

논문 2011-48SC-3-9

# USN을 이용한 지하철 역사 대기환경 모니터링 시스템

## ( Environmental Sensor Monitoring System of Subway Stations Using USN )

오 준 태\*, 김 규 식\*

( Joon-Tae Oh and Gyu-Sik Kim )

### 요 약

지하공간에서의  $PM_{10}$  농도는 지하철 승객의 건강을 위해서 항상 모니터링되어야 한다. 서울메트로와 서울도시철도공사는 몇몇 공기 오염물질을 주기적으로 측정하고 있다. 본 논문에서는 지하철 역사의  $PM_{10}$  농도를 연속해서 측정하기 위해, 선형회귀분석법을 이용하여 광산란식 미세먼지측정기의 성능을 향상시키고자 하였다. 이와 더불어,  $PM_{10}$ ,  $CO/CO_2$ , 습도, 온도 등을 화면에 표시하고 기록하기 위해 USN 모니터링 시스템을 구축하였다. 이들 측정된 센서 데이터를 전송하고 받기 위해 2.4GHz 지그비, 424MHz 무선통신, 그리고 CDMA M2M 기법 등을 적용하여 그 성능을 평가하고 지하철에 가장 적합한 무선통신 방식이 무엇인지 실험을 통해 확인하였다.

### Abstract

The  $PM_{10}$  concentrations in the underground should be monitored 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 instruments using light scattering method is improved with the help of a linear regression analysis technique to measure the  $PM_{10}$  concentrations continuously in the subway stations. In addition, an USN monitoring system is implemented to display and record the data of  $PM_{10}$ ,  $CO/CO_2$ , humidity, and temperature. To transmit and receive these measured sensor data, 2.4GHz Zigbee, 424MHz wireless communication, and CDMA M2M method are applied and evaluated.

**Keywords :**  $PM_{10}$ , linear regression analysis, subway station, USN, Zigbee, CDMA.

## I. 서 론

국민들의 소득수준이 높아짐에 따라 삶의 질을 중시하는 경향이 최근의 대세로 자리 잡아 가고 있다. 또한, 많은 사람들이 지하공간에서 생활을 하는 시간이 늘어남에 따라 지하 공간 및 다중 이용시설에서의 공기질에 대한 관심 또한 높아지고 있고, 이들 공간에서의 공기질 관리에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.<sup>[1~6]</sup> 그러

나 공기질의 관리와 제어를 동시에 실시간으로 수행하는 것이 목적인 USN 환경 센서 모니터링을 이용한 지하철역사 환기공조제어 시스템을 적용하여 공기질을 개선하기 위한 연구들은 상당히 부족한 상황이라고 할 수 있다. 국내에서는 아직 지하철역사 모니터링을 위한 통합 시스템 구축은 이루어지지 않고 있는 실정이며 환경 모니터링에 대한 IT측면에서의 시스템 구축 또한 기상청을 중심으로 해양연구원등에서 이루어지고 있으나 아직은 개념을 정리하는 단계로 초보적인 단계이다. 따라서 본 논문에서 다루는 먼지센서 및 비분산 적외선 방식의  $CO_2$  센서등의 각종 환경 센서를 적용한 USN 기반 지하철역사 모니터링 시스템의 구축에 대한 필요성이 더욱더 절실한 상황이라 할 수 있다.<sup>[7~10]</sup>

한편, 지하철 공기질 중에서는 미세먼지농도가 가장

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

※ 본 논문은 2009년도 서울시립대학교 교내 자유공모  
과제 지원에 의하여 연구되었음  
접수일자: 2011년2월22일, 수정완료일: 2011년5월12일

중요한 것으로 알려져 있다. 이러한 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 측정 방법으로는 중량법, 베타선( $\beta$  ray) 흡수법, 그리고 광산란법이 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 2.4GHz 지그비, 424MHz 무선통신, 그리고 CDMA M2M 기법 등을 적용하여 그 성능을 평가하고 지하철에 가장 적합한 무선통신 방식이 무엇인지 실험을 통해 확인하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 회귀분석에 의한 미세먼지측정기의 정밀도 향상

실내 공기질 관리법에 의하면 다중 이용시설물 중 지하역사, 지하도상가, 지하상점 및 여객 터미널 등의 시설물에서 PM<sub>10</sub> (직경 10 $\mu$ m 이하인 미세먼지 농도) 은 150 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 이하를 유지하도록 되어 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[ $\mu$ g/m<sup>3</sup>]를 측정하는 방법이다. 그리고 베타선흡수법은  $\beta$  선을 조사(照射)하는 광원이 필터 위에 채워진 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.

