

02호

해설이 있는

국민기술제안 인사이트

INSIGHT



지하철 선로·역사 내
미세먼지 측정 및 저감



미세먼지 문제 해결을 위한
국가기후환경회의

- 대통령 직속 자문기구인 국가기후환경회의는 미세먼지 문제해결에 필요한 국민의 아이디어 및 보유기술에 대한 창구 역할을 수행하는 「국민기술제안 자문 플랫폼」을 운영하고 있습니다.
- 이를 통해 국민의 미세먼지 해결 기술 제안을 적극 청취하고, 전문기관(연구개발, 특허, 인증, 사업화 등)을 통한 기술자문 및 대국민 서비스를 지원해 오고 있습니다.
- 본 '국민기술제안 INSIGHT'는 국민들이 제안한 미세먼지 문제 해결을 위한 기술아이디어 가운데 정책반영 및 사업화 등이 필요한 아이템을 선별하여 심층적으로 분석하기 위해서 추진된 사업입니다.
- 앞으로, 다양한 국민들의 아이디어가 기술개발이 이루어지고 현장 적용이 확대되어 미세먼지 없는 푸른 하늘에서 숨쉴 수 있도록 적극 지원하도록 하겠습니다.

• 지하철 선로·역사 내 미세먼지 측정 및 저감 •

국민기술제안명 (제안시기, 제안자)	제안내용	주요사진
지하철 및 도심지 미세먼지 획기적 저감 방안 (19.8, 김*주)	<ul style="list-style-type: none"> 지하철 내부의 미세먼지 저감을 위한 전기집진기, 환풍시스템 및 대기질 모니터링 등 통합 관리기술 지하철, 터널, 지하상가 등의 공간의 미세먼지 제거 기술 	
지하철 미세먼지 주범 본선 지하터널 구간의 공기질 개선 (19.8, 전*윤)	<ul style="list-style-type: none"> 고압 살수 시 비산먼지 억제제를 첨가하여 먼지의 비산먼지 억제기간을 일반 물 살수 시보다 연장하는 기술 발암성 유독 방향족 유기화합물, 중금속 관련, 수질안정성, 발화성, 인화성, 산화성 항목 통과 진행 완료 	
저가형 나노필터제조 및 지하철 미세먼지 해결방안 (19.10, 나*수)	<ul style="list-style-type: none"> 고속으로 회전하는 컵형태의 미립 방울 생성기로 안개를 분무하여, 지하철 본선 선로 내의 미세먼지를 제거하는 기술 	
친환경 먼지역제제로 지하철 터널내 미세먼지 제거 및 억제 기술 (20.2, 이*균)	<ul style="list-style-type: none"> 식품, 의약품, 화장품 등에 쓰이는 친환경 소재를 사용하여 개발한 먼지역제제로 지하철 먼지에 대한 젖음성과 응집력 향상 기존 먼지역제제 대비 먼지저감효율과 경제성이 높음 	
초미세먼지 및 미세먼지 저감장치 (19.9, 오*희)	<ul style="list-style-type: none"> 인공비를 이용한 굴뚝 및 지하철역사등 미세먼지 흡착 장치 다수의 분사노즐을 통해 분사된 분사 물줄기가 먼지흡착층 형성 	

요약문

- ☑ 그동안 지하철 선로 및 역사는 관련시설 장비의 노후 및 마찰, 부식 등으로 인하여 유해 미세 먼지가 발생하여 도시 이용자 및 운영자의 건강이 위협받고 있었으나, 노후화된 공기순환설비 교체 및 개보수 비용 상승으로 사업 진행이 어려웠음
- ☑ 철로·터널의 비산먼지, 유동인구, 외부 유입 미세먼지 등 지하역사에 미세먼지를 유발하는 원인분석 및 현상진단 후 효과적 대응책 마련이 필요함
- ☑ 정부와 도시철도공사 등은 지하역사 공기질을 신속하게 측정하고 효과적으로 관리하기 위해 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI) 등 정보통신기술을 적극 활용함
 - 지능정보기술을 활용하여 실시간 공기질 데이터 수집·분석, 미세먼지 저감장치 및 환기설비를 자동 운영·제어해 효과 검증
- ☑ 실내 미세먼지 발생 및 확산시간을 예측하고, 이를 바탕으로 공조 설비를 최적 가동하는 지하역사 스마트 공기 질 관리 시스템을 제공함
 - 지하역사 내·외부의 대기오염물질 데이터를 딥러닝으로 분석하여, 미세먼지 발생 예측부터 저감장치 가동까지 최적화 시스템 개발
 - 기존 수동조작으로 운영 중인 환기량 제어(공조실 설비)까지 지능화를 확대 적용하여 예측 기반 공기질 관리 최적 운영
- ☑ 서울 강남역사의 경우 지하역사 공기질 상시 모니터링 및 실내공기질 유지기준 이하로 미세먼지를 관리함
 - 지능화 시스템으로 운영 시 실내공기질 관리법에 의한 PM10 유지기준 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, PM2.5 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 유지
 - 환경부 지하역사 공기질 개선대책과 연계하여 부산·대구·광주 등 도시철도와 전국 580여개 지하역사로 성과 확산 추진 필요



CONTENTS

1. 지하역사의 미세먼지 현황	1
2. 정부의 저감 노력	2
3. 인공지능을 활용한 미세먼지 저감 사업	7
4. 시사점	18



표목차

그림목차

[표 1] 지하역사 및 지하철 객실 미세먼지 농도 추이	1	<그림 1> 도상개량 전후	4
[표 2] 실내공기질 유지기준 (실내공기질 관리법 시행규칙, '20.4.3)	2	<그림 2> 지하역사 공조시스템 지능화 개념도	8
[표 3] 제2차 지하역사 공기질 개선 대책 추진성과	3	<그림 3> 필터 사용 전후 비교	9
[표 4] 양방향 집진시스템 저감효과 실증 결과 (대구도시철도공사)	4	<그림 4> 강남역 승강장 미세먼지 예측 알고리즘 결과	10
[표 5] 서울 지하철 2020 미세먼지 관리 종합계획 관리목표	5	<그림 5> 지하역사 스마트 운영 (미세먼지 나쁨)	11
[표 6] 서울 지하철 2020 미세먼지 관리 종합계획 대책	5	<그림 6> 스마트 운영 결과 (미세먼지 나쁨)	11
[표 7] 빅데이터 확보 현황	8	<그림 7> 지하역사 스마트 운영 (미세먼지 나쁨)	11
[표 8] 운영방식 비교	14	<그림 8> 스마트운영 결과 (미세먼지 좋음)	11
[표 9] 운영 모드에 따른 미세먼지 분석 결과 요약	17	<그림 9> 미세먼지 농도 수준에 따른 공기청정기 스마트 운영	12
		<그림 10> 스마트 미세먼지 관리시스템 인공지능 운영화면	13
		<그림 11> 지능화 운영 방식	14
		<그림 12> 강남역 미세먼지 저감 시민 체험 공간	15
		<그림 13> 공인시험기관 공기질 측정 평가 (승강장)	16
		<그림 14> 실내공기질 모니터링 결과 분석 (PM10, PM2.5)	17
		<그림 15> On Mode / AI Mode 가동 시 미세먼지 농도 분석	18



