

논문 2012-50-6-34

## 지하철 역사 공기질 모니터링 시스템의 구현

### ( Implementation of Indoor Air Quality Monitoring System for Subway Stations )

김 규 식\*

( Gyu-Sik Kim<sup>©</sup> )

#### 요 약

지하철 역사의 미세먼지농도는 지하철 승객의 건강을 위해서 항상 모니터링되고 관리되어야 한다. 서울메트로와 서울도시철도공사는 몇몇 공기 오염물질을 주기적으로 측정하고 있다. 본 논문에서는 지하철 역사의 PM10 농도를 연속해서 측정하기 위해, 선형회귀분석법을 이용하여 저가의 광산란식 미세먼지측정기의 성능을 향상시키고자 하였다. 이와 더불어, 지하철 역사의 대합실, 승강장, 터널, 외기의 PM10, CO<sub>2</sub>, 습도, 온도 등을 측정하고 기록하기 위해 CDMA M2M 기법을 적용한 무선통신 모니터링 시스템을 구축하였다.

#### Abstract

The particle matter concentrations in the subway stations should be monitored and controlled for the health of commuters on the subway system. Seoul Metro and Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation are measuring several air pollutants regularly. In this paper, the reliability of the cheap instruments using light scattering method is improved with the help of a linear regression analysis technique to measure the PM10 concentrations continuously in the subway stations. In addition, a monitoring system is implemented to display and record the data of PM10, CO<sub>2</sub>, humidity, and temperature. To transmit and receive these measured sensor data, CDMA M2M wireless communication method is applied.

**Keywords :** PM<sub>10</sub>, linear regression analysis, subway station, CO<sub>2</sub>, CDMA.

## I. 서 론

최근 경제적 수준과 과학의 발달에 따라 복잡하고 다양한 생활용품, 건축 내장재 등으로부터 다양한 오염물질이 방출되는 등 실내공간에서 생활하는 거주자들로부터 빌딩증후군 증상을 호소하는 사례가 증가하고 있다. 또한, 많은 사람들이 지하공간에서 생활을 하는 시간이 늘어남에 따라 지하 공간 및 다중 이용시설에서의 공기

질에 대한 관심 또한 높아지고 있고, 이들 공간에서의 공기질 관리에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다<sup>[1~6]</sup>. 정부는 2003년 5월 실내공기질의 합리적 관리를 위하여 기존의 지하 생활공간 공기질 관리법을 다중시설 등의 실내공기질 관리법으로 개정하여 2004년 5월 30일부터 시행하고 있다. 이 법의 적용대상이 되는 다중이용시설들은 종전 지하역사, 지하도 상가의 2개 시설군에서 도서관, 의료기관, 찜질방, 대규모점포 등 15개 시설군을 추가하여 17개 시설군으로 확대하였다. 다중이용시설의 실내공기질 오염물질중 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 포름알데히드(HCHO), 총부유세균, 일산화탄소(CO) 등 5개 물질에 대하여 유지기준을 표 1에 제시한 바와 같이 설정하고 있다(법 제5조). 실내 공기질 관리법에 의하면 다중 이용시설물 중 지하역사, 지하도상가,

\* 정회원, 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부  
(Dept. of Electrical and Computer Engineering,  
University of Seoul)

※ 본 논문은 2012년도 서울시립대학교 교내 자유공모  
과제 지원에 의하여 연구되었음

© Corresponding Author(E-mail: gskim318@uos.ac.kr)  
접수일자 2013년2월13일, 수정완료일 2013년5월14일

표 1. 다중이용시설 실내공기질 유지기준 (법 제5조)  
Table 1. Spec. of indoor air quality for public utilizing facilities.

오염물질 항목 다중이용시설	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO <sub>2</sub> (ppm)	HCHO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	총부유세균 (CFU/ $\text{m}^3$ )	CO (ppm)
지하역사, 지하도상가, 여객 자동차터미널의 대합실, 철도 역사의 대합실, 공항시설중 여객터미널, 항만시설중 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 장례식장, 접견방, 대규모점포	150 이하	1,000 이하	120이하	-	10 이하
의료기관, 보육시설, 노인의료시설, 산후조리원	100 이하			800이하	
실내주차장	200 이하			-	25 이하

지하상점 및 여객 터미널 등의 시설물에서 PM<sub>10</sub> (직경 10 $\mu\text{m}$  이하인 미세먼지 농도) 은 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하를 유지하도록 되어 있다.

