

건설 현장 안전관리를 위한 IoT 기반의 위험구역 경보 시스템

김승호¹, 강창순², 류한국^{3*}

¹한국항공우주산업주식회사 연구원, ²창원대학교 정보통신공학과 교수, ³삼육대학교 건축학과 교수

IoT-based Dangerous Zone Alarming System for Safety Management in Construction Sites

Seung-Ho Kim¹, Chang-Soon Kang², HanGuk Ryu^{3*}

¹Engineer, Korea Aerospace Industries

²Professor, Department of Information & Communication Engineering, Changwon National University

³Professor, Department of Architecture, Sahmyook University

요 약 인적 및 물적 피해를 크게 초래하는 건설현장의 안전사고를 효과적으로 방지할 수 있는 시스템이 절실히 필요하다. 건설현장의 안전관리 시스템은 주로 대규모 건설현장 위주로 시범 운용되고 있으나, 중소규모의 현장에서 저비용으로 운용할 수 있는 안전관리 시스템은 많이 부족한 실정이다. 건설현장의 안전사고는 예상되는 위험 지역에 허가받지 않은 작업자가 접근하지 못하도록 사전 조치를 하면 효과적으로 방지할 수 있다. 본 연구에서는 소규모 건설현장에서 저비용으로 운용할 수 있는 사물인터넷 기반의 위험구역 경보 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 지그비 기반의 비콘 기술과 셀룰러 이동통신 기술 등을 활용하여 건설현장에서 추가적인 네트워크의 구축이 없이 허가된 작업자 또는 외부인이 위험구역에 접근시에 감지하고, 안전 관리자에게 위험 경보를 즉시 통보하여 적절한 안전조치를 취할 수 있다.

주제어 : 안전관리, 위험 경보시스템, 건설 현장, 사물인터넷, 엘티이, 지그비, 웹 서버, 애플리케이션

Abstract Effective construction safety management systems are desperately required for reducing damage caused by increasing safety accidents in construction sites. Safety accidents in construction sites can effectively protect if proactive measures are taken to prevent unauthorized worker access the expected hazardous area. In this study, we have developed a IoT(Internet of Things)-based dangerous zone alarming system for safety management in construction sites, which can be operated at low cost in large-scale sites as well as small and medium-sized construction sites. The development system utilizes a Zigbee-based beacon technology and cellular mobile communication technology to detect when authorized workers, unauthorized field workers or outsiders approaches hazardous zones. If somebody approaches the dangerous zones the system notifies immediately to the safety manager with a danger warning signal. It is expected that this system can effectively prevent safety accidents when applied to construction sites.

Key Words : Safety Management, Danger alarming system, IoT(Internet of Things), LTE(Long Term Evolution), Zigbee, Construction site, Web server, Application

*This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2017R1A2B4003722).

*Corresponding Author : HanGuk Ryu(ryuhanguk333@gmail.com)

Received July 15, 2019

Revised October 8, 2019

Accepted October 20, 2019

Published October 28, 2019

1. 서론

옥외 작업이 많은 건설현장은 제조업에 비하여 안전사고의 재해율과 사망률이 높다. 건설구조물이 고층화, 대형화됨에 따라 공정이 매우 복잡해지고 고소작업이 많아짐에 따라 현장에서 일하던 작업자가 높은 곳에서 떨어지는 안전재해가 빈번하게 발생하고 있다. 건설현장의 안전사고를 줄이기 위한 연구개발이 산학연에서 활발히 진행되고 있으나 여전히 건설 사고가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 특히 소규모 건설현장에서는 안전구조물 설치와 작업자 통제가 형식적으로 이행되는 경우가 많고 안전교육 미흡과 낮은 안전의식 수준으로 인해 추락 재해가 발생하고 있다[1].

이러한 안전상의 문제를 해결하고자 센싱 기술[2,3], 빅데이터[4], 무선 네트워크 기술[5,6], 비디오 기술[7], 건설정보모델(Building Information Model)[8,9], 인공지능 기술[10]을 활용한 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 특히 사물인터넷(IoT)을 이용한 건설현장 안전 관리시스템에 관한 연구도 발표되었다[11,12]. 그러나 대규모 사업장보다 사고가 많이 발생하고 있는 5~49인이 종사하는 소규모 사업장에서는 안전관리 시스템을 운용하기 위한 안전관리 인력, 네트워크 환경과 시스템 구축, 관련 예산 등이 부족하여 안전관리 시스템 운용이 잘되지 않고 있다.

이에 본 연구는 대규모 사업장뿐만 아니라 중소규모 사업장에서 4세대 이동통신망(Long Term Evolution : LTE)과 지그비, 와이파이(Wireless Fidelity : WIFI)와 같은 근거리 무선 통신 시스템을 이용하여 건설현장에 별도의 네트워크 환경 구축 없이 위험을 예방할 수 있는 IoT 기반의 위험구역 경보 시스템을 제안한다.

