J. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 26 No. 2 June 2024
http://dx.doi.org/10.12812/ksms.2024.26.2.043
ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

스마트 건설안전관리시스템의 중요도-성과도 분석 연구

박 종 일* · 윤 창 희**
*서울과학기술대학교 안전공학과 · **서울과학기술대학교 글로벌안전공학과 석사과정

Research on Importance-Performance Analysis of Smart Construction Safety Management System

Jong-Yil Park* · Chang-Hee Yun**
*Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology
**Department of Global Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Abstract

This study analyzes the importance-performance analysis (IPA) of the 10 dimensions of the smart construction safety management system, and analyzes which dimensions are important and which dimensions are performing to determine key improvement tasks, incremental improvement tasks, Maintenance and reinforcement tasks and continuous maintenance tasks were derived. Among the 10 dimensions of the smart construction safety management system, the dimensions that are recognized as important by all field managers and field workers and have high performance are the automatic risk displacement measurement system, smart environmental sensor system, and heavy equipment seizure prevention system. However, areas that were perceived as having high importance but low performance were worker location tracking systems, smart safety helmet chin muscles, and smart safety ring fastening.

Among the smart construction safety management systems perceived by field managers, areas for key improvement with high importance and low performance included worker location tracking system and smart safety ring fastening.

Among the smart construction safety management systems perceived by field workers, the area for key improvement with high importance and low performance was the automatic risk displacement measurement system.

Keywords : Smart Construction Safety, Importance, Performance, Worker Location Tracking System

1. 서 론

고용노동부 2023년 산업재해 현황 부가통계 “재해조사 대상 사망사고 발생 현황”에 따르면 사고사망자 수가 2023년에 처음으로 500명대 수준으로 감소하였다. 업종별로는 건설업 303명(297건), 제조업 170명(165건), 기타업종 125명(122건) 발생하였다[1].

특히, 건설업 산업현장에서 발생하는 산업재해는 산업안전보건법 전면 개정, 건설기술진흥법 개정, 중대재해 처벌 등에 관한 법률 제정 등 법률 및 제도의 강화, 행정안전부, 고용노동부, 국토교통부 등 정부의 중대재해를 감소하기 위한 많은 투자와 노력에도 불구하고 사고성 사망만인율은 높은 편이다[2].

국토교통부는‘국민안전-재난 · 재해 대응’정부 합동 업무보고에서 2022년까지 건설현장의 사망자수를 절반까지 줄이는 방안을 추진한다고 보고하였으며, 이를 위해 발주자 · 원청 책임 강화, 타워크레인 등 건설기계 안전 강화, 안전관리제도 이행 점검 강화, 첨단기술 활용 등 4가지 핵심과제를 마련했다[3].

정부는 2019년 500억 원 이상 공공 건설현장에 IoT

†Corresponding Author : Jong-Yil Park, Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, E-mail: jip111@seoultech.ac.kr
Received May 23, 2024; Revision June 14, 2024; Accepted June 16, 2024

기반으로 실시간 현장안전관리 시스템 도입을 의무화하고 있다. 또한 기업들도 현장 안전관리 강화의 일환으로 IoT 기반의 안전관리시스템 구축을 추진함으로써 기술지식 재산권 선점에 나서고 있으며, 건설 현장의 예방적 안전관리와 안전사고 저감에 앞장서고 있다[4].

서울특별시는 도시기반시설본부 발주 공사 현장의 안전 · 하자 · 부실사고 위험 및 중대 재해 예방을 도모하기 위해 스마트 안전기술 도입에 관한 세부 기준을 제시하여 현장별 특성을 고려한 기술 도입을 촉진하고 체계적이고 능동적인 실시간 스마트 안전관리 체계를 구축 · 활용하는 것을 목적으로'서울시 스마트안전 현장 적용 매뉴얼'을 제공하고 있다[5].

본 연구는 IoT 기반 스마트 건설안전관리시스템의 차원별 중요도와 성과도를 분석하고, 이것이 지각된 유용성과 수용의도에 미치는 영향관계를 파악한다, 분석 결과를 토대로 안전사고 예방 차원의 IoT 기반 스마트 건설안전관리시스템의 수용과 안전사고 예방 행동의도 형성을 위한 방향을 제시하고, 건설 현장에 정착되어 근로자에게 안전한 작업환경이 마련될 수 있도록 기여하고자 한다. 이를 위해 안전사고의 위험 요소를 분석하고, 다양한 IoT기반 스마트 건설안전서비스를 살펴보고, IoT기반 스마트 건설안전관리시스템에 접목을 시켜 건설 현장 환경을 개선하여, 건설현장 안전사고를 예방하는데 시사점을 제공하고자 한다.

IoT 기반 스마트 건설안전관리시스템이 빠른 시일 내에 건설 현장에 도입될 수 있도록 아래와 같은 연구 목적을 바탕으로 실증분석을 진행하고자 한다.

첫째, 스마트 건설안전관리시스템 10차원 [현장통합관제시스템, 근로자위치추적시스템, 이동식 360° 카메라 원격점검시스템, 웨어러블 카메라(바디캠 또는 액션캠), 중장비협착방지시스템, 스마트 환경센서시스템, 위험변위자동계측시스템, 스마트 에어백 조끼, 스마트 안전고리 체결, 스마트 안전모턱근체결]의 중요도-성과도를 분석(Importance-Performance Analysis: IPA)하여, 스마트 건설안전관리시스템 10차원 중 어떤 차원이 중요한지, 또 어떤 차원에서 성과를 내고 있는지 분석하여 중점개선 과제, 점진개선 과제, 유지강화 과제, 지속유지 과제 등을 도출한다. 이를 통해 가장 먼저 우선적으로 개선하여 시스템을 갖추어야 하는 스마트 건설안전관리시스템은 어떤 분야이고, 어떤 시스템을 갖추어야 하는가를 도출한다.

둘째, 스마트 건설안전관리시스템 10차원의 성과도와 스마트 건설안전관리시스템의 지각된 유용성, 수용의도의 영향관계를 실증 분석하여 건설현장의 스마트안전관리의 시사점을 제공한다.

