효과적이라고 응답하였으며, 무색·무취의 유해가스의 경우 근로자가 알 수 없으므로 대비가 불가능하지만 해당 기술을 통해 위험을 인지할 수 있기 때문으로 판단된다. 또한, 위험구역 접근 및 중장비 접근의 경우에도 인지하지 못하고 작업하는 순간 사고로 연결될 수 있지만, 해당 시스템의 경고 등을 통해 주지함으로써 사고 예방에 도움이 될 것이라고 판단된다.

Table 10. Effectiveness of occupational accident reduction with smart construction safety technology

Category		Weighted average		
		A	B	C
Fall	- Movable CCTV, Hazardous access Sensor	3.78	3.75	3.11
Narrowness	- heavy equipment access sensor	3.81	3.83	3.11
Squash	- Gangform Fall Prevention System	3.51	3.42	2.96
Bump, Hit, Collapse	- Hazardous access Sensor, Displacement /Gradient sensor	3.72	3.67	3.07
Suffocation, Poisoning	- Hazardous gas sensor	3.89	3.75	3.79

향후 활용해보고 싶은 스마트 장비에 대한 응답으로 스마트 위치에 대한 비율이 가장 높았는데, 이는 근로자 스스로 심박수 및 체온 등의 측정을 통해 건강관리가 가능하며, 해당 정보가 관리자에게 전달되므로 불시에 발생할 수 있는 사고사를 예방할 수 있기 때문으로 사료된다. 또한, 운영해본 스마트 건설안전기술 중 개선이 필요한 기술을 분석한 결과, 기술적 관점에서 송수신의 불량, 스마트폰의 발열, 로그 데이터의 누락 등의 개선이 필요하다고 응답하였으며, 현장 활용 관점에서 설치형 장비보다는 부착형 장비의 개선이 필요하다고 응답하였다. 부착형 장비가 체결유무 확인 등의 기능으로 인해 강제적으로 안전수칙을 준수하도록 하는데 더 효과적이지만, 현재 기술 수준에서는 근로자의 적극적인 참여 없이는 운영이 제한된다. 따라서, 부착형 장비의 크기, 부착 방식, 무게 등에 대한 개선을 통해 현장 활용도를 높일 수 있도록 기술 개발이 필요하다.

5.2 기술 조합 도출 및 활성화 방안

(1) 스마트 건설안전기술별 활용 및 분석방안 제시

- 위치관제 센서 : 출퇴근 시간, 장소 출입 시간, 실시간 위치 확인, 작업시간 준수, 근무시간외 작업 확인등에 대한 분석이 가능하며, 현장 및 근로자 관리의 목적으로 활용할 수 있다.
- 위험구역 접근 센서 : 설정된 위험구역 내에 접근 시 정보가 발생하며, 관계자/비관계자 접근 횟수, 경보에 따른 접근 횟수 감소 등의 변화를 분석하여 기술 도입 성과분석에 활용할 수 있다.
- 유해가스 감지기 : 유해가스 및 산소 농도, 온도, 습도의 측정이 가능하므로 이에 따른 작업 제한, 휴식시간 부여, 장소 출입 제한에 활용할 수 있다.
- 변위/기울기 센서 : 비계, 거푸집 등에 설치하여 변위/기울기를 실시간으로 측정하여, 단계별 임계값 경고에 따른 근로 제한 및 대피에 활용할 수 있다.
- 이동형 CCTV : 실시간 영상확인 및 방송이 가능하며, 타 스마트 건설안전기술과 연계하여 위험구역 접근 또는 작업 시 보호구 착용 여부, 장비접근 여부, 안전수칙 위반 여부 등의 확인이 가능하고 사고 발생 시 블랙박스 역할로 활용이 가능하다.
- 스마트 보호구 : 턱끈 체결, 추락지역 접근 시 안전고리 체결 유무를 확인 및 미체결 시 경보가 가능하며, 근로자별 수칙 위반 횟수를 분석하여 계도하는데 활용할 수 있다.
- 중장비 접근 센서 : 위험구역 접근 센서와 유사한 기능으로 중장비에 설치하여 접근 거리에 따른 단

계별 경보가 송출되며, 관계자/비관계자 접근 횟수 등을 분석하여 근로자 계도의 목적으로 활용될 수 있다.

- 개구부 개폐 센서 : 개구부 열림에 따른 경보 송출, 개구부 열림/닫힘 시간, 열려있는 시간 확인이 가능하므로 위치관제 및 이동형 CCTV와 연동하여 비관계자의 개폐 유무, 작업시간 외 개폐 유무 등을 확인하여 예방적 안전관리에 활용될 수 있다.