2. IoT(Internet of Things) 기반의 위험구역 경보 시스템 설계

2.1 IoT 기반의 위험구역 경보 시스템의 개요

사물인터넷은 센서로 정보를 측정하고 수집하는 기기 영역, 수집 정보를 관리자에게 전송하는 유무선통신망, 수집한 정보를 서버에서 저장하고 분석하여 사용자에게 제공하는 애플리케이션 영역으로 구성된다[8]. IoT 기술을 적용한 연구로 IoT 기반 건물 내부 지도 및 화재 안내 시스템[13], 위치 추적 센서 기반의 IoT 헬스케어 서비스

관리[14], 스마트시티 산업에서의 사물인터넷 적용 사례 연구[15], 실시간 관측 및 제어가 가능한 IoT 저수조 관리 시스템[16] 등이 있다.

본 시스템은 IoT Cone, 작업자 안전 장치, 모바일 게이트웨이, 안전관리서버, 안전 관리자용 어플리케이션으로 구성되며 Fig. 1과 같다.

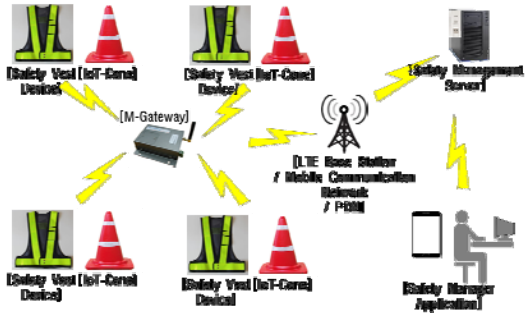


Fig. 1. Configuration of dangerous zone alarming system based on IoT

2.2 IoT 기반의 위험구역 경보 시스템의 요구사항과 프로세스

제안하는 IoT 기반의 위험구역 경보 시스템의 요구사항은 Table 1과 같다.

Table 1. System requirements

Requirements	Contents
Means of safety management of danger zones	<ul style="list-style-type: none"> •IoT Cone can operate mode(on, standby, and off command) in a danger zone for each floor. •When IoT Cone is off, it can send the off-command via the safety manager application.
Real-time information of danger zone on / off / release	<ul style="list-style-type: none"> •Safety manager can designate the danger zone (IoT Cone installation position) on the drawing image of each floor through the application and store the coordinate value on the designated image. •IoT Cone mode is changed by relaying to the mobile gateway after receiving from the safety management server. •The application displays the floor plan image and the location of the danger zone.
Alarming when workers or outsiders access the danger zones	<ul style="list-style-type: none"> •Zigbee attached to IoT Cone measures the RSSI of the beacon transmitter attached to the worker and scales the distance between the approaching worker and the danger zone. •An alarm is generated when the scaled distance reaches the critical threshold distance.
Provision the worker and IoT Cone ID to the safety manager when the worker approaches the danger zone	<ul style="list-style-type: none"> •The worker safety device attached to the worker and IoT Cone send the danger zone accessing worker ID and danger zone (IoT Cone ID) to the mobile gateway. •Notification of danger zone access is sent to the safety management server via LTE modem. •The server saves the data reports to the safety manager.

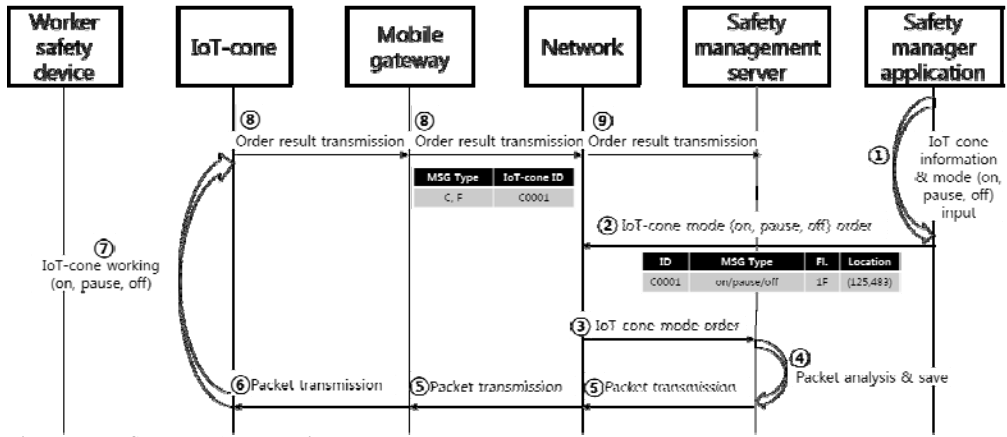


Fig. 2. IoT Cone mode operating process

IoT Cone의 조작(설정, 대기, 해제)과 작업자 및 외부인에 대한 위험구역 경보 프로세스는 다음과 같다.