인공지능을 활용한 지하철 역사내 미세먼지 저감

정병주 한국지능정보사회진흥원 스마트국토환경팀 팀장

지하역사 공기질 데이터와 공조환기설비 운영데이터를 인공지능으로 분석하여 실내공기질 관리를 지능화함으로써 미세먼지를 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 관리

1. 지하역사의 미세먼지 현황

- ☑ 지하철 및 지하역사는 하루 1천만명이 이용하는 대표적 대중교통 수단으로 공기질 관리는 매우 중요함
 - 지하역사는 지하터널 및 지하상가 등과의 연결 등 구조물의 특성상 자연환기가 어려워 공기질 관리가 곤란함
 - **미세먼지¹⁾** 고농도 계절관리제('19.12~'20.3)에 따라 차량 2부제 시행으로 대중교통 이용객이 더욱 많아지게 되어, 지하철 및 지하역사의 공기질에 대한 국민 관심과 우려가 큼
 - 서울 수유역 기준으로 수도권 비상저감조치 기간('18.1.15.~21.)의 미세먼지 농도는 승강장이 외기보다 76%, 대합실은 외기보다 30% 높게 나타남
- ☑ 지하철 및 지하역사 내 미세먼지의 심각성에 대하여 시민단체, 언론 등이 지속적인 문제를 제기함
 - 환기구와 출입구를 통해 도로 오염물질이 지하로 유입되고, 터널 미세먼지의 유입과 이용객의 이동으로 발생하는 승강장 미세먼지는 **지하철 공기질²⁾** 저하를 야기함

[표 1] 지하역사 및 지하철 객실 미세먼지 농도 추이

	'07년	'12년	'17년
지하역사	96.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	81.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	69.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
지하철 객실	147.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	82.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	74.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

* 출처 : 제3차 지하역사 공기질 개선대책('18~'22)

1) 미세먼지 대기 기준(PM10, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) : 보통(31~80), 나쁨(81~150), 매우나쁨(151이상)

2) 현재 승강장, 대합실 등 지하역사 실내 공기질은 '19년 7월1일부터 미세먼지(PM10) 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 초미세먼지(PM2.5) 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준으로 관리

- ☑ 지하역사 미세먼지는 터널, 승강장, 대합실 순으로 오염도가 높고, 특히 터널은 일반 대기의 4~6배, 승강장의 3~4배의 고농도 오염지점으로 파악됨
 - 터널의 오염도가 높은 원인은 외부 오염공기 유입, 레일 마모, 터널 바닥의 자갈·흙 등의 분쇄로 인한 미세먼지가 발생함
 - 지하철 터널에서는 열차 바퀴와 선로의 마찰³⁾로 짙은 농도의 미세먼지가 발생하는데, 열차가 지나가면서 이 미세먼지가 승강장까지 전해질 위험이 있음
 - 터널 내부의 공기 중에는 미세분진, 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 폼알데하이드, 휘발성 유기화합물질(VOC) 등과 같은 인체에 유해한 오염물질을 다수 포함함

2. 정부의 저감 노력

- ☑ 실내공기질 관리법의 개정(2020. 4. 3. 시행)에 따라 지하역사에 측정기기 설치와 전동차의 실내공기질 측정이 의무화되고, 실내공기질 권고기준이 신설됨
 - 실내공기질 관리법에 따라 지하역사의 소유자 등은 2021년 3월 31일까지 환경부령으로 정하는 측정기기를 부착하여야 함

[표 2] 실내공기질 유지기준 (실내공기질 관리법 시행규칙, '20.4.3)

유지 기준	미세먼지 (PM10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	초미세먼지 (PM2.5) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	이산화탄소 (ppm)	폼알데하이드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	일산화탄소 (ppm)
지하역사, 지하도상가, 철도역사의 대합실 등	100 이하	50 이하	1,000 이하	100 이하	10 이하

- ☑ 정부는 총 3차례에 걸쳐 지하역사 공기질 개선대책을 수립하고, 미세먼지 오염 개선과 국민 불안 해소를 위해 '22년까지 미세먼지 오염도 13.5% 저감($69.4\mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 60\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 목표로 저감 정책을 추진 중임

3) 터널 내 미세먼지를 주요인은 열차 바퀴와 레일 마모(59.6%)

[표 3] 제2차 지하역사 공기질 개선 대책 추진성과

구분	목표	실적	사업내용
미세 먼지	81.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ →70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균오염도 14.2% 저감)	69.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 달성('17)	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈도상 콘크리트 개량(10.5km) • 스크린도어 설치(144개역) • 환기설비 개량(공조기(86대), 송풍기(50대)) • 6개 신설역 흡기환기구 높이 조정(6개역, 49개) • 살수배관 설치(9.1km) • 친환경 모터카 개선(경유→축전지, 18대)
석면	이용 국민 석면 비노출	석면 철거 완료	<ul style="list-style-type: none"> • 석면뽕칠 제거(7개 역사 철거 완료) • 석면 건축마감재 제거(233개 역사)
라돈	권고기준 (148Bq/m ³) 이하 관리	승강장, 대합실 기준이내	<ul style="list-style-type: none"> • 라돈중점관리 역사(39개) 환기시간 확대 • 배수펌프실 밀폐 등 라돈관리 강화
차량	권고기준 준수	권고기준 초과사례 無	<ul style="list-style-type: none"> • 매년 차량 내 오염농도(PM10, CO₂) 측정 • 환기설비 정비 및 청소 실시

* 출처 : 제3차 지하역사 공기질 개선대책('18~'22)

☑ 환경부의 지하역사 공기질 개선사업에 따른 국고지원 규모는 2019년 850억 원, 2020년 530억 원(정부안 기준)

- 2019년 : 역사 공기정화설비 설치(278개 역사), 자동측정망 설치(553개 역사) 등
- 2020년 : 역사 공기정화설비 설치(238개 역사), 차량 공기정화설비 설치(1,577량) 등

* 출처 : 환경부 보도자료(2019.12.5.)

☑ 지하역사의 실내공기질 측정 결과가 역사 내 전광판과 실내공기질 관리 종합정보망(www.inair.or.kr/info)을 통해 실시간으로 공개될 예정임('21년 4월 1일부터)

- 서울 지하철 1~8호선 277개 전 역사의 대합실과 전동차 등에 미세먼지 측정기 840대를 설치 완료함('19.6)

☑ 미세먼지 오염도가 상대적으로 높은 역사를 '특별관리역사'로 지정, 환기설비 가동 및 물청소 증회 등 집중 관리함

- 서울교통공사는 55개역(전년도 미세먼지 측정결과 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)을 특별관리역사로 지정하여 물청소(2회/월 → 3회/월) 횟수를 늘리는 등 중점 관리중임

☑ 대기 및 도로변 등 외부 오염원의 유입을 차단하거나 필터를 통해 개선할 계획임

- 서울·부산·대구 등 20년 이상 노후화되어 효율이 떨어진 환기설비(136대) 및 자동세정장치·필터(622대)를 개선하고, 외부 미세먼지가 역사내로 유입을 억제하기 위해 역사 방풍문을 추가 설치함('20년까지 17개 역사)

