韓國IT서비스學會誌
第18卷 第1號
2019年 3月, pp.141-151

Journal of Information Technology Services
https://doi.org/10.9716/KITS.2019.18.1.141

LoRa 통신기반 산업재해감지시스템 구현*

서정훈** · 김낙훈*** · 홍성용****

Implementation of the Industrial Hazard Detection System using LoRa Network*

Jung-Hoon Seo** · Nak-Hun Kim*** · Sung-Yong Hong****

■ Abstract ■

To protect workers from industrial accidents, IoT hazard detection system using LoRa network was designed and fabricated. LoRa networks can operate with low power consumption, wide coverage, and low usage fees. The hazard detection system consists of a sensor unit, a transceiver module, a LoRa base station, ThingPlug, and a monitoring device. We have designed an optimal risk-determining algorithm that can send information quickly in a working environment. As measured by TTA, the implemented system has been found to be able to deliver the worker's location, ambient temperature, and carbon monoxide density to the administrator through the user interface. The implemented system showed a bit rate of 290bps and a maximum application range of 6 km.

Keyword : LoRa, LPWA, Hazard Detection System, IoT, Arduino

Submitted : February 1, 2019 1st Revision : March 7, 2019 Accepted : March 27, 2019

* 본 연구는 충남대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었음.
** 충남대학교 전파공학과 박사과정
*** 실리콘웍스 연구원
**** 충남대학교 전파공학과 교수, 교신저자

1. 서 론

산업현장의 안전사고는 지속적으로 발생하고 있으며 매년 1000여 명이 사망하고 있다. 특히 건설, 조선 등 중공업 현장에서 추락사고, 전도사고, 질식사고 등이 발생하고 있다. 우리나라는 1960년대 이후 전체 산업재해는 꾸준히 증가추세를 보이고 있으며 노동부의 산업재해 통계에 의하면 지난 1964년 산업 재해 보상 보험제도 도입이 시행된 이후 산업재해로 인하여 사망, 부상 또는 질병에 걸린 근로자 수는 500만 명을 상회하고 있고, 이로 인한 직, 간접적인 손실액도 150조 원을 상회하고 있는 것으로 나타났다(Kim, 2015). 산업재해 발생 시 피해자의 의식이 없을 경우 동료 작업자의 도움으로 응급조치가 이루어진다. 하지만 동료가 없을 경우 구조에 상당한 시간이 소요되어 생명이 위태롭거나 유해물질로 인해 수명이 단축될 수 있다.

따라서 어떤 상황에서도 신속한 응급조치가 가능한 산업재해감지시스템이 필요하다. 현재 산업안전시스템은 블루투스, 와이파이 및 이동통신 네트워크를 이용하고 있다. 블루투스는 소비전력이 작은 장점이 있지만 통신거리가 짧다. 와이파이는 전송속도가 빠르지만 전력소모가 크고 통신거리가 짧다. 이동통신망을 이용할 경우 전송속도가 빠르고 통신 범위가 넓지만 전력소모가 크고 회선 사용료가 높다.

현장 근로자의 안전을 위한 산업재해감지시스템은 저전력으로 넓은 영역에서 통신이 가능하고 비용이 저렴해야한다.

최근 주목받고 있는 LPWA(Low Power Wide Area) 기술은 저전력 장거리 통신이 가능하여 다양한 용도로 활용할 수 있다. 대표적인 LPWA 기술로는 LoRa, Sigfox, LTE-M, NB-IoT 등이 있다. 최근 LoRa 기술을 이용한 원격 모니터링 및 장비 원격 제어 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 주로 시스템 성능 평가 및 검증에 집중되고 있다.

LoRa(Long Range) 통신은 최대 전송속도가 5000bps로 제한적이지만 저전력 장거리 통신에 용이하며 회선 사용료가 저렴한 장점이 있다.

본 논문에서는 LoRa 통신방식을 이용한 산업재해감지시스템을 제안한다. LoRa 산업재해감지시스템은 GPS로 작업자의 위치를 파악하고 일산화탄소(CO)센서와 온습도센서를 통해 위험요소를 감지한다. 센서에 수집된 데이터는 LoRa 송수신 모듈을 통해 기지국으로 전송된다. 기지국에 전송된 데이터는 LoRa 네트워크 서버와 ThingPlug를 통해 모니터링부에서 확인할 수 있다. 이때 위험요소가 임계값을 넘을 경우 경보신호를 발생하며, 관리자는 작업자에게 위험상황을 알려준다.

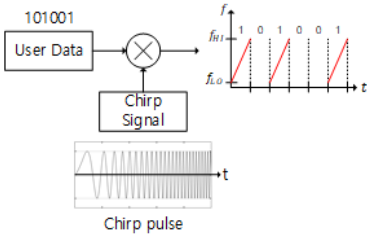
본 논문에서는 아두이노 플랫폼을 이용하여 LoRa 송수신 모듈을 제작하고 웹 어플리케이션 프레임워크(ASP.NET)를 이용하여 모니터링 화면을 설계하였다. 마지막으로 구현한 산업재해감지시스템을 상용 LoRa 네트워크를 이용하여 성능을 검증하였다.

