

## 방폭 산업 현장에 강인한 센서 모니터링 장치 설계 및 실시간 구현에 대한 연구

### A Study on the Design and Real-Time Implementation of Robust Sensor Monitoring Device in Explosion Proof Industrial Site

김정현\*

Jeong-Hyun Kim\*

#### 〈Abstract〉

In this paper, a wireless communication-based sensor data monitoring device with an explosion-proof (Exd IIC) case was implemented to enable installation at explosion-risk industrial sites such as plants. In existing industrial plant sites, most of the temperature sensors and vibration and impact sensors are wired up to several kilometers, which takes a lot of time and money to bury long pipes and cables. In addition, there are not many cases where some wireless devices have been applied to actual plant industry sites due to communication quality problems. Therefore, in order to solve this problem, zigbee mesh wireless communication was applied to provide high reliability wireless communication quality to industrial plant sites, and the time and cost incurred in new or additional installation of sensors could be greatly reduced. In particular, in the event of loss or error of some wireless communication devices, the communication network is automatically bypassed or recovered to enable real-time data monitoring.

*Keywords : Sensor Monitoring Device, Exd IIC, Zigbee Mesh*

---

\* 정회원, 교신저자, 한국폴리텍VII대학 창원캠퍼스 스마트  
팩토리과 교수  
E-mail: 0191kjh@kopo.ac.kr

\* Corresponding Author, Professor Dept. of Smart Factory, Ph.D  
Korea Polytechnic VII (Changwon Campus)  
E-mail: 0191kjh@kopo.ac.kr

### 1. 서론

방폭 구조는 플랜트 시설 공사에 있어 2차 사고를 예방하기 위해 규범한 것으로 Ex와 뒤에 붙는 기호들에 따라서 지역 및 가스 구분이 달라진다. 방폭 구조를 이해하는 가장 쉬운 방법은 각 기호가 갖고 있는 의미를 확인하고 이해하는 것이다. 각 나라별 기호에 다소 차이가 있으나 방폭 기호의 구조는 방폭, 방폭구조, 가스그룹, 최대 허용 온도로 비슷하다.

예를 들어 "Exd IIC" 의 경우, 'Ex' 의 의미는 방폭 구조를 갖고 있는 장치를 뜻한다. 그리고 기호 'd'는 방폭기기의 기본으로 장치 내부에서 가연성 가스가 폭발하였을 때 폭발 압력에 견디고, 불꽃이 구조의 틈새를 통해 외부로 누출되어 외부에 존재하는 가연성, 폭발성 가스를 점화하지 못하도록 설계된 구조를 뜻한다. 'IIC'는 가스그룹이 수소가스임을 나타낸다[1].

본 논문에서는 폭발 위험이 있는 Plant 산업현장에 사용이 가능하도록 방폭형(Exd IIC) 케이스를 적용한 센스 모니터링 장치를 구현하였다. 기

존 유선 설치에 비하여 무선을 사용함으로써, 배관 및 케이블 포설 공사를 줄일 수 있어, 공사 기간 및 비용을 대폭 줄일 수 있는 이점이 있다[2]. 또한 Zigbee Mesh 통신방법을 적용하여, 통신망 여러 시 우회, 복구가 가능하도록 구현을 하였다.

### 2. Zigbee Communication

Zigbee는 zig-zag와 Bee의 합성어로 벌(bee)이 이리저리 날아다니면서(zig-zag) 다른 벌들과 의사소통을 하는 것에서 착안하여 벌처럼 단순하지만 효율적인 통신을 가능하게 한다는 의미에서 붙여진 이름이다. 지그비는 간단한 데이터 전송을 요구하면서도 긴 배터리 수명과 보안성을 요구하는 분야에서 사용된다. 저가라는 특징으로 인해 광범위한 영역에서 다량으로 사용하는 것이 가능하다. 특히 저전력이라는 특징은 배터리의 크기를 축소할 수 있게 하여 소형화를 가능하게 한다. 응용 분야로써 무선 조명 스위치, 가내 전력량계, 교통 관리 시스템, 그 밖에 근거리 저속 통신을 필요로

Table 1. Characteristics of zigbee communications

항목	Zigbee	블루투스	UWB	WiFi
주파수 대역	868/925 MHz ~ 2.4 GHz	2.4~2.480 GHz	3.1~10.6 GHz	2.4 GHz ~ 5 GHz
전송속도	~ 250 K	~ 1 M	~ 500 M	~ 11 M
통신거리	~ 75 m	~ 100 m	10 m	100 m
배터리수명	2~3 years	4~8 hours	-	1~3 hours
Complexity/Cost	Simple / Low Cost	Complicated / High Cost	Simple / -	Complicated / High Cost
Application Field	Simple Remote Control, Sensor Field	Device to device data communication field	Device to device high-definition streaming	Massive data communication field
Devices in N/W	255 (max 65000)	8	-	256
N/W Composition	P2P, Star, mesh	P2P, star	P2P, Mesh	P2P, star