- 지하역사 환기설비 내 필터규격 등 성능을 구체화하고, ‘지하역사 환기설비 운영·관리 규정’을 마련하는 등 환기설비 운영 효율성을 제고함

☑ 지하철 터널에서 발생하는 미세먼지 제거를 위해 자갈도상 콘크리트를 개량(25.3km)하고, ‘22년까지 흡음물질⁴⁾ 제거(47개역, 113,000㎡) 및 경유사용 점검용 모터카를 축전지식으로 전환함(28대)

- 선로 구간은 살수차를 활용해 터널 바닥과 벽체에 고압으로 물을 분사시켜 먼지를 털어내고, 도상 흡진차는 바닥에 있는 오물이나 먼지를 흡입하여 청소하고 살수배관도 설치 확대함(21개역, 146.3km)

- 자갈도상을 콘크리트로 개량시 27.9%의 미세먼지 저감효과($382.3\mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 275.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 있음

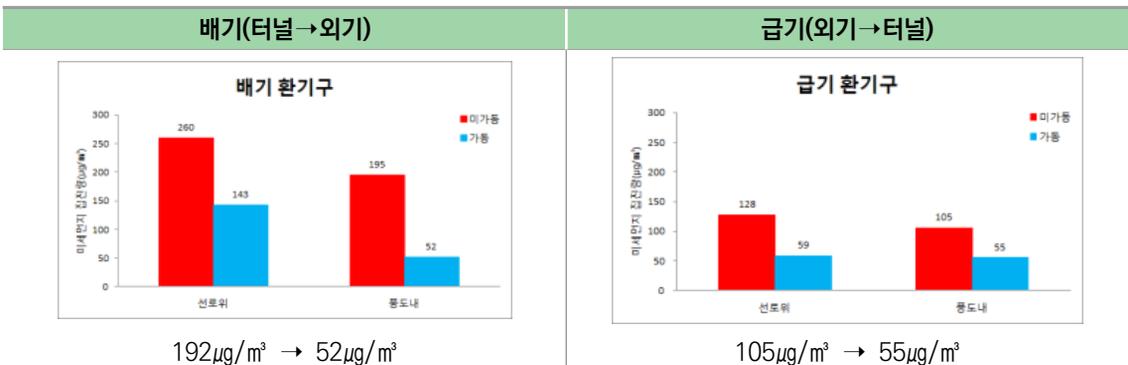


〈그림 1〉 도상개량 전후

* 출처 : 제3차 지하역사 공기질 개선대책(‘18~’22)

☑ 양방향 집진 시스템을 터널 본선환기구에 설치하여 급·배기시 이동공기를 정화하는 시범사업을 추진함(‘18~, 대구 118대)

〔표 4〕 양방향 집진시스템 저감효과 실증 결과(대구도시철도공사)



* 출처 : 제3차 지하역사 공기질 개선대책(‘18~’22)

4) 전동차 진·출입 운행소음 감쇄를 위해 승강장 선로 천장 및 승강장 연단하부에 설치하는데, 흡음물질에 부착된 먼지가 열차 운행시 비산되어 승강장의 공기질을 저하시키는 요인으로 작용

- ☑ 서울교통공사는 쾌적한 지하철 환경 조성을 위해 「2020 미세먼지관리 종합계획」을 발표하고 4대 분야 23개 대책을 발표함('20.4)

[표 5] 서울 지하철 2020 미세먼지 관리 종합계획 관리목표

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분		2018년	2022년	법적 (권고) 기준	저감율 (최대값 대비)
미세먼지 (PM10)	터널	평균 192.2 (93.2~384.3)	120 이하	-	50% ↓
	전동차	평균 46.8 (26.2~224.5)	35 이하	-	
	지하역사	평균 82.6 (57.9~108)	50 이하	100 이하	
초미세먼지 (PM2.5)	전동차	-	35 이하	50 이하	-
	지하역사	평균 54.6	30 이하	50 이하	45% ↓

- 지하철 미세먼지 저감을 위해 2022년까지 8,000억원을 들여 승강장·터널·전동차 미세먼지 50% 저감을 목표로 사업을 추진할 계획임
- 승강장에는 초미세먼지까지 걸러낼 수 있는 헤파필터가 장착된 고성능 공기청정기를 설치해 공기질 개선을 추진함
- 레일 연마차와 밀링차를 도입하여 손상된 레일의 단면을 연마하여 재생하는 기존 방식에서 절삭 칩 포집까지 할 수 있는 밀링 방식으로 전환할 계획임
- 터널 내 섯가루와 분진을 제거할 수 있는 미세먼지 제거차량도 도입함

[표 6] 서울 지하철 2020 미세먼지 관리 종합계획 대책

구분	사업명	
외부유입 차단	터널	① 터널 본선의 환기설비 집진효율 개선
		② 터널 내 물분무 설비 설치
		③ 본선 터널 노후 환기시설 개량
		④ 터널 미세먼지 양방향 제거 설비 설치
	전동차	⑤ 전동차 내 에어커튼 설치
	역사	⑥ 역사 환기설비 시스템 개량
		⑦ 역사 환기필터 시스템 개선

구 분		사 업 명
		⑧ 지하역사 리모델링
		⑨ 역사 출입구 방풍문 및 에어커튼 설치
		⑩ 환기 설비 및 환기 덕트 청소
발생원 제 거	터 널	⑪ 레일 밀링차 구매
		⑫ 친환경 모터카 교체
	전동차	⑬ 메탈라이즈 카본계 주습판 교체
		⑭ 전동차 전기제동 정차 제거기술 개선
내부 공기정화	터 널	⑮ 터널내 승강장 전기집진기 설치
		⑯ 미세먼지 제거차량 구매
	전동차	⑰ 전동차 객실 내 공기질개선편장기 제작설치
	역 사	⑱ 승강장내 공기질개선편장기 설치
		⑲ 역사 공조 필터 개선
		⑳ 역사 물청소 등
측정·관리	역 사	㉑ 지하역사 스마트 공기질관리 시스템 구축
		㉒ 초미세먼지(β -ray) 측정기 설치
		㉓ 이산화탄소 측정기 설치



*출처 : 서울교통공사 보도자료, 2020.4.12.

