

# IoT 건축시공 건전성 모니터링 기반 AI 안전관리 챗봇서비스 구축방안

## How to build an AI Safety Management Chatbot Service based on IoT Construction Health Monitoring

강휘진<sup>1\*</sup> · 최성조<sup>2</sup> · 한상준<sup>3</sup> · 김재현<sup>4</sup> · 이승호<sup>5</sup>

Hwi Jin Kang<sup>1\*</sup>, Sung Jo Choi<sup>2</sup>, Sang Jun Han<sup>3</sup>, Jae Hyun Kim<sup>4</sup>, Seung Ho Lee<sup>5</sup>

<sup>1</sup>General Secretaty, National Safety Competency Association, Seoul, Republic of Korea

<sup>2</sup>Senior Researcher, National Safety Competency Association, Seoul, Republic of Korea

<sup>3</sup>Senior Researcher, National Safety Competency Association, Seoul, Republic of Korea

<sup>4</sup>CEO, Atom Engineering Co. Ltd, Director National Safety Competency Association, Hanam, Republic of Korea

<sup>5</sup>Professor, Korea Polytechnics, Director National Safety Competency Association, Ulsan, Republic of Korea

\*Corresponding author: Hwi Jin Kang, koreabcm@daum.net

### ABSTRACT

**Purpose:** This paper conducts IoT and CCTV-based safety monitoring to analyze accidents and potential risks occurring at construction sites, and detect and analyze risks such as falls and collisions or abnormalities and to establish a system for early warning using devices like a walkie-talkie and chatbot service. **Method:** A safety management service model is presented through smart construction technology case studies at the construction site and review a relevant literature analysis. **Result:** According to 'Construction Accident Statistics,' in 2021, there were 26,888 casualties in the construction industry, accounting for 26.3% of all reported accidents. Fatalities in construction-related accidents amounted to 417 individuals, representing 50.5% of all industrial accident-related deaths. This study suggests implementing AI chatbot services for construction site safety management utilizing IoT-based health monitoring technologies in smart construction practices. Construction sites where stakeholders such as workers participate were demonstrated by implementing an artificial intelligence chatbot system by selecting major risk areas within the workplace, such as scaffolding processes, openings, and access to hazardous machinery. **Conclusion:** The possibility of commercialization was confirmed by receiving more than 90 points in the satisfaction survey of participating workers regarding the empirical results of the artificial intelligence chatbot service at construction sites.

**Keywords:** Risk Assessment, AI Chatbot Service, IoT Health Monitoring, Safety Education, Construction Sites, Smart Construction

Received | 15 January, 2024

Revised | 1 March, 2024

Accepted | 5 March, 2024

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

### 요약

**연구목적:** 본 논문은 건설 시공현장에서 발생하는 사고 및 잠재적 위험분석을 위한 IoT 및 CCTV 기반 안전모니터링을 실시하고 추락, 충돌 등 위험 또는 이상현상을 탐지하여 무전기 등을 이용한 예·경보 및 챗봇서비스를 구축하는 방법을 제시하는데 목적이 있다. **연구방법:** 건설현장 스마트 건설기술 사례 및 문헌분석을 통하여 안전관리 모델을 제시한다. **연구결과:** '건설사고 통계'에 따르면 2021년 건설업 사고재해자는 26,888명으로 전체 사고재해의 26.3%가 건설업에서 발생하였고, 건설업 안전사고 사망자는 417명으로 전체 산업재해 사망자의 50.5%에 달한다. 이러한 건설재해의 개선 방안으로, IoT 건전성모니터링 기반 스마트 건설기술을 활용한 건설현장 안전관리 AI 챗봇서비스를 제시한다. 근로자 등 이해관계자가 참여하는 건설현장은 비계공정 및 개구부, 위험기계기구류 접근 등 사업장 내부 주요 위험구역을 선정하여 인공지능 챗봇시스템을 구현하여 실증하였다. **결론:** 건설현장 인공지능 챗봇서비스 실증결과에 대한 참여근로자의 만족도 조사에서 90점 이상을 받아 상회화 가능성을 확인하였다.

**핵심용어:** 위험성평가, 인공지능 챗봇서비스, IoT 건전성모니터링, 안전교육, 스마트 건설

## 서론

건설업은 제조업과 함께 가장 위험한 산업재해 업종 중의 하나이다. ‘건설사고 통계’에 따르면 2021년 건설업 사고재해자는 26,888명으로 전체 사고재해의 26.3%가 건설업에서 발생하였고, 건설업 안전사고 사망자는 417명으로 전체 산업재해 사망자의 50.5%에 달한다. 다만 건설업도 산업재해와 관련하여 사망자 수가 가장 많은 것으로 나타났다(Wang et al., 2022). 2019년 대만에 산업재해 사망자가 316명이었으며, 사망자 316명 중 168명(>50%)이 대만 건설업에서 발생했다.