1) IoT Cone의 조작 프로세스

안전관리자는 관리자용 어플리케이션을 이용하여 서버에 연결된 IoT Cone의 ID를 선택하여 모드를 변경할 수 있다. 위험구역 조작에 대한 상세 프로세스는 Fig. 2와 같다.

① 위험구역 설정은 최초로 위험구역을 설정하는 기능이다. 어플리케이션의 각 층별 도면 이미지 상에 설치 위치를 선택하고, 대기 또는 해제 시에는 IoT Cone의 위치 지정은 생략된다. 위험구역 설정 대기는 위험구역 내의 작업 등 일시적으로 위험구역 지정을 대기하는 기능이다. 해당 IoT Cone의 작업자 또는 외부인의 위험 구역의 접근 감지와 알람 기능은 일시적으로 중단되지만 기존에 설정된 IoT Cone의 위치정보는 계속 유지된다. 위험구역 해제는 위험이 해제되거나 다른 위험구역의 설정을 위하여 IoT Cone의 이동이 필요한 경우에 적용하며 IoT Cone의 전원이 차단되고 설정된 위치 정보가 삭제된다.

② IoT Cone의 모드를 변경하면 모드 변경 명령과 작업자 및 위험구역의 정보를 포함한 TCP/IP 패킷을 생성하여 LTE 이동 통신망과 인터넷망을 통해 서버로 전송된다.

③ 모드 변경 명령과 위험구역의 정보가 포함된 TCP/IP 패킷은 원격지의 안전관리 서버로 전송된다.

④, ⑤ 안전관리 서버는 LTE 이동통신망을 통해 TCP/IP 패킷을 수신한다. 수신한 패킷은 체크섬 검사(checksum test)를 거쳐 정상적인 수신여부를 확인하

고, 수신 오류 시 안전 관리자용 어플리케이션 통해 오류 메시지를 관리자에 통보한다. 정상적인 패킷 수신 시 패킷 내부의 모드 변경 명령과 위험구역 정보를 분류하여 DB내부에 저장하는 작업을 수행한다. DB 저장 후 IoT Cone의 모드 변경을 수행하기 위해 TCP/IP 패킷을 LTE 이동통신망과 인터넷망을 통해 모바일 게이트웨이로 전송된다.

⑥ LTE 기지국은 안전관리 서버로부터 수신한 패킷을 모바일 게이트웨이로 전송한다.

⑦ 모바일 게이트웨이의 LTE 모뎀은 이동통신망으로 수신한 모드 변경 패킷을 AP 기능을 통해 IoT Cone으로 중계 기능을 수행한다.

⑧ 모바일 게이트웨이와 IoT Cone 간 WIFI 근거리 무선통신을 통해 수신한 모드 변경 명령 패킷을 전달한다.

⑨ IoT Cone은 모드 변경 명령 패킷을 수신하여 패킷의 무결성 검사 후 정상적인 패킷으로 판단되면 최종적으로 IoT Cone의 모드를 변경한다.

2) 위험구역 접근 감지와 경보 프로세스

작업자와 외부인의 위험구역 접근 감지 방법은 서로 다른 방식으로 작동한다. 작업자의 경우 안전조끼 내부의 안전장치를 통해 작업자 ID를 식별하여 위험구역에 접근 중인 작업자를 식별한다. 외부인은 식별할 수 없으므로 초음파 거리 감지 센서를 이용하여 위험구역의 접근을 감지한다. 작업자와 외부인의 위험구역 접근 감지와 작업자와 외부인의 위험구역 경보 프로세스는 Fig. 3과 같다.

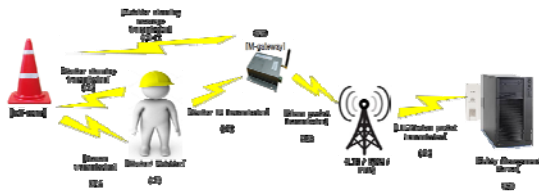


Fig. 3. Worker and outsider access detection and alarming process

3. IoT 기반의 위험구역 경보 시스템의 개발

3.1 시스템 구조

본 시스템 구조는 Fig. 4와 같이 IoT Cone, 작업자 안전관리 장치, 모바일 게이트웨이, 안전관리 서버, 안전관리자용 어플리케이션으로 구성된다.

