

AIoT와 Mobile기술을 활용한 건설현장 안전관리 활성화 방안에 관한 연구

A Study on the Promotion of Safety Management at Construction Sites Using AIoT and Mobile Technology

안형도*

Hyeongdo Ahn*

Doctor's Course, Industrial Engineering, Sunmoon University, Asan, Republic of Korea

*Corresponding author: Hyeongdo Ahn, ahd@dongwon.com

ABSTRACT

Purpose: The government intends to come up with measures to revitalize safety management at construction sites to shift safety management at construction sites from human capabilities to system-oriented management systems using advanced technologies AIoT and Mobile technologies. **Method:** The construction site safety management monitoring system using AIoT and Mobile technology conducted an experiment on the effectiveness of the construction site by applying three algorithms: virtual fence, fire monitoring, and recognition of not wearing a safety helmet. **Result:** The number of workers in the experiment was 215 and 7.61 virtual fence intrusion was 3.5% compared to the number of subjects and 0.16 fire detection were 0.07% compared to the subjects, and the average monthly rate of not wearing a safety helmet was 8.79, 4.05% compared to the subjects. **Conclusion:** It was found that the construction site safety management monitoring system using AIoT and Mobile technology has a valid effect on the construction site.

Keywords: AIoT, Safety Management, Algorithm, Fire Detection, Virtual Fence, Fall, Unstable Behavior, Safety Helmet

요약

연구목적: 건설현장 안전관리를 인적 역량 중심에서 첨단기술인 AIoT와 Mobile 기술을 활용한 시스템 중심의 관리체계로의 전환을 위한 건설현장 안전관리 활성화 방안을 마련하고자 한다. **연구방법:** AIoT와 Mobile 기술을 활용한 건설현장 안전관리 모니터링 시스템이 건설현장의 유효성에 대하여 공동주택현장의 골조공중에 종사하고 있는 작업자를 대상으로 가상펜스, 화재감시, 안전모 미착용 인식 3개의 알고리즘을 적용하여 실험을 실시 하였다. **연구결과:** 실험대상 근로자는 215명, 가상펜스 침입은 7.61명으로 불안전 행동 발생율은 실험대상 인원 대비 3.5%, 화재감시는 0.16건으로 실험대상 대비 불안전 행동 발생율이 0.07% 나타났으며, 안전모 미착용 인지는 월 평균 안전모 미착용은 8.79명으로 실험대상 대비 불안전 행동 발생율 4.05% 나타났다. **결론:** AIoT와 Mobile 기술을 활용한 건설현장 안전관리 모니터링 시스템이 건설현장에 유효한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

핵심용어: AIoT, 안전관리, 알고리즘, 화재감시, 가상펜스, 추락, 불안전행동, 안전모

Received | 10 January, 2022
Revised | 9 February, 2022
Accepted | 21 February, 2022

 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.

서론

이천 냉동창고 화재, 부산 철거공사 붕괴사고, 작업발판에서 작업 및 이동 중 추락사고, 타워크레인 등 건설기계 설치, 해체 및 작업 중 추락, 협착 및 붕괴 사고 등 건설공사를 수행하면서 발생하는 산업재해는 피해자 개인, 가족 및 사회에 미치는 영향은 매우 중대하고 심각하다.

특히 건설현장에서 발생하는 산업재해는 산업안전보건법 전면 개정, 중대재해처벌법 제정, 고용노동부, 국토교통부, 행정안전부 등 정부의 산업재해를 감소하기 위한 다양한 노력에도 불구하고 사고사망만인율은 증가하고 있는 추세이다.

건설산업은 타 업종과 달리 발주청 및 건축주로부터 주문을 받아 건설활동을 착수하고, 제품실현이 완료되면 건축물 및 건축물을 고객에게 인도하는 수주산업으로 건설활동은 대부분 옥외에서 시행됨에 따른 시간적, 장소적, 계절적 영향이 크며, 건설활동의 기본구조가 복잡적이기 때문에 건설사업자 단독으로 건설활동을 수행하는데 현실적 어려움이 있어, 분야별 전문기술을 가진 전문건설업체의 의존도가 높다.

