

## 기계 상태 감시를 위한 무선 측정 시스템

Wireless Measurement System for Machine Condition Monitoring

심민찬† · 양보석\* · 이재욱\*

Min-Chan Shim, Bo-Suk Yang and Jea-Wook Lee

**Key Words :** Wireless Measurement System(무선측정시스템), Transmitter(TM), Base Station(BS).

### ABSTRACT

This paper proposed a wireless measurement system (WMS) for an effective condition monitoring using wireless communication. WMS consists of two parts: transmitter(TM) acquired a dynamic signal from physical system using ICP type accelerometer sensor. An acquired signal modulated through the low/high pass filter and amplifier in DAQ board, which converted to digital signal. Embedded board(E-board) transferred digital signals to base station(BS) through the socket IEEE.802.11.b. BS is adopted IOCP server structure. Because it can acquired signal well during transferred digital signal. Signal processing used LabVIEW Library, BS(server) designed to realize multi-thread using visual C++.NET for 1 many meaning data processing.

위치하고 있는 곳까지의 센서 케이블의 설치 및 관리는 매우 번거로운 작업이며, 기계 상태 감시에 있어 중요한 인자이다.

본 논문에서는 기존의 유선 형태의 계측 시스템 대신 무선 계측 시스템을 제안하고, 진동 상태감시 분야에 적용 가능성을 제시하였다.

무선통신은 전송속도가 11~54Mbps인 WLAN을 이용하였다. 이는 동적 신호인 진동신호를 전송하기에 가장 적합한 전송속도이다. Bluetooth나 RF 무선 통신을 채택할 경우 전송속도의 1Mbps이하인 점을 고려할 때 가장 최적이라 하겠다. 그리고 무선 중계기인 Access Point는 초기 전파 도달 거리가 10~20m미만이었던 것이 현재에는 50~200m로 대폭 늘어나 넓은 산업 현장에 사용하기에 유리하다.

제안한 무선 계측 시스템은 1개의 Base Station과 다수의 Transmitter로 이루어져 있다. BS는 TM으로부터 송신하는 계측 데이터를 수집하면서 TM의 동작을 제어하고 TM은 ICP 타입의 가속도 센서로부터 받은 계측 데이터를 전송하는 역할을 수행한다. BS는 안정적으로 전원이 공급되기 때문에 전력소비나 시스템의 크기보다는 안정성에 바탕을 두고 설계가 되어야 한다. BS와는 달리 TM은 휴대용 배터리로 구동이 되기 때문에 전력 소비를 줄이기 위해 간단한 구조의 하드웨어를 선정하여야 한다. 센서에서 취득된 데이터는 자체 제작한 DAQ 보드에서 필터링과 개인이 Altera FPGA를 통해 제어되고, 이는 Embedded board (E-board)에서 802.11.b에 적합한 소켓으로 변환되고 무선

### 1. 서 론

최근 산업의 발전과 기술의 진보에 따라 각종 산업용 기계는 대용량, 고속화로 되고 있다. 특히, 회전기계는 발전플랜트 등의 각종 산업 전반에서 사용되고 있고 중요한 역할을 동시에 수행하고 있기 때문에, 고장이 발생했을 때 즉각적인 원인 규명과 해결책이 요구된다.

그러나 현재 발생하고 있는 현상을 바탕으로 원인을 규명하고, 대책을 수립하는 데에는 상당한 기간의 경험과 지식이 요구된다. 진동은 기계의 이상 혹은 결함을 진단할 때 매우 중요한 인자이지만, 이를 바탕으로 기계의 이상 및 결함진단을 수행할 수 있는 기계 상태감시 전문가는 부족한 것이 현실이다.

이에 많은 산업 현장에서는 CMS (condition monitoring system)을 도입하여 대상 기계를 상태 감시하고 있다. 이러한 시스템의 관리에 있어 산업 현장의 대규모화로 인해 각 기계의 진동 신호를 취득하는 센서로부터 관리자가

† 부경대학교 기계공학부  
E-mail : simson.shim@gmail.com  
Tel : (051) 625-1604, Fax : (051) 620-1604

\* 부경대학교 기계공학부

랜 네트워크를 통해 BS로 전송되도록 하였다.

본 논문에서는 무선 진동 계측에 있어 가장 적합한 하드웨어를 제안하고 진동 계측에 있어 적합한 무선 통신 방식을 제안하였다.