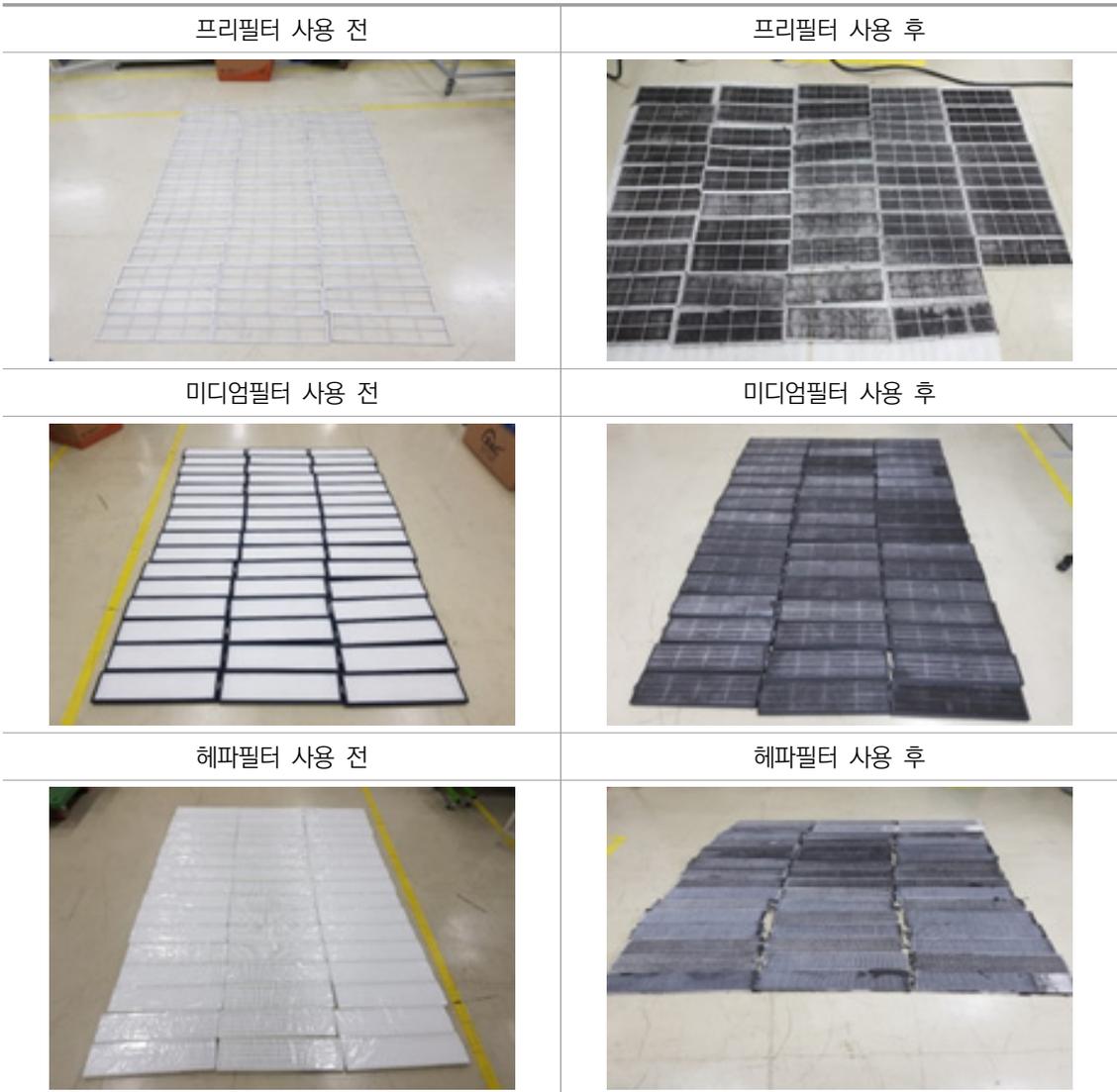
3. 인공지능을 활용한 미세먼지 저감 사업

- ☑ 환경부는 역사 내·외부 오염도, 교통정보 등 빅데이터를 분석하여 역사 내 미세먼지 농도를 예측하고, 최적의 공조 시스템 운영하는 스마트 공기질 관리 시스템 실증화 시범사업('18~'19, 대전 청사역, 20억원)을 추진해 효과 입증시 유동인구가 많은 지하역사로 확대할 계획임
 - ☑ 과기정통부와 한국지능정보사회진흥원은 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI) 등 지능정보기술을 활용하여 지하역사의 공기질을 실시간 측정 및 분석하여 미세먼지 저감장치와 환기설비를 효과적으로 운영하는 시범사업을 추진함('18~'19년)
 - ☑ 서울교통공사는 '19년 서울 지하철 1~8호선 277개 전 역사의 대합실과 전동차 등에 미세먼지 측정기 840대를 설치 완료함
 - '20년부터는 실시간 스마트 공기질 관리시스템을 100개 역에 구축하여 각종 공기질 저감 장치를 최적으로 관리할 계획임
 - 강남역, 혜화역 등의 승강장 측 터널에도 전기집진기를 시범 설치하고 확대를 위한 효과를 분석 중이며 검증절차를 거쳐 '22년까지 192개소에 확대 설치할 예정임
- * 출처 : 서울교통공사 보도자료, 2020.4.12.

서울 강남역 시범 적용 사례

- 사업 개요
 - 사업명 : 지하역사 공조시스템 지능화
 - 목 적 : 지하역사 공기질 데이터와 공조환기설비 운영데이터의 빅데이터 인공지능 분석을 통한 실내공기질 관리 지능화
 - 기간 및 예산 : '18.6 ~ '19.12, 2,365백만원(정부출연금 1,696.5백만원)
 - 주무부처 및 전문기관 : 과기정통부, 한국지능정보사회진흥원
 - 수행기관 : 서울교통공사(주관), (주)디에이피, (주)애니텍, (주)무하기술
- * '도시철도역사 환경관리기술 개발'(국토부, '14~'17) 결과물 현장 적용
- (배경) 하루 유동인구가 20만명에 이르는 서울 강남역사는 미세먼지를 연간 1회 측정하고, 공기순환장치를 수동방식으로 운영 중이었음
 - 지하역사 및 터널의 실내공기질 환기만으로 해결하기 어려움
 - 지하역사에 미세먼지를 유발하는 원인분석 및 현상진단 후 효과적 대응책 마련이 필요하였음

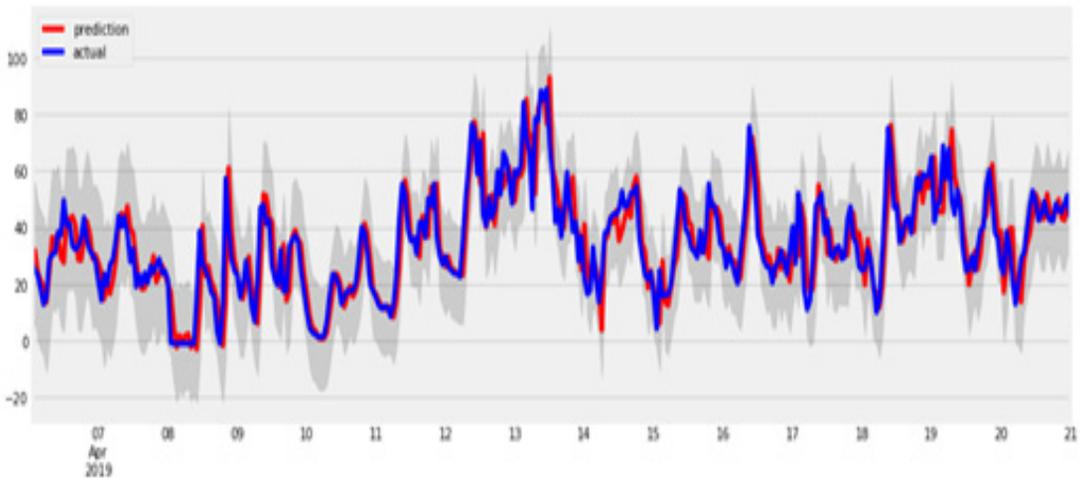
- 프리필터와 미디엄 필터는 2주에 1회, 헤파필터는 2달에 1회 교체하는 것으로 운영함