한편, 지하철 공기질 중에서는 미세먼지농도가 가장 중요한 것으로 알려져 있다. 이러한 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 측정 방법으로는 중량법, 베타선 흡수법, 그리고 광산란법이 있다. 중량법은 질량 측정방법이라고도 한다. 대기 중에 부유하는 에어로졸 중 미세먼지를 분리 포집하여 걸러진 여과지의 중량을 측정하여 입자의 농도[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]를 측정하는 방법이다. 그리고 베타선흡수법은  $\beta$  선을 조사(照射)하는 광원이 필터 위에 채취된 먼지를 통과할 때 흡수 또는 소멸되는  $\beta$  선의 차이로 먼지 농도를 측정하는 방법이다. 단일입자 측정법으로는 입자가 산란시키는 빛의 양을 근거로 입자의 광학적인 크기 및 개수를 실시간으로 측정하는 광산란식 측정법이 있다. 그 중에서 실시간 모니터링을 위해서는 광산란식 미세먼지 측정기가 가장 적합한데 측정방식 자체의 문제점 때문에 측정 오차가 발생하는데 본 논문에서는 이를 줄이는 방안을 연구한다. 또한, 이들 측정된 센서 데이터를 전송하고 받기 위해 CDMA M2M 기법을 이용한 무선통신방식을 적용하였고, 3호선 대청역의 대합실, 승강장, 터널, 그리고 외기의 미세먼지농도, CO<sub>2</sub> 농도, 온습도를 3일간 측정하고 모니터링하였으며, 이들 데이터의 상관관계를 파악하였다.

## II. 본 론

### 2.1 회귀분석에 의한 미세먼지측정기의 정밀도 향상

지하역사와 같은 공간에서 실내공기질을 유지하기 위해서는 오염물질에 대한 실시간 모니터링과 데이터의 신뢰성이 대단히 중요하다. 일반적으로, 미세먼지의 농도측정에 있어서 중량법이 가장 신뢰할 수 있지만 이 방법은 일정시간 이상의 시료를 채취해야만 농도값을 구할 수 있고 매번 여과지를 교체해야 하기 때문에 실시간 모니터링을 하기에는 문제가 크다.

한편, 광산란법으로는 6백만원 정도하는 HCT 의 측정장비가 정밀한데 반해, HCT 의 1/10 가격인 60만원 정도하는 Airstest는 오차가 상대적으로 큰 단점이 있다. 이처럼 가격이 저렴하지만 오차가 큰 Airstest 측정장치를 선형회귀분석 기법을 이용하여 보정함으로써 오차를 줄이고자 한다.

회귀분석이란 변수들의 상호 관련성을 규명하기 위하여 어떤 수학적 모형을 가정하고 이 모형을 측정된 변수들의 데이터로부터 추정하는 분석방법을 말한다<sup>[1]</sup>. 일반적으로 선형 회귀선은 식 (1)과 같은 직선의 형태로 나타낼 수 있다.

$$y = \hat{m}x + \hat{b} \quad (1)$$

$\hat{m}$ 은 회귀선의 기울기를 나타내고  $\hat{b}$ 는 회귀선의 y의 절편을 나타낸다. 선형 회귀법은 데이터에 대해서 최소 제곱 오차를 사용하여 구할 수 있다. 식 (1)의 미지의 변수  $\hat{m}$  과  $\hat{b}$  를 구하기 위해서 오차 e 는 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$e = \sum_{i=1}^N (y_i - (\hat{m}x_i + \hat{b}))^2 \quad (2)$$

여기서, e는 오차 또는 잔차(residual)를 나타낸다. 최소 오차제곱은 오차의 제곱 합을 최소화하기 때문에, 그 계수들은 각각의 매개변수에 대해서 오차 e를 편미분을 취함에 의해서 얻어질 수 있다.

$$\frac{\partial e}{\partial \hat{m}} = -2 \sum_{i=1}^N x_i (y_i - (\hat{m}x_i + \hat{b})) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \hat{b}} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - (\hat{m}x_i + \hat{b})) = 0$$

식 (3)을 정리하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{m} \sum_{i=1}^N x_i^2 + \hat{b} \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (4)$$

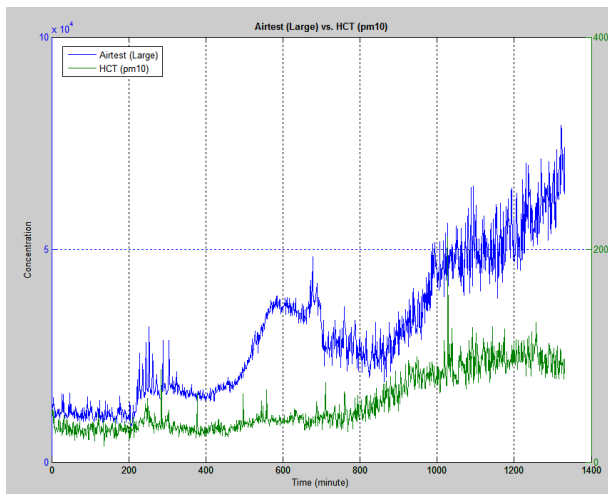
$$\hat{m} \sum_{i=1}^N x_i + \hat{b} N = \sum_{i=1}^N y_i$$

식 (4)를 연립해서 풀이하면 식 (5)를 얻는다.

