

## 산업 환경에서의 집진기에 대한 RF모니터링 시스템 구현

# Implementation of RF Monitoring System for the Dust Collector in Industrial Environments

이성엽 · 이광희 · 고봉진\*

창원대학교 전자공학과

Sung-yeob Lee · Kwang-hee Lee · Bong-jin Ko\*

Department of Electronic Engineering, Changwon University, Gyeongsangnam-do 641-773, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 대기환경의 악화 방지와 개선을 위하여 현재 수동으로 관리되고 있는 집진기 관리시스템을 대신하여 무선을 이용하여 집진기를 관리하는 RF 모니터링 시스템을 설계하고 구현하였다. 제안한 시스템은 산업현장 내 다수의 집진기에 대한 가동 시간, 전력량, 차압값 등을 무선으로 모니터링 하여 관리자의 PC에 표시하고 저장할 뿐만 아니라 장애 발생 시 이를 관리자의 휴대폰으로 알려 줌으로서 고부가가치의 집진기 모니터링 시스템의 구현이 가능하다. 따라서 본 논문에서 구현한 RF 모니터링 시스템을 통하여 대기배출원관리시스템(SEMS)에 각 집진기의 정보를 기록함에 있어서 불필요한 손실을 줄일 수 있다.

### [Abstract]

In this study, we implemented and designed an RF monitoring system to manage a dust collector wirelessly, which is manually operated. The dust collector prevents the emission of air pollutants and improves air condition. It is possible to implement a high-value monitoring system of a dust collector, the system will wirelessly monitor many important data such as the operating time, the amount of electricity consumption, and the differential pressure value of a large number of the dust collectors in an industrial site, the system also displays and saves these data on a manager's PC, and when an error occurs, the system sends the error message to a manager's mobile phone. Therefore, through the RF monitoring system implemented in this paper, it is possible to reduce unnecessary loss for recording information of each dust collector to stack emission management system (SEMS).

**Key word** : RF monitoring system, Dust collector, MODBUS 485, Stack emission management system, CDMA.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2014.18.5.513>



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 7 October 2014; Revised 27 October 2014  
Accepted (Publication) 20 October 2014 (30 October 2014)

\*Corresponding Author; Bong-jin Ko

Tel: +82-55-213-3656

E-mail: bjko@changwon.ac.kr

## I. 서론

최근 정부에서는 대기환경의 악화 방지와 개선을 위하여 다양한 정책을 마련하여 집행해 오고 있다. 특히 대기 오염방지를 위한 대기 배출원 조사는 대기오염물질 배출원을 체계적으로 관리하고 대기보전 정책 수립 및 관련 연구에 필요한 기초자료를 확보하기 위해 웹기반의 온라인 체계인 대기배출원관리시스템(SEMS; stack emission management system)을 개발하여 매년 조사결과를 DB(data base)로 구축하고 있다[1].

집진기의 경우 2010년 12월 31일 개정된 대기환경보전법 시행규칙 제 36조 2항에 따라 시설의 가동시간, 대기오염물질 배출량 등을 배출시설 및 방지시설의 운영기록부에 매일 기록하고 최종 기재한 날부터 1년간 보존하도록 명시되어 매일 집진기 상태의 기록이 의무화 되었다.

개정된 법에 따른 집진기의 가동시간 및 전력량 조사는 사람이 직접 확인하는 수동 시스템으로 진행되고 있으며 규모가 큰 대기업일 경우 수백 개의 집진기 개체수를 관리해야하기 때문에 집진기의 상태를 매일 조사 기록하기 위해선 다양한 인적, 경제적 손실이 발생하게 된다. 하지만 이에 대한 연구는 미비한 실정이다[2]-[4].

따라서 본 논문에서는 선행연구 [5]에서의 개념들을 설계시스템으로 구현하였다. 현재 수동으로 관리되는 집진기 관리시스템을 무선통신시스템인 RF(radio frequency)와 CDMA(code division multiple access)모듈을 이용하여 모니터링에서 짧은 시간 안에 수백 개의 집진기상태를 조사 기록하고 관리자에게 이상상태를 SMS(short message service)를 통하여 실시간으로 알릴 수 있는 전자동 모니터링 시스템의 설계를 통한 고부가가치의 집진기 시스템을 구현하였다.

## II. 본론

집진기의 데이터를 수집하기 위한 구성은 가동시간 및 전력량에 측정이 가능한 EOCR(electronic overload relays)과 bag filter의 상태감지를 위한 디지털차압계로 구성된다. 따라서 EOCR과 디지털차압계의 데이터를 모니터링으로 읽어오기 위한 제어시스템 및 네트워크 시스템의 구성과 데이터의 DB화를 위한 다양한 제어알고리즘이 필요하게 된다.