하는 개인 및 산업용 장치 등에서 많이 사용되어진다[3-5]. Table 1은 지그비 통신의 특징을 다른 통신방식과 비교하여 나타내었다. Bluetooth 기술이나 Wi-Fi 기술들에 비해 전송 속도는 떨어지지만 저 소모 전력, 연결 기기의 확장성, 가격 측면에서 경쟁력을 갖추고 있다. 더욱이 예외의 상황을 모니터링 하여 그 순간만 전송한다면 전력소모량은 급격히 낮아진다[6-7].

### 3. ZigBee Network Configuration Models

Fig. 1은 ZigBee Network 구성 모델을 나타낸다. ZigBee Coordinator는 네트워크를 형성하고, 다른 네트워크들과 연결시키는 기능을 수행한다.

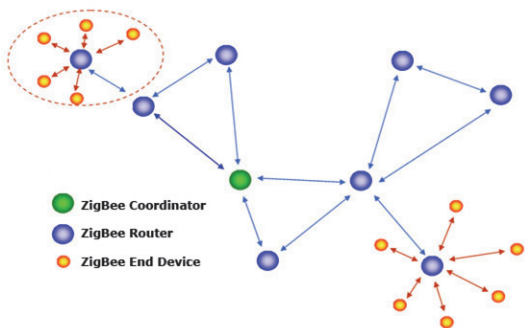


Fig. 1 ZigBee network configuration models

각각의 네트워크에는 단 한 개의 Coordinator가 있다. ZigBee Router는 application 기능뿐만 아니라 다른 device로부터의 데이터를 전달할 수 있는 기능도 수행한다. ZigBee End Device는 Parents 노드와의 통신을 수행한다.

## 4. 시스템의 구성

### 4.1 지그비 모듈

Fig. 2는 본 논문의 설계에 사용한 Zigbee 무

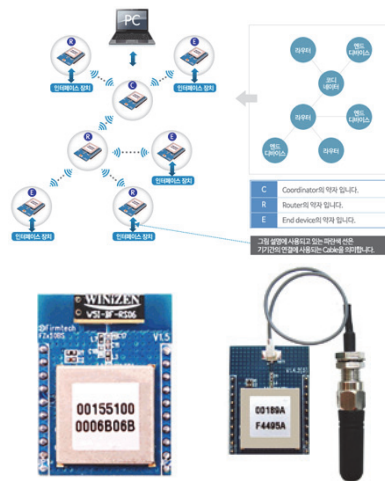


Fig. 2 Zigbee wireless module

Table 2. Specification of zigbee module

ITEM	Specification
CHIPSET	Mango Zigbee Chip(Korea, RadioPulse)
Wireless Spec	Zigbee(2006, IEEE 802.15.4 Support) - MAC, Mesh Network
Frequency	2.405 ~ 2.475GHz ISM Band
Data transfer rate	250Kbps
전송출력	10dBm (Max)
소모전류	38mA (Max)

선 모듈을 나타낸다. 센서 모듈의 구성에 따라 Zigbee Mac 방식 또는 Mesh 방식을 선택할 수 있으며, 본 연구에서는 Mesh 방식을 적용하였다.

그리고 Table 2는 설계에 사용한 지그비 모듈의 사양을 나타낸다.

### 4.2 가속도 센서

본 논문에서는 9자유도 IMU 센서인 ICM-20948을 사용하여, 3축 가속도, 3축 기울기, 3축 지자기를 측정하였다. 특히 3축 가속도 값을 이용하여 진동, 충격 감지에 활용하였고, 빠른 데이터 취득을 위하여 SPI 통신을 이용하였다[8]. Fig. 3은 ICM-20948 센서 회로를 나타내고, Fig. 4는 진동

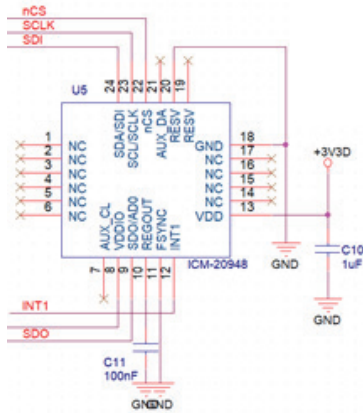


Fig. 3 Icm-20948 circuit

Table 3. Main specification of icm-20948

ITEM	Specification
Gyroscope	3-Axis Gyroscope with Programmable FSR of $\pm 250$ dps ~ $\pm 2000$ dps
Accelerometer	3-Axis Accelerometer with Programmable FSR of $\pm 2g$ , $\pm 4g$ , $\pm 8g$ , and $\pm 16g$
Compass	3-Axis Compass with a wide range to $\pm 4900 \mu T$

측정 데이터를 나타낸다. 그리고 Table 3은 ICM-20948 센서의 주요 특징들을 나타내었다.

