

서울시 도시철도 실내공기질 관리

○ **조진환** | 서울교통공사, 보건환경처
 처장
 E-mail : jinhwan@seoulmetro.co.kr

1. 서론

2013년 세계보건기구 산하의 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 미세먼지(PM2.5)를 사람에게 발암이 확인된 1군 발암물질(Group 1)로 지정하였다. 그리고 국내에서

발생한 고농도 미세먼지로 인해 국민들의 관심과 우려가 증대함에 따라 정부에서는 미세먼지 저감을 국정과제 중 하나인 ‘미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성’으로 선정하여 미세먼지 저감에 총력을 기울이고 있다.

대도시에서의 지하철은 매우 중요한 교통수단 중

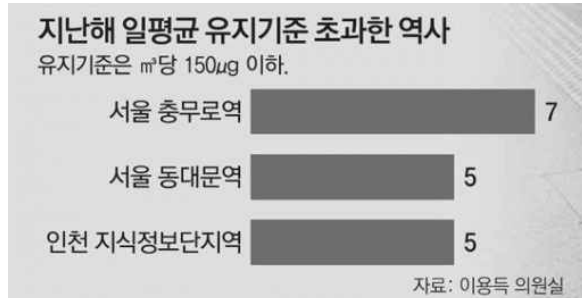
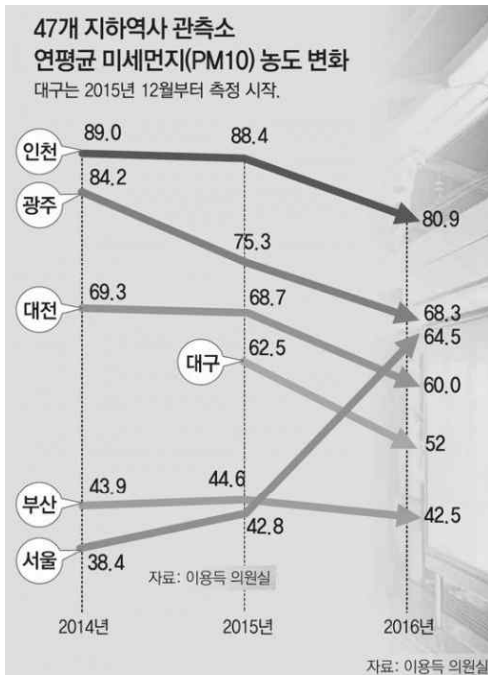


그림 1. 지하철 미세먼지 농도 관련 언론 보도

하나로써, 서울시 통계연보에 따르면 서울의 지하철·철도 통행분담률은 2010년 약 36.2%에서 2017년 39.9%로 매년 증가하고 있다. 이와 같이 지속적인 수요에 의해 서울지하철은 추가적으로 노선을 확장 및 신설하고 있으며, 이를 이용하는 이용객들은 미세먼지 노출의 위험에 직면해 있다. 또한 지하철의 미세먼지는 많은 언론의 보도를 통하여 국민의 관심사로 다뤄지고 있다.

이를 해결하기 위하여, 2018년 3월 환경부에서는 '제 3차 지하철역사 공기질 개선대책'을 발표하였으며,

운영기관과의 MOU를 맺는 등 지하철역사 미세먼지 농도를 줄이기 위하여 노력하고 있다.

또한 실내공기질 관리법을 개정하여 미세먼지(PM10) 150 → 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 미세먼지(PM2.5)의 기준을 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 신설하였다. 그리고 전동차에서의 미세먼지 노출을 줄이기 위하여 2017년부터 '실내공기질 관리기준을 위한 대중교통차량 제작·운행 관리지침'에 PM10에 대한 권고기준(200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 설정하여 관리하고 있다.

