

# 스마트 건설안전 기술 도입 촉진을 위한 제도적 · 기술적 개선 방안에 관한 연구

정재현<sup>1</sup> · 박상일<sup>2</sup> · 심형택<sup>1</sup> · 김유희<sup>2†</sup>

## Institutional and Technical Improvement Measures to Facilitate the Use of Smart Construction Safety Technology

Jaehyun Jeong<sup>1</sup> · Sang I. Park<sup>2</sup> · Hyungtaek Sim<sup>1</sup> · Yuhee Kim<sup>2†</sup>

### <sup>†</sup>Corresponding Author

Yuhee Kim

Tel : 055-771-4935

E-mail : yhkim@kalis.or.kr

Received : December 7, 2023

Revised : January 1, 2024

Accepted : January 3, 2024

**Abstract** : Efforts to reduce on-site safety incidents have expanded, leading to active research in this domain. However, a systematic analysis to improve the utility of technology is lacking. In this study, we conducted a survey on the various institutional and technical improvement measures to promote the application of smart construction safety technology over three years after the implementation of the “Smart Safety Equipment Support Project.” The results showed that financial constraint was the primary obstacle in the adoption of this innovation. Fostering a flexible environment in the utilization of management fees and financial support of projects was determined to aid in the extensive application of the technology. Ensuring cost efficiency and user-friendliness were principally necessary for technical enhancements in the smart construction safety technology. Technologies, such as VR/AR safety education, real-time location tracking, wearable devices, and innovation on streamlining safety-related work efficiency, had been anticipated to contribute to on-site safety. Operating a smart safety control center was expected to be beneficial in the systematic securing of data and reduction of safety blind spots. Effective methods had been suggested to overcome the barriers that hindered the development and application of smart construction safety technology. This study facilitates in the technological improvements in this field.

Copyright©2024 by The Korean Society of Safety All right reserved.

**Key Words** : construction safety, smart technology, construction site control system, questionnaire survey

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

최근 수년간 건설현장 재해 저감을 위해 다양한 제도들이 도입되어 왔다. 2019년에 국토교통부는 「공공공사 추락 방지에 관한 지침」을 제정하여 공공공사의 스마트 안전장비 사용을 의무화하였고, 전면 개정 이후 2020년부터 본격 시행된 「산업안전보건법」은 책임주체 및 보호대상을 확대하여 사업주의 의무이행 사항을 보강시켰다. 지난해부터는 「중대재해 처벌 등에 관한 법률」이 시행되어, 사업장의 안전 및 보건 확보의

무가 더욱 강화되었다. Table 1은 최근 5년간 국토교통부와 고용노동부에서 제·개정된 건설현장 안전 관련 법령을 정리한 것이다. 그럼에도 고용노동부가 발표한 ‘2022년 유족급여 승인 기준 사망사고 현황’에 따르면 전체 산업군 중 건설업에서 46%(402명)로 가장 많은 사고사망자가 발생한 것으로 나타났으며, 이러한 상황은 ‘스마트 건설안전 기술(Smart Construction Safety Technology, SCST)’에 대한 현장의 관심도 점차 높아지게 하고 있다<sup>1)</sup>. 「스마트건설기술 활성화 지침」에 따르면 ‘스마트건설기술’은 기존 건설기술에 첨단 디지털 기술을 적용하여 건설산업 발전을 목적으로 개발된 공

<sup>1</sup>국토안전관리원 안전성능연구소 연구원(Research Institute for Safety Performance, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety)

<sup>2</sup>국토안전관리원 안전성능연구소 책임연구원(Research Institute for Safety Performance, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety)

Table 1. Legislation &amp; revision of construction safety-related laws

Authority	Law & Regulation	Legislation/Revision	Enforcement date	Summary
Ministry of Land, Infrastructure, and Transport	Guidelines for Preventing Fall -accidents in Public Construction	Legislation	11 <sup>th</sup> Apr. 2019.	Mandatory use of smart safety equipment in public construction
	Guidelines for Construction Safety Management	Revision	29 <sup>th</sup> Jun. 2021.	Allow use of safety management cost to utilize smart safety equipment
	Construction Technology Promotion Act	Revision	14 <sup>th</sup> Sep. 2021.	Support for smart safety equipment utilization
	Guidelines for Smart Construction Technology Improvement	Legislation	30 <sup>th</sup> Nov. 2021.	Promoting the use of smart construction technology
Ministry of Employment and Labor	Occupational Safety and Health Act	Revision	16 <sup>th</sup> Jan. 2020.	complete revision to improve workplace safety regulations
	Construction Industry Occupational Safety and Health Management cost Calculation and Usage Standards	Revision	2 <sup>nd</sup> Jun. 2022.	Allow use of occupational safety & health management cost to utilize smart safety equipment
	Serious Accidents Punishment Act	Legislation	27 <sup>th</sup> Jan. 2022.	Prescribing punishment of business owners in violation of safety

법, 장비, 시스템 등을 말한다<sup>2)</sup>. ‘스마트 건설안전 기술’은 스마트건설기술 중 건설공사의 안전성 향상과 관련된 기술로 정의할 수 있다.

2021년 9월 국토교통부는 「건설기술진흥법」에 ‘스마트 안전관리 보조·지원’ 조항을 신설하였다. 이 조항을 근거로 2022년부터 소규모 건설현장에 ‘스마트 안전장비 지원사업’이 시작되어 전국 100여개 현장에 지능형 CCTV와 붕괴·변위 위험경보 장치를 지원 중이다. 또한 국토교통부 R&D 사업인 ‘스마트 건설기술 개발 사업’의 일환으로 ‘스마트 안전 통합관제 시스템’을 활용하여 건설현장 통합 안전 관제 체계를 구축 중이다. 이렇듯 현장의 스마트 안전장비 도입이 확산되며 스마트 건설안전 기술 경험자를 대상으로한 설문조사도 활발히 수행되고 있다. 그러나 대부분의 조사가 기술 만족도 평가이거나 제시된 개선방안별 선호도를 조사한 내용이기 때문에 기술에 대한 구체적인 평가 자료는 부족한 상황이다. 또한 일회성으로 수행되는 조사가 다수여서 지속적인 정보 수집을 통한 기술 효용성 분석이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 국토교통부의 스마트 안전장비 지원 사업 관련 조항이 신설된 2021년부터 3년간 스마트 건설안전 기술에 대한 전문가 설문조사를 실시하였다. 이후 설문조사 결과를 토대로 기술 적용의 한계 및 도입 확산을 위한 개선점을 도출하여 스마트 건설안전 기술을 활용한 현장 안전성 증진에 기여하고자 한다.

## 1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서 수행한 설문조사는 건설사업 분야별 전문가를 대상으로 2021~2023년 동안 매년 1회(총 3회) 실시되었다. 설문을 통해 스마트 건설안전 기술 활용 현황, 기술 인식수준, 개선사항(제도적/기술적) 등을 질

의하였으며, 연도별 건설업 이슈에 맞추어 일부 질문의 추가/수정/삭제 작업이 이루어졌다. 특히 3차 설문조사 시에는 ‘스마트 안전통합 관제센터’의 운영 효과와 관련된 설문이 추가되었는데, 각종 스마트 건설안전 기술(AI 기반 위험 인지, CSI(건설공사 안전관리종합 정보망) 데이터 연계 활용, 실시간 현장 관제 등)이 집약된 센터의 특성을 활용하여 개별 도입 시에는 드러나지 않았던 기술 간 시너지 효과 및 문제점을 확인할 수 있을 것으로 기대하였다.

## 2. 기존 연구 고찰

### 2.1 문헌조사 연구 분석

우리나라의 스마트 안전장비 도입은 2019년 4월 국토교통부가 「공공공사 추락사고 방지에 관한 지침」을 공포하며 본격적으로 시작되었다<sup>3)</sup>. 이후 민간공사에도 스마트 안전장비 도입이 활성화될 수 있도록 제도가 확대 시행되면서 관련 연구 또한 다수 이루어지고 있다. 최근에는 Table 2와 같이, 개발된 기술의 현황 및 문제점을 파악하기 위한 연구도 문헌조사 또는 설문조사 방식으로 활발히 실시되고 있다. 따라서, 선행 연구를 통해 현안 사항 및 조사 방식별 특징을 알아보 고자 하였다.

