

# 산업용 IoT를 위한 초소형 스마트 디바이스의 개발

류대현\* · 최태완\*\*

## Development of the Compact Smart Device for Industrial IoT

Dae-Hyun Ryu\* · Tae-Wan Choi\*\*

### 요 약

스마트 팩토리나 산업용 IoT에서는 공장 내 모든 기기와 장비가 인터넷으로 연결되어 모니터링 됨으로써, 장비나 기기가 고장 나기 전에 예지보전을 통해 설비의 다운타임을 줄이고, 생산성과 가용성을 높일 수 있다. 공장내 주요 설비의 이상 상태는 온도의 이상 상승, 진동과 소음의 변화를 수반하여 나타나게 되므로, 좁은 공간에 쉽게 설치하여 설비의 진동상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 초소형 스마트 디바이스 개발은 매우 중요하다. 본 연구에서는 WiFi 기능이 있는 초소형 마이크로컨트롤러와 MEMS 가속도 센서를 이용하여 스마트 팩토리의 이상 고장 예지 및 건전성 관리를 위한 스마트 디바이스를 개발하고 그 성능을 분석하였다.

### ABSTRACT

In smart factories and industrial IoT, all facilities in a factory are monitored over the Internet, thereby facility can reduce the downtime and increase the availability by preventive maintenance before it breaks down. The abnormal conditions of the major facilities in the plant are caused by abnormal temperature rise, vibration, and variations in noise. Consequently, it is critical to develop a very small smart device that is easily installed in a small space to enable real-time monitoring of the vibration status of the facility. In this study, smart devices were developed for smart factory fault prediction and robustness management using ultra small micro-controllers with WiFi capabilities and MEMS acceleration sensors.

### 키워드

Acceleration Sensor, Preventive Maintenance, Smart Device, Smart Factory, WiFi  
가속도 센서, 예지 보전, 스마트 디바이스, 스마트 공장, 와이파이

## 1. 서 론

스마트 팩토리에서는 기획·설계, 생산, 유통·판매 등 전 과정에서 IoT·인공지능·빅데이터 등의 기술을 활용하여 효율적으로 고객맞춤형 제품 생산이 가능해야 한다. 스마트 팩토리의 생산단계에서는 제품을 비롯한 공장 내 다양한 설비 그리고 내부의 다양한 디

바이스(부품)를 산업용 IoT(Industrial Internet of Things)로 연결함으로써 품질, 상태 등의 데이터를 실시간으로 모니터링하고, 이를 빅데이터 및 인공지능을 활용하여 공정 혹은 설비, 부품에 피드백 함으로써 제조공정을 최적화한다. 이를 위하여 모든 설비와 디바이스가 인터넷으로 연결되어 모니터링 됨으로써, 장비나 기기가 고장 나기 전에 예지보전을 통해 설비의

\* 한세대학교 IT학부(dhyu@hansei.ac.kr)

\*\* 교신저자 : 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과

• 접수일 : 2018. 05. 15

• 수정완료일 : 2018. 06. 30

• 게재확정일 : 2018. 08. 15

• Received : May. 15, 2018, Revised : Jun. 30, 2018, Accepted : Aug. 15, 2018

• Corresponding Author : Tae-Wan Choi

Dept. of Mechatronics Eng., Gyeongnam Nat'l Univ. of Sci. & Tech.

Email : twchoi@gntech.ac.kr

다운타임을 줄이고, 생산성과 가용성을 높일 수 있게 된다[1-2].