셋째, 스마트 건설안전관리시스템의 중요도와 성과도에 있어서 현장관리자와 현장근로자의 인식차이를 파악하여 시사점을 제공한다.

2. 이론적 배경

2.1 스마트 건설안전관리시스템

서울시는 건설현장의 안전사고를 미연에 방지하기 위해서 공사 현장에 첨단 IT기술을 접목한'스마트 안전장비'를 도입하고 있으며, 이번에 도입된 스마트 안전기술은'현장통합관제시스템','근로자위치추적시스템','이동식 360° 카메라 원격점검시스템','웨어러블 카메라(바디캠 또는 액션캠)','중장비협착방지 시스템','스마트 환경센서 시스템','위험변위자동계측시스템','스마트 에어백 조끼','스마트 안전고리 체결','스마트 안전휀스','스마트 안전모 턱근체결'등 대형공사 필수 항목 2종, 공통필수 항목 5종, 권장 항목 4종을 <Table 1>과 같이 제시하고 있다.

건설현장 스마트 안전관리의 변화에 따라서 본 연구는 "서울시 스마트 안전 현장 적용 매뉴얼"에서 제공된 스마트 안전관리시스템 10개 요인의 중요도와 성과도를 측정한다.

2.2 지각된 유용성(Perceived Usefulness)

<Table 2>와 같이 지각된 용이성은 정보기술을 사용하는데 있어서 어려움이나 노력으로부터 자유로울 것이라고 인식하는 정도로 정의하였고 지각된 유용성은 사용자들이 전자메일 시스템과 같은 정보기술을 사용하면 업무수행에 도움이 될 것이라고 믿는 정도로 정의하였다[6].

지각된 용이성과 지각된 유용성은 외부변수에 의해 영향을 받으며, 기술이 유용하다고 생각할수록, 이용하기 쉬울수록 이용에 대한 태도가 높아진다고 하였고, 결국 기술을 사용하려는 행위의도가 높아짐에 따라 새로운 기술을 수용한다고 하였다[7].

본 연구에서 지각된 유용성은 스마트 건설안전시스템을 이용하는 것이 안전사고 예방에 도움이 될 것이라고 생각하는지, 사용자의 안전확보에 도움이 될 것이라고 생각하는지, 안전예방에 효율적으로 활용될 수 있는지, 첨단기능들이 유용할 것이라고 생각되는지로 구성하여 파악하였다.

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

<Table 1> Comprehensive Table of Smart Safety Equipment Introduction Standards

Division	Technology Type	Conditions of Application	Risk type
Large construction essential (2 types)	① On-site integrated control system	All Work/Process	All types of disasters and accidents
	② Worker location tracking system		
Co-Required (5 types)	① Mobile 360° camera remote inspection system	Hazardous Work and Processes such as CCTV blind spots and Communication shadow areas	All types of disasters and accidents
	② Wearable camera (body cam or action cam)		
	③ Heavy duty stenosis prevention system	Work/Process using heavy equipment	Constriction, Impingement
	④ Smart environmental sensor	Work/Process in confined spaces such as tunnels	Fire, Suffocation
	⑤ Hazardous displacement automatic measurement system	Work/Process with risk of displacement, such as Mud block	Overturning, Collapse
Recommend (4 types)	① Smart airbag vest	High-altitude section Work/Process	Fall
	② Smart safety ring fastening	High-altitude section Work/Process	Fall
	③ Smart safety fence	Material transportation, heavy equipment Work/Process	Constriction
	④ Smart safety helmet chin fastening	All Work/Process	Fall

<Table 2> Perceived Ease and Perceived Usefulness of the Technology Acceptance Model

Perceived Ease of Use	Perceived Usefulness
Understandable	Make job easier
Easy to learn	Work more quickly
Easy to use	Useful for work
Easy to become skillful	Improved work performance
Provides flexible functions	Qualitative improvement
easy to control	Improve performance

2.3 수용의도(Intention to Accept)

정보기술수용이론에 대한 선행 연구를 살펴보면, 새로운 정보기술을 도입하고 적용하는 것에 사용자들의 인식과 평가와 사용에 대한 많은 연구 결과가 집적되어 있고, 기술수용모델(Technology Acceptance Model: TAM))은 새로운 정보기술들을 수용하는데 있어 어떤 주요 변수들이 사용자들의 수용에 영향을 미치는지 확인하기 위해 사용되는 연구모형이다[8].

Davis, Bagozzi & Warshaw(1989)는 초기 기술수용모델에서 태도 변인이 매개적 역할이 미약하다는 사실 을 인지하고, 인지된 유용성과 인지된 용이성이 직접적으로 사용의도에 영향력이 있음을 확인하여 기술수용모델을 제안하였다[9].

본 연구에서 수용의도는 스마트 건설안전관리시스템은 안전예방에 꼭 필요하므로 적극적으로 사용할 의향이 있는지, 현장근로자 재해 예방에 꼭 필요하다고 생각하는지, 다른 서비스보다 안전성을 고려해 우선적으로 사용할 의향이 있는지, 현장에 맞게 적극적으로 활용할 것인지로 구성하여 수용의도를 파악하였다.

3. 분석방법

본 연구는 첫째, 중요도-성과도 분석(Importance Performance Analysis:IPA)를 이용하여 스마트 건설안전관리시스템의 중요도와 성과도를 파악하여 건설산업현장의 관리자와 현장근로자가 인식하는 스마트 건설안전관리시스템의 중요도와 성과도의 차이를 분석한다.

둘째, 스마트 건설안전관리시스템의 성과도가 인지된 유용성과, 수용의도에 미치는 영향을 분석하였다.

스마트 건설안전관리시스템은 대형공사 필수 항목 2종, 공통필수 항목 5종, 권장 항목 3종 등 10개 항목을 설정하여 분석하였다.

지각된 유용성은 안전사고 예방 도움, 사용자의 안전확보에 도움, 안전예방에 효율적으로 활용됨, 유용함 등 5개 항목으로 설정하여 분석하였다.

