

AIoT 기반 고위험 산업안전관리시스템 인공지능 연구

여성구¹ · 박대우^{2*}

AIoT-based High-risk Industrial Safety Management System of Artificial Intelligence

Seong-koo Yeo¹ · Dea-Woo Park^{2*}

¹M.S. student, Department of Convergence Engineering, Hoseo Graduate School of Venture, Seoul, 06724 Korea

^{2*}Professor, Department of Convergence Engineering, Hoseo Graduate School of Venture, Seoul, 06724 Korea

요약

정부는 2021년 1월에 '중대재해처벌법'을 제정 공포하여, 이 법을 시행하고 있다. 하지만, 2021년 산업재해 사고자 수가 전년 동기 대비 10.7% 증가하였다. 따라서, 산업 현장에서는 안전대책이 시급한 현실이다. 본 연구에서는 통신 환경이 열악한 고위험 산업현장의 안전관리를 위하여 BLE Mesh 네트워킹 기술을 적용한다. 복합 센서 AIoT 디바이스로 가스 센싱값, 음성, 모션값을 실시간으로 수집하여, 인공지능 LSTM 알고리즘과 CNN 알고리즘을 통해 정보값을 분석하여 위험 상황을 인식하고, 서버에 전송한다. 서버에서는 전송 받은 위험정보를 실시간으로 모니터링 하여 즉각적인 구호조치가 수행되도록 한다. 본 연구에서 제안하는 AIoT 디바이스와 안전관리 시스템을 고위험군 산업 현장에 적용함으로써, 산업재해를 최소화하고 사회안전망 확대에도 기여할 것이다.

ABSTRACT

The government enacted and promulgated the 'Severe Accident Punishment Act' in January 2021 and is implementing this law. However, the number of occupational accidents in 2021 increased by 10.7% compared to the same period of the previous year. Therefore, safety measures are urgently needed in the industrial field. In this study, BLE Mesh networking technology is applied for safety management of high-risk industrial sites with poor communication environment. The complex sensor AIoT device collects gas sensing values, voice and motion values in real time, analyzes the information values through artificial intelligence LSTM algorithm and CNN algorithm, and recognizes dangerous situations and transmits them to the server. The server monitors the transmitted risk information in real time so that immediate relief measures are taken. By applying the AIoT device and safety management system proposed in this study to high-risk industrial sites, it will minimize industrial accidents and contribute to the expansion of the social safety net.

키워드 : 인공지능 사물인터넷, 복합 센서 디바이스, 블루투스 메쉬 네트워크, 경량 딥러닝

Keywords : AIoT, Complex sensor device, BLE Mesh Network, Lightweight Deep Learning

Received 1 August 2022, Revised 6 August 2022, Accepted 11 August 2022

* Corresponding Author Dea-Woo Park (E-mail:prof_pdw@naver.com, Tel:+82-2-20599-2352)

Professor, Department of Convergence Engineering, Hoseo Graduate School of Venture, Seoul, 06724 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.9.1272>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

2021년 12월에 고용노동부에서 산업재해 발생현황을 조사 발표하였다. 이 발표에 따르면 표 1에서와 같이 2021년 산업재해 사고자수가 102,278명으로 전년 동기 대비 10.7% 증가하였다. 사고자 중 사망자는 828명이며, 업종별로 건설업, 제조업, 기타서비스업 순으로 높게 나타났고, 재해 유형별로는 낙상, 끼임, 부딪힘, 깔림 등의 순으로 많이 발생하였다[1].

또한 화학가스가 누출되어 폭발이 발생한 안전사고도 빈번하게 발생하고 있다. 이에 정부는 2021년 1월에 공포된 ‘중대재해처벌법’에 따라 상시 근로자 50명 이상 사업장에 대해 2022년 1월부터 단계적으로 시행 중이다.

따라서 고위험 산업 현장에서는 이에 대한 종합적인 대책이 시급한 현실이다. 본 연구에서는 통신 환경이 열악한 건설현장 등 고위험군 산업현장에서의 재해를 최소화하기 위한 하나의 방안으로서, BLE(Bluetooth Low Energy) Mesh 네트워크 기술을 적용한 AIoT 기반 산업안전관리 시스템 설계를 제시하고자 한다.

