

# 저전력 무선통신 기반 대기오염 측정시스템

강정기\* · 이봉환\*\*

## A Low Power Wireless Communication-based Air Pollutants Measuring System

Jeong Gee Kang\* · Bong Hwan Lee\*\*

### Abstract

Recently interest for air pollution is gradually increasing. However, according to the environmental assessment of air quality, the level of air pollution in the nation is quite serious, and air pollutants measuring facilities are also not enough. In this paper, a secure air pollutants sensor system based low power wireless communication is designed and implemented. The proposed system is composed of three parts: air pollutants measuring sensors module, LoRa-based data transmission module, and monitoring module. In the air pollutants measuring module, the MSP430 board with six big air pollutants measuring sensors are used. The air pollutants sensing data is transmitted to the control server in the monitoring system using LoRa transmission module. The received sensing data is stored in the database of the monitoring system, and visualized in real-time on the map of the sensor locations. The implemented air pollutant sensor system can be used for measuring the level of air quality conveniently in our daily lives.

Keywords : LoRa, Air Pollution, MSP430, AES, Monitoring Center

Received : 2021. 03. 22.    Revised : 2021. 12. 03.    Final Acceptance : 2021. 12. 23.

\* First Author, Researcher, R&D Group, Igloo Security Inc, Daejeon 34014, Korea e-mail: jeonggi.kang@igloosec.com

\*\* Corresponding Author, Professor, Daejeon University, Department of Information and Communications Engineering, Daejeon 34520, Korea  
Tel : +82-42-280-2553, e-mail: blee@dju.kr

## 1. 서 론

최근 대기오염에 대한 관심이 점차 높아지고 있으나 이를 측정하기 위한 대기오염 측정시설은 매우 부족한 실정이다. 대부분의 대기오염 측정시설이 대도시 위주로 설치되어 있으며, 실제로 대기오염 물질을 많이 배출하는 지방의 공업단지에 대한 관리 또한 소홀한 편이다. 미국 예일대와 컬럼비아대 공동연구진이 발표한 'EPI (환경성과지수) 2016'에서 우리나라의 대기질 수준이 전 세계 180개국 중 173위로 최악의 수준인 것을 고려하면 측정시설이 더 많이 요구되는 것이 현실이다. 또한, 대기오염은 국내뿐만 아니라 국외의 영향도 커지고 있는데 환경부 소속 국립환경과학원이 발표한 미세먼지 고농도 발생 원인을 살펴보면 가장 큰 원인은 황사로 지목되었다. 국립환경과학원의 대기질 모델 기법을 사용해 국내의 초미세먼지를 분석한 결과를 보면 전국을 기준으로 미세먼지에 끼치는 국외 영향은 51~66%로 나타났다. 즉, 황사의 영향으로 미세먼지 농도가 급격히 증가한 것으로 판단된다. 국외의 영향으로도 대기오염이 점점 증가하는 것이다[Lee, 2019; Hang, 2015].

하지만 대기오염의 증가 외에도 문제가 하나 더 발생하게 되었는데 바로 대기오염 관련 법 위반 사례의 증가이다. 2018년 경기도에서 미세먼지 발생 농도가 높은 평택 일대의 대기오염 배출 점검을 실시하였고 460곳 중 위반업체 80곳을 적발했다. 불법 유형은 대기오염 방지시설 훼손 방치가 34건 발생했고, 미신고 배출시설 운영이 17건, 비산 먼지 발생 억제시설 규정 위반이 7건, 대기오염 방지시설 비정상 운영이 5건, 대기 배출 허용기준 초과 3건이 단속되었다. 이러한 단속 결과로 볼 때 대기오염 방지시설 훼손 및 방치가 가장 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 대기오염 측정소가 존재하더라도 훼손이 되거나 방치되는 경우가 많은 것으로 볼 수 있다[Gyeonggi-do, 2018].

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 IoT 기술을 이용하여 저전력 무선통신 기반의 데이터 보안을 제공하는 대기오염 측정 시스템을 설계하고 구현하였다.