2. LoRa 통신 방식

LoRa는 Chirp Spread Spectrum(CSS)의 파생된 방식으로 채널 대역에서 전송 속도를 변환할 수 있는 스펙트럼 확산 방식이다. 이 방식은 광대역 주파수 변조 펄스를 사용하여 일정시간 동안 주파수가 증가하거나 감소하는 정보를 인코딩하는 확산 스펙트럼 기술이다. 일정한 대역폭에서 네트워크 성능을 최적화하기 위해 직교 확산 인자를 사용하여 전송율을 가변한다. LoRa 변조기를 <Figure 1>에 나타내었다.

LoRa 방식의 전송 속도는 300bps에서 5000bps이며, 개활지에서 최대 15km까지 통신이 가능하다. 또한 저전력으로 신뢰성이 높은 장점이 있으며 비면허 대역에서 운영이 가능하다(Park, 2017; Ko, 2016, 2017).

LoRa 통신은 신호를 채널 대역폭 전체로 확산시켜 전송하기 때문에 잡음에 강하고 다중경로 페이딩 및 도플러 효과에 둔감한 강점이 있다(Semtech, 2015).



〈Figure 1〉 LoRa Modulator

확산 변조 방식의 비트율(bit rate) R_b는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$R_b = SF \cdot \frac{1}{(2^{SF}/BW)} \ [bit/\sec] \quad (1)$$

이때 SF는 확산 인자, BW는 채널 대역폭을 나타낸다. 또한 심볼율 R_S와 칩율 R_C는 다음 식과 같다.

$$R_S = \frac{BW}{2^{SF}} \ [symbol/\sec] \quad (2)$$

$$R_C = R_S \cdot 2^{SF} \ [chip/\sec] \quad (3)$$

식 (2)를 식 (3)에 대입하면 다음과 같다.

$$R_C = BW \ [chip/\sec] \quad (4)$$

이는 칩율이 대역폭만큼 확장되어 전송됨을 의미한다. LoRa 변조의 비트율은 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$R_b = SF \cdot \frac{\left[\frac{4}{4+CR}\right]}{\left[\frac{2^{SF}}{BW}\right]} \ [bit/\sec] \quad (5)$$

이때 CR은 부호율(code rate)로 1~4의 값을 갖는다. $Rate\,code$ 는 식 (6)과 같이 정의한다.

$$Rate\ code = \frac{4}{4+CR} \quad (6)$$

식 (6)을 식 (5)에 대입하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_b = SF \cdot \frac{Rate\ code}{\left[\frac{2^{SF}}{BW}\right]} \ [bit/\sec] \quad (7)$$

LoRa 변조에서 사용자가 지정할 수 있는 파라미터는 대역폭, 확산 인자 및 $Rate\,code$이다. 확산 인자는 심볼 당 전송 비트를 나타내는 지표이다. 확산 인자가 7이면 한 심볼에 7bits가 전송되며 7 bits가 나타낼 수 있는 2^7(128)개의 처프 신호로 나눠지게 된다. 따라서 확산 인자가 1 증가할 때마다 처프 신호 길이는 2배가 늘어나기 때문에 전송속도는 반으로 줄어든다.

<Table 1>에 국내 LoRa 통신의 표준 규격을 나타내었다(Kim, Park and Choi, 2016).

〈Table 1〉 Standard of LoRa in Korea

Type	Specification
Frequency range	920~925MHz
Channel bandwidth	500/250/125kHz
Modulation	Chirp spread spectrum
Bit rate	0.3~5kbps
Coverage	2~15km
Transmit power	< 25dBm
Max payload length	255byte
Receiving sensitivity	-136~-123dBm
Spreading factor	7~12
Code rate	1~4

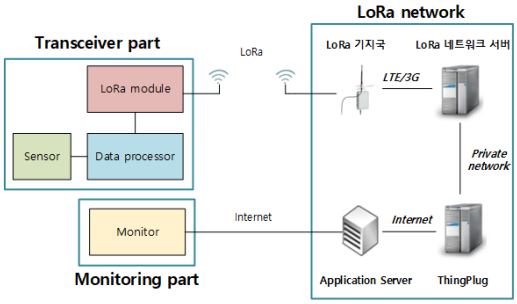
3. LoRa 산업재해감지시스템 설계

설계하고자 하는 산업재해감지시스템은 국내 이동통신사에서 제공하는 LoRa 네트워크를 이용하여 작업자의 위치와 작업현장의 온습도 및 일산화탄소 농도를 관리자에게 전송한다. 이때 측정된 데이터를 실시간으로 전송하기 위해서는 전송속도가 256bps 이상이 되어야 한다. 본 논문에서는 유효 통신거리가 5km인 시스템을 설계하고자 한다.