전문건설업체에 소속된 근로자는 대부분 프로젝트 단위별로 급조된 일용 근로자로 구성되어 있으며, 위험한 건설환경에 대한 기피현상이 증가함에 따라 근로자의 급속한 고령화와 이에 따른 대체 수단으로 외국인 근로자의 유입은 건설현장의 위험성을 증가시키고 있다.

전체 산업 사고 사망자 중 50% 이상이 건설현장에서 발생 및 증가하고 있으며, 이에 정부는 ‘22년 까지 건설현장 사고 사망만인율 50% 줄이기 목표를 수립하고, 원청 및 발주자에 대한 건설안전 책임을 강화 하고 있다.

국토교통부는 ‘건설현장 추락사고 방지 종합대책’의 일환으로 공공공사에 대한 스마트 안전장비 도입을 의무화 하고 있으며, 민간공사는 21년 이후부터 단계적으로 의무화를 추진하고 있다.

‘22년 1월 중대재해처벌법 전면 시행으로 경영책임자 등 사업주 책임과 안전보건관리체계 구축 요구, 주 52시간 전면 시행과 건설현장 기피현상에 따른 인원 수급의 어려움으로 현장 관리 인원 감소에 따라 건설현장의 위험의 시각은 확대되고 있다.

본 연구는 건설현장 안전관리를 인적 역량 중심에서 첨단기술인 AIoT와 Mobile 기술을 활용한 시스템 중심의 관리체계로의 전환을 위한 건설현장 안전관리 활성화 방안을 마련하고자 한다.

이론적 고찰

AIoT와 Mobile 기술

AIoT는 4차 산업 혁명을 대변하는 사물지능융합기술로 AI(Artificial Intelligence) + IoT(Internet of Things)의 이니셜을 따서 만든 합성어이다. AIoT는 정보기술을 기반으로 연결성과 지능성을 확장하고 융합하는 과정에서 만들어지는 사물지능 융합기술로 초연결성, 초지능성 그리고 초융합성의 특징을 가지고 있으며, 본 연구에서 AIoT 기기는 AI CCTV솔루션(SVMS : Smart Video Management System)을 적용하였으며,

AI CCTV에 의해 수집, 처리, 분석한 유효한 정보의 결과를 관계인에게 실시간 원격으로 제공 함으로써 시스템의 효과성을 극대화하기 위해 Mobile 기술을 AI CCTV와 융합하여 시스템화 하였다(Naver <https://www.naver.com>, Wikipedia <https://ko.wikipedia.org/wiki>).

연구방법

연구방법 개요

본 논문에서 연구 방법은 AI CCTV 솔루션(SVMS : Smart Video Management System) 과 Mobile 기술을 융합한 건설현장 안전관리 모니터링 시스템을 구축하고, 실제 건설현장에 적용하여 공사 진행 상황을 AI CCTV 솔루션을 통해 영상촬영, 특정 알고리즘에 의한 분석을 통해 불안전 행동 및 상태를 검출하여 그 결과를 실시간 현장 상황실 및 공사 관계자에게 통보하여 신속하게 불안전 행동 및 상태를 제거하는 등 시스템화된 건설현장 안전관리 모니터링 시스템의 효과성을 확인 및 분석하여 인적 역량 중심의 건설현장 안전관리를 시스템 중심의 관리체계로의 전환하기 위한 기술적 신뢰성을 확보하여 건설현장 안전관리 활성화 방안을 제안하고자 한다.

AIoT와 Mobile 기술 기반 건설현장 안전관리 모니터링 시스템

본 논문에서 AIoT 기기는 에스원 AI CCTV 솔루션 SVMS를 중심으로 Fig. 1과 같이 건설현장을 CCTV를 통해 입수된 영상정보를 '지능형 행동 인식 영상 알고리즘을 통해 자동으로 탐지, 인식, 분석하고 불안전 상태 및 행동 등 이벤트 발생시 상황실 및 모바일로 실시간 상황을 전파하여 이벤트인 불안전 상태 및 행동을 제거하는 AIoT와 Mobile 기술을 기반으로한 건설현장 안전관리 모니터링 시스템을 구축하였다.