## 2. Transmitter(TM)의 사양 및 내부구조

무선 계측 시스템은 한정된 영역에 존재하는 많은 수의 센서 노드로부터 진동 신호를 계측해서 중앙의 BS로 무선 전송하는 시스템이다. 제안된 시스템은 실제로 사람이 직접 계측하기 어려운 곳이나 위험한 지역에 위치하여 원격지에서 필요로 한 정보를 받을 수 있는 시스템이다. 이에 무선 기계 상태감시나 진동을 계측하고자 하는 모든 분야에 응용 할 수 있다.

무선 계측 시스템은 크게 TM과 BS로 나뉘어져 있다. TM은 가속도센서로부터 신호를 취득하여 필터링과 증폭을 거친 다음 디지털 신호로 바뀌어 무선 통신을 할 수 있도록 E-board를 통하여 소켓변환이 된다. 이러한 소켓으로 변환 된 신호는 WLAN을 통하여 원격지(BS)로 전송된다. 이러한 과정에서 WLAN의 무선 통신 거리의 제약이 있을 수 있는데 이 점은 50~200m의 거리를 가지는 무선 중계기(Access Point)를 통하여 전송되게 된다. 전송된 데이터는 BS에서 신호 처리과정을 통하여 시간영역 데이터나 스펙트럼 데이터로 변환되어 기계 상태 감시에 있어 유용한 정보로 쓰이게 된다.

### 2.1 TM(transmitter)의 구조

#### (1) DAQ 보드

무선 계측 시스템에 있어 계측위치에 있는 TM이다. 이러한 TM의 구조는 그림 1과 같은 구조를 가지게 된다.

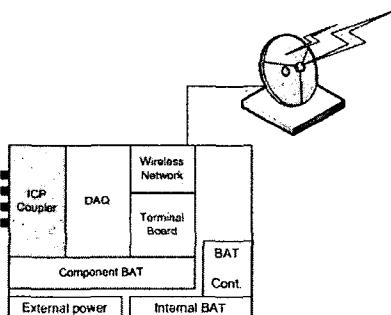


그림 1. Transmitter의 내부 구조

배터리 컨트롤러는 상시 전원을 쓸 수 있는 경우에는 상시 전원을 시스템 전원으로 사용하다 상시 전원이 없을 경우 보조 배터리로 구동될 수 있도록 설계되었다.

원격으로 컨트롤되는 TM에 있어 부가적인 Charge Amp가 필요로 하는 가속도 센서보다는 ICP 타입의 가속도 센서가 사용하기에 많은 이점을 가진다. ICP 커플러는 가속도 센서에 전원을 공급하고 센서에서 취득한 전류 신호를 전압 신호로 바꾸어 주는 역할을 한다. 전압 신호로 바꾸어진 아날로그 신호는 DAQ 보드를 거쳐 DC 성분을 제거하는 Low/High Pass Filter를 거쳐 개인이 증폭되게 된다. DAQ 보드에서의 신호처리 과정은 그림 2와 같다.

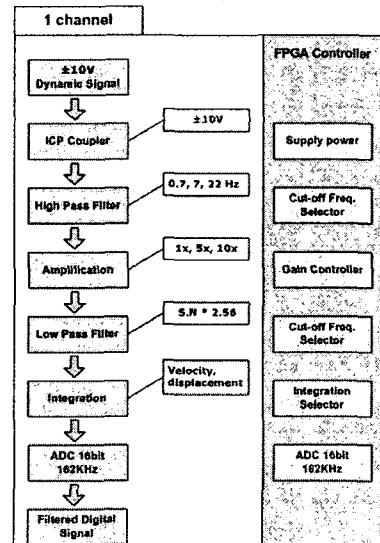


그림 2. DAQ 보드의 개략도

센서로부터 취득된 ICP 커플러를 거쳐 하이패스 필터를 거치게 된다. 이 과정에서 DC 성분이 제거되고, 신호가 바이어스 되게 된다. 미약한 신호는 개인을 거쳐 증폭이 된 다음 저역통과필터를 거친다. 그리고 세팅 조건에 맞게 가속도 신호를 속도, 변위 신호로 바꿀 수 있도록 적분회로를 거치게 된다. 최종 필터링된 신호는 16bit의 분해능으로 AD 컨버팅이 되게 된다. DAQ 보드에서는 각 채널에 독립적인 AD 컨버터를 두어 채널별로 DAQ의 부하가 줄어들도록 설계하였다.