$$\hat{m} = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (5)$$

$$\hat{b} = \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N y_i - \hat{m} \sum_{i=1}^N x_i)$$

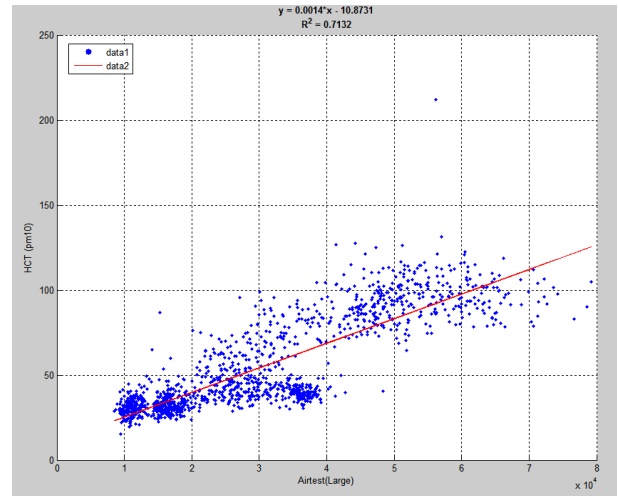
이와 같은 선형회귀분석을 이용하여 Airstest 미세먼지 측정기의 보정을 시도한다. 2012년 4월 8일 24시간동안 학여울역 대합실에 HCT와 Airstest를 설치하여 데이터를 취득한 결과가 그림 1에 있다. 그림 2와 같은 선형회귀분석방법을 거쳐 그림 3과 같이 Airstest Large (PM5 이상의 미세먼지) 데이터의 교정결과를 얻었다. 이때, 보정모델  $y = 0.0014 * x - 10.8731$ 의 적합도  $R^2 = 0.7132$ 의 높은 상관도를 가짐을 확인할 수 있었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 가격이 상대적으로 저렴한 Airstest 광산란식 미세먼지 측정기로도 교정을 통해 오차를 보정함으로써 충분



(Airstest Large 왼쪽 y축 : number, HCT PM10 오른쪽 y축 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

그림 1. Airstest Large(위) 와 HCT PM10(아래)의 데이터비교

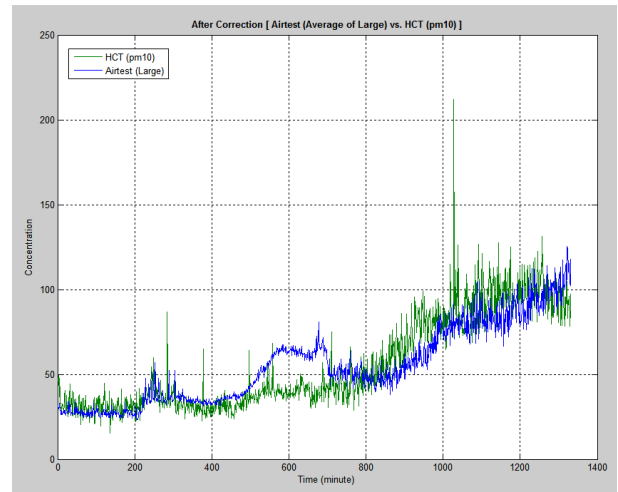
Fig. 1. Data comparison of Airstest Large(upper) and HCT PM10(lower).



(Airstest Large x축 : number, HCT PM10 y축 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

그림 2. 선형회귀분석 결과

Fig. 2. Results of linear regression analysis.



(x축 : minute, y축 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

그림 3. 선형회귀분석에 의한 Airstest Large 데이터의 보정

Fig. 3. Data correction of Airstest Large using linear regression analysis.

히 실시간 모니터링용으로 이용이 가능함을 알 수 있다. 또한, 그림 1-3까지의 24시간 보정데이터를 이용하여 오차보정한 뒤 1년여의 필드테스트를 수행한 결과, 측정기의 장소가 바뀌지만 앓는다면 한 번 보정한 결과를 유용하게 이용할 수 있음을 확인하였다.

## 2.2 CDMA 무선통신을 이용한 지하철 공기질 모니터링

지하철을 이용하는 시민고객 및 근무자들에게 편안하고 안전한 교통 수단과 근무 환경을 제공하기 위해서는 지하철 대기환경의 미세먼지, CO<sub>2</sub>, 온도, 습도 등의