먼저 문헌조사 방식을 채택한 연구에서는 스마트 건설안전 기술들의 연구·개발 산출물에 근거하여 신뢰도 높은 개발 동향을 제시하는 것으로 나타났다. Guo 등<sup>4)</sup>은 건설산업의 안전관리를 위해 연구되고 있는 DT(Digital technology) 현황을 분석하고 15가지의 기술 분류 체계 및 시대별 연구 동향을 도출하였다. Guo 등<sup>5)</sup>과 Zhang 등<sup>6)</sup>은 각각 BIM, VR, AR 등의 시각화 기술과 센서기반 기술을 활용하여 현장 안전관리 현황을 분석

Table 2. Overview of related researches

Author	Country	Purpose	Method	Summary point
H. L. Guo (2017)	New Zealand	to provide an overview and analysis of digital technologies for construction safety management	Literature review (academic papers)	Digital technologies (DTs) have the potential to improve safety performance in the construction industry. However, there is a lack of solid evidence that DTs have actually improved safety performance.
H. Guo (2017)	China	to review visualization technology in construction safety management	Literature review (academic papers)	visualization technology has limitations and shortcomings in the existing research. therefore, future research to benefit the extensive application of visualization technology in construction safety management is required.
M. Zhang (2017)	China	to provide a systematic review of previous studies in the field of applying sensor-based technology to improve construction safety management	Literature review (academic papers)	Integrating multiple sensor-based techniques is important to meet the increasing requirements of construction safety management.
S. H. Hong (2022)	South Korea	to suggest directions for improvement to reduce safety accidents at construction sites through research and patent trend analysis	Literature review (academic papers, patents)	Smart safety technology is an important means of preventive safety management, but it requires government support, verification of prevention effectiveness, and improvement of cost efficiency to supports the reliability of technology.
J. B. H. Yap (2021)	Malaysia	to explore the use of emerging technologies as an effective solution for improving safety in construction projects	Questionnaire survey (133 respondents)	The survey result suggests that wearable safety techs. need to be more user-friendly, and affordable for effective safety monitoring.
J. B. H. Yap (2022)	Malaysia	to investigate the potential of advanced technologies in enhancing safety management in the construction industry	Questionnaire survey (150 respondents)	Advanced technologies have significant potential to enhance construction safety management, especially in developing countries. However, further research is needed to investigate the strategies and barriers to their adoption.
J. W. Lee (2022)	South Korea	to examine global and domestic research trends in smart construction to stimulate related research and identify future research directions	Literature review (academic papers, technical articles), questionnaire survey (84 respondents)	The future of smart construction research should focus on developing convergence and a platform for various new technologies, with government policy support and workforce training being essential for its succes.
I. Y. Maeng (2021)	South Korea	to enhance the effectiveness of smart safety equipment at construction sites.	Case study, questionnaire survey (45 respondents)	Accidents can be prevented by constantly monitoring the risk factors of the workers through a control system and removing accident risk factors in advance.
E. B. Park (2022)	South Korea	to identify problems and propose improvement plans for smart safety management technology using advanced IT technology at construction sites	Questionnaire survey (20 respondents)	While there is positive response towards the adoption of smart safety technology, issues such as budget constraints, perception problems, and unfamiliarity with technology usage need to be addressed for effective implementation.
T. O. Osunsanmi (2019)	South Africa	to present a survey dataset on the integration of RFID and mobile technology for enhancing the safety of construction professionals	Questionnaire survey (34 respondents)	RFID is largely agreed upon as a potential tool for preventing health hazards on construction sites. However, there are barriers to adoption such as cost, technical know-how, data security, communication range, and power availability .
H. S. So (2021)	South Korea	to verify if the additional tasks of managing smart safety technology applications on construction sites cause stress to safety managers, affecting their job satisfaction	Questionnaire survey (133 respondents)	The additional work from smart safety technology applications increases the stress levels of safety managers. This suggests that the implementation of smart safety technology should be managed in a way that reduces the work burden and increases job satisfaction for safety managers
Y. S. Kim (2022)	South Korea	to analyze its current condition through a survey, and identify problems hindering its introduction .	Questionnaire survey (181 respondents)	An effective combination of technologies and an activation plan are needed for successful Smart Construction Safety Technology (SCST).
D. H. Jeong (2021)	South Korea	to evaluate the effectiveness of institutional improvement made to promote the application of smart construction safety technology in the construction industry	Questionnaire survey (51 respondents)	There is significant interest in the application of smart construction safety technology, but issues such as safety management costs and duplication of on-site safety paperwork need to be addressed for its wider adoption.
C. Nnaji (2020)	USA	to investigate the use, benefits, and adoption barriers of technologies for safety management in construction sites, for enhancing their adoption.	Literature review (academic papers), questionnaire survey (102 respondents)	Construction companies should consider an appropriate mix of highly experienced workers and those more familiar with technology use on adopting and implementing technologies.

하고 향후 연구 방향을 제시하였다. Hong 등<sup>7)</sup>은 스마트 건설안전 기술과 관련된 200여 건의 국내 특허를 분석하여 기술 동향 및 시사점을 도출하였다. 분석 결과에 따르면 우리나라의 스마트 건설안전 기술은 단순 위험 감지 및 관리상의 결합을 일부 보완하는 기술에 편중되어 있으며, 상대적으로 근원적 안전관리 기술 및 종합적 위험관리 기술 개발이 빈약한 상황으로 판단하였다. 따라서 안전관리 업무 전반의 기술 공백을 파악하고 검증된 첨단 기술을 적용하기 위한 전략적 접근이 필요하다고 주장하였다.

상기 연구들은 학술 및 전문정보 데이터베이스를 활용한 분석 결과를 제공하기에 기술 공백 파악 및 연구 방향 설정에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 문헌조사 방식이 지닌 한계로 인하여 기술 사용자와의 효과적인 환류에는 제약이 있을 것으로 판단된다.

## 2.2 설문조사 연구 분석

설문조사 방식으로 실시된 연구들을 통해 확인할 수 있는 정보는 스마트 건설안전 기술의 도입 현황(만족도), 한계(장애 요인), 개선 방안 등으로 대분할 수 있다. 기술 도입 현황을 조사한 연구에서는 기술 사용의 효과 및 만족도, 기술 선호도, 현장 도입 수요도 등의 파악이 가능하였다. Yap<sup>8)</sup>은 스마트 건설안전 기술 적용 시 현장의 기대효과에 대해 분석하였으며, 제시된 상위 5가지 기대효과는 위험 감지 능력 향상, 안전관리 계획 강화, 안전 점검 역량 강화, 안전 모니터링 및 감독 강화, 안전 인식 제고 순으로 확인되었다. 후속 연구에서는 스마트 건설안전 기술을 15가지로 분류하여 기술별 사용자 만족도를 조사하였다. 그중 가장 만족도가 높았던 상위 5가지 기술은 BIM, 카메라 네트워크 시스템, 현장용 모바일 장치, 디지털 사이니지(Digital Signage), 사물 인터넷(IoT) 순이었다<sup>9)</sup>.

Lee<sup>10)</sup>가 수행한 스마트 건설기술의 활성화를 위한 정책 선호도 조사에서 응답자들은 기술 적용을 위한 초기비용 지원, 인력 양성 및 스타트업 기업에 대한 지원, 관련 시범사업 및 시범서비스 확대 순으로 지원정책의 선호도를 나타내었다.

Maeng<sup>11)</sup>은 스마트 안전 장비 도입 실효성 제고 방안 검토를 위해 45명의 전문가를 대상으로 설문 분석을 실시하였다. 그 결과 통합관계 플랫폼, 모바일 기반 관계 플랫폼 등과 같은 관계형 스마트 안전장비가 가장 필요한 기술로 분석되었고, 그 이유는 현장 관제를 통해 위험인지, 상황판단 및 위험요소 제거까지 이르는 실질적인 기술 구현이 가능하기 때문이라고 하였다. 현 스마트 건설안전 기술의 한계를 검토한 연구들에서

는 국내외 공통적으로 비용 증가와 기술 신뢰도 부족이 가장 큰 기술도입 장애요인인 것으로 나타났다.

Park<sup>12)</sup>은 서울시 관할 현장의 안전관리자를 대상으로 설문조사를 실시하여 스마트 안전기술 도입의 문제점을 파악하고자 하였다. 응답자 대부분은 스마트 안전기술의 필요성은 인지하나 관련 비용 증가, 기술적 용의 부담감/거부감, 장비 조작의 어려움 등을 이유로 기술 적용에 소극적이었다.

Osunsanmi<sup>13)</sup>는 RFID와 모바일 기술을 사용한 현장 안전관리에 대한 의견을 설문 조사하였다. 조사 결과에서 응답자 대부분(91.1%)은 기술 도입으로 인한 순기능에는 호의적이었다. 그러나 비용 부담, 낮은 기술력, 정보 보안, 통신 기반 구축 및 데이터 관리, 개인 장비 무게 증가 등의 어려움으로 인하여 기술의 도입에는 적극적이지 않은 것으로 나타났다.

So<sup>14)</sup>는 스마트 건설안전기술 도입이 안전관리자에게 미치는 스트레스에 대해 조사하였다. 스마트 건설기술 로드맵('18.10월) 수립, 「공공공사 추락사고 방지에 관한 지침」('19.4월) 제정 및 「건설기술진흥법」 개정을 통해 건설현장에서 스마트 안전기술을 사용하도록 제도화하고 있으나, 건설기술진흥법과 산업안전보건법으로 이분된 건설안전 관련 법령의 모호함으로 혼란이 발생하는 상황에서 안전관리자의 업무 부하를 설문조사한 연구였다. 실제로 안전관리자들은 스마트 건설안전 기술의 도입이 역할 스트레스 증가와 직무만족도 감소를 초래한다고 응답하였다. 이러한 결과는 현행 스마트 건설안전 기술 도입 방식으로는 현장의 자발적인 도입을 기대하기에 한계가 있음을 시사한다.