표 1. 실내공기질 관리법 시행규칙 <별표 2 실내공기질 유지기준>

다중이용시설	오염물질 항목	미세먼지 (PM-10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	미세먼지 (PM-2.5) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	이산화탄소 (ppm)	폼 알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	일산화탄소 (ppm)
가. 지하철역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실, 여객자동차터미널의 대합실, 항만시설 중 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 도서관·박물관 및 미술관, 대규모 점포, 장례식장, 영화상영관, 학원, 전시시설, 인터넷컴퓨터게임시설제공업의 영업시설, 목욕장업의 영업시설		100 이하	50 이하	1,000 이하	100 이하	-	10 이하
나. 의료기관, 산후조리원, 노인요양시설, 어린이집		75 이하	35 이하		80 이하	800 이하	
다. 실내주차장		200 이하	-		100 이하	-	25 이하
라. 실내 체육시설, 실내 공연장, 업무시설, 둘 이상의 용도에 사용되는 건축물		200 이하	-	-	-	-	-

표 2. 실내공기질 관리를 위한 대중교통차량의 제작·운행 관리지침 <별표 1 대중교통차량의 실내공기질 권고기준>

	이산화탄소		미세먼지
	비혼잡시간대	혼잡시간대	
지하철	2,000ppm 이하	2,500ppm 이하	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
철도, 시외버스	2,000ppm 이하	2,500ppm 이하	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

* 혼잡시간대: 주중 07:30~09:30, 18:00~20:00

* 비혼잡시간대: 혼잡시간대 외의 시간대

이에 본 고에서는 지하철 미세먼지의 발생 원인 및 특성, 한국환경공단에서 제공하고 있는 실내공기질 자료공개 서비스와 서울교통공사에서의 미세먼지 관리 방안에 대하여 소개하였다.

2. 지하철 미세먼지의 발생원인 및 특성

2.1 지하철 미세먼지의 발생원 및 이동경로

지하철에서의 미세먼지는 주로 열차가 운행하면서 레일과 차륜, 팬토그래프와 급전시설의 마찰, 마모에 의해 발생하거나, 레일 연마작업과 지하구조물의 유지보수 작업등으로 발생하며, 운행하는 전동차의 열차풍에 의해 바닥에 쌓여있던 미세먼지가 재비산되기도 한다. 그리고 외부로부터 미세먼지가 유입되기도 한다.

이렇게 발생한 미세먼지는 PSD를 통하여 승강장 내에 유입되기도 하며, 전동차의 HVAC 또는 틸새를 통해 객차 내에 침투하기도 한다. 또한 승강장 및 대합실의 경우 공조설비에 의하여 미세먼지가 유입 또는 유출되고 있다. 그러므로 지하역사 내 미세먼지의 영향에 대하여 파악하기 위해서는 공조설비의 운영에 대한 충분한 이해가 필요하다.

지하철을 이용하는 승객들은 출입구를 통하여 지하역사에 들어서게 되며, 대합실, 승강장을 거쳐 전동차를 탑승하게 된다. 그리고 전동차에서 내려 다시 승강장 대합실을 거쳐 외부로 빠져나가게 되며, 이동한 대합실, 승강장, 전동차에서 미세먼지에 노출되게 된다. 서울연구원 ‘대중교통 출근자 평균 통행형태(2013)’에 따르면 지하철을 이용하는 출근자는 대합실에서 약 11분, 승강장에서 6분, 전동차에서 35분의 시간을 보내는 것으로 나타났다.

