

[Research Paper]

광산란 방식 실시간 미세먼지 측정 및 모니터링 시스템 개발

이누리 · 엄현욱 · 조현숙[†]

대전대학교 소방방재학과

Development of Detection and Monitoring by Light Scattering in Real Time

Nuri Lee · Hyun-Uk Um · Hyun-Sug Cho[†]

Department of Fire & Disaster Prevention Engineering, Daejeon University

(Received April 3, 2018; Revised April 19, 2018; Accepted April 30, 2018)

요 약

최근 초미세먼지는 사회적 재난으로 간주될만큼 국민건강에 심각하게 영향을 미쳐 사회문제가 되고 있다. 기존의 미세먼지 측정 방식은 베타선 흡수방식을 사용하여 실시간 측정 및 소형화가 어려운 단점이 존재한다. 본 논문에서는 광산란 방식을 사용하여 소형화 및 저비용의 센싱 장치를 개발하였다. 광산란 방식을 적용한 센서는 내부에 반도체 레이저 다이오드를 사용하여 구성하였으며, 전압레벨의 신호를 주파수레벨로 변환하여 기존 방식의 한계를 극복하고 미세먼지 입자 크기별 분리가 가능하도록 구현하였다. 또한 개발 시스템은 블루투스 통신으로 스마트폰과 연결하여 미세먼지를 모니터링하고, 장치를 제어할 수 있다.

ABSTRACT

Extremely fine particles seriously affect people and are becoming a social problem. Conventional methods using the type of beta ray absorption are difficult to have real-time measurements and miniaturization for the acquisition of fine dust. In this paper, a light scattering method was used. The sensors were configured internally with semiconductor laser diodes for miniaturization, low cost and lightweight. The use of the FFT method makes it easier to separate fine dust according to size compared to conventional light scattering sensors. Bluetooth communication also allows the connection, monitoring and control of devices using smart phones.

Keywords : Particle sensor, Fine particles, FFT, Real-time device, IoT

1. 서 론

최근 미세먼지의 위험과 관련하여 많은 연구 결과가 발표되고 있다. 특히 입자 직경 2.5 마이크로 이하의 초미세먼지는 폐부 깊숙이 침투하여 심각한 호흡 및 심장관련 질환을 유발한다는 연구 결과⁽¹⁾가 발표되었다. 공기 중의 초미세먼지의 농도를 측정하는 방법으로는 대표적으로 ‘중량포집법’, ‘베타선 흡수법’, ‘광산란법’이 있다⁽²⁾. 이 중 중량포집법과 베타선 흡수법을 통한 측정결과의 신뢰도가 높아 미세먼지 측정을 위한 표준 측정 방법으로 사용되지만, 필터에 먼지를 포집하는 과정이 필요하여 실시간 감지에 어려움이 있다⁽³⁾. 광산란법은 입자에 빛을 조사하고, 이때 산란되는 빛을 이용하여 입자의 농도를 측정하는 방식으로,

산란된 빛을 수광부로 집속한 뒤 집속된 광량을 전기적 신호를 이용해 미세먼지 입자를 측정한다. 광산란법은 베타선 흡수법에 비해 오차율이 높은 편이지만, 센서의 크기가 작고 저렴하며, 먼지를 포집할 필요가 없어 간단히 데이터를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 광산란방식에서 전압레벨의 신호분석은 미세먼지의 크기별 분리가 어려운 단점이 존재한다^(4,5).