실시간 공기질 정보를 정확하게 측정하고 안정적인 네트워크 성능을 가지는 무선통신 방식을 이용하여 측정 데이터를 전송하는 통합 공기질 모니터링 시스템을 구축할 필요가 있다<sup>[12]</sup>. 유선으로 전송할 경우는 복잡한 구조를 갖고 있는 지하철 역사를 고려할 때 승강장이나 대합실에 지저분한 통신선의 설치가 불가피하고 미관상이나 관리에 상당한 불편을 초래할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 그림 4와 같이 안정적인 네트워크 성능을 가지는 CDMA 무선통신 방식을 이용한 M2M (Machine to Machine) 통신을 사용하여 측정 데이터를 전송하는 통합 공기질 모니터링 시스템을 구축하였다. M2M 솔루션 통신모듈(MDT-800)은 쉐컴의 MSM6025 칩을 채용하여 설계된 800[MHz]대역의 CDMA2000 1X 용 모듈인 BCM-865를 적용하여 구현된 외장형 모델이다. 이 장비는 최근 증가하고 있는 M2M 기능의 요구를 수용하기 위하여 개발되었으며, 임의의 시스템에 부가적 시스템으로 장착하여 해당 시스템을 CDMA 무선망에 접속하여 음성 및 데이터 통신 기능을 갖도록 하는 무선 단말장치이다. 이 모델은 153.6[kbps]의 패킷 데이터(packet data)의 전송속도를 지원하며, 소형, 경량 제품으로서 원격감시, 제어, 검침, 텔레메틱스, 보안기기 등의 다양한 M2M 응용분야에 사용할 수 있다. 또한, RS-232 통신을 통해서 제어하며 다양한 응용분야에 쉽게 적용할 수 있도록 다양한 AT 명령어들을 제공한다. 구현된 통합 공기질 모니터링 시스템의 성능을 평가하기 위해 지하철 역사에 시범 설치하여 운용하였다. 대합실, 승강장 및 터널, 외기 등에 설치될 통합 공기질 측정 장비는 주기적으로 온·습도, CO<sub>2</sub>, 미세먼지를 측정 한 공기질 데이터를 CDMA 통신 모듈을 통해 BTS(Base Station Transceiver Subsystem)에 전달하고, 이 데이터는 통신회사의 수신 서버로 전달된다. 통

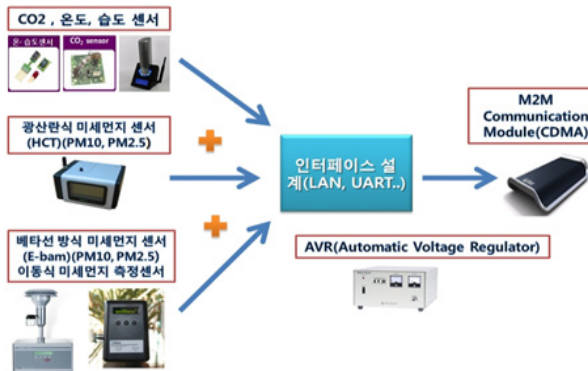


그림 4. M2M CDMA 무선통신  
Fig. 4. M2M CDMA wireless communication.

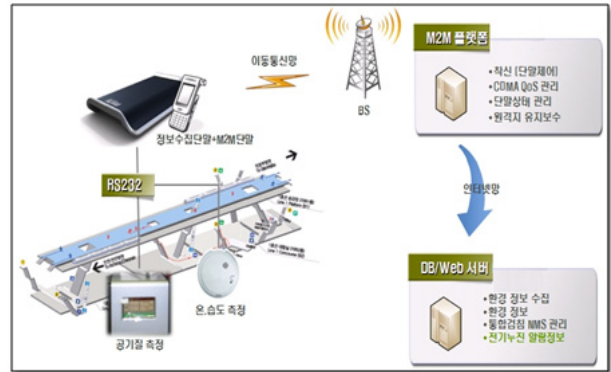


그림 5. M2M CDMA 무선통신을 이용한 모니터링 시스템  
Fig. 5. Monitoring system using M2M CDMA wireless communication.

신회사에서는 수신된 데이터를 M2M 플랫폼을 사용하여 데이터 수신 서버와 TCP 소켓(Socket) 통신을 하여 데이터를 송신한다. 그림 5는 공기질 측정 장비에서 측정된 데이터가 최종적으로 수신 서버까지 전송되는 과정을 보여준다.

지하 역사 승강장보다 터널에서의 통신환경은 더 열악한 것으로 알려져 있다. 그림 6과 같은 CO<sub>2</sub>, 온습도 센서와 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 미세먼지 센서, MCU 보드, M2M 단말기로 구성된 M2M 솔루션 통신 모듈을 이용한 공기질 모니터링 시스템을 구축하고, 통합 공기질 측정 장비의 성능을 확인한 결과, 통신 성공율이 99.86% 라는 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다. 결론적으로, M2M 통신을 활용한 통합 공기질 측정 장비를 바탕으로 공기질 관리시스템을 구축하면, 기존 유무선 시스템을 대체할 충분한 신뢰성을 보일 것으로 기대된다. 다만, M2M CDMA 무선통신을 이용할 경우는 기존 무선통신 사업자의 중계기를 이용하여 데이터를 수신받아야 하기 때문에 월 사용료를 지불해야 하는 단점이 있다. 그러나, 데이터 전송에 소요되는 통신료가 그리 비싸지 않고 지



그림 6. 터널에 설치된 공기질 측정 장치  
Fig. 6. Air quality measurement apparatus set up in tunnel.