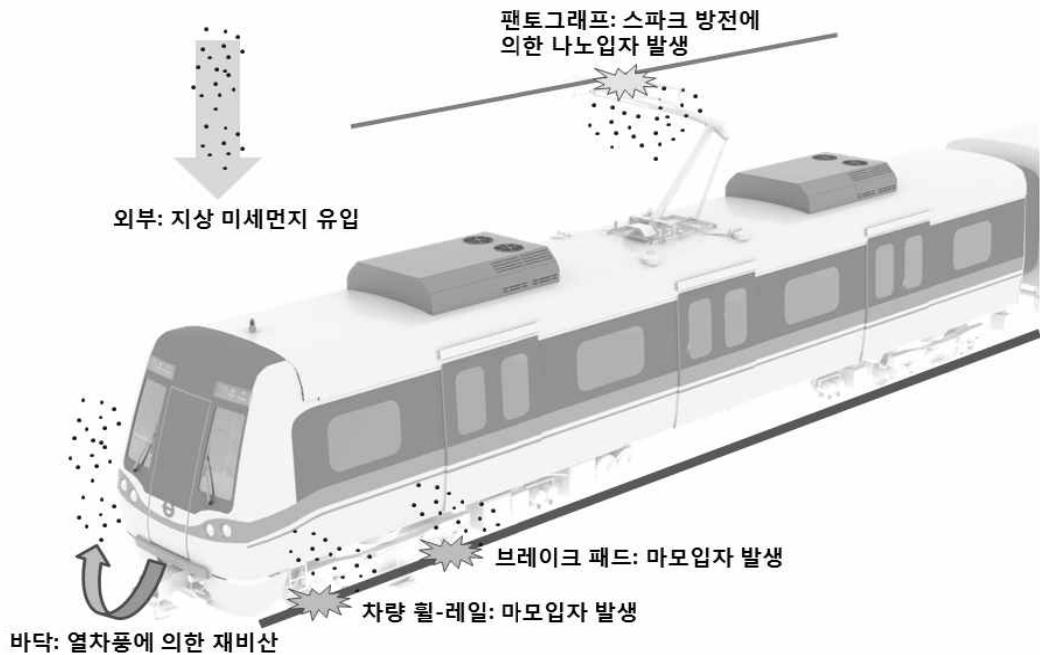


그림 2. 전동차 운행에 의한 (초)미세먼지 발생 메커니즘

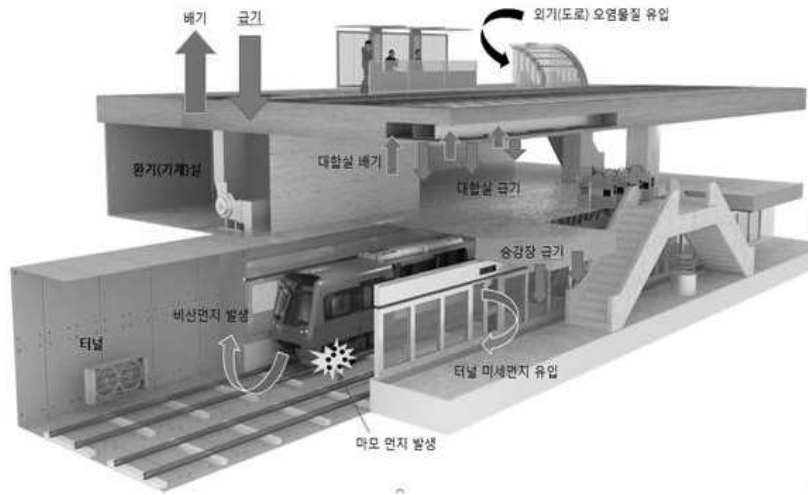


그림 3. 지하역사 미세먼지 발생원



그림 4. 승객의 미세먼지 노출경로

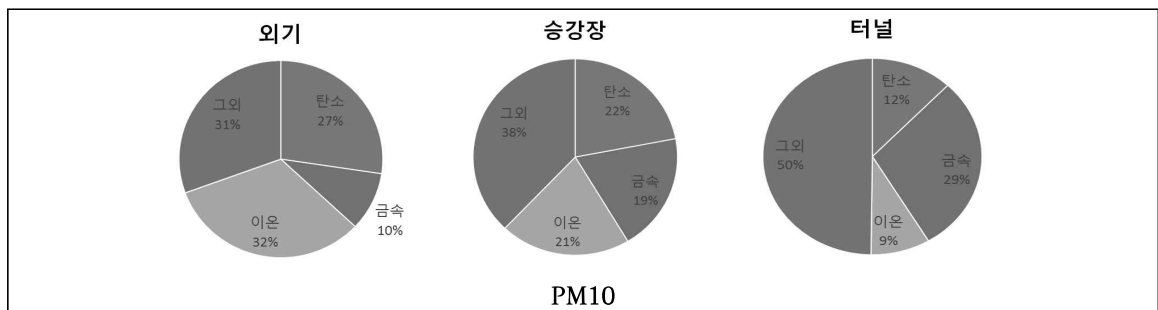


그림 5. 위치별 미세먼지(PM10) 성분

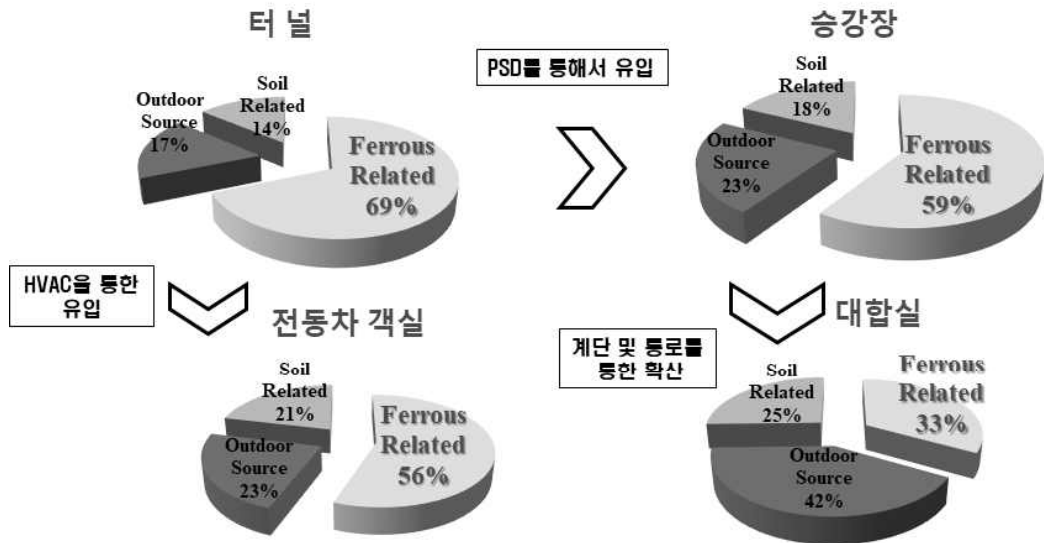


그림 6. 위치별 미세먼지(PM10) 기여도

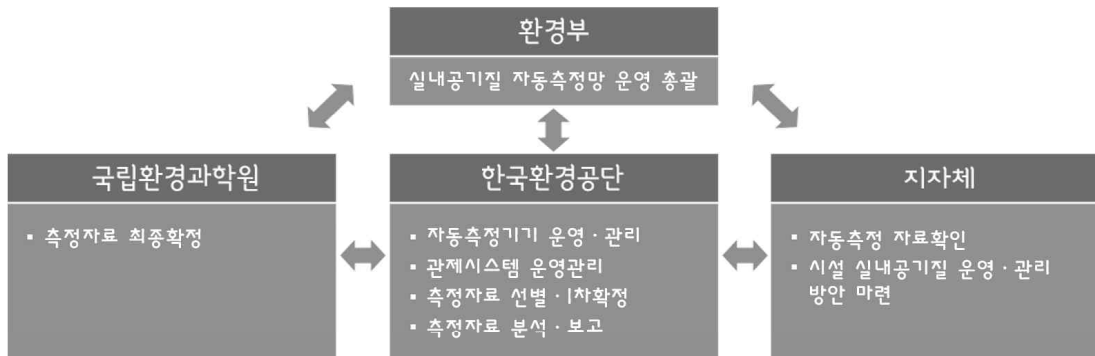


그림 7. 실내공기질 관리 종합정보망 사업추진체계

2.2 지하철 미세먼지의 특성

한국철도기술연구원에서는 미세먼지 저감방안을 마련하기 위하여 지하철의 미세먼지에 대한 특성을 파악하였다. 