

산업 설비의 이상 진동 감지를 위한 스마트 센싱 디바이스의 개발

류대현* · 최태완**

A Development of Smart Sensing Device for Monitoring Abnormal Vibration of Industrial Equipment

Dae-Hyun Ryu* · Tae-Wan Choi**

요 약

산업체 전반의 주요 설비에서 이상 상태는 온도의 이상 상승, 진동과 소음의 변화를 수반하여 나타나게 된다. 본 연구에서는 BLE 를 탑재한 스마트 센싱 모듈을 개발하고, MEMS 기반의 가속도 센서를 인터페이스하여, 설비의 자체결함으로 인한 이상진동을 감지할 수 있는 스마트 센싱 디바이스를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 스마트 센싱장치는 좁은 공간에 쉽게 설치하여, 설비의 진동상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있으며, 어레이 LED 디스플레이로 정상상태와 문제 발생상태를 간편하게 사용자에게 알려줄 수 있다.

ABSTRACT

The abnormal state of the main equipment across the industry is accompanied by abnormal rise of temperature, change in the vibration and noise. In this study, we developed a smart sensing module equipped with BLE, and developed a smart sensing device that can detect abnormal vibration due to its own flaws of the equipment by interfacing with an MEMS-based acceleration sensor. The smart sensing device developed in this study can be easily installed in a small space and can monitor the vibration status of the equipment in real time, and can easily inform the user of the steady state and the problem occurrence status with array LED display.

키워드

Industrial Equipment, Abnormal Vibration, Acceleration Sensor, Smart Device, Bluetooth
산업 설비, 이상 진동, 가속도 센서, 스마트 디바이스, 블루투스

1. 서 론

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 때문

에 설비의 진동 상태를 측정해서 설비를 분해하거나 중단시키지 않고 진단하는 것이 가능하다.

진동 측정기를 사용하여 설비를 관리하게 되면 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다. 첫째, 설비의 상태를 정확하게 진단할 수 있으므로 설비 및 부품을 수명이 다할 때까지 안심하고 사용할 수 있으며 유지 보수비

* 한세대학교 IT학부(dhryu@hansei.ac.kr)

** 교신저자 : 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과

• 접수일 : 2017. 02. 25

• 수정완료일 : 2017. 04. 13

• 게재확정일 : 2017. 04. 24

• Received : Feb. 25, 2017, Revised : Apr. 13, 2017, Accepted : Apr. 24, 2017

• Corresponding Author : Tae-Wan Choi

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

Email : twchoi@gntech.ac.kr

가 절감된다. 둘째, 설비가 운전되고 있는 중에 설비를 진단하게 되므로 설비의 정지 시간을 감소시켜 조업을 향상시킬 수 있다. 셋째, 설비의 상태를 정확하게 파악하게 되므로 보수 시기와 범위를 결정하는 일 및 재고 부품의 관리가 용이하게 되므로 유지보수의 효율성을 증대시킬 수 있다. 마지막으로 신설 공사 및 개수 공사에서 결함을 조기에 발견하여 초기 불량을 감소시킬 수 있다.

한편, 사물인터넷(IoT: Internet of Things)은 센싱 기술과 무선통신기술을 융합하고 인터넷을 통해 기기·기계·장비뿐 아니라 사람·자원·상품 등 모든 사물을 양방향으로 연결하고 관련 데이터의 상호 공유·활용을 실현하는 인프라를 제공할 수 있다. 이를 통하여 이전에는 상상하기 어려웠던 실시간 상태 파악과 실제 데이터에 기반한 최적화가 가능해지고 있다 [1-2]. ICT를 중심으로 모든 사람·사물·공간이 연결되는 사물인터넷 기반의 초연결 사회로 본격 진입함에 따라, 네트워크에 접속된 디바이스는 급격한 증가가 예상된다. 사물인터넷이라는 패러다임 대두로 디바이스 산업도 급성장할 전망이다. 정부에서도 스마트 디바이스 산업 육성을 통해 국가 전략산업 경쟁력 강화를 추진하고 있다. “사물인터넷 기본계획”(14.5.8, 정보통신전략위)과 디바이스 분야 실행 계획인 ‘차세대 스마트 디바이스 코리아 2020’을 통해 전략 발표하였고, ‘K-ICT 전략(15.3.25)’에서 창조경제 실현을 위한 9대 전략산업 중 하나로 스마트 디바이스를 선정하고 글로벌 스타기업을 육성 지원하겠다는 계획을 내놓고 있다. ‘제조혁신 3.0 전략 실행대책’(15.3.19)에서도 창조경제 대표 신산업으로 선정하여 핵심 기술개발 및 관련 지능형 소재·부품 개발을 추진하고 있다[3].