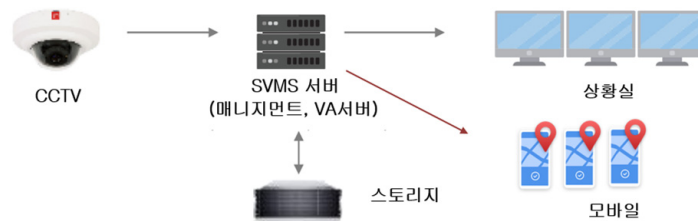


Fig. 1. Safety management monitoring system for construction sites

Source : S-1 CORPORATION, <http://www.s1.co.kr/company>

본 논문에서 사용한 CCTV는 타워크레인에 설치한 무선CCTV를 사용하였다. 무선CCTV는 무선 송.수신기를 사용하여 상황실에 위치한 SVMS서버에 영상을 전달한다.

지능형 영상분석 알고리즘

본 논문에서 사용한 지능형 영상분석 알고리즘은 가상웬스, 화재감시, 안전모 미착용 인식 알고리즘을 사용하였다. 가상웬스 알고리즘은 움직이는 객체가 설정된 가상의 선을 통과하여 설정된 방향으로 이동할 때, 이를 감지하는 알고리즘으로 세부내용은 Table 1과 같다. 화재감시 알고리즘은 화재감시를 위한 알고리즘으로 감시 영상내의 ‘화염’, ‘연기’ 발생 시 이를 감지하는 알고리즘으로 세부내용은 Table 2과 같다. 마지막으로 안전모 미착용 인식 알고리즘은 안전모를 착용/미착용을 구분하여 인식하는 알고리즘으로 세부내용은 Table 3와 같다.

Table 1. Virtual fence algorithm

구 분	세 부 내 용	비 고
입력영상 해상도	• D1급(720×576 픽셀) 이상	
입력 영상 속도	• 10 FPS 이상	
크기(최소, 최대)	• 40×24 픽셀 (HD급 기준), 1,200×600 픽셀 (HD급 기준)	
이동 방향	• 사용자 입력	
감지 거리	• 20M 이내(카메라 설치 높이 : 5M, FOV : 57°×44°, 주간 기준)	
감지 조건	• 30초 이상 시스템 정상 작동 • 움직이는 물체가 설정된 가상의 선을 통과하여 설정된 방향으로 이동 • 설정된 가상의 전/후에 1초 이상 물체 이동	
알고리즘	• 객체 윤곽분석, 색상 분석, 텍스처 분석, 움직임 분석, 객체 이동 거리 추출, 전처리(노이즈 제거), 후처리(비 객체 제거)	

Source : S-1 CORPORATION, <http://www.s1.co.kr/company>

Table 2. Fire monitoring algorithm

구 분	화염 감지	연기 감지
최소 감지 면적	320×240 영상 기준 20×20 픽셀	320×240 영상 기준 50×50 픽셀
감지 시간	30초 이내	30초 이내
기술 요건	위치 지속성 흔들림 주파수 관찰(2Hz) • 카메라 영상 입력 8FPS 이상 • 카메라 초점 선명, 영상 색상 보존(실제 색상) • 카메라 상태 양호(노이즈 x)	연기 표면의 텍스처(표면무늬)관찰 움직임 관찰(느리더라도 움직여야 함)