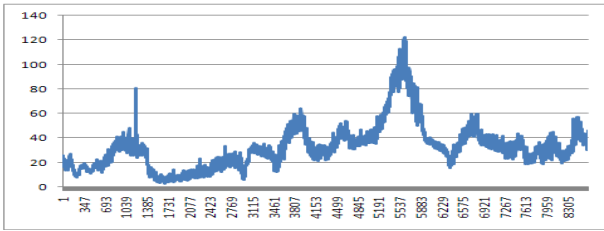
그비나 RF 무선통신을 위해서는 짧은 구간에 중계기를 설치해야 하는데 설치비나 장치의 가격이 비싸 경제적으로는 M2M CDMA 가 훨씬 유리하다.

2.3 서울 지하철 대기환경 현황 분석

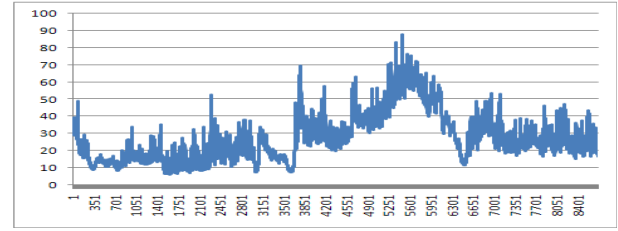
지하철 대기환경중에서 가장 중요한 미세먼지 PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, 온도, 습도에 대해 서울지하철 3호선 대청역의 대

합실에서 2012년 8월 15일부터 17일까지 30초 간격으로 3일간 측정된 데이터가 그림 7에 있다. CO<sub>2</sub> 농도 측정기는 NDIR 방식 휴대용 측정기로 0~10,000ppm 까지 측정가능하며 15ppm의 오차를 허용한다. 온습도센서는 SENSIRION사의 SHT11 라는 온·습도를 동시에 측정할 수 있는 센서를 이용하였다.

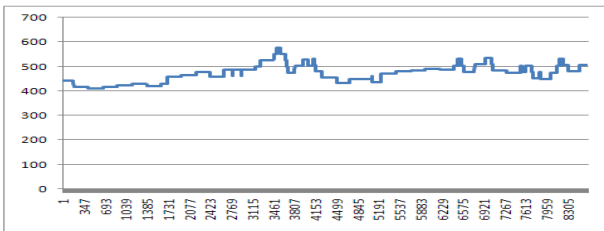
그림 7 (a)의 대청역 대합실 미세먼지 PM<sub>10</sub>의 3일간



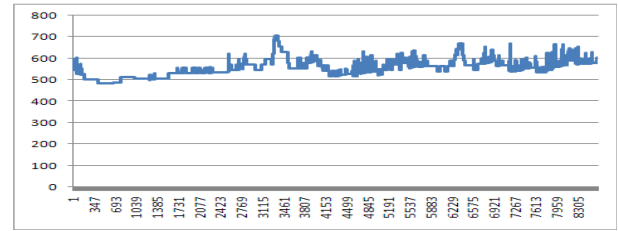
(x축 : number - 30초간격, y축 : µg/m3)  
(a) 미세먼지 PM<sub>10</sub> 데이터



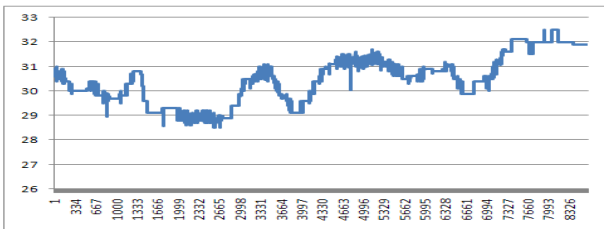
(x축 : number - 30초간격, y축 : µg/m3)  
(a) 미세먼지 PM<sub>10</sub> 데이터



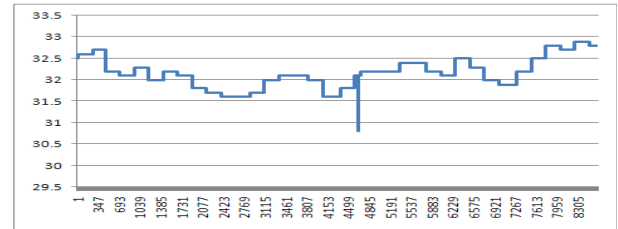
(x축 : number - 30초간격, y축 : ppm)  
(b) CO<sub>2</sub> 농도



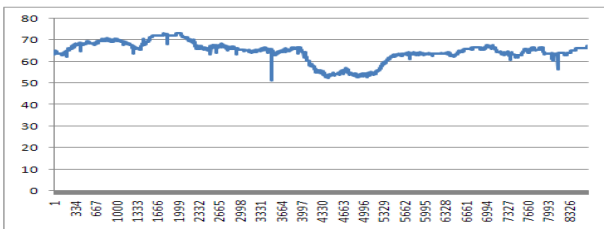
(x축 : number - 30초간격, y축 : ppm)  
(b) CO<sub>2</sub> 농도