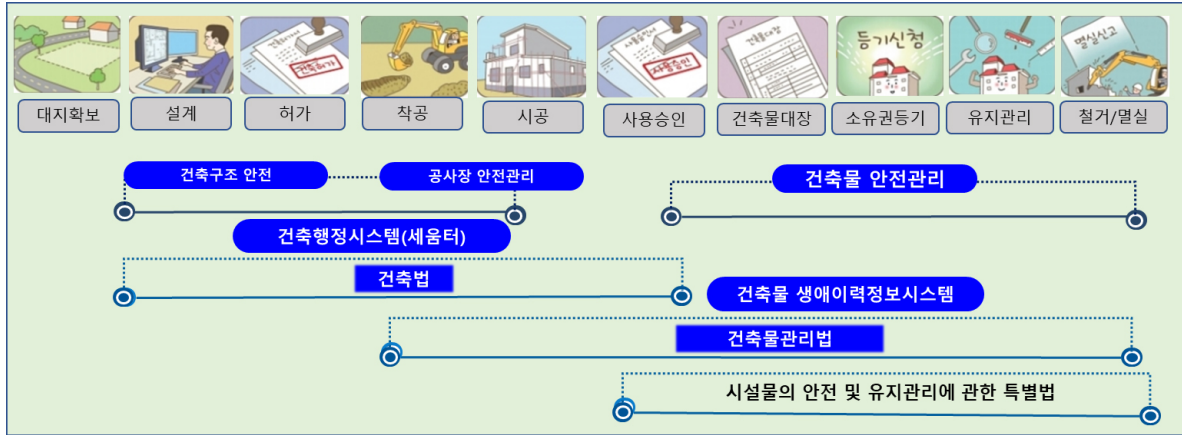


Fig. 1. Concept map of building life cycle and related laws

강동구청의 건축물 안전관리계획 수립을 위한 실태조사 보고서 Fig. 1에 따르면 건축물 생애주기에서 건설업 사망재해는 건설현장 즉 공사장에서 발생한다(Son et al., 2022). 건축물 안전관리 영역도 생애주기 차원에서 접근할 필요가 있다. 건축물 생애주기와 관련하여 건축법, 건축물 관리법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 등 많은 법령이 관계되어 있다. 건축물 생애주기는 기획, 대지확보, 설계, 허가, 착공, 시공, 사용승인, 건축물대장, 소유권등기, 유지관리, 철거/멸실의 단계로 구성된다. 국토교통부 ‘건축물 생애이력 관리시스템(<https://blcm.go.kr/lim/etc/ServiceLif.do>)’에서는 건축물 생애주기 전 단계(기획·설계, 시공, 유지관리, 철거)에 걸쳐 개별 법령과 기관별로 각각 관리되고 있는 전국 685만 동 건축물의 이력 정보를 통합·관리하여 국민/건물주(관리자)/점검자/공무원이 쉽고 편리하게 건축물 관련 정보를 제공받을 수 있는 Total 서비스를 제공하고 있다. 본 연구의 범위는 착공에서 사용승인까지 즉 건설현장 시공단계에 초점을 둔다. 다시 말하면 공사장 안전 관리로 건설현장의 위험분석, IoT 기반 안전모니터링, 상황대응 챗봇서비스 운영을 통하여 공사장의 위험을 예방 및 대응하는데 있다.

건설사업은 산업안전, 보건에 대한 계획(보건 및 안전 계획)을 준비해야 하며, 이를 통하여 회사의 중대재해 대비책을 명확하게 표현하고 있다. 사업이 완료되어 발주자에게 인계될 때까지 즉 사용승인이 날 때까지 안전관리를 수행하여야 한다. 공사장 안전관리체계는 심각한 부상이나 사고에 합리적인 대응에 대한 측정, 기록, 모니터링을 기록하여 문서화 되어야 한다. 이는 건설사업에서 사고 관리는 산업안전보건법 및 중대재해처벌법 등 중요한 법률 규정을 준수하여야 하는 의무이기 때문이다. 고용주에게는 위험을 평가하고 근로자의 산업안전과 건강을 보호하기 위한 실질적인 안전조치를 취하는 의무가 부여되어 있다. 사고가 발생할 가능성이 있는 영역에 대한 지속적인 감시 및 모니터링을 통해 사고위험을 제한하고 관리하여야

한다. 건설 실무자들은 사고예측이라는 목표를 달성하기 위해 자격을 갖춘 안전 전문가의 도움을 받고 있다. 그러나 가장 경험이 풍부한 건설안전 전문가조차도 다양한 건설현장의 모든 중대산업재해를 완벽하게 대비하기는 어렵다. 불확실성에 중대재해에 직면할 때 전문가 개인의 경험은 인지적 편향 등 한계점을 나타낸다. 이러한 건설안전 전문가들의 편향성을 보완하고 건설안전관리를 최적화하기 위하여 방대한 양의 객관적이고 경험적인 빅데이터를 활용하여 인공지능 데이터 학습 기술을 적용하는 사례가 제시되고 있다. 건설현장 안전문제를 예측하는 다양한 스마트 건설 사례들이 바로 그것이다.

본 논문에서는 상기된 문제점의 개선 방안으로, 건설현장에서 발생하는 사고 및 잠재적 위험분석을 위한 IoT 및 CCTV 기반 안전모니터링을 실시하고 추락, 충돌 등 위험 또는 이상현상을 탐지하여 스마트폰 및 무전기 등을 이용한 예·경보 및 챗봇 서비스를 구축하는 방법을 제시하는데 목적이 있다.

## 연구 배경 및 개요

### 연구배경

Wang et al.(2022)에 의하면 건설현장 안전 문제를 예측하는 데 사용할 수 있는 모델로 평판이 좋은 건설 회사의 7년 데이터 세트에 기계 학습(Machine Learning) 절차 및 기술을 체계적으로 적용한 CRISP-DM(Cross Industry Process Model for Data Mining) 프레임워크가 있다. 13개의 입력변수에서 사업유형, 소유권, 계약금액, 완료율, 지면규모 및 사업인력 등 6개의 사업 관련 입력변수와 크레인/리프팅 작업, 비계, 기계 승강작업 플랫폼, 추락 위험/개구부, 환경관리, 가중안전 검사 점수 및 모범사례 등 7개의 안전변수이다.

