

레이저 광산란식 미세먼지 측정 시스템의 실현

*김규식[†], 나형욱[†], 강상혁[†]
[†]서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

Implementation of Particle Measuring Sensor System Using Laser Optical Scattering Method

*Gyu-Sik Kim[†], Hyeong-Uk Na[†], Sang-Hyuk Kang[†]
[†]Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul

Abstract - 광학입자 계수기는 실내환경, 대기오염 및 클린룸 등 입자크기 기본포 측정장비로 가장 많이 사용된다. 광학입자 계수기에 샘플링된 입자는 관측체적 내로 1개씩 통과 하며 산란된 빛은 집광장치에 의해 광검출기로 전달한다. 이때 산란광의 양에 비례하여 전압(전류)의 세기로 변환하여 전기적 신호로서 나타나는 Pulse의 높이는 Calibration Data에 따라 입자의 크기로 변환하고 Pulse의 개수는 입자의 개수로 표시된다. 입자의 크기와 개수를 이용하여 부피로 환산 한 후 부유하는 입자의 평균 밀도를 이용하여 질량으로 환산시킨다. 이렇게 측정된 미세먼지 농도는 ZigBee통신을 사용하여 구축한 시스템을 통해서 중앙부에서 실시간으로 먼지 농도를 알 수 있다. 특히 멀티홉 기능을 이용하여 건물 구조가 복잡하거나 층간의 통신, 꺾인 부분이나 사무실 안과 밖과 같은 무선 통신이 원활 하지 못하는 경우를 극복하여 미세먼지의 농도 값을 측정 할 수도 있다.

그림 1의 배타레이 흡수법 측정방식은 배타선을 방출하는 광원으로부터 조사 된 배타선이 필터 위에 채워진 먼지를 통과할 때 흡수/소멸되는 배타선의 차이로 먼지 농도를 측정한다. 먼지농도는 단위 면적당 채워진 먼지의 질량에 의한 배타선의 흡수량으로 결정한다.

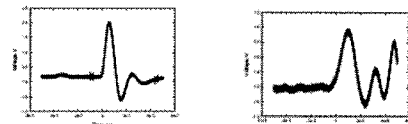
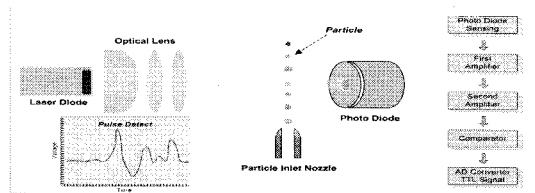


〈그림 2〉 배타레이 방식 먼지측정기

샘플링된 입자는 관측체적 내로 1개씩 통과 하며 산란된 빛은 집광장치에 의해 광검출기로 전달한다. 이때 산란광의 양에 비례하여 전압(전류)의 세기로 변환하여 전기적 신호로서 나타나는 Pulse의 높이 및 개수를 측정한다. 이때 그림3에서 Pulse의 높이는 Calibration Data에 따라 입자의 크기로 변환하고 Pulse의 개수는 입자의 개수로 표시한다.

1. 서 론

광학입자 계수기는 실내환경, 대기오염 및 클린룸 등 입자크기 기본포 측정 장비로 가장 많이 사용된다. 광학입자 계수기는 입자가 관측체적(sensing volume)을 지나면서 산란시키는 빛의 양에 의거하여, 입자의 광학적 크기 및 개수를 실시간 적으로 측정하는 계측 시스템이다. 샘플링된 입자는 관측체적 내로 1개씩 공기와 같이 유입되며, 이때 입자는 빛을 산란시키고 산란된 빛은 집광장치에 의해 모아져 photo diode로 보내지며, photo diode는 집광된 양에 비례하여 전기적 신호를 발생시킨다. 전기적 신호로서 나타나는 pulse의 높이는 Pulse Height Analyzer(PHA)로 분석되어 calibration data에 따라 입자의 크기로 변환되고, pulse의 개수는 입자의 개수로 표시된다. 입자의 크기와 개수를 이용하여 부피로 환산 한 후 부유하는 입자의 평균 밀도를 이용하여 질량 PM-10으로 환산시킨다. 이렇게 측정된 미세먼지 농도는 ZigBee통신을 사용하여 구축한 시스템을 통해서 중앙부에서 실시간으로 먼지 농도를 알 수 있다. 특히 멀티홉 기능을 이용하여 건물 구조가 복잡하거나 층간의 통신, 꺾인 부분이나 사무실 안과 밖과 같은 무선 통신이 원활 하지 못하는 경우를 극복하여 미세먼지의 농도 값을 측정 할 수 있다. 이러한 시스템의 경우 지하철이나 지하상가 등의 먼지 측정시스템으로 유용하고 가격이 저렴하고 인터페이스가 편리하여 널리 보급될 수 있다.



