

## LPWA 기반 산업현장의 무선 데이터 전송 시스템 개발

# Development of Wireless Data Transmission System for LPWA-based Industrial Sites

권혁<sup>1</sup> · 조경우<sup>2</sup> · 오창현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과

<sup>2</sup>한국기술교육대학교 전기전자통신공학과

Hyuk Kwon<sup>1</sup> · Kyoung-Woo Cho<sup>2</sup> · Chang-Heon Oh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education, Chungcheongnam-do 31253, Korea

<sup>2</sup>Department of Electrical, Electronic and communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Chungcheongnam-do 31253, Korea

### [요 약]

최근 장비에 부착된 센서들이 네트워크를 통해 실시간으로 현장 정보를 전송하고 처리하여 장비를 제어하는 과정을 자동으로 수행하는 IoT 환경에 대한 연구가 다방면으로 진행되고 있다. 이러한 시스템의 핵심은 데이터 송수신을 위한 네트워크가 필수적인 데 넓은 전송 거리를 가진 유선 네트워크가 우선 선택이 된다. 하지만 유선 네트워크의 경우 통신을 구성하기 위해 소모되는 시간과 비용이 무선 보다 높은 문제가 존재한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 LPWA와 BLE 통신을 이용한 LPWA 기반 산업현장의 무선 데이터 전송 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 BLE를 통해 장비로부터 데이터를 수집하고 LPWA를 이용하여 서버로 데이터를 전송하는 시스템이다. 실험결과 LPWA로 전송할 수 있는 최대 길이의 확산인자(Spreading Factor)는 8인 것을 확인하였으며, 최소 길이에 대한 Spreading Factor는 9인 것을 확인할 수 있었다.

### [Abstract]

Recently, there have been many studies on the IoT environment in which the sensors attached to the equipment automatically transmit and process the site information in real time through the network to control the equipment. The core of such a system is a network for data transmission and reception, and a wired network with wide transmission distance is a priority. However, in the case of a wired network, there is a problem that the time and cost consumed to configure the communication is higher than that of the wireless. In this paper, we propose LPWA - based wireless data transmission system using LPWA and BLE communication to solve this problem. The proposed system collects data from equipment through BLE and transmits data to the server using LPWA. Experimental results show that the spreading factor of maximum length of LPWA is 8, and the minimum length is 9.

**Key word** : Low power wide area, Industrial field, Wireless data transmission, Wireless network, Data protocol.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.1.37>



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.

Received 5 January 2018; Revised 19 January 2018  
Accepted (Publication) 6 February 2018 (28 February 2018)

\*Corresponding Author; Chang-Heon Oh

Tel: +82-41-560-1187

E-mail: [choh@koreatech.ac.kr](mailto:choh@koreatech.ac.kr)

## 1. 서론

Industry 4.0은 독일 산업 부흥 정책인 ‘High-Tech Strategy 2020 ActionPlan’의 일환으로 추진하는 전략 중 하나로, 자동차, 기계 등 제조업에 ICT를 접목하는 모든 생산 공정, 조달 및 물류, 서비스까지 통합적으로 관리하는 스마트 팩토리(smart factory) 구축을 목표로 한다. 이러한 Industry 4.0의 개념은 국내에서 산업혁신 3.0 정책이 입안되면서 2020년까지 소프트웨어, 정밀 기계 분야와 인터넷을 기반으로 하는 모든 제조업과 서비스 분야에서 사용 될 것이다[1]-[3].

공장생산관리 서비스에서도 이러한 방향에 맞추어 현장에 다양한 장비에 부착된 센서들이 네트워크를 통해 실시간으로 현장 정보를 서버로 전송하고 서버에서 처리하여 명령을 다시 장비로 전송하는 과정이 자동으로 진행되는 IoT 환경으로 진화하고 있다.

이러한 환경의 공장생산관리 서비스를 적용시키기 위해서는 공장에 네트워크를 설치해야 하고 유지해야 한다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 것은 유선통신을 이용한 네트워크로 통신 거리 및 데이터 용량에 제한이 없으며, 신뢰성이 높은 장점이 존재한다. 하지만 유선 통신을 이용한 네트워크 연결은 장비에 들어가는 선을 더욱 많이 하여 장비의 이동을 힘들게 하며, 장비를 제조하여 판매하는 회사에서는 이러한 네트워크 연결을 위해 새로 판매되는 제품마다 네트워크 환경을 꾸미는 행위를 추가로 해야 하며, 공장의 범위가 넓고 장비의 수가 많을 경우 인터넷 선 연결이 어려워 장비의 빠른 생산 가동이 어려운 문제가 존재한다[4].