선행 연구들에서 제시된 해결방안은 크게 제도적 또는 기술적 방안으로 분류가 가능하였으며, 대부분의 경우에서 제도적인 개선 방안(의무화, 인센티브 제공, 지침 및 매뉴얼 개정 등)에 좀 더 초점을 두었다. Kim<sup>15)</sup>의 연구에서는 법제화를 통한 기술 도입 의무화와 함께 적용효과 확인을 위한 지표 개발이 기술 신뢰도 확보에 도움을 줄 수 있는 방안으로 조사되었다. 한편, 기술 도입을 의무화하는 방식은 효과적이긴 하나 가장 선호도가 낮은 방안으로 확인되었다.

Jeong<sup>16)</sup>은 기 시행된 스마트 안전기술 지원 제도의 실효성에 대한 설문조사를 실시하였고, 기술 활성화를 위해서는 지원 규모 확대 및 안전관리 실효성 홍보가 필요하다고 하였다. 다만, 연구 당시에는 ‘스마트 안전관리 지원사업’이 시행 초기였기 때문에 기술 만족도 조사를 위한 대상 현장을 충분히 확보할 수 없었던 한계가 있어 후속 조사가 필요하다고 판단하였다.

Nnaji<sup>17)</sup>는 스마트 건설안전 기술 적용의 방해 요인을

장벽(Barrier)과 제약(Limitation)으로 구분하여 조사하고 그 극복 방안을 제안하였다. ‘장벽’은 기술 도입을 방해하는 기술채택 전 요인(Pre-adoption factor)이며, ‘제약’은 이미 도입된 기술의 활용을 제한하는 요인이다. 주요 ‘장벽’으로는 광범위한 초기 투자, 사전 교육, 기술 신뢰도 부족 등으로 조사되었고, 주요 ‘제약’은 추가비용 발생, 기술 적용에 대한 거부감, 작업자 교육 등의 번거로움으로 확인되었다. 따라서 기술도입 활성화를 위해서는 사용자 비용 부담을 저감한 비즈니스 모델 구축, 인센티브 제공, 안전교육 프로세스 개선, 기술 신뢰성 확보 등의 개선 방안이 필요하다고 하였다. 상기 연구에서 언급된 장애 요인과 제안된 방안들은 우리나라에서 스마트 건설안전 기술 활성화를 위해 고민해 왔던 바와도 궤를 같이하기에 본 연구에서도 참고할 만한 부분이 될 것으로 사료된다.

선행연구의 분석 결과를 참고하여 본 연구의 설문지를 개발하였다. 기존 연구의 설문 방식은 기술의 선호도 및 제도적 개선사항 파악에는 유용하였으나, 구체적인 기술 개선 실행 방안을 제안하는 데에는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 설문을 분야별로 세분화하여 구체성 있는 답변을 유도하였다. 또한 피설문자의 구성에 현장 관계자뿐만 아니라 학계 및 기술 개발사를 추가하여 기술 고도화를 위한 심도있는 방안 도출이 가능하도록 하였다.

### 3. 스마트 건설안전 기술 보급 확산을 위한 전문가 설문조사

#### 3.1 설문조사 개요

「건설공사 안전관리 업무수행 지침」의 개정으로 안전관리비를 활용한 스마트 건설안전 장비 도입이 용이해졌고, 2022년부터 지속적으로 ‘스마트 안전장비 지원사업’이 실시되어 현장에서 스마트 건설 기술을 접할 수 있는 기회가 확대되었다. 본 연구의 설문조사는 직·간접적으로 스마트 건설 안전기술을 접해 본 실무자 및 전문가를 대상으로 기술 보급 활성화와 실효적인 제도운영을 위한 개선사항을 파악하고자 실시되었다. 설문조사 횟수는 총 3회로 각각 21년 9월, 22년 4월, 23년 3월에 수행되었다. 설문문에 참여한 전문가 그룹의 다양성 확보를 위해 분야/소속/경력별 분포를 고려하여 응답자를 섭외하였다. 분야별 분포는 Table 3과 같으며 안전관리, 품질관리, 시공, 설계, 감리/감독, 기타(연구/개발, 유지관리 등)로 분류하였다. 전문가 소속 기관의 형태 및 규모에 따른 분류는 Table 4와 같다. 실제 기술 수요자의 의견을 다수 확보하기 위해 응답

자 소속 비중이 가장 높은 영역을 산업계(대기업/ 중소기업 등, 74%)로 설정하였다. Table 5는 전문가 경력 기간별 분포를 나타낸다.

Table 3. Distribution of respondents

Field	Number of Respondents		
	1 <sup>st</sup> Survey	2 <sup>nd</sup> Survey	3 <sup>rd</sup> Survey
Safety Management	15	30	3
Quality Control	1	1	2
Construction	13	0	5
Design	7	5	2
Construction Supervision	1	1	3
Others(R&D, maintenance, etc.)	14	13	5
Total	51	50	20

Table 4. Current affiliation

Affiliation	Number of Respondents		
	1 <sup>st</sup> Survey	2 <sup>nd</sup> Survey	3 <sup>rd</sup> Survey
Large enterprise	16	20	3
Small & Medium-sized enterprise	24	16	11
Public institution	4	8	3
etc.	7	6	3
Total	51	50	20

Table 5. Years of experience

Years	Number of Respondents		
	1 <sup>st</sup> Survey	2 <sup>nd</sup> Survey	3 <sup>rd</sup> Survey
Less than 10	11	13	0
10-20	36	18	5
More than 20	4	19	15
Total	51	50	20

#### 3.2 설문지 개발

선행연구 분석에서 확인된 보완점들은 반영하여 설문지를 개발하였다. 설문 내용은 스마트 안전기술 활용 현황, 스마트 안전장비 도입 지원 현황, 제도적 개선 방안, 기술적 개선 방안, 스마트 안전 통합관제센터

Table 6. Survey items of each round

Item	1 <sup>st</sup> Survey	2 <sup>nd</sup> Survey	3 <sup>rd</sup> Survey
SCST* Utilization status	○	○	
SCST* Introduction support status	○	○	
Institutional improvement measures for SCST facilitation	○	○	○
Technical improvement measures for SCST facilitation			○
Operation of smart safety control center			○

\*Smart construction safety technology

운영 등 5가지로 분류하였다. 이는 기존의 설문조사에서 상대적으로 부족하였던 기술적 개선방안 설문을 보완하고, 세분화된 스마트 안전 관제 기술의 효과 분석이 가능하도록 고안한 결과이다. Table 6은 조사 차수별 설문 내용을 정리한 것이다.

스마트 안전기술의 활용 및 도입 지원 현황에 대한 질문은 1차, 2차에서만 수행되었고, 3차 조사에서는 기술적 개선사항을 도출하기 위한 질문을 중점적으로 설문 수행되었다.

#### 4. 설문조사 결과 분석

설문결과의 신뢰성을 확인하기 위하여 1/2/3차 공통 질문의 내적 일관성 신뢰도(Internal consistency reliability)를 분석하였고, 그 결과 신뢰도 계수(Cronbach's alpha)가 0.79로 확인되었다. 일반적으로 신뢰도 계수가 0.7 이상이면 내적 일관성이 있다고 인식되기 때문에 비교적 높은 신뢰도를 확보한 것으로 판단된다<sup>18)</sup>.

##### 4.1 스마트 안전기술 활용 현황

###### (1) 스마트 안전기술 현장 적용 경험

Fig. 1은 1차 조사에 직접 적용해 본 스마트 건설안전 기술을 조사한 결과로 가장 많이 활용한 기술은 스마트 안전관제 시스템, 지능형 CCTV, 디지털트윈

기술 순이었다. Fig. 2는 2차 조사 결과로 현장 스마트 센서, 지능형 CCTV, 디지털 트윈 기술 순으로 많이 활용되었다. 지능형 CCTV와 디지털트윈 기술은 1, 2차 설문에서 모두 활용도 상위 기술 안에 포함되어 스마트 건설안전 기술 중 가장 보편적으로 적용 중인 기술들로 판단되었다. 현장용 스마트 센서는 1차 조사와 비교하여 2차 조사에서 가장 높은 활용도 증가율을 보이는데, IoT 기능을 갖춘 접근감지 센서, 밀폐공간 유해가스 감지센서, 상시 계측센서 등의 보급이 활성화된 영향으로 보인다<sup>15)</sup>.

###### (2) 스마트 안전장비 도입의 효과

분야별 전문가를 대상으로 스마트 안전장비 도입의 효과에 대해 설문조사 하였다. Fig. 3의 1차 조사에서 응답자는 ‘안전 데이터 확보’가 가능해진 것을 가장 큰 효과로 보았고, 건설사고 감소, 작업자의 안전수준 향상 순으로 효과가 있다고 응답하였다. Fig. 4의 2차 조사에서는 ‘작업자의 안전수준 향상’을 가장 큰 효과로 보았으며, 다음으로 현장 내 관리자의 안전활동 시간 감소, 안전 데이터 확보가 뒤를 이었다.