### 2-1 시스템 구성

#### 1) 제어 시스템 구성

제어시스템의 구성은 집진기의 가동시간, 전력량, 차압정보의 수집을 위해 하나의 제어장치에 다수의 계측기와 통신이 가능하도록 multidrop 형태의 RS-485통신 physical layer를 이용한다. RS-485인터페이스는 통신능력이 높고 출력 임피던스가 100Ω으로 낮으므로 최대 1.2 km까지 전송 가능하기 때문에 넓

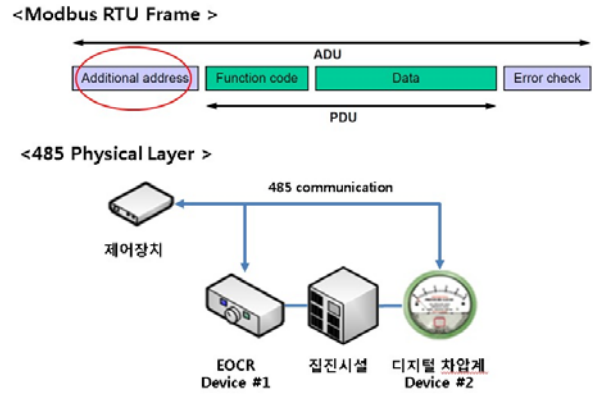


그림 1. 제어 시스템 구성도

Fig. 1. Diagrams of the control system.

은 공장 내에서도 사용할 수 있는 통신방식이며 산업기기에 흔히 쓰이는 데이터 통신 인터페이스이다[6].

그리고 Modbus 485 RTU 프로토콜을 이용하여 계측기가 디바이스 어드레스라는 고유의 serial number를 가질 수 있도록 application layer를 구성하였다.

Modbus 485 RTU 프로토콜은 데이터가 하나의 8 bit binary 문자로 전송되고 전송된 메시지 프레임의 정확도를 위해 CRC (cyclical redundancy check)로 에러를 체크한다. address는 slave(계측기)의 ID로써 각각의 local unit이 고유한 ID를 가지며 1부터 시작한다. 이 ID를 통하여 다수의 계측기의 정보를 하나의 제어장치로 획득할 수 있다[7]-[9].

이로써 제어장치는 계측기를 제어할 때 송신프레임에 어드레스가 포함된 485통신 인터페이스를 통하여 해당 디바이스의 정보를 MCU(micro controller unit)로 전송할 수 있다.

#### 2) 네트워크 시스템 구성

집진기의 무선 네트워크 구성은 산업현장에서 원거리 무선 통신이 가능하도록 상대적으로 낮은 주파수의 RF노드의 구성이 필요하다. 모니터링에 설치된 노드에서 각 집진기의 노드로부터 정보를 point to point 방식으로 받을 수 있도록 star형태의 토폴로지로 구성하며 각 RF노드는 집진기와 1:1 대응하도록 ID를 부여한다.

### 2-2 시스템 알고리즘

#### 1) 데이터 요청 알고리즘

데이터를 요청하고자 하는 특정집진기의 ID를 모니터링 PC 프로그램에 입력하면 PC에 설치된 수신 RF 노드를 통해 star형태로 구성된 RF네트워크로 해당집진기의 주소 값이 포함된 프레임은 모든 집진기의 제어 RF노드로 전송한다. 데이터 요청프레임을 받은 각 제어노드는 자신의 ID와 비교하여 완전히 일치할 경우 데이터를 수신 RF 노드로 응답하며 그 외의 집진기는 요청 프레임을 무시한다.

관리자는 PC에 설치된 DB 프로그램을 통하여 해당집진기

의 가동시간, 전력량, 차압에 대한 정보를 저장한 후 필요에 따라 대기배출관리시스템(SEMS)에 원격 수집된 자료를 입력한다.

**2) Bag filter 경고 알고리즘**

각 집진기 제어RF노드는 bag filter의 압력상태를 디지털 차압계를 통해 상시 확인하여 압력차가 정상상태 범위 내에 있는지를 점검한다. 만약 정상상태 범위를 벗어나는 경우 즉 bag filter에 장애가 발생하는 경우 모니터링 수신RF노드로 경고데이터를 전송한다.

경고 데이터를 수신 받은 RF노드는 해당 집진기의 ID와 경고 메시지를 수신RF노드에 연결된 CDMA모듈을 통하여 관리자의 휴대폰으로 경고메시지를 전송한다. 관리자는 SMS를 통해 집진기의 장애를 인지하고 이에 대응한다.