본 연구에서는 초미세먼지 측정센서를 개발하고, 미세먼지를 모니터링하는 시스템에 관해 소개하고자 한다. 광산란 방식의 센서를 자체 설계·제작했으며, 기존의 광산란 방식이 전압레벨에서 일정 기준치 이상의 농도를 측정함으로써 입자검출의 정확성과 크기별 분리가 어려웠던 단점을 극복하기 위해 DSP 과정을 거쳐 주파수 레벨에서 초미세

[†] Corresponding Author, E-Mail: chojo@dju.kr, TEL: +82-42-280-2592, FAX: +82-42-280-2596

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

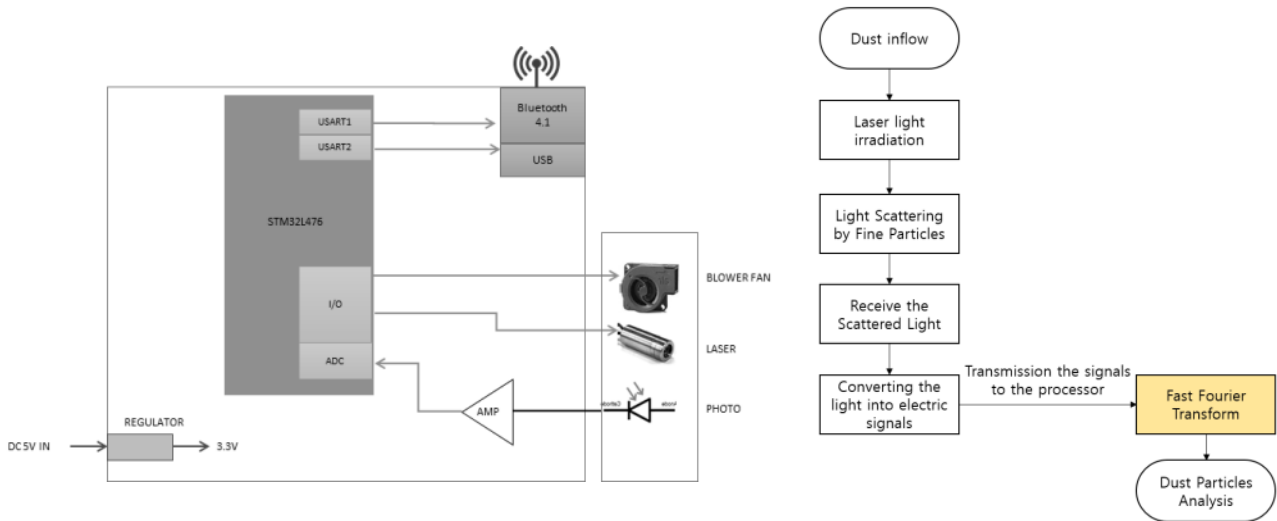


Figure 1. Block diagram & algorithm of sensor for measuring fine particles.

Table 1. Laser Diode Key Features

Parameter	Min	Typ	Max	Unit
Optical Power	0.6	0.75	0.9	mW
Operating Voltage	2.7	3	3.5	V
Operating Current	-	-	40	mA
Wave Length at Peak Emission	630	635	640	mM
Operating Temp Range	-10	25	50	°C
Storage Temp Range	-40	-	85	°C
Beam Size At 10 m	-	-	8 × 14	mm
Beam Divergence Angle	-	-	1	mrاد

먼지의 크기를 측정하고 실시간 검출이 가능한 장치를 개발하였다. 또한, 사용자들이 이용하기 편리하게 추출한 값을 스마트폰 어플리케이션에 그래프 형식으로 시각화하고, 스마트폰으로 미세먼지 측정 장치를 제어하여 모니터링 할 수 있는 기능을 구현하였다.

2. FFT 적용 초미세먼지 측정 장치

2.1 초미세먼지 측정 센서 개발

국내 센서 개발 업체는 평균 매출액 50억원 미만의 소규모 업체가 63%를 차지할 정도로 영세하며, 기술력 부족으로 일반 센서 중심의 산업구조로 신제품개발과 가격경쟁력 면에서 취약하다. 상당수의 기업이 수입된 센서를 기반으로 제품의 후가공, 조립, 패키징에 의한 모듈 생산에 의존하고 있는 실정이다.

Figure 1은 자체 개발한 미세먼지 센서 알고리즘 및 블록도를 나타낸다.