통신음영 지역에서의 위험상황에 대비해, 복합 센서 AIoT(Artificial Intelligence of Things) 디바이스로 가스 센싱 값, 음성, 모션 값을 실시간으로 수집하고, 인공지능 LSTM(Long Short-Term Memory) 알고리즘과 CNN(Convolutional Neural Networks) 알고리즘을 통해 정보 값을 분석하여 위험 상황을 인식하고, 서버에 전송한다. 서버에서는 AIoT 디바이스로부터 전송 받은 위험정보

를 실시간으로 모니터링 하여 보안시설에 전달함으로써 즉각적인 구호조치가 수행되도록 한다.

본 연구를 통하여 제안하는 BLE Mesh 네트워크 기술 기반의 복합 센서 AIoT 디바이스와 산업안전관리 시스템을 고위험군 산업현장에 적용하므로써, 통신사각지대에서 작업하는 작업자의 산업재해를 최소화하고, 중대재해처벌법 및 ESG(Environmental, Social, Governance) 등급평가에도 크게 기여할 것이다.

II. 관련 연구

본 연구와 관련된 BLE Mesh 네트워크 기술과 음성 및 모션인식 기술, 그리고 저전력 휴대용 디바이스를 위한 경량 딥러닝 기술에 대하여 선행 연구된 내용을 다음과 같이 조사하였다.

2.1. BLE Mesh Networking 기술

사물인터넷인 IoT(Internet of Things)는 저 전력 소모와 신뢰성 있는 데이터 송수신이 매우 중요하다. IoT 기기 간 근거리 통신을 지원하는 초기 블루투스 규격은 대용량의 데이터를 전송하고 스트리밍하는 기능을 지원한다. 하지만 Zigbee에 비해 전력이 많이 소모되어 에너지 효율성 측면에서 비효율적이다.

이를 보완하기 위해 새롭게 등장한 블루투스의 저 전력 설계인 BLE는 사물인터넷의 핵심 기술로 떠오르고 있다. Wi-Fi, Zigbee, BLE의 특징을 표 2에서 확인할 수 있다.

BLE는 기존의 Bluetooth(Bluetooth Classic)보다 저전력으로 장시간동안 디바이스를 작동하기 위하여 만들어진 통신기술이다. Mesh network는 군집해 있는 다수의 디바이스들이 서로 데이터를 주고받는 분야에 적용하기 위하여 2017년도에 만들어진 통신기술로 BLE 표준에 추가되었다[2]. BLE mesh network에 연결된 노드들은 직접 연결되지 않은 상태로 데이터를 연계할 수 있도록 항상 브로드캐스팅(Broadcasting, 송신 호스트의 전송 Data가 네트워크에 연결된 모든 호스트에 전송되는 통신방식)을 수행한다[3].

LMST(Local Minimum Spanning Tree)는 저 전력 작동을 위하여, 각 노드들의 최소 네트워크 경로를 결정하는 알고리즘이다. 각 노드들은 자기 주변의 1개 홉(Hop)

Table. 1 Status of Industrial Accidents at the end of December 2021, Ministry of Employment and Labor

Category	2,021	same year	increase	rate
Accident rate (%)	0.63	0.57	0.06	10.50
- Accidental Accident Rate	0.53	0.49	0.04	8.20
-Disease incidence rate	0.11	0.08	0.03	37.50
Death rate (%)	1.07	1.09	- 0.02	- 1.80
-Rate of fatal accidents	0.43	0.46	- 0.03	- 6.50
-Disease mortality rate	0.65	0.62	0.03	4.80
Number of casualties (persons)	122,713	108,379	14,334	13.2
-Number of accident victims	102,278	92,383	9,895	10.7
-Number of disease cases	20,435	15,996	4,439	27.8
Number of deaths (persons)	2,080	2,062	18	0.9
-Number of accident deaths	828	882	- 54	-6.1
- Number of deaths from disease	1,252	1,180	72	6.1
Number of workers (persons)	19,378,565	18,974,513	404,052	2.1

에 대한 RSS(Received Signal Strength) 값을 수집하고, 가장 높은 RSS를 보였던 노드를 선택하여 트리 구조를 형성하고, 송신 출력을 낮춤으로써 저 전력 효과를 달성한다[4].