Source : S-1 CORPORATION, <http://www.s1.co.kr/company>

Table 3. Algorithm without safety helmets

구 분	세 부 내 용	비 고
입력 영상 해상도	• D1급(720×576 픽셀) 이상, 입력영상 속도 10 FPS 이상	
크기(최소, 최대)	• 40×24 픽셀 (HD급 기준), 1,200×600 픽셀 (HD급 기준)	
감지 거리	• 40M 이내(카메라 설치 높이 : 5M, FOV : 57°×44°, 주간 기준)	
감지 조건	• 30초 이상 시스템 정상 작동 • 안전모 착용 및 미착용 전후 1초 이상 경과	
알고리즘	• 객체 윤곽분석, 색상 분석, 텍스처 분석, 움직임 분석	

Source : S-1 CORPORATION, <http://www.s1.co.kr/company>

건설 현장 안전관리 모니터링 시스템 현장 적용

건설현장 안전관리 모니터링 시스템의 유효성을 파악하기 위해 실제 운영중인 현장을 대상으로 실험을 실시하였다. 실험은 경기도에 소재한 공공기관에서 발주한 공동주택으로 지하 1층 지상5~29층 15개동 995세대로 대지면적은 60,272m²공정

율은 20%이며, 실험 적용 공종은 골조공사 근로자를 대상으로 하였다. 실험기간은 약3개월(2021년 6월~8월) 실시하였으며, 실험대상에게 실험 시행 전 실험에 대한 내용을 설명하고, 실험결과를 일일 단위로 다음 날 아침조회시 공유하여 실험대상의 안전활동에 미치는 영향도 함께 확인하였다. 실험에 사용한 AI CCTV는 무선 CCTV로 타워크레인에 5개소 설치하였으며, 지능형 영상분석 알고리즘은 가상웬스, 화재감시, 안전모 미착용 인식 알고리즘을 적용하였고, 현장적용 실험개요는 Table 4와 같으며, 무선CCTV 설치도는 Fig. 2과 같다.

Table 4. Summary of the on-site test for the construction site safety management monitoring system

구 분	세 부 내 용	비 고
공사명	• 양주 회천 A-21BL 아파트 신축현장 (대지면적 : 60,272m ²)	
공사규모	• 지하1층, 지상5~29층 / 15개동 995세대	
실험대상 공종	• 골조 공사 작업자	
실험 기간	• 약 3개월 : '21년 6월~8월, 공정률 : 20%	
실험조건	• 무선CCTV 5개소 설치 • 지능형 영상분석 알고리즘은 가상웬스, 화재감시, 안전모 미착용 인식 알고리즘	



Fig. 2. Wireless CCTV installation

실험결과 및 고찰

가상웬스 알고리즘 적용 실험결과

본 실험은 골조 단부 및 거푸집 동바리 설치 및 해체구간 등 위험구역에 가상웬스를 Fig. 3(a)와 설정하고, 가상의 선을 통과하는 불안전행동을 유발하면 Fig. 3(b)와 같이 파랑색 사각박스로 표시되고 그 결과를 상황실 및 지정된 안전관계자의 핸드폰으로 전송된다. 측정결과 3개월 평균 근로자는 215명이며, 월평균 가상웬스 침입은 7.61명으로 실험대상215명 대비 3.5%의 불안전 행동 발생율을 보였다. 또한 미미 하지만 월 단위로 평균 불안전 행동 발생률이 감소한 것으로 나타났으며, 세부적인 실험결과는 Table 5과 같다.