개발된 미세먼지 센서는 ① 센싱 위치에서 산란되는 광을 수광한 뒤, ② 전기 신호로 변환하여 프로세서로 전달하

는 수광부, ③ 센싱 위치에 레이저 광을 조사하는 발광부, ④ 먼지 측정센서 내부로 공기를 유입시키는 가열부로 구성되어 있으며, ⑤ 전압레벨의 신호를 FFT 변환하여 주파수 레벨에 대응하는 미세먼지를 검출하는 처리부에서 데이터를 분석한다.

반도체 레이저 다이오드(laser diode: LD)는 반도체 내에서 전자의 광학천이에 의한 광자의 유도방출을 이용한 광파의 발진기 및 증폭기를 총칭한다. 반도체 레이저 다이오드는 각종 레이저들 중에서도 가장 소형·경량이며 반도체 공정을 통해 저가격으로 대량 생산이 가능한 장점이 있다. 본 연구에서 사용한 광다이오드 사양은 다음 Table 1과 같다.

Figure 2는 개발된 미세먼지 측정장치의 PCB보드 및 광다이오드 장치, 센서 보드를 포함한 장치의 내부 화면을 나타낸다.

2.2 DIF FFT 알고리즘

본 연구에서는 광산란 방식의 측정방법이 초미세먼지의 정확한 입자 분리가 어려운 단점을 극복하기 위해 센싱 결과에 대한 미세먼지입자의 크기를 전압 레벨의 신호에서

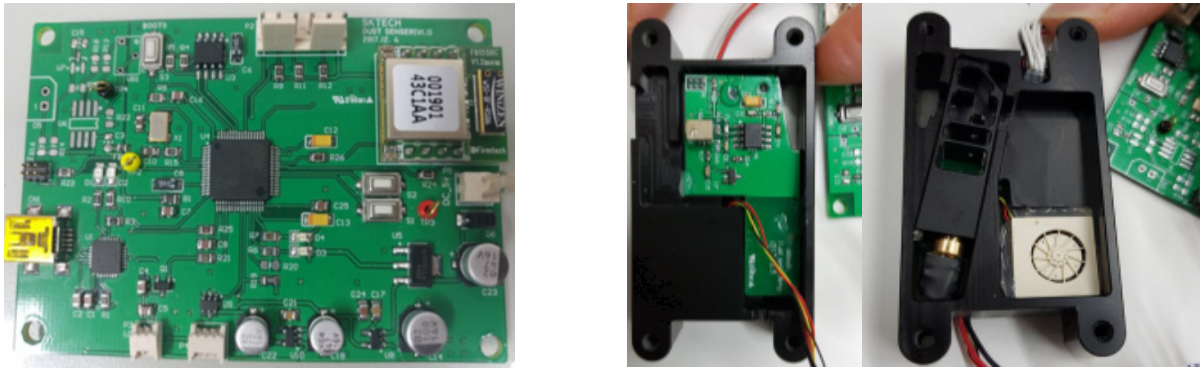


Figure 2. Sensor of the fine particles (PM2.5) device.