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. 따라서, 실시간 미세먼지 모니터링이 가능한 베타선흡수법을 채용한 Met one instrument 사의 E-BAM(그림 1의 가운데), 광산란법을 채용한 Met one instrument 사의 E-sampler (그림 1의 오른쪽)와 HCT 사의 PM-326(그림 1의 왼쪽) 장비등을 이용하여 지하철 역사 환경 모



그림 1. 제기역에 설치된 미세먼지 측정기기  
Fig. 1. PM measuring instruments in Jegi station.

표 1. 미세먼지 측정기기의 사양  
Table 1. Spec. of PM measuring instruments.

	E-BAM	E-sampler	HCT
측정 방법	베타레이 흡수법	광산란법	광산란법
측정 범위	0~100 <i>mg/m<sup>3</sup></i>	0~65 <i>mg/m<sup>3</sup></i>	0~1 <i>mg/m<sup>3</sup></i>
흡입 용량	16.7 <i>L/min</i>	2 <i>L/min</i>	0.8 <i>L/min</i>
샘플링 주기	60분	1초	6초

니터링 시스템을 구현하였다. 서울메트로 1호선의 제기역에 설치된 이들 미세먼지 측정기의 사진이 그림 1에 있다. 실내공기질 공정시험기준에 따르면 바닥면에서 1.2m ~ 1.5m 사이에서 시료를 채취해야 하기 때문에 이들 미세먼지 측정기는 승강장 중앙부분의 바닥에서 1.5m 높이에 설치되어 측정이 이루어졌다.

표 1은 본 논문에서 사용된 장비의 간단한 사양 및 특성을 나타내고 있다.

표 1의 E-BAM 은 먼지농도를 측정하는 환경분야에서 가장 많이 사용되는 기기로 가격은 대략 2천만원 정도 한다. 그러나, 지하역사와 같은 공간에서 오염물질에 대한 실시간 모니터링을 하기 위해서는 샘플링 주기가 60분은 너무 느리기 때문에 E-BAM과 가격이 비슷한 E-sampler 나 6백만원 정도하는 HCT 의 측정장비가 바람직한데 문제는 광산란법이 미세먼지의 무게를 측정하는 것이 아니라 먼지의 크기와 개수를 재는 것이기 때문에 측정된 미세먼지의 비중을 알아야만 한다. 예를 들어, 섯가루 성분이 많은 지하철 터널 먼지는 비중이 높은 반면에 승강장 먼지는 비중이 상대적으로 낮은데 이에 대한 정보를 알아야 측정된 미세먼지 농도가 정확해진다. 본 논문에서는, 이들 세 가지 측정기기 모두 1

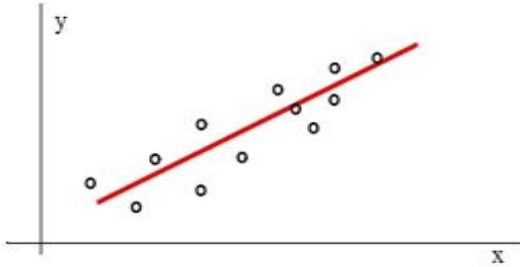


그림 2. 직선으로의 근사화  
Fig. 2. Approximation to a straight line.

시간 평균측정 데이터를 구하고 회귀분석 기법을 이용하여 보정함으로써 이 문제를 극복하고자 하였다. 회귀분석이란 변수들의 상호 관련성을 규명하기 위하여 어떤 수학적 모형을 가정하고 이 모형을 측정된 변수들의 데이터로부터 추정하는 분석방법을 말한다.<sup>[11]</sup> 일반적으로 선형 회귀선은 식 (1)과 같은 직선의 형태로 나타낼 수 있다.

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

여기서,  $\hat{m}$ 은 회귀선의 기울기를 나타내고  $\hat{b}$ 는 회귀선의 y의 절편을 나타낸다.

그림 2와 같이 작은 원으로 표현된 데이터들은 독립 변수  $x$ 로 나타내고, 종속변수  $y$ 를 찾는 것을 목적으로 한다. 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,  $e$ 는 오차 (error) 또는 잔차 (residual)를 나타낸다. 최소 오차제곱은 오차의 제곱 합을 최소화하기 때문에, 그 계수들은 각각의 매개변수에 대해서 오차  $e$  를 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 다음의 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 얻을 수 있다.