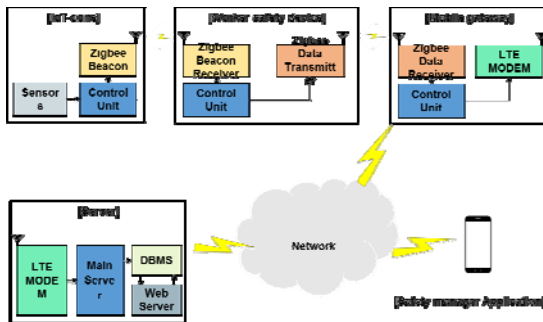


Fig. 4. The system structure

3.2 IoT 기반의 위험구역 경보 시스템의 개발

1) IoT Cone

초음파 거리 측정 센서를 이용하여 외부인의 위험구역에 접근 상황을 감지하고 위험구역에 임계거리 이내에 접근 시 IoT Cone에 내장된 LED와 부저를 이용해 현장에서 위험구역 접근 경보를 발생한다. IoT Cone은 Fig. 5, 6과 같이 구현하였다.

2) 작업자 안전장치

위험구역 접근 알림 메시지는 IoT Cone ID와 작업자 ID와 함께 ZigBee 프레임의 데이터 영역에 포함된다. 생성된 메시지는 모바일 게이트웨이 통해 원격지의 안전관리 서버로 전송된다. 작업자의 안전 조끼에 장착되는 안전장치는 Fig. 7과 같다.

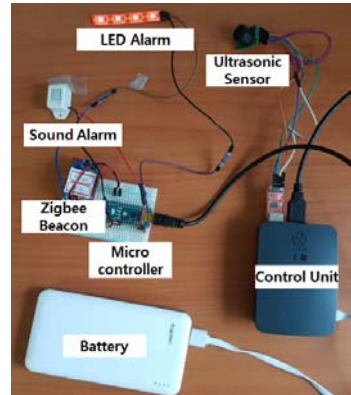


Fig. 5. IoT components of the IoT Cone

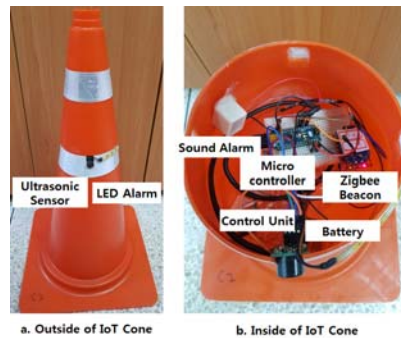


Fig. 6. Outside and Inside of IoT Cone

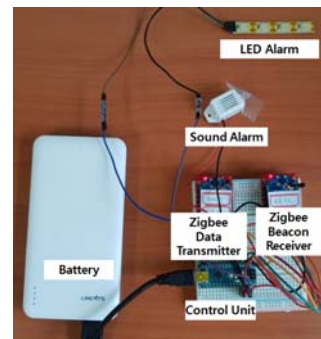


Fig. 7. Worker's safety device

작업자 안전장치의 비콘 수신부, 데이터 송신부, 제어부는 IoT Cone과 동일한 XBee Pro S1와 Arduino Nano로 구현하였다. 비콘 수신부는 IoT Cone의 송신부로 수신한 데이터를 제어부로 전달한다.

제어부에서는 수신한 IoT Cone으로부터 수신한 비콘 신호의 프레임을 분석하여 RSSI 값과 IoT Cone ID를 추출한다. RSSI는 IoT Cone과 작업자간 거리로 환산되어 IoT Cone ID와 함께 Linked List 형태로 저장된다.

작업자가 위험구역의 접근하여 환산거리가 임계거리 이하로 감지 시 이전 측정값 5개의 환산 거리의 평균을 계산하여 측정값과 평균이 유사한 경우 작업자에게 경고등과 경보음이 발생하고 안전관리 서버로 전송하기 위한 작업자 위험구역 접근 알림 메시지를 생성한다.

3) 모바일 게이트웨이

모바일 게이트웨이는 데이터 현장 작업자 또는 IoT-Cone으로부터 위험구역의 접근 정보를 수신하는 수신부, 패킷 생성을 위한 제어부, 안전관리 서버로 패킷을 전송하는 LTE 모듈로 구성되어 있다. 모바일 게이트웨이는 Zigbee, WiFi 등 근거리 무선통신 통해 위험구역의 접근 감지 알람 메시지를 수신하고, 수신한 위험구역 접근 감지 알람을 LTE 모듈을 통해 안전관리 서버로 송신한다. LTE 모듈은 제어부의 USB포트에 연결하여 작동되며 모바일 게이트웨이의 시제품은 Fig. 8과 같다.