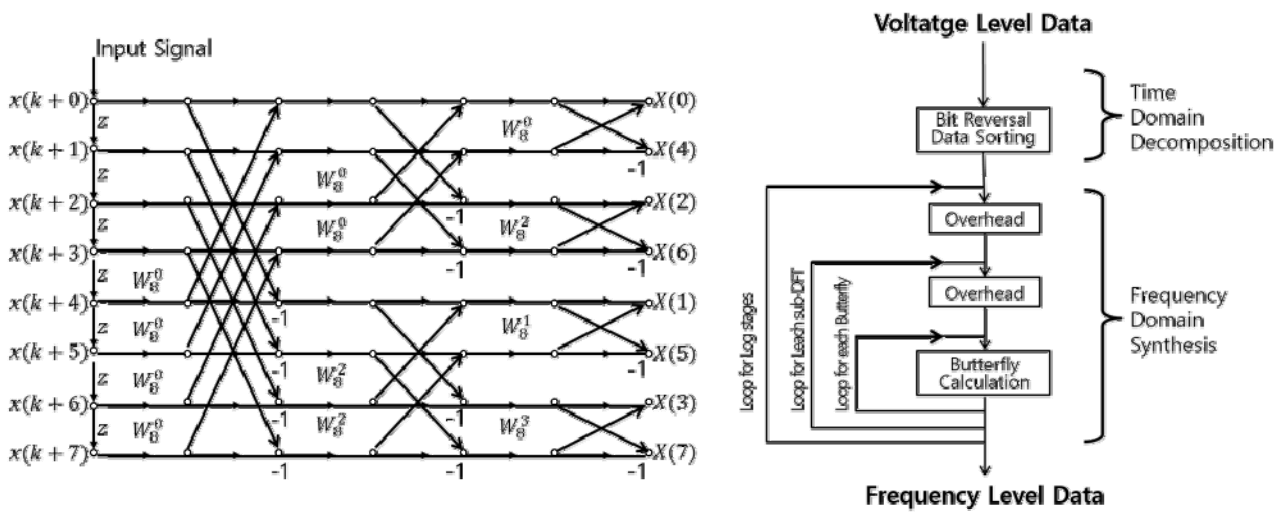


Figure 3. Code of Radix-2 (8 point) decimation in frequency FFT algorithm.

주파수 레벨의 신호로 변환하기 위해 Fast Fourier Transform (FFT) 알고리즘을 적용하였다. 미세먼지 크기에 따른 분류가 가능하도록 Digital CUP에 DSP 기능을 추가하고, 운영 라이브러리를 구현하여 초미세먼지의 크기 및 시간별 측정이 가능하도록 하였다. 최종 적용한 Decimation-In-Frequency (DIF) Radix-2 FFT 알고리즘은 Discrete Fourier Transform (DFT)에 비하여 1000배 이상 빠른 처리속도를 확보할 수 있다⁽⁶⁾. Figure 3은 DIF Radix-2 8-point FFT 구현 알고리즘에 관한 프로세스를 나타낸다.

3. 미세먼지 표준시료 생성장치 및 순환시스템 개발

3.1 챔버개발

본 연구에서 개발된 PM2.5 이하 미세먼지 측정 센서의 성능을 실험하기 위한 챔버는 Figure 4와 같다. 체적 0.2 m³, AIR IN/OUT PORT는 3/4" X 4 PORT로 구성되어 있으며, 공기유입은 “hepa filter H13” 등급(0.1 um 99.95%)을 사용하였고, VACCUM PUMP의 경우, STAGE: 4.5 CFM, POWER: 1/2 HP, 220 V/60 Hz 규격으로 구성되었다. 또한, PLC CONTROL

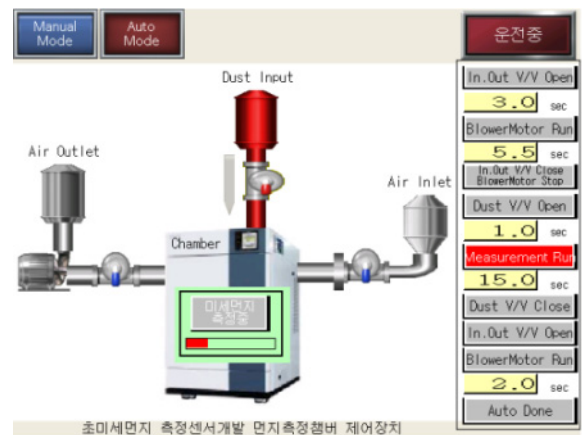
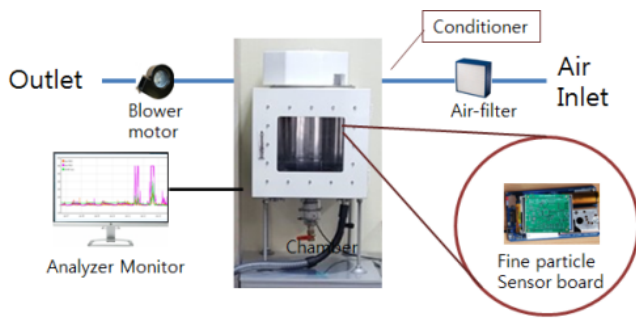
(CMB-SP32MDTF-SD (CYMON))기능 및 PC PROGRAM (labview 2013 작성, DATA 수집 및 FILE 생성)기능을 가지고 있다.