Table. 2 Comparison table of Internet of Things (IoT) short-distance communication standards

	RFID	Blue-tooth	Blue-tooth LE	Wi-Fi	ZigBee
Network	PAN	PAN	PAN	LAN	LAN
Topology	P2P	Star	Star	Star	Mesh, Star, Tree
power	Very Low	Low	Very Low	Low-High	Very Low
Speed	400 Kbs	700 Kbs	1 Mbs	11-100 Mbs	250 Kbs
Range	<10cm	<30m	5-10m	4-20m	10-300m
Cost Adder	Low	Low	Low	Medium	Low

2.2. 음성 인식기술

딥러닝 음성인식 기술은 음성으로부터 언어의 의미를 식별하는 것으로 음성파형을 입력 데이터로 인식하여 단어를 식별하고 의미를 추출하여 처리하는 과정을 의미한다. 음성인식 처리과정에서는 소리 센서를 통해서 얻은 음성 신호를 단어나 문장으로 변환한다. 최근 음성인식 기술은 딥러닝 모델을 적용하여 간단한 명령어 인식은 물론 대규모 연속어 인식이 가능해지면서 자연어 인식의 단계로 발전하고 있다[5]. 음성인식 기술이 적용된 인공지능 스피커는 일상생활에서의 질문에 대해 답변을 하고 홈네트워크를 통하여 가전제품 제어도 수행한다.

딥러닝은 신경망(Neural Networks) Layer를 증가시켜 심층신경망(deep neural networks)을 구성하고, 빅데이터를 이용하여 심층신경망을 효과적으로 학습하여 주로 패턴인식이나 추론에 활용된다[6].

2.3. 모션 인식 기술

딥러닝 기반의 모션인식은 다양한 분야에서 이용되고 있다. 영화나 게임 같은 콘텐츠분야 뿐만 아니라 안전분야, 교육분야, 공공분야 등에서 많이 사용되고 있다.

3차원모션을 인식하기 위하여 가속도 센서와 자이로 센서를 결합하여 활용한다. 자이로 센서는 각속도를 측정하여 기준점에서 변화한 3축에 대한 회전각과 방위각

데이터를 제공하고, 가속도 센서는 가속도, 진동, 충격 등이 발생 시 그림 1에서와 같이 3축 가속도 값을 제공하여, 이들 값으로 딥러닝 모델을 통하여 단위시간 동안의 행동의 종류를 분류하고 판단한다[7].

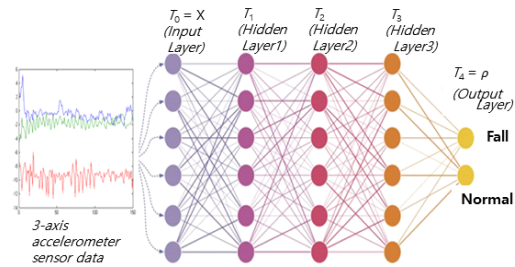


Fig. 1 Deep learning-based fall recognition using sensors.

2.4. 경량 딥러닝 기술

경량 딥러닝 기술은 클라우드 기반 학습모델을 경량 디바이스에 내장하기 위한 기술이다. 이 기술을 통해 지연시간을 감소시키고 민감한 개인 정보를 보호할 수 있으며, 네트워크 트래픽 감소 같은 다양한 장점을 갖게 된다.

경량 딥러닝 기술은 크게 경량 딥러닝 알고리즘 기술과 알고리즘 경량화 기술로 구분할 수 있다.

경량 딥러닝 알고리즘 기술은 기존의 알고리즘을 연산을 적게 하고, 설계를 효율적으로 하여, 모델 효율을 극대화하기 위한 기술이고, 알고리즘 경량화 기술은 모델 압축(Model Compression) 등의 기법을 적용한 기술을 말한다.

경량 딥러닝 알고리즘은 인공지능 모델 학습 시, 합성곱 연산을 축소하기 위한 효율적인 합성곱 필터 기술이 연구되고 있다.

