

AI를 접목한 IoT 기반 산업현장 안전관리 시스템

이슬, 조소영, 여승연, 이희수, 김성욱

서울여자대학교 정보보호학과

intmf88@swu.ac.kr, chan123@swu.ac.kr, downtime8454@swu.ac.kr, lhs0303@swu.ac.kr,

kim.sungwook@swu.ac.kr

IoT industrial site safety management system incorporating AI

Seul Lee, So-Young Jo, Seung-Yeon Yeo, Hee-Soo Lee, Sung-Wook Kim

Dept. of Information Security, Seoul Women's University

요 약

국내 산업재해 사고 사망자의 상당수가 건설업에서 발생하고 있다. 건설 현장에는 굴삭기, 크레인과 같은 중장비가 많고 높은 곳에서 작업하는 경우가 흔해 위험 요소에 노출될 가능성이 높다. 물리적 사고 외에도 작업 중 발생하는 미세먼지에는 여러 유해 인자가 존재하여 건설근로자들에게 호흡기질환과 같은 직업병을 유발한다. 정부에서는 산업현장 안전 관리의 중요성이 증가함에 따라 각종 산업재해로부터 근로자를 보호하기 위한 법안을 마련하였다. 따라서 건설 현장의 경우 산업재해를 방지하기 위해서 위험요소를 사전에 인지하고 즉각 대응할 수 있는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 인공지능(AI)과 사물인터넷(IoT)을 통한 자동화 기술을 활용하여 24시간 안전 관리 시스템을 제안한다. 제안하는 IoT 기반 통합안전 관리 시스템은 AI를 적용한 CCTV를 통해 산업 현장을 모니터링하고, 다수의 IoT 센서가 측정한 수치를 근로자 및 관리자가 실시간으로 확인할 수 있게 하여 산업 현장 내 안전사고를 예방한다. 구체적으로 어플리케이션을 통해 미세먼지 농도, 가스 농도, 온도, 습도, 안전모 착용 여부 등을 모니터링할 수 있다. 모니터링 중에 유해물질의 농도가 일정 수치를 넘기거나 안전모를 착용하지 않은 근로자가 발견될 경우 근로자 및 관리자에게 경고 알림을 발송한다. 유해물질 농도는 IoT 센서를 통해 측정하며 안전모 착용 여부는 카메라 센서에 딥러닝 모델을 적용하여 인식하였다. 본 연구에서 제시한 통합안전관리시스템을 통해 건설현장을 비롯한 산업현장의 산업재해 감소와 근로자 안전 증진에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

국내 산업재해 사고 사망자의 50% 이상이 건설업에서 발생하는데, 이는 중장비 사용 및 높은 곳에서 해야 하는 위험도 높은 작업이 흔하기 때문이다[1]. 또한 물리적 사고 외에도 작업 도중 불가피하게 발생하는 미세먼지로 근로 종사자들은 호흡기질환 등의 직업병에 노출되어 있다. 이러한 산업재해를 방지하기 위해 위험요소를 사전에 감지 후 즉각 대처할 수 있는 기술이 필요하다.

기존에 제안된 산업안전 관리 시스템은 AI 기술 및 비콘을 이용하지 않고 IoT 기술만이 사용된 웨어러블 형태이다.[2][3] 그러나 이러한 시스템에는 한계점이 존재하며 아래와 같다.

- 1) 근로자의 안전장치 착용 여부를 알기 위해서는 관리자가 지속적으로 CCTV를 확인해야 한다.
- 2) 지난 수치와 통계를 확인할 수 있는 어플리케이션이 부재하다.

- 3) 웨어러블 기기를 근로자 인원만큼 구매해야 한다.

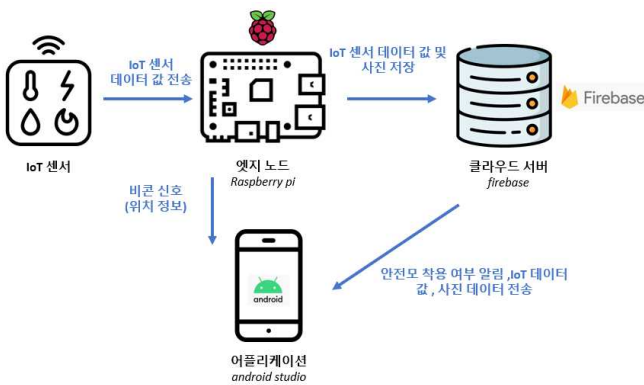
따라서 본 논문에서는 위의 한계점을 보완하고자 인공지능(AI)과 사물인터넷(IoT) 기술을 활용해 모바일에서 확인 가능한 24시간 자동 통합안전 관리 시스템을 구현하였다. 더불어 사용자와 근접한 거리에서 수치를 측정할 수 있는 기존 웨어러블 기기와 동일한 효과를 얻기 위해 본 시스템에서는 비콘을 사용해 근로자의 위치에 따라 센서 값이 바뀌도록 하였다.