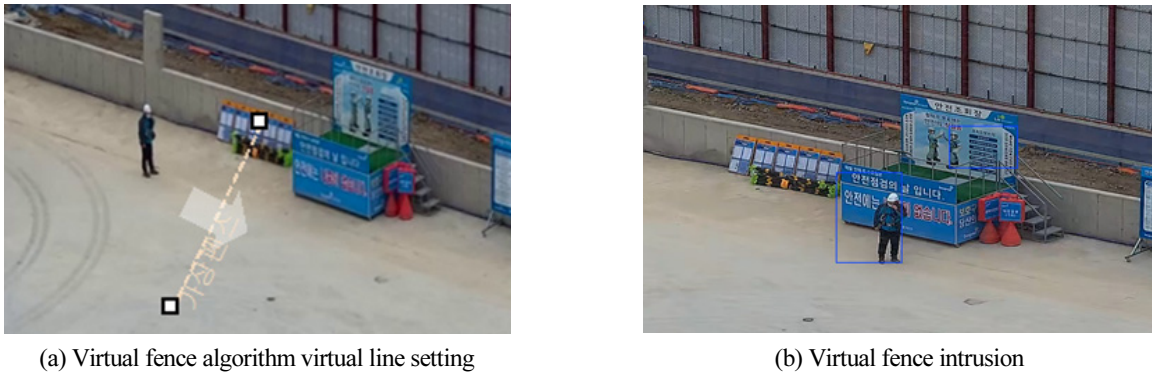


Fig. 3. Experimental results of applying virtual fence algorithm

Table 5. Monthly virtual fence algorithm experiment results

실험시기	실험대상(골조) 평균 근로자수	실험 결과(월 평균 가상웬스 침입 발생) [단위: 명]					평균	비 고
		T/C#1호기	T/C#2호기	T/C#3호기	T/C#4호기	T/C#5호기		
'21년 6월	215명	10.2	8.7	5.5	11.7	3.2	7.86	
'21년 7월	210명	7.7	3.2	9.3	10.5	7.2	7.58	
'21년 8월	220명	7.2	5.9	8.8	8.5	6.6	7.40	

화재감시 알고리즘 적용 실험결과

본 실험은 실험구간에 화재 발생시 무선CCTV 영상의 화재 5% 이상, 연기 10% 이상 이벤트가 발생하면 Fig. 4와 같이 빨강색 사각박스로 표시되고 그 결과를 상황실 및 지정된 안전관계자의 핸드폰으로 전송된다. 측정결과 3개월 평균 근로자는 215명 이며, 월 평균 화재감지는 0.16건으로 실험대상 215명 대비 0.07%의 불안전 행동 발생율을 보였다. 화재 유발 불안전 행동 발생율 0.07%로 낮게 나타난 것은 실험대상인 골조 공종이 타 공종과 비교할 때 화기사용 빈도가 낮은 것도 실험결과에 영향을 주었을 것으로 판단되나, 점진적으로 발생율이 낮아진 것은 실험대상에 안전활동에 긍정적 영향을 준 것으로 판단되며, 세부적인 실험결과는 Table 6과 같다.

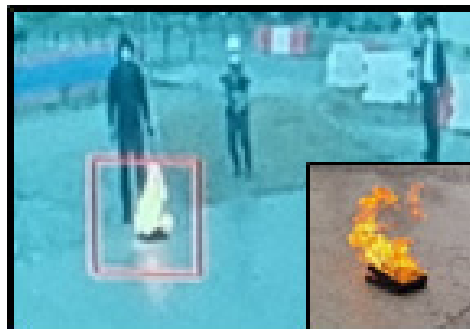


Fig. 4. The results of the fire detection algorithm application experiment

Table 6. Monthly fire detection algorithm test results

실험시기	실험대상(골조) 평균 근로자수	실험 결과(월 평균 화재감지) [단위: 건]					평균	비 고
		T/C#1호기	T/C#2호기	T/C#3호기	T/C#4호기	T/C#5호기		
‘21년 6월	215명	1.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.36	
‘21년 7월	210명	0.0	0.3	0.1	0.2	0.0	0.12	
‘21년 8월	220명	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	

안전모 미착용 인식 알고리즘 적용 실험결과

본 실험은 실험대상이 안전모를 착용시에는 Fig. 5(a)와 같이 노랑색 사각박스로 표시되고, 미 착용시에는 Fig. 5(b)와 같이 파랑색 사각박스로 표시되며, 그 결과를 상황실 및 지정된 안전관계자의 핸드폰으로 전송된다. 측정결과 3개월 평균 근로자는 215명이며, 월 평균 안전모 미착용은 8.79명으로 실험대상 215명 대비 4.05%의 불안전 행동 발생율을 보였다. 실험을 시작한 6월에는 평균 불안전 행동 발생율이 10.54명, 7월에는 7.78명으로 26.1% 감소한 것으로 나타났으며, 다음 달인 8월에는 3.6% 증가한 결과로, 계절적 영향도 실험결과에 영향을 준 것으로 판단되며, 세부적인 실험결과는 Table 7과 같다.