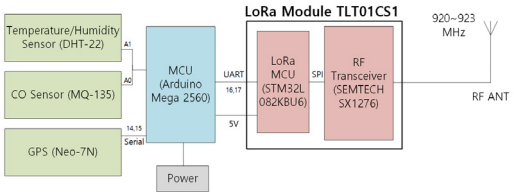
3.1 시스템 구성도

LoRa 통신기반 산업재해감지시스템의 구성도를 <Figure 2>에 나타내었다.

산업재해감지시스템은 데이터 송수신부와 중앙



〈Figure 2〉 Configuration of the Proposed Industrial Hazard Detection System



〈Figure 3〉 Block Diagram of the Transceiver Part of LoRa Network

서버인 LoRa 네트워크, 관리자가 확인할 수 있는 모니터링부로 구성된다. 데이터 송수신부는 작업자의 위치 및 위험요소를 감지하는 센서가 탑재되며 이를 통해 수집된 데이터는 MCU에서 처리되어 LoRa 모듈에서 송신된다.

데이터 송수신부와 기지국은 변조된 신호를 송수신하며 기지국에 전달된 데이터는 이동 통신망을 이용하여 네트워크 서버로 전달된다. IoT 플랫폼인 ThingPlug는 LoRa 네트워크 서버와 연결되어 송수신부에서 생성된 데이터를 관리하는 기능을 한다. 또한, oneM2M 표준 기반의 API(Application Programming Interface)를 제공하기 때문에 모니터링부를 구현하는 것이 용이하다(SKT, 2016). 모니터링부는 작업자의 상태를 실시간으로 보여주며 위험이 발생하면 관리자에게 알려준다.

SKT LoRa 단말기의 송신 주파수는 920~923 MHz이고 채널당 대역폭은 125kHz이다. GPS 신호, 온습도 및 일산화탄소 농도의 데이터 크기는 각각 17byte, 10byte, 5byte이다. LoRa 통신은 패킷 데이터 통신으로 LoRa 패킷은 Preamble, Header, Payload로 구성된다. Payload는 가변 길이를 갖는 필드로서 데이터와 오류정정코드가 포함된다. 따라서 LoRa 패킷의 Payload 길이는 32byte이다. 1byte는 8bit이므로 데이터를 실시간간으로 전송하기 위해서는 256bps가 필요하다. 식 (7)을 이용하여 시스템의 최대 전송 속도를 계산하면 290bps가 된다. 따라서 설계한 시스템은 초당 1회 데이터 전송이 가능하다. 또한 시스템의 최소 수신감도 규격을 5 dB 마진을 고려하여 -131dBm으로 설정하였다.

식 (8)에 나타낸 Okumura-Hata 모델을 이용하여 경로 손실을 예측하였다(Koo, Kim and Mok, 1996; Hata, 1980).

$$\begin{aligned} L_p(dB) = {} & 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_r \\ & - 3.2(\log 11.75\, h_r)^2 - 4.97 \\ & + (44.9 - 6.55 \log h_r) \log R \end{aligned} \tag{8}$$

이때 f는 송신 주파수, h_r은 기지국의 높이, R은 통신 거리이다.

송신 주파수가 922MHz, 기지국 높이 10m, 서비스 반경이 5km일 때 식 (8)을 이용하여 경로손실을 계산하면 약 141dB이다. 따라서 수신감도 -131 dBm을 만족하기 위해서는 10dBm 이상의 송신 전력이 필요하다.

현재 LoRa 모듈에 사용되는 송수신기(Semtech SX1276)의 데이터를 참고하여 확산 인자에 따른 전송 속도 및 수신감도를 <Table 2>에 나타내었다(Semtech, 2016). 확산 인자가 12일 때 수신감도는 -136dBm이다. 따라서 약 5dB 마진이 있다.

〈Table 2〉 The Relationship between Bit Rate and Receive Sensitivity with Different Spreading Factor

Spreading factor	Bit rate	Receiving sensitivity
7	5470bps	-123dBm
8	3125bps	-126dBm
9	1760bps	-129dBm
10	980bps	-122dBm
11	440bps	-133dBm
12	290bps	-136dBm

<Table 3>에 산업재해감지시스템의 설계결과를 나타내었다.