## 2. 관련 연구

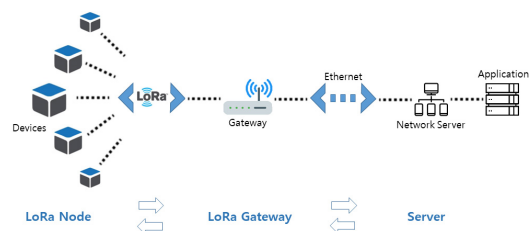
### 2.1 MSP430

IoT 기술이 보편화되면서 두 가지 주요 문제점이

제기되었는데 그중 하나가 전력소모 문제이다. 대부분의 IoT 장비들은 전력을 배터리에 의존하는 경향이 크다. 따라서 전력 소모가 많으면 주기적으로 배터리를 교체해야 하는데 이는 유지 보수가 힘들다는 것을 뜻한다. 아무리 유용한 장비가 있더라도 유지 보수가 어려운 경우 오랜 기간 운영하기가 힘들다. 이를 해결하기 위해 MSP430을 사용하였는데 MSP430은 Texas Instruments(TI)사의 16bit 마이크로프로세서로 C와 같은 고급 언어를 편리하게 사용할 수 있도록 설계되어 있으며, 페이지 처리 없이 모든 어드레스 영역을 인식할 수 있다. 또한, 자체적으로 저전력 모드로 설계되어 있어 소모되는 전력이 적고 가격 또한 저렴해 IoT 응용 개발에 적합한 보드이다. 본 논문에서 사용한 MSP430은 6시리즈로 MSP4304xx의 최신 버전으로 저전력 대기 모드로 동작이 가능하고 동작 모드 소요 시간이 5초 미만이다.

### 2.2 LoRa

LoRa[Noreen et al., 2017]는 IoT 환경에서 사물끼리 데이터를 주고받을 수 있게 도와주는 초저전력 장거리 통신(LPWA, Low Power Wide Area) 기술이다. 또한, LoRa는 주변에서 흔히 볼 수 있는 LTE, 블루투스 같은 타 통신 방식과 비교했을 때, 저전력으로 장거리 통신이 가능해 사물인터넷(IoT) 전용망으로도 불린다. 통신 범위는 최대 15km이고 초고속, 광대역 네트워크 장비를 필요로 하는 다른 통신망들과는 다르게 별도의 기지국을 설치하거나 중계 장비도 필요하지 않다. 기기를 통해 데이터를 주고받을 때도 현재 사용 중인 LTE에 비해 비용이 적게 들며, 높은 확장성을 가지고 있다. 또한, LoRa는 이동성이 좋고 보안적인 요소를 갖춘 통신 서비스가 가능하며, 128비트 암호화 방식을 지원한다. 적은 배터리 소모로 인해 최대 10년 이상 지속적인 운영이 가능하다.



〈Figure 1〉 LoRa WAN System Architecture



록 설계도를 나타낸 것이다.

### 3.2 저전력 모드 지원을 위한 Sleep, DeepSleep, Hibernate 모드

저전력 시스템을 구현하기 위해서는 MCU 클럭에 따라 소비되는 전류의 양이 일정해도 다음과 같은 소프트웨어적인 방법으로 저전력 모드를 컨트롤 할 수 있다 [Park and Kim, 2017]. 먼저 평상시에는 전력 소모를 줄이기 위해 sleep 모드에 있다가 외부 인터럽트가 발생하여 UART를 통해 시리얼 인터페이스로부터 데이터를 받을 때마다 sleep 모드에서 벗어나는 알고리즘을 구현하였다. 이때 내부 타이머를 이용하여 주기적으로 깨워 작업을 수행한 뒤 다시 sleep 모드로 진입하는 것이 필요한데 이를 위해 watchdog timer를 이용하였다. 저전력 모드를 위한 하드웨어적인 방법으로는 불필요한 소자를 ON/OFF 하는 방식을 사용하는데 센서 장치에서 전력 소비가 높은 각 센서들의 연결부에 하드웨어적으로 스위치를 구현하여 sleep 모드 기간 동안 전원을 차단하도록 설계하여 전력 소모를 줄였다. <Figure 3>은 저전력 모드를 위한 스위치 설계도이다.