“AUTO/MANUAL PLC CONTROL”을 통해 제어하며, 챔버 안에 미세먼지 측정 장치와 시료를 함께 넣고 챔버를 가동시키면 - 10% ~ + 10%의 유속을 가진 공기가 순환되면서 시료가 흩어져 미세먼지를 측정하는 시스템이다. 내부면적은 0.2m²의 크기로 최적화하였고, 시료 투입 후 세척을 위한 세척 시스템, 외부 공기 인입 시 에어필터를 통한 외부 불순물 제거 시스템이 탑재되어 있다.

챔버 운용을 위한 PLC 프로그램을 구동하였으며, Figure 4의 오른쪽은 HMI 수동 및 자동운전 기능을 비롯하여 미세먼지 측정을 위한 챔버 장치의 자동화를 위한 제어 화면이다.

3.2 데이터 센싱 및 결과 도출

미세먼지 장치의 성능을 실험하기 위해 개발된 챔버를 활용하여 개발한 미세먼지장치를 실험하였다. 시료를 넣지 않은 상태, PM 0 ~ 5 크기의 미세먼지, 담배연기 및 종이를 이용하여 실험하였으며, 실험 결과는 Figure 5와 같다.



Main body specification (460 × 470 × 450 mm)
Table (600 × 1200 × 800 mm)

Figure 4. Chamber design and system & test chamber operation with HMI.