스페인 건설현장에서 발생한 산업재해를 근로자의 국적을 고려하여 조사한 Maria et al.(2022)의 연구결과는 건설현장 근로자들은 법규 준수에 미온적이고, 건축시공 시 법규를 준수하지 않는 실수를 저지르는 경우가 많아 사고 발생률이 크게 증가하고 있다고 밝혔다. 특히 공공사업과 민간사업 건설현장에서는 산업안전사고가 여전히 자주 발생하고 있다. 대만 등 해외 건설현장에서 발생하는 불안정한 행동의 빈도와 유형에 대한 내용은 이전에 수행된 국내 연구와 유사하다. Wang et al.(2022)의 연구는 2019~2021년에 대만 타오위안시 편의샘플링 기법으로 선정한 50,000m<sup>2</sup> 규모의 기술환경산업단지 현장을 방문하여 건설현장에서 작업을 수행한 근로자의 불안정한 행동을 기록하는 참여관찰법을 수행한 연구이다. 대만 산업안전보건법, 산업안전보건 시설규정 및 시설기준 등 법령에 따라 오류 및 위반사항을 조사하고 매일 점검하여 기록하는 방법을 사용하였다. 이 연구에서 불안정한 8가지 행동유형을 건설장비검사, 개인적 위법행위, 발굴작업, 추락방지 및 구조강화, 화재예방, 리프팅 작업, 안전관리 및 장비, 작업 플랫폼으로 제시하였다. 연구결과 불안정한 행동의 발생은 건설사 자체의 비용절감, 건설사의 편의성, 법령규제로 인한 시공의 어려움, 작업자 본인의 편의 등이 주요 요인으로 제시되었다. 통계에 따르면 건설현장의 대표적인 불안정한 행동의 유형으로는 추락(55%)과 비계에서의 고소작업(23%)으로 조사되었다. 아울러 위험한 행동의 80%가 산업안전 및 보건 장비 및 조치에 대한 법령위반으로 인해 발생하고 있음이 확인되었다. 대만의 산업안전 법령은 근로자의 생명을 보호하기 위하여 제정되었으나 규제 자체가 건설효율성에 영향을 미치고 건설비용을 증가시켜 건설현장 근로자들이 안전행동수칙을 준수를 방해하고 있다. 이 연구에서 건설 근로자의 행동을 자동적으로 감지 즉 위험한 자제나 형태를 행하는 근로자에게 경고를 보내는 시스템을 만들 것을 제안하였다.

Kim(2022)에 의하면 최근 건설업에서 재해 발생 비율과 유형에서 특히 비숙련자가 집중되고 있는 6대 위험공종 분류와 이를 모니터링하는 IoT, CCTV, AI 기술이 발전하고 있다. 넘어짐, 떨어짐, 부딪힘, 절단(베임, 찢림), 무리한 동작, 낙하/비계

등 6대 위험공종에서 넘어짐이 48.5%, 낙하/비계 작업으로 20.5%로, 떨어짐이 15.6%로 3가지 유형의 불안정한 행동이 전체 재해자 비율의 84.6%에 달하였다. 여기에서 확인되듯이 건설현장 6대 위험공종에서 세 가지 유형의 불안정한 행동만 사전에 위험을 감지하여 신속히 대응하면 건설재해 사망자를 획기적으로 줄일 수 있다.

Kim(2022)은 건설재해유형별 IoT 적용 기술을 활용하여 사전에 재해위험을 경보함으로써 산업재해 예방시스템을 구축할 수 있다고 주장한다. 이 연구에서 건설현장 적용사례로 근로자 위치감지, 위험구역 접근통제, 경보와 알람 제공을 공통영역으로 적용하고 난간대 해체감지, 장비 협착방지, 장비 과상승 방지, 장비 전도방지, 과부하 여부감지, 타워크레인 충돌감지, 풍속감지, 흙막이 가시설 붕괴감지 등을 각종 센서를 활용하여 적용하는 IoT 모니터링시스템을 소개하고 있다. 김광배(2020)는 IoT 기반 스마트 건설안전시스템(I-SCSS, IoT-based Smart Construction Safety Systems)을 건설현장 안전업무를 IoT 기반 센서 기반으로 위험한 상황을 인지하여 조치하는 산업재해 예방시스템으로 제시하였다.

## 건설안전정책의 동향

2022년 1월을 기점으로 ‘중대재해처벌법’이 시행되고 2023년 08월 산업안전보건법령의 개정 등을 통하여 제도적인 정비 및 경제·기술 발전, 안전문화의 내재화 등의 노력으로 20년간 사고사망 만인율을 1/3 수준으로 감축(’01: 1.23 → ’21: 0.43‰)하는 성과가 도출되었다. 그럼에도 불구하고 중대재해 규모는 여전히 산업선진국보다 저조하다. 우리나라 2021년의 경우 사고로 인한 사망자는 828명, 만인율 0.43‰로 OECD 38개국 중 34위를 차지하였으며 이는, 영국의 1970년대, 독일·일본의 1990년대 수준에 해당한다. 그 기간동안 영국, 독일, 일본은 사고사망 만인율 비율을 잘 관리하는 나라가 되었다.

중대재해처벌법 적용 이후 50인 이상 기업(공사현장)의 사망사고는 전년 동기 대비 +17명(22. 10월말 기준)으로 오히려 증가하는 결과를 초래하였다. 2024년 01월 27일 이후부터는 50인 미만 사업장에도 중대재해처벌법이 적용될 경우 중대재해는 더욱 확대될 것으로 판단된다.

최근 정부에서는 건설업에서 안전사고를 감소시키기 위해 스마트 안전장비는 IoT 기술을 응용한 센서, 영상 장비 기술을 활용한 첨단산업기술을 적용하는 정책을 추진하고 있다. 건설현장 안전관리를 인력 중심에서 상시 모니터링이 가능하도록 변화를 추구하고 있다. 예를 들어 서울시에서는 건설현장 자체 안전관리를 강화하고 안전사고를 예방하고자 『민간건축공사장 스마트 안전기술 [시각지능(CCTV+AI) 시스템] 지원 사업』을 시행하고 있다. 이는 안전관리가 취약한 중·소형 공사현장에 AI(인공지능)가 위험요소를 판별하고 즉시 현장에 자동으로 알려주는 시스템 구축을 지원하는 것이다. “시각지능(CCTV+AI)”시스템이란? 현장에 설치된 CCTV를 통해 AI(인공지능)가 위험요소를 판별하고 현장에 자동으로 알려주는 시스템이다.