이러한 문제를 해결하기 위해 유선을 무선으로 교체하는 다양한 연구가 이루어져있으며, 시중에도 2.4 GHz 대역의 무선 통신을 이용한 무선 데이터 전송 시스템이 판매되고 있다. 이러한 무선 통신 시스템의 경우 유선보다 설치가 간단하여 네트워크 구성이 간단하고 장비의 이동성이 높아지는 장점이 존재하지만 현재의 무선 통신 기술의 한계로 인해 다수의 기지국을 설치해야 하며, 100 m 가 넘어가는 공장에서는 기지국에서 데이터를 서버로 전송하기 위해 여러 개의 유선을 사용해야 하는 문제가 존재한다[5]-[7].

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 저 전력 광역 통신(LPWA; low power wide area)을 이용하여 무선 네트워크를 구축하고 데이터를 서버로 전송하는 시스템을 제안한다.

제안하는 시스템은 LPWA를 이용하여 데이터를 장비로부터 서버로 전송하는 시스템으로 LPWA의 단점인 협대역 전송의 단점을 보완하기 위해 BLE(blueetooth low energy)를 이용하여 32 byte의 데이터를 장비로 수신하여 8개의 장비의 데이터를 모아 256 byte의 데이터를 서버로 전송하는 시스템으로 LPWA 1개가 8개 장비의 데이터를 얻은 다음 전송 할 수 있어 LPWA의 대역폭의 효율을 극대화 하고 네트워크 구성을 간소화 할 수 있다.

본 논문의 구성은 2장에서는 제안 무선 전송 시스템이 적용

되는 전체 시스템의 구조를 설계하였으며, 3장에서는 설계한 전체 시스템에서 무선 전송 시스템의 동작을 위한 구현 내용을 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 설계한 무선 데이터 전송 시스템의 실험을 통해 결과를 도출하였으며, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

## II. LPWA 기반 산업 현장 시스템 설계

그림 1은 IoT의 각 계층들에 대한 아키텍처와 산업현장의 서비스 계층의 구조이다. 통상적인 IoT 환경의 계층구조는 그림 1과 같이 엣지 기술 층, 액세스 게이트웨이 층, 인터넷 층, 미들웨어 층, 어플리케이션 층으로 나누어지며, 산업 현장의 서비스 계층구조 역시 IoT의 아키텍처와 비슷한 형태로 구분되는 것을 알 수 있다[8].

### - Edge Technology Layer

하드웨어 계층으로 정보를 수집, 처리 및 통신을 지원하는 등의 여러 가지 기능을 수행

### - Access Gateway Layer

디바이스의 다양한 통신방식을 지원하고 상위 계층에 수집한 정보를 전달하는 기능을 수행

### - Middleware Layer

여러 종류의 센서로부터 데이터 수집 및 필터링 등의 기능을 수행, 어플리케이션 계층의 필요한 정보를 선별하여 전달하고, 디바이스 접속을 제어하는 기능을 수행

### - Application Layer

미들웨어 계층으로부터 수집한 정보를 IoT 시스템의 다른 사용자나 다른 시스템에 제공하는 역할을 수행

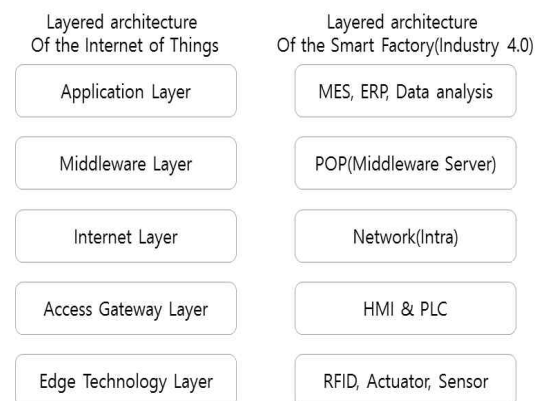


그림 1. IoT 계층 아키텍처와 산업현장의 서비스 계층 아키텍처와의 비교

Fig. 1. Comparison of IoT layer architecture with industrial field service layer architecture.