〈Table 3〉 Designed Results of the Industrial Hazard Detection System

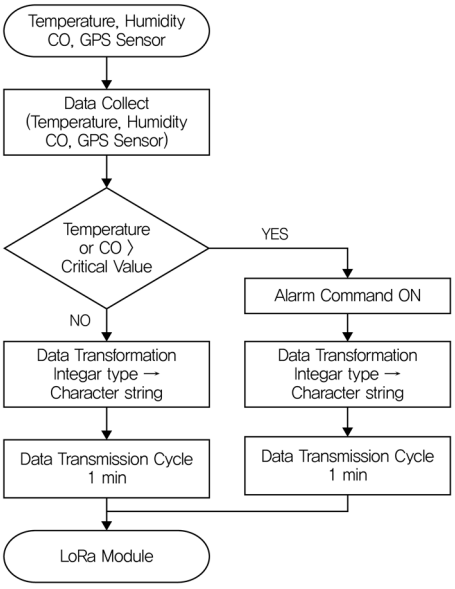
Type	Specification
Frequency range	920~923MHz
Channel bandwidth	125kHz
Modulation	Chirp spread spectrum
Bit rate	290bps
Coverage	5km
Transmit power	10dBm
Payload length	32byte
Receiving sensitivity	-131dBm
Spreading factor	12
Code rate	1

3.2 송수신부 설계

<Figure 3>에 나타낸 송수신부는 센서 모듈과 데이터 처리 모듈, LoRa 모듈로 구성된다. 작업자의 위치를 확인하기 위한 GPS와 현장 상황을 파악하는 온습도 센서 및 일산화탄소 센서를 사용한다. 수집된 정수형 데이터는 데이터 처리 모듈에서 LoRa 통신이 가능한 문자열로 변환된다. 변환된 데이터는 UART 통신으로 LoRa 모듈에 입력되고 최종적으로 LoRa 변조되어 안테나를 통해 기지국으로 전송된다. 이때 작업환경이 정상 상태일 경우 전력소모를 줄이기 위해 측정 데이터를 분당 1회 전송하고 긴급 상황이 발생하면 데이터가 빠르게 변하기 때문에 초당 1회 전송되도록 설계하였다.

센서부는 GPS와 온습도 센서 및 일산화탄소 센서로 구성되며 GPS는 제어부와 시리얼 통신으로 연결되어 있다.

데이터 처리 모듈은 ATmega2560 칩이 내장된 아두이노 메가 보드를 사용하며 아두이노 전용 툴인 스케치를 이용하여 프로그래밍하였다. <Figure 4>에 데이터 처리 프로그램을 위한 흐름도를 나타내었다. 전원을 인가하면 센서를 통해 데이터가 수집되고 MCU에서 데이터가 임계값을 초과하는지 판단한다. 임계값을 초과하면 알람 명령어를 ON 설정하고, 데이터 전송횟수를 분당 1회에서 초당 1회로 변경한다. 최종적으로 데이터는 문자열로 변환되어 LoRa 모듈을 통해 기지국으로 전송된다.



〈Figure 4〉 Flowchart of Data Processing

송수신 모듈은 LoRa 네트워크에 적합한 Solum社의 TLT01CS1을 사용하였다. 이 모듈은 비면허 대역인 920MHz대역을 사용하는 LoRa RF Transceiver(SX1276)를 내장하고 있으며 LoRa MCU가 제어한다. <Table 4>에 TLT01CS1 규격을 나타내었다. 아두이노 보드와 LoRa MCU가 연결되어 UART 통신으로 데이터를 수신한다. LoRa MCU에서 처리된 데이터는 LoRa Transceiver로 SPI 통신으로 전송된다.

〈Table 4〉 Specifications of the LoRa module

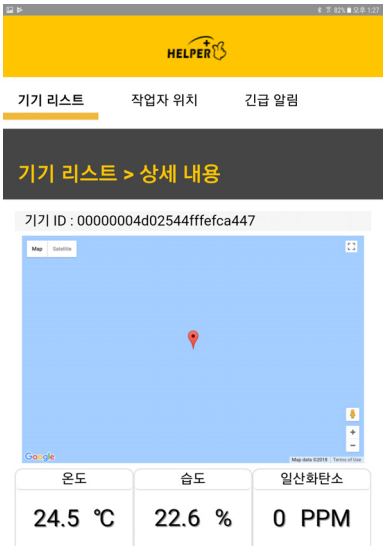
Type	Specification
Frequency range	920~923 MHz
Transmit power	Max. 14 dBm
Receiving sensitivity	-136dBm (SF = 12, BW = 125kHz)

3.3 데이터 모니터링 프로그램

모니터링부에서는 습도와 온도, 일산화탄소 농도, 작업자의 위치를 그래픽 사용자 인터페이스에 나타내며 관리자는 이를 보고 작업자의 상태나 위치를 파악할 수 있다.

데이터 모니터링 프로그램은 Visual Studio Tool을 이용하여 ASP.NET 프레임워크 안에서 자바스크립트 및 C# 언어를 사용하여 프로그래밍 하였다.