일반적으로 공장 내 주요 설비의 이상 상태는 온도의 이상 상승, 진동과 소음의 변화를 수반하여 나타난다. 따라서 좁은 공간에 쉽게 설치하여, 설비의 진동 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 스마트 디바이스의 개발은 매우 중요하다<sup>1)</sup>. 본 연구팀에서는 산업체 전반의 주요 설비(가공기계, 검사설비, 회전기기 등)에서 자체결함으로 인한 이상 진동을 감지하여 어레이 LED로 표시하는 스마트 센싱 디바이스를 개발한 바 있다[3-5]. 본 연구에서는 WiFi 기능이 있는 Espressif Systems의 초소형 마이크로컨트롤러인 ESP8266과 MEMS 가속도 센서를 이용하여 스마트 팩토리의 이상 고장 예지 및 건전성 관리를 위한 스마트 디바이스의 개발하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련 기술 및 동향을 간단히 설명한다. 3장에서는 전체 시스템 개념과 구체적인 구현 내용을 기술하였다. 4장에서는 3장에서 시험환경을 구축하여 시험한 내용을 기술하고, 5장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1 IIoT 기반의 고장예지 및 건전성관리 기술

스마트 팩토리에서는 설비의 유지보수가 매우 중요하며 IIoT 기반의 고장예지 및 건전성관리 기술(PHM: Prognostics and Health Management)을 이용한 기반 정비(CBM: Condition-Based Maintenance)에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 고장예지 및 건전성관리 기술이란, 센서를 이용하여 장비나 기계시스템의 상태를 모니터링 하고 고장의 징후를 포착하는 진단기술(diagnostics)과 잔여 유효 수명(RUL: Remaining Useful Life)의 예측(prognostics) 및 효과적인 건전성관리 기술(health management)을 말한다. 고장진단의 경우 센서기술의 발전에 따라 산업현장에서 적용되고 있으나 성능저하가 이미 어느 정도 진행이 되어 충분한 상태변화가 발생할 경우에 감지되

는 것이 일반적이므로 효율성의 한계가 있다. 이를 보완하고자 현재 상태를 통해 기계장비나 시스템의 잔여유효수명을 예측하는 예지기술(prognostics)에 대한 연구가 이루어지고 있으며 수명을 추정하는 방법에 따라 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 데이터 기반 방법(data-driven approach)은 기계학습 기법을 이용하여 하중(input) 비 손상(damage)의 관계를 훈련시킨 뒤 미래 고장을 예측한다. 물리모델 기반 방법의 경우 적용상에 따라 물리적 모델이 달라지지만 보다 장기적인 손상의 거동에 의하여 비교적 정확한 예측이 가능하다. 이때 물리적 모델은 반드시 검증이 필요하며 그 방법에는 통계적 가설검정(hypothesis test)이나 베이저안 기법(bayesian method) 등의 통계적 방법을 이용한다[6].

PHM을 위한 데이터 취득을 위해서는 실제 산업설비의 특성을 분석하고 이상 상태를 감지하기 위한 최적의 센서 종류, 위치, 수량을 결정해야 한다. 일반적으로 산업 설비의 고장은 출력의 변화, 온도의 이상 상승 및 소음과 진동을 수반하여 나타나는데, 대부분의 경우 설비의 이상은 진동을 유발한다. 이러한 이상 진동은 설비가 완전히 중단되기 전부터 나타나기 때문에 설비의 진동 상태를 측정해서 설비를 분해하거나 중단시키지 않고 진단하는 것이 가능하다[7]. 본 연구에서는 MEMS 가속도센서를 사용하여 진동 데이터를 취득할 수 있도록 하였다.

### 2.2 오픈 소스 하드웨어

IoT가 제대로 가치를 만들기 위해서는 통신이 가능한 사물, 사물간의 통신을 연결해주는 통신 네트워크, 사물간의 통신으로 수집된 정보로 판단 및 제어를 해주는 서비스의 3가지 요소가 효과적으로 결합되어야 한다[8].

이 중에서 사물은 주변의 데이터를 수집할 수 있는 능력과 통신 기능을 갖고 있어야 하는데, 기존에는 이러한 정도의 기능을 가진 사물을 제조할 수 있는 것은 대기업의 영역으로 간주되었다. 그러나 최근에 라즈베리 파이나 아두이노와 같은 오픈 소스 하드웨어가 소개되면서 다양한 분야의 사람들이 손쉽게 자신의 아이디어를 사물로 실현화 할 수 있게 되었다.