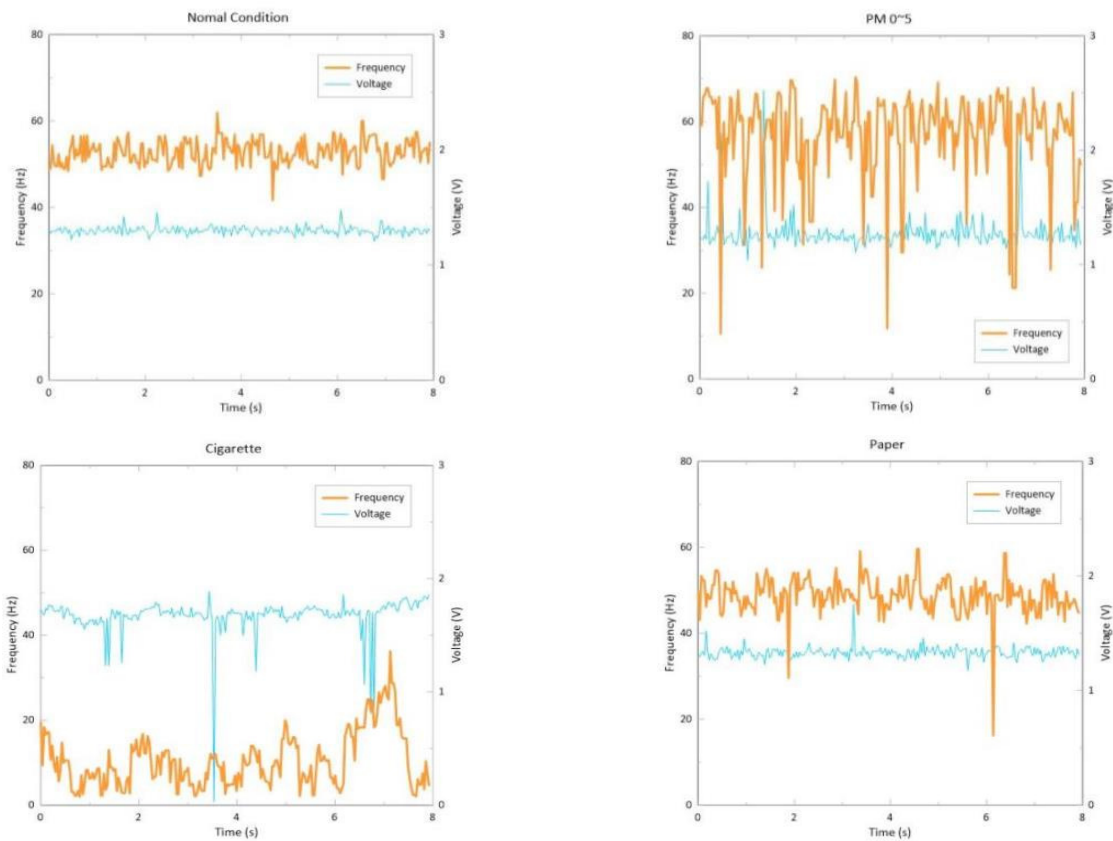


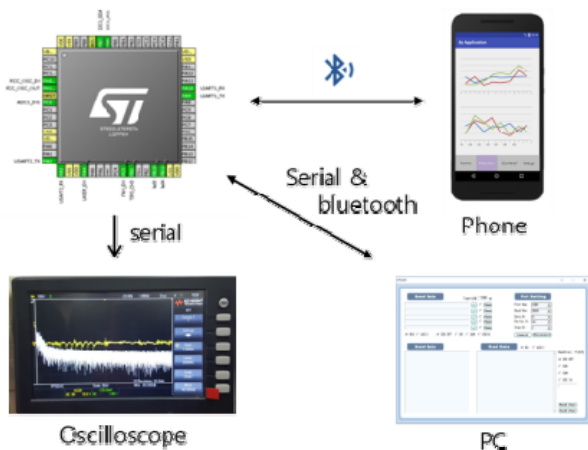
Figure 5. Result graphs for different samples.

Figure 5는 FFT 변환하기 전 전압 값과, FFT 변환 후의 값을 그래프로 나타내었다. 상단 좌측은 시료를 넣지 않은 상태의 FFT 레벨의 신호값과, 전압레벨 신호값을 나타낸다. 상단 우측은 PM 0 ~ 5 크기의 시료를 투입한 후 실험한 결과로 주파수 레벨과 전압레벨의 신호의 진폭이 매우 크게 나타난다. 하단 좌측은 담배연기를 측정했을 경우로 주파수 영역대 신호레벨이 50이하로 떨어지며, 하단 우측의 종이를 태웠을 경우를 나타낸다. 실험의 결과, 입자의 크기가 커질수록 FFT의 레벨이 낮아지고 작아질수록 높아지는 결과를 나타내었다.

4. 스마트폰 연동 원격제어 및 모니터링

사물인터넷(IoT)은 사물, 사람, 공간을 인터넷으로 연결하여, 정보의 생성·수집·공유·활용을 위한 사물·인간·서비스의 연결망이다. IoT는 주요 3대 기술(센싱 기술, 유무선 통신 및 네트워크 인프라 기술, IoT 서비스 인터페이스 기술)로 구성되며 IoT 플랫폼은 센싱 기술과 유무선 통신 및 네트워크 인프라 기술에 의해 구현된 사물의 기능을 서비스로 제공하기 위한 IoT 서비스 인터페이스 기술이다.

최근 사물인터넷에 의하여 디바이스와 스마트폰의 연동



```

    ■ Bluetooth Communication Part Code
    _HAL_UART_ENABLE_IT(&huart1, UART_IT_RXNE);
    _HAL_UART_ENABLE_IT(&huart2, UART_IT_RXNE);
    TM_DELAY_Init();
    HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);
    HAL_UART_Receive_IT(&huart1, (uint8_t *)Rx_data, 1);
    HAL_UART_Receive_IT(&huart2, (uint8_t *)Rx_data, 1);
    HAL_TIM_IC_Start_IT (&htim3, TIM_CHANNEL_3 );

    HAL_GPIO_WritePin(led3_GPIO_Port ,led3_Pin ,GPIO_PIN_SET );
    HAL_Delay(1000);///  
Bluetooth Standby Time

    sprintf(TX_BUF,"AT+BTSCAN%c",0x0d);
    HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t
    *)TX_BUF,strlen(TX_BUF),100);

        i2c_data [0] = 0x05;
        k = 0;

    /* 100ms with autoreload enabled, and start after it is created */
    
```

Figure 6. System architecture and code for control and monitor of fine particles sensor.