수용의도는 적극적으로 사용할 의향, 재해예방에 꼭 필요하다고 생각함, 우선적으로 사용할 것임, 적극적으로 활용할 것임 등 4개 항목으로 설정하여 분석하였다.

4. 분석결과

4.1 인구통계학적 특성

조사분석의 대상은 총 115명으로, 연령은 20대 4명(3.5%), 30대 30명(26.1%), 40대 45명(39.1%), 50대 32명(27.8%), 60대 이상 4명(3.5%)이었다. 직무경력은 5년 미만 27명(23.5%), 5년-10년 16명(13.9%), 11년-15년 20명(17.4%), 16-20년 27명(23.5%), 20년 이상 25명(21.7%)이었다. 소속은 시공사-안전관리자 53명(46.1%), 시공사-공사관리자 8명(7.0%), 현장근로자 46명(40.0%), 감리단 6명(5.2%), 발주처 2명(1.7%)이었다. 사업장 규모는 300억미만 34명(29.6%), 300억-800억미만 12명(10.4%), 800억-1500억미만 11명(9.6%), 1500억-2200억미만 48명(41.7%), 2200억 이상 10명(8.7%)이었다. 사업장분야는 토목분야 16명(13.9%), 건축분야 79명(68.7%), 플랜트분야 6명(5.2%), 전기통신분야 6명(5.2%), 기타 분야 8명(7.0%)이었다.

4.2 스마트 건설안전관리시스템의 중요도-성과도 분석

스마트 건설안전관리시스템 10차원의 중요도-성과도 차이를 비교하고자 대응표본 t검정을 분석하였다. 모든 요인에서 유의한 차이가 나타났으며 분석 결과는 <Table 3>과 같다.

스마트 건설안전시스템 10개 차원 중 현장통합관제시스템 중요도 우선순위는 8위이며 성과도 우선순위는 5위로 나타났고, 중요도(4.267)와 성과도(4.058) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.01$). 근로자위치추적시스템 중요도 우선순위는 2위이며 성과도 우선순위는 10위로 나타났고, 중요도(4.371)와 성과도(3.896) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 이동식 360° 카메라 원격점검 시스템 중요도 우선순위는 7위이며 성과도 우선순위는 1위로 나타났고, 중요도(4.285)와 성과도(4.130) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.01$). 웨어러블 카메라 중요도 우선순위는 10위이며 성과도 우선순위는 9위로 나타났고, 중요도(4.078)와 성과도(3.925) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.01$). 중장비 협착방지시스템 중요도 우선순위는 6위이며 성과도 우선순위는 2위로 나타났고, 중요도(4.325)와 성과도(4.122) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.01$).

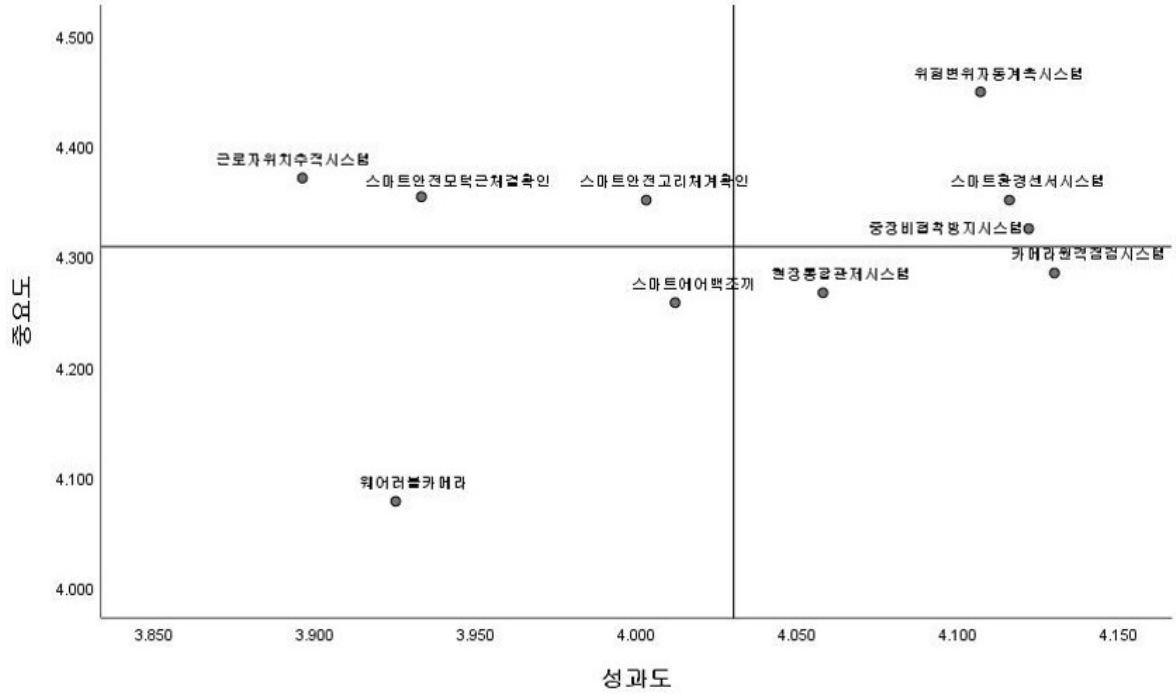
스마트 환경센서시스템 중요도 우선순위는 4위이며 성과도 우선순위는 3위로 나타났고, 중요도(4.351)와 성과도(4.116) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 위험변위 자동계측 시스템 중요도 우선순위는 1위이며 성과도 우선순위는 4위로 나타났고, 중요도(4.449)와 성과도(4.107) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 스마트 에어백조끼 중요도 우선순위는 9위이며 성과도 우선순위는 6위로 나타났고, 중요도(4.258)와 성과도(4.012) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 스마트 안전고리 체결 중요도 우선순위는 4위이며 성과도 우선순위는 7위로 나타났고, 중요도(4.351)와 성과도(4.003) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 스마트 안전

<Table 3> Smart Construction Safety Management System Importance-Performance Analysis Results