본 연구에서는 산업체 전반의 주요 설비(가공기계, 검사설비, 회전기기 등)에서 자체결함으로 인한 이상진동을 감지할 수 있는 스마트 센싱 디바이스를 개발하였다.

본 연구팀은 BLE(Bluetooth Low Energy)를 지원하는 초소형 아두이노 호환 모듈인 RFduino를 이용하여 범용 BLE 센서 모듈을 개발한 바 있다[4-5]. 본 연구에서는 이 BLE 모듈에 MEMS 기반의 가속도 센서를 인터페이스하여 산업체 전반의 주요 설비(가공기계, 검사설비, 회전기기 등)에서 자체결함으로 인한 이상진동을 감지할 수 있는 스마트 센싱장치를

개발하였다.

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

II. 관련 연구

2.1 스마트 디바이스

스마트 디바이스는 기존 PC, 스마트폰 등 단말기(디바이스)를 넘어, IoT 환경에서 정보통신서비스를 이용자간·사물간 전달하는 지능화된 단말을 포괄적으로 지칭한다. 통상 디바이스는 그 특징에 따라 1·2·3세대로 구분할 수 있는데, PC, 유선전화기 등 단순연결 위주의 1세대 디바이스, 스마트폰 등 서비스 위치 제약을 극복한 똑똑한 2세대 디바이스에서, 디바이스와 디바이스 또는 디바이스와 주변 환경이 상호연동하여 실감·지능·융합형 서비스를 제공하는 3세대 디바이스(스마트 디바이스)로 발전하고 있다.

디바이스 산업은 현재는 2세대 디바이스가 성숙기로 접어드는 한편, 3세대 디바이스는 부상하는 초기단계이며 약 4.7년 후 성숙기에 접어들 것으로 전망된다.

스마트 디바이스는 2세대 디바이스와 연동 범위 확장에 따라 웨어러블 디바이스, IoT(사물인터넷) 디바이스 등으로 진화하면서 센싱, 프로세싱, 통신 등의 기능을 바탕으로 헬스케어, 교통, 안전, 교육, 편의 등 다양한 분야에 확산 적용되고 있다. 스마트 디바이스는 기능이 다변화되고 고성능화됨에 따라 수많은 종류의 디바이스가 출현하여 개인의 삶과 사회를 지능화할 전망이다.

2.2 진동 분석

산업 설비의 이상 상태는 보통 온도의 이상 상승, 진동과 소음의 변화를 수반하여 나타나게 된다. 이 중 진동값은 ISO에 따른 규격을 가지고 있고 판정 기준이 되므로 이를 적용하여 효율적인 설비의 예방 보전을 할 수 있다.

진동을 유발하게 하는 가장 공통적인 원인 중 대표적인 것들로는 밸런스 불량에 의한 진동, 마찰에 의한

진동, 정렬 불량에 의한 진동, 자여 진동(自勵 振動), 비선형 진동(非線形 振動), 열특성(熱特性)에 의한 진동, 배관 또는 기초태(基礎台)에 의한 진동 등이 있다.

진동의 특성은 스프링에 매달린 추의 운동 상태를 시간축에 그리므로써 쉽게 이해할 수 있다. 추(錘, Weight)가 중심점에서 출발하여 상한점으로 올라갔다 가 중심점을 지나 하한점을 거쳐 다시 중심점으로 돌아오게 되는 것이 운동의 한 주기(周期) 싸이클이다. 이 싸이클이 1초당 몇 번 반복되었는가를 주파수라고 하며 Hz로 나타낸다.