### 4.3 산업용 온도 센서

PT100, PT1000 RTD 온도 센서를 대상물체에 접촉하여 온도를 측정하고, 온도 데이터를 전송하도록 구성하였다. 또한 현재까지 산업 현장에서 가장 많이 사용하고 있는 종류 중 하나인 4~20mA 전류 입력을 통해, 온도, 전압, 전류 등의 다양한 센서들의 입력을 추가로 받을 수 있도록 하였다. 4~20mA 센서는 거리에 따라 정확도가 떨어지는 단점이 없고, 전선의 단절을 쉽게 파악할 수 있어 산업 현장에서 많이 사용하고 있다[9-10].

다음 Fig. 5는 RTD 온도센서를 나타낸다.

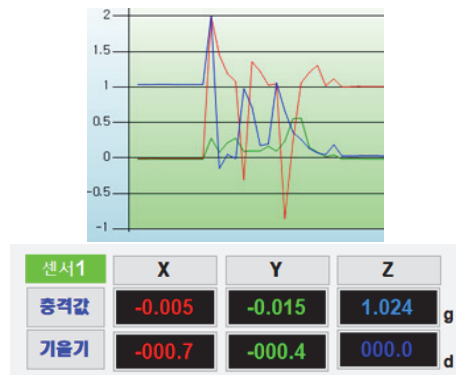


Fig. 4 Vibration measurement

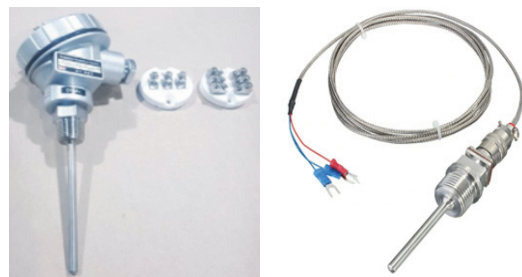


Fig. 5 Rtd temperature sensor

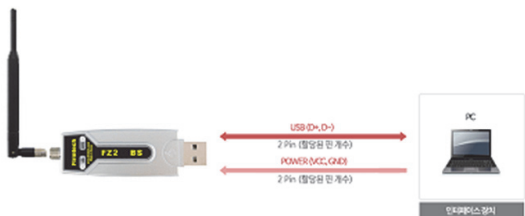


Fig. 6 Data receive interface board

#### 4.4 데이터 수신 인터페이스 보드

방폭케이스의 센서부 디바이스에서 Zigbee로 무선 전송되는 각종 데이터를 Zigbee USB 또는 RS232 수신 보드를 통해 수신하여, PC모니터링 프로그램에서 그래프 Trend로 표시를 하거나 저장을 하기 위한 인터페이스 용도로 사용한다. Fig. 6은 데이터 수신 인터페이스 보드를 나타낸다.



Fig. 7 Charging bat and ac power test

#### 4.5 정전대비용 충전회로

본 논문에서는 STM32F103 Cortex-M3 32bit 고속 ARM Core를 적용하였다. 그리고, 리튬배터리를 이용한 충전회로를 설계하여 정전상태에서도 1시간 이상 동작이 가능하도록 하였다. 상시 전원 사용이 기준이므로 배터리 보호와 장기사용을 위해 4.2V 만충전을 하지 않고, 약 3.9V에서 유지하도록 하였다. 또한 절전모드 기능을 구성하여 소형 Solar Panel을 추가하였고, 배터리 소모를 줄이기 위해 충격이벤트가 발생되거나, 기준온도 이상 측정이 될 경우에만 데이터 전송을 실행하도록 설계하였다. 충전 상태에서는 태양광 없이도 10일 이상 이벤트 동작이 가능하다.

Fig. 7은 정전대비 충전BAT 테스트와 AC전원 테스트를 나타낸다. 그리고 Fig. 8은 충전BAT를 사용한 내부 구조를 나타낸다. 산업용 플랜트 현장에 사용할 수 있도록 방폭 케이스(Exd IIC)와 방폭 안테나 몰드를 적용하였다.