<Figure 5>에 설계한 모니터링 화면을 나타내었다. 모니터링 프로그램은 먼저 IoT 플랫폼인 Thing-Plug에 저장된 데이터를 불러오고 그 데이터가 임계치를 초과하는지 판단한다. 평상시 작업자의 위치 및 상태를 실시간으로 보여주고 위험이 감지되면 관리자에게 긴급 알림 신호를 전송한다.

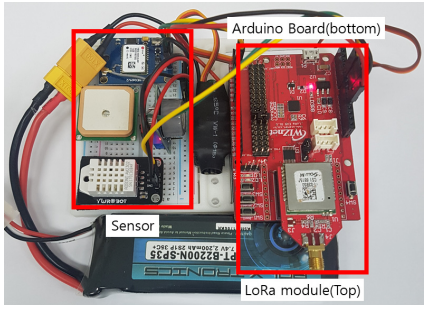


〈Figure 5〉 Designed Screen for Data Monitoring

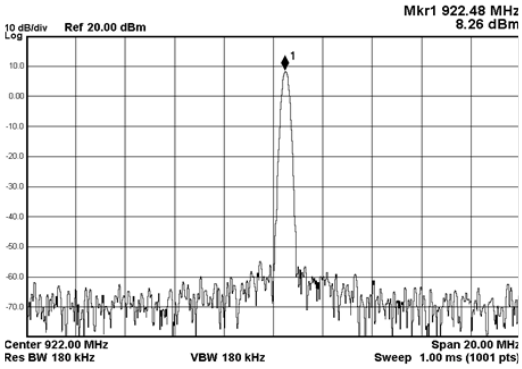
4. 제작 및 측정

4.1 송수신부

<Figure 6>에 제작한 송수신부 사진을 나타내었다. 송수신부는 좌측에 GPS, CO센서, 온습도센서로 구성된 센서 모듈을 우측에 데이터 처리 모듈과 LoRa 모듈을 배치하였다. 제작한 송수신부의 크기는 8.5×10.2×3.7cm이다. GPS는 Neo 시리즈, CO센서는 MQ, 온습도센서는 DHT22를 사용하였다. 데이터 처리 모듈은 아두이노 메가 보드를 사용하였고, LoRa 모듈은 SoluM 社의 TLT01CS1 보드를 이용하였다.



〈Figure 6〉 Photograph of the Implemented Transceiver Part



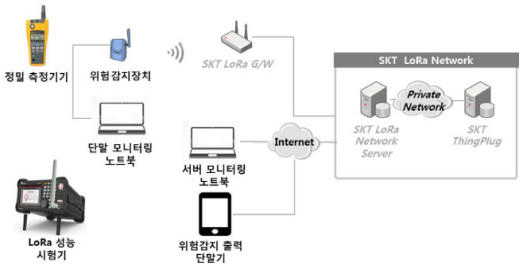
〈Figure 7〉 Output Power of the Transceiver Part

측정된 송신부 출력을 <Figure 7>에 나타내었다. 채널 대역폭 125kHz를 기준으로 주파수가 매우 빠르게 움직이는 처프 신호의 한 순간을 측정하였다. 이때 출력은 8.26dBm로 설계 규격과 유사하게 나타났다.

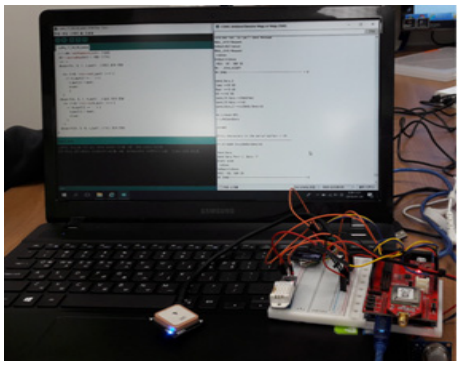
4.2 산업재해감지시스템 시험 및 검증

SKT LoRa 기지국이 설치되어 있는 한국정보통신기술협회(TTA) 글로벌 IoT 시험인증 센터에서

제작한 산업재해감지시스템의 성능을 시험하였다. 송수신 시스템과 LoRa 기지국의 거리는 50m이다. 시험환경 구성도를 <Figure 8>에 나타내었다.



〈Figure 8〉 Configuration of the Testing Environment



〈Figure 9〉 Configuration for Data Processing Test of the Transceiver Part

```
txDone
OnRadioTxDone
RSSI -50, SNR 33
RX : JOIN_ACCEPT
RX DONE
JOINED---------------------------------------------- > 0

latitude =>37.41400
longitude =>127.09909
Temp =>25.10
Humi =>21.30
CO =>145.00
send_GPS Data =>37A41401127A09909
send_TH Data =>25A121A3
send_CO Data =>145
send_Data =>37A41401c127A09909c25A1c21A3c145

> LoRaSendData


Dirty characters in the serial buffer! > 2
-----------------------------------------
>> AT+SEND 0137A41401c127A09909c25A1c21A3c145
```

〈Figure 10〉 Transmitting Data of the LoRa Module

LoRa 송신부의 시험 장치는 <Figure 9>와 같다. 수집된 데이터가 처리되어 송신된 데이터를 MCU를 통해 모니터링 한 결과를 <Figure 10>에 나타내었다. 박스안의 데이터는 센서를 통해 수집된 정보로 32byte 크기를 갖는다. 이 데이터는 LoRa 통신 패킷의 Payload Length에 저장되어 LoRa 네트워크로 전송된다.