2. 구현 및 개발



2.1 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 산업 현장 안전 관리 시스템은 산업 현장의 안전사고 예방을 목적으로 하고 있다. 따라서 산업 현장 내의 각종 유해 물질 수치와 근로자의 안전모 착용 여부를 근로자와 관리자에

게 전달함으로써 사고 위험을 줄이고자 한다 [그림1]은 제안 시스템의 구성도를 나타낸다. 먼저 센서를 이용해 산업 현장의 미세먼지, 온습도, 가스, 영상 데이터를 라즈베리파이로 전송한다. 라즈베리파이에서는 추가적으로 영상 데이터 속 안전모를 쓰지 않은 근로자를 감지하여 캡처한다. 센서 데이터와 캡처 정보는 다시 웹서버로 전송되며 근로자와 관리자는 안드로이드 앱을 이용해 웹서버에 저장된 데이터를 실시간으로 모니터링할 수 있다. 이때 비콘의 거리 측정 기능을 사용하여 단말기와 가장 가까이에 있는 라즈베리파이의 센서 값을 불러온다. 만약 센서 값이 일정 수치를 넘어서거나 안전모를 착용하지 않은 근로자가 발견될 경우 알림을 받을 수 있다.



(그림 1) 시스템 구조

	PT361060M3 MP12	카메라 모듈에 부착되는 렌즈.
	Raspberry Pi HQ camera module 12.3MP	123 메가픽셀을 지원하는 카메라 모듈.





<표 1> IoT 기기 환경

2.2 IoT 기기를 활용한 안전정보 수집

본 시스템에서는 산업 현장 관리를 위해 [표1]과 같이 여러 IoT 기기를 사용하였다. 라즈베리파이는 센서를 연결할 수 있는 초소형 컴퓨터로 작고 휴대성이 좋아 산업 현장에서 큰 부피를 차지하지 않고 쉽게 관리 환경을 조성할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 다양한 기능이 내장되어 있어 여러 응용 서비스를 제공하기에 적합하다. 이 안전 관리 시스템에서는 라즈베리파이 3 b+모델에 미세먼지 센서, 온습도 센서, 가스 감지 센서, 카메라 센서를 연결하여 센서 수치를 수집하고, 내장되어 있는 블루투스 기능을 이용하여 라즈베리파이와 어플리케이션 사이의 거리를 측정하였다.

미세먼지 센서 PMS7003은 5V 전압에서 작동하고, 최소 0.3 μ m ~1.0 μ m을 크기의 입자를 검출할 수 있다. 온습도 측정 센서 DHT-22는 3.3~5.5V의 전압에서 작동하며 -40~80 $^{\circ}$ C까지의 데이터를 수집한다. 센싱 데이터 범위 오차는 습도 \pm 2%, 온도 \pm 0.5 $^{\circ}$ C이다[10]. 가스 감지센서 MQ-2는 5V 전압에서 작동하며 LPG, 부탄가스, 메탄가스, 프로판가스, 알콜, 수소가스, 연기 등을 감지할 수 있다. 또한 카메라 센서 라즈베리파이 HQ 카메라모듈 12.3MP는 고해상도로 안전모 착용 여부를 보다 정확하게 탐지하고자 했다.

한편, 산업 현장은 넓은 공간을 차지해 구역별로 상이한 센서 수치를 보일 수 있기 때문에 여러 구역에 다수의 라즈베리파이를 설치하였다. 이때 근로자는 앱에서 자신이 위치한 곳과 가장 가까운 라즈베리파이의 센서 수치를 확인할 수 있어야 하는데, 이것은 라즈베리파이에 내장된 블루투스 기능을 이용하여 구현하였다. 라즈베리파이가 전송한 비콘 신호를 통해 앱에서 거리를 계산하여 가장 가까운 라즈베리파이의 센서 수치를 앱 화면에 표시하였다.