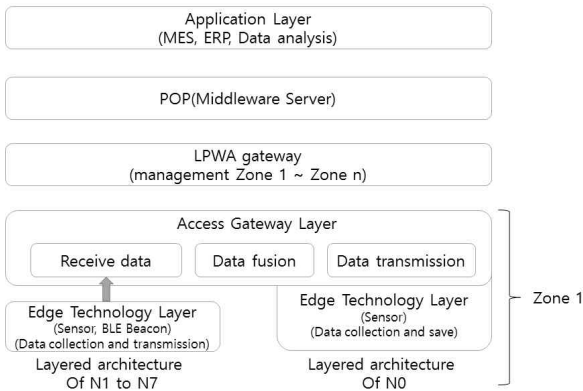


그림 2. LPWA 기반 무선 데이터 전송 시스템 구조  
**Fig. 2.** LPWA-based wireless data transmission system structure.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 LPWA 기반 무선 데이터 전송 시스템의 구조이다. 각각의 장비는 기존의 시스템과 비슷하게 엣지 기술 층에서 센서를 이용하여 데이터를 수집하고 무선 통신 장치를 이용하여 데이터를 전송하지만 하나의 장비에서는 자신의 데이터를 수집하고 저장한 뒤 다른 장비에서 수집한 데이터들을 모아서 전송하는 역할을 수행하게 된다.

이러한 역할을 수행하는 장비들 8개를 모아 하나의 존으로 구성한 후 실제 LPWA 게이트웨이는 각 존들을 관리하게 된다. LPWA 게이트웨이로 수신된 데이터들은 미들웨어 서버로 전송되며, 미들웨어 서버는 여러 종류의 수신된 센서 데이터를 저장, 필터링, 정제 및 정형화 등의 기능을 수행하고 어플리케이션 계층에서 필요한 정보를 선별하여 전달하게 된다.

III. LPWA 기반 무선 데이터 전송 시스템 설계

본 논문에서 제안하는 LPWA 기반 무선 데이터 전송 시스템에서 다수의 장비로부터 데이터를 수집하는 역할은 BLE를 통해 수행하게 된다. BLE 기술은 기존의 Classic Bluetooth 기술인 BR(basic rate), EDR(enhanced data rate), 2.0+EDR, 3.0HS(high speed) 등과 비교하여 상대적으로 저속 전송 속도로 동작하며 버튼 셀 배터리를 채용할 경우 1년 이상 동작이 가능할 정도로 전력소모가 적고 저가격으로 생산이 가능하도록 설계되었다. 표 1은 Classic Bluetooth와 BLE의 주요 기술적 특징을 비교한 것이다. 기본적으로 기존의 Classic Bluetooth와 BLE는 동일한 2.4 GHz ISM 대역을 사용하고, FH(frequency hopping) GFSK(gaussian frequency shift keying) 변조 방식을 사용한다. 그러나 변조 지수(modulation index) 측면에서 BLE는 0.5초로 Classic의 0.35보다 컸다. 이것은 전력 소비를 낮게 하고 동작 범위를 향상시킬 수 있게 하는 기술이다. 또한 기존 Classic에서는 1MHz 대역폭 79개 채널을 사용한 반면, BLE는 2 MHz 대역폭 40개 채널을 사용하는데, 이와 같이 상대적으로 대역폭을

넓히고 채널수를 줄임으로써 구현상에 정교함을 낮춰 저렴한 칩셋을 구현할 수 있게 된다[9].

특히 본 논문에서 제안하는 LPWA 기반 무선 데이터 전송 시스템의 데이터 수집은 BLE에 할당된 40개의 채널 중 광고(advertising)라고 부르는 3개의 채널을 이용하게 된다. 사용되는 채널은 다른 장치를 찾거나 연결을 원하는 다른 장치에 자신의 존재를 알리는데 사용되며, 다른 장치의 존재를 스캔하는데 0.6 ~ 1.2 ms가 소요된다.