이와 관련된 법령으로 건설기술진흥법 제62조의 3 ‘스마트 안전관리 보조 및 지원’, 건설기술 진흥법 시행령 제101조의 7 ‘스마트 안전관리 보조 및 지원 대상’, 건설기술 진흥법 시행규칙 제59조의 3 보조 및 지원의 환수와 제한, 건설공사 안전관리 업무수행 지침 제78조 보조 지원의 품목 등이 있다. 국토교통부는 건설기술진흥법 개정을 통해 안전관리비에 첨단기술을 이용한 안전관리체계 구축 및 운용 항목을 추가하였다. 즉 스마트 안전장비 등 첨단기술을 이용한 건설현장 안전관리가 확산되어 건설공사 안전사고 위험대응역량이 강화되어 건설 재해가 감소할 것으로 기대하는 것이다. 스마트 안전관리 보조·지원 사업은 신청 건설현장에 대해 정량 및 정성평가 실시 후 선정되며, 보조 지원을 받을 수 있는 품목은 가설구조물, 지하구조물 및 지반 등의 붕괴 방지를 위한 스마트 계측기와 건설기계·장비의 접근 위험 경보장치 및 자동화재 감지센서, CCTV 등 실시간 모니터링이 가능한 안전관리시스템, 스마트 안전관제시스템 등 건설사고 예방을 위하여 스마트 안전관리 시스템이 이에 해당된다.

## 스마트 건설의 사례

본 연구에서는 건설현장에 대해 안전사고를 감소할 수 있는 IOT 기반 스마트건설 안전시스템에 대해서 살펴보고자 한다. 스마트 건설을 다루는 연구는 많으나 제대로 개념 정의를 제시한 사례는 드물다. 국토교통부에서 발표한 ‘스마트 건설기술 활성화지침(2021.11.30., 제정)’에 따르는 “스마트건설기술”이란 공사기간 단축, 인력투입 절감, 현장 안전 제고 등을 목적으로 전통적인 건설기술에 로보틱스, AI, BIM, IoT 등의 첨단 디지털 기술을 적용함으로써 건설공사의 생산성, 안전성, 품질 등을 향상시키고, 건설공사 모든 단계의 디지털화, 자동화, 공장제작 등을 통한 건설산업의 발전을 목적으로 개발된 공법, 장비, 시스템 등을 말한다고 정의한다. 건설현장에서 스마트 안전관리체계를 구축하여 건설 재해를 최소화하는 방안을 제시하는 것이 본 연구의 주제이다. 즉 시공단계에서의 스마트 건설안전관리 시스템 구축 모델을 제시하는 것이다.

2022년 1월부터 시행된 중대재해처벌법에 대한 대비를 위해 안전 관련 고지가 합당하게 이루어졌는지에 대한 증빙이 매우 중요한 법률적 증거로 부상하였다고 Lee(2022)는 밝혔다. 공중별 안전활동을 효율적으로 증빙하고 이력과 데이터를 남기기 위해서도 실질적인 스마트 건설안전기술의 중요성이 높아지고 있다. 스마트 건설안전기술에 대한 정책과 기업 간의 인식 차이, 건설 실무자 혹은 관리자가 기존의 건설 행태를 유지하는 관행 등에도 불구하고 스마트 건설의 건설현장 적용 사례는 점차 확산되어 가고 있다. 건설현장 사전 위험요소를 예방하는 건설안전 관련 입법이 진행되고 있어 스마트 건설안전기술의 도입은 대세가 되어가고 있다. 이러한 측면에서 국가 건설안전정책과 건설현장 안전업무 간의 괴리를 해소할 수 있는 스마트 건설안전기술의 실증 연구는 반드시 추진되어야 한다.

2021년 기준 부산에코델타 스마트시티 건설현장에 도입된 스마트 건설기술 유형은 통합관제시스템, 스마트 건설자동화, IoT기술융합, CIM 플랫폼 구현, ICT 기술융합, 스마트 안전기술로 구분할 수 있다. 통합관제시스템 분야의 스마트 건설기술은 ‘스마트 관제시스템’을 선정하여 분석하였다. ‘스마트 관제시스템’은 GPS기술을 바탕으로 현장 내외에 운영되는 토사운반차량 등의 실시간 이동을 관리하여 공정관리 개선을 도모하여 건설 생산성을 향상시킬 수 있는 기술이다. 스마트 건설기술이 반영된 스마트 건설현장 안전장비로 세 종류가 있다. 첫째, 스마트 개인안전보호구 유형으로 낙하물 충격방지용 안전모와 미착용 시 경보음 위험지역 접근을 경보하는 안전벨트 장비가 대표적인 예시이다. 둘째 건설장비 접근경보시스템으로 장비와 근로자와의 충돌위험감지를 위한 경보 및 정지 장비이다. 셋째 붕괴위험경보기로 비계, 거푸집, 흙막이 등 가설구조물 붕괴위험 감지 장비 등이 대표적이다.

Jin(2023)은 건설업 위험성평가와 이동형 CCTV 관제시스템이 안전보건성과에 미치는 영향연구에서 위험성평가가 건설업 이동형 CCTV관제시스템을 도입한 경우 안전보건성으로 더욱 잘 나타난다는 점을 실증하였다. 특히 건설현장 수는 증가하였으나 중대재해 2건과 고위험작업 10건이 감소하였을 뿐만 아니라 이동형 CCTV관제시스템을 활용한 사업장에서는 안전사고가 0건으로 사고예방에 크게 기여한 것으로 나타났다. 한편 Oh et al.(2021) 스마트 건설안전기술 분석 보급기반 조성 보고서에서는 이동형 CCTV를 활용하여 건설현장의 실시간 모니터링을 통하여 추락, 장비 충돌, 협착 등에 대한 경고가 가능하며, 안전보호구 착용 여부를 확인할 수 있어 활용도가 높다는 전문가 조사결과를 제시하였다.