〈그림 3〉 필터 사용 전후 비교

- 승강장 바닥 집진장치를 설치하여 미세먼지 저감효과를 증대시킴
 - 원심력에 의해 공기 중 미세먼지 및 이물질을 분리시켜주는 싸이클론 구조 방식의 바닥 집진 장치
 - 본체 외부에 영구자석을 설치하여 장치 내부에 강력한 자기장이 생성되어 승강장 내부로 유입되는 터널 공기 중에 포함되어있는 철(Fe) 성분 입자의 저감

- (AI제어) 강남역 실내외 공기질(Air Korea, 센서), 유동인구(교통카드) 등의 데이터를 분석하여 저감·환기설비를 자동제어⁶⁾해 효과를 검증함
 - 강남역 미세먼지 농도산출 정확도 향상을 위해 몇 가지 알고리즘을 비교 분석 후 가장 높은 정확도를 나타낸 CNN 모형 미세먼지 예측 알고리즘을 개발함(국가수리과학연구원 공동개발, '19.11)
 - 과거 데이터를 분석하여 미래의 미세먼지 농도를 예측하는 알고리즘으로 딥러닝 학습을 위해 10분 데이터를 이용하여 1시간 뒤의 미세먼지 농도를 예측함
 - 테스트 세트를 통한 분류 정확도는 85.2% 수준임



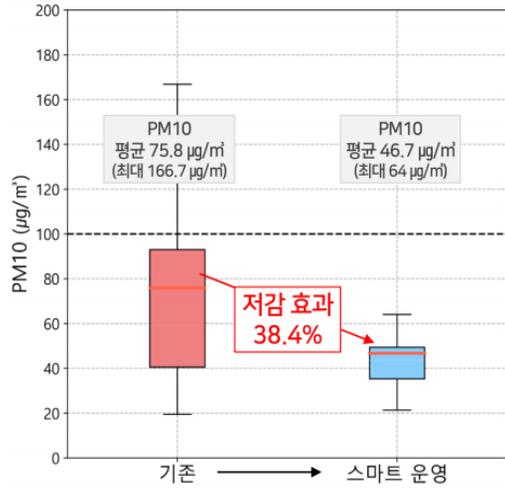
〈그림 4〉 강남역 승강장 미세먼지 예측 알고리즘 결과

- 운영 CASE 1 : 대기 (초)미세먼지 나쁨 (기준치 초과)
 - (운영) 대기 미세먼지 나쁨 시, 예비/비상저감조치 발령 시, 공조기 가동을 중지하여 외기 유입을 차단하고 공기정화장치를 가동함
 - (결과) 승강장 미세먼지(PM10)는 대기 공기질 '나쁨'일 때 공조기를 OFF할 경우 약 38.4%의 저감효과를 보임. 초미세먼지(PM2.5)는 공조기를 OFF했을 때 약 29.6%의 저감 효과를 보임

6) 외부 대기 미세먼지 “좋음”일 때 저감장치 Off·환기설비 On, “나쁨”일 때 저감장치 On·환기설비 Off로 제어하여 환기설비 및 저감장치 운영(1시간 단위)



〈그림 5〉 지하역사 스마트 운영 (미세먼지 나쁨)



〈그림 6〉 스마트 운영 결과 (미세먼지 나쁨)

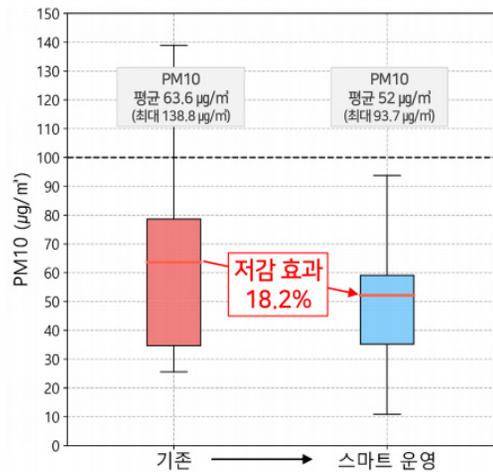
* 기준 : 외기 농도와 상관없이 공조기 정상 가동하고, 공기정화장치 미설치 기준

○ 운영 CASE 2 : 대기 (초)미세먼지 좋음 (기준치 이하)

- (운영) 대기 공기 좋음 시, 공기청정기 가동을 중지하고 (에너지 절감) 좋은 외기 유입을 위해 공조기 ON
- (결과) 승강장 미세먼지(PM10)는 대기 공기질 ' 좋음' 일때, 공조기를 ON하여 약 18.2%를 저감함



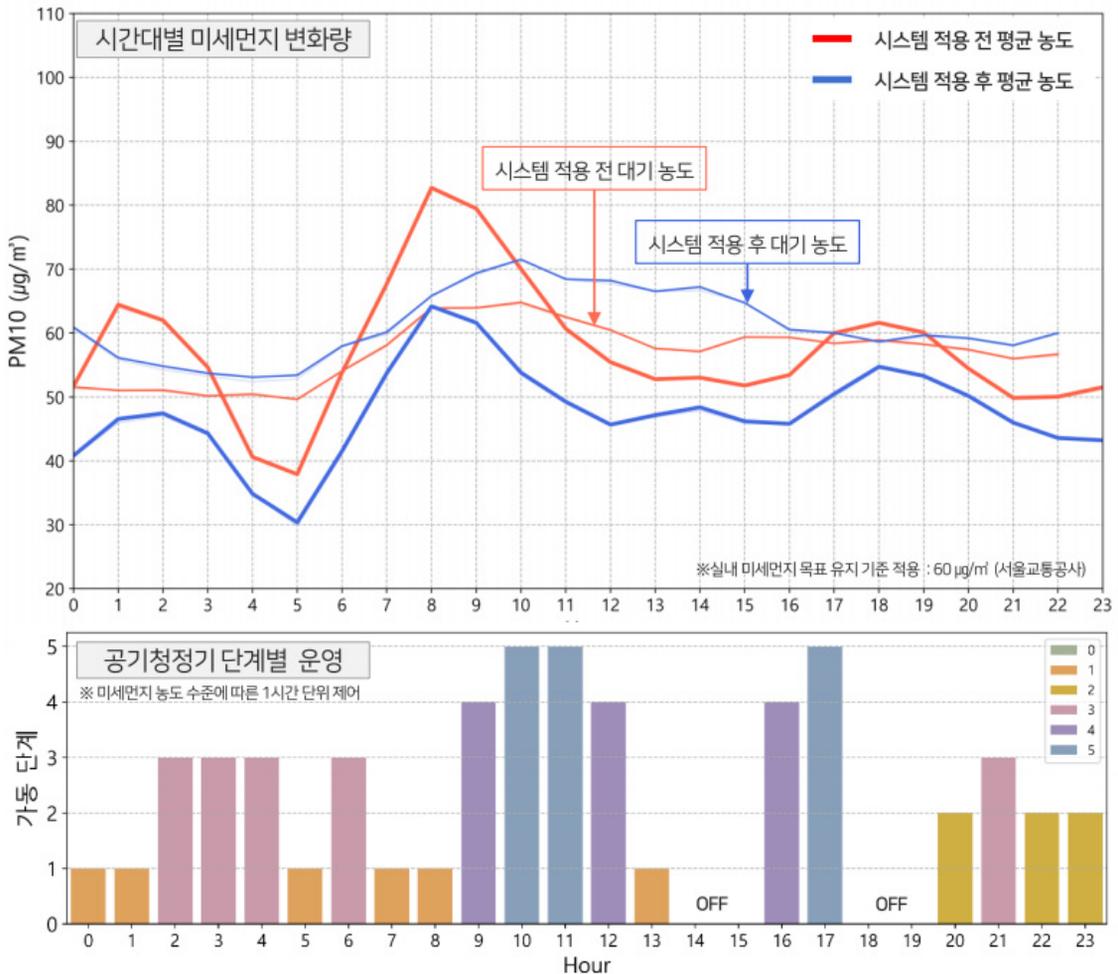
〈그림 7〉 지하역사 스마트 운영 (미세먼지 좋음)