진동의 측정 모드는 변위, 속도, 가속도가 있다. 변위는 진동체가 상한점으로부터 하한점까지 이동한 거리를 전진동변위(全振動變位)라고 하며 미터법에서는 마이크로로 표시한다. 진동에서 속도의 단위는 mm/sec 이며, 속도의 변화율, 진동 가속도는 일반적으로 "g"로 표시하며 g는 지표상에서 중력에 의해 생긴 가속도로 표준 중량 가속도 g는 980.655cm/sec^2 이다[6].

일반적으로 산업 설비는 불규칙하며 복잡한 진동 파형을 발생시킨다. 설비를 진단하기 위해서는 픽업(센서)으로부터 얻은 진동 파형을 분석할 필요가 있다. 일반적으로 진동 파형과 같은 신호를 분석하는 방법에는 주파수분석이 널리 사용된다. 주파수분석에는 아날로그 방법과 디지털 방법인 FFT 분석이 있다.

일반적인 설비의 진동파형은 그 각기 다른 진폭, 위상 주파수로 되어 있다. 주파수 분석이란 복잡한 파형으로 나타나는 진동의 각 성분을 구별하고, 그 성분의 주파수와 진폭을 알아내므로 진동의 발생 포인트와 크기를 찾아내는 것이다. 아날로그 방법은 대역통과 필터(Bandpass Filter)를 사용하는 방법으로 예상되는 각 포인트의 주파수 대역에서의 진폭을 보고 이상 유무를 판정한다. FFT를 사용한 디지털 방법은 주파수 분해능과 분석 결과를 처리하는 면에 있어서 아날로그 방법보다 우수하다.

회전 기계의 진단시에는 진단하는 기계나 설비가 정상인지 비정상인지를 결정하기 위하여 진동의 전체 값을 측정한다. 기계나 설비가 정상이 아니라고 판단될 경우 진동 주파수를 분석하고 분석 결과로부터 어느 부분에 어떤 결함이 발생했는지를 판단할 수 있다.

2.3 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[7].

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 실현화할 수 있게 되었다.

오픈 소스 하드웨어는 디자인이 공개된 하드웨어로써, 누구나 하드웨어를 배우고, 수정하고, 배포하고, 제조하고, 판매도 가능하다. 최근 각광받는 오픈 소스 하드웨어 보드로는 아두이노, 저렴한 가격이지만 강력한 오픈 소스의 지원을 받고 있는 라즈베리 파이, 인텔 갈릴레오 등이 있다.

본 논문에서는 Bluetooth 4.0 Low Energy를 지원하는 초소형 아두이노 호환 모듈인 RFduino를 이용하여 BLE RF 센서 모듈을 개발하였다.

III. 시스템 구성 및 구현

본 연구에서 개발한 이상 진동 감지를 위한 스마트 센싱 디바이스 전체 구성은 그림 1과 같다. BLE 모듈에 MEMS 가속도 센서(BMA150)을 인터페이스하고 디스플레이로 LED 어레이 모듈을 연결하였다[8].

본 연구의 선행연구에서 개발한 BLE 센서 모듈[4]은 Bluetooth Low Energy를 지원하는 초소형 아두이노 호환 모듈인 RFduino를 이용하였다. Arm Cortex-M0 32bit Processor를 내장한 RFduino는 BT4.0 SOC를 탑재하고 있고 아두이노 스케치 통합 프로그램이 호환 가능하다. 또한 10비트 ADC, I2C, SPI, UART와 GPIO 등 다양한 인터페이스를 갖도록 하여 아날로그와 디지털 출력을 갖는 다양한 센서를 인터페이스 할 수 있도록 하였다.