실제 스마트 건설 적용사례로 현대엔지니어링 스마트 기술센터에서 적용되어있는 Smart CCTV는 기존 CCTV에 각종 환경 데이터를 수집할 수 있는 센서 기능과 영상을 AI로 분석하여 위험 상황 발생 여부를 안전관리자와 상황실에 통보하고 필요시 음성으로 작업을 지시할 수 있다. 현대건설의 통합플랫폼 하이오스(HIOS :Hyundai IoT SafetySystem)은 로보틱스를 이용하여 현장 관리, 무인 순찰 등에 적용하고 있으며 작업자에게 잠재적 위험요소를 사전에 알려줘 안전관리를 강화하고 있다. IoT(사물인터넷) 기능을 이용해 비상상황 발생 시 현장 근로자와 신속한 의사소통이 이뤄질 수 있게 지원한다.

Cho(2017)는 건설안전 분야의 중대재해는 발생 가능성이 불확실하고 상황변화가 빨라 대처가 어렵다고 하였다. 건설안전사고와 관련된 실시간 위험 상황 정보들이 부족하여 합리적으로 의사결정을 하기가 어렵다는 것을 의미한다. 예를 들어 2022년 10월 29일 이태원 참사처럼 실시간 중대재해 상황자료나 정보를 정확히 수집하고 전파하여 합리적으로 대응하는 것도 매우 어렵다. 급변하는 중대재해 위험요인을 신속하게 정확하게 인지하고 사고발생 가능성을 예측하지 못하면 사고대응이 어렵게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 IoT 센서 및 CCTV를 활용하여 건설현장 안전사고를 유발하는 위험한 행동과 이상 상황을 도출하고 이를 인공지능 챗봇서비스를 활용하여 신속히 대응함으로써 피해를 줄이는 실증사업을 추진하고자 한다.

### 건설현장 12대 사망사고 기인물

고용노동부 건설산재예방정책과에서 제시한 Table 1에 의하면 중소규모 건설현장에서 발생한 사망사고를 분석한 자율안전점검표 분석결과, 60.8%가 12대 기인물로 사망하였습니다. 전국 공사금액 50억 이하 중소 건설현장 사망사고를 분석한 결과, 최근 3년간('19~'21) 총 566명의 사망사고자 중 약 61%인 344명이 단부·개구부, 철골 등 12대 기인물에 의해 사망한 것으로 확인되었습니다. 12대 기인물 순위는 1위 단부·개구부(51명), 2위 철골(48명), 3위 지붕(40명), 4위 비계·작업발판(39명), 5위 굴착기(28명), 6위 고소작업대(28명), 7위 사다리(22명), 8위 달비계(21명), 9위 트럭(19명), 10위 이동식비계(18명) 11위 거푸집·동바리(17명), 12위 이동식크레인(13명)이다.

**Table 1.** Small and medium-sized construction sites under KRW 5 billion, major fatal accidents over 3 years ('19~'21)  
(Unit: people)

전체	12대 기인물	단부/개구부	철골	지붕	비계/작업발판	굴착기
566	344	51	48	40	39	28
100%	60.8%	9.0%	8.5%	7.1%	6.9%	4.9%
고소작업대	사다리	달비계	트럭	이동식비계	거푸집/동바리	이동식크레인
28	22	21	19	18	17	13
4.9%	3.9%	3.7%	3.4%	3.2%	3.0%	2.3%

단부는 옥상·옹벽·통로 등의 끝과 같이 단차가 있는 부분, 개구부는 자재반출, 환기 등 용도에 따라 소요 크기로 만들어 뚫린 부분을 말한다. 사고사례로 작업 및 보행 중 개구부를 발견하지 못하고 떨어지거나 이동 편의를 위해 정해진 통로를 이용하지 않고 개구부(안전난간 有) 또는 단부를 넘어가다 떨어져 발생한다. 철골구조는 대형화, 고층화, 복잡화 추세에 맞춰 널리 사용되고 있으며, 철골 부재(H빔)를 사용하여 건축물의 뼈대를 세우는 작업을 말한다. 사고는 철골 조립작업 중 철골 부재에서 떨어지거나 가조립된 철골부재가 넘어지거나 무너지면서 발생한다. 지붕을 새로 설치하거나 보수하는 공사로, 주로 건물 신축, 공장 및 축사 지붕 개보수, 태양광 설비 공사 중 발생한다. 사고는 지붕 보수를 위해 이동 중 채광창이 파손되며 떨어지거나 지붕 구조물 용접작업 중 지붕틀에서 떨어지면서 발생한다. 비계 및 작업발판은 높은 건축물의 외벽작업을 위해 설치하는 가시설물로 재료에 따라 강관비계, 강관틀비계, 시스템비계로 분류하며, 작업발판과 안전난간이 설치된다. 사고는 비계의 작업발판을 견고하게 지지하지 않아 발판이 뒤집어져서 떨어지거나 비계 안전난간을 임의로 해체하고 작업하다가 발을 헛디딤 떨어진다. 이동식 비계는 강관비계로 틀을 만들고 바퀴와 안전장치를 부착하여 이동할 수 있도록 만든 비계를 말

한다. 사고는 작업자가 작업 발판에 있는 상태에서 비계를 이동하다 작업자가 미끄러져 밖으로 떨어져 발생한다. 거푸집·동바리 작업은 기둥·보·슬라브(바닥) 등 구조물 설치를 위한 가설구조물로, 구조검토 없이 설계하거나, 설계와 다르게 시공하면 대형 사고를 유발한다. 2022년 광주 아파트 신축현장 붕괴로 6명 매몰되어 사망한 사례가 대표적이다. 안전대를 착용하지 않고 보 거푸집 위에 올라가 거푸집을 조립 중 떨어지거나 콘크리트 타설 중 거푸집 동바리가 하중을 견디지 못하고 무너져 매몰되어 사고가 발생한다. 이와 같은 건설현장 사망사고 기인물은 건설재해를 발생시키는 인적원인을 제외한 물적 원인을 말한다. 즉 건설현장 사망사고를 일으키는 근원이 되는 기계, 장치, 그 밖의 물건과 환경 등이다.