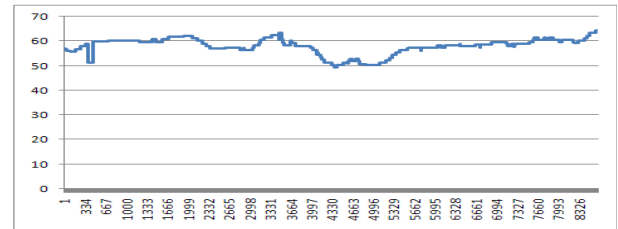
(x축 : number - 30초간격, y축 : °C)  
(c) 온도



(x축 : number - 30초간격, y축 : °C)  
(c) 온도



(x축 : number - 30초간격, y축 : 상대습도 %)  
(d) 상대습도



(x축 : number - 30초간격, y축 : 상대습도 %)  
(d) 상대습도

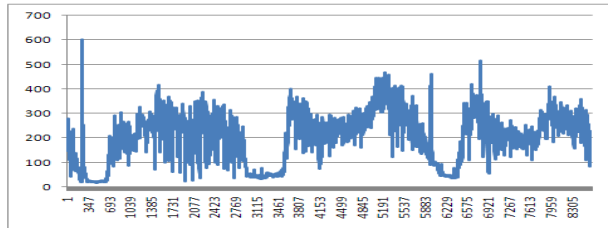
그림 7. 대청역 대합실의 미세먼지농도, CO<sub>2</sub> 농도, 온도, 상대습도

Fig. 7. Particle matter concentration, CO<sub>2</sub> concentration, temperature, humidity of Daechung station waiting room.

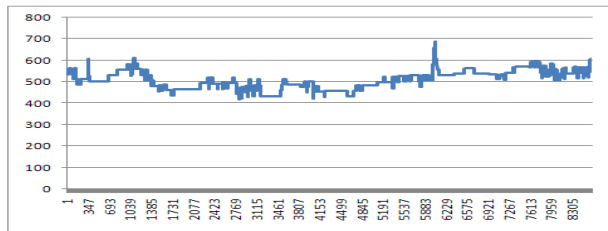
그림 8. 대청역 승강장의 미세먼지농도, CO<sub>2</sub> 농도, 온도, 상대습도

Fig. 8. Particle matter concentration, CO<sub>2</sub> concentration, temperature, humidity of Daechung station platform.

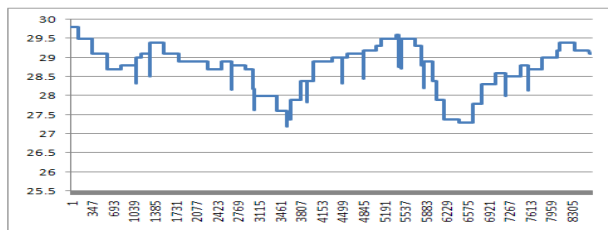
데이터를 보면  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 항상 표 1의 다중이용 시설 실내공기질 유지기준  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 7 (b)의  $\text{CO}_2$  농도는  $400\sim 600\text{ppm}$  정도를 나타내며, 그림 7 (c)의 대청역 대합실의 온도는 대략  $29\sim 32^\circ\text{C}$  를 유지하고 있다. 그림 7 (d)의 대청역 대합실의 상대습도는 대략  $50\sim 70\%$  정도를 나타냄을 확인할 수 있었다.



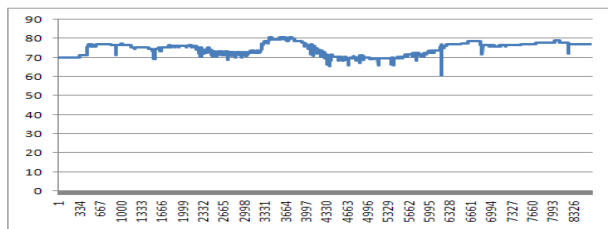
(x축 : number - 30초간격, y축 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(a) 미세먼지  $\text{PM}_{10}$  데이터



(x축 : number - 30초간격, y축 : ppm)  
(b)  $\text{CO}_2$  농도



(x축 : number - 30초간격, y축 :  $^\circ\text{C}$ )  
(c) 온도



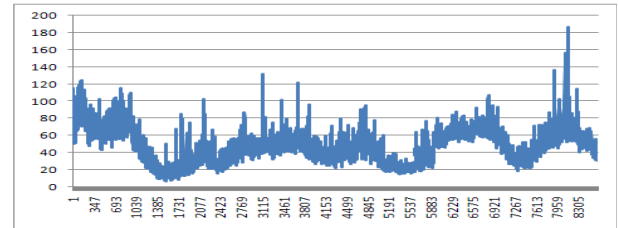
(x축 : number - 30초간격, y축 : 상대습도 %)  
(d) 상대습도