2차 조사 시에 실시된 스마트 안전장비 도입의 장애요인에 대한 설문 결과는 Fig. 5와 같으며, 비용 마련의 어려움이 가장 큰 장애요인으로 나타났다. 다음으로 현장 적용에 대한 실효성 및 효과에 대한 신뢰도 부족

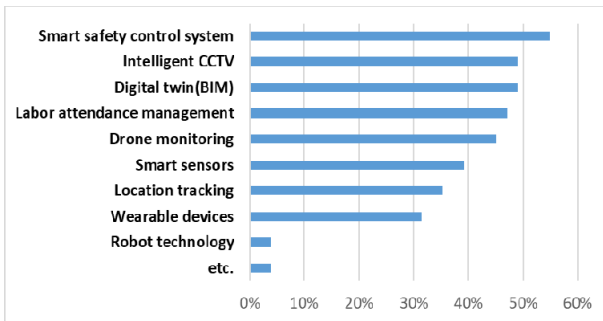


Fig. 1. Experience in use of SCST (1st survey).

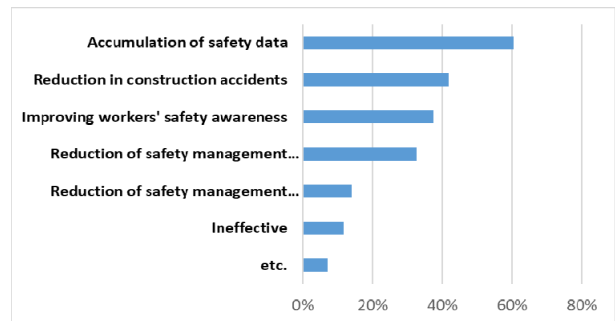


Fig. 3. Benefits of using SCST (1st survey).

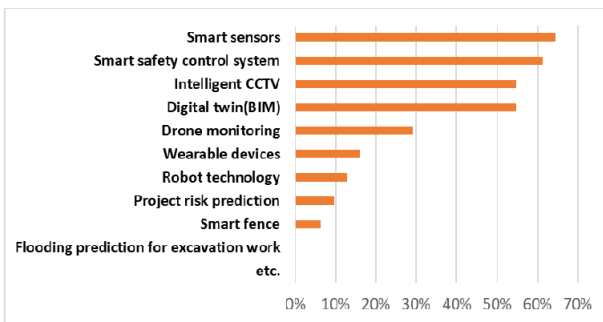


Fig. 2. Experience in use of SCST (2nd survey) .



Fig. 4. Benefits of using SCST (2nd survey).

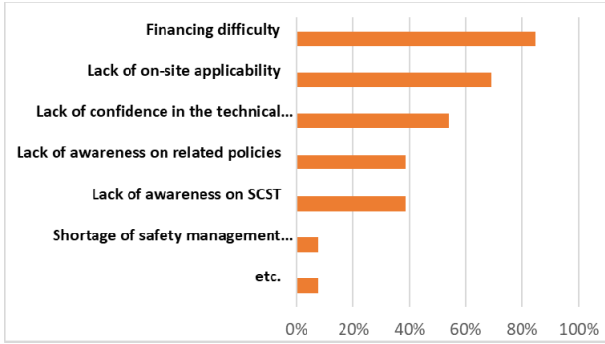


Fig. 5. Obstacles to the use of smart safety equipment.

이 스마트 안전기술의 도입을 주저하게 하는 요인으로 조사되었다. 한편, 비용 문제를 가장 큰 장애요인으로 응답한 저변에는 아직도 안전관리 비용 투자를 추가적인 비용 증가로 인식하는 경향이 반영된 결과라고 사료된다. 그러나 사망사고 수습을 위한 재해손실비용과 건설안전 투자비용과의 정량적 비교를 실시한 연구에서 재해손실비용이 건설안전 투자비용을 상회한다는 결과가 일부 도출되었고, 다른 연구에서는 효과적인 현장 안전관리가 인명 보호, 비용 절감, 직원 사기 증진 등의 이점을 제공한다고 확인된 바 있다<sup>19,20)</sup>. 따라서, 단순히 재정적인 지원을 확대하는 방안 외에 현장의 인식을 개선하기 위한 활동도 고려되어야 할 것이다. 또한 개발 기술의 신뢰성 확보 방안에 대한 심도있는 고민이 필요할 것으로 사료된다.

### (3) 스마트 안전장비 도입 비용 재원

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 1차와 2차 조사에서 파악된 스마트 안전장비 비용 재원 현황이다. 1차 조사에서는 안전관리비와 직접비가 스마트 안전장비 도입·유지비용으로 가장 많이 활용되었는데, 2020년 3월 「건설현장 추락사고 방지 종합대책」을 통해 300억원 이상 건설공사에 스마트 안전장비를 의무 적용하도록 한 바와 2021년 6월 「건설공사 안전관리 업무수행 지침」의 개정으로 안전관리비 활용이 용이해진 결과로 판단된다.

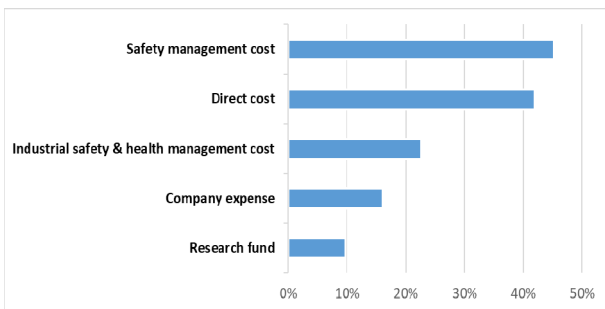


Fig. 6. Financial resources for SCST adoption (1st survey).

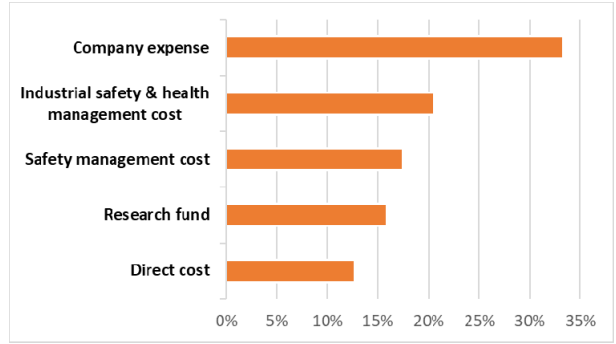


Fig. 7. Financial resources for SCST adoption (2nd survey).

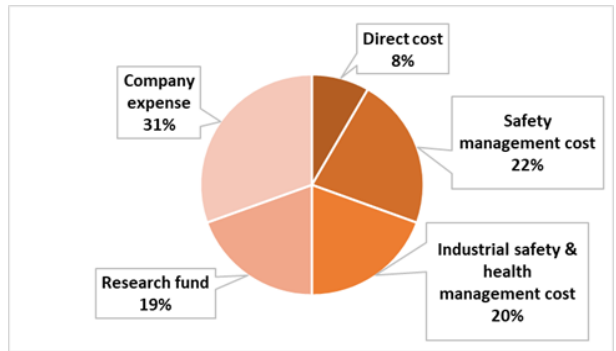


Fig. 8. Cost composition by type of affiliation of large enterprises (2nd survey).

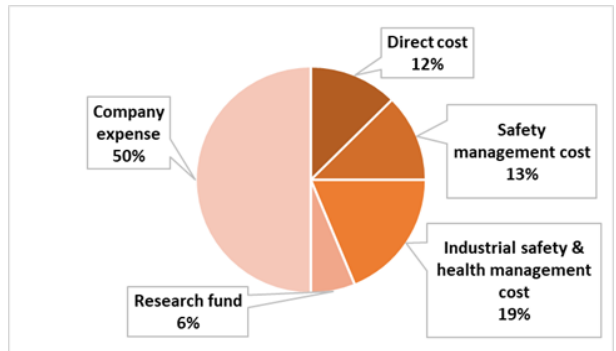


Fig. 9. Cost composition by type of affiliation of small & middle-sized enterprises (2nd survey).

2차 조사에서는 기업이 직접 부담하는 경우가 가장 높게 나타났으며, 대기업을 중심으로한 자발적인 스마트 안전기술 도입 확대가 원인으로 보인다<sup>21)</sup>. 한편, 2차 설문 기관을 대상으로 기업 형태별 스마트 건설안전 비용 활용 비율을 비교한 Fig. 8과 Fig. 9을 통해 대기업인 경우, 상대적으로 연구비 활용 비율이 높은 것으로 확인되었다. 이는 비용투자 여력이 있는 기관이 기술 개발에도 적극적이기 때문으로 판단되며, 장래에 스마트 건설안전 분야도 대기업과 중소/중견기업 간 기술격차가 심화될 수 있을 것으로 추측된다.

## 4.2 스마트 건설안전 기술 도입 지원 현황

국토교통부는 2021년 시행된 「건설기술진흥법」 ‘스마트 안전관리 보조·지원’ 조항에 근거하여 스마트 안전장비 지원 사업을 운영중이다. 이에 1차, 2차 설문에서는 법 개정사항에 대한 현장의 인식을 조사하고 추가 의견을 분석하였다.