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

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

이와 같은 선형회귀분석을 이용하여 HCT와 같은 광산란식 미세먼지 측정기의 보정을 시도한다. 이는 곧

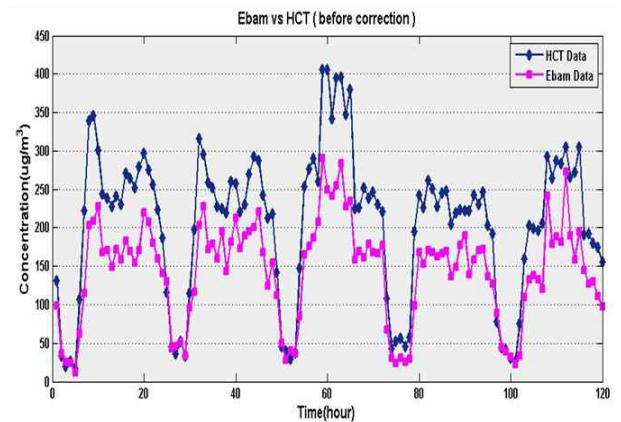


그림 3. E-BAM 과 HCT 의 측정 데이터 (교정전)  
Fig. 3. Measurement data of E-BAM and HCT(Before correction).

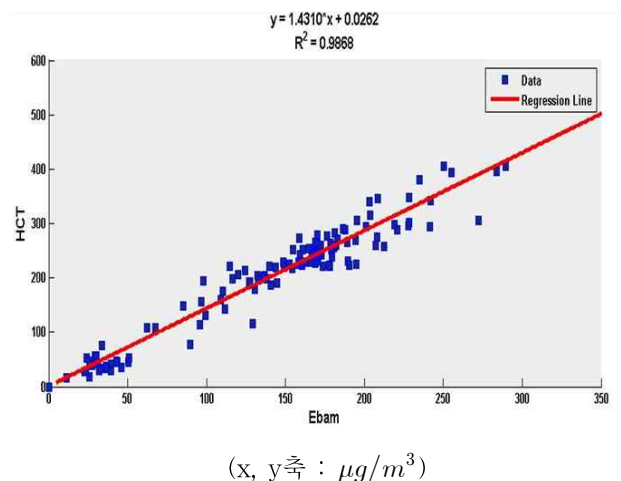


그림 4. E-BAM 과 HCT 의 선형회귀분석 결과  
Fig. 4. Results of linear regression analysis of E-BAM and HCT.

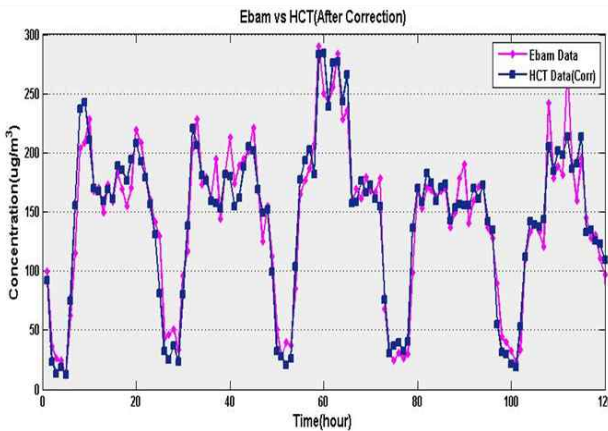


그림 5. E-BAM 과 HCT 의 측정 데이터 (교정후)  
Fig. 5. Measurement data of E-BAM and HCT (After correction).

미세먼지의 크기와 개수만을 측정하고 E-BAM과 같은 타 측정기기를 이용하여 먼지의 비중을 구하는 것으로 볼 수도 있다. 2009년 5월 7일부터 5일간 지하철 1호선 계곡역 승강장의 미세먼지농도 측정치를 1시간 평균으로 120시간 동안의 데이터가 그림 3에 있다.

그림 4와 같이 선형회귀분석한 결과  $y = 1.431x + 0.0262$  직선이 최소제곱오차를 만들며 상관계수  $R^2 = 0.9868$  로 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

이 선형 회귀분석 결과를 이용하여 그림 3의 E-BAM 의 측정데이터를 기준으로 HCT 의 측정 데이터를 교정한 결과가 그림 5에 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 무게를 측정하지 않는 광산란식 미세먼지 측정기로도 교정을 통해 오차를 보정함으로써 충분히 실시간 모니터링용으로 이용이 가능함을 알 수 있다.