Smart Construction Safety Management System Factors	Importance			Performance			difference	t	p
	M	SD	ranking	M	SD	ranking			
On-site integrated control	4.267	0.623	8	4.058	0.900	5	0.209	2.659	0.009**
Worker location tracking	4.371	0.629	2	3.896	0.999	10	**0.475**	4.950	0.000***
Mobile 360° camera remote inspection	4.285	0.636	7	4.130	0.696	1	0.154	3.583	0.001**
Wearable camera	4.078	0.799	10	3.925	0.833	9	0.154	2.677	0.009**
Heavy duty stenosis prevention	4.325	0.687	6	4.122	0.735	2	0.203	3.302	0.001**
Smart environmental sensor	4.351	0.555	4	4.116	0.756	3	0.235	4.323	0.000***
Hazardous displacement automatic measurement system	4.449	0.650	1	4.107	0.762	4	0.342	5.796	0.000***
Smart airbag vest	4.258	0.695	9	4.012	0.891	6	0.246	3.675	0.000***
Smart safety ring fastening	4.351	0.666	4	4.003	0.875	7	**0.348**	5.157	0.000***
Smart safety helmet chin fastening	4.354	0.674	3	3.933	0.854	8	**0.420**	5.844	0.000***

**p<0.01, ***p<0.001

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)



[Figure 1] Smart construction safety management system importance-performance matrix

모 턱근 체결 중요도 우선순위는 3위이며 성과도 우선순위는 8위로 나타났고, 중요도(4.354)와 성과도(3.933) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$).

4.3 스마트 건설안전관리시스템 IPA 결과

스마트 건설안전관리시스템 중요도-성과도 매트릭스를 나타내면 [Figure 1]과 같다. 중요도 평균 4.308과 성과도 평균 4.03을 기준으로 하여 사분면으로 구분하였다. 스마트 건설안전관리시스템의 중요도와 성과도가 모두 높은 유지강화의 영역에는 위험변위자동계측시스템, 스마트 환경센서시스템, 중장비 협착방지시스템으로 구분되었다. 중요도는 높고 성과도가 낮은 중점개선의 영역에는 근로자 위치추적 시스템, 스마트 안전모 턱근, 스마트안전고리 체결로 나타났다. 중요도는 낮고 성과도가 높은 지속유지의 영역은 현장통합관제시스템, 카메라 원격접점시스템이 나타났다. 중요도가 낮고 성과도도 낮은 점진개선 영역은 웨어러블 카메라, 스마트 에어백조끼로 나타났다.

4.4 관리자의 스마트 건설안전관리시스템 요인별 중요도-성과도 분석

관리자가 인지하는 스마트 건설안전관리시스템 10차원 의 중요도-성과도 차이를 비교하고자 대응표본 t검정을 분석하였다. 모든 요인에서 유의한 차이가 나타났으며 분석 결과는 <Table 4>와 같다. 스마트 건설안전관리시스템 10개 차원 중 현장통합관제시스템 중요도 우선순위는 8위이며 성과도 우선순위는 5위로 나타났고, 중요도(4.164)와 성과도(3.807) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.01$). 근로자위치추적 시스템 중요도 우선순위는 1위이며 성과도 우선순위는 9위로 나타났고, 중요도(4.406)와 성과도(3.688) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 카메라 원격점검 시스템 중요도 우선순위는 5위이며 성과도 우선순위는 1위로 나타났고, 중요도(4.243)와 성과도(4.014) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 웨어러블 카메라 중요도 우선순위는 10위이며 성과도 우선순위는 6위로 나타났고, 중요도(4.005)와 성과도(3.773) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 중장비 협착방지 시스템 중요도 우선순위는 3위이며 성과도 우선순위는 2위로 나타났고, 중요도(4.319)와 성과도(3.971) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 스마트 환경센서 시스템 중요도 우선순위는 6위이며 성과도 우선순위는 4위로 나타났고, 중요도(4.237)와 성과도(3.942) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 위험변위 자동계측 시스템 중요도 우선순위는 2위이며 성과도 우선순위는 3위로 나타났고, 중요도(4.362)와 성과도(3.966) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 스마트 에어백 조끼 중요도 우선순위는 9위이며 성과도 우선순위는 7위로 나타났고, 중요도(4.140)와 성과도(3.739) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 스마트 안전고리 체결 중요도

<Table 4> Manager Smart Construction Safety Management System Importance-Performance Analysis Results

Smart Construction Safety Management System Factors	Importance			Performance			difference	t	p
	M	SD	ranking	M	SD	ranking			
On-site integrated control	4.164	0.638	8	3.807	0.954	5	0.357	3.131	0.003**
Worker location tracking	4.406	0.618	1	3.688	1.122	9	0.717	5.057	0.000***
Mobile 360° camera remote inspection	4.243	0.589	5	4.014	0.682	1	0.228	3.992	0.000***
Wearable camera	4.005	0.787	10	3.773	0.870	6	0.232	2.712	0.008**
Heavy duty stenosis prevention	4.319	0.595	3	3.971	0.697	2	0.348	4.327	0.000***
Smart environmental sensor	4.237	0.537	6	3.942	0.752	4	0.295	4.476	0.000***
Hazardous displacement automatic measurement system	4.362	0.644	2	3.966	0.778	3	0.396	4.986	0.000***
Smart airbag vest	4.140	0.785	9	3.739	0.902	7	0.401	4.348	0.000***
Smart safety ring fastening	4.285	0.630	4	3.734	0.879	8	0.551	5.661	0.000***
Smart safety helmet chin fastening	4.222	0.668	7	3.657	0.874	10	0.565	5.202	0.000***

**p<0.01, ***p<0.001

우선순위는 4위이며 성과도 우선순위는 8위로 나타났고, 중요도(4.285)와 성과도(3.734) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다(p<0.001). 스마트 안전모 턱근 체결 확인의 중요도 우선순위는 7위이며 성과도 우선순위는 10위로 나타났고, 중요도(4.222)와 성과도(3.657) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다(p<0.001).