데이터 수집 및 서버로 전송할 때 사용되는 통신은 LPWA를 사용하게 된다. LPWA는 900 MHz 대역의 비인가 주파수 대역을 사용하며, 900MHz 대역을 사용하기 위해서는 국내 규정에 맞도록 설계가 되어야 한다. 국내 규정에 의하면 917 MHz부터 923.5 MHz의 대역을 허가 없이 사용할 수 있다. 각 채널은 0.2 MHz의 간격을 가지고 있으며, 총 32개의 채널로 구성되어 있으며, 각 채널은 서로 다른 복사전력을 사용하게 된다. 표 2는 채널당 사용할 수 있는 복사전력을 정리하여 나타낸 것이다.

917 ~ 923.5 MHz 대역의 주파수를 0.2 MHz 간격으로 채널이 구분되며, 최소 3mW에서 최대 200mW를 사용할 수 있으나, 200mW는 실외 고정형 점대다점 무선기기에 한해서 사용할 수 있다. 표 3은 LPWA 주파수 후반부의 각 채널별 대역폭과 최대 출력 파워를 정리한 것이다. End-device에서 최대 출력으로 사용할 수 있는 최적의 주파수는 921.9 ~ 923.3 MHz이지만 현재 SK Telecom의 LoRaWAN의 전용 주파수로 같은 지역에서 사용할 경우 충돌이 발생할 확률이 높은 단점이 존재한다.

특히 산업현장의 데이터는 분실을 최소화해야 하는 특징으로 인해 921.9 ~ 923.3 MHz를 사용할 경우 주파수 충돌로 데이터 분실 및 오류가 발생할 수 있으므로 충돌을 최소화하는 10mW의 복사전력 채널을 이용할 것이다.

표 1. Classic Bluetooth 및 BLE의 사양 비교

Table 1. Comparison between classic bluetooth and BLE.

Technical Specification	Classic Bluetooth	Bluetooth Low Energy For end-device
Frequency Band	2400 to 2483.5 MHz	
Modulation	FH/GFSK	
Modulation Index	0.35	0.5
Number of Channels	79	40
Channel Bandwidth	1 MHz	2 MHz
Data Rate	1~3 Mbps	1 Mbps
Node/Active Slaves	7	Unlimited
Power	<30 mA	<15 mA
Topology	Scatter net	Star
Security	56 to 128 bit	128-bit AES
Voice	Capable	Not Capable

표 2. LPWA 채널 당 사용가능한 복사전력

Table 2. Available copy power per LPWA channel.

Channel	Copy power reference value
1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18	≤3 mW
2, 5, 8, 11, 14, 17, 19, 20 ~ 25	≤10 mW
26 ~32	≤25 mW
20 ~ 32 * Outdoor fixed point to multipoint (Only point to multipoint wireless devices)	≤200 mW

표 3. 한국의 LoRaWAN 주파수 밴드

Table 3. LoRaWAN frequency band of Korea.

Center Frequency	Bandwidth	Maximum EIRP output power(dBm)	
		For end-device	For gateway
920.9	125	10	23
921.1	125	10	23
921.3	125	10	23
921.5	125	10	23
921.7	125	10	23
921.9	125	10	23
922.1	125	14	23
922.3	125	14	23
922.5	125	14	23
922.7	125	14	23
922.9	125	14	23
923.1	125	14	23
923.3	125	14	23

그림 3은 데이터를 생성하는 모듈로 nordic사의 nRF52 DK 보드를 이용하여 데이터를 생성하였다. 그림 4는 생성된 데이터의 패킷이며, 1초마다 LPWA 기반 Access Gateway로 데이터를 전송하게 된다.

그림 5는 각 존에 배치 될 Access Gateway의 회로 및 사진이다. MCU와 BLE는 nordic사의 nRF52832 chip을 이용하였으며, LPWA 통신은 semtech사의 sx1276을 이용하였다.

수신 모듈은 BLE Scanning 모드를 이용하여 다수의 BLE Beacon 정보를 수신하며, 송신 모듈에서 전송하는 데이터 전송 패킷의 Module No.를 이용하여 자신이 받아야하는 정보와 걸러내야 하는 정보를 필터링 하게 된다. 걸러진 정보를 데이터 전송 버퍼에 삽입한 후 8개의 정보가 완성될 경우 데이터를 전송하게 된다.