〈그림 8〉 스마트운영 결과 (미세먼지 좋음)

○ 운영 CASE 3 : 인공지능 알고리즘 적용 제어

- (운영) 실내 미세먼지 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 유지 기준을 설정 (서울교통공사 기준)하고 CNN 인공지능 알고리즘을 통해 1시간 단위 가동 단계 조절 (운영: 2019년 4월 26일~2019년 5월 20일)
- (결과) 강남역 미세먼지 (PM10) 약 17% 저감⁷⁾



〈그림 9〉 미세먼지 농도 수준에 따른 공기청정기 스마트 운영

7) 승강장 평균 PM10 농도 변화 : (전) $57.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ → (후) $47.6\mu\text{g}/\text{m}^3$



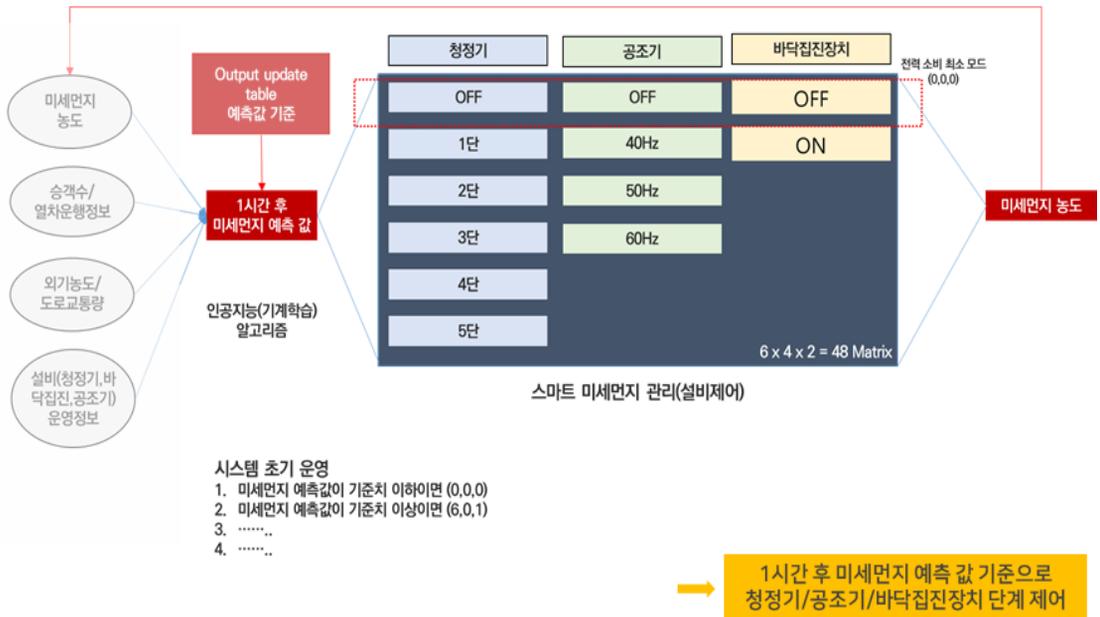
〈그림 10〉 스마트 미세먼지 관리시스템 인공지능 운영화면

○ 운영 CASE 4 : 지능화 운영을 통한 미세먼지 선제적 제어

- (운영) 인공지능 알고리즘 적용, 외기 농도와 모니터링 데이터와 승강장 미세먼지 예측농도 기반으로 공조 설비 가동, 미세먼지 예측값 기반 선제적 공기청정기 가동 (가동여부, 가동단수 결정, 운영의 자율화), 미세먼지 예측값 기반 바닥집진장치 가동 (가동 여부 결정, 운영의 자율화) (운영: 2019년 11월 15일 ~ 2019년 12월 27일)

- ① 미세먼지 농도 상승 예측
- ② 지능화 운영 1 : 공기청정기 단수 상승
- ③ 지능화 운영 2: 공조기 OFF하여 외부 공기 차단
- ④ 지능화 운영 3: 바닥집진장치 가동 시작
- ⑤ 예측 농도 보다 미세먼지 농도 감소/ 공기질 유지

- (결과) 승강장 미세먼지(PM10) 평균농도 $54.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 관리 성과목표를 달성하고 미세먼지 저감 설비 효율적 운영 (미세먼지 예측값 기반 설비의 지능화, 자율화 실현) 및 미세먼지 선제적 제어 효과 확인



〈그림 11〉 지능화 운영 방식

[표 8] 운영방식 비교

기존 운영방식	지능화 운영방식
<ul style="list-style-type: none"> 지하철에 설치되는 공기청정기 및 기존 환기설비의 운영은 타이머(시간 예약설정)방식으로 운영 미세먼지 현재 농도값을 기준으로 설정 기준치보다 높은 경우 가동하는 단순제어 방식으로 운영 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 수동방식에서 인공지능 기반 예측 제어 방식 전환을 통해 설비운동을 최적화 지하역사 이용객 및 역사 실내외 환경 변수를 적용한 최적 운영으로 운영비 절감하고 공기정화장치, 공조시스템 운영정보 상시 모니터링을 통해 설비 유지관리 편의성 향상

- (주요 성과) 시범운영을 통해 미세먼지 수준을 ‘보통(52.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)’으로 유지하며, 운영비도 절감
 - 외부 대기 공기질 수준에 따라 시간대별 환기설비(On/Off)와 저감장치(0~5단) 자동제어로 미세먼지를 ‘보통(52.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)’ 수준으로 개선

- 전기요금 : (5단으로 운영 시) 약 693 만원 소요, (스마트 운영 시) 약 311만원 소요
- 필터교체비용 : (5단으로 운영 시) 약 2,107만원 소요, (스마트 운영 시) 약 1,033만원 소요
- ※ 강남역 승강장 공기청정기 20대 운영 기준