표 1. TM과 BS사이의 내부 프로토콜

	Address	Command
Frequency Setting	Base Address + 0x00	16bit
Gain Selection	Base Address + 0x02	16bit
HPF Setting	Base Address + 0x04	16bit
Integration Setting	Base Address + 0x06	16bit
Sampling Start and Stop	Base Address + 0x08	16bit

각각의 하드웨어는 FPGA 컨트롤러에 의해서 제어된다. 표 1과 같은 프로토콜과 같이 세팅 정보를 전송받아 E-board의 내부 메모리를 참조하여 FPGA에서 각 하드웨어를 스위칭하게 된다.

각 채널별로 ADC된 신호는 먼저 FIFO에 적층이 된다. 내부 메모리 버퍼를 이용하여 FIFO에 어느 정도 이상의 데이터가 쌓이게 되면 E-board에 인터럽트를 발생시킨다. 발생된 인터럽트는 E-board가 일정한 양만큼의 데이터를 읽어가게 된다.

## (2) E-board 보드

DAQ 보드에서 전송된 데이터는 E-board의 데이터 버스 핀 GPIO로 입력된다. GPIO는 기본 IO기능을 하는 것이 아니라 DAQ 보드에 동작 클럭으로 넣어주게 설계하였다. 데이터의 입출력은 data bus랑 address로 직접 액세스하도록 설계되었다.

E-board에서 BS로 세팅 값을 전송 받으면 E-board가 DAQ 드라이버를 통해서 DAQ 보드로 세팅 값을 내부 프로토콜을 이용하여 전송하고 E-board는 DAQ 보드로부터 계측된 데이터를 전송받아 소켓으로 변환되어 이는 WLAN을 통해 BS로 전송되도록 하였다. E-board의 클라이언트 구조는 그림 3과 같다. 다수의 TM중 하나의 TM이나의 클라이언트가 되고 여러 클라이언트들은 하나의 BS, 서버로 접속하여 계측한 데이터를 전송하도록 하였다.

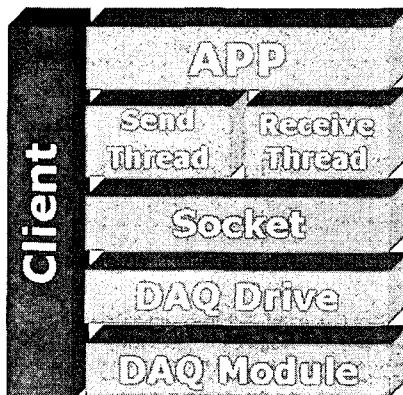


그림 3. E-board의 클라이언트 구조

그림 4에는 E-board의 흐름도를 나타낸다. 동작 중에 생길 수 있는 예외 동작들은 인터럽트를 두어 처리하도록 하였다.

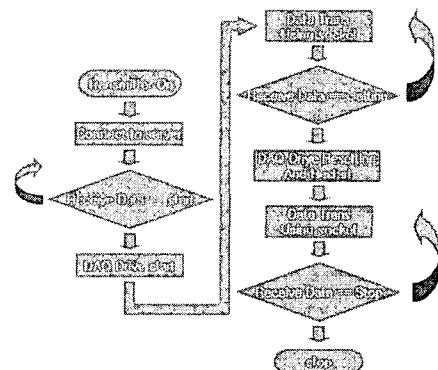


그림 4. E-board의 Flowchart

## 2.2 Base Station(BS)의 구조

### (1) WLAN 무선통신

무선 계측 시스템에서 통신 방식은 802.11.b의 WLAN을 이용하여 계측 데이터를 전송한다. WLAN 외에 많은 통신 방식들이 있으나 기계 상태 감시에 있어 진동 신호는 주파수 범위가 6.4kHz 되도록 하였고, 16 bit AD 컨버터를 채택했고, 센서 채널 수를 4 채널이라고 했을 때 초당 10.5Mbps의 전송속도가 필요한데 WLAN 통신 방식이 11 ~ 54Mbps의 전송 속도를 가지기 때문에 가장 적합한 통신방식으로 채택되었다.

표 2. 무선 통신 규격의 비교

	전송속도	전송거리
802.11.b (WLAN)	11~54Mbps	50~200m
802.15 (bluetooth)	1Mbps	30m
802.15.4 (Zigbee)	0.25Mbps	10m

### (2) Base Station의 구조

WLAN을 통해 소켓화된 데이터는 BS로 전송되어 진다. 만일 TM이 1대 이상일 경우 BS에서 처리해야 할 데이터량은 초당 20Mbyte 이상이 되므로 전송의 안정성을 높이기 위해 IOCP 서버 구조를 채택하였다.