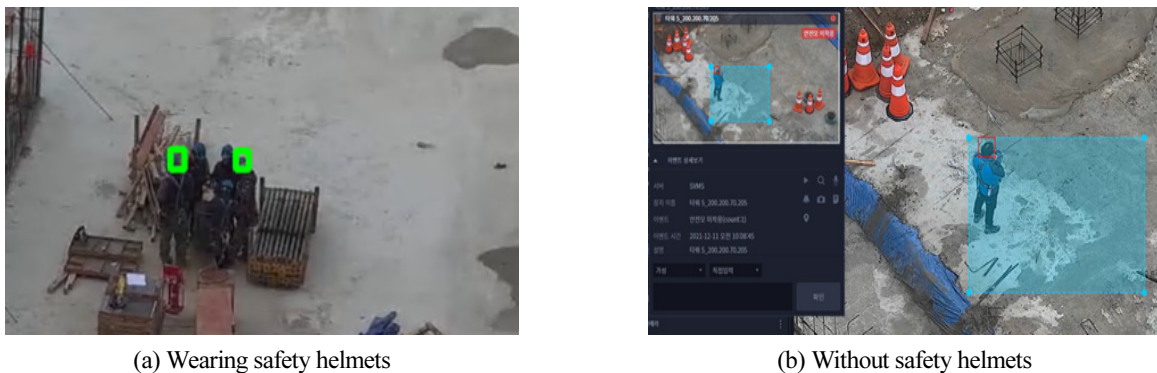


Fig. 5. The results of the experiment with the recognition algorithm without a helmet

Table 7. The results of monthly safety helmet recognition algorithm test results

실험시기	실험대상(골조) 평균 근로자수	실험 결과(월 평균 안전모 미착용 인식) [단위: 명]					평균	비 고
		T/C#1호기	T/C#2호기	T/C#3호기	T/C#4호기	T/C#5호기		
‘21년 6월	215명	10.5	12.9	11.1	9.9	8.3	10.54	
‘21년 7월	210명	11.5	10.2	8.5	3.2	5.5	7.78	
‘21년 8월	220명	8.9	9.9	10.1	5.2	6.2	8.06	

결론

본 논문은 건설현장 안전관리를 인적 역량중심에서 첨단기술인 AIoT와 Mobile 기술을 활용한 시스템 중심의 관리체계로의 전환을 위하여 AIoT와 Mobile 기술을 활용한 건설현장 안전관리 모니터링 시스템이 건설현장의 유효성에 대하여 실험

연구를 하였다. 실험대상은 현재 경기도에 시공중인 공공 공동주택현장의 골조공중에 종사하고 있는 작업자를 대상으로 가상헬스, 화재감시, 안전모 미착용 인식 3개의 알고리즘을 적용하여 약3개월간 실험을 실시 하였다. 실험결과 실험대상 근로자는 215명, 가상헬스 침입은 7.61명으로 불안전 행동 발생율은 실험대상 인원 대비 3.5%이며, 실험이 진행됨에 따라 미미하지만 점진적으로 불안전 행동 발생율이 감소됨을 알수 있었으며, 화재감지는 0.16건으로 실험대상 대비 불안전 행동 발생율이 0.07%로 낮게 나타난 것은 실험대상인 골조 공중이 타 공종과 비교할 때 화기사용 빈도가 낮은 것도 실험결과에 영향을 주었을 것으로 판단되나, 점진적으로 발생율이 낮아진 것은 실험대상에 안전활동에 긍정적 영향을 준 것으로 판단된다. 안전모 미착용 인지는 월 평균 안전모 미착용은 8.79명으로 실험대상215명 대비 4.05%의 불안전 행동 발생율을 보였다. 실험을 시작한 6월에는 평균 불안전 행동 발생율이 10.54명, 7월에는 7.78명으로 26.1% 감소한 것으로 나타났으며, 다음 달인 8월에는 3.6% 증가한 결과로, 계절적 영향도 실험결과에 영향을 준 것으로 판단된다. 상기에 기술한 바와 같이 AIoT와 Mobile 기술을 활용한 건설현장 안전관리 모니터링 시스템이 건설현장에 유효한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 실험을 진행하면서 노조의 작업자 감시 등 개인정보 노출에 대한 반발과 무선CCTV의 기술적 사각지대에 한계성에 대한 보완이 필요한 것으로 나타났으며, 포터블 CCTV를 활용한 실내 작업자에 미치는 영향 등에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

