

# 지하철 역사와 본선 터널의 공기질 통합관리 시스템

- 김 진 | (주)나라컨트롤 산업사업본부 이사  
E-mail : jkim@naracontrols.co.kr
- 노희전 | (주)나라컨트롤 산업사업본부 주임  
E-mail : hjnoh@naracontrols.co.kr
- 이재효 | 건국대학교 기계공학과 교수  
E-mail : jaihyole@konkuk.ac.kr
- 김인원 | 건국대학교 화학공학과 교수  
E-mail : inwon@konkuk.ac.kr

## 1. 서 론

지하철은 대도시의 동맥 역할을 하는 가장 중요한 교통 수단으로서 연간 많은 수의 인원이 이용하고 있는 대중 시설이다. 지하철 개통 초기에는 터널 내부의 오염 물질이 적었으며 대부분 승강장이나 자연 급배기를 통한 환기가 이루어 졌기 때문에 역사 및 터널 환경에 대한 문제가 없었고 지하 환경오염에 대한 인식도 낮았다. 하지만 시간이 경과하면서 열차, 선로, 그 외 관련 장비의 노후화에 따른 분진 발생, 사용 인원의 급격한 증가로 인한 지하철 운행 횟수 증가에 따라 여러 가지 환경오염 물질의 발생량이 증가하고 있지만 터널 내의 공기질 관리에 대한 뚜렷한 보완이 없이 계속 운행되고 있는 실정이다. 또한 지하철 전 역사에 PSD(Platform Screen Door)의 설치가 대부분 완료됨에 따라 지하철 내부 역사와 본선터널의 온도, 습도, 분진 등의 환경에 대한 문제가 제기 되고 있으며 환경 규제면에서도 지하공간의 오염 물질에 대한 제한 규정이 점차 엄격해 지고 있다.

지하철 내에서의 환경과 인체에 영향을 미치는 인자는 온도, 습도, 유해가스, 미세분진, 기타 세균

등이 있으며 이중에서 유해 가스와 미세 분진은 환기 시스템의 적절한 운용을 통하여 많은 부분을 개선할 수 있다. PSD의 설치하는 역사의 승강장, 대합실의 공기질을 개선하는 효과를 가져왔으나 본선 터널 내의 공기는 환기구를 확보하지 못하여 오히려 악화되고 있는 실정이다. 이는 실제 지하철을 타고 이동하는 승객이나 지하철의 관리 인력에게 중대한 영향을 미치기 때문에 이에 대한 대응이 시급한 상황이며 본선 터널 부분의 환경 개선이 매우 중요하게 대두되고 있다. 지하철 보급 초기에 설치된 일부 구간의 경우 자연 환기 시스템을 채택하고 있어 공기질 개선에 많은 어려움이 있으며 또한 공기질을 관리하기 위한 강제 환기 시스템이 설치된 경우에도 적절한 관리 시스템의 부재로 인하여 환기 효율은 낮고 관리 비용은 높은 실정이다.

본 연구에서는 자연 환기 시스템이 설치되어 있는 지하철 역사를 대상으로 강제 환기 시스템을 적용하기 위한 방안과 실시간 모니터링 시스템을 통한 적절한 운전 조건에 대하여 연구하였으며, 강제 환기 시스템이 설치되어 있는 경우에는 기존 설비와 새로운 제어 시스템과 연계를 통하여 지하 역사를 쾌적하게 유지하면서 에너지 사용 효율을 최적

표 1. 지하철 환기 시스템 비교

구 분	환 기 방 식
자연 환기	
기계 환기	

화시킬 수 있는 통합 관리 시스템 개발을 목표로 하였다.

## 2. 지하철 환기 시스템 개선

### 1) 기존 환기 시스템

기존의 환기 시스템은 공기를 순환시키기 위한 방법으로 표 1과 같은 자연 환기 방식과 기계 환기 방식을 사용하고 있다.

자연환기방식은 지하철이 이동하는 힘에 의한 피스톤 효과를 이용하여 터널 내 공기를 외부로 배출시키는 방법이다. 급기구와 배기구의 구분이 없으며 열차의 진행방향 전면부는 양압이 발생하여 배기구의 역할을 하며, 후면부는 음압이 발생하여 급기구 역할을 하게 된다.

이처럼 환기구의 급/배기 구분이 없고 별도의 장치가 필요하지 않는 장점을 가지고 있지만, 지하철이 지나치는 순간에만 효과를 볼 수 있으므로 지속적인 환기 효과를 보기 힘든 단점을 가지고 있다.