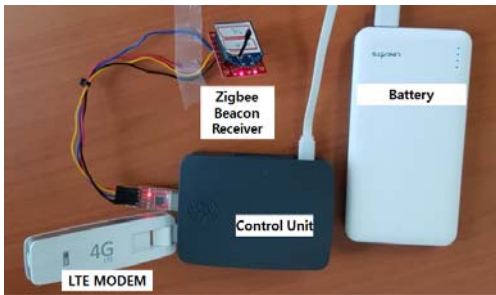


Fig. 8. Mobile gateway

4) 안전관리 서버

안전관리 서버는 건설현장에서 별도의 네트워크없이 사용할 수 있도록 LTE 모듈을 통해 IoT Cone 모드 명령과 위험구역 접근 알람을 송수신 할 수 있다. 이를 위해 안전관리 서버는 TCP/IP 서버 및 DBMS, 웹서버로 구성되어 있다. TCP/IP 서버는 안전 관리자용 어플리케이션으로부터 IoT Cone 모드 명령을 수신하여 내부 DB에 저장한다. 웹서버는 HTTP Post 방식으로 IoT Cone 또는 안전장치로부터 수신한 위험구역 접근 알람을 DB 내부에 저장하고, FCM 통해 위험구역 접근 정보를 안전관리자의 어플리케이션에 전송한다.

안전 관리자용 어플리케이션은 안드로이드 기반의 어플리케이션으로 구현하여 안전 관리자가 IoT Cone의 모드 변경 명령 기능과 작업자 또는 외부인의 위험구역 접근 알림 및 기록을 제공한다.

4. 개발 시스템의 기능과 성능 시험

프로토타입으로 개발한 IoT 기반의 건설현장 안전관리 위험구역 경보시스템의 기능과 성능 시험을 수행하였다. 위험 구역으로 지정하고자 하는 위치에 IoT Cone과 모바일 게이트웨이를 설치한 후 전원을 인가하면 자동으로 IoT Cone은 안전관리 서버에 연결되어 IoT Cone 모드 명령을 대기한다.

4.1 위험구역 모드 구현

개발한 IoT 기반의 건설현장 안전관리 시스템의 기능과 성능 시험을 수행하였다. 위험 구역에 IoT Cone을 설치한 후 안전 관리자용 어플리케이션을 통해 위험구역의 설정/대기/해제 모드 설정이 가능하다. 안전 관리자용 어플리케이션의 초기화면은 Fig. 9와 같이 IoT Cone의 모드 명령과 작업자 또는 외부인의 위험 구역 접근 기록을 확인할 수 있다.

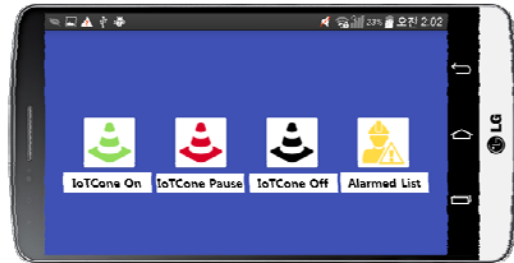


Fig. 9. Safety manager application initial screen

IoT Cone의 설정을 위해 관리자용 어플리케이션에서 [IoT Cone on] 버튼을 선택하고, 안전관리 서버로부터 서버와 연결된 IoT Cone의 목록 중 IoT Cone의 ID를 선택하여 위험구역으로 지정하고자 하는 구역을 선택할 수 있다.

Fig. 10은 안전 관리자용 어플리케이션에 위험 구역 해제 또는 대기 선택 시 도시되는 화면으로써 건설현장의 도면위의 초록색 점은 위험구역으로 설정된 구역을 나타내며, 빨간색 점은 대기 상태인 위험구역을 표시한다. 안전 관리자는 어플리케이션을 통해 대기 또는 해제하고자 하는 원을 선택 후 [OK] 버튼을 통해 모드 변경 명령을 인가하면, 안전관리 서버로 모드 변경 명령이 전송되어 IoT Cone의 모드 변경을 수행한다.



Fig. 10. IoT Cone setting UI for the danger zone

안전 관리자용 어플리케이션을 통해 IoT Cone 모드 변경 시 안전관리서버의 TCP/IP 서버에서 Fig. 11과 같이 모드 변경 메시지를 확인할 수 있다.



Fig. 11. IoT Cone mode change message reception screen on safety management server

정상적으로 IoT Cone의 위험구역 설정 또는 해제가 완료되면 안전관리자용 어플리케이션을 통해 정상적으로 대기 또는 해제가 완료되었음을 확인할 수 있고 IoT Cone의 연결 상태는 안전관리 서버의 데이터베이스에 저장되어 안전관리자용 어플리케이션에서 실시간 확인이 가능하다.

4.2 위험구역 감지 시험 결과

정상적 IoT Cone을 설치한 후 안전관리를 위한 위험구역 감지 및 경고 테스트를 실시하였다.