**III. 시스템 설계 및 구현**

모니터링 시스템의 설계는 집진기를 직접 제어하는 송신 RF노드와 모니터링에서 집진기의 상태를 무선으로 확인하기 위한 수신 RF노드로 구분되며 수신 받은 데이터를 기록 저장하기 위한 PC 모니터링 프로그램의 설계 역시 포함된다. 시스템의 구현은 PCB artwork 프로그램인 PADS를 통해 실제 산업 환경에서 적용이 가능하도록 소형화와 최적화를 고려하여 구현하였다.

**3-1 시스템노드 설계**

**1) 집진기 제어노드 설계**

그림 2에 집진기의 제어 및 송신부의 회로를 나타내었다. 집진기 제어 노드의 EOCR과 디지털 차압계와의 통신을 위해 통신회로는 Modbus 485통신을 UART(universal asynchronous receiver transmitter) 통신으로 변환 되도록 MAX485 IC를 사용

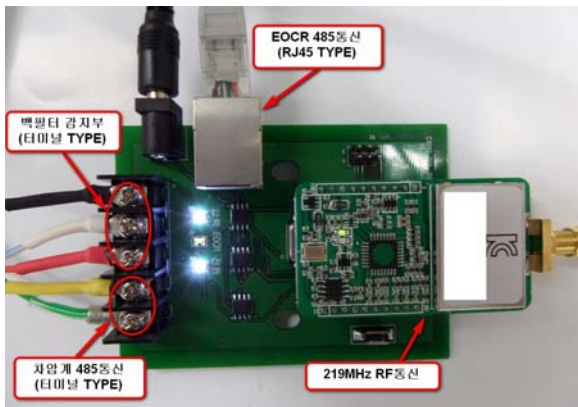


그림 2. 집진기 제어노드 구현  
Fig. 2. A implementation of the dust collector control node.

하였고 EOCR의 mechanical interface는 RJ45커넥터를 사용하고 STP(shielded twisted pair)케이블로 제어장치와 연결하였다.

그리고 RJ45커넥터의 4,5번 핀이 MAX485 IC의 ‘+’, ‘-’와 연결되며 555타이머의 monostable mode를 이용하여 송수신의 자동 변환이 가능하도록 설계한 후 485통신으로 받은 데이터를 RF 모듈로 전송되도록 설계하였다[10].

프레임 형태는 MODBUS 프로토콜을 이용하기 때문에 그에 따른 요청 프레임을 구성해야한다. MODBUS의 기능 코드 중 read holding register를 이용하고 가동시간, 전력량에 대한 주소를 참조하여 요청 프레임을 프로그래밍 하였다.

MCU중 RF모듈과 multidrop방식의 측정기기의 통신이 가능하도록 2개의 UART통신포트를 가진 ATmega128을 이용하였고 5 V전압에서 동작이 가능하기 때문에 전원회로는 5 V어댑터를 사용할 수 있도록 회로를 구성하였다.

또한 무선설비규칙을 준수하여 데이터전송용 특성소출력 무선기기 중 상대적으로 주파수가 낮은 219 MHz RF모듈을 선택한 후 디지털 차압계가 bag filter의 압력 변화를 감지할 때 릴레이가 작동하게 되고 이를 MCU의 외부인터럽트를 이용하여 즉시 경고프레임을 RF모듈로 전송하도록 설계하였다[9].

그 외 집진기 제어노드의 외형은 65 X 90 mm의 크기로 소형화 하여 집진기에 운영되는 배전반 속에 부착이 가능하도록 설계하고 장애물과 관계없이 전파거리를 확장시킬 수 있도록 연장케이블을 이용하여 배전반 외부에 안테나를 부착할 수 있는 형태로 제작하였다.

**2) 모니터링 수신노드 설계**

그림 3에 수신노드의 회로를 나타내었다. 수신노드 역시 같은 RF모듈을 이용하여 집진기 제어노드의 데이터를 수신하도록 설계하였고 RF모듈, PC프로그램, CDMA모듈과의 연동을 위해 다수의 UART통신 포트를 가진 ATXmega128을 사용하였다.

