

지하역사의 공기질 감시 시스템 구성에 관한 연구

A Study on Indoor Air Quality Monitoring System for Subway Stations

이병석†, 황선주*, 이준화**, 김규식**, 김조천***

ByungSeok Lee†, Sunju Hwang*, JOON HWA LEE**, Gyu-Sik Kim**, Jo-Chun Kim***

Abstract - This paper presents an IAQ(Indoor Air Quality) Monitoring System using equipments for measurement of fine particle(PM1~PM10), CO₂, VOCs(Volatile Organic Compounds), temperature and humidity for IAQ monitoring of subway station which millions of people use a day. The necessity of IAQ monitoring system is getting increased for more effective subway station monitoring in line with the recent government's regulation for IAQ is reinforcing. Subway Station is an unusual case. The structure of subway station is closed and complicated. Therefore when data of equipments are transferred, transmission error can happen occasionally. To prevent transmission error, an IAQ Monitoring System is needed the appropriate position and selection of equipments or sensor module. In addition IT(Information Technology) can be utilized like "WiBro(Wireless Broadband)" and "GateWay" for facilitate movement of data and construction of IAQ monitoring system of subway station.

Key Words : IAQ Monitoring System, Fine Particle, CO₂, VOCs, GateWay, WiBro

1. 서 론

근래 환경에 대한 시민들의 관심이 높아지고 있는 추세이다. 이에 정부 부처나 지하철 관련 공사(公社)인 서울메트로, 서울특별시도시철도공사 등에서는 자체 환경 개선을 위한 노력을 구체적이고 가시화하여 추진하고 있다. 특히 환경부는 2008년 9월에 「지하역사 공기질 개선 5개년 대책」을 발표하여 지하철에 대한 시민들의 불안 및 불편을 해소하고자 노력하고 있다.[1] 현재 지하철역사는 밀폐된 공간적인 특성과 내·외부적으로 야기되는 오염물질로 관련 종사자뿐만 아니라 이용하는 시민들의 건강을 위협하고 있다. 이와 관련하여 지하철역사의 환경을 실시간으로 감시하고 위험에 대한 즉각적인 대처를 할 수 있는 시스템의 구축이 필요하다. 본 연구 이러한 지하철역사의 특수성을 고려하여 지하철역사에서 공기질을 감시할 수 있는 장비 및 감시 장비에 의해 획득된 데이터의 전송 및 관리를 관할할 수 있는 시스템 구축에 대한 소개와 실제 지하철역사에 설치된 사례를 통해 지하철역사의 공기질 감시를 위한 시스템의 모델을 제시하고자 한다.

1.1 연구 배경

전국 470개 지하철역을 통해 1일 평균 650만 명의 시민들이 지하철을 이용하고 있다. 지하철은 시민들의 대중교통수단으로 지대한 공헌을 하고 있지만 지하철역사 및 지하철 차량 내 오염으로 시민들에게 불안감을 야기하기도 한다. 2007년 12월에 측정된 환경부 자료에 의하면 미세먼지(PM₁₀)의 경우 기준치(150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이내이지만 공항이나 철도역사, 외부 대기에 비해 오염도가 가장 높은 편이며, 2005년 3월부터 2006년 4월까지 측정된 연구용역 결과에 의하면 지하철 차량 내의 CO₂의 농도는 “대중교통수단 실내공기질 가이드라인 권고기준('06. 12 제정)”과 비교 시 11%의 기준 초과를 나타내고 있다. 이와 맞물려 서울메트로 측에서 2008년 3월부터 4월까지 조사한 결과에 의하면 시민 대다수가 지하철 이용시 불편감을 호소하고 있는 것으로 나타나고 있다.[1]

이러한 시민들의 지하철 이용에 대한 불안감 및 불편감을 해소하고 쾌적한 지하철역사 환경을 위해 지하철역사의 환경 감시를 위한 시스템 구축이 필요하다.

저자 소개

- † : 서울시립大學 敎 전자전기컴퓨터공학부 博士課程
- * : 서울시립大學 敎 전자전기컴퓨터공학부 碩士課程
- ** 正 會 員 : 서울시립大學 敎 전자전기컴퓨터공학부 敎 授
- *** 正 會 員 : 건국大學 敎 환경공학과 敎 授

지하역사	대규모 점포	공항	철도역사	외부 대기
96.9	55.6	44.4	68.5	60

<표 1> 미세먼지 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

1.2 연구 목적

환경부령 제279호에 의하면 지하역사는 다중이용시설로서 실내공기질 유지기준의 적용을 받는 시설물로 구분된다. 실내공기질 유지기준에 적용받는 오염물질 항목에는 미세먼지인 PM₁₀, CO₂, HCHO, 총부유세균, CO, NO₂, Rn, VOC, 석면, 오존이 있다.[2]

이러한 오염물질 중 사람의 호흡기와 직접적인 관련이 있는 PM₁₀과 환결과 인체에 큰 영향을 끼치는 VOC 그리고 농도가 높을 시 피로감 및 두통을 유발하는 CO₂를 대상으로 지하역사의 특수한 환경에서 오염물질의 측정 결과를 필요로 하는 곳에 실시간으로 전송하는 시스템의 구축과 이에 활용될 무선전송 기술의 개발 및 채택이 요구된다. 이를 위해 적절한 측정장비 선정과 적소(適所)에 장비를 배치하고 이를 통해 지하역사의 실내 공기질 상태를 감시하는 시스템을 구축한다면 지하역사의 근무자나 시민들이 안전한 환경 속에서 지하철을 이용할 수 있을 것이다.