그림 5는 서버와 연결된 LPWA 모듈로 semtech사의 sx1276 chip을 사용하는 STM32L152RE 모듈을 이용하였으며, 다수의 LPWA Access Gateway로부터 데이터를 전달받아 서버로 전송하는 역할을 수행하게 된다.

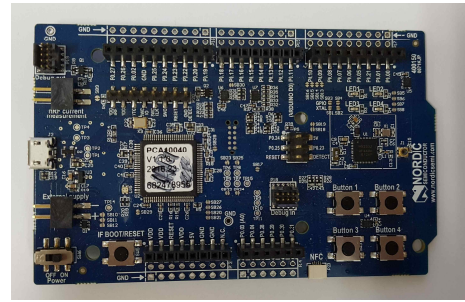


그림 3. 데이터 생성 및 BLE Beacon 전송 모듈  
Fig. 3. Data generation and BLE beacon transmission module.



그림 4. BLE 데이터 전송 패킷  
Fig. 4. BLE data transmission packet.

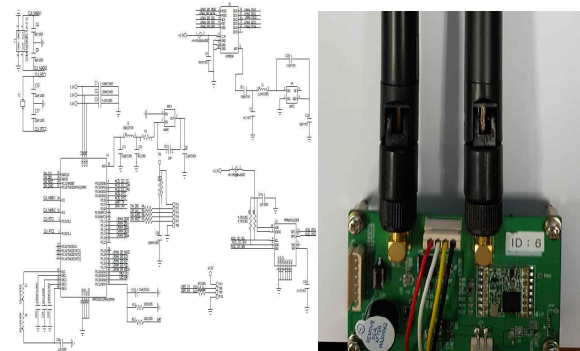


그림 5. LPWA 기반 Access Gateway 회로 및 사진  
Fig. 5. LPWA-based Access Gateway Circuits and Photos.

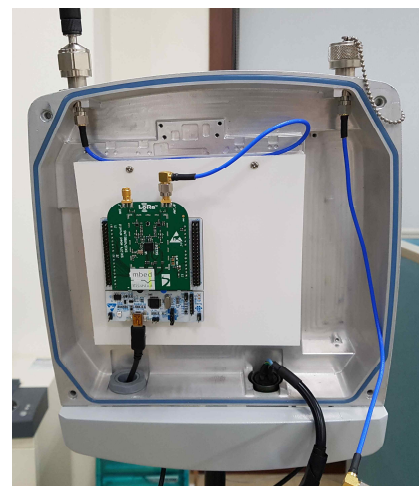


그림 6. LPWA 기반 Access Gateway 회로  
Fig. 6. LPWA-based wireless data transmission system circuit.

#### IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 시스템의 우수성을 검증하기 위해 BLE 데이터를 수집하고 LPWA로 전송하는 실험을 진행하였다. LPWA 기반 Access Gateway를 중심으로 2~30 m간격에 BLE 데이터 전송 모듈을 배치하였으며, 500 m 지점에 서버를 설치하여 실험 환경을 구축하였다. 그림 7은 실험 환경에 대한 배치를 나타낸 그림이다.

BLE 패킷은 최대 패킷으로 센서 데이터를 20 byte로 설정하여 데이터를 생성하였다. 그리고 LPWA 송신 출력은 10 mW로 설정하였으며, 주파수는 921.1 MHz, 대역폭은 125 KHz, 부호화율은 4/5, 확산인자는 7로 설정하였으며, 각 실험마다 수집 데이터 노드의 개수와 확산인자를 변화시키며 실험을 진행하였다.

그림 8은 노드 개수별 확산인자에 따른 Access Gateway까지의 데이터 전송 시간을 나타낸 것이다. 데이터 수집이 완료된 후 데이터를 전송하게 하였으며, 전송되었을 때와 수신되었을 때의 시간차이를 통해 전송시간을 출력하였다. 실험결과 노드 개수가 8개일 때는 확산인자가 8일 때 정상동작을 하였으며, 확산인자가 9일 때는 8개에 대해 지연이 발생한 것을 알 수 있으며, 확산인자가 증가될수록 데이터 지연이 심각한 것을 알 수 있다. 그림 9는 BLE패킷의 센서 데이터를 5Byte로 생성하여 실험한 결과이다.