4.5 관리자 스마트 건설안전관리시스템 IPA 결과

관리자가 인지하는 스마트 건설안전시스템 IP 매트릭스를 나타내면 [Figure 2]와 같다. 중요도 평균 4.238과 성과도 평균 3.829를 기준으로 하여 사분면으로 구분하였다.

스마트 건설안전관리시스템의 중요도와 성과도가 모두가 높은 유지강화의 영역에는 위험변위 자동계측 시스템, 스마트 환경센서 시스템, 중장비 협착방지 시스템, 카메라 원격점검 시스템으로 구분되었다. 중요도는 높고 성과도가 낮은 중점개선의 영역에는 근로자 위치추적 시스템, 스마트 안전고리체결로 나타났다. 중요도는 낮고 성과도가 높은 지속유지의 영역은 없었다. 중요도가 낮고 성과도도 낮은 점진개선 영역은 웨어러블 카메라, 현장통합관제시스템, 스마트 에어백 조끼, 스마트 안전모 턱근체결로 나타났다.

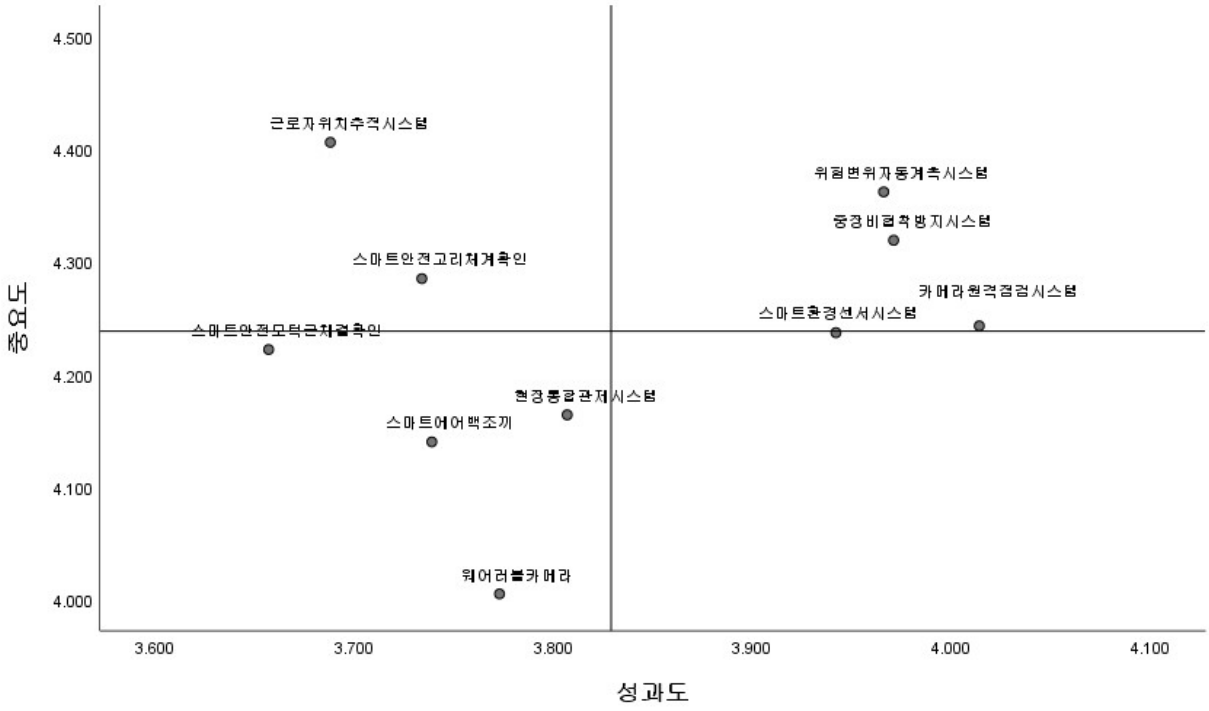
4.6 현장근로자 스마트 건설안전관리시스템 중요도-성과도 분석

현장근로자가 인지하는 스마트 건설안전관리시스템 10차원의 중요도-성과도 차이를 비교하고자 대응표본 t 검정을 분석하였다. 건설안전시스템 10차원 중 위험변위 자동계측시스템, 스마트 안전모 턱근체결 요인에서만 유의한 차이가 나타났으며 분석 결과는 <Table 5>과 같다.

스마트 건설안전관리시스템 10개 차원 중 현장통합관제시스템 중요도 우선순위는 6위이며 성과도 우선순위는 1위로 나타났고, 중요도(4.420)와 성과도(4.435) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 근로자위치추적 시스템 중요도 우선순위는 9위이며 성과도 우선순위는 9위로 나타났고, 중요도(4.319)와 성과도(4.207) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 카메라 원격점검 시스템 중요도 우선순위는 7위이며 성과도 우선순위는 8위로 나타났고, 중요도(4.348)와 성과도(4.304) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다((p>0.05). 웨어러 블카메라 중요도 우선순위는 10위이며 성과도 우선순위는 10위로 나타났고, 중요도(4.188)와 성과도(4.152) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 중장비 협착방지시스템은 중요도 우선순위는 8위이며 성과도 우선순위는 5위로 나타났고, 중요도(4.333)와 성과도(4.348) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

스마트 환경센서 시스템 중요도 우선순위는 3위이며 성과도 우선순위는 4위로 나타났고, 중요도(4.522)와 성과도(4.377) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 위험변위자동계측시스템 중요도 우선순위는 1위이며 성과도 우선순위는 7위로 나타났고, 중요도(4.580)와 성과도(4.319) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다(p<0.01). 스마트 에어백 조끼 중요도 우선순위는 5위이며 성과도 우선순위는 2위로 나타났고, 중요도(4.435)와 성과도(4.420) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 스마

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)



[Figure 2] Manager Smart Construction Safety Management System Importance-Performance Matrix

<Table 5> Results of analysis of importance and performance of smart construction safety management system for field workers