- 1) 비콘 수신신호세기(RSSI:Received Signal Strength Indicator)를 이용한 거리 측정 방법

ZigBee 비콘의 수신신호세기를 이용하여 IoT Cone 과 작업자 간의 거리 측정 방법은 IoT 콘의 송신 전력과 작업자 안전장치의 수신 전력을 이용하여 계산할 수 있으며, 일반적인 ZigBee 비콘 신호의 최대 송신 거리는 100m 정도 된다. ZigBee 비콘 수신기의 수신 신호 전력 (P_r)은 송신기와와의 거리(d)의 제곱에 반비례 ($P_r \propto 1/d^2$) 한다[12].

건설현장에서는 다양한 환경 요인으로 인해 송신기와 수신기 간 신호의 손실이 발생하여 손실 요인을 고려한 수신 신호 전력과 송신기와와의 거리 사이에 관계는 ($\alpha : P_r \propto 1/d^\alpha$ 손실 지수)로 정의할 수 있다[5]. 거리에 따른 RSSI 측정값은 식(1)과 같다.

$$RSSI = -10n \log(d) + K \quad (1)$$

식(1)에서 n 은 경로 손실 계수(Path Loss Exponent)로써 장애물이 없는 자유공간에서는 $n = 2$, 실내에서는 $n = 4$ 으로 계산한다. K 는 ZigBee 비콘 송신기의 송신 전력 세기(dBm)을 나타낸다. 식(1)을 이용하여 RSSI 측정값에 따른 거리 (d)를 구하는 식은 (2)와 같다.

$$d = 10^{(Tx Power - RSSI)/(10*n)} \quad (2)$$

여기서, TxPower는 송출 신호 크기이다.

2) 수신신호세기에 따른 거리 환산 결과 비교

수신신호세기의 환산 거리를 활용하여 작업자와 위험구역 간 거리를 계산하기 위하여 실험하였다. 건설 현장 은 작업자의 스마트폰 등 무선통신 기기에서 발생하는 블루투스 신호로 인한 간섭이 많으므로 정확한 거리 측정을 위해 블루투스 비콘 기반이 아닌 ZigBee 기반의 통신 모듈을 사용하였다.

IoT Cone으로부터 0.5m~5m 떨어진 위치에서 작업자 안전장치를 통해 RSSI 값을 측정하였으며, 0.5m 간격으로 20회 측정된 RSSI 값은 Table 2와 같다.

위의 결과에 따라 작업자 안전장치의 수신신호세기가 -70dBm 이상(3m 이내)일 경우 경고등만 작동하고, -40dBm 이상(0.5m 이내)일 경우 경고등과 경고음을 함께 작동한 후 작업자의 위험구역 접근 메시지를 ZigBee 데이터 송신부로 송신하고 모바일 게이트웨이로 수신한다. 모바일 게이트웨이는 작업자의 위험 구역 접근 감지

메시지 수신 시 콘솔창을 통해 확인할 수 있다. 작업자의 안전장치로부터 작업자 위험구역 접근 메시지를 수신한 후 이를 HTTP 프로토콜의 Post 방식으로 안전관리 서버의 웹서버에 전송한다. 이를 수신한 서버는 작업자 위험 구역 접근 알람 명령을 DB에 저장하고, 실시간으로 안전관리자에게 통보된다.

즉, 실시간으로 제공되는 작업자 위험구역 접근 알람 뿐만 아니라 Fig. 9의 [Alarm List] 버튼을 선택하여 Fig. 12와 같이 위험구역 접근 알람 리스트를 확인할 수 있다.

id_worker	id_cone	floor	comment	date
외부인	C0002	2	C0002에 외부인접근	2017-12-27 20:26
외부인	C0002	2	C0002에 외부인접근	2017-12-27 20:26
외부인	C0002	2	C0002에 외부인접근	2017-12-27 20:27
외부인	C0001	2	C0001에 외부인접근	2017-12-27 20:29
외부인	C0001	2	C0001에 외부인접근	2017-12-27 20:29
외부인	C0002	2	C0002에 외부인접근	2017-12-27 20:29
외부인	C0002	2	C0002에 외부인접근	2017-12-27 20:29
홍길동	C0002	2	C0002에 홍길동접근	2017-12-27 20:30
홍길동	C0002	2	C0002에 홍길동접근	2017-12-27 20:30
홍길동	C0002	2	C0002에 홍길동접근	2017-12-27 20:30
홍길동	C0001	2	C0001에 홍길동접근	2017-12-27 20:31
홍길동	C0002	2	C0002에 홍길동접근	2017-12-27 20:31
홍길동	C0002	2	C0002에 홍길동접근	2017-12-27 20:31
외부인	C0002	2	C0002에 외부인접근	2017-12-27 20:31
홍길동	C0001	2	C0001에 홍길동접근	2017-12-27 20:31
홍길동	C0002	2	C0002에 홍길동접근	2017-12-27 20:31