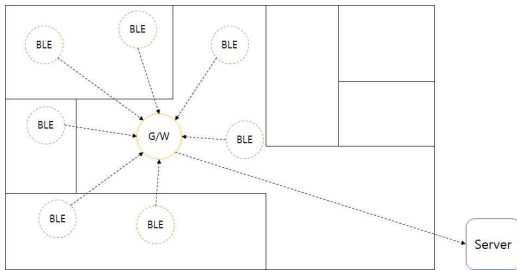


그림 7. LPWA 기반 무선 데이터 전송 시스템 실험 환경  
 Fig. 7. LPWA-based wireless data transmission system experimental environment.

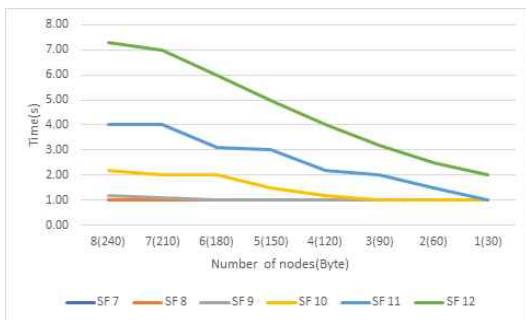


그림 8. 노드 개수별 서버까지의 데이터 전송 시간(최대)  
 Fig. 8. Data transmission time to server by number of nodes(max).

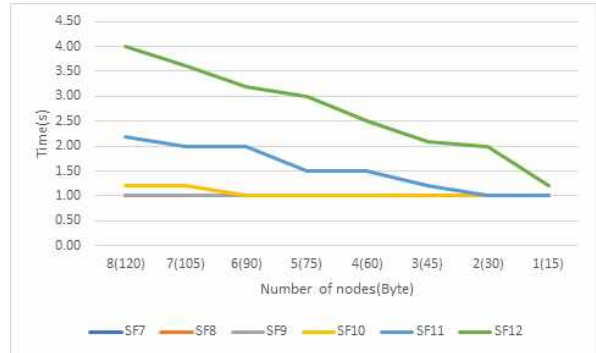


그림 9. 노드 개수별 서버까지의 데이터 전송 시간(최소)  
 Fig. 9. Data transmission time to server by number of nodes (min).

확산인자가 12일 때는 BLE 패킷이 최대일 경우와 최소일 경우 데이터가 생성되는 시간보다 전송시간이 오래 걸려 사용할 수 없음을 알 수 있으며, 데이터 개수가 적고, 관리하는 노드의 개수가 2개 이하일 때 확산인자가 11로 데이터를 전송할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 실험결과를 토대로 산업현장에서 사용할 수 있는 적정 확산인자는 7~9이며, 데이터 길이가 지속적으로 변하여 고려할 수 없는 경우 확산인자를 8로 적용하여 사용할 때 전송데이터 오류를 최소화 하여 사용할 수 있다.

또한 본 논문에서는 센서에서 초당 1회의 데이터를 수집하는 경우를 토대로 실험하였으나, 수집되는 시간이 1초 이상일 경우에도 LPWA를 기준으로 데이터가 전송되는 시간을 고려하여 확산인자를 설정하여 적용 가능하다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 공장생산관리 서비스를 적용시키기 위해 공장에 네트워크를 설치하고 유지하는 부분에서 장비의 이동성 및 빠른 생산 가동을 위해 유선 네트워크 통신 대신 무선으로 데이터를 전송할 수 있도록 저 전력 광역 통신을 이용하여 무선 네트워크를 구축하고 데이터를 서버로 전송하는 LPWA 기반 산업현장의 무선 데이터 전송 시스템을 제안하였다.

LPWA 기반 산업현장의 무선 데이터 전송 시스템은 각 장비로부터 BLE의 advertising 모드를 통해 전송되는 Beacon Packet에 장비에서 수집된 데이터를 실어 Access Gateway로 전송시키며, 전송된 Access Gateway에서 데이터를 취합하여 서버로 전송시키는 시스템으로 IoT의 각 계층에 대한 아키텍처와 산업현장의 서비스 계층구조를 토대로 시스템 구조를 설계하였으며, 각 해당 기능을 개발하여 구현하였다.