Smart Construction Safety Management System Factors	Importance			Performance			difference	t	p
	M	SD	ranking	M	SD	ranking			
On-site integrated control	4.420	0.573	6	4.435	0.659	1	-0.014	-0.166	0.869
Worker location tracking	4.319	0.648	9	4.207	0.680	9	0.112	1.262	0.213
Mobile 360° camera remote inspection	4.348	0.702	7	4.304	0.689	8	0.043	0.698	0.489
Wearable camera	4.188	0.812	10	4.152	0.726	10	0.036	0.589	0.559
Heavy duty stenosis prevention	4.333	0.813	8	4.348	0.740	5	-0.014	-0.167	0.868
Smart environmental sensor	4.522	0.543	3	4.377	0.691	4	0.145	1.567	0.124
Hazardous displacement automatic measurement system	4.580	0.646	1	4.319	0.692	7	0.261	3.011	0.004**
Smart airbag vest	4.435	0.491	5	4.420	0.704	2	0.014	0.171	0.865
Smart safety ring fastening	4.449	0.714	4	4.406	0.702	3	0.043	0.694	0.492
Smart safety helmet chin fastening	4.551	0.641	2	4.348	0.632	5	0.203	3.117	0.003**

**p<0.01

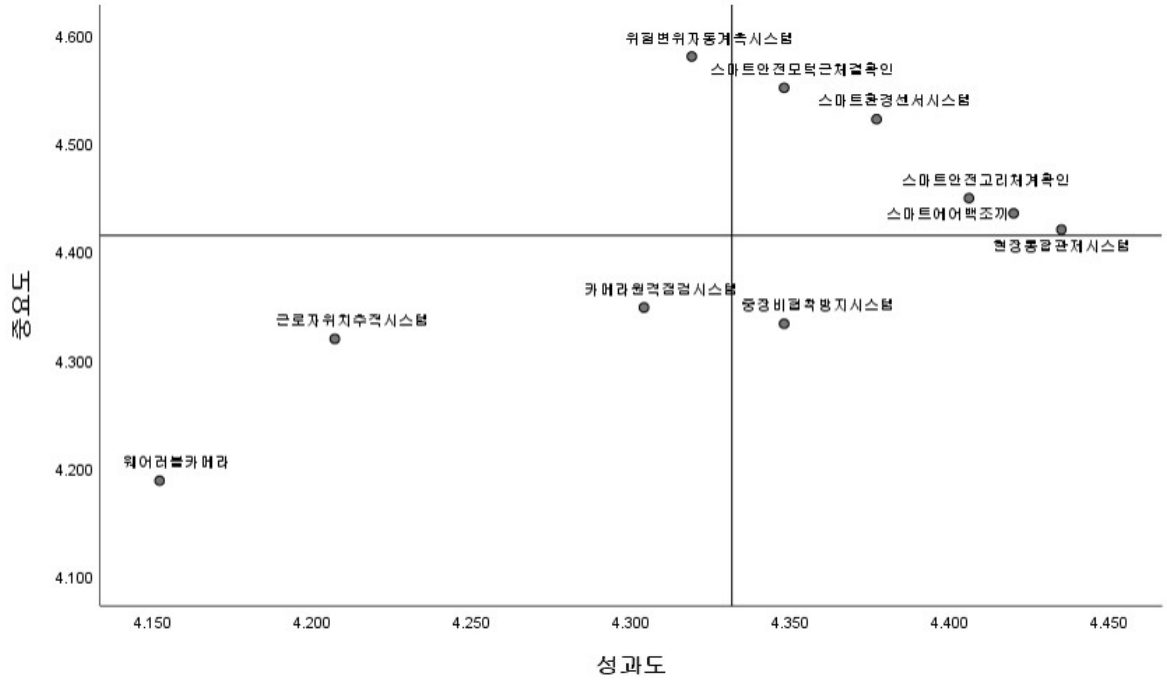
트 안전고리 체결 중요도 우선순위는 4위이며 성과도 우선순위는 3위로 나타났고, 중요도(4.449)와 성과도(4.406) 간 평균에는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 스마트 안전모 턱근 체결 중요도 우선순위는 2위이며 성과도 우선순위는 5위로 나타났고, 중요도(4.551)와 성과도(4.348) 간 평균에는 유의한 차이가 나타났다(p<0.01).

4.7 현장근로자의 스마트 건설안전관리시스템 IPA 결과

현장근로자가 인지하는 스마트 건설안전관리시스템 IPA 매트릭스를 나타내면 [Figure 3]과 같다. 중요도 평균 4.414과 성과도 평균 4.332를 기준으로 하여 사분면으로 구분하였다.

스마트 건설안전관리시스템의 중요도와 성과도가 모두 높은 유지강화의 영역에는 현장통합관제시스템, 스마트에어백조끼, 스마트안전고리체계 확인, 스마트 환경센서 시스템, 스마트 안전모 턱근체결로 구분되었다.

중요도는 높고 성과도가 낮은 중점개선의 영역에는 위험변위 자동계측 시스템으로 나타났다. 중요도는 낮고 성과도가 높은 지속유지의 영역은 중장비 협착방지 시스템



[Figure 3] Smart construction safety management system importance-performance matrix for field workers

으로 나타났다. 중요도가 낮고 성과도도 낮은 점진개선 영역은 카메라원격점검시스템, 근로자위치추적시스템, 웨어러블 카메라로 나타났다.

4.8 스마트 건설안전관리시스템이 지각된 유용성에 미치는 영향

스마트 건설안전관리시스템이 지각된 유용성에 미치는 영향 관계를 분석한 결과는 <Table 6>과 같다. 전체 회귀모형은 R^2=45.0%이며 F값은 8.509(p<0.001)로 유의하게 나타났다. Durbin-Watson 자기상관 값은 2.106이며 다중공선성과 VIF값을 확인한 결과 10이하로 이상이 없는 것으로 나타났다. 스마트 건설안전관리시스템이 지각된 유용성에 미치는 영향 관계는 카메라 원격점검 시스템(0.724), 중장비 협착방지 시스템(0.502), 스마트 환경세선 시스템(0.427) 순으로 유의한 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(p<0.05).