## 건설현장 건전성모니터링 기반 안전진단 및 대응 기술 개발

### 건설업 분야 실증 건설현장 선정 및 건전성모니터링 기반 시스템 설계

건설업 분야는 KH건설의 GD 평택지식산업센터를 선정하고 작업공정은 비계작업, 위험구역, 내부구역으로 정하여 첨단 안전관리 기술을 실증을 추진하였다. 건설현장의 3D 위치 정보와 연계하여 각종 조도, 하중, 변위를 측정하는 IoT 센서 등을 활용하는 건전성모니터링 기반 능동형 모바일 통합안전관리 챗봇기술을 개발하였다. 2010년을 전후하여 국내에 도입된 구조물 건전성모니터링 진단방법은 강재도·박성호(2023)에 따르면 건설 구조물에 센서를 설치하여 진동, 변위 같은 물리량을 관측하고(센싱), 다양한 신호처리 기법을 활용하여(분석) 건설 구조체의 손상이나 열화 등을 예측하는 기술(진단·예측)을 건설 구조물 건전성 모니터링(Construction Structural Health Monitoring, CSHM)이라고 한다. 박진효 외(2023)는 구조물 건전성 모니터링(SHM) 기술이 대표적으로 적용된 서해대교처럼 교량의 상태를 실시간 또는 주기적으로 모니터링하여 유지 관리하고 있다. 계측하고자 건설현장에 맞게 효율적으로 모니터링을 수행하는 다양한 센서가 개발되었으며, 건설현장 적용성을 높이기 위한 다양한 테스트베드가 수행되고 있다. 본 논문에서는 기 개발된 안전진단 센서들을 활용한 건설 구조물 건전성 모니터링기반 통합안전관리 시스템 구축사례를 제시한다.



Fig. 2. Example of scaffolding and hazardous area empirical site

건설현장 유해위험요인 중 Fig. 2와 같이 위험성이 높은 작업공정 대상 즉 비계작업 및 지게차 작업 등을 중심으로 위험한 상황 또는 행동을 감지하는 모듈을 개발 및 적용하였다. 건설현장 공정유형에서 비계공정, 위험구역(개구부, 위험기계기구류)의 전도, 추락, 충돌 등 사고위험 유형에 따라 현장근로자 부착장치, 차량 측위장치, 안전고리(Smart Belt), 스마트위치 등을 적용하였다. UWB(Ultra Wide Band)를 통한 정확한 현장근로자, 위험지역 고정디바이스 사이의 안전거리를 측정하였

고, 자이로, 가속도, 조도 센서를 적용하여 움직임, 추락, 이동방향, 충격 등 안전사고 위험 상황을 감지하는 정보 수집 및 분석 체계를 마련하였다. 특히 3D 위치 기반 건설현장 근로자 위험감지 모듈 즉 조도, 과하중, 과도변위 등 작업환경 위험감지 모듈을 개발하여 활용하였다. 3D 기반 안전 공간 정보 시스템을 반영하여 설계하였다. 이러한 각종 센서데이터를 수집하여 공정(구역)별 예상 위험을 감지하도록 설계하였다. 또한 건설현장 위치 데이터 수집을 통한 3D공간 모델링을 설계하여 사고위험 이벤트의 정확한 위치를 파악하도록 하였다. 층별로 순차적으로 건설되는 건축현장 특성상 건설사에서 제공하는 조감도, 배치도, 위도, 경도, 고도 정보 및 건물 주요부위의 사진 자료를 활용하여 3D공간 모델링을 설계하였다. 현장근로자 및 지게차 부착 장치로부터 위치 및 안전 관련 데이터를 수집하여 3D 공간에 표시가 되도록 구현하였다.

건설현장의 다양한 센서로부터 데이터를 수집하여 위험을 감지하고 경고하는 상황을 5가지 유형으로 제시하여 실증하였다. 첫째, 건설현장 또는 제조 분야에서 개구부, 위험기계 기구류 등 위험구역에 작업자가 접근하는 경우 위험구역과 작업자의 거리에 따른 위험을 경고한다. 둘째 지게차, 트럭과 작업자가 충돌할 위험성이 감지되는 경우 위험 상황을 경고한다. 셋째로 비계 공정, 고소 작업 시 작업자의 추락 예방을 위한 안전고리(Smart Belt) 체결 여부를 감지하여 경고한다. 넷째로 자이로, 가속도, 조도 센서로부터 현장 근로자의 움직임, 추락, 충격 등 위험 상황을 감지하여 경고한다. 마지막으로 근로자의 체온, 심박수 수집을 통한 신체 이상을 감지하여 경고한다. 이러한 5가지 위험 상황에 대하여 현장 근로자의 위험 상황을 즉시 방송 및 알람으로 경고하고 무선으로 챗봇서버에 전송함으로써 관리자가 즉시 지시 및 대응할 수 있는 시스템을 개발하였다. 고용노동부(2023.5)의 사업장 위험성평가에 관한 지침에 따르면 건설현장 위험성평가란 건설현장의 유해·위험요인을 파악하고 해당 유해·위험요인에 의한 부상 또는 질병의 발생 가능성(빈도)과 중대성(강도)을 추정·결정하고 감소대책을 수립하여 실행하는 일련의 과정이다. 즉, 건설현장에서 사고 발생 가능성이 있는 위험요인을 찾아내어 가능성과 중대성을 평가하여 그 결과를 통해 대응하도록 하는 것이다. 사업장 위험성평가에 관한 지침 제15조에서는 위험성평가 실시 시기는 최초, 수시, 정기평가로 구분하여 실시한다. 건설현장 전전성 모니터링은 실시간 위험성평가 또는 안전점검 체계라고 할 수 있다.