〈그림 3〉 광산란식 먼지 측정 원리

이런 측정방법으로 보았을 때 실내 먼지를 측정을 위하여 가격대비 성능 및 기타 측정조건에서 고가의 배타레이 장비를 대체하여 지하철이나 지하상가에서 먼지를 측정하는데 용이할 것으로 판단하여 표1과 같은 광산란식 미세먼지 측정 시스템을 구현하였다.

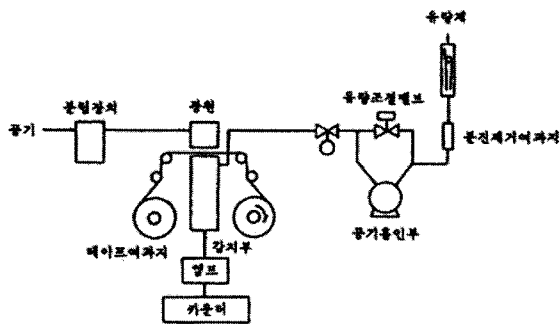
2. 본 론

2.1 먼지 센서 모듈 구현

먼지 입자의 경우 실내 공기질 관리법을 살펴보면, 다중 이용시설물 중 지하역사, 지하도상가, 지하상점가, 여객터미널 등의본 시설물에서 PM-10의 유지기준은 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 유지하도록 되어 있다. 이러한 미세먼지 (PM-10)의 측정 방법으로는 중량법과 연속측정방법이 있을 수 있다.이렇게 다양한 측정 방법이 있는 먼지센서 측정 장비들은 고가의 장비로 본 과제에서 각 지하 역사마다 실내 공기질을 통합 관리하는 시스템 구축에서는 가격을 무시할 수 없게 된다. 따라서 고가 장비의 성능을 가지며, 지하역사의 실내 공기질 감시 시스템 구축에 용이한 즉, 센서 데이터의 전송이라든지 크기, 설치의 용이성을 고려하여 적절한 계측장비의 선정이 필수적이다.

〈표 1〉 먼지센서 사양

	측정 방식 : 레이저 광 산란 방식
	측정 유량 : 0.1 CFM 2.83 L/min $\pm 5\%$
	측정 크기 : 0.3 μm ~ 10 μm (PM 10, PM 2.5)
	측정 오차 : $\pm 10\%$
	통신 방식 : Wireless(Bluetooth), RS-422, RS 485 등
	사용 온도 : 5 ~ 40 $^{\circ}\text{C}$
	온도범위 : -40 ~ 120 $^{\circ}\text{C}$
	크기(L×W×H) 및 무게 : 140 × 80 ×100 mm / 0.9 kg