Fig. 12. IoT Cone access alarm list of safety manager application

Table 2. Results of RSSI measurements

D(m) No.	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	1	-36	-45	-49	-59	-65	-71	-76	-78	-78
2	-34	-45	-49	-58	-68	-72	-75	-79	-80	-79
3	-34	-44	-50	-58	-65	-72	-75	-79	-79	-80
4	-34	-45	-50	-59	-67	-72	-75	-79	-80	-81
5	-35	-45	-49	-59	-67	-74	-76	-79	-80	-82
6	-35	-45	-49	-57	-66	-72	-76	-79	-80	-80
7	-35	-46	-50	-57	-64	-72	-74	-79	-79	-82
8	-34	-44	-50	-58	-65	-73	-74	-77	-78	-81
9	-34	-46	-52	-58	-64	-72	-75	-77	-79	-80
10	-34	-44	-51	-59	-65	-73	-74	-80	-80	-81
11	-35	-46	-49	-58	-64	-73	-76	-78	-79	-80
12	-35	-47	-52	-59	-68	-72	-77	-78	-79	-79
13	-35	-47	-51	-59	-65	-73	-76	-79	-80	-79
14	-36	-44	-49	-58	-65	-72	-76	-80	-79	-79
15	-36	-47	-51	-58	-64	-72	-74	-77	-79	-82
16	-35	-44	-51	-59	-64	-74	-73	-79	-79	-80
17	-34	-45	-50	-58	-67	-72	-75	-78	-79	-80
18	-34	-45	-50	-58	-65	-74	-75	-77	-80	-81
19	-34	-46	-50	-59	-65	-72	-76	-77	-80	-80
20	-36	-44	-51	-58	-65	-72	-76	-79	-78	-80
RSSI Average	-35	-45	-50	-58	-65	-72	-75	-78	-79	-80

반면, 외부인의 위험구역 접근 감지는 작업자와 달리 안전장치를 통해 ZigBee 비콘 신호를 수신할 수 없으므로, IoT Cone에 내장된 초음파 거리감지 센서를 이용하여 외부인의 위험구역 접근을 감지한다. 위험구역이 설정 되면 위험구역에 설치된 IoT Cone은 주기적으로 초음파 거리감지 센서로부터 측정 거리를 수신한다. 측정값은 IoT Cone의 콘솔 화면을 통해 cm 단위의 측정결과를 확인할 수 있다.

외부인의 위험구역 접근 알람은 외부인이 초음파 센서 기준 3m 이내 접근 시 현장에서 IoT Cone의 경고등만 작동하고, 0.5m 이내 접근 시에는 경고등과 경보음을 함께 작동한다. 외부인의 위험구역 접근 메시지는 모바일 게이트웨이와 사물인터넷 간 WIFI 근거리 무선 통신을 통해 전송된다.

외부인의 위험구역 접근 메시지는 현장과 안전관리 서버 간 중계 기능의 모바일 게이트웨이를 통해 작업자 위험구역 접근 감지 메시지와 동일한 HTTP 프로토콜의 Post 방식으로 전송되지만 외부인의 경우 작업자 ID가 없으므로, IoT Cone의 ID를 안전관리 서버로 전송한다. 안전관리 서버에서는 외부인의 위험구역 접근 메시지를 수신하여 내부 DB에 저장 후 안전 관리자용 어플리케이션을 통해 외부인의 위험구역 접근 알람을 확인할 수 있다.

5. 결론

건설현장에서 발생하는 안전사고는 큰 인명사고로 이어질 수 있으므로 안전사고를 예방하는 것이 매우 중요하다. 4차 산업혁명 시대에서 ICT 분야와 건설현장에서의 안전사고 예방을 위해 다양한 분야에서 연구되어 있지만, 건설현장에 바로 적용할 수 있는 안전사고 예방 시스템이 부족하고, 인력과 비용이 많이 소모되어 소규모 사업장 및 건설현장에서 운용하기가 어렵다.