지하철 미세먼지는 금속성분, 특히 철 성분의 농도가 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 열차 운행 시 발생하는 마모에 의해 생성된 미세먼지가 주요 발생원이기 때문이며, 외기의 미세먼지와는 그 특성이 다르게 나타났다.

3. 한국환경공단 실내공기질 자료공개 서비스

현대인들은 대형 복합쇼핑몰, 지하역사 등 새로운 실내공간의 증가에 따른 생활패턴 변화와 함께 보통 하루 중 80% 이상을 실내에서 생활하고 있으며 이로 인해 실내환경이 건강에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

이에 따라 한국환경공단에서는 다양한 다중이용

특집 : 도시철도와 실내환경

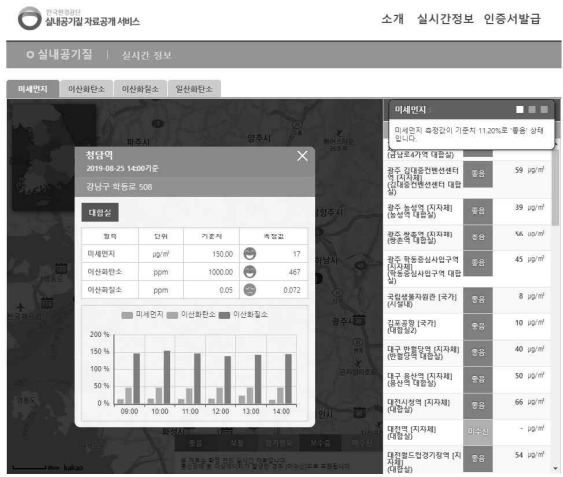


그림 8. 실내공기질 관리 종합정보망 홈페이지

시설군에 실내공기질 연속측정 모니터링을 실시하고 있으며, 지하역사의 경우 총 8개 지점에 환경부 측정망을 설치하여 상시 측정하고 있다. 또한 이를 위해 다중이용시설 실내공기질 자동측정망 설치 운영 지침을 마련하였다.

현재 측정자료는 PM10, CO₂, NO_x, CO 4가지 항목이며, 각 측정 시설별로 5분 또는 1시간 단위로 수집하여, 해당시설의 실시간 실내공기질 자료를 홈페이지를 통해 공개하고 있다. 또한 실시간 자료는 내부적으로 선별·확정의 절차를 거쳐 이상 자료 등을 걸러내는 작업을 하고 있다.

4. 지하역사 미세먼지 개선대책

4.1 제3차 지하역사 미세먼지 개선대책

환경부에서는 그간 2차례에 걸친 ‘지하역사 공기질 개선대책’을 추진으로 미세먼지는 점차 개선되고 있다. 운영기관에서는 지하역사의 공기질 개선을 위하여, 다양한 방안을 수행해 왔다. 역사 공기질 관리를 위하여 역사 내 청소를 주기적으로 수행

하였으며, 전동차 전용 공기질 개선장치를 신조차량에 우선적으로 설치하였다. 그리고 터널 내 공기질 관리를 위하여 자갈도상을 콘크리트 도상으로 개량하고 있다. 하지만 국민의 눈높이에 맞지 않는