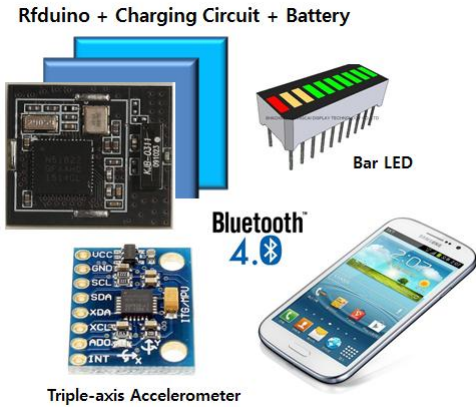
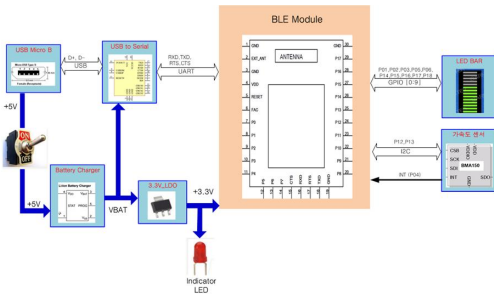
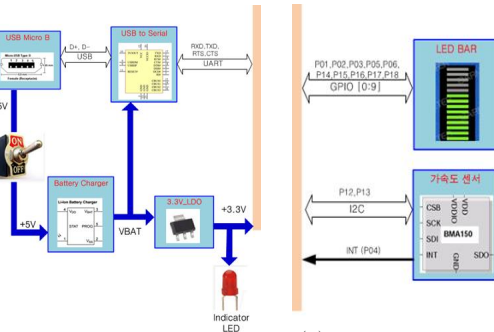


그림 1. 전체 시스템 개념도
Fig. 1 Total system concept

가속도 센서는 MPU6050, BMA150 같은 소형 MEMS 센서가 적용 가능하나 본 연구에서는 보쉬사의 3축 가속도 센서인 BMA150을 사용하였다. 그림 2에 전체연결도와 세부 인터페이스를 나타내었다.



(a) Block Diagram



(b) Power Unit

(c) Sensor and LED Array

그림 2. 전체 시스템 구성 및 세부 연결
Fig. 2 Total system configuration

3축(X, Y, Z) 가속도 값은 그 RMS를 계산($\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$)하여 LED 어레이 모듈에 표시 되도록 하였으며, BLE를 지원하는 스마트폰과 연동하여 각 축의 가속도 값을 그래프로 표현하거나, 주파수 분석도 가능하다

BMA150(Digital, triaxial acceleration sensor)은 정전용량성 MEMS 센서로, 의료, 물류 및 보안 시스템 분야 뿐만 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.

IV. 시험 및 평가

먼저 g 값의 변화에 따른 LED 어레이의 점등 상태 변화를 그림 3과 같이 시험하였다. 물론 LED 레벨의 감도 조정은 캘리브레이션 과정을 통해 이루어질 수 있다.



그림 3. g값의 변화에 따른 LED 레벨변화
Fig. 3 LED level transition according to change of g-values

본 연구에서는 그림 4와 같이 PCB를 제작하고 3D 프린터를 이용하여 케이스 목업(mock-up)을 제작하였다. 3축 가속도의 RMS 값을 LED 어레이 모듈에 표시 되도록 하였으며, 그림 5와 같이 BLE를 지원하는 스마트폰과 연동하여 각 축의 가속도 값을 그래프로 표현하거나 주파수 분석도 가능하다.

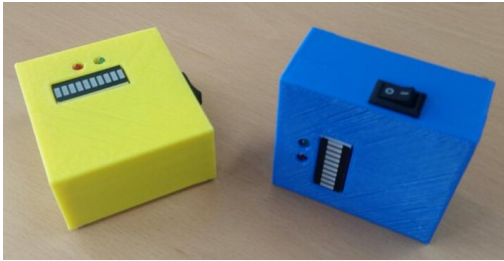


그림 4. 보드 및 케이스
Fig. 4 Board & Case

본 연구에서는 스마트폰과 연동하여 각 축의 가속도 값을 그래프로 표현하거나, 주파수를 분석하는 것도 가능하며, 화면 구성을 그림 5에 나타내었다. 화면의 상단을 차지하고 있는 이 영역은 진동하고 있는 물체의 시간에 대한 가속도 그래프이다. 현재는 한축씩 선택하여 표시되도록 하였으나 추후 필요에 따라 3축을 각기 다른 색으로 한 화면에 동시에 표시하도록 할 계획이다.