### (1) 스마트 안전기술 현장 적용 경험

건설기술진흥법 제62조의3(스마트 안전관리 보조·지원) 신설에 대한 인지 여부를 조사한 결과, Fig. 10과 같이 1차 조사에서는 응답자의 52.9%가 신설 조항을 인지하고 있었고 2차 조사에서는 54%로 나타났다. 즉, 과반이 조금 넘는 응답자만이 조항 신설을 인지하는 상황이었다.

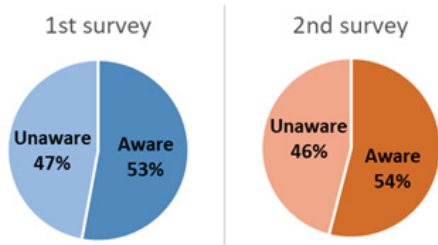


Fig. 10. Awareness status of new clause.

### (2) 신설 조항의 효용성

개정 사항이 스마트 안전기술의 도입확산에 도움이 되는지에 대한 설문 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 1차에서는 56.9%, 2차에서는 74%가 도움이 된다고 응답하였다. 2차 조사가 시작된 22년은 전국에 스마트 안전장비 지원사업이 본격적으로 시작된 시기여서 신설 조항에 대한 긍정적인 응답에 영향을 주었을 수도 있을 것으로 추측된다.

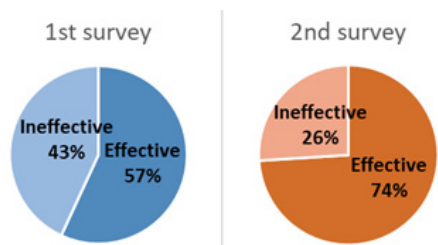


Fig. 11. Effectiveness of new clause.

## 4.3 스마트 건설안전 기술 확산을 위한 제도적 개선사항

### (1) 제도개선 추진 방식

2차 설문조사 중 현장의 스마트 안전기술 도입률을 높이기 위한 제도적 개선의 추진 방식에 대해 질의하였으며 Fig. 12와 Fig. 13에 그 결과를 나타내었다.

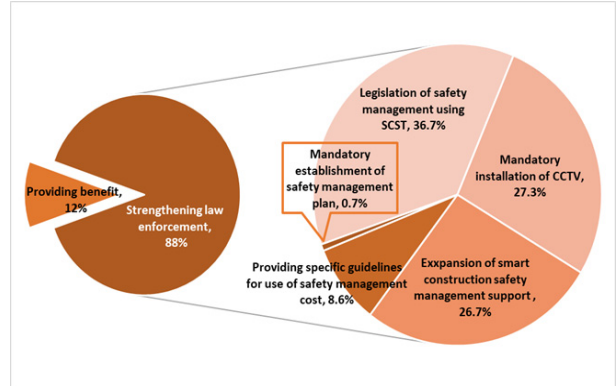


Fig. 12. Methods of strengthening law enforcement.

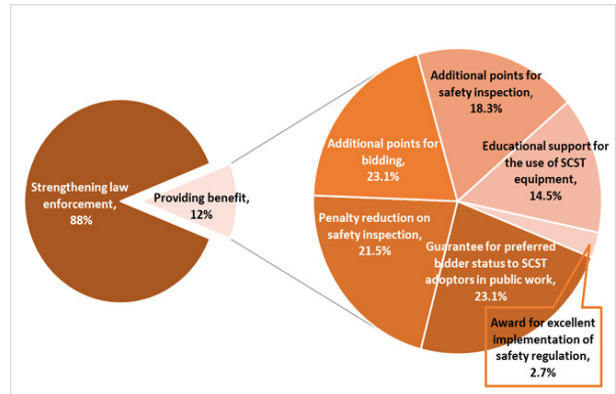


Fig. 13. Methods of providing benefits.

조사된 추진 방식은 크게 이행력 강화 방안과 혜택 제공 방안 2가지로 나눌 수 있었다. 두 방식의 효과를 비교해 봤을 때 응답자의 88%가 법적 이행력 강화 방안이 더욱 효과적일 것이라 판단하였다. 세부적인 제도 도입방안은 스마트 안전기술을 활용 안전관리 법제화, CCTV 도입 의무화, 스마트 안전장비 보조 사업의 확대, 안전관리비 활용을 위한 구체적 지침 제시, 모든 현장 안전관리계획서 제출 의무화 순으로 조사되었다.

스마트 안전기술 활용 시 혜택제공 상세 방안은 스마트 안전기술 도입 업체의 공공공사 우선 선정, 안전관리 지적 사항에 대한 벌점 경감, PQ 가산점 부여, 안전관리 점검 시 가산점 부여, 스마트 안전장비 활용 교육 지원, 스마트 안전기술 우수 활용기관 포상 순으로 확인되었다.

### (2) 스마트 건설안전 기술 관련 제도 개선 사항

1~3차 설문조사 모두에서 공통적으로 안전관련 제도 개선사항에 대한 설문이 수행되었다. 설문은 답변의 구체성을 위해 안전관리계획서, 안전관리비, 안전데이터 3가지 항목으로 분류하여 실시되었다. Table 7은 3가지 항목 중 개선이 가장 시급한 항목에 대한 응답



**Table 7.** Priority for improving safety-related system

Item	Survey response rate (%)		
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
Related to safety management cost	40.5	48.7	52.3
Related to safety management plan	22.6	43.3	40.4
Related to safety data	28.6	8	7.3
etc.	8.3	-	-

으로, 모든 차수에서 안전관리비 관련 제도를 최우선 순위로 뽑았다. 법 개정을 통해 안전관리비의 활용도가 높아졌기는 하나, 아직도 모호한 집행 기준이 원인인 것으로 사료된다. 일례로 스마트 안전장비 구입·임대 비용 중 20%를 산업안전보건관리비로 집행하도록 허용하면서 동시에 산업안전보건관리비 총액의 10% 이내로 사용을 제한하여, 능동적인 비용 집행을 제약하는 요인들과 장려 정책이 상존하는 상황이다<sup>22)</sup>. 또한 총공사비 대비 효율방식으로 의무반영되는 산업안전보건관리비와 달리 상대적으로 강제성이 낮은 안전관리비의 집행 방식에 대한 근본적인 차이부터 개선되어야 할 필요가 있어 보인다.

**(3) 안전관리비 관련 개선 필요 사항**

Table 8은 안전관리비 관련 규정 중 개선이 시급한 분야에 대한 설문결과이다. 1차 조사에서는 안전관리비 계상금액 증액의 선호도가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, 2차와 3차 조사에서는 스마트 건설안전 기술의 안전관리비 계상항목 추가, 안전관리비 계상금액 증액 순으로 나타났다. 이 시기에는 이미 「건설공사 안전관리 업무수행 지침」의 개정으로 안전관리비에 스마트 건설안전 기술이 계상항목으로 추가된 상황이었지만, 아직 현장에서 체감할 수준까지 제도가 운영된 것 같진 않아 보인다. 또한 현행 규정에 ‘스마트 건설안전 기술’이라는 용어가 직접 언급되지 않아 활용도가 저조하다는 의견도 있었다. 제도 개선 시 건설업 종사자가 더욱 이해하기 쉽도록 명시적인 용어를 선정하는 것도 고려할 필요가 있을 것이다.

**Table 8.** Safety management cost related improvement priority

Item	Survey response rate (%)		
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
Increase in safety management cost	40.6	24.1	33.3
Expanding the scope of safety management cost	37.5	21.3	21.1
Smart safety management cost provided by the project owner	9.4	19.3	8.8
Adding expense item for SCST	12.5	35.3	36.8

**(4) 안전관리계획서 관련 개선 필요 사항**

안전관리계획서 관련 제도·법령 개선사항 중 우선 순위 상위 2개 항목은 안전관리계획서 간소화와 이행력 강화였다(Table 9). 응답자들은 반복·중복되는 안전관리계획서 업무가 안전관리자 본연의 업무 이행에 방해 요소로 작용할 수 있다고 하였다. 안전관리계획서 이행력 강화를 선택한 이유로는 계획 대비 이행력이 많이 떨어짐에도 불구하고 제도적 감시가 빈약하여 형식적으로 운영되는 경우가 빈번하기 때문으로 판단된다<sup>23)</sup>. 따라서 스마트 건설안전 기술에 기반한 시공 및 안전관리 검증이 필요하다는 의견도 다수 있었다.