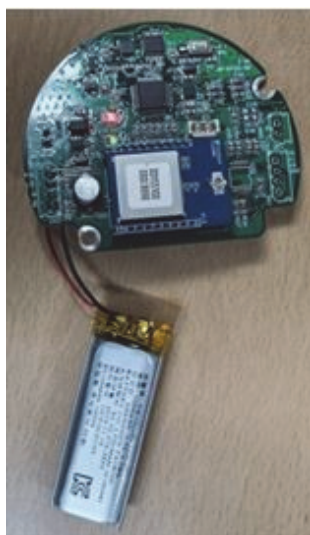


Fig. 8 Inside of charging circuit

### 5. 실험 결과 및 고찰

#### 5.1 실험방법

본 논문에서는 RTD온도 센서와 기울기, 가속도



Fig. 9 Vibration and temperature sensor criteria setting

센서의 데이터를 zigbee 무선 모듈을 이용하여 수신하였고, 알람 기준 값과 비교하여 경고 여부를 판단하도록 하였다. 그리고, 압력센서, 습도센서, 유량 센서와 같은 4~20mA 산업용 센서를 추가로 연결할 수 있도록 구성하였다.

Fig. 9는 온도 및 진동 신호의 경고 알람 여부 결정을 위한 기준 값 설정을 나타낸다. 기준 값은 센서의 종류와 설치 현장의 환경에 따라 다양하게 설정할 수 있다.

### 5.2 실험결과 및 고찰

Fig. 10과 같이 RTD온도 데이터와 기울기, 가속도 센서 값들을 Zigbee Mesh 통신을 통해 수신하여, 값 표시 및 Trend로 표시하였다. 3축 가속도와 기울기 데이터 변화를 이용하면, 폭발 위험이 있는 Plant와 같은 산업현장 내부에서의 물체 충격 또는 진동을 감지하는 모니터링을 수행할 수 있다.

Fig. 11은 센서 1의 현재 수신된 마지막 데이터인 3축 가속도(충격값, 진동값), 기울기, RTD 온도 값을 나타낸다. 그리고, Fig. 12는 최근 6개월간 측정된 데이터의 저장 및 조회의 기능을 추가한 것을 나타낸다. Excel CSV파일로 저장을 하

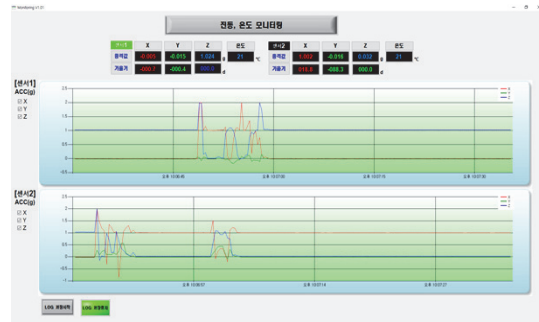


Fig. 10 Vibration and temperature monitoring

센서1	X	Y	Z	온도
충격값	-0.005	-0.015	1.024	21 °C
기울기	-000.7	-000.4	000.0	d

Fig. 11 Latest vibration & temperature data of sensor 1

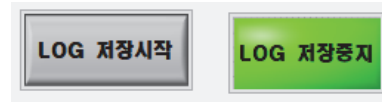


Fig. 12 Saving & inquiring of measurement data

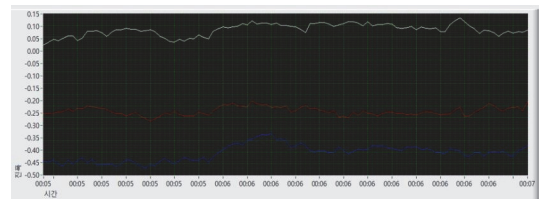


Fig. 13 Temperature data tracking

였고, 데이터 분석에 활용할 수 있다.

Fig. 13은 온도센서 1, 2, 3의 온도 Data 변화량을 Moving Average (1)식을 이용하여 일정시간 동안 평균하여 추적한 것을 나타낸다. 온도 값이 위험 기준치를 벗어나는 경우 알람신호를 보내게 된다.

$$Avg(N) = (N-1)/N * Avg(N-1) + (1/N) * new Value \quad (1)$$

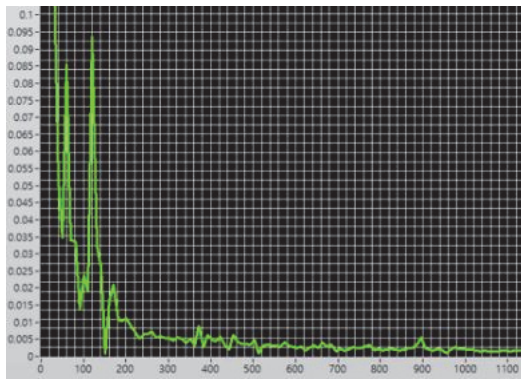


Fig. 14 Vibration detection (FFT)