전원회로는 집진기 제어노드와 같은 5 V 어댑터를 이용하여 전원을 인가할 수 있도록 ATXmega128의 구동전압 레벨에 맞

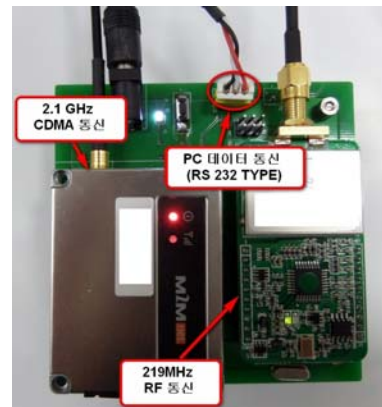


그림 3. 모니터링 수신노드 구현  
Fig. 3. A implementation of the monitoring node.



그림 4. 집진기 제어패널 내부 구성  
 Fig. 4. The inner parts of a control panel.

계 3.3 V 레귤레이터를 사용하여 제작하였다.

그리고 통신회로는 219 MHz RF모듈을 통해 수신 받은 데이터를 PC와 UART형태의 데이터통신이 가능하도록 MAX3232 IC를 사용하였고 mechanical interface는 RS232 to USB 케이블을 이용하여 제어장치와 PC프로그램간의 연동을 구현하였다.

또한 CDMA 통신 모듈을 장착하여 집진기의 장에서 제어장치가 경고프레임을 수신하면 관리자의 휴대폰에 SMS를 전송하도록 AT command를 참조하여 관리자의 번호를 입력한 코드를 작성하였다.

그 외 모니터링 수신노드의 외형은 80 X 80 mm의 크기로 모니터링 PC에 설치가 가능하도록 설계하고 CDMA와 RF모듈의 안테나 역시 케이스 외부에 부착할 수 있도록 연장케이블을 이용하여 제작하였다.

3-2 시스템 구현 및 결과

1) 데이터 요청 결과

그림4는 실제 테스트를 위해 제작한 제어패널의 내부구성으로 내부에 EOCR, 디지털 차압계와 함께 제어노드를 설치하였다. 그리고 LabWindows/CVI2013 이용하여 개발한 PC프로그램으로 테스트의 결과 값이 나타나도록 제작하였다.

그림5는 프로그램에 데이터요청 알고리즘을 적용한 모니터링 프로그램으로 ID입력란에 '001'을 입력하여 전력량 가동시간 차압을 불러왔을 때 실제 EOCR과 차압계의 표시된 수치와 같은 정확한 데이터를 무선으로 전송 받았음을 확인하였다.

또한 집진장치의 데이터를 읽어올 수 있고 매일 대기배출원 관리시스템(SEMS)에 집진상태를 기록하기 위해서 Excel파일로 기록보존이 가능하도록 하였으며 시작ID와 종료ID의 범위를 지정하여 산업현장에 모든 집진기의 상태를 한 번에 확인이 가능하도록 하였다.

2) Bag filter 경고 결과

집진장치 bag filter의 이상상태를 확인하기 위해 압력을 강제로 낮출 경우 집진기 제어노드에 부착된 RF모듈에서 경고 데이터 전송을 확인 하였고, 모니터링 수신노드에서 이를 받아 관

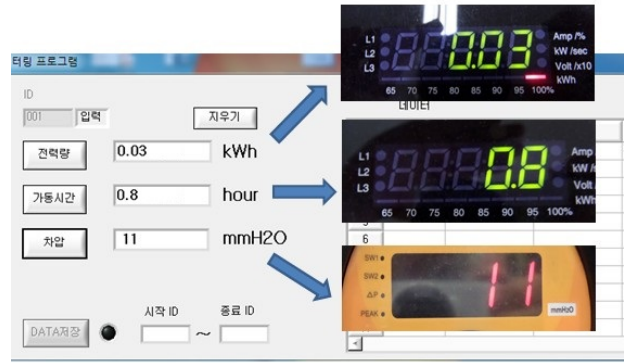


그림 5. 모니터링 프로그램 결과 데이터  
 Fig. 5. A result data of the monitoring program.

리자에게 Bag filter의 상태가 정상으로 돌아올 때까지 1시간 간격으로 문자를 보내는 것을 확인 하였다.

수신 받은 SMS는 개통된 CDMA모듈의 전화번호인 012로 시작하는 번호로 수신이 되며 SMS내용은 ‘백필터경고 XXX (압력이상 집진장치 ID)와 같은 경고데이터가 수신됨을 확인 하였다.

IV. 결론

본 논문은 219 MHz 대역의 RF통신 모듈과 CDMA모듈을 이용하여 산업현장 내에 설치된 다수의 집진기에 대한 상태를 실시간으로 관리감독이 가능하도록 모니터링 시스템에 대한 구성과 알고리즘을 제안하였고 기존의 데이터 수집 시스템과는 달리 실제 산업현장에서 원격데이터수집과 bag filter의 감시기능이 가능하도록 시스템을 설계하여 원격 검침에 의해 설비담당자의 관리가 용이해지며 bag filter의 고장으로 방지되는 불필요한 전력낭비를 줄일 수 있다.