### 3.3 oneM2M 공통 플랫폼과 연동 인터페이스

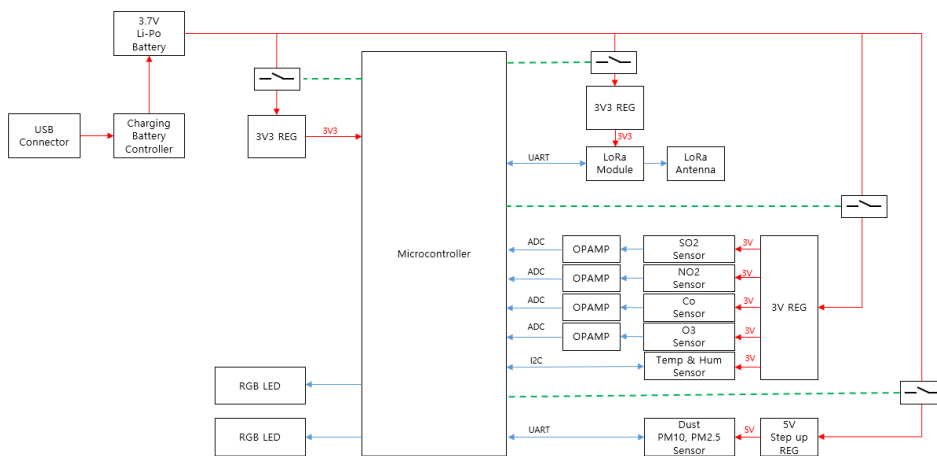
모니터링 시스템과 공통 플랫폼 간의 연동을 위해 oneM2M 모델을 참조하여 자원 아키텍처 모델을 설계하였다. 모니터링 시스템은 oneM2M 아키텍처 모델에서

어플리케이션 서비스 노드(ASN, Application Service Node)로 정의되며, 공동 플랫폼은 인프라스트럭처 노드(IN, Infrastructure Node)로 정의된다. 모니터링 시스템과 공통 플랫폼 간의 연동 인터페이스는 oneM2M에서 Mcc 참조 포인트로 규정하고 있고 Mcc 참조 포인트는 통합관리 시스템의 공통 서비스 엔티티(CSE, Common Service Entity)와 공동 플랫폼의 CSE를 연결하는 인터페이스를 의미하며, 해당 인터페이스를 통해 연동 작업을 수행한다.

### 3.4 UART 통신을 위한 환경 설정

QCom이나 Putty를 이용하면 RF 통신 모듈인 PLM100의 기본 설정을 확인할 수 있는데 우선 시리얼 포트로 연결한 후에 UART 통신을 위한 환경 설정을 한다. 포트 설정을 위해 보율(baud rate)은 115,200baud, 데이터 비트는 8bit, 패리티 비트는 없음, 정지 비트 1bit로 설정하고 흐름 제어는 사용하지 않는다.

PLM100에서 상대방에게 데이터를 전송하기 위해서는 두 가지 방법이 있는데 우선 상대의 EUI (Extended Unique Identifier)를 설정하고 데이터를 전송하는 방법과 데이터를 전송할 때마다 상대의 EUI를 입력하는 방식이 있다. EUI 설정은 DEST 명령을 이용하여 설정할 수 있으며, 설정된 EUI는 플래시에 저장되어 리부팅 후에도 그대로 적용된다.



<Figure 3> Switch Design for Low Power Mode

### 3.5 관제 서버 구성을 위한 데이터 파싱

대기오염 측정 센서 모듈을 통해 측정된 값을 데이터베이스 테이블의 각 센서값 별로 정렬하기 위해서는 데이터 파싱 기술이 필요하다. 데이터 길이(LEN)와 페이로드(Payload) 구분자를 사용하여 미세먼지 두 종류와 각 센서에서 측정된 값을 8종류로 분류하여 나타낸다. 그다음 시퀀스는 센서값을 보낼 때마다 1씩 증가시켜 몇 번째로 받은 값인지 구분할 수 있게 해준다. NODE\_ID의 경우 데이터베이스에 센서 모듈별로 NODE 값을 다르게 부여해 웹을 구성할 때 측정값을 표현할 때 구분하기 위해 사용하였다. 실제 전송 시에는 각각의 데이터를 구분자로 구분하여 데이터베이스에 저장한다.