〈그림 1〉 β -Ray 흡수법의 측정원리

2.2 ZigBee 모듈 구현

먼지센서의 데이터를 통합 관리하기 위해 임의의 장소로 전송할 때 측정 장비로부터 데이터를 무선으로 취합하는 것이 측정 장비의 운용에 상당히 이로운 것이다. 그래서 ZigBee 통신 방식을 이용해 보았다. 무선으로 데이터를 전송하는 방법에는 여러 가지가 있으며, 전송 주파수 또한 여러 주파수 대역이 있지만 ZigBee는 ISM Band(Industrial, Scientific and Medical Band)에 속하는 2.4GHz를 사용하므로 별도의 주파수 사용료를 부과하지 않아도 된다. 그리고 ZigBee의 장점에는 저 전력, 저 가격으로 근거리 무선 센서 네트워크를 구성하는데 적합하며 IEEE 802.15.4 작업분과위원회에서 표준화된 PHY/MAC 층을 기반으로 상위 Protocol 및 Application을 규격화한 기술이기 때문에 연구결과와 상업화나 기술이전 측면에서도 일조하리라 기대된다. 또한 ZigBee의 대표적인 기능인 멀티홉(Multihop : 중간 노드들이 패킷을 전송해 주는 것) 기능을 이용하여 여러곳의 먼지 측정 장비로부터 오는 데이터를 중앙으로 전송하는데 있어 무선이 도달하기 힘든 영역에 속하는 층간이나 꺾인 곳, 주위에 전파장애가 의심되는 곳 등으로부터 데이터를 수신부까지 측정 장비가 라우터 역할을 하며 전송할 수 있다.

<표 2> ZigBee 모듈 사양


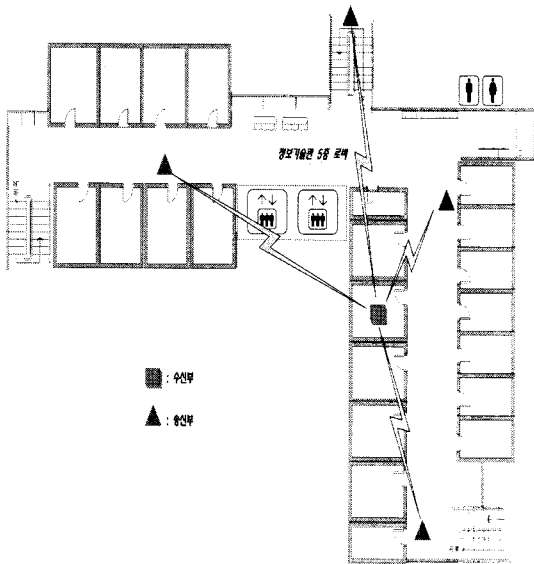
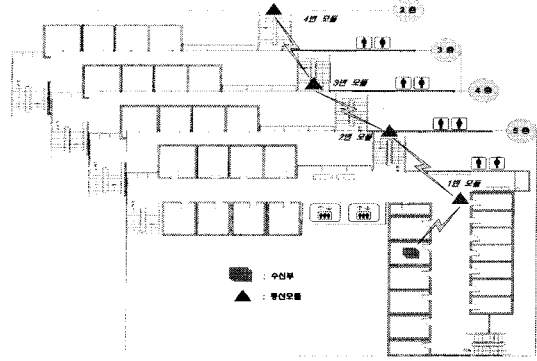
	ATmega128L 과 RF chip인 CC2420 및 각종 센서 장착
	PCB 안테나(F 안테나), 120m 까지 통신 가능
	외부 배터리 연결 가능
	Photo Diode 장착
	50핀 커넥터 이용하여 외부 확장 가능
	사용 온도 : 5 ~ 40℃
	온도범위 : -40 ~ 120℃
	크기(L×W×H) 및 무게 : 140 × 80 × 100 mm / 0.9g

표 2의 ZigBee 통신 모듈은 장착된 CPU에 OS를 별도로 프로그래밍 하여 운용하게 되어있다. OS로는 오픈 소스 플랫폼 퓌인 Tiny OS를 사용하며 개발 언어로는 nesC로 프로그래밍을 한다. 이 Tiny OS는 미 국방고등연구 기획청인 DARPA의 NEST program에 참여한 버클리 대학교와 Intel 연구소에 의해서 공동으로 개발되었으며, 태생적으로 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)를 위해 만들어져서 ZigBee를 이용한 유비쿼터스 네트워크 시스템에 많이 이용되고 있다.