오픈 소스 하드웨어는 디자인이 공개된 하드웨어로써, 누구나 하드웨어를 배우고, 수정하고, 배포하고,

1) K-ICT 스마트 디바이스 육성 방안, 미래창조과학부·산업통상자원부, 2015. 9. 22.

제조하고, 판매도 가능하다. 최근 각광받는 오픈 소스 하드웨어 보드는 아두이노, 저렴한 가격이지만 강력한 오픈 소스의 지원을 받고 있는 라즈베리 파이, 인텔 갈릴레오, 삼성전자 ATIK, Intel Edison, Espressif의 ESP8266 등이 있으며, 기타 Freescale, TI 등에서도 이들과 호환되는 보드를 공급하고 있다.

본 논문에서는 최근 IoT 등 다양한 분야에 활용도가 높은 ESP8266을 사용하여 스마트디바이스를 개발하였다. ESP8266은 중국의 에스프레시프 시스템 (Espressif System)에서 제작하여 판매하는 WiFi 통신 기능을 포함하고 있는 마이크로컨트롤러 또는 SoC(System on Chip)이다[9]. ESP8266은 2014년 첫 선을 보인 이후 불과 몇 년 사이에 WiFi 통신 모듈 시장을 평정한 것으로 평가받고 있다.

### III. 시스템 구성 및 구현

본 연구에서 개발한 산업용 IoT를 위한 초소형 스마트 디바이스를 적용한 시스템의 전체 개념도는 그림 1과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 초소형으로 구현하고 배터리와 WiFi 통신이 가능하도록 하여 다양한 스마트 팩토리 환경에서 좁은 공간에도 쉽게 설치될 수 있도록 하였다.

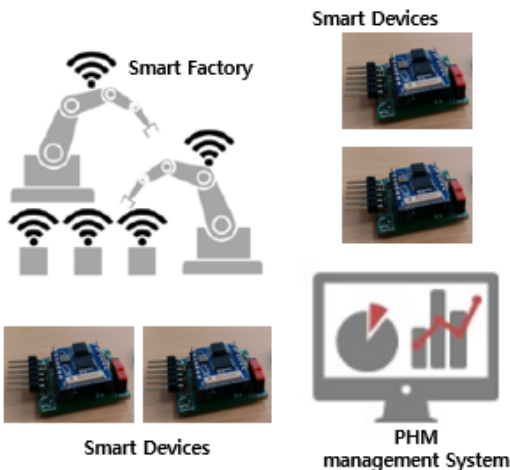
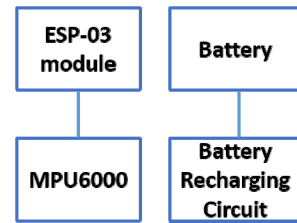


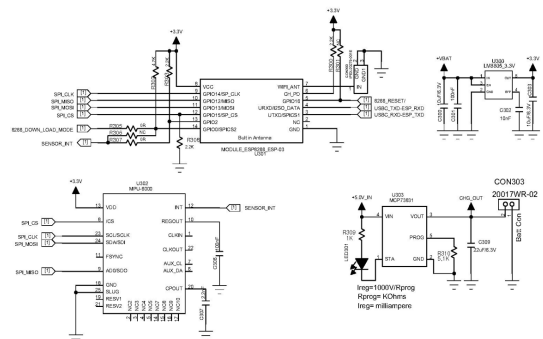
그림 1. 전체 시스템 개념도  
Fig. 1 Total system concept

디바이스의 전체 블록도 및 회로도도 그림 2에 나타내었다. 마이크로컨트롤러와 WiFi 통신을 담당하는 핵심 모듈은 ESP-03 모듈을 사용하였고 MEMS 가속도센서는 InvenSense사의 MPU6000을 사용하였다. ESP-03 모듈은 Espressif사의 ESP8266을 적용한 모듈로 32-bit RISC processor와 on-chip memory를 갖고 있다. 이 모듈은 802.11 b/g/n를 지원하고 on-board ceramic antenna를 포함하고 있으며 SDIO 1.1/2.0, SPI, UART 인터페이스와 다수의 GPIO를 지원한다. 또한 Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP를 지원하므로 본 연구에 적용하기에 적합하다고 판단된다.