비전	숨 쉬기 편안한 지하철환경 조성
목표	미세먼지 오염도 13.5% 저감(69.4μg/m³→60μg/m³)
구 분	세부 추진과제
지하역사 (승강장, 대합실)	<ul style="list-style-type: none"> · 지하역사 공기질 관리체계 강화 · 외부 미세먼지 유입 차단 · 환기설비 운영 효율성 제고 · 스마트 공기질 관리 시스템 도입 · 미세먼지 특별관리역사 지정 관리
터널	<ul style="list-style-type: none"> · 미세먼지 발생원 제거 · 터널 내부 물청소 강화 · 터널 모니터링 및 Hot spot 관리 · 첨단기술 활용 미세먼지 저감
지하철 차 량	<ul style="list-style-type: none"> · 차량 공기질 관리체계 강화 · 차량 공기질 개선장치 설치 확대 · 차량 공기질관리 자체 이행계획 수립 및 점검 · 교육 및 홍보 강화

그림 9. 지하역사 3차 5개년 관리방안

관리기준, 제도보완 등의 미흡으로 인해 국민들이 체감하기에는 어려웠다. 이에 3차 지하철역 미세먼지 개선대책에서는 지하철역 미세먼지 농도 저감·관리에 집중하였다.

4.2 지하철역 공조시스템 지능화 프로젝트

지하철역 스마트 공기질 관리 시스템은 지하철역에서의 미세먼지 농도, 이용객의 수, 열차 운행횟수, 인근 도로 교통량 등의 다양한 데이터 기반으로 인

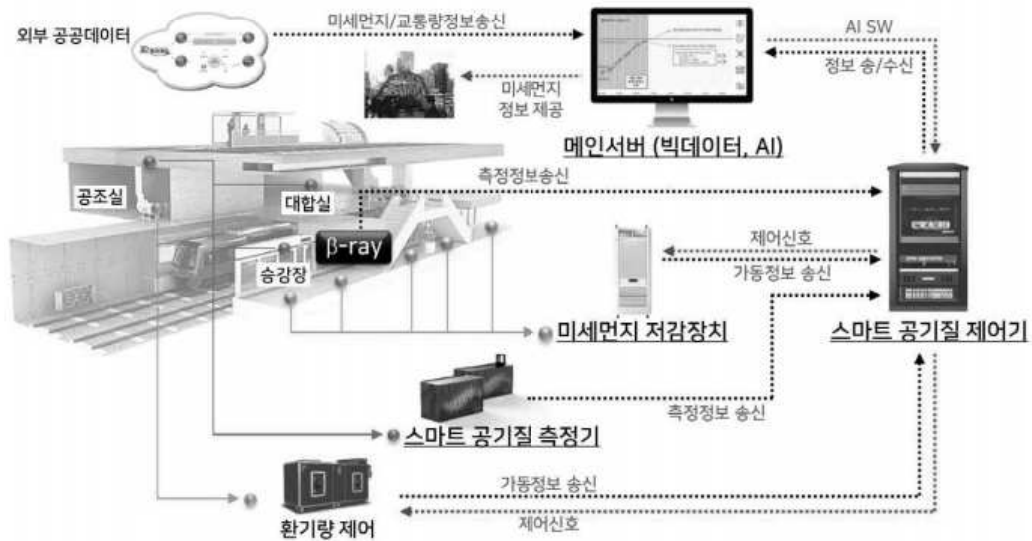
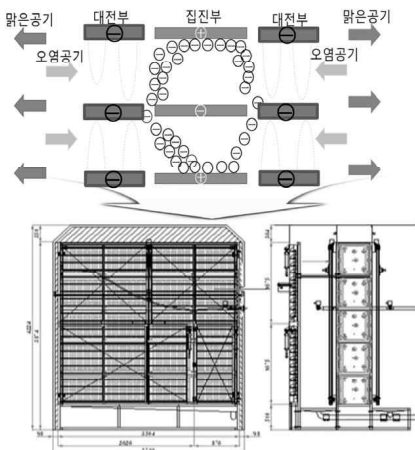