LoRa 네트워크 서버를 통해 ThingPlug에 저장된 데이터를 확인하기 위한 로그 데이터 화면을 <Figure 11>에 나타내었다.

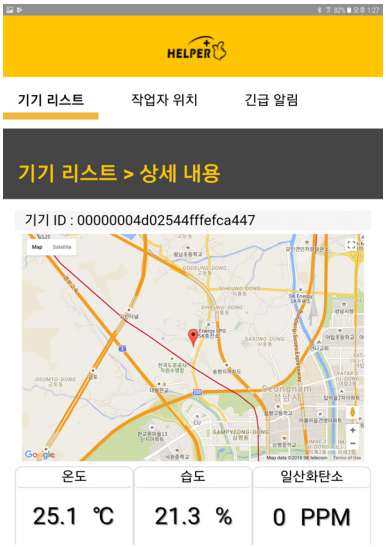
<Figure 12>는 ThingPlug에 저장된 데이터를 모니터링부에서 수신한 로그 데이터이다. <Figure 10>의 송신 데이터와 <Figure 12>의 수신 데이터가 동일함을 확인하였다. 따라서 데이터 송수신이 오류 없이 이루어짐을 알 수 있다.

〈Figure 11〉 Monitoring of the Output Data of the ThingPlug

```
# Time Tag : 2018-01-24T11:11:20+09:00
[Raw Data Received] : 37a41401c127a09909c25a1c21a3c145
[Latitude] : 37.41401
[Longitude] : 127.09909
[Temp.] : 25.1
[Humi.] : 21.3
[CO] : 0145
deviceList_specific?v=ZDJr9LbbuW_5Quasz_BYUBtHSr83VgFLr_y6ZOm

# Time Tag : 2018-01-24T11:11:50+09:00
[Raw Data Received] : 37a41349c127a09875c20a4c24a8c146
[Latitude] : 37.41349
[Longitude] : 127.09875
[Temp.] : 20.4
[Humi.] : 24.8
[CO] : 0146
deviceList_specific?v=ZDJr9LbbuW_5Quasz_BYUBtHSr83VgFLr_y6ZOm
```

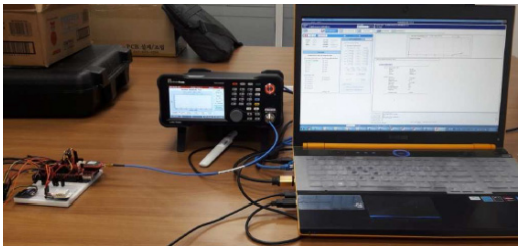
〈Figure 12〉 Received Log Data of the Monitoring Part



〈Figure 13〉 Monitoring Screen of the Hazard Detection System

LoRa 모듈에서 송신한 데이터가 기지국을 통해 최종적으로 관리자에게 전송된 모니터 화면을 <Figure 13>에 나타내었다. 작업자의 위치와 작업현장의 온습도 일산화탄소 농도를 실시간으로 확인할 수 있다.

산업재해감지시스템의 통신 성능을 LoRa 성능 시험기를 이용하여 확인하였다. <Figure 14>에 시험환경을 나타내었다.



〈Figure 14〉 Long Distance Communication Test Setup of LoRa Module

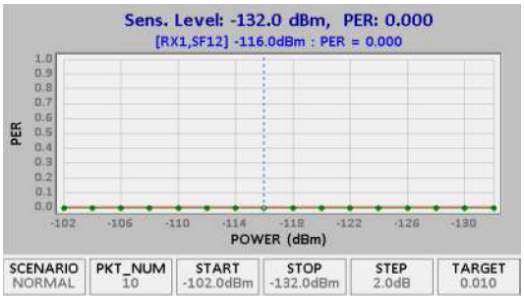
송신전력이 10dBm이고 거리가 5km일 때 도심지역, 교외지역, 개활지에서 기지국에 입력되는 전력을 <Table 5>에 나타내었다. 이때 경로손실은 Hata 모델을 이용하여 계산하였다.

〈Table 5〉 Calculated Receiving Power at LoRa base Station

	Urban	Suburban	Open
Path Loss (dB)	141.56	131.55	112.95
Receiving Power (dBm)	-131.56	-121.55	-102.95

<Table 5>의 수신 전력은 모든 전파환경에서 LoRa 모듈의 수신감도 -136dBm을 만족하기 때문에 정상적인 통신이 가능할 것으로 예상된다.