IoT 기반의 위험구역 경보 시스템은 대형 건설현장뿐만 아니라 소규모 건설현장에서도 이동통신망을 이용하여, 저비용으로 안전관리에 운용할 수 있다. 개발시스템은 IoT Cone을 위험구역에 설치하여 ZigBee 기반의 비콘 기술과 이동통신 기술을 활용하여 작업자와 비 허가 작업자 또는 외부인의 위험구역 접근 감지와 위험구역에 접근 시 현장에서 경고등과 경보음과 함께 안전 관리자에게 실시간으로 알람을 제공함으로써 안전관리자가 사전에 적절한 조치를 하고 건설현장의 안전사고를 예방할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Korea Occupational Safety and Health Research Institute (KOSHA). (2014). *Safety and Health Research Trends*.
- [2] U. K. Lee, J. H. Kim, H. Cho & K. I. Kang. (2009). Development of a mobile safety monitoring system for construction sites. *Automation in Construction*, 18(3), 258–264.
DOI : 10.1016/j.autcon.2008.08.002
- [3] W. F. Cheung, T. H. Lin & Y. C. Lin. (2018). A real-time construction safety monitoring system for hazardous gas integrating wireless sensor network and building information modeling technologies. *Sensors*, 18(2), 436.
DOI : 10.3390/s18020436
- [4] S. Y. Guo, L. Y. Ding, H. B. Luo & X. Y., Jiang. (2016). A Big-Data-based platform of workers' behavior: Observations from the field. *Accident Analysis & Prevention*, 93, 299–309.
DOI : 10.1016/j.aap.2015.09.024
- [5] A. Carbonari, A. Giretti & B. Naticchia. (2011). A proactive system for real-time safety management in construction sites. *Automation in Construction*, 20(6), 686–698.
DOI : 10.1016/j.autcon.2011.04.019
- [6] J. Park, K. Kim & Y. K. Cho. (2016). Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(2), 05016019.
DOI : 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223
- [7] V. Escorcia, M. A. Davila, M. Golparvar-Fard & J. C. Niebles. (2012). Automated vision-based recognition of construction worker actions for building interior construction operations using RGBD cameras. In *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*. (pp. 879–888).
DOI : 10.1061/9780784412329.089
- [8] M. D. Martinez-Aires, M., Lopez-Alonso & M. Martinez-Rojas. (2018). Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety science*, 101, 11–18. DOI : 10.1016/j.ssci.2017.08.015
- [9] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman & J. Teizer. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety science*, 72, 31–45.
DOI : 10.1016/j.ssci.2014.08.001
- [10] Y. Niu, W. Lu, F. Xue, D. Liu, K. Chen, D. Fang & C. Anumba. (2019). Towards the "third wave": An SCO-enabled occupational health and safety management system for construction. *Safety science*, 111, 213–223.
DOI : 10.1016/j.ssci.2018.07.013
- [11] S. H. Kim, H. G. Ryu & C. S. Kang. (2019). Development of an IoT-Based Construction Site Safety Management System. In: Kim K., Baek N. (eds) *Information Science and Applications 2018. ICISA 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 514. Singapore.: Springer.
DOI : 10.1007/978-981-13-1056-0_60
- [12] S. H. Kim (2018). *Development of IoT application systems for atmospheric environment monitoring and construction site safety management*, Mater Thesis, Changwon National University, 34–53.
- [13] S. R. Moon & J. H. Cho. (2019). *Study on IoT-based Map Inside the Building and Fire Perception System*. *Journal of Digital Convergence*, 17(1), 85–90.
DOI : 10.14400/JDC.2019.17.1.085
- [14] Y. S. Jeong. (2016). An Efficient IoT Healthcare Service Management Model of Location Tracking Sensor. *Journal of Digital Convergence*, 14(3), 261–267.
DOI : 10.14400/JDC.2016.14.3.261
- [15] S. H. Lee, D. H. Shim & D. W. Lee. (2016). *Actual Cases of Internet of Thing on Smart City Industry*. *Journal of Convergence for Information Technology*, 6(4), 65–70.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2016.6.4.065
- [16] M. S. Kwon, U. J. Gim, J. J. Lee & O. Jo. (2018). *IoT-based Water Tank Management System for Real-time Monitoring and Controlling*. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(6), 217–223.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2018.8.6.217

강 창 순(Chang Soon Kang)

[정회원]



- 1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1986년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : KAIST 전자전산학과 (공학박사)
- 1989년 10월 ~ 2003년 2월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 이동통신연구소 (책임연구원)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 정보통신공학과 교수
- 관심분야 : 셀룰러이동통신(4G & 5G), 사물인터넷(IoT), IT 융합 (건설 IT, 환경 IT, 선박 IT)
- E-Mail : cskang@changwon.ac.kr

김 승 호(Seung-Ho Kim)

[정회원]



- 2014년 8월 : 동의대학교 컴퓨터 공학과 (공학사)
- 2016년 8월 ~ 2018년 8월 : 창원대학교 친환경 해양 플랜트 FEED 공학과 (공학석사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 한국항공우주산업주식회사 (연구원)
- 관심분야 : 사물인터넷(IoT), 이동통신, IT 융합(선박 IT), 원격제어, 항공우주
- E-Mail : shk0529@gmail.com

류 한 국(HanGuk Ryu)

[정회원]



- 1997년 2월 : 건국대학교 건축공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 서울대학교 건축학과(공학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 건축학과(공학박사)
- 2007년 8월 ~ 2019년 2월 : 국립창

원대학교 건축학부 교수

- 2019년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 건축학과 부교수
- 관심분야 : 건설경영 및 시공, 건설안전, 데이터 사이언스, 사물인터넷
- E-Mail : ryuhanguk333@gmail.com