

Research Paper

소규모 건설현장의 위험성평가를 통한 안전인지 모델 연구

Enhancing Small-Scale Construction Sites Safety through a Risk-Based Safety Perception Model

김한얼¹ · 임형철^{2*}

Kim, Han-Eol¹ · Lim, Hyoung-Chul^{2*}

¹Integrated Master's and Doctoral Program, Department of Architectural Engineering, Changwon National University, Uichang-Gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 51140, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Changwon National University, Uichang-Gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 51140, Korea

*Corresponding author

Lim, Hyoung-Chul

Tel : 82-55-213-3803

E-mail :

hclim@changwon.ac.kr

Received : December 29, 2023

Revised : January 18, 2024

Accepted : January 24, 2024

ABSTRACT

This research delves into the escalating concerns of accidents and fatalities in the construction industry over the recent five-year period, focusing on the development of a Safety Perception Model to augment safety measures. Given the rising percentage of elderly workers and the concurrent drop in productivity within the sector, there is a pronounced need for leveraging Fourth Industrial Revolution technologies to bolster safety protocols. The study comprises an in-depth analysis of statistical data regarding construction-related fatalities, aiming to shed light on prevailing safety challenges. Central to this investigation is the formulation of a Safety Perception Model tailored for small-scale construction projects. This model facilitates the quantification of safety risks by evaluating safety grades across construction sites. Utilizing the DWM1000 module, among an array of wireless communication technologies, the model enables the real-time tracking of worker locations and the assessment of safety levels on-site. Furthermore, the deployment of a safety management system allows for the evaluation of risk levels associated with individual workers. Aggregating these data points, the Safety Climate Index(SCLI) is calculated to depict the daily, weekly, and monthly safety climate of the site, thereby offering insights into the effectiveness of implemented safety measures and identifying areas for continuous improvement. This study is anticipated to significantly contribute to the systematic enhancement of safety and the prevention of accidents on construction sites, fostering an environment of improved productivity and strengthened safety culture through the application of the Safety Perception Model.

Keywords : safety perception model, safety climate index, risk assessment, safety management, small-scale construction site

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1.1.1 연구의 배경

최근 5년간 산업별 사망재해를 살펴보면 건설업이 전체 산업에서 사고사망자가 가장 많이 발생하고 있으며, 증감을 반복하면서 답보상태에 있다. 사고사망만인율을 고려할 경우, 2021년 기준 건설업이 전 업종 대비 약 117% 높은 수준이다.



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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1은 건설업 사망재해현황(출처:국가통계포털 KOSIS)이다.

Table 1. Overview of fatal accidents in the construction sector

Category		2017	2018	2019	2020	2021
All industries	Number of fatalities	1,957	2,142	2,020	2,062	2,080
	Fatality rate(‰)	1.05	1.12	1.08	1.09	1.07
Construction industry	Number of fatalities	579	570	517	567	551
	Fatality rate(‰)	1.90	1.94	2.08	2.48	2.32

건설업 사망재해의 저감을 위하여 지난 수년간 고용노동부와 안전보건공단 등 공공기관과 안전관련 민간기관, 단위현장 및 건설관계자가 집중관리를 수행하여 왔음에도 불구하고, 사고·사망재해의 저감이나 개선이 크게 이루어지지 않고 있다.

다음 Table 2에서의 2022년 기준 건설업 사망재해현황을 공사금액별로 분석하면, 건설현장의 사망자수는 공사금액 800억원 미만 현장에서 전체의 87.4%를 차지하고 있으며, 특히 공사금액 1억원 미만 구간에서 사망자수가 23.8%, 1억원 이상 20억원 미만의 현장에서 약 30%의 사망자수가 발생하는 등 50억원 미만인 현장에서 거의 70%에 가까운 사망자가 발생되고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Fatal accidents in the construction sector by construction cost(2022)

Category	Total	Less than 100 million won	100 million~ 2 billion won	2~5 billion won	5~12 billion won	12~80 billion won	More than 80 billion won
Number of fatal accidents	328	80 (24.4%)	101 (30.8%)	43 (13.1%)	28 (8.5%)	40 (12.2%)	36 (11.0%)
Number of fatalities	341	81 (23.8%)	102 (29.9%)	43 (12.6%)	28 (8.2%)	44 (12.9%)	43 (12.6%)

2021년 기준 건설업 업무상 사고 사망자수 551명 중 60세 이상이 266명(48.3%)명으로 가장 많고, 55세 이상이 101(18.3%)명으로, 전체의 66.6%가 55세 이상 고령 근로자에 해당한다. 산업재해의 88%는 근로자의 불안정한 행동이 원인으로 작용되며, 고령 근로자의 인지기력 감소는 불안정한 행동에 대해 직간접적 영향을 미치는 것으로 나타나므로, 이에 대한 예방책이 시급하다.

세계적으로 4차 산업혁명 기술이 산업의 생산성 향상과 지속적인 성장을 주도하고 있는 실정이다. 그러나 건설업은 노동 집약적이고 현장의존적인 생산체계, 공급자 위주의 사업구조, 정보의 단절 등으로 인해 다른 산업에 비해 낮은 생산성 증가율을 보이고 있다. 특히 국내 건설업은 생산성이 낮고, 고령화된 노동력과 근로시간 단축 등 사회적 흐름에 영향을 받아 변화에 대한 요구가 증가되고 있다. 이러한 상황에서 높은 재해율과 사망률은 안전문제를 심각하게 다룰 필요성을 강조하고 있다. 따라서 본 논문에서는 안전인지 모델을 도입하여 생산성과 안전성을 향상시키고자 하며, 이를 통해 관리효율을 극대화하고 잠재적인 위험을 사전에 예방하고자 한다.