알고리즘 경량화는 모델 가중치의 실제 값이 미세할 경우, 그림 2에서와 같이 이 값을 모두 0으로 설정하여 가지치기(Pruning)를 수행하는 가중치 가지치기가 대표적으로 연구되고 있다. 그리고 일반적인 모델의 가중치를 특정 비트 수로 축소는 양자화(Quantization)를 통해 기존 모델의 표현력을 유지하면서 실제 모델의 저장 크기는 줄이는 방법이 연구되고 있다. 마지막으로, 0과 1로만 표현하여 표현력은 많이 감소되지만, 정확도의 손실은 어느 정도 유지하면서 모델의 저장 크기를 확실하게 줄이는 이진화(Binarization) 기법 등이 연구되고 있다.

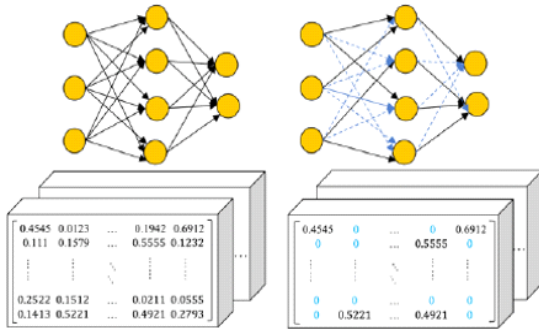


Fig. 2 Example of weight/channel pruning.

III. 복합 센서 AIoT 디바이스

복합 센서 AIoT 디바이스는 저 전력 광역 통신망 LPWAN(Low Power Wide Area Network) 및 단거리 무선 기술을 활용한 이중 무선 네트워크(dual radio network)를 이용한다. LPWAN은 배터리 수명이 길고, 설치가 용이하여 장치 간의 원활한 상호 운용이 가능하지만, 낮은 비트 전송률, 엄격한 듀티사이클 제한 및 큰 패킷 헤더로 인한 단점이 존재하여 단일 무선 기술만으로는 해결이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 저 전력, 장거리 통신 기술인 LoRa와 저 전력 단거리 무선 기술인 BLE를 함께 활용한다. 디바이스는 작업자들이 휴대하여 사용하는 디바이스와 클러스터 헤드 역할을 수행하는 거치형 디바이스로 구성한다.

그림 3에서와 같이 휴대형 디바이스들은 BLE 통신으로 연결되어 Mesh 네트워크를 구성하고, Mesh 네트워크의 데이터는 BLE 및 LoRa 통신을 사용하여 거치형

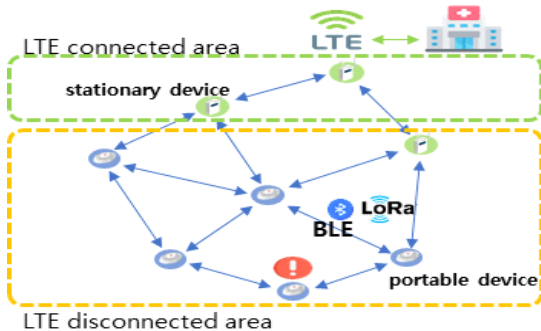


Fig. 3 BLE mesh networking

디바이스로 전송된다. 거치형 디바이스는 LTE 통 사용해서 서버에 작업장의 위험정보 데이터를 전송한다.

휴대형 디바이스는 그림 4처럼, 딥러닝 경량화 기술이 적용된 저 전력 임베디드 MCU(Micro Controller Unit)에 탑재하여 위험 모션과 위험 음성을 인식한다. 또한 저 전력 스케줄링 기술을 적용하여 지속적으로 Raw센서 데이터를 스트리밍하는 것이 아닌, 임계 값을 초과한 이벤트 데이터만 전송하여 노드의 전력소모를 최소화한다.



Fig. 4 AIoT Device

AIoT 음성인식 센서는 그림 5에서와 같이 작업자가 말하는 음성을 딥러닝 모델을 통하여 키워드를 분석하고, 위험상황에 대한 키워드(살려줘, 위험해, 도와줘 등)발견 시 휴대형 디바이스로부터 위험 이벤트를 인식한다.