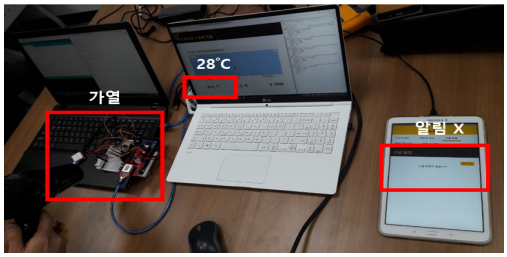
이를 확인하기 위해 -132~-102dBm의 데이터 신호가 기지국에 입력되도록 송신전력을 조절하여 패킷 데이터 에러확률(PER)을 측정하였다. 이때. PER은 LoRa 모듈이 패킷을 전송하였을 때 오류율을 나타내는 지표이다. <Figure 15>에 나타낸 측정결과로부터 에러가 발생하지 않음을 알 수 있다.



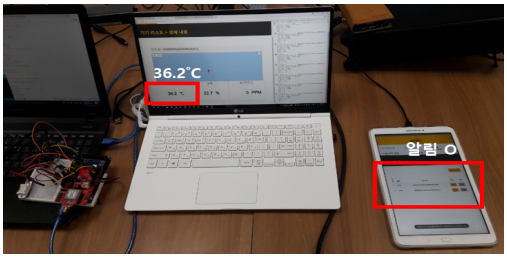
〈Figure 15〉 Measured PER of the Hazard Detection System

또한 위험을 감지했을 때 알림 기능 동작을 확인하기 위한 시험 장치를 <Figure 16>에 나타내었다. 이때 주변온도가 30℃ 이상일 경우 알림이 발생하도록 설정하였다. <Figure 16>(a)는 주변 온도가 28℃일 경우 알람이 동작하지 않은 상태이다. <Figure 16>(b)는 온도가 36℃로 상승하였을 때 알림이 발생한 화면을 나타내었다.

TTA에서 실행한 산업재해감지시스템의 기능 및 성능 시험 결과를 <Table 6>에 요약하였다.



(a) Alarm off state(before heating)



(b) Alarm on state(after heating)

〈Figure 16〉 Test Setup to Verify Alarm Operation

〈Table 6〉 Performance Test Results of the Proposed Industrial Hazard Detection System by TTA

Test Item	Test Result	Test Condition
Integrated sensing accuracy	Average sensing accuracy : 99.994%	Number of sensing values comparison : 100 times
Sensor data analysis accuracy	Risk signal alarm normal operation rate : 100%	Number of risk signal alarm normal operation : 20 times
Communications transfer accuracy	Server transmission sensing value Accuracy : 100%	Number of sensing value comparison : 100 times
Effective interval packet transfer success rate	Packet transfer success rate : 100%	Measurement environment : Urban, Suburban, Open Area 5 km distance separation

5. 결 론

국내 이동통신사에서 제공하는 LoRa 네트워크를 이용하여 산업재해감지시스템을 설계 및 구현하였다.

데이터 송수신부에 해당하는 하드웨어는 SoluM社의 LoRa 모듈(TLT01CS1)을 사용하였고 아두이노 플랫폼을 이용하여 시스템을 제어하였다. 또한 GPS 모듈과 온습도 센서, 일산화탄소 센서는 에듀이노(Eduino) 社의 제품을 사용하였다.

산업재해감지시스템의 송수신 주파수는 LoRa 표준 주파수 대역인 920~923MHz를 사용하였고 이때 채널 대역폭은 125kHz이다. LoRa 변조의 주요 파라미터인 확산 인자는 12로 설정하였다.

측정된 온도, 습도, 일산화탄소 및 위치 정보는 LoRa 변조되어 전송되며 기지국 및 네트워크 서버를 거쳐 IoT(Internet of Things) 플랫폼인 Thing-Plug에 저장되어 관리된다. ThingPlug에 저장된 측정 데이터를 처리하여 작업자의 상태를 파악하기 쉽도록 모니터링 화면을 설계하였다.

TTA의 SKT LoRa 망을 이용하여 구현한 시스템을 시험한 결과 확산 인자 12, 전송속도 290bps일 때 5km 거리에서 통신이 가능함을 확인하였다. 시스템 마진 5dB를 고려하지 않으면 최대 6km까지 통신이 가능할 것으로 예상된다. 또한, 작업자에게 위험이 발생할 경우 관리자에게 신속히 알려주는 알림 기능이 정상적으로 동작함을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제시한 시스템 설계 기준이 타당함을 알 수 있으며 시스템 변수에 대한 성능 변화를 예측할 수 있다. 또한 구현한 LoRa 산업재해감지시스템은 저비용으로 산업현장 뿐 아니라 센서 교체 및 일부 프로그램 수정만으로 의료 및 보안 등 다양한 분야에 적용이 가능하다고 판단된다.