그림 10. 지하철역 공조시스템 지능화 개념도

• 코로나 방전을 이용한 미세먼지 집진방식



• 자동세척시스템의 분사방식

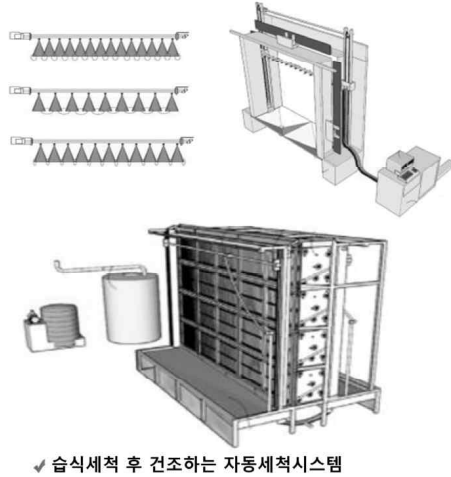


그림 11. 양방향 전기집진기술

공지능 기술을 활용하여 미세먼지 예측하고 이에 따른 관리시스템을 지능화 함에 따라 미세먼지를 최적 관리하는데 있다. 현재 강남역에서 고성능 사물인터넷(IoT) 측정기 6대를 승강장 대합실 등에 설치하였으며, 고성능 미세먼지 저감장치 20여대와 지하역사 내 전체 공기를 정화하는 공조시설을 자동으로 제어하는 지능화 시스템을 개발 적용하고 있다. 그 결과, 강남역의 미세먼지 수준을 지능화 시스템을 운영하기 이전보다 최대 40% 정도 저감하는 성과를 거두었다.

4.3 양방향 집진 시스템

양방향 집진 시스템은 도시철도 터널 본선환기구에 설치하여 급·배기시 이동하는 공기를 정화하는 시스템이다. 현재 대구도시철도공사에 시범 설치중에 있으며, 최대 풍속 13 m/s에서 90% 이상의 우수한 집진효율을 나타내었다. 또한 유지보수를 최소

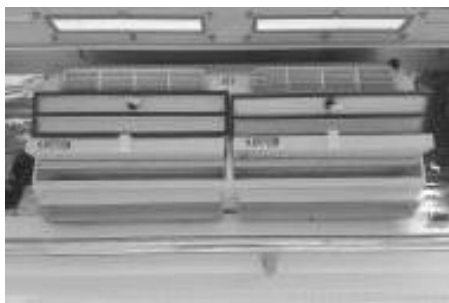


그림 12. 차량 공기질 개선장치

화 하기 위하여 집진셀 자동세척하며, 오염된 폐수는 별도 처리할 수 있다.

4.4 차량 공기질 개선장치

서울교통공사에서는 전동차용 공기질 개선장치를 2호선 신조차량에 설치 시범운영을 실시하였다. 시범운영 결과 미세먼지의 평균농도는 약 8.15% 저감하였으며, 혼잡시간대(오전 7~9시) 미세먼지 농도는 12.3%의 저감효과를 나타내었다.

4.5 외부 미세먼지 유입차단

출입구 및 환기설비를 통해 유입되는 미세먼지를 차단하기 위한 대책으로 1, 환기설비 및 자동세정장치·필터를 개선하고, 2, 출입구 방풍문을 설치하고, 3, 흡기 환기구를 1.5m 이상 높이 설치하여 외기 미세먼지 유입을 억제하는 대책이다. 현재 지하역사



그림 13. 도보 인근 환기구

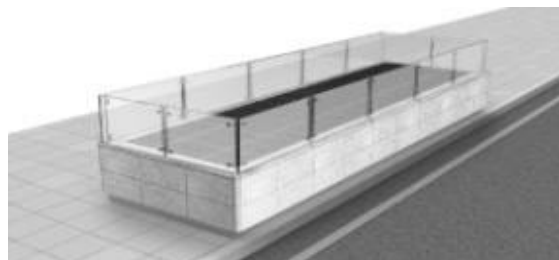


그림 14. 환기구 인상 조감도

에 사용되는 환기설비의 경우, 초미세먼지가 그대로 필터를 통과하고 있는 실정이다.