**Table 9.** Safety management plan related improvement priority

Item	Survey response rate (%)		
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
Simplification of safety management plan	55.6	25.3	36.8
Strengthening implementation of safety management plan	31.1	38.7	42.2
Replacing the implementation of the safety management plan with the application of SCST	8.9	20.7	17.5
Manualization of safety management plan	4.4	15.3	3.5

**(5) 안전관리 데이터 관련 개선 필요 사항**

Table 10은 안전관리 데이터 관련 제도 중 개선이 필요한 항목으로 조사한 결과이다. 1차 조사 결과, 스마트 안전장비 취득 데이터의 CSI 연계 의무화에 대한 우선순위가 가장 높았다. 응답자들은 스마트 안전장비를 통한 자료 확보 시 기존의 CSI 직접 입력 방식과 달리 데이터 가공이 최소화되어 데이터 신뢰성 향상을 기대할 수 있을 것이라 예상하였다. 2차/3차 조사에서는 취득 데이터별 조치대응 매뉴얼화가 가장 우선적으로 개선해야 할 항목으로 나타났다. 표준화된 매뉴얼의 부재로 인해 취득한 정보가 충분히 활용되지 못하고 있다는 판단에서 도출된 결과로 보인다.

**Table 10.** Safety data related improvement priority

Item	Survey response rate (%)		
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
Manualization of actions for data from smart safety equipment	35	42	51
Making interoperability of data from smart safety equipment mandatory	41	28	9
Making interoperability with smart safety control center mandatory	24	30	40

**4.4 스마트 안전기술 확산을 위한 기술적 개선 사항**

**(1) 스마트 안전기술 중점 개발 분야 수요 분석**

현장에서 활용 중인 스마트 안전기술 중 중점적으로

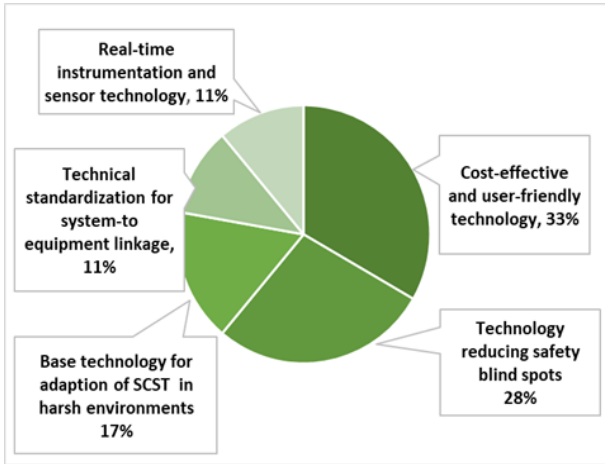


Fig. 14. Development demand for SCST.

개발이 필요한 분야에 대한 조사를 실시하였다. 우선적으로 비용 효율 및 사용 편의성이 뛰어난 기술이 개발되어야 한다는 응답이 가장 높았다. 뒤이어 안전 사각지대 해소 기술 개발, 열악 환경에서도 적용 가능한 전천후 스마트 안전 기반 구축 기술 개발, 시스템과 스마트 안전장비 연계를 위한 기술 표준화, 계측관리 및 센서 기능의 고도화 순으로 개선이 필요함을 알 수 있었다(Fig. 14).

(2) 현장 안전교육 위해 필요한 스마트 안전 기술

최근 건설현장의 두드러진 특징은 외국인과 고령자의 비율이 높아지고 있다는 점이다. 이러한 인력구조 변화로 언어장벽으로 인한 소통 문제가 빈번히 발생하고 있으며, 고령 근로자의 인지 능력 제약까지 더해 더욱 효과적인 교육 수단의 도입이 요구되는 상황이다.<sup>16)</sup> 이에 대한 해법으로 스마트 안전기술을 활용한 안전교육

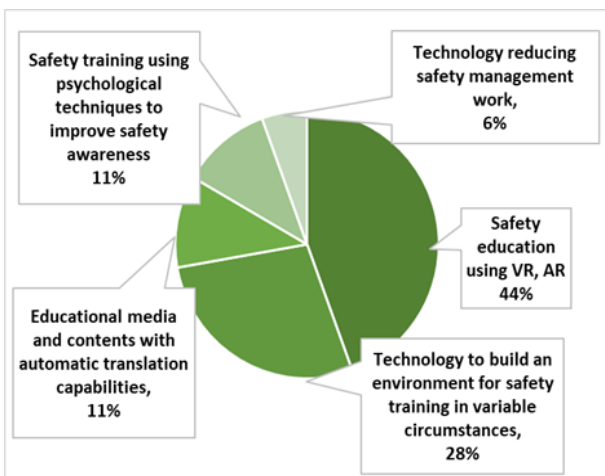


Fig. 15. SCST for safety education.

실시가 고려되고 있으며, 이때 필요한 기술들을 조사한 결과 Fig. 15와 같이 확인되었다.

개발이 필요한 기술은 ‘VR/AR을 활용한 안전교육 활성화’, ‘장소/시간에 구애받지 않는 안전교육 실시 환경 구축’, ‘외국인 근로자를 위한 건설현장 특화 교육 매체 및 콘텐츠 개발’, ‘감성안전교육 활성화’, ‘안전교육 담당자의 업무 부하 저감 기술’ 순으로 조사되었다. 특히, ‘VR/AR을 활용한 안전교육 활성화(44.4%)’가 가장 높은 응답률을 보였다는 점에서 현장에서도 현행 집체 교육 방식의 한계를 인식하고 있는 것으로 판단된다.

(3) 작업자 안전확보를 위해 필요한 스마트 안전 기술

현장 작업자의 안전 확보를 위해서는 ‘위험요소 감지 및 알림 기능의 고도화’가 가장 필요한 것으로 나타났다. 다음으로 ‘웨어러블 기기 및 고기능성 개인 안전장비 개발’이 선정되었다. 비슷한 수준의 응답률로 ‘현장 통합 관제 프로그램/시스템 개발’, ‘스마트폰 기반의 작업자 안전관리 확대’, ‘디지털트윈 기술을 활용한 선제적 대응’ 등의 3건의 기술에 대한 개발 수요도 확인되었다(Fig. 16).

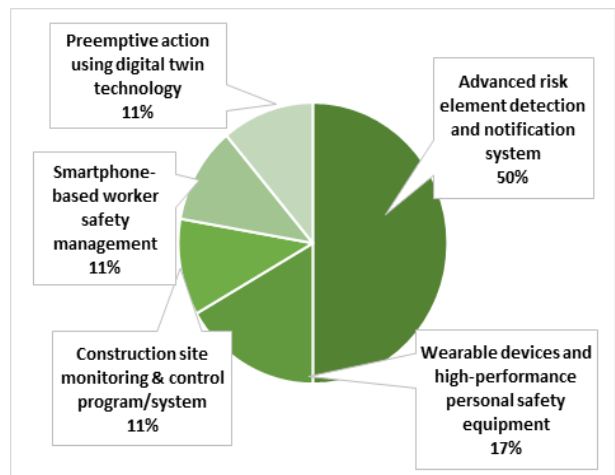


Fig. 16. SCST for workers' on-site safety.

(4) 자동화/Paperless를 통해 업무 경감이 시급한 분야

산업분야 전반에 걸쳐 자동화/Paperless 업무 환경 도입이 가속화됨에 따라 건설 현장의 업무 경감을 위해 자동화/Paperless 기술 적용 수요 분야를 파악해 보았다. 업무 분야는 안전, 시공, 품질, 공무 업무로 구분할 수 있었으며, 안전 업무 관련 자동화/Paperless화 요구가 가장 높았다(Fig. 17). Table 11은 업무 분야별 개선이 필요한 작업의 상세 내역이다.

Table 11. Priority for improvement of paperwork by field of work

Field	Related Document
Safety	Safety Training and Safety (Work) Log related Documents
	Statement of Usage Details of Construction Safety Management Cost and Occupational Safety & Health Management Cost
	Danger Prevention Plan, Safety Management Plan
	Accident Investigation Report and Documents related to Recurrence Prevention Measures
Construction	Documents related to Inspection between Supervisor, Contractor and Supplier
	Daily Work Report, Labor Attendant Report and Worker List
	Design Drawing
Quality Control	Documents related to Quality Control
Project Management	Processing of Documents from Central and local Government

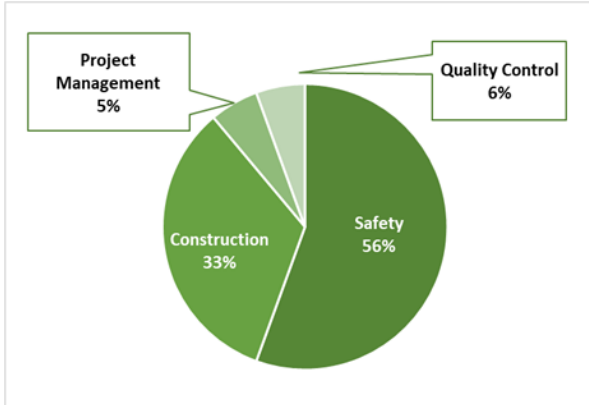


Fig. 17. Urgency of improving work efficiency by field of work.

#### 4.5 스마트 안전통합관제센터 운영을 위한 고려사항

2020년부터 착수된 ‘스마트 건설기술 개발 사업’의 일환으로 스마트 안전 통합관제 센터가 구축되었으며, 테스트베드 현장 적용을 통해 개발 기술을 검증 중이다. 3차 설문조사에서는 향후 센터의 확장 및 지속 운영을 위해 고려해야 할 요소들을 알아보았다.