Hardware		function
	Raspberry Pi 3b+ [4]	라즈베리파이 보드.
	DHT-22 [5]	온도 및 습도 센싱.
	MQ-2 [6]	가연성 가스 센싱.
	PMS7003 [7]	미세먼지를 크기에 따라 분류하여 센싱.

2.3 YOLO 기반 안전모 착용 탐지

어플리케이션의 핵심 기능 중 하나인 안전모 착용 여부 탐지 기능은 YOLO를 사용해 구현했다. YOLO(You Only Look Once)는 빠른 속도로 물체를 탐지하고 종류와 위치를 추측하는 딥러닝 기반의 물체인식 알고리즘이다. 본 연구에서는 기존 YOLO 모델을 기반으로 안전모를 쓴 사람과 쓰지 않은 사람을 감지하는 데 특화된 custom YOLO 모델(AI)을 개발했다.

학습용 데이터로 Aihub에서 1793장의 ‘안전모를 착용한 사람과 착용하지 않은 사람’의 이미지를 사용했다. 데이터 일부는 라벨링이 되어있지 않아 LabelImg 툴을 이용해 따로 라벨링 했다. 제작한 custom YOLO 모델의 mAP(객체 검출 알고리즘의 성능 평가 지표)는 44.29%로, 실제로 안전모를 착용한 채 웹캠을 통해 테스트해 본 결과 높은 정확도를 보였다.

custom YOLO 모델은 라즈베리파이에서 객체 탐지 및 데이터 저장을 하는 파이썬 코드를 제작하는데 사용되었다. 파이썬 코드가 동작하는 동안 카메라 센서에서 추출된 영상 프레임에 안전모를 쓰지 않은 근로자가 발견될 경우 영상을 캡처한다. 이때 발견된 객체의 confidence가 50% 이상일 경우에만 해당 객체로 인식하도록 설정하였다. 캡처한 이미지의 원본은 Firebase Storage에 저장하고 이미지 관련 정보는 Realtime Database에 저장하였다. Firebase에 업로드하기 전 라즈베리파이에 저장되는 이미지는 일정 시간이 지나면 삭제된다. 추가적으로 안전모를 착용하지 않은 근로자가 나타났을 때 안드로이드에 알림을 보내는 변수를 생성하였다. 연속적인 알림을 방지하기 위해 한 번 안전모 미착용 근로자를 탐지한 후에는 안전모 미착용 근로자가 10초 이상 탐지되지 않을 때까지 새로운 알림이 전송되지 않도록 하였다.

2.4 안드로이드 시스템 구현



(그림 2) 근로자 화면 (그림 3) 관리자 화면

안전관리 어플 · now

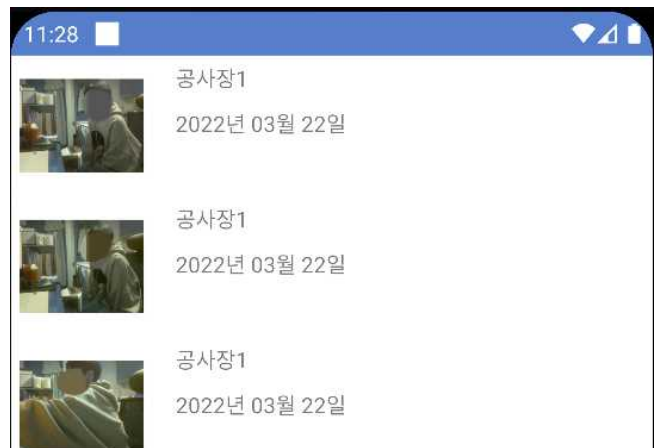
경고
미세먼지 수치가 4893 μ m입니다

(그림 4) 센서 수치 위험 알림

안전관리 어플 · now

경고
안전모를 쓰지 않은 근로자가 발견되었습니다.