MPU6000은 3축가속도와 3축자이로센서가 내장된 MEMS센서로  $\pm 2$ ,  $\pm 4$ ,  $\pm 8$ ,  $\pm 16g$ 까지 가속도 측정이 가능하다. 최근 드론 등의 제어에 많이 사용되는 MPU6050과 거의 동일하나 SPI 인터페이스가 지원된다. ESP-03 모듈과 MPU6000 간에는 SPI 방식으로 인터페이스 하였다. 실험 단계에서는 USB 케이블로 전원을 공급 받았으나 최종 단계에서는 리튬이온이나 리튬 폴리머 배터리로 동작하도록 배터리 충전 회로를 내장하였다.



(a) 전체 블록도

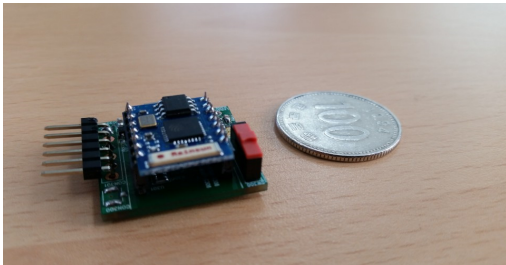


(b) 회로도

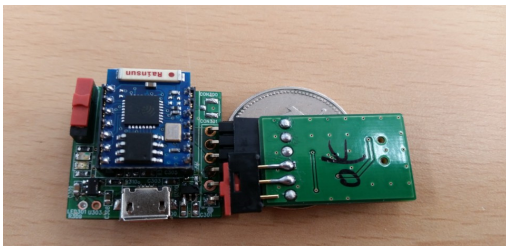
그림 2. 전체 블록도 및 회로도  
Fig. 2 The entire block diagram and circuit

그림 3은 실제 제작된 보드의 사진을 나타낸다. 전체 크기는 배터리를 포함하여 1 큐빅인치( $\text{inch}^3$ ) 이하로 하는 것을 목표로 하였다. 현재 실험 단계에서는 배터리는 적용하지 않았으며 그림(b)의 오른쪽 보드는 Serial to USB 간의 레벨 변환을 위한 보드이다.

MPU6000은 정전용량성 MEMS 센서로, 의료, 물류 및 보안 시스템 분야뿐만 아니라 모바일 폰 및 가전제품에서 기능을 강화하도록 저전력 응용 분야에 적용할 수 있도록 설계되었다. 1g에서 16g까지의 가속도 측정 범위를 가지며, 최대 3-축 센서로 사용 가능하고 초 저전력 소비 특성을 갖는다. 또한 24시간 이상 연속 측정 가능하도록 배터리를 선정하였으며, 배터리 충전 회로를 내장하였다.



(a)



(b)

그림 3. 제작된 보드의 (a) 외관 및 (b) 직렬-USB 변환 보드(오른쪽)

Fig. 3 Implemented board's (a) exterior and (b) Serial-to-USB converter(right)

3축(X, Y, Z) 가속도 값은 WiFi로 전송되어 PC에 그림 4와 같이 표시 되도록 하였다. 화면의 상단을 차지하고 있는 이 영역은 진동하고 있는 물체의 시간에 대한 가속도 그래프이다. 세 축은 각기 다른 색으로 구분하여 X축, Y축, Z축으로 진동하는 것을 표시할 수 있다. 가로축은 시간을 나타내며 단위는 [sec], 세로축은 가속도이며 단위는 [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]이나 연재 정확한

값으로 캘리브레이션이 되어 있지 않은 상태로 본 논문에서는 WiFi로 센싱 데이터 전송시의 전송성능 평가 위주로 연구하였다. 회전 기계의 진단시에는 진단하는 기계나 설비가 정상인지 비정상인지를 결정하기 위하여 진동의 전체 값을 측정한다. 기계나 설비가 정상이라고 판단될 경우 진동 주파수를 분석하고 분석 결과로부터 어느 부분에 어떤 결함이 발생했는지를 판단할 수 있다.