Table 4. Performance of implementation device

ITEM	Specification
RTD(PT100) 온도 측정 정밀도	-40 ~ 120도 측정, ±1도
4-20mA 입력 분해능 및 정밀도	±10uA
동작온도	-20 ~ 85도
진동/충격감지 시간	10mS이내
리튬배터리 사용시간	60min 이상(정전대비)
데이터로깅 및 조회	6개월 분 저장/조회(Excel CSV)

Fig. 14는 3축 가속도(충격값, 진동값) 센서를 이용하여 진동검출을 나타낸 것이다. 입력되는 신호를 FFT변환을 하였다. 진동센서 Data 변화량이 급격하게 흔들리는 경우를 검출하여, 위험감지 알람신호를 보내게 되고, 현장 점검을 통하여 사고를 미연에 예방할 수 있다.

Table 4는 본 논문에서 구현한 장치의 성능을 요약한 것이다.

## 6. 결론

본 논문에서는 Zigbee Mesh 통신을 이용하여, 플랜트 산업현장과 같은 가스, 전기 폭발의 위험

지역에 활용이 가능한 방폭 케이스 적용 센서 디바이스를 설계, 구현하였다. 다양한 센서를 추가로 연결하여 통합 모니터링이 가능하며, 무선을 사용함으로써 배관, 케이블 포설 공사를 줄일 수 있고, 공사 기간 및 비용 또한 대폭 절감할 수 있는 장점이 있다. 그리고 취득한 데이터를 활용하여 안전 사고발생의 위험성을 현저히 줄일 수 있다. 향후 수집된 센서 데이터 분석을 향상시킨다면 무선 감시시스템으로서 큰 역할을 할 것이라 기대된다.

## 참고문헌

- [1] "방폭전기기의 설계, 선정 및 설치에 관한 기준", 가스기술기준위원회, pp.10-12, (2022).
- [2] Jae-woo Park, Dong-jun Yeom, "Conceptual Design for Underground Hydrogen Pipeline Monitoring System: Case Study on Fiber Optic Sensing", Journal of The Korean Society of Industry Convergence, Vol. 25, No. 04, pp. 673-686, (2022).
- [3] Boris Mihajlov, "Overview and Analysis of the Performances of ZigBee based Wireless Sensor Networks," International Journal of Computer Applications, vol 29, no.12, pp.28-35, September (2011).
- [4] Park Y. J, "Remote Temperature Control System using a Zigbee Communication," Journal of Digital Convergence 2016, April, vol. 14, No. 4, pp.259-265, (2016).
- [5] La-Kyoung Weon, "Design and Implementation of Remote Monitoring System for Underground Low Voltage Handhole Using Zigbee Communication", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 18, No. 3, pp. 58-67, (2019).
- [6] Kyu-Hyun Sim, In-Chul Park, Beongku An, Chanyong Kim, Jungsoo Lim, "A Mesh Routing Protocol based on Zigbee Sensor Networks to Monitor Solar Plant System", Proceedings of

- the IEEK Conference, Vol. 37, No. 2, pp. 779-780, (2014).
- [7] Dae-Seok Kim, Kyung-ho Lee, Jung-Min Lee, "Implementation of a Vessel USN for Safety Monitoring System Based on ZigBee", Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 19, No. 02, pp. 169-181, (2014).
- [8] Chang-woo Han, Won-sik Choi, "Automatic Automobile Control System with Multi-Sensor", Journal of The Korean Society of Industry Convergence, Vol. 04, No. 03, pp. 339-347, (2001).
- [9] Won-Kyung Kim, Byeong-Hyo Cho, Youngki Hong, Won-Sik Choi, Kyoung-Chul Kim, "Study on Establishment of the Greenhouse Environment Monitoring System for Crop Growth Monitoring", Journal of The Korean Society of Industry Convergence, Vol. 25, No. 03, pp. 349-356, (2022).
- [10] Chang-Dae Koo, "A Study for Automatic Temperature Control of the Heating-Cooling System with Heat Pump", Journal of The Korean Society of Industry Convergence, Vol. 14, No. 04, pp. 143-149, (2011).

---

(접수: 2023.08.30. 수정: 2023.09.08. 게재확정: 2023.09.18.)