2. CDMA 무선통신을 이용한 지하철 공기질 모니터링

지하철을 이용하는 시민고객 및 근무자들에게 편안하고 안전한 교통 수단과 근무 환경을 제공하기 위해서는 지하철 대기환경의 미세먼지, 온도, 습도, 이산화탄소 등의 실시간 공기질 정보를 정확하게 측정하고 안정적인 네트워크 성능을 가지는 무선통신 방식을 이용하여 측정 데이터를 전송하는 통합 공기질 모니터링 시스템을 구축할 필요가 있다. 유선으로 전송할 경우는 그림 6과 같이 복잡한 구조를 갖고 있는 지하철 역사를 고려할 때 승강장이나 대합실에 지지분한 통신선의 설치 불가피하고 미관상이나 관리에 상당한 불편을 초래할 것으로 판단된다.

따라서, 승강장이나 대합실, 또는 터널의 대기환경

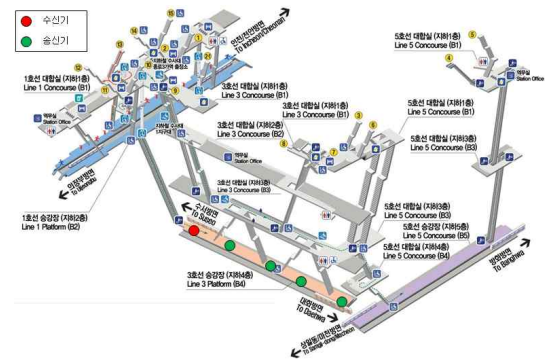


그림 6. 지하철 종로3가 승강장 구조  
Fig. 6. Platform of Jongno-3ga subway station.



그림 7. 2.4GHz 지그비 송수신 모듈  
Fig. 7. 2.4GHz Zigbee T/R module.

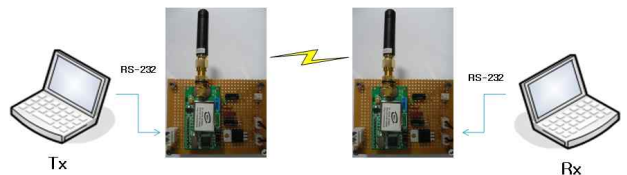


그림 8. 424MHz 무선 송수신 모듈  
Fig. 8. 424MHz wireless T/R module.

정보를 측정하고 이를 전송하기 위한 무선통신 방식으로 우선 지그비통신을 고려하였다. 최근 지그비통신의 많은 장점을 이용하고자 하는 노력이 산업계 전반에 걸쳐 이루어지고 있기 때문에 본 연구에서도 그림 7과 같이 2.4GHz 지그비 송수신 모듈을 채용하여 지하철 승강장과 대합실에서 측정한 환경 데이터를 역무실로 전송하고자 하였으나, 2.4GHz 의 높은 주파수 때문에 회절성이 좋지 않고 특히 계단이나 문이 닫힌 공간의 경우는 데이터 송수신에 큰 지장을 초래하여 그림 8과 같이 주파수를 낮춘 424MHz 송수신 모듈을 이용하여 무선통신을 시도하였다.

승객이 거의 없는 시간대에 대합실에서 송신기와 수신기의 거리가 각각 50, 80, 120m 일때, 424MHz 무선 송수신 모듈과 2.4GHz 지그비 모듈의 데이터 수신 성공률을 비교한 결과가 표 2에 있다. 표 2에서 알 수 있듯이 통신 주파수가 낮아지면 수신 성공가능성이 높아짐을 확인 할 수 있었다.

표 2. 무선 송수신 모듈의 수신 성공률 비교  
Table 2. Receiving success rate of wireless T/R modules.

수신기와의 거리 [m]	424 MHz 수신율 [%] (10 mW)	2.4 GHz 수신율 [%] (10 mW)
50	99	97
80	99	93
120	97	58

표 3. 무선 송수신 모듈의 수신 성공률 비교  
Table 3. Receiving success rate of wireless T/R modules.

수신기와의 거리 [m]	424 MHz 수신율 [%] (10 mW)	2.4 GHz 수신율 [%] (10 mW)
35	91	0
65	55	0
105	26	0
160	0	0

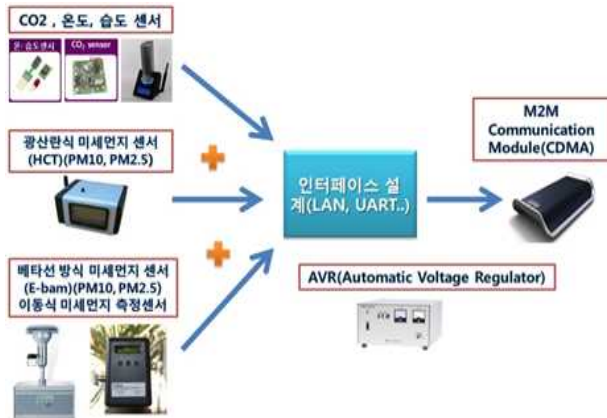


그림 9. M2M CDMA 무선통신  
Fig. 9. M2M CDMA wireless communication.