구현된 시스템의 성능을 검증하기 위해 수집된 데이터가 서버까지의 도달되는 실험을 진행하다. 실험결과 확산인자에 따라 통신에 걸리는 시간이 최소 1초에서부터 최대 약 8초 까지 소모가 되며, 수집되는 데이터의 길이에 따라 약 4초에서 8초까지의 시간이 소모되는 것을 확인하였다. 이를 토대로 각 장비에

서 데이터가 생성되는 시간과 길이를 토대로 적용할 수 있는 확산인자 기준을 설정할 수 있으며 전력 소모가 낮은 무선 통신 기술을 이용하여 산업현장에 적용할 수 있음을 확인하였다. 향후 개발된 시스템의 통신 거리에 따라 발생하는 데이터 오류율에 대한 실험과 다수의 채널에 의한 데이터 전송 시스템에 대한 연구를 진행할 것이다.

**References**

[1] S. K. Cha, J. Y. Yoon, J. K. Hong, H. G. Kang, and H. C. Cho, "The system architecture and standardization of production IT convergence for Smart Factory," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 17-24, 2015.

[2] S. Wang, J. Wan, D. Li, and C. Zhang, "Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 12, No. 1, 3159805, 2016.

[3] K. Henning, W. Wolfgang, and H. Johannes (2013, April), Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, *Industrie 4.0 Working Group* [Online]. Available: [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Material\\_fuer\\_Sonderseiten/Industrie\\_4.0/Final\\_report\\_Industrie\\_4.0\\_accessible.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf).

[4] J. Jang, and E. J. Kim, "Survey on Industrial Wireless

Network Technologies for Smart Factory," *Journal of Platform Technology*, Vol. 4, No. 1, pp. 3-10, 2016.

[5] C. Scheuermann, S. Verclas, and B. Bruegge, "Agile factory-an example of an industry 4.0 manufacturing process," in *Proceeding of the Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications (CPSNA), 2015 IEEE 3rd International Conference*, pp. 43-47, 2015.

[6] X. Li, D. Li, J. Wan, A. V. Vasilakos, C. F. Lai, and S. Wang, "A review of industrial wireless networks in the context of industry 4.0," *Wireless networks*, Vol. 23, No. 1, pp. 23-41, 2017.

[7] S. Park, and S. Lee, "A Study on worker's positional management and security reinforcement scheme in smart factory using industry 4.0-based bluetooth beacons," in *Proceeding of the International Conference on Computer Science and its Applications*, pp. 1059-1066, 2016.

[8] G. Kazi, and G. Tiwari, "IoT based interactive industrial home wireless system, energy management system and embedded data acquisition system to display on web page using GPRS, SMS & E-mail alert," in *Proceeding of the Energy Systems and Applications, 2015 International Conference on IEEE*, pp. 290-295, 2015.

[9] M. Andersson, *Use case possibilities with Bluetooth low energy in IoT applications*, White Paper, 2014.

[10] Ministry of Science, ICT and Future Planning, Rules on Radio Equipment(2017) [Internet]. Available: <http://www.msip.go.kr>.



**권혁 (Hyuk Kwon)**

2015년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 박사과정  
 2016년 10월 ~ 현재 : ADVANTEST 반도체 Package Tester  
 2003년 2월 : 호서대학교 전자공학과 공학석사  
 1987년 11월 ~ 2016년 7월 : 삼성전자 반도체 사업부 Test Engineer  
 ※관심분야 : ASIC 설계, 광통신, 무선 네트워크, LPWA



**조경우 (Kyoung-Woo Cho)**

2015년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 박사과정  
 2013년 3월 ~ 2015년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 공학석사  
 2013년 2월 : 공주대학교 전기전자제어공학부 전자공학·나노정보공학전공 전자공학트랙 공학사  
 ※관심분야 : LPWA, Industrial IoT, Wireless Sensor N/W, 실내위치측위



**오창헌 (Chang-Heon Oh)**

1999년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수  
 2006년 8월 ~ 2007년 7월 : 방문교수(University of Wisconsin-Madison)  
 1993년 10월 ~ 1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원  
 1990년 2월 ~ 1993년 8월 : 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원  
 1996년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 공학박사  
 1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학석사  
 1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 공학사  
 ※관심분야 : Wireless/mobile communication, Wireless localization, IoT, Engineering education