기계환기방식은 지하철의 운행에 관계없이 작동하며 지하철 건설 당시에 대부분 배연기능이 고려된 시로코 팬이 그대로 사용되고 있다. 스크린 도어 설치에 따라 환기 풍량의 요구가 대폭 줄어들었지만 용량이 크고 낮은 시로코 팬의 사용을 유지하고 있어서 많은 에너지 소모가 발생하고 있다.

따라서 승강장과 터널내부의 공기질 개선을 위한 새로운 개념의 고효율 환기 설비가 필요하다.

### 2) 자연 환기 시스템 개선

선행 연구<sup>1),2),3)</sup>에서 그림 1의 서울 지하철 J역-S역간의 #86번 환기구에 소형 제트팬을 설치하고 실험한 결과, 풍량이 2배 이상 증가되고 오염량 배출량도 2배 이상 증가되는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 기존에 설치된 6개의 자연환기구(#84~#89) 중 4개의 환기구에 소형 제트팬을 설치하였으며, 기존에 설치된 환기구의 건축 구조를 그대로 유지하였기 때문에 공사 비용을 최소한으로 줄일 수 있었다.



그림 1. J역S역간 환기구 위치

그림 2는 지하철 강제 환기 및 제어 시스템의 구조를 나타낸다. 본선 터널 내에는 내부 미세먼지의 농도를 대표할 수 있는 위치를 선정하여 PM10 센서를 설치하였다.

PM10 센서를 통하여 측정된 미세먼지 농도가 중앙 제어 시스템(CCMS; Central Control Management System)으로 전송되면 환기 제어 알고리즘과 현장 제어기(DDC; Direct Digital Control)을 통하여 인버터로 제어 신호를 전달한다. 인버터로 전달된 제어 신호에 따라 환기팬을 선형 제어하여 효율적으로 터널 내부를 환기시키도록 시스템을 구성하였다.

제어 시스템의 구조는 그림 3과 같이 지하철 본선 터널에 CO<sub>2</sub> 센서, PM10센서, 온도센서, 습도센서 등의 환경 센서를 설치하고 현장 제어기(DDC)를

이용하여 인버터, 유인팬 등을 환기 제어 알고리즘에 따라 제어한다.

그리고 Ethernet과 같은 네트워크를 통해 중앙 제어 시스템(CCMS)으로 연결하여 각종 데이터 및 제어 신호를 송수신한다.

실제로 설치된 환기 유닛은 그림 4와 같이 제어 판넬과 환기팬으로 구성되며 J역과 S역 사이의 선정된 4개의 환기구에 설치하였다. 또한 전력사용량 측정 판넬을 그림 5와 같이 설치하여 실시간 전기 사용량도 측정할 수 있도록 하였다.

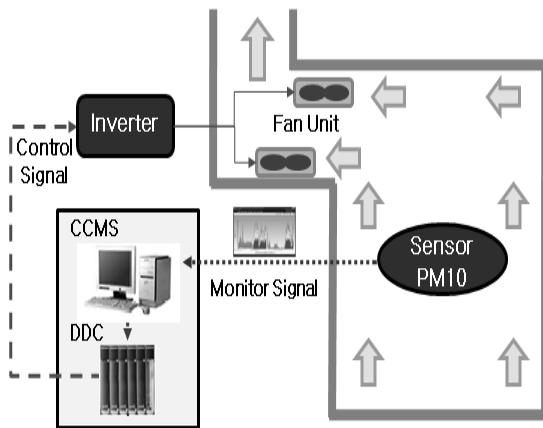


그림 2. 지하철 강제 환기 및 제어 시스템 구조

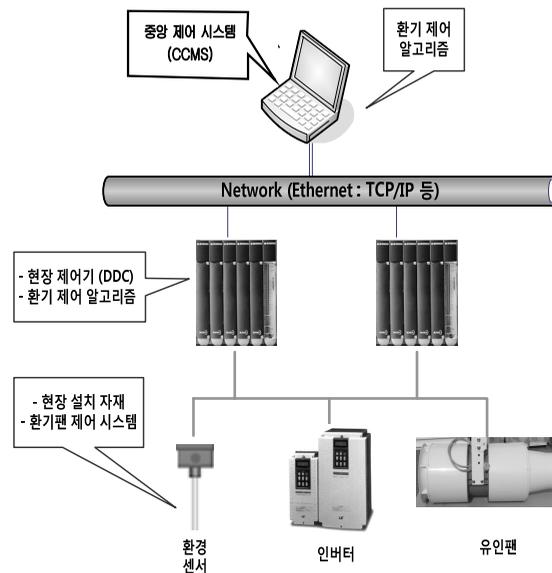


그림 3. 지하철 환기 제어 시스템 구조



그림 4. 제어 패널 및 환기팬



그림 5. 전력사용량 측정 패널

### 3. 지하철 공기질 통합 관리 시스템 구축

#### 1) 기존 관리 시스템

현재 서울시에서 운행되고 있는 일부 역사에는 공기 측정 장치가 설치되어 있으며 수집된 데이터를 감시/분석하여 공기질 개선의 지표로 삼는다. 그러나 기존의 환경 측정 기기들을 설치하고 유지 보수하는데 상당한 비용이 들어가고 있어서 이를 대