4.9 스마트 건설안전관리시스템이 수용의도에 미치는 영향

스마트 건설안전시스템이 수용의도에 미치는 영향 관

<Table 6> Results of analysis of the impact of smart construction safety management system on perceived usefulness

독립변수 (종속변수: 지각된 유용성)	비표준화계수		표준화계수	t	p	공차	VIF
	B	표준편차	β				
(상수)	2.141	0.316		6.779	0.000		
On-site integrated control	-0.058	0.096	-0.081	-0.606	0.546	0.295	3.395
Worker location tracking	-0.063	0.101	-0.098	-0.621	0.536	0.214	4.667
Mobile 360° camera remote inspection	0.668	0.142	0.724	4.693	0.000***	0.222	4.495
Wearable camera	0.226	0.136	0.292	1.655	0.101	0.170	5.895
Heavy duty stenosis prevention	0.439	0.194	0.502	2.268	0.025*	0.108	9.259
Smart environmental sensor	0.363	0.141	0.427	2.584	0.011*	0.194	5.166
Hazardous displacement automatic measurement system	-0.183	0.172	-0.216	-1.063	0.290	0.128	7.839
Smart airbag vest	-0.175	0.125	-0.243	-1.399	0.165	0.176	5.695
Smart safety ring fastening	-0.006	0.127	-0.008	-0.048	0.962	0.176	5.678
Smart safety helmet chin fastening	0.075	0.125	0.099	0.597	0.552	0.192	5.211

*p<0.05, ***p<0.001

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

계를 분석한 결과는 <Table 7>과 같다. 전체 회귀모형은 R^2=61.8%이며 F값은 16.799(p<0.001)로 유의하게 나타났다. Durbin-Watson 자기상관 값은 1.882이며 다중공선성과 VIF값을 확인한 결과 10 이하로 이상이 없는 것으로 나타났다. 스마트 건설안전관리시스템이 수용의도에 미치는 영향 관계는 카메라 원격점검 시스템(0.668), 스마트 환경센서 시스템(0.480), 중장비 협착방지 시스템(0.417), 스마트 에어백 조끼(0.415), 웨어러블 카메라(0.356) 순으로 유의한 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(p<0.05).

5. 결론 및 시사점

5.1 결 론

스마트 건설안전관리시스템 10차원 중 현장관리자와 현장근로자 전체가 중요하다고 인식하고 그 성과도도 높게 지각하는 차원은 위험변위 자동계측 시스템, 스마트 환경센서 시스템, 중장비 협착방지시스템으로 나타났다. 하지만 중요도는 높게 지각되고 있으나 그 성과가 낮게 지각되는 영역은 근로자 위치추적 시스템, 스마트 안전모 턱근, 스마트 안전고리 체결로 나타났다.

중요도는 낮고 성과도가 높은 지속유지의 영역은 현장통합관제시스템, 카메라 원격접점시스템으로 나타나고 있고, 중요도가 낮고 성과도도 낮은 점진개선 영역은 웨어러블 카메라, 스마트 에어빽조끼로 나타났다.

현장의 관리자가 지각하는 스마트 건설안전관리시스템 10차원 중 중요도와 성과도가 모두 높은 유지강화의 영역에는 위험변위 자동계측 시스템, 스마트 환경센서 시스템, 중장비 협착방지 시스템, 카메라 원격점검 시스템으로 나타났다. 하지만 중요도는 높고 성과도가 낮은 중점개선의 영역에는 근로자 위치추적 시스템, 스마트 안전고리 체결로 나타났다. 중요도는 낮고 성과도가 높은 지속유지의 영역은 없었으며, 중요도가 낮고 성과도도 낮은 점진개선 영역은 웨어러블 카메라, 현장통합관제시스템, 스마트 에어빽 조끼, 스마트 안전모 턱근 체결로 나타났다.

현장의 근로자가 지각하는 스마트 건설안전관리시스템 10차원 중 중요도와 성과도가 모두 높은 유지강화의 영역에는 현장통합관제시스템, 스마트에어빽조끼, 스마트안전고리체계 확인, 스마트 환경센서 시스템, 스마트 안전모 턱근체결로 나타났다. 하지만 중요도는 높고 성과도가 낮은 중점개선의 영역에는 위험변위 자동계측 시스템으로 나타났다. 중요도는 낮고 성과도가 높은 지속유지의 영역은 중장비 협착방지 시스템으로 나타났으며, 중요도가 낮고 성과도도 낮은 점진개선 영역은 카메라 원격점검 시스템, 근로자 위치추적 시스템, 웨어러블 카메라로 나타났다.

스마트 건설안전관리시스템이 지각된 유용성에 미치는 영향 관계에 있어서는 카메라 원격점검 시스템, 중장비 협착방지 시스템, 스마트 환경세선 시스템 순으로 지각된 유용성에 유의한 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

스마트 건설안전관리시스템이 수용의도에 미치는 영향 관계에 있어서는 카메라 원격점검 시스템, 스마트 환경센서 시스템, 중장비 협착방지 시스템, 스마트 에어백 조끼, 웨어러블 카메라 순으로 수용의도에 유의한 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

<Table 7> Results of analysis of the impact of smart construction safety management system on acceptance intention

독립변수 (종속변수: 수용의도)	비표준화계수		표준화계수	t	p	공차	VIF
	B	표준편차	β				
(상수)	1.592	0.293		5.433	0.000		
On-site integrated control	−0.238	0.089	−0.299	−2.673	0.009**	0.295	3.395
Worker location tracking	0.182	0.094	0.254	1.942	0.055	0.214	4.667
Mobile 360° camera remote inspection	0.687	0.132	0.668	5.197	0.000***	0.222	4.495
Wearable camera	0.306	0.126	0.356	2.416	0.017*	0.170	5.895
Heavy duty stenosis prevention	0.406	0.180	0.417	2.259	0.026*	0.108	9.259
Smart environmental sensor	0.455	0.131	0.480	3.485	0.001**	0.194	5.166
Hazardous displacement automatic measurement system	−0.155	0.160	−0.164	−0.969	0.335	0.128	7.839
Smart airbag vest	0.333	0.116	0.415	2.865	0.005**	0.176	5.695
Smart safety ring fastening	0.167	0.118	0.204	1.412	0.161	0.176	5.678
Smart safety helmet chin fastening	0.109	0.116	0.130	0.942	0.349	0.192	5.211

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

5.2 시사점

스마트 건설안전관리 시스템 10차원 중 현장의 관리자와 근로자, 특히, 현장관리자가 중요도는 높게 지각하지만 성과도는 낮게 지각되고 있는 “근로자 위치 추적 시스템”은 실시간 건설 차량 및 장비, 근로자 위치 및 구역별 근무 현황 확인과 건설 현장 내 위험상황 발생 시 긴급 호출의 주요기능을 하게 된다.