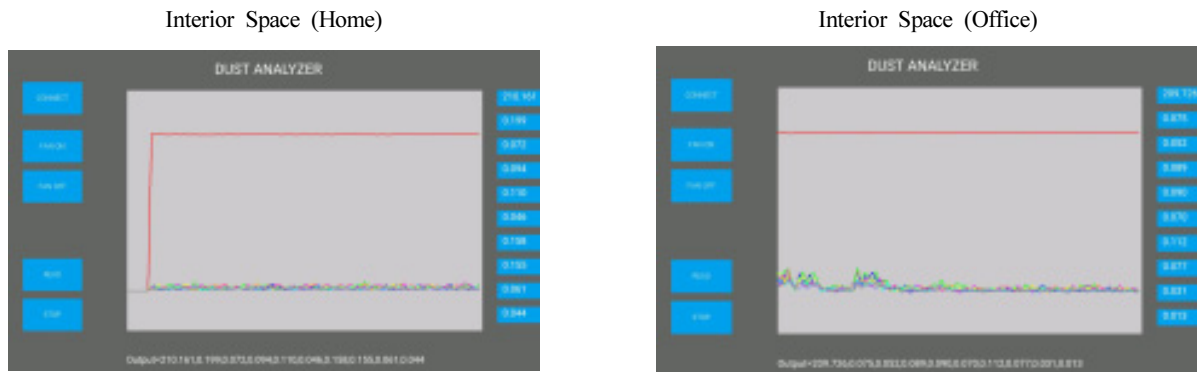


Figure 7. Fine articles sensing application.

을 통하여 주변의 센서로부터 수집된 정보를 직접 가공, 처리하거나 제어하는 등 생활밀착형 앱 서비스를 제공하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다⁽⁷⁾. 실시간 센서 데이터가 발생하는 여러 산업현장에서는 실시간으로 발생된 데이터의 예측되지 못한 급작스러운 속성의 빠른 인지를 가능케 하는 실시간 데이터 시각화 분석이 대두되고 있다⁽⁸⁾.

이에 본 연구에서 IoT기술을 적용하여 실시간으로 측정하는 미세먼지 측정값을 스마트폰으로 전송하여 시각화하여 모니터링 할 수 있게 하고, 개발한 측정 장치를 제어할 수 있게 하였다.

4.1 시스템 구조

본 개발 장치는 블루투스를 이용하여 통신함으로써 스마트폰 하나로 여러 지역에 있는 미세먼지 측정 장치를 제어할 수 있고, 언제 어디서든 스마트폰을 통해 원하는 위치에 있는 미세먼지 측정 장치의 신호를 받아 실시간으로 확인 할 수 있어 사용자에게 매우 편리하게 적용된다.

Figure 6의 왼쪽은 미세먼지 장치와 디바이스 간의 시스템 구조를 나타낸 것이다. 블루투스 통신으로 스마트폰과 연결하거나, 시리얼 통신을 이용해 다른 디바이스와 연결

하는 구조이다. 오른쪽은 블루투스 통신을 위한 소스코드를 나타낸다.

4.2 스마트폰 어플리케이션

Figure 7은 본 연구에서 개발된 장치를 이용하여 실내에서 미세먼지를 측정한 결과화면이다. 그래프의 x축은 시간, y축은 미세먼지 측정값으로 구성하였다. 모바일에서 ‘ONCE’ 또는 ‘REPEAT’ 버튼을 터치하여 센싱을 시작하는데 ‘ONCE’ 터치 시 미세먼지를 터치할 때만 한 번씩 측정하며, ‘REPEAT’ 터치 시 연속적으로 측정하도록 구현하였다. 모바일 어플리케이션 동작에 관한 실험은 서로 다른 실내공간에서 개발 장치를 이용하여 측정한 결과값을 사용하였다.