그림 9. 대청역과 학여울역 사이의 터널안 미세먼지농도,  $\text{CO}_2$  농도, 온도, 상대습도

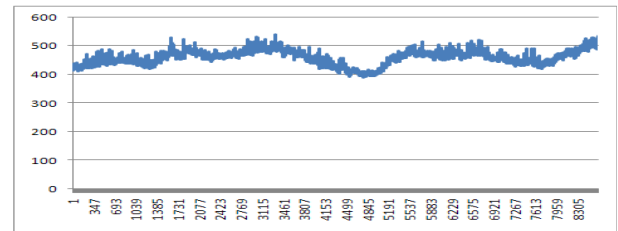
Fig. 9. Particle matter concentration,  $\text{CO}_2$  concentration, temperature, humidity of Daechung - Hakyewool station tunnel.

한편, 그림 7과 동일한 시간대에 대청역의 승강장에서 측정된 데이터가 그림 8에 있다. 그림 8 (a)의 대청역 승강장 미세먼지  $\text{PM}_{10}$ 의 3일간 데이터를 보면  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 항상 표 1의 다중이용시설 실내공기질 유지기준  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족하고 있음을 알 수 있다.

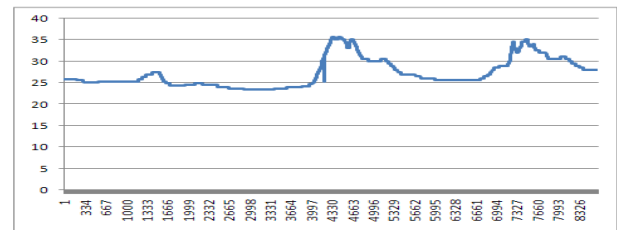
그림 8 (b)의 승강장  $\text{CO}_2$  농도는  $500\sim 700\text{ppm}$  정도를 나타내며 대략 대합실에 비해  $100\text{ppm}$  정도 높은데,



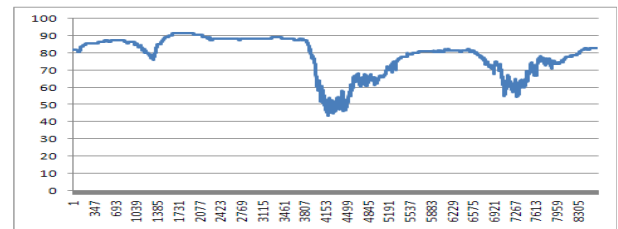
(x축 : number - 30초간격, y축 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(a) 미세먼지  $\text{PM}_{10}$  데이터



(x축 : number - 30초간격, y축 : ppm)  
(b)  $\text{CO}_2$  농도



(x축 : number - 30초간격, y축 :  $^\circ\text{C}$ )  
(c) 온도



(x축 : number - 30초간격, y축 : 상대습도 %)  
(d) 상대습도

그림 10. 대청역 외기 미세먼지농도,  $\text{CO}_2$  농도, 온도, 상대습도

Fig. 10. Particle matter concentration,  $\text{CO}_2$  concentration, temperature, humidity of Daechung station outdoor air.



이는 많은 승객이 승강장에 모여 있기 때문으로 판단되고 표 1의 실내공기질 유지기준인 1000ppm을 넘지 않는 것으로 확인되었다. 그림 8 (c)의 대청역 승강장 온도는 대략 31~33°C 를 유지하고 있고 그림 8 (d)의 대청역 승강장 상대습도는 대략 50~60% 정도를 나타낼 수 있었다.

그림 7과 동일한 시간대에 대청역과 학여울역 사이의 중간부분에 위치한 터널에서 측정된 데이터가 그림 9에 있다. 그림 9 (a)의 터널 미세먼지 PM10의 3일간 데이터를 보면 대략 100~400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 표 1의 다중이용시설 실내공기질 유지기준 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘어선다. 이는 대합실이나 승강장과는 달리 터널은 스크린도어 설치 이후 터널안에서 발생한 미세먼지가 밖으로 빠져 나가지 못하고 계속 쌓여 있기 때문으로 판단된다.