### 3.6 데이터베이스 전송을 위한 포트 설정

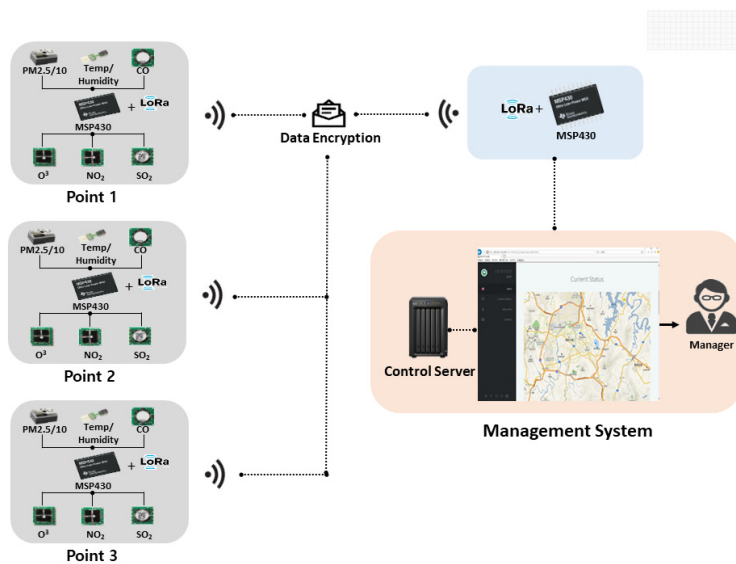
우선 센서를 통해 받은 값을 데이터베이스로 전송하기 위해 포트를 설정해주어야 한다. 데이터베이스에 값을 전송하는 방법은 시리얼 통신을 이용하여 LoRa 모듈을 통해 들어온 값을 데이터베이스에 저장하는 방식을 사용한다. 해당 포트로 들어온 데이터를 사용하기 위해서 장치 관리자에서 포트를 확인한 후 포트를 지정하고 환경 설정을 해준다. 또한, 센서 측정값을 저장하

기 위해서는 데이터베이스를 연동하는 과정도 필요하다. 대기오염 측정 센서 모듈을 통해 실시간으로 대기오염도를 측정한 뒤 이를 데이터베이스에 저장하고 웹을 통해 이를 분석할 수 있도록 하였다.

## 4. 대기오염 측정 시스템 구현 및 필드 테스트

### 4.1 실험 환경

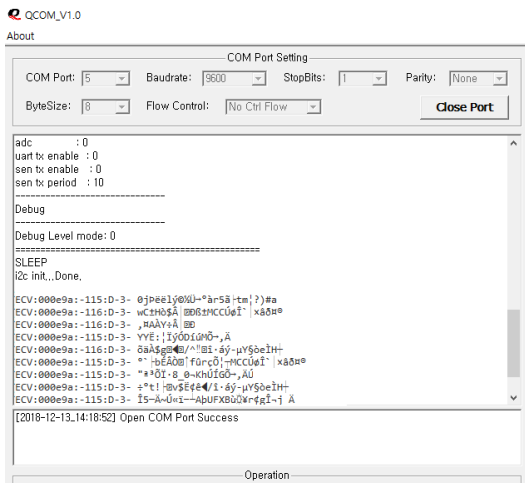
저전력 대기오염 측정 센서장치 시스템의 필드 테스트를 통하여 실제 대기 오염도를 측정하였다. 제안하는 저전력 무선통신 기반 대기오염 센서장치 시스템은 원격 센서장치에서의 데이터 측정, 데이터 암호화, LoRa를 이용한 센서 값의 데이터베이스로의 전송, 관제시스템 구현 등으로 구성된다. 실험을 위한 환경 구축을 위하여 6개의 대기오염 측정 센서를 탑재한 MSP430 보드 3개, 센서 장치와 모니터링 시스템 사이에 데이터 송수신을 담당하는 LoRa 모듈 각 1대, 그리고 측정 데이터를 수신하여 저장하고 이를 처리한 다음 시각화를 담당하는 관리 서버 1대가 사용되었다(〈Figure 4〉). 대기오염 측정 센서로는 미세먼지 센서(PM2.5, PM10), CO센서, O<sub>3</sub>센서, NO<sub>2</sub>센서, SO<sub>2</sub>센서 등 총 6 종류의 센서를 사용하였으며, 센싱 데이터는 암호화하여 관리시스템으로 전송되도록 구현하였다.