이에 환기설비·필터 등 적정관리 및 가동중대 등을 위한 ‘지하역사 환기설비 운영·관리 규정’을 마련할 계획이다. 그리고 서울교통공사에서는 흡기환기구 인상 시범사업을 통하여 미세먼지의 저감 효과 확인 및 확대 설치를 계획하고 있다.

4.6 실시간 도시철도 미세먼지 모니터링 시스템

서울교통공사에서는 대다수의 시민이 이용하는 대중교통인 지하철 내 공기질 개선을 본격화 하기 위하여, 서울지하철 미세먼지 실시간 모니터링 시스템을 구축하고 있다. 실시간 모니터링 시스템은 지하역사 및 전동차 내 미세먼지의 변화 추이를 파악함으로써 원인을 분석하고 환기 가동시간을 조정하거나 습식 청소를 실시하는 등 미세먼지 변화 추이에 따른 적절한 관리방안을 마련할 계획이다.

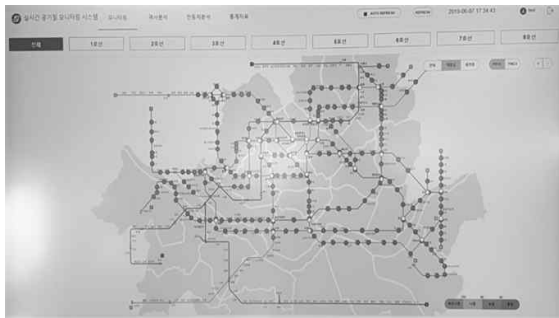


그림 15. 실시간 공기질 모니터링 시스템

5. 맺음말

미세먼지에 대한 국민들의 눈높이는 지속적으로 높아지고 있으며 이러한 욕구를 만족시키기 위해 국가 및 지자체에서는 지하철의 미세먼지를 저감하기 위한 수많은 개선 대책을 마련하고 있다. 또한

서울교통공사에서는 시민들이 안심하고 이용할 수 있는 지하철 환경 조성의 비전으로써 2022년까지 미세먼지(PM10) 관리 목표를 지하역사 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, 전동차 객실 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, 터널 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 그리고 비상저감조치 발령시 외기보다 낮게 관리하는데 목표를 두었다. 하지만 이러한 개선대책 중 대부분은 개선 효과를 입증하는데 어려움이 있다. 또한 수많은 국민들이 이용하고 있는 지하철 운행에 영향을 끼쳐서는 안된다. 또한 지하철의 노선별 역사별 다양한 특징에 따라 같은 저감기술이여도 저감효과는 상이하게 나타날 수 있다. 그러나 다양한 개선방안이 지속적으로 발굴 및 마련되고 있는 실정이며, 이를 적재적소에 적용하기 위해서는 각 역사의 특징을 파악하고, 지속적인 미세먼지 모니터링을 통해 역사별 최적 관리방안 및 개선방안을 선별 적용하여야 할 필요가 있다.

- 참고문헌 -

1. 지하철·철도 통행분담률 서울시 통계연보
2. 나노기술을 적용한 실시간 지하공간 오염물질 제거기술 최종보고서, 2019, 한국철도기술연구원
3. 도시철도 터널 및 차량의 공기질 개선기술 개발에 관한 연구 최종보고서, 2014, 한국철도기술연구원
4. 3차 지하역사 공기질 개선대책, 2018, 환경부
5. ‘지하역사 미세먼지를 인공지능(AI) 기술로 개선’ 보도자료, 2019, 과학기술정보통신부
6. 양방향 전기집진기술을 지하철 본선환기구에 적용한 미세먼지 저감기술, 2018, (주)리트코, 대구도시철도공사