본 연구에서는 안전인지 모델을 활용하여 건설현장 내 작업자의 이동 동선 데이터와 안전 관련 정보를 통합하여 안전에 영향을 미치는 종합적인 요인을 고려하고자 합니다. 이 모델은 건설 산업에서 안전성을 향상시킬 수 있는 중요한 도구로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설현장 중 소규모 건설현장에 중점을 두어 안전인지 모델을 개발하는 것을 목표로 한다. 연구의 범위를 한정함으로써 고위험지역을 정확하게 발굴하고 위험성평가를 통한 안전인지 모델의 효과적인 구축에 주력하였다. 본 연구는 기존 연구들과 차별화된 방법을 통해 소규모 건설 현장에서의 안전사고를 예방하는데 기여하고자 한다. 연구 방법론은 다음 Figure 1와 같다.

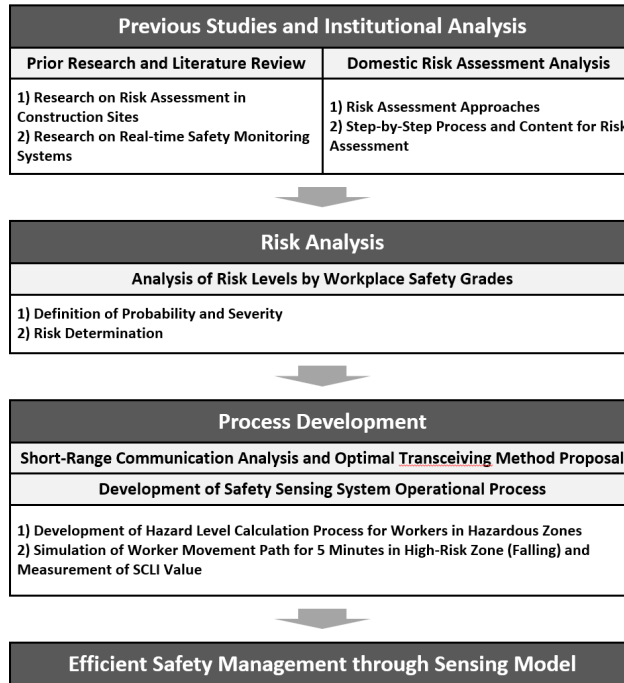


Figure 1. Flowchart of the research

우선, 안전인지 모델의 개발을 위해 고위험지역을 정확하게 발굴하기 위해 미리 정의된 위험성평가 기준을 활용한다. 이후, 안전인지 모델의 성능을 평가하기 위해 고위험지역에서 시뮬레이션을 수행하여 모델의 효과를 확인한다. 마지막으로, 안전분위기(Safety Climate)를 측정하여 안전관리에 기여할 수 있는 방안을 도출한다.

이 방법을 통해 소규모 건설 현장에서의 안전관리에 새로운 관점을 제시하고, 안전인지 모델을 통해 안전분위기를 향상 시키는데 도움이 되고자 한다.

2. 선행연구 및 제도분석

2.1 선행연구 및 문헌분석

2.1.1 건설현장 위험성평가 관련 연구

Joo[1]는 ‘위험성 평가를 활용한 BIM 안전관리 시스템 제안’을 통하여 위험성 평가항목 분석을 통해 BIM으로 표현 가능한 공종과 위험요소를 선별 및 정의하였다. 이를 통해 사고 발생이 가능한 위험지역을 판단하고, BIM을 연계하여 해당 영역에 공간모델을 구축하였다.

Ahn[2]는 ‘건설업 위험성평가의 안전관리 대책 이행 향상 연구’를 통하여 위험성평가 도입 후에도 산업재해가 계속 발생하는 이유에 대해 위험성평가의 안전대책이 제대로 이행되지 않고 근로자에게 위험성평가에 대한 전달교육이 부족한 것이 주된 이유로 나타나 사업장에서는 이 두 가지에 대해 집중적으로 위험성평가를 개선해야 할 것을 강조하였다.

George et al.[3]은 ‘Application of Ensemble Machine Learning for Construction Safety Risk Assessment’를 통하여 건설 산업에서 머신러닝을 활용한 안전 평가 및 예방 조치 모델을 개발한 후 미국 직업안전보건국 데이터를 활용하여 주요 위험 요인을 식별하고, 다양한 분류자를 활용한 앙상블 머신러닝 모델을 적용하여 안전 상태를 효과적으로 예측하였다.

2.1.2 실시간 안전 모니터링 시스템 관련 연구

Kim et al.[4]는 ‘건설 현장 안전관리를 위한 IoT 기반의 위험구역 경보 시스템’을 통하여 비콘, 초음파센서를 활용하여 위험구역 설정 후 작업자가 위험구역에 근접할 시 IoT콘에 부착된 LED알람과 Sound알람으로 알람을 주고 작업자의 안전조끼에 장착되는 안전장치에 포함된 LED알람과 Sound알람에 알람을 주는 경보시스템을 구현하였다.