이 ZigBee 통신 모듈은 사양상 통신 거리가 120m인 것으로 되어 있지만, 여러 테스트 환경의 변화에 대해서는 120m라는 통신 거리를 보장하지는 못하였다. 건물 구조가 복잡하거나 층간의 통신, 꺾인 부분이나 사무실 안과 밖의 무선 전송은 원활하지 못하였다. 테스트를 실시한 외부적인 환경의 차이를 차치하고라도 무선전송 거리의 제한이 생긴 이유는 위 ZigBee 통신 모듈은 안테나 출력 소비전력이 1mW로 되어 있어 다소 원거리나 복잡한 건물구조에서는 제한이 있었다. 그래서 멀티홉 기능을 이용해 이를 극복할 수 있었는데, 다음 그림4와 그림5는 건물 안에서 멀티홉을 구성하지 않고 직접 무선전송을 한 경우와 멀티홉을 이용하여 테스트한 결과를 바탕으로 데이터 전송이 가능한 지점들을 도식화하였다.



<그림 4> 멀티홉을 이용하지 않고 무선 전송 가능한 경우

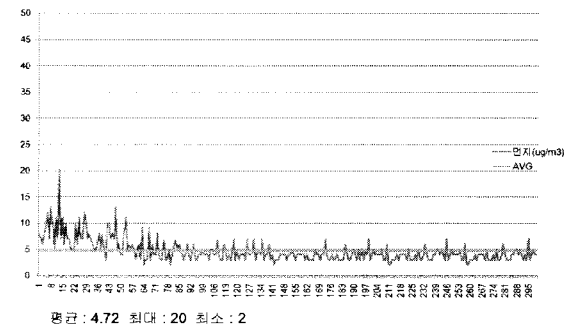


<그림 5> 멀티홉을 이용한 무선 전송 가능한 경우



<그림 6> 미세먼지 측정 테스트 시스템 구성

그림6과 같은 시스템을 구축하여 먼지 센서의 데이터 값을 1시간 남짓 가량 측정하여 얻은 결과 값을 그림 7과 같은 그래프로 얻을 수 있었다.



평균 : 4.72 최대 : 20 최소 : 2

<그림 7> 미세 먼지 측정 결과

3. 결 론

본 논문은 광산관식의 미세먼지 센서모듈을 이용하여 지하철, 지하상가에 서의 상황을 고려한 미세먼지 측정 시스템을 구축하여 보았다. 보다 안정된 실험값을 얻기 위해 무선 통신 ZigBee 모듈 상에서 신호를 증폭하여 안테나로 들어가게 하는 Power Amp 설계 방안과 기존의 PCB 상에 프린트된 안테나 보다 외부에 whip 형태의 안테나를 부착하여 송·수신 거리를 연장하는 방안을 이용하거나 이보다 성능이 향상되어 기존 사용한 모듈의 안테나 송신 전력의 10배의 파워를 갖는 XBee Pro 모델을 이용하면 보다 넓고 복잡한 구조에서도 사용할 수 있을 거라 생각한다.

감 사 의 글

이 논문은 서울시 산학연 협력사업(GS070154)의 지원을 받음.

[참 고 문 헌]

- [1] 권중원, 박용만, Odgerel Ayurzana, 김희식, "ZigBee무선표준을 이용한 상수도 원격검침 네트워크 구현" 정보 및 제어 심포지움, ICS'06, 대한전기학회, 대한전자공학회, pp.168~170, 2006. 4
- [2] 권중원, 오드게렐, 박용만, 구상준, 김희식; "ZigBee를 이용한 실시간 임베디드 리눅스 기반의 저전력형 U-Health 시스템 구현" 2007 정보 및 제어 심포지움, ICS'2007, pp.436~438, 2007. 4
- [3] 박용만, 김희식, 김규식, 이문규, "지하철 역내 가스 검출 원격 모니터링 시스템 구현" 2007 정보 및 제어 심포지움, ICS'2007, pp.439~441, 2007. 4