체할 만한 새로운 기술 및 제품이 필요한 실정이다. 이에 따라 현재 주목 받고 있는 무선 센서 및 센서 네트워크 기술을 이용하여 저렴한 비용의 계측 환경을 구축하고 이를 손쉽게 통합하여 관리함으로써 공기질 관리에 대한 효율을 높일 필요성이 있다.

#### 2) 지하철 공기질 통합 관리 시스템

서울시에서 운행되고 있는 지하철 역사들의 공기질 개선을 목적으로 지하 역사의 환경 측정을 위한 무선 센서 모듈 및 무선 네트워크를 구축하였고, 이를 통하여 환경 데이터를 수집하고 분석하여 지하 역사의 공기질을 개선하기 위한 통합 관리 시스템을 구축하였다.

통합 관리 시스템은 데이터 측정, 지하철 역사의 환경 설비를 도면 기반으로 감시할 수 있는 기능, 측정된 데이터를 분석하여 최적의 상태로 유지할 수 있게 하는 데이터 마이닝 기술 및 제어 기술을 포함한다. 또한 계층별로 구축하여 지하철 전 역사들의 상태를 손쉽게 감시하는 체계를 구축하도록 하였다. 지하 역사의 환경 측정 및 모니터링에 최적화한 관리 시스템으로써 측정 요소별로 사용자 요구 사항에 따라 데이터를 수집할 수도 있다. 이를 통합하여 모든 역사 별로 관리할 수 있고 수집된 데이터에서 변화하는 동향을 용이하게 분석할 수 있는 도구와 개별 역사들의 도면을 기반으로 하는 설비 관리를 수행할 수 있다.

통합 관리 시스템은 운용 상황을 상시 감시하고 예비 점검을 수행할 수 있도록 하기 때문에 환경 관련 설비의 수명 주기를 늘이며 원하는 환경 상태를 지속적으로 유지할 수 있도록 한다. 다시 말해 각각의 개별적으로 관리되는 시스템들을 하나의 체계로 통합하여 관리자가 원하는 정보를 쉽게 얻을 수 있도록 한 시스템이다.

먼저 여러 공기질을 감시할 수 있도록 센서모듈을 통한 측정 기술과, 측정된 데이터를 유선 및 무선통신 네트워크를 통해 관리자에게 전송할 수 있는 USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경을 구축한다. 또한 데이터 마이닝 기술을 적용하여 환경 데이