- 강남 지하역사 휴게공간에 미세먼지 저감성과 홍보, 미세먼지 측정기·저감장치 등으로 시민 체험 공간을 구성(5.5평 규모)하여 운영 중

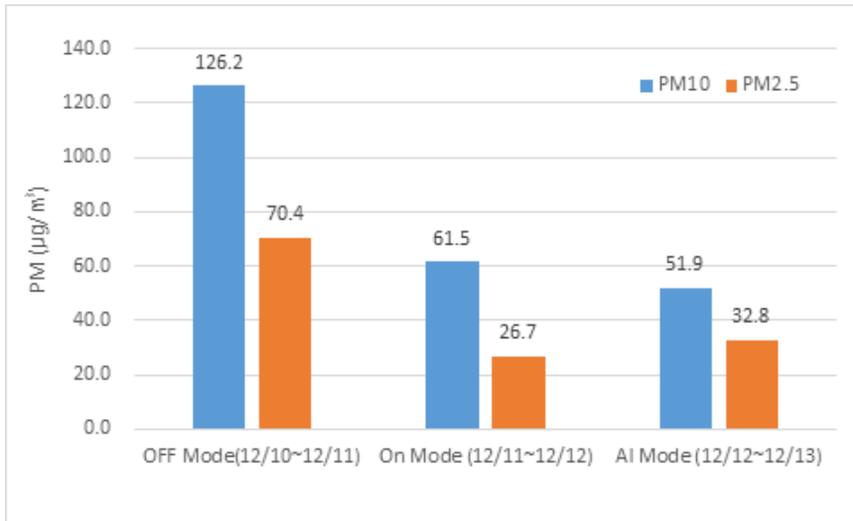
* 지하역사 미세먼지 발생원 설명, 저감장치 등 전시, 저감효과 홍보 등



〈그림 12〉 강남역 미세먼지 저감 시민 체험 공간

☒ 서울 강남역 시범 적용 사례 효과 검증

- 공인시험기관(FITI시험연구원) 주관 강남역 승강장 미세먼지 농도 측정 결과 : 시스템 가동/미가동 비교 시 PM10 기준 최대 27.3%(평균 21.8%) 저감 효과 검증
- 승강장 공기질 측정결과(2019.12.10 ~ 12.13.)
 - OFF Mode 운영 환경에서 승강장 미세먼지 농도는 유지기준 초과
 - ON Mode/ AI Mode로 미세먼지 관리시스템 가동 시 PM10 농도가 각각 $61.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, $51.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 지하역사 승강장 미세먼지 유지기준 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 확인되었으며, AI Mode로 운영 시 서울교통공사 관리 목표인 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 나타남

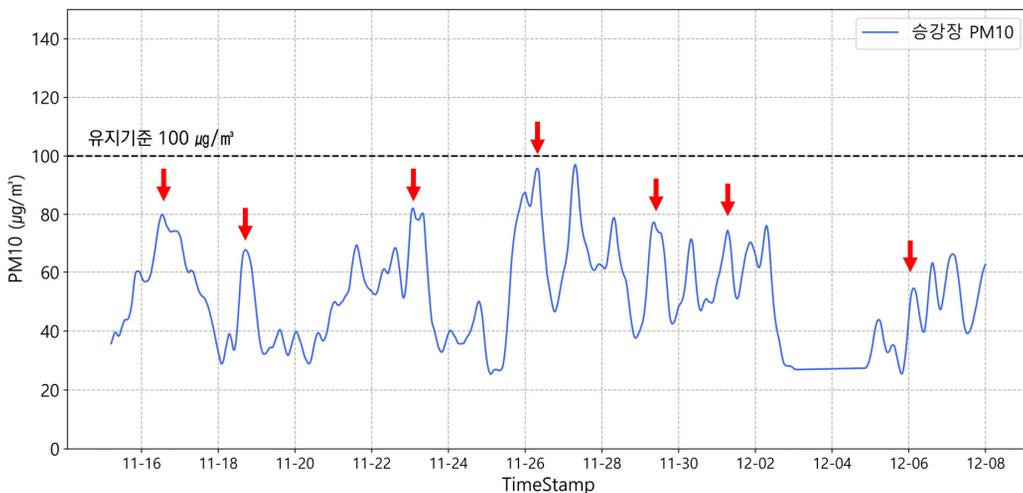


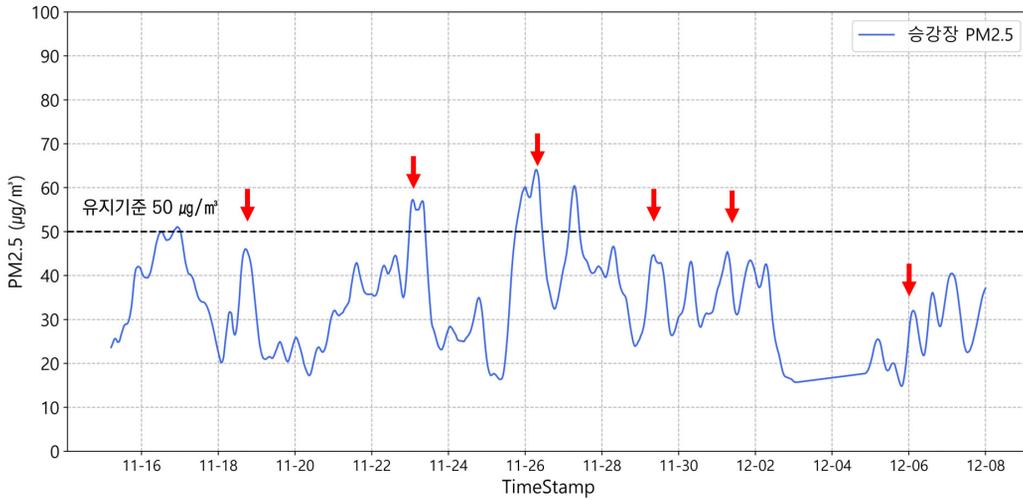
〈그림 13〉 공인시험기관 공기질 측정 평가 (승강장)

- * ON Mode : 공조기 운영을 중지하고, 공기정화장치를 5단으로 연속가동
- * AI Mode : 공기질에 따라 공기정화장치를 가변적으로 운영하여 에너지를 절감하면서도 지하역사 공기질 관리기준을 충족

○ 실내공기질 모니터링 결과 분석을 통한 운영 평가 결과(2019.11.15.~12.08.)

- 승강장 미세먼지/초미세먼지 평균 농도는 PM10 54.1μg/m³, PM2.5 35.5μg/m³로 다중이용 시설 실내 공기질 유지기준 (PM10 :100 μg/m³, PM2.5: 50 μg/m³), 서울지하철 관리 목표 PM10 60 μg/m³ 이하 달성