2. 공기질 감시 시스템

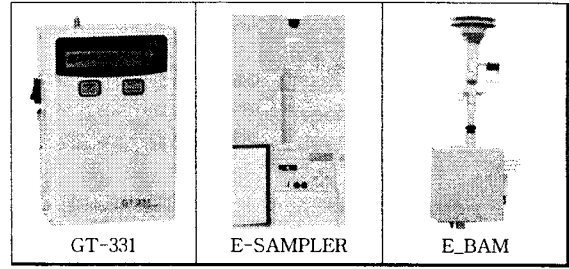
2.1 공기질 측정을 위한 장비

2.1.1 미세먼지(PM_{2.5}~PM₁₀) 측정 장비

미세먼지 측정법은 크게 중량법과 연속측정방법으로 나눌 수 있다. 중량법은 질량 측정방법이라고도 하는데, 대기 중에 미세먼지를 분리 포집하여 걸러진 여과지의 중량을 측정하여 입자의 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 측정하는 방법이며, 연속측정방법의 경우 대표적인 β -Ray 흡수법은 β -Ray를 조사(照射)하는 광원이 필터 위에 채워진 먼지를 통과할 때 흡수/소멸되는 β -Ray의 차이로 먼지 농도를 측정하는 방법이다.

β -Ray 측정법을 사용하는 미세먼지 측정기의 경우 가격이 고가이므로 전국 470개의 지하역사에 설치하는 것은 현실적인 한계가 있으므로 고가장비를 대체하여 지하역사의 실내 미세먼지를 측정할 수 있는 장비를 선정한 후 주요 장소에 설치하여 지하역사 공기질을 감시하는데 활용할 수 있다. 다른 방법으로는 광산란법이나 중량법의 미세먼지 측정장비를 β -Ray 흡수법을 이용하는 장비와 동일한 조건하에서 테스트하여 β -Ray 흡수법을 이용하는 장비의 결과값에 대응되도록 보정작업을 거친 후 현장에 장비를 설치·운용하는 방법을 이용할 수도 있다.

미세먼지 측정 장비로는 GT-331, E-SAMPLER, E-BAM을 선정하였다. 각각의 장비 특성은 <표2>와 같다.



<그림 1> 미세먼지 측정 장비

구분	GT-331	E-SAMPLER	E-BAM
측정원리	광산란법	광산란법, 중량법	β -Ray 흡수법
측정광원	레이저 다이오드	레이저 다이오드	¹⁴ C, <60 μ Ci
측정범위	PM1, PM2.5, PM7, PM10 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-0.5, 1, 10, 100 mg/m^3	0-1, 10 mg/m^3
정밀도	$\pm 10\%$ 정확도	0.003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	전체범위의 $\pm 0.2\%$, 1 mg/m^3
기타	입자별 농도 표시	실시간 출력	환경부 형식 승인

<표 2> 미세먼지 측정기 비교

2.1.2 CO₂, VOCs, 온·습도 측정 장비

지하역사에 광산란법, 중량법, β -Ray 흡수법을 이용한 미세먼지 측정기와 함께 CO₂, 휘발성유기화합물(VOCs), 온도·습도를 측정할 수 있고 그 데이터를 UNS(Ubiquitous Sensor Network)을 통해 각 센서모듈의 측정 데이터를 무선으로 데이터 수집을 담당하는 모듈이나 서버에 전송하는데 이용할 수 있는 센서모듈과 특성은 다음과 같다.

	<ul style="list-style-type: none"> • CDMA/Internet/무선랜 등 이기종간 네트워크 연계 가능 • Multi-hop 기능의 Mesh Network 시스템 구축 가능 (ZigBee 통신모듈 사용) • 센서 노드의 추가 및 변경이 자유로운 Ad-hoc 기능 • NDIR 방식의 CO₂ 측정
--	--

<그림 2> 실내공기 측정용 센서 모듈(CO₂, VOCs, 온·습도)