References

- [1] Chae, J.I. (2016). A Study on Smart City for Disaster and Safety with ICBM Technology Convergence : Focusing on the Case of Gimpo City with Perception of Local Government Officials, Ph. D.Dissertation, Inha University.
- [2] Institute of Occupational Safety and Health at the Korea Occupational Safety and Health Agency. <https://oshri.kosha.or.kr>.
- [3] Jung, S.C., Im, H.C. (2020). Industrial structure to reduce industrial accidents in the construction industry and How to improve the employment structure. Institute of Occupational Safety and Health at the Korea Occupational Safety and Health Agency, Ulsan.
- [4] KALIS (Korea Authority of Land & Infrastructure Safety). <https://www.kalis.or.kr>.
- [5] Kim, S.-Y., Kim, G.Y., Hwang, I.C., Kim, D.S. (2018). "Research of IoT concept implemented severity classification system." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 14, No. 1, pp. 28-35.
- [6] Kwon, S.W. (2019). A Study on the Criminal Responsibility of Contractors under the Industrial Safety and Health Act, M.D Course, Department of Law, Graduate School, Sungkyunkwan University.
- [7] Lee, M.C., Kim, T.Y., Kim, S.J. (2016). A Study on the Regulatory System of the Occupational Safety and Health. Institute of Occupational Safety and Health at the Korea Occupational Safety and Health Agency, Ulsan.
- [8] Lee, Y.-J., Kang, S.K., Yu, H. (2019). "A study on risk factor identification by specialty construction industry sector through construction accident cases: Focused on the insurance data of specialty construction worker." Korea Industrial Information Systems Society, Vol. 24, No. 1, pp. 45-63.
- [9] Min, G.-H., Cha, Y.W., Han, S.W., Hyun, C.T. (2019). "An analysis of relationship between unsafe acts and human errors of workers for construction accident prevention." Architectural Institute of Korea, Vol. 35, No. 5, pp. 161-168.
- [10] Ministry of Employment and Labor. <https://www.moel.go.kr>.
- [11] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. <http://www.molit.go.kr>.
- [12] Naver. <https://www.naver.com>.
- [13] Oh, S.H. (2018). A Study on the Improvement of Safety Certification System-Focused on the Occupational Safety and Health Act. M.D Course, Department of Safety and Environmental Engineering, Ulsan University.

- [14] Roh, H.S. (2019). A Study on Improvement Plan of Practice Safety Manager Job by Industrial Safety and Health Act. M.D Course, Department of Safety and Environment System Engineering, Incheon University.
- [15] S-1 CORPORATION. <https://www.s1.co.kr/company>.
- [16] Shin, J.-H., Kim, J.K., Yeom, M.K., Kim, J.P. (2021). "Analysis of dtought vulnerable areas using neural-network algorithm." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 17, No. 2, pp. 329-340.
- [17] Son, G.-S., So, S.H. (2021). "A study on fire alarm test of iot multi-fire detector combined smoke/CO and smoke/temperature sensors." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 17, No. 2, pp. 236-244.
- [18] Wikipedia. <https://ko.wikipedia.org/wiki>.
- [19] Yoon, T.-Y. (2020). "A study on the effective management of the safety and health diagnosis system in construction industry." Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 16, No. 4, pp. 723-733.