〈Figure 4〉 Configuration of Air Pollutants Sensor System

### 4.2 LoRa를 이용한 암호화 전송 테스트

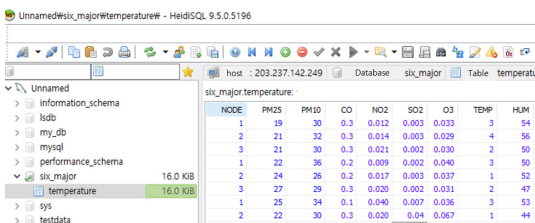
전송되는 데이터 값을 보호하기 위해서 암호화는 필수적인 과정이다. 센서 모듈을 통해 측정된 데이터 값을 암호화하여 LoRa 모듈로 전송하여 데이터 위조 및 변조를 방지하고 정해진 서버가 아닌 다른 서버로 데이터가 전송되었을 경우도 데이터 누출을 방지할 수 있다. <Figure 5>는 암호화된 측정값이 수신되는 모습을 나타낸 것이다.



<Figure 5> Encrypted Sensor Data Reception

### 4.3 데이터 값 전송 테스트

센서 모듈에서 전송된 값을 LoRa를 이용하여 수신한 뒤 데이터베이스로 전송한다. 데이터베이스에 전송하는 과정에서 복호화를 거치며, 테이블에 각 센서 별로 값을 적용하여 이를 관제센터를 만드는데 이용할 수 있다. 데이터베이스는 MySQL을 사용하였고 각 센서를 이용하여 측정된 값은 총 8개의 센서 데이터로 구분되어 데이

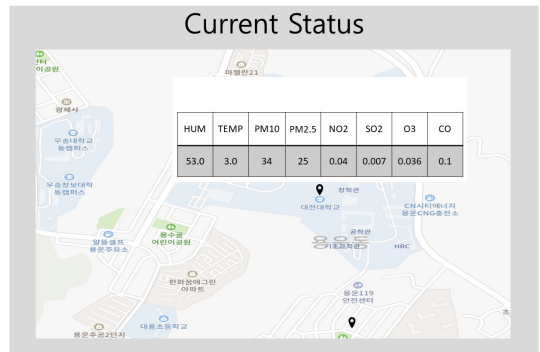


<Figure 6> Sensing Data Records in Database

터베이스 필드 내에 저장된다[Oracle Corporation, 2019]. <Figure 6>은 HeidiSQL을 이용하여 데이터베이스에 저장된 테이블 내의 측정값을 나타낸 것이다.

### 4.4 관제센터 구성

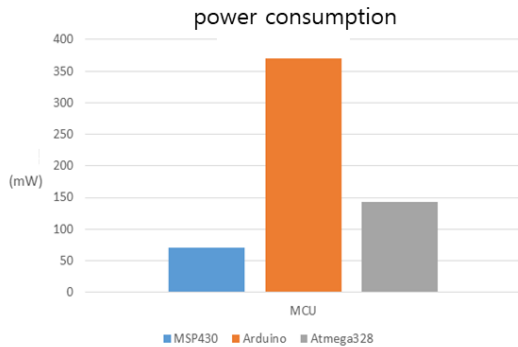
대기 오염도를 분석하기 위해서 웹을 이용한 관제 서버를 구현하였다[The Apache Software Foundation, 2019]. 대기오염에 대한 관심이 증가함에 따라 대기오염 농도를 효과적으로 나타내기 위해 측정된 값을 시각화하는 것이 필요하다. 관제센터 앱은 지도 상에 현재 센서가 위치한 지점을 표시하고 관리자가 마우스를 센서 장치로 이동시키면 해당 지점의 대기 오염 정보가 화면상에 나타나게 하였다(<Figure 7>). 본 실험에서는 연구실 내에 한 곳, 그리고 연구실 외부 지역 두 곳 등 총 세 곳에 대기오염 측정 모듈을 위치하여 센서 장치의 동작을 테스트하였다.



<Figure 7> Sensing Data Representation

### 4.5 전력 소모 비교

본 실험에서 사용한 센서장치 보드와 기타 모듈과의 전력 소모를 비교하기 위해 사용한 MSP430과 일반적으로 자주 사용하는 arduino 및 atmega328을 사용한 경우 전력 소모량을 측정하였다. 각 보드 별로 동일한 센서와 통신을 사용하였고 각 MCU 별로 10시간 동안 전력 소모를 측정하여 1시간당 평균 전력 소모 값을 비교하였다. 그림 8에 나타낸 바와 같이 MSP430 MCU에서의 시간당 전력 소모는 평균 70mW로 Arduino나 Atmega328에 비해 평균 전력 소모가 적음을 알 수 있다.