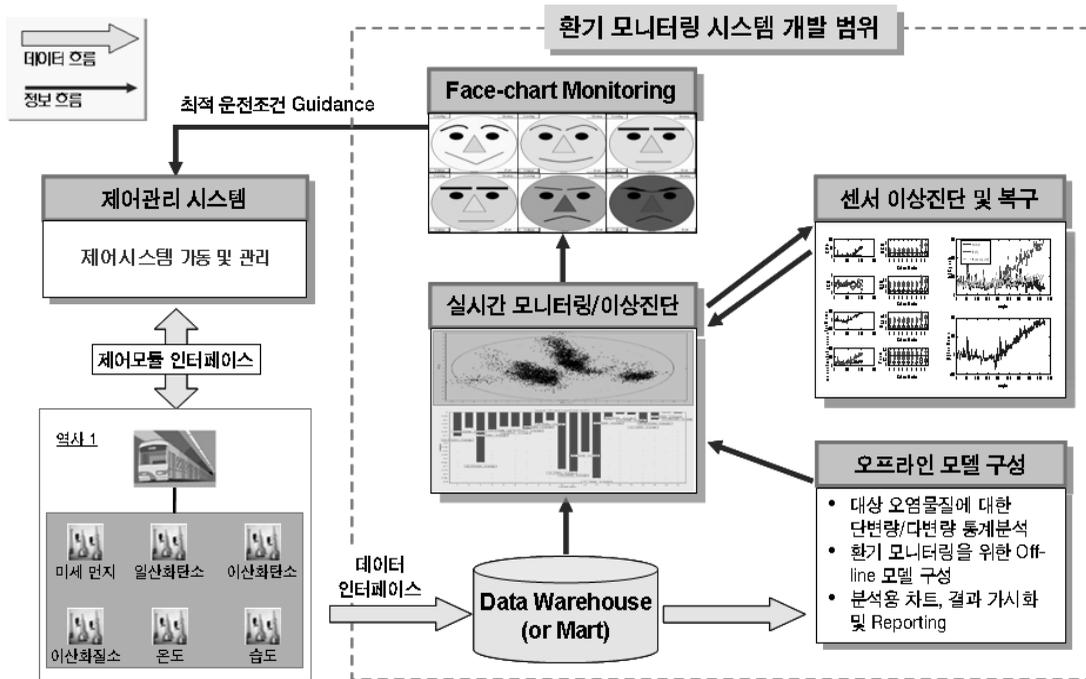


그림 6. 역사별 최적의 실시간 공기질 모니터링 시스템 구성도

터를 치밀하게 분석하고 분석한 결과를 바탕으로 하여 환경에 대한 예측 및 진단을 가능하게 한다. 데이터 분석은 단변량 분석 및 다변량 통계공정관리를 수행한다. 데이터 마이닝 기술은 통합모니터링, 공기질 진단 예측을 기반으로 지하역사 공기질 개선뿐만 아니라 환기시스템의 운전최적화를 통한 에너지 절약에도 많은 도움이 된다.

지하 역사의 공기질 개선을 위한 환경 통합 관리 시스템은 다음과 같은 특징을 갖는다. 고가의 환경계측기를 대체하는 환경 센서 모듈을 사용함으로써 구축비용을 절감할 수 있고, 무선 통신을 이용하는 환경 센서는 사용자 필요에 따라 설치 장소를 변경하면서 데이터를 수집할 수 있다. 또한 센서 모듈은 일체형으로 되어 있는 공기질 데이터 수집 장치보다 저렴하므로 많은 장소에 설치할 수 있으며 유지 보수비용도 획기적으로 줄일 수 있다. 무선 센서들로 구성하는 네트워크는 각각의 센서 모듈이 고장 나는 경우에도 데이터 전송의 중단 없이 운용

할 수 있는 장점이 있다.

또한 그래픽 사용자 인터페이스는 관리자가 쉽게 상황을 파악할 수 있게 한다. 관리자는 호선별, 개별 역사별 환경 데이터의 상황을 쉽게 감시하고 분석된 데이터의 동향을 파악할 수 있으므로 상황에 대응하는 조치를 유연하게 수행할 수 있다.

그림 6은 역사별 최적의 실시간 공기질 모니터링 시스템 구성도이다. 역사 내에 설치한 각 센서들로부터 오염물질 항목에 대한 측정값들을 받아들여 데이터 마트를 구축하고 이에 대하여 단변량 및 다변량 통계분석을 수행한 후 Off-line 모델 및 기준공정 관리도를 구축한다. 오프라인 모델 구축 후 실시간 모니터링 및 진단 시스템을 구축하여 실시간으로 들어오는 센서 값들에 대한 이상 진단 여부를 모니터링한다. 또한 센서 측정치에 대한 통계공정 관리 뿐만 아니라 센서 자체의 이상 진단을 수행하는 시스템을 동시에 구축하여 정확한 오염물질 상태를 모니터링한다. 그리고 Face-chart Monitoring