### 챗봇 기반 모바일 안전관리 통합시스템 실증

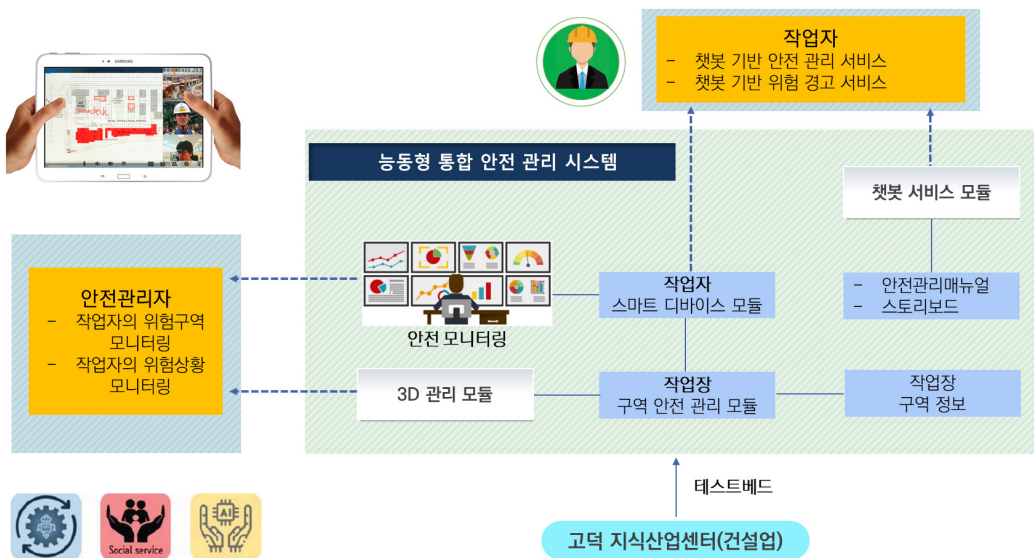


Fig. 3. Actual proof of chatbot-based mobile safety management integrated system



Fig. 3과 같이 평택지식산업센터 건설현장에 IoT기반 건설현장 건전성모니터링 체계를 구현하고 그 정보를 바탕으로 챗봇서비스를 활용한 모바일 안전관리 통합시스템을 개발하여 기능을 실증하였다. 건설현장 근로자 착용 스마트 디바이스, 지게차 및 위험구역 측위장치, 안전고리, 스마트위치 등 장치와 연계하여 실시간 장비와 상황 데이터를 수집하고 분석하여 위험한 행동이나 상황을 감지하는 기능을 구현하였다. 3D 뷰어, 음성 챗봇 시스템과 통합하여 위험지역 및 작업구역, 작업자의 현장 위험 상황을 실시간으로 종합 모니터링하는 체계를 마련하였다. 이를 통하여 무선망을 이용한 음성 챗봇을 활용하여 현장근로자와 관리자 및 인공지능 챗봇서버가 안전행동을 유도할 수 있는 체계를 구현하였다. 특히 안전관리자를 지원하기 위한 PC용, 모바일 모니터링 시스템을 개발하여 GIS 및 현장 평면도를 활용한 작업구역 현장구조, 현장 근로자 위치 및 상태를 파악하여 모니터링이 가능하도록 구현하였다. 현장 근로자에게 위험 상황을 알리고 챗봇을 활용한 대화 내용을 모니터링하여 안전조치에 적합한 의사결정을 통하여 건설현장의 안전통제 역량을 강화하였다.

음성챗봇 기반 모바일 안전관리 통합시스템을 기술 개발하면서 영상에 기초하여 안전을 진단하는 관리 장치 및 그 방법들, 작업 상황을 관리하기 위한 장치 및 그 방법들, 산업현장에서 음성을 이용하여 안전관리 서비스를 제공하는 방법, 장치 및 시스템에 대한 특허를 출원하여 기술보호절차를 진행하고 있다. 본 연구성과의 기술적인 특수성으로 기존 핸드폰 기반 대화형 챗봇의 한계점을 극복하고 산업현장의 특수성을 감안하여 무전기 기반의 대화형 인공지능(AI-자연어처리분야) 챗봇기술을 적용하여 시장 진입의 가능성을 확보하였다. 실증 건설현장과 다른 건설현장 위험모니터링 시스템의 차별성은 IoT센서에 의하여 감지된 위험상황 정보가 음성챗봇 기능을 이용하여 무전기, 스마트 폰 등을 통하여 실시간 근로자에게 직접 정보(Alert)를 전달하여 불안정한 행동을 통제하는데 있다.

본 연구의 성능지표로 스마트 디바이스 안전거리 알람 시간(초), 스마트 디바이스 위치정확도(%), 스마트 디바이스와 IoT 장치간 통신성공률(%), 음성챗봇 사용자 만족도(%), 사용자 음성 인식율(%), 안전정보 제공 정확도(%)를 준비하고 공인시험기관을 통하여 시험결과를 확정하였다. 정보시스템 사용자의 만족도를 실제 산업현장에서 챗봇기반 통합서비스를 3개월 이상 이용한 사용자의 50% 이상을 대상으로 만족도 설문조사를 실시하였다. 실제 안전관리에 도움이 된다는 사용자가 90% 이상의 좋은 결과를 나타냈다. 특히 시스템 사용자의 50% 이상을 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 현장 근로자가 요청하여 제공하는 음성챗봇 안전정보가 지속적인 인공지능 학습을 통하여 정확도가 95% 이상으로 검증되었다.