(2) 현장 규모에 따른 기술별 장단기 조합

앞서 실태조사 및 다양한 스마트 건설안전기술에 대한 현장 활용방안 및 향후 분석 방향에 기반하여 공사 규모별 효과가 있을 것으로 예상되는 기술에 대해 단기적 조합과 중장기 도입 방안을 도출하여, Table 11에 제시하였다. 규모별 단기적 조합으로 소형현장의 경우 예산이 적고, 관리자가 부재함으로 경보가 발생하는 설치형 위주, 추락 및 협착 예방을 위한 기술을 도입하고, 중형현장과 대형현장은 다양한 공정이 동시다발적으로 수행되므로 대부분의 기술 도입을 제시하였다. 중장기 도입 방안으로 빅데이터, 인공지능 활용 및 정부의 통합관제시스템을 제시하였다.

Table 11. Activation plan of smart construction safety technology

Construction scale	Short-term introduction technology	Mid-to-long term introduction plan
Government or affiliated organizations	-	<ul style="list-style-type: none"> • Central Integrated Control System • AI image analysis system
Small independent site	<ul style="list-style-type: none"> - Installation type(alarm) • Stationary CCTV • Hazardous access Sensor • Displacement/Gradient sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Drone control system (central linkage)
Small site	<ul style="list-style-type: none"> - Installation type(alarm) • Movable CCTV • Hazardous access Sensor • heavy equipment access sensor • Displacement/Gradient sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Drone control system (central linkage)
Medium site	<ul style="list-style-type: none"> - Integrated control system - Installation type, attachment type(selection) (save alarm and log) • Movable CCTV • position control sensor • Hazardous access Sensor • smart safety hook • Opening open sensor • heavy equipment access sensor • Displacement/Gradient sensor • Hazardous gas sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilization of AI and big data • Introduction of intelligent CCTV • Safety management using BIM • Establishment of an integrated control system for all sites by company

Large site	<ul style="list-style-type: none"> - Integrated control system - Installation and attachment type (save alarm and log) • Movable CCTV • position control sensor • Hazardous access Sensor • smart safety hook • Opening open sensor • heavy equipment access sensor • Displacement/Gradient sensor • Hazardous gas sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilization of AI and big data • Introduction of intelligent CCTV • Safety management using BIM • Utilize AR/VR/Digital Twin • Establishment of an integrated control system for all sites by company
------------	---	---

(3) 활성화 방안

현장 실태조사 및 설문에서 도출된 결과와 같이 스마트 건설안전기술의 활성화를 위해서는 제도적으로 도입 의무화가 가장 효과적인 방법이며, 의무화를 위한 스마트 건설안전기술의 도입 효과성 및 성과에 대한 정량적인 지표를 제시할 필요가 있다. 현재 공공기관, 대기업 시범사업에서의 문제점은 다양한 스마트 건설안전기술을 도입하여 활용한다고 홍보하고 있지만, 안전관리에 효과가 있다는 정량적인 지표를 제시하지는 못하고 있다. 따라서, 정부 차원에서 대규모

Table 12. Activation plan of smart construction safety technology

Strategy	Main subject
Building a smart ecosystem (Information sharing spread)	Spread of consensus on innovation (conference, contest, education, etc.)
	Establishment of smart construction safety technology hub (Providing information sharing space, holding publicity events)
	Knowledge platform operation (Provide effectiveness, sandbox)
Inducing private technology development and activation	Encourage the introduction of smart construction safety technology and expand incentives (Reduction of inspections, additional points, worker rewards, etc.)
	Promotion of smart construction safety technology development (Developer R&D support)
Expansion of smart construction safety technology application	Promotion of large-scale pilot projects (Effect analysis by classifying construction type, construction amount, etc.)
	Mandatory use of smart construction safety technology for small and medium-sized sites (Institutionalization, subsidy support, education plan preparation)
	Promotion of large-scale site safety management (Establishment of integrated control system)
Laying the foundation for continuous innovation	Promotion of public-private joint innovation research service (Roadmap establishment, council promotion)
	Nurturing smart construction safety technology experts

시범사업의 운영을 통해 기술 도입의 효과성을 검증하고, 기술도입 현장에 대한 인센티브(입찰 가산점, 점검 축소, 예산지원 등)를 마련할 필요가 있으며, 근로자의 참여를 독려하기 위한 리워드 시스템 등이 필요하다. 또한, 스마트 건설안전기술은 도입 초기 단계로 다양한 시스템의 구축이 필요하다. 따라서, Table 12와 같이 4개의 추진전략과 10개의 중점 과제를 제시하였다.