위험 이벤트가 인식되면 LTE 통신을 사용해 서버에 위험정보가 전달된다. 이때 적용하는 딥러닝 모델은 그림 6처럼 경량 임베디드 환경에서 원활한 동작을 하는 Depthwise Separable Convolution을 사용한다. 이 모델은 Depthwise로 합성 곱을 수행한 뒤 Pointwise로 연산을 수행하여 연산량과 파라미터 수를 감소시켜 연산속도를 향상 시킨다[8].

음성인식 성능 향상을 위한 데이터 확보는 실제 산업 현장에서 수집된 안전사고 관련 13개 명령어 데이터 셋을 활용한다. 또한 음성 데이터에 RIP(Room Impulse Response)를 적용하여 울림이 있는 작업장 내에서 발생하는 음성도 처리한다. 학습을 위해 다량의 데이터 확보는 필수적이다. 이를 위해 그림 7처럼 데이터 증강 기술

을 적용하여 기존 음성 데이터에 피치, 템포, 볼륨 등의 변형과 잡음 추가를 통해 비교적 적은 데이터로도 다량의 데이터를 확보할 수 있도록 한다.

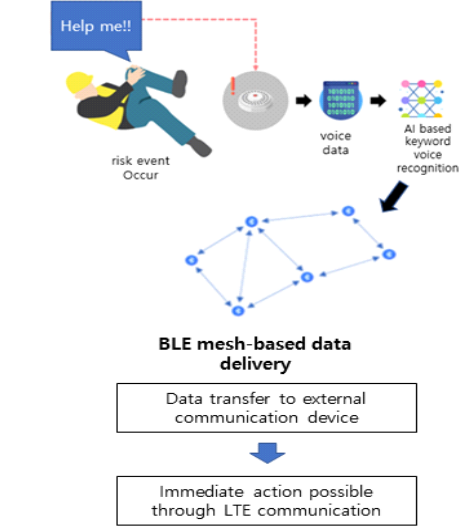


Fig. 5 Overview of Speech Recognition-Based Risk Event Recognition Technology.

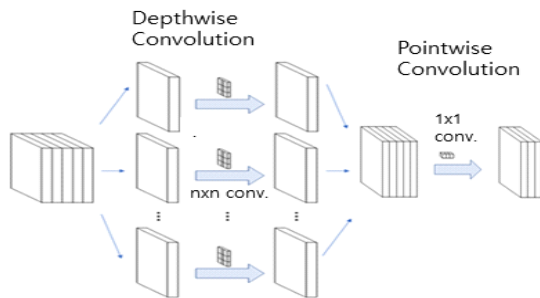


Fig. 6 Depthwise Separable Convolution Model Structure.

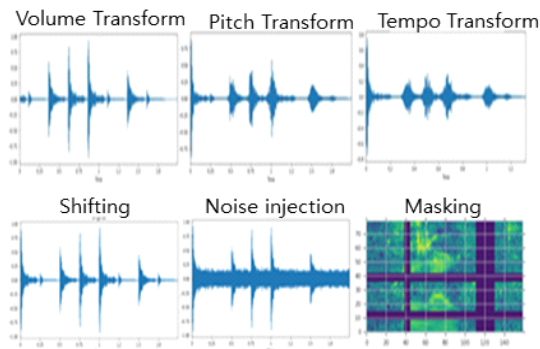


Fig. 7 Voice Data Augmentation Technology.

또한 위급함의 정도를 정확하게 판단하기 위하여 그림 8에서와 같이 음성데이터를 전처리 후 음성키워드 분석을 하고, MFCC분석 및 성조분석을 통하여 작업자의 감정을 확인하여 적용한다. MFCC분석을 통하여 입력된 소리 전체를 대상으로 분석하지 않고, 일정 구간 (Short time)씩 나누어, 각 구간에 대한 스펙트럼을 분석하여 소리의 특징을 추출하고, 성조분석을 통하여 음높이와 음조의 변화로써 음성의 의미를 판별한다.