##### (1) 스마트 안전 통합관제센터 운영으로 인한 기대효과

Fig. 18은 스마트 안전 통합관제 센터 운영을 통해 기대되는 효과에 대한 설문 결과이며, ‘체계적인 데이터 확보(44.4%)’가 가장 많이 거론되었다. 확보된 데이터는 위험감지/사고예측 알고리즘 고도화, 교육 콘텐츠 다양화 등에 활용될 수 있을 것이다. 현장 관제를 통한 ‘사각지대 해소(33.3%)’와 현장 관리자의 업무 역량에 의존했던 ‘현장 안전 및 시공관리 업무의 신뢰성 향상(16.7%)’ 등도 기대되는 효과로 조사되었다. 또한, 스마트 안전 통합관제센터의 관리 대상 현장이 확산되면서

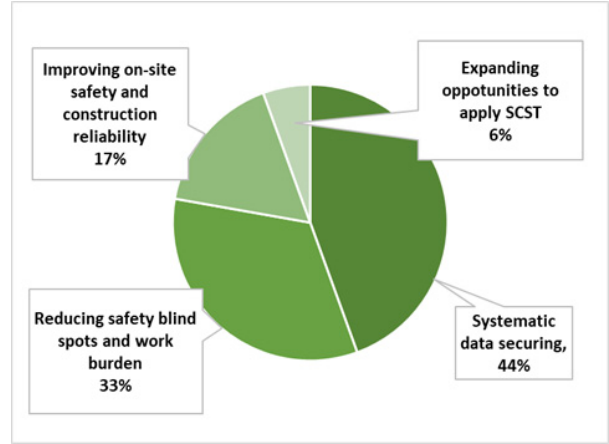


Fig. 18. Expected benefits of operating 'smart safety control center'.

소규모 사업자에도 ‘스마트 안전기술 적용 기회가 확대(5.6%)’될 수 있을 것으로 예상하였다.

##### (2) 위험인지/사고예측 알고리즘 고도화 시 고려사항

CSI 사고데이터 연계를 통해 위험인지/사고예측 알고리즘의 지속적인 고도화가 가능할 것으로 판단된다. 이때 고려해야 할 사항으로는 데이터 품질향상을 위한 ‘CSI 정보수집 체계 개선(47.1%)’, CSI 사고데이터 중 실질적으로 활용 가능한 ‘정보의 선별 및 가공(23.5%)’, 분석 및 예측 결과의 정확도 향상을 위한 ‘지속적인 기능개선 체계 구성(17.6%)’, 현장 상황에 적합한 정보가 제공될 수 있도록 ‘현장 맞춤형 정보제공 기능 확보(11.8%)’ 순으로 파악되었다(Fig. 19).

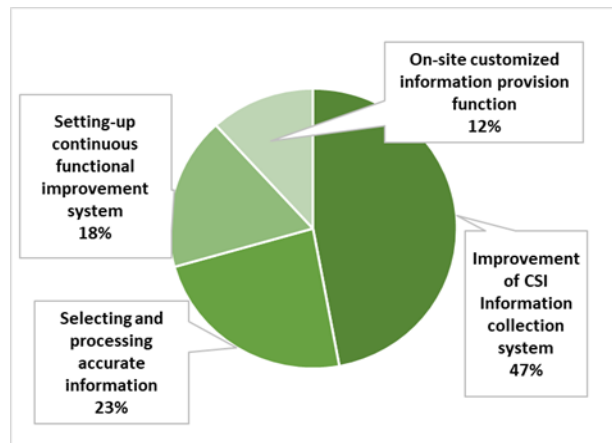


Fig. 19. Considerations related to upgrading the accident prediction algorithm.

##### (3) 공중별 위험요소 프로파일 업데이트 및 사고 경고제 고도화 시 고려사항

CSI 사고데이터 분석을 통한 공중별 위험요소 프로

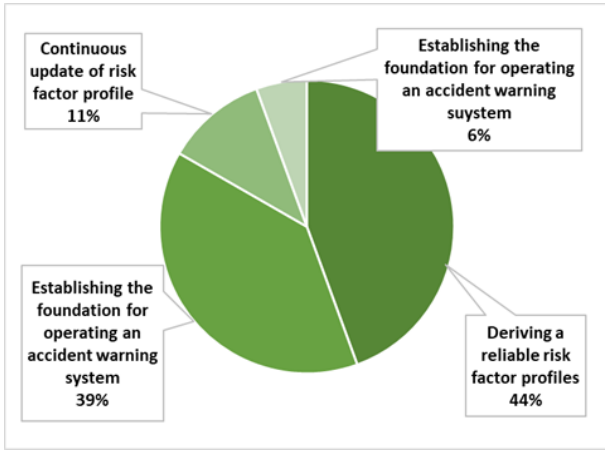


Fig. 20. Considerations related to upgrading risk factor profiles and accident warning systems.

파일 업데이트 및 사고 경고제 고도화를 위해 고려해야 할 사항에 대해 설문하였다(Fig. 20). 가장 우선적으로 ‘신뢰도 높은 위험요소 프로파일 도출(44.4%)’이 가능해야 한다고 응답하였고, 안전 취약 요인에 ‘선제적 조치 유도가 가능한 수준의 사고 경고제 운영(38.9%)’, 장래 활용성 확장을 고려한 ‘위험요소 프로파일의 지속적인 업데이트(11.1%)’, 원활한 사고경고제 운영을 위한 ‘사고 경고제 운영기반 구축 기술 개발(5.6%)’ 순으로 뒤를 이었다.

**(4) 사고 발생 원인 도출 및 DB 구축 시 고려사항**

건설현장 사고 전후 CCTV 영상 연계/분석을 통한 사고 발생 원인 도출 및 DB 구축 기술과 관련해서는 다수의 응답자가 ‘정확한 사고원인 분석 데이터 확보(42.1%)’의 중요성이 가장 높다고 답하였다. 건설현장의 체계적인 자료 확보를 위해 ‘CCTV 영상 수집 매뉴얼 및 시스템 구축(31.6%)’이 중요하다는 의견도 확인되었다.

양질의 자료 확보 및 자료 수집 체계 구축에 비해 상대적으로 응답률이 낮았으나, DB 정보를 활용한 ‘지속적인 영상분석 모델 고도화(15.8%)’ 및 ‘알고리즘 및 교육 콘텐츠 개발 기반 마련(10.5%)’을 위한 고려가 필요하다는 견해도 있었다(Fig. 21).

**(5) 스마트 안전 통합관제센터 운영 시 추가 고려사항**

스마트 안전 통합관제센터의 원활한 운영과 관련하여, 정보의 수집/관리/보급 시 유의점에 대한 자유의견을 설문하였다. 수집된 의견을 취합한 결과 Table 12와 같이 응답률에 따라 상위 3건, 하위 3건의 항목으로 분류할 수 있었다.

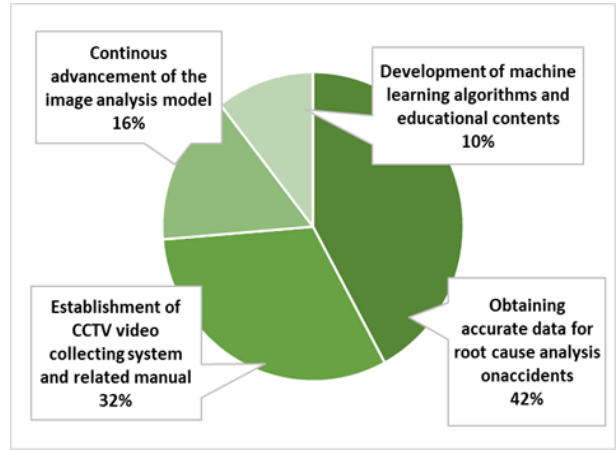


Fig. 21. Considerations related to deriving the cause of an accident and setting-up a database.

Table 12. Additional considerations when operating smart safety control center

Item		Survey response rate (%)
High ranked	Personal information protection act compliance and data security management	33.9
	Measures to ensure user accessibility and ease of use	26.8
	continuous feature improvements	23.2
Low ranked	Specifying the scope of control of the center	7.1
	Operation and maintenance budget for the center	5.4
	Work redundancy and additional scalability with other systems	3.6

**5. 결론**

본 연구에서는 3개년간 실시된 3회의 설문조사 결과를 통해 스마트 건설안전 기술의 적용 현황 및 한계를 검토하였다. 또한, 기술의 도입 활성화를 위한 개선사항을 분석하였으며, 그 결과를 정리하면 아래와 같다.

- 1) 스마트 건설안전 기술 도입의 가장 큰 장애요인은 비용 마련으로 확인되었다. 따라서 재정적 지원이 기술 확산에 직접적인 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다. 단, 안전관리 비용 투자를 통한 선제적 사고예방이 재해손실비용 절감으로 현장의 이윤과 결부된다는 인식 전환 활동도 병행되어야 할 것이다.
- 2) 스마트 안전장비 도입 시 공사비 외에 기관의 비용을 직접 활용하는 비율이 점차 높아지는 것으로 확인되었다. 전사적 차원에서 현장 안전관리에 대한 투자가 늘어 긍정적인 현상으로 판단되나, 안전관리비(건설기술진흥법, 산업안전보건법)의 계상방식이나 사용 가능 항목의 모호함으로 비용 운용에 제약이 있지

는 않은지도 함께 살펴봐야 할 것이다.