향후 작업자의 안전모에 부착할 수 있도록 LoRa 송수신부 소형화 및 다양한 변수에 대한 영향 평가가 필요하다.

References

Kim, J.S., J. Umarov, D.H. Kim, C.U. Lee, and R.D. Oh, "Development of Smart Safety Management System using IoT based assistant equipment for Industrial Fields", *Journal of the Korean Society of Computer and Information Winter Science Competition*, Vol.23, No.1, 2015, 93-94.

(김주수, J. Umarov, 김대호, 이철우, 오염덕, "산업현장에서 IoT 기반의 작업자 보조기기를 활용한 스마트 안전 관리 시스템 개발", *한국컴퓨터정보학회 통계학술대회*, 제23권, 제1호, 2015, 93-94.)

Kim, S.Y., S.K. Park, and H.D. Choi, "Wide Range IoT Technology and Standardization based on LPWA", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.31, No.2, 2016, 95-106.

(김선영, 박승근, 최형도, "LPWA 기반 광역 IoT기술 및 표준화", *전자통신동향분석*, 제31권, 제2호, 2016, 95-106.)

Ko, D.Y., "Low Power Wide Area Technology Trend for Internet of Small things", *OSIA S&TR Journal*, Vol.29, No.3, 2016, 8-13.

(고득녕, "소물인터넷을 위한 Low Power Wide Area 기술 동향", *한국컴퓨터통신연구회*, 제29권, 제3호, 2016, 8-13.)

Ko, J.H., D.K. Han, S.R. Lee, H.Y. Park, and D.H. Kim, "Implementation of GPS-based Wireless Loss Prevention System using the Lora Module", *Journal of Digital Contents Society*, Vol.18, No.4, 2017, 761-768.

(고준혁, 한동균, 이세라, 박하연, 김동회, "LoRa 모듈을 이용한 GPS기반 무선 분실 방지 시스템 구현", *한국디지털콘텐츠학회*, 제18권, 제4호, 2017, 76-768.)

Koo, B.H., C.Y. Kim, and J.D. Mok, "Prediction Models for the Path Loss in Mobile Communication", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.11, No.2, 1996, 17-29.

(구본희, 김채영, 목진담, "전파경로손실 예측 모델", *전자통신동향분석*, 제11권, 제2호, 1996, 17-29.)

Park, T.J., "LPWA IoT Network Technology Trend", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.32, No.1, 2017, 46-53.

(박태준, "LPWA 기반 IoT전용 네트워크 기술동향", *전자통신동향분석*, 제32권, 제1호, 2017, 46-53)

SEMTECH, "AN1200.22 LoRa Modulation Basics", 2015, Available at https://www. semtech.com(Accessed May, 10, 2018).

SEMTECH, "SX1276 Datasheet", 2016, Available at https://www.semtech.com(Accessed May, 17, 2018).

SKT, "ThingPlug API Document for LoRa", 2016, Available at https://www.sktiot.com (Accessed July, 17, 2017).

SoluM, "TLT01CS1 Datasheet", 2016, Available at https://www.solu-m.com(Accessed May, 1, 2018).

Yi, D.H. and S.C. Kim, "Analysis of Computer Simulated and Field Experimental Results of LoRa Considering Path Loss under LoS and NLoS Environment", *The Journal of Korea Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.42, No.2, 2017, 444-452.

(이동희, 김석찬, "LoS 및 NLoS 환경에서의 경로손실을 고려한 LoRa의 모의실험 및 실측 결과 분석", *한국통신학회*, 제42권, 제2호, 2017, 444-452.)

◈ About the Authors ◈

Jung-Hoon Seo (richmen89@naver.com)

Jung-Hoon Seo is currently a Ph.D. in radio science & engineering at Chungnam National University. He received the B.S. and M.S. degree in Radio Science & Engineering from Chungnam National University in 2015 and 2017. His current research interests include IT service, radar system, frequency synthesizer, FPGA and etc.

Nak-Hun Kim (knh9244@gmail.com)

Nak-Hun Kim received the B.S. and M.S. degree in radio science & engineering from Chungnam National University in 2017 and 2019. He has been working for Silicon Works since then. His current research interests include designing analog system and etc.

Sung-Yong Hong (syhong@cnu.ac.kr)

He received the B.S. degree in Electronics Engineering from Chungnam National University in 1985 and the M.S. and Ph.D. degree in Electrical and Electronic Engineering from KAIST in 1988 and 1994, respectively. From 1994 to 1996, he was with Korea Ssangshin Elecom, Inc, as a Reaearch Director. Currently, he is a Professor of Radio Science & Engineering with Chungnam National University. His research interests include RF transceiver, filter, IoT and radar system