## 결론

본 연구는 건설현장 안전관리를 위한 IoT 건전성 모니터링기반 인공지능(AI) 챗봇기술 통합시스템을 개발하는데 목적이 있다. 즉 건설현장 IoT 건축시공 건전성모니터링 기반 AI 안전관리 음성챗봇 서비스를 개발하고 실증하는 연구이다. 2023년 5월 시행된 사업장 위험성평가에 관한 지침을 참고하고 산업안전보건법과 중대재해처벌법에 따른 법률 준수에 대한 서류 중심의 위험성평가와 안전점검에 대한 연구내용은 최소화하였다. 실증사업장인 건설현장에 직접 다양한 센서를 활용하여 원천데이터를 수집하고 위험 행동과 상황을 감지하고 음성 챗봇을 이용하여 실시간 의사소통하면서 사고위험에 대응하는 새로운 가능성을 제시하였다.

건설현장 사업장의 위험요인 및 사고유형으로는 떨어짐, 끼임, 부딪힘으로 선정하여 IoT기반 건전성모니터링시스템으로 감지기능을 구현하고 이를 활용하여 인공지능 안전관리 음성 챗봇 기술을 개발하여 실증하는데 중점을 두었다. 건설현장은 비계공정 및 개구부, 위험기계기구류 접근 등 사업장 내부 주요 위험구역을 선정하여 시스템을 구현하여 현장 근로자의 조사

에서 90%이상의 높은 만족도 점수를 받았다. 산업안전 관련 법률에서 요구하는 형식적인 위험성평가가 아니라 IoT 센서 즉, 건전성모니터링 기반 위험성평가 및 안전점검을 수행하여 음성챗봇기술을 건설현장 안전관리에 적용할 수 있음을 실증적으로 제시하였다. 중대재해처벌법 시행 이후 스마트 건설기술에 대한 다양한 정책적 시도가 이루어지고 있어서 향후 지속적으로 발전할 것으로 기대되고 있다. 관행적인 활동으로 건설현장의 잠재위험요인 감지하는 체계와 음성챗봇 기술을 활용하여 신속하게 대응하는 체계를 구현함으로써 기존보다 신속하고 안전한 대응이 가능하게 되었다. 특히 중대재해처벌법에서 요구하는 안전관리 활동에 대한 기록증빙을 완벽하게 제공할 수 있는 이점도 확인할 수 있다. 산업재해에서 가장 사망자 비율이 높은 건설현장의 재해를 감축할 수 있는 방안으로서 IoT기반 건설현장 건전성 모니터링 안전관리 음성 챗봇 서비스를 제안한다.

## Acknowledgement

이 논문은 2023년도 행정안전부의 재원으로 한국지역정보개발원 국민수요 맞춤형 생활안전 연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(연구개발과제번호 : 2022-MOIS41-003).

## References

- [1] Cho, M.S. (2017). "Manual improvement plan for accidents prevention in maritime safety." Korean Journal of Security Convergence Management Vol. 6 No. 2, pp. 48-56.
- [2] <https://blcm.go.kr/lim/etc/ServiceLif.do>. Building lifecycle management system. Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- [3] Jin, J.I. (2023). A Study on the Effects of Construction Industry Risk Assessment and Mobile CCTV Control System on Safety and Health Performance. Doctoral Dissertation, Department of Safety and Health Convergence Engineering Graduate School of Soongsil University.
- [4] Kang, J.D., Park, S.H. (2023). "Evaluation of utilization of waste smartphones for measuring instruments in structural health monitoring." Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 27 No. 2, pp. 85-85.
- [5] Kim, G.B. (2022). A Study on the Factors Affecting the Acceptance Intention of IoT-Based Smart Construction Safety Systems. Doctoral Dissertation, Department of Business Administration Graduate School of Soongsil University.
- [6] KOSHA (2010). 4M Risk Assessment Manual.
- [7] KOSHA (2020). 2020 Risk Assessment Guidance Commentary.
- [9] Lee, J.W. (2022). Integrated Smart Safety System for Enhanced Construction Safety and Productivity. Doctoral Dissertation, Department of Disaster and Safety, Graduate School, Myongji University.
- [10] María, M.R., José, M.S., María, D.M., Juan, C.R. (2022). "An analysis of occupational accidents involving national and international construction workers in Spain using the association rule technique." International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, Vol. 28, No. 3, pp. 1490-1501.
- [11] Ministry of Employment and Labor (2021). 2021 Industrial Accident Status Analysis. Ministry of Employment and Labor Occupational Safety and Health Headquarters, Sejong.
- [12] Ministry of Employment and Labor (2022). KRW 1 to KRW 5 Billion Autonomous Safety Checklist for Fatal

Accidents for Small and Medium-sized Construction Sites. Ministry of Employment and Labor Construction Industrial Accident Prevention Policy Division, Sejong.

- [13] Ministry of Employment and Labor (2023). Guidelines for Workplace Risk Assessment. Ministry of Employment and Labor Notice No. 2023-19, Sejong.
- [14] Ministry of Employment and Labor (2023). Occupational Safety and Health Act.
- [15] Oh, T.G., Park, J.L., Lee, J.Y., Kim, C.S., Kim, J.B., Yoon, Y.G., Kang H.J., Lee, S.R., Jo, A.R., Cho, H.J., Jeon, Y.S. (2021). Report on Creating a Smart Construction Safety Technology Analysis and Distribution Base. Korea Occupational Safety and Health Agency, Ulsan.
- [16] Park, J.H., Lee, T.J., Hong, Y.G., Youn, J.S. (2023). "Intelligent bridge safety prediction edge system." KIPS Transactions on Computer and Communication Systems, Vol. 12, No. 12, pp. 357-362.
- [17] Son, D.H., Cho, S.C. (2022). Fact-finding Report for Establishing a Building Safety Management Plan. GANG-DONG-gu OFFICE Construction Safety Center, Seoul.
- [18] Wang, H.-H., Chen, J.-H., Achmad, M.A., Masoud, G. (2022). "Exploring empirical rules for construction accident prevention based on unsafe behaviors." Sustainability, Vol. 14, No. 7, pp. 1-9.