2.2 시스템 구성

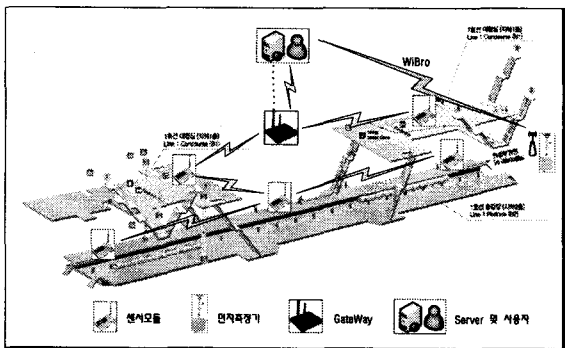
지하역사에서 센서 데이터를 계측하고 이 데이터를 전송하기 위해 유선방식과 무선방식을 고려할 수 있다. 유선방식은 데이터 전송 시 전송실패나 손실을 최소화

할 수 있지만 추가적인 시설공사가 필요하며 비용 또한 무시할 수 없는 요인으로 작용한다. 그에 반해 무선으로 데이터를 전송할 때는 유선방식의 문제점을 극복할 수 있다. 하지만 개방된 공간에 비해 지하역사와 같은 폐쇄되고 구조가 복잡한 환경에서 무선으로 센서 데이터를 손실 없이 전송하는 데는 어려움이 따른다.[3]

현재 근거리 통신으로 많이 사용되는 ISM bands(Industrial, Scientific and Medical bands)는 특수한 경우를 제외하고 안테나의 송신 출력이 10mW로 제한되어 있다. 더욱이 센서 네트워크를 위해 IEEE 802.15.4 표준 가운데 하나인 ZigBee는 2.4GHz의 반송주파수를 사용하고 있으므로 수백MHz 대역의 RF 보다 직진성이 강해 지하역사의 꺾인 장소나 층간(層間)에서는 hopping을 통해 데이터의 전송이 가능하다.[5]

따라서 지하역사에 센서모듈을 가능한 적게 사용하면서 측정된 데이터의 전송을 원활하게 하기 위해서는 회절성이 강한 수백MHz 대역의 RF 모듈을 사용하거나 2.4GHz 대역을 사용하는 ZigBee 통신 모듈을 사용 시 꺾인 곳이나 층간에 데이터의 hop을 위한 센서 모듈의 사용이 불가피하게 된다. 추가적으로 무선랜이나 WiBro 기술을 이용하여 측정된 데이터를 보낼 수 있는 네트워크 영역을 확대할 수도 있다.[4]

앞서 언급한 데이터의 무선 전송시 문제점과 지하역사에서 효율적인 공기질 감시를 위한 센서모듈들의 배치 및 측정된 데이터를 무선으로 전송하여 최종적으로 데이터를 수집하는 곳에서 감시하기 위한 시스템의 개념도를 나타내면 아래와 같다.



<그림 3> 지하역사 공기질 감시 시스템 개념도

지하역사에 실내공기질 감시를 위한 계측장비를 설치할 때 미세먼지 측정기의 경우 지하철 이용자들의 불편함을 최소화하고 장비의 안정적인 설치를 위해 별도로 제작된 하우징을 사용하여 광산란법, 중량법, β -Ray 흡수법의 측정원리를 갖는 여러 종류의 미세먼지 측정기를 설치하도록 하였다.



<그림 4> 미세먼지 측정기 설치 사례

3. 결 론

지하역사와 같은 특수한 현장에서는 예기치 못한 장애가 발생할 수 있다. 특히나 무선으로 계측데이터를 실시간으로 받는 지하역사 공기질 감시 시스템의 경우 데이터 전송 상에서 발생하는 오류를 최대한 줄이는 것이 실시간 공기질 감시에서 중요하다. 뿐만 아니라 센서모듈이나 장비들의 적절한 위치선정 또한 지하역사 전체 공기질의 계측에 있어 필요한 사항이 된다.

본 논문에서 제시한 지하역사 공기질 관리 시스템의 개념도와 미세먼지 측정기 설치 사례는 이러한 예기치 못한 시스템의 장애에 대해 센서모듈 및 계측장비의 최소화를 통한 비용절감과 무선 데이터 전송시 효율적인 장비 및 모듈의 배치를 고려하였다. 나아가 다양한 공기질의 오염물질을 계측할 수 있는 센서나 장비개발을 통해 제시한 시스템 개념도에 적용한다면 지하역사의 공기질 상황을 실시간으로 이용자나 관계자 모두에게 제공할 수 있는 시스템이 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 서울시 산학연 기반기술 특정 과제(CS070160) 연구개발지원사업의 지원으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 환경부, “지하역사 공기질 개선 5개년 대책”, 2008. 9.
- [2] 환경부, “다중이용시설등의 실내공기질관리법 시행규칙 일부 개정령”, 2008. 2.
- [3] 박덕신, 조영민, 권순박, 박은영, 옥민환, “무선센서네트워크에 기반한 공기질 모니터링 연구”, 한국철도학회 학술대회논문집, pp. 1756-1760, 2008. 11.
- [4] 박지호, 오영환, “와이브로기반의 서비스영역 확대와 핸드오프 보장에 관한 연구”, 대한전자공학회 논문지, pp. 585-591, 2008. 5.
- [5] ZigBee alliance, “ZigBee Specification”, pp. 2-9, January 2008.