(그림 5) 안전모 착용 여부 알림



(그림 6) 카메라 센서로 촬영한 사진

본 시스템의 어플리케이션은 사용자를 산업 현장에 근무하는 근로자와 근로자들을 관리하는 관리자로 나누어 다른 기능을 제공하도록 하였다. [그림 2], [그림 3]은 각각 근로자와 관리자 어플리케이션 화면이다. 두 어플리케이션은 산업 현장의 미세먼지 농도, 가스 농도, 온도, 습도 등을 알려준다. 해당 데

이더들은 웹서버 데이터베이스를 통해 어플리케이션으로 전송된다. 데이터들이 일정 수치를 초과하면 산업 현장에 위험하다고 판단하고 [그림 4]와 같이 경고 알림을 발송하는 기능도 제공한다. 관리자 모드는 추가적으로 [그림 5]와 같이 안전모 착용 여부에 따른 알림 서비스를 받을 수 있고, [그림 3]과 같이 센서 수치를 가시화한 그래프를 볼 수 있다. 만약 안전모를 착용하지 않은 근로자가 있을 경우 [그림 6]과 같이 관리자에게 경고 알림과 카메라 센서로 촬영한 사진 데이터를 앱으로 전송하여 즉각적인 조치를 할 수 있도록 돕는다.

3. 결론

본 논문에서는 라즈베리파이와 AI를 결합하여 산업 현장의 안전 관리를 위한 모니터링 시스템을 구현하였다. 여러 센서들을 통해 수집된 데이터들은 웹서버 데이터베이스에 저장되고, 사용자의 데이터에 대한 접근성을 향상시키기 위해 어플리케이션에서 데이터베이스에 저장된 데이터 값을 시각화하여 보여준다. 또한 AI로 안전모 착용 여부를 판단하여 산업 현장 근로자의 안전 관리 및 자동화된 모니터링 시스템을 구축하였다.

제안된 시스템을 통해 산업 현장 근로자 및 관리자가 실시간으로 산업 현장의 환경 상태를 쉽게 접할 수 있어 안전 관리를 향한 관심도와 사용성 향상에 이바지할 수 있을 것이다.

실제로 테스트를 진행한 결과 산업 현장의 수치들을 쉽고 직관적으로 알 수 있었다. 또한 안전모를 착용하지 않은 사람을 빠르게 파악하는 데 용이하였다. 한편으로 라벨링에 사용된 이미지에서 머리카락이 짧은 사람 및 멀리 떨어진 사람의 비중이 높아 머리카락이 긴 사람과 근거리에 있는 사람의 객체 탐지 confidence가 상대적으로 낮았다.

따라서 산업 현장에 더 적합하게 적용하기 위해서 향후 연구에서는 관련된 이미지를 추가하여 객체 탐지 confidence를 높일 예정이다. 또한 센서 데이터 그래프 기능을 더욱 세분화하여 효율적인 통계 및 분석 기능을 제공하고자 한다.

4. 참고문헌

- [1]고용노동부, 2020년 산업재해 발생현황, <https://www.kosha.or.kr/kosha/data/industrialAccidentStatus.do?mode=view&articleNo=421249&article.offset=0&articleLimit=10>
- [2]김광배, 이제동, 신용태, "산업재해예방을 위한 IoT기반 스마트 건설안전시스템 전환에 관한 연구", 한국정보처리학회 학술대회논문집, 2021, 152-155.
- [3]김주수, Jamshid Umarov, 김대호, 이철우, 오영덕, "산업현장에서 IoT 기반의 작업자 보조기기를 활용한 스마트 안전 관리 시스템 개발", 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집, 2015, 93-94.
- [4]RaspBerry pi 3B+ <https://www.raspberrypi.com/products/>
- [5]DHT-22 https://www.11st.co.kr/products/2351323996?utm_term=&utm_campaign=%B1%B8%B1%DB%BC%EE%C7%CEPC+%C3%DF%B0%A1%C0%DB%BE%F7&utm_source=%B1%B8%B1%DB_PC_S_%BC%EE%C7%CE&utm_medium=%B0%CB%B%F6
- [6]MQ-2 <https://shopping.interpark.com/product/productInfo.do?prdNo=6575952036>
- [7]PMS7003 https://www.eleparts.co.kr/EPXHUUNM#goodContent_2
- [8]PT361060M3MP12 <https://www.eleparts.co.kr/goods/view?no=9546892>
- [9]Raspberry pi HQ camera module 12.3MP <https://www.raspberrypi.com/products/>
- [10]박현욱, 신용원, 김진엽, 공기석, "아두이노, 라즈베리 파이를 통해 모빌의 동작을 원격으로 제어하는 시스템", 한국컴퓨터정보학회논문지, 2020, 17-25.