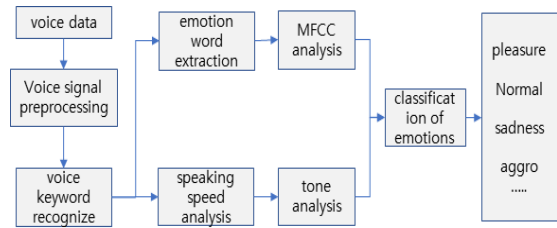


Fig. 8 Schematic Diagram of Emotion Recognition System

AIoT 모션인식 센서는 3차원모션을 인식하기 위하여 가속도 센서와 자이로 센서를 결합하여 활용한다. 가속도 센서는 x, y, z축에 대한 가속도 정보를 측정하고 각 축의 기울어진 각도를 측정한다. 자이로 센서는 각 축의 회전 각속도를 측정한다. 그림 9처럼 작업자가 낙상, 추락, 미끄러짐과 같은 위험상황이 발생될 때 가속도 센서와 자이로 센서로부터 수집된 데이터를 사용하여 위험상황을 인식한다. 이때 LSTM과 CNN 통합한 모델을 적용하며, 위험 이벤트가 인식되면 서버에 위험정보가 전달된다.

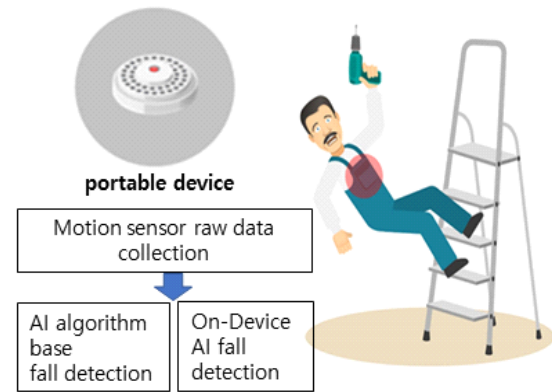


Fig. 9 Hazardous Event Recognition Technology Overview with Motion Recognition.

가스 감지 센서는 AIoT기반의 저 전력, 고신뢰도의 CO 가스 센서로서, 호흡기관 폐활량 감소 및 산소공급에 영향을 줄 수 있는 위험 가스농도인 50~200 ppm 감지가 가능하고, 수심 1m의 깊이에서도 방수가 가능한 방수 IP등급 7 수준의 방수/방오 마이크로 나노 메쉬를 패키징에 적용하여 센싱신뢰도를 높인다.

IV. AIoT기반 산업안전관리 시스템 설계

통신환경이 열악한 고위험 산업현장에 BLE mesh 네트워크 기술을 적용하여 통신 안전성을 확보하고, BLE mesh 및 LoRa 통신을 통합시킨 네트워크 기술로 작업자 간 원활한 통신은 물론 통신거리를 증대시킬 수 있다.

이로써 열악한 통신 환경 하에서 디바이스 간 자율 통신 체계를 구축하고 대량 디바이스 네트워크 구축이 가능해진다.

그림 10에서와 같이 이러한 통신환경 하에서 AIoT 기반의 가스 센싱, 모션 인식 및 음성인식이 가능한 휴대형 단말기를 통해 작업자의 위험 상태 및 위치를 인식하고, 거치형 디바이스에 전달한다.

거치형 디바이스는 LTE 통신을 사용해 작업장 위험 정보 데이터를 서버에 전송한다. 이를 통해 서버에서는 산업현장의 위험상태를 실시간으로 모니터링하고 위험 발생 시, 사고자 정보와 사고 위치, 사고일시 등의 정보를 즉시 알림 시스템을 통하여 보안시설에 전달한다. 이처럼 통신 사각지대에서 발생하는 사고에 대해 발생즉

시 안전 조치를 취함으로써 최소화할 수 있고, 작업현장의 안전을 확보할 수 있다.

V. 결론

최근 국내 산업 현장에서의 안전 관리 소홀로 인한 산업 재해 사고 지수가 지속적으로 증가하고 있고, 화학가스 누출 및 폭발로 인한 안전사고도 빈번하게 발생하고 있다. 이에 정부는 ‘중대재해처벌법’을 제정하여 시행 중에 있다.