Jeong et al.[5]은 ‘분산 IoT 센서 기반 실험실 안전관리 시스템’을 통하여 아두이노, 온습도센서, 가스 및 연기 센서 등을 활용하여 환경데이터를 모니터링하고 관리자에게 경고 메시지를 보냄으로서 안전관리를 하는 안전관리 시스템을 구현하였다.

Choi et al.[6]은 ‘센서를 이용한 실시간 시설물 안전관리 개선에 대한 사례연구’를 통하여 시설물의 붕괴 등 안전사고를 예방하기 위해 안전 및 유지관리를 위한 크랙센서 등을 활용한 사례를 분석하여 아직 센서를 이용한 안전점검 시 기준이 정해지지 않은 부분들에 대하여 제도적인 기준 수립이 필요함을 강조하였다.

Choi[7]은 ‘3차원 공간정보모델 기반 지하철 유지관리기법 연구’를 통하여 3차원 공간정보 기반 유지관리 시스템을 구현할 수 있는 국내의 기술을 분석하여 연계방안을 제시하고 유지관리 모델을 구현하였다.

선행연구 내용 및 시사점을 다음의 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Review of previous studies and their implications

Author	Main contents
Kim et al.[4]	• Implemented warning system with beacons and ultrasonic sensors for designated danger zones. Alarms activate through LED and sound alerts on both IoT cones and integrated safety devices in the worker’s vest when approaching these zones.
Jeong et al.[5]	• Implemented safety management system with Arduino, environmental sensors(temperature, humidity, gas, smoke) for monitoring. Sends alerts to administrators for effective safety management.
Choi et al.[6]	• Emphasized the need for regulatory standards in safety inspections using crack sensors to prevent incidents like facility collapse.
Choi[7]	• Analyzed domestic technologies for a 3D spatial information-based maintenance system, proposed integration approaches, and implemented a maintenance model.

선행연구와의 차별성은 다음과 같다. 먼저, 선행연구에서는 건설현장 안전성을 향상시키기 위한 다양한 기술적 접근 방법들을 소개하고 있다. 예를 들어, BIM을 활용한 안전관리 시스템, 머신러닝을 이용한 안전 평가 모델, IoT를 기반으로 한 안전구역 경보 시스템 등이 그 예시이다. 반면 본 연구는 안전인지 모델을 중심으로 안전분위기 지수(Safety Climate Index, SCLI)를 활용하여 안전성을 측정하고 개선하는 방법을 제안하고 있다. 특히 SCLI를 이용하여 실시간으로 근로자들의 위험 수준을 평가하고, 이를 기반으로 안전 조치를 취하는 프로세스를 도입하여 안전관리의 효율성을 높이는 것에 초점을 맞추고 있다. 또한, 송수신 방식에 대한 비교분석에서는 다양한 근거리 무선 통신 기술들을 고려하고, 그 중에서 DWM1000을 선택하여 안전인지 모델과 통합하여 활용하고 있다.

최종적으로, 안전분위기를 실시간으로 모니터링하고 안전조치의 효과를 측정하는 프로세스를 통해 안전성을 향상시키고자 하는 목표가 강조되며, 이는 선행연구들과 차별화된 연구 방향을 제시하고 있다.

2.2 국내 위험성평가 분석

2.2.1 위험성평가 추진방법

사업장에서의 위험성평가 추진 방법은 Figure 2에 나와 있으며, 사업주 및 사업장의 위험성평가 관계자들의 역할은 다음과 같다.