(Figure 8) Comparison of Power Consumption for 3 devices

## 5. 결 론

전 세계적으로 대기오염에 대한 관심이 증가하고 있으며, 대기오염은 갈수록 심해져 대기오염에 대한 피해도 증가하고 있다. 그러나 대기오염을 측정하는 시설은 아직도 많이 부족한 것이 현실이다. 매년 대기오염 측정소를 신설하고 있으나 대부분 대도시에 집중되어있으며, 실제로 대기오염 물질을 많이 배출하는 지방 공업단지 대한 대기오염도 분석은 잘 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 MSP430 보드와 LoRa 통신 방식을 이용한 저전력 무선통신 기반 대기오염 측정 시스템을 구현하였다. 지방 자치단체나 기업 내부에서 시행하는 대기오염 측정소는 많은 지역을 커버할 수 없는데 IoT를 기반으로 한 대기오염 측정소는 쉽게 설치 가능하고 구성이 간단하여 적은 비용으로 넓은 지역을 측정할 수 있다. 설치 후 관제 서버에 연동도 간단하고 저전력 장비이기 때문에 IoT 장비의 주 문제로 제기되는 전력 문제를 해결하여 적은 전력으로 장시간 유지가 가능하다. 또한, 대기오염 데이터 전송 시 정보 훼손을 막기 위해 암호화를 적용하였고 시각화를 통해 물리적인 훼손이 발생할 경우에도 대기오염 관리자가 모니터링하여 쉽게 재구성할 수 있다. 마지막으로 대기오염 정보를 데이터베이스에 저장하여 추후 이를 이용하여 대기오염의 내·외부 원인을 분석하여 대기오염을 줄이는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

## References

- [1] Abood, O. and Guirguis, S., "A Survey on Cryptography Algorithms", International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 8, No. 7, August 2018, pp. 495-516.
- [2] Gyeonggi-do, "Violations of Atmospheric Environment Health", <http://www.gg.go.kr>.
- [3] Hang, A., "Impact of Particulate Matter on Health", Journal of Korean Medical Association, Vol. 57, No. 9, September 2015, pp. 763-768.
- [4] Heron, S., "Advanced Encryption Standard (AES)", Network Security, Vol. 2009, December 2009, pp. 8-12.
- [5] Im, I., Huang, Y., and Yoo, J., "A Study on the Construction of Air Pollution Management System for the Prevention of Air Pollution Disaster", Journal of Korea Disaster Management Standard Society, Vol. 2, No. 1, 2009, pp. 65-74.
- [6] Kim, D., Lee, S., Park, J., Seong, D., and Yoo, J., "Differential AES Encryption Scheme for Wireless Sensor Networks", Journal of Korea Information Science Society, Vol. 38, No. 2D, 2011, pp. 282-285.
- [7] Kim, J. and Oh, Y., "LR-WPAN Security Algorithm with Public Key Method", Journal of Electronic Engineering Society, Vol. 43, No. 11, 2006, pp. 1315-1328.
- [8] Kim, S., Jeong, J., and Kang, C., "Development of IOT-based Air Quality Measurement and Analysis System", Journal of Korea Telecommunications Society, Vol. 42, No. 9, 2017, pp. 1750-1764.
- [9] Lee, J. H., Im, S. H., Kim, J. H., Song, H. Y., "Technology Trend for Particle Matter Reduction", ETRI Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 34, No. 2, April 2019, pp. 83-91.
- [10] Noreen, U., Bounceur, A., and Clavier, L., "A Study of LoRa Low Power and Wide

- Area Network Technology”, Proceeding of the 2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), Fez, Morocco, May 2017.
- [11] Oracle Corporation, “MySQL Database Service”, <https://www.mysql.com/>.
- [12] Park, H. and Kim, Y., “Development and Operation Program of Low-cost Indoor Multi-air Measuring system”, Journal of Fusion Knowledge Society, Vol. 5, No. 2, 2017, pp. 17-22.
- [13] The Apache Software Foundation, “Apache Tomcat”, <http://tomcat.apache.org/>.



## ■ 저자소개



Jeong Gee Kang

Jeong Gee Kang is a researcher in the security research and development group of the Igloo Security Inc. He received his Master's degree in Information and Communications Engineering of Daejeon University. His research interests include network security, IoT, and software development.



Bong Hwan Lee

Bong Hwan Lee is a professor at the Department of Information and Communications Engineering of Daejeon University. He received his PhD degree in Electrical and Computer Engineering of Texas A&M University. His research interests include cloud computing, IoT, and network security.