한편, 승객이 많아 혼잡하고 비좁은 승강장에서 송신기와 수신기의 거리가 각각 35, 65, 105, 160m 일때, 424MHz 무선 송수신 모듈과 2.4GHz 지그비 모듈의 데이터 수신 성공률을 비교한 결과가 표 3에 있다. 표 3에서 알 수 있듯이 통신 주파수가 낮아지면 수신 성공 가능성이 높아지긴 하지만 거리가 조금 멀어지면 이것조차도 송수신이 되지 못하는 문제가 있음을 알 수 있었다.

다음으로, 그림 9와 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 퀄컴의 MSM6025 칩을 채용하여 설계된 800[MHz]대역의 CDMA2000 1X 용 모듈인 BCM-865를 적용하여 구현된 외장형 모뎀이



그림 10. M2M CDMA 무선통신을 이용한 모니터링 시스템  
Fig. 10. Monitoring system using M2M CDMA wireless communication.

다. 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 모뎀은 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 지하철역사에 시범 설치하여 운용하였다. 승강장 및 터널, 외기 등에 설치될 통합 공기질 측정 장비는 주기적으로 온·습도, CO<sub>2</sub>, 미세먼지를 측정한 공기질 데이터를 CDMA 통신 모듈을 통해 BTS(Base Station Transceiver Subsystem)에 전달하고, 이 데이터는 통신회사의 수신 서버로 전달된다. 통신회사에서는 수신된 데이터를 M2M 플랫폼을 사용하여 데이터 수신 서버와 TCP 소켓(Socket) 통신을 하여 데이터를 송신한다. 그림 10은 공기질 측정 장비에서 측정된 데이터가 최종적으로 수신 서버까지 전송되는 과정을 보여준다.

지하 역사 승강장보다 터널에서의 통신환경은 더 열악한 것으로 알려져 있다. 그림 11과 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 성공률이 99.86% 라는 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다. 결론적으로, M2M



그림 11. 터널에 설치된 공기질 측정 장치  
Fig. 11. Air quality measurement apparatus set up in tunnel.

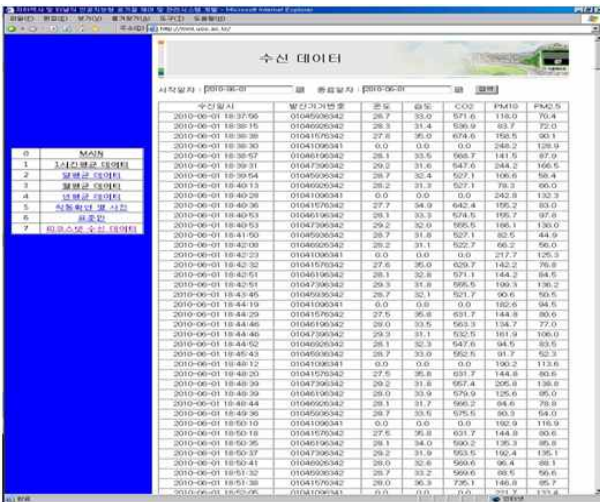


그림 12. 통합 공기질 관리 시스템  
Fig. 12. Air quality management system.

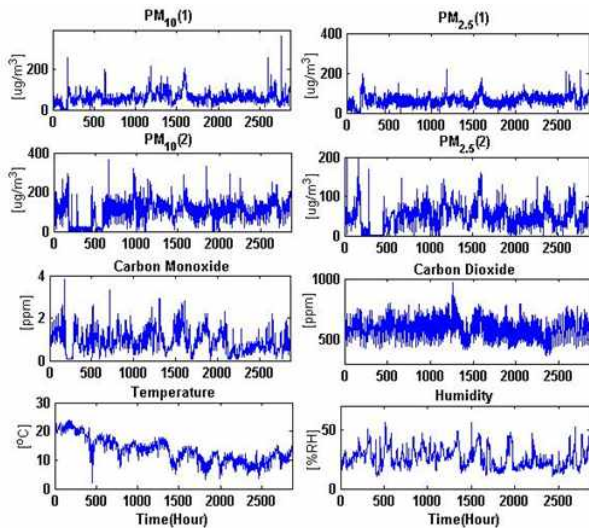


그림 13. 겨울철 공기질 측정 데이터  
Fig. 13. Air quality measurement data in winter.