붕괴, 매립 위험 우려가 있는 터널 및 지하 작업 구간, 화재, 질식 위험 우려가 있는 밀폐공간 내 작업 구간, 협착 위험 우려가 있는 중장비 사용 작업 구간, 추락, 낙하 위험 우려가 있는 고소 작업 구간은 근로자 위치 추적 시스템의 활용이 요구되는 건설현장 내 주요 위험 장소 및 공종 작업이라 할 수 있다. 이때는 특히 안전관리자 감독 하에 H/W 및 S/W 점검을 정기적으로 실시하고 이상 여부 발생 시 본부 공사관리관에게 즉시 보고 조치하고, 장비 수리 및 폐기 등 조치 시에는 공사관리관과 사전 협의하여야 한다.

“스마트 안전고리 체결”은 위험공중 사전작업 허가제 대상 등 고소작업 시에 주요하게 사용되고, 근로자 위치추적 등 현장 통합 관제시스템과 연계하여 모니터링 관리 된다. 안전대 체결 및 작업복 탈부착 여부 센서 확인 후 실시간 스피커 또는 현장 관제시스템을 통해 경고를 알리고, 기타 스마트밴드 등 근로자 착용 장구를 통해 경고 알림이 제공된다. 배터리 충전을 위한 장소를 별도 마련하고 작업 이후에는 배터리 상태 및 충전 여부를 상시 점검하여야 하여야 한다. 안전관리자 감독 하에 H/W 및 S/W 점검을 정기적으로 실시하고 이상 여부 발생 시 본부 공사관리관에게 즉시 보고 조치하고, 장비 수리 및 폐기 등 조치 시에는 공사관리관과 사전 협의하여야 한다.

“스마트 안전모 턱끈 체결”은 낙하 위험 예방을 위해 모든 현장 내 착용하며, 근로자 안전모 착용 여부를 턱끈 센서로 확인 후 실시간 스피커 또는 현장 관제시스템을 통해 경고 알림을 제공한다. 또한 중장비 협착 경고, 근로자 위치 추적 시스템과 연계한 장비의 경우 협착 위험 요인을 감지하여 안전모 턱끈 진동으로 알리는 기능을 한다. 스마트 안전모 턱끈 체결은 근로자 위치추적 등 현장 통합 관제시스템과 연계하여 모니터링 관리하고, 스마트 안전고리 체결과 마찬가지로 배터리 충전을 위한 장소를 별도 마련하고 작업 이후에는 배터리 상태 및 충전 여부를 상시 점검하여야 하여야 한다.

스마트 건설안전관리시스템 요인 중 특히, “위험변위 자동계측 시스템”은 현장의 근로자 입장에서 중요도는 높게 지각되고 성과도는 낮게 지각되는 중점개선의 영역으로 나타나고 있다. 현장 관리자는 현장 근로자의 입장에서 안전시스템을 고려하여 관리해야 한다.

위험변위 자동계측 시스템은 붕괴, 전도 등 구조물 변위 위험 작업 현장에 적용된다. 이 시스템은 흙막이가시설 등 붕괴, 변위 위험이 높은 시설물의 변위 여부를 실시간 자동 계측하고, 영상 또는 초음파 센서 감지 경고 알람의 주요기능을 실행한다. 급경사지, 옹벽 등 공사중 붕괴 위험 지역 시설물에 설치 사용하고, 가설공, 토공, 터널공, 철거공 등 변위 위험이 높은 공종 진행 시 해당 작업장 내 변위 위험 높은 시설물에 설치 사용한다. 또한 전도 위험이 높은 지반으로 형성된 구역에 덤프트럭 등 중장비 접근 시 주의 알림 센서로 사용된다.

6. References

[1] Ministry of Employment and Labor(2024), Additional statistics on industrial accidents in 2023: Provisional results of fatal accidents subject to disaster investigation, Press release.

[2] H. D. Ahn(2023), “A Study on the Activation of Safety Management Using Smart Equipment (AIoT, Mobile) in Construction Sites.” Doctoral Thesis, Sunmoon University.

[3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2018), Public Safety: Disaster · Disaster Response, Government Business report, Press release.

[4] G. B. Kim(2019), “A Study on IoT based Smart Safety Management System in a Construction Site.” Master's Thesis, Soongsil University.

[5] Seoul Metropolitan City Urban Infrastructure Headquarters(2023), Smart Safety Technology Field Application Manual.

[6] Y. D. Chi(2018).” Study on the Factor Affecting Continuous Use Intention of Product Service System.” Doctoral Thesis, Soongsil University.

[7] K. W. Kim(2016).” A Study on the Factors Influencing the Internet of Things(IoT) Technology Acceptance of SMEs.” Doctoral Thesis, Hansei University.

[8] C. K. Han(2018).” An influence of the perceived risk characteristic and user characteristic affecting intent of the use biometric-based non face-to-face authentication system in Financial.” Doctoral Thesis, Hansung University.

[9] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, P. R. Warshaw(1989). "User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models." Management Science, 35(8):982-1003.

저자 소개

박 종 일

펜실베니아 주립대학교 공학박사, 서울과학기술대학교 안전공학과 교수

관심분야 : 건설안전, 건설구조안전, 재난안전관리, 방호보안공학 등

윤 창 희

서울과학기술대학교 안전공학과 학사취득, 서울과학기술대학교 산업대학원 글로벌안전공학과 석사과정

관심분야 : 건설안전, 스마트 건설안전관리 시스템