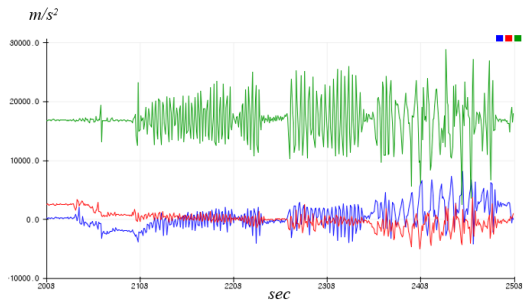


그림 4. UI  
Fig. 4 User interface

#### IV. 시험 및 평가

본 스마트 디바이스의 경우 WiFi로 데이터를 전송하게 되는데 이 때의 성능을 평가하기 위해 그림 5와 같이 시험 환경을 구축 하였다. ESP8266은 기본적으로 AP(Access Point) 기능도 지원하는데 AP 바운드 내에서만 로컬 통신이 가능한 소프트AP(softAP)로도 통신이 가능하다. 통신을 위한 라이브러리는 아두이노 IDE에서 WiFi 표준 라이브러리를 사용하였으며 WiFiServer 객체로 서버를 구현하고 WiFiClient 객체로 클라이언트를 구현하였다.

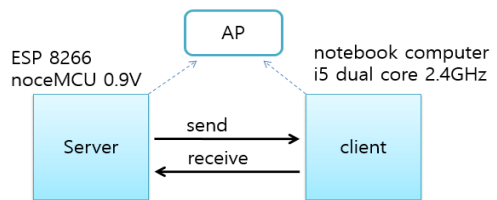


그림 5. 시험 환경  
Fig. 5 Test environment

시험결과는 그림 6에 나타내었으며 가로축은 반복 횟수이다. ESP8266은 송신과 수신에서 전송 속도의 큰 차이를 보였으며 데이터의 크기를 1KByte 전송할 때 송신 평균속도는 58.2ms와 수신 평균속도는 1.4ms로 송신 속도가 수신 속도에 비해 훨씬 느리다는 것을 확인 할 수 있었다.

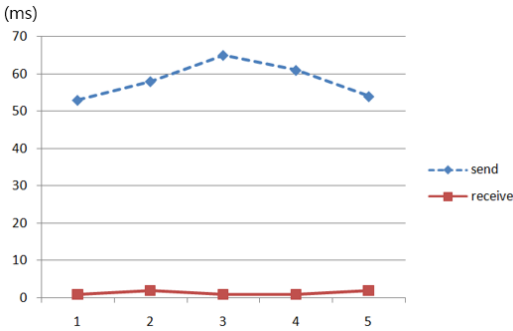


그림 6. 송수신 속도(1KByte)  
Fig. 6 Data transmission rate(1KByte)

100KByte의 데이터를 송수신할 때의 송신 평균속도를 그림 7에 나타내었다. 182.2ms이고 수신 평균속도는 254.4ms로 데이터 송신은 수신보다 1.4배정도 빨랐다. 1KByte를 송수신할 때보다 상대적으로 송신이 수신보다 빠라지는 이유는 ESP8266의 송수신 버퍼와 관련이 있으며 버퍼의 크기가 기본 1460Byte이므로 이 크기 이하인 1KByte의 수신은 TCP 스택의 데이터를 애플리케이션 레벨의 스택으로 복사하는 정도의 시간만 걸렸을 것으로 추정된다.