3) 건설안전 관련 제도의 개선 사항 파악을 위해 안전관리비, 안전관리계획서, 안전데이터 세가지 항목으로 구분하여 설문이 진행되었다. 설문 결과에 따르면, 안전관리비 분야에서는 계상금액의 증액을 비롯하여 비용 활용의 제약들이 해소되어야 한다는 응답이 나왔다. 또한 안전관리계획서의 간소화와 이행력 강화를 위한 스마트 안전기술의 활용이 필요하다고 하였다. 마지막으로, 안전관리 데이터의 표준화/매뉴얼화를 통해 스마트 안전장비 데이터의 효율적인 활용과 신뢰성 향상을 기대해 볼 수 있을 것이라 예상하였다.

4) 스마트 건설안전 기술의 기술적 개선사항에 대한 조사에서는 비용 효율과 사용 편의성 확보가 주요 요소로 강조되었다. 현장 안전교육을 효과적으로 실시하기 위해 필요한 스마트 안전기술로는 VR/AR을 활용한 교육과 장소/시간에 구애받지 않는 교육 환경 구축 기술의 개발이 요구되었다. 또한, 현장 작업자의 안전을 강화하기 위해 위험요소 감지 및 알림 기능 개선과 웨어러블 기기 및 고성능 개인 안전 장비 개발이 필요하다고 지적하였다. 자동화와 Paperless 기술을 통한 업무 경감이 시급한 분야를 묻는 질문에서는 ‘안전분야’가 가장 시급하다고 확인되었다. 특히, 안전교육 및 안전(업무) 일지, 안전관리비 사용 내역, 유해위험방지계획서 및 안전관리계획서 관리 등의 업무는 기술 적용을 통하여 충분히 개선될 수 있을 것으로 판단되었다.

5) 스마트 안전 통합관제센터 운영으로 기대되는 주요 효과로 ‘체계적인 안전 데이터 확보’와 ‘사각지대 해소를 통한 안전공백 해소’를 꼽았다. 함께 조사된 센터 운영 시 고려할 사항들에 대한 결과는 다음과 같다. 첫째, 시스템의 지속적인 고도화를 위해서는 사고정보 수집 체계의 개선이 필요하다. 둘째, 위험요소 프로파일 및 사고 경고제 고도화의 원활한 운영을 위해서는 신뢰도 높은 정보를 안전관리자에게 제공할 수 있어야 한다. 셋째, 센터 운영의 지속과 효과적인 DB 운영을 위해 정확한 사고원인 분석용 데이터 확보가 중요하다. 마지막으로, 개인정보보호법 준수 및 데이터 보안을 위한 노력도 간과해서는 안 된다.

상기 제시된 결과는 응답자의 대부분이 이미 스마트 건설안전 기술을 직·간접적으로 경험해 본 이력이 있었다는 점에서 건설업계 전반에 걸쳐 일반화시키기에 무리가 있을 수 있다. 그렇지만 3개년간 차수별 현안에 맞춰 개선사항을 도출하였다는 점에서 스마트 건설안전 기술의 개발 지향점 수립에 실효성 높은 방안을 제안하는 것이 가능하였다.

향후에는 향상된 스마트 건설안전 기술 신뢰도를 사용자가 체감할 수 있도록 도움을 줄 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다. 기술 도입의 효용성을 입증할 수 있는 자료 확보 방안을 고안하고, 관련 지표를 개발하여 효과를 가시화할 수 있다면 현장의 기술 도입 장벽을 해소하는 데 일조할 수 있을 것이다.

**Acknowledgment** : This research was supported by Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport (No. RS-2020-KA156208).

## References

- 1) Ministry of Employment & Labor(South Korea), “Annual Report of Industrial Accident Statistics in 2022”, 2023.
- 2) Ministry of Land, Infrastructure & Transport(South Korea), “Guidelines for the Promotion of Smart Construction Technology”, 2021.
- 3) H. D. Ahn, “Study on the Promotion of Safety Management at Construction Sites using AIoT and Mobile Technology”, Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 18, No. 1, pp. 154-162, 2022.
- 4) H. L. Guo, E. Scheepbouwer, T. Yiu and V. A. Gonzalez, “Overview and Analysis of Digital Technologies for Construction Safety Management”, Australasian Universities Building Education Association, Vol. 1, pp. 496-504, 2017.
- 5) H. Guo, Y. Yu and M. Skitmore, “Visualization Technology-based Construction Safety Management: A Review”, Automation in Construction, Vol. 73, pp. 135-144, 2017.
- 6) M. Zhang, T. Cao and X. Zhao, “Applying Sensor-based Technology to Improve Construction Safety Management”, Sensors, Vol. 17, No. 8, p. 1841, 2017.
- 7) S. H. Hong and J. Y. Jo, “Construction Policy Review (Smart Safety Technology Trend Analysis and Implications)”, Korea Research Institute for Construction Policy, Seoul, pp. 1-21, 2022.
- 8) J. B. H. Yap, K. P. H. Lee and C. Wang, “Safety Enablers using Emerging Technologies in Construction Projects: Empirical Study in Malaysia”, Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 21, No. 5, pp. 1414-1440, 2023.
- 9) J. B. H. Yap, M. Skitmore, C. G. Y. Lam, W. P. Lee and Y. L. Lew, “Advanced Technologies for Enhanced

- Construction Safety Management: Investigating Malaysian Perspectives”, *International Journal of Construction Management*, pp. 1-10, 2022.
- 10) J. W. Lee, J. H. Lee, C. R. Park and S. Y. Kim, “Research Trends in the Construction Field for the Revitalization of Smart Construction Technology”, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 23, No. 12, pp. 72-86, 2022.
  - 11) I. Y. Maeng, J. W. Lee, H. S. So, S. H. Kim and S. B. Park, “A Study on Efficiency Improvement by Introduction of Smart Safety Equipment in Construction Sites”, *Korean Journal of Safety Culture*, No. 14, pp. 47-63, 2021.
  - 12) E. B. Park, T. Y. Lee and J. S. Yoon, “A Study on the Improvement of Smart Safety Technology using Advanced IT Technology in Construction Sites - Focusing on the Policy of Introducing Public and Private Smart Safety Technologies in Seoul”, *Autumn Annual Conference of AIK*, Vol. 42, No. 2, pp. 1217-1220, 2022.
  - 13) T. O. Osunsanmi, A. E. Oke and C. O. Aigbavboa, “Survey Dataset on Fusing RFID with Mobile Technology for Efficient Safety of Construction Professionals”, *Data in Brief*, Vol. 25, 2019.
  - 14) H. S. So, M. S. Seol, I. Y. Meang, 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.
  - 15) Y. S. Kim, T. K. Oh, C. S. Kim, N. E. Lee, C. S. Hong, S. Y. Lee and Y. G. Yoon, “A Study on the Actual Condition Analysis and Activation Plan of Smart Construction Safety Technology by the Survey”, *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 37, No. 1, pp. 30-40, 2022.
  - 16) D. H. Jeong, S. H. Kim and S. B. Im, “A Study on Institutional Improvement to Activate Field Application of Smart Construction Safety Technology”, *Journal of Korea Institute of Construction Safety*, Vol. 4, No. 1, pp. 15-21, 2021.
  - 17) C. Nnaji and A. A. Karakhan, “Technologies for Safety and Health Management in Construction: Current Use, Implementation Benefits and limitations, and Adoption Barriers”, *Journal of Building Engineering*, Vol. 29, 2020.
  - 18) J. C. Nunnally, “*Psychometric Theory* (2nd ed.)”, McGraw-Hill, New York, pp. 225-255, 1978.
  - 19) J. H. Lee, J. W. Jeong, J. H. Soh and J. M. Jeong, “Quantification Analysis of Safety Investment Cost and Fatal Accident Cost in Construction”, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 37, No. 7, pp. 211-218, 2021.
  - 20) I. Okpala, C. Nnaji and A. A. Karakhan, “Utilizing Emerging Technologies for Construction Safety Risk Mitigation”, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, Vol. 25, No. 2, 2020.
  - 21) S. I. Kim, “Construction Economy(Preparation for Future Construction Industry)”, *Korea Research Institute for Human Settlements*, Sejong, 2022.
  - 22) S. Y. Kang, S. W. Oh, C. W. Kim and K. H. Jung, “Analysis and Survey on Occupational Safety and Health Management Expenses in the Construction Industry”, *Journal of Korea Safety Management & Science*, Vol. 25, No. 2, pp. 113-120, 2023.
  - 23) Y. G. Yoon, M. G. Lee and T. K. Oh, “A Study on the Improvement of the Safety Management Plan under the Construction Technology Promotion Act by Field Survey”, *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 33, No. 4, pp. 30-37, 2018.