따라서 고위험군 산업 현장에서는 이에 대한 종합적인 대책이 시급한 현실이다.

이에 대한 대책의 일환으로 본 연구에서는 가스 센싱, 음성 및 모션 인식이 가능한 저 전력 임베디드 MCU에 탑재된 휴대형 디바이스로, BLE Mesh 및 LoRa 통신을 통합시킨 네트워크 기술을 적용하여 산업현장의 위험 상태를 실시간으로 모니터링하고 위험 발생 시, 사고자 정보와 사고 위치, 사고일시 등의 정보를 즉시 알림 시스템을 통하여 보안시설에 전달한다. 이처럼 통신 사각지대에서 발생하는 사고에 대해 발생즉시 안전 조치를 취함으로써 최소화할 수 있고, 작업현장의 안전을 확보할 수 있다.

REFERENCES

[1] Ministry of Employment and Labor. Publication of the number of industrial accidents in 21 years, etc. [Internet]. Available: https://www.moel.go.kr/info/public/publicDataView.do?bbs_seq=20211201749.

[2] M. S. Kim, K. H. Kim, H. C. Choi, and H. Park, "A study on wireless mesh networks composition algorithm," in *Proceedings of the Korean Society of Electronics Engineers Conference*, Incheon, Korea, pp. 458-459, 2017.

[3] N. Golmie, O. Rebala, and N. Chevrollier, "Bluetooth adaptive frequency hopping and scheduling," in *Proceedings of IEEE Military Communications Conference*, Boston: MA, USA, vol. 2, pp. 1138-1142, 2003.

[4] S. Max and T. Wang, "Transmit Power Control in Wireless Mesh Networks Considered Harmful," in *Proceedings of 2009 Second International Conference on Advances in Mesh Networks*, Athens, Greece, pp. 73-78, 2009.

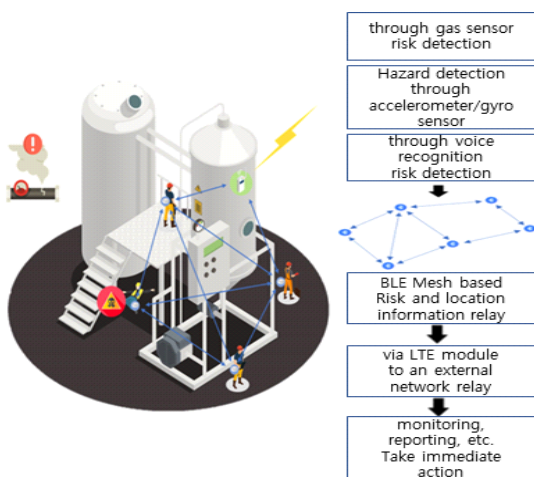


Fig. 10 AIoT-based Industrial Safety Management System.

- [5] S. -U. Park, "Analysis of the Status of Natural Language Processing Technology Based on Deep Learning," *Journal of the Korean Big Data Society*, vol. 6, no. 1, pp. 63 - 81, Aug. 2021.
- [6] A. Kamlaris and F. X. Prenafeta-Boldú, "Deep learning in agriculture: A survey," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 147, pp. 70-90, Apr. 2018.
- [7] Y. T. Jun and E. H. Lim, "A method of motion recognition for elderly people using tri-axial accelerometer," in *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference*, Yongin, Korea, pp. 570-573, 2015.
- [8] F. Chollet, "Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Honolulu: HI, USA, pp. 1800-1807, 2017.



여성구(Seong-Koo Yeo)

한양대학교 산업공학과 석사
호서대학교 벤처대학원 융합공학과 박사과정
※관심분야: 딥러닝, 클라우드, 빅데이터, 융합공학



박대우(Dea-Woo Park)

1998년 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
2004년 : 숭실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
2004년 : 숭실대학교 겸임교수
2006년 : 정보보호진흥원(KISA) 선임연구원
2007년~현재 : 호서대학교 벤처대학원 교수
※관심분야: 인공지능, 드론, IoT, Hacking, Forensic, CERT/CC, 침해사고 대응, 사이버안보, 네트워크 보안