개정된 법에 따른 대기배출원관리시스템(SEMS)에 기록하게 될 집진기의 가동시간 및 전력량 조사는 제작한 모니터링 시스템의 구현을 통해 경제적 산업적 측면에서 보면 집진기관련 측정대행 중인 업체 수는 경남지역에서만 약250업체이고 이들 업체의 집진설비 개수는 약1,200여개에 달하기 때문에 관리대행 업체에 기술을 적용함으로써 고부가가치의 집진기에 대한 경제적 산업적 효과를 예상할 수 있다.

또한 집진기뿐만 아니라 본 논문에서 제안한 모니터링 시스템의 구성을 이용하여 산업현장에서 운용되는 다양한 산업기에 대한 모니터링 시스템의 적용이 가능할 것으로 예상된다.

향후 연구방향은 실제 산업현장에 모니터링 시스템을 적용하였을 때 공장구조물에 의해 수신 품질이 좋지 않을 때 중계기를 이용한 음영지역의 해소방안에 대해 연구 하고자 한다.



## 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연공동 기술개발사업 (No. C0141964)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## 참고문헌

- [1] K. H. Kang, J. S. Han, Y. A. Lee, Y. J. Kwon and J. H. Hong, "DB establishment of national air emission source for small scale facilities using SEMS(stack emission management system) in 2009," in *Proceeding of the 52nd Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment*, Incheon: Korea, pp. 320-321, May. 2011.
- [2] J. S. Kim, "Intelligent dust chamber bag control system using case-based reasoning," *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 20, No. 1, pp. 48-53, Feb. 2010.
- [3] Y. J. Han, S. H. Kim and S. H. Kim, "A study on the design of intelligent dust collecting system by using sensor network," in *Proceedings of Korea Fuzzy Logic and Intelligent Systems Society Spring Conference 2006*, Chungju: Korea, pp. 361-364, May. 2006.
- [4] J. S. Kim, S. I. Kim and C. K. Kim, "Development of machinery · IT convergence wireless monitoring system using zigbee," in *Proceedings of Korea Institute of Intelligent Systems Spring Conference 2011*, Seongnam: Korea, pp. 126-127, Apr. 2011.
- [5] S. Y. Lee, K. H. Lee and B. J. Ko, "Design of the RF monitoring system of the dust collector in industrial environments," in *Proceeding of the 54th Meeting of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Jeju: Korea, pp. 388-389, Jun. 2014.
- [6] Z. T. Lim, J. O. Park and J. Y. Song, "A study on the full duplex 485 communication method of POP terminal," in *Proceedings of the Korean Institute of Industrial Engineers/Korean Operations Research and Management Science Society Spring Conference*, Busan: Korea, pp. 881-887, Apr. 1998.
- [7] S. M. Won and J. H. Kim, "A study on the remote control of factory automation equipment using the modbus protocol," *Journal of the Korea Entertainment Industry Association*, Vol. 5, No. 4, pp. 194-198, Oct. 2010.
- [8] I. H. Seo, B. S. Mun, G. U. Kim, H. C. Chun and Y. H. Yu, "A study on the process data monitoring system using the modbus protocol," in *Proceeding of the Korean Society of Marine Engineering 2000 Spring Annual Meeting*, Korea, pp. 22-27, May. 2000.
- [9] Modbus application protocol specification v1.1b3, The specification by modbus organization, Apr. 2012.
- [10] EOCR-iSEM(sEOCR), The specification by Schneider Electric Korea Ltd, Feb. 2013.



**이 성 업** (Sung-yeob Lee)

2013년 2월 : 창원대학교 전자공학과(공학사)  
 2013년 3월~현재 : 창원대학교 전자공학과 석사과정  
 ※ 관심분야 : WSN 시스템, 산업용 기기/측정 제어



**이 광 희** (Kwang-hee Lee)

2013년 2월 : 창원대학교 전자공학과(공학사)  
 2013년 3월~현재 : 창원대학교 전자공학과 석사과정  
 ※ 관심분야 : WSN 시스템, LBS



**고 봉 진** (Bong-jin Ko)

1994년 ~ 1996년 : 인하공업전문대학 통신과 조교수  
 1996년 ~ 현재 : 창원대학교 전자공학과 교수  
 ※ 관심분야 : 이동통신, USN/RFID