통신을 활용한 통합 공기질 측정 장비를 바탕으로 공기질 관리시스템을 구축하면, 기존 유무선 시스템을 대체

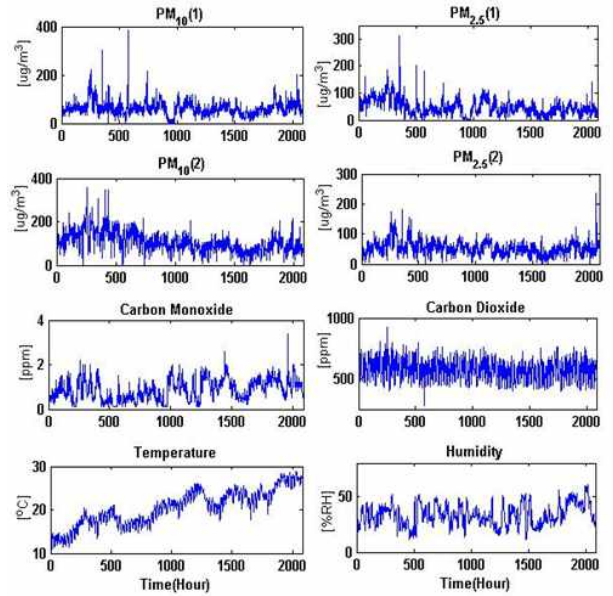


그림 14. 봄철 공기질 측정 데이터  
Fig. 14. Air quality measurement data in spring.

할 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.

그림 12는 구축된 통합 공기질 모니터링 시스템을 나타내고 있다. 메인 메뉴에는 1시간 평균데이터, 일일 평균데이터, 월 평균 데이터, 년 평균 데이터를 표시할 수 있도록 웹페이지로 구성되어 있다. 그림 13은 2009년도 11월 이후 겨울철 약 4달간의 미세먼지 2군데와 CO/CO<sub>2</sub>, 온습도의 측정 데이터를 모니터링 한 결과를 보여주고 있다. 마찬가지로, 그림 14는 1010년도 봄철 데이터를 기록한 결과이다.

#### IV. 결론

유비쿼터스 시대의 도래에 따라 지하 환경에서의 공기질 개선을 위한 다양한 연구들의 수행되고 있고, 환경 분야에서 다양한 센서들이 개발되어 실제 환경 관련 USN (Ubiquitous Sensor Network) 분야에 다양하게 적용되어지고 있다. IT 기술을 접목하여 오염된 지하공간에서의 공기질을 모니터링하고 이를 이용하여 개선하려는 노력들이 점차 현실화 되어 가고 있다. 본 논문에서는 광산란식 미세먼지측정기기의 정밀도 향상을 위해 선형회귀분석을 실시하고 추정된 회귀모형을

통해서 미세먼지센서의 정밀도를 향상하였으며, 이와 더불어 NDIR 방식의 CO<sub>2</sub>/CO 센서, 온습도를 측정하여 USN 환경센서 모니터링 시스템을 지하철 역사에 구축하였다.

마지막으로, 이들 측정된 센서 데이터를 전송하고 받기 위해 2.4GHz 지그비, 424MHz 무선통신, 그리고 CDMA M2M 기법 등을 적용하여 그 성능을 평가하고 지하철에 가장 적합한 무선통신 방식이 무엇인지 실험을 통해 확인한 결과, CDMA M2M 무선통신이 가장 안정적인 통신을 제공하는 것으로 확인되었다.

### 참 고 문 헌

[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, 2010.

[7] 권중원, 박용만, Odgerel Ayurzana, 김희식, "ZigBee무선표준을 이용한 상수도 원격검침 네트워크 구현," *정보 및 제어 심포지움 ICS'06*, pp.168-170, 2006. 4.

[8] 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.

[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.

### 저 자 소 개



**오 준 태**(정회원)  
 1998년 동국대학교 전기공학과 학사 졸업.  
 2003년 동 대학원 전기공학과 석사 졸업.  
 2009년 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터공학부 박사과정.  
 <주관심분야 : 센서네트워크, 제어, 에너지 변환>



**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>