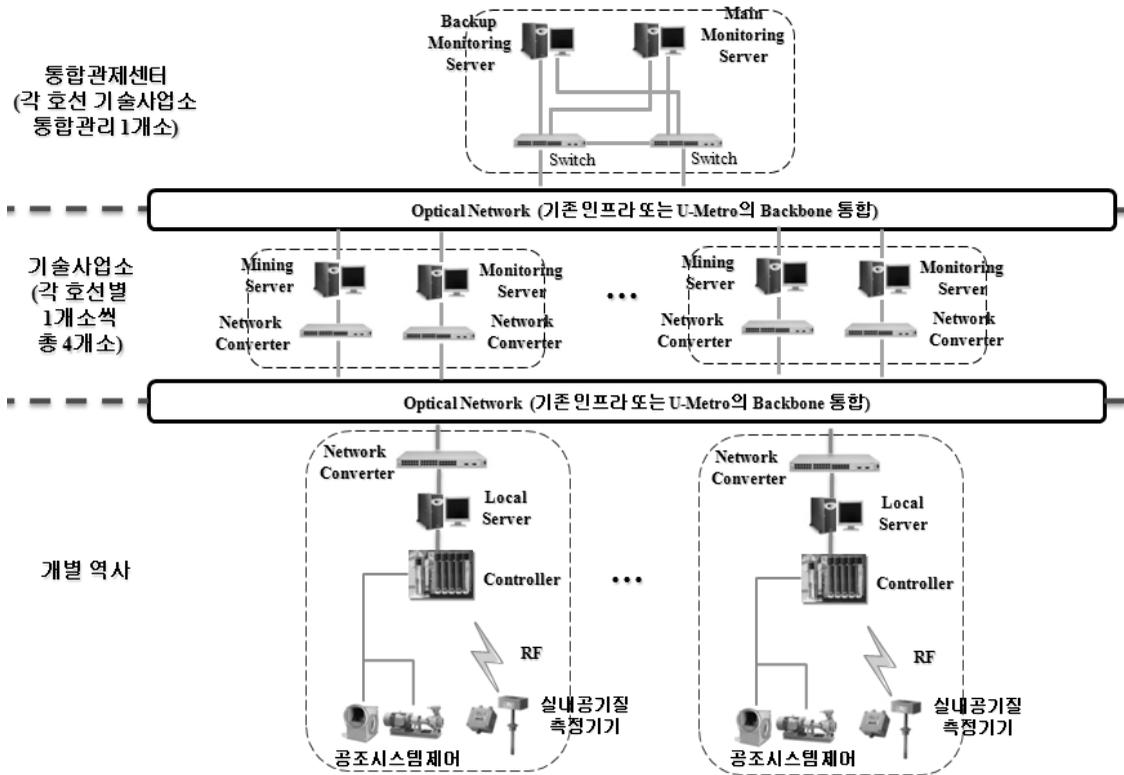


그림 7. 전체 구성도

시스템을 구성하여 사용자가 현재의 오염도 상태를 쉽게 인식할 수 있도록 한다. 실시간 모니터링 및 진단 결과를 제어·관리부로 전송하여 최적운전을 수행할 수 있도록 시스템을 구성한다.

### 3) 지하철 공기질 통합 관리 시스템의 개발 방향

향후에는 지하철 공기질 통합 관리 시스템을 각 지하철 노선과 연결하여 지하철 환경에 대한 광역 관리 시스템을 개발할 예정이며 시스템은 그림 7과 같이 3개의 계층으로 구분할 수 있다.

개별 역사 관리 계층은 환경 데이터를 직접 감지하는 환경 센서들과 이를 수집하고 모니터링 할 수 있게 하는 제어기로 구성된다. 호선별 관리 계층은

기술사업소별로 관리하는 호선별 역사들의 상태를 알 수 있게 하는 계층이다. 통합 관리 계층은 각 개별 역사에서 전송되는 데이터들을 보여 주고 원하는 제어를 할 수 있게 하는 최상위 계층의 구성 요소이다.

### 4. 결론

지하철 역사와 본선 터널의 공기질 통합 관리 시스템은 자연 환기시스템이 설치되어 있는 지하철 역사의 경우에는 환기 시스템을 강제 환기 시스템으로 개선하기 위한 방안, 최적의 운전 조건 연구, 공기질 데이터의 실시간 모니터링 시스템 구축 방안을 연구하고 있으며 강제 환기 시스템이 설치되어 있는 역사의 경우에는 환기 시스템의 효율을 높

이기 위한 오염 물질 계측 방안, 제어 시스템 구축 방안, 유지관리 시스템 구축 방안 등의 연구를 진행하고 있다. 향후 연구의 진행 결과를 반영하여 지하역사의 환경 관리를 위한 통합 제어 및 유지 관리 시스템 개발을 최종 목표로 하고 있다. 개발된 시스템의 적절한 운용에 통해 저렴한 비용의 환경 감지 센서를 사용하여 개별 역사의 데이터를 상시 수집하고 감시하여 원하는 수준의 공기질을 얻을 수 있도록 환경을 제어하는 시스템 구축이 가능하다. 이를 통하여 향후 지하역사의 환경 개선에 큰 역할을 담당할 수 있을 것으로 예상된다.

- 참고문헌 -

1. 김조천 외, “지하역사 및 터널의 인공지능형 공기질 제어 및 관리시스템 개발 (1차년도 보고서)”, 서울특별시, 2008.
2. 김조천 외, “지하역사 및 터널의 인공지능형 공기질 제어 및 관리시스템 개발 (2차년도 보고서)”, 서울특별시, 2009.
3. 김조천 외, “지하역사 및 터널의 인공지능형 공기질 제어 및 관리시스템 개발 (3차년도 사업계획서)”, 서울특별시, 2010.

**투고 환영**

계간 「공기청정기술」지는 클린룸 업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 연구조합 기술지에 게재하여 드리고 소정의 고료를 보내드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 “업계동정”란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.