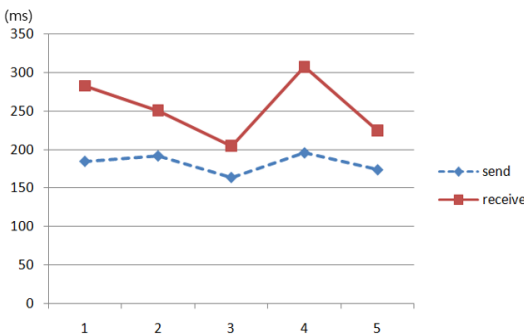


그림 7. 송수신 속도(100KByte)  
Fig. 7 Data transmission rate(100KByte)

## V. 결 론

스마트 팩토리나 산업용 IoT에서는 공장 내 모든 기기와 장비가 인터넷으로 연결되어 모니터링 됨으로써, 장비나 기기가 고장 나기 전에 예지보전을 통해 설비의 다운타임을 줄이고, 생산성과 가용성을 높일 수 있다. 공장 내 주요 설비의 이상 상태는 온도의 이상 상승, 진동과 소음의 변화를 수반하여 나타나게 되므로 좁은 공간에 쉽게 설치하여, 설비의 진동상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 초소형 스마트 디바이스 개발은 매우 중요하다.

본 연구에서는 WiFi 기능이 있는 초소형 마이크로 컨트롤러와 MEMS 가속도 센서를 이용하여 스마트 팩토리의 이상 고장 예지 및 건전성 관리를 위한 스마트 디바이스를 개발하였다. 또한 WiFi 환경에서 데이터를 전송 성능을 분석하여 실제 적용시 참고할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 개발한 초소형 스마트 센서 모듈은 다양한 센서들과 쉽게 인터페이스 할 수 있고 아두이노 개발 환경을 그대로 이용할 수 있다는 장점을 갖는다. 또한 WiFi를 지원하므로 아이폰이나 안드로이드를 기반으로 하는 스마트 디바이스들과도 쉽게 연동할 수 있을 뿐만 아니라 스마트 팩토리나 산업용 IoT 환경에서 활용도가 매우 클 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 논문은 2017년도 경남과학기술대학교 대학 회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] D. Bandyopadhyay and J. Sen, "Internet of things: applications and challenges in technology and standardization," *Wireless Personal Communications*, vol. 58, Issue 1, May 2011, pp. 49-69.
- [2] J. Park, "Technology and Issue on Embodiment of Smart Factory in Small-Medium Manufacturing Business," *The*

*Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 40, Issue 12, 2015, pp. 2491-2502.

- [3] D. Ryu, "Development of BLE Sensor Module based on Open Source for IoT Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, Mar. 2015, pp. 419-424.
- [4] D. Ryu and T. Choi, "Development of Open IoT platform based on Open Source Hardware & Cloud Service," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 5, Mar. 2016, pp. 485-490.
- [5] D. Ryu, T. Choi, "A Development of Smart Sensing Device for Monitoring Abnormal Vibration of Industrial Equipment," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 2, Feb. 2017, pp. 361-366.
- [6] H. Chao, B. Youn, P. Wang, and J. T. Yoon, "Ensemble of data-driven prognostic algorithms for robust prediction of remaining useful life," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 103, Jul. 2012, pp. 120-135.
- [7] W. Thomson and M. Dableh, *Theory of vibration with applications(5th Edition)*. Upper Saddle River, N.J., USA : Prentice Hall, 1998.
- [8] D. Ryu, "Development of IoT Gateway based on Open Source H/W," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, Sept. 2015, pp. 1066-1070.
- [9] InvenSense Inc., "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, Revision 3.4," *Datasheet*, InvenSense Inc., Sunnyvale, CA, USA, Aug. 2013.

## 저자 소개

### 류대현(Dae-Hyun Ryu)



1983년 부산대학교 전기기계공학과 졸업(공학사)

1985년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년 - 1998년 2월 전자통신연구원 선임연구원

1998년 3월 - 현재 한세대학교 IT 학부 교수

※ 관심분야 : IoT, M2M, 정보보호, 영상처리

### 최태완(Tae-Wan Choi)



1983년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1996년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

1984년 12월 - 1991년 2월 : (주)LG전자 디지털어플라이언스연구소 선임연구원

1997년 3월 - 현재 : 국립 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과 교수

※ 관심분야 : 신호처리, 정보통신, 영상처리, Computer Vision, IoT