5. 결론

본 논문에서는 광산란 방식을 이용하여 미세먼지를 측정하는 장치를 개발하였다. 광산란 방식을 적용함으로써 실시간 측정이 가능한 소형 장치를 구현하였으며, 기존의 광산란 방식이 전압레벨의 신호를 적용하여 미세먼지 입자의 크기별 분리가 어려웠던 단점을 극복하기 위해 FFT 알

고리즘을 적용하였다. 주파수 레벨에서 미세먼지 입자의 크기를 분류한 결과, 초미세먼지, 미세먼지, 담배연기, 스프레이 등 입자별 분리가 가능하였다. 또한 개발된 장치를 모바일 환경에서 구동하고 제어할 수 있도록 모니터링 및 제어 가능한 소프트웨어를 개발하였다. IoT 통신을 위하여 블루투스 방식을 선택하여 데이터 용량을 최소화하였다. 블루투스 통신을 통해 미세먼지 측정값을 스마트폰으로 전송하고 어플리케이션에 그래프 형식으로 시각화하여 모니터링이 가능하게 구현하였으며, 언제 어디서든 스마트폰으로 미세먼지 측정 장치를 제어할 수 있게 구현하였다.

향후 초미세먼지 PM 2.5 및 PM 1.0을 구별할 수 있도록 장치 보완이 필요하며, 입력신호의 노이즈 처리 등 DSP 처리를 추가하여 미세먼지 입자 및 화재 부유물을 구분할 수 있도록 알고리즘을 개선할 예정이다. 또한, 온·습도 데이터와 미세먼지 데이터를 동기화하여 블루투스와 광대역 통신망으로 전송하는 멀티센서 통합보드를 개발할 계획이다.

후 기

본 논문은 센서 개발 업체인 (주)빅트론과 대학이 미세먼지 센서 자체개발을 위해 협업하여 결과물을 도출하였으며, 한국연구재단(과제번호 20173653)의 지원을 받아 수행되었다.

References

1. D. C. Shin, "Health Effects of Ambient Particulate Matter", J. Korean Med. Assoc., Vol. 50, No. 2, pp. 175-182 (2007).
2. S. J. Kim, Y. S. Son, H. S. Kang, J. C. Kim, J. H. Lee, K. S. Kim and I. W. Kim, "Compensation of Particulate Matter Measurement by Light Scattering Method", Journal of Korean Society for Atmospheric Environmnet, pp. 613-615 (2009).
3. S. Y. Kim and E. Paulos, "In Air: Sharing Indoor Air Quality Measurements and Visualizations", Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1861-1870 (2010).
4. J. B. Wedding and M. A. Weigand, "An Automatic Particle Sampler with Beta Gauging", Jour. of the Air Waste Manage. Assoc., Vol. 43, No. 4, pp. 475-479 (1993).
5. S. H. Yu, "Discrete Fourier Ttransform and Fast Fourier Transform Algorithms", Master's Thesis, The University of Suwon, pp. 1-3 (2001).
6. G. H. Lee, Y. B. Kim and H. S. Kim, "A study of Measuring Position in Real-Time about Particulate Matter Density based on Scattering Method", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 133-134 (2017).
7. C. W. Park and S. D. Kim, "Practical Methods for Managing Faults in IoT Computing", Journal of Internet Computing and Services (JICS), Vol. 16, No. 5, pp. 75-86 (2015).
8. Y. B. Kim and J. H. Kwak, "A Study of Smart Convergence Strategies for Enhancing a Creative Economy: Lessons from Korea", Journal of Internet Computing and Services (JICS), Vol. 15, No. 4, pp. 67-79 (2014).