6. 결론

현재의 안전관리 방안으로는 건설업의 사망재해를 유지하는 수준에 그치고 있다. 국내의 건설산업 정책은 스마트 건설기술에 초점을 맞추고 있지만, 스마트 건설기술이 상용화되기까지는 상당한 시간이 소요되므로 근로자의 안전관리를 위한 스마트 건설안전기술의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 스마트 건설안전기술에 대한 국내외 정책동향 조사 및 기술 동향분석을 통해 스마트 건설안전기술의 개념을 구체화하였으며, 설문조사를 통한 스마트 건설안전기술 현재 실태 및 전문가 그룹의 설문을 통해 문제점 및 활성화 방안 등에 대해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

국내외에서 근로자의 안전확보를 위한 “스마트 건설안전기술”은 민간의 주도하에 개발되고 있는 상황에서 해외는 웨어러블 기술에 주력하고 있으며, 국내의 경우 요소기술을 활용하여 재해유형 맞춤형 기술을 개발 및 보급하고 있다. 따라서, 스마트 건설안전기술의 경우 해외의 개발방향을 따라가는 것이 아닌 국내에서 개발 보급되는 방향이 적절하다고 판단되며, 이를 활성화하기 위한 정부 및 산하기관의 노력이 필요하다.

현장 실태조사에서 현장 안전관리에 효과가 있는 것으로 도출된 장비는 이동형 CCTV, 위험구역 접근 센서, 유해가스 센서 등으로 대부분의 설치형 장비가 효과가 있다는 결과가 도출되었다. 부착형 장비의 경우 안전고리 체결 등을 강제하므로 관리자 입장에서는 효과가 높다고 응답하였지만, 근로자의 경우 착용의 불편함, 작업방해 등으로 부정적인 인식을 보였다. 따라서, 정부에서는 스마트 건설안전기술 연구개발을 지원하여, 부착형 장비에 대한 경량화, 축소화 등 기능 개선을 통해 현장 활용성을 증가시킬 필요가 있다.

전문가 집단, 대규모현장의 관리자, 중소규모현장의 관리자 및 근로자의 설문응답과 현재 기술 수준 분석에 기반하여, 공사 규모별 스마트 건설안전기술의 단

기적 조합 및 기술개발에 따른 중장기 도입방안을 제시하였다. 소형현장은 빈도가 높은 추락 및 협착사고 예방을 위한 경보가 발생하는 설치형 기술 도입을 제시하였으며, 중대형현장은 다양한 공정이 동시다발적으로 진행되므로 대부분의 기술 도입을 제시하였다. 현재 기술 수준에서 스마트 건설안전기술이 현장에서 실효성 있게 작동되기 위해서는 근로자의 협조와 관리자의 관심과 계도가 필수 전제이므로 이에 대한 발주자의 관심과 교육 및 홍보 등이 필요하며, 기술 도입의 효과성 검증을 위한 대규모 시범사업, 활성화를 위한 도입 제도화 등이 필요할 것으로 보인다.

본 연구를 통해 도출된 현재 스마트 건설안전기술의 실태, 기술 조합, 활성화 방안에 기반하여 정량적 분석을 위한 기초자료로의 활용을 통해 향후 스마트 건설안전기술의 보급 및 활용 활성화에 기여할 수 있기를 기대한다.

Acknowledgement: This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(No. 2021R111A205091211)

References

- 1) KOSHA, Industrial Accident Statistics 2020, 2021
- 2) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Smart Construction Technology Roadmap”, 2018.
- 3) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Smart Construction Technology Development Project”, 2019.
- 4) S. M. Moon and Y. S. Kim, “Smart Construction Technology Development Project (R&D) Status, Construction Engineering and Management”, Vol. 19, No. 6, pp. 33-36, 2018.
- 5) H. S. So, M. S. Seol, I. Y. Maeng, K. S. Park and J. K. Park, “A Study on the Factors Effecting the Role Stress of Safety Managers due to the Introduction of Smart Construction Safety Technology”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 36, No. 4, pp. 54-61, 2021.
- 6) T. L. Saaty, “Decision Making for Leaders”, RWS Publications. 1995.
- 7) J. M. Kim, J. B. Lee and S. R. Chang, “Risk Level Analysis of Architectural Work using AHP”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 32, No. 5, pp. 96-102, 2017.