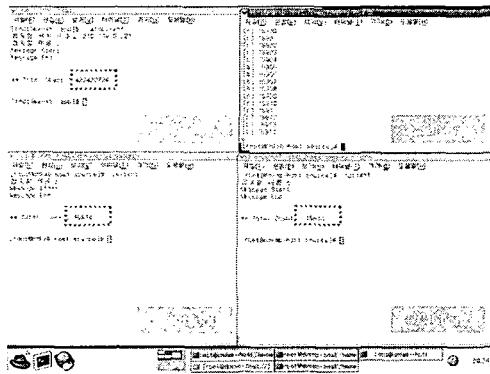


그림 5. IOCP 서버를 통한 데이터 전송 시뮬레이션

최종 수집된 데이터는 기계 상태 감시에 적합한 형태로 신호처리 과정을 거치게 하였다. 이러한 신호 처리과정은 LabVIEW 라이브러리를 채택하였다. 그리고 Multi Thread가 가능한 C++ .NET을 통해 구현되었다. Multi-Thread가 지원되지 않는 Visual Basic 같은 경우에는 여러 신호 처리 과정을 거칠 수 없는 단점을 가지고 있다. 기존의 진단 알고리즘들은 LabVIEW로 코딩되어 있는 라이브러리들은 또한 쓸 수 있도록 하였다.

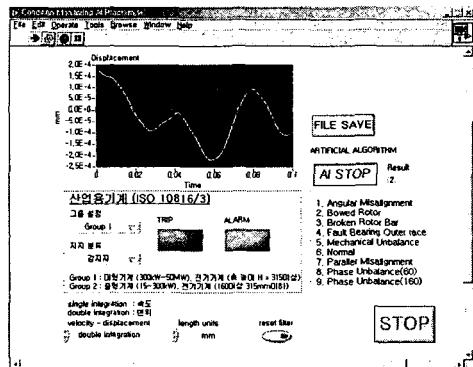


그림 6. 상태감시용 창

#### 4. 결 론

본 논문에서는 기계 상태감시에 있어 무선 계측 시스템을 제안하였다. 진동 신호계측에 맞도록 DAQ 보드를 설계하고 진동 신호의 데이터양에 맞게끔 무선통신방식을 제안하였다. E-board에서 소켓으로 변환하여 WLAN을 통하여 무선 전송하여 안정적으로 데이터를 전송하는 방법에 대하여 소개하였다. 이러한 시스템은 기계 상태 감시뿐만 아니라 환경 모니터링 시스템, 자연 재해 모니터링 시스템 등 여러 계측 분야에 응용될 수 있다. 계측된 데이터를 바탕으로 기계의 상태 감시뿐만 아니라 기계 결함 진단에도 활용할 수 있도록 진행하고 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) C. S. Raghavendra., 2004, "Wireless Sensor Network", Kluwer Academic Publishers.
- (2) 이원재 등, 2004, "CDMA/TDMA 기반 무선 원격계측 시스템용 모뎀의 VLSI 구조 설계", 전자공학회학회지, 41권 5호.
- (3) Brue & Kaer, "Frequency Analysis".
- (4) W.T. Thomson, D. Rankin, D.G. Dorrell, "On-line current monitoring to diagnose airgap eccentricity in large three-phase induction motors- Industrial case histories," Verify The Predictions 14 (4) (1999) 1372-1378.
- (5) Mehmet Ulema. 2004, "Wireless sensor networks: architectures, protocols, and management", IEEE/IFIP Volume 1, 19-23 April.
- (6) Romer, K.; Mattern, F, 2004, "The design space of wireless sensor networks", IEEE/IFIP
- (7) 허광희 최만용. 1999, "근거리 무선통신을 이용한 대형 토크구조물의 모니터링시스템". 한국구조물진단학회 Vol.1999 No.2
- (8) 김영진 등. 2001, "MEMS 및 센서 시스템 ; FET 형 이온센서용 무선원격측정시스템", 센서학회지, Vol.10 No.3
- (9) 정은호. 2004, "유비쿼터스 센서 데이터 네트워크 시스템 구현에 관한 연구", 세종대학교 대학원