이들 미세먼지가 전동차안으로 유입되어 승객이나 승무원의 건강에 위협요인이 될 수 있다. 그림 9 (b)의 터널 CO<sub>2</sub> 농도는 400~600ppm 정도를 나타내며 대략 대합실과 비슷하다. 그림 9 (c)의 터널 온도는 대략 27~30°C 를 유지하고 있고 그림 9 (d)의 터널 상대습도는 대략 70~80% 정도를 나타낸다. 마지막으로, 그림 7과 동일한 시간대에 지하 대청역의 위쪽에 도로변 외기에서 측정된 데이터가 그림 10에 있다. 그림 10 (a)의 외기 미세먼지 PM10의 3일간 데이터를 보면 대략 10~120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  로 대청역 주변도로의 미세먼지농도는 대체적으로 양호한 편이다. 이는 측정된 시기가 여름철 우기라 자주 비가 내려 대기중의 미세먼지농도가 낮았고 특히 대청역 주변은 차량통행이 그리 많지 않아 대기환경이 나쁘지 않다고 판단된다. 그림 10 (b)의 외기 CO<sub>2</sub> 농도는 400~500ppm 정도를 나타낸다. 그림 10 (c)의 외기 온도는 대략 25~35°C 를 유지하고 있고 그림 10 (d)의 외기 상대습도는 대략 50~90% 정도를 나타낸다. 흥미로운 사실은 외기의 온도가 올라가면 상대습도는 떨어지는 현상을 그림 10 (c)와 (d)에서 확인할 수 있었다.

### III. 결 론

지하철 역사 공기질 개선을 위한 다양한 연구들의 수행되고 있고, 대기 환경 분야에서 다양한 센서들이 개발되어 오염된 지하공간에서의 공기질을 모니터링하고 이를 이용하여 개선하려는 노력들이 점차 현실화 되어 가고 있다. 본 논문에서는 저가의 광산란식 미세먼지 측정기의 정밀도 향상을 위해 선형회귀분석을 실시하고

추정된 회귀모형을 통해서 미세먼지센서의 정밀도를 향상하였으며, 이와 더불어 지하철 대합실, 승강장, 터널, 외기의 미세먼지농도, CO<sub>2</sub> 농도, 온습도를 측정하여 USN 환경센서 모니터링 시스템을 지하철 역사에 구축하였다.

이들 측정된 센서 데이터를 전송하고 받기 위해 CDMA M2M 무선통신 기법 등을 적용하였으며, 지하철 터널구간에서도 큰 어려움없이 무선통신이 됨을 확인할 수 있었다.

### REFERENCES

- [1] Kim, M.Y., Jung, I.H., "The measurement of airborne particle matter using different methods at City Hall station of subway in Seoul," *Journal of the Korean Society for Environment Analysis*, vol.1, no.3, pp.227-238, 1998
- [2] Chillrud, S.N.D. Epstein, et al., "Elevated air-borne exposures of teenagers to manganese, chromium, and iron from steel dust in New York City's subway system," *Environmental Science and Technology*, vol.38, no.3, pp.732-737, 2004
- [3] Aarnio, P., et al., "The concentrations and composition of exposure to fine particle (PM2.5) in the Helsinki subway system," *Atmospheric Environment*, vol.39, pp.5059-5066, 2005
- [4] Branis, M., "The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system," *Atmospheric Environment*, vol.40, pp.348-356, 2006
- [5] 박용만, 김희식, 김규식, 이문규, "지하철 역내 가스 검출 원격 모니터링 시스템 구현" 2007 정보 및 제어 심포지움 ICS'2007, pp.439-441, 2007. 4
- [6] 김서진, 강호성, 손윤석, 윤상렬, 김조천, 김규식, 김인원, "지하역사 내 미세먼지 실시간 모니터링을 위한 광산란법 보정," *한국대기환경학회지*, 제26권, 제5호, pp.533-542, 1010
- [7] 권종원, 박용만, Odgerel Ayurzana, 김희식, "ZigBee무선표준을 이용한 상수도 원격검침 네트워크 구현," *정보 및 제어 심포지움 ICS'06*, pp.168-170, 2006. 4
- [8] 권종원, 오드케렐, 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
- [9] 오준태, 박재우, 전진용, 김규식, 박기호, "디지털 저항을 이용한 용접기용 무선 리모콘," *정보 및 제어 심포지움 ICS'08*, pp.225-227, 2008. 4

- [10] 이병석, 이준화, 김규식, 김조천, “초소형 비행체 Quad Rotor를 이용한 USN 환경가스센싱 시스템,” 정보 및 제어 심포지움 ICS'08, pp.45-46, 2008. 4
- [11] Seber, G.A.F., Linear Regression Analysis, John Wiley & Sons, New York, pp.80-130, 1997
- [12] 오준태, 김규식, “USN을 이용한 지하철 역사 대기 환경 모니터링 시스템,” 전자공학회 논문지, 48권, SC편, 3호, pp.60-66, 2011.

---

저 자 소 개

---



김 규 식(정회원)

1981년 서울대학교

전자공학과 졸업

1983년 동 대학원 제어계측공학과

석사 졸업

1990년 동 대학원 제어계측공학과

박사 졸업

1988년~1992년 대우중공업 중앙연구소

선임 연구원

1993년~현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터

공학부 교수

2003년~2005년 Univ. of Wisconsin-Madison

방문교수(Visiting Scholar)

<주관심분야 : 센서네트워크, 비선형제어, 에너지 변환>