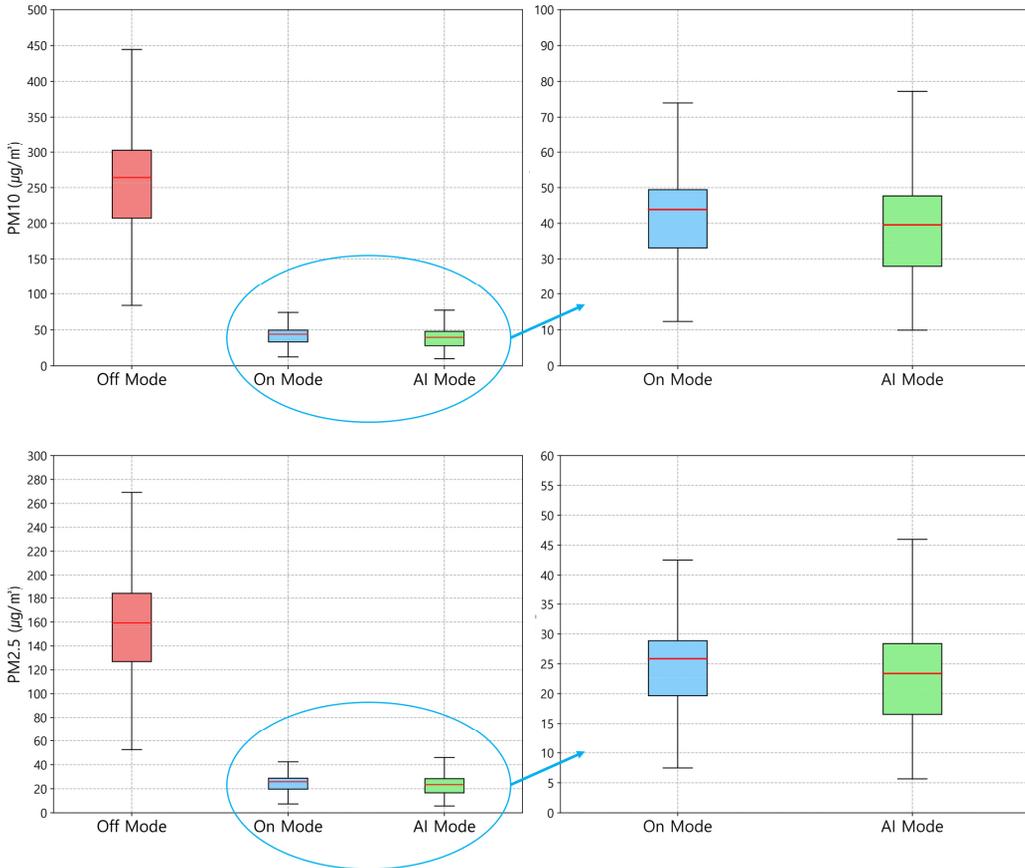
〈그림 14〉 실내공기질 모니터링 결과 분석 (PM10, PM2.5)

○ 운영 모드에 따른 공기질 평가 결과 (2019.12.10. ~ 12.13)

- Off Mode 운영 시, 공기청정기/공조기/바닥집진배기 장치 모두 OFF
- ON Mode 운영 시, 공기청정기 5단(최대 가동)/바닥집진장치 ON/공조기 OFF
- AI Mode 운영 시, 인공지능 SW를 통해 예측농도 기반으로 공기청정기/공조기/ 바닥집진장치를 지능화 운영

〔표 9〕 운영 모드에 따른 미세먼지 분석 결과 요약

운영 Mode	PM10 (µg/m³)	PM2.5 (µg/m³)	비고
Off	264.16 (*미세먼지 비상저감조치 발령)	159.19	유지기준 초과
On	43.85 (*미세먼지 비상저감조치 발령)	25.87	유지기준 달성
AI	39.55	23.39	유지기준 달성



〈그림 15〉 On Mode / AI Mode 가동 시 미세먼지 농도 분석

4. 시사점

- ☑ 지하역사 내 미세먼지를 첨단 지능정보기술을 활용하여 효과적으로 저감하고, 운영비도 절감하는 것은 매우 실효성 높은 저감대책이 될 것임
- ☑ 환경부 지하역사 공기질 개선대책('18 ~ '22)과 연계하여 미세먼지 저감 환기설비 추가, 인공지능의 예측력 강화 등 시스템을 고도화하고, 전국 580여개 지하역사로 지하역사 공조시스템 지능화 성과 확산의 추진이 필요함
- ☑ 지하역사내 공기질 관리대책의 실효성을 높이기 위해 지하역사 공기질 개선사업의 미세먼지 저감 효과 평가와 지하철 터널의 미세먼지 성분분석을 통해 인체 위해성 평가를 실시하고 평가결과에 따라 공기질 관리방안도 마련해 추진할 필요

국민기술제안 관련 전문가 의견

● 국민기술제안 주요내용

- 지하철 역사 내 미세먼지 측정 및 저감 기술과 관련하여 국민들은 ① 전기집진기·환풍 시스템·통합 모니터링 기술 ② 지하철 본선터널 구간 비산먼지 억제 물질과 기술, ③ 공기질 관리 공기청정시스템 등의 국민기술제안들이 제시됨
- 지하역사 및 본선터널의 미세먼지 저감을 위한 국민의 다양한 기술제안은 기술적 타당성이 높고, 대중교통 거점인 지하역사의 공기질 관리를 위한 내용으로 시급성도 높은 방안들이 제시되었음. 국민들은 지하철 미세먼지 저감을 위해서 집진장치, 비산먼지 억제제, 공기청정시스템 등의 도입이 필요하다고 제안하고 있음

● 총평 / 전문가 의견

- 이러한 국민기술제안이 사업화하기 위해서는 환경신기술 인증을 통해 검증이 필요함. 집진시설 및 공기청정기 설치 등 개별 기술들의 적용이 아닌 지하역사 공기질 관리 설비 운영을 위한 데이터 기반의 통합적인 공조시스템 구축 형태로 도시철도공사와 협력해 저감효과를 검증하는 것이 필수적임
- 현재 정부에서는 다양한 방법으로 국민들이 제시한 아이디어와 기술에 대한 현장적용 기술개발 및 사업화 등을 위한 지원사업을 추진 중에 있음
- 특히 과학기술정보통신부 지원사업으로 한국지능정보사회진흥원이 서울교통공사와 함께 실증한 ‘지하역사 공조시스템 지능화(2018~2019년)’ 과제 결과를 참고하여 제안한 국민기술제안이 현실에서 적용될 수 있는 방안을 찾아보면 도움이 될 것으로 생각됨

참·고·문·헌·

1. 관계부처 합동, 제3차 지하역사 공기질 개선대책(2018~2022), 2018.3.23
2. 서울교통공사 보도자료, 2022년까지 서울 지하철 미세먼지 농도 50% 이상 낮춘다, 2020. 4.12.
3. 서울교통공사 보도자료, 지하철 승강장 대청소로 지하 미세먼지 농도 낮춘다, 2018.1.5.
4. 환경부 보도자료, 환경부 장관, 지하역사 실내공기질 관리상황 점검, 2019.12.5.
5. 환경부 보도자료, 지하철 등 대중교통 실내공기질 관리 깎깐해진다, 2020.4.2.
6. 환경부 보도자료, (참고)환경부, 미세먼지 대책 감사원 지적사항 적극 시정, 2020.9.22
7. 한국지능정보사회진흥원, 지하역사 공조시스템 지능화, 2019.12.

저자소개

정병주

한국지능정보사회진흥원 ICT융합본부 스마트국토환경팀 팀장



기획편집

국가기후환경회의

이동규 국장(국제과학기술국)

윤영기 과장(과학기술협력과)

담당 **오상열** 선임(과학기술협력과) / **김종익** 민간4급(과학기술협력과)

T. 02-6744-0513, kji804@korea.kr

※ 본 자료는 국가기후환경회의(www.ncca.go.kr)에서 다운로드 가능합니다.

2021-02

미세먼지 기술분야 이슈페이퍼

지하철 선로·역사 내 미세먼지 측정 및 저감

발행일 | 2021년 1월

발행처 | 국가기후환경회의
서울 종로구 세문안로 7 콘코디언빌딩 13층
T. 02-6744-0500

문 의 | 국가기후환경회의 과학기술협력과

본 보고서의 내용은 연구자 등의 견해이며, 국가기후환경회의의 공식입장과 다를 수 있습니다



미세먼지 문제 해결을 위한
국가기후환경회의



본 인쇄물은 친환경용지와 콩기름 잉크를 사용하여 만들어졌습니다.