화면의 하단, 좌측에 있는 그래프는 주파수별 진동의 크기를 나타내며, “주파수 스펙트럼”이라고 부른다. 가로축은 주파수이며 단위는 [Hz], 세로축은 가속도이며 단위는 [m/s²]이다.

진동감지 센서로서의 성능은 가속도 센서(BMA150)에 의존하며 캘리브레이션을 통해 보정도 가능하다. 본 연구에서는 다만 바 LED에 표시 될 때의 민감도는 보정할 수 있도록 하였다. 스마트폰 어플

리케이션은 센서 인터페이스 방식(I2C) 및 BLE 전송 속도 문제 등과 관련된 추가 성능 시험이 필요하다.

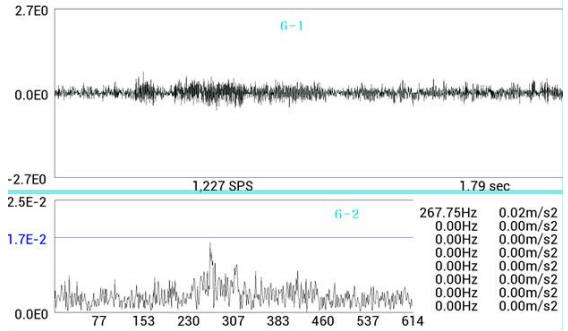


그림 5. 스마트폰 UI
Fig. 5 Smart Phone UI

V. 결론

산업 설비의 이상 상태는 보통 온도의 이상 상승, 진동과 소음의 변화를 수반하여 나타나게 된다. 이 중 진동값은 ISO에 따른 규격을 가지고 있고 판정 기준이 되므로 이를 적용하여 효율적인 설비의 예방 보전을 할 수 있다.

진동 장비로 측정된 전체값을 이용하여 설비의 상태를 판정하고 진동 장비가 주파수 분석 기능을 갖추고 있다면 진동을 분석함으로써 설비 진동의 원인을 규명하고 보수할 수가 있다.

본 연구에서 개발한 스마트 센싱장치는 공간이 협소한 장소에 간편하게 설치하기 쉽고 설비의 진동상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있으며, LED로 정상상태와 문제의 발생상태를 사용자에게 간편하고 쉽게 알려줄 수 있다.

BLE 기반의 스마트 센서 모듈은 다양한 센서들과 쉽게 인터페이스 할 수 있고 아두이노 개발 환경을 그대로 이용할 수 있다는 장점을 갖는다. 또한 Bluetooth 4.0을 지원하므로 아이폰이나 안드로이드를 기반으로 하는 스마트 디바이스들과도 쉽게 연동할 수 있다. 현장에서 진동을 측정하여 스마트폰으로 전송하여 진동값을 일별, 주별, 월별로 관리할 수 있도록 한다면 설비의 효율적인 유지보수가 가능하다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 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] H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, and S. Woelffle, "Vision and challenges for realizing the internet of things," *Future Generation Computer Systems Archive*, vol. 29, issue 7, Sept. 2013, pp. 1645-1660.
- [3] K-ICT Smart Device Development Plan, Ministry of Science, ICT and Future Planning(MSIP) and the Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE): 22 "Technical Report," Sept. 2015.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] W. Thomson and M. Dableh, *Theory of vibration with applications(5th Edition)*. Beijing: Pearson Education Asia Limited and Tsinghua University Press, 2005.
- [7] Y. Oh and S. Lee, "IoT and the open source development platform," *J. of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 32, no. 6, June 2014, pp. 25-30.
- [8] Bosch Sensortec GmbH, "BMA150 digital, Ttriaxial acceleration sensor Data sheet," *Data Sheet*, Oct. 2008.

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(팀장)
1997년 3월 - 현재 : 국립 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과 교수
※ 관심분야 : 신호처리, 정보통신, 영상처리, Computer Vision, IoT