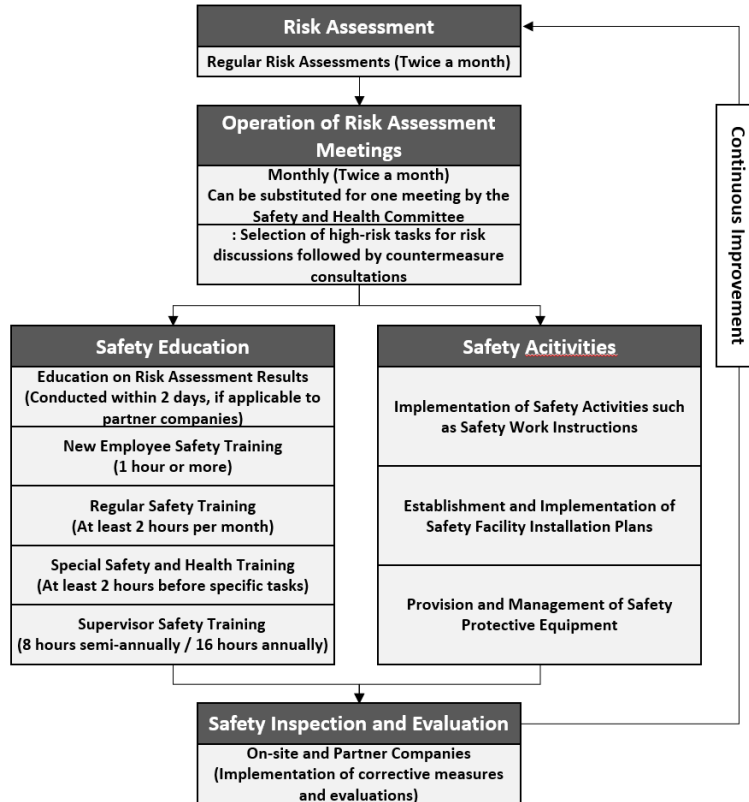


Figure 2. Flowchart of risk assessment

- 1) 안전보건관리책임자 등, 해당 사업장에서 사업 총괄 관리자에게 위험성평가 총괄 관리를 위임.
- 2) 사업장의 안전관리자, 보건관리자 등에게 위험성평가 실시를 관리하도록 지시.
- 3) 작업 내용을 상세히 이해하고 있는 관리감독자에게 유해·위험요인의 파악, 위험성 추정, 결정, 감소대책 수립·실행을 지시.
- 4) 유해·위험요인을 파악하거나 감소대책을 수립할 때 해당 작업에 종사하는 근로자를 참여시킴.
- 5) 기계·기구, 설비 등과 관련된 위험성평가에는 해당 분야의 전문가를 참여시킴.
- 6) 안전·보건관리자 선임의무가 없는 경우, 위험성평가 업무를 수행할 사람을 지정하여 체제를 구축.

2.2.2 단계별 위험성평가 추진절차 및 내용

사업주는 위험성평가의 각 단계에서 효과적인 진행을 보장하기 위해 다음과 같은 순서와 내용을 반영해야 한다.

- 1단계(사전준비): 해당 사업장의 안전보건책임자 등을 지정하고 역할을 명확히 정의해야 하며 위험성평가수행을 위한 팀 구성 및 역할을 배정해야 한다.

- 2단계(유해위험 요인 파악) : 작업환경에서 발생 가능한 유해위험 요인을 체계적으로 파악하며 관련 법규 및 규제 준수 확인이 필요하다.
- 3단계(위험성 추정) : 파악된 유해위험 요인의 위험성을 정량적으로 추정하고 작업의 특성에 따라 위험성 측정 방법을 선택해야 한다.
- 4단계(위험성 결정) : 추정된 위험성에 대한 등급 부여 및 위험성 정도를 결정하고 위험성 등급에 따라 특별한 주의 및 대응 조치를 명시해야 한다.
- 5단계(위험성 감소대책 수립 및 실행) : 감소대책 수립을 위해 추정된 위험성을 기반으로 안전조치 계획을 수립하고 계획의 실행과 효과 검토를 통해 지속적인 개선 방안을 도출한다.

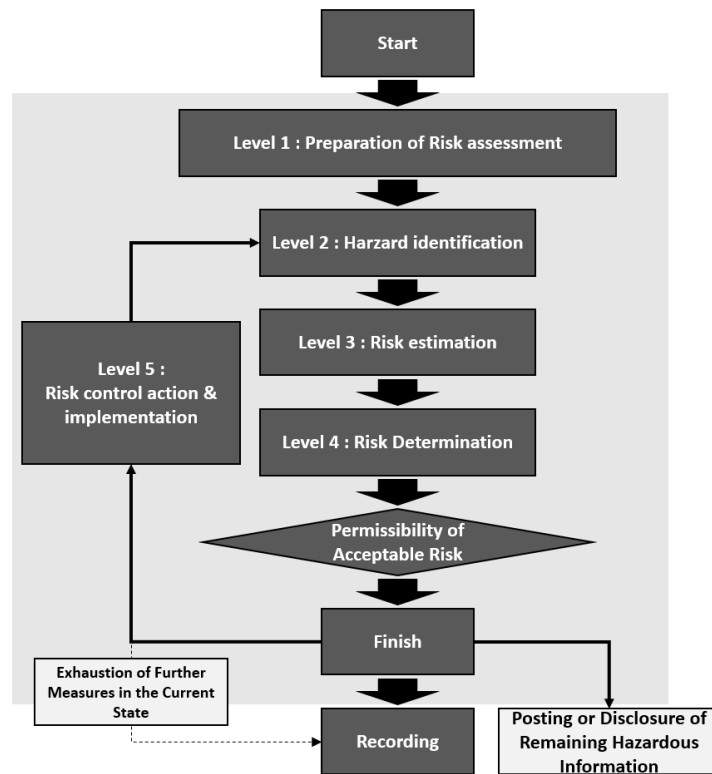


Figure 3. Flowchart of risk assessment process

사업주는 위험성평가의 각 단계에서 효과적인 진행을 보장하기 위해 위와 같은 순서와 내용을 반영해야 한다. 이러한 세부절차는 Figure 3의 위험성평가 절차도(출처 : 안전보건공단)와 같다.

3. 위험성 분석 및 프로세스 개발

3.1 작업장 안전 등급별 위험성 분석

작업장 안전 등급별 위험성 분석을 위해 1단계에서는 평가 대상 공정(작업)을 선정한다. 정확한 작업 공종의 분류가 중요하며, 작업 공정 흐름도에 따라 평가 대상 공정이 결정되면 평가 대상과 범위를 확정한다.

2단계에서는 유해·위험요인의 파악(도출)을 진행한다. 이는 위험성 분석에서 가장 중요한 단계로, 작업 공정(단위작업)

별 위험요인을 상세히 파악해야 한다.

3단계인 위험성 추정은 위험요인을 심사하여 정량화하는 단계로, 가능성과 중대성을 조합하여 위험성을 추정한다. 가능성(빈도) 및 중대성(강도)은 Table 4, Table 5와 같다.

Table 4. Definition of probability

Category	Level	Criterion of Probability
High	3	<ul style="list-style-type: none"> • High likelihood • If the actual exposure time to hazardous factors is 6 hours or more daily
Medium	2	<ul style="list-style-type: none"> • Moderate likelihood • If the actual exposure time to hazardous factors is 2 to 6 hours or more daily
Low	1	<ul style="list-style-type: none"> • Low likelihood • If the actual exposure time to hazardous factors is less than 2 hours or more daily

Table 5. Definition of severity

Category	Level	Criterion of Severity
High	3	<ul style="list-style-type: none"> • Accidents that may lead to fatalities • Exposure to chemical substances, dust, noise, etc, exceeding exposure standards (recommended standards) • Handling of carcinogenic, or reproductive toxic substances • Occurrence of occupational disease with a medical diagnosis of causation • Medical care or death requiring more than 3 months
Medium	2	<ul style="list-style-type: none"> • Accidents that may cause serious injuries such as blindness or amputation • Accidents requiring medical treatment in healthcare facilities • Exposure to chemical substances, dust, noise, etc, exceeding 50% of the exposure standards(recommended standards) • Care required for more than 4 days but less than 3 months
Low	1	<ul style="list-style-type: none"> • Accidents that may cause near-miss incidents or minor injuries • Exposure to chemical substances, dust, noise, etc, below 50% of the exposure standards (recommended standards) • Care required for less than 4 days

4단계에서는 위험성 결정을 수행한다. 유해·위험요인의 발생 가능성과 중대성을 평가하여 낮음(1~2), 보통(3~4), 높음(6~9)으로 구분하고, 평가 점수가 높은 순서대로 관리 우선순위를 결정한다. 위험성은 Table 6과 같이 가능성과 중대성을 조합하여 산출한다.

Table 6. Risk determination

Risk Level	Management Criteria	Remarks
1~2 Low	No specific actions needed at this time.	Providing Harmful Risk Information and Education to Workers <ul style="list-style-type: none"> • Disseminate information regarding harmful risks to workers. • Conduct educational programs to enhance workers' awareness and understanding of potential risks.
3~4 Moderate	Implement actions to enhance the current state.	Establishing and Improving Safety and Health Measures <ul style="list-style-type: none"> • Develop safety and health measures for implementation. • Continuously enhance and improve existing safety and health protocols.
6~9 High	Execute immediate actions to address and rectify issues.	Executing Immediate Improvements to Sustain Operations <ul style="list-style-type: none"> • Implement immediate actions to address and rectify issues. • Ensure that necessary improvements are promptly executed to sustain ongoing operations.

3.2 근거리 통신방식 비교분석 및 적정 송수신 방식 제안

근거리 무선 통신 방식에는 NFC, 와이파이(WiFi), 블루투스, 지그비(Zigbee), 지웨이브(Z-wave) 등이 대표적으로 있다. 근거리 무선 통신망은 통신 거리가 상대적으로 짧아 커버리지가 제한적인 단점이 있지만, 각각의 기술은 특화된 용도가 있으며 다양한 기기에 범용적으로 적용되어 그 자체로 다양한 장점을 지니고 있다. 특히 장거리 유·무선 기술과 조합하여 사용될 때 효과적으로 활용 가능하다.

다음은 주요 근거리 무선 통신 방식의 주요 기술을 나타낸 Table 7이다.

Table 7. Key technologies of major short-range wireless communication methods

Communication Method	Key Technologies
NFC	• Electronic tag technology, commonly used in electronic payments due to stable communication between devices. However, limited communication distance, reaching up to only 10cm, and relatively slow transmission speed.
WiFi	• Widely prevalent short-range communication network used for internet connectivity, highly utilized in various manufacturing environments.
Bluetooth	• Affordable and compact, primarily used in mobile devices. Features low power consumption but is less suitable for large file transfers due to slow transmission speed. Capable of standalone implementation.
Zigbee	• Slower transmission speed compared to Bluetooth, but with low power consumption. Suited for fixed locations.
Z-Wave	• Low-power communication technology offering longer communication distances and lower frequency interference compared to WiFi, Bluetooth, and Zigbee. Higher cost but versatile applications.

근거리 무선통신방식을 비교하기에 앞서 주요 비교 항목으로는 통신에 필수적인 항목들을 위주로 선정하였다. 주파수대역, 데이터 송수신의 전송거리와 전송속도, 소비전력, 각 통신기술의 응용분야 및 특징을 기준으로 근거리 무선통신기술을 비교분석하였다.

Table 8. Comparison of short-range wireless communication technologies

Communication Method	Frequency Band	Transmission Distance and Speed	Power Consumption	Applications and Features
NFC	13.56MHz	Up to 10cm Low	Low	• Short-range communication for electronic payments, etc.
WiFi	2.4GHz, 5GHz	High	Moderate to High	• Internet access, wide range of applications
Bluetooth	2.4GHz	Short to Medium Low	Low	• Short-distance communication for mobile devices, low-power characteristics
Zigbee	2.4GHz	Short to Medium	Low	• Suitable for fixed locations, low power consumption
Z-Wave	900MHz	Medium to Long	Low	• Low-power communication, relatively high cost

위 Table 8과 같이 다섯 가지의 무선 통신방식을 비교한 결과, NFC, 지그비, 지웨이브는 특정 장비와 수신기를 필요로 하며 대부분 고가의 장비를 필요로 하는 것으로 나타났다. 반면에 WiFi와 블루투스는 현재 가장 보편적으로 사용되고 있으며 개인의 휴대장치에 내장되어 있어 접근이 쉽다. 특히 블루투스는 저전력 특성과 특정 수신기를 필요로 하지 않는 등의 장점이 있어 중·소규모 건설현장에서 적합하다고 판단된다.

본 연구에서는 경제성, 사용성, 신뢰성을 고려하여 소규모 건설 현장에 적용 가능한 송수신 방식을 비교하였다. 비교분석 결과, 현장의 실시간 위치측정에 최적화된 모듈인 DWM1000으로 선택하였다. 시스템 운영 및 모니터링 방식 또한 고려되었는데, 초기 개발 단계에서는 노트북을 활용하여 시스템 구동 및 모니터링을 수행하였으나, 더 나아가 모바일 앱을 통한 시스템 운용 가능성이 확인되었다. 이를 향후 시스템 구현에 적용할 예정이다.

3.3 안전관리 모니터링 시스템 작동 프로세스

본 연구에서는 IoT기반의 작업 허가자 진입 여부 판단 및 해당 근로자의 위험 수치 산출 프로세스를 개발하였으며, 작업 전반의 Safety Climate Index(안전분위기 지수, 이하 SCLI로 표기)를 정량적으로 측정하는 알고리즘을 제시하였다. 아래 Figure 4는 위험성 등급별 현장 안전관리 모니터링 시스템의 흐름도이다.

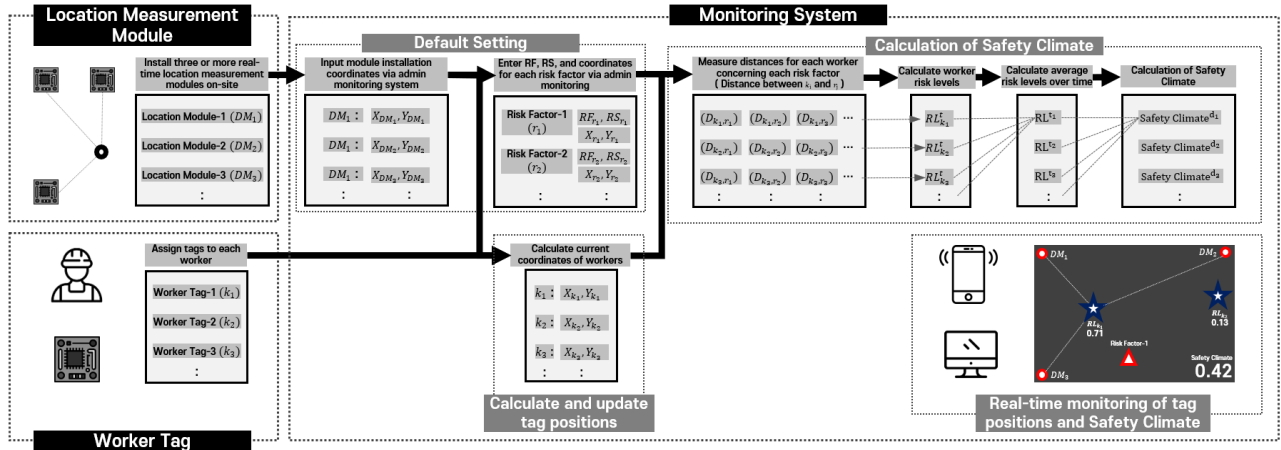


Figure 4. Flowchart of on-site safety management system by risk level

- 위험수준 산출식에 따라 각 근로자의 실시간 위험 수준을 계산하는 식은 다음과 같다.

1) $RL_{k_i}^t$ (t 시점에서 각 근로자별 위험수준) : t 시점에서 i 번째 근로자의 모든 위험으로부터의 평균 위험수준

$$RL_{k_i}^t = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n RL_{k_i, r_j}^t \quad (n : \text{전체 위험 수})$$

2) RL_{k_i, r_j}^t (t 시점에서 각 위험에 대한 각 근로자의 위험수준) : t 시점에서 j 번째 위험에 대한 i 번째 근로자의 위험수준

$$RL_{k_i, r_j}^t = \frac{(11 - D_{k_i, r_j}^t)}{100} * RF_{r_j} * RS_{r_j}$$

3) 참조

* RF_{r_j} (빈도) : j 번째 설정된 위험의 빈도, 값 범위 : 1~3(하, 중, 상)

* RS_{r_j} (강도) : j 번째 설정된 위험의 강도, 값 범위 : 1~3(약, 중, 강)

* D_{k_i, r_j}^t (t 시점에서 위험거리) : t 시점에서 j 번째 설정된 위험과 i 번째 근로자 t_i 사이의 거리, 값 범위 : $1 \leq D_{k_i, r_j}^t \leq 10$

* r_j (위험) : j 번째 설정된 위험($j=1, \dots, n$)

* k_i (근로자) : i 번째 근로자($i=1, \dots, m$)

- 현장 내 모든 근로자를 대상으로 한 실시간 평균 위험 수준 산출

: RL^t (t 시점에서 현장 전체 위험수준) : t 시점에서 모든 근로자의 모든 위험으로부터의 평균 위험수준

$$RL^t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m RL_{k_i}^t \quad (m : \text{전체 근로자 수})$$

- 산출된 RL^t (현장 전체 위험수준)값을 통해 일일, 주간, 월간, SCLI 산출

1) $Safety\ Climate^d$ (일일 SCLI) : 일일 동안의 평균 RL^t 을 일일 SCLI $Safety\ Climate^d$ 로 계산

$$Safety\ Climate^d = \sum_{t=1}^t RL^t \quad (t : \text{하루 동안 측정된 } RL \text{의 개수})$$

2) $Safety\ Climate^w$ (주간 SCLI) : 한 주 동안의 평균 $Safety\ Climate^d$ 을 주간 SCLI $Safety\ Climate^w$ 로 계산

$$Safety\ Climate^w = \frac{1}{d'} \sum_{d=1}^{d'} Safety\ Climate^d \quad (d' : \text{한 주 동안 근무한 일수})$$

3) $Safety\ Climate^m$ (월간 SCLI) : 한 달 동안의 평균 $Safety\ Climate^d$ 을 월간 SCLI $Safety\ Climate^m$ 로 계산

$$Safety\ Climate^m = \frac{1}{d'} \sum_{d=1}^{d'} Safety\ Climate^d \quad (d' : \text{한 달 동안 근무한 일수})$$

개발한 프로세스를 통해 일일, 주간 및 월간 안전분위기를 비교하여 현장의 관리 상태를 모니터링한다. 이러한 SCLI는 각 근로자의 실시간 위험 수준을 반영하며, 이 수준이 관리자가 설정한 설정값(문턱값)을 초과하는 경우, 근로자와 관리자에게 알림이 발송된다.

알림 시스템을 통해 실제 안전관리 조치가 시행되고, 조치가 시행되기 전과 후의 일일, 주간 및 월간 평균 위험수준을 비교하여 안전조치의 효과를 측정할 수 있다. 이를 통해 안전관리의 효과를 실시간으로 모니터링하고, 지속적인 향상을 위한 조치를 취할 수 있다.

본 연구에서는 안전관리 모니터링 시스템 작동 프로세스를 통하여 고위험구역(추락)을 기준으로 5분간 작업자 이동 동선의 시뮬레이션을 실시하여 SCLI를 측정하였으며, 그 결과는 Figure 5과 같다.

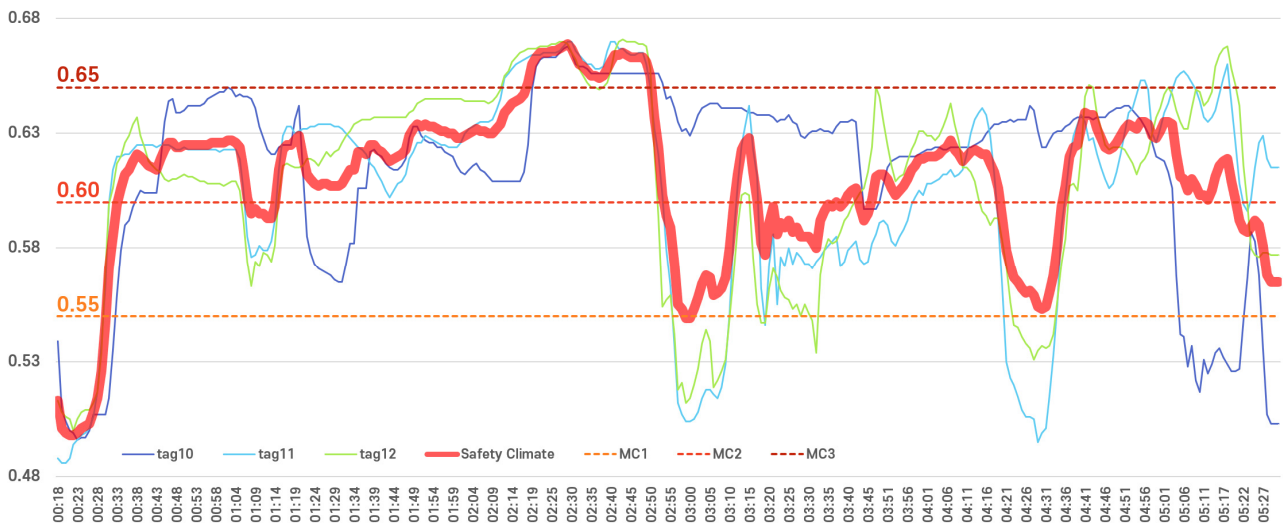


Figure 5. Safety Climate Index(SCLI) in high-risk zones

이와 같은 SCLI를 기반으로 실제 안전관리 조치 내용 및 조치 전후의 일일, 주간, 월간 평균 위험수준을 비교하여 현장의 SCLI 수치를 기준으로 안전조치가 가능하다.

4. 결론

본 연구는 안전인지 모델을 통한 소규모 건설현장에서의 안전사고 예방을 목표로 하였다. 안전성을 향상시키기 위해 안전인지 모델을 도입함으로써, 건설현장의 근로자들의 이동 동선 데이터와 안전 관련 정보를 종합적으로 고려하여 안전성을 측정하는 방법을 제시하였다. 연구의 주요 기대효과는 다음과 같다.

첫째로, 안전인지 모델을 적용함으로써 건설현장에서의 안전사고를 예방하는데 새로운 접근 방식을 제시하였다. 기존의 안전성 향상을 위한 다양한 기술적 방법과는 달리, 안전인지 모델은 근로자들의 이동 동선을 실시간으로 평가하여 위험 수준을 계산함으로써 예방적으로 안전조치를 취할 수 있는 방법을 제시하였다.

둘째로, 안전관리 모니터링 시스템을 통해 실제 안전조치의 효과를 모니터링할 수 있는 프로세스를 개발하였다. SCLI를 기반으로 한 안전 관리 조치의 효과를 일일, 주간, 월간 평균 위험수준을 비교하여 측정함으로써, 안전성을 지속적으로 개선할 수 있는 방안을 제시하였다.

한편, 이 연구의 한계점은 다음과 같이 나타난다.

첫째로, 안전인지 모델의 정확성 및 효과적인 적용을 위해서는 다양한 환경 및 조건에서의 실험 및 검증이 필요하다. 연구에서 제안된 모델이 다양한 건설현장에서의 적용 가능성과 효과를 확인하기 위해 추가적인 연구가 필요하다.

둘째로, 소규모 건설현장을 대상으로 한 연구이므로 대규모 건설현장이나 다른 산업 분야에 적용할 때의 성능 및 효과에 대한 일반화가 제한될 수 있다. 이를 극복하기 위해 다양한 현장에서의 실험 및 연구가 필요하다.

종합하면, 본 연구는 안전인지 모델과 안전관리 모니터링 시스템을 통해 소규모 건설현장에서의 안전성을 향상시키는데 새로운 관점을 제시하였으며, 향후 더 많은 연구와 현장 적용을 통해 안전성 측면에서의 지속적인 발전이 가능할 것으로 기대된다.

요약

최근 5년 동안 건설업에서의 사고사망자가 급증하고 있는 실정에서, 이 연구는 안전인지 모델을 활용한 안전성 향상 방안을 탐구한다. 건설업에서의 고령 근로자 비중 상승 및 생산성 저하 등의 문제로 안전문제가 심각해지고 있는 가운데, 4차 산업혁명 기술을 활용한 안전성 향상의 필요성이 대두되고 있다. 연구에서는 건설업의 안전문제를 파악하기 위해 건설업 사망재해의 통계적 데이터를 분석하였고, 특히 소규모 건설현장을 중점으로 한 안전인지 모델을 개발하였다. 건설현장의 안전 등급 분석을 통해 안전위험을 정량화하고, 무선 통신 기술 중에서도 DWM1000 모듈을 적용하여 실시간 위치 측정 및 안전 수준 산출을 수행하였다. 또한, 안전 관리 시스템을 통해 각 근로자의 위험 수준을 측정하고, 이를 평균하여 전체 현장의 Safety Climate Index(SCLI)를 도출함으로써 일일, 주간, 월간 안전 분위기를 산출하였다. 이를 통해 안전 조치의 효과를 모니터링하고, 지속적인 개선 조치를 취할 수 있는 안전인지 모델을 제안하였다. 본 연구는 건설현장에서의 안전성을 높이고 사고 예방을 위한 체계적인 모델을 제시하여, 안전인지 모델을 통한 생산성 향상 및 안전성 강화에 기여할 것으로 기대된다.

키워드 : 안전인지 모델, 안전분위기 지수, 위험성 평가, 안전관리, 소규모 건설현장


Funding


Not applicable

Acknowledgement

This research was supported by Changwon National University in 2023~2024.

ORCID

Han-Eol Kim,  <https://orcid.org/0009-0005-4495-293X>

Hyoung-Chul Lim,  <https://orcid.org/0009-0005-9395-5926>

References

1. Joo HW. BIM safety management system using risk assessment [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Sungkyunkwan University; 2017. 53 p.
2. Ahn JY. A study on the improvement of safety measure implement in construction industry risk assessment [master's thesis]. [Chungju (Korea)]: Korea National University of Transportation; 2019. 53 p.
3. George MR, Nalluri MR, Anand KB. Application of ensemble machine learning for construction safety risk assessment. *Journal of the Institution of Engineers*. 2022 Oct;103:989-1003. <https://doi.org/10.1007/s40030-022-00690-w>
4. Kim SH, Kang CS, Ryu HG. IoT-based dangerous zone alarming system for safety management in construction sites. *Journal of the Korea Convergence Society*. 2019 Oct;10(10):107-15. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2019.10.10.107>
5. Jeong DJ, Kim JY, Bae SJ, Jung HK. Distributed IoT sensor based laboratory safety management system. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*. 2019 Jan;23(1):90-6. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.1.90>
6. Choi SW, Yoon YS, Lim SS, Park YB, Suh SW. A case study on the improvement of real-time facility safety management using sensor. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2020 Sep;21(5):38-45. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2020.21.5.038>
7. Choi SM. A study on the subway maintenance technique based on 3D spatial information model [doctoral dissertation]. [Seoul